

令和2年度

野生動植物への放射線影響に関する
調査研究報告会

要旨集

主催：環境省(事務局 一般財団法人自然環境研究センター)
日時：2021(令和3)年2月19日(金曜日)13:30~17:00

令和2年度野生動植物への放射線影響調査研究報告会
プログラム

日時：令和3年2月19日（金）13:30～17:00

場所：WebEXによるオンライン開催

13:30～13:40 開会の挨拶

- 1 13:40～13:55 「野生動植物への放射線影響モニタリング」……………1
環境省自然環境局自然環境計画課
- 2 13:55～14:15 「5年間に及ぶ帰還困難区域内及びその周辺域に分布するイノシシの放射性セシウムのモニタリング」……………3
斎藤 梨絵（福島県環境創造センター）
- 3 14:15～14:45 「福島大学環境放射能研究所の放射生態学研究2020年度」……………5
難波 謙二（国立大学法人福島大学環境放射能研究所）
- 4 14:45～15:15 「放射能汚染地域の生物で利用可能な遺伝的影響評価法の開発」……………7
兼子 伸吾（国立大学法人福島大学共生システム理工学類）
- 15:15～15:40 <休憩>
- 5 15:40～16:10 「浅い富栄養湖における湖水と魚類の放射性セシウム濃度の季節変動：
底層溶存酸素濃度の影響」……………9
松崎慎一郎（国立研究開発法人国立環境研究所）
- 6 16:10～16:40 「帰還困難区域における各種環境生物の放射線リスク評価」……………11
府馬 正一（国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構）

16:40～16:55 全体質疑応答

16:55～17:00 閉会の挨拶

野生動植物への放射線影響調査モニタリング MOE's study of radiation effects for wild animals and plants

環境省自然環境局自然環境計画課
Biodiversity Policy Division, Nature Conservation Bureau, Ministry of the Environment, Japan

1. はじめに

環境省では、東京電力福島第一原子力発電所(以下、福島第一原発という)の事故により放出された放射性物質による野生動植物への影響を長期的に把握するため、福島第一原発周辺で調査を実施しています。本報告会では調査の終了した令和元(2019)年度の結果を報告しますが、令和2(2020)年度も調査を継続しており、令和3(2021)年度以降も調査を実施する予定です。

2. 環境省で実施した調査結果のまとめ

環境省では、平成 24(2012)年度から平成 27(2015)年度にかけて、福島第一原子力発電所周辺において、約 80 種の野生動植物を対象に、試料採取及び外部形態の観察、放射能濃度の測定、被ばく線量率の推定、繁殖にかかる調査(発芽試験、ツバメの繁殖状況調査)、定点カメラの撮影による環境変化の記録等を行ってきました。平成 28 年度からは、専門家の意見等を踏まえて必要な調査の絞り込みを行い、調査を継続しています(表1)。

令和元(2019)年度の調査では、採取した試料から測定した放射能濃度から、既存のツール(ERICA assessment tool)を用いて被ばく線量率を推定し、生じうる放射線影響の評価を行ったところ、平成 30 年度までの調査結果と変わらず、一部の地域・動植物種で影響が生じる可能性を否定できないことが示されましたが、これは、被ばく線量率の推定の際に、より大きな影響が生じうる条件を設定して計算した保守的なものであり、実際にこのような影響が生じていることを示すものではありません(表2)。

令和3年度以降についても、専門家の意見等を踏まえて、継続して調査を実施する予定です(表3)。

表1 平成 28(2016)年度から令和2(2020)年度までの試料採取計画

分類群	H28	H29	H30	R1	R2
ほ乳類(ネズミ類)	○	○	○	○	○
鳥類(ツバメ)		○			○
両生類 (アカハライモリ、カエル類)		○			○
魚類(メダカ)		○			○
無脊椎動物(ミミズ類)	○	○	○	○	○
植物(草本) (キンエノコロ、チカラシバ)	○	○	○	○	○
植物(木本)		○			○
環境試料(土壌、水等)	○	○	○	○	○

※「長寿命である」、「生息域が限られ、採取によって個体数が減少するおそれがある」、「ICRP の定める標準動植物に該当しない」等の理由からそれぞれ判断し、鳥類、両生類、魚類、木本類は5箇年に2度の調査対象とする予定。

表2 令和元(2019)年度推定被ばく線量率に基づいて評価した生じる可能性のある放射線影響

(※ICRP(2014)標準動植物の線量率－影響評価表参照)

種類	1日当たり被ばく線量率(mGy/日)と影響の程度の日安					
	<0.01	0.01～	0.1～	1～	10～	100～
ほ乳類	自然放射線レベル	観察される影響なし	影響は非常に小さい	雌雄の不育による繁殖成功率低下の可能性	罹患率の上昇、寿命短縮の可能性、繁殖成功率の低下	種々の原因による寿命短縮
アカネズミ			●	●		
ヒメネズミ				●		
無脊椎動物	自然放射線レベル	情報なし	情報なし	情報なし	影響は見込まれない	若干の罹患率の上昇と繁殖成功率の低下
ミミズ類			●	●		
イネ科草本	自然放射線レベル	情報なし	情報なし	情報なし	繁殖能力の低下	繁殖能力の低下
キンエノコロ			●	●		
チカラシバ			●	●		

