

令和3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：2022(令和4)年2月21日(月曜日)13:30~17:00

令和3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4年2月21日（月）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 「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」……………4
小松 仁（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 2021 年度」……………6
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 「野生山菜“コシアブラ”の¹³⁷Cs 吸収低減をめざした森林土壌の調査」・8
渡邊 未来（国立研究開発法人国立環境研究所）
- 15：15～15：40 <休 憩>
- 5 15：40～16：10 「公開データを用いた野生きのこの放射性セシウム濃度特性の解析」…10
小松 雅史（国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所）
- 6 16：10～16：40 「放射能汚染地域の野生動物における生物学的影響」……………12
三浦 富智（国立大学法人弘前大学）
- 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2（2020）年度の結果を報告しますが、令和3（2021）年度も調査を継続しており、令和4（2022）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2（2020）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、令和元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29（2017）年度から令和3（2021）年度までの試料採取計画案

分類群	H29	H30	R1	R2	R3
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3年に1度の調査対象とする予定。

表2 令和2（2020）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）と影響の程度の目安					
	<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	雌雄の不妊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				●		
鳥類	自然放射線レベル	情報なし	情報なし	幼鳥の生存率減少による繁殖成功率低下の可能性	罹患率の上昇	胚の発生への長期的影響
ツバメ		●—●				
両生類	自然放射線レベル	情報なし	情報なし	影響を肯定する情報なし	影響を肯定する情報なし	卵の死亡
ウシガエル				●		
魚類	自然放射線レベル	情報なし	情報なし	繁殖成功率低下の可能性	若魚への若干の悪影響（例：感染症の耐性現象、繁殖成功率の低下）	疾患率上昇の可能性
メダカ				●		
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				●—●		
木本植物	自然放射線レベル	情報なし	情報なし	解剖学上、構造学上及び形態上の構造を介して示される病的状態、長期被ばくによる繁殖成功率の低下	長期被ばくによる一部個体の死亡、生育阻害、繁殖成功率の低下	長期被ばくによる一部個体の死亡
スギ			●————●	●		
ヒノキ			●————●	●		

[凡例] ●：1日当たり被ばく線量率の同一種における測定の最大値、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4（2022）年度から令和7（2025）年度までの試料採取計画案

分類群	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3年に1度の調査対象とする予定。

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モニタリング

Monitoring of radioactive cesium in wild boars captured within difficult return zone area in Fukushima Prefecture

小松仁¹、斎藤梨絵¹、熊田礼子¹、神田幸亮¹、稲見健司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

Hisashi Komatsu, Rie SAITO, Reiko KUMADA, Kousuke KANDA, Kenji INAMI,
Masahiko KABEYA, Yui NEMOTO

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(2018～2021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 および 137)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個体において、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。福島県で実施している帰還困難区域外のイノシシの放射性セシウム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の放射性セシウム濃度のほうが、より高い値で推移している傾向にあった。

