

<福島原発事故の土壌汚染影響を考えるワークショップ（一部、2011 年度第 2 回 G-COE Forum）>

2011 年 5 月 30 日（月）17:30-20:30  
横浜国立大学教育文化ホール中集会室

講演内容記録

### 【ロシアの放射能汚染と土壌生態系への影響（Andrey Zaytsev）】

1986 年 4 月 26 日に発生したチェルノブイリ原発事故では、ヨウ素やウラン、セシウム、ストロンチウムなどの核種が放出され、ソビエト連邦だけでも 25,000km<sup>2</sup> 以上に重大な放射能汚染を引き起こした。また、きわめて汚染の強いホットパーティクルが原発の 12-15 km の範囲に拡散した。生物に対する影響は、当初は高濃度のヨウ素汚染による生物への直接的な影響であったが、長期的に見るとセシウムやストロンチウムによる生態系循環に対する影響が挙げられる。土壌動物の調査は事故発生後 1 ヶ月半後から開始され、原発から 3 km の地点と、その対照区として 70-80km の地点で調査が行われた。全ての土壌動物群に留まらず、陸上生態系の総合的な調査が行われた。ササラダニは、個体数こそ 2 年間でほぼ回復したものの、土壌動物全体の種多様性は 2 年間経ても全体の 50% までしか回復しなかった。土壌動物への放射能による影響は、ほとんどがアルファ線によるものであり、土壌自体によって防護されていると考えることが出来る。しかし、ホットパーティクルが存在したこと、セシウムが主に腐植層で高濃度に蓄積されたことから、外部被曝だけではなく内部被曝による影響が重要であろうと考えられる。放射能の影響は動物群ごとにも異なり、外骨格を持つためセシウムなどが集積しやすく、更に捕食者であるため生物濃縮に影響されやすい甲虫類は、直接暴露の影響はきわめて甚大である。

土壌動物は、放射能汚染の最も感受性の高い指標動物となり、ミミズ、等脚類、ヤスデ、ササラダニは初期の汚染に対して最も適した指標である。また、腐食性の動物は捕食性の動物よりも移動性が低いため、放射能汚染の影響を受けやすい。個体数の回復にはおよそ 3 年、多様性の回復に 25-40 年、食物網の回復には 100 年を要する可能性がある。

## 【質疑応答】

### ① 土壌動物の中で、放射性物質が蓄積しやすい動物はないか？

＞ヤスデや等脚類、ササラダニは外骨格を持ち、ストロンチウムを蓄積しやすい。また、図示していないが、カタツムリの仲間は殻を持ちカルシウムを多量に必要とする。また、菌食者は菌を通して放射性物質を蓄積するだろう。甲虫はストロンチウムなどを排泄する能力に優れているため、体内濃度は低いが、汚染物質の移動に関与する。

### ② 放出された物質のスライドの中にプルトニウムが入っていないのはなぜか？

＞実際には、プルトニウムは検出されています。

### ③ 初期の放射能の変化に関するグラフの線が意味することは何か？

＞サンプリングは原発事故後1ヶ月半後であるため、その時点での放射能を100として記述してあります。

### ④ 分子生物学的手法を用いれば、放射能の影響を明らかにすることが出来るのでは？

＞当時、分子生物学的手法はまだ一般的ではなかったもので、難しかった。更に、ソ連という体制下では困難であった。

また、土壌動物は分子生物学の研究者の間ではマイナーなグループであり、また遺伝的変異が乏しいために、影響の検出は困難であろう。ただし、トカゲやネズミでは遺伝的変異が蓄積していた。

### ⑤ ダニ個体数や生物多様性の回復は、移住によるものなのか？それとも汚染に耐えた個体が繁殖して増加したものなのか？

＞土壌動物は移動能力がきわめて低いものが多く、移住してくるものは少ないと考えられる。つまり、生き残った個体が増加したため、個体数の回復に対して多様性の回復は非常に遅れていると考えられる。

環境放射線には原発事故や医療で用いられるように人工的に放出された人工放射線と、元々自然界に存在する放射性物質から放出される自然放射線が存在する。自然放射線量は1年間に世界平均で2.4mSv受けることが知られている。大地放射線による外部被曝は、福島原発事故以前にも日本で平均53nGy/hであることが知られており、地理的に考えると日本国内では東低西高の分布パターンが知られている。また、食品中にも放射性カリウムが含まれるなど、身近な環境にすでに放射性物質は存在している。過去の大気中核実験の過程で大量に

