

平成27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 株式会社タップス)

日 時：2016(平成28)年2月19日(金曜日)

10時30分～16時00分

会 場：レンタルホール綿商会館 5F会議室

(東京都中央区日本橋富沢町8-10)

平成27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 プログラム

日 時:平成28年2月19日 10:30~16:00

会 場:レンタルホール綿商会館 5F会議室

開会の挨拶/招聘者の紹介10:30~10:40

1. P.4 櫻又涼子(環境省自然環境計画課)10:40~11:00
「野生動植物への放射線影響調査」
2. P.6 大町仁志(福島県環境創造センター研究部)11:00~11:20
「福島県内に生息する野生鳥獣の放射性セシウム濃度について」
3. P.8 難波謙二(福島大学環境放射能研究所)11:20~11:40
「福島大学環境放射能研究所の放射生態学研究」
4. P.11 玉置雅紀(国立環境研究所)11:40~12:00
「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」

昼食12:00~13:00

5. P.13 久保田善久(放射線医学総合研究所)13:00~13:20
「福島で捕獲した野ネズミの染色体異常調査」
6. P.15 山本裕(日本野鳥の会)13:20~13:40
「ツバメとカラ類への放射性物質の影響調査」
7. P.17 松本陽(東京海洋大学)13:40~14:00
「福島第一原発事故後に放射性セシウム濃度の低下が遅い魚種とその要因」
8. P.19 Vasyl Ioshchenko(福島大学環境放射能研究所)14:00~14:20
「アカマツにおける形態学的変化~2014年から2015年の観察結果より~」

休憩14:20~14:40

9. P.22 五味高志(東京農工大学)14:40~15:00
「捕食-被食関係における餌資源寄与率を用いた¹³⁷Cs移行係数の適用-イワナを事例として-」
10. P.24 金子信博(横浜国立大学)15:00~15:20
「放射性セシウムによる土壌生物の汚染状況-2011年と2015年の比較」
11. P.26 川口勇生(放射線医学総合研究所)15:20~15:40
「ヒト以外の生物の放射線防護における線量評価の枠組み」

全体質疑応答15:40~16:00

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。）事故に伴う放射性核種の拡散による周辺地域の野生動植物への影響を把握するため、福島第一原発の旧警戒区域内外における高線量地域及び低線量の地域において、指標となる野生動植物の試料の採取及び影響の分析評価を行っている。

2. 環境省で実施した調査結果のまとめ

(1) 放射線による野生動植物への影響調査

①試料採取

国際放射線防護委員会（ICRP）の定めた「標準動物及び植物」の考え方に基づいて選定した種を中心に、現地での採取可能性を考慮して、旧警戒区域及びその周辺で試料を採取した。その際、可能な限り種の同定まで行い、外部形態を確認した。これまで試料採取した動植物のうち、モミで外部形態の変化が確認されたが、放射線との因果関係は明らかとなっていない。

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、ウシガエル、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、キンナガゴミムシ、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

②放射性核種濃度測定

旧警戒区域内外採取したほ乳類、鳥類、は虫類、両生類、魚類、無脊椎動物、植物、環境試料（水、土壌）について、セシウム 134 及びセシウム 137 の放射線核種濃度を測定した。

③被ばく線量率の評価

測定した放射性核種濃度を用いて被ばく線量率の推定を行った。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て、より大きな影響が生じうる条件を設定して保守的な推定を行った。具体的には、環境試料と生物試料の放射性核種濃度から ERICA ツール^{*1}を用いて算出した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^{*2}して、ICRP の誘導考慮

参考レベルを超過するかどうか、どのような影響が生じるかの評価を行った。

平成 26 年度に被ばく線量率の評価を行った約 40 種類の動植物のうち、一部の地域/動物種で、繁殖率低下、寿命短縮、罹患率の上昇、繁殖成功率の低下等の可能性が否定できない程度の数値が得られた。

※ 1 : 欧州原子力共同体が、環境の放射線防護を目的としたスクリーニングのために開発した線量評価に用いるソフトウェア。

※ 2 : サンプルの不確実性等を考慮し、念のため、統計上ありうる被ばく線量率 (95% タイル値) を用いて保守的な評価を実施。被ばく線量率は、指数分布するとの ERICA ツールの仮定に基づき、95% タイル値と平均値との比である 3 を安全係数として平均的な被ばく線量率に乗じて算出。

表 2 平成 26 年度被ばく線量率の評価の結果 (※)

種類	1 日当たり被ばく線量率 (mGy/日) と影響の程度を目安					
	<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	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、繁殖成功率低下	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	繁殖成功率低下の可能性	罹患率の上昇	胚の発生異常
ツバメ						
両生類	自然放射線レベル	情報なし	情報なし	明白な影響の情報なし	明白な影響の情報なし	卵の早期死亡
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、繁殖成功率低下	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	影響の可能性小	若干の繁殖成功率低下及び罹患率の上昇
ミミズ						
植物	自然放射線レベル	情報なし	情報なし	罹患による構造・形態の異常、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早期死亡、生育阻害、繁殖成功率低下	長期被ばくによる一部個体の早期死亡
アカマツ						
モミ						

※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、環境試料と生物試料の放射性核種濃度から ERICA ツールを用いて算出した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。

Summary

The Ministry of the Environment has been collecting samples of wild fauna and flora from in and out of the 20 km radius of the Fukushima Dai-ichi NPP since the autumn of 2011. Concentration and dose rates of radiocesium in the collected samples were estimated in this study. Within our 5-year research, we have observed several results such as the possibility of minor changes in reproduction rates. The possibility of the influence of radiocesium to these results is not entirely excluded, yet further research is required to refine the procedure for evaluating results.

福島県内に生息する野生鳥獣の放射性セシウム濃度について

Radiocesium concentration of wildlife muscles in Fukushima

溝口俊夫¹、大町仁志¹、伊藤正一²

¹福島県環境創造センター研究部、²福島県生活環境部自然保護課

T. Mizoguchi¹, H. Oomachi¹, S. Ito²

¹Division of Research, Centre for Environmental Creation, Fukushima Prefecture, ²Nature Conservation Division, Social Affairs and Environmental Department, Fukushima Prefecture

【はじめに】

東京電力福島第一原子力発電所の事故は、放射性物質による広大な範囲の環境汚染を生じさせた。自然環境に生息する野生鳥獣も例外ではなく、環境中の放射性物質を餌種などから体内に取り入れたことにより、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、事故直後の2011年から狩猟者及び県民の生活環境の安全・安心を確保するため、主に食用となり得る狩猟対象の野生鳥獣について、筋肉に含まれる放射性核種濃度のモニタリングを実施している。また、2013年からは、環境から野生鳥獣体内への放射性物質の移行メカニズムの解析等を行う「野生動物における放射性核種の動態調査事業」を行っている。事故から約5年が経過し、モニタリング及び調査事業により得られた野生鳥獣の放射性セシウム濃度に関する知見について報告する。

