



ERAN

Environmental Radioactivity
Research Network Center
放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点

2025 年度 成果報告書 FY2025 Annual Report



筑波大学
アイソトープ環境動態研究センター



福島大学
環境放射能研究所



弘前大学
被ばく医療総合研究所



F-REI 福島国際研究教育機構



環境科学技術研究所

放射能環境動態・影響評価
ネットワーク共同研究拠点（ERAN）

FY2025 Final Report

【重点/Priority 共同研究】

重点共同研究（日本国内機関所属）

採択No.	研究代表者名	所属機関	職名・学年	課題名	受入研究者	受入機関	共同研究者
P-25-01	那須 康輝	福島県環境創造センター	副主任研究員	阿武隈川流域における河川水中の放射性セシウムに関する測定データの解析	恩田 裕一	CRiES	Fan Shaoyan 福田 美保 谷口 圭輔 和田 理志
P-25-02	平野 篤	東京電力ホールディングス株式会社	首席研究員	森林生態系における放射性物質の循環にかかわる樹皮の剥離過程の解析	恩田 裕一	CRiES	
P-25-03	星 正治	広島大学	名誉教授	カザフスタンの核実験場やウラン鉱山近郊住民の放射線被曝とその影響及び放射性微粒子の動物実験	坂口 綾	CRiES	横山 明彦
P-25-04	市村 晃一	東北大学	助教	次世代宇宙素粒子実験のための有機物材料中極微量放射性元素の高感度測定手法の確立	坂口 綾	CRiES	高久 雄一 細川 佳志 三宅 春彦 見藤 駿 佐々木 息吹 岸本 康宏 蜂谷 尊彦
P-25-05	伏見 賢一	徳島大学	教授	宇宙素粒子探索のための無機シンチレータ結晶の純化方法確立	坂口 綾	CRiES	梅原 さおり 黒澤 俊介
P-25-06	保倉 明子	東京電機大学	教授	偏光光学的蛍光X線分析装置を用いる環境水中のヨウ素および微量重元素の迅速定量法の開発	坂口 綾	CRiES	高久 雄一 所 雅人 工藤 菜 塩見 嵐 水谷 晶代
P-25-07	廣瀬 勝己	認定NPO法人富士山測候所を活用する会	第一研究部長	極東海域の海水中のプルトニウムの時間変動：気候変動の影響	津旨 大輔 坂口 綾	CRiES	
P-25-08	速水 洋	早稲田大学	教授	海域観測と海洋モデルと連携した福島沖海域における降水と霧に対する数値気象モデルと137Cs大気放出シナリオの検証	津旨 大輔	CRiES	
P-25-09	関口 俊男	金沢大学	准教授	日本海域の海洋環境の基礎情報と環境放射能のデータベース化による共同研究	津旨 大輔	CRiES	松木 篤 松中 哲也 本田 匡人 井上 睦夫 猪股 弥生
P-25-10	猪股 弥生	金沢大学	准教授	海洋放射能データベースを利用した北半球太平洋における海洋循環	津旨 大輔	CRiES	
P-25-11	太田 朋子	長岡技術科学大学	准教授	森林中の放射性ヨウ素の降下量	津旨 大輔	CRiES	馬原 保典 速水 洋 松崎 浩之
P-25-12	丸山 隼人	北海道大学	助教	シロバナルーピンのCs体内分配に関わるHKT遺伝子の機能解析	古川 純	CRiES	樹本 和昭
P-25-13	宇都宮 聡	九州大学大学院	准教授	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：CsMPの生成時期と動態解析	山崎 信哉	CRiES	宮崎 加奈子 山本 朋希
P-25-14	辻 英樹	福島国際研究教育機構(予定)	未定	河川水における温度と137Cs分配係数の関係の熱化学的検証	五十嵐 康記 脇山 義史	CRiES	
P-25-15	柴田 智郎	福岡大学	教授	断層活動に関連する地殻流体中のヘリウム同位体の特徴と時間変動	丸岡 照幸 山中 勲	CRiES	
P-25-16	高橋 良	北海道立総合研究機構	主査	温泉・火山ガスの硫黄同位体比を用いた火山活動評価の検討	丸岡 照幸	CRiES	
P-25-17	越後 拓也	秋田大学大学院	准教授	窒素同位体比分析に基づく浅熱水性金鉱床の成因研究	丸岡 照幸	CRiES	
P-25-18	小林 孝行	日本大学	准教授	森林植生がもたらす樹幹流がアロフェン質黒ボク土の理化学性と放射性セシウム動態に及ぼす影響	高橋 純子	CRiES	
P-25-19	吉川 英樹	東京慈恵会医科大学	訪問研究員	樹皮表面に繁殖する苔類による放射性セシウム保持についての研究	難波 謙二	IER	箕輪 はるか
P-25-20	有馬 ボシールアハammad	山形大学	准教授	選択的に水中の重金属イオンの除去するために多孔性と磁性粉体の開発	ラハマン モハマド モフィズル イスマイル	IER	Begum Zinnat Ara Anju Anjuman Nesa
P-25-21	杉原 真司	大分大学	特任准教授	年輪中有機結合型トリチウム（OBT）から見たトリチウムの拡散予測	平尾 茂一	IER	
P-25-22	Cauquoin Philippe Alexandre	Institute of Industrial Science, The University of Tokyo	Project Assistant Professor	Simulation of anthropogenic tritium discharge into the ocean due treated water release from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant	グンエフ マキシム	IER	芳村 圭 小室 芳樹
P-25-23	渡部 敏裕	北海道大学	准教授	FT-IRを用いた交換性放射性セシウム予測モデルの開発	二瓶 直登	IER	信濃 卓郎 丸山 隼人 岩井 純平
P-25-24	Hu Jun	National Institutes for Quantum Science and Technology	Researcher	The development of CR-39-based alpha spectrometer	床次 眞司 大森 康孝 クランロッド チュティマ	IREM	
P-25-25	安岡 由美	神戸薬科大学	准教授	排気モニターによる大気中ラドン濃度の測定について	床次 眞司 細田 正洋 大森 康孝	IREM	向 高弘
P-25-26	有吉 健太郎	福島県立医科大学	准教授	野生動物におけるバイスタンダー効果の解析	三浦 富智	IREM	
P-25-27	中田 章史	北海道科学大学	准教授	プロモーター領域におけるDNAメチル化状態の解析	三浦 富智 山内 一己	IREM	山城 秀昭
P-25-28	山城 秀昭	新潟大学	教授	インド ケララ州の高自然放射線地域におけるクマネズミの精子形成能評価	三浦 富智	IREM	中田 章史
P-25-29	栗田 直幸	名古屋大学	准教授	青森県弘前市で採取された降水の同位体地球化学的特徴	赤田 尚史 アンダーソン ドノヴァン	IREM	柳澤 文孝 高橋 祥基 北山 結彩 James William Stephenson Chuenbubpar Darunwan
P-25-30	杉原 奈央子	（公財）海洋生物環境研究所	主査研究員	二枚貝貝殻を用いた週及的放射性核種モニタリング手法の確立	田副 博文	IREM	白井 厚太郎 山田 正俊

重点共同研究（日本国内機関所属）

採択No.	研究代表者名	所属機関	職名・学年	課題名	受入研究者	受入機関	共同研究者
P-25-31	古川 理央	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	主任研究員	放射性希ガスモニタ校正に向けた標準測定器の精度評価	大森 康孝	IREM	原野 英樹
P-25-32	田中 将裕	核融合科学研究所	准教授	大気中のトリチウム濃度測定とその化学形態別評価	柿内 秀樹	IES	
P-25-33	小林 大輔	福島県立医科大学	講師	セシウムの経皮移行と体内分布	柿内 秀樹 田副 博文	IES	永峰 恵介
P-25-34	小松 仁	福島県環境創造セン ター	主任研究員	福島県内におけるイノシシの放射性セシウム濃度の長期モニ タリング	柿内 秀樹	IES	村上 貴恵美 神田 幸亮
P-25-35	壁谷 昌彦	福島県野生生物共生 センター	専門獣医技師	福島県内における野生傷病鳥獣等の放射性セシウムのモニ タリング	柿内 秀樹	IES	村上 貴恵美 小松 仁 神田 幸亮 稲見 健司
P-25-36	信濃 卓郎	北海道大学	教授	セシウムの吸収・移行に及ぼす生育環境の影響	海野 佑介 武田 晃	IES	富宅 優晴
P-25-37	中尾 淳	京都府立大学	Associate Professor	土壌中での放射性セシウムの難交換態化を駆動する鉱物の実 態解明	武田 晃	IES	橋井 一樹 坂井 亜優
P-25-38	大森 裕子	筑波大学	助教	海中における有機結合型トリチウムの残存率推定に向けた有 機物の分解・残存過程の解明	佐藤 雄飛	IES	小野 つかさ
P-25-39	桐原 慎二	八戸工業大学	Professor	餌料中FWTを用いた魚類筋肉中のOBTへの移行実験	石川 義朗	IES	
P-25-40	宗林 留美	静岡大学	准教授	富士山の地下水の化学的特性	石川 義朗	IES	
P-25-41	笹谷 めぐみ	広島大学	教授	低レベル放射線による発がんリスク評価を目指した高感度検 出系の開発	山内 一己	IES	
P-25-42	大野 みずき	九州大学	Assistant Professor	低線量放射線影響評価のためのマウス活性酸素種の影響の検 討	山内 一己	IES	
P-25-43	藤通 有希	電力中央研究所	主任研究員	放射線による腫瘍発生部位の競合に関する研究	小村 潤一郎	IES	吉田 和生 内之宮 光紀 木村 建貴 橋 拓孝
P-25-44	石川 敦子	量子科学技術研究開 発機構	主任技術員	低線量放射線被ばく実験データベースおよびマウス組織標本 デジタルアーカイブのフォーマットの共通化とその活用方法 の検討	中平 嶺	IES	森岡 孝満 山田 裕 金 佳香
P-25-45	渡邊 未来	国立環境研究所	主任研究員	福島県の森林における野外菌床栽培キノコへの137Csの移行 と蓄積	林 誠二 操上 広志 佐々木 祥人	F-REI	境 優
P-25-46	佐久間 一幸	日本原子力研究開発 機構	研究副主幹	太田川上流域を対象とした福島事故後初期のセシウム流出場 の再構築	林 誠二 操上 広志	F-REI	
P-25-47	中西 貴宏	日本原子力研究開発 機構	主任研究員	河川水中放射性セシウム観測のためのカートリッジフィル ターの選定	辻 英樹	F-REI	那須 康輝

阿武隈川流域における河川水中の放射性セシウムに関する測定データの解析

研究代表者：那須 康輝

受入研究者：恩田 裕一

共同研究者：Fan Shaoyan

福田 美保

谷口 圭輔

和田 理志

1. 成果

1. 背景と目的

2011 年 3 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故に伴い、Cs-134 及び Cs-137 などの放射性物質が環境中へと放出された。陸域における Cs-137 の蓄積量は、約 2.7 PBq と推定された[1]。陸域に沈着した放射性セシウムは、河川を經由し海へと移行する。この移行状況を把握するため、2011 年 6 月から阿武隈川水系で筑波大学が河川調査を開始し、2015 年 4 月に福島県環境創造センターが引き継ぎ、現在まで継続して調査を行ってきた。2021 年 2 月までに取得したデータは、ERAN データベースにて既に公開している[2]-[5]。本研究では、2021 年 4 月から 2025 年 2 月までに取得したデータについて精査及び整理を行った。

2. 測定データについて

阿武隈川水系の 17 地点で下記の試料を採取し、測定を行った。

(1)浮遊砂

浮遊砂は、各地点で浮遊砂サンプラー[6]を用いて、年 4 回程度試料を回収した。回収した浮遊砂を凍結乾燥し、Cs-134 及び Cs-137 濃度の測定を Ge 半導体検出器で、粒度分布の測定を粒子径分布測定装置で、それぞれ行った。

(2)河川水

河川水は、各地点で平水時に年 2 回程度採取した。採水時に水温、pH 及び電気伝導度を測定した。採水した河川水をセシウムモニタリング用カートリッジフィルタ (RP13-011、日本バイリーン) に通水し、さらにろ液を陽イオン交換樹脂 (デュオライト C20、デュポン社) に通水した。カートリッジおよび陽イオン交換樹脂に含まれる Cs-134 及び Cs-137 濃度の測定を Ge 半導体検出器で行い、それぞれ懸濁態、溶存態とした。

3. 成果および今後の展開

2021 年 4 月から 2025 年 2 月までに取得した阿武隈川水系の各測定データを、採取地点の緯度、経度、標高及び採取日時を含めて整理し、近日中に ERAN データベースに登録する予定である。福島県浜通り地域を流れる二級河川においても同様のデータを取得しており、今後データを整理し、ERAN データベースへの登録を目指す予定である。

参考文献

- [1] Kato et al., 2019, J. Environ. Radioact. 210, 105996.
- [2] Taniguchi et al., 2020, <https://doi.org/10.34355/CRIED.U.Tsukuba.00020>.
- [3] Taniguchi et al., 2020, <https://doi.org/10.34355/Fukushima.Pref.CEC.00021>.
- [4] Takeuchi et al., 2023, <https://doi.org/10.34355/Fukushima.Pref.CEC.00115>.
- [5] Takeuchi et al., 2023, <https://doi.org/10.34355/Fukushima.Pref.CEC.00143>.
- [6] Phillips et al., 2000, Hydrol. Process. 14, 2589-2602.

2. 論文

森林生態系における放射性物質の循環にかかわる樹皮の剥離過程の解析

研究代表者：平野 篤

受入研究者：恩田 裕一

1. 成果

福島第一原子力発電所事故により森林に降下した放射性 Cs は、樹皮と強固に結合し、木材利用の足枷となっている。さらに、樹皮を介して放射性 Cs が樹体内部へと拡散すれば、影響は深刻化する。本研究では日本スギ (*Cryptomeria japonica*) を対象に (1) 樹幹表面の放射性 Cs を減少させる樹皮剥離過程の定量化と、(2) 樹体内部への放射性 Cs の拡散経路となり得る樹皮の亀裂の観察を行った。組織観察法と、塗装した樹皮表面を経時観察する 2 手法を併用し、樹皮の剥離周期を 9～23 年 (平均 15 年程度) と推定した。剥離周期の個体差は、成長速度や生育環境では説明できず、樹皮更新過程に固有の変動性が存在することが示唆された。亀裂周辺組織のダメージを観察し、亀裂による樹皮破断面を起点とした師部繊維の膨張が組織崩壊をもたらし、放射性 Cs の浸透経路を形成し得ることを確認した。一方、亀裂が内樹皮に到達することで、放射性 Cs が樹体内に拡散する可能性を示唆する観察結果を得た。これらの結果より、樹皮中の放射性 Cs 動態は、剥離による減少と、亀裂を介した内部への移行という両面から評価する必要があり、継続的なモニタリングの必要性が示された。

2. 論文

カザフスタンの核実験場やウラン鉱山近郊住民の放射線被曝とその影響 及び放射性微粒子の動物実験

研究代表者：星 正治

受入研究者：坂口 綾

共同研究者：横山 明彦

1. 成果

F-25-03_Corrased_PO カザフスタンの核実験場やウラン鉱山近郊住民の放射線被曝とその影響及び放射性微粒子の動物実験

(Effects of radiation exposure on residents living around nuclear test sites and uranium mines in Kazakhstan, and animal experiments of radioactive microparticles)

M Hoshi (PI, Hiroshima Univ), A Kushugulova (Nazarbayev Univ), S Tokonami, Y Omori (Hirosaki Univ), A Sakaguchi (AR), Y Onda (Univ Tsukuba), M Bakhtin, D Ibrayeva, M Aumalikova, Y Kashkinbayev, P Kazymbet (Astana Med Univ), S Endo, N Fujimoto, N Kawano (Hiroshima Univ), S Toyoda (Okayama Univ Sci), H Sato (IPUMS), Z Serikov, A Klivenko, S Dyussebaev (Shakarim Univ), K Zhumadilov (Eurasian Univ), S Shinkarev, (Biophys), V Stepanenko (MRRC), K Apsalikov A Lipikhina (SRIRME), B Grosche, E Ostroumova (IARC), Z Zhumadilov

Our studies:

Our international research group has been conducting comprehensive research on radioactive contamination, radiation doses, and their effects in Kazakhstan since 1994. The content of this research is as follows.

(1) Assessment of radiation doses and risks around the people near the Semipalatinsk nuclear test site.

(2) Radon and atmospheric dust measurements in the uranium mining area.

(3) The effects of exposure to radioactive microparticles through animal experiments.

Results:

(1) Radiation doses of the exposed have been estimated using archival data, Cs-137 deposition and etc. Risks will be estimated. We wrote two papers as follows and final papers of individual dose estimation is soon published. By this final paper of dosimetry we will estimate radiation risks using about 30,000 registry of exposed people.

1. Stepanenko et al. J. Radiat. Res., 65, 2024, 36–46, <https://doi.org/10.1093/jrr/rad082>,

2. Ibid, J. Radiat. Res., 66, 2025, 496-508, <https://doi.org/10.1093/jrr/rad049>.

(2) The results of the radiation measurements such as radon have been obtained. Now epidemiological studies are going on. From these data we made some advises for its protection and further necessary studies. Our recent study related to the radon

measurement and dosimetry are as follows:

1. Tokonami et al. J. Radiol. Prot. 43 (2023) 023501 <https://doi.org/10.1088/1361-6498/acda41>, 2. A. Bagramova et al. Radioanal. Nucl. Chem., 334, 2025, 381-387, <https://doi.org/10.1007/s10967-024-09839-2>, 3. K. Zhumadilov et al. Environmental Challenges 18, 2025, 101098, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101098>.

(3) Animal experiments on exposure to radioactive microparticles using Si-31 have been analyzed and found its uniqueness comparing with external exposure. Related dosimetry studies are published in

1. Stepanenko et al. J. Radiat. Res., 2024, 65, 744-751, doi: 10.1093/jrr/rrae063, 2. Ibid, J. Radiat. Res., 66, 2025, 16-23, <https://doi.org/10.1093/jrr/rrae096>.

About the effects for rats Fujimoto et al found gene expression specific to Si-31, which led to the discovery of a new effect of radioactive particles on rats, following on from Mn-56, which is published in 3. Fujimoto et al., Int. J. Mol. Sci. 26, 2025, 2693, <https://doi.org/10.3390/ijms26062693>.

We also discovered a specific effect on the rat intestinal microflora, and a paper on this is currently in preparation.

2. 論文

次世代宇宙素粒子実験のための有機物材料中極微量放射性元素の高感度測定手法の確立

研究代表者：市村 晃一

受入研究者：坂口 綾

共同研究者：高久 雄一，細川 佳志

三宅 春彦，見藤 駿

佐々木 息吹，岸本 康宏

蜂谷 尊彦

1. 成果

世界最高感度でニュートリノの出ない2重ベータ崩壊探索を行っている KamLAND-Zen 実験では、さらなる高感度探索のために検出器の極低放射能化を計画している。次世代 KamLAND2-Zen 実験では検出器材料としてポリエチレンナフタレート製シンチレーションフィルムや波長変換剤(Bis-MSB)などの有機物を用いる計画がある。それら有機物中に含まれる天然の極微量放射性核種による信号が妨害シグナルになることから ^{238}U や ^{232}Th について濃度の上限值が定められている(シンチレーションフィルムについては ^{238}U , ^{232}Th とも 10 ppt 未満、波長変換剤については ^{238}U は 30 ppt, ^{232}Th は 1 ppt 未満)。本研究では乾式灰化法を用い、有機物中の放射性元素を ppt レベルで測定する手法の確立、および確立した手法による極低放射能検出器部材の選定を目的としている。

2024 年度の研究で波長変換剤の純化が必要であると判明したため、2025 年度は波長変換剤の純化プロセスの確立と純化性能の評価を行った。2024 年度に試みていた偏析法による純化方法に加え、溶解度の温度依存性を活かした再結晶法による純化も試みた。また、これらの手法を繰り返し適用することで ^{238}U , ^{232}Th 量の低減が見られるかの評価も行った。

偏析法を3回繰り返し適用した試料中の ^{238}U , ^{232}Th 量を評価したところ、元々の試料から ^{238}U は約 140 分の1、 ^{232}Th は約 200 分の1まで低減することができたが、目標値までは ^{238}U 量はさらに3分の1に、 ^{232}Th 量は6分の1に低減する必要があり、純化での低減量に頭打ちの傾向が見られることも判明した。

再結晶法による純化を5回繰り返した試料中の ^{238}U 量は約 46 ppt, ^{232}Th 量は約 2 ppt と、目標値には到達しなかったが元々の試料からそれぞれ約 330 分の1、約 430 分の1まで低減を達成した。再結晶法による5回の純化では低減量の頭打ちの傾向も見られず、あと数回の純化で目標値を達成できる見込みが得られた。純化処理量に関しても約 25g の1回純化に10日必要な偏析法と比較し、再結晶法では1回あたり約 20g を1日で純化できることから現状再結晶法が最適であることが本共同研究で判明した。

来年度以降も再結晶法による純化を軸に研究を継続し、KamLAND2-Zen 実験への極低放射能波長変換剤導入に向けたプロセスの確立を目指す。

2. 論文 なし

宇宙素粒子探索のための無機シンチレータ結晶の純化方法確立

研究代表者：伏見 賢一

受入研究者：坂口 綾

共同研究者：梅原 さおり

黒澤 俊介

1. 成果

フッ化カルシウムの純度向上に関する開発を行った。フッ化カルシウムに含まれるウランおよびトリウムの濃度を 1 ppt 程度以下まで低減させるため、フッ化カルシウムの原料に含まれるウランおよびトリウムの濃度を低減させる方法を検討した。同時に、試料に含まれるウランおよびトリウムの濃度を 1 ppt よりも低い濃度を測定できる感度で計測する方法を開発した。

昨年度までの研究結果により、試料の調整段階におけるウランおよびトリウムの汚染を防ぐ方法が必須であることと、ウラン・トリウムの回収方法の効率化が重要であることを確認した。

今年度は試料調整段階の汚染を防ぐための環境整備を行い、試料準備に伴う汚染をほぼゼロにすることができた。

次に、ウラン・トリウムの除去方法について検討した。これらの除去には樹脂による吸着を行ってウランとトリウムを水溶液から除去する必要がある。この過程で大量の濃硝酸を使用する必要があり、将来の大規模化に向けたコスト低減が重要な課題であった。本研究によって、濃硝酸の濃度が低い場合においても機能する樹脂を探索し、これまで 8 M の高濃度が必要であったところを 1 M の硝酸によって十分な純化効率を得ることができ、目標としていた 1 ppt の純度を達成することに成功した。

2. 論文

伏見 賢一・天羽悠太・D.Chernyak・江尻宏泰・畑和実・碓隆太・飯田 崇史・池田 晴雄⁵・今川 恭四郎・井上 邦雄・伊藤 博士・岸本 忠史・古賀 真之・小寺健太・A. Kozlov・黒澤俊介・永見 未空・中村 健悟・西島渉悟・折戸 玲子・坂口 綾・嶋達志・高久 雄・竹本 康浩・梅原 さおり・浦野 雄介・山路 晃広・山本 祐平・保田 賢輔・吉田 斉、「宇宙・素粒子分野における、極微量元素除去技術を応用したシンチレータの高純度化技術」、『日本結晶成長学会誌』Vol. 52, No.2(2025) 52-2-04.

偏光光学系蛍光 X 線分析装置を用いる環境水中のヨウ素および微量重元素の迅速定量法の開発

研究代表者：保倉 明子

受入研究者：坂口 綾

共同研究者：高久 雄一，所 雅人

工藤 栞，塩見 嵐

水谷 晶代

1. 成果

環境水中の元素測定は、ヒトの健康リスク評価や環境汚染の監視、生態系の保全に直結する重要な課題であり、臭素やヨウ素は、動植物の生存や生長に影響を及ぼすことが知られている。我々は、偏光光学系蛍光 X 線分析装置を用いた土壌中の臭素およびヨウ素の定量を実現しており、標準添加法により正確な分析が可能であることを示した。しかし、環境水中の濃度は著しく低いため、XRF による測定には高倍率の濃縮法との併用が不可欠である。本研究では、陰イオン交換樹脂を用いたバッチ法による高倍率濃縮を前処理に導入し、環境水中のヨウ素および微量元素の迅速な定量法の開発を目的とした。

前処理には、強塩基性陰イオン交換樹脂 Muromac XSA-2415 HG（室町ケミカル）を用いた。臭素酸ナトリウムまたはヨウ素酸ナトリウムを超純水に溶解し、濃度既知の標準溶液を調製して適宜希釈した。ビーカーに調製溶液 5.0 L および陰イオン交換樹脂 5.0 g を入れ、スターラーで 2 時間攪拌した。一定時間経過後に、上澄み溶液 5.0 mL を分取し、ICP-MS（Agilent 8800）で臭素およびヨウ素濃度を測定し、樹脂に捕捉されず溶液内に残った元素の残存率の測定を行った。攪拌後の樹脂は減圧濾過により回収し、40 °C で 24 時間熱乾燥し、樹脂 2.0 g を偏光光学系エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（Epsilon 5, PANalytical）の測定に供した。測定条件は、X 線管球電圧 80 kV、電流 6 mA とし、二次ターゲット材に Zr, Mo, Al₂O₃ を用いて、計数時間 600 ~ 3600 秒とした。

臭素とヨウ素を 10 ppb 含む溶液と樹脂を攪拌し、ICP-MS により溶液中の経時変化を測定したところ、各元素の強度（cps）は時間とともに減少し、120 分後の残存率は、臭素 3.4 %、ヨウ素 4.1 % となり、両元素がほぼ定量的に樹脂へ捕捉されることが確認された。すなわち、約 1000 倍の濃縮が達成されたことになる。XRF 測定時の検出下限値について吸着率を考慮し溶液中濃度として算出したところ、臭素が 0.1 ppb（計数時間 600 秒）、ヨウ素は 0.3 ppb（計数時間 3600 秒）となった。各元素の濃度既知溶液と樹脂を攪拌し、回収した樹脂を XRF で測定することにより、検量線を作成したところ、良好な直線性を示した。

以上より、本研究で構築した樹脂濃縮-XRF 測定法により、環境水中の微量元素を高感度に定量できる可能性が示された。現在、ミネラルウォーターへの適用実験を進めており、実試料分析への展開をしている。

2. 論文 なし

極東海域の海水中のプルトニウムの時間変動：気候変動の影響

研究代表者：廣瀬 勝己

受入研究者：津旨 大輔

坂口 綾

共同研究者：P.P. Povinec、猪股弥生

山田正俊、J. Zheng

1. 成果

人工放射性核種の中でも、プルトニウムは半減期も長く放射能毒性も高いので監視すべき核種である。また、 ^{137}Cs と異なり、生物起源の有機物と化学的に親和性が高く、生物地球化学的トレーサーとして有用と考えられている。1960 年代以降、海洋の海水、堆積物等に含まれるプルトニウム($^{239,240}\text{Pu}$)の測定が行われてきた。 ^{137}Cs と比較して海水中の $^{239,240}\text{Pu}$ 濃度のデータは少なく解析例は比較的少ない。極東海域に含まれる西部北太平洋、特に日本周辺海域で海水温の上昇速度が大きく日本海と同様に気候温暖化の影響を受けやすい海域である。本研究では西部北太平洋の海水中の $^{239,240}\text{Pu}$ の時系列データに着目してその挙動を研究した。

解析には筑波大の HAM データベースを使用した。なお、1987 年から 2021 年まで海上保安庁のデータが含まれる。特に、亜寒帯の 40°N 、 144°E と亜熱帯域の 30°N 、 147°E では不完全ながら時系列データが得られているので活用した。

海洋における $^{239,240}\text{Pu}$ の挙動を理解するために、表面水中の $^{239,240}\text{Pu}$ 濃度の時間変化を調べた。西部北太平洋は大きく分けると、黒潮を含む亜熱帯循環と親潮に代表される亜寒帯循環に分けられる。この研究では、亜熱帯循環域を黒潮・黒潮再循環域及び北赤道海域の 2 つの海域に分けて解析した。北赤道海域には、サンゴのコアのバンドの $^{239,240}\text{Pu}$ 濃度の分析が行われ濃度が指数関数的に減少することがわかっている。1968 年から 1980 年までは見かけの半減時間 6.4 年で減少することが分かった。亜熱帯循環域では、海水中の $^{239,240}\text{Pu}$ 濃度は同様の見かけの半減期で減少していることが分かった。一方、亜寒帯域では、比較的データは少ないが、2000 年までは表面海水中の $^{239,240}\text{Pu}$ 濃度が高いレベルで推移した。2010 年以降は、表面海水中の $^{239,240}\text{Pu}$ 濃度は亜熱帯循環域と同じ見かけの半減時間で減少していることが分かった。海洋の気候変動の影響の研究によると 21 世紀に入って、温暖化により黒潮の流れが北にシフトしていることが明らかにされていることを考慮すると、 $^{239,240}\text{Pu}$ の結果は亜熱帯循環が強化され北にシフトしていることを反映していることと推測される。

2. 論文 なし

海域観測と海洋モデルと連携した福島沖海域における降水と霧に対する 数値気象モデルと 137Cs 大気放出シナリオの検証

研究代表者：速水 洋

受入研究者：津旨 大輔

1. 成果

福島第一原子力発電所事故により大気中に放出された 137Cs の量は、最近の研究で 10 PBq と推定されている (Terada et al., 2020)。しかしながら陸風時の大気放出シナリオは不確実性が大きく、海域観測データを説明するには 15~18 PBq 相当の大気放出が必要とされる (Aoyama et al., 2016)。本研究はこのギャップを埋めるべく、福島沖海域を対象に大気モデルと海洋モデルの連携により海上に輸送された 137Cs の大気放出シナリオを再構築することを最終目標としている。

前述のギャップは陸風時の大気放出量に加えて、海上での大気降下率が小さくてももたらされうる。海上においても効果的な降下プロセスは湿性沈着と考えられるが、そもそも大気モデルは海上の降水を的確に再現できるのか。そこで 2025 年度は昨年度に引き続き、数値気象モデルによる降水の再現性を検証した。

数値気象モデルとして WRF v.4.5.2 (Weather Research and Forecasting ; Skamarock et al., 2019) を使用し、海上降水量の再現性を調べた。計算領域は東日本とその東側海域で、5 km 格子で東西 193×南北 203 の範囲とした。計算は 2011 年 3 月 1 日を開始時刻として、11~31 日を評価期間とした。入力データとして、MODIS (土地利用)、客観解析 (FNL/MSM)、海面温度 (GHR SST) を使用した。放射性物質は Terada et al. (2020) の放出シナリオを使用し、大気中の輸送と沈着は CAMx v.7.3.2 (Comprehensive Air quality Model with extensions ; RAMBOLL, 2024) を改造して計算した。既往研究 (Kajino et al., 2019; Terada et al., 2019) を参考に WRF の構成を 3 パターン用意し、計算結果を気象庁レーダー・アメダス解析雨量 (緯度経度 0.1 度×1 時間) および航空機サーベイによる空間線量率と比較し、最善の構成を抽出した。このモデルによる 137Cs と 129I の観測濃度 (Ebihara et al., 2020) と比較したところ、双葉町では過小予測となったが、それ以外の地点はよく整合していた。なお、129I の放出は 131I に対する比を一定と仮定して与えた。今後は、この結果を用いて福島沖海域への沈着量を求め、海洋モデルと連携することで陸風時の大気放出シナリオの検証を行っていく。

2. 論文 なし

日本海域の海洋環境の基礎情報と環境放射能のデータベース化による共同研究

研究代表者：関口 俊男

受入研究者：津旨 大輔

共同研究者：松木 篤、松中 哲也

本田 匡人、井上 睦夫

猪股 弥生

1. 成果

本研究では、金沢大学環日本海域環境研究センター（環日センター）が蓄積してきた環日本海域の環境データについて、その学術的利活用を一層促進することを目的として、筑波大学の放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点（ERAN）データベースとの連携を通じたデータ基盤の高度化を目指す。近年のオープンサイエンスの進展を背景に、観測データの公開と再利用性の確保は重要性を増しており、とりわけ DOI（Digital Object Identifier）を付与したデータ公開は、研究データを引用可能な学術資源として位置付ける上で有効な手段とされている。本研究では、環日センター独自に構築・運用してきたデータベースに収録された多様な環境データを対象に、ERAN データベースへの転載および DOI 付与を進めることにより、データの永続性および可視性の向上を図った。

具体的には、環日センターが保有する大気・海洋・陸域にわたる環境観測データのうち、海水中の放射性セシウム濃度、海洋の基礎観測データ（海水温・塩分等）、多環芳香族炭化水素（PAH）濃度などについて、ERAN データベースに転載した上で DOI を付与し、外部研究者による利用を想定したデータ公開基盤の構築を進めた。これにより、従来は個別管理されていた観測データが、分野横断的に利用可能な形で統合される環境が整備された。ERAN との連携後、公開データへのアクセス数およびダウンロード数が顕著に増加し、従来の環日センター単独での公開に比べて、より広範な利用が促進されていることが確認された。実際に、環日センター独自データベースのアクセス数に加え、ERAN 経由でのダウンロード件数は大幅に増加しており、データ流通の拡大に対する拠点連携の有効性が示唆された。また、DOI 付与により公開データが出版物として扱われ、Google Scholar 等の学術検索サービスにおいて引用対象として認識されるようになったことは、データ公開のインセンティブ向上という観点からも重要な成果である。一方で、アクセス数の増加には自動収集プログラム等による機械的トラフィックの影響も含まれる可能性があり、今後は人為的アクセスとの識別など評価手法の精緻化が課題として挙げられる。今後も引き続き、対象データのさらなる拡充と未登録データの ERAN への段階的な転載を進め、データベースの網羅性と利便性を高めていく予定である。

2. 論文 なし

海洋放射能データベースを利用した北半球太平洋における海洋循環

研究代表者：猪股 弥生

受入研究者：津旨 大輔

1. 成果

本研究では、1964 年から 2022 年までの過去のデータセット (HAMGlobal2021: Historical Artificial radioactivity database in Marine environment, Global version 2021/doi: 10.34355/CRiED.U.Tsukuba.00085) を用いて、日本海における Cs-137 や Sr-90 などの放射性核種の分布変動を調査した。4000 データ以上の観測データを使用した。

特に 1990-2022 年に海上保安庁で計測された鉛直分布に注目した。その結果、日本海極前線を境界として、日本海の北と南側では、放射性核種の拡散深度に著しい違いがあることが明らかになった。日本海極前線の南側の地域では、Cs-137 の拡散深度は 500 m でほぼ安定しており、これは対馬暖流の高温・高塩分な海水のために深層への輸送が限定的であること、表層水では福島第一原子力発電所由来の Cs-137 の流入が続いていることが示唆された。対照的に、北側の地域ではかなり深い浸透が見られ、2021 年から 2022 年にかけて拡散深度は 1500 m に達していた。この拡散深度の増加は、極前線北部における強い渦と低温条件により深層への鉛直輸送が起りやすいためであると考えられた。特に、2011 年の福島第一原子力発電所事故後数か月以内に、Cs-137 の放射能濃度は表層水のみならず底層水でも高濃度が検出された。2011 年 3 月は非常に海水温が低く、過去に深層水形成が報告されている 2001 年と同程度の低温であった。Hirose and Povinec(2020)は、高気圧性の渦により Cs-137 と Sr-90 は深層に輸送されることを提示している。JCOPE データをもとに計算した渦度分布から、2011 年 3-4 月には高気圧性の渦が日本海北西部に存在していた。高気圧性の渦によって、降水により日本海表層水に沈着した放射性 Cs-137 が急速に深層まで輸送された可能性があった。なお、2011 年に Cs-137 を測定した海水では溶存酸素濃度は、前年 2010 年の濃度と比較して高かった。

日本海の水深 2000 メートル以深の Cs-137 および Sr-90 の濃度は、横ばいまたはわずかに増加する傾向を示した。さらに、日本海極前線より北側では Cs-137 および Sr-90 のインベントリが年々増加していた。これらのことから、日本海極前線よりも北側では Cs-137 および Sr-90 が蓄積されている可能性が示唆された。また、放射性核種の輸送に関するこれらの知見から、日本海の海洋循環や深層水形成は、地球温暖化に伴う環境変化を反映しているものと考えられた。

(参考文献)

Hirose, K., P. P. Povinec. 2020. 90Sr and 137Cs as Tracers of Oceanic Eddies in the Sea of Japan/East Sea. J. Environ. Radioact., 216, 106179.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106179>.

