

[23-5]

農作物のセシウム量低減と土壌改良-農・畜産業の永続的発展に向けて Reduction of Radio Cesium Contamination to Agricultural Products and Soil Improvement for Sustainable Agriculture

小松崎将一^{#A)}, 中里亮治^{B)}, 莉部甚一^{C)}Masakazu Komatsuzaki^{#A)}, Ryoji Nakazato^{B)}, Zin'ichi Karube^{C)}^{A)} Center for International Field Agriculture Research and Education, Ibaraki University^{B)} Center for Water Environment Studies, Ibaraki University^{C)} Department of Biotechnology and Chemistry, Faculty of Engineering, Kindai University

Abstract

The nuclear accident at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FDNPP) occurred as a consequence of the massive earthquake and associated tsunami that struck the Tohoku and northern Kanto regions of Japan on March 11, 2011. The released radioactive nuclides were deposited over a wide area of the Tohoku and Kanto regions. Ibaraki prefecture where located south to Fukushima prefecture, also was covered the radioactive nuclides. After the accident, serious contaminations of radio actives were observed of drinking water, vegetables, and milks and so on. Fortunately, these serious contaminations were quickly reduced because radioactive iodine was main contamination due to short time of half-life period. Radio cesium contamination that shows relatively longer half-life period, was observed several agricultural products after this accident in Ibaraki prefecture, however, there are still serious contamination in the coastal area of Fukushima prefecture. The present paper indicates that the contamination of fresh water fishes did not reduce during recent 3 years. On the other hand, Transfer Factor of soybean was significantly correlated with the depth of the vertical distribution of both radiocesium and exchangeable cesium.

Keyword: Radio cesium, soybean, freshwater fish

1. はじめに

1.1 研究の背景

本研究は、福島原発事故による放射性セシウムの、様々な農作物への影響を詳細に調べ、今後長く続くと予想されるその影響を、土壌改良などにより軽減する方法を探る事を目的とする。そのため、現に農業に取り組んでいる農家の方、農学・環境研究を長年行っている大学の農学部研究者、そして大学及び法人研究機関の原子核物理研究者から成るメンバーが、連携して本研究を推進する。

東京電力福島第一原子力発電所より放出された放射性物質が農作物へ与える影響を評価し、その影響を農業現場で最低限に抑える事が急務となっている。この問題に関連して、農水省は、農地土壌中の放射性セシウムの野菜類と果実類への移行について、平成23年5月27日にプレス発表を行った。ここで利用された、科学的資料は、主には、海外の数編の論文である。科学的資料の数が少ない事は、大きな問題であるが、想定される事故では無かったことから致し方ない面がある。一方、別の問題として、日本と海外の土壌や農作物、環境の違いにより海外のデータが我が国の状況に適用できるか否かがある。そこで、今回の原発事故の影響を受けた福島県、茨城県等の農地で栽培された色々な農作物を採取し、その中の放射性セシウム量を精度よく測定・解析し、実情がどうなっているかを先ずは明らかにする。そ

の結果、様々な農作物についての、放射性セシウムの移行係数の知見が得られる。

ところで、セシウムの移行については酸性度やカリウム濃度が影響をすることはわかっているが、移行係数の測定に加えて土壌分析を同時に実施することで移行係数を左右する他の条件の知見が合わせて得られる。その結果を踏まえ、セシウムを低減化するための土壌の改良を試み、その効果を検証する。また、土壌から植物や餌資源などを介し、畜産や水産物に対する影響を検討する。

本研究の遂行により、農水産物への原発事故の影響を少しでも早く軽減し、福島県における農・畜産業の永続的発展に資するのが最終的な目的である。

1.2 研究の目的

1.2.1 帰還困難区域における溪流魚の放射性セシウムの移行メカニズムと魚体内のセシウム低減化に関する研究

2011年3月の福島第一原子力発電所事故により、環境中へ多量の放射性物質が放出された。事故から約8年が経過した2019年3月時点においても、避難指示区域内およびその近傍の河川に生息するほぼすべての内水面魚種について採捕・出荷の制限・自粛がなされている。避難指示解除後の地域の再活性化と内水面漁業の復興のカギの一つとして、イワナ・ヤマメに代表される森林河川での溪流魚釣り、いわゆる遊漁活動の復活があげられており、地元の漁業組合関係者、地域行政関係者や住民の方々も強く熱

