

第5回福島第一原発事故による周辺生物への影響に関する勉強会

2018年8月3日（金）・4日（土）

東京大学農学部 1号館2階 8番講義室

プログラム

<報告15分、質疑5分>

8月3日（金） 13:25~13:30

開催挨拶 世話人代表 夏堀 雅宏

発表

<13:30~14:10> 座長：佐藤 至

1 福本 学 東北大学加齢医学研究所

被災動物線量評価事業：ブタでわかったこと

2 田中 草太 京都大学複合原子力科学研究所

節足動物及び表層性のミミズを指標とした生食連鎖と腐食連鎖を介した放射性セシウムの動態

<14:15-14:50> 座長：二瓶 直登

3 眞田 幸久 日本原子力研究開発機構

福島原発事故後7年における環境モニタリングの現状と課題

4 鹿野谷 成章 東京農工大学大学院・物質循環環境科学専攻

福島県二本松市と宮城県丸森町の水田周辺に生息する生物の放射性Csの分布把握

<14:50-15:50> 座長：小林 奈津子

5 二瓶 直登 東京大学大学院農学生命科学研究科

農業環境中の放射性セシウムの挙動

6 堀口 敏宏 国立研究開発法人国立環境研究所

東日本大震災及び原発事故後の福島県における潮間帯生物相の経時変化（第3報）

7 森田 貴己 中央水産研究所

トリチウム水の取扱いに関する議論の現状

<休憩 10分>

<16:00-17:00> 座長：夏堀 雅宏

8 岡田 啓司 岩手大学 農学部 共同獣医学科

原発事故帰還困難区域における黒毛和種牛の健康評価

6 佐々木 淳 岩手大学 農学部 共同獣医学科

福島県の被ばく牛における甲状腺の病理学的検討

10 佐藤 至 岩手大学 農学部 共同獣医学科

帰還困難区域の牛における放射性セシウムの汚染状況と体内分布

<17:00~17:20> 総合討論 1 <本日の話題に関して>

<17:30-20:00 情報交換会（会場：農学部 2号館 1F 化2 講義室）>

8月4日(土)

<8:40-10:00>

座長：小林 泰彦

11 石田 健 元東京大学農学部

最高線量地帯に生息するウグイスに観測された高頻度の頭部症状と放射線・原発事故の野生生物への影響評価

12 鈴木 譲 元東京大学水産実験所

放射能汚染地帯のため池に棲むコイの健康状態 — ため池に放流したコイはどうか —

13 重信 裕弥 水産研究・教育機構 中央水産研究所 海洋・生態系研究センター
第一原発周辺海域に生息する海産魚類の放射性 Cs 濃度

14 藤嶋 洋平 弘前大学大学院保健学研究科

放射線汚染地域に生息するアライグマの染色体解析

<休憩 10分>

<10:10-11:10>

座長：福本 学

15 小荒井 一真 東北大学大学院理学研究科

被災サル歯中 Sr-90 の測定と歯を用いた被災サルの骨髄線量の推定

16 井上 一彦 鶴見大学探索歯学講座

福島第一原発事故により被災した牛の歯を用いた電子スピン共鳴法による線量測定
(予備的検討)

17 豊田 新 岡山理科大

牛の歯に記録された福島第一原子力発電所事故の汚染に伴う放射線による被曝

<11:10-11:50>

座長：今中 哲二

18 小林 奈津子 東京大学大学院農学生命科学研究科

福島県内のキノコ原木林における ^{137}Cs の分布

19 木野 康志 東北大学理学部

宮城県野生キノコの種別放射性セシウム濃度分布

<休憩・昼食～13:10まで>

<13:10-14:10> 座長：木野 康志

- 20 大沼 章子 名古屋大学大学院医学系研究科
未来につなげる東海ネット・市民放射能測定センター(C-ラボ)
ハウレンソウに検出されたヨウ素-131 と放射性プルーム・みんなのデータサイ
ト東日本土壌汚染マップ
- 21 村瀬 香 名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科
福島第一原発事故が野生動物とヒトの生殖に与えた影響に関する統計モデル
- 22 中村 織江 国立研究開発法人 国立環境研究所
メスアカネズミの着床痕計測から考える放射線生物影響

<休憩 10分>

<14:20-15:40> 座長：岡田 啓司

- 23 松館 祥子 北里大学獣医学部
福島県の旧警戒区域および帰宅困難区域内の牧場における空間線量の推移
- 24 島岡 千晶 北里大学獣医学部
黒毛和牛に対して安定セシウム単回投与後の体内動態
- 25 夏堀 雅宏 北里大学獣医学部
牛におけるセシウムの体内動態に関する予測と実証
- 26 今中 哲二 京都大学複合原子力科学研究所
広島・長崎原爆による被曝量評価と影響研究の紹介

<15:40～16:00> 総合討論2 <本日の話題に関して>

被災動物線量評価事業：ブタでわかったこと

被災動物線量評価グループ, 森本素子¹, *福本 学^{2,3}

¹宮城大 食産業学群 ²東北大 加齢研、³東京医大

e-mail: manabu.fukumoto.a8@tohoku.ac.jp

【はじめに】

放射線の生体への影響は、「100 mGy 以下の放射線被ばくでは、有害な生物影響は検出されない」が議論の出発点である。2011年3月に起きた福島第一原発事故以降、特に問題となっているのは、放射性物質による被ばくの影響である。¹³¹I など短半減期放射性物質による初期被ばくと、¹³⁷Cs などによる長期にわたる内部被ばくと、環境中に残留した放射性物質による外部被ばくに及ぼす健康障害である。

原発事故の影響調査を目的として、「福島原発事故に伴う被災動物線量評価事業」を立ち上げ、2011年8月より福島第一原発から半径20km圏(旧警戒区域)内外の殺処分された家畜と野生ニホンザルを収集し、臓器の放射性物質の定量、線量評価と生物影響調査を行っている。現在までにウシについてはいくつかの知見を得て報告しているが、ブタについては本勉強会で発表していない。そこで今回、ブタについて明らかとなったことを発表したい。

【実験材料と方法】

2012年1・2月に福島第一原発から5km圏内で安楽殺処分されたブタ53頭について臓器中並びに抹消血中¹³⁷Cs濃度を測定した。ICP-MSにて血中Cs, K, Rbの濃度を測定した。腸管免疫能を解析するために小腸の発現遺伝子の変化をcDNAマイクロアレイで同定し、RT-PCRにて結果を確認した。

【結果と考察】

同時期に入手したウシに比べて血中¹³⁷Cs濃度は約100倍高かった。ウシ同様、¹³⁷Cs濃度は検討した臓器の中で骨格筋に最高であったが骨格筋/末梢血比は4.5倍とウシに比較して低かった。臓器濃度の傾向は種を越えて一致したが移行係数には種差のあることが明らかとなった。生物学的半減期は12日程度であった。アルカリ金属グループ内でKとRbはほぼ同一の代謝を受けるがCsはこれらと異なる結果となった小腸の酸化ストレス、炎症性サイトカインなどの遺伝子発現が変化していた。特にIFN- γ 遺伝子発現は骨格筋中の¹³⁷Cs濃度と正の相関を示した。長期の低線量率放射線被ばくは免疫能に影響する可能性が示唆された。

1. Morimoto M *et al.* Gene expression analyses of the small intestine of pigs in the ex-evacuation zone of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *BMC Vet Res* 2017, 13(1):337.
2. Morimoto M *et al.* The effect of radiation on the immune system in pigs affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. (in press)

節足動物及び表層性のミミズを指標とした 生食連鎖と腐食連鎖を介した放射性セシウムの動態

○田中草太¹, 足達太郎², 高橋知之^{1,3}, 高橋千太郎³

¹京大院農学、²東京農大、³京大複合原子炉

e-mail: tanaka.sota.57s@st.kyoto-u.ac.jp

はじめに

東電福島原発事故から7年が経過し、陸域生態系における放射性セシウムの大部分は、土壌表層に保持され、移動が少ない状況にある。一方、これらの放射性セシウムの一部は、生物の被食捕食関係である食物網を介して長期にわたり生態系を移動循環していくと考えられる。演者らは、生態系において大きなバイオマスを占める節足動物において、食性によって放射性セシウムの経年変動が異なることを報告した[1]。この要因として生食連鎖と腐食連鎖を介した放射性セシウムの移行経路の違いが考えられる。本研究では、植食性・雑食性・肉食性の節足動物と腐食性のミミズを対象とし、放射性セシウム濃度の経年変動を調査することによって、生食連鎖と腐食連鎖を介した放射性セシウムの動態を推定した。

方法

福島原発から北西約40km地点において、コバネイナゴ(*Oxya yezoensis*)、エンマコオロギ(*Teleogryllus emma*)、ジョロウグモ(*Nephila clavata*)の食性が異なる3種の節足動物と、表層性のミミズ(Megascolecidae)を採集した(図1)。節足動物は2012-2016年の5年間、ミミズについては2014-2016年の3年にわたり調査を行なった。各生物の¹³⁷Cs濃度は、ガンマ線スペクトロメトリーにより定量した。



図1 対象とした生物

結果と考察

2012-2016年の5年間における節足動物の¹³⁷Cs濃度は、コバネイナゴ(植食性)とエンマコオロギ(雑食性)では有意な減少を示した。一方、ジョロウグモ(肉食性)は年度によるばらつきが大きく、有意な減少は認められなかった。ジョロウグモは、捕食者として生食連鎖と腐食連鎖の双方から餌資源を獲得しているため[2]、個体間ばらつきが大きく、またハエ類など腐食連鎖由来の餌への依存が高いために¹³⁷Cs濃度が減少を示さなかったものと考えられる。このことは、腐食性のミミズが4種の中で最も高い¹³⁷Cs濃度を示し、2014-2016年の3年において減少が認められなかったことから支持される。これらの結果は、腐食連鎖への依存が高い種ほど放射性セシウムの移行量が大きくなることを示唆するものである。特に、腐食性のミミズの¹³⁷Cs濃度が他の節足動物と比較して30倍程度高く維持されていることから、これら土壌表層の腐食連鎖由来の生物を捕食する野生生物への長期的な放射性セシウムの取り込みの可能性が懸念される。

参考文献

- [1] Tanaka, S., Hatakeyama, K., Takahashi, S., Adati, T. (2016). J. Environ. Radioact. 164, 104-112.
[2] Shimazaki, A., Miyashita, T. (2005). Ecography, 28(4), 485-494.

福島原発事故後 7 年における環境モニタリングの現状と課題

* 眞田幸尚, 佐々木美雪, 三上智

日本原子力研究開発機構 福島環境安全センター

sanada.yukihisa@jaea.go.jp

はじめに

福島第一原子力発電所事故から 7 年が経過し、政府や研究機関により環境中での放射線状況は明らかになりつつある。日本原子力研究開発機構では、事故直後より有人のヘリコプターを用いた航空機モニタリングをはじめとして、車両や UAV (Unmanned Aerial Vehicle) 等を用いた様々なモニタリングを行ってきた¹⁾³⁾。そのような環境中での放射線モニタリングのデータをまとめ実効半減期や環境半減期を評価することは、今後の汚染分布の予測や住民への被ばく評価の推定に有効である。ここでは、航空機モニタリングや UAV を用いたのモニタリングについてまとめるとともに、それらの時系列データをもとに実効半減期や環境半減期を評価した例について紹介する。

方法

空からのモニタリング事業は、原子力規制庁の委託事業の一環として実施されている。有人のヘリコプターを用いた放射線モニタリングは、事故直後より実施されており、飛行禁止区域である福島第一原子力発電所 (以下、発電所) から 3 km 圏内を除いた比較的空間線量率の高い岩手南部から群馬県までの地域で実施されている。一方、UAV を用いた放射線モニタリングは発電所から約 5 km の地域において定期的に実施されている。有人のヘリコプターを用いたモニタリングでは、大型の NaI 検出器を採用した専用の放射線検出システム (RSX-3, Radiation Solution, Inc., Mississauga, Canada) を民間のヘリコプター内に搭載して、データを取得する。また、UAV では日本原子力研究開発機構の開発した LaBr 検出器を採用した専用の放射線検出システムを自律型の無人ヘリコプター R-MAX G1 (manufactured by YAMAHA Co., Ltd., Iwata, Japan) に搭載しデータを取得する。

基本的なデータ処理手法は以下の通り。① γ 線に感度のある検出器を用いて空から放射性セシウムの放射線 (計数率) データ及び GPS (Global positioning System) による位置情報を取得する。② あらかじめ地上測定を行った平坦で線量率が一定な場所において飛行高度を変えてデータを取得し、得られたデータから地上への線量換算係数と実効的な減弱係数を求める。③ 目的の測定場所を測定したデータに係数を適用し、高度補正及び地上の空間線量率に換算する。④ 換算した

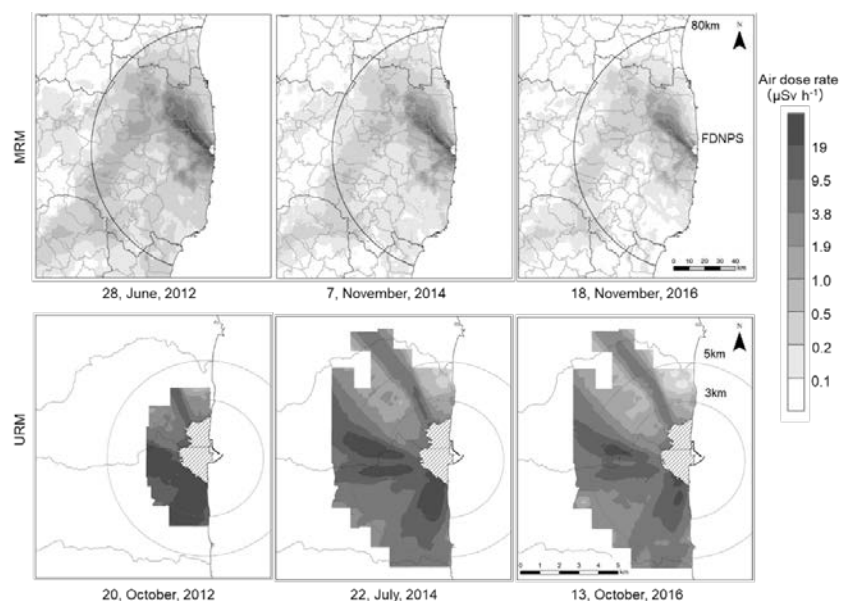


Fig. 1 Contour maps of dose rate around Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant by airborne radiation monitoring (MRM: Manned helicopter; URM: Unmanned helicopter).

空間線量率データを IDW (Inverse Distance Weighted) や kriging 等の内挿法を適用し、コンターマップを作成する。なお、換算後の空間線量率データは地上で測定した空間線量率データと比較し、数値の妥当性を確認している。

結果および考察

測定例として、2012 年から 2016 年までの測定結果を Fig. 1 に示す。

このように、比較的高い線量率の地域が発電所から北西に広がっている。その後、山脈に沿うように群馬まで汚染が広がっている。UAV による

発電所周辺のモニタリング結果を見るとプルームの通過跡が 4 方向に延びているのが分かる。また、空間線量率は年々減少している。この結果から、実効半減期と環境半減期を求め、全データについて 2 重の指数関数近似処理を行い、短期的な成分 (Short) と長期的な成分に弁別して、それぞれの数値を求めた。Fig. 2 に航空機モニタリングの結果から求めた実効半減期と環境半減期の評価例を示す。近似には全データ使っているが、図には最初のモニタリングを 1 に規格化した空間線量率の平均値と標準偏差 ($\sigma=1$) を示している。図のデータは環境半減期を求め、放射性セシウムの物理的半減期補正を実施した結果を示している。実行半減期は物理的半減期による補正を行っていないデータで同様な近似を行っている。結果として、環境半減期の短期成分は 0.61 年、長期成分は 56 年となった。この結果から、近年ではいわゆるウエザリングの効果が小さくなっていることが示唆される。

まとめ

事故後 7 年が経過し、全体的に空間線量率は低くなってきている。一方、半減期評価からもわかるように、今後の線量率の減少割合は小さくなる。放射線計測に求められるニーズも、水系の効率的なモニタリング手法、天然の放射線と弁別する手法や放射線分布を 3 次元に表現する測定手法など、より住民の生活に近い情報を得られる手法に移行しており、さらなる精度を向上させる技術開発が望まれる。

参考文献

- 1) Sanada, Y., Sugita, T., Nishizawa, Y., Kondo, A., Torii, T., 2014, The airborne radiation monitoring in Japan after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. Prog. Nucl. Sci. Tech., 4, 76-80.
- 2) Sanada, Y., Torii, T., 2015, Aerial radiation monitoring around the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant using an unmanned helicopter. J. Environ. Radioact., 139, 294-299.
- 3) Mikami, S. Maeyama, T., Hoshide, Y., Sakamoto, R., Sato, S., Okuda, N., Sato, T., Takemiya, H., Saito, K., 2015, The air dose rate around the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant: its spatial characteristics and temporal changes until December 2012. J. Environ. Radioact., 139, 250-259.

