

平成28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：2017(平成29)年2月21日(火曜日)
13:30～17:00

会場：虎ノ門法経ホール
(東京都港区西新橋1丁目20番3号虎ノ門法曹ビルB1F)

平成 28 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：平成 29 年 2 月 21 日（火）13:30～17:00
場所：虎ノ門法経ホール（虎ノ門法曹ビル B1F）

- 13 : 30～13 : 40 開会の挨拶
- 1 13 : 40～14 : 00 「野生動植物への放射線影響調査」1
環境省自然環境局自然環境計画課
- 2 14 : 00～14 : 20 「イノシシにおける筋肉中の ^{137}Cs 濃度と胃内容物の関係」3
根本 唯（福島県環境創造センター研究部）
- 3 14 : 20～14 : 40 「福島大学環境放射能研究所の放射生態学研究」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 : 40～15 : 00 「福島県における低線量放射線及び住民避難による野生生物への影響調査」7
玉置 雅紀（国立研究開発法人国立環境研究所）
- 15 : 00～15 : 20 <休 憩>
- 5 15 : 20～15 : 40 「放射線医学総合研究所が実施してきた東京電力福島第一原子力発電所周辺
地域に生息する環境動物の放射線影響研究」9
久保田 善久
（国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所）
- 6 15 : 40～16 : 00 「福島県郡山市内におけるツバメの巣の放射性セシウム濃度」11
岩見 恭子（公益財団法人山階鳥類研究所）
- 7 16 : 00～16 : 20 「福島第一原子力発電所事故後の避難地域周辺におけるカエル類に対する
影響調査-放射性物質蓄積と生息状況について」13
松島 野枝（国立研究開発法人国立環境研究所）
- 8 16 : 20～16 : 40 「原発事故 5 年後の福島の里山生態系における放射性セシウムの動き」15
小林 達明（国立大学法人千葉大学）
- 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

MOE's research on the effects of radiation on wild fauna and flora

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。今年、平成 24（2012）年度から平成 27（2015）年度までの調査結果をとりまとめ、公表しました。放射性物質による野生動植物への長期的な影響を把握するため、今年度も調査を継続しており、今後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、福島第一原発周辺において、野生動植物の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、繁殖に係る調査（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いました。

本調査では約 80 種の野生動植物から試料を採取し、調査を行ってきましたが、これまでのところ、野生動植物において、放射線との明確な因果関係を示す変化は確認されていません。

外部形態の観察においては、平成 26（2014）年度にモミの形態変化が確認されましたが、それ以外の動植物種には変化は確認されませんでした。なお、モミの形態変化については、現時点で放射線被ばくとの因果関係は明らかになっておらず、発生要因を特定するための調査を行っているところです。

また、被ばく線量率に基づいて推定された生じうる放射線影響については、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、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推定となります。このため、今回の結果は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なく、繁殖に係る調査として実施した種子の発芽率やツバメの産卵状況に関する調査においても、発芽率や産卵数に放射線との明確な因果関係を示す変化は確認されませんでした。

表 1 採取した動植物の例

哺乳類	ヒミズ、アカネズミ、ハタネズミ、ハツカネズミ、ヒメネズミ
鳥類	キジ、ツバメ
両生類 は虫類	アカハライモリ、アマガエル、ニホンアカガエル、アオダイショウ、シマヘビ等
魚類	アユ、ギンブナ、タナゴ、フクドジョウ、メダカ、ヤマメ等
無脊椎動物	ニホンミツバチ、キンナガゴムシ、ミミズ類、ワラジムシ類等
植物：	キンエノコロ、チカラシバ、アカマツ、スギ、ヒノキ、モミ等

表2 平成27(2015)年度被ばく線量率に基づいて推定した生じる可能性のある放射線影響(※ICRP(2014)標準動物の線量率-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					●	
鳥類	自然放射線レベル	情報なし	情報なし	幼鳥の生存率低下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
ニホンアカガエル				●		
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	罹患率上昇の可能性
ヤマメ		●				
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					●	
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				●		
木本類	自然放射線レベル	情報なし	情報なし	解剖上、構造上及び形態上の損傷を介して現れる病的状態、長期被ばくによる繁殖成功率低下	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			●			

※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算出。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。

イノシシにおける筋肉中の ^{137}Cs 濃度と胃内容物の関係

Relationship between ^{137}Cs concentration in muscle and stomach contents in wild boar

根本唯・大町仁志・斎藤梨絵・溝口俊夫

福島県環境創造センター

Yui Nemoto, Hitoshi Oomachi, Rie Saitoh, Toshio Mizoguchi

Fukushima Prefectural Centre for Environmental Creation

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、福島県では現在でもイノシシなどの狩猟対象種から、食肉の基準値 ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$: 100Bq/kg) を超える放射性セシウム濃度が検出されている (福島県 2016)。

野生動物に対するチェルノブイリ原子力発電所事故の影響を調べた研究では、環境中の放射性核種濃度が高い地域の個体や、放射性核種濃度が高い食物を利用する季節や個体において、体内の放射性核種濃度が高くなることが報告されており、放射性核種は主に環境中から食物を通して野生動物体内へ移行することが考えられる (Hohmann & Huckschlag 2005, Fielitz *et al.* 2009)。しかしながら、これまで日本において東京電力福島第一原子力発電所事故の影響として野生動物体内の放射性核種濃度、食物、および環境との関係性を調べた研究は少ない。

そこで本研究では、野生動物体内の放射性核種濃度と食物および環境の関係を明らかにするために、イノシシを対象とし、以下の課題を検証した。課題 1) 筋肉中と胃内容物中の ^{137}Cs 濃度の間に正の関係があるか。課題 2) 捕獲場所の土壌中と胃内容物中の ^{137}Cs 濃度の間に正の関係があるか。課題 3) 胃内容物中の ^{137}Cs 濃度と胃内容物の構成の間に関係があるか。

2. 方法

2013・2014 年度に狩猟と有害捕獲によって捕獲されたイノシシ ($n = 172$) を対象に、ゲルマニウム半導体検出器を使用して筋肉と胃内容物中の ^{137}Cs 濃度を測定した。その後、筋肉と胃内容物中の ^{137}Cs 濃度の関係性を明らかにするために、筋肉中 ^{137}Cs 濃度を目的変数、胃内容物中 ^{137}Cs 濃度を説明変数とした線形モデルを解析した。本研究において ^{137}Cs 濃度を解析に使用する際には、 \log_{10} 変換して使用した。