【結果と考察】

野生鳥獣体内における放射性核種濃度の測定については、イノシシ、ツキノワグマ、カモ類、キジ類などの有害捕獲個体・狩猟個体を用い、筋肉に含まれるガンマ線放出核種の測定(湿潤重量)を行っている。2011年10月のモニタリング開始以降、これまでのところセシウム134 (Cs134) とセシウム137 (Cs137) 以外は検出限界値未満となっている。県のHPでは、Cs134 と Cs137 の合計値としてモニタリング結果を公表しているが、物理的半減期の点から Cs137 を分析対象とし、2011～2014年度におけるイノシシ、ツキノワグマ、カモ類、キジ類などの筋肉中に含まれる Cs137 濃度の年次推移について報告する。図1に示すように、イノシシでは事故翌年の2012年度にピークが見られるが、それ以外の変動は確認できない。一方、図2に示すように、ツキノワグマについては減少傾向がみられるなど、野生鳥獣の種により異なる傾向が確認された。

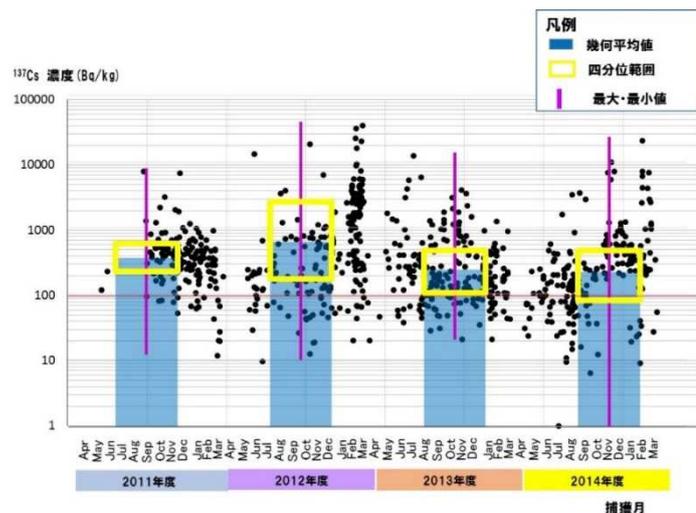


図1 イノシシの筋肉中におけるセシウム137濃度の時系列変化(福島県 2011-2014年度)

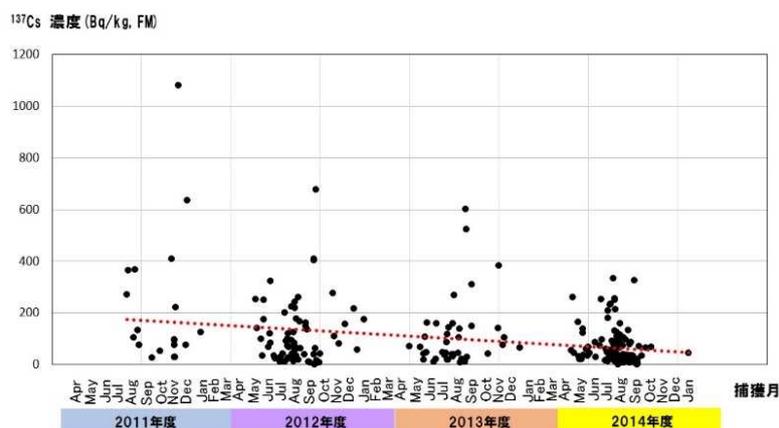


図2 ツキノワグマの筋肉中におけるセシウム137濃度の時系列変化（福島県 2011-2014年度）

これらの結果から、野生鳥獣の筋肉中に含まれる Cs137 濃度は、生息環境あるいは食性など、様々な要因が関与していると考えられる。今後はこれらの要因を踏まえ、環境から野生鳥獣体内への Cs137 移行について調査研究を進める予定である。

summary

We aimed to secure safety and security to hunters and residents, we measured the concentration of radiocesium in wildlife muscles. There seemed to be a tendency to decrease the concentration of radiocesium about the asiatic black bear. But a tendency was not seen in the concentration of radiocesium in the wild boar. Radiocesium concentration in muscle, It seemed to vary according to a variety of factors, such as habitat or feeding habits.

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・トーマス ヒントン・奥田圭・オレナ パレニユーク
福島大学環境放射能研究所

Kenji Nanba, Vasyl Ioschenko, Toshihiro Wada,
Hirofumi Tsukada, Thomas Hinton, Kei Okuda, Olena Pareniuk
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概要を昨年度の本ワークショップで紹介させていただいた。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こともそのなかで述べたが、その後、2015 年10 月までに、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全に含まれる全ての14 の分野に人員が配置された。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5、准教授2、助教2、のほか、福島大学共生システム理工学類との兼任教員5 名であり、これらの合計21 名が全14 分野を各1-3 名で担当している。研究連携部門の1 分野がまだ空席となっている以外は、人員の点では研究体制が整ってきた。昨年ふれた建物は、「本棟」の建設が建設費用の高騰により、着工まで難航し、当初予定よりもかなり遅い2017 年春の完成予定である。今後、大学院設置を含む人材育成機能の充実や共同利用施設としての整備を計画している。本年度もIER の紹介をさせていただくが、野生動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中心に紹介する。

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」、「野生動物放射線影響学」、「放射能植物影響学」の5 分野がある。

「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、浪江町津島等にオブザバトリサイトを設定し、スギ林で、林内雨、樹幹流、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(Ioschenko et al., 2015)。また、他の研究機関からの訪問研究者も、この森林を活用して、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、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。今後、ノネズミ類等 ICRP のリファレンス動植物のうち、採集可能なものをさらに採集するとともに、動植物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、この調査研究報告会内で詳細な発表のあるマツの形態異常の観察が行われているほか、森林植物への影響と土壌微生物の群集構造の変化とを関連づけを試みている。

「陸水放射生態学」では、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出荷等制限されている(Wada, 2016)。これに基づき、阿武隈川漁協では震災以降全面禁漁としている一方で、東日本大震災後にチャネルキャットフィッシュの増加が顕著になってきており、新たな生態系かく乱の懸念要因となっている。魚類への放射線影響として、組織学的および細胞学的な変化が免疫応答として発生している可能性が指摘されている(鈴木, 2015)。IER では帰還困難区域内のため池の漁種への放射能移行状況調査をIERの放射能地球科学部門放射能水文学分野による環境調査と協調して進めてきており、ここで捕獲される魚類を使った放射線影響研究への寄与も模索中である。

「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進めてきている(塚田, 2014)。土壌中の放射能の存在形態を決定する要因の特定と、そこから得られる植物への放射能移行抑制手法は農業分野で既に成果を上げてきており、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、ユズなど一部の果実で基準値を超える移行の懸念から出荷制限が要請されており、今後、対策が必要となるであろう。また、現在避難区域となっている場所への帰還さらに営農再開においてもこの部門の役割は大きい。

「野生動物放射線影響学」では、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ほか、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の枠組みを構築中である。近くで捕獲されたイノシシでも、行動範囲が異なるため、外部被ばく線量が大きく異なることが予想されるため、動物への影響研究を行う上では、被ばく線量の個体ごとの評価が不可欠である。現在、線量計とGPSとを備えた首輪(Hinton, 2015)を複数のイノシシに装着し、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開始している。

3. その他

森林の線量や、野生動物の個体数増加などは、避難指示解除後の住民の帰還を巡って懸念材料となっている。野生生物への影響もまた、ヒトへのアナロジーの点でそのような要素でもある。一方、いずれの分野についても、その研究が生態学や生理学、免疫学等の分野で生物学の基礎的な知見につながる要素を持っている。IER では地域的な課題と基礎的な課題との両方の視点でアプローチするとともに、それらの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。

4. 引用文献

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. *土肥誌* 85:77-79.