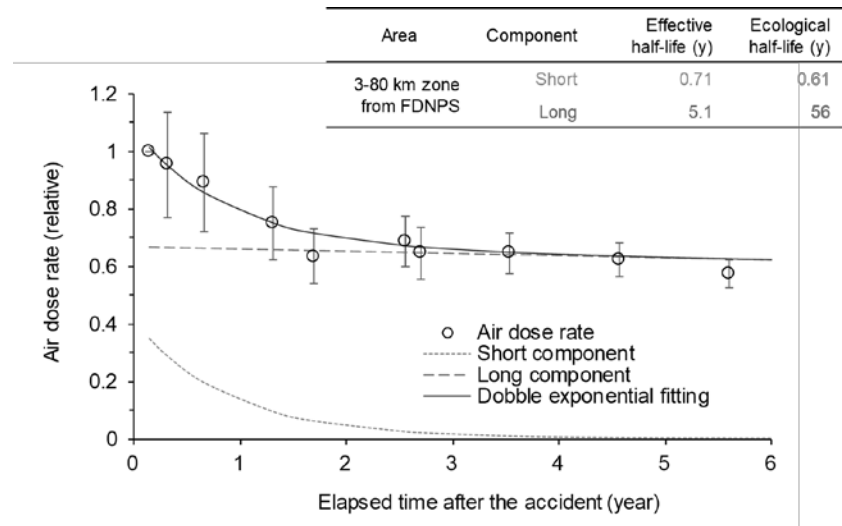


Fig. 2 Temporal changes in air dose rate obtained by MRM. The air dose rate was averaged and standardized in the oldest monitoring results. For evaluation of ecological half-life, temporal change in the air dose rate which is corrected by physical decay of radiocesium by MRM.

福島県二本松市と宮城県丸森町の水田周辺に生息する生物 の放射性 Cs の分布把握

*鹿野谷成章、渡邊 泉、尾崎宏和、原 優太、高橋晃、五味高志

東京農工大学大学院農学研究院

e-mail: s179533s@st.go.tuat.ac.jp

【はじめに】

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震やそれに伴う津波によって福島県第一原子力発電所で事故が起こり、大量の放射性物質が環境中に放出された。環境中に負荷された放射性物質は時間の経過とともに環境中を移動する。大気、土壌や水環境に負荷された放射性物質は、呼吸や捕食などの生命活動を通して生物体内に再分配される。なかでも ^{137}Cs は半減期が30.1年と長く、生態系に長期的な影響を及ぼすことが懸念されている¹⁾。森林生態系における放射性物質による汚染についてはいくつか報告されているが²⁾、水田生態系における汚染実態の報告は少ない³⁾。そこで本研究は、福島県二本松市および宮城県丸森町の水田およびその周辺環境に生息する生物の放射性 Cs 分布を把握し、周辺環境や生態学的特徴と関連した蓄積傾向を明らかにすることを目的とした。

【方法】

2016年5,7,11月および2018年5月に福島県二本松市東部の水田(地点A-C)で、2017年7月に宮城県丸森町の水田(地点D,E)で生物および土壌試料を採取した。土壌試料は5つの土壌条件(あぜ,水田,水路,リター,森林)で採取した。生物は貝類3種215個体,昆虫綱2目260個体,両生類6種470個体および植物試料を採取した。全ての試料の ^{137}Cs および ^{134}Cs 濃度は高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いて測定した。

【結果と考察】

二本松で採取した土壌の ^{137}Cs 濃度は $177\text{-}20,000\text{ Bq kg}^{-1}\text{ d.w.}$ の範囲であった。一方、丸森町で採取した土壌の ^{137}Cs 濃度は $28\text{-}4,920\text{ Bq kg}^{-1}$ であり二本松市の約5分の1程度であった。どちらの地点でも最大平均 ^{137}Cs 濃度は森林土壌でみられた。これは、初期沈着時に ^{137}Cs の多くが林冠にトラップされた後に、土壌表層に強く吸着したことを示唆した。

昆虫綱バッタ目において雑食性バッタの ^{137}Cs 濃度は草食性バッタの約4-6倍の値である 308 Bq/kg d.w. を示した。先行研究より、 ^{137}Cs は土壌粒子に強く吸着するため⁴⁾、植物へ移行しにくいと考えられている。以上より、バッタ目において、植物の葉のみを餌とする草食性の種よりも葉だけでなく生物の死骸や小昆虫を餌とする雑食性の種で ^{137}Cs が蓄積しやすいことが考えられた。

カエルの成体3種類の ^{137}Cs 蓄積には種間差があり、ニホンアマガエルでのみ高濃度で ^{137}Cs 蓄積がみられ、先行研究と一致した³⁾。これは3種の中でニホンアマガエルが繁殖期でも採餌行動を行うこと、水田よりも ^{137}Cs 濃度が高い林内で主に生活していること、それ

に伴って餌生物由来の ^{137}Cs 蓄積に差が生じたことが原因であると考えられた。

採取したオタマジャクシにおける ^{137}Cs 濃度は各地点における生物試料の中でも比較的高い値を示した。オタマジャクシは主に藻類やデトリタスを餌としている。地点D、Eで採取した水田内植物(未同定)の平均 ^{137}Cs 濃度(269 kg^{-1})はオタマジャクシの平均濃度(263 Bq kg^{-1})と類似しており、オタマジャクシにおける ^{137}Cs 移行率が他の生物に比べ高いことが考えられた。しかし、オタマジャクシが採餌の際に一緒に土壌を体内に取り込むことで、水田土壌における ^{137}Cs 濃度を反映している可能性も否定できず、今後の分析の課題と考えられた。しかし、オタマジャクシに比べてニホンアマガエル成体の ^{137}Cs 濃度は著しく低く、先行研究と一致した³⁾。カエルは成体へと変態する過程で尾部の栄養によってのみ生育する不採餌期間を持つ。この期間に餌からの ^{137}Cs 取り込みが減少したために、ニホンアマガエル成体における ^{137}Cs 濃度が減少したと考えられた。

【参考文献】

- 1) Koarashi *et al.* (2012) *Science of the Total Environment*, 431, 392-401.
- 2) 高橋正通 (2013) *学術の動向*, 18, 68-71.
- 3) 渡邊 泉ら (2015) *環境放射能除染学会誌*, 3, 207-214.
- 4) 塚田祥文ら (2011) *日本土壌肥料学雑誌*, 82, 408-418.

農業環境中の放射性セシウムの挙動

Behavior of radiocesium in agricultural environment

二瓶直登, 小林奈通子

東京大学大学院農学生命科学研究科

NIHEI Naoto, KOBAYASHI Natsuko

e-mail: niheinaoto01@gmail.com

【はじめに】

東京電力福島第一原子力発電所事故から 7 年が経過し、農地では除染とともにカリウム施肥が徹底され、土壌中から作物への放射性セシウムの移行は概ね制御されている。山菜は未除染エリアに生育し、特にコシアブラは高い値を示すものも散見されるがその要因解明は進んでいない。また、原発に近い地域（避難指示地域）では現在でも放射性降下物（水盤に降下した放射性物質）が確認されているおり、今後の農業再開への影響が懸念される。そこで、福島に自生するコシアブラ若木を対象にした放射性セシウム濃度の変化と、大気浮遊放射性セシウムの農作物への影響を検討した。

【調査方法】

○コシアブラ：福島県内の同一斜面に沿って自生するコシアブラを対象とし 5 月上旬、6 月下旬、9 月下旬に葉を採取した。採取した葉はゲルマニウム半導体検出器で放射性セシウムを測定し、サンプルの一部については ICP-OES にて塩基成分を測定した。

○大気浮遊放射性セシウムの農作物の影響：福島県内（福島第一原発より約 3.5km~50km）数か所で、非汚染土壌をポットに詰めてコマツナを栽培した。ポットは地表面から 30cm、60cm、120cm の高さの位置に配置した。収穫後、地上部の半分は水洗いし、半分は収穫した状態のまま放射性セシウム濃度を測定した。

【結果および考察】

○コシアブラ：放射性セシウム濃度は、5 月上旬が最も高く、成熟するにしたがい半分に低下した。葉のカリウム濃度も同様の傾向を示し、放射性セシウムは新葉展開時にカリウムと同時に流入していると推察された。春先の放射性セシウム濃度の上昇は山菜として利用する時期と一致しているために注意が必要であると考えられる。

○大気浮遊放射性セシウムの農作物の影響：地上部の放射性セシウム濃度は、福島第一原発に近い試験区のコマツナほど高く、また、地表面に近いコマツナほど地表面から高いコマツナより放射性セシウム濃度が高い傾向がみられた。さらに、洗浄有区放射性セシウム濃度は大部分で洗浄無区より低下したことより、コマツナに検出された放射性セシウムは、地表からの巻き上げによる浮遊物が要因の一つであると推測された。また、エアサンプラーのフィルターや、水盤には、高濃度の放射性セシウムを含む粒子を確認した。

東日本大震災及び原発事故後の福島県における潮間帯生物相の経時変化 (第3報)

堀口敏宏¹・児玉圭太¹・久米元²・姜益俊³・漆谷博志⁴・川村佳代子¹

1 国立環境研究所環境リスク・健康研究センター、2 鹿児島大学水産学部、
3 九州大学共創学部、4 会津大学短期大学部

e-mail: thorigu@nies.go.jp

【はじめに】 2011年3月の東日本大震災及び福島第一原子力発電所(1F)事故の後、2011年12月及び2012年4月～8月に1F近傍を含む東日本の43地点の潮間帯において無脊椎動物を対象とする調査を行った結果、その種数が1Fに近づくほど有意に減少し($P<0.001$)、広野町～双葉町の約30kmの範囲でイボニシが採集されなかった。津波による甚大な被害を受けた福島県北部や宮城・岩手両県でイボニシが採集されたことから、上述の現象が津波のみによって引き起こされたとは考えにくい。また、2013年4月以降、1F近傍の4地点と茨城県及び宮城県の3地点(対照)で方形枠調査を行うとともに、福島県におけるイボニシの分布及び産卵状況の調査を進めてきた。2017年4月以降は、毎月、福島県大熊町と富岡町、茨城県ひたちなか市(対照)でイボニシの生殖腺組織検査を行い、生殖周期を調べている。また、イボニシが消失したかにみえる現象の原因究明に向け、予備的室内実験を進めている。

【材料と方法】 方形枠調査では、各地点の種数と水深帯別の種別の個体数密度及び重量密度を解析した。イボニシの分布状況は、各地点の密度(調査1分間当りの採集個体数)の経年変化として示し、産卵状況は目視観察による卵囊の有無とおよその産卵面積を調べた。イボニシの生殖腺組織検査は、常法(ブアン固定・パラフィン包埋・HE染色)により光学顕微鏡で行った。イボニシに対する予備的な曝露実験は、¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ヒドラジンをを用いて行った。

【結果と考察】 方形枠調査の結果、2013年には1F南側の大熊町と富岡町で無脊椎動物の種数と種別の個体数密度及び重量密度が他の地点よりも有意に低かった(いずれも $P<0.05$)。種数について、2014年と2015年には大熊町と富岡町で他地点よりも低値が観察されたが(それぞれ、 $P>0.05$ と $P<0.05$)、2016年以降、不明瞭となった。種別の個体数密度については、2014年は大熊町と富岡町で引き続き他地点よりも有意な低値が観察された($P<0.05$)が、2015年以降、有意でなくなった。一方、種別の重量密度について、2014年と2015年は大熊町と富岡町で引き続き他地点よりも有意な低値が観察された($P<0.05$)が、2016年以降、有意でなくなった。一方、1F北側の双葉町ではフジツボ類の個体数密度の低値が2016年まで継続しており、1F近傍地点(双葉町、大熊町、富岡町)におけるフジツボ類の個体数密度は、2014年と2015年は、2013年と同様に、他地点よりも有意に低値であった(いずれも $P<0.05$)。しかし、これは2016年に有意でなくなった。これは、大熊町で2015年からムラサキイガイが、また富岡町で2016年からフジツボ類が増加し始めたことによるとみら

れた。イボニシの分布状況を見ると、その‘空白域’が南相馬市側と檜葉町側から(すなわち、南北の各方向から)徐々に狭まり、2016年7月に、大熊町夫沢で演者らが2011年12月に調査を開始して以降、初めてイボニシが採集されたことにより、ついに消滅したとみられた。イボニシはベリジャー幼生期が2ヶ月間程度存在すると考えられているため、周辺海域から幼生が加入・着底した結果と推察される。しかしながら、大熊町ではいずれの地点においてもイボニシの密度が依然低く、回復が充分とは言えない。さらに、1F近傍地点(双葉町、大熊町、富岡町)ではイボニシの産卵が2016年夏季までほとんど全く観察されず、2017年夏季ようやく少数の産卵が観察された。以上により、1F近傍の潮間帯における無脊椎動物群集は、イボニシ個体群を含めて、回復し始めたとみられるまでに震災・原発事故から4~5年を要したと言え、しかも、それはまだ途上であり、震災前の水準と比べて未だ充分と言えないであろう。イボニシだけでなく、潮間帯の無脊椎動物の多くの種が浮遊幼生期を持ち、周辺海域からの加入・着底が予想されるにもかかわらず、1F近傍の潮間帯では回復に相当の時間を要したことは、当該海域における加入阻害因子の存在を示唆するものである。震災・原発事故直後の放射性核種を含む何らかの有害因子による急性影響とともに、加入阻害因子の究明と影響評価を図る必要がある。同時に、今後も引き続き、1F近傍の潮間帯における無脊椎動物群集(イボニシ個体群を含む)の回復過程を追跡する必要がある。