次に、捕獲場所の土壌と胃内容物中の ^{137}Cs 濃度の関係性を明らかにするために、胃内容物中 ^{137}Cs 濃度を目的変数、捕獲場所の土壌中 ^{137}Cs 濃度を説明変数とした線形モデルを解析した。捕獲場所の土壌中 ^{137}Cs 濃度は、航空機モニタリングによる放射性セシウム沈着量測定の結果を使用した (JAEA 2012)。

さらに、胃内容物中の ^{137}Cs 濃度と構成物の関係性を明らかにするため、捕獲場所における土壌中の ^{137}Cs 濃度の影響を考慮した Tag (胃内容物中 ^{137}Cs 濃度 [Bq/kg FM] / 土壌中 ^{137}Cs 濃度 [Bq/m²]) と胃内容物中の各構成物の割合の相関を、Spearman の相関分析により解析した。

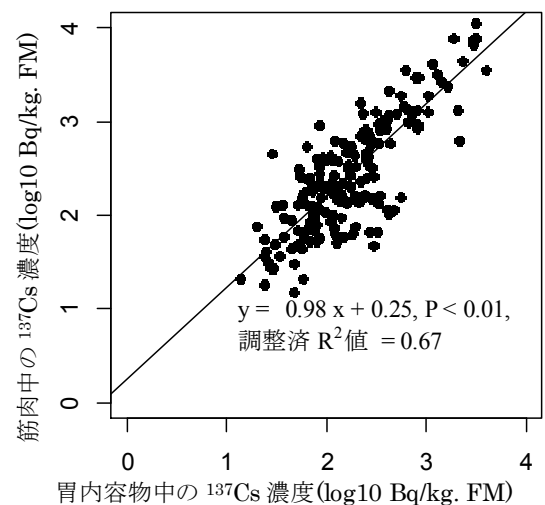


図 1. 筋肉中と胃内容物中の ^{137}Cs 濃度の関係

3. 結果と考察

線形モデルより、胃内容物中の ^{137}Cs 濃度は筋肉中の ^{137}Cs 濃度に有意な正の影響を与えていた (図 1)。また、土壌中の ^{137}Cs 濃度は胃内容物中の ^{137}Cs 濃度に有意な正の影響を与えていた (図 2)。これらの結果より、課題 1 と 2 について、筋肉と胃内容物の ^{137}Cs 濃度間、および胃内容物と土壌の ^{137}Cs 濃度間には正の関係があることが明らかになった。

胃内容物の Tag は、その他に分類された食物の胃内容物中における割合と有意な正の相関が認められた ($r=0.158$, $P=0.04$)。しかしながら、その他に分類された食物のほとんどは石やゴミなどであり、胃内容物中における割合も非常に少なかった (平均 0.7%)。図 3 を見ても、疑似相関がみられた可能性が高く、課題 3 については今後のさらなる調査が必要と考えられる。

参考文献

- Fielitz, U. *et al.* (2009) Seasonality of ^{137}Cs in roe deer from Austria and Germany. *J. Environ. Radioact.* 100: 241–249.
- 福島県. (2016) 野生鳥獣の放射線モニタリング調査結果. 31 Oct 2016. Available from: <http://journals.plos.org/plosone/s/submission-guidelines#loc-references>
- Hohmann, U. and Huckschlag, D. (2005) Investigations on the radiocaesium contamination of wild boar (*Sus scrofa*) meat in Rhineland-Palatinate: A stomach content analysis. *Eur. J. Wildl. Res.* 51: 263–270.
- JAEA. (2012) 第 5 次航空機モニタリング及び福島第一原子力発電所から 80 km 圏外の航空機モニタリングの放射性セシウムの沈着量の測定結果. 31 Oct 2016. Available from: <http://emdb.jaea.go.jp/emdb/en/portals/b224/>

Summary

In this study, we analyzed relationship among ^{137}Cs concentration in muscle of wild boar, stomach contents, and radioactive contamination at the place captured wild boar. The ^{137}Cs in muscle was positively affected by that in stomach contents, and the ^{137}Cs in stomach contents was positively affected by that in soil. From the correlation analysis between Tag (^{137}Cs in stomach contents / ^{137}Cs in soil) and proportion of each food category in stomach contents, Tag positively correlated with proportion of others in stomach contents. However, the correlation was probably pseudo-correlation because most of the proportions were 0 and the mean was low (0.7%).

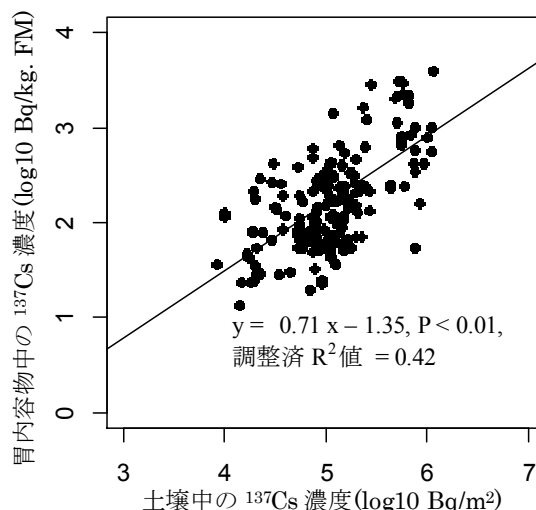


図 2. 胃内容物中と捕獲場所の土壌中の ^{137}Cs 濃度の関係

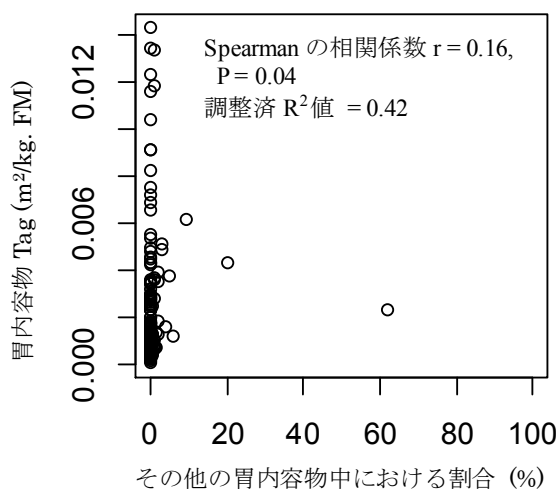


図 3. 胃内容物 Tag と胃内容物中のその他の割合の関係

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

難波謙二・ヴァシル ヨシエンコ・和田敏裕・
塚田祥文・兼子伸吾・トーマス ヒントン・奥田圭
福島大学環境放射能研究所

Vasyl Yoschenko, Kenji Nanba, Toshihiro Wada,
Hirofumi Tsukada, Shingo Kaneko, Thomas Hinton, Kei Okuda
Institute of Environmental Radioactivity at Fukushima University

