

国立環境研究所 ニュース

National Institute for Environmental Studies

Vol.38

No.2

令和元年(2019)6月



真野川(福島県)にて水生生物調査として魚などを採取する様子

特集 | 河川流域における放射性セシウムの今後を予測する

河川流域環境における放射性セシウム動態研究のこれから | 2

森林・河川・ダム湖における生物に取り込まれやすい放射性セシウムの動き | 3

森林生態系における放射性セシウム分布の将来予測 | 7

淡水魚における放射性セシウムの半減期 | 10

異なる環境での経験を糧として | 14

「春の環境講座－地球のおくのほうまで見てみよう。」開催報告 | 15

河川流域環境における放射性セシウム動態研究のこれから

林 誠 二

2011年3月11日に発生した福島第一原子力発電所事故によって大気中に大量に放出され、東日本全域に沈着した放射性セシウムの河川流域における動態については、当研究所を含む国内外の数多くの研究機関によって、事故直後から精力的に調査研究されてきました。それらから明らかになった主な特徴として、放射性セシウムは土壌粒子に強く吸着しやすい性質を有するため、事故後8年余りが経過した時点でも、流域内に沈着した大部分は降雨や融雪によって下方へ浸透せず、土壌の表層部分に留まっていることが、まず挙げられます。さらに、多くの河川での調査結果は、いずれも年間あたりの河川流域からの放射性セシウムの流出率（沈着した量に比べた流出量の割合）は1%に満たないことを報告しています。また、これにはダム湖での土砂堆積による放射性セシウムの底質への貯留も、効果的に作用していることが確認されています。このように、放射性セシウムは河川流域内に安定的に留まり流出も限定的であるため、河川の下流域に集積することによる重篤な再汚染は生じにくい状況にあると言えます。

しかしながら、近年、気候変動の影響とみなされる極端な豪雨事象に代表されるような大規模な自然災害が、流域内に留まっている放射性セシウムの動態に及ぼす可能性も否定できません。こうした影響について想定外とせず、対応策を含めた検討は必要であると考えます。我々自身も、数値シミュレーションモデル等を活用し、福島における気候変動適応研究としても位置づけつつ取り組んでいく予定です。さらに、放射性セシウムの環境動態における大きな懸念の一つに、自然生態系における汚染の長期化が挙げられます。避難指示を要した地域においても、生活圏の周縁を除き森林の大部分が除染されていないことも影響して、森林生態系において放射性セシウムが生物に取り込まれ体の一部となり、それが分解あるいは排泄され土壌に戻りまた取り込まれるといった循環する状況になっています。その結果、コシアブラやコウタケに代表されるような山野草やキノコ類の放射性セシウム濃度は、食品中の放射性物質の

基準値（100Bq/kg）を超過した状態が続いており、それらを餌とするイノシシ等野生動物の汚染もなかなか改善しない状況にあります。これは福島県のみならず多くの地域で見られることですが、福島県はその県土の7割を森林が占めるためより深刻です。また、多くの河川や湖沼の淡水魚についても上記基準値を超過する濃度が検出される状況が続き、アユやヤマメ、イワナといった水産有用種の出荷が規制されたままです。

このような生態系の放射性セシウムによる汚染の実態を把握し、さらに将来予測や効果的な対策の検討につなげるためには、環境中での生物に取り込まれやすい放射性セシウムの挙動と生物、生態系への移行特性を精緻に理解し、モデル化する取組が重要であり、今後一層取り組むべき課題となっています。冒頭に記した通り、大部分の放射性セシウムは土壌粒子に強く吸着していて、それらは植物の根から吸収され難く、また、生物に摂食されてもそのまま排泄され、体内に取り込まれ難いと考えられます。一方、一部の溶けた状態（溶存態）のもの、溶けやすい状態のものが生物の汚染に直接影響しているため、それらがどこでどのように生成され、どれだけ存在し、どのように樹木や山野草等に吸収されるのか、河川や湖沼では、食物網を介してどのように魚まで移行していくのかについて、河川流域全体を対象として取り組んでいく必要があります。本特集ではそのような背景に基づき行っている我々の取組について紹介します。まず、河川流域における生物に取り込まれやすい放射性セシウムの挙動について「森林・河川・ダム湖における生物に取り込まれやすい放射性セシウムの動き」で紹介します。次いで、森林生態系における放射性セシウム汚染の将来予測を目的としたモデルの開発についての研究を「森林生態系における放射性セシウム分布の将来予測」で紹介します。最後に、放射性セシウムによる魚の汚染状況と移行の特徴について「淡水魚における放射性セシウムの半減期」で解説します。これら取組によって得られる知見を、避難指示が解除された地域を中心

とした住民の方達の安全安心の醸成に具体的に役立てる取組にも、今後一層力を入れていきたいと考えています。

(はやし せいじ、福島支部 研究グループ長)

執筆者プロフィール：

三春に居を移して3年余り過ぎました。豊かな自然と美味しい食べ物、穏やかな人たちに囲まれたゆったりとしたここでの暮らしを、それなりに歳をとったせいでしょうか、存外心地良く感じる今日この頃です。



【研究プログラムの紹介：「災害環境研究プログラム」から】

森林・河川・ダム湖における生物に取り込まれやすい 放射性セシウムの動き

辻 英 樹

はじめに

国立環境研究所では、2012年から「放射性セシウムが森林やダム湖内のどこにどれだけたまっているか」に着目した調査を福島第一原子力発電所の北側地域(相双地域)を中心に展開してきました。(詳しくは、国立環境研究所ニュース32巻1号『放射性セシウムは森林域でどのように沈着し、どのように動いているのか』、34巻2号『ダム湖における放射性セシウムの挙動』をご覧ください。)この地域を流れる代表的な河川はいずれも流域上流の山林に多くの放射性セシウムが沈着し、原発事故後8年を経過した今でもその大部分がまだ山林に残っているため、今後もしばらくの間、放射性セシウムが河川から流出し続けることが予測されています。その濃度は国が定める飲料水基準(1kgあたり10ベクレル)の1/10未満であり、生活利用による被ばくの影響は非常に小さいと言えますが、一方でこの地域での川魚の出荷制限が長期化することや、農作物への放射性セシウム吸収抑制対策(カリウムの施肥など)を当面続けなければならないことが懸念されます。今回の原子力災害からの環境回復の見通しを立てるためには、実際に放射性セシウムが環境中でどのように移動・集積しているのかを明らかにしたうえで、その知見をもとに今後の予測シミュレーションを行っていくことが重要です。

ところで、単に放射性セシウムといっても、環境

中には生物に取り込まれやすい形態と、取り込まれにくい形態があります。セシウムは土壌に強く吸着される性質があるため、土壌中の放射性セシウムの多くは動植物の体には取り込まれません。一方、イオンやコロイドなどの水に溶けている形態(溶存態)、あるいは落ち葉や土壌中の放射性セシウムのうち水に溶け出しやすい化学結合で吸着している形態は生物に取り込まれやすいと言われており、このような放射性セシウムが自然環境中にどの程度の割合存在しているのか、そして雨が降ったときにどれほどの量が流出しているのかを明らかにすることが、生態系の放射能汚染を評価するために必要となります。

そこで我々は、「生物に取り込まれやすい形態の放射性セシウム」に着目して、その移動・集積の実態を解明するための調査研究を2014年から開始しました。特に、放射性セシウムによる汚染規模が比較的大きい福島県南相馬市の太田川流域(図1)をターゲットとして、日本原子力研究開発機構・福島大学などとの研究機関と協力しながら、生物に取り込まれやすい放射性セシウムの動きの全容解明に向けた重点的な調査を進めています。本稿では、森林・河川・ダム湖における溶存態放射性セシウムの実態と移動について、最新の調査の成果を紹介したいと思います。