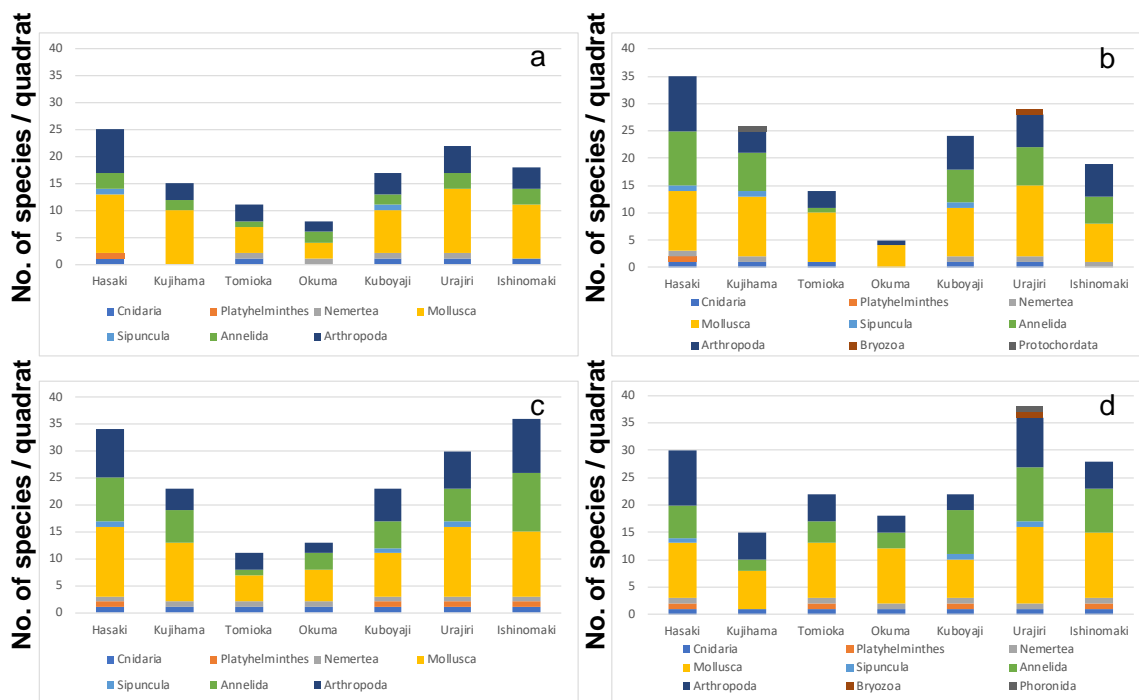


図 1F 近傍 4 地点と茨城・宮城両県の 3 地点における方形枠調査結果：種数の経年変化 (a) 2013 年, (b) 2014 年, (c) 2015 年, (d) 2016 年

トリチウム水の取扱いに関する議論の現状

森田貴己

水産機構 中央水研

E-mail: takam@affrc.go.jp

2011年3月に事故を起こした東京電力(株)福島第一原子力発電所(福島第一原発)から発生する汚染水には、高濃度の放射性核種が複数種類含まれている。これら放射性核種は多核種除去設備により除去されるが、トリチウムはこの設備により除去できない。このため、トリチウムを含んだ処理水(トリチウム水)は、福島第一原発敷地内に設置されたタンクに保管されている。汚染水はいわゆる凍土壁である陸側遮水壁閉合後、平均約520 m³/日(2015年12月～2016年2月)から平均約140 m³/日(2017年12月～2018年2月平均)と発生量が減少しているが、未だ発生は継続している。これは、陸側遮水壁が完全に地下水を遮水しているわけではないこと、また陸側遮水壁の内側への降雨が原因と考えられている。汚染水の発生が止まらないことから、その処理水であるトリチウム水の増加も止まらず、タンクは増設され続けている。タンク1基の容量は約1000 m³であり、現在約1000基のタンクに総貯蔵量約100万 m³のトリチウム水(総放射エネルギー約1000兆 Bq)が保管されている。

この増え続けるトリチウム水の問題は、政府でも早くから認識されており、経済産業省の資源エネルギー庁は、平成25年12月より「トリチウム水タスクフォース」を設置し、平成28年5月までに15回の会議を開催した。トリチウム水タスクフォースは、トリチウム水の処理方法を決定する委員会ではなく考えられる処理方法を整理することを目的としていた。委員会では、トリチウム水からトリチウムのみを分離することは現在の技術では実用化困難なことが確認され、次の5つの方法が実現可能な方法として整理された、(1)地層注入、(2)海洋放出、(3)水蒸気放出、(4)水素放出、(5)地下埋設。

トリチウム水タスクフォースで処理方法の整理を行う過程で、その処理による社会的影響を懸念する意見が多く寄せられた。特に、福島県の浜通りでは復興の初期段階であり、トリチウム水が環境に放出されることは復興の妨げになるという意見は多く、このためトリチウム水タスクフォースの最終報告書には「トリチウム水の取扱いについては、風評に大きな影響を与えうることから、今後の検討にあたっては、成立性、経済性、期間などの技術的な観点に加えて、風評被害などの社会的な観点等も含めて、総合的に検討を進めていただきたい。」と記載されている。この記載を受けて、資源エネルギー庁は、トリチウム水タスクフォース報告書で取りまとめた知見を踏まえつつ、風評被害など社会的な観点等も含めて、総合的な検討を行うことを目的とする「多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会」を平成28年11月より設置し、現在も議論が積み重ねられている。

講演者はトリチウム水タスクフォース及び多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会に委員として参加しており、本勉強会ではトリチウム水の取扱いに関する議論の現状について紹介する。

参考文献

- 経済産業省(2017) トリチウム水タスクフォース報告書,
http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku.html#task_force3, (2018年6月時点).
- 経済産業省(2017) 多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会
http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku.html#task_force4, (2018年6月時点).

原発事故帰還困難区域における黒毛和種牛の健康評価

○ 岡田啓司¹, 佐藤至¹, 佐々木淳¹, 佐藤洋¹, 出口善隆¹, 村上賢二¹

彦野弘一¹, 木崎景一郎¹, 千田広幸¹, 夏掘雅宏², 伊藤伸彦²

¹岩手大学農学部、²北里大学獣医学部

警戒区域に取り残された牛の継続飼養 12 農家 4 団体のうち 11 農家 1 団体の 280 頭(2014 年 10 月現在)が、一般社団法人“原発事故被災動物と環境研究会”(旧“家畜と農地の管理研究会”)のプロジェクトに参加している。この法人は、2012 年 9 月に公益社団法人日本獣医師会のバックアップで設立されたものであり、警戒区域内で牛を継続飼養している農家のほかに、北里大、岩手大、東北大、東大などの獣医・畜産系を中心とした研究者約 20 名と福島県や岩手県の臨床獣医師、福島県内の畜産農家などが参画している。研究会の目的は警戒区域に生き残った被災動物、特に誰も援助の手をさしのべていなかった家畜(牛)に対して、飼料確保、獣医療提供などを行って牛の QoL(生活の質)の向上を図ると同時に、持続的低線量被曝の状態に置かれている牛および飼育環境を継続調査し、低線量被曝の生体への影響を評価することである。

研究会では多様な研究を行ってきたが、今回は 2013 年から開始した血液検査および血液生化学検査を中心として牛の健康評価を示すことにする。

採材は毎年 5 月、8 月、12 月の 3 回実施している。2016 年における供試牛は高線量区の 0 牧場(のべ 143 頭)、低線量区の I 牧場(のべ 117 頭)および Y 牧場(のべ 53 頭)であった。年齢分布は震災後生まれ 54 頭、震災時 3 歳以下 37 頭、震災時 4 歳以上 33 頭、年齢不詳 12 頭であった。2016 年末までの血液生化学検査では、放射線によると推定される異常を示した個体は見いだせなかった。

2013 年～2017 年までの間に白血病と診断された 13 頭のうち、8 頭が後躯麻痺・起立不能、4 頭が眼球突出、1 頭が軽度消瘦であった。2016 年 8 月における血液検査データを、その後白血病を発症した 7 頭(うち 1 頭は疑診)について検討した。白血病の指標となるリンパ球数増加個体は 17 頭、異型リンパ球数増加個体は 9 頭いたが、白血病発症個体はなかった。血清中チミジンキナーゼ増加個体 8 頭中白血病発症個体は 1 頭で、この個体のリンパ球数は低値を示した。乳酸脱水素酵素(LDH)の 2 分画+3 分画増加個体 4 頭中白血病発症個体は 2 頭で、このうち 1 頭のリンパ球数は低値を示した。白血病摘発の指標となる検査項目に異常を示さなかった個体 100 頭のうち 3 頭で白血病が発症し、1 頭は解剖できなかったが白血病が強く疑われた。白血病発症個体の 2015 年～2017 年のリンパ球数は、持続的に低値を示した個体が 4 頭、正常値～高値が 5 頭であった。

国内におけるウイルス性牛白血病は、原発事故の前から著しく増加し、その病態も多様化しており、臨床診断は非常に困難になってきている。今回の帰還困難区域における牛白血病の症例がウイルス性であるか放射線性であるかの判定は、今のところ解明できていない。

福島県の被ばく牛における甲状腺の病理学的検討

上原めぐみ¹、○佐々木 淳¹、佐藤 至¹、岡田 啓司¹、佐藤 洋¹、夏堀 雅宏²、伊藤 伸彦²

¹岩手大学農学部、²北里大学獣医学部

e-mail: sasajun@iwate-u.ac.jp

甲状腺は放射線に対して発がん感受性の高い臓器の一つであり、広島・長崎の原爆被ばく者や1986年のチェルノブイリ原発事故の事例では小児甲状腺がんの過剰発生が報告されている。我々は2013年より帰還困難区域で飼育・維持されている黒毛和種牛における疾病発生状況や被ばくの影響について継続的に調査しているが、調査牧場の牛群には原発事故発生の前後に誕生した牛とともに震災直後の混乱の際に自然交配して誕生した若齢牛が多く存在していることから、これら調査牧場の被ばく牛についてもヒトの小児と同様に甲状腺がんの発生が懸念されている。そこで本研究では、帰還困難区域で飼育・維持されている黒毛和種牛の甲状腺について病理学的に検索し、牛の甲状腺における被ばくの影響について検討を行った。

福島県の帰還困難区域における4カ所の牧場について、2013年から2017年の5年にわたって調査した。各牧場の調査開始時の飼養頭数は、A牧場(96頭)、B牧場(71頭)、C牧場(46頭)、D牧場(28頭)であり、これらのうち2017年7月までに66例の剖検を実施した中で甲状腺重量の測定が可能であった37例をサンプルとして用いた。被ばく時に24カ月齢以下であった若齢牛は21例(56.8%)、震災後生まれは8例(21.6%)、被ばく時に25カ月齢以上であった成牛は8例(21.6%)であった。非汚染対照牛として、岩手県内のと畜場で2017年5月にと畜された黒毛和種牛の甲状腺103検体を用いた。非汚染対照牛は、24カ月齢以下が2例(1.9%)、25~65カ月齢は78例(75.7%)、120カ月齢以上の高齢牛は23例(22.3%)であった。採取した甲状腺はそれぞれ肉眼的観察および重量測定後に組織学的検索に用いた。放射線被ばくの影響を形態学的に検討するため、一次抗体にKi-67、抗8-ニトログアノシン抗体を用いた免疫組織化学的検索およびアポトーシスの検出を目的としてTUNEL法を行った。

被ばく牛では甲状腺疾患に関連した臨床症状は認められず、肉眼的に甲状腺全体がび慢性に腫大したものや全葉性に萎縮したものがそれぞれ認められたが、いずれも腫瘍性病変は認められなかった。甲状腺の腫大例は3例(1.2%)で認められ、推定積算外部被ばく線量は最大797mSv、最小23.6mSvであった。腫大した甲状腺は正常な形状を維持しており、組織学的には有糸分裂像や異型性、被膜浸潤などの悪性所見は認められなかった。一方、甲状腺の萎縮例は7例(2.9%)で認められ、推定積算外部被ばく線量は、最大588.7mSv、最小7.6mSvであった。萎縮した甲状腺は肉眼的に全葉性に萎縮しており、組織学的には炎症性細胞浸潤や線維増生などの特異所見は認められなかった。甲状腺の腫大例、萎縮例ともに抗8-ニトログアノシン抗体およびTUNEL法では陽性所見は認められなかった。

本研究結果より、いずれの調査牧場でも甲状腺がんの発生は認められず、原発事故から6年が経過した現在のところ福島の被ばく牛ではヒトの被ばく例と同様の甲状腺腫瘍が発生していないことが明らかとなった。また、本研究で確認された甲状腺腫大や萎縮は、各牧場の空間線量や積算外部被ばく線量との間には有意な相関は認められず、病理学的にも放射線被ばくの影響を示唆する所見は認められなかったことから、これらの発生要因としてはヨード欠乏や震災によるストレス、不十分な栄養状態などの影響が考えられた。

帰還困難区域の牛における放射性セシウムの汚染状況と体内分布

○佐藤 至¹, 岡田啓司¹, 佐々木淳¹, 佐藤洋¹, 村田幸久², 夏掘雅宏³, 伊藤伸彦³
¹岩手大学農学部, ²東京大学農学部, ³北里大学獣医学部

e-mail: satoital@iwate-u.ac.jp

我々は被災農家とともに「原発事故被災動物と環境研究会」を設立し、牛と農地を対象とした研究を行っている。これまで継続して空間線量の測定や血液等のサンプリングを行うとともに、諸事情により安楽殺されることとなった牛から筋肉や臓器を採取することができたので、その中で得られた知見をいくつか紹介する。

【環境の汚染レベルと牛の汚染レベルとの関係】

2013年11月から翌年12月にかけて安楽殺された牛において、筋肉中放射性セシウム濃度と空間線量との相関係数は0.94と高く、両者の関係は[筋肉中Cs (Bq/kg) = 空間線量 (μ Sv/h) \times 215]であった(この係数は事故後の経過時間によって変わる)。したがって、除染が終了して空間線量が0.23 μ Sv/h以下になれば、その地で生産された牛が100 Bq/kgを超過するおそれは少なく、畜産を再開することが十分可能であると考えられる。

【牛における放射性セシウムの分布】

実験動物などと同様に、牛においても放射性セシウム濃度は筋肉や腎臓で高く、肝臓で低く、血液では筋肉の1/10未満であった。しかし、2014年5月(汚染上昇期)と12月(汚染下降期)の分布を血中濃度に対する相対値で比較すると、肝臓、腎臓および心臓では5月と12月で差が見られなかった一方で、筋肉ではいずれの部位でも5月よりも12月の方が高かった。これは汚染のステージによってセシウムの分布が異なることを示しており、血液から筋肉への取込みや排泄が遅いことによると考えられる。

【食品としての検査部位の妥当性】

牛肉の検査は一般に頸部の筋肉(ネック)で行われているが、ネックよりも放射性セシウム濃度が高い部位があれば、検査で合格であっても基準値を超える牛肉が流通する虞がある。これまで検査した45頭では大部分の個体でモモ、ヒレ、ロースの放射性セシウム濃度がネックよりも高く、その比は最大1.57に達した。したがって、ネックでの検査で60 Bq/kgを超えた場合には、モモなどを用いて再検査することが望ましい。

【尿による生体汚染検査法】

尿中セシウム濃度と血中セシウム濃度との相関が低いいため、尿中セシウム濃度から生体汚染レベルを精度よく推定することは困難であった。そこで、尿のクレアチニン、比重、導電率、カリウム、⁴⁰K、ナトリウムおよびpHを補正因子として検討したところ、精度と簡便さで最も優れていたのは比重で、これによる補正を加えた血中放射性セシウム濃度の推定式は[血中Cs = 尿中Cs / (比重 - 1) / 329]となった。これによる推定値の平均誤差率は16.9%で、筋肉と血液の放射性セシウムの濃度比を25と仮定すると、尿による血中濃度の推定値が2 Bq/kg未満であれば、その牛が基準値を超過する虞はないであろう。

