

放射能環境動態・影響評価
ネットワーク共同研究拠点（ERAN）

FY2024 Final Report
【重点/Priority 共同研究】

重点共同研究

採択No.	研究代表者名	所属機関	職名・学年	課題名	受入研究者	受入機関	共同研究者
P-24-01	Fan Shaoyan	福島県環境創造センター	主任研究員	福島県を流れる河川における137Csの長期観測	恩田 裕一	CRiES	福田 美保 那須 康輝 谷口 圭輔
P-24-02	福田 美保	福島県環境創造センター	主任研究員	福島県複数河川にて採取した浮遊砂中の237NpとPu同位体について	恩田 裕一	CRiES	樊 少艶 鄭 建
P-24-03	横山 明彦	金沢大学	教授	環境中ネプツニウム測定用AMSトレーサー調製法の検討	坂口 綾	CRiES	
P-24-04	星 正治	広島大学	名誉教授	カザフスタンのウラン鉱山近郊の大気中のエアロゾルの収集と測定及び放射性微粒子の影響	坂口 綾	CRiES	
P-24-05	ZHENG Jian	量子科学技術研究開発機構	上席研究員	Pseudo isotope dilution as an approach for quantification of Np-237 in environmental and biological samples by ICP-MS	坂口 綾	CRiES	Yang Guosheng Yang Bo 青野 辰雄
P-24-06	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	岸本 康宏 千葉 健太郎 高久 雄一
P-24-07	南野 彰宏	横浜国立大学	教授	地下宇宙素粒子実験のための低バックグラウンド液体シンチレーター中性子検出器の開発	坂口 綾	CRiES	佐々木 優斗 田中 将士 吉田 斉
P-24-08	保倉 明子	東京電機大学	教授	蛍光X線分析を用いる土壌中の微量ヨウ素および重金属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
P-24-09	箕輪 はるか	東京慈恵会医科大学	准教授	ケイ酸バリウムを主成分とするストロンチウム吸着剤を用いた海水・陸水中の低レベル放射性ストロンチウム測定法の研究	坂口 綾	CRiES	緒方 良至 小島 貞男 有信 哲哉 加藤 結花 杉原 真司
P-24-10	伏見 賢一	徳島大学	Professor	ウラン・トリウム不純物濃度の精密測定で推進する結晶の超高純度化と宇宙・素粒子研究の高度化	坂口 綾	CRiES	高久 雄一 梅原 さおり 黒澤 俊介
P-24-11	廣瀬 勝己	富士山環境研究センター	部長	極東海域の底層水と堆積物間のプルトニウムの分配について	津旨 大輔 坂口 綾	CRiES	Povinec P. Pavel
P-24-12	乙坂 重嘉	東京大学	准教授	福島周辺海域における溶存有機態放射性炭素動態のモデル化	津旨 大輔	CRiES	
P-24-13	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-24-14	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放射性核種の全球鉛直分布の解析	津旨 大輔	CRiES	
P-24-15	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測定	津旨 大輔	CRiES	馬原 保典 速水 洋
P-24-16	板井 啓明	東京大学	准教授	陸水域の生元素循環に関する比較湖沼学的アプローチ	丸岡 照幸	CRiES	
P-24-17	後藤 孝介	国立研究開発法人産業技術総合研究所	主任研究員	ヒューロニアン累層群における漂砂型ウラン鉱床のモリブデンと硫黄分析	丸岡 照幸	CRiES	
P-24-18	永田 宏次	東京大学	教授	生産地域や蜜源植物が異なる国産蜂蜜の同位体組成分析	丸岡 照幸	CRiES	平田 岳史
P-24-19	長谷川 秀一	東京大学	教授	光学的同位体分析手法における新たなスキームの検討および開発提案	丸岡 照幸	CRiES	
P-24-20	越後 拓也	秋田大学大学院	Associate Professor	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-24-21	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炭素・硫黄同位体の特徴と時間変動	丸岡 照幸 山中 勤	CRiES	
P-24-22	菅野 里美	名古屋大学	准教授	タンパク質還元酵素遺伝子MSRB5によるNa、K、Cs吸収制御の検証	古川 純	CRiES	三村 徹郎 Chan Ming-Tsair
P-24-23	宇都宮 聡	九州大学大学院	Associate Professor	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：放射性セシウム原子の可視化	山崎 信哉	CRiES	宮崎 加奈子
P-24-24	齋藤 誠紀	山形大学	准教授	赤城大沼湖水中セシウム濃度時間発展の素過程解明を目指した流体シミュレーション	羽田野 祐子	CRiES	
P-24-25	信濃 卓郎	北海道大学	教授	土壌の放射性セシウムの利用に及ぼす植物種間差の機構解析	塚田 祥文	IER	丸山 隼人 望月 杏樹
P-24-26	坂下 哲哉	量子科学技術研究開発機構	Senior Principal Researcher	ラットのCsイメージングデータを用いたセシウム動態モデルの構築	塚田 祥文	IER	柿崎 竹彦
P-24-27	長谷川 浩	金沢大学	教授	廃水における放射性核種を分離する新規な超分子複合材料の開発	ラハマン モハマド モフィズル イスマイル	IER	Begum Ara Zinnat
P-24-28	有馬 ボシールアハンマド	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-24-29	高木 淳一	京都大学	特定助教	福島県松川浦周辺水域におけるニホンウナギの放射能セシウム濃度とその移動生態の関係解明	和田 敏裕	IER	三田村 啓理
P-24-30	杉原 真司	大分大学	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-24-31	大沼 学	国立環境研究所	Chief Senior Researcher	原発事故周辺地域・高放射線環境下に生息するアカネズミ放射線損傷修復遺伝子への影響解析	石庭 寛子	IER	遠藤 大二
P-24-32	横畑 泰志	富山大学	教授	福島県の放射能汚染地におけるアズマモグラの汚染状況、特に90Sr汚染について	高貝 慶隆 石庭 寛子	IER	青木 譲 福田 朋寛 山澤 泰
P-24-33	安岡 由美	神戸薬科大学	准教授	環境中のラドン散逸率の簡易測定法について	床次 真司 細田 正洋 大森 康孝	IREM	向 高弘

重点共同研究

採択No.	研究代表者名	所属機関	職名・学年	課題名	受入研究者	受入機関	共同研究者
P-24-34	Hu Jun	量子科学技術研究開発機構	Researcher	Validation of stochastic method on track density analysis for passive radon measurement	床次 眞司 クランロッド チュティマ	IREM	
P-24-35	山城 秀昭	新潟大学	准教授	低線量・低線量率慢性被ばくしたクマネズミおよびアカネズミの精子形成能評価における放射線高感受性バイオマーカーの検索	三浦 富智	IREM	中田 章史
P-24-36	木野 康志	東北大学	教授	野生キノコの放射性セシウム濃度の測定	三浦 富智	IREM	山下 琢磨
P-24-37	有吉 健太郎	福島県立医科大学	准教授	野生動物への低線量放射線影響評価のためのバイスタンダー効果の検討	三浦 富智 藤嶋 洋平 アンダーソン ドノヴェン	IREM	
P-24-38	中田 章史	北海道科学大学	准教授	遺伝子プロモーター領域における放射線影響評価系の開発	三浦 富智 山内 一己	IREM	山城 秀昭
P-24-39	飯本 武志	東京大学	教授	環境放射線に関するリテラシーの醸成に資する教育戦略	赤田 尚史	IREM	小池 弘美
P-24-40	柳澤 文孝	山形大学 蔵王樹氷火山総合研究会	副会長	蔵王の樹氷に含まれているベリリウム-7および鉛-210の動態解析	赤田 尚史	IREM	岩田 尚能 高橋 祥基
P-24-41	栗田 直幸	名古屋大学	准教授	西日本における降水中トリチウム及び水素安定同位体比に関する研究	赤田 尚史	IREM	北山 結彩 KHEAMSIRI Khemruthai 森田 遥
P-24-42	岩井 敏	東京大学	研究員	動物医療環境のための放射線防護の新しい枠組みの検討	赤田 尚史	IREM	WANG XUEQING 小池 弘美 黄倉 雅広 飯本武志
P-24-43	JANIK MIROSLAW	量子科学技術研究開発機構	Researcher	Investigation of radon-climate relationships in volcanic area using AI	細田 正洋	IREM	
P-24-44	永井 尚生	日本大学	上席研究員	Be同位体の海洋循環トレーサーとしての利用	田副 博文	IREM	山形 武靖 松崎 浩之
P-24-45	杉原 奈央子	海洋生物環境研究所	研究員	二枚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	田副 博文	IREM	白井 厚太郎 山田 正俊
P-24-46	反町 篤行	東洋大学	教授	林床からのラドン散逸に関する予備的な観測	大森 康孝	IREM	
P-24-47	佐々木 隆之	京都大学	教授	土壌構成鉱物への核種収着に及ぼす有機物の影響評価	藤原 健壮	JAEA	土肥 輝美
P-24-48	黄倉 雅広	東京大学	助教	福島県以外の自治体の放射能汚染された土壌や物品の適切な管理・処分に関する考察	土肥 輝美	JAEA	飯本 武志
P-24-49	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	土肥 輝美 佐々木 祥人	JAEA	箕輪 はるか
P-24-50	高橋 成雄	会津大学	教授	空間線量率および低減度分布の地理的環境依存性解明のための視覚解析	操上 広志 眞田 幸尚	JAEA	吉田 竜
P-24-51	小西 博巳	新潟大学	教授	放射性セシウムの移動媒体についての鉱物学的研究	萩原 大樹	JAEA	渡辺 勇輔
P-24-52	小松 仁	福島県環境創造センター	主任研究員	ブタにおける消化管内での安定セシウム吸収率	玉置 雅紀	NIES	村上 貴恵美 神田 幸亮
P-24-53	村上 貴恵美	福島県環境創造センター	主任研究員	福島県内における野生傷病鳥獣の放射性セシウムのモニタリング	玉置 雅紀	NIES	小松 仁 神田 幸亮 稲見 健司 壁谷 昌彦
P-24-54	神田 幸亮	福島県環境創造センター	研究員	福島県内におけるキジの行動圏調査	玉置 雅紀	NIES	小松 仁 村上 貴恵美
P-24-55	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アーカイブフォーマットの共通化とその活用方法の検討	小林 敏之 中平 嶺 藤川 勝義	IES	小林 悦子 山田 裕
P-24-56	坪野 考樹	電力中央研究所	研究推進マネージャー	尾鰭沼における物質循環把握	植田 真司	IES	三角 和弘 津旨 大輔
P-24-57	橋本 晃佑	福島県環境創造センター	研究員	環境試料中トリチウムの相互比較分析に関する検討	柿内 秀樹	IES	前川 暁洋
P-24-58	田中 苺裕	自然科学研究機構核融合科学研究所	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-24-59	渡部 敏裕	北海道大学	准教授	根圏効果による粘土鉱物の放射性セシウム動態への影響解析	海野 佑介 武田 晃	IES	信濃 卓郎 鷲尾 太一 丸山 隼人
P-24-60	久保 堅司	農研機構	上級研究員	鉄資材の施用が土壌中の放射性セシウムの動態と作物への放射性セシウムの移行に及ぼす影響の解析	海野 佑介 武田 晃	IES	山本 修平 信濃 卓郎 丸山 隼人 村島 和基
P-24-61	鳥養 祐二	茨城大学	教授	生体への水素同位体取込みの同位体効果の検証	石川 義朗 柿内 秀樹	IES	細根 孟留 小畑 結衣
P-24-62	宗林 留美	静岡大学	准教授	流域から駿河湾への輸送物質の形態	石川 義朗	IES	

福島県を流れる河川における 137Cs の長期観測

研究代表者：Fan Shaoyan

受入研究者：恩田 裕一

共同研究者：福田 美保・那須 康輝・谷口 圭輔

1. 成果

2011 年 3 月東京電力福島第一原子力発電所事故によって放出されたセシウム-137 (137Cs) は、福島県の土地利用ごとの 137Cs の蓄積量は、森林で約 67%、水田・畑・都市 (PFU) で 22.4%を占めていた (Kato et al.,2019)。これらの地域から下流域への 137Cs の移動は、9 割以上が土壌粒子や粘土鉱物などに付着し、懸濁態(粒径 $\geq 0.45\mu\text{m}$)として河川を介して運ばれる (Taniguchi et al.,2019)。初期沈着量に対する、約 10 年間陸域から海への懸濁態 137Cs 積算移行率は、各河川で 0.1-1.7%と算出した (Fan et al.,2024)。この幅広い移行率は、各調査地点のダム集水域面積の割合や集水域面積あたりの河川水流量の影響と考えられた。しかし、集水域の河川懸濁物質流失が、懸濁態 137Cs 濃度の変動や移行量との相関関係が未解決課題となっている。各集水域の土地利用及びダムの集水域面積が、河川懸濁物質と懸濁態 137Cs の流出量に及ぼす影響の長期評価が必要とされる。

そこで本研究では、福島県内 27 ヶ所 (阿武隈川本流 6 地点、支流 9 地点、福島県浜通り地域の 8 河川 12 地点) の長期調査のデータを用いて、河川流量の変動に伴う懸濁物質流失の特徴、と流域土地利用及び懸濁態 137Cs 移行量との関係を明らかにすることを目的とした。事故から十年間の、1 ヶ月あたりの懸濁物質移行量 C 、河川流量 X 、懸濁態 137Cs 移行量を、濁度や水位データ、懸濁態 137Cs 濃度を用いてそれぞれ算出した。各地点を対象に、河川流量 X の変化に伴う河川流域面積で正規化された懸濁物質移行量を $Y = a X^k$ で近似した。べき関係係数 k は各集水域面積あたり、懸濁物質流失係数と定義する。

懸濁物質流失係数 k は、上流から下流にかけて、流れとともに増大する傾向があった。支流の流入による懸濁物質の混合や希釈の影響は、 k 値の増減に反映された。ダムがある集水域における、 k 値とダム集水面積の割合に負の関連があった。ダムによる懸濁物質との貯留効果も k 値で表された。ダムなし集水域 (浜通り中小河川など) では、 k 値が PFU (畑地、水田、都市) の割合が高いところで大きかった、PFU から懸濁物質を寄与と考えられた。一方、ダムあり集水域 (阿武隈川本流など) では、 k 値が森林や草地の割合が高いところで大きかったため、懸濁物質が森林域からの寄与が大きいと考えられた。

初期沈着量に対する懸濁態 137Cs 移行率は、 k 値が大きい地点で大きかったことが分かった。特にダムなし阿武隈川支流では、懸濁態 137Cs 移行率と k 値とは有意な正の相関があった ($R^2 = 0.57$, $p < 0.01$)。

2. 論文

なし

福島県複数河川にて採取した浮遊砂中の ^{237}Np と Pu 同位体について

研究代表者：福田 美保

受入研究者：恩田 裕一

共同研究者：樊 少艶・鄭 建

1. 成果

環境動態トレーサの 1 つである $^{237}\text{Np}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比は、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ と比べて幅広い値をとることがあり(Kelly et al., 1999、Fukuda et al., 投稿準備中など)、環境中での Np と Pu の挙動の違いが一因として挙げられる。本研究では、福島県双葉町と浪江町の猿田川や双葉町の前田川を対象に、浮遊砂の ^{237}Np や Pu 同位体(^{239}Pu や ^{240}Pu 、 ^{241}Pu)濃度や $^{237}\text{Np}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比とその要因を明らかにすることを目的とした。浮遊砂サンプラーを設置し、約 3 ヶ月ごとに試料を回収した。採取した浮遊砂は 1 週間静置し、凍結乾燥を行った。凍結乾燥を行った試料について、 ^{237}Np と Pu 同位体の同時抽出 (Huang et al., 2019、Yang et al. 2024)を行い、SF ICP-MS を用いて測定を行った。同試料では放射性セシウム(^{134}Cs , ^{137}Cs)濃度の測定や粒度分析も行っている。

浮遊砂の ^{237}Np 濃度は、猿田川(2022 年 2 月から 2023 年 11 月)で $(0.08 \pm 0.02) \sim (0.16 \pm 0.02)$ mBq/kg-dry、前田川(2022 年 4 月から 2022 年 10 月)で $(0.27 \pm 0.04) \sim (0.79 \pm 0.08)$ mBq/kg-dry であり、浪江町の土壌(2017 年 8 月採取、 $(0.22 \pm 0.003) \sim (5.7 \pm 0.1)$ mBq/kg-dry)と同程度の値であった。一方で、猿田川の河床堆積物(2018 年 6 月から 8 月採取、 $(0.013 \pm 0.003) \sim (0.093 \pm 0.01)$ mBq/kg-dry)よりも約 1 桁高かった。2022 年から 2023 年の猿田川における浮遊砂の比表面積(SSA、0.069-0.12 m²/g)は同時期の河床堆積物(0.0090-0.019 m²/g)と比較して約 1 桁高かった。SSA と ^{237}Np 濃度との有意な相関関係は見られなかったものの、より細粒の粒子で構成されていたことは、浮遊砂の ^{237}Np 濃度が比較的高かった要因であったと考えられる。さらに、2 河川における浮遊砂の $^{237}\text{Np}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比は $(0.33 \pm 0.1) \sim (0.4 \pm 0.1)$ であり、誤差を踏まえると 1.5 年間でほぼ変化は見られなかった。浮遊砂の $^{237}\text{Np}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比は、河床堆積物($(0.16 \pm 0.03) \sim (0.24 \pm 0.03)$)よりも有意に高かった($p < 0.01$)。GF 起源の大気降下物や土壌における $^{237}\text{Np}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比は、それぞれ (0.41 ± 0.01) (Yang et al. 2024)、 (0.46 ± 0.01) (Kelly et al., 1999)であり、浮遊砂試料の $^{237}\text{Np}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比はこれらの GF 起源の値により近かったとことが明らかになった。

2. 論文

なし

環境中ネプツニウム測定用 AMS トレーサー調製法の検討

研究代表者：横山 明彦

受入研究者：坂口 綾

1. 成果

^{237}Np (半減期 2.1×10^6 年) は、核実験等によって環境中に微量に存在し、環境モニタリングの対象核種とされている。近年、加速器質量分析法 (AMS) を用いた高精度な定量が期待されているが、測定のために必要なスパイクとなる適切な核種が開発されていない。本研究では、 ^{236}gNp (半減期 1.5×10^5 年) をスパイク候補とし、 $^{232}\text{Th}+7\text{Li}$ 核反応による製造の可能性を検討した。 7Li を用いた反応では、入射粒子のすべてがターゲット核と融合する「完全融合反応」と、 7Li が α 粒子とトリチウム (t) に分裂し一部のみが融合する「不完全融合反応」が生じ、不完全融合が ^{236}gNp の生成を阻害する可能性がある。そこで、 $^{232}\text{Th}+7\text{Li}$ 反応で生成される Pa 同位体、U 同位体の断面積を測定し、不完全融合反応の影響を評価した。

本実験では、硝酸トリウム溶液を用いて作製した電着試料 (^{232}Th : 約 $1\text{mg}/\text{cm}^2$) を用い、理化学研究所 AVF サイクロトロンにて 7Li イオンを 3 時間照射した。調査した照射エネルギー 40.4 MeV および 38.8 MeV は、 ^{236}gNp 生成と競合するエネルギー領域である。照射後、時間経過により Pa から U への壊変が生じる可能性があるため、迅速にターゲットを溶解し、Pa と Th を TK400 resin で分離 (分離 I) し、その後 Pa と U を分離 (分離 II) した。また、不完全融合反応で生成する ^{232}U を定量するため、分離 III として Th 成分から U を分離した。分離後、各成分を硫酸アンモニウム系で電着し、Si 半導体検出器を用いた α 線スペクトロメトリーを実施し、 ^{231}Pa および ^{232}U の測定を行った。

その結果、 ^{231}Pa の生成は確認されず、反応断面積の上限値は 40.4MeV で 5.7mb、38.8MeV で 4.9mb であった。一方、U 成分のスペクトルには ^{232}U が確認されたが、その生成断面積は ^{232}Pa に近い値を示した。これは、 ^{232}U が主に不完全融合反応で生成された ^{232}Pa (半減期 1.32 日) の壊変によるものであることを示している。さらに、分離 III 後の U 成分からは不完全融合による ^{232}U の生成は確認されず、その反応断面積の上限値は 40.4MeV で 0.65mb、38.8MeV で 0.42mb であった。これらの結果から、 ^{232}U および ^{231}Pa の不完全融合による生成はない、もしくは全体の生成断面積に対して極めて小さいことが示唆された。

不完全融合反応が ^{236}Np 生成に与える影響を評価するため、 α 線測定に加えて γ 線測定、質量分析によって得られた Pa 同位体、U 同位体、核分裂片、Np 同位体の反応断面積を合計し、理論計算による励起関数と比較した。主な反応チャネルは核分裂 (FP) であり、Pa 同位体は 25MeV 付近から生成が確認され、断面積は数十～数百 mb であった。U 同位体は約 35MeV から生成され、数十 mb の断面積を示した。一方で、目的の ^{236}gNp は約 0.1mb 程度であり、30MeV～40MeV の範囲で大きな変化はなかった。このことから、 $^{232}\text{Th}+7\text{Li}$ 反応では不完全融合反応が主要なチャネルとなっており、 ^{236}gNp の生成が抑制されていると考えられる。

しかしながら、この反応系では Np とターゲットの分離が容易であり、AMS による ^{236}gNp の

測定を妨害する ^{236}U などの同重体の生成が少ないという利点があることも分かった。よって、 ^{236}gNp の断面積が小さいという欠点はあるものの、実際の製造過程を考慮すると、この系による ^{236}gNp 試料は AMS スパイクとして適していると結論付けられた。

2. 論文

カザフスタンのウラン鉱山近郊の大気中のエアロゾルの収集と 測定及び放射性微粒子の影響

研究代表者：星 正治

受入研究者：坂口 綾

1. 成果

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. Most recent paper is as follows. Stepanenko et al. J. Radiat. Res., 65, 2024, 36–46, <https://doi.org/10.1093/jrr/rrad082>.
- (2) The results of the radiation measurements such as radon have been obtained. From these data we made some advises for its protection and further necessary studies. Our recent study of radon measurement is as follows. Tokonami et al. Residential radon exposure in Astana and Aqsu, Kazakhstan. J. Radiol. Prot. 43, 2023, 023501 <https://doi.org/10.1088/1361-6498/acda41>.
- (3) Animal experiments (rats) on exposure to radioactive microparticles using Si-31 have been analyzed and found its uniqueness comparing with external exposure. Our recent publications are as follows. Stepanenko et al. J. Radiat. Res., 65, 2024, 744-751, doi: 10.1093/jrr/rrae063, Ibid, 66, 2025, 16–23, <https://doi.org/10.1093/jrr/rrae096>.