[凡例] ● :1日当たり被ばく線量率の同一種における測定値の最大値、最小値

—:同一種で複数の試料が得られた場合、その1日当たり被ばく線量率の値の分布範囲

※環境試料と生物試料の放射能濃度から ERICA ツールを用いて被ばく線量率を推定。被ばく線量率の推定にあたっては、同一地点で同一種の試料が複数得られた場合や同一個体でも部位によって異なる濃度が得られた場合には、最も高い濃度を用いる等、より大きな影響が生じる条件を設定して保守的な推定を実施。さらに、平均的な被ばく線量率に安全係数として3を乗じた被ばく線量率を算出。

表3 令和3(2021)年度から令和7(2025)年度までの試料採取計画案

分類群	R3	R4	R5	R6	R7
ほ乳類(ネズミ類)	○	○	○	○	○
鳥類(ツバメ)		○			○
両生類 (アカハライモリ、カエル類)		○			○
魚類(メダカ)		○			○
無脊椎動物(ミミズ類)	○	○	○	○	○
植物(草本) (キンエノコロ、チカラシバ)	○	○	○	○	○
植物(木本)		○			○
環境試料(土壌、水等)	○	○	○	○	○

※「長寿命である」、「生息域が限られ、採取によって個体数が減少するおそれがある」、「ICRP の定める標準動植物に該当しない」等の理由からそれぞれ判断し、鳥類、両生類、魚類、木本類は5箇年に2度の調査対象とする予定。

5年間に及ぶ帰還困難区域内及びその周辺域に分布する イノシシの放射性セシウムのモニタリング

Five years of monitoring of radioactive cesium in wild boars captured within difficult return zone area in Fukushima Prefecture

齋藤梨絵¹、熊田礼子¹、稲見健司²、神田幸亮²、壁谷昌彦²、根本唯³

¹福島県環境創造センター、²野生生物共生センター、³東京農業大学

Rie SAITO, Reiko KUMADA, Kenji INAMI,

Kousuke KANDA, Masahiko KABEYA, Yui NEMOTO

¹ Fukushima Prefectural Centre for Environmental Creation, ² Wildlife Symbiosis Centre,

³ Tokyo University of Agriculture

1. はじめに

東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故により、現在でも多くの野生鳥獣において放射性セシウムが検出されている。福島県では、「有害鳥獣捕獲」、「個体数調整」及び「狩猟」における捕獲・処理等の安全確保に必要な情報を県民に発信するため、イノシシ、ツキノワグマ等の野生鳥獣の放射線モニタリング調査¹⁾を行っている。これらの野生鳥獣の放射線モニタリング調査の結果から、生物種によって体内のセシウム 137 濃度が異なり^{2),3)}、とりわけイノシシにおいて筋肉中のセシウム 137 濃度が高い傾向が認められている。加えて、イノシシの筋肉中のセシウム 137 濃度と捕獲場所のセシウム 137 土壌沈着量に正の関係があること³⁾、同様な土壌沈着量の汚染レベルのエリアで捕獲されたイノシシであっても、個体間で測定値のバラツキがとて大きい^{3),4)}という結果が得られている。

しかしながら、これらの結果は、帰還困難区域を除く地域で実施された野生鳥獣のモニタリングに基づくものである。帰還困難区域内には、未除染地域も存在し、除染を行った区域外に比べ放射性セシウムの土壌沈着量が高い地域も存在すると考えられる。また、帰還困難区域外で、高い放射性セシウム濃度を含有するイノシシが検出される要因の1つとして、帰還困難区域内外におけるイノシシの移動が考えられ、帰還困難区域内のイノシシの放射性 Cs 濃度の現状を把握する必要がある。

私たちは、環境省が実施している「旧警戒区域内等における野生鳥獣の生息状況等に関する調査・捕獲業務(2015年度)」、「旧警戒区域内等における野生鳥獣の生息状況調査及び捕獲等業務(2016～2017年度)」及び「帰還困難区域内等における野生鳥獣の生息状況調査及び捕獲等業務(2018～2020年度)」にて捕獲されたイノシシの筋肉試料について、2016年1月から約5年間にわたり放射性セシウム濃度のモニタリングを行い、帰還困難区域内及びその周辺域におけるイノシシの放射性セシウム濃度の現状を調査した。

2. 調査地・方法

帰還困難区域内及びその周辺域である5町村(大熊町、双葉町、浪江町、葛尾村、富岡町)から採取されたイノシシについて、筋肉中に含まれるガンマ線放射性核種濃度を測定した。また、帰還困難区域内及びその周辺域で捕獲されたイノシシと、区域外で捕獲されたイノシシの放射性セシウム濃度を比較するため、福島県が実施しているモニタリング調査の結果¹⁾と比較した。

3. 結果

イノシシの放射性セシウム(セシウム 134 と 137 の合算値)のモニタリング結果を図1に示した。帰還困難区域内で捕獲されたイノシシのうち、2016年に捕獲された3個体について、放射性セシウム濃度が10万 Bq/kg(生重量)を超過した。帰還困難区域内のイノシシの放射性セシウム濃度は、数百から十数万 Bq/kg(生重量)のイノシシが検出されており、帰還困難区域内においても個体間によるバラツキが大きかった。5年間の経年変化を、福島県で実施している帰還困難区域外のイノシシのモニタリング調査の結果と比較すると、いずれの年においても帰還困難区域内及びその周辺域で捕獲されたイノシシがより放射性セシウム濃度が高い値で推移している傾向にあった。