特集 河川流域における放射性セシウムを予測する

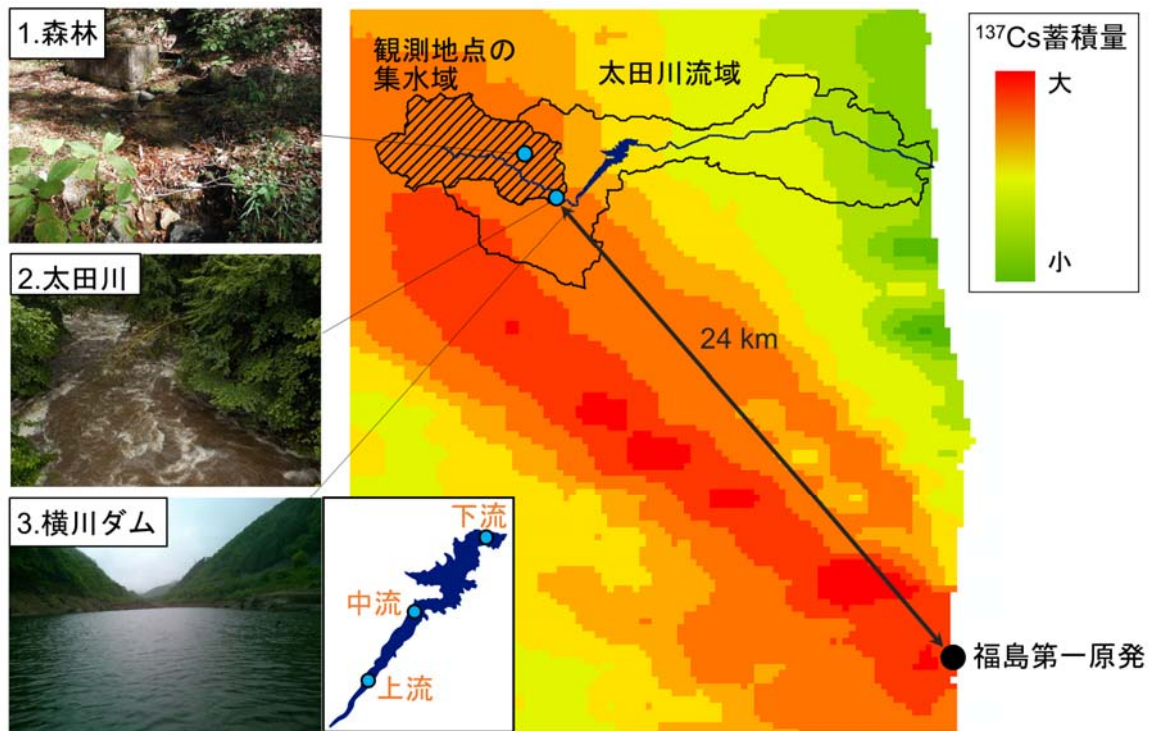


図1 調査地点

黒の斜線で示した領域(集水域)に降った雨が太田川の観測地点に到達します。この領域の99%を森林が占めています

1. 森林での溶存態セシウム 137 の発生

太田川上流部の森林では、雨水や水たまり、地下水に含まれる溶存態のセシウム 137 (放射性セシウムのうち、原発事故後環境中に最も残存している核種)を観測しました。まず木から滴ってくる雨水(林内雨)には、木の生えていない平原に降った雨(林外雨)に比べて明らかに高い濃度のセシウム 137 が含まれることがわかりました。また、雨が降ってできた水たまりに含まれる溶存態セシウム 137 も、河川水や林内雨に比べて濃度が高いことがわかりました。これは、樹木についている葉(樹冠)や落ち葉からセシウム 137 が溶け出たことが原因であることがわかりました。一方、地下水にはほとんどセシウム 137 が含まれていませんでした。すなわち、林内雨や水たまりに含まれるセシウム 137 のほとんどは地中に浸透する過程で土壌に吸着されたことを表しています。以上から、森林では葉が溶存態セシウム 137 の供給源、逆に土壌が吸収源としての役割を持つことがわかりました。したがって実際に雨が降った時に葉と水がどのように接触するかがわかれば、河川から流れ出る溶存態セシウム 137 の量を精度良く予測

することが可能になります。このような予測システムを構築するために、現在では森林内で採取した落ち葉からセシウム 137 がどのような速さで溶け出たのかを明らかにする実験を進めています。

2. 河川での溶存態セシウム 137 の動き

太田川では河川の中に濁度計や水位計を設置して、水の流量や流れてくる土砂(懸濁物質)の量を連続的に観測するとともに、月に1回現地に行き、河川水中の懸濁物質(懸濁態)と溶存態のセシウム 137 濃度を観測しています。2014年5月から丸1年間観測を行った結果(図2)、1年間での全セシウム 137 流出量のうち約半分が、年に数回の大雨のときに流出した懸濁態のセシウム 137 であることがわかりました。一方で、溶存態セシウム 137 の流出量は期間全体での全流出量の30%を占め、決して無視できない量であることがわかりました。

また、雨が降って河川が増水すると、河川水中の溶存態セシウム 137 濃度はやや上昇することがわかりました。一般的に河川水中のほとんどの化学物質は、雨水によって希釈されるため濃度が低下します

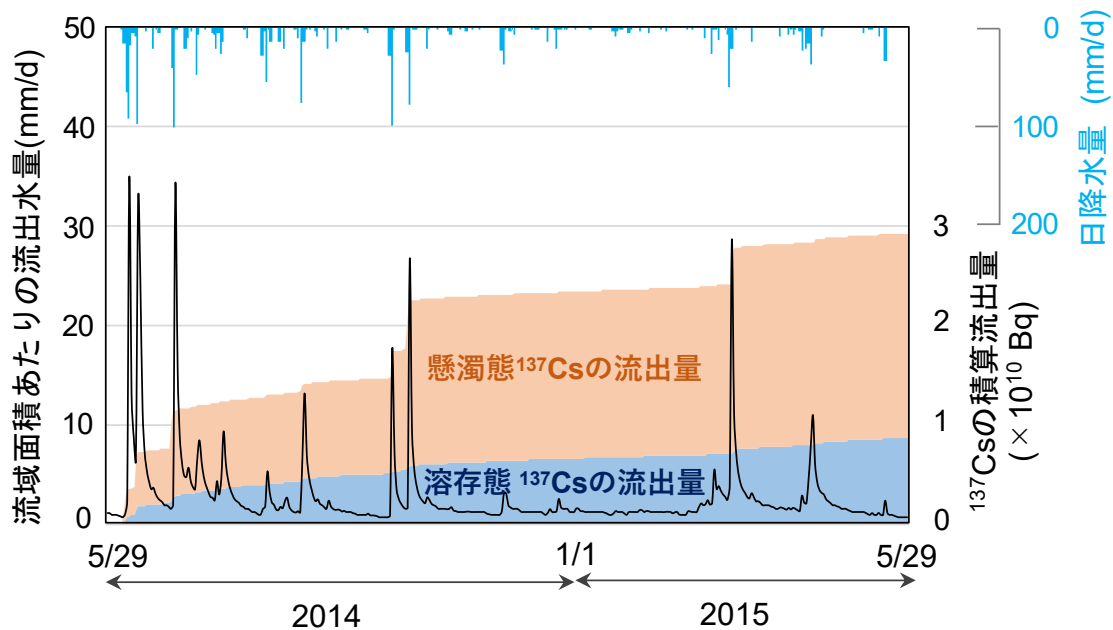


図2 1年間の形態別セシウム 137 の流出量

黒線：太田川での流域面積あたりの流出水量(左軸)、水色線：日降水量(右軸上)、茶色・青色の塗りつぶし面：懸濁態・溶存態のセシウム 137 (^{137}Cs) の積算流出量(右軸下)

