

放射能環境動態・影響評価
ネットワーク共同研究拠点（ERAN）

2020 年度 年次報告書

【重点共同研究】

受付番号	申請者氏名	所属機関名	研究課題名	受入研究者	受入機関
F-20-01	横山 明彦	金沢大学	環境中ネプツニウム同位体測定法開発に関わる化学分離法の検討	坂口 綾	CRiED
F-20-02	宇都宮 聡	九州大学	高濃度放射性セシウム含有微粒子の化学的特性に基づく環境影響と炉内状態の解明	山崎 信哉	CRiED
F-20-03	松中 哲也	金沢大学	年輪中の原発事故由来C-14の分布範囲と実効線量評価	笹 公和 末木 啓介	CRiED CRiED
F-20-04	田中 万也	日本原子力研究開発機構	海洋生物性炭酸塩中のストロンチウム局所構造解析	山崎 信哉	CRiED
F-20-05	熊谷 朝臣	東京大学	森林管理が及ぼす影響のモデル計算による評価：流量及び同位体データを用いて	恩田 裕一	CRiED
F-20-06	岡田 往子	東京都市大学	内陸湖沼における放射性セシウムの動態解明	羽田野 祐子	CRiED
F-20-07	星 正治	広島大学	カザフスタンのウラン鉱山近郊の大気中のエアロゾルの収集と測定	坂口 綾	CRiED
F-20-08	猪股 弥生	金沢大学	日本海及び縁辺海における福島原子力発電所由来の放射性セシウム濃度の時定数と輸送量の推定	青山 道夫 高田 兵衛	CRiED IER
F-20-09	丸山 隼人	北海道大学	マメ科植物ルーピンの放射性セシウム吸収能の品種間比較	古川 純	CRiED
F-20-10	頼 泰樹	秋田県立大学	水稻のセシウム吸収経路の全容解明	古川 純	CRiED
F-20-11	山口 直文	茨城大学	波浪影響下での堆積物供給速度が底面地形粗度に与える影響	関口 智寛	CRiED
F-20-12	緒方 良至	名古屋大学	海水中のストロンチウムの安全で迅速な分析方法の開発	青山 道夫	CRiED
F-20-13	菅野 里美	名古屋大学	イネのNa ⁺ ・K ⁺ 輸送体変異体を用いたNa ⁺ 、K ⁺ 、Cs ⁺ の輸送比較	古川 純	CRiED
F-20-14	中野 孝教	総合地球環境学研究所	多元素同位体手法を用いた環境動態診断研究のレビュー	恩田 裕一	CRiED
F-20-15	大澤 和敏	宇都宮大学	福島県における土壌侵食に伴う放射性セシウム流出の観測および解析	恩田 裕一	CRiED
F-20-16	北 和之	茨城大学	大気と植物・菌類間の放射性セシウム移行可能性の研究	古川 純 羽田野 祐子	CRiED CRiED
F-20-17	平良 文亨	長崎大学	特定復興再生拠点区域（帰還困難区域）における除染・解体作業による放射性セシウムの再浮遊・飛散性の動態把握	平尾 茂一	IER
F-20-18	長谷川 浩	金沢大学	土壌中の放射性ストロンチウムおよびセシウムに対する新規なキレート洗浄処理技術の開発	Rahman Ismail Md. Mofizur	IER

受付番号	申請者氏名	所属機関名	研究課題名	受入研究者	受入機関
F-20-19	有馬 ポシールア ハンマド	山形大学	磁性及び多孔性Fe2O3による環境汚染重金属の吸着・ 分離に関する研究	Rahman Ismail Md. Mofizur	IER
F-20-20	杉浦 広幸	福島学院大学	福島の高層湿原の植物における放射性セシウム汚染	塚田 祥文	IER
F-20-21	大手 信人	京都大学	福島県北部森林流域からの放射性セシウムの流出形態 と貯水池における堆積メカニズムに関する研究	和田 敏裕	IER
F-20-22	津田 吉晃	筑波大学	帰還困難区域に生息する溪流魚種の地域固有系統の集 団動態の解明	和田 敏裕 兼子 伸吾	IER IER
F-20-23	阪間 稔	徳島大学	PHITS計算による原子力災害に伴う被ばく線量評価で の高精細MRCPs人体ポリゴンファントムの適用拡大	赤田 尚史	IREM
F-20-24	山城 秀昭	新潟大学	被災アカネズミの凍結保存精子を用いた受精能評価と 産子作出の試み	三浦 富智	IREM
F-20-25	安岡 由美	神戸薬科大学	環境中ラドンによる放射線施設監視モニタの感度確認 2：活性炭型ラドン検出器による感度確認	床次 眞司 細田 正洋	IREM IREM
F-20-26	白井 厚太郎	東京大学	ムラサキガイを用いた放射性核種のバイオモニタリ ング手法の開発	田副 博文	IREM
F-20-27	中田 章史	北海道科学大学	小核アッセイ法による生殖細胞の放射線感受性評価	三浦 富智	IREM
F-20-28	岩岡 和輝	量子科学技術研究開 発機構	大気中放射性核種測定装置のトロンガスの影響	床次 眞司 細田 正洋	IREM IREM
F-20-29	樋口 健太	日本医療大学	ラドン及び子孫核種の移行過程の解析と放射能環境動 態の解明	床次 眞司 細田 正洋	IREM IREM
F-20-30	高橋 温	東北大学	福島第一原発事故後の環境に棲息するアライグマの歯 のESR測定を妨害する因子の除去法の開発	三浦 富智	IREM
F-20-31	飯本 武志	東京大学	環境物質を応用した教育用自然放射線源の開発	床次 眞司	IREM
F-20-32	苅部 甚一	近畿大学	貝殻を用いた海水中の放射性ストロンチウムモニタリ ング法の検討	田副 博文	IREM
F-20-33	古川 雅英	琉球大学	水中ラドン計測によるサンゴ礁海域の陸源湧水探索に 関する研究	床次 眞司 赤田 尚史	IREM IREM
F-20-34	有吉 健太郎	福島県立医科大学	野生動物への低線量放射線影響評価のためのバイスタ ンダー効果の検討	三浦 富智	IREM
F-20-35	神田 穰太	東京海洋大学	福島沿岸海域における高線量粒子の海洋生態系影響に 関する研究	田副 博文	IREM
F-20-36	箕輪 はるか	東京慈恵会医科大学	福島第一原子力発電所近傍の環境試料の核種分析によ る沈着状況の解明	田副 博文	IREM

受付番号	申請者氏名	所属機関名	研究課題名	受入研究者	受入機関
F-20-37	柳澤 文孝	山形大学	山形蔵王で観測される樹氷を構成する水の同位体組成	赤田 尚史	IREM
F-20-38	Zhang Jing	富山大学	Quantification of the material transport between the Kuroshio and marginal seas using multiple tracers	田副 博文	IREM
F-20-39	木野 康志	東北大学	動物の臓器別被ばく線量率推定のための数値モデルの構築	三浦 富智	IREM
F-20-40	野田 香織	弘前大学	福島県三春ダム底質の結合形態別画分の放射性セシウム濃度	赤田 尚史 田副 博文	IREM IREM
F-20-41	鈴木 正敏	東北大学	福島原発事故に被災した野生ニホンザル生体試料を用いた放射線影響解析	三浦 富智	IREM
F-20-42	則末 和宏	新潟大学	海洋における超ウランアナログ元素の存在形態変換	田副 博文	IREM
F-20-43	清水 良央	東北大学	オートラジオグラフを用いた被災動物骨組織の放射性物質局在評価	三浦 富智	IREM
F-20-44	大河内 博	早稲田大学	福島県浪江町の里山における放射性物質の長期トレンドと環境調和型除染技術開発	床次 眞司 赤田 尚史	IREM IREM
F-20-45	佐瀬 卓也	核融合科学研究所	学習指導要領改訂による小中学校検定教科書における放射線・環境・震災教育の変遷調査	赤田 尚史	IREM
F-20-46	佐々木 隆之	京都大学	多面的な分光学的手法による多価金属イオンの収着状態評価	藤原 健壯 土肥 輝美	JAEA JAEA
F-20-47	二瓶 直登	福島大学	放射性微粒子の沈殿による作物への影響	吉村 和也	JAEA
F-20-48	乙坂 重嘉	東京大学	陸域-海域間の懸濁態放射性核種の輸送過程の解明	鶴田 忠彦	JAEA
F-20-49	斉藤 拓巳	東京大学	Cs用DGTデバイスを用いた放射性Csの環境動態評価	藤原 健壯	JAEA
F-20-50	川村 秀久	九州環境管理協会	Cs保持に関わる環境試料の前処理・分析手法の確立	土肥 輝美	JAEA
F-20-51	尾崎 紀昭	秋田県立大学	生物の鋳物形成作用と核種固定化に関する研究	土肥 輝美 鶴田 忠彦	JAEA JAEA
F-20-52	落合 伸也	金沢大学	福島県および周辺地域の河川水系における放射性セシウムの移行動態	中西 貴宏 鶴田 忠彦 御園生 敏治	JAEA JAEA JAEA
F-20-53	小西 博巳	新潟大学	放射性セシウムの移動媒体についての鋳物学的研究	藤原 健壯 萩原 大樹	JAEA JAEA
F-20-54	根本 唯	東京農業大学	福島県におけるツキノワグマの遺伝的集団構造と放射性核種汚染の関係	玉置 雅紀	NIES

受付番号	申請者氏名	所属機関名	研究課題名	受入研究者	受入機関
F-20-55	津旨 大輔	電力中央研究所	松川浦から海洋への溶存放射性セシウム供給過程の解明	林 誠二 青山 道夫	NIES CRIED
F-20-56	遠藤 大二	酪農学園大学	多エクソン同時増幅と次世代シーケンスによる高線量率環境下におけるアカネズミ遺伝子変化の経年調査	玉置 雅紀	NIES
F-20-57	保坂 健太郎	国立科学博物館	地下生菌（トリュフ類）と小動物を介した森林内の放射性セシウムの動態把握	石井 弓美子	NIES
F-20-58	立田 穰	電力中央研究所	沿岸ベントスにおける易分解性セシウム画分の定量と食物連鎖移行モデルによる生物可給態移行寄与の解明	青野 辰雄	QST
F-20-59	朱 彦北	産業技術総合研究所	マイルドプラズマ質量分析法による鉛同位体分析法の検討	鄭 建	QST

【F-20-01】

環境中ネプツニウム同位体測定法開発に関わる化学分離法の検討

研究代表者：横山 明彦

共同研究者：寺西 翔・森田 涼雅

受入研究者：坂口 綾

1. 研究成果報告

Np-237($T_{1/2}=2.1 \times 10^6$ y) は天然中にわずかに存在し、環境汚染調査のために定量が必要とされている。Np-237 の定量のために加速器質量分析 (AMS) を用いることが期待されており、AMS で測定する際には収率トレーサーが必要である。トレーサーとして化学的挙動が同じで半減期の長い Np-236g($T_{1/2}=1.5 \times 10^5$ y) の製造が検討されている。Np-236g の製造法として Th-232 に Li-7 を照射する方法が検討されているが、生成物はターゲット由来の多量の Th 中に含まれており質量分析の阻害になるため高純度の精製が必要である。本研究ではカラムでの分離と比較して一度に多量の試料を安価で分離することができる溶媒抽出法を、分離の手法として注目した。これまで、溶媒抽出による Th からの Np 分離は前例がないため検討の必要がある。カラム分離でカラム用樹脂に付着させる抽出剤として実績のある Aliquat336 を溶媒抽出に用い、Np-239 をトレーサーとした実験を行った。

ベンゼンに 30wt% で溶解させた Aliquat336 を抽出相に用いた Th から Np を分離する溶媒抽出実験を行った。Np の価数調整にはアスコルビン酸を用い、水相の液性を異なる濃度の塩酸で調整した。溶媒抽出後の有機相から Np を 0.5M 硝酸で逆抽出し、Np の γ 線を Ge 半導体検出器で測定し Np 回収率を求めた。また、Th 原子数を ICP-MS 測定することにより Th 除去率を求めた。

溶媒抽出実験の結果、塩酸高濃度側で高い回収率が得られており、特に濃度 7M, 9M で 80% を超える Np 回収率が得られた。昨年の Aliquat336 を用いた樹脂での分離実験でも同様の結果が得られており、再現性があると言える。ただし、先行研究と比べると回収率が低い。100% に近づけるためには再度逆抽出を行うことで改善できると考えられる。Th 除去率は塩酸濃度に関わらず 99.9% 以上の高い値が得られた。特に塩酸濃度 7M, 9M, 10M では Th 除染係数が 10^4 以上の値が得られており十分に除染できていると言える。溶媒抽出の水相の液性としては塩酸濃度 7M~9M が最適であると考えられる。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

Y. Hayakawa, A. Yokoyama, A. Sakaguchi, K. Teranishi, R. Morita, N. Matsumura, A. Nakajima, D. Mori, Y. Komori, T. Yokokita, Y. Wang, H. Haba, Production of Np-236 in the $^{232}\text{Th} + ^7\text{Li}$ reaction for standard material in accelerator mass spectrometry, RIKEN Accel Prog Rep. 2020, 53: 179-179.

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-02】

高濃度放射性セシウム含有微粒子の化学的特性に基づく環境影響と

炉内状態の解明

研究代表者：宇都宮 聡

受入研究者：山崎 信哉

1. 研究成果報告

1. 緒言

2011年3月に福島第一原子力発電所(FDNPP)で起きた原子力災害により $\sim 10^{19}$ Bqの放射能が放出された。放出された放射性核種には核分裂生成物(Xe, I, Cs)だけでなく、微量のアクチノイド種(U, Pu, Am)も含まれていた。Puは揮発性が低いため放出量は炉内の $\sim 2.0 \times 10^{-5}$ %と微量であると考えられているが、その同位体の半減期の長さの実効線量係数の大きさから内部被ばくによる人体への影響が懸念されている。また、現在進められている燃料デブリの取り出しに際してデブリの性状把握が必要であるが、炉内の放射線量が ~ 80 Sv/hと依然として高く炉内へのアクセスが不可能であるため難航している。そのため、環境中に放出された燃料微粒子の直接の特性評価が重要となる。

現在、FDNPPから放出された物質からPuの検出はされているが、化学種の同定には至っていない。本研究では原子炉から放出された高濃度放射性Cs含有微粒子であるCsMPから燃料微粒子を発見し、UとPuの同位体の分析と化学種の同定に初めて成功した。これはPuの放出プロセスとデブリの性状把握に重要な貢献になる。

2. 実験

福島県で採取した土壌からオートラジオグラフィと走査型電子顕微鏡(SEM + EDX)を用いて2つのCsMP(AQC, OTZ)を単離した後、ゲルマニウム半導体検出器を用いて粒子の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比を測定した。その後、二次イオン質量分析装置(SIMS)とシンクロトロン放射光分析装置(μXRF)を用いてPuやUの同位体比分析と化学種の同定を行った。

3. 結果・考察

本研究で発見したCsMPは、その $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比がそれぞれ1.05(AQC)、1.12(OTZ)でFDNPPの2または3号機から放出されたものだと考えられる。次に、SIMSの結果から、 $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$ 、 $^{240}\text{Pu} / ^{239}\text{Pu}$ 、および $^{242}\text{Pu} / ^{239}\text{Pu}$ の同位体比がそれぞれ ~ 0.0193 、 ~ 0.347 、および ~ 0.0660 であることが明らかになり、ORIGEN2を基に算出され

た計算値と近い値をとっており、Pu が照射された燃料微粒子の一部である可能性を示した。一方 $^{241}\text{Pu} / ^{239}\text{Pu}$ の同位体比は ORIGEN2 を基に算出された計算値からずれる値を示した。ORIGEN2 は燃料の平均組成を算出するため、燃料棒の照射日数の差が考慮されていない。そのため短半減期である ^{241}Pu には十分な精度がないと考えられる。また、Pu と U のイオン比と同位体比を比較することで U 酸化物中の Pu のイオン化効率率は U と同じであることが分かった。最後に μXRF の結果から、CsMP 中にサブマイクロサイズの Pu 酸化物の濃集点や被覆管の主成分である Zr の局在した濃集帯を含む $\sim 20 \mu\text{m}$ 程度の UO_2 の濃集帯が確認された。使用済み燃料のふちの部分では Pu が濃集し UO_2 粒子中の一部の UO_2 結晶格子の U が Pu に置換される。そのため、この粒子は燃料ペレットのふちの部分が微粒子として CsMP に取り込まれたものだと考えられる。これらの結果から Pu は燃料微粒子の一部として CsMP に取り込まれて環境中に放出されたと考えられ、主な Pu の長距離輸送メカニズムと考えられる。また、デブリ中の Pu の性状は使用済み燃料中の Pu を保持していることが示唆された。最後に、今回 SIMS で分析された Pu 同位体比は ORIGEN2 や CASMO5 などのデータコード用いた計算値と近い値をとっており、デブリ中の Pu 同位体比は短半減期の ^{241}Pu を除き合理的に推測できるという可能性を示した。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

K. Murota, K. Tanoi, A. Ochiai, S. Utsunomiya, & T. Saito, Desorption mechanisms of cesium from illite and vermiculite. *Applied Geochemistry*, 123 (2020) 104768. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104768>

E. Kurihara, M. Takehara, M. Suetake, R. Ikehara, T. Komiya, K. Morooka, R. Takami, S. Yamasaki, T. Ohnuki, K. Horie, M. Takehara, G.T.W. Law, W. Bower, J. Frederick W. Mosselmans, P. Warnicke, B. Grambow, R. C. Ewing, & S. Utsunomiya, Particulate plutonium released from the Fukushima Daiichi meltdowns. *Science of The Total Environment* 743 (2020) 140539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140539>

A. J. Fuller, P. Leary, N. D. Gray, H. S. Davies, J. Frederick W. Mosselmans, F. Cox, C. H. Robinson, J. K. Pittman, C. M. McCann, M. Muir, M. C. Graham, S. Utsunomiya, W. R. Bower, K. Morris, S. Shaw, P. Bots, F. R. Livens, & G.T.W. Law, Organic complexation of U (VI) in reducing soils at a natural analogue site: Implications for uranium transport.

Chemosphere 254 (2020) 126859. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126859>.
R. Ikehara,* K. Morooka,* M. Suetake, T. Komiya, E. Kurihara, M. Takehara, R. Takami, C. Kino, K. Horie, M. Takehara, S. Yamasaki, T. Ohnuki, G. T. W. Law, W. Bower, B. Grambow, R. C. Ewing, & S. Utsunomiya, Abundance and distribution of radioactive cesium-rich microparticles released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant into the environment. Chemosphere 241(2020) 125019. * Two authors contributed equally. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125019>

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-03】

年輪中の原発事故由来 C-14 の分布範囲と実効線量評価

研究代表者：松中 哲也

共同研究者：平尾 茂一・脇山 義史

受入研究者：笹 公和・末木 啓介

1. 研究成果報告

【はじめに】

原子力発電所の稼働に伴って放出される ^{14}C ($T_{1/2} : 5,730 \text{ yr}$) は、食物連鎖を通して内部被ばくに寄与する可能性のある核種として知られている[1]。原子炉内では ^{14}N (n, p) ^{14}C 、 ^{17}O (n, α) ^{14}C 、及び ^{13}C (n, γ) ^{14}C の誘導放射化によって ^{14}C が生成される。Xu et al. (2016)[2]は、福島第一原子力発電所から通常運転時に $\sim 53 \text{ TBq}$ の ^{14}C が放出され、事故時に放出された ^{14}C が 2.5 km 北西地点の樹木年輪に $42 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ C}$ 寄与した事を明らかにした。しかしながら、事故によって大気中に放出された ^{14}C の影響範囲や陸域生態系への移行に関する研究は不十分のままであった。本研究は、福島第一原子力発電所から北西地域を対象に、樹木年輪中 ^{14}C 濃度を明らかにし、事故由来 ^{14}C の影響範囲を把握すると共に食物摂取による年輪内 ^{14}C の実効線量を評価する事を目的とした。

【試料と方法】

2014年7月、福島第一原子力発電所から北西へ9 km と 24 km の地点からヒノキとスギの年輪コアを採取した。年輪年代を決定した事故前後の期間を含む 2008–2014 年の早材と晩材、あるいは単年輪についてセルロース抽出を行った。1 mgC のセルロース試料、NIST-4990C、IAEA-C1 (操作ブランク)、IAEA-C6、及び IAEA-C8 について、元素分析計を併用した自動前処理装置でグラファイトを作製し[3]、東京大学 5 MV タンデム加速器を用いて $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比と $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を計測した。ターミナル電圧が 4.8 MV の条件で、24 MeV の $^{14}\text{C}^{4+}$ を固体半導体検出器でカウントした。 ^{14}C の測定誤差は 0.5% であり、操作ブランクは 0.08 pMC 以下であった。試料の ^{14}C 濃度は、同位体分別と減衰の補正を行った F14C (Fraction Modern) を算出した後、比放射能 ($\text{Bq kg}^{-1} \text{ C}$) で表した。

【結果と考察】

2008–2014 年における年輪中 ^{14}C 濃度は $231\text{--}256 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ C}$ の範囲で変動した。原子力発電所事故後の期間である 2012–2014 年の年輪内 ^{14}C 濃度が北半球の ^{14}C バックグラウンドとほぼ一致するのに対し、通常運転期間である 2008–2010 年の年輪内 ^{14}C 濃度は ^{14}C バックグラウンドより $7.8\text{--}22.7 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ C}$ 高かった。事故前における平均余剰 ^{14}C 濃度は、9 km 北西地点で $21 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ C}$ 、及び 24 km 北西地点で $12 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ C}$ であった。一方、事故が起こった 2011 年における年輪内の平均余剰 ^{14}C 濃度は、24 km 北西地点で $5.8 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ C}$ であり、9 km 北西地点 ($10 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ C}$) の $1/2$ 程度であった。原子力発電所からの距離の増加に伴う余剰 ^{14}C 濃度の減少は、北西方向へ少なくとも 24 km 地点までの樹木年輪が事故由来 ^{14}C を固定していた事を示唆している。また、事故由来である 2011 年の年輪内余剰 ^{14}C は、食物摂取による実効線量に換算すると最大で $0.6 \mu\text{Sv yr}^{-1}$ であり、自然放射線の食物摂取による実効線量の世界平均値 ($290 \mu\text{Sv yr}^{-1}$) の $<0.21\%$ 程度であった。

[1] 長里ら (2001) JNC TN8410 2001-021. [2] Xu et al. (2016) J. Environ. Radioactiv., 157, 90–96. [3] Matsunaka et al. (2019) Nucl. Instr. Meth. B, 455, 204–208.

