

平成29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：2018(平成30)年2月20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 29 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 30 年 2 月 20 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 「福島県内に生息する狩猟鳥および猛禽類における ^{137}Cs 濃度のモニタリング」……………3
斎藤 梨絵（福島県環境創造センター研究部）
- 3 14：20～14：50 「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 14：50～15：20 「低線量放射線による生物・生態系への直接及び間接的な影響に関する研究」……………7
玉置 雅紀（国立研究開発法人国立環境研究所）
- 15：20～15：40 <休 憩>
- 5 15：40～16：10 「野生生物の放射線影響についての実験室的検証研究」……………9
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）
- 6 16：10～16：40 「アカネズミを生物指標に用いた放射線影響評価 - 次世代における遺伝子突然変異の評価手法の検討 -」……………11
石庭 寛子（国立大学法人福島大学環境放射能研究所）

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ている平成 28（2016）年度までの結果を報告しますが、平成 29（2017）年度も調査を継続しており、平成 30（2018）年度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 23（2011）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（表 1）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 2）。

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、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 27 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 3）。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
は虫類	アオダイショウ、シマヘビ
両生類	アカハライモリ、アマガエル、ニホンアカガエル等
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

表2 平成28(2016)年度から平成32(2020)年度までの試料採取計画案

分類群	H28	H29	H30	H31	H32
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3 平成28(2016)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				●		
ハツカネズミ					●	
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				——●		
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 of 最大値

—— : 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う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。

福島県内に生息する狩猟鳥および猛禽類における ^{137}Cs 濃度のモニタリング Monitoring ^{137}Cs concentrations in gamebird and raptor species occupying in Fukushima Prefecture

齋藤梨絵¹・壁谷昌彦²・根本 唯¹・大町仁志²

¹福島県環境創造センター・²野生生物共生センター

Rie Saito¹, Masahiko Kabeya², Yui Nemoto¹, and Hitoshi Oomachi²

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

1. はじめに

2011年の東京電力株式会社福島第一原発事故により、大量の放射性核種が環境中に放出された。放射性核種の中でも、半減期が約30年である ^{137}Cs は、生物の利用(i.e., 吸収・移行)が高く、長期的に影響することが考えられるため、野生生物への影響が強く懸念されている。放射性Csの食物連鎖内における移行や濃縮に関しては、栄養的相互作用とその栄養段階を通じて、放射性Csが濃縮する場合と希釈する場合があることが報告されている。鳥類は、生態系ピラミット内において比較的高次の消費者に位置づけられ、生態系内における放射性核種の移行や生物濃縮を考える上でも重要な分類群のひとつである。また鳥類は種多様性が高く、生息地に対する強い選択性のもと、多様な環境(森林、河川や湖沼、など)へ適応分布していることから、陸域や水域といった異なる環境中に拡散した放射性核種における生物への移行や影響をみる指標生物としても重要な位置づけにある。しかしながら、野鳥類の体内における放射性Cs濃度に関するモニタリング結果や移行に関する報告はわずかである。

本研究では、東京電力株式会社福島第一原発事故後に、福島県内の鳥類の体内に移行した ^{137}Cs をモニタリング調査した結果について報告する。

2. 材料と方法

はじめに、2011年10月から2016年9月に狩猟により捕獲されたキジ類2種(ヤマドリ *Syrnaticus soemmerringii* とキジ *Phasianus versicolor*)そしてカモ類2種(カルガモ *Anas zonorhyncha* とマガモ *Anas platyrhynchos*)における筋肉中の ^{137}Cs 濃度を測定した。さらに、食物連鎖におけるトッププレデターである猛禽類4種(トビ *Milvus migrans*、オオタカ *Accipiter gentilis*、ハヤブサ *Falco peregrinus*、フクロウ *Strix uralensis*)について筋肉中の ^{137}Cs 濃度を測定した。猛禽類4種は、野生生物共生センターで救護されたものの、傷病の程度が著しいために死亡した個体を検体とした。