2. 論文 なし

森林中の放射性ヨウ素の降下量

研究代表者：太田 朋子

受入研究者：津旨 大輔

共同研究者：馬原 保典

速水 洋

松崎 浩之

1. 成果

[はじめに]

福島原子力事故で内部被ばくの原因となる ^{131}I が環境中に放出され、2011 年は都内の水道でも ^{131}I が乳幼児の飲料摂取の基準値を上回った。Muramatsu et al. (2015)は福島県内の表層土壌中の ^{129}I から ^{131}I 降下量を推測したが、採取地点は限定的である。本研究では、水源のオリジンとなる森林地帯を対象に、福島県郡山市の土壌コア中の ^{129}I のインベントリーを得、事故由来の降下量を得ることを目的とした。

[手法]

試料（リター、表層土壌および 6m コア試料）は 2012 年～2014 年に福島県郡山市にある福島県林業研究センターの演習林でフィールドワークを行い採取した試料(Mahara et al., Sic. Rep., 4, 7121 (2014), Ohta et al., Sci. Rep., 13, 19627 (2023))を用いた。6m コアは現場で約 25cm にカッティングを行い、大学まで冷凍輸送を行った。リターおよび土壌試料をリター層から 50cm まで 11 深度、25cm～600cm まで 9 深度に分類し、それぞれの試料中のヨウ素同位体をアルカリトラップにより分離を行った。分離したリターおよび土壌試料中の ^{127}I は ICP-MS で測定を行った。一方、 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 同位体比分析用にヨウ素同位体を AgI の化学形で回収を行い、 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 同位体比を加速器質量分析計(東京大学 AMS-MALT)で測定を行った。

[結果]

表層から 6m までのリターおよび土壌中の ^{129}I のインベントリーから、福島由来の ^{129}I 降下量は少なくとも $81\text{mBq}/\text{m}^2$ であると推測された。得られた成果は、APSORC25 で発表を行った。今後は、大気シミュレーションと実測値の比較を行う。

2. 論文 なし

シロバナルーピンの Cs 体内分配に関わる HKT 遺伝子の機能解析

研究代表者：丸山 隼人

受入研究者：古川 純

共同研究者：榎本 和昭

1. 成果

【背景・目的】

マメ科植物シロバナルーピン (*Lupinus albus* L.) は、リン欠乏耐性や耐塩性を有し、特定の重金属を選択的に吸収する特性を持つ。また、ダイズと比較して非常に高い放射性セシウム (RCs) 吸収能を示すことが知られているが、そのメカニズムは未解明である。先行研究では、シロバナルーピンにおいて根部ナトリウム (Na) 濃度と地上部 RCs 濃度との間に相互関係が観察されており、カリウム (K) に加え、Na も植物体内におけるセシウム (Cs) 動態に影響を与える重要な要因である可能性が示唆されている。そこで本研究では、根における Na 蓄積と地上部への Cs 移行の関連メカニズムの解明を目的として、他植物種において主に Na の体内分配に関与する HKT 輸送体に着目した。シロバナルーピンにおける HKT 輸送体の同定および *in silico* 解析 (実験 1) と、アフリカツメガエル卵母細胞を用いた Cs 輸送活性試験 (実験 2) を実施し、Cs と HKT 輸送体との関連性を検証した。

【結果・考察】

シロバナルーピンゲノムに対する BLASTP 解析により、2 つの HKT 遺伝子 (LaHKT1;1、LaHKT1;2) が同定された。系統解析の結果、これらはサブファミリー I に分類され、Na を単一輸送する可能性が示唆された。また、Cs 輸送活性が報告されている他植物種の HKT (GmHKT1;1 および OsHKT1;3) と近縁のクレードに属することから、Cs 輸送能を有する可能性も考えられた。組織別発現解析では、LaHKT1;2 はクラスター根や地上部組織でわずかに発現していたのに対し、LaHKT1;1 は主に根で著しく高発現していた。このことから、LaHKT1;1 は根における Na および Cs 輸送に関与する有力な候補遺伝子であると考えられた。しかしながら、アフリカツメガエル卵母細胞を用いた電気生理学的評価において、LaHKT1;1 は Cs 輸送活性を示さなかった。これらの結果は、LaHKT1;1 が Cs の体内分配に直接関与しない可能性を示唆する。一方で、根における Na 分配機能を通じて、結果的に Cs の地上部移行を間接的に抑制している可能性も考えられる。したがって、今後は輸送基質の詳細な調査とともに、変異体解析などを実施し、より詳細に機能解明を進める必要がある。

2. 論文

なし

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：CsMP の生成時期と動態解析

研究代表者：宇都宮 聡

受入研究者：山崎 信哉

共同研究者：宮崎 加奈子

山本 朋希

1. 成果

1. 緒言

2011 年 3 月に福島第一原発から大気放出された放射性核種には高濃度放射性 Cs 含有微粒子(CsMP)が含まれていた。CsMP はメルトダウン時に炉内で生成し、3 月 13～15 日に最大 90%の Cs 放射能割合で放出されたことが分かっている。本研究は、原子力災害直後の福島県内における CsMP の分布や各時間帯における Cs 放射能寄与率、さらに CsMP の形成・放出の時間や拡散方向を明らかにすることを目的とした。

2. 手法

本研究では、2011 年 6～7 月に実施された文部科学省サンプリングで採取された土壌試料のうち、100 地点の試料に対して CsMP 定量法(QCP 法)を適用し、各地点における CsMP の個数および放射能寄与率(RF 値)から初期の CsMP 広域分布図を作成した。さらに、WSPEEDI による放射性 Cs 大気拡散シミュレーション結果を用いて各時刻における放射性 Cs プルームの到達場所について検討を行い、沈着量の情報と合わせてプルーム中の CsMP 量を推計するとともに、CsMP の放出時刻や大気中動態の解析を行った。

3. 結果

100 地点の試料を分析した結果、CsMP の個数および放射能寄与率 (RF 値) はそれぞれ最大 52,300 個/kg および最大 62%であり、原発から南西の方向で個数、RF 値ともに他の地点よりも高くなった。CsMP 個数分布は 134+137Cs 放射能マップと類似していたが、放射能の高い原発から北西方向において、放射能の増加率に対して個数の増加率は低くなる傾向が見られ、RF 値も低下した。これは北西方向における水溶性 Cs の沈着の影響が大きいためである。2011 年 3 月 15 日の放射性 Cs の大気拡散シミュレーションの結果および Cs 沈着量情報と QCP 法の結果を組み合わせると、10:00 頃に原発から南方向に分布したプルームに最大 2,030 個/m³ の CsMP が、13:00 頃に原発から南南西方向に分布したプルームには最大 1,348 個/m³、22:00 頃に原発から北西方向に分布したプルームには最大 4,639 個/m³ が含まれたと推定された。これから、プルーム中の CsMP の含有量は時間とともに大きく変動していたことが分かる。また、2011 年 3 月 15 日 10:00 頃に東京へ到達した CsMP を含むプルームの放出時間は 3 月 15 日 3:00 頃と推定された。

4. 結論

メルトダウン過程で生成した CsMP の生成・放出時間帯、プルーム中の含有量、動態、拡散や沈着後の分布を定量的に解析することに成功した。得られた結果は、シビアアクシデント現象の考察や CsMP の環境・健康影響評価に資する、新しく有益な情報になると考えられる。

2. 論文

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.139670>

河川水における温度と ^{137}Cs 分配係数の関係の熱化学的検証

研究代表者：辻 英樹

受入研究者：五十嵐 康記

脇山 義史

1. 成果

【研究の背景】河川水中に存在する溶存態の放射性セシウム (^{137}Cs) 濃度は、一般的に水温の変動に連動した変化を示すことが先行研究等により知られている。これまで水温と ^{137}Cs 分配係数との関係については、熱力学における van't Hoff 式による再現が可能であることが示されてきた。ここで分配係数には、懸濁物質中の ^{137}Cs 濃度と溶存態 ^{137}Cs 濃度との比を示す見かけの分配係数がよく用いられている。この数式による再現性は、溶存態 ^{137}Cs 濃度を形成する支配的なメカニズムが、懸濁物質と水との間のイオン交換反応であることを示唆するものである。しかしながら、実際の河川環境等の現場で観測される大規模な濃度変動が、実験室での室内試験によって定量的に再現可能であるか否かについては、これまで十分な検証が行われていなかった。本調査研究は、温度制御下における懸濁物質と水の混合試験を通じて ^{137}Cs 分配係数と水温の関係を詳細に検証し、実際の河川環境において観測された溶存態 ^{137}Cs 濃度の変動と直接比較分析することを目的として実施した。

【調査および実験手法】 実験にあたっては、福島県の請戸川上流部に位置する小倉沢で採取した河川水をろ過し、対象水試料として用いた。懸濁物質については、2022 年に採取された津島および請戸の試料、2023 年に採取された請戸の平水時および出水時の試料の計 4 種類を用意した。現場における平水時の懸濁物質濃度が 0.5~5mg/L であることを踏まえ、本試験条件ではより明確な反応を捉えるため懸濁物質濃度を 10mg/L に設定した。これらの試料を混合し、実際の現場の水温変動範囲に合わせた 5°C、20°C、30°C の各条件の恒温槽内において 48 時間攪拌を行った。その後、孔径 0.45 μm のフィルタを用いてろ過し、80°C から 90°C で蒸発濃縮を行うことで各温度における分配係数を算出した。得られた分配係数と絶対温度の関係を van't Hoff 式に適用し、得られた近似式の傾きと切片から、各試料における標準反応エンタルピー変化および標準反応エントロピー変化を導出した。

【実験結果および熱力学的考察】 室内混合試験の結果、標準反応エンタルピー変化は懸濁物質試料によって変動があり、-6.2~-12.2kJ/mol の範囲を示した。一方、標準反応エントロピー変化はいずれの試料を用いた場合でも 59.6~69.6J/mol K と、近似した値を示す結果となった。これらの結果より、ギブス自由エネルギー変化は常に負の値となるため、懸濁物質への ^{137}Cs の吸着反応が強く進行することが確認された。また、標準反応エンタルピー変化が試料ごとに異なる結果となったことは、懸濁物質の組成が採取地点や採取時期によってばらつきを持つことを反映している。さらに、標準反応エントロピー変化がいずれも近い値を示した点については、Cs 吸着時に水和殻が剥離するという反応の根本的

なメカニズムが各試料間で共通していることを示唆している。

【現場観測結果との乖離および要因分析】 上記で得られた室内混合試験の結果と、過去の現場観測データを比較した結果、現場観測データに基づいて算出された標準反応エンタルピー変化は、 $-18.2 \sim -50.3 \text{ kJ/mol}$ となっており、これらはいずれの室内混合試験の結果よりも明らかに大きい値であった。これは、実際の河川環境における溶存態 ^{137}Cs 濃度の変動幅が、室内試験の変動幅よりも著しく大きいことを意味している。そこで共存イオンや懸濁物質の成分の影響を検証したところ、Cs との競合性を示す主要陽イオンである K^+ 濃度は水温と連動して 1.9 倍程度の年変動が観測されたことから溶存態 ^{137}Cs 濃度の季節変動幅を増幅する一つの要因であることが示唆された。一方 NH_4^+ 濃度は 1 年間を通して 1 mmol/L 未満であり、Cs のイオン交換への寄与は限定的と見られる。また、有機成分の季節変動は顕著ではなく、交換態 ^{137}Cs の濃度割合や揮発性懸濁物質の割合は、導出された熱力学パラメータとの間に明確な相関を示さなかった。これらの結果は、懸濁物質表面のフレイドエッジサイトが未だセシウムで飽和していない状態にあることを示している。

【結論】 本調査研究における実験結果および現地観測データとの比較分析から、懸濁物質とのイオン交換反応は、河川における溶存態 ^{137}Cs 濃度形成の支配的なプロセスではないことが示された。また実験室で確認された熱化学的な反応挙動のみでは、実際の現場環境における大規模な濃度変動を説明することは不可能である。したがって、実際の河川環境においては、溶存態 ^{137}Cs の濃度変動を増大させる未知の因子がイオン交換以外に別に存在している可能性がある。

2. 論文

Tsuji, H., Nishikiori, T., Ito, S., Ozaki, H., Watanabe, M., Sakai, M., Watanabe, M., Hayashi, S. (2025). Response of ^{137}Cs dynamics in dam lakes to temperature and weather conditions. *Environmental Pollution*, 378, 126445.

断層活動に関連する地殻流体中のヘリウム同位体の特徴と時間変動

研究代表者：柴田 智郎

受入研究者：丸岡 照幸

山中 勤

共同研究者：

1. 成果

P-25-15

断層活動に関連する地殻流体の化学組成・同位体比の特徴

氏名：柴田 智郎

受入研究者：丸岡 照幸

温泉中に含まれる揮発性物質は、断層活動を調べる上で有用なトレーサーである。特に、地震の震源分布や地震波観測、電磁気探査から震源付近に地殻流体の存在が確認され、それが地震発生機構と密接に関連していることが報告されている。また近年、断層や構造線を通じて継続的に上昇している流体が注目されている。本研究では断層や構造線から湧出していると考えられる九州中央部にある温泉・鉱泉水中の揮発性元素から地殻流体の動きを把握し、地殻活動との関係を理解することを試みた。九州は西南日本弧と類似した帯状構造を示し、臼杵－八代構造線を境に、北側は内帯、南側は外帯と分けられる。臼杵－八代構造線とその北方に平行する大分－熊本構造線は、中央構造線から連続し、その北側は低重力異常を示し、沈降帯となっている。この沈降帯の北端は、松山－伊万里構造線で、この間の領域を別府－島原地溝帯とよび、多くの断層や構造線が存在している。この地溝帯の西側の福岡県筑後市の温泉で定期的に観測するとともに、地溝帯の東側の大分県杵築市で温泉水および付随ガスを採取した。福岡県筑後市の温泉水の化学成分濃度は約 100mg/ℓ で、主要イオン組成は、Ca－HCO₃ 型や Mg－HCO₃ 型で示される比較的流動性の良い地下水であった。一方大分県杵築市では約 30g/ℓ で主要イオン組成は、Ca－SO₄ 型や Na－Cl 型などの火山性温泉や海水でみられるような組成を示す温泉があった。

温泉水の酸素・水素同位体比は、天水線よりも酸素同位体比が高い値を示し、島弧火山等に起因した流体の混合の影響を受けている。付随ガス中の希ガス、窒素、炭素の同位体比の測定結果から、マントル起源のヘリウムが 65～75% 混合していることが明らかとなった。このヘリウム同位体比の結果は、窒素と炭素の同位体比の結果とも調和的である。それぞれの揮発性物質の同位体比の結果は、互いに調和的であり、深部から上昇する地殻流体の存在を示唆している。これらの温泉の周辺には、現在活動的な火山がなく、温泉水の温度も 35℃以下であることから、火山活動に関連した深部流体の輸送であるとは考え難いことから、断層や構造線などの地殻深部につながる亀裂を通しての輸送が考えられる。揮発性物質の同位体比の結果から、地殻流体が深部から上昇していることが示唆

された。このことは断層のような亀裂が存在していることを示唆しており、その経時的変化は地殻活動モニタリングとしての活用が期待できる。今後は、継続的に測定することで、その変動や地下深部物質の循環メカニズムの解明を試みる。また、このような断層や構造線での流体の挙動は、単なる水循環としてではなく、その流量や圧力変化はその母岩との相互作用にも影響し、沈澱・溶解といった地殻内での化学変化にも影響することから、地震の発生やテクトニクスといった地殻活動のモニタリングが期待される。

2. 論文

Kagoshima, T., Sano, Y., Takahata, N., Kawamoto, Y., Shibata, T., Li, Y., Morishita, T., Hiramatsu, Y. & Nakajima, J. (2025) Helium isotope anomaly in groundwater prior to the 2024 Noto Peninsula earthquake. *Nature Communications*. 16, 1, 10414.

温泉・火山ガスの硫黄同位体比を用いた火山活動評価の検討

研究代表者：高橋 良

受入研究者：丸岡 照幸

1. 成果

火山活動に伴い放出される硫黄化学種には、火山ガス中の二酸化硫黄 (SO_2) や硫化水素 (H_2S)、温泉水中の硫酸イオン (SO_4^{2-}) など多様な形態が存在する。これらの硫黄同位体比を分析することで、硫黄の起源を特定し、火山体および熱水系内における硫黄化学種の挙動を明らかにすることが可能である。温泉水中の SO_4^{2-} は、主に SO_2 の不均化反応によって生成されるものと、硫化鉱物や H_2S の酸化によって生成されるものに分類される。前者は高い硫黄同位体比を、後者は低い値を示すことが知られている。また、 SO_2 はマグマ由来の成分とされ、火山活動の活発化に伴いその放出量が増加するため、温泉水中の硫黄同位体比が高くなることが予想される。さらに、火山ガス中の SO_2 と H_2S の同位体比の差を用いることで、同位体平衡温度の推定が可能である。これらの指標が火山活動の変化に応答する場合、硫黄同位体比は火山活動評価における有用なツールとなり得る。

本研究では、十勝岳の大正火口および振子沢噴気孔群で採取した火山ガス (SO_2 および H_2S)、ならびに十勝岳温泉の翁温泉で採取した温泉水中の SO_4^{2-} について硫黄同位体比を測定した。火山ガス試料は、大正火口と振子沢噴気孔群において 2024～2025 年に採取された SO_2 および H_2S 各 5 試料を対象とした。これらのガス成分は、小沢 (1968) の方法により SO_4^{2-} として水溶液化されており、塩化バリウム (BaCl_2) を添加して硫酸バリウム (BaSO_4) として回収した。温泉水試料は、2011～2024 年に採取された翁温泉の 102 試料を用いた。温泉水中の SO_4^{2-} も同様に、 BaCl_2 を添加して BaSO_4 とした。得られた BaSO_4 は、筑波大学の連続フロー型安定同位体質量分析計により硫黄同位体比を測定した。

翁温泉の温泉水の硫黄同位体比は 0.90～1.98‰であった。火山ガスについて、大正火口における SO_2 の硫黄同位体比は 10.57～12.48‰、 H_2S の同位体比は -7.45～-5.97‰であった。振子沢噴気孔群では、 SO_2 が 8.57～10.19‰、 H_2S が -6.20～-9.76‰であった。翁温泉における硫黄同位体比は、2011 年から 2020 年秋頃までは一定であったが、その後若干高い値を示した。この変化は、同時期に 62-2 火口で噴気高度の上昇といった表面現象が活発化した時期と一致しており、地下の熱水系やガス供給条件に何らかの変化が生じた可能性を示唆する。また、火山ガスの同位体比の差 ($\delta 34\text{S}$ $\text{SO}_2\text{-H}_2\text{S}$) が 2020 年 8 月と比較して 2024 年 5 月以降に小さくなり、同位体平衡温度が低下した。これらの変化は、翁温泉の硫黄同位体比に変化が見られた期間と重なり、ガスの起源や反応過程に変化があった可能性が考えられる。翁温泉は火山ガスの影響を受けた浅部帯水層由来の熱水であることから、硫黄同位体比の変化は火山活動の変化を反映している可能性がある。

2. 論文 なし

窒素同位体比分析に基づく浅熱水性金鉱床の成因研究

研究代表者：越後 拓也

受入研究者：丸岡 照幸

1. 成果

浅熱水性金鉱床とは低温・低圧環境（150℃以下・地表付近）で形成される金鉱床を指し、鹿児島県の菱刈鉱床や新潟県の佐渡鉱床など日本の代表的な金鉱床である。浅熱水性鉱床における金鉱化帯にアンモニウム（ NH_4^+ ）を含む鉱物（例：アンモニウム含有カリ長石（ $\text{K, NH}_4^+\text{AlSi}_3\text{O}_8$ ））が産出することがあるが、その産出と金の濃集に直接的な関係があるかは明らかになっていない。そこで、本課題では、浅熱水金鉱床に産出するアンモニウム含有鉱物の種類および分布を明らかにし、金の濃集とアンモニウム含有鉱物の産出に直接的な関係があるかを検討することと、アンモニウム含有鉱物の窒素の起源をその同位体比に基づいて明らかにし、浅熱水性金鉱床における金の濃集とアンモニウム含有鉱物の産出の関係を考察することを目的とし、研究を行った。

北海道北見地域には「紋別－留辺蘂地溝帯」と呼ばれる構造帯が存在し、その構造体帯内部には多くの浅熱水金鉱床がある。報告者は2018年からこの地域の金鉱床を調査・研究しており、北ノ王鉱床・曙鉱床・昭和鉱床でアンモニウム含有鉱物の産出を確認している。本研究課題では、これらの鉱床のなかでも金鉱化作用が認められている北ノ王鉱床の試料を用いて薄片観察による岩石記載・粉末 XRD 分析による鉱物同定・赤外線吸収分光分析によるアンモニウム濃度の見積もり・顕微ラマン分光分析によるアンモニウム鉱物のマッピング、金品位分析を行った。

北ノ王鉱床東部で得られた試錐試料について、金品位と N-H 吸光度、カリ長石（220）ピーク強度、イライト（001）ピーク強度の相関を調べた結果、金品位と N-H 吸光度の相関がもっとも強かった。このことはアンモニウム変質作用と金鉱化作用に直接の関係があることを示唆する。なお、同試料において、N-H 吸光度、カリ長石（220）ピーク強度、イライト（001）ピーク強度の相関を調べた結果、相関は認められなかった。このことと、金品位とカリ長石（220）ピーク強度、イライト（001）ピーク強度の相関が認められなかったことから、カリウム変質はアンモニウム変質を伴わないことを示し、本研究地域においてカリウム変質よりもアンモニウム変質に金の鉱化作用が伴うことが示唆された。本研究で得られた結果は、アンモニウム含有鉱物と金鉱化作用の関係を利用することで効率的な金の探査を行うことが可能になることを示唆している。

2. 論文

- 1) Seno, K., Watanabe, Y., Echigo, T., Aoki, S., Itano, K., Satori, S., & Kon, Y. (2026). Hematite Formation During Skarn Mineralization in the Akatani Iron Deposit, Niigata Prefecture, Japan. *Resource Geology*, 76(1), e70032.

- 2) Born, J. B., Watanabe, Y., Echigo, T., Kon, Y., & Mimura, T. (2026). Gold Mineralizing Potential of the Late Triassic Calcareous, Carbonaceous and Sulfide - Rich Sedimentary Rocks of the Isatomae Formation in the South Kitakami Belt, Japan. *Resource Geology*, 76(1), e70031.
- 3) Satori, S., Kon, Y., Watanabe, Y., Ogata, T., Echigo, T., & Aoki, S. (2025). Contribution of magma mixing to hydrothermal Cu mineralization: Evidence from the Arakawa area, Akita, Japan. *Ore Geology Reviews*, 106862.
- 4) Abdelkader, M. A., Watanabe, Y., Dawoud, M., Aoki, S., Kon, Y., Tupaz, C., ... & El-Dokouny, H. A. (2025). Secondary rare metal enrichment following biotite alteration in the Umm Naggat granitic pluton, Central Eastern Desert, Egypt. *Lithos*, 108191.
- 5) Echigo, T. (2025). Extraordinary Crystals of Natural Minerals in Mining Sites and Volcanoes. In *Engineering Crystal Habit: Applications of Polymorphism and Microtexture Learning from Nature* (pp. 17-28). Singapore: Springer Nature Singapore.

森林植生がもたらす樹幹流がアロフェン質黒ボク土の理化学性と放射性セシウム動態に及ぼす影響

研究代表者：小林 孝行

受入研究者：高橋 純子

共同研究者：

1. 成果

ヒノキ・スギ・マツなどの針葉樹の樹幹近傍土壌は、強酸性（pH4.0 以下）の樹幹流が多量に供給される特異的な環境であり、遠方土壌より酸性化している場合が多い。土壌酸性化によって粘土鉱物の風化が進行することで、放射性セシウムの挙動も変化すると予想されるが、これを調べた例は少ない。本研究では、強酸性のヒノキ樹幹流がアロフェン質黒ボク土の粘土鉱物組成を含む諸性質の変化と、放射性セシウムの輸送（蓄積および溶出）に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

アロフェン質黒ボク土が分布する静岡県のヒノキ林から樹幹距離別（0.2m, 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m）に深さ 5cm 毎に 30cm までコアサンプリングした。採取土壌の一般理化学性とグローバルフォールアウト由来の放射性セシウム濃度等（Cs-137）について分析を行った。また、ヒノキ樹幹流に加えて林内雨および林外雨も定期的に採取し、pH やイオン組成などの分析も実施した。

ヒノキ樹幹流の pH は年間を通じて 3.9～4.1 と強酸性を示した。一方、ヒノキ林内雨および林外雨の pH はそれぞれ 4.8～6.6、4.8～6.3 を示し、樹幹流より高かった。ヒノキ樹幹流の pH が強酸性を示した要因のひとつに、フルボ酸様物質などの溶存有機物の存在が、目視および TOC 分析結果より考えられた。ヒノキ樹幹周辺土壌の pH(H₂O)は、表層および樹幹に近いほど低い傾向を示した（3.9～5.3）。また、生物に有害な交換性 Al を反映する pH(KCl)も同様の傾向を示した（3.6～5.1）。これらの結果より、ヒノキ樹幹流は周辺のアロフェン質黒ボク土の酸性化をもたらすことを明らかにした。

次に、採取した土壌試料の酸性シュウ酸塩（pH3.0）およびピロリン酸ナトリウム（pH10.0）で抽出される Al、Si 含量から、主要粘土鉱物であるアロフェンの含量と Al/Si 比を算出した。その結果、アロフェン含量は樹幹近くの表層ほど低い傾向が認められた。また Al/Si 比も樹幹近くの表層ほど低い傾向が見られた。pH(H₂O)と Al/Si 比の相関係数は強い正の相関（ $r=0.72^{***}$, $p<0.001$, $n=30$ ）を示した。これらの結果より、ヒノキ樹幹流によって周辺土壌の酸性化が進行した結果、アロフェンの部分的な Al および Si の溶解が示唆された。また溶解した Al は、交換性 Al および腐植複合体に形態変化することも交換性 Al 含量および選択溶解の結果より推察された。

Cs-137 含量は樹幹近くの表層ほど高い傾向を示し（2.9～70Bq/kg）、pH(H₂O)やアロフェンの Al/Si モル比と負の相関関係を示した（それぞれ $r=-0.93^{***}$, -0.63^{***} , $n=30$ ）。樹幹近くの表層で Cs-137 含量が高かった理由として、ヒノキ林冠に堆積した Cs-137 が樹

幹流の流れに沿って樹幹周辺の土壌に蓄積したことが推察された。また、本調査地点は傾斜地であることから、土壌粒子の物理的な移動も Cs-137 の動態に影響を及ぼすことが考えられた。

今後は、ヒノキ樹幹流と同程度の pH を示すスギについても同様の調査を行うとともに、逐次抽出などによる形態別の Cs-137 の分布についても検討する予定である。

2. 論文

なし

樹皮表面に繁殖する苔類による放射性セシウム保持についての研究

研究代表者：吉川 英樹

受入研究者：難波 謙二

共同研究者：箕輪 はるか

1. 成果

(研究の背景と目的)

2011 年の福島第一原子力発電所事故後十数年を経過したが、ケヤキの樹皮表面に繁殖するコケ類が現在も大気中に放出された放射性セシウム（以下放射性 Cs と記す）を保持していることを確認した。2024 年度も継続して、これら放射性 Cs の存在状態を把握するために実験を進めた。

(実験方法)

①放射性 Cs 含有粒子の単離と分析：分析試料は福島市内に存在する樹齢 50～80 年程度のケヤキ（高さ約 1m、幹周り約 160cm）の樹木の樹皮表面に繁殖していたコケ類（ヒナノハイゴケ、ツヤゴケ）や地衣類（ロウソクゴケ属）であり、2023 年に採取した。IP 測定 (Typhoon FLA7000, Ge Healthcare) により放射能が確認できた大きさ約 $200 \times 300 \mu\text{m}$ の粒子を実体顕微鏡 (SZX16, OLYMPUS) 下で単離した。本試料について γ 線分析および EPMA (JXA-8530F, JEOL) で表面分析を実施した。本試料はコケ類とともに野外で風雨にさらされた試料とみなせる。

②放射性 Cs 含有粒子の単離と分析：比較試料として、2020 年に 1F 近傍の雨水桟より採取した埃、土壌から、①と同様に粒子の単離操作および分析を実施した。本試料もまた約 10 年間野外にて風雨にさらされてきたが、コケ類との接触は現場では認められなかった試料である。

(結果及び考察)

①単離された放射性 Cs 含有粒子は、実体顕微鏡観察によると有機物の集合体と推定され、 ^{137}Cs を含有していた。既報の 1F 近傍で確認できたガラス質の不溶性放射性 Cs 含有粒子若しくは土壌鉱物粒子と結合した放射性 Cs 含有粒子とも異なることから、コケ類の活動の影響が示唆された。

②比較試料は、 γ 線計測で ^{137}Cs が検出された。今後、両粒子の溶解・浸食分析を実施予定である。

2. 論文

本研究で用いた比較試料の放射性 Cs 含有粒子と類似の粒子について Pu 分析した結果を共著として報告

J.Igarashi et.al. "Isotopic ratios of plutonium in radioactive particles released by the accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant", J. Environ. Radioactivity 291, (2026), 107856.

選択的に水中の重金属イオンの除去するために多孔性と磁性粉体の開発

研究代表者：有馬 ボシールアハンマド

受入研究者：ラハマン モハマド モフィズル イスマイル

共同研究者：Begum Zinnat Ara

Anju Anjuman Nesa

1. 成果

Binary spinel ferrites are the magnetic mixed metal oxides with the general formula of AB_2O_4 , where A and B represent the M^{2+} (Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , or Mn^{2+}) and M^{3+} (Fe^{3+}), respectively. These materials have recently emerged as promising alternatives to traditional sorbents for wastewater treatment, which often suffer from drawbacks such as low adsorption capacity, high costs, and challenging separation processes. To address these challenges, the present study focuses on the synthesis and application of a novel porous manganese-magnesium spinel ferrite ($Mn_{0.5}Mg_{0.5}Fe_2O_4$) as a sorbent for the Zn separation. The synthesized ferrite materials exhibited a single-phase cubic spinel structure, as confirmed by XRD analysis, with an average crystallite size of approximately 20 nm. The elemental composition and functional groups were determined using EDX and FTIR spectroscopy, respectively. SEM images revealed a porous surface morphology of the synthesized ferrite. The material was evaluated for its ability to selectively separate metal ions from a mixed-element solution, showing the highest removal efficiency for Zn^{2+} ions. Batch sorption experiments were conducted under various conditions, including pH, contact time, sorbent dosage, initial metal concentration, and temperature, to optimize the sorption performance. The highest Zn removal efficiency of 91% was achieved at pH 6. Sorption data fit well with both Langmuir and Freundlich isotherms, indicating a maximum adsorption capacity (q_{max}) of 2.18 mg g^{-1} . Kinetic studies revealed that the adsorption process followed a pseudo-second-order model. These results highlight the potential of $Mn_{0.5}Mg_{0.5}Fe_2O_4$ as an efficient and selective sorbent for Zn removal from aqueous matrices.

2. 論文

1. Porous Manganese-Magnesium Ferrite ($Mn_{0.5}Mg_{0.5}Fe_2O_4$) Powders for the Selective Separation of Zinc from Aqueous Matrix, Abhijit Barua, Anjuman Nesa Anju., Bashir Ahmmad, Zinnat A. Begum, Ismail M. M. Rahman, 17th Asian Conference on Analytical Sciences (ASIANALYSIS XVII 2025), Sapporo, Japan (September 2025).

年輪中有機結合型トリチウム（OBT）から見たトリチウムの拡散予測

研究代表者：杉原 真司

受入研究者：平尾 茂一

1. 成果

有機結合型トリチウム（OBT）は、主に H₂O で存在する環境トリチウムに比べると移動が遅く、生成当時の環境の歴史を記録している。本研究は、福島原発近傍及び福島県内数か所で採取した年輪中の OBT を測定し、事故当時及び事故後のトリチウム拡散状況を推定し、拡散のモデル化のための実測値を整備することを目的としている。

福島県内（主に浜通り）で採取した年輪中の OBT の測定では、事故発生 2011 年の年輪近傍に OBT 濃度のピークが見られ、その地点へのトリチウムの到達が確認された。しかしその前後の年輪中にも BG 以上の濃度を示す部分が存在するため、OBT 形成後の移動の有無、交換型トリチウムの除去方法、BG の再評価等の精査が必要であることが判明した。本研究では、事故後のトリチウムの放出、拡散の情報を得るために、福島原発近傍で採取した杉の木の年輪を利用し、確立した分析法により、事故当時からの放出の履歴を検証する。

OBT の分析法は、胸高の輪切りにした杉樹木を年輪ごとに分割、凍結乾燥、BG 水による洗浄後、燃焼法により OBT 濃度を低バック液体シンチレーションカウンタで測定する。本年度は、試料処理・測定系をトリチウム汚染の少ない実験環境に移設し、低バックグラウンドの測定環境の再構築を行うとともに、過去の測定データの検証を実施した。また、近年の放出状況を確認するために、原発近傍の隈小学校跡地で松葉試料を採取した。

本研究により樹木年輪中の OBT 測定技術を確立するとともに、事故的トリチウム放出や通常時のトリチウム放出環境における周辺環境の汚染状況、拡散状況を予測する局地的モデルを確立することにより、事故時、通常時の放射線施設の安全管理体制の検証が可能となる。

2. 論文 なし

Simulation of anthropogenic tritium discharge into the ocean due treated water release from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

研究代表者：Cauquoin Philippe Alexandre

受入研究者：グシエフ マキシム

共同研究者：芳村 圭、小室 芳樹

1. 成果

Since the beginning of the discharge of water treated by Advanced Liquid Processing System (ALPS) in August 2023, tritium concentrations in seawater and aquatic ecosystems near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) site are continuously monitored and disseminated publicly. It is essential to assess the long-term safety threshold of ALPS-treated water discharge procedure in terms of tritium concentration in coastal areas of Japan and the Pacific Ocean. However, there was no global oceanic simulation with anthropogenic tritium concentration using a realistic discharge scenario and, by extension, no projection of tritium concentration at Pacific Ocean scale that accounts for the impact of current global warming on, for example, the Kuroshio current, which is one the main ocean current near Japan. Therefore, the purpose of our ERAN project P-25-22 was to investigate the tritium radionuclide movement released from the FNDPP site in the ALPS-treated water discharge.

For that, we used the ocean General Circulation Model (OGCM) COCO4.9 to examine for the first time the influence of climate conditions and horizontal resolutions on the spatial and temporal distributions of anthropogenic tritium released from the FDNPP site into the ocean. Compared to previous studies, we utilized a Tokyo Electric Power Company (TEPCO) release scenario as input to an OGCM to simulate the contribution of this anthropogenic tritium signal to tritium concentrations in the ocean. Moreover, for the first time, the projected tritium concentrations for the entire 21st century was modeled at global scale, considering the impact of global warming and horizontal resolution. These two aspects have an influence of the ocean velocities and the representation of the Kuroshio current, which are the main controllers of the spatial and temporal distribution of passive tracers such as tritium in the ocean. Under the SSP5-8.5 climate scenario, the shifting of the Kuroshio extension northward and the associated enhanced eastward transport affect the temporal variability of the tritium signal, without significantly changing the tritium concentration values (which remain very low). The high-resolution experiment (0.25° instead of 1° horizontal resolution) allowed to represent more accurately the mesoscale eddies. At such resolution, the

Kuroshio current and its extension are narrower and stronger, and the transport of tritium is strengthened, allowing it to reach the western US or the Asian coast from the release point in a shorter time. However, except near the FDNPP discharge site, tritium concentration values are only slightly affected by the horizontal resolution, showing that the long-term tritium concentration threshold is not exceeded with the currently planned treated water release.

This study has been presented at several international conferences such as EGU, and an invited talk was given at the Japan Geosciences Union in May 2024. This work has been published in the Marine Pollution Bulletin journal, and a press release is available at <https://www.iis.u-tokyo.ac.jp/ja/news/4809/>.

Cauquoin et al. (2025). Ocean general circulation model simulations of anthropogenic tritium releases from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant site, Mar. Pollut. Bull., <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118294>.

Cauquoin et al.: Simulation of anthropogenic tritium discharge into the ocean from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, oral, EGU 2025, Vienna (Austria), April 2025.

Cauquoin et al.: Simulation of anthropogenic tritium discharge into the ocean from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, poster, 11th Annual Symposium of the Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima (Japan), March 2025.

Cauquoin et al.: Simulation of tritium releases into the ocean from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, invited talk, JpGU 2024, Chiba (Japan), May 2024.

2. 論文

Cauquoin, A., Gusyev, M., Komuro, Y., Ono, J., and Yoshimura, K. (2025). Ocean general circulation model simulations of anthropogenic tritium releases from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant site, Mar. Pollut. Bull., 220, 118294, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118294>.

FT—IR を用いた交換性放射性セシウム予測モデルの開発

研究代表者：渡部 敏裕

受入研究者：二瓶 直登

共同研究者：信濃 卓郎

丸山 隼人

岩井 純平

1. 成果

1.はじめに

原子力発電所の事故により環境中へ放出された放射性セシウム(^{137}Cs)は半減期が約30年と長く、植物への長期的な移行・蓄積が懸念されている。植物への ^{137}Cs 移リスクの評価においては、土壌中の ^{137}Cs (Ex ^{137}Cs)濃度が重要な指標であることが示されている。しかし、Ex ^{137}Cs の分析には時間とコストを要するため、実用面での課題が残されている。中赤外線分光器(MIRs)は土壌の多様な化学的特性を迅速に推定できる手法として報告されており、Ex ^{137}Cs の評価への応用も期待される。 ^{137}Cs は土壌本来の構成要素ではないため、Ex ^{137}Cs 濃度は飛来した全 ^{137}Cs (Total ^{137}Cs)量に強く依存する。そのため、Total ^{137}Cs に対するEx ^{137}Cs の割合(Ex ^{137}Cs /Total ^{137}Cs)は、土壌の化学的特性を反映する指標となりうる。そこで本研究では、MIRsを用いて土壌中のEx ^{137}Cs /Total ^{137}Cs 予測モデルを構築し、予測精度の検証を目的とした。

2. 方法

2016年～2020年に福島県内で採取された839点の土壌試料について、Ex ^{137}Cs /Total ^{137}Cs の値を農林水産省および農研機構のモニタリングデータから取得した。また、同一試料を用いてMIRsによるスペクトル測定を実施した($n=4$)。得られたスペクトルデータを説明変数、Ex ^{137}Cs /Total ^{137}Cs を目的変数として部分最少二乗回帰(PLSR)による予測モデルを構築した。データセットの全体の65%をモデル構築用、10%をモデル調整用、25%を独立したテスト用データとした。構築したモデルを用いてテストデータを予測し、決定係数(R^2)および二乗平均平方根誤差(RMSE)を算出することでモデル精度を評価した。さらに、土壌タイプ別に分類したデータセットでも同様の手法でモデル構築および評価を行った。

3. 結果と考察

839点すべての試料をデータセットとした場合、構築したモデルのテストデータに対する予測精度は、 $R^2=0.57$ 、 $\text{RMSE}=0.12$ であった。一方、土壌タイプに分類してモデルを構築したところ、黒ボク土で $R^2=0.75$ 、 $\text{RMSE}=0.14$ となり、予測精度の向上が認められた。VIP (Variable Importance on projection)解析により各スペクトル波長の予測への寄与度を評価したところ、土壌中の粘土鉱物および有機物に由来する波長領域が予測モデルに強く影響していることが示された。特に黒ボク土ではこれらの波数領域の寄与度が他の土壌

タイプと比較して高く、黒ボク土特有の粘土組成および有機物特性が Ex 137Cs/Total 137Cs の推定において精度向上に寄与した可能性が示唆された。

4. まとめ

本研究では、MIRs と PLSR を用いることで、Ex 137Cs/Total 137Cs を従来の分析方法よりも迅速に推定できる可能性が示唆された。一方で、実用的な利用を想定した場合には、さらなる予測精度の向上が求められる。そのため、鉱物組成や有機物特性といった土壌特性を考慮した解析手法を検討することで予測モデルの精度を高める必要がある。本手法は放射性セシウムの移行リスク評価における迅速なスクリーニング手法としての活用が期待される。

2. 論文

The development of CR-39-based alpha spectrometer

研究代表者：Hu Jun

受入研究者：床次 眞司

大森 康孝

クランロッド チュティマ

1. 成果

CR-39, a solid-state nuclear track detector (SSNTD), provides a highly sensitive and reliable tool for alpha particle measurement by recording latent tracks that become visible after chemical etching. A significant challenge in utilizing CR-39 for alpha spectrometry is the accurate determination of particle energy. This difficulty arises from the complex correlation between track morphology (size and shape) and the incident energy, which is further influenced by etching conditions, detector uniformity, and the angle of incidence. Consequently, precise calibration under strictly controlled experimental conditions is essential. By synergizing standardized irradiation experiments with an advanced Deep Neural Network (DNN)-assisted analysis framework, this study aims to transition CR-39 from a conventional passive particle counter into a high-precision alpha spectrometer.

