文部科学省 国際的に卓越した教育研究拠点形成のための重点支援 グローバルCOEプログラム

「アジア視点の国際生態リスクマネジメント」

Global Eco-Risk Management from Asian Viewpoints

成果報告書





平成24年(2012年)3月

横浜国立大学大学院 環境情報研究院 国立環境研究所

Yokohama National University National Institute for Environmental Studies

表紙写真の撮影者 中央 ECO-RISK写真:金子 信博 氏 右下 2枚:大野 勝弘 氏 左下 2枚:松田 裕之 氏 文部科学省では、全国の大学に平成 19 年度から開始する世界的な教育研究拠点の形成を目指 したグローバル COE プログラムの提案を公募しました。このグローバル COE プログラムに対 する多くの応募の中から、横浜国立大学大学院環境情報研究院が、国立環境研究所と連携して提 案した「アジア視点の国際生態リスクマネジメント」が採択され、平成 19 年度から 23 年度ま で、教育研究拠点の形成を図ってきました。

本グローバル COE プログラムでは、21 世紀 COE プログラムをはじめとする横浜国立大学の 多くの実績を踏まえ、人口増加や経済発展に伴って生態系の破壊と生態系サービスの劣化が著し いアジア発展途上国等の生態リスクの適切な管理に貢献する取り組みを進めてきました。その研 究成果をもとに、広い視野に立った客観的分析と基礎研究、応用事例研究、政策提言の総合に基 づくシナリオ構築能力の養成、さらに内外のネットワーク形成能力ならびに社会活動における交 渉能力の向上を重視した、国際的に活躍する若手研究者等の人材育成拠点の形成に努めてまいり ました。

アジア発展途上国等の生態リスクの適切な管理に貢献する取り組みに関しては、インドネシア や中国等に本 GCOE の連携拠点を形成するとともに、国連ミレニアム生態系評価(MA)にア ジア視点を加えた国際的なリスク管理の理念を整理し、その成果として単行本「生態系の暮らし 方~アジア視点の環境リスク-マネジメント」を発行することができました。

若手教育に関しては、若手企画のシンポジウムやニューズレターの発刊など、行動力のある若 手人材の育成に多くの成果がありました。

本報告書は、研究成果の要点を示したものです。専門的な詳細情報は、それぞれに対応する学 術論文や著書を参考にしていただきたいと存じます。

終りに本 GCOE プログラムを遂行するにあたって、連携機関である国立環境研究所の全面的 な支援をはじめ、産業技術総合研究所、国際連合大学、製品評価技術基盤機構など多くの関連機 関のご協力をいただいたことに深く感謝申し上げます。本プログラムで多くの成果があげられた のは、4名の外部評価委員の方々、本学の飯田嘉宏前学長、鈴木邦雄学長、国分泰雄研究担当理 事(副学長)、有馬眞前環境情報研究院長、森下信環境情報研究院長をはじめ、多くの教員と事 務関係者のご支援によるものであることを記して心より感謝申し上げるとともに、今後とも世界 的な拠点として発展できますように、皆さまの一層のご支援をお願い申し上げます。

平成24年3月

グローバル COE プログラム「アジア視点の国際生態リスクマネジメント」 拠点リーダー 松田 裕之 目 次

1. 理念・方法論グループ 成果報告

| ① 土壌細菌の多様性評価手法の開発 ②局所重視アプローチに | 基づく気候 | 変動要因解析 |
|-------------------------------|-------|--------|
| ③環境リスク管理への社会心理学的アプローチ | 伊藤公紀 | 24 |
| 生物多様性地域戦略の発展と「生物多様性の主流化」 | 及川敬貴 | |
| 野生動物の順応的管理と漁業の共同管理の発展 | 松田裕之 | |
| 東南アジアで拡がる食のリスクとその要因 | 嘉田良平 | |
| 生物群集の機能形質に基づく生態系影響評価手法に関する研究 | 田中嘉成 | |

2. 生態系機能グループ 成果報告

| 農地の土壌劣化リスクの生態学的評価 | 金子信博 | |
|---------------------------------|--------|----------|
| 外来生物の分布拡大とリスク管理 | 小池文人 | 64 |
| 外来生物問題の普及啓発 | 五箇公一 | 71 |
| 自然撹乱に基づく生態系管理 | 森 章 | 77 |
| ユネスコ「人間と生物圏 (MAB)」計画を活用した、自然環境の | O保全と利用 | 目の調和する持続 |
| 発展社会の実現に向けて | 酒井暁子 | |
| 富栄養化湖沼生態系の数理モデル解析および修復手法の検討 | 雨宮 隆 | 90 |
| 丹沢山地渓流水質の経年変動解析 | 有馬 眞 | 95 |
| 沿岸生態系のリスク評価へ向けた物質動態の解析と環境評価手 | 法の開発 | |
| | 菊池知彦 | 100 |

3. 生態系サービスグループ 成果報告

| 残留性有機汚染物質管理のための代替リスク比較研究の展開 | 益永茂樹 | |
|--------------------------------|--------|----------|
| 化学物質の生態毒性評価と GCOE 中国連携拠点形成 | 亀屋隆志 | 119 |
| 物質・エネルギー収支の解析によるプランテーションの環境イン | ノパクト評価 | を最適管理 |
| | 藤江幸一 | 125 |
| 地域におけるバイオマス資源の持続可能な利用 | 本藤祐樹 | 130 |
| 地球環境・防災を融合したリスクマネジメントのための時空間情 | 青報プラット | ・フォームの構築 |
| | 佐土原 聡 | 136 |
| 生物資源・廃棄物の循環利用技術に関する研究 - 廃棄物系バイ | オマスの炭 | 化とガス化ガス |
| の触媒変換 - | 川本克也、 | 魯保旺143 |
| 低環境負荷型植物病害防除資材の探索と評価 | 平塚和之 | 149 |
| 環境負荷の少ない植物抵抗性誘導剤の開発—イソインドールの歴 | 反応性を利用 | した含窒素多 |
| 環式化合物の合成— | 本田清 . | 154 |

4. COE フェロー 成果報告(要旨)

(1)個体群動態解析に基づくマングローブ種の耐陰性解明、(2)植物資源劣化リスクを回避するホームガーデンの機能大野勝弘スサーデンの機能大野勝弘大型哺乳類の分布拡大予測斎藤昌幸遺伝的多様性のホットスポット解析佐伯いく代(1) Concealed environmental threat in coastal region needs priority for ecological risk management:the case of Panglao Island, (2) Artificial Reef: a practical andsustainable solution to replenish a resource-depleted coastal region, the Atimonan small fishermen's

association example

| | Daniel Edison Hus | ana167 |
|--|-------------------|-------------|
| アルゼンチンアリの侵入地域における遺伝的変異と分布拡大プロ | セス 井上真紀 | 169 |
| 外来種オオミノガヤドリバエの侵入によるオオミノガの絶滅可能 | 全性 石井弓美子 | z170 |
| インドネシア・ランプン州のミミズ相の把握〜サトウキビにお | ける持続可能な農業 | 業のため |
| の土壌生物多様性の修復~ | 南谷幸雄 | 171 |
| インドネシア・ランプン州における長期不耕起実験圃場の土壌炭 | 素隔離能力の評価 | |
| | 仁科一哉 | 172 |
| Desiliance of Unhan Communities in a Changing Olimete and En | vinement Feetre | Watan Matan |

Resilience of Urban Communities in a Changing Climate and Environment-Focus on Water related Issues in Central Vietnam

Bam H.N. Razafindrabe, Makoto Arima173

5. おもな原著論文(添付)

・伊藤公紀・本藤祐樹、バイオ燃料の可能性とリスク、『現代化学』No. 10, 2007 年

• Matsuda H, Makino M, Tomiyama M, Gelcich S, Castilla JC (2010) Fishery management in Japan Ecol Res 25:899-907

• Niwa S, Mariani L, Kaneko N, Okada H, Sakamoto K (2011) Early-stage impacts of sika deer on structure and function of the soil microbial food webs in a temperate forest: A large-scale experiment. Forest Ecology and Management 161: 391-399.

・森章,三村真紀子,黒川紘子.(2010).我々は「生態リスク」とどう向き合うのか?日本生態学会誌 60: 323-325.

• Mori, A.S. (2011) . Making society more resilient. Nature 484:284.

• Zhang Y, Nakai S, Masunaga S (2009) An exposure assessment of methyl mercury via fish consumption for the Japanese population, Risk Analysis 29[9] 1281-1289.

• Takashi KAMEYA, Kotaro YAMAZAKI, Takeshi KOBAYASHI and Koichi FUJIE (2010) Ecological Assessment of Water Quality by Three-species Acute Toxicity Test and GC/MS Analysis - A Case Study of Agricultural Drain -, Journal of Water and Environment Technology, 8(3), 223-230.

• H. Kamahara, H. Udin, A. Widiyanto, R. Tachibana, Y. Atsuta, N. Goto, H. Daimon, K. Fujie, Improvement Potential for Net Energy Balance of BDF Derived from Palm Oil: A Case Study from Indonesian Practice, Biomass and Bioenergy, BIOMASS AND BIOENERGY, 34,1818-1824(2010)

GCOE「アジア視点の国際生態リスクマネジメント」 拠点形成の概要 Global Eco-Risk Management from Asian Viewpoints

Program Leader: 松田裕之 Hiroyuki Matsuda

本グローバル COE プログラムでは、21 世紀 COE プログラムをはじめとする横浜国立大学の多くの 実績を踏まえ、国立環境研究所と連携し、人口増加や経済発展に伴って生態系の破壊と生態系サービ スの劣化が著しいアジア発展途上国等の生態リスクの適切な管理に貢献する取り組みを進めてきた。 その研究成果をもとに、広い視野に立った客観的分析と基礎研究、応用事例研究、政策提言の総合に 基づくシナリオ構築能力の養成、さらに内外のネットワーク形成能力ならびに社会活動における交渉能 力の向上を重視した国際的に活躍する若手研究者等の人材育成拠点の形成に努めてきた。そして、そ れらの成果を 2010 年名古屋での生物多様性条約締約国会議(COP10)に反映させ、知床世界遺産 海域管理計画を通じた日本の沿岸漁業の共同管理の意義、アジア諸国の生物多様性地域戦略の集約 と分析と奨励、アジア諸国のプランテーションにおける循環型社会の提案、ミレニアム生態系評価の里 山里海評価などの成果を上げ、先進国主導の気候変動枠組み条約とは異なる地域と先住民の自主的 な取り組みを奨励する国際世論形成に貢献した。

In this Global COE program, on the basis of a large number of achievements made by Yokohama National University including the 21st Century COE program and in collaboration with National Institute for Environmental Studies (NIES), we tried to contribute to the proper control of ecological risks in the developing nations in Asia where ecosystems are being destroyed, and ecosystem services are being significantly degraded, as a result of population growth and economic development. Based on these research activities, we aimed to develop the ability to propose the scenario based on an objective analysis and comprehension with a broad perspective and produce young researchers who can lead global environmental activities in the future. We also promoted an international network of researchers, municipalities, companies and citizens in order to connect "basic studies," "application case studies," and the "proposals of a new social system" based on a new policy idea. We contributed to build international consensus in the Meeting for Convention on Biological Diversity in 2010, Aichi, of encouraging autonomous management by local and indigenous stakeholders, e.g., we analyzed Japanese fisheries co-management in Shiretoko World Heritage, a sustainable biomass production system that reduces environment load in Asian plantations, regional biodiversity strategies in Asia, and Japan Satoyama-Satoumi Ecosystem Assessment.

1. 拠点形成担当者と外部評価委員

本事業は、国立環境研究所と連携し、事業 推進担当者(25名)、コーディネータおよび ポスドク研究員(COEフェロー、24名)を中 心に推進した。また、博士後期課程学生延べ 99名をリサーチアシスタント(RA)として雇 用し、若手の育成・訓練に努めた。

プログラムの進捗と達成度について、中間 評価前と最終年度に、鈴木基之氏、武内和彦 氏、和田英太郎氏、長谷川眞理子氏に外部評 価委員として指導いただいた。この場を借り てお礼申し上げる。

本 COE プログラムの拠点形成費補助金額 (間接経費を除く)を表 1、メンバーと主な 役割分担を付表1、その間に採用したフェロ ー (Postdoctoral Fellow)と彼らの現在の所属 を付表2、付表3に国際シンポジウム・ワー クショップ、付表4に日本語でのシンポジウ ム、付表5に公開講演会(計75回、うち、英 語のセミナー(GCOE フォーラム)38回)、 付表6にオープンカフェ(昼食放談会)、付表 7に博士課程学生に対する国際学会発表支援、 付表8に同じく海外研修派遣事業、そして付 表9にメンバーの主の編著書リストを記す。

| 年度 | 総額 | 間接経費 | 直接経費 | (国立環境研 究所配分額) |
|-----|---------|---------|---------|------------------|
| H19 | 180,700 | 41,700 | 139,000 | 14,505 |
| H20 | 183,170 | 42,270 | 140,900 | 28,710 |
| H21 | 170,352 | 39,312 | 131,040 | 21,560 |
| H22 | 117,936 | 0 | 117,936 | 21,560 |
| H23 | 106,343 | 0 | 106,343 | 19,460 |
| 合計 | 758,501 | 123,282 | 635,219 | 105,795 |

表1 拠点形成費補助金額(千円)

2. 研究方針(拠点形成の目的)

本グローバル COE プログラムでは,21世

紀 COE プログラムをはじめとする横浜国立 大学の多くの実績を踏まえ,国立環境研究所 と連携し,人口増加や経済発展に伴って生態 系の破壊と生態系サービスの劣化が著しいア ジア発展途上国等の生態リスクの適切な管理 に貢献するため、以下のことに取り組んだ。 I.国連ミレニアム生態系評価(MA)にアジア視 点を加えた国際的なリスク管理の理念・基本 手法・制度の解析と提示。

II.アジア等の森林植生・土壌・沿岸域等の生態系機能の調査・解析に基づく外来生物管理 を含めた具体的な順応的リスク管理手法の提示。

III.農薬・肥料・有害物質管理,バイオマス高度利用,遺伝子操作作物利用,廃棄物循環利用等,具体的実践的なアジア途上国の生態系サービスのリスク管理手法を開発と応用。

IV.これらの「基礎研究」と具体的な「事例応用研究」,新たな政策アイデアに基づく「社会制度提案」の3者を繋げる研究者・行政・企業・市民のネットワークの国際的構築。
 V.これらをもとに、自ら新しい領域を開拓する創造性の醸成,広い視野に立った客観的分析と総合に基づくシナリオ構築能力の養成、さらに内外のネットワーク形成能力ならびに

社会活動における交渉能力の向上を重視した 国際的に活躍する若手研究者等の国際的な人 材育成拠点の形成。

管理運営体制としては、①理念方法論、② 生態系機能、③生態系サービスの3つのワー キンググループと④人材育成チームで構成し、 国大と環境研を結ぶ運営委員会を毎月開催し た。また、担当者、フェロー、RA等すべての 本事業関係者を対象に、3~6ヶ月ごとに全体 会議を開催し、GCOEの運営方針の徹底と事業 推進をはかった。運営委員会、メンバー、学 内外の協力者も含めた全体の3つのメーリン グリストを日常的に活用して意思疎通の場を 確保した。

3. 研究計画

申請当初の研究計画は以下のとおりであった。 ①順応的リスク管理手法の提示と具体的適用。 ②次元の異なるリスクを比較衡量するための、 リスクトレードオフ解析手法。

③多元的で多様な主体が協働して環境管理を 行う、環境ガバナンスや自然公園管理制度の 国際比較。

④生態リスクの評価·予測·管理のための、シ ナリオの構築·提案と応用。

⑤アジア等の森林植生,土壌,沿岸域などに おける生態系機能の調査・解析。

⑥それらを踏まえた、生物多様性と外来生物 等の評価・管理手法の提案。

⑦有害物質・肥料等の生態系や水産物・水利用 への影響評価技術と、新しい順応的リスク管 理方法の提案。

⑧生物資源・廃棄物の循環利用・高度利用のための技術・社会システムの開発と応用など、生態系サービスの持続可能な技術・手法の開発・応用。

⑨世界中のデータ提供者との信頼関係を構築 した、生態リスク管理に関する環境科学・行政 のための知的情報基盤の構築・整備を図る。

4. おもな成果

1)研究方針に関する主な成果

I.国連大学が取りまとめた「日本の里山里海評価」に貢献した。同時に、利用と保全の調和を目指すユネスコ人間と生物圏(MAB)計画の国内での普及と里山活動の連携に努め、2010年名古屋での生物多様性条約締約国会議

(COP10) の SATOYAMA イニシアティブ決 議において MAB 計画との連携が盛り込まれ た。横浜国大としても SATOYAMA イニシア ティブパートナーシップ事業に加盟した。

II.インドネシア国スマトラ島ランプン州に大 規模実験区を設け、耕起と不耕起の土壌を比 べ、土壌生物の多様性を高める農法により土 壌劣化を防ぐことが明らかとなった。また、 外来生物の分布拡大予測手法を開発し、アラ イグマや口蹄疫などに活用した。

III.インドネシア ランプン大学および中国 の清華大学と大学間の学術交流を締結し研究 者の相互訪問による研究集会やセミナー等を 開催し、情報交流・人材交流を行った。ラン プン大学は、上述のスマトラ島のプランテー ションでの土壌劣化の研究の拠点とすること ができた。さらに、中国では中国科学院生態 環境研究中心および浙江清華長三角研究院生 態環境研究所を GCOE 連携拠点とし、「亚洲 国际生态环境安全管理中国联合研究中心」を 設置して、生態毒性の視点での水環境保全や 水リサイクルに関する共同プロジェクトを進 めた。また、農業環境技術研究所と共同で、 パッシブ大気サンプラーを用いた残留性有機 汚染物質(POPs)の東アジア(日本、中国、 韓国、台湾)の広域モニタリングを実施した。 また、パーム等のプランテーションにおける 栽培管理と収量、化石燃料消費、土壌微生物 群集等との関係を明らかにし、ライフサイク ル評価の観点からバイオ燃料生産における温 室効果ガス排出の推計に加えて、プランテー ションによる生態環境インパクト低減のため の自立型エネルギーシステムを提案した。 IV. 2011年に国内でユネスコ MAB 計画の登録 地、登録を検討する地域の研究者、行政、市 民が参加する「日本ユネスコエコパークネッ

トワーク」を設立した。学外協力者の佐藤哲 教授と松田らが連携し、地域の生態系サービ スを活用した自立を支援する在来研究者の育 成を目指す「地域環境学ネットワーク」を設 立し、米国 Crosby 教授、チリ Castilla 教授ら と連携した国際ネットワークづくりを目指し ている。また、2011 年 6 月に横浜国大として 国連大学が推進する ESD (持続発展教育) 関 連 の ア ジ ア 太 平洋 環 境 ネ ット ワーク

(ProSPER.net) に加盟し、ProSPER.net 内での生物多様性関係の教育プログラム作成事業
(Education Program for Sustainable Development of Regional Society with a focus on Biodiversity)を延世大学、南太平洋大学、北海道大学、信州大学とともに 2012 年より開始した。
V.人材育成については6で述べる。

2)研究計画に関する主な成果

GCOE の成果を、わかりやすく1冊の書籍 「生態系の暮らし方-アジア視点の生態リス クマネジメント」(小池ら、2012 下記目次参 照)にまとめた。

生態系の暮らし方 アジア視点の環境リス ク-マネジメント」 目次

第1部

1章 新しいグローバル化とアジアの生態リスク 小池文人、鈴木邦雄

第2部

2章 ライフサイクル思考で現代の環境問題に立ち向かう本藤祐樹、金子信博
 3章 生態系を"そまつ"にしないために

及川敬貴、茂岡忠義、舛田陽介 第3部

4章 ところ変われば軋轢も変わる:都市 と農村でケモノたちと共存する 斎藤昌幸

5章 生物の保全と生態系の歴史 Luis A. Vega.、小池文人 6章 ヒトの生息地としての都市 田中 貴宏 章 都市近郊の里山の自然をいかしたライ フスタイル 小池文人、及川敬貴 第4部 8章 化学物質管理の歴史と生態リスク 鲁屋隆志 9章 熱帯農業の土壌生態系 金子信博、 南谷幸雄、三浦季子、荒井見和、仁科一哉 10章 プランテーションと環境生態リスク -バイオマス生産における課題と対策-藤江幸一、U. Hasanudin 11章 熱帯の植林プランテーションの景観 と鳥類の多様性 藤田素子 12 章 「熱帯里山の生態系をめぐる新たな 大野 勝弘、鈴木邦雄 伝統| 第5部 13章 遺伝子で見た野生生物の人為流動-外来アリ類を例に 井上真紀 14章 外来生物の分布拡大を予報する:海 の外来生物と口蹄疫小池文人、岩崎敬二、 森本信生 第6部 15 章 アジア視点の生態リスク管理手法 伊藤公紀、松田裕之、及川敬貴、茂岡忠義 16章 変わりつつある時代に環境とどう向 きあうか:野生鳥獣の場合 松田裕之

そのほか、GCOE メンバーが編著者となった 多くの書籍が刊行されている(付表9)。これ らのほとんどは、出版助成などを伴わず、出 版社からの依頼によって刊行されたものであ る。

①順応的リスク管理について。Adaptive

management を日本で初めて紹介し、「順応的 管理」と訳したのは鷲谷・松田 (1998)だが、 この訳語は本邦で完全に定着した。また、環 境問題にありがちな科学万能論批判論者に対 しても、知識の限界を明記しつつ進める順応 的管理の思想は広く受け入れられている。順 応的管理にはリスク管理の思想が不可欠であ り、「予防的順応的管理」、「順応的リスク管理」 という用語はわが COE が確立した用語であ るといえる。

さらに、小池ほか(2012)の中の伊藤・松 田・及川・茂岡では、西洋的自然観と東洋的 自然観の対比の中で、申請時に挙げた米国型 順応的管理と西欧型予防原則に加えて、「文脈 ベース型順応管理」と「システム強化型予防」 を挙げ、我々自身が進行形で取り組んでいる 事例も含め、様々な具体的事例がそれらをど のように折衷しているかを明らかにした。

②リスクトレードオフ解析手法として、健康 リスクについては水産物の水銀と不飽和脂肪 酸の効果を定量評価した(益永)。また、環境 省からの受託研究として代替化学物質間のリ スク比較研究に取り組んでいる(益永・本藤・ 三宅・小林)。今後は、生態負荷(Ecological Footprint)、日本の企業で使われている LIME2

(生物の絶滅リスク評価手法が取り入れられ ている)、海洋工学会 IMPACT 部会が提唱して いる Integrated Impact Index (生態負荷、損失 余命、絶滅リスクの総和)などを比較し、環 境省からの受託事業として、金子・松田・本 藤により、生物多様性フットプリント指標を 開発しつつある。

③自然公園管理制度の国際比較については、 上意下達、法的規制、原生自然志向型の世界 遺産型と、自主管理と持続的利用を重視する MAB計画型の公園がある。日本の国立公園は

どちらかといえば後者であり、利用しない「核 心地域」の存在しない SATOYAMA 概念も含 めた比較検討を行った。その結果、世界遺産、 MAB 計画、SATOYAMA のそれぞれの特長が 認知され、取り組みの活性化に繋がった。 ④生態リスクの評価・予測・管理のためのシナ リオの構築・提案と応用として、佐土原が国連 大が進める日本里山里海評価の関東中部クラ スターレポートの共同編者になった。ここで 示したようなシナリオ提示をいくつかの具体 的事例に適用した。知床世界遺産クマ管理方 針では、松田が座長となって当面の方針のほ かに、5年後の見直しのために現状の問題点 を整理し、それを解決するための3つのシナ リオを公表し、社会の選択にゆだねることと した。

⑤森林植生, 土壤等の生態系機能の調査・解析 として、山火事とその防災対策が森林生態系 に与える影響を明らかにした。森(章)は山火事 は生態系過程の一部であるという認識の下に 防災より減災を主張し、震災後の Nature にも 掲載された。スマトラ島ランプンでのプラン テーションを調査対象とし、土壌における土 壌動物の機能を研究した。不耕起栽培の意義 を明らかにした(金子)。

⑥生物多様性と外来生物等の評価・管理手法 として、外来生物のリスク評価と管理を行う には、まず費用や人間活動に及ぼす影響を含 めて、現状把握と今後のリスク因子、法と行 政措置の限界等を把握することが重要である ことを示した(五箇)。

⑦有害物質・肥料等の生態系や水産物・水利用への影響評価技術について、二つの方針を持って臨んだ。一つは過去の健康リスクについての「主要な排出源を断つ」という対策の有効性を評価しつつ、生態系への新たなリスク

となる問題を抽出し、その総合的な対策を提 案した。我々は、過去四半世紀の有害物質に よる水質汚染対策については基本的に成功と とらえている。そのうえで、亜鉛のような厳 しい規制が必要かどうかについては、エンド ポイントが個体でなく個体群であることを踏 まえ、実際の野外生態調査によって検証する 必要性を主張した(松田と産総研、東大との 共同研究)。さらに、複合汚染評価のための方 法論(水生生物によるバイオアッセイ)を提 示した(亀屋)。他方、全国の水田からアキア カネが激減していることに示されるように、 画一的な農薬使用の危険性を指摘し(五箇)、 地域政策としてこの問題の解決策を提案した

(2012.2.16 公開講演会)。その根底には、基 準値を予防的に設けつつ、その妥当性を順応 的に検証し、研究者が気づいた小さなリスク を過度に問題視するのではなく、地域と人間 活動の多様性を重んじてほどほどに抑えるほ うが、結局は妥当なリスク対策になると議論 された。

⑧生物資源・廃棄物の循環利用・高度利用のための技術・社会システムの開発と応用について、本藤は宮古島においてサトウキビからバイオ燃料を作る事業に関与し、ライフサイクル評価(LCA)を行った。藤江はスマトラ島ランプンなどでパーム、サトウキビとキャッサバのプランテーションにおける栽培管理と収量、化石燃料消費、土壌微生物群集等との関係を明らかにした。その結果、パーム製油、製糖、タピオカ・デンプン製造の各工程における有機炭素とエネルギーの収支を調査解析し、プロセスの問題点と改善の方策を示した。これらの成果に基づいて、生態リスク低減のための選択肢として、周辺の地域や事業所と連携した自立型エネルギーシステムの構築を

提案した。

⑨世界中のデータ提供者との信頼関係を構築 し、環境科学・行政のための知的情報基盤の構 築・整備を図るという点については、東アジア 植生情報、植物種特性情報、土壌動物多様性 情報、地質・土壌情報、沿岸域・淡水域生物情 報、化学物質の生態毒性情報、残留性有機汚 染物質(POPs)情報、有害化学物質使用・排出情 報、資源・土地開発・利用情報、高等植物の特 異的発現遺伝子情報等々の多くの成果をデー タベース化している。なお、COP10でも議論 された GBIF(地球規模生物多様性情報機構)、 ESABII(東・東南アジア生物多様性情報イニ シアティブ)などのデータベースへの集約が 進められている。

3) 国立環境研究所と連携した意義

本 GCOE で取り組んだ横浜国大と環境研と の連携は、少なくとも以下の3点において絶 大な効果を発揮した。

①外来種問題における連携。国大小池らと環境研五箇らのデータ共有と連携により、外来種分布拡大予報¹の手法とデータ公開などが促され、外来種問題の包括的なリスク評価、管理が可能となった。

②特に産総研から環境研へ移動した生態リス ク分野の人材が増えることにより、化学物質 生態リスクについて、横浜国大、産総研、新 たに本学と包括連携した製品評価技術基盤機 構(NITE)、環境研の交流と統合的な体制が 急速に整いつつある。国大は環境研から川本 を客員教授として招き、益永の院生が環境研 研究員となるなど、GCOE、安心・安全の科 学研究センターなどでの強固な連携を築いて きた。また、国大から NITE、産総研へ移動し

¹ http://vege1.kan.ynu.ac.jp/forecast/

た人材は数多く、松田も産総研客員を勤めて いるように、これらの関係も強固であった。 環境研と産総研西地区は敷地が隣どうしであ り、この5年間に急速に人事交流と共同研究 の絆が深まってきた。

③複数の国大の元 PD が環境研の PD となり、 外来種管理だけでなく野生鳥獣行政の分野で 環境研が貢献できる陣容が補強された。従来、 国立公園管理と野生鳥獣管理は環境省自然環 境局の主要な業務であったが、公害研を母体 とする環境研にはその陣容が不十分であった。 国立公園は愛知目標との関係で、野生鳥獣管 理は中山間地問題との関係で今後極めて重要 となる。生物多様性国家戦略、国立公園、野 生鳥獣行政を環境省、環境研、横浜国大で統 合的に進める体制が整った。

5. 学術的・社会的な意義と波及効果

本 GCOE の活動は、以下のような意義を持つ と考える。

1)経済発展と環境保全の「ほどほど」の調
 和を目指す生態リスク学を普及させた。

環境リスクを避けるのではなく、ほかのリ スクや便益、社会的正義とのトレードオフを 勘案する取り組みは、我々が21世紀 COE 以 来展開してきたものである。必ずしも定量的 評価に基づかなくても、現在の科学的知見が 将来見直されるかもしれないという自省の念 を持つことで達成できる。それを一言で表現 したのが「ほどほど」という概念であり、不 確実なリスク因子に対してある程度予防的に 対処しつつも、失敗を恐れず、データを蓄積 し知見を見直す姿勢をもった順応的リスク管 理を行うことが重要である。

過去5年間での生態リスク関係の最大の国際行事は、2010年名古屋で開催された生物多様性条約(CBD)締約国会議(COP10)であ

った。特に漁業の乱獲問題が焦点の一つとな るかに見られた。それまで、「世界の水産資源 は2048年までに枯渇する」という主張が世界 の趨勢であり、COP10で海洋保護区の数値目 標を定めることによって生態系を保護する機 運があった。

しかし、2008年横浜での第5回世界水産学 会議を機にこのような極端な海洋生態系壊滅 論は見直され、COP10で合意された愛知目標 保護区の定義も日本で行っている漁業者の自 主管理を含めたものになり、2010年に国際コ モンズ学会は世界遺産知床の漁業管理を世界 の6つのインパクトストーリの1つに選ぶな ど、①利用と保全の調和を図り、②法規制だ けでなく自主規制を含めた共同管理、③科学 知だけでなく伝統知や在来知を尊重し、数値 目標に頼らず各国独自の取り組み(生物多様 性地域戦略)を重視するという我々の「アジ ア視点」の取り組みが反映された。

この見直しには、松田と 21 世紀 COE フェ ローだった牧野光琢博士(中央水研グループ リーダー)が取り組んだ知床世界遺産地域で の沿岸漁業に関する研究と政策提言が大きく 貢献したと考える。我々はこの 5 年間、この 成果を DIVERSITAS、CoML、Pew 海洋保全フ ェロー、PICES、FAO、日中露アムールオホー ツクコンソーシアム、環境省生物多様性総合 評価、水産庁、外務省日露生物多様性専門家 会議、水産資源・海洋保全研究会など様々な 場を通じて内外に働きかけた。

また、及川が設置したアジアの地域戦略を 集約分析したウェブサイト「生物多様性アジ ア戦略」(http://www.bas.ynu.ac.jp/about) は内 外に広く注目され、彼が著した「生物多様性 というロジック」も好評を博している。これ らは、対立が深刻だった気候変動枠組条約と は異なる特徴であり、CBD の COP10 全体を 通じた特徴といえる。

さらに、鈴木(現学長)、酒井と松田が国内 の中心となって進めたユネスコ MAB 計画で は、日本自然保護協会と連携して 30 年ぶりに 国内から宮崎県綾町がユネスコエコパーク登 録推薦に至り、多くの地域で登録準備が進め られ、細野環境相が 2012 年 2 月 9 日中央環境 審議会で MAB 計画を進めると発言するなど、 一気に気運が回復しつつある。

2)「生態系サービス論」など功利主義的環境 政策を超え、自然を弱者と捉えて人間側の管 理責任(Stewardship)を説く西洋的自然観を 超えた生態リスク管理論を提案した。

平成23年3月年度に遭遇した東日本大震災 は、我々にリスクとつきあう必要性を広く認 識させる結果となった。他方、放射線リスク については、厳しい基準を課す世論が支配的 である。それが新たな差別や、農漁業の制約 を招き、瓦礫処理や汚染土壌処理を解決不可 能な暗礁に乗り上げている。震災発生時こそ、 リスクと付き合う思想と具体的な政策提言が 重要である。

「生態系サービス」の代わりに「自然の恵 み」を用いることは、日本では広く普及しつ つある。特に中山間地と自然公園の野生鳥獣 管理において、増えすぎた害獣を生物資源と みなし、ほどほどに獲る新たな社会制度の必 要性が専門家の間で認識されつつある。同時 に、宗谷岬や福井県あわら風発などのように 希少種保護運動との衝突がある地域での風力 など再生エネルギーの活用も重要であり、多 元的な価値観にもとづく統合的なリスク管理 が求められている。

3) 画一的規制ではなく地域独自の取り組み を奨励する共同管理論を普及させた。

化学物質も漁業も、環境リスクを避けるた めに、法規制だけではなく自主管理を活用す ることが有効である。本 GCOE 申請時から指 摘していたこの発想は、生物多様性条約 COP10 では世界の共通認識となり、愛知目標 11 にある保護区面積の数値目標を定める際に は、共同体が定める保護区も含めることが明 記された。大事なことは、保護区を増やすこ とではなく、自然を守り持続可能に利用する ことである。

化学物質においても、単一物質ごとのリス ク評価ではなく、実際の河川などでの総合的 なリスクを下げることが重要であり、そのた めの野外調査と評価手法を提案した。亜鉛に おいては生物実験から導かれた基準値だけで なく、その基準値を超えた実際の水域での生 態系を現地調査し、富栄養化など別の環境条 件も含めて生物活性を考慮し、実際の生態リ スクを評価する手法を、各メンバーが分担し て進めた。これらの成果を踏まえて、ハザー ド管理からリスク管理に移行する次世代の化 学物質管理において、ほどほどの環境政策が 可能となる実効性ある評価管理手法を提案す ることが、次のわれわれの使命である。それ が可能となる人材を養成するため、大学院生 だけでなく、NITE 等と連携して公開講座を通 じた社会人への教育も続けており、その需要 の高さも実証している。

4) 福島第一原発事故を受けた今後の日本の リスク管理の課題

「ほどほど」という言葉は、すでに我々 GCOE だけのものではなく、社会で多用され つつある新たな価値観を特徴付ける言葉とな りつつある。かつてダイオキシン対策で小型 焼却炉を国内から撤去したような過剰なリス ク対策への反省は、多くの環境論者の共通認 識となりつつあった。

しかし、2011 年 3 月 11 日の福島第一原発 事故の後、放射線リスクについては過剰な対 策を求める声が強まり、行政においてさえ、 放射能汚染を理由に被曝した被災者や処分し たがれきの受け入れが拒否される事態が多発 している。

2012 年 2 月 29 日には、GCOE メンバーと 関係のある研究者、さらにはマスコミ関係者 を交えて「横浜国立大学リスク研究グループ による福島放射能対策提言」を開催し、エネ ルギー、生態系の物質循環、農林水産業、リ スクガバナンス、リスクコミュニケーション に関わる問題点を討議した。

日本の原子力政策のリスクコミュニケーションと原発施設の危機管理の不備が指摘され とこともあり、食品からの内部被曝量が年間 0.01mSv 程度ときわめて低いことが報告され ているにもかかわらず、さらに厳しい規制を 求める世論が醸成されている。

もとより、世論に迎合することが科学者の 役割ではない。松田個人の経験を紹介するが、 国際的な海洋生態学者の社会では反捕鯨が多 数派である。これは鯨類が絶滅危惧種だから ではなく、日本政府への不信が反捕鯨の真の 根拠であった。彼らとの議論を通じ、信用あ る環境団体も管理捕鯨に関与すればよいとい う私の主張は広く受け入れられ、実際に WWF ジャパンは 2002 年に対話宣言を出した。これ は、今回の原発問題でも参考になるだろう。

規制科学やリスク学は、日本では薬学、環 境化学や生態学など、他分野の専門家が「副 専門」として担う例がほとんどである。ホン GCOE では、各分野のリスク学の知見と事例 を共有し、そのコアとなる理念・方法論を講 義してきた。すなわち、自分の分野だけでな く、他分野でのリスク論の理念と事例につい ても学んだ人材を副専攻プログラムを通じて 育成してきた。今後、わが環境リスクマネジ メント専攻において、分野の幅を防災・安全 関係に拡大し、リスク学を学ぶ人材を育成す るためのカリキュラム確立を進める。

6. 教育と人材育成の成果

この GCOE を通じて、21 世紀 COE「生物 /生態環境リスクマネジメント」で採用した メンバーとの国際的な共同研究も進められた。 彼らのほとんどは内外で任期無しの研究職ポ ストを得ている(付表2)。GCOE フェローに ついても6名が定職を得ている。

人材育成については、利用と保全の調和を 図り、法規制だけでなく利害関係者の自主的 取り組みを引き出し、科学知だけでなく伝統 知と在来知を尊重し、新奇性を持つ科学論文 だけでなく現場に最適な解を提案し、実際に 合意を取り付ける俯瞰的実践的実力を備えた 人材を育成することを目指していた。水研セ ンター、産総研、国連大学、NGO、民間企業 などにそのような人材が輩出できた。

代表例の一つは 21 世紀 COE フェローだっ た牧野光琢(現中央水研グループリーダー) である。彼は経済学・漁業制度論の専門家と して本学フェローとなり、松田との共同研究 を通じて知床世界遺産地域を例に日本の漁業 共同管理制度の特徴を世界に紹介し、COP10 の世論を変えたといっても過言ではない。同 時に、規制改革の動きに対して水研センター として「我が国における総合的な水産資源・

-9-

漁業の管理のあり方」²という報告書を中心と なってまとめ、文字通りのオピニオンリーダ ーとして活躍している。ほかにも、黒川紘子

(東北大特任准教授)、三村真紀子(九州大特 任助教)はそれぞれの大学の生態関係の GCOE で活躍しており、COP10では3大学 GCOE 連携の大きな柱となった。

さらにテニュアトラックポストとして特任 助教を採用した。期待通りの成果を挙げたの で、23年4月より任期なしの准教授に昇格し た。

フェロー(PD)には研究費も準備した(年 100万円)。これは、H22年からは事業仕分け の影響を受けて総額を削減されたあともほぼ 確保した。オープンカフェ、Eco-Risk 通信な どフェロー・RAが主体的に運営する定期セミ ナーとミニコミ誌を準備した。さらに、公開 講演会、シンポジウムなども若手の起案を募 り、実際に 2011 年 6 月のシンポジウムは彼ら が企画し、地域で活躍する国大出身者を招く など、生態リスク関係の若手研究者の新たな キャリアパスを考えるものとなった。

さらに、RA を含む DC 院生には、俯瞰的視 点を涵養し、国際的に活躍できる人材育成に 注力した。国際学会発表支援(延べ38名支援) と海外短期派遣制度(延べ13名支援)の制度 を設けた(表7、表8)。たとえば秋庭はるみ は、国際学会発表支援制度を活用して米国の 学会で発表し、そのとき知り合った社会心理 学者 C.Miller 博士(米国ジョージア大学)と 共著論文を執筆した。日本の外来種・鳥獣行 政においては生態学と社会科学の融合が不十 分であったが、野生動物管理の人間的側面 (Human dimension of wildlife)という分野の 日本における先駆研究の一つとなった。また、 平成 21 年度から当 COE メンバーによるリレ ー講義や英語講義を中心とする副専攻プログ ラム「環境リスク学国際教育プログラム」を 開設し、13 名の修了者を輩出できた。 RA とフェローに企画を任せ、2010、2011 年と2 回のシンポジウムを行った。これら若手研究 者は、教員とは独立してワーキンググループ を作り、会議の企画、運営、とりまとめを一 切自分たちだけで実施した。その結果、他研 究機関、環境 NGO、行政との独自の人脈を築 くことができ、PD などとしての雇用に繋がっ ている。

7. 関係する研究プロジェクト、今後 の展開

これらの諸活動を通じて、本拠点形成をさらに発展させるため、メンバーらは以下のような研究プロジェクトを続けている。

JST 環境リーダー育成拠点「リスク共生
 型環境再生リーダー育成」(H21-)

アジア・アフリカ地域における生態リスク と環境被害の拡大を抑制あるいは環境再生す るために、高い実行力・実践力を有する国際 環境リーダーを養成するための国際教育プロ グラムであり、学産 NGO 連携型の実践的な学 際プログラムとして、アジア・アフリカの自 国 (マレーシア、フィリピン、インドネシア、 ケニアなど)にいながら、横浜国大で開発さ れた世界最新鋭の「双方向ハイビジョン遠隔 講義システム」を用いた、学・産・NGO トッ プによるコア課目「リスク共生型環境再生リ ーダー学」に参加して、広い環境リーダー学 の基盤を修得する。アジア・アフリカ地域に 適合する「リスク共生型」の環境教育プログ ラムを確立し、リスク共生型の環境再生シス テムとその管理手法に関する学術的研究成果 がわが国からアジア・アフリカ諸国へと国際

²http://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr20/210331/

的に発信することを目指している。

2)地球研「東南アジアにおける持続可能な 食料供給と健康リスク管理の流域設計」(H23-)

近年のアジア農漁業の現場で進む生態系の 劣化など種々の異変を通じた食料供給、食品 安全性への影響を「食のリスク」と捉え、我々 の食卓がいかに身近な生態環境に支えられて いるのかを具体的事例に基づいて明らかにす る。そのために、自然・環境科学、医学(公 衆衛生学)、人文社会科学を学際的にリンクさ せ、持続可能な資源利用の解明をめざす。

3) 文科省のユネスコパートナーシップ事業 の公募の中に、2010 年から新たに「持続可能 な社会のための科学に関する調査研究事業 (ESDの観点から MAB (人間と生物圏)計画 を推進するための調査研究)」が盛り込まれた。 本学の日本 MAB 計画委員会事務局を拠点と し、MAB 計画や世界遺産にかかわる研究者、 環境団体、行政、市民の共同研究の場が醸成 されつつある。同時に、地球研 FS 研究「新た なコモンズの創生と持続可能な管理のための 地域環境知形成」(代表佐藤哲教授)の中で、 酒井をグループリーダーとして、MAB などの 国際的取り組みを地域に生かす仕組みを研究 する国際共同研究を進める予定である。

| | | | • | | |
|-----|------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------|--------|
| 氏 | 名 | 所属 | 役職 | 専門·学位 | 在籍年度 |
| 松田 | 裕之 | 環境情報研究院 | 教授・拠点リ ーダー | 環境生態学·理学博士 | H19~23 |
| 鈴木 | 邦雄 | 環境情報研究院 | 教授 (現学長) | 生態系管理学·理学博士 | H19~20 |
| 伊藤 | 公紀 | 環境情報研究院 | 教授 | 環境工学·工学博士 | H19~23 |
| 嘉田 | 良平 | 環境情報研究院 | 教授 | 農業経済学·農学博士 | H20~23 |
| 加藤 | 峰夫 | 国際社会科学研究科 | 教授 | 環境法学·学術博士 | H19~22 |
| 及川 | 敬貴 | 環境情報研究院 | 准教授 | 環境政策学•博士(法学) | H19~23 |
| 田中 | 嘉成 | 国立環境研究所 (環境リスク研究センター) | 室長 | 生態毒性学·農学博士 | H19~23 |
| 江守 | 正多 | 国立環境研究所 (地球環境研究センター) | 室長 | 地球科学・博士(学術) | H19~23 |
| 金子 | 信博 | 環境情報研究院 | 教授 | 土壌生態学・農学博士 | H19~23 |
| 有馬 | 眞 | 環境情報研究院 | 教授 | 地球科学·理学博士 | H19~23 |
| 藤原 | 一繪 | 環境情報研究院* | 教授* | 植生生態学·理学博士 | H19~21 |
| 菊池 | 知彦 | 環境情報研究院 | 教授 | 生物海洋学·農学博士 | H19~23 |
| 小池 | 文人 | 環境情報研究院 | 教授 | 保全生態学·理学博士 | H19~23 |
| 雨宮 | 隆 | 環境情報研究院 | 教授 | 複雜系科学•博士(工学) | H19~23 |
| 森 | 章 | 環境情報研究院 | 准教授 | 森林生態学・博士(農学) | H19~23 |
| 酒井 | 暁子 | 環境情報研究院 | 准教授 | 植物生態学•博士(理学) | H22~23 |
| 五箇 | 公一 | 国立環境研究所 | 主席研究員 | 保全生態学·農学博士 | H19~23 |
| 佐土原 | 影 聡 | 都市イノベーション研究院 | 教授 | 都市環境工学・工学博士 | H19~23 |
| 益永 | 茂樹 | 環境情報研究院 | 教授 | 環境化学·工学博士 | H19~23 |
| 藤江 | 幸一 | 環境情報研究院 | 教授 | 環境工学·工学博士 | H20~23 |
| 平塚 | 和之 | 環境情報研究院 | 教授 | 環境遺伝子工学·農学博士 | H19~23 |
| 亀屋 | 隆志 | 環境情報研究院 | 准教授 | 環境安全管理学•博士(工学) | H19~23 |
| 本藤 | 祐樹 | 環境情報研究院 | 准教授 | 環境経済学・博士(エネルキー科学) | H19~23 |
| 本田 | 清 | 環境情報研究院 | 准教授 | 天然物化学・工学博士 | H19~23 |
| 川本 | 克也 | 国立環境研究所 (資源循環・廃棄物 研究センター) | 副センター長/ 環覚静研究 院客員教授 | 環境工学·工学博士 | H19~23 |
| 立川! | 賢一 | 環境情報研究院* | 客員教授 | コーディネータ・理学博士 | H19~20 |
| 茂岡 | 忠義 | 環境情報研究院 | 客員教授 | コーディネータ・薬学博士 | H21~23 |

付表1 プログラムメンバー(*所属は在籍当時のもの)

機関外協力者

岡敏弘(福井県立大学教授)、佐藤哲(長野大学教授)、牧野光琢(中央水研グループリーダー、元21世紀 COEフェロー)。

付表2 フェローの追跡調査

| 氏 友 | 左 箍在 庙 | |
|---|---------------|--|
| | | /// /两(1124.2.1 元(上) |
| ZI 世紀 UUE ノエロー 、)) () () () () () () () () () () () () | 14 | 自取旧捕,兴士吕 |
| 一倖主 | 14 | 局取県 · 子云貝 は工具 一時 1 学 日 欧 い か 一 さ に |
| 電田豊 | 14-17 | 埼玉県東現科子国院12/9- ● 土仕 まっはれし労 ■ 誰好 |
| 品田 価樹 ▲ ス 座 山 | 14-17 | 果泉情報大学・講師 明日 - ※北本※初 - 北京 |
| 金士慶乙 | 14-18 | 明星大字教育字部・教授 |
| 人保隆 | 14-18 | 長崎大字・助教 |
| 加滕みか | 14-18 | 環境資源ジステム総合研究所・部長 |
| 大場広輔 | 15-16 | 東京大学・研究員 |
| 酒井暁子 | 15-18 | 横浜国大・准教授 |
| 森野真理 | 15-16 | 九州保健福祉大・准教授 |
| 川崎昭如 | 15-18 | 東京大学・特任准教授 |
| 牧野光琢 | 15-17 | 水産総研セ・グループ長 |
| 下出信次 | 15-18 | 東京大学・特任准教授 |
| R.J.Blakemore | 15-18 | 自営 |
| A.G.Rossberg | 15-18 | Queen's 大学・上席研究員 |
| 魏東斌 | 15-18 | 中国科学院・准教授 |
| 藤巻玲路 | 17-18 | 島根大学・助教 |
| 小谷浩示 | 17 | 国際大学・准教授 |
| 劉鋭 | 18 | 中国・浙江清華長三角研究院・教授 |
| 山口典之 | 18 | 長崎大学・准教授 |
| 内宮実里 | 18 | US Department of Agriculture- ARS · Research Chemist |
| G-COE フェロー (*) | は国立環境研 | $\sim - q$ |
| 金倫碩 | 19 | 韓国水資源公社 水分析研究也多一 先任研究員** |
| 大久保奈弥 | 19 | 慶應義塾大学・研究員 |
| 河内香織 | 19 | 近畿大·講師** |
| 田中貴宏 | 19-20 | 広島大学・准教授** |
| 里川紘子 | 19-21 | す北大学・特任准教授 111111111111111111111111111111111111 |
| | 10.22 | |
| 大野勝弘 | 19-23 | |
| 二付具紀十 | 19-21 | ル州大子・特仕切教 ガーカービー 明教** |
| Md.Ansan Habib | 20 21 | クツル人子・切教** Monash 十学・助手** |
| Ashutosh Salker 林 古 樹 | 20-21 | 雷中研・研究員 |
| 行科— 哉 | 21 | 電子研 研究員 |
| Pazafindraha Bam | 21 21 22 | 版來前 前 2 頁 |
| Muhammad Faisal | 21-22 | ²⁰ 水听 工而可冗良 Sviah Kuala 十,講師** |
| 本伯いく代 | 21-22 | ファロー <u></u> 本職山 |
| Hugana D. Edison | 22-23 | |
| 田usalia D. Euisoli 伊藤已旧 | 22-23 | ノ エロ 江城工 順王学士・助教 |
| 伊藤加切 南公寺雄 | 22-25 | 順人星八・切叙 |
| 用 台 辛 雄 文 薛 日 去 | 23 | |
| 尿 膝 曰 羊 **艹 上 吉 幻 | 23 | |
| ↑卅上呉祀 *廿丘立 | 20-23 | ノエロゴ壮駅中 国立理接研・株別研究員 |
| *仲苗序 #共仁# | 19-21 | 国立 |
| *电1 | 20-21 | 北伊道人・行士切教 |
| *个门把車 | 22-22 | 工个研・専門研究員 |
| * 督保比 | 22-23 | |
| *石井弓美子 | 22-23 | 国立環境研・特別研究員 |

付表3. GCOE 関係の国際シンポジウム・ワークショップ(主催 12 回、共催、後援各 1 回)

- 2007.10.20 International Symposium, "Role of Space Information Infrastructure In Eco-risk Management" (橫浜国立大学 約 210 名)
- 2008.2.23 International Symposium on Emerging Ecological Risks and Food Security in Asia(横浜国立大学 約 150 名)

2008.2.26-27 マルハナバチ生態リスク国際 Workshop(国立環境研究所約90名)

- 2009.3.13 Community Ecology and Adaptive Evolution(国立環境研究所 約 50 名)
- 2009.8.3 International Seminar-On sustainable biomass production and
- utilization :Challenges and opportunities-(インドネシア Lampung 大学 約 60 名) 2009.10.9 UNILA DAY International Workshop, "Lampung as Sustainable
- Development Model of Agro-Industry: Bio-Energy vs. Food Production"(横浜国立大学約 60 名)
- 2010.6.1-3 日本における里山・里海のサブ・グローバル評価 第4回クラスター間&国レベル・ワ ーキンググループ会議(横浜国立大学約80名)(共催)
- 2010.6.26 WET2010 International Forum, "Water and Environment Technology Conference" (橫浜国立大学 約 160 名)
- 2011.5.30 福島原発事故の土壌汚染影響を考える国際ワークショップ(横浜国立大学 約60名)
- 2011.10.7 International Forum, Sustainable Resource Management of Coastal and Marine Ecosystems (橫浜国立大学 約 25 名)
- 2011.10.28 Risk management of chemical substances based on modeling and measurements(横浜国立大学 約 45 名)
- 2011.11.26 Sustainability and Risk Management-Approach for an Integrated Solution of Global Environmental Concerns and Disasters -(横浜国立大学 約 200 名)
- 2011.12.21 National Seminar on Soil Health and Biomass Production (インドネシア Lampung 大学 約 40 名)
- 2012.1.24-25 International Symposium of Large Mammal Management(東京農工大学約 200 名)(後援)

付表4. GCOE 関係の日本語でのシンポジウム(主催 12 回、共催、後援、協力各 1 回)

- 2008.7.20 尾瀬国立公園記念国際シンポジウム「みんなで支える新たな国立公園-「尾瀬国立公 園」のめざすもの」~地域との協調・協働による自然公園管理モデルの提案(小出郷文化会館) (協力)
- 2008.12.12 グローバル COE「アジア視点の国際生態リスクマネジメント」シンポジウム-環境問題 における「不都合な真実」-(国際連合大学)
- 2008.12.13 ニッセイ財団助成研究ワークショップー協働による持続可能な流域圏づくりに向けて (神奈川拡大流域圏を対象に)-(パシフィコ横浜)
- 2009.5.22 国際生物多様性の日シンポジウム 2009-外来種の来た道、行く道-(国際連合大学) (後援)
- 2009.7.25 第3回外来生物分布拡大調査の勉強会 東京湾の外来海洋生物:その生態と過去、現 在、未来(東京海洋大学)
- 2009.9.8 グローバル COE「アジア視点の国際生態リスクマネジメント」ミニシンポジウム-オーロラ 博士が見た地球温暖化-(神奈川県民ホール)
- 2010.2.22 製品評価技術基盤機構・横浜国立大学包括連携協定締結記念事業 横浜国立大学 創 立 60 周年事業 公開セミナー「化学物質リスクの評価と情報基盤」(横浜国立大学)
- 2010.3.10 生態リスク管理の実践~若手研究者による挑戦の軌跡~(横浜国立大学)
- 2010.3.15 特定外来生物の分布状況 2010(日本生態学会同時開催イベント)(東京大学教養学 部)
- 2010.3.24 第6回横浜国立大学 GIS・文理融合 公開研究会「神奈川拡大流域圏での気候変動に 対応したグリーン・インフラ社会,構築のために一時空間情報プラットフォームを活用した地球環 境時代の社会システム-」(横浜国立大学)
- 2010.7.17 文部科学省特別教育研究経費(連携融合事業)国際シンポジウム「野生動物管理の担い手:狩猟者と専門的捕獲技術者の育成」(東京農工大学農学部)(共催)
- 2011.2.26「生物多様性条約 利用と保全の調和を考える」(東京・学士会館)
- 2011.6.18「生態系と人間~地域と描く里山・里海の未来~」(横浜国立大学)
- 2011.11.30 ワークショップ「化学物質生態リスク研究のフロンティア」(横浜国立大学)
- 2012.2.29 シンポジウム「横浜国立大学リスク研究グループによる福島放射能対策提言」(横浜国 立大学)

付表5 GCOE 公開講演会(敬称略) 2007年

- 1,7.10「生物多様性国家戦略の見直し作業の論点 について」日本生態学会,立川賢一
- **2**, 9.18「トリクロサンは新規環境汚染物質か?」 サバンナ州立大学, Kurunthachalam Senthil Kumar
- 3, 10.22「土は、どのようにして細菌の宝庫となった のだろうか?」東北大学,服部勉
- 4, 10.25 (1)Demography, dispersal and spread of invasive thistles, Penn State 大学, Katriona Shea^Γ(2)Spatial contact networks and timing of outbreaks in epidemic metapopulationsJtheory, data and statistics, Penn State 大学, Ottar N. Bjornstad

2008 年

- 5, 1.24「アジア農業の生態リスク、食のリスク」横浜 国大, 嘉田良平
- 6, 2.1「中国の生物多様性国家戦略-基本理念と行動計画-」中国・重慶市科学技術局, He Juemei
- 7,4.11「発展途上国の自然資本保全を促す経済的 仕組み」慶応義塾大学,大沼あゆみ
- 8,4.24「神奈川拡大流域圏の空間情報基盤の成果 報告(Part I)と国連SGAへの展開-グローバル COE 知的情報基盤と国連里山・里海 SGA につい て」横浜国大,佐土原聡/神奈川拡大流域圏地下 立体モデルについて,防災技術(株),堀伸三郎/ 神奈川拡大流域圏地表・地下水一体シミュレーショ ンついて,地圏環境テクノロジー,森康二/GIS サ ーバーの機能と格納データ、並びに Web システム について,パスコ 環境調査課,澄川祐一
- 9,7.3「陸上生態系の遷移と土壌炭素の動態」 University of Nevada, Robert Qualls, 酪農学 園大学,保原達,森林総合研究所、松浦陽次郎
- 10,7.19「アジアモンスーンの大都市近郊山地の窒 素問題研究-モニタリングサイト紹介-」横浜国大, 金子信博,丹沢における渓流水窒素濃度の経年変 化,横浜国大,有馬眞/神奈川拡大流域圏の空 間情報基盤,横浜国大,佐土原聡/窒素発生源の インベントリ,元(財)計量計画研究所,神成陽容/ 神奈川県への窒素沈着量-大気シミュレーションか らの推定-,産業技術総合研究所,近藤裕昭/陸 域生態系の窒素循環およびその数値モデルの事例, 農業環境技術研究所,林健太/アジアモンスーン 森林の窒素循環の特徴,東京大学,大手信人/丹 沢山地における森林生態系の窒素動態,横浜国 大,藤巻玲路
- 11,8.13「我が国における総合的な水産資源・漁業 の管理のあり方について」水産総合研究センター、 牧野光琢
- 12,9.22「里山のもつ非市場的価値の経済評価」九 州大学,矢部光保
- **13**, 9.29 The role of clouds in the global warming issue JInstitute de Astrofísica de Canarias, Spain, Enric Pallé

75 回開催(うち英語講演(太数字 38 回))

- 14, 10.30 Can native populations of long-lived forest trees adapt to rapidly changing climates?, British Columbia 大学, Sally N. Aitken
- 15, 12.12「都市域の緑地計画・管理における生態リ スク」広島大学,田中貴宏
- 16,2008.12.22「一世界遺産の森林と生物多様性 ー」林野庁,小酒井淑乃,ワイルドライフマネジメン トと生物圏保全地域の理念,早稲田大学,三浦慎 悟

2009 年

- 17, 1.16「企業活動とリスク・コミュニケーション」名古 屋市立大学, 香坂玲
- 18,2009.2.3「森林樹木と生態リスクー保全遺伝学 の視点からー」森林総合研究所,津田吉晃
- 19, 3.5「N・C 安定同位体フィンガープリント法の40 年誌 JJAMSTEC, 和田英太郎
- **20**, 4.13 Inland Fisheries: The Hidden Crisis,United States Geological Survey, Douglas Beard
- 21,4.21 Economic assessment of bio-energy/clean cooking stove demands in Addis Ababa, Ethiopia, ストックホルム環境研究 所,高間剛
- 22, 5.7 Genetically Modified Plants-Environmental Risk Assessment and Regulation in the European Union-, 国連大 学, Jörg E.U. Schmidt
- 23, 5.29「外来種の最適管理戦略の数理的研究」国 立環境研究所, 横溝裕行
- **24**, 6.8 Assessing Social Conflict in Managing Nuisance Urban Raccoons in Chicago, Illinois, USA, Georgia 大学, Craig A. Miller
- 25, 6.16「耕地化にともなう土壌肥沃度の低下、水田 土壌の生物多様性」名古屋大学、木村眞人
- 26, 6.19「農薬の生態リスクの評価と管理」, 農業環 境研究所、永井孝志
- 27, 6.26 Conservation of biodiversity in Swedish forests – an example of a multi-scaled model ,Swedish University of Agricultural Sciences, Lena Gustafsson/ Managing forests for timber and biodiversity at the same time – challenges and experiences from Sweden, Swedish University of Agricultural Sciences, Karin Perhans
- **28**, 7.8 Expecting the Unexpected from Global Change,Georgia 大学, Elgene O. Box
- **29**, 7.10 Disaster Risk Reduction: The Missing Link to Climate Change Adaptation, 京都大学, Rajib Shaw
- **30**, 7.13 Environmental Implications of Genetically Modified Plants - Some Considerations for Policy Making,国連大学, Jörg E.U. Schmidt
- **31,**7.23 Sustainable Commercialization and

Governance of Biotech Crops in Asian Developing Countries: A Case Study of Biotech Papaya in the Philippines,国連大学, Chia-Hsin Chen

- 32, 8.28「ニホンジカ・マネジメント-40 年間の経緯と 緊急課題」酪農学園大学, 大泰司紀之
- 33, 2009.11.26「外部負経済論の限界」福井県立 大学、岡 敏弘
- **34**, 12.1(1)Research on water supply safety duringalga blooming in the south of lake Taihu,Division of Ecoenvironment, Yangtze Delta Region, Rui LIU,(2)Reuse of wastewater and safety assessment-- a case study in Olympic forest park, Beijing--,State Key Laboratory of Environmental Chemistry and Ecotoxicology, Dongbin WEI
- **35**, 12.4 What allows plants to spread and how can this information help us? Queensland 大学, Shuan Coutts
- 36,12.11「淡水生態系における生物の環境構築に よる生態系の安定化とレジームシフト」国立環境研 究所、瀬戸繭美
- 37, 12.22「木を見る西洋人、森を見る東洋人-文化 心理学の最新成果」Alberta 大学,増田貴彦

2010 年

- **38**, 1.12 The Collapse of Biodiversity Can we survive in the future?,国立環境研究所,五 箇公一
- **39,**2.3 The Fisheries Management Council System in the USA, Delaware 大学, Lee G. Anderson
- 40, 2.10「一年草と多年草と双安定:遺伝子発現制 御と貯蔵資源動態」北海道大学,佐竹暁子
- 41, 2.17「小さな博物館の大きな野望~キョロロが目 指す地域づくりと里山保全~」十日町市立里山科学 館「森の学校」キョロロ,永野昌博
- 42, 2.22「住民主体の地域環境保全のための科学・ 石垣島白保の事例にみるレジデント型研究機関の 役割」長野大学,佐藤哲
- **43**, 3.29 Ecological risk assessment of GMO crops, Minnesota 大学, David A. Andow
- **44**, 6.4 The Amazonian Small Farmer: Local-Global Interactions and the Formation of Regional Complexity,Indiana University Eduardo S. Brondizio
- **45**, 6.9 Resource economics of exotic mongoose control in Amami Island,横浜国立 大学, 松田裕之
- **46,** 6.23 Effects of dams on ecological risk of inland fishes,横浜国立大学,松田裕之
- **47**,6.24 (1)Research on biodegradability and biotoxicity of wastewater from vitamin-A manufacturing process 浙江清華長三角研究院, Dr. Fan (2)中国における土壌・地下水汚染の実態とその対策,浙江清華長三角研究院, 劉鋭 3)Research on water use and availability in Aneuk Laot lake,Sabang Island, after 5years a massive earthquake in Aceh,Syiah Kuala

大学, Machdar

- 48, 8.5 (1)Ecological risk assessment of pesticides on the basic of the tissue-residue approach and population level effect,国立環境研究所, Chang-Beom Park (朴昶範) (2)Synthesis, characterization and application of mesoporous materials,国立環境研究所, Baowang Lu(魯保旺)
- **49**, 8.23 Integrating Science, Policy & Local Communities: A 21st Century Paradigm for Marine Eco-Risk Management,Mote Marine Laboratory, Michael P. Crosby
- 50, 8.28「エコロジカルフットプリントと日本の責任」 Global Footprint Network, 伊波克典
- 51, 9.4「日本の伝統文化から地球環境問題を考える」 京都大学, Prof.Becker
- **52,** 9.9 Novel ecosystems in New Zealand: Interactions between natural disturbances and biological invasions,Landcare Research, New Zealand, Peter Bellingham
- **53,** 9.21 Spatial Dynamics of Forest Insect Outbreaks,US Forest Service, Andrew Liebhold
- 54,9.28「生態系管理における生態学的閾値の応用 と課題」東北大学,佐々木雄大
- **55,** 10.13 Environmentally Friendly Infrastructure Development,横浜国立大学,池 田龍彦
- **56,** 11.2 Exploring Satoyama and Satoumi Potentials and Challenges 里山·里海,国連大学, Anne MacDonald
- 57,11.4「泥炭地のシミュレーションと気候変動-生 態学と物理学の接点(伊勢)陸上生態系から見た気 候(地球)システム)JAMSTEC,伊勢武史・羽島知 洋
- **58,** 11.10 Managing Irrigation Commons Sustainably in Japanese Perspective,横浜国 立大学, A.Sarker
- 59,11.27「ミミズの活動がもたらす土壌改変と窒素 動態の変化」横浜国立大学,川口達也「分子系統 学を用いたミミズ研究の現在」高知大学,南谷幸 雄
- 60,11.29「低地水田地帯における植物種多様性の 保全・再生を目指した広域的研究:越後平野の事例」 新潟大学,石田真也「イヌワシの採餌環境再生を目 指した森林管理手法の確立」新潟大学,石間妙子
- **61,** 12.3 Marine Protected Areas as Imported Concept: Bamboung Community-Based Marine Protected Area in Senegal,京都大学, 関野伸之
- **62,** 12.16 From bacteria to whales: relating environment to growth and reproduction using Dynamic Energy Budget Theory,クロア チア国立ルージェル・ボシュコビッチ研究所, Tin Klanjscek

2011 年

63, 3.1 Coastal Fisheries in Chile and Dedicated Access Privileges: What are They?

How and When were They Institutionalized? チリ・カトリカ大学, Juan Carlos Castilla

- 64, 3.4 INDIAN MINING INDUSTRY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PLANFOR MINING PROJECTS, Banaras Hindu 大学., D.Prakash
- **65,** 5.17 On the roof of the world : Climate change and its impacts,国立環境研究所, Tang Yanhong
- 66, 6.9 Economics of ecosystem services: case study of the biofueldeforestation link,国連大 学,Dr.Per Stromberg
- **67,** 9.2 Challenges for Risk Management of Wastewater Reclamation and Reuse,中国·清 華大学, Hong-Ying HU
- 68, 9.6「人とチンパンジーはどこが違う?」総合研究 大学院大学,長谷川眞理子
- **69**, 10.21 Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation,総合地球環境学研 究所, Bam H.N. Razafindrabe
- **70,** 10.31 The use of springtails as emerging model for soil jecotoxicogenomics and to

study adaptive evolution of stresstolerance, Vrije Universiteit, Ir. Dick Roelofs

- 71, 11.29「都市近郊林の持続的管理のための制度 的枠組みのあり方」和歌山大学, 土屋 一彬
- 72, 12.26「(1)森林管理手法の確立にむけた物質循 環研究の展望」島根大学,藤巻 玲路「(2)森林植生 の群集動態を決定する要因としての大型草食獣シ カの機能」総合地球環境学研究所,幸田 良介 2012 年
- 73,2.16「(1)赤とんぼの目で見る水田農業」宮城大 学,神宮字 寛「(2)アカトンボが当たり前にいること に価値を見いだす勝山市の取り組み」勝山市,前園 泰徳「(3)稲苗箱処理剤の生態リスクと日本の農業 の未来」国立環境研究所,五箇公一
- 74, 2.23「スマトラ島でのWWFの取り組みについて」 WWF ジャパン, 前澤英士
- 75, 3.1「ウリ科作物の残留性有機汚染物質(POPs) 汚染問題-対策技術と吸収メカニズム」農業環境技 術研究所,清家伸康

2007年

1. 12.21 「食品リスクと食料安全保障」嘉田良平 2008 年

2. 01.16 「健全な物質循環とバ付マス利活用による サステナブルアジアの実現に向けて」藤江幸一

3. 03.21 「造礁サンコ^{*}の保全に関する研究」大久保 奈弥

4. 04.22 「土地利用変化で顕在化する生態リスク~ スマトラ島 Aceh 調査より~」嘉田良平

5. 05.13 「GIS を活用した環境配慮型まちづくりの取組」田中貴宏

6. 06.10 「植物の性質と生態系におけるその役割 -マレ-シア・サラワク州の熱帯雨林における研究とニュージーラ ント で外来植物を扱った研究の紹介」黒川紘子、チー ム・マイナス 6%」柴田賢一

7. 07.01 「オ-ストラリアにおける生態系サ-ビス利用への 市場価値と支払い課題」Ashutosh Sarker、「COE の 全体像についての議論」松田裕之

8. 07.29「河川底生動物群集に着目した亜鉛の生 態リスク評価」岩崎雄一、「ヒトエキノコックス症感染リスクの駆虫 剤散布による最適管理の数理的研究」加藤直人、 「森林動態予測に よる外来生物リスク管理戦略の提 案」深澤圭太

9.08.28 「生態系サービスとその評価法」田中嘉成

10.09.10「GCOE が考える"アジア視点"とは何か」松 田裕之

11. 10.07 「採択された生態学会企画シンポジウムに 関する情報提供」、「RA による研究発表紹介」

12. 11.28 「GCOE が考えるアジア視点とは何か」嘉田 良平

13. 12.18 「日本の漁業における費用削減の可能 性」馬奈木俊介

14. 12.19 「生物多様性版 スターン報告」Pavan Sukhdev

2009 年

15. 01.20 「アジアの若手研究者との環境課題相互 学習プログラム(タイ)」大野勝弘

16. 02.10 「アジアの統合植生図-今アジアのみどりは -」藤原一繪

17. 05.26 「バングラデシュを訪れて:現地調査より」 Ashutosh Sarker、嘉田良平

18. 06.16「ビレマを歩いて見て聞いてきたこと」大野勝弘

19. 07.03「北緯 80 度·高緯度北極圏のオアシスでフィール ドワークをする」とは? 森章

20. 09.09 「インドネシアの農村風景」仁科一哉

21. 10.19 「知床の自然」太田藍乃

22. 11.20 「マダガスカルとその環境問題の紹介」BAM

H. N. Razafindrabe、「マダガスカルのいろいろ」有馬眞

23. 12.20 「ケニアの調査風景」古川拓哉

2010 年

24. 01.21 "Managing Environmental Risks for Sustainable Food and Health in Lake Laguna Region: An Overview"「東南アジアにおける食・農リスク適応型の流 域圏設計」嘉田良平、"Hypothetical relationship between risk source and factors" 松田裕之、

["]Identification of toxic pollutants and their sources and behaviors in the Lake Laguna area"、「うがナ湖流 域における有害汚染物質とその汚染源と挙動の解 明」益永茂樹、"Eco-Efficiency and Food Security"金 子信博

25. 04.22 "Supercritical Fluids Technology for Chemical Recycling and Environmental Analysis" Muhammad Faisal

26. 05.20 「学会参加のために訪れたベトナム」谷地 俊二

27. 06.17 「バングラデシュのスンダルバンス・マングローブを 訪ねて」持田幸良, Ashutosh Sarker

28. 07.08 「議員秘書の仕事」 榎本隆寿

29. 09.07 「知床半島における植物・蘚苔・地衣・ 菌・土壌動物の種多様性評価プロジェクト」塩野貴之, 小出大

30. 09.17 「セントアント^{*} リュース大学での海外渡航研修で 得られた知見」柴田泰宙

31. 11.26「インドネシア・不耕起試験圃場の調査報告」三 浦季子、「スウェーデン農科大学における研修で得た知 見」北川涼

2011 年

32. 01.27 「小さくて大きな島ハワイにおける調査・ 研修報告」小出大、「夢を抱いて前に」李強

33. 04.21 「ミミス^{*}の分子系統学的研究[~]分子系統学 的手法を使って明らかにする["]歴史"」南谷幸雄

34. 05.19 「何が違う?都会で暮らせるケモノと暮らせないケモノ」斎藤昌幸

35. 07.25 Atmospheric Polychlorinated Naphthalenes in Ghana["]Jonathan Nartey Hogarh 36. 09.28 「アメリカン研修の心得」Sorgog、「フランスでの 国際植生学会」近藤博史

37. 10.24 "Summer school on Toxicology and Environmental Health"小谷健輔、"Study on quantification method of HBCD and their degradation products"呉正根

付表7 博士後期課程学生国際学会発表支援事業(計 38 名支援)

(内訳)米国・カナダ 12 名、ヨーロッパ 11 名、アジア 8 名、豪州・ニュージーラント 4 名、アフリ カ 2 名、南米 1 名(氏名、学会名、開催国名の順に記載)

平成 19 年度(2007 年度) 1 名

張 瑛 Society for Risk Analysis 2007 Annual Meeting (米国)

平成 20 年度(2008 年度) 9 名

加藤 直人 The 2008 Summer School on Mathematical Modeling of Infectious Diseases (カナダ)

 劉 国華 The 12th International Symposium on Microbial Ecology (オ ーストラリア)

頭士 泰之 28th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants(Pops) (イギリス)

浦田 悦子 51st Annual Symposium of the International Association for Vegetation Science (南アフリカ)

比嘉 基紀 93rd Ecological Society of America Annual Meeting (米国)

坪井 隼 The 12th International Symposium on Microbial Ecology (オ ーストラリア)

太田 藍乃 2008 日韓合同ダニ学会(韓国)

Tiwari Vasu The Society of Environmental Toxicology and Chemistry(SETAC)North America 29th Annual Meeting (米国)

張 瑛 Pacific Fisheries Technologists 60th Annual Meeting(米国)

平成 21 年度(2009 年度) 12 名

Md.Firoz Khan Society of Environmental Toxicology and Chemistry Europe 19th Annual Meeting (スウェーデン)

柴田 賢一 The 1st Korea-Japan International Symposium on Microbial Ecology(韓国)

Luis Alberto Vega Isuhuaylas 52nd International Symposium of the International Association for Vegetation Sciences (ギリシャ)

志 荣 52nd International Symposium of the International Association for Vegetation Sciences(ギリシャ)

鮑 娜仁高娃 52nd International Symposium of the International

Association for Vegetation Sciences(ギ リシャ)

- 劉 国華 3rd Congress of European Microbiologists (FEMS2009)(スウェーデ ン)
- 斎藤 昌幸 The 10th International Congress of Ecology (オーストラリア)

秋庭 はるみ The Wildlife Society 16th Annual Conference (米国)

- 青木 薫 CERF2009-Estuaries and Coasts in a Changing World(米国)
- N. O. THIERRY THE GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA-2009(米国)
- 谷地 俊二 SETAC Asia The 1st International conference on environmental Pollution Restoration and Management (ベトナム)

佐々木 茂樹 Island Invasives: Eradiction and Management conference(ニュージーランド)

平成 22 年度(2010 年度) 8 名

Luis Alberto Vega Isuhuaylas 24th International Congress for Conservation Biology: Conservation for a Changing Planet (カナダ)

Toe Toe Aung Monitoring and Communicating Biodiversity(イギリス)

古川 拓哉 The 2010 International meeting of the Association for Tropical Biology and Conservation (通称:ATBC 2010)(インドネシア)

志 荣 4th East Asian Federation of Ecological Societies (韓国)

太田藍乃 XIII International Congress of Acarology (ブラジル)

秋庭はるみ Pathways to Success 2010 Conference: Integrating Human Dimensions into Fisheries and Wildlife Management (米国)

青木 薫 The North Pacific Marine Science Organization 2010 Annual Meeting (米国)

Mohammed Salam Abudus 1st Environment Asia International Conference (タイ)

平成 23 年度(2011 年度) 8 名

- 近藤博史 The 54th Symposium of the International Association for Vegetation Science (フランス)
- 小出大 The 54th Symposium of the International Association for Vegetation Science (フランス)
- Toe Toe AungThe 54th Symposiumof the International Association forVegetation Science $(7 \neg 2)$
- Jonathan Nartey SETAC Africa/CSTS Meeting(カメルーン)

- 崔 錦丹 5th International Conference on Sustainable Development in Building and Environment-(中国)
- 弘中 豊 8th International Association for Landscape Ecology(IALE)World Congress (中国)
- 青木 薫 The North Pacific Marine Science Organization (PICES) (ロシア)
- 小谷 健輔 Society for Risk Analysis 2011 Annual Meeting (米国)

付表8 博士後期課程学生海外研修派遣(平成 22、23 年度実施 計 13 名派遣)

| No | . 氏名 | 派遣先 | (国名、派遣期間) | 目的、テーマ |
|----|-------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 平 | 式 22 年度(| 2010 年度) | | |
| 1 | 柴田 泰宙 | セント・アンドリュース | ス大学(英国 13 日間) 個体 | \$数推定法研修 |
| 2 | 三浦 季子 | ランプン大学(インド | ネシア 11 日間)不耕起試 | 験圃場調査 |
| 3 | 小出 大 | ハワイ大学マノア校 | (米国 28 日間) 熱帯島嶼 | ハワイにおける植物種の気候変動に |
| | | 伴う分布移動 | | |
| 4 | 李 強 | 中国科学院植物研究 | 究所(中国 15 日間) 草原 | の合理的利用と管理 |
| 5 | 古川 拓哉 | CATIE(Centro A | gronomico Tropical de I | nvestigacion y Ensenanza) (コスタ |
| | | リカ 20 日間)生物 | ₪多様性保全先進国コスタリ | カの取組 |
| 6 | 北川涼 | スウェーデン農科ナ | 、学(スウェーデン 22 日間) | 生物多様性、生態系に配慮した森林 |
| | | 施業調査 | | |
| 7 | ソリゴカ | カリフォルニア大学 | Davis 校(米国 90 日間) | Integrated pest management |
| | | Study in USA | | |
| 平周 | 或 23 年度 (2 | 2011 年度) | | |
| 8 | 呉 正根 | バーミンガム大学(| 英国 31 日間) Study on | experimental method about |
| | | HBCDs and thei | r degradation product. | |
| 9 | 太田海香 | アルバータ大学(ナ | ナダ 61 日間) 野生動物管 | 管理における、データの数理モデルへ |
| | | の適用法、生態リス | ク管理の数理アプローチ法 | |
| 10 | 小谷健輔 | ユトレヒト大学(オラン | ・ダ 28 日間) 毒性学と環境 | 竟健康に関するサマースクール参加 |
| 11 | T.E.Tunde | e Njala University | (シエラレオネ 29 日間)pr | evalence of acute respiratory |
| | i | nfections (ARI) res | sulting from the exposu | re to biomass smoke 調査 |
| 12 | 舛田陽介 | ドレスデン工科大学 | ほか(ドイツ25日間) ドイ | ツにおける環境影響評価のプロセスに |
| | | 組み込まれている代 | 償地プール制度の調査 | |

13 白玉香 内蒙古大学 生命科学学院(中国 37 日間) 内モンゴルの草地畜産による過放牧を 避ける方法の調査

付表9 関連する書籍

1. 本 COE の成果をまとめた著書

<u>小池文人、金子信博、松田裕之、茂岡忠義編(2012)</u>生態系の暮らし方:アジア視点の環境リスク-マ ネジメント. 東海大学出版会,印刷中.

2. GCOE メンバーの主な編著書(2007 年以後)

松田裕之・中原裕幸ほか編著(2012)「海洋保全生態学」講談社、近刊

<u>松田裕之</u>(2012)「海の保全生態学」東大出版、近刊

伊藤公紀(2011)これだけ知っていれば安心!放射能と原発の疑問 50、日本評論社

佐土原聡、小池文人、嘉田良平、佐藤裕一編(2011)里山創生~神奈川・横浜の挑戦~、創森社 湯本貴和、松田裕之、矢原徹一編(2011)『環境史とは何か』文一総合出版.310 頁

- 日本生態学会編、矢原徹一、竹門康弘、松田裕之、西廣淳監修(2011)自然再生ハンドブック. 地人 書館.
- 及川敬貴(2010)生物多様性というロジック 勁草書房

佐土原聡(2010)時空間情報プラットフォーム—環境情報の可視化と協働、東京大学出版会

- 浅見泰司、中井検裕、陣内秀信、佐土原聡(2010)環境貢献都市 東京のリ・デザイン—広域的な環 境価値最大化を目指して、清文社
- Satoyama and Satoumi: Socio-ecological Production Landscapes in Japan Experiences and Lessons from Kanto-chubu Cluster –Japan Satoyama Satoumi Assessment (JSSA) – Kanto-chubu Cluster, (大久保達弘・佐土原聡(クラスター共同議長) (2010) 日本の里山・里海評価:クラスターの経験と教訓(関東中部)、国連大学高等研究所) ISBN 978-92-808-4507-5。

http://www.ias.unu.edu/resource_centre/4-kantou_w_24Feb2011.pdf

中村浩二、嘉田良平編(2010)里山復権~能登からの発信~、創森社

- 嘉田良平(2009)食卓からの農業再生—自給率向上の新戦略、家の光協会
- 五箇公一(2010)クワガタムシが語る生物多様性 創美社
- <u>林直樹、</u>齋藤晋、江原朗編(2010)撤退の農村計画—過疎地域からはじまる戦略的再編、学芸出版 社
- 鷲谷いづみ、夏原由博、<u>松田裕之</u>、椿宣高(2010)地球環境と保全生物学(現代生物科学入門 第6 巻)岩波書店
- 畠山武道、下井康史、及川敬貴、鈴木光(2009)はじめての行政法、三省堂
- 藤江幸一(2008)生態恒常性工学—持続可能な未来社会のために コロナ社
- 加藤峰夫(2008) 国立公園の法と制度(自然公園シリーズ)古今書院
- 松田裕之(2008) なぜ生態系を守るのか?環境問題への科学的な処方箋. NTT 出版. 212 頁.
- 松田裕之(2008) 生態リスク学入門-予防的順応的管理-. 共立出版. 213 頁.
- 金子信博(2007)土壌生態学入門―土壌動物の多様性と機能、東海大学出版会
- 金子信博、布村昇、長谷川元洋、渡辺弘之(2007)土壌動物学への招待—採集からデータ解析まで、 東海大学出版会

益永茂樹(2007) リスク学入門 1 リスク学とは何か岩波書店

- 益永茂樹(2007)リスク学入門 5 科学技術からみたリスク 岩波書店
- 嘉田良平(2008)食品の安全性を考える改訂版、放送大学教育振興会
- 国連ミレニアムエコシステム評価著、<u>横浜国立大学 21 世紀 COE 翻訳委員会</u>訳(2007)生態系サー ビスと人類の将来―、オーム社
- 伊藤公紀、渡辺正 (2008)地球温暖化論のウソとワナ、ベストセラーズ
- 佐々木聰、**雨宮隆**、鴨下顕彦、露本伊佐男(2007)よみがえれ!科学者魂 研究はひらめきと寄り道 だ、丸善
- Fumito Koike, Mieko Kawamichi, Maj De Poorter, Mick N. Clout (2007) Assessment and control of biological invasion risks, IUCU, Gland, Switzerland
- 浦野絋平、松田裕之編著(2007)生態環境リスクマネジメント.オーム社.209頁

事業推進担当者 成果報告

1. 理念・方法論グループ

| 11. | 土壌細菌の多様性評価手法の開発 ②局所重視アプローチに基づく気候 | 変動要因解析 |
|-----|---------------------------------------|--------|
| Ċ | 〕環境リスク管理への社会心理学的アプローチ | 伊藤公紀 |
| 12. | 生物多様性地域戦略の発展と「生物多様性の主流化」 | 及川敬貴 |
| 13. | 野生動物の順応的管理と漁業の共同管理の発展 | 松田裕之 |
| 14. | 東南アジアで拡がる食のリスクとその要因 | 嘉田良平 |
| 15. | 生物群集の機能形質に基づく生態系影響評価手法に関する研究 | 田中嘉成 |
| | | |
| 2. | 生態系機能グループ | |
| 21. | 農地の土壌劣化リスクの生態学的評価 | 金子信博 |
| 22. | 外来生物の分布拡大とリスク管理 | 小池文人 |
| 23. | 外来生物問題の普及啓発 | 五箇公一 |
| 24. | 自然撹乱に基づく生態系管理 | 森 章 |
| 25. | ユネスコ「人間と生物圏 (MAB)」計画を活用した、自然環境の保全と利用の | 調和する |
| | 持続発展社会の実現に向けて | 酒井暁子 |
| 26. | 富栄養化湖沼生態系の数理モデル解析および修復手法の検討 | 雨宮 隆 |
| 27. | 丹沢山地渓流水質の経年変動解析 | 有馬 眞 |
| 28. | 沿岸生態系のリスク評価へ向けた物質動態の解析と環境評価手法の開発 | 菊池知彦 |
| | | |
| З. | 生態系サービスグループ | |
| 31. | 残留性有機汚染物質管理のための代替リスク比較研究の展開 | 益永茂樹 |
| 32. | 化学物質の生態毒性評価と GCOE 中国連携拠点形成 | 亀屋隆志 |
| 33. | 物質・エネルギー収支の解析によるプランテーションの環境インパクト評価。 | と最適管理 |
| | | 藤江幸一 |

35. 地球環境・防災を融合したリスクマネジメントのための時空間情報プラットフォームの構築 佐土原 聡

本藤祐樹

34. 地域におけるバイオマス資源の持続可能な利用

| 36. | 生物資源・廃棄物の循環利用技術に関する研究 | -廃棄物系バイオマスの炭化と |
|-----|----------------------------|-----------------|
| | ガス化ガスの触媒変換- | 川本克也、魯保旺 |
| 37. | 低環境負荷型植物病害防除資材の探索と評価 | 平塚和之 |
| 20 | 晋培母芸の小わいは物抵は姓話道刘の問惑 | ソインドールの反内性も利用した |

38. 環境負荷の少ない植物抵抗性誘導剤の開発—イソインドールの反応性を利用した
 含窒素多環式化合物の合成—本田 清

土壤細菌の多様性評価手法の開発

Environmental assessment based on synoptic molecular taxonomy of soil bactierial DNA.

②局所重視アプローチに基づく気候変動要因解

Natural factors on local climate changes.

③環境リスク管理への社会心理学的アプローチ

Socio-psychological approach to environmental risk management.

報告者:伊藤公紀 Kiminori Itoh

アジア視点に基づく環境管理の基礎を築くには、環境評価や修復に、ローカルベースな手法が必要である。ここでは、局所的な環境を評価する手法の一環として、①土壌細菌評価、②気候変動評価、③環境 に対する東西メンタリティの違い、に着目した。

①土壌を初めとする環境中の細菌は、環境指標として、また機能体としても重要であるが、その特性 評価手法は未熟である。そこで、高分離能 DNA 二次元電気泳動に基づく多様性解析手法を開発した。 これにより、16S rDNA から環境細菌の存在度多様性を評価し、16S rRNA から機能的多様性を評価する ことができるようになった。

②局所的な気候変動の要因は複雑であるが、人為的な要因と自然要因を区別することは、シナリオ作成を含む環境政策からも重要である。ここでは特に、太陽磁気活動の気象変化・気候変動への影響に着目した。その結果、地表及び上空の気温が地磁気擾乱指数や太陽風パラメータと高い相関を示すことが示された。また、北極振動が太陽の磁気的活動の影響を大きく受けることが示唆され、その機構に成層 圏準二年振動が関与することが示唆された。このように、気候モデルに組み込まれていない自然変動要因の一つの存在が明らかになってきた。

③最近の社会心理学的知見に基づき、東西のメンタリティの差が環境マネジメントにどのような影響 するかを検討した。その結果、一般化・理想化に秀でた西洋的メンタリティの限界や問題点が明らかに なるとともに、個別・現実に優れる東洋的メンタリティの採用が、地域環境問題の解決に有効であるこ とが示唆された。また、東洋的な要素を加味することによって、ヨーロッパ主流の予防原則とアメリカ 主流の順応管理の統一的扱いが可能になることを示した。

We focus on local-based approaches in order to establish environmental management from Asian point of view. Here, our targets are methods necessary for local environment assessment: 1) characterization of soil bacteria, 2) factors governing local climate variations, and 3) socio-psychological difference between east and west in approaching environment.

1) Environmental bacteria, e.g., soil bacteria, are important because of their possible use as an environmental index, and also because of their functions. Their characterization, however, is not developed well yet. Thus, our aim was to develop a method to evaluate the diversity of the soil bacteria using high-resolution two-dimensional electrophoresis of DNA. This technique enables us to evaluate the diversity both for the abundance and activity of the soil bacteria. 2) Factors governing local climate are complex, but it is important to distinguish anthropogenic factors and natural factors for establishing appropriate policies including scenario formation. We focused our attention, in particular, on the possible effect of solar magnetic activity on weather/climate systems. We found that the surface/upper temperatures are affected by geomagnetic disturbances and/or solar wind parameters. Moreover, it is shown that the Arctic Oscillation is affected by solar magnetic field variations, and that the Quasi Biennial Oscillation should be considered to explain this effect. Thus, it was clarified that there existed a natural variation not considered in present climate models. 3) On the basis of recent knowledge in socio-psychology, we studied how the psychological differences between east and west can affect environmental management. The western mentality is good at "generalization" and "idealization," and hence, has inevitable limits and problems. The eastern mentality, on the other hand, is good at "individualization" and "reality," which properties are effective for solving regional environmental issues. Moreover, European "Precautionary principle" and American "Adaptive management" can be unified by introducing Oriental factors.

①土壤細菌の多様性評価手法の開発

1. はじめに

土壌は農業や牧畜等の産業の基盤であり、その 特性評価は重要である。しかしその中で、重要な 機能を担っている土壌中の細菌は、最後のフロン ティアと言われるほど、不明なことが多い。例え ば、土壌 1g 中の細菌種数すら、1 万種とも 100 万種ともされ、培養できる種数は数百に過ぎない。 そこで最近、土壌から抽出する DNA に PCR を適 用する手法が発展してきた。ここでは、この直接 抽出 DNA を用いて土壌の特性評価を行う手法を 開発した。特に、16S rDNA および rRNA の鎖長 多形と成分多形に注目し、遺伝子分類学に基づい た総観的解析手法を確立した。

2. 方法

細菌進化の過程において、まず塩基の置換が起 こるので、近い種では16SrRNAの鎖長は等しく、 成分が異なる(GC 含量変化)。属同士では鎖長も 異なる。例えば 16S rRNA の多形を調べると、変 化幅は十分に大きい。従って、16SrRNAの鎖長 と GC 含量のマッピングを行うことにより、一つ のスポットが一つの細菌種に相当するような、細 菌集団の分子分類学的なパターンが得られる。実 際、適当な変異領域と PCR プライマーを仮定し たシミュレーションによれば、進化的に類縁の細 菌は、鎖長-GC 含量マップにおいて近くに位置す る。実験的には、鎖長解析と成分解析の組み合わ せによる二次元電気泳動が適当と思われた。

PCR により、16S rDNA 適当な変化領域を増幅 し、鎖長多形と成分多形を組み合わせ

よび二次元目のゲルとのマッチングが技術的な ネックであるので、高分離能ゲルの調査とゲルの 組み合わせの最適化を図った。

3. 結果

従来の電気泳動法では、16S rRNA の変化領域 I(鎖長150程度)を1塩基対で分離することはでき なかった。そこで、様々なゲルを比較検討した。 分離能の点では高架橋度のアガロースゲル(商品 名スプレデックス)が適していたが、二次元目の DGGE(成分多形解析)に用いるポリアクリルアミ ドゲルとのマッチングが不適当で、DNA の移行 が困難であった。検討の結果、特殊なゲル化剤を 添加した高分離能ゲルが最適であることを見出 した。その結果得られた二次元電気泳動図の例を 図1に示す。横軸は一次元目の鎖長解析、縦軸は 二次元目の成分解析(DGGE)である。鎖長は、ほ ぼ1塩基対の分離能を実現している。

4. 考察

各スポットから DNA を抽出し、シークエンシ ングを行うことができた。その結果、基本的には、 各スポットが一種類ずつの細菌の DNA 断片であ り、通常の DGGE では得られない分離能が得ら れていることが分かった。

異なる環境からサンプリングした細菌群集試 料について、二次元電気泳動による評価を行った。 例えば、河川底泥を上流・中流・下流からサンプ リングし、DNA 二次元マップを作成した。その 結果、上流の試料が示す DNA マップよりも、下



が単純であること が判明し、DNA二 次元マップ法が環 境中の細菌多様性 評価を用い得るこ とが分かった。 図1のような二 次元電気泳動によ る DNA 二次元マ ップの結果から多 様性等の評価をす

ることができる。 例えば、各スポッ トの強度を測定し、 ランクアバンダン スプロットを作成 することができる。 その例を図2に示 す。

各曲線は、異な

こ次元電気泳動によって分離能の高い測定手法

を開発した。一次元目の 16S rRNA の鎖長解析お

る環境から得た細菌 DNAの PCR 断片に対するラ

ンクアバンダンスプロットである。中間の水平部 分が長いほど、多様性が高いと判断できる。

図2のようなランクアバンダンスプロットの 形が、何によって決まるのか、ということを探る ために、生態系における食物網の理論的検討を行 った。その結果、被食者と捕食者でランクアバン ダンスプロットの形が異なること、土壌細菌のラ ンクアバンダンスプロットは被食者が示す形と 一致することが分かった。

ランクアバンダンスプロットの情報は、累積頻 度に基づいた Gini 係数の算出に使うことができ、 土壌細菌や活性汚泥細菌の多様性に定量的指標 を与えることが可能である。

5. まとめ、結論、今後の課題

土壌中の細菌群集の多様性評価を、16S rDNA の PCR 断片に基づいた二次元電気泳動によって 行うことができるようになった。この手法は、 RNA の逆転写によって得られる cDNA に容易に 応用できる。これにより、存在度の多様性と、活 性(機能)の多様性の両者を総観的に評価するこ とが可能である。現在、いろいろな系に適用を始 めている。

今後の課題は、多くの環境試料に本法を適用す ることにより、環境評価手法として確立を図るこ とである。例えば、Gini係数を用いた評価では、 既に予備的検討により、土壌細菌の存在度多様性 と機能多様性が大きく違うのに対して、活性汚泥 ではほぼ等しいことが分かっている。栄養の豊富 さの評価につながるのではと考えている。またこ れらの情報を DNA チップのような簡便な手法に 応用できれば、汎用性が増すと考えられる。

文献(本研究の基礎となった成果)

1) 姜京順、伊藤公紀、村林眞行、中西準子、" 土壌細菌からの直接 DNA 抽出法:異なる

主要な研究成果(査読論文)

DNA 抽出法の比較" 水環境学会誌、24 (2001) 175-179.