放出されたり、原子力施設から放出される可能性がある、ヨウ素やセシウムなどの放射性核種の移行について、研究がなされており、被曝線量の評価と予測に必要な情報が収集されている。放射性ヨウ素は森林土壌の表面に多く蓄積しているが、土壌の種類や状態によって吸着量が異なる。大気から降下した放射性セシウムは、降下直後は樹冠の葉・枝や土壌有機物層の表面付近に付着するが、その後土壌表層へ集積し、更に一部は植物による経根吸収により植物体へと移動する。植物体中の放射性セシウムは時間と共に再び林床に戻る。このような生物学的な循環の結果、十分に時間が経過すると植物体に 20%未満、土壌表層 5cm までに 75%以上が蓄積する状態となる。また、シダやキノコなど特定の生物群で高濃度に蓄積される傾向がある。元々環境中に存在する安定セシウム濃度と事故等により系内に流入した放射性セシウムの濃度を比較すると、直線関係にあり、放射性セシウムが高い生物は、もともとセシウムと言う元素を取り込みやすい性質を持つ事が明らかである。放射線による急性致死の感受性は染色体量にほぼ相関することが明らかにされており、人間を含むほ乳類で最も感受性が高く、バクテリア等は放射線に強い。急性致死以外の条件に関しては、まだデータが不足している。トビムシ等で、致死線量よりも繁殖阻害線量が低いことが明らかにされている。また、放射線の影響を評価するための分子マーカーの検索も行われている。ICRP により様々な生物群（標準動植物）について影響を考慮すべき放射線の参考レベルが公表されているものの、データは不十分である。線量評価のために核種移行データが重要であるが、人間への影響については研究がなされているものの、動物や樹木への影響については研究が不足している。

福島原発事故による放射能汚染範囲は、チェルノブイリのそれに比べると狭い。また、大気中に放出された放射性物質量はチェルノブイリにおける放出量のおよそ 1/10 と評価されている。福島放射性物質レベルは、生き物に影響を与えうるレベルだというフランスの研究所の報告が出ている。また、土壌への蓄積もさることながら海洋への放出についても注目する必要がある。

#### 【質疑応答】

①内部被曝の被曝線量を、外部被曝の線量に外挿して計算する方法は適切なのか？この件について、放射線医学研究所ではどのような議論になっているのか？

>単位が「シーベルト」で議論する限りにおいては、内部被曝でも臓器別の重

み付けは考慮されている。微細な細胞レベルでは、メカニズムに若干の違いはある可能性があるものの、集団レベル見た影響という観点では、区別しなくても評価が可能である。

## ②安定セシウムと放射性セシウムの図の意味する所は？

>基本的には、安定セシウムの濃度はあまり場所によって異なることはない。ただし、降下した放射性セシウムの量が異なるため、異なる比を持つ 2 本の線で表されている。

土壌のうち表面の有機物層のみと植物・キノコ等に注目すると、安定セシウムと放射性セシウムの比は一定である。即ち、安定セシウムと放射性セシウムは良く混ざっている。このとき、有機物層を基準とした移行係数は安定セシウムと放射性セシウムで同じになる。

現時点では福島原発事故に関連して測定するのであれば、放射性セシウムを測定する方が簡単。安定セシウムを測定する方が手間がかかる。但し、今後放射性セシウムの分布は時間と共に変化する事が予想され、安定セシウムの分布でそれを予測する事が可能である。

## ③循環有機物、特に森の資材を利用する上で、注意すべき点は？

>このあと野中先生が講演されると思う。私の意見を述べるならば、まず、数年間は落ち葉での放射能が高い可能性があるので、注意する必要がある。前講演の中で、4年間で落ち葉の放射線量がほぼ0まで低減したことを示した図は、全体を100とした時の割合で示しているため、放射能が0になった訳ではない。また、今後は、木材の中に放射性物質が取り込まれる可能性があるので、木材を原木としてキノコを育てる時には注意が必要。

## 【放射性核種の土壌影響と農業のあり方 「農」と「土」と「食」の思い（野中昌法）】

新潟大学では1960～70年代の核実験全盛期に、新潟県に降下した核種の分析や農業生態系への影響などの研究が行われてきた。その当時、これらのデータを用いて学位論文を書かれた横山先生はほとんど学術誌に投稿していないものの、現在の農業者にとってきわめて有用なデータを持っているため、横山先生の研究成果について情報発信をしている。

同郷の先輩、田中正造は「真の文明は、山を殺さず、川を殺さず、村を殺さず、人を殺さざるべし」と日記に記したが、今回の福島原発事故も当時と同様

の状況にしてはいけないと考えている。

現在、福島では「医食同源」、「食農同源」やそこから生じる様々な人間活動が破壊されている。二本松市の農民は地域自然資源を生かした有機循環型農業を行っていたが、その循環が破壊され、せっかく築かれた絆すら破壊されようとしている。地形から考えると、福島原発から飯舘村へ向かう風の通り道が一番汚染された地域であり、さらに福島市や郡山市へ抜ける地域にも放射性物質が広がっている。