2. 論文

Ken Inoue, Yasuyuki Fujita, Yuri Murayama, Shigeto Moriwaki, Nobuo Takeichi, Yoshihiro Noso, Noriyuki Kawano, Masaharu Hoshi, Haruo Takeshita, Takuji Inagaki, The importance of continued measures to prevent suicide among younger age groups in Japan: Focusing particularly on the results of studies in two sides. J. St. Marianna Medical Institute 2024, 24, 5-9.

Ken Inoue, Tatsushige Fukunaga, Haruo Takeshita, Yasuyuki Fujita, Satomi Kameo, Masaharu Hoshi and Noriyuki Kawano, Identifying focal points to prevent traffic accidents in Japan and specific measures proposed: Aspects common to Japan and South Korea and suggested preventive measures. *Medicine, Science and the Law* 2024 Apr 5:258024241245873. doi: 10.1177/00258024241245873.

Ken Inoue, Kamila Akkuzinova, Elaman Toleuov, Timur Moldagaliyev, Yoshihiro Noso, Nobuo Takeichi, Nariaki Fujimoto, Masaharu Hoshi, Nargul Ospanova, Nursultan Seksenbayev, Systemizing international academic exchanges and the enrollment of study abroad students and sustaining that approach: Seeking to establish further cooperative frameworks in Semey and Japan (Kochi and Hiroshima). *Science & Healthcare*, 2024 26, 1, DOI 10.34689/SH.2024.26.1.027.

Valeriy Stepanenko, Hitoshi Sato, Andrey Kaprin, Nariaki Fujimoto, Almagul Kushugulova, Sergey Ivanov, Peter Shegay, Viktoria Bogacheva, Alexey Petukhov, Kassym Zhumadilov, Evgenia Ostroumova, Hiroshi Yasuda, Noriyuki Kawano, Megu Ohtaki, Satoru Endo, Aya Sakaguchi, Laura Chulenbayeva, Nurislam Mukhanbetzhanov, Masaharu Hoshi, Internal radiation dose estimates in organs of Wistar rats exposed to sprayed neutron-activated $^{31}\text{SiO}_2$ microparticles: first results of international multicenter study. *J. Radiat. Res.*, 2024, 65, 744-751, doi: 10.1093/jrr/rrae063.

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 Grosche, Vladimir Iatsenko, Alla Androsova, Zukhra Apsalikova, Noriyuki Kawano, Masaharu Hoshi, Comparison of external dose estimates using different retrospective dosimetry methods in the settlements located near Semipalatinsk Nuclear Test Site, Republic of Kazakhstan, *J. Radiat. Res.*, 65, January 2024, 36–46, <https://doi.org/10.1093/jrr/rrad082>.

A. Bagramova, K. Zhumadilov, S. Endo, T. Kajimoto, A. Sakaguchi, Zh Zeinulla, M. Hoshi, Simulation of gamma-ray registration efficiency of a HPGe detector with PHITS. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 2024, <https://doi.org/10.1007/s10967-024-09839-2>.

V. Stepanenko, A. Kaprin, S. Ivanov, P. Shegay, V. Bogacheva., S. Shinkarev, H. Sato, N. Kawano, M. Ohtaki, N. Fujimoto, S. Endo, A. Sakaguchi, E. Ostroumova, K. Zhumadilov, A. Kushugulova, M. Hoshi. Features of internal absorbed dose microdistribution in biological tissue irradiated by $^{31}\text{SiO}_2$ microparticles compared with dose microdistribution from exposure to $^{56}\text{MnO}_2$ particles. *J. Radiat. Res.*, 66, 2025, 16–23, <https://doi.org/10.1093/jrr/rrae096>.

Inoue K, Seksenbayev N, Takeichi N, Toleuov E, Akkuzinova K, Murayama Y, Noso Y, Fujimoto N, Hirabayashi K, Kawano N, Hoshi M, Chaizhunusova N, Shabdarbayeva D, Ospanova N, Moldagaliyev T. The study to encourage cooperation on suicide prevention measures worldwide as well as in individual countries: Devising suicide prevention

efforts that need to be implemented in times like these. J St Mar Med Ins in press 2024.
Publication in 2025.

Kassym Zhumadilov, Alexander Ivannikov, Murat Kassymzhanov, Assel Bagramova, Issa Zhanthore, Sarsenova Samal, Valeriy Stepanenko, Artem Khailov, Masaharu Hoshi. Estimation of radiation doses of population residing nearby area of uranium ore mining and processing in Kazakhstan by tooth enamel EPR spectroscopy, Environmental Challenges (2025), doi:<https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101098>.

Pseudo isotope dilution as an approach for quantification of Np-237 in environmental and biological samples by ICP-MS

研究代表者：ZHENG Jian

受入研究者：坂口 綾

共同研究者：Yang Guosheng・Yang Bo・青野 辰雄

1. 成果

Pseudo isotope dilution as an approach for quantification of Np-237 in environmental and biological samples by ICP-MS

Plutonium in the environment is a well-known tracer for contamination source identification and for study in biogeochemical processes of radionuclides. Another transuranic isotope, ^{237}Np ($t_{1/2}=2.14 \times 10^6$ y) also has great potential to act as a tracer since it has a similar behavior of ^{137}Cs . However, ^{237}Np has presented limited information in the environment due to its low-level radioactivity and great challenges for its analysis. The challenge for its analysis is mainly due to the lack of suitable Np isotope tracer for the quantification of ^{237}Np .

This study carried out for the determination of the ^{237}Np activity concentration, $^{237}\text{Np}/^{239}\text{Pu}$ atom ratio, and $^{237}\text{Np}/^{241}\text{Am}$ activity ratio in the reference fallout material by using the pseudo isotope dilution method with non-isotopic tracer ^{242}Pu developed in 2023 ERAN study (Qin et al., 2024), and validated the evaluation value of $^{237}\text{Np}/^{239+240}\text{Pu}$ activity ratio in global fallout. The ^{237}Np and Pu isotopes were detected after being separated and purified by using anion exchange chromatography, and the ^{237}Np activity concentration was quantified by using ^{242}Pu as a pseudo isotope dilution tracer. Four sediment SRMs were tested to validate the analytical method with sufficient accuracy and precision for ^{237}Np and Pu isotopes analysis in environmental samples. The activity concentrations of ^{237}Np and $^{239+240}\text{Pu}$ in the reference fallout material were $(25.9 \pm 0.6) \times 10^{-3}$, 6.98 ± 0.04 Bq/kg, respectively. The measured $^{237}\text{Np}/^{239+240}\text{Pu}$ activity ratio of $(3.7 \pm 0.1) \times 10^{-3}$ in the reference fallout material excellently agreed with the estimated value of global fallout. The $^{237}\text{Np}/^{239}\text{Pu}$ atom ratio of 0.561 ± 0.014 is higher than the average global fallout value of 0.41 ± 0.10 . These results highlight the necessity of establishing the regional characteristic global fallout value for assessment of potential impact of radioactive contamination in the environment (Yang et al., 2024).

The comparison of $^{237}\text{Np}/^{239+240}\text{Pu}$ activity ratios between the reference fallout material and the surface soils in the past decades indicated that ^{237}Np showed stronger migration capability than Pu isotopes by showing the decrease of

$^{237}\text{Np}/^{239+240}\text{Pu}$ activity ratio in the soils over several decades. The characterization of ^{237}Np , ^{241}Am and Pu isotopes activity concentration and their atom/activity ratios in the reference fallout material was crucial for establishing a baseline to assess the possible additional inputs of ^{237}Np , ^{241}Am and Pu isotopes into the environment.

Publication

1. B. Yang, J. Zheng, G. Yang, N. Qin, K. Tagami, S. Shigeo (2024): Characterization of typical transuranic nuclides in a reference fallout material using SF-ICP-MS. J. Environ. Radioact. 278, 107506.
2. N. Qin, J. Zheng, G. Yang, K. Tagami (2024): A comprehensive survey of reference materials for their use in quality assurance for the determination of Np-237 in environmental samples. J. Environ. Radioact. 271, 107328.

2. 論文

B. Yang, J. Zheng, G. Yang, N. Qin, K. Tagami, S. Shigeo (2024): Characterization of typical transuranic nuclides in a reference fallout material using SF-ICP-MS. J. Environ. Radioact. 278, 107506.

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：岸本 康宏・千葉 健太郎・高久 雄一

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値が定められている(シンチレーションフィルムについて ^{238}U , ^{232}Th とも 10 ppt 未満、波長変換剤について ^{238}U は 10 ppt, ^{232}Th は 30 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を目的としている。2024 年度は、それまでの研究成果で確立したシンチレーションフィルム中の放射性不純物量の ppt レベルでの微量分析測定手法に関する論文を発表した。波長変換剤中の放射性不純物量分析については、まず環境由来の ^{238}U , ^{232}Th が本研究の目標レベルである 10 ppt レベルの測定では問題ないことを示し、広い範囲 (5 ppt から 370 ppt) と試料重量 (0.1 g から 0.5 g) の範囲で適用できる回収率を求めるための添加回収実験を行い、得られた回収率は ^{238}U が $93.5 \pm 4.6\%$ 、 ^{232}Th が $95.1 \pm 8.4\%$ であることを決定した。市販の高純度波長変換剤に関して、形状が粉末状、鱗片状と異なる波長変換剤では不純物量が 1 桁以上異なるが、どちらの形状の波長変換剤も放射性不純物量の要求値を満たしていないことが分かり、純化が必要なことが判明した。放射性不純物量がより多い粉末状の波長変換剤についてゾーンメルティング法を用いた純化を試みたところ、元々の試料から ^{238}U は約 150 分の 1、 ^{232}Th は約 72 分の 1 まで低減することができ、 ^{238}U についてはさらにあと 1 桁の低減が必要であるが ^{232}Th については要求値を満たすレベルでの純化が出来た。来年度以降も引き続き純化手法の確立、および極微量放射性不純物量測定手法の確立を継続して進める。

2. 論文

K. Ichimura, K. Chiba, Y. Gando, H. Ikeda, Y. Kishimoto, M. Kurasawa, K. Nemoto, A. Sakaguchi, Y. Takaku, Y. Sakakieda, "Development of a Method to Measure Trace Levels of Uranium and Thorium in Scintillation Films", PTEP (Progress of Theoretical and Experimental Physics), Volume 2024, Issue 6, June 2024, 063H01, <https://doi.org/10.1093/ptep/ptae071>

地下宇宙素粒子実験のための低バックグラウンド液体シンチレーター 中性子検出器の開発

研究代表者：南野 彰宏

受入研究者：坂口 綾

共同研究者：佐々木 優斗・田中 将士・吉田 斉

1. 成果

[背景]

環境中性子は、地下実験室で進められている宇宙暗黒物質の直接探索実験やニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊探索実験において重要なバックグラウンドである。この環境中性子の直接観測には液体シンチレーター検出器が最適である。しかし、液体シンチレーター検出器の構成部材に含まれる放射性不純物からのアルファ線バックグラウンドのために、地下実験室の環境中性子の直接観測には未だ成功していない。

[研究の目的]

本研究では、液体シンチレーター検出器の構成部材の中の放射性不純物含有量を測定し、アルファ線バックグラウンドの発生源を突き止める。そして、その部材をより放射性不純物含有量の少ない部材に交換することで、アルファ線バックグラウンドを1桁低減し、地下実験室での環境中性子の直接観測を実現したい。

[方法]

アルファ線バックグラウンド源は突き止められていないが、希ガスの放射線不純物である ^{222}Rn が有力な候補である。そのため、液体シンチレーター検出器の構成部材であるステンレス容器内壁から液体シンチレーターへの ^{222}Rn の放出を防止するため、ステンレス容器内壁にガスバリアであるEVOHシートを貼り、さらに内側に放射性不純物含有量が低いことが知られている反射材であるPTFEシートを貼る改造を計画している。2024年度は、LED光源（ピーク波長460 nm）を用いて、PTFEシートの反射率を厚さの関数として測定した。LED光源は、使用する液体シンチレーター（BC501A）のピーク波長である425 nmに近いものを選択した。

[結果]

PTFEの厚さが0.1 mmから6.3 mmまで変えながら反射率を測定した結果、PTFEの厚さが2 mmより大きい場合は、反射率が90%以上と十分に大きく、理論値（クベルカムンクの式）と近い値を取ることが分かった。この結果から、液体シンチレーター検出器に使うPTFEシートの厚さは2 mmと決定した。

[今後の予定]

今後は、EVOH シートの有機溶媒である液体シンチレーター（BC501A）への耐性を確認後、液体シンチレーター検出器の改造を行い、地上の放射線遮蔽体中でアルファ線バックグラウンド量を確認する。目標のアルファ線バックグラウンド量を達成後、神岡地下実験室で地下環境中性子の測定を開始する。

2. 論文

蛍光 X 線分析を用いる土壌中の微量ヨウ素および重金属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

1. 成果

土壌中の臭素およびヨウ素は、農業生態系に大きな影響を与えることが知られている。偏光光学系エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置を適用し、標準添加法を用いることで土壌中の臭素とヨウ素の XRF 定量分析が有用であることが報告されている。ただし、適用された試料数は限られており、複雑なマトリックスをもち、微量な臭素やヨウ素の含有量の土壌試料について、XRF が有効であるかどうかは未検討である。本研究では、様々な組成の土壌試料について、土壌中の微量ヨウ素および重金属元素を、迅速簡便に定量する手法の開発を目的とした。

土壌試料には、青森県の畑で採取された土壌と土壌認証標準物質の JSAC 0411, GSJ CRM JSO-1, JSAC 0401, NMIJ CRM 7302-a, NMIJ CRM 7303-a, GSJ CRM JLk-1 の合計 8 種を用いた。精秤した臭素酸ナトリウムあるいはヨウ素酸ナトリウムと窒化ホウ素 (BN) を均質に混合し、絶対検量線用の標準試料とした。この標準試料と土壌試料を適宜混合し、標準添加法の検量線作成に用いた。いずれの試料においても、精秤した 0.3 g を加圧成型 (3 tonf/cm², 3 分間) し、10 mm 径の錠剤とした。1 試料につき錠剤を 3 つ作製し、蛍光 X 線 (XRF) 分析に供した。偏光光学系蛍光エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 (Epsilon5, PANalytical) において、二次ターゲット材 Zr, Mo, Al₂O₃ を選択し、測定時間をヨウ素 3600 秒、臭素 600 秒として計測した。

JSAC0411 では臭素およびヨウ素の認証値や参考値が付与されていないため、ICP-MS 等を用いて報告されている文献値を用いて、各元素の検出下限値を算出したところ、臭素の検出下限値は 0.3 mg/kg (計数時間 600 秒)、ヨウ素の検出下限値は 0.5 mg/kg (計数時間 3600 秒) となった。

今回測定した試料のうち、JSd-3 (河川堆積物) では、As K β 線が Br K α 線に、Sn K β 線が I K α 線にスペクトル干渉した。これらについて、装置内蔵の解析ソフトを用いてピーク分離を行ったところ、より確からしい値が得られた。Sn についても XRF で定量したところ、この試料においては、187.9 mg/kg 含まれていた。

低濃度の臭素では、標準添加法を用いる定量法の方が ICP-MS 測定値と一致した。本研究で用いた様々な組成の土壌試料に対して、スペクトル干渉を補正し、標準添加法を用いて定量する場合、臭素 5 ~ 250 mg/kg, ヨウ素 25 ~ 60 mg/kg の範囲で ICP-MS 測定値と近い値を得ることができた。よって、標準添加法および絶対検量線法を用いた迅速簡便な XRF 定量分析が有効であることが示された。

2. 論文

ケイ酸バリウムを主成分とするストロンチウム吸着剤を用いた海水・陸水中の低レベル放射性ストロンチウム測定法の研究

研究代表者：箕輪 はるか

受入研究者：坂口 綾

共同研究者：緒方 良至・小島 貞男・有信 哲哉・加藤 結花・杉原 真司

1. 成果

放射性 Sr は、環境モニタリングにおいて影響評価上重要な核種であるが、 β 線測定前の化学分離操作が複雑で劇薬を用い時間がかかるため、より簡便で安全な分析方法が望まれている。本研究では、海水試料をターゲットとし、Sr を Ca や他の元素と分離するためケイ酸バリウムを主成分とする Sr 吸着剤ピュアセラム MA-q（日本化学工業、以下 P-MAq）を用いた放射性 Sr 分析方法を開発した。放射性トレーサー Sr-85、Sr-90、Y-90 を使用し、化学分離操作 (1) Sr 吸着、(2) Sr 脱離、(3) Y ミルキング、の最適化を行った。

平均的な海水濃度（野崎, 1997）に調製した模擬海水を試料溶液とし、様々な硫酸イオン濃度で P-MAq への Sr 吸着実験を行ったところ、硫酸イオン濃度が 12.5mM 以上のとき、4 時間の攪拌で溶液中 Sr の 90%以上が回収できた。硫酸イオン濃度 12.5~100m M の範囲で硫酸イオン濃度と Sr 吸着率との相関はみられなかった（海水の平均的な硫酸イオン濃度は約 25mM）。硫酸イオンを添加しない場合の Sr 収着率は、2 時間の攪拌で 10%、4 時間の攪拌で 19%であった。P-MAq に Sr が選択的に回収されるメカニズムは単なる吸着ではなく、硫酸ストロンチウムとしてケイ酸バリウムに吸着されたのちに Sr が Ba と置換しケイ酸ストロンチウムとなることで強固に収着されると推測された。これは吸着ではなく収着と言えるので、以後は Sr 収着と称する。

Sr 収着実験を実際の海水（小笠原海水、小笠原海藻研究会）等に適用したところ、Sr 収着率が安定しなかった ($79.7 \pm 4.0 \sim 94.0 \pm 2.9\%$)。模擬海水を用いて Sr 収着実験を行った結果、Ca 濃度 0~20mM の範囲で Sr 収着率は $98.0 \pm 1.6 \sim 79.7 \pm 1.0\%$ の値を示し、Ca 濃度と Sr 収着率に強い相関がみられた（海水の平均的な Ca 濃度は約 10mM）。試料中の Ca 濃度を別に測定することで P-MAq への Sr 収着率を予測できると考えられる。

海水組成の模擬海水を 0.1M HCl 相当に調製し、Sr 収着剤と混合し 4 時間攪拌したところ、Sr が 90%以上収着された。収着剤を試料溶液から分離し、2M HCl 溶液中で 60°C に加熱し Sr を脱離させた。Sr 脱離率は約 70%であった。溶液状態で 2 週間以上保管し、Sr-90 が壊変し Y-90 が生成して平衡状態になるまで置いた。その後、溶液から水酸化物沈殿生成により Sr と Y を分離し、シュウ酸イットリウムとして Y-90 を回収した（Y ミルキング）。濾紙上の沈殿を乾燥させ、低 BG ガスフローカウンタ（LBC-4601, Aloka Co. Ltd.）で β 線測定した。Y ミルキング操作における Y の回収率は約 60%であった。Y の回収方法はさらに改良が必要であり、沈殿生成の方法の工夫により回収率向上が見込まれる。

本実験条件（試料量 100mL、全体を通した Y の回収率 40%、低 BG ガスフローカウンタの

90Y 計数効率 30%、測定時間 60 分) における Sr-90 濃度の検出下限濃度は、0.23 Bq L⁻¹ であった。今後、試料量を増やし化学分離操作を改良することで、検出下限濃度を 0.001 Bq L⁻¹ 以下にすることを目指している。本方法の操作時間は保管時間を除くと 2 日間 (Sr の収着と脱離に 1 日、Y ミルキングに 1 日) で、劇薬や複雑な操作は不要であり、汎用の測定器での測定が可能である。原子力施設周辺の平時の環境モニタリングや、環境試料中の低濃度の放射性ストロンチウムの分析に適用できるだろう。

2. 論文

ウラン・トリウム不純物濃度の精密測定で推進する結晶の超高純度化と 宇宙・素粒子研究の高度化

研究代表者：伏見 賢一

受入研究者：坂口 綾

共同研究者：高久 雄一・梅原 さおり・黒澤 俊介

1. 成果

二重ベータ崩壊実験は、素粒子・原子核物理学における基礎過程の性質を調査する重要なプローブの役割を果たしている。ニュートリノを出さない二重ベータ崩壊 ($0\nu\beta\beta$) 事象は、その半減期が 1027 年以上と見積もられており、大規模な放射線検出器を用いた実験が必須となっている。 $0\nu\beta\beta$ 事象の探索にとって深刻なバックグラウンドとなるのは、検出器の原料に含まれる微量な放射性不純物で、数 ppt レベルのウラン・トリウムの不純物濃度を狙って除去方法を確立する必要がある。本研究では、昨年度の結果を元にして高精度の濃度測定を行うことのできる条件を探索することを中心課題にした。

昨年度において、トリウム濃度の測定値が不安定であったことの原因を除去するため、汚染源と考えられる試料作成場所を class 5 レベルのクリーンブースに設置し、試料作成時の汚染を防止した。フッ化カルシウムを分析するために、硝酸による分解、樹脂による分離工程のバックグラウンド混入を防ぐための処置を施した。その結果、すべての測定においてブランク試料の計数値がバックグラウンドレベルに落ち着き、試料の準備工程における汚染は除去できたことを確認した。

もう一つの課題はトリウムの回収率を正確に測定する事とした。回収率とは、試料中に存在するトリウムを分析用の溶液内に回収できる効率をいう。フッ化カルシウムなどカルシウムイオンが高濃度で含まれる水溶液では、樹脂によるウランやトリウムの吸着が阻害され、回収率が低下することが懸念されていた。本研究によってイオン吸着および脱離の際における様々な条件を探索し、安定して高い回収率を得ることが可能になった。

測定すべき同位体の精度が確認できたため、昨年度の測定で不安定な結果しか得られていなかった結晶内の不純物濃度を測定した。フッ化カルシウム粉末を長さ 10 cm、内径 1 cm のグラファイト坩堝に入れ、一端から順次結晶化させて不純物の偏析効果を確認することが目的である。確立された結晶の粉碎・分解作業及び樹脂による吸着・脱離行程を実行し、昨年製造した結晶に含まれる不純物濃度を再び測定した。その結果、結晶内の濃度は昨年度と変わらないことが明らかになった。

この結果を考察したところ、グラファイト坩堝の純度が十分でなく、坩堝からの不純物混入があるとの結論に至った。これは、今年度に確立した作業工程の見直しによって不確実性がなくなった事による明確な結論である。この考察に基づいて改良すべきは坩堝の高純度化であるとし、超高純度坩堝を現在整備中である。次年度以降には、超高純度の坩堝を使用して結晶の偏析効果を確認する計画である。これらの結果は、日本結晶学会誌の招待論文として原稿準備

中である。

2. 論文

1. " CANDLES-III detector: Low-background spectrometer for studying neutrino-less double decay of ^{48}Ca ", S.Ajimura, K.Akutagawa, T.Batpurev, F.Doukaku, K.Fushimi, R.Hazama, K.Ichimura, T.Iida, H.Kakubata, K.Kanagawa, S.Katagiri, B.T.Khai, T.Kishimoto, X.Li, T.Maeda, A.Masuda, K.Matsuoka, K.Mizukoshi, K.Morishita, K.Nakajima, N.Nakatani, M.Nomachi, I.Ogawa, T.Ohata, A.Rittirong, M.Saka, K.Suzuki, N.Takahashi, Y. Takemoto, Y.Takihira, Y.Tamagawa, K.Tetsuno, M.Tozawa, V.T.T.Trang, M.Tsuzuki, T.Uehara, S.Umehara, K.Yasuda, S.Yoshida, M.Yoshizawa, N.Yotsunaga, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1069 (2024) 169982.