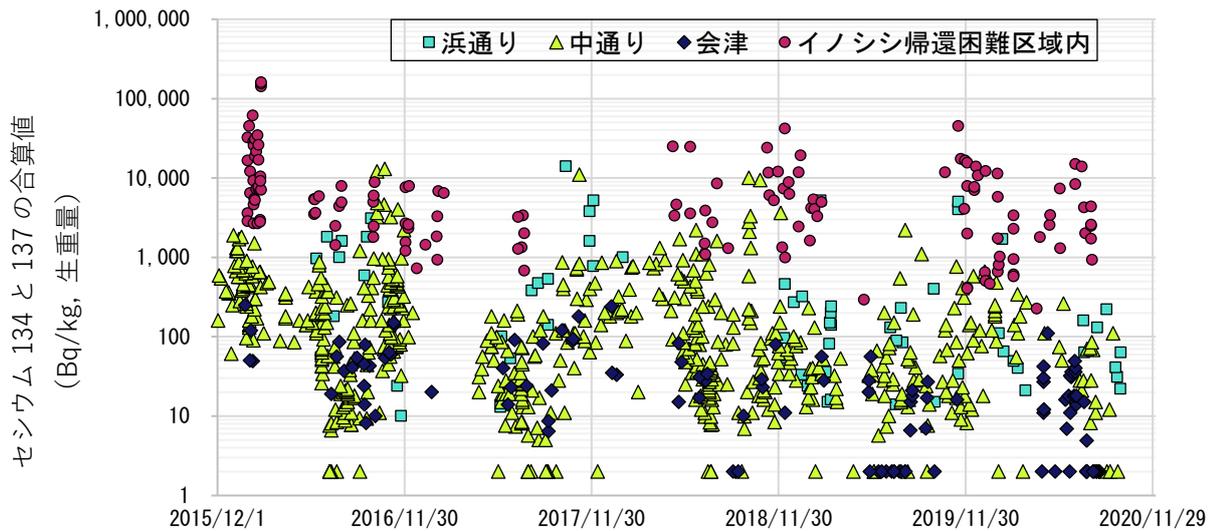


図1 イノシシの放射性セシウム(セシウム134と137の合算値)のモニタリング結果

4. 謝辞

本研究を進めるにあたり、帰還困難区域内等のイノシシの筋肉試料をご提供くださった環境省 自然環境局 野生生物課 鳥獣保護管理室の皆様、一般財団法人自然環境研究センターの皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1)「野生鳥獣の放射線モニタリング調査結果」福島県 HP. 2020 年 12 月閲覧.
(<http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/wildlife-radiationmonitoring1.html>)
- 2) Saito, R., Kabeya, M., Nemoto, Y. & Oomachi, H. Monitoring 137Cs concentrations in bird species occupying different ecological niches; game birds and raptors in Fukushima Prefecture. *Journal of Environmental Radioactivity*. 197, 67-73 (2019).
- 3) Nemoto, Y., Saito, R. & Oomachi, H. Seasonal variation of caesium-137 concentration in Asian black bear (*Ursus thibetanus*) and wild boar (*Sus scrofa*) in Fukushima Prefecture, Japan. *PLoS One*. 13, e0200797 (2018).
- 4) Saito, R., Nemoto, Y. & Tsukada, H. Relationship between radiocaesium in muscle and physicochemical fractions of radiocaesium in the stomach of wild boar. *Scientific Reports*. 10, 6796 (2020).

福島大学環境放射能研究所の放射生態学研究2020年度
Radioecological Researches in the Institute of
Environmental Radioactivity at Fukushima University in FY 2020

難波謙二・ヴァシル ヨシエンコ・石庭寛子・ドノヴァン アンダーソン・兼子伸吾・和田敏裕
五十嵐 康記・金指努・塚田祥文
福島大学環境放射能研究所

Kenji NANBA, Vasyi YOSCHENKO, Hiroko ISHINIWA, Donovan ANDERSON, Shingo KANEKO,
Toshihiro WADA, Yasunori IGARASHI, Tsutomu KANASASHI, Hirofumi TSUKADA
Institute of Environmental Radioactivity at Fukushima University

1. はじめに

本ワークショップでは 2014 年度より、福島大学環境放射能研究所 (IER) の研究活動、特に野生動植物影響の研究を行なう放射生態学部門の研究活動を中心に、紹介してきた。今年度も引き続き現在の IER での研究活動状況を紹介する。

2. 教育機能

2019 年 4 月に発足した IER の大学院が福島大学大学院共生システム理工学研究科環境放射能学専攻は、2021 年 4 月からの博士後期課程設置が認められ、2020 年には入試が実施されている。博士後期課程は定員 2 名のところ、海外からの問い合わせが 5 件あり、特定の生物群を対象に放射線の生物影響について研究したいという希望もあった。ただ、これを含め、生活資金の理由で受験に至らないというケースが複数あった。奨学金の制度が、志願者が比較対象とするヨーロッパの国と比べ、日本は充実していないことが大きな理由であった。