- 2) K. S. Kang, K. Itoh, N. Kaneko, M. Murabayashi, and J. Nakanishi, Analysis of Bacterial Communities in Soil Using Length Polymorphism of PCR-Amplified Fragments of 16S Ribosomal DNA, 土と微生物 (Soil Microorganisms), 56, 117-124 (2002)
- 3) B. Xie, K. S. Kang, E. Nakamura and K. Itoh, The effect of heavy metals on the activated sludge process and its microbial community analysis using 16S ribosomal DNA, International Journal of Environment and Pollution, 18 (2002) 571-588
- 4) S. Kabir, N. Rajendran, Y. Urushigawa and K. Itoh, Interference of Contaminating DNA on the Quantification of Toluene Induced tod gene in Pseudomonas putida, Journal of Bioscience and Bioengineering, 96, 250-256 (2003)
- 5) S. Kabir, N. Rajendran, T. Amemiya, and K. Itoh, Quantitative Measurement of Fungal DNA Extracted by Three Different Methods using Real-Time PCR, Journal of Bioscience and Bioengineering, 96, 337-343 (2003)
- 6) K.-S. Kang, N. Kaneko, T. Amemiya and K. Itoh, Effect of Copper Contamination on Soil Bacterial Communities Using Length Polymorphism for PCR-Amplified Fragments of 16S Ribosomal DNA, Soil Microorganism, 58, 03-11 (2004).
- 7) Takumi Isshi, Rajendran Narasimmalu, Takashi Amemiya and Kiminori Itoh, Development of a two- dimensional electrophoresis method to study soil bacterial diversity, Soil Science and Plant Nutrition, 52 601-609 (2006).

研究協力者

雨宮 隆、ナラシマル・ラジェンドラン、アクセ ル・ロスベアグ、常青、劉国華

- 1) Jianbo Liu, Takashi Amemiya, Qing Chang, Xiao-jing Xu, and Kiminori Itoh, "Real-time reverse transcription PCR analysis of trichloroethylene-regulated toluene dioxygenase expression in Pseudomonas putida F1," JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND HEALTH, PART B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Waste 印刷中
- Guo-Hua Liu, Takashi Amemeya, Kiminori Itoh, "Analysis of Bacterial Populations in Environment Using Two-dimensional Gel Electrophoresis of Genomic DNA and Complementary DNA," Microbes and Environment, in press
- 3) Bacterial community structure analysis of sediment in the Sagami River, Japan using a rapid approach based on two-dimensional DNA gel electrophoresis mapping with selective primer pairs, Guo-hua Liu, Narasimmalu Rajendran, Takashi Amemiya, Kiminori Itoh, Environ Monit Assess, DOI 10.1007/s10661-010-1868-7. Published online: 08 January 2011
- 4) Guo-hua Liu, Narasimmalu Rajendran, Takashi Amemiya, Kiminori Itoh, "Bacterial community structure analysis of sediment in the Sagami River, Japan using a rapid approach based on two-dimensional DNA gel electrophoresis mapping with selective primer pairs," Environ Monit Assess, DOI 10.1007/s10661-010-1868-7. Published online: 08 january 2011
- 5) Qing Chang, Takashi Amemiya, Jianbo Liu, Xianjing Xu, and Kiminori Itoh, Identification and Validation of suitable Reference Genes for Quantitative Expression of xylA and xylE Genes in Pseudomonas putida mt-2,

Journal of Bioscience and Bioengineering, 107 (2009) 210-214

- Guohua Liu, T. Harada, T. Amemiya, and K. Itoh, Novel Two-dimensional DNA Gel Electrophoresis Mapping for Characterizing Complex Bacterial Communities in Environmental Samples, J. Biosci. Bioeng., 107 (2009) Issue 6,.
- 7) Guohua Liu, Takashi Amemiya, and Kiminori Itoh, Two-Dimensional DNA Gel Electrophoresis Mapping: a Novel Approach to Diversity Analysis of Bacterial Communities in Environmental Soil, J. Bioscience and Bioengineering, 105, 127-133 (2008).

関連する成果 (査読論文)

- Hiroshi Serizawa, Takashi Amemiya, Kiminori Itoh, "Sufficient noise and turbulence can induce phytoplankton patchiness," Natural Science, Vol. 2, No. 4, (2010)
- 2) Hiroshi Serizawa, Takashi Amemiya, Kiminori Itoh, "Effects of buoyancy, transparency and zooplankton feeding on surface maxima and deep maxima: Comprehensive mathematical model for vertical distribution in cyanobacterial biomass," Ecological Modeling, 221 (2010) 2028-2037
- H. Serizawa, T. Amemiya, K. Itoh, Noise-triggered regime shifts in a simple aquatic model, Ecological Complexity, (2009)
- 4) Hiroshi Serizawa; Takashi Amemiya; Kiminori Itoh, Patchiness and bistability in the comprehensive cyanobacterial model (CCM), Ecological Modelling, **220**, 764-773 (2009)
- 5) A. G. Rossberg, R. Ishii, T. Amemiya, and K. Itoh, The top-down mechanism for body mass abundance scaling, Ecology, 89(2), 567–580 (2008)
- 6) H. Serizawa, T. Amemiya, T. Enomoto, A. G. Rossberg, and K. Itoh, Mathematical modeling of colony formation in algal blooms: phenotypic plasticity in cyanobacteria, Ecological Research, 23, 841-850 (2008)
- Hiroshi Serizawa, Takashi Amemiya, Axel G. Rossberg, and Kiminori Itoh, Computer simulations of seasonal outbreak and diurnal vertical migration of cyanobacteria, Limnology, 9, 185-194 (2008)
- 8) Hiroshi Serizawa, Takashi Amemiya, and Kiminori Itoh, Spatial distribution of phytoplankton in a mathematical model, Journal of Biosciences, **33**, 391-403 (2008)
- 9) T. Amemiya, T. Enomoto, A. G. Rossberg, T. Yamamoto, Y. Inamori, and K. Itoh, Stability and dynamical behavior in a lake-model and implications for regime shifts in real lakes ecological modeling, Ecological Modelling, 206 (2007) 54-62.

②局所重視アプローチに基づく気候変動要因解析

1. はじめに

現在、東南アジア地域においては、地域気候に 対する人間活動の影響が強く意識されるように なっている。例えば、インドネシアでは、人為的 な撹乱による土地改変のために、洪水の頻発等、 局所的な気候変動が引き起こされ、また泥炭地か ら生ずる CO2 が温室効果ガスとして地球規模で も問題となっている。一方で、エルニーニョ等の 自然変動が東南アジアの気候に及ぼす影響が大 きいことは良く知られている。しかし実は、北極 の気圧変動である北極振動のような地理的に離 れた気候因子の影響も意外に大きいことが示唆 されている[文献 1]。この解析では、エルニーニ ョの影響も同程度であるとされている。これは、 気候の遠隔連関として知られる現象の一端であ ると考えられる。我々は最近、北極振動が太陽の 磁気的活動の影響を大きく受けることを見出し ており、気候変動の自然因子にも新しい観点が必 要であることが分かってきた。そこで、本研究の 方向は、特に従来無視されてきた太陽磁気活動等 の影響を評価することとした。これにより局所的 アプローチに基づく生態リスク管理に資するこ

とを最終目的とする。

2. 方法

主として、地表ステーションで得られた気温デ ータ(米国 NASA によるステーションデータ及び グリッドデータ)を用い、北極振動やエルニーニ ョ等の気候変動パターン指数との相関を求めた。



また、太陽磁気活動指標として、aa 指数や太陽 風パラメータを用い、気温デーとの相関を求めた。 特に、地域・局所気候に着目する観点から、年平 均ではなく、毎月データを用いた解析を基礎とし た。また、得られた相関値を地図化した。

3. 結果

各月のデータを用いた相関は、aa 指数と地表 気温では、前者の1月と後者の3月が最も大きか った。また、aa 指数と北極振動指数との相関は、 1月と3月で大きかった。

図1に、冬の aa 指数と春の地表気温の相関地 図を示す。相関係数が正で大きいのは北欧、負で 大きいのはグリーンランド付近である。フィンラ ンドのソダンキュラなどでは、相関係数が約0.7 となり、春の気温の年々変化の約半分が太陽磁気 活動の変動で説明できることになる。冬の北極振 動指数と春の地表気温の相関は、北欧の正の相関 がそれほど大きくないことを除けば、図2と極め て良く似ていた。ただし、北極振動と地表気温の 相関が高い値となるのは、冬同士の場合である。



aa 指数のような地磁気擾乱指数はイオン圏の 電導度の影響を受けることが知られている。そこ で、地球から離れたラグランジュ点で測定される 太陽風パラメータを用いて解析を行ったところ、 aa 指数の場合と類似の結果を得た。その例を図2 に示す。成層圏準二年振動(QBO)の東風・西風で 層化すると、東風時の相関が高い。

また、予備的な段階であるが上空気温データを 用いた解析も行っている。その例を図3に示す。 データの範囲が赤道付近に限られているが、相関 係数が-0.8 と極めて高い地域が見られた(特に西 太平洋)。QBOによる層化では、西風時に相関が 高い(例えば-0.99)。

4. 考察

これらの結果から、太陽磁気活動が対流圏や地 表の気温に影響している可能性は大きい。その経 路として北極振動などが関わっていると考えら れる。

北極振動の機構の詳細は分かっていないが、田 中・松枝[2]によれば、北極振動は固有値ゼロの 順圧的大気振動であり、任意の弱い外力で励起さ れる可能性がある。従って、太陽磁気活動が大気 上層に及ぼす影響が、成層圏を経て対流圏に至る 機構を考えることは妥当であろう。しかし、その 機構の詳細については今後の課題である。

太陽磁気活動が地表気温に影響するとき、北極 振動のみを通じて起きるとは限らない。図2の結 果によれば、太陽磁気活動は赤道付近の大気にも 大きく影響していると考えられる。西太平洋地域 が、台風発生やエルニーニョ活動において重要で あることを考えると、東南アジアの気象・気候に 太陽磁気活動が影響している可能性を追求する ことには意義がある。

5. まとめ、結論、今後の課題

従来見過ごされてきた太陽磁気活動の影響が、 北極振動などを通じて気温に反映することが強 く示唆された。特に、太陽風パラメータの採用に より、地球大気の影響を除いたことで、結論が明 確になった。また局所重視アプローチの妥当性と、 自然変動を考慮する重要性が示された。

地球惑星科学連合学会では 2010 年、筆者らの 提案した「宇宙気候」セッションの設立が認めら れた。これは、気象・気候システムに未知の因子 が存在するという見方が認められたことを示し ている。

本研究で示された太陽・気候相関の機構を調査 することは、当然ながら科学的に重要であるが、 環境政策を考える上では、別の考え方も必要にな る。すなわち、気候変動の原因がわからない状態 において、有効な環境政策を採ることが求められ る。特に、気候変動要因の一つに過ぎない CO₂ の削減を主たる方策とするのではなく、むしろ社 会の脆弱性・回復性に着目したアプローチが必要 であると考えられる。

文献

- 1) Todd Mitchell, http://jisao.washington.edu/ analyses0500/
- 2) H. L. Tanaka and M. Matsueda, Arctic Oscillation Analyzed as a Singular Eigenmode of the Global Atmosphere, J. Meteo. Soc. Jap., 83, 611-619 (2005)

本研究の基礎となった成果例

- 伊藤公紀、地球温暖化問題の新局面-太陽・ 気候相関のミッシングリンク、『科学』69 (1999) 665-669
- 2) 伊藤公紀『地球温暖化』日本評論社、2003年
- 3) 伊藤公紀、二酸化炭素削減は本当に役立つか、

主要な研究成果

査読論文

- 1) 芹沢浩、伊藤公紀、雨宮隆, 社会学におけるエントロピー生成率最大化の原理(MEP), 『理論と方法』 (数理社会学会)、Vol. 26, No. 2, 405-420 (2011)
- 2) 伊藤公紀、小川隆雄, "地球温暖化問題へのセカンドオピニオン,"科学技術社会論研究、No.9 『地 球温暖化問題』, 98-112 (2011)

査読なし論文・論説

- 1) 伊藤公紀、日本は根拠なき温暖化対策に決別宣言を-CO2削減よりも社会のレジリエンス強化、『月 刊ビジネスアイエネコ』、2011年12月号、36-39
- 2) 伊藤公紀、地球温暖化問題の向かう先、『現代化学』2011年7月、21-26
- 3) 1) 伊藤公紀、「温暖化 CO₂犯人説」を唱える IPCC の信頼が揺らいでいる、『エコノミスト』、2010 年 3 月 28 日号、p.34-37
- 4) 伊藤公紀、IPCC 崩壊 それでも 25% 削減掲げ続けるのか、『ウェッジ』 2010 年 4 月 80-84
- 5) 伊藤公紀、ホッケースティック曲線の何が間違いなのか、『現代化学』2010年1月号、58-62
- 6) 伊藤公紀、地球温暖化の何が問題か、神社新報 2009 年1月19日
- 7) 伊藤公紀、「温暖化」への異論将来多数派に一世界の科学者 650 人が「少数意見報告」、北海道新聞、 2009 年1月6日
- 8) 伊藤公紀、温暖化の要因は温室効果ガスだけではない、『日本の論点 2009』(文芸春秋社 2009 年) 362-365
- 9) 赤祖父俊一・伊藤公紀・江守正多・草野完也・丸山茂徳・吉田英生(50 音順)、地球温暖化論:その科学的真実を問う、『エネルギー・資源』 30, No. 1 (2009) 3-22; 30, No. 3 (2009) 1-19
- 10) 伊藤公紀、観測による気候感度の推定、『現代化学』No. 3、2009 年、48-52
- 11) K. Itoh, Will Statistics Give the Sensitivity of the Global Climate System? Hokkaido University Technical Report Series in Mathematics, Series # 136, September, 2008, pp. 24-31
- 12) 伊藤公紀、気候問題リテラシーを身につける、『論座』 No.7、2008 年
- 13) 伊藤公紀、『不都合な真実』の検証、『環境ビジネス』No. 12, 2007 年、p. 82-84
- 14) 伊藤公紀、『不都合な真実』の不都合な真実、『諸君』 No. 4, 2007 年、p. 198-207

招待講演

- 1) 伊藤公紀、太陽磁気活動の気候影響、名古屋大学、2012年1月18日
- K. Itoh, as a guest speaker for Assessment of IPCC by International Academy Council, China Meeting, (Beijing, 29 June 2010)
- 3) 伊藤公紀、「IPCC 問題の検証と今後の科学の課題」ゲストスピーカー、日本学術会議公開シンポシ ウム(東京、2010年4月30日)
- 4) 伊藤公紀、気候変動問題とメディアリテラシー、気象学会・教育懇談会(つくば、2009年5月30日)

技術振興機構 6) 池田清彦・伊藤公紀、冷静に温暖化問題を考 える、『現代思想』35 (2007) 64-77

『日本の論点2004』(文芸春秋社、2004年)

4) 伊藤公紀、有効な環境政策のための気候モデ

ルとは、『エネルギー・資源』No. 3, 2006年

7) 伊藤公紀・本藤祐樹、バイオ燃料の可能性と リスク、『現代化学』No. 10, 2007年

研究協力者

462-467

雨宮 隆、芹沢 浩、松尾信也

- 5) K. Itoh, How mathematics can contribute to the climate change issues? 1st PRIMA Congress (Cairns, Australia, July 6-11, 2009)
- K. Itoh, Will Statistics Give the Sensitivity of the Global Climate System? JST Presto Symposium on Mathematical Science Towards Environmental Problems (Hokkaido University, Sapporo, June 11-13, 2008) (招待講演)
- 7) 伊藤公紀、地球温暖化問題を冷静に見る、富丘経済研究会、2007年11月15日

著書・報告書

- 1) 伊藤公紀、『これだけ知っていれば安心 原発と放射能の疑問 50』(日本評論社、2011 年) 単行本
- 2) 伊藤公紀・渡辺正『地球温暖化論のウソとワナ』(KK ベストセラーズ、2008 年) 単行本
- 3) 渡辺正・伊藤公紀ら、温暖化のホント、『別冊宝島 1507』 2008 年 3 月、p. 12-42
- 4) 武田邦彦・池田清彦・渡辺正・薬師院仁志・山形浩生・伊藤公紀・岩瀬正則、『暴走する地球温暖化 論』(文芸春秋社文庫、2009年)
- 5) IPCC Fourth Assessment Report, Working Group I Report "The Physical Science Basis," Working Group II Report "Impacts, Adaptation and Vulnerability," Working Group III Report "Mitigation of Climate Change," (2007). Contribution as an expert reviewer.

新聞·雑誌取材等

- 1) 伊藤公紀、「放射能と原発の疑問 50 発刊」、北海道新聞 2011 年 8 月 29 日
- 2) 伊藤公紀、すべての教養人に捧げる挑戦状、『化学』vol. 66, No.1 (2011), p.58
- 3) 伊藤公紀、あなたが知らない「環境問題のウソ」、『週刊現代』、2010年12月4日号
- 4) 伊藤公紀、「地球温暖化」を眉つばにした「世界的権威」のデータ捏造!?、『週刊新潮』2010年4月 15日
- 5) 伊藤公紀、破綻した地球温暖化データ、中日新聞夕刊 2010 年1月8日
- 6) 伊藤公紀、温暖化異聞-未知の領域・異なる評価、夕刊読売新聞 2009 年 3 月 2 日
- 7) 伊藤公紀、「地球温暖化はウソ」の先に、夕刊読売新聞 2009 年1月26日
- 8) 伊藤公紀、CO₂一辺倒の議論に限界-より包括的な気候変動論へ、『週刊ダイヤモンド』(2009 総予 測)、2008 年 12 月 27 日 1 月 3 日合併号、p.134
- 9) 伊藤公紀、地球温暖化を見つめなおす19 「着色エアロゾルの影響大」、環境新聞 2008 年 10 月 8 日
- 10) 伊藤公紀、地球温暖化を見つめなおす⑧「温度データに疑問あり」、環境新聞 2008 年 10 月 1 日
- 11) 近藤純正・伊藤公紀、ヒートアイランド、夕刊読売新聞 2008 年 7 月 14 日
- 12) 伊藤公紀、太陽磁気の変動が北半球の気候左右、環境新聞 2008 年 8 月 27 日
- 13) 伊藤公紀、温暖化より怖い-太陽の異常で地球が冷える、『週刊文春』2008 年 10 月 23 日号、p.148
- 14) 伊藤公紀、温暖化論-批判の目で読み解け、夕刊読売新聞 2008 年 8 月 4 日
- 15) 伊藤公紀、加熱するエコブーム、週刊大衆、2008 年 8 月 4 日
- 16) 伊藤公紀、CO2犯人説を疑え! 『週刊朝日』2008年7月11日号、p.21
- 17) 丸山茂徳・赤祖父俊一・伊藤公紀、クリティカルシンキングー人為的温暖化説への異論、『日経サイエンス』No. 8, 2008 年、p. 128-131
- 18) 伊藤公紀、論壇時評「温暖化論議-危機解決策めぐり応酬」(松原隆一郎)、朝日新聞 2008 年 6 月 26 日
- 19) 伊藤公紀、この本・この人『地球温暖化論のウソとワナ』、中日新聞 2008 年 6 月 15 日

テレビ出演

- 1) 伊藤公紀(ゲスト出演者3名中)、「プライムニュース」、2010年9月10日
- 2) 伊藤公紀・江守正多(ゲスト出演者 10 名中)、「朝まで生テレビ」、テレビ朝日 2008 年 1 月 26 日
③環境リスクへの社会心理学的アプローチ

1. はじめに

最近の社会心理学の成果によれば、東西のメン タリティは大きく異なり、外界に対する認識や態 度に差が出る[1]。脳機能研究の成果[2]を参考に すると、この差はミラーニューロンの活動度の違 いを反映していることが示唆される。

従って、環境に対する考え方や接し方が東西で 異なることは不可避である可能性は大きく、その 差が環境政策に反映している可能性は看過でき ない。そこで、東西メンタリティの特性を考慮し た環境政策、特にリスク管理について再構築を試 みた。

2. 方法

文献調査により、東西メンタリティの違いを明 確にする作業を行い、各メンタリティの長所・短 所を抽出する。その組み合わせによって、より有 効なリスク対応様式を構築する。

3. 結果

表1に、文献[1-5]などから抽出した東西メンタ リティの特徴例を列挙する。対照的な特性が多い ことが分かる。特に、「理想・一般」に向いた西 洋的メンタリティと、「現実・個別」に向く東洋 的メンタリティとの違いは、現実問題を扱う環境 政策に対して影響を与えるだろう。

例えば気候変動政策において、「原因」の一つ である CO₂を削減すれば気候変動が少なくなる、 と考えるのは西洋的であろう。一方、気候システ ムの複雑性を考慮して気候変動対策は社会の脆 弱性・回復性(レジリエンス)を考慮するのが妥当、 というのは東洋的であると言える。

欧米においても、気候変動政策としてレジリエ ンスを強調する観点が着目されるようになって いる[7]。これは、科学の要件でもあった西洋的 な「理想化・一般化・単純化」という図式が、環 境問題のような複雑な問題に対しては限界を持 つことを示している。

ヨーロッパの予防原則とアメリカの順応管理 の衝突も、このような西洋的メンタリティの限界 に起因すると考え、東洋的要素による統合を試み た。その例を図1に示す。

西洋的メンタリティでは、一般化によって、背 景や文脈を無視する傾向が生じる。これは環境政 策やリスク管理の失敗に繋がりやすい。そこで、 文脈を強調した「文脈ベース型順応管理」と、体 の回復性強化に着目する漢方医学を参考にした 「システム強化型予防」を導入した。

4. 考察

図1に示した「リスク管理の三角形」に基づけば、 色々な型のリスク管理を構築したり評価した



表 1 東西メンタリティの違いの例(ニスベット 2004、鈴木 1997、ニーダム 1974 より抽出整理)



りできる。気候変動政策においても、予防と順応 を無理なく並行して行えるようになると考えら れる。このように、リスク管理において、東西の メンタリティを効果的に融合させることは可能 であろう。

5. まとめ、結論、今後の課題

理想化・一般化のような西洋的メンタリティの 特徴は、従来の科学研究では長所であったが、環 境政策のような現実的問題においてはむしろ欠 点となる可能性が高い。逆に、科学に不向きとも される東洋的メンタリティの長所を生かすこと によって、有効な環境政策が組み立てられる可能 性は十分にある。

これにより、竹内好が書いた「東洋で西洋を包 みなおす」[7]が、具体的な作業として実現でき るのではないかと考える。

文献

- R.ニスベット「木を見る西洋人、森を見る東 洋人」ダイヤモンド社、2004 年
- M.イアコボーニ「ミラーニューロンの発見」 ハヤカワ新書、2009 年
- 3) 鈴木大拙「東洋的な見方」 岩波文庫 1997 年
- J.ニーダム「文明の滴定」法政大学出版局、 1974 年
- 5) J.ベアード・キャリコット「地球の洞察」み すず書房、2009 年
- 6) R. Pielke Sr. et al., Dealing with Complexity and Extreme Events Using a Bottom-up, Resource-based Vulnerability Perspective, 2011
- 7) 竹内好「日本とアジア」ちくま学芸文庫、1993 年

研究協力者

松田裕之、及川敬貴、茂岡忠義、増田貴彦(カ ナダ・アルバータ大)

主要な研究成果

- 1) 伊藤公紀、松田裕之、及川敬貴、茂岡忠義、アジア視点の生態リスク管理手法、小池・金子編著 GCOE 成果本、準備中 (単行本)
- 2) 伊藤公紀、地球温暖化問題の社会心理学、『パリティ』、2012年1月号、印刷中(査読なし論説)
- 3) 伊藤公紀、日本は根拠なき温暖化対策に決別宣言を-CO₂ 削減よりも社会のレジリエンス強化、月 刊ビジネスアイエネコ、2011 年 12 月号、36-39 (査読なし論説)
- 4) 伊藤公紀、"予防原則と順応管理の統合について" EcoRisk 通信、2011 年 2 月 10 日、第三号 (査読 なし論文)

生物多様性地域戦略の発展と「生物多様性の主流化」 Development of Local Biodiversity Strategies and Mainstreaming Biodiversity

報告者:及川敬貴 Hiroki Oikawa

GCOE の実施期間中、わが国をはじめとするアジア諸国の地方自治体では、生物多様性の保全と 持続可能な利用を念頭においた行政計画の策定が進んだ。LBS(生物多様性地域戦略、Local Biodiversity Strategy)である。本研究では、ウェブ上のプラットフォームである「生物多様性ア ジア戦略(BAS: Biodiversity Asian Strategy)」を通じて関連情報を収集し、LBSの発展状況を社 会に広く発信するとともに、特徴ある LBS についての国際比較制度研究等を行った。その結果、 LBSの種類(例:行政管轄区域を越えた合同戦略)や中身(例:生態系サービスの金銭評価) が多様であり、また、それぞれの地域の文脈に即した LBSの策定・実施をサポートする考え方 (例:資源創造)や法制度(例:生物多様性バンキング法制や LBS の法定戦略化)が発展をみ ていることが明らかとなった。これらの知見は、「生物多様性の主流化」の中核的手段として期 待される LBS について、今後の関連研究を格段に発展させるための基盤となる。

During the 5 years of G-COE Program, many local governments in Asian countries developed biodiversity strategies – so-called LBS (Local Biodiversity Strategy). For the purpose of securing overall information upon LBSs, I launched the BAS (Biodiversity Asian Strategy) project – a website on LBSs, fully supported by GCOE. The BAS has so far collected around 100 LBSs developed in Asian countries, and been a basis for comparative studies focusing upon LBS's structure, implementation process, and so forth. This platform on the web will contribute not only to mainstreaming biodiversity in our society but also to propelling further research on biodiversity conservation and its sustainable use at the local level.

1. 研究方針

本 GCOE の推進を通じて構築される「アジ ア視点」の生態リスク管理国際拠点では、利 用と保全の調和、予防原則と順応的管理の統 合、法規制と自主管理を併用した共同管理の 3 つが基本となる。これらのうち、本研究で は、とくに法規制と自主管理を併用した共同 管理を進めるカギとなる、LBS(生物多様性 地域戦略、Local Biodiversity Strategy) にフォ ーカスを定め、その発展状況(日本国内のみ ならず国際的な発展状況を含む)、制度として の構造、比較等の考察・分析を進めてきた。 LBS は、行政計画という一つの法規範である が、そこで扱われている中身の多様さに鑑み、 その考察・分析には、法学以外の知見が重要 とならざるをえない。そこで、学内外の隣接 諸分野の研究者・実務家との協働(国際的な 連携を含む)を重視して、学術的にはもちろ ん、実践的にも意味のある成果の獲得・提供 をめざした。

2. 方法

ウェブ上に BAS (生物多様性アジア戦略、

Biodiversity Asian Strategy)を立ち上げ(図1)、 アジア諸国を中心に、LBSやNBSAP(生物多 様性国家戦略、National Biodiversity Strategy and Action Plan)等を収集し、策定状況に関連 する情報も含めて広く社会へ情報発信すると ともに、いくつかの国の LBS については集中 的な比較制度分析を行った(例:及川2010b)。 また、LBS で総合的に活用される多様な法的 手法とそれらの根拠法についても、とりわけ 生物多様性条約の発効以降にいかなる発展が あったのかに着目しながら、構造・実態に係 る検討を加えた(及川 2010b, c; 岩崎・及川 2009)。さらに、LBS を策定・実施する際の手 がかりとなる協働型自然資源管理(及川 2010a)、エコシステムマネジメント(及川印 刷中 a)、紛争マネジメント(及川 印刷中 b; 及川 2007a) 等の基礎概念についても、法学・ 公共政策学の観点から考察した。これらに加 えて、実効的な LBS の策定のためには、「地 域の実情に即した」(わが国の最高裁第二小法 廷平成19年12月7日判決)資源管理が重要 であることに鑑み、地域の文脈を重視した制 度設計のための基本アプローチを、資源創造



図1 BAS (生物多様性アジア戦略、Biodiversity Asian Strategy)

(resourcefulness) として提案した(例:及川 2010b)。

この他、LBS の国際比較制度研究のための 基礎的知見となりうる環境政策先進国(とく に、アメリカ合衆国、オーストラリアおよび ニュージーランド)の法制度をとり上げ、そ れらの構造や制度運用の実際に係る分析を進 めた。アメリカの生物多様性管理政策(例: 及川 2010b, e; 及川 2007b)、ニュージーラン ドの国および地域レベルでの外来生物管理法 制(及川 2007d;及川 2009)、ニューサウスウ ェールズ州 (オーストラリア)の生物多様性 バンキング制度(舛田・及川 2010a, b)、オー ストラリアのABS(Access and Benefit Sharing) 法制(及川 2011a;及川・阿久津 2011)等が 考察対象である。また、比較制度研究の一環 として、日本とニュージーランドの公共政策 の「つながり」に関する歴史的考察を行った (ビーティー・及川 2011)。

3. 結果、考察

BASを通じて収集され、広く社会へ発信さ れたLBS 関連の情報は、日本の自治体(例: 東京都目黒区からの相互リンクの要請)や環 境保護団体(例:日本自然保護協会がBASの 情報を基に日本の地域戦略策定状況のマップ を作成)等で有効に活用されている。また、 BASを通じて、カンタベリー県(ニュージー ランド)の生物多様性コーディネーター(ウ ェイン・マッカラム博士)から、及川へ講演 の要請があり、クライストチャーチ市で開催 された講演会(2010 International Year of Biodiversity Speaker Series (2010年3月))で の意見交換の一部が『生物多様性というロジ ック一環境法の静かな革命』(勁草書房、2010 年)の第4章に反映された。同書は、長野県 の生物多様性概況報告書(2011年)などで引 用されている。

LBS で総合化される法的仕組みの根拠法に ついては、生物多様性条約の発効以降に、河 川法や海岸法等の相当数が「環境法化」して いることを明らかにした。当該現象を整理し た図(『生物多様性というロジック』64 頁) は、最新の環境法関連の論稿(北村喜宣「環 境法入門(環境法総論環境行政訴訟)法学教 室 374 号 (2011) 147 頁) で全面的に引用さ れたほか、国連大学の里山・里海サブグロー バル評価国別報告書(英語版を含む)でもや はり全面的に引用がなされた。かかる「諸法 の環境法化」については、2011年6月の環境 法政策学会シンポジウム「公害・環境紛争処 理の変容」でも及川が報告者およびパネリス トとして論じる機会を付与されたところであ る。また、かかる「環境法化」はわが国だけ ではなく、農業法(いわゆる Farm Bill)等に 関してアメリカ合衆国でも看取しうるもので あることも指摘した(及川 印刷中 a)。

協働型自然資源管理やエコシステムマネジ メントについては、一連の研究を通じて、そ れらが資源管理紛争と表裏一体のものである ことが示唆された。具体的には、紛争マネジ メントの考え方とそれに基づく制度設計が、 協働に基づく資源管理の要諦となるというも のである。かかる知見は、今後、生物多様性 基本法 21 条が標榜する「協働の促進」を、LBS を通じて制度化していく際の参照軸となるで あろう。

諸外国の環境法制に関して得られた数々の 知見は、LBSの基盤となる生物多様性管理法 制のあり方を考える手掛かりとなる。これら の知見を提供してきたことから、及川が、現 在進行中である、わが国における外来生物法 の見直しや ABS 法の制定に係る政策形成過 程に専門委員等の形で携わることとなった。 また、GCOE-RA である舛田陽介(横浜国立大 学大学院環境情報学府博士後期課程在籍中) によるオーストラリアの生物多様性バンキン グ制度の構造・実態分析は、実務家からも注 目され、2011年2月、日弁連(日本弁護士連 合会)で及川との共同講演を行った。

4. まとめ、今後の展開

これらの研究を通じて、協働型自然資源管 理や資源創造等の理念とLBS や「環境法化し た諸法」等の管理手法に係る法政策学的な検 討が施され、その結果を学術論文・学術書等 で公表することはもちろん、ウェブサイトや 書籍等の中で「より利活用しやすい」形に変 換して広く社会へ発信することにより、「生物 多様性の主流化」の促進に一定程度貢献する ことができた。BAS が国内外の自治体や環境 保護団体等によって参照・活用されているの は、その証左である。今後は、LBS がアジア 途上国でも発展し、「生物多様性の主流化」の ための中核的な手法となるであろうことを見 据え、国際プラットフォームとしての BAS の 機能を拡充していくことが最重要課題となる。 具体的には、LBS の相互参照・比較を通じて、 アジア諸国が学び合い、かつ「つながる」た めのプラットフォームとして BAS を再設計 し、より効果的に機能させていくことになる だろう。そして、その先に、アジアの各地域 がそれぞれの文脈に即した LBS を発展させ、 それが(欧米諸国主導で作られがちな)国際 制度のあり方にインパクトを与えていくとい う「地域からの国際制度設計」というアプロ ーチの可能性を探っていきたい。

研究協力者

及川恵 (GCOE 技術補佐員 BAS 事務局)、塚原由美 子 (GCOE 技術補佐員 BAS 事務局)、舛田陽介 (GCOE-RA)、Dr. Wayne McCallum (カンタベリー 県生物多様性コーディネーター)、Dr. James Beattie (ワイカト大学准教授)

主要な研究成果

成果となる発表論文

及川敬貴 (2011a) ABS 法の可能性と課題―生物多様性保全との関係を中心に, ジュリスト 1417: 16-22.

- ジェームズ・ビーティー= 及川敬貴 (2011) ニュージーランドの保健制度改革と日本の「つながり」―フレデリック・ T・キングの 1904 年日本訪問とその影響,日本医史学会誌 57(3): 305-323.
- <u>及川敬貴</u>・阿久津圭史 (2011) 生物多様性管理制度の新動向一オーストラリアとニュージーランドの事例から,環境法研究 36: 62-97.
- <u>及川敬貴</u> (2010a) アメリカの協働型自然資源管理―森林ガバナンスと生物多様性保全の行方―,林業経済 63(5):1-23.
- <u>岩崎雄一・及川敬貴</u> (2009) 亜鉛の水質環境基準と強化された一律排水基準における課題:生態学的・実践的視 点からの指摘,環境科学会誌 22(3): 196-203.
- <u>及川敬貴</u> (2009) ニュージーランドの生物多様性保全政策一全国的な観点の制度化について, ニュージーランド 研究 16:40-51.
- <u>及川敬貴</u> (2007a) 環境「紛争マネジメント」の法システム―オレゴン海峡突堤建設計画をめぐる省庁間紛争とその 調整過程, アメリカ研究 41: 37-57.

関連著書等

<u>**及川敬貴</u></u> (印刷中 a) アメリカ環境法の動向―1990 年代後半以降を中心に 新美育文他編『環境法大系』商事法 務研究会</u>** <u>及川敬貴</u>(印刷中 b) アメリカの環境問題と法体系 黒川哲志・奥田進一編『環境法へのアプローチ(第 2 版)』弘 文堂.

<u>及川敬貴</u> (2011b) 生物多様性時代の法制度と訴訟―近年のわが国の動向と今後の展望,人間と環境 37(3): 23-30

<u>及川敬貴</u> (2011c) 泡瀬干潟事件―埋立費用支出差止めを求める住民訴訟(福岡高裁那覇支部平成 21 年 10 月 15 日判決) 淡路剛久他編『環境法判例百選(第2版)』有斐閣 194-195.

及川敬貴 (2011d) 環境法 君塚正臣編著『法学部生のための選択科目ハンドブック』ミネルヴァ書房 86-95.

<u>舛田陽介・及川敬貴</u> (2011a) オーストラリアの生物多様性バンキング— No Net Loss から Net Gain へ, Law & Technology 51: 24-25.

<u>
舛田陽介・及川敬貴</u> (2011b) 米国の湿地バンキングにみる生物多様性市場の現状と課題, Law & Technology 50:9-10.

及川敬貴 (2010b) 生物多様性というロジック―環境法の静かな革命, 勁草書房. 186 頁.

及川敬貴 (2010c) 諸法の「環境法化」についての覚書、日本エネルギー法研究所月報 207: 1-4.

及川敬貴 (2010d) 生物多様性をめぐる国内制度, Law & Technology 47: 14-21.

<u>及川敬貴</u> (2010e) 環境の司令塔の理念と組織(1)―個別の公共性を越えて, 環境と正義 127: 2-3.

及川敬貴 (2010f) 米国環境保護庁 山口英昌監修『食の安全事典』旬報社.

K.Oikawa & <u>H.Oikawa</u> (2008) Review on Nanyan Guo, ed., Self-Awareness on Peripheries—The Otago and Tsugaru Experiences, New Zealand Journal of Asian Studies 10(1): 183-186.

<u>及川敬貴</u> (2008a) 自動車からの NOx・PM 及び CO2 規制一日米欧における最近の動向,環境管理 44: 84-90.

<u>及川敬貴</u> (2008b) 環境政策 青柳まちこ編『ニュージーランドを知るための 63 章』明石書店 199-202.

- <u>及川敬貴・及川恵</u> (2008) 環境運動 青柳まちこ編『ニュージーランドを知るための 63 章』明石書店 193-196.
- <u>及川敬貴</u> (2008c) 国家環境政策法 日本科学者会議編『環境事典』旬報社.

<u>及川敬貴</u> (2007b) アメリカの環境行政組織 日本科学者会議公害環境問題研究委員会「環境展望」編集委員会 編『環境展望 vol.5』 旬報社 249-269.

- <u>及川敬貴</u> (2007c) アメリカの環境問題と法体系 黒川哲志・奥田進一編『環境法へのアプローチ』弘文堂 233-240.
- <u>及川敬貴</u> (2007d) ニュージーランド 1993 年生物安全法,季刊環境研究 147: 97-103.

<u>及川敬貴</u> (2007e) 生物多様性戦略の課題と展望, Law & Technology 37: 144.

及川敬貴 (2007f) 1991 年資源管理法 ニュージーランド学会編『ニュージーランド百科事典』春風社.

新聞記事、TV出演

- <u>及川敬貴</u>:生物多様性と法:生物多様性は、これからの地域戦略の原動力,『環境会議』秋号 2010 年 163-165 (田中理沙氏(宣伝会議代表取締役)より取材を受ける)
- 匿名:出版:生物多様性を詳しく解説,毎日新聞 2010年10月25日
- 匿名: 私たちの環境は守られているか?国内の環境法4・外来生物法,毎日新聞 2010 年7月1日(関東晋慈氏 (毎日新聞社記者)より取材を受ける)
- 池辺豊(日本経済新聞記者):「環境法化」する法制度,日経電子版『特集:問われる生物多様性』 (http://www.nikkei.co.jp/biod/)

伊藤智章(朝日新聞論説委員): 生物多様性条約の二面性, グリーンパワー2009 年 4 月号 33 頁 14 日

ウェブサイト

生物多様性アジア戦略(BAS: Biodiversity Asian Strategy)(http://www.bas.ynu.ac.jp/index.html)(2008 年開設)

野生動物の順応的管理と漁業の共同管理の発展

Development of Adaptive Wildlife Management and Fisheries Co-management

報告者:松田裕之 Hiroyuki Matsuda

GCOE5年間、2008年第5回世界水産学会議を通じた海洋生態系壊滅論の見直し、2010年生物多 様性条約第10回締約国会議を通じた日本漁業の共同管理と日本型自主的海洋保護区の有効性を 世界に訴えることができた。その過程で、佐藤哲長野大学教授(COE外部協力者)らとともに創 設した地域環境学ネットワークおよび沿岸漁業の地域利用権制度を進めるチリのファン・カルロ ス・カスティーヤ教授らとの共同研究を行った。これらの研究活動を通じて、①持続的利用と生 物多様性保全の調和を図り、②地域の利害関係者と行政が納得できる実現可能な解を追求した。 順応的リスク管理モデルを北海道、知床および屋久島の世界遺産地域におけるシカ管理モデル、 福井県あわら市風力発電施設のマガン衝突リスク管理、滋賀県カワウ対策事業に応用し、政策に 反映させることができた。

During the 5 years of G-COE Program, I showed a criticism to the theory of marine ecosystem collapse at the 5th World Fisheries Congress in 2008, Yokohama, and effectiveness of co-management of Japanese fisheries and autonomous marine protected areas at the 10th Meeting of the Conference of Parties to Convention on Biological Diversity (CBD/COP10) in 2010, NagoyaWe developed "the Local Science Network for Environment and Sustainability" in 2009 initiated by ProfTetsu Sato, Nagano University (collaborator of our G-COE) and tight connection with ProfJuan Carlos Castilla (Chile) and Michael Crosby (USA)Throughout my research activities for the G-COE, I sought (1) balance between sustainable use and biodiversity conservation and (2) consensus among local stakeholders and the government I applied adaptive risk management models to deer managements in Hokkaido, Shiretoko and Yakushima, to collision risk of the Awara Windfarm on White-fronted geese in Fukui, and to the Eradication Project of cormorant in Shiga

1. 研究方針

生態リスク GCOE では、利用と保全の調和、 予防原則と順応的管理の統合、法規制と自主 管理を併用した共同管理の3 つの「アジア視 点」をもつ生態リスク管理の国際拠点を目指 してきた。私は、2008 年の世界水産学会議(松 田 が 大 会 委 員 会 で Conservation and Management のプログラム責任者を担当)と 2010 年の生物多様性条約第 10 回締約国会議

(CBD/COP10)を大きな節目と捉えて研究を 進めてきた。特に、社会的問題となっている 北海道エゾシカ保護管理計画、ヤクシカ保護 管理計画、福井県あわら市風力発電施設、滋 賀県カワウ被害対策事業、知床世界遺産海域 管理計画、クロマグロ資源管理などの具体的 諸問題について、フェローと大学院生を主著 者とする科学論文とともに新たな視点からの 社会的解を提案し、実行することを目指した。

2. 方法

野生動物管理(エゾシカ、Yamaura et al2007、 Kaji et al 2010;エキノコックス、Kato et al 2010、 外来マングース、佐々木・松田 2010) 及び水 産資源管理では、不確実性(推定誤差と年変 動)を考慮した個体群動態モデルを基本とし、 将来の捕獲率は個体数レベルに応じて順応的 に変更すると想定した。そのほかの事例研究 においては、それぞれの課題に最も有効な管 理方法を多様な分野の研究者との共同研究に よって進めた。知床世界遺産海域管理計画に おいては 2005 年の世界遺産登録時に、法規制 ではなく漁民自身が季節禁漁区を自主的に拡 大した経緯を描き、漁家経営の聞き取り調査 を行い、漁獲量と漁獲高の統計から各魚種の 持続可能性を簡易的に分析するとともに (Matsuda et al 2009)、過去の減船・禁漁区設



図 1 北海道東部のエゾシカ個体数推定値(青い太線、その上下の青い細線はベイズ 法による 90%信頼区間、赤い太線とその上下の点線は最尤法による点推定値とその 90%信頼区間)。自然増加率を年21%と仮定した(Yamamura et al 2008)。棒グラフ は雌捕獲数の実績と点推定値の雌個体数の場合の自然増加数

定の経緯を踏まえて自主管理の有効性を社会 経済学的に分析した(Makino et al 2009)。

サンマの資源管理においては水産学者と経済 学者と共同で個体群動態モデルと魚価を決め る統計モデルを併用し、小型魚投棄の経営リ スクを評価した(Oyamada et al 2009)。マグロ 養殖の効率についてはオランダの生物学者と 共同で動的エネルギー計上モデルを用いた

(Jusup et al 2011)。外来アライグマ根絶事業 の合意形成については米国の社会心理学者と 共同でアンケート調査結果を分析した (Akiba et al 印刷中)。鉛の河川底生動物群集への生態 リスクについては東大の底生動物専門家と共 同し、室内毒性試験による環境基準の妥当性 を実際に高濃度に汚染された河川の生物群集 調査によって検討した (Iwasaki et al 2009,2011, 印刷中)。外来マングース根絶事業については、 個体群動態のほか環境経済学者と共同で費用 効果分析を行った(Kotani et al 2008,2009,2010)。被食者―捕食者系を用いて 海洋保護区の保全効果を最適制御理論を用い て解析した (Kar & Matsuda 2007a,2007b,2008)。 風力発電の鳥衝突リスク管理については、衝 突数をリスク評価するとともに、衝突数と個 体数に応じて稼働率を変えることで共存を図 る順応的リスク管理モデルを提案した(島 田 · 松田 2007; Sugimoto & Matsuda 2011)。

このほか、ブナの豊凶に関する性比を考慮 した新たな理論を提唱した(Akita & Matsuda 2010)。

3. 結果、考察

エゾシカ管理計画では抜本的な対策を取ら ねばシカが増え続けることが明らかになり、 Sharp Shooting と呼ばれる大量捕獲手法と捕 獲専門家の育成が全国的に展開される契機と なった。知床世界遺産の最深部である知床岬 でも2008年から大量捕獲が実施され、屋久島 世界遺産でも2010年から大量捕獲が始まっ た。滋賀県のカワウ漁業被害対策事業でも 2009年から空気銃によるSharp Shootingが実 施されている。これらはすべて松田が検討委 員として政策提案を行っている。

知床海域管理計画は、2005年の世界遺産登録時の経緯が「日本の沿岸漁業の共同管理」 の例として、国際コモンズ学会が2010年に選んだ世界の6つのインパクトストーリの一つ に選ばれた。法規制によらない地域共同体ベ ースの海洋保護区の有効性が広く世界に認識 され、DIVERSITAS科学委員としての松田の 提案などにより、愛知目標には「保護地域シ ステムやその他の効果的な地域をベースとす る手段」と自主的保護区に関する記述が書き 込まれた。

サンマの資源管理では小型魚が市場に出な くなると大型魚の魚価が下がるという日本の 市場の特殊性から、小型魚投棄を続けること がサンマ漁業の経営リスクにつながることを 明らかにした。この研究は日本水産学会英文 誌の 2009 年論文賞を受賞した。

外来種マングースについては、奄美大島に おいて罠日あたり捕獲数(CPUE)の低下ほど には個体数が減っていないことが示唆され、 根絶を目指す事業の経済性を問うた。この事 業はいずれ目標の見直しが必要になるだろう。

畜養クロマグロについては餌料からのエネ ルギー変換効率が低く、成長速度が餌量では なく水温に強く依存することを明らかにした。 これは、水産庁ならびに WWF ジャパンは小 型マグロを大量に捕獲する現在の漁業実態の 改善に取り組んでいることの根拠となる。

鉛の生態リスクについては、個体への影響

を評価した室内実験から定めた環境基準値よ りも2倍程度高濃度の河川でも当該生物群集 に有意な差が見られず、10倍以上高濃度の河 川では大きな影響が見られることを明らかに し、室内実験だけでなく野外調査による検証 の重要性が広く認識されるようになった。当 時 COE-RA だった主著者の岩崎博士は日本 水環境学会の若手奨励賞を受賞した。

風力発電についても、オジロワシやマガン の衝突リスクがゼロではないものの、衝突死 を定期的に調査発見することで、個体群に与 える影響を制御できることが認識されるよう になり、オオワシなど渡り鳥の通過拠点であ る宗谷岬に56基、マガンのねぐらと餌場の間 にある福井県あわら市に10基の風車を立て ることが合意された。

このほか、漁獲物による収益だけでなく、 調整サービスなども含めた生態系サービスの 持続的な利益最大化を意味する「最大持続生 態系サービス」という概念を提案するととも に(Matsuda et al 2008)、日本の漁獲物の平均 栄養段階(MTI)が1980年代のマイワシ豊漁 期を除いて世界平均より高く維持されている ことを示し、MTIが乱獲の指標として必ずし も適切ではないことを示した(Matsuda et al 2010)。この結果はCBD/COP10の環境省委員 会が出した「Japan Biodiversity Outlook」に紹 介され、その後 MTI という指標への批判が相 次ぐようになった。

4. まとめ、今後の展開

これらの研究を通じて、具体的事例に対す る生態リスク管理の有効性を示すとともに、 各事例に潜む新たな解を提案し、その知見を 科学的普遍的知識として体系化し、ほかの事 例に応用することができた。総合地球環境学 研究所プロジェクト(湯本・松田・矢原編2010)、 自然再生ハンドブック(日本生態学会編 2011)、 日本里山里海評価(国連大高等研編 2011)に おいて、エゾシカ管理を例とする野生動物の 順応的リスク管理、知床を例とする地域の事 情に合わせた合理的な解を提案する共同管理 の有効性を国際的にアピールすることができ た。今後、日本でますます深刻になる鳥獣害 問題、過疎化高齢化が進む地域での自然の恵 みを生かしたユネスコ MAB (人間と生物圏) 計画の推進などを通じて、アジア視点の生態 リスク管理の方法論を、日本各地の具体的成 功事例をもとに世界に提案していく予定であ る。

研究協力者

佐藤哲(長野大学教授)、牧野光琢(中央水研グル ープリーダー、元 21 世紀 COE フェロー)、佐々木 茂樹(本学産学連携研究員、元 GCOE-RA)、小谷浩 示(国際大学准教授、元 21 世紀 COE フェロー)、 岩崎雄一(東工大 JSPS-PD、元 GCOE-RA)、秋田鉄 也(総研大 PD、元 JSPS-DC)

主要な研究成果(太字は GCOE メンバー*、下線は横浜国大・国立環境研在籍者)

成果となる発表論文

<u>Akiba H</u>, Miller CA, <u>Matsuda H</u> (in press) Public attitudes and factors influencing preference for eradication project of raccoons in Kanagawa, JapanHuman Dimension of Wildlife :

Iwasaki Y, Kagaya T, Miyamato K, <u>Matsuda H</u> (in press) Responses of riverine macroinvertebrates to zinc in natural streams: implications for the water quality standardWater, Air, & Soil Pollution

Iwasaki Y, Kagaya T, Miyamato K, Matsuda H, Sakakibara M (2011) Effect of Zinc on Diversity of Riverine Benthic Macroinvertebrates: Estimation of Safe Concentration from Field DataEnv Toxicol Chem 30:2237-2243

Kotani K, Kakinaka M, Matsuda H (2011) Optimal invasive species management under multiple uncertaintiesMath

松田 裕之 5

Biosci 233:32-46

- Jusup M, Klanjscek T, Matsuda H, Kooijman SALM (2011) full lifecycle bioenergetic model for bluefin tunaPLoS ONE 6(7): e21903doi:10.1371/journal.pone.0021903
- Sugimoto H, Matsuda H (2011) Collision risk of White-fronted geese with wind turbinesOrnithological Science 10:61-71
- Kato N, Kotani K, Ueno S, Matsuda H (2010) Optimal risk management of Human alveolar echinococcosis with vermifugeJ Theor Biol 267: 265-271.
- Matsuda H, Makino M, Tomiyama M, Gelcich S, Castilla JC (2010) Fishery management in JapanEcol Res 25:899-907
- Kaji K, Saitoh T, Uno H, <u>Matsuda H</u>, Yamamura K (2010) Adaptive management of a Sika deer population in Hokkaido, Japan: theory and practicePopulation Ecology 52:373-387
- Kotani K, Kakinaka M, <u>Matsuda H</u> (2010) Adaptive management for eradication of exotic speciesPopulation Ecology 52:349-358

Akita T, Matsuda H (2010) Why do sex ratio dimorphisms exist in Quercus masting? Evolution of imperfect synchronous reproduction in Monoecious treesJ Theor Biol 264:223-236

佐々木茂樹・松田裕之 (2010) 外来哺乳類の捕獲努力配分手法と効果比較保全生態学研究 15:173-181.

- Kotani K, <u>Ishii H</u>, <u>Matsuda H</u>, Ikeda T (2009) Invasive species management in two-patch environments: Agricultural damage control in the raccoon (Procyon lotor) problem, Hokkaido, JapanPopulation Ecology 51:493-504
- <u>Matsuda H</u>, Makino M, Sakurai Y (2009) Development of adaptive marine ecosystem management and co-management plan in Shiretoko World Natural Heritage SiteBiol Cons 142:1937-1942
- Kotani K, Kakinaka M, <u>Matsuda H</u> (2009) Dynamic economic analysis on invasive species management: Some policy implications of catchability Mathematical bioscience 220:1-14
- Oyamada S, Ueno Y, Makino M, Kotani K, Matsuda H (2009) Bioeconomic assessment of size separators in Pacific saury fisheryFisheries Science 75: 273-283 Fisheries Science Article Award
- Makino M, <u>Matsuda H</u>, Sakurai Y (2009) Expanding Fisheries Co-management to Ecosystem-based management:case in the Shiretoko World Natural Heritage area, JapanMarine Policy 33:207-214
- <u>Iwasaki</u> <u>Y</u>, Kagaya T, Miyamoto K, <u>Matsuda H</u> (2009) Effects of heavy metals on riverine benthic macroinvertebrate assemblages with reference to potential food availability for drift-feeding fishesEnvironmental Toxicology and Chemistry 28:354-363
- <u>岩崎雄</u>・加賀谷隆・宮本健一・<u>松田裕之</u> (2009) 鉱山廃水処理水流入後の河川底生動物群集の変化:生野銀 山における事例水環境学会誌 32:325-329
- <u>Matsuda H</u>, Makino M, Kotani K (2008) Optimal fishing policies that maximize sustainable ecosystem services (KTsukamoto, TKawamura, TTakeuchi, TDBeard, Jrand MJKaiser, eds.) Fisheries for Global Welfare and Environment, 5th World Fisheries Congress 2008, Terrapub, Tokyo 359-369:
- Kotani K, Kakinaka M, <u>Matsuda H</u> (2008) Optimal escapement levels on renewable resource management under process uncertainty: Some implications of convex unit harvest costEnvironmental Economics and Policy Studies 9:107-118
- Yamamura K, <u>Matsuda H</u>, Yokomizo H, Kaji K, Uno H, Tamada K, Kurumada T, Saitoh T, Hirakawa H (2008) Harvest-based Bayesian estimation of sika deer populations using state-space modelsPopulation Ecology 50:131-144
- Kar TK, Matsuda H (2008) Bioeconomic Model of a Single-Species Fishery with a Marine ReserveJournal of Environmental Management 86:171-180
- 保高徹生・松田裕之・牧野光琢 (2008) 日本におけるブラウンフィールド発生確率の推定環境科学会誌 21:291-306.
- Kar TK, Matsuda H (2007) Sustainable management of a fishery with a strong Allee effectTrends in Applied Science Research 2:271-283

<u>Kar TK</u>, <u>Matsuda H</u> (2007) Regulation of a multi-fleet fisheryResearch Journal of Environmental Sciences 1:93-101 <u>島田泰夫</u>・松田裕之 (2007) 風力発電事業における鳥類衝突リスク管理モデル保全生態学研究 12:124-142.

松田裕之・西川伸吾 (2007) 自然再生事業における十の助言と八つの戒め日本ベントス学会誌 62:93-97.

関連著書等

日本生態学会編、矢原徹一・竹門康弘・松田裕之・西廣淳監修(2011) 自然再生ハンドブック地人書館.

- 湯本貴和・<u>松田裕之</u>・矢原徹一編(2011)『環境史とは何か(シリーズ「日本列島の三万五千年-人と自然の環境 史」」文一総合出版.310 頁
- 仲岡雅裕・松田裕之(2011) 将来と行政政策小路淳・堀正和・山下洋編『浅海域の生態系サービス』恒星社厚生 閣.129-143.
- <u>松田裕之(2011)</u>生態学から見た「賢明な利用」湯本貴和・松田裕之・矢原徹一編『環境史とは何か』.シリーズ「日本列島の三万五千年-人と自然の環境史1」文一総合出版.
- 里山里海評価(松田裕之・林直樹ほか)(2010) 里山・里海の生態系と人間の福利:日本の社会生態学的生産ラン

ドスケープー概要版一国連大学 1-36.

- <u>松田裕之(2010)</u>国際的に見た里地・里山の位相中村浩二・嘉田良平編『里山復権-能登からの発信』創森社 38-54.
- 松田裕之(2010) 生物資源の持続的管理 現代生物科学 第6巻「地球環境と保全生物学」岩波書店.113-141.
- <u>松田裕之</u>・森光代(2009) 個体群から群集へ:新たな漁業管理の視点『群集生態学 第6巻新たな保全と管理を考 える』(近藤倫生・大串隆之・椿宜高編)京大出版 1-26.
- <u>松田裕之(2009)</u>予防から危険へ-生態リスク管理と予防原則をめぐって鬼頭秀一・福永真弓編「環境倫理学」東 大出版会 240-254.
- <u>松田裕之</u>・<u>井嶋浩貴</u>(2009) エコロジカルフットプリントとミレニアム生態系評価林希一郎編『生物多様性・生態系の 経済の基礎知識』中央法規出版 124-146.
- <u>松田裕之・佐々木茂樹(2009)</u>2章 順応的管理の理念と生態系管理の課題瀬戸雅文編『市民参加による浅場の 順応的管理』、日本水産学会監修水産学シリーズ 162、恒星社厚生閣 33-45.
- 松田裕之(2009) V.5 海の生命の繁栄と絶滅海洋生命系のダイナミクス第5巻『海と生命-「海の生命観」を求めて』 東海大学出版会 436-447.
- <u>松田裕之(2009)</u> サンマはいつまで豊漁か?漁獲量の変動と環境にやさしい漁業の未来エコロジー講座2「生きものの数の不思議を解き明かす」(日本生態学会編、島田卓哉・齊藤隆責任編集)文一総合出版 58-69.
- <u>松田裕之(2008)</u> なぜ生態系を守るのか?環境問題への科学的な処方箋やりなおしサイエンス講座 NTT 出版 212 頁.

松田裕之(2008) 生態リスク学入門ー予防的順応的管理ー共立出版 213 頁.

浦野絋平・松田裕之編著(2007) 生態環境リスクマネジメントオーム社.209 頁

- <u>松田裕之(2008)</u> 生物個体群の絶滅リスク瀬野裕美編 数理生物学要論第 1 巻『「数」の数理生物学』共立出版 181-193
- <u>松田裕之(2008)</u> 国際捕鯨委員会(IWC)と知床世界遺産における科学委員会の役割 松永澄夫編『環境―文化と 政策』東信堂 185-204.
- <u>松田裕之(2007)</u> 第2章生態リスク評価シリーズ「リスク学への招待」第5巻「科学技術とリスク」(益永茂樹編) 岩波書店 23-41.
- <u>松田裕之(2007)</u> イースター島から学ぶこと山本良一企画監修 Think the Earth Project 編著「いきものがたり 生物 多様性 11 の話」ダイアモンド社 32-33.

新聞記事、TV出演

匿名: 「放射線リスク」は自分で計算できる、日経ビジネス 2011 年 9 月 12 日

- 中島健:保全と両立、先進地が助言,朝日新聞宮崎版 2011 年 5 月 22 日
- 匿名:「綾町世界の見本に」エコパーク登録へ弾み、宮崎日日新聞 2011 年5月22日

伊藤美穂:沿岸漁業資源管理に活路-函館で大沼湖畔塾講演会,北海道新聞道南版夕刊 2011 年 1 月 31 日

匿名:大沼湖畔塾 漁業の可能性説く 横浜国立大学教授が講演,函館新聞 2011 年1月28日

松田裕之: 国連地球生きもの会議,朝日小学生新聞 2010年11月2日

匿名: News Commentary - Angle "IWC", NHK Radio Japan2010 年 6 月 18 日

匿名: 生物圏保存登録で活性化を, 山梨日日新聞 2010年2月15日

(録音出演): News Commentary - Angle "Can the Decline of Atlantic Bluefin Tuna be Halted", NHK Radio Japan2009 年 11 月 16 日

Hiroyuki Koshoji: Rethinking Japan's whaling practices, UPI Asia 2009 年 2 月 6 日

匿名:温暖化から白神守れ 鯵ヶ沢でシンポ,東奥日報朝刊 2008 年7月1日

松田裕之:水産資源・持続&利用<連載08クジラ編>,水産経済新聞1面 私の視点2008年5月22日

(録音出演):予防原則と生物多様性保全の現状, ラジオ NIKKEI 三色旗-慶応義塾の時間-入門講座 22:00-22:30, 2008 年 2 月 26 日

(ビデオ出演) 絶滅危惧種, テレビ東京 ケンちゃんの晩めし前 17:25-17:302007年11月14日

(スタジオ出演)魚が消える? 環境にやさしい漁業をめざす, NHK クローズアップ現代 19:30-20:002007 年 7 月 23 日

(出演)風と生き物のシンポジウム・パネル討論,あわら市ケーブルテレビ 2007 年7月

東南アジアで拡がる食のリスクとその要因

Study on the Expansion of Food and Health Risks in Southeast Asia

報告者:嘉田 良平 Ryohei KADA

本研究は、横浜国立大学、総合地球環境学研究所、フィリピン大学を中心とする国際共同 研究チームにより、東南アジア諸国で拡がりつつある生態リスクが食料供給と食品安全・ 健康面にどのような影響を及ぼすのかについて実証的に解明しようとするものである。具 体的には、フィリピン・ラグナ湖周辺地域を対象として、①湖の魚貝類に蓄積されている 重金属の生物濃縮の実態と健康リスクへの影響;②農地への化学資材の長期多投入による 生態系の劣化と食料供給への影響、③土地改変による地下水位の低下、水質汚染の影響調 査という3項目を中心に、実態調査に基づく学際的な実証研究を行った。予備調査段階で の主な調査結果は以下の通りである。(1)魚肉に蓄積された重金属分析より、銅、クロ ム、カドミウム、ヒ素、水銀などの重金属についてほとんどすべてのサンプルから存在が 確認され、うち一部では許容基準値を上回っていることが確認された。(2)ラグナ湖お よび流入河川の詳細な水質マッピングにより、集水域における元素濃度分布の特徴を検討 した結果、都市部の河川では鉛・カドミウムなどの重金属元素濃度が高いなど土地利用の 変化の影響がきわめて大きいことが認められた。(3)近年の洪水の多発、湖辺不法居住 地域での感染症の拡大などは、地域住民の所得減少をもたらすとともに、食リスク拡大の 大きな要因となっていることが指摘された。

Based on an international research project, mainly organized by Research Institute for Humanity and Nature, Yokohama National University and the University of the Philippines, an empirical research was conducted on food and health risks in the Philippines. The major outputs of this joint research can be summarized as follows: (1) heavy metals contained in lake fish such as lead, chromium, cadmium, and mercury have been found in concentrations exceeding the prescribed safe levels in the lake water column; (2) while heavy metals are a concern, it only represents one component of total water pollutants. The bulk of the pollutants are found to mainly belong to human waste. In this light, the realm of infectious diseases, particularly that which causes water-borne illnesses is of great importance; and (3) the continuing degradation of the terrestrial and aquatic resources has led to reduction of their current resource base. The combined effects of both environment and human types of risks have led to the reduction of household income, food insecurity and health deterioration of the inhabitants in the area.

1. はじめに

食料問題は環境問題とならんで、21 世紀前半における人類の最重要課題とさ れる。しかし近年、アジア農業・漁業の 現場では、生態系の劣化・破壊、水質汚 染、洪水の多発などさまざまな異変が起 きている。その主な原因は異常気象の影 響を含めて、人口増加、都市化の進展、 土地改変などにあるが、本研究では、そ の過程で生じているさまざまな「食と農 のリスク」、つまり食料あるいは農水産 業を起源とする疾病や感染症その他の健 康問題、貧困による栄養失調などに注目 する。いずれも、アジア諸国における持 続可能な社会発展にとって不可避の重要 課題であり、問題解決が迫られている。

2. 研究目的

この研究の目的は、フィリピン・ラグ ナ湖周辺地域を調査対象として、化学 的・物理的・生物的な諸側面にまたがる 生態リスクの実態とその影響、とくに 人々の食生活や人体の健康面に及ぼす影 響を解明することによって、集水域・流 域圏を対象とする統合的なリスク管理の 方向性を明らかにすることである。具体 的には、①湖の魚貝類に蓄積されている 重金属の生物濃縮の実態と健康リスクへ の影響;②農地への化学資材の長期多投 入による生態系の劣化と食料供給への影 響、③土地改変による地下水位の低下、 水質汚染の影響調査という3項目を中心 に、学際的な調査研究を行う。その前提 として、主要4類型からなる生態系サー ビス(供給・調整・文化・基盤)の長期 動態的な変化についても把握する。

本研究の目的は、われわれの食卓がい かに身近な生態環境に支えられているの かを明らかにすること、すなわち、食品 安全・健康という人間の福利(human well-being)がいかに上流域の身近な環境 あるいは生態系と深くつながっているの かを科学的・定量的に解明することであ る。そのために自然・環境科学、医学(公 衆衛生学)、人文社会科学を学際的にリ ンクさせて、食リスク拡大のメカニズム の究明および持続可能な資源利用の解明 をめざす。つまり、≪生態系ー農漁業生 産ー食生活ー人の健康≫という上流・下 流関係性の中からいくつかの重要な「食 リスク」を抽出し、学際的に分析を試み る点にある。

3. 研究方法

調査対象として、生態系の劣化が著し いフィリピン・ルソン島南部のラグナ湖 (Laguna de Bay)周辺地域を取り上げ、そ の中から①純農村地域(Victoria村)、② 都市化進行地域(Los Banos町)、③都市 化地域(Sta Rosa市)に該当する3地域 を選び、それぞれ流域圏を単位とする生 態リスクの実態調査を実施し、地域間比 較を試みる。そのために、①環境リスク 分析班、②生態系劣化評価班、③社会経 済評価班、④健康影響評価班という5チ ームを編成して、文献レビューを行うと ともに、現地フィールドワークをベース とする予備調査・分析を行った。

この調査研究では主に総合地球環境学 研究所、横浜国立大学、フィリピン大学 による学際的かつ国際的な共同研究チー ムを編成して調査分析を行っている。現 地では、フィリピン大学医学部(Manila 校)、同農学部(Los Banos校)、および ラグナ湖開発公社(LLDA)の研究機関等 と連携して、生態リスクの拡大と環境・ 健康影響との関係に関わる現地実態調査 を行う。とくに地域住民の栄養・健康・ 疾病の状態について面接調査を行うとと もに、上記3地域間の比較を試みて、リ スクの発生源と汚染物質の特定化、汚染 ルートの解明等を行うこととなった。そ の際、地域住民参加型の調査およびモニ タリング・システムの構築を試み、その 有効性について検証することとした。

4. 本研究成果の成果・考察・今後の 課題

現地調査・分析(2010年7月~2011年8 月)は主に次の3項目に焦点を絞った。① 集水域3地点における予備的な栄養・健康 基礎調査、および資源・環境基礎調査を 実施した。②GISを用いた土地被覆・土地 利用変化、食リスクに関する分析手法を 検討して、集落別の災害・食リスク地図 を作成した。③ラグナ湖の魚貝類におけ る重金属(水銀、鉛他)の雨期・乾期別 の濃度測定、生物濃縮に関する予備調査 を実施した。

これまでに明らかとなった点、今後と くに解明すべき点は以下のとおりである。 (1)湖内環境における重金属の汚染に ついて、5種類の魚種を対象とした湖内全 域からのサンプルの分析によって、汚染 の度合いと地域差について予備的な解析 を試みました。その結果、銅、クロム、 カドミウム、ヒ素、水銀などの重金属に ついてはほとんどすべてのサンプルから 存在が確認され、うち一部では許容基準 値を上回っていることが確認された。(平 成23年11月現在、さらに詳細な分析を試 みている。)

(2)一般的には、家庭から投棄される 生ゴミ、汚濁物質、廃棄物等による直接・ 間接の湖の汚染がさらに重要かつ深刻で あると推察される。さらに、近年の洪水 の多発、湖辺不法居住地域での感染症の 拡大なども地域住民への食リスクを拡大 する大きな要因となっていることが指摘 される。

(3)重点調査地域であるSta Rosa集水 域において、10集落の区長および集落保 健員等へのインタビューによって、食品 安全性および感染症に対する脆弱性・リ スクレベルを評価し、GIS災害リスク地図 を作成した。今回は急速に都市開発が進 展している地域が対象であるが、今後、 洪水被害、地下水の水位と水質、河川環 境の変化、土砂流出等の調査と、他の地 域との地域間比較を試みる予定である。

5. 主な研究成果

1. 論文

- <u>Kada, R</u>., Ranola R.F.J., Tan J.Z.G. (2011) Impacts of ecological risks on food and health security in Laguna Lake Watersheds. 11th ISSAAS Philippine National and International Forum. Environmental Conservation, Food Security and Health Risk Eradication. Journal of Scientific Paper Abstract. 1 (1) 2-7.
- 2) <u>Saito, S</u> et al. (in press, published online Sept. 2011) Petrogenesis of the Kaikomagatake granitoid pluton in the Izu Collision Zone, central Japan: implications for transformation of juvenile oceanic arc into mature continental crust. Contributions to Mineralogy and Petrology, DOI: 10.1007/s00410-011-0689-1

- 3) Yaota K. <u>R. Kada</u>, et al. (2011) The construction of Spatial data map as a tool for linking Environmental risk to food and health security in Laguna Lake Watersheds. 11th ISSAAS Philippine National and International Forum Proceeding. Pampanga, Philippines, October 2011.
- 4) Razafindrabe B.H.N., <u>R. Kada</u> (2011) Understanding flood resilience in the Laguna Lake Region, Philippines. 14th World Lakes Conference. Austin, Texas, USA.
- 5) R. Kada, et al, (2011) "Empirical Analysis of Food and Health Risk Expansion in the Philippines" Proceedings of the 12rth Spring Conference, Japan Society for International Development (「国際開発学会 12 回春季大会報告論文集」pp.231-240)

<u>2. 関連著</u>書等

- ・中村浩二・嘉田良平編(2010)『里山復権~能登からの発信~』(創森社)
- ・湯本貴和、<u>嘉田良平</u>他(2010)「里山・里海の変化はなぜ問題なのか」、環境省『里山・ 里海の生態系と人間の福利』(概要版) pp. 16-27
- ・<u>嘉田良平</u>(2011)「自然エネルギー利用で被災地農畜産業の早期復興を~復興への道筋と 将来の農業生産に向けての提案~」『畜産コンサルタント』vol. 47, no. 564, pp. 16-20
- ・佐土原聡・小池文人・<u>嘉田良平</u>・佐藤裕一編(2011)『里山創生~神奈川・横浜の挑戦~』 (創森社)
- 3. 新聞その他
- ・<u>嘉田良平</u>「足柄茶問題=安全対策の徹底を=」神奈川新聞、Newsを読む、2011年6月6日
- ・嘉田良平「コメ全量検査体制の構築を」京都新聞(論壇)2011年8月23日
- ・<u>嘉田良平</u>TV(京都テレビ)スタジオ出演・コメンテータ:「食と健康一蛤御門市場シリーズー」2011年11月12日、同11月19日(12:00-13:00)

生物群集の機能形質に基づく生態系影響評価手法に関する研究

A method of ecosystem risk assessment based on the trait-based approach using functional traits of composite species in communities

報告者:田中嘉成 Yoshinari Tanaka

気候変動、富栄養化、化学汚染などの環境かく乱要因による生態系機能の応答を評価・予測する 手法として、生物の機能形質の分布変化に着目する形質ベース解析を開発した。数理生態学的な アプローチによって、環境変化による生物群集内の機能形質の分布変化を定式化し、種間相互作 用や種多様性(種数)の形質動態との関係を明らかにした。得られた解析手法に基づいて、霞ヶ 浦における動物プランクトン群集の長期変動と、水温および水質との関係を解析した。その結果、 動物プランクトン群集は、水温の年次変動に応じて敏感に反応していること、しかし、種の水温 適合性を決める機能形質と生態系機能を左右する形質(転換効率)との線形関係がなく、水温変 動に対する生態系機能の反応は明確でなかった。動物プランクトン群集の摂食ニッチ(餌のサイ ズ)と転換効率は長期的に強く共変動しており、植物プランクトン群集の変動が動物プランクト ン種構成変化を介する生態系機能の低下の主要因であることが推測された。このような、形質ベ ースの群集解析は、生物多様性情報や環境因子に関する時系列もしくは空間データの解析による、 生態系リスク要因の抽出への応用性が期待される。

We have developed a method to evaluate and predict the impact of environmental factors such as the climatic change, the eutrophication and the chemical pollution to functions of ecosystems on the basis of responses in functional traits of composite species in communities to the environmental drivers. The mathematical modeling approach has revealed how the mean trait values in a communitychanges in response to changes in environmental factors, and how these responses are associated with interspecific interaction and the species richness. The derived theoretical approach was applied to the long-term monitoring data of the freshwater zooplankton community and physical and chemical water quality measures in Lake Kasumigaura (1985-2005). The results indicated that the zooplankton community had been responding sensitively to changes in water temperature across years. However, due to lack of any linear association between the trait responsible to the temperature change (the rangeof suitable temperature of zooplankton) and the trait (the conversion coefficient) that was important for the ecosystem process (trophic transfer across trophic levels), systematic responses of the ecosystem process to temperature were not clearly demonstrated. The trait that was important for feeding niche of zooplankton (the medium size of food) exhibited strong co-variability with the conversion coefficient of zooplankton, implying that changes in the phytoplankton community played an important role in affecting the zooplankton community and reducing the ecosystem function of the lake. The research project as a whole has indicated that the trait-based approach is effective in identifying ecosystem risk factors based on information of biodiversity and environmental factors in long-term bio-monitoring data.

1. はじめに

環境かく乱要因の自然生態系への影響を評 価することを目的とする生態リスク評価は、 二つの技術的な難題に直面する。その一つは、 生態系のかく乱は、気候変動(地球温暖化な ど)、生息地の破壊、外来生物の侵入、化学物 質汚染や富栄養化など、異なる要因によって 引き起こされ、その相対的な重要性や、それ らの要因間の相互作用を明らかにすることは 容易でないという点である。また、「生態系へ の影響」を評価する指標として、何を最終的 な評価基準(種多様性、生態系サービス機能 など)とするか明確に定義することが困難と いう点である。

本研究では、これらの問題に取り組む有効 なアプローチの一つとして近年注目されてい る、生物種の機能形質に基づく解析手法(形 質ベースアプローチ; Norberg et al. 2001; McGill et al. 2006)に焦点を当て、数理モデル と野外モニタリングデータの解析法に関して 実施した研究成果を報告する。

2. 解析手法・結果および考察

形質ベース生態リスク評価の枠組み

「形質(trait)」とは、個体として測定可能な 生物の属性のことである(trait を「特性」と 訳す場合もある)。このうち、生態系機能や生 物の環境適応を左右する形質を特に「機能形 質」「生態的形質(特性)」などと言う。形質 ベースアプローチでは生物群集の属性を、特 定の形質の種間平均値(種ごとの相対個体数 やバイオマス頻度が有効な場合は、個体数も しくはバイオマス加重平均)としてまとめ、 解析の対象とする。

形質ベースの生態リスク評価のシナリオは、 一般的に、図1に示した環境変化と生態系応 答のシナリオに基づいている。



図1. 形質ベースアプローチによる環境かく乱 要因に対する生態系影響評価のスキーム.

温暖化や化学汚染など人為的環境かく乱要因 を含む環境駆動因が変化したとき、それらの 環境因子に対する種の適応性を決める形質 (反応形質:最適温度、汚濁耐性、化学物質 耐性、草本などの草食動物による摂食耐性な ど)に基づいて群集の種構成が変化する(図 2)。生態系の機能に寄与する形質(効果形質) が反応形質と種間で相関していれば、反応形 質の変化の結果、効果形質の群集平均値も変 化し、その結果、生態系過程が変化し、サー ビス機能が応答する(Lavorel and Garnier 2002)。形質ベースの解析は、これらの機能 形質の群集内変化を環境駆動因と関連付ける ことによって、環境駆動因の相対的重要性を 評価することを試みる。

環境変化に対する群集の形質応答

ただし、生物群集においては、資源競争や 被食-捕食関係などの種間相互作用によって 種の相対的頻度は左右されており、群集内の 形質応答も種間相互作用や種多様度(種数) に影響を受けるかもしれない。



図 2. 資源競争群集が資源の分布変化(環境変化)に対する機能形質 分布変化の模式図. 資源分布の変化に応じて、種の相対的頻度が変化 し、群集における形質分布(ギルド形質分布 Guild character distribution)が応答する.

そこで、環境変化に対する群集の形質応答 が種間相互作用によってどう影響されるかを 明らかにするために、ロトカボルテラモデル に基づく資源競争モデルによって、群集形質 変化の解析を行った。その結果、群集内の平 均形質値の環境変化に対する応答に関して、 近似的な解析解が得られ、種数が十分に多い とき、種数と種間競争の強さはほとんど形質 応答に影響しないことがわかった(Tanaka and Yoshino 2009; Tanaka in press)。これら の結果は、モデル競争群集を使った数値シミ ュレーション(図3)によっても確認された。 これらの結論は、種形質に基づく機能群(同 様の生態系機能を担う生物種群)の記述が、 種数や種間相互作用に左右されずに利用しう ることを意味する。

また、これらの研究は、形質が複数含まれ るときは、形質間の共分散(相関)が各形質 の群集内平均値の変化を左右するので、環境 変化に対する生態系機能の応答を評価するた めには、生態系機能を担う機能効果形質と、 環境変化に対する種の増減を左右する機能反 応形質との共分散が重要な指標となることを 示した。



図 3. 仮想的な資源競争群集における群集内平均形質値の環境変 化に対する応答と種数(上図)および形質のレンジ(群集内にお ける種形質の最大値と最小値の差,下図)との関係.

重要な機能形質は何か? 湖沼生熊系を例に 形質ベースの生態系影響評価を試みる際、 生態系機能として何に着目し、その生態系機 能に大きな影響を与える機能形質は何である かを把握することが必要である(Violle et al. 2007)。たとえば、生態系の生産性が重要な 草本生態系では、植物による1次生産性が生 態系機能として取り上げられてきた。しかし、 湖沼生熊系の機能や健全性にとっては、植物 プランクトンによる1次生産性のみでは不十 分なので、生産者(植物プランクトン)が生 産したバイオマス(に含まれる栄養素)が1 次消費者(草食者)を介して捕食者にまで転 移される効率(栄養段階間栄養転移効率:TTE, trophic transfer efficiency) に着目した (Tanaka and Mano 未発表)。

簡単な群集生態学モデル(3栄養段階ロト

カボルテラモデル)によって、どの栄養段階 のどの特性がTTEに寄与するかを調べた。そ の結果、1次消費者の動物プランクトン群集 の転換効率(摂食した餌のバイオマスに対す る増殖に寄与したバイオマスの比率、生態効 率とも言う)、最大摂食率、捕食耐性が重要な こと、1次消費者の転換効率とTTEの関係は、 生態系の状態(栄養塩の負荷量と捕食者の密 度が高く、1次消費者のバイオマスがトップ ダウン効果でコントロールされているか、逆 に、栄養塩の負荷量と捕食者の密度が低く、1 次消費者のバイオマスがボトムアップ効果で コントロールされているか)による違いはな いが、その他の特性は、生態系の状態によっ て関係が逆転することが示唆された(図4)。

長期モニタリングデータへの適用:霞ヶ浦動 物プランクトン群集

以上の数理モデルの研究の結果、すなわち、 機能形質の群集平均値は環境駆動因の変動を 反映するが、形質間の共分散の効果を補正す べきこと、湖沼生態系の栄養段階間栄養転移 効率にとって、1次消費者の転換効率が重要 であることに基づき、霞ケ浦でほぼ毎月過去 30年あまり継続されてきた長期モニタリン グデータ



図 4-1.3栄養段階群集モデルにおける1次消費者(動物プランク トン)の最大摂食率(maximum grazing rate)と栄養段階間栄養 転移効率の関係.数値は、栄養塩食荷量の相対値および最上位捕 食者の相対的密度を示す(数値が高いほど富栄養で魚の多い湖沼 であることを示す).



図 4-2.3栄養段階群集モデルにおける1次消費者(動物プラ ンクトン)の転換効率(conversion coefficient)と栄養段階間 栄養転移効率の関係、数値は、栄養塩負荷量の相対値および最 上位補食者の相対的密度を示す(数値が高いほど富栄養で魚の 多い湖沼であることを示す).

(http://db.cger.nies.go.jp/gem/inter/GEMS/d atabase/kasumi/index.html) に対して、形質 ベースの解析を行い、重要な環境要因の抽出 を試みた。

解析した機能形質は、動物プランクトン種 の生態効率、最適水温、水温レンジ(種が出 現する時期の水温の幅)、汚水耐性(腐水生物 学的に推定された種の腐水値)、化学耐性(殺 虫剤カルバリルに対する急性毒性値 [log µg/L])、餌サイズ(最大餌サイズと最小餌サ イズの中間値)、体サイズ(乾燥重量)である。 霞ケ浦に生息する主要な動物プランクトン種 について、これらの機能形質を文献もしくは 室内実験によって推定した。以上の7形質の うち、生態効率は生態系機能と関係する機能 効果形質、その他の形質は環境要因に対する 種の反応性(増殖するか消失するか)を決め る機能反応形質とした。

環境要因としては、物理化学的測定項目に含 まれている水温および水質(透明度 Tr、水素 イオン濃度 pH、溶存酸素 DO、導電率 EC、化 学的酸素要求量 COD、クロロフィル濃度 Chla、 懸濁物質濃度 SS、粒子状有機炭素濃度 POC、 粒子状有機窒素濃度 PON、全リン TP、アンモ ニア態窒素 N-NH4、硝酸・亜硝酸態窒素 N-NO2/NO3、溶存無機窒素 DIN)とした。水 質は時系列データに対して主成分分析を行い、 4つの独立な主成分に抽出し、環境因子とし た。4主成分の解釈は次のとおりである。水 質因子1(PC1):粒子状有機物,クロロフ ィル密度と溶存態無機塩類の相対的な比率、 水質因子2(PC2):全リン,全窒素,溶存 有機物,クロロフィルと正に相関する一般的 な富栄養化の因子、水質因子3(PC3):ア ンモニア態窒素と亜硝酸・硝酸態窒素の比率 を決定する因子、水質因子4(PC4):SSと 全リン,透明度と強く相関する因子(底泥の 巻き上げ因子)。

水温に関しては、年周期を示すので、年最 高・最低水温、水温ピーク日の3パラメータ からなる正弦関数を一般非線形回帰によって 観測データに適合させた。年平均水温は年次 変動が大きいものの、1980年から2006年に かけて年あたり約 0.027℃の上昇傾向にあっ た。

動物プランクトン群集の種組成は、夏季と 冬から春にかけての期間と異なり、影響を与 える環境要因も異なるかもしれないので、水 温がピークを迎える8月初旬を基準として、5 月から10月を夏季、11月から4月までを冬 季として1年を二分し、機能形質および環境 要因のデータをそれぞれの期間内でまとめ、 年次変動を夏と冬に分けて解析した。本稿で は紙数の都合上、冬の解析結果のみを記す。

生態系機能にとって重要と考えられる転換 効率(生態効率)の群集平均値は、1985年頃 に大幅に増加したが、その後は漸減傾向が続 いている。1980年台の転換効率の増加は、体 サイズが大きく、餌のサイズとレンジが大き い大型枝角目動物プランクトン(Daphnia 属) が卓越したことが大きな要因と考えられる。

機能形質と環境因子の時系列変動解析

一般的に、2つの時系列データ間の変動が 同調しているかどうかに基づいて因果関係を 推測するためには、長期的なトレンドを比較 するだけでは不十分で、時系列データの波形 が類似しているかどうかを検出する必要があ る。そのための有効な解析法として、フーリ エ解析を非定常的な変動解析に適用できるよ うに改良したウェーブレット解析が、生態学 データの解析ツールとして使われるようにな っている。本研究では、動物プランクトンの 機能形質間、および機能形質と環境因子間の 相関関係を推定するために、形質および環境 因子時系列に対してウェーブレット解析を行 った。

ウェーブレット解析は、ある時点を前後に 急速に減衰する周期関数を使って時系列デー タを各時点および周期のスケールごとに変数 変換(ウェーブレット変換)することによっ て、データの周期的な変動の大きさを時点ご とに評価する。2 つの時系列データのウェー ブレット変換間の相関は、2 つのデータの時 間変動が同調している程度を表す。

動物プランクトン群集の水温レンジと年間 最低水温は、2 年遅れで同調する傾向がグラ フから見てとることができる(図5)。このデ ータに、ウェーブレット解析を行った結果、 位相が2年ずらした場合に、ウェーブレット 変換値間の相関係数が最大値(0.6)となった。



図 5. 冬季の最低水温と動物プランクトン群集にお ける水温レンジ(出現が確認された日の水温のレン ジ)の年次変動を示す.動物プランクトンンの水温 レンジは2年遅れで表示してある.

機能形質と環境要因の共変動のパターン

同じ解析によって推定した環境要因と動物 プランクトン群集の機能形質の年次変動の相 関行列を表1に示す。生態効率(転換効率) と高い相関のある環境因子は検出されず、水 温や水質の影響が動物プランクトン群集の生 態効率に影響を直接与えている証拠は得られ なかった。また、水温(最低水温)は、水温 レンジ(TR)と汚水耐性(SI)と高い相関が あり、動物プランクトン群集の種組成は水温 に反応して変化していることが示されたが、 これらの形質は生態効率との相関が低く、そ の結果、水温は生態効率の変動には寄与しな いと推察された。また、水質因子のうち、長 期的な増加傾向が見られた水質因子4は、水 温レンジと化学物質耐性と比較的高い共変動 性があったが、これらの形質は生態効率に対 する寄与が低いので、水質因子も生態効率を 大きく変動させる要因ではないと考えられる。

一方、生態効率は、体サイズ(BM)、最適 水温(OT)、汚水耐性(SI)、餌サイズ(MF) と高く相関した。また、これらの機能形質間 において、餌サイズは他の形質(体サイズ、 最適水温、汚水耐性)と同様に相関し、餌サ イズの変動が生態効率の変動に大きく寄与し ていることが示唆された。 表1.霞ヶ浦における動物プランクトンの機能形質と水温・水質間の相関行列.

| | 最低水温 | 水 寬1 | 水寬 2 | 水 寬4 | 生態効率 | 体サイズ | 后市村 | 水温レンジ | 污水耐性 | 化等制性 |
|-------------|--------|-------------|-------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Tmin | NL1 | NL2 | NL4 | EE | BM | OT | TR | SI | TL |
| NL1 | -0_318 | | | | | | | | | |
| NL2 | 0.259 | 0.020 | | 環境要因闘の相関 | | | | | | |
| NL4 | -0.025 | -0.030 | -0.091 |) | | | | | | |
| EE | 0.142 | -0.014 | -0.060 | -0.118 | | | | | | |
| BM | 0.080 | -0.040 | -0.124 | 0.136 | 0.423 | | 形質闘の相関 | | | |
| 01 | -0.203 | -0.082 | -0.341 | 0.214 | -0.619 | -0_303 | | | | |
| TR | 0_603 | 0_429 | 0_319 | -0.260 | -0.097 | -0.112 | -0.246 | | | |
| SI | 0.257 | -0.108 | 0.148 | -0. 175 | 0.759 | 0.226 | -0.751 | 0.149 | | |
| TL | -0.097 | 0.484 | -0.077 | -0.260 | -0.135 | -0.024 | -0.028 | 0.177 | -0.394 | |
| MF 興サイズ) | 0.271 | -0.130 | -0.024 | -0.161 | 0.888 | 0.468 | -0_731 | -0.045 | 0.800 | -0.275 |

形質と環境要因の相関



図 6. 霞ヶ浦における動物プランクトンの機能形質と水温・水質の年次変 動から推定された変数間の因果関係、数値は共分散構造解析(経路解析) から得られた係数値で、矢印で結ばれた2変数間以外の変数間の相関によ る間接効果を除外した変数間の共変動性を示す.

機能形質および環境因子間の相関の影響を 除外した因果関係をより明確にするために、 経路解析(共分散構造解析)を行った(図 6 参照)。その結果、生態機能(栄養段階間栄養 転移効率)に最も寄与する機能形質は餌サイ ズであり、環境因子(水温)の影響を最も受 ける反応形質は水温レンジであった。生態効 率と共変動する汚水耐性と水質因子との共変 動性が明確でなく、水温レンジの生態効率へ の寄与も低いことから、水温および水質の生 態系機能への影響は明確でなかった。動物プ ランクトン群集の平均餌サイズと生態効率と の関係が最も重要であり、動物プランクトン の摂食ニッチに基づく種構成変化が、1985年 から 2005 年にかけての生態効率の低下の主 要因であったことが示唆された。

3. まとめと今後の展開

生物群集の環境変化に対する応答を、機能 形質の分布変化として解析する手法を,数理 モデルとデータ解析の両面から研究した。数 理モデルの研究では、生物群集内の機能形質 の分布が、種間相互作用や種数の影響をあま り受けず、環境要因の変化に敏感に反応しう ること、生態系機能の変化が種の機能形質の 分布変化から推測しうることが示唆された。

文献

Lavorel S, Garnier E (2002) Predicting the effects of environmental changes on plant community composition and ecosystem functioning: revisiting the Holy Grail. Functional Ecology 16:545-556.

Tanaka, Y. Trait response in communities to environmental change: Effect of interspecific competition and trait covariance structure. Theoretical Ecology (in press)

Tanaka, Y. and Yoshino, M. 2009.Predicting the phenotypic response of resource-competing

communities to environmental change. Journal of theoretical Biology257: 627-641.

Tanaka, Y. and Mano, H. Functional traits of herbivores and the food chain efficiency in a simple model ecosystem. Hydrobiologia (submitted)

McGill BJ, Enquist BJ, Weiher E, Westoby M (2006) Rebuilding community ecology 霞ヶ浦長期モニタリングデータに対する動物 プランクトンと水温・水質の形質ベース解析 は、十分な機能形質データがあれば、生態系 機能の変化をもたらした環境因子が推定でき ることを示した。今後は、植物プランクトン による1次生産性を他の生態系機能として取 り上げ、1次消費者との栄養段階間の相互作 用を組み込んだ解析に進展させたい。

from functional traits. Trends in Ecology and Evolution 21:178-185.

- Norberg J, Swaney DP, Dushoff J, Lin J, Casagrandi R, Levin SA (2001) Phenotypic diversity and ecosystem functioning in changing environments: A theoretical framework. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 98:11376-11381.
- Violle C, Navas M, Vile D, Kazakou E, Fortunel C, Hummel I, Garnier, E (2007) Let the concept of trait be functional! Oikos 116:882-892.

研究協力者

真野浩行(独立行政法人国立環境研究所環 境リスク研究センター特別研究員) 立田晴記(琉球大学農学部准教授)

主要な研究成果

発表論文

Tanaka, Y. and Yoshino, M. 2009. Predicting the phenotypic response of resource-competing communities to environmental change. Journal of theoretical Biology257: 627-641.

- Tanaka, Y. Trait response in communities to environmental change: Effect of interspecific competition and trait covariance structure. Theoretical Ecology (in press)
- Mano, H., Sakamoto, M. and Tanaka, Y. 2010. A comparative study of insecticide toxicity among s even cladoceran species. Ecotoxicology 19: 1620-1625.

Mano, H., Ogamino, Y., Sakamoto, M. and Tanaka, Y.2011. Acute toxic impacts of three heavy metals (copper, zinc and cadmium) on *Diaphanosoma brachyurum* (Cladocera: Sididae). Limnology 12: 193-196.

関連著書

- 田中嘉成 2010 マクロ生態学において形質ベースアプローチは有効か?-群集の生態系機能に 関して-. 日本生態学会誌 60: 249-253.
- 生態系機能から湖沼生態系を評価する(分担執筆 pp. 95-135.「生態系再生の新しい視点」 高村典子編著),共立出版 2009.

農地の土壌劣化リスクの生態学的評価

Ecological Evaluation of soil degradation risk in agriculture

報告者:金子信博 Nobuhiro Kaneko

農地の土壌劣化は、地球環境問題に影響が大きいが、充分にそのリスクの大きさが理解されておらず、対応も進んでいない。農業が土壌劣化に及ぼす影響を低減するためには、農作業における土壌撹乱を少なくし、土壌生物の多様性を高める農法が必要である。このことを生態学的に評価するために、日本の不耕起草生農家、大学における圃場試験と森林の土壌生物多様性を比較した。また、インドネシア・スマトラ島南部のランプン州に大規模実験区を設け、耕起と不耕起の土壌を比較した。不耕起栽培になるべく除草を避ける草生栽培を組み合わせることで、土壌炭素量は数年で急速に回復し、土壌微生物および土壌動物の多様性が高まることが確認された。これらの生物群集は有機物の分解や土壌団粒の形成といった生態系サービスを担っており、健全な土壌形成にさまざまなメカニズムで寄与することを確かめた。以上のことから、土壌生物の多様性を高める農法を採用することにより、農地の土壌劣化を防ぐことが明らかとなった。

東日本大震災によって引き起こされた原子力発電所事故による放射能汚染の生態系影響を明 らかにするために、土壌生態系における緊急調査方法を検討した。その内容に従い福島県葛尾村、 浪江町、飯舘村、二本松市のスギ人工林10地点で大型ミミズ類、ヒメフナムシの採集を行った。

Soil degradation in agriculture land substantially affects global environmental change. However, the size of its risk is not understood, thus no comprehensive measures are discussed globally. To reduce impact of agriculture on soil degradation, it is necessary to reduce soil disturbance by agricultural practices, and encourage soil biodiversity. We studied soil and soil biodiversity in 1) no-till without weeding croplands in Japan, 2) factorial experiment (tillage, fertilization), and 3) forest soils. We also established a large-scale factorial experiment (tillage, mulching) in a sugarcane plantation in south Sumatra. No-tillage without weeding method rapidly accumulated soil carbon and soil biodiversity was also increased. Soil organisms supported various soil ecosystem services. We concluded that minimum or no-tillage can conserve soil biodiversity and serve as practical method for preventing soil degradation.