In this research, a precise energy gradient ranging from 0.66 MeV to 7.69 MeV was established using ^{214}Po and ^{241}Am sources coupled with aluminum foil filters. To ensure consistent detector response, chemical etching conditions were rigorously controlled. The CR-39 chips were processed using high-speed automated optical microscopy. Given the massive volume of tracks requiring detailed morphological analysis, an automated system is indispensable to eliminate human error and enhance throughput. To enhance analysis efficiency and mitigate human error, a customized DNN-assisted track analysis system was implemented. This system leverages a ResNet-101 backbone for robust feature extraction. Specifically, the anchor sizes within the detection framework were reconfigured to better match the high-aspect-ratio morphology of etched tracks, ensuring precise capture of tracks from various incident angles. This optimized architecture allows for high-fidelity segmentation and elliptical fitting of massive track datasets, providing a robust and automated foundation for high-precision energy reconstruction.

2. 論文

J. Hu, S. Kodaira, The development of a DNN-assisted track analysis system for CR-39-based space radiation dosimetry, *Radiation Measurements*, 190, 107565, 2026.

<https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2025.107565>

J. Hu, C. Kranrod, R. Pradana, S. Musikawan, Y. Omori, M. Hosoda, S. Kodaira, S. Tokonami. Evaluation of stochastic method on track density analysis for passive radon measurement. *Applied Radiation Isotopes*, 225, 111998, 2025.
<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2025.111998>

排気モニターによる大気中ラドン濃度の測定について

研究代表者：安岡 由美

受入研究者：床次 眞司

細田 正洋

大森 康孝

共同研究者：向 高弘

1. 成果

1. 成果

本研究で得られた知見を基に、排気モニターが大気中ラドン濃度の長期変動を正確に捉えていることを示す論文を執筆した。具体的には、測定データの解析結果および考察を英語でまとめ、国際的な学術誌への投稿準備を完了させた。本論文の作成により、全国の RI 施設に設置された排気モニターデータの有効性が実証され、地震先行現象の解明に向けた広域的な観測ネットワーク構築への道筋を示した。

2. 論文内容

2-1. 緒言と研究の目的

放射性希ガスであるラドン (^{222}Rn) は、地震の先行現象として大気中濃度が異常変動することが報告されている。この解析には、全国の RI 施設に設置が義務付けられている「排気モニター」のデータが有用である。排気モニターは主要都市で稼働しており、長期データの入手が可能であるが、これまでの先行研究は測定期間が短く、季節をまたぐ長期的な変動において外気の状態を正確に反映しているか検証が必要であった。本研究では、神戸薬科大学にて約 4 ヶ月間の連続測定を行い、排気モニター値が大気中ラドン濃度の変動とどの程度一致するかを検討した。

2-2. 測定方法

測定は 2021 年 8 月 20 日から 12 月 30 日までの 133 日間、神戸薬科大学の RI 施設（換気回数 17 h^{-1} ）で実施した。大気中ラドン濃度 (CS) の基準値として、給気中の濃度を高精度な静電捕集型モニターで測定し、排気中濃度 (CR) については既設の通気式電離箱（排気モニター）で測定した。解析では、環境変化やノイズの影響を抑えるために 1 時間ごとの測定値から日最低値を抽出した。さらに、指数平滑化法を適用してラドン濃度の平滑化変動を算出し、両モニター間の相関を比較した。

2-3. 結果・考察

解析の結果、大気中および排気中のラドン濃度は、共に夏より冬に高くなる明確な季節変動を示した。平均濃度は大気中が $2.2 \pm 0.7 \text{ Bq m}^{-3}$ 、排気中が $7.5 \pm 0.2 \text{ Bq m}^{-3}$ であり、排気中の方が一貫して約 5.3 Bq m^{-3} 高い値であった。この差は、建材（コンクリート壁等）からのラドン放出の影響と考えられる。特に神戸周辺は花崗岩地帯であり、建物内で濃度が高くなりやすい特性がある。変動の一致性を検証するため、排気中濃度の縦軸

を調整して比較したところ、全データの 97% が大気中濃度の誤差範囲内に収まった。この高い一致率は、建物内からの加算量が時期を問わず一定であることを示しており、排気モニタが大気中の変動を正確に捉えていることが実証された。

2-4. 結論

本研究により、RI 施設の排気モニタは長期間にわたり大気中のラドン濃度変動を極めて正確に把握できることが確認された。壁面放出分等の一定のオフセット値を考慮することで、屋外ラドン濃度の実質的な推移を定量的に把握可能である。全国の排気モニタデータを活用することで、地震先行現象のメカニズム解明や災害軽減に向けた観測網の確立に大きく寄与することが期待される。

2. 論文

野生動物におけるバイスタンダー効果の解析

研究代表者：有吉 健太郎

受入研究者：三浦 富智

1. 成果

「目的」

放射線が当たっていない細胞において、放射線が照射されたかのような反応（DNA 損傷、染色体異常、アポトーシスなど）が引き起こされる現象をバイスタンダー効果という。これまでの研究から、ヒト以外の生物種でバイスタンダー効果の報告は少なく、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。これまでの我々の研究によって、放射線を照射したイトマキヒトデ（*Patiria pectinifera*）卵の飼育海水を非照射の卵に加えて 24 時間飼育すると、バイスタンダー効果（卵の細胞死）が引き起こされることを確認した（Chiba et al, Rad. Res.,2025）。この結果から、バイスタンダー効果は原始的な生物から進化状保持されていることが考えられるが、しかし、この効果が異種間において伝達されるかは不明である。

そこで本研究では、放射線を照射したイトマキヒトデ卵の飼育海水を海水魚（カクレマノミ：*Amphiprion ocellaris*）飼育海水に加えることで、異種間でのバイスタンダー効果が誘導されるか否かを検討した。まず、カクレマノミにおける DNA 損傷を解析するための条件検討として、カクレマノミに放射線を 2Gy 照射した後、24 時間後における鰓組織および血球細胞における微小核試験の検討を行った。また、2Gy の放射線照射したイトマキヒトデ卵の飼育海水を海水魚飼育海水に加え、24 時間カクレマノミを飼育したのちの鰓組織および血球細胞における微小核試験を行い、異種生物の個体間におけるバイスタンダー効果誘導の可能性を検討した。

「結果と考察」

放射線非照射のカクレマノミと比較して (0.0067 ± 0.0058 , $n=3$)、2Gy 照射されたカクレマノミの鰓において微小核の頻度が有意に上昇していた (0.05 ± 0.012 , $n=3$)。一方で、放射線非照射のヒトデ卵の飼育海水をカクレマノミに処理した際にも、微小核の頻度が有意に上昇していた (0.089 ± 0.037 , $n=3$)。放射線照射 (2Gy) のヒトデ卵の飼育海水をカクレマノミに処理した際は、微小核の頻度は放射線非照射よりは有意に上昇するが、放射線非照射のヒトデ卵の飼育海水を処理した場合よりも微小核の頻度の上昇は見られなかった (0.018 ± 0.0069 , $n=4$)。本結果は、バイスタンダー効果によって増加すると考えていた鰓細胞の微小核を逆に減少させていることから、カクレマノミ鰓細胞はヒトデ卵の飼育海水それ自体から遺伝毒性を受けていることが考えられ、かつ放射線照射によってヒトデ卵から放出される遺伝毒性物質が消失している可能性がある。

2. 論文

なし

プロモーター領域における DNA メチル化状態の解析

研究代表者：中田 章史

受入研究者：三浦 富智

山内 一己

共同研究者：山城 秀昭

1. 成果

福島第一原発事故以降、低線量放射線の持続的な被ばくが次世代へ与える影響は、生物学的・社会的に極めて重要な課題となっている。高線量放射線が生殖腺に与える直接的なダメージについては多くの知見がある一方、低線量率の慢性被ばくが生殖細胞の分子基盤、特にエピジェネティックな制御系に及ぼす影響については未解明な点が多い。本研究では、ゲノム全体の DNA メチル化パターンを維持するために不可欠な酵素である Dnmt1 に着目した。放射線照射によって精巣における Dnmt1 の遺伝子発現およびその制御領域であるプロモーターのメチル化状態にどのような変化をもたらすかを明らかにすることを目的とした。

解析には、2023 年度の ERAN 共同研究にて、放射線照射およびサンプリングを行ったマウスの精巣を使用し、非照射群、低線量率慢性照射群（LD：0.076 mGy/min）、および高線量率急性照射群（HD：0.65 Gy/min）の比較解析を行った。なお、照射群の総線量は 4 Gy である。精巣組織から抽出した RNA および DNA を用い、Dnmt1 の mRNA 発現量を定量的 PCR (qPCR) により解析した。さらに、Dnmt1 遺伝子のプロモーター領域（-0.5 kb、-0.6 kb、-1.7 kb の 3 箇所）における DNA メチル化頻度を算出するため、メチル化感受性制限酵素 Hha I を用いた MSRE-qPCR 法を実施した。

その結果、LD 群において、Dnmt1 の遺伝子発現量がコントロール群と比較して有意に減少していることが判明した。プロモーター領域のメチル化解析においては、LD 群の -1.7 kb 付近の領域でメチル化率の有意な上昇が認められた。この特定の領域におけるメチル化レベルの上昇は、観測された Dnmt1 遺伝子の発現抑制と負の相関を示しており、プロモーター領域のメチル化が転写抑制を誘導している可能性が示唆された。

本研究により、低線量率放射線の慢性照射が精巣における Dnmt1 の発現制御を攪乱することが示唆された。Dnmt1 は細胞分裂時のメチル化パターンの正確なコピーを担うため、その発現低下はゲノム全体のメチル化維持の不安定化を招き、次世代へ継承されるエピジェネティック情報の変容を引き起こすリスクを孕んでいる。

2023 年度の ERAN 共同研究の成果では、LD において Dnmt3A の遺伝子発現の増加が確認されている。そのため、Dnmt3A のプロモーター領域を特定する予定である。以上より、放射線被ばくによる生殖細胞への影響メカニズムの詳細な解明が期待される。

2. 論文

1. Annaka K, Tokita S, Shibata J, Fukuda R, Ikema H, Nakata A, Miura T, Yamashiro H (2026). Seasonal switches in testicular gene programs underlie spermatogenic plasticity in the large Japanese field mouse (*Apodemus speciosus*), *Theriogenology Wild* 8, pp. 100147.
2. Miyajima K, Daikuhara H, Shibata J, Annaka K, Ikema H, Tanaka S, Sugiyama T, Nakata A, Miura T, Yamashiro H (2025). Shortened non-breeding period and extended reproductive activity in male wild mice during a context of increased temperature, *Mammalia*, pp.
3. Yonekura S, Hasegawa C, Ochi S, Kinoshita Y, Shibata J, Kobayashi M, Ikema H, Nakata A, Miura T, Yamashiro H (2025). Effects of reversine and proTAME treatment on chromosome segregation during mouse oocyte maturation, *Zygote* 33(4), pp. 195-202.
4. Goh Valerie Swee T, Anderson D, Fujishima Y, Nakayama R, Tran T-M, Takebayashi K, Abe Y, Kasai K, Ariyoshi K, Nakata A, Yoshida Mitsuaki A, Miura T (2025). Cytogenetic Biodosimetry in Radiation Emergency Medicine: 6. Cytokinesis-block Micronucleus Assay and Its Role in Biodosimetry, *Radiation Environment and Medicine* 14(1), pp. 17-36.

インド ケララ州の高自然放射線地域におけるクマネズミの精子形成能評価

研究代表者：山城 秀昭

受入研究者：三浦 富智

共同研究者：中田 章史

1. 成果

高自然放射線環境は、低線量放射線の生物影響を実環境下で評価する上で重要な研究対象である。本研究では、インド・ケーララ州チャヴァラの高自然放射線地域（HBRA）に生息する野生 *Rattus rattus* を対象に、精子形成の組織学的構造および分子応答を解析した。

チャヴァラ地域の空間線量率は 0.09～16.5 $\mu\text{Sv/h}$ （平均 1.7 $\mu\text{Sv/h}$ ）であり、年間線量は約 15 mSv と推定された。一方、対照地点では 0.05～0.14 $\mu\text{Sv/h}$ （平均 0.1 $\mu\text{Sv/h}$ 、年間約 0.9 mSv）であった。精巣組織の解析により、HBRA 個体では精細管構造が良好に保たれ、活発な精子形成が確認された。精子形成細胞数の定量解析においても群間差は認められなかった。アポトーシス細胞は HBRA 個体で少なく、局在も限定的であった。また、AZAN 染色により間質線維化は認められなかった。PCNA 免疫蛍光染色解析では、細胞増殖活性に群間差は認められなかった。qPCR 解析では、放射線応答遺伝子 *Lsp1* および *Ptprk* の発現に有意差は認められず、HBRA 群で軽度の上昇傾向がみられたものの、明確な放射線影響は示されなかった。

以上の結果から、本研究で対象とした曝露範囲において、高自然放射線環境下での慢性低線量曝露は、野生 *R. rattus* の精子形成および選択した分子指標に対して検出可能な影響を及ぼさないことが示唆された。ただし、本研究は組織学的および限定的な分子指標に基づくものであり、生殖機能そのものは評価していない。したがって、微細な分子変化や長期的影響の可能性は否定できない。今後は、より大規模なサンプルおよび包括的分子解析を用いた検討が必要である。

2. 論文

Kinoshita Y, Shibata J, Annaka K, Ikema H, Goto J, Sasidharan K, Kumar MS, Madhavan A, Ravinesh R, Hatha AM, Nakata A, Toshihiko S, Shinoda H, Palmerini MG, Zaccardi S, Cocciolone D, Macchiarelli G, Abe M, Fukumoto M, Miura T, Yamashiro H. Chronic low-dose natural radiation exposure and testicular response in Wild *Rattus rattus* from high background radiation areas in Kerala, India. *Journal of Environmental Biology* (R2).

青森県弘前市で採取された降水の同位体地球化学的特徴

研究代表者：栗田 直幸

受入研究者：赤田 尚史

アンダーソン ドノヴァン

共同研究者：柳澤 文孝、高橋 祥基

北山 結彩

James William Stephenson

、Chuenbubpar Darunwan

1. 成果

青森県弘前市は、国内夜臼の豪雪地域として知られている。2024/2025 冬季には雪による災害もたびたび発生し、線状降雪帯の発生など気象学的な解析は行われている。一方、その化学的特徴は未解明のままである。本研究では、青森県弘前市における降水/降雪の同位体地球化学的特徴を明らかにすることを目的に、弘前大学屋上に置いて月間降水を採取し、トリチウム、水素酸素安定同位体比等の分析を行った。

採取した試料は pH および電気伝導度(EC)を測定した後、蒸留し、改良した固体高分子膜電解濃縮装置(XZ001, Tripure, デノラ)を用いて濃縮処理を行った。濃縮試料は再度蒸留を行い、試料と液体シンチレータ(UltimaGold LLT, Revtity)を 50 ml ずつ混合し、1 週間程度冷暗所で静置した後、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタ(LSC-LB5, アロカ)を用いて 1000 分測定を行った。また、試料水の一部をメンブレンフィルタ(DISMIC 25CS045AS, ADVANTEC)でろ過し、イオン成分濃度はイオンクロマトグラフィ分析装置(930 Compact IC Flex, Eco IC, Metrohm)を、水素・酸素安定同位体比は水安定同位体分析計(L2130-I, Picaro)を用いて分析した。

2018 年から 2023 年の弘前における降水中トリチウム濃度範囲は 0.29–1.99 Bq/L の範囲で、平均(±S.D.)は 0.61 ± 0.29 Bq/L であった。2018 年から 2023 年までの各年の平均濃度は、それぞれ 0.52、0.67、0.62、0.56、0.79、0.49 Bq/L であり、2022 年が比較的高い傾向にあった。水素酸素安定同位体比は、春季から秋季にかけてはおおよそ Meteoric Water line 付近に分布し、降雪時期は比較的軽くなる傾向を示した。

今後も弘前市における月間降水調査を継続し、その特徴を明らかにするとともに、他地域との比較検討を実施したい。

2. 論文

北山結彩, 桑田遥, Khemruthai Kheamsiri, 福田ほのか, 田中和貴, 山田椋平, 栗田直幸, 滝沢宜之, 斉藤秀樹, 遠藤雅宗, 天野洋典, 鷹崎和義, 赤田尚史: 福島県浜通り地域における ALPS 処理水海洋放出前後の月間降水中トリチウム濃度. 東北の雪と生活, 40, 21-25 (2025)

二枚貝貝殻を用いた遡及的放射性核種モニタリング手法の確立

研究代表者：杉原 奈央子

受入研究者：田副 博文

共同研究者：白井 厚太郎

山田 正俊

1. 成果

2011 年に発生した東電福島第一原発事故によって放出された放射性核種は、現在も環境中に残留しているものの、そのモニタリングの時空間解像度には制約がある。この課題を解決するため、生物硬組織を利用した遡及的環境モニタリングが有効と考えられる。特に Sr-90 は水溶性が高く、炭酸カルシウムで構成される貝殻に取り込まれやすい性質を有し、半減期も 28.79 年と長いことから、事故後数か月間の濃度変遷といったデータ空白期間の復元に資する可能性がある。本研究では、二枚貝貝殻中の放射性・安定ストロンチウム濃度を指標として、環境中の放射性核種の動態を復元する手法の確立を目的としている。

昨年度までに、弘前大学において淡水性二枚貝であるカワシンジュガイの Sr-90 分析を、東京大学大気海洋研究所において貝殻の成長履歴指標となる酸素安定同位体比分析を実施し、Sr-90 濃度変遷と成長履歴の対応関係の解明を試みた。その結果、分析対象個体においては、縁辺から蝶番にかけて Sr-90 濃度に明瞭な時間的変動パターンは認められなかった。また、酸素安定同位体比の結果から、当該個体の成長速度が遅く、時間分解能が十分に確保できていないことが明らかとなった。これらの結果は、Sr-90 履歴の復元には、より高い時間解像度を有する試料および分析手法の適用が必要であることを示唆している。

これを踏まえ、今年度は分析試料の微量化と高感度分析の実現を目的として、TIMS の適用に向けた条件検討および前処理手法の整備を行った。TIMS 測定におけるフィラメント条件や測定パラメータの検討を実施した。また、時間解像度向上の観点から、成長速度の速い若齢個体の選別および試料調製を行い、微量分析に適した試料セットの構築を進めた。これらの取り組みにより、従来法では困難であった微小領域における Sr-90 分析の実現に向けた基盤が整備された。今後は、確立した TIMS 分析条件を用いた実試料への適用を進めるとともに、貝殻成長線に沿った高分解能分析と安定同位体比データとの統合解析を行うことで、事故直後の Sr-90 濃度変遷の復元を目指す。

2. 論文

放射性希ガスモニタ校正に向けた標準測定器の精度評価

研究代表者：古川 理央

受入研究者：大森 康孝

共同研究者：原野 英樹

1. 成果

自然放射性ガスのラドン (Rn-222) とその子孫核種は一般公衆の放射線被ばくの大きな要因である。近年のラドン濃度の測定ニーズの高まりの一方、国内では一次標準を起点とした校正のトレーサビリティ体系が整備されておらず、国内で測定値の正しさを担保する事は困難である。放射能標準の保守・供給を行う国立研究開発法人 産業技術総合研究所 (以下、産総研) は、Rn-222 の標準開発を目指し、同じ放射性希ガスの一つである Kr-85 の標準として稼働実績がある長さ補償式比例計数管 (Length Compensated Proportional Counter, LCPC) の Rn-222 への適用可能性について検討を行った。本研究では、LCPC による Rn-222 の測定結果を、海外計量研 (PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt)) トレーサブルな通気式電離箱の測定結果と比較した。その結果、両者の測定値は約 5% の差で一致した。この結果は、LCPC が Rn-222 の測定に対しても適用可能であることを示唆する。今後は測定条件の最適化をはかるとともに、不確かさや測定レンジの評価を行い、測定手法および精度の高度化を目指す。

また、比例計数管が稼働する計数ガスは P-10 ガス (Ar 90%、CH₄ 10%) であるが、校正対象となる市販のガスモニタは空気中の Rn-222 濃度を測定することが想定されるため、P-10 ガス・空気の両方で測定が可能な通気式電離箱を仲介器として用いる校正体系を検討した。電離媒体ガスが空気の場合の通気式電離箱のレスポンスに対する P-10 ガスの場合のレスポンスを実測データに基づいて評価する手法を開発した。開発した手法により上記のレスポンス比は暫定的に 0.75 と求められた。今後他の手法との比較や不確かさの評価を行い、手法及びレスポンス比の信頼性を評価する。

さらに、放射性希ガスの Ar-41 について標準開発を目指し、通気式電離箱を用いた校正体系に関して検討した。具体的には、Rn-222 の場合と同様に、通気式電離箱による P-10 ガス及び空気の場合のレスポンス比を評価するため、短半減期 (約 2 時間) の Ar-41 を測定するために新たな測定方法を開発した。レスポンス比は 0.680 ± 0.008 ($k=2$) と評価された。この値は数値計算及び既存手法によって求められたレスポンス比と不確かさの範囲内で一致し、実用的な精度において手法の妥当性を確認することができた。

2. 論文

R. Furukawa, T. Yamada, H. Yashima, H. Harano, Y. Sato, T. Matsumoto, M. Shimizu, Y. Omori, Y. Soeta, R. Nagata, H. Murata, S. Otsuka, R. Ichikawa, S. Manabe, C. Shimodan, R. Smith, S. Tokonami, Evaluating the response ratio of an ionization chamber filled with

air to that with P-10 gas for ^{41}Ar calibration, *Applied Radiation and Isotopes*, Volume 226, 2025, 112211, ISSN 0969-8043, <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2025.112211>.

Furukawa, R., Miura, T., Hachinohe, M. et al. Long-term annual proficiency testing in Fukushima for quality control of activity measurement using gamma-ray spectrometry. *J Radioanal Nucl Chem* (2026). <https://doi.org/10.1007/s10967-025-10674-2>

大気中のトリチウム濃度測定とその化学形態別評価

研究代表者：田中 将裕

受入研究者：柿内 秀樹

1. 成果

[目的]: 天然起源のトリチウム(T)は、主に宇宙線生成核種として成層圏で生成され、速やかに酸化されて HTO となり、対流圏の水循環に取り込まれる[1]。人為起源では、原子力施設などから主に水の化学形態で放出される。そのため、雨水や河川水、海洋、水蒸気など水状(HTO)を対象としたトリチウム挙動研究が広く行われている。一方で、大気中では、トリチウムが水蒸気状(HTO)、分子状(HT)、炭化水素状(主に CH₃T)で存在する。これらを化学形態別に弁別測定した観測例は少なく、各化学形態の生成起源など未解明な点がある。例えば、化学形態の観測結果では、分子状や炭化水素状のトリチウムが高い比放射能を有することが知られている[2]が、その要因は明らかでない。本研究では、挙動が理解されている大気中の水素(H₂、滞留時間: 約 2 年)やメタン(CH₄、滞留時間: 約 10 年)に着目し、大気中トリチウム濃度変動との相関から HT や CH₃T の生成起源解明を試みる。

[方法]: 大気中トリチウム濃度の観測は、研究代表者が開発した化学形態別トリチウム捕集装置[3]を用いた。吸湿剤(モレキュラーシーブ(MS)3A)と温度の異なる酸化触媒を組み合わせ化学形態を弁別した。捕集期間を 1 月もしくは半月(夏季のみ)とし、捕集した水分を液体シンチレーション計数装置(アロカ、LSC-LB-7, バイアル容量: 20 mL、シンチレータ: Ultima-Gold LLT、計数時間: 1500 分、検出下限値: ~1.0 Bq/L)で測定した。大気微量成分は、ガスクロマトグラフ装置(GTR Tech, G2700F, 検出器: 水素炎イオン化検出器、分離カラム: MS-5A, PorapakTM Q)と還元性ガス検知器(ジェイサイエンス, TRD-1)[4]を組み合わせた測定システムを構築し、自動採取装置を利用することで 3 時間ごとの観測データを取得した。

[結果]: 大気微量成分測定と化学形態別大気中トリチウム濃度測定を 4 年間継続して実施し、観測データを蓄積した。観測を開始した 2022 年 6 月から 2025 年 12 月末までのデータを解析し、大気中トリチウム成分(HT, CH₃T)と大気中微量成分(H₂, CH₄)との相関を評価した。その結果、HT と H₂、CH₃T と CH₄ の間には明確な相関(Spearman の順位相関係数: 0.07、-0.02)は確認されなかった。このことは、水素状および炭化水素状トリチウムの生成過程が、大気中の H₂ や CH₄ の生成・消滅過程と異なることを示唆している。分子状や炭化水素状のトリチウム供給源は、H₂ や CH₄ が主に生成される地表付近(対流圏)ではなく、他の領域に存在する可能性がある。例えば、成層圏にも水素(H₂)が存在すること[5]、大気圏内核実験の影響が残る 70 年代に米国上空の高度 10-20 km(成層圏: 対流圏界面)で HT が観測されている[6]ことから、成層圏で生成されたトリチウムの一部は分子状で存在し、それが供給源となっている可能性がある。しかし、降水中 HTO に観測されるスプリングピーク(春季の成層圏から対流圏への移行)や緯度効果(土岐市と六ヶ所村の比

較では、大気中トリチウム濃度が同じレベル)は、これまでの観測では確認できていない。原子力施設(発電所や再処理工場)からのトリチウム放出は HTO の化学形態と考えられているが、分子状や炭化水素状の放出も想定した原子力施設周辺のトリチウム観測が肝要である。

[参考文献]

- [1] N. Momoshima, Radiat. Prot. Dosim., 198 (2022) 896–903.
- [2] M. Tanaka and T. Uda, Radiat. Prot. Dosim., 167 (2015) 187–191.
- [3] T. Uda, et al., Fusion Eng. Des., 81 (2006) 1385–1390.
- [4] M. Tanaka, et al., Plasma Fusion Res., 18 (2023) 2405038.
- [5] D.H. Ehhalt and F. Rohrer, Tellus, 61B (2009) 500–535.
- [6] A.S. Mason, J. Geophys. Res., 82 (1977) 5913–5916.

2. 論文

なし

セシウムの経皮移行と体内分布

研究代表者：小林 大輔

受入研究者：柿内 秀樹

田副 博文

共同研究者：永峰 恵介

1. 成果

福島県立医科大学では、生体に対する安定セシウム (Cs-133) の影響について研究を進めている。これまでに、Cs-133 は細胞外から投与されると細胞内に取り込まれ、細胞内代謝に影響を及ぼすこと、さらにはがん細胞由来培養細胞の増殖を抑制することを明らかにしてきた。これらの結果は、異常な細胞増殖を示す細胞に対する新たな制御手段となる可能性を示している。一方、臨床現場では創傷治癒異常により生じるケロイドが依然として難治性疾患である。ケロイドは線維芽細胞の過剰増殖により形成され、治療後も再発率が高い。我々は、ケロイド由来線維芽細胞に対しても Cs-133 が増殖抑制効果を示すことを見出しており、新規治療法や創薬開発への応用が期待される。また、原子力発電所事故以降、野生動物や家畜におけるセシウムの体内分布に関する報告は蓄積されているが、その多くは経口摂取に基づくものである。経口投与や静脈投与に関する薬物動態の知見は存在する一方で、経皮吸収に関する報告は乏しく、投与経路の違いによる体内移行の差異は十分に解明されていない。

本研究では、セシウム含有外用薬の開発を見据え、皮膚塗布後の経皮移行と体内分布（血中および各臓器）を明らかにすることを目的とする。これにより、全身への移行様式や臓器到達濃度を把握し、臓器に対する影響を予測するための基礎的知見を得ることを目指す。動物実験には ICR 系統雄マウス（7 週齢、n=25）を用い、対照群（NaCl）および処置群（CsCl）に分け、背部皮膚に 1 日 1 回、1 週間または 4 週間塗布した。麻酔下で採血後に安楽死させ、心臓、肺、肝臓、腎臓など主要臓器を摘出し、洗浄・秤量後に凍結保存した。

現在、塗布試験は終了し、検体の前処理を進めている。臓器試料は硝酸による熱分解後、超純水で希釈し、ICP-MS により Na、K、Cs、Mg、Ca の元素分析を行う予定である。予備試験では、特別な処理を行わずとも組織中 Cs が検出可能であり、その濃度は既報のヒト組織と同程度であった。一方、一部臓器（肺）で高値が認められたため、本試験において再現性を検証する。また、試験期間中、対照群と処置群の間で体重差は認められず、本条件（100 mM）での経皮投与は体重に影響を与えないことが示された。

2. 論文

なし

福島県内におけるイノシシの放射性セシウム濃度の長期モニタリング

研究代表者：小松 仁

受入研究者：柿内 秀樹

共同研究者：村上 貴恵美、神田 幸亮

1. 成果

2011 年 3 月の福島第一原子力発電所事故により、森林生態系は広範な放射性セシウム汚染を受けた。イノシシ (*Sus scrofa*) は放射性セシウムの蓄積量が高く、重要な環境モニタリングの指標種とされている。しかし、福島県全域の長期的なデータを用いて、その時空間的な推移や汚染の生物学的要因をモデルベースで定量的に評価した研究はこれまで不十分であった。そこで本研究は、14 年間にわたる大規模なモニタリングデータを解析し、地域別の生態学的半減期の算出、食性の影響の評価、および成長段階などの生物学的属性との関連を明らかにすることを目的とした。

解析には、2011 年度から 2025 年度までの間に福島県内で捕獲された 3,609 頭のイノシシの筋肉中 ^{137}Cs 濃度のデータを使用した。捕獲地点のデータと土壌の ^{137}Cs 沈着量データ (2012 年基準) を空間的に統合し、線形混合モデルを用いて評価を行った。地域ごとの生態学的半減期を算出したほか、胃内容物の ^{137}Cs 濃度を用いて食性の影響を検証し、さらに性別や成長段階 (幼獣・亜成獣・成獣) の違いが筋肉中濃度に与える影響を分析した。その結果、全地域において筋肉中 ^{137}Cs 濃度の有意な減少が確認された。推定された生態学的半減期は 3.0~9.2 年であり、 ^{137}Cs の物理的半減期 (30.1 年) よりも短いことが示された。地域別では浜通りが最も短く (3.0 年)、次いで中通り (6.8 年)、帰還困難区域 (7.2 年)、会津 (9.2 年) の順となった。一方で、長期的な減少傾向の中、中通りでは 2022 年度に一時的な濃度上昇が観察された。また、胃内容物と筋肉の ^{137}Cs 濃度には強い正の相関が認められ、短期的な濃度変動に採餌経路、すなわち食性が強く影響していることが裏付けられた。さらに、筋肉中 ^{137}Cs 濃度に性別による有意差はみられなかったものの、成長段階は筋肉中濃度と有意に関連しており、成獣は亜成獣よりも高い蓄積を示した。減少速度も成長段階によって異なり、若齢個体ほど見かけの減少が早い傾向 (幼獣 3.6 年、亜成獣 2.9 年、成獣 3.1 年) が示唆された。

本研究により、イノシシにおける放射性セシウムの動態は、単なる物理的減衰だけでなく、地域の環境回復プロセス、食性経路、および年齢や成長段階といった生物学的な属性を複雑に反映していることが示された。一時的な上昇傾向や地域ごとの減衰速度の違いは、単一の土壌沈着量データのみで個体の被ばくや蓄積リスクを予測することの限界を示している。本成果は、事故後の景観における生態系回復の評価や野生動物管理において、環境条件と生物学的要因を統合した長期的な多変量モニタリングの重要性を強調するものである。

2. 論文 なし

福島県内における野生傷病鳥獣等の放射性セシウムのモニタリング

研究代表者：壁谷 昌彦

受入研究者：柿内 秀樹

共同研究者：村上 貴恵美、小松 仁

神田 幸亮、稲見 健司

1. 成果

東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故により、現在でも狩猟対象鳥獣において放射性セシウムが検出されている。福島県では、有害鳥獣捕獲、個体数調整及び狩猟における捕獲・処理等の安全確保に必要な情報を県民に発信するため、イノシシ、ツキノワグマ等の野生鳥獣の放射線モニタリング調査を行っている。これらの野生鳥獣の放射線モニタリング調査の結果から、生物種によって体内のセシウム 137 濃度が異なり、とりわけイノシシにおいて筋肉中のセシウム 137 濃度が高い傾向が認められている。加えて、イノシシの筋肉中のセシウム 137 濃度と捕獲場所のセシウム 137 土壌沈着量に正の関係があること、同様な土壌沈着量の汚染レベルのエリアで捕獲されたイノシシであっても、個体間で測定値のバラツキが大きいという結果が得られている。一方で、狩猟対象種以外の野生鳥獣の筋肉中の放射性セシウム濃度については知見が少なくその野生鳥獣における放射性セシウムの汚染状況は不明である。本研究では、福島県における様々な野生鳥獣の筋肉中の放射性セシウム濃度についての知見を得ることを目的とする。

2013 年から 2025 年までに福島県内で保護され福島県野生生物共生センターに運び込まれたのち死亡した傷病鳥獣および有害捕獲等で捕獲された鳥獣の筋肉を採取し、筋肉中に含まれるセシウム 137 を測定した(鳥類:N=194, ほ乳類:N=198)。得られたデータを用いて、生息地域の放射性セシウム土壌沈着量と筋肉中放射性セシウム濃度との相関の確認、生息地域間における筋肉中放射性セシウム濃度の比較、ほ乳動物と鳥類間における筋肉中放射性セシウム濃度の比較、及び食性による放射性セシウム濃度の比較を行った。

その結果、生息地域の放射性セシウム土壌沈着量と筋肉中放射性セシウム濃度については会津と中通りで弱い正の相関、浜通りで強い正の相関がみられた。生息地域間における筋肉中放射性セシウム濃度は浜通り、中通りに比べて会津が有意に低かった。ほ乳動物と鳥類間における筋肉中放射性セシウム濃度は、ほ乳類が鳥類に比べ有意に高かった。食性による放射性セシウム濃度は、それぞれ会津の鳥類で雑食よりも動物食、中通りのほ乳類で雑食よりも植物食のほうが有意に高かった。

本研究によって、近年においても食品の基準値である 100 Bq/kg を超過する個体が鳥類とほ乳類の両方で存在することが明らかとなった。いっぽうで、イノシシのように食品基準値の 100 倍を超えるような極端な値を示す個体は存在しなかった。また、ほ乳類のほうが鳥類よりも放射性セシウムを体内に蓄積しやすい可能性があることと、鳥類、ほ乳類ともに環境中の放射性セシウムの汚染度合が筋肉中の放射性セシウム濃度に影響することが示唆された。

2. 論文 なし

セシウムの吸収・移行に及ぼす生育環境の影響

研究代表者：信濃 卓郎

受入研究者：海野 佑介

武田 晃

共同研究者：富宅 優晴

1. 成果

【背景・目的】

東京電力福島第一原発の事故により大量の放射線核種が放出され、一部地域では、現在でも農作物の汚染が懸念されている。特に飛散量が多く、半減期が比較的長い放射性セシウム (^{137}Cs) の土壌から植物への移行の把握が重要である。セシウム (Cs) はカリウム (K) と植物根での吸収において拮抗関係にあることから、土壌から植物への ^{137}Cs 移行の抑制については、 K の施肥により土壌の交換態 K (Ex-K) 含量を高める対策が広く行われてきた。植物種や土壌により Ex-K による移行抑制の程度が異なることが知られているため、それぞれの植物種や土壌に応じた ^{137}Cs 移行リスクを評価するための適切な手法が必要である。これまでの研究では、植物種と土壌の両面の要素を取り入れた、植物体地上部全体の ^{137}Cs 予測式がたてられた。本研究では、ダイズとルーピンを供試作物として、水耕栽培によって植物種固有の Cs 吸収係数を求める。また、それを予測式に適用し、算出した予測値と観測値の関係を調査する。

【材料と方法】

供試植物としてダイズ・ルーピンを用いた。栽培は北海道大学温室で行い、栽培期間はルーピンが 2025/10/16 ~ 2025/11/20 の 36 日間、ダイズが 2025/11/17 ~ 2025/12/19 の 33 日間であった。バーミキュライトに播種し、播種 10 日後に、前処理として各苗を K 濃度 $750\text{ }\mu\text{M}$ の水耕液 (32 L) に移植した。前処理期間中は 3 日ごとに水耕液を交換した。7 日後に、 K 濃度の変化による植物の Cs 吸収の違いを検証するため、水耕液循環式の栽培装置に設置した各バケツ (4.0 L) にルーピンは 3 個体、ダイズは 2 個体を移植し、 ^{133}Cs 添加処理試験を行った。水耕液循環式の栽培装置については、栽培期間中の水耕液中のセシウムとカリウムの比率の変動を軽減するために使用した。 K 濃度処理については、25, 200, $750\text{ }\mu\text{M}$ の 3 段階を設定した。同時に、 $^{133}\text{CsCl}$ を添加することで水耕液中の Cs 濃度を $0.1\text{ }\mu\text{M}$ に設定した。各処理は 4 反復で行った。前処理・本処理期間を通して 1 M HCl および 1 M NaOH を用いて毎日 $\text{pH } 5.3$ に調整した。また、本処理期間中、水耕液は本処理開始から 7, 10 日後の 2 回交換を行った。水溶液中の無機元素濃度を測定するため、3 日ごとに 10 mL の溶液を採取した。本処理開始 14 日後に植物をサンプリングし、分析を行った。

【結果と考察】

実験の結果より、ルーピン、ダイズともに水耕液 K 濃度が増加するにつれて地上部全体の K 濃度は増加、 ^{133}Cs 濃度は減少する傾向がみられた。また、どちらにおいても水耕液中