極東海域の底層水と堆積物間のプルトニウムの分配について

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：Povinec P. Pavel

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いが、比較的日本海に多いので、日本海海水中の $^{239,240}\text{Pu}$ に着目してその挙動を研究してきた。海洋の放射性核種の循環を考える上で、放射性核種と堆積物の相互作用は重要である。この相互作用を理解するために、見かけの分配係数が導入されてきた。これまでの研究のなかでは、 ^{137}Cs を対象として日本海の時系列データを解析することにより、同じ地点では見かけの分配係数の時間変化は少なく、凡そ平衡に近いことが分かった。さらに、分配係数は深さと共に増加することが分かり、 ^{137}Cs は深海堆積物で安定化することが示唆された。今回は殆ど研究例がない $^{239,240}\text{Pu}$ の海水と堆積物の間の分配に着目して日本海における $^{239,240}\text{Pu}$ の海水—堆積物相互作用を明らかにする。

解析に使用したデータは 1994 年から 2022 年まで海上保安庁が日本海の 10 定点で毎年観測した値である。このデータは保安庁のホームページで公表されている他、筑波大の HAM データベースや ERAN データベースに収納されている。

海洋における $^{239,240}\text{Pu}$ の挙動を理解するために、基本的な問題は「 $^{239,240}\text{Pu}$ が海底堆積物中で安定に存在しているか」である。この問題を解決するために、海水（海底直上水）、堆積物中の $^{239,240}\text{Pu}$ 濃度の時間変動を調べた。海水中の $^{239,240}\text{Pu}$ 変動は浅い海底で僅かであるが減少の傾向が見られたが、1000m 以深では、比較的小さく特定のトレンドは見いだせなかった。堆積物の場合は、 $^{239,240}\text{Pu}$ 濃度は St.3 と St. 8 を除けば、比較的一定で時間変化は観測されなかった。ただし、底層水と同様水深の浅い海底土では減少の傾向が見られた。 $^{239,240}\text{Pu}$ の底層水と堆積物の間の見かけの分配係数を求め、その変動を調べた。見かけの分配定数は殆ど時間変動を示さず、北海道沖の日本海の浅い海底堆積物を除き、殆ど見かけ上の平衡にあることが分かる。一方、深度との関係は、 ^{137}Cs と異なり（ ^{137}Cs の場合深度の増加と共に分配係数は増加する）、深度の増加と共に、 $^{239,240}\text{Pu}$ の分配係数は減少することが分かった。

2. 論文

Hirose, K., Onda, Y., Tsukada, H., Hirayama, Y., Okada, Y., Kikawada, Y., 2024. Chemical implication of the partition coefficient of ^{137}Cs between the suspended and dissolved phases in natural water. *J. Environ. Radioact.* 278, 107486. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2024.107486>.

Hirose, K., 2024. Review of the sources and behaviors of plutonium isotopes in the atmosphere and ocean. *J. Environ. Radioact.* 277, 107446. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2024.107466>

福島周辺海域における溶存有機態放射性炭素動態のモデル化

研究代表者：乙坂 重嘉

受入研究者：津旨 大輔

1. 成果

福島第一原子力発電所（福島第一原発）では、2023 年 8 月より、施設内で発生した汚染水を多核種除去設備（ALPS）等で浄化することで生じた「処理水」を海洋に放出している。炭素-14（ ^{14}C ）は、その汚染レベルは十分に低いものの、処理水の放出によって濃度増加が懸念される核種の一つである。ただし、 ^{14}C のモニタリングは炭酸種のみを対象としており、溶存有機物を構成する炭素、すなわち DOC（Dissolved Organic Carbon）中の ^{14}C （DO14C）濃度は評価されていない。福島沿岸域には、福島第一原発の水処理システム内での無機炭素の有機化や、陸上の有機物の流出によって、微量の DO14C が供給される可能性がある。海水中の DOC の一部は、海水の循環に比べて数倍の期間にわたって海洋内部にとどまることが知られている。福島周辺海域における DO14C 分布を把握し、モデルによって再現することは、処理水放出に伴う ^{14}C 濃度変化のレベルをより正確に把握するとともに、 ^{14}C 動態の長期的な予測にも役立つことが期待される。

本研究では、その第一段階として、DO14C のデータ数が限られている北太平洋北西部およびその縁辺域における表層海水中の DOC が持つ ^{14}C 同位体比（ $\Delta^{14}\text{C}$ ）の分布を俯瞰するとともに、処理水の放出前後での福島第一原発周辺での DO14C 濃度の分布を明らかにした。福島周辺海域での海水試料は、2021 年 10 月から 2024 年 4 月にかけて、福島第一原発から 2~18 km の距離にある 5 観測点で研究船「新青丸」の協力を得て採取した。北西太平洋の広域でのデータは、Otosaka et al. (2024) による既報データに加えて、2021 年 1 月から 2023 年 8 月にかけて、研究船「新青丸」および「みらい」の 4 航海で得た 22 観測点のものをを用いた。DOC 濃度及び DOC- $\Delta^{14}\text{C}$ は、海水を冷凍保存して陸上の実験室に持ち帰った。海水中の DOC- $\Delta^{14}\text{C}$ は、Otosaka et al. (2021) の方法で前処理後、東京大学大気海洋研究所のシングルステージ加速器分析装置（YS-AMS）で計測した。

表層海水中 DOC の $\Delta^{14}\text{C}$ と DOC 濃度との関係から、北西太平洋の多くの観測点の DOC は、表層で生産された新鮮な DOC と深層由来の古い DOC の 2 成分の混合物として説明することができた。一方で、縁辺海や、縁辺海からの表層流が収束する一部の観測点では、陸域や海底堆積物を起源とするとみられる、年齢の古い DOC が存在することが示唆された。福島海域における DOC が持つ DOC の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は $-248 \sim -170\text{‰}$ であった。処理水放出前の 2022 年 10 月の DOC- $\Delta^{14}\text{C}$ 値は、図 2 に示す混合直線に対して最大で 50% 程度高く、人為起源の

14C による値の増加の可能性を示したが、これに伴う DO14C の濃度増加は 0.01mBq/kg 程度であった。ALPS 処理水放出開始後の 2024 年 3 月における DOC- Δ 14C 値は 2022 年に比べて低く、目立った濃度増加は見られなかった。2024 年の観測は 3 回目の ALPS 処理水放出期間 7~8 日後で、少なくともこの時点においては、放出に伴う DO14C 濃度の増加は極めて小さいと推定された。本研究によって得られた DO14C の移行過程を、領域海洋モデル (ROMS; 海水循環) 及び 海洋生態系モデル (BEC; 炭素循環) で再現し、同海域における DO14C 動態の基盤情報として活用する予定である。

2. 論文

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

研究の背景と目的

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 2024 年度は、大気モデルの検証に使用する海上の降水量データを探索するとともに、数値気象モデルによる降水の再現性を検証した。

海上降水量データの探索

気象庁は海洋気象観測船により海上の気象を観測しており、2011 年 3 月には凌風丸 1102 航海 (2011 年 3 月 7~15 日) と凌風丸 1103 航海 (2011 年 3 月 22~29 日) を本州東方で実施している。しかしながら、降水量観測は船上での困難さから行われていない。

気象庁は、気象レーダーと雨量計のデータを組み合わせて 1 km 四方における毎時の降水量 (解析雨量) を作成している。気象レーダーは半径数百 km をカバーするので、沿岸部であれば海上の降水量データが得られる。

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) などによる GSMap (Global Satellite Mapping of Precipitation) は、複数の人工衛星データを組み合わせて作成された全球降水データである。解像度は 1 時間、緯度経度 0.1 度であり、沿岸部のみならず海上の気象データを得ることができる。陸上の雨量計データで補正したデータもあるが、沿岸部の降水量が不自然であり、本研究では補正なしデータを使用した。

数値気象モデルによる海上降水量の再現性

数値気象モデルとして WRF v.5.4.2 (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。計算結果を GSMaP データと比較したところ、物理モデルとパラメタにより相違はあるものの、概して降水イベントの有無はほぼ的確に予測していた。しかしながら、計算された降水域は実際より南に寄っていた。この特徴は既往のモデル比較研究 (Kajino et al., 2019) にも確認でき、要因が共通した可能性がある。

引き続き最適な計算条件を探索し、海上降水量の再現精度をさらに高める必要がある。

2. 論文

なし

海洋放射能データベースを利用した放射性核種の全球鉛直分布の解析

研究代表者：猪股 弥生

受入研究者：津旨 大輔

1. 成果

福島第一原子力発電所（F1NPS）事故により環境中に放出された放射性セシウム(Cs-137)は、北太平洋の西部亜熱帯循環域から、数年未満の短い時間スケールで東シナ海底層部を経由して日本海に到達していることが明らかになるなど (Aoyama et al., 2017; Inomata et al., 2018a)、海水循環を示すトレーサーとして有効である。放射性核種の濃度変化は、半減期やその物理化学特性により異なるために“見える”事象が異なることが予想される。本研究では、環境放射能データベースやモニタリングデータを使用し、Cs-137 と Sr-90 についての時空間変動について解析を行った。

本研究では、環境放射能データベース (HAMGlobal2021) や新たに報告されているデータを使用した。Cs-137 解析時では海洋を 37 地域に分割して解析を行ったが、Sr-90 のデータ数が少ないため、Sr-90 データの報告例が多い、日本海を中心とした太平洋縁辺海について解析を行った。日本海については、表層水 (～300m)、上部固有水(300-1000m)、深層水(1000-2000m)、底層水(2000m 以深)に分けて解析を行った。

日本海表層水の Cs-137 濃度の長期間解析から、F1NPS 事故由来の Cs-137 の日本海への流入は 2015/2016 年で濃度は減少傾向にあるものの、依然として事故前の値には戻っておらず、現在も追加のフラックスが供給され続けていることが示された。F1NPS 由来の Cs-137 と Sr-90 は 2011 年にすでに底層水に到達していた。2000m 付近では Cs-137 と Sr-90 及びその比の増加が確認された。この濃度や比の増加には、表層から下層への輸送と共に、ロシアによる核物質の投棄の影響の可能性もある。特に 1990 年代半ばには、底層水でもこれらの濃度の増加が確認できた。鉛直分布を解析した結果、日本海盆付近で、1990 年代からインベントリの増加が認められた。また、インベントリ増加が認められた海域では推定された鉛直拡散係数が大きかった。

2. 論文

森林中の放射性ヨウ素の降下量測定

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

1. 成果

[目的]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 の実測データを得ることを目的とした。

[結果]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。表層から 6m までのリターおよび土壌中の ^{127}I と ^{129}I の濃度は $3\text{--}99\text{mg/kg}$ と $6 \times 10^8 - 3 \times 10^{12} \text{ atoms/kg}$ であった。同フィールドで得られたコア中の ^3H と ^{36}Cl は 300cm-350cm の間にピークが見られたが、 ^{129}I はリターおよび表層数 cm 程度にピークが見られた。

2. 論文

陸水域の生元素循環に関する比較湖沼学的アプローチ

研究代表者：板井 啓明

受入研究者：丸岡 照幸

1. 成果

イ素は地殻を構成する主要元素であり、珪藻などの微生物の硬組織を構成する必須元素である。湖沼は生物性ケイ酸(BSi)の生成によりケイ素のシンクとして働くため、陸域から海洋へのケイ素フラックスに及ぼす湖沼の役割が注目されている(e.g., Frings et al., 2014; Maavara et al., 2014)。しかし国内では、琵琶湖や霞ヶ浦など重点調査湖沼を除くと、ケイ素の動態が系統的に調べられた湖沼は少ない。本研究では、夏期に成層が形成される複数の国内湖沼について、(1)湖水中鉛直分布と季節変化の解析、(2)堆積物中生物性ケイ酸(BSi)の定量、(3)ケイ素安定同位体比の測定を実施し、ケイ素動態を解析した。解析対象は、長野県の青木湖・中綱湖・木崎湖、山梨県の山中湖・河口湖・西湖・精進湖・本栖湖、福島県の桧原湖・小野川湖・秋元湖の11湖沼とした。湖水中の総溶存ケイ素(DSi)はICP発光分光分析法で定量した。反応性ケイ酸濃度(SRSi)は、モリブデンイエロー吸光光度法で定量した。

全湖沼の分析結果から、DSiに占めるSRSiの割合は72–88%であり、主に単量体のケイ酸として溶存していることが明らかになった。DSiの鉛直分布は大半の湖沼で表層から深層にかけておおむね一定の値を示す傾向が認められた。表水層の年間最小DSi濃度は、全湖沼においておおむね150 μM 付近に収斂するため、珪藻の生成は循環期直後の濃度に依存せず、ケイ素レベルが閾値付近まで低下するまで継続されることが示唆された。堆積物中BSiは、総有機炭素濃度(TOC)と正の相関を有し、BSiとTOCの比率は先行研究における淡水珪藻のSi/Cと類似していた。BSiとTOCは、湖沼内部生産の指標である循環期TPとTOCの関係よりも高い正の相関を有しており、珪藻由来有機物の堆積物への埋没効率が高いことが示唆された。

8湖沼の堆積物と河口湖の湖水についてケイ素安定同位体比測定を行った結果、堆積物中 $\delta^{29}\text{Si}$ は富土地域で−2.66–2.58‰、仁科地域で−0.67–−0.49‰、裏磐梯地域(小野川湖)で−0.6‰、河口湖湖水中 $\delta^{29}\text{Si}$ は0.91–1.46‰であった。河口湖湖水中 $\delta^{29}\text{Si}$ は堆積物中 $\delta^{29}\text{Si}$ よりも高い値をとり、6月に極大値を示した。3月の表水層中 $\delta^{29}\text{Si}$ (0.9‰)を $\delta^{29}\text{Si}_{\text{input}}$ とし、湖水-珪藻間の同位体分別係数(ε)を−0.55‰として、開放系定常状態を仮定した計算を実施した結果、湖水に供給されるSiに対して、6月は100%、8月は58%が珪藻の増殖に使われていると推定された。本研究を通じ、これまで知見が乏しかった国内湖沼におけるケイ素動態に関する基礎的な知見を提供するとともに、陸水ケイ素動態のトレーサーとしてのケイ素安定同位体比の有効性を示すことができた。

2. 論文

ヒューロニアン累層群における漂砂型ウラン鉱床のモリブデンと硫黄分析

研究代表者：後藤 孝介

受入研究者：丸岡 照幸

1. 成果

本研究では、太古代や原生代前期における化学風化の詳細な特徴の理解を念頭に、砕屑性ウラン・硫化鉱物の存在が報告されているカナダのヒューロニアン累層群マチネンダ層を対象とした各種化学分析を行った。特に、酸化的風化の指標として多くの先行研究によって着目されているモリブデンの挙動について、モリブデンおよび硫黄の定量・同位体分析に基づき検証した。試料は、マチネンダ層の砂岩・礫岩層を含む 2 つのコアを活用した。これらのコアには、砕屑性ウラニナイトやパイライトを含む試料も存在していることが確認されている。モリブデン同位体は、産業技術総合研究所の所有するマルチコレクター型誘導結合プラズマ質量分析装置 (Thermo Fisher Scientific 社製 NEPTUNE) を、硫黄同位体は、筑波大学の所有する連続フロー型質量分析装置 (GV Instruments 社製 Isoprime-EA) を用いてそれぞれ測定した。なお、モリブデン同位体に関しては、主に科学研究費助成事業の一環として行った。

多くの試料で、低い全岩硫黄濃度 ($< 0.5 \text{ wt\%}$) を示し、火成岩と同様の硫黄同位体比 ($\delta 34\text{S} = 0\text{--}5 \text{ ‰}$) を示した。しかし、高い硫黄濃度 (最大で $5 \text{ wt\%}$) を示す試料も存在した。モリブデンの定量・同位体分析の結果と比較したところ、得られているデータ全体としては、モリブデン濃度と硫黄濃度に明瞭な相関は見られないが、硫黄濃度の高い試料において、モリブデン濃度が高くなる場合があることが分かった。また、硫黄濃度の高い試料の中には、モリブデン同位体比が、一般的な大陸地殻の値よりも顕著に低い値 ($\delta 98/95\text{Mo} < -0.3 \text{ ‰}$) を示す場合があることも確認できた。モリブデン濃度は、全岩のチタン濃度と正相関を示すため、チタン酸化物などがモリブデンの主要なホストである可能性が高い。しかしながら、今回の測定結果は、硫化物もモリブデンの重要なホストの一つであることを示唆する。一般に熱水性の硫化物に含まれるモリブデンの同位体比は非常に大きな不均質性を示すことが知られているため、分析したコアの全岩モリブデン同位体比は、砕屑性パイライトに含まれるモリブデンの同位体比によって、一部変動している可能性が高い。このことは砕屑性堆積岩のモリブデン同位体分析に基づく酸化的風化の議論において、砕屑性パイライトの影響を評価する必要があることを意味する。得られた成果は、2024 年の 9 月に米国・アナハイムで開催された米国地質学会の年会にて発表した。

2. 論文

生産地域や蜜源植物が異なる国産蜂蜜の同位体組成分析

研究代表者：永田 宏次

受入研究者：丸岡 照幸

共同研究者：平田 岳史

1. 成果

【目的】蜂蜜の約 75%は分子式 $C_6H_{12}O_6$ で表される単糖（果糖とブドウ糖）である。蜂蜜の同位体組成分析は、これまで主に炭素の安定同位体比（ $^{13}C/^{12}C$ ）を用いて行われてきた。蜂蜜の蜜源植物は C_3 植物、サトウキビやトウモロコシは C_4 植物であり、後者は ^{13}C を取り込む割合が高いため、サトウキビやトウモロコシに由来する等の混入の有無を判別するために使用される。本研究では、精密な同位体比分析（炭素（ $^{13}C/^{12}C$ ）、酸素（ $^{18}O/^{16}O$ ））により、日本国内の①産地または②蜜源植物が異なる蜂蜜を区別可能であるかどうか検証する。

【方法】山田養蜂場から信頼できる蜂蜜サンプルを入手し、研究室内で実行可能な NMR 分析等を行った。同じサンプルについて、各蜂蜜サンプルの炭素（ $^{13}C/^{12}C$ ）、酸素（ $^{18}O/^{16}O$ ）の安定同位体分析を元素分析同位体比質量分析法（Elemental Analyzer Isotope Ratio Mass Spectrometry = EA-IRMS）により行う。安定同位体比と NMR 分析等の結果を組み合わせ、蜂蜜の①産地および②蜜源植物の特定がどこまで可能かを検証する。

【結果】永田研究室では、①産地または②蜜源植物が異なる国産蜂蜜の NMR による微量成分分析技術を確立し、蜜源植物についてはある程度判別できるという結果を得ている（投稿準備中）が、同じ蜜源植物であっても産地が違くと成分組成が異なるという例もあった。国内外で農産物の安定同位体組成比が異なる例は知られているが、単糖が 75%を占める蜂蜜の安定同位体分析により、同じ蜜源植物でも国内の産地が異なる蜂蜜を区別できるかどうか、また、同じ産地でも蜜源植物が異なる蜂蜜を区別できるかどうかを安定同位体分析を EA-IRMS により検証する。分析装置の状態等の事情により、分析は 2025 年度に行うことになったが、日本各地の蜂蜜の同位体組成の特徴づけ、および蜜源植物の違いによる同位体組成の特徴づけを進めて、結果を得る予定である。

2. 論文

光学的同位体分析手法における新たなスキームの検討および開発提案

研究代表者：長谷川 秀一

受入研究者：丸岡 照幸

1. 成果

極微量同位体分析については、試料を気体化し、原子あるいは分子に電荷をもたせ荷電粒子にすることで、電磁場を用いて正負イオンを質量電荷比に応じて分解する、いわゆる質量分析法が広く用いられている。特に、Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS：誘導結合プラズマ質量分析法)は、様々な改良が進められており高い汎用性をもつに至っている。また、Accelerator Mass Spectrometry (AMS：加速器質量分析法)は、極微量同位体の同位体比測定において高い感度を有している。