各種における環境中からの ^{137}Cs の移行をより定量的に評価するため、Aggregated transfer factors (Tag 値, m^2/kg , FM) を以下の式により求めた。

$$\text{Tag 値 (m}^2/\text{kg, FM)} = \text{筋肉中の } ^{137}\text{Cs 濃度 (Bq/kg, FM)} / ^{137}\text{Cs 土壌濃度 (Bq/m}^2)$$

Tag (m^2/kg , FM) 値の ^{137}Cs 土壌濃度には、狩猟鳥においては捕獲された地点の ^{137}Cs 土壌沈着量(Bq/m^2)を用い、猛禽類においては、対象とした種およびその近縁種における既知の行動圏サイズを利用して各種の行動圏を推定し、行動圏内の ^{137}Cs 土壌沈着量(Bq/m^2)の平均値を用いた。

3. 結果と考察

狩猟鳥 4 種の Tag 値を比較したところ、ヤマドリの Tag 値が他の 3 種に比べ有意に高い傾向にあった (Bonferroni, pairwise t-test, $p < 0.05$, 図 1)。渡りをしない留鳥であるカルガモと渡り鳥であるマガモでは、2 種間で Tag 値に有意差は認められなかった (図 1)。Fendley et al (1977) によると、アメリカオシ wood ducks の放射性セシウム¹³⁷Cs の生態学的半減期は平均で 5.6 日である。同じカモ類であるカルガモとマガモにおいても、生態学的半減期が比較的短いために、両種間の Tag 値に有意な差が認められなかった可能性が考えられる。ヤマドリとキジにおける ¹³⁷Cs 濃度および Tag 値の経時変化を図 2 に示した。ヤマドリでは経時変化に伴う減少傾向が認められなかったが、キジについては緩やかな減少傾向が認められた (図 2)。ヤマドリは森林、キジは里地里山を主要なハビタットとしている。ヤマドリがキジに比べ高い筋肉中の ¹³⁷Cs 濃度および Tag 値を示し、数値の減少傾向が認められない理由には、ヤマドリの生息環境が影響していると推察される。猛禽類における Tag 値は、キジ類やカモ類の Tag 値と同等、もしくは低い値であった。また、猛禽類 4 種の Tag 値は、種間で異なる傾向が認められた。

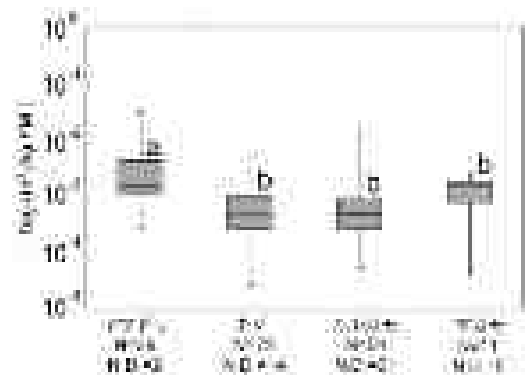


図 1. 狩猟鳥 4 種における Tag 値の比較
箱グラフの上部は 75%値、箱グラフの下部は 25%値である。グラフ中の横線は中央値を示している。また箱グラフ上部下部のひげは、最大値、最小値をそれぞれ示している。同じアルファベットがつけられている値間には有意な差はない (Bonferroni, Pairwise t-test, $p > 0.05$)。