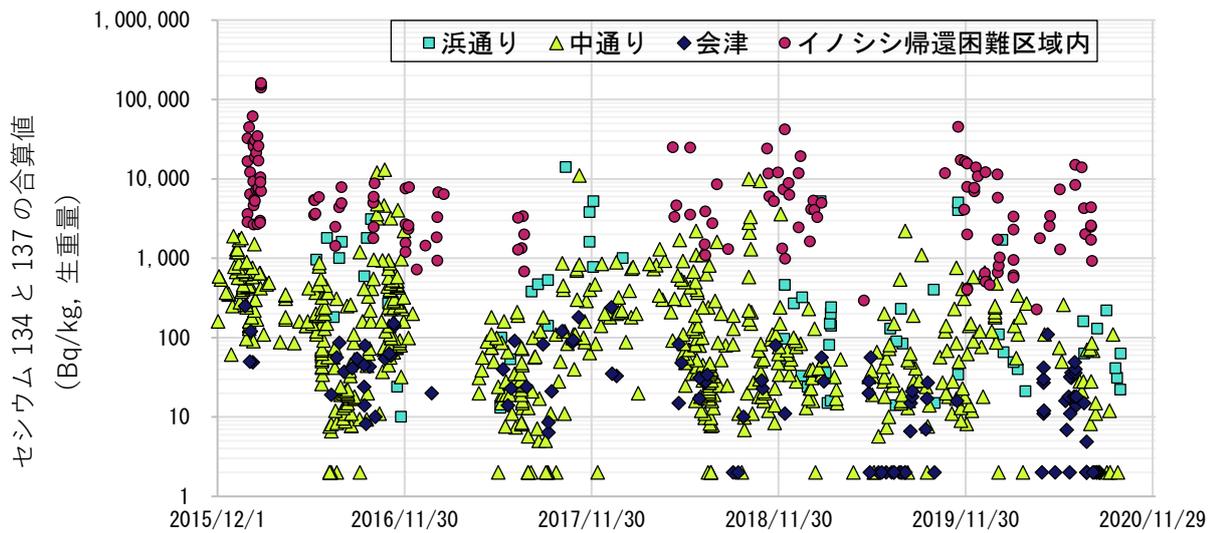


図1 イノシシの放射性セシウム(セシウム134と137の合算値)のモニタリング結果(再掲)

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 ^{137}Cs 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2021年度
Radioecological Researches in the Institute of
Environmental Radioactivity at Fukushima University in FY 2021

難波謙二¹・ヴァシル ヨシエンコ¹・石庭寛子¹・ドノヴァン アンダーソン²・トーマス ヒント
ン¹・兼子伸吾¹

¹福島大学環境放射能研究所

²筑波大学アイソトープ環境胴体研究センター

NANBA Kenji¹, Vasyil YOSCHENKO¹, ISHINIWA Hiroko¹, Donovan ANDERSON², Thomas G.
Hinton¹, KANEKO Shingo¹

¹Institute of Environmental Radioactivity at Fukushima University

²Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics at University of Tsukuba

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 の研究活動状況を紹介する。

2. 教育機能

今年度博士前期課程修了予定者は 2 名であり、修士論文題目は「避難指示が解除された浪江町における自家消費作物の放射性セシウム濃度と内部被ばく線量」および「都市域ため池における除染後の Cs-137 動態」である。博士後期課程修了予定者 1 名の博士論文題目は「森林および農業環境における放射性セシウムの植物への取り込み」となっている。いずれも 2 月半ばに最終試験が実施される。

2021 年 4 月に博士後期課程には 1 名の入学があった。スーダンからの留学生であり、国のコロナ対応の関係で来日が未だにできていない。政情不安、ネット環境不良、電源供給不安定など、問題が多い中、遠隔での授業のみが続いている。博士後期課程にはもう一名合格者があったが、就職が決まり辞退となった。博士前期課程には、他大学 1、社会人 1、留学生 (シンガポール) 1 の入学があった。この留学生は 2020 年から研究生として来日している。

3. 研究

IER では河川湖沼、海洋、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 2021 年に以下の 3 件の研究が発表された。

イノシシについて逸出したブタとの交雑が懸念されていたことから、2014 年から 2018 年に福島県内で捕獲された 191 個体について核 DNA のマイクロサテライト (nSSR) およびミトコンドリア DNA に着目してイノシシの遺伝的構成を調べた。その結果、最近の交配によって、ブタからのイノシシへの遺伝子移入が発生しており、31 個体のイノシシはブタが祖先にあること、同時に、ブタ由来のゲノムは世代を経て薄められている可能性が示された。しかし、核 DNA での分析は、ブタ由来の遺伝子を高頻度でもつ個体の分布は福島第一原子力発電所付近に限られていること、距離が離れるにしたがってブタ由来の遺伝子の割合は減少していることが明らかとなった。ミトコンドリア DNA はブタ由来であるものの、核 DNA ではほとんどの遺伝子がイノシシに置き換わっている個体も多く確認された。これは、ブタとイノシシの交雑個体は、イノシシと交配し、その子孫はまたイノシシと交配する、というような戻し交配によって、個体のブタ由来の遺伝子の割合が減少している状況を反映していると考えられた。

2016 年から 2018 年にかけて福島県内に生息するイノシシとヘビ (アオダイショウ) の DNA 損傷および環境ストレス指標の評価を行った。イノシシについては DNA 損傷の指標である二動原体染色体を評価したところ被曝量に伴う DNA 損傷の増加は認められなかった。環境ストレスの指標であるテロメア長についても両種共に被曝による変化は確認されなかった。しかし、ストレス指標であるホルモン、コルチゾンについては帰