3. 研究

IER では水圏、森林、農地、野生動物の放射性セシウム動態の研究が放射生態学分野で継続されている。生物影響研究として、動物についてはイノシシとネズミ類を対象にした研究が行われている。弘前大学被ばく医療総合研究所および広島大学、東北大学等との共同で、二動原体および歯に着目した被曝線量評価研究を継続している。二動原体に着目した研究では、人工的にさまざまな線量を照射した血液細胞の二動原体の形成が線量に比例して発生することがイノシシについても明らかになった。しかしながら、福島で最も高い被曝線量の個体でもごく僅かな割合でしか二動原体が発生しないことも予想される。現在実施している福島でのイノシシ野生個体での二動原体観察からは二動原体形成は見出されていない。

アカマツの放射線影響については放医研等と共同で実施している。人工的に異なる線量の放射線を照射したアカマツの栽培をキャンパス内で継続している。これを用いて、帰還困難区域で見られた形態異常と放射線量との関連をより明確にするとともに、栽培アカマツを用いて、形態異常発生メカニズムの特定につながるような研究展開を目指している。帰還困難区域および福島大学キャンパスで 2011 年以降に発芽し、自生するアカマツについて海外との共同研究としてベルギーおよびロシアと共同で実施している。

4. 共同利用共同研究拠点

2 年目となった「放射線環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点」では、2020 年度は 111 の公募型研究課題が採択されている。これらのうち、弘前大学と QST が受入機関になっている研究には被曝線量評価や生物影響にかかわる研究が多く含まれている。福島大学が受入機関となっている 19 課題のうち 1 件が生物影響研究となっている。

5. 海外との共同研究

2020 年も米国の夏期休業期間に米国の大学院生が福島大学に 2~3 ヶ月間滞在し研究を行う予定が

あったものの、新型コロナウイルス感染症大流行の影響で実施されなかった。

2019年4月からいずれも2年間の計画で採択されたベルギーおよびロシアとの共同研究、JSPS-FWO「福島事故後の植物に観察される形態異常の研究:エピジェネティクスが果たす役割は？」およびJSPS-RFBR「福島第一原発事故による汚染地域におけるアカマツの放射線影響メカニズムの解明」も予定通り実施できておらず、期間を延長することとなった。来日しての試料採集はできないものの、採集した試料を凍結乾燥で発送し、可能な分析を進めている。現在までに、ロシアのチームが分析を担当した研究で次に述べる成果が得られた。帰還困難区域や福島大学キャンパス内で採集した自生アカマツ試料の分析から、染色体異常は被曝線量に応じて発生しているものの、形態異常の個体に染色体異常の割合が高いという傾向は見られなかった一方、形態異常の発生と植物ホルモン濃度とは関係が見いだされ、形態異常の個体ではオーキシン濃度の低下が見られた。また、成長を促進するホルモンであるジベレリンは線量の増加に伴い濃度が低下しており、高い線量では成長が抑制されている可能性がある。

今後3の項で説明した人工的に放射線を照射した栽培アカマツを分析対象とすることも計画している。

6. 研究活動懇談会

IERでは毎年3月に一般向けの「成果報告会」を開催しているが2020年3月はコロナの影響で中止を余儀なくされた。毎年数回開催している「研究活動懇談会」も大規模な企画や県外の企画は困難であったが、1月までに2件開催した。2020年11月14日に福島市内で、「代かきによる河川への放射性セシウム流出の評価」と題して、代かき時の観測をさせていただいた福島市下鳥渡地区で、農家の方々と観測結果を元に懇談会を開催した。11月27日には、町立檜葉中学のご協力により、同校の学校行事として「2011年の事故後の環境放射能」と題して公演と対話を実施した。

7. チェルノブイリでの研究

2017年からはIERでは筑波大・福島県立医大と共同でSATREPS課題として採択された「チェルノブイリ災害後の環境管理支援技術の確立」を5年間の計画で継続中であり、本年度が4年目である。森林火災後のサイトを含む4つのサイトに土壌侵食プロットを設置して日本人研究者が数カ月に渡って滞在して観測するという研究から、森林火災後の土壌では浸食が増大するということが、チェルノブイリ立ち入り禁止区域で毎年のように発生する森林火災の影響として明らかになっている。しかしながら、渡航の制限等が継続することが見込まれたことから2020年4月には研究推進方針の変更をウクライナ側と協議し、日本人研究者が渡航しないままウクライナ側で進行できるよう各タスクについて調整の上、文書化することで合意し、2020年秋に完了した。

本プロジェクトで生物影響を守備範囲としているのは、クーリングポンド(CP)内の水圏生態系及び水位低下で出現した陸地を対象にした生態学的研究である。2014年のポンプ停止以降始まったCPの水位低下で出現した陸地についてはウクライナ政府には有効利用の案があるため、放射線量と放射性核種の分析を進めている。この新たな陸地にネズミ類が生息し始めており2018年以降捕獲を実施していることは既に紹介したとおりである。チェルノブイリ自然保護区(ChREBR)およびECOCENTREそれに原子核研究所(INR)と共同で実施中のこの研究では、新たに生息開始したネズミ類の同定が進んでおり、その結果保護上重要な種が含まれる他、近隣の森林とは異なる種組成であること等の知見が得られている。今後は、日本側から供与した顕微鏡等を活用した細胞遺伝学的な観察による、CPの新たな陸地のネズミ類に対する放射線影響についての研究が進められる計画である。