2. 発表論文リスト

2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに研究グループにより発表された論文 (謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-04】

海洋生物性炭酸塩中のストロンチウム局所構造解析

研究代表者：田中 万也

受入研究者：山崎 信哉

1. 研究成果報告

研究背景及び目的

福島第一原子力発電所で発生した汚染水が海洋に放出された結果、様々な海洋生物が放射性核種により汚染された。中でも放射性 Sr は、同族元素である Ca と類似の挙動をするため、貝類や甲殻類の殻などの生物性炭酸カルシウムに取り込まれる。放射性 Sr は重量濃度としては微量であるものの、安定 Sr は海洋生物性炭酸カルシウムに数百～数千 mg/kg 程度含まれている。そこで本共同研究では、海洋生物性炭酸カルシウムに含まれる安定 Sr の局所構造を明らかにすることで放射性 Sr の濃縮機構を理解することを目的とした。

試料及び実験

炭酸カルシウムには同質多型があり、アラゴナイト及びカルサイトの殻を形成する海洋生物がそれぞれ存在する。本研究では、福島県で採取したアサリ（アラゴナイト）とマガキ（カルサイト）の貝殻を分析試料とした。貝殻試料の表面の付着物を除去するために、純水中において超音波洗浄を行った。この操作を水の濁りが出なくなるまで繰り返した。風乾した後、メノウ乳鉢を用いて粉碎して均質化したものを分析試料とした。粉末化した貝殻試料は X 線粉末回折(XRD)分析により結晶構造の同定を行った。Sr-K 吸収端広域 X 線吸収微細構造(EXAFS)スペクトルの測定は SPring-8 の BL01B1 にて行った。アラゴナイト及びカルサイトの参照試料としてシャコ貝(JCt-1：地質調査総合センター発行標準試料)と石灰岩の測定もそれぞれ行った。

結果及び考察

XRD 分析の結果から、アサリ貝殻はアラゴナイト、マガキ貝殻はカルサイトからなることを確認した。アラゴナイト構造を持つアサリとシャコ貝試料の EXAFS スペクトル解析結果から、いずれも $2.56 \pm 0.03 \text{ \AA}$ の Sr-O 原子間距離が得られた。これは Ca-O 原子間距離 (2.52 \AA) に近い値であり、Sr がアラゴナイト構造中の Ca サイトにフィットしていることが伺えた。これに対して、カルサイト構造を持つマガキ貝殻と石灰岩試料の解析結果から、Sr-O 原子間距離は $2.50 \pm 0.03 \text{ \AA}$ であった。これは、アラゴナイト構造中と比べるとやや短い Sr-O 原子間距離となる。しかし、カルサイト構造における Ca-O 原子間距離は 2.36 \AA であることから、Ca-O と Sr-O の原子間距離には 0.14 \AA の差があることになる。これは、アラゴナイト構造に比べるとかなり大きな違いであり、Sr はカルサイト構造にはフィットしていない様子が見て取れた。

こうした炭酸カルシウムの結晶形と Sr の局所構造の関係は、海洋生物が形成する炭酸カルシウムへの放射性 Sr の取り込みに影響すると考えられる。今後は、こうした結晶形を念頭に置いて貝類や甲殻類などの放射性 Sr 分析も検討したい。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

Tanaka, K., Kanasashi, T., Takenaka, C. and Takahashi, Y. (2021) Speciation of cesium in tree tissues and its implication for uptake and translocation of radiocesium in tree bodies. *Sci. Total Environ.* 755, 142598.

Tokunaga, K., Takahashi, Y., Tanaka, K. and Kozai, N. (2021) Effective removal of iodate by coprecipitation with barite: Behavior and mechanism. *Chemosphere* 266, 129104.

Tani, Y., Kakinuma, S., Chang, J., Tanaka, K. and Miyata, N. (2021) Preferential elimination of Ba²⁺ through irreversible biogenic manganese oxide sequestration. *Minerals* 11, 53. DOI: 10.3390/min11010053

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-05】

森林管理が及ぼす影響のモデル計算による評価：

流量及び同位体データを用いて

研究代表者：熊谷 朝臣

受入研究者：恩田 裕一

1. 研究成果報告

森林流域での物質循環を駆動する要因の1つである水循環過程の解明には、観測・実験を通じた現象の理解と併せて現象のモデル化が強力なツールとなり、特に森林管理による流域特性の変化が水循環に及ぼす影響の機構論的解明・予測には、現象を十分に考慮し変化を直接反映できる降雨流出モデルが必要である。

近年、降雨時に土壌で発生する鉛直浸透及び土壌-基岩間の浸透・湧出が、流出や水分分布に及ぼす強い影響が明らかになってきた。しかし従来の降雨流出モデルはこれらのプロセスを十分に反映できていない。そのため本研究は、長期流出及び土壌水分空間分布の再現に優れる既存モデルを雛形に、土壌水分の鉛直分布・鉛直浸透と基岩地下水のプロセスを組み込んだ新しい分布型降雨流出モデル K-BLADE model を開発し、森林流域（神奈川県丹沢山地大洞沢流域、49.4ha）への適用結果を基にその妥当性を検証した。なお、実際の流域特性を反映した検討のためパラメータのフィッティングは行わず観測値を入力とした。

結果、本モデルは流量・土壌水分・基岩地下水位の観測値を良好に再現できた。特に流量はパラメータをフィッティングした他の降雨流出モデルと同等かそれ以上の再現性を示し、基岩地下水位は観測地点毎に平均値の再現に成功した。また、各種モデル出力の空間分布時間変化は、観測研究で解明されつつある流域スケールでの流出動態を良好に表現できた。

以上から本モデルの妥当性が示され、今後は①最高レベルの物理的厳密性を有する水移動シミュレータとの比較検証による本モデル構造の有用性・厳密性の検証と結果に基づいたモデル改良 ②森林管理による流域特性の変化を直接反映できるモデル構造の組み込み ③他流域での検証及び同位体データを用いた検証 を通して、森林管理が水循環過程に及ぼす影響の機構論的解明・予測に資する強力なモデルに発展させていく予定であり、本研究の成果はその土台となる。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-06】

内陸湖沼における放射性セシウムの動態解明

研究代表者：岡田 往子

共同研究者：熊谷 尚人・内山 孝文

受入研究者：羽田野 祐子

1. 研究成果報告

背景と目的

我々は群馬県赤城大沼の放射性セシウムの動態調査をワカサギと湖水を中心に2012年から継続的に行い、放射性セシウム濃度の下げ止まり傾向が続いている。赤城大沼は流入河川1本、流出河川1本の極めて閉鎖性の強い湖沼であり、春から夏にかけて、水温躍層を形成し、底質に近い部分では無酸素状態になる。この時期の底質に近い湖水は溶存態Csが多いことが分かっている。底質からの溶存態Csの溶出が考えられる。群馬県内の11内陸湖沼底質の放射性Cs溶出の可能性の検討を目的とする。

実験

試料は自然湖沼（赤城大沼、榛名湖）、農業ため池（バラキ湖、丹生湖、鳴沢湖、近藤沼）、人工ダム湖（碓氷湖、赤谷湖、草木湖、奥利根湖、梅田湖、神流湖）の底質を用いた。

中性子放射化分析による元素分析は京都大学複合原子力科学研究所にある原子炉を利用し、32元素の定量を行った。また、卓上走査型電子顕微鏡（SEM：HITACH TM3000）を用いて、11湖沼底質の観察を行った。底質に安定セシウムを添加して、セシウム錯体構造解析（EXAFS解析）を高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリ BL-27B を利用して行った。底質の¹³⁷Cs添加吸着・脱着実験は、東京都市大学原子力研究所 R I 管理区域を使用して行った。¹³⁷Csは R I 協会から購入したものを使用し、各底質に3時間、1日、3日吸着させ、濾液と底質に分離してγ線測定を行った。

結果

安定Cs含有量では天然湖（赤城大沼、榛名湖）と農業用ため池（バラキ湖、丹生湖、鳴沢湖、近藤沼）は、 $2\mu\text{g/g}\sim 5\mu\text{g/g}$ の範囲であったが、人工ダム湖（赤谷湖、草木湖、奥利根湖、梅田湖、神流湖）は $7\mu\text{g/g}\sim 14\mu\text{g/g}$ と大きな違いが表れた。他の微量元素も人工ダム湖が天然湖、農業ため池を大きく上回ることが分かった。各湖沼のSEM観察を行ったところ、天然湖は植物プランクトンが多く観察され、特に赤城大沼の底質は大きな植物プランクトンの殻が多くを占めていた。EXAFS解析では人工ダム湖（梅田湖、奥利根湖、草木

湖、赤谷湖)と神流湖は Ti 含有量が多く、解析が難しかったが、他の湖沼について検討し、赤城大沼が他の湖沼(榛名湖、バラキ湖、丹生湖、近藤沼、碓氷湖)より、粘土鉱物等の Si-O との配位が弱いことが示唆された。

赤城大沼、榛名湖、近藤沼、丹生湖、赤谷湖の底質で行った ^{137}Cs 吸脱着実験では、吸着時間(1時間、1日、3日)に差がなく、短時間で吸着することが分かった。 ^{137}Cs 吸着結果では、赤城大沼、榛名湖の底質が 94%、近藤沼、丹生湖、赤谷湖は 99%の吸着であった。 ^{137}Cs 脱離率では、赤城大沼と榛名湖で 1~2%の脱離、近藤沼、丹生湖、赤谷湖は 0.4%であった。

まとめ

赤城大沼と榛名湖の底質は ^{137}Cs の吸着が他の湖沼より、5%程度弱く、脱離もしやすいことが分かった。底質に含まれる元素や植物プランクトンの殻の量と関係するかについては今後の課題となる。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

なし

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-07】

カザフスタンのウラン鉱山近郊の大気中のエアロゾルの収集と測定

研究代表者：星 正治

共同研究者：恩田 裕一・遠藤 暁・藤本 成明・七條 和子・佐藤 斉・Kassym
Zhumadilov・Nailya Chaizhunussova・Valeriy Stepanenko

受入研究者：坂口 綾

1. 研究成果報告

1. 研究成果報告

経緯と研究の概要：

本研究は、カザフスタンのウラン鉱山地帯などでの大気中の塵や水試料の収集と測定を目的としている。そしてその最終目的は、放射能を帯びた微粒子の曝露による生物影響の研究である。また、この研究はカザフスタンの国内で行う予定であった。しかしながら、カザフスタンのカウンターパートの責任者である、Prof. Kassym Zhumadilov がコロナに感染し、約 1 ヶ月ほど音信不通となった。その事でスタートが遅れ、昨年末から塵の採取を開始したところである。そのため、今回の報告では、最終目的である放射性微粒子の影響研究について、これまでの経緯を報告する。この影響研究は来年度にも実施する予定である。

材料と方法：

3 μ m の二酸化マンガンの粉末に原子炉の熱中性子を照射し、Mn-56 を生成し放射化した。その粉末をラットやマウスに噴霧し 1 時間照射した。照射直後、ラットの臓器を直接測定し、それに基づいてモンテカルロ計算を行い、内部被ばく線量を詳細に求めた。その後 2 ヶ月にわたって経過観察した。その間、臓器の病理学的変化や活動量の変化、DNA/RNA の変化を調べた。放射性微粒子の曝露群の比較対象として、Co-60 の外部被ばく 2,000mGy 照射、放射化していない二酸化マンガンの粉末の曝露、コントロールの 3 群を同時に実験した。

結果：

実験の一例では、ラットの肺の内部被曝線量は 100mGy であった。肺の病理組織を観察すると、肺気腫で肺胞がなくなっている場合や、出血をしている場合が観察され、その影響は大きかった。外部被ばくとの比較のため、Co-60 の 2,000mGy 照射群と比較したが、その影響はコントロールと比べて違いはなかった。また放射化していない二酸化マンガンの粉末でも同様な条件で曝露したが変化はなかったため、化学的毒性による変化は認められなかった。これらから、放射性微粒子の影響は、外部被ばくに比べて 20 倍以上大きいことが分かった。その影響のメカニズムとして、微粒子近傍での計算によると、微粒子の近傍の線量が数 10Gy と大きくなることがある。これが原因と考え研究を継続している。

まとめ：

Mn-56 を含む微粒子による内部被ばくが 100mGy の時(この時の外部被ばく:5.75mGy)と、Co-60 による外部被ばく(2000mGy)とを比較した。肺の病理組織を顕微鏡で観察したところ、内部被曝 100mGy の方が外部被ばく 2000mGy と比べてその影響が 20 倍以上大きいことが分った。ただ、その後の研究では放射性微粒子の影響が見られない場合もあり、再現性についてさらに検討を重ねる必要がある。(Stepanenko et. al., Internal exposure to neutron activated 56Mn dioxide powder in Wistar rats – Part 1: Dosimetry. Radiation and Environmental Biophysics (REB), 56, 47-54 2017, DOI 10.1007/s00411-016-0678-x, Shichijo et. al., REB, 56, 55-61, 2017, DOI 10.1007/s00411-016-0676-Z. Ibid. Erratum, DOI 10.1007/s00411-017-0687-4.

2. 発表論文リスト

2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに研究グループにより発表された論文(謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

1. Y. K. Sambayev, A.G. Zhumalina, K.Sh. Zhumadilov, A. Sakaguchi, T. Kajimoto, K. Tanaka, S. Endo, N. Kawano, M. Hoshi, M. Yamamoto, Temporal variation of atomospheric Be-7 and Pb-210 cocentrations and their activity size distributions at Astana, Kazakhstan in central Asia. J. Radioanalytical Nuclear Chemistry, 323, 663-674, 2020, <https://doi.org/10.1007/s10967-019-06968-x>.
2. Nariaki Fujimoto, Arailym Baurzhan, Nailya Chaizhunosova, Gaukhar Amantayeva, Ynkar Kairkhanova, Dariya Shabdarbaeva, Yersin Zhunussov, Kassym Zhumadilov, Valeriy Stepanenko, Vyacheslav Gnyrya, Almas Azhimkhanov, Alexander Kolbayenkov, Masaharu Hoshi, Effects of internal exposure to 56MnO2 powder on blood parameters in rats, Eurasian J Med, 52(1), 52-56, 2020.
3. Ken Inoue, Sadayuki Hashioka, Yuri Murayama, Nailya Chaizhunosova, Madina Apbassova, Dariya Shabdarbayeva, Nursultan Seksenbaev, Moldagaliev Timur, Ospanova Nurgul, Yersin T. Zhunussov, Yoshitsugu Fujita, Naoyuki Kanki, Zarina Mendygazyeva, Haruo Takeshita, Yasuyuki Fujita, Yuji Okazaki, Yoshihiro Noso, Masaharu Hoshi, Nobuo Takeichi, Health problems need to be studied by a wider range of fields and new areas, such as psychiatry and social medicine: In light of the association between nuclear disasters and radiation. Journal of St. Marianna Medical Institute 20 (95), 27-30, 2020.
4. Kazuko Shichijo, Toshihiro Takatsuji, Zhaslan Abishev, Darkhan Uzbekov, Nailya Chaizhunosova, Dariya Shabdarbaeva, Daisuke Niino, Minako Kurisu, Yoshio Takahashi,

Valeriy Stepanenko, Almas Azhimkhanov, Masaharu Hoshi, Impact of local high doses of radiation by neutron activated Mn dioxide powder in rat lungs: protracted pathologic damage initiated by internal exposure. *Biomedicines* 2020, 8, 171;

doi:10.3390/biomedicines8060171, <https://www.mdpi.com/2227-9059/8/6/171>.

5. Nariaki Fujimoto, Gaukhar Amantayeva, Nailya Chaizhunosova, Dariya Shabdarbayeva, Zhaslan Abishev, Bakhyt Ruslanova, Yersin Zhunossov, Almas Azhimkhanov, Kassym Zhumadilov, Aleksey Petukhov, Valeriy Stepanenko, Masaharu Hoshi, Low-dose radiation exposure with $^{56}\text{MnO}_2$ powder changes gene expressions in the testes and the prostate in rats. *Int. J. Mol. Sci.* 2020, 21, 4989; doi:10.3390/ijms21144989, <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/14/4989>.

6. Valeriy Stepanenko, Andrey Kaprin, Sergey Ivanov, Peter Shegay, Kassym Zhumadilov, Aleksey Petukhov, Timofey Kolyzhenkov, Viktoria Bogacheva, Elena Zharova, Elena Iaskova, Nailya Chaizhunosova, Dariya Shabdarbayeva, Gaukhar Amantayeva, Arailym Baurzhan, Bakhyt Ruslanova, Zhaslan Abishev, Madina Apbassova, Ynkar Kairkhanova, Darkhan Uzbekov, Zaituna Khismetova, Yersin Zhunossov, Nariaki Fujimoto, Hitoshi Sato, Kazuko Shichijo, Masahiro Nakashima, Aya Sakaguchi, Shin Toyoda, Noriyuki Kawano, Megu Ohtaki, Keiko Otani, Satoru Endo, Masayoshi Yamamoto, Masaharu Hoshi, Internal doses in experimental mice and rats following exposure to neutron-activated $^{56}\text{MnO}_2$ powder: results of an international, multicenter study. *Radiation and Environmental Biophysics* 59, 683-692, 2020, <https://doi.org/10.1007/s00411-020-00870-x>.

7. Masaharu Hoshi, Radiation exposure and health effects of the residents around the former Soviet Union nuclear test site in Kazakhstan -A new perspective: radioactive microparticles. *Impact*, Vol. 2020, Number 3, 2020, 70-72, <https://doi.org/10.21820/23987073.2020.3.70>.

8. Masaharu Hoshi, Radioactive microparticle effects found in animal experiments. *The Innovation Platform ISSUE 5*, Innovation News Network March, 2021, <https://www.innovationnewsnetwork.com/effects-of-radioactive-microparticles-found-in-animal-experiments/9639/>.

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-08】

日本海及び縁辺海における福島原子力発電所由来の 放射性セシウム濃度の時定数と輸送量の推定

研究代表者：猪股 弥生

受入研究者：青山 道夫・高田 兵衛

1. 研究成果報告

2011年3月の東京電力福島第1原発事故で海に放出された放射性セシウムのうち一部が北太平洋の西部亜熱帯循環域から、数年未満の短い時間スケールで東シナ海底層部を経由して日本海に到達していることが明らかになっている (Aoyama et al., 2017; Inomata et al., 2018a)。さらに、日本海における放射性セシウムの濃度が2017年以降に減少し始めており、その流入量は $0.27 \cdot 0.02$ PBq と見積もられた。これは亜熱帯モード水に取り込まれた放射性セシウムの6.4%に相当する (Inomata et al., 2019)。本研究では、モニタリングデータやデータベースを基に、太平洋から日本海へさらには日本海から太平洋への放射性セシウムの輸送の時定数及び輸送量を見積もることを目的とする。

福島原子力発電所由来の放射性セシウム (FNPP1-137Cs) の再循環を捉えるために、日本海に流入する海水の上流に位置する佐賀唐津・与那国において、年1回表層水のサンプリングを行う。これらの地点での採水・分析は、2015年以降継続しているものである。さらに、海洋環境人工放射能データベースや国や自治体等でモニタリングしている、日本海に流入する上流側に位置している沖縄、鹿児島、佐世保などにおいて、放射性セシウム濃度の変動を評価した。

これまでの解析から、日本海へ流入する FNPP1-137Cs の濃度は 2015/2016 年に最大を示す傾向が認められていた。しかし、2015/2016 年以降のデータでは、必ずしも FNPP1-137Cs の濃度の減少が認められていないことが明らかになった。FNPP1-137Cs の北太平洋への沈着は限られた短い時間であったが、FNPP1-137Cs の亜熱帯モード水に取り込まれた地域や時間等の違いを反映しているものと考えられる。解析結果から、今後も FNPP1-137Cs の日本海への流入は続く可能性が示唆された。また、日本海へ流入する海水の上流側に位置する沖縄と佐世保についての長期解析を行った。その結果、佐世保・沖縄では、FNPP1-137Cs 濃度増加は下層で早く高くなっていた。さらに、佐世保では、下層の濃度は上層の濃度より高濃度であった。これは Obduct により亜熱帯表層水に取り込まれた FNPP1-137Cs が日本南岸の西部北太平洋を西へ輸送されて、一部は日本海に流入していることを示している。さらに、HAM データベース Global version (Aoyama 2019) の解析結果から、FNPP1-137Cs は北太平洋上の広範囲で観測されていたことが明らかになった。特に亜熱帯域の西部北太平

洋やインドネシア海域でも濃度の増加が認められた。また、その最大値が観測された時期は他の地域よりも遅い傾向があった。各モニタリングサイトにおける見かけの半減期は、日本海（16.4年）や東シナ海（19.3年）では西部北太平洋（15年）と比較して長い傾向が認められた。このことは、FNPP1-137Csが日本海へ流入していることを示唆しているものと考えられる。また、東シナ海における Tap は日本海の Tap と比較して長いことから、FNPP1-137Cs は東シナ海に一旦蓄積している可能性もある。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-09】

マメ科植物ルーピンの放射性セシウム吸収能の品種間比較

研究代表者：丸山 隼人

共同研究者：久保 堅司・藤本 久恵

受入研究者：古川 純

1. 研究成果報告

<背景と目的>

マメ科植物のルーピンは土壤中のリンの可給化能や重金属の吸収能が高いことで知られる。シロバナルーピンはクラスター根と呼ばれる特殊な根を形成し、土壤中の元素動態に大きな影響を与える。先行研究にてルーピンが高い放射性セシウム吸収能を持つことが明らかとなったが、品種間の差や高い吸収能に寄与するメカニズムの詳細は不明である。そこで本共同研究では、ルーピンの品種間による放射性セシウム吸収および体内での動態について解析し、高い放射性セシウム吸収能に寄与する要因を明らかにすることを目的とした。