が、葉由来の成分であるカリウムや硝酸イオンなどは逆に濃度が上昇することがわかっています。したがって、河川水中の溶存態セシウム 137 濃度形成には、森林内での葉からの溶出の影響が大きいことが確かめられました。今後も河川モニタリングを継続することで、中～長期的なセシウム 137 濃度と流出量の推移を明らかにしていく予定です。

3. ダム湖での溶存態セシウム 137 の動き

前述の森林集水域の下流にある横川ダムで、湖水中の溶存態のセシウム 137 濃度を測定しました。その結果、冬に比べて夏の方が湖全体で濃度が高く、特にダム湖中流部では夏の底層水での濃度が表層水に比べて高いことがわかりました(図3)。この原因の一つとして、特にダム中流部の湖底にたまりやすい、落ち葉由来の有機物を多く含む底質が微生物に分解されることによってセシウム 137 が溶け出しているのではないかと考えました。そこで、ダム湖中流部の底質を円筒形パイプになるべく乱さないように詰めて持ち帰り、水温や水中酸素濃度をコントロールしながら静置することで、現地に近い環境のもとで底質から水にどの程度セシウム 137 が溶け出

してくるのかを測定してみました。その結果、夏場のダム湖底層を想定した「水温が高く、水中酸素濃度が薄い」環境では冬場の「水温が低く、水中酸素濃度が高い」環境に比べてセシウム 137 が約2倍速く水中に溶け出ることがわかりました。また、湖水の水質の変化などによって今後溶け出る可能性のあるセシウム 137 が、底質の中にどの程度存在するかを明らかにする実験も現在行っています。実際にダム湖の底質を大規模に除染することは困難ですので、現状の汚染状況が続く前提で、ダム放流水中のセシウム 137 濃度が今後どのように推移していくか、また今後水質環境の変化が起きたときに底質からのセシウム 137 溶出がどの程度増える可能性があるのか、などについて明らかにしていく予定です。

おわりに

以上のように、我々は生物に取り込まれやすい放射性セシウムの環境中での動きを解明することを目指して研究を行っていますが、将来的にはこれらの研究成果が水生生物・農作物への放射性セシウム移行予測へと発展していくことが期待されます。またそれと同時に、今後万が一同様な原子力災害が生じ

特集 河川流域における放射性セシウムの今後を予測する

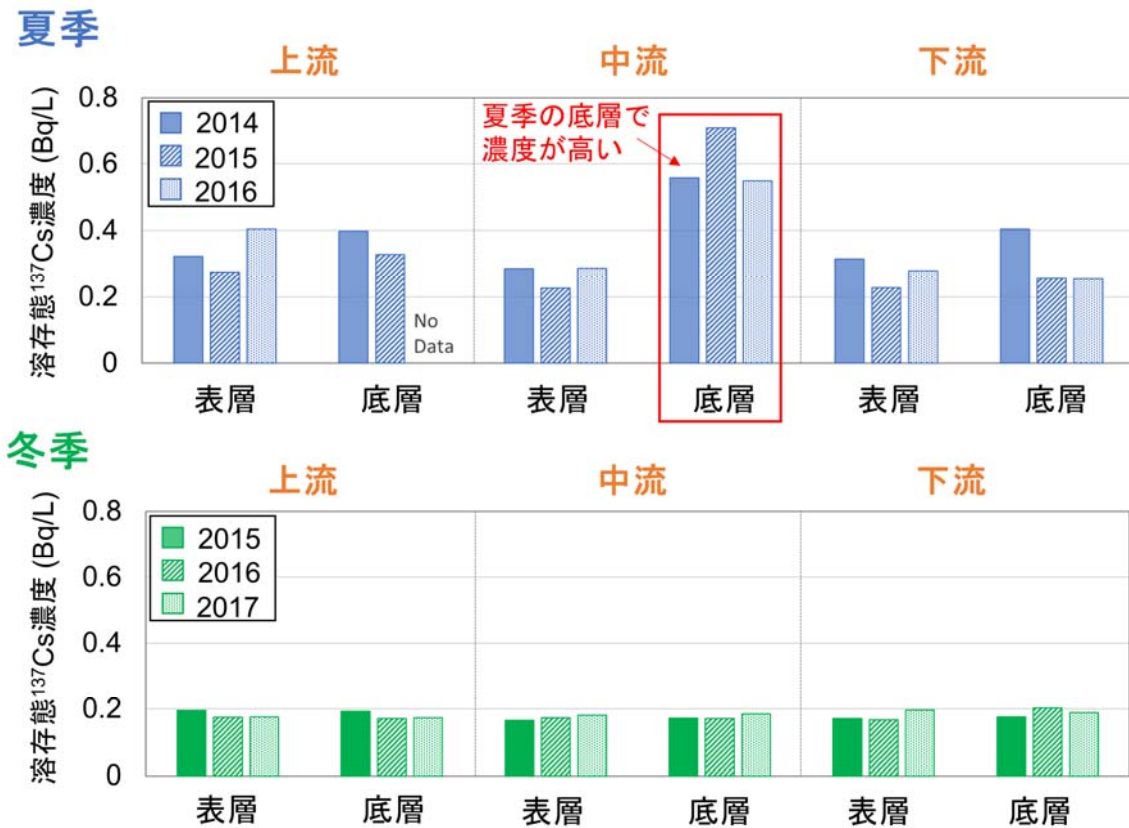


図3 横川ダム湖水中の溶存態セシウム 137 (¹³⁷Cs) 濃度

た際に、放射性物質に関してどのような環境測定が必要なのか、あるいは環境汚染の拡散を防ぐための有効な予防策はあるのか、といった議論へと展開していきたいと考えています。

原発事故から8年を経過した現在までに、環境中の放射性セシウムの動きに関して多くの知見が明らかになりましたが、その全容解明のために残された課題はまだたくさんあります。今後は国内外の様々な研究機関・行政機関との連携をより一層強めながら、福島の実地現場で現在起きていることを世界へ向けて発信し、さらに環境放射能研究の発展へ向けて

も貢献していきたいと思っております。

(つじ ひでき、福島支部 環境影響評価研究室 主任研究員)

執筆者プロフィール：

首都圏にしか住んだことがなかった私ですが、福島に移り住んで早くも3年になりました。モノや情報が手に入りやすくなった現代において、豊かな自然や恵まれた職場・家庭環境に囲まれながら過ごす今の生活は、控えめに言って我が人生史上最高です。



【研究ノート】

森林生態系における放射性セシウム分布の将来予測

仁 科 一 哉

研究の背景

福島第一原発事故直後に環境中へ飛散した放射性物質のうち、陸域での沈着域はおよそ7割が森林生態系となっており、最も広く汚染された土地利用形態です。チェルノブイリ事故後の研究、および近年の福島原発事故後における観測から、河川や土壌侵食による放射性セシウム (Cs) の系外への移動は総量としては大きくなく、放射性 Cs の大部分が森林生態系内に留まることが明らかになってきました。また、特に木材生産を目的とした人工林が優占しているのも大きな特徴です。¹³⁷Cs の物理半減期は約30年となっており、また人工林管理が数十年の時間スケールで行う必要があることから、今後の生態系への放射性 Cs 影響や森林施業に伴う外部被ばくを考える上で、中長期の視点での放射性 Cs 動態の予測が必要とされています。ここでは、森林生態系に沈着した放射性 Cs の森林生態系内循環に着目し、その予測を行うためのツール、すなわち数理モデルに関する研究を紹介します。

森林生態系における放射性 Cs 循環

モデルの紹介に入る前に、放射性 Cs の森林内での動態について簡単に説明します(概略を図1に示しました)。福島原発事故によって大気に放出された放射性 Cs は、ガスや粒子状の形態で大気の流れによって飛散し、そのまま、あるいは降雨によって森林生態系に沈着しました。スギ・ヒノキ林などの常緑樹では、初期沈着の多くは森林の樹冠(すなわち葉)に放射性 Cs トラップされ、その残りが直接地面(林床)に沈着しました。一方で、落葉樹の森林では、事故当時の3月には展葉がされておらず、多くはそのまま林床に沈着しました。常緑樹林では、葉面に沈着した放射性 Cs は、時間の経過に伴い、降雨や落枝落葉に伴い林床へと移行します。また同時に、葉は放射性 Cs 取り込むという移行プロセスも知られており、この沈着時の林冠の状態の違いが、常緑樹と落葉樹の間で、葉やその他の部位の放射性