1. はじめに

福島大学環境放射能研究所（IER）の設立の経緯や研究分野を含む規模等について、その概要は 2014 年度の本ワークショップで、またその後の人員の採用で 2015 年度には人員についてはほぼ体制が整ってきたことを 2015 年度のワークショップで紹介した。IER は全 5 部門をおき、そのなかに全 15 分野が含まれる研究組織となっている。放射能形態部門の全 2 分野、放射能地球科学部門の全 4 分野、放射生態学部門の全 5 分野、放射能計測予測部門の 2 分野の 13 の分野に現在は人員が配置されている。現在の教員数は、専任の教授 3、准教授 2 および講師 2、特任の教授 3、准教授 1、助教 1、のほか、福島大学共生システム理工学類との兼任教員 9 名であり、これらの合計 21 名が 13 分野を各 1-4 名で担当している。研究連携部門と放射能計測予測部門の各 1 分野が現在空席となっている。建物は、2014 年度に完成した床面積約 1,400 m² 二階建ての分析棟に加え、6 階建ての「本棟」および試料保管棟、併せて床面積約 4,700 m² の建設が今年度末に完了の予定である。現在、大学院設置を含む人材育成機能の充実を進めている。ここでは野生動物植物影響の研究をおこなっている放射生態学部門の活動を紹介する。

2. 放射生態学研究

放射生態学部門には、「放射能森林科学」、「陸水放射生態学」、「放射能土壌植物学」、「放射能植物影響学」、「野生動物放射線影響学」の 5 つの分野が含まれている。

「放射能森林学」と「放射線植物影響学」では、現在、川俣町山木屋、浪江町津島、富岡町にオブザバトリサイトを設定し、スギ林およびマツ林で林内雨の採集を行うとともに、リタートラップや樹木採集、土壌コア試料の採集を行って、放射性セシウムの移行動態観測を継続している(Yoschenko *et al.*, 2015)。また、他の研究機関からの訪問研究者も、これら森林を活用して、試料採集等を行ってきている。これらの活動を含め、今までに、ノネズミ、ミミズ、ミツバチ、カエル、維管束植物、コケ類、キノコなどを採集し、出現種の記載および放射能分析を行ってきた。これら試料中の元素分析等も進める計画である。放射線影響の研究としては、マツの形態異常の観察を行ってきている。

「陸水放射生態学」では、福島県内水面水産試験場および国立環境研究所等と共同で、河川・湖沼環境の魚類を中心とした水生生物への放射性物質の移行メカニズムの解明を中心に研究を進めてきた。対象としているのは、浜通の河川やため池、阿武隈川流域、裏磐梯や会津の湖沼である。阿武隈川流域ではヤマメ、ウグイ、イワナ等が全域で、フナ、アユが信夫ダム下流での出荷等制限が継続され(Wada, 2016)、阿武隈川漁協は震災以降全面禁漁としている。一方で、東日本大震災後に顕著になったチャネルキャットフィッシュの増加とその対策についても研究を行なっている。帰還困難区域のため池では、ここに棲息する魚類の放射線影響研究の一環として魚類の被ばく線量の推定も試みている。また、郡山市街地のため池や飼育水槽を使った魚類への移行試験を内水面水産試験場と行っている。

「放射能土壌植物学」では土壌中または灌漑用水中の放射性セシウム濃度および存在形態とそこに生育する植物への移行状況を中心に研究を行っている。その結果は放射能移行抑制手法等、農業分野で成果を上げ、農産物への放射能移行の懸念は縮小した。しかしながら、現在も山菜や、福島市のユズなどで出荷等の制限が継続している。さらに、避難指示の解除が進んできているが、これらおよび比較的長期の課題となる帰還困難区域の復興における、営農の再開等の課題にも継続して取り組む。

「放射能植物影響学」では植物に対する遺伝子への影響の研究を行なっている。遺伝的に均質と考えられるモウソウチクの遺伝的変異と生育場所の線量との関係を調べるために、線量の異なるいくつかの地域からモウソウチクのたけのこを採集し、マイクロサテライトマーカーによる解析および塩基配列の比較を行っている。

「野生動物放射線影響学」では、避難区域での野生哺乳類の生態を調査するとともに、野生動物の個体数調整や有害駆除で捕殺された個体を利用して放射能移行状況を調査している。国内外の研究機関との共同による、細胞学、分子生物学、分子遺伝学的なアプローチでの影響研究も 2016 年より開始した。また、被ばく線量の個体ごとの評価を目的とした、線量計と GPS とを備えた首輪 (Hinton, 2015) をイノシシの複数個体に装着し、数ヶ月以上の期間にわたる個体ごとの被ばく線量評価を行っている。

3. その他

IER では研究成果の地域への還元や地域の新たな研究課題の特定を目的とした「研究活動懇談会」を開催している。この中で、野生生物への影響については、ヒトへのアナロジーと言う視点で避難中の住民の間でも関心が高い。一方、IER では福島で得られた成果をよりグローバルな課題への取り組みへと繋げてゆきたいと考えている。この点、福島事故よりも 25 年前に発生したチェルノブイリは様々な意味で、福島の将来を推定する手がかりがあると考えられる。

参考文献

- Hinton *et al.* (2015) Quantifying the spatial and temporal variation in dose from external exposure to radiation: a new tool for use on free-ranging wildlife. *J. Environ. Radioact.* 145: 58-65.
- 塚田祥文 (2014) 土壌中放射性セシウムの経時的な変化. *土壌肥料学会誌* 85:77-79.
- Wada *et al.* (2016) Radiological impact of the nuclear power plant accident on freshwater fish in Fukushima: An overview of monitoring results. *J. Environ. Radioact.* 151: 144-155.
- Webster *et al.* (2016) [Where the wild things are: influence of radiation on the distribution of four mammalian species within the Chernobyl Exclusion Zone](#). *Frontiers in Ecology & the Environment* 14(4): 185-190.
- Yoschenko *et al.* (2016) [Morphological abnormalities in Japanese red pine \(*Pinus densiflora*\) at the territories contaminated as a result of the accident at Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant](#). *J. Environ. Radioact.* 165: 60-67.