We proposed a screaming method to understand the effect of Fukushima NPP radioactive pollution to ecosystem, and conducted rapid survey to collect large Oligochates and Isopoda in Japanese Red Cedar forests.

1. 研究方針

人口増加にともなう土地利用変化によって 土壌浸食や透水性の低下、塩類集積などのさ まざまな土壌劣化が、世界規模で進行してい る。しかし、過去の多くの文明が、実は土壌 劣化が原因で減んでいったと考えられている (Mieth & Bork 2010; Montgomery 2007; Rolett & Diamond 2004)ことはあまり知ら れていない。

土壌は様々な生態系機能を持っている。生 命の基盤である陸上植物にとって土壌は水分 と栄養塩類を供給し、生育する際の物理的な 基盤ともなっている。森林に降った雨水は土 壌で浄化され、渓流には雨水よりもきれいな 水が流れ出してくる。土壌には有機物が植物 の枯死体や、有機物が微生物や土壌動物によ る利用のために変性を受けた腐植の形で集積 しており、地球システムのなかで大きな炭素 プールとなっている。土壌からの二酸化炭素 の年間放出量は、大気中の二酸化炭素量の約 5分の1にあたり、土壌からの放出量の変化 は大気中の二酸化炭素濃度に大きく影響する。 一方、一酸化二窒素やメタンも土壌から生成 する。メタンは湿地から大量に大気に放出さ れているが、森林土壌ではメタン酸化菌によ り酸化される。したがって、土壌から出入り する温室効果ガスの全球への影響は大きい。

土壌の透水性の低下は森林を耕地に転換す るなどの土地利用の変化、不適切な土壌管理 (過剰な耕耘など)によって引き起こされ、

下流域の水循環に大きく影響する。近年、世 界的に生じている洪水の規模、頻度の拡大は 上流域で土壌劣化が生じていることも原因と 言える。

このように陸域における環境問題のなかで、 土壌は鍵となる存在であり、多面的な機能を 包括的に理解し、その取り扱いについてリス ク評価を行い、管理を徹底する必要がある。

農地ではこれまで食物生産力の向上を目的 として、さまざまな研究が行われてきた。特 に深刻な土壌浸食による生産力の低下に関し て多くの研究例があり、不耕起栽培への移行 の重要性が指摘されている(Montgomery 2007)。しかし、土壌の構造や機能に大きな 影響がある土壌生物については、病害性や特 定の植物との共生関係のある微生物を除いて はほとんど研究されてこなかった。一方、森 林や自然草原での植物の多様性と生態系機能 研究の進展(Loreau 2010)や、土壌生態学の 知見の集積(金子信博 2007)に基づくと、農地 においても土壌生物の多様性を高く保つこと で、低投入、持続可能な農法の開発につなげ ることが期待できる。

日本の複数の篤農家は、不耕起と非除草の 組み合わせにより低投入、持続可能な農地を 実現してきているが、そのような土壌の生態 学的研究はほとんど行われていない。そこで、 これらの農地を生態学的に解明するとともに、 大学圃場や大規模農地に試験区を設定し、生 物多様性と生態系機能の関係の理解に基づく 新たな農法のための基礎研究を行った。

さらに、2011年3月の東日本大震災によっ て引き起こされた原子力発電所事故による放 射能汚染の生態系影響を明らかにするために、 緊急に福島県の森林で土壌動物の調査を行う とともに、農業関係者と低レベル汚染地域に おける農業生産における環境リスクについて 討議し、2012年2月29日に他機関の研究者 とともに、リスク研究者の立場からの放射能 汚染対策に関するシンポジウムを開催した。

2. 方法

国内では、茨城大学農学部フィールド科学 研究センター、および横浜国立大学構内に耕 起の有無と施肥の有無の2要因の実験区を設 定した。また、不耕起草生栽培を10年以上 にわたって実践している茨城県の農家A、奈 良県の自然農(不耕起草生栽培)指導者の指 導用農地を調査対象とした。

それぞれの調査地で可能な場合は作物の収 穫量と、雑草類の地上部現存量を記録した。 また、土壌の理化学性と生物群集の調査を行 った。特に土壌の耐水性団粒についてはミミ ズとの関連や、窒素やリンの無機化といった 生態系機能の解明を行った。

インドネシアでは University of Lampung の 研究者と共同で、1987 年から不耕起栽培が継 続されている大学圃場で炭素濃度、耐水性団 粒組成を調べ、土壌炭素動態モデルである Roth-C モデルを改良して土壌炭素の集積速 度を推定した。さらにランプン州にある大規 模サトウキビ農場(Pt Gunung Madu Planation) の協力を得て設置された大規模農地において、 耕起の有無とマルチの有無の組み合わせ実験 を2010年8月に開始した。試験区設定時に土 壌調査を行うとともに、3ヶ月後6ヶ月後、 11ヶ月後に土壌生物群集の調査を行った。

3. 結果、考察

不耕起・草生栽培を行うと、耕起に比べて 土壌の容積密度が減少し、土壌炭素量が急速 に増加することが明らかとなった(図1)。一 方、ミミズや小型節足動物であるササラダニ は個体数や多様性が増加した。腐生菌群集を 構成する種を区別し、相対的なバイオマスを 推定する方法を考案し、農地の土壌有機物に おける群集構造の変化をみたところ、不耕起 化により多様性が高まることが確かめられた。

日本の森林を含む複数地点の土壌団粒と細 土の炭素含有率を比較すると団粒の方がその まわりにある細土より常に炭素濃度が高く (図1)、団粒形成が促進されることが不耕起 で土壌炭素量が増加するメカニズであること が推測できた。



図1. 不耕起・草生栽培開始後の年数と 表層(0-5cm)の炭素濃度との関係。

図2.日本の各地における細土と団粒の 炭素濃度の比較。直線は1:1のライン。



図 3. インドネシアの長期不耕起圃場における土壌炭素蓄積量の Roth-C モデルによる 予測。化学肥料施肥レベル(0,100,200 kgN/kg)と耕起(CT)、省耕起(RT)、および 不耕起(NT)の比較(Nishina *et al.*, submitted))。

不耕起土壌には耐水性団粒が増加し、土壌 の物理性が改善されていた。日本の森林、草 地に広く分布するヒトツモンミミズの糞は耐 水性団粒となり、同時に無機態窒素濃度が土 壌より高く、窒素無機化のホットスポットと なっていた。

長期の観測データにもとづく土壌炭素量の 変化をRoth-Cモデルに当てはめたところ、熱 帯の畑地においても不耕起化で土壌炭素量が 土壌炭素量が増加することが予測できた。

大規模サトウキビ農地は、森林伐採からの 年数が長いほどサトウキビの収穫量が低下し ていた(未公表資料)。試験開始1年の段階で は土壌炭素量に有意な違いはなく、雑草管理 の失敗で、不耕起のマルチがない処理ではサ トウキビの生長が著しく低下していた。 福島第一原子力発電所事故事故による放射 性物質の土壌汚染の生態リスクを評価するた めに、スギ人工林の大型ミミズとヒメフナム シヒメフナムシを採集した。事前評価では、 計画的避難区域のもっとも汚染のひどいとこ ろでもこれらの動物や土壌微生物には放射能 影響はみられないと予測できた。

4. まとめ、今後の展開

アメリカやブラジルでは大規模機械化農業 の棉花、トウモロコシ、サトウキビなどの栽 培が不耕起で実施されるようになってきてい る。しかしこのような農法では、除草剤を必 ず使用するため、土壌炭素や土壌生物多様性 の増加が期待できない。モンスーン気候のモ ンスーン気候のアジアでは雑草の制御が大き

な課題であるが、日本の不耕起・草生栽培農 家は、雑草と作物を共存させることであまり 収穫量を減少させることなく土壌保全を達成 している。このような栽培では土壌に供給さ せる有機物が増加するため、それを利用する 微生物やミミズなどの土壌生物が増加し(ボ トムアップ効果)、土壌が団粒化することによ って物理的に改変され(生態系改変)、窒素や リンなどの栄養塩の循環速度が向上(分解速 度の促進)していた。したがって、耕起をせ ず肥料の投入量を減少させても土壌の理化学 性が向上し、植物の生育が維持されることは 生態学的に説明が可能である。現在の農地に おける土壤浸食速度は土壌形成速度の 100 倍 程度であり、土壌の現存量が少ない場所ほど 生産ができなくなるまでの時間が短い。今後 は、農業における土壌劣化リスクの大きさを 採用している土地利用方法とその場所の土壌 の状態を用いて指標化する必要がある。

放射能による土壌汚染は航空測量による汚 染マップや農地の緊急調査にもとづく作付け 指導により、福島県の多くの地域で農業生産 が行われたが、福島県産の米や野生キノコ、 イノシシ肉などに 500Bq/kg を越す放射性セ シウムが検出されており、初期評価どおりに は放射能汚染が把握できなかった。そのため、 集水域全体の汚染物質の移動、ミミズなどの 土壌生物を介した生物濃縮について緊急に研 究を行う必要がある。 Loreau M (2010) Linking biodiversity and ecosystems: towards a unifying ecological theory. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences 365: 49-60. DOI: 10.1098/rstb.2009.0155 Mieth A, Bork HR (2010) Humans, climate or introduced rats - which is to blame for the woodland destruction on prehistoric Rapa Nui (Easter Island)? J Archaeol Sci 37: 417-426. DOI: 10.1016/j.jas.2009.10.006 Montgomery DR (2007) Soil erosion and agricultural sustainability. Proceedings of the National Academy of Sciences 104: 13268-13272. DOI: 10.1073/pnas.0611508104 Rolett B, Diamond J (2004) Environmental predictors of pre-European deforestation on Pacific islands. Nature 431: 443-446. DOI: 10.1038/nature02801 金子信博 (2007) 土壌生態学入門一土壌動物の多 様性と生態系機能一. 東海大学出版会

研究協力者

中森泰三(横浜国立大学大学院環境情報研究院横 浜国立大学大学院環境情報研究院)、仁科一哉(農 業環境技術研究所)、小松崎将一(茨城大学農学部)、 森也寸志(島根大学農学部)。

Prof. Ainin Niswati, Prof. Jamalan Lumbanraja, Prof. FX Susilo, Prof. John Hendri, Dr. I Gede, Dr. Sri Haryani (University of Lampung), Mr. Koko Widyatmoko, (GMP).

引用文献

主要な研究成果

成果となる発表論文

Toyota A, Kaneko N (2012) "Faunal stage-dependent altering of soil nitrogen availability in a temperate forest." Pedobiologia (in press) DOI: 10.1016/j.pedobi.2011.10.007

- <u>Kawaguchi T</u>, Kyoshima T, Kaneko N (2011) Mineral nitrogen dynamics in the casts of epigeic earthworms (*Metaphire hilgendorfi*: Megascolecidae). Soil Science & Plant Nutrition 57: 387-395. DOI: 10.1080/00380768.2011.579879
- Kawaguchi T, Iwashima N, Masunaga T, Hiura T, Kaneko N (2011) The role of epigeic Japanese earthworms (Megascolecidae) in soil nutrient cycling and aggregation in a deciduous oak forest soil: A long-term field experiment. Edaphologia 88: 19-30.
- Kaneda S, Kaneko N (2011) Influence of Collembola on N mineralization varies with soil moisture content. Soil Science & Plant Nutrition 57: 40-49.
- 岩島範子, 金子信博, 佐藤邦明, 若月利之, 増永二之 (2011) 密度と餌の違いを考慮したババヤスデ科2種(キ シャヤスデ、ババヤスデ)の糞の化学性の比較. Edaphologia 88: 43-53.
- Niwa S, Mariani L, **Kaneko N**, Okada H, Sakamoto K (2011) Early-stage impacts of sika deer on structure and function of the soil microbial food webs in a temperate forest: A large-scale experiment. Forest Ecology and Management 161: 391-399.
- 西澤智康,小松崎将一,金子信博,太田寛行 (2010) 末端制限断片(T-RFs)プロファイル情報に基づく土壌微生 物群集構造解析. 土と微生物 64: 33-40.
- 三浦季子, 金子信博, 小松崎将一 (2010) 不耕起・草生・低投入栽培下における畑地土壌のミミズを介した可給 態リンの供給. 有機農業研究 2: 30-39.
- Toyota A, Tayasu I, <u>Fujimaki R</u>, **Kaneko N**, Uchida M, Shibata Y, Hiura T (2010) Effects of vegetation switch and subsequent change in soil invertebrate composition of soil carbon accumulation patterns, revealed by radiocarbon concentrations. Radiocarbon 52: 1471-1486.
- Saito S, Hishi T, Yamada A, **Kaneko N**, Takeda H (2010) Impact of deer overabundance on oribatid mite communities in a cool temperate forest ecosystem. Edaphologia 87: 21-31.
- Nishizawa T, Zhaorigetu, Komatsuzaki M, Sato Y, Kaneko N, Ohta H (2010) Molecular characterization of fungal communities in non-tilled, cover-cropped upland rice field soils. Microbes and Environments 25: 204-210. DOI: 10.1264/jsme2.ME10108
- Kaneko N, Hashimoto M (2010) Life history of millipede Parafontaria tonominea (Attems) (Xystodesmidae, Diplopoda) at Mt. Sanbe, western Japan. Edaphologia 86: 21-25.
- Fujimaki R, Sato Y, Okai N, Kaneko N (2010) The train millipede (Parafontaria laminata) mediates soil aggregation and N dynamics in a Japanese larch forest. Geoderma 159: 216-220.
- <u>谷地俊二</u>, 金子信博, 大塚知泰, 三島聡子 (2009) 非破壊土壌マイクロコズムを用いた薬剤散布の土壌生態系 への影響評価. Edaphologia 85: 19-26.
- <u>
 世楽法</u>, 金子信博 (2009) 土壌団粒を用いたトビムシの機能研究を目的とした飼育実験系の確立. Edaphologia 85: 7-11.
- Kawasaki A, <u>Fujimaki R</u>, **Kaneko N**, <u>Sadohara S</u> (2009) Using GIS for assessing stream water chemistry in a forested watershed. Theory and Applications of GIS 17: 53-62.
- Fujimaki R, Sakai A, Kaneko N (2009) Ecological risks in anthropogenic disturbance of nitrogen cycles in natural

terrestrial ecosystems. Ecological Research 24: 955-964.

- <u>Fujii Y</u>, **Kaneko N** (2009) The effect of earthworms on copper fractionation of freshly and long-term polluted soils. Ecotoxicology and Environmental Safety 72: 1754-1759.
- Saito S, Mizuta H, Hishi T, Tsukamoto J, **Kaneko N**, Takeda H (2008) Impacts of deer overabundance on soil macro-invertebrates in a cool temperate forest in Japan: a long-term study. Forest Research, Kyoto 77: 63-75.
- Niwa S, Kaneko N, Okada H, Sakamoto K (2008) Effects of fine-scale simulation of deer browsing on soil micro-foodweb structure and N mineralization rate in a temperate forest. Soil Biology and Biochemistry 40: 699-708.
- Nishizawa T, Komatsuzaki M, **Kaneko N**, Ohta H (2008) Archaeal diversity of upland rice field soils assessed by the terminal restriction fragment polymorphism method combined with real time quantitative-PCR and clone library analysis. Microbes and Environments 23: 237-243.
- <u>Nakamori T</u>, Yoshida S, Kubota Y, Ban-nai T, **Kaneko N**, Hasegawa M, Itoh R (2008) Effects of acute gamma irradiation on Folsomia candida (Collembola) in a standard test. Ecotoxicology and Environmental Safety 71: 590-596.
- <u>Nakamori T</u>, Yoshida S, Kubota Y, Ban-nai T, **Kaneko N**, Hasegawa M, Itoh R (2008) Sensitivity to cadmium of the standard test species Folsomia candida compared to two other species, Onychiurus yodai and Sinella umesaoi (Collembola). European Journal of Soil Biology 44: 266-270.
- Masunaga S, <u>Nakamura M</u>, <u>Yoshikawa H</u>, <u>Tamada M</u>, <u>Fujii Y</u>, **Kaneko N** (2008) Bioaccumulation of PCDD/DFs and dioxin-like PCBs in the soil food web of fallowrice fields in Japan. In: M Morita (ed) Persistent organic pollutants (POPs) research in Asia, pp. 88-95
- Kaneda S, Kaneko N (2008) Collembolans feeding on soil affect carbon and nitrogen mineralization by their influence on microbial and nematode activities. Biology and Fertility of Soils 44: 435-442.
- <u>Fujimaki R</u>, Kawasaki A, <u>Fujii Y</u>, **Kaneko N** (2008) The influence of topography on the stream N concentration in the Tanzawa Mountains, Southern Kanto District, Japan. Journal of Forest Research 13: 380-385.
- <u>中森泰三</u>,木下圭司,久保田善久,府馬正一,藤森亮, 金子信博 (2007) 生態毒性学におけるトビムシのゲノミク スの動向. Edaphologia 82: 41-54.
- <u>Nakamura M</u>, <u>Yoshikawa H</u>, <u>Tamada M</u>, <u>Fujii Y</u>, **Kaneko N**, Masunaga S (2007) Bioaccumulation of PCDD/DFs and dioxin-like PCBs in the soil food web of fallowrice fields in Japan. Organohalogen Compounds 69: 1452-1455.
- Kamitani T, Kaneko N (2007) Species-specific heavy metal accumulation patterns of earthworms on a floodplain in Japan. Ecotoxicology and Environmental Safety 66: 82-91.
- <u>Blakemore R</u>, Csuzdi C, <u>Ito MT</u>, **Kaneko N**, Paoletti MG, Spiridonov SE, Uchida T, Van Praagh BD (2007) Megascolex (Promegascolex) mekongianus Cognetti, 1922 - its extent, ecology and allocation to Amythas (Clietellata/Oligochaeta: Megascolecidae). Opusc Zool Budapest, 2005 36: 19-30.
- <u>Blakemore R</u>, Csuzdi C, <u>Ito MT</u>, **Kaneko N**, <u>Kawaguchi T</u>, Schilthuizen M (2007) Taxonomic status and ecology of Oriental Pheretima darnleiensis (Fletcher, 1886) and other earthworms (Oligochaeta : Megascolecidae) from Mt Kinabalu, Borneo. Zootaxa 1613: 23-44.

金子 信博 8

関連著書等

金子信博 (2012) 生物多様性. 丹下健, 高橋正通, 金子真司, 荒木誠, 金子信博, 佐藤保, 松浦陽次郎, 森下 智陽, 三浦覚, 戸田浩人, 徳地直子(編著) 森のバランスー植物と土壌の相互作用-.東海大学出版会, 3月刊 行

本藤祐樹, 金子信博 (2012) ライフサイクル思考で現代の環境問題に立ち向かう. 小池文人・金子信博・松田裕 之・茂岡忠義 (編著) 生態系の暮らし方-アジア視点の環境リスク・マネジメントー. 東海大学出版会,, 3月刊行 金子信博, <u>仁科一哉</u>, 南谷幸雄, 三浦季子, 荒井見和 (2012) 熱帯農業の土壌生態系. 小池文人・金子信博・ 松田裕之・茂岡忠義 (編著) 生態系の暮らし方-アジア視点の環境リスク・マネジメントー. 東海大学出版会,, 3月 刊行

- **金子信博** (2010) 土壌動物の多様性と機能. 総合地球環境学研究所 (編) 地球環境学事典. 弘文堂, 東京, pp. 146-147
- 金子信博 (2010) 生態系サービス維持のための土壌生態系保全-土壌生態(第8章).佐土原聡(編著) 時空間情報プラットフォーム-環境情報の可視化と協働.東京大学出版会, pp. 92-108
- **金子信博** (2010) 土はやっぱり生きている-土壌動物が育む土壌環境.中村桂子(編著) めぐる(生命誌年刊号 vol61-64). 新曜社, 東京, pp. 162-172
- 金子信博 (2010) 土壌の bioturbation-土壌生物の多様性と土壌構造の関係-. タクサ 28: 28-31.
- 金子信博 (2010) バイオ燃料と生物多様性. 現代化学 466: 64-67.
- 金子信博 (2009) ミミズの働きは森林の土を変えるくらい大きいか?.社団法人北方林業会(編) 北の森づくり Q& A-北方林業創立 60 周年記念誌, 札幌, pp. 110-111
- 金子信博 (2009) 生物多様な星の作り方-生態学からみた地球システム-. 東海大学出版会, 秦野
- 金子信博 (2008) 足下の生物多様性-森林の土壌生態系-. クリンネス 272: 2-7.
- 金子信博 (2008) 生物多様性の交差点-表層土壌が育む生物群集とその知られざる働き-. ペドロジスト 52: 47-50.
- 金子信博, 鶴崎展巨, 布村昇, 長谷川元洋, 渡辺弘之 (2007) 土壌動物学への招待-採集からデータ解析まで--東海大学出版会
- 金子信博 (2011)「ミミズ」と「地球温暖化」ー土壌生物と地球環境問題ー. ビオフィリア 7:56-58.
- 金子信博 (2007) 土壌生態学入門-土壌動物の多様性と生態系機能-. 東海大学出版会
- 金子信博 (2007) 地盤に関する生態調査,土壌生物の調査法. In: 実用地盤調査技術総覧編集員会編 (ed) 実 用地盤調査技術総覧. 産業技術サービスセンター, pp. 853-854

テレビ出演等

テレビ出演

- 出演:サイエンスゼロ「つながる生物の謎 土の中の小宇宙」2010年4月17日(土)[教育] 午後10:00-午後10:35
- 匿名出演:クローズアップ現代「放射性物質を減らせ~福島・限界に挑む農家たち~」2011 年 11 月 8 日
 (火))[総合]午後 7:30-7:55

ラジオ出演

中部日本放送(CBC):多田しげおの気分爽快!!朝からPON「ミミズの話」2010年6月17日(木)6:30-9:00

FM いるか:山形敦子の暮らしつづれおり「函館花いっぱい地球環境フォーラムについて」2011年11月 17日(木)11:10-11:20

雑誌インタビュー

ガスエポック(日本ガス協会)エコロジー・リーダーインタビュー 明日への視点「地下 30cm に広がるミ クロの小世界から人と自然の在り方を考える」

外来生物の分布拡大とリスク管理

Geographical range expansion and risk management of alien species

報告者:小池文人 Fumito Koike

外来生物は侵入先で自己増殖するため、甚大な被害をもたらすことがある.地理的な分布域の 将来予測は対策のために必要だが、情報不足の状態で緊急に将来予測する必要がある.この研究 では、外来生物の地理的な分布拡大の予測と、その制御の可能性について研究を行った.

海の外来生物は非意図的に導入されるが、船による海運で伝播するため持ち運ぶ媒体は明らか である.ここでは日本におけるチチュウカイミドリガニの分布拡大の将来予測を行い、国内で検 疫を行うと仮定した場合にどの程度の利益があるのか検討した.1980年代からの実際の分布拡大 パターンを最もよく説明するようパラメータを求めると、日本国内の貨物を運ぶ内航船では、毎 年3千万トンの荷物を5年運び続けると(合計で1.5億トン)、50%の確率でミドリガニが移住 することが明らかになった.カニの幼体を減少させる努力を行うと仮定すると、付着量を1/10に すると2000km・年の海岸が保全されるが、コストパフォーマンスが良いのは1/100に減少させる 場合であった.すべてを取り除くのはコストがかかるため、コストパフォーマンスが悪かった.

外来生物を運ぶ媒体が不明である口蹄疫について,既に分布拡大を完了した害虫のデータを用いて,類似パターンに当てはめることで2010年宮崎県からの分布拡大予測を行った.

Naturalized non-indigenous organisms replicate themselves, and cause severe damage to ecosystems. Predicting geographical range expansion of invaded non-indigenous organisms is essential information to control them, and such prediction should be done by limited information under urgent social demands. This research dealt with the prediction of non-indigenous organisms range expansion, and management strategy.

Marine invertebrates usually introduced unintentionally, but the vector is usually clear: marine trade or fish farming. In this research we predicted the range expansion of non-indigenous green crab *Carcinus aestuarii* in Japanese waters, and examined efficiency of hypothetical marine quarantine. The parameters in the model was determined to explain past range expansion from 1980 to present, and annual 30000000 tons of shipping caused immigration of green crab in 50% probability. About 2000 km× year can be preserved as green-crab-free, if we reduce the crab on the ship at 1/10 level. The best quarantine strategy was to reduce the crab at 1/100 level, if we considered green-crab-free area per cost, and complete removal might not good strategy because of very large amount of quarantine cost. For the case that the vector is not clear, we can predict range expansion based on past range alien species. We predicted the case of foot-mouse-disease pandemic in 2010.

1. はじめに

外来生物は侵入先で自己増殖するため、甚 大な被害をもたらすことがある.この研究で は、外来生物の地理的な分布拡大の予測方法 の検討を行い、その制御の可能性について研 究を行った.将来の分布拡大の情報は対策の ために必須であるが、急速な拡大が始まった 初期の段階では情報不足のまま予測する必要 がある.ここでは、情報が比較的豊富に得ら れる海洋のチチュウカイミドリガニの分布拡 大のケースと、どのような経路で日本に侵入 したのか現在も不明のままである 2010 年の 宮崎県での口蹄疫(津田 2011)の分布拡大の 予測を行った.

また日本には水産検疫が存在しないが,も し国内検疫を行った場合にどの程度の効果が 得られるのか,どの程度の検疫努力を払うの が適当かを,チチュウカイミドリガニのケー スで検討した.

2. 方法

海の外来生物は非意図的に導入されるが, 船による海運で伝播するため持ち運ぶ媒体は 明らかである.ヨーロッパの磯で普通種のチ チュウカイミドリガニはガザミの仲間だが, 足はパドルになっていない.近縁種にヨーロ ッパミドリガニもあり,日本に侵入したもの はこの遺伝子も多少持っている.また外湾に 生息し攻撃的なものもあるといわれるが,日 本に野生化しているものは内湾に生息して水 質悪化や塩濃度低下に強いが,攻撃性の低い タイプのものと言われている.生活史にプラ ンクトン段階を持つが,基本的に自然の分布 拡大速度は遅く,原産地でも遺伝的な変異が 知られている.

なおミドリガニより小形のアジア産のイソ

ガニ(日本の在来種)も海外で野生化し,ア メリカ東海岸とヨーロッパの大西洋岸ではミ ドリガニと共存している.アメリカ東海岸で はイソガニがヨーロッパミドリガニの小形個 体の隠れ場所を奪うとの報告もあるが(Jensen et al 2002),攻撃性の強いタイプのミドリガニ も存在するヨーロッパでの隠れ場所をめぐる 競争の行方は不明である(Dauvin and Dufossé 2011).

チチュウカイミドリガニはプランクトン幼 生期を持つが、バラスト水ではあまり運搬さ れず、船体や船内のパイプなどに付着したフ ジツボや貝類、海藻などの中に住み着いた状 態で運搬されると考えられている(Ohtani 2005).この研究では、地中海地域からの野生 化と、国内の内航船による運搬、また自然の 分布拡大を考え、最も実際の分布拡大パター ンにあうようにパラメータを決定し、このパ ラメータを利用して分布拡大予測を行った. データの集計にあたっては、日本の海岸を 50 km ごとのセグメントに分割し、セグメント間 の海上距離を求めた.また港の間の内航船の 貨物輸送量と、地中海地域からの輸入量を求 めた.

また, チチュウカイミドリガニの例を用い て,国内で水産検疫を行うと仮定した場合に, どの程度の利益があるのかを検討した.船体 付着を減少させる対策がなされると仮定して, 分布拡大シミュレーションにおいて運搬され るチチュウカイミドリガニの量を1/2倍,1/10 倍,1/100倍,1/1000倍に変化させて分布拡大 シミュレーションを行った.何も対策を行わ なかった場合に侵入された海岸長との差をと り,時間方向で積分することで,検疫を行っ た効果として侵入されなかった海岸の量(検 疫効果量,単位はkm・年)が得られた. 検疫の作業では船体を検査し,付着するフ ジツボ類や貝類,海草類の除去を指示するこ とになると考えられるが,検査時に付着して いる船舶を見落としたり,船主が指示に従わ ない確率もある.繰り返し探索,指示するこ とで発見・除去確率を上げて行くとすれば, 付着するカニを減少させようとすると,累乗 的に検疫コストが上昇すると考えられる.

発見除去確率=a^{検疫コスト},1>a>0 また,単位検疫コストあたりの検疫効果量の 計算を試みた.絶対的な費用は算出できない が,相対的な大小関係は比較可能であり,最 適な発見除去確率を求める事ができる.

チチュウカイミドリガニは船体を媒体

(vector)として付着して運ばれることがわか っているが、このような媒体が不明のケース もある. 口蹄疫は偶蹄類の感染症で、日本で は最近 10 年間に宮崎県へ2回侵入したが、そ の経路はわかっていない. ここでは過去に分 布拡大した多くの外来生物の分布拡大パター ンのなかから類似したものを見つけ、複数種 を合成して予測するアプローチを試みた. 植 物検疫では害虫の早期発見時期の情報が都道 府県レベルでそろっているため、これを利用 した.

なお、これら全ての空間情報の計算には空 間情報処理システム「みんなで GIS」を利用 した(http://www13.ocn.ne.jp/~minnagis/).

3. 結果、考察

チチュウカイミドリガニの分布拡大予測に おいて、1980年代からの実際の分布拡大パタ ーンを最もよく説明するシナリオは、原産地 からの侵入は1回のみで、その後に内航船に よって分布拡大した、というものであった. 日本国内の貨物を運ぶ内航船では,毎年3千 万トンの荷物を5年運び続けると(合計で1.5 億トン), 50%の確率でミドリガニが移住す ることが明らかになった.対策を取らない場 合は300年程度で全国に分布拡大すると予測 された.また北海道,本州,四国,九州のな かで野生化していないのは北海道のみである が,船体からチチュウカイミドリガニを完全 に取り除くことができても,津軽海峡を越え る自然の分布拡大によって北海道に広がる確 率が高いことが明らかになった.

内航船に付着するチチュウカイミドリガニ を全て除去できれば、日本全体への分布拡大 を700年遅らせることができる.付着量を1/10 にすると2000km・年の海岸が保全されるが、 検疫費用あたりの効果量が良いのは、チチュ ウカイミドリガニの船体への付着量を今より 1/100に減少させるケースであった.

ロ蹄疫について,既存の外来生物の分布拡 大パターンを利用し,類似したパターンのケ ースを当てはめて,宮崎県に侵入後の分布拡 大予測を行った結果では,九州を中心とした 西日本や太平洋側で早期に分布拡大するリス クが高いとの結果が得られた(図1,表1).

今回の予測結果では温暖地の外来害虫と類 似したパターンを示したが、これは口蹄疫が 暖地に特有のものだからではなく、東アジア 南部などの温暖地から宮崎県に侵入した可能 性があり(香港のものと遺伝的に近い)、また 宮崎県を起点をした分布拡大は温暖地性の外 来昆虫と類似した分布拡大パターンを取るか らである.東アジア南部からの再侵入が続く のであれば沖縄県にもリスクが残ることにな る.


図 1. 宮崎県のみに侵入したあとの,他地域への侵入時期.この時点では情報不足のため絶対的 な時期は不明だが,色が濃いほど早く侵入する.

表1. 2010年6月13日現在の, 偶蹄類の口蹄疫の相対的な分布拡大予測. 絶対的な侵入時期は 不明だが, 数値の小さなところで早期に侵入するリスクが高い.

| 都道府県 | 相対 | 都道府県 | 相対 | 都道府県 | 相対 |
|------|-------|------|-------|-------------|-------|
| | 侵入時期 | | 侵入時期 | | 侵入時期 |
| | 予測 | | 予測 | | 予測 |
| 沖縄県 | 0.078 | 兵庫県 | 0.123 | 滋賀県 | 0.156 |
| 宮崎県 | 0.086 | 愛知県 | 0.126 | 埼玉県 | 0.161 |
| 長崎県 | 0.092 | 広島県 | 0.127 | 福島県 | 0.166 |
| 鹿児島県 | 0.096 | 奈良県 | 0.131 | 長野県 | 0.172 |
| 佐賀県 | 0.098 | 鳥取県 | 0.131 | 山梨県 | 0.174 |
| 福岡県 | 0.098 | 愛媛県 | 0.132 | 群馬県 | 0.178 |
| 高知県 | 0.101 | 千葉県 | 0.132 | 栃木県 | 0.178 |
| 熊本県 | 0.101 | 徳島県 | 0.133 | 福井県 | 0.196 |
| 香川県 | 0.103 | 岐阜県 | 0.135 | 新潟県 | 0.201 |
| 大分県 | 0.103 | 三重県 | 0.142 | 山形県 | 0.205 |
| 山口県 | 0.116 | 静岡県 | 0.144 | 富山県 | 0.207 |
| 大阪府 | 0.117 | 神奈川県 | 0.148 | 宮城県 | 0.210 |
| 京都府 | 0.119 | 東京都 | 0.148 | 石川県 | 0.211 |
| 和歌山県 | 0.121 | 島根県 | 0.150 | 岩手県 | 0.213 |
| 岡山県 | 0.121 | 茨城県 | 0.153 | 北海道・ | 予測 |
| | | | | 育採県・ 秋田県 | 対象外 |

同様の方法を 2009 年に世界的に感染拡大 した新型インフルエンザ (A/H1N1) について, 分布拡大終了後に当てはめたところ,都道府 県レベルでの実際の侵入日と予測日の相関係 数は r =0.75 であり,侵入時期の誤差標準偏 差は 11.3 日であった.分布拡大途上の6都府 県(兵庫県,大阪府,福岡県,神奈川県,千 葉県,東京都)に侵入直後の情報で計算した ところ,侵入の順番はおおむね予測できてい るが (r=0.67),推定侵入日の誤差は24.5日 であった.このアプローチでは、メカニズム が不明の分布拡大現象について、共通の拡大 パターンを利用して予測を行っているが、そ の背後には人や物資の共通の移動パターンが あると考えられる (図2).



図2 共通の拡大パターンを利用した分布拡大予測

4. まとめ、今後の展開

いったん侵入した外来生物への対策は時間 との戦いである.詳しいメカニズムを研究し, 正確な情報を積み上げて,最適な対策を決め て行くようなアプローチでは役に立たないこ とが多い.不十分であっても現在の時点で利 用可能な情報から,得られる情報のなかでは 最もふさわしい対応策を合理的に導き,迅速 に対応することが必要である.さらに,実際 に対応しながら情報を収集し,多少増えた情報をもとに,対応策を改善して行くことになる.

本 GCOE では、外来植物の導入前リスク評価や、地球温暖化のリスク評価なども含めて、 このような情報不足下の意志決定についての 研究も多数行われたが、本研究成果もそのひ とつである.

文献

- Dauvin JC and Dufossé F (2011) Hemigrapsus sanguineus (De Haan, 1835) (Crustacea: Brachyura: Grapsoidea) a new invasive species in European waters: the case of the French English Channel coast (2008–2010). Aquatic Invasions 6: 329–338.
- 岩崎敬二、木村妙子、木下今日子、山口寿之、 西川輝昭、西栄二郎、山西良平、林育夫、 大越健嗣、小菅丈治、鈴木孝男、逸見泰 久、風呂田利夫、向井宏(2004)日本に おける海産生物の人為的移入と分散:日 本ベントス学会自然保全委員会による アンケート調査の結果から.日本ベント ス学会誌、59: 22-44.
- Jensen GC, McDonald PS, Armstrong DA (2002) East meets west: competitive interactions between green crab *Carcinus maenas*, and native and introduced shore crab *Hemigrapsus* spp. Marine Ecology Progress Series 225: 251–262.

- Otani M. (2005) Important vectors for marine organisms unintentionally introduced to Japanese waters. In Koike, F., Clout, M.N., Kawamichi, M., De Poorter, M. and Iwatsuki, K. (eds), Assessment and Control of Biological Invasion Risks. Shoukadoh Book Sellers, Kyoto, Japan and IUCN, Gland, Switzerland, pp 92-103.
- Koike, F. and Iwasaki, K. (2011) A simple range expansion model of multiple pathways: the case of nonindigenous green crab *Carcinus aestuarii* in Japanese waters. Biological Invasions 13: 459-470.
- 津田 知幸(2011) 2010 年宮崎で発生した口 蹄疫について. 学術の動向 16(2): 71-76.

研究協力者

岩崎敬二(奈良大学) 森本信生(独立行政法人 農業・食品産業技術 総合研究機構 畜産草地研究所)

主要な研究成果

- 小池文人・金子信博・松田裕之・茂岡忠義 (2012) 生態系の暮らし方:アジア視点の環境リ スクマネジメント.東海大学出版会,印刷中.
- 菅原のえみ・小池文人(2012)指標植物をもちいた長距離ライントランセクト法による関東地方 周辺における広域の里地里山評価.保全生態学研究,印刷中.
- 小池文人 (2011) 侵入リスク評価――対策戦略構築の基礎. (山田文雄・池田透・小倉剛 編) 日本の外来哺乳類. 東京大学出版会.
- Koike, F. and Iwasaki, K. 2011. A simple range expansion model of multiple pathways: the case of nonindigenous green crab Carcinus aestuarii in Japanese waters. Biological Invasions 13: 459-470.
- Tanaka, R. and Koike, F. 2011. Prediction of species composition of plant communities in a rural landscape based on species traits. Ecological Research 26: 27-36.
- 佐土原聡・小池文人・嘉田良平・佐藤裕一 編 (2011) 里山創生~神奈川・横浜の挑戦~. 創林社,東京.

- 田中涼子・小池文人 (2010) 里山に生育する植物種のフェノロジーを基にした生物学的季節区分. 植物地理・分類研究 58:21-37.
- 浜口哲一・青木雄司・石崎晶子・小口岳史・梶井公美子・小池文人・鈴木仁・樋口公平・丸山一 子・三輪徳子・森上義孝 (2010) 茅ヶ崎市における指標種を用いた市民参画による環境評 価調査について. 保全生態学研究 15:297-307.
- Vega, L., Koike, F. and Suzuki, M. (2010) Conservation study of Myrsine seguinii in Japan: Current distribution explained by past land use and prediction of distribution by land use planning simulation. Ecological Research 25: 1091-1099.
- 小池文人 (2010) 外来植物のリスクアセスメントと新しい群集生態学. pp.291-323. 種生物学会 編. 外来生物の生態学 進化する脅威とその対策.文一総合出版.
- Kobayashi, Y. and Koike, F. (2010) Separating the effects of land-use history and topography on the distribution of woody plant populations in a traditional rural landscape in Japan. Landscape and Urban Planning 95: 34-45.
- Saito, M. and Koike, F. (2009) The importance of past and present landscape for Japanese hares Lepus brachyurus in rural-urban gradient. Acta Theriologica 54: 363-370.
- Fukasawa, K., Koike, F., Tanaka, N. and Otsu, K. (2009) Predicting future invasion of an invasive alien tree in a Japanese oceanic island by process-based statistical models using recent distribution maps. Ecological Research 24: 965-975.
- Yasuda, M. and Koike, F. (2009) The contribution of the bark of isolated trees as habitat for ants in an urban landscape. Landscape and Urban Planning 92: 276-281.
- Fujita, M. and Koike, F. (2009) Landscape effects on ecosystems: Birds as active vectors of nutrient transport to fragmented urban forests versus forest dominated landscapes. Ecosystems 12: 391-400.
- Erizal, M. and Koike, F. (2009) Juvenile height growth rate of seven major tree species in a tropical rain forest of West Sumatra. Tropics 18: 1-6.
- Yasuda, M., Koike, F. and Terman, M. (2008) How management practices affect arthropod communities on Japanese golf courses? Landscape and Ecological Engineering 4:133-138.

外来生物問題の普及啓発

Education and initiation of invasive alien species problem

報告者:五箇公一 Koichi GOKA

セイヨウオオマルハナバチ、外国産クワガタムシおよびカエルツボカビ菌を具体的材料として、 その生態影響を評価するとともに、問題を引き起こしている要因について生物学的側面からのみ ならず、経済学的および社会学的側面からもアプローチすることを目指した。得られた成果から、 外来生物の生物学的問題は生物進化の歴史の撹乱であり、生態系と生物種の共進化の歴史を崩壊 させることで、様々な生態影響が生じることを示すとともに、外来生物の問題の背景には、経済 のグローバリゼーションと、それにともなう人とモノの移送が活発になっていることが大きく関 わっていることを示した。問題の根本的解決には、我々人間のライフスタイルを見直すことが必 要とされる。これら一連の成果と示唆を、学術発表のみならず、マスコミを通じて広く発信する とともに、COP10 において3 回開催したサイドイベントでも発表を行い、日本における外来生物 対策の国際的発信につなげた。

We investigated ecological impacts caused by the invasive alien species; the European bumblebee Bombus terrestris, exotic stag beetles, and amphibian chytrid fungus Batrachochytrium dendrobatidis. Furthermore, we tried to approach the biological invasion problem caused by these species not only from biological aspects but also from the economical and social viewpoints. Based on the obtained data, we indicated that the biological problem caused by invasive species is disturbance of history of evolution and that collapse of co-evolution between ecosystem and species results in various ecological impacts. Simultaneously, we suggested that globalization and consequent activation of transfer of human and materials lies on the background of invasive alien species problem. We must consider the change of our lifestyle as a fundamental resolution of the problem. We not only published these results in the scientific journals or conferences but also sent out the implications from the results to public through mas-media. Finally we presented our activities in the three side events held in COP10.

1. 研究方針

生物多様性の危機をもたらす重要な要因 の一つとして世界的にも認知されている外来 生物問題について、その生態影響を評価する とともに、問題を引き起こしている要因につ いて生物学的側面からのみならず、経済学的 および社会学的側面からもアプローチするこ とを目指した。具体的な研究対象として、ハ ウス栽培トマトの授粉用にヨーロッパから輸 入されるセイヨウオオマルハナバチ Bombus terrestris、愛玩用に輸入される外国産クワガタ ムシ類、そして、現在、世界中に急速に拡散 しつつある両生類の新興感染症病原体カエル ツボカビ菌 Batrachochytrium dendrobatidis を 選定し、これらの影響実態を生態学的に明ら かにするとともに、侵入(導入)過程、およ び規制・管理の実態について調査した。

2. 方法

セイヨウオオマルハナバチは、2006年6 月に外来生物法の特定外来生物に指定されて おり、指定されたサイズと方法でネットを張 り巡らしたハウスの中でのみ使用可能とされ る。従って、野外への propagule pressure は、 ほぼゼロに近似していると想定され、既に野 生化している個体群の管理が次の課題と考え られる。一方、セイヨウオオマルハナバチの 代替種として、日本在来のクロマルハナバチ Bombus ignitus の商品化がヨーロッパで進め られており、さらに中国や韓国においても大 陸産のクロマルハナバチの商品化が検討され ている。このような商品化されたコロニーが 将来日本に輸出された場合、国内分布種のた め外来生物法の規制対象外となる。そのため 野生化が進行し、日本国内の個体群との交雑 や置き換わりが生じる恐れがある。そこで、

クロマルハナバチの国内外の個体群を採集し て、ミトコンドリア DNA cytochrome C oxidase 遺伝子領域の変異解析を行った。

外国産のクワガタムシ類は、1999年に輸入 が解禁された。それまでは植物防疫法によっ て規制を受けていた。その後、毎年30~40種 のクワガタムシが 100 万匹以上輸入されてい るとされる。これら外国産クワガタムシ類に ついては、外来生物法での規制は受けておら ず、要注意外来生物として注意喚起するに留 まっている。これまでに国立環境研究所では、 もっとも流通量が大きいヒラタクワガタ Dorcus titanus の国内外の個体群を採集し、 DNA 分析により、地理的な遺伝的分化を明ら かにし、各地域個体群の進化的重要単位とし ての重要性を主張してきた。本 GCOE では、 さらに中国産の個体群も採集し、アジア全域 のヒラタクワガタの系統樹を完成させた。そ れをもとに日本列島およびアジア全域のヒラ タクワガタの遺伝的分化と分布拡大の歴史を 推定した。また、東南アジアにおける日本向 けクワガタ採集の実態について情報収集を行 った。

カエルツボカビ菌は、1998年にパナマで初 めて確認された真菌の1種で、両生類の皮膚 にのみ寄生して、皮膚呼吸する両生類の生理 機能を低下させて死に至らしめる感染症であ る。世界各地に侵入・分布拡大して、固有の 両生類個体群が壊滅的被害を受けているとさ れる。特に、ラテンアメリカやオセアニアの 熱帯雨林の高標高域に生息する希少種が次々 に絶滅している。日本では2006年12月に、 ペットとして飼育されていた南米産ベルツノ ガエルから初めて発症が確認され、アジア初 のカエルツボカビ菌の侵入記録となった。同 時に日本両生類の危機として、マスコミ報道 も手伝い、NPO や動物園関係者、両生類愛好 家の間で大きな話題となった。本研究では、 日本全国の野生・飼育下の両生類におけるカ エルツボカビ菌の感染実態を明らかにした。 全国から両生類を採集し、その皮膚を綿棒で 拭い、この綿棒サンプルから DNA を抽出して、 PCR 法によりカエルツボカビ菌特異的な ITS-DNA 断片を増幅することで感染を確認し た。同時に得られた菌の DNA 塩基配列情報も 取得した。また感染個体と非感染個体を同所 的に飼育することにより、菌の水平感染を確 認する感染実験も行った。得られた情報に基 づき、国内外におけるカエルツボカビ菌の分 布拡大プロセスに関して推定を行った。

3. 結果、考察

日本列島内のクロマルハナバチ個体群は地 理的に分化しており、DNA ハプロタイプ頻度 に明瞭な地理的変異が確認された。さらに、 大陸産の個体群とは、ハプロタイプの共有が 見られず、日本列島内個体群と大陸産個体群 の間にも明瞭な分断が認められた。DNA の塩 基置換率から日本列島内の個体群は、約10万 年前に大陸から移動してきたと推定された。 以上の結果から、日本列島のクロマルハナバ チはアジア地域の中で固有の遺伝子組成をも っており、商品化にあたっては地域固有性に ついての議論を要すると考えられた。また、 外来種であるセイヨウオオマルハナバチ利用 とクロマルハナバチ利用の生態リスクを比較 した結果、前者は在来種個体群の駆逐という 形で地域固有性を喪失させ、またそのプロセ スは侵入時期から追跡が出来るが、後者の場 合、遺伝子浸透という生態リスクをもたらし、 さらに、その追跡は、本来の分布データが完 備されていない場合、困難となると考えられ た。

ヒラタクワガタの DNA 分析により、日本列 島のヒラタクワガタは、約210万年前から10 万年前までの200万年の間に、大陸(中国) で派生した新しい系統が、海進海退の繰り返 しの中で何回かにわたって日本列島に辿り着 き、島が分断する過程で独自の遺伝子組成を 持つ集団へと分化していったものと考えられ た。またアジア地域全体のヒラタクワガタの 遺伝的分化の歴史は 520 万年前まで遡ること も明らかとなった。この巨大昆虫産業は原産 国であるアジア諸国の経済にも影響が及んで おり、クワガタムシ採集で生計をたてる人々 が増えている。また、生物資源としての乱獲 が進行しており、生物多様性の低下も懸念さ れるが、定量的評価は実施されていない。イ ンドネシア・ジャワ島のグデ・パランゴ国立 公園では、本来ジャワ島に生息していないス マトラ島産、ボルネオ島産、およびパプア島 産のクワガタムシが採集個体の中に3割も混 在していることが報告されており、同地域の 昆虫卸売市場に様々な地域の昆虫が集められ、 一部が投棄されたことによって、外来種とし て定着しているものと考えられた。またトル コでは希少種であるヨーロッパミヤマクワガ タ Lucanus cervus が日本市場向けに乱獲され たことにより急速に生息数が減少しているこ とが報告されている。これら一連の「クワガ タムシ経済」に関する取材を担当者の五箇が Science から受けて、記事が掲載された。

カエルツボカビ菌の全国調査の結果、既に 日本国内の飼育下・野生両生類の間で本菌は 広く感染していることが示された。ただし、 外国産両生類の感染率は平均20%と、高かっ たが、在来両生類の感染率は平均3%と低か った。また感染率には種によって大きな差異 があり、オオサンショウウオ Andrias japonicus が 40%、沖縄本島の固有種シリケンイモリ Cynops ensicauda が 80%という極めて高い感 染率を示し、一方、その他の普通種は、0.5% 以下という、極めて低い値を示した。続いて、 国外(パナマ、オーストラリア、アメリカ合 衆国)で、感染率を調べた結果、感染してい る種類は 10~100%という高い感染率を示し た。ただし、その他の種は感染が認められな かった。また、感染個体を飼育すると、日本 在来両生類はいずれも、全く症状を示さなか ったが、国外の感染個体は発症して死に至る ケースが多かった。以上のことから、感染率 には地域差および種間差が存在し、さらに感 受性にも変異があることが示された。得られ たカエルツボカビ菌 DNA 情報をもとに、本菌 の遺伝的多様性を評価した結果、日本国内に は 50 もの DNA タイプの菌が存在するのに対 して、国外で感染している菌の DNA タイプは 遺伝的に近似した 17 タイプに限られており、 日本国内のカエルツボカビ菌の方が遺伝的多 様性が高いことが明らかとなった。また、オ オサンショウウオに寄生する菌の DNA タイ プは宿主特異性が高く、オオサンショウウオ からしか発見されなかった。このことからこ の菌タイプは、オオサンショウウオと共進化 して来た可能性が高いと考えられた。このこ とは、麻布大学の宇根有美博士による国立上 野科学博物館所蔵のオオサンショウウオ標本 の分析の結果、1902年という古い標本からも 本菌の形態が確認されたという発見からも強 く示唆される。さらに感染実験の結果、日本 のシリケンイモリが保有するカエルツボカビ 菌は、国外の両生類に対して高い毒性を持つ ことが明らかになった。一方、シリケンイモ リのカエルツボカビ菌は、日本在来の両生類

(主にカエル) に対しては毒性を全く示さな いことも明らかとなった。以上の結果から、 カエルツボカビ菌は、国外から日本に侵入し て来たのではなく、本菌の起源は日本を含む アジアにあり、日本の両生類は、本菌との共 進化の結果、共生関係にあるか、抵抗性を備 えて感染が生じないものと結論された。そし て、アジアから本菌が持ち出され、世界中に 分布拡大し、特に本菌との接触がまったくな い地域で進化してきた両生類に対して大きな 被害をもたらしているものと考えられた。本 菌がアジア地域から持ち出されたプロセスに ついては、北米原産のウシガエル Rana castabeiana が、戦後に食用目的で大量にアジ ア地域に持ち込まれ、飼育繁殖させたものが、 北米やヨーロッパに輸出されたり、あるいは 日本産の両生類も一部、ペット用や展示用に 北米に持ち出されており、こうした両生類の 人為輸送によって世界中に急速に拡散してい ったと考えられる。特に被害がひどいとされ るラテンアメリカやオーストラリアの熱帯雨 林の高標高域への侵入は、恐らく、エコツー リズムやフィールドトリップなどによって、 これら未開の地域へ人間が入り込むチャンス が増えた為に起こったものと考えられた。

4. まとめ、今後の展開

以上の研究成果より、外来生物の問題の 背景には、経済のグローバリゼーションと、 それにともなう人とモノの移送が活発になっ ていることが大きく関わっていることが示さ れた。セイヨウオオマルハナバチの輸入もも ともとは外国産野菜の大量輸入が始まったこ とから国産トマトの供給を強化する為に始ま っている。それにかわる在来種クロマルハナ バチの商品化も国内生産では、日本農業の市 場にコストが見合わないため、国外のメジャ ーに生産を委託している。その結果、国籍不 明の個体群が混入するリスクを負うこととな る。日本における外国産クワガタムシのペッ トブームは、原産地である東南アジア地域の 生物多様性のみならず経済基盤にまで影響を 及ぼしているが、これも、外貨獲得に走る人々 がいるためであり、根本的な背景には南北経 済格差が横たわる。カエルツボカビの問題は、 現在から将来にわたる「新興感染症」の流行 を予兆するものと言っていい。具体的事例を あげながら、人間社会と外来生物問題の関係 について、今後も普及啓発を続けていく必要 がある。なお、本研究の成果は、2010年9月 に名古屋市で開催された生物多様性条約第10 回締約国会議 COP10 において3回開催したサ イドイベントで発表を行い、日本における外 来生物対策の国際的発信につなげた。

研究協力者

岡部貴美子(森林総合研究所)、所論史(茨城大学 教育学部)、光畑雅弘(アリスタライフサイエンス 株式会社)、丹羽健治(JICA)、Jinghu Geng(中国 北京市農林科学院)、横山潤(山形大学・理・教授)、 宇根有美(麻布大学獣医・教授)、富永篤(琉球大 学教育・助教)、森口紗千子(国立環境研・特別研 究員)、阿部慎太郎(環境省)、Jean-Marc Hero (Griffith大)、Alex D. Hyatt (CSIRO)

主要な研究成果(太字は GCOE メンバー*、下線は横浜国大・国立環境研在籍者)

成果となる発表論文

- Okabe, K., H. Masuya, N. Kanzaki and <u>K. Goka</u> (2011) Risk assessment of invisible exotic organisms associated with forest-related commodities and goods. Human and Ecological Risk Assessment (in Press).
- 五箇公一 (2011) 両生類の新興感染症カエルツボカビの起源は日本か?. 獣医畜産新報, 64 (1), 27-32
- <u>Goka, K</u>. (2010) Introduction to the Special Issue for Ecological Risk Assessment of Introduced Bumblebees; Status of the European bumblebee, Bombus terrestris, in Japan as a beneficial pollinator and an invasive alien species. Applied Entomology and Zoology. 45 :1-6.
- <u>Goka, K</u>. (2010) How to prevent invasion, bio-security measures, and mitigation of impact. OIE Scientific and Technical Review, 29:299-310.
- Tokoro, S., M. Yoneda, Y. Kunitake, and <u>K. Goka</u> (2010) Geographic variation in mitochondrial DNA of Bombus ignitus. Applied Entomology and Zoology 45: 77-87.
- Mizutani, T. and K. Goka (2010) Japan's Invasive Alien Species Act. Applied Entomology and Zoology 45: 65–69.
- <u>五箇公一</u> (2010) なぜ外来生物は増え続けるのか?. 日本の科学者, 45 (10), 35-39
- <u>五箇公一</u>(2010)なぜ外来生物は増え続けるのか? Milsil, 3(1), 22-25.
- <u>五箇公一</u> (2010) 外来生物の生物学. BIophilia, 7 (3), 24-31
- <u>五箇公一</u>(2010)両生類の新興感染症カエルツボカビ. 資源環境対策,46(12),87-90
- <u>Goka, K.</u>, Y. Une, T. Kuroki, K. Suzuki, Miri Nakahara, Arei Kobayashi, Jun Yokoyama, Tomoo Mizutani and Alex D Hyatt (2009) Amphibian chytridiomycosis in Japan: distribution, haplotypes, and possible entry into Japan. Molecular Ecology 18: 4757–4774
- Une Y., S. Kadekaru, K. Tamukai, <u>K. Goka</u>, and T. Kuroki (2009) First Asian Report of Spontaneous Chytridiomycosis in Frogs. Diseases of Aquatic Organisms, 82:157-160.
- <u>五箇公一</u>(2009)外来生物の生物多様性影響.遺伝 11 月号
- M. Yoneda, H. Furuta, K. Tsuchida, K. Okabe and <u>K. Goka</u> (2008) Commercial colonies of Bombus terrestris (Hymenoptera: Apidae) are reservoirs of the tracheal mite Locustacarus buchneri (Acari: Podapolipidae). Appl. Entomol. Zool. 43:73-76.
- K. Okabe and <u>K. Goka</u> (2008) Potential impacts on Japanese fauna of canestriniid mites (Acari: Astigmata) accidentally introduced with pet lucanid beetles from Southeast Asia. Biodiversity Conservation 17:71-81.
- Y. Kanbe, I. Okada, M. Yoneda, <u>K. Goka</u> and K. Tsuchida (2008) Interspecific mating of the introduced bumblebee Bombus terrestris and the native Japanese bumblebee Bombus hypocrita sapporoensis results in inviable hybrids. Naturwissenschaften 95:1003-1008.
- <u>五箇公一(2008)</u>温暖化と生物の絶滅. ここが知りたい温暖化 37. 地球環境研究センターニュース.
- 五箇公一(2008)日本のカエルが危ない? ~カエルツボカビ症の現状. グローバルネット215 号、26-27p.

<u>五箇公一</u>(2007)日本に忍び寄る目に見えない侵入生物.ペストコントロール 2007 年 4 月号、1-4p.

五箇公一(2007)生物多様性-日本の生物多様性を脅かす目に見えない外来生物. 資源環境対策 43:47-52.

五箇公一(2007): セイヨウオオマルハナバチの侵入種問題. 生活と環境、52 巻1号

関連著書等

五箇公一(2010)クワガタムシが語る生物多様性. 集英社、東京 205p(単行本)

- <u>五箇公一</u>(2010)外来生物が日本の昆虫の生物多様性に与える影響.日本の昆虫の衰亡と保護(石井実監修) 北隆館、東京 pp235-247.
- <u>五箇公一</u>(2010)昆虫の生物多様性を脅かす化学物質.日本の昆虫の衰亡と保護(石井実監修) 北隆館、東京 pp222-234.

<u>五箇公一</u>(2010)生物多様性と人間生活を脅かす目に見えない侵入生物. 種生物学会編、外来生物の生態学.文 一総合出版、東京 pp161-180.

- **五箇公一**(2010)時代とともに変遷する外来昆虫類とその生態的・社会的影響. 種生物学会編、外来生物の生態 学. 文一総合出版、東京 pp111-133.
- <u>五箇公一</u>(2008)クワガタムシ好きの日本人がクワガタムシを滅ぼす。Imidas SPECIAL. イミダス編集部編、集英社、 東京、pp142-143.
- <u>五箇公一</u>(2008)輸入昆虫のリスク評価とリスク管理-特定外来生物セイヨウオオマルハナバチのリスク管理-.シリーズ21世紀の農学.外来生物のリスク管理と有効利用、日本農学会編、養賢堂、東京. 187p-203p.
- <u>五箇公一</u>(2007)過去 100 年間に絶滅した動物たち-人類の繁栄とメダカの明日. いきものがたり-生物多様性 11 の 話(Think the Earth プロジェクト編)ダイヤモンド社、東京.34-36p.

五箇公一(2007)外来生物の影響. フォトサイエンス生物図録(鈴木孝仁監修)数研出版、東京.pp212-213

新聞記事、TV 出演

NHK BS2「ホットスポット最後の楽園特別編【後編】」2012年1月3日 NHK BS2「ホットスポット最後の楽園特別編【前編】」2012 年1月2日 NHK「ホットスポット最後の楽園スペシャル」2011年12月29日 中日環境 net エコらむ「いろんないきものの話」2010年1月~現在も継続中 http://eco.chunichi.co.jp/column/column11/ 中日新聞コラム「いろんな生き物の話」2010年1月~2011年3月(毎月)掲載 宮古新報「生物多様性で講演会」(2011年1月23日) 宮古毎日新聞「外来種の持ち込みに警鐘」(2011年1月23日) TBS「地球 SHOW 学校」2010 年 11 月 29 日 FM J-WAVE 東京 REMIX 族「ダニの極み」2010年11月20日 朝日新聞 ひと「市民向けに外来種問題の発信を続ける五箇公一さん」(2010年11月17日) 朝日新聞「輸入クワガタ 日本の森に」2010年10月22日 新聞赤旗「生物多様性の減少 外来生物から考える 五箇公一さんに聞く」2010年10月15日 テレビ東京「たけしのニッポンのミカタ!」2010年9月10日 読売新聞「ここが聞きたい 外来種原則輸入規制を」2010年8月30日 東京新聞「外来種なぜ強い」2010年8月23日 NHK BS2「MISIA 星空のライヴ~音楽と生物多様性」2010 年 8 月 21 日 NHK ラジオ「私も一言! 夕方ニュース 日本各地に広がる外来生物、固有種をどう守る|2010 年 8 月 18 日 NHK「SAVE THE FUTURE いきものピンチ! SOS 生物多様性」2010年6月4日 毎日新聞「科学のまちから:国立環境研究所 クワガタの進化を調査」2010年6月1日 読売新聞「菌に罪はない 移動先では病原体に」2010年5月6日 新聞赤旗「怖いカエルツボカビ アジア起源か」2010年5月10日 NHK 名古屋なっとく! 内多学園 生物多様性って何?(2010年4月2日) 朝日新聞「カエルのカビ共生型?新 50 種」2009年11月8日 NHK ちょっと変だぞ!日本の自然 IV「日本の自然て何だっけ SP」(2009 年 8 月 19 日) 高校生新聞「大絶滅進行中」2009年7月10日 フジテレビ特ダネ(2009 年 4 月 14 日、目に見えない侵入生物の成果について 5 分ほど紹介) テレビ東京ワールドビジネスサテライト(2009年2月12日) 朝日新聞「新ツボカビ日本に 50 種」2009 年 11 月 8 日 Science 取材:Beetle Battles. Science 318:25.

自然撹乱に基づく生態系管理

Ecosystem management based on natural disturbances

報告者:森 章 Akira S Mori

生態系では、その構成・構造・機能が絶えず変動するものであり、また画一的な定常状態や平衡 点に達することは極めて有り得ない。陸域生態系における、この"非平衡性"を引き起こしてい る主要因としては、自然撹乱が挙げられる。自然撹乱を中心とした、自然本来の動的プロセスを 尊重し、生態系の構成・構造・機能を健全に保全することは、多様なレベルにおける生物多様性 の包括的な保全に貢献し得る。現在では、生態系の非平衡性の重要性と、非平衡を生み出してい る自然の必要性について、広く認知されている。しかしながら、生態系で起こり得る撹乱、特に 大規模な自然撹乱は、予測不可能なものであり、生態系に与えるインパクトについても複雑で不 確実なものである。それゆえに、複雑性・予測不可能性・非平衡性を認知した上で、環境変動に 対する生態系の挙動を如何に理解できるかが、陸域生態系の管理や復元にとって重要である。

Variability in the composition, structure, and dynamics of ecosystems has been widely recognized recently. Thus, it is thought that ecosystems have barely reached steady-state and equilibrium status. This "non-equilibrium status" of ecosystems is regulated by natural disturbances. In today's ecosystem management in terrestrial regions, natural disturbances in ecosystems and landscapes are acknowledged to respect the dynamic aspects of ecological processes, maintain ecological integrity, and conserve biological diversity at various levels. However, the variability and complexity of ecosystems remain unknown. Natural disturbances, particularly larger ones, are unpredictable and their impacts on ecosystems are highly uncertain. For ecosystem management and restoration, clarification of ecosystem responses to environmental variability is the key, and thus, we should further investigate the complexity, unpredictability, and non-equilibrium nature of ecological processes. Therefore, data on the dynamic nature of ecosystems and ecological processes from individual to landscape level, regulated by various natural disturbances, is needed to assess the non-equilibrium paradigm of terrestrial ecosystems.

1. 研究理念

自然の中では、生態系や人間社会に、突然 の"驚き"をもたらすイベントが発生する。 例を挙げれば,火山噴火,山火事,ハリケー ン、台風、土砂崩れ、洪水・氾濫、津波・・・ ときりがない。これらの全ては、自然のダイ ナミクスの一部である。しかし、人間社会の 観点からは,多くの場合,「大規模な自然災害」 として捉えられる。現在の生態学においては, 「自然撹乱」は、自然に必須のイベントと考 えられている。しかし、かつての生態学にお いては,大規模な自然撹乱の多くは,社会に も生態系にも、荒廃と破滅をもたらす自然災 害と同意義であると解釈され、忌み嫌われる 対象であった。そして,現在でも生態学的な 観点以外では、「自然撹乱=自然災害」といっ た解釈を見ることが多い。そこで、生態系の 保全や陸域の資源管理において自然撹乱を尊 重することの重要性を明示することを、本研 究の理念とした。

2. 生態系管理

「生態系管理」といった表現は、いずれも 自然のシステムである生態系を、まるで人間 の管理下に置くかのような表現にも聞こえる。 わざわざ人間が自然を管理する必要があるの だろうか?ここで述べている管理とは、マネ ジメントのことであり、コントロールのこと ではない。生態系管理は、科学としての生態 学の最新の知識をもとに,人間社会と複雑に 絡み合った生態系を保全するための方策であ る。

かつての天然資源管理の概念の中では、最 も重要な事項は資源収量を最大化することで あった。その後、無制限の資源搾取を行うの ではなく,生産量と収穫量のバランスに対す テムマネジメントへと生態系の管理と保全に

る配慮がなされるようになった。しかしなが ら、そこでは、生物多様性や供給サービス以 外の数多の生態系サービスについての配慮は なされていなかった。その後、1980年代に登 場した「保全生物学」の台頭に見られるよう に、生態系が内包する生物多様性を保全する ことの重要性が認識され始めると、資源量の バランスだけを考慮することの不適切さが顕 著になってきた。さらには、21世紀になり、 人間社会が生態系から享受する生態系サービ スの多様さ(ミレニアム生態系評価)が明ら かになるにつれ、生態系が持つ本来のプロセ スを包括的に管理することの必要性が、より 認知されるようになってきた。

表1. エコシステムマネジメントへのパラダ イムシフト

| 旧来の資源管理 | 生態系管理 |
|-------------------|-----------------------------------|
| 個々の種 | 生態系 |
| 小規模空間スケー ル | 複数の空間スケール |
| 短期的な展望 | 長期的な展望 |
| 人間を除外 | 人間は生態系の主要 素 |
| 科学や研究とは乖 離した管理 | 順応的管理 |
| 物資の管理 | 生態系が提供する物 資とサービスの持続 可能性を求める |

表1のように、古典的な管理からエコシス

関わる概念は推移してきた。しかしながら、 生態系管理の発展に関わらず、未だに多くの 環境政策が、人間を完全に除外して自然保護 を考えたり、自然の中で起こる撹乱などの変 化を排除しようとしたりと、今日の前にある 「自然のバランス」にだけ焦点を当てがちで ある。しかしながら、実際には、生態系は非 常に変化に富んだものであり、変化はいつど こでどのように起こるのかを予測することは できない (予測不可能性)。さらに, 生態系で は、想定外の変化が生じることもある(不確 実性)。そこで、森(2010a)および Mori(2011b) では、かつては生態系という自然のシステム は、安定的である決まった姿を示すものだと 考えられていたこと(平衡概念)の問題点を 指摘し、生態系における不確実性や予測不可 能性を考慮すること(非平衡概念)の重要性 を述べた。

21世紀に突入した今では、変化や不確実性 と向き合うために、順応的管理が重視されて いる。これは、生態系の状態を常にモニタリ ングし、現在の管理方針に問題があれば修正 し、変化に対して柔軟に向き合う管理アプロ ーチである。順応的管理が生態系の管理と保 全に如何に重要であるのかについては、森 (2007)、森(2010b)、および Mori (2011b)

で概説した。順応的管理を核として,社会と 自然のシステムの相互作用に留意しつつ,社 会が享受する生態系サービスを永続的に維持 するための持続可能性を模索するのが,「生態 系管理」である。

3. 自然撹乱

撹乱とは、生態系・群集・あるいは個体群の構造を乱し、資源・基質の利用可能量・物 理環境を変えるような、時間的に顕著なイベ ントと定義される。生物の生育環境を大きく 変え、空いた空間、つまり次世代の個体が移 入し利用できるハビタットを生み出すことを 撹乱と呼ぶ(森 2010a)。たとえば、森林生態 系の場合では、 台風、 ハリケーン、 サイクロ ン、山火事、火山噴火、雪崩、などにより森 林が大きく破壊されると、樹木が倒壊あるい は枯死したところでは,新たな開いた空間が 形成される。そのような場所は、一見すると 荒廃地に見えるが、実はさまざまな生物に住 み場所を提供するとともに、自然のプロセス としての森林再生の場となる。その後,長い 時間をかけての再生プロセスには決まった道 筋はなく、このことは、生態系に異質性と多 様性を生み出す重要な要因である(Mori 2011b)_°

そこで、Mori &Lertzman (2011) および Mori (2011a) において、数万~数十万ヘクタール に及ぶ原生地域を焼き尽くすような大規模な 山火事に着目し、このようなスケールのイベ ントでも、生態系に荒廃をもたらすものでは なく、異質性と多様性をもたらす自然の現象 であることを示した。

4. レジリアンス

自然の中では、変化や驚きが生じている。 突然に大規模に生じる自然撹乱は、とくに人 間社会に驚きを与える。このような変化や驚 きと向き合うためには、社会や生態系のレジ リアンスが重要である(Mori 2011c)。レジリ アンスとは、直訳すれば「回復力」であり、 撹乱に対してシステムが回復あるいは復元す る能力のことを指す。生態学的レジリアンス とは、撹乱が生じても生態系の状態が変容せ ずにいられる範囲(=撹乱の影響を吸収する 能力)と定義され、今日の生態系管理の基本 概念の一つになっている。森(2010b)では、 生態学におけるレジリアンスの基本的な概念 について概説した。

レジリアンスの高い生態系は、撹乱に対す る耐性が高く, 簡単には変質しない。また, 撹乱後も回復能力が高い。しかし、人間活動 の影響(伐採,搾取,汚染,温暖化)は,生 態系のレジリアンスを劣化させていると考え られており、そのような生態系は以前には吸 収できていた負荷を吸収できない(森 2010b)。 たとえば、洪水が頻繁に起こる地域において、 農地転換のために水路を作り、洪水を抑制し ようとした結果,極度の旱魃の発生,生物相 の消失、農地排水による富栄養化によるアオ コの発生などが生じてきた地域もある。この ように、自然の撹乱を抑制しようとする試み は、多くの場合は非常に手痛いしっぺ返しと して社会に跳ね返ってくる。ゆえに、災害と して捉えられがちな自然撹乱を抑制するので はなく、むしろ社会や生態系に必要な変化を 生み出す要因であるとして捉えることが重要 である (Mori 2011b, 2011c)。

近年、生態学におけるレジリアンスを巡る 議論では、回復力に加えて、「柔軟性」や「適 応力」を加えた意味合いを含み始めた。「回復」 だけでは、撹乱を受けた生態系がもとに戻る ことだけを重視している。しかしながら、生 態系は画一的な姿を見せるものではなく、時 に大きく変化し得る。何らかの自然撹乱後に、 必ずしも生態系が撹乱前と同じ状態に戻ると は限らない。元の状態に戻ることだけを重視 しては、変化と向き合うための生態系の管理 アプローチとは言えない (Mori 2011b, 2011c)。

5. まとめ

日本では、最近は「減災」という言葉も聞 こえるようになったが、やはり「防災」しよ うという傾向が強い。人為災害を未然に防ぐ ことはもちろん必要だが、自然災害を完全に なくすことは不可能である。森(2010a)、森 (2010b)、森(2011)、および Mori (2011b) では、自然撹乱を抑圧し、自然をコントロー ルしようとしたがために生じてきた様々な間 題について述べた。自然をコントロールする ことは不可能なので、それよりは社会に突然 の驚きをもたらす自然と向き合うことを考え ることが、今後の資源や生態系の管理におい ては, 重要である (Mori 2011b)。 生態系管理 には、常に不確実性と予測不可能性が付きま とう。複雑な生態系を保全し管理するために は、柔軟な管理姿勢を持つことで、生態系の レジリアンスを高めなければならない。

研究協力者

木町衣里、大園享司(京都大学)、Kenneth P Lertzman (サイモンフレーザー大学)、Edward A Johnson(カ ルガリー大学)、Lena Gustafsson、Göran Thor (スウ ェーデン農科大学)、三村真紀子(九州大学、元 GCOE フェロー)、黒川紘子(東北大学、元 GCOE フェロー)、岩崎雄一(東京工業大学、元 GCOE-RA)、 古川拓哉(横浜国立大学、元 GCOE-RA)、相川高 信(三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング)

主要な研究成果

成果となる発表論文

Mori, A.S. 2011b. Making society more resilient. Nature 484:284.

Mori, A.S. 2011c. Climatic variability regulates the occurrence and extent of large fires in subalpine

Mori, A.S. 2011a. Ecosystem management based on natural disturbances: hierarchical context and non-equilibrium paradigm. Journal of Applied Ecology 48:280–292.

forests of the Canadian Rockies. Ecosphere 2:art7

Mori, A.S., Lertzman, K.P. 2011. Historic variability in fire-generated landscape heterogeneity of subalpine forests in the Canadian Rockies. Journal of Vegetation Science 21: 45-58.

森章.2010a. 撹乱生態学が繙く森林生態系の非平衡性. 日本生態学会誌 60:19-39.

- **森章.** 2010b. 生態リスクマネジメントにおける留意点-非平衡性と変動性の観点から. 日本生態学会 誌 60:337-348.
- 森章, 三村真紀子, 黒川紘子. 2010c. 我々は「生態リスク」とどう向き合うのか?日本生態学会誌 60: 323-325.
- 森章. 2009. スウェーデンにおける生物多様性の保全に資する森林管理の試み. 保全生態学研究 14:283-291.

関連著書等

森章.2011. 自然撹乱に基づくエコシステムマネジメントー破壊される必要性. 遺伝 65(5):20-27.

- Mizumachi E, Mori A, Osawa N, Akiyama R, Tokuchi N. 2011. Variation in herbivory-induced responses within successively flushing Quercusserrata seedlings under different nutrient conditions. Journal of Forest Research 16: in press.
- 森 章. 2011. 平成 22 年度林業基本対策推進事業研究課題「諸外国における生物多様性の保全を目的とした森林・林業政策の推進方向並びに公的関与に関する分析」第6章スウェーデン
- 水町 衣里,相川高信,井鷺裕司,比屋根哲,勝山正則,舘野隆之輔,吉岡崇仁,山中典和,富田基 史,森章,稲垣善之,牧大介,鳥居厚志,兼子伸吾. 2010. 第 120 回大会イブニングセミナー.森 林科学 58:24-30.
- **Mori AS.** 2010. Detecting Range of Natural Variability and Changes in Spatial Patchiness of Forested Landscape in Kootenay National Park Research Program. Annual Report of Research & Monitoring in Lake Louise, Kootenay and Yoho National Parks 2009. Parks Canada.
- **Mori AS,** Mizumachi E. 2009. Within-crown structural variability of dwarfed mature Abiesmariesii in a snowy subalpine parkland in central Japan. Journal of Forest Research 14: 155-166.
- Ishii H, Yoshimura K, Mori A.2009. Convergence of leaf display and photosynthetic characteristics of understory Abiesamabilis and Tsugaheterophylla in an old-growth forest in southwestern Washington State, USA. Tree Physiology 29: 989-998.
- **Mori AS**, Fukasawa Y, Takeda H. 2008. Tree mortality and habitat shifts in the regeneration trajectory underneath canopy of an old-growth subalpine forest. Forest Ecology and Management 255: 3758-3767.
- **Mori AS**, Komiyama A. 2008. Differential survival among life-stages contributes to co-dominance of *Abiesmariesii* and *Abiesveitchii* a subalpine old-growth forest. Journal of Vegetation Science 19: 239-244.
- **Mori AS**, Mizumachi E, Sprugel DG. 2008. Morphological acclimation to understorey environments in *Abiesamabilis*, a shade- and snow-tolerant conifer species of the Cascade Mountains, Washington, USA. Tree Physiology 28: 815-824.
- **Mori AS,**Osono T, Uchida M, Kanda H. 2008. Changes in the structure and heterogeneity of vegetation and microsite environments with the chronosequence of primary succession on a glacier foreland in Ellesmere Island, high arctic Canada. Ecological Research 23: 363-370.
- 森章. 2007. 生態系を重視した森林管理-カナダ・ブリティッシュコロンビア州における自然撹乱研究の 果たす役割-保全生態学研究 12: 45-59.
- **Mori, A.S.**, Mizumachi, E., Komiyama, A. 2007. Roles of disturbance and demographic non-equilibrium in species coexistence, inferred from 25-year dynamics of a latesuccessional old-growth subalpine forest. Forest Ecology and Management 241:74-83.

ユネスコ「人間と生物圏(MAB)」計画を活用した、自然環境の保全 と利用の調和する持続発展社会の実現に向けて

toward a sustainable development of society with the balance of conservation and utilization of natural resources, using UNESCO's Man and the Biosphere (MAB) Programme

報告者:酒井暁子 Akiko Sakai

自然環境の保全と利用の調和を通じた地域社会の発展によって、世界全体での福利の向上を目指 すユネスコ MAB 計画に、報告者は日本 MAB 計画委員会の主要メンバーとして参加している。 報告者が GCOE に所属した 2010 年度からの 2 年間、MAB を実効性のある制度として日本に定着 させるために、32 年ぶりとなる新規ユネスコエコパークの登録申請支援、生物多様性条約第 10 回締約国会議でのサイドイベントなど国際会議の企画運営、他の新規登録に向けての取組みや既 存登録地域での活性化に向けての交渉やシンポジウムの開催等、計画委員会は様々な取組みを行 った。MAB 計画で中心となるユネスコエコパークの管理運営を通じた地域振興には、明確な雛 形が存在しない。したがって独自の自然や文化、社会的背景に基づいて、国や地域レベルでその 方針やしくみを策定する必要がある。このことから導入の過程や導入後の運営を追跡することで、 地域が主体となったボトムアップによる生態系管理に関する日本あるいはアジアの独自性を、帰 納法的に明らかにできると考えられる。

The Japanese Coordinating Committee for MAB (JCC-MAB) has been supporting UNESCO's Man and the Biosphere Programme, that ultimate goal is implementation of human wellbeing worldwide through sustainable development of society in each region based on appropriate management for the balance of conservation and utilization of natural resources. To establish the MAB system, as a feasible institution, in Japan, JCC-MAB has conducted many activities. During the past two years, for example, we support nomination of new Biosphere Reserve (BR), held an international symposium at CBD-COP10 Nagoya, and conducted several negotiations for implementation of existent BRs and at regions where people are interested in introduction of MAB/BR. Because it is necessary to construct managing system for BR by each region or nation based on its own biodiversity, culture and sociological background, observation of this process will provide an opportunity to clear Japanese and/or Asian characteristics in the nature of bottom-up ecosystem management.

1. はじめに

かつては自然保護と社会発展は対立するも のとして捉えられていたが、国連「ミレニア ム生態系アセスメント」が明らかにしたよう に、もはや自然環境の破壊を前提とした社会 の発展はあり得ず、自然環境の「利用と保全 の調和」の方法を世界レベルで確立せざるを 得ない状況に迫られている(酒井 2007)。

ここで、自然環境は地域固有性が高いこと、 伝統や文化として培われた地域レベルでの知 識体系(地域環境知)の中に調和のための方 策が蓄積されていることに着目すれば、「利用 と保全の調和」方法の確立は、まずはモデル ケースとして市町村程度の空間スケールの地 域を単位として地方自治体やその構成員が主 体となって実践し、その成果や過程を分析し て事情や背景の異なる他地域での取り組みに 活かすといった、いわば社会実験と順応的拡 散によって世界全体に広げてゆくのが効果的 であると考えられる。この方法論を採用した のが MAB 計画であると言える(酒井 2010; 主要成果 1)。

ユネスコは 1971 年、「人類と環境との間に 生じる衝突や問題の解決を目的とした、研究 および能力強化のための国際プログラム」と して Man and the Biosphere (MAB) 計画を発 足させた。その具体的な活動として、Biosphere Reserve (生物圏保存地域;日本での通称名ユ ネスコエコパーク)を指定し、地域レベルで の「利用と保全の調和」を模索して、ネット ワークを通じて成果を共有する事業 (プロジ ェクト No.8)をプログラムの中心に据えた。 1976年にガラパゴス諸島が第一号として指定 され、2011 年 12 月現在、114 カ国 580 地域が 登録されている。

登録数は加速的に増加しており、ユネスコ

の試みは順調に進展しているように見える。 数だけでなく質的にも向上しており、初期に は機能不全なまま登録を認めるケースが多か ったが、プログラムの大規模な見直しを経て、 1995年以降の新規登録地のほとんどはモデル ケースとしての体裁を整えている。そこでユ ネスコは 2008年からのマドリッドアクショ ンプランに定めた次のステップとして、初期 に登録された粗悪な登録地の改善に加え、ネ ットワークを活用してケーススタディを超え た取組みを進めることを強調している。

ところが日本は残念なことに、諸事情によ りこの流れから大きく取り残されていた。 1980年に4ヶ所が指定されたが、つい最近ま で指定地の行政組織からも忘れ去られ、環境 保全に関わる機会の多い生態学者であっても 制度自体知らない人も多かった。しかし日本 にこそ相応しいのではないかとの声が次第に 大きくなり、生物多様性国家戦略にも活用が 明記されたことなどから、転換点を迎える機 は少しずつ熟してきていた。

長年に渡り、時には逆境の中で MAB の火 を日本から消さないよう守り続けたキーパー ソンの一人が、鈴木邦雄学長である。MAB は 日本では国内委員会(National Committee)で はなく任意団体である日本 MAB 計画委員会 が関連活動の大部分を担っている。酒井は 2007 年秋より計画委員会に誘われ、同時に計 画委員長に指名された松田教授、国内委員会 主査に就任した鈴木学長らとともに働き、計 画委員会事務局を酒井研究室において、時に は日本代表として国際会議にも出席し、現在 は副委員長を拝命している。結果として横浜 国大が日本 MAB の実質的な拠点機関となっ たことから、本学は MAB を所管する文部科 学省から関連活動のための委託事業費の供与 を受け、その経費や本 GCOE の支援によって 雇用したポスドク、社会人学生とともに、他 の外部資金も活用して、次項で説明する取組 みを進めている。

本課題は研究と社会貢献活動の両面にまた がる。酒井は全体を俯瞰する立場にある者と して、各地域に赴いて制度の説明を行って助 言を行う等、いわばトランスレーターとして の機能を担い、調査研究によってこの機能の 充実に努めている。MAB計画は、上述のよう に自然環境の「保全と利用の調和」を「順応 的」に進める方法論に加え、自然資源を法規 制(核心地域)と自主規制とを併用して管理 する方法を採用する。まさに「アジア視点」 的な生態リスク管理(松田報告参照)のため の世界プロジェクトであると言える。したが って通常の科学研究とは趣が異なるが、本 GCOEの趣旨に沿うものとして、以下の活動 を成果として紹介したい。

2. 活動内容と成果

以下では、酒井が GCOE のメンバーとなった 2010 年 4 月以降を中心に、日本 MAB 計画 委員会を中心とした MAB に関連する活動の 内容と成果を報告する。

1)地域との対話を通じた新規登録に向けた
 取組み

日本では 1980 年に4ヶ所が指定されて以 降、30年以上新規登録がなかった。また既存 4地域も、MABの理念を実現するために必須 な移行地域の設定がなく、活動母体も存在し ないに等しいなど、極めて不完全である。

MAB の活動はユネスコエコパーク各地での 取り組みを基盤とするので、この状況の改善 が日本 MAB 関係者の第一の使命である。

MAB 計画委員会では、たとえば日本生態学

会全国大会でシンポジウムを開催して、地域 滞在型の研究者にアピールしたり、また有望 な地域に直接接触したりとの努力を行ってき た結果、個人レベルからやがて地方自治体レ ベルで興味関心を示す地域が出てきた。

その中で、宮崎県綾町とその周辺市町村は 準備が整い、2011 年 10 月に文部科学省ユネ スコ国内委員会からユネスコへと申請書が提 出されるに至った。申請書は MAB 国際調整 理事会での審査を経て、順調なら来年6月頃 には登録される。日本では5番目のユネスコ エコパークだが、本来の機能を備えたものと しては第一号となる。

綾地域には世界最大規模の照葉樹原生林が あり、その保全には日本自然保護協会が長年 協力している。酒井は理事である大澤雅彦先 生と 2009 年の東アジア生物圏保存地域ネッ トワーク会議に共に参加し、その折に我々の ニュースレターInfoMAB の執筆者として綾を 担当する同協会研究部長の朱宮丈晴氏を紹介 いただいた。私が InfoMAB の記事を読んで朱 宮氏に申請の検討をすすめたのが同年初冬、 翌10年2月には保全活動の核となる「綾の照 葉樹林プロジェクト」で協議が始まり、酒井 が関係者への説明に赴き5月頃には町長含め て登録推進の合意に至った。松田先生、鈴木 先生、さらに COP10 の折にはユネスコ MAB 担当官らも訪問し、町が主催する講演会、国 際シンポジウム、視察会などに参加して、住 民の意識向上への協力や申請書作成の相談に 応じた。

申請にあたっての最大のハードルは、土地 利用区分をどのように設定するかである。ユ ネスコエコパークは保護と利用を両立するた めに、ゾーニングによって土地利用区分を行 うのが大きな特徴である。おおまかには、原

-84-

生的な生態系を主とする核心地域、それを取 り囲む緩衝地帯、さらに外側に一次産業など 生態系改変を伴う経済活動が許される移行地 域に分けられる。

核心地域は法的に開発を規制されている必 要があり、そのため日本では、環境省が所管 する国立公園の特別保護地域や、林野庁が所 管する森林生態系保護地域の特別保護地域な ど、MABを所管する文部科学省以外の省庁の 制度を利用することになる。既存4地域は国 立公園、綾の場合は森林生態系保護地域であ る。核心地域の周辺に設定する緩衝地帯でも、 核心地域ほどではないにしても利用より保護 面が重視される。したがってゾーニングや各 区域での管理運営方針の作成にあたっては、 例えば国有林を管理する森林管理局や私有地 の場合は個々の地権者との合意形成を行う必 要があり、ここが申請活動の最大のポイント となる。

綾の申請以前には、関連省庁に MAB に関 する情報がほとんどなく、我々のみならず正 式の機関である文部科学省ユネスコ係 MAB 担当部局にとっても初めての経験に等しい上 に、ユネスコの規定が緩いことがあだとなり、 綾の場合はこの合意形成が難航した。関連者 を多く巻き込んで試行錯誤的交渉が錯綜し、 一大混沌プロジェクトの様相を呈した。私た ち計画委員も、次々と更新されるプランをフ オローしつつ、局面打開のために独自の交渉 ルート開拓を試みたり、各方面との個別相談 を行ったりと、知恵と判断力、行動力が試さ れる状況が続いた。今振り返れば、国レベル で新たに制度を動かすとはどうゆうことか、 純粋なアカデミズムからはうかがい知れない 世界を身もって知る、貴重な機会だったと言 える。

地元の有力紙、宮崎日日新聞は私を含めた 関係者に取材を行って、登録意義を説く記事 を申請活動の初期に連載し、学長らが訪問し た際にも数日に渡ってニュースや解説として 伝えるなど、期待のこもった熱意ある姿勢を 見せている。一連の記事は地元での理解を促 進したに違いない一方、たとえば対馬市では 記事を見たことがきっかけとなって市長が率 先して市役所レベルで検討が始まるなど、他 の地域を触発する効果が見られた。そうした 影響力を目の当たりにしたので、その後も時 折新聞社から取材を受けるが、なるべく丁寧 な対応を心がけている。



現在、対馬市のほかに、南アルプス地域(静岡県、山梨県、長野県の10市町村)、福島県 只見町などが登録を検討しており(図1)、計 画委員会が支援を行っている。例えば、今後 の直近の予定として、酒井はH24年2月に対 馬で地域住民に対する2回の講演会、南アル プスでの登録検討第三回協議会(南アルプス 市役所が主催し、植物生態学者の増沢武弘(静 岡大学)計画委員が議長、関係地域の行政担 当官、地元研究者等、酒井もメンバー)、3月 には鈴木学長が先方の指名要請により只見町 で講演を行い、町長らとの懇談やメディアの 取材も予定されている。只見と南アルプスは、 H25年に申請に至る可能性が高いと考えてい る。 文部科学省ユネスコ係が、綾を申請する過 程で蜜に連絡、協議を行った結果であろうと 思われるが、環境省、林野庁の省庁レベルで の理解が進み、また各地域からの問い合わせ が増えたことや様々な会議などで顔を合わせ る機会の多い松田先生らの働きかけにより、 それら省庁の地域担当官への周知も進んでい るようである。たいへん感慨深いことに、綾 の申請書をユネスコに提出した際には文部科 学省と林野庁が合同で記者会見を行い、林野 庁のホームページにまっさきに発表された。 次回の申請は格段にスムーズに進むことが期 待される。

日本で MAB を活性化するためには、生物 圏保存地域の新規登録が最も有効であると主 張して、今日に至る道筋をつけたのは、先の 国内委員会主査の岩槻邦男先生だった。計画 委員会に入った当時の私にはその理屈がよく 理解できなかったが、今はその効果をかみ締 めている。

2)既存ユネスコエコパークの改善に向けた 取組み

ユネスコは、MAB プログラムの実効性を高 めるために、昨年度すべてのユネスコエコパ ークに対して各国の国内委員会を通じて詳細 な現状報告を求めた(マドリッド行動計画

(MAP)の中間報告のためのレポート)。日本 では文部科学省から要請を受け、計画委員会 がその作成に協力した。

またゾーニングが不備なまま登録された地 域に対しては、2013年までに改善を求め、実 行されない場合はstudy site として格下げを行 って正規メンバーから除外することが MAB 国際調整理事会で決定された。これを受けて、 かねてより懸案事項であった日本の課題は、 より一層真剣に取り組む必要に迫られている。

1980年に登録された日本の4ヶ所のユネス コエコパーク、屋久島、大台ケ原・大峰山、 白山、志賀高原はいずれも移行地域を持たず、 運営組織が存在しないので、放置すれば登録 抹消もあり得る。そのためまず日本 MAB 計 画委員会では、計画委員会のメンバーの見直 し作業を昨年度より行い、2011年度から、各 地域にゆかりが深く MAB の理念に賛同する 研究者を新たに計画委員に委嘱し、各地域の 活性化に率先して取り組む体制を整えた。

こうした人材の発掘は、MAB 活動全般にと って重要である。H20 年度、H21 年度の生態 学会では酒井が企画者となって MAB とユネ スコエコパークに関するシンポジウムを開催 した:「利用と保全の調和を図る国際制度とし てのユネスコ MAB (人間と生物圏)計画:日 本の環境保全戦略への活用」(2010.3.17 東京)、 「ユネスコ MAB (人間と生物圏)計画 一 日 本発ユネスコ・エコパーク制度の構築に向け て」(2011.3.8 札幌)。その準備過程や当日の 会場において、協力を名乗り出る方々が少な からず出たことが、今日の活動を支えている。

大台ケ原・大峰山ユネスコエコパークでは、 奈良県天川村を長年研究フィールドとしてい る松井淳教授(奈良教育大学)が同村から相 談を受けてユネスコエコパークを利用した地 域活性を提案し、2010年10月、奈良教育大 学と天川村の共催によって酒井らを招聘して 講演会を開催した。同地域はシカによる植生 破壊が深刻な問題となっており、シカを食材 として活用することで、生態系管理と地域振 興を同時に達成するとのアイデアを打ち出し ている。

志賀高原ユネスコエコパークでは、計画委

員会事務局の若松伸彦氏が中心となって、地 域経済の中心であるとともに最大の地権者集 団である志賀高原観光協会に連絡を取って信 頼関係を構築し、次項で述べるシンポジウム を共催した。これをきっかけにして、同地に ある信州大学の野外教育施設や地元山内町な どを含めて、運営体制の構築や新たなゾーニ ングに向けて対話が始まっている。また松田 計画委員長の働きかけで白山、屋久島でもキ ーパーソンの発掘がなされ、展望が開けつつ ある。

ユネスコが設定する期限の 2013 年までに 4ヶ所すべてでの体制改善が達成されるのは 無理かもしれないが、改善に向けて着実に進 行している状況が説明できれば、猶予が与え られるのではないかと期待している。

3) ESD 関連活動を通じたユネスコエコパー クの活性化

2010年10月26日、生物多様性条約締約国 第十回会議(名古屋 CBD-COP10)において本 会議場でのサイドイベントとして、「持続発展 教育 (ESD) とユネスコ人間と生物圏 (MAB) 計画における我が国の取組に関するシンポジ ウム」を開催した(主催:文部科学省,日本 ユネスコ国内委員会、共催:日本 MAB 計画 委員会,「持続可能な開発のための教育の 10 年」推進会議,国連大学高等研究所,環境省、 後援:林野庁,日本生態学会,横浜国立大学 会)。持続可能社会の構築のためには、これを 牽引しうる人材の育成(ESD)が重要である ことから、ユネスコは MAB 計画と ESD 活動 の連携促進を強調している。2005年から開始 されたユネスコが主催する ESD の国際的な取 組み「国連持続発展教育の 10 年」(DESD: Decade of Education for Sustainable Development)は、日本の提案によるものとの 事情もあり、文部科学省は日本における MAB 活動にも、ESD を取り入れることで活性化を 促進したいとの強い意向を持っている(東 2010;主要成果 2)。そのため同省が主催者であ る本シンポジウムでは、ユネスコ本部 MAB 担当官らに加えて、ユネスコエコパークで ESD を実践している内外の大学教員等も招聘 し、講演と討論を行った。それらの結論とし て、持続可能な開発と環境の維持の両立を理 念とする MAB のユネスコエコパークが ESD の舞台として機能することの必然性が指摘さ れた。なおこのサイドイベントはH22年度文 部科学省ユネスコ・パートナーシップ事業と して同省から本学に委託された経費(代表者 酒井)を使用して開催された。

2011年11月15日には、H23年度文部科学 省ユネスコ・パートナーシップ事業費(代表 酒井)を用いて、ユネスコ人間と生物圏 (MAB)計画40周年記念シンポジウム「志 賀高原ユネスコエコパークにおける環境教育 の可能性」(主催:文部科学省、日本ユネスコ 国内委員会)を開催した。そこでの成果の一 つが、同地にある信州大学教育学部付属施設 の井田秀行准教授の講演を通じて、単なる自 然観察会に留まらない、実効性のある人材育 成としての環境教育のイメージを共有できた ことである。なお我々は本年度当初より井田 氏を MAB 計画委員に委嘱して、議論を通じ て MAB に対する理解を深めてもらうととも に、氏の活動への支援も行っている。

以上を踏まえ、実際にユネスコエコパーク を活用して人材育成を行うために、本学は、 国連大学高等研究所が主催する大学院レベル のESDを行う機関のためのアジア太平洋地域 ネットワーク(ProSPER.Net)に加盟し(2011 年7月認定;本学代表は松田教授)、その後、 プロジェクト申請を同ネットワークに行った (Educational Program for Sustainable Development of Regional Society with a focus on Biodiversity;コーディネーター酒井暁子、サ ブコーディネーター松田裕之、金子信博;他 に本学から及川敬貴、森章、小池治;参加機 関:横浜国大、北海道大学、信州大学、日本 MAB 計画委員会;ほか個人参加として立教大 学、東京大学、奈良教育大学、日本自然保護 協会、只見町、勝山市)。2011 年 12 月現在、 条件付で採択され、改訂作業を進めている。

このプロジェクトでは、豊かな自然を活用 した地域社会の持続的発展を支える人材育成 のために、MAB などの制度の理念や方法論に 関する社会科学分野、生物多様性・生態系の 機能に関する自然科学分野、また実践的なテ クニックについて、座学講義とユネスコエコ パークでの実習とによって体系的に学ぶプロ グラムを開発し、H25 年度に環境情報研究院 に授業を新設して実践する計画である。

4) 国際会議への参加、その他

MAB はネットワーク活動を重視しており、 日本は東アジア生物圏保存地域ネットワーク (EABRN) などに加盟している。EABRN は 日本、韓国、中国、ロシア、モンゴル、北朝 鮮の6ヶ国で構成され(加えてカザフサタン が予定)、各国の持ち回りで2年に1度、一週 間程度の日程で会議が開催される。他にも東 南アジアの地域会議にもオブザーバーで参加 するなど、関連する国際会議の機会は多い。 これらに対応するのも計画委員会の任務であ る。

酒井は直近3回の EABRN 会議に参加し、 各国の過去2年間の MAB 活動を報告するセ ッションで日本代表として講演を行った(主 要成果 3-1)。このうち 2011 年 9 月下旬、韓国 が主催して南西沿岸部にある新安多島海生物 圏保存地域で開催された EABRN 第 12 回会議 には松田教授も参加し、屋久島での生態系管 理の取り組みを中心に講演を行った。松田教 授は MAB の統括組織である国際調整理事会 にもオブザーバー参加を行っている。

EABRN などの地域ネットワーク会議では、 会場となるユネスコエコパークを視察し、管 理運営に関する情報共有を行うことも大きな 目的である。酒井は、参加した会議の会場だ った韓国、中国での知見は貴重であるが、日 本にとってより参考になる先進国での事例を 学びたいと考え、ユネスコパリ本部に紹介し てもらって、若松氏らとともに 2011 年6月に ドイツレーン地方の視察を行った(H23 文部 科学省ユネスコ・パートナーシップ委託事業 費)。レーン地方では第一次産業や三次産業の 個々の事業従事者が、MAB の理念を共通言語 にして共存共栄の意識を高めて連携化を進め、 ブランド価値を活かして高収益を図る方法を 確立するなど、主に経済振興の観点から多く のヒントを得ることができた(田中 2011;主要 成果3)。ほかにも計画委員会事務局では主要 国の大部分に問い合わせを行って情報収集を 進めている(主要成果 2-1)。これらは順次整 理して、日本のユネスコエコパークの運営に 役立ててもらう予定である。

3. まとめ、今後の展開

ユネスコエコパークとはどのようなもので、 登録のメリットは何か、私は繰り返し説明を 求められてきた。これに対してユネスコが準 備するのは、「保全と利用の調和」を通じた持 続可能な地域発展による世界全体の福利の向 上とゆう具合の抽象的な答えであり、当事者 を説得するのは難しい。そのため、私はいろ いろとロジックを考え、相手の反応をみて改 良してきた。

ユネスコエコパークは、地域運営のための プラットフォームである。潜在的なブランド 価値はあるものの、それ自体には実効性はな い。そこでコンテンツとして何をどのように 入れ込むかが重要であるが、MABの理念を逸 脱しない範囲なら決め事はない。それは、背 景となる生物多様性に加え、人材や伝統文 化・産業、などの地域のもつ資源目録を踏ま え、地域が策定する将来ビジョンによって地 域住民自身で決めてゆくものである。これは 私自身がトランスレーターとして様々な立場 の人々と話す中でたどりついた、最も的を得 た、かつ説得力のある論理であると、今現在 は確信している。

日本人の知的レベルと向上心は高く、人口 数千人の地方行政単位でも、主体的にユネス コエコパークの申請を行って、その運営を通 じて MAB の理念を実践することが可能であ る。綾町はこれを実証しつつある。我々計画 委員会は、しばらくは現在の方向性と活動量 を維持し、MAB が日本に根ざすことを見届け たい。

また導入の過程や導入後の運営を追跡する ことで、地域が主体となったボトムアップに よる生態系管理に関する日本あるいはアジア の独自性を、帰納法的に明らかにできると考 えられる。来年度より別プロジェクトでこう した研究面での取り組みを進める予定である。

研究協力者

日本 MAB 計画委員会委員(松田裕之、鈴木邦雄ほか)、同事務局(若松伸彦、池田(山口) 史枝、比 嘉基紀、秋庭はるみ、桜井良)、日本ユネスコ MAB 国内委員会事務局(文部科学省国際統括官付ユネ スコ第三係)、ほかユネスコ MAB 関係者、綾町・志 賀高原・只見町・南アルプス市ほか関連地域の自 治体および関係者

主要な研究成果(太字は GCOE メンバー*、下線は横浜国大・国立環境研在籍者)

- 1) 酒井暁子. 2010. 生物圏保存地域(ユネスコエコパーク). 人間と自然の共生を目指すモデル.総合地球環境学研究所偏 [地球環境学辞典] 弘文堂, pp234-235.
- InfoMAB MAB Japan News Letter No.35. 日本 MAB 計画委員会編集、日本 MAB 国内委員会発行 (2010.10.25), 2-1)比嘉基紀・若松伸彦・山口史江,国内外におけるユネスコエコパークの活用と課題, 2-2) 酒井 暁子・松田裕之,日本 MAB 計画委員会活動報告
- 3) InfoMAB MAB Japan News Letter No.36. (2011.11.15), 3-1)<u>酒井暁子</u>,第 12 回東アジア生物圏保存地域ネットワ ーク会議参加報告, 3-2)<u>松田裕之・酒井暁子</u>, MAB 計画委員会活動報告
- 4) 酒井暁子・松田裕之・鈴木邦雄・岩槻邦男・中静透・石田弘明. 2011. 日本におけるユネスコ「人と生物圏」計画の普及と「生物圏保存地域」の登録・活用. プロ・名トゥーラ・ファンド第 20 期助成成果報告書: 137-139.