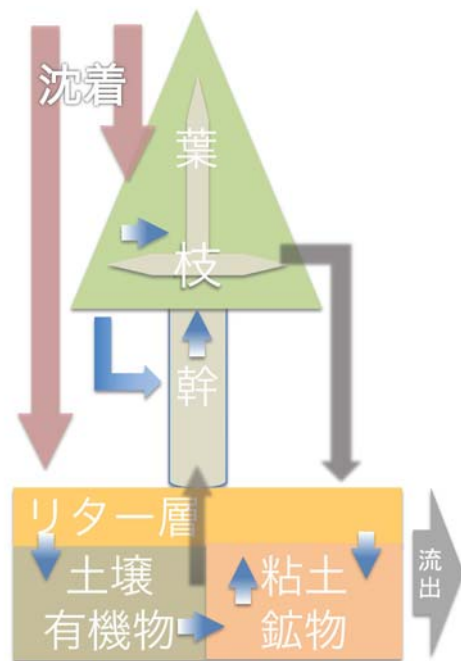


図1 森林内での放射性Cs循環の模式図

Cs濃度の違いや、生態系内での初期循環プロセスに異なる特徴をもたらすこととなります。林床の放射性Csは落枝落葉が分解、堆積したリター層と呼ばれる有機物堆積層と、母岩が風化あるいは火山灰の堆積による鉱物主体となった土壌層に分布します。放射性Csは有機物と結合したり、土壌(特に雲母などの粘土鉱物)とは強く吸着しますが、その一部は植物の根を介して樹木や草本内に取り込まれます。取り込まれた放射性Csは再度、林冠から林床へと落枝落葉などによって移行して、放射性Csが生態系内で再循環されます。このような循環が進むことによって放射性Csは、時間の経過に伴い、初期の沈着直後の放射性Csの分布から変化していきます。ここで明示した移行プロセスの他、森林生態系では、認識されているだけでも50を超える放射性Csの移行プロセスが存在すると考えており、数理モデルでは個々のプロセスを関数化して、森林生態系でおきる放射性Cs動態を再現することを目指しています。

特集 河川流域における放射性セシウムの今後を予測する

森林生態系放射性 Cs 動態モデル“FoRothCs”の開発

筆者らは FoRothCs と名付けた放射性 Cs 森林動態モデルを開発しました。このモデルでは上記で紹介したプロセスを考慮して、森林内の放射性 Cs を予想するために作成されたものです。この新しいモデルの特徴は、バイオマス生産や炭素収支についても計算

した上で、放射性 Cs 動態を予測できることです(図 2)。沈着域には木材生産を目的とした人工林が広く分布しているため、森林経営にとって重要な、立木密度、幹の太さや樹高を用いて使える材積の見積もりが必要になりますが、FoRothCs ではこうした変数も計算できるモデルとなっています。これによって、森林

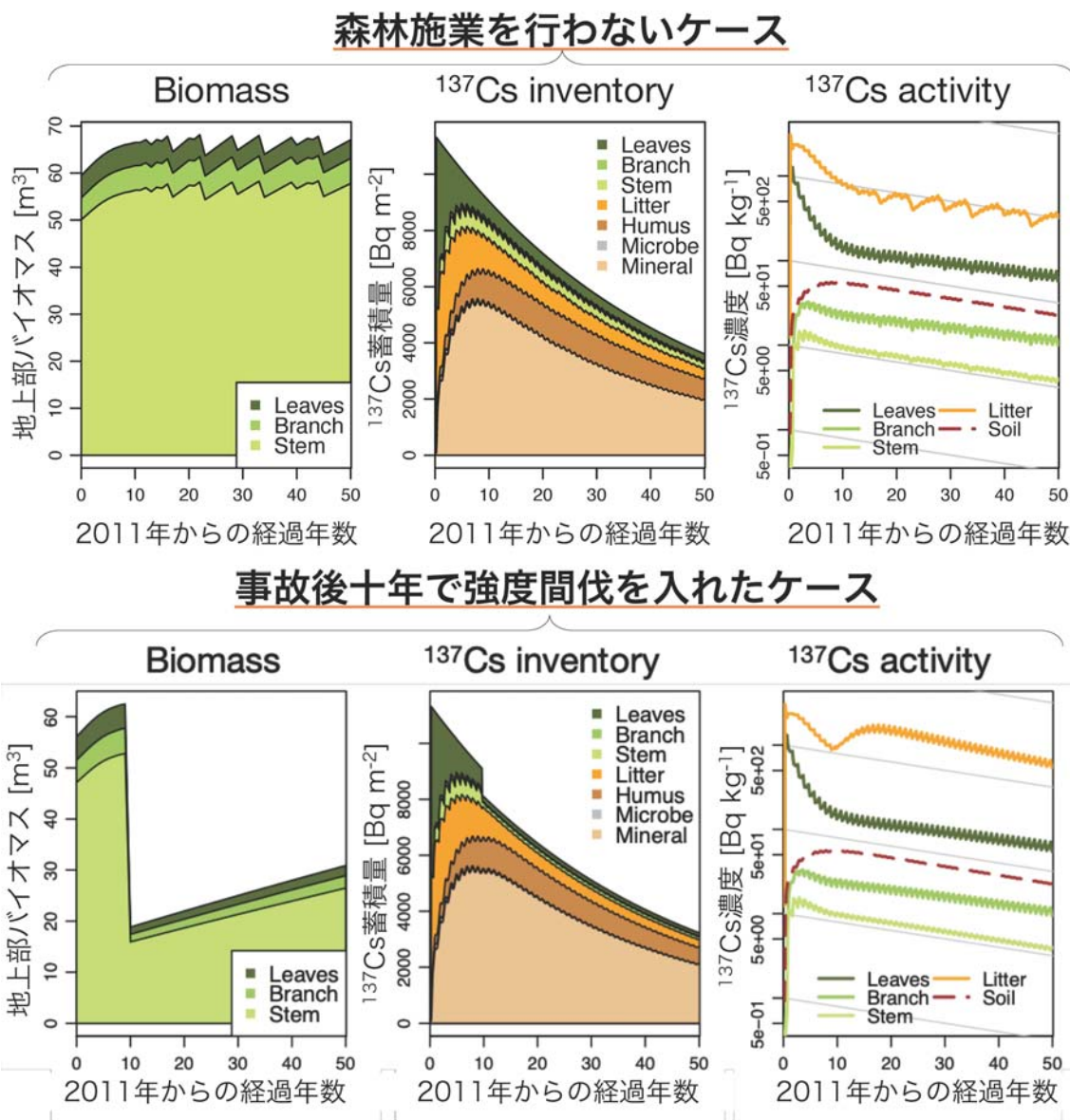


図 2 FoRothCs による放射性 Cs の将来予測のシミュレーション例。左から各生態系要素の地上部バイオマス、放射性 Cs 蓄積量、放射性 Cs 濃度を示す。

(上)森林施業を行わないケース、(下)事故 10 年後に極端な強度間伐を入れたケースを示している。間伐を入れたケースでは、間伐で持ち出されたバイオマスに応じた放射性 Cs 蓄積量の減少に加え、リター画分の放射性 Cs 濃度の上昇が見られる。