現在、相馬市では水田の水の利用が制限されており、ようやく5月9日に水を流すことが許可された。福島県は放射能の影響があり復旧が進まず、最大の問題は水田の用水・排水路が壊滅していることだ。除塩は用水・排水路を復旧させればかなり回復可能である。また、山間の農家でも、周囲は新緑のきれいな季節であるが、全く農業が出来ないことが困っている。

放射能の挙動について解説すると、希ガスやヨウ素、セシウム、ストロンチウムなどが放出されたが、当初は希ガスやヨウ素が、今後はセシウムやストロンチウムが問題になる。元素周期表を見ると、カリウムやセシウム、カルシウムとストロンチウムは同じ挙動を示す。ヨウ素はマイナスイオンであるが、セシウムやストロンチウムはプラスイオンであるため、土壌粒子に吸着される。ヨウ素は微生物による吸着・吸収を起こす。人間への影響を考えると、セシウムはカリウムと同様であるため、腎臓から排出されるために体内には残りにくい。一方で、ストロンチウムはカルシウムと同様であるため、骨に沈着しやすい。

農業からの視点を考えると、大気中から降下した放射性物質はまずは葉面吸収によって作物中に取り込まれる。今後は、土壌への蓄積と根から植物体への吸収がおこる。土壌中における挙動は土壌の種類や管理状態によって様々であるが、セシウムが固定される量が多く、ストロンチウムは交換性になることが多い。塩基置換容量（CEC）が大きい土壌ほど土壌溶液から植物吸収と水による溶脱を抑制する。セシウムが多量にある場合には、カリウムを過剰に施肥すればセシウムの吸収を抑制可能である（作物にとってはカリウム過剰になるため、障害を受けるが）。農林水産省が作物に対する放射性物質の移行係数を発表したが、土壌が異なれば移行係数が変化することは着目されていない。一般的には肥沃性の高い土壌では放射性物質が固定されるので、移行係数は低くなるが、肥沃性の低い土壌では移行係数が高くなる。今後、作物の移行係数だけで

はなく、土壌の管理条件や pH、土壌中の有機物含量、粘土含量などの条件によって変化することに注意すべき。

核実験下での日本への放射性物質降下に対する新潟大学の横山先生を中心とした研究は、1951～1970年代まで膨大な調査が行われた。作物や、核種土壌の物理性・化学性と放射性物質の調査によると、放射性物質のキャベツの葉面吸収の可能性が示唆され、部位別に見ると根より葉の方が、芯より外葉の方が放射性物質が多いことが明らかにされている。土壌への蓄積は、畑地の管理状態や作物の栄養特性で異なる。降下した放射性物質は、土壌表層に多く蓄積し、立木では樹皮が最も多く蓄積し、枝、葉に蓄積した。日本は広葉樹が多いためどのように蓄積するのか？また日本は地形が急峻であるため水による影響が大きいだろう。チェルノブイリでは、放射性物質は土壌中では年を経るごとに減少するものの、より下層への垂直移動は起きず、横への移動もしくは生物による物質循環・生物体への吸収が起こると考えられている。しかし、日本では地形が急峻であることから、川へ流入する可能性も考えられる。水田では、粘土含量が高い、腐植含量が多い、排水が悪い、火山質の水田に最も放射性物質が蓄積したことが明らかになっている。また、水源からの水を媒介とした放射性物質の移動に注意する必要がある。牧草地では、牧草として放射性物質を除去する量がきわめて多いため、土壌への蓄積が少ない。その代わりに、植物体に濃縮されて蓄積される。このため、今後牧草などに吸収させて放射性物質を取り除くことが望まれる。地表に放射性物質が蓄積されることから、農業を行う際には飛散する粒子を吸収することを防ぐ対策をすることが必要である。

農地に対しては今年が勝負であると考えている。土壌中に蓄積しやすいとはいえ、系外に流出するものが多い。そのため可能な限り早期に取り除くことが望まれる。現在行われている表層除去、植物吸収などは重要な手段である。現在休耕地となっている土壌を汚染させないために、カバークロープや緑肥植物の利用が必要である。また低汚染土壌では混作を行うことによってメイン作物の可食部へ放射性物質の取り込みが起こらないようにすることが必要。高濃度汚染地域では表層土壌の入れ替えが必要であろう。