[23-5]

望している。しかしながら、これまで、避難指示地域において遊漁対象となる溪流魚については、生息地環境を含めたそれらの放射性セシウム濃度の現状が十分調べられておらず、魚への放射性セシウムの移行経路や異なる空間線量環境下における魚への放射性セシウム蓄積速度の差異など、溪流生態系内での放射性セシウム移行メカニズムについても未解明であった。さらに、今後の放射性セシウムの推移や収束時期の予測、魚体内の放射性セシウム低減化方法の開発など多くの課題が手つかずのままであった。被災地での遊漁活動や生産活動を復興・復活させるためには上記のことを十分に理解・考慮・把握をしながら、適切な方策を立案することが重要と思われる。

そこで私どもの研究グループでは、2015年～2019年度に、避難指示区域内の空間線量率の異なる複数の森林河川を研究フィールドとして以下に述べる①～④についての研究を実施してきた。

①魚を含めた生物群集と生息環境中の放射性セシウム濃度の現状を把握するための、遊漁対象魚種のヤマメとイワナ、大型無脊椎動物および河川環境試料の放射性セシウム濃度のモニタリング。

②異なる空間線量環境下における魚への放射性セシウム蓄積速度の差異の有無を明らかにするための、放射性セシウムを含まない養殖イワナ・ヤマメを異なる空間線量をもつ河川に放流する「標識放流実験」の実施と定期的な再捕獲による放射性セシウムの取り込み速度の推定。

③森林河川生態系における溪流魚への放射性セシウム移行経路を明らかにするために、①で述べた魚類の胃内容物分析による餌資源経由からの推定のほか、河川水に含まれる溶存態の放射性セシウムからの移行の有無を検証するため、溪流魚を飼育ケージに入れて調査河川に設置する無給餌飼育実験(インサイト実験)の実施。これにより、魚への放射性セシウムの移行経路について、餌経由と水経由の二つに分けた量的評価が可能になる。

④活魚測定法を用いた溪流魚の給餌飼育における放射性セシウムの取り込み・排出のモニタリングと魚体内のセシウム低減化法に関する実験

今回の報告書では、①、②および④に関連する研究結果について報告する。①では2015年から2019年度までの5年間の調査結果についてデータを整理し、帰還困難区域の森林河川に生息する溪流魚(イワナ・ヤマメ) ^{137}Cs 濃度の推移と今後の収束時期についても考察を加えた。また②では、放流時の個体サイズや魚種の差異による ^{137}Cs 蓄積速度の多寡について明らかにするために、放流した魚すべてについて個体の区別が可能となる「個体識別標識放流実験」を2019年度に実施したので、それらの結果についても報告する。④では、これまででは、活魚状態での放射性セシウムのモニタリング方法の一つとして、野外から採取した魚を実験室に持ち帰り、その個体を用いて実験室内に設置したゲルマニウム半導体検出器を用いて ^{137}Cs 濃度を測定していた。しかし、高

価なゲルマニウム半導体検出器ではなく、比較的安価で、液体窒素による冷却が不要で、現場やその近傍にある調査拠点への運搬が容易な放射能検出器を用いた測定システムが確立できれば、飼育環境下ではなく実際のフィールドにおける魚の Cs 濃度の経時変化(季節変化や経年変化)、標識した魚の採捕・再放流の繰り返しによる同一個体の ^{137}Cs 濃度の変動追跡、および溪流魚の Cs 低減化実験にも有効活用できると思われる。そのため今年度は測定装置として小型の CsI シンチレーション検出器を利用した活魚状態での ^{137}Cs 濃度測定システムの開発を進めた。