の樹木成長に伴う、放射性 Cs 循環の再分配をより正確に再現することが可能になりました。

人工林にはバイオマス生産だけでなく、炭素吸収源としての役割や水源かん養機能などの森林の公益的機能を最適な状態に維持することも期待されています。しかしながら、健全な人工林の公益的機能の維持には、枝打ちや間伐などの森林施業を計画的に行う必要もあります。例えば、間伐などの施業が適切に行われない人工林では林分が過密になり、光、水や栄養などを競合して、肥大成長が抑制されて、立木がやせ細った林分が形成させるようになります。このような状況では樹木の立ち枯れが起きやすくなります（モデルでは、図2(上)の森林施業を行わないケースで15年後から見られるような、バイオマスが頭打ちでガタガタになっているような状態）。このような林分では下層植生も少なく、土砂の流出が多くなることが知られています。しかし、福島原発事故後は、もともと不十分であった森林施業が以前にもまして十分に行われていない現状があります。また、森林施業を行うことによる長期的な放射性 Cs 動態の変化についても、まだ十分に調査されているわけではありません。こうした日本の人工林の特徴に適した予想が必要となるため、間伐等の人為要因を定量的に評価できるような新しいモデルを開発する必要がありました。

観測とモデルの融合による予測精度改善の試み

事故から8年が経過し、森林生態系における¹³⁷Cs濃度や蓄積量の時系列データが様々な研究者や行政によって蓄積されてきました。その一方で、各森林要素間の移行プロセスについては、そもそも測定自体が困難であるプロセスが多いため、森林生態系の中での放射性 Cs 循環の全容を掴むことは容易ではありません。移行プロセス速度やその駆動要因がわからなければ、それはそのままモデル予測の不確実性に直結します。例えば、根を介した樹木の放射性 Cs 吸収速度は直接定量することが困難です。

近年、データ同化や逆推定などを使って観測データの情報をモデルに活かす研究が盛んにされています。モデルの出力を観測に合わせるように、パラメータを調整して、モデルの不確実性を制限する方法です。ここには2つのメリットがあり、ひとつは予測

精度の改善、2つ目は調整後のパラメータを見ることで、観測では得づらいパラメータを推定することができることです。

我々は近似ベイズ計算という手法を使って、観測データに計算結果を近づけさせることによって FoRothCs モデルの¹³⁷Cs 移行プロセスに関連するパラメータを推定し、また予測精度（再現精度）の改善を試みました。その結果、予測精度の向上とともに、実測では把握することが困難な、樹木根からの¹³⁷Cs 吸収速度のパラメータや葉面吸収の割合や、落葉時の引き戻しなどの放射性 Cs 移行プロセスのパラメータを間接的に推定することに成功しました（図3）。なお観測データについては、林野庁および森林総合研究所の調査によって得られた、福島県内の異なる4つのスギ林分で得られた時系列データを使用しています。4つの個々のサイトで推定されたパラメータは、多くのサイトで同じような範囲で推定される傾向があるものの、地域差がありました。これらの違いを説明する要因については、今後より詳細な研究で明らかにしていく必要があります。

今後の展望と取組みについて

モデルの開発、観測を利用したモデルの改善を通して、森林生態系—特に人工林—の最適管理に向けた取り組みを進めているところです。また FoRothCs モデルを利用して、除染を含めた初期の管理方法についても検討しています。これらの知見は、未だ見ぬ今後の事故への対応や、林業従事者の判断の材料になることが期待されます。モデルの改良には、メカニズムの解明も重要であり、引き続き様々な野外観測の推進が必要とされています。

現在、モデル開発をしているフランスなど欧州のグループ、日本の研究グループとともに、複数のモデル相互比較を行うプロジェクトを開始したところです。依然として将来予測に対する不確実性は大きく、例えば FoRothCs モデルでは事故数年後の濃度増加の後、数十年先にかけて、材木の濃度が低下傾向にあります。そのような傾向がモデル間で一致するかは不明です。複数モデルによる将来予測により、より頑健な将来予測が可能になることを期待しています。

特集 河川流域における放射性セシウムを予測する

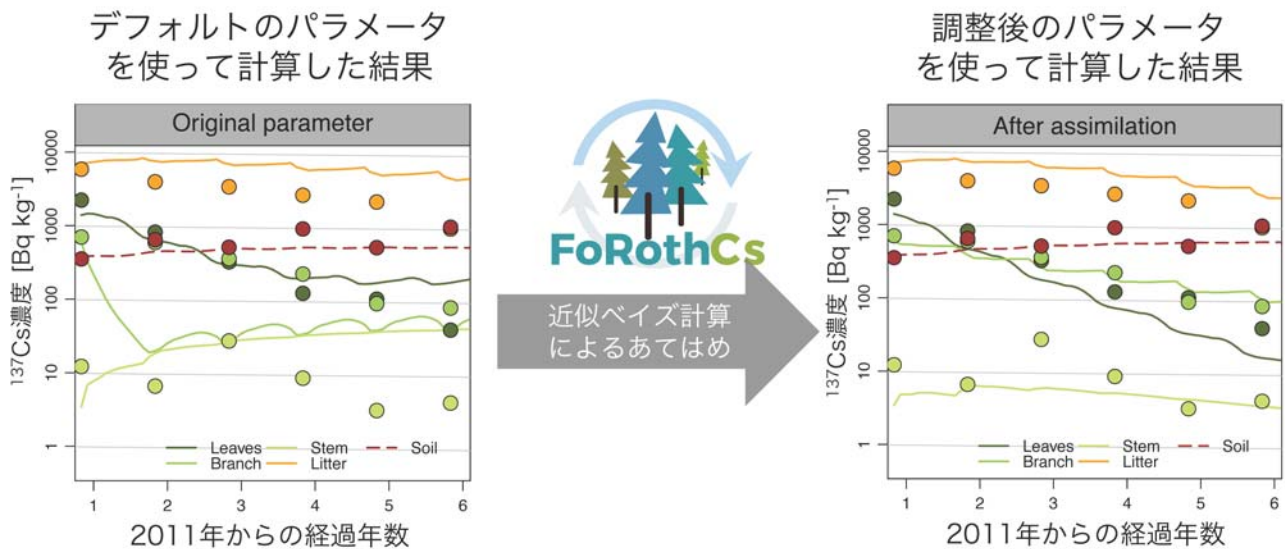


図3 近似ベイズ計算を使ったFoRothCsの予測精度の改善例。

調整前では枝や幹の放射性Cs濃度の時系列変化は大きく実測とずれていたが、調整後にはうまく再現されている。

(にしな かずや、地域環境研究センター
 土壌環境研究室 主任研究員)

執筆者プロフィール：

先日、マレーシアで現地調査を行っていたおり、車のラジオからNew Radicalsの曲が流れてきました。20年前に一枚だけAlbumを出して解散した、俗に言う一発屋です。音楽性が好みとかそういう理由ではないので

すが、何故かたまに聴きたくなる不思議なアーティストです。かろうじて未成年のときにアルバムを購入しました。そう、気がつけば不惑という年齢に近づいてきました。が、その境地には程遠いというのが正直なところです。ただ若い頃に考えていたよりも、世の中の動きはとて早く、不惑というのが現代においての最適解なのか？というの疑問に思います。少なくともNew Radicalsの曲に共感できるくらいには、まだ精神は子供のようです。Don't let go！

【環境問題基礎知識】

淡水魚における放射性セシウムの半減期

石井 弓美子

1. はじめに

2019年の春、福島第一原発事故から8年が経過しました。事故直後には非常に問題になった食品中の放射性物質の話題も、最近では耳にする機会が減ってきました。福島県の農林水産物のモニタリング検査結果(<http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/89-4.html>)を見ても、一般食品中の放射性セシウム濃度の基準値である100 Bq/kg(¹³⁴Csと¹³⁷Csの合計)を超えるも

のは着実に減ってきています。しかし、水産物の中でも特に淡水魚では、海水魚に比べ放射性セシウムによる汚染が長期化しており、現在でも基準値を超過するものが見られます。ここでは、淡水魚の放射性セシウム濃度の減少について、その現状と放射性セシウムの減少速度の指標となる半減期について解説します。