還困難区域に生息するイノシシで値が低いことが明らかとなり、人間によるストレスが少ないためと考えられた。

国立環境研究所と共同で実施しているアカネズミの酸化ストレス応答に関する研究では、アカネズミの精巢で酸化ストレスによって起こる DNA 損傷(8-OHdG)を示す細胞の割合が、帰還困難区域で捕獲された個体で有意に高いことを明らかにした。そこで、酸化ストレスに対する感受性の高い精子形成ステージおよび細胞の種類を特定するため、精細管内の精子形成過程のステージを分類し、精祖細胞、精母細胞、精子細胞ごとに 8-OHdG 陽性細胞の評価を特に高い DNA 損傷を示した5個体について行なった。その結果、ステージ IX から XIV の精子細胞が酸化ストレスに対して高い感受性を持っているものの、修復作用もしくはアポトーシス等の自浄作用によって以後の成熟段階には影響を及ぼさないことが考えられた。

4. 共同利用共同研究拠点

3 年目となった「放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点(ERAN)」では、2021 年度は 116 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 NIES 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含まれている。福島大学が受入機関となっている 27 課題のうち 3 件が生物影響研究となっている。

5. 海外との共同研究

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」はコロナ対応で延長となり2021年度が最終年度となった。2021年度も昨年度同様に採集した試料を凍結乾燥で発送し、ロシア及びベルギーで可能な分析を進めている。アカマツで観察された植物ホルモンと形態変化との関係について、放射線が植物ホルモンの濃度変化につながる機作などが対象となっている。

6. 研究活動懇談会

IER で毎年年度末に開催する「成果報告会」は一般向け・専門家向けのパートに分けては 2021 年 3 月に開催した。一般向けのパートはシンポジウム「チェルノブイリから学ぶ福島の世界」であった。本年度は 2022 年 3 月 1 日に環境動態を主なテーマとしたシンポジウム「研究成果から見える将来」を開催予定である。

「研究活動懇談会」を今年度の 1 回目として郡山市で 12 月に「阿武隈川の 10 年とこれから」を漁業関係者の出席を得て開催した。この会は、国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所、内水面水産試験場、阿武隈川漁業協同組合の協力を得て開催され、会場・オンラインあわせて約 60 名の参加があった。今年度第 2 回目は 2022 年 2 月には、福島市内で、「しろ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、福島市内複数の地区の農家の方々と 2021 年度までの観測結果を元に懇談会を開催する予定となっている。

7. チェルノブイリでの研究

2021 年度、海外との往来は SATREPS チェルノブイリプロジェクトで日本からウクライナへの出張が 3 件あったのみであるが、CP の新たな陸地に生息を始めたネズミ類関係を含む試料の日本への輸入などが行われた。

野生山菜“コシアブラ”の¹³⁷Cs 吸収低減をめざした森林土壌の調査 Investigation of forest soils to reduce the ¹³⁷Cs uptake by the edible wild plant “Koshiabura”

渡邊未来・越川昌美・境優・高木麻衣・高橋晃子・武地誠一・田中あすか・玉置雅紀・辻岳史・林誠二
国立環境研究所 福島地域協働研究拠点

Mirai Watanabe, Masami Koshikawa, Masaru Sakai, Mai Takagi, Akiko Takahashi, Seiichi Takechi,
Asuka Tanaka, Masanori Tamaoki, Takashi Tsuji, Seiji Hayashi
NIES, FRECC

1. はじめに

福島原発事故から 10 年、農産物では食品中の放射性 Cs 濃度の基準値(100 Bq/kg)を超過する事例は無くなっているものの、野生の山菜では未だ基準値を超える状況が続いている¹⁾。里山での暮らしにおいて、山の恵みである山菜の採集は、単に食品を手に入れる手段ではなく、近所へのお裾分けを通して人々をつなぐ習慣でもある²⁾。しかし、放射性 Cs で汚染された地域では出荷制限が続いており、その範囲は山菜の女王と呼ばれるコシアブラでは 8 県にも渡る¹⁾。お裾分けも出荷に含まれるため、この文化的な習慣は失われつつある。また、自宅用に採って食べる自家消費については、自治体からの要請を受けて自粛している家庭が多いものの、漠然とした不安を抱えたまま自己責任で食している例もある。