の Cs/K 比が高くなるほど地上部の ^{133}Cs 濃度が増加するという明確な関係が見られた。さらに、その増加の程度、すなわち Cs/K 比に対する植物体地上部 ^{133}Cs の関係を示す式の傾きは植物種によって大きく異なった。Cs/K 比に対する植物体地上部 ^{133}Cs の関係を示す式の傾きは植物種による違いを示す重要なパラメータであり、この植物側の指標と土壌側の指標 (Ex- ^{137}Cs /Ex-K 比) を統合することで、土壌や植物種が異なる条件でも適用可能な、より汎用性の高い ^{137}Cs 移行予測モデル式を構築できると考えられる。今回の水耕栽培試験で得られたそれぞれの固有の吸収係数と先行研究における土耕栽培試験での実測値、および予測式を用いて予測値を算出し、観測値との関係を調査したところ、ルーピンについては、実測値と予測値が概ね一致していたが、ダイズについては、実測値に対して予測値が大きくなっていた。この原因として考えられるのは、品種の違いである。今回実施した水耕栽培と土耕栽培モニタリングデータにおいて使用していた品種が異なることから、品種の違いにより観測値と予測値にずれが生じた可能性があり、作物種のみならず品種に着目した吸収係数を算出することが必要であると考えられる。

2. 論文

土壌中での放射性セシウムの難交換態化を駆動する鉱物の実態解明

研究代表者：中尾 淳

受入研究者：武田 晃

共同研究者：橋井 一樹

坂井 亜優

1. 成果

本研究は、福島第一原発事故後に森林土壌へ沈着した放射性セシウム（Cs-137）の存在形態とその固定メカニズムを明らかにすることを目的として実施された。放射性セシウムは長半減期核種であり、事故後十年以上が経過した現在でも森林表層土壌に多く残留している。住宅地や農地では表土除去を中心とした除染が進んだが、森林域は広大であるため多くが未除染のままであり、森林土壌における放射性セシウムの形態変化や移動の理解が、長期的な被ばくリスクの適切な評価に不可欠となっている。このような背景から、地質の違いが森林土壌における Cs の存在形態に影響を及ぼすという仮説を立て、異なる地質帯の森林表層土壌を比較することでその影響を検証した。

調査は、堆積岩地域に位置する福島県大熊町と、花崗岩帯に属する伊達郡川俣町山木屋の二ヶ所の森林で行われた。大熊町では 2016 年と 2017 年の二回、山木屋では 2016 年に採土を実施し、両地点とも地表から深度別に土壌を採取した。得られた土壌は風乾と篩分けを行ったのち、酢酸アンモニウム抽出による交換態 Cs、有機物分解による有機結合態 Cs の抽出を行い、さらに未処理試料の測定から全 Cs 量を求めることで、鉱物と強固に結合して抽出されなかった強固結合態の Cs を推定した。いずれの抽出液および土壌試料も Ge 半導体検出器により Cs-137 濃度を測定し、存在形態ごとの分布を詳細に解析した。

その結果、すべての地点において、放射性セシウムの九割以上が腐植層および 0-5 cm の鉱質土層に集中的に分布していることが明らかになった。この深度分布の傾向は採取年に左右されず共通していたが、腐植層と浅い鉱質層のどちらにより多く保持されているかは地点ごとに大きく異なっていた。腐植層では有機結合態が三〜四割を占め、有機物による保持の寄与が大きい一方、0-5 cm の鉱質土層では九割以上が強固結合態であり、鉱物による固定が支配的であった。さらに地質帯の異なる二地点を比較しても、鉱質層における強固結合態の割合に顕著な違いは見られず、表層における強固固定の主要因が鉱物組成の違いよりも、土壌そのものの層位構造や有機物の量・性質に関係している可能性が示唆された。

一方で、大熊町の深度 10 cm 以深では、交換態の Cs-137 の割合が相対的に増加するという特徴的な挙動が確認された。この深層での交換態 Cs の増加は、腐植層からの選択流による移動、あるいは土壌動物の活動による攪乱が影響している可能性があり、必ずしも地質の違いだけでは説明できない局所的な環境因子の影響が大きいと考えられた。

以上の結果から、森林土壌における放射性セシウムの固定は、主に腐植層と浅い鉱質土層において進行し、特に鉱質層では強固結合態が卓越することで長期的な保持を可能にしていることが分かった。また、深層での交換態 Cs の増加は地点により異なり、土壌物理環境や生物的プロセスが影響を及ぼすことが示唆された。これらの知見は、森林域における放射性セシウムの長期挙動を評価する上で重要な基礎情報となる。

今後は、0-5 cm と 10 cm 以深の鉱質土層を対象に、鉱物組成や放射性セシウムの補足ポテンシャルをより詳細に解析し、深層で交換態 Cs が増加する機構が鉱物特性に起因するものかどうかを検証する。また、鉱物・有機物・水分移動の相互作用を考慮した Cs 固定メカニズムのモデル化を進めることで、森林域における長期的な放射性 Cs の移行予測の精緻化に寄与したい

2. 論文

海中における有機結合型トリチウムの残存率推定に向けた有機物の分解・残存過程の解明

研究代表者：大森 裕子

受入研究者：佐藤 雄飛

共同研究者：小野 つかさ

1. 成果

2023 年 8 月より開始された、東京電力福島第一原子力発電所事故の事後処理過程で発生した処理水の海洋放出に伴い、海洋中のトリチウム動態は社会的及び学術的に高い関心を集めている。海洋放出されたトリチウムの大部分はトリチウム化水（Tritiated water: HTO）として存在し、この HTO は海水と相動的動態を示す。一方、HTO の一部は植物プランクトンの光合成により有機結合型トリチウム（Organically Bound Tritium: OBT）へ変化する。私達の先行研究では、福島沿岸における植物プランクトンによる OBT 生成速度を推定している（Sato and Omori, 2023, Water Research）。植物プランクトン粒子中の OBT は有機物の微生物分解過程を経て再び HTO へ変化しつつ、一部は OBT として残存する。ただし、これらの変化・残存の過程に関する定量的情報が無い。本研究では植物プランクトン粒子中の OBT について海水中の微生物分解過程の定量的評価を目的とした実験を実施した。

2025 年 6 月に青森県沿岸で採取した海水 20L をポリカーボネート容器へ移し、そこへ HTO の代替物質として重水（ $2\text{H}_2\text{O}$ ）を添加した上、光量子束密度 $100\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ 、室温 15°C に設定した人工気象チャンバー内で 24 時間の明培養を実施した。これにより海水中に有機結合型重水素（Organically Bound Deuterium: OBD）が生成した。続いて、光源を切り、150 日間の暗培養へと移った。暗培養中には測物プランクトンが速やかに死滅するとともに生成した OBD の微生物分解が起こる。暗培養中は、0、1、3、7、15、35、70、150 日目に海水 2L をそれぞれ回収した。回収した海水は GF/F（有効保持粒子径 $0.7\mu\text{m}$ ）および Anodisc（孔径 $0.2\mu\text{m}$ ）によるろ過操作で、大型（ $>0.7\mu\text{m}$ ）及び小型（ $0.7\sim 0.2\mu\text{m}$ ）粒子態試料、並びに溶存態試料（ろ液）に分画し、各試料中の OBD 濃度を測定した。

明培養時に主に大型粒子として生成した OBD は、暗培養時は速やかに減少し、150 日目には殆ど消失した。この間、暗培養の 3～7 日目に小型粒子および溶存態試料中の OBD 濃度が増加した。これは大型粒子中の有機物を微生物が消費する過程で、各々の画分へ OBD が移行した結果であると考えられる。この際、特に溶存態試料への移行率が高く、大型粒子の減少量の～7 割程度の増加が確認された。その後、溶存態試料中の OBD 濃度はある程度の増減を繰り返しつつ、培養期間終了まで一定濃度が存在していた。これらの結果は、溶存態有機物が海水中のトリチウムプールとなる可能性を示唆するものである。

2. 論文

Yuhi Satoh, Takashi Tani, Tsubasa Ikenoue, Hideyuki Kawamura, Yuko Omori (accepted)
Accumulation possibility of tritium released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power
Station in marine organisms. Environmental Science and Pollution Research DOI :
10.1007/s11356-026-37606-1

餌料中 FWT を用いた魚類筋肉中の OBT への移行実験

研究代表者：桐原 慎二

受入研究者：石川 義朗

1. 成果

東京電力福島第一原子力発電所から放出される処理水中のトリチウム(T)の有用魚種への移行が懸念されている。魚類筋肉の T は、海水中の自由水型トリチウム(FWT)と餌料中の T が起源と考えられ、このうち、餌料中の T について FWT と有機結合型トリチウム(OBT)を区別して移行を調べた報告は少ない。そこで、重水素(D)を用いて調整した餌料を与えた 2 種の魚類筋肉中の有機結合型重水素(OBD)濃度を測定し、餌由来 FWT の魚類筋肉 OBT 移行を検討した。

重水、脱イオン水、乾燥魚肉ミンチ、固形化のための粉末寒天または粉末ゼラチンを加熱溶解後に 5 mm角の細断し自由水型重水素(FWD)添加餌料を調整し、150 L の 15°C調温海水を循環させた水槽に収容した体長が 15cm 前後のマツカワ、14cm 前後のキツネメバル(各 7 個体)に摂餌状況を観察し残餌を生じないよう各々 36 日、39 日間給餌した。実験終了時に体重を測定するとともに筋肉組織を摘出し乾燥・粉碎処理後に水素同位体比測定装置を用いて OBD 濃度を測定し、供試魚と同じ飼育群の実験開始前の値と比較した。供試魚が摂餌した餌料中の FWD 量と魚体中の OBD 増加量からへの D 移行率を求めた。

この結果、寒天調整餌料を与えた供試魚は、全ての個体で実験終了時には体重が減少し、筋肉中の OBD がマツカワ、キツネメバルで各々 153 ppm, 157ppm 以下であった。海藻由来の寒天は、供試魚が吸収しにくいため、餌料の固形化材料として不向きと考えられた。

一方、ゼラチン調整餌料を与えたマツカワ、キツネメバルでは体重に増加傾向が見られ、実験を通じた日間増加率が各々平均 0.067%/day(SD 0.103), 0.131%/day(SD 0.077)を示し、実験終了時の筋肉中の OBD 濃度は各々平均 166.3ppm(SD 4.82), 163.0ppm(SD 4.58)であった。ゼラチンを用いて調整した餌料中の総 FWD 量から魚体中で増加した OBD 量から試算した D 移行率は、マツカワ、キツネメバルで各々 2×10^{-6} , 5×10^{-6} と計算され、両魚種ともに低い値に留まった。

2. 論文

富士山の地下水の化学的特性

研究代表者：宗林 留美

受入研究者：石川 義朗

1. 成果

本課題は、富士山の地下水による放射性元素などの物質輸送経路の解明に資することを目指して実施した。具体的には、富士山の地下水の化学的特性から、(1) 富士山山体内部の水みち、(2) 帯水層を構成する元素の地下水への溶出、(3) 人為起源物質の輸送を明らかにすることを目的とした。また、(4) 富士山およびその周辺地域における火山活動と地震活動が富士山の地下水の水質に及ぼす影響を検出することを視野に、そのための定期観測点を選定し、平時のデータを収集することも目的とした。

調査地域は、大学から近い富士山南西麓とし、予備調査を 2024 年 11 月～2025 年 3 月に計 3 回行った。調査した 6 か所の地下水と湧水の主要イオン組成は、アルカリ土類炭酸塩型、アルカリ土類非炭酸塩型、アルカリ非炭酸塩型のいずれかであることがわかった。これらの主要イオン組成型、行きやすさ、採水と前処理の容易さから定期観測点を 4 か所選定し、2025 年 6 月～現在までほぼ 30 日ごとに調査した。すべての試水の水の酸素水素安定同位体比は、富士山の天水線と世界の天水線の範囲に入り、降水起源であることが確認された。酸素安定同位体比から推定した涵養標高は、観測点により 1300～2760m と異なった。富士山は過去に噴火して出来た古富士火山の上に、新しく噴火して出来た新富士溶岩流が重なった構造をしており、地下水の K^+/Na^+ モル比は両方でそれぞれ特有の値を取ることが報告されている。 K^+/Na^+ モル比に基づく帯水層の推定から、推定涵養標高が約 2000m 以上の場合に降水がより深い古富士火山まで涵養し、推定涵養標高が約 1500m 以下の場合に新富士溶岩流までしか涵養していないことが推測された。また、推定涵養標高が高い地下水ほどバナジウム濃度が高く、富士山の山体内部での滞留時間が長いほどバナジウムが多く溶出することが考えられた。古富士火山に涵養した地下水のうち、新富士溶岩流の産出時代に出来た火山砕屑岩に作られた井戸の地下水では、アルミニウムや鉄などの微量金属元素の濃度が高く、溶岩よりも火山砕屑岩の方がこれらを溶出しやすいと考えられた。試水中の窒素の栄養塩は、ほぼ硝酸塩で占められており、湧水と新富士溶岩流の地下水で高濃度であった。新富士溶岩流は間隙が多いことが報告されており、施肥、畜産、廃水などの人為起源の窒素が新富士溶岩流の地下水に移行しやすく、地下水により輸送されることを示した。

2. 論文

該当なし

低レベル放射線による発がんリスク評価を目指した高感度検出系の開発

研究代表者：笹谷 めぐみ

受入研究者：山内 一己

1. 成果

福島第一原子力発電所事故に伴うトリチウムの海洋放出により、環境汚染や健康影響に対する社会的関心および不安が高まっている。その背景には、トリチウムを含む低レベル放射線による生体影響に関する科学的知見が十分に蓄積されていないことが挙げられる。特に、低線量・低線量率放射線被ばくによる発がんリスクについては、疫学的にも分子生物学的にも未解明な点が多い。このような状況を踏まえ、本共同研究では、マウス個体を用いた高感度な放射線発がん検出系を構築し、低線量・低線量率放射線による発がんリスクの定量的評価およびその作用機序の解明を目的とする。

本年度は、変異細胞を可視化・検出するための基盤技術の確立を目的として、実験系の構築を行った。具体的には、実体顕微鏡および共焦点顕微鏡を用いた観察系を整備し、モデルマウス組織における変異細胞の検出および空間的分布の解析が可能な実験系を立ち上げた。

これにより、従来は困難であった微小な変異細胞クローンの検出および定量解析が可能となり、放射線発がんの極初期過程を個体レベルで捉えるための基盤が確立された。本研究により得られる低線量・低線量率放射線発がんリスクに関する知見は、トリチウムをはじめとする低レベル放射線に対する科学的根拠に基づいた放射線防護基準の策定に貢献することが期待される。さらに、変異幹細胞の動態を可視化する本実験系は、放射線発がんの分子機構の解明に資するものであり、将来的には発がんリスクの低減化に向けた新規戦略の構築にもつながると考えられる。

今後は、本年度確立した解析基盤を活用し、低線量・低線量率条件下における変異細胞の出現頻度および増殖挙動の定量解析を進めるとともに、年齢依存性や微小環境の影響を統合的に評価していく予定である。

2. 論文

なし

低線量放射線影響評価のためのマウス活性酸素種の影響の検討

研究代表者：大野 みずき

受入研究者：山内 一己

1. 成果

低線量率放射線 (low dose-rate radiation, LDR) による長期被ばくの生体影響の解明は重要な課題である。これまでに、20 mGy/day のガンマ線を長期間連続照射した野生型メスマウスにおいて寿命短縮が観察され、さらに抗酸化剤 NAC (N-acetylcysteine) の投与によりその影響が抑制されることが報告されている (Yamauchi 2019)。これらの結果は、LDR 長期被ばくによる活性酸素種 (ROS) の持続的な発生と、それに伴う脂質、タンパク質、DNA などの生体分子の酸化的損傷が寿命短縮に関与する可能性を示唆する。しかしながら、これまでに実際の ROS 発生量や酸化的損傷に関する定量的データは得られていない。そこで本研究では、LDR 照射マウスの臓器サンプルを用いて酸化ストレスの影響を評価し、酸化的損傷の程度を定量的に把握することにより、LDR 放射線による生体影響のメカニズム解明を目的とする。

本年度は、上記目的の達成に向けた基盤構築として、解析対象および評価指標の検討を行った。まず、放射線や ROS の影響を受けやすい臓器として、肝臓、腎臓、脳、小腸などを中心に解析対象の選定を行った。また、将来的な経時的解析への展開を見据え、血液および尿サンプルを用いた酸化ストレス評価指標についても併せて検討した。さらに、脂質過酸化 (TBARS、MDA)、タンパク質酸化 (カルボニル化、3-NT)、核酸損傷 (8-OHdG、8-NO2-G) などの酸化損傷マーカーを候補として整理し、それぞれの測定法の特長や定量性、適用可能性について比較検討を進めた。

一方で、野生型マウスでは抗酸化機構や DNA 修復機構により LDR 被ばくの影響が補償され、短中期では検出可能な変化が顕在化しにくい可能性がある。そこで本年度は、酸化 DNA 損傷修復に関与する遺伝子の欠損マウスを用いて、週齢グループごとに血清を含む複数の臓器を採取・保存した。今後これらのサンプルを利用して各種酸化ストレスマーカーの検証を行う予定である。

2. 論文

放射線による腫瘍発生部位の競合に関する研究

研究代表者：藤通 有希
受入研究者：小村 潤一郎
共同研究者：吉田 和生
内之宮 光紀
木村 建貴
橘 拓孝

1. 成果

【背景と目的】

近年、放射線によるリスクを疾病発症・死亡の「確率の増加」ではなく、「時期の早期化」として評価する提案があり、早期化を指標とした解析結果が徐々に報告され始めている。我々は、放射線被ばくによるリスクを「早期化指標」を用いて評価してきた（Sasaki et al., JRPR 2022, Fujimichi et al., JRR 2023）。がん死亡については単純な確率の増加や時期の早期化でリスクを表せないことから、我々は死亡リスクをより正確に評価するためには複数の死因（死因の競合）を考慮する必要があると考え、評価手法の検討を進めている（Kimura et al., 投稿準備中）。一方で、放射線防護におけるがんリスク予測では、致死性の低いがん部位の考慮や診断の正確性の観点から死亡リスクよりも発症リスクの方が重要視されるが、異なる複数の疾病が発症して、そのうちのどれかが死因となる場合のリスクについては未検討であり、他の研究報告もあまりない状況である。腫瘍発生を評価した動物実験では、マウスの数に対する部位別腫瘍の合計数の比は1を超えることが報告されている（Tanaka et al., RR 2017）。死因の競合を考慮したリスク評価では、がん以外にも含めた全ての死因が関係しており、全ての疾病を踏まえたうえで腫瘍発生と死亡リスクの関係性について検討することが重要である。本研究は、全ての疾病をふまえた腫瘍発生確率とその後の死因の関係を整理し、整理結果に基づく放射線リスクを試算することを目的とする。

【結果】

環境科学技術研究所と共同で、まずはどのような疾病が死因になるかを整理した。これにより、個別の疾病と各死因を紐づけることが可能となった。放射線防護の目的からはリスク推定値が安全側の推定値となることは重要であると考え、本研究では良性腫瘍についても死因となりうると定義した。

本試算では、固形がんとリンパ腫とその他疾患の3つの疾病グループを設定した。少なくとも1つ以上の疾病が発症している状況を考慮し、各疾病の平均罹患日齢を試算した。非照射群と21 mGy/day 照射群の固形がんの平均罹患日齢を比較したところ、放射線照射により発症が約300日早まることがわかった。平均罹患日齢と平均死亡日齢の関係性から、死因の競合について考察を進めている。また、腫瘍の個数や悪性度は今回の検討に考慮しておらず、今後の検討課題である。

2. 論文

なし

低線量放射線被ばく実験データベースおよびマウス組織標本デジタルアーカイブのフォーマットの共通化とその活用方法の検討

研究代表者：石川 敦子

受入研究者：中平 嶺

共同研究者：森岡 孝満

山田 裕

金 佳香

1. 成果

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（QST）・放射線医学研究所（NIRS）および環境科学技術研究所（IES）は、膨大な数の実験動物を用いて放射線の生物影響の研究を行っている。本研究では、これらの研究で得られたデータおよび組織標本を国内外の研究機関で有効利用すべく、データベースおよび組織標本のアーカイブ（デジタル化）のフォーマットの共通化とその活用方法を構築し、放射線生物影響研究の成果の最大化に繋げることを目的とする。

今年度は、QST・NIRS と IES に保管されている動物実験データ（数値データ、サンプルの病理診断結果・保存情報および病変部位のアノテーションを付加した組織画像）についてシステムに導入するためのフォーマットを確定し、実験動物放射線影響研究アーカイブ（J-SHARE）システムの改修を行った。改修後、IES の動物実験データ（実験群 1：約 4,000 件、実験群 2：約 1,300 件）の数値データを追加した。また、J-SHARE のホームページ (<https://www.qst.go.jp/site/radefr-en/j-share-e.html>) 上に QST の動物実験データの解析を行った論文および解析で使用了実験データを公開した。

これまでに蓄積してきた実験動物データをアーカイブ化して公開することで、国内外の研究機関において遠隔での有効活用が可能となり、放射線リスク評価および放射線防護施策に役に立つ科学的根拠に基づく新たな知見の取得への貢献が期待できる。

2. 論文

なし

福島県の森林における野外菌床栽培キノコへの ^{137}Cs の移行と蓄積

研究代表者：渡邊 未来

受入研究者：林 誠二

操上 広志

佐々木 祥人

共同研究者：境 優

1. 成果

2011 年の原発事故以降、土壌からの放射性 Cs 吸収に対する不安から、福島県では森林内での菌床栽培によるキノコ生産は自粛が続いている。本研究では、菌床キノコの安全な栽培条件を抽出して生産再開につなげるため、野外で菌床栽培したキノコへの ^{137}Cs の移行と蓄積について調べた。まず、森林内で基準値を下回る菌床キノコが生産できるかを調べるため、生産が自粛されているハタケシメジ (*Lyophyllum decastes*) とムラサキシメジ (*Lepista nuda*) を対象に、福島県全域で試験栽培を行なった。2024 年 7～8 月、空間線量率が $0.04\sim 0.89\ \mu\text{Sv/h}$ の落葉広葉樹林 14 地点に菌床を伏せ込んだ。ハタケシメジは、深さ 14cm に掘った穴に菌床を埋め込み、穴掘りで得た 7-14cm 深の土壌で菌床を被覆した。ムラサキシメジは、腐葉土を掻き集めて露出した土壌表面に菌床を置き、これを腐葉土でマウンド状に被覆した。同年 10～11 月に収穫したキノコの ^{137}Cs 濃度から求めた放射性 Cs 濃度 (90%水分量換算) は、ハタケシメジが $0.4\sim 12\ \text{Bq/kg}$ 、ムラサキシメジが $0.2\sim 43\ \text{Bq/kg}$ であった。いずれも一般食品の基準値である $100\ \text{Bq/kg}$ を下回っており、空間線量率が $1\ \mu\text{Sv/h}$ 未満の落葉広葉樹林では、ハタケシメジとムラサキシメジの野外菌床栽培による生産を再開できる可能性が示された。一方で、それぞれのキノコの ^{137}Cs 濃度は、栽培地点における空間線量率や土壌の ^{137}Cs 汚染度と正の相関を示した。さらに、Cs 同位体を用いた二起源混合モデルによりキノコ中の ^{137}Cs を菌床由来と土壌由来に分けた結果、大部分が土壌由来であった。これらの結果は、土壌や腐葉土に含まれる ^{137}Cs がキノコへの ^{137}Cs 供給源であることを示しており、土壌中の放射性 Cs の汚染度や移動性の高い地点では、キノコの放射性 Cs 濃度が高くなることに注意が必要である。また、同じ菌床から翌年の 10～11 月に発生した 2 年目のキノコは、収穫量は減る一方で、1 年目に比べ ^{137}Cs 濃度が高くなる場合があった。したがって、森林内で菌床栽培によるハタケシメジとムラサキシメジの生産を再開する際には、以上の事実を考慮した栽培や対策を行うことが必要である。

2. 論文

なし

太田川上流域を対象とした福島事故後初期のセシウム流出場の再構築

研究代表者：佐久間 一幸

受入研究者：林 誠二

操上 広志

1. 成果

本研究は、「太田川上流域を対象とした福島事故後初期のセシウム流出場の再構築」を目的として実施するものである。福島第一原子力発電所事故直後の河川水中における放射性セシウム、とりわけ溶存態 ^{137}Cs の挙動については、当時の観測データが極めて乏しく、被ばく量評価や流出メカニズムの理解に大きな不確実性が残されている。本研究では、流域スケールの数値モデルを用いることで、事故後初期における放射性セシウムの流出場を物理的に再構築することを目指す。

対象地域は福島県太田川上流域（流域面積約 21 km^2 ）であり、森林に覆われた典型的な山地流域である。日本原子力研究開発機構（JAEA）と福島国際研究教育機構（F-REI）が連携し、JAEA がこれまでに整備してきた三次元水理地質構造モデルおよび森林生態系内の移行過程を考慮した流域水循環モデル GETFLOWS を活用した。これにより、地表水・地下水流動、土砂流出、懸濁態および溶存態セシウムの動態を統合的に取り扱うことができる。

解析にあたっては、大気拡散モデルから得られる 2011 年 3 月の時々刻々の ^{137}Cs 沈着量（ $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 格子）及びレーダーアメダス解析雨量を入力条件として用いた。

本研究の成果として、事故直後のフォールアウトしたセシウムが森林の樹冠、リター、土壌、河川へと移行・流出する過程を再現した。また、対象流域における事故後初期の河川水中の ^{137}Cs 濃度は数千 Bq/L オーダー程度であること、事故後初期の半減期は数日～数十日程度のオーダーであることが推測された。これらの知見は、将来の原子力災害時の環境影響評価やリスク管理手法の高度化にも貢献するものである。

今後はより一層、解析条件を整理し、現実に即したパラメータを整備すること、フォールアウトしたセシウムの樹冠やリターへの取り込まれ方（溶出可能・不可能割合）の違いを考慮した移行挙動、流出挙動を評価する。

2. 論文

なし

河川水中放射性セシウム観測のためのカートリッジフィルターの選定

研究代表者：中西 貴宏

受入研究者：辻 英樹

共同研究者：那須 康輝

1. 成果

1. 背景と目的

これまで河川水中の粒子態 ^{137}Cs （放射性セシウム）の回収に使用されてきたカートリッジフィルタ（従来品：RP013-11）が生産中止となった。そのため、ろ過効率の高い後継資材を選定し、評価を行う必要が生じた。本研究の目的は、新たに選定したフィルタを用いて 1)懸濁物質（SS）中の ^{137}Cs 濃度の非破壊測定法を確立すること、2)フィルタの SS 回収容量を評価すること、を目的とした。

2. 選定資材と従来品との比較

後継資材として、ADVANTEC 社製の「MCS-045-C10S」を選定した。従来品と選定品の仕様の主な違いは、

- ・従来品（RP013-11）：プリーツ形状、通水方向「内側から外側」、濾材ポリプロピレン、孔径 $1\ \mu\text{m}$
- ・選定品（MCS-045）：プリーツ形状、通水方向「外側から内側」、濾材ポリプロピレン、孔径 $0.45\ \mu\text{m}$

である。すなわち選定品は通水方向が逆転しており、孔径がより小さくなっているため、より微細な粒子を捕捉できる仕様である。

3. 実験方法

上記の目的を達成するため、2つの観点から実験と評価を実施した。まず ^{137}Cs 濃度の非破壊測定法の確立として、多様な環境水を対象に、選定したフィルタに通水する実験を行った。対象試料は全 17 試料（河川水 11（うち出水時 3）、ダム湖水 2、ため池水 4）で、SS 濃度 $10^{-1}\sim 10^2\ \text{mg/L}$ の水を、通水量 5~50 L、通水速度 約 5 L/分の条件で処理した。測定手順として、まず通水後のフィルタを非破壊（湿潤）状態で ^{137}Cs を測定した。次に、そのフィルタを 105°C で乾燥させた後、破壊・裁断して U8 容器に詰め込み、再度 ^{137}Cs を測定した。この非破壊時と破壊時の測定値を比較することで、非破壊測定時のジオメトリ補正係数を算出した。

つぎに SS 回収容量の評価として、土壌粒子（河床堆積物 6 試料、湖底質 3 試料）を用いて調製した濁水試料をフィルタに通水した。処理前後のフィルタ乾燥重量の差から、回収された SS の重量を算出した。また、通水前の濁水と、通水後にハウジング（カップ）内に残留した土壌の粒度分布（比表面積および中央粒径）を比較・分析した。

4. 実験結果

まず非破壊測定と破壊測定の比較の結果、両者の測定値には「 $y = 0.984x$ 」という強い相

関関係が見られた。この結果から、非破壊測定時のジオメトリ補正係数は 0.98 ± 0.03 であると同定された。これにより、フィルタを破壊することなく、精度の高い ^{137}Cs 濃度の測定が可能であることが実証された。

つぎに SS このフィルタによる SS の回収容量は、土壌の質によって変動したが、9.6 g 以上の SS が回収可能であることが確認された。粒度分布（比表面積と中央粒径）の分析から、比較的細かい粒子から優先的にフィルタに吸着される傾向が確認された一方で、より粗大な粒子はフィルタには吸着されず、ハウジング内に沈殿しやすいことが明らかになった。

5. 課題と解決策

選定資材（MCS-045）は高い性能を示す一方で、製品の仕様（通水方向など）に起因する運用上の課題が明らかになった。具体的には通水方向が「外側から内側」であるため、濁水処理時にハウジング（カップ）内に SS が沈殿・残存すること、リター（落ち葉などの有機物）や砂といった粗い粒子は、フィルタに定着せず剥離しやすい傾向があること、処理時の水圧が低いと、SS の付着箇所がフィルタの下側に偏ってしまうことが問題である。これらの問題への解決策としては、全 SS 中 ^{137}Cs の正確な測定のため、フィルタ本体に付着した SS だけでなく、ハウジング（カップ）内に沈殿・残存した SS についても U8 容器等に回収し、別途測定を行う必要がある。また圧力低下への対策として、装置内の圧力低下を防ぎ、SS をフィルタ全体に均一に付着させるため、高出力ポンプなどを用いて高流量で処理することが求められる。

2. 論文

放射能環境動態・影響評価
ネットワーク共同研究拠点（ERAN）

FY2025 Final Report
【若手/Young 共同研究】

若手共同研究（日本国内機関所屬）

採択No.	研究代表者名	所属機関	職名・学年	課題名	受入研究者	受入機関	共同研究者
Y-25-01	榊原 厚一	信州大学	助教	森林源流域におけるマルチ同位体トレーサー法による地下水流動過程の解明	恩田 裕一 辻村 真貴	CRiES	平松 翼
Y-25-02	佐藤 ひかる	株式会社笠原建設	土木技術職	福島第一原発事故後の地下水中のH-3を用いた海洋への放射性物質の流出解析	恩田 裕一 津旨 大輔	CRiES	
Y-25-03	西野 圭佑	一般財団法人 電力中央研究所	研究員	数値水槽実験を用いた懸濁土砂粒子の凝集特性の推定に関する理論的考察	津旨 大輔	CRiES	吉川 裕
Y-25-04	米田 壮汰	公益財団法人海洋生物環境研究所	研究員	東京湾における放射性セシウムの動態と輸送経路の解明	津旨 大輔	CRiES	杉原 奈央子
Y-25-05	徳永 紘平	日本原子力研究開発機構	研究員	人形峠堆積物におけるウラン移行の特定を目的とした鉄(II)鉱物へのウラン濃集機構の解明	山崎 信哉 坂口 綾	CRiES	
Y-25-06	井上 裕貴	九州大学	学生・博士後期課程3年	ラマン質量分析法に適したカルサイトの酸素同位体標準の合成	丸岡 照幸	CRiES	山本 順司
Y-25-07	西澤 達治	山梨県富士山科学研究所	研究員	温泉水・地下水の化学的指標に基づく富士山の火山活動評価に向けた研究	丸岡 照幸	CRiES	角野 浩史
Y-25-08	五十嵐 悠	東京大学	特任助教	日本周辺におけるPb-214およびBi-214の大気拡散・沈着過程の解明	平尾 茂一	IER	Li Hanting Cai Yu 飯本 武志
Y-25-09	村島 和基	北海道大学	博士後期課程2年	ダイズにおけるセシウムの吸収・移行に及ぼす根粒着生の影響	二瓶 直登	IER	信濃 卓郎 渡部 敏裕 丸山 隼人
Y-25-10	山下 琢磨	東北大学	助教	電子スピン共鳴法によるニホンザルの被ばく線量推定	三浦 富智	IREM	高橋 温 岡 壽崇 鈴木 正敏 木野 康志
Y-25-11	Batkhuuyag Enkh-Uchral	University of Toyama	1st year of PhD	Determination of Nd isotopic composition in water samples from urban and mining areas in Central Mongolia	田副 博文	IREM	Tseren-Ochir Soyol-Erdene Alifia Zaskia 張 勁
Y-25-12	Haryanto Julian Michael	University of Toyama	D1	Multi-scale Onshore-offshore Dynamic and Nutrient Transport of Kuroshio onto The Outer Shelf of the East China Sea Quantified Using Multi-chemical Tracers	田副 博文	IREM	大塚 進平 YAN TU 張 勁
Y-25-13	小林 雅俊	名古屋大学	特任助教	宇宙暗黒物質探索に向けた環境トリチウムバックグラウンドの影響評価とその高感度化	柿内 秀樹	IES	山下 雅樹 宇都山 光輝
Y-25-14	城谷 勇陸	公益財団法人海洋生物環境研究所	研究員	液体シンチレーションカウンターによるトリチウム分析方法の改良検討	柿内 秀樹	IES	杉原 奈央子 赤田 尚史 田副 博文 桑田 暹
Y-25-15	小畑 結衣	茨城大学	Assistant Professor	OBT生成反応における同位体効果の検証	石川 義朗 柿内 秀樹	IES	鳥養 祐二 猪狩 直哉 清水 文香 遠藤 陸冬 狩谷 陸斗 佐々木 俊 満淵 一馬
Y-25-16	Wang WeiZhi	Kyoto University	博士 3 年生	Effects of long-term irradiation of low-dose radiation on cells	森脇 隆仁	IES	秋山 秋梅 Yan LanYun

森林源流域におけるマルチ同位体トレーサー法による地下水流動過程の 解明

研究代表者：榊原 厚一

受入研究者：恩田 裕一

辻村 真貴

共同研究者：平松 翼

1. 成果

福島第一原子力発電所（FDNPP）事故により森林生態系へ沈着した放射性セシウムは、現在も表層土壌に多く残存している。一方で、森林源流域からの Cs-137 の移行は、地下水流動を主とする水文過程に強く影響されることが示唆されている。近年、セシウムの唯一の天然安定同位体である Cs-133 が Cs-137 の動態や長期的な環境リスクを評価するうえで重要な要素の一つとして注目されている。しかしながら、Cs-133 の動態に関する知見は主として実験室スケールに限られており、Cs-137 の沈着が顕著な森林源流域において、水文過程との関係を含めた流域スケールの Cs-133 の動態には未解明な部分が多い。そこで本研究では、FDNPP 事故の影響を受けた森林源流域を対象として、地下水流動プロセスとの関係に着目し、地下水中 Cs-133 の分布特性を明らかにすることを目的とした。

研究対象地は FDNPP の北西約 35 km に位置する世戸八山集水域（面積：0.048 km²）である。研究対象地において、2023 年 7 月 7 日から 2025 年 1 月 16 日までの降水量、地下水位、地下水温および流量を連続的に測定した。また、上記期間中に 9 回の現地調査を実施し、地下水（9 地点）および湧水（1 地点）を採水した。採水時には水温、pH、電気伝導度（EC）を測定し、主要無機溶存イオン濃度、酸素・水素安定同位体比、Rn-222 濃度および Cs-133 濃度を分析した。さらに、本研究で取得したデータとの比較を目的として、同調査地域における地下水および湧水中 Cs-137 濃度、SiO₂ 濃度ならびに地下水年代を先行研究（Iwagami et al., 2019; Sakakibara et al., 2019）から引用した。

本研究では、主に定常条件と解釈される既往研究データとの比較を目的として、前日に降雨のあった調査回を除き、分析値の平均値で比較した。土壌層地下水および湧水では、Cs-133 濃度は岩盤層地下水より高く、Cs-137 および K⁺と強い正の関係を示した。一方、岩盤層地下水では、Cs-133 は Cs-137 および K⁺との明瞭な関係を示さなかった。これらの結果は、浅層における Cs-133 が粘土鉱物を主体とする反応場において、イオン競合を伴う交換・脱離過程の影響を強く受けて動員されていることを示唆しており、Cs-137 はこれらのプロセスに追従している可能性が考えられる。岩盤層地下水では、これらの影響は限定的であると考えられる。岩盤層地下水中 Rn-222 濃度は深度の増加に伴って高くなり、地下水年代や SiO₂ と整合的な関係を示した。これは、滞留時間の増大に伴い水-岩石接触が進行していることを反映していると考えられる。また、水文条件が比較的安定した定常時に限り、岩盤層地下水中の Cs-133 は地下水年代、Rn-222 および SiO₂ と一貫した正の関係を示した。このことは、Cs-133 が地下水流動に伴う水-岩石接

触の累積効果と、吸着・固定を含む反応過程のバランスを反映して分布していることを示唆する。一方、水文条件が時間的に変動する状況下では、これらの対応関係は維持されず、Cs-133 の挙動は流動経路の切替えや地下水混合の影響を受けることが示唆された。

2. 論文

福島第一原発事故後の地下水中の H-3 を用いた海洋への放射性物質の流出解析

研究代表者：佐藤 ひかる

受入研究者：恩田 裕一

津旨 大輔

1. 成果

原子力発電所事故に起因する放射性物質の環境中への放出は、周辺環境の回復過程を長期化させる要因となっている。特に、2011 年の 東日本大震災 に伴う 東京電力福島第一原子力発電所 事故では、Cs-137 を主とする放射性核種が広範囲にわたり環境中へ放出された。これまで周辺環境における放射性物質の動態については多くの研究が蓄積されている一方で、発電所敷地からの放射性物質の流出機構については未解明な点が依然として多い。本研究では、敷地からの Cs-137 流出経路の一つである K 排水路に着目し、流域モデルに基づく解析を用いて、排水路から流出する Cs-137 濃度の推定およびその流出機構の解明を試みた。さらに、2016 年から 2021 年の観測データを基に構築した濃度推定式を用い、2022 年以降の Cs-137 濃度の再現性について検証を行った。

K 排水路の流出水は、主に敷地内の台地（いわゆる 35 m 盤）からの湧水に由来する基底流、および降雨に起因する表面流（地表流および屋根排水）の三成分から構成されると仮定した。地下水と表面流の分離には、Sato et al. (2025) による地下水中トリチウム（H-3）濃度を用いた手法を適用した。さらに、実効雨量法を用いて表面流を地表流と屋根排水に分離し、それぞれの流量比を推定した。これらの流量比を混合モデルに適用することで、各流出成分における Cs-137 濃度を推定した。

その結果、2016 年から 2021 年における K 排水路の Cs-137 濃度は、屋根排水が約 50%、表層流出が約 30%、基底流が約 20%を占めており、特に屋根排水が主要な流出源であることが示唆された。

一方で、2022 年から 2024 年の観測データに対して同推定式を適用したところ、各流出成分の Cs-137 濃度には 2021 年以前とは異なる傾向が認められた。特に基底流については、全体的な濃度低下が見られるとともに、従来観測されていた気温との正の相関は維持されているものの、その温度依存性は弱まっていた。具体的には、2021 年までの温度係数 0.047 に対し、2022 年以降は 0.033 へと低下しており、これは Nakanishi and Sakuma (2019) で報告された係数（0.040–0.097）を下回る値であった。

このため、2022 年以降の基底流に対する Cs-137 濃度推定式の再構築を行った結果、推定精度の改善が確認された。再推定の結果、2022 年および 2023 年における流出成分の寄与割合は、屋根排水約 50%、表層流出約 30%、基底流約 20%と、2021 年以前と概ね同様であった。しかしながら、2024 年においては、屋根排水約 31%、表層流出約 34%、基底流約 34%と、基底流および表層流出の寄与が増大する傾向が認められた。

この変化の要因として、2023 年および 2024 年の年間降雨量が約 1,000 mm と比較的少なかったことから、降雨に伴う Cs-137 の流出量が減少した可能性が考えられる。また、2022 年に新設された D 排水路が、K 排水路へ流入する Cs-137 濃度に影響を及ぼした可能性も示唆される。今後は、特に基底流における Cs-137 濃度変動の支配要因について、さらなる詳細な解析を進める必要がある。

2. 論文

Sato, H., Onda, Y., Tsumune, D., Kohata, K., Okamura, T., Leaked tritium reveals the source of ^{137}Cs from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant to the ocean, Water Research, 2025, DOI: 10.1016/j.watres.2025.124464

数値水槽実験を用いた懸濁土砂粒子の凝集特性の推定に関する理論的考察

研究代表者：西野 圭佑

受入研究者：津旨 大輔

共同研究者：吉川 裕

1. 成果

河川水中の懸濁土砂粒子は放射性セシウムの一部を粒子態として輸送するが、河口域においてその一部は溶存態へと移行し外洋へと拡散されていく (Kakehi et al., 2016) . 一方で河口域の乱流混合は懸濁土砂を凝集させる (Ayala et al., 2008) ため、粒子態セシウムの一部は沈降して堆積泥にとどまることも知られている (Kubo et al., 2018).