鈴木讓 (2015) 放射能汚染地域のため池に棲むコイの健康状態. In 「福島原発事故による周辺生物への影響に関する専門研究会」報告書(今中哲二・福本学編) pp.92-97, 京都大学原子炉実験所

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.

Ioschenko et al. (2015) Radiocesium distributions and fluxes in the forest ecosystems of Chernobyl and Fukushima. *EGU General Assembly Conference Abstracts* 17:12492.

summary

In the division of Radioecology of the Institute of Environmental Radioactivity at Fukushima University, influences of the contamination after the FDNPP accident on wild life are studied besides the transfer of radiocesium in the various systems and environment, including the forest ecosystem, fish in the freshwater environment, soil-plant system and wild mammals. Dosimetry of wild bores using collars equipped with GPS and dosimeter has started in Namie. This study has a scope to see the emergence of various (ie, cytological, genetical etc.) influences on the animal in relation to the dose it has exposed to. A study of morphological change of pine trees in Fukushima has also started.

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、大沼学、吉岡明良、深澤圭太
国立環境研究所

Masanori Tamaoki, Manabu Onuma, 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はヒトのみならず野生生物にも影響が及ぶ可能性が危惧される。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. 野生齧歯類を指標とした放射線生物影響の長期モニタリング

2012年～2014年に捕獲したアカネズミの年間総被ばく量を推定したところ、総被ばく量の70%以上が外部被ばくであることを昨年報告した。外部被ばくの原因は放射性セシウムに由来するガンマ線である。ガンマ線は細胞内に活性酸素を発生させDNA損傷を引き起こす。8-ヒドロキシ-デオキシグアノシン(8-OHdG)は活性酸素によってグアニン塩基が酸化されて形成されるもので、活性酸素が原因のDNA損傷を検出するいわゆる酸化ストレスマーカーとして利用されている。

今年度は放射線感受性の高い精巣組織を対象に8-OHdGの免疫染色解析を行った。福島県、富山県、青森県で捕獲したアカネズミの精巣組織について8-OHdGの免疫染色を行い、ランダムに選択した100個の精細管を観察した。その結果、福島で捕獲したアカネズミの精巣で観察される8-OHdG陽性の精細管数が3年間とも他の地点よりも有意に多かった。この結果を検証するため、宮崎大学で維持されているアカネズミの繁殖コロニーを利用してX線の照射実験を行った。まず予備実験として照射線量を100mGyに設定した。これは福島県内のアカネズミ捕獲地点で2013年以降に被ばくする線量と同等である。照射後、同様の方法で精巣組織を評価したところ、X線照射を受けたアカネズミで8-OHdG陽性細胞を含む精細管数が多くなる傾向が見られた。今後、定量的な解析を行う予定である。

3. 低線量放射線によるDNA損傷を評価する植物の開発

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。これまでに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、植物の持つ DNA 修復能力により速やかに修復できる事、(2) 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、前年度までに開発した植物の培養細胞化を行った。培養細胞化により、光（紫外線）、温度、乾燥等の影響を排除でき、より低線量放射線影響を見ることが出来ると予想される。その結果、低線量放射線による DNA 損傷を定量的に評価できる培養細胞を確立できた。今後は現場土壌にて DNA 損傷評価を行う予定である。

4. 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 年度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、2014 年 5 月から 7 月にかけて、47 地点においてマレーズ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、キムネクマバチのように避難区域内ではほとんど採集されない種が見られた。これは、餌資源となる園芸植物が住民避難後減少したためかもしれない。避難区域内外で分布パターンの違いが見られた分類群は環境指標として有効である可能性があるが、現時点ではデータが限られており、結果の解釈には注意が必要である。

哺乳類については、2014 年 10 月までにカメラ総稼働時間 148,590 時間の調査を実施し、18 種のべ 2363 個体の撮影記録を得た。イノシシは中大型哺乳類では最も多いのべ 457 個体の出現があり、避難指示区域内でより高頻度で撮影された。また、当該地域で既存の記録が少ないツキノワグマの撮影記録も浪江町にて 1 例得られた。移入種・外来種としては、ネコ・イヌ・ハクビシン・アライグマが撮影され、ハクビシンは避難指示内外で広く撮影された。アライグマは 4 例の撮影記録があり、いずれも避難指示区域内の記録であった。撮影頻度の地図情報は、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中であり、受理段階で生データが利用可能な形で公開される。

summary

We have been carried out many researches for environmental disaster after FDNPP accident. Those include research for impacts on wild organisms and ecosystems in Fukushima. Here, we introduced following three topics carried out in our institute. (1) Wild Japanese field mice (*Apodemus speciosus*) were captured in a high-gamma-dose area in Fukushima and in low-gamma-dose areas (Aomori and Toyama). The histochemical observations of testis and determination of malformation rate in sperm were carried out. (2) 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. (3) 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.

福島で捕獲した野ネズミの染色体異常調査

Investigation of Chromosomal Aberration in Wild Mice Captured at Region Contaminated by Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant Accident

久保田善久

国立研究開発法人放射線医学総合研究所福島復興支援本部環境動態・影響プロジェクト

Yoshihisa Kubota

Project for Environmental Dynamics and Radiation Effects, Fukushima Project Headquarters,
National Institute of Radiological Sciences, 4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba 263-8555, Japan

東京電力福島第1原子力発電所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の環境省の調査業務「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。その調査の一環として捕獲した野ネズミを利用し、放射線影響研究を実施した結果を報告する。

放射線の生物影響として、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影響の中で急性照射による線量効果関係が人や実験ネズミで明らかにされている染色体異常を影響指標として選択した。福島で捕獲した野ネズミで染色体異常試験を実施するため、野ネズミ（日本の固有種であるアカネズミ、ヒメネズミ）の捕獲を帰還困難区域2地点と区域外1地点の計3地点で平成24年1月より継時的に実施してきた。

安定型染色体異常（転座）を検出する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。また、染色体異常解析を行ったヒメネズミ各個体の外部被ばく線量率、内部被ばく線量率及び週齢を推定することにより総被ばく線量を計算し、被ばく線量と染色体異常の関係を明らかにした（引用文献1、2参照）。

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一昨年より取り組み、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、福島の上記の3地点で捕獲したアカネズミの安定型染色体異常頻度を解析したところ、ヒメネズミの2動原体染色体頻度とほぼ同様に捕獲場所の空間線量率に依存して染色体異常の頻度が増加した。

引用文献

1. Estimation of absorbed radiation dose rates in wild rodents inhabiting a site severely contaminated by the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident
Kubota, Y., Takahashi, H., Watanabe, Y., Fuma, S., Kawaguchi, I., Aoki, M., Kubota, M., Furuhashi, Y., Shigemura, Y., Yamada, F., Ishikawa, T., Obara, S., Yoshida, S.