<材料と方法>

ルーピン 2 品種 (Kievskij および Dieta) をポットおよび圃場において栽培し、放射性セシウムの吸収および植物体内での動態を調査した。圃場は福島県内の土壤中交換性カリウム濃度が異なる区画を整備した試験圃場 2 箇所で栽培し、開花期および収穫期に植物体を収穫した。ポット栽培では圃場土壌を用い 4.5L ポットで北海道大学ガラス温室内にて実施した。土壌および収穫した植物体の放射性セシウム濃度をゲルマニウム半導体検出器で測定した。また、ICP—MS を用いて多元素分析も実施した。

<結果と考察>

播種時の大雨や栽培期間中の高温等により Dieta については両圃場において生育初期で枯れてしまい、ルーピンの圃場試験では播種時期や品種の選定が重要であると考えられた。東畑圃場の Kievskij では種子が収穫できたことから、子実への放射性セシウムの移行係数をダイズと比較したところ、ルーピンは土壤中のカリウム濃度が低い区で 4 倍以上ダイズと比べて高い移行係数を示した。また、植物体への放射性セシウムの移行を同じ土壤中の交換性カリウム濃度で比べると東畑圃場で高く、土壌の違いが放射性セシウム吸収に影響を与えることが示された。ポット試験の結果、ルーピン 2 品種の放射性セシウム吸収能は Kievskij の方が Dieta と比べて高かった。さらに、植物体内のアルカリ金属元素と放射性セシウム濃度の関係を比較したところ、ナトリウムと放射性セシウム濃度の関係が 2 品種間で大きく異なることが示され、ルーピンの放射性セシウムの吸収にナトリウムの吸収量が関連していると考えられた。今後、カリウムおよびナトリウムの輸送体遺伝子発現量の詳細な調査を実施し、2 品種の放射性セシウム吸収能の違いの要因を明らかにしていきたい。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。
なし

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-10】

水稻のセシウム吸収経路の全容解明

研究代表者：頼 泰樹

共同研究者：河端 美玖・佐藤 奈美子

受入研究者：古川 純

1. 研究成果報告

2011 年の福島第一原発の事故による放射性セシウム (^{137}Cs) の土壤汚染が大きな問題となった。土壤中の放射性 Cs はわずかではあるが植物に吸収され、農作物の放射能汚染を引き起こす。

我々はイネでは K 輸送体である OsHAK1 からほとんどの Cs を吸収することを明らかにした。そして、次のターゲットとしてイネの OsHAK 1 以外の Cs の吸収・輸送を担う輸送体の特定を目指している。

OsHAK 1 以外で根への Cs の取り込み、根に吸収された後の Cs の地上部への移行経路に関与していると考えていた oshak5 と osakt1 のノックアウト系統はいずれも Cs 吸収の大幅な低下を示さなかった。

Cs 吸収には K 以外の他のイオン輸送体の関与も指摘されていることから、oshak1 変異体 (マイナーな Cs の輸送経路のみを持つ) を用いたイオンの吸収競合解析を進めてきた。

今年度は oshak1 変異体と野生型のイネを用いて、Cs および K 吸収に及ぼす K 以外のイオンの競合作用を調べた。oshak 1 変異体は K と競合するメインの Cs 吸収経路が破壊されているため、他の輸送体へのイオンの競合作用が明確に示されるはずである。

Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 、 Na^+ といったイオンを水耕液に添加し、 ^{137}Cs と $^{42.43}\text{K}$ をトレーサーとした実験を実施したが、Cs 吸収を競合作用により大幅に低減させられるイオンは見出すことはできなかった。

現在、キャリアとなる Cs 濃度、水耕液のイオン組成を土壤条件に近いものに変更して実験を進めている。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

Rai,H., Kawabata,M., 2020, The dynamics of radio-caesium in soils and mechanism of caesium uptake into higher plants: Newly elucidated mechanism of caesium uptake into rice plants, *Frontiers in Plant Science*, Vol.11, Article 528

頼 泰樹, 河端 美玖 土壤, そして植物への放射性セシウムの動態 化学と生物 vol.58(6), 333-342, 2020

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-11】

波浪影響下での堆積物供給速度が底面地形粗度に与える影響

研究代表者：山口 直文

受入研究者：関口 智寛

1. 研究成果報告

沿岸域における放射性物質の動態を考える上で、放射性物質を吸着しやすい泥質堆積物の挙動の理解が求められる。2019年度までに実施してきた申請者の共同研究によって、波浪作用下での泥の堆積を考える際に、砂質底面に形成されるウェーブリップルのような粗度となる微小な地形の存在が影響することが示唆された。こうした底面の微小な地形の形成条件については調べられているが、堆積物供給下においてどの程度その形状が維持されるかについては明らかになっていない。そこで本研究では、堆積物供給速度が異なる条件での微小地形の形状について、水路実験によって調べた。

実験は、筑波大学アイソトープ環境動態研究センター環境動態予測部門の二次元造波水路を用いて行った。実験区間には水路内に入れ子型の仕切りを設置し、波浪を作用させた状態で、実験区間内上方から砂を供給した。この砂の供給速度をパラメータとして変えて実験を行い、底面地形の形状と底面近傍の現象を観察した。水路実験では粒径 0.2 mm の豊浦標準砂を使用した。実験は以下のような条件で計 13 試行実施した：周期 1 秒，初期水深 0.3 m，波高 0.07–0.13 m，堆積物供給に伴う砂床上昇速度 2–51 mm/min。

実験の結果、砂の供給速度依存して、リップルとそれに伴う底面粗度が減少または消失することが明らかになった。堆積物供給に伴う砂床の上昇速度が 45 mm/min を超えると、砂床表面のリップルは消失した。また、砂床の上昇速度が 25–45 mm/min の実験では、砂床表面のリップルによる凹凸は維持されるが、その波高は小さくなった。砂床の上昇速度が 25 mm/min 以下の場合には、堆積物供給によるリップルの形状への影響は見られなかった。

今回の結果は、波浪作用下で重要となるリップルによる底面粗度を考える際に、堆積物供給による影響を無視できないことを示唆している。大量の堆積物が供給される状況では、リップルによる底面粗度が減少し、それに伴い泥質堆積物などの巻き上げ効果も抑制されることが考えられる。今後はより広い波浪条件で実験を行うことで、定量的かつ一般的なリップル消失条件を明らかにすることが課題となる。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

Shinozaki, T., Yamaguchi, N. and Sekiguchi, T. (2020), Flume experiments test grain-size distribution of onshore tsunami deposits, *Sedimentary Geology*, 407, 105750.

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-12】

海水中のストロンチウムの安全で迅速な分析方法の開発

研究代表者：緒方 良至

共同研究者：小島 貞男・箕輪 はるか

受入研究者：青山 道夫

1. 研究成果報告

1. イオン交換法+PSB法による⁹⁰Srの分析

簡略化したイオン交換法で、数時間で⁹⁰Srを炭酸塩沈殿としてメンブランフィルタ上に収集することができることを示した。測定試料は、Plastic Scintillator Bottle(PSB)に入れ、低BG液体シンチレーションカウンタで測定した(PSB法)。IAEA443海水試料、測定当時の公称放射能は 0.0802 ± 0.0040 Bq/kg、を1L用い、本法で分析した結果、試料作成直後で 0.083 ± 0.017 Bq/kg、⁹⁰Yが成長した後で 0.0782 ± 0.014 Bq/kgと評価され、公称値と一致した。図1にIAEA443の⁹⁰Y成長曲線を示す。

2. PSB法の計数効率の改良

メンブランフィルタ上の測定試料は測定器の汚染防止のため、100・m厚のポリエチレンフィルムでカバーしていた。その結果、⁹⁰Srに対する計数効率は、40%であった。このフィルムを25・m厚のOriented PolyPropylene(OPP)フィルムに変えたところ、計数効率が98%に上がった。³H、⁶³Ni、¹⁴Cなどのより低エネルギーの核種の場合、Plastic Scintillation Film(PSF)に直接滴下、乾燥することによって、計数効率が、それぞれ、14.4%、37%、83.7%と評価され、スペクトルの観察も可能であった。

3. ストロンチウム吸着剤

ストロンチウム吸着剤(商品名ピュアセラム MAq、日本化学工業)は、100 mgで海水100 mL中のSrを吸着できることが分かった。また、Na、K、Mn、CaおよびCsを吸着しないことが分かり、海水中のSr分析に有用であることを示した。一方、Pb、Ra、Acなどを吸着することも分かった。これらの核種は、天然の放射性アイソトープも含まれるため、大量の海水へ適用する場合には注意する必要があることが分かった。

4. PSB 法の Sr Rad Disk への応用

海水中の ^{90}Sr を Sr Rad Disk へ吸着させ、PSB 法で測定した。非常に簡単な操作で Sr を Rad Disk 上に収集できた。Rad Disk 上の ^{90}Sr および ^{90}Y に対する計数効率は、40%および 80%であった。Rad Disk は、少し厚みがあるため、メンブランフィルタ上の炭酸塩沈殿より、多少計数効率が低いことが分かった。

まとめ

イオン交換法で、IAEA443 を測定し、公称値との一致を確認した。25・m 厚の OPP フィルムを用い、計数効率が上がった。PSF を使うことにより ^3H などの低エネルギー核種へ PSB 法が適用できることが分かった。Sr 吸着剤が Sr 分析に有用であることを示した。PSB 法は Sr-Rad Disk を用いた分析にも有用であることを示した。

2. 発表論文リスト

2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに研究グループにより発表された論文（謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-13】

イネの Na⁺・K⁺輸送体変異体を用いた Na⁺、K⁺、Cs⁺ の輸送比較

研究代表者：菅野 里美

受入研究者：古川 純

1. 研究成果報告

Cs は、主に植物のカリウム (K) 輸送機構により植物体内へ吸収・移行すると考えられているが、複数存在する K 輸送体のうちいずれにより制御されるのか全貌は明らかではない。私たちは、低 K 環境下でナトリウム (Na)・K 共輸送を行うイネ輸送体遺伝子 OsHKT2;1 の欠損株について、福島圃場栽培試験からそれらが Cs 吸収を増加させることを確認し、OsHKT2;1 の欠損による Na・K の体内量の変化が Cs 吸収へ影響する可能性を示すデータを得ている。そのため、本共同研究では、実験室での水耕栽培により、培地中の Na・K・Cs 濃度をコントロールした条件下での、Na・K・Cs 吸収についてイネ野生型株および変異体株 (oshkt2;1) について調べ、oshkt2;1 での Cs 輸送制御機構を明らかにすることを目的としている。

本年度の研究から得られた結果は以下の 3 点である。

(1) 遺伝子発現解析

まず、水耕栽培においても、低カリウム条件下で発現量が上昇する遺伝子 (OsHAK1, OsHKT2;1, OsAKT1) が発現することを確認した。その結果、7 日間 K100 μ M の栽培の後、K0 μ M へ移植し 5 日後にはそれら発現量が 2~10 倍に増加することを確認し、吸収実験のための栽培条件を確立した。

(2) Na・K・Cs 競合による吸収変化

Na・K・Cs 濃度比の異なる水耕液比条件下でのイネ野生型株および変異体株 (oshkt2;1) の吸収実験を行った。その結果、Na 吸収量は水耕液条件によらず常に oshkt2;1 で著しく低下するのに対し、K・Cs 吸収は、イネ野生型株と oshkt2;1 での有意な差はみられなかった。

(3) Na による Cs 吸収変化

Cs 吸収は、培地中の Na 濃度上昇に伴いイネ野生型株での吸収が抑制された。一方で、oshkt2;1 の Cs 吸収は培地中の Na 濃度上昇に影響されなかった。

上記の結果を受けて、今後は、主に次の 2 つの点について研究を進める。

- ・植物体内外の Na 濃度により遺伝子発現変動する輸送体の探索を行う。
- ・植物体内外の Na 濃度による輸送体タンパク質量の変動を調べる。

さらに輸送体に限らず、高 Na 濃度において WT と oshkt2;1 で発現量が異なる遺伝子を網

羅的に調べ、Na による Cs 吸収変動の分子メカニズムを明らかにしたい。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-15】

福島県における土壌侵食に伴う放射性セシウム流出の

観測および解析

研究代表者：大澤 和敏

受入研究者：恩田 裕一

1. 研究成果報告

山間地における除染前後での水系を通じた放射性核種の移行量を定量的に評価し、除染シナリオごとに水系を通じて下流域へ運搬される放射性核種の将来予測モデルを構築するために、土壌侵食に伴う放射性物質の流出過程の河川観測を行うとともに、米国農務省で開発された土壌侵食・土砂流出モデルである WEPP (Water Erosion Prediction Project) を用いた土砂・セシウム流出解析を行った。これらによって、森林域における放射性セシウム動態、農地における除染による放射性セシウム流出の低減効果の定量的な解析が行われ、除染が山間地の水系を通じた放射性核種の動態に及ぼす影響評価が可能になることが期待できる。また、除染が未実施の森林域における土砂・セシウムの侵食・堆積過程の経年変化が解析可能となり、将来的なセシウムの流出動向が予測可能になる。

福島県飯舘村における真野川および比曾川を対象流域として、河川上流域における土砂流出に伴う放射性セシウムの流出の現地観測を行った。観測は、流量、懸濁物質濃度 (SS 濃度) を 10 分間隔という短い時間間隔で測定するとともに、出水時のセシウム濃度を採水試料から測定し、セシウム流出量を算出した。定点観測の結果、 ^{137}Cs 流出量は 2015 年以降大きく減少し、2019 年まで少量であることが確認できた。今後も流出した土砂に含まれる ^{137}Cs 線量は小さいことが予想される。また、森林斜面における土壌の ^{137}Cs 濃度は、水路周辺および急斜面では低く、緩斜面で高い傾向にあることが確認された。多地点観測の結果、帰還困難区域である比曾川流域における長泥地区から ^{137}Cs は多く流出することが示された。

上記の流域を対象として、GIS データや気象データを整備した上で、WEPP モデル (GIS 環境で実行可能な GeoWEPP) を用いた解析を行い、降雨・流出に伴う放射性セシウムの侵食・流出過程を検討した。解析の結果、比曾川と真野川の自然減衰と除染活動の影響を考慮した ^{137}Cs 流出量マップを示すことができた。比曾川流域における解析によって得られた流出量の分布は、長泥地区からの流出量が多い傾向にあり、多地点観測の結果と同様の結果が得られた。また、 ^{137}Cs 流出が顕著な集水域で、より詳細な土砂動態解析を行った結果、 ^{137}Cs の流出や堆積する場所を評価することが可能であった。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-16】

大気と植物・菌類間の放射性セシウム移行可能性の研究

研究代表者：北 和之

共同研究者：五十嵐 康人・保坂 健太郎

受入研究者：古川 純・羽田野 祐子

1. 研究成果報告

株)東京電力福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性セシウムは地表や植生に沈着したあと、何らかの形で一部が再飛散により大気中に放出され、拡散・移行している。観測により、森林の近傍では大気中の放射性セシウムが夏季にかけて増加し、この時期に大気中に浮遊する粒子の多くは植生から放出されたと思われる粗大有機物粒子であり、それを純水抽出すると 50-90%の放射性セシウムが水中に脱離することが分かった。

本共同研究では、この大気粒子から純水中に脱離する放射性セシウムが、菌類胞子など生物起源であるのか検討し、またそれが植物に吸収され植物—大気での循環が起こりうるのか、実験によりその可能性を明らかにすることを目的としている。

下記の実験により目的にアプローチした。

- 1) 福島県浪江町サイトにおいて、大気粒子を連続的に捕集した試料を得る。
- 2) 1) で捕集した粒子試料を純水抽出し、その前後での放射能を測定し、大気中の放射性セシウムが純水に脱離する割合を理解する。
- 3) 2) の抽出液でイネなど適切な植物を栽培し、放射性セシウムが植物体内に移行するか実験する。
- 4) 同様に、浪江などで採取したきのこ胞子の放射性セシウムについて、純水での脱離割合の測定および植物体内に移行するか実験する。
- 5) 浪江サイトで汚染土壌と非汚染土壌で植物を栽培し、植物が吸収する放射性セシウムを比較し、大気・降水起源の寄与を推定する

まず 2018 年の 1 年を通し、福島県浪江町サイトにおいて大気粒子を連続的に捕集した試料を純水抽出し大気中の放射性セシウムが純水に脱離する割合を調べたところ、6 月から 10 月にかけて 33~95%と水溶性の割合が高いが、1 月と 4 月にも例外的に水溶性の高いサンプルがあった。他は 20%未満であった。この抽出液でイネを栽培したところ、6 月から 10 月のサンプルについては、おおむね純水抽出液中の Cs-137 放射能に比例する形で、イネの地上部に Cs-137 が検出された。その量は栽培開始 48 時間後と 144 時間後では、144 時間後で多くなり、吸収が時間とともに進む様子がわかる。水溶性の割合が高い 4 月のサンプルでもイネへの吸収が見られたが、1 月のサンプルでは検知できなかった。今後、このイネへの吸収割合について、抽出液中の K イオンの量などとの関係を調べる予定である。

また、浪江サイトで汚染土壌と非汚染土壌で植物を栽培し、植物が吸収する放射性セシウムを比較し、大気・降水起源の寄与を推定する実験も実施したが、今回は栽培がうまくいかず十分な量の植物サンプルが得られなかった。栽培条件を整え、再度トライする予定である。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

Kazuyuki Kita, Yasuhito Igarashi, Takeshi Kinase, Naho Hayashi, Masahide Ishizuka, Kouji Adachi, Motoo Koitabashi, Tsuyoshi Thomas Sekiyama and Yuichi Onda, Rain-induced bioecological resuspension of radiocaesium in a polluted forest in Japan, Scientific Reports, 10:15330, doi.org/10.1038/s41598-020-72029-z, 2020.

南 光太郎, 堅田 元喜, 北 和之, 反町 篤行, 保坂 健太郎, 五十嵐 康人
温帯落葉広葉樹林から放出されたバイオエアロゾルの輸送過程の数値解析, エアロゾル研究, 35 巻 3 号 p. 208-218, <https://doi.org/10.11203/jar.35.208>, 2020

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-17】

特定復興再生拠点区域（帰還困難区域）における除染・解体作業による放射性セシウムの再浮遊・飛散性の動態把握

研究代表者：平良 文亨

共同研究者：松尾 政彦

受入研究者：平尾 茂一

1. 研究成果報告

福島県富岡町では、2023年春頃までに帰還困難区域全域の避難指示解除を目指しており、現在「特定復興再生拠点区域」である夜の森地区を中心に先行除染している中で、建屋の除染・解体作業に伴う福島第一原子力発電所事故由来の放射性セシウムの再浮遊（舞い上がり）の影響が懸念されている。そこで、当該地区で除染・解体作業が実施された対象建屋敷地内で大気浮遊塵を捕集し核種分析した結果、Cs-137は<0.10-0.62 mBq/m³の範囲であった（2020年5-8月）。なお、対照となる避難指示解除区域（富岡町役場）におけるCs-137は、<0.15mBq/m³であった。今回の結果は、福島県が実施している大気浮遊じんモニタリング結果（Cs-137：0.035-0.071 mBq/m³、夜の森地区、2020年5-8月）と大きく異なり概ね高値を示したことから、除染・解体作業に伴うCs-137の再浮遊が示唆された。しかしながら、解体作業に伴い発生する粉塵量とCs-137濃度との関連性については不明瞭な点も多く、大気の流れの中では、家屋の解体作業に伴うCs-137の再浮遊・飛散性は限定的であると考えられるものの、今後より詳細な調査・解析が期待される。具体的には、PM2.5等の大気汚染物質の把握を含め、さらに詳細な解析が必要である。特に、特定復興再生拠点区域内のより大きな単位で考える視点から、例えば、モニタリング範囲を拡大し、一定程度の雰囲気（エリア）において、工事車両の往来に伴う大気浮遊塵の舞い上がりに伴うCs-137の動態把握等について検討中である。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

1) Cui L, Taira Y, Matsuo M, Orita M, Yamada Y, Takamura N. Environmental Remediation of the difficult-to-return zone in Tomioka Town, Fukushima Prefecture. Sci Rep 10 (1): 10165, 2020.

2) Taira Y, Matsuo M, Yamaguchi T, Yamada Y, Orita M, Takamura N. Radiocesium levels in contaminated forests has remained stable, even after heavy rains due to typhoons and localized downpours. Sci Rep 10 (1): 19215, 2020.

3) Yamaguchi T, Taira Y, Matsuo M, Orita M, Yamada Y, Takamura N. Local Levels of Radiation Exposure Doses due to Radiocesium for Returned Residents in Tomioka Town, Fukushima Prefecture. Radiat Prot Dosimetry in press.