最高線量地帯に生息するウグイスにおける高頻度の頭部症状 と放射線・原発事故の野生生物への影響評価

石田健 (自由科学者) pm@ishiken.org

福島第一原発事故によって放射能汚染された中で、測定される線量の特に高い区域において、2011年から換羽期の7月と8月に、そこで繁殖していると考えられるウグイスの捕獲調査を実施してきた。捕獲個体は、3月下旬に調査地に移動してきてなわばりを構え、捕獲時まで4～5ヶ月間滞在していると考えられる。これまでに本報告会で紹介したように、2011年8月11日に浪江町赤宇木地区で、総排泄口周辺に大きなおできがあり頭皮が黒く頭部の羽毛の脱けたオスのウグイスを1個体捕獲し、2015年～2017年に比較的高線量の複数地点で、頭皮が黒く頭部の羽毛が抜けたウグイスをそれぞれ4個体ずつ捕獲した(表)。2016年と2017年には、高線量地点で捕獲したうちの過半で頭皮が変性していた。2015年に頭部症状のあったウグイスの1個体は2013年から、別の1個体は2017年まで、それぞれ3年間にわたって繰り返し再捕獲し、**野生個体における経過観察**もできた。体の外から観察できる個体レベルの放射線の**確率的影響**の観察結果には、個体履歴、個体の置かれた環境の諸条件、捕獲される確率など多くの要因が影響を与えていると仮定され、変異は大きい。本研究の観察結果が、放射線影響なのか、間接的あるいは別要因による結果なのかは、今後の検証が必要である。ただし、サンプル数が小さいながら、3年間高確率で観察された、今回のウグイスの雄成鳥における頭部の異常形質は、福島の高線量地帯に生息する野生動物において確認された症状として、一定の意義があると判断される。同様の症状は、毎年1,000つがい(雌雄で2倍の個体数)近い繁殖個体を巣箱で観察し続けているオックスフォード大学のワイタム研究林のシジュウカラ類においてのみ、類似の確認事例があるらしいことがわかっている。本研究の調査地においては、数百倍の高確率で観測されていると言える。今後、この調査地における線量低下とともに観測頻度が変化するかを確かめたい。また、本研究では、野生生物の個体追跡、経年変化も念頭に観測をしており、捕殺による内部被曝量の測定はできずにいる。村上ら(2015)が、本研究の調査地より線量の低い伊達市小国地区において、ウグイス2個体、ヤブサメ1個体等を2013年5月に捕獲して測定した被曝量(それぞれ、筋肉中569, 838, 5850 Bq/kg)等も参照して、本研究の各捕獲個体の被曝量の推定をし、野鳥への影響の暫定的な評価を試み、議論の材料としたいと考えている。評価方法や方針について、助言、ご意見、ご批判などをいただきたい。

表. 高線量地点で捕獲されたウグイスの雄の異常個体

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
おでき	1*	0	0	0	0	0	0
黒頭	1*	0	0	0	4	4	4
正常	2	5	10	11	10	2	3

*同一個体におできと黒い頭

放射能汚染地帯のため池に棲むコイの健康状態 — ため池に放流したコイはどうなったか —

*鈴木譲¹

¹元東京大学

e-mail: yuzuru.suzuki@xui.biglobe.ne.jp

<はじめに>

福島第一原子力発電所事故により放出された放射性セシウムは水域にも流れ込んだが、水交換が悪い湖沼では長期間底泥中に滞留し、淡水魚の放射能汚染が継続している。筆者は汚染程度の異なるいくつかのため池でコイを採集し血液性状や各臓器の組織像観察により放射線影響の検出しようと試み、これまでの勉強会で報告してきた。2013年には汚染地帯と非地域のコイとで明瞭な違いが見られたが、2014、2015年の調査ではむしろ否定的な結果となり、明確な結論を得るに至っていない。放射線量以外にも池ごとの条件が違うことや、材料とした事故前生まれの高年齢のコイでは病歴の違いなどに基づく個体差に放射線影響が隠されてしまうことが考えられる。むしろ小型の若齢魚を用いた研究が有効ではないかと思いついた。

そこで条件の均一化をはかるため養殖場で育った1歳魚を各地の池に放流して、1年後に再捕獲する実験的研究を2016年から2017年にかけて試みた。残念ながら思うように魚の採捕ができず比較検討に耐えるだけの十分な数を揃えることができなかったが、その結果を報告する。

<材料と方法>

群馬県前橋市の養魚場で2015年5月に生まれたコイ1年魚を2016年8月26日から9月2日にかけて、新潟県柏崎市、栃木県芳賀町、福島県郡山市、川内村、南相馬市、飯舘村前田、飯舘村小宮の7か所の池に、20~40尾放流した。放流時の体重は180~250gで、右の腹鰭を切除して標識とした。およそ1年経った2017年8月から9月にかけて再捕を試みた。捕獲は釣りを基本として投網、電気ショッカーを併用するとともに、池全体あるいは一部の排水も試みた。

・サンプリング

採集したコイの尾部血管からヘパリン処理した注射器により採血した。血液を生理塩類液で希釈して血球計算盤を用いて検鏡し、1mm³あたりの赤血球数を求めた。また白血球観察用に塗抹標本を作製した。

次いで解剖し、組織学的観察用に肝臓、脾臓、腎臓、頭腎を切り出して10%ホルマリンにて固定した。残った魚体から筋肉を切り出し、細かく切り刻み、放射性セシウム量測定用に凍結保存した。

各池からのセシウム汚染を把握するため、深さ5cmまでの底泥を採取した。

・セシウム量測定

コイ筋肉、水、および底泥のセシウム134、137量はNPO法人市民放射能監視センター(ちくりん舎)に依頼し、ゲルマニウム半導体測定器により測定した。底泥については砂礫を除去した後に測定し、水分含量から乾燥重量当りに換算した。

・組織標本

ホルマリン固定した各組織はパラフィン包埋の切片とし、ヘマトキシリン・エオシン染色を施して顕微鏡観察に供した。

・白血球数

血液塗抹標本メイ・グリーンワルド-ギムザ染色を施した。顕微鏡で観察し、赤血球 2000 細胞以上に対する白血球数を算定、その後、栓球、好中球、好塩基球、単球、リンパ球の比率を合計数 1000 細胞程度について算出した。サンプリング当日に求めた赤血球数を基に、各白血球数を算出した。

<結果と考察>

・魚の採集

南相馬の池は事故で以前からいたコイも含めて大量斃死したため再捕獲は断念した。川内村、飯館村前田の池では釣り、投網、電気ショッカーを試みたものの1尾も採集できなかった。栃木県芳賀町では池の水を完全に抜いたにも関わらず放流した30尾の内1尾しか採集できなかった。結局芳賀町のこの1尾の他、柏崎市3尾、郡山市で3尾、飯館村小宮で2尾、合計9尾しか採集できなかった。さらに郡山市の一尾は体表に大量の寄生虫(撓脚類)が付着して明らかに弱っていたため、その後の検査から除外した。

・セシウム濃度

今回の測定結果は表1に示すように新潟県、栃木県ではほとんどセシウム汚染が観察されなかったのに対し、郡山、飯館村では汚染の程度に準じて魚体へのセシウム蓄積が認められた。粘土質の泥に吸着されたセシウムは分離されにくいと言われるが魚体へと移行しているものと推察された。

・組織学的観察

個体差が大きい上、サンプル数が限られるため、いずれの組織においても福島県のコイと栃木県、新潟県のコイとで明瞭な違いは観察されていない。現在更なる検討を進めているところである。

<結論>

上記のように、今回の実験はほぼ失敗に終わった。自然状態にある池への放流は養殖魚にとっては条件が厳しく、生存できなかったものと思われる。今後はさらに管理された条件下での実験的研究を模索したい。

表1 各池の土壌中、およびコイ筋肉中セシウム濃度

池の所在地/ 調査年月日	土壌中セシウム (Bq/kgDW)			体重 (g)	筋肉中セシウム (Bq/kg)		
	Cs137	Cs134	Cs 計		Cs137	Cs134	Cs 計
新潟県柏崎市 /20170908	1.76	—	1.76	212	<1.1	<0.95	ND
				183	<2.1	<2.0	ND
				269	<0.8	<0.71	ND
栃木県芳賀町 /20170806	4.18	—	4.18	230	2.8±0.75	<1	2.8
福島県郡山市 /20170826	1294	171	1465	249	48±11	<10	48
				372	53±9.4	5±1.6	58
福島県飯館村 小宮/20170824	2248	241	2489	165	350±61	35±10	385
				276	330±53	27±7.2	347

第一原発周辺海域に生息する海産魚類の放射性 Cs 濃度

*重信 裕弥

水産機構 中央水研

e-mail: yshig@affrc.go.jp

東京電力福島第一原発（第一原発）の事故により海洋へと流入した放射性 Cs（Cs-134 および Cs-137）は、主に飲水と摂餌の経路から周辺海域に生息していた海産魚類の体内に取り込まれた。一般的に、体内に取り込まれた放射性 Cs は特定部位には蓄積せず、体外へ排出されるため、周辺海水の放射性 Cs 濃度が下がれば速やかに体内濃度も下がる。しかし、沿岸の海底付近に生息する底魚類（ヒラメやカレイなど）からは、事故後数年が経過しても高濃度の検体が散見し、表層に生息する小型の浮魚類（イカナゴやイワシなど）と比較して放射性 Cs 濃度の低下速度が遅い傾向にあった。そのため、底魚類は餌生物を介して海底土中の放射性 Cs を継続的に取り込んでいる可能性が指摘されていた^{1,2}。

我々の調査・研究目的の一つは、海産魚類の放射性 Cs 汚染について正しい情報を消費者や漁業者に提供し、誤った解釈による水産物への不要な風評被害をなくすことである。本発表では第一原発周辺海域に生息する海産魚類の放射性 Cs 濃度が事故後どのように推移し、なぜそうなったのかを取りまとめて説明すると共に、海底土からの取り込みを検証する目的で行った飼育実験の結果を紹介する。

水産庁公表データ (<http://www.jfa.maff.go.jp/j/housyanou/kekka.html>) によれば、福島県沖の表層に生息する小型の浮魚類（イカナゴやマイワシ等の 7 種を選定）は、事故後の 1 年間に 128 検体が測定され、そのうち 27 検体が食品における放射性 Cs 濃度の基準値（100 Bq/kg-wet）を超過した。特に、事故直後に福島県の沿岸域で採取されたコウナゴ（イカナゴの幼魚）からは 1 万 Bq/kg-wet を超える放射性 Cs が検出され、各メディアを通じて国内外に大きな衝撃を与えた。しかし、超過した 27 検体中 21 検体は事故後半年以内に採取された検体であり、それ以降は海水中の放射性 Cs 濃度が低下すると共に小型浮魚類の放射性 Cs 濃度も速やかに低下している。事故直後に高濃度の放射性 Cs が検出された小型浮魚類の大半はコウナゴやシラス（イワシ類の幼魚）などの幼魚で、これらの幼魚は海水中の放射性 Cs 濃度が低下して体外への排出が促進された事に加え、成長効果による体内濃度の希釈や、世代交代により短期間で濃度が低下したと考えられる³。

一方、底魚類の放射性 Cs 濃度は魚種や海域間で差が大きく、小型浮魚類と比較して低下速度が緩やかである。特に、福島県南部沿岸域の底魚類で濃度が高い傾向にあり、事故直後に同海域を流れた高濃度汚染水の影響を直接受けたためと考えられている^{1,2,3}。また、底魚類は小型浮魚類と比較して長生きの魚種が多いことから、事故直後に放射性 Cs を取り込んだ個体が長期間生残していたことが、事故後数年が経過しても基準値を超過する検体が散見した要因の一つと考えられる。我々は 2012 年 9 月から 2015 年 7 月までの間に福島県沖で採取した底魚類のシロメバル 158 個体について、個体別に筋肉部位の放射性 Cs 濃度を測定して比較を行った。その結果、基準値を上回ったのはいずれも 2011 年 3 月の震災当時に 2 歳以上の個体であった³。

著者らは福島県沖の複数地点から 2014 年と 2015 年に採取した海底土（実験開始時の Cs-137 濃度：242 Bq/kg-wet）と、福島県小名浜沖からくみ上げた海水（飼育期間中の Cs-137 濃度平均値±標準偏差：49.1±26.7 mBq/kg-wet, n=14）を用いて、かけ流し式の 5t 水槽で底魚類のアイナメとマコガレイを 70 日間飼育し

た。その結果、放射性Csを含む海底土で飼育した餌生物を給餌した場合でも、アイナメとマコガレイのCs-137濃度はそれぞれ1.65 Bq/kg-wetと1.30 Bq/kg-wetが最高値であった。この飼育実験の結果は、事故から数年が経過した福島県沖の海底土に含まれる放射性Csの大半は、底魚類を含む海産生物に移行しにくい状態となっていることを示唆している。これは、鉱物粒子への吸着性が強い放射性Csは、鉱物粒子に吸着した状態で魚類の消化管内に混入したとしても、体内には殆ど移行せずにそのまま体外へ排泄されるためであると考えられる⁴。

参考文献

1. Wada T, Nemoto Y, Shimamura S, Fujita T, Mizuno T, Sohtome T, Kamiyama K, Morita T, Igarashi S. Effects of the nuclear disaster on marine products in Fukushima. *J. Environ. Radioact.* 2013; 124: 246-254.
2. Wada T, Fujita T, Nemoto Y, Shimamura S, Mizuno T, Sohtome T, Kamiyama K, Narita K, Watanabe M, Hatta N, Ogata Y, Morita T, Igarashi S. Effects of the nuclear disaster on marine products in Fukushima: An update after five years. *J. Environ. Radioact.* 2016; 164: 312-324.
3. 重信裕弥. 魚類の汚染機構. *沿岸海洋研究*. 2017; 54: 173-179.
4. Coman RNJ, Hockley DE. Kinetics of cesium sorption on illite. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1992; 56: 1157-1164.

放射線汚染地域に生息するアライグマの染色体解析

* 藤嶋洋平¹, 有吉健太郎², 中田章史³, Valerie Goh Swee Ting¹, 葛西宏介¹,
小荒井一真⁴, 鈴木正敏⁵, 山城秀昭⁶, 木野康志⁴, 岡壽崇^{4,7}, 篠田壽⁸,
吉田光明², 三浦富智¹

¹弘前大・保, ²弘前大・被ばく研, ³北海道科学大・薬, ⁴東北大・理,
⁵東北大・災害復興研, ⁶新潟大・農, ⁷東北大・高教機構, ⁸東北大・歯

e-mail: h16gg802@hirosaki-u.ac.jp

【はじめに】

東京電力福島第一原子力発電所事故により、放射性物質が環境中に広範囲にわたって放出された。現在浪江町では、平成29年3月の避難指示解除により、除染やインフラの復旧などが進んでいるが、害獣による被害が社会問題になっている。中でも特定外来生物として知られるアライグマは、住民が避難して空き家となっている家屋に住み着いていることが確認されており、帰還住民にとっては家屋の破壊や糞尿による汚染などが大きな問題となっている。本演題では、放射線汚染地域（浪江町）と対照地域（弘前市）において駆除されたアライグマを対象として放射性物質の環境への影響評価を目的とした、染色体解析について報告する。

【実験材料と方法】

2015年および2017～2018年に駆除されたアライグマより採血して血液培養を行った。染色体標本を製作し、ギムザ染色により二動原体染色体(Dic)解析を行った。また、主要組織を摘出したのち、ゲルマニウム半導体検出器にて、組織に蓄積した放射性セシウム濃度を測定した。さらにアライグマが捕獲された地点の周辺環境を調査するために、空間線量率を測定した。

【結果とまとめ】

アライグマの捕獲地点における、空間線量率と土壤中セシウム濃度の間には強い相関が認められた。摘出した臓器の肉眼的観察においては、異常な所見は見られなかった。また、すべてのサンプルにおいて放射性セシウムを検出し、その濃度は大腿筋においては最大1929.7 Bq/kg、最小61352.1 Bq/kgであった。また、臓器に蓄積された放射性セシウム濃度は捕獲地における空間線量率とかなり強い相関が認められた。現在、2017年以降に捕獲された個体について解析中であり、併せて報告する予定である。

一方、アライグマの末梢血を用いた血液培養法は確立されておらず、より多くの分裂中期細胞を得るために、アライグマ血液の培養条件の最適化を検討した。アライグマの末梢血リンパ球は、ヒトやニホンザルなどとは異なり、分裂促進剤であるPHAへの応答性が低く、コンカナバリンAの単独刺激により良好な分裂頻度を得ることができた。放射線に特異性の高い染色体異常であるDicは浪江町にて捕獲した個体でのみ検出された。また、その他の染色体構造異常(ギャップ、切断)に関しては全ての個体にそれぞれ認められたが、アライグマが捕獲された地点における空間線量率と染色体異常頻度を比較したところ、相関関係は認められなかった。