福島県における低線量放射線及び住民避難による野生生物への影響調査

Researches on effects of low-dose radiation and evacuation on wild organisms in Fukushima

玉置雅紀・三島啓雄・吉岡明良・深澤圭太
国立研究開発法人 国立環境研究所

Masanori Tamaoki, Yoshio Mishima, Akira Yoshioka, Keita Fukasawa
National Institute for Environmental Studies

1. はじめに

福島第一原発の事故により環境中放出された放射性物質に由来する放射線により、特に福島県内における野生生物にも影響が及ぶ可能性が危惧されている。また、線量の高い地域は帰還困難地域などに指定され、原発事故後「人が住んでいない」ことが常態化しており、除染などにより放射線量が低下し、住民の帰還が行われたとしても生活圏の生態系が崩壊している事が予想される。2012年より国立環境研究所では、震災による生物・生態系影響に関する調査研究を開始した。当所における調査研究は、大きく以下の2つに分類される。(1) 生物・生態系における放射性物質の挙動と低線量放射線等による生物影響及び(2) 原発事故被災地域における生態系モニタリング。本報告会ではこれらの研究により得られた成果について発表する。

2. 低線量放射線による DNA 損傷を検出する植物の開発とこれを用いた影響評価

一般に生物では環境からのストレスにより DNA 損傷が頻繁に発生しているが、生物はこの損傷を修復する機構を備えている。我々は低線量放射線による植物のゲノム DNA への損傷に伴う修復を定量的に評価することを目的とし、細胞における相同組み換えを検出することができる遺伝子組換え植物の開発を行った。

開発した植物を福島県より採取した放射性物質汚染土壌において栽培した結果、植物における DNA 修復量は外部被ばく量依存的に増加していた。また、放射性物質による汚染が最も高い土壌を線源として外部被ばく実験を行った所、DNA 修復量は汚染土壌で直接栽培(内部被ばく+外部被ばく)した場合との差は見られなかった。以上の結果から、(1) 現在の福島県の土壌放射線に由来する DNA 損傷は、線量依存的に増加している事、(2) DNA 損傷は植物の持つ DNA 修復能力により速やかに修復できる事、(3) また、DNA 損傷の多くは外部被ばくに由来する事、が明らかになった。

さらに低線量放射線の DNA への影響を現場土壌において調べるために、我々が開発した DNA 損傷を検出できる植物に由来する培養細胞化の確立を行った。この培養細胞による DNA 損傷の検出は、細胞を移植した培地を土壌に埋設する事により行うため、光非依存的かつ温度の安定した状態で行う事が出来る。したがって、植物の状態では、光(紫外線)、温度、乾燥等による DNA 損傷を排除でき、低線量放射線による影響をより正確に評価することが出来ると考えられる。汚染土壌を用いた室内実験の結果、培養細胞化しても植物と同様に低線量放射線による DNA 損傷を定量的に評価できることが明らかになった。さらにこの培養細胞を福島県内の高線量地域に埋設し、現場土壌にて DNA 損傷評価を行う事が出来るかどうかについて検証を行った。その結果、室内実験同様に低線量放射線による DNA 損傷を定量的に評価できた。また、DNA 損傷量と積算放射線量との関係性は、室内実験と野外実験との間で違いは見られなかった。

3. 原発事故被災地域における生態系モニタリング

避難区域内では線量の増加のみならず、耕作放棄等の人間活動の変化を介した影響が生じており、それに伴う生物種の分布変化を把握するため、2014年より避難指示区域内外を含む福島県浜通り・中通り地域の9市町村において、哺乳類・飛翔性昆虫類・鳥類・カエル類を対象とした長期モニタリングを開始した。哺乳類は森林内に設置した自動撮影カメラ、昆虫類は小中学校に設置した捕獲トラップ、鳥類およびカエル類は録音機を用いて調査する計画となっており、各分類群につき50か所程度の定点調査を実施している。

昆虫類に関しては、47地点においてマレーズトラップまたは衝突板トラップを設置し試料を取得した。試料にはハチ目・ハエ目が多く含まれており、ハナバチについては2014年、2015年ともに避難区域内で高い頻度で捕獲された。これは、利用可能な餌資源となる植物が住民避難により増加した結果ではないかと予想された。一方で、ハナムグリ類やチョウ類については2015年の衝突板トラップで比較的多くの個体数が捕獲された。暫定的な集計においてこれらの避難指示区域内での捕獲頻度は少なかった。現在、この結果の適切な解釈のため、空間自己相関等の交絡要因を考慮した統計モデルリングを検討中である。

哺乳類については、14種類が自動撮影装置により観察された。これらのうちイノシシについては避難指示区域内において高頻度で観察された。また、アナグマ、タヌキ、ニホンザル及びニホンノウサギについても同様な傾向が見られた。避難指示区域内において高頻度で観察された哺乳類のうち、イノシシは田畑を荒らす害獣であるため、今後もモニタリングが必要である。なお、本研究で得られた2014年の撮影頻度の情報は、生物多様性ウェブマッピングシステム (BioWM, <http://www.nies.go.jp/biowm/contents/fukushima.php>)にて閲覧可能である。また、結果をデータペーパーとして投稿し、生データが利用可能な形で公開されている。

参考文献

- Yoshioka A., Mishima Y., Fukasawa K. (2015) Pollinators and other flying insects inside and outside the Fukushima evacuation zone. PLOS ONE 10: 1-16.
- Fukasawa K., Mishima Y., Yoshioka A., Kumada N., Totsu K., Osawa T. (2016) Mammal assemblages recorded by camera traps inside and outside the evacuation zone of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Ecol. Res. 31: 493.
- Tamaoki M. (2017) Studies of radiation effects on wild organisms and ecosystem in Fukushima. Glob. Environ. Res. In press.

Summary

We have been carried out some researches for environmental disaster after FDNPP accident. Those include research for impacts on wild organisms and ecosystems in Fukushima. Here, we introduced following topics carried out in our institute. (1) Development of monitoring plants to evaluate the frequency of DNA repair from single strand break by gamma-irradiation. We concluded that DNA damage is mainly occurred from external radiation, and DNA damage is immediately repaired by plant system. (2) Monitoring project of mammals, insects, birds and frogs in Fukushima was started in 2014. In this project, population indices of these taxa have been recorded at about 50 monitoring sites. Results of insects and mammals will be shown in this presentation.