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-18】

土壤中の放射性ストロンチウムおよびセシウムに対する新規なキレート洗浄処理技術の開発

研究代表者：長谷川 浩

共同研究者：Begum Zinnat Ara

受入研究者：Rahman Ismail Md. Mofizur

1. 研究成果報告

【背景・目的】汚染土壌や廃棄物における有害金属の除去技術では、水による洗浄や土壌粒子の物理的分級が主流であるが、汚染除去率の向上には化学的洗浄法の導入が不可欠である。土壌中においてセシウムは粘土鉱物層へ強く吸着することから、従来の除染技術を放射性セシウム汚染土壌に適用しても除染効果は限定的である。そこで本研究では、ヘキサメタリン酸ナトリウムを用いて土壌粒子を細分化して、土壌粒子の粒径分布と ^{137}Cs の付着挙動を求め、 ^{137}Cs 汚染土壌に対する分級に基づく減容化技術について検討した。

【方法】土壌表面から深さ 10 cm までの土壌試料を採取した。風乾した土壌を自動乳鉢で粉碎後、 $500\ \mu\text{m}$ のふるいを通して均質化した。次に、フローチャート（成果報告会で発表）の手順に従って、精製(Milli-Q)水またはヘキサメタリン酸ナトリウム (5%(NaPO_3)₆, Na-HMP) 溶液中で土壌を振とうした後、50 及び $200\ \mu\text{m}$ のふるいおよび $0.45\ \mu\text{m}$ フィルターにより粒子サイズで分画し、各画分における放射性セシウム量 (^{137}Cs) を測定した。

【結果】Milli-Q 水（対照試験）と分散剤（ヘキサメタリン酸ナトリウム、Na-HMP）を用いた湿式ふるい分級により得られた土壌の粒度分布を Fig. 1（成果報告会で発表）にそれぞれ示す。分散剤を用いた系では Milli-Q 水の系と比較して土壌粒子は細粒化し、同時に ^{137}Cs は $50\ \mu\text{m}$ 以下のシルト・粘土画分に濃縮されることを見出した。土壌有機物(OM)に対する Na-HMP の影響を Fig. 2（成果報告会で発表）に示す。分散剤による湿式分級処理により、3 つの土壌試料すべてについて、土壌に含まれる全有機物量(TOM)に対して $1/4$ から $1/3$ 程度の土壌有機物が減少した。土壌中の放射性セシウムについては、土壌有機物に結合した ^{137}Cs の約 20% が減少した。以上のように、分散剤の利用により土壌有機物が除去され、 ^{137}Cs を微細な土壌画分に移行させることにより、汚染土壌の総量を減容化することが可能であることが分かった。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

- [1] Z.A. Begum, K. Ishii, I.M.M. Rahman, H. Tsukada, H. Hasegawa, Dynamics of strontium and geochemically correlated elements in soil during washing remediation with eco-complaint chelators, *J. Environ. Manage.*, 259, 110018, 2020.04, DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.110018
- [2] H. Sawai, I.M.M. Rahman, N. Jii, Y. Egawa, S. Mizutani, H. Hasegawa, Thermodynamic study of the acid-induced decontamination of waste green sand generated in a brass foundry, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 27, 20149-20159, 2020.04, DOI: 10.1007/s11356-020-08512-x
- [3] R.I. Papry, Y. Omori, S. Fujisawa, M.A.A. Mamun, S. Miah, A.S. Mashio, T. Maki, H. Hasegawa, Arsenic biotransformation potential of marine phytoplankton under a salinity gradient, *Algal Research*, 47, 101842, 2020.05, DOI: 10.1016/j.algal.2020.101842.
- [4] R.I. Papry, S. Fujisawa, Y. Zai, O. Akhyar, M.A.A. Mamun, A.S. Mashio, H. Hasegawa, Integrated effects of important environmental factors on arsenic biotransformation and photosynthetic efficiency by marine microalgae, *Ecotoxicol Environ. Safety*, 201, 110797, 2020.05.
- [5] F. Morita, K. Nakakubo, K. Yunoshita, M. Endo, F.B. Biswas, T. Nishimura, A.S. Mashio, H. Hasegawa, T. Taniguchi, K. Maeda, Dithiocarbamate-modified cellulose-based sorbents with high storage stability for selective removal of arsenite and hazardous heavy metals, *RSC Advances*, 10, 30238-30244, 2020.08. DOI: 10.1039/d0ra05573e
- [6] S. Barua, I.M.M. Rahman, M. Miyaguchi, K. Yunoshita, P. Ruengpirasiri, Y. Takamura, A.S. Mashio, H. Hasegawa, Speciation of inorganic selenium in wastewater using liquid electrode plasma-optical emission spectrometry combined with supramolecule-equipped solid-phase extraction system, *Microchem. J.*, 159, 105490, 2020.12. DOI: 10.1016/j.microc.2020.105490.
- [7] S. Miah, S. Fukiage, Z.A. Begum, T. Murakami, A.S. Mashio, I.M.M. Rahman, H. Hasegawa, A technique for the speciation analysis of metal-chelator complexes in aqueous matrices using ultra-performance liquid chromatography-quadrupole/time-of-flight mass spectrometry, *J. Chromatogr. A*, 1630, 461528, 2020.10, DOI: 10.1016/j.chroma.2020.461528

[8] R.I. Papry, S. Fujisawa, Y. Zai, O. Akhyar, A.S. Mashio, H. Hasegawa, Freshwater phytoplankton: salinity stress on arsenic biotransformation, *Environ. Pollut.*, 270, 116090, 2021.02. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.116090.

[9] F.B. Biswas, I.M.M. Rahman, K.Nakakubo, K. Yunoshita, M. Endo, K. Nagai, A. S. Mashio, T. Taniguchi, T. Nishimura, K. Maeda, H. Hasegawa, Selective recovery of silver and palladium from acidic waste solutions using dithiocarbamate-functionalized cellulose, *Chem. Eng. J.*, 407, 127225, 2021.03, DOI: 10.1016/j.cej.2020.127225

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-19】

磁性及び多孔性 Fe₂O₃ による環境汚染重金属の吸着・分離

に関する研究

研究代表者：有馬 ボシールアハンマド

共同研究者：Begum Zinnat Ara

受入研究者：Rahman Ismail Md. Mofizur

1. 研究成果報告

東日本大震災後に放射線を発生する金属イオンが水の汚染の大きな問題となっている。現在使われている水汚染金属イオンの吸着量が低い、吸着後の分離が難しい、後処分が困難などの問題がある。そこで、吸着量が高い、分離や処分が簡単な吸着材が求められている。本研究では、安価な酸化鉄系の新規材料合成及び重金属イオンの吸着・分離評価を目標とした。以前の研究では我々が開発した合成法で多孔性 Fe₂O₃ の合成し、As と Cr イオンんの吸着に成功した。今回の研究の前半では多孔性 Fe₂O₃ を用いて Cs 及び Sr の吸着実験を行った。pH10 で Cs イオンと pH7 で Sr イオンの吸着量は最大となったが、吸着量は非常に少ない事が分かった (~0.6 mg/g)。期待通りの結果を得られなかつたので、本研究の後半では材料を少し変えて実験を行った。

研究後半では水熱合成法を使って FeOOH ナノ粒子を合成した。合成した試料の SEM 測定結果から粒子サイズは約 100 nm 以下である事が分かった。また、XRD 測定結果から FeOOH の結晶を確認した。

Cs と Sr イオンの吸着実験したところ、室温と pH10 では Cs の吸着量は 0.0 mg/g であったが、Sr イオンの吸着量は 98 mg/g であり、多孔性 Fe₂O₃ より約 100 倍になった。FeOOH ナノ材料を用いて今後は pH や温度を変化して Cs と Sr イオンの吸着実験を行う予定である。また、Co, Ni イオンなどの吸着実験も行う予定である。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-20】

福島の高層湿原の植物における放射性セシウム汚染

研究代表者：杉浦 広幸

共同研究者：塚田 祥文

受入研究者：塚田 祥文

1. 研究成果報告

2011年の原発事故約10年目の福島の高層湿原における野生のブルーベリー‘クロマメノキ’ (*Accinium uliginosum*)果実の放射性セシウム汚染について調査した。2020年10月における磐梯朝日国立公園の景場平湿原に自生のクロマメノキ果実の¹³⁷Cs濃度は、140～524 Bq/kgであったが、福島市内で栽培のブルーベリー (*Vaccinium corymbosum*)果実は6.3 Bq/kgであった。また、2020年10月における尾瀬国立公園の田代山湿原に自生のクロマメノキ果実の¹³⁷Cs濃度は、 24.4 ± 5.1 Bq/kgであった。景場平湿原のクロマメノキ果実における¹³⁷Csの移行係数は、0.134～0.435 (n=3)、田代山湿原では0.206 (n=3)であった。また、福島市瀬上のブルーベリー果実における移行係数は、0.0050 (n=3)であり、湿原の移行係数に比べ1～2桁低く、土壌から植物に移行する放射性セシウムの可給態画分の割合が異なると考えられた。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-21】

福島県北部森林流域からの放射性セシウムの流出形態と貯水池における堆積メカニズムに関する研究

研究代表者：大手 信人

共同研究者：二瓶 直登・川井 拓弥

受入研究者：和田 敏裕

1. 研究成果報告

研究の目的

2011年の福島第一原発事故によって県北部の森林地帯に沈着した放射性セシウム(Cs)は、現在、林床の有機物層、土壌表層などに放射性Csに集中して蓄積し、一部は植生との間で循環している。今後、除染がされない森林からは、これら静的・動的に貯留されている放射性Csが降雨イベント時に流出し、中流に位置する多くの貯水池に一部は土砂とともに堆積する。貯水池の水は周辺の農業用水に用いられており、堆積物からの放射性Csの再負荷の実態も明らかにする必要がある。本研究は森林からの水系を通じた放射性Csの流出と中流域の貯水池における堆積のメカニズムを定量的に明らかにすることを目的とする。

方法

対象地は福島県北部阿武隈川水系上小国川の最上流部に位置し、大半が落葉紅葉樹の二次林である。この森林流域からの浮遊土砂による放射性Csの流出量を経時的に推定するために、降雨イベントにおける集中サンプリング、下流部の貯水池における堆積物の採取・分析を実施した。また、2019年度に観測した台風による大規模降雨イベントの影響を明らかにするため、試料分析とデータの解析を行った。

結果と考察

1. 森林からの¹³⁷Csの流出特性

2019/9/9の台風15号通過時の雨量、流量と渓流水中の¹³⁷Cs濃度の観測結果から、¹³⁷Cs濃度のピークは2回あり、雨量のピークとそれに遅れて生じる流量のピークに呼応していることがわかった。1回目のピークは溪流周辺の土壌表面での雨滴浸食の結果、懸濁物質の流出生じ、¹³⁷Csが流出していることが推測され、2度目のピークは急激な流量の増加による溪岸土壌の侵食で多量の¹³⁷Csの流出が生じたと考えられた。

台風15号の際の河川流量—Cs濃度と河川流量—懸濁物質(SS)濃度の関係については2013年に観測された関係とほとんど変わらなかった。またSS濃度—Cs濃度の関係については

2013年と数値の大きさは似ていたが、2019年の方がより線形に近い関係を示した。SS濃度-137Cs濃度のヒステリシスはほぼ時計回りで、流量が大きくなるとSS中の137Cs濃度が小さくなった。

2. 貯水池の堆積物中の137Cs

2018年と2019年に実施した貯水池における堆積物のサーベイの結果を比較し、2019年までのSSのトラップ率を推定したところ8.13-13.96%であった。2018年までのトラップ率は4.6-8.0%であったことから、2019年の上記のイベントによる堆積の影響が大きかったことがわかった。上記のような日雨量100mmを越す降雨イベントは、事故後4回あったが、これらによる出水でのSS,土砂流出量が池底の堆積物のほとんどを占めると推測できた。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-22】

帰還困難区域に生息する溪流魚種の地域固有系統の集団動態の解明

研究代表者：津田 吉晃

共同研究者：Fauks Leanne Kay

受入研究者：和田 敏裕・兼子 伸吾

1. 研究成果報告

はじめに

帰還困難区域が位置する阿武隈高地は福島県から茨城県北部の沿岸域と福島県中通り地方の中間に位置する、比較的なだらかな山間地域であり（藤川 2018）、多くの冷温帯、亜高山帯生物種の集団遺伝研究において南方系統と北方系統の境界が福島県周辺に位置する傾向が認められる（Tsuda and Ide 2005, Tsuda et al. 2015）。特に帰還困難区域およびその周辺の生物集団に地域固有性がみられる場合には、これら地域の長期的な環境回復策を考慮する上でも重要な情報となる。実際に我々のグループでは 2019 年度の研究でイワナについては地域固有の可能性のある系統が帰還困難区域周辺に分布していることを明らかにした。本年度はこのパターンをより詳細に調べることを目的に、これら地域に生息する溪流魚 4 種（イワナ、ヤマメ、ウグイおよびエゾウグイ）対象にした。

材料および方法

阿武隈高地を流域とし太平洋に注ぐ河川を中心に、福島県内 13 地点において 2017 年から 2020 年にかけて採捕された 4 種、383 個体を遺伝解析に供試した。各魚種の全国規模の系統地理、集団遺伝研究（e.g. Yamamoto et al. 2004, 2019, Watanabe et al. 2018）では母性遺伝するミトコンドリア DNA のシトクロム b 領域を対象としており、これら先行研究の結果と比較統合し、帰還困難区域を含む阿武隈高地周辺地域の集団の地域固有性について評価するためにも本研究では同領域を対象に塩基配列の解読を行った。

結果および考察

イワナでは既報 52 ハプロタイプ(e.g. Yamamoto et al. 2004)のうち 12 ハプロタイプが検出されたのに加え、昨年度検出した新規ハプロタイプ 2 つに加え、さらに 2 つの新規ハプロタイプが検出された。ヤマメにおいても既報 27 ハプロタイプ（Yamamoto et al. 2019）のうち 5 つが検出され、新規ハプロタイプも 3 つ検出された。イワナとは対照的にヤマメでは河川間で遺伝構造が比較的類似しており、集団間の遺伝的分化程度を示す $F'ST$ (0~1 の値をとり、値が高い方が遺伝的分化が強い) はイワナ集団(0.590)よりも明らかに低い 0.239 であった。ウグイでも先行研究の Watanabe et al (2018)で報告されている 6 ハプロタイプおよび 5 つの新規ハプロタイプが検出された。申請者グループで浜通り地域の分布を再評価、整理したエゾウグイ(和田ら 2021)ではほぼ全ての個体が新規ハプロタイプを示した。

新規ハプロタイプは1塩基違いで2種類見いだされたが、既報の集団から10塩基程度も離れており、他3種での新規ハプロタイプに比べ、より地域固有性が強いことがわかった。特にウグイ属の中での系統関係から、これら地域のエゾウグイ集団は祖先系統がエゾウグイに種分化した後のかなり早い段階でこれら地域に分化したことが示唆された。Watanabe et al(2018)にならいウグイ属の平均塩基置換率を0.76%/100万年とすると、約170万年前に分化した集団であり、氷期と間氷期の繰り返しに耐え現在まで残存した遺存集団である可能性がある。これらの結果について阿武隈高地の地史、各魚種の放流などの影響をより詳細に評価する必要はあるが、対象とした4種全てで帰還困難区域を含む周辺地域から地域固有系統が検出された。これらのことから阿武隈高地およびその周辺は未だ知られていない生物地理のホットスポットである可能性が示された。これらのことから、このような希少な地域系統の維持に配慮した長期的な生物多様性保全・管理が帰還困難区域の環境回復には重要であることが示された。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-23】

PHITS 計算による原子力災害に伴う被ばく線量評価での高精細

MRCPs 人体ポリゴンファントムの適用拡大

研究代表者：阪間 稔

共同研究者：佐瀬卓也

受入研究者：赤田 尚史

1. 研究成果報告

原子力災害起因の放射性セシウム（セシウムボールも含む）を捕捉した SPM, PM による内部被ばく線量の推定、さらに地面に沈降した成分からの外部被ばく線量の推定が研究目的である。放射能環境動態調査による実データを人体ボクセルファントムとモンテカルロシミュレーション計算による放射線輸送による線量評価への入力パラメータとして適用させることで、外部被ばくや内部被ばくの推定影響を網羅的に行うことができ、原子力災害前の現存被ばく状況よりどの程度が線量影響として加算される可能性があるかを数値的に提供することができる。そのための計算環境整備を実施することができた。この線量評価を行うために、モンテカルロシミュレーション計算コード PHITS の計算空間へ、人体ボクセルファントムを配置して、その莫大なデータによる計算負荷の少ない放射線輸送計算設定が可能な環境整備に繋げることができた。最新の PHITS は version 3.23（2021 年 3 月現在）となり、近年、医用放射線分野への広がりが高まっている。本研究室には 3 台 WS を整備済みで、加えて複数 WS でのメモリ分散型並列計算環境構築を視野に入れて、巨大な人体ファントムデータを柔軟に扱える環境を整える。また、模擬住居生活環境を再現するために 3D CAD（Fusion 360 と Rhinoceros）描画設計と SuperMC の CAD 変換を行い、精密な計算体系を確立することができた。高精細なポリゴン Mesh-type リファレンス人体ファントム MRCPs を人体モデルを計算空間へ取り込むことができた。四面体ポリゴンによる高精細な人体ファントムが、近年、漢陽大学（KOREA）チームによって開発され、これまでの人体各種臓器を高精細に再現できるようになったので、このファントムを PHITS 計算空間に配置し、原子力災害事故直後の避難時から中長期の居住で推定される被ばく状況を推定評価しつつある。

PHITS 計算機能におけるマイクロジメトリー（[t-sed]タリー）と Track Structure を組み込み、それらが有効的に作用していることを確認することができた。モンテカルロシミュレーション計算では、放射線一つ一つの振る舞いを順に、物理的な現象をモデル化条件に合わせて、膨大な計算を実行するため、計算時間が長いことが欠点となっている。そこに人体ボクセルファントムデータが加わると、計算時間がいっそう長くなる。この問題点を解決する

ために、計算機の並列化（メニーコア化）での計算が必須となる。本研究では、既存の計算機環境だけではなく、Fusion360 から MeshLab へ経由させメッシュデータを自由自在に加工することができ、その加工から STL ファイルを生成し、TetGen にメッシュ構造記述のベースとなる .ele（要素）と .node（ノード）ファイルを生成し、MC 計算の phits への取り込みが問題なく実践できることを確認した。四面体構造メッシュ化によるジオメトリ検証（四面体の修復など）と、四面体メッシュでない、例えば三角メッシュなどのデータ構造から T-スプライン記述への変換によるワークフローを構築できた。これによりメッシュ構造（人体や構造体）の編集が可能で、人体特徴（太めや細めなど）を操作できるようになって、現実の体系に近い状況を計算空間上に生み出すことができるようになった。

2. 発表論文リスト

2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに研究グループにより発表された論文（謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

松本（川口）絵里佳，阪間稔，濱邊大，神谷慶和，横田健斗，佐瀬卓也，桑原義典，若林源一郎，稲垣昌代，医療用リニアック中性子場を模擬した水晶体サイズでの中性子束密度及び線量評価，近畿大学原子炉等利用共同研究経過報告書 2019 年度，17-24（2020）

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-24】

被災アカネズミの凍結保存精子を用いた受精能評価と

産子作出の試み

研究代表者：山城 秀昭

共同研究者：中田 章史

受入研究者：三浦 富智

1. 研究成果報告

【目的】生殖巣は放射線高感受性組織の一つであるが、精子形成過程および初期発生過程の生殖・発生における放射線影響は不明な点が多い。従って、個体より得られる生体試料の解析に加え、自然の環境に制御されない、生殖工学技術を用いた評価も必要不可欠である。そこで本研究では、2012年から福島原発旧警戒区域内で継続して採取・凍結保存している被災アカネズミ精子の体外受精能を評価することを目的として、先体の正常性の評価、透明帯を除去したマウス卵子にアカネズミの異種精子の侵入能の評価および同種卵子に対する体外受精能を評価した。

【材料及び方法】野生雄アカネズミは、2012年から2014年、2016年および2018年に福島原発旧警戒区域内にてシャーマントラップを用いて捕獲した。精子は、精巣上体尾部から採取し、マウス精子凍結保存液にて希釈した後、ストローに充填し、液体窒素にて凍結保存した。先体の正常性は、凍結精子を融解し FITC-PNA および DAPI にて先体と核を染色し、蛍光顕微鏡にて観察した。異種間体外受精による被災アカネズミ精子の卵子への侵入能の評価は、透明帯を除去したマウス卵子を用いて行った。同種間体外受精における野生雌アカネズミは、新潟県角田山にて捕獲し、過排卵誘起処理に IASe (抗インヒビン血清+eCG) を投与して採卵し、体外受精後の2細胞期までの胚の発生率を評価した。

【結果】被災アカネズミにおいて、凍結融解後の生存率が60%以上で精子を凍結保存することができた。精子の先体の形態は、80%以上が正常であり、異常は認められなかった。異種間体外受精の結果、対照区と比較して、マウス透明帯除去卵子への侵入能に有意な差は認められなかった。凍結融解後の被災アカネズミ精子を体外受精した場合、現在、実験は継続中であるが、21~45%の割合で2細胞期胚まで体外発生した。以上の結果より、被災アカネズミへの放射線影響、特に精子の継時的な受精能は維持されていたことを明らかにした。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

Komatsu K, Iwasaki T, Murata K, Yamashiro H, Goh VST, Nakayama R, Fujishima Y, Ono T, Kino Y, Shimizu Y, Takahashi A, Shinoda H, Ariyoshi K, Kasai K, Suzuki M, Palmerini MG, Belli M, Macchiarelli G, Oka T, Fukumoto M, Yoshida MA, Nakata A, Miura T. Morphological reproductive characteristics of testes and fertilization capacity of cryopreserved sperm after the Fukushima accident in raccoon (*Procyon lotor*). *Reproduction in Domestic Animals*, 56 (3), 484-497, 2021. DOI: 10.1111/rda.13887

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-25】

環境中ラドンによる放射線施設監視モニタの感度確認 2

：活性炭型ラドン検出器による感度確認

研究代表者：安岡 由美

共同研究者：飯本 武志・向 高弘

受入研究者：床次 眞司・細田 正洋

1. 研究成果報告

【緒言】 全国の密封されていない放射性同位元素取扱施設（RI 取扱施設：約 2000 施設）における気体状 RI の漏えい監視のモニタ（大型通気式電離箱）が全国で稼働している。今後の原子力発電所事故対策として平常時及び事故時の大気中放射能レベルの測定のために、RI の監視モニタ利用できないかについて研究を進めてきた。現在、本研究チームでは、天然放射性同位元素のラドン変動が測定できることは確認してきた。しかし、この監視モニタの感度確認は、放射線の外部照射によって実施しており不十分である。監視モニタの整備を確実に行う方法論を、天然放射性同位元素のラドン(^{222}Rn)を用いて確立することを目的とする。2020 年度はラドンモニタを標準として、活性炭ラドン捕集器が室内ラドンレベルを用いた監視モニタの感度確認に有効かどうか決定するため、定量性が保持できる湿度について検討した。

【方法】 自家製ラドンケース（12L）に活性炭ラドン捕集器としてピコラド検出器 4 本を設置し、ラドンを 48 時間曝露した。同時に AlphaGUARD (Bertin Instruments) で、ピコラド検出器回収前 6 時間の平均ラドン濃度[1]を求め、基準値 CS (Bq m^{-3}) とした。また、温度と相対湿度についてもピコラド検出器回収前 6 時間の平均値を求めた。ピコラド検出器は曝露後、液体シンチレータ（インスタフロープラス、PerkinElmer Inc.）を 15mL 添加し、1.8 日放置後、液体シンチレーションカウンタ（Tri-Carb2300TR、PerkinElmer Inc.）で測定した。ピコラド検出器 4 本から平均ラドン濃度を求め検証値 C（1 立方メートル当たりの Bq 数）とした。同時に AlphaGUARD で測定した基準値と比較することで、ピコラド検出器への相対湿度の影響について検討した。ピコラド検出器の校正は弘前大学のラドン校正場で実施した。

【結果・考察】 ラドン濃度（1立方メートル当たり20～33kBq）の場に、相対湿度（30～90%）において48時間ピコラド検出器を曝露した。検証値について、基準値との測定差D%を求め、95%信頼区間を決定した。

相対湿度と測定差において、各測定差の95%信頼区間が±25%以内[2]であれば、測定を有効とした。以上より、ピコラド検出器で48時間曝露した場合、相対湿度26%と74%において、ピコラド検出器で測定したラドン濃度が有効範囲内であることが示された。24時間曝露の実験では相対湿度90%で感度が15%減少すると報告されているが[3]、48時間曝露の本実験では相対湿度が75%を超えると大きく感度が低下する可能性が示された。

【参考文献】. [1] Wakabayashi et al., 2019. Radioisotopes 68, 317-329. [2] The American Association of Radon Scientists and Technologists and the American National Standards Institute, 2015. MAH-2015. [3] Iimoto et al., 2005. J. Environ. Radioact. 78, 69-76. .