今後も調査を継続し、低線量慢性被ばくと染色体異常頻度との関係を明らかにすることで、帰還後の生活圏内における放射性物質の生物影響評価のための有効な調査になると考えられる。

被災サル歯中 Sr-90 の測定と 歯を用いた被災サルの骨髄線量の推定

*小荒井一真¹、木野康志¹、西山純平¹、金子拓²、小野拓実²、岡壽崇^{1,3}、高橋温⁴、
鈴木敏彦^{5,6}、清水良央⁵、千葉美麗⁵、小坂健^{5,6}、佐々木啓一⁵、
漆原佑介⁷、鈴木正敏⁸、関根勉^{1,3}、篠田壽⁵、福本学⁹

¹東北大院・理、²東北大・理、³東北大・高教機構、⁴東北大病院、⁵東北大院・歯、

⁶東北大・災害研、⁷東北大院・医、⁸東北大・災害機構、⁹東京医科大

e-mail: koarai@dc.tohoku.ac.jp

福島第一原発事故によって放出された放射性核種は周辺環境を汚染し、生体への被ばく影響が懸念されている。放出された核種の中でも、Sr-90は比較的半減期が長く、歯や骨中に長期間とどまる。そのため、Sr-90は長期に渡り、生体内で内部被ばくを引き起こす。これまで我々は、被災動物の歯の特徴的なSr-90の取り込みに着目して測定を行ってきた。歯は形成時期のSr-90の取り込みを形成終了後も記録するという特徴がある。そのため、歯種ごとに測定を行うことで環境中から被災動物へのSr-90の取り込み量の変化を明らかにした [1]。また、歯と骨は組成が似ているため、歯中のSr-90は骨中へのSr-90取り込みの指標となる。全身の骨中のSr-90量が明らかになれば、骨髄へのSr-90による被ばく線量の推定が可能である。したがって、歯に取り込まれたSr-90は、内部被ばく線量の推定においても重要な役割を果たす。本発表では、歯ごと測定によるサルのSr-90取り込みの変化を示す。また、全身骨中のSr-90、Cs-137による骨髄の被ばく線量の推定値を示す。

測定対象は2015年7月に福島県浪江町、2016年7月に南相馬市において採取されたサルとした。採取したサルは歯による年齢推定から、福島第一原発事故後に生まれた幼獣であると推定された。このサルから歯、ならびに全身骨を採取した。採取した歯と骨中のSr-90は、発煙硝酸法により化学的に分離した。Sr-90の測定は、低BG2πガスフロー検出器によって行った。安定SrはICP-MSによって測定した。また、Cs-137はGe半導体検出器を用いたγ線スペクトロメトリーにより定量した。

図1は、形成時期順に並べた歯種ごとの比放射能を示す。浪江町のサルのほうが南相馬市よりもSr-90を多く取り込んでいた。また、それぞれの地域で歯の形成時期ごとに取り込み状況が異なってい

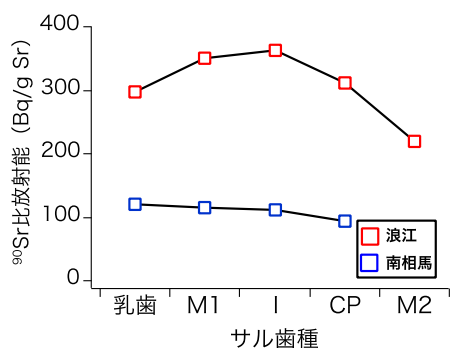


図1. サル歯中 Sr-90 比放射能

た。このように、歯はサルの過去の取り込みの情報を与えるため、精確な線量評価に有用であると考えられる。

現在進められているサルへの放射線影響調査と照らし合わせるため、全身骨のSr-90、Cs-137量から、骨髄の被ばく線量を推定した。また、ヒトへの応用も考え、歯中のSr-90とCs-137から骨髄線量の推定法も検討している。

参考文献 1. K. Koarai et al. *Sci. Rep.* **7**, 24077 (2016).

福島第一原発事故により被災した牛の歯を用いた 電子スピン共鳴法による線量測定 (予備的検討)

井上一彦¹⁾, 山口一郎²⁾, 夏堀雅宏³⁾

鶴見大学歯学部探索歯学講座¹⁾, 国立保健医療科学院生活環境研究部²⁾, 北里大
学獣医学部³⁾

E-mail: qb6k-inue@asahi-net.or.jp

緒言:放射線の照射により歯のエナメル質に生成された不対電子を電子スピン共鳴法 (ESR) で計測することによって歯を用いて線量評価することが可能である。抜去歯を用いる X-band ESR 法は広島・長崎の原爆被爆者の線量評価にも応用されてきている。口腔内の歯を用いる L-band での測定は、核災害や大規模な放射線被曝事故等における緊急被ばく医療のトリアージにも利用が可能だと考えられ、緊急被ばく医療が必要とされるような事故発生に労働者が巻き込まれた際に、トリアージのための線量評価にも用いられるように L-band の装置が開発されている。一方、被災動物を対象にした放射線の生物影響に関する研究が進められ、電子スピン共鳴法は積算線量が評価可能である特徴があることからその利用も検討されている。原発事故被災動物と環境研究会は 2012 年 9 月から研究活動を行い、放射線被ばくが牛に及ぼす影響評価を分析し、土壌、牧草など環境中の被ばく線量測定、血液採取で得られる遺伝子変化の解析なども行なっている。現在は福島県浪江町、大熊町などの畜産農家 10 戸が管理する約 160 頭の牛からデータを集積している。大型動物の被ばく経過研究は、世界でも稀有である。そこで、今回は大熊町の被災牛の歯を用いて ESR 測定による線量評価を試みた。

目的: 福島原発事故で放射能汚染をうけた被災牛の歯の ESR 測定により、Cs-137 換算としての線量推定を実施する。

材料および方法: 福島県の旧警戒区域内 (福島県双葉郡大熊町) で震災前から継続飼育される牛について、原発事故後 6 年間の累積線量を確認するために被災牛の歯の ESR 測定を行う。

結果および考察: 放射線誘発シグナル (RIS) は、L-バンド EPR を用いた非破壊測定によっていずれの試料においても検出できなかった。X バンド ESR 歯の線量測定を用いた測定で検出された放射線量は、150~490mGy であり、空中モニタリングおよび個人線量計を用いた推定放射線量にほぼ一致していた。しかし、測定値のばらつきが大きく、試料の選定追加、コントロールとの比較、測定粒子の大きさ等、測定方法を改善検討する可能性が示唆された。

結論: 福島第一原発事故により被災した牛の歯を用いた電子スピン共鳴法による線量測定において、X バンド ESR 歯の線量測定では推定 150~490mGy の放射能汚染が確認された (大熊牧場: 帰還困難地域)。

牛の歯に記録された福島第一原子力発電所事故の 汚染に伴う放射線による被曝

*豊田 新¹, 戸高 安曇¹, 村橋 美香¹, 夏堀 雅宏², 伊東 節郎³
¹岡山理科大学、²北里大学、³希望の牧場

e-mail: toyoda@dap.ous.ac.jp

2011年3月の東日本大震災に伴って起きた福島第一原子力発電所事故では環境に放射性核種が放出され、それらの核種からの放射線による被曝の影響が懸念されている。環境における動植物の被曝については、実測される各地点の環境放射線量から推定を行うことはできるものの、各個体の被曝線量を実測することはこれまでに行われてきていない。

ヒドロキシアパタイトからなる歯のエナメルは、被曝するとその中に CO_2^- ラジカルが生成するため、このラジカルを用いた電子スピン共鳴(ESR)線量計測が可能である。人の歯を用いたESR線量計測はその方法が確立されており、過去の事故被曝線量を求めるために用いられてきた。哺乳動物についても、人の歯を構成するのと同じヒドロキシアパタイトからなる歯のエナメル質を用いれば、それぞれの個体の被曝線量計測が可能であると考えられる。研究用に被災地で飼育されてきた牛について、歯を用いたESR線量計測の手法について検討した結果を昨年報告した。今回はこれらの測定結果及び実測されている環境放射線量からの推定値との比較について報告する。

牛の歯の試料として、被災地である福島県大熊町池田及び浪江町小丸、また浪江町希望の牧場の5歳から12歳の和牛計5頭の臼歯を用いた。これらの個体の顎から2本ずつ歯を抜き、合計10本の歯について計測を試みた。それぞれの歯をカッターで内側と外側に半分に切断した。ドリルで削る処理と20%KOH溶液に浸し60°Cで超音波洗浄機にかける処理を併用して象牙質を取り除いた。洗浄、乾燥させた後1mmの篩に通るまで細かく砕きESR測定用の試料とした。

牛の3頭分6試料について5Gyまでのガンマ線照射を行った。観測したESRスペクトルを信号分離プログラムを用いて処理を行い、線量応答のある CO_2^- のESR信号を抽出し、照射した試料については付加線量法によって、残りの試料については照射した試料の線量応答を用いて被曝線量を推定した。浪江町小丸の牛の試料からは最大で1.2Gyの線量が得られ、この牧場において計測されてきた環境放射線の積分値と整合的であった。また、より若い年齢の牛についても、歯が生成してからの被曝線量と大きく異なることなく線量が得られた。環境の実測の線量率の低い、大熊町池田、希望の牧場の個体からは有意な線量は観測されなかった。

福島県内のキノコ原木林における¹³⁷Csの分布Distribution of ¹³⁷Cs in the forest growing mushroom logs in Fukushima

○小林奈通子^{*1}, 伊東諒祐^{*1}, 二瓶直登^{*1}, 益守眞也^{*1}, 田野井慶太郎^{*1,2}, 三浦寛^{*3}
^{*1}東京大学, ^{*2}JSTさきがけ, ^{*3}森林研究・整備機構

KOBAYASHI Natsuko I.^{*1}, ITO Ryosuke^{*1}, NIHEI Naoto^{*1}, MASUMORI Masaya^{*1},
 TANOI Keitaro^{*1,2}, MIURA Satoru^{*3}

^{*1}The University of Tokyo, ^{*2}JST Presto, ^{*3}Forest Research and Management Organization
 e-mail: anikoba@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

【1. 背景と目的】福島第一原子力発電所事故以前は、福島県の広葉樹の産出額は全国第三位の規模であった。しかし放射性セシウムによる汚染の影響により、平成24年には産出額が半減し、その後も減少し続けている。広葉樹の中でもコナラやクヌギ等はキノコ原木として福島県の主要な林産物と位置付けられてきたが、出荷の指標値として放射性セシウム濃度50Bq/kgが提示されたこともあり、主要な産地でも原木生産が再開できない状況が続いている。

植栽から収穫まで20年を要するため、現在育成中の木は収穫時に出荷可能なのか、あるいは、汚染を低減するための手立はあるのかという情報は、今後の施業を計画する上で非常に重要となる。そこで本調査では、特徴の異なる複数のキノコ原木林において¹³⁷Csの分布状況を明らかにすることで、現在育成中の木の放射性セシウム含量を推定する方法を開発し、さらに、木の放射性セシウム含量に影響を及ぼす要因を探ることを目的とした。

【2. 調査方法】福島第一原子力発電所から約20kmの距離に位置する福島県田村市都路内の3地区6林分(表1)で2015年11月に森林組合の協力を得て皆伐調査を実施した。地表面から1mの高さにおける空間線量率は0.2~0.5μSv/hであった。A地区の3林分は一つの低山の周りにおける植栽林であり、A-1とA-2は麓、A-3は尾根に位置する。皆伐調査では、各林分から21個体を選び、葉、当年枝、幹、表層土壌および深層土壌を採取した(図1)。

葉と当年枝は60℃で乾燥させた後、粉末化した。当年枝とは、前年に伸長した枝であり、本調査では側面や先端に冬芽を形成している枝を当年枝とした。幹は、将来原木利用される部位である。A地区では地表面から1mの高さの幹をサンプルとして採取し、樹皮と材に分けて乾燥させた。B、C地区では萌芽枝を幹として採取し、各林分から3個体分についてのみ樹皮と材に分けた。乾燥後の樹皮は粉末化し、材あるいは幹は4cm幅程度の短冊状に裁断した。

土壌は、各木の周囲半径1mの範囲内から採取した。リターを除いた後、土壌表面から0~5cmの表層(A層)および5~15cmの深層に分けて採取した。60℃で乾燥させた後、2mmメッシュの篩を通した。土壌を1M 酢酸アンモニウムで抽出した溶液はICPによる元素分析に、水抽出した溶液はpHの測定に供した。

表1. 皆伐調査を行った3地区6林分の特徴

地名	樹種	2015年11月時点	林齢	木の状態	林分の特徴
A-1	クヌギ	9年生		植栽	造成地、畑跡地
A-2	クヌギ	16年生		植栽	造成地
A-3	コナラ	13年生以上		植栽	人工林
B	ミズナ	4年生		萌芽更新 (2011年11月)	人工林
C-1	コナラ	2年生		萌芽更新 (2013年11月)	人工林
C-2	コナラ	2年生		萌芽更新 (2013年11月)	人工林

各サンプルの¹³⁷Cs含量は、NaI(Tl) WIZARD2 (PerkinElmer社製)あるいは、high purity germanium (HPGe) detector (GEM-type and GMX-type, ORTEC社製)を用いて測定した。

【3. 結果および考察】 土壌の¹³⁷Cs濃度は2000~10000Bq/kgの範囲であり、一林分の中でも場所によってフォールアウトの量に数倍の差があることが分かった(図2)。材の¹³⁷Cs濃度を他のサンプルと比較したところ、土壌の¹³⁷Cs濃度とは全く相関しない一方、当年枝や葉の¹³⁷Cs濃度とは高い相関を示した($R^2 > 0.8$)。このことは、当年枝や葉の¹³⁷Cs濃度を測定すれば、伐倒することなく、原木利用部位の¹³⁷Cs濃度を高精度に推定できることを示唆している。

土壌のA-1とA-2は近接していることもあり、土壌汚染度が同程度であったのにも関わらず、材の¹³⁷Cs濃度は、A-1が約10Bq/kg程度と極めて低く、一方A-2は約100Bq/kgということが分かった(図2)。A-1とA-2では、樹齢と土地の利用履歴に違いがある(表1)。A-1のクヌギは原子力発電所の事故当時は5年生であり、木の表面積が小さかった。そのため、表面に付着した¹³⁷Csの量も少なく、また、樹皮が剥離することによって材の¹³⁷Cs濃度が低くなったことが一つ目の要因として考えられた。二つ目の要因には、A-1が畑として利用されている頃に行われた施肥が考えられた。実際、A-1の土壌のカリウム含量、カルシウム含量はそれぞれA-2の2倍および20倍にも達した。また、pHもA-1は6.3であり、一般的な山林に比べて高いことが分かった。そこで、土地の利用履歴が異なる林で育成中の9年生の木を対象に追加調査を行ったところ、畑跡地で生育中の木の¹³⁷Cs濃度が特異的に低いということが分かった。つまり、A-1の材で¹³⁷Cs濃度が低かったのは樹齢の影響ではなく、畑跡地で産出されるキノコ原木は現時点でも出荷できる可能性が考えられた。一般的に植物の根によるセシウム吸収は、根圏のカリウム濃度が高いと抑制されることが知られており、このことが、畑跡地で生育する木の¹³⁷Cs濃度が低い理由ではないかと考えられた。