2. 現在の魚のセシウム濃度

水産庁では淡水魚と海水魚を含む水産物のサンプリングと放射性セシウム濃度のモニタリングを行っており、結果が水産庁のホームページで公開されています (<http://www.jfa.maff.go.jp/j/housyanou/kekka.html>)。放射性セシウムには ^{134}Cs と ^{137}Cs が含まれますが、一般食品中の放射性セシウム濃度の基準値は ^{134}Cs と ^{137}Cs 合わせて 100 ベクレル (Bq/kg) と設定されています。海水魚では、2015 年 4 月以降、基準値を超える魚は報告されていませんでしたが、2019 年 1 月に 1 検体のみコモンカスベという魚で 160 Bq/kg と基準値を超えるものが見つかりました。しかし、全般的には海産魚の放射性セシウム濃度は順調に下がり、2017 年に一部の出荷制限魚種を除くすべての魚介類に試験操業対象種が拡大され、漁業の再開に向けた取り組みも進められています。現在では郡山市内のスーパーなどでも、「常磐もの」として福島県産のカレイなどが並べられているのを見かけることもあります。一方で、淡水魚の放射性セシウム濃度は海水魚よりも高い値が続いており、比較的汚染の低い福島県中通りを流れる阿武隈川であっても、基準値を超えるヤマメ・イワナが 2018 年にも何検体か報告されています。淡水魚の放射性セシウム濃度は、流域内でも地域間、個体間で非常にばらつきが大きく、「安定的に 100Bq/kg を下回る」と判断することが難しいことが、出荷制限や採捕自粛の解除が遅れる一つの原因になっています。このように、海水魚に比べ、淡水魚では放射性セシウムによる汚染の問題は今でも収束していません。今後、淡水魚の放射性セシウム濃度はどのように減少し、いつになれば心配なく食べられるようになるのでしょうか。

3. 放射性セシウムの物理学的半減期、生物学的半減期、生態学的半減期

放射性セシウムの減少速度の指標として、半減期が使われます。まず、原発事故により放出された放射性物質は、物理的な崩壊によって何もしなくても減少していきます。放射性物質が物理的な崩壊により半分にまで減る時間を物理学的半減期と呼びます。放射性セシウムには ^{134}Cs と ^{137}Cs が含まれますが、それぞれ半減期は 2 年と 30 年です。事故後 8 年の現在、 ^{134}Cs と ^{137}Cs は、物理的な崩壊により事故直後

に存在した量のそれぞれ 6%、83% 程度に減少していると計算されます。このように、 ^{137}Cs は ^{134}Cs に比べ半減期が長いため、なかなか減少せずに環境中に残り続けます。

次に、魚の放射性セシウム濃度の減少を考えると重要なのが、生物学的半減期です。これは淡水魚に取り込まれた ^{137}Cs が魚の代謝とともに体外に排出され、半分の濃度になるまでにかかる時間で、実験によって調べられるものです。福島県内水面水産試験場の実験によると、実験室でウグイに ^{137}Cs の含まれた餌を与えて ^{137}Cs が蓄積された後、 ^{137}Cs が含まれない餌に切り替えてきれいな環境で飼育した場合、 ^{137}Cs の濃度は 3 か月から半年で半減する、つまり生物学的半減期は 3 か月から半年であることが確かめられています。

それでは、実際に福島県の淡水魚の放射性セシウム濃度はどのように変化しているのでしょうか。図 1 に新田川 (福島県飯舘村・南相馬市) のウグイの放射性セシウム濃度の変化を示します。事故後初期には ^{134}Cs と ^{137}Cs 合わせて数百 Bq/kg あった放射性セシウムが数十 Bq/kg 程度まで指数関数的に減少しています。ここから推定される自然環境下の天然ウグイの ^{137}Cs 濃度が半分にまで減少するのにかかる時間は 1.3 年で、これを生態学的半減期と呼びます。つまり、代謝による ^{137}Cs の減少速度である生物学的半減期 (3 か月から半年) より、自然環境下の減少速度である生態学的半減期 (1.3 年) の方がずっと長いことが分かります。これは、自然環境下のウグ

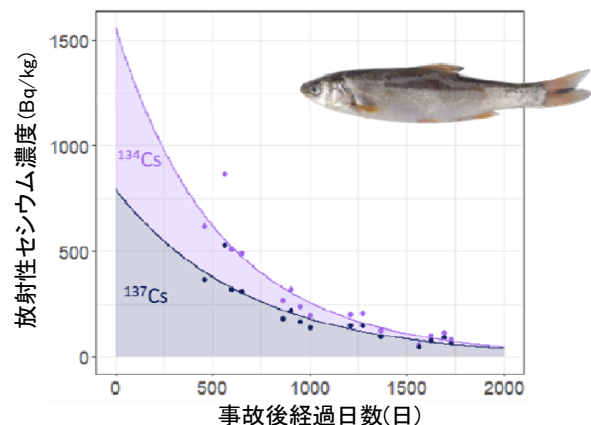


図 1 新田川ウグイの放射性セシウム濃度
環境省水生生物放射性物質モニタリングの調査結果より作成

特集 河川流域における放射性セシウムの今後を予測する

イが環境から餌などを通して ^{137}Cs を取り込み続けていることを示しています。淡水魚の放射性セシウム濃度が海水魚よりも下がりにくいのは、海洋では放射性セシウムが海水に拡散したことで薄められたのに対し、河川や湖では環境中に放射性セシウムが残っており、餌を通して淡水魚に取り込まれるためです。

生態学的半減期は、生物学的と異なり、生物体内での ^{137}Cs の動きだけでなく、流域など環境内で ^{137}Cs がどう動くか、また環境内の ^{137}Cs が生態系を通して魚にどのように取り込まれるのかによって、時間とともに大きく変化します。図1で示した事故後数年のウグイの ^{137}Cs の生態学的半減期は1.3年と物理学的半減期よりも短いのですが、これは、事故後初期には、河川や湖など環境水中に放出された生物に取り込まれやすい ^{137}Cs の大部分が、底泥に吸着し

たり流出したりすることにより環境中から迅速に減少するためです。一方で、河川や湖に残った放射性セシウムは、生態系内を循環して減少しにくく、時間が経つとともに生態学的半減期は長くなると考えられています。チェルノブイリ原発事故後12年間の魚の ^{137}Cs 濃度を測定した1999年のJossionらの研究により、魚の ^{137}Cs 濃度の減少速度は時間の経過とともに小さくなり、初期には数年だった生態学的半減期が、時間とともに20年以上に長くなってしまう場合もあることが報告されました。2016年の和田らの報告によれば、福島においても、ワカサギなど一部の魚で放射性セシウム濃度の減少速度が時間とともに減少する傾向があることが報告されています。淡水魚の将来の ^{137}Cs 濃度を予測するためには、 ^{137}Cs の環境内での動きを知ることが不可欠なのです。