2. Chromosomal aberrations in wild mice captured in areas differentially contaminated by the Fukushima Dai-Ichi nuclear power plant accident

Kubota, Y., Tsuji, H., Kawagoshi, T., Shiomi, N., Takahashi, H., Watanabe, Y., Fuma, S., Doi, K., Kawaguchi, I., Aoki, M., Kubota, M., Furuhashi, Y., Shigemura, Y., Mizoguchi, M., Yamada, F., Tomozawa, M., Sakamoto, H. S., Yoshida S.

Environ. Sci. Technol., 49, 10074 - 10083, 2015-08, DOI:10.1021/acs.est.5b01554

summary

In order to study environmental effects of TEPCO Fukushima Dai-ichi NPP accident, unstable (dicentric) and stable (translocation) chromosomal aberrations were examined in splenic lymphocytes of small Japanese field mice (*Apodemus argenteus*) and large Japanese field mice (*Apodemus speciosus*), respectively. Both chromosomal aberrations were shown to increase with ambient dose rate.

ツバメとカラ類への放射性物質の影響調査
Field study of the effects of radiation on Barn swallows, Japanese tit and Varied Tit

山本 裕
Y. YAMAMOTO
公益財団法人 日本野鳥の会
Wild Bird Society of Japan

1. はじめに

当会では、東京電力福島第一原子力発電所(以下、福島第一原発)の事故による鳥類など野生生物への影響調査を2012年より継続して行なっている。今回は、2013年～2015年にかけての当該地域におけるツバメの部分白化の出現頻度及びカラ類の巣材の汚染状況、鳥類への蓄積等について報告する。

2. 方法

(1) ツバメの部分白化の出現頻度

営巣中のツバメ成鳥の喉を対象に、部分白化の有無を双眼鏡(8～10倍)による目視、及びデジタルカメラ(望遠レンズ100-400mm装着)により可能な限り撮影し、観察個体中の部分白化の割合を調べた。

調査地は、2013年には、線量が比較的高い地域(福島県飯舘村・南相馬市・川俣町等の一部(以下、A地域))、線量が中程度の地域(宮城県角田市・丸森町(以下、B地域))、非汚染地域(東京都青梅市・あきる野市・奥多摩町(以下、C地域))の3地域で、2014年、2015年には中程度の汚染地域として、栃木県那須塩原市(D)、非汚染地域として、神奈川県川崎市(E)、新潟県上越市(F)を加えて同様の調査を行った。観察した巣は、位置情報の記録と巣直下の地上から約1mの空間線量の測定を行ない、一部の巣については繁殖終了後に採取し、巣材中の放射性セシウム濃度をゲルマニウム半導体検出器により測定した。

(2) カラ類の巣材の汚染状況

コケ類を主な巣材とするカラ類を対象に、線量が比較的高い地域(福島県富岡町, 2015年)、中程度の地域(福島県福島市, 2014-2015年)、非汚染地域(東京都八王子市, 2015年)に、巣箱を設置し、一週間～10日間毎に見回り、巣箱を利用するカラ類の一腹卵数や一腹雛数、巣立ち雛数を記録した。繁殖終了後には巣材を採取し、放射性セシウム濃度をゲルマニウム半導体検出器により測定した。

(3) 鳥類への蓄積

以上に加えて、調査中に拾得したツバメの死体(南相馬市)及びヤマガラ(富岡町)、シジュウカラ(八王子市)の未孵化卵について放射性セシウム濃度をゲルマニウム半導体検出器により測定した。また、ツバメについてはイメージングプレートにより、外部被ばくの有無や体各部での放射性物質の分布を調べた。

3. 結果及び考察

(1) ツバメの部分白化の出現頻度

ツバメの喉の部分白化は、2013年の調査では放射性物質の移流・拡散のあったA地域(N=81)とB地域(N=71)ではともに9.9%の割合で、部分白化個体が見つかったが、C地域(N=67)では見つからなかった。2014年の調査では、A地域で7.3%(N=151)、B地域で0.0%(N=37)、C地域では2.1%(N=48)、Dでは0.0%(N=21)、Eでは1.7%(N=121)、Fでは15.9%(N=44)であった。A地域の部分白化の割合はB地域、C地域に較べて高い傾向が見られたものの、福島第一原発から約250km離れたFでも高い頻度で部分白化が見られた。2015年の調査では、A地域で10.0%(N=90)、B地域で3.0%(N=33)、C地域では1.2%(N=85)、Dでは3.8%(N=26)、Eでは8.3%(N=60)、Fでは8.3%(N=48)となり、比較した地域間において汚染の程度と部分白化の割合に明確な傾向は認められなかった。

調査地の空間線量は、2013年から2015年にかけて減少する傾向が見られ、巣の放射性セシウム濃度も2013年と2014年の比較ではやや減少していた。これらのうち部分白化のツバメが見られた4巣の放射性セシウム濃度が特に高いという傾向は見られなかった。

以上より、巣直下の空間線量や巣の放射性セシウム濃度といった外的な要因のみで、部分白化の出現を関連づけることは難しいと考えられ、今後は生理学的な手法等を取り入れた研究を並行して進めていく必要があると思われた。

(2) カラ類の巣材の汚染状況

カラ類の巣材の線量は、2014年の福島市では平均で172,650Bq/kg(N=24)、2015年の富岡町で121,607Bq/kg(N=14)、福島市で127,741Bq/kg(N=29)、八王子市で1,393Bq/kg(N=11)であった。一腹卵数について、2015年の結果からは汚染地域と非汚染地域で顕著な差は見られなかった。一腹雛数、巣立ち雛数については、調査地での捕食圧が高く十分な比較ができなかった。

(3) 鳥類への蓄積

富岡町のヤマガラ未孵化卵からは、275.4Bq/kg(Cs-134:58.4Bq/kg, Cs-137:217.0Bq/kg)の放射性セシウムが検出された。八王子市のシジュウカラ未孵化卵(N=3)では、いずれも検出限界以下であった。

南相馬市のツバメ死体からは約425Bq/kgの放射性セシウムが検出され、イメージングプレートによる画像では、初列風切や総排泄腔周辺の汚染が確認された。当個体では2015年春に渡来して約1ヵ月の間に、外部被ばくと、昆虫などの餌を通じて放射性セシウムの体内への取り込みが継続的に起きていたことが示唆された。

Summary

We investigated the effects of radiation on barn swallows, Japanese tit and varied tit. About 10 % of frequency of partial albinism of swallows was detected in contaminated Fukushima areas in 2013, 2014 and 2015. On the other hand, 15.9% in 2014 and 8.3% in 2015 of partial albinism were detected in Joetsu City, which is non-contaminated area, respectively. Reason for the high frequency of partial albinism in Joetsu City is uncertain.

The contaminated level of radiocesium(Cs-134+Cs-137) in nest material of tit species were still high in Tomioka town and Fukushima city. There were no difference of clutch size of tit species between contaminated area and non-contaminated area in 2015.