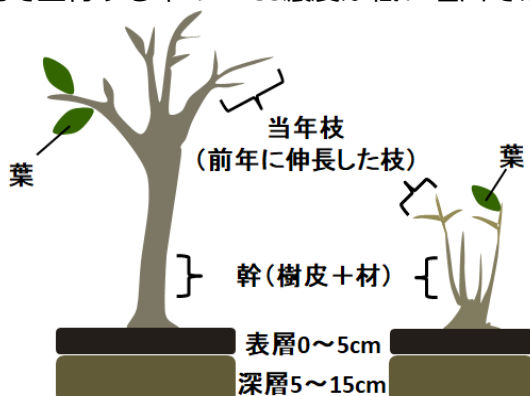


図1. 植栽林であるA地区と(左図)、萌芽林であるBおよびC地区(右図)で採取したサンプル概略

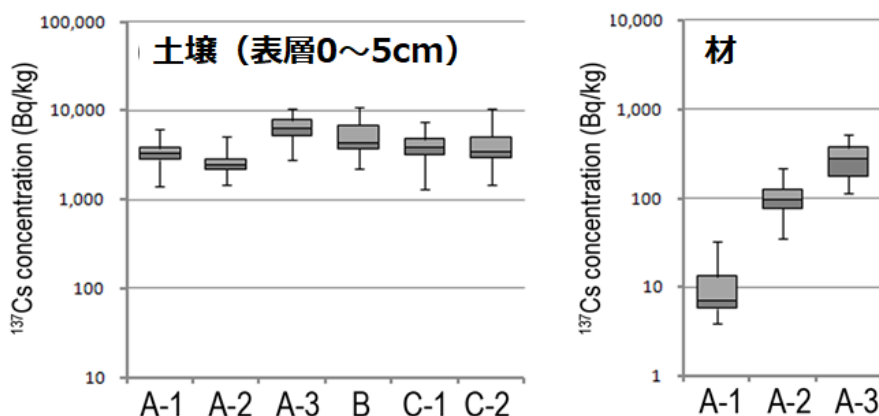


図2. 土壌(左図)と材(右図)の¹³⁷Cs濃度

宮城県野生キノコの種別放射性セシウム濃度分布

*木野康志

東北大・理

e-mail: y.k@m.tohoku.ac.jp

背景

福島第一原子力発電所事故以来、東日本各地で野生キノコから高い濃度の放射性 Cs が検出された。宮城県では、2018 年 6 月現在でも栗原市、大崎市、仙台市、村田町で野生キノコの出荷制限が続いている。しかし、これらの市町村よりも汚染の高い地域でも制限がかかっていない地域もあり、放射能汚染の全貌は必ずしも明らかになっていない。我々は仙台キノコ同好会と共同で、宮城県内の野生キノコを現在まで継続的に多数採取し、汚染の動向を調査し公表してきた。一方、野生キノコの出荷制限は一品種でも基準値を超えたキノコが見つかり、その自治体では全ての種類の野生キノコに出荷制限がかかる。そのため、売価の高い野生キノコに出荷制限がかからないように、売価の安い野生キノコの出荷自粛を行っている自治体もある（河北新報、2014.12.20）。そこで、宮城県に協力して、出荷制限の見直しも行っている。

試料と方法

福島原発事故後の 2011 年 7 月から現在まで、宮城県内で野生キノコを 430 種、2060 検体を採取した。採取と種の同定は、主に仙台キノコ同好会により行われた。現在放射能測定中キノコは、表面の土や落ち葉等をウェットティッシュで取り除き、2cm 角程度に切り刻み、乾燥機の中 50°C で 1 週間以上風乾した。乾燥試料は、粉碎機等で細かく粉状にし、均一にプラスチック容器（U8 型、100 mL）に詰め、高純度ゲルマニウム半導体検出器で ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ を定量した。 ^{134}Cs 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ はサンプイク補正を行った。

結果と考察

2011 年 3 月 11 日に壊変補正すると、2013 年以降放射性セシウム濃度は、多少のバラツキはあるが、ほぼ一定となった。このことは、山の中では放射性セシウムの動きは少ないと考えられる。同じ汚染レベルの地区の中で採れた同じ品種の野生キノコでも、時期や場所によって放射能濃度は大きく異なった。検体数が増えてきたため、種ごとの傾向が明らかになってきた。結果の一例を下記の図に示す。この 14 検体の中央値は 68.4 Bq/kg raw であり、基準値 100 Bq/kg に相当するパーセンタイルは 72.9% となった。同様に、地区毎にパーセンタイルを求めることにより、より詳細な汚染の実態が明らかになってきた。

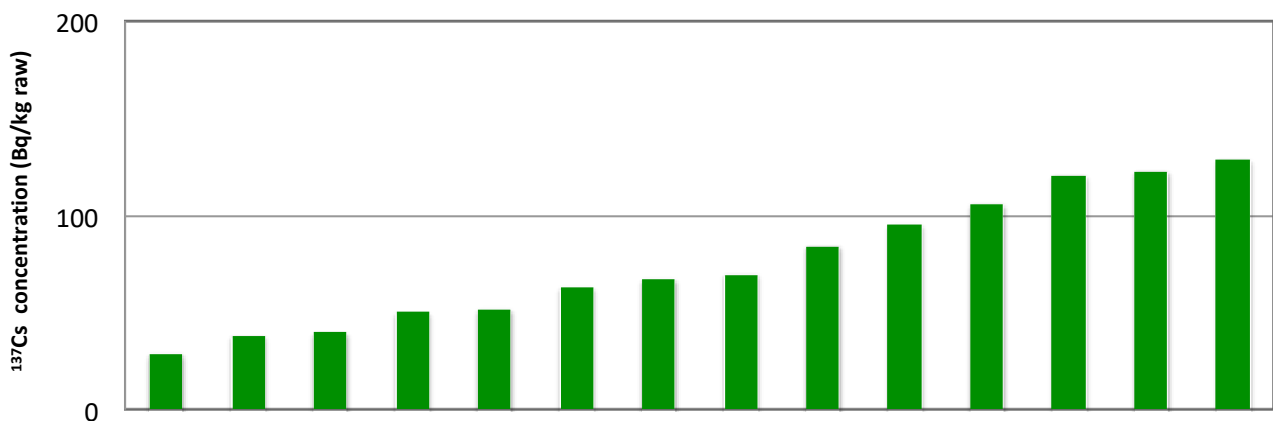


図 1. 宮城県北部山間部で採取されたウスヒラタケ 14 検体の放射能濃度

ホウレンソウに検出されたヨウ素-131と 放射性プルーム・みんなのデータサイト東日本土壤汚染マップ

*大沼章子

未来につなげる東海ネット・市民放射能測定センター(C-ラボ)

e-mail:sohnuma6668@gmail.com

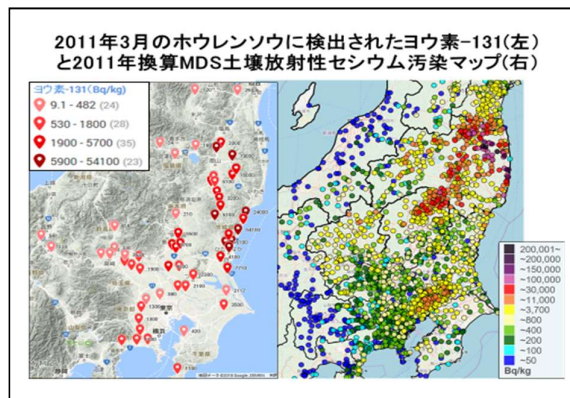
【はじめに】全国 34 市民放射能測定所は、統一フォーマットで測定データを掲載する web site「みんなのデータサイト（以下、MDS）」を開設しており、現在約 16000 件の食品測定データと 3,400 件を超す土壤測定データを公開している。この土壤データは、MDS が「東日本土壤ベクレル測定プロジェクト（以下、PJ）」として 2014 年 1 月から取り組んだもので、手を上げた 27 市民測定所が、東日本 17 都県において市民の手によって採取された土壤の測定を分担した。PJ は 2017 年 3 月末に終了し、東日本 17 都県 3405 地点の土壤測定結果と土壤汚染マップを公開している (<https://minnanods.net/>)。ここでは、MDS 土壤汚染マップの読み解きの一貫として、厚労省による食品データのうち、ホウレンソウに検出された放射性核種に着目した。特に内部被ばくに重篤な影響を持つ I-131 は、事故直後から環境中に放出され、半減期が 8 日と短い期間で消失したが、実際にどの地域まで検出されたデータがあるのか、その検出状況を確認し、土壤中放射性 Cs の分布との比較を試みた。なお、放射性核種の放出量や放射性プルームの動向については諸説あるが、放出量については東京電力の 2012 年 5 月発表のものを、放射性プルームについては UNSCEAR 発表のものを用了。

【土壤データ】土壤採取は、できる限り雨の影響のない日に、ホットスポット等の特異点を避けた、主に市民の生活空間において、表層 0-5 cm で実施した。測定は、NaI 検出器装置（日立 CAN-OSP-NAI, ATOMTEX AT1320A, 非電化工房 CSK3i, EMF Japan EMF-211, 応用光研 FNF-401）、Ge 検出器装置（PT HpGe, Seiko EG&G SEG-EMS）にて、主に Cs-137, Cs-134 を測定対象とした。

【ホウレンソウデータ】入手できたホウレンソウのデータ数は、公的機関で測定が開始された 2011 年 3 月 18 日から 2017 年 3 月末までの 6036 件であった。このうち、I-131 が検出されものは 373 件で、検出は 2011 年 6 月 7 日の福島県南相馬市産の 8.6 Bq/kg を最後に全て不検出であった（検出下限値は、不明又は 0.05~50 Bq/kg）。最高値は 3 月 18 日測定の茨城県日立市産の 54100 Bq/kg であった。なお、放射性 Cs の最高値は 3 月 21 日測定の福島県田村市産 40000 Bq/kg であった。

【結果と考察】事故炉からの大気放出とその後の拡散の挙動に違いがあると考えられるものの、事故後早い時期（2011 年 3 月末）のホウレンソウに検出された I-131 と Cs-137 の濃度には相関があった ($\alpha < 0.05$)。また、同時期の事故炉からの両核種の放出比（I-131/Cs-137）は放出の多い 3 月 15・16 日に 66、50 で、その後はほぼ 8 日の半減期で減衰していた。ホウレンソウに検出されたそれらの比もほぼ同様な傾向を示しながら、放射性プルームの直接的な影響を反映していると考えられた。なお、福島県産のホウレンソウは、他都県産に比べて早期から放射性 Cs が I-131 より高い濃度を示していた。このことは、粒子状の放射性 Cs の方が排出源近隣に落ちやすく、ガス態の I-131 がより遠くに運ばれる可能性もあるが、事故炉の事象・気象・地形などとの詳細な突き合わせが必要だと考えている。当日は、MDS 土壤汚染マップとホウレンソウに検出された I-131 の分布などを紹介する。

【最後に】市民が作成した東日本土壤放射能汚染マップと公的機関による放射性プルームやホウレンソウに検出された I-131 の分布はおおむね一致していた。しかし、原発事故の事象との詳細な照合にはデータが限定的かつ無作為なものであった。測定体制の遅れや不備が悔やまれた。初期調査の大切さをあらためて思い知らされたが、一方で、予告もなくやってくる事故発生と短寿命核種の汚染にどのように対峙するのか、市民測定所はもちろんのこと、公的研究機関であっても課題は大きいと感じた。



福島第一原発事故が野生動物とヒトの生殖に与えた影響に関する統計モデル

村瀬香・名古屋市立大学

e-mail: kmurase@nsc.nagoya-cu.ac.jp

目的

停留精巣は、そのまま放置すればガン化したり、生殖能力に異常をきたしたりする先天性奇形であるが、出生前診断が出来ないことから中絶の影響を受けない。また、比較的頻度の高い先天性疾患である。そのため、福島第一原発事故が先天性奇形に与えた影響を考える上で重要な先天性奇形である。本発表では、原発事故前後で、停留精巣の手術退院件数の変化を推定することを研究目的とした。

材料と方法

日本の Diagnosis Procedure Combination survey database (以下、DPC データベース) から、停留精巣の手術に関して、原発事故前後の 6 年間 (2010 年度から 2015 年度まで) を通じて参加している病院を集めたところ、全国で 96 の病院が集められた。このデータを用いて、Bayesian GLMM で、停留精巣の手術退院件数の変化を推定した。

本研究のモデル

$$Y_{ij} \sim \text{dpois}(\lambda_{ij})$$

$$\ln(\lambda_{ij}) = \alpha_i + \beta_j \cdot x_j + \gamma_j + \ln(n_{ij}) + \ln(t_j)$$

$$\alpha_i \sim \text{dnorm}(\mu_\alpha, \tau_\alpha), \mu_\alpha \sim \text{dnorm}(0, 10^{-4}), \tau_\alpha = 1/s_\alpha^2, s_\alpha \sim \text{dunif}(0, 10^4)$$

$$\beta_j \sim \text{dnorm}(\mu_\beta, \tau_\beta), \mu_\beta \sim \text{dnorm}(0, 10^{-4}), \tau_\beta = 1/s_\beta^2, s_\beta \sim \text{dunif}(0, 10^4)$$

$$\gamma_j \sim \text{dnorm}(0, \tau_\gamma), \tau_\gamma = 1/s_\gamma^2, s_\gamma \sim \text{dunif}(0, 10^4)$$

$$i = 1 \dots 35, j = 1 \dots 6$$

Y_{ij} : 県 i の j 年における手術件数の実測値 (期待値 λ_{ij} のポアソン分布に従うと想定)

λ_{ij} : 県 i の j 年における手術件数の期待値

α_i : 県 i の手術件数に関する切片

β_j : 県 i の手術件数増加に関するパラメータ

γ_j : j 年における年次効果

x_j : 震災前後を示す指示変数 ($x_j = 0$: 震災前、 $x_j = 1$: 震災後、 $x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 \dots x_6 = 1$)

n_{ij} : 県 i の j 年における人口

t_j : j 年における調査期間 (単位: 年) ($t_1 = 3/4, t_2 \dots t_6 = 1$)

なお、 $\text{dnorm}(\mu, \tau)$ は平均 μ 、精度 τ の正規分布に従う乱数を、 $\text{dunif}(a, b)$ は区間 $[a, b]$ の一様分布に従う乱数をそれぞれ示す。

結果と考察

単位人口あたりの停留精巣の手術退院件数は、原発事故前後で 13.4% (95% credible interval 4.7%-23.0%) 増加した。当日の発表では、野生動物であるイノシシの精巣への影響をも述べるとともに、哺乳類の次世代の生殖について考察する。

文献

Kaori Murase, Joe Murase, Koji Machidori, Kentaro Mizuno, Yutaro Hayashi, Kenjiro Kohri (2018) Nationwide increase in cryptorchidism after the Fukushima nuclear accident. Urology. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.urology.2018.04.033>

メスアカネズミの着床痕計測から考える放射線生物影響

中村織江 国立研究開発法人 国立環境研究所

e-mail: nakamura.orie@nies.go.jp

【背景】

放射線生物影響を対象とした研究は実験動物、家畜あるいは野生動物での解析がされているが、基本的にはオス個体を用いたものである。その理由は、メス特有の周期的な血中ホルモン変動にある。エストロゲンやプロゲステロンといった性ステロイドホルモンが組織の様々な細胞に生じさせる変化は、じゅんすいに放射線による影響をわかりにくくしてしまうからである。

しかしながら、ヒトも含め生物の多くは雌雄から成り立っており、放射線による繁殖影響を考える場合、オスの生殖影響だけでは不十分である。とはいえ、メスの生殖器に対する放射線影響について、どういったアプローチで解析していくのが適当かどうかは、今後の課題である。

今回、我々は2012年から2016年までに福島県浪江市で捕獲されたメスのアカネズミ子宮の胎盤痕を計測することで、何らかの放射線生物影響が観察されることを仮定して実験を行なった。