1.2.2 請戸川上流域における福島第一原子力発電所事故に由来する放射性ストロンチウムの分布

2011年3月の福島第一原子力発電所(原発)事故によって放射性セシウム(Cs)などとともに放射性ストロンチウム(Sr)が大気中に放出され、原発から北西地域の地表に放射性 Sr が多く沈着した^[1]しかし、この地域の河川やそこに生息する生物の放射性 Sr 汚染実態の解明はほとんど行われていない。その原因は主に放射性セシウム(Cs)に比べて放出量が少ないことによる社会関心の低さと放射性 Sr 分析法の難しさにある。そこで、私どもは簡略化・迅速化された新しい放射性 Sr 分析法^{[2][3]}を用い、2015年から、放射性 Sr 沈着量が多い地域を流れる福島県浪江町の請戸川流域において、土壌、河川水および魚類の放射性 Sr 濃度から原発事故に由来する放射性 Sr の分布状況について明らかにすることを目的とした調査を継続している。2019年度は2018年度と同様に、湧水と土壌の放射性 Sr について空間線量率の高い地点D(後述)の小河川を対象に複数の調査点を設けた詳細な調査を実施した。

1.2.3 実栽培環境土壌におけるセシウム移行挙動の解明

茨城大学FSCのダイズ圃場(3つの耕うん、カバークロープ処理)において、土壌中、カバークロープ中、ダイズ中の放射性セシウムを2011年～2017年まで測定し、①耕うんの方法②カバークロープの種類から、放射性セシウム濃度、土壌からの放射性セシウムの移行量を調査した。また、それらの経年変化についても調査した。

2. 研究の概要

2.1 帰還困難区域における溪流魚の放射性セシウムの移行メカニズムと魚体内のセシウム低減化に関する研究

2.1.1 避難指示区域内の森林河川に生息する溪流魚の ^{137}Cs 濃度のモニタリング

帰還困難区域内にある山地溪流の空間線量率の異なる3地点(地点B, C, D)において定期的に空間線量率の測定と試料採取を行った。なお、地点B, C, Dはいずれも請戸川の支流である。

河川環境試料として河川近傍の山土(表層約50mm)、河床堆積物(川砂)、水底落葉および河川水

[23-5]

を採取した。溪流魚のヤマメとイワナはミミズやブドウ虫を餌とした釣りによって採捕し、冷蔵して研究室に持ち帰った。測定の前処理として、魚類試料についてはホールボディの¹³⁷Cs分析後に可食部のみをU8容器に充填した。河川水は、カートリッジ型フィルタ装置によってろ過・濃縮を行った。処理後の河川環境試料および魚類は、Ge半導体検出器(CANBERRA社製)を用いて¹³⁷Cs濃度を測定した。これらの調査は地点BとCでは2015年3月から、地点Dでは2016年3月から現在までモニタリングを継続中である。

2019年10~11月の各地点の空間線量率の平均値は地点Dで平均2.1 μ Sv/hと最も高く、地点Cと地点Bでそれぞれ1.3 μ Sv/hと0.5 μ Sv/hとなり、地点Bが最も低かった。これらの空間線量率の値は2018年の同月の値の70%~80%程度であった。空間線量率が低下した理由としては、2019年10月の台風19号と21号の影響によって溪流の周辺環境が大きく変化したためかもしれない。

2019年度に採捕した天然ヤマメの¹³⁷Cs濃度は、地点Dの平均値が3,932 Bq/kg(n=44)、地点Cが2,855 Bq/kg(n=4)、そして地点Bが1,349 Bq/kg(n=16)であった。また、天然イワナの¹³⁷Cs濃度は、地点Dの平均値が3,315 Bq/kg(n=16)、地点Cが3,042 Bq/kg(n=10)、そして地点Bが1,698 Bq/kg(n=10)であった。このことから、ヤマメとイワナのいずれの場合においても、空間線量率の高い採捕区域の溪流で採捕した個体の¹³⁷Cs濃度が高いことが分かった。また、これらの¹³⁷Cs濃度は2018年とほぼ同等であった。本研究での調査期間内で、いずれの地点・魚種ともに2015年から¹³⁷Cs濃度の明瞭な減少傾向は認められず、福島第一原発事故から約8年が経過した現在では2魚種の¹³⁷Cs濃度はほぼ平衡状態に達しているものと推測された。