 Matsuda H, Sakai, A. 2011. How to reconcile conservation with sustainable use? An idea from UNESCO's Man and the Biosphere program. Ogasawara Research (in Press).

他の成果含め活動全般は MAB 計画委員会 HP (http://risk.kan.ynu.ac.jp/gcoe/MAB.html)を参照

富栄養化湖沼生態系の数理モデル解析および修復手法の検討 Studies of Nonlinear Dynamics and Restoration Method of Eutrophic Lakes

報告者:雨宮 隆 Takashi Amemiya

湖沼の富栄養化によって異常増殖する藍藻類をミクロな生物間相互作用を利用して低減し、マクロな湖 沼生態系の回復手法を提言し、環境マネジメントに資することを目的とした。

はじめに、ウキクサー根圏細菌群集が藍藻類を低減するメカニズムをマイクロコズム実験により調べた ところ、2 種類のミクロな生物間相互作用;(i)ウキクサから細菌へのフラボノイドの供与、(ii)活性化さ れた細菌間のクオラムセンシングによる藍藻類の低減、を示唆する結果を得た。

次に、ウキクサー根圏細菌群集が藍藻類を低減する効果を組み込んだ数理モデルを新たに構成し、湖沼 生態系の安定状態の解析を行った。その結果、湖沼生態系の双安定曲線が栄養塩類の高負荷側にシフト することが明らかとなった。すなわち、富栄養化が進行した状態においても、ウキクサー根圏細菌群集 を導入することで、湖沼生態系を貧栄養と同様の状態に回復できる可能性が示された。

本研究により、ミクロな生物間の階層的非線形相互作用を利用することで、マクロな富栄養化湖沼生態 系の修復に資する手法を提示した。

This study aimed to explore a restoration method of eutrophic lake-ecosystems by using microscopic nonlinear interactions between organisms that can reduce blooms of cyanobacteria.

First, we investigated the mechanisms of the reduction of cyanobacteria by the floating plant-bacteria system by microcosm experiments. The results indicated two microscopic interactions between organisms; (i) supply of flavonoid from floating plants to bacteria, and (ii) reduction of populations of cyanobacteria by the activated bacteria with a mechanism of quorum sensing. Second, we developed a novel mathematical model of a lake-ecosystem that included the effect of algicidal bacteria inhabiting rhizosphere of floating plants, and analyzed the stability of the system. The system exhibited a bistability as a function of nutrient loading. The effect of algicidal bacteria was found to shift the bistable curve to the higher nutrient loading, indicating plant-bacteria system. This study has established a basis of lake-restoration method that can solve macroscopic environmental problems by using microscopic nonlinear hierarchical interactions between organisms. The present lake-restoration method, which affects small impacts on environment and costs low prices, can widely be applied to eutrophic lakes in Asia.

1. 研究目的、方針

富栄養化した世界中の多くの湖沼生態 系では、毎年、夏季になると藍藻類が大量 発生し、湖面は緑色の粉を播いたような状 態となる。このように大量発生した藍藻類 はアオコと呼ばれ、様々な水環境問題を引 き起こしている。特に、藍藻類はミクロシ スチンやアナトキシンなどの毒素を産生 することが知られており、家畜への被害や、 人間への健康被害が報告されている。

アオコ発生の主要な原因は、人為的な湖 沼の富栄養化であり、都市化や農地の拡大 等によるリンや窒素などの栄養塩類が大量に流入す ることでもたらされる。アジアの諸地域においても 社会・経済活動の近代化に伴い、湖沼の富栄養化問 題が顕在化している。

このようなアオコの異常増殖は、生物間相互作用 による湖沼生態系のレジームシフトと考えるのが本 研究の基本的な立場である。そこで本研究では、湖 沼生態系を対象とした数理生態モデルを構成し藍藻 類発生に関わる動態解析を行った。さらに、その解 析結果を参考に、生物間相互作用を利用することで、 環境への負荷が少なく経済的にも安価なアオコを低 減する手法についても提言する。本研究により、非 線形科学と生態環境学を融合した、アジア諸地域に 適用可能な環境負荷が少なく経済的な富栄養化湖沼 環境の修復手法を提示することを目的とした。

2. 方法

本研究の基本的概念となっている双安定性は、図 1のような状態図によって表現される(Scheffer et al., 2001; Amemiya et al., 2005)。生態系の回復力(レジリ エンス)は、人間が生態系に加える負荷(環境ストレ ス)の大きさによって、変化すると考えられている



環境ストレス(汚染物質,栄養塩負荷量等) 図1. 生態系のレジリエンスとレジームシフト

(図1)。生態系の数理モデルの解析によれば、人間 の影響を受けていない生態系の状態(ここでは自然 状態と呼ぶ)の回復力は、環境ストレスが増えると減 少し、最終的に環境ストレスの大きさがある臨界点 に達するとゼロになることが知られている。この臨 界点では、生態系は自然状態に近い状態から劣化し た状態へ遷移する。このような状態変化は、不連続 で突然起こり、また、生態系では生物の移動と相互 作用を通して空間的に比較的広範囲に起こるとされ、 生態学の分野では、レジームシフトと呼んでいる。 レジームシフトは、非線形力学の分野で広く研究さ れている分岐とよばれるシステムの状態変化の一種 である(雨宮 2006a, 2006b)。

本研究では、湖沼生態系のレジームシフトに影響 を及ぼすと考えられる、水生植物による藍藻類の低 減実験を行い、さらに、湖沼生態系の特徴を抽出し た数理モデルに上記の生物間相互作用を組み込み、 レジームシフトへ及ぼす影響について解析した。

3. 結果と考察

<u>2-1. ウキクサー根圏細菌の生物間相互作用を利用</u> したアオコの除去に関する実験室研究

雨宮隆 3

ウキクサー根圏細菌間の生物間相互作用及びシグ ナル伝達によるアオコの除去機構の概念を図2に示 す。化学分析及び発現遺伝子解析の結果、ウキクサ から水中の細菌あるいは根圏細菌へフラボノイドを 介したシグナル伝達が行われ細菌が活性化され(図 2:スキーム①~③)、効果的にアオコ(*Microcystis* より、主にグラム陰性菌のAIとして知られている OHHL (3-Oxohexanoyl Homoserin Lacton)が関与し ていることが示唆された。

以上のように、情報伝達物質を介した情報伝達物 質を介した2種類のミクロな生物間相互作用;(i) ウキクサから根圏あるいは水中細菌へのフラボノイ



図2 ウキクサー根圏細菌による藍藻類の増殖抑制の模式図

aeruginosa)の増殖が抑制されることを見出した(雨 宮ら、特許出願2009年-105196)。また、アオコの抑 制に必要なウキクサの枚数は次式*S* = *N*/(*n*×*D*×*f*) で与えられる。ここで、*S*は必要なウキクサの枚数、 *N*はアオコの細胞数密度である。その他は、根圏細 菌数などを算出するための定数である。例えば、毎 年夏季に大量発生する神奈川県の相模湖や津久井湖 のアオコを抑制するには、湖面の1%程度を覆うウキ クサを導入すれば良いことが示された。

次に活性化された細菌がアオコを除去するメカニ ズムについて検討した(図2:スキーム④)。活性化 された細菌はクオラムセンシングと呼ばれる細菌密 度依存性の行動によって、十分に増殖した活性化細 菌がアオコの除去に関わっていることが示唆された。 クオラムセンシングには、オートインデューサー

(AI) と呼ばれる細菌間の情報伝達物質が必要であることが知られているが、本実験系では化学分析に



図3 数理モデル(1)式の線形安定性解析 横軸は栄養塩の流入量(富栄養度),縦軸は藍藻 類のバイオマス密度.「ウキクサー根圏細菌」の 効果により,安定性曲線が右側にシフト(黒印→ 赤印)し,富栄養化した状態においても,藍藻類 の増殖を抑制できることを示している. (黒印: $f_{\rm B}B=k_{\rm B}=0$,赤印: $f_{\rm B}B=0.03,k_{\rm B}=2$)

$$\frac{dN}{dt} = I_N - r_N N - \frac{\gamma r_1 N}{k_1 + N} X + \gamma d_4 D$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{r_1 N}{k_1 + N} X - f_1 \frac{X^2}{k_2 + X^2} Y - (d_1 + e_1) X - f_B \frac{X^2}{k_B + X^2} B$$

$$\frac{dY}{dt} = \eta f_1 \frac{X^2}{k_2 + X^2} Y - f_2 \frac{Y^2}{k_3 + Y^2} Z - (d_2 + e_2) Y$$
(1)
$$\frac{dZ}{dt} = \eta f_2 \frac{Y^2}{k_3 + Y^2} Z - (d_3 + e_3) Z$$

$$\frac{dD}{dt} = (1 - \eta) f_1 \frac{X^2}{k_2 + X^2} Y + (1 - \eta) f_2 \frac{Y^2}{k_3 + Y^2} Z + d_1 X + d_2 Y + d_3 Z - (d_4 + e_4) D$$

ドの供与による細菌の活性化、(ii)細菌間における クオラムセンシングによる藍藻類の増殖抑制、が示 唆された。このようなミクロな生物間相互作用の結 果が、湖沼生態系の階層間相互作用を通してマクロ レベルの生態系の環境回復につながると考えている。 このようなマクロレベルの解析は次の数理モデルを 用いて検討した。

2-2. 湖沼生態系の数理モデル解析

本モデルのベースとなる湖沼生態系の 5 変数モデ ル (CASM: Amemiya et al., *Ecology & Society* 2005; DeAngelis et al., *Am. Nat.*, 1989) に、①「水生植物間 (ウキクサと藍藻類)の光と栄養塩をめぐる競争関 係」と②「ウキクサー根圏細菌共生系が藍藻類の増 殖を抑制する効果」を考慮した新たに構成したモデ ルは(1)式で示される。

このモデルの特徴は、第2式の最後の項(下線) に、根圏細菌群集が藍藻を殺藻する効果を Holling Type-IIIの捕食項として導入した。ここで、Nは栄養 塩濃度、Xは藍藻類バイオマス密度、Yは動物プラン クトンバイオマス密度、Zは高次捕食者バイオマス 密度、Dは死骸のバイオマス密度を表す。他は捕食 ー被食に関する定数である。 解析の結果を図3に示す。根圏細菌群集が藍藻類 の増殖を抑制する効果として、双安定性曲線が右側 にシフトすることが明らかとなった。すなわち、横 軸は栄養塩の負荷量(富栄養化度)であるので、富 栄養化が進んだ状態においても、「ウキクサー根圏細 菌群集」を導入することで、藍藻類の増殖が抑制さ れた単安定状態が実現される可能性が示された。尚、 他の生物・非生物量にも同様のシフトが見られるこ とが分かり、「ウキクサー根圏細菌群集」は湖沼生態 系の生物量が抑えられた貧栄養と同様の状態に戻せ ることが示された。

4. まとめ、今後の展開

湖沼生態系の生物間相互作用に基づくミクロレベ ルの実験及びマクロレベルの数理モデル解析を行っ た。はじめに、ミクロな生物間相互作用を利用する ことで効果的にアオコを抑制できることが示された。 また、このようなミクロな相互作用の結果は生物・ 生態系の階層間相互作用を通してマクロな湖沼生態 系全体に伝搬し、富栄養化が進行した湖沼において も全生物量が制御された貧栄養の状態に回復できる 可能性が示された。安価で環境負荷が少ないと考え られる本手法は、富栄養化に直面するアジア諸地域 の湖沼の修復に適用できると期待される。

文献

- Amemiya, T., Enomoto, T., Rossberg, A. G., Takamura, N., Itoh K. (2005) Lake restoration in terms of ecological resilience: a numerical study of biomanipulations under bistable conditions. *Ecology and Society*, 10(2):3.
- 7) 雨宮隆 (2006a) 複雑性の科学が捉えた生態環 境問題ー予測と解決への展望ー、科学、76(10): 1047-1052.
- 3) 雨宮隆 (2006b) 生物・生態系の機能的階層構造 と多重安定性-非線形科学から見た生態環境 問題-、京都大学数理解析研究所講究録1522、 pp.120-135.
- DeAngelis DL, Bartell SM, Brenkert AL (1989) Effects of nutrient recycling and food-chain length on resilience. *Am Nat* 134:778-805

主要な研究成果

(原著論文)

- Serizawa H, Amemiya T, Enomoto T, Rossberg A G, Itoh K (2007): Mathematical modeling of colony formation in algal blooms: phenotypic plasticity in cyanobacteria. *Ecological Research*, 23:841-850.
- Serizawa H, Amemiya T, Itoh K (2008a): Patchiness in a minimal nutrient-phytoplankton model, *Journal of Biosciences*, 33(3), 391-403.
- Serizawa H, Amemiya T, Rossberg A G, Itoh K (2008b): Computer simulations of seasonal outbreak and diurnal vertical migration of cyanobacteria, *Limnology*, 9(3), 185-194.
- Serizawa H, Amemiya T, Itoh K (2009a): Patchiness and bistability in the comprehensive cyanobacterial model (CCM), *Ecological Modelling*, 220: 764-773.
- Serizawa H, Amemiya T, Itoh K (2009b): Noise-triggerd regime shifts in a simple aquatic model, *Ecological Complexity*, 6: 375-382.
- Serizawa H, Amemiya T, Itoh K (2010): Sufficient noise and turbulence can induce phytoplankton patchiness, Natural Science, 2: 320-328.

(著書)

- 7) Amemiya T, Serizawa H, Sakajo T, Itoh K (2009): Mathematical modeling of algal blooms for dynamics and management in aquatic ecosystems, in *Aquatic Ecosystem Research Trends*, NOVA Science Publishers, Inc., New York.
- 8) 雨宮隆、"サステイナブルを理解する"、「よみがえれ!科学者魂—研究はひらめきと寄り道だ—」(共著)、 丸善株式会社 (2009).

(特許)

9) 出願番号:特願2009-105196
発明者:雨宮隆、比田井淳、伊藤公紀
発明の名称:アオコの除去方法
出願人:国立大学法人横浜国立大学
出願日:平成21年04月23日

- Scheffer M, Carpenter SR, Foley JA, Folke C, Walker B (2001) Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413:591-596.
- 6) Amemiya, T., Enomoto, T., Rossberg, A. G., Yamamoto, T., Inamori, Y., Itoh K. (2007) Stability and dynamical behavior in a lake-model and implications for regime shifts in real lakes. *Ecological Modelling*, 206:54-62.

研究協力者

| 伊藤 | 公紀 | (GCOE 事業推進者) |
|----|----|--------------|
| 芹沢 | 浩 | (GCOE 技術補佐員) |
| 柴田 | 賢一 | (GCOE 技術補佐員) |

丹沢山地渓流水質の経年変動解析

Secular variation of stream water chemistry in the Tanzawa Mountain watershed

報告者:有馬眞 Makoto Arima

GCOE5年間、丹沢山系渓流水質のモニタリング(2007年~2011年)を行い、先行研究(2001年~2006年)のデータと合わせて、溶存成分の供給源と溶存成分濃度の経年変動を解析・評価した。 大気による都市域からの汚染物質流入と風化・溶脱作用による鉱物から表層水への流入に加えて、 地殻深部から断層に沿って移動する SO4²⁻に富んだ鉱泉水の流入が、渓流水質変動を規制している 事が明らかになった。渓流水の SO4²⁻濃度変動は、調査地域の地震発生頻度と関係しており、渓流 水質変動モニタリングが地震活動の新たな評価手段に繋がるものと期待される。

This study conducted long-term (2007-2011) monitoring of stream water chemistry in the Tanzawa Mountain watershed. The present study in combination with the earlier study (2001-2006) identifies both seasonal and 3~4 years secular variations in the Tanzawa stream water chemistry. The data suggest that influxes of urban atmospheric pollutants, weathering and leaching processes of minerals, and influxes of SO⁴-rich spring-water associated with faulting in the studied area, largely control the stream water chemistry. The secular variation in SO₄²⁻ in the stream water chemistry is apparently synchronized with the seismicity in the study area. This suggests that the higher seismic activity enhanced influxes of spring-water along deep-seated faults.

1. 研究方針

渓流水質モニタリングは、地表環境におけ る物質循環過程を理解するための重要な研究 手法である。本研究では、GCOE5年間(2007 年~20011年)丹沢山森林生態系において、渓 流水と鉱泉水の野外調査と水質分析を行い、溶 存成分の季節変化および経年変化と供給源を 解析した。さらに2001年から2006年まで丹沢 山森林生態系において行われた渓流水質モニ タリング結果と合わせ、丹沢渓流水の地球化学 的特性評価と、鉱泉水流入が渓流水質におよぼ す影響評価を行い、丹沢渓流水の長期経年変動 と地殻変動との関係について解析した。

2. 方法

神奈川県北西部に位置する面積約400 km²の 丹沢山地を調査地とした。丹沢山地はフィリピ ン海プレートと本州プレートの衝突・沈み込み 帯に位置しており、地殻変動が活発な地域であ る。丹沢山地には、北東部を流れる相模川水系 (全長109 km、流域面積1,680 km²)、南西部 を流れる酒匂川水系(全長46 km、流域面積582 km²)、南部を流れる金目川水系(全長は21 km、 流域面積は184 km²)の3水系がある。集水域 の地質は、中新世から鮮新世の火山岩類で特徴 づけられる丹沢層群、その中心に貫入したトー ナル岩を主体とする深成岩帯、そして丹沢層群 の南部に分布する足柄層群に区分される。

2007 年から 2011 年にかけ、相模川水系と酒 匂川水系の8 定点観測点において、月1回の渓 流水質調査を行った。さらに、西丹沢・檜洞丸 西部の東沢及び丹沢湖西部世附川の2 地点で 鉱泉水の調査と試料採集を行った。

現地において気温・水温・pH・電気伝導率・ 流量を測定した。水試料は 0.2µm メンブラン フィルターでろ過し、保存処理後、フレーム原 子吸光法で Na⁺, K⁺を、ICP 発光分光分析法で Mg²、Ca²⁺、Al³⁺、SiO₂、PO₄³⁻を、イオンクロマ トグラフィーで Cl⁻、NO₂⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻濃度分 析を行った。硫酸滴定法でアルカリ度の測定を 行った。また、水試料の Sr-同位体組成 (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)を、表面電離型質量分析装置(TIMS) を用いて分析した。

3. 結果及び考察

渓流水溶存成分(N0₃⁻ Na⁺、K⁺、Mg²、Ca²⁺、 Cl⁻など)に1年周期の季節変動が認められた。 一方、渓流水 pH および SO₄²⁻濃度は、季節変 動に加え、約4年周期の長期変動を示した(図 1)。渓流水 SO₄²⁻濃度変動は、2001年から2004 年初頭に掛けて三宅島火山噴出により大気に 放出された SO₂ 濃度変動と有意の相関を示し たが、2004年以降の渓流水質には三宅島火山 噴出の顕著な影響が認められなかった。

岩石からの溶脱起源と考えられる溶存 Mg²⁺、 Ca²⁺、HCO³⁻濃度の間に、有意の相関がみられ た。世附川流域及び東沢において確認された 断層に沿って湧出する鉱泉水から高濃度の SO₄²⁻と Ca²⁺が認められた。渓流水の⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位体比と SO₄²⁻溶存濃度との間に有意の負 の相関が認められ、さらに渓流水と鉱泉水の ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位体組成と溶存 SO₄²⁻濃度は2端成 分混合曲線上にプロットされる。このことか ら、高い SO₄²⁻溶存濃度を有する鉱泉水が渓流 水に流入・混合していることが明らかになっ た(図 2)。



図1. 西丹沢自然教室で採集された渓流水 Ph の 経年変化.



図2. 丹沢渓流水と鉱泉水の SiO₂ 濃度と Sr-同位 体組成は、2端成分混合曲線上にプロットされる.

4. まとめ、今後の展開

丹沢山地の渓流水質には、大気移送による 集水域への流入と(N0²など)、基盤岩からの 元素溶脱(Mg²、Ca²⁺など)に加え、S04²⁻に富 んだ鉱泉水の流入の影響が認められる。地殻 深部起源である鉱泉水は破砕帯(断層面)に 沿って移動する事が知られている。丹沢地域 を震源とする 2001 年から 2011 年にかけての 地震発生数(神奈川県温泉地学研究所地震月 報、72号~196号)と渓流水質変動の関係を 評価した。図3にみられるように、地震発生 回数経年変化の微分値変化曲線と SO4²⁻濃度 変動の微分値変化曲線はほぼ同期しており、 渓流への鉱泉水流入が地震活動(地殻変動) に伴う断層運動に規制されていることが示唆 される。今後、地殻変動地域における渓流水 質モニタリングが地震活動の新たな評価手段 に繋がるもの期待される。

地震回数変動12カ月移動平均の微分値



図 3. S0⁴濃度の経年変動と丹沢地域を震源とする 地震発生回数(>震度1)の経年変化の微分値変 化曲線.

研究協力者

中村栄子、石川正弘、中野孝教、金子慶之、 安達佳奈、大森典子、小野寛斗、佐藤理恵子、 馬場絵里子、曽田圭介、栗原武裕、 佐藤理恵子、志田めぐみ、畠中哲生、 高橋航平、若生悠、奥原洋人、高橋航平、 若生悠、池田 光佑、加藤 卓也。

主要な研究成果(2007-2011)

成果となる発表論文

- D. Prakash, M. Arima and A. Mohan. Ultrahigh-temperature mafic granulites from Panrimalai, South India: Constraints from phase equilibria and thermobarometry. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29, 41-61, 2007.
- D. Prakash, M. Arima and A. Mohan. Colour-coded compositional mapping of orthopyroxene-plagioclase symplectites in mafic granulites from Panrimalai, South India. *Journal Geological Society of India*. 69, 285-290, 2007.
- Saito, S., Arima, M., and Nakajima, T., Hybridization of a shallow 'I-type' granitoid pluton and its host migmatite by magma-chamber wall collapse the Tokuwa pluton, central Japan. Journal of Petrology. 48, 79-111, 2007.
- Kokonyangi, J.W., Kampunzu, A.B., Armstrong, R., Arima, M., Yoshida, M., Okudaira, T., U-Pb SHRIMP dating of detrital zircons from the Nzilo Group (Kibaran Belt): implications for the source of sediments and Mesoproterozoic evolution of central Africa. *Journal of Geology*, **115**, 99-113, 2007.
- Kono, Y., Ishikawa, M., and Arima, M., Effect of H₂O-fluid on compressional wave velocities of peridotites up to 1000 °C at 1 GPa. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 161, 215-223, 2007.
- Dwivedi, M. M., Gupta, A.K., and Arima, M., Experimental study of the joins leucite-akermanite-albite and leucite-akermanite-albite₅₀ anorthite₅₀ under atmospheric pressure and 1 GPa (H₂O-saturated condition): Its significance in the leucite-sodic plagioclase and melilite-plagioclase incompatibilities. *Journal of Mineralogical* and Petrological Sciences, **102**, 261-271, 2007.
- Nag, K., Arima, M., and Gupta, A.K., Experimental study of the joins forsterite-diopside-leucite-and forsterite-leucite-åkermanite up to 2.3 GPa [P(H₂O) = P(Total)] and variable temperatures: Its petrological significance. *Lithos*, **98**, 177-194, 2007.
- Saito, S., Arima, M., Nakajima, T., Misawa, K., and Kimura, J., Formation of distinct magma batches by partial melting of hybrid lower crust in the Izu-Bonin-Marina arc and Honshu arc collision zone, central Japan. *Journal of Petrology*, **48**, 1761-1791; doi:10.1093/petrology/egm037, 2007.
- Pati, J. K., Patel, S.C., Pruseth, K. L., <u>Malviya, V. P.</u>, Arima, M., Raju, S., Pati, P., and Prakash, K., Geology and geochemistry of giant quartz veins from the Bundelkhand craton, central India and their implications. *Journal of Earth System Science*. 116, 497-510, 2007.
- <u>五十嵐聡</u>・**有馬眞**・木村純一・周藤賢治. 北部フォッサマグナ,鳥甲火山噴出物の岩石学〜カルクアルカ リ系列火山岩類の形成過程〜Petrology of the volcanic rocks from Torikabuto volcano, North Fossa Magna, Central Japan- Differentiation process of calc-alkaline volcanic rocks.地質学雑誌、113, 565-584, 2007.
- <u>金子慶之</u>、**有馬眞**、<u>佐藤理恵子、小野紘斗、岩垣拓也、川崎昭如</u>. 西丹沢中川上流域に分布するトーナル 岩母材土壌の構造と地球化学的特性:長期モニタリングに向けた基盤データの構築(Distribution of soil thickness and soil chemistry in the western part of Tanzawa Mountains: Construction of basic data for long-term monitoring study) 地質学雑誌, 113,611-627, 2007.
- **有馬眞・**金子慶之・中村栄子, 丹沢山地における生態系管理・保全を目指した地質・土壌の地球化学的特性と流域圏の物質動態評価. 横浜国立大学21世紀COE報告書. 35-46, 2007.
- <u>Yoshio Kono</u>, Akira Miyake, <u>Masahiro Ishikawa</u>, and **Makoto Arima**. Discontinuous change in temperature derivative of elastic wave velocities in plagioclase (An_{51±1}) above and below the order-disorder transition temperature. American Mineralogist, 93, 558-564, 2008.
- Ishikawa, M., Shingai, E., and Arima, M., Elastic properties of high-grade metamorphosed igneous rocks from Enderby Land and eastern Dronning Maud Land, Antarctica: evidence for biotite-bearing mafic lower crust, Geological Society, London, Special Publications, 308, 183-194, DOI: 10.1144/SP308.9. 2008.
- **Makoto Arima** and Yusuke Kozai. Diamond dissolution rates in kimberlitic melts at 1300-1500°C in the graphite stability field. European Journal of Mineralogy, 20, 357-364, 2008.
- Arima, M., Harte, B., and Sobolev, N.V., Diamonds; Preface: A special issue in honour of Vladimir S. Sobolev, European Journal of Mineralogy, 20, 303-304, 2008.
- Sankar Bose, Kaushik Das, and **Makoto Arima.** Multiple stages of melting and melt-solid interaction in the lower crust: new evidence from UHT granulites of Eastern Ghats Belt, India. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 103, 266-272, 2008.
- Nishimoto, S., Ishikawa, M., Arima, M., Yoshida, T., and Nakajima, J., Simultaneous high P-T measurements of compressional and shear wave velocities in the Ichino-megata mafic: their bearings on the seismic velocity perturbations in the lower crust of Northeast Japan arc. *Journal of Geophysical Research*, 113, B12212, doi:10.1029/2008JB005587, 2008.

- Dwivedi, Mrigang Mauuli, Gupta, Alok K., and Arima, M., Effect of halogen-bearing fluid on melilite-plagioclase and leucite-sodic-plagioclase incompatibility in potassium rich tephritic magma. Science and Culture, 74, No. 5-6, 174-178, 2008.
- Rai, Abhishek, Dwivedi, Mrigang Mauuli, Gupta, Alok, K., and **Arima, M**., Measurements of compressional and shear-wave velocities at variable pressure and temperature. Science and Culture, 74, No. 5-6, 179-183, 2008.
- 吉川和男、**有馬眞**. 群馬県赤城火山産の二種類の大隅石について. 群馬大学教育学部紀要, 57 巻, 23-32, 3月, 2009.
- <u>Yoshio Kono, Masahiro Ishikawa</u>, Yumiko Harigane, Katsuyoshi Michibayashi, and **Makoto Arima**. P- and S-wave velocities of the lowermost crustal rocks from the Kohistan arc: Implications for seismic Moho discontinuity attributed to abundant garnet. Tectonophysics, 467, 44-54, 2009.
- Ishikawa, M., and Arima, M., 2009. Laboratory measurements of ultrasonic wave velocities of crustal rocks at high temperatures and pressures: Petrological structure of Izu-Bonin-Mariana arc crust. In (A.K. Gupta and S. Dasgupta eds.), *Physics and Chemistry of the Earth's Interior*, The Special Platinum Jubilee Issue of the Indian National Science Academy, Springer-Verlag, 143-152, 2009.
- T. Takam, M. Arima, J. Kokonyangi, D.J. Dunkley, and E.N. Nsifa, Paleoarchaean charnockite in the Ntem complex, Congo craton, Cameroon: insights from SHRIMP zircon U-Pb ages. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 104, 1-11, 2009.
- Mazumder, R. and Arima, M., 2009. Implication of mafic magmatism in an intracontinental rift setting: a case study from the Palaeoproterozoic Dhanjori Formation, Singhbhum Crustal Province, India. Journal of Geology, v. 117, No. 4, 455-466.
- <u>Mazumder, R.</u>, Rodriguez-Lopez, J.A., Arima, M., van Loon, A.J. (2009) Palaeoproterozoic seismites fine-grained facies of the Chaibasa Fm., E. India) and their soft-sediment deformation structures. In: Reddy, S.M., Mazumder, R., Evans, D.A. Collins, A.S. (Editors) "Palaeoproterozoic supercontinent and its global evolution " Geological Society of London Special publication, 323, pp. 301-318.
- Matsumoto, Y., Ishikawa, M., Terabayashi, M. and Arima, M. Simultaneous measurements of compressional wave and shear wave velocities, Poisson's ratio, and Vp/Vs under deep crustal pressure and temperature conditions: Example of silicified pelitic schist from Ryoke Belt, Southwest Japan, Island Arc, 19, 30-39, 2010, DOI:10.1111/j.1440-1738.2009.00695.
- Nirihaja O.T. Rakotonandrasana, Makoto Arima, Ritsuro Miyawaki, and Roger A. Rambeloson. Widespread occurrences of högbomite (2N2S) in UHT metapelites from the Betroka belt, southern Madagascar: Implications on melt/fluid activity during regional metamorphism. 51, 869-895, doi:10.1093/petrology/egq004, Journal of Petrology doi:10.1093/petrology/egq004), March 2010.
- Tamura, Y., Ishizuka, O., Richard, F., Aoike, K., Kawate, S., Chang, Q., Saito, S., Tatsumi, Y., Arima, M., Takahashi, M., Kanamaru, T., and Kodaira, S., Missing Oligocene crust of the Izu-Bonin arc: Consumed or rejuvenated during collision?, Journal of Petrology, 51, 823-846, doi:10.1093/petrology/egq002, 2010.
- 森慎一・藤岡換太郎・**有馬眞**。相模トラフ北部の海底地形と断層系の形成-5系統の断層発達史.地学雑誌 vol. 119, No. 4, page 585-614, 2010.
- Yoshikazu Fujimoto, Yoshio Kono, Takao Hirajima, Kyuichi Kanagawa, Masahiro Ishikawa, and Makoto Arima. P-wave velocity and anisotropy of lawsonite and epidote blueschists: Constraints on water transportation along subducting oceanic crust. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 183, 219-228, 2010.
- Sankar Bose, Daniel J. Dunkley, Somnath Dasgupta, Kaushik Das, and Makoto Arima, India-Antarctica-Australia-Laurentia connection in the Paleo-Mesoproterozoic revisited: Evidence from new zircon U-Pb SHRIMP and monazite chemical age data from the Eastern Ghats Belt, India. Geological Society of America Bulletin. 123, 2031-2049, doi: 10.1130/B30336.1, 2011.
- <u>Mazumder, R</u>, Van Loon' A.J., Mallik, L., Reddy, S.M., Arima, M, Altermann, W, Eriksson P.G, and De, S. Mesoarchaean-Palaeoproterozoic Stratigraphic Record of the Singhbhum Crustal Province, Eastern India: a synthesis, *In Palaeoproterozoic of India*, Geological Society of London special publication, Eds. R. Mazumdrr and D. Saha, 2011.
- Satoshi Saito, Makoto Arima, Takashi Nakajima, Kenichiro Tani, Takashi Miyazaki, Ryoko Senda, Qing Chang, Toshiro Takahashi, Yuka Hirahara, Jun-Ichi Kimura, Petrogenesis of the Kaikomagatake granitoid pluton in the Izu Collision Zone, central Japan: implications for transformation. Contrib Mineral Petrol. DOI 10.1007/s00410-011-0689-1, 2011.
- L. Mallik, <u>R. Mazumder</u>, B.S. Mazumder, M. Arima, P. Chatterjee, Tidal Rhythmites in Offshore Shale: a case study from the Palaeoproterozoic Chaibasa shale, eastern India and implications, J. Marine and Petroleum Geology, 1-7, 2011.

関連著書等

有馬眞・<u>石川正弘</u>,神奈川拡大流域圏の地質・水循環と水源地の地球科学的リスク,佐土原聡 編『時空間情報プラットフォーム--流域圏環境への適用』第6章,東大出版会、7月,2010, p.58-73.

沿岸生態系のリスク評価へ向けた物質動態の 解析と環境評価手法の開発 Matter cycling analysis and development of environmental assessment for eco-risk evaluation in the neritic ecosystem

報告者:菊池知彦 Tomohiko Kikuchi

陸域における人間活動の結果、沿岸域に負荷される陸域起源の有機物や無機化合物などは有害 赤潮やクラゲ類の大発生を引き起こし沿岸域生態系の安定に大きなインパクトを与えている。本 研究では、沿岸域生態系の安定に大きな影響を持つ海域の低次生産機構を大きく支配する栄養塩 環境の変動モニタリングとその解析手法の提案、沿岸域に負荷され、海域の低次生産に大きな影 響を及ぼすと考えられる陸域起源の有色溶存態有機物(CDOM)の時空間分布の検討、そして沿岸 の海底堆積物中に分布する人為起源の有機物のうち蛍光性を示す人為的有機物質の探索を検討 した。加えて、近年東アジアに沿岸域で顕在化している大型クラゲの大発生メカニズム究明をそ の予測に関する手法の提案を行った。海域に負荷される栄養塩類のモニタリングでは栄養塩類 のバランスに着目した解析手法を提案し、沿岸域に負荷される陸域起源の有色溶存態有機物 (CDOM)の時空間分布では陸域起源のフミン質様の物質が重要であるが、その影響は沿岸の比較 的狭い海域で短時間に終焉していることを示した。沿岸部に及ぼす陸域の人間活動の指標とし ては、海底堆積物中に分布する蛍光性人為的有機物質をターゲットにその物質の沿岸環境へのヒ ューマンインパクトを定量化する評価手法へ向けた物質の探索を行った。クラゲ類の大発生に関 してはクラゲ類の生活史生態の解明が海域の流動場の解析と併せて大発生メカニズムの解明と 予測に極めて有効である事を示した。

Analyses on the last 15 years of monitoring data set of oceanographic environments with nutrients balance in the neritic area of western part of Sagami Bay were carried out. Inflow of colored dissolved organic matter (CDOM) and artificial fluorescent organic matter (AFOM) to the neritic area have also been analyzed. Humic substances were monitored as large cportion of CDOM which were discharged into neritic area. Toward environmental assessment of neritic ecosystem with human impact, search for specific organic substances of AFOM was also conducted. For the forecast of mass break out and resource management of jelly fish in the nertic water, hydrography and fully understanding of complete life cycle of jelly fish in the field were shown to be most important factors in the semi closed sea.

1. 研究方針

沿岸域は沖合域と人間活動の中心である陸 域に挟まれ、沖合域からは地球規模での中・ 長期的な変動の影響、また陸域からは比較的 短い時間スケールで様々な陸起源の物質や人 間活動由来の化学物質の影響を受けている。

沿岸域の生態系には、沖合域や深海域に比

沿岸生態系と生物多様性を取り巻く物質循環と人為的インパクト



べて極めて高い生物量と生物多様性と有して おり、底生生物、動植物プランクトン、底生 生物の浮遊幼生、魚類、頭足類、海産ほ乳類 などが、さらに海底と水中の両方には極微な 細菌やウィルスも大量に分布している。これ らが行う摂餌、捕食、生殖、生産、成長、移 動といった生命活動は、海洋の物理化学的な 物質の流れと合わさり、沿岸域から沖合域、 陸域そして大気を経由するダイナミックで休 むことのない物質の流れを生み出しているの である。この物質の循環には、人間の活動に よって産み出された様々な物質が含まれてい る。こうした人間活動由来の物質の多くは生 熊系本来の物質循環機構に取り込まれると生 態系の生物的、非生物的要素に対する様々な 影響をそれぞれ異なる時空間スケールで及ぼ すことになる。

海洋生態系は陸上の生態系にくらべ、食物 網構造において基礎生産者(一般的に光合成 を行う生物)のサイズが極めて極微であるこ とが大きな違いに挙げられる。さらにこの一 時生産を最初に利用する生物群集の殆どは植 物プランクトンと同様に肉眼では確認しづら いサイズの小さな動物プランクトンや小型底 生生物(メイオベントス)である。これらの 活動によって環境中に放出される溶存態の有 機物(DOM)や栄養塩類の一部(大部分は植物 プランクトンの生産に再利用される)は細菌 類や細菌類に取り付いて増殖するウィルスに 利用され、細菌類は鞭毛虫などのきわめて微 小な原生生物群集に利用されてゆく。こうし た連鎖が沿岸域生態系の低次栄養構造を構築 し、海洋環境の安定を下支えしている。

体サイズの小さい生物の一生(ライフサイ クル)は、一般的に大きな生物に比べ短く、 海洋の基礎生産者である植物プランクトンは、 わずか数日で細胞分裂を繰り返して増殖を続 ける。また、海洋の水柱(water column)の 代表的な一次消費者であるカイアシ類は、数 週間~数ヶ月のライフサイクルをもつものが 殆どである。こうした海洋生態系の基礎構造 は、陸上生態系における変化(例えば植生の 遷移)にくらべて極めて短い時間スケールで 変動していることを示す。この変動特性は、 沿岸域において、四季を通じた光環境や水環 境の動態に対応して現れるだけではなく、人 為活動に起因する様々なインパクトに対して も敏感に現れる。

これまでの海洋環境に対するリスク評価は、 高次栄養段階に属する魚類やカニや貝類など 大型底生生物や、養殖漁業などに直接被害を もたらす有害植物プランクトン(赤潮)を対 象とした研究が主流であり、沿岸生態系内の 物質循環や種多様性、環境安定性に対するリ スク評価の観点からは十分ではなく、動植物 プランクトンやメイオベンスなどの低次栄養 構造を構築するグループとそこにインパクト を与える様々な攪乱要因の総合的な研究・評価が必要不可欠である。

当研究室では、相模湾北西部に位置する真 鶴半島周辺海域を中心に、15年以上にわたる 海洋環境のモニタリングを継続し、海洋環境 の基盤要素であり低次生産構造に大きな影響 を与える水温、塩分、Chl.a量や各種の栄養塩 濃度について、1995年より月毎の観測を継続 し、その変動を監視、解析を行ってきている。

本研究では、海洋において人為的な影響が 顕著に現出している沿岸域において、栄養塩 環境の長期変動と、陸域より負荷される人為 的物質の中出から特に沿岸域の基礎生産機構 に大きなインパクトを与えていると考えられ る CDOM (有色溶存態有機物)の負荷量とその 時空間変動、そして、人間活動により排出さ れる界面活性剤や可塑剤あるいは不揮発性 重油成分など蛍光を発する有機物質の沿岸 環境への影響を評価するために必要となる 環境マーカー候補の探索を行うこととした。 また、沿岸域の特に内湾域で近年、海域の汚 染や栄養塩バランスの変動と共に顕在化し、 海域の環境安定性や水産業、そして沿岸エリ アの人間活動にも直接的で深刻な被害が頻 発するクラゲ類の大発生に関し、その機構の 解明と大発生予測につながる手法の確立を 目指した。

2. 方法

調査地の特徴

海洋の栄養塩環境変動のモニタリング、沿 岸域に負荷される陸域起源の有色溶存態有 機物(CDOM)の時空間分布、そして沿岸海底 堆積物中に分布する蛍光性人為的有機物質 の探索に関する研究は相模湾西部海域で実 施した(図1)。 相模湾は、我が国における典型的な開放型 の湾であり、その最深部は相模舟状海盆(相 模トラフ)で1,500mを越える。湾内における 海洋生物相に関しては、相模湾を分布の北限 あるいは南限とする生物も多く、多様性が高 い海域であると考えられている。しかし、現 在までの同湾の生物相に関する知見は、高次 の栄養段階に属する魚類や大型の底生生物の 研究より得られたものであり、より低次の栄 養段階に属する生物群に関しては不明の部分 が多いのが現状となっている。



図1 相模湾と調査海域 ★は観測定点

相模湾の沿岸域に陸域起源の物質を運搬・ 供給している主要な河川は、酒匂川と相模川 の2河川であり、本研究フィールドである神 奈川県西部においては、丹沢山系を起源とす る酒匂川と、芦ノ湖より相模湾に流入する早 川の影響が大きい。

クラゲ類の大発生に関する研究は、近年ミ ズクラゲ(Aurelia aurita)の大発生による 漁業被害や発電所冷却水取水口閉塞といった 問題が顕在化している三河湾をフィールドと した。三河湾は渥美半島と知多半島に挟まれ た典型的な閉鎖的水域であり、湾の南西部で 伊勢湾に繋がり外洋には直接接していない。 面積は604km²。平均水深は約9.2m。主要な流 入河川は湾東部の豊橋市西部で三河湾に注ぐ
豊川、湾西部の碧南市と西尾市との境で三河 湾に注ぐ矢作川、そして湾西部の知多湾奥の 衣浦湾に注ぐ境川の3河川である。

調査方法

相模湾西部沿岸域における栄養塩類・CDOM の時空間変動・陸域起源の有色溶存態有機物 (CDOM)と沿岸海底堆積物中に分布する蛍光性 人為的有機物質の探索に関する研究は、

相模湾西部の真鶴半島周辺に設置した水深約 40m と 70m の 2 定点において、毎月 1 回を基本 に実施した。採水試料は本学に持ち帰り、硝 酸+亜硝酸塩、リン酸塩およびケイ酸塩濃度は オートアナライザー、CDOM 量については蛍光 光度計と分光光度計を用いて測定し、沿岸海 域堆積物からの人為的有機物質の抽出には恒 量した乾燥底質試料についてソックスレー抽 出操作,脱塩操作,および固相抽出濃縮操作を 組み合わせて行った。また,各段階において蛍 光検出器を用いた HPLC と LC-MS を活用して蛍 光スペクトルを測定し,蛍光を発する分画の みを分析した。

ミズクラゲ大発生機構の解明に関しては、 2007 年度からミズクラゲ成体の分布調査、 2008 年度以降にはエフィラ期浮遊幼生と、固 着期のポリプ期の調査を実施し、あわせて海 域の流動場の解析も実施した。

3. 結果、考察

3-1.海洋の栄養塩環境変動のモニタリング 海洋生態系の物質循環を理解する上で栄養 塩類の動態の把握は極めて重要である。植物 プランクトンの主要なグループである珪藻類 は増殖時に窒素とリンに加えてケイ素を必要 とし、一つの主要なグループである渦鞭毛藻 類(赤潮の原因となる種の多くがこのグルー プに属します)は、増殖時に窒素とリンを要 求するが、ケイ素を必要としない。生物種毎 に必要な栄養塩類は異なっている。海洋生態 系における栄養塩類の動態は、湧昇やエスチ ュアリー循環により水柱内の深層からの供給 (再循環)と河川水や雨水等を通じた陸域か らの負荷により決定されており、特に沿岸域 においては、河川を通じた陸域からの供給が、 重要な役割を果たしていると考えられている。 陸域から供給される栄養塩類の量と質(種類 とそのバランス)の変化は短時間のうちに基 礎生産者の増殖動態に変化をもたらすため、 その影響はより高次の生物群へ短い時間スケ ールで伝播して行く。

沿岸域への栄養塩の負荷量の急激な変動は 栄養塩類のバランスを崩し、植物プランクト ン種の遷移を引き起こすことが考えられます。 例えば大阪湾では窒素、リン、ケイ素のバラ ンスが変化した結果、珪藻主体の群集から渦 鞭毛藻主体の群集へと組成が変化し、赤潮に よる被害が増加した可能性が議論されている。

沿岸生態系のリスク評価へ向けた物質動態 の解析と沿岸生態系の構造と機能に関しリス ク評価と適切なマネジメントを行う上で、系 内に流入する栄養塩類の負荷量とそのバラン スの変動傾向のモニタリングは、極めて重要 である。

1) 栄養塩類とChl.a量の中長期変動

真鶴半島沖のモニタリング定点である水深 約40mと70mの2定点(図1)において、2000 年1月から毎月1回の頻度で海水中の硝酸+亜 硝酸塩、リン酸塩およびケイ酸塩濃度のモニ タリングを行ってきている(図2)。



図2 相模湾西部真鶴半島沖合定点における栄養塩 類の長期変動

それぞれの栄養塩は毎年季節的な増減を繰 り返しているものの、12 ヶ月移動平均の解析 では、窒素では若干の減少、リンでは若干の 減少傾向の後、近年増加に転じている様子が 認められ、ケイ素では若干の増加傾向が認め られるが約 6 年半の調査期間を通じて顕著な 増減傾向は認められなかった。さらに、植物 プランクトンの現存量の指標である Ch1. a量 の変化では、栄養塩類と同様に季節的な増減 を繰り返していますが、12 ヶ月移動平均に着 目すると、6年間の調査期間を通じて、ほぼ横 ばいか若干の減少傾向を示していた(図3)。

栄養塩類の長期変動のデータを用いた栄養 塩バランスの変動を窒素:リン:ケイ素 = 16: 1:16 とする Redfield 比(BOX 1 参照)を基 準にグラフ化したところ(図4)、1~2月の



図3 相模湾西部真鶴半島沖の定点におけるクロロ フィル a 量中長期変動 (菊池ら 2007)



図4 相模湾西部真鶴半島沖の定点における栄養塩 類バランスの季節変動 (菊池ら 2007)

冬季にかけては、概ね3 破線の交点に近い範 囲に観測値が集中し、栄養塩類のバランスは 植物プランクトンの増殖に良好である一方、 各年度によって若干のばらつきが存在するも のの、春から夏にかけては右下方、秋から初 冬にかけては右上方の範囲に観測値が集まる 傾向が認められた。したがって、現場海域で は春期から夏期にかけて窒素制限、秋期から 冬期前まではリン制限がとなる傾向が示され、 栄養塩のバランスが季節的に変動している事 実が明らかとなった。しかし、ケイ素に関し ては、その相対的な割合は Redfield 比と同じ か、あるいは常に高く、季節を通じ他の栄養 塩に対するバランスとして、ケイ素が常に豊 富に存在しており、植物プランクトンの増殖 を制限する要因となり難いことが明らかとな

り、海域の栄養塩バランスに関し、本海域の 環境は、植物プランクトン、特に珪藻類の増 殖に好適であることが示唆された。

現場海域で確認された栄養塩バランスの季 節変化は塩分の変動と対になって現れており、 沿岸域に供給される淡水の量の増加(塩分の 低下)や冬期を中心とする降雨量の減少海域 の栄養塩状態に大きな影響を及ぼしている様 子を見ることが出来た。

今後はこのバランスの変動が何によって生 じ、陸域での物質循環とどの様にリンクして いるのかを解析し、それが沿岸域の低次生産 機構どのように制御しうるのかについて検討 する予定である。

3-2. 沿岸域に負荷される陸域起源の有色溶 存態有機物 (CDOM) の時空間分布

海洋の低次生産を支える溶存態有機物質のう ち、有色溶存態有機物 (CDOM, Chromophoric Dissolver Organic Matter) は陸域から沿岸域に 負荷される溶存熊有機物(DOM: Dissolved Organic Matter)の部分の大半を占めると考えられている。 CDOM は DOM の中で光を吸収する性質をもち、波 長が短くなるにつれて吸収量が指数関数的に増 加する特徴的なスペクトルを持つ。陸域起源の CDOM は河川からの陸水流入により沿岸域に負荷 され、現場海域のDOMの総量に大きな影響を及ぼ していると考えられる。また、台風等による大規 模な陸水の流入時には相当量の陸域起源有機物 が短時間のうちに沿岸域に負荷されるため、沿岸 環境に与える影響は極めて大きい。本研究では分 光光度法によって沿岸域に現れるCDOMの総量の 変化に加え、蛍光光度法により陸域由来CDOM本体 と考えられるフミン物質由来のCDOMの時空間変 動を平常時と台風通過に伴う大量降雨後の5日間 における連続調査として実施した。

分光光度法と蛍光光度法によるCDOM濃度の変 動結果からは互いに似た傾向が認められ、夏季に 海面で高濃度、冬季は深度によらず低い値で推移 した。



図5 沿岸域におけるCDOMの循環模式図

陸域由来のCDOMは沿岸の観測点から沖合の観 測点までの広範囲に分布し、陸水流入の影響が強 い夏季には成層構造の発達に伴い海面で特に高 濃度になっていた。

分光光度法と蛍光光度法によるCDOM濃度の測 定値間には有意な相関(P<0.01)が認められ、陸域 由来のフミン質様のCDOMが海域のCDOM総量に大 きく影響を与えているものと考えられた。最も高 濃度のCDOMが観測されたのは沿岸の観測点では 台風通過翌日であったが沖合の観測点ではその 翌日に記録された。また、溶存態有機物の質の違 いを表すS値の水平分布から、CDOMが岸よりの観 測点から沖合の観測点に向かって分解され、低分 子化している傾向にあることが明らかとなった。

本研究により、陸域由来のCDOMは現場海域の CDOM総量に大きな影響を与えていること、CDOM の組成には降水に伴う陸水の流入とその後の 光分解過程が大きく関係していることが明ら かとなり、台風などの陸水の大量流入はその影 響が表れるまでに2日、その消失までに3日と いう極めて短期的な時間スケールで生起して いる実態が明らかにされた(図5)。 3-3.沿岸海底堆積物中に分布する蛍光性人 為的有機物質の探索

人間活動により自然界に排出される有機物 質(以下、人為的有機物質)には界面活性剤や 可塑剤あるいは不揮発性重油成分など蛍光を 発するものが数多く存在する。これらの物質の 環境中での分解速度は遅く、その蛍光発光団は 分解の最終段階まで保持されると予想される ため、沿岸の海洋環境に及ぼすヒューマンイン パクトを評価する上での環境マーカー候補と して新たな尺度の提供か期待できる。そこで、 沿岸海域の堆積物中に存在する有機物質の中 から蛍光発光性を手掛かりとして人為的有機 物質あるいはその分解物を抽出・精製し、その 構造を明らかにする作業を続けている。

沿岸海域堆積物からの人為的有機物質の抽出 および精製は,環境省が公示している底質調 査方法を参考に検討した。

不特定の蛍光性有機物質の構造を決定する ことを目標のひとつとし、抽出・精製には恒 量した乾燥底質試料についてソックスレー抽 出操作、脱塩操作、および固相抽出濃縮操作 を組み合わせて行い、各段階において蛍光ス ペクトルを測定して蛍光を発する分画のみを 取り扱った。その結果,同一日時におけるサン プリング地点の違いでは,その分画量は大き く異なるものの,その蛍光スペクトルの波形 には著しい違いは認められないことが明らか となった(図6)。2010年 9月の最終段階での 精製回収量とその時の各分画の蛍光スペクト ルを図6左に示す。また、活性炭を用い



図6 相模湾真鶴半島沿岸域の3観測点における海底 堆積物から蛍光性人為的有機物の回収量(左)とその 時の各分画の蛍光スペクトル

た精製によって得られた人為的有機物質量の 月変動を図7に示す。岸よりのSt.40 および St.70 において、シーズンを通じて蛍光性人為 的有機物質が観測された。このことは、本研究 の現場海域に蛍光性人為的有機物質が定常的 に供給され続けていることを示唆している。

蛍光性人為的有機物質のHPLC分析蛍光性を 指標として抽出・精製した分画成分について、 蛍光検出器を用いたHPLCとLC-MSを活用してさ らに分析した結果、抽出・精製した分画中には 複数の成分が混在していることが明らかとな った(図8)。

このことは、特定の蛍光性有機物質が複数存 在していることを示している。



図7 相模湾真鶴半島沿岸域の3観測点における人為 的有機物質量の季節変動



図8 相模湾真鶴半島沿岸域の2観測点において蛍光 性人為的有機物質のHPLC分析蛍光性を指標として抽 出・精製した分画成分について蛍光検出器を用いた分 析結果

3-4.沿岸域のミズクラゲ大発生機構の解明 ミズクラゲの大発生による漁業・産業被害が 深刻な三河湾を舞台に、ミズクラゲ個体群の時 空間動態解析と生活史生態の解明を中心に研 究を進めてきている。これまでに湾内でのミズ クラゲ個体群の出現消長過程、分布拡散パター ンの解析をすすめてきた。



図9 三河湾におけるミズクラゲ成体の水平分布の季 節変化

図9には三河湾におけるミズクラゲ生態の 水辺分布の変遷が示されている。ミズクラゲ成 体は春季に湾内の入り口付近、伊勢湾との境界 付近に点在する島々の海域に出現し、その後湾 西北部の衣浦湾(境川河口)付近に移動、初夏 になると生殖巣を発達させながら南下し、クラ ゲが出現した湾口付近を経由しながら海域の 動物プランクトンや魚卵などを捕食しながら 成長し、盛夏以降、湾東部の渥美奥の海域に集 中し、そこで分解、溶解して一生を終わってい ることが明らかとなった。

ミズクラゲ成体の分布調査にひき続き、湾内 におけるエフィラ期の浮遊幼生の出現時期と 出現海域について調査を行った(図10)。エ フィラ期はクラゲの卵が水中で受精後、プラヌ ラ幼生となって海底に向かい、適当な付着基盤 に付着してポリプに変態した後のストロビラ 期から水中に遊離する最初のクラゲ世代であ る。その結果、エフィラ期幼生は初夏に湾口の 海域で出現し、その後湾当方海域に移動してい ることが明らかとなった。

ミズクラゲの生態の分布調査と浮遊期幼生 の出現消長に関する観測結果は、ミズクラゲ がプラヌラを水中に放出し、それが海底に固 着後、浮遊幼生を出す場合、湾口付近にその 初期生活の「場」があることが推定されたの で、湾港を中心に固着期のポリプ世代の調査 を行ったこと沪、湾港に点在する島々の漁港 やヨットハーバーの浮き桟橋や休漁船の下面 に大規模なコロニーを発見した。



図10 三河湾におけるミズクラゲのエフィラ期幼生の 水平分布の季節変化

これらの観測結果に湾内の海水の流動場情

報とミズクラゲに見られる日周鉛直移動をパ ラメータに湾内のミズクラゲ成体の時空間分 布予測を行った結果は図9に示されたミズク ラゲ成体の分布と合致していた。また、湾口の 島々で発見されたポリプ群衆は複数年を生き 延びて生存している事実も明らかにすること が出来た。

このことから半閉鎖的海域に大量発生を繰 り返すミズクラゲには海域の海水流動ととも に、固着期幼生を受入れてポリプを成長され、 浮遊幼生を送り出すための安定した初期発生 の場の存在が鍵となっている事が明らかとな った。

4. まとめ、今後の展開

これまで当研究室における研究成果により、 真鶴半島周辺海域を中心として、相模湾北西 部沿岸域における栄養塩類の動態、さらに沿 岸生態系内で低次栄養段階に大きな影響を与 える可能性が高い溶存態有機物、特に陸域に その起源をもつフミン質に代表される有色溶 存態有機物 (CDOM)の時空間動態が明らかに なりつつある。また、沿岸域に及ぼす人為活 動の足跡についても有力なマーカーとなる有 機物質の特定とその利用方法の提案を行える と思われる。

現在のことろ研究を行った相模湾西部の沿 岸域には赤潮の頻発や富栄養化といったリス クの増加は認められず、同海域の環境は比較 的健全であると言えるかもしれません。しか し、栄養塩類のバランスの季節変化や陸水に より沿岸部に負荷される栄養塩類や溶存態有 機物は赤潮生物を含む沿岸の低次生産者の動 態を巧妙に制御していると考えられる。この ため、栄養塩類の主要なソースである陸域で の濃度変化にも着目し、今後も注意深くモニ タリングを継続する必要がある。また、沿岸 域で栄養塩類のバランスが変化した場合、沿 岸生態系はそれに対してどの様な応答を見せ るのか、特に植物プランクトン群集について、 更なる調査・解析が必要であろう。

一方、河川を通じて沿岸域に負荷される陸 域起源の溶存態有機物については、供給プロ セスと海域における植物プランクトン等によ り再生生産についての検討が必要である。ま た人為的有機物の負荷に関しては物質の特定 を急ぎ、より簡便な定量と評価法の提案を急 ぎたい。

東アジアの沿岸域での大発生によりさまざ まな問題を引き起こしているクラゲ類につい ては、成体一辺倒の対策から生活史を究明し た上で、彼らの一生で最も重要な「鍵」とな っている海域の特定と固着期幼生の管理が極 めて重要であると思われる。そのためには、 海域の流動場情報と各生活史段階の繁殖生理 に関する情報の収集、そして海域の分布予測 シミュレーションとの相違に関する検討が重 要であろう。

研究協力者

青木 薰、大谷裕之、上野夢実、蒲原直哉、 渡部 充

主要な研究成果

[原著論文](査読あり)

Aoki, K., S. Yamada, M. Toyokawa, A. Yasuda and <u>T. Kikuchi</u> 2012. Horizontal distribution and growth of moon jelly, *Aurelia aurita* (sens lato), in Mikawa Bay, Japan. Coastal Marine Science (in Press)

- Mizui, R. and T. Kikuchi 2012 Arm damage and regeneration of *Tropiometra afra macrodiscus* (Echinodermata: Crinoidea) in Sagami Bay, central Japan. Proceedings of the thirteenth International Echinoderm Conference. (in Press)
- Toyokawa, M., K. Aoki, S. yamada, A. Yasuda, M. Hamada and <u>T. Kikuchi</u> 2011 Blooms of jellyfish *Aurelia aurita* (Linnaeus, 1758) (s.l.) originate from the mouth-part of Mikawa Bay, Japan. Journal of Oceanography, 67: 209-218.
- M.A.Baki, C.Motegi, A.Shibata, H. Fukuda, S. Shimode and <u>T. Kikuchi</u> 2009 Temporal changes in chlorophyl a concentrations and bacterial, viral, and heterotrophic nanoflagellate abundances in the coastal zone of Sagami Bay, Japan: implications of top-down and bottom-up effects. Coatsl Marine Science, 33(1): 29-38
- Shibata,A., H. Yasui, H. Fukuda, H. Ogawa, <u>T. Kikuchi</u>, T. Toda and S. Taguchi 2009 Fate of the bacterial cell envelope component, lipopolysaccharide, that is sequentially mediated by viruses and flagellates. Coatsl Marine Science, 33(1): 39-45
- Okada, N., Y. Onoue, <u>T. Kikuchi</u>, B. H. R. Othman, and T. Toda 2009 Description of naupliar stages in *Acartia steueri* Smirnov (Copepoda: Calanoida). Journal of Crustacean Biology, 29(1): 70-78
- Baek S.H., S. Shimode, M. S. Han and <u>T. Kikuchi</u>. 2009 Population development of the dinoflagellates *Ceratium furca* and *Ceratium fusus* during spring and summer in Sagami Bay, Japan. Ocean Science Journal, 43(1): 49-59.
- Baek S.H., S. Shimode, M. S. Han, and <u>T. Kikuchi</u> 2009 Growth of dinoflagellates, *Ceratium furca* and *Ceratium fusus* in Sagami Bay, Japan: The role of nutrients. Harmful Algae, 8: 843-856.
- 下出信次・白 承鎬・大曽根智暁・<u>菊池知彦</u> 2009 相模湾北西部における栄養塩類およびプランクトン群集の中 長期的な動態 月刊海洋 41(2):86-97
- Baek S.H.,*, S. Shimode, M. S. Han , <u>T. Kikuchi</u> 2009. Population development of the dinoflagellates *Ceratium furca* and *Ceratium fusus* during spring and summer in Sagami Bay, Japan Ocean Science Journal, 43(1): 49-59

[著書等]

生物学辞典 2010 東京化学同人(分担執筆)

海はめぐる 2011 日本海洋学会編 地人書館(分担執筆) 印刷中

残留性有機汚染物質管理のための代替リスク比較研究の展開 Development of Comparative Risk Assessment Method of Chemical Alternatives for the Better Management of Persistent Organic Pollutants (POPs)

報告者:益永茂樹 Shigeki Masunaga

GCOE の期間を通じて、化学物質汚染に関する環境科学的基礎ツールの開発という基盤研究と、 リスク評価、さらにはリスクー便益評価方法の開発という実践研究の二方面から研究を展開した。 基礎研究では、汚染源探索手法について地理情報システムをベースとした新しい手法を提示した。 また、パッシブ型サンプラーを利用して重金属の生物利用性を測定し、実環境の水質特性により 重金属の生物利用性、さらには毒性影響が変化する機構について調査し、生物利用性を反映した 生態リスク評価手法について検討した。

他方、気候変動やエネルギーや資源の逼迫などの地球的課題を抱え、残留性有機汚染物質管理の 現場でも費用を無視して規制を強化できる状況にはなく、より負荷の小さい化学物質への代替や、 リスクだけでなく便益も考慮した評価方法が求められている。この課題に取り組むべく、ライフ サイクルを通した化学物質のマテリアルフロー解析を基盤として環境負荷を推定する手法を開 発した。現在、マテリアルフローに基づくリスク比較やリスクー便益比較の事例研究に取り組ん でおり、最終的にはライフサイクルアセスメントとの融合を目指している。

During the 5 years of G-COE Program, I engaged in the development of both fundamental environmental analysis tools and practical comparative risk practical assessment methods of environmental pollutants.

As fundamental study, a source apportionment method based on geographical information system was developed and applied to river pollution by perfluorinated alkyl substances. Also, bioavailability and toxicity of heavy metals were studied in relation to other water qualities for the better ecological risk assessment.

On the other hand, cost of regulation has become an important factor to be considered in the management of persistent organic compounds, facing the global environmental constraints, such as climate change and depletion of resources. To cope with this problem, an estimation method of environmental loads based on material flow analysis has been constructed. Based on this, we can easily estimate environmental emission and exposure risk of chemicals and will be able to compare the risk and benefit among alternative chemicals. We plan to develop this method so that it can be combined with life cycle assessment.

1. はじめに

化学物質の生産と利用に伴う環境汚染に対 するリスク管理はいくつかの観点から行われ てきており、先進国では一定の成果をあげて きた。わが国では激しい公害問題に対処する ため、被害を生じた汚染物質に対して厳しい 環境基準と排出基準を設定することから規制 が始まった。この施策により深刻な健康被害 を起こすような事態はかなりの程度抑え込ん できた。しかし、工業あるいは製品に使用さ れる化学物質の数は留まるところを知らず、 物質毎に規制値を設定する対策では追いつか なくなっている。これは、単に化学物質数が 多くなったということだけでなく、厳しい規 制を設けるにはそれなりの根拠が必要であり、 それを支える科学的基礎データを揃えること は容易ではないという事情もある。従って、 規制を受ける化学物質群の周りに規制対象候 補化学物質群を設定し、注意を促すという方 式が採用されるようになった。

他方、化学物質を入口で規制する「化学物 質の審査及び製造等の規制に関する法律(化 審法)」においては、難分解性、蓄積性、有害 性の3点が揃った化学物質について使用禁止 とするという当初のハザード規制から、環境 リスクの実態に応じた規制へと、より順応的 な管理に向けた修正が施されてきている。

このような化学物質のリスクに基づいた管 理が模索される中、わが研究室も科学的知見 に基づくリスク管理の進化に向けた研究を続 けてきた。過去5年間に取り組んだ主な研究 としては以下がある。(1)環境汚染のモニタ リング結果に基づき汚染原因を特定し、適切 な対策を目指す研究(汚染源探索研究)。(2) 重金属の生物利用性について検討し、より適 切な生態リスク評価法を検討する研究(重金 属の生物利用性の研究)。(3)子供と大人で 曝露による生物学的有効用量の違いを考慮で きる体内動態モデルの開発。(4)マテリアル フロー解析を基盤とする代替化学物質間のリ スク比較方法の研究(代替リスク比較研究)。 (5)化学物質汚染と栄養の面で相反がある 魚食に関するリスク便益比較研究(リスクー 便益研究)。

本報告では、以上の研究について成果の概 略を紹介する。

2. 方法

研究手法について項目別に概略を紹介する。

(1)汚染源探索研究

汚染源探索研究としては、新規残留性有機 汚染物質(POPs)として注目されているペル フロオロアルキル化合物(PFAS)の他、微小 粒子状物質(PM2.5)、粒子状物質(SPM)中 の重金属と多環芳香族炭化水素(PAH)を対 象とした。関東域の多数の河川水中のPFAS とその類縁化合物を測定した。東京湾底質コ アについても同様に分析を行った。

ポリ塩化ビフェニール (PCB) やポリ塩化 ナフタレン (PCN) を対象として、東アジア 広域モニタリングをパッシブ型大気サンプラ ーにより実施した。調査地点は日本 50 地点、 韓国 30 地点、中国 20 地点の合計 100 地点で ある。

(2) 重金属の生物利用性に関する研究

わが国では水生生物を保全するための基準 として全亜鉛濃度が規定されている。しかし、 有害性を発揮するのはイオンなど溶解性の画 分であり、全亜鉛がそのまま毒性を発揮する わけではない。そこで種々の河川において、 拡散薄膜勾配法(DGT)を用いて生物に取り 込まれる重金属の濃度を推定した。あわせて、 他の水質項目も分析し、関連性を解析した。 (3)生物学的有効用量推定システムの開発
 文献情報に基づき、年齢による臓器容量や
 循環などのパラメータを修正して化学物質の
 体内動態を年齢別にシミュレーションできる
 生物学的有効用量推定システムを構築した。
 また、既存データを利用して検証した。

(4)代替化学物質リスク比較

ストックホルム条約に基づき POPs の規制 が進んでいるが、近年は規制対象が大量使用 された、あるいは現に使用中である物質にも 及んでおり、急速な代替化学物質への移行が 迫られている場合もある。一例のヘキサブロ モシクロドデカン(HBCD)を対象として、 その代替候補化学物質を特許情報や業界ヒア リングを通して探索すると共に、候補物質間 でのリスク比較手法の開発を進めた。

(5) 魚食のリスクー便益評価

魚にはメチル水銀を初めとする汚染物質濃 度が高い傾向がある。他方、魚は不飽和脂肪 酸に富み、心疾患などの予防効果が高いとさ れる。魚食によるこれら健康リスクと便益の 比較を試みた。国民栄養調査結果に基づき 種々の食物の摂取量を求め、それに基づきメ チル水銀と不飽和脂肪酸の摂取量の個人分布 を推定した。これをベースに魚摂取量を増減 した場合のメチル水銀や不飽和脂肪酸の摂取 量の変化をシミュレーションし、健康への影 響を定量的に推定した。

3. 結果、考察

研究結果と考察を項目別に紹介する。

(1) 汚染源探索研究

防汚剤を初め多様な用途に使用されてきた PFAS による地球規模の汚染が発見されたの は 2000 年頃である。PFAS 関連化合物の中で も主要なペルフルオロオクタンスルホン酸

(PFOS) やペルフロオロオクタン酸(PFOA) は、主に水を介して汚染が広まっていると考 えられるので、まず河川水中での動態の解明 に取り組んだ。その結果、河川水量が増加し た場合、濃度が増加するもの (PFOS、 PFHxA、 PFHpA、PFOA) と低下するもの (PFNA、PFDA) があり、PFAS 汚染は非点源として捉える必要 があること、および、PFAS の種類により使用 形態(屋外使用の有無など)に違いがある可 能性を指摘した(Zushi et al., 2008; Zushi & Masunaga, 2009a)。この研究は PFAS の非点源 汚染を世界的にも最も早い時期に指摘したも のである。この非点源汚染の解析として流域 の土地利用と PFAS 負荷との関係を解析し、 鉄道駅を含む流域において負荷量が大きくな ること(Zushi & Masunaga, 2009b)を見つけた。 さらには、多様な流域で測定を行った結果を 解析することで、点源汚染と非点源汚染の寄 与割合を推定する方法を開発するなど、地理 情報システム (GIS) に基礎をおいた化学物質 汚染の新しい解析手法を開発した(Zushi et al., 2011; Zushi & Masunaga, 2011)。また、東京湾 底質コア試料の分析により、1960年代~2004 年までの東京湾への PFAS 負荷の変遷につい て検討した。分析は 24 種の PFAS について行 ったが、炭素鎖長が8以上の PFAS について は汚染変遷の記録が読み取れ、鎖長8~13の ペルフルオロカルボン酸で汚染の経年増加が 観察された。他方、PFOS やその関連物質は 2000年以降に汚染の低減が観察された。これ らは、PFOS 汚染の指摘に伴う生産のシフトを 反映していると考えられた。

残留性有機汚染物質(POPs)はストックホ ルム条約により規制され、規制の効果の検証 が各国に求められている。これに応えるべく、 農業環境技術研究所と共同で、パッシブ大気 サンプラーを用いた東アジア(日本、中国、 韓国、台湾)の広域モニタリングを実施した

(小原他,2010)。その結果、これまで PCB や PCN の排出国としては認識されてこなかった 中国における現在の大気中汚染は、日本や韓 国より有意に高いことが判明した(図1)

(Hogarh et al., 2011)。また、PCB の季節変動 は、夏季と冬季が同レベルで、春季で低めの 結果が得られた(図2)。原因として、風向に よる POPs の輸送やパッシブサンプラーの気 温によるサンプリング速度の違いなどの可能 性があり、原因の解明は今後の課題である。

これらの他、古綾瀬川におけるダイオキシ ン類汚染(竹田他, 2011)、SPM 中の重金属 (Khan et., 2010a; Khan et al., 2010b, Khan et al., 2011)や PAH (Salam et al., 2010b, Khan et al., 2011)、さらには PM2.5 (Khan, et al., 2010c)についても汚染源 解析を行った。これらの研究では、PMF 法な どの汚染源解析法の実試料への適用事例を提 示したが、得られた結果の解釈は注意深く行 う必要があった。



図1a 大気中総 PCB のモニタリング結果 (2008 年春)



図1b 大気中総 PCN のモニタリング結果 (2008 年春)





(2) 重金属の生物利用性に関する研究

水質特性の異なる河川水で薄膜拡散勾配法 による重金属の生物利用性濃度を測定し、都 市河川では生物利用性割合が低めとなること、 金属間では亜鉛で割合が高く、銅は低いこと が示された。銅の生物利用性は溶存有機炭素 濃度の高い河川水で低下し、銅は粒子態や溶 存有機物結合体として存在する割合が高いと 見られた。これらの結果から、重金属の水生 生物ヘリスク評価する上では、河川の特性も 考慮する必要があることが示され、重金属の 生態リスク評価における留意すべき視点を明 らかにした(内藤他, 2011)。

(3) 生物学的有効用量推定システムの開発 汚染による人健康リスク評価において小児 の脆弱性をいかに扱うべきかは、大きな課題 である。標的臓器への汚染物質の到達量、す なわち生物学的有効用量は、体内動態の年齢 差や個人差によって変動する。しかし、小児 については体内動態に関する知見も少ないた め、生理学的薬物動力学(PBPK)モデルを用 いた小児における体内動態のシミュレーショ ンシステムを構築した。システムは、年齢群 別にパラメータを設定するモジュールと、生 物学的有効用量を計算する PBPK 計算モジュ ールからなる。前者では、年齢別に体重、血 流、臓器容量、換気量、分解係数などが計算 され、これが PBPK モデルに導入される。構 築したモデルは文献から得られた観察データ により検証し、推定結果は変動の傾向を捉え られること、および、推定値が実測値の範囲 内に収まることを示すことができた(桑他、 2009; 2011)。

(4)代替化学物質リスク比較

HBCD は発泡ポリスチレン断熱材やカーテ ンなど繊維製品の難燃剤として広く使用され てきたが、ストックホルム条約の規制対象候 補に選ばれたことから、その代替が検討され ている。しかし、事前に代替が真のリスク削 減につながるかが検討された例は少ない。そ こで、本研究では HBCD の代替候補物質の間 でリスク比較を試みた。代替候補として、特 許出願検索より 138 物質を(樹脂用 62, 繊維 用 76)特定し、次いで、HBCD 含有製品・難 燃剤製造事業者、関連協会等に対するヒアリ ングにより 12 物質まで絞り込んだ。さらにこ れらについて集中調査を行い、4 用途に対し て5物質まで絞り込んだ。他方、HBCDのわ が国におけるマテリアルフローを作成し、そ れに基づく環境排出量を推定した(図3)。こ れを用いて HBCD 生産量の年次変遷に基づき、 環境排出量の年次遷動を推定した(図4上: **基準シナリオ**)。次いで、業界ヒアリングに基 づき代替物質への移行シナリオを構築し、 HBCD について構築したマテリアルフローを 代替物質の物理化学性状に基づいて代替物質 のフローに変更し、代替シナリオに基づく環 境排出量の年次変遷を推定した(図4下:代 **替シナリオ**)。この推定結果から、代替した場 合、総難燃性能の低下による使用量の増大に よって環境排出量の総量は増加となること、 カーシートからの排出の寄与が大きくなるこ とが予想された。

排出量を曝露リスクとして捉えるための曝 露シナリオと同一尺度によるリスク比較につ いては、環境省の研究プロジェクトとして検 討を進めているところである。



図3 HBCD のマテリアルフローと各ライフ サイクルからの環境排出量の推定結果

(5) 魚食のリスクー便益評価

魚食によるメチル水銀摂取に起因する新生 児の知能指数(IQ)低下、他方、魚食による



図4 HBCD 継続使用シナリオと HBCD 代 替シナリオの下での難燃剤の環境排出量の年 次変遷の推定結果(日本国内が対象)

不飽和脂肪酸の摂取による冠状動脈性心疾患 と脳卒中のリスク低減を生活の質調整生存年

(QALY)により統一的に表現し、魚食の変化 によるリスクと便益の変化を解析した。その 結果、妊娠女性については、魚食を減らすこ とでメチル水銀摂取を減らし新生児の IQ を 獲得できるが、総 QALY の増加はわずかでし かないこと、他方、全人口に対しては、魚食 を増やすことで総 QALY が増やせることが示 された。また、魚食量を変えずにメチル水銀 含有量の少ない魚種へ転換することで(図5)、 妊婦も不飽和脂肪酸の摂取量を減らさずに総 QALY を獲得できることが示された (Zhang et

al., 2009a; 2009b)。



図 5 メチル水銀と不飽和脂肪酸(EPA + DHA)含有濃度の魚種による違い

4. まとめ、今後の展開

GCOE の期間を通じて、化学物質汚染に関 する環境科学的基礎ツールの開発研究と、リ スク評価とリスクー便益評価に向けた実践的 展開の二方面から研究を展開してきた。

基礎研究では、汚染源探索手法について GIS をベースとした新しい手法を開発し、 POPsのPFASを対象にした事例研究を提示し た。また、パッシブ型サンプラーの利用によ るモニタリングの効率化、および、重金属の 生物利用性に基づく生態リスク評価の高度化 においても、基礎研究を進めた。

他方、気候変動やエネルギーや資源の逼迫 など人類は難問を抱えており、POPs 管理にも 無限に資源を投入できる状況にはない。今後、 化学物質管理には代替によるリスク削減効果 の確認、あるいは、リスクだけでなく便益も 考慮した評価が求められていくであろう。こ の課題に取り組むべく、マテリアルフロー解 析を基盤とするライフサイクルを通した化学 物質の環境排出量推定法を開発し、リスク比 較やリスクー便益比較の事例研究に取り組ん でいる。今後はライフサイクルアセスメント との融合も目指しつつ、この方面の研究に取 り組んでいく計画である。

研究協力者

金倫碩(GCOEフェロー、韓国水資源公団)、MD. Ahsan Habib (GCOE フェロー、ダッカ大学)、頭士泰之 (GCOE-RA、JSPS-PD、国立環境研究所).

謝辞

本報告で紹介した研究には、GCOE プログラムだ けでなく他の機関・プロジェクトの支援を受けた ものが含まれる。以下の支援と関係の共同研究者 の皆様に謝意を表します。また、研究室に在学し た多く院生の皆さんのご協力をいただきました。

・JST 連携施策「事業者の化学物質リスク自主管理の情報基盤」H19-21:三宅淳巳・岡泰資・半井豊明・小林剛・亀屋隆志・三宅祐一・本藤祐

樹・中井里史・大谷英雄・横山泰一・真名垣聡・ 木村新太 (横国大).

- ・河川環境管理財団 河川環境整備基金 H20、21、 23 年度(20-1211-013、21-1211-011、23-1211-012)
 細野繁雄(埼玉県環境科学国際センター).
- ・環境情報研究院 H20 年度共同研究プロジェクト: 小原裕三・清家信康(農業環境技術研究所).
- ・日本生命財団 H21 年度環境問題研究助成:平野・ (横浜市環境科学研究所).
- ・産業技術総合研究所「水環境における亜鉛等重 金属の発生源の特定に資する基礎的研究」H22:
 内藤航・加茂将史(産業技術総合研究所).
- ・環境省環境研究総合推進費C-1003, H22-24:三
 宅淳巳・本藤祐樹・小林剛・真名垣聡・半井豊明(横国大).

主要な研究成果(太字は GCOE メンバー、下線は横浜国大・国立環境研在籍者)

成果となる発表論文

- Hogarh, J N, Seike, N, Kobara, Y, Masunaga, S (Accepted 2011). Atmospheric Polychlorinated Naphthalenes in Ghana, Environ. Sci. Technol. (in press) DOI: 10.1021/es2035762
- <u>Hogarh J N</u>, Seike N, Kobara Y, <u>Habib A</u>, Namd JJ, Lee JS, Li Q, Liu X, Li J, Zhang G, <u>Masunaga S</u> (2012) Passive air monitoring of PCBs and PCNs across East Asia: A comprehensive congener evaluation for source characterization, Chemosphere 86[7] 718-726.
- <u>桑詩野</u>,吉田喜久雄, 益永茂樹 (Accepted 2011) 吸入した揮発性有機物質の年齢群別生物学的有効用量推定 システムの検証とパラメータ推定方法の見直しー信頼性と使いやすさを目指して、日本リスク研究学会誌.
- Khan M F, Shirasuna Y, Hirano K, Nakai S, Masunaga S (2012) Assessment of the Sources of Suspended Particulate Matter Aerosol using US EPA PMF 3.0, Environmental Monitoring and Assessment, 184[2] 1063-4083.

Zushi Y, Masunaga S (2011) GIS-based source identification and apportionment of diffuse water pollution: Perfluorinated compound pollution in the Tokyo Bay basin, Chemosphere 85[8] 1340-1346.

- Salam M A, Shirasuna Y, Hirano K, Masunaga S (2011) Particle associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment of urban and suburban residential area, International Journal of Environmental Science and Technology 8[2] 255-266.
- 内藤航, <u>森美和子</u>, <u>岩崎雄一</u>, 加茂将史, <u>益永茂樹</u> (2011) 薄膜拡散勾配 (Diffusive Gradients in Thin-films: DGT) 法を用いた河川水における金属類の生物利用性の評価, 水環境学会誌 34[4] 65-71.
- Zushi Y, Ye F, Motegi M, Nojiri K, Hosono S, Suzuki T, Kosugi Y, Yaguchi K, <u>Masunaga S</u> (2011): Spatially detailed survey on pollution by multiple perfluorinated compounds in the Tokyo Bay basin of Japan, Environmental Science & Technology 45[7] 2887–2893.
- <u>竹田翔</u>, 細野繁雄, <u>益永茂樹</u> (2011) Positive Matrix Factoriztion 法による河川底質中ダイオキシン類の汚染源解 析, 環境化学 21[1] 1-11.
- <u>Khan M F</u>, Shirasuna Y, Hirano K, <u>Masunaga S</u> (2010a) Urban and suburban aerosol in Yokohama, Japan: a comprehensive chemical characterization, Environmental Monitoring and Assessment 171[1-4] 441-456.
- Khan M F, Hirano K, Masunaga S (2010b) Quantifying the sources of hazardous elements of suspended particulate matter aerosol collected in Yokohama, Japan, Atmospheric Environment 44[21-22] 2646-2657.
- <u>Tiwari V</u>, <u>Hanai Y</u>, <u>Masunaga S</u> (2010) Ambient levels of volatile organic compounds in the vicinity of petrochemical industrial area of Yokohama, Japan, Air Quality, Atmosphere & Health 3[2] 65-73.
- Khan M F, Shirasuna Y, Hirano K, Masunaga S (2010c) Characterization of PM2.5, PM2.5–10 and PM> 10 in ambient air, Yokohama, Japan, Atmospheric Research, 96[1] 159-172.
- Zushi Y, Tamada M, Kanai Y, Masunaga S (2010) Time trends of perfluorinated compounds from the sediment core of Tokyo Bay, Japan (1950s–2004), Environmental Pollution 158[3] 756–763.
- 小原裕三, 清家信康, 西森基貴, 益永茂樹, 細見正明 (2010) 日本全域におけるパッシブエアーサンプリング法 による有機塩素系農薬類の広域同時モニタリング, 環境科学会誌 23[1] 3-17.
- Park SU, Kim JG, <u>Masunaga S</u> and Kim KS (2009) Source identification and concentration distribution of polychlorinated biphenyls in environmental media around industrial complexes, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 83[6] 859-864.

<u>井上知也</u>, 益永茂樹, 大谷英雄 (2009) 臭素系難燃剤 DecaBDE をめぐるリスクトレードオフ論争に関する考察, 日本リスク研究学会誌 19[4] 21-31 (2009)

Zhang Y, Nakai S, Masunaga S (2009a) Simulated impact of a change in fish consumption on intake of n-3 polyunsaturated fatty acids, Journal of Food Composition and Analysis 22[7-8] 657-662.

<u>桑詩野</u>,吉田喜久雄, 益永茂樹 (2009) 年齢群別生物学的有効用量推定システムの構築と空気中芳香族炭化水 素類への適用,日本リスク研究学会誌 19[3] 75-84.

<u>Zhang Y</u>, <u>Nakai S</u>, <u>Masunaga S</u> (2009b) An exposure assessment of methyl mercury via fish consumption for the Japanese population, Risk Analysis 29[9] 1281-1289.

Zushi Y, Masunaga S (2009a) First-flush loads of perfluorinated compounds in stormwater runoff from Hayabuchi River basin, Japan served by separated sewerage system, Chemosphere 76[6] 833–840.

<u>頭士泰之</u>, <u>益永茂樹</u> (2009) アジア諸国における PFCs リスクマネジメントの展望, 環境科学会誌 22[3] 212-218.

Zushi Y, Masunaga S (2009b) Identifying the nonpoint source of perfluorinated compounds using a geographic information system based approach, Environmental Toxicology and Chemistry, 28[4] 691–700.

- Kumar S K, Zushi Y, Masunaga S, Gilligan M, Pride C, Sajwan K S (2009) Perfluorinated organic contaminants in sediment and aquatic wildlife, including sharks, from Georgia, USA, Marine Pollution Bulletin, 58[4] 621-629.
- Weber R, Gaus C, Tysklind M, Johnston P, Forter M, Hollert H, Eeinisch E, Holoubek I, Lloyd-Smith M, <u>Masunaga</u> <u>S</u>, Moccarelli P, Santillo D, Seike N, Symons R, Paulo J. Torres M, Verta M, Varbelow G, Vijgen J, Watson A, Costner P, Woelz J, Wycisk P, Zennegg M (2008) Dioxin- and POP-contaminated sites—contemporary and future relevance and challenges - Overview on background, aims and scope of the series -, Environmental Science and Pollution Research 15[5] 363–393.
- Zushi Y, Takeda T, Masunaga S (2008) Existence of nonpoint source of perfluorinated compounds and their loads in the Tsurumi River basin, Japan, Chemosphere 71[8] 1566–1573.
- Loganathan B J, Kumar K S, <u>Masunaga S</u>, Sajwan K S (2008) Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, and dioxin-like polychlorinated biphenyls in sediment and mussel samples from Kentucky Lake, USA, Archives of Environmental Contamination and Toxicology 54[1] 20-30.

関連著書等

- 益永茂樹 (2011) 環境リスク評価, 松原望, 美添泰人, 岩崎学, 金明哲, 竹村和久, 林文, 山岡和枝 編:統計応 用の百科事典, 丸善出版 p.620-621.
- <u>真名垣聡、小谷健輔</u>, **益永茂樹** (2011) 環境リスクから見た臭素系難燃剤とリン系難燃剤, 難燃剤の最適処方と 燃焼試験, 第5章 押えておきたい難燃の規格と難燃の評価, 第7節 pp. 541-558、技術情報協会(ISBN: 978-4-86104-388-8)
- Zushi Y, Masunaga S (2011) Temporal Trend of Perfluorinated Compounds from Various Environmental Matrices, p. 73-85, Chapter 3 in Global Contamination Trends of Persistent Organic Chemicals edited by Loganathan B G, Lam P K-S, CRC Press (ISBN: 978-1439838303)
- Masunaga S (2011) Historical Trends of Dioxin Sources and Contamination in Japan, p. 203-214, Chapter 9 in Global Contamination Trends of Persistent Organic Chemicals edited by Loganathan B G, Lam P K-S, CRC Press (ISBN: 978-1439838303)
- <u>益永茂樹</u> (2011) 2.5 リスクアセスメントとリスク管理, 日本分析化学会編 環境分析ガイドブック, 丸善, p. 46-48.
- 中西準子, <u>益永茂樹</u>, <u>松田裕之</u>編 (2010) 韓国語版「演習 環境リスクを計算する, Chonnam National University Press. (ISBN: 9788975988448)
- Loganathan B G, <u>Masunaga S</u> (2009) PCBs, Dioxins, and Furans: Human Exposure and Health Effects, pp. 245-253, Chapter 18 in Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents, Edited By Gupta R, Academic Press (ISBN: 978-0123744845)
- <u>Masunaga S</u>, Nakamura M, Yoshikawa H, Tamada M, Fujii Y, <u>Kaneko N</u> (2008) Bioaccumulation of PCDD/DFs and dioxin-like PCBs in the soil food web of fallow rice fields in Japan, pp. 88-95, in Persistent Organic Pollutants (POPs) Research in Asia edited by Morita M.