一方、元素・同位体は、原子核の陽子・中性子の数が異なることにより、電子遷移において固有の吸収・発光エネルギーを有している。そこで、レーザー光の高い分解能を利用した分光分析手法を用いて、同位体レベルでの分析が実現されている。例えば、近年では、Atom Trap Trace Analysis (ATTA:原子トラップ微量分析法)は、レーザー冷却の技術を用いた新しい分析手法として、非常に高い感度を有しており、希ガスの分析に利用されている。また Cavity RingDown Spectroscopy (CRDS:キャビティリングダウン分光法)では、AMS に匹敵する感度が $^{14}\text{CO}_2$ に対して実現されている。

そこで、本研究ではレーザー光を用いた同位体レベルでの分光分析を進めるとともに、新たな同位体分析システムの構築に向けて「放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点」における現場のニーズを調査することも合わせて行った。

Resonance Ionization Mass Spectrometry (RIMS:共鳴イオン化質量分析法)については Sr-90 の分析に向けた分光研究を行い、同位体シフトに対して電子状態への電場の影響を実験的に評価した。あわせて、2段階及び3段階共鳴励起・イオン化スキームにおける同位体選択性を実験的に評価した[RIMS, ITLCS]。

CRDS においては、大気中の $^{12}\text{CH}_4$ 及び $^{13}\text{CH}_4$ の濃度分析を実現した[CRDS]。さらに様々な様態の試料を気化し、分光分析を行うことが可能となる装置開発を進めている。ニーズにおいては、前処理の難しいアクチノイドや CH_4 、 CO_2 などの混合ガスでのアイソトポマー（同位体分子種）分析などについてレーザー光分光分析が可能と思われる。

謝辞：

本拠点において筑波大学丸岡照幸先生に受け入れていただき感謝申し上げます。

参考文献：

[RIMS] C. Zhang, R. Terabayashi, S. Hasegawa, *Spectrochimica Acta B* 225, 107118 (2025)

[ITLCS] C. Zhang, R. Terabayashi, S. Hasegawa, *Nucl. Instrum. Method A* 1074 , 170321(2025)

[CRDS] R. Terabayashi, F. Yoshida, T. Kunimaru, S. Hasegawa, *Rev. Sci. Instrum.* 95, 043005 (2024)

2. 論文

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、(1) 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、(2) 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、その内側に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を行った。

岩石記載の結果、流紋岩質角レキ岩・流紋岩質溶岩・凝灰岩室砂レキ岩などの珪長質な岩石が主な岩相であった。構成鉱物は後述するようによく似ているが、角レキ岩や凝灰岩は間隙が多く、溶岩は緻密で間隙が少ない点に特徴がある。これらの試料を粉末化し、XRD 分析を行った結果、カリ長石（ KAlSi_3O_8 ）やイライト（ $\text{K}_{0.65}\text{Al}_{2.0}[\text{Al}_{0.65}\text{Si}_{3.35}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ ）といったカリウムを含む鉱物が多くみられたことから、本地域ではカリウム変質作用が卓越したことが分かる。さらに、赤外線吸収分光分析によって N-H バンドの吸収が強い試料を抽出し、さらに水処理によって分離されたイライトが全岩試料よりも有意に強い N-H バンド吸収を示すことから、イライトがアンモニウムイオンのホストとなっていることが分かった。顕微ラマン分光分析によるマッピングでは、カリ長石とアンモニウムの分布がよく一致することが分かり、カリ長石もアンモニウムイオンのホストとなっていることが判明した。

以上の結果から、本研究では以下の結論を得た。北ノ王金鉱床に産出するアンモニウム含有鉱物はイライトとカリ長石であり、いずれも K^+ と NH_4^+ に富む熱水から晶出したものである。金が濃集する領域の周辺に上記のアンモニウム含有鉱物が産出することから、 NH_4^+ を含む熱水が金を運搬したと考えられる。窒素同位体比測定が未完了のため、窒素

の起源について定量的な考察は出来ないが、鉍床の胚胎母岩である湧別層群（泥岩および砂岩）由来と考えられる。

2. 論文

- 1) T. T. Bui, Y. Watanabe, C. A. J. Tupaz, T. Echigo, S. Aoki, M. Hoshino (2025) Rare-Earth Mineralization in Dong Pao Deposit, Laichau Province, Vietnam, *Resource Geology*, 2025;75:e70006.
- 2) J. B. Born, Y. Watanabe, T. Echigo, P. Bounliyong, C. A. J. Tupaz, S. Aoki, Y. Kon (2024) Sediment-hosted disseminated gold mineralization at the Gegalaw deposit in Central Myanmar, *Resource Geology*, 2024;74:e12338.
- 3) A. Agangi, A. Hofmann, T. Echigo, R. Bolhar, D. Araoka, V. Mashoene, L. T. Ndhlovu, R. Takahashi, P. C. Manalo (2024) The use of combined CMg isotope compositions of carbonates from orogenic SbAu deposits as a tracer of fluid interaction with sea-floor altered crust, *Chemical Geology*, 673, 122442.

断層活動に関連する地殻流体中の炭素・硫黄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

1. 成果

温泉・鉱泉には地下深部に由来する成分が含まれている。地下深部に由来する水のなかには、プレート運動に伴い地下深部へ持ち込まれ、地殻活動によって再び表層に輸送されているものがある。地表への輸送過程には火山活動が広く認識されているが、近年は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と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。温泉水の化学成分濃度は約 $100\text{mg}/\ell \sim 30\text{g}/\ell$ と差があり、また主要イオン組成は、 $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ 型や $\text{Mg}-\text{HCO}_3$ 型で示される比較的流動性の良い地下水から、 $\text{Ca}-\text{SO}_4$ 型や $\text{Na}-\text{Cl}$ 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。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。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°C 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。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

なし

タンパク質還元酵素遺伝子 MSRB5 による Na、K、Cs 吸収制御の検証

研究代表者名：菅野 里美

受入研究者：古川 純

共同研究者：三村 徹郎・Chan Ming-Tsair

1. 成果

【目的】

植物のストレス応答（塩ストレス、耐病性、重金属耐性など）においてタンパク質の酸化還元制御機構が働くことが多数報告されている。これは、タンパク質のアミノ酸メチオニンが酸化されることにより、タンパク質活性が抑制されることによる。一方で植物は、メチオニン還元酵素も細胞内に持つことから、酸化還元によるタンパク質制御は、細胞内で様々な生じることが考えられるがその全体像は描けていない。耐塩性の変異体として単離された *sst1* 植物体内の Na/K バランスが崩れることが報告されている。原因遺伝子である MSRB5 還元酵素遺伝子は *sst1* で発現量が増加する。我々の先行研究から Na と K の両方が Cs 吸収に影響することが分かっていることから、本研究は、MSRB5 の変異株を使い Na⁺、K⁺、Cs⁺ 吸収差の関係を検証することを目的としている。

【方法】

AtMSRB5 (methionine sulfoxide reductases 5) の欠損株と過剰発現株と野生型株を寒天培地で 8 日間培養し、Na-22、K-43、Cs-137 トレーサ実験により検証し、MSRB5 変異体株での Na/K 輸送比と Cs 輸送輸送の相関を調べる。K 10 μ M+K-43、Na 10 μ M+Na-22、Cs 1 μ M+Cs-137 をそれぞれ、20 分間と 40 分間吸収させ、Imaging Plate にて検出した。遺伝子欠損株 *msrb5* は Na/K 低くなることから Cs 吸収量が増加し、過剰発現株 B5OX は Na/K 高くなることから Cs 吸収量が低下することを仮説として考えた。

【結果】

私たちの先行研究においてイネの体内の Na/K バランスが Cs 吸収に影響することを明らかにしてきた。Na の吸収が減少する *oshkt2;1* は Na/K は低く保持され Cs⁺ の吸収が増加すること、WT は培地中の Na 濃度上昇に伴い Na/K は高まり、Cs⁺ の吸収が抑制されることが分かった。本実験から、欠損株 *msrb5* は Cs の吸収が野生型株に比較して増加し、Na/K 低くなった。一方、過剰発現株 B5OX は Cs の吸収は野生型株と比較して優位差はなかった。この時、Na/K は野生型株より高い傾向にあり、仮説と同様の傾向を示した。このことから、Cs の吸収には K と Na の両方のバランスが影響し、それらのバランスを制御する MSRB5 は Cs 吸収を間接的に制御する因子と言える。

2. 論文

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：放射性セシウム原子の可視化

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 朋季・鍋山 風

1. 成果

2011 年 3 月に発生した福島第一原発の事故により～520 PBq の放射性物質（希ガスを除く）が放出された。現在は ^{137}Cs による放射線量への寄与が大きく、環境中における放射性 Cs の動態の把握は重要な課題となっている。しかし、環境試料中に含まれる放射性 Cs の原子・分子スケールでの直接観察は濃度が低いために困難であった。

本研究では、環境試料から単離した高濃度放射性 Cs 含有微粒子（CsMP）に対して、 γ スペクトロメトリー、SEM、TEM を用いた系統的な分析に加えて HAADF-STEM とマルチスライス法像シミュレーションを行い、放射性 Cs 原子の可視化を試みた。

3 つの CsMP の中に Cs を高濃度(27-36%以上)含有する粒子が含まれ、ゼオライトの一種であるポルサイトを同定した。これらの組成式は
 $(\text{Cs}, \text{K}, \text{Ba})_{2.2}(\text{Fe}_{0.84}, \text{Zn}_{0.84}, \text{X}_{0.5})_{2.2}\text{Si}_{4.10}\text{O}_{12}$ と
 $(\text{Cs}, \text{K}, \text{Ba})_{1.5}(\text{Fe}_{0.66}\text{Zn}_{0.32}\text{X}_{0.6})_{1.6}\text{Si}_{4.60}\text{O}_{12}$ と
 $(\text{Cs}, \text{K}, \text{Ba})_{1.7}(\text{Fe}_{0.60}\text{Zn}_{0.32}\text{X}_{1.0})_{1.9}\text{Si}_{4.40}\text{O}_{12}$ (X には他の微量元素 Ti、Mn、Rb、Zr、Mo、Sn が含まれる)であった。[111]から観察したポルサイトの HAADF-STEM 像はポルサイト中の Cs 原子の六回対称の配列を示し、相対的な強度はシミュレーション像と一致した。Cs と比べて同サイトに位置する Ba, K の濃度が低いこと、Cs 同位体中の約 5 割が放射性 Cs 同位体であることを考えると、この像で可視化された Cs 原子は放射性 Cs の原子を示しており、世界初の放射性 Cs 原子の可視化に成功した結果である。ポルサイトはメルトダウンが起こった際に局所的に濃縮された Cs がシリカと反応し、熱水反応によって形成し、CsMP 中に取り込まれたと考えられる。また、これらのポルサイト中の放射性 Cs による β 線損傷エネルギーを計算したところ、非晶質化線量と比較して 2 桁以上低いため、結晶構造は長期間保持されることが予想される。これらの結果はメルトダウン時の炉内における Cs の分配挙動に新しい知見であり、その革新的技術の応用とともにシビアアクシデント現象の詳細や将来の廃炉作業時に有用であると期待される。

2. 論文

Kanako Miyazaki, Masato Takehara, Kenta Minomo, Kenji Horie, Mami Takehara, Shinya Yamasaki, Takumi Saito, Toshihiko Ohnuki, Masahide Takano, Hiroyuki Shiotsu, Hajime Iwata, Gianni F. Vettese, Mirkka P. Sarparanta, Gareth T.W. Law, Bernd Grambow, Rodney C. Ewing, Satoshi Utsunomiya、

“Invisible” radioactive cesium atoms revealed: Pollucite inclusion in cesium-rich microparticles (CsMPs) from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

Journal of Hazardous Materials、 Vol. 470、 2024 (査読 有)

赤城大沼湖水中セシウム濃度時間発展の素過程解明を目指した 流体シミュレーション

研究代表者：齋藤 誠紀

受入研究者：羽田野 祐子

1. 成果

1. 研究背景と目的

2011 年の福島第一原子力発電所事故により、赤城大沼では一時的にワカサギの ^{137}Cs 濃度が暫定規定値を超えた。このような背景のもと、赤城大沼における水中 ^{137}Cs 濃度の長期的な時間変化を予測できるモデルの開発が求められている。これまでのモデルでは時間発展が十分に再現できず、そのフィッティング結果から得られるパラメータ ($\alpha=0.685$) の物理的意味も不明確であった。

本研究では、赤城大沼を閉鎖系と仮定した簡略化モデルにより流体シミュレーションを行い、 $\alpha=0.685$ となる理由の解明を目的とした。特に、湖に接続する河川の流入・流出が流速場や ^{137}Cs 濃度分布に与える影響を検証する。

2. シミュレーション手法

オープンソースの数値解析ソフトウェア OpenFOAM を用い、赤城大沼の流体シミュレーションを実施した。支配方程式には定常状態のナビエ・ストークス方程式を採用し、湖水の流れを再現した。湖の形状は直方体メッシュ ($5\text{m} \times 5\text{m} \times 1\text{m}$) で構成され、全体のサイズは $1400\text{m} \times 1100\text{m} \times 16\text{m}$ である。

3. 河川の模擬と接合部の設定

実際の湖盆図に基づき、赤城大沼に接続する沼尾川および覚満川の流入・流出位置を特定。河川と湖が垂直に交わると仮定し、水速 1.25m/s で接合部における傾きを設定。湖と河川の接続部において流速場を固定し、自然環境に近い状態での水の流れを模擬した。

4. シミュレーション結果

河川の流入・流出を考慮したモデルでは、考慮しない場合と比較して湖内の速度分布に明確な差が見られた。特に接合部付近での流速が変化し、河川が存在が湖内循環の構造に影響を及ぼしていることが示唆された。

5. まとめと今後の展望

本研究では、河川と湖の接合部における流速場の設定により、赤城大沼におけるより自然な流体挙動を再現することに成功した。今後は、湖水に対流が生じやすい季節 (3~5 月、11~1 月) のシミュレーションを進めるとともに、水面の風の影響を取り入れることで、 ^{137}Cs 濃度の時間発展に関する理解をさらに深めることを目指す。

2. 論文

土壌の放射性セシウムの利用に及ぼす植物種間差の機構解析

研究代表者：信濃 卓郎

受入研究者：塚田 祥文

共同研究者：丸山 隼人・望月 杏樹

1. 成果

【背景・目的】2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所事故後、カリウム(K)とセシウム(Cs)が植物根のイオン吸収において拮抗関係にあることを利用し、土壌中の交換態カリウム(Ex-K)濃度を高めることで、主要農作物の放射性セシウム(^{137}Cs)吸収を抑制する取り組みが行われてきた。また、近年では土壌の交換態放射性セシウム(Ex- ^{137}Cs)が植物への ^{137}Cs 移行において土壌間の違いを説明する重要な要素であることが示唆されているが、各植物種との関係については調査されていない。さらに、植物はそれぞれ固有のCs吸収特性を持つと考えられているが、各植物種におけるCs吸収特性を正確に評価した研究はほとんどない。そこで、本研究ではコマツナ、ハウレンソウ、チンゲンサイなどの野菜類を対象とし、異なる土壌で栽培された複数の植物種を用いて ^{137}Cs 濃度と土壌のEx- ^{137}Cs およびEx-K濃度の関係を調査し、 ^{137}Cs 移行の植物種間差を評価した(実験1)。さらに、 ^{137}Cs 移行における植物種に固有の係数を水耕培養液の $^{133}\text{Cs}/\text{K}$ 濃度比から決定し(実験2)、植物体地上部の ^{137}Cs 濃度予測に適用できるかを検討した。

【結果・考察】実験1より、コマツナ、ハウレンソウ、チンゲンサイの栽培後における土壌中Ex- $^{137}\text{Cs}/\text{Ex-K}$ 濃度比と地上部 ^{137}Cs 濃度には有意な正の相関($p < 0.05$)が認められた。これより、地上部 ^{137}Cs 濃度の決定には、土壌種によらずEx- $^{137}\text{Cs}/\text{Ex-K}$ 濃度比が関与していることが示唆された。また実験2より、各植物種の培養液中 $^{133}\text{Cs}/\text{K}$ 濃度比と地上部 ^{133}Cs 濃度にも有意な正の相関($p < 0.05$)が認められた。さらに、植物種ごとに異なる回帰係数を示し、作物間に差があることが明らかとなった。これらの結果を踏まえ、土壌中Ex- $^{137}\text{Cs}/\text{Ex-K}$ 濃度比と、植物種に固有のCs吸収係数を用いて ^{137}Cs 移行予測式を立てた。この式を用いて、 ^{137}Cs 濃度($\text{Bq kg}^{-1} \text{ DW}$)の予測値および実測値(いずれも対数値)の比較をしたところ、両者の間に有意な直線関係($p < 0.05$)が認められた。以上のことから、複数の土壌種および異なる作物が対象であっても1つの予測式で ^{137}Cs 移行のリスクを評価できる可能性が示唆された。

2. 論文

無し

ラットの Cs イメージングデータを用いたセシウム動態モデルの構築

研究代表者：坂下 哲哉

受入研究者：塚田 祥文

共同研究者：柿崎 竹彦

1. 成果

【はじめに】

放射性セシウムは、大気圏内核実験や原発事故の際に、環境中に放出される人工放射性核種である。134Cs、137Cs の半減期が、それぞれ約 2 年と 30 年であることから、預託実効線量を考える時に重要な核種である。国際放射線防護委員会（ICRP）で注目され、放射性セシウムの体内動態コンパートメントモデルの開発が進められてきた。一方、量研の鈴井他は、非破壊的にセシウムの動態を可視化できるポジトロン放出核種、127Cs トレーサの開発に成功（Sci. Rep., 2020）した。127Cs は、半減期が 6.25 時間であり、セシウム動態の解析に利用可能である。また、ICRP の放射性セシウム体内動態モデルの消化器系のパラメータについては、未だ十分なコンパートメントの構成と値が得られていない。そこで、ラットのセシウム動態コンパートメントモデルを構築し、Cs イメージングデータ及び安定 Cs データを用いて消化器系のパラメータの情報を得ることを目的とした。

【方法】以下の手順にて研究を実施した。

- ① ICRP 体内動態モデルは、多くの臓器を含むため臓器の数を減少させてモデルの検証を容易にするため、モデルのダウンサイジングを行う。
- ② ダウンサイジングモデルを用いて、ICRP 自身が Cs の体内動態コンパートメントモデルを構築する際に参照したラットのデータを再現できるかを検証する。
- ③ ラットの ICRP 参照データに対応したダウンサイジングモデルを用いて、
 - 1) 短期間の Cs 動態を反映したイメージングデータ、
 - 2) 長期間の Cs 動態を反映した安定 Cs データ（血液中）
 と各々比較する。

【結果】

- ① ICRP モデルのダウンサイジングを行い、ヒト Cs 動態を再現できるか検証し、ダウンサイジングしたコンパートメントモデルにおいても、ヒト Cs 動態を再現できることを確認した。
- ② ①のダウンサイジングモデルを用いて、ICRP 参照ラットデータの再現ができるか検証し、ラット Cs 動態を再現できることを確認できた。
- ③ 結果②のラット Cs 動態モデルを用いて、ラットの CsPET のイメージングによる Cs 動態測定値と比較した。その結果、ラット Cs 動態モデルと Cs の PET イメージングの相対濃度の時間的变化が、主要な臓器において数倍内の範囲内で一致した。しかし、大腸(LC)について、CsPET イメージングとラット Cs 動態モデルの間に 2 オーダー以上の差があることが分かった。

④ 安定セシウム静注摂取後の血中の Cs 濃度との比較を行ったところ、20 日程度までしか動態をトレースできないことがわかった。

【考察】

① ICRP の Cs の移行係数を用いた動態モデルでは、ラットの場合、Cs が胃腸に留まる傾向が強く、胃腸から大腸への移行を再現することができないことが示唆された。

② 安定セシウムによる血中の Cs 濃度が持続した点については、臓器等の長い滞留要因が示唆された。

2. 論文

なし

廃水中における放射性核種を分離する新規な超分子複合材料の開発

研究代表者：長谷川 浩

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 Ara Zinnat

1. 成果

【Introduction】 Traditional methods for removing radioactive cesium (r-Cs) and strontium (r-Sr) from contaminated environmental aqueous matrix, such as liquid-liquid extraction using crown ethers, often generate significant secondary waste. Immobilizing crown ethers on mesoporous materials offers a promising solution for selective radionuclide capture while minimizing waste. This study focuses on the development, characterization, and application of a new sorbent featuring a di-formyl dibenzo-18-crown-6-ether (DFDB18C6) ligand grafted onto amino-modified mesoporous silica (SBA-NH₂).

【Experimental】 The sorbent, DFDB18C6@SBA-NH₂, was synthesized in a three-step process. First, SBA-15 was prepared using the sol-gel method with Pluronic P123 as a template and tetraethyl orthosilicate (TEOS) as a silica source. Second, the SBA-15 was amino-functionalized with 3-aminopropyltriethoxysilane (APTMS) to create SBA-NH₂. Finally, DFDB18C6 was synthesized from 3,4-dihydroxybenzaldehyde and then grafted onto the SBA-NH₂ via imine condensation. The resulting material was characterized using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), scanning electron microscopy (SEM), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX), and thermogravimetric analysis (TGA). Batch sorption experiments were conducted to evaluate the r-Cs and r-Sr removal efficiency under various conditions, including pH, contact time, initial concentration, and temperature.

【Key Findings】 (a) Characterization techniques confirmed the successful grafting of DFDB18C6 onto SBA-NH₂, resulting in a material with a high surface area and well-defined mesoporous structure. (b) The sorption process for both radionuclides followed pseudo-second-order kinetics and fit the Langmuir model, suggesting monolayer sorption. (c) Thermodynamically, r-Cs sorption was exothermic, while r-Sr sorption was endothermic. (d) The sorbent achieved ~85% r-Cs removal from Fukushima-originated environmental water (Suzuuchi Pond) over four cycles and 99.7% r-Sr removal from Chornobyl cooling pond water over five cycles. (e) The sorbent exhibited better Sr retention compared to Cs retention.

【Conclusion】 The synthesized crown ether-based sorbent, DFDB18C6@SBA-NH₂, shows promise for effectively removing r-Cs and r-Sr from contaminated water.