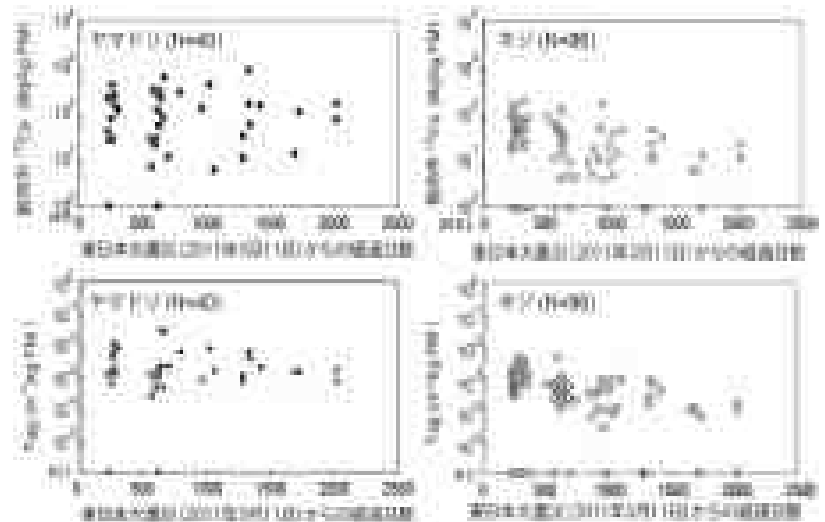


図 2. ヤマドリとキジにおける筋肉中の ¹³⁷Cs 濃度 (上) および Tag 値の経時変化 (下)

参考文献

Fendley, T.T., Manlove, M.N., Brisbin, I.L.Jr., 1977. The Accumulation and Elimination of Radiocesium by Naturally Contaminated Wood Ducks. Health. Phys. 32, 414-422.

福島大学環境放射能研究所の放射生態学研究 2017年度
Radioecological Researches in the Institute of
Environmental Radioactivity at Fukushima University in FY 2017

難波謙二・ヴァシル ヨシエンコ・石庭寛子
和田敏裕・塚田祥文・兼子伸吾・トーマス ヒントン
福島大学環境放射能研究所
Kenji Nanba, Vasyl Yoschenko, Hiroko Ishiniwa,
Toshihiro Wada, Hirofumi Tsukada, Shingo Kaneko, Thomas Hinton
Institute of Environmental Radioactivity at Fukushima University

1. はじめに

本ワークショップでは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概要を2014年度に、2015年度には人員と研究守備範囲としての体制について、2016年度にはIERの全5部門のうち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紹介した。本年度は野生動植物を対象とする研究を中心に、本研究所の整備状況や活動内容等を紹介する。

2. 施設の充実

建物は金谷川キャンパス内に、2014年度に完成した床面積約1,400 m² 二階建ての分析棟があり、ここには対象毎に区画した複数の部屋のある試料調製エリアのほか、分析室に ICP-MS や HPGe γ 線スペクトロメータ等が設置されている。これに加えて2017年には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が完成し、6月に竣工式を行なった。この建物には、大学の理系標準の各専任教員の実験・研究室、約二百名収容可能な会議室、20キログラム程度の容量の試料を均質に調製・小分けするための装置を備えた試料調製室、それに解剖室が設置されている。解剖室にはイノシシサイズの野生哺乳類に対応した解剖台を備えている。

3. 研究発表

2017年には、動植物への放射線影響を含む発表として、日本生態学会東北地区会第62回大会公開シンポジウム「原発事故が福島の野生生物にもたらしたこと -その回復過程と今後の課題-」でIER専任・兼任教員から発表があった。発表は、(1)石庭寛子「放射線がアカネズミにもたらす影響～細胞レベルの評価から生態レベルへ～」、(2)和田敏裕「原発事故に伴う魚類の放射能汚染：海水魚と淡水魚の比較」、(3)藤間理央・兼子伸吾「福島第一原子力発電所事故後に生じたブタからニホンイノシシ個体群への遺伝子流入」の3題である。(1)は放射線による直接的な影響の研究である。(2)は魚類への放射性セシウムの移行状況とそのメカニズム、(3)は放射能汚染の間接的な生態系への影響を対象にしている。

4. 夏期の短期共同研究

夏期休業期間の短期訪問外国人研究者及び学生によって、2017年度集中的に野生動植物への影響研究が行なわれた。これは、主にコロラド州立大学（CSU）の大学院生を夏期に受入れ福島をフィールドにした研究を行うプログラムの一環であり、2016年からCSUと福島大学との協定に基づいて行なわれている。研究テーマは、Hinton教授が中心となってIERで可能な研究テーマや研究対象の選択肢を取りまとめ、CSU側からの希望する学生が選択するという手順で決められた。2017年夏はCSUから8名、英国のポーツマス大学から1名の研究者および学生がこれに参加した。未だ研究は進行中であるが、「放射線被ばくしたネズミとイノシシにおける遺伝子損傷とテロメア短縮