福島第一原発事故後に放射性セシウム濃度の低下が遅い魚種とその要因
Explaining the reasons for the slower decrease in radioactive cesium concentrations in some
fish species after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant disaster

松本陽、荒川久幸
東京海洋大学

A. MATSUMOTO, H. ARAKAWA
Tokyo University of Marine Science and Technology

背景

福島第一原発（FDNPP）事故の結果、多量の放射性物質が海洋に放出された。放出された ^{137}Cs （以下、Cs）量は、3.5 PBq と推定された（Tsumune *et al.*, 2012）。また、そうした放射性物質は、ひと月よりも短い期間で放出されたことが報告されている。事故直後、高濃度の放射性物質を含んだ水塊は沿岸流とともに FDNPP 南部に移送され、さらに黒潮属流に到達した後、東方に拡散したと考えられている（Yoshida and Kanda, 2012; Kawamura *et al.*, 2011; Honda *et al.*, 2012）。こうした水塊の移送と拡散により、沿岸海水、海底堆積粒子および多くの海洋生物が放射能に汚染された。2011 年 4 月に高濃度に汚染された海洋生物が採取された後、福島県の漁業は全面的に操業自粛に追い込まれた。その後、多くの魚種で放射性 Cs 濃度は経時的に低下したが、濃度低下が極めて遅い魚種（シロメバル等）も見られた。本発表では、こうした魚種を含む海洋生物の放射性 Cs 濃度の 4 年にわたる経時変化を報告し、放射性 Cs 濃度の低下が遅い生物種が存在する要因の特定を試みた。

方法

まず、(1) 種ごとに放射性 Cs 濃度の分布とその経時変化について、さらに(2) 生物の移動による放射性 Cs の拡散を調べ、(3) いくつかの魚種における放射性 Cs 濃度の低下が遅い要因を検討した。

(1) 福島県いわき市（四倉と江名）と相馬市に 3 か所の採取地点を設定した。海洋生物、海水および堆積粒子は、2012 年 5 月から 2014 年 5 月にかけて採取した。採取した生物および試料中の放射性 Cs 濃度は、ゲルマニウム半導体検出器により計測した。得られた濃度の値から種ごとに生態学的半減期を推定した。

(2) バイオテレメトリーによる行動把握には、シロメバル (*Sebastes cheni*) とコモンカスベ (*Okamejei kenojei*) の 2 種を対象種として選択した。外科的手術により超音波ピンガーを魚体内に挿入し、経時的な行動を 1 年間記録した。

(3) 生物学的半減期の推定のために室内水槽でシロメバルを 1 年間飼育し、経時的に放射性 Cs のカウント数を計測した。得られた値から生物学的半減期を推定した。

結果と考察

(1) 海藻・海草、無脊椎動物および魚類中の放射性 Cs の生態学的半減期が推定された。海藻・海草では、39–130 日であり、経時的な減少が顕著であった。同様に、無脊椎動物と魚類でも放射性 Cs 濃度は経時的に減少していた。多くの魚種における生態学的半減期は、36–281 日と推定された。しかしながら、底生または定着性が強いシロメバル（367 日）やコモンカスベ（560 日）等の魚種では、比較的長い生態学的半減期が見られた。

(2) いわき市に設定した対象海域内の魚類の移動による拡散は、超音波バイオテレメトリーにより調査された。実海域において、シロメバルは通年同一の岩礁帯（半径 200 m）に定着していた。

(3) シロメバルを含む様々な魚種における放射性 Cs 濃度の低下の遅さの要因を特定するために、シロメバルの生物学的半減期を飼育実験により明らかにした。シロメバルの放射性 Cs の生物学的半減期は、約 270 日であり他の海産魚で報告されている値よりも長いことが示された (Matsumoto *et al.*, 2015)。

結論

FDNPP 事故後、多くの海洋生物は放射性物質で汚染された。多くの種では経時的に濃度は低下した。しかしながら、濃度低下が遅い魚種も見られた。この原因として、これら魚種の代謝の遅さが起因すると考えた。福島沿岸において汚染された海洋生物の放射能モニタリングは、今後も継続する必要がある。

引用文献

- Honda, M. C., Aono, T., Aoyama, M., Hamajima, Y., Kawakami, H., Kitamura, M., Masumoto, Y., Miyazawa, Y., Takigawa, M., Saino, T. (2012) Dispersion of artificial caesium-134 and -137 in the western North Pacific one month after the Fukushima accident. *Geochem. J.*, 46(1) : e1–e9.
- Kawamura, H., Kobayashi, T., Furuno, A., In, T., Ishikawa, Y., Nakayama, T., Shima, S., Awaji, T. (2011) Preliminary numerical experiments on oceanic dispersion of ¹³¹I and ¹³⁷Cs discharged into the ocean because of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant disaster. *J. Nucl. Sci. Technol.*, 48(11) : 1349–1356.
- Matsumoto, A., Shigeoka, Y., Arakawa, H., Hirakawa, N., Morioka, Y., Mizuno, T. (2015) Biological half-life of radioactive cesium in Japanese rockfish *Sebastes cheni* contaminated by the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *J. Environ. Radioact.*, 150 : 68–74.
- Tsumune, D., Tsubono, T., Aoyama, M., Hirose, K. (2012) Distribution of oceanic ¹³⁷Cs from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant simulated numerically by a regional ocean model. *J. Environ. Radioact.*, 111 : 100–108.
- Yoshida, N., Kanda, J. (2012) Tracking the Fukushima radionuclides. *Science*, 336(6085) : 1115–1116.

summary

In this study, we report changes in radioactive cesium concentrations of marine organisms over the 4 year since the accident and attempt to identify the reason for the slower decrease in radioactive concentrations observed in some fish species. We examined (1) the distribution and changes in radioactive Cs concentrations in individual marine organisms, (2) the dispersion of radioactive Cs attributable to fish movement, and (3) the reason for the slower decrease in the radioactive concentrations in several fish species (e.g. Japanese rockfish and others). Results show that the biological half-life of radioactive Cs of the Japanese rockfish was ca. 270 days longer than in other marine fish.

Morphological changes in Japanese red pine. Results of observations performed in 2014-2015

アカマツにおける形態学的変化～2014年から2015年の観察結果より～

V. IOSHCENKO¹, K. NANBA¹, N. SATO¹, K. KEITOKU¹, Y. WATANABE²

¹ Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University

² National Institute of Radiological Sciences

1. Background

In our previous report (Ioshchenko et al., 2015) we suggested the plant species in Fukushima zone, which potentially could be impacted by radiation at the morphological level. Based on the results of the Chernobyl studies (Kozubov and Taskaev, 2002), coniferous demonstrate the highest radiosensitivity among the tree species, especially in the juvenile age (Ioschenko et al., 2011). Moreover, morphological changes (cancelling of the apical dominance) in the main tree species in Chernobyl zone, namely in Scots pine (*Pinus Sylvestris*), occur at the levels of the chronic radiation dose rate which also can be found in Fukushima zone. Our observations in Fukushima zone in 2014 showed high frequency of the same changes in the young trees of Japanese red pine (*Pinus Densiflora*). Later, similar changes were found in native Japanese fir trees (*Abies firma*) growing near the Fukushima Daiichi NPP (Watanabe et al, 2015).

In 2015 we continued observations in Fukushima zone. Our tasks for 2015 included

- field study in the populations of young trees of Japanese red pine growing under different exposures for identification of the typical morphological changes, determination of their frequencies and age patterns;
- development of the approach for assessment the doses to the trees;
- search for other potentially radiosensitive tree species in Fukushima zone.