2. 論文

- Y. Sakai, R.K. Shil, M. Endo, M. Marumoto, K. Nakakubo, M.M.H. Rocky, K.H. Wong, A.S. Mashio, H. Hasegawa, Rapid arsenate removal using novel adsorbent: Iron–zirconium nanoneedle-modified cellulose nanofibers, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *Colloids Surf. A*, 686, 133290, 2024.04.
- Z.A. Begum, R.I. Ripon, S. Yoshioka, H. Hasegawa, I.M.M. Rahman, Dispersant-enhanced migration of radiocesium among soil size fractions: A novel strategy for volume reduction of radioactively contaminated soil, *Environmental Research*, 250, 118467, 2024.06.
- M.M.H. Rocky, I.M.M. Rahman, M. Endo, H. Hasegawa, Comprehensive insights into aqua regia-based hybrid methods for efficient recovery of precious metals from secondary raw materials, *Chem. Eng. J.*, 495, 153537, 2024.09.
- M.S. Alam, S. K.H. Wong, A. Ishikawa, M. Li, , Y. Zai, R.I. Papry, A.S. Mashio, I.M.M. Rahman, H. Hasegawa Exploring phosphate impact on arsenate uptake and distribution in freshwater phytoplankton: insights single-cell ICP-MS, *Chemosphere*, 364, 143129, 2024.09.
- T. Mizuishi, S. Rahman, K. Mitsuboshi, S. Ni, S. Yoshioka, M. Imaizumi, , H. Sawai, K.H. Wong, A.S. Mashio, H. Hasegawa, Remediation of fluoride-contaminated wastes: Chelator-assisted washing and subsequent immobilization using CaO and H₃PO₄, *Chemosphere*, 366, 143431, 2024.10.
- S. Ni, S. Rahman, S. Yoshioka, M. Imaizumi, K.H. Wong, A.S. Mashio, A. Ohta, H. Hasegawa, Enhancing lead extraction efficiency from contaminated soil: A synergistic approach combining biodegradable chelators and surfactants, *Chemosphere*, 366, 143528, 2024.10.
- P. Sarker, M. Marumoto, I.M.M. Rahman, K.H. Wong, A.S. Mashio, T. Nishimura, K. Maeda, H. Hasegawa, Selective extraction of lead from chelator-rich effluents using a biomass-based sorbent, *Chem. Eng. J.*, 500, 156831, 2024.11.
- M.M.H. Rocky, I.M.M. Rahman, T. Shunsuke, M. Marumoto, S. Rahman, M. Endo, K.H. Wong, A.S. Mashio, H. Hasegawa, Recovery of precious metals from aqua regia leachate of E-wastes using dithiocarbamate-modified cellulose and development of novel kinetic model, *Chem. Eng. J.*, 500, 157040, 2024.11.
- S. Yoshioka, A. Ohta, S. Rahman, M. Imaizumi, S. Ni, T. Mizuishi, H. Sawai, K.H. Wong, A.S. Mashio, H. Hasegawa, Enhanced fluoride extraction from contaminated soil combining chelator and surfactant: Insights into adsorptive controlment of soil surface charge, *J. Environ. Manage.*, 372, 123421, 2024.12.

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 ポシールアハンマド

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

産業廃水や鉱山排水などに含まれる重金属（例： Pb^{2+} 、 Cs^+ 、 Cd^{2+} など）による水質汚染は、環境や健康に対する深刻な懸念を引き起こしている。現在、排水処理に使用されている吸着材には、吸着量が低い、高価である、分離が困難であるといった課題がある。そのため、低コストで吸着量が高く、分離や処分が容易な吸着材の開発が求められている。

近年、水処理に適した新しい吸着材として、バイナリースピネルフェライト (AFe_2O_4 、 $\text{A} = \text{Cu}$, Ni など) が注目されている。これらは、特異な超常磁性や高い比表面積を有し、汚染物質との相互作用に優れた活性部位を持つが、その相互作用の機構は未解明である。また、スピネルフェライトの一種であるバイナリースピネルフェライト ($\text{A}_{0.5}\text{B}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ 、 $\text{A} = \text{Cu}$, Ni など、 $\text{B} = \text{A}$ と異なる金属) に関する研究報告も少ない。本研究では、バイナリースピネルフェライトを合成し、その機構を解明することで、高効率な吸着材の開発を目指す。

これまでの研究では、燃焼法を用いて $\text{A}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($\text{A} = \text{Mn}$, Cu) 型バイナリースピネルフェライトを合成した。合成した材料を電子顕微鏡 (SEM)、エネルギー分散型 X 線分析 (EDX)、および X 線回折法 (XRD) を用いて分析した。合成した試料を用いて、受入研究者の研究室において重金属イオンの吸着・分離評価を行った。特定の汚染物（金属イオン）を含む水に試料を分散・攪拌後、磁石を用いて吸着材を分離した。試料導入前後の汚染水中の金属イオン濃度を ICP-MS 装置で分析した結果、 $\text{Mn}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ 試料は Ga 、 Ni 、 Be イオンを効率的に吸着できることが分かった。一方、 $\text{Cu}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ 試料は Ga 、 Ag イオンを効率的に吸着することが明らかになった。

これらの結果から、バイナリースピネルフェライトの構成金属を変更することで、吸着可能な重金属イオンが変化することが示唆される。バイナリースピネルフェライトの構成金属を制御することで、汚染水中の特定の重金属イオンを選択的に吸着・分離できる可能性がある。今後は、試料合成の最適化を進めるとともに、試料による金属イオン (Ga 、 Zn 、 Ni 、 Be 、 Ag など) の吸着特性について、温度や濃度などの影響を詳細に検討する。

2. 論文

なし

福島県松川浦周辺水域におけるニホンウナギの放射能セシウム濃度と その移動生態の関係解明

研究代表者：高木 淳一

受入研究者：和田 敏裕

共同研究者：三田村 啓理

1. 成果

福島県は原発事故に伴う淡水魚の放射性セシウム汚染に起因する内水面漁業活動の休止という問題を抱えている。原発事故から 10 年以上が経過しているが、淡水魚は海水魚に比べて今なお高い濃度で放射性セシウムが検出される。数年以内に活動再開を目指す福島県の複数の水域における内水面漁業にとって、この問題は大きな障害となっている。そこで本研究では、淡水域における食物網の上位魚種の一つであるニホンウナギの行動特性と放射性セシウム濃度の関係について松川浦周辺水域を舞台に探り、福島県の内水面漁業の復興に資することを目的とした。

調査地は、福島県唯一の汽水性の内湾である松川浦と、そこに流入する日下石川とした。ニホンウナギの移動を調べるために、超小型の電子標識である PIT タグを使用した。日下石川においてニホンウナギ 540 個体を、電気ショッカーを用いて新たに捕獲・タグ付けし、昨年度までと合わせて 1190 個体（全長 95–709 mm、体重 1–679 g）を追跡するベースを整えた。同河川の感潮区間より上流の淡水域に、河川敷設型の PIT タグ受信機を設置し、長期間を見据えた移動モニタリングシステムを構築し、運用を開始した。また、松川浦内及び河川内で採取した本種の放射性セシウム濃度を測定した結果、松川浦(1.1 ± 0.15 Bq/kg, $N = 5$)に比べて日下石川(5.2 ± 1.1 Bq/kg, $N = 15$)で有意に高かった（Wilcoxon の順位和検定、 $W=75$ 、 $p<0.01$ ）。サンプルは、日下石川にて追加で 18 個体を捕獲しており、分析中である。河川のニホンウナギの方が放射性セシウム濃度が高い理由は、海域に比べてセシウム濃度が高い陸域の餌を多く食べていること、海域では淡水域に比べてセシウムの排出が進む生理的メカニズムがあることが考えられる。

2. 論文

なし

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、最新の状況把握のため、原発近傍の松葉試料を採取した。

本研究により樹木年輪中の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

原発事故周辺地域・高放射線環境下に生息するアカネズミ放射線損傷 修復遺伝子への影響解析

研究代表者：大沼 学

受入研究者：石庭 寛子

共同研究者：遠藤 大二

1. 成果

目的:

高放射線環境下に生息するアカネズミゲノムへの放射線影響の解析

背景:

原発事故周辺地域のアカネズミゲノムへの影響を直接解析するためには、多大なコストがかかる。もし、高放射線環境下で放射線がゲノムの本体である DNA の二重鎖切断を増加させた場合には、その影響が放射線、特に二重鎖切断の損傷修復遺伝子に見られる可能性が高い。そこで、本研究グループでは、代表的二重鎖切断の損傷修復遺伝子である ATM の遺伝子変異をエクソンの増幅産物の次世代シーケンスにより解析することを試みた。2024 年度には青森、富山と比べて ATM の遺伝子変異の頻度が異なる傾向が認められた。この解析を継続的に進めるため、ナノポアシーケンス技術を応用することとした。具体的なシーケンス方法としては、ゲノムの直接シーケンスと、今後期待されるロング PCR 産物のシーケンスを試行した。

方法:

ナノポアシーケンスの対象: 1) ゲノムを直接にシーケンスする(参考)。2) 複数のエクソンとイントロンを含む領域のロング PCR 産物、の二種を実施。費用としては、1) 個体ごとに MinION フローセル: FLO-MIN114、¥151,800 が必要。2) 複数個体で Flongle フローセル: FLO-FLG114、¥12,600 が必要。PCR プライマーデザイン: 複数のエクソンを含む領域を PCR で増幅することにより、効率的にエクソンの増幅を検討した。電気泳動とシーケンス: PCR 産物についてラダー状になっているものも含めて、低分子産物除去を行わずにナノポアシーケンサーに掛けた。マッピングおよび変異遺伝子の検出: アカネズミゲノムからの対象領域の切り出し、全ゲノム対象と切り出し領域対象へのマッピング後、sam, bam および vcf データを作成して変異塩基を検出した。

結果:

ゲノムの直接シーケンス結果: 1) fastq.gz file: 8.4 GB、2) sam file: 19.4 GB、3) Coverage 4.36、4) vcf file: 3×10^7 件の mutation が記録された。PCR 産物のシーケンス結果: 1) シーケンス長については、1200 塩基以上のシーケンスが 1/10(7-8%)程度含まれていた。マッピング: ATM および GLUT については、それぞれ 7~33 および 196~498 本のシーケンスが遺伝子にマッピングされた。マップされたシーケンスの位置は PCR 対象とほぼ一致した。変異の検出: ATM および GLUT については、それぞれ 600~1135 および 76~170 個の塩基変異が検出された。

考察と展望:

ナノポアシーケンス対象: ゲノムの直接シーケンスでは 16GB のシーケンスが得られ、マッピングデータも 19.4GB 得られた。ゲノムシーケンスによる変異検出は十分に実用的であることが示された。今後はコストの安いショートリードも検討すべきであることが示唆された。PCR 産物を用いた変異検出: ロング PCR 産物のシーケンスの 80-90%はアカネズミゲノムにマッピングされた。

PCR 産物が局在しているはずの 3 種の遺伝子領域には 7-8%がマッピングされた。ロング PCR の条件の検討と低分子産物の除去を試みることにより、今後の解析手法の第一候補となることが示唆された。

2. 論文

なし

福島県の放射能汚染地におけるアズマモグラの汚染状況、 特に 90Sr 汚染について

研究代表者：横畑 泰志

受入研究者：高貝 慶隆・石庭 寛子

共同研究者：青木 譲・福田 朋寛・山澤 泰

1. 成果

2024 年度の分析に用いた材料は、福島県東部の双葉郡浪江町で 2015～2021 年の 8～10 月に捕えた 19 頭、および 2015 年 9 月に同県東部の南相馬市で捕えた 4 頭のアズマモグラ *Mogera imaizumii* である。捕獲は住民の避難により放置状態の水田畔などで行った。現地では除草が行われないことから植物遺体が地面に厚く積み重なっており、トンネルの探索が難しく、滞在時間も限られていることから、迅速に仕掛けることのできる金属製の捕殺用わな (Duffus trap) を用いた。捕獲はほぼ毎年行ったが、2019 年には台風の接近などのため捕獲には至らなかった。比較のため、2017 年 6 月および 2020 年 3 月、8 月に捕獲した富山県富山市産の 3 頭も用いた。これらの頭骨標本を作成し、下顎骨中の安定 Sr および放射性ストロンチウム (90Sr) 濃度を福島大学環境放射能研究所の表面電離型質量分析計で測定し、90Sr/安定 Sr 濃度比 (以下、Sr 濃度比) を算出した。また、上顎臼歯列の摩耗状況で齢を推定した。

Sr 濃度比は、富山県産の個体 (0.77 ± 0.64) よりも福島県東部産の個体がより高く、福島県東部では概ね浪江町 > 南相馬市南部 (5.18、25.17) > 同市北部 (0.94、2.38) となったが、南相馬南部でも非常に高い値 (25.17) を示す個体が見られた。浪江町産の個体では、齢による差異は見られず (0 歳 : 5.18、25.17 ; 1 歳以上 : 7.43 ± 5.94)、2021 年の捕獲個体 (16.40 ± 6.20) はそれ以前 (5.16 ± 1.72) よりも高値を示した。2018 年までに捕獲した個体 10 頭のデータにおいて、Sr 濃度比とこれまでに測定してきた筋肉中放射性セシウム ($^{134} + ^{137}\text{Cs}$) 濃度の間には相関関係は見られなかった (Spearman の順位相関係数 = 0.168)。しかし、南相馬市で顕著な Sr 濃度比を示した個体は筋肉中放射性セシウム濃度 (以下、筋中 Cs 濃度) も高く、浪江町で顕著な筋中 Cs 濃度を示した個体は Sr 濃度比も高かった。浪江町産の個体の Sr 濃度比の頻度分布は、単峰型で右方に向かって裾野が伸びるポアソン型の分布様式を示したが、平均値が 16.40、分散が 38.44 となり、平均 < 分散の過大分散を示した。

今回は富山県産の個体からも微量ではあるが 90Sr が検出され、過去の全地球的な汚染によるものか、ごくわずかに進入していた福島由来の 90Sr が地中の食物連鎖の最上位に位置するモグラにおいて生物濃縮により検出可能に至ったのか、今後より広範囲な調査により検討する必要があるであろう。福島県東部の値は概ね浪江町 > 南相馬市南部 > 同市北部となり、同市南部でも少数ではあるが非常に高い値を示す個体が見られた。これらの知見は筋中 Cs 濃度の場合と共通していた。特に非常に高い Sr 濃度比を示す個体が見られ、この値の頻度分布にも影響しており、筋中 Cs 濃度とも共通性が見られたことは、個体ごとの行動圏の環境による高リスク個体の存在を示唆している可能性が高い。また、放射性セシウムと異なり、90Sr は動物体か

らは容易に排出されず体内に蓄積することから、高齢の個体において高い値が示されると予想されたが、今回検討の対象とした浪江町産の個体では、齢による差異は見られなかった。骨組織と異なり基本的に新陳代謝の起きない歯牙の Sr 濃度比を計測すると、異なる結果が得られる可能性がある。今後は歯牙を含めて例数を追加し、多変量解析により詳細な分析を行いたい。

2. 論文

該当なし

環境中のラドン散逸率の簡易測定法について

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

日本におけるラドン散逸率は、Zhuo ら(2005)が $6.9 \sim 38 \text{ mBq m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ 、Hirao ら(2010)が $8 \sim 33 \text{ mBq m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ 、細田ら(2004)が $1.5 \sim 34 \text{ mBq m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ と報告している。しかし、土壌からの散逸率を測定する際、その地域を代表するラドン散逸率を測定する場所の選定が困難である。そこで、本研究ではラドン簡易測定器「ピコラド」を用いて、安価におおよそのラドン散逸率を推定する方法を検討した。

土壌量を変えて 3 レベルのラドン散逸率を持つ試料を作成した。ラドン散逸率の測定には RAD7 を使用し、空気を循環させながら実験を行った。循環経路内には乾燥剤を設置した。ラドンの蓄積開始から 30 分ごとに測定を行い、4 時間経過するまで記録した。さらに、Hosoda ら(2022)が公表している方法を用いてラドン散逸率を算出した。測定を継続し、ラドンの蓄積開始から 18~24 時間後のラドン濃度の平均値を「24h 蓄積ラドン濃度」と定義した。この間の湿度は 65%であった。一方、3 レベルの土壌試料をピコラドに 24 時間曝露させ、液体シンチレーター（インスタフロープラス）を投入した後、1.5 日後に液体シンチレーションカウンターでラドン濃度（ピコラドラドン濃度）を測定した。湿度は 84%でした。

「24h 蓄積ラドン濃度」は「ピコラドラドン濃度」の 1.24 倍の値を示した。この差異は、湿度が 80%を超えるとピコラドの測定値が低下するためであり、湿度補正を行った（補正後ピコラドラドン濃度）。以下に 3 レベルでの平均値と標準偏差をラドン散逸率、24h 蓄積ラドン濃度、ピコラドラドン濃度の順に示す：

- ・ レベル①: $16.5 \pm 0.7 \text{ mBq m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$, $13592 \pm 188 \text{ Bq m}^{-3}$, $13690 \pm 209 \text{ Bq m}^{-3}$
- ・ レベル②: $7.1 \pm 0.3 \text{ mBq m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$, $5833 \pm 138 \text{ Bq m}^{-3}$, $5519 \pm 308 \text{ Bq m}^{-3}$
- ・ レベル③: $4.9 \pm 0.2 \text{ mBq m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$, $3749 \pm 191 \text{ Bq m}^{-3}$, $3763 \pm 192 \text{ Bq m}^{-3}$

「24h 蓄積ラドン濃度」とラドン散逸率との相関は非常に強く、決定係数は 1.00 であった。これにより、24 時間蓄積濃度を用いてラドン散逸率を予測できることが示された。また、補正後のピコラドラドン濃度も「24h 蓄積ラドン濃度」の標準偏差 2 倍以内に収まり、ピコラドを使用した 24 時間測定で信頼性の高い蓄積ラドン濃度を推定可能であることが分かった。

ピコラドを用いて土壌を 24 時間曝露し、得られたラドン濃度を 1.24 倍することで湿度補正を行い、「24h 蓄積ラドン濃度」を推定できることが確認された。また、この濃度を用いてラドン散逸率を推定する可能性が示唆された。

参考文献 Hirao, S. et al., Jap. J. Health Phys. 45, 161-171, 2010. Hosoda, M. et al., Radiat. Prot. Dosim. 198, 904-908, 2022. 細田正洋 他, 保健物理 39, 206-214, 2004. Zhuo, W. et al., Int. Congr. Ser. 1276, 285-286, 2005.

2. 論文

Yasuoka, Y., Takemoto, J., Omori, Y., Kawamoto, N., Goda, N., Nagahama, H., Muto, J., Tokonami, S., Hosoda, M., ; Iimoto, T. & Mukai, T. (2024). Practical cut-off value for radon concentration in indoor air using an activated-charcoal radon collector. *Radiation Protection Dosimetry*, 200(16-18), 1701-1705.

Validation of stochastic method on track density analysis for passive radon measurement

研究代表者：Hu Jun

受入研究者：床次 眞司・克蘭ロッド チュティマ

1. 成果

Passive radon monitors with CR-39s are commonly used in major epidemiological surveys. However, the conventional CR-39 track density determination method makes it difficult to estimate the concentration accurately due to the heterogeneity of tracks on CR-39s and the small track reading area. Track heterogeneity in CR-39 detectors arises from exposure-related and detector-related factors. To improve the accuracy of track density determination in passive radon monitors, this study implemented a new stochastic approach utilizing Latin Hypercube Sampling (LHS) to compare the performance to the conventional method. Consequently, the root mean square deviation of 0.37 of mean track density using the stochastic method is lower than the conventional method of 0.39. The coefficient of determination of the stochastic method is significantly higher than that of the conventional method in the linear correlation of estimated track density and accumulated exposure. The stochastic method utilizing LHS for track density determination decreased the total counting area of CR-39 and performed congruently and effectively as the large counting area using the conventional strategy. These findings suggest the stochastic approach is a promising method for improving track density determination in passive radon measurements with CR-39 detectors.