放射線医学総合研究所が実施してきた東京電力福島第一原子力発電所周辺地域に生息する
環境動物の放射線影響研究

**Studies of Radiation Effects on Wild animals living in areas near Fukushima Dai-ichi Nuclear
Power Plant**

久保田善久・府馬正一・丸山耕一・渡辺嘉人

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所 福島再生支援本部

**Yoshihisa Kubota, Shoichi Fuma, Kouichi Maruyama, Yoshito Watanabe
Fukushima Project Headquarters, National Institute of Radiological Sciences,
National Institute for Quantum and Radiological Science and Technology**

我々は、東京電力福島第一原子力発電所の事故（原発事故）による環境生物への放射線影響を明らかにするために、環境省委託調査業務「放射線影響緊急調査業務（平成 23 年度）」及び「放射線影響調査業務（平成 24-27 年度）」を請け負った（一財）自然環境研究センターが実施する調査に放射線影響研究の専門家として参加してきた。また、環境省事業とは別途福島県に所在する研究機関とも協力し、調査活動を行ってきた。環境省は事故後 5 年間継続してきた事業を見直し、平成 28 年度より新たな調査を開始しているが、ここでは、放射線医学総合研究所（放医研）の研究者が関与した事故後 5 年間の野生動物の調査活動の成果を概説する。

放射線の環境影響を解明する研究として我々は今までに得られている知見からヒトと比べて同等の高い放射線感受性を示すと考えられる両生類のサンショウウオ、小型哺乳類のネズミ等を選択した。また、豊富な科学的知見と多くの系統を放医研が保有しているメダカも調査対象に加えた。

原発事故後、多くの機関によって実施された継続的かつ広範囲にわたる空間線量率測定と環境媒体の放射能測定の結果から、非常に激しく汚染した地域に生息する動物でさえ 0.1 mGy/min(144 mGy/d)以下と定義されている低線量率の被ばくを受けることが推定された。そのため、低線量率でも線量に比例して影響が直線的に増加すると考えられている遺伝学的な影響（DNA や染色体の変化）を影響指標として選択することが合理的であると考えられた。

サンショウウオは原発周辺地域でトウホクサンショウウオを捕獲することができた。遺伝学的影響を研究する手法が開発されていないため、捕獲個体（受精卵を含む）の発生、成長等を指標にして影響を調べたが、明確な放射線影響は観察されなかった。汚染地域に生息するトウホクサンショウウオの最も高い被ばく線量率は 50 μ Gy/h と評価されたが、490 μ Gy/h の線量率でもトウホクサンショウウオの成長や生存に影響しないという実験室での長期低線量率被ばく実験の結果から、福島のサンショウウオに有意な放射線影響が生じる可能性は低いことが示された。

メダカについては鰓と腎臓の細胞における小核試験法（異常染色体の検出法）が開発されていたためその手法を導入し、福島の汚染地域に生息するメダカの小核試験を実施したが、影響は観察されなかった。比較的空間線量率の高い地域(20-30 μ Sv/h)に生息するメダカでも、メダカが生息する水中にガラス線量計を置くことによって推定したメダカの被ばく線量率はかなり低く、有意な影響が観察されない原

因は低い被ばく線量によるものと考えられた。

福島に生息する野ネズミ（日本の固有種であるアカネズミ、ヒメネズミ）では染色体異常試験を実施した。調査開始当初、安定型染色体異常（転座）を検出する染色体 FISH(Fluorescence in situ hybridization) 用プローブが野ネズミで開発されていなかったため、C-band 法を利用して不安定型染色体異常の一つである 2 動原体染色体の頻度をヒメネズミで解析し（アカネズミのセントロメアは C-band 法により明瞭に同定できないため解析不能）、捕獲場所の空間線量率に依存して 2 動原体染色体の頻度が増加することを明らかにした。一方、染色体異常の専門家でなくても比較的容易に解析できる染色体 FISH をアカネズミ、ヒメネズミでも可能とする FISH 用プローブの開発に取り組み、FACS による染色体の単離、単離染色体をテンプレートとする PCR、非特異的産物の吸収等の操作を経て大きな染色体 3 組を赤、黄、緑の 3 色に鮮明に染め分ける技術を確立した。本手法を利用し、福島のアカネズミの安定型染色体異常頻度を解析したところ、空間線量率が非常に高い場所で染色体異常の頻度が有意に増加することを示した。

以上の研究を総括すると、原発事故により激しく汚染した地域に生息する動物は染色体異常などの遺伝的な影響を受けたが、それ以外の場所では明確な生物影響を検出することは困難であると考えられた。今後の課題として、精度の高い線量評価手法の開発やより鋭敏な生物影響指標の探索が望まれる。

Summary

In order to study environmental effects of TEPCO Fukushima Dai-ichi NPP accident, we selected several wild animals based on the radiation sensitivity, since it is reasonable to consider that radiation effects can be more easily observed in more radiosensitive wild animals. Wild mice, salamander and medaka fish were chosen as research objects.

It was suggested that growth and survival of Tohoku hynobiid salamanders, *Hynobius lichenatus*, inhabiting Fukushima were not affected by radiation, based on the facts that the highest dose rate to the salamander was estimated to be 50 $\mu\text{Gy/h}$ in the most severely contaminated habitat in Fukushima Prefecture, whereas growth and survival of the amphibian was not affected at a dose rate of up to 490 $\mu\text{Gy/h}$ in the laboratory chronic gamma-irradiation experiment.

Medaka fish inhabiting Fukushima also showed no radiation effect with respect to the induction of micronuclei in the gill.

On the other hand, unstable (dicentric) and stable (translocation) chromosomal aberrations examined in splenic lymphocytes of small Japanese field mice (*Apodemus argenteus*) and large Japanese field mice (*Apodemus speciosus*), respectively, were shown to increase in heavily contaminated area.

In conclusion, it seems difficult to find easily any biological consequences in wild animals of Fukushima Prefecture except for wild animals inhabiting the very restricted heavily contaminated areas where genetic effects such as chromosome aberration could be observed.

福島県郡山市内におけるツバメの巣の放射性セシウム濃度

Radioactive cesium concentration in nests of Barn Swallow in Koriyama city, Fukushima Prefecture

岩見恭子¹・横田敬幸²・小林さやか¹・柴田康行³・尾崎清明¹

¹山階鳥類研究所・²日本野鳥の会郡山支部・³国立環境研究所

Iwami, Y¹., Yokota, T²., Kobayashi, S¹., Sibata, Y³., Ozaki, K¹.