Zushi Y, Takeda T, Masunaga S (2008) Contamination of perfluorinated compounds in the six major rivers flowing into Tokyo Bay, pp.160-166, in Persistent Organic Pollutants (POPs) Research in Asia edited by Morita M.

<u>益永茂樹</u> (2007) 環境リスクの評価と管理, 平塚彰編著「環境システムー社会・経済・技術ー」 電気書院, p. 169-185.

<u>益永茂樹</u> (2007) リスク評価-選択の基準, <u>益永茂樹</u>責任編集 リスク学入門5 科学技術からみたリスク, 岩波書 店, p. 1-9.

橘木俊昭,長谷部恭男,今田高俊, 益永茂樹 (2007) 共同討論 リスク論からリスク学へ,橘木俊昭,長谷部恭男, 今田高俊, 益永茂樹 責任編集 リスク学入門1 リスク学とは何か,岩波書店, p. 1-53.

解説・総説

- Zushi Y, Hogarh J N, Masunaga S (Accepted 1 April 2011) Progress and perspective of perfluorinated compound risk assessment and management in various countries and institutes, Clean Technology and Environmental Policy.
- <u>井上知也</u>, <u>真名垣聡</u>, <u>益永茂樹</u> (2010) 化学物質のベネフィットの定量-臭素系難燃剤の火災リスクとヒト健康リス クー, ケミカルエンジニアリング 55[6] 416-421.

<u>益永茂樹</u>,村田麻里子 (2010) 多様化する環境リスクの評価とこれからの方向,公衆衛生 74[4] 266-269. 横山泰一, 真名垣聡, 半井豊明, 本藤祐樹, 益永茂樹, 三宅淳巳, 小林剛, 三宅祐一 (2009) リスク管理の展望と 情報基盤, 安全工学 48[2] 103-108.

益永茂樹 (2008) 生態リスク評価の枠組み, 化学物質と環境 No. 91, 1-3.

化学物質の生態毒性評価と GCOE 中国連携拠点形成

Ecotoxicity Evaluation of Environmental Chemicals and Establishment of GCOE Research Cooperation Center in China

報告者: **亀屋隆志 Takashi Kameya**

都市河川水の水生生物に対する生態毒性強度レベルについて、広い都市域で同時かつ継続的に調 査した。また、河川水中に含まれる生態毒性物質について、GC/MS 多成分一斉同時・定量による 調査を実施し、毒性発現の要因分析を行った。ひとつの都市河川域において、河川水そのものの 毒性強度と要因物質の探索をこれほど大規模に実施した研究事例はこれまでほとんど見当たら ず、希少なデータ蓄積を進めることができた。また、都市水域における水循環を考える上で特徴 的な下水処理施設や農耕地からの毒性負荷要因を検討した。また、中国の清華大学環境学院、中 国科学院生態環境研究中心および清華長三角研究院生態環境研究所と GCOE 連携拠点を形成し、 共通の河川水毒性評価手法を考案・使用して共同研究を行い、若手研究者の育成と情報発信を行 うことができた。

Aquatic ecotoxicity level of river water was investigated simultaneously and continuously in a large urban area. In addition, a number of ecotoxicity substances contained in rivers were investigated by using GC/MS automated identification and quantification system with a database (AIQS-DB), and were analyzed the attribution of ecotoxicity of river water sample. Such large-scale field studies concerning ecotoxicity level ecotoxicity substance in river water were hardly seen yet, and a novel original research data could be accumulated in this program. The role of water treatment plant and agricultural field, each of them was typical and important for water cycle in urbanized are, could also be analyzed. GCOE Research Chinese Cooperate Center could be established among Yokohama National University, Tsinghua University, Chinese Academy of Sciences and Yangtze Delta Region Institute of Tsinghua University. A joint research was done using shared technique of ecotoxicity assessment of river water, and young researcher training and research outcome release could be done.

1. 研究方針

人の健康および動植物の生息又は生育に対 する化学物質によるリスクの最小化を目指す 国際的な取組みが進展しているが、環境中で の生態毒性に関する状況はほとんど解明され ていない。今後の化学物質の生態リスク管理 において科学的情報が不足することを憂慮し、 当グループでは、水環境中の水生生物に対す る環境リスク管理を目的として、神奈川県内 を主なフィールドとした調査研究に取り組ん だ。具体的には、河川水や環境への主な排出 源となりうる下水の生態毒性強度や生態毒性 物質のモニタリングに取り組み、毒性レベル や毒性物質の濃度レベルおよび毒性物質によ る環境リスクレベルの実態把握を行った。ま た、実際の河川水や下水中に含まれる生態毒 性物質の探索を行った。すなわち、河川水や 下水から吸着性有機物を濃縮回収し、藻類と ミジンコに対する毒性試験および GC/MS を 用いた多成分一斉同定・定量分析を行った。 また、中国の水環境保全に係わる有力研究機 関と共通した研究課題に取り組み、情報交流 や人材交流を実施して、生態毒性管理の連携 拠点形成を推進した。

2. 方法

公共の水質測定点 22 地点から採水した河 川水と公共の下水処理施設 11 ヶ所から採水 した試料水を濾過し固相抽出してアセトン溶 出し、生態毒性試験の公定法として世界標準 になっている OECD テストガイドライン

(OECD-TG)に準じた藻類生長阻害試験と甲 殻類遊泳阻害試験に供した。試験結果は用量 一反応関係から試験生物が阻害を受ける濃縮 倍率 ECR50 やその逆数である Toxicity Unit (TU) として評価した。また、アセトン溶出 液をヘキサン転換し、保持時間と質量スペク トルと検量線を収録した GC/MS で多成分一 斉同定・定量分析を行った。これらをもとに、 生態毒性物質の環境水での検出頻度や濃度レ ベル、地点や施設・季節間での類似性や処理 プロセスでの除去性などを解析した。

また、21 世紀 COE プログラムにおいて設 置した COE ブランチ拠点を足掛かりにして、 さらに日本への留学経験のある中国有力研究 機関の若手研究者との協力を深め、水系の生 態毒性物質リスク研究におけるアジア研究拠 点の形成を推進した。

3. 結果、考察

1) 毒性物質の環境リスク評価指標

水域における代表的な生態毒性物質として、 農薬に関する毒性情報の収集と環境リスク指 標の提案(佐藤ら,2007)を行うとともに、農 薬使用における環境指標間の関連性分析(佐 藤ら、2011)を行った。環境負荷低減のために は従来の簡易な営農指標では不十分であり、 生態毒性物質に着目した提案指標の有効性を 示すことができた。また、化学物質排出移動 登録 (PRTR) データを活用し、それらを毒性 で重み付けして化学物質の環境リスク削減に 向けた簡易な環境負荷指標を提案し、国内比 較や日米比較の事例研究も行った(Nakamura et al., 2008; Takanashi et al., 2011)。これらの情 報については、Web サイトから継続的に発信 しており、毎年数千件のアクセスがある(横 浜国立大学環境安全管理学研究室/エコケミ ストリー研究会, 2009)。また、これらの指標 や考え方に基づく環境リスク情報共有や化学 物質のリスクコミュニケーション手法のあり

方についても提案・情報発信することできた (亀屋ら,2009a;小林ら,2009;小林ら,2010)。 さらに生態毒性をはじめとする各種化学物質 による環境リスクを低減することを目的とし た化管法や化審法を審議する化学物質審議会 や産業構造審議会、中央環境審議会の部会お よび専門委員会、地方自治体の委員会に参画 し、また、専門機関と連携して化学物質リス ク管理に関する公開講座を開催し、本 GCOE が理念とする科学的手続きと利害関係者のコ ミュニケーションに基づく順応的管理の考え 方や事例研究についての情報発信を行うこと ができた(亀屋ら,2010; 亀屋ら,2011)。

2) 水域における生態毒性強度レベルの評価

河川水の生態毒性を神奈川県内の公共水域 に関する環境測定点 23 ヶ所から河川水を採 取するとともに、排水管理が進んでいる都市 河川において毒性物質の主な発生源となりう る下水処理場に着目して、20ヶ所程度の下水 処理水や5ヶ所程度の下水流入水について、 生態毒性のレベルの把握を行った。生態毒性 試験には、化学物質管理における国際規格に 準拠して、食物連鎖を考慮に入れた藻類、甲 殻類、魚類の3点セットの試験を採用した。

まず、環境水による生態影響を表す直接的 な指標として、濃縮試料を用いた生態毒性試 験の適用を提唱し、化学物質の無影響量に相 当する「環境水を何倍まで濃縮しても影響が 現れないかという無影響濃縮倍率」の視点で の評価方法を考案した(Wei et al., 2008)。こ れを用いて実態調査を行い、水域生態系への 長期的な毒性影響が無視できない地点が実在 することを示し、藻類・甲殻類・魚類の3点 セット毒性試験を適用することで実環境水の 毒性強度レベルの把握と比較評価が可能であ ることを実証できた(Kameya et al., 2010)。具 体的な評価結果としては、対象エリアとした 都市部の河川水では、Toxicity Unit [-] (=急性 毒性影響が現れた試料水濃縮倍率の逆数) は 0.02 以下~12.5 の幅があったが、甲殻類や魚 類で 50 倍濃縮 (藻類で 10 倍濃縮) すると試 験生物に影響が見られる地点も半数以上あり、 地点ごとに毒性影響に差がみられた。これら の生態毒性レベルは、河川の上流・中流・下 流といった単なる地理的な要因よりも、測定 地点近傍の発生源での毒性物質の排出状況の 影響を強く受ける可能性が示唆された。



図 各地点での毒性レベルの例(甲殻類)

一方、都市排水が流入する下水処理施設で は、流入水の生態毒性強度は河川水の30倍以 上のレベルであり、未処理のまま公共河川へ 放流される生態毒性成分が少なくないことも 明らかにできた。処理場間でのTUの違いは、 藻類で最大約10倍、甲殻類で約17倍であり、 毒性強度や検出濃度も高い物質が検出された 処理場が必ずしもTUの高い処理場ではなか った。しかし、生態毒性物質は活性汚泥への 吸着や生物処理および塩素処理によってある 程度減少することも合わせて確かめられ、下 水システムが環境水中における生態毒性の負 荷低減に大きく寄与している実態を明らかに できた。 また、河川水中の未知の化学物質が人や水 生生物などの遺伝子に対して影響を及ぼす可 能性についても、umu 変異原性試験を用いて、 各種河川の DNA 損傷性強度を試料水量あた りで比較評価できる指標を提案し、実際の都 市河川モニタリングを行って、家庭由来の排 水の DNA 損傷性強度はそれほど大きくない が、下水放流水は都市河川に対する DNA 損傷 性物質の大きな排出源となりうる可能性を示 すことができた(Kameya *et al.*, 2011)。

さらに、界面活性剤 LAS や農薬フェントエ ートなどの生態毒性物質を例に、ヒメダカに 対する魚毒性の変化から画像解析手法を用い て実河川水の水質異常を監視する水質異常オ ンサイトモニタリングシステムの開発を行い、 毒性物質に対するヒメダカの応答性や警報発 信の適用範囲を明らかにすることができた

(Kawabata et al., 2007; 川端ら, 2007)

3) 水域における生態毒性物質の探索

水域に存在する多種の生態毒性物質に対し、 GC/MS 一斉分析法による環境モニタリング の適用を検討した。GC/MS 一斉分析が可能な 生態毒性物質は約1,000物質であったが、こ のうち河川水からは夏に 267 物質、秋に 143 物質、冬に 267 物質、延べ 353 物質が検出さ れた。内訳は、農薬が約3割弱で、その他、 化学品の中間生成物や可塑剤、改質剤、溶剤 などのさまざまな工業薬品が研究された。検 出濃度レベルの最も高い物質は、界面活性剤 の N、N-ジメチルドデシルアミン=N-オキ シド(AO)で 6.8×102 ppb であった。藻類 EC50 を超える濃度で検出された物質には AO のほ か農薬のブロマシル、プレチラクロールがあ り、甲殻類 EC50 を超えた物質には界面活性 剤の N、N-ジメチルドデシルアミンや農薬の イソプロカルブ、チオシクラムがあった。



図 河川水から検出された生態毒性物質

また、農耕地付近では、生態毒性物質を含 む農薬が高い頻度で検出され、毒性発現の主 要物質となりうる可能性が示された(Kameya *et al.*, 2010; Kishida *et al.*, 2010a; Kishida *et al.*, 2010b)。下水流入水では、工業化学品を中心 に 55 種類の生態毒性物質が検出された。数百 µg/L レベルの界面活性剤を除き、濃度レベル は 1µg/L 以下、半数致死濃度 EC50 レベルは 1mg/L 以上の低毒性の物質がほとんどであり、 下水の毒性は同定ができていない分解物によ るものが大きい実態を明らかにできた。

4) 河床に棲む底生生物群の多様性評価

河床に棲む底生生物群の多様性を評価する 指標を提案し、従来から環境省が定めている 環境水の水質階級との関係を調べて、多様な 生物群が存在する河川地点ほど水質階級が上 位に位置づけら得ている傾向を見い出すこと ができた(Kubo et al., 2011)。さらに、この河 川底生生物の多様性ランクと河川水質の生態 毒性試験結果との関係を解析して、一定の相 関性を見い出し、化学物質による河川水質へ の毒性影響によって河川水中での底生生物群 の生息状況が変化している可能性を明らかに した(Kubo et al., in printing)。

5) 水系の生態毒性物質リスク研究における アジア研究拠点形成の推進

中国のリーディング大学である清華大学の 環境学院(旧・環境科学与工程系)との部局 間学術交流協定を更新し、大学間の学術交流 協定へと発展させた。これにともない、研究 者の相互訪問による研究集会やセミナー等を 開催し、情報交流・人材交流を行った。さら に、中国科学院生態環境研究中心および浙江 清華長三角研究院生態環境研究所を GCOE 連 携拠点とし、「亚洲国际生态环境安全管理 中 国联合研究中心(アジア国際生態環境安全管 理 中国連携研究センター)」を設置して、生 態毒性の視点での水環境保全や水リサイクル に関する共同プロジェクトを進めた。

日本文部科学省全球COE项目 亚洲国际生态环境安全管理 中国联合研究中心

Chinese Cooperate Center of Global Eco-Risk Management from Asian Viewpoints Global Center of Excellence Program

Japan's Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

図 中国有力研究機関との GCOE 連携拠点

この連携研究により、中国での農薬等の環 境リスク管理の現状と課題を整理し(Wei et al., 2007)、3種バイオアッセイ法を用いた水 生生態系に対する安全性指標を提案して、実 河川への適用例を示すことができた(Riu et al., 2007a; Riu et al., 2007b; Wei et al., 2008; Kubo et al., 2011)。これらの成果を共通基盤として、 それぞれの国をフィールドとした関連研究に 取り組み、GCOE 期間中に毎年中国あるいは 日本においてセミナーや講演会等も開催した。

4. まとめ、今後の展開

都市河川水の水生生物に対する生態毒性強 度レベルについて、広い都市域で同時かつ継 続的に調査した。また、河川水中に含まれる 生態毒性物質について、GC/MS多成分一斉同 時・定量による調査を実施し、毒性発現の要 因分析を行った。ひとつの都市河川域におい て、河川水そのものの毒性強度と要因物質の 探索をこれほど大規模に実施した研究事例は これまでほとんど見当たらず、希少なデータ 蓄積を進めることができた。また、都市水域 における水循環を考える上で特徴的な下水処 理施設や農耕地からの毒性負荷要因を検討す ることができた。

化学物質管理の分野では、従来から行って きた極一部の環境基準・排出基準の遵守を求 める規制措置から、一定以上のリスクが懸念 されるすべての化学物質を包括的に管理する 時代へと変化している。本研究で提唱した毒 性強度の測定や毒性物質の一斉分析法の普及 を図りたい。

研究協力者

久保隆(長崎大学・助教、元横浜国立大学・COE フ ェロー)、胡洪営 Hu Hong-Ying(中国清華大学環境 学院・現代環境生物技術研究中心・教授、深圳副 院長)、劉鋭 Liu Rui(中国浙江清華長三角研究院 生態環境研究中心・副所長、元横浜国立大学・COE フェロー)、楊敏 Yang Min(中国科学院生態環境研 究中心・教授)、魏東斌 WEI Dongbin(中国科学院 生態環境研究中心・副教授、元横浜国立大学・COE フェロー)、小林剛(横浜国立大学大学院環境情報 研究院・准教授)、佐藤正衛(農業・食品産業技術 総合研究機構中央農業総合研究センター・研究員)

主要な研究成果

成果となる発表論文

- Takashi KUBO, Dongbin WEI, Akira KISUNO, Natsumi YUSA, <u>Takashi KAMEYA</u>, Kohei URANO (in printing) Evaluation of relationship between biological safety and benthic macroinvertebrate assemblages in the Sakawa river system, Japan, *Journal of Water and Environment Technology*, **9**(4).
- Rumi Takanashi, Kohei Urano, <u>Takashi Kameva</u>, Hirokazu Takanashi (2011) Amounts of released and transferred pollutants and their benzene-equivalent amounts from automobile manufacturers: Comparison between Japan and the US, *Environmental Science*, **24**(3), 159-168.
- Takashi KUBO, Natsumi YUSA, Masahiro SHIMURA, <u>Takashi KAMEYA</u>, Kohei URANO (2011) River Environment Evaluation from a View of Biodiversity Information of Benthic Organisms, *Journal of Water and Environment Technology*, 9(1), 1-11.
- Takashi Kameya, Takumi Nagato, Kouichi Nakagawa, Daisuke Yamashita, Takeshi Kobayashi and Kouichi Fujie (2011) Quantification of umu Genotoxicity Level of Urban River Water, *Water Science & Technology*, **63**(3), 410-415.
- 佐藤正衛,南石晃明, <u>亀屋隆志</u> (2011) 農薬使用における環境指標間の関連性分析, *環境科学会誌*, 24(1), 35-48.
- 小林剛, **魚屋隆志**, 三宅祐一 (2010) 化学物質リスクコミュニケーション体験学習手法の学習効果向上に関する 研究, 環境情報科学論文集, 24, 447-450.
- **Takashi KAMEYA**, Kotaro YAMAZAKI, Takeshi KOBAYASHI and Koichi FUJIE (2010) Ecological Assessment of Water Quality by Three-species Acute Toxicity Test and GC/MS Analysis A Case Study of Agricultural Drain -, *Journal of Water and Environment Technology*, **8**(3), 223-230.
- Misako KISHIDA, Yusuke KATO, Hirokazu TAKANASHI, Tsunenori NAKAJIMA, Akira OHKI, Yuichi MIYAKE, <u>Takashi KAMEYA</u> (2010a) Production of Trichloromethylphenol from Organophosphorus Pesticide Fenitrothion by Chlorination, *Journal of Water and Environment Technology*, **8**(3), 185-191.
- Misako Kishida, T. Kumabe; Hirokazu Takanashi, Tsunenori Nakajima, Akira Ohki, Yuichi Miyake, <u>Takashi</u> <u>Kameya</u> (2010b) Chlorination By-products of Fenitrothion, *Water Science and Technology*, 62(1), 85-91.
- <u>亀屋隆志</u>,小林剛,三宅祐一 (2009a) 化学物質の環境リスク評価のための情報の整備と共有, 日本リスク学会誌, 19(3), 59-65.
- 横浜国立大学環境安全管理学研究室(<u>亀屋隆志</u>) /エコケミストリー研究会 (2009) 使いやすい PRTR 情報 身 近な地域で出されている有害化学物質についての情報,エコケミストリー研究会ホームページ, http://www.ecochemi.jp/.
- 小林剛, <u>**亀屋隆志</u> (2009) 大学院生への化学物質のリスクコミュニケーション体験学習手法の検討, 環境情報科 学論文集, 23**, 357-360.</u>
- Dongbin WEI, Zhifen LIN, <u>Takashi KAMEYA</u>, Kohei URANO, Yuguo DU (2008) Application of biological safety index in two Japanese watersheds using a bioassay battery, *Chemosphere*, 72(9), 1303-1308.
- Jun NAKAMURA, Nobuyuki AZUMA, <u>Takashi KAMEYA</u> and Kohei URANO (2008) Analysis on Toxicity-Weighted Release Amounts Ranking of PRTR Chemicals in Japan, *Journal of Environmental Science and Health Part A*, **43**(5), 1–8.
- Masahiro KAWABATA, Tomonori FUJII, <u>Takashi KAMEYA</u> and Takeshi KOBAYASHI (2007) Characteristics of Continuous Water Quality Monitor Using Image Analysis of Medaka Activity, *Japanese Journal of Water Treatment Biology*, **43**(4), 219-226.
- 川端雅博, <u>角屋隆志</u>,小林剛, 浦野紘平 (2007) ヒメダカの活動低下に着目した画像解析による水質異常検知特性、水環境学会誌、30(11), 645-650.
- Wei Dongbin, <u>Kameva Takashi</u>, Urano Kohei (2007) Environmental Management of Pesticidal POPs in China: Past, Present and Future, *Environment International*, 33, 894-902.
- 佐藤正衛,南石晃明,菅原幸治, <u>亀屋隆志</u> (2007) 営農計画システムへの導入を目的とした農薬使用の環境リス ク指標と経済性指標の統合化手法, 農業情報研究, 16(1), 22-32.
- Rui LIU, <u>Takashi KAMEYA</u>, Atsushi SAWAI and Kohei URANO (2007a) Application of a larval medaka assay to evaluate the fish safety level in Sagami River, Japan, *Environmental Monitoring and assessment*, **130**(1-3), 475-482.
- Rui LIU, <u>Takashi KAMEYA</u>, Takeshi KOBAYASHI, Yoko SUGIMURA, Takashi KUBO, Atsushi SAWAI and Kohei URANO (2007b) Evaluating the fish safety level of river water and wastewater with a larval medaka assay, *Chemosphare*, 66(3), 452-459.

公開講座の開催

- **亀屋隆志**:化学物質のリスク評価概論(概説および国内外の動向)、公開講座「化学物質のリスク評価を考える」横浜国立大学(2010.10.8, 15, 22, 11/2, 19 東京国際フォーラム)
- **魚屋隆志**:化学物質の環境モニタリング情報と多様な分析手法の環境管理への応用、公開講座「化学物質のリスク評価を考える- 化学物質リスク評価の動向とリスク情報活用・コミュニケーション -」横浜国立大学 (2011.11.1, 22, 12/6, 東京国際フォーラム)

物質・エネルギー収支の解析によるプランテーションの 環境インパクト評価と最適管理 Material and Energy Flow Analyses for Appropriate Environmental Management of Plantation

報告者:藤江幸一 Koichi FUJIE

本研究ではインドネシア・スマトラ島に集積するアブラヤシ(パーム)、キャッサバ、サトウキビ のプランテーションにおいて、主に炭素に着目した物質収支とエネルギー収支の調査・解析を通 して、バイオマスおよびバイオ燃料生産による環境生態系に対する負荷を明らかにしてきた。成 果は、①パーム、サトウキビとキャッサバのプランテーションにおける栽培管理と収量、化石燃 料消費、土壌微生物群集等との関係を明らかにした、②パーム製油、製糖、タピオカ・デンプン 製造の各工程における有機炭素とエネルギーの収支を調査・解析しプロセスの問題点と改善の方 策を示した、③工程排水を処理するラグーンにおける温室効果ガスの発生と炭素収支の実測を行 ったことなどである。これらの成果に基づいて、バイオ燃料生産における温室効果ガス排出の推 計に加えて、プランテーションによる生態環境インパクト低減のための選択肢として、周辺の地 域や事業所と連携した自立型エネルギーシステムの構築、バイオマス残渣の適切な土壌還元等で あることを示した。

To clarify the impact of biomass and bio-energy production in tropical plantations on the neighboring area and on the global environment, material and energy flow, as well as the discharge of solid wastes and wastewater, have been investigated in various plantations of sugarcane, oil palm and cassava followed by milling process of those has been investigated in Sumatra, Indonesia. The results are: 1) effect of cultivation management on harvest and on the emission of GHG by farm machine operation, fertilizer production, etc. has been analyzed based on the observation in various plantations, 2) energy for milling process is self supported by using biomass residues in palm oil and sugarcane mills, while in tapioca mill all energy is externally supplied using fossil fuel, 3) biogas production from lagoon receiving mill effluent was observed for the evaluation of GHG emission and carbon balance analysis in the process, and to confirm the possibility to use collected biogas as energy for the mill. Based on the above results, GHG emission through BDF production has been estimated. It was additionally clarified that appropriate allocation of biomass residues of milling process to both land application and energy production is a key factor for sustainable biomass production and for reduction of environment loading.

1. 研究方針

ライフサイクルでの物 質・エネルギー収支を把握し たとは思えない「カーボン・ ニュートラル」やクリーン開 発メカニズム(CDM)に振 りまわされるように、熱帯・ 亜熱帯地方のプランテーシ ョンにおけるバイオマスお よびバイオ燃料の生産拡大 に拍車がかかり、多様な環境



問題が顕在化している。本研究では、現地調 査に基づいてプランテーションによるバイオ マス・バイオ燃料生産に関する物質収支・エ ネルギー収支の解析と環境生態インパクトの 評価を行うとともに、インパクト低減と持続 的生産を両立するための方策についての検討 を行うことを目的とした。調査・研究および 地域連携システム構築についての主な検討対 象としてはパームおよびキャッサバを栽培す るプランテーションとその加工工場とした。

2. バイオマス生産・加工と環境影響

2. 1パーム油の生産と物質収支

1~クタールの土地に尿素 (CH₄N₂O) 280kg、 5酸化リン(P₂O₅) 210kg、カリ(K₂O) 280kg をそれぞれ施肥することによって、約15ト ンのヤシ果房(Fresh Fruit Bunch、FFB)が収穫 され、この FFB から約3~4トンの粗パーム 油と約0.5トンのカーネル油がそれぞれ生産 される⁴⁾。パーム製油工場での有機炭素に着 目した物質収支の解析結果を図1に示す。 FFB中の有機炭素のうち57%がパーム油およ び5%がカーネル油として回収され、41%が 加工残渣として、3%が排水としてそれぞれ排 出される。加工残渣については、FFB 中有機 炭素のうち 12%がヤシ空房(EFB)、11%が油 分を含むことからボイラー燃料にもっとも好 適な繊維質(Mesocarp fibre)、同じく燃料とし て利用できるカーネル外皮と殻が17%であ る⁹。排水中に排出される有機炭素の量はFFB の3%である。この排水(POME)はラグーンと 呼ばれる掘抜きの池で2、3ヶ月貯留された 後にプランテーションの灌漑に利用されるか 河川に放流される。熱帯の高温下ではラグー ン内で活発な嫌気性生物反応が進行する。ラ グーンにおけるバイオガスの発生量と組成の 分析結果をもとにしたラグーン内での炭素収 支の例を図2に示した。POME に含まれる有



機炭素の 1/3 程度が強力な温室効果ガス (GHG)として知られるメタンに変換され、そ れを上回る量の二酸化炭素と共に大気中の放 出されていることが明らかになった^{2,7)}。 2.2土地利用改変と温室効果ガス排出

インドネシアでは 1990 年からの 15 年間に 300 万 ha ものパームプランテーションが拡大 し、このうち 168 万 ha は森林伐採を伴う拡大 であったされている(Hansen,M.V., et al.,2009)。 結果として、2006 年にはその生産量がマレー シアを上回った。プランテーションの拡大は 栽培には不向きな湿地帯にも及んでいる。排 水の改善によって水抜きを行うことで湿地帯 にもパームの栽培が可能になるが、これが莫

大なGHGの排出源になってい る(IPPC, 2006)。酸素供給が遮 断された水中では安定化して いた泥炭(ピートモス)は、 土地の乾燥化によってもたら される酸素によって一気に好 気性分解が進行し、二酸化炭 素の大きな排出源として強く 懸念されている。森林の皆伐 によって開拓された農地にお いても同様である。土壌中に 蓄えられていた有機物は好気 性生物分解を受け、二酸化炭 素として大気中に放出される こととなる。 発生量を推算して、Case 5:化石燃料と対比して 図3に示した。マイナスは GHG の吸収を表して おり、化石燃料では1MJ のエネルギーを得るた めの二酸化炭素換算による GHG 排出は 79g に なる。Case4に示した荒地を利用した場合にはパ ームの生育以上の GHG 吸収があり、BDF 製造 工程で必要な化石燃料量を考慮しても概ねカー ボン・ニュートラルになると推計された。森林伐採 など土地利用の改変を伴う Case1では、化石燃 料を上回る GHG の排出が見込まれ、泥炭地ピ ートモスの分解を考慮すると GHG の発生は著大



パームの栽培、製油、ラグーン等での実測 や解析と土地利用改変等による環境影響に関 する既往の情報をもとに、パーム油を原料と したバイオディーゼル燃料(BDF)の製造に よる GHG の排出量を推計した。Case 1:熱帯林 伐採地でのパーム栽培、Case 2:ピート土壌地帯 の熱帯林利用、Case 3:既伐採林の利用、Case 4:未耕作荒地の利用の4ケースについて、それ ぞれで栽培されたパーム油を原料として BDF を 生産した場合の獲得エネルギー量当たりの GHG である 16)。

2.3キャッサバの栽培・加工による環境負荷

熱帯地方で大量に生産されているバイオマ ス産物としてキャッサバが挙げられる。飼料 としての用途の他、タピオカとしてよく知ら れているデンプンや各種デキストリンの製造 に利用されている。栽培の規模は小規模農家 から大型プランテーションまで多様であり、 大規模なデンプン工場へ産物を集荷し加工が 行われている。図4はキャッサバを原料とし たデンプン(タピオカ)製造工場における有 機炭素に着目した物質フローの調査・解析結 果である。製品であるタピオカの収率の低さ と排水中に流出する有機炭素の著大さが注目 される。排水中に排出される有機炭素量はパ ーム製油工場の排水を遥かに越えていること に加えて、有機物の生物分解性が高いので、 この排水を受入れるラグーンからのメタンと 二酸化炭素の発生量は膨大である。デンプン 工場の運転には全て化石燃料利用による外部 エネルギーが利用されている。積極的にメタ ン発酵を推進するなどによってラグーンから メタンを回収して、エネルギーとして利用す ることが有望な選択肢となる。高効率メタン 発酵プロセスの導入によってデンプン工場で 必要なエネルギーの約半分を賄えるとの試算 結果が出ている。



サトウキビを原料とした製糖工場、上記の パーム製油工場およびタピオカ・デンプン工 場では、有機炭素に着目した物質フローの解 析から、製品1トン製造時に排水中に排出さ れる有機炭素量は、それぞれ約5kg、約45kg および約200kgである⁷⁾。デンプン工場排水 への対処が喫緊の課題であることが分かる。

インドネシアではキャッサバを原料とした エタノール生産が始まっている。1 kL のエタ ノール生産に必要な原料キャッサバは 6.5 ト ンであり、1 ha から約 2.3kL のエタノールが 生産される。燃料として約 0.3 トンの石炭を 要するので、プランテーションを介した低品 位石炭の液化プロセスと解釈できる。

3. 持続的なバイオマス生産に向けて

森林伐採等の土地利用改変を抑制するため の有力手段が単収の向上であるが、現実は土 壌の無機化が進行し地力の低下、すなわち単 収の低下が懸念され状況に至っている。コン ポスト化したバイオマスの還元がプランテー ションの土壌微生物の増加と多様化に効果的 であることをキノンプロファイル法によって 既に明らかにした¹³⁾。バイオマス加工残渣を 土壌還元する適切な基準の設定が必要であり、 サイトでの研究を継続している。パーム製油 工場でのプロセス改善による省エネルギー化、 ラグーンからのメタンガス回収などによって 得られたエネルギーを周辺地域やエネルギー

> が不足する事業場に供給することで、 エネルギー自給率の向上と GHG 排 出削減を合わせて実現できる。本研 究による現地での物質・エネルギー 収支の調査・解析はプランテーショ ンの多くの問題点を明らかにし、合 わせてそれらを解決するための多く の情報を提供するものとなった。成 果の一層の活用が期待される。

研究協力者

後藤尚弘、大門裕之、Anugera.h Widiyanto(豊橋技術科学大学)、蒲原弘継((独)産業技術総合研究所)、橘隆一(東京農業大学)、Udin Hasanudin (University of Lampung)、Muhamad Faisal(Syiah Kuala University)

他者からの引用文献

- IPPC.: 2006 IPPC Guidelines for national greenhouse gas inventories, (2006)
- Hansen,M.V., et al.,(2009) Quantifying changes in the rates of forest clearing in Indonesia from 1990 to 2005 using remotely sensed data set, Environmental Research Letters, 4(3),12pp

主要な研究成果(成果となる発表論文・書籍等)

原著論文

- 1) 蒲原弘継,後藤尚弘, **藤江幸一**、インドネシアにおけるパーム油生産拡大に伴う環境影響と低減策、環境科学 会誌,23(4),332-340(2010)
- H. Kamahara, H. Udin, A. Widiyanto, <u>R. Tachibana</u>, Y. Atsuta, N. Goto, H. Daimon, <u>K. Fujie</u>, Improvement Potential for Net Energy Balance of BDF Derived from Palm Oil: A Case Study from Indonesian Practice, Biomass and Bioenergy, BIOMASS AND BIOENERGY, 34,1818-1824(2010)
- H. Kamahara, U. Hasanudin, Y. Atsuta, A. Widiyanto, R. Tachibana, N. Goto, H. Daimon, K. Fujie, Methane Emission from Anaerobic Pond of Tapioca Starch Extraction Wastewater in Indonesia, Journal of Ecotechnology Research, 15(2),79-83 (2010)
- 4) 蒲原弘継、藤江幸一、熱帯プランテーション地域におけるバイオマス利活用による温室効果ガス排出量削減、 水環境学会誌、32(2),69-72(2009)
- 5) <u>橘隆一</u>、熱田洋一、A. Widiyanto、蒲原弘継、後藤尚弘、荒川正幹、船津公人、<u>藤江幸一</u>、バイオマス・ネットワ ーク設計ソフトウェア"AB-NET"の開発、環境科学会誌、22(4),257-269(2009)
- 6) 蒲原弘継、A. Widiyanto、熱田洋一、<u>橘隆一</u>、後藤尚弘、大門裕之、<u>藤江幸一</u>、インドネシア産パーム油由来の BDF 生産・輸入に伴う環境負荷、環境科学会誌、22(4),247-256(2009)
- 7) 藤江幸一、後藤尚弘、大門裕之、蒲原弘継、バイオマスエネルギー利活用システムの設計と評価、環境資源工学、55(2),103-108(2008)

総説等

- 8) 藤江幸一、バイオマス利活用評価の最前線、環境科学会誌、23,(6),476-479(2010)
- 9) 藤江幸一、バイオマス利活用のシステム設計と評価、環境科学会誌、21(6),463-466(2008)
- 10) 藤江幸一、曲がり角に来たバイオマス・ブーム、用水と排水、50(11),1(2008)

国際学会発表論文

- U. Hasanudin, E. Suroso, <u>M. Faisal</u>, H. Kamahara and <u>K. Fujie</u>, The potential of palm oil mill waste as a source of energy and green house gases emission reduction, 3rd International Symposium on Energy from Biomass and Waste 8, Venice, Italy, Nov.11 (2010)
- 12) <u>K. Fujie</u>, N. Gtot, H. Kamahara, U. Hasanudin, Materials and Energy Flow analyses in Bio-product Processing of Plantation, International Seminar on Sustainable Biomass Production and Utilization: Challenges and Opportunities, Sheraton Lampung Hotel, Bandar Lampung, Indonesia, Aug. 3-4(2009)
- 13) <u>R. Tachibana</u>, H. Udin, <u>K. Fujie</u>, Effect of Plantation Management on the Soil Microbial Community Structure by Analysis of Quinone Profiles in Tropical Areas, International Conference of the East and Southeast Asian Federation of Soil Science 2009, 601-602(S5P21) Seoul, Korea, Oct. 27-30 (2009)
- 14) H.Kamahara, U. Hasanudin, Y. Atsuta, A. Widiyanto, <u>R. Tachibana</u>, H. Daimon, N. Goto, <u>K. Fujie</u>, Methane and Carbon Dioxide Emission from Anaerobic Pond of Tapioca Starch Extraction Wastewater in Indonesia, 15th Asian Symposium on Ecotechnology (ASET 15), Kanazawa, Japan, (October 18, 19, 2008) (Paper no. P-45)
- 15) Y. Atsuta, A.Widiyanto, H. Kamahara, <u>R. Tachibana</u>, U. Hasanudin, H. Daimon, N. Goto, <u>K. Fujie</u>, Evaluation of Palm Mill Industry Based on Material and Energy Flow Analysis in Indonesia, 15th Asian Symposium on Ecotechnology (ASET 15), Kanazawa, Japan, October 18, 19, 2008 (Paper no. P-79)
- 16) H.Kamahara, A. Widiyanto, <u>R. Tachibana</u>, Y. Atsuta, N. Goto, H. Daimon, <u>K. Fujie</u>, Greenhouse Gas Balance on Life Cycle of Biodiesel: A Case of Palm Biodiesel Production in Indonesia, The 8th International Conference on EcoBalance, Tokyo, Japan, Dec. 10-12(2008)
- 17) <u>K. Fujie</u>, Sustainable Bio-Energy and Biomass Resources Use, Seminar Nasional Dan Dialog Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor, Indonesia, (Nov. 18-20, 2008)
- <u>K. Fujie</u>, Production and utilization of biomass in plantation and surrounding area, JFE-UNILA-TUT joint seminar on biomass utilization in plantation, Lampung University, Feb.1(2007)
- 19) U. Hasanudin, Utomo, T.P., Suroso, E., Hendri, J., Inokawa, A., and <u>Fujie, K</u>., Methane and CO₂ gases emission from anaerobic pond in tapioca wastewater treatment plant, 7th IWA Specialist Conference on Waste Stabilization Ponds, 25- 27 September, Bangkok, Thailand, (2006)

- 20)国連大学ゼロエミッションフォーラム編、進化するゼロエミッション活動-低炭素社会へシフトするための最強の コンセプトー、プランテーションでのバイオマス利活用の促進と課題 (pp.89-101)を執筆(**藤江幸一**)、㈱海象社 (2010年5月27日)
- 21)鈴木基之編、改訂版「環境工学」、第12章資源循環(4)バイオマス・プランテーション(pp.229-250)を執筆(<u>藤江</u> <u>幸一</u>)、放送大学教育振興会発行(2007 年 4 月)、放送大学大学院・教科書

書籍

地域におけるバイオマス資源の持続可能な利用

Sustainable Use of Biomass Resources in Local Areas

報告者:本藤祐樹 Hiroki Hondo

本研究の目的は、地域に存在するバイオマス資源の利活用によって生じる環境 影響や社会経済効果を定量的に評価するための手法を確立することである。ラ イフサイクルアプローチに基づく実用的な手法が提案され、沖縄県宮古島にお けるバイオエタノールプロジェクトの事例に適用されている。このプロジェク トは、宮古島内に存在するモラセスからバイオエタノールを生産し、島内で消 費されているガソリンを全て E3 燃料に置き換えることを目指している。開発手 法を用いた評価によって、このプロジェクトは化石燃料と GHG 排出量の減少と 雇用量の増加をもたらす可能性を持つことが明らかにされている。加えて、こ のプロジェクトのパフォーマンスは、エタノールプラントを製糖工場と一体化 することによって改善されることも示されている。

The objective of the present study is to develop a practical method based on the life cycle approach for assessing environmental and socio-economic impacts induced by utilization of biomass resources in local areas. As the first step, this study analyzes the impacts of bio-ethanol project in Miyakojima city from the viewpoints of fossil fuel consumption, GHG emission and employment creation. In order to assess the impacts of the project, this study compares the two following systems: (1) the Base System where gasoline is consumed as fuels of all gasoline vehicles driven in the city and (2) the E3 System where E3 fuel using bio-ethanol produced in the city is consumed. The results show that the project has the potential to bring the decrease in fossil fuel consumption and GHG emission as well as the increase in the quantity of employment. The analysis also reveals that the reduction of energy consumption at the ethanol production process is one of the important factors to improve the project.

1. 研究目的、方針

全国各地で地域内のバイオマス資源を有効 利用する取組みが活発化している。バイオマ ス資源の有効利用は、温室効果ガス削減など の環境効果に加え、地域における一次産業の 活性化や雇用の創出など社会経済効果が期待 されている。我が国では 2002 年にバイオマ ス・ニッポン総合戦略が閣議決定され、2004 年には同戦略の中核事業としてバイオマスタ ウン構想が発表されたことを契機に、地域に おけるバイオマス資源の利活用が促進されて きた。しかし、バイオマス資源の利活用事業 の実施に伴う様々な影響に関する評価や分析 が十分に行われないまま計画が進められてき たことは否めない。

本研究の目的は、地域で取り組まれている バイオマス事業がもたらす環境・社会経済的 影響を、ライフサイクル思考に基づき定量的 に明らかにする実用的な手法を開発すること である。

2. 方法

本研究では、沖縄県宮古島市でのバイオエ タノール事業を事例として手法開発を行って いる。当該事業では、宮古島で発生する製糖 副産物であるモラセスを原料としてバイオエ タノールを生産し、E3 燃料(エタノール 3% とガソリン 97%の比率で混合)を全島で利用 することを計画している。

図1に開発した評価手法の大まかな流れを 示す。以下では、開発した評価手法の概要を 事例に従って述べる。

(1) 評価指標とシナリオの設定

当該事業の評価においては、評価指標として、GHG 排出量(CO₂, N₂O, CH₄, HFCs, PFCs,

SF₆)、化石燃料消費量、雇用量を取り上げて いる。また、事業実施前に相当するベースシ ナリオと、実施後に相当する E3 シナリオを設 定している。各シナリオは次のシステムの定 義において併せて説明する。

(2) システムと能単位の定義

対象事業の実施がもたらす影響を的確に評価するためには、間接的な影響を十分に考慮して、2種のシナリオを表現するシステムが同一の機能を持つように定義する必要がある。

当該事業の場合、事業実施前に相当するベ ースシステムは図2のように設定される。サ トウキビから粗糖が生産され、モラセスは島 外で家畜飼料などに利用される。また自動車 の燃料にはガソリンが利用される。一方、事 業実施後に相当するE3システム(図3)では、 モラセスはエタノールの原料とされ、生産さ れたエタノールはガソリンと混合されE3燃 料として利用される。エタノール製造時の副 産物である蒸留残渣液は、サトウキビ圃場に 肥料として還元され、学肥料のカリウム分を 代替する。この代替は、サトウキビの収量や 糖度などの品質には影響を与えず、肥料の効 果は現状ケースと同等としている。

なお、設定した2種のシステムは表1に示 す同一の機能を持つ。



図1 評価手法の大まかな流れ

(3) 各シナリオにおける環境負荷と経済社会効果の推計

環境負荷と経済社会効果の推計には、産業 連関法と積み上げ法を組み合わせたハイブリ ッド法を採用している。本研究は産業連関法 と積み上げ法を組み合わせた分析手法を用い ている。

産業連関法は、原理的にある生産活動に伴 う直接間接の負荷/効果を網羅的に把握する ことが出来る点や、公的な統計資料を利用す ることで少ない費用と時間で推計できる点で 優れている。その一方で、部門数が限定され ているため推計誤差を生じることが指摘され ている。そこで本研究では、負荷/効果が大き いと考えられる活動については、積み上げ法 を用いている。

事例に基づき具体的に述べると、化石燃料 消費量とGHG排出量の推計においては、各プ ロセス(図2、3)に直接投入される燃料(燃 焼)及び電力(発電)による消費/排出、そし て施肥によるN₂Oの排出は積み上げ法を用い、 各プロセスへの投入財(燃料や肥料、設備機 器など)の製造、流通時の消費/排出は産業連 関法を用いる。また雇用量に関しては、各プ ロセスの活動に直接従事する雇用量は積み上 げ法を用い、各プロセスへの投入財(燃料や 薬品、設備機器など)の製造、流通時の雇用 量は産業連関法を用いて推計する。なお、ガ ソリン製造プロセスに関しては、産業連関法 のみを用いて負荷/効果を求めている。

(4) 対象事業実施に伴う負荷/効果の評価

事業実施前のシステムと実施後のシステム の環境負荷および経済社会効果を比較するこ とで、事業実施に伴う影響を評価する。 (5) 対象事業の改善分析

評価結果に基づき、計画されている事業の 改善部分を特定し、改善効果を定量的に検討 することで、具体的な改善案を提案する。

3. 結果、考察

(1) 事業の評価結果

図 4、5 は、2 種のシステムの化石燃料消費 量と GHG 排出量の差異を示している。全島に おける E3 燃料の利用は、年間 5.3TJ の化石燃 料の削減と、年間 505 t-CO₂ equiv.の GHG 排出 量の削減をもたらす。







図3 E3システム(事業実施後)

表1 システムの機能単位

| 自動車燃料 | 865 | TJ/yr |
|----------------|---------|-----------------|
| (ガソリン or E3燃料) | (25,000 | kl-gasoline/yr) |
| モラセス | 3,269 | t/yr |
| 粗糖 | 17,080 | t/yr |
| | | |

プロセス別に見ると、ガソリン生産と消費 のプロセスにおいては、23.2 TJの化石燃料と 1733 t-CO2 equiv.の GHG が削減される。これ は、自動車に用いられるガソリンが事業実施 まえに比べて 3%減少するためである。また、 サトウキビ栽培プロセスでは、2.9 TJ の化石 燃料と 421 t-CO2 equiv.の GHG 排出が削減さ れる。また、エタノール製造に伴い発生する 蒸留残渣液をサトウキビ圃場へ還元すること で化学肥料の使用量が減少するために、2.9 TJ、 421 t-CO2 eq.減少する。反対に、エタノール製 造プラントと E3 燃料製造施設の稼働に伴い 化石燃料消費量及び GHG 排出量は増加し、エ タノール製造プロセスにおいてはそれぞれ 18.6 TJ、1,509 t-CO2 eq.増加する。

図6にエタノール製造プロセスのGHG 増加 量の内訳を示す。エタノールプラントの稼働 時に消費されるA重油及び電力の影響が大き く、化石燃料消費量及びGHG 排出量の約70% を占めている。また、プラントの建設及び設 備機器の製造由来の影響が28%を占めてい る。地域レベルの小規模な取り組みであるが 故に、建設や設備製造の影響が大きい可能性 があり、建設や整備製造に伴うGHG 排出を無 視できないことが認められる。

図 6 に、事業の実施に伴う島内、島外雇用 量の変化量を示す。事業の実施に伴い年間 7,504 人・日の雇用の増加が見込まれる。この 値は、年間労働日数を 252 日/年 19) と仮定す ると、約 30 人の雇用者の増加に相当する。プ ロセス別に見ると、ガソリンの製造量の減少 に伴い 932 人・日の雇用量が減少し、サトウ キビ栽培に必要な化学肥料の製造量の減少に 伴い 505 人・日減少する。その一方で、エタ ノール製造、E3 燃料製造、モラセス輸入プロ セスでは雇用量が増加し、特にエタノール製 造、E3 燃料製造プロセスでは、島内雇用量が それぞれ 2,608 人・日、583 人・日増加する。





(2) 改善分析

前述の結果(図 5、6)から、化石燃料消費 量と GHG 排出量の観点から事業を改善する ためには、エタノール製造プロセスが鍵であ ることが認められる。このプロセスで化石燃 料消費と GHG 排出量が大きい主因は、エタノ ールプラントが製糖工場と別に立地しており、 稼働に必要なエネルギー(電力、A 重油)を 自ら調達していることにある。そこで、事業 の改善を目指した分析の一例として、エタノ ールプラントが製糖工場と一体化した場合に 化石燃料消費量や GHG 排出量をどの程度削 減できるのかを検討する。

表2に分析結果を示す。製糖工場とエタノ ールプラントが一体化することによって、エ タノール製造プロセスの電力とA重油の消費 量は、現状の分離型と比較していずれも48% 減少する。そして、エタノール製造プロセス の化石燃料消費量、GHG排出量は、それぞれ 34%、32%減少する。なお、雇用量は2%の 減少に留まる。

システム全体としてみると、E3 一体化シス テムの化石燃料消費量と GHG 排出量は、ベー スシステム(図 2)のそれらと比べて、それ ぞれ11.7 TJ、992 t-CO2 eq.少なく、雇用量は 7,392 人・日多い。すなわち、製糖工場とエタ ノールプラントの一体化は、全島 E3 化事業の 実施に伴う化石燃料消費量及び GHG 排出量 の削減を大幅に改善させる可能性が認められ る。

表2 改善分析の結果

| | | 分離型 | 一体型 | 差分 |
|---------|-----------------------|------|------|------|
| 電力 | MWh/年 | 454 | 235 | -48% |
| A重油 | kl/年 | 174 | 90 | -48% |
| 化石燃料消費量 | TJ/年 | 19 | 12 | -34% |
| GHG排出量 | CO ₂ eq./年 | 1509 | 1022 | -32% |
| 雇用創出量 | 人・日/年 | 6748 | 6637 | -2% |

4. まとめ、今後の展開

本研究によって開発された手法は以下の点 において特徴を持つ。

(1) ライフサイクル視点:事業実施に伴う直接的な影響のみならず間接的な影響も考慮

(2) 多基準指標:環境側面と経済社会側面の 両面から評価

(3) 地域事業ベース: バイオ燃料という製品の評価では無く,地域におけるバイオマス利活用事業の評価

(4) 事前評価のための実用的な手法:時間や 費用に関する合理的な制約下での的確な評価

このような特徴を持つが故に、事業実施に 先立ち、政府、事業主体、利害関係者などへ 適切な情報を提供することに本手法は寄与す ると考えられる。しかし、実用的な手法とし て一般化していく上では、以下の課題に取組 むことが求められる。

(1)推計結果の妥当性の検証:本手法では実用性を重んじ、評価に必要となるデータの収集の可能性と容易さを考慮して、産業連関法を主たる推計手法として採用した。特にプラントの建設や設備機器の製造に関しては、産業連関法の利用が、より精度の高い推計が可能な積み上げ法と比べてどの程度の差異をもたらすかを検証する必要がある。また本手法は事前評価を意識して設計値をベースとしており、実際とは異なる可能性がある。これについても事業の進展を通して検証していく必要がある。それらの検証を踏まえて、感度分析や不確実性分析のあり方に関しても検討が求められる。

(2) 評価指標の改善と拡張:バイオマス事業では、環境面として、生物多様性や土壌、水資源に与える影響も重要な情報と考えられ、評価指標として取り込むことが望まれる。例

えば宮古島における蒸留残渣液の圃場還元は、 その還元量や還元時期によっては土壌環境へ の影響が懸念されている。社会面からの評価 指標として1年あたりの平均的な雇用量を採 用したが、雇用に関しては時間的な安定性も 重要な点であり、改善の余地がある。また事 業収益性などの経済面からの評価も必要であ る。バイオマス資源や地域の特性によって、 意思決定の判断材料となる情報は異なるが、 まずは比較的共通して重要と考えられる指標 から順次検討を進める必要がある。

研究協力者

森泉由恵(本学非常勤教員/慶應義塾大学)、菊地 克行(本学修士課程学生)、PiyawanSuksri(チュ ラロンコン大学)、和気洋子(慶應義塾大学)

主要な研究成果(太字は GCOE メンバー、下線は横浜国大・国立環境研在籍者)

Hiroki Hondo, Katsuyuki Kikuchi(pre-accepted): Effects of local biomass projects on energy balance and GHG emission: a life cycle approach, International Journal of Green Energy

<u>YueMoriizumi</u>, PiyawanSuksri, <u>Hiroki Hondo</u>, Yoko Wake (2011): Greenhouse gas emissions and economic feasibility of ethanol production systems in Thailand. Proceedings of The 5th International Conference on Life Cycle Management (LCM 2011), Berlin, Germany

<u>菊地克行</u>, 本藤祐樹. 地域のバイオマス利活用に伴う環境影響と雇用効果-宮古島のバイオエタノール事業を事例に-. 日本エネルギー学会誌 90(7), 642-652, (2011)

<u>YueMoriizumi</u>, Naohiro Matsui and <u>Hiroki Hondo</u>. Simplified life cycle sustainability assessment of mangrove management: A case of plantation on wastelands in Thailand. Journal of Cleaner Production, 18(16-17), 1629-1638, (2010)

Hiroki Hondo, Katsuyuki Kikuchi(2010): Environmental and socio-economic assessment of local biomass projects: A case of a bioethanol project in Miyako island, Japan. Proceedings of10th International Conference on Clean Energy (ICCI-2010), Famagusta, North Cyprus

YueMoriizumi, PiyawanSuksri, <u>Hiroki Hondo</u>, Yoko Wake(2010): Greenhouse gas emissions and economic feasibility of ethanol production systems in Thailand: Using a life cycle approach. Proceedings of10th International Conference on Clean Energy (ICCI-2010), Gazimagusa – N. Cyprus

<u>森泉由恵</u>, 本藤祐樹 (2008): タイの産業連関表を用いた CO₂ 排出原単位の推計, エネルギー・資源学会論文誌, 29(4), 1-7

関連著書等

本藤祐樹(2010): 進化する LCA: 問題を発見し解決する手法へ, オペレーションズ・リサーチ, 55(12), 760-765

- <u>森泉由恵</u>, PiyawanSuksri, <u>本藤祐樹</u>, 和気洋子 (2008): タイにおける持続的農業—バイオエタノール生産の持続 可能性評価—, Digital Asia Discussion Paper Series, DP08-006, 慶應義塾大学デジタルアジア地域戦略構想 研究センター
- <u>森泉由恵</u>, PiyawanSuksri, <u>本藤祐樹</u>, 和気洋子 (2008): タイにおけるバイオディーゼル普及政策―東北部での オイルパーム栽培とコミュニティ・バイオディーゼルの現地調査, Digital Asia Discussion Paper Series, DP08-005, 慶應義塾大学デジタルアジア地域戦略構想研究センター
- PiyawanSuksri, <u>YueMoriizumi</u>, <u>Hiroki Hondo</u>, Yoko Wake (2008): Sustainable Agriculture in Thailand: An Evaluation on the Sustainability in Ethanol Production, Digital Asia Discussion Paper Series, DP 08-004, Digital Asia Regional Strategy Research Center, Keio University
- PiyawanSuksri, <u>YueMoriizumi, Hiroki Hondo</u>, Yoko Wake (2008): An Introduction of Biodiesel to Thai Economy: Community Biodiesel and Oil Palm-Biodiesel Complex, Digital Asia Discussion Paper Series, DP 08-003, Digital Asia Regional Strategy Research Center, Keio University
- <u>森泉由恵</u>, PiyawanSuksri, 本藤祐樹, 和気洋子 (2007): タイにおけるバイオエタノール導入への取り組み(I)-サトウキビ・キャッサバ農場の現地調査-, Digital Asia Discussion Paper Series, DP07-01, 慶應義塾大学デジタ ルアジア地域戦略構想研究センター
- <u>森泉由恵</u>, PiyawanSuksri, 本藤祐樹, 和気洋子 (2007): タイにおけるバイオエタノール導入への取り組み(I)-サトウキビ・キャッサバ加工工場の現地調査-Digital Asia Discussion Paper Series, DP07-02, 慶應義塾大学デ ジタルアジア地域戦略構想研究センター
- PiyawanSuksri, <u>YueMoriizumi</u>, <u>Hiroki Hondo</u>, Yoko Wake (2007): An Introduction of Bio-Ethanol to Thai Economy
 (1) -A Survey on Sugarcane and Cassava Fields-, Digital Asia Discussion Paper Series, DP07-03, Digital Asia Regional Strategy Research Center, Keio University
- PiyawanSuksri, <u>YueMoriizumi</u>, <u>Hiroki Hondo</u>, Yoko Wake (2007): An Introduction of Bio-Ethanol to Thai Economy
 (2) -A Survey on Sugarcane and Cassava Processing Factories-, Digital Asia Discussion Paper Series, DP07-04, Digital Asia Regional Strategy Research Center, Keio University

伊藤公紀,本藤祐樹 (2007): バイオ燃料の可能性とリスク,現代化学, No.439 (2007年10月号), 52-58

地球環境・防災を融合したリスクマネジメントのための 時空間情報プラットフォームの構築 Construction of a Geospatial-temporal Information Platform for the Risk Management Incorporating Global Environmental Concerns and Disaster

報告者:佐土原 聪 Satoru Sadohara

本 GCOE のテーマである生態リスクを含めた地球環境問題、災害を、生活者を取り巻く物理的 環境がもたらすリスクとしてとらえ、両者を融合したリスクマネジメントへのアプローチを体系 的に整理し、実際のフィールドにおいてマネジメントを実践するための取り組みを一部具体化し た。まず地球環境問題と災害の相互関係の整理を行い、続いて両者への対応を融合した、地域に おけるリスクマネジメントのアプローチを検討するために、国連のミレニアム生態系評価 (MA) の枠組みを活用した新たな概念的枠組みを提案した。それを用いて、「生態系サービスの活用」、 「地域エネルギーシステムの構築」、およびこれらを IT によって支援する「時空間情報プラット フォームの構築」の3つアプローチが考えられることを示した。さらに「時空間情報プラット フォームの構築」の具体的な取り組みとして、そのプロトタイプを神奈川の流域圏、特に秦野市 を中心に構築し、その有用性を検証するとともに、今後の展開についてまとめた。

Global environmental problems and disaster including ecological risks, the theme of our GCOE program, are regarded as existing risks of physical environment which surrounds people living in different areas. An approach to management of risk that integrates above both environmental problems and disaster was devised systematically, and the practice of management in actual field was specified partly. Firstly, the correlation between global environmental problems and disaster was comprehended. Then, to investigate the approach for the risk management, a new framework which utilized the conceptual framework of the Millennium Ecosystem Assessment (MA) of the United Nations was proposed. Using the framework, three approaches, mainly, "practical use of ecosystem services", "construction of a district energy system" and "construction of a Geospatial-temporal Information Platform" which supports the former two approaches with Information Technology, were considered. Furthermore, as a concrete measure for construction of the Geospatial-temporal Information Platform, a prototype was built for Kanagawa River Basin with the main focus on Hadano City. Finally, usefulness of the constructed platform was verified and future plan was summarized.

1. 研究目的

気候変動、生物多様性の喪失といった地球 環境問題が深刻化する中、日本では地震の活 動期を迎えていると言われ、地球環境問題、 災害による被災のリスクが高まっている。こ れらは相互に関係し、あるいは増幅し合い、 さらに大きな被災へとつながる危険がある。 地球環境問題の起因は人間の活動にあり、ま た地球環境問題、災害で被災するのも人間で ある。したがって居住環境づくりには、地球 環境問題の要因を軽減する対策(緩和策)と、 地球環境問題・災害による被災から命、財産 などをまもる対応(適応策)を同時に実現す る視点が必要である。

2005 年から日本は人口減少超高齢社会を 迎え、今後はより効率的な社会資本投資を行 う必要がある。またコンパクトな都市へとシ フトしており、空いてくる土地を有効利用し つつ、コンパクトな都市に合った基盤整備を 行って、地球環境問題、災害の双方のリスク を効果的に低減する取り組みが重要である。

そこで本研究では、地球環境問題と災害を

の検証を行った。

2. 地球環境問題・災害の関係整理と両者 を融合したマネジメントのアプローチ

2.1 地球環境問題・災害の関係整理

地球環境問題と災害の関係を図1に示す。 都市・地域における化石燃料の消費、生物資 源の消費が起因となって、気候変動、生物多 様性喪失という地球環境の2大問題が引き起 こされている。

気候変動の連鎖では、化石燃料の消費にと もなう CO₂が大気に拡散されて地球規模の気 候変動をもたらすと考えられ、地域において はそれが極端気象となって現れて、風水害等 の災害を発生させる。生物多様性喪失の連鎖 では、増え続ける地球上の人口に対応した国 際取引というグローバルな経済活動が駆動力 となっている。そして生物資源が生態系供給 サービスに偏重した評価に基づいて地球規模 で取り引きされ、生産国では過剰なまでに生 物資源が生産・搬出・利用され、日本などで は農地・人工林などが放棄されている。それ

居住環境における生活者 のリスクとして合わせて とらえ、それに基づくリス クマネジメントのアプロ ーチを提示した。また地球 環境と防災の対応を融合 したリスクマネジメント を支援する IT ツールとし て「時空間情報プラットフ ォーム」を提案し、その中 核となる時空間情報基盤 のプロトタイプ構築と活 用をとおして、その有用性



図1 地球環境問題と災害の統合的整理

が本来生態系が持っている災害軽減や気候調 整など、経済価値化されない機能(調整・基 盤サービス)を失わせ、地域の生態系の攪乱・ 脆弱化・喪失が生じて、防災力の低下につな がっている。地球規模のプレートの移動が、 ひずみの解消という形で地域に引き起こすの が地震であるが、極端気象や生態系脆弱化・ 防災力低下という地球環境問題が深刻化して いる状況で地震が発生すると、被害が増幅さ れ、悪循環に陥る危険性が高まる。化石燃料 でなく原子力を利用することで、CO2 に替わ って放射能のリスクがある地域では、さらに 問題が深刻化する。

このようにさまざまな要因が複合して災害 リスクが高まる中、地域からの取り組みとし ては、地球環境問題への「緩和策」と、結果 として現れる影響への「適応策」を合わせた 「地球環境防災策」とも呼ぶべき統合的な対 策を講じることが求められている。

2.2 具体的アプローチに向けた概念整理

2.1 の整理に基づき、具体的なアプローチを 以下のような考え方で整理した。地球環境問 題も災害も人間の命、財産、生活基盤などを 系」、人間の活動にともなう物理的変化である 「人工環境」、その駆動要因になっている「社 会経済環境」、生態系からの恵み(生態系サー ビス)や人工環境の恩恵(文明系サービス) 受けることで生まれる「人間の福利」の4つ のボックスがあり、それらの相互関係で生態 系の荒廃やその対策のメカニズムが整理され ている。しかし、これらには人間活動や生態 系を物理的に規定している地殻変動、水循環、 大気循環などが表現されていないことから、 筆者らは MA の概念フレームにこれらを加え た図2の概念フレームを新たに考案し、それ を地球環境問題、災害現象の要因やそれらが 人間にもたらすリスクを合わせて整理する概 念フレームとして用いることを提案した。

この概念フレーム上では、気候変動という 地球環境問題は人工環境におけるエネルギー 利用、人工域の拡大による生態系の破壊が CO₂を発生させ、それが無機的自然環境の気 圏に影響して気候変動が生じ、それが再び生 態系、人工環境に影響して、人間の福利を脅 かすという流れ(図2の大きな矢印)で整理 できる。また、地震に関しては無機的自然環

いる物理的な現象である。そ こで両者を区別なく、現実世 界をありのままに物理的現象 を中心としてわかりやすく表 現できる共通の概念フレーム が必要と考え、その提案を行 った。

脅かす、現実世界で起こって

2005 年に国連が主導して 世界の約 1300 人の研究者の 参加でまとめられた国連のミ レニアム生態系評価(MA) の概念フレーム 1)には「生態



図2 地球環境と防災の統合的整理のための概念フレーム
境の地圏の変動が、人工環境を形成して いる構造物を損壊させ、人間の生命、財 産が失われ人間の福利の喪失につなが る流れで整理できる。地域で発生する CO₂の増大は地球規模に広がって気候 変動をもたらし、それによる極端気象は 地域によって偏った現象として地域ス ケールで現れる。このように現象は異な るスケールにまたがって起こっており、 こうしたスケールの違いの表現にはま だ難点があるが、左上に地域から世界ま でのスケールの違いが示されている。以

上のようにこの概念フレームは実際の現象を 要素ごとに大まかに整理するための枠組みを 提供するもので、この概念フレーム上で地球 環境問題、災害現象、それらの対策を整理す ることができる。

2.3 具体的アプローチ

この概念フレームに基づいて整理すると、 地球環境問題と災害への対応を融合した都 市・地域づくりには3つのアプローチがある。 第1は「生態系」のボックスにおいて、生物 の生息地を確保しながら気圏、水圏、地圏の 変化や影響を和らげるなど、「生態系サービス を都市・地域づくりにうまく活かす」こと、 第2は「人工環境」のボックスにおいて気候 変動の要因と考えられる CO2の排出をできる だけ低減しつつ、地震や風水害などの災害要 因による被害を受けにくい地域・都市づくり を行うことである(図3)。その中でも特に「地 域エネルギーシステムの構築」はCO2の排出 に直接関わっているので、最も重要なアプロ ーチと考えられる。そしてもう一つ、この2 つの視点からのアプローチを情報技術によっ て支援する「時空間情報プラットフォームの 構築」である。図2の概念フレームはそのプ





ラットフォームの中核をなす、時空間情報基 盤の設計図でもある。GIS 等の時空間情報技 術を活用すれば、将来的には地域環境から地 球環境までスケールを超えて連続的に、高い 精度で実態を把握・分析・理解することが可 能になると考えられ、そのような支援ツール を構築することは重要なアプローチである。

3. 時空間情報プラットフォームと時空間 情報基盤の構築

3.1 時空間情報プラットフォーム

『時空間情報プラットフォーム』は、複数 の大型画面に、検討テーマに関連した GIS デ ータなど多様な画像・データを映し出し、多 人数で情報共有を図りながらディスカッショ ンし検討を重ねていくことができる「場(プ ラットフォーム)」を意味する。そこでは GIS サーバから多岐にわたるコンテンツが提供さ れ、大型画面に映し出される。サーバの中に は時空間属性情報で関係づけられた対象フィ ールドの多様なデータ・情報が概念フレーム に基づき整理・格納され、ディスカッション の必要に応じてそれらが組み合わされて、複 数のスクリーンに個別に、あるいは GIS によ り二次元・三次元データとして重ね合わせて 表示される。

重要なことは、データの大部分が時空間属 性を持つGISのデータとして格納されている ので、物理化学データや社会経済データ等、 文理を横断し、異分野のデータを時空間属性 で関連づけながら、定性的・定量的に検討す ることができることである.そのため学際的 な協働研究や産学官民横断など,これまでに ない異・多分野にまたがる知的協働作業の実 践につながる。

またインターネットビデオ会議システムと 組み合わせることで、face to face に近い感 覚で、遠隔地間のデータ共有による検討・協 議ができ、環境情報を共有した協働作業が実 現する。例えば流域の上流と下流の自治体や 研究者、住民などのステークホルダーが協働 して課題解決に取り組むための「プラットフ ォーム」として機能し、上下流域一体の環境 管理や協働の防災力向上などに貢献する。

3.2 時空間情報基盤の構築

本プラットフォームの最も重要な構成要素 が、図2の概念フレームに従って GIS 等を活 用して構築される地域の時空間情報基盤であ る。その基盤には地圏、水圏、気圏の無機的 自然環境のデータベースが必要である。地圏 データは、ボーリングデータをもとに地質分



図4 秦野市の三次元地質モデルと水循環 のシミュレーション結果

野の専門的知見を活用して構築される三次元 の地質モデルである。秦野市で構築中の地質 モデルと、雨水のモニタリングデータなどを 用いて行う水循環シミュレーションから得ら れる水圏データを図4に示す。気圏データは、 ネスティングによる広域スケールからメソス ケール、地域のスケールにおける大気の流れ を気象モデルによって再現して得られる。こ れらの無機的自然環境のデータベースに加え て、おもに地表面に存在する人工環境、生態 系、および社会経済環境に関わる位置情報を もった時系列のデータを、GIS 等を用いてデ ータベース化する。

上記の時空間データベースには二次元・三 次元の時空間情報が混在しており、それぞれ にデータフォーマットが異なり、現段階では 相互のデータ変換が難しい組み合わせも存在 しているが、IT 技術の進展により、その難点 も克服されつつある。

3.3 時空間情報基盤の有用性の確認

構築した時空間情報基盤の有用性を確認す るために、秦野市を対象として、流域単位で 水質・水量の変化要因に関する分析を行った。 その内容は、主な研究成果 14)、15)にまとめ られている。基礎データとして、水質調査地点、 下水道整備地区等のデータ、土地利用、人口、 降雨、湧水の水質等のデータを収集、データ ベース化し、各河川の水質調査地点ごとの集 水域をGISで作成し、集水域単位で分析がで きるようにした。それを用いて下水道整備・土地 利用を水質と時系列的に関連づけて、それら の水質への影響度合を明らかにした。具体的 には 35 年間の流域の変遷と水質の関係性を 分析した。その結果、下水道未整備人口が水 質に大きく影響し、農地負荷も多少影響して いることが明らかになった。また大気窒素の

沈着も影響を与えていると示唆された。

さらに、現在の時点での河川水質の変化を 多様な空間特性との関連で分析するために、 秦野市のこれまでの7地点の水質測定に加え て 2009 年度に上・中流域及び支流・用水の 25 地点の測定を行い、分析に用いた。その際、 地下水循環の影響も考慮した。結果として下 水道未整備人口、農地と大気窒素の沈着が水 質へのおもな影響要因であること、その影響 度合いが定量的に明らかになった。

このように、本研究の時空間情報基盤を用 いることによって、これまでになく精度高く 分析することができ、水質への影響要因の影 響の度合や今後の対策の重点が明らかになる など、その有用性を確認することができた。

参考文献

 Millennium Ecosystem Assessment 編・横浜国立大学 21 世紀 COE 翻訳委員 会 責任翻訳:国連ミレニアムエコシステ ム評価,生態系サービスと人類の将来,オ ーム社,平成19年3月

4. まとめ、今後の展開

本稿では、地球環境と防災を融合したリス クマネジメントのアプローチに向けて概念整 理を行い、具体的な取り組みを IT で支援する 時空間情報プラットフォームとその中核をな す時空間情報基盤についての、現時点までの 成果の概要を報告した。しかし、これらはま だ緒についたばかりである。今後、時空間情 報プラットフォームを発展・充実させ、具体 的な地域を対象に生態系サービスや地域エネ ルギーシステムに関する、地球環境問題の緩 和策と地域で生じる災害の適応策を合わせた 対策の定量的・多面的な検討を実践すること が必要である。その第一歩を秦野市を対象に 進めているが、今後その成果をさらに大きな 都市に展開していきたいと考えている。

研究協力者

シュレスタ・ガウラブ (2008-2010 年度 RA)、 佐藤 裕一(事務補佐員)

主要な研究成果

成果となる発表論文

- 1) 稲垣景子, **佐土原聡**(2007):地域コミュニティにおける災害履歴情報の集約と活用,地域安全学会論文 集,No.9, pp.1-8
- 2) 川崎昭如,吉田聡,佐土原聡(2007):水資源 GIS アプリケーション ArcHydro の概説と米国における事例 紹介, GIS-理論と応用,第15巻1号, pp.29-37
- 3) 佐土原聡(2008):「地球環境」と「防災」の体系的整理と統合化の試み,日本建築学会総合論文誌第6号 地球環境と防災のフロンティア, pp.5-8
- 4) 鄭愚耕, 佐土原聡, 吉田聡(2008): ヒートアイランド軽減のための斜面緑地, および河川風の効果に関 する実測研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, p.993-994
- 5) 田中貴宏, 佐土原聡(2009):都市化ポテンシャルマップと二次草原の潜在育成地マップの重ね合わせによる 二次草原消失の危険性評価-福島県旧原町市域を対象として,環境情報科学論文集, No. 23, pp.191-196
- 6) 佐土原聡, 佐藤裕一(2009): 異分野多主体協働のための流域圏時空間情報プラットフォームの構築 その 1 流域の概念的構造化プロセス、日本建築学会大会学術講演梗概集D-1、pp.983-984
- 7) 佐藤裕一, 佐土原聡(2009): 異分野多主体協働のための流域圏時空間情報プラットフォームの構築 その2 流域の時空間情報化プロセス,日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1、p.985-986
- 8) 田中貴宏・佐土原聡・佐藤裕一(2009): 異分野多主体協働のための流域圏時空間情報プラットフォームの構築 その3 プラットフォームの具体的なフレームワークについて,日本建築学会大会学術講演梗 概集 D-1, p.987-988
- 9) シュレスタ・ガウラブ,佐土原聡,佐藤裕一(2009):秦野市の金目川水系の湧水分布を把握するための水温調査,日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, p.989-990

- 10) 小笠原峻志・佐土原聡・吉田聡・田中貴宏(2009): 谷戸地形を有する住宅地の夏季の熱環境特性解析 横浜市保土ヶ谷区仏向地区における解析とその対策の提案,日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, p.903-904
- 11)越春美,田中貴宏,吉田聡,佐土原聡(2009):住宅団地における自然資源を活用した夏季の熱環境緩和 に関する研究 横浜市若葉台団地での実測調査に基づく解析と対策の提案,日本建築学会大会学術講演 梗概集 D-1, p.941-942
- 12) 佐土原聡, 佐藤裕一(2010): 異分野多主体協働のための流域圏時空間情報プラットフォームの構築 その4 気候変動と生物多様性保全の概念整理,およびプラットフォームの支援技術の実装,日本建築学会 大会学術講演梗概集D-1, pp.889-890
- 13) シュレスタ・ガウラブ, 佐土原聡, 佐藤裕一(2010): 秦野市金目川流域の水循環を把握するための河 川流量・水温調査、日本建築学会大会学術講演梗概集D-1, p.893-894
- 14) <u>Shrestha,G.</u>,Sadohara,S., Masunaga,S., Kondo,H., Yoshida,S. and Sato,Y.(2011): River Water Quality Analysis of Hadano Basin and its Relatioship with Nonpoint Sources of Pollution, Jo urnal of Water and Environment Technology, Vol. 9, No.2, pp.141-168
- 15) <u>Gaurav Shrestha</u>, Satoru Sadohara, Satoshi Yoshida and Sato Yuichi(2011): Temporal Analys is of Water Quality of the Kaname River Basin Using GIS, Journal of AsianArchitecture and Building Engineering, Vol.10, No.2, pp.469-476
- 16) 佐土原聡, 久野覚, 田中貴宏(2011): 建築・都市環境将来モデル構築のための概念的構造化、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.897-898

関連著書等

- 1) 佐土原聡(2008):第4章 消費エネルギーとコンパクトシティ,コンパクトシティ再考・都市科学叢書 2,学芸出版社,pp.86-117
- 2)藤沼康実,下田吉之, 佐土原聡編著(2008):「家庭・業務部門の温暖化対策」,国立環境研究所,206p
- 3) 佐土原聡・稲垣景子(2009): ハザードマップ・災害・防災と GIS, 生活・文化のための GIS (シリーズ GIS 第3巻), 朝倉書店, pp.82-96
- 4) 佐土原聡(調整役代表執候補者)(2010):第4章 変化の要因・第6章 インターリンケージ,日本の里山・里海評価,クラスターの経験と教訓(関東中部),国連大学高等研究所, pp.77-96・ pp.111-122
- 5) 佐土原聡編(2010):時空間情報プラットフォーム -環境情報の可視化と協働-,東京大学出版会,294p.
- 6) 浅見泰司・中井検裕・山口幹幸・佐土原聡(2010)・陣内秀信編著:環境貢献都市 東京のリ・デザイン, 清文社, 384p
- 7) 佐土原聡・小池文人・嘉田良平・佐藤裕一編(2011): 里山創生 神奈川・横浜の挑戦,創森社, 255p

新聞記事

1) **佐土原聡**: 佐土原教授ら緑地再生本出版・都市余剰空間活用を,毎日新聞(朝刊・横浜版),2011年12 月2日

生物資源・廃棄物の循環利用技術に関する研究 -廃棄物系バイオマスの炭化とガス化ガスの触媒変換-Carbonization and catalytic conversion of gasified gas from biomass waste

報告者:川本克也 Katsuya Kawamoto、魯保旺 Lu Baowang

生物資源・廃棄物の循環的な利活用技術の中から、炭化プロセスおよびガス化プロセスから生成するガ スの変換をテーマとして選定した。これらはアジアを中心とする地域で、今後の分散型エネルギー活用 技術として有望と考えられる。炭化技術については、木質バイオマスなどの炭化試験によって得られる 炭化物および生成ガスの定性または定量分析による解析を行ったほか、実際の炭化処理施設に関する実 態調査を行い、特徴と課題を抽出した。また、ガス変換に関しては、一酸化炭素(CO)およびメタン(CH₄) に変換する触媒を開発し、メタン化および逆水性ガスシフト(RWGS)反応特性を明らかにし、CO と 二酸化炭素(CO₂)が高転換率でCH₄に、CO₂が高転換率でCOに変換される特性を見出した。

Experimental studies were conducted in the context of effective use of biomass and wastes. Carbonization technology and gas conversion using novel catalyst have been investigated. In carbonization, heating experiment was conducted using three different materials that were woody biomass, RDF and RPF under various temperature and atmospheric conditions. The results showed that the woody sample gave good carbonization product at the temperature range of 500~700 °C. The gases such as hydrogen can be recovered at higher temperatures. Plastic materials gave adverse effect on the recoveries of carbonization product and gases. In the gas conversion, highly loaded and well-dispersed NiO/SBA-15 catalyst was prepared. The NiO/SBA-15 exhibited high efficiency and selectivity for methanation of H_2 , CO and CO₂ gas mixture. The reactive activity was not affected by the location of the NiO particles on the surface of catalyst. The effective NiO/SBA-15 was found to be synthesized by a direct synthesis method of the catalyst and it exhibited excellent efficiency, selectivity and high thermal stability for reducing CO₂ to CO by the RWGS reaction.

1. 研究目的および方針

アジアでの適用が想定可能な生物資源・廃棄物の有効 利用技術として、炭化を取り上げた。豊富に存在する 木質バイオマスが、炭化に適した素材と考えられるこ とによる。研究では、木質だけでなく廃プラスチック を含む固形燃料である RPF (Refuse Paper & Plastic Fuel) などを含めて対象とし、基礎的な実験装置を用いての データ取得を通じて検討した。一方、炭化の過程で同 時に生成するガスの活用も重要な課題であり、これに 関しては、ガス化で得られる水素(H₂)に比較的富む ガスを触媒によって変換する技術に着目し、変換の結 果 CH₄ または CO を選択的に回収することで燃料や工 業原料として有用なガスを得る技術の開発および用い る触媒の新規調製技術の開発を目指した。

2. 方法

2.1 炭化

廃木材チップ (WBC)、RDF および RPF の3種の試 料を用いた。RDF、RPF はバイオマスとプラスチック の割合がそれぞれ 9:1 と 7:3 である。2 mm 以下に粉砕 した試料約7gをアルミナ製サンプルボートに入れ、窒 素ガスを 1L/min の流速で流しながら、反応器内設定温 度 (500~900°C) に達した後、すばやく試料を反応器の 中心部に移動させた。水蒸気注入量は、試料重量と同 量 (ST1 と記す) および2 倍量 (同 ST2) の2 ケースと した。反応器内滞留時間は30ないし60分とした。発 生したガスは、タールと水分を除去し、サンプリング バックに全量採取した。採取したガス中の各成分濃度 は、オンライン型の GC-TCD (Agilent 3000 Micro GC) を用いて測定した。装置冷却後炭化物試料を取り出し、 重量を測定後、粉砕した炭化物を用いて工業分析(揮 発分、固定炭素、灰分:以下それぞれ VM、FC、Ash) と元素分析(C、H、N、S)を行い、ボンへ熱量計により 発熱量を測定した。

2.2 ガス変換

文献¹⁾にしたがい、エチレンオキサイド (EO) とプロ

ピレンオキサイド (PO) からなる中性界面活性剤を水 に溶解後、塩酸とケイ酸エチルを加えて撹拌する。ろ 過、乾燥などの後 550 ℃ で焼成して触媒担体 SBA-15 を得る。NiO の担持は、エタノールに溶解した硝酸ニ ッケルに SBA-15 を入れ、超音波処理後 80°C で乾燥を 行った後、400°Cで5時間焼成することで10~70 wt% の含有量で調製した。これが、NiO/SBA-15のポスト合 成法である。一方、硫酸を用いてニッケルの担持を直 接行う直接法の適用も検討した。得られた触媒につい て XRD、TEM 観察、窒素を用いた比表面積測定により キャラクタリゼーションを行った。上記触媒を用いた メタン化反応は、水素雰囲気下で十分に還元処理を行 った後、ガス流通反応管を用い、250~400°C で CO お よび CO2 混合ガスを用いて行った。マイクロ GC で生 成したガスの分析を行い、転換率、収率、選択性など を求めることにより、触媒の性能を評価した。また、 RWGS 反応への適用について、600~800°C においてメ タン化反応と同様に CO2 および H2 混合系での ガス の転換率とCO 選択率を求めた。

3. 結果と考察

3.1 炭化





3.1.1 炭化物収率と組成の特徴

図1に、各条件における炭化物の収率を示す。500°Cで はキャリアガスの種類に関わらず炭化物の収率はほぼ 一定であるが、反応温度を700および900°Cにすると、 水蒸気を注入することによってガス化反応が進み、炭 化物の収率が急激に低下した。熱分解条件(N2)では、 原料中の固定炭素と灰分がほぼ炭化物として残り、揮 発分の分解の程度によって炭化物の収率が決まるが、 ガス化条件(ST1・ST2)では、700°C以上になると固 定炭素も多く分解されることがわかった(図2)。

3.1.2 ガス発生量と組成の特徴

図3には、試料1kg当りに発生したガス量と組成を示 す。熱分解条件(N2)ではガス発生量が少ないが、高温に なると有機物の分解が進み、H₂、CO、CH₄ガス量が多 少増加していく現象がみられた。ガス化条件では、反 応温度の上昇によりガス量が増加し、とくに水性ガス



反応によってH₂、CO、CO₂の発生が増大すると思われ た。なお、注入水蒸気量の増加によりH₂の発生量がさ らに増加した。一方、原料中の炭素と水素の量がほぼ 同じである WBC と RPF から得られたガス組成を比較 してみると、プラスチック成分が多いほど CH₄ や炭化 水素ガス濃度が比較的高くなることがわかった。



3.1.3 炭化物またはガスとしての炭素回収と発熱量

図4には、原料が持つ炭素量を1とした場合の炭化 物またはガスとして回収された炭素量比を示す。WBC は他の試料に比べると 500~700°C の条件でキャリアガ スの種類に関わらず、炭化物としての炭素回収率が最 も高い。700~900°Cでは水蒸気を注入することによって 炭化物のガス化反応が進み、原料中約8割以上の炭素 がガス側に移行することがわかった。WBCの炭化物と ガスとしての炭素回収率は、0.59~0.83 であった。しか し、RPF の場合、他の試料に比較し全体的に炭化物お よびガスとしての炭素回収率が低く、0.31~0.70 であっ た。とくに低温で回収率が低いのは、多くの揮発分が 分解せずにタールとして残ることが原因と考えられる。 反応温度が 700°C まで上昇するとタールが分解し、ガ ス側の炭素回収率が増す。炭化物の分解によるガス側 への炭素回収率が増加する現象は、WBC と同じように 水蒸気添加の 700~900 °C 条件でみられる。一方、キャ リアガスである水蒸気量を増すことによってガス中へ の炭素回収率が増加すると思われたが、あまり影響は なかった。原料の発熱量を 1 とした場合の炭化物とガ スの発熱量を比較すると、いずれの試料も900°C、ST2 の条件でガスとしての発熱量が最も高くなる。これは、 水蒸気注入によりガスへの炭素転換率が増加し、水蒸 気量を増すことによってさらに H2 の発生量が大きく なったためと考えられた。

3.1.4 炭化施設の実態調査

国内で一般廃棄物を対象とした炭化施設のうち4施 設について調査した結果、同施設では製造される炭化 物が持つエネルギーに比較し、塩素除去のための水 洗・乾燥などのためより大量のエネルギーが消費され る現状にある。改善の方策として、炭化時に発生する ガスの有効利用、前処理プロセスの効率化などの技術 的改善および他産業との連携の必要性が考えられる。 炭化物の利用には、地域産業との連携による安定した 需要確保が重要である。アジアへのローテクノロジー

| | NiO (Wt%) | 特性 | | メタン化反応 | | | | | |
|-----------|--------------|---|---|--------|----------|-----------------------|-------------|------|--|
| 試料 No. | | 比表面積 (m ² g ⁻¹) | 細孔容積 (cm ³ g ¹) | | 転換 (? | <mark>逸率</mark> 6) | メタン . 収率 | | |
| | | | | メタン化前 | メタン化後 | CO | CO_2 | (%) | |
| 1 | 0 | 641.5 | 0.54 | - | - | - | - | - | |
| 2 | 10 | 554.4 | 0.47 | 450 | 507 | 88.3 | 49.7 | 69.6 | |
| 3 | 20 | 470.4 | 0.44 | 450 | 504 | 89.4 | 50.3 | 70.0 | |
| 4 | 30 | 390.2 | 0.36 | 400 | 469 | 96.7 | 63.7 | 80.6 | |
| 5 | 50 | 315.1 | 0.29 | 400 | 441 | 99.5 | 74.9 | 87.4 | |
| б | 70 | 178.2 | 0.17 | 350 | 429 | 99.9 | 82.9 | 91.6 | |

表 1 ポスト合成法で得られた異なる NiO/SBA-15 を用いた最大メタン収率

型資源化技術として炭化を導入するためには、多様な 生物資源から得られる炭化物の品質や用途開発、他の 製品との競合や経済性などに関する考察を十分に行う 必要があると考えられる。



3.2 ガス変換

3.2.1 触媒の調製方法

合成方法に関係なく、小角度 XRD パターンにより、 SBA-15 に帰属する三つのピークが観測された。一方、 高角度の XRD パターンにより、NiO に帰属するピー クが観測された。以上のことから、両方法でNiO/SBA-15 がともに調製されたことがわかった。



図5(左): NiO 量の異なる NiO/SBA-15 の吸着脱離等 温線 試料 No.は上から下へ表1中の1,2,3,5,6 に対応 している。(右) 直接合成法で得られた10 wt%

NiO/SBA-15のTEM像

図 5 (左) に、ポスト合成法で調製した NiO/SBA-15 のN₂吸着脱離等温線を示す。純シリカ SBA-15 に比べ, NiO/SBA-15 の比表面積と細孔容積が減少したことから, NiO粒子が SBA-15 細孔内に入り込んだことがわかった。
図 5 (右) には、直接合成法で得られた 10 wt%
NiO/SBA-15 の TEM 像を示す。典型的な規則性をもつ
SBA-15 の TEM 像がみられるが、NiO 粒子の集合は観 察されない。このことから、NiO 粒子が均一に SBA-15 の構造体に分散されることがわかった。

3.2.2 メタン化

初期温度350~450°Cで、異なる担持量のポスト合成 法で調製した NiO/SBA-15 を用いてメタン化を行った 場合の結果と最大メタン収率を表1に示す。COとCO2 混合ガスのメタン化は発熱反応なので、反応後に温度 が上昇した。また、触媒量の増加につれて CO および CO2の転換率、メタン収率がともに増加した. 70 wt% NiO/SBA-15を用いた場合には、収率は91.6%となった. COの最大転換率は99.9%で、ほぼすべてがメタンに転 換されたが、CO2の最大転換率は82.9%にとどまった。 化学的に不活性な CO2のメタン化速度は CO に比較し 非常に遅いので、これまではCOを対象にメタン化を行 う例が多いが²⁴、本研究はエネルギー回収率を高める 観点から、CO、CO,両者のメタン化を同時に進めた。 しかし、直接法で合成した NiO/SBA-15 を触媒としてメ タン化を行った結果、NiO 量 20 wt %以上の NiO/SBA-15のみを用いた場合、メタン生成量はわずか であった。そこで、直接法で合成した NiO/SBA-15 触媒

はメタン化反応に適当でないことがわかった。 3.2.3 逆水性ガスシフト (RWGS) 反応

直接合成法で得られた10 wt % NiO-SBA-15を用い、 種々の温度においてRWGS 反応について試験した。そ の結果を図6に示す。CO 選択率については温度に関係 なく100 %になったが、CO2の転換率については、温度 が高くなるほど増加した。しかし、20 wt % 以上の NiO/SBA-15 を用いた結果からは、NiO 量が増加して もCO2 転換率に変化はあまりみられなかった。反応温 度が600 ℃ 以上の場合には、CO 選択率が100 %であっ たが、反応温度が500 ℃ 以下の場合には、メタンの生 成が起こり、CO 選択率が100 %とはならなかった。

直接合成法で得られた 10 wt % NiO-SBA-15 を用いて、 800°C において H₂/CO₂比が CO₂転換率に及ぼす影響を 図 7 に示す。H₂/CO₂比の増加につれて、CO₂転換率が 増加した。温度およびこれに関する結果から、適当な 条件を満たせば、CO₂はほぼ完全に CO に転換すること ができると考えられる。



図 6 直接合成法で得られた 10 wt % NiO/SBA-15 を用いた場合の温度と CO₂転換率 の関係

一方、ポスト法で得られた 10 wt% NiO/SBA-15 を RWGS 反応に適用した。温度 700 ℃ 以上の場合には、 CO のみが生成したが、600 ℃ 以下の場合には、大量の メタンが生成した。

以上のことから、直接法で合成した NiO/SBA-15 触媒 は RWGS 反応のみに適用可能であり、一方、ポスト合 成法で得られた NiO/SBA-15 触媒は、高温においては RWGS 反応に、低温においてはメタン化反応の両方に 適用できることが明らかになった。

4. まとめと今後の展開

炭化の基礎的検討に関しては次のようにまとめられ る。炭化生成物の物質収支および炭素、エネルギーの 回収率などを把握することによって、木質系バイオマ スは、500~700℃の低温条件での熱分解反応による炭化 物としての転換利用が、また一方では 700~900℃の高 温条件でのガス化反応による合成ガスとしての転換利 用の利便性が大きいと考えられる。しかし、試料中プ ラスチック成分が多くなると、低温で炭化を行う条件 ではタール生成が多く、炭化物およびガスとしての利 用可能性はいずれも小さくなることがわかった。熱化 学的転換技術の適用による廃棄物・生物資源の有効利 用を目指す場合は、高温でのガス化反応や高性能のタ ール改質触媒の使用を考慮しなければならないと考え られる。



図7 直接合成法で得られた 10 wt % NiO/SBA-15 を用いた場合の H₂/CO₂比と CO₂転換率の関係

ガス変換技術に関しては、次のようである。ポスト合成法で得られた NiO/SBA-15 触媒を用いることにより、 適正な温度域において CO、CO2両ガスのメタン化反応 が効果的に進行した。一方、直接合成法で得られた NiO/SBA-15 触媒では、メタン化反応は進行せず、一方 CO2の CO への転換が促進された。このように、ガスの 改質や変換においては、触媒が非常に重要な役割を果 たすことが示された。ただし、適正な温度域での反応 促進、触媒効果の長期間維持、触媒の再生、阻害物質 の除去など、さらに取り組むべき課題が残されている。

以上のように、生物資源・廃棄物に対し、炭化または ガス化およびその後のガス変換技術を適用することに よって、より利用価値の高いエネルギー回収技術が開 発・実用化されることが期待される。

文献

- D.-Y. Zhao et. al, : Nonionic triblock and star diblock copolymer and oligomeric surfactant syntheses of highly ordered, hydrothermally stable, mesoporous silica structures, *J. Am. Chem. Soc.*, Vol.120, 6024 (1998)
- 2) M. C. Seemann, T. J. Schildhauer, S. M. A. Biollaz, S.

Stucki and A. Wokaun, 2006, The regenerative effect of catalyst fluidization under methanation conditions, *Appl. Catal. A: General*, 313, 14.

- 3) J. Kopyscinski, T. J. Schildhauer and S. M. A. Biollaz, 2009, Employing catalyst fluidization to enable carbon management in the SNG-production from biomass, *Chem. Eng. Technol.*, 32, 343.
- M. C. Seemann, T. J. Schildhauer and S. M. A. Biollaz, 2010, Fluidized Bed Methanation of Wood-Derived Producer Gas for the Production of Synthetic Natural Gas, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 49, 7034.