に関する研究」、「長期低線量被ばくによる白内障発生リスクに関する研究」、「野生動物の歯のエナメルと ESR（電子スピン共鳴）線量測定法を用いた線量再構成」、「福島県内の放射能汚染地域と非汚染対象地区に生息するトカゲの種別・個体数調査」、「水性無脊椎動物に対する放射線影響に関する研究」が、野生生物影響を扱った研究テーマである。

なお、2016年2017年とも、夏期滞在研究者及び学生が福島大学の学生とともに、福島県の、農業総合センター、野生生物共生センター、県中家畜保健衛生所、畜産研究所、水産試験場、内水面水産試験場、環境創造センター、を訪問するプログラムを福島県庁と各研究施設の協力のもと実施した。各分野の原発事故後の現状と課題を事故以前からの通常の研究・開発業務の紹介に加えて紹介して頂いた。

5. 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」を開催している他、「研究活動懇談会」を開催している。地域ごとに話題を絞り、本研究所からだけでなく、必要に応じて県や国の研究機関や他大学の研究者にも依頼して研究成果等を発表し、地域の方々や関係者の方々と懇談する場を設けてきた。野生動植物関係では、2016年に浪江町で野生哺乳類を対象とした研究について地元ハンター組織や町民の参加のもと開催した。同年度、大熊町ではため池をテーマに、南相馬では河川管理と河川生態系について開催した。2017年度は7月にいわきで海産魚について、11月に東京で帰還困難区域の野生生物の現状を中心に扱った。また、本稿執筆時点では予定であるが、1月末に浪江町で森林とくに津島マツの林業をテーマに「研究活動懇談会」を予定している。

6. 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 SATREPS¹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」を本格始動している。これはモニタリング強化や観測の為の新型機器の導入等ウクライナで現在必要とされる支援を行なうものである。他方、原発事故からの年数が25年多いチェルノブイリでの放射線影響も含め環境放射能に関する知見は、福島の特に帰還困難区域の将来予測に役立つものと期待して取組んでいる。生物影響分野では水位低下が進行したクーリングポンド（冷却池）内の水圏生態系及び水位低下で出現した乾燥地と湿地を対象にした生物調査を計画しており一部は既に進行中である。この課題の中では日本側がチェルノブイリでウクライナ側と共同研究するだけでなく、ウクライナ側の研究者等をキャパシティデベロプメントとして招聘することも含まれている。2018年5月の十数名規模でのウクライナ側行政関係者・研究者の来日時にあわせ、14日にチェルノブイリの現状等を紹介する国際シンポジウム開催を計画中である。

¹ SATREPS：地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development）

国立研究開発法人科学技術振興機構、国立研究開発法人日本医療研究開発機構、独立行政法人国際協力機構が実施している、他国研究者が共同で研究を行うプログラム。

低線量放射線による生物・生態系への直接及び間接的な影響に関する研究 Researches of direct and indirect effects from low-dose radiation on wild organisms

玉置雅紀
国立環境研究所
Masanori Tamaoki
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、福島県陸域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、比較的線量の高い地域は帰還困難地域等に指定され、原発事故後「人が住んでいない」ことが常態化しており、今後放射線量が低下し、住民の帰還が行われたとしても生活圏の生態系に様々な変化が起き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) 野生生物における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. 野生生物における低線量放射線等による生物影響

(1) 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

生物では環境からのストレス等により 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 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。開発した植物を放射性物質汚染土壌において栽培した結果、放射線による DNA 損傷は線量依存的に増加している事、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、開発した DNA 損傷を検出できる植物に由来する培養細胞を確立した。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た。また、本結果より少なくとも 5.6 $\mu\text{Sv/h}$ 以下の空間線量率では遺伝子変異の増加が起きないことを明らかにした。この線量率を 2016 年の航空機モニタリング結果に当てはめたところ、帰還困難区域の 80%以上で遺伝子変異の増加が起きない事が示唆された。

(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

これまでに 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。そこで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精子細胞を観察した。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 陽性の精子細胞数が 3 年間とも他の地点よりも有意に多かった。一方で、精巣上体においてはこのような差