2. 論文

J. Hu; C. Kranrod; Y. Omori; M. Hosoda; S. Tokonami. Radiation dose estimation for indoor radon, thoron, and their progenies using a stochastic method—A small-scale survey in Wuhan, China. Radiation Protection Dosimetry. 200, 1720–1725, 2024. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncae012>

低線量・低線量率慢性被ばくしたクマネズミおよびアカネズミの精子形成能評価における放射線高感受性バイオマーカーの検索

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

本研究では、インド南部ケララ州の海岸地域における高自然放射線環境下でのクマネズミ (*Rattus rattus*) の精子形成能および遺伝子発現への影響を評価することを目的とした。ケララ州チャバラ地区において空間線量率の測定を実施し、高自然放射線地域を特定したうえで、同地域に生息するクマネズミを捕獲した。これまでの ERAN 研究の福島原発事故後のアカネズミを対象とした精子形成能の評価により、精巣特異的な放射線高感受性バイオマーカーとして Lsp1 (Lymphocyte-specific protein 1) および Ptprk (Protein tyrosine phosphatase receptor type K) を同定した。本研究では、これらの遺伝子の発現解析を通じて、低線量・低線量率慢性被ばくの影響を評価した。

調査は、ケララ州チャバラ地区および対照区 (コーチン科学技術大学: CUSAT) において実施された。測定項目としては、空間線量率の測定、シャーマントラップを用いたクマネズミの捕獲、精巣組織のサンプリング、組織学的解析および Lsp1 および Ptprk の相対発現量の定量解析を行った。

精子形成能の評価において、精細管 1 本あたりの平均精細胞数を測定した結果、高自然放射線地域と対照地域において有意な差は認められなかった。さらに、Lsp1 および Ptprk の遺伝子発現解析を行ったところ、いずれの遺伝子についても対照区と比較して統計学的に有意な変動は確認されなかった。

本研究の結果から、高自然放射線環境下においてもクマネズミの精子形成能および Lsp1/Ptprk 遺伝子発現に顕著な影響は認められなかった。これらの知見は、低線量・低線量率慢性被ばくが野生動物の生殖機能に及ぼす影響を評価するうえで基礎的なデータを提供するものであり、今後さらなる包括的な解析が求められる。

2. 論文

Tokita, S., Nakayama, R., Fujishima, Y., Goh, V. S. T., Anderson, D., Uemura, I., Ikema, H., Shibata, J., Kinoshita, Y., Shimizu, Y., Shinoda, H., Goto, J., Palmerini, M. G., Hatha, A. M., Satoh, T., Nakata, A., Fukumoto, M., Miura, T., & Yamashiro, H. (2025). Potential radiosensitive germline biomarkers in the testes of wild mice after the Fukushima accident. *FEBS open bio*, 15(2), 296–310. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13927>

野生キノコの放射性セシウム濃度の測定

研究代表者：木野 康志

受入研究者：三浦 富智

共同研究者：山下 琢磨

1. 成果

原発事故から 14 年以上経過し、多くの混乱は収束してきたが、自生キノコの汚染は続いている。宮城県内でも、栗原市、大崎市、登米市、気仙沼市、南三陸町、仙台市、村田町で自生キノコの出荷制限が 2024 年 12 月 25 日現在も続いている[1]。我々は、仙台キノコ同好会と共同で、宮城県内の野生キノコを 2011 年から継続的に採取し、汚染の動向を調査している。同一日に同一場所で採取された同じ種のキノコを 1 検体とすると、これまでに 4,697 検体、近縁種などを含めないとすると、619 種の野生キノコを採取した。

14 年間の推移や地区毎の汚染の傾向について、仙台市教育委員会主催のキノコ展のなかのデータを掲示するとともに、講演会で市民に実情を伝えている。野生キノコの放射性セシウム濃度はバラツキが大きく、一本一本を見ると偶々高い数値を示す個体もある。多くの検体を測定したデータから実際の汚染の影響をわかりやすく伝える活動をしている。

2011 年度から 2024 年度まで平均すると、年間 300 検体に対して、200 種の野生キノコが採取されている。毎年、およそ 10 種の新しい種の野生キノコが採取され、毎年同じ場所で採取される野生キノコもあれば、何年か毎にしか採取されない野生キノコもある。このため、種毎に分けると年次変化を追うには統計が足りない。そこで、地域毎に放射性セシウム濃度の頻度分布の年次変化を議論する。地域は、文部科学省の 2011 年 7 月 2 日航空機サーベイにより測定された線量マップ[2]中の汚染レベルの区分にしたがって、3 つのグループ、「仙台近郊里山」、「宮城県北部・中部山地」、「県南部山地」に分けた。「仙台近郊里山」は、空間線量率が 2011 年 7 月 2 日現在で $0.1 \mu\text{Sv/h}$ 以下で、宮城県内で比較的放射性セシウムの沈着が少なかった地域である。「宮城県北部・中部山地」は、 $0.1 \mu\text{Sv/h}$ 以上 $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 以下で放射性プルームが山間部に達した時降雨により放射性セシウムが沈着したと考えられる地域である。「県南部山地」は、 $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 以上の宮城県内で比較的沈着量が多かった地域である。採取したキノコは、表面の土や落ち葉等をティッシュペーパー等で拭き取り、放射能を測る効率を高くするため 1 週間以上 50°C のオーブンで乾燥させた後に破碎し、100 mL の円筒形のプラスチック容器に均一に詰めた。キノコは乾燥により、体積が 10 分の 1 以下になった。乾燥すれば、放射能測定後に常温で保存できる。将来、放射能以外の測定の可能性も考えて、または事故の記録として、全ての検体を保存している。キノコ同士の放射能が混じらない様、それぞれの処理はキノコ毎に別々に行った。試料に含まれる放射能の測定は、低汚染の試料の放射能も精度よく測定できる高純度ゲルマニウム半導体検出器(HPGE)を用いた。HPGE の周囲は、天然の放射線を遮蔽するため厚い鉛(厚さ 10-15 cm)、銅(同 1 cm)、鉄(同 5 cm)、アクリル(同 1 cm)の板(放射線により生じる遮蔽体からの特性 X 線を効率よく遮蔽するため内側を低原子番号にす

る)で囲った。これにより、天然の放射線によるバックグラウンドの強度が2桁減少したが、遮蔽体の重量は1t近くになる。Cs-134は事故から6半減期半経ち、2011年当時と比べ100分の1の値になっているが、統計誤差が5%以下になるまで測定した。

2011年から2023年までに採取されたキノコの放射能の値の範囲を、採取区分地毎にまとめて、年毎の推移をみると、中央値は仙台近郊以外の場所では依然として一般食品の基準値の100Bq/kgを超えていた。また、中央値の変動は、物理学的半減期による減衰をのぞくと、個々の野生キノコの変動を考慮すると、ほぼ一定の値となった。

2. 論文

イメージングプレートを用いた歯中放射能濃度の再構成シミュレーション

Proceedings of the 25th Workshop on Environmental Radioactivity (第25回「環境放射能」研究会), 2024-6, 96-101 (2024).

尾田晃平、山下琢磨、木野康志、関根勉、高橋温、篠田壽

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検討

Proceedings of the 25th Workshop on Environmental Radioactivity (第25回「環境放射能」研究会), 2024-6, 91-95 (2024).

岩見聡音、山下琢磨、光安優典、小野健太、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、磯部理央、鈴木正敏、福本学、篠田壽

ガンマ線照射した歯エナメル質の電子スピン共鳴スペクトルの多成分解析法の改良

Proceedings of the 25th Workshop on Environmental Radioactivity (第25回「環境放射能」研究会), 2024-6, 85-90 (2024).

山下琢磨、岩見聡音、光安優典、小野健太、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、磯部理央、鈴木正敏、福本学、篠田壽

福島第一原子力発電所事故で被災したニホンザルの筋肉中の放射性セシウム濃度の測定

Proceedings of the 25th Workshop on Environmental Radioactivity (第25回「環境放射能」研究会), 2024-6, 73-78 (2024).

小菅楽、山下琢磨、岩見聡音、尾田晃平、木野康志、石川諒椰、磯部理央、佐藤拓、鈴木正敏、千田浩一、福本学

野生動物への低線量放射線影響評価のためのバイスタンダー効果の検討

研究代表者：有吉 健太郎

受入研究者：三浦 富智・藤嶋 洋平・アンダーソン ドノヴァン

1. 成果

【目的】 放射線を被ばくした細胞からのシグナルによって、非被ばく細胞に放射線被ばくを受けたかのような反応を示す現象をバイスタンダー効果という。この現象は、被ばく/非被ばく細胞が混在する低線量被ばくにおいて、その影響を増大させる可能性を孕む。実験的には、照射された細胞の培養培地を非照射細胞に加える方法が多用されており、現在までにヒトがん細胞株や正常ヒト細胞株を用いた報告が多くを占める。一方で、ヒト以外、特に野生動物でバイスタンダー効果が確認された事例は少なく（ヨーロッパアカザエビ、ニジマス、ミジンコ、アカネズミ等）であり、バイスタンダー効果は進化上保持されているか否かは依然はっきりしていない。我々はこれまで、アカネズミ細胞やアライグマ細胞、ニホンザル細胞においてバイスタンダー効果が生じることを確認するとともに、被ばくイトマキヒトデ卵細胞の飼育培地が、非被ばくのイトマキヒトデの卵細胞にアポトーシス様の細胞死を引き起こす結果を得ている。この結果は、イトマキヒトデのような非常に原始的な生物（棘皮動物）からバイスタンダー効果が保存されていることを示している。本研究では、プラナリア（ナミウズムシ）個体に放射線を照射し、非照射の個体としばらく共飼育したのち、非被ばくの個体細胞に DNA 損傷や細胞死が誘導されるかを調べることで、非常に原始的な種から進化上保存されたバイスタンダーシグナルの存在を検討した。

【研究結果】野生環境にて捕獲したナミウズムシ(*Dugesia japonica*)に 0Gy (sham-irradiated)、4Gy (1Gy/min) X 線を照射したのち、非照射のナミウズムシ（バイスタンダー個体）を共飼育し 48、72 時間後に、個体を破碎しトリプシン処理によりシングルセルとした。その後 4Gy 被ばく個体、およびバイスタンダー個体由来の細胞において、（１）DNA 二重鎖切断のマーカーである γ H2AX の免疫蛍光染色、（２）アポトーシス細胞を確認するための TUNEL 染色、（３）プラナリア細胞用の培養培地にて 24 時間培養を行い、染色体サンプルの作成、（４）DNA 損傷の程度を電気泳動装置を使って可視化するコメットアッセイを行った。その結果、（１）実施の際、複数社の抗体を検討して免疫染色を行ったが、染色像は得られなかった。また（２）実施の際、条件をいくつか変えてアポトーシス細胞の染色を試みたが、染色像は得られなかった。また（３）において、シングルセルにしたナミウズムシ細胞を培養し、その後の細胞分裂像は得られなかった。しかし、（４）のコメットアッセイは 4Gy 被ばく個体（被ばく後 48 時間後）において、損傷した DNA の存在を示すコメットテールの存在を確認することができたため、このコメットアッセイを用いて DNA 損傷の定量化が可能であると思われる。今後、4Gy 被ばく個体、および被ばく個体と 48、72 時間共飼育したバイスタンダー個体由来の細胞を、コメットアッセイを用いて DNA 損傷の定量化を行う予定である。

2. 論文

Haruki Chiba, Hinata Horikawa, Valerie Swee Ting Goh, Tomisato Miura, Kentaro Ariyoshi,
Radiation-induced Bystander Effect in Starfish (*Patiria pectinifera*) Oocytes, Radiation
Research, 203, 53-59 (2024)

遺伝子プロモーター領域における放射線影響評価系の開発

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、放射線に感受性の高い子供や次世代への低線量慢性被ばくの影響に関しては依然として社会的な関心が高い。配偶子形成および胚発生過程における高線量放射線による生物影響については明らかになっているが、低線量慢性被ばくあるいは放射線による損傷を逃れた生殖細胞の配偶子形成や受精・発生能に関する分子メカニズムは不明である。

近年、放射線は、DNA 損傷だけでなく、エピジェネティックな変化を誘導することが報告されている。これまでの研究成果から、放射線汚染地域に生息するノネズミの精巣では遺伝子発現に変化が認められ、一方、低線量率連続照射（LD）したマウス精巣においてグローバルな DNA メチル化パターンが変化していることを明らかにしている。これらのことから、放射線が生殖細胞に影響を与える可能性があることを示唆している。エピジェネティックな変化の一つである DNA メチル化は、生殖細胞形成、受精、発生、分化過程に関与するため、継世代影響にも重要である。

本研究は、マウスを用いて放射線被ばくにおける精巣のエピジェネティクスな変化を捉えるための適切な評価法を検討することを目的としている。2023 年度の ERAN 共同研究の成果より、LD によって、マウス精巣において Dnmt1 の遺伝子発現が低下することが明らかになった。そのため、本年度は、Dnmt1 のプロモーター領域のメチル化を評価するために、メチル化感受性制限酵素（MSRE）を利用した MSRE-qPCR が適用可能性について検討した。

精巣における Dnmt1 の遺伝子発現を測定したところ、昨年同様にコントロール群に対して LD 群で有意に Dnmt1 の遺伝子発現が減少していることが確認できた。そのため、Dnmt1 のプロモーター領域内の 2 箇所におけるメチル化を MSRE-qPCR で評価したところ、-560 領域、-473 領域ともにコントロール群と LD 群の間に有意差を示さなかった。しかし、-437 領域と比較して-560 領域のメチル化率は有意に高いことが明らかとなった。

以上のことから、本研究で設計した MSRE-qPCR のプライマーセットは遺伝子発現との関連性が低いため、今後は LD の影響を特異的に受けるプロモーター領域を特定する予定である。これにより、放射線被ばくの生殖細胞へのエピジェネティックな影響メカニズムについて、より詳細な知見が得られることが期待される。

2. 論文

1. Miura, T., Imada, S., Ohtsuka, Y., Nakahira, R., Ishiniwa, H., Yamashiro, H., Nakata, A., Anderson, D., Fujishima, Y., (2024) Biological samples of wild animal (large Japanese field mouse: *Apodemus supecciosus*) in Rokkasho, Aomori, Japan, Center for Research

in Radiation, Isotopes, and Earth System Sciences (CRiES), University of Tsukuba, DOI: 10.34355/sample-IREM.Hirosaki.U.00137

2. Tokita S, Nakayama R, Fujishima Y, Goh V S T, Anderson D, Uemura I, Ikema H, Shibata J, Kinoshita Y, Shimizu Y, Shinoda H, Goto J, Palmerini M G, Hatha A M, Satoh T, Nakata A, Fukumoto M, Miura T, Yamashiro H (2024). Potential radiosensitive germline biomarkers in the testes of wild mice after the Fukushima accident, FEBS Open Bio, pp.
3. Uemura I, Takahashi-Suzuki N, Kuroda S, Kumagai K, Tsutsumi Y, Anderson D, Satoh T, Yamashiro H, Miura T, Yamauchi K, Nakata A (2024). Effects of low-dose rate radiation on immune and epigenetic regulation of the mouse testes, Radiat Prot Dosimetry 200(16-18), pp. 1620-1624.
4. Gatti M, Belli M, De Rubeis M, Tokita S, Ikema H, Yamashiro H, Fujishima Y, Anderson D, Goh V S T, Shinoda H, Nakata A, Fukumoto M, Miura T, Nottola S A, Macchiarelli G, Palmerini M G (2024). Ultrastructural Analysis of Large Japanese Field Mouse (*Apodemus speciosus*) Testes Exposed to Low-Dose-Rate (LDR) Radiation after the Fukushima Nuclear Power Plant Accident, Biology (Basel) 13(4)

環境放射線に関するリテラシーの醸成に資する教育戦略

研究代表者：飯本 武志

受入研究者：赤田 尚史

共同研究者：小池 弘美

1. 成果

エネルギーのみならず医療、工業、農業など、幅広い分野で原子力科学技術は国や地域を問わず重要な役割を果たしており、この状況は当面続くでしょう。一方、ニーズが存在しながらも、世界的に、特にアジア太平洋地域の諸国では関連する人材が現に不足し、かつ優秀な専門家を育てる仕組みを持たない国が少なくなく、各国関係者から将来を懸念する声が上がっています。このような国際状況に鑑み、国際原子力機関（IAEA）は2012年、多くの生徒に原子力科学技術（NST）の情報と知識を届けることを目的とした、新たな地域技術協力プログラム（TCP）を開始しました。第2期（2018年からの4年間）では「STEAM」や「WOW ファクター」をキーワードにして、「中等学校生徒 100 万人に原子力科学技術教育を」とのスローガンを掲げ、2019 年以降のコロナ禍ではほとんどの国の教育システムが大混乱に陥った背景があったにもかかわらず、結果として 200 万人を超える教育実績を残すことができました。この成功体験が、ここでご紹介する INSTA や INSO の企画立案につながっています。

この TCP の枠組みで教育を受けた高校生の中に NST を専門とする高等教育を自国で受けたというメンバーが現れたにもかかわらず、アジア太平洋地域の多くの大学や大学院にはそのような枠組みがない、あるいはあっても脆弱でした。そこでいかなる学部学科、研究科専攻でも NST を講義で扱うことのできるようその可能性を模索しつつ、各国の高等教育関係者（主に大学の若手・中堅の教員、教育省職員 等）を集中育成するための仕組みを整備しつつあります。これが INSTA です。現在その一期生約 60 名が活動中で、早ければ 2024 年度中に 15 名程度の地域の強いステークホルダーたちが規定の課程を修了する見込みです。また、上記 TCP の枠組みで教育を受けた高校生の中には独学で学習や研究を深め、さらなる高みを目指すメンバーが現れはじめてきました。このような生徒を国際的な視点で関係者が支援し、さらなる動機づけをし、活躍の場を設けることも必要ではないか、との意見があり、それに多くの TCP 参加国代表者が各国教育省の理解と支援を受けて賛同したことを受け、約 3 年間の準備期間を経て 2024 年 8 月に第 1 回 INSO 大会がフィリピン・クラークで開催され、14 カ国 55 名の高校生がメダルを争いました。

当研究チームはこれら一連の国際活動に専門家として深く関与し、ERAN 等の仕組みも活用させていただきつつ、環境の放射線や放射能に関するリテラシーの醸成に関する活動を展開しています。まずこれらの近況を関係者で共有することが重要で、国内関係者と広い意味での NST 領域の高度人材育成について議論を深める挑戦を継続したいと考えています。

2. 論文

8 にて入力済です。

蔵王の樹氷に含まれているベリリウム－7および鉛－210の動態解析

研究代表者：柳澤 文孝

受入研究者：赤田 尚史

共同研究者：岩田 尚能・高橋 祥基

1. 成果

1. はじめに

冬季の蔵王山の標高 1550m 以上にはアオモリトドマツの上で過冷却水滴と雪が一体化して氷の塊となった樹氷（アイスモンスター）が存在しており、 ^7Be や ^{210}Pb が含まれている。 ^7Be は大気上層（成層圏）に存在する酸素（O）および窒素（N）が宇宙線による核破砕反応によって生成される放射性核種である。 ^7Be は圏界面ギャップから対流圏に降下し、大気の流れに乗って蔵王に飛来したと考えられることから、空気塊がシベリア方面から飛来した指標となる。一方、 ^{210}Pb は、地殻中の ^{238}U が壊変して ^{222}Rn となり、 ^{222}Rn が壊変して ^{210}Pb となったものである。寒冷前線による上昇気流によって、中国北部やモンゴル南部の乾燥地帯（ゴビ沙漠・黄土高原）で砂嵐が生じて黄砂となる。大気中に拡散した ^{210}Pb は黄砂に付着し大気中を移動することから、空気塊がゴビ沙漠・黄土高原等から飛来した指標となる。 ^7Be と ^{210}Pb から蔵王に飛来する空気塊の動態を検討した。

2. 研究手法

2017－2022 年の山形県蔵王山にある蔵王ロープウェイ地蔵山頂駅前（標高 1661m）の立入禁止用ロープに付着した着氷を採取し、 ^{210}Pb と ^7Be の測定を行った。後方流跡線解析・人工衛星 MODIS 画像を用い蔵王に飛来した空気塊の移動過程・移動条件を検討した。

3. 結果と考察

蔵王に飛来した空気塊は①～⑤に分類された。

- ① ^{210}Pb , ^7Be ともに高濃度：バイカル湖付近にある高気圧の北側から高度を落としながら時計回りの円弧を描く流跡線と、低気圧により黄砂が発生しているゴビ沙漠・黄土高原からの流跡線が蔵王で合流している。
- ② ^{210}Pb , ^7Be ともに中濃度：バイカル湖付近にある高気圧の南側から高度を落としながら反時計回りの円弧を描く流跡線が、黄砂が発生しているゴビ沙漠・黄土高原を經由して蔵王に飛来している。

- ③ ^{210}Pb が高濃度, ^7Be が低濃度：黄砂が発生しているゴビ沙漠・黄土高原から蔵王まで流跡線がのびている。
- ④ ^{210}Pb が低濃度, ^7Be が高濃度：バイカル湖付近にある高気圧の北側から高度を落としながら時計回りの円弧を描く流跡線が蔵王までのびている。
- ⑤ ^{210}Pb , ^7Be ともに低濃度：バイカル湖や乾燥域からの流跡線がない。バイカル湖や乾燥域からの流跡線があっても、バイカル湖付近に低気圧があったり、乾燥域で黄砂が発生していない。

2. 論文

西日本における降水中トリチウム及び水素安定同位体比に関する研究

研究代表者：栗田 直幸

受入研究者：赤田 尚史

共同研究者：北山 結彩・KHEAMSIRI Khemruthai・桑田 遥

1. 成果

日本で観測された降水に含まれるトリチウムは、高緯度地域ほど高い傾向を示す「緯度効果」が認められていることが知られている。これまでに国内各地で月間降水を採取し、トリチウム濃度と化学組成および安定同位体組成を報告してきた。本研究では、データの少ない西日本に着目し、長崎市と鹿児島市において月間降水を採取し、トリチウム濃度その他、主要イオン組成、水素・酸素同位体組成を明らかにすることを目的とした。

月間降水試料は、降水採取装置(RS-1D, Palmex)を用いて採取した。採取した試料は、弘前大学の実験室において、重量を測定し、開口部面積より降水量 (mm/month) を求めた。その後、資料の一部を蒸留し、固体高分子膜電解濃縮装置を用いて濃縮後、再蒸留した。再蒸留試料の50mL を同量の液体シンチレータ (UltimaGold) とポリエチレンバイアル内で混合したのち、低バックグラウンド液体シンチレーション計数装置 (LSC-LB5, Aloka) により 1,000 分測定を行った。残りの試料水の一部をシリンジフィルターを用いてろ過後、水素酸素安定同位体比とイオン成分濃度の測定も行った。

2022 年 6 月から 2024 年 7 月の長崎における降水中トリチウム濃度範囲は 0.11–0.59 Bq L⁻¹ で、2023 年の平均は 0.24 Bq L⁻¹ であった。一方で、2022 年 1 月から 2024 年 8 月の鹿児島における降水中トリチウム濃度範囲は 0.11–0.67 Bq L⁻¹ で、2023 年の平均は 0.26 Bq L⁻¹ であった。降水中トリチウム濃度について、日本では一般に晩冬から春季に高く、夏季に低くなる「季節変動傾向」が認められており、この 2 地点でも確認することができた。

水素・酸素安定同位体比の範囲は、長崎で δD : -76.88–-8.61‰、 $\delta^{18}O$: -10.85–-3.28‰、鹿児島で δD : -72.55–-12.28‰、 $\delta^{18}O$: -10.49–-0.82‰であった。どちらも天水線付近に分布する結果が得られた。

2. 論文

N. Akata, K. Ohno, H. Kuwata, K. Kheamsiri, Y. Yoshinaka, R. Yamada, Y. Kitayama, S. Aizawa, S. Nakasone, A. Ishimine, M. Tanaka, Y. Shiroma, S. Tokonami, M. Furukawa: Tritium concentration in monthly precipitation in Okinawa and Kagoshima, southern Japan. Radiat. Prot. Dosim., 200, 1792-1796 (2024) <https://doi.org/10.1093/rpd/nae021>

動物医療環境のための放射線防護の新しい枠組みの検討

研究代表者：岩井 敏

受入研究者：赤田 尚史

共同研究者：WANG XUEQING・小池 弘美・黄倉 雅広・飯本武志

1. 成果

With the increasing integration of pets into human families, their health and safety have become a significant concern. The increasing use of radiological equipment in veterinary hospitals highlights the need for radiation safety of pets and humans. However, existing radiation protection guidelines primarily focus on human patients and medical staff, leaving a gap in protection strategies for animals and their stakeholders. The study aims to investigate the latest radiation protection systems in veterinary hospital, focusing on radiation exposure to human patients and medical staff and estimate and analyze general radiation doses affecting animal patients and related stakeholders in veterinary hospitals. The study employed PHITS for radiation exposure simulations in veterinary hospitals. Different modeling approaches were utilized, including the use of geometric phantom models for humans and animals to assess radiographic distribution. Initial simulations were conducted using simplified geometric models to determine radiation distribution in human subjects. The PHITS simulation successfully demonstrated dose distribution in different anatomical models, laying the groundwork for future computational refinements. A field survey was performed at hospitals to evaluate radiation exposure levels for medical staff and patients. Current radiation protection systems do not adequately address the unique needs of animal patients. Veterinary staff lack clear guidelines on how to effectively protect animals from radiation exposure during medical procedures.