【方法】

国立環境研究所に置いて、ホルマリン浸漬の状態で保管されていたメスアカネズミの子宮を使用した。取り出した子宮はキムワイプなどで余分なホルマリンを吸い取り、2%水酸化ナトリウム水溶液中で一晩震盪させ、組織の透明化を行い、実体顕微鏡化で胎盤痕の色・形状と数を次のような基準で計測した。胎盤の痕跡である間膜腺の吸収が小さくはっきりと残っているものを+++、吸収が始まっているが残っているものを++、同一胎盤痕において間膜腺とそれが吸収された後に観察される暗褐色の鉄色素が同時に存在しているものを+、間膜腺は完全に消失し鉄色素だけが残っているものを±とした。また、妊娠中の個体については胎仔の数を計測した。

胎盤痕を計測した個体については、臼歯の磨耗状態による齢査定も合わせて行い、検討材料とした。

【結果】

2012年8月から11月にかけて福島県浪江市において捕獲された21個体のメスアカネズミに関し、次の結果が得られた。

- ・ 8月上旬及び9月上旬に高線量区域で捕獲された7個体は、1個体を除いて過去に妊娠した形跡は全く見られなかった。

- ・ 10月中旬及び11月上旬に高線量区域において捕獲された4個体に妊娠の形跡は観察されなかった。
- ・ 10月中旬及び11月上旬に低線量区域において捕獲された10個体のうち6個体で++~+++の強さの胎盤痕が確認された。
次に、2014年7月、8月に福島県浪江市及び青森県十和田市において捕獲された15個体に関し、次の結果が得られた。
- ・ 8月初旬及び下旬に浪江市高線量区域において捕獲された8個体のうち1個体で弱い胎盤痕が確認され、別の1個体は妊娠していた。
- ・ 7月下旬及び8月下旬に青森県十和田市で捕獲された7個体全てにおいて弱い胎盤痕が観察された。

【考察】

胎盤痕数のみで解釈すると、2012年の福島県浪江市の高線量区域と低線量区域、あるいは2014年の福島県と青森県の比較において何らかの差が見られるようにも感じられるが、捕獲時期のずれ、歯の磨耗状態、体重を考慮すると、偶然生殖年齢に達していない若齢の個体が多く捕獲されただけでも解釈できる。ネズミの場合、1-2ヶ月の生育差は繁殖状態に大きく影響すると考えられるため、本来であれば、少なくとも同地域、同時期で捕獲された個体で比較しなければ放射線の影響について論じることは困難であると考えられた。また、胎盤痕の消失速度について、これまで詳細に検討されていないことも判定を難しくしている一因である。

福島県の旧警戒区域および帰宅困難区域内の牧場における 空間線量の推移

*松館祥子^{*1}、夏堀雅宏^{*1}、佐藤至^{*2}、岡田啓司^{*2}、佐々木淳^{*2}、伊藤伸彦^{*1}

和田成一^{*1}、柿崎竹彦^{*1}

北里大学獣医学部^{*1}、岩手大学農学部^{*2}

mattsu35joy@icloud.com

はじめに

福島第一原発事故の旧警戒区域内である福島県浪江町小丸地区共同牧場の電離箱による空間線量率と、同地域で現在も飼育されている黒毛和種のガラス線量計による外部被ばく線量、および小丸多目的集会所に設置されたモニタリングポスト (MP) による線量率の値について比較・検討した結果と、MP の値から推定した 2011 年 3 月 15 日から 7 年間の空間線量率の推移と積算線量について報告する。

方法

空間線量率の測定は電離箱を使用し、浪江町小丸共同牧場 (試験区 16ha) を 46m 四方で 74 に区切り、各ポイントの中心点 (地表からの高さ 30、100、150cm) で 2013 年 5 月から数カ月おきに継続して測定した。外部被ばく線量は対象牛 (黒毛和種) の頸部にガラス線量計をベルトと一緒に装着し、2013 年 12 月よりモニターした。尚、通常 1 カ月のモニターに使用するガラス線量計 (千代田テクノル) を 2-4 ヶ月程度の間隔で使用した。さらに、小丸多目的集会所に設置された MP による線量率 (2012 年 4 月 3 日より測定値が公開) の値を使用し、それぞれの結果について比較した。また MP の値をもとにウェザリング効果を考慮した 7 年間のより厳密な積算線量の推定を行った。

結果および考察

浪江町小丸共同牧場 74 区画中での 2013 年 5 月～2017 年 9 月の空間線量率は、地表高 30cm で最も高く、100cm の値は 30cm の 0.89 ± 0.1 倍、150cm では 0.87 ± 0.2 倍であった (図 1)。また、空間線量率 (100cm) の土地利用の違いは、区画全体の平均に対し、道路では 0.86 ± 0.05 倍、水源では 0.64 ± 0.1 倍と有意に低値を示した。これはアスファルトが牧場の土壌や草地と異なり、放射性物質が雨や風に流され内部に沈着しにくく、水源では流水や、貯留水による放射線の遮蔽によって水源下からの線量が抑制された結果と推定された。電離箱による空間線量率、ガラス線量計による外部被ばく線量および MP による線量率の半減期はいずれも同様であった (図 2)。特にガラス線量計の外部被ばく線量は MP 値の値をよく反映しており、電離箱による空間線量率は土地利用の形態をよく反映していた。最後に、昨年報告した小丸地区での初期線量率に物理学的半減期のみを考慮すると、2011 年 3 月 15 日から 2018 年 3 月 15 時点までの積算線量は 1.55Sv であった。しかし、MP 等の空間線量率の経時変化から小丸地区の空間線量率の実効半減期は 13.2 年程度であり、この際の環境中 ^{137}Cs の実効半減期は約 9.2 年、 ^{134}Cs は 1.8 年と推定され (図 3)、さらに初期線量率を以前の報告値の約 0.88 倍と推定することでもっともよく実際の空間線量率の経時変化に一致した。このことから、実際の積算線量は平均 1.18Sv と推定され、これは物理学的半減期のみを考慮した場合と比較して 25% 程度低い値であった (図 4)。尚、原発事故以来現在までの小丸地区における積算した外部被ばくの寄与割合についてはウェザリング効果の有無に関らず放射性セシウムが 95% であり、 ^{131}I 、 ^{132}I 、 ^{132}Te による寄与は 5% 程度と見積られた。

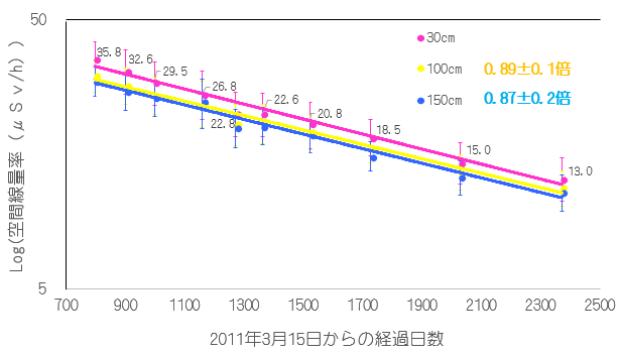


図 1. 地表高の違いによる空間線量率の違い

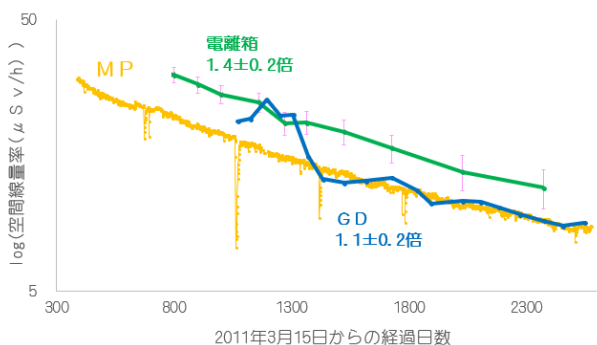


図 2. 電離箱-GD-MP の比較

Dose rate $\propto A \cdot \exp(-\alpha \cdot t) + B \cdot \exp(-\beta \cdot t)$
 $A = B = 7600 \text{ kBq}$

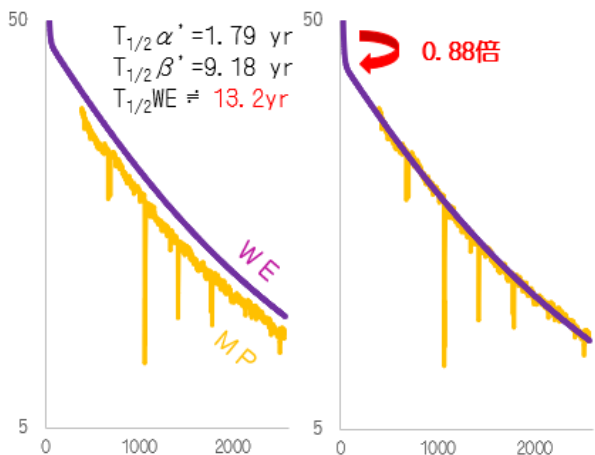


図 3. ウェザリング効果推定と初期線量の見直し

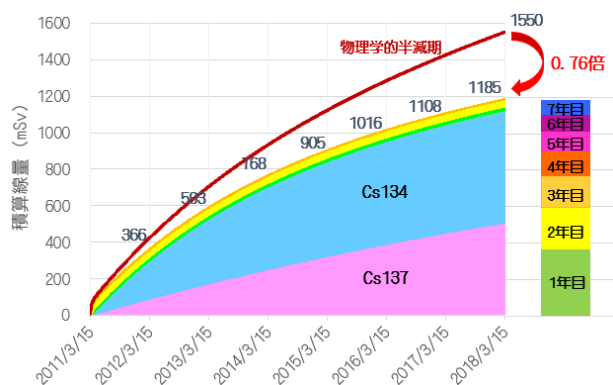


図 4. 積算線量の推定 (7年間)

参考文献

1. 福島県ホームページ,福島県放射線監視室 県内各市町村環境放射線測定結果 (<http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025d/kako-monitoring.html>)
2. Endo S, et al. Measurement of soil contamination by radionuclides due to the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident and associated estimated cumulative external dose estimation, Journal of Environmental Radioactivity, 111, 18-27 (2012)
3. Endo S, et al. Estimation of β -ray dose in air and soil from Fukushima Daiichi Power Plant accident, Journal of Radiation Research, 55, 476-483 (2014)
4. 日本原子力研究開発機構,平成 24 年度放射能測定調査委託事業成果報告書,福島第一原子力発電事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立, (<http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat03/entry05.html>)
5. 今村直広:東京電力福島第一原発事故後の森林における空間線量率の 4 年間の変化,森林立地,57.No2,101-107(2015)
6. H. L. Beck, “Exposure Rate Conversion Factors for Radionuclides Deposited on the Ground” , EML-378 (1980)

黒毛和牛における

安定セシウム単回投与後の体内動態パラメータの推定

* 島岡千晶¹, 清水明香里¹, 高山泰輔¹, 渡邊一博², 柿崎竹彦¹, 和田成一¹, 夏堀雅宏¹
¹北里大学獣医学部, ²家畜改良センター

e-mail: dv17002@st.kitasato-u.ac.jp

はじめに

放射性セシウムは被ばく線源として重要視されており、これまで本研究室ではその体内動態を明確にするための研究が行われてきた。昨年までの研究では、牛に放射性セシウムを経口投与し、その動態を調べた。その結果、定常状態では尿中と骨格筋中の放射性セシウム濃度は近似すること、骨格筋の消失過程は大きく2パターンに分類されることが推測された。しかしながら、飼い直しの飼育期間が約80日と短いこと、1Bq/kgよりも低い血液サンプルでは測定値のばらつきが大きかったこと、生物学的利用率を求められなかったこと等により、動態パラメータの推定は困難であった。そこで今回は安定セシウム(¹³³Cs)が放射性セシウムと同様な体内動態を示すと仮定し、¹³³Csを牛に経口および静脈内の2つの方法で単回投与し、その後、半年間にわたる採取した生体試料中の¹³³Cs濃度の経時変化より、生物学的利用率および¹³³Csの吸収・分布および消失に関わる体内動態パラメータを推定した。

実験材料と方法

黒毛和牛10頭(雌:体重399-692kg)を静脈内投与(iv)群および経口投与(po)群の2つに分け、各群に塩化セシウム18.9 mg/kg(¹³³Cs濃度:14.9 mg/kg)を投与した。投与前および投与後半年間経時的に血液、尿直腸便を採取し、予め定めた日程に2頭ずつ解剖し、生体試料(血液、尿、直腸便、筋肉、内臓)を採取した。各生体試料中の¹³³Cs濃度はICP-MSを用いて測定し、その後得られた試料中濃度より非線形最小二乗法による動態解析を行った。

結果と考察

血液では、iv群では投与直後、po群では24時間後に¹³³Cs濃度は最大値を示し、その後およそ1日後に一致し、iv群では3相性、po群では2相性の消失過程を示した。尿では、iv群では投与8時間後までに、po群では24時間後に¹³³Cs濃度は最大値を示し、その後およそ1.5日後に一致し、iv群では3相性、po群では2相性の消失過程を示した。また、直腸便では、iv群およびpo群で投与12時間後から24時間後に¹³³Cs濃度は最大値を示し、投与後約5日後に¹³³Cs濃度が一致したのちに投与経路に関わらず、2相性の消失過程を示した(図1)。血液中の¹³³Cs濃度の解析から得られたデータより求められた体内動態パラメータを下記に示す(表1)。得られたデータを用いて尿・直腸便の回収率を求めると、尿の平均排泄量が6.7 kg/dayの場合は約28.4%、直腸便の平均排泄量が13 kg/dayの場合は約68.0%、合計で96.4%であった。

投与後28日目から採取を開始した筋肉、内臓では¹³³Cs濃度は内臓よりも筋肉のほうが高かった。投与28

日後の ^{133}Cs 濃度は大腿四頭筋が最も高く、次いでネック、大腰筋、最長筋、咬筋、腎臓、心臓であり、肝臓が最も低かった。また、po 群の ^{133}Cs 濃度は iv 群の 47~71%であった。投与 28 日以降では、最長筋、大腰筋では緩徐に、ネックでは急速に ^{133}Cs 濃度は減少し、投与 182 日後では ^{133}Cs 濃度は最長筋が最も高く、次いで大腿四頭筋、大腰筋であった。また、ネックを除く骨格筋では、iv 群と po 群の ^{133}Cs 濃度はほぼ同じであった(図2)。

以上の結果をふまえ、投与 60 日以降の生物学的半減期は約 25~40 日と推定し、昨年までの 28~65 日というデータと比較すると数値の幅が狭まり、より正確なものとなった。したがって、動態パラメータの正確な算出には最低でも 180 日の観察期間が必要と考える。また、今回の結果は、安定セシウムを単回投与した実験結果ではあるが、これらの結果は放射性セシウムや反復投与した場合の体内分布シミュレーションなどの評価にもつながると期待される。