異は認められなかった。このことから、福島県高線量地域の野生アカネズミでは、精巣においては精子細胞の DNA の酸化が認められるが、これらは速やかに修復あるいは細胞が除去され、精巣上体では酸化された DNA を持つ精子細胞はほぼ見られなくなることが示された。

3. 原発事故被災地域における生態系モニタリング

避難指示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による生態系影響が生じていると考えられる。我々は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、ほ乳類・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。ほ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。その結果、ほ乳類については、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ほ乳類のうち、イノシシは田畑を荒らす害獣であるため、継続的なモニタリングが必要である。なお、本研究で得られた 2014～2016 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?lang=jp>) にて閲覧可能である。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、キアゲハやセイヨウミツバチについては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。また、鳥類については 52 地点において録音調査を行い、鳥類種判別を行った。その結果、68 種の鳥類が確認された。避難指示区域内外での種多様性に大きな違いは見られなかったが、個別に見ると、スズメ、ツバメ及びハシボソガラスの観察数が避難指示区域内で少なかった。これらの鳥類種は人間活動との正の相関性が高いと言われているため、少ない観察数になったと推察された。一方で、ウグイスやホトトギスについては避難指示区域内で高い頻度で観察された。ウグイスは藪などを好むため、耕作放棄により土地利用の変化が観察数の増加につながったこと、また、ホトトギスはウグイスに托卵することが知られているため、ウグイスの増加に伴って高く観察されたことが考えられた。なお、本研究で得られた 2014 年の観察頻度の情報は、KIKI-TORI MAP (<http://www.nies.go.jp/kikitori/contents/map/index.html>) にて閲覧可能である。

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.

野生生物の放射線影響についての実験室的検証研究

Experimental studies on radiation effects on wild animals and plants

渡辺嘉人・久保田善久・府馬正一・丸山耕一・川口勇生

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

Yoshito Watanabe, Yoshihisa Kubota, Shoichi Fuma, Kouichi Maruyama, Isao Kawaguchi

National Institute of Radiological Sciences,

National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology

1. はじめに

東電福島第一原子力発電所（福島原発）の事故で放出された放射性核種による野生生物の影響を明らかにするために、放射線医学総合研究所（放医研）ではこれまでに、環境省や（一財）自然環境研究センターが実施する高線量地域における調査に放射線影響研究の専門家として参加し、また福島県に所在する他の研究機関とも協力しながら調査活動を行ってきた。調査では、現地に生息・自生する野生生物のうち特に高い放射線感受性が想定される両生類（サンショウウオ）、小型哺乳類（ノネズミ）、針葉樹（スギ、モミ）、あるいは放射線影響についての知見が豊富な魚類（メダカ）を対象に、形態や遺伝学的な指標の変化を観察してきた。一方で、そうした野外調査での野生生物の観察結果について、放射線影響の関与の有無を明確にするための実験的な検証・検討を、放医研では環境省事業とは別途行っている。ここでは、そうした放医研の実験室的な検証研究として、野生生物を対象にした被ばく線量評価と慢性照射試験に関する研究について概説する。

2. 野生生物における被ばく線量評価

高線量地域に自生・生息する野生生物の放射線影響を検討するためには、これらが野外環境で被ばくした放射線量を推定することが重要である。野生生物の被ばく線量を直接に測定することは不可能なので、生物の形態や生物体内外の放射性核種分布を適当に設定した放射線輸送計算に基づいた数学的な方法を用いる必要がある。サンショウウオおよびノネズミにおいては、生物形態を単純な幾何学的形状に模擬することで、一般的な線量評価ツールである ERICA アセスメントツールを用いて被ばく線量の計算を行った。採取した生物個体および環境中の放射性核種濃度の実測値を計算に用いることで、高線量地域における被ばく線量率の最高値は、サンショウウオで $50 \mu\text{Gy/h}$ 、ノネズミで $150 \mu\text{Gy/h}$ と推定された。