2.1.2 個体識別放流実験による¹³⁷Cs蓄積速度の推定

本実験は、4地点の中で空間線量率の最も高い地点Dの溪流で、2019年5月から実施した。¹³⁷Csをほぼ含まない養殖のイワナとヤマメは、魚類・甲殻類用麻酔剤FA100で麻酔後にイラストマー蛍光タグ(NMT社製)と個体識別が可能な埋め込み式トランスポンダーの小型PITタグ(BI08.B.03, 134.2KHZ, Biomark社製)で標識し、放流前の体長と体重を記録した。これらの供試魚を、地点Dの溪流550mの範囲にある上流部の2か所の淵(Pool)に、ヤマメとイワナを約40尾ずつ放流した。合計放流尾数はヤマメとイワナがそれぞれ79尾および80尾であった。放流日は2019年5月16日である。

放流した魚は2ヶ月から3ヶ月に1回程度の頻度でミミズやブドウ虫を餌とした釣りによって再捕獲した。再捕獲した際には、魚の口から鰓に数字の記入された結束バンドを通し、採捕場所の座標をGPSに登録し、GPSのメモリー番号と結束バンドの数字を野帳に記録した。採捕した魚は速やかに冷蔵保温して、調査地から約15km離れた浪江町の市街地に

ある屋外作業場(調査拠点)に持ち帰り、PITタグの有無や番号の確認後にGPSとの関連付けをした。これらの魚は一尾毎にビニール袋に詰めた後に、現場で冷凍し、実験室に持ち帰った。これらの試料はGe半導体検出器による¹³⁷Cs分析を行うまで冷凍保存した。

2019年5月から約190日間にわたって実施した標識放流実験の結果、1日あたりの魚への¹³⁷Cs移行速度(見かけの蓄積速度)は、ヤマメとイワナでそれぞれ13.8 Bq/kg/dayおよび6.9 Bq/kg/dayと算出され、ヤマメの¹³⁷Cs蓄積速度はイワナのそれと比較してかなり速いことが明らかとなった。

この理由としては、ヤマメはイワナよりも成長速度が速いこと^[4]、またヤマメとイワナが同所的に生息する場合、ヤマメが条件の良い餌場を確保し、流下昆虫を多く食べること^[5]から、ヤマメはイワナよりも¹³⁷Csを含んだ餌(水生・陸生の無脊椎動物)をより多く食べた結果として¹³⁷Csの蓄積速度が速くなったものと推察された。

2.1.3 CsIシンチレーション検出器を利用した活魚状態での¹³⁷Cs濃度測定システムの開発

放射能の測定に用いた検出器は結晶サイズ2 \times 1 \times 1インチのCsI(Tl)シンチレーション検出器(商品名:チャッピーデジタル211放射線検出器、FUI Japan社製)である。検出器の遮蔽には5cm \times 10cm \times 20cmの鉛ブロックを16個組み合わせ使用した。遮蔽の厚さは最も薄いところで5cmである。遮蔽内には高さ10cm、縦横10cm \times 30cmの空間が確保されている。この空間にCsI検出器、活魚を入れるためのプラスチックチャンバー(高さ7cm、幅4cm、長さ20cm)および小型のエアレーション装置を設置した。

CsI検出器の校正線源は以下のように準備した。2018年と2019年に福島県の調査現場で採取した複数個体のヤマメを骨ごと粉碎し、ミンチ状になった試料の¹³⁷Cs濃度をゲルマニウム半導体検出器で測定した。このミンチ試料をヤマメ・イワナの形状にしたビニール袋に充填し、校正線源とした。ROI構成に必要な換算係数は魚の重さによって異なるため、校正線源は実際に捕獲される魚の重さを想定して20, 40, 60, 80, 100gの5つを用意した。これらの重さの異なる試料についてCsI検出器を用いてcpsを計測し、¹³⁷Cs濃度と各線源の平均cpsから、換算係数を算出した。その結果、線源の重さ(実際には魚の体重となる)と換算係数の間には極めて強い正の相関が見られ($r^2=0.996$)、換算係数と体重の関係式を作成することができた。得られた関係式を用いて、測定試料の重さ(魚の体重)に応じた換算係数を求め、実際の¹³⁷Cs濃度を導出した。