放射能汚染地域の生物で利用可能な遺伝的影響評価法の開発 Development of Genetic Evaluation Method for wild plants in Radioactive Contamination Area

兼子伸吾
福島大学共生システム理工学類・環境放射能研究所
Shingo KANEKO
Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University

1. はじめに

福島大学における講義や市民講座において原発事故後の生物影響に関する話題を提供すると「避難区域の生物の DNA は壊れているのではないか?」、「変化した塩基配列が遺伝して次世代に受け継がれるのか?」等の質問が出てくる。放射線生物学や放射線育種学のこれまでの知見から、福島における放射線量では、塩基配列に顕著な影響はないと考えるのが妥当である。ただ、長期の低線量被ばくの影響、特に遺伝的影響を厳密に評価した研究もほとんどないため、このような不安にはやむを得ない側面もある。そこで本講演では、福島県内の汚染地域の放射線量を念頭に置いた長期の低線量被ばくが塩基配列突然変異に及ぼす影響評価に向けて、植物を活用した評価手法の開発について解説する。

2. きわめてまれな突然変異を実測する—照射実験—

生物の塩基配列では、放射線を被ばくしなくても様々な要因で突然変異が生じ、その変異が蓄積されているのが普通である。しかし、変異が生じる確率は極めて低い。植物では一般的に1サイトにおいて突然変異が生じる確率は一世代あたり、 7×10^{-9} と推定されている (Ossowski et al. 2010)。このような低確率かつゲノム内でランダムに生じる変異を正確に評価することは、さまざまな高速シーケンサーが実用化されている今日でも容易ではない。それでも近年、良く練られた実験系と照射実験により、放射線被ばく、特に低線量かつ持続的な放射線被ばくが塩基配列に与える影響については貴重な知見が得られつつある (Hase et al. 2020)。

我々は、放射線が持続的に照射される環境下で生育させたシロイヌナズナを対象に被ばく当代と次世代の全ゲノムシーケンスを比較することによって、次世代における突然変異の発生状況とそのパターンについて解析を行っている。生育期間中 $0.4 \sim 1.6 \text{ Gy/day}$ のガンマ線を照射したシロイヌナズナの次世代について解析した結果、被ばく線量率の上昇にともない突然変異の発生頻度が上昇することが確認された。しかし、突然変異率の上昇は被ばく線量率の増加に対して極めて緩やかであり、 $100 \mu \text{ Gy/day}$ 程度の線量率であれば、非照射群と突然変異率はほぼ変わらないことも予想された。

3. きわめてまれな突然変異を実測する—野外に生育する植物での実証実験—

上記のような照射実験の結果は、帰還困難区域に生育する植物が遺伝的影響という点においては深刻な影響を受けていないという推測を支持するものである。しかし、さまざまな環境条件が管理される実験条件とは異なり、紫外線や寒暖などの要因と放射線が相互に作用する可能性はありうる。また、異なる種間で放射線に対する感受性がある程度異なることは考慮すべき点である。したがって、野外に生育する植物を対象に突然変異率を評価することも重要である。

そこで、帰還困難区域内に生育する植物 2 種を対象に、生殖細胞由来の組織とその親の遺伝子型を比較することで、突然変異率の評価を試みている。対象には、広い範囲に同一のクローンが生育するソメイヨシノ、放射線の影響を受けやすいとされる針葉樹においては採種方法等が確立しているスギを選定した。RADseq 法および GRAS-Di 法という次世代シーケンサーを用いたゲノム縮約解析により、100 個体以上の

サンプルについて塩基配列データを取得した。現在得られたデータを解析中であり、本手法により次世代に生じた突然変異を検出できることは確認されている。今後、帰還困難区域内外の集団間あるいは個体間で突然変異率に違いがあるかどうかを検討する予定である。

放射能汚染地域の生物で利用可能な遺伝的影響評価法の開発

(研究代表機関：福島大学共生システム理工学類)