粒子の凝集傾向を特徴づける stickiness パラメータは水柱にとどまる懸濁粒子量と関連し、数値計算において凝集動態を表現する重要なパラメータの1つだが、その値を測定することは一般に容易でない。そのため河川水中の懸濁土砂についても、ほとんどの場合で stickiness パラメータは未知である。本課題は先行研究 (e.g., Edzwald et al., 1974) により発展してきた stickiness の推定手法を理論的考察に基づいて発展させ、より現場の粒子に適した手法へと発展させることを目的とした。

過年度の採択課題の結果から、Edzwald et al. (1974) により提案された手法は単分散の粒子群を対象としており、現場で採取されるような一般の多分散分布においては stickiness の推定精度が悪化することが明らかとなった。そのため彼らの手法を一般の分布に単純に適用することはできない。そこで今年度の課題では、一般の多分散分布に適用可能な推定手法の開発を行った。

凝集の基礎方程式に立ち戻った理論的考察により、分布形状が stickiness の推定値を歪める効果を“補正係数”として定量化することに成功した。そして従来手法 (Edzwald et al., 1974) に補正係数を用いた修正を加えることにより、より高精度に stickiness を推定可能な新規手法を開発した。新規手法の性能検証にあたっては、厳密に条件をコントロールできる数値水槽実験を実施した。粒子モデルには Lagrangian cloud model (Riechelmann et al., 2012; Nishino and Yoshikawa, 2024) を用い、懸濁粒子の粒度分布には現実の河川懸濁土砂を想定した多分散粒度分布 (Edzwald et al., 1974; Ou et al., 2016) を与えた。その結果、新規手法を適切に用いた場合、多分散分布についても stickiness の推定誤差は 1 % 以下に抑えられると分かった。同条件下で従来手法を適用した場合、推定誤差は 50 % 程度となるため、これは大幅な精度向上である。また新規手法の適用には分布形状の測定に基づいた“補正係数”の計算が必要となるが、分布形状の測定に通常用いられる LISST や Malvern Mastersizer は推定誤差を小さくするために十分な性能を有していることも確認できた。ほか、すでに提案されている従来手法の改善版 (Kjørboe et al., 1990) との性能比較や、現実の水槽実験で精度に影響する各種要因についての議論も行った。

本成果については、すでに論文として投稿済みであり、本稿執筆現在で査読対応中である。今年度の成果として得られた新規手法を用いることで、現実の河川を流下する懸濁土砂粒子の stickiness パラメータを簡便かつ高精度に評価することが可能となる。その結果、河口～沿岸域において懸濁土砂とともに沈降堆積する放射性物質の量を定量的に評価できるほか、より現実的な数値実験を行うことが可能になるだろう。

2. 論文

東京湾における放射性セシウムの動態と輸送経路の解明

研究代表者：米田 壮汰

受入研究者：津旨 大輔

共同研究者：杉原 奈央子

1. 成果

東電福島第一原発の事故以降、陸域に沈着した Cs-137 が河川経由で流入することにより、東京湾への Cs-137 付加が注目されてきた。原子力規制庁委託事業の一環として、公益財団法人海洋生物環境研究所は海水・海底堆積物の放射能調査を行っており、詳細な時空間的挙動を精査できるほどのデータが蓄積されている。Cs-137 は、その吸着・溶出特性および東京湾全体の物質循環経路を反映して、河川水-海水-堆積物の間で複雑な挙動を示しているものと考えられる。本研究は、当該事業により調査された東京湾の Cs-137 の時空間的分布に基づき、河川水-海水-堆積物間での Cs-137 輸送過程の解明を目指すものである。

東京湾の表層海水（採水深度 0.5 m）の Cs-137 濃度は同事故後 10 年間で顕著に低下し、その後は湾外海水（1-3 mBq/L）に近い濃度となっていた。しかし 2021 年 8 月 20 日に東京湾内の測点 K-T1 において Cs-137 濃度が 10 mBq/L まで上昇しており、採取時に低塩分高濁度であったことから、河川水による Cs-137 付加が示唆される。加えて、東京湾表層海水の Cs-137 濃度は季節変化を示し、夏季（6-9 月）に高い傾向にあった。夏季に表層海水の塩分が低下することから、河川流入の増加による Cs-137 付加が起きていると考えられる。

東京湾表層海水の Cs-137 濃度および塩分のデータを用い、Cs-137 濃度と塩分が報告されている湾外海水と、塩分 0 と仮定した河川水の混合と見なすことで、河川水の Cs-137 濃度を推定した。その結果、河川水 Cs-137 濃度は、事故直後から現在に至るまで、二重指数関数的な低下を示していることが明らかになった。本推定によって算出された河川水 Cs-137 濃度は、東京湾流入河川における既報値と概ね一致していた。福島県周辺における河川水 Cs-137 濃度も二重指数関数的に低下することが報告されている。

東京湾表層堆積物（表面から 0-3 cm）の Cs-137 濃度は同事故の 2 年後から現在に至るまで低下を続けていた。各測点の Cs-137 蓄積量を計算し、ポロノイ分割により東京湾全体での表層堆積物の Cs-137 総蓄積量を推定したところ、2013 年 6 月時点では 160 GBq であったのが 2025 年 1 月には 84 GBq まで、指数関数的に減少していた。この総蓄積量の減少分が全て海水中に溶出したと仮定し、海水 Cs-137 濃度の上昇量を推定すると、同事故の 2 年後で 0.090 mBq/L、14 年後では 0.040 mBq/L であった。これらは表層海水の Cs-137 濃度の 1/100 程度であり、海水の Cs-137 濃度を考える上で、海底からの Cs-137 溶出の影響は無視できるレベルであると結論される。

次年度は、河川水の流入量と Cs-137 濃度を積算することで、河川から海水への Cs-137

流入量の評価を試みる。最終的には、河川水-海水-堆積物間での Cs-137 輸送量を推定し、東京湾全体での Cs-137 動態の概観することを目指している。

2. 論文

人形峠堆積物におけるウラン移行の特定を目的とした鉄(II)鉱物へのウラン濃集機構の解明

研究代表者：徳永 紘平

受入研究者：山崎 信哉

坂口 綾

1. 成果

原子力機構人形峠環境技術センターでは、旧ウラン鉱床を通してウラン (U) が溶存した浅部地下水を鉱さいたい積場で一次処理している。鉱さいたい積場では天然の浄化作用により、地下水 (坑水) 中の U は水酸化鉄等に吸着・共沈して堆積している。こうした天然の浄化システムにおいて U の固定及び、固定されていた U の溶出挙動を解明することは、1F 廃棄物処分に想定される多種多様な処分方法を検討する上で、表層近傍におけるアクチノイドの動きを理解する上で重要な知見を与える。これまでに、人形峠センターの表層環境において堆積物中に多く含まれる鉄鉱物が U 等元素の挙動に大きな影響を与えることを示す分析結果が得られた。一方で、鉄鉱物は土壌の酸化還元電位 (Eh) や酸性度 (pH) に応じて化学状態が変化するため、鉄鉱物に一度固定された元素がそのままの状態でも保持され続けるとは限らない。そこで本研究では、鉱さいたい積場の浅地堆積物中の U 濃度や価数・結合状態を、特に Eh 変化の観点から検討した結果を報告する。

本研究では、鉱さいたい積場で採取した深さ 10m のコア試料を対象に、鉄鉱物に固定された U の挙動を、X 線吸収端微細構造 (XAFS) 法による化学種解析と室内実験から明らかにした。コアは深部から、鉱さいたい積場の地盤である「風化花崗岩相 (8-10m)」、「真砂土相 (6-8m)」、「表土相 (5-6m)」、U 鉱石から U を抽出したあとの中和残渣を表土の上に敷設した「鉱さい相 (3-5m)」、主に坑水の鉄が沈殿堆積した「堆積物相 (0-3m)」の 5 層で構成される。10m のコア試料全体としては、U の価数と Eh の間には明確な関係は見られなかった。一方、堆積物の部分については Fe の価数 (Fe(II)/Fe(III)) と U の価数 (U(IV)/U(VI)) の価数とに相関が認められた。具体的には、Fe(III) の割合が多いほど、U(VI) の割合が多い傾向にある。また、堆積物相では他の相と比較して U が顕著に濃集し (最表層で約 1000ppm)、その濃度は Eh の変動に強く依存していた。最表層 (0-10cm, Eh 400~500 mV) に存在する鉄は主に 3 価の鉄鉱物 (フェリハイドライト、ゲーサイト) であるのに対し、堆積物の Eh が大きく低下する深さ 50-80cm 層 (Eh -30~200mV) では 2 価鉄を含む鉄鉱物 (シデライト、マグネタイト、パイライト) の存在も確認された。同様に U は最表層では U(VI) のみで存在するのに対し、以深では U(IV) が Eh に応じて割合を変えて存在することが確認された。この傾向は、逐次抽出法により、堆積物中の鉄鉱物に結合する U を逐次的に抽出した結果でも確認されており、層ごとに U と強く結合する鉄鉱物は異なっていた。また、 μ -XRF-XAFS を用いた分析からも、嫌気的な 50-80cm 層において、鉄と相関しない U 粒子 (UO₂ 沈殿) も、Fe(II) 鉱物への U(IV) 吸着 (固定) とは別に確認された。

これらの結果は、堆積物中の U の化学状態を決める要因が、鉄鉱物のみならず有機物などの相ごとの固相組成と密接に関わっていることを示唆しており、鉱さいたい積場における U の移行は単純な Eh 変化だけでは説明できないことを明らかにした。

2. 論文

ラマン質量分析法に適したカルサイトの酸素同位体標準の合成

研究代表者：井上 裕貴

受入研究者：丸岡 照幸

共同研究者：山本 順司

1. 成果

本研究では、ラマン分光法を用いて同位体置換種のピーク強度比から酸素同位体比を評価する手法（ラマン質量分析法）の定量化に向けた基盤を構築した。定量分析に不可欠である標準試料を新たに開発し、酸素同位体組成の異なるカルサイトの合成およびその分光学的評価を行った。

従来、ラマン分光法を用いた同位体分析では、同位体置換種に由来する微弱ピークの強度比が同位体比の指標として利用されてきた。しかしながら、強度比と同位体比の関係を定量的に検証するための標準試料が存在せず、定量分析への展開には課題が残されていた。本研究では、この課題を解決するため、既知の酸素同位体比を有するカルサイト試料の合成を行った。

炭酸水素アンモニウムおよび塩化カルシウム水溶液を用い、炭酸カルシウムを析出させた。得られた試料について粉末 X 線回折およびラマン分光測定を行った結果、同位体組成の異なるすべての試料においてカルサイト単相であることを確認し、炭酸カルシウムの多形であるアラゴナイトおよびバテライトの混在は認められなかった。これにより、結晶相の違いによる分光特性の影響を排除した評価が可能となった。

カルサイトのラマンスペクトルは主ピーク（約 1085 cm^{-1} ）に対応する $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_3$ に加えて、低波数側に微弱ピーク（約 1074 cm^{-1} および 1065 cm^{-1} ）が明瞭に観測された。これらのピークは同位体置換種に対応するものであり、1065 cm^{-1} のピークは $^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{16}\text{O}^{18}\text{O}$ に帰属される。したがって、1065 cm^{-1} および 1085 cm^{-1} のピーク強度比を用いることで酸素同位体比の評価が可能となる。

合成した各試料の酸素同位体比は、安定同位体質量分析装置を用いて測定・決定した。これらの試料について、同位体置換ピークと主ピークの強度比 (I_{1065}/I_{1085}) を算出し、カルサイトの酸素同位体比との関係性を評価した。その結果、両者の間には明瞭な一次関係が認められた。また、得られた回帰直線の傾きは概ね 3 に近い値を示し、炭酸イオン中に存在する 3 つの酸素サイトに対応する関係性として整合的であることが確認された。

以上の結果は、ラマン強度比を指標とした酸素同位体比の定量評価が可能であることを示すものであり、ラマン質量分析法の基盤構築に資する重要な知見である。本研究により、従来は定性的手法に留まっていたラマン分光による同位体解析を、定量的手法へと発展させるための基礎が確立された。

2. 論文 現時点では該当なし（投稿準備中）

温泉水・地下水の化学的指標に基づく富士山の火山活動評価 に向けた研究

研究代表者：西澤 達治

受入研究者：丸岡 照幸

共同研究者：角野 浩史

1. 成果

富士山は日本最大の活火山であり、大規模な爆発的噴火が発生した場合、上空の卓越風の向きによっては、首都圏の広域に降灰をもたらす可能性が示唆されている。噴火災害の軽減には初動対応の迅速化が求められており、噴火の前兆現象をより早く正確に捉える観測体制の構築が必要とされている。現在、富士山では地震計や傾斜計など主に地球物理学的な観測に基づき火山活動が監視されている。一方で、山体表面における熱水活動や噴気活動が乏しいため、地球化学的指標に基づく活動評価はほとんど実施されてこなかった。しかし、富士山周辺の大深度掘削泉において、大気よりも有意に高いヘリウム同位体比を示す溶存ガスが報告され (Aizawa et al., 2016)、深部においてマグマ由来の火山ガスが地下水系へ溶解していることが示唆されている。そこで本研究では、化学的指標に基づく富士山の活動モニタリングの確立に向けて、富士山周辺の温泉水・地下水・湧水の化学的特徴とその起源を検討し、マグマ由来成分による化学的影響の有無と指標としての有効性を検証した。

2023 年以降に富士山周辺で採取した計 75 試料 (温泉水 32、地下水 32、湧水 11) を対象に、水質測定、主要溶存イオン濃度、水素・酸素同位体比、硫黄同位体比、および溶存ガスのヘリウム同位体比分析を実施した。分析の結果、温泉水は水温が 20~40°C、pH=6.4~10.5 の中性~アルカリ性であり、一般的な火山性温泉 (箱根温泉など) に比べて水温が低く、高い pH を示す。水素・酸素同位体比の解析からは、いずれの試料も世界天水線 (GMWL) およびローカル天水線に沿って分布しており、起源は日本海側からの水蒸気 (雪) の寄与が大きい天水であることが示された。また、温泉水は地下水や湧水よりも塩化物イオンおよび硫酸イオン濃度が著しく高く、同位体シフト等の特徴から、地下深部まで浸透した天水が新第三紀基盤岩 (グリーンタフ層) 中の古海水 (化石海水) の混合や石膏の溶解による影響を受けている可能性が推測される。

マグマ性流体の寄与の指標としてヘリウムおよび硫黄同位体比を解析した結果、大深度掘削泉においてマグマ起源の寄与を示す高いヘリウム同位体比 ($>5 \text{ Ra}$) が確認され、深部においてマグマ由来の火山ガスが地下水系へ溶解していることが改めて示唆された。さらに、硫酸イオンが高濃度の温泉水における硫黄同位体比 ($\delta^{34}\text{S}$) の解析から、その値が大きく二極化する傾向が見られた。一方は化石海水 (海成石膏) に由来すると考えられる重い硫黄 (+15~+20 ‰) のグループであり、もう一方は軽い硫黄 (0 ‰~マイナス値) のグループである。特に、富士山の西側にある天子山以西から採取した温泉水 2 試料は -5

～-11‰と著しく低く、これは基盤岩を構成する海成堆積物中の黄鉄鉱による影響を受けている可能性がある。また、一部の試料では+25 ‰を超える極めて高い硫黄同位体比も確認されたが、その要因については現段階では不明であり、今後の検討課題である。

以上の結果から、表層の浅部地下水系（地下水・湧水）は主に山体を構成する玄武岩の化学的影響を反映しているのに対し、大深度の温泉水系には、化石海水等の影響とともにマグマから上昇した火山ガス成分（He）が溶存している可能性が示唆された。富士山の火山活動評価において、物理観測を補完する情報として「溶存ガス（ヘリウム同位体比）」や起源の推測に有用な「硫黄同位体比」の組み合わせが、化学的指標として活用できる可能性が期待される。

2. 論文

日本周辺における Pb-214 および Bi-214 の大気拡散・沈着過程の解明

研究代表者：五十嵐 悠

受入研究者：平尾 茂一

共同研究者：Li Hanting

Cai Yu

飯本 武志

1. 成果

Short-lived radon progeny ($^{214}\text{Pb}/^{214}\text{Bi}$) are produced from surface-emitted ^{222}Rn , attach to aerosols, and are efficiently removed during precipitation via in-cloud scavenging and below-cloud washout. This wet scavenging generates sharp deposition pulses and can contribute to transient increases in environmental gamma dose rate; such event-scale spikes are important because they can complicate routine monitoring interpretation by producing short-lived signals that may resemble non-weather anomalies and increase review burden if their meteorological origin is not quantified. However, event-scale spatiotemporal deposition patterns and their controlling meteorological drivers remain poorly quantified. In this research, we have established an end-to-end WRF–HIRAT workflow to simulate $^{214}\text{Pb}/^{214}\text{Bi}$ transport and wet/dry deposition over Japan, leveraging well-observed synoptic precipitation systems and dense operational monitoring context to support reproducibility and future validation.

We ran WRF for 2012/12/01–12/03 (≈ 2.5 days; 48 km; 3-hourly outputs) and produced gridded precipitation rate, 10-m wind (speed/vectors), and sea-level pressure. This period was selected as a controlled baseline event window with a coherent synoptic evolution, which captured the transport–scavenging sequence while keeping the end-to-end pipeline development and QC tractable before scaling to longer periods and multiple events. WRF reproduced a coherent synoptic evolution with a low east of Japan and an evolving precipitation band, providing physically consistent drivers for advection and scavenging. We completed the coupling pipeline—variable extraction, unit and time-stamp harmonization (UTC $\leftrightarrow$ JST), $\Delta t=3$ h averaging, spatial interpolation/grid alignment, and QC checks (missing values, range, continuity)—and successfully ingested these standardized drivers into HIRAT. In HIRAT, the ^{222}Rn decay chain, gas/particle partitioning, and wet/dry deposition parameterizations for $^{214}\text{Pb}/^{214}\text{Bi}$ were configured and executed, producing maps and time series for further analysis.

Next, we will finalize deposition products and quantify key processes and outcomes. Specifically, we will clarify the spatial and temporal variability of wet and dry deposition of ^{214}Pb and ^{214}Bi , evaluate their relationship with precipitation intensity and movement,

and assess the influence of meteorological conditions on transport and removal processes. We will also quantify wet/dry budgets and precipitation–deposition timing, and validate the results against available data. These efforts will support the interpretation of short-term fluctuations in environmental gamma dose rates. Finally, higher-resolution and sensitivity experiments will be conducted to improve robustness and generality.

2. 論文

ダイズにおけるセシウムの吸収・移行に及ぼす根粒着生の影響

研究代表者：村島 和基

受入研究者：二瓶 直登

共同研究者：信濃 卓郎、渡部 敏裕

丸山 隼人

1. 成果

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、放射性セシウム (^{137}Cs) が拡散および農地に沈着し、汚染土壌から作物への ^{137}Cs 移行が喫緊の課題として生じた。これまでセシウム (Cs) と化学的類似性を持つカリウム (K) による移行低減対策が取られてきた。一方で、同じ土壌交換態 K 濃度条件下において、ダイズは他の作物より Cs が多く移行することが報告されており、 K に加えたマメ科特有の Cs 移行対策を検討する必要がある。申請者はこれまでの研究から、ダイズ根粒が他器官より Cs を有意に高く蓄積することを明らかにし、根粒着生の増加が地上部への Cs 移行を抑制する可能性を示唆した。しかしながら、上記の結果は異なる根粒着生システムを用いた試験から得られた結果であり、根粒菌共生の有無による Cs 移行抑制効果はさらなる調査が必要である。また、根粒での K 輸送機構に関する先行研究は限られており、 Cs 輸送に関しては不明である。

本研究では、根粒菌共生の有無が Cs 移行に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。また、根粒で Cs 輸送に関わる輸送体遺伝子の同定を目指した。 Cs 添加条件 ($2.5\ \mu\text{M}$, $1.0\ \mu\text{M}$, $0\ \mu\text{M}$) と根粒菌接種の有無から 6 処理区を設けて、マメ科モデル植物のミヤコグサ (*Lotus japonicus* 'Miyakojima' MG-20) を滅菌ポットで栽培した。根粒菌 (*Mesorhizobium loti* MAFF303099) 接種後 21 日で、地上部、根、根粒を採取し、それらの元素分析を実施した。加えて、根と根粒の遺伝子発現解析を行った。

生育は全ての Cs 処理で一貫して、接種区で有意に増加した。一方で、地上部の Cs 濃度は接種区で低下傾向であった。地上部の K 濃度は Cs とは異なり、接種区で有意に増加した。同じ一価カチオンのナトリウムは接種の有無で変化せず、ルビジウムは K と同様に接種区で有意に増加したことから、根粒菌接種条件で Cs 移行が特徴的に抑制されることを示唆した。また、根と根粒の遺伝子発現解析から根粒で発現上昇する K 輸送体を同定した。それら K 輸送体の中で、 Cs 添加濃度の増加とともに発現上昇する傾向を示した 3 つの K 輸送体遺伝子を同定した。以上のように本研究では、非共生条件に比べて、根粒菌共生条件で地上部への Cs 移行が抑制されることが示された。さらに遺伝子発現解析から、 Cs 添加濃度に応答して根粒で特異的に発現増加する 3 つの K 輸送体遺伝子を同定した。今後は、これら候補遺伝子の欠損変異体を用いた遺伝子発現解析や時空間的な元素分析を通して、根粒での Cs 輸送の生理機能や分子メカニズムの解明を目指す。

2. 論文 なし

電子スピン共鳴法によるニホンザルの被ばく線量推定

研究代表者：山下 琢磨

受入研究者：三浦 富智

共同研究者：高橋 温

岡 壽崇

鈴木 正敏

木野 康志

1. 成果

我々は、福島第一原子力発電所事故後の旧警戒区域内外で、害獣として駆除されたニホンザルの放射線影響調査を行っている。放射線影響を解析する上で、個体ごとの被ばく線量評価は不可欠である。我々は、行動範囲が広い野生動物の各個体の被ばく線量を推定するため、歯のエナメル質に放射線によって誘起する炭酸ラジカルを定量し、累積の外部被ばく線量を再構成することを目指している。

本研究では、200 mGy 前後の被ばく線量を野生動物について推定することを目的に、電子スピン共鳴法（Electron spin resonance, ESR）による線量推定法の開発を行った。200 mGy 前後の吸収線量では、歯のエナメル質中に生来存在する有機ラジカルの ESR 信号と炭酸ラジカルの ESR 信号が重なり合うため、慎重なスペクトル解析が必要となる。また、歯の主成分であるヒドロキシアパタイト結晶において、微量の不純物として置換している炭酸イオンに由来する炭酸ラジカル量は個体差の影響を受ける可能性があるため、線量応答曲線における個体依存性の有無を検証することも重要である。

2025 年度の研究では、対照地域で害獣駆除された野生ニホンザル 3 頭の歯からエナメル質試料を作製し、高崎量子技術基盤研究所の Co-60 線源を用いて付加線量法を実施した。100, 200, 500, 1000, 1800 mGy の付加吸収線量の試料を作製し、東北大学の ESR 装置（JES-X320）で測定した。スペクトル解析には独自に開発した多成分分解コードを適用し、再現性の高い解析を実現するため、解析プロトコルをフィッティング領域ごとに段階化して各制御パラメータを最適化した。

今年度の研究成果として、ESR 測定時の掃引回数を 360 回程度まで増加させることで、解析における白色ノイズの影響を効果的に抑制できることを示した。特に、IAEA TECDOC で推奨される従来の標準的な 60 回掃引と比較して、検出限界を半分程度にまで改善することに成功した。さらに、3 個体の線量応答曲線の傾きのばらつきが 6.3% の範囲内に収まることを確認した。これにより、ニホンザルにおける検量線の精度を ± 100 mGy（90% 予測区間）で確定するに至った。今後はさらに掃引回数を最適化し、検量線の更なる精度向上と個体依存性のさらなる検証を図る。

本研究の成果は、T. Yamashita et al., International Journal of Radiation Biology (2025) および T. Hayashi, T. Yamashita, et al., International Journal of Radiation Biology (2025)

の原著論文 2 報として掲載された。スペクトル解析のコードは論文内で公開し、一般の利用も可能な状態として整備した。また、ESR 応用計測研究会（岡山理科大学）、第 27 回「環境放射能」研究会（高エネルギー加速器研究機構）での口頭発表で成果報告を行った。さらに、本研究は修士課程学生 1 名の学位論文の基盤となり、専門的な人材育成に貢献できた。

2. 論文

Teppei Hayashi, Takuma Yamashita, Yusuke Mitsuyasu, Kenta Ono, Satone Iwami, Yasushi Kino, Tsutomu Sekine, Toshitaka Oka, Atsushi Takahashi, Yoshinaka Shimizu, Mirei Chiba, Toshihiko Suzuki, Ken Osaka, Keiichi Sasaki, Taku Sato, Rio Isobe, Masatoshi Suzuki, Tomisato Miura, Manabu Fukumoto, Hisashi Shinoda, "Optimization of microwave power in ESR dosimetry of tooth enamel in Japanese macaques", International Journal of Radiation Biology, 1-8 (2025);

<https://doi.org/10.1080/09553002.2025.2534998>

Takuma Yamashita, Teppei Hayashi, Yusuke Mitsuyasu, Kenta Ono, Satone Iwami, Yasushi Kino, Tsutomu Sekine, Toshitaka Oka, Atsushi Takahashi, Yoshinaka Shimizu, Mirei Chiba, Toshihiko Suzuki, Ken Osaka, Keiichi Sasaki, Taku Sato, Rio Isobe, Masatoshi Suzuki, Tomisato Miura, Manabu Fukumoto, Hisashi Shinoda, "Development of an electron spin resonance spectroscopy code for measuring carbonate radicals in tooth enamel and verification of its practicality using irradiated Japanese macaque teeth", International Journal of Radiation Biology, 1-8 (2025); doi:10.1080/09553002.2025.2510676

林哲平、山下琢磨、光安優典、小野健太、岩見聡音、岡壽崇、高橋温、木野康志、関根勉、清水良央、千葉美麗、鈴木敏彦、小坂健、佐々木啓一、佐藤拓、鈴木正敏、福本学、篠田壽、「ニホンザル歯中炭酸ラジカルの電子スピン共鳴法測定におけるマイクロ波パワーの最適化」, Proceedings of the 26th Workshop on Environmental Radioactivity (第 26 回「環境放射能」研究会), 2025-2, 71-76 (2025).

Determination of Nd isotopic composition in water samples from urban and mining areas in Central Mongolia

研究代表者：Batkhuu Enkh-Uchral

受入研究者：田副 博文

共同研究者：Tseren-Ochir Soyol-Erdene

Alifia Zaskia

張 勁

1. 成果

Surface water, including streams and rivers, is susceptible to contamination from both natural processes and anthropogenic activities (Saeed et al., 2024). Industrial effluents from sectors such as mining, agricultural runoff, and the direct discharge of untreated sewage into rivers have significantly degraded water quality, posing risks to aquatic ecosystems and human health (Fida et al., 2023). Therefore, it is essential to understand how natural processes and anthropogenic impacts, particularly mining activities, jointly influence river water chemistry in semi-arid regions, including Mongolia. This study investigates the integration of chemical and isotopic compositions using physicochemical parameters (pH, EC and TDS), major ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , HCO_3^{-} , Cl^{-} , NO_3^{-} and SO_4^{2-}), water stable isotopes ($\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$) and rare earth elements (REEs) to examine geochemical processes in north-central Mongolia. River water samples were collected from three major river basins (Tuul, Kharaa and Orkhon), which represent diverse geochemical characteristics and varying degrees of anthropogenic influence. In the study area, pH values ranged from 6.65 to 9.41, and the river water was predominantly of the Ca- HCO_3 facies, indicating that rock weathering is the primary controlling process. The $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values for water samples in the region ranged from -113.1‰ to -92.4‰ and from -15.0‰ to -12.1‰, respectively. REEs were preconcentrated from the samples using a chelating resin (InertSep ME-2), and their concentrations were determined using ICP-MS 7700 (Agilent, USA). Light rare earth elements (LREEs) concentrations were higher than those of heavy rare earth elements (HREEs), mainly in the upstream of rivers. River water samples have been processed through sequential chromatographic separation using cation exchange, DGA and Ln resins in preparation for the determination of Nd and Sr isotopic ratios. The research is ongoing and isotopic analyses will be conducted. The expected results aim to provide insights into the hydrological and geochemical processes within the terrestrial aquatic ecosystems.

2. 論文 なし

Multi-scale Onshore-offshore Dynamic and Nutrient Transport of Kuroshio onto The Outer Shelf of the East China Sea Quantified Using Multi-chemical Tracers

研究代表者：Haryanto Julian Michael

受入研究者：田副 博文

共同研究者：大塚 進平

YAN TU

張 勁

1. 成果

Using a spatial and temporal basis, this study aims to identify and quantify multiple water mixing processes and related nutrient transport in the bottom water of the outer shelf of the East China Sea due to Kuroshio Current (KC). In this study, traditional tracers of temperature and salinity and modern tracers of Heavy Rare Earth Elements (HREEs), and Nd and Ra isotopes were employed in the water and mass mixing model. Additionally, shipboard and moored data from the Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), microstructure profilers, and satellite-derived observations were utilized to help interpret physical forces further.

Preliminary results are: (1) Hydrodynamic processes influence the distribution of chemical and physical properties in the bottom water of the East China Sea on an hourly basis; (2) Reintroduction of deep Kuroshio Intermediate Water during the onshore flow was also notable for its high nutrient content, resulting in net Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN) and Dissolved Inorganic Phosphate (DIP) fluxes from the KC region 5.59 and 6.69 times larger, respectively, compared to the DIN and DIP fluxes from the continental shelf water.

This is a crucial first step in efforts to investigate overlooked pathways and temporal variabilities of water and nutrients in and out of the continental shelf due to tidal forcings.

2. 論文

宇宙暗黒物質探索に向けた環境トリチウムバックグラウンドの影響評価 とその高感度化

研究代表者：小林 雅俊

受入研究者：柿内 秀樹

共同研究者：山下 雅樹

宇都山 光輝

1. 成果

本研究で我々が取り組むのは、宇宙暗黒物質の探索における環境トリチウムの影響評価、およびその測定法の開発である。

暗黒物質は我々の宇宙に存在する未知の質量で、重力を通じた観測が通常の物質の 5 倍以上の存在が示唆されるものの、その正体はわかっていない。暗黒物質の性質解明に向け、我々が取り組んでいるのが直接探索という手法で、XENONnT 実験では 8.6 トンの液化キセノンガス検出器をグランサッソ国立研究所(イタリア)で運用し、暗黒物質と通常の物質が極稀に衝突する現象を観測することを目指している。暗黒物質と検出器内キセノンとの衝突レートは年に 1 発以下と期待されているが、検出器に放射性物質が含まれると放射線により偽の信号が作られてしまい、背景ノイズとなる。そのため、放射性物質を極限まで排除した環境での観測が必要である。

水素の同位体であるトリチウムは水素分子や水蒸気などの形で液体キセノンに溶け込むため、主要な背景事象源の一つと目される。非常に少ない濃度(10^{-25} mol/mol かそれ以下)のトリチウムであっても暗黒物質探索に影響を与えうることからその測定法の開発が求められており、本研究では 1. 環境中のトリチウム/水素比の測定、2. キセノン中の水素/キセノン比の測定という 2 段階を踏むことで間接的に検出器のキセノン中に含まれるトリチウムの測定を目指してきた。

本年度は昨年度からの継続として、キセノン中に含まれる微量水素の測定法の開発と、装置の感度改善に取り組んだ。装置の仕組みはパラジウム薄膜の特性に基づいている。パラジウム薄膜は水素原子の大きさに近い結晶構造を持つため、水素が混合するガスから水素のみを選択的に透過させる。本研究で用いる装置では、アルゴンと水素ガスを既知の濃度で混合させ、残留ガス分析装置によって解析を行った。昨年度は原理実証として 10ppb (10^{-8})の混合水素ガスで感度を確認することに成功しており、本年度は特に装置の温度安定性を高めることでアウトガスによるバックグラウンドノイズの安定化を図った。フィードバックループの導入により測定中の温度を 0.01 度程度のふらつきに安定させることに成功し、最終的な濃度として 51ppt での測定を達成した。今後更なる好感度化と、最終的には検出器におけるトリチウム量に対して制限をかけていくことを目指す。

環境中トリチウム測定に関しては、昨年度までの研究による成果であるイタリアの実験サイトにおける環境中のトリチウム/水素濃度比の数値について、データの整理と共にミーテ

ィングを開催するなど論文としての投稿に向けての準備を進めた。その際には環境中にメタンの形で存在するトリチウムの測定に向けた準備も同時に進めている。

2. 論文

E.Aprile, M.Kobayashi, et al (XENON collaboration), Challenging Spontaneous Quantum Collapse with the XENONnT Dark Matter Detector, Phys. Rev. Lett. 136 (2026) 120201

E.Aprile, M.Kobayashi, et al (XENON collaboration), WIMP Dark Matter Search Using a 3.1 Tonne-Year Exposure of the XENONnT Experiment, Phys. Rev. Lett. 135 (2025) 221003,

E.Aprile, M.Kobayashi, et al (XENON collaboration), XENONnT WIMP search: Signal and background modeling and statistical inference, Phys. Rev. D 111, 103040 (2025),

E.Aprile, M.Kobayashi, et al (XENON collaboration), Search for light dark matter in low-energy ionization signals from XENONnT, Phys. Rev. Lett. 134, 161004 (2025),

液体シンチレーションカウンターによるトリチウム分析方法の改良検討

研究代表者：城谷 勇陞

受入研究者：柿内 秀樹

共同研究者：杉原 奈央子

赤田 尚史

田副 博文

桑田 遥

1. 成果

【目的】トリチウム (3H) は天然起源、人為起源を含め広く環境中に存在する核種である。福島第一原発事故以降、ALPS 処理水の放出などにより海洋環境中のトリチウム濃度が注目を集めている。しかし、海水中ではその濃度は低く、定量するために分離・濃縮や長時間測定など複雑な分析が必要である。放射能測定法シリーズ「トリチウム分析法」が改訂されたが、試料の測定時間については「各試料につき、10 分～50 分測定を繰り返し、合計 100 分～1000 分間程度測定する。」となっており、具体的な測定時間は明記されていない。本研究では計数値とバックグラウンド計数値の関係からトリチウムを測定するための最適な一回の繰り返し測定時間 (X 分×10 回 など) を検討した。併せて、トリチウム濃度を計算する際の解析方法について、100～1000 分測定 (50 分×10 回 など) を複数回行った場合に、それぞれの結果を統合して解析を行う方法について検討した。

【結果】

1) 最適な一回当たりの測定時間の検討

ALOKA 社製の LB-7 (バックグランド cpm : 1.5～2.0) を用いて、海水試料を Ni-Ni 電極による電解濃縮 (トリチウム濃縮率 : 約 6.5 倍) または固体高分子電解膜による電解濃縮 (トリチウム濃縮率 : 約 10 倍) を行った試料の測定を行うことを想定して検討を行った。その結果、Ni-Ni 電極による電解濃縮を行った試料の場合は一回の測定時間を 50 分以上、固体高分子電解膜による電解濃縮を行った試料の場合は一回の測定時間を 30 分以上とすることで、バックグラウンドの計数値と有意な差 (1σ 以上) が生じることが分かった。

2) 解析方法の改良検討

50 分×10 回の測定を 1 サイクルとして、この測定を 2 サイクル行い、それぞれの測定結果から正味の計数値を求め、1 サイクル目と 2 サイクル目の結果について Student の t 検定を行う。有意差が認められない場合に、2 サイクル分の結果を合算して放射能濃度計算を行うことで、測定間の静電気などのノイズを比較することができ、より精度よく検出下限値や誤差を小さくすることができる。

2. 論文

なし

OBT 生成反応における同位体効果の検証

研究代表者：小畑 結衣

受入研究者：石川 義朗

柿内 秀樹

共同研究者：鳥養 祐二

猪狩 直哉

清水 文香

遠藤 陸冬

狩谷 陸斗

佐々木 俊

溝淵 一馬

1. 成果

Isotope effects in organically bound tritium(OBT) production reactions

OBATA Yui*1, TORIKAI Yuji1, SHIMIZU Fumika2, ENDO Rikuto2, KARIYA Rikuto3 et al., KAKIUCHI Hideki4, ISHIKAWA Yoshio4

1Faculty of Basic Natural Science, Ibaraki Univ., 2Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki Univ.,

3College of Science, Ibaraki Univ., 4Institute for Environmental Sciences

*Corresponding author: yui.obata.cz30@vc.ibaraki.ac.jp

Seawater containing the radioactive isotope tritium has recently attracted attention, and understanding its biological transfer processes is therefore important. Although organically bound tritium (OBT) is believed to be mainly produced in plants, it remains unclear whether an isotope effect arising from the difference between hydrogen and tritium occurs during this process. To evaluate this possibility, the marine alga (sea lettuce, *Ulva Lactuca*) was cultivated in seawater containing both deuterium and tritium, and the concentrations of OBT and OBD (organically bound deuterium) were compared. Seawater collected from the ALPS-treated ocean discharge outlet provided by Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. (tritium concentration equivalent to 230 Bq/L) was used as the culture medium. Heavy water was added to a final concentration of 0.3%, and *U. lactuca* collected from Mutsu-Ogawara Port, Aomori, was cultivated in this seawater. The algae were sampled at arbitrary intervals for up to 60 days. The OBD concentration exceeded approximately 20% after 10 days of cultivation and then gradually increased, reaching equilibrium at about 40%. The OBT concentration showed a similar trend during the early stage of cultivation but decreased around day 25 before increasing again. Throughout the experiment, the OBT concentration remained

consistently lower than the OBD concentration. This trend may reflect an isotope effect and represents a phenomenon that remains largely unexplored internationally. Further work is required to confirm reproducibility and improve measurement accuracy.