The study highlights the urgent need for a dedicated radiation protection framework for veterinary hospitals. The next steps will involve refining computational analyses and formulating practical protection measures to bridge the existing research gap.

2. 論文

なし

Investigation of radon-climate relationships in volcanic area using AI

研究代表者：JANIK MIROSLAW

受入研究者：細田 正洋

1. 成果

This report presents the findings of a 9-year study investigating soil temperature variations near Sakurajima volcano. This research, conducted as part of the project “Investigation of radon-climate relationships in volcanic areas using AI,” aimed to improve geohazard assessment through enhanced radon monitoring. Specifically, the study analyzed soil temperature profiles at various depths and developed mathematical models to predict temperature fluctuations.

The soil temperatures at three depths (10cm, 40cm, 100cm) alongside comprehensive meteorological monitoring including atmospheric parameters and soil moisture were continuously monitored.

The study revealed that soil thermal diffusivity increases with depth, challenging the conventional assumption of constant thermal properties throughout soil layers.

Clear seasonal variations were observed at all depths throughout the monitoring period. An interesting phenomenon emerged where temperature extremes were progressively delayed with increasing depth. Temperature minimums at 100cm depth lagged approximately 28 days behind atmospheric minimums, with similar delays observed for maximum temperatures. Similar temperature patterns were observed between winter and autumn, and between summer and spring, suggesting consistent heat transfer processes during these paired seasons. Temperature oscillations were modeled using sinusoidal functions, where parameters such as amplitude, phase shift, and mean temperature were derived from the measurement data.

The developed model showed notable discrepancies at shallow depths, particularly at 10cm, suggesting complex near-surface processes not fully captured by the current approach. Additionally, these site-specific findings may require calibration before application to other volcanic regions with different geological characteristics and climate conditions.

This research advances understanding of soil temperature dynamics in volcanic regions, providing a framework for improving radon monitoring accuracy. The identified thermal buffering properties of soil and quantified temperature effects on permeability offer practical approaches for correcting radon measurements in geohazard assessment programs. Future research should focus on investigating additional environmental

parameters affecting temperature and radon transport dynamics.

2. 論文

Mirosław Janik, Mashiro Hosoda, Shinji Tokonami, Yasutaka Omori, Naofumi Akata, Evaluating Soil Temperature Variations for Enhanced Radon Monitoring in Volcanic Regions, Atmosphere (Preprints), <https://www.preprints.org/manuscript/202501.1405/v1>

Be 同位体の海洋循環トレーサーとしての利用

研究代表者：永井 尚生

受入研究者：田副 博文

共同研究者：山形 武靖・松崎 浩之

1. 成果

2024 年度の分析に用いた材料は、福島県東部の双葉郡浪江町で 2015～2021 年の 8～10 月に捕えた 19 頭、および 2015 年 9 月に同県東部の南相馬市で捕えた 4 頭のアズマモグラ *Mogera imaizumii* である。捕獲は住民の避難により放置状態の水田畔などで行った。現地では除草が行われないことから植物遺体が地面に厚く積み重なっており、トンネルの探索が難しく、滞在時間も限られていることから、迅速に仕掛けることのできる金属製の捕殺用わな (Duffus trap) を用いた。捕獲はほぼ毎年行ったが、2019 年には台風の接近などのため捕獲には至らなかった。比較のため、2017 年 6 月および 2020 年 3 月、8 月に捕獲した富山県富山市産の 3 頭も用いた。これらの頭骨標本を作成し、下顎骨中の安定 Sr および放射性ストロンチウム (^{90}Sr) 濃度を福島大学環境放射能研究所の表面電離型質量分析計で測定し、 ^{90}Sr /安定 Sr 濃度比 (以下、Sr 濃度比) を算出した。また、上顎臼歯列の摩耗状況で齢を推定した。

Sr 濃度比は、富山県産の個体 (0.77 ± 0.64) よりも福島県東部産の個体がより高く、福島県東部では概ね浪江町 > 南相馬市南部 (5.18、25.17) > 同市北部 (0.94、2.38) となったが、南相馬南部でも非常に高い値 (25.17) を示す個体が見られた。浪江町産の個体では、齢による差異は見られず (0 歳 : 5.18、25.17 ; 1 歳以上 : 7.43 ± 5.94)、2021 年の捕獲個体 (16.40 ± 6.20) はそれ以前 (5.16 ± 1.72) よりも高値を示した。2018 年までに捕獲した個体 10 頭のデータにおいて、Sr 濃度比とこれまでに測定してきた筋肉中放射性セシウム ($^{134} + ^{137}\text{Cs}$) 濃度の間には相関関係は見られなかった (Spearman の順位相関係数 = 0.168)。しかし、南相馬市で顕著な Sr 濃度比を示した個体は筋肉中放射性セシウム濃度 (以下、筋中 Cs 濃度) も高く、浪江町で顕著な筋中 Cs 濃度を示した個体は Sr 濃度比も高かった。浪江町産の個体の Sr 濃度比の頻度分布は、単峰型で右方に向かって裾野が伸びるポアソン型の分布様式を示したが、平均値が 16.40、分散が 38.44 となり、平均 < 分散の過大分散を示した。

今回は富山県産の個体からも微量ではあるが ^{90}Sr が検出され、過去の全地球的な汚染によるものか、ごくわずかに進入していた福島由来の ^{90}Sr が地中の食物連鎖の最上位に位置するモグラにおいて生物濃縮により検出可能に至ったのか、今後より広範囲な調査により検討する必要があるであろう。福島県東部の値は概ね浪江町＞南相馬市南部＞同市北部となり、同市南部でも少数ではあるが非常に高い値を示す個体が見られた。これらの知見は筋中 Cs 濃度の場合と共通していた。特に非常に高い Sr 濃度比を示す個体が見られ、この値の頻度分布にも影響しており、筋中 Cs 濃度とも共通性が見られたことは、個体ごとの行動圏の環境による高リスク個体の存在を示唆している可能性が高い。また、放射性セシウムと異なり、 ^{90}Sr は動物体からは容易に排出されず体内に蓄積することから、高齢の個体において高い値が示されると予想されたが、今回検討の対象とした浪江町産の個体では、齢による差異は見られなかった。骨組織と異なり基本的に新陳代謝の起かない歯牙の Sr 濃度比を計測すると、異なる結果が得られる可能性がある。今後は歯牙を含めて例数を追加し、多変量解析により詳細な分析を行いたい。

2. 論文

分析の途中であるため、該当なし。

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

[背景と目的] 長半減期放射性核種 ^{10}Be ($1.36 \times 10^6 \text{y}$) は成層圏・対流圏上部において宇宙線と大気との核反応により生成し、エアロゾルに吸着して大気循環に従い地表・海面へと輸送されるが、地表・海洋への降下速度は不均一で緯度分布を持つと推定されている。海洋においては陸源の安定同位体 ^9Be と共に循環し、リサイクル型の鉛直分布を示すとされるが、海域毎にかなり異なる ^9Be , ^{10}Be 鉛直分布が報告されており、供給源の違いと共に海水の循環の影響が示唆される。本研究では、データの少ない海域における ^9Be , ^{10}Be の鉛直分布を求め、海域間の比較を行い、海洋循環トレーサーとしての活用を目指す。[方法] 2017 年に北太平洋北部 47°N (160°E - 131°W , 13 測点) 145°W (60 - 44°N , 7 測点) (東京ーバンクーバー) において採取した海水試料について ^9Be , ^{10}Be 濃度の鉛直分布測定を行った。海水中 ^9Be 濃度は 0 - 30pM と極めて低く測定のため濃縮と脱塩が必要となる。本研究では東大 MALT においてシリカゲルカラムを用いて海水試料の脱塩・ ^9Be 濃縮を行い、弘前大 IREM において ICP-MS により ^9Be 濃度測定を行った。 ^{10}Be は海水採取時に Be 担体を加え、鉄共沈により回収後 Be の分離精製を行い、東大 MALT において AMS により ^{10}Be 濃度測定を行ったデータを用いた。[結果] ^9Be , ^{10}Be 濃度の鉛直分布は栄養塩型であり、 ^9Be 濃度 ($\times 10^7 \text{atoms cm}^{-3}$), ^{10}Be 濃度 (atoms cm^{-3}) は表層で共に 200 - 500 と深層の $1/5 \sim 1/10$ 程度であり、 500m まで急激に増加し深層の $1/2$ 以上となり、その後は緩やかに上昇し底層では、 1500 - 2000 になる。全測点において ^9Be , ^{10}Be 濃度の鉛直分布は表層 200m 以深ではほぼ同一であった。従って測点毎の $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ も 200m 以深の平均は 1.03 ± 0.04 (47°N), 1.04 ± 0.02 (145°W) とほぼ一定であったが、西部 (160°E - 165°W) より東部 (160°W - 131°W)、また上層 (200m - 2000m) より下層 (2000m 以深) の方が比がやや高く、上層においては西部: 1.00 ± 0.01 に対し、東部 47°N : 1.02 ± 0.03 , 145°W : 1.04 ± 0.02 、と大きな差異は見られなかったが、下層においては西部: 1.04 ± 0.01 に対し、東部 47°N : 1.08 ± 0.04 , 145°W : 1.10 ± 0.05 、と増加していた。本研究の結果は、これまで報告されている大平洋の ^9Be , ^{10}Be 濃度の鉛直分布と概ね一致していた。他の海域との比較においては、 ^9Be 濃度は表層では海域毎の差が大きいが、深層では余り大きな差は見られない。これに対し ^{10}Be 濃度は深層で海域毎の差異が大きく、南極海・大平洋が最も高く北極海・北大西洋はその $1/2$ 程度であった。従って $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ も南極海・大平洋は北極海・北大西洋の 2 倍程度となっている。この原因については南極海付近で大気から ^{10}Be のみ供給され ^9Be と比べ相対的に過剰となった可能性が考えられる。

2. 論文

なし

林床からのラドン散逸に関する予備的な観測

研究代表者：反町 篤行

受入研究者：大森 康孝

1. 成果

森林では大気エアロゾルの物質交換が起こるため、大気エアロゾルのソース（放出体）またはシンク（吸収体）として作用する。そのため、放出されたエアロゾル粒子は、大気汚染などによる健康影響や地球温暖化などによる環境影響を及ぼす可能性がある。また、森林における林内でのクラスターイオン濃度が林外よりも高いことが報告されている（Jayaratne et al., 2011）ことから、森林が大気エアロゾルのソースとして作用する可能性がある。

土壌から散逸した大気中ラドンおよびラドン壊変生成物には、①土壌粒子からのラドンの散逸、②ラドンの土壌空隙中の移動、③ラドンの土壌から大気への散逸、④ラドン壊変、⑤クラスター（非付着ラドン壊変生成物）の形成、大気エアロゾル粒子への付着（付着ラドン壊変生成物）、⑥大気沈着によりラドン壊変生成物の地表面への消失などの過程がある。これらの過程において、林床から散逸した大気中ラドンからラドン壊変生成物の生成メカニズムに関する情報は少ない。そこで本研究では、林床でのラドン散逸率測定法の検討およびその測定値を得ることを目的とする。

観測は、2024 年 7 月 28～8 月 4 日（8 日）に東京農工大学 FM 多摩丘陵のスギ・コナラ混合林（樹冠高度：約 20 m）に設置された観測鉄塔周辺において実施された。土壌からのラドン散逸率は、林床では不均一な表面が多いため小型チャンバーを用いて測定された。土壌から散逸したラドン濃度は静電捕集型シリコン半導体検出器により 10 分間隔で測定された。

ラドン散逸率の算出ではチャンバー内のラドン濃度の経時変化を線形近似して求めた。チャンバーの積算時間が 1～3 時間においてラドン散逸率はほぼ同じ結果になったため、測定中の土壌表面状態など考慮して測定時間を 1.5 h に設定した。観測期間中でのラドン散逸率は $9.6 \pm 3.2 \text{ mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($n = 12$) となり、文献値（Jayaratne et al., 2011）と同様な結果になった。

したがって、本研究により林床からのラドン散逸率の測定方法を確認し、文献値と同様なラドン散逸率を得た。

2. 論文

土壌構成鉱物への核種収着に及ぼす有機物の影響評価

研究代表者：佐々木 隆之

受入研究者：藤原 健壮

共同研究者：土肥 輝美

1. 成果

放射性核種の保管や廃炉工程の安全評価に資する放射性核種の地中移行挙動を検討するには、原位置あるいはそれに関連した地質環境における収着や拡散等の反応機構理解に資する基礎データやモデルが必要である。本研究ではこれまで、非放射性金属イオンを収着させたカオリナイト試料を対象に、透過型電子顕微鏡(TEM)や電子プローブマイクロアナライザ(EPMA)などを用いて固相表面における元素情報を取得し、吸着現象の解明につながるデータの蓄積を進めてきた。今年度は、熱硫酸による変質処理を施したカオリナイト試料を用い、幅広い pH 条件下で非放射性金属イオンを収着させ、収着分配係数 K_d の取得および STEM-EDS による元素マッピングを実施した。

粉末状のカオリナイト試料を TEM (JEM-2800, 日本電子) による STEM-EDS 分析に供するため、以下の手順で薄膜処理を施した。まず予備加工として、スライドガラス上で試料とエポキシ樹脂をスパチュラで混ぜ合わせた後、シリコン基板上に乗せ、ホットプレートで 130°C、15 分間加熱し硬化させた。次に、硬化した試料の厚さが 100 μm 程度になるまで、研磨紙で試料面および Si 基板面を研磨した。さらに最終的に試料全体の幅が 2 mm 程度、試料高さが 0.5 mm 程度になるよう調整した。これをイオンスライサー (EM-0900IS, 日本電子) を用いて薄膜化を行った。具体的には、予備加工した試料の上方からマスキングベルトを取り付け、Ar+イオンの照射角度を連続的に変えながら、また、加速電圧も段階的に変えながらミリングを繰り返した。この操作で試料の中心に穴を開け、その周辺の薄膜部分を TEM で分析した。TEM の加速電圧は 200 kV とし、STEM-EDS で元素マッピングを行った。得られたマッピング像のバックグラウンド影響を排除するため、カオリナイト粒子内部の任意の面積を 1 粒子あたり 2~3 か所設定し、複数の粒子について Al および Si の原子パーセント濃度を測定した (半定量)。その結果を基に、Al/Si 比を算出することに成功した。

2. 論文

福島県以外の自治体の放射能汚染された土壌や物品の適切な 管理・処分に関する考察

研究代表者：黄倉 雅広

受入研究者：土肥 輝美

共同研究者：飯本 武志

1. 成果

福島第一原子力発電所事故で発生した環境放射能汚染により、首都圏のとくに原子力施設のない自治体では、専門的知識だけでなく事故に対する備えも十分ではなかったために厳しい対応を迫られた。中でも千葉県柏市は、事故当時の高線量の検出等による騒動から、市民と多くのコミュニケーションを図りながら、いわば官民が協働しつつ徐々に平静を取り戻していったという経緯をもつ。そのような経緯を記録として残すべく、本研究ではまずアーカイブの作成を続けてきた。

本アーカイブは、現在すでに散逸されつつある文書類を収集するだけでなく、映像や音声記録、さらに実際に対応にあたった当事者たちの証言なども資料として加えることで、当時の状況を追体験でき、次代にも活用できることを目標に作成を進めている。本研究では、市役所側の当事者（3名）および市民側を代表する役割を担った者（1名）へのインタビューを行い、当時の騒動から平静に向かう過程において、対話集会や除染作業、住民健康調査などの官民協働イベントがとりわけ効果的であった等の証言を得ることができた。

また、本研究はこのような史的経緯を踏まえた上で、現在もなお残る汚染された土壌や物品の処分に関わる諸問題にアプローチする。とくに官民協働の除染作業等により生じた「除染土壌」の多くは、作業現場に埋設あるいは覆土されたままの状態にあり、それらの処分方法をめぐっては地方自治体だけでなく国レベルでも議論が重ねられている。おそらく将来的に土壌等を他所へ移動させるなど何らかの操作を加えるということになれば、再び線量に少なからぬ関心が向けられることとなろう。

そこで本研究では、今現在の住宅地やその周辺環境の線量を測定し、さらに住民等の非専門家にも扱える簡便な評価手法の開発を試み、下の論文を準備している。航空機調査(JAEA)やシミュレーション(PHITS)を活用し、広く利用しやすい下のような線量評価法を構築、公表することは、再び官民を交えた今後の自治体全体の方針づくりにも寄与し得る。

Evaluation of Radioactivity and Exposure Dose on Buried Decontaminated Soil.

Changting GUH, Hiromi KOIKE, Masahiro OKURA, Takeshi IIMOTO（準備中）

2. 論文

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：土肥 輝美・佐々木 祥人

共同研究者：箕輪 はるか

1. 成果

(研究の背景)

2023 年度は、事故後十数年を経過し樹皮表面の線量率は BG レベルに低減しているものの、樹皮表面に繁殖するコケ類が 2011 年の福島第一原子力発電所事故により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）を現在も保持し、粒子形態の放射性 Cs の存在が示唆されたことを報告した。2024 年度はこれら放射性 Cs の存在状態を把握することを目的として調査を進めた。

(実験方法)

① 放射性 Cs の分布状況：測定対象は、福島市内に存在する樹齢 50～80 年程度のケヤキ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）である。これらは、高さ 20cm から 1m の高さで 170cm の幹周り範囲の中で樹皮表面面積の約 40% を占めていた。これらコケ類の生息域と GM 管式サーベイメータで計測した表面線量率の強度分布結果と比較した。

② 放射性 Cs 含有粒子の単離と非破壊分析：2023 年に樹皮表面から約 10cm 四方のコケ類を採取し、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。同試料について Ge 半導体検出器（GEM30185-P ORTEC）で γ 線スペクトル分析を、EPMA（JXA-8530F, ）で粒子表面の一部について表面分析を実施した。

(結果及び考察)

① コケ類の生息域と表面線量率の強度分布を比較した結果、コケ類の生息範囲の外縁部に集中して線量率が高い場所が観測された。このことから放射性 Cs は樹木の上部から樹幹流によって運ばれてきてコケ類の外縁部に蓄積したと考えられる。

② 放射性 Cs 含有粒子はデジタルマイクロスコープ観察によると有機物の集合体と推定され、EPMA による元素分析で Si、Ca、Fe 等が検出されたため粘土鉱物などが取り込まれている可能性がある。また、 γ 線計測で ^{137}Cs が検出されたが EPMA では Cs が痕跡量確認されたが検出の決定にはいたらなかった。

今後、放射性 Cs 含有粒子を化学分離により Cs 成分を分離して存在状態の把握を行う。

2. 論文

なし。

空間線量率および低減度分布の地理的環境依存性解明のための視覚解析

研究代表者：高橋 成雄

受入研究者：操上 広志・眞田 幸尚

共同研究者：吉田 竜

1. 成果

東日本大震災に伴う原発事故以来実施されてきた、航空機、走行、歩行によるさまざまな形態の放射線計測により得られた統合空間線量率マップは、現在までに過去 12 年の空間線量率時空間変化の詳細なデータを提供する。本研究では、この時空間マップを用いた空間線量率やその低減度と、地形特徴、土地利用、さらには除染実施状況などの地理的な背景や周囲の環境との有意な関係性を、視覚解析を通して抽出を試みた。さらに、得られた結果を利用して、除染効果の検証とともに、地理的環境の空間線量率の低減度への影響の評価や将来の予測を行い、効果的な避難指示解除の実現ための支援に関する基礎的な知見の収集を行った。

本研究では、従来までの研究において統合空間線量率マップの 2011～2022 年までの 12 年間の時系列データを用いて、セシウム 134 とセシウム 137 の半減期を考慮に入れた定式化を介して、ある特定の期間の空間線量率低限度の計算を行ってきた。本年度は、さらに解析対象地域のサンプル点における標高や勾配、局所的な地形表面形状の特徴である頂上、谷底、峠、さらには尾根や溪谷などの地形特徴、さらには土地利用形態(都市、森林など)の属性値データを準備し、これらの属性値が空間線量率やその低限度に寄与する度合いを視覚的に解析することとした。

基本的なアプローチは、興味対象である空間線量率やその低減度を目的変数、先に記した地形形状特徴や土地利用を表す属性値を説明変数として、説明変数の値から目的変数の値を予測するモデル(関数式)を、重回帰分析や決定木、さらにはランダムフォレストや LightGBM などの教師あり学習を用いて構築をするところから始める。そして、その予測モデルにおいて、各説明変数の目的変数に対する寄与の度合いを、説明可能 AI の枠組みである Permutation Feature Importance (PFI)や SHapley Additive exPlanations (SHAP)を用いて解析を行う。