¹Yamashina Institute for Ornithology, ²Koriyama Chapter of the Wild Bird Society of Japan,

³National Institute for Environmental Studies

1. はじめに

2011年3月の福島第一原子力発電所事故で飛散した放射性物質による生態系への影響が懸念されており、山階鳥類研究所では鳥類への放射性物質の汚染状況を把握するため調査を行っている。その一つとして、人為的な環境に適応し、人里や市街地で繁殖するため、継続的な観察や分析に必要な試料を得ることができるツバメ *Hirundo rustica* を選択した。ツバメの巣は耕地や水溜まり等で集められた泥を用いて造られているが、そうした場所には放射性物質が蓄積している可能性が高い。さらに、放射線の影響を受けやすい胚やヒナの成長が進む場である巣の汚染は、ツバメの個体群に負の影響を及ぼすおそれがある。本調査ではツバメの巣に含まれる放射性物質を定量的に測定し汚染状況を把握するとともに、卵や雛の巣における放射線の暴露量を推定し、ツバメの繁殖状況を調べることで個体群への影響を評価することを目的としている。これまで、事故直後の汚染状況を調べるため、日本全国から2011年に利用されたツバメの巣を収集し、巣に含まれる放射性セシウム濃度を調査した。その結果、福島県内のすべての巣から放射性セシウム (¹³⁴Cs、¹³⁷Cs) が検出され、郡山市内からは濃度が高い巣が確認された。さらに営巣地周辺の土壤に含まれる放射性セシウム濃度が高い地域ほど、巣の放射性セシウム濃度が高くなる傾向がみられた(岩見ほか2015)。そこで巣の放射性セシウム濃度が比較的高かった福島県郡山市において、ツバメの繁殖状況と巣のセシウム濃度の経年変化を調査し、放射性物質によるツバメへの影響を調べた。

2. 方法

2012年から2016年の繁殖期に、福島県郡山市内において、2011年に巣を採集した場所を対象に、繁殖状況を調査した。繁殖調査は日本野鳥の会郡山支部の協力のもと、巣の直接観察により、繁殖の有無、産卵数および雛数、巣立ち雛数などを記録した。2012年から2014年まではつがいが繁殖地を離れた後、巣を採集し、巣のセシウム濃度を測定した。採集された巣の放射線の測定は国立環境研究所においてゲルマニウム半導体検出器(γ線検出器)を用いて行った。測定は巣の形をくずさないよう測定器に入れ、スクリーニング測定を実施し、放射性セシウムの濃度を計算した。2015年と2016年は巣の採集は行わず、簡易線量計を用いて巣と産座の放射線量を測定した。

3. 結果

2011年から継続して調査を行っている福島県郡山市内の巣において、2012年から2014年まで、繁

殖した巣を毎年回収して放射性セシウム ($^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$) 濃度を測定したところ、2011 年の平均値±SD は $13164\pm 22437\text{Bq/kg}$ (N=19)、2012 年は $10345\pm 11892\text{Bq/kg}$ (N=11)、2013 年は $10149\pm 23625\text{Bq/kg}$ (N=9)、2014 年が $5843\pm 8710\text{Bq/kg}$ (N=9) であった。2011 年から放射性セシウム濃度の測定を行っている郡山市内の巣の繁殖成績 (産卵数、巣立ち雛数) を調査した結果では、2012 年から 2016 年までに著しく繁殖成績が低下している傾向は確認されなかった。

本研究は三井物産環境基金 2011 年度東日本大震災復興助成を受けて行われた。

参考文献

岩見恭子・小林さやか・柴田康行・山崎剛史・尾崎清明 (2015) 福島第一原発事故直後の 2011 年の繁殖期に利用された日本全国のツバメ *Hirundo rustica* の巣の放射性セシウム濃度の状況. 日本鳥学会誌 64(1): 63-69.

Summary

We investigated the radioactive contamination of barn swallow' s nests that were collected from large areas of Japan, in order to understand the effect on birds of the radioactive materials emitted from Fukushima Daiichi nuclear power plant accident following after the great Tohoku earthquake and tsunami on 11 March 2011. Dose rates of nests were higher in Fukushima than other areas. From 2012 to 2016, we surveyed the reproductive success of barn swallows, which were observed high contamination in Koriyama city area, Fukushima prefecture. These breeding nests were also investigated the radioactive contaminations after the breeding season. There was no significant decrease of breeding success of barn swallows.

福島第一原子力発電所事故後の避難地域周辺におけるカエル類に対する影響調査 -放射性物質蓄積と生息状況について-

Researches of frogs in evacuation zone in Fukushima

-Focusing on the accumulation of radionuclides and distribution of frogs -

松島野枝¹・伊原禎雄²・堀口敏宏¹

¹国立研究開発法人 国立環境研究所 環境リスク・健康研究センター

²北海道教育大学釧路校地域・環境教育専攻

Noe Matsushima¹, Sadao Ihara², Toshihiro Horiguchi¹

¹National Institute for Environmental Studies, ²Hokkaido University of Education

1. カエル類に含まれる放射性セシウム濃度

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）事故によって周辺に飛散した放射性物質による野生生物・生態系への蓄積及び影響調査の一環として、福島第一原発周辺域に生息するカエル類における放射性物質の蓄積と生殖腺の状態を調査した。2012年の8～9月にかけて福島第一原発の半径20km圏内の5地点とその周辺域の4地点からカエル類を採集し、各地点の土壌サンプルを採取した。採集はカエル類が生息可能と思われる水田または湿地が残った耕作放棄水田で行われた。各サンプルの¹³⁴Cs及び¹³⁷Cs（以下、「放射性セシウム」という）濃度のゲルマニウム半導体検出器による測定と、カエル各個体の卵巣及び精巣の組織切片を作製し、光学顕微鏡を用いた組織学的観察を行った。9地点あわせて5種（ニホンアカガエル、トウキョウダルマガエル、ニホンアマガエル、ヤマアカガエル、タゴガエル）が採集された。この中で最も多かったのはニホンアカガエル（8地点）で、他はそれぞれ2～3地点から採集された。

カエル個体中の放射性セシウム濃度は、採集地点の土壌中の放射性セシウム濃度が高いほど高く（図1）、福島第一原発からの距離とは相関がなかった。また、採集されたカエル類の精巣及び卵巣の組織切片に形態学的な異常は見出されなかった。