図2 太田川における水生生物調査の様子

A: 太田川上流, B: 太田川下流, C: 魚の採集, D: アユ, E: ヤゴなどの水生昆虫, F: ヒゲナガカワトビケラ, G: ヨシノボリ

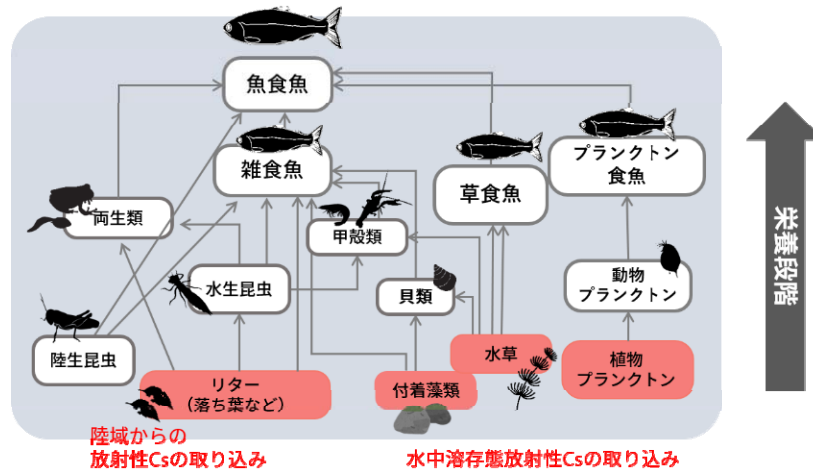


図3 水生生物食物網と放射性セシウムの動き

4. 環境から魚に取り込まれる放射性セシウム

淡水生態系で ^{137}Cs がどのように魚に取り込まれるか、環境中の何が重要な ^{137}Cs の魚への供給源であるかを調べるために、国立環境研究所では、2014年から福島県浜通りの河川（真野川、太田川）と真野川のダム湖であるはやま湖、福島県中心部の猪苗代湖において、水生生物に含まれる放射性セシウム濃度の調査を行っています。調査では、魚類だけでなく、魚の餌となる食物網内のさまざまな生物を採取します(図2)。川底を網でさらって水生昆虫類・貝類・甲殻類などの底生物を採集したり、落ち葉、川底に付着した藻類、プランクトン、河川水や湖水などの環境試料の調査も行っています。

魚の放射性セシウムのほとんどは、生物の食べる-食べられる食物網の関係を介して取り込まれることが知られています(図3)。環境水中で、放射性セシウムは水に溶けた状態(溶存態)と、土壌粒子などに吸着して浮遊する状態(懸濁態)として存在しますが、土壌粒子などに強く吸着した放射性セシウムは植物や水生生物に吸収されにくいと考えられます。また、溶存態の放射性セシウムも直接魚に取り込まれる量はわずかで、溶存態は川底に付着した藻類や水生植物、プランクトンなど生産者を通して食物網内に取り込まれます。また、水中の放射性セシウムだけではなく、川や湖に落ちた落葉や、落下昆虫として魚の餌となる陸生昆虫も、重要な陸域からの放射性セシウムの供給源となります。我々のこれまでの研究により、河川や湖では、落ち葉や川底に付着した藻類などの放射性セ

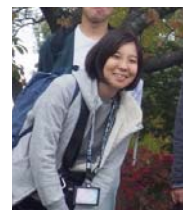
シウム濃度が高く、これらを餌として利用する生物を通して放射性セシウムが食物網に取り込まれることが分かっています。また、湖と河川、そして同じ河川内であっても上流(図2A)と下流(図2B)など異なった環境では、その場所の生物相や食物網構造が大きく異なり、同じ魚種でも食べるものが異なり、食物網内の放射性セシウムの動きも異なる可能性があります。

今年の春、ようやく秋元湖のイワナとヤマメの出荷制限が解除されました。淡水魚は溪流釣りやワカサギ釣りなど、地域の観光資源としても重要であり、出荷制限が解除されない地域では豊かな自然の恵みを利用できない状態が続いています。今後の出荷制限解除と漁業再開などの将来的な見通しを立てるためには、河川や湖など様々な淡水環境での放射性セシウムの動きや、魚の放射性セシウム濃度のばらつきを引き起こす要因についての理解を深め、将来予測のための知見を蓄積していく必要があるでしょう。(いしい ゆみこ、福島支部 環境影響評価研究室

研究員)

執筆者プロフィール：

大学院生の頃、研究室の同期が実験材料として使うイモリを野外で捕獲し、飼育しはじめて20年近くになります。イモリ達はまだまだ元気で、飼育下では大変な長寿のようです。2年ほど前から福島で水生生物の野外調査に出るようになり、時々活きのいい水生昆虫を餌としてあげられるようになりました。



異なる環境での経験を糧として

理事 森 口 祐 一

4月1日付で研究担当理事に着任し、再び国立環境研究所に勤務しています。国立公害研究所時代の採用以来29年を経て東京大学へ異動したのは、東日本大震災の3週間後でした。自分の立場が大学教員に変わったこと、大震災の影響をはじめとりまく環境が変わったことの両面から、8年間の経験を振り返ることが、国立環境研究所での新たな職責の糧となると考え、この題を選びました。

環境研究に取り組むことは、研究所と大学との共通点ですが、大きな相違点は、大学では学生・大学院生の教育や研究指導が主たる職務となることです。異動前の5年間、連携講座の客員教員として既に大学院生の研究指導に携わっていましたが、学部生向けの講義や卒論の指導が加わりました。たとえば、大気環境学という科目で、公害問題から地球規模の環境問題への歴史的変遷をたどる中で、光化学大気汚染、酸性雨、オゾン層破壊、気候変動などの現象が生じるメカニズムや、測定機器や排ガス処理技術の原理を教えることは、環境学の基礎を自らも学びなおす良い機会でした。卒業研究ではじめて研究に触れ、その面白さに目覚めて大学院に進み、博士課程を修了して研究職に進んだ例をはじめ、将来を担う人材の育成に携わることができることは、大学教員の醍醐味の一つです。さらに、平成30年度の1年間、日本学術振興会(JSPS)の環境学担当の主任研究員として、科学研究費、特別研究員、国際事業などのJSPSの事業の運営支援を経験したことは、基礎研究、若手育成の重要性を再認識する貴重な経験でした。

環境研究では、こうした基礎科学との距離感とともに、実社会との距離感のバランスが求められます。2011年の異動時の所内のセミナーでは、『『際』と環境研究』という演題で、環境研究と関わるいくつかの「際」への想いを話しました。学際、国際などと並んで強調したのは、「実際」、すなわち研究と実社会との接点の大切さでした。環境研究における現場の大切さは、古くから強調されてきたことですが、

長期にわたる地球規模の環境問題のように現場が見えにくい課題も近年では増えていました。そうした中で東日本大震災が起き、災害廃棄物問題や原発事故による放射性物質汚染問題が発生したことで、環境問題の現場やそこで暮らす人々との関係の大切さに、自分自身も含め、多くの環境研究者が直面することになりました。また、大災害の経験は、学の縦割りによる限界を再認識する機会でもありました。その教訓をもとに、日本学術会議の活動を母体とする防災学術連携体という学際的な組織の設立に関わり、生命をまもるという共通点を有しながらも時間的な切迫感が大きく異なる災害医学のように、これまで触れる機会がなかった分野の専門家との人的つながりが広がったことで、環境研究が災害研究の一翼を担うことも含め、学際的な連携の意義を実感することができました。

国立環境研究所を外側から見ることで改めて気づかされることも多くありました。言うまでもないことですが、環境問題に関して、これほど幅広い分野をカバーする人材が集い、常時顔の見える関係で、異分野間の交流、連携が可能なところは、少なくとも国内には見当たりません。大学は自由度が大きい反面、組織だった活動には限界があり、国立研究所ならではの組織力は、大きな強みであると実感します。研究者からの自発的な活動を基礎として、さまざまな新たな「際」を生むことのできる研究環境づくりに微力を尽くしたいと思います。

(もりぐち ゆういち、研究担当理事)

執筆者プロフィール：

4月から変わったことのひとつは通勤の時間と距離です。つくばエクスプレスや東京の地下深くを走る地下鉄へのアクセスのための階段の登り降りが減り、運動不足にならないようにすることが目下の課題です。



【行事報告】

「春の環境講座 ー地球のおくのほうまで見てみよう。ー」開催報告

ー一般公開分科会事務局

4月20日に、春の環境講座を開催しました。今回は「地球のおくのほうまで見てみよう。」というキャッチコピーのもと、昨年までとは大幅に内容を変更し、“高校生・大学生50名限定”“事前登録制”“一部企画をニコ生配信（詳細は後述）”の3つを前面に押し出したイベントとなりました。