研究協力者

黄仁姫(北海道大学特任助教、元 GCOE フェロー)、

主要な研究成果

成果となる発表論文

- K. Inoue, <u>K. Kawamoto</u>: Adsorption characteristics of carbonaceous adsorbents for organic pollutants in a model incineration exhaust gas, *Chemosphere*, Vol.70, 349-357 (2008)
- K. Inoue, K. Yasuda, <u>K. Kawamoto</u>: Atmospheric pollutants discharged from municipal solid waste incineration and gasification-melting facilities in Japan, *Waste Management Research*, Vol. 27, 617 - 622 (2009)
- <u>K. Kawamoto</u>, W. Wu, H. Kuramochi : Development of gasification and reforming technology using catalyst at lower temperature for effective energy recovery: Hydrogen recovery using waste wood, *Journal of Environment and Engineering*, Vol.4, 1-13 (2009)
- 4) 小林 潤, 呉 畏, <u>川本克也</u>: 廃棄物ガス化改質におけるニッケル系改質触媒の耐久性能評価, 廃棄物資源循環学 会論文誌, Vol.20, 352-360 (2009)
- K. Inoue, <u>K. Kawamoto</u>: Control of hydrocarbon content of a reforming gas by using a hydrogenation catalyst, *Chemosphere*, Vol.78, 599-603 (2010)
- 6) I. Hwan, <u>K. Kawamoto</u>: Survey of carbonization facilities for municipal solid waste treatment in Japan, *Waste Management*, Vol.30, Issue 7, 1423-1429 (2010)
- J. Kobayashi, <u>K. Kawamoto</u>: Catalyst durability in steam reforming of thermally decomposed waste wood, *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, Vol.12. 10-16 (2010)
- J. Kobayashi, <u>K. Kawamoto</u>, R. Fukushima, S. Tanaka : Woody biomass and RPF gasification using reforming catalyst and calcium oxide, *Chemosphere*, Vol.83, pp.1273-1278 (2011)
- Baowang Lu, Katsuya Kawamoto, A novel approach for synthesizing ordered mesoporous silica SBA-15, Materials Research Bulletin, accepted

関連著書等

- 1) 廃棄物・3R研究会編:循環型社会キーワード事典,分担執筆,中央法規出版(2007)
- 2) 武田信生監修 藤吉秀昭他編:廃棄物安全処理・リサイクルハンドブック,分担執筆(6.3 環境影響),pp.276-287, 丸善、東京(2010)
- 3) サイエンス&テクノロジー:水素貯蔵・吸蔵・貯蔵材料と安全化,分担執筆(第7節バイオマス・廃棄物からの 水素製造技術),pp.78-91,サイエンス&テクノロジー,東京(2010)
- 4) 川本克也, 長岡裕, 澤田繁樹:水環境工学 水処理とマネージメントの基礎, 共立出版, 東京 (2010)
- 5) 公害防止の技術と法規 編集委員会編:新・公害防止の技術と法規 2011 ダイオキシン類編 分担執筆 (3.1.4 吸 着処理), pp.196-216, 丸善, 東京 (2011)
- 6) 市川勝監修:バイオマスリファイナリー触媒技術の新展開、分担執筆(第4章2バイオマスの触媒ガス化技術)、 pp.78-89、シーエムシー出版、東京(2011)

低環境負荷型植物病害防除資材の探索と評価

Development and Evaluation of Plant Activators with Low Environmental Impact

報告者:平塚和之 Kazuyuki Hiratsuka

植物病害防除は安定的農業生産に必須であるが,多くの場合,農薬による病原体あるいは媒介虫 の駆除が主であり,各種生物相に対して有害であり環境負荷が大きい。一方,植物に免疫活性を 賦与することで耐病性を強化する抵抗性誘導活性を有する植物活性化剤は,環境負荷が低い植物 病害防除資材として,有効であることが示されてきた。しかし,抵抗性誘導能の評価は植物体の 防御応答を解析する必要があることから,非常に煩雑な作業を必要とし,多くの候補化合物から の選抜は困難であった。本研究では,これまでに培ってきた非破壊的遺伝子発現モニタリング技 術を駆使して植物の防御応答評価手法を確立した。さらに,その方法を用いて低環境負荷型植物 病害防除資材の探索を試み,新規な抵抗性誘導剤候補化合物の同定に成功した。

Plant protection from diseases is essential for stable agricultural production, however, in most cases, pathogens are exterminated with the use of pesticides which are harmful against various biota, and cause environmental impacts. On the other hand, plant activators which act as defense-inducer that provoke immune system in plants have been used as disease-management agents with low environmental impact. However, selection and evaluation of candidate compounds have been problematic because the process requires tedious and time-consuming steps including investigation of defense responses of plants. In this study, with using non-destructive gene expression monitoring technology, we established monitoring and evaluation systems for defense responses of plants. With these systems we could identify candidate compounds for novel defense-inducers that can be applicable for plant disease management with low environmental impact.

1. はじめに

植物にとって病原体や害虫あるいは雑草に よる生育阻害は重大な生存リスク要因である が、人類にとっても飢饉をもたらす生存リス ク要因であり、被る損失は経済的にも大きな 問題となる。農薬はそのようなリスクを低減 することを目的として用いられる一方で、食 品安全性、環境負荷の観点からはリスク要因 として認識されることが多い。これまでに多 くの病害防除剤が開発されてきたが、それら の多くは殺菌剤であり,病原菌に直接作用し, その生育あるいは感染過程を阻害する生理活 性を有する。従って,自然界あるいは耕地生 態系に存在する農作物には無害な、場合によ っては有益な生物群に対しても生育阻害的に 働く。また、初期の殺菌剤は選択性が低く、 人畜に対しても有害なものが多かった。さら に、耐性菌の出現も大きな問題となる。これ らの問題を軽減するための技術として、「植物 活性化剤 (plant activator)」という植物に 病害抵抗性(=免疫力)を誘導する活性を示 す化合物等の応用が注目された(図1)。しか し、一般的な殺菌剤とは異なり、植物活性化 剤の探索は障壁が大きい。殺菌剤は、化合物 の抗菌活性や,ターゲットとなる酵素,細胞

機能の阻害を観察すればよい。一方,抵抗性 誘導剤の場合は全く異なり、実際に効くかど うかは植物体に候補化合物を処理し、さらに 病原体を接種してその防除効果を評価する必 要がある。そのためには通常の殺菌剤とは比 較にならない,時間的・空間的なコストが発 生するので, 化合物ライブラリー等を用いた 大規模なスクリーニング等の実施は極めて困 難である。そこで、本研究では、これまでに 培ってきた非破壊的遺伝子発現モニタリング 手法に注目し, それを利用したハイスループ ットスクリーニング (high-throughput screening: HTS) 系の開発を実施した。さら に,新規な植物活性化剤の探索と,低環境負 荷型資材として注目される酵母細胞壁抽出物 の活性評価等への応用を試み、新規有用化合 物の発見を含む重要な知見を得ることを目的 とした。

2. 方法

本研究では発光生物由来の酵素であるルシ フェラーゼをレポーターとして用いた遺伝子 発現制御モニタリング系として,植物由来の 各種防御応答性遺伝子プロモーターを連結し たプラスミドベクターを構築し,植物細胞あ



図1 植物活性化剤による抵抗性誘導と、植物病害防除の概念図

るいは植物個体(タバコ,シロイヌナズナ) に導入した。具体的には、タバコ PR-1a 遺伝 子,シロイヌナズナ MPK3 遺伝子などのこれま でに我々が用いてきたプロモーターに加え、 シロイヌナズナ VSP1, PDF1.1, PDF1.2 および BIK1の各遺伝子プロモーターを取得し、ホタ ルルシフェラーゼ遺伝子(Fluc)に連結したも のを作成し、アグロバクテリウム法を用いて タバコ BY-2 細胞, タバコリーフディスク, 花 芽浸潤法により導入した。さらに、ヒカリコ メツキ由来の緑色発光遺伝子および赤色発光 遺伝子に各種プロモーターを連結したプラス ミドベクターも構築し、遺伝子銃による一過 性発現系の他、必要に応じて形質転換植物を 作成し供試した。構成的発現プロモーターで あるカリフラワーモザイクウイルス 35S プロ モーター(CaMV35S)は内部標準として用いた。 非破壊的遺伝子発現モニタリングは植物体の 発光を直接高感度カメラで観察することによ り行った。具体的には、プラスチック容器内 で寒天培地あるいは培養土を用いて生育させ たシロイヌナズナを用い、適切な大きさの個 体を6あるいは12穴のマルチウェルプレー トに移し、D-ルシフェリンを加え、さらに薬 剤あるいは病原菌を処理した後、一定時間毎 に暗箱内において観察した (Minami et al, 2011)。また、ハイスループットスクリーニン グの目的で、96 穴プレートをもちいた場合で は、シロイヌナズナ種子をプレートに分注し、 5日間程度冷蔵保存して春化処理後、グロー スチャンバーの連続照明下で5-7日間培養 した芽生えを供試した(Ono et al, 2011)。

3. 結果、考察

本研究において,植物に作用する化合物の 網羅的探索を目的として HTS 系の確立に取り 組み、ホタルの発光酵素であるルシフェラー ゼをレポーター遺伝子として導入した遺伝子 組換えシロイヌナズナあるいはタバコ培養細 胞を用いることにより,遺伝子発現を非破壊 的に計測する技術を確立した。次に、それを 指標として植物細胞の抵抗性誘導状況をタバ コ PR-1a 遺伝子プロモーターの活性誘導とし てモニタリングすることに成功した (Ono et al, 2011)。この系の特色は、多検体のアッセ イが可能であることに加え、生きたままの植 物体からの発光活性を指標とするので、同一 サンプルの連続観察が可能なことである。経 時的な遺伝子発現を観察する場合には、通常 の方法では測定点ごとに植物体からの RNA あ るいはタンパク質の抽出が必要となるので, 測定点の数以上の植物試料を犠牲にする必要 がある。発光レポーター法では、単独サンプ ルで任意の測定点の遺伝子発現情報を取得す ることが出来る(Watakabe et al, 2011)。し かも,同一試料の連続観察が可能なので,個 体間差異に起因するデータのばらつきが小さ いという利点もある。

さらに、マルチウェルプレートという 12x8x1cm程度のプラスチック容器を用いた系 として、一回の測定で96~384 試料のデータ 取得が可能なシステム、さらに異なる波長帯 を有する2色の発光レポーターを用いる方法 を開発した(草間ら,2009;0gura et al, 2011)。 これらの技術を用いて、本研究においては化 合物ライブラリーから新規な植物活性化剤の 候補物質を複数選抜することが出来た(特願 2011-181436)。

酵母は発酵食品の製造に必須の微生物であ り,醸造や製パンなどに広く用いられている。 特にビールはその醸造過程において発生する 発酵終了後の酵母菌体残渣が生ずる。その多

くは酵母エキスとして加工されて食品等に用 いられるが,酵母細胞壁は,通常は廃棄物と して処理される。一方,酵母エキスには抵抗 性誘導活性が存在することが, 古くから知ら れていた。そこで、本研究では、前述のホタ ルルシフェラーゼをレポーターとした評価系 を用いて、出芽酵母の細胞壁抽出物(yeast cell wall extract: YCWE) に着目し、それが 抵抗性誘導剤としての機能を有するのかどう か詳細に検討した。これまでの知見では、酵 母抽出物は高等植物が有する2種類の抵抗性 誘導経路の一方のみに作用し、全身獲得抵抗 性 (systemic acquired resistance: SAR) は 誘導しないとされてきた。しかし、YCWE は SAR が関与すると考えられる病害防除にも卓効を 示し、その性状に興味が持たれた。そこで、 発光レポーター系を用いて YCWE の作用を詳 細に調べたところ, SAR 防御応答系も活性化 することが明らかになった (Minami et al. 2011)

天然物由来の抵抗性誘導剤は古くから存在 し、海草由来の多糖類などは、典型的な SAR 誘導能を有することが示されていた。これは、 ブルターニュ地方の農家が伝統的に海草を畑 作に使用してきたことに由来し、フランスで は10年ほど前から実用化されている。これ ら以外にも、様々な天然物や食品残渣等由来 の成分から、同様の活性が見出されることも 想定される。しかし、前述のように抵抗性誘 導剤の活性評価が困難であったことから、そ の探索は進んでいない。そこで、我々が研究 開発してきた技術を応用することができれば, 様々な天然物あるいは産業廃棄物等から優れ た抵抗性誘導活性を有する成分を見出すこと が可能であると思われる。

4. まとめ、今後の展開

植物活性化剤の作用は殺菌剤と比較してマ イルドであり,病原菌をシャットアウトする のではなく,「ほどほど」に効いて病害による 被害を低減させる。この点でも植物活性化剤 は多くの農薬の中でもとりわけ環境調和型で あり,アジア的な病害防除機作を有する薬剤 であるとも言える。アジアに多い温暖で湿潤 な気候は,病害虫に対する植物の脆弱性を高 める。植物活性化剤を使ったシステム強化型 の病害防除は,そのような状況でこそ本領を 発揮できると思われる。

本研究で最も重要な基盤技術は発光レポー ターを導入した「光る遺伝子組換え植物」で ある。遺伝子組換え植物そのものが最終産物 となるわけではないが,植物保護と環境保全 型農業に遺伝子組換え技術が貢献している例 である。今後はこれらの技術が,「循環型の低 環境負荷な農業資材の創製」へとつながるこ とが期待できる。

研究協力者

小倉里江子(本学産学連携研究員) 南太一(サッポロビール研究員,本学大学院博士 課程)

主要な研究成果

成果となる発表論文

- Minami T, Tanaka T, Takasaki S, Kawamura K, <u>Hiratsuka K</u>, In vivo bioluminescence monitoring of defense gene expression in response to treatment with yeast cell wall extract. Plant biotechnol. 28, in press, 2011
- Ogura R, Matsuo N, <u>Hiratsuka K</u>, Bioluminescence spectra of click beetle luciferases in higher plant cells. Plant biotechnol. 28, 423-426, 2011
- Ono S, <u>Kusama M</u>, Ogura R, <u>Hiratsuka K</u>, Evaluation of the use of the tobacco *PR-1a* promoter to monitor defense gene expression by the luciferase bioluminescence reporter system. Biosci. Biotechnol. Biochem. 75, 1796-1800, 2011
- Watakabe Y, Ono S, Tanaka T, <u>Hiratsuka K</u>, Non-destructive bioluminescence detection system for monitoring defense gene expression in tobacco BY-2 cells. Plant biotechnol. 28, 295-301, 2011
- Nagata T, Niyada E, Fujimoto N, Nagasaki Y, Noto K, Miyanori Y, Murata J, <u>Hiratsuka K</u>, Katahira M, Solution structures of the trihelix DNA-binding domains of the wild-type and a phosphomimetic mutant of *Arabidopsis* GT-1, implying a mechanism for an increase in DNA-binding affinity through phosphorylation. Proteins. 78, 3033-3047, 2010
- Netsu O, <u>Hiratsuka K</u>, Kuwata S, Hibi T, Ugaki M, Suzuki M, *Peanut stunt virus* 2b cistron plays a role in viral local and systemic accumulation and virulence in *Nicotianabenthamiana*. Arch. Virol. 153, 1731–1735. 2008
- Ohyama T, Furukawa A, Miyoshi T, Takeda Y, Ohgara S, <u>Hiratsuka K</u>, Imai T, Okano H, Nakagami H, Nagata T, Katahira M, Interactions with RNA/DNA of proteins involved in the regulation of transcription, translation and telomere elongation. Nucleic Acids Symposium Series 51, 77-78. 2007
- Seo S, Maeda T, <u>Hiratsuka K</u>, Tissue-specific and DNA damage-responsive expression of the AtRAD51 gene promoter in transgenic Arabidopsis and tobacco. Plant Biotechnol. 24, 321-329. 2007
- <u>Hiratsuka, K</u>., Tanaka, T., and Ono, S. Development of defense gene expression monitoring systems by the bioluminescence reporter genes in higher plants. XVI International Plant Protection Congress 2007, Congress Proceedings 2, 722-723. 2007
- Asada M, Bayarmaa G, Morohashi K, <u>Hiratsuka K</u>, Expression and subcellular localization of pre-rRNA processing factor homologues in higher plants. Plant Biotechnol. 24, 301-306. 2007

関連著書等

- 鳴坂義弘, **平塚和之**, 能年義輝, プラントアクティベーターによる植物免疫の活性化と化学遺伝 学への利用 化学と生物(日本農芸化学会編) 48,706-712,2010
- <u>草間勝浩</u>,小倉里江子,**平塚和之**,発光レポーターを用いた抵抗性誘導剤探索と評価について 多色発光遺伝子の活用による高性能化— 日本農薬学会誌, 34,316-349,2009
- **平塚和之**,抵抗性誘導微生物の評価 2)ハイスループットシステムを用いた評価,微生物と植物の相互作用を利用した病害防除,百町満朗編,ソフトサイエンス社,pp.115-120,2009
- 鳴坂義弘, **平塚和之**, 安部洋, プラントアクティベーターの創薬に向けたハイスループットスク リーニングシステムの開発, 植物防疫 61,7-11,2007
- **平塚和之**,微生物の病原性と植物の防御応答,上田一郎編,北海道大学出版会, pp.67-74, 2007

特許

- 特願 2011-181436「植物用抵抗性誘導剤」発明者:<u>本田清</u>,井上誠一,<u>平塚和之</u>出願日:平成 23年08月23日
- 特願 2010-033763「外来遺伝子発現要素およびその利用」発明者:<u>平塚和之</u>、稲本敦、小倉里江 子 出願日:平成22年02月18日

環境負荷の少ない植物抵抗性誘導剤の開発—イソインドールの反応性 を利用した含窒素多環式化合物の合成— Development of plant activator being environmental friendly: Synthesis of nitrogen-containing polycyclic compounds utilizing

報告者:本田 清 Kiyoshi Honda

isoindole reactivity

イソインドールはアルケンやアルキンといった種々のジエノフィルと反応し、そのいくつかの Diels-Alder 付加体は生物活性を示すことがよく知られている。本研究は簡便かつ有利な方法を用い、 窒素上に種々のヘテロ置換基を有する新規のイソインドールを合成し、イソインドールを種々のき ゆう親ジエン試薬との Diels-Alder 反応を検討した。N-ベンジル、ピペロニル、フルフリル、種々の ピコリルイソインドールと求ジエン試薬との Diels-Alder 反応の反応性と立体選択性を検討した。窒 素上の置換基が嵩高さと親ジエン試薬との立体障害が環化反応と立体選択性に大きく影響を及ぼす ことが判明した。さらに反応で得られた付加環化物を還元、エーテル化、エステル化反応による官 能基変換操作により、立体的に平面構造の炭素骨格を有する新規化合物に導いた。さらに Diels-Alder 生成物の窒素の活性化により、多置換ナフタレン誘導体、多置換ヒドロナフタレン誘導体、 Meisenheimer 転位生成物を与えた。これらの化合物について新規農薬としての活性試験を行った。

It is well-known that isoindoles react with various dienophiles such as alkenes and alkynes, and some Diels-Alder adducts show useful bioactivity. In this study, using a concise and convenient method, we synthesized novel isoindoles having various hetero substituents at nitrogen, and examined Diels-Alder reaction between isoindoles and various dienophiles. Reactivity and stereoselectivity was investigated on Diels-Alder reaction of N-benzyl, piperonyl, furfulyl and pycolyl-isoindole with some dienophiles. Herewith, bulkiness of substituent at nitrogen and steric hindrance with dienophile is important factor affecting reactivity of cyclization and stereoselectivity. And functional group transformation in Diels-Alder adducts forms some new products which is reduced, etherified and esterified compounds. In addition, study of induction to planar configuration by skeletal transformation is described. Furthermore, the treatment of Diels-Alder adducts with activation of nitrogen gave polysubstituted naphthalene derivatives, polysubstituted hydroxynaphthalene derivatives, or Meisenheimer rearrangement compounds. Novel nitrogen-containing polycyclic compounds which synthesized were checked for biological activity.

1. はじめに

今日、中国産の毒餃子事件や事故米による農薬混 入など、農薬のイメージが損なわれている事件が多 い。農薬には作用性や摂取量により人的被害を起こ す薬剤が多いことは確かである。しかしながら、農 薬の毒性には、新規農薬の登録時、また農薬を使用 した農作物の出荷時など事細かに規制がある。また 毒性といった面では、食塩の毒性よりも低い薬剤も 知られている。使用方法では医薬品ですら、毒性を 示すものが多い。薬は使用方法により、良薬にも毒 にもなるのである。

20世紀後半、農薬の果たした役割と貢献は計り 知れないものがある。現状において、人類が生存し ていくためには農薬の使用を完全に停止するわけに はいかない。したがって、環境にやさしい安全性の 高い、農薬の要求は今後も高まっていくだろうし、 その中で新規ターゲットの探索は重要な課題である。

化学農薬(殺菌剤)は病原菌に対して直接的に作 用して、病原菌を殺菌するかその侵入力を低下させ るものが多い。ところが最近、植物を刺激して、植 物自体が持つ防除システムを活性化して病害を防除 する植物抵抗性誘導剤が注目されるようになった。 植物が局所的に組織の壊死を伴うような病害に感染 すると、その後に感染する広範囲の病原菌に対して 長期間抵抗性を示すことが知られている。このよう な誘導抵抗性は、全身獲得抵抗性(systemic acquired resistance:SAR) と呼ばれる。SAR は有機 合成化合物や生物由来の物質によっても誘導される ことが知られており、そのような物質を植物抵抗性 誘導剤と呼ぶ。植物抵抗性誘導剤は、その代謝物を 含め、植物体で病原菌の感染を抑制する濃度では、 ほとんど直接的に抗菌活性をもたず、生物的な SAR と同じスペクトラムの病害に対して抵抗性を誘導し、 感染特異的タンパク質 (pathogenesis related

protein:PR protein) などの生物的 SAR と同じ種類の生化学マーカーを発現させるなどの性質を有する。

植物抵抗性誘導剤は植物の元来の力を最大限に活 性化させる薬剤であり、今後の農薬の対人間、対環 境といった面で有望視されると思われる。

本研究テーマの目的はエネルギー的に、また原子利 用効率の観点から優れた環化付加反応を基本として、 植物抵抗性誘導剤を新規に探索合成するのに有効な 技術・手法を開発することである。

2. 方法

天然には含窒素多環式化合物が数多く存在し、と りわけ、インドール骨格を構造上有する生物活性化 合物は、その多くが含窒素多環式化合物であり、薬 理活性から農薬活性までその作用は幅広い。例えば、 インドールアルカロイドは、vinblastine や vincristine のように細胞増殖阻害、RNA 合成阻害な ど薬理的に重要な活性をもつ化合物や、血圧降下作 用をもつ reserpine、幻覚作用を持つ lysergic acid など多くの異なった生物活性を有している。一方で、 オーキシンの代表格であるインドール酢酸(IAA)は、 植物成長調節作用を持ち、微量でも植物細胞の伸長 を促進する作用を持つ。しかし、この成長促進作用 は、オーキシンが最適な濃度でないと働かず、低濃 度では十分な作用が表れず、反対に高濃度では成長 を抑制してしまう。この様な特徴から、オーキシン は、植物成長調節剤として、また、除草剤としての 働きを持つことが知られている。その他にも、稲の 病気であるいもち病・ごま葉枯病等に効果のある brucine等もインドールアルカロイドの一種である。 一方、イソインドール(Isoindole)は、インドールの 異性体であり、ベンゼン環と2位に窒素を持つピロ ール環からなる複素環式化合物である。イソインド ールはインドールと並び、古くから研究が重ねられ、

その発生法も様々である。これまでに、イソインド ールの発生法としては、ジヒドロベンゾへテロ五員 環化合物を酸化する方法やフタルイミドの還元によ って合成する方法、フタル酸ジアルデヒドにアミン を作用させる方法、そしてベンザインとピロールか ら合成する方法等が報告されている。2005年に、伊 藤、小野川らは、入手容易かつ安価なキシレンを出 発原料としてイソインドールを合成する方法を見出 応により容易に合成できるハロメチルベンゼン化合 物にアミンを反応させることにより、定量的に N位 に置換基をもたせたイソインドールを合成すること が可能なことである。さらに、この手法では、アミ ンではなく水や硫化水素を用いることにより、イソ ベンゾフラン、イソベンゾチオフェンの合成も可能 であり、非常に有用な手法であるといえる。

イソインドールは求ジエン試薬と反応させること より、Diels-Alder 反応が進行し、[4+2]環化付加 反応物が得られることが知られている。しかし、マ レイミド以外の求ジエン試薬における環化反応性や 立体選択性について研究した例は少なく、十分に反 応が解明されていない。そこで本報告では、数種の 求ジエン試薬を用いて Diels-Alder 反応を行い、イ ソインドールの反応性を解明するとともに、その反 応性を用いて、環境負荷の少ない農薬が期待できる 新規含窒素多環式化合物へ誘導する方法について述 べる。具体的にはベンジル基、ピペロニル基、フル フリル基、2-ピコリル基、3-ピコリル基、4-ピコリ ル基を持つ6種類のイソインドールを用いて、種々 のジエノフィルとの新規含窒素多置換化合物の合成 を行った。ジエノフィルには、トフェニルメチルマ レイミド、無水マレイン酸、ルフェニルマレイミド、 フマル酸ジエチル、フマル酸ジブチルを用いた。

合成した Diels-Alder 付加体を用いて、イソイン ドールの窒素上を活性化することで骨格変換を検討 し、新規含窒素多置換化合物の合成を行った。窒素 の活性化として、mCPBA を用いた酸化反応とジクロ ロカルベンとの反応の検討を行った。

さらに得られたイソインドールの Diels-Alder 付 加体の生物活性試験を同 GCOE フェローの平塚和之 せんせい教授にお願いした。



3. 結果及び考察

3-1. イソインドールの合成と求ジエン試薬との 反応

伊藤、小野川らの手法⁽¹⁾を用い、2-CMAD(2-ク ロロメチルベンズアルデヒド)1 にベンジルアミン を作用させ、定量的にイソインドール2aを合成した。 シリカゲルカラムクロマトグラフィーによる精製で は、イソインドールは分解してしまうため、粗生成 物の状態で次の反応を行った。



合成したイソインドールに、数種の求ジエン試薬 を作用させ、Diels-Alder 反応を行った(Scheme 3.2 、 Table 3.1)



dienophile

isoindole(2a)

CH₂Cl₂, condition

Diels-Alder Product

Scheme 3-2

Table3.1



*ト*メチルマレイミドと無水マレイン酸は非常に反応性が高く、0℃においても短時間で反応が進行した。一般的に Diels-Alder 反応は高温で行われることが多いことが知られているため、これを鑑みると、イソインドールの反応性は非常に高い。また、*ト*メチルマレイミドを用いた場合においては、環化物はendo 選択性を持つ 3a が得られ、一方で、無水マレイン酸を用いた環化物においては exo 選択性を持つ4a が得られ、粗生成物においても4a の endo 体は見られなかった。

3-2. 含窒素多環式化合物の合成

比較的高収率で得られた環化物 3a, 3b を用いて、 官能基変換について検討した。還元剤を用いて化合 物 4a, 4b および 5a, 5b を得た。さらに 5a, 5b からア ルコール、酸クロリドを作用させ、エーテル体 6、 エステル体 7 へ導いた。さらに表 3-2 から表 3-4 に 示した化合物群(20種類)を合成した。



| | | _ | Table 3 | 3-3 | | |
|---------------------|----------------|------------------|---------|-------------------|----------------|-----------------|
| Table 3-2 | | | Produc | t 6 | R ² | |
| Product 3 | R ¹ | | 6a | | EtOH | |
| 3a | Ronzyl (R | | 6b | | COH | ł |
| 3b | | | 6c | \searrow | | ∕ОН |
| 3c | | yi N | 6d | Me | e0 | _OH |
| 3d | 3-Picory | | 6e | $\gamma \gamma f$ | | OH |
| 30 | 4-Picory | /I \ | 6f | | CI | ЭН |
| tetrahydrofurufuryl | | | 6g | Ходон | | |
| Table 3-4 | | | | | | |
| Product 7 | R ¹ | R ³ | | Product 7 | R ¹ | R ³ |
| 7a | Bn | Me | | 7e | Bn | <i>p</i> -Cl-Ph |
| 7b | Bn | 'Bu | | 7f | Piperonyl | Me |
| 7c | Bn | Ph | | 7g | Piperonyl | p-MeO-Ph |
| 7d | Bn | <i>p</i> -MeO-Ph | | 7h | Piperonyl | p-CI-Ph |

また、Diels-Alder 反応において得られた化合物3 はビシクロ環を有するが、生体内においては、平面 構造を有する化合物の方が、より取り込まれやすい ことが知られている。そこで、化合物の骨格を変え、 ビシクロ環における C-N 結合を開裂して、より平面 的な構造を得ることとした。

まず、ヨウ化メチルを用いて四級化を行い、ビシ クロ環上のN原子におけるアンモニウム塩 8a, 8b の 合成を行った。上述の通り、アンモニウム塩は、生 体内での薬理作用を持つ化合物に多く含まれるため、 化合物 8a, 8b についても生理活性化合物として期待 できる。そして、アンモニウム塩 8a, 8b に塩基を作 用させ、ホフマン脱離によってビシクロ環の C-N 結 合の開裂を試みた。しかしながら、目的の化合物で はなく、ナフタレン骨格を持つ化合物 9 が得られた (Scheme 3.3、Table3-5)。これは、目的とするホフ マン脱離反応は進行しているが、強い芳香族性のた めに、もう一方のプロトンも引き抜かれ、結果的に 化合物 9 が生成したものであると考えられる。



Scheme 3-3

Table 3-5

| Entry | Р | solvent | Yield | | | |
|-------|------------------------|---------|----------------|----------------|--|--|
| | ĸ | | product (%) | recovery (%) | | |
| 1 | Bn | MeOH | 9 (24%) | 3a (6%) | | |
| 2 | $H_2C \xrightarrow{0}$ | EtOH | 9 (40%) | 3b (9%) | | |

3-3. 新規イソインドールの合成と Diels-Alder 反応

2-ピコリル基を持つイソインドールと様々なジ エノフィルとの Diels-Alder 反応を行った (Scheme 3-4)。



Scheme 3-4

ジエノフィルに *ト*フェニルマレイミドを用いた 場合、*ト*メチルマレイミドよりも結晶性の高い付加 体が得られた(Scheme 3-5)。



Scheme 3-5

更にジエノフィルを変えて新規含窒素多環式化 合物の合成に取り組んだ。過去の検討で、エステル 基を持つ付加体で活性が確認された。そこで、炭素 鎖を伸ばしたエステル基で活性がどのように変化 するかを確認する為に、フマル酸ジエチル、フマル 酸ジブチルと、2,3,4-ピコリル基を持ったイソイン ドールを反応させた(Table 5.)。

合成したこれらの化合物の活性試験を依頼する 予定である。また、ここで4-ピコリル基を持つ付加 体の収率が低いのは、イソインドールを合成する段 階で重合が起こり易い為、Diels-Alder 付加体の収 率が低下したと考えられる。

Table3-6



3-4. mCPBA を用いた酸化反応

メタクロロ過安息香酸(mCPBA)を用いた

Diels-Alder 付加体の窒素官能基の酸化反応では、

Cope 脱離と2種類の[1,2]Meisenheimer 転位が起こ

るのではないかと予想できる。

Diels-Alder 付加体**3**をmCPBA を用いて酸化した ところ、[1, 2]Meisenheimer 転位が進行し、ビシク ロ[2.2.2]オクタン骨格を有する化合物**13**を高収率 で得た(Scheme 3-6)。

この反応では中間体にラジカルを生成すると考 えられるので、環拡大転位反応の中間体として考え られるラジカルの方がより安定である為、環拡大の [1,2]Meisenheimer 転位反応が起きたと考えられる。



Scheme 3-6

また、塩基の検討では、酸化剤(mCPBA)と同等量 の1,4-ジアザビシクロ[2.2.2]オクタン(DABCO)を 用いた場合は、転位化合物を定量的に得た。一方、 過剰の飽和炭酸ナトリウム水溶液を用いた場合で は、Cope 脱離も同時に進行し、二置換ナフタレン化 合物 14 を収率 6%で得た(Scheme 3-7, Table 3-7.)。





Table 3-7

| Entre | R | Base - | Temp. | Yield(%) | | |
|-------|-----|--|-------|----------|----|--|
| Entry | | | | 13d | 14 | |
| 1 | 0 5 | - | 70 °C | quant. | _ | |
| 2 | | DABCO | rt | quant. | - | |
| 3 | | sat. Na ₂ CO ₃ aq. | rt | 73 | 6 | |

さらに Scheme 3-5 で得られた Diels-Alder 付加 体を mCPBA を用いて酸化したところ、同様に環拡大 の[1, 2] Meisenheimer 転位が直ちに進行し、転位物 を高収率で得た(Scheme 3-8)。



Scheme 3-8

置換形式の異なるピリジル基を持つイソインド ールと N・メチルマレイミドの Diels-Alder 付加体で は、2,3,4-ピリジル基それぞれにおいて異なる化合 物を得た(Table 3-8)。

Table 3-8



次に Meisenheimer 転位化合物 13b の還元反応を 試みたところ、1,2,3,4-四置換テトラリン誘導体 16b を定量的に得た(Scheme 3-9)。

X線構造解析により、1,2,3,4-四置換テトラリン



Scheme 3-9

化合物 16b の立体構造を確定した。中央の6員環は boat 型構造で、1,2,3,4位の置換基はすべて axial 配位である。また、8位のヒドロキシル基と1位の アミノ基の間に水素結合が観察された。

3-5. カルベンとの反応

クロロホルムと33%水酸化ナトリウム水溶液を 用いてジクロロカルベンを発生させ、窒素の活性 化を試みたところ、二置換ナフタレン14を収率 38%で得た。水酸化ナトリウム水溶液を50%まで 高濃度にしたところ、収率78%に上げる事ができ た。この反応では、Scheme 3-10 に示した中間体を 経由して窒素が脱離したと考えられる。



Scheme 3-10

3-6 害虫防除効果試験

害虫防除効果試験では、供試虫であるコナガ、オ オタバコガ、トビイロウンカ、ワタアブラムシ、ナ ミハダニに対して、トレボン乳剤(Etofenprox 20%)、 アグロスリン水和剤(Cypermethrin 6.0%)、サンマ イト水和剤(Pyridaben 20%)を対照剤とした。

化合物9bがコナガに対して500 ppmで死虫率70% の殺虫活性を示し、また化合物13aはオオタバコガ に対して500 ppmで死虫率80%の殺虫活性を示した。 また、9bと13aとの比較からは、ヒドロキシル基が メチルエステル化されることによりオオタバコガに 対する活性が増加することも分かった。その他の合 成した新規含窒素多環式化合物については殺虫活性 は示さなかった。

3-7 病害防除効果試験、抵抗性誘導試験

病害防除効果試験では、イネいもち病、イネ紋枯 病、キュウリベと病、キュウリ灰色カビ病、コムギ うどんこ病、コムギふ枯病に対する活性試験の結果、 ある新規含窒素多環式化合物において、防除価が高 く、病害防除効果が確認された。また、抵抗性誘導 試験を行い、ある新規含窒素多環式化合物において、 抵抗性誘導効果が確認された。

4. まとめ、結論、今後の課題

本研究では、イソインドールの反応性の利用とそ の後の官能基変換を通して、生物活性を持つ化合物 を目指した合成検討を行った。

まず、イソインドールの Diels-Alder 反応につい ての検討を行った。*N*-ベンジルイソインドールと数 種のジェノフィルを用いて環化反応を行った結果、 *ト*メチルマレイミドを用いた場合には endo 選択性 を、無水マレイン酸を用いた場合には exo 選択性、 マレイン酸ジメチルを用いた場合には exo/endo = 2:1の選択性を示すことが分かった。また、*N*上置換 基をピペロニル基に変化させたところ、無水マレイ ン酸との反応において exo/endo=2:1の選択性に変 化する結果となった。イソインドールの*N*上置換基 と、反応相手であるジェノフィルの嵩高さ、立体反 発が大きく影響していると考えられる。

上記の様に合成したイソインドールの Diels-Alder 環化物のイミド部分に対して、還元、 アンモニウム塩四級化、エーテル化、エステル化を 行い、生物活性の期待できる新規含窒素多環式化合 物の合成検討を行った。還元反応では、LiAlH』を用 いて二つのカルボニル基をメチレン基に、NaBH』を用 いて一方のカルボニル基をアルコールに変換した。 また、Diels-Alder 環化物に対してヨウ化メチルを 反応させて四級化すると共に、LiAlH4 還元した化合 物に対してピクリン酸塩の合成を行い、アンモニウ ム塩を得た。さらに、NaBH、還元した化合物に対して 種々のアルコールと酸クロリドを反応させ、対応す るエーテル化合物とエステル化合物の合成を行った。 また、環化付加体の窒素官能基を活性化する検討を 行った。mCPBA を用いた酸化反応では、イソインド ールの置換基によって異なる反応が起こることがわ かった。環拡大の Meisenheimer 転位化合物が主に生 成されるが、置換基形式の異なるピリジル基では、 ピリジン環の窒素の位置やジエノフィルによって反 応が異なる。更に、非対称 Diels-Alder 付加体を用 いて場合は、環拡大の Meisenheimer 転位が起こり、 選択的に転位物を得る事がわかった。ジクロロカル ベンを用いた窒素官能基の活性化検討では、塩基の 濃度を濃くする事で、プロトンの脱離が進み易くな り、収率良く二置換ナフタレン化合物を得た。

以上の合成した化合物について、生物活性試験を

行ったところ抵抗性誘導剤としての結果は大変興味 深く、今後更なる研究を進める事が期待される。

植物抵抗性誘導剤は植物自体が持っている防除効 果を活性化させて病害を防除するので、微生物的な 作用は必要としない。そのため、①非標的生物や環 境に与えるインパクトは小さいと考えられ、②効果 が長時間持続する、③広範囲の病害に有効である、 ④耐性菌の出現する可能性が小さい、等の特長を有 する。このような多くの利点を有する植物抵抗性誘 導剤の開発は、これからの新しい作物、環境保護剤 の研究開発に最も適したテーマの1つであると思わ れる。新たな植物抵抗性誘導剤が数多く創製され、 地球規模での食糧生産に貢献することを期待したい。 5.参考文献

(1) 伊藤和明ら : JP Patent 2006-335737

研究協力者

星野雄二郎特別研究教員

主要な研究成果

- Synthesis of novel nitrogen-containing polycyclic compounds using Diels-Alder adducts from isoindoles. *Chemistry Letters, in preparation.* Authors; Honda Kiyoshi, Eri Masugi, Oosawa Tomoko, Hoshino Yujiro, Inoue Seiichi
- 1. 「植物用抵抗性誘導剤」特願2011-181436
 発明者: 本田 清,井上誠一,平塚和之
 出願日: 2011年8月23日
- Base-mediated rearrangement of free aromatic hydroxamic acids (ArCO-NHOH) to anilines. *Chem. Commun.*, 2009, 2281-2283 Authors; Hoshino Yujiro, Okuno Moriaki, Kawamura Eri, <u>Honda Kiyoshi</u>, Inoue Seiichi;
- Copper-catalyzed intermolecular generation of ammonium ylides with subsequent [2,3]sigmatropic rearrangement: efficient synthesis of bifunctional homoallylamines. Bull. Chem. Soc. Jpn., 81(1), 142-147 (2008)
 Authors; <u>Honda Kiyoshi</u>, Shibuya Hiromasa, Yasui Hiroto, Hoshino Yujiro, Inoue Seiichi
- Novel oxidative generation of ammonium ylides and subsequent silicon Polonovski reaction. *Chemistry Letters*, 37(4), 442-443 (2008) Authors; Honda Kiyoshi, Shibuya Hiromasa, Hoshino Yujiro, Inoue Seiichi;
- 6. Highly stereoselective intramolecular Diels-Alder reaction of decatrienoates activated by t-butoxycarbonyl, chloro and sulfonyl groups at the terminal position.

Bull. Chem. Soc. Jpn., 81(10), 1308-1314 (2008)

Authors; Inoue Seiichi, Yin Chunji, Kosugi Hiroko, Nabeta Atsuko, Sakai Yoko, Honda Kiyoshi, Hoshino Yujiro

COE フェロー 成果報告

COEフェロー(ポスドク研究員)の成果には、未発表の内容が多く含まれるため、要旨のみを 掲載させていただきました。

- 41. (1)個体群動態解析に基づくマングローブ種の耐陰性解明、(2)植物資源劣化リスクを 回避するホームガーデンの機能
 42. 大型哺乳類の分布拡大予測
 43. 遺伝的多様性のホットスポット解析
 44. 佐伯いく代
- 44. (1)Concealed environmental threat in coastal region needs priority for ecological risk management: the case of Panglao Island, (2) Artificial Reef: a practical and sustainable solution to replenish a resource-depleted coastal region, the Atimonan small fishermen's association example

Daniel Edison Husana

- 45. アルゼンチンアリの侵入地域における遺伝的変異と分布拡大プロセス 井上真紀
- 46. 外来種オオミノガヤドリバエの侵入によるオオミノガの絶滅可能性 石井弓美子
- 47. インドネシア・ランプン州のミミズ相の把握〜サトウキビにおける持続可能な農業のための土壌生物多様性の修復〜 南谷幸雄

48. インドネシア・ランプン州における長期不耕起実験圃場の土壌炭素隔離能力の評価 仁科一哉

49. Resilience of Urban Communities in a Changing Climate and Environment-Focus on Water related Issues in Central Vietnam

Bam H.N. Razafindrabe, Makoto Arima

(1)個体群動態解析に基づくマングローブ種の耐陰性解明 (2)植物資源劣化リスクを回避するホームガーデンの機能 1) Shade tolerance analysis of mangrove trees based on the population dynamics 2) Avoiding plant resources risk byhomegardens.

報告者:大野勝弘 Katsuhiro ONO

ミャンマー・エーヤワディーデルタにおいて、マングローブ林の生態学的管理・修復の知見を得るため、 潜在自然植生 Heritierafomes 林を構成する 4 樹種の幼時の耐陰性を解明した。H. fomes, Bruguieragymnorhiza, B. sexangula (Bruguiera spp.), Amooracucullata, Excoecariaagallochaの低木 劣化林分に設けた永久方形区における、禁伐後3年間の個体群動態、および光環境と実生・幼樹の分布を 解析した。その結果, H. fomes は長期的な実生バンクから, Bruguieraspp. は毎年大きな実生バンクを交 代させより明るい環境一斉に, A. cucullata は母樹近傍の少数実生からそれぞれ更新する陰樹と考えられ た。現在、本研究の成果を活かした森林修復の活動シナリオを住民らと作成している。

マングローブ資源が劣化するミャンマーの村落域において,生態リスクに順応する伝統知を明らかにした。 マングローブ劣化を理由とするホームガーデンの利用と管理の変化を,ホームガーデンを所有する 12 世 帯主のキー・インフォーマントに,全ての植物資源を対象に聞き取り調査した。その結果,ホームガーデ ンはマングローブ林の資源供給を代償していること,村人は代償機能を強化するよう管理を変化させてい ること,資源の用途により管理強化の程度が異なることが明らかになった。マングローブ植物資源の劣化 に順応する村人の知恵は,地域の自然・資源・社会のあり方に基づくものと考えられた。

1)This study investigates the regeneration process of major tree species in *Heritierafomes* forest in the Ayeyarwady Delta, Myanmar, in order to develop appropriate measures for mangrove forest management. The conservation and reforestation activities have been undertaken in the degraded mangrove forest lands in the study area. However, basic information, such as species composition and forest structure and dynamics required for a balanced rehabilitation practice on degraded mangrove forests is limited. Furthermore, while light plays an important role in the growth and survival of mangroves from an ecological viewpoint, the knowledge about light and shade requirements of species in *H. fomes* forest is still inadequate. This study focuses on shade-tolerance of trees in their early stages, and presents analysis of the population dynamics of four major mangrove trees in the forest stand of two different sub-associations conducted over a three-year period.

2)This study investigates the traditional knowledge of villagers to adapt to the ecological risk of mangrove degradation in Myanmar. We interviewed twelve homegarden owners about change of their management activities of all plant resources in their homegardens. It was revealed that the home gardens compensate for the decline of mangrove plant resources, the villagers change the way of management to enhance the compensating function, and enhancing degree differ among uses of resources. It is considered that the local knowledge to adapt to the risk of mangrove plant resources is based on the nature, the resources and the society of the region.

大型哺乳類の分布拡大予測

Predicting range expansion of large mammals in Japan

報告者:斎藤昌幸 Masayuki SAITO

日本では大型哺乳類の分布が拡大しており、農作物被害や生態系改変などの増加が懸念されている。も し大型哺乳類の将来の分布を予測ことができれば、事前に有効な対策を考えることができるかもしれな い。本研究では、日本における大型哺乳類6種(ニホンジカ、ニホンカモシカ、ニホンザル、イノシシ、 ツキノワグマおよびヒグマ)を対象に、将来の分布拡大予測を試みた。ふたつの時点(1978年と2003年) の分布図を用いて、分布拡大モデルを構築した。モデルの構築にはFukasawa et al. (2009)によって提 案された、種の定着確率と分散確率を同時に推定する統計手法を用いた。作成した分布拡大モデルを用 いて、2003年を起点に100年までの分布拡大シミュレーションをおこなった。その結果、すべての大型 哺乳類が日本の大部分に分布するようになることが示された。これは同時に、軋轢が増加することも示 唆している。本研究の成果は将来の軋轢軽減策を考えるうえで重要な役割を果たすことが期待される。

Distribution of large mammals has been increased in Japan, and they have the potential to cause to environmental and agricultural damage. However, if their future distribution can be predicted, effective damage control measures can be put in place before the animals arrive. In this study, I predicted the future range expansion of large mammals, Sika deer, Japanese serow, Japanese monkey, wild boar, Asiatic black bear and brown bear, in Japan. Using two distribution maps (1978 and 2003) of each species, I simultaneously estimated habitat suitability and dispersal probability of the source population via range expansion modeling by Fukasawa et al. (2009). Future distribution was predicted by stochastic simulations for 100 years after 2003. According to the simulations, all large mammals will be distributed in many parts of Japan. Conflicts between human and large mammals also will be increased. My results will be contributed to considering the strategies for reducing future conflicts.

遺伝的多様性のホットスポット解析

Identification of hotspots of genetic diversity: Spatial overlays of phylogeographic information for endangered wetland plants in central Honshu Island, Japan

報告者: 佐伯いく代 Ikuyo Saeki

GCOE に在籍した2年間、伊勢湾周辺の湿地に生育する絶滅危惧種について遺伝的多様性の空間パターンの 解析を行った。中部地方の伊勢湾周辺には、低湿地と呼ばれる特異な湿地が分布する。これらは、百万年 を超える長い期間、伊勢湾周辺域に高い密度で形成されてきた。そのことが多くの固有種を呼び込み、特 異なフロラ(=東海丘陵要素)の形成をもたらしたといわれている。本研究は、東海丘陵要素を含め、低 湿地に生育する希少植物の遺伝的変異を葉緑体 DNA マーカーによって比較し、ハプロタイプの地理的パタ ーンの類似性、および希少なハプロタイプの集中する地域(=ホットスポット)を明らかにすることを目 的とした。その結果、岐阜県東濃地方および愛知県渥美半島付近において希少なハプロタイプが分布する 傾向があることが明らかにされた。

The concept of "hotspots" is often a key issue in conservation of biological diversity. Its application, however, rarely targets genetic-level diversity although such diversity is directly linked to evolution, migration history, and future extinction of species. During the two years of my participation to the COE program, I determined hotspots of genetic diversity by overlaying multiple phylogeographic data of the six endangered plants, which grow in discrete wetland ecosystems of central Honshu Island, Japan. Leaf samples were collected at 58 wetland sites, and one to six non-coding regions of chloroplast DNA were sequenced. For each species, 3 to 15 haplotypes were identified. Based on the haplotype data, I calculated probability of occurrence of rare haplotypes per site, created interpolation maps by GIS, and overlaid them to make an integrated hotspot map. Two hotspots were identified: Atsumi Peninsula and Tono District. The former is located near southern coastal margin, and thus rare haplotypes have likely remained by geographic isolation. The Tono District is a highly-elevated inland area where relatively large wetlands still remained. This method, as indicated by our results, can be applied in planning preserves which focus on conservation of genetic diversity.

Concealed environmental threat in coastal region needs priority for ecological risk management: the case of Panglao Island

沿岸地域の隠れた環境脅威には生態リスク管理の優先順位が必要: Panglao 島の事例

報告者: Daniel Edison Husana, Tomohiko Kikuchi ダニエル エディソン フサナ、菊池知彦

Panglao is a small island in the central part of the Philippines. It is well-known for its world-class beaches and beautiful coral reefs aside from high biodiversity. These attract millions of tourist each year thus providing employment and business opportunities that resulted to the increase of revenue for the local economy. However, the escalating activity is so alarming such that the negative effect to the local environment is very much prevalent although not easily perceived. In order to make an effective management plan for coastal regions, environmental impact needs to be identified. Analysis and measurement of physico-chemical parameters of the groundwater revealed high levels of human-induced contaminants. This subterranean pollution was attributable to the leakage of septic tanks, artificial application of disinfectants and the infiltration of saltwater from the ocean. The latter is most probable due to over-extraction of groundwater because of the increasing demand for potable water. The community within the area was not aware of the situation because human impacts to the environment appear to be virtually absent. These findings clearly suggest the vulnerability of the groundwater resources from human activities that causes so much stress to the environment. Higher standard for the coastal development plan and strong implementation of environmental policy is deemed necessary.

Panglao はフィリピン中央部に位置する小島で、高い生物多様性を擁し、素晴らしい浜辺と美しい珊瑚礁 で世界的に有名である。それは毎年何百万人もの観光客を引きつけ、雇用やビジネスチャンスを産み出 し、結果として地域経済を潤している。しかし、急速に増大する(人為)活動が地域環境に対する負の 影響を広く及ぼしている。簡単に把握することは出来ないが、その現状は切迫している。沿岸の効果的 な管理計画を立てるために、環境に及ぼす影響を特定しなければならない。

地下水の分析と物理化学的なパラメータの測定によって、高レベルの人間活動起源の汚染物質の存在が 明らかになった。この地下水汚染は、浄化槽の漏出、殺菌剤の使用、そして最も可能性が高いのは急増 する飲料水需要に対応するため、地下水の過剰利用により不足した分を海水の濾過から得ることに原因 があると思われる。この地域のコミュニティはこの状況に気づかなかった。それは、環境に対する人為 的影響が視覚的に捉えられることがなかったことによる。これらの知見は、人間活動によって明らかに 影響を受ける地下水資源の脆弱性が、環境に大きな影響をもたらす原因となることを明確に示している。 沿岸開発の計画と環境政策を協力に推進するためのより高い基準の設定は急務である。

Artificial Reef: a practical and sustainable solution to replenish a resource-depleted coastal region, the Atimonan small fishermen's association example

人エサンゴ礁:資源枯渇の沿岸地域を活性化する実用的、持続的な解 At imonan 零細漁民連携の例

報告者: Daniel Edison Husana, Tomohiko Kikuchi ダニエル エディソン フサナ、菊池知彦

The deterioration of nature is becoming a more apparent problem. With reefs slowly disappearing due to siltation and destructive human practices there is a steady decrease in marine biodiversity. Thus, coastal communities particularly the fishermen are negatively affected. This study will explore the possibility of artificial reefs (AR) as a way of alleviating the problem. The authors investigated the AR of Atimonan which was made through the effort of the local small-scale fishermen. The structure seemed to have brought back former diversity of life under the sea and this has subsequently improved the condition of the local folks. Upon comparing this AR to others, there is an implication that the shape and type of structure and equipment determine the life it supports and attracts but an in-depth study is needed to prove this. Artificial reefs appear to be a promising alternative and a solution to degraded marine resources in coastal regions. Further study is highly encouraged to improve the condition in these areas.

自然の劣化はますます明らかな問題となりつつある。泥の堆積と破壊的な人間活動に起因するサンゴ礁 の減少につれ、海洋の生物多様性が確実に減少している。このようにして沿岸のコミュニティ、特に漁 師は悪影響を受けている。本研究は、問題の軽減の一つの方法として、人工的なサンゴ礁(AR)の可能 性を調査する。著者らは地元の小規模漁業者の努力により作製されたAtimonanのARを調べた。構造体 (AR)は海面下の生命の多様性を以前のそれに戻しているように見え、また、地元民の生活条件を改善 しているように思われる。このARを他と比較することにより、構造物や機材の形とタイプ がそれが サポートし、引きつける生物相を決定するという示唆が得られた。しかし、これを立証するには掘り下 げた研究が必要である。人工サンゴ礁は有望な代替物であり、沿岸地域の海産資源減少に対する一つの 解であるように思われる。この地域の条件を改善するために更なる研究が望まれる。

アルゼンチンアリの侵入地域における遺伝的変異と分布拡大プロセス

Understanding invasion history: the recent range expansion and population genetics of the Argentine ant in Japan 報告者:井上真紀 Maki N. Inoue

侵入生物は、生物多様性の減少をもたらす要因のひとつであり、経済的損失も大きい。近年の世界経済のグロ ーバル化と自由貿易の促進によって、物資や人の国際移送に伴う新たな外来生物の侵入・定着は増加し続けて おり、侵入生物の問題はますます深刻化している。南米原産のアルゼンチンアリ Linepithema humileは、世界 各地で定着し、侵入地において生態系や農業への甚大な被害を引き起こしている。日本では、1993年に広島県 で定着が確認され、現在では関東以西11都府県で報告されている。本種は、複数の巣からなるスーパーコロニ ーを形成し、同一スーパーコロニー内では女王やワーカーは自由に行き来し、敵対しない。スーパーコロニ ーを形成し、同一スーパーコロニー内では女王やワーカーは自由に行き来し、敵対しない。スーパーコロニー 内の個体間血縁度はきわめて低く、なぜこのような社会構造が進化し維持されているかは、社会性進化におけ る大きな謎とされてきた。本研究では、同じ遺伝子型を持つ非敵対性スーパーコロニーが世界中に広く分布し ている一方、小規模で異なる遺伝子型を持つスーパーコロニーが局所分布していることを明らかにした。兵庫 県神戸市に側所分布する4つのスーパーコロニーにおいて、行動学的には遺伝子流動の可能性は示唆されたも のの、遺伝学的にはスーパーコロニーは独立しており、遺伝子移入は非常に低頻度でしか起きないことが明ら かになった。また、ワーカー間の敵対レベルには季節変動があり、巨大スーパーコロニーが他のスーパーコロ ニーの敵対性レベルの変動と同調傾向にあることが分かった。一方、局所的に分布する小規模スーパーコロニ ーが逃避行動を示し、巨大スーパーコロニーと世界中に形成したと考えられる。

Alien ants are considered to be among the more damaging of invasive insects. Five ant species are ranked among the 100 world's worst invaders by the IUCN. Within the introduced regions, they displace or disrupt the local arthropod fauna, cause agricultural damage by protecting plant pests, and even affect human health. The Argentine ant, Linepithema humile, has successfully spread from its native range in South America across much of the globe. This species is highly polygynous and possesses a social structure, called unicoloniality, whereby individuals mix freely among separated nests. In Japan the Argentine ant, first noted in 1993, is now found in several regions of Japan. Sequencing of the mitochondrial DNA from the Japanese and overseas populations resulted that one haplotype is shared among different populations widely distributed across the continent: USA, Europe, Australia, and Japan, whereas small supercolonies are pettily distributed in the restricted areas. Within the Kobe area, Hyogo Prefecture, behavioral assay showed the probability of male-mediated gene flow between the adjacent supercolonies. However, genetic analysis suggested that supercolonies are closed reproductive units, and gene flow among supercolonies is very limited. Furthermore, the aggression level between workers seasonally changed and the massive suprecolony synchronously changed with the other supercolonies. On the other hand, the workers from small locally distributed supercolony showed their escape behavior and whereas the workers from massive supercolony attacked the workers from other supercolonies in groups. Our findings suggested that a massive supercolony displace other supercolonies and form the huge colonies across the globe.

外来種オオミノガヤドリバエの侵入によるオオミノガの絶滅可能性

Extinction probability of the big bagworm, *Eumeta variegata*, by the exotic parasitoid, *Nealsomyia rufella*

報告者:石井弓美子 Yumiko Ishii

GCOE の一年半で、外来生物の侵入により日本国内の在来生態系に大きな影響を与えている事例として、オ オミノガの外来寄生者であるオオミノガヤドリバエの分布拡大についての研究を行った。かつては関東以 南で普通に見られるミノムシであったオオミノガは、オオミノガヤドリバエが日本に侵入した 90 年代後 半から九州などで個体数が激減し、一部地域では絶滅状態にあるとされるがその実態は明らかでなかった。 本研究では日本全国のオオミノガヤドリバエの寄生状況の調査を行い、オオミノガヤドリバエが現在九州 から関東まで広く分布していることを明らかにした。オオミノガヤドリバエは調査を行ったほとんどの地 域でオオミノガに高率で寄生していたが、九州を含む日本各地でオオミノガ個体群は維持されていた。ま た、遺伝マーカーを用いた集団遺伝解析によって、日本国内に侵入したオオミノガヤドリバエには 2 つの 遺伝型が存在し、両者とも中国大陸のヤドリバエ個体群の遺伝型と一致することが分かった。この結果か ら、オオミノガヤドリバエは中国大陸由来である可能性もあるが、日本への移入経路の推定には海外サン プルを含めた他地域ヤドリバエのさらなる遺伝的解析が必要である。

During a year and a half of G-COE Program, I studied the prevalence of the exotic parasitoid fly, *Nealsomyia rufella*, which attacks the native giant bagworm, *Eumeta variegata* in Japan. Although invasion of *N. rufella* in the late 90s has been reported to rapidly decrease the populations of *E. variegata*, little is known about the subsequent abundance of *E. variegata* and parasitism by *N. rufella*. Sampling survey of *E. variegata* revealed the maintenance of *E. variegata* populations in spite of high percentage of *N. rufella* parasitism at almost all sampling sites throughout Japan. In addition, the phylogenetic study using DNA markers found two genotypes of *N. rufella* which are identical to those found at the continental China. While this result is consistent with the hypothesis that the invaded *N. rufella* populations originated from China, further analysis is needed to infer the route of *N. rufella* invasion.

インドネシア・ランプン州のミミズ相の把握 ~サトウキビにおける持続可能な農業のための土壌生物多様性の修復~

Earthworm Fauna of Lampung, Indonesia: Rehabilitation of Soil Biodiversity in Sugarcane Field for Sustainable Agriculture

報告者:南谷幸雄 Yukio Minamiya

熱帯における畑地農業では、土壌生物の多様性が失われ、土壌有機物量の低下にともなう土壌劣化が著し い。そこで、土壌の修復のために土壌生物の多様性の回復を図る必要がある。スマトラ島ランプン州のサ トウキビ畑を含む様々な環境で、土壌のキーストーン種であるミミズを採集した。8 環境条件で合計 57 コドラートから 6 種が、拾い取り調査により 4 種が採集された。Metaphire peguana と Polypheretima taprobanae はスマトラ初記録であった。全ての環境で南米原産の Pontoscolex corethrurus が優占してお り、スマトラ固有のミミズ相が大きく損なわれていることが明らかになった。他の環境に比べ、サトウキ ビ畑ではミミズ個体数・現存量共に最も小さく、不耕起栽培の導入とともにミミズの人為的導入が必要で あることがわかった。今後、在来種を用いたミミズ導入の可能性についての研究が必要である。

In tropical agricultural lands, there are conspicuous loss of soil animal diversity and decrease of soil organic matters as soil degradation. Therefore, for rehabilitation of tropical soil, increase of soil animal diversity is needed. Earthworms, keystone species in the soil, were collected from various habitats including sugarcane field of Lampung, Sumatra. Six earthworm species were collected from 57 quadrats representing eight habitats, and four species were collected by non-quantitative picking up analyses. It is the first time to record *Metaphire peguana* and *Polypheretima taprobanae* from Sumatra. *Pontoscolex corethrurus* originated from Latin America was the dominant species all over the habitats, therefore indigenous earthworm fauna is largely destructed. Compared to other habitats, earthworm densities and biomass were poor at sugarcane fields, therefore these results indicated that earthworm inoculation for this sugarcane fields with non-tillage agriculture is needed. Further studies to examine life history and biodiversity of native species are necessary to select appropriate species suitable for introduction.

インドネシア・ランプン州における 長期不耕起実験圃場の土壌炭素隔離能力の評価

Evaluation of Nitrogen Leaching in Forest Watersheds

報告者:仁科一哉 Kazuya Nishina

環境保全型農業である不耕起・省耕起は欧米で広く採用されており、米国では近年20%を超える耕作地 で採用されている。不耕起・省耕起は持続的な生産に加え、土壌の炭素貯留量の増加を促進するという 副次的な効果があることが確認されている。しかし、熱帯アジアにおける適用例は殆どなく、アジアに おける適用には様々な検証が必要となる。本研究では、インドネシア、ランプン州にある20年を超える 長期不耕起・省耕起試験圃場における土壌炭素の動態を評価した。本サイトでは、耕起・省耕起・不耕 起の3処理に対し、施肥量を3段階(0,100,200 kg-N ha⁻¹)設定した計9処理区を設けている。2009 年において、100 kg-N ha⁻¹で省耕起サイトにおいて最も高い炭素増加が観察され、22年間で5 Mg-C ha⁻¹ の炭素が0-20 cmの土壌に蓄積された。また省耕起・不耕起処理区では、土壌炭素の増加に伴い、2 mm 以上の水耐性団粒が有意に増加していることが観察された。また本研究では、Roth-Cモデルを改良し、 省耕起、不耕起における炭素貯留量動態の予測動態への Roth-Cモデルの適用可能性を示した。

Conservation-tillage management is a carbon-sequestration option in agricultural management. However, information on and quantitative evaluation of long-term conservation effects on soil organic carbon (SOC) in tropics, especially in South-East Asia are limited. We conducted a 22-year experiment using different tillage-management schemes (conventional, reduced, and no tillage) with different nitrogen-fertilization rates (0, 100, 200 kg-N ha⁻¹) in southern Sumatra, Indonesia. The results revealed that conservation tillage maintained greater SOC in 0 - 20 cm at all N fertilization rates. In the reduced-tillage plot with 100 kg-N ha⁻¹, a 5 Mg-C ha⁻¹ increase in SOC was observed over 21 years. Concurrently, we found the fraction of large aggregate size (> 2 mm) in conservation till increased. To evaluate SOC dynamics, we used a simple modified Roth-C model that incorporated a relative stock-change factor from the IPCC into the Roth-C model. The original Roth-C model likely underestimated SOC accumulation in conservation-tillage soils. However, adding the tillage factor into all active compartments of the Roth-C could improve prediction for conservation-tillage soils.

Resilience of Urban Communities in a Changing Climate and Environment-Focus on Water related Issues in Central Vietnam

気候と環境の変化における都市コミュニティ(地域社会)の回復性

-ベトナム中部の水関連問題に焦点を当てて

報告者 Bam H.N. Razafindrabe, Makoto Arima バム HN ラザフィンドゥラーベ、有馬 眞

Locating in South East Asia, Vietnam is highly prone to impacts of climate change and frequent disasters because of its geographical position and long coastal line with dense population. The security and sustainability of urban Environment and livelihoods are threatened and it is of prime importance to address urban resilience for city government and community as well as climate change adaptation in a more holistic manner. For that, this study aims at understanding how resilient the city and its community are in the face of climate variability and environmental change as far as water-related issues are concerned, in order to enhance resilience and adaptive capacity of urban government and community to these changes.

東南アジアに位置するベトナムは、人口密度が高く、その地理的な位置と長い海岸線のために気候変動 と多発する災害の影響を受けやすい。都市環境と生活の安全性と持続性は脅かされており、地方自治体 とコミュニティのための都市の回復性およびより包括的な方法での気候変動への適応に取り組むことが もっとも重要である。そのため本研究は、気候変動と環境の変化に直面して、水関連問題の面から都市 地方自治体とコミュニティが、これらの気候変動への回復性力と適応能力を強化するために、都市とそ のコミュニティがどの程度回復性があるかを理解することを目的としている。
おもな原著論文

- 51. 伊藤公紀・本藤弘祐樹、バイオ燃料の可能性とリスク、『現代化学』No. 10, 2007年
- 52. Matsuda H, Makino M, Tomiyama M, Gelcich S, Castilla JC (2010) Fishery management in Japan Ecol Res 25:899-907
- Niwa S, Mariani L, Kaneko N, Okada H, Sakamoto K (2011) Early-stage impacts of sika deer on structure and function of the soil microbial food webs in a temperate forest: A large-scale experiment. Forest Ecology and Management 161: 391-399.
- 54. 森章, 三村真紀子, 黒川紘子. 2010c. 我々は「生態リスク」とどう向き合うのか?日本生態 学会誌 60:323-325.
- 55. Mori, A.S. 2011b. Making society more resilient. Nature 484:284.
- 56. Zhang Y, Nakai S, Masunaga S (2009) An exposure assessment of methyl mercury via fish consumption for the Japanese population, Risk Analysis 29[9] 1281-1289.
- Takashi KAMEYA, Kotaro YAMAZAKI, Takeshi KOBAYASHI and Koichi FUJIE (2010) Ecological Assessment of Water Quality by Three-species Acute Toxicity Test and GC/MS Analysis - A Case Study of Agricultural Drain -, Journal of Water and Environment Technology, 8(3), 223-230.
- H. Kamahara, H. Udin, A. Widiyanto, R. Tachibana, Y. Atsuta, N. Goto, H. Daimon, K. Fujie, Improvement Potential for Net Energy Balance of BDF Derived from Palm Oil: A Case Study from Indonesian Practice, Biomass and Bioenergy, BIOMASS AND BIOENERGY, 34,1818-1824(2010)

バイオ燃料の可能性とリスク

| 伊 | 藤 | 公 | 紀 |
|---|---|---|---|
| 本 | 藤 | 祐 | 樹 |

バイオ燃料の実像を見極めることは難しい.用いる原料を誤ると環境リスクは増 大するが、国や地域の社会事情や経済利害も大きく絡んで、判断には多面性を要 するからだ.しかし「地球温暖化による脅威」よりも「温暖化対策による脅威」 が大きくなっては元も子もない.最近、スイスの研究機関と国連が報告した評価 書では、それぞれ新たに生態系影響を指標に盛込んでいる.より多面的な各種燃 料の評価結果は、バイオ燃料の可能性を冷静に考える上で参考になるだろう.

はじめに

atch

バイオ燃料は、「環境に優しい技術」の象徴の一つであり、 化石燃料からの二酸化炭素放出量を削減するための実質的手 段として注目されてきた.環境中の炭素バランスに影響を与 えないことを示す「カーボンニュートラル」という用語は、 バイオ燃料に期待される特性を端的に表している.昨年の Science誌にも、バイオ燃料の可能性を評価する記事群が掲 載された(文献1~3).

しかし同時に,バイオ燃料の限界を認識すべきだという議 論もある.上記 Science 誌の記事には,その後 Letters 欄に複 数の意見が出され,議論が戦わされた(文献4).また,最 近バイオ燃料の生態系への負影響を強調したレポートが,国 連などから提出されている(文献5,6).

バイオ燃料の評価は、夢や可能性としての段階から、現実 的な技術としての多面的評価の段階に移行してきている.こ れは環境影響を総合的に評価するための手法であるLCA (ライフサイクルアセスメント) に負うところが大きい.特 に,長い間望まれていた生態系の観点がLCAに取入れられ るようになって,バイオ燃料がもつ重要な側面が明らかに なってきた.ここでは,このような評価手法の展開に注目しな がら,バイオ燃料の可能性とリスクについて見ていきたい.

バイオ燃料の評価

■温室効果ガスとエネルギーからの評価■ バイオ燃料の評価指標の代表は、製造と消費の過程で正味に放出される温室効果ガス(正味GHG)の量である.これは、気候変動枠組み条約の最終目的である「大気中のGHG濃度安定化」に則った指標である.光合成によるCO2固定と燃焼によるCO2放出だけを考えるなら、バイオ燃料の正味GHGはゼロとなる(カーボンニュートラル).また、産出エネルギーと投入エネルギーの差(正味産出エネルギー)や比(energy profit ratio, EPR)などが重要な指標となる.



指標は,正味放出GHG量と,正味産出エネ ルギー(ガソリンが基準).セルロースにつ いては予想値.

図1 バイオエタノールについての種々 の見積もり(文献1より)

2007年10月 現代化学

Science誌での論争のもととなった論文(文献1)では、お もに正味放出GHG量と正味産出エネルギーの二つの指標を 用いて、トウモロコシから製造されるバイオエタノールの再 評価を行っている(図1).農業工程、蒸留工程、運搬工程 などに必要なエネルギーと資材、また利用可能な副生成物な ど、百数十項目の要素を考慮し、LCAを用いて見積もりを 行った.その結果、米国でのトウモロコシ由来エタノールで は、正味放出GHG量はガソリン使用に比べてあまり減らな いものの、正味産出エネルギーはガソリンより十分に大きい としている.ただし、生産方式によってはガソリンよりも悪 くなることもある(図1でガソリンよりも左の点).また、 スイッチグラスなどのセルロース系原料からの生産が実用化 されれば大きな改善が期待されるとした.

■環境影響の評価■ この結果に対するおもな意見はつ ぎのようなものである(文献4).たとえば,穀物由来エタ ノールの場合には,食料との競合や,供給量の限界,また土 地の劣化による非持続性が問題となる.また,セルロース系 原料についても,単一栽培による生態系破壊の危険性が指摘 された.

これらの意見は、どの程度正しいのだろうか. Science 誌 上の議論を見るだけでは判断は難しい. 指摘された影響を、 ある程度定量的に評価する必要がある. 生態系に対する人間 活動の影響評価法は発展途上であるが、現在いくつかの手法 が展開されている. 以下では、そのような手法を紹介しつつ、 バイオ燃料の環境影響評価について述べる.

エコロジカル・フットプリント ――生態学的フットプリント,生態学的需要――

エコロジカル・フットプリントはCO₂の循環に着目した指標である(文献7,8).まず人間活動をCO₂放出量に換算し,つぎにこのCO₂を吸収する面積(土地と海)を求める.これ

を生態学的需要(エコロジカル・フットプリント)とよぶ. 指標の単位は独特で,gha(グローバルヘクタール)である. 注目する地域の人口一人当たりで計算されることが多い (gha/人).ただのhaでないのは,土地の肥沃度などを考慮 して重みづけするからである.つまり等価 haと言い換えて もよいだろう.

この生態学的需要と比較すべき量はバイオキャパシティ (生態学的供給) であり、CO₂を吸収できる面積として表さ れる.単位はやはりghaである.

表1に,世界平均,日本,米国,ブラジルなどの生態学的 需要と生態学的供給の値を抜粋した(文献8).

まず世界平均値から,生態学的需要(2.2 gha/人,以下で は単位省略)が生態学的供給(1.8)よりも大きいことがわ かる.その差が,生態系(陸と海)で吸収できずに大気中に 蓄積するCO₂に対応している.化石燃料の燃焼に伴う炭素放 出の値(1.07)は,需要全体(2.2)の約半分であり,人間活 動に占める化石燃料消費の影響の大きさがわかる.

つぎに各国の値を見る.米国の農地供給(1.71)は農地需 要(0.98)より大きいが、その差0.73は、自国の炭素放出 (5.66)の約13%にとどまる.したがって、たとえば農地需 要の余剰をすべて利用してトウモロコシを栽培したとして も、米国全体での石油消費の13%を穀物起源エタノールで 置き換えられるのみである.したがって、米国のバイオエタ ノールについて、食料との競合や供給量の問題が指摘される のは仕方ないだろう.

これに対してブラジルでは、農地の需要と供給の差(0.31) は炭素放出(0.37)と近く、自国で消費する化石燃料の大部 分について、余剰農地で対応できる可能性があることがわか る.しかしブラジルでは、従来栽培されてきた食料用トウモ ロコシをエネルギー用サトウキビに置き換えたり、森林を伐 採して作付面積を増やしたり、という場合が多くなっている のが現実である.

| | | 生態学的需要(gha/人) | | | 生態学的供給(gha/人) | | | |
|------|-----------|---------------|------|------|---------------|------|---------|------|
| 地域国 | 入口 (100万) | 全 体 | 農 地 | 炭素放出 | 全体 | 農地 | 牧草地 | 森林 |
| 世界 | 6,301.5 | 2.2 | 0.49 | 1.07 | 1.8 | 0.53 | 0.27 | 0.78 |
| 日本 | 127.7 | 4.4 | 0.47 | 2.45 | 0.7 | 0.13 | < 0.005 | 0.41 |
| 米国 | 294.0 | 9.6 | 0.98 | 5.66 | 4.7 | 1.71 | 0.28 | 1.93 |
| ブラジル | 178.5 | 2.1 | 0.55 | 0.37 | 9.9 | 0.86 | 1.19 | 7.7 |
| タイ | 62.8 | 1.4 | 0.30 | 0.64 | 1.0 | 0.57 | 0.01 | 0.23 |

表1 生態学的需要と生態学的供給(文献7より抜粋)

現代化学 2007年10月

日本ではどうだろうか. 農地需要(0.47)は農地供給 (0.13)の4倍近い. これは食料の大半を輸入するという日本 の現状を表している.日本では結局,耕作地の一部をバイオ 燃料用に使用するとしても,ごく小さな値にとどまらざるを 得ないといえる.

生態系影響を考慮した評価 --EMPA (スイス連邦材料試験研究所) レポートから--

結局,バイオ燃料の評価指標として,正味放出GHG量と 正味産出エネルギーでは足りない.そのため,EMPA(スイ ス連邦材料試験研究所)や国連から最近提出されたレポート は,生態系などの観点を取入れている.ここではEMPAレ ポートについて重点的に述べる.

EMPAはバイオ燃料の総合的な環境負荷を評価するため に、複数のLCAシステム(UBP 06, Ecoindicator99など) を用いている. これらのLCAでは, 三つの軸,「人間の健康 影響」,「生態系への影響」,「資源への影響」から評価した上 で,最後に各軸の重みづけを行って加算し,数値化した単一 指標を求める. 各LCAシステムによって,用いる指標も重 みづけ方式も異なるので,最終結果も異なる. したがって, 得られた指標の絶対値にこだわることは危険であるとしてい る. 確率論的リスク計算などに比較すると,大変粗い作業に もみえるが,全体としての傾向はみえてくる.

図2は、いろいろなバイオ燃料と化石燃料についての環境 影響の評価値である。各国で生産された燃料がスイス国内に 運ばれて使用されることを想定している。指標は、総合影響 ポイント(走行距離1km当たり・一人当たり)で、数値が 大きいほど環境影響が大きい。評価対象は、ディーゼル(原 料は菜種油、大豆など)、アルコール(原料はサトウダイコ ン、トウモロコシ、サトウキビなど)、メタン(原料は食品



2007年10月 現代化学

等廃棄物など)である.

統合指標の使用により(ある 程度の誤差があるとしても), 耕作,製造,輸送,使用(燃焼) の各項目を比較できる.図2を 見ると,ディーゼルとアルコー ルにおいて,耕作による環境影 響が大きい.このため,「使用」 で比較すれば各バイオ燃料の環 境影響は化石燃料よりも小さい のに,全体としては影響が大き くなっている.これは,前述の *Science*での論争に量的な判断 根拠を与える結果といえる.

化石燃料よりも環境影響が少 ないのは,植物油の100%リサ イクルによるディーゼル, 乳粱(ミルクからチーズなど を採った残渣)からのエタノー ル,廃棄物からのメタンなどで, すべて廃棄物の利用である.

ブラジルのサトウキビエタ

ノールは比較的影響が少ない.しかし留意点として,データ が不十分なため森林開墾による生物多様性減少が十分に取入 れられていない,また経済的要因や社会的要因,たとえば若 年労働の問題などは考慮されていない,ことが挙げられてい る.

輸送による影響は比較的小さいので,輸入の妥当性を示し ているとも解釈できるが,バイオ燃料を現地で消費すること との比較は必要であると指摘されている.

図3に、環境影響とCO₂放出によって整理した、各バイオ 燃料の評価を示す.化石燃料と比べてCO₂放出量を削減でき るバイオ燃料は多いが、総環境影響評価から見ると、化石燃 料よりも悪いものが多いと結論されている.

このような多面的評価により,各バイオ燃料の特徴が浮き 上がってくる.EMPAは,バイオ燃料選択に求める要件を挙 げ,化石燃料(ガソリン)に比べて CO₂放出が少なくとも 30%以上削減されること,環境影響が化石燃料(ガソリン) よりも小さいこと,としている.これら二つの条件に合う原 料は,おもに廃棄物である.穀物や天然油などを原料とする バイオ燃料のほとんどは,後者の条件を満たさない.これら のことから EMPAは,スイスにおけるバイオ燃料のポテン シャルには限界があり,エネルギー問題をバイオ燃料だけで

現代化学 2007年10月



色の領域にあるものは、ガソリンよりもCO₂放出量を制限でき、環境影響も低いもの. 図3 各燃料に対する温室効果ガス放出と環境影響の評価値(EMPAレポートより)

解決することはできないと結論した.

総合的評価 ---国連レポートの結論より-----

国連バイオエネルギー影響評価報告は、多くの報告の結果 を総合して作成されたもので、生態系の評価に加え、途上国 の経済発展やジェンダー問題も含めた広い視点からの評価を 行っている.総合的にはつぎのような結論となっている.

「現代的バイオ燃料は,小規模にとどまれば途上国農村部 の貧困や低品質燃料による健康被害を解消するなどの便益可 能性をもつが,大規模になると食料供給を脅かし,一次林の 破壊や土地の侵食に結びつき持続性を損ねると同時に,貧困 を拡大する可能性がある,」

これは,各国でのバイオ燃料生産の具体的な事情をみると うなずける結論である.若干の例について以下で説明しよう.

バイオエタノールについての各国の事情

ブラジルでは、農地拡大のために森林伐採が行われている が、各地主が所有する森林面積の20%は伐採が禁じられて いる.しかし、このような規制があっても遵守されるとは限 らない.たとえば、インドネシアのボルネオ島の保護熱帯林





では、不法開墾のために、1985~2001年の期間で面積が半 分以下になったと指摘されている(文献9). 伐採や焼却さ れた森林からは、それまで樹木や泥炭に保持されていた CO₂ が放出される.熱帯雨林の開墾による CO₂放出量は、世界全 体での CO₂放出量の約20%に相当し、バイオ燃料による CO₂削減を容易に上まわる.

バイオ燃料でCO₂を削減しようというとき、その原料入手 のために森林を伐採した結果、CO₂放出が増えるのでは目的 に合わない.しかし、ブラジルなどでのバイオ燃料製造には CO₂削減よりも強い動機がある.それは、国内でのエネル ギー供給であり、また製品としてのバイオ燃料の輸出である. つまり、食料と飼料の供給を担ってきた農業が、エネルギー 供給という新しい役割を得たために、農業の再編が起きてい るという事情がある.簡単にいえば、農業の当事者にとって CO₂削減は目的ではなく、工程中に放出されるCO₂は、事業 に伴って生じた外部不経済(負の経済的外部性)という位置 づけになる.

タイでは在来の砂糖製造工業とうまく組合わせることに よって、よいシステムを構築している(コラム参照、文献 10). タイのバイオエタノール製造能力を生態学的需要・供 給(表1)から判断すると、自国のエネルギーの供給にとど まる限りは、持続性を保つことが可能だろう.しかし、もしバ イオ燃料の輸出を図るなどにより規模が大きくなれば、国連 レポートが指摘するように大きな問題が生ずるリスクは高い.

結論と議論の総括

今までの議論を総合していえることは、つぎのようなこと

だろう.

- 1)評価について バイオ燃料の評価には、CO2放出とエネルギー効率だけでなく、健康や生態系への影響など、総合的な環境影響を用いる必要がある。また、社会的・経済的因子も考慮する必要がある。
- 2) 地域性について バイオ燃料は、国・地域の特徴に 沿って開発・使用,また評価される必要がある.また,地 域によってバイオ燃料がもつ意味も変わる.
- 3)バイオ燃料の優劣について 食料との競合や、生態系の破壊に結びつく原料は避ける必要がある.ブラジルなどの例外を除けば、環境影響の観点から有効性が高いのは廃 棄物からの小規模なバイオ燃料製造である.

おわりに

本稿を終えるに当たって,バイオ燃料の代名詞ともいえる 「カーボンニュートラル」および地球温暖化問題との関連を 議論しておきたい.

バイオ燃料はカーボンニュートラルか 国連レ ボートでは、「バイオ燃料がカーボンニュートラルであると 評価されたとしても、それは外部性を十分に考慮していない ためである.」としている(文献5).この点について少し詳 しくみてみよう.

図4は、図3の放出GHGデータをもとに描いたレーダー チャートで、例としてブラジル大豆ディーゼルと石油とを比 較した.ブラジル大豆の「燃焼」の値がゼロなのは、成長の 際に蓄積されるCO₂と、燃焼で生成するCO₂が同量、すなわ

2007年10月 現代化学

ち狭い意味でカーボンニュートラルだからである.しかし, 肥料の製造・使用や重機使用などによって「耕作」で生成す るCO₂(+N₂O)は石油の「燃焼」で発生するCO₂に匹敵する. その結果,放出GHGの総量は石油とあまり変わらない.

したがって、カーボンニュートラルという言葉にとらわれると全体を見失うことになる.LCAの観点からは、上流となる工程でのCO₂発生などを含めて、カーボンニュートラル性を広い意味で捉えなければならない.

そのためには、「広義のカーボンニュートラル度」のよう な指標を作るとよいだろう.たとえば、炭素完全循環の場合 をカーボンニュートラル度100%,化石燃料のカーボンニュー トラル度を0%として、CO₂放出を評価する.たとえば、前 述のEMPAの条件「化石燃料に比べてCO₂放出が少なくと も30%以上削減される」は、カーボンニュートラル度30% 以上、と言い換えることができる.食用油のリサイクルでも 70~75%(図2参考)であり、完全循環の意味での 「カーボンニュートラル」は理想概念にすぎないといえる.

■バイオ燃料は地球温暖化問題を解決するか■ これ までみてきたように、バイオ燃料が有効性を発揮するのは、 廃棄物を原料とした小規模生産や一部の作物を原料とした場 合にとどまる.たとえば、ブラジルで大規模に生産したエタ ノールを輸入使用するなら、使用国ではCO₂放出が削減でき るが、生産拡大に伴う熱帯林破壊によって地球規模のCO₂放 出が増加する可能性が否めない.実際、これは現実に起きて いることでもある.「地球温暖化による脅威」よりも「地球 温暖化対策による脅威」が大きいのでは、自己矛盾に陥って しまう.

結局,バイオ燃料の導入によるCO₂削減と,これによる地 球温暖化防止効果は限定的にならざるをえない.

また,真に注目すべきは,地球平均気温上昇で象徴される 地球温暖化よりも,自然変動を含めた気候変動や,突発的に 起きる極端気象である.この問題に対応するには,少なくと も短期的には,社会や生態系の脆弱性や回復性に着目したア プローチが必要である(文献11).

しかし,地球平均気温への効果が少ないからといって,バ イオ燃料の可能性を否定する必要はない.環境影響が少なく 社会の持続性に寄与するエネルギーオプションの一つとして 捉えるべきである.地球温暖化問題に直接寄与できないとし ても,開発途上国などのエネルギー問題に貢献する可能性は

コラム タイにおけるサトウキビコンプレックスと将来のエタノール製造

タイでは現在,サトウキビの製糖プロセスから出る副 産物のモラセス(廃糖蜜)を利用したバイオエタノール 生産が盛んである.製糖会社は,製糖工場を中心とした サトウキビコンプレックス(Sugar cane complex)とも よべるサトウキビの有効利用システムを構築している (右図).特に,各種副産物の利用が特徴で,バガス(サ トウキビの搾りかす)を発電燃料やパーティクルボード (木質ボードの一種)の原料として利用し,製糖やエタ ノール製造に伴って発生する廃水や残渣から肥料を製造 してサトウキビ栽培へ還元する.モラセスを用いたエタ ノール製造は,このような循環型システムの一部である ため環境影響が小さい.

また,地域密着性も重要な特徴である. 製糖は古くか らタイの主要産業であり,製糖会社はサトウキビ農家や 地域との共存を重視している.タイのサトウキビコンプ レックスは,自然環境のみならず,地域の社会経済的な 持続性にも配慮したシステムであるといえる.

しかし、モラセスを原料としたバイオエタノール製造 では、製造量に限界がある。タイでは一層のバイオエタ ノール普及を目指しており、サトウキビ本体(ケーンジュー ス)やキャッサバの利用が増えてくると予想される。副 産物の利用という範囲内では順調なエタノール製造も、 その範囲を超えると環境的にも社会経済的にも新たなり スクが生じる可能性がある.

また、バイオエタノール製造がもつ意味の違いにも留 意すべきである。タイでは、温暖化の防止よりも、原油 輸入の削減を目指したエネルギー政策、そして所得格差 是正などを目的とした農業政策の色合いが強い。バイオ 燃料の普及拡大に関しては、温暖化や生態系など環境側 面からの影響はもちろんのこと、エネルギー安全保障や 地域経済への影響をも含めて、国や地域に固有の背景に 照らして総合的に評価することが重要である。



現代化学 2007年10月



大きい.これらの国々における脆弱性を減らすことは、間接 的にせよ地球温暖化問題に大きく貢献することになろう.

科学者や技術者は、目の前の課題に真剣に取組むあまり、 ともすればミクロな視点から離れられない傾向がある。とき どきは焦点を変えて、マクロな視点に引いてみることも必要 である.たとえば、絵描きが作業の途中で後ろに下がり、全体 のバランスを見ることを繰返すということなども、参考になる のではないだろうか.本稿がその助けになれば幸いである.

参考文献

- 1. A. E. Farrell (1.12), "Ethanol can contribute to energy and environmental goals", *Science*, 311, 506 (2006).
- A. Ragauskas ほか, "The path forward for biofuels and biomaterials", Science, 311, 484 (2006).
- 3. S. E. Koonin, "Getting serious about biofuels", *Science*, 311, 435 (2006).
- 4. バイオ燃料についての討論: Letters, Science, 312, 1743 (2006).
- 5. Zah, Rainer lまか, Life cycle assessment of energy products : Environmental assessment of biofuels — Executive Summary, EMPA for the Federal Office for Energy, the Federal Office for the Environment, and the Federal Office for Agriculture, Bern (2007).
- 6. United Nations, UN-Energy, "Sustainable Bioenergy: A framework for decision makers". http://esa.un.org/ un-energy/よりダウンロード可.
- 7. エコロジカル・フットプリントの解説. http://www.footprintnetwork.org/
- 8. エコロジカル・フットプリントのデータ集 (National Footprint Resultsから各国に対する値が入手可能) http://www.footprintnetwork.org/gfn_sub.php?content = national_footprints
- L. M. Curran ほか, "Lowland forest loss in protected areas of indonesian borneo", Science, 303, 1000 (2004).
- 森泉由恵、本藤祐樹ほか、「タイにおけるバイオエタ ノール導入への取り組み(I,Ⅱ)」、慶応義塾大学ディス カッションペーパー (2007). http://www.yokohamamot.jp/hondo/hiroki/research.html
- 伊藤公紀,「地球温暖化問題現実派」,経済セミナー, 2006年12月号, p.38~43.

本稿の準備にあたって, 横浜国立大学グローバル COE 「アジア視 点による生態系リスクマネジメント」のメンバー・関係者諸氏から多 くの討論, 有益な示唆をいただきました. ここに感謝申し上げます.

2007年10月 現代化学

SPECIAL FEATURE

Hiroyuki Matsuda · Mitsutaku Makino Minoru Tomiyama · Stefan Gelcich Juan Carlos Castilla

Fishery management in Japan

Received: 13 December 2009 / Accepted: 6 July 2010 / Published online: 20 August 2010 © The Ecological Society of Japan 2010

Abstract There are few legal marine protected areas in Japan rather than fishing-ban areas. Fishers did not seek legal fishing-ban areas but they did establish fishing-ban areas by autonomous bases. We briefly introduce the institutional history and features of Japanese coastal fishery management, including the past decade's major legislative developments. Japan still has a decentralized co-management system involving fishers and the government, and ca. 98% of Japanese fishers are artisanal. There are several successful cases of coastal fisheries management in Japan. However, offshore industrial fisheries have problems in Japan. We compare coastal fisheries comanagement between Japan and Chile. We finally discuss the possibility of improvement for Japanese fisheries.

Keywords Marine-protected area · Co-management · Artisanal fisheries · Territorial user rights for fisheries · Coastal fisheries · Chilean fisheries

Introduction

Japan once played an important role in the international institution for marine protected areas (MPAs). A marine

H. Matsuda (⊠) Faculty of Environment and Information Sciences, Yokohama National University, Yokohama, Japan E-mail: matsuda@ynu.ac.jp Tel.: +81-45-3394362 Fax: +81-45-3394373

M. Makino National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, Yokohama, Japan

M. Tomiyama Chita Agriculture, Forestry and Fisheries Office, Aichi Prefectural Government, Aichi, Japan

S. Gelcich · J. C. Castilla

Centre for Advanced Studies in Ecology and Biodiversity (CASEB) & Departamento de Ecologia, F. Ciencias Biologicas, Pontificia Universidad Catolica de Chile, Casilla 114-D, Santiago, Chile

park system was established in Japan after the 1st Conference for World Natural Parks in 1962, in Seattle. The first International Conference for Marine Parks was held in 1975, Tokyo, Japan. Despite this, there are few known MPAs in Japan because it has not been welcome to use the term MPAs among persons who relate to Japanese fisheries. This is probably because fishers did not seek legal fishing-ban areas but they establish fishing-ban areas on autonomous bases (Yagi et al. 2010). We briefly introduce the institutional history and features of Japanese coastal fishery management, including the past decade's major legislative developments.

Japan has one of the world's oldest and most successful marine fisheries co-management regimes (Lim et al. 1995; Pomeroy and Berks 1997). According to the Japanese first legal provision to fisheries, which was the Taiho Code of 701, local fisheries resources were for common use and managed by local resource users themselves. This basic idea has been passed down and is still used today.

For example, based on the Fisheries Law of 1949 and the Fisheries Cooperative Associations Law of 1948, qualified individuals living in the coastal community were entitled as coastal fishers by rights and licenses. Fisheries cooperative associations (FCAs), the organization of local fishers, are the management body of local fisheries and resources. Based on both the traditional and scientific knowledge on the local environment, each FCA establishes detailed rules on the fisheries operations on the local fishing grounds, such as fishing gear, fishing area and season, minimum-size limit, etc., and enforce them on autonomous bases. Government supports such activities by provisioning legal and scientific information and subsidies (Makino and Matsuda 2005). Therefore, the Japanese fisheries management regimes, especially in coastal areas, can be understood as a kind of Territorial Use Rights in Fisheries (TURFs) (Christy 1992). In addition, Japanese fishers set autonomous fishing-ban areas for licensed fisheries, snow crab fishery, and sandeel fishery as mentioned below.

In 1997, the Japanese government introduced the total allowable catch (TAC) system. The central government sets TACs, while the allocation of quotas and the determination of access rules are the responsibility of fishers' organizations. Therefore the co-management framework is still working even in the output control measures like TACs. At present, eight species are subject to TACs in Japan. To sum up, unlike fisheries in modern countries, there are few centralized top-down managements in Japanese fisheries.

In addition, ca. 98% of Japanese fishers are artisanal (Table 1). The artisanal fisheries have not been defined by Japanese law. In this paper, we define the artisanal fisheries by the size of fishing vessels in the footnote of Table 1. However, the catch of far sea fisheries and offshore fisheries, mainly by industrial fisheries have been a large part of the total catch in Japan (Fig. 1). Because of the establishment of the exclusive economic zone (EEZ) system and collapse of Japanese sardine

 Table 1
 Status of fishers in each nation (Fisheries Research Agency Japan 2009)

| Nation | No. of fishers | No. of fishing vessels | Artisanal fishers (%) ^a |
|----------------|----------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Japan | 278,200 | 219,466 | 98 |
| Korea | 180,649 | 50,398 | 90 |
| Norway | 22,916 | 8,664 | 89 |
| Denmark | 4,792 | 4,285 | 86 |
| United Kingdom | 19,044 | 9,562 | 82 |
| France | 26,113 | 6,586 | 78 |
| Spain | 75,434 | 15,243 | 76 |
| Canada | 84,775 | 18,280 | 74 |
| New Zealand | 2,227 | 1,375 | 74 |
| Iceland | 6,300 | 826 | 63 |
| USA | ca. 290,000 | 27,200 | 53 |
| Australia | 13,500 | ca. 5,000 | Unknown |

^aThe ratio of artisanal fisheries is defined as the percentage of the number of fishing vessels whose size is smaller than ISCFC (the International Statistic Classification of fishery Vessels) unit 25



Fig. 1 Marine trophic index (MTI) and the total production of Japanese marine fisheries from fiscal year 1960 to 2005, divided into five categories: coastal fisheries, offshore fisheries, far sea fisheries, marine aquaculture, and inland aquaculture from *bottom* to *top. Broken* and *dotted lines* represent the catch of sardine and walleye pollock, respectively

(*Sardinops melanostictus*) stock in the 1990s, the catch of far sea and offshore fisheries has decreased, while the catch of coastal fisheries has not changed significantly throughout the past half century.

Definition of "environment-friendly fisheries"

Fisheries management has played an initiative role of sustainability science because the maximum sustainable yield (MSY) has long been a key concept of fisheries management. However, the MSY theory has focused on the sustainability of fisheries yield that is a part of ecosystem service (Costanza et al. 1997). Ecosystem services include supporting services, provisioning services including fisheries yield, regulating services and cultural services (Millennium Ecosystem Assessment 2005). The existence of living marine organisms may maintain these services from marine ecosystems.

In addition, there is some criticism against the theory of MSY (Matsuda and Abrams 2008; Matsuda et al. 2008). The MSY fishing policy is not reflected in species interactions and other kinds of ecosystem services other than fisheries yield. Matsuda and Abrams (2006) analyzed the MSY from entire food webs with independent fishing effort on each species. Matsuda et al. (2008) incorporated ecosystem service into optimal fisheries policy, and they called the optimal policy that maximizes the total ecosystem services the "maximum sustainable ecosystem service" (MSES). An ecosystem service other than fisheries yield likely depends on the standing biomass, while the fisheries yield depends on the catch amount. The standing biomass likely decreases as the fishing effort increases, while the fisheries yield is a unimodal function of the fishing effort. If we consider a case of using a single bioresource, and if we ignore any contribution of fishers' activity other than fisheries yield as discussed later, it is intuitively understandable that the fishing effort to maximize the total ecosystem services (denoted by E_{MSES}) is always smaller than the effort to maximize the maximum sustainable yield (E_{MSY}) as shown in Fig. 2. On the other hand, a total fishing ban does not always maximize the total ecosystem service because the fisheries yield is a part of ecosystem services.