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

Shunya Nakasone, Akinobu Ishimine, Shuhei Shiroma, Natsumi Masuda, Kaori Nakamura, Yoshitaka Shiroma, Sohei Ooka, Masahiro Tanaka, Akemi Kato, Masahiro Hosoda, Naofumi Akata, Yumi Yasuoka, Masahide Furukawa, 2021. Temporal and Spatial Variation of Radon Concentrations in Environmental Water from Okinawa Island, Southwestern Part of Japan. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(3), 998. <https://doi.org/10.3390/ijerph18030998>

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-26】

ムラサキイガイを用いた放射性核種のバイオモニタリング

手法の開発

研究代表者：白井 厚太郎

共同研究者：杉原 奈央子

受入研究者：田副 博文

1. 研究成果報告

2011年3月に発生した福島第一原発の事故によって環境中に放出された放射性セシウムは未だ環境中に残留している。特に沿岸域では、福島第一原発からの継続的な漏洩や、放射性セシウムを吸着した土壌の流入、堆積物の再懸濁が懸念されているため、効率的なモニタリング手法が必要とされている。本研究では、沿岸域の放射性セシウムの時空間変動を把握することを目的として、2011年から2015年に東北太平洋沿岸から採取したイガイ類軟体部中の放射性セシウムを測定した。結果、2011年に採取した試料からは岩手から福島の広い範囲で ^{137}Cs が検出されたが、2012年以降仙台以北の地点で検出限界以下であった。それに対して福島県の多くの地点では2012以降2015年に採取した試料まで ^{137}Cs が検出され続けた。また、事故からの時間経過によって多くの地点では ^{137}Cs 濃度が低下していったものの、四倉から採取した試料の ^{137}Cs 濃度は、低下速度が他の地点の試料と比較して遅かった。今年度はさらに海水や堆積物の ^{137}Cs 濃度のモニタリング結果と比較し、イガイ軟体部の ^{137}Cs 濃度の変動は堆積物濃度の変動パターンと似ていたことがわかった。これはイガイの ^{137}Cs が海水中の懸濁態粒子の ^{137}Cs 濃度を反映していると考えられ、土壌の流入や海底堆積物の再懸濁があったことを示唆している。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-27】

小核アッセイ法による生殖細胞の放射線感受性評価

研究代表者：中田 章史

共同研究者：山城 秀昭

受入研究者：三浦 富智

1. 研究成果報告

放射線汚染地域においては、精力的な除染・復興活動により環境中の空間線量率が低下してきている。しかしながら、将来の帰還住民において、低線量慢性被ばくによる発がんや継世代影響が最も関心の高い人体影響であると考えられる。放射線による生物影響において、体細胞に関しては歴史的にも多くの研究がなされ、急性障害や晩発障害が生じる線量が明らかとなってきている。一方、次世代への影響が関与する生殖細胞においては、生殖・発生に関する知見が乏しいのが実情である。しかしながら、生殖細胞で起こる減数分裂で観察される染色体は、体細胞分裂と比べ染色体構造が不明瞭であり、減数分裂の様々なステージを経るため染色体形態も多様であることから、異常の検出が困難である。

昨年度の年次報告で申請者らは、緊急被ばく医療等で利用されるヒト末梢血リンパ球における細胞遺伝学的線量評価法の1つである細胞質分裂阻害微小核（CBMN）法が生殖細胞に対しても適用可能であることを明らかにしたが、十分な観察細胞を得ることができなかった。

本年度は、マウスの精細胞に対して、CBMN法に適した細胞質が明瞭な二核細胞を回収する方法の改良を試みた。また、その方法を用いて放射線を照射したマウス性細胞における放射線影響の解析結果について報告する。

6週齢のC57BL/6Jマウスに0.5～3 GyのX線を照射し、0～72時間後に精巣を摘出した。その後、酵素的に精細管内の細胞を分散させた。精細管内の細胞浮遊にCytochalasin-Bを添加して培養を行なった。その後、細胞浮遊液から標本を作成し、蛍光染色を行った。顕微鏡下で微小核の解析・画像撮影を行った。また、ヒト末梢血リンパ球を対象とした従来法を精巣に対して行いギムザ染色で観察した。

その結果、ヒト末梢血リンパ球を対象とした手法よりも、細胞質の損傷が少なく、細胞質が明瞭な二核細胞が回収することが可能となった。また、精細管内細胞では、細胞質内に顆粒があり、ギムザ染色では微小核の識別が困難だが、アクリジンオレンジ染色により識別が容易になった。

改良した方法を用いて放射線照射後における精細管内細胞の微小核の頻度を算出したところ、72時間後まで経時的に微小核頻度が増加し、線量依存的に増加することが明らかになった。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-28】

大気中放射性核種測定装置のトロンガスの影響

研究代表者：岩岡 和輝

共同研究者：玉熊 佑紀

受入研究者：床次 眞司・細田 正洋

1. 研究成果報告

事故による追加の被ばくを評価するために、全体の被ばくから自然核種を分けて評価する必要がある。全体の被ばくから自然核種の影響を分けて正しく評価するには、自然核種の測定機器の品質を担保する必要がある。本研究では、自然核種の影響の主要因であるラドンについて、その測定装置の弁別性を確認するために、弘前大学のトロンガス曝露施設を用いてラドン測定装置にトロンを曝露した。トロンガス 12000 Bqm-3 の曝露によって、それぞれのラドン測定装置のラドン濃度の指示値が上昇した。これは、トロンガスがラドンガスと誤って計測されていることを意味し、今回使用したラドン測定装置はトロンの影響を受けることが分かった。

今後、トロン弁別のための技術開発を検討する。これにより、福島原発事故の影響を受けた地域において信頼性の高いラドンデータを取得して、全体の被ばくのうちのラドンの影響分(自然核種の影響分)を評価できるようになる。この情報は福島原発事故による放射線影響に不安を感じる地域住民に対してのリスクコミュニケーションに役立つものとなる。例えば、全体の被ばく量に占める自然核種の割合が非常に大きい場合、事故によって追加で受ける被ばく量が非常に小さいこと認識することになり、地域住民の被ばくに対する不安解消につながる可能性を秘めている。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

Kazuki Iwaoka, Ryoju Negami, Yuki Tamakuma, Masahiro Hosoda, Lorna Jean H. Palad, Shinji Tokonami, Chitho P. Feliciano, Reiko Kanda. Evaluation of the Influence of Thoron on Portable Radon Measurement Devices, *Philippine Journal of Science*, 150, 257-261 (2021).

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-29】

ラドン及び子孫核種の移行過程の解析と放射能環境動態の解明

研究代表者：樋口 健太

共同研究者：玉熊 佑紀・秋葉 澄伯

受入研究者：床次 眞司・細田 正洋

1. 研究成果報告

桜島は現在も噴火を繰り返し火山灰や二酸化硫黄,放射性核種などを大気へ放出している。そこで、桜島近郊でラドン子孫核種を計測したデータを用いて環境放射能の動態について解析することを目的とした。測定方法と対象核種は、ラドン子孫核種測定器 S-2336（応用光研）を用いて RaA (218Po), RaB (214Pb), RaC (214Bi)を測定した。場所と期間は、鹿児島市が2001年3月-2002年1月(N=5,995), 垂水市が2002年1月~6月, 2002年10月~2004年9月 (N=12,893)である。ラドン子孫核種である RaA,RaB,RaC の放射能濃度を比較したところ、桜島に隣接する垂水市の方が桜島より 10km 離れた鹿児島市よりも有意に高い濃度であった。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-30】

福島第一原発事故後の環境に棲息するアライグマの歯の ESR 測定を

妨害する因子の除去法の開発

研究代表者：高橋 温

受入研究者：三浦 富智

1. 研究成果報告

【緒言】

歯は形成されたのち代謝されない特徴的な器官である。歯への放射線照射は、歯質中に炭酸ラジカルを発生させ、それらの炭酸ラジカルは、歯質中に長く保持されることが知られている。放射線照射量と歯質中に発生する炭酸ラジカル量には比例関係があるので、ESR 計測により歯質中の炭酸ラジカル量を測定することにより、個体の外部被ばく量の推定が可能である。ESR 測定のためには測定プログラム上でスペクトルがフィッティングすることが重要であるが、ヒトやサルではフィッティングできるがアライグマにおいてはフィッティングに至っていない。本研究ではこのトラブルを解消するためにアライグマの歯のエナメル分離を行う前に歯の表層の不純物を徹底的に除去し、フィッティングを試みた。

【方法】

ESR 計測を妨げる何らかの妨害物質が、歯の表層に外界から蓄積したと仮定し、従来の前処理に、物理的な組織の剥離を行い、スペクトルの変化を検討した。比重 2.5 の重液で分離した分画からでは十分量のエナメルサンプルを得ることが困難であったため①、象牙質の損失が大きくなるが比重 2.2 で分離した分画からエナメルサンプルを調製したのもも検討した②。(①PL-027-1 (44 mg), ②PL-027-2 (130 mg))

【結果と考察】

上記①②のスペクトルは同じ個体由来であるので同様のスペクトルカーブを得たが質量の大きい②のスペクトルはブレが少なく、いわゆる S/N 比の向上によりきれいなスペクトルを得ることができたと癌が得られた。重液の比重に関係なく、適切な化学処理により重液の比重に関係なく、同質のサンプルが得られたと考えられる。スペクトルは炭酸ラジカル量に依存するので、サンプル量の多いほうがきれいなスペクトルを得ることができた。しかしながら、基線の傾きは依然認められたため、妨害物質は完全に除去できていないものと思われた。アライグマにおける妨害物質の除去は歯質の構造に取り込まれた物質によるものであると考えられ、未照射の状態での非常に少ない炭酸シグナル量ではフィッティングを可能にすることは相当困難であるものと考えられた。したがって、本検討で明らかになったよ

うに炭酸シグナルの絶対量を確保する手法を用いて検討する必要がある。そのためには、サンプル量の確保のほかに人工照射により炭酸シグナルを人為的に増加させることも必要で、それにより炭酸ラジカルを増加させ、妨害物質由来のシグナルによる影響を減少させるような手法の検討が必要と考えられた。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-31】

環境物質を応用した教育用自然放射線源の開発

研究代表者：飯本 武志

共同研究者：小池 弘美

受入研究者：床次 眞司

1. 研究成果報告

本研究では、身近に存在する物質を用いた教育現場で使用できる自然放射線源の開発を行った。食品や日常の消費財を材料として利用するため、放射線規制を受けることなく人・場を問わず使用可能で、放射線教育に直接的な貢献ができる。ここでは、A 線源の特徴に関する放射線学的な検討、B 開発した自然放射線源近傍における放射線分布の評価、に分けて検討した。具体的には、A では含有核種の同定と比放射能の測定を実施した。また、B ではモンテカルロシミュレーションと実測を組み合わせ、線源からの距離別に放射線束の変化を評価した。材料素材として理科実験用の塩化カリウム、乾燥昆布、インスタントコーヒー、湯の華を選定した。

A では、粉末化した素材を U8 容器に封入し γ 線スペクトロメトリを行った。測定器には Ge 半導体検出器を選択した。U8 容器に高さ 50 mm 重量 94g の標準となる線源を封入し、測定上のピーク効率を評価した。実際の供試試料の重量としては 60-107g と幅があり自己吸収の影響を無視できないことから、モンテカルロシミュレーションを用いて測定器と標準線源の体系を再現し、線源密度を変更して補正係数を計算した。たとえば、湯の華では 278keV、583keV などにピークが出現し、これにより ^{212}Pb や ^{208}Tl が含まれることが判明した。トリウム系列を含む湯の華では α 線を放出する核種が多いため、各線種の特徴を理解する実験に活用できる可能性があるといえる。塩化カリウムは ^{40}K を多く含むため（比放射能は 23.6Bq/g）、 γ 線もしくは β 線の特徴を学ぶ教育に適している可能性が高い。

B では単位面積当たりの放射線入射数を示すフラックスについて、 γ 線に着目し、距離別の変化を検討した。点線源が仮定できる場合、 γ 線のフラックスは距離の逆二乗則に従う。しかし、自然放射線源のように、必ずしも点線源とは仮定できず、ある程度の体積がある場合には距離の逆二乗則に従うとは限らない。ここでは距離別のフラックス変化のシミュレーション結果に、距離の逆二乗則の式をフィッティングして比較した。その結果、両者は結果的にほぼ一致し、学校実験の実施の観点では距離の逆二乗則にしたがうと考えてよいことが示された。一方、実測定では GM サーベイメータの γ 線の検出効率が 1%以下と他の測定器に比べ低いため、今回制作した線源試料ではバックグラウンドレベルを大きく超える計数を得ることができず、現時点では γ 線源としての利用が難しいことも判明した。

効果的な放射線教育のためには、対象者の習熟度や興味に合致した、多様な実験方法と考察のモデルを用意するが重要である。今後は自然放射線源を用いて実施可能な実験方法の整理と、文部科学省が策定した学習指導要領等と実験を結びつけ、開発された線源の具体的な活用方法の提案をする。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-32】

貝殻を用いた海水中の放射性ストロンチウムモニタリング法の検討

研究代表者：苅部 甚一

共同研究者：井筒 達哉・落部 一輝

受入研究者：田副 博文

1. 研究成果報告

2011年の福島福島第一原子力発電所事故（原発事故）により東日本太平洋沿岸に放射性ストロンチウム（Sr）が流出したことが分かっている。一方で、この放射性 Sr 分析法は作業工程が多く、時間がかかる分析法であることが知られている。そのため、この海域における放射性 Sr の長期的なモニタリングや新たな海洋汚染に備えるためにも、放射性 Sr 分析法の迅速化、簡略化は必要である。そこで本研究では、海水中の Sr を濃縮する特性を持つ貝殻を用いて、海水中の放射性 Sr 濃度を簡易的に把握する方法を検討した。

今回の研究では2019年に福島県浪江町の請戸漁港および福井県坂井市の海岸で採取したムラサキインコガイの貝殻を分析対象とした。採取した貝殻を大きさごとに分け（1-2cm, 2-3cm, 3-4cm, 5-6cm, 6cm以上）、それぞれの個体の貝殻を酸分解し、DGA レジンを用いた固相抽出法を用いた Y 分離を行った。固相抽出による溶離液から水酸化鉄の沈殿とともに放射性 Sr（Sr-90）の娘核種である放射性イットリウム（Y-90）を含む Y を回収し、ベータ線測定試料を作成した。その試料に対して低バックグラウンドガスフローカウンターを用いて β 線を計測し、最終的に放射性 Sr（Sr-90）濃度を算出した。

両地点の放射性 Sr 濃度を比較した結果、福井県の海岸では Sr-90 は検出できなかったが（定量下限値（1.0Bq/kg）以下）、福島県で採取した個体については、小型の 1-2cm は定量下限値以下（1.0Bq/kg 以下）であったが、3-4cm では 3.2Bq/kg（n=3）、4-5cm では 3.5Bq（n=2）、5-6cm では 8.4Bq/kg（n=3）、6cm 以上では 8.4Bq/kg（n=1）となり、大型個体になるほど Sr-90 が高くなる傾向がみられた。同時に採取した海水の Sr-90 濃度は両地点ともに定量下限値以下（0.001Bq/kg 以下）である事、個体サイズが大きいことはその個体の生息期間が長いことが予測できることから、今回のような大型個体程 Sr-90 濃度が高くなる要因の一つは、請戸漁港付近の海域の Sr-90 濃度が 2019 年以前に原発事故の影響で高濃度になっており、その海水に含まれる原発事故由来の大量の Sr-90 を今回分析したような大型個体を取り込み、貝殻に蓄積していたためであることが挙げられる。今後は様々なサイズ、福島県内での複数地点で採取した個体の分析を進めるとともに、個体の年齢推定を行い、貝殻を用いた海水中の放射性 Sr 濃度モニタリング法の確立を目指す。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-33】

水中ラドン計測によるサンゴ礁海域の陸源湧水探索に関する研究

研究代表者：古川 雅英

共同研究者：城間 吉貴・細田 正洋

受入研究者：床次 眞司・赤田 尚史

1. 研究成果報告

一般環境に遍在するラドン (^{222}Rn) は、水循環過程を知るためのトレーサーとして利用できるが、陸水の海洋環境への影響を評価する上で重要な海底や沿岸域における湧水や浸み出しに関する定量的評価への応用については、手法が十分に確立されているとはいえない状況である。本共同研究（研究組織）では、これまでに蓄積してきた様々な高精度放射能測定技術を組み合わせることにより、近年の環境変動や陸源物質による汚染などで発達が危ぶまれているサンゴ礁への陸水（発達阻害因子の一つ）の影響評価を試みる。本年度は、沿岸部のサンゴ礁面積が広い琉球列島の島々において、従来は情報が不足していた陸水流入過程の定量的把握を試みる。

本研究では、沿岸部に湧水が点在している沖縄島南部の米須海岸（ $26^{\circ} 05' 17'' \text{ N}$ 、 $127^{\circ} 42' 05'' \text{ E}$ ）をフィールドとし、計 13 地点でサンプリングを行った。水中ラドン濃度は、液体シンチレーションカウンタ（Tri-Carb2910TR, PerkinElmer）を用い、1 試料あたり 60 分間測定で定量した。また、現地では水温、塩分の測定を行った。

水中ラドン濃度は、N.D. から 1.8 Bq/L の範囲であり、湧出地点で高い濃度を示し、湧出地点から離れるに従い、濃度は減少傾向を示した。陸地から約 20 m 離れると検出下限値以下（ $<0.88 \text{ Bq/L}$ ）となり、当該地域での地下水の湧出が主に沿岸域からの流出であることが示唆される。加えて、水温も湧出地点から離れるにつれ、低くなる傾向がみられ、水中ラドンの濃度分布と同様の傾向であった。水中ラドン濃度測定により、陸域から沿岸域にかけての地下水の流出域を観測することができた。一方、塩分に関しては、各地点ともに 0% であり、湧出地点から約 80 m までは淡水の影響がみられた。以上のことから、水中ラドン濃度の測定により、沿岸域における陸源湧水地点の分布状況を把握することができた。今後、陸源湧水の湧出量を把握するため、当該地域の海岸線を中心に追加で探索を行い、湧出地点の分布を詳細に把握する必要がある。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-34】

野生動物への低線量放射線影響評価のための

バイスタンダー効果の検討

研究代表者：有吉 健太郎

受入研究者：三浦 富智

1. 研究成果報告

「背景」

放射線が当たっていない細胞において、照射されたかのような反応を示す現象をバイスタンダー効果といい、照射された細胞から出される何らかのシグナルによって、非照射細胞にDNA損傷、染色体異常、アポトーシス（細胞の自殺）などが引き起こされる。

この現象は、特に照射された細胞と非照射の細胞が混在する低線量放射線被ばくの際、大きな問題を引き起こしうる。（例えば、染色体異常頻度によって被ばく線量を推定する際、バイスタンダー効果によって染色体異常がかさ上げされてしまう。）

実験的には、照射された細胞の培養培地を非照射細胞に加える方法が多用されているが、現在までに野生動物でバイスタンダー効果が確認された事例は少なく（ヨーロッパアカザエビ、ニジマス、ミジンコ、アカネズミ等）であり、バイスタンダー効果は進化上保持されているか否かは依然はっきりしていない。

そこで本研究は、野生のニホンザル、アライグマ、アカネズミから採取した細胞、およびヒトの細胞を用いて（1）野生動物由来の細胞においてバイスタンダー効果が出現するか、（2）バイスタンダーシグナルが種を超えて効果を及ぼしうるか、の2点を検討することで、種を超えて進化上保存されたバイスタンダーシグナルの存在を検討した。

「材料と方法」

ヒト細胞(HDFn)、ニホンザル細胞(mff441)、アライグマ細胞(PL033)およびアカネズミ細胞(N3(1))を用いて実験を行った。2 Gy (1Gy/min) の放射線を照射したHDFnを48時間培養し、培養液を回収後、0.45 μm ミリポアフィルターを通過させ、放射線を照射していないHDFn、mff441、PL033、N3(1)細胞に24時間処理した。その後、照射細胞の培地を処理した細胞において小核試験を行った。

「結果と考察」

照射細胞の培地を処理したHDFn、mff441、PL033、N3(1)細胞の全ての細胞株で微小核の出現頻度が有意に上昇した。HDFnの非照射細胞由来の培地では微小核の頻度に影響を与えなかったことから、照射されたヒト細胞から放出されたバイスタンダーシグナルが、種を超えて効果を及ぼしたものと考えられる。今回の結果は、バイスタンダー効果は進化上保存

された機構であることを示唆しており、今後照射されたヒト以外の細胞の培地が他の生物種細胞にバイスタンダー効果を誘導するか否かを検討する。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-35】

福島沿岸海域における高線量粒子の海洋生態系影響に関する研究

研究代表者：神田 穰太

共同研究者：石丸 隆・伊藤 友加里

受入研究者：田副 博文

1. 研究成果報告

福島沖で採集されるプランクトンネット試料（330 μ m メッシュによる）には、福島第一原発の事故から数年を経ても、しばしば高濃度の放射性セシウムが観察される。その濃度は周囲の海水に較べて著しく高いことから、プランクトンが海水から放射性セシウムを取り込んだのではなく、試料中に高セシウム含有微細粒子（CsMPs）が混在しているためと考えられ、そのような粒子はイメージングプレート（IP）によるオートラジオグラフィにより確認されている。

本研究では、2011年11月に日本海洋学会とNHKが実施した福島第一原発20km圏内海洋調査によって得られたネット試料とその後、東京電力によって同一地点で採集された試料、福島県水産海洋センターが定点において定期的に採集してきたネット試料の放射能データを整理した。原発近傍では事故直後に200 Bq/kg-wet、事故の7年後にも100 Bq/kg-wetを超える試料が散発的に見られた。また、原発から数十キロ離れた地点からも、希ではあるが数十 Bq/kg-wetを超える試料が採集されている。Cs-137濃度の高い試料を選び出してIPにより解析したところ、多くの場合、1個当たりのCs-137濃度が1 Bqを超えるCsMPsが1ないし数個見られたが、全く見られない試料もあった。CsMPsの試料全体の放射性セシウムに対する寄与率は0～56%である。長時間曝露により、粘土鉱物に吸着したと考えられる低濃度の粒子の存在も確認されたが、それらの濃度を加算してもバルク濃度を説明することはできなかった。

現在までにネット試料から単離・同定された唯一の粒子は2mm角のプラスチック片に付着して採集されたCsMPsであり、CsMPsがネットで捕集されるためには、このようにより大きい浮遊粒子への付着や、動物プランクトンの誤食による消化管内への滞留、あるいは植物プランクトンの生産する細胞外高分子、動物プランクトンの糞粒、死骸等とともに凝集してマリンスノーのような大型粒子を形成することなどが必要である。今後は、ホルマリン保存されているプランクトン試料を半乾燥状態でIPにより解析し、CsMPs等の存在形態を確認することにより試料中の放射性セシウムの起源と海洋への拡散過程を解明する予定である。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

Tateda, Y., K. Misumi, D. Tsumune, M. Aoyama, Y. Hamajima, J. Kanda, T. Ishimaru, T. Aono, : Reconstruction of radiocesium levels in sediment off Fukushima: Simulation analysis of bioavailability using parameters derived from observed ¹³⁷Cs concentrations, Journal of Environmental Radioactivity, 214-215, 10.1016/j.jenvrad.2020.106172, 2020.