また今回は研究者から参加者に説明するだけでなく、「対話」を重視した企画を行いました。

環境とSDGsの関わりをテーマとした「環境カフェ&ぐるっと国環研ツアー」は、少人数のグループに分かれて研究者と語り合う「環境カフェ」、環境研究に取り組む施設を見学する「ぐるっと国環研ツアー」の2つで構成された企画です。「環境カフェ」は、参加者と研究者が感じたこと、知ったこと、考えたことを共有することで、お互いが共感し、新たな気づきや発見が生まれる場となりました。「ぐるっと国環研ツアー」は、植物などの研究試料などを間近で見たり触ったりすることで、研究についてさらに関心を深める良い機会となりました。

「気候[変]会議 ー温暖化時代をきみはどう生きる？ー」は、気候変動をテーマにした参加者と研究者との対話企画です。二名のゲストにお越しいただくとともに、インターネットでの動画配信サービスである「ニコニコ生放送」でも配信し、視聴者からの意見も取り入れ、様々な議論が繰り広げられました。新たな試みとして、来場者にはスマートフォンによるアンケート回答やコメント入力で意見を寄せてもらい、会場でスクリーンに映し出し共有して議論につなげました。今世界に広がっている若者の「スクールストライキ」の話題に始まり、地球温暖化に関する科学的な疑問まで、様々な意見が飛び交いました。特に「スクールストライキ」については、「学生が社会にアピールできる手段だから賛同する」、「ストライキで何が変わるの？」など賛否両論あり、それを踏まえて研究者やゲストらが自分たちの考えを伝えました。

そのほか、温暖化研究の研究施設をクイズ形式で巡るツアーや近未来の乗り物「極小モビリティ」の乗車体験、採用相談会を開催し、参加者と身近に触れあう1日となりました。

新たな取組である「ニコニコ生放送」での配信に関しては、視聴者数が3万6千越えと予想をはるかに上回る方々に観ていただきました。

今回から内容を一新し、高校生以上向けの企画であったものが高校生・大学生限定の企画となりましたが、未来を担う若者の環境問題への関心の高さが見られた企画となりました。今回の企画で得たことを持ち帰って自ら考え、また家族や友人に話すことで広まっていき、環境問題について考える人が少しでも増えていくとすれば何よりです。皆様に身近で親しみやすい研究所になれるよう、これからもこのような企画を開催してまいります。

(まるお たけし、企画部広報室 係長)



「環境カフェ」の様子



「気候[変]会議」の様子

適応だよ。

何のこころ



国立環境研究所 夏の公開

<http://www.nies.go.jp/>  

7月1日より特設サイト公開↓
入場無料

2019
7.20 sat

9:30 → 16:00 (受付 | 15:00まで)



表彰

「受賞のひとつ」など、詳しくはホームページもご覧ください。 <http://www.nies.go.jp/index.html#tab5>

公益社団法人土木学会環境システム委員会 環境システム優秀論文賞

受賞者：石河正寛、松橋啓介、有賀敏典（社会環境システム研究センター）

受賞対象：建物ポイントデータの床面積補正を通じた民生部門エネルギー消費量の推計, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research), 72 (6), II_87-II_94, 2016

公益社団法人日本気象学会 堀内賞

受賞者：杉本伸夫（環境計測研究センター）

受賞対象：ライダーによる東アジア大気環境および気候研究の推進

「野生生物と社会」学会 最優秀ポスター賞

受賞者：久保雄広（生物・生態系環境研究センター）

受賞対象：保全便益を可視化する：アマミノクロウサギツアーに関する経済分析, 第23回「野生生物と社会」学会大会, 同予稿集, 84-84, 2017

The 2nd International Conference on Alternative Fuels and Energy (ICAPE2017) Executive Committee Best Brain Storming Presentation

受賞者：徐 開欽、小林拓朗、Hu Yong（資源循環・廃棄物研究センター）

受賞対象：Effect of Lipid/TS ratio on anaerobic treatment of food waste under thermophilic condition, The 2nd International Conference on Alternative Fuels and Energy (ICAPE'17), Proceedings of ICAPE, 59, 2017

東邦大学理学部生物分子科学賞

受賞者：小池英子（環境リスク・健康研究センター）

受賞対象：生命科学を中心とする分野での功績（卒業生による生命科学に関する研究、及び社会活動）

第14回（平成29年度）日本学術振興会賞

受賞者：伊藤昭彦（地球環境研究センター）

受賞対象：陸域生態系モデルの開発とその地球温暖化研究への応用

SAT テクノロジー・ショーケース 2018 ベスト・アイデア賞

受賞者：玉置雅紀（福島支部）

受賞対象：DNA にできた傷跡を目で見る その原理と応用について, SAT テクノロジー・ショーケース 2018, 「プログラム&アブストラクト」集, 93, 2018

日本都市計画学会論文奨励賞

受賞者：CHEN HE（社会環境システム研究センター）

受賞対象：博士論文「時空間の広がりを踏まえた環境バランス改善策の方法論—エコロジカル・フットプリントを活用して—」

廃棄物資源循環学会奨励賞

受賞者：小口正弘（資源循環・廃棄物研究センター）

受賞対象：廃棄物資源循環分野に対する真摯な研究

新刊紹介

国立環境研究所年報 平成 30 年度

本年報は、第4期中長期計画（平成28～令和2年度）の折り返しの年次にあたる平成30年度の活動状況を取りまとめたものです。研究課題の目的、活動内容、研究成果を報告しています。また、環境情報の収集・提供業務活動の概要、研究施設・設備の状況、研究成果の発表状況、その他研究所の活動の全体像を知って頂く上で参考になる様々な資料が掲載されています。

○<http://www.nies.go.jp/kanko/nenpo/h30/h30all.pdf>



環境儀 No.73 「アオコの実像-シアノバクテリアの遺伝子解析からわかること」

暑い夏、水面に浮かぶ青い粉、アオコ。高度経済成長期に社会問題となったアオコは、一時収束したかと思われたものの平成後期にも大発生があり、原因藻類の挙動を明らかにする研究が続けられています。本号では、遺伝子解析によって明らかになったアオコ原因シアノバクテリアの動態や多様性について紹介します。

○<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/73/02-03.html>



人事異動

（平成31年4月29日付）

福田 宏之 辞 職 福島支部長（中間貯蔵・環境安全事業株式会社 PCB 処理事業部長）

（平成31年4月30日付）

田中 紀彦 辞 職 企画部長（総務省公害等調整委員会事務局審査官）

（令和元年5月1日付）

吉口 進朗 採 用 企画部長（中間貯蔵・環境安全事業株式会社 PCB 処理事業部長）

山本 郷史 採 用 環境情報部長（環境省水・大気環境局水環境課閉鎖性海域対策室長）

木村 正伸 配 置 換 福島支部長（環境情報部長）

編 集 後 記

人でも物でも、長く付き合うことでしか分からないことは多々あるように思います。理解するのに時間がかかったり、突発的なことが起きたときにその本質が見えたりするので、少し付き合っただけで「分かったつもり」になるのは危険なのかもしれない。研究についても同様で、東日本大震災から8年以

上にわたって真摯に調査・研究してきたからこそ分かったことが、本特集では紹介されているように感じました。長く付き合うよりも、つい、新しいことに飛びついてしまう自分の姿勢を見直さないといけないな、と思いました。 (R.T.)

国立環境研究所ニュース Vol. 38 No. 2（令和元年6月発行）

編 集 国立環境研究所 編集分科会
 ニュース編集小委員会
 発 行 国立研究開発法人 国立環境研究所
 〒305-8506 茨城県つくば市小野川16番2
 問合せ先 国立環境研究所情報企画室 pub@nies.go.jp

●バックナンバーは、ホームページからご覧になれます。
<http://www.nies.go.jp/kanko/news/>

無断転載を禁じます



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。