Fishing effort for actual fisheries is often considered to be larger than $E_{\rm MSY}$, and it is unsustainable. Classical fisheries science usually refer to MSY or its derivatives. Recently, marine ecologists have recommended "no-take zones" for ecosystem-based management (Pikitch et al. 2005). These recommendations largely ignore artisanal (small-scale) fisheries, which involve more than 50 million fishers around the world. Therefore Castilla and Defeo (2005) wrote the requirement of paradigm shift to the participation of fishers in the planning and surveillance of management measures, which promises a short-term solution to the current artisanal fishery crises, promoting compliance with regulations.



Fig. 2 Schematic relationship between overfishing, maximum sustainable yield, maximum sustainable ecosystem services, and no take zone. *Dotted line, broken curve*, and *bold curve* represent the utility of standing biomass (*S*), fisheries yield (*Y*), and the total ecosystem services (*V*), respectively. *Three circles* mean the efforts for MSY, MSES, and total fishing ban (modified from Matsuda 2010)

Fishers have ever paid efforts to conserve their fishing ground. At least in Japan, fishers pay effort for forestation and believe positive effects of the backyard forests on the fisheries productivity in their fishing ground. This is called a fish-breeding forest (Uotsuki-rin in Japanese). In addition, they enclose some shore area by stones and catch fish inside of the area when there is a low tide. The area of such architecture is usually between 10 and 1 ha and it is called Nagaki'i or Ishihibi in Japanese local dialects. Similar artificial structures are seen in many parts of the world. Traditional fishers made some artificial structures in the fishing ground and circumstance including terrestrial area to sustain their fisheries resources. These are called "Satoumi" in Japanese, as an analogy to "Satoyama" in terrestrial landscape (Yanagi 2007).

Particularly in developed countries, not only the increase of human impact but also reduction of human activity may decrease or threaten biodiversity and ecosystem services. In the work of the Japan Biodiversity Outlook Science Committee (2010), there are several ecosystem services that are damaged due to a reduction of human activities in artificial forests, abandoned paddy fields, and deer overabundance. Also in coastal ecosystems, some sustainable fisheries may prevent biodiversity loss (Gelcich et al. 2008). According to a questionnaire survey of more than 500 Japanese biologists, the major cause of biodiversity loss within the past half century has been land-use change in terrestrial and coastal ecosystems (Japan Biodiversity Outlook Science Committee 2010). Reclamation is a major factor of coastal ecosystems, while offshore ecosystems are probably the result of industrial fisheries, as discussed below.

Since Japanese fisheries are not always regulated by law but more often are regulated autonomously, it is important that local scientists convince the necessity of management of fishers. If fishers face critical problems such as stock collapse, they still expect the long-term benefit from their fisheries and they have some trustful scientists, then they adopt the scientists' advice for fisheries management. There are several cases of success stories of coastal fisheries management in Japan: sakura shrimp fishery in Suruga Bay, sandeel fishery in Ise and Mikawa Bays (Tomiyama et al. 2005), sandfish fishery in Akita Prefecture, and snow crab fishery in Kyoto Prefecture (Makino 2008). The last one became the first Marine Steward Council authorized fishery from Asia.

Trends and current status of Japanese fisheries

There are many warnings in global marine ecosystems (Pauly et al. 2002; Myers and Worm 2003; Worm et al. 2006). Pauly and Watson (2005) calculated the mean trophic level of fisheries catch (called the marine trophic index, MTI) and showed that the MTI of the global fisheries has decreased from ca. 3.5 in 1950 to ca. 3.3 in 1990. This implies overfishing, because the harvested fish are increasingly coming from the less valuable lower trophic levels as populations of higher trophic level species are depleted. The Convention on Biological Diversity chooses the mean trophic level of marine fisheries catch as an indicator of marine ecosystem integrity and ecosystem goods and services in Global Biodiversity Outlook. Pauly et al. (2002) called decline of the MTI "fishing down".

The MTI of the global marine landings did not show a monotonic decline but fluctuated from decade to decade. The global MTI was low in the 1970s and 1980s, when catches of Peruvian anchovy and Japanese sardines were large, respectively. The theory of "fishing down" is useful when the major target species is high price and higher trophic level fish. This is not true in some countries (Delgado et al. 2003). In Japan, the MTI was ca. 3.6 in 1960, ca. 3.1 in 1990, and ca. 3.6 in 2000. Therefore, Japanese fishery is characterized by higher MTI than the global average and its MTI did not show the long-term decline (Fig. 1).

Myers and Worm (2003) argued that the biomass of top predators including tuna has been reduced by 90% relative to levels prior to the onset of industrial fishing. Despite these warnings, there are some criticisms on these arguments. The magnitude of tuna stock decline estimated by Myers and Worm (2003) is overestimated (Hampton et al. 2005). Although the southern bluefin tuna (Thunnus maccoyii, SBT) is ranked critically endangered by the IUCN, the extinction risk of SBT is definitely smaller than the blue whale, which is ranked as endangered. It is very unlikely that SBT will go extinct within the next half century (Matsuda et al. 1997), while it is again difficult to satisfy the past target of recovering SSB to the 1980 level by 2020 by Convention for the Conservation of Southern Bluefin Tuna (Mori et al. 2001).

Some pelagic fish species, including the sardine, have naturally fluctuated in stock abundance to a great degree, even without fisheries, for several thousand years (Baumgartner et al. 1992). The collapse of the Japanese sardine in the 1990s was almost certainly caused by natural variation in the environment (Watanabe et al. 1995). When the stock is at a low level, the impact of fisheries on pelagic fishes prevents the stock from recovering (Kawai et al. 2002). To some extent, Japanese offshore fisheries still use "derby competition", although the total number of offshore vessels are restricted by the licenses from the Minister of Agriculture, Forestry and Fisheries and the determination of access rules are the responsibility of fishers' organizations. Fishers can catch any size of fish until the total catch reaches the limit. On the contrary, Norwegian fisheries are managed by the individual vessel quota (IVQ) system. The catch quota of each vessel is determined before the fishing season starts, therefore fishers often ignore smaller fish and look for older fish with a higher price per unit weight.

There is some discrepancy between coastal and offshore fisheries. The management of offshore fisheries has many problems, including chub mackerel fisheries. The TAC is often much larger than the allowable biological catch (ABC) decided by fisheries scientists. The government did not prevent overfishing of these resources. The actual catch is often smaller than its TAC because standing biomass in each fishing ground is heterogeneous and some fisheries are unable to catch their catch quotas. This is the reason why TAC is larger than ABC. However, the actual catch of Japanese sardine was often much larger than ABC, as is shown in Fig. 3.

There is a mismatch between demand and supply of fishery resources from the food-security viewpoint. In the case of Japanese fisheries, the TAC and the actual catch exceeded the ABC in some fish including sardines (Fig. 3). In contrast, the actual catch is much smaller than the ABC in some species, including Pacific saury (*Cololabis saira*, Oyamada et al. 2009) and anchovy. It should be noted that the total ABCs of these species is larger than 2 million metric tons (Fisheries Research Agency, Japan, unpublished). However, the economic



Fig. 3 The allowable biological catch (ABC), total allowable catch (TAC) and actual catch of Japanese sardine during 1997–2009 (Fisheries Research Agency, Japan). ABC in 1999 and 2007 were revised during the fishing season and were originally 370,000 and 35,000 tons, respectively

demand of these species is low in Japan, while the economic demand of overfished species including tuna and chub mackerel is still large, partly because of overcapitalization of fishing vessels. Japanese people rarely use jellyfish despite the fact that it frequently occurs in Japanese costal regions and the Chinese eat it. Although, according to Maguire et al. (2006), there have been no new bio-resources since 1975, there are still unused bio-resources in the global oceans. According to Worm et al. (2009), about one-third of fisheries resources are underexploited, and their stock is above the MSY level.

Some examples of successful coastal fisheries management in Japan

Unlike far-sea fisheries and offshore fisheries, the catch amount of costal capture fisheries has not significantly changed since the 1960s (Fig. 1). The catchability may have increased, but stock abundance has decreased for many resources. Therefore there are serious problems in coastal fisheries. The key problem in Japan is how to build a consensus among fishers.

Snow crab fisheries in Kyoto Prefecture

Snow crabs are harvested using bottom trawlers. The Kyoto Prefecture Fishery Coordinating Regulation sets the official season for bottom-trawler fishing. Harvests of Kyoto's snow crab have followed a typical boom and the largest harvest volume of 369 metric tons was recorded in 1964. Landings declined dramatically afterwards, to 58 metric tons in 1980. Overfishing was said to be the cause of the decline. Various resource-recovery measures by the Kyoto Bottom Trawlers' Union were introduced beginning in 1983. Specifically, a combination of permanent and seasonal MPAs were introduced as marine reserves on voluntary bases and have been expanded since 1983. Permanent MPAs are meant to provide sanctuaries for snow crabs from fishing and were established around the snow crab's critical habitats. Seasonal MPAs are aimed mainly at avoiding bycatches of low-value crabs.

Fishers agreed with autonomous establishment of permanent MPAs because stock biomass has decreased by overfishing and a single MPA was introduced in 1983. Kyoto Prefecture government supported these activities with funding and scientific research and advice. In permanent MPAs, bottom trawling is not possible because artificial blocks were laid on the sea bottom. The number of permanent MPAs increased after fishers examined the effect of MPAs on stock recovery. As a result, the landing increased from 58 metric tons in 1980 to 195 metric tons in 1999 and the total yield increased from US\$ 0.9 million in 1980 to US\$ 3.6 million in 2001 (Makino 2008).

Coastal fisheries in Shiretoko world heritage site

In Shiretoko, the fisheries sector is the most important industry. To maintain responsible fisheries, local fishers have implemented a wide range of autonomous measures under a co-management framework. Since the nomination of the peninsula and its surrounding marine areas for UNESCO World Natural Heritage, various measures have been implemented to conserve its outstanding ecosystems. The approach was not to eliminate local fishers from the area, but to place their activities at the core of the management scheme to sustain ecosystem structure and function. Fishers exploit most all taxa in marine ecosystems in Shiretoko. Fishers compiled the catch and yield statistics of these taxa of fisheries resources because most of these resources are sold in a local fish market. Like stomach content monitoring of the top predator, the catch statistics are informative in evaluating ecosystem status (Makino et al. 2008).

Chum salmon (*Oncorhynchus keta*) and walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) are two major fishery resources in Shiretoko (Matsuda et al. 2009). The largest yield resource changed in 1993 from walleye pollock to chum salmon. Since walleye pollock stock decreased in 1991 in the Sea of Japan, the Sea of Okhotsk, and the northwestern Pacific, probably due to decadal change of global environment, Shiretoko fisheries now depend on salmon fisheries, which are probably supported by the release of hatching stock.

Experience from the co-management of fisheries in Shiretoko World Heritage site could inform ecosystembased management in other countries where a large number of artisanal fishers take a wide range of species under a fisheries co-management regime if they compile the catch statistics. Adaptive management based on daily operations can be found in autonomous MPAs construction in the Shiretoko World Heritage site. In 1995, local fishermen divided a fishery ground into 34 areas based on local knowledge and experiences and then introduced temporal MPAs into seven of the 34 areas to conserve fishery resources.

In 2005, an additional six areas were designated as protected areas (Makino et al. 2009). These protected areas have been introduced on voluntary bases, and reexamined every year based on the results of the previous year's performance and scientific advice from the local research station. Therefore, it can be said that this decision-making process obeys adaptive management. An important next step would be scientific verification of its validities (Matsuda et al. 2009).

Sandeel fisheries in Ise and Mikawa Bays

One of the major fisheries resources in Ise and Mikawa Bays is Pacific sandeel (*Ammodytes personatus*). Sandeel juveniles are a traditional seafood (boiled in salt water in sweetened soy sauce) in Japan and are mainly caught by pelagic trawl fleets. The stock of sandeel in Ise and

Mikawa Bays once collapsed during late 1978 to 1982 because of over-exploitation and environmental deterioration. After this collapse, fishers and local scientists began to conduct regulatory measures in 1980 on a basis of the collaboration between Aichi and Mie Prefectures in Ise and Mikawa Bays. In 1990, the fishers decided on three measures: (1) the establishment of a fishing-ban area (MPA) during the fishing season, (2) a choice of the opening and (3) closing day of sandeel fishery. Establishment of autonomous MPA during fishing season is important for protecting spawners (Tomiyama et al. 2005). The area of the MPA changes with the escapement stock within the fishing season, according to consultation by local scientists earned by these prefectures (Fig. 4). To operate these adaptive management measures, fisheries' cooperative associations of sandeel fishers in Mie and Aichi Prefectures play an important role.

Throughout these successful examples, fishers agreed with the establishment of MPAs if (1) a fishery stock has once collapsed, (2) fishers expect their long-term benefit from fisheries, (3) a local scientist supports fishers, (4) an autonomous regulation can be revised if necessary, and (5) a number of meetings are had for consensus building. If autonomous regulation has once been agreed upon, the management plan is relatively well implemented with lower cost (Makino and Matsuda 2010). Makino and Matsuda (2005) also compared socioeconomic benefits between community-based and top-down management.

Chilean coastal fisheries

In Chile, artisanal fisheries supply a significant fraction of highly valued finfish and the totality of small-scale benthic invertebrate and algae resource exports. For instance, in 2000, 110,050 metric tons of shellfish were landed, totalling an export revenue of approximately US \$50 million (SERNAP 2004). This activity is also important from a social perspective, as there has been an explosive increase in the artisanal fisheries work force over recent years, from approximately 17,000 registered fishers in 1975 to over 48,000 in 2000 (San Martin 2001). Out of these, 22,578 fishers are registered as divers or coastal (intertidal and shallow subtidal) food-gatherers who mainly exploit benthic shellfish as part of their livelihood. Thus benthic resources play an important role in coastal areas in Chilean fisheries.

Historically, Chilean fisheries were characterized by open-access policies with specific regulations regarding size limits and seasonal operations. Up until 1974, when Chile adopted neo-liberal economic policies, most of the fishery landings were used for internal consumption (World Bank 2006).

After 1974 and until 1990, open-access fishery was accompanied by the implementation of an aggressive exchange-rate policy in 1974/1975, which substantially improved fishing export earnings, and produced the necessary incentives for Chile to become the region's leading fish and shellfish exporter (Thorpe et al. 1999).

Fig. 4 Fishing-ban area (MPA) for sandeel fishery in 2005, Ise and Mikawa Bays, Japan. The area of MPA can change weekly. *Grey zones* in the *right bottom panel* represent fishing ground for sandeel in Japan (Tomiyama 2009)



This led to overexploitation in many artisanal fisheries. During this period, numerous management measures were inappropriate, the fishing season was regulated without monitoring schemes of stock evaluation, and the Governmental Fisheries Service could not prevent clandestine catches and smuggling.

Due to the overexploitation of many fisheries (e.g., clams, mollusks), in 1991, a new Fishery and Aquaculture Law (FAL) was created. The FAL redefined artisanal fishers and incorporated new regulations that affect their user rights through three management steps: (1) exclusive fishing rights within a zone that extends to 5 nautical miles (9 km) from the shoreline are assigned exclusively to artisanal fishers (Artisanal fisheries Exclusive Zone, ca. $27,000 \text{ km}^2$); (2) artisanal fishers are restricted to working (diving) within the coastal zone adjacent to their region of residence (regionalization); (3) the FAL assigns territorial user rights for fisheries (TURFS) to organized groups (unions/syndicates/associations/cooperatives) of fishers under what have been termed Management and Exploitation Areas for Benthic Resources (hereafter referred to as MEABR; Castilla 1994; Gelcich et al. 2005).

The FAL defined an artisanal fishery as a fishery extractive activity carried out by fisherfolk that personally direct and who normally work in coastal areas. For this purpose, and interpreting the Fishery and Aquaculture Law in 1991, "coastal" means the oceanic realm within the first 5 miles from the littoral line. An artisanal fisher must be registered with the National Fisheries Service and fishing vessels must not exceed 18 m in length and a maximum of 50 gross register tons (Castilla

and Gelcich 2007, World Bank 2006). As mentioned above, the MEABRs policy was implemented in Chile as a reaction to the widespread overexploitation of benthic species that occurred during the 1980s. The first actual MEABR was formally established in 1997 (Gelcich et al. 2005). As of 2005, 301 MEABR have management plans in place, and 547 have approved decrees issued (Gelcich et al. 2008). To date, 1,032 km² are assigned as MEA-BRs in Chile, however, policy uptake has been highly dependant on the commitment of the government to promote, popularize, and co-finance the implementation of these management areas (Gelcich et al. 2008). In order to have a MEABR, fishery unions must contract biological consultants to undertake a baseline study and yearly follow-up direct assessments of managed benthic stock inside the management area; hence, determining yearly TAC. Unions must also pay an annual fee to the government for the right to maintain the management area.

The biological-fishery success of the MEABR policy has been publicized through scientific and government documents, which showed a significant increase in abundance and individual size of targeted resources within MEABR in comparison to open-access sites (Manríquez and Castilla 2001; Sernap 2004). Recently, Gelcich et al. (2008) also showed how MEABRs that show efficient enforcement programmes sustained greater marine biodiversity than open-access areas. In addition the Fisheries Undersecretary sees MEABR implementation as a positive change in which fisher communities have self-organized, creating partnership with the government, universities and consultants (Schumann 2007). In this way, artisanal fishing coves are being consolidated responding to government incentives.

Discussion

There are several similarities between Japanese and Chilean fishery-management schemes (Castilla unpublished) including artisanal territorial user rights for fisheries (TURFs). However, there are also several differences, and one of the biggest ones appears to be TURFs' legitimacy. In Japan, MPAs are often defined and determined by fishers themselves; while in Chile, MPAs are defined rather in a top-down process by the government, with limited participation of fishers. In general, Japanese and Chilean fishers do not like topdown regulations but rather seek autonomous management conducted within fisher organizations since the Modernization Era in the 19th century. Chilean fishery authorities have added numerous TURFs (at present more than 700 for extraction of benthic resources along the country) after realizing their effect on sustainable fisheries. In the case of sandeel fisheries in Ise and Mikawa Bays, the area of autonomous MPA is flexible.

Japanese law guarantees TURFs in coastal zones. There is a conflict between aquaculture and capture fisheries for space. There is also a conflict between coastal fisheries and other kinds of ocean utilization such as recreation, sea-phase development, wind farms, and reclamation. There are few studies that investigate the economic value of ecosystem services in coasts and coastal fisheries (Yanagi 2007).

Another difference between Chile and Japan exists in industrial fisheries. Individual fishery quotas and a vessel-monitoring system were introduced for industrial offshore fisheries in Chile since ca. 2000 (Castilla 2010); these systems have rarely been installed in Japanese offshore fisheries. The total landing from Chilean coastal fisheries (mainly small-pelagic species) has substantially increased since 1991 when legislation introduced five coastal miles dedicated exclusively for the artisanal fleet as well as ITQ regulations (Castilla 2010).

If Japan imitates Chilean fisheries, Japan needs a clear legal definition of artisanal fishery, such as the size limit of the boat with clearer fishing rights and duties in an international context. Japan also needs to improve topdown regulation for industrious or offshore fisheries.

In a local community, wealth is often redistributed through social inter-dependence and traditional credit systems (Makino and Matsuda 2010). That may bind fishers to their communities and occupation, as a sense of sub-cultural identity. These social norm conditions are also important in facilitating the effective co-management of local natural resources (Ostrom 1990; Armitage et al. 2009). Fishers may perceive ecosystem status of their fishing grounds and serve a role in monitoring and sustaining ecosystem services. If we count the value of fishers' activity for other than getting fisheries yield, fishing effort might give some social benefit.

The ecological footprint of the Japanese is comparative to the average European, which is about half of the average American (WWF 2008). Composition of fish consumption of the Japanese is much larger than that of the European and American. This is because the fish consumption of the Japanese is high and the mean trophic level of consumed fish is higher than the global average (Fig. 1). Recently, the Japanese frequently eat bluefin tuna (Thunnus orientalis, T. thynnus and T. maccovii), despite the fact that the Atlantic bluefin tuna (T. thynnus) stock is rapidly decreasing (ICCAT 2008). The tuna ranching has been to blame since the late 1990s. There are two big problems in bluefin tuna fisheries, under-report of catch amount, and uncontrol of tuna ranching, despite the fact that tuna farmers must report the exact amount of tuna that are put into the ranches. Japanese consumption has been driving the expansion of these ranches and the decline of the bluefin tuna population. The price of bluefin tuna is not very high. Many Japanese people still eat bluefin tuna frequently. Japanese consumers may control the global tuna market because about 80% of Atlantic bluefin tuna is imported by Japan and detailed information of fisheries is necessary when tuna is imported into Japan based on Japanese law.

The average longevity of Japanese women is 84 years in 2008, which is the longest in the world. Japanese eat more fish than Americans on average, and fish contains higher amounts of omega-3 polyunsaturated fatty acids, which are effective in reducing the mortality rate (Zhang et al. 2009). Tuna and other higher trophic level fish are usually contaminated with mercury, and their contamination level is often higher than the health standard. The Japanese ecological footprint will decrease if consumption of lower trophic level fish such as anchovy and Pacific saury increases and consumption of higher trophic level fish such as tuna and salmon decreases in Japan. Therefore, eating lower trophic level fish is both environmentally friendly and healthy. If Japanese eat lower trophic level fish, it is effective to decrease MTI of Japanese and global fisheries. We call this "eating down", instead of Pauly's "fishing down".

Acknowledgments We express our sincere thanks to Drs. D. Cooper, N. Hayashi, Y. Hiyama, H. Ijima, Y. Katsukawa, T. Nakashizuka, Y. Takeuchi, and A. Yatsu for valuable comments. We also thank anonymous reviewers for valuable comments. This work is partly supported by a grant from the Global Environment Research Fund (H-092) by the Ministry of the Environment, Japan, the Global COE (E-03) by MEXT, Japan, and the Pew Marine Conservation Fellowship Grant to H. M.

References

Armitage DR, Plummer R, Berkes F, Arthur RI, Charles AT, Davidson-Hunt IJ, Diduck AP, Doubleday NC, Johnson DS, Marschke M, McConney P, Pinkerton EW, Wollenberg EK (2009) Adaptive co-management for social–ecological complexity. Front Ecol Environ 7:95–102

- Baumgartner TR, Soutar A, Ferreira-Bartrina V (1992) Reconstruction of the history of the Pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millenia from sediments of the Santa Barbara basin, California. CALCOFI Rep 33:24-40
- Castilla JC (1994) The Chilean small-scale benthic shellfisheries and the institutionalization of new management practices. Ecol Int Bull 21:47–63
- Castilla JC (2010) Fisheries in Chile: small pelagics, management, rights and sea zoning. Bull Mar Sci 86:221–234
- Castilla JC, Defeo O (2005) Paradigm shifts needed for world fisheries. Science 309:1324–1325
- Castilla JC, Gelcich S (2007) Management of the loco (*Concholepas concholepas*) as a driver for self-governance of smallscale benthic fisheries in Chile. FAO Technical Report 604:1–11
- Christy FT Jr (1992) Territorial use rights in marine fisheries: definitions and conditions. FAO Fisheries Technical Paper 227
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P, van den Belt M (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature 387:253–260
- Delgado CL, Wada N, Rosegrant MW, Meijer S, Ahmed M (2003) Fish to 2020: supply and demand in changing global markets. International Food Policy Research Institute and World Fish Center, 240 pp
- Fisheries Research Agency Japan (2009) Grand design of fisheries and resource management in Japan. Fisheries Research Agency, Yokohama, Japan (in Japanese)
- Gelcich S, Edwards-Jones G, Kaiser MJ, Watson E (2005) Using discourses for policy evaluation: the case of marine common property rights in Chile. Soc Nat Resources 18:377–391
- Gelcich S, Godoy N, Prado L, Castilla JC (2008) Add-on conservation benefits of marine territorial rights fishery policies in central Chile. Ecol Appl 18:273–281
- Hampton J, Sibert JR, Kleiber P, Maunder MN, Harley SJ (2005) Decline of Pacific tuna populations exaggerated? Nature 434:E1–E2
- ICCAT (2008) Report of the 2008 Atlantic bluefin tuna stock assessment session (Madrid, Spain–June 23 to July 4, 2008), ICCAT. http://www.iccat.int/Documents/Meetings/Docs/2008_ BFT_STOCK_ASSESS_REP.pdf
- Kawai H, Yatsu A, Watanabe C, Mitani T, Katsukawa T, Matsuda H (2002) Recovery policy for chub mackerel stock using recruitment-per-spawning. Fish Sci 68:961–969
- Lim CP, Matsuda Y, Shigemi Y (1995) Co-management in marine fisheries: the Japanese experience. Coast Manage 23:195–221
- Maguire JJ, Sissenwine M, Csirke J, Grainger R, Garcia S (2006) The state of world highly migratory, straddling and other high seas fishery resources and associated species. FAO Fisheries Technical Paper 495, 96 pp
- Makino M (2008) Marine protected areas for the snow crab bottom fishery off Kyoto Prefecture, Japan. In: Case studies in fisheries self-governance. FAO Fisheries Technical Paper No. 504. Rome, Italy, pp 211–220
- Makino M, Matsuda H (2005) Co-management in Japanese coastal fishery: institutional features and transaction cost. Mar Policy 29:441–450
- Makino M, Matsuda H (2010) Ecosystem-based management in the Asia-Pacific area. In: Ommar R, Perry I, Cury P, Cochrane K (eds) Coping with global changes in social-ecological systems. Wiley-Blackwell, New York (in press)
- Makino M, Matsuda H, Sakurai Y (2009) Expanding fisheries comanagement to ecosystem-based management: a case in the Shiretoko World Natural Heritage area, Japan. Mar Policy 33:207–214
- Manríquez PH, Castilla JC (2001) Significance of marine protected areas in central Chile as seeding grounds for the gastropod *Concholepas concholepas*. Mar Ecol Prog Ser 215:201–211
- Matsuda H (2010) Risk and resource management. In: Osaki M, Braimoh A, Nakagami K, Saito O (eds) Designing our future from local and regional perspectives—bioproduction, ecosystems and humanity. United Nations University (in press)

- Matsuda H, Abrams PA (2006) Maximal yields from multi-species fisheries systems: rules for systems with multiple trophic levels. Ecol Appl 16:225–237
- Matsuda H, Abrams PA (2008) Can we say goodbye to the maximum sustainable yield theory? Reflections on trophic level fishing in reconciling fisheries with conservation. In: Nielsen JL et al (eds) Reconciling fisheries with conservation: proceedings of the Fourth World Fisheries Congress. American Fisheries Society, Symposium 49, Bethesda, Maryland, pp 737–744
- Matsuda H, Yahara T, Uozumi Y (1997) Is the tuna critically endangered? Extinction risk of a large and overexploited population. Ecol Res 12:345–356
- Matsuda H, Makino M, Kotani K (2008) Optimal fishing policies that maximize sustainable ecosystem services. In: Tsukamoto K et al (eds) Fisheries for global welfare and environment, 5th World Fisheries Congress 2008, Terrapub, Tokyo, pp 359–369
- Matsuda H, Makino M, Sakurai Y (2009) Development of adaptive marine ecosystem management and co-management plan in Shiretoko World Natural Heritage Site. Biol Conserv 142:1937–1942
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and human well-being: general synthesis. Island Press, Washington, DC
- Mori M, Katsukawa T, Matsuda H (2001) Recovery plan for the exploited species: Southern Bluefin Tuna. Popul Ecol 43:125–132
- Myers RA, Worm B (2003) Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. Nature 423:280–283
- Ostrom E (1990) Governing the commons: the evolution of institutions for collective action. Cambridge University Press, Cambridge, UK, p 280 Oyamada S, Ueno Y, Makino M, Kotani K, Matsuda H (2009)
- Oyamada S, Ueno Y, Makino M, Kotani K, Matsuda H (2009) Bioeconomic assessment of size separators in Pacific saury fishery. Fish Sci 75:273–283
- Pauly D, Watson R (2005) Background and interpretation of the 'Marine Trophic Index' as a measure of biodiversity. Philos Trans R Soc B 360:415–423
- Pikitch E, Santora C, Babcock EA, Bakun A, Bonfil R, Conover DO, Dayton P, Doukakis P, Fluharty D, Haneman B, Houde ED, Link J, Livingston PA, Mangel M, McAllister MK, Pope J, Sainsbury KJ (2005) Ecosystem-based management. Science 309:346–347
- Pomeroy RS, Berks F (1997) Two to tang: the role of government in fisheries co-management. Mar Policy 21(5):465–480
- San Martin G (2001) Areas Marinas Costeras con Derechos de uso Exclusivo Destinadas al Manejo y Explotacion de Recursos Bentonicos en Chile. Taller Areas de Manejo: Experiencias y Proyecciones, Puerto Montt 16:17 Agosto (in Spanish)
- Thorpe A, Ibarra A, Reid C (1999) The new economic model and fisheries development in Latin America. CEMARE Research Paper 141. University of Portsmouth, UK
- Tomiyama T (2009) Use of zoning in coastal resource management. Kaiyo (Oceanography), Tokyo 41:573–580
- Tomiyama T, Lesage C-M, Komatsu T (2005) Practice of sandeel fisheries management in Ise Bay toward responsible and sustainable fisheries. Glob Environ Res 9:139–150
- Watanabe Y, Zenitani H, Kimura R (1995) Population decline of the Japanese sardine Sardinops melanostictus owing to recruitment failures. Can J Fish Aquat Sci 52:1609–1616
- World Bank (2006) Scaling up marine management: the role of marine protected areas. The International Bank for Reconstruction and Development, Washington DC, USA
- Worm B, Barbier EB, Beaumont N, Duffy JE, Folke C, Halpern BS, Jackson JBC, Lotze HK, Micheli F, Palumbi SR, Sala E, Selkoe KA, Stachowicz JJ, Watson R (2006) Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. Science 314:787–790
- Worm B, Hilborn R, Baum JK, Branch TA, Collie JS, Costello C, Fogarty MJ, Fulton EA, Hutchings JF, Jennings S, Jensen OP, Lotze HK, Mace PM, McClanahan TR, Minto C, Palumbi SR, Parma AM, Ricard D, Rosenberg AA, Watson R, Zeller D (2009) Rebuilding global fisheries. Science 325:578–585
- WWF (World Wide Fund for Nature) (2008) Living Planet Report 2008. WWF-International, Gland, Switzerland, pp 1–45

- Yagi N, Takagi AP, Takada Y, Kurokura H (2010) Marine protected areas in Japan: institutional background and management framework. Mar Pol 34:1300–1306
 Yanagi T (2007) Sato-Umi: a new concept for coastal sea management. Terrapub, Tokyo, 94 pp
- Zhang Y, Nakai S, Masunaga S (2009) Simulated impact of a change in fish consumption on intake of n-3 polyunsaturated fatty acids. J Food Comp Anal 22:657-662



Contents lists available at ScienceDirect

Forest Ecology and Management

Forest Ecology and Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/foreco

Early-stage impacts of sika deer on structure and function of the soil microbial food webs in a temperate forest: A large-scale experiment

Shigeru Niwa^{a,*}, Lucero Mariani^a, Nobuhiro Kaneko^a, Hiroaki Okada^b, Kazunori Sakamoto^c

^a Soil Ecology Research Group, Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University, 79-7 Tokiwadai, Hodogaya, Yokohama 240-8501, Japan ^b National Institute for Agro-Environmental Sciences, 3-1-3 Kan'nondai, Tsukuba 305-8604, Japan

^c Graduate School of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo, Chiba 271-8510, Japan

ARTICLE INFO

Article history: Received 1 July 2010 Received in revised form 20 October 2010 Accepted 20 October 2010 Available online 18 November 2010

Keywords: Mammalian herbivore Deer browsing Dwarf bamboo Soil nematode Soil microorganism Nitrogen mineralization

ABSTRACT

Modification of forest vegetation caused by an overabundance of mammalian herbivores has been reported in temperate and subarctic regions all over the world. However, the indirect effects of these herbivores on the structure and functions of soil decomposer systems are not fully understood, especially in temperate forests. We investigated the early effects of sika deer invasion on soil decomposer systems in a Japanese temperate forest using two large-scale experimental enclosures with low and high densities of deer (LD: 25 ha, 4 deer km⁻²; HD: 6.25 ha, 16 deer km⁻²) including control plots without deer (WD). Three years after deer introduction the understory cover of dwarf bamboo (Sasa nipponica) declined due to deer browsing in both enclosures. At the same time, measurements were made of the soil microbial community, soil nematode community, soil nitrogen (N) mineralization rate, and carbon (C) and N content in dwarf bamboo leaves. In LD, soil microbial biomass was lower from WD, probably due to the decrease of fresh aboveground litter from dwarf bamboo. Surprisingly, there were no cascading effects on total abundance of soil nematodes and soil total N mineralization potential which were unaffected by deer in the LD treatment, while soil NH4⁺-N content was lower and soil nematode community structure was different (abundance of 4 families was higher and that of 3 families was lower, but the functional structure was not different) from WD. Specifically, the responses to deer introduction varied between microbes and nematodes, and the change of balance in the microbial food webs may have altered N mineralization processes. In contrast, in the HD treatment, all the variables measured were not significantly different from those of WD treatment. Intensive browsing by deer may have cancelled out the effects of the decrease in aboveground litter input on the soil decomposer systems through other pathways, such as a transitory increase in belowground litter input caused by induced changes in allocation patterns of bamboo. No changes in total N mineralization potential, leaf N, and composition of understory vegetation in both enclosures indicated that deer introduction did not facilitate nor retard N cycling regardless of deer density. This study showed that sika deer browsing can affect soil decomposer systems at an early stage of invasion even at low density, which contrasts with previous studies on the subject. Linking our findings of early-stage effects of deer on soil decomposer systems to longer-term dynamics of understory vegetation and tree regeneration will be needed to evaluate the adequacy of deer management practices with respect to the sustainability of soil nutrient supplies.

© 2010 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Modification of forest vegetation caused by overabundance of mammalian herbivores has been reported in temperate and subarctic regions all over the world (Weisberg and Bugmann, 2003). In temperate forests across Japan, Sika deer (*Cervus nippon* Tem-

E-mail address: sniwa@fsc.hokudai.ac.jp (S. Niwa).

minck) populations have been expanding for the past two decades, and alterations of forest vegetation resulting from the heavy browsing pressure of the deer have become a serious problem (Takatsuki, 2009). Understanding the impacts of mammalian herbivores on the structure and functions of forest ecosystems is required as a basis for the development of appropriate management systems of these mammal populations.

Belowground systems play vital roles in terrestrial ecosystems, such as organic matter decomposition and nutrient mineralization, which enable sustainable primary production in aboveground systems. Activities of large mammalian herbivores can alter the structure and functions of soil decomposer systems resulting from

^{*} Corresponding author. Present address: Tomakomai Experimental Forest, Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, Takaoka, Tomakomai 053-0035, Japan. Tel.: +81 144 33 2171; fax: +81 144 33 2173.

^{0378-1127/\$ -} see front matter © 2010 Elsevier B.V. All rights reserved. doi:10.1016/j.foreco.2010.10.024

the change of the quantity and quality of organic matter supply to the soil (Pastor et al., 1993; Bardgett and Wardle, 2003). In turn, the alteration of soil decomposer systems by mammalian herbivores may affect the regrowth of grazed plants and the structure of the vegetation through changes in nutrient supply (Bardgett and Wardle, 2003). Many studies have shown that the structure of the soil microbial food webs, mainly consisting of microorganisms (bacteria and fungi), microbivores (protozoa and nematode) and predators (nematode), is directly related to nutrient mineralization (Clarholm, 1985; Ingham et al., 1985; Mikola and Setälä, 1998). The community structure of soil nematodes is often used as an indicator of the status of soil decomposer systems because nematodes include various trophic levels in detritus food webs and are sensitive to changes in the soil environment (Bongers, 1990; Bongers and Bongers, 1998; Ferris et al., 2001). However, there are only a few studies which investigated the effects of mammalian herbivores on the structure of soil microbial food webs and soil nematode community in forest ecosystems.

Mammalian herbivores affect quantity and quality (decomposability) of organic matter incorporated into soil thorough various pathways, and the direction of net effects on soil decomposers and nutrient cycling in a certain ecosystem depends on the relative importance of those pathways in the system (Ritchie et al., 1998; Singer and Schoenecker, 2003; Bardgett and Wardle, 2003; Sankaran and Augustine, 2004). Both positive and negative feedback effects of mammalian herbivores on nutrient cycling are known in grassland and shrubland ecosystems. When key nutrientrich plants can sufficiently grow under browsing, herbivory facilitates soil nutrient mineralization due to feces and urine deposition, plant uptake rate of nutrients, and subsequent herbivory on nutrient-rich regrowth. In contrast, when key nutrient-rich plants cannot sufficiently grow under browsing, herbivory leads to a dominance of less palatable plant species which often produce less decomposable litter and retards nutrient cycling in the ecosystem. In forest ecosystems, browsing mammals retard the decomposing processes and nutrient cycling due to the increased dominance of unpalatable tree species when forest vegetation has been under high browsing pressure since the early stage of succession (Pastor et al., 1993). Similarly, when mammalian herbivores invade or expand their population in mature forests, palatability and decomposability of forest floor plants deteriorate due to the browsing induced shifts in species composition (Wardle et al., 2002) and their biomass often decreases (Nomiya et al., 2002). However, directions of the effects of those mammals on decomposer organisms are inconsistent (Wardle et al., 2001), and may be affected by the density of the mammals or the stage of their invasion or population expansion. For example, Wardle et al. (2001, 2002) found that while the dominance of plant species which produce less decomposable litter tended to increase on forest floor by introduced deer and goats, the effects of those browsers on soil microorganisms and nematodes were idiosyncratic (positive, negative, or not detected) among 30 temperate forests in New Zealand. Stark et al. (2008) found no effects of reindeer browsing on soil microorganism and nematode communities in Finnish subarctic forests with high stocks of soil organic matter. The amount of litterfall of understory plants is often much less than that of trees and soil organic matter which are not directly affected by browsing mammals in matured forests. Furthermore, aboveground herbivores can enhance the decomposability of organic matter incorporated into soil by transforming plant tissue into dung, increasing C allocation in plants to root exudates (Holland et al., 1996), and increasing N concentration in plants (Kielland et al., 1997) causing the negative effects of the decrease in understory litter quantity on soil decomposer systems to be cancelled out by the enhanced organic matter decomposability.

In an early stage of invasion or expansion of browsing mammals in a mature forest, understory plants often decline (Nomiya et al., 2002), which may affect the soil decomposer systems, and feedback to maintenance or subsequent succession of understory vegetation. In Japan, deciduous broad-leaved forests often have dense undergrowth of dwarf bamboo which is important forage for sika deer (Takatsuki, 1983; Yokoyama et al., 1996). Dense undergrowth like dwarf bamboo is likely to suppress tree regeneration (Itô and Hino, 2007), prevent soil erosion on slopes (Furusawa et al., 2003), and affect soil processes and nutrient cycling (Nilsson and Wardle, 2005). Therefore, to understand the mechanism of maintenance of understory vegetation under browsing including feedback effects through decomposer systems is important for forest ecosystem management by sustaining natural tree regeneration and nutrient cycling and preventing soil erosion.

Many studies have used exclosures in established populations to investigate the effects of wild mammalian herbivores on soil decomposer systems (Pastor et al., 1993; Kielland et al., 1997; Wardle et al., 2001; Furusawa et al., 2005; Stark et al., 2008). However, unbrowsed plots (inside of exclosures) in such studies might be in the process of change after the release from browsing pressure. Moreover, changes of soil functioning in an early stage of invasion or expansion of browsing mammals would be overlooked even if exclosures were established as soon as the vegetation changes caused by these mammals were detected. Therefore, large-scale experimental introductions of mammalian herbivores to uninhabited areas are necessary to determine the early-stage effects, to establish pure control sites never affected by these mammals, and to estimate the ecosystem-level effects of the mammals which would not be adequately estimated by the simulation of browsing. Unfortunately such large-scale experiments are often inadequately replicated due to the vast areas and substantial costs involved (Oksanen, 2001). Although there are some studies about deer effects on forest vegetation with replicated large-scale enclosures (Horsley et al., 2003; Tremblay et al., 2006), browser effects on decomposer systems were uninvestigated.

To investigate the effects of deer on forest ecosystem, the Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI) conducted a large-scale experiment introducing sika deer in a temperate deciduous broad-leaved forest in Japan (Horino and Nomiya, 2008). We determined the early-stage effects of the deer population on N mineralization and community structures of soil microorganism and nematode three years after the installation of this experiment to test following alternative hypotheses: (a) abundance of microorganisms and nematodes and N mineralization in soil decrease with deer introduction without significant changes in community structure, resulting from decrease of litter input; (b) abundance of microorganisms and nematodes and N mineralization in soil are unaffected or increase with deer introduction with significant changes in community structure indicating enrichment of organic resource quality, resulting from enhanced organic matter quality cancelling or overcoming effects of decrease in quantity.

2. Methods

2.1. Study site

This study was carried out in a deer introduction experimental site of FFPRI in the northern part of Ibaraki Prefecture, Japan (36°47′N, 140°32′E; 650–800 m altitude; Fig. 1a). Sika deer were extirpated from this area probably by hunting, and the forest has not been affected by large mammalian herbivores except low density of Japanese wild boars (*Sus scrofa leucomystax* (Temminck et Schlegel)) for more than 100 years. Deer recolonization from the north has not occurred because surviving populations of sika deer



Fig. 1. The location (a) and plot plan (b) of the experimental deer enclosures constructed by FFPRI. (a) Dots represent the areas where inhabitation of sika deer was confirmed in 1978 (light gray), 2003 (dark gray), and both years (gray) in the eastern part of Honshu island (modified from Biodiversity Center of Japan, 2004).

are far north from the study site and land development should limit their dispersal. Deer recolonization from the west and south has also been prevented probably by land development. To investigate the effects of deer inhabitation on forest ecosystems, two largescale enclosures (6.25 ha and 25 ha) were established in this forest and one female deer was introduced in each of them in 2002 by FFPRI to set the density of deer 16 and 4 deer km⁻², respectively (Horino and Nomiya, 2008; Fig. 1b). The density of 4 deer km^{-2} is considered not to have large impact on vegetation, while that of $16\,deer\,km^{-2}$ is considered to retard vegetation substantially (Kaji et al., 2004). The sizes of these enclosures are smaller than the annual home range size of a non-migrating female sika deer in cool temperate forests in Japan ranging from 69 to 353 ha (Igota et al., 2004). There were no replication enclosures for the two deer densities because to establish and maintain many large-scale enclosures with realistic habitat size and density of deer was not feasible.

The monthly average temperature ranged from -2.3 °C to 22.5 °C, and the annual precipitation was about 2000 mm at this site (Horino and Nomiya, 2008). The soil was a typical Andosol, which is a highly porous soil developed from volcanic ash. Most of understory plants available for deer were in a broad-leaved deciduous forest occupying approximately 25% of the area in each enclosure, while 74% of each enclosure was a plantation of Japanese cedar (Cryptomeria japonica (L. fil.) D. Don) and Japanese cypress (Chamaecyparis obtusa (Sieb. et Zucc.) Endl.) with a scarce undergrowth. The tree layer of this broad-leaved forest included Carpinus tschonoskii Maxim., Castanea crenata Sieb. et Zucc., Clethra barvinervis Sieb. et Zucc., Swida controversa (Hemsl.) Soj., and Pinus densiflora Sieb. et Zucc., and the understory layer was dominated by dwarf bamboos, including Sasa nipponica Makino et Shibata, Sasamorpha borealis (Hack.) Nakai, and Sasaella ramosa Makino (Nomiya et al., unpublished results). S. nipponica is the major food of sika deer in many habitats (Takatsuki, 1983; Yokoyama et al., 1996) and represented more than 50% of understory plant biomass in this broad-leaved deciduous forest.

2.2. Sampling

Before deer introduction, three 10×10 -m exclosures were erected for each enclosure in the deciduous forest with a dense understory cover of *S. nipponica*. In July 2002 we established six 2×2 -m plots in the deciduous forest of each enclosure. We sampled these six browsed plots and the three 10×10 -m exclosures

(unbrowsed) in each enclosure. To determine the browsing intensity, we counted the number of live and browsed leaves of *S. nipponica* in November 2002, March, May, July, October 2003, April and October 2004, in the six browsed plots in each enclosure. Soil and leaf samples were taken in October 2005, three years after deer introduction. For each plot, eight soil cores (internal diameter 2.2 cm, 0–10 cm mineral soil) were collected and thoroughly mixed. A 40-g (fresh mass) aliquot of each sample was used for nematode extraction, and the remainder was sieved (<4 mm mesh) to measure soil properties and microbial profiles. Leaves of *S. nipponica* randomly chosen on 6 culms were collected for each plot except two plots in LD where we failed to collect leaf samples.

2.3. Phospholipid fatty acids

To assess the biomass and structure of the soil microbial community, the phospholipid fatty acid (PLFA) composition of the soil was analyzed. Lipid extraction was carried out using the modified method of Frostegård et al. (1991). Lipids in 1g of freeze-dried soil were extracted, and the phospholipid content was fractionated on silicic acid columns. Fatty acid methyl-esters separated from phospholipids were identified and quantified using the Sherlock Microbial Identification System (MIDI, Newark, DE, USA). The abundance of total fatty acids was used as an indicator of the soil microbial biomass. The fatty acids 15:0, a15:0, i15:0, i16:0, 17:0, a17:0, i17:0, cy17:0, 18:1 ω 7, and cy19:0 were used to estimate bacterial biomass, and $18:2\omega 6$ was used to estimate fungal biomass (Frostegård and Bååth, 1996). The ratio of fungal to bacterial PLFAs was used as an indicator of the ratio of fungal to bacterial biomass (Frostegård and Bååth, 1996). The fatty acids 10Me16:0, 10Me17:0, and 10Me18:0 were used to estimate actinobacterial biomass.

2.4. Nematodes

Soil nematodes were extracted into water from 40 g (fresh mass) of soil for each plot using the modified tray method of Whitehead and Hemming (1965) as described in Niwa et al. (2008). The abundance of nematodes in 1/20 in volume of each nematode suspension was counted. For each sample, 100 individuals were randomly chosen, identified to family level, and classified into trophic groups and colonizer-persister (c-p) groups, according to Yeates et al. (1993) and Bongers and Bongers (1998), respectively. Nematodes with a lower c-p score generally have a shorter generation time, higher

reproduction rate, and higher tolerance to pollution and disturbance (Bongers and Bongers, 1998).

To assess differences in decomposition systems across the plots, several indices of nematode community structure (Appendix B) were calculated, including the ratio of fungivores to bacterivores (F/B). The maturity index (MI), which indicates soil eutrophication and disturbance, was calculated as the weighed average of c-p values for each free-living family (Bongers, 1990). The plant parasite index (PPI) (Bongers, 1990) was also calculated, which corresponds to MI for plant parasite nematodes. Three more detailed community indices defined by Ferris et al. (2001) were also calculated: the enrichment index (EI), indicating improvement of resource availability; the structure index (SI), indicating physical and chemical disturbance; and the channel index (CI), indicating relative importance of fungal and bacterial pathways in the decomposition system.

2.5. Leaf and other soil properties

The C and N contents of oven dried soils and leaves of S. nipponica were determined using a Sumigraph NC analyzer (Sumigraph NC-95A; Sumika Chemical Analysis Service, Osaka, Japan). Because dwarf bamboo leaves contain large amount of ash (15-30% of total mass), we express its C and N contents as proportions of the organic matter (ash free dry mass). To measure water-soluble organic C in the soil, a 3-g (equivalent dry mass) subsample was shaken in 36 ml of deionized water for 1 h. The dissolved C content of the suspension was determined using an organic carbon analyzer (TOC 5000-A; Shimadzu, Kyoto, Japan) after filtration with a filter paper (No. 5C; Advantec, Tokyo, Japan) and a PVDF membrane filter (0.45 µm, Millex-HV; Millipore, Billerica, MA, USA). To measure inorganic soil N, a 3-g (equivalent dry mass) subsample was shaken in 36 ml of 1 M KCl solution for 1 h. After filtration with No. 5C filter paper, ammonium and nitrate N contents of the suspension were determined colorimetrically using a continuous flow analyzer (Integral Futura; Alliance Instruments, Frépillon, France). To measure potential N mineralization (potential nitrification plus potential ammonification), the water content of a 3-g (equivalent dry mass) subsample was adjusted to 60% of its water-holding capacity, and the soil was incubated at 25 °C for 28 days. After incubation, inorganic N was extracted and determined as above. The net potential N mineralization rate was estimated by dividing the net increase in inorganic N during the incubation period by the number of incubation days.

2.6. Statistical analyses

Due to the very small size of our data set, the presence of heterogeneity of within-group variances (heteroscedasticity) and non normal distributions, distribution-free statistics were adopted. Multivariate analyses were performed for the PLFA profiles and the nematodes families because we need to test hypotheses on the whole assemblages at once. For the other variables, multivariable analyses were conducted in order to test global hypotheses, i.e. to test whether there was one difference between all groups of plots regarding all the variables at once. Mean and coefficient of variation of the mean in percent (standard error of the mean/mean \times 100) were used to describe the variables in order to compare the variability between groups and variables.

Distribution-free MANOVAs were performed by running redundancy analyses (RDA) associated with Monte Carlo permutation testing (Anderson, 2001) to test whether there was a difference between protected plots (WD), plots with low density of deer (LD) and plots with high density of deer (HD) regarding PLFA profiles, nematode families, nematodes trophic groups and indices, and other soil and leaf properties. We used two dummy variables to code for these three groups (Legendre and Anderson, 1999). Nematode densities for each family and single PLFA concentrations were transformed in order to preserve the chord distance between sites before performing a distance-based RDA (Legendre and Anderson, 1999). In this way, relative densities of nematode families and relative concentrations for PLFA molecules were analyzed. Each leaf property contained two missing values that were replaced by random sorted values within the same group of sites (hot deck imputation, Little and Rubin, 2002).

For univariate pair-wise post hoc comparisons of means, *t* tests were computed using RDA associated with Monte Carlo permutations. For community analysis of nematodes and microbes (PLFA), we regard these variables that have a correlation coefficient with the canonical axes greater than the mean as making meaningful contributions to the canonical axes (Heuer and Smalla, 1997).

However, permutation testing is impaired by heteroscedasticity as an important assumption behind a permutation test is that the observations are exchangeable under the null hypothesis (Hayes, 1996). In this case, a significant relationship might mean that the within-group variances are different but that the means do not differ significantly. We used the canonical coordinates of the samples in the space of the dependent variables to calculate within-group variances and to check whether the groups overlapped (Legendre and Anderson, 1999; Mariani et al., 2006). In this paper, all significant tests were due to differences between means and not differences between intra-group variances.

Spatial autocorrelation and broad-scale spatial structure in both the response and environmental variables affect all the tests of significance for correlation or regression coefficients (Legendre et al., 2002). In the presence of spatial structure, the observations are not independent and the number of degree of freedom cannot be deduced from the number of observations. Due to the sampling design and the presence of the two enclosures side by side, the independent variables are strongly structured in space. Consequently, the response variables affected by the experiment are also structured in space. In such case, it is recommended to model the spatial structure and remove it (Legendre et al., 2002; Dormann et al., 2007) or to use a test modified for autocorrelated data (Legendre et al., 2002; Dutilleul et al., 1993). Unfortunately, it was not possible to follow any of these recommendations due to the small size of the data set and the strong spatial structure. Nonetheless, inferential statistics are helpful to decide whether the apparent pattern in samples reflect real pattern in the statistical populations and appropriate replication will have to be obtained in the future through meta-analysis (Oksanen, 2001).

Spearman's *R* correlation coefficients represent the proportion of common variation between the ranks of the two variables being compared. For the 35 variables shown in Table 1 (all measured variables except for concentrations of single PLFA and abundances of single nematode families), 595 simultaneous correlation tests were performed. We applied Hochberg's method to correct for multiple testing (Hochberg, 1988; Legendre and Legendre, 1998).

3. Results

3.1. Correlations among soil properties

When all 18 data points (three treatments with six pseudoreplications) were considered, total and bacterial (ρ =0.9835, corrected *p*=0.0055), total and actinobacterial (ρ =0.8122, corrected *p*=0.0291), and bacterial and actinobacterial PLFA contents (ρ =0.8246, corrected *p*=0.0118) were significantly and positively correlated. The total abundance of nematodes was significantly and positively correlated with abundances of c-p 2 (ρ =0.8225, corrected *p*=0.0142) and c-p 3 (ρ =0.8452, corrected *p*<0.0001) nematodes. Total N content of soil was significantly and positively

Table 1

Means and coefficients of variation in percent (in parentheses) of (a) leaf and soil total contents and mineralization rates, (b) PLFA relative concentrations, (c) nematode trophic groups and indices, in plots with low density of deer (LD), plots with high density of deer (HD) and protected plots (WD). Six plots per treatment.

| Measures | LD | HD | WD |
|--|--------------------------|------------|------------------|
| (a) | | | |
| Leaf C ^a (g g ⁻¹ organic matter) | 0.50(1) | 0.52(7) | 0.51 (3) |
| Leaf N ^a (gg^{-1} organic matter) | 0.03 (2) | 0.03 (8) | 0.03 (4) |
| Leaf C/N ^a | 14.8(1) | 15.2 (6) | 15.2 (5) |
| Soil water (g g^{-1} dry soil) | 1.6 (5) | 1.6(7) | 1.5 (15) |
| Soil C (g g^{-1} dry soil) | 0.18 (6) | 0.20 (9) | 0.18 (18) |
| Soil N (g g ⁻¹ dry soil) | 0.01 (6) | 0.01 (10) | 0.01 (15) |
| Soil C/N | 14.5 (2)# | 15.9(3) | 15.0 (4) |
| Soil WSOC ^b (μ g g ⁻¹ dry soil) | 125(7) | 166(34) | 155(19) |
| Soil NH ₄ ⁺ -N ($\mu g g^{-1}$ dry soil) | 2.9 (11)* | 3.5 (11) | 4.4 (18) |
| Soil NO ₃ ⁻ -N (μ g g ⁻¹ dry soil) | 26.9 (4) | 24.8 (19) | 23.6 (19) |
| Soil net NH4 ⁺ -N production (µg g ⁻¹ dry soil day ⁻¹) | 0.05 (68) ^{*,#} | -0.04 (51) | -0.10 (32) |
| Soil net NO ₃ ⁻ -N production (µg g ⁻¹ dry soil day ⁻¹) | 5.9 (18) | 5.4 (31) | 5.1 (24) |
| Total PLFAs (nmol g ⁻¹ dry soil) | $514(6)^{*,\#}$ | 623(15) | 631(8) |
| Total nematodes (indiv. g ⁻¹ dry soil) | 282(14) | 394(39) | 330(24) |
| (b) | | | |
| Bacterial (mol%) | 515(1) | 509(0) | 512(1) |
| Fungal (mol%) | 14(9) | 18(12) | 17(9) |
| Bacterial/fungal | 0.03(9) | 0.04(12) | 0.03(10) |
| Actinobacterial (mol%) | 1.5 (15) | 1.6 (16) | 1.5 (15) |
| | | | |
| (C) Restariusza (Windiu z=1 dzu sail) | FF 9 (2) | 49.2 (C) | |
| Europieros (% indiv.g * dry soil) | 55.6 (5) 12.2 (20)# | 46.3 (0) | 10.8 (G) |
| Algivoros ($\%$ indiv. g = 1 dry soil) | 15.2 (20) 2.0 (22)# | 25.5 (15) | 19.8(0) |
| Phizovores (% indiv.g = 1 dry soil) | 2.0(22) | 4.3(15) | 2.0(29) |
| Dredators (% indiv. $g = 1$ dry soil) | 12(16)# | 14.4(10) | 12(22) |
| Ompivoros ($\%$ indiv.g = 1 dry soil) | 6.0 (25) | 2.3 (42) | 5.0(15) |
| Fungivores/bacterivores | 0.0(23) | 0.55 (21) | 0.36(9) |
| $c_{-n} = 1$ (indiv $\sigma^{-1} dry soil)$ | 2 2 (28) | 65(51) | 6.8 (22) |
| $c_p 2$ (indiv. g^{-1} dry soil) | 109(18) | 177(22) | 136(10) |
| $c_{-p} \ge (indiv.g = dry sol)$ | 101(15) | 146(17) | 133(13) |
| $c-p = 4$ (indiv g^{-1} dry soil) | 560(13) | 538(18) | 44.7 (16) |
| $c-n 5$ (indiv g^{-1} dry soil) | 24(59) | 35(67) | 29(42) |
| Maturity index | 29(2) | 27(2) | 2.5(12) 27(2) |
| Plant narasite index | 2.5(2) 24(4) | 24(6) | 24(3) |
| Enrichment index | 389(10) | 435(5) | 450(6) |
| Structure index | 847(3) | 76.5 (3) | 791(3) |
| Channel index | 73.9 (15) | 80.5 (11) | 70.7 (7) |
| | ···· 、 · / | | |

^a Four plots for LD.

^b Water soluble organic C.

Significant differences from WD as indicated by post hoc tests carried on when the global test was significant.

[#] Significant differences from HD as indicated by post hoc tests carried on when the global test was significant.

correlated with total C content (ρ = 0.9463, corrected p = 0.0016) and water content of soil (ρ = 0.8473, corrected p < 0.0001). Ratios of fungal-to-bacterial PLFA content and fungivorous-to-bacterivorous nematode abundance were significantly and positively correlated with relative concentrations of fungal PLFA and relative abundance of fungivorous nematodes, respectively (ρ = 0.8679, corrected p < 0.0001, and ρ = 0.9767, corrected p < 0.0001, respectively). Maturity index of nematodes was significantly and positively correlated with the structure index of nematodes (ρ = 0.9427, corrected p < 0.0001).

3.2. Browsing intensity of deer

Deer browsing on *S. nipponica* was concentrated in winter. In HD, 46% (14%) and 51% (5%) on average (coefficient of variation) of leaves of *S. nipponica* were browsed by deer in the first and second winter, respectively, and 4.5% (14%) of leaves were browsed in the second summer. In LD, 0.3% (100%) and 1.0% (67%) of leaves of *S. nipponica* were browsed in the first and second winter, respectively, and 1.3% (34%) of leaves were browsed in the second summer. In contrast, each autumn, no browsing was observed in the plots.

Three years after deer introduction, the aboveground biomass of *S. nipponica* was significantly reduced by deer with rates of 24.5% (42%) and 53.5% (37%) on average (coefficient of variation)

in the low and high density enclosures, respectively (Nomiya et al., unpublished data; variance explained 41%, F=6.967, p=0.0280, three replicates per group), while the decrease rates in the two enclosures were not significantly different from each other (variance explained 29%, F=1.667, p=0.3170).

3.3. Leaf and soil total contents and potential mineralization rates

Reflecting the small differences between means and the small variability intra-group, leaf C, N and C and N ratio were not significantly different between plots (Table 1a, variance explained 14.3%, F = 1.247, p = 0.2750).

Multivariate means of soil total contents and potential mineralization rates were significantly different between plots (variance explained 25.9%, F=2.622, p=0.002). Post hoc tests revealed that LD were different from WD (variance explained 23.3%, F=3.031, p=0.0050) and from HD (variance explained 22.0%, F=2.813, p=0.0140) while WD and HD were not different from each other (variance explained 15.6%, F=1.852, p=0.0520).

The difference between LD and HD was due to a ratio of soil C to soil N and a total PLFA concentration significantly higher in HD and a significantly higher net potential production rate of NH_4^+ -N in LD (Table 1a, post hoc tests not shown). The browsing effect in LD was due to significantly higher soil NH_4^+ -N content, total



Fig. 2. Soil total contents and mineralization rates significantly different between the protected plots (WD) and plots with low density of deer (LD) (post hoc *t* tests conducted by 999 permutations): contents of NH_4^+ -N (a), net production rates of NH_4^+ -N (b), and total amount of phospholipid fatty acids (PLFA) (c). HD: plot with high density of deer. Mean \pm standard error.

PLFA concentration in WD and a significantly higher net potential production rate of NH_4^+ -N in LD (Fig. 2, post hoc tests not shown). Actually, there was a net fixation of NH_4^+ -N in WD and HD (Table 1a, post hoc tests not shown). Soil contents in water, C, N, water soluble organic C, NO_3^- -N pools, total nematodes, and the net potential production rate of NO_3^- -N were not significantly different among plots (Table 1a, post hoc tests not shown).

3.4. Structure of the microbial communities

The relative concentration of bacterial, fungal and actinobacterial PLFAs and the ratio bacterial to fungal PLFAs were very similar in WD, LD and HD (Table 1b) with overall means (coefficient of variation) of 51.2% (1%), 1.6% (6%), 1.5% (8%) and 0.03 (6%), respectively. There were no differences among plots for these variables (variance explained 13.4%, F= 1.164, p=0.3300).

A subset of 22 PLFAs representing 97% of the total concentration were included in a distance based RDA. These PLFA profiles were not significantly different among plots (variance explained 19.0%, F = 1.759, p = 0.1430).

3.5. Structure of the nematode communities

A total of 31 families of nematode were found (Appendix A). Overall mean (coefficient of variation) of nematode abundance was $335 \, \mathrm{g}^{-1}$ dry soil (8%), and abundances of bacterivores and fungivores accounted for 53.2% (3%) and 19.4% (10%), respectively. While c-p 1 nematodes, which is the most opportunistic group in soil free-living nematodes, accounted for only 1.56% (22%), C-p 2 and 3 nematodes with lower reproductive rates and lower tolerance to disturbance than c-p 1 nematodes accounted for 41.1% (5%) and 37.7% (5%) of total abundance, respectively. As a result, the nematode community had low enrichment index (42.5 (4%)) and high structure index (80.1 (2%)), which are characteristic of forest and undisturbed grassland ecosystems (Ferris et al., 2001).

A subset of 19 families of nematodes corresponding to 95% of the total density and 61% of total number of families were included in a distance based RDA (data not shown). These community profiles were significantly different between plots (variance explained 22.2%, F=2.143, p=0.0050). Post hoc tests revealed that LD were different from WD (variance explained 17.3%, F=2.098, p=0.0100) and from HD (variance explained 20.8%, F=2.621, p=0.0150) while WD and HD were not different from each other (variance explained 13.5%, F=1.562, p=0.1460). Browsing effect at LD was due to 7 families, 4 of which had a greater relative density in LD of deer, Alaimidae, Bastianiidae, Steinernematidae and Paratylenchidae, while Bunonematidae, Teratocephalidae and Aphelenchoididae had a greater relative density in WD (Fig. 3). In turn, the difference between LD and HD was due to 10 families, half having a greater



Fig. 3. Nematode families contributing to the difference between nematode communities in the protected plots (WD) and plots with low density of deer (LD). HD: plot with high density of deer. Mean of relative abundance of each family \pm standard error.

relative density in LD, Alaimidae, Qudsianematidae, Bastianiidae, Steinernematidae and Paratylenchidae, and the other half having a greater relative density in HD, Achromadoridae, Monhysteridae, Rhabdolaimidae, Bunonematidae and Aphelenchoididae.

Nematode trophic groups and the ratio of fungivores to bacterivores were significantly different among the three groups (variance explained 36.5%, F=4.215, p=0.0210). Specifically, LD were different from HD (variance explained 38%, F=6.065, p=0.0200) with fungivores, algivore and predators nematodes as well as the ratio of fungivores to bacterivores greater in HD (Table 1c). Other nematode trophic indices were not significantly different among plots (variance explained 14%, F=1.221, p=0.2920).

4. Discussion

4.1. Aboveground litter input from dwarf bamboo

This early stage of deer invasion is characterized at the study site by the beginning of an understory vegetation decline, with a large decrease of size and biomass of aboveground part of *S. nipponica* and a large increase of density of its culms in the high density enclosure (Matsuo et al., 2004). These are typical responses of *S. nipponica* to intensive browsing by deer (Yokoyama and Shibata, 1998; Terai and Shibata, 2002). Because the longevity of aboveground parts of *S. nipponica* is approximately 13 months on average (Agata and Kamata, 1979), the significant decrease of aboveground biomass of *S. nipponica* significantly decreased in both enclosures due

to deer introduction. Leaves of browsed plants often show higher N content and lower C to N ratio than those of unbrowsed plants (Kielland et al., 1997), which may be partly explained by improved supply rate of plant available N in soil by browsing (Hamilton and Frank, 2001). Our findings that C and N content and C to N ratio of dwarf bamboo leaves were not different among treatments were consistent with the results of soil N mineralization potential which was not affected by deer introduction. Consequently, our results suggest that sika deer cause significant decrease in the quantity of aboveground litter input from understory dwarf bamboo at low and high density of deer in the early stage of its invasion, while deer do not affect the quality or decomposability of its leaf litter in terms of N content and C to N ratio.

4.2. Effects of sika deer on the abundance and community structure of microorganisms and nematodes in soil

In LD, the decrease of fresh aboveground litter from dwarf bamboo probably caused the decline of microbial biomass without significant changes in community structure. However, no cascading effects were found on the total abundance of nematodes. These results suggest that the abundance of microbivorous nematodes was not regulated by microbial biomass, which were consistent with the previous findings from other ecosystems (Santos et al., 1981; Wardle and Yeates, 1993). These studies suggested that microbivorous nematodes were regulated by predation of predatory nematodes in agro-ecosystems (Wardle and Yeates, 1993) and mites in a desert ecosystem (Santos et al., 1981). Our results do not suggest the top-down regulation of microbivorous nematodes by predatory nematodes, because no correlation was found among microbial biomass, and microbivorous and predatory nematode abundance unlike Wardle and Yeates (1993). Therefore, other predators, such as mites, would have regulated the abundance of microbivorous nematodes in this site.

In HD, the above ground litter from dwarf bamboo decreased as much as in LD. Yet the abundance and assemblage of organisms in the microbial food webs were not affected in HD. Although we did not measure the amount of belowground litter, these contradictory results suggest an increase of belowground litter input from dwarf bamboo in HD. For instance, Terai and Shibata (2002) found that the belowground biomass of *S. nipponica* did not decrease under moderate browsing of sika deer while it largely decreased under intensive browsing. As a result, high browsing pressure may generate additional root litter from dwarf bamboo at an early stage, while moderate browsing pressure may not affect it. Therefore, in a forest with understory cover dominated by *S. nipponica*, the effects of a high density of deer on the decomposer system may be delayed due to a transient increase of belowground litter input of the bamboo.

In general, mammalian herbivores enhance the decomposability of organic matter incorporated into soil decomposer systems by increasing C allocation to root exudates and transforming plant tissue into dung, both of which are more decomposable than leaf litter (Hobbs, 1996; Bardgett and Wardle, 2003). However, at the study site we observed no shifts in nematode community structures indicative of enhancement of litter quality, such as increases in abundance of opportunists and enrichment index and decrease in maturity index (Bongers and Bongers, 1998; Ferris et al., 2001). Consequently, it is unlikely that the improvement of organic matter quality offset the effects of the decrease of aboveground litter quantity. In contrast, Niwa et al. (2008) found short-term responses of soil microbial food webs to simulated deer browsing in summer suggesting an increase of C allocation to root exudates in S. nipponica. In our field experiment, deer browsing on bamboo was actually not found in autumn when the sampling occurred and logically no effect of deer density was observed on C allocation to root exudates. Moreover, sika deer deposits dung in a very pachy manner and on

average the effects of dung on decomposer systems may have been very limited.

Similar to our results in HD, three years of deer exclusion did not affect microbial biomass in mineral soil in a temperate forest inhabited by high density of sika deer $(17.5-30.9 \,\text{deer}\,\text{km}^{-2})$ whereas aboveground biomass of S. nipponica increased by 5.5 times (Furusawa et al., 2005). In subarctic birch forests, 20-year exclusion of intensive reindeer grazing did not affect biomass nor PLFA profiles of microorganisms, neither trophic group composition and abundance of nematodes in soil whereas ground vegetation and birch litter quality markedly changed (Stark et al., 2008). These studies suggest that it takes longer term than their experimental periods for the aboveground changes caused by deer exclusion to affect soil microbes and nematodes which seemed to be constrained by organic matter content in soil (Furusawa et al., 2005; Stark et al., 2008). In contrast, our results in LD showed that soil microbial biomass can rapidly respond to the decline of forest floor vegetation in three years without significant correlation with soil C content, suggesting that dependence of microbes on fresh organic matter input from understory plants was greater in this forest than the forests in the previous studies.

4.3. Effects of sika deer on the N mineralization functions in soil

In LD, the decrease of microbial biomass did not affect potential net N mineralization rate. This lack of cascading effects suggests that neither the activity of the microbial biomass nor the total activity of microbivores which release the N immobilized by microbes were altered by the introduction of deer at low density.

In turn, the decrease of soil NH₄⁺-N content and the stability of soil total inorganic N content in LD suggest a stimulation of NH₄⁺ consumption *in situ*. This mechanism is consistent with the decrease of microbial biomass in these plots when we take into account that bacterivory by protozoa often stimulate nitrifying bacteria, presumably through predation on their faster-growing competitors (Bonkowski, 2004). In fact, in LD, bacterial biomass decreased but bacterivorous nematodes did not which might have increased the predation pressure on bacteria. Consequently, nitrifying bacteria may have been stimulated in LD.

In contrast, the potential of NH_4^+ consumption was reduced by the introduction of deer at low density with an increase of potential net ammonification associated to a stability in potential net N mineralization and potential net nitrification. In these plots, the activity of NH_4^+ consuming microbes may have been lower due to the lower amount of NH_4^+ in the soil.

No changes in N mineralization potential, leaf N content of dwarf bamboo, and species composition of understory vegetation in both enclosures indicated that deer introduction did not facilitate nor retard N cycling in the forest ecosystem in three years regardless of deer density. The facilitation effects of feces (Pastor et al., 1993) and root exudates (Hamilton and Frank, 2001) on N mineralization in soil may have been spatially and temporally limited in the forest ecosystem where smaller part of NPP was consumed by mammalian herbivores than grasslands. On the other hand, stability of N mineralization may contribute to the longer term persistence of bamboo. However, if dwarf bamboo continues declining and composition of understory vegetation changes, deer would retard N cycling in the long term.

Some studies with large-scale enclosures of white-tailed deer in North America suggested a management objective of 7.5–15 deer km⁻² to maintain forest regeneration (Tilghman, 1989; Tremblay et al., 2006). Similarly, Hino et al. (2003) proposed that sika deer density should be controlled below 5–10 deer km⁻² to maintain forest regeneration in a mixed forest with dwarf bamboo undergrowth. In the future, linking our findings of early-stage effects of deer on soil N dynamics to longer-term dynamics of dwarf

bamboo, compositional change in understory vegetation, and tree regeneration and verifying the adequacy of the management objectives above in perspective of sustainability of soil nutrient supply will be needed.

Acknowledgements

We thank Dr. Shin-Ichi Horino and Haruto Nomiya (Forestry and Forest Products Research Institute) for use of the experimental site and unpublished data and for supporting our fieldwork. We also thank Dr. Shigeki Masunaga (Yokohama National University) for use of the organic carbon analyzer, Dr. Hirosuke Oba (University of Tokyo) for technical guidance on PLFA analysis, and Dr. Reiji Fujimaki (Shimane University) for assistance in measuring inorganic nitrogen. Lucero Mariani was supported by the Postdoctoral Fellowship for Foreign Researcher from the Japan Society for the Promotion of Science. This study was supported by the twentyfirst Century Centers of Excellence Program (Environmental Risk Management for Bio/Eco-Systems), Global Centers of Excellence Program (Global Eco-Risk Management from Asian Viewpoints).

Appendix A. Mean density (coefficient of variation of the mean in percent) and percent of the total density of nematodes for each feeding group and each family over all plots

| Families | indiv. g ⁻¹ dry soil | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------|--|--|
| | Mean | % of total density | | |
| Bacterivores | | | | |
| Alaimidae | 33.2 (12) | 9.9 | | |
| Monhysteridae | 7.6 (21) | 2.3 | | |
| Prismatolaimidae | 34.9 (9) | 10.4 | | |
| Bastianiidae | 4.2 (28) | 1.2 | | |
| Leptolaimidae | 1.4 (45) | 0.4 | | |
| Plectidae | 21.4(18) | 6.4 | | |
| Rhabdolaimidae | 23.0 (16) | 6.9 | | |
| Bunonematidae | 2.4 (34) | 0.7 | | |
| Cephalobidae | 13.5 (16) | 4.0 | | |
| Rhabditidae | 2.0 (31) | 0.6 | | |
| Teratocephalidae | 30.2 (13) | 9.0 | | |
| Diplogasteridae | 0.73 (61) | 0.2 | | |
| Fungivores | | | | |
| Diphtherophoridae | 1.9 (37) | 0.6 | | |
| Leptonchidae | 0.99 (84) | 0.3 | | |
| Aphelenchoididae | 41.3 (19) | 12.3 | | |
| Tylenchidae/Anguinidaeª | 24.4 (18) | 7.3 | | |
| Rhizovores | | | | |
| Tylenchidae/Anguinidae ^a | 24.4(18) | 7.3 | | |
| Belondiridae | 0.20(100) | 0.1 | | |
| Longidoridae | 0.30(77) | 0.1 | | |
| Trichodoridae | 0.20(100) | 0.1 | | |
| Criconematidae | 6.6 (38) | 2.0 | | |
| Hoplolaimidae | 12.2 (27) | 3.7 | | |
| Paratylenchidae | 6.8 (46) | 2.0 | | |
| Pratylenchidae | 2.5 (45) | 0.7 | | |
| Algivores | | | | |
| Achromadoridae | 10.4 (25) | 3.1 | | |
| Predators | | | | |
| Tripylidae | 0.69(61) | 0.2 | | |
| Mononchidae | 3.3 (21) | 1.0 | | |
| Anatonchidae | 1.3 (55) | 0.4 | | |
| Omnivores | | | | |
| Aporcelaimidae | 1.6 (34) | 0.5 | | |
| Qudsianematidae | 12.3 (16) | 3.7 | | |
| Thornenematidae | 1.2 (44) | 0.3 | | |
| Insect parasites | | | | |
| Steinernematidae | 4.8 (29) | 1.4 | | |
| Unidentified | 3.5 (22) | 1.0 | | |
| Total | 335(8) | 100 | | |

^a Half of the Tylenchidae/Anguinidae was designated rhizovores and halffungivores, as the feeding habits of this group included both root and fungal feeding.

Appendix B. Theoretical ranges and interpretation of indices of nematode community structure

| Index | Theoretical range | Interpretation |
|---|----------------------|---|
| F/B | 0–∞ | Relative importance of fungal pathway versus bacterial pathway in decomposing system. |
| Maturity index (MI) ^a | 1–5 | Indicating more stable and less eutrophicated soil environment for free-living nematodes. |
| Plant parasite index (PPI) ^a | 1–5 | Indicating more stable and less eutrophicated soil environment for plant-parasitic nematodes |
| Enrichment index (EI) ^b | 0-100 | Indicating improvement of resource availability. |
| Structure index (SI) ^b | 0-100 | Indicating development of community structure, or stability of soil environment with low physical and chemical disturbance. |
| Channel index (CI) ^b | 0–100 | Indicating relative importance of fungal pathway versus bacterial pathway in decomposing system. |
| ^a Bongers (1990). | | |

^b Ferris et al. (2001).

References

Agata, W., Kamata, E., 1979. Ecological characteristics and dry matter production of some native grasses in Japan I. Annual growth pattern of Sasa nipponica community. J. Jpn. Soc. Grassl. Sci. 25, 103-109 (in Japanese with English abstract).

Anderson, M.J., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. Austral Ecol. 26, 32-46.

Bardgett, R.D., Wardle, D.A., 2003. Herbivore-mediated linkages between aboveground and belowground communities. Ecology 84, 2258-2268.

Biodiversity Center of Japan, 2004. The National Survey of the Natural Environment Report of the Distributional of Japanese Animals (Mammals). Biodiversity Center of Japan, Fujiyoshida, 213 pp.

Bongers, T., 1990. A maturity index, an ecological measure of environmental disturbance based on nematodes species composition. Oecologia 83, 14-19.

Bongers, T., Bongers, M., 1998. Functional diversity of nematodes. Appl. Soil Ecol. 10, 239-251

Bonkowski, M., 2004. Protozoa and plant growth: the microbial loop in soil revisited. New Phytol. 162, 617-631.

Clarholm, M., 1985. Interactions of bacteria, protozoa and plants leading to mineralization of soil nitrogen. Soil Biol. Biochem. 17, 181-187.

Dormann, C.F., McPherson, J.M., Araujo, M.B., Bivand, R., Bolliger, J., Carl, G., Davies, R.G., Hirzel, A., Jetz, W., Kissling, W.D., Kuhn, I., Ohlemuller, R., Peres-Neto, P.R., Reineking, B., Schroder, B., Schurr, F.M., Wilson, R., 2007. Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: a review. Ecography 30, 609–628

Dutilleul, P., Clifford, P., Richardson, S., Hemon, D., 1993. Modifying the t test for assessing the correlation between two spatial processes. Biometrics 49, 305-314.

Ferris, H., Bongers, T., de Goede, R.G.M., 2001. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. Appl. Soil Ecol. 18, 13 - 29

Frostegård, Å., Bååth, E., 1996. The use of phospholipid fatty acid analysis to estimate bacterial and fungal biomass in soil. Biol. Fertil. Soil 22, 59-65.

Frostegård, Å., Tunlid, A., Bååth, E., 1991. Microbiological biomass measured as total lipid phosphate in soils of different organic content. J. Microbiol. Methods 14, 151-163.

Furusawa, H., Miyanishi, H., Kaneko, S., Hino, T., 2003. Movement of soil and litter on the floor of a temperate mixed forest with an impoverished understory grazed by deer (Cervus nippon centralis Temminck). J. Jpn. For. Soc. 85, 318-325.

Furusawa, H., Hino, T., Kaneko, S., Araki, M., 2005. Effects of dwarf bamboo (Sasa nipponica) and deer (Cervus nippon centralis) on the chemical properties of soil and microbial biomass in a forest at Ohdaigahara, central Japan. Bull. For. For. Prod. Res. Inst. 4, 157-163.

Hamilton, E.W., Frank, D.A., 2001. Can plants stimulate soil microbes and their own

nutrient supply? Evidence from a grazing tolerant grass. Ecology 82, 2397-2402. Hayes, A.F., 1996. The permutation test is not distribution-free: testing H_0 : $\rho = 0$. Psychol. Methods 1, 184–198.

Heuer, H., Smalla, K., 1997. Evaluation of community-level catabolic profiles using BIOLOG GN microplates to study microbial community changes in potato phyllosphere. J. Microbiol. Methods 30, 49-61.

- Hino, T., Furusawa, H., Ito, H., Ueda, A., Takahata, Y., Ito, M.T., 2003. Forest ecosystem management based on an interaction network in Ohdaigahara. Jpn. J. Conserv. Ecol. 8, 145-158 (in Japanese with English abstract).
- Hobbs, N.T., 1996. Modification of ecosystems by ungulates. J. Wildl. Manage. 60, 695-713.
- Hochberg, Y., 1988. A sharper Bonferroni procedure for multiple tests of significance. Biometrika 75 800-802
- Holland, J.N., Cheng, W., Crossley, D.A., 1996. Herbivore-induced changes in plant carbon allocation: assessment of below-ground C fluxes using carbon-14. Oecologia 107, 87-94
- Horino, S., Nomiya, H., 2008. Defecation of sika deer, Cervus nippon. Mamm. Study 33, 143-150.
- Horsley, S.B., Stout, S.L., deCalesta, D.S., 2003. White-tailed deer impact on the vegetation dynamics of a northern hardwood forest. Ecol. Appl. 13, 98-118.
- Igota, H., Sakuragi, M., Uno, H., Kaji, K., Kaneko, M., Akamatsu, R., Maekawa, K., 2004. Seasonal migration patterns of female sika deer in eastern Hokkaido, Japan. Ecol. Res. 19, 169–178.
- Ingham, R.E., Trofymow, J.A., Ingham, E.R., Coleman, D.C., 1985. Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth. Ecol. Monogr. 55, 119-140.
- Itô, H., Hino, T., 2007. Dwarf bamboo as an ecological filter for forest regeneration. Ecol. Res. 22, 706-711.
- Kaji, K., Okada, H., Yamanaka, M., Matsuda, H., Yabe, T., 2004. Irruption of a colonizing sika deer population. J. Wildl. Manage. 68, 889–899. Kielland, K., Bryant, J.P., Ruess, R.W., 1997. Moose herbivory and carbon turnover of
- early successional stands in interior Alaska. Oikos 80, 25-30.
- Legendre, P., Anderson, M.J., 1999. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. Ecol. Monogr. 69, 1 - 24.
- Legendre, P., Dale, M.R.T., Fortin, M.-J., Gurevitch, J., Hohn, M., Myers, D., 2002. The consequences of spatial structure for the design and analysis of ecological field surveys. Ecography 25, 601-615.
- Legendre, P., Legendre, L., 1998. Numerical Ecology. Developments in Environmental Modeling, vol. 20, second English ed. Elsevier, Amsterdam, 853 pp.
- Little, R.J.A., Rubin, D.B., 2002. Statistical Analysis with Missing Data, second ed. Wiley, New York, 381 pp. Mariani, L., Chang, S.X., Kabzems, R., 2006. Effects of tree harvesting, forest floor
- removal, and compaction on soil microbial biomass, microbial respiration, and N availability in a boreal aspen forest in British Columbia, Soil Biol, Biochem, 38, 1734-1744.
- Matsuo, K., Nomiya, H., Horino, S., Shibata, M., Yagihashi, T., Tanaka, H., Niiyama, K., Ito, H., Niwa, S., Kitahara, E., 2004. Effects of sika deer density on forest floor vegetation. Trans. Jpn. For. Soc. 115 (3042) (in Japanese).
- Mikola, J., Setälä, H., 1998. No evidence of trophic cascades in an experimental microbial-based soil food web. Ecology 79, 153–164.
- Nilsson, M.C., Wardle, D.A., 2005. Understory vegetation as a forest ecosystem driver: evidence from the northern Swedish boreal forest. Front. Ecol. Environ. 3, 421–428.
- Niwa, S., Kaneko, K., Okada, H., Sakamoto, K., 2008. Effects of fine-scale simulation of deer browsing on soil micro-foodweb structure and N mineralization rate in a temperate forest, Soil Biol, Biochem, 40, 699-708.
- Nomiya, H., Suzuki, W., Kanazashi, T., Sibata, M., Tanaka, H., Nakashizuka, T., 2002. The response of forest floor vegetation and tree regeneration to deer exclusion

and disturbance in a riparian deciduous forest, central Japan. Plant Ecol. 164, 263-276.

- Oksanen, L., 2001. Logic of experiments in ecology: is pseudoreplication a pseudoissue? Oikos 94, 27-38.
- Pastor, J., Dewey, B., Naiman, R.J., McInnes, P.F., Cohen, Y., 1993. Moose browsing and fertility in the boreal forests of Isle Royale National Park. Ecology 74, 467-480
- Ritchie, M.E., Tilman, D., Knops, M.H., 1998. Herbivore effects on plant and nitrogen dynamics in oak savanna. Ecology 79, 165-177.
- Sankaran, M., Augustine, D.J., 2004. Large herbivores suppress decomposer abundance in a semiarid grazing ecosystem. Ecology 85, 1052-1061.
- Santos, P.F., Phillips, J., Whitford, W.G., 1981. The role of mites and nematodes in early stages of buried litter decomposition in a desert. Ecology 62, 664-669.
- Singer, F.J., Schoenecker, K.A., 2003. Do ungulates accelerate or decelerate nitrogen cycling? For. Ecol. Manage. 181, 189-204.
- Stark, S., Kytöviita, M.M., Männistö, M.K., Neumann, A.B., 2008. Soil microbial and microfaunal communities and organic matter quality in reindeer winter and summer ranges in Finnish subarctic mountain birch forests. Appl. Soil Ecol. 40, 456-464.
- Takatsuki, S., 1983. The importance of Sasa nipponica as a forage for Sika deer (Cervus nippon) in Omote-Nikko. Jpn. J. Ecol. 33, 17-25.
- Takatsuki, S., 2009. Effects of sika deer on vegetation in Japan: a review. Biol. Conserv. 142, 1922-1929.
- Terai, Y., Shibata, S., 2002. Browsing effects of deer (Cervus nippon yesoensis Heude) on the growth of dwarf bamboo (Sasa nipponica Makino et Shibata) and the regeneration of tree seedlings. For. Res. (Kyoto) 74, 77-86 (in Japanese with English abstract).
- Tilghman, N.G., 1989. Impacts of white-tailed deer on forest regeneration in northwestern Pennsylvania. J. Wildl. Manage. 53, 524-532.
- Tremblay, J.-P., Huot, J., Potvin, F., 2006. Divergent nonlinear responses of the boreal forest field layer along an experimental gradient of deer densities. Oecologia 150.78-88.
- Wardle, D.A., Barker, G.M., Yeates, G.W., Bonner, K.I., Ghani, A., 2001, Introduced browsing mammals in New Zealand natural forests: aboveground and belowground consequences. Ecol. Monogr. 71, 587-614.
- Wardle, D.A., Bonner, K.I., Barker, G.M., 2002. Linkages between plant litter decomposition, litter quality, and vegetation responses to herbivores. Funct. Ecol. 16, 585-595
- Wardle, D.A., Yeates, G.W., 1993. The dual importance of competition and predation as regulatory forces in terrestrial ecosystems: evidence from decomposer foodwebs. Oecologia 93, 303-306.
- Weisberg, P.J., Bugmann, H., 2003. Forest dynamics and ungulate herbivory: from leaf to landscape. For. Ecol. Manage. 181, 1-12.
- Whitehead, A.G., Hemming, J.R., 1965. A comparison of some quantitative methods of extracting small vermiform nematodes from soil. Ann. Appl. Biol. 55, 25-38.
- Yeates, G.W., Bongers, T., de Goede, R.G.M., Freckman, D.W., Georgieva, S.S., 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera-an outline for soil ecologists. J. Nematol. 25, 315-331.
- Yokoyama, S., Koizumi, T., Shibata, E., 1996. Food habits of sika deer as assessed by fecal analysis in Mt. Ohdaigahara, central Japan. J. For. Res. 1, 161-164.
- Yokovama, S., Shibata, E., 1998. The effects of sika-deer browsing on the biomass and morphology of a dwarf bamboo, Sasa nipponica, in Mt. Ohdaigahara, central Japan. For. Ecol. Manage. 103, 49-56.

特集 我々は「生態リスク」とどう向き合うのか?

我々は「生態リスク」とどう向き合うのか?

森 章¹·三村 真紀子²·黒川 紘子³

横浜国立大学大学院環境情報研究院

How should we face with ecological risks?

Akira S Mori¹, Makiko Mimura² and Hiroko Kurokawa³

Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

はじめに

生態系は、人間活動に由来する負荷(汚染物質、生息 地攪乱、搾取、伐採、気候変化、撹乱体制の改変など) によって徐々にあるいは急激に改変されつつある(Folke et al. 2004)。これらの結果、生態系だけでなく、人間社 会そのものに対する負の影響も報じられている。そこで 私たちは、「生態リスク(ecological risk)」を評価し、管 理する必要に迫られている。

生態リスクとは、狭義には、生態系の健全性(ecosystem integrity)や生物多様性(biodiversity)が人間活動によっ て損なわれるリスクと定義できる(Beer 2006;松田 2008)。(ところで、)リスクとは、人間あるいは人間社会 にとって望ましくないと考えられる事象の起こる可能性 と、望ましくない結果の大きさの双方から評価される傾 向がある(谷口 2008;林ほか 2010)。そのため、生態系 におけるリスクの管理・評価においては、人間活動が生 態系や生物多様性を変化、変質、改変、あるいは劣化さ せることで、人間や人間社会にどのような影響が生じる のか、つまり、生態系サービス(ecosystem service)に対 する影響をも考慮する必要がある。供給サービス、調整 サービス、文化的サービスといった人間社会に対して、 直接的に恩恵を与える生態系サービスと、それらを支え る基盤サービスのいずれにしても、人間活動の結果とし て予測不可能で、時に非可逆的な変化が生じるリスクが 増加している(Millennium Ecosystem Assessment 2007)。 そこで、生態リスクとは、生態系に対する人為負荷が生 態系の健全性を脅かすことにより、生態系サービスを低 下あるいは劣化させ、その結果として、社会や人間その ものに対する影響が生じるリスクであると、広義に定義 できると考える。

しかしながら、生態リスクという言葉の扱われ方は、 非常に多岐にわたる。その理由としては、「生態リスクの 言葉の意味するところが、広く且つ非常に曖昧であるこ と」が、まず挙げられる。それに加えて、「生態リスクの 定義が不明確なまま、化学や生物学などの基礎理学から、 保全生物学、応用工学、政策科学、社会学、経済学、広 い意味での環境科学全般などにわたって非常に幅広い分 野で学際的に扱う必要が生じ、それぞれの分野で定義の 解釈が異なること」、「焦点が当てられる生態系サービス や生物多様性の段階的スケール、扱う生物や環境条件あ るいは生態系そのもの時間的スケールが様々であるこ と」、さらには、「それらの情報をもとに計画や政策をた てる立場の人々が期待する情報と研究者が提供する(あ るいは提供できる)情報にギャップがあること」なども、 生態リスクの理解と評価を困難にしていると考えられる。

いま生態学をはじめとする科学には、持続可能な生態 系の維持管理手法の提示、それを可能にするための社会 システムへの提言など、学問としての迅速な応用性がさ らに求められている(Lubchenco 1998)。リスクの評価・ 管理、意思決定、あるいは経済活動や政策立案といった 様々な場面において、科学者はどのような貢献を成し得

²⁰¹⁰年1月4日受付、2010年9月27日受理

¹ e-mail: akkym@kb3.so-net.ne.jp

²現所属:九州大学大学院理学研究院生物学部門

Present address: Department of Biology, Faculty of Sciences, Kyusyu University

³ 現所属:東北大学大学院生命科学研究科

Present address: Graduate School of Life Sciences, Tohoku University

るのだろうか。そこで、本特集では、まず、生態リスク の概念的起源を明確化する(林ほか 2010)。その上で、 現在あるいは今後において、景観から遺伝子レベルまで の様々な階層で観察される、あるいは予測される生態系 のリスクについて様々な視点から言及する(森 2010;津 田 2010)。さらに、リスク回避に基づく都市計画(田中 2010)や社会の応答(香坂 2010)といった実際的な分野 に触れることで、上記のような生態系のリスク評価研究 が実践的に果たし得る役割や可能性について考える。

林ほか(2010)が述べているように、リスク評価に関 する研究成果は、その成果が実際の意思決定や、政策、 社会に実際に活用されてこそ、意味がある。このような 段階では、生態学者だけでなく、政策決定者、生態系の 管理者や所有者、地域住民など、様々な利害関係者が関 与することが考えられる。そのため、科学者側以外の利 害関係者にリスクを評価し提示する前に、科学者側にお ける生態リスクに関する認識の相違点と共通認識の程度 を示すことは有意義であると考える。そのため、本特集 では、あえて共通の対象や分野を設けずに、化学物質の リスク評価(林ほか 2010)、生態系管理とエコシステム アプローチ(森 2010)、保全遺伝学(津田 2010)、都市域 の緑地計画と管理(田中 2010)、企業活動における環境 管理(香坂 2010)といった、一見全く異なる対象・分野 における事例を用いる。それぞれの研究対象でのリスク の定義と応用例、評価・意志決定段階における判断基準、 また、実践上の問題点を提示することで、生態系におけ るリスク管理といった概念の適用性と発展性を示すこと を目的とした。

本特集のタイトルは、「我々は生態リスクとどう向き合 うのか?」である。「我々は」とは、生態学に携わる研究 者側を指している。「我々は」と表記したのは、科学者側 における相違点や問題点を敢えて露呈するためでもある。 本特集の目的は、生態リスクという概念を普及させるこ とではなく、むしろこの用語の持つ多元的な意味合いの 有用性を示すと同時に、危険性を示すことにもある。生 態リスクの管理は、科学者だけで成し得るものではない。 様々な立場や利害関係にある人々の間の協働の結果とし て成し得るものである。しかしながら、生態学をはじめ とする科学は、生態リスクの評価や管理において、核と なる役割を果たすものであることも事実である。本特集 では、生態リスクの概念的起源と発展、生態系における 様々な対象・事象の保全・管理における適応性について、 様々な分野の科学者側からの見解を提示する。異なる事 象、対象、分野において生態系のリスクマネジメントの

必要性に直面している今、我々、科学者たちは、どのように生態リスクに向き合うことができるのか。

科学者は、人間活動の結果として、生態系サービスの 劣化や生物多様性の損失が今後どのように起こるのかに ついて、多角的な視点から詳細に明らかにする必要があ る。同時に、これらの評価に必ず付きまとう不確実性に ついて、最小化する努力をしつつも明示することも、科 学者が担う重要な役割である。以上に関して、本特集では、 様々な分野、視点から例示する。人間社会の様々な利害 関係者と多様な生態系との間で、どのようなリスクを認 知し、生態系の管理を行うのかについての示唆を提示す ることで、生態系の保全・管理に資するさらなる研究の 発展を望む。

謝 辞

本特集は、2009年3月に開催された日本生態学会第56 回大会における企画シンポジウム、「我々は生態リスクに どう向き合うのか?」において発表した内容をもとに構 成した。シンポジウムでの活発な議論に感謝する。また、 企画シンポジウムに際して事前に実施した、横浜国立大 学グローバル COE プログラム「アジア視点の国際生態リ スクマネジメント」(拠点番号 E03)における勉強会での 有意義な議論に感謝する。本特集の原稿に関わったすべ ての編集者、および校閲者の皆様に対して、ここに謝意 を表したい。

引 用 文 献

- Beer T (2006) Ecological risk assessment and quantitative consequence analysis. Human Ecol Risk Asses 12:51-65
- Folke C, Carpenter S, Walker B, Scheffer M, Elmqvist T, Gunderson L, Holling CS (2004) Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. Annu Rev Ecol Evol Syst 35:557-581
- 林 岳彦・岩崎雄一・藤井芳一 (2010) 化学物質の生態 リスク評価:その来歴と現在の課題.日本生態学会誌 60:327-336
- 香坂 玲 (2010) リスク・コミュニケーションと企業活動-生物多様性に関わる経団連のアンケート事例から一.日本生態学会誌 60:361-367
- Lubchenco J (1998) Entering the century of the environment: a new social contract for science. Science 279:494-497
- 松田裕之 (2008) 生態リスク学入門―予防的順応的管理. 共立出版,東京
- Millennium Ecosystem Assessment (編) (2007) 国連ミレニア ムエコシステム評価 生態系サービスと人類の将来. オ

ーム社,東京

- 森 章 (2010) 生態系のリスクマネジメントにおける留 意点—変動性と非平衡性の観点から—. 日本生態学会誌 60:337-348
- 田中貴宏 (2010) 都市の緑地計画・管理と生態リスク.日本 生態学会誌 60:369-376

谷口武俊 (2008) リスク意思決定論. 大阪大学出版会, 吹田

津田吉晃 (2010) 森林樹木の遺伝的多様性保全と生態リス ク. 日本生態学会誌 60:349-359

CORRESPONDENCE

Extinctions: conserve not collate

Fangliang He and Stephen Hubbell correct an overestimation of 160% for species extinction rates resulting from habitat destruction (*Nature* **473**, 368–371; 2011). However, near-term extinction rates predicted by the Millennium Ecosystem Assessment still remain at 400–4,000 times the background rate of species extinction.