野生の山菜が基準値を超過する事例の背景には、山林が除染されていないことに加え、コシアブラやタラノメといった特定の種に放射性 Cs が高濃度に蓄積されることがある³⁾。これは、生育場所に放射性 Cs がたまっているだけでなく、土壌からの吸収特性や植物体内での移行特性も強く影響すると考えられており⁴⁻⁶⁾、様々な原因が重なった結果と考えられる。農産物の場合は、表層土壌が放射性 Cs の供給源であることから、土壌の除染やカリウム施肥によって放射性 Cs の吸収を抑制し、農業生産を行っている事例も多い。同様の対策は、少なくとも生育場所が安定している樹木性の山菜には導入可能と考えられるが、実施例はほとんどなく対策情報が不足している。そこで本研究では、人気の樹木性山菜であり、汚染度が高いために対策ニーズが高いコシアブラをモデルに、放射性 Cs の供給源を明らかにし、そこに対する低減対策の短期的効果を検討したので報告する。

2. 方法

¹³⁷Cs 汚染度の異なる福島県内 4 地域を対象に、山菜として利用されるコシアブラ若木の新芽部分の¹³⁷Cs 濃度と、それが自生している土壌の¹³⁷Cs 蓄積量との関係を調べた。土壌は、浅い部分から有機物層、鉍質土層の 0-5 cm、鉍質土層の 5-10 cm の 3 つに分け、これらを表層土壌として調査した。また、福島県飯舘村の山林でコシアブラの若木 11 本を掘り起こし、その根が¹³⁷Cs が多くたまっている表層土壌に多いかを調べた。さらに、地表面へのカリウム添加や有機物層の除去といった、根からの¹³⁷Cs 吸収を低減する対策を試行し、コシアブラ新芽の¹³⁷Cs 濃度が短期間で低下するかも検討した。

3. 結果と考察

4 地域におけるコシアブラ新芽の¹³⁷Cs 濃度は、新鮮重あたり 50~14,000 Bq/kg の範囲にあり、地域が異なれば 100 倍、同じ地域内でも 10 倍の違いがあった。また、コシアブラ新芽の¹³⁷Cs 濃度は、表層土壌の¹³⁷Cs 蓄積量が多いほど高くなる傾向を示し、なかでも最表層に位置する有機物層の¹³⁷Cs 蓄積量と高い正の相関関係があった。この結果から、コシアブラに対する¹³⁷Cs 供給源として土壌の有機物層が重要であると考えられた。また、飯舘村で行った掘り起こし調査の結果、背丈が 50~200 cm 程度の若木であれば、そのサイズにかかわらず根のおよそ 90%が、鉍質土層の 10cm までの深さに分布しており、コシアブラが根を浅く張ることが確認できた。¹³⁷Cs 供給源としては有機物層が重要と考えられるものの、¹³⁷Cs 蓄積量

や根張りは鉍質土層の 0-10 cm 方が多かったことから、コシアブラの ^{137}Cs 吸収に対する低減対策を考える上では、表層土壌全体をターゲットにすることが適当であると考えられた。

そこで低減対策の第一段として、コシアブラ若木を中心とした半径 1m の範囲に塩化カリウム 170 g を添加し、その 1 年後に出た新芽の ^{137}Cs 濃度を測定した。しかし、新芽の ^{137}Cs 濃度が低下する結果は得られなかった。今回の実験では、速効性を優先して水溶性の塩化カリウム試薬を地表面に添加したが、そのおよそ 80% は 1 年後には表層土壌よりさらに深い位置にまで溶脱していた。この結果から、カリウムが表層土壌に留まる時間が短かったことが、短期的な効果が見られなかった原因のひとつと考えられた。したがって今後は、表層土壌に留まりやすい緩効性カリウム肥料を施肥して、その効果を検討することが良いと考えられる。一方で、山林の表層土壌では、交換性カリウムが必ずしも不足しているとは言えないため、カリウム施肥による ^{137}Cs 吸収抑制の効果は限定的である可能性も考えられる。次に、コシアブラ若木の周囲 3 m 四方の有機物層を除去し、その 3 ヶ月後にでた新芽の ^{137}Cs 濃度を測定した。しかしここでも新芽の ^{137}Cs 濃度が低下する結果は得られなかった。この原因として、コシアブラ新芽に含まれる ^{137}Cs が、主に樹体内に蓄積していた ^{137}Cs が転流してきたことが考えられた。コシアブラの若木全体に対する ^{137}Cs 供給源は表層土壌と考えられるが、新芽への ^{137}Cs 供給源が樹体内にあるとすれば、樹体内の ^{137}Cs 量を減らすことが速効性のある対策としては必要と考えられた。なお、根からの ^{137}Cs 吸収を低減できれば、中長期的にはコシアブラ新芽の ^{137}Cs 濃度も低下することが考えられるため、継続的な調査を計画している。