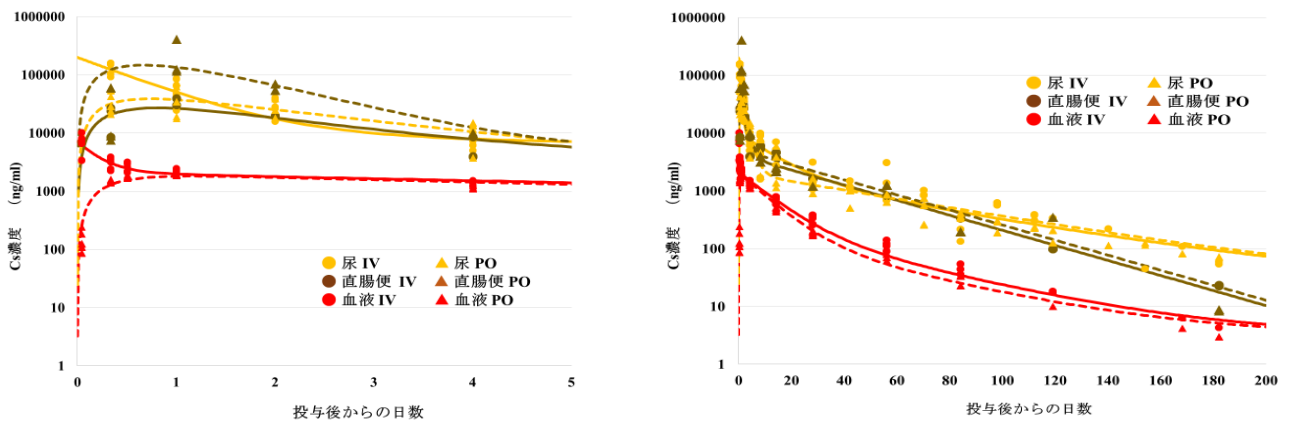


図1. 血液・尿・直腸便のシミュレーション

表1. 血液から求められた体内動態パラメータ

血中濃度-時間曲線下面積(AUC)	IV 901 ± 102 $\mu\text{g}/\text{mL} \cdot \text{kg}$ PO 619 ± 42 $\mu\text{g}/\text{mL} \cdot \text{kg}$	静脈内投与直後にみられる分布相の 生物学的半減期 ($T_{1/2d}$)	3.5 hr
生物学的利用率 (F)	71 ± 22 %	α 相の生物学的半減期 ($T_{1/2\alpha}$)	7~8 day
クリアランス (Cl)	IV 0.28 ± 0.03 $\text{mL}/\text{min}/\text{kg}$ PO 0.29 ± 0.02 $\text{mL}/\text{min}/\text{kg}$	β 相の生物学的半減期 ($T_{1/2\beta}$)	28 day
分布容積 (Vd)	3.7 L/kg	吸収測定定数 (Ka)	3.1 day^{-1}
		バックグラウンド (BG)	3.2 ng/mL

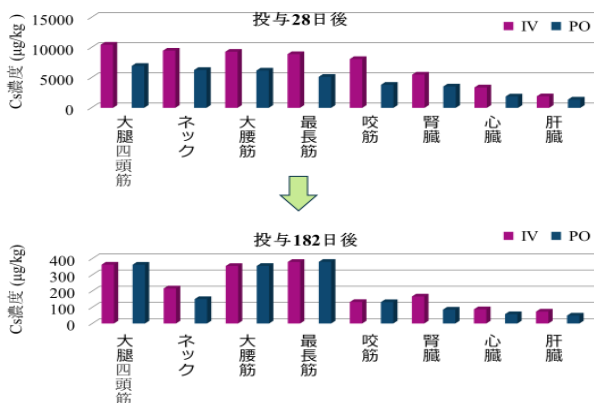


図2. CsCl 投与 28 日および 182 日後の筋肉・内臓内の ^{133}Cs 濃度

参考文献 1. I. SATO et al. Animal Science Journal 86, 716-720 (2015)

牛におけるセシウムの体内動態に関する予測と実証

Prediction and Demonstration of Pharmacokinetics of Radioactive Cesium in Cattle

高山泰輔^{*1}、○夏堀雅宏^{*1}、清水明香里^{*1}、島岡千晶^{*1}、渡邊一博^{*2}、
柿崎竹彦^{*1}、和田成一^{*1} 北里大学獣医学部^{*1} 家畜改良センター^{*2}

natsu@vmas.kitasato-u.ac.jp

はじめに 放射性セシウム (¹³⁷Cs) は核兵器や原子炉事故由来の環境汚染源として、あるいは広域に汚染された地域では、そこからの農産物由来の食品汚染源、および人体に摂取された場合には内部被ばく線源として重要視される。チェルノブイリ原発事故の際、1994-2006年の間、¹³⁷Cs濃度でおよそ20GBq/km²を超える土壤汚染地域の住民には有意な膀胱上皮異形成や上皮内癌を伴う慢性増殖性膀胱炎(チェルノブイリ膀胱炎)患者の発症が報告され、その検査当時の¹³⁷Cs尿排泄量は最大でも6.5±14Bq/l程度であるが、事故当時から積算線量に対応する情報が欠如している。一方で、低線量レベルにおける¹³⁷Cs汚染された食品や環境汚染による生物学的影響が少なくとも哺乳類では明確に認められないことが、食品の流通を含めた食の安全・安心に関する問題を異様なまでに複雑にしている。セシウムはアルカリ金属元素であり周期表ではKの次のRbの次の周期に位置する元素であり、従ってその生物学的挙動・体内分布や性質はK、Rbに酷似するが、体内への吸収や体外への排泄(消失)と言った速度論的なパラメータはK、Rbに比べ遅い。安定セシウム(¹³³Cs)はセシウムの中で唯一の安定同位体であり、地球環境中(主に岩石及び土壤中)にppmオーダーの低濃度で広く存在する。そのヒトや家畜、ラットなどの実験動物体内における存在比はKのおよそ10万分の1で、血中濃度も十nM(1.3µg/l)程度のオーダーで測定できる量が存在する。このため、¹³⁷Csの体内動態を推定するために安定セシウム(¹³³Cs)の体内動態を利用する際にはこのバックグラウンドレベルを十分考慮する必要がある。本研究では黒毛和牛に対してCs単回投与後に得られた体内動態パラメータを用いて、汚染環境下での日常的な¹³⁷Csの経口摂取に伴う定常状態のレベルの推定と、清浄飼料による飼育直し試験後の消失過程の推定と実際の飼育直し試験で得られた知見の整合性を判定した。

目的および方法 黒毛和牛に対して安定Csの単回(静脈内および経口)投与後の組織中濃度-時間曲線よりバックグラウンドレベルを考慮した3-および2-コンパートメントオープンモデルによって得られた吸収・分布および消失過程に関わる体内動態パラメータを用いた。経口投与後のモデルは一次吸収過程を伴う2コンパートメントモデルによく一致したので、この反復投与の数式モデルと過去に実際に¹³⁷Csが混入した牧草を28日間反復投与後の飼育直し試験で実測された放射性¹³⁷Csの濃度-時間曲線を比較した。動態モデルはτという投与間隔でn回にわたって経口的に反復投与を伴うバックグラウンドレベル(BK)を伴う2-コンパートメントモデルであり以下の式(1-5)に従った。

$$C = -H \cdot \exp(-ka \cdot t) + I \cdot \exp(-\alpha \cdot t) + J \cdot \exp(-\beta \cdot t) + BK \quad \dots \text{式1}$$

ただし

$$H = F \cdot D \cdot Ka \cdot (Ka - K21) / (V1 \cdot (\alpha - ka) \cdot (\beta - ka)) \quad \dots \text{式2}$$

$$I = F \cdot D \cdot Ka \cdot (K21 - \alpha) / (V1 \cdot (ka - \alpha) \cdot (\beta - \alpha)) \quad \dots \text{式3}$$

$$J = F \cdot D \cdot Ka \cdot (K21 - \beta) / (V1 \cdot (ka - \beta) \cdot (\alpha - \beta)) \quad \dots \text{式4}$$

$$C_n = -H \cdot \left(\frac{1 - \exp(-n \cdot k_a \cdot \tau)}{1 - \exp(-k_a \cdot \tau)} \right) \cdot \exp(-k_a \cdot t') + I \cdot \left(\frac{1 - \exp(-n \cdot \alpha \cdot \tau)}{1 - \exp(-\alpha \cdot \tau)} \right) \cdot \exp(-\alpha \cdot t') + J \cdot \left(\frac{1 - \exp(-n \cdot \beta \cdot \tau)}{1 - \exp(-\beta \cdot \tau)} \right) \cdot \exp(-\beta \cdot t') + BK \dots \text{式5}$$

ここでKaは吸収速度定数、Fは生物学的利用率、Dは投与量、V1は静脈内投与時の初濃度の分布容積、αは分布相の消失速度定数、βは消失相の消失速度定数、K21はコンパートメント2からコンパートメント1への速度定数である。

これによって毎日の摂取量と定常状態付近の体内各臓器中濃度の関係および飼い直し試験後の消失過程について整合性を確認した。単回投与試験で安定Cs濃度測定用に得られた生体試料は血液・血漿・血球・尿・糞便・骨格筋・心筋・肝臓・腎臓であり、本講演では現在までに得られた知見について考察する。

結果と考察 定常状態濃度は毎日のCs経口摂取量とβ相の半減期またはクリアランスに大きく依存する。単回投与および28日間のCs反復投与後に得られた血中濃度一時間曲線をFig.1に示す。また、28日以降の300日および600日後まで反復投与が繰り返された場合の血中濃度のシミュレーション曲線をFig.2に示す。いずれの結果からも、安定セシウム単回投与後の動態パラメータに基づいたシミュレーションによって放射性セシウム反復投与後の二相性の消失過程を予想することが可能であった。また、このシミュレーションが正しい場合、その長期予測により汚染した牧野での滞在期間によっても、その後の飼い直し後の消失過程は同様ではなく、汚染環境下に暴露される期間が長いほど、相対的に生物学的半減期の短いα相の期間が短縮し、半減期の長いβ相の割合が増加する可能性が示唆された。

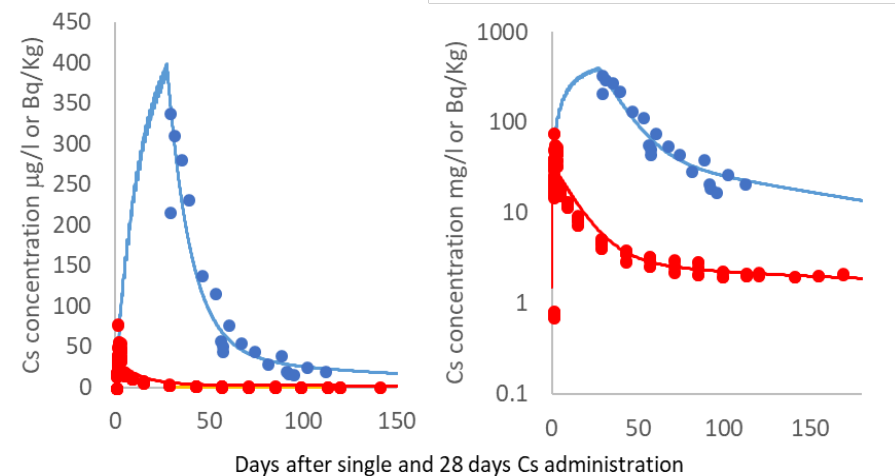


Fig.1 Concentration-Time course of Cs in blood after single (red-stable Cs) or 28 days (blue-radioactive Cs) of oral administration in Japanese black cattle
Left : normal scale
Right: logarithmic scale
Dose: 20mg/kg as CsCl (red)
9kBq/kg as radioactive Cs containing hay (blue)

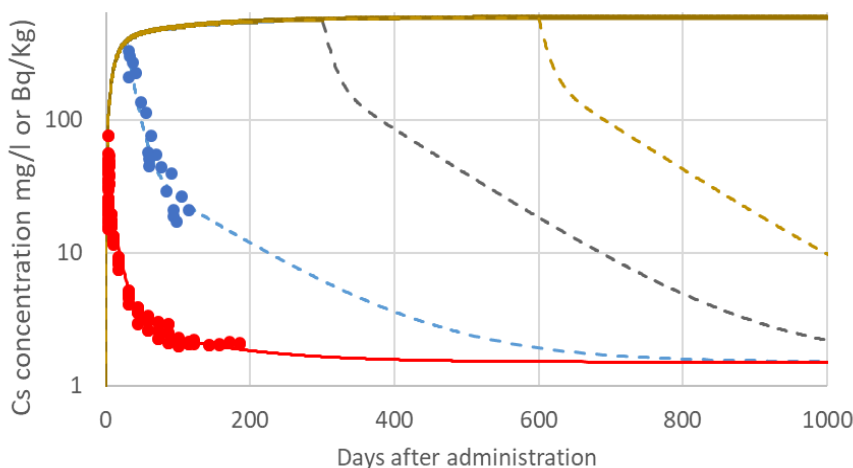


Fig.2 Cs Concentration-Time course in blood and its simulation curves after single (red) or multiple (28, 300, 600, and >600) days of oral Cs administration in Japanese black cattle
Dose: 20mg/kg as CsCl (red)
9kBq/kg as radioactive Cs containing hay (blue)

広島・長崎原爆による被曝量評価と影響研究の紹介

今中哲二 京都大学複合原子力科学研究所

imanaka@rri.kyoto-u.ac.jp

本勉強会の目的は、第一義的には福島原発事故にともなう周辺動植物への影響研究に関する情報交換・意見交換であろう。といっても、被曝の人への影響、さらには原発事故の社会的影響という広い視点への議論も心得ておくべきである。1895年のレントゲンによるX線の発見以来、人類はさまざまな形での放射線被害、放射能災害を経験してきたが、その中で広島・長崎の原爆投下は最大・最悪のものであろう。同時に原爆被害調査を通じて、放射線被曝とその影響についてさまざまな知見が得られてきた。本報告では、議論を広げる際の参考として、広島・長崎の原爆被害とその影響研究の歴史について、報告者の個人的な経験を交えながら以下の4点について紹介しておく。

- 原爆直後の影響研究
 - －1945年8月、理化学研究所・仁科研グループ、京都帝大・荒勝研グループなどによる初動調査。
 - －1945年9月14日に学術研究会議「原子爆弾災害調査研究特別調査委員会」が、9分科会、研究者200人で発足。しかし、1945年9月19日のGHQ（連合軍総司令部）のプレスコードにより、1951年のサンフランシスコ講和条約まで発表が制限された。
 - －米軍合同調査団。広島・長崎原爆の医学的影響を調査するための米軍合同調査チームで、GHQ命令により日本側研究者が協力。1946年に報告書。
- ABCC（原爆傷害調査委員会）の発足とLSS（寿命調査）、ICHIBAN計画の開始
 - －1946年、米国トルーマン大統領が、被爆生存者の長期的調査をするよう米国科学アカデミー（NAS）に指示し、1947年ABCC（原爆傷害調査委員会）が設立された。日本側としては国立予防衛生研究所（現国立感染症研究所）が協力。
 - －1955年、ABCCの研究計画見直しに伴いLSS（Life Span Study）開始。1950年10月1日の国勢調査に遡って約12万人の被爆者固定集団を設定。
 - －1956年、LSSメンバーの個人被曝量を推定するため、ICHIBAN計画が開始され、T65D（1965年暫定線量）が策定されて、LSSのデータ解析に用いられるようになった。
 - －1975年、ABCCは、日米共同の財団法人RERF（放射線影響研究所）に改組。
- DS86、DS02個人線量評価システムの策定と最近のLSS調査結果
 - －1976年、中性子爆弾開発の関係者から、T65Dの広島原爆線量は間違っているという文書が公開され、日米合同で原爆線量再評価が実施されてDS86（Dosimetry System 1986）が策定された。
 - －中性子放射化量の計算・測定不一致問題というDS86の積み残し課題を解決するため、DS02が策定され、8.7万人の個人線量が推定されている。LSS第14報(2012)は5万件の死亡の解析結果。
- 残留放射能：入市被曝と黒い雨被曝の問題
 - －DSシステムに基づく個人被曝量評価には、中性子放射化による早期入市の被曝や黒い雨 fallout といった残留放射能にともなう被曝が考慮されていない、という問題点が残されている。

<参考資料>

- ・「広島・長崎原爆放射線量新評価システムDS02に関する専門研究会」報告書、KURRI-KR-114（2005）
http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/PUB/report/04_kr/img/ekr011.pdf
- ・広島黒い雨放射能研究会「広島原爆“黒い雨”にともなう放射性降下物に関する研究の現状」（2010）
<http://www.hisof.jp/01publication/0301BlackRain2010.pdf>
- ・HiSoF. Revisit The Hiroshima A-bomb with a Database : Latest Scientific View on Local Fallout and Black Rain,
<http://www.hisof.jp/0100publication.html>
- ・放影研要覧(2014) https://www.rerf.or.jp/uploads/2017/07/briefdescript_j.pdf