Keywords: Organically bound tritium, marine plants, hydrogen isotope effect, ocean discharge seawater.

OBT 生成反応における同位体効果の検証

小畑結衣*1、鳥養祐二 1、清水文香 2、遠藤陸冬 2、狩谷陸斗 3 et al.、柿内秀樹 4、石川義朗 4

1 茨城大学基礎自然科学野、2 茨城大学院理工学研究科、3 茨城大学理学部、4 公益財団法人 環境科学技術研究所

*責任著者：yui.obata.cz30@vc.ibaraki.ac.jp

放射性物質である三重水素（トリチウム）が含まれた海水は近年注目されており、生体移行過程の解明は重要である。有機結合型トリチウム（OBT）は主に植物で生成されと考えられているが、その際に水素とトリチウムの違いによる“同位体効果”が表れるのかは未解明である。重水素とトリチウムを含む海水中で海生植物であるアオサを実験室で栽培し、アオサ生体内部で存在する OBT と有機結合型重水素（OBD）を比較することで同位体効果の評価を試みた。東京電力 HD から提供された ALPS 処理後の海洋放出口から採取された海水（トリチウム濃度 230 Bq/L 相当）を栽培用海水として、これに重水を 0.3%となるように添加し、青森県むつ小川原港で採取したアナアオサを栽培した。任意期間ごとにアナアオサを栽培海水から回収する操作を最大 60 日間まで実施した。栽培日数に対する OBD 濃度は栽培期間 10 日で約 20%を超えた後、緩やかに上昇し最終的に約 40%で平衡となった。OBT 濃度は栽培初期では OBD 同様の傾向が見られたが栽培 25 日頃に一度低下後に再び上昇した。OBT 濃度は OBD 濃度を常に下回っており、この傾向は重水素とトリチウムの同位体効果に由来する可能性が示唆された。これは、日本国内外でもほとんど未解明な事象となるため、栽培計画並び OBT 測定精度の改善と共に、継続してデータを積み重ねる必要がある。

キーワード：有機結合型トリチウム、海生植物、水素同位体効果、海洋放出海水

2. 論文

X-ray-induced DNA damage spectrum in dilute aqueous solution: Selective protection by amino acid addition Yui Obata, Chaozhong Tian, Shinichi Yamashita Pages 815-823 | Received 25 Sep 2025, Accepted 20 Nov 2025, Accepted author version posted online: 25 Nov 2025, Published online: 01 Dec 2025

Effects of long-term irradiation of low-dose radiation on cells

研究代表者：Wang WeiZhi

受入研究者：森脇 隆仁

共同研究者：秋山 秋梅

Yan LanYun

1. 成果

低線量率放射線が生体に及ぼす影響については、いまだ十分には解明されていない。これは、線量率が低いため細胞への影響が極めて小さく、解析が困難であることに起因する。本研究では、放射線感受性を増大させる細胞モデルとして、GLRX-1 欠損細胞および OGG1 過剰発現細胞を用い、低線量率放射線の生物影響を効率的に解析することを目的としている。

GLRX-1 および OGG1 は、いずれも細胞内の酸化還元調節や酸化 DNA 損傷の修復において重要な役割を担う。申請者らはこれまでに、HeLaS3 細胞において GLRX-1 欠損細胞および OGG1 過剰発現細胞を樹立し、これらの細胞が γ 線、過酸化水素、ならびに低線量率放射線に対して高い感受性を示すことを明らかにしてきた。本研究では、これらの細胞を用いることにより、低線量率放射線の生物影響のさらなる解明を目指している。

本年度は、GLRX-1 欠損細胞および OGG1 過剰発現ヒト細胞株を用いて、低線量率放射線の長期被ばく影響を解析した。その結果、1 Gy/day の γ 線照射に対して、いずれの細胞株もコントロール細胞と比較して高い感受性を示した。さらに、OGG1 過剰発現ハムスター細胞を作製し、この細胞を 50 mGy/day の線量率で 20 日間（総線量 1 Gy）照射した後、突然変異を生じた細胞の変異頻度を測定した。

また今後は、GLRX-1 欠損細胞において、低線量率放射線照射後の酸化タンパク質の蓄積量についても測定を進める予定である。

さまざまな環境ストレスにより、細胞内では活性酸素種（reactive oxygen species; ROS）が産生される。過剰な ROS は酸化ストレスを引き起こし、DNA、タンパク質、脂質などの細胞内分子を酸化することで、細胞機能の異常や障害につながる。一方、低線量率放射線のような弱いストレスでは、その影響は小さく、通常の細胞では検出や解析が難しい。本研究では、放射線高感受性細胞を用いることにより、低線量・低線量率放射線が細胞に及ぼす影響をより鋭敏に捉えることが可能となる。したがって、本研究は低線量率放射線の生物影響の解明に資するものと期待される。

2. 論文

なし

放射能環境動態・影響評価
ネットワーク共同研究拠点（ERAN）

FY2025 Final Report
【海外/International 共同研究】

海外共同研究（外国機関所属研究者）

採択No.	研究代表者名	所属機関	職名・学年	課題名	受入研究者	受入機関	共同研究者
I-25-01	Feng Bin	Fudan University/China	Professor	Impact of different land use along the Kasumigaura lake on suspended sediment and particulate 137Cs discharge	恩田 裕一	CRiES	
I-25-02	Smith Jim	University of Portsmouth/UK	Professor	Long term changes in radiocaesium and radiostrontium in the environment.	恩田 裕一 五十嵐 康記	CRiES	
I-25-03	Johnson Edward Thomas	Colorado State University/USA	Professor	Radiocesium Contamination within Japanese Rivers, Sediment and Runoff	恩田 裕一	CRiES	
I-25-04	Shinkarev Sergey	State Research Center - Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency/Russia	Head of Department of Industrial Radiation Hygiene	Current methodology for estimating whole-body doses to the representative residents of the settlements exposed to radioactive fallout from nuclear detonations at the Semipalatinsk Nuclear Test Site	坂口 綾	CRiES	Stepanenکو Valeriy Hoshi Masaharu
I-25-05	Bauer Michael	European Organization for Nuclear Research/Switzerland	Researcher	Evaluation and modeling of factors controlling Cs-137 concentration in river	五十嵐 康記 脇山 義史	CRiES	辻 英樹
I-25-06	Clark Kasey	University of Liverpool/UK	Professor	Quantifying the impact of extreme rainfall events on the erosion of terrestrial organic carbon exported by rivers: Exploring radiocesium as a tracer	五十嵐 康記 丸岡 照幸 脇山 義史	CRiES	
I-25-07	Siregar Nawi Rahmat	Sumatera Institute of Technology/Indonesia	Associate Professor	Natural and environmental radioactivity	ロフィクル ウマム 山中 勤	CRiES	
I-25-08	Ananthanarayanan Chandrasekaran	Sri Sivasubramaniya Nadar College of Engineering (Autonomous)/India	Assistant professor	Natural radioactivity and its radiation hazards in organic and inorganic agricultural soils of Tamil Nadu, India	ラハマン モハマド モフィズル イスマイル	IER	Begum Zinnat Ara
I-25-09	Saiyad Musthafa M.	The New College (Autonomous)/India	Assistant Professor	Estimation of uranium ions concentration in drinking water sources around the Natural High Background Radiation Area of Chavara, Kerala, India.	ラハマン モハマド モフィズル イスマイル	IER	Begum Zinnat Ara
I-25-10	Mahiuddin Md.	Khulna University/Bangladesh	Associate Professor	Development of magnetic carbonaceous materials from agro-waste for the removal of radionuclides	ラハマン モハマド モフィズル イスマイル	IER	Begum Zinnat Ara
I-25-11	Rahman Md Rezaur	University Malaysia Sarawak/Malaysia	Associate Professor	Synthesis of High-Quality Graphene from Borneo Bamboo for Selective Sorptive Separation of Lead Isotopes	ラハマン モハマド モフィズル イスマイル	IER	Begum Zinnat Ara Mohamad Said Khairul Anwar
I-25-12	Nhan Duc Dang	Institute For Nuclear Science And Technology/Viet Nam	Principal Researcher	Application of analytical methodology of Cs-137 in seawater for Vietnam coastal fish to estimate background level	高田 兵衛	IER	GIAP DINH NGUYEN 立田 穰
I-25-13	Kopka Piotr	National Centre For Nuclear Research/Poland	Assistant professor	Modeling the Transport of Radionuclides in the Niida River using the WRF-Hydro Model	グシエフ マキシム	IER	Potemski Slawomir
I-25-14	Baklanova Yuliya	, branch 'Institute of Radiation Safety and Ecology' of RSE NNC RK/Kazakhstan	Head of group (physicist)	Modeling soil contamination of 90Sr and 137Cs radionuclides due to a ground nuclear test explosion conducted on September 24, 1951 on the Semipalatinsk test site territory.	グシエフ マキシム	IER	Aidarkhanov Assan
I-25-15	Novák Máté	University of Pannonia/Hungary	2 grade	Tritium measurement in the terrestrial surface waters of the Carpathian Basin (EU) and Hamadori-Nakadori (Japan) mountain ranges	グシエフ マキシム	IER	Hegedűs Miklós Piroska Tóth
I-25-16	Autsavapromporn Narongchai	Chiang Mai University/Thailand	Associate Professor	The Biological Effects of Indoor Radon Exposure in Humans	床次 眞司 三浦 富智 クランロッド チュティマ	IREM	
I-25-17	Prasad Ganesh	B.L.J. Govt. (P.G.) College Purola, Uttarkashi, Uttarakhand/India	Assistant Professor	Environmental Radioactivity, Radiation Physics	床次 眞司 大森 康孝	IREM	Singh Deepak
I-25-18	Jacob Mbarndouka Taamté	Institute of Geological and Mining Research/Cameroon	Research Officer	Design and realization of a smart survey meter based on low-cost electronic components for simultaneous ambient equivalent dose rate and radon concentration measurement: Calibration with a stable radon gas in low, medium and high concentration	床次 眞司 細田 正洋	IREM	SÂIDOU Omar Bobbo Modibo
I-25-19	Rattanapongs Chanis	Kasetsart University/Thailand	lecturer	Evaluation of the effective dose from radon thoron decay products in Hin Dat natural hot springs, Thong Pha Phum district, Kanchanaburi province	床次 眞司 クランロッド チュティマ	IREM	
I-25-20	Lusiyanti Yanti	Research and Innovation National Agency (BRIN)/Indonesia	Senior Researcher	Detection of Metabolomic and Genomic Biomarkers as a Radiation Response to Support Risk Analysis Safety: A Study of Nuclear Facility Radiation Workers	三浦 富智	IREM	Tetrisana Devita Yusuf Darlina Purnami Sofiati Rahajeng Nastiti Hartiasa Rustin Tatin
I-25-21	Chuenbubpar Darunwan	Office of Atoms for Peace /Thailand	Nuclear Chemist	A Study of Method for the Determination of Low-Level Organic-Bound Tritium Activities in seafoods and Ready-to-Eat food	赤田 尚史	IREM	Itthipoonthanakorn Thawatchai
I-25-22	Yongprawat Monthon	Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization)/Thailand	Nuclear Scientist, Professional Level,	Assessment of Tritium Levels in Imported Seafood Products	赤田 尚史	IREM	Chuenbubpar Darunwan
I-25-23	Vuong Thi Thu Hang	Dalat Nuclear Research Institute/Vietnam	Researcher	Comparison of Activity concentration of Sr-90 in seawater, sediment and fish samples between the South China Sea - Vietnam and Fukushima Prefecture - Japan	田副 博文	IREM	Le Xuan Thang

海外共同研究（外国機関所属研究者）

採択No.	研究代表者名	所属機関	職名・学年	課題名	受入研究者	受入機関	共同研究者
I-25-24	Lesbek Anel	Astana Medical University/Kazakhstan	Junior Research Fellow	Analysis of the Association Between Inflammatory Biomarkers and Exposure to Elevated Radon Levels in Children and Adolescents	大森 康孝	IREM	
I-25-25	Kazhiyakhmetova Baglan	NCJSC Astana Medical University/Kazakhstan	PhD student	Impact of Technogenic Radiation Factors on the Development of Tumor and Non-Tumor Bronchopulmonary Diseases in the Population of Northern Kazakhstan Based on Molecular-Genetic Analysis	大森 康孝	IREM	
I-25-26	Prasad Mukesh	Swami Rama Himalayan University/India	Assistant Professor	Vertical distribution of primordial radionuclides in soil profiles in Doon valley, Garhwal Himalaya, India	克蘭ロッド チュティマ 大森 康孝 細田 正洋 床次 眞司	IREM	Prasad Ganesh

Impact of different land use along the Kasumigaura lake on suspended sediment and particulate ^{137}Cs discharge

研究代表者：Feng Bin

受入研究者：恩田 裕一

1. 成果

Large amounts of ^{137}Cs released from the Fukushima Daiichi nuclear power plant are continuously entering Lake Kasumigaura (Ibaraki Prefecture) from surrounding rivers, which could pose a potential radiation threat to drinking water safety and local fishing products. Given that more than 95% of ^{137}Cs in rivers are tightly bound to suspended sediments (SS), understanding the dynamics of particulate ^{137}Cs input/emission and the mechanisms behind controlling their transport is critical for the region. Land use is often considered a key factor affecting sediment yield and ^{137}Cs inventory. Especially during the rainy season, its differences in soil erodibility can be greatly amplified, thus altering the supply of river sediment and the discharge of particulate ^{137}Cs . Significant differences in land use composition have been identified in two sub-basins adjacent to Lake Kasumigaura (i.e., the Koise River basin and Sakura River basin), but due to the lack of long-term river monitoring data along the Kasumigaura Lake area, it remains difficult to evaluate the effect of such land use differences on sediment supply, river suspended sediment and particulate ^{137}Cs fluxes.

To fill this knowledge gap, we conducted a six-year monitoring campaign in two sub-basins (i.e., Koise River basin and Sakura River basin) and combined hysteresis analysis and ^{137}Cs tracing to specifically explore differences in sediment supply and transport across land-use basins. We found that sediment loads were more significantly correlated with discharge/rainfall in the Koise River (a higher proportion of forest fraction), and the dynamics of particulate ^{137}Cs were more consistent over the same period. In contrast, the control of water flow/rainfall on sediment transport with ^{137}Cs is relatively weaker in Sakura River (a higher PFU fraction). Hysteresis analysis shows that the frequency of clockwise event (CW) in the Koise exceeded 50%, while the figure of eight (F8) hysteresis occurred more frequently. We thus hypothesize that rainfall promotes sediment outflow from the forest edge in the Koise catchment, while the Sakura catchment has more paddy land, which leads to a more complex sediment composition due to its higher connectivity. To further study the location of sediment sources in two catchments, we propose a novel index to describe the spatial distribution of ^{137}Cs loss using meteorological radar data, quantified land use, and ^{137}Cs inventories. We found a significant positive correlation between this metric and ^{137}Cs

dynamics in the Koise, rather than Sakura, which well-supports our explanation of highly ^{137}Cs contaminated sediment in Koise mainly from the forest. Overall, our results suggest that forested areas in Kasumigaura lake may continue to discharge particulate ^{137}Cs in the future. Moreover, the new index would be a useful tool to locate the potential sediment sources and benefit future catchment management.

2. 論文

Long-term changes in radiocaesium and radiostrontium in the environment.

研究代表者: Jim Smith

受入研究者: 恩田 裕一

五十嵐 康記

1. 成果

The collaboration focused particularly on radiocaesium (^{137}Cs) and radiostrontium (^{90}Sr), drawing on long-term observations from areas affected by the Chernobyl and Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accidents.

During the visit, we discussed comparative analyses of long-term changes in dissolved ^{137}Cs concentrations in rivers affected by the two accidents. Previous observations have shown that, when normalized by initial ^{137}Cs deposition, dissolved ^{137}Cs concentrations in Fukushima rivers are approximately one to two orders of magnitude lower than those observed in European rivers affected by the Chernobyl accident. To investigate the mechanisms responsible for these differences, we examined long-term river monitoring data together with hydrochemical and catchment characteristics from European and Japanese river basins.

Particular attention was given to the effects of dissolved organic carbon (DOC), stable ^{133}Cs , K, and NH_4 on the long-term mobility of ^{137}Cs . The comparative analysis indicated that DOC and stable ^{133}Cs were important explanatory variables for differences in long-term dissolved ^{137}Cs behavior among river basins, whereas no clear relationship was found for K or NH_4 . These results suggest that interactions among dissolved Cs, clay minerals, and organic matter may play an important role in controlling the long-term persistence and mobility of radiocaesium in river environments.

Through these discussions, we identified directions for further joint analyses and publications aimed at developing a more general understanding of how catchment properties and biogeochemical processes regulate the long-term fate of radionuclides following nuclear accidents. The visit therefore strengthened the ongoing collaboration between the University of Portsmouth and the University of Tsukuba and provided a basis for continued international research on the long-term environmental consequences of nuclear contamination.

2. 論文

Radiocesium Contamination within Japanese Rivers, Sediment and Runoff

研究代表者：Johnson Edward Thomas

受入研究者：恩田 裕一

1. 成果

We found that relief ratio and area are not predictors for erosion and redeposition of radiocesium impacting air dose rates following water level events across different watersheds. Relief ratio and area are not predictors for erosion and redeposition of radiocesium impacting air dose rates following water level events across individual watersheds. We did find a difference in physical decay of dose rates and actual dose rate decay. Actual dose rate reduction was greater than that of physical decay for all locations.

2. 論文

We gave presentations at the Central Rocky Mountain Chapter of the Health Physics Society, as well as the CSU Research day. No peer reviewed publications at this time.

Current methodology for estimating whole-body doses to the representative residents of the settlements exposed to radioactive fallout from nuclear detonations at the Semipalatinsk Nuclear Test Site

研究代表者：Shinkarev Sergey

受入研究者：坂口 綾

共同研究者：Stepanenko Valeriy

Hoshi Masaharu

1. 成果

Intensive atmospheric nuclear weapons testing at the Semipalatinsk Nuclear Test Site in 1949-1962 resulted in radioactive fallout in settlements located neighboring to this test site and exposure to the residents of those settlements. Up-to-date methodology has been adjacent to assess whole-body doses to the representative children of six age-groups (according to the ICRP recommendations: fetus, 3 mo, 1 y, 5 y, 10 y, 15 y) in 18 settlements from 12 tests. Input data were determined as follows: (1) settlement-average dose to air at the settlement considered, (2) the conversion coefficient from dose to air to whole-body dose, which varies according to the age of a representative child, (3) the behavioral factor of a representative child. In turn, the behavioral factor includes the location factors for outdoors and indoors and the fractions of time spent outdoors and indoors. The location factor for outdoors is assumed to be equal to 1. While, the location factor for indoors depends upon the degree of gamma-ray attenuation by the building material: 0.33 – for wooden houses; 0.1 – for brick houses and 0.077 – for adobe houses. The fractions of time spent outdoors and indoors depend upon the age-group of the representative children and the season.

Results: The estimates of the average-settlement dose for 18 settlements included in the project from 12 tests at the SNTS that affected those settlements have been clarified. The best estimates of the settlement-average dose to air are in the range (1-600) mGy. The estimates of the whole-body doses for majority of representative children from different age-groups were lower by a factor of approximately 2-5 than the estimates of the settlement-average dose to air in the settlements considered. About (45-75) % of life-time whole-body dose from external exposure for the representative children have been realized during three first days after fallout arrival time.

2. 論文

1. Valeriy Stepanenko, Sergey Shinkarev, Andrey Kaprin, Kazbek Apsalikov, Sergey Ivanov, Peter Shegay, Evgenia Ostroumova, Ausrele Kesminiene, Alexandra Lipikhina, Viktoria Bogacheva, Kassym Zhumadilov, Masayoshi Yamamoto, Aya Sakaguchi, Satoru Endo, Nariaki Fujimoto, Bernd Groshe, Vladimir Iatsenko, Alla Androsova, Zukhra Apsalikova, Noriyuki Kawano, Masaharu Hoshi. Comparison of external dose estimates using different retrospective dosimetry methods in the settlements located nearby Semipalatinsk nuclear test site, Republic of Kazakhstan. *J. Radiat. Res.* 2024, 65, N 1, pp. 36-46. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrad082>.
2. Valeriy Stepanenko, Sergey Shinkarev, Alexandra Lipikhina, Kazbek Apsalikov, Andrey Kaprin, Sergey Ivanov, Peter Shegay, Evgenia Ostroumova, Viktoria Bogacheva, Yuliya Brait, Kassym Zhumadilov, Masayoshi Yamamoto, Aya Sakaguchi, Satoru Endo, Nariaki Fujimoto, Bernd Grosche, Vladimir Iatsenko, Alla Androsova, Noriyuki Kawano and Masaharu Hoshi. External radiation dose reconstruction for settlements near the Semipalatinsk nuclear test site, Kazakhstan, in the international multicenter study: A detailed review and comparative analysis of the initial data. *J. Radiat. Res.* 2025, 66, N 5, pp. 496-508. <https://doi.org/10.1093/jrr/rraf049>.

Evaluation and modeling of factors controlling Cs-137 concentration in river

研究代表者：Bauer Michael

受入研究者：五十嵐 康記

脇山 義史

共同研究者：辻 英樹

1. 成果

研究課題名：河川における Cs-137 濃度を支配する要因の評価とモデリング

研究代表者：Michael Bauer

研究概要

福島第一原発事故およびチェルノブイリ事故由来の放射性セシウム (Cs-137) は、現在も森林および河川環境において移行を続けている。特に河川においては、水および懸濁物質を介した下流輸送により二次的な汚染拡散が生じることが知られている。本研究では、河川における Cs-137 濃度を支配する主要プロセスを明らかにするため、現地観測・室内実験・数値モデリングを統合した解析を行い、流域スケールでの Cs 動態の理解と予測精度の向上を目的とした。

研究内容および方法

(1) 観測および実験

上流域から下流域に至る複数地点において河川水および懸濁物質を採取し、Cs-137 濃度の時系列変動を解析した。また、室内実験により、Cs の固液分配係数 (K_d) の温度依存性を評価し、熱力学的関係 (van't Hoff プロット) に基づく整理を行った。

(2) モデル開発

河川を一次元場として扱い、以下のプロセスを組み込んだ数値モデルを構築した。

- 流下輸送および拡散
- 粒子の沈降・再懸濁 (Shields 数に基づく)
- 河床と水中間の交換過程
- 粒径依存の輸送挙動
- 固液間分配 (K_d) による Cs 挙動

特に、粒子ごとの履歴を追跡するラグランジュ型アプローチを導入し、粒径ごとの輸送特性およびばらつきを再現した。

主な成果

- 河川中の Cs-137 濃度は、単純な平均的挙動ではなく、粒径依存の輸送過程および履歴効果に強く支配されることを明らかにした。
- 河床—水中間の交換 (再懸濁・沈降) が Cs 動態において重要な役割を果たすことを定量的に示した。

- 固液分配係数 K_d の温度依存性が、溶存態 Cs 濃度の季節変動を説明する主要因の一つであることを確認した。

- 開発したモデルは、福島阿武隈川およびチェルノブイリ流域の観測データを良好に再現し、異なる流域間での適用可能性を示した。

学術的意義

本研究は、河川における Cs-137 動態を、

- 水理過程
- 粒子輸送
- 熱力学的分配

を統合した枠組みで理解した点に新規性がある。

特に、粒子スケールの過程（履歴・粒径）を流域スケールの挙動に結びつけた点は、従来の平均場モデルを超えるアプローチであり、放射性物質輸送の理解を大きく前進させるものである。

今後の展開

今後は、有機物からの Cs 供給過程（リター由来溶出など）をモデルに組み込むことで、流域における Cs 循環の包括的理解を目指す。また、本モデルは将来的な原子力事故時の環境影響評価やリスク予測にも応用可能である。

2. 論文

Quantifying the impact of extreme rainfall events on the erosion of terrestrial organic carbon exported by rivers: Exploring radiocesium as a tracer

研究代表者：Clark Kasey

受入研究者：五十嵐 康記

丸岡 照幸

脇山 義史

共同研究者：

1. 成果

研究概要

本研究では、福島県内流域を対象に、放射性セシウム (^{137}Cs) をトレーサーとして用い、河川における有機炭素動態と極端降雨イベントとの関係を明らかにすることを目的とした。特に、懸濁物質および溶存態における ^{137}Cs の分配特性に着目し、これを陸域起源有機炭素 (terrestrial organic carbon) の輸送指標として活用可能かを検討した。

研究内容および方法

対象流域として、気候および地質条件が類似しつつも土地利用が異なる福島県請戸川流域を選定した。本流域は森林 (約 80%) を主体としつつ、農地および居住域が混在しており、土地利用の違いが物質輸送に与える影響を評価することが可能である。

観測は以下の 4 地点で実施した：

- 1) 上流森林域
- 2) 農地・回復途上農地を含む上流域
- 3) 中流域 (ダム上流)
- 4) 下流低地 (沿岸水田域)

各地点において、通常時および出水時を含む条件下で河川水および懸濁物質を採取し、 ^{137}Cs 濃度および分配特性を解析した。

主な成果

- ^{137}Cs の固液分配特性は流況条件に応じて変化し、特に高強度降雨時に顕著な変動を示すことが確認された。
- 懸濁態および溶存態の ^{137}Cs の挙動は、有機物由来成分と密接に関連しており、 ^{137}Cs が陸域起源有機炭素の輸送を反映する有効なトレーサーとなる可能性が示された。
- 土地利用の違い (森林・農地・都市域) は、炭素および ^{137}Cs の輸送特性に明確な影響を与えることが示唆された。
- 極端降雨イベントは、河川を通じた有機炭素および ^{137}Cs の輸送を強く促進し、その影響は流域特性に依存して異なることが明らかとなった。

学術的意義

本研究は、放射性セシウムを用いて河川における有機炭素輸送を評価する新たなアプローチを提示した点に新規性がある。特に、極端降雨イベント下における物質輸送過程を定量的に理解する枠組みを提供し、炭素循環および放射性物質動態の統合的理解に貢献する。

今後の展開

今後は、より高頻度観測およびモデル解析を組み合わせることで、極端降雨イベントが炭素フラックスおよび放射性物質輸送に与える影響の定量化を進める。また、本研究成果は、気候変動に伴う降雨強度の増加に対する流域管理および炭素収支評価の高度化に資することが期待される。

2. 論文

Natural and environmental radioactivity

研究代表者：Siregar Nawi Rahmat

受入研究者：ロフィクル ウマム

山中 勤

1. 成果

This collaborative research focused on the naturally radioactive geological environment of Bangka Island, Indonesia, and its role in generating a distinctive non-volcanic geothermal system. Bangka Island is dominated by granitic formations containing naturally occurring radioactive elements, particularly uranium (U), thorium (Th), and potassium (K). Radioactive decay of these elements produces radiogenic heat within the crust and provides an important thermal source for the hot spring systems. Natural radioactivity is therefore not only a characteristic of the granite, but also a key process controlling subsurface heating, fluid circulation, water-rock interaction, and subsequent lithium enrichment. Six hot spring locations—Nyelanding, Pemali, Permis, Keretak, Terak, and Dendang—were investigated using hydrochemical and geothermometric approaches. Water samples were analyzed for Na, K, Mg, Ca, Cl, HCO₃, SO₄, SiO₂, Li, and B. Lithium concentrations ranged from 0.01 to 3.27 mg/L, with the highest values at Permis (3.27 mg/L) and Dendang (2.07 mg/L). These locations also showed relatively high Na and Cl concentrations. The results support the interpretation that radiogenic heating of granitic rocks promotes prolonged fluid-rock interaction and enhances the mobilization of lithium from lithium-bearing minerals in the granite. Piper and Gibbs diagrams, together with Na/Cl and SO₄/Cl ratios, were used to evaluate fluid origin and evolution. Permis and Dendang were characterized as sodium-chloride-type waters and showed a minor seawater contribution, whereas the other hot springs were more strongly influenced by meteoric water and water-rock interaction. Geothermometric calculations indicate variable reservoir conditions, with estimated reservoir depths of approximately 1.3–3.11 km. These results show that heat generated by naturally radioactive granitic basement can sustain geothermal circulation at different depths and create conditions favorable for mineral-fluid reactions and lithium transfer into geothermal water. The combined interpretation of Li, Cl, B, hydrochemistry, and reservoir conditions clarifies the link between natural radioactivity and geothermal fluid evolution. Dendang is interpreted to originate from an older hydrothermal reservoir containing lithospheric water enriched in lithium through prolonged water-rock interaction. Permis is associated with a relatively shallow aquifer influenced by seawater intrusion and subsequently heated by the reservoir, while the other hot springs are mainly shallow groundwater systems heated by radiogenic heat from granitic rocks. Overall, the study

demonstrates a genetic connection between naturally occurring U-Th-K radioactivity, radiogenic heat production, geothermal circulation, and lithium enrichment in a non-volcanic setting. A major outcome of this collaboration was publication of the results in *Geothermics* under the title “Lithium enrichment in high radiogenic geothermal systems originating from lithospheric water due to water-rock interactions.” Collaboration with CRIES strengthened the interpretation of the radiogenic geothermal system and provided a basis for continued joint research on natural radioactivity, isotopes, geothermal geochemistry, and fluid-rock interaction. Future work will combine stable isotopes ($\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$), lithium isotopes ($\delta^7\text{Li}$), and further evaluation of natural radioactivity in granitic rocks and thermal waters to better constrain heat sources, fluid origins, mixing processes, and lithium mobilization.

2. 論文

Siregar, R.N., Sismanto, S., Triyana, K., Harijoko, A., Iqbal, M., Antarnusa, G., Putra, F.G., Umam, R. Lithium enrichment in high radiogenic geothermal systems originating from lithospheric water due to water-rock interactions, *Geothermics*, 134, 2026.

Natural radioactivity and its radiation hazards in organic and inorganic agricultural soils of Tamil Nadu, India

研究代表者：Ananthanarayanan Chandrasekaran
受入研究者：ラハマン モハマト モフィズル イスマイル
共同研究者：Begum Zinnat Ara

1. 成果

☒Research objective☒

The application of organic and inorganic fertilizers alters natural radionuclide concentrations in agricultural soils, which are influenced by regional geological and geographical factors. This research investigates the concentrations and activities of ^{238}U , ^{232}Th , and ^{40}K in soil samples, along with measurements of absorbed dose rate, radium equivalent activity, annual effective dose, internal hazard index, and excess lifetime cancer risk, to assess radiological impacts. Findings are contextualized with international data and compared to UNSCEAR guidelines; multivariate statistical analyses are employed to evaluate interrelationships among radioactive parameters.

☒Experimental☒

In this study, twenty-one soil samples were systematically collected from diverse locations across Tamil Nadu. Each sample was placed in a polythene bag, clearly labeled, and transported to the laboratory for pre-treatment. To ensure homogeneity and facilitate precise gamma-ray spectrometric analysis, the samples were ground into a fine, uniform powder. Subsequently, the powdered samples were oven-dried at 105°C for 2 h to remove moisture, then packed into 250 mL Marinelli beakers. The beakers were securely sealed with screw caps and Teflon tape and stored in an undisturbed environment for 4 weeks to achieve secular equilibrium among natural radionuclides and their short-lived progeny. Finally, the samples underwent NaI (TI) gamma-ray spectroscopic analysis to determine the activity concentrations of primordial radionuclides, specifically ^{238}U , ^{232}Th , and ^{40}K .

☒Observations☒

The activity concentrations of ^{238}U , ^{232}Th , and ^{40}K in soil samples were quantified using a gamma-ray spectrometer equipped with a NaI (TI) detector. Results indicate that these concentrations were generally elevated. Specifically, in organic soil samples, the activity concentrations of ^{238}U ranged from below detection limit (BDL) to 68 Bq/kg, ^{232}Th ranged from 23 to 165 Bq/kg, and ^{40}K ranged from 340 to 1040 Bq/kg. For inorganic soil samples, the activity concentrations of ^{238}U ranged from 11 to 72 Bq/kg,

^{232}Th from 35 to 230 Bq/kg, and ^{40}K from 543 to 1243 Bq/kg. Additionally, the absorbed dose rate and annual effective dose rate were calculated for both organic and inorganic soils. These values exceeded the recommended limits for the study area by a slight margin.

2. 論文

1. Chandrasekaran, A. and Rahman, I.M., 2025. Radiological profiling of modern building materials: A case study of natural radionuclides in vitrified tiles from Tamil Nadu, India and their health implications. *Nuclear Engineering and Technology*, 57(11), p.103754.
2. Chandrasekaran, A. and Rahman, I.M., 2024. Effect of natural radioactivity along the southern coastal area of Tamil Nadu with statistical approach. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 333(12), pp.6155-6165.

Estimation of uranium ions concentration in drinking water sources around the Natural High Background Radiation Area of Chavara, Kerala, India.

研究代表者：Saiyad Musthafa M.

受入研究者：ラハマン モハマド モフィズル イスマイル

共同研究者：Begum Zinnat Ara

1. 成果

☒Research objective☒

Uranium, a radioactive element, is naturally found in the environment as minerals with varying concentration levels. Contamination of drinking water with uranium poses a significant risk due to its chemical and radioactive properties. The purpose of this research is to estimate the concentration of uranium ions in drinking water sources around the Natural High Background Radiation Area (NHBRA) of Chavara, Kerala, India. The study aims to the following: (a) Determine the levels of uranium contamination in groundwater and assess the potential health risks to the population in the NHBRA of Chavara, Kerala; (b) Investigate the geological and anthropogenic factors contributing to uranium contamination in the region; (c) Evaluate the effectiveness of current monitoring and management strategies for uranium contamination in India; (d) Generate baseline data for future research on uranium contamination and remediation efforts in similar areas.

☒Experimental☒

For this study, ten locations were selected along the Chavara coastal stretch. 100 mL of drinking water samples were systematically collected & filtered using 0.45- μ m Whatman filter paper and acidified with nitric acid (HNO₃). Uranium was measured using LED fluorimeter (LF-Quantalase) within a range of 0.5–1000 μ g/L, with an accuracy of ± 10 % or 0.05 μ g/L. The physio-chemical indices were measured using a multi-parameter water quality probe (Hanna Multi Probe). Mass concentration of Uranium manipulated with conversion factors to obtain Activity Concentration of Uranium & Annual Effective Dose to general public due to consumption of drinking water in the Natural High Background Radiation Area of Chavara, Kerala, India.

☒Observations☒

In this study, an LED fluorimeter was used to estimate the amount of uranium present in the drinking water samples taken from the NHBRA of Chavara, Kerala, India. The results infer, the uranium content in groundwater varies in different orders of magnitude which may be due to the kind of geological formation and anthropogenic activities. Uranium levels in drinking water were measured between 0.76 and 230.5 μ g/L, with about 12% of the samples exceeding the AERB's radiological limit (RBL) of 60 μ g/L. The uranium activity concentration in drinking

water ranged from 0.02 to 6.02 Bq/L. Annual Effective Dose (AED) values ranged from 1.2 to 95.0 μ Sv/y, remaining within the WHO's recommended limit of 100 μ Sv/y. This benchmark data on uranium levels in groundwater sources in the NHBRA of Chavara, Kerala, and assessed health risks to the population is pivotal for further studies.

2. 論文

PUBLISHED RESEARCH ARTICLES

1. Priyadharshini, M., Ahmed, Munawar Suhail, Chandrasekaran, A., Santhanabharathi, B., Pradhoshini, K.P., Aarthi, M., Duong, V.H., Rahman, I., Mohamed Saiyad Musthafa (2026), Radiological Risk Assessment of Primordial Radionuclides in Sediment: A Case Study of Southeast Chennai, Tamil Nadu, India. *Regional Studies in Marine Science*, V. 94, 104731. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104731>
2. Priyadharshini, M., Santhanabharathi, B., Chandrasekaran, A., Ahmed, M.S., Pradhoshini, K.P., Aarthi, M., Duong, V.H., Nguyen, X.Q., Begum, Z.A., Rahman, I. and Musthafa, M.S., (2025). Assessment of Gross Alpha, Gross Beta, 210Po, and 210Pb in Rice and their Associated Health Risks in Tamil Nadu, India: A Baseline Study. *Applied Radiation and Isotopes*, p.112253. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2025.112253>
3. Ahmed, Munawar Suhail, Bharathi Santhanabharathi, A. Chandrasekaran, Kumara Perumal Pradhoshini, Marckasagayam Priyadharshini, Murugavel Aarthi, Jalal Khan Rawoof Khan Thangarasu Ravimanickam, V. Sathish, Van-Hao Duong, Zinnat Ara Begum, Ismail M.M. Rahman, Mohamed Saiyad Musthafa, (2025). "Radioecological dynamics of primordial radionuclides in rice agroecosystems: A comprehensive assessment of transfer pathways and health risk assessment in the Manavalakurichi NHBRA." *Science of The Total Environment*, 994;180029.
4. Khan, J.K.R., Thangarasu, R., Ahmed, M.S., Priyadharshini, M., Santhanabharathi, B., Pradhoshini, K.P., Duong, V.H., Krishnamoorthy, R., Begum, Z.A., Rahman, I.M. and Musthafa, M.S., (2025). "Health risk assessment of 210Po and 210Pb due to consumption of dried fish from natural high background radiation areas of Kanyakumari coast, Tamil Nadu, India". *Marine Pollution Bulletin*, 217, p.118040.
5. Pradhoshini, K.P., Santhanabharathi, B., Chandrasekaran, A., Ahmed, M.S., Priyadharshini, M., Duong, V.H., Rahman, I.M. and Musthafa, M.S., 2025. Radiation doses received by humans in their dwellings—A baseline report on radionuclides exposure from construction materials used in Chennai, Tamil Nadu, India. *Journal of Hazardous Materials*, 484, p.136754.
6. Santhanabharathi, B., Ahmed, M.S., Chandrasekaran, A., Priyadharshini, M., Pradhoshini, K.P., Aarthi, M., Sathish, V., Krishnamoorthy, R., Duong, V.H., Rahman, I.M. and Musthafa, M.S., (2025). Spatial distribution and radiological risk assessment of natural radionuclides in sediments from Kayamkulam Estuary, Kerala. *Environmental Pollution and Management*, 2, pp.77-86.