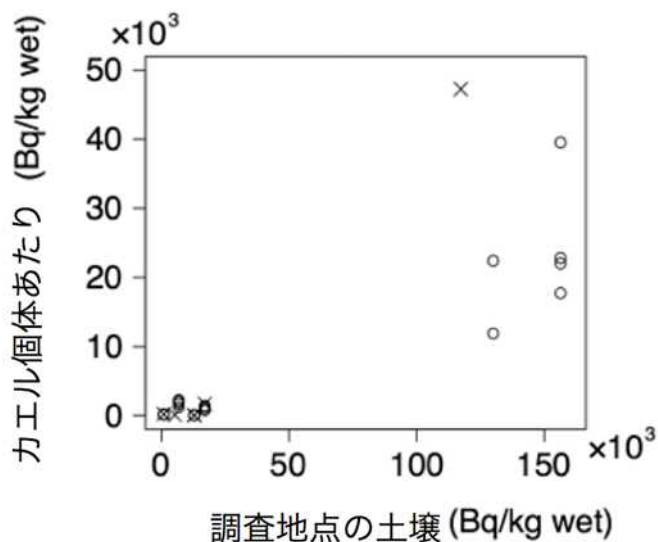


図1：カエル類と土壌中の放射性セシウム濃度。印の違いは種の違いを表す。

2. 震災・原発事故後のカエル類の生息状況

上記の調査では、福島県太平洋側の平野部で普通に生息するカエルのうち、トウキョウダルマガエルをほとんど発見できなかった。そこで、2014年に、相馬市からいわき市にかけて75地点で現地調査を実施し、生息するカエルの種類を調べた(図2)。その結果、ニホンアマガエル、シュレーゲルアオガエル、ニホンアカガエルではそれぞれ54、63、65地点で生息が確認された。しかし、トウキョウダルマガエルでは生息が確認された地点は34地点で、稲作が制限されていた場所ではほとんど確認できなかった。震災・原発事故以前のカエル類各種の詳細な生息状況は不明であるが、過去の記録や文献、生息環境の分析から、事故以前にはこれら4種はこの地域の水田に広く生息していたようである。しかし、震災・原発事故以降、福島第一原発の周辺地域では農作物の生産が制限され、特に、浪江町、双葉町等の避難地域では試験田を除くほぼすべての農地が耕作放棄地となり、水田が減少した。これらの結果は、住民避難に伴う土地利用の変化によってカエル類の生息環境が変わり生息状況に影響していること、また、このような影響は種によって異なり、特に水田に強く依存するトウキョウダルマガエルにおいて影響が大きいことを示唆している。

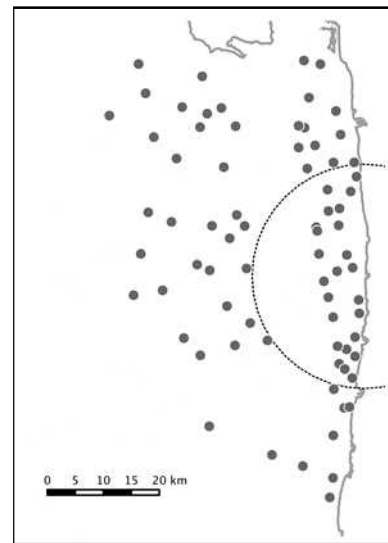


図2：生息状況調査を行った地点。
点線は福島原発から約半径
20kmの地域を示す。

3. 謝辞

本調査において、帰還困難区域等(旧警戒区域等)の入域にご協力頂いた福島県に感謝の意を表します。

参考文献

Matsushima N, Ihara S, Takase M, Horiguchi T. (2015) Assessment of radiocesium contamination in frogs 18 months after the Fukushima Daiichi nuclear disaster. Scientific reports 5: 9712.

Summary

(1) We investigated the concentrations of radiocesium in frogs and soil samples collected from sites within and outside a 20-km radius from FDNPP in 2012. There was a positive correlation between radiocesium concentrations in the soil samples and frogs. Although we conducted a histological examination of frog ovaries and testes by light microscopy, there were no clear abnormalities in the gonadal tissues of frogs collected from sites with different contamination levels. (2) In 2014, field surveys were conducted to examine the influence of the rapid environmental changes caused by abandonment of cultivation after the accident on the distribution of frogs.

原発事故5年後の福島の里山生態系における放射性セシウムの動き

小林達明

千葉大学大学院園芸学研究科

1. ナラーアカマツ二次林の放射性セシウム動態

私たちは福島県川俣町山木屋地区の民家の里山で、2011年から継続的に福島第一原発事故由来の放射性セシウムの動きを監視している。試験地は、農家の畑に隣接する丘陵地南東向き斜面のコナラ-ミズナラ混交林および接する畑地である。標高580~600m、斜面の平均傾斜約30°であり、森林土壌は褐色森林土、斜面上部はアカマツが混交している。事故以前はタバコ栽培に用いる腐葉土の原料採取等に利用されており、林冠構成木の樹高は20m弱である。以下、現地の放射線量と放射性セシウムの動きについて説明するが、放射性セシウムでは、半減期の長い ^{137}Cs に限って述べる。現地における ^{137}Cs の初期沈着量は 500kBq/m^2 と見積もられ、森林・農地の空間線量率は2011年当初 $2.0\sim 3.6\mu\text{Sv/h}$ あった。

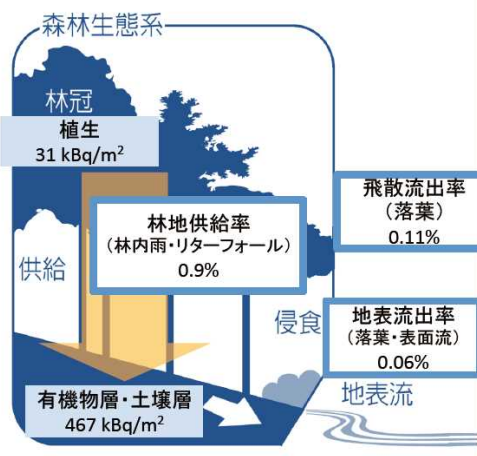
農地除染後、2015年11月末時点の畑地の空間線量率は $0.5\mu\text{Sv/h}$ 以下に低下したが、森林では $0.5\sim 1.5\mu\text{Sv/h}$ だった。森林の空間線量は、ほぼ物理的半減期に従って低下しており、放射性物質の顕著な空間的移行はなかったと考えられる。

森林から農地への放射性物質の流出を調べるために、2013年初夏に、凹凸の少ない一様な斜面を選び、丘陵地斜面の上端から下部までをほぼカバーするような幅9m、斜面長35mの形状の試験区を設けた。試験区の下端には、透水マット付きの人工編柵と180cmの雨樋を設置して、固体で森林外に移動しようとする物質と液体で流出しようとする物質を把握できるようにした。放射性セシウムの物理的減衰の影響をキャンセルし、移行の実態を見やすくするため、以下の数値は、すべて2011年3月15日基準で半減期補正した。