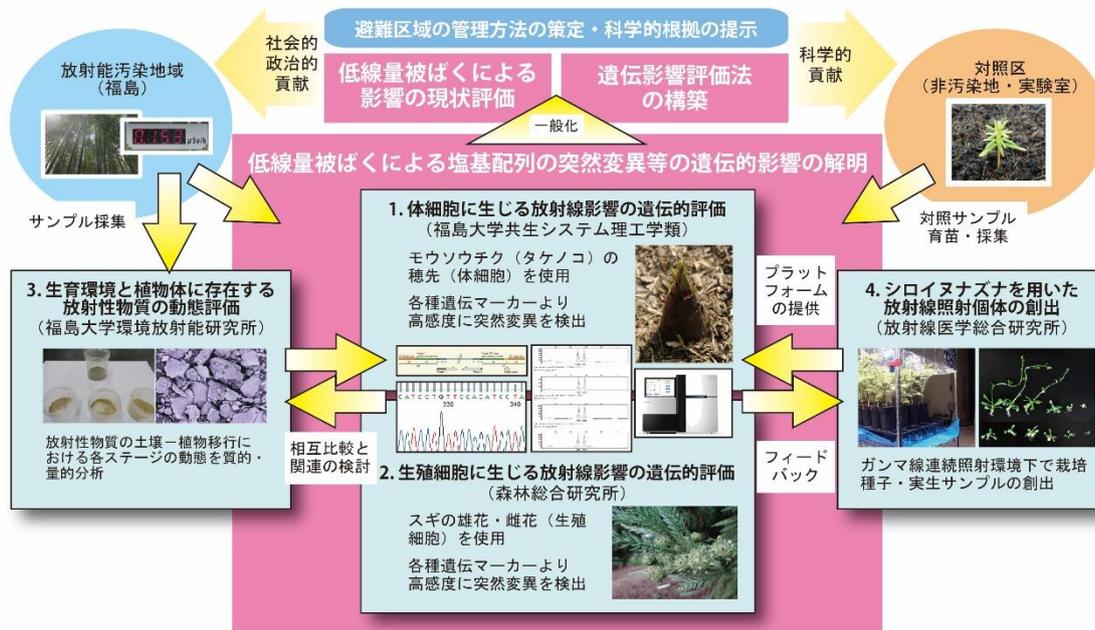


図. 野外の植物における突然変異率を評価するためのプロジェクトの概略

引用文献

- Ossowski, S., Schneeberger, K., Lucas-Lledó, J. I., Warthmann, N., Clark, R. M., Shaw, R. G., ... & Lynch, M. (2010). The rate and molecular spectrum of spontaneous mutations in *Arabidopsis thaliana*. *Science*, 327(5961), 92-94.
- Hase, Y., Satoh, K., Seito, H., & Oono, Y. (2020). Genetic Consequences of Acute/Chronic Gamma and Carbon Ion Irradiation of *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in plant science*, 11, 336.

浅い富栄養湖における湖水と魚類の放射性セシウム濃度の
季節変動：底層溶存酸素濃度の影響

Seasonal dynamics of the activities of dissolved ^{137}Cs and the ^{137}Cs of fish in a shallow,
hypereutrophic lake: Links to bottom-water oxygen concentrations

松崎慎一郎¹、田中敦¹、高津文人¹、鈴木健大²、小松一弘¹、篠原隆一郎¹、中川恵¹、野原精一¹、上野隆平¹、佐竹潔¹、林誠二¹

¹国立環境研究所、²理化学研究所

Shin-ichiro Matsuzaki¹, Atsushi Tanaka¹, Ayato Kohzu¹, Kenta Suzuki², Kazuhiro Komatsu¹, Ryuichiro Shinohara¹, Megumi Nakagawa¹, Seiichi Nohara¹, Ryuhei Ueno¹, Kiyoshi Satake¹, Seiji Hayashi¹

¹National Institute for Environmental Studies, ²RIKEN

1. 背景

湖沼生態系では、原発事故等により放射性物質に汚染された後、1年～数年以内に、湖外に流出したり、湖底へ沈降・吸着することで、湖水中や魚類中に含まれる放射性セシウム濃度は速やかに下がっていく。しかし、その後は、減少速度が小さくなり、低濃度のまま長期間推移することが知られている。

その一つの要因として、湖底の泥に吸着した放射性セシウムが水中に再び溶出することが考えられる。深い湖では、成層する夏の間、湖底付近の溶存酸素が少なくなる状況（貧酸素あるいは無酸素状態）が続くため、底泥にアンモニウムイオンが蓄積される。アンモニウムイオンと底泥に吸着していた放射性セシウムがイオン交換することで、水中に放射性セシウムが溶出することが先行研究によって報告されている。一方、浅い湖では、風によって表層と底層が容易に混合し、貧酸素状態が続かないことから、放射性セシウムの溶出の影響についてあまり注目されてこなかった。

本研究では、浅い富栄養湖である霞ヶ浦を対象として、湖水中と魚類中に含まれる放射性セシウム ^{137}Cs 濃度(以下、 ^{137}Cs 濃度とする)が季節的に変動しているか、それらの季節的变化は夏の底層溶存酸素濃度の低下と関連しているか、5年間のモニタリング調査と数理的データ解析から明らかにすることを目的とした。

2. 結果

2011年～2016年にかけて、霞ヶ浦の3箇所（湖心・高浜入・土浦入）において、毎月の水温や溶存酸素量等の環境測定に加えて、季節ごとに表層水の採水を行い、湖水中に含まれる溶存態の ^{137}Cs 濃度を測定した。調査の結果、いずれの地点でも、夏に、表層水温の上昇、底層（底から10 cm前後）の溶存酸素濃度の低下が確認された（図1 a, b）。湖水中の ^{137}Cs 濃度は、福島原発事故後から1～2年で大きく減少し、その後、夏に高くなるような季節変動をしながらゆっくり減少していることが分かった（図1 c）。

湖水中の ^{137}Cs 濃度の変動について要因解析を行ったところ、底層の溶存酸素濃度と湖水中の ^{137}Cs 濃度との間に有意な負の相関が認められた。さらに因果関係分析により、底層の溶存酸素濃度の変化が湖水中の ^{137}Cs 濃度に影響を与えていることが明らかとなった。霞ヶ浦では、夏に底層の溶存酸素濃度の著しい低下が起きた際に、底泥から放射性セシウムの溶出が起こっていることが示唆された。ただし、底泥からの溶出によって放射性セシウム濃度が上昇しても、飲料水の基準値である10Bq/Lを大きく下回っている等、日常の水利用（飲料水用や灌漑水用等）に全く問題ない状況にあった。