この結晶サイズ2 \times 1 \times 1インチのCsI(Tl)シンチレーション検出器による測定システムを用いて、実際にいくつかの魚の活魚測定を実施したところ、¹³⁷Cs濃度が2,000Bq/kg以下で、かつ体重が50g未満の試料の場合には、RSDが5%以下になるまでに30分以上を要した。一方で¹³⁷Cs濃度が3,000Bq/kg以上で、かつ体重が60gを超える個体であれば、わずか10分

[23-5]

間の測定でRSDが5%以下となった。なお、測定精度は少し落ちるものの、RSDを10%まで拡大すれば、体重20gかつ ^{137}Cs 濃度が1,000Bq/kg程度の魚であっても20分程度で測定できることが分かった。従って、本研究の調査地である空間線量が高い浪江町の溪流に生息する天然のイワナとヤマメについては、この測定システムを用いれば高い精度を持って活魚状態のまま魚体内の ^{137}Cs 濃度測定ができるものと考えられた。

2.2 請戸川上流域における福島第一原子力発電所事故に由来する放射性ストロンチウムの分布

2019年6月及び8月に請戸川上流域（空間線量率の高い地点D）の小河川にて調査を行った。調査は小河川源流部（NP4）、上流域（NP6）、下流域（NP2）では小河川に流入する湧水（20L）および近傍の土壌（表層5cm）、中流域（P7、NP3、NP5）では河川水（20L）、今回の調査地点の中で最も下流に位置する地点（最下流、P1）では河川水（20L）と河川近傍の土壌（表層5cm）を採取した。また、魚類の捕獲は中上流域（NP3、NP5、NP6）～源流部（NP4）までの範囲で行った。採取した魚類（イワナ）は骨を灰化後に酸分解、土壌は灰化後に酸抽出、河川水はキレート樹脂によるSrの濃縮を行った。その後は各試料ともにSr Resin（Eichrom）（骨、土壌、河川水）もしくはDGA Resin（Eichrom）（骨、土壌）を用いた固相抽出処理^{[2][3]}を行い、最終的に放射性イットリウム（Y-90）のベータ線を低バックグラウンド2πガスフローカウンター（日立アロカメディカル）で測定し、放射性Sr（Sr-90）の放射能を算出した。今回は、分析が進んでいる魚骨および土壌の分析結果を中心に報告する。2019年度はP1、NP2、NP6における表層土壌のSr-90濃度分析を行い、その濃度はP1：29±2 Bq/kg dry、NP2：65±3 Bq/kg dry、NP6：26±2 Bq/kg dryとなった。2018年の値と比較すると、NP2の値はわずかに2019年度の方が低くなっている。また、上流側であるNP6と2018年の源流部のNP4とは大きな違いは見られなかった。従って、昨年度に明らかとなったNP2のような下流側において原発事故由来の放射性Srが多く分布している状況が2019年度も続いているといえる。ただし、2019年のP1（最下流）は2018年に比べて大幅に低下している。この理由として大雨による下流側での土砂の流出などの影響により放射性Srを高濃度に含む土壌が河川に流出した可能性が考えられるが、明確なことはわからなかった。この点については今後の検討課題である。2019年の調査で採取したイワナは29～54 Bq/kg wet (n=3)の値を示した。2018年の個体、そして2016年に同じ河川（P1よりも上流側）で採取したイワナの値と同程度の濃度であり、2016年から2019年にかけてイワナのSr-90濃度の低下傾向は見られなかった。このことは、2019年の時点でも魚類には原発事故由来の放射性Srが多く蓄積していることを示している。