一方、スギ・モミのような針葉樹においては形態が複雑で放射性核種が不均一に分布するため、ERICA アセスメントツールでは評価される線量率の誤差が大きくなる可能性がある。そこで、樹木の枝葉や芽の構造について詳細な幾何学的モデルをコンピューター上に構築して、土壌や樹木に含まれる放射性物質からの放射線により成長部位が被ばくする線量をシミュレーションによって計算する方法を試みている。事故後初期には放射性物質は枝葉や芽に直接付着しやすく、またその後の転流によって植物体内を移動するため、そうした樹体内の放射性物質から放出される放射線によって、成長部位の被ばく線量が高くなる可能性が推定されている。

3. 野生生物の慢性照射試験

放医研の屋内ガンマ線照射施設では放射性核種を密封した線源を利用して、野生生物に対してガンマ線を長期にわたり連続的に照射することで、様々な線量率での放射線照射の影響を調べることができる。均質な環境条件下での人為的な放射線照射で野生生物に障害が発生する線量と、環境中

で野生生物が受ける放射線被ばく線量とを比較することで、野生生物における放射線影響の発生についての検討が可能になると考えられる。

サンショウウオでは450日間の連続照射によっても、490 $\mu\text{Gy/h}$ 以下の被ばく線量率では成長や生存に影響が確認されなかった。高線量地域におけるサンショウウオの推定被ばく線量の最大値は（上述のように）50 $\mu\text{Gy/h}$ と推定されるので、高線量地域においても生息するサンショウウオの生育状況に影響が生じる可能性は低いものと考えられた。

針葉樹（モミ）については、上記の放医研の屋内照射施設に加えて、農研機構の屋外照射施設（ガンマフィールド）も利用して、長期照射実験を行っている。照射実験の開始から1年以上が経過し、すでに非常に高い照射線量率（ $>4\text{ mGy/h}$ ）では苗木の芽の成長が強く阻害されることが明らかになってきている。しかし、福島原発の事故の影響を念頭においた比較的低い照射線量率を含む200 $\mu\text{Gy/h}$ 以下では1年目の苗木の成長に明瞭な変化は見られていない。

野生生物に対するガンマ線の長期照射実験は現在も継続中であり、より低い線量率での放射線被ばくの影響を継続的に観察し、長期被ばくによって現れる可能性のある影響を明確にしていきたいと考えている。

謝辞

本研究の一部は、福島県補助事業「放射性核種の生態系における環境動態調査等事業」により実施した。

Summary

Since the TEPCO Fukushima Dai-ichi NPP accident in 2011, we have carried out field studies on selected wildlife species including wild mice, salamanders, conifers and medaka fish, living in severely contaminated area around the power plant. In order to confirm the field study results, and investigate biological effects of radiation on the wildlife species, we are carrying out experimental studies to estimate exposed dose rate to the wildlife species in contaminated fields of Fukushima, and to examine effects of long-term chronic irradiation on the wildlife species using gamma-irradiation facilities.

アカネズミを生物指標に用いた放射線影響評価
- 次世代における遺伝子突然変異の評価手法の検討 -

Evaluation of Radiation Effects on the Large Japanese Field Mouse used as a Bio-indicator
- Study on Analysis Method of Genetic Mutation Occurred in Next Generation -

石庭寛子¹・遠藤大二²・玉置雅紀³・大沼学³

¹福島大学・²酪農学園大学・³国立環境研究所

Hiroko ISHINIWA¹, Daiji ENDOH², Masanori TAMAOKI³, Manabu ONUMA³

¹Fukushima University, ²Rakuno Gakuen University, ³National Institute for Environmental Studies