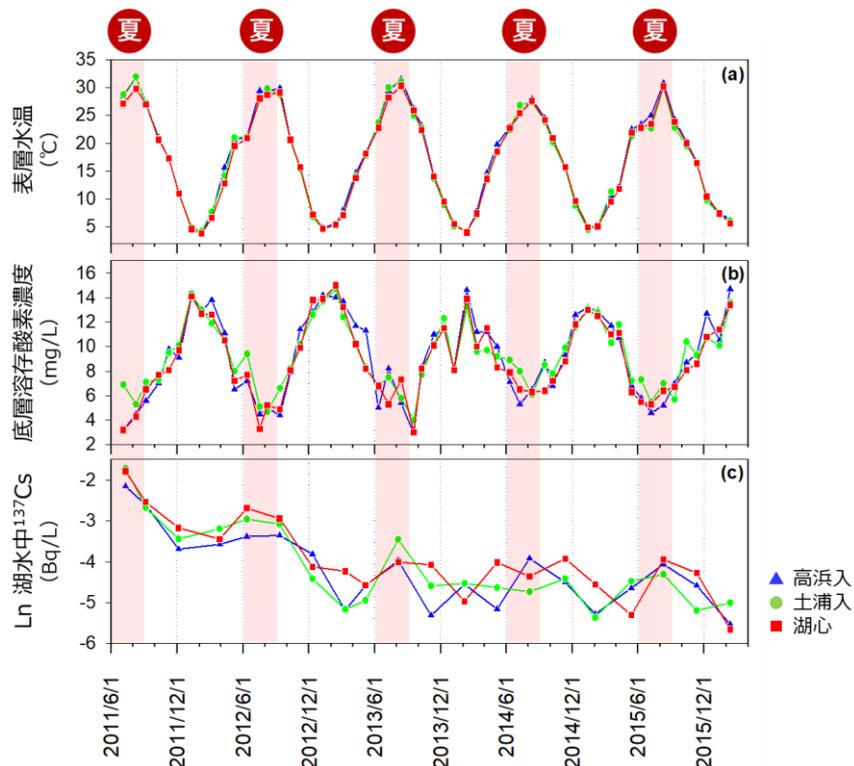


図1. 霞ヶ浦3地点における (a) 毎月の表層水温、(b) 毎月の底層の溶存酸素濃度の変化、(c) 季節ごとの湖水中の溶存態の¹³⁷Cs濃度の変化。薄い赤色の縦帯は、夏(6~8月)を示す。湖水中の¹³⁷Cs濃度は、自然対数変換を行って表示している。

次に、水産庁が実施している水産物の放射性物質調査結果のデータを分析した。霞ヶ浦において¹³⁷Cs濃度の測定結果が豊富にあるワカサギについて解析を行った。ワカサギの¹³⁷Cs濃度は、事故後から1年~1年半は急激に減少し、その後はゆっくりと減少していることが分かった(水産物中の放射性物質の基準値を大きく下回っている)。年々減少していく効果を統計的に取り除くと、¹³⁷Cs濃度が夏に高くなる季節変動を示すことが明らかとなった。また、季節ごとの平均値を比較すると、湖水中の¹³⁷Cs濃度とワカサギの¹³⁷Cs濃度との間に有意な正の相関関係が認められた。以上のことから、底泥から溶出した放射性セシウムが、食物網を通じて魚類に取り込まれ、魚類の¹³⁷Cs濃度に季節的な変化が生じている可能性が示唆された。

霞ヶ浦のような浅い富栄養湖では、表層水温が上昇する夏の間、一時的な成層が生じ、底層は貧酸素状態になる。しかし、一旦強風が吹いたり、表層水温の変化によって、成層がくずれ、再び表層と底層が混合する。深い湖と異なり、成層と混合が頻繁に起こることによって、放射性セシウムの水中に溶出、溶出した放射性セシウムの表層へ移動が繰り返し起こっていると推察された。

帰還困難区域における各種環境生物の放射線リスク評価 Radiation risk assessment for various non-human biota in the Fukushima exclusion zone

府馬正一
量子科学技術研究開発機構福島再生支援研究部
Shoichi Fuma
Department of Radioecology and Fukushima Project,
National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST)

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所事故で放出された放射性核種による環境汚染が起こり、野生生物の放射線影響を考慮すべき事態となった。そこで、我々は、影響が最も懸念される帰還困難区域において各種環境生物の放射線リスク評価を行ってきた。

現在国際的に提唱されている環境の放射線防護の枠組みでは、評価対象地域に生息または自生する生物の吸収線量率を推定し、その値とベンチマーク線量率(例:国際放射線防護委員会 ICRP は、標準動植物個体に放射線の有害な影響が生じるかもしれない線量率として誘導考慮参考レベル DCRL を提示)を比較することでリスク評価を行っている。そこで、我々も、この手法により、放射線リスクを評価してきた。本発表では、現地調査で得られた測定データと環境モニタリングデータを利用した評価事例を報告する。