Kubo, A., K. Tanabe, Y. Ito, T. Ishimaru, M. Otsuki, H. Arakawa, Y.W. Watanabe, H. Miura, D. Tsumune, J. Kanda: Changes in radioactive cesium concentrations from 2011 to 2017 in Fukushima coastal sediments and relative contributions of radioactive cesium-bearing microparticles. Marine Pollution Bulletin, 161, 111769. 2020.

Miura, H., T. Ishimaru, Y. Ito, Y. Kurihara, S. Ootosaka, A. Sakaguchi, K. Misumi, D. Tsumune, A. Kubo, S. Higaki, J. Kanda, Y. Takahashi: First isolation and analysis of caesium-bearing microparticles from marine samples in the Pacific coastal area near Fukushima Prefecture. Scientific Reports, 11, Article number: 5664. 2021.

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-36】

福島第一原子力発電所近傍の環境試料の核種分析による沈着状況の

解明

研究代表者：箕輪 はるか

共同研究者：吉川 英樹

受入研究者：田副 博文

1. 研究成果報告

1. 背景

福島第一原子力発電所事故により環境中に放出された放射性物質の起源原子炉の判別には、Cs 同位体比を使うことが可能と考えられる。燃料の燃焼度から推定した Cs-134/Cs-137 比は、1号機 0.93、2号機 1.08、3号機 1.05 であり、1号機由来は判別できるが2号機と3号機の判別は困難である。本研究では、起源原子炉推定の指標となる元素・核種を探し、2号機と3号機の区別を Cs 以外の元素・核種の存在量の違いから推定する方法を検討した。

2. 目的

元素・同位体比分析により環境中試料の起源原子炉を推定する方法を検討する。

原子炉近傍の試料を分析し、原子炉での生成条件や放射性物質の放出状況を明らかにする。

3. 試料と分析計画

試料：原子炉近傍から採取した、室内外のダスト試料、土壌試料、放射性物質含有粒子

分析方法：ICP-MS, ICP-AES, Ge 半導体検出器、 α 線スペクトロメトリー

分析対象核種：U-234, U-235, U-236, U-238, Pu-238, Pu-239, Pu-240

4. 測定核種の検討

公表されているサイト内試料分析値[1] と核燃料燃焼率からの炉内生成量比[2] とを比較したところ、2号機では、圧力容器(RPV)内試料の値は、生成量比とほぼ一致した。つまり、原子炉内と同じ元素比・同位体比で環境中に放出されたと考えられる。3号機では、タービン建屋(T/B)・格納容器(PCV)内試料の値は Pu-238/U-236 比が減少していた。水の影響により U と Pu が分別されて、Pu/U 比に変動が生じた可能性が考えられる。したがって、環境試料中の Pu-238/U-236, Pu-239/U-236 比により、放出時のウェットウェルベントの影響の有無などを推測することができる可能性がある。

5. 今後の計画

ICP-MSによる環境試料のU、Pu同位体比の測定を行なう。

6. 参考文献

- [1] 日本原子力研究開発機構、国際廃炉研究開発機構「福島第一原子力発電所事故廃棄物に関する分析データ集(FRAnDLi)」<https://frandli-db.jaea.go.jp/FRAnDLi/> (最終閲覧2021/3/1)
- [2] 西原健司、岩元大樹、須山賢也(2012)「福島第一原子力発電所の燃料組成評価」JAEA-Data/Code 2012-018

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-37】

山形蔵王で観測される樹氷を構成する水の同位体組成

研究代表者：柳澤 文孝

共同研究者：保原 雄大・吉原 美咲

受入研究者：赤田 尚史

1. 研究成果報告

蔵王のアイスモンスター（樹氷）は着氷・着雪および焼結を繰り返すことで生成している。生成高度は 1550m以上の自由大気層である。樹氷を採取し、水素・酸素同位体組成を測定して水蒸気の移動経路を検討した。水蒸気の同位体比は、冬型の場合は高く、南岸低気圧の場合は低くなっていた。また、水蒸気の起源は、冬型の場合は日本海、南岸低気圧の場合は東シナ海であった。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-38】

Quantification of the material transport between the Kuroshio and marginal seas using multiple tracers

研究代表者：Zhang Jing

受入研究者：田副 博文

1. 研究成果報告

The Kuroshio, as the main western boundary current in the North Pacific, plays an important role in the material transport and greatly influences the ecosystem in a large area. From previous studies, many researches about physical processes between the Kuroshio and marginal seas have been conducted, including the exchange between the atmosphere, seawater and sediment. Through these processes, materials get redistributed in some areas and are transported to other areas during the flowing of the Kuroshio. However, little quantification result using chemical tracers has been reported. In this study, samples were collected during the KH-17-5 cruise in November 2017 and the NN464 cruise in July 2017. The water originated from the subtropical mode water (WO-STMW) in the WPBCA was identified and related typical diapycnal/isopycnal water mixing processes were quantified, based on the interdisciplinary research combining the physical observations and chemical ^{137}Cs tracer (deriving from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident). More than 30% of mixed water originates from the enhanced turbulent mixing in the STMW layers in the Luzon Strait. The DIN flux and transport via the WO-STMW layers in the Tsushima Strait are evaluated.

Keywords: ^{137}Cs , water mixing, STMW, Kuroshio

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-39】

動物の臓器別被ばく線量率推定のための数値模型の構築

研究代表者：木野 康志

共同研究者：山下 琢磨・小野 拓実

受入研究者：三浦 富智

1. 研究成果報告

1. はじめに 2011年3月11日に福島第一原子力発電所（FNPP）事故が発生し、環境中に放射性核種が放出された。放射性核種によって汚染された地域に生息する野生動物はこれらの核種による慢性的な低線量率の被ばくを受けているが、これによる生物影響の有無は明らかになっていない。私たちの研究グループでは帰還困難区域や旧避難指示区域に生息する野生動物を対象として生物影響の解析を進めている。放射線生物影響を比較するためには被ばく線量の推定が必要不可欠であるが、従来の野生動物の被ばく線量推定法では被ばく線量を過大評価してしまい、また、臓器ごとの被ばく線量を計算することができないという課題があった。そこで本研究では福島県浪江町で捕獲された野生アライグマを対象として放射性 Cs の定量を行い、ボクセルファントムを用いてより精密な臓器ごとの被ばく線量の推定を行った。

2. 実験方法 福島県浪江町で2017年から2020年にかけて害獣駆除として捕獲された野生アライグマから筋肉、腎臓、心臓、肝臓、脾臓、肺、血液、骨を採取した。各試料は均質化した後、高純度 Ge 半導体検出器を用いて Cs-137 を定量した。アライグマの被ばく線量は放射線輸送コード PHITS (Ver.3.16) (Particle and Heavy Ion Transport code System) [1] を用いて計算した。ボクセルファントムはアライグマの X 線 CT 画像から DICOM2PHITS [2] を用いて作製した。作製したボクセルファントムを図 1 に示す。内部被ばく線量率は定量したアライグマの臓器ごとの Cs-137 濃度から、外部被ばく線量率はアライグマの捕獲地点で測定した空間線量率から換算した土壤中 Cs-137 濃度を計算に使用した。

3. 結果と考察 アライグマの血液と各臓器の Cs-137 濃度の関係を図 2 に示す。Cs-137 濃度は全ての個体で筋肉が最も高く、各臓器がその半分程度の濃度、血液が最も低かった。また、血液と各臓器の Cs-137 濃度には正の相関があったが、個体によってばらつきがあった。筋肉中 Cs-137 濃度が最も高いアライグマの各臓器の Cs-137 濃度と被ばく線量率を表 1 に示す。全身の Cs-137 濃度と被ばく線量率は各臓器の値を臓器の重量で重みづけして足し合わせた値である。内部被ばく線量率は各臓器の Cs-137 濃度を反映していたが、腎臓と肝臓は Cs-137 濃度を反映していたが、腎臓と肝臓は Cs-137 濃度と内部被ばく線量率の大小関係が逆転していた。これは腎臓が肝臓に比べて Cs-137 濃度が高い筋肉に近く、筋肉から放出された γ 線による被ばくをより受けるためであると考えられる。外部被ばく線量率

は腎臓や脾臓のような背中に近い臓器ほど小さく、これは土壌から放出された放射線がアライグマの身体によって遮蔽されるためである。以上の結果のように、臓器ごとの被ばく線量率の差を精密に評価することができた。放射線感受性が高く放射線生物影響の研究対象となる脾臓は従来法では被ばく線量率は 2.8 倍過大評価されていたが（内部被ばく線量率 24.1 μ Gy/d、外部被ばく線量率 70.2 μ Gy/d）、この値を是正することができた。

References

- [1] T. Sato, Y. Iwamoto, S. Hashimoto, T. Ogawa, T. Furuta, S. Ichiro Abe, T. Kai, P. E. Tsai, N. Matsuda, H. Iwase, N. Shigyo, L. Sihver, and K. Niita, Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02., J. Nucl. Sci. Technol., 55, 684, (2018)
- [2] T. Furuta, S. Hashimoto, and T. Sato, Medical Applications of the PHITS Code (3): User Assistance Program for Medical Physics Computation., Jpn. J. Med. Phys., 36, 50, (2016).

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

帰還困難区域に生息するアライグマに対する個体毎の外部被ばく線量評価法の適用の検討, 光安優典, 岡壽崇, 高橋温, 小荒井一真, 木野康志, 奥津賢一, 関根勉, 山下琢磨, 清水良央, 千葉美麗, 鈴木敏彦, 小坂健, 佐々木啓一, 藤嶋洋平, Valerie Swee Ting Goh, 有吉健太郎, 中田章史, 山城秀昭, 篠田壽, 三浦富智, KEK Proceedings of the 21st Workshop on Environmental Radioactivity, 2020(4), (2020), 144-149

Transition of Radioactive Cesium Deposition in Reproductive Organs of Free-Roaming Cats in Namie Town, Fukushima, Yohei Fujishima, Yasushi Kino, Takumi Ono, Valerie Swee Ting Goh, Akifumi Nakata, Kentaro Ariyoshi, Kosuke Kasai, Tadashi Toyoda, Toru Akama, Hirofumi Tazoe, Masatoshi Yamada, Mitsuaki A. Yoshida, Tomisato Miura, International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(4), (2021), 1772-14 pages

Morphological reproductive characteristics of testes and fertilization capacity of cryopreserved sperm after the Fukushima accident in raccoon (*Procyon lotor*), Kazuki Komatsu, Tsugumi Iwasaki, Kosuke Murata, Hideaki Yamashiro, Goh Swee Ting Valerie, Ryo Nakayama, Yohei Fujishima, Takumi Ono, Yasushi Kino, Yoshinaka Simizu, Atsushi Takahashi, Hisashi Shinoda, Kentaro Ariyoshi, Kosuke Kasai, Masatoshi Suzuki, Maria Grazia Palmerini, Manuel Belli, Guido Macchiarelli, Toshitaka Oka, Manabu Fukumoto, Mitsuaki A Yoshida, Akifumi Nakata, Tomisato Miura, Reproduction in Domestic Animals, 56, (2021), 484-497

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-40】

福島県三春ダム底質の結合形態別画分の放射性セシウム濃度

研究代表者：野田 香織

共同研究者：東 信行

受入研究者：赤田 尚史・田副 博文

1. 研究成果報告

弘前大学理工学研究科および農学生命科学部の研究グループは福島県の三春ダムにおいて重金属汚染の影響を調査するため、東京電力福島第一原子力発電所事故以前より水生生物や水質・底質の試料採取・化学分析を実施していた。本研究ではギンブナへの移行の経路を調査するため、底質や浮遊粒子試料の逐次抽出を実施し、放射性セシウムおよび微量金属元素の動態について検証した。

底質試料はエクマンバージ採泥器を用い、POM はメッシュサイズ 100 μ m のプランクトンネットを用いて採取した。これらの試料を A 酢酸、B 塩化ヒドロキシルアミン溶液、C 過酸化水素+酢酸アンモニウム溶液、D 王水で逐次抽出を行った。各段階ごとの試料をガンマ線測定チューブに充填し、高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いて Cs-134, Cs-137, K-40 の計測を行った。また、抽出液については分取希釈を行い、主要元素組成および準金属元素の定量を ICP 発光分析装置および ICP 質量分析装置を用いて実施した。

三春ダムの前ダムとして位置する蛇沢川前ダムの底質中の放射性セシウムの大部分（90%）が生物利用性の低い画分に存在していた。これを除くと Fe・Mn 水和酸化物結合体の割合が多く、ダム湖の品酸素化によって還元環境になると溶出する可能性がある。

安定セシウムは POM 中では硫化物・有機物態が多い。同族元素であるカリウムやアルカリ土類金属の Mg がイオン交換態・炭酸塩態画分に存在することとも異なっている。アオコでは放射性セシウムと類似して、Fe・Mn 水和酸化物結合体として存在していた。

2. 発表論文リスト

2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに研究グループにより発表された論文（謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-41】

福島原発事故に被災した野生ニホンザル生体試料を用いた

放射線影響解析

研究代表者：鈴木 正敏

受入研究者：三浦 富智

1. 研究成果報告

福島第一原子力発電所事故では、過去に生じた放射線災害事例と比べると被ばく線量・線量率領域が低く、実験的に再現することは容易でない。本課題では旧警戒区域に生息する野生ニホンザルから試料を収集し、被ばく線量評価と生物学的変化を解析することで、知見が少ない低線量・低線量率長期被ばくによる生物学的変化を明らかにすることを目的として実施した。

野生ニホンザルは、福島県浜通り地域および福島県外の対照地域自治体から提供を受けた。本課題で使用する大腿筋と肝臓を採取し、目的用途ごとに調製した。ゲルマニウム半導体検出器を用いて試料中の放射性セシウム濃度を決定した。試料中の酸化ストレス状態はマロンジアルデヒド(MDA)を指標に用いた。採取した試料をステンレスビーズを用いて組織溶解液中で破碎し、試料中のMDAをチオバルビツール酸(TBA)を反応させてMDA-TBA2付加体を形成させた。ブタノール、水酸化ナトリウム処理によってヘモグロビン分画を除去した後分光光度計を用いてMDAを検出した。解析試料中に含まれるタンパク質量をBCA法によって定量し、MDA濃度の規格化に用いた。

野生ニホンザルの肝臓と大腿筋における酸化ストレス状態をMDAを指標に検討した。ゲルマニウム半導体検出器を用いた測定結果より、野生ニホンザルから採取した臓器試料の中で大腿筋に最も多く放射性セシウムが蓄積し、肝臓には大腿筋の4割程度の放射性セシウムが計測された。野生ニホンザルの体形を模した楕円体モデルを作成し、PHITSコードを用いたモンテカルロシミュレーションによってあらかじめ計算をしていた線量換算計数を用いて内部被ばく線量率を計算した。大腿筋で計測された放射性セシウム濃度が楕円体モデル内に均一に分布をしている過程で内部被ばく線量率を評価し、本課題で解析した個体では約200 μ Gy/日までの内部被ばく線量率の個体試料を用いてMDA濃度を解析した。肝臓では内部被ばく線量率に依存してMDA濃度が上昇したが、大腿筋ではMDA濃度に被ばく依存的な変化は見られなかった。本年度の結果より、低線量・低線量率被ばくによる酸化ストレス状態の変化は臓器・組織によって異なることが示された。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-42】

海洋における超ウランアナログ元素の存在形態変換

研究代表者：則末 和宏

受入研究者：田副 博文

1. 研究成果報告

海域における超ウラン核種の動態を把握するには、超ウラン核種と類似した地球化学的性質をもつ重元素群（“超ウラン核種アナログ元素群”）に着目して研究を行うことが有用と考え、超ウラン核種アナログ元素群の分析法開発や海域における分布解明を行ってきた。

これらの動態解明には、「溶存態」および「粒子態」の変換プロセスが鍵となり、そのプロセスの理解には両態の同位体組成が有用である。

そこで、本研究ではアナログ元素の存在形態変換について理解するために、粒子態の前処理法を検討し、粒子態鉛の安定同位体比の分析法の開発を行い、さらにその海洋分布の解明を目指した。今回は粒子態 Pb 同位体の鉛直分布を明らかにし、さらに我々が得た溶存態データと比較し、変換プロセスに関する知見を得た。

本研究による成果は以下のとおりである：粒子態鉛安定同位体比分析法を新規に開発した。具体的には、大容量の外洋海水をクリーンにろ過しフィルター上に粒子状物質を集める手順を検討した。また、フィルターのブランク実験を行い、フィルターの洗浄法も入念に検討し、手順を確定させた。粒子状物質は研究室の閉鎖型分解乾固システムにより溶液に置換し、さらに得られた溶液中 Pb 同位体を陰イオン交換樹脂カラムによって精製する手順も検討した。実際にインド洋海水へ手法を適用し、粒子態 Pb 同位体比の深層鉛直分布を系統的に明らかにした。その中で、溶存-粒子の相互変換が速く起こっているという興味深い知見を導くことに成功した。今後はさらに対象海域を広げ、その相互変換の程度の地理的分布を明らかにする。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-43】

オートラジオグラフを用いた被災動物骨組織の放射性物質局在評価

研究代表者：清水 良央

共同研究者：篠田 壽

受入研究者：三浦 富智

1. 研究成果報告

目的

本年度は、硬組織として、骨および歯に含まれる放射性物質の取り込みの局在を調査するために、オートラジオグラフを用いて検討することを目的として研究を開始した。オートラジオグラフは完成された方法ではあるが、組織内に含まれる放射性物質の量や線種によって反応が異なることが想定された。文献的には長期の検討では6カ月を要するものもあると推定され、今回、福島原発事故での様々な被災動物組織サンプルを用いて検討を行った。

方法

サンプルは、軟組織から硬組織まで幅広い組織での検討を行ってみることとし、アカネズミ、ウシなどの内臓（肺、心、肝、筋など）や骨、歯を用いた。様々な方法で検討が可能になるよう、パラフィン包埋標本、樹脂包埋および研磨標本、また煩雑な溶液の浸漬を行わない樹脂包埋研磨標本作製を行って検討した。標本作製過程における溶液浸漬で放射性物質の流出がないことを確認することも想定し、標本作製過程について記録した。サンプルの選定には、これまで行ってきたイメージングプレートで局在が明らかなもの、また同等の環境にあったと思われるものを選別した。

パラフィン包埋標本は、約4 μ mの厚さ、研磨標本は50~100 μ m程度の厚さで標本サンプルを作製した。暗室内にて乳剤に漬け込んでから、乾燥剤とともに暗箱に入れて3週間反応させた。3週間後、暗室内にて停止、定着を行って乾燥後、顕微鏡観察を行った。