2. Methods

Our study has been carried out at the populations of the young trees (up to 6 years old) of Japanese red pine growing at 7 locations in Fukushima prefecture (Table 1).

Table 1. Observations summary

Date	Location	\dot{D} , $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Trees	Trees with changes	Frequency of changes
2014/07/25	Yamakiya	1.1±0.1	45	5	0.11
2014/12/25	Murohara	8.0±0.5	45	12	0.27
2015/05/27	Akibadai	6.5±0.5	83	44	0.53
2015/10/30	Tsushima 1	6.8±0.2	50	21	0.42
2015/12/04	Tsushima 2	5.2±0.2	45	14	0.31
2015/12/04	Ōkuma	10.0±0.5	64	27	0.42
2016/01/12	Fukushima University Campus	0.33±0.05	92	13	0.14

At each observation place, we selected at the regular basis up to 100 compact located trees and analyzed each tree for the presence and type of the morphological abnormalities. Total numbers of the analyzed trees and the trees with morphological changes were recorded. At each location, average air dose rates, \dot{D} , and their STD were derived from the results of the individual measurements in several (up to 10) points at the heights of the trees' tops. In 2015 we added recording of age of each tree and age of the tree at the moment when the change occurred for the first time. However, two populations among those surveyed in 2014 had been destroyed later during the decontamination actions performed at these locations (Yamakiya and Murohara), and the age patterns of formation of morphological abnormalities in these

populations are not available.

For recalculation of the measured air dose rate values to any moment of time in the past, we used the data on the radionuclide composition of Fukushima release (Steinhauser et al., 2014) and the air kerma values presented in Gusev and Beliaev (1991). Effects on the dose rate of the radiocesium redistribution within the studied areas with the lateral wash-off and due to its vertical migration in the soil profile were neglected.

3. Results

In each studied population of Japanese red pine except those in Yamakiya and at the FU Campus we found the high frequency of cancelling of the apical dominance (Table 1, Fig. 1a), while other abnormalities were rare. Ages of the trees in the populations were different, which means that at each location they were exposed to the different doses in the past. In order to address this difference, we calculated the average air dose rate for each tree in the year of its germination (or in 2011 if the tree was germinated before and for the trees in Yamakiya; the population in Murohara was excluded from the further consideration). Calculated dose rate values represent the highest dose rates (year average) each tree was exposed to. Contribution of internal radiation into the total dose rate can be neglected because of the low radiocesium uptake into biomass, especially in the first years after the accident when most of the trees were germinated. The trees from all populations were divided into groups according to these highest dose rates, and for each group the value of frequency of morphological changes was calculated as the ratio of the number of trees with the changes to the total number of the trees in the group. Obtained results (Fig. 1b) demonstrate a significant increase of the morphological changes frequency with increase of the dose rate, which can be interpreted as a confirmation of the radiation effect to the studied species.

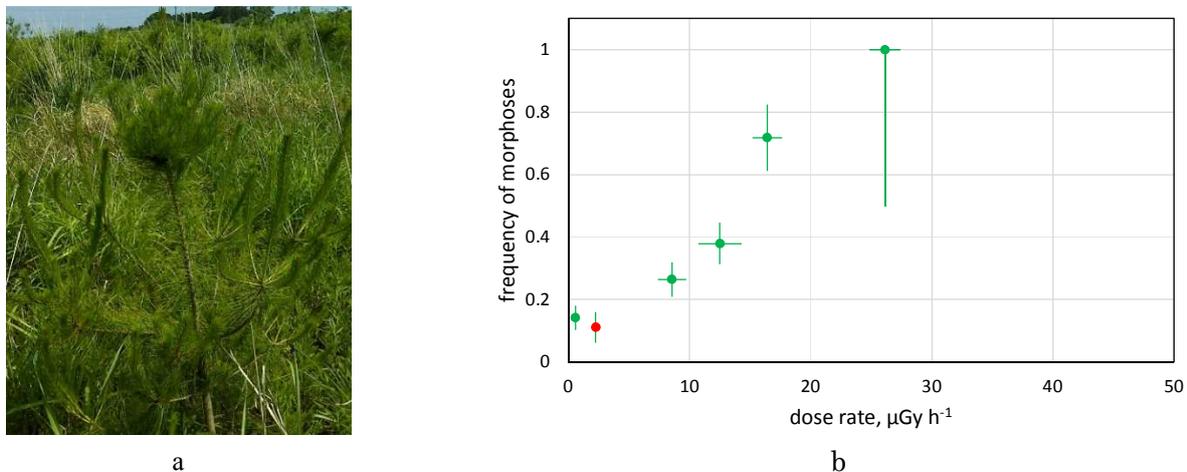


Fig. 1. Cancelling of apical dominance in Japanese red pine in Fukushima zone: example of the effect (a) and dependence of its frequency on the dose rate (b). Red point represent the population in Yamakiya.

4. References

- Gusev NG and Beliaev VA. Radioactive releases in atmosphere. 1991.
- Ioshchenko V et al. 福島における植物への放射線影響調査. Research on effect of radiation on plants in Fukushima. 2015, 平成 26 年度 野生動植物への放射線影響に関する意見交換会 要旨集 5: 17-19.
- Kozubov GM and Taskaev AI. Radiobiological studies of coniferous species in the area of the ChNPP accident, 2002.
- Steinhauser G et al. Science of the Total Environment 2014, 470–471: 800–817.
- Watanabe Y et al. Scientific Reports 2015, 5:13232 | DOI: 10.1038/srep13232.
- Ioschenko VI et al. Health Physics 2011, 101: 393-408.

摘要

- ・本研究の目的は、福島県内で生育する樹種に放射線による形態異常が発生しているかどうかを確認し、形態異常の発生の線量依存性を定式化することである。
- ・2014年から2015年にかけて福島県内の複数の地点に生育しているアカマツ (*Pinus densiflora*) の若木を調査したところ、頂芽優勢の消失が高頻度で観察された。
- ・頂芽優勢の消失が起きる頻度が、発芽後1年間に受けた線量率に応じて高くなることが分かった。
- ・形態異常発生の経年変化についても研究をおこなった。

捕食-被食関係における餌資源寄与率を用いた¹³⁷Cs移行係数の適用
-イワナを事例として-

Application of diet contribution for estimating ¹³⁷Cs transfer factor in food web:
An example of white spotted char