2. 材料と方法

2.1. 現地調査による評価

2011年から2013年にかけて帰還困難区域(旧計画的避難区域)におけるコケ、キノコ、シダ、草本植物、両生類、昆虫、ミミズの総吸収線量率(外部被ばく+内部被ばく吸収線量率)を評価するため、空間線量率と生物および環境媒体(陸土、リター、水、底質)の放射性Cs濃度(^{134}Cs と ^{137}Cs)を測定した。外部被ばく線量率は、空間線量率に補正係数0.823~1.18(生息場所、体高に応じた値)を乗じて算出するか(一部の陸上生物)、環境媒体の放射性Cs濃度からERICA Tool(ヨーロッパ連合EUの研究プロジェクトERICAで開発された、人間以外の生物の吸収線量率を計算するソフトウェア)を使って算出した。内部被ばく線量率は、生物の放射性Cs濃度からERICA Toolを使って算出した。

両生類のサンショウウオについては、影響が生じる線量率を求めるため、胚から幼生、幼体を経て成体に至るまで ^{137}Cs γ 線を1950日間外部照射し続ける実験を行い、個体成長(体重増加)と性成熟(オスの生殖結節、メスの卵管の発達)への影響を調べた。

2.2. 環境モニタリングデータを利用した評価

帰還困難区域の溜池に、ERICA標準淡水生物である両生類、鳥、魚、プランクトン、甲殻類、昆虫の幼虫、貝、は虫類、維管束植物が生息または自生していることを仮定して、2013年から2017年にかけて、各年28~63箇所の溜池で東北農政局が実施したモニタリングのデータ(ろ過水と底質の ^{134}Cs と ^{137}Cs 放射能濃度)から、ERICA Toolを使って、それらの生物の総吸収線量率を算出した。なお、内部被ばく吸収線量率の評価にあたっては、ろ過水の放射性Cs濃度に濃縮比を乗じることによって各生物の放射性Cs濃度を算出したが、濃縮比はERICA Toolのデフォルト値を用いた。

3. 結果と考察

現地調査による評価では、帰還困難区域における総吸収線量率は、コケで23~160 $\mu\text{Gy/h}$ 、キノコで15~39 $\mu\text{Gy/h}$ 、シダで20~44 $\mu\text{Gy/h}$ 、草本植物で6.2~13 $\mu\text{Gy/h}$ 、両生類(カエルとイモリ;生息場所は、それぞれ陸上と底質上を仮定)で17~76 $\mu\text{Gy/h}$ 、昆虫で10~23 $\mu\text{Gy/h}$ 、ミミズで26~40 $\mu\text{Gy/h}$ と算出された。これらの値の多くは、ERICAのスクリーニング線量率(10 $\mu\text{Gy/h}$;生態系の構造と機能を十分に防護できると考えられる線量率)を超過した。誘導考慮参考レベルが提示されている草本植物、両生類(標準イネ科草本、カエルで1~10 mGy/d=40~400 $\mu\text{Gy/h}$)、昆虫、ミミズ(標準ハチ、ミミズで10~100 mGy/d=400~4,000 $\mu\text{Gy/h}$)については、カエルの一部の例を除いて、総吸収線量率の評価値は誘導考慮参考レベルを下回っており、放射線影響が生じた可能性は低いことが示唆された。また、サンショウウオについては、総吸収線量率の最高値は50 $\mu\text{Gy/h}$ と評価され、これは標準カエルの誘導考慮参考レベルに相当する値であった。しかし、 γ 線照射実験で、個体成長の抑制や性成熟の阻害といった影響が見られたのは150 μ

Gy/h 以上だったので、帰還困難区域であっても、それらの影響が生じた可能性は低いと考えられた。

環境モニタリングデータを利用した評価では、帰還困難区域の溜池における総吸収線量率は、両生類で $0.51\sim 2.9\mu\text{Gy/h}$ (ERICA Tool のデフォルト設定に従って、生息場所を水中と仮定して算出したため、上記現地調査による評価よりも低い線量率となった)、鳥で $0.93\sim 5.0\mu\text{Gy/h}$ 、魚で $1.3\sim 55\mu\text{Gy/h}$ 、プランクトンで $0.013\sim 0.1\mu\text{Gy/h}$ 、甲殻類で $0.33\sim 66\mu\text{Gy/h}$ 、昆虫の幼虫で $0.39\sim 130\mu\text{Gy/h}$ 、貝で $0.056\sim 60\mu\text{Gy/h}$ 、は虫類で $1.6\sim 56\mu\text{Gy/h}$ 、維管束植物で $0.087\sim 66\mu\text{Gy/h}$ と算出された。各年、溜池の多く(2013年の50%から2015年の93%まで増加し、その後はほぼ横ばい)では、少なくとも一つの生物種で ERICA のスクリーニング線量率を超過した。誘導考慮参考レベルが提示されている両生類、鳥(標準カモで $0.1\sim 1\text{mGy/d} = 4\sim 40\mu\text{Gy/h}$)、魚(標準マスとヒラメで $1\sim 10\text{mGy/d} = 40\sim 400\mu\text{Gy/h}$)、甲殻類(標準カニで $10\sim 100\text{mGy/d} = 400\sim 4,000\mu\text{Gy/h}$)、昆虫の幼虫に関しては、大部分の溜池で、総吸収線量率の評価値は誘導考慮参考レベルを下回っており、放射線影響が生じた可能性は低いことが示唆された。

以上の結果は、「いかなる放射線影響も放射性物質の沈着量が最大であった限られた地域に限定されるだろう」(国連科学委員会 UNSCEAR 2013 年報告書)といった国際機関の見解と合致するものであった。