結果および考察

軟組織では、明瞭な粒子の凝集が確認できなかった。脳、硬組織サンプルでは、骨組織では、骨細管に一致して一部みられた。また歯では象牙細管に一致して粒子状のものがみられた。軟組織は局在に関するイメージングプレートのデータは採取できないため、比較は困難であるが、血管周囲などの観察を行ったが明らかな粒子を確認できなかった。一方、硬組織については、事前にイメージングプレートでの検討を行ったサンプルを用いており、すでに大まかな局在を把握できていた。今回、粒子と推定した部位は、イメージングプレートに一致するものの範囲が狭く部分的な反応にすぎない可能性が示唆された。

課題

現在すでにサンプルを作り直して再実験に入っている。今回の問題からサンプルの乳剤反応時間の大幅な延長を考えている。今のところ3か月から6か月を考えており、サンプルについてもイメージングプレートデータがあるもの、また今回行ったものを再調整して再実験を行う予定である。そのため1回目の組織標本データについては、2回目と再現性をもって比較ができるようにバーチャルスライドで画像データとして保存した。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-44】

福島県浪江町の里山における放射性物質の長期トレンドと

環境調和型除染技術開発

研究代表者：大河内 博

共同研究者：反町 篤行・竹内 理紗

受入研究者：床次 眞司・赤田 尚史

1. 研究成果報告

1. 研究目的

2011年3月に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故によって、大量の放射性核種が環境中に放出された。福島県は県の総面積の約70%を森林が占めているため、大量の放射性核種は大部分が森林に捕捉されたと考えられる。しかし、森林の多くは未だに除染が行われていない。その理由は、広大な森林の除染活動には膨大な労働力と費用が必要となる上に、除染によって大量に発生する落ち葉や土壌堆積物といった放射性廃棄物の最終処分場は、現在も決定していないためである。また、除染による森林生態系への悪影響も懸念される。しかし、森林の中でも里地・里山は人の生活に密接にかかわるため、早急な除染が必要であり、より効率的な除染方法の開発が求められる。

本研究では、効率的な森林内の除染方法を提言することを目的として、浪江町南津島の里山をモデル地域として森林生態系内における放射性セシウムの分布と動態、森林系外への流出について解明を行なっている。将来的には放射性セシウムの動態解明調査によって得られた知見を基にして、環境負荷の少ない除染技術を開発し、福島県の里山再生を目指す。

2. 研究成果

樹種による違いを検討するため、落葉広葉樹林とスギ針葉樹林に分けて放射性セシウムの2012年以降の長期的トレンドを解析した。落葉広葉樹は浅根性の根を持つため、経根吸収によりセシウムが内部循環していると考えられるが、表層土壌で放射性セシウム濃度の減少が見られたことから、降雨によって表層土壌とともに放射性セシウムが系外流出している可能性があり、今後流出経路・量についてさらなる調査が必要となる。一方、針葉樹は深根性の根を持つため、樹冠からのセシウムの供給により表層土壌の濃度は増加していると考えられた。

スクレーパープレートを用いた土壌深度ごとの放射性セシウム濃度の調査では、落葉広葉樹林および針葉樹林において、放射性セシウムの土壌表層から深部への浸透が見られた。しかし、土壌中に存在する放射性セシウムの化学的形態については未解明の部分が多い。

3. 今後の展望

土壌及びスクレーパープレートによる深度ごとの土壌試料を、逐次抽出法によって化学的形態ごとに分離し、放射性セシウム濃度を測定することで、森林土壌中における放射性セシウムの存在形態の割合を明らかにする。また、元素分析を用いて土壌の炭素含有量を明らかにすることで、存在形態と土壌有機物量の関係性も明らかにする。

将来的には得られた知見をもとに、効率的かつ環境負荷の少ない除染方法について、プルシアンブルーや微生物などを含めて検討を行う。また、除染技術の開発も行う。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-45】

学習指導要領改訂による小中学校検定教科書における放射線・

環境・震災教育の変遷調査

研究代表者：佐瀬 卓也

共同研究者：阪間 稔・丸山 晴男

受入研究者：赤田 尚史

1. 研究成果報告

はじめに：

学習指導要領は、小、中、高等学校等の各学校が各教科で教える内容を、学校教育法施行規則の規定を根拠に定めたものであり、この内容に則って各教科の検定教科書が作成される。2017年3月に戦後9度目の改訂となる新学習指導要領が公布され、小学校では2020年度から、中学校では2021年度から、高等学校では2022年度から完全施行が為される。本研究の目的は、全国の小中高等学校で使用される検定教科書および副読本において、新学習指導要領の施行により東日本大震災の環境影響や放射線に関する記載がどのように変遷するかを調査し、その学習効果を比較・検証することである。

材料および方法：

今年度中使用される検定教科書のうち、東日本大震災や放射線、原子力などの記載が予想される小学校理科・社会、中学校理科・社会、中学校道徳、高校物理・地理の計67冊において、1. 東日本大震災の概要、2. 原子力発電所事故と環境影響、3. 放射線及び放射性物質、4. 原子力発電、の4項目における記述調査を行った。そのうち完全施行となった小学校理科・社会、一部先行施行が為されている中学校地理に重点を置き分析を行った。

結果及び考察：

小学校理科：6出版社（大日本、啓林館、東京書籍、教育出版、学校図書、信濃教育）によって検定教科書が出版。そのうち、東日本大震災の概要はすべての出版社において小学6年の教科書に記載されていた。震災以降激減していた原子力発電についての記載（去年は信濃教育の1社のみ）は、今年度新たに2社（啓林館、学校図書）が記載を再開し、3社に掲載されていた。また昨年唯一小学校の時点で原発事故とその環境影響について記載のあった大日本図書は、今年度の教科書ではその記載が消失していた。記載の範囲を他社に合わせた可能性もある。

小学校社会：3出版社（東京書籍、教育出版、日本文教）によって検定教科書が出版。そのうち3社全てが小学5年及び6年次に東日本大震災の概要、原子力発電所事故と環境影響、放射線及び放射性物質についての記載があった。うち教育出版は原子力発電についての

記載もあった。3社の記載総ページは日本文教が6ページ、東京書籍が14ページ、教育出版が12ページと差が大きかったが、防災・減災の事例紹介に東日本大震災を掲げた（東京書籍、教育出版）かによって差が出ていた。

中学校地理：4出版社（東京書籍、教育出版、帝国書院、日本文教）によって検定教科書が出版。うち帝国書院を除く3社は調査4項目全てについてかなり詳細な記載（放射性物質の環境放出やチェルノブイリ事故、風評被害や放射性廃棄物の問題など）があった。帝国書院は放射線及び放射性物質の記載がなく、それ以外の項目についても簡便な記載であったが、地図の専門出版だけあり、原子力発電所の明確な立地マップが掲載されていた。各出版社の総ページは以下の通り。東京書籍16ページ、教育出版8ページ、帝国書院10ページ、日本文教15ページ。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-46】

多面的な分光学的手法による多価金属イオンの収着状態評価

研究代表者：佐々木 隆之

受入研究者：藤原 健壯・土肥 輝美

1. 研究成果報告

放射性核種の保管や廃炉工程の安全評価に資する放射性核種の地中移行挙動を検討するには、原位置あるいはそれに関連した地質環境における収着や拡散等の反応機構理解に資する基礎データやモデルが必要である。これまで、1F 近傍森林土壌中の放射性核種の収着試験を実施、モデル化を試みてきたが、収脱着核種および固相表面の状態研究は十分ではない。本研究では固相表面や 2 次鉱物の形状や元素組成・元素分布情報を集積する目的とし、電子顕微鏡などの固相分析装置を用いて固相表面における元素情報を取得、吸着現象の解明につながるデータの蓄積を試みた。昨年度実施した TEM-EELS 法を用いた Eu(III) と Zr(IV) の化合物の化学状態に関する予察的検討をもとに、今年度は TEM-EELS 法を継続して用いて Eu と Zr 化合物の化学状態を取得するとともに XPS 法も取り入れて、多価金属イオンの化学状態評価を試みた。

Zr 酸化物については、TEM-EELS 及び、XPS で測定が可能となった。しかしながら TEM-EELS 分析で得られたピークについては、強度が安定しないなどの影響が確認された。さらに Zr, Eu の有機錯体試料等の XPS 法による測定を行い、ピークのシフトを確認した。塩化物の試料については潮解性によると考えられるブロードなピークが観察され、エネルギーシフトの評価は困難であった。これらの結果を踏まえ、酸化や潮解の影響を排除できるように XPS 装置導入部の改良を行い、窒素雰囲気など環境制御下でのサンプル導入が可能となった。今後、TEM-EELS 法や XPS の測定の更なる拡充を進めるにあたり、鉱物等の固相試料調製における様々な前処理法を調査するとともに、実試料を用いてその最適化を試みる必要がある。

2. 発表論文リスト

2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに研究グループにより発表された論文（謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

T. Sasaki, D. Matoba, T. Dohi, K. Fujiwara, T. Kobayashi, K. Iijima: Vertical distribution of ^{90}Sr and ^{137}Cs in soils near the Fukushima Daiichi nuclear power station. *J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 326 (2020) 303-314.

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-47】

放射性微粒子の沈殿による作物への影響

研究代表者：二瓶 直登

受入研究者：吉村 和也

1. 研究成果報告

【目的】東京電力福島第一原子力発電所の事故で放出された放射性セシウムは、除染やカリウム施肥の徹底により経根吸収による作物への汚染は大幅に低下した。一方、空間線量の高い地域では僅かであるが現在でも大気浮遊物や降下物に放射性セシウム(RCs)は含まれており、作物地上部へ直接影響する RCs への評価は殆ど行われていない。本発表では、作物地上部への直接的な RCs の降下影響の評価と要因を検討するため、未汚染土壌を用いて作物を福島県内数箇所で栽培し、作物に検出される RCs と高さや洗浄の影響、気象との関係を解析した。

【実験方法】福島県内 6 箇所（内帰還困難区域 2 箇所）にて 2017～19 年に年数回ずつ非汚染土壌を用いてコマツナを栽培した。収穫したコマツナの一部は水洗い後 RCs を測定した。また水を貯めた水盤をコマツナと同位置に設置した。

【結果】SiteA,B,C,D では全期間で 100Bq/kg 以下。SiteE,F（帰還困難区域）では 100Bq/kg を超えるサンプルもあった。同一地点でも栽培時期により RCs 濃度は異なる。水盤とコマツナの RCs の相関は下で高い。洗浄有無より、水盤に検出された RCs のおよそ 5%がコマツナに付着もしくは体内に取り込まれ、水盤のおよそ 3%が洗浄しても落ちないもしくは体内に取り込まれたと想定される。コマツナの RCs 濃度と各地点の栽培期間中の降水量、最大風速および空間線量との重回帰分析を行なった。標準偏回帰係数によると、コマツナの RCs 濃度を予測するのに下では洗浄有、無とも降水量、空間線量の寄与が高かった。また、上では降水量、空間線量に加え最大風速の寄与も高まった。

【考察】作物地上部への直接的な RCs は、まず、空間線量つまり栽培周囲の汚染状況の影響が最も強い。次に、地際（下）では雨により跳ね上がった土壌がコマツナに付着して RCs 濃度を高めていると想定された。一方、本試験で設定した地際から 120cm の高さになると、土壌の跳ね返りの影響は少なく、強い風により舞い散った RCs を含む粒子が付着する影響が高まると考えられる。帰還困難地域以外では土壌の RCs 濃度は高くないこと、作物は通常洗浄して食することから、上・洗浄有の結果を参考にすると、空間線量が高い地域では、栽培期間中の強い風を注意すべきと考えられる。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。
なし

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-48】

陸域-海域間の懸濁態放射性核種の輸送過程の解明

研究代表者：乙坂 重嘉

共同研究者：鈴木 崇史

受入研究者：鶴田 忠彦

1. 研究成果報告

沿岸域の海底には、陸域から河川等を通じて、事故由来の放射性核種を吸着した懸濁粒子が継続的に供給されており、その沿岸域での相対量は、時間の経過とともに増加することが懸念される。2019年度の共同利用拠点事業では、福島第一原子力発電所南東の陸棚縁辺（海底水深200m）で採取した沈降粒子の特性分析を実施した。沿岸堆積物や懸濁粒子の数%から50%程度は、粒子状有機物（POM）で構成されており、さらに、これらの粒子試料にはほぼ一定の割合で有機物態と考えられる放射性セシウムが存在していることが明らかになった。これらの結果は、海水中の有機物粒子が海底付近での放射性セシウムのキャリアとして働いていることや、生態系への放射性セシウムの移行を支えている可能性があること示唆した。2020年度は、浅海堆積物及び河口付近の沈降粒子試料と分析を実施し、陸棚縁辺での粒子に見られた特徴と比較することにより、河口・沿岸域の粒子態放射性核種のリザーバ効果について検討した。

本研究では、陸棚縁辺（北緯37度00分、東経141度24.9分、海底水深210m）と、請戸川河口域（北緯37度29.5分、東経141度03.0分、海底水深8.5m、および、北緯37度29.0分、東経141度11.9分、海底水深58m）の沈降粒子の特性を比較した。観測は通年で実施したが、陸棚域における放射性セシウム粒子束が顕著に高かった冬季（2月）と春季（3月）に注目した。事故由来の放射性核種として2つの放射性セシウム同位体（ ^{134}Cs 、 ^{137}Cs ）の粒子中の濃度を測定した。粒子試料の一部は、主要成分（有機物、陸起源ケイ酸塩、生物起源ケイ酸塩、生物起源炭酸塩）分析と、炭素・窒素の安定同位体比測定に用いた。放射性セシウムのキャリアとして働きうるPOMの特徴を明らかにするため、EPMA-EDS（電子プローブマイクロアナライザ-エネルギー分散型分光器）による元素マッピングによる炭素の存在位置を観察した。

陸棚域における冬季の沈降粒子は、他の期間に比べてわずかにPOMの割合が高く、POMは、タンパク質や糖酸といった、比較的分解の進んでいない海洋起源の成分で構成されていた。夏季から秋季にかけて ^{137}Cs を取り込んで観測点付近の海底に蓄積したPOMが、晩秋季から冬季にかけての海底付近の擾乱に伴って再移動したと推測される。一方春季には、比較的粒径の大きなアルミノケイ酸塩粒子と有機物で約9割を構成しており、陸起源POMに見られる腐植物質の特徴が見られた。春季の顕著な全粒子束の増加は、主に河川を通じて

陸域から運ばれた粒子が、沿岸で再浮遊し、陸棚縁辺へと運ばれたことによると推測された。河口域および浅海域の沈降粒子の EPMA 分析により、この海域での有機物粒子の存在度は極めて低く、有機物粒子はほとんど滞留していないことが分かった。少なくとも請戸川の河口・沿岸域においては、有機物粒子をキャリアとする粒子態放射性核種のリザーバ効果は低く、陸棚縁辺域で見られた有機物態粒子は、水平輸送によって河口域から素早く除去されたか、沖合表層での生物によって生産されたものであると推測された。

2. 発表論文リスト

2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに研究グループにより発表された論文（謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

Otosaka, S., S. Kambayashi, M. Fukuda, T. Tsuruta, T. Misonou, T. Suzuki, T. Aono: Behavior of radiocesium in sediments in Fukushima coastal waters: Verification of desorption potential through the pore water. *Environmental Science and Technology* 54, 13778-13785 (2020).

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-49】

Cs 用 DGT デバイスを用いた放射性 Cs の環境動態評価

研究代表者：齊藤 拓巳

受入研究者：藤原 健壮

1. 研究成果報告

当研究グループでは、実環境中での放射性 Cs (^{137}Cs) の環境動態を評価するために、Cs に選択的な DGT (diffusive gradient in thin films) デバイスの開発を行っている。DGT は可動性で、生物学的利用能の高い置換活性な金属イオンのフラックスを求めるためのデバイスであり、Cs を強く保持している鉱物からの脱離フラックスを評価できる。2019 年度では、本共同研究の枠組みを用いて、福島県の森林土壌、あるいは、河川を対象に、置換活性成分の評価を行い、鉱物に保持された ^{137}Cs の一部の脱離フラックスが存在し、Cs の動態に影響を与えていることを明らかにした。2020 年度は、河川において、 ^{137}Cs の脱離フラックスを引き起こす鉱物相の同定、および、土壌中で置換活性な ^{137}Cs を高濃度で濃集している成分の解明を目的とした。

DGT とは環境中の微量金属イオンをその場サンプリングするために、1992 年に W. Davison ら[3]によって開発されたパッシブサンプラーの一種である。本研究で用いた Cs 用の DGT デバイスは、吸着ゲル、拡散ゲルを重ねた上に、メンブレンフィルターを設置した構造を持ち、吸着ゲルには、Cs に対して選択性の高い吸着剤であるフェロシアン化銅が担持されている。

福島県の河川の複数箇所に対して作製した DGT を適用した。デバイスの数は合計 11 個、設置期間は 2020 年 11 月 9 日から 16 日までの 7 日間とした。サンプリングした DGT の吸着ゲルに取り込まれた ^{137}Cs を、Ge 半導体検出器を用いて放射能測定し、設置期間中の ^{137}Cs 置換活性成分濃度を算出した。また、DGT を設置した地点において懸濁態及び溶存態 ^{137}Cs 濃度、懸濁物質濃度を測定した。

DGT に保持された ^{137}Cs 置換活性成分濃度は、2019 年夏に同じ河川を対象に行われた研究と比較して 1 桁ほど低い値であった。主な理由として、設置期間中の平均水温が低かった事による拡散係数の変化の寄与等が考えられる。また、DGT で得られた置換活性成分は河川水中の懸濁物に保持された放射性セシウム濃度（懸濁態濃度）と相関を示したが、下流域で採取された試料については、懸濁態濃度対して、高い置換活性成分濃度を示し、セシウムの保持能が低い長石類の無色鉱物の寄与が下流域で高くなっている可能性が示唆された。また、リター中に設置した DGT デバイスにおける置換活性成分濃度は同地点に河川水中に設置したデバイスのものよりも有意に大きく、リターからの交換性セシウムの寄与があることが明らかになった。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-50】

Cs 保持に関わる環境試料の前処理・分析手法の確立

研究代表者：川村 秀久

共同研究者：田籠 久也・羽倉 昌幸・藤原 健壮

受入研究者：土肥 輝美

1. 研究成果報告

リター中には Cs の存在形態の一つとして Cs 含有粒子 (CsMPs) を含むことが知られている。このような環境試料中に含まれる CsMPs の化学形態や Cs 同位体比率を評価することを目的として、前処理・分析手法を検討した。2019 年度は、リター中の CsMPs を有機物分解と EPMA を用いて短時間で特定・単離し、飛行時間型二次イオン質量分析法 (ToF-SIMS) で Cs 同位体を測定する一連の前処理・分析までの手法を確立した。2020 年度は、安定 Cs, Ba を含む標準物質 (NIST SRM610) (15 mm 径・円盤状ガラス) や合成した焼成物粒子 (10 μ m 径・Al, Si, O, K を含有) を対象に、ToF-SIMS でそれぞれの同位体比の測定を試みた。焼成物中の Cs, Ba 濃度は、これまでの CsMPs の EPMA 分析結果を基に、同程度の粒径および Cs, Ba 濃度となるよう調整したものである (Cs: 8.6 mass%, Ba: 1.6 mass%)。値付けされている Ba (Ba: 0.0453 %) と Cs を含むガラス標準物質では、¹³³Cs, ¹³⁴⁻¹³⁸Ba の同位体の質量スペクトルは得られたが、¹³³Cs, ¹³⁸Ba 以外の質量強度は低く同位体比は評価できなかった。焼成物試料については、¹³³Cs, ¹³⁴⁻¹³⁸Ba の各質量スペクトルを得るとともに Ba 同位体比が天然存在比と近似していることを確認した。以上の結果から、ToF-SIMS で安定 Cs, Ba の同位体および同位体比の測定が可能であることが示された。また、焼成物試料について、EPMA と ToF-SIMS で得られた、Cs, Ba それぞれの濃度に対する質量強度の比を比較したところ差は見られなかったことから、今後、同手法の適用によって両元素濃度と質量強度との関係を精査していくことで、二次イオン生成量や Cs 同位体比評価へ発展させることが期待できる。

2. 発表論文リスト

2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに研究グループにより発表された論文 (謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-51】

生物の鉍物形成作用と核種固定化に関する研究

研究代表者：尾崎 紀昭

共同研究者：土肥 輝美

受入研究者：土肥 輝美・鶴田 忠彦

1. 研究成果報告

陸域に沈着した放射性核種は、河川から海域へ輸送され堆積すると考えられているが、核種循環に係る有機・無機物質への固定、輸送媒体については不明点が多い。本研究では生体内の元素動態（貯蔵・無毒化等）の一つとされる「生体鉍物化作用」に着目し、基礎知見として、炭酸塩やケイ酸塩などを形成する陸上植物や藻類を対象に、結晶形成時における核種の生体内固定化への寄与解明を目的とする。初年度の 2020 年度は、炭酸塩の殻（ココリス）を形成する円石藻に着目し、主に Sr を対象に炭酸塩等の生体鉍物化作用による生体内への核種固定化への寄与を評価するため、評価対象とする円石藻の選定、安定的な培養条件、それらの前処理法・電子顕微鏡（TEM）等を用いた分析法の検討を行った。外洋性・沿岸性の代表種として、それぞれ *Gephyrocapsa oceanica*, *Preurochrysis haptonemofera* を選定した。*G. oceanica* については、人工海水を用いた静置培養により 106 cell/mL まで藻体濃度を安定的に維持させる条件を見出した。また、TEM で多くの個体の分析が可能となるよう、孔径 0.45 μm フィルター上へ *G. oceanica* を濃縮後、1%グルタルアルデヒド固定液を通過、フィルターごと樹脂包埋した試料を TEM で観察した。その結果、5 μm 径の円石藻ココリス全体像および 100 nm 程度の微細構造観察、EDS 検出器を用いたココリス中の Ca, O の分布情報を取得できた。今後、*P. haptonemofera* についても培養条件・分析手法を検討する。さらに Sr の固定化を評価するため両種培地への Sr 添加条件・生存条件を探索し、TEM 等を用いた生体内での Sr 固定状態を調べていく。