現在の農耕地のモニタリング状況は県によってレベルが様々。きめ細かな調査と情報公開を行い、早期対策と風評被害防止が必要であろう。

### 【質疑応答】

①新潟大学でも調査は行われているのか？その結果は？

>残念ながら大学ではやっていない。新潟県には全国で最も分析装置が多い(5台所有)。現時点では新潟産物は、福島との間に高い山脈があるために安全。しかし、今後福島県側からやませが吹くために、注意が必要である。

**②放射性物質除去のために牧草のラジノクローバーの利用を推奨していたが、ヒマワリやナタネとの違いは？**

>これらの植物による吸収率はわずか数%でしかない。農地として使えない場所は、これらの植物を利用する。農地として使える場所は、飼料作物に転換した。飯舘村のビニールハウスでは、周囲が何万ベクレルあってもわずか40ベクレルほどしか出てこない。このため、高汚染地域では表土をはぎ取ってビニールで覆って保管すべき。出来るだけ早く農業を出来るようにする。それが出来ないなら代替地に農家を移すことが必要。

**③マメ科、イネ科の混作の効果は？**

>主要作物の可食部の放射性物質濃度を低下させること。混作したものは刈り取り後、どんなに放射性物質濃度が低くても流通させるのではなく産業廃棄物として廃棄すること。

**④基質である土壌によって農法や対策を変えることが必要とのことだが、これらの情報は農家が簡単に知ることが出来るのか？**

>母材の組成や農業管理によってかなり条件が大きく異なる。CECを高くして有機物を投入してやれば作物への放射性物質の移行がかなり減少させることが出来る。さらには、慣行農法ではなく有機農法を行えば、放射性物質の作物への移行がかなり低減できると提唱中。

**【総合討論】**

**①放射性物質の測定はどの程度難しいのか？どの程度分析機械があるのか？**

>吉田先生

測りたい放射性核種の種類によって異なるが、ヨウ素やセシウムを測定するゲルマニウム半導体検出器はそこその価格がする上に増産が困難であるために、不足している。現在注文しても半年後までに納入できるかどうか。このため、必要などころの必要な解析を行うことが重要。汚染マップを作成するために、大学や研究機関が協力して取り組みが始まりつつある。今までの分析機関だけではなく、環境測定をやっていなかった機関の協力も進みつつある。その他の核種、プルトニウムやストロンチウムについては分析に手間がかかる

ものが多い。

チェルノブイリでいうホットパーティクル（炭素を含んだ炉が溶融して燃料などと一緒にになった粒状の物質）は、福島原発事故ではほとんど出ておらず、原子炉周辺にプルトニウムが混在したものは確認されているに過ぎない。汚染された土が舞い上がったものを吸い込むことが問題になるので、マスクをするなり、作業前に散水するなどの対策が必要。

## ②河川を通して流れるセシウムの行方は？

>野中先生

底泥や汚泥に蓄積・濃縮されると考えられる。このようなものを食べる生き物にも蓄積する。

>吉田先生

核実験による大気中の核種の降下量を、河川の濃度から推測する研究すらある。ただし、放射性物質が水中に移動しなければ問題にならないので、放射性物質が存在することと我々の生活に影響することは分けてみていくことが必要。

③放射性核種の化学形態が、移動を考える上で重要であると思うが、セシウムの化学形態とその移行について教えて下さい。

>吉田先生

セシウムに関しては、発生時の化学形態のデータはあまりない。出方として2つ考えられるが、まずキセノンという希ガスがセシウムに変化するものがある。セシウムも1000度以下という比較的低い温度で気化するので、炉心の熱量が上がってそこがオープンになれば、セシウムが放出される。爆発ではなく、先にガスの形で流出したものが多いと考えられる。ストロンチウムやプルトニウムは高い温度でないと気化しないので、あまり流出していないのではないか。

セシウムの影響は、細かい化学組成を持ったものになるという議論よりも、粘土鉱物で固定された形や、有機物に固定された形、酸で抽出しやすい形というような実験的な形で議論されることが多い。

④生態系の中での放射性物質の動きと、人間への影響をとらえているのだろうか？また、生態系の物質循環などにおいて様々な分野の専門家などが協力して、農水省や環境省などへの提言が動いているのか？

>野中先生



現在、金子先生に相談を持ちかけている。

>金子先生

残念ながら、生態学会のような大きな学会ではそのような動きは鈍い。様々な分野の方が協力すると、物質の動きがわかりやすいと思うので、協力体制を作りたい。

>吉田先生

環境放射生態学という分野がある。日本でもわずかに存在する。福島原発事故は、日本人で全てが出来るとは考えられないので、海外の研究者にも呼びかけて、研究体制を構築することに努力している。