引用文献

- 1) 林野庁 (2021, WEB) <https://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/kinoko/syukkaseigen.html>
- 2) 齋藤 (2019, 林業経済研究) https://doi.org/10.20818/jfe.65.1_15
- 3) Tsuchiya et al. (2017, PLoS One) <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189398>
- 4) 清野ら (2019, 森林総研報) https://doi.org/10.20756/ffpri.18.2_195
- 5) Takenaka et al. (2021, J. For. Res.) <https://doi.org/10.1080/13416979.2021.1881229>
- 6) 小川ら (2021, 日林誌) <https://doi.org/10.4005/jjfs.103.192>

公開データを用いた野生きのこの放射性セシウム濃度特性の解析 Analysis of radiocesium concentration in wild mushrooms using public data

小松雅史

森林総合研究所

Masabumi Komatsu

Forestry and Forest Products Research Institute

1. はじめに

福島第一原子力発電所事故後、東日本の広い範囲で野生きのこのから食品の基準値を超える放射性セシウムが検出された。その結果、2022年1月現在で12県129市町村に野生きのこの出荷制限が課されている（16市町村では一部品目が解除）。野生きのこのは種が多く、また種ごとの濃度の違いが明らかになっていないことから、他の農産物と異なり、種を区別せずに一律に制限が課せられている特徴がある（橋本・小松 2021）。また、放射性セシウム濃度の高い野生きのこのを自家消費することによる内部被ばくも懸念される。そのため出荷制限のより効果的な運用や地域での野生きのこの利用を検討するための情報として、種ごとの放射性濃度特性について明らかにする必要があると考えた。

しかし、野生きのこの放射性セシウム濃度は同一林分内の同じ種でも10倍以上程度ばらつくこともあり、また地域ごとの濃度に与える影響なども不明であったことから、広域で採取された多数の放射能測定データを利用した解析を行う必要があった。そこで各自治体が行い、厚生労働省が取りまとめている食品の放射能検査データや住民の自家消費のための持ち込み検査データに着目した。このような多点データを用いた解析を行い、種による濃度特性（平均的な濃度、濃度の年変化傾向）や採取地点による濃度への影響を明らかにすることを目的とした。

2. 食品モニタリングデータを用いた解析（Komatsu et al. 2019 より）

野生きのこの放射能測定データとして、厚生労働省のHP上に掲載された2011年から2017年までの月別検査結果より、14県265市町村で得られた107種3189検体の測定結果を得た。また、採取した市町村ごとの汚染程度のデータとして、文部科学省が行った航空機モニタリングによる放射性セシウム沈着量を利用した。種名・採取日・採取市町村情報から各検体の放射性セシウム濃度を推定するモデルを構築し、種や採集地が濃度に及ぼす影響を数値化した。

モデルの推定値と実測値の関係をみると、推定値の73%は実測値のズレが10倍の範囲に収まっており、モデルによって精度よく放射性セシウム濃度を推定できていた(図1)。種の濃度特性値は濃度を沈着量で割った正規化セシウム濃度(単位: m^2kg^{-1})として示した(図2)。正規化セシウム濃度は 10^{-4} から 10^{-2} のオーダーで分布し、種によって濃度が100倍以上異なることが示された。生活タイプによって正規化セシウム濃度を分けるとタイプ内でもばらつきはあるものの、樹木と共生して養分を得る菌根菌のきのこの濃度が高く、落ち葉や枯れ木を分解して養分を得る腐生菌のきのこの濃度が低い傾向があった。