五味高志¹, エナムル・ハック¹, 境 優²

¹東京農工大学, ²中央大学

Takashi Gomi¹, MD Enamul Haque¹, Masaru Sakai²

¹Tokyo University of Agriculture and Technology, ²Chuo University

はじめに

森林では物質循環として陸域と水域の生態系が密接に関わっており、森林から供給されるリターに¹³⁷Csが付着し (Teramage et al., 2014)、溪流生態系の基礎生産としてのリターを介して¹³⁷Csが生態系内の上位捕食者に移行していくことが予想される。¹³⁷Csの生物相への移行は、「移行係数」が用いられている (IAEA, 2009)。一般的に移行係数は、土壌や水などの¹³⁷Cs濃度に対する、生物相の濃度から計算される。しかし、このような移行係数は、摂食による¹³⁷Cs移行を適切に表していない問題点もある。この問題点に対して、食物網の捕食-被食関係を考慮した移行係数も提案 (Zhao et al., 2001) されているものの、捕食者に対して一種類の被食者の濃度から計算するなど、実際の依存餌資源量や餌資源により異なる¹³⁷Cs濃度などを考慮できない課題もある (Clements and Newman, 2002)。本研究は、捕食者の依存餌資源の寄与率を推定し、¹³⁷Cs濃度と寄与率から、捕食-被食間における¹³⁷Csの移行を評価できる新たな移行係数を検討した。ここでは、日本の山地溪流に広く分布し、溪流生態系の上位捕食者であり、かつ内水面漁業資源としても重要なイワナ (*Salvelinus leucomaenis*) を対象とした。イワナは、季節によりエサ資源の依存度が陸生や水生などに変化し、餌資源となる陸生や陸生生物の¹³⁷Cs濃度は大きな違いがあることが報告されている (Sakai et al., 2016)。

調査地と方法

本研究は、福島県二本松市東和地区に位置する阿武隈川水系上流の大沢川流域 (170ha) を対象とした。大沢川流域はスギやヒノキを主体とした人工林に覆われ、溪岸沿いまで植栽木が存在する。調査地の2012年6月の¹³⁷Cs沈着量は300~600kBq/m²である。年平均降水量は1248mm、年平均気温は10.9°Cである。2012~2013年にイワナを捕獲し、採取個体の体長と全長の計測後、一部は放射性物質測定用試料として持ち帰った。筋肉はGe半導体検出器で放射性物質濃度を測定した。溪流内への落下昆虫については、溪岸にトロ箱 (パントラップ) を設置し、生物を採集した。流下および底生昆虫の採取は、ドリフトネットとキックネット法を用いて実施した。採取サンプルは、目レベルまで可能な限り同定し、分類群ごとに¹³⁷Cs濃度を測定した。各サンプルは、炭素 ($\delta^{13}\text{C}$) と窒素 ($\delta^{15}\text{N}$) の安定同位体比分析を行った。餌資源の寄与率の推定は混合モデル (SIAR, version-4) を用いた (Inger et al., 2006)。

結果と考察

イワナの¹³⁷Cs濃度は1211~6148Bq/kg-dryであった。溪流の底質土壌や溪流内落葉の¹³⁷Cs濃度は、それぞれ5857±1711 Bq/kgと6438±1509 Bq/kgであった (Sakai et al., 2015)。生息環境とイワナの¹³⁷Cs濃度を用いた移行係数は、底質-イワナは0.34±0.18、溪流内落葉-イワナは0.31±0.17となり、希釈の傾

向が示された。

安定同位体分析比の結果から、イワナの餌資源は、サナエトンボ (*Gomphidae* spp.) やモンカゲロウ (*Ephemera japonica*) が 3~11% の寄与率、サワガニ (*Geothelphusa dehaani*) やカマドウマ (*Rhaphidophoridae* spp.) の寄与率が 4~12% となっていた。 ^{137}Cs 濃度は、陸生生物より水生生物で 4 倍程度高い傾向がみられた (Sakai et al., 2016)。この寄与率に対して、摂食 ^{137}Cs 濃度を計算し、移行係数を算出した結果、1.1~3.7 となり濃縮傾向がみられた。

また、体長の大きい個体で移行係数が高くなり (図-1)、摂食量と代謝の違いが移行係数に影響したと考えられた。

以上から、本研究で示した移行係数の算出方法は、複雑な生態系における捕食-被食関係における ^{137}Cs の移行量 (Sakai et al., 2016; 渡邊ら, 2015 など) を評価する上では有効な手法であると考えられた。本研究結果から、生態系における食物網を考慮したモデル化の構築、および生態系の基礎となる落葉の ^{137}Cs 濃度の経過や除染による逡減効果 (Sakai et al., 2014) に伴う生物への ^{137}Cs 移行量変化を評価できる手法構築を進めている。

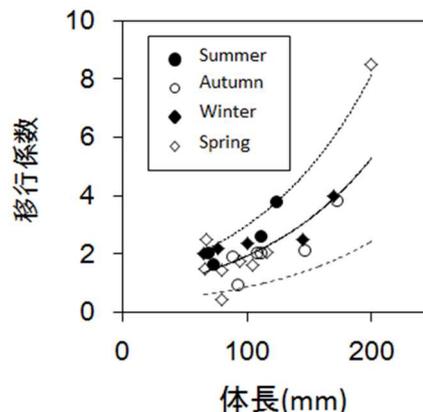


図-1 イワナの体長と移行係数

引用文献

- Clements WH, Newman MC. 2002. Community Ecotoxicology. John Wiley and Sons. 336pp.
- IAEA, 2009. Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments. IAEA-TECDOC-1616. P.O. Box 100 A-1400 Vienna, Austria.
- Inger R, Jackson A, Parnell A, Bearhop S. 2006. SIAR V4 (Stable Isotope Analysis in R): An Ecologist's Guide. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Sakai M, Gomi T, Negishi JN, Iwamoto A, Okada K. 2016. Different cesium-137 transfers to forest and stream ecosystems. Environmental Pollution 209: 42-52.
- Sakai M, Gomi T, Naito SR, Negishi JN, Sasaki M, Toda H, Nunokawa M, Murase K. 2015. Radiocesium leaching from contaminated litter in forest streams. Journal of Environmental Radioactivity 144:15-20.
- Sakai M, Gomi T, Nunokawa M, Wakahara T, Onda Y. 2014. Soil removal as a decontamination practice and radiocesium accumulation in tadpoles in rice paddies at Fukushima. Environmental Pollution 187: 112-115.
- Teramage MT, Onda Y, Kato H, Gomi T. 2014. The role of litter fall in transferring Fukushima-derived radiocesium to a coniferous forest floor. Science of the Total Environment 490: 435-439.
- 渡邊泉、青山光、渡井千絵、尾崎宏和、林谷秀樹、五味高志、吉田誠、横山正. 2015. 福島県二本松市東部の水田生態系における放射性セシウム分布 ~2013年の調査~. 環境放射能除染学会誌. Vol. 3, No. 4, pp. 207-214.
- Zhao X, Wang W-X, Yu KN, Paul KS, Lam PKS. 2001. Biomagnification of radiocesium in a marine piscivorous fish. Marine Ecology Progress Series 222: 227-237.

summary

This study applied transfer factor based on food sources to white-spotted char (*Salvelinus leucomaenis*) and trophic structure of stream-riparian ecosystem in headwater streams draining Japanese cedar forest. Contemporary transfer factor by media to biota or single prey and biota had wide ranges with both indication of dilution and accumulation. Hence, developed ecosystem transfer factor based on diet contributions related to trophic structure can be much suitable compared to the other methods. Moreover, this approach for transfer factor can help for developing ecosystem based model of ^{137}Cs transfer in landscape with stream and forest.