2. 発表論文リスト

2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに研究グループにより発表された論文（謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-52】

福島県および周辺地域の河川水系における

放射性セシウムの移行動態

研究代表者：落合 伸也

共同研究者：長尾 誠也・渡辺峻・鈴木究真・宮原聖一

受入研究者：中西 貴宏・鶴田 忠彦・御園生 敏治

1. 研究成果報告

福島第一原発事故から10年が経過したが、環境中に放出されて地表環境に沈着した放射性核種は、現在でも河川流域から河川、さらに沿岸域へ降雨等により流出している。長期にわたる河川流域における生態系への影響を評価するためには、2次的な放射性核種の移行を定量的に検討する必要がある。本研究では福島県の阿武隈川、新田川、夏井川、および同様に放射性セシウムの沈着が見られた利根川上流域を対象に、各河川水系における放射性セシウムの流出挙動とそれに影響を及ぼす要因の検討を行うことを目的とし、河川水中の懸濁態および溶存態放射性セシウムの濃度の観測を行った。

本年度は2020年11月に阿武隈川（白河、本宮、伊達、岩沼）および新田川の採水を行った。夏井川においては7、10月、利根川上流に6、8、10月に採水を行った。河川水試料（60–100L）は連続遠心により懸濁粒子を捕集した後、溶存態 ^{137}Cs をリンモリブデン酸アンモニウムにより捕集し、懸濁態と溶存態の ^{137}Cs 濃度をGe半導体検出器により測定した。懸濁態 ^{137}Cs 濃度は、阿武隈川の各観測点において1.7–12 mBq L⁻¹、新田川においては4.2 mBq L⁻¹、夏井川および利根川上流においては、それぞれ0.80–1.4 mBq L⁻¹、1.2–2.1 mBq L⁻¹の濃度範囲であった。溶存態 ^{137}Cs 濃度は、阿武隈川の各観測点において1.9–2.7 mBq L⁻¹、新田川、夏井川および利根川において、それぞれ11 mBq L⁻¹、0.33–0.39 mBq L⁻¹、1.39–2.59 mBq L⁻¹の濃度範囲であった。

河川水中の溶存態 ^{137}Cs 濃度を集水域内の ^{137}Cs 沈着量の平均値で除した、溶存態 ^{137}Cs 濃度/ ^{137}Cs 沈着量比は、利根川で最も高く（ $0.86–1.5\times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ ）、阿武隈川の伊達（ $3.0\times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ ）、岩沼（ $2.5\times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ ）、新田川（ $1.4\times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ ）、夏井川（ $5.8–6.9\times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ ）の順で低かった。このことから、利根川においては他の河川に比べて、流域に沈着した ^{137}Cs が溶存態として河川水中に流出しやすい傾向にあることを示唆している。

これまで得られている2012年以降の溶存態 ^{137}Cs 濃度の経年変化のデータと合わせて検討した結果、溶存態 ^{137}Cs 濃度/ ^{137}Cs 沈着量比は、概ね指数関数的に減少していた。それぞれの河川について求めた実効半減期は、夏井川で最も短く（1.7 y）、次いで阿武隈川（2.5 y）、利根川（7.7 y）の順に長い傾向がみられた。この半減期の違いは、上述の溶存態 ^{137}Cs

濃度/ ^{137}Cs 沈着量比の大小と関連している可能性がある。今後、これらの河川間にみられた溶存態 ^{137}Cs 濃度および半減期の違いについて支配要因を検討する必要があると考えられる。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-53】

放射性セシウムの移動媒体についての鉱物学的研究

研究代表者：小西 博巳

受入研究者：藤原 健壯・萩原 大樹

1. 研究成果報告

河川水系に沈着した放射性セシウムは、土壌粒子に吸着後、水流により移動し、下流域に再分配する。河川堆積物中の放射性セシウムを吸着する鉱物種を特定することは、将来の鉱物との収脱着の観点から重要である。近年、著者らは福島県内の河川水系において、雲母鉱物だけでなく、有色鉱物にも放射性セシウムが吸着し、移動に寄与する可能性があることを報告した。本研究では、富岡川の河床土および海底土に含まれる有色鉱物のうち、特に角閃石の結晶構造を把握することを目的として、走査型電子顕微鏡 (SEM) および透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察を行った。結果、河床土、海底土いずれの角閃石の表面には、風化に伴う変質を確認した。また、TEM 分析結果から、角閃石内部には、数 μm サイズの劈開があり、その周辺にはより細かい劈開が発達していた。さらに、劈開周辺の結晶構造や元素組成比がホストと異なることが明らかとなった。これらの結果から、角閃石の表面は、風化し、粘土鉱物に変質している可能性がある。また、劈開が角閃石内部への放射性セシウムの移動を促進させるとともに、劈開付近の変質部が比表面積を増加させ、放射性セシウムの吸着媒体としての役割を果たす可能性が示唆された。今後、風化生成物の鉱物種を同定することで、吸着機構の詳細を明らかにする。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-54】

福島県におけるツキノワグマの遺伝的集団構造と

放射性核種汚染の関係

研究代表者：根本 唯

共同研究者：斎藤 梨絵・今藤 夏子

受入研究者：玉置 雅紀

1. 研究成果報告

福島県では、同じ地域で捕獲されたツキノワグマでも筋肉中放射性核種濃度が大きく異なることが知られている。その原因の一つとして、捕獲された個体が、捕獲地域とは放射性核種汚染の程度が異なる地域から移入してきた個体である可能性が考えられる。この原因の解明には、福島県において地域間の移出入がどの程度起きているのかを調べる必要がある。そこで本研究では福島県内でのツキノワグマの移出入状況を把握するために、これまで福島県において放射性核種濃度を測定してきた個体の遺伝情報を用いて、福島県のツキノワグマにおける遺伝的集団構造を明らかにすることを目的とした。福島県において捕獲したツキノワグマ 172 個体、および、福島県内における集団構造を明確にするため、交雑の可能性が少ない兵庫県のツキノワグマ 10 個体からゲノム DNA を抽出した。これらの DNA を使用し集団構造を分析した結果、ミトコンドリア DNA コントロール領域を使用した解析により、11 のハプロタイプを検出した。同領域を用いた地理的位置情報を考慮した遺伝的集団構造解析では、当地域において3つの遺伝的集団が推定されたが、捕獲個体の筋肉中¹³⁷Cs濃度と捕獲場所の¹³⁷Cs土壌沈着量において各遺伝的集団間で有意な差は見られなかった。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文(謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-55】

松川浦から海洋への溶存放射性セシウム供給過程の解明

研究代表者：津旨 大輔

共同研究者：辻 英樹・三浦 輝

受入研究者：林 誠二・青山 道夫

1. 研究成果報告

福島第一原発事故によって陸域に降下した放射性セシウムは、河川を通じて海洋に供給され続けている。事故から10年が経過しようとしているが、継続している直接漏洩の影響によって、海洋における河川供給の影響の検出は困難であった。福島第一原発の北側で距離が遠いため直接漏洩の影響が小さい相馬沖は、松川浦を経由した河川の影響を受ける。2014年の松川浦の溶存放射性セシウム濃度は宇多川と相馬沖の濃度よりも高いことが指摘されている。これは松川浦において、溶存放射性セシウムの供給が生じていることを示唆している。松川浦から海洋への溶存放射性セシウムの供給過程の定量的な把握を目的とする。

2020年8月27日および12月15日に松川浦において、沿岸海水、沼水、泥の採取を行った。泥は容器に密封して実験室に持ち帰り、遠心分離機によって、間隙水を抽出した。海水、沼水、間隙水はろ過後、AMP法によって濃縮し、金沢大学尾小屋地下実験室で放射性セシウム濃度の測定を行った。2020年8月27日におけるCs-137濃度は、海水で2.6mBq/L、沼水で20.6-23.0mBq/L、間隙水で82.6-85.5mBq/Lであった。松川浦のCs-137濃度と交換率0.43(/day)から推定した海洋へのCs-137フラックスは $5.7E+7$ Bq/dayであった。また、間隙水のCs-137濃度から求めた間隙水から松川浦へのCs-137フラックスは $3.8E+7$ Bq/dayで同じオーダーであった。また12月15日におけるCs-137濃度は、海水で2.7mBq/L、沼水で3.9-11.6mBq/L、間隙水で84.2mBq/Lであった。海水と間隙水のCs-137濃度は8月の観測結果と違いがなかったが、松川浦のCs-137濃度は低下していた。この低下が季節変動によるものか空間変動によるものかについては、今後の検討課題となる。海底堆積物からの ^{137}Cs の溶出の可能性が指摘されているが、定量的な把握には至っていない。松川浦における間隙水中と水中の溶存 ^{137}Cs 濃度の時系列変化を観測することによって、松川浦における溶存 ^{137}Cs フラックスを推定する。海洋に比べて半閉鎖の汽水湖の松川浦は堆積物の直上水の溶存 ^{137}Cs 濃度の観測が有利となる。さらに河川水流出モデルに対し、松川浦における溶出による溶存放射性セシウムフラックスを与え、領域海洋モデルによって、相馬沖の放射性セシウム濃度の観測結果の再現を行う。

2. 発表論文リスト

2020年4月から2021年3月までに研究グループにより発表された論文（謝辞にERANによる助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。
なし

なお、ERAN共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-56】

多エクソン同時増幅と次世代シーケンスによる高線量率環境下

におけるアカネズミ遺伝子変化の経年調査

研究代表者：遠藤 大二

共同研究者：石庭 寛子・中嶋 信美・田中 美沙希

受入研究者：玉置 雅紀

1. 研究成果報告

我々は、2019 年度にアンプリコンシーケンスによるゲノム上の塩基多型を分析可能であることを示した。当該方法では PCR 産物を混合後、アンプリコンシーケンスにより混合液に含まれる PCR 産物をすべての塩基配列を次世代シーケンスデータから選択することができる。遺伝子の塩基配列をゲノム DNA から決定する場合には、エクソンの PCR 増幅産物を混合してアンプリコンシーケンスを実施する必要がある。結果的に、多数の Exon の PCR が必要となる。2019 年度には、10 塩基程度の短いプライミング位置を持つ DOP-PCR の活用を検討したが、十分 Exon 比率の高い増幅産物は得られなかった。結果的に、Exon ごとに特異的プライマーを設計し、多数の PCR を行って増幅産物を得ることが遺伝子のアンプリコンシーケンスには必要であることが示された。多数の Exon を増幅するためのプライマーのコストは、プライマーの塩基長を短縮することで抑えられるため、100 程度の遺伝子をターゲットにする方法としては、十分に検討価値があると考えた。ただし、ゲノムの抽出コストを抑える必要もあるため、増幅感度の高い方法が必要となる。我々は、2019 年度に、PCR の感度が高く、コストの低い方法として、16 塩基という短いプライマーの活用を検討し、方法として可能性のあることを示した。

本年度は、さらに効率を高めるために、プライマー設計の人工知能による効率的設計を試みたが、実用的な結果は得られなかった。代替策として、高感度な増幅を可能にする特異パターンを探索した結果、プライマー両端が 5 塩基の弱いループを形成した場合、多くのプライマーで増幅感度が高まり、同時増幅も可能であることが予備実験において示唆された。続いて、このループ配列をゲノム上で探索するプログラムを作成し、その探索に基づいて 110 組のプライマーを設計したところ 82 組がゲノムを高効率で増幅した。この結果から、ループプライマーを用いることにより、野生動物ゲノムのランダムな領域を増幅・分析可能になることが示唆された。次に、Exon を対象とした増幅を検討したが、対象となる両端ループ配列はゲノム上の 64k 塩基に 1 回程度しか登場せず、Exon を増幅する位置に存在することは稀だった。この対策として、5'端にループ形成用の配列を追加したプライマーを試行したところ高い確率で高感度の増幅が成功した。そのため、5'端に 3'端とループ配列を形成する

プライマー(付加ループプライマー)で Exon の増幅を試みることにした。この時点で、アカネズミのゲノム DNA がすでに不足していたため、イヌのゲノムでの Exon 増幅を付加ループプライマーで実施した。イヌの GM1 ガングリオシドーシス遺伝子エクソンについて、64 組の付加ループプライマーを作成して増幅を試みたところ、63 組について、高感度での特異的増幅が認められた。

これらの結果から、アカネズミの遺伝子多型をアンプリコンシーケンスを用いて検出する方法として付加ループプライマーによる増幅の有効性が示唆された。

2. 発表論文リスト

2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに研究グループにより発表された論文(謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

Kayama, Kotetsu, et al. "An improved gene synthesis method with asymmetric directions of oligonucleotides designed using a simulation program." *BioTechniques* 69.3 (2020): 211-219.

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-57】

地下生菌（トリュフ類）と小動物を介した森林内の

放射性セシウムの動態把握

研究代表者：保坂 健太郎

共同研究者：糟谷 大河・山本 航平

受入研究者：石井 弓美子

1. 研究成果報告

背景と目的

陸上生態系において菌類は種多様性が最も高く、バイオマスも最大である可能性が高い。その中でも、特にきのこ類は放射性物質の蓄積特性が高いという結果も示されている。きのこ類のうちで特に高い放射能濃度を示すものとしては、主にチェルノブイリ原発事故後の一連の研究により、樹木と共生する菌根菌が挙げられている。これまで、大部分が菌根性である地下生菌（いわゆるトリュフ類）については、放射性物質の蓄積特性が全くわかっていなかったが、昨年度の調査で一部トリュフ類の高い蓄積特性が明らかとなった。本研究ではさらなるトリュフ類を森林およびげっ歯類の糞中より採集・同定し、種ごとの放射性物質の蓄積特性を明らかにすることを目的とした。

当初予定

以下の予定であったが、新型コロナウイルスによる影響があり、自由な野外調査が実施できず、当初も予定は全く実行できなかった：

国立環境研究所福島支部の共同研究サイト（南相馬市太田川上流域）において、多様な地下生菌が発生すると予想される7月および10月に野外調査を実施し、げっ歯類の糞も同時に採集する。また、比較対象として地上生のきのこ類も採集する。採集したトリュフ・きのこ類はすべてサンプルごとに1) 証拠標本用、2) 放射能濃度測定用、に分割し、形態とDNAデータによる種同定および放射能濃度の測定を行う。

実施事項

野外調査が実施できなかったため、国立科学博物館に保管されている約12万点のきのこ標本のうち、同じ種が以下の条件で採集されているものを抜き出し、放射性セシウム濃度を測定した：

- ・同一地点（茨城県つくば市）から複数回採集されている；
- ・チェルノブイリ原発事故前後に採集されている；
- ・福島第一原発事故前後に採集されている；
- ・その後現在に至るまで引き続き採集されている。

以上の条件に基づき、該当するきのこ類 50 種を特定した。そのうち、放射性セシウムの測定に十分量を確保できる乾燥標本という条件から、クロハツ（*Russula nigricans*：担子菌門ハラタケ綱ベニタケ目ベニタケ科）の測定を実施した。

結果と考察

チェルノブイリ事故から 1 年後（1987 年）に採集された標本から 405.6 Bq/kg (DW) の ^{137}Cs を検出した。一方で福島第一原発事故直後の 2011 年 7 月に採集された個体からは ^{137}Cs が検出されなかった。その後 2011 年 10 月採集の個体からは 68.5 Bq/kg (DW) の ^{137}Cs が検出され、より最近の個体からはさらに高濃度の ^{137}Cs が検出された。このことから、以下の通り考察した：

- ①樹木との共生菌（菌根菌）であるクロハツは、セシウム飛散から吸収までのタイムラグがある；
- ②クロハツに特異的に寄生するヤグラタケは放射性セシウムをさらに高濃度に蓄積している可能性がある；
- ③他のきのこの共生・寄生・捕食系をさらに広く調べることで、菌類を介した森林内の放射性セシウムの動態把握につながる可能性がある。

2. 発表論文リスト

2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに研究グループにより発表された論文（謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-58】

沿岸ベントスにおける易分解性セシウム画分の定量と 食物連鎖移行モデルによる生物可給態移行寄与の解明

研究代表者：立田 穰

共同研究者：西川 淳・青山 道夫・浜島 靖典

受入研究者：青野 辰雄

1. 研究成果報告

【背景】福島事故以前の海洋のベントス(底生生物)におけるセシウムの濃縮係数は、15-17であった(Tateda et al., 1998)。無脊椎動物におけるセシウム代謝が速いことから、2012年以降の沿岸海水中濃度低下に伴い、無脊椎動物と海水中のセシウム濃度の関係は、事故以前の平衡状態に戻ると期待された。水産資源の甲殻類・頭足類における濃度低減は、このような知見で解釈可能であった。しかしながら、海底に生息するベントスや懸濁層を遊泳する小型甲殻類における放射性セシウム濃度は、2018年に至っても、海水濃度から期待される濃度まで低下していない。ベントスは、濃度の高い無機放射性セシウムを含む海底土層に生息していることから、観測されているベントス中濃度は、食物連鎖中を移行しない難分解性画分を含む可能性がある。そこで、本研究ではベントス中の放射性セシウムのうち生物移行への寄与分を求める。

【方法】2018年に、福島沿岸で採取分析済みのベントス試料について、過酸化水素処理し、分解後の抽出画分もしくは残渣画分における放射性セシウム濃度を、井戸型ゲルマニウム検出器ガンマ線スペクトロメータで測定した。得られた画分中濃度と、分解前試料中濃度から、易分解性画分と難分解性画分の比率を求めた。易分解性画分を有機態とみなし、食物連鎖を介して移行可能な生物可給態放射性セシウムについて、みかけの濃縮係数に対する、ベントス中有機体放射性セシウムの、海水濃度に対する濃縮比を求めた。

【試料】2018年の新青丸の研究航海KS-18-12において、福島沿岸でベントスを採取した。採取したベントスは船上培養により付着物および消化管内容物を排出させ、湿重量測定後、凍結乾燥により乾燥した。解剖可能な種は筋肉を採取し、そうでないものはベントス全体を、メノウバチで粉末化し、分析用試料とした。方法で述べた前処理作業は電力中央研究所で、測定は金沢大学低レベル放射能測定施設で、またスペクトル解析は筑波大学が行った。

【結果】測定した海水中放射性セシウム濃度に対して、2018年の福島沿岸のベントスにおける放射性セシウムのみかけの濃度比(濃縮係数CFあるいは濃縮比CR)は、福島第一原子力発電所F1NPP全面海域では、およそ20から100であった。培養前・培養後の濃度比に著しい差は認められなかった。F1NPP北部沿岸に比較して、南岸における濃度比が大き

い傾向が認められた。また、二枚貝・環形動物では濃度比が数百に達した。

試料量が十分にあったベントスについて、過酸化水素抽出画分中放射性セシウム濃度から導いた、易分解性放射性セシウムの海水中濃度に対する濃度比 CR は、培養前エビジャコでおよそ 70 であったが、培養後のエビジャコ、カニ、エビでは事故前濃縮係数と、ほぼ同オーダーであった。環形動物の易分解性放射性セシウム濃度比は 500 程度であった。

【考察】2018 年の福島沿岸のベントス中放射性セシウムは、必ずしもすべてが食物連鎖移行に寄与はしていないと考えられた。Ishimaru ら 2019 によって示されたシロメバル中放射性セシウムの濃度推移は、モデル解析において餌生物における生物可給態画分を 8 から 18% とすると、実測値を最も再現できたことから、本研究で示されたベントス中総放射性セシウムについても、エビジャコ・カニなどの甲殻類については、必ずしも食物連鎖移行に寄与しないと理解された。しかしながら、環形動物については、易分解性画分濃度を用いても、海水濃度に対して期待された濃度より高かったことから、海底環境中の供給源を想定せざるを得ないかもしれない。

【今後の課題】福島県沿岸では魚類中濃度は充分低下しているものの、ベントスを海底土とともに捕食するいくつかの種のカレイでは、その濃度低下が、海底土中の易分解成分濃度の低減に近似していたことから、濃度低減遅延への寄与の可能性があることが提起されている (Tateda et al., 2020)。このような特殊な食物連鎖における放射性セシウム移行の科学的機序を明らかにしておく必要がある。また、海底環境における放射性セシウムが、初期沈着の残存分であるか、河川による陸域流入寄与かについても定量的に解明する必要がある。

2. 発表論文リスト

2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに研究グループにより発表された論文 (謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む)。

特になし

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>

【F-20-59】

マイルドプラズマ質量分析法による鉛同位体分析法の検討

研究代表者：朱 彦北

受入研究者：鄭 建

1. 研究成果報告

【概要】

誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS）は放射性物質関連の同位体分析に有効であるが、連続運転の場合は大量なアルゴンガス（約 20 L/min）が消費される。そこで、同位体の連続モニタリングのコスト削減のために、安価なイオン化源と質量分析計を組み合わせた装置の開発が期待される。本研究は、このような装置開発のための予備検討を行った。

【実験】

ICP-MS を用いて、従来の操作条件（プラズマ温度 6000～7000 K）に比べ、より低温的なプラズマ条件下（プラズマ温度約 4000～5000 K）での鉛同位体分析の感度・精度・再現性などの指標について検討し、放射性物質関連同位体分析に求められる指標が達成可能性を検証した。

【結論】

タンデム四重極型 ICP-MS と鉛元素標準液（20 ppb）を用いて検討した結果、RF power の低下に伴い分析感度の低下が見られたが、鉛同位体比分析における不確かさに大きな変化は見られなかった。

窒素プラズマ温度相当条件において、分析感度に約 5%程度の低下が見られたが、²⁰⁶Pb/²⁰⁸Pb 同位体比の平均値と不確かさは、アルゴンプラズマ条件と同等であった。

以上のことから、ICP-MS と同等な分析性能を持つ窒素プラズマに基づいた鉛同位体比分析用装置と方法の開発は期待できる。

2. 発表論文リスト

2020 年 4 月から 2021 年 3 月までに研究グループにより発表された論文（謝辞に ERAN による助成が明記されているもの、もしくは研究代表者・受入研究者が共著に入っているもの。受理済の論文を含む）。

該当なし

なお、ERAN 共同研究による論文が出版された際には以下のフォームよりご報告ください
<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/ernc/sending-paper-information/>