3. 地域による濃度傾向（Komatsu et al. 2021 より）

続いて、(1)野生きのこの種の濃度傾向の既報(Komatsu et al. 2019)との比較、(2)山菜のデータを加えて山菜の濃度傾向を示す、(3)小字単位での位置情報による濃度の推定精度向上を検証、を目的とした解析を行った。福島県川内村の村民による持ち込み検査データから2012年から2020年までに測定された40種4534点のデータを解析した結果、(1)野生きのこの正規化セシウム濃度は既報の値と高い相関が認められた。(2)山菜は平均的には腐生菌よりも正規化セシウム濃度は低かったが、コシアブラは特別に高く、種によって100倍以上濃度に違いがあった(図3左)。また、濃度変化を見ると菌根菌の一部の種で ^{137}Cs 濃度の上昇傾向があり、コウタケが特に高かった(図3右)。(3)村内の小字の位置情報を考慮したモデルは考慮しない場合より検体の濃度の誤差が40%減少することが示された。

以上の様に同じ自治体内であっても種や採取地点によって放射性セシウム濃度が異なることが示された。放射性セシウム濃度の予測値から出荷制限の取り扱いや自家消費の判断に役立つことが期待される。一方で一部の種では ^{137}Cs 濃度が上昇していることが示された。濃度の変化がセシウムの森林内の分布の変化に対応しているのであれば、徐々に変化は小さくなると予想されるが、モニタリングを継続して濃度変化を注視する必要がある。

参考文献

橋本昌司・小松雅史 (2021) 森林の放射線生態学. 丸善出版.

https://www.maruzen-publishing.co.jp/item/?book_no=304096

Komatsu et al. (2019) Environmental Pollution 255(2): 113236 doi:10.1016/j.envpol.2019.113236

森林総合研究所 (2020) 野生きのこの放射性セシウム濃度は種によって異なる. 2020年1月16日プレスリリース. <https://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2020/20200116/index.html>

Komatsu et al. (2021) Scientific Reports 11: 22470 doi:10.1038/s41598-021-01816-z

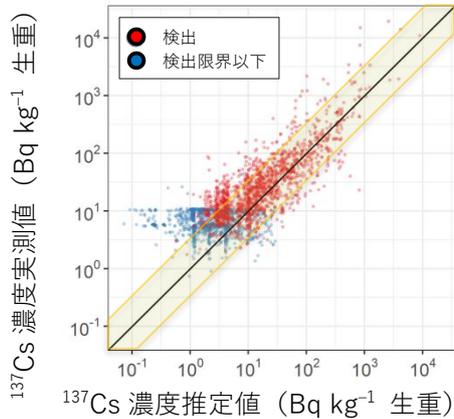


図1 野生キノコの ^{137}Cs 濃度推定値(横軸)と実測値(縦軸)の比較(森林総合研究所 2020 より).

青丸の「検出限界以下」とは、試料の濃度が測定器の検出可能範囲よりも低濃度であったことを意味する。実測値には測定器の検出限界値を示している。斜めの実線の上に点がある場合、実測値と推定値が同じであることを意味する。また、黄色い帯に含まれる点は推定値と実測値の濃度比が 10 倍の範囲にあることを意味する。

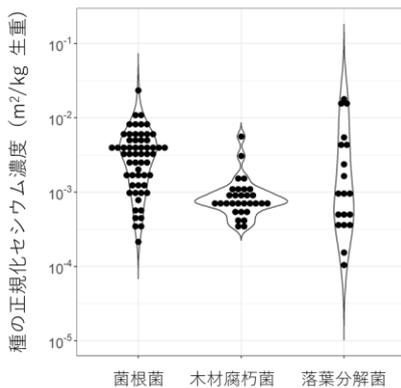


図2 生活タイプで区分した種の濃度特性値(正規化セシウム濃度)のバイオリンプロット(Komatsu et al. 2019 より). 各点は 1 つの種の正規化セシウム濃度を示しており、種数が多い値で帯が太くなる。

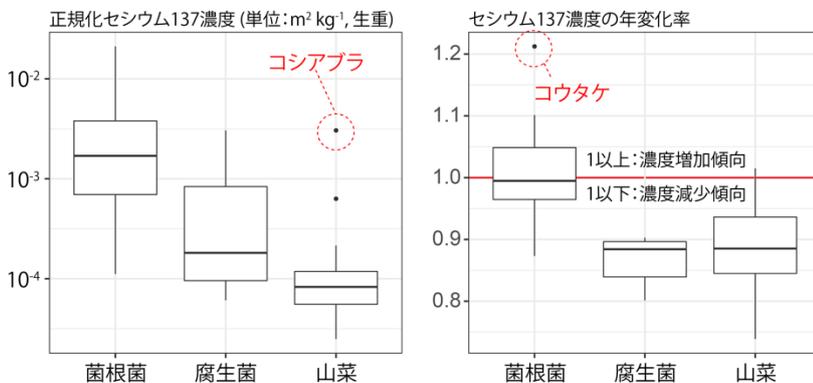


図3 きのこと山菜の正規化 ^{137}Cs 濃度(右)と ^{137}Cs 濃度変化率(左) (Komatsu et al. 2021 より).