Development of magnetic carbonaceous materials from agro-waste for the removal of radionuclides

研究代表者：Mahiuddin Md.

受入研究者：ラハマン モハマド モフィズル イスマイル

共同研究者：Begum Zinnat Ara

1. 成果

Report

This report details the successful progress and accomplishments of the research project focused on developing magnetic carbonaceous materials (MCMs) from agro-waste for radionuclide remediation. Following the proposed research plan, mahogany (*Swietenia mahagoni*) seed shells were utilized as a sustainable precursor to create high-performance adsorbents. To date, the project has successfully synthesized these materials and demonstrated a significant adsorption capacity of 47 mg/g for the removal of Strontium (Sr(II)) from aqueous solutions.

The project transitioned from the conceptual framework of renewable resource use to the practical application of circular economy principles. The following milestones have been achieved:

☑ Mahogany seed shells, an abundant agro-waste, were processed into carbonaceous materials and incorporated with iron-based nanoparticles to impart magnetic properties.

☑ Advanced analytical techniques have been employed to confirm the structural and functional integrity of the MCMs:

- XRD confirmed the crystalline structure and the successful incorporation of magnetic phases.
- VSM and use of an external magnet confirm the magnetic character of MCMs.
- SEM revealed the co-existence of nano-sized magnetic and carbonaceous parts that are essential for effective adsorption.
- FTIR identified the presence of functional groups responsible for chemical interactions with radionuclides.

☑ Initial batch experiments targeting Sr(II) have yielded an adsorption capacity of 47 mg/g. This aligns with the expected result of producing materials with high surface area and customized pore structures.

Ongoing Work and Outlook

While the primary structural characteristics have been established, further characterization (including BET, Raman, and XPS analysis) is currently ongoing to map the precise surface area and elemental composition. Future phases will focus on reusability testing to evaluate

the stability of the MCMs over multiple adsorption-desorption cycles, ensuring economic feasibility for large-scale environmental applications.

Upon completion of the remaining characterization and analysis, a manuscript detailing these findings will be submitted to a peer-reviewed journal for publication.

2. 論文

1. Magnetic graphene nanocomposites: a new frontier in radioactive waste remediation (<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2026/va/d5va00319a>).
2. Environmentally sustainable synthesis of reduced graphene oxide using Piper chaba stem extract and its adsorbent efficacy towards wastewater treatment. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221171562600007X?via%3Dihub>.)

Synthesis of High-Quality Graphene from Borneo Bamboo for Selective Sorptive Separation of Lead Isotopes

研究代表者：Rahman Md Rezaur

受入研究者：ラハマン モハマド モフィズル イスマイル

共同研究者：Begum Zinnat Ara

Mohamad Said Khairul Anwar

1. 成果

The core outcome of this research is the successful conversion of Borneo Bamboo into high-quality graphene designed for the selective removal of lead (Pb) isotopes from contaminated water. The research produces graphene characterized by a high surface area and a tunable pore structure, which are essential for effective adsorption. The graphene is functionalized with oxygen-containing groups to significantly improve its ability to bind with and remove Pb isotopes. The study identifies that the removal of lead occurs through complex interactions, specifically electrostatic forces and ion exchange between the lead isotopes and the functionalized graphene surface. According to the findings, authors manage to published journal article.

2. 論文

Submitted in previous report

Application of analytical methodology of Cs-137 in seawater for Vietnam coastal fish to estimate background level

研究代表者：Nhan Duc Dang

受入研究者：高田 兵衛

共同研究者：GIAP DINH NGUYEN

立田 穰

1. 成果

The Ammonium Phosphomolybdate (AMP) co-precipitation for more selective isolation of ^{137}Cs from seawater and digested solution of fish samples that could improve the sensitivity of the gamma-spectrometry for ^{137}Cs quantification was adapted since 2025 by the INST for 20 L of seawater and 1 kg-wet of marine fish.

In the Joint Research Project, a training course was held at the IER Institute on AMP procedure for ^{137}Cs separation from seawater and from biota digested solution, ICP-MS procedure for analyzing stable Cs and field sampling.

The activity concentrations of ^{137}Cs in fish ashes (450°C, 48h) were quantified using the gamma-spectrometry with HpGe. Subsequently, the fish ash samples were processed using the AMP/Cs method.

A total 2 seawater and 14 fish samples were measured by the INST under the study. The analysis results showed an average activity concentration value of 0.48 Bq/kg-dry. By AMP/Cs process, the results were 0.97 ± 0.17 mBq/L and 0.089 ± 0.019 Bq/kg-wet respectively (approximately 0.39 ± 0.08 Bq/kg-dry) for seawater and marine fish from Vietnam.

The results show that the activity concentrations were similar to those using large volumes of seawater and marine fish.

2. 論文

Not yet

Modeling the Transport of Radionuclides in the Niida River using the WRF-Hydro Model

研究代表者：Kopka Piotr

受入研究者：グシエフ マキシム

共同研究者：Potemski Sławomir

1. 成果

This pilot ERAN International project aims to develop the WRF-Hydro model transport mechanisms for tritium (^3H) and cesium-137 (^{137}Cs) radionuclides deposited in the Niida River basin. Since the original WRF-Hydro model lacks radionuclide and sediment transport modules, there is a need to develop radionuclide transport and dispersion modules for understanding tritium and cesium-137 movement in riverine systems.

The Niida River has measurements of both tritium and cesium-137 radionuclides including suspended sediments and river water levels, which were converted to river discharge, and we focused on ^3H and ^{137}Cs data due to their significant long-term environmental impact following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident. In this first ERAN project, we conducted the initial WRF-Hydro model setup, river discharge calibration and validation, and plan to integrate radionuclide module into the source code of the original WRF-Hydro model. The radionuclide transport of the modified WRF-Hydro model will include groundwater-surface water interactions, adsorption/desorption dynamics, and sediment transport mechanisms to be match tritium and Cs-137 radionuclide data in the Niida River Basin under different hydrological conditions. These findings will be crucial for predicting the long-term fate of radioactive contaminants in river systems and for designing better environmental protection policies. Additionally, the research will support ongoing international efforts between Poland and Japan to understand radionuclide behavior in freshwater environments, with implications for nuclear disaster prevention and recovery. The final results will be submitted to a high-impact scientific journal, ensuring widespread dissemination of the findings. This ERAN project's outcomes will also serve as a foundation for future studies in hydrological modeling, environmental radioactivity, and ecological risk assessment, strengthening the scientific basis for long-term environmental monitoring programs in contaminated regions.

2. 論文

None

Modeling soil contamination of ^{90}Sr and ^{137}Cs radionuclides due to a ground nuclear test explosion conducted on September 24, 1951 on the Semipalatinsk test site territory.

研究代表者：Baklanova Yuliya

受入研究者：グシエフ マキシム

共同研究者：Aidarkhanov Assan

1. 成果

Nuclear weapons testing leaves behind radioactive contamination as a long-lasting legacy and public health hazard at the Semipalatinsk Test Site (STS), which had 116 nuclear tests between 1949 and 1963 with the ^{90}Sr and ^{137}Cs main dose-forming radionuclides. To address, we investigated ^{90}Sr and ^{137}Cs activity concentrations and $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ratios in topsoil and soil particle-size fractions collected in the fallout plumes from the 38 kt aboveground nuclear test conducted on September 24th, 1951 (the Southern plume - No. 1) and the 400 kt first thermonuclear test on August 12th, 1953 (the Southeastern plume - No. 2).

In the STS, Southern and Southeastern topsoil locations were sampled up to 5 cm using an envelope technique and 3.0-3.5 kg collected samples were dried at 105 °C removing <1 mm fraction. By quartering, a soil sub-sample of ~150 g was collected from the separated fraction for grinding by PULVERISETTE 9 and sent for γ -spectrometric analysis with a high-purity germanium solid-state detector GEM-FX5825P4. To separate soil fractions, 'wet' sieving and sedimentation techniques were sequentially used. From each soil sample that underwent γ -spectrometric analysis, a 5 g subsample was calcinated in a muffle furnace at 550 °C for 9h removing organic matter and used for ^{90}Sr separation by addition of SrCl_2 , sequentially treated with concentrated solutions of hydrofluoric, nitric, and hydrochloric acids. The resultant solution was used to isolate and purify Sr-isotopes by sequential precipitation (iron hydroxide and strontium carbonate). After the chemical precipitation steps, ^{90}Sr re-dissolved into the solution was let to reach the radioactive equilibrium with its decay progeny ^{90}Y after 14 days, precipitated in the form of yttrium $\text{Y}(\text{OH})_3$, transferred to a muriatic acid solution and then to a vial before the ^{90}Y activity was measured. The activity of ^{90}Sr was determined from accumulated ^{90}Y by Tri-Carb 2900 TR liquid-scintillation analyzer of 2 h. Following beta-spectrometric analysis, the chemical yield of ^{90}Sr was determined in the filtrate solution remaining after ^{90}Y co-precipitation by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry iCAP-6000.

Results show that activity levels of radioactive ^{137}Cs contamination were comparable

in the two plumes, but the Southeastern plume had higher ^{90}Sr levels. The estimated $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ratios were between 0.4 and 1.7 for the Southern plume, while the ratios of thermonuclear test's plume ranged between 1.1 and 5.4, which are assumed to be due to the different types and yields of the nuclear charges. In the Southern plume, radionuclides were concentrated in the 250-100 μm fraction, without variability of the radionuclide ratios based on particle-size fractions. The maximum $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ratio for the Southern plume did not exceed 3, and was less than 1 for finer fractions. For the Southeastern plume, the values of the $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ratios in soil particle-size fractions reduce as the size of the fractions decreased from 1000 to 40 μm . High activity concentration ratios of up to 6.2 were observed for fractions ranging from 250 to 1000 μm . The research results of a comprehensive environmental survey of the STS provided insight into the distribution of ^{90}Sr and ^{137}Cs radionuclides in the atmosphere-soil system during ground-based nuclear tests and were published in a reputable journal (Baklanova et al., 2025).

Reference:

Baklanova Y.V., Kabdyrakova A.M., Aidarkhanov A.O., Krivitskiy P.Y., Kunduzbayeva A.Y., Abisheva M.T., Salmenbayev S.Y., Larionova N.V., and Gusyev M. (2025). Comparison of $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ activity ratios in the soil of fallout plumes from aboveground nuclear and thermonuclear tests at the Semipalatinsk Test Site. *Journal of Environmental Radioactivity* 287, 107726, DOI: 10.1016/j.jenvrad.2025.107726

2. 論文

Baklanova Y.V., Kabdyrakova A.M., Aidarkhanov A.O., Krivitskiy P.Y., Kunduzbayeva A.Y., Abisheva M.T., Salmenbayev S.Y., Larionova N.V., and Gusyev M. (2025). Comparison of $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ activity ratios in the soil of fallout plumes from aboveground nuclear and thermonuclear tests at the Semipalatinsk Test Site. *Journal of Environmental Radioactivity* 287, 107726, DOI: 10.1016/j.jenvrad.2025.107726

Tritium measurement in the terrestrial surface waters of the Carpathian Basin (EU) and Hamadori-Nakadori (Japan) mountain ranges

研究代表者：Novák Máté

受入研究者：グシエフ マキシム

共同研究者：Hegedűs Miklós

Piroska Tóth

1. 成果

The Carpathian basin, similar to Japan, is the home of a large number of natural springs and thermal water resources, which offer a potential interest for tritium measurement. By measuring tritium concentrations in such waters, we can improve our understanding of hydrodynamics and provide data for climate change research and a baseline for assessing the potential effects of nuclear facilities. In our research, water samples were collected from Hungary and Romania, from rivers, thermal springs, wells, and precipitation in the Carpathian Basin. All samples were stored in 2 L polyethylene containers and transported to the laboratory under controlled conditions. Tritium activity concentrations were determined at the IAEA Isotope Hydrology Laboratory using a standard procedure for low-level environmental samples. The analytical method consists of distillation, electrolytic enrichment using a polymer electrolyte membrane (PEM) system, and liquid scintillation counting (LSC). Electrolytic enrichment was applied to increase tritium concentration. Following enrichment, samples were mixed with scintillation cocktails (Ultima Gold LLT) and measured using ultra-low-level liquid scintillation counting (LSC) systems. Tritium activity concentrations were calculated from net count rates of the sample relative to standards, considering background subtraction, the enrichment factor, and radioactive decay correction.

Tritium activity concentrations in surface and thermal waters ranged between 0.036 ± 0.004 and 0.981 ± 0.014 Bq/L (≈ 0.30 – 8.25 TU) in line with usual worldwide activity concentration data. The highest activity was observed in the precipitation sample: 1.046 ± 0.015 Bq/L (8.79 TU). Several thermal waters exhibited low tritium concentrations, including Hévíz outflow (0.136 ± 0.005 Bq/L ≈ 1.14 TU), the Szent Mihály well (0.061 Bq/L) and selected springs in Transylvania (<0.06 Bq/L). Elevated values were identified at specific locations, notably a private thermal well in Érd and a hot spring at Bálványos, indicating recent contact with the atmosphere. In our findings, low tritium concentrations indicate limited recent recharge and longer groundwater residence times. In contrast, elevated tritium values suggest a stronger contribution

from recent precipitation and more active hydrological turnover. The rainwater sample shows slightly higher tritium activity compared to regional long-term averages but remains within the expected seasonal variability. Overall, the measured range is consistent with typical environmental tritium levels reported worldwide. Hévíz, Europe's largest thermal lake, is known to be fed by 3 hot and 1 cold underwater springs, selective sampling of them might be of interest.

The main findings were

- Tritium variability reflects mixed groundwater systems
- Thermal waters generally show low modern water contributions
- Local anomalies indicate site-specific recharge conditions
- Results are consistent with global environmental datasets

Further work will focus on detailed comparison between European and Japanese datasets and on identifying the controlling hydrological processes. The results are currently being processed to publish a joint manuscript on investigating the possible causes of our observations in this research, and there is a possibility of establishing possible background water resources based on our activity concentration results, waters containing activity concentrations less than <0.06 Bq/L might be convenient background waters for atmospheric or surface water research and can possibly be incorporated into laboratories working on limited amounts of organic samples.

2. 論文

None

The Biological Effects of Indoor Radon Exposure in Humans

研究代表者：Autsavapromporn Narongchai

受入研究者：床次 眞司

三浦 富智

クランロッド チュティマ

1. 成果

Humans spend a substantial proportion of their time in indoor environments, where exposure to environmental pollutants such as radon and household dust is common. Radon is a well-established risk factor for lung cancer, while household dust can act as a reservoir for a wide range of particulate contaminants originating from both indoor and outdoor sources. In indoor environments, radon progeny may attach to airborne particles, including components of household dust, potentially enhancing their deposition in the respiratory tract. However, the potential combined biological effects of radon and household dust exposure on lung epithelial cells remain poorly understood. Therefore, this study aimed to investigate the cytotoxic and genotoxic effects of co-exposure to radon and household dust in human lung epithelial cells. Household dust samples were collected from residential environments in Lampang Province, Thailand. Dust extracts were prepared using water and methanol–water (1:1, v/v) and applied to A549 human lung epithelial cells. A549 cells were divided into four groups: control, radon exposure alone (45 min/day for two consecutive days), household dust extract treatment alone (24 h), and combined exposure in which cells were first treated with dust extracts for 24 h followed by radon exposure. Cellular responses were evaluated using cell viability assays, cytokinesis-block micronucleus analysis, and Western blotting to examine oxidative stress (Nrf2/HO-1), DNA damage (γ -H2AX), autophagy (LC3), and inflammation (IL-6). Household dust extracts significantly reduced cell viability and increased micronucleus formation in A549 cells. Co-exposure to radon and household dust further enhanced oxidative stress, as indicated by activation of the Nrf2/HO-1 signaling pathway. Increased γ -H2AX expression and micronucleus frequency suggested enhanced DNA damage. In addition, co-exposure induced autophagy activation and inflammatory responses, as evidenced by an increased LC3 II/I ratio and elevated IL-6 expression. These findings demonstrate that combined exposure to radon and household dust induces oxidative stress–mediated cytotoxic and genotoxic effects in lung epithelial cells. The results provide mechanistic evidence that interactions between indoor radon and particulate contaminants in household dust may contribute to health risks associated with indoor environmental pollution.

2. 論文 N.A.

Environmental Radioactivity, Radiation Physics

研究代表者：Prasad Ganesh

受入研究者：床次 眞司

大森 康孝

共同研究者：Singh Deepak

1. 成果

Progress Report

This project was aimed to assess uranium and other potentially toxic elements (PTEs) in potable water of Yamuna and Tons valleys of Garhwal Himalaya, India. For this purpose, a total of 40 potable groundwater samples were collected from the study area. The collected samples prepared and analyzed for uranium and potentially toxic elements using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICPMS). The measured values of uranium concentration in potable groundwater samples were observed to range from 0.01 to 23.42 $\mu\text{g L}^{-1}$ in the Yamuna valley and BDL to 2.95 $\mu\text{g L}^{-1}$ in Tons valley of Garhwal Himalaya. The concentration of uranium in all the investigated water samples were found below the prescription limit of 30 $\mu\text{g L}^{-1}$ suggested by the World Health Organization (WHO). The radiological (carcinogenic) and chemical (non-carcinogenic) risks associated with uranium consumption through drinking water were also estimated and found below the safe limits. The mean values of concentrations of PTEs such as Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sb, Ba and Pb in the investigated groundwater samples were found to be 0.827 $\mu\text{g L}^{-1}$, 4.590 $\mu\text{g L}^{-1}$, 1.612 $\mu\text{g L}^{-1}$, 0.667 $\mu\text{g L}^{-1}$, 0.688 $\mu\text{g L}^{-1}$, 20.926 $\mu\text{g L}^{-1}$, 1.112 $\mu\text{g L}^{-1}$, 1.178 $\mu\text{g L}^{-1}$, 0.008 $\mu\text{g L}^{-1}$, 0.399 $\mu\text{g L}^{-1}$, 44.252 $\mu\text{g L}^{-1}$, 2.165 $\mu\text{g L}^{-1}$ and 1.871 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectively. The concentrations of these PTEs (except Pb) were found to be below the guideline values prescribed by WHO. However, Pb concentrations in a few samples exceeded the recommended limit. The findings of the project also provide a baseline database for future hydrogeochemical studies beyond the immediate implications for public health. The findings provide baseline data for regulatory authorities aligned with United Nations Sustainable Development Goal 6 (i.e. clean water and sanitation).

2. 論文

1. Deepak Singh, Ganesh Prasad, Sanjeev Kimothi, Subhash Chandra, Yasutaka Omori, Masahiro Hosoda, G. Anil Kumar, Shinji Tokonami and Rakesh C Ramola. Occurrence, correlation and health implications of uranium and other potentially toxic elements (PTEs) in Himalayan springs. J Radioanal Nucl Chem 334, 7497–7506 (2025).

<https://doi.org/10.1007/s10967-025-10279-9>

2. Ganesh Prasad, Krishna Pal Singh, Deepak Singh, Mukesh Prasad, Vivek Anand, Subhash Chandra, Yasutaka Omori, Masahiro Hosoda, G. Anil Kumar, Shinji Tokonami & R.C. Ramola. Health risk assessment of uranium in drinking water of Tons Valley in Garhwal Himalaya, India. J Radioanal NuclChem (2025).

<https://doi.org/10.1007/s10967-025-10679-x>

Design and realization of a smart survey meter based on low-cost electronic components for simultaneous ambient equivalent dose rate and radon concentration measurement: Calibration with a stable radon gas in low, medium and high concentration

研究代表者：Jacob Mbarndouka Taamté

受入研究者：床次 眞司

細田 正洋

共同研究者：SÄIDOU

Omar Bobbo Modibo

1. 成果

Our projet reports the radon tracing using a low-cost, locally manufactured smart electronic device with comparison to a reference radon measuring device. Developed for radiation protection and nuclear security, the proposed device consists of a ZP 1200 Geiger-Müller (GM) tube detector, low-cost components namely the Arduino microcontroller board, the DHT11 temperature (T) and relative humidity (RH) sensor and XBee-based Internet of Things (IoT) wireless transmission modules. The reference device measures radon concentration, temperature, and relative humidity in indoor spaces. Typically, the developed device provides data of atmospheric parameters (T, RH) and the ambient dose equivalent rate. From the ambient dose equivalent rate (in $\mu\text{Sv/h}$), radon activity concentration (in Bq/m^3) is deducted using standard and recognized conversion coefficients. The coefficients vary according to the ambient radiation strength and are ranging from 5500 to 8900 (Bq/m^3)/($\mu\text{Sv/h}$). The developed device and the reference instrument were exposed during one month in several dwellings in the city of Yaoundé-Cameroon, and periodic average values of 27.51 ° C (developed device) and 26.19 ° C (RadonEye) for temperature, 74.10 % (developed device) and 73.00 % (RadonEye) for relative humidity, and 1499.19 Bq/m^3 (developed device) and 1464.91 Bq/m^3 (RadonEye) of cumulated radon activity concentrations, for a 24 hours of exposure period were evaluated. Statistical analyzes carried out on the results of the two devices provide a linear regression coefficient of $R^2 = 0.9978$. This shows a good agreement between the data of the developed device and the reference instrument RadonEye.

Keywords: Radon tracing, radon monitoring, relative humidity sensor, temperature measurement

2. 論文

Publications that have cited the ERAN projects

ERAN 2025: I-25-18

[1] Jacob Mbarndouka Taamté, Yvette Flore Tchuenté Siaka, Soumayah Bachirou, Gouroudja Ahmadou, Dieu Souffit Gondji, François Koyang, Modibo Oumar Bobbo, Saïdou "Water Quality Assessment in the Lakes of Yaoundé City of Cameroon for Environmental Monitoring and Human Health" African Journal of Aquatic Science, 2025, <https://doi.org/10.2989/16085914.2025.2602727> (Taylor and Francis)(accepted and in process).

[2] Jacob Mbarndouka Taamté, Yvette Flore Tchuenté Siaka, Saïdou "An overview of air quality monitoring based on low-cost electronic sensors in Cameroon", Journal of Instrumentation, 2025, DOI: 10.1088/1748-0221/21/02/T02005 (IOP).

Evaluation of the effective dose from radon thoron decay products in Hin Dat natural hot springs, Thong Pha Phum district, Kanchanaburi province

研究代表者：Rattanaongs Chanis

受入研究者：床次 眞司

クランロッド チュティマ

1. 成果

Radon (Rn) and thoron (Tn) are radioactive noble gases that are produced by uranium (U) and thorium (Th), which occur naturally in geological formations, including hot springs. Upon inhalation, radon decays, emitting high-energy alpha radiation (4.869 MeV) and generating radioactive progeny that may pose significant health risks, particularly to the respiratory system. Although thoron has a relatively short half-life (5.5 seconds) and is generally less important than radon, exposure to thorium-rich soil may increase the health risks of thoron inhalation. The decay products of radon and thoron accumulate in the alveoli, where they are difficult to expel, potentially causing cellular damage from alpha radiation and lead toxicity, thereby increasing the risk of lung cancer. This research studies the efficiency of passive detectors as an alternative method for detecting radon-thoron decay products in open areas with high background radiation levels in Thailand. Hin Dat Hot Springs was initially selected as a research site due to its high background radiation levels and its status as a significant tourist attraction in Thong Pha Phum District, Kanchanaburi Province. RnPTnP monitoring detectors with a solid-state alpha track detector were installed around the Hin Dat Hot Springs for about three months to monitor the amount of radon and thoron progeny in the air, along with a radon-thoron concentration monitor (RADUET) for result comparison. However, all results showed that the concentration of radon progeny in the area ranged from 0.8 to 21 Bq m⁻³, with a mean of 7.6 Bq m⁻³, while the concentration of thoron progeny ranged from 0.8 to 3.5 Bq m⁻³, with a mean of 1.8 Bq m⁻³. The annual radiation dose values for radon progeny were found to be 7.5 - 219.9 μSv y⁻¹, with an average of 79.4 μSv y⁻¹. The radiation dose values for thoron progeny were 0.4 - 1.4 μSv y⁻¹, with an average of 0.9 μSv y⁻¹. The test results showed that the measured radon-thoron decay product concentration exceeded the lower limit of detection, indicating that passive radon-thoron decay product detection is feasible for use in open areas with high background radiation.

2. 論文

Detection of Metabolomic and Genomic Biomarkers as a Radiation Response to Support Risk Analysis Safety: A Study of Nuclear Facility Radiation Workers

研究代表者：Lusiyanti Yanti

受入研究者：三浦 富智

共同研究者：Tetrian Devita

Yusuf Darlina

Purnami Sofiati

Rahajeng Nastiti

Hartiasa Rustin Tatin

1. 成果

The health consequences of continuous exposure to low doses of IR are still a topic of great scientific interest. Research on the biological effects of chronic occupational exposure to ionizing radiation has become a widely developed topic by analyzing selected genomic and metabolomic biomarkers. Workers who work in nuclear facilities, either as researchers or as operators, are potentially at risk of long-term exposure to ionizing radiation at low to moderate doses. Although these exposures are generally within regulatory safety limits, cumulative biological effects may still occur, particularly at the molecular and cellular levels. Therefore, identifying sensitive and reliable biomarkers is essential to support early detection of radiation-induced damage, improve occupational health surveillance, and strengthen risk assessment strategies. Oxidative stress and genomic instability are central mechanisms in radiation-induced health risks. Malondialdehyde (MDA) is a reliable marker of lipid peroxidation, while reduced glutathione (GSH) reflects antioxidant defense. Micronucleus (MN) frequency in lymphocytes is a validated cytogenetic biomarker of genotoxicity. The study focuses on both genomic damage indicators and oxidative stress-related metabolomic markers to provide a comprehensive evaluation of radiation response. A cross-sectional study was conducted among 40 exposed worker who worked as researchers at Nuclear Facilities with varying radiation usage backgrounds, including X-rays, Gamma Rays, and Neutrons, and 30 age- and sex-matched controls from administrative staff. Peripheral blood lymphocytes were analyzed for micronucleus frequency using the cytokinesis-block method. Plasma MDA, GSH, and TAOC, were quantified by standard biochemical assay. The result show exposed workers demonstrated a relatively higher micronucleus frequency but statistically not significant, and relatively elevated MDA levels, statistically it is not significant. In contrast, GSH were significantly reduced in the

exposed group. TAOC levels showed a mild, non-significant decrease. Based on the correlation between years of exposure the result show that Micronucleus frequency and MDA correlated positively with years of exposure. Whereas GSH and TAOC showed negative correlations. In terms of correlation with the dose received it shows that micronucleus frequency correlated negative. Meanwhile MDA, GSH and TAOC showed positive correlations. These findings indicate that chronic exposure to ionizing radiation, even at regulated occupational levels, may induce oxidative stress and genomic instability. The integration of genomic and metabolomic biomarkers provides a multidimensional assessment of radiation effects, capturing both molecular damage and systemic biochemical alterations. Conclusion and Implications: The combining cytogenetic and biochemical biomarkers offers a sensitive and comprehensive approach for biological monitoring of radiation worker. These biomarkers can support early detection of subclinical radiation effects, enhance occupational health surveillance programs, and contribute to evidence-based risk analysis and safety management policies.

2. 論文

Not Yet Publish

A Study of Method for the Determination of Low-Level Organic-Bound Tritium Activities in seafoods and Ready-to-Eat food

研究代表者：Chuenbubpar Darunwan

受入研究者：赤田 尚史

共同研究者：Itthipoonthanakorn Thawatchai

1. 成果

Introduction

Following the Japanese government's decision to release treated radioactive waste from the Fukushima nuclear power plant, concerns regarding environmental and human health impacts have increased globally. While the Advanced Liquid Processing System (ALPS) is designed to remove most radioactive contaminants, tritium remains diluted below 1,500 becquerels per liter. As Thailand's nuclear safety regulatory agency, the Office of Atoms for Peace (OAP) seeks to establish continuous environmental monitoring to prevent radiological hazards and ensure the safety of food products such as seafood and ready-to-eat meals.

Objectives

- To establish a standardized protocol for determining low-level Organic-Bound Tritium (OBT) in diverse food matrices.
- To compare and contrast sample preparation and combustion techniques between the Hirosaki University method and the OAP laboratory.
- To optimize combustion conditions for maximum recovery and achieve results above the detection limit.

Methodology and Comparative Analysis

The study compares two specialized analytical workflows:

- Hirosaki University: Employs Freeze drying for pretreatment, followed by a dedicated Combustion process, distillation, and Liquid Scintillation Counting (LSC) analysis using a 100 mL vial.
- Office of Atoms for Peace: Utilizes Oven drying for pretreatment, followed by Pyrolysis, distillation, and LSC analysis using a 20 mL vial.

Technical Results

Experimental runs comparing initial sample weights of 10 g and 15 g found that the 15 g sample mass is most effective and compatible with the required temperature profile. A detailed 13-segment temperature profile has been developed, ranging from 25° C to 800° C, with precise control over air and oxygen flow to ensure optimal sample recovery.

Execution Timeline (2025)

The project follows a structured timeline for implementation at OAP and Hirosaki University:

- Mar–Sep 2025: Procurement of the Pyrolyser equipment.
- Oct–Nov 2025: Study of sample preparation and extraction techniques.
- Dec 2025 : Laboratory visit to Hirosaki University to master specialized methodologies and transfer technical knowledge for implementation at OAP.
- Jan–July 2026: Optimization of methods and continued study of detection limits at the OAP laboratory.

Future Work

To optimize the method, OAP will validate the Hirosaki University parameters to evaluate results. Liquid Scintillation Counting (LSC) with a low-background counter will be employed to maintain results within the established Minimum Detectable Activity (MDA) threshold. Additionally, a comparative analysis of sample preparation and combustion techniques will be conducted between the Hirosaki University protocol and the OAP laboratory's existing methods.

2. 論文

Assessment of Tritium Levels in Imported Seafood Products

研究代表者：Yongprawat Monthon

受入研究者：赤田 尚史

共同研究者：Chuenbubpar Darunwan

1. 成果

Thailand currently lacks standardized protocols for analyzing radioactive nuclides in food products, particularly Organically Bound Tritium (OBT). Understanding the behavior of tritium in food is crucial, as it can be incorporated into biological molecules, leading to longer retention times in the human body compared to tritiated water. To gain practical expertise and technical insights into OBT analytical methodologies into OBT analysis techniques, a representative from Thailand institute of Nuclear Technology (TINT) conducted a technical visit to Tritium laboratory at the Institute of Radiation Emergency Medicine (IREM), Hirosaki University in Aomori, Japan, from on 8 - 12 December 2025.

This study aims to 1) investigate sample preparation methodologies for the extraction of Tissue Free Water Tritium (TFWT) and OBT extraction from various complex food matrices., 2) evaluate the efficiency of the water purification and distillation/reflux techniques post-extraction to ensure high-purity samples for analysis for liquid scintillation counting (LSC)., and 3) comprehensive analytical workflow for low-level tritium detection, facilitating the future implementation of these protocols within Thailand's national laboratory framework.

This technical visit, technical proficiency was achieved in the complete analytical workflow for tritium analysis in food. The training began with comprehensive pre-treatment protocols, including samples collection, long-term preservation, and preparation. The main of the technical transfer focused on specialized extraction methods. Tissue Free Water Tritium (TFWT) was isolated from food matrices via freeze-drying techniques. Conversely, Organically Bound Tritium (OBT) was extracted by thermal combustion under controlled oxidative conditions, subsequently recovering the tritium in the form of tritiated water.

Additionally, comprehensive understanding of water purification and reflux protocols was acquired, ensuring the removal of organic impurities and interfering with radio nuclides to enhance analytical precision. Including gain the valuable information for minimize analytical uncertainties and enhance the precision and accuracy of measurements.

The Future plan, the visitor will set up the instrument of Chemical and Combustion.

Following the equipment setup, the focus will shift toward the formal implementation of a Proficiency Testing (PT) Program.

2. 論文

Comparison of Activity concentration of Sr-90 in seawater, sediment and fish samples between the South China Sea - Vietnam and Fukushima Prefecture - Japan

研究代表者：Vuong Thi Thu Hang

受入研究者：田副 博文

共同研究者：Le Xuan Thang

1. 成果

The research was conducted to determine the activity concentrations of Strontium-90 (Sr-90) in samples collected from various sites in the South China Sea-Vietnam and compare the sample results to those reported of Fukushima Prefecture, Japan, following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) 2011 accident.

Surface seawater, marine sediment, and fish samples were collected from Ninh Thuan, Phu Quy, Vung Tau, and Phu Quoc in the South China Sea, Vietnam, in 2025. The Sr-90 activity concentrations ranged from 0.99 to 1.18 mBq/L in seawater, from 0.44 to 0.53 Bq/kg dry weight in sediments, and from <0.03 to 0.04 Bq/kg fresh weight in fishes. These results are consistent with the ranges reported in previous studies conducted in Vietnam and the data of the Asia-Pacific region and lower than the Sr-90 index from the Fukushima coast. This indicates that the study area is influenced primarily by global atmospheric fallout rather than by recent regional contamination.

Pearson correlation analysis shows that Sr-90 activity concentrations in seawater exhibit moderate negative correlations with pH ($r = -0.67$) and electrical conductance ($r = -0.53$); however, these relationships are not statistically significant ($p > 0.05$). The absence of significant correlations with salinity and other physicochemical parameters suggests that Sr-90 behaves largely conservatively in the marine environment, with its distribution primarily reflecting background inputs from global atmospheric fallout rather than being controlled by local seawater chemistry.

In addition, correlations between Sr-90 activity concentrations and organic carbon content in sediments were examined, revealing a weak relationship, indicating a limited influence of organic matter on Sr-90 accumulation in sediments. The low activities detected in fish further confirm minimal bioaccumulation and the absence of recent radiological inputs. Overall, these results provide a reliable baseline for future monitoring and demonstrate that radiological conditions in the South China Sea, Vietnam, remain at natural background levels.

In conclusion, Sr-90 activity concentrations in seawater, marine sediments, and fish from the South China Sea, Vietnam, are low and consistent with previously reported

background levels, indicating no significant radioactive contamination. The values are much lower than those observed near Fukushima and show no significant correlation with seawater physicochemical parameters, with only a weak relationship to sediment organic carbon. These results confirm the conservative behavior of Sr-90 and its primary origin from long-term atmospheric fallout, providing reliable baseline data for future marine radioactivity monitoring.

Keywords: strontium, marine environment, environmental radioactivity

2. 論文

Analysis of the Association Between Inflammatory Biomarkers and Exposure to Elevated Radon Levels in Children and Adolescents

研究代表者：Lesbek Anel

受入研究者：大森 康孝

共同研究者：

1. 成果

The activities conducted under this ERAN grant were focused on assessing residential radon exposure and its potential biological effects among children and adolescents living in uranium-affected regions of Kazakhstan.

Within the framework of the project, 100 passive radon detectors (CR-39 type) were procured and deployed for long-term indoor radon monitoring. Field measurements were carried out in settlements representing the main study groups.

During the summer measurement period, 25 detectors were installed in 25 households in the settlement of Aqsu, Akmola Region, northern Kazakhstan. These households were selected based on the residence of children and adolescents participating in the biomarker study, from whom blood samples had been collected for the analysis of inflammatory interleukins. The detectors were placed indoors in accordance with established radon monitoring protocols. To assess seasonal variability, detectors were subsequently replaced during the autumn and winter periods.

Additional monitoring was conducted in the settlement of Akmol, Akmola Region, northern Kazakhstan, where 14 CR-39 detectors were installed in 14 households of participating children and adolescents. The study population included 42 participants from Aqsu and 45 participants from Akmol, forming the primary cohorts for exposure–biomarker analysis.

At present, validated measurement results are available for the summer and autumn monitoring periods. Laboratory processing and dose assessment were performed using standard radon dosimetry methodologies. Data from the winter monitoring cycle are currently under processing, and a full seasonal comparison is in progress.

The implementation of the grant also supported scientific dissemination. During the reporting period, two peer-reviewed publications relevant to the research topic were completed:

1. Lesbek A., Omori Y., Bakhtin M., et al. (2025). Systematic Review and Meta-Analysis of Inflammatory Biomarkers in Individuals Exposed to Radon. *Biomedicines*, 13(2), 499.
2. Lesbek A., Omori Y., Bakhtin M., et al. (2025). Seasonal Variations in Effective Radiation Dose in Residential Buildings of the Akmola Region: Assessing the Impact of

Basement Presence and Proximity to Uranium Tailings. *Environments*, 12(10), 357.

An additional original research article presenting the CR-39 measurement results from the Aqsu and Akmol settlements is currently in preparation and is expected to be submitted following completion of the full seasonal analysis.

Overall, the grant enabled the establishment of a residential radon exposure dataset linked to inflammatory biomarker profiles in children and adolescents. The findings contribute to a better understanding of environmental radiation-related health risks in uranium-impacted areas and provide a basis for further epidemiological and radiobiological research.