2.3 実栽培環境土壌におけるセシウム移行挙動の解明

試験は茨城大学農学部フィールドサイエンス教育センター内の有機ダイズ試験圃場で行った。試験区は3つの耕うん方法（ロータリー耕・プラウ耕・不耕起）、3種のカバークロップ、（ヘアリーベッチ・ライムギ・雑草）、施肥の有（20kg/ha・0kg/ha）を4反復（72プロット）で設定した。土壌は30cmのコアサンプラーを用いて4層に分けて採取し、カバークロップは0.25m²のコドラートを用いてプロットごとに収穫。ダイズはプロットごとに1畝1m以内に存在する株を刈り取り後茎と葉に分け、その後放射能分析を行った。

まず、土壌中の放射性セシウムの分布は、2011年においては、3種類の耕うん体系で放射性セシウム分布は表層に集中していたが、2012年からは、ロータリー耕とプラウ耕でのセシウム 137 の土中分布は均一化した。これに対し、不耕起条件であると事故後7年を経ても表層に集中したままとっていた。放射性セシウムのダイズへの移行係数は、土壌中の放射性セシウム分布と関係があることが認められた。これは、耕うんなどの営農活動が放射性セシウムを土中に埋没させることで、ダイズへの移行を抑制したものと考えられる。

ダイズ子実のセシウム 137 含有率は2011年以降安全基準を大幅に下回っていたが、2011年に比べて2017年にはセシウム 137 含有率が65%減少していることが認められた。ダイズ子実のセシウム ^{137}Cs 濃度は年ごとに指数関数的に減少し、プラウ耕とロータリー耕では、不耕起に比べてダイズ子実のセシウム 137 含有量は著しく低下した^[6]（Fig.1）。

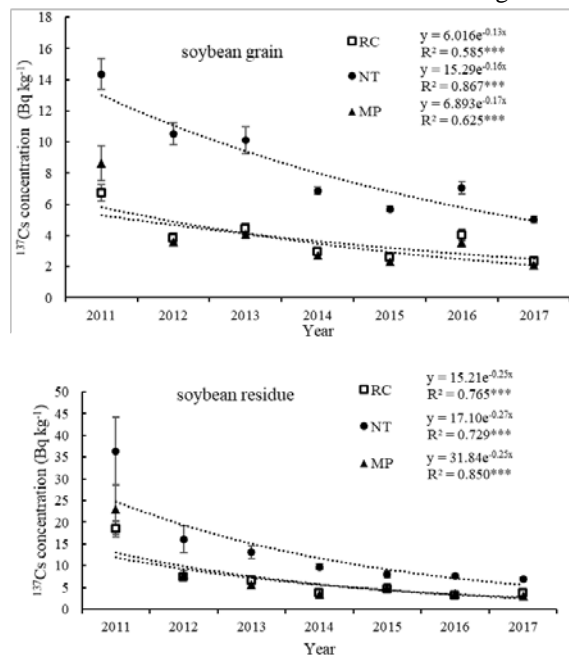


Fig.1 Dynamics of ^{137}Cs concentration (Bq kg⁻¹) in soybean grain and residue (averaged for three cover crops species and fertilizer levels; n=21 in each subfigure). “y” indicated the ^{137}Cs concentration in soybean grain and

[23-5]

residue, “x” indicated the number of subsequent years since 2011. Error bars represent standard error. Asterisks (*, $P < 0.05$; ***, $P < 0.001$) indicate significant determination coefficient (R^2).