結果は箱ひげ図で示した。解析では ^{137}Cs のみ用いたため正規化セシウム 137 濃度とした。年変化率は種ごとの採取日に対する回帰直線の傾き変換したもので、1 以上である場合に増加傾向、1 以下では減少傾向であることを示す。

放射能汚染地域の野生動物における生物学的影響 Biological Effects on Wild Animals in Radioactive Contaminated Areas

三浦富智¹、藤嶋洋平¹、葛西宏介¹、有吉健太郎²、篠田壽³、清水良央³、高橋温³、山城秀昭⁴、中田章史⁵、鈴木正敏³、福本学⁶

¹弘前大学,²福島県立医科大学,³東北大学,⁴新潟大学,⁵北海道科学大学,⁶理化学研究所
Tomisato MIURA¹, Yohei FUJISHIMA¹, Kosuke KASAI¹, Kentaro ARIYOSHI², Hisashi SHINODA³,
Yoshinaka SHIMIZU³, Atsushi TAKAHASHI³, Hideaki YAMASHIRO⁴, Akifumi NAKATA⁵,
Masatoshi SUZUKI³, Manabu FUKUMOTO⁶
¹Hirosaki University, ²Fukushima Medical University, ³Tohoku University, ⁴Niigata University,
⁵Hokkaido University of Science, ⁶RIKEN

1. はじめに

東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故により、環境中に多量の放射性物質が放出された。放射能汚染地域に生息する野生動物は外部被ばくと汚染餌の摂取による内部被ばくの複合被ばく形態をとる。我々は、放射能汚染地域における慢性的な低線量率の放射線被ばくにより誘導される生物学的影響を解析するために、放射能汚染地域に生息するアカネズミ、アライグマ、ニホンザルを対象とした継続的調査を行ってきた。ニホンザルを除く野生動物は遺伝情報や解析ツールが限られていることから、研究手法が限定的となるが、放射線被ばくに対して感受性の高い血液細胞及び造血細胞に対する放射線被ばくの影響調査を紹介する。

2. 野生動物における細胞遺伝学的影響

放射線被ばくにより様々な生物影響が生じる。放射線生物影響の一つに、染色体異常があげられる。放射線は細胞内に梱包される DNA を主な標的分子として傷害し、染色体異常が誘導される。我々は、放射性物質に汚染された福島県浜通り地区に生息する野生アライグマ、野生アカネズミ、野生ニホンザルを研究対象とした。

アカネズミは日本全国に分布し、森林や草原などに生息する。我々は、福島県浪江町および対照地域として青森県弘前市でアカネズミを捕獲し、脾細胞培養による染色体標本を作製後、各種不安定型染色体異常を解析した。浪江町で捕獲したアカネズミ脾細胞では染色分体型ギャップ、染色分体型切断、及び染色分体型切断が観察された。平成 23 (2011) 年から平成 25 (2013) 年までの染色体異常陽性細胞率を比較すると、事故発生年度から経年的に染色体異常陽性細胞率が減少した。このことから、空間線量の減少に伴い、染色体異常頻度が減少すると考えられる。しかし、浪江町の同地域で捕獲したアライグマでは放射線被ばくに特異性の高いバイオマーカーである二動原体染色体が観察されたのに対し、アカネズミでは二動原体染色体が検出されなかった。そこで、より空間線量の高い大熊町(空間線量計測値:60 μ Gy/h 以上)でアカネズミを捕獲し、同様に染色体異常を解析した。高空間線量地点で捕獲されたアカネズミの脾細胞では、DNA 二本鎖切断により生じた断片や四放射状染色体が観察されたものの、二動原体染色体は検出されなかった。