2. 論文

1. Lesbek, A., Omori, Y., Bakhtin, M., Kazymbet, P., Tokonami, S., Altaeva, N., Ibrayeva, D., & Kashkinbayev, Y. (2025). Systematic Review and Meta-Analysis of Inflammatory Biomarkers in Individuals Exposed to Radon. *Biomedicines*, 13(2), 499. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13020499>
2. Lesbek, A., Omori, Y., Bakhtin, M., Ibrayeva, D., Tokonami, S., Kazhiyakhmetova, B., Aumalikova, M., Saifulina, E., Mussaeva, E., Altaeva, N., Nygymanova, A., & Kashkinbayev, Y. (2025). Seasonal Variations in Effective Radiation Dose in Residential Buildings of the Akmola Region: Assessing the Impact of Basement Presence and Proximity to Uranium Tailings. *Environments*, 12(10), 357. <https://doi.org/10.3390/environments12100357>

Impact of Technogenic Radiation Factors on the Development of Tumor and Non-Tumor Bronchopulmonary Diseases in the Population of Northern Kazakhstan Based on Molecular-Genetic Analysis

研究代表者：Kazhiyakhmetova Baglan

受入研究者：大森 康孝

1. 成果

Project objectives

The project aimed to investigate the role of environmental radon exposure in lung cancer risk among populations residing in uranium-affected regions of Northern Kazakhstan. The specific objectives were (1) to assess indoor radon concentrations and corresponding radiation doses in residential dwellings of lung cancer patients and control subjects living near legacy uranium mining sites, and (2) to identify circulating protein biomarkers associated with lung cancer in individuals chronically exposed to elevated radon levels.

Use of ERAN funding

Funds provided by the ERAN program were used to purchase passive CR-39 solid-state nuclear track detectors (Raduet type) for long-term measurement of indoor radon concentrations. The detectors were deployed in residential buildings of settlements located in the Akmola Region and in the settlement of Saumalkol (North Kazakhstan Region), areas situated in proximity to uranium mining and tailings legacy sites known to have increased radon potential.

The acquisition of CR-39 detectors enabled reliable, integrated assessment of indoor radon exposure under real living conditions without disturbing residents and allowed the estimation of effective radiation doses from radon progeny for study participants.

Work performed

Indoor radon concentrations were measured in dwellings of lung cancer patients and control subjects permanently residing in the investigated regions. Based on measured values, individual exposure levels and corresponding effective doses were estimated. This allowed comparison of environmental radiation exposure between study groups living in uranium-affected territories.

In parallel, venous blood samples were collected from lung cancer patients and controls. Plasma proteins were extracted and analyzed using liquid chromatography–tandem mass spectrometry (LC–MS/MS). Proteomic profiling enabled identification of circulating proteins associated with lung cancer in populations residing in areas with elevated radon exposure.

Results

The project generated new environmental exposure data demonstrating spatial variability of indoor radon concentrations and radiation doses in residential areas of the Akmola and North Kazakhstan regions located near legacy uranium mining sites.

Proteomic analysis identified distinct plasma protein profiles in lung cancer patients compared with controls. Differentially expressed proteins included molecules involved in inflammation and acute-phase response (HP, ORM1/ORM2, SERPINA1), coagulation pathways (FGA, FGB, FGG, F2, KNG1), complement activation (C3), and metal and lipid transport and metabolism (CP, TF, APOA1/APOA2). Many of these proteins are established or candidate circulating cancer biomarkers.

The coexistence of elevated radon exposure and cancer-associated proteomic signatures supports a potential link between chronic radon exposure and systemic molecular alterations detectable in blood.

Scientific and public health significance

The ERAN-supported work provides the first combined environmental and molecular evidence of radon-related lung cancer risk in Northern Kazakhstan. The integration of indoor radon measurements with circulating protein biomarkers demonstrates the feasibility of biomarker-based risk assessment in populations living near uranium legacy sites.

These findings contribute to understanding the environmental determinants of lung cancer in Kazakhstan and support future development of screening and prevention strategies for radon-associated lung cancer in high-risk populations.

2. 論文

Radon Exposure and Cancer Risk: Assessing Genetic and Protein

Markers in Affected Populations Yerlan Kashkinbayev 1, Baglan Kazhiyakhmetova 1,*, Nursulu Altaeva 2, Meirat Bakhtin 1, Pavel Tarlykov 3

Elena Saifulina 1, Moldir Aumalikova 1, Danara Ibrayeva 1 and Aidos Bolatov 4, *Biology* 2025, 14, 506.

<https://doi.org/10.3390/biology14050506>

Vertical distribution of primordial radionuclides in soil profiles in Doon valley, Garhwal Himalaya, India

研究代表者：Prasad Mukesh

受入研究者：クランロッド チュティマ

大森 康孝

細田 正洋

床次 眞司

共同研究者：Prasad Ganesh

1. 成果

Several studies have focused on the distribution of natural radionuclides in soil and rocks across the world, including the Garhwal Himalaya, India. The purpose of these studies was to provide an overview of the typical radionuclide levels in top surface soils and to see whether there was reason for concern from a radioprotection point of view. However, no studies exist on vertical distributions of radionuclides in soil profiles in the Garhwal Himalaya, India. The understanding of the vertical distribution is crucial for the identification of geogenic and anthropogenic sources of radionuclides. This project was aimed and designed to study the vertical distribution of radionuclides in soil profiles in non-agricultural and agricultural lands in the Doon valley of Garhwal Himalaya.

The field survey was conducted to collect a total of 84 soil samples from different depth profiles across selected locations in the Doon Valley of Garhwal Himalaya. A total of 12 geographical locations were identified for sampling and both agricultural and non-agricultural sites were selected at each location. Soil samples from both land use types were collected at three depth intervals: 0 to 10 cm, 11 to 20 cm and 21 to 30 cm, with 12 samples from each land use category at each depth, resulting in 24 samples per depth interval. These layers were considered to evaluate the geogenic and anthropogenic variations in surface and subsurface soils. In addition, deeper soil samples were collected exclusively from agricultural land at depth intervals of 51 to 60 cm and 81 to 90 cm, with 6 samples at each depth. These deeper profiles were included to assess the possible downward migration and transport of anthropogenically derived radionuclides within the soil column. Overall, the sampling comprised 36 samples from non-agricultural land and 48 samples from agricultural land, totaling 84 soil samples.

The field sampling for soil sample collection was delayed due to prolonged and continuous rainfall in 2025 compared to other years in the region. Gamma-ray spectroscopic analysis of soil samples is in progress, with completion of experimental work expected by June, 2026. Meanwhile, the potable groundwater samples were

collected from the study area and the adjacent region of the Kumaun Sub Himalayan Plain for the analysis of uranium and potentially toxic elements (PTEs) using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICPMS). The concentrations of uranium in groundwater samples from the Doon valley were found within the WHO guideline value of 30 $\mu\text{g L}^{-1}$. The results of the potable groundwater quality assessment have been communicated for publication in the Scientific Reports journal.

Publications:

M. Prasad, R.S. Negi, A. Joshi, Y. Omori, G. Prasad, Satish C. Uniyal, C. Kranord, M. Hosoda, S. Tokonami, R.C. Ramola. Geospatial, index-based and statistical framework for health risk assessment and sustainable management of potentially toxic elements in groundwater of Kumaun Sub-Himalayan Plain, India, Scientific Reports, Under Review.

2. 論文

Publications (Under Review)

M. Prasad, R.S. Negi, A. Joshi, Y. Omori, G. Prasad, Satish C. Uniyal, C. Kranord, M. Hosoda, S. Tokonami, R.C. Ramola. Geospatial, index-based and statistical framework for health risk assessment and sustainable management of potentially toxic elements in groundwater of Kumaun Sub-Himalayan Plain, India, Scientific Reports, Under Review.

放射能環境動態・影響評価
ネットワーク共同研究拠点（ERAN）

FY2025 Final Report
【拠点間/Within ERAN 共同研究】

拠点間共同研究

採択No.	研究代表者名	所属機関	職名・学年	課題名	受入機関	受入研究者	共同研究者
E-25-01	恩田 裕一	筑波大学	教授	河川の福島事故後の初期Cs濃度の解析	IES	植田 真司	
E-25-02	坂口 綾	筑波大学	教授	環境中のアクチノイド核種測定のための分析法検討	IREM	田副 博文 高田 兵衛	佐々木 暖人 武田 凌治
E-25-03	五十嵐 康記	筑波大学	准教授	福島の河川におけるCs-137濃度の季節性	IER	脇山 義史	
E-25-04	平尾 茂一	福島大学	准教授	陸域トリチウム循環の解明	IES	柿内 秀樹	
E-25-05	脇山 義史	福島大学	准教授	浜通り地域の河川におけるI-129動態	CRiES	笹 公和 平尾 茂一	松村 万寿美 松中 哲也
E-25-06	高田 兵衛	福島大学	准教授	福島第一原発近傍沿岸における放射性核種動態	CRiES	坂口 綾 田副 博文	
E-25-07	石庭 寛子	福島大学	Project senior assistant professor	福島の野生動物の生物学的線量評価に関する研究	IREM	アンダーソン ドノヴァン	岡 壽崇
E-25-08	三浦 富智	弘前大学	教授	核燃料再処理施設再稼働に向けた野生ネズミの調査	IES	今田 省吾 大塚 良仁 中平 嶺	山城 秀昭 中田 章史
E-25-09	赤田 尚史	弘前大学	教授	北日本における大気中210Pb濃度	IES	長谷川 英尚 天野 洋典 アンダーソン ドノヴァン	桑田 遥 Stephenson William James Kheamsiri Khemruthai 北山 結彩
E-25-10	柿内 秀樹	環境科学技術研究所	副主任研究員	有機結合型トリチウム分析法の最適化の検討	CRiES	津旨 大輔	鳥養 祐二 小畑 結衣
E-25-11	今田 省吾	環境科学技術研究所	研究員	六ヶ所村再処理施設周辺の森林域からの溶存物質の流出量観測	CRiES	恩田 裕一	小田 智基
E-25-12	平尾 茂一	福島大学	准教授	環境レベルのトリチウムに対する社会的関心への対応にむけた環境科学・生物学の融合体制の構築	IREM	赤田 尚史	

河川の福島事故後の初期 Cs 濃度の解析

研究代表者：恩田 裕一

受入研究者：植田 真司

1. 成果

福島事故後の河川水中セシウム濃度の初期変化解析

本研究では、福島第一原子力発電所事故後に観測された河川水中の放射性核種濃度データを用いて、事故直後の濃度変化の特徴を解析した。対象としたデータは、2011 年 4 月から 5 月にかけて取得された水中の I-131、Cs-134 および Cs-137 の濃度データであり、主に弘前大学チームによる緊急時モニタリングデータを用いた。特に、飯館地域の池および河川水のデータを中心に解析を行った。これらのデータには懸濁態だけでなく溶存態の放射性セシウムが含まれており、事故初期における河川中放射性物質の挙動を理解するうえで重要な情報を与える。

濃度変化の解析では、事故後の時間を年単位で表し、濃度変化を指数関数で近似した。特に事故直後の変化を明確にするため、事故後 0.04 年（約 14 日）までのデータを用いてフィッティングを行った。その結果、初期の濃度低減は急速であり、I-131 だけでなく Cs-134 および Cs-137 についても急激な減少傾向が確認された。これは放射壊変のみでは説明できず、降雨による流出、河川への希釈、沈降および土壌への吸着などの環境過程が影響していると考えられる。

同様の現象はチェルノブイリ事故後の河川においても報告されている。例えば、Santschi ら（1990）や Smith ら（2005）の研究では、河川水中の放射性セシウム濃度が事故後数週間から数ヶ月の間に大きく減少することが示されている。特に事故直後には“first flush”と呼ばれる現象により、初期に高濃度の放射性物質が流出し、その後急速に濃度が低下することが知られている。本研究で解析したデータにおいても、同様の急速な減衰傾向が確認された。

また、セシウムの挙動は懸濁態と溶存態の分配によっても大きく影響を受ける。分配係数 K_d の違いを考慮することで、河川水中の溶存態セシウム濃度を推定することが可能であると考えられる。今後は、2011 年の初期観測データをさらに収集し、河川水中における放射性セシウムの輸送過程や環境動態をより詳細に解析する必要がある。

2. 論文

環境中のアクチノイド核種測定のための分析法検討

研究代表者：坂口 綾

受入研究者：田副 博文

高田 兵衛

共同研究者：佐々木 暖人

武田 凌治

1. 成果

Curium (Cm) isotopes are estimated to be the largest radioactive contribution among the actinides released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. However, only one detailed study on Cm from the nuclear accident has been reported [1]. So far, α -spectrometry has been used for the measurement of Cm isotopes in the environment. However, the chemical separation for Cm α -spectrometry is very complicated, and the α -ray energies of Cm-243 and Cm-244 are so close that they cannot be measured separately. Furthermore, Americium (Am-243), which is thought to behave similarly to Cm, has been used as a spike for Cm measurements due to the absence of a Cm spike. In this situation, we aimed to establish a mass spectrometry for Cm analysis to enable the rapid processing of large numbers of samples using a simplified chemical separation method, particularly relevant in emergency response scenarios. In this study, we investigated (1) the preparation of the Cm spike for mass spectrometry and (2) the establishment of an efficient chemical separation procedure for Am and Cm.

<Cm spike production>

Californium-252 ($T_{1/2} = 2.65$ y), which is used as a neutron source in various instruments, produces the long-lived nuclide Cm-248 ($T_{1/2} = 3.40 \times 10^5$ y) by α decay. In this study, Cm-248 was examined as a candidate spike for Cm isotope measurements, and its recovery from a used Cf-252 neutron source was investigated. Separation was attempted using Ln resin while varying the nitric acid concentration, and its applicability was evaluated through analogue and radiotracer experiments.

The results showed that Cm-248 could be successfully separated from Cf-252 by using Ln resin and adjusting the nitric acid concentration. These findings indicate that Cm-248 can be recovered efficiently from a used Cf-252 neutron source and is a promising candidate as a spike for Cm isotope analysis.

<Separation of Am-Cm>

In the mass spectrometry of Cm isotopes, Am must be separated from Cm because of the isobaric interference of Am-243 with Cm-243. To investigate suitable conditions for

Am–Cm separation, analogue experiments were first performed under the same separation system as that used for the Cf–Cm study, followed by verification experiments using Am-241 and Cm-244.

Although the analogue experiments suggested favorable conditions for Am–Cm separation, Am and Cm could not be separated in the radiotracer experiments under the conditions tested. This may reflect the smaller-than-expected difference in the distribution behavior of Am and Cm on the Ln resin.

<ACKNOWLEDGMENTS>

This work was partly supported by JST FOREST program, Grant No. JPMJFR231D.

<References>

[1] M. Yamamoto, et al, J. Environ. Radioact. 132 (2014) 31-46.

2. 論文

福島河川における Cs-137 濃度の季節性

研究代表者：五十嵐 康記

受入研究者：脇山 義史

1. 成果

研究概要

福島第一原発事故以降、河川における溶存態 Cs-137 の動態について多くの研究が行われてきた。その結果、特に流域上流域においては、森林リター等の有機物からの Cs-137 供給が重要な寄与を持つことが明らかとなっている。しかしながら、有機物からの Cs-137 溶出率は既往研究において大きなばらつきを示しており、その支配要因は十分に整理されていない。

本研究では、有機物からの Cs-137 離脱過程に着目し、既存研究の体系的整理とともに、溶出試験における差異を生む要因の抽出を目的とした。

研究内容および方法

本研究では以下の2つのアプローチを実施した。

1. システマティックレビュー

既存の文献を網羅的に収集し、有機物（特に森林リターおよび草本）からの Cs-137 溶出率に関するデータを整理した。その結果、溶出率は数%から数十%まで幅広く分布し、試料特性や実験条件によって大きく変動することが確認された。

2. 支配要因の抽出と検証の検討

文献情報に基づき、溶出率の差異に寄与する要因として以下が重要であると整理された。

- 有機物の種類（針葉樹・広葉樹・草本）
- 分解度（リターの腐植化段階）
- 溶出条件（水温、水質、接触時間）
- 物理的構造および粒径
- イオン組成（ K^+ など競合イオン）

さらに、必要に応じて追試実験を実施可能な体制を構築した。

主な成果

- 有機物からの Cs-137 溶出率のばらつきは、単一要因ではなく複数の環境・試験条件の相互作用によって生じていることを体系的に整理した。
- 河川水中の溶存態 Cs-137 の形成過程において、有機物からの供給が重要であり、特に温度依存性や水質条件との関係が鍵となることを既往研究と整合的に位置づけた。
- 本研究により、「環境中の Cs 動態は有機物からの溶出過程を考慮しなければ説明できない」という視点を明確化した。

学術的意義

これまで個別に報告されてきた有機物由来 Cs-137 の溶出に関する知見を統合し、

河川における Cs 動態の理解を“有機物起源”という観点から再整理した点に新規性がある。

また、本研究は以下に貢献する：

- 流域スケールにおける放射性物質移行モデルの高度化
- 水温や気候変動に対する Cs 動態の応答理解
- 森林—河川系における物質循環の統合的理解

今後の展開

本研究で抽出された要因について、実験的検証を進めることで、
有機物からの Cs-137 溶出の定量モデル化を目指す。

また、本知見は福島のみならず、将来的な原子力事故や環境放射能問題における
リスク評価および環境管理戦略の高度化にも資することが期待される。

2. 論文

陸域トリチウム循環の解明

研究代表者：平尾 茂一

受入研究者：柿内 秀樹

共同研究者：

1. 成果

水素同位体のトリチウムは原子力関連施設から定常的に環境放出される放射性物質の一つである。科学的に正確な情報・客観的事実に基づくトリチウムの環境影響評価は地域住民の安心感醸成のために重要である。ALPS 処理水の海洋放出後においては、特に世界から高い関心が寄せられている。ガンマ線放出核種の観測技術は東電福島第一原子力発電所（FDNPP）事故後に大きく進展したが、ベータ線放出核種であるトリチウムの環境中濃度変動に関する知見は十分とは言えない。陸上ではトリチウム水（HTO）は植物中に取り込まれ光合成等によって固定されるため、環境影響評価のために、植物中のトリチウム濃度の情報が欠かせない。これまでに FDNPP 近傍の植物の組織自由水トリチウム（TFWT; Tissue Free water Tritium）および有機結合型トリチウム（OBT; Organically Bound Tritium）中のトリチウム濃度を定量分析してきた。しかし空間変動は明らかになっていない。そこで本研究では、植物中トリチウム濃度変動を明らかにすることを目的とし、土壌、大気水蒸気、降水中のトリチウム濃度を用いて検討を行った。2022 年に FDNPP 周辺で採取したセイタカアワダチソウ、土壌 30cm コア、および大気水蒸気中のトリチウム濃度を分析した。セイタカアワダチソウについては、凍結乾燥法で組織自由水を回収し、有機結合型トリチウムについては燃焼で生じた水蒸気をコールドトラップで回収した。大気水蒸気についてはモレキュラーシーブ（3A）を用いて採取した。それぞれの試料から得られた回収水を蒸留したのち、低エネルギー液体シンチレーション検出器を用いて、トリチウム放射能分析を実施した。TFWT 濃度は、場所によって異なり 0.6 Bq/L から 10 Bq/L の範囲であった。非交換型 OBT 濃度は、0.4 Bq/L-燃焼水から 6.7 Bq/L-燃焼水であった。土壌中 HTO 濃度は、0.4 Bq/L から 2.9 Bq/L の範囲で得られた。2022 年の月ごとの降水中の HTO 濃度平均値は 0.4 Bq/L から 1.4 Bq/L であり、土壌中濃度と同程度の水準であることが分かった。大気水蒸気中 HTO 濃度は ND から 2.4 Bq/L であった。TFWT 濃度と大気水蒸気中 HTO 濃度は、採取時点の瞬間的なトリチウム濃度を示しており、数時間の間に大きく変動することが明らかになった。植物中のトリチウム濃度と周辺環境試料中のトリチウム濃度の大小関係から大気からの供給が支配的であることが示唆される。

2. 論文

浜通り地域の河川における I-129 動態

研究代表者：脇山 義史

受入研究者：笹 公和

平尾 茂一

共同研究者：松村 万寿美

松中 哲也

1. 成果

福島原発事故により放出された I-129 (半減期 1570 万年) の量は 5.2～7.3 GBq であり、そのうち 2.7 GBq が陸域に沈着したと推定されている。原発事故以降、土壌、雨水、海水などに含まれる I-129 の量や動きに関する調査が行われてきたが、河川水を対象としたものは数例に留まる。また、2023 年に放出が開始された Alps 処理水のうち、I-129 はトリウム以外の主要 7 核種として評価対象となっており、その海域への影響を把握するためにも、陸域の I-129 の動態を定量的に評価することは重要な課題である。

申請者らは、河川における I-129 動態に関する研究として、阿武隈川中流 (黒岩)、新田川下流 (原町)・上流 (蕨平) で採取した水・懸濁物質試料の分析を行ってきた。その結果、阿武隈川に比べて、新田川では I-129 濃度および I-129/I-127 比がいずれも高いことがわかり、流域平均 I-129 沈着量が大きいほど、見かけの分配係数が高く、流域からの I-129 流出に対する懸濁態の寄与が大きくなることが示唆された。2025 年度は、特に流域平均 I-129 沈着量と懸濁態の寄与の関係を検証することを主な目的として、流域平均 I-129 沈着量が多いと考えられる浜通りの 3 河川 (新田川、請戸川、高瀬川) で、2023 年 9 月 4、6、9 日の出水時に採取した計 9 点の試料を分析し、解析に供した。

新田川、請戸川、高瀬川における溶存態 I-129 濃度の平均値は、それぞれ 0.20、1.2、0.78 $\mu\text{Bq/L}$ 、懸濁物質の I-129 濃度の平均値は、それぞれ 2.9、15、6.3 mBq/kg、見かけの分配係数の平均値は、それぞれ 14000、13000、9300 L/kg であった。見かけの分配係数は、河川間で平均値に有意な差は見られず、流域平均 I-129 沈着量が大きいほど高くなるという結果とはならなかった。2025 年度に測定した 9 試料に関しては、溶存態 I-129 濃度および懸濁物質の I-129 濃度ともに、対応する Cs-137 濃度と有意な正の相関を示しており、両核種の供給源が類似していることが確認された。流域間比較のため、2019 年以降の分析によって得られた出水イベントごとの溶存態 I-129 濃度と懸濁物質の I-129 濃度の平均値をそれぞれ流域平均 Cs-137 沈着量に対してプロットすると、溶存態 I-129 濃度平均値は有意な相関が見られず、懸濁物質の I-129 濃度平均値では有意な正の相関が見られた。この理由として、懸濁物質の I-129 濃度は基本的に土砂供給源の I-129 沈着量によって規定される一方、溶存態 I-129 濃度は水質の変化に応じて変動することが考えられた。水質変化の一員として、雨水による希釈様の効果の影響を考察するため、イベントごとの I-129 総流出量に対する溶存態としての流出量の割合を算出し、イベント降水量に対してプロッ

トすると、降水量が 100 mm 以下の場合は 9～80%（平均 34%、n=8）と高いのに対して、100 mm 以上では 3～17%（平均 9%、n=7）であった。このことから、溶存態 I-129 濃度の変動に対して、雨水による希釈が大きく影響することが示唆された。

2025 年度の成果として、2024 年度に公表した論文に使用したデータセット 1 件を ERAN データアーカイブに登録した（Wakiyama et al., 2025, DOI: 10.34355/IER.Fukushima.U.00311）。また、共同研究者を主著者として、福島原発以降に採取した土壌試料の分析結果に基づいて論文 1 報を公表した（Matsumura et al., 2026, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Section B. 573, 166033）。

2. 論文

Matsumura, M., Sasa, K., Matsunaka, T., Takahashi, T., Matsuzaki, H., Sueki, K. 2026. Regional comparison of I-129, I-131, and Te-129m in the surface soil at Fukushima, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 573,166033. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2026.166033>

福島第一原発近傍沿岸における放射性核種動態

研究代表者：高田 兵衛

受入研究者：坂口 綾

田副 博文

1. 成果

1. はじめに

ALPS 処理水の海洋放出による原発由来の放射性核種の測定を行う。採水した海水のうち、いくつかの放射性核種を測定し、放出前後の濃度変化を調べる。併せて、採取当日の水温や塩分の鉛直分布を確認し、それらと放射性核種濃度との関連性を調べる。具体的には、鉛直混合が卓越するような状況と、成層化が進んでいるような状況で、表層と下層の放射性核種濃度に違いが見られるかを確認する

2. 調査

調査は 2023 年より福島第一原発周辺近傍の測点 NPD1 において行った。漁船により横型ニスキン採水器による底層の海水採取と CTD による塩分の鉛直分布を得た。得られた試料は本学に持ち帰り、海水はろ過を行い、ろ液中のトリチウムおよび放射性セシウムを測定し、海水中の濃度とした。

3. 結果

これまで得られた結果を基に、鉛直混合が卓越するような状況と、成層化状況で、表層（水深 0.5m 程度）と下層（海底から 1m 直上程度）の放射性核種濃度に違いが見られるかどうか検証を進めた。トリチウムについては塩分の鉛直分布の変化、すなわち成層化や鉛直混合が卓越する状況による違いは見られなかった。これはトリチウム濃度が淡水や雨水の流入によっても海水中のトリチウム濃度が大きく変化しないことが要因なのかもしれない。一方、放射性セシウム濃度は成層化が進んでいるような状況では、低塩分で表層のセシウム濃度が上昇する傾向が見られた。これらの結果は、陸域からの放射性セシウムを多く含んだ淡水流入による表層海水での放射性セシウム濃度上昇が関係し、加えて成層化によって、下層への希釈効果が見られないことが要因と考えられる。

2. 論文

福島野生動物の生物学的線量評価に関する研究

研究代表者：石庭 寛子

受入研究者：アンダーソン ドノヴァン

共同研究者：岡 壽崇

1. 成果

This study aims to improve the accuracy of radiation dose assessment in wild animals inhabiting areas affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Evaluating radiation exposure in wildlife is essential for understanding long-term ecological and biological impacts. Several approaches are currently used for dose estimation, including environmental modeling, cytogenetic biodosimetry, and physical dosimetry. However, each method has inherent strengths and limitations. Reliance on a single method may therefore lead to uncertainties in dose estimation. To address this issue, the present project integrates multiple approaches, including environmental dose modeling using ERICA 2.0, dicentric chromosome analysis (DCA), and electron spin resonance (ESR) analysis of tooth enamel.

Wild boar (*Sus scrofa*) were selected as a sentinel species because they inhabit contaminated forest areas and accumulate radiocesium through their diet. Twelve wild boars captured within the difficult-to-return zone between 2018 and 2019 were selected for analysis. Radiocesium concentrations in muscle tissue ranged from not detected to 23,575 Bq/kg (fresh weight). Ambient dose rates at trapping locations ranged from 0.11 to 20.6 $\mu\text{Gy/h}$. Age estimation based on tooth development indicated that the animals ranged from approximately 15 weeks to over 220 weeks old. Using environmental data and the ERICA 2.0 modeling framework, estimated lifetime absorbed doses ranged from 0 to 313 mGy.

Teeth were extracted from all 12 animals and the enamel was separated and chemically treated to remove organic components and potential contaminants. This study successfully conducted the first ESR measurements of tooth enamel from wild boar collected in Fukushima. ESR signals consistent with paramagnetic centers in enamel were detected; however, additional signals likely originating from trace metal ions (e.g., Mg^{2+} or other impurities) were also observed. These signals may influence the interpretation of radiation-induced ESR signals and suggest that additional enamel etching and purification steps may be necessary to improve signal clarity and measurement accuracy.

To enable quantitative dose reconstruction, enamel samples will next be irradiated using controlled gamma radiation at known dose points. Subsequent ESR

measurements will allow the establishment of dose–response calibration curves for each sample. These calibration curves are essential for reconstructing the cumulative absorbed dose recorded in the enamel during the animal’s lifetime. By comparing ESR-derived dose estimates with ERICA modeling results and cytogenetic biodosimetry data, this project aims to improve the reliability of biological dose assessments for wildlife in Fukushima. The integration of these complementary methods will contribute to a more comprehensive understanding of radiation exposure and biological effects in wild animal populations inhabiting contaminated environments.

2. 論文

核燃料再処理施設再稼働に向けた野生ネズミの調査

研究代表者：三浦 富智

受入研究者：今田 省吾、大塚 良仁

中平 嶺

共同研究者：山城 秀昭、中田 章史

1. 成果

【拠点内】弘前大学 IREM：三浦富智、藤嶋洋平、アンダーソン・ドノヴァン、環境科学技術研究所：今田省吾、大塚良二、中平嶺

【拠点外】新潟大学：山城秀昭、北海道科学大学：中田章史

東京電力福島第一原子力発電所事故後に環境中へ放出された放射性物質による放射線被ばくの生物学的影響については、これまでに数多くの研究が実施されてきた。しかし、事故前のベースラインデータが不足していることから、これらの研究の解釈には一定の限界がある。野生マウスなどの小型哺乳類は行動圏が比較的限定されており、遺伝的・生態学的に異なる地域固有の個体群が形成されやすい。このことは、地域特異的なベースライン資料の重要性を示している。

そこで、環境放射能研究ネットワークセンター（ERAN）の活動の一環として、本プロジェクトでは青森県六ヶ所村に所在する核燃料再処理施設の再稼働前に基準参照資料を確立し、生物試料を保存することを目的として実施した。脾臓、肝臓、腎臓、心臓、肺、脳、生殖腺および硬組織を採取し、保存した。これら試料の詳細なメタデータは、試料アーカイブの一部として ERAN のウェブサイト上で公開している。各脾臓の一部は培養し、染色体異常解析に供する有糸分裂期スプレッドを作製した。さらに、複数組織の組織学的切片を作製し、デジタル全スライド画像として保存した。本研究で保存した生物試料は、将来の環境放射線評価を支援する地域固有の基準資源となることが期待される。

本年度の成果

今年度は、これまで保存していた脾細胞培養固定済みサンプルから染色体標本を作製し、2023 年度捕獲個体から計 4,548 画像、2024 年度捕獲個体から 2,878 画像を取得し、公開用画像として画像サーバーに保存した（弘前大学 IREM）。また、病理組織画像として、パラフィンプロックより組織切片を作製し、デジタルスライドスキャナーSLIDEVIEW VS200 を用い、ホースルライドイメージ (WSI) を作製し、画像サーバーに保存した (IES)。これまでのメタデータに加え、染色体画像および WSI を供給可能とするため、公開法について検討中である。なお、本取り組みを「Radiation Environment and Medicine」へ論文投稿中である。

2. 論文

北日本における大気中 ^{210}Pb 濃度

研究代表者：赤田 尚史

受入研究者：長谷川 英尚

天野 洋典

アンダーソン ドノヴァン

共同研究者：鈴木 正敏

桑田 遥

Stephenson William James

Kheamsiri Khemruthai

北山 結彩

1. 成果

北日本における大気中 ^{210}Pb 濃度レベルを明らかにすることを目的に、青森県弘前市において HV エアサンプラーを用いて $\text{PM}_{2.5}$ を採取し、Ge 半導体検出器を用いて ^{210}Pb の測定を行った。 $\text{PM}_{2.5}$ は石英繊維フィルター上に毎週採取を行った。採取期間は 2025 年 7 月から 12 月である。この期間の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は $3.58\text{--}14.64\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、10 月にやや高く、その後徐々に減少していく傾向が認められた。 $\text{PM}_{2.5}$ 中の ^{210}Pb 濃度は $0.30\text{--}1.94\text{Bq}/\text{m}^3$ の範囲であり、10 月から 12 月にかけて徐々に濃度が上昇する傾向が認められた。 ^{222}Rn の子孫核種である ^{210}Pb は、大陸からの季節風により運ばれてくる空気塊の影響を受けて濃度が上昇することが知られている。一方、大気中 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は採取地近傍の影響により変動する。本調査結果は半年のみであることから、今後試料の採取を継続するとともに ^{210}Pb 測定を進め、地域における特徴を明らかにする予定である。

2. 論文

なし

有機結合型トリチウム分析法の最適化の検討

研究代表者：柿内 秀樹

受入研究者：津旨 大輔

共同研究者：鳥養 祐二

小畑 結衣

1. 成果

目的:

有機結合型トリチウム (OBT) には、同位体交換を起こす交換可能型 (Ex-OBT) と起こさない非交換可能型 (Nx-OBT) が存在する。本研究では、同位体標識法により Ex-OBT 比率 (fex) を推定し、より簡便で高精度な Nx-OBT 定量法の確立を目指す。

試料:

福島第一原子力発電所の ALPS 処理水放出ライン近傍で採取した海水 ($^3\text{H} \approx 300 \text{ Bq L}^{-1}$) で飼育したヒラメ (2022 年春生) の筋肉試料を使用した。飼育水中 ^3H 濃度は 270 および 243 Bq L^{-1} (各 1 回採水) であり、試料は凍結乾燥・均質化後に OBT 分析に供した。

方法:

(交換型水素の割合の決定) 凍結乾燥・均質化した筋肉試料を既知量の HTO と接触させて同位体平衡を形成後、 $105^\circ\text{C} \cdot 18$ 時間乾燥して回収した凝縮水のトリチウム放射能を LSC で測定した。水素質量分率 7% を仮定して総水素量を推定し、HTO の希釈率から交換型水素割合 $\text{fex} = \text{Hex} / \text{Htotal}$ を算出した。

(全 OBT 濃度の決定) 燃焼法により試料を酸化・水回収し、LSC で測定した。

結果:

(交換型水素の割合の決定) $\text{fex} = 0.1627$

(全 OBT 濃度の決定) 全 OBT (燃焼水あたり): $73.9 \pm 1.8 \text{ Bq L}^{-1}$ ($n=5$, RSD 2.4%, 2025/3/31 補正)

(Nx-OBT 濃度の推定) $\text{cwater} = 243 \text{ Bq L}^{-1}$ (2025/2/13) を仮定:

交換型 OBT: $\text{cex} = 0.1627 \times 243 = 39.5 \text{ Bq L}^{-1}$

非交換型 (Nx-OBT): $\text{CNx} = 73.9 - 39.5 = 34.4 \text{ Bq L}^{-1}$

まとめ:

本研究では、福島第一原発近傍海水で飼育したヒラメ筋肉の全 OBT を定量し、HTO 同位体標識により $\text{fex} \approx 0.16$ を得た。Ex-OBT が飼育水 HTO と平衡にあると仮定することで、全 OBT (約 74 Bq L^{-1}) を Ex-OBT と Nx-OBT に分解評価できることを示した。

2. 論文

六ヶ所村再処理施設周辺の森林域からの溶存物質の流出量観測

研究代表者：今田 省吾

受入研究者：恩田 裕一

共同研究者：小田 智基

1. 成果

青森県六ヶ所村には、日本初の商業用の使用済燃料再処理施設が立地している。再処理施設から放出され森林に沈着した放射性物質の一部は河川へ流出し、水中の放射性物質濃度を高める可能性がある。本研究では、放射性物質が周辺地域に沈着する事態に備え、周辺森林域の代表的な林分において渓流水中の溶存物質の濃度および流出量を観測し、物質の流出特性の把握を目的とした。

再処理施設主排気筒から北北西約 6 km に位置する落葉広葉樹林の渓流に量水堰（下流側および上流側）を設置し、2025 年 5 月から 12 月にかけて流量観測を実施した。また、4 月から 10 月まで約 1 か月間隔で堰設置地点近傍から渓流水を採取し、浮遊砂濃度、pH、EC、溶存有機体炭素（DOC）および溶存無機態炭素（DIC）濃度、各種イオン濃度を測定した。渓流水の流量は下流側地点の水位変化データを用いて解析した。上流側地点の浮遊砂濃度は、林内雨量が多かった 8 月および 9 月において、下流側地点と比較して大きい傾向が認められた。同様の傾向は DOC 濃度においても認められ、7 月から 10 月にかけて上流側地点でやや大きい傾向を示した。一方、DIC 濃度は全ての観測月において下流側で大きい傾向が認められた。各測定項目の時間変化を下流側地点と上流側地点で比較したところ、両地点で時間変化パターンが大きく異なった項目は、浮遊砂濃度および NO₃⁻濃度であった。一方、両地点で時間変化パターンが類似していた項目は、DOC および DIC 濃度、Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻濃度であった。前者は地表からの流出成分に由来し、後者は地中流や地下水流の成分に由来することが示唆される。

2. 論文

環境レベルのトリチウムに対する社会的関心への対応にむけた 環境科学・生物学の融合体制の構築

研究代表者：平尾 茂一

受入研究者：赤田 尚史

共同研究者：鈴木 正俊

1. 成果

低濃度トリチウムによって生じる細胞変化を検出するシステムを確立し、低濃度トリチウムの持続暴露に対する応答反応を自然発生と区別しながら理解することを目的として実施した。60 Bq/ml、600 Bq/ml、6,000 Bq/ml となるように HTO を培地に添加し、最大 60 日間培養したヒト正常上皮細胞 (hTERT-RPE1) を解析に用いた。DNA 二重鎖切断を検出するリン酸化 H2AX と 53BP1 を蛍光免疫染色で検出し、可視化されるそれぞれの斑点状のシグナル（フォーカス）の局在が一致する共局在フォーカスを指標に低濃度トリチウムによる変化を解析した。HTO 処理開始から 10 日ごとに蛍光免疫染色用のサンプルを準備し、解析した。

HTO 未処理時は、10-20%の細胞に約 1 個の共局在フォーカスが検出された。6,000 Bq/ml の HTO を処理すると、約 10 日後に未処理細胞と比較して共局在フォーカス数の有意な増加が確認された。その後、HTO の処理時間とともに軽度増加した共局在フォーカス数は、処理開始 50 日後にピークに達し、その数は 60 日後まで維持された。次に、600 Bq/ml 処理で有意な増加が確認されたのは処理開始 20 日後であった。この後 60 日後まで、6,000 Bq/ml 処理時よりも緩やかな共局在フォーカス数の増加が続いた。最後に 60 Bq/ml 処理では処理開始 40 日後まで有意な増加は見られず、50 日後から増加し始めた。この誘発は、0.3%の細胞に対して 1-2 個のわずかな誘発であった。

次に、6,000 Bq/ml の HTO 処理 30 日後に、HTO 不含の培地に切り替えて 14 日間培養し、フォーカス数の変化を確認した。HTO 処理によって誘発された共局在フォーカスは、不含培地に切り替えた翌日には消失し始め、14 日後には未処理細胞と同等のレベルに戻ることを確認した。本研究では、60-6,000 Bq/ml の HTO 処理に対して濃度依存的に誘発されるフォーカス数が増加すること、有意な増加が確認されるまでの処理期間が濃度依存的に短縮したこと、HTO がいない環境に置き換えると HTO 誘発フォーカスが未処理時まで回復したことを示した。このため、低濃度レベルの HTO に対する細胞応答を自然発生レベルと区別しながら高感度に解析できるツールを確立した。

2. 論文

なし