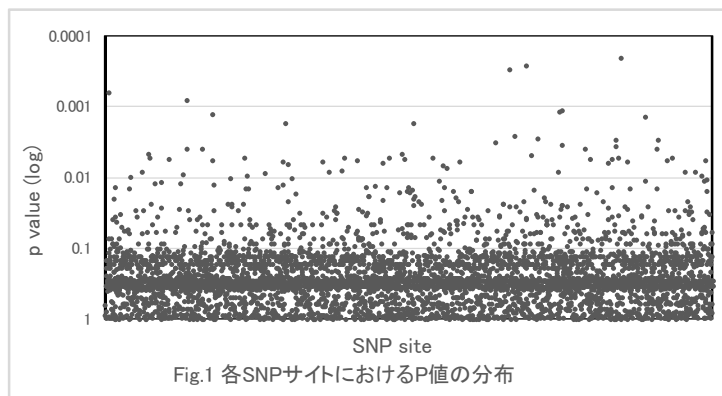
1. はじめに

福島第一原発事故により多量の放射性物質が環境中に拡散した。福島県内では、除染等の効果によりその規模が縮小しつつあるものの、環境中の放射線量が高い地域は人の立入や居住制限が行われている。一方、放射性物質によって汚染された地域は森林が大半をしめることから、森林棲の野生動植物は恒常的に高い線量区域に生息し、放射線による長期被ばくの影響が懸念される。放射線は、DNA への損傷を起点として細胞や組織、個体の存続に影響を与えるが、自己の遺伝子を最大限に残すように振る舞う野生生物にとって、放射線による DNA 損傷やそれがもたらす DNA 変異は個体の繁殖成功度や個体群内の遺伝子構造、ひいては自然選択による進化の方向性に影響を与える可能性がある。

本報告会では、森林に生息する小型げっ歯類アカネズミ(*Apodemus speciosus*)を用いて、多様性を有し遺伝的に不均質な野生生物を対象にした放射線による次世代への DNA 突然変異の蓄積を評価する手法について検討したので紹介する。

2. 個体群内の遺伝的構造

サンプルとして、福島県の帰還困難区域で捕獲されたアカネズミ 12 個体、および対照区域（青森県と富山県）で捕獲された 11 個体を用いた。次世代シーケンス技術を用いてゲノム中の制限酵素近傍領域を解析する RAD-seq (Restriction-site Associated DNA Sequencing)法を実施したところ、全ゲノム(約 3 Gbp)の約 0.07% (約 2.2 Mbp)



の配列から 5,987 ヶ所の一塩基多型(SNP)を得た。各 SNP サイトのアレル²頻度³を福島群と対照群で求め、比較したところ両群で有意な違いは見られなかった(Fig1, ボンフェローニ補正カイ二乗検定)。

3. 次世代への変異の蓄積

² アレル：染色体上の特定の場所における、遺伝子や特定の塩基の異なる型。「対立遺伝子」と同じ意味。

³ アレル頻度：集団内に存在するアレルの相対的な割合。「遺伝子頻度」とほぼ同じ意味。DNA 突然変異や遺伝的多様性の指標となる。

次世代に発生する変異の検出は、偶発的に捕獲された妊娠メスとその胎仔の遺伝子配列を RAD-seq 法を用いて比較することで評価した。サンプルは、福島県の帰還困難区域、対照区として青森県と富山県の各地域で捕獲された3個体のメスとその胎仔(一腹あたりの平均胎仔数、福島:5.7±1.2、青森:6±0、富山:5±0)を用いた。本種の繁殖様式である複数父性を考慮し、ゲノムの0.19%の配列について母仔間で比較を行い、変異率を算出した。地域間で変異率に差は見られなかった。また、検出された変異の特性(エクソン/イントロン/その他)の割合も各地域で同傾向を示し、差は確認されなかった

4. 今後の展望

自然界では放射線以外にも様々な環境要因が存在し自然選択に影響をもたらすことから、個体群内で検出された変異が放射線の影響であることを証明することは非常に難しいと予想される。また、異なる地域間の比較は、それぞれの地域の自然環境等の歴史が遺伝子に反映されていると考えられるため有効性に疑問がある。そこで、①同地域の震災前と震災後の個体群間比較を行う、②数年おきに各地域でサンプリングを行い個体群内の遺伝子配列の変化を精査し、自然選択の候補遺伝子の抽出と並行して、遺伝子の機能等について実験的な実証を行うことを考えている。

メス個体とその胎仔間での比較は、血縁関係にある個体同士で配列を直接比較できることから、確実な変異検出が可能である。しかし、本研究で用いるアカネズミは複数父性であることから、その繁殖特性を考慮した母仔間比較は、過小評価になる。これらの評価手法の欠点を改善するために、オス個体とその生殖細胞との比較から影響を検出できる解析手法等の検討を進めている。

本研究の一部は JSPS 科研費 15K21612 の助成を受けたものです。