Although it may help to refine future predictions, we caution against their recommendation for collating more detailed geographical data as an urgent priority for conservation science.

Knowing where species occur and their risk of extinction is fundamental for deciding where to focus efforts to protect them. But the diminishing returns on the value of biological surveys (H. S. Grantham *et al. Conserv. Lett.***1**, 190–198; 2008) means that more data may not translate into significantly better decisions. Heterogeneity in the costs and likelihood of success of conservation actions can influence investment priorities far more.

Areas designated a priority for species protection, identified using the 'speciesarea relationship', are not affected by model uncertainty, taxonomic group or the nonrandom distribution of species (M. C. Evans *et al. Divers. Distrib.* **17**, 437–450; 2011). **Megan Evans, Hugh Possingham, Kerrie Wilson** *The University of Queensland, Australia. m.evans1@uq.edu.au*

Extinctions: consider all species

We question Fangliang He and Stephen Hubbell's claim that species–area relationships overestimate global extinction



(*Nature* **473**, 368–371; 2011). We contend that they do not test their claims against real data on global extinction or threat. We also believe that they address only a small part of the problem.

Imagine destruction that wipes out 95% of habitat overnight - metaphorically speaking. How many species will have disappeared the following morning? He and Hubbell tell us it would be just those living only in the destroyed area, and not in the other 5%. In our view, the more important question is how many species in total, including those in the remnant habitat 'islands' (the 5%), will eventually become extinct (see M. L. Rosenzweig Species Diversity in Space and Time Cambridge Univ. Press, 1995.)

Many studies accurately verify extinction predictions based on the relationship between island area and numbers of species, which He and Hubbell dismiss. Scores of separate tests find striking agreement between the number of predicted extinctions from habitat loss and the number of consequent extinctions (or of species facing extinction). This is seen globally and within individual regions, including eastern North America, South America, Africa and southeast Asia (see, for example, S. L. Pimm and R. A. Askins Proc. Natl Acad.

Sci. USA **92**, 9343–9347; 1995). Comprehensive analyses can now combine remotely sensed ecosystem changes with information on species extinction risk, distribution, habitats, threats and conservation actions from the International Union for Conservation of Nature Red List. In our opinion, it is these studies — which ask the right questions and verify the answers — that have crucial implications for the world's efforts to conserve biodiversity.

T. M. Brooks* NatureServe, Virginia, USA. tbrooks@natureserve.org * On behalf of 7 co-signatories (see go.nature.com/tsnlzs).

Making society more resilient

Japan's government would do well to consider how society can adapt to cope with the uncertainty and change caused by sudden disastrous natural events — called resilience thinking — rather than simply trying to overcome and eliminate such changes.

Catastrophic disturbances such as tsunamis, wildfires, flooding and volcanic eruptions can exact a huge human cost. But they may also have a positive impact on ecosystems, particularly those eroded by human activity. The 2004 Indian Ocean tsunami, for example, restored the beach nesting habitats for several threatened sea-turtle species (D. B. Lindenmayer and C. R. Tambiah *Conserv. Biol.* **19**, 991; 2005).

The ability of ecosystems to absorb natural disturbances and society's ability to resist and recover from them are connected. History shows that socio-ecological systems that are resilient to hazards are less devastated by recurring natural events such as hurricanes (W. N. Adger et al. Science 309, 1036–1039; 2005). Ignoring the connection could lead to more unforeseen economic disasters. Akira S. Mori Yokohama National University, Japan. akkym@kb3.so-net.ne.jp

Population decline is a long way off

Fred Pearce uses strong words to criticize the United Nations' latest projected global population figures (*Nature* **473**, 125; 2011). But the UN's projections of a continuing rise in the population (see go.nature.com/wj3br5) are in line with its previous projections and with those of other major sources, including the US Census Bureau (see go.nature.com/ owcela) and the International Institute for Applied Systems Analysis (go.nature.com/cbg34l).

The new UN 'medium variant' projection expects 10.1 billion people by 2100, 3 billion more than now. This is a sobering prospect for those concerned with human and environmental poverty.

In his book *The Coming Population Crash* (Beacon Press, 2010), Pearce predicts a drastic population decline owing to falling fertility. But the birth rate worldwide still exceeds the replacement rate, so the young greatly outnumber the old. The number of young women coming

| NATURE | VOL 474 | 16 JUNE 2011

An Exposure Assessment of Methyl Mercury via Fish Consumption for the Japanese Population

Ying Zhang,^{1,2*} Satoshi Nakai,¹ and Shigeki Masunaga¹

The objective of this article was to propose an exposure assessment model to describe the relationship between fish consumption and body methyl mercury (MeHg) levels in the Japanese population. Individual MeHg intake was estimated by the summation of species-specific fish consumption multiplied by species-specific fish MeHg levels. The distribution of fish consumed by individuals and the MeHg level in each fish species were assigned based on published data from Japanese government institutions. The probability of MeHg intake for a population was accomplished through a Monte Carlo simulation by the random sampling of fish consumption and species-specific MeHg levels. Internal body MeHg levels in blood and hair were estimated using a one-compartment model. Overall, the mean value of MeHg intake for the Japanese population was estimated to be $6.76 \ \mu g/day$ or $0.14 \ \mu g/kg$ body weight per day (bw/day), while the mean value for the hair mercury level was $2.02 \ \mu g/g$. Compared with the survey data that tabulated hair mercury levels in a cross-section of the Japanese population, the simulation results matched the hair mercury survey data very well for women, but somewhat underestimated for men and all of the population. This exposure assessment model is a useful attempt at further risk assessment with respect to a risk-benefit analysis.

KEY WORDS: Exposure assessment; fish consumption; hair mercury level; Japanese population; methyl mercury (MeHg)

1. INTRODUCTION

The first methyl mercury (MeHg) derived episode, called Minamata disease, was recorded in Japan during the 1950s, and was related to the consumption of highly MeHg-polluted fish. Thereafter, more information on MeHg-related incidents has been reported from Nigata in Japan and also from Iraq.^(1,2) Exposure to high MeHg doses during pregnancy can cause fetal death, serious birth defects, mental retardation, long-term disabilities, and blindness. $^{(1,3)}$

However, even low-dose prenatal MeHg exposure via fish consumption has been linked to developmental delays or other neurological effects. Epidemiological studies of chronic low-dose MeHg exposure in the Faros Islands, Seychelles, and New Zealand indicate that fish consumption is the main source of MeHg exposure to human beings, with the result of cognitive developmental delays in children.^(4–6) Fetuses have been identified as the population most sensitive to MeHg exposure through maternal fish consumption.⁽⁷⁾ To avoid the risks related to MeHg exposure, the U.S. Food and Drug Administration advises that pregnant women, women who might become pregnant, young children, and nursing mothers modify their fish consumption pattern.⁽⁸⁾ This

0272-4332/09/0100-1281\$22.00/1 © 2009 Society for Risk Analysis

¹79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama, Japan.

² No. 2 Linggong Rd., Dalian University of Technology, 116024, China.

^{*} Address correspondence to Ying Zhang, No. 2 Linggong Rd., Dalian University of Technology, 116024, China; zygeodge@ hotmail.com.



Fig. 1. Schematic of the exposure assessment.

advisory has been taken up in other countries, including Japan.^(9–11)

As mentioned above, fish consumption is the main source of MeHg exposure in humans, for example, fish consumption accounts for approximately 80–90% of the total human mercury exposure in Japan.⁽¹²⁾ Japanese people habitually consume more fish than people of any other country, which may result in a higher MeHg exposure. There are few studies of MeHg exposure in Japan based on the investigation of individual fish consumption.^(13–17) However, it is difficult to predict changes in MeHg exposure when fish consumption changes. To elucidate the effectiveness of the advisory on fish consumption, a population-based exposure model is needed to estimate MeHg exposure when fish consumption patterns change.

In this article, a statistical MeHg exposure assessment model is proposed to describe the relationship between MeHg exposure level and fish consumption in the Japanese population (see Fig. 1). In order to assess the validity of this exposure model, survey data that tabulated hair mercury levels in a cross-section of Japanese were used and compared with the estimated results. This exposure assessment model may be useful for further risk assessment.

2. DATA AND METHODOLOGY

2.1. Fish Consumption

2.1.1. Daily Fish Consumption

The daily fish consumption data for Japanese individuals were adopted from the Health and Nutrition Information Infrastructure Database (HNIID)⁽¹⁸⁾ based on the National Nutrition Survey

 Table I. Examples of Daily Fish Consumption for the Japanese Population

| Fish Group in NNS | Children | Women | Men | All |
|-------------------------------|------------|-------------|--------------|-------------|
| Overall fish consumption | 52.6 (16) | 88.0 (76.1) | 106.6 (92.7) | 96.9 (84.9) |
| Tuna | 1.6 (8.9) | 5.7 (20.4) | 8.8 (26.4) | 7.2 (19.8) |
| Seabream and flat fish | 4.5 (15.2) | 7.7 (23.6) | 9.5 (27.8) | 8.6 (25.7) |
| Horse mackerel and anchovy | 8.3 (14.3) | 9.6 (26.0) | 11.6 (31.1) | 10.5 (28.6) |
| Salmon and trout | 2.4 (11.2) | 4.3 (18.7) | 4.4 (20.9) | 4.4 (19.8) |
| Body weight | 16.0 (5.0) | 48.3 (13.2) | 56.5 (17.7) | 52.1 (15.0) |

Note: Expressed as mean value (standard deviation) in units of g/day.

(NNS).⁽¹⁹⁾ The NNS is the representative diet and nutrient survey in Japan, and it is performed with a questionnaire in the month of November of every year. More than 15,000 respondents are involved in the NNS in Japan, in which the 24-hour diet intake accounts of individual respondents are recorded. Detailed information on the NNS survey can be found at the homepage of the National Institute of Health and Nutrition.⁽²⁰⁾ In the HNIID database, the fish consumed were not given as the fish species directly consumed in the one-day record by each respondent, but rather the data given were the mean value and standard deviation (SD) of 13 fish groups for various population groups (i.e., children (1-6 years), women, men, and total population). The mean and SD were reported based on the cumulative statistics for only those individuals who reported consumption of seafood on the survey day, according to the questionnaires of the one-day diet record (some examples are given in Table I).

To represent variability of fish consumption among the population, it was necessary to identify the distribution pattern of fish consumption; however, it was difficult to describe this pattern due to the lack of sufficient related data available. That is, the detailed data regarding fish consumption, except for the mean and *SD* from the HNIID database, were not open to the public. However, the data reported in 2001 and $2002^{(21)}$ gave some indication of the distribution of fish consumption for the Japanese population (Fig. 2 plotted based on the raw data). It can be seen that the mean value was different from the median value, and the 90th percentile values were more than two times greater than the median value,



Fig. 2. Distribution of fish consumption in the Japanese population.

which indicated that a log-normal distribution would fit better than a normal distribution. In addition, the distributions of many dietary components are considered to be skewed to the right; (22) therefore, the distribution of fish consumption was considered to be a log-normal distribution with the reported mean and SD for the Japanese population in this study.

In order to capture the variability of MeHg exposure from each fish species, the concentration of MeHg in the various fish species had to be considered. However, the MeHg concentrations differed considerably within the 13 fish groups reported in the HNIID database. Thus, the market-weight shares within each fish group were used to divide 13 fish groups into 58 fish species. The market-weight shares within each group were estimated for each species based on the weight of domestic catches reported by the Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries of Japan (MAFF)⁽²³⁾ (see examples listed in Table II). Thus, the daily consumption of each fish species was estimated from the reported fish consumption by an individual and the speciesspecific fish market-weight share, using the following equation:

$$M_i = M_j \times F_{kj},\tag{1}$$

where M_i is an individual's intake of fish from the *i*th species, M_i is the daily intake of fish from the *j*th group, and F_{ki} is the market share of the *k*th fish species in the *j*th fish group $(j = 13, i = \Sigma k^* j =$ 58).

From Equation (1), the mean value of speciesspecific fish consumed could be deduced. Since the fish consumption distributions for both species and groups were assigned to be log-normal, if the fish species kth belongs to the fish group *j*th, then the geometric standard deviation (GSD) of the fish species (kth) consumed was deduced to have the same GSD of fish consumed in the group (*j*th). Thus, the distribution of each fish species consumed was described with the deduced mean value from Equation (1) and the GSD of fish consumed according to the group to which it belonged.

| | Fish Group in NNS | Species of Fish | MeHg Level (Mean, μg/g) | Market Share Within Group (%) | Fish Consumption for Overall Japanese (Mean, g/day) |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|-------------------------------------|---|
| | Tuna | | _ | 100 | 7.20 |
| | | Yellowfin tuna | 0.177 | 34 | 2.43 |
| | | Bluefin tuna | 0.542 | 3 | 0.24 |
| | | Albacore | 0.164 | 19 | 1.38 |
| ples of MeHg Level in | | Southern bluefin | 0.386 | 2 | 0.14 |
| d Their Market Share | | Bigeye tuna | 0.549 | 35 | 2.52 |
| | | Other tuna | 0.310 | 7 | 0.49 |
| | Seabream and flatfish | | - | 100 | 8.60 |
| | | Seabream | 0.133 | 46 | 3.98 |
| | | Yellow seabream | 0.329 | 4 | 0.33 |
| | | Black seabream | 0.210 | 2 | 0.20 |
| | | Flounder | 0.050 | 40 | 3.44 |
| | | Flatfish | 0.083 | 8 | 0.66 |

Table II. Exam Fish Species and

2.1.2. Extrapolating to Long-Term Fish Consumption

One-day surveys often do not provide accurate estimates of long-term food consumption. In particular, they tend to misrepresent infrequent consumers because the surveys will either not account for a consumer who did not eat during the survey period or they will project a higher average intake for an infrequent consumer who did.⁽²⁴⁾ This is to say that the misrepresentations usually occur when there are infrequent fish consumers. However, Japanese generally consume seafood frequently, that is, there are few nonfish consumers or those who rarely consume fish. According to this characteristic of fish consumption by the Japanese population, we assumed that the frequency of fish consumption for the long term was similar to the one-day survey results. This assumption may be specific for the Japanese and may not be suitable for fish consumers in other countries.

2.2. MeHg Exposure from Fish Intake

2.2.1. MeHg Concentration in Fish

The MeHg levels in fish species were adopted from the surveillance data published by the MAFF,^(25,26) which were considered as the representative data in Japan. The MeHg level was analyzed with the standard analysis method regulated by the Ministry of the Environment of Japan,⁽²⁷⁾ the results of which were expressed as the mean value, the minimum and maximum values, and the number of samples.

To describe the variability of MeHg concentrations in fish, the distributions of the MeHg levels were constructed species-specifically. Distributions for the species with rich surveillance data, such as tuna, shark, whale, and swordfish, were generated empirically. The distribution fitting was conducted with Crystal Ball 2000^{®(28)} using the Kolmogorov-Smirnov test, the results of which are shown in Fig. 3. Distributions of the MeHg levels for other fish species whose distributions could not be determined empirically due to scarce data were modeled to reflect the published mean values and a range analogous to the minimum and maximum. The shape of the distribution was assumed to be a lognormal distribution rather than normal distribution to maintain a positive MeHg concentration. Table III gives some examples of the modeled distribution parameters.



Note: Cumulative distributions of the MeHg in tuna were fitted with a normal or log-normal distribution.

Fig. 3. Distribution fitting of MeHg concentrations for one kind of tuna.

 Table III.
 Fitted Distributions for MeHg Level in Tuna, Shark, and Swordfish

| | Normal (μ g/g) | | | Log-Nor | rmal (µg/g) |
|-------------------|---------------------|------|--------------|---------|-------------|
| Fish Species | Mean | SD | Fish Species | Mean | SD |
| Yellowfin tuna | 0.06 | 0.03 | Bluefin tuna | 0.44 | 1.53 |
| Shark | 0.35 | 0.06 | South tuna | 0.23 | 1.38 |
| Swordfish | 0.65 | 0.21 | Whale | 0.54 | 4.87 |

2.2.2. Estimating MeHg Intake

The MeHg intake was calculated from the fish consumption and MeHg levels using the following equation:

$$D = \sum_{i} (C_i \times M_i \div F_i), \qquad (2)$$

where D is the daily MeHg intake, *i* is the fish species, C_i is the MeHg level in the *i*th fish species, F_i is the conversion factor for the *i*th fish species, and M_i is the consumption of the *i*th fish species.

Since the MeHg levels in the fish were analyzed based on wet weight, while the fish consumption by an individual was based on the prepared fish weight, a conversion factor was applied to reflect the water loss during food preparation. The conversion factor was assumed to be 1.0 for the raw or canned fish and 0.8 for the other recipes (e.g., steamed or fried).⁽²⁹⁾

MeHg intake per body weight was calculated by dividing the MeHg intake by body weight. The distribution of body weight was assumed to be

Exposure Assessment of Methyl Mercury via Fish Consumption

log-normal, with the reported mean and *SD* obtained from the HNIID database (see Table I).

The distribution of MeHg intake for the population was estimated using Crystal Ball $2000^{\mathbb{R}}$ with a Monte Carlo simulation, which was based on random sampling of fish species from fish consumption by an individual and the MeHg concentration in each fish species. Specifically, one amount of fish consumption randomly sampled from the fish consumption by an individual multiplied with one MeHg concentration randomly sampled from the MeHg level of this fish species will give one value of the MeHg intake from this fish species, followed by the sum of the MeHg intake from the total of 58 fish species to provide one-time output for the MeHg intake. The sampling process was repeated 100,000 times, which was considered to sufficiently represent the variability of the MeHg intake, for each sex and age group.

2.3. Converting MeHg Intake to Body MeHg Level

2.3.1. Blood MeHg Level

The one-compartment model is usually used to predict the relationship between the MeHg blood concentration and the MeHg intake dose under steady-state conditions.^(7,30,31) In a published study by Carrington and Bolger (2002), all underlying pharmacokinetic variations and corrections in the one-compartment model were subsumed into a single parameter (i.e., a blood/diet ratio). In their study, Sherlock's (1984) study was deemed to be the most suitable for estimating equilibrium values for a chronic blood/diet relationship. As a result, a median blood/diet ratio of 0.80 was reported for a 70-kg person, which means that a daily intake of 1 μ g MeHg would produce a blood MeHg concentration of $0.8 \,\mu$ g/L. The values of blood/diet ratio for other age and sex groups were generated using body-weight scaling. With regard to body-weight scaling, Sherlock (1984) suggested that mercury in blood could be scaled by body weight to the power of one-third. Accordingly, the MeHg ratios of blood/diet for other age and sex groups were generated from the median value of 0.80 for a 70-kg body weight using onethird power scaling of body weight. Therefore, to convert dietary MeHg intake to blood level, a triangular distribution was assumed for the blood/diet ratio in this analysis, with the minimum and maximum of 0.66 and 1.04 as estimated in Carrington and Bolger (2002).

2.3.2. Hair Mercury Level

The hair mercury level is the biomarker often used rather than the blood MeHg level, for example, hair mercury levels are often reported for Japanese.^(17,33,34) Therefore, we estimated the hair mercury levels from the blood MeHg levels.

Before the estimation of the hair mercury level, the blood mercury level was estimated from the output of the blood MeHg level using the ratio of MeHg to mercury in blood. Sakamoto *et al.*⁽³³⁾ reported that MeHg accounted for 92.5 \pm 8.1% (mean \pm *SD*) of the total mercury level in blood for Japanese women, which were the only related probabilistic data found. As a result, this conversion factor, assigned to a normal distribution, was used to convert a blood MeHg concentration to a blood mercury level.

The hair mercury level was then estimated by multiplying the blood mercury level with the mercury ratio of hair/blood. The mercury ratio of hair/blood has been considered to be 0.25 by some organizations;^(30,36) however, it has also been reported within the range from 0.14 to 0.46.^(30,36–38) There were no specific data on the mercury ratio of hair/blood for the Japanese. Therefore, we used the range reported by other studies with the consideration that this range may also reflect the variation in the Japanese population. The distribution of the mercury ratio of hair/blood was assumed to be triangular with the mean value of 0.25 and ranging from 0.14 to 0.46 in this assessment.

The distribution of the hair mercury level for the population was subsequently simulated using Crystal Ball $2000^{\text{(B)}}$ with the Monte Carlo simulation using the output of MeHg intake, which was repeated 100,000 times for each sex and age group considered.

3. RESULTS

3.1. Daily MeHg Intake

Utilizing the proposed model, the overall daily MeHg intake in Japan was estimated and categorized into three subgroups: children (aged 1–6 years), women, and men. The primary percentiles of the MeHg intake for each group, as well as the daily MeHg intake per kilogram body weight, are given in Fig. 4. For total population, the mean daily MeHg intake from fish was estimated to be 6.76 μ g/day or 0.14 μ g/kg body weight per day (bw/day). As to children, the mean daily MeHg intake was estimated to be 2.57 μ g/day or 0.18 μ g/kg bw/day.



Fig. 4. Estimated daily dietary MeHg intake.

Note: The upper chart is the daily MeHg intake expressed in the units of $\mu g/day$ and the bottom one is the daily MeHg intake expressed in units of $\mu g/kg$ bw/day.

3.2. Blood MeHg Levels

The estimations of blood MeHg levels are shown in Fig. 5 for the total Japanese population, as well as for the three subgroups (children, women, and men). For total population, the median blood MeHg level was estimated to be 5.12 μ g/L, with 13.41 and 17.51 μ g/L as the 95th and 97.5th percentiles, respectively.

3.3. Hair Mercury Levels

The estimated results for the hair mercury levels are provided in Fig. 6. The mean values for total Japanese population, children, women, and men were 2.02, 1.13, 1.83, and 2.48 μ g/g, respectively.

Yasutake *et al.*⁽³⁴⁾ conducted a survey on the hair mercury contents among the general population from different districts in Japan to estimate
1



Fig. 5. Estimated blood MeHg levels for the Japanese population.

MeHg exposure levels, which was considered to reflect the current MeHg levels for the Japanese population in this analysis. They reported the geometric mean value of the hair mercury content for women, men, and the total population (Table I in Yasutake et al., in Reference 34), as well as the cumulative frequency of the individual hair mercury contents (Table III in Yasutake et al., in Reference 34).

To confirm the validity of the proposed model, we compared our results with the results of Yasutake et al. The cumulative frequencies of the individual hair mercury content of two data sets were compared in Fig. 7. The cumulative frequencies were expressed as those of hair MeHg within 1.0, 2.2, and 5 μ g/g. The hair mercury levels of 1.0 μ g/g, 2.2 μ g/g, and 5 μ g/g correspond to the guidelines of the Environmental Protection Agency (EPA), Joint



Note: The cumulative frequencies expressed as those of hair MeHg within 1.0, 2.2, and 5 μ g/g.

Fig. 7. Cumulative frequency comparison for hair mercury levels.

FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA; 2003), and Japan, respectively.^(10,30,35) The simulation for women matched the survey data better than that for men and the overall population. However, the estimations by the proposed model were somewhat underestimated for all groups (women, men, and overall). The results showed that about 80% of the women population had hair mercury concentrations over 1 μ g/g (corresponding to the U.S. EPA (USEPA) guideline), and only about 3% of women had levels exceeding 5 μ g/g (corresponding to the Japanese guideline).

3.4. Sensitivity Analysis

A sensitivity analysis was conducted in the simulation to identify which input parameters significantly contributed to the variation in the output of the model. The results from this analysis are given in Table IV. Regarding the MeHg intake, the sensitivity analysis showed that the consumed amount of bigeye tuna, seabream, yellowfin tuna, and squid were the largest contributors to the variability of the MeHg intake for both sexes and for each age group, rather than the MeHg level in each fish species. For example, there were nine input parameters for the female group that contributed to the variability in the MeHg intake of more than 10%, among which only one parameter was related to the MeHg concentration in fish. The ratio of hair/blood gave the largest contribution to the variability of the female hair mercury levels, while the half-life time of MeHg, the amount

 Table IV. Estimated Contributions of Model Inputs to Variability

| Women: MeHg Intake | | Women: Hair Mercury Level | | | |
|-----------------------------------|-----|---------------------------|---------------|--|--|
| Input Parameters Contributions | | Input Parameters | Contributions | | |
| Bigeye tuna (W) | 26% | Ratio of hair/blood | 22% | | |
| Seabream (W) | 19% | B (half-time life) | 16% | | |
| Yellowfin tuna (W) | 12% | Bigeye tuna (W) | 13% | | |
| Squid (W) | 10% | V (blood volume) | 7.5% | | |
| Bigeye tuna (C) | 9% | Seabream (W) | 6.9% | | |

Note: W in parenthesis means the weight of fish species, and C in parenthesis means the concentration of fish species. Only five of the largest contributors are shown here.

of bigeye tuna consumed, the blood volume, and the amount of seabream consumed gave much smaller contributions (in decreasing order). This indicated that the parameters used in the one-compartment model to convert the MeHg intake to the internal MeHg level influenced the variability of the output significantly.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

The primary motivation of this study was to provide an analytical tool for describing the relationship between body MeHg levels and MeHg intake through fish consumption for the Japanese population. This exposure analysis establishes a baseline analysis for the current conditions of hair mercury levels. Compared with the biomarker survey data obtained from a cross-section of the Japanese population,⁽³⁵⁾ the simulation results matched the hair mercury survey data very well for women, but somewhat underestimated for men and all of the population (Fig. 7).

The principal difficulty with this analysis was the estimation of chronic exposure from a one-day survey. Since the pharmacokinetic models presume "steady state" or average exposure over time (the half-life for the elimination of mercury from blood is roughly 45 days), the intake estimates based on a one-day survey represent a much shorter period of time. Similarly, the hair levels were used as measures of exposure precisely because they reflect the MeHg intake over a period of months. While the one-day

Exposure Assessment of Methyl Mercury via Fish Consumption

surveys can be used to characterize serving size distributions and fish species consumed, they should be applied cautiously when used to characterize the longterm frequency of seafood consumption, such as in this study. In order to extrapolate the long-term fish consumption, specific information on the frequency of seafood intake was required. However, there is no available information on the frequency of seafood intake by the Japanese consumers. Though the GSD of seafood consumption frequency was reported to be 0.9 from a 30-day U.S. survey,^(29,39) this was not used in our study to estimate the long-term seafood intake due to the large differences in fish consumption patterns between Americans and Japanese. The frequency of fish consumption for the long term was assumed to be similar to the one-day survey for the Japanese population; as a result, the results of the model simulation fitted to the data well. However, this does not mean that the fact that long-term consumption distribution that is actually broader was compensated by the fact that the long-term contamination distribution is narrower. The one-day intake data usually result in a distribution that is flatter and wider than the true distribution of usual intakes of individuals in the population. It should be noted that more research is needed in order to better describe the long-term fish consumption. If the frequency of fish consumption over time was available, the prediction of long-term intakes would be improved.

The one-day survey (i.e., the NNS in Japan) is the only large-scale food consumption survey available in Japan. The values given in the HNIID database that were used were based on the cumulative statistics for those who reported their consumption of seafood on the survey day. More than 15,000 respondents were involved in the NNS in Japan,^(19,20) and over 95% of the consumers reported their consumption of seafood. The NNS survey could be considered as a sufficiently large survey, which when pooled together would be complementary in reducing the possible randomness in the survey. This may partly explain the relative success of utilizing the oneday survey data to generate a chronic exposure assessment; nonetheless, the underestimation of hair levels at the low end of the distribution can be attributed to the use of the one-day survey (Fig. 7).

The MeHg ratios of blood/diet were assumed to be the power of one-third with body weight in this analysis. However, the internal dose (i.e., the blood mercury levels) is directly proportional to the body weight in the one-compartment pharmacokinetic model. As a result, the value generated in this

analysis for most adults is approximately 10-20% lower than that generated by straight body-weight scaling. This may be, in part, an explanation for why the estimations of hair mercury levels in this analysis for adults are somewhat underestimated compared with the survey data (Fig. 7). As for children, the hair mercury level was estimated to be 1.13 μ g/g in this analysis. It was reported that hair mercury level was about 1.3–1.6 $\mu g/g^{(34)}$ as mean, or 1.65 $\mu g/g^{(40)}$ as median, for Japanese children. It seems that the estimation for children is also somewhat underestimated. And, there are increasing disputes on the toxicokinetic and toxicodynamic differences between children and adults,⁽⁴¹⁻⁴³⁾ which suggest that the parameters used in the one-compartment pharmacokinetic model for children should be different from those used for the adults. Therefore, more consideration should be taken into account in the estimation of MeHg exposure for children.

The exposure model was proposed as an exercise in descriptive statistics based on the cumulative statistic data reported as mean and SD from HNIID. Most of the distributions were assigned to represent actual variations in the population of Japanese consumers. The two-dimensional model, for example, that found in Carrington and Bolger,⁽²⁹⁾ might be a better approach to represent the actual distribution statistically and probabilistically. Nevertheless, the two-dimensional model could be constructed only if more detailed information on fish consumption by individuals was available. In addition, according to the results of the sensitivity analysis, the hair/blood mercury ratio contributed the most to the variability of the hair mercury levels. Correspondingly, the outputs of the model would be improved if the mercury ratio of hair to blood specific for Japanese was available.

This study was intended to relate the body MeHg levels with fish consumption. The model proposed could be used to examine the changes in human body mercury levels under putative interventions designed for avoiding MeHg-related risk. Combined with the dose-response relationship, this assessment could be expanded to further risk assessment with respect to a risk-benefit analysis.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was partly supported by the Global Center of Excellence Program of "Global Eco-Risk Management from Asian Viewpoints" (Global COE Program E-03) at Yokohama National University. None of the authors had any conflict of interest. The authors thank Jonathan N. Hogarh, Vasu Tiwari, and Md Firoz Khan in Yokohama National University for their constructive comments on our article. The authors also thank the anonymous reviewers for their constructive comments and suggestions.

REFERENCES

- 1. Bakir F, Damliji SF, Amin-Zaki L, Murtadha M, Khalidi A, Al-Rawi NY, Tikriti S, Dhahir HI, Clarkson TW, Smith JC, Doherty TW. MeHg poisoning in Iraq. Science, 1973; 181:230-241.
- 2. Harada M. Minamata disease: Methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution. Critical Reviews in Toxicology, 1995; 25:1-24.
- USEPA. Water Quality Criterion for the Protection of Human Health: Methyl Mercury. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 2001. EPA 0823-R-01-001.
- 4. Myers GJ, Davidson PW, Cox C, Shamlaye C, Cernichiari E, Clarkson TW. Twenty-seven years studying the human neurotoxicity of methylmercury exposure. Environmental Research, 2000; 83(3):275-285.
- Yokoo E, Valente J, Grattan L, Schmidt SL, Platt I, Silbergeld EK. Low level methyl mercury exposure affects neuropsychological function in adults. Environmental Health: A Global Access Science Source, 2003; 200(2):8-19.
- 6. Zahir F, Rizwi SJ, Haq SK, Khan RH. Low dose mercury toxicity and human health. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2005; 20(2):351-360.
- 7. NRC. Toxicological Effects of Methyl Mercury. Committee on the Toxicology Effects of Methyl Mercury. National Research Council. Washington, DC: National Academy Press, 2000.
- 8. USFDA. Food and Drug Administration. 2004. Available at: http://www.cfsan.fda.gov/~dms/admehg3.html, Accessed on June 18, 2008.
- 9. Canada. Food Inspection Agency, 2002. Available at: http:// www.inspection.gc.ca/english/fssa/concen/specif/mercury. shtml, Accessed on June 18, 2008.
- 10. Japan. Ministry of Health, Labor and Welfare, Japan, 2003. Available at: http://www.mhlw.go.jp, Accessed on June 18, 2008.
- 11. UK. Food Standards Agency, 2003. Available at: http:// www.food.gov.uk/news/pressreleases/2003/feb/tuna_mercury, Accessed on June 18, 2008.
- 12. MHLW. The Ministry of Health, Labor and Welfare, Japan. MeHg Level in Fish, 2004. Available at: http:// www.maff.go.jp/fisheat/table2-040817.htm, Accessed on June 18,2008
- 13. Iwasaki Y, Sakamoto M, Nakai K, Oka T, Dakeishi M, Iwata T, Satoh H, Murata K. Estimation of daily mercury intake from seafood in Japanese women: Akita cross-sectional study. Tohoku Journal of Experimental Medicine, 2003; 200(2):67-
- 14. Murata K, Weihe P, Renzoni A, Debes F, Vasconcelos R, Zino F, Araki S, Jorgensen PJ, White RF, Grandjean P. Delayed evoked potentials in children exposed to methylmercury from seafood. Neurotoxicology and Teratology, 1999; 21(4):343-348
- 15. Nakai K, Satoh H. Developmental neurotoxicity following prenatal exposures to methylmercury and PCBs in humans from epidemiological studies. Tohoku Journal of Experimental Medicine, 2002; 196(2):89-98.
- 16. Ohno T, Sakamoto M, Kurosawa T, Dakeishi M, Iwata T, Murata K. Total mercury levels in hair, toenail, and urine

among women free from occupational exposure and their relations to renal tubular function. Environmental Research, 2007; 103(2):191-197.

- 17. Yasutake A, Matsumoto M, Yamaguchi M, Hachiya N. Current hair mercury levels in Japanese: Survey in five districts. Tohoku Journal of Experimental Medicine, 2003; 199(3):161-169
- 18. HNIIDS. Health and Nutrition Information Infrastructure Database System, 1995. Available at: http://www.nih.go.jp:888, Accessed on November 10, 2005 (now blocked for some reason).
- 19. NNS. National Nutrition Survey Database, Japan, 1995. Available at: http://wwwdbtk.mhlw.go.jp/toukei/kouhyo/ indexkk_14_2.html, Accessed on June 18, 2008.
- 20. NIHN. National Nutrition Survey Database, Japan, 1995. Available at: http://www.nih.go.jp/eiken/chosa/kokumin_ eiyou/doc_year/1995/1995_chs.pdf, Accessed on June 18, 2008.
- 21. MHLW. Distribution of Fish Consumption in Japan, 2001-2002. Available at: http://www.mhlw.go.jp/shingi/2005/08/dl/ s0812-3b6.pdf, Accessed on June 18, 2008.
- 22. Tran NL, Barraj L, Smith K, Javier A, Burke TA. Combining food frequency and survey data to quantify long-term dietary exposure: A methyl mercury case study. Risk Analysis, 2004; 24(1):19-30.
- 23. MAFF. The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan, 1995. Available at: http://www.maff.go.jp/ info/bunrui/bun06.html#nen2, Accessed on June 18, 2008.
- 24. Pastenbach DJ. The practice of exposure assessment: A stateof-the-art review. Journal of Toxicology and Environmental Health, 2000; B3:179-291.
- 25. MAFF. Distribution of Mercury in Fish. The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan, 2002. Available at: http://www.maff.go.jp/fisheat/table2-040817.htm, Accessed on June 18, 2008.
- 26. MAFF. Mercury Level in Fish. The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan, 2005. Available at: http://www.mhlw.go.jp/shingi/2005/08/dl/s0812-3a1.pdf, Accessed on June 18, 2008.
- 27. ME. The Ministry of Environment, Japan, 2003. Available http://www.nimd.go.jp/english/kenkyu/docs/2004_march_ at: mercury_analysis manual(e).pdf, Accessed on June 18, 2008. 28. Crystal Ball[®]. Decisioneering, professional edition, Japanese
- version. 2000.
- 29. Carrington CD, Bolger MP. An exposure assessment for methylmercury from seafood for consumers in the United States. Risk Analysis, 2002; 22(4):689-699.
- 30. JECFA. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2003. Available at: http://www.who.int/ipcs/food/ jecfa/summaries/en/summary_61.pdf, Accessed on June 18, 2008.
- 31. WHO. World Health Organization, 1990. Available at: http://www.who.int/entity/ipcs/food/jecfa/summaries/en/ summary_61.pdf, Accessed on June 18, 2008.
- 32. Sherlock JC, Hislop J, Newton D, Topping G, Whittle K. Elevation of mercury in human blood from controlled chronic ingestion of MeHg in fish. Human Toxicology, 1984; 3:117-131.
- 33. Sakamoto M, Kaneoka T, Murata K, Nakai K, Satoh H, Akagi H. Correlations between mercury concentrations in umbilical cord tissue and other biomarkers of fetal exposure to methylmercury in the Japanese population. Environmental Research, 2007; 103(1):106-111.
- 34. Yasutake A, Matsumoto M, Yamaguchi M, Hachiya N. Current hair mercury levels in Japanese for estimation of methylmercury exposure. Neurotoxicology, 2004; 25(4):711-712.
- 35. USEPA. Mercury study for Congress. Volume V: Health effects of mercury and mercury compounds. EPA-452/R-97-007, 1997.

Exposure Assessment of Methyl Mercury via Fish Consumption

- Cernichiari E, Brewer R, Myer GJ, Marsh DO, Lapham LW, Cox C, Shamlaye CF, Berlin M, Davidson PW, Clarkson TW. Monitoring methyl mercury during pregnancy: Maternal hair predicts fetal brain exposure. Neurotoxicology, 1995; 16:705– 710.
- 37. Phelps RW, Clarkson TW, Kershaw TW, Wheatley B. Interrelationships of blood and hair mercury concentrations in a North American population exposed to methylmercury. Archives of Environmental Health, 1980; 35:161–168.
- Suzuki T, Hongo T, Matsuo N, Imai H, Nakazawa M, Abe T, Yamamura Y, Yoshida M, Aoyama H. An acute mercuric mercury poisoning: Chemical speciation of hair mercury shows a peak of inorganic mercury value. Human and Experimental Toxicology, 1992; 11:53–57.
- Carrington CD, Bolger MP. Letter to the editor. Risk Analysis, 2008; 28:1137–1139.
- 40. Murata K, Sakamoto M, Nakai K, Weihe P, Dakeishi M, Iwata T, Liu XJ, Ohno T, Kurosawa T, Kamiya K, Satoh H. Effects of methylmercury on neurodevelopment in Japanese children in relation to the Madeiran study. International Archives of Occupational and Environmental Health, 2004; 77(8):571–579.
- Ginsberg G, Hattis D, Miller R, Sonawane B. Pediatric pharmacokinetic data: Implications for environmental risk assessment for children. Pediatrics, 2004; 113: 973–983.
- 42. Hattis D, Goble R, Russ A, Chu M, Ericson J. Age-related differences in susceptibility to carcinogenesis: A quantitative analysis of empirical animal bioassay data. Environmental Health Perspectives, 2004; 112(11):1152–1158.
- Renwick AG, Lazarus NR. Human variability and noncancer risk assessment—An analysis of the default uncertainty factor. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 1998; 27(1):3–20.

Ecological Assessment of Water Quality by Three-species Acute Toxicity Test and GC/MS Analysis - A Case Study of Agricultural Drains -

Takashi KAMEYA*, Kotaro YAMAZAKI*, Takeshi KOBAYASHI* and Koichi FUJIE*

* Faculty of Environment and Information Sciences, Yokohama National University, Sogo-bldg. 79-7 Tokiwadai, Hodogaya, Yokohama 240-8501 JAPAN

ABSTRACT

The water quality of environmental waters from the viewpoint of aquatic ecotoxicity was investigated using a three-species ecotoxicity test (algae, daphnia and fish). Water samples were collected, concentrated with a solid-phase extraction technique and exposed to each test species. The growth inhibition, immobilization (swimming inhibition) and mortality ratios in acute toxicity tests for algae, daphnia and fish, respectively, were used as water quality indexes. For the river waters, 38% of the monitoring sites showed good water quality from the viewpoint of long-term ecotoxicity for all the three test species because no toxicity effects were observed at the concentration factors of 10, 50 and 50 for algae, daphnia and fish, respectively. For the agricultural drains, the ecotoxicity level responded sensitively especially when agricultural chemicals were applied. The GC/MS analysis also confirmed that the detection index (DI) in the agricultural drains was often raised significantly by the agricultural chemicals, but the period with high ecotoxicity did not continue for long.

Keywords: water quality, ecotoxicity, river water, agricultural drain, agricultural chemicals

INTRODUCTION

In recent years, several new schemes of hazardous chemicals management, such as the Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS) (United Nations, 2003) and the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) (European Chemicals Agency (ECHA), 2007), have progressed internationally, and ecotoxic substances have been focused on as a group of hazardous chemicals. In Japan, 562 kinds of substances, including 388 kinds of ecotoxic substances, are required to conform to the Pollutant Release and Transfer Register (PRTR) and/or the Material Safety Data Sheet (MSDS) systems to manage their potential environmental risk. However, there has been little monitoring of the ecotoxic substance groups in the water environment, which may result in the delay of finding facts about environmental pollution and development of appropriate safety management.

Environmental pollutants are usually managed according to various physicochemical measures. However, analyses for a large number of these substances may be arduous and may be insufficient for assessing the biological safety in addition to their synergistic or antagonistic interactive effects (Fernandez *et al.*, 2005; Juvonen *et al.*, 2000). Ecotoxicity tests for environmental water are useful for detecting contaminants at a time, while the positive or negative interaction may be included in the test results (Hernando *et al.*, 2005). For example, the ecotoxicity of water samples has been evaluated using three of the most common aquatic tests, acute fish lethal test, acute daphnia

Address correspondence to Takashi KAMEYA, Faculty of Environment and Information Sciences, Yokohama National University, Email: kameya@ynu.ac.jp, Received April 16, 2010, Accepted July 8, 2010.

immobilization test and chronic algae growth inhibition test (Ferard and Ferrari, 2005). Although it is difficult to identify which substances contribute to the ecotoxicity, the ecotoxicity can be used as an overall index to assess the water environment and/or water treatment through parameters like biochemical oxygen demand (BOD).

The aim of this study is to apply the three-species ecotoxicity test to quantify the ecotoxicity level of river water from an urban area in Japan and agricultural drains when agricultural chemicals are applied. In addition, analysis of agricultural chemicals by GC/MS was simultaneously carried out and their ecotoxicity potential was discussed.

MATERIALS AND METHODS Collection of Water Samples

Water samples from rivers were collected mainly at the official water quality monitoring sites set up by the local government of Kanagawa Prefecture from 2006 to 2008. The location of the sampling sites is shown in Fig. 1. Agricultural wastewaters were collected from May 2008 to June 2008 in paddy area channels when agricultural chemicals were applied. Water samples in wastewater treatment plants were also collected. The sampling volume of water was determined by previous studies (data not shown) to be usually 4 L, but in the case where the dissolved organic carbon (DOC) of water was more than 30 mg/L, only 1L was necessary.



Fig. 1 - Location of sampling sites (Kanagawa Prefecture, Japan)

Preparation of Samples for Analysis

All water samples were filtrated using a 1 μ m glass fiber filter, and then concentrated by solid-phase extraction (SPE) method up to 100 times or 1,000 times (Ishii *et al.*, 2000). First, pre-conditioning of the Sep-Pak[®] Plus PS-2 (Nihon Waters K.K., Japan) cartridge was necessary and it was performed using acetone at a flow rate of 10 mL/min × 1 min, and dechlorinated tap water at 20 mL/min × 5 min. Here, the hydrophobic substances were mainly concentrated by a hydrophobic adsorption resin. Four liters of water sample was supplied to the cartridge at a flow rate of 20 mL/min × 20 min. After that, the cartridge was turned in the reverse direction and 10 mL of acetone (Wako Pure Chemical Industries., Ltd., Japan) was supplied at a flow rate of 2 ml/min × 5 min. The effluent acetone solution was then collected as a concentrated test solution and purged by nitrogen gas at a flow rate of 0.6 L/min. The test solution was preserved by freezing it prior to analysis. The illustration of the SPE procedure used in this study is shown in

Fig. 2. The concentration factors were determined as up to 10 times for algae, 50 times for daphnia and 50 times for fish in each acute toxicity test from the viewpoint of long-term ecotoxicity. These values of the concentration factors were established by statistically comparing the values of the data set for acute and chronic ecotoxicity at 80% or higher confidence level (Wei *et al.*, 2006). If no adverse ecotoxicity effects were observed for all the three tests at each concentration factor, the water sample could be considered harmless for the aquatic ecosystem in the site (Wei *et al.*, 2008).



Three-species Ecotoxicity Test

Ecotoxicity tests were performed referring to the test guidelines proposed by the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD-TG) (OECD, 2006; 2004; 1992). The ecotoxicity tests used in this study are summarized in Table 1.

| | Algae test | Daphnia test | Fish test |
|-------------------------|--|-----------------------|------------------------|
| Test species | Pseudokirchneriella | Daphnia magna (within | Oryzias latipes (48-72 |
| | subcapitata (Selenastrum capricornutum) | 24 hours after birth) | hours after birth) |
| Exposure time | 72 hours | 48 hours | 48 hours |
| Feeding of food during | not applicable | None | None |
| test | | | |
| Number of test species | 1.0×10^4 cells/mL | 10 bodies | 10 bodies |
| Volume of test solution | 20 mL | 20 mL | 20 mL |
| Temperature | 23±2 °C | 21±1 °C | 25±1 °C |
| Lighting | 5,000 lux | 16h/day | 16h/day |
| Endpoint | Growth inhibition | Immobilization | Mortality |
| | (logarithmic growth rate | (swimming inhibition) | |
| | decline) | | |
| Control / reference | Cell count must be 16 times | Not over 20% | Not over 10% mortality |
| | or more as large as control. | immobilization | - |

Table 1 - Ecotoxicity tests used

Three species were selected considering the ecological chain in the aquatic ecosystem. *Pseudokirchneriella subcapitata* was used for the algae growth inhibition test corresponding to OECD-TG 201. *Daphnia magna* was used for the acute immobilization test corresponding to OECD-TG 202. *Oryzias latipes* is adopted in the OECD-TG 203 for the fish acute toxicity test, therefore a larval fish of *Oryzias latipes* was used in this study (Liu *et al.*, 2007). The larval fish assay has an advantage in considerably reducing the volume of the ecotoxicity test solution that is made from a concentrated water sample. The growth inhibition ratio for algae, immobilization (swimming inhibition) ratio for daphnia and mortality ratio for fish in acute toxicity tests were used as water quality indexes.

GC/MS Analysis of Agricultural Chemicals

GC/MS analysis was applied to 68 kinds of agricultural chemicals. These compounds had been shown each goal value (GV) for water quality control in the Water Supply Law of Japan, and had been prepared a mixture standard solution for simultaneous analysis commercially (Wako Pure Chemical Industries., Ltd., Japan). The water sample was concentrated by the SPE technique using the Sep-Pak[®] Plus PS-2 cartridge similar to the preparation of samples for ecotoxicity test, and finally acetone solution was analyzed by GC/MS.

RESULTS AND DISCUSSION

Ecotoxicity Level of River Water

Histograms of each ecotoxicity effect ratio (growth inhibition ratio for algae, immobilization ratio for daphnia, and mortality ratio for fish) of river water samples are shown in Fig. 3 (a), (b), and (c) respectively. In total, 149 data were obtained from 73 river sites. The ecotoxicity effect ratio for a frequency of 10% or less was observed to be 86% for algae growth inhibition and 62% for fish mortality, while for a frequency of 20% or less, it was observed to be 33% for daphnia immobilization. On the other hand, for a frequency of 100%, the effect ratio was observed as 0% for algae and 11% for fish, while it was 45% for daphnia. For 43 water samples on 28 sites (38% in all 73 sites), no adverse ecotoxicity effects were observed in any of the three tests. These water samples could be considered harmless for the aquatic ecosystem, although seasonal and/or statistical variation of ecotoxicity was not sufficiently considered in this study. For 42 water samples in 26 sites, one of the tests, especially the daphnia test, showed 100% of ecotoxicity effect but the other two tests showed no more than 50% of the effect level. In other words, when the daphnia test showed strong ecotoxicity, the other tests also showed strong ecotoxicity for the urban river water samples in this study.



Ecotoxicity Level of Agricultural Drains

The samples from agricultural drains were collected from paddy channels and were subjected to three kinds of ecotoxicity tests and analysis with GC/MS. Ecotoxicity levels of agricultural wastewater when agricultural chemicals were applied are shown in Fig. 4. The ecotoxicity responded sensitively for several weeks, and showed considerably high levels for each test species compared with the river waters. However, the period did not continue very long.



Fig. 4 - Change in ecotoxicity level of agricultural drains when agricultural chemicals were applied

GC/MS Analysis and Contribution of Specific Chemicals to Ecotoxicity

The recovery rates for 68 kinds of agricultural chemicals were more than 60% (except for ethofenprox which has lower ecotoxicity and lower production) in the SPE procedure and more than 87% in the nitrogen purge procedure. In this study, 30 kinds of agricultural chemicals, especially herbicides such as bromobutide (max. conc. 25 μ g/L), pretilachlor (max. conc. 4.2 μ g/L), esprocarb (max. conc. 0.96 μ g/L) and others were detected and quantified by two measurements at two sites. In the Water Supply Law of Japan, 102 kinds of agricultural chemicals have been controlled by the total of their detection index DI that were corresponding to "hazard ratio" considering their chronic toxicity for humans using Equation (1).

.)

$$DI = \sum_{i} DI_{i} = \sum_{i} DV_{i} / GV_{i}$$
⁽¹⁾

DI: detection index of water sample DIi: detection index of compound i DVi: detected concentration value of compound i [mg/L] GVi: goal value of water quality control of compound i [mg/L].

In this study, this concept was applied to evaluate the water quality based on ecotoxicity potential. GVi was referred to the reference concentration (RfC) (Ohkubo *et al.*, 2004; ORCERC, 2009), and DI was used as a screening index of the ecotoxicity potential that would be caused by single or multiple ecotoxicity substances comprehensively in environmental water. When the DI value increases, the environmental load to the water downstream also increases, especially at agricultural drains near agricultural fields when agricultural chemicals were applied. It is then considered that for the DI value to exceed 1 in the long term means that it is an undesirable status for the inhabitation of aquatic organisms.

The results of the measurement and the calculation of DVi, DIi and DI are shown in Table 2. Three chemicals, terbucarb (MBPMC), bromobutide and tolclofos-methyl, were detected but not shown in Table 1, because their RfC values could not be obtained. Here, terbucarb has already been withdrawn from the registration of the Agricultural Chemicals Regulation Law, and only a maximum concentration of 0.1 μ g/L was detected. Tolclofos-methyl was also detected at only a maximum concentration of 0.11

 μ g/L, but the levels of the acute EC₅₀ for each test species were several mg/L or more (Sumitomo Chemical Co. Ltd., Japan, 2009). Therefore, the level of DIi for tolclofos-methyl could be considered negligible. Bromobutide was detected at a maximum concentration of 25 μ g/L but the levels of the acute EC₅₀ for each test species were more than 4.85 mg/L (Ministry of Environment, Japan, 2007). Therefore, the level of DIi for bromobutide could also be considered negligible.

There were 30 kinds of agricultural compounds detected, and 25 of them had DIi values that exceeded 1 in some measurements in this study. Here, some pesticides such as trichlorfon (DEP), fenitrothion (MEP), chlorpyrifos, endosulfan and others, were considered to have raised the total DI level because their toxicities were high. A herbicide (atrazine) also raised the total DI value because its concentration was high although its ecotoxicity was relatively low. It is difficult to assess the environmental risk by using the DI values because the safety factor in RfC has not been established enough yet. However, these results where the DI value was hundreds or thousands provide evidence that the water quality level based on ecotoxicity is often sensitive when agricultural chemicals are applied, even if the effect is temporary (i.e. several weeks). Therefore, it is necessary to develop a risk analysis method of temporary exposure and to note the management of the agricultural drains when agricultural chemicals are applied.

| | | CU | | | | D | lı ** | | | |
|--------------------|------------|--------|-----|------|-----|------|-------|------|--------|------|
| Compound | CAS-RN* | GV · | | Site | еA | | | S | ite B | |
| | | mg/L | 5/9 | 5/28 | 6/8 | 6/18 | 5/9 | 5/28 | 6/8 | 6/18 |
| Trichlorfon (DEP) | 52-68-6 | 2.2E-6 | | | | | | 8145 | | |
| Dichlobenil (DBN) | 1194-65-6 | 1.9E-3 | | | 3.0 | 2.7 | 3.1 | | | 2.6 |
| Molinate | 2212-67-1 | 2.7E-4 | | | 37 | 47 | | | | 173 |
| Fenobucarb (BPMC) | 3766-81-2 | 7.5E-4 | | | | | 10.9 | | 11 | 22 |
| Trifluralin | 1582-09-8 | 8.4E-5 | | | | | 133 | | | |
| Benfluralin | 1861-40-1 | 1.3E-4 | | | | | 96.3 | | | |
| Pencycuron | 66063-05-6 | 2.7E-3 | 3.4 | | 3.3 | 3.3 | | | | |
| Atrazine | 1912-24-9 | 1.9E-3 | | | | | | | 8829 | |
| Alachlor | 15972-60-8 | 7.7E-4 | | | | | 14 | | | |
| Dithiopyr | 97886-45-8 | 4.7E-3 | | | | | 2.1 | | | |
| Simetryn | 1014-70-6 | 1.1E-3 | | | 13 | 13 | | | 13 | 16 |
| Fenitrothion (MEP) | 122-14-5 | 9.5E-6 | | | | | 1732 | | | |
| Esprocarb | 85785-20-2 | 3.8E-4 | | | 252 | 38 | | | | |
| Chlorpyrifos | 2921-88-2 | 1.2E-5 | | | | | 986 | | | |
| Thiobencarb | 28249-77-6 | 2.7E-3 | | | 3.8 | 3.5 | 3.9 | | | 4.3 |
| Phthalide | 27355-22-2 | 7.8E-2 | | | | | 0.10 | | | |
| Pendimethalin | 40487-42-1 | 2.1E-4 | | | | | 60 | | | |
| Dimethametryn | 22936-75-0 | 1.5E-3 | | | | | 7.8 | | 23 | 42 |
| Procymidone | 32809-16-8 | 7.2E-3 | | | | | 0.98 | | | |
| Flutolanil | 66332-96-5 | 8.9E-3 | | | 1.3 | | | | | |
| Pretilachlor | 51218-49-6 | 1.7E-4 | | | 91 | | | 100 | 2457 | 1671 |
| Isoprothiolane | 50512-35-1 | 7.4E-3 | | | | | | 1.5 | | |
| Buprofezin | 69327-76-0 | 2.7E-3 | | | | | 4.2 | 3.6 | | |
| Pyributicarb | 88678-67-5 | 2.8E-3 | | | | | 4.1 | | | |
| Pyriproxyfen | 95737-68-1 | 1.1E-4 | | | | | 118 | | | |
| Etofenprox | 80844-07-1 | 5.0E-3 | | | | | 3.7 | | | |
| Endosulfan | 115-29-7 | 1.1E-5 | | | | | 868 | | | |
| total | | | 3.4 | 0 | 404 | 107 | 4047 | 8249 | 11,332 | 1930 |

Table 2 - Detection indexes for various compounds in agricultural drains

* Chemical Abstracts Service Registry Number.

** Blank cells mean not detected.

CONCLUSIONS

In this study, the water quality of environmental waters based on aquatic ecotoxicity was investigated using a three-species ecotoxicity test (algae, daphnia and fish). Water samples were collected from an urban area in Japan, were concentrated with a solid-phase extraction technique and were exposed to each test species at each concentration factor. The growth inhibition ratio for algae, immobilization ratio for daphnia and mortality ratio for fish in each acute toxicity test were used as water quality indexes. Of the monitoring sites evaluated in this study, 38% showed good water quality based on long-term ecotoxicity for all the three test species. This is because the ecotoxicity effects were not observed at the concentration factors of 10 for algae, 50 for daphnia and 50 for fish in the acute toxicity tests. There were large differences in the ecotoxicity test results among each test species, and a high ecotoxicity tendency to daphnia was observed compared to those of algae and fish in the surveyed urban area. On the other hand, the ecotoxicity level in agricultural wastewater responded sensitively especially when agricultural chemicals were applied. It was also confirmed by the GC/MS analysis that the detection index (DI) by the agricultural chemicals was often raised significantly. However, the period with a high ecotoxicity did not continue for long.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) through the Global Center of Excellence (COE) Program (JSPS2007-E03) and by the Grant-in-Aid for Scientific Research (B) (JSPS2008-20310018).

REFERENCES

European Chemicals Agency (ECHA) (2007). REACH,

http://echa.europa.eu/reach_en.asp. (accessed 1 May 2010)

- Ferard J. F. and Ferrari B. (2005). Wastoxhas: a bioanalytical strategy for solid wastes assessment: a review. In: Blaise, C., Ferard, J.F. (Eds.), *Small-Scale Freshwater Toxicity Investigation: Volume 2-Hazard Assessment Schemes*. Springer, Secaucus, NJ, pp. 331-375.
- Fernandez M. D., Cagigal E., Vega M.M., Urzelai A., Babin M., Pro J. and Tarazona J.V. (2005), Ecological risk assessment of contaminated soils through direct toxicity assessment, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 62, 174-184.
- Hernando M. D., Fernández-Alba A.R., Tauler R. and Barceló D. (2005). Toxicity assays applied to wastewater treatment, *Talanta*, **65** (2), 358–366.
- Ishii S., Urano K. and Kameya T. (2000). General conditions for concentrating trace organic compounds in water with porous polystyrene cartridges, J. Jpn. Soc. Wat. Environ., 23, 85-92 (in Japanese).
- Juvonen R., Martikainen E., Schultz E., Joutti A., Ahtiainen J. and Lehtokari M. (2000). A battery of toxicity tests as indicators of decontamination in composting oily waste, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 47, 156-166.
- Liu R., Kameya T., Sawai A. and Urano K. (2007). Application of a larval medaka assay to evaluate the fish safety level in Sagami River, Japan, *Environ. Monit. Assess.*, **130**, 475-482.
- Ministry of Environment, Japan (2007). Standards to withdraw registration for

agricultural chemicals, http://www.env.go.jp/water/sui-kaitei/kijun/rv/h18_bromobutide.pdf (accessed 1 July 2010).

- Ohkubo H., Kameya T. and Urano K. (2004). Reference concentration for aquatic life protection, *Proceeding of Annual Meeting of Japan Soc. Water Environ.*, **38**, 269.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Test No. 201: Alga, Growth Inhibition Test (2006); Test No. 202: Daphnia sp. Acute Immobilisation Test (2004); Test No. 203: Fish, Acute Toxicity Test (1992). OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section2: Effects on Biotic System, http://titania.sourceoecd.org/yl=14876372/cl=13/nw=1/rpsy/cw/yhosts/oecdiournals

http://titania.sourceoecd.org/vl=14876372/cl=13/nw=1/rpsv/cw/vhosts/oecdjournals /1607310x/v1n2/contp1-1.htm (accessed 1 May 2010)

Organization for Research and Communication on Environmental Risk of Chemicals (ORCERC) (2009). Reference concentration, Useful PRTR Data Website,

http://ecochemi.jp/PRTR2007/area/00000-000-006.pdf (accessed 1 May 2010).

- Sumitomo Chemical Co. Ltd. (2009). MSDS: RIZOLEX[®] powder material, RIZOLEX[®] wettable material, http://www.i-nouryoku.com/ (accessed 1 July 2010).
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) (2003). Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS), http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_welcome_e.html (accessed 1 May 2010)
- Wei D. B., Kisuno A., Kameya T. and Urano K. (2006). A new method for evaluating biological safety of environmental water with algae, daphnia and fish toxicity ranks, *Sci. Total. Environ.*, **371**, 383-390.
- Wei D. B., Lin Z. F., Kameya T., Urano K. and Du Y. G. (2008). Application of biological safety index in two Japanese watersheds using a bioassay battery, *Chemosphere*, 72, 1303-1308.



Improvement potential for net energy balance of biodiesel derived from palm oil: A case study from Indonesian practice

Hirotsugu Kamahara^a, Udin Hasanudin^b, Anugerah Widiyanto^c, Ryuichi Tachibana^d, Yoichi Atsuta^e, Naohiro Goto^{e,*}, Hiroyuki Daimon^e, Koichi Fujie^f

^a Research Institute of Science for Safety and Sustainability, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba, Ibaraki 305-8569, Japan

^b Department of Agroindustrial Technology, University of Lampung, Bandar Lampung, Lampung 35145, Indonesia ^c International Cooperation Center for Engineering Education Development, Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Aichi 441-8580, Japan

^d Department of Civil and Environmental Engineering, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Niigata 940-2188, Japan ^e Department of Environmental and Life Sciences, Toyohashi University of Technology, 1-1 Hibarigaoka, Tempaku, Toyohashi, Aichi 441-8580, Japan

^f Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University, Yokohama, Kanagawa 240-8501, Japan

ARTICLE INFO

Article history: Received 23 February 2009 Received in revised form 10 July 2010 Accepted 14 July 2010 Available online 6 September 2010

Keywords:

Energy balance International transport Biodiesel Palm oil Elaeis guineensis Jacq.

ABSTRACT

Biodiesel derived from palm oil has been recognized as a high-productivity oil crop among the first generation of biofuels. This study evaluated and discussed the net energy balance for biodiesel in Indonesia by calculating the net energy ratio (NER) and net energy production (NEP) form the total energy input and output. The results of the calculation of energy input for the default scenario demonstrated that the primary energy inputs in the biodiesel production lifecycle were the methanol feedstock, energy input during the biodiesel production process, and urea production. These three items amounted to 85% of the total energy input. Next, we considered and evaluated ways to potentially improve the energy balance by utilizing by-products and biogas from wastewater treatment in the palm oil mill. This result emphasized the importance of utilizing the biomass residue and byproducts. Finally, we discussed the need to be aware of energy balance issues between countries when biofuels are transported internationally.

© 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved.

balance. Therefore, it is important to evaluate the net energy balance of biomass as well as the biofuel it can produce. Some

researchers have estimated the net energy balance for bio-

fuels, such as, corn ethanol [1-3], sugar cane ethanol [4],

cassava ethanol [5,6], and soy bean biodiesel [7], by calculating

the net energy value (NEV) or net energy ratio (NER). In the

case of biodiesel production from waste cooking oil, the result

of the NEV calculation strongly depends on the collection

1. Introduction

Biomass can be regrown from seeds or plant parts as long as sun energy, soil nutrients, and a source of water exist. For this reason, biomass is recognized as a renewable energy source. However, to be considered a sustainable source, the input of energy required for biomass production must not exceed the output or amount of energy that can be extracted from the biomass; in other words, there must be a positive energy

* Corresponding author.

distance [8].

E-mail address: goto@ens.tut.ac.jp (N. Goto).

^{0961-9534/\$ –} see front matter @ 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved. doi:10.1016/j.biombioe.2010.07.014

Palm oil has gained attention as a high-productivity oil crop among the first generation of biofuels [9–11]. On the other hand, oil palm cultivation can generate excess emission of greenhouse gases if plantations are developed by destroying existing rainforests [12–15]. Improving the energy efficiency of the palm oil industry must also address these issues to reduce the carbon payback time.

The first attempt to study the energy balance of oil palm cultivation came up with an NER of 9.6 [16]. Lifecycle assessment of palm oil production in Malaysia was also clarified the energy and material consumption [17]. Estimates of the NER of biodiesel derived from palm oil have been reported [18,19]; however, the debate over the energy efficiency of palm oil production is still ongoing [20]. The energy balance of biofuel production will depend on the cultivation and operating conditions in each biofuel producing country [20]. Some improvements of the energy balance have been reported for bioethanol production from wheat [21]. With respect to greenhouse gas emission from ethanol production, farming practices is largely contributing to the lifecycle greenhouse gas emissions of bioethanol [22]. Therefore, key factors were discussed for improvement of greenhouse gas emissions from ethanol production [23]. Similar discussions are also needed concerning the energy balance during biodiesel production.

The purpose of this study was to evaluate and discuss the net balance between total energy input and output throughout the lifecycle of palm biodiesel production using actual data collected in Indonesia. In Indonesia, biodiesel production capacity reached $520 \text{ m}^3 \text{ y}^{-1}$ in April, 2007 [24]. The results of energy balance estimates for biofuels depend on conditions such as climate, soil, and farming practices. Therefore, this study estimated the default scenario values using data collected in Indonesia, and we discussed key ways to improve the energy balance of palm biodiesel suggested by our results. In addition, international transport of palm biodiesel between Japan and Indonesia was also considered in this study. International transport of biofuels has been considered in previous studies [15,25,26], but it also needs more discussion.

2. Methods

2.1. Palm biodiesel production systems

A schematic diagram of the palm biodiesel production process was developed on the basis of our investigations in Indonesia and is shown in Fig. 1. Fresh fruit bunches (FFB) are cultivated manually on almost all Indonesian oil palm plantations. The palm oil mill produces crude palm oil (CPO) and palm kernels. The palm oil mill in our study obtains energy from a cogeneration system maintained by using part of the palm kernel shells (PKS) and palm press fiber (PPF). This mill then applies the empty fruit bunches (EFB) and ash from the cogeneration system to neighboring plantations. The palm oil mill effluent (POME) is treated by a biological pond system called lagoons; and, after treatment, the wastewater is used for irrigating the neighboring plantations. The palm kernels are not processed into kernel oil in this mill, but are transported to other mills that carry out the kernel oil processing. It should be remembered that these conditions were taken as the default scenario for our study, but the practices are likely to be different in other examples within the palm oil industry.

2.2. Evaluation of net energy balance

Net energy balance was evaluated by comparing the total energy input and output in the palm biodiesel production system. This study analyzed the net energy balance using the net energy ratio (NER) and the net energy production (NEP). NER is calculated as:

$$NER = \frac{EF + EB}{EI}$$
(1)

where EF is the energy output of the fuel (MJ ha⁻¹ y⁻¹), EB is the energy output of the by-products (MJ ha⁻¹ y⁻¹), and EI is the total energy input (MJ ha⁻¹ y⁻¹). NEP is calculated as:

$$NEP = EF + EB - EI$$
 (2)

The unit basis for our evaluation is the energy used for 1 kg of biodiesel or on the basis of the hectare of plantation. The resulting net energy balance is greatly affected by the conditions set for the evaluation [27]. This study examined the differences, and considered opportunities to improve the primary sources of energy input and output in each production stage. Sun and labor energy were not counted in this evaluation because this study focused only on energy input related to the resource depletion problem. The energy supplied by the biomass residue in the palm oil mill was not counted as energy input or output, because this energy supply is only provided within the system boundary (Fig. 1).

2.3. Data collection

Foreground data on the plantation and palm oil mill were collected by the authors from a palm oil company (5.3°S, 105.2°E) in Lampung province, Indonesia, between 2006 and 2007 [28]. Foreground data for palm biodiesel production was obtained by personal communication from the Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT), Indonesia. Table 1 shows the foreground data for the palm biodiesel production system.

In the studied oil palm plantation, they cultivated Elaeis guineensis Jacq., and that yield of FFB was 17.6 t ha^{-1} (and of CPO 3.78 t ha^{-1}). The average yield of CPO in Indonesia [29], is 3.37 t ha^{-1} , and the world average is 3.44 t ha^{-1} . Generally, the yield of FFB is related to factors such as the rate of application of fertilizer, climate conditions, and soil conditions [30,31]; in this study we used the yield from the studied plantation for the default scenario.

The studied palm oil mill has a capacity of 25 th^{-1} (500 t d⁻¹). The material balance and FFB quality for this palm oil mill and a reference mill are shown in Table 2. The FFB of the studied palm oil mill was considered to be of medium quality with respect to the amount of CPO and kernel [32] produced. In the studied palm oil mill, 85% of the PPF and 55% of the PKS are used for energy production by the cogeneration system. Additionally, this palm oil mill uses diesel fuel as start-up fuel for the boiler.



Fig. 1 – Palm biodiesel production system (FFB: Fresh fruit bunch, CPO: Crude palm oil, WWT: Wastewater treatment, POME: Palm oil mill effluent, PKS: Palm kernel shells, PPF: Palm press fiber, EFB: Empty fruit bunch).

Regarding the biodiesel production data shown in Table 1, we wish to point out that BPPT is still developing improved equipment for biodiesel production. Advances in the technology for production of biodiesel from palm oil that apply the heterogeneous transesterification method are also still under development [33]. Thus, there is uncertainty in the data for material and energy input during biodiesel production. Other authors [34] have reported an energy input for biodiesel production of 0.284 kWh kg⁻¹ with \pm 50% uncertainty, which is in good agreement with the value shown (Table 1). Therefore,

| Table 1 – Foreground data for p | alm biodiesel production system. | | |
|---|---|---------------------------------------|------------|
| Process | turit disarti da Item | Unit | Value |
| Plantation | Urea (CH₄N₂O) | g ha ⁻¹ y ⁻¹ | 280 |
| 그 사람의 것에 있어 집을 만들는 것 같은 것 | Triple Super Phosphate (P ₂ O ₅) | $g ha^{-1} y^{-1}$ | 20 |
| 가에 안전 가지 지지 않는 것 같이 많이 있었다. | Rock Phosphate (P, Ca) | g ha ⁻¹ y ⁻¹ | 208 |
| | Muriate of Potash (K, Cl) | g ha ⁻¹ y ⁻¹ | 280 |
| | Kieserite (Mg) | g ha ⁻¹ y ⁻¹ | 76 |
| | Dolomite (Mg, Ca) | $g ha^{-1} y^{-1}$ | 167 |
| | Herbicides [®] | $mg ha^{-1} y^{-1}$ | 257 |
| Palm oil mill | Diesel fuel on FFB | kg t ⁻¹ | 1.4 |
| Biodiesel production | Raw material | kg kg ⁻¹ | 1.05 |
| 이 명화학습 것 가슴 가슴가 다 나라 ? | Glycerin | kg kg ⁻¹ | 0.167 |
| | Methanol | kg kg ⁻¹ | 0.135 |
| المتحد المراجع والمرود فالمحاج والمراجع والمحاج والمحاج | Caustic Potash | g kg ⁻¹ | 9.15 |
| n na herria. Tha an | Electricity | kWh kg ⁻¹ | 0.307 |
| Transportation | Distance between plantation and palm oil mill (truck) | km | 18 |
| | Distance between biodiesel production and | km | 22 |
| | Indonesian port (trailar) | | |
| | Distance between Indonesian port and | km | 5.138 |
| a 1965 a dhean Arnel - Chippe Adher, da | Japanese port (tanker) | · · · · · · · · · · · · · · · · · · · | - , |
| and a set of the set of | Diesel consumption of the 5 tonne truck | kg km ⁻¹ | 0.28 |
| en el ser la plana el 1 | Diesel consumption of 20 m ³ truck-trailer | kg km ⁻¹ | 0.29 |
| A REPORT OF A LARD PROVIDED AND | Heavy oil consumption of the tanker | $g \mathrm{km^{-1} t^{-1}}$ | 1.22 |

a Herbicides were used for cultivation of young palm tree in this plantation. The value was presented as weight of active ingredients.

| Table 2 – Ma | terial balance | e and | quality | of | FFB | in | palm | oil |
|---------------|----------------|-------|---------|----|-----|----|------|-----|
| mill (%-FFB). | | | | | | | * | |

| Item | This study | Reference [32] | |
|------------------------|------------|---------------------|--------------------|
| | | High-quality FFB | Low-quality FFB |
| Input material | | | |
| FFB | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| Water | 19.36 | n/a | n/a |
| Output material | | | |
| Product | | | |
| CPO | 21.51 | 25-28 | 11.5 |
| By-product | | | |
| Kernel | 4.30 | 8.5-8.4 | 1 |
| Biomass residue | | | |
| EFB | 25.00 | 20-30 | 59 |
| PPF | 14.10 | 12-13 | 13.9 |
| PKS | 5.35 | 6.8-7.4 | 10.6 |
| Wastewater | | | |
| POME | 35.40 | 44-118 | |

in this study, we used the data collected in Indonesia for the default scenario. The 36.5-MJ kg⁻¹ (LHV) reported for biodiesel was used in this study [35].

To account for the energy input of transportation, the distance between the plantation and the studied palm oil mill was used in the model, and it was assumed that the biodiesel was produced near the palm oil mill for the default scenario. The model used for international ocean shipping was transport from Panjang, Indonesia, to Yokohama, Japan. The return trip was counted when estimating transportation by truck and trailer. Data for energy consumption by transportation were obtained from personal communications and the literature [36,37]. We used the average fuel consumption of crude oil and petroleum products' ocean transport for international transport of biodiesel. To simplify the study, the transportation of other materials such as fertilizer was not considered.

2.4. Basic energy input

The basic energy input of chemicals, electricity, and fossil fuel are shown in Table 3. In general, even for production of the same nitrogen fertilizer, the energy input will differ according to the kind of fertilizer products and the age of the factory [46].

| Table 3 – Basic energy input of chemicals and fossil fuels. | | | | |
|---|----------------------|-------|------------|--|
| Item | Unit | Value | Reference | |
| Urea | MJ kg ⁻¹ | 33.2 | [38-42] | |
| Triple super phosphate | MJ kg ⁻¹ | 2.8 | [39-42] | |
| Rock phosphate | MJ kg ⁻¹ | 1.3 | [39,40] | |
| Muriate of potash | MJ kg ⁻¹ | 3.5 | [39,41,42] | |
| Kieserite | MJ kg ⁻¹ | 2.0 | [39] | |
| Dolomite | MJ kg ⁻¹ | 0.5 | [39] | |
| Herbicides | MJ kg ⁻¹ | 215 | [40] | |
| Methanol production | MJ kg ⁻¹ | 2.8 | [43] | |
| Feedstock of methanol | MJ kg ⁻¹ | 33.5 | [43] | |
| Diesel fuel | MJ kg ⁻¹ | 47.6 | [44] | |
| Heavy oil A | MJ kg ⁻¹ | 47.6 | [44] | |
| Electricity | MJ kWh ⁻¹ | 10.47 | [45] | |

| Table 4 – Energy input in palm biodiesel production. | | | | | |
|--|-----------------------|------------------------------|--|--|--|
| Item | | Value (MJ kg ⁻¹) | | | |
| Plantation | | | | | |
| Urea | | 2.338 | | | |
| Triple super phosphate | 4 3 ⁴ | 0.014 | | | |
| Rock phosphate | * * - | 0.069 | | | |
| Muriate of potash | | 0.246 | | | |
| Kieserite | | 0.038 | | | |
| Dolomite | | 0.022 | | | |
| Herbicides | | 0.014 | | | |
| Palm oil mill | | | | | |
| Diesel | | 0.280 | | | |
| Biodiesel production | | | | | |
| Electricity | europe de la Colorada | 3.211 | | | |
| Methanol production | | 0.378 | | | |
| Feedstock of methanol | | 4.521 | | | |
| Transport | | | | | |
| From plantation to palm of | il mill | 0.214 | | | |
| From biodiesel production | to port | 0.037 | | | |
| From Indonesian port to Ja | 0.363 | | | | |
| From Japanese port to fuel | station | 0.128 | | | |
| Total | | | | | |
| Energy input | | 11.9 | | | |

In this study, an average value at each age per product was used as the default basic energy input. The basic energy input for fossil fuels was assumed to be the same as the value in Japan because there are no available data for Indonesia. The basic energy input for electricity was calculated using the average value in Indonesia for 1999 [45].

3. Results

The energy input throughout the production of palm biodiesel is shown in Table 4. The total energy input was 11.9 MJ kg⁻¹, with the highest contribution from the methanol feedstock, the second highest from electricity, and the third from urea production. These top three items amounted to about 85% of the total energy input. In addition, the NER and NEP were 3.1 and 98 GJ ha⁻¹, respectively. The reference value of NER for palm biodiesel was 6–9 [18,19]. This difference may be the result of the conditions of energy production from the biomass residue. The next Section (4) will discuss this point further.

Another factor to consider is the issue of transnational energy balance when biofuel is transported internationally. For example, if 1 kg of diesel fuel is replaced by palm biodiesel in Japan, the low heating value of 36.5 MJ for palm biodiesel is applied there. However, 11.9 MJ of energy will be consumed in Indonesia during production of the palm biodiesel. Furthermore, Japan is currently importing crude oil from Indonesia. Therefore, if the imported amount crude oil is not reduced by at least 11.9 MJ for every 1 kg of diesel fuel, there will be a net increase in energy consumption in Indonesia. It is important for Japan to consider this energy balance when importing palm biodiesel because of the accompanying new energy demands in Indonesia. This problem also may appear in calculating the balance of greenhouse gases between countries that produce and import biofuels.

| Table 5 – Energy balance improvement potential for palm biodiesel production lifecycle. | |
|--|---|
| Type of energy | Energy improvement potential (MJ kg ⁻¹) |
| Input Allocation Energy input by CPO production is allocated to kernel by weight percent (CPO:Kernel = 83:17). Energy input by biodiesel production is allocated to glycerin by weight percent (biodiesel:Glycerin = 80:20). | –17% of energy input by palm oil mill –20% of energy input by biodiesel production |
| Improvement of process Biodiesel production energy is obtained by biomass waste from Palm oil mill. The result excludes electricity use in biodiesel production. Best available data is used for urea production. The energy consumption of urea production is set as 19.2 MJ kg ⁻¹ obtained by reference [42]. | -3.2 States and Product and A |
| Output Additional energy output Glycerin having low heating value of 24.18 MJ kg ⁻¹ is utilized for an energy source [47]. Biogas use for energy production palm oil mill. The value was caluculated by using reference asumption [51]. | 148 148 119 |

4. Discussion

Generally, estimating energy allocations is a challenge in the lifecycle assessment. In the case of palm biodiesel production, palm kernels and glycerin are generated as by-products (Fig. 1). The energy credit for these by-products is one of the important factors in the energy balance for biofuels [23]. In this section, we first considered the energy allocation for palm kernels. Then, we considered the utilization of glycerin for material and energy. The mass allocation method was applied for the material use of palm kernels and glycerin. For the energy use of glycerin, the low heating value was counted as energy output and was assumed to be the same as the reference value obtained from a process having almost the same features as the biodiesel production process in this study [47].

In addition, it is important to consider the use of the biomass residue for energy production because the energy efficiency of the equipment in the studied palm oil mill has improved over the past decade [20]. Even if all the energy required for processing by the palm oil mill was obtained by cogeneration using the biomass residue generated from its own process, it could still provide a surplus of biomass residue. The potential of biomass residue in oil palm mill has been described in Thailand [32], Colombia [48], Malaysia, and Indonesia [49,50]. To reduce the energy input required in this study, we considered a scenario in which the electricity needed for biodiesel production was displaced by surplus energy production because the potential of the surplus biomass residue was considered enough to supply to biodiesel production. In addition, generation of electricity from biogas in the palm oil mill was also considered as a potential energy output in this study. We calculated the biogas energy potential using available data from one of these references [51].

The results of the various potential energy improvements are shown in Table 5. Our evaluation of glycerin utilization showed that material use was better than energy use. If we considered all energy improvements, the total energy input would decrease to 5.9 MJ kg^{-1} , and NER would increase to 7.3. Furthermore, if we were to except international transport from the energy input, NER would increase to 8.0. In addition, another potential source of improvement in the net energy balance of palm biodiesel is increased yield of FFB. In Malaysia, it has been reported that the average yield of FFB is 25 t ha^{-1} [15]. This value is higher than that used in our study (17.6 t ha⁻¹). This difference may be the result of factors such as, the practice of soil management, climate conditions, amounts of fertilizer applied, and differences among breeds. Breed improvement is one of the important efforts being undertaken to increase FFB yield in oil palm plantations [52].

5. Conclusion

This study evaluated and discussed the net energy balance of palm biodiesel. The results calculated using data collected in Indonesia showed that the primary energy inputs in the palm biodiesel production lifecycle were the methanol feedstock, energy input in the biodiesel production process, and urea production. These three items amounted to 85% of the total energy input. In addition, we discussed the importance of transnational issues of energy balance when palm biodiesel is transported internationally. Although the NEP was positive, it is necessary to take into account the fact that the energy input in the biofuel producing county increases when the biofuels are exported.

Finally, we evaluated ways to potentially improve the net energy balance of palm biodiesel. These results highlighted the importance of utilizing biomass residues and by-products to improve energy production. In situations where energy production involves burning the biomass residue, the use of biomass ash will be important for restoring soil nutrients on the plantations [53]. These measures also will contribute to the sustainability of biofuel production.

Acknowledgments

This study was conducted as a program for the "Design and evaluation of the biomass utilization system" with Special Coordination Funds for Promoting Science and Technology by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology. The authors would like to thank Dr. Irhan Febijanto and Dr. Faizul Ishom (Agency for the Assessment and Application of Technology) for their assistance in collecting the data in Indonesia.

REFERENCES

- [1] Pimentel D. Ethanol fuels: energy security, economics, and the environment. J Agric Environ Ethics 1991;4:1–13.
- [2] Shapouri H, Duffield JA, Wang M. The energy balance of corn ethanol: an update, report no. 814. from. Office of the Chief Economist, US Department of Agriculture, www.usda.gov/ oce/reports/energy/aer-814.pdf; 2002 [accessed April 2010].
- [3] Liska AJ, Yang HS, Bremer VR, Klopfenstein TJ, Walters DT, Erickson GE, et al. Improvements in life-cycle energy efficiency and greenhouse gas emissions of corn-ethanol. J Ind Ecol 2009; 13(1):58–74.
- [4] Macedo IC, Leal MRLV, Silva JEAR. Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil. Report for the Secretariat of the Environment. from. Brazil: State of São Paulo, http://www.unica.com.br/i_pages/ files/pdf_ingles.pdf; 2004 [accessed February 2008].
- [5] Dai D, Hu Z, Pu G, Li H, Wang CT. Energy efficiency and potentials of cassava fuel ethanol in Guangxi region of China. Energ Convers Manag 2006;47(13–14):1686–99.
- [6] Nguyen TLT, Gheewala SH, Garivait S. Energy balance and GHG abatement cost of cassava utilization for fuel ethanol in Thailand. Energ Pol 2007;35(9):4585–96.
- [7] Sheehan J, Camobreco V, Duffield J, Graboski M, Shapouri H. Life-cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus, report NREL/SR-580-24089. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory; 1998.
- [8] Kamahara H, Yamaguchi S, Tachibana R, Goto N, Fujie K. Estimation of recoverable household waste cooking oil and life cycle analysis of biodiesel fuel production. J Life Cycle Assess Jpn 2008;4(4):318–23 [in Japanese].
- [9] Basiron Y. Palm oil production through sustainable plantations. Eur J Lipid Sci Technol 2007;109(4):289–95.
- [10] Sumathi S, Chai SP, Mohamed AR. Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. Ren Sust Energ Rev 2008;12(9):2404–21.
- [11] Tam KT, Lee KT, Mohamed AR, Bhatia S. Palm oil: addressing issues and towards sustainable development. Renew Sust Energ Rev 2009;13(2):420–7.
- [12] Germer J, Sauerborn J. Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. Environ Dev Sust 2008;10(6):697–716.
- [13] Reijnders L, Huijbregts MAJ. Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. J Cleaner Prod 2008;16(4): 477–82.
- [14] Fargione J, Hill J, Tilman D, Polasky S, Hawthorne P. Land clearing and the biofuel carbon debt. Science 2008;319(5867): 1235–8.
- [15] Wicke B, Dornburg V, Junginger M, Faaij A. Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications. Biomass Bioenerg 2008;32(12):1322–37.
- [16] Wood BJ, Corley RHV. The energy balance of oil palm cultivation. In: Proc. 1991 PORIM Int. Palm oil Conf. MPOB, 1991, pp. 130–143
- [17] Yusoff S, Hansen SB. Feasibility study of performing a life cycle assessment on crude palm oil production in Malaysia. Int J Life Cycle Assess 2007;12(1):50–8.
- [18] Costa RE, Lora EES. The energy balance in the production of palm oil biodiesel two case studies: Brazil and Colombia. from. Federal University of Itayubá, http://www.svebio.se/ attachments/33/295.pdf; 2006 [accessed April 2010].

- [19] Worldwatch Institute. Biofuels for transport; global potential and implications for sustainable energy and agriculture. London: Earthscan; 2007.
- [20] De Vries SC. The bio-fuel debate and fossil energy use in palm oil production: a critique of Reijnders and Huijbregts 2007. J Cleaner Prod 2008;16(17):1926–7.
- [21] Murphy JD, Power N. How can we improve the energy balance of ethanol production from wheat? Fuel 2008;87 (10-11):1799-806.
- [22] Woods J, Brown G, Estrin A. Biofuel greenhouse gas calculator – user's guide. from, http://www.hgca.com/ document.aspx?fn=load&media_id=2324&publication Id=2732; 2005 [accessed April 2010].
- [23] Börjesson P. Good or bad bioethanol from a greenhouse gas perspective—What determines this? Appl Energ 2009;86(5): 589–94.
- [24] Evita HL. Pengembangan bahan bakar nabati, Seminar dalam rangka – Biofuel expedition 2007, Yogyakarta, Indonesia; 2007.
- [25] Junginger M, Bolkesjø T, Bradley D, Dolzan P, Faaij A, Heinimö J, et al. Developments in international bioenergy trade. Biomass Bioenerg 2008;32(8):717–29.
- [26] Thamsiriroj T, Murphy JD. Is it better to import palm oil from Thailand to produce biodiesel in Ireland than to produce biodiesel from indigenous Irish rape seed? Appl Energ 2009; 86(5):595–604.
- [27] Lavigne A, Powers SE. Evaluating fuel ethanol feedstocks from energy policy perspectives: a comparative energy assessment of corn and corn stover. Energ Pol 2007;35(11): 5918–30.
- [28] Fujie K, Goto N, Daimon H, Kamahara H. Design of biomass energy utilization system and evaluation for plantation in tropical area. Res Process 2008;55:103-8 [in Japanese].
- [29] Carter C, Finley W, Fry J, Jackson D, Willis L. Palm oil markets and future supply. Eur J Lipid Sci Technol 2007;109(4):307–14.
- [30] Caliman JP, Berthaud A, Dubos B, Tailliez B. Agronomy, sustainability and good agricultural practices. Oléag Corps Gras Lip 2005;12:134–40.
- [31] Corley RHV, Tinker PB. The oil palm (World agriculture series). Blackwell Science; 2005.
- [32] Prasertsan S, Prasertsan P. Biomass residues from palm oil mills in Thailand: an overview on quantity and potential usage. Biomass Bioenerg 1996;11(5):387–95.
- [33] Kansedo J, Lee KT, Bhatia S. Biodiesel production from palm oil via heterogeneous transesterification. Biomass Bioenerg 2009;33(2):271–6.
- [34] Smeets E, Junginger M, Faaij APC. Supportive study for the OECD on alternative developments in biofuel production across the world. NWS-E-2005-141. from. Utrecht, the Netherlands: Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, http://www.chem.uu.nl/nws/ www/publica/Publicaties2005/E2005-141.pdf; 2005 [accessed April 2010].
- [35] de Almeida SCA, Belchior CR, Nascimento MVG, Vieira LSR, Fleury G. Performance of a diesel generator fuelled with palm oil. Fuel 2002;81(16):2097–102.
- [36] Japan Petroleum Energy Center (JPEC). Investigation concerning making inventory of life cycle of petroleum product including transportation stage; 1998 [in Japanese].
- [37] Japan Foundation for Shipbuilding Advancement to the Ship & Ocean Foundation (SOF). Research paper for reduction of greenhouse gas emission from ships; 2001 [in Japanese].
- [38] Leach G. Energy and food production. Guildford: IPC Science and Technology Press for the International Institute for Environment and Development; 1997.
- [39] Mudahar MS, Hignett TP. Energy in plant nutrition and pest control. In: Hesel ZR, editor. Energy requirements, technology,

and resources in fertilizer sector. Ch. 2, Energy in world agriculture, vol. 2. Amsterdam: Elsevier; 1987. p. 25–61.

- [40] Boswell FC, Meisinger JJ, Case NL. Production, marketing, and use of nitrogen fertilizers: fertilizer technology and use. Soil Sci Soc Am; 1985:229–92.
- [41] Bhat MG, English BC, Turhollow AF, Nyangito HO. Energy in synthetic fertilizers and pesticides: Revisited. Final project report. ORNL/Sub/90–99732/2. Environmental Science Division, Oak Ridge National Laboratory; 1994.
- [42] Kongshaug G. Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production. from. In: IFA Tech. Conf., Marrakech, Morocco, http://www.fertilizer.org/ifa/publicat/ PDF/1998_biblio_65.pdf; 1998 [accessed January 2008].
- [43] Hischier R, Hellweg S, Capello C, Primas A. Establishing life cycle inventories of chemicals based on differing data availability. Int J Life Cycle Assess 2005;10(1):59–67.
- [44] Petroleum Energy Center. Report for making LCI of petroleum product by each oil type and environmental impact assessment of petroleum product; 2000 [in Japanese].
- [45] Widiyanto A, Kato S, Maruyama N, Nishimura A, Sampattagul S. Environmental impacts evaluation of electricity grid mix systems in four selected countries using a life cycle assessment point of view, Proc. EcoDesign 2003. Third international Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo, Japan, Dec 8–11; 2003, p. 26–33.

- [46] Ramírez CA, Worrell E. Feeding fossil fuels to the soil: an analysis of energy embedded and technological learning in the fertilizer industry. Resour Conserv Recycl 2006;46(1): 75–93.
- [47] Dorado MP, Cruz F, Palomar JM, López FJ. An approach to the economics of two vegetable oil-based biofuels in Spain. Renew Energ 2006;31(8):1231-7.
- [48] Arrieta FRP, Teixeira FN, Yáñez E, Lora E, Castillo E. Cogeneration potential in the Colombian palm oil industry: three case studies. Biomass Bioenerg 2007;31(7): 503–11.
- [49] Mahlia TMI, Abdulmuin MZ, Alamsyah TMI, Mukhlishien D. An alternative energy source from palm wastes industry for Malaysia and Indonesia. Energ Convers Manag 2001;42(18): 2109–18.
- [50] Yeoh BG. A technical and economic analysis of heat and power generation from biomethanation of palm oil mill effluent. In: Electricity supply industry in transition: issue prospect Asia, vol. 20; 2004. pp. 63–78.
- [51] Yusoff S. Renewable energy from palm oil-innovation on effective utilization of waste. J Cleaner Prod 2006;14(1):87–93.
- [52] Cochard B, Amblard P, Durand-Gasselin T. Oil palm genetic improvement and sustainable development. Oleag Corps Gras Lip 2005;12:141–7.
- [53] Reijnders L. Conditions for the sustainability of biomass based fuel use. Energ Pol 2006;34(7):863–76.

文部科学省 グローバルCOEプログラム 「アジア視点の国際生態リスクマネジメント」成果報告書

平成24年(2012年)3月19日 発行

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7 横浜国立大学大学院環境情報研究院 http://www.eis.ynu.ac.jp/

横浜国立大学・国立環境研究所 グローバルCOEプログラム

「アジア視点の国際生態リスクマネジメント」

http://gcoe.eis.ynu.ac.jp/

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-7 横浜国立大学大学院環境情報研究院 http://www.eis.ynu.ac.jp/