落葉樹林である当試験地の ^{137}Cs は、当初より大部分は林床に集積していたが、2015年時点では、その94%が林床に、6%が植生に存在した。林床の ^{137}Cs は、2016年まで50%以上が有機物層に滞留しており、下層の鉱質土層への目立った移行は見られなかった。

2015年の林地供給率（林冠から林地への供給量/森林内の現存量）は0.9%だった。林内雨と樹幹流中の ^{137}Cs は、2013年 1.6kBq/m^2 、2014年 1.2kBq/m^2 、2015年 0.8kBq/m^2 と減少したが、リターフォール中の ^{137}Cs は、2013年 5.4kBq/m^2 、2014年 3.2kBq/m^2 だったのが2015年は 3.8kBq/m^2 に増加した。

2015年の林内雨および樹幹流中のカリウムと放射性セシウムの動きを比較すると、カリウム濃度は林内雨と樹幹流で大きく変らなかったが、放射性セシウムは顕著に増加した。カリウムは、葉から溶脱したものがほぼすべてであるのに対して、放射性セシウムは葉由来の成分に加えて、樹皮付着物が洗脱したものが加わって濃度が上昇したと考えられる。同じカリウム濃度なら、コナラの樹幹流では林内雨の1.9倍の、アカマツの樹幹流では4.5倍の放射性セシウム濃度だった。したがって、コナラ樹幹流の ^{137}Cs の約半分、アカマツ樹幹流の ^{137}Cs の約4/5はフォールアウト樹皮付着由来と考えられる。そのほか、リターフォールのうち、枝についてはフォールアウト付着成分と考えられる。しかし、それらは、樹冠から林地へ供給される放射性セシウムの



里山の森林生態系をめぐる ^{137}Cs の動き (2015年、2011年3月基準に半減期補正)

少ない割合なので、現在の林地供給量（林冠から林地への供給量）の大部分は、樹木が吸収して循環しているものと思われる。幹木部への放射性セシウムの不動化量は現在計算中であり、その結果を加えて、当日は説明する。

斜面林下部に設置した柵と樋で測定した2015年の ^{137}Cs 林地外流出量は、試験地面積あたり 0.34kBq/m^2 で、流出率（林内から林外への流出量／森林内の現存量）にすると0.06%である。そのうち71%は柵のマットに付着した粒子状有機物および土で、21%がリターだった。液体での森林外流出は7%で、植物に容易に吸収される形態の溶存態のものは全体の3%と限られていた。

2016年初冬には、風によって林外（試験地斜面に隣接する東南側の畑）に飛散する落葉量を調べた。林縁から約40mまで、落葉の飛散が見られ、距離と落葉量の間には指数関数関係が見られた。落葉の放射能密度と飛散落葉量をかけて、畑地への移行量を推定したところ、林縁から垂直に伸ばした1m幅50m長の短冊あたり 19.3kBq となった。森林試験地面積あたりだと 0.55kBq/m^2 で、森林の現存量あたり流出率にすると0.11%となる。チェルノブイリで報告されたのと同じように、森林から外部への流出は小さく、放射性セシウムは森林に保持されていることがわかる。

ただし、林縁近くでは、2016年の落葉期に、平米あたり約 2kBq （ ^{134}Cs と ^{137}Cs 合計、半減期補正なし）の放射性セシウムが畑地に供給されたことになる。数年経つと 10kBq/m^2 を超える放射性セシウムが林縁近くの畑に蓄積する可能性があるため、そのような箇所の落葉は注意が必要だろう。

2. 林地のセシウムの存在形態の推定

今後の森林生態系内の放射性セシウム動態を予測するために、もっとも蓄積量の多い林地の有機物層と鉍質土層の放射性Csの存在形態を分析した。その結果、有機物層のL層には水溶性 ^{137}Cs が9.9%、交換性 ^{137}Cs が22.7%あったが、FH層ではそれら可給態 ^{137}Cs は6.6%、鉍質土層表層では3.0%に過ぎなかった。一方、粘土鉍物や難分解性有機物に強く結合した ^{137}Cs は、有機物層FH層で91.8%、鉍質土層表層で95.5%と推定され、林床に存在する放射性セシウムの大部分は植物に吸収されない形態だった。

2016年8月初めのデータでは、試験地のFH層の ^{137}Cs 放射能密度は 328kBq/m^2 、鉍質土層の ^{137}Cs 放射能密度は 112kBq/m^2 だったので、それぞれ可給態 ^{137}Cs は 22kBq/m^2 と 3.4kBq/m^2 となり、林地の放射能全体の5.7%と見積もられる。

一方、2013年6月末に林床のリター層を取り除いた後に木材チップを敷きならした試験では、その後1年半で、土壤中の12%の放射性セシウムがチップ層に移行した。林内雨やリターフォールによる上からの林地供給の影響を割り引いても、10%近くは土壤から上方移行したと考えられ、それには土壤中の糸状菌が大きな役割を果たしていると考えられる。

3. 林地「除染」実験の結果

試験区に並列して、熊手を用いて有機物層L層を除去した試験区と、熊手除去に加えて鋤簾で有機物層すべてを剥ぎ取った試験区を2013年6月末に設定した。翌年8月に、それぞれの試験区に生育するコナラ属樹木（コナラとミズナラ）の各8本（計24本）の木材を幹中心まで成長錐と呼ばれる器具によって採取し、全体の放射能を測定した。

L層除去によって ^{137}Cs 林地集積量は43%減少し、有機物層除去によって同じく79%減少したが、林地供給量の減少は、L層除去区で19%、有機物層除去区で33%に留まった。

一方、対照区のコナラ・ミズナラ立木の幹材の ^{137}Cs 濃度は平均 502Bq/kg だったが、L層除去処理区で32%、有機物層除去処理区で37%の放射能削減効果があった。しかし、平均値ではいずれの処理によっても、シイタケ原木や菌床用培地の基準（それぞれ 50Bq/kg と 200Bq/kg ）をクリアできていなかった。

参考文献

山本理恵ほか（2014）原発事故被災地の丘陵地広葉樹斜面林における林床放射能低減試験とその後の水土流出. 日本緑化工学会誌 40: 130-135.

斎藤翔ほか（2015）林床処理を行った二次林と耕作地の土壌中放射性セシウムの存在形態. 日本緑化工学会誌 41: 3-8.