ヒトと類縁なニホンザルは、ヒトへの健康影響評価に最適な外挿である。アカネズミは不安定型染色体異常を解析したのに対し、ニホンザルは遺伝情報がヒトにきわめて類似していることから、ヒト染色体解析用 whole-chromosome-painting (WCP) probe が利用可能である。そこで、我々は、ニホンザルを対象として、不安定型染色体異常に比べ、生物学的半減期の長い安定型染色体異常である染色体転座を fluorescence in situ hybridization (FISH) 法により解析した。2015 年から 2020 年に捕獲されたニホンザルの末梢血を培養し、染色体転座頻度を解析することで低線量慢性被ばくによる影響を評価した。染色体転座頻度は、福島産のニホンザルよりも有意に高かった。さらに、染色体転座と外部線量または内部線量率との間に低い相関が認められた。2015 年から 2020 年までのニホンザル血液における染色体転座頻度を比較すると、経年的な減少傾向が認められた。これは、周囲の線量率の低下による環境回復を反映している可能性がある。また、染色体転座の生物学的半減期は、通常、二動原体および無動原体染色体などの不安定な染色体異常よりもはるかに長いと考えられているが、慢性的な放射線被ばくにもかかわらず、我々の継続調査では、染色体転座の蓄積は認められなかった。低線量率慢性被ばくにより誘導された染色体転座の生物学的半減期は短いことから、環境の回復とともに生体内に残存する放射線によってダメージを受けた細胞が減少すると考えられる。このことは、低線量率慢性被ばくの健康リスクが環境回復とともに減少することを意味し

ており、被災住民の不安軽減につながる。また、原子力災害発生後のリスクコミュニケーションにおいて重要な科学的根拠となりうる。

3. アカネズミにおける造血幹細胞への影響

福島第一原子力発電所事故後の野生動物の環境放射線の影響を研究するために、アカネズミを対照地域 ($0.96 \pm 0.05 \mu\text{Gy/day}$) 及び放射能汚染地域 ($14.4 \pm 2.4 \mu\text{Gy/day}$, $208.8 \pm 31.2 \mu\text{Gy/day}$, $470.4 \pm 93.6 \mu\text{Gy/day}$) で捕獲し、骨髄細胞における DNA 損傷と炎症誘発性マーカーの可能性を解析した (Ariyoshi K, et al)。対照地域及び汚染地域の骨髄細胞における DNA 損傷および炎症マーカーに有意な差は認められなかったが、造血前駆細胞のコロニー形成数は空間線量率と逆相関を示した。放射線誘発ゲノム不安定性に関しては、地域間で有意な差はなかった。アカネズミの骨髄細胞及び造血前駆細胞および私たちの研究は、 $200 \mu\text{Gy/day}$ を超える低線量率の放射線が造血前駆細胞を減少させ、ゲノムが不安定な造血前駆細胞を排除する可能性があることを示唆する。

4. まとめ

今回は、アカネズミ及びニホンザルを対象とした研究を紹介した。野生動物は季節繁殖性を示し、また、遺伝的に多様であることから実験マウスと異なる情報を取得できるという利点がある。また、放射能汚染地域に生息する生物を継続して調査することにより、環境の変化を評価することが可能となるとともに、原子力災害発生後のリスクコミュニケーションにおいて重要な科学的根拠となりうる。今回は、放射線感受性の高い血球及び造血細胞を対象とした研究を報告したが、低線量慢性被ばくによる生物学的影響はさらに多角的な解明が必要となる。

引用文献

- Fujishima Y, Nakata A, Ujiie R, Kasai K, Ariyoshi K, Goh VST, Suzuki K, Tazoe H, Yamada M, Yoshida MA, Miura T. Assessment of chromosome aberrations in large Japanese field mice (*Apodemus speciosus*) in Namie Town, Fukushima. *Int J Radiat Biol.* In press. DOI: 10.1080/09553002.2020.1787548
- Ariyoshi K, Miura T, Kasai K, Goh VST, Fujishima Y, Nakata A, Takahashi A, Shimizu Y, Shinoda H, Yamashiro H, Seymour C, Mothersill C, Yoshida MA. Environmental radiation on large Japanese field mice in Fukushima reduced colony forming potential in hematopoietic progenitor cells without inducing genomic instability. *Int J Radiat Biol.* in press. DOI: 10.1080/09553002.2020.1807643.