放射性セシウムによる土壌生物の汚染状況-2011年と2015年の比較

Radio-caesium contamination of soil organisms -Comparison of samples collected in 2011 and 2015

金子信博

横浜国立大学大学院環境情報研究院

Nobuhiro KANEKO

Graduate School of Environment and Information Sciences

Yokohama National University

はじめに

福島事故による土壌生物の汚染は、ミミズ(Hasegawa, Ito et al. 2013, Hasegawa, Kaneko et al. 2015)、キノコ(Nakai, Okada et al. 2014)についてすでに報告されているが、同じ森林内で資源利用の異なる生物を同時に比較した例は少ないが、伊達市の調査では腐植食の生物が森林内の食物網を通して土壌から汚染物質を移行させていることが観測されている(Murakami, Ohte et al. 2014)。

我々は2011年に日本土壌動物学会の会員を中心とする研究者のチームで、スギ人工林を対象にスギ林で多く生息する3種の生物群、大型ミミズ類、腐朽菌であるスギエダタケ、そして陸生躑躅類のヒメフナムシを採集した。2015年に同じ調査地で同様の調査を行い、4年間の汚染状況の変化を比較した。

方法

二本松市、葛尾村、浪江町の計11地点のスギ人工林で、2011年10月13-16日に、落葉、土壌および土壌生物を採取した。さらに、2015年10月20-23日に2011年の調査地のうち5地点で同様のサンプリングを行った。各調査地で20 x 20mのプロットを設け、方形区内のミミズを採集し、実験室に持ち帰った。また、プロット内でスギエダタケ、ニホンヒメフナムシを採集した。

結果と考察

スギ林における落葉層と土壌層の汚染状況は、2011年には落葉層の方が放射性セシウムの濃度が高かったが、2015年には土壌層の方が高くなっていた。これは汚染の程度が少ない落葉が樹冠から追加される一方、落葉層から分解に伴って土壌層に移動する有機物とともに汚染物質が移動したためと考えられる。

ミミズは2015年調査の時期がミミズを採集するには季節的に遅く、採集個体数が少なかったため2回のサンプリングで比較可能な地点に限られるが、土壌の汚染程度に対して2015年のミミズの方が濃度が低くなっていた。スギエダタケは2011年にきわめて高い濃度を示したが、2015年にはかなり低くなっていた。一方、ニホンヒメフナムシは、いずれの調査地でも2015年の方が濃度が高かった。

3種の生物はスギの落葉を餌として利用している。スギエダタケは、落枝に子実体が発生するので、地表の落葉と落枝を利用しているといえる。一方、今回分析したミミズ類は表層性ミミズで、落葉を餌としているが、表層土壌も同時に摂食する。ニホンヒメフナムシはスギの落葉を好んで食べるが、落下したばかりの落葉より、ある程度分解が進行し、水分を多く含んだ落葉を食べる。これらのことから、落葉層の汚染の低下を反映してスギエダタケの汚染は急速に低下したが、ヒメフナムシは2011年に強く汚染され落葉層の下部に移動した落葉を食べるため、濃度が増加したと考えられる。一方、ミミズ類は落葉の汚染よりも、セシウムが時間の経過とともに土壌に強く吸着されることで、体内への移行が低下した可能性がある。

これらの結果から4年半が経過しても放射性セシウムのほとんどは土壌表層に集積しており、新鮮な落葉を利用する生物の汚染が軽減したものの、腐朽した落葉や土壌を食べる生物の汚染が継続していることがわかった。

引用文献

- Hasegawa, M., et al. (2013). Radiocesium concentrations in epigeic earthworms at various distances from the Fukushima Nuclear Power Plant 6 months after the 2011 accident. *J Environ Radioact* 126: 8-13.
- Hasegawa, M., et al. (2015). Changes in radiocesium concentrations in epigeic earthworms in relation to the organic layer 2.5 years after the 2011 Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J Environ Radioact* 145: 95-101.
- Murakami, M., et al. (2014). Biological proliferation of cesium-137 through the detrital food chain in a forest ecosystem in Japan. *Scientific Report* 4: 3599.
- Nakai, W., et al. (2014). Evaluation of ¹³⁷Cs accumulation by mushrooms and trees based on the aggregated transfer factor. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 303: 2379-2389.

summary

Radio-caesium contamination of saprotrophic fungi (*Strobilurus ohshima*), terrestrial isopoda (*Ligidium japonicum*) and epigeic earthworms in Japanese cedar forests were compared in 2011 and 2015 in Fukushima. A large reduction was observed in fungi, and a small reduction was observed in earthworms, while isopoda contamination was increased. These changes reflected radio-caesium movement in the forest floor and surface soil.

ヒト以外の生物の放射線防護における線量評価の枠組み
Dose assessment framework for non-human biota radiation protection

川口 勇生

国立研究開発法人 放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター 規制科学研究プログラム

Isao Kawaguchi

National Institute of Radiological Sciences

レントゲンによる X 線の発見以来、放射線の利用拡大とともに放射線が人体に与える影響について研究が行われて、放射線防護体系が構築されてきた。一方でヒト以外の生物については、ヒトが防護されていけば、ヒト以外の生物についても防護されているとの考え方から、環境保護への意識の高まりを受けて、防護体系を明確化する方向へシフトしてきている。国際放射線防護委員会(ICRP)はヒト以外の生物の放射線防護の委員会を立ち上げ、12 種のリファレンス動植物及びその線量計算手法を提案した(ICRP 2010)。

線量計算では、ヒトと同様に外部被ばく及び内部被ばく線量それぞれを推定する必要があり、この時の単位は吸収線量(Gy:グレイ)である。ヒトの場合は人体形状を考慮し臓器ごとの吸収線量の推定を行い、臓器の確率的影響の感受性に応じた係数で足し合わせた実効線量(Sv:シーベルト)を放射線防護のための線量として用いるが、ヒト以外の生物については、生物の形状が多岐にわたるため、すべての生物について臓器を考慮して線量を推定することは困難である。従って、ヒト以外の生物については、形状は回転楕円体のように単純化され、体内の臓器は考慮せず、放射性物質が体内に均一分布をしていると仮定されている。このような単純化により、多種多様な生物について、土壌や水など環境媒体中や生物体内の放射能濃度から生物の吸収線量へ換算が可能となっており、ICRP では 12 種の生物について、形状、体重、生息域等を設定して換算係数を提供している (ICRP 2010)。生物体内の放射能濃度については、実測できない場合は推定する必要がある。推定方法は環境媒体中の放射能濃度と生物体内濃度の比である濃縮係数を用いる手法や、単純な食物連鎖を仮定して動的に推定する手法が用いられる。ICRP では 12 種の生物について、濃縮係数のセットを提供しており、これらを元にして線量推定を行う枠組みを提供した(ICRP 2012)。

本講演では ICRP で提案されている線量評価手法を紹介し、最後に最新の動向について報告する。

引用文献

1. ICRP. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants, volume 38 of Annals of the ICRP. ICRP Publication 108, 2010.
2. ICRP. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants, volume 39 of Annals of the ICRP. ICRP Publication 114, 2012.

summary

In this decade, International Commission on Radiological Protection (ICRP) has been developed a protection framework for non-human biota, and dose estimation method for non-human biota also developed in the framework. In this talk, I will review the current ICRP the protection framework and the dose estimation method for non-human biota, and also talk about recent ICRP activities.