3. 考察

3.1 帰還困難区域の森林河川に生息する溪流魚体内に含まれる ^{137}Cs の収束時期や今後の推移について

2015年～2019年の5年間にわたる帰還困難区域の森林河川（請戸川支流）に生息する溪流魚や環境試料の ^{137}Cs 濃度の各種モニタリングデータの解析から、震災後8年が経過した時点でも河川およびその周辺環境試料や溪流魚体内に含まれる ^{137}Cs 濃度は収束することはなく非常に高いレベルで平衡状態に達していると考えられ、地域住民の方々にとっては大変厳しいことに、今後数十年はこのレベルの状態が続くものと推測された。

3.2 活魚状態での ^{137}Cs 濃度測定システムを活用した帰還困難区域の森林河川に生息する溪流魚に関する今後の研究について

本研究によって CsI シンチレーション検出器を用いた活魚状態での ^{137}Cs 濃度測定システムが開発できたので、今後は帰還困難区域のフィールドあるいは調査拠点に本システムを運搬・導入する予定である。具体的には、調査現場で採捕し PIT タグによる個体識別標識処理をした天然ヤマメとイワナについて、当該システムで ^{137}Cs 濃度の活魚測定した後に、再び現場に放流し、一定期間の後に再び捕獲して ^{137}Cs 濃度の活魚測定をする。これらの採捕→測定→再放流→採捕→測定→再放流を繰り返し行うことで、場合によっては一度測定し現場に再放流した個体の ^{137}Cs 濃度を再び測定することも十分に可能と思われる。これによってこれまで不可能であった同一個体の天然魚についての Cs 濃度の変動追跡が可能となるだろう。

3.3 請戸川上流域における放射性ストロンチウムの動態

本研究により、土壌から河川水を経由して最終的に魚類の骨に原発事故由来の放射性 Sr が移行していることが示唆された。また、請戸川上流の一部地域において魚骨中の Sr-90 濃度が 2016年から2019年にかけて低下傾向が見られないという結果は、原発事故から8年経過した2019年においても未だに原発事故由来の放射性 Sr がこれらの地域に多く残存していることを示唆するものである。

3.4 実栽培環境土壌におけるセシウム移行挙動の解明

原発事故により東北および関東は広く放射性物質の降下（フォールアウト）を受けたが、農地では土壌の持つ放射性セシウムの吸着・固定能力が発揮され、農作物への移行量はごく少なく、事故初年目か

らほとんどの農作物の放射能汚染は問題にならなかった。とくに農地では施肥や堆肥投入など土づくりを通じて土壌の放射性セシウムの吸着能力が高くなることで作物への移行を阻止していることが認められた。今までの研究成果では、土壌の粘土鉱物の含有量、カリウム量などの土壌の粒度や化学的成分などの差異が放射性セシウムの作物移行に影響があることが報告されていたが、今回の成果では、耕うんなどの農家が通常行っている農作業が放射性セシウムの作物移行を抑制していたことが明らかになった。今回の成果は、原子力発電所事故に伴う農作物放射性物質について、耕うんなどの農作業が、農作物の安全性をより確かなものとする科学的根拠を示すものである。

参考文献

- [1] 福島県 “福島県における土壌の放射線モニタリング調査結果”. (2012)
- [2] Z. Karube, Inuzuka, Y., Tanaka, A., Kurishima, K., Kihou, N., and Shibata, Y. Radiostromium monitoring of bivalves from the Pacific coast of eastern Japan”. “Environmental Science and Pollution Research 23, 17095–17104, 2016.
- [3] H. Tazoe, Obata, H., Yamagata, T., Karube, Z., Nagai, H., and Yamada, M. “Determination of strontium-90 from direct separation of yttrium-90 by solid phase extraction using DGA Resin for seawater monitoring”. Talanta 152, 219–227, 2016.
- [4] 中野 繁, 谷口義則, “淡水性サケ科魚類における種間競争と異種共存機構”, 魚類学雑誌, 43, 59-78, 1996.
- [5] H. Miyasaka, S. Nakano & T. Furukawa-Tanaka, “Food habit divergence between white-spotted charr and masu salmon in Japanese mountain streams: circumstantial evidence for competition”, Limnology, 4,1-10, 2003.
- [6] Li, Peiran, Yingting Gong, and Masakazu Komatsuzaki. “Temporal dynamics of ^{137}Cs distribution in soil and soil-to-crop transfer factor under different tillage systems after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident in Japan.” Science of The Total Environment 697, 134060, 2019.