本研究で得られた知見は、大きく以下の 2 点にまとめられる。

1. 土地利用における空間線量率の低減度は、市街地及び住宅地において大きい

福島県伊達市周辺地域における 2011 年から 2017 年の空間線量率低限度と土地利用の分類を解析した結果、都市と分類される市街地や住宅地において顕著に低減度が大きくなることがわかった。これは、マクロな特徴をとらえる PFI およびミクロな特徴を捉える SHAP の両方の道具立てにおいて、矛盾なく得られる結果であり、活発な人間活動が空間線量率の大きな低減度を促すというよく知られている知見と合致する。

2. 地形特徴における空間線量率の低限度は、渓谷や窪地で小さくなる

福島県双葉郡大熊町の、国道 288 号線の南側地域の国有林地帯は、原発事故以来除染が行われていない地域として知られている。この地域において、2011 年から 12 年間の空間線量率の低減度と、局所的な地理的特徴である頂上、谷底、峠、尾根や渓谷などの関係を、SHAP を用いて解析を行った。この結果、渓谷や谷底に該当する地域では、空間線量率の低減度が抑制され小さくなる傾向があることがわかった。さらに、SHAP の解析結果から、その抑制の度合いに応じて解析対象地域の色分けを行ったところ、谷底などの窪地が顕著に抑制の度合いが強く低限度が低くなることがわかった。これにより、空間線量率の低減度は、除染などの影響を受けない場合、窪地などの地理的環境に影響を受けることがわかった。

今後は、現在までに得られた空間線量率と地理的環境との関係に重要な知見を系統的に整理し、論文等のかたちでまとめることを目指す。

2. 論文

放射性セシウムの移動媒体についての鉱物学的研究

研究代表者：小西 博巳

受入研究者：萩原 大樹

共同研究者：渡辺 勇輔

1. 成果

福島第一原子力発電所（FDNPP）の事故により環境中に放出された放射性セシウムは、湖や河川の堆積物中に沈着し、長期にわたり環境中を移動する。河床堆積物中の鉱物の放射性セシウムの吸着特性を明らかにすることは、放射性セシウムの動態予測に重要である。近年、著者らは福島県内の河川水系の放射性セシウムの含有量が支配的な細粒分画（250-106 μm ）において、雲母鉱物だけでなく、有色鉱物や無色鉱物にも放射性セシウムが吸着し、移動に寄与する可能性を報告した。さらに、有色鉱物のうち、角閃石の表面は、風化・変質により粘土鉱物に変化し、放射性セシウムが表面に吸着することが示唆された。本研究では、鉱物への吸着メカニズムの解明を目的として、無色鉱物の風化・変質程度と放射性セシウムの関係を調べた。試料は、FDNPP 周辺の富岡川で採取した河床土の細粒分画から、ハンドピックした無色鉱物のうち、表面の形態や透明度を基に、長石と石英に分けて、それぞれの鉱物の放射性セシウム濃度を Ge 半導体検出器で測定した。さらに、長石の化学組成と結晶構造を透過型電子顕微鏡で分析した。

河川水系の上流から下流にかけて、長石および石英いずれも放射性セシウムが吸着していた。長石の空隙周辺は、チューブ状のハロイサイトが生成していた。また、表面から数 μm の深部まで、変質化が顕著であった。したがって、長石の表面や割れ目周辺は、風化・変質により粘土鉱物化し、これらに放射性セシウムが吸着することが示唆された。

2. 論文

ブタにおける消化管内での安定セシウム吸収率

研究代表者：小松 仁

受入研究者：玉置 雅紀

共同研究者：村上 貴恵美・神田 幸亮

1. 成果

福島県内で捕獲される野生イノシシにおいて、筋肉中の放射性セシウム濃度は同一地域内でも個体差が大きく、場合によっては桁が異なることが報告されている。こうしたばらつきの一因として、摂取する採食物中の放射性セシウム濃度や、消化管における放射性セシウムの吸収、さらには糞・尿などの各排出経路における放射性セシウムの排出の個体差が影響していると考えられる。しかしながら、採食物からの放射性セシウム吸収および排出については未だ不明な点が多い。本研究では、イノシシの同種であるブタをモデル動物とし、安定セシウムを用いてこの体内移行動態を実験的に明らかにすることを目的とした。

体重約 30 kg のブタを対象に、実験群として湿重量あたり 100 ppm の CsCl を添加した試験飼料を、対照群として CsCl を含まない飼料を、それぞれ 5 日間連続で給与した。飼料の水分含有量から算出される乾物割合を用いて、湿重量あたりの Cs 濃度を乾物ベースに換算した。各個体の日々の飼料給与量に Cs 濃度を乗じて、各個体の 1 日あたりの Cs 摂取量を算出した。さらに、各日ごとに全糞および全尿を採取し、糞の乾物重量に乾物中の Cs 濃度を乗じて Cs 排出量を算出した。一方、尿は湿重量ベースで Cs 排出量を計算した。消化管での Cs 吸収率(%) = (飼料からの Cs 摂取量 - 糞中排出量) / 飼料からの Cs 摂取量 × 100 とし、尿を含めた総排出量から算出した吸収率(%) = 飼料からの Cs 摂取量 - (糞中排出量 + 尿中 Cs 排出量) / 飼料からの Cs 摂取量 × 100 とし求めた。

消化管での Cs 吸収率は、各個体とも概ね 97% 前後であった。一方、尿を含めた総排出量で算出した場合、個体 A および B では 84% 前後と比較的高い吸収率となったが、個体 C および D では特定日の尿中 Cs 排出が著しく、3 日間の総収支では吸収率が 0.4% および 2.4% と極めて低い値であった。これらの値は、個体間で Cs 吸収率に大きな差異が存在することを示唆している。特に、尿排出量の個体差が Cs の体内移行に大きな影響を与える可能性があり、それぞれの個体が同濃度のセシウムに汚染された採食物を摂取した場合でも、体内に留まる割合が個体によって大きく異なることが示唆された。

本研究の結果、野生イノシシにおける筋肉中の放射性セシウム濃度の個体差は、採食物中の放射性セシウム濃度だけでなく、個体ごとの代謝や排出機構の差異も大きく影響している可能性が考えられる。

2. 論文

福島県内における野生傷病鳥獣の放射性セシウムのモニタリング

研究代表者：村上 貴恵美

受入研究者：玉置 雅紀

共同研究者：小松 仁・神田 幸亮・稲見 健司・壁谷 昌彦

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き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 2024 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の筋肉を採取し、筋肉中に含まれるセシウム 134 及びセシウム 137 を測定した(鳥類：N=177, ほ乳類：N=122)。得られたデータを用いて、土壌沈着量を共変量として地域、食性、動物種の 3 つの因子の主効果を評価する一般化線形モデルを構築して解析を行った。

その結果、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り、基準値超過率は鳥類が 4.5%、哺乳類が 20.5%だった。しかし、イノシシのように食品基準値の 100 倍を超えるような値を示す個体は検出されなかった。哺乳類と鳥類間における筋肉中の放射性セシウム濃度は哺乳類が鳥類に比べて有意に高く ($p<0.0001$)、平均値の差は 134.7Bq/kg だった。食性による放射性セシウム濃度の比較では、雑食が植物食と動物食に比べて有意に高く ($p<0.0001$)、雑食と植物食の平均値の差は 88.1Bq/kg、雑食と動物食の平均値の差は 80.6Bq/kg だった。また、生息地域による放射性セシウム濃度の比較では、浜通りと中通りが会津に比べて有意に高く ($p<0.0001$)、浜通りと会津の平均値の差は 191.9Bq/kg、中通りと会津の平均値の差は 28.8Bq/kg だった。

鳥類、哺乳類ともに近年でも食品基準値を超える個体が存在することが明らかとなったが、基準超過率や統計的な比較でも哺乳類の方が放射性セシウムを蓄積しやすいと考えられる。また、生息地域による比較の結果から、浜通りや中通りの方が鳥類、哺乳類ともに筋肉中の放射性セシウムの濃度が高いため、環境中の放射性セシウムの汚染度合いの違いが筋肉中の放射性セシウム濃度に影響を与えることが示唆された

2. 論文

福島県内におけるキジの行動圏調査

研究代表者：神田 幸亮

受入研究者：玉置 雅紀

共同研究者：小松 仁・村上 貴恵美

1. 成果

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の影響により、福島県では現在でもイノシシ等の狩猟対象鳥獣において放射性セシウムが検出されており出荷制限等がかけられている。一方、近年キジの放射性セシウム濃度は減衰しており、食品基準値である 100 Bq/kg を大きく下回っているものの依然として出荷制限がかけられている。福島県二本松市周辺を例に見ると、2021 年～2023 年のキジ筋肉中の放射性セシウム濃度は、サンプル数 67 個体に対し、平均値 10 Bq/kg、最大値 51 Bq/kg となっている。国が示す出荷制限解除の条件では、動物の移動性を考慮することとされているため、今後出荷制限解除を検討するためには移動性を明らかにする必要がある。そこで、本研究ではキジの行動圏を明らかにし、出荷制限解除の検討に資する知見を得ることを目的とした。

当方がキジ筋肉中の放射性セシウム濃度の調査を行っている福島県二本松市にて、令和 3 年から令和 6 年にかけて、カモ網等を用いてメスキジ 6 羽を捕獲した。これらに GPS 発信器を装着して放鳥した。データの収集期間は、キジの狩猟が可能となる 11 月から 2 月まで（狩猟期間）の 4 ヶ月間とした。行動圏サイズは、より安全側（過大）の評価をするため最外郭法を用いて算出した。なお、令和 6 年に捕獲したメスキジ 2 羽については、データ収集中であるため今回の行動圏解析から除いた。また、今回、衛星捕捉数が 5 以下のデータについては除外したうえで解析を行った。

その結果、メスキジ 4 羽の推定行動圏サイズは各々 0.036 k m²、0.024 k m²、0.069 k m²、0.016 k m²であり、いずれも阿武隈川河川敷にモザイク状に分布する高茎草地や竹林、堤内地における畑地と隣接する低木が疎らに生育する高茎草地を含む地域を利用していた。

行動圏サイズは、最大でも 0.069 k m²であり、少なくとも調査を行なった 11 月から 2 月の 4 ヶ月間は捕獲場所の周辺のみを利用していたことが明らかとなった。このことからキジについては、放射性核種により高濃度に汚染された原発周辺地域から汚染が少ない会津等の地域へ移入する可能性は低いと考えられる。

なお、この結果は、福島県が開催した「野生動物肉の出荷・摂取に係る検討会」において報告され、出荷制限解除の検討に資する知見として活用された。今後は個体数を増やすとともに性差や通年の行動についても調査を行う必要があると考えられる。

2. 論文

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アーカイブ 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：小林 敏之・中平 嶺・藤川 勝義

共同研究者：小林 悦子・山田 裕

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（病理診断結果について病変部位のアノテーションを付加した組織画像およびサンプルの保存情報）および組織標本のバーチャルスライドスキャナーを用いた病理画像データを共通フォーマットに基づいて整理し、実験動物放射線影響研究アーカイブ（J-SHARE）システムへの取り込みを進めた。さらに、J-SHARE システムを紹介するホームページを作成し、外部公開に向けた準備を行った。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。

【参考文献】

K. Ariyoshi, T. Imaoka, Y. Ohmachi, Y. Ishida, M. Uda, M. Nishimura, M. Shinagawa, M. Yoshida, T. Ogiu, M. Kaminishi, T. Morioka, S. Kakinuma, Y. Shimada. Influence of Age on Leukemia Mortality Associated with Exposure to γ rays and 2-MeV Fast Neutrons in Male C3H Mice. Rad. Res. 2024 Oct 1;202(4):685-696.

2. 論文

A. Ishikawa, Y. Kin, Y. Yamada, T. Morioka, M. Nishimura, T. Imaoka, S. Kakinuma, S. Tanaka, R. Nakahira, E. Kobayashi, K. Fujikawa, J. Komura, T. Kobayashi, Y. Shimada. Radiat. Prot. Dosimetry. 2024 Nov 13;200(16-18):1651-1655.

尾駁沼における物質循環把握

研究代表者：坪野 考樹

受入研究者：植田 真司

共同研究者：三角 和弘・津旨 大輔

1. 成果

大型再処理施設が稼働すると、 ^3H 等の放射性核種が大気や海洋へ放出され、施設近傍の汽水湖尾駁沼における濃度レベルが上昇することが予想される。これらの放射性核種は、上流の二又川からの淡水および下流の海に接続する尾駁川からの海水とともに尾駁沼に流入する。尾駁沼は準閉鎖水域であるため、濃度低減が遅いことが予測され、その滞留期間中における希釈・移行・分配・蓄積の実態解明が課題となる。流入した放射性核種の希釈を精度良く評価するためには、淡水および海水の流量を把握することが重要となる。本研究は、海水の流入出量変化を定量的に把握し、放射性核種の希釈過程を数値計算で再現することを目的としている。

尾駁沼・尾駁川に水面下に圧力計を設置して水圧計測するとともに、浮体に搭載した RTK-GPS を圧力計の近傍に設置することで、水面高度を計測した。RTK-GPS は、Softbank の ichimill を利用することで、基地局を新に設定することなく、沼の水位高度を高精度で計測できた。これら結果から水圧計設置位置の高度を推定した結果、複数年で計測された水圧データから、より長期の沼・河川の高度を検討することが可能となった。これら水位差の結果から、沼の水面高度は、海面高度の 9 月に高く、4 月に低くなる年周期に応答していた。そして、尾駁沼の河口となる流量を検討した結果、流量の半日・日周潮の振幅も同様となっていた。そして、沼内の塩分も海側からの流入量が増加する 9 月で高塩分・低下する 4 月で低塩分となっていた。このことから、尾駁沼内に流入した物質は、9 月（4 月）に低減しやすく（しにくく）なると推測される。

2. 論文

観測結果を表現する数値モデルに関する論文を準備中。

環境試料中トリチウムの相互比較分析に関する検討

研究代表者：橋本 晃佑

受入研究者：柿内 秀樹

共同研究者：前川 暁洋

1. 成果

東京電力福島第一原子力発電所事故に関連し、令和 3 年 4 月に日本政府は ALPS（多核種除去設備）処理水の海洋放出の方針を決定し、令和 5 年 8 月より放出が開始され、ALPS で除去できないトリチウムについては、社会的な関心が高まった。低濃度トリチウムや有機結合型トリチウム（以下、「OBT」という。）等の分析においては、一般的な水中のトリチウム分析に比べ、高度な手法が適用されるため、分析の信頼性担保がより一層重要となる。

そこで、本研究課題では福島県環境創造センターと(公財)環境科学技術研究所が協力し、環境中トリチウムの相互比較分析に関する検討を実施することとし、両機関におけるトリチウム分析の信頼性を向上させることを目的とした。

一昨年度は、環境水中の低濃度トリチウムをターゲットに、福島県沖で採取された海水試料をそれぞれの機関で分析し、全試料で十分なパフォーマンスを示す $En < 1$ を満たしていることを確認した。

昨年度は、前処理法が煩雑であり検出も困難である OBT をターゲットとして、トリチウム標識した魚試料の OBT 分析を実施し、福島県環境創造センターにおける OBT 分析の妥当性を確認した。

今年度は、福島県内の環境試料（松葉）を対象に、組織自由水中トリチウム（以下、「TFWT」という。）及び OBT 分析を実施した。以下、工程を示す。

2024 年 9 月に大熊町及び双葉町で採取した松葉を凍結乾燥し、昇華した組織自由水をコールドトラップで捕集した。OBT は有機物試料を燃焼させて生じる水（以下、「燃焼水」という。）を回収して分析する必要がある。そこで、乾燥させた松葉を二連式管状型電気炉により燃焼させ、燃焼水を回収した。回収した組織自由水及び燃焼水には微量の有機物が含まれるため、過マンガン酸カリウム及び沸騰石を添加し、7 時間以上還流して分解を行った。還流後、過酸化ナトリウムを添加し、蒸留・精製した。得られた水試料と液体シンチレータ（Ultima Gold LLT, Revvity）を混合し、液体シンチレーションカウンタ（LSC-LB7, ALOKA）でトリチウム濃度を測定した。

その結果、大熊町で採取した松葉は TFWT 濃度 1.05 ± 0.14 Bq/L、OBT 濃度 1.03 ± 0.23 Bq/L・燃烧水、OBT 濃度 0.56 ± 0.13 Bq/kg・乾、双葉町で採取した松葉は TFWT 濃度 0.55 ± 0.14 Bq/L、OBT 濃度 0.72 ± 0.14 Bq/L・燃烧水、OBT 濃度 0.40 ± 0.08 Bq/kg・乾であり、環境中松葉の TFWT 及び OBT を検出することができた。また、それぞれの地点で採取した松葉について TFWT と OBT の濃度に大きな違いは見られなかった。

一連の取組により、環境試料中のトリチウム分析に関する技術向上及び知見の蓄積が図られた。今後も、継続的に分析精度を担保するための取組を検討していく。

2. 論文

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

1. 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大気上層で生成され、速やかに酸化されて自然環境の水循環に取り込まれる。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、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[1]が、その要因は明らかでない。ここでは、挙動がよく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。

2. 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[2]を用いた。吸湿剤(モレキュラーシーブ(MS)3A)と酸化触媒を組み合わせる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)[3]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 時間ごとのデータを取得した。

3. 結果:

大気微量成分測定システム(水素、メタンを対象)と化学形態別大気中トリチウム濃度測定を本年度も継続して運用し、約 3 年分の観測データを蓄積した。観測を開始した 2022 年 6 月から 2024 年 12 月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)との相関を確認した。その結果、HT と H₂、CH₃T と CH₄ の間には明確な相関(相関係数: 0.12、0.23)が確認されなかった。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 の生成過程・挙動と異なることを示唆している。大気中のトリチウム供給源は、H₂ や CH₄ が生成される地表付近ではなく、他に存在する可能性がある。2025 年度も継続して大気観測を行い、4 年分の観測データをまとめて論文投稿を検討する。

[参考文献]

[1] M. Tanaka and T. Uda, Radiat. Prot. Dosim., 167 (2015) 187–191.

[2] T. Uda, et al., Fusion Eng. Des., 81 (2006) 1385–1390.

[3] M. Tanaka, et al., Plasma Fusion Res., 18 (2023) 2405038 .

2. 論文

今年度はありません。

根圏効果による粘土鉱物の放射性セシウム動態への影響解析

研究代表者：渡部 敏裕

受入研究者：海野 佑介 ・ 武田 晃

共同研究者：信濃 卓郎・鷺尾 太一・丸山 隼人

1. 成果

セシウム (Cs) は、土壤粘土鉱物中のフレイドエッジサイトに強く固定され、土壤中に存在している。植物による放射性セシウムの吸収には、土壤の種類に加えて、植物種による違いも影響を与える。これまでの圃場試験およびポット試験の結果から、マメ科作物であるシロバナルーピンは特に高い放射性セシウムの吸収能を示すことが明らかになっている。この要因として、本種が持つ特徴的な根（クラスター根）と、そこから多量に分泌される有機酸が関与している可能性が示唆されている。そこで、本研究では、有機酸が土壤（鉱物）に及ぼす影響をマイクロダイアリシスによる有機酸添加試験で評価するとともに、シロバナルーピンクラスター根による土壤中各種元素の動態変化を明らかにすることを目的とした。本年度は土壤(粘土鉱物)-マイクロダイアリシスによる溶液回収と ICP-MS による元素分析実験系の条件検討を行い、根箱を用いた根圏元素動態調査試験の予備的な栽培も行った。マイクロダイアリシスの実験では、有機酸による土壤中の元素の可溶化が確認でき、有機酸の濃度による効果の違いが見られ、根からの有機酸分泌の土壤への影響を評価できる模擬試験系を確立できた。今後は異なる土壤や調整鉱物(Cs 添加鉱物)を用いた調査や、有機酸濃度の検討、長期的な有機酸を添加試験など、さらなる調査を行う予定である。シロバナルーピンクラスター根圏での元素動態の調査では予備的な根箱栽培試験を行った。クラスター根、非クラスター根、非根圏にマイクロダイアリシスを設置し、経時的な土壤溶液の回収を実施した。今後、回収液の元素測定、土壤分析を行う予定である。

2. 論文

鉄資材の施用が土壤中の放射性セシウムの動態と作物への放射性セシウムの移行に及ぼす影響の解析

研究代表者：久保 堅司

受入研究者：海野 佑介・武田 晃

共同研究者：山本 修平・信濃 卓郎・丸山 隼人・村島 和基

1. 成果

東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、農地に降下した放射性セシウム（RCs）の作物への移行は、主に除染（表土剥ぎ取り、客土等）やカリウム肥料の追加施用により、低減が図られてきた。一方で、近年の研究により、カリウムの追加施用による RCs の移行低減効果が土壌によって一様ではないことが明らかになりつつある。また、カリウム以外の成分が作物への RCs の移行に及ぼす影響については不明な点が多い。本研究では、申請者らの事前調査において示唆された、作物への RCs の移行性に石灰資材の種類が影響する可能性に着目し、異なる石灰資材を施用した際の作物への RCs の移行に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。試験として、ダイズを苦土石灰または転炉石灰（鉄資材）を施用した条件下（石灰分の投入量を同程度に設定）のポット土壌（事前調査とは異なる圃場から採取）において開花期まで栽培したところ、ダイズ地上部の生育量は同程度だったが、 ^{137}Cs の移行係数（ダイズ茎葉の ^{137}Cs 濃度 ÷ 土壌の ^{137}Cs 濃度）は転炉石灰を施用した方が苦土石灰を施用した場合よりも低い傾向にあった。同様の傾向が認められた事前調査のポット試験において、 ^{137}Cs の移行係数と栽培後土壌の化学特性との関係を解析したところ、 ^{137}Cs の移行係数は土壌中の交換性カルシウム含量や可給態鉄含量と有意な負の相関関係を示した（交換性カルシウム含量 $P < 0.05$ 、可給態鉄含量 $P < 0.10$ ）。この試験は土壌の交換性カリウム含量が比較的高い（平均値で $22.2 \text{ mg K}_2\text{O} / 100\text{g}$ ）栽培条件であったことから、非選択的な陽イオン輸送系である VICC（Voltage-independent Cation Channel）が Cs^+ の吸収に関係していることが考えられ、土壌中の Ca^{2+} 等陽イオンの影響で作物による Cs^+ 吸収の拮抗阻害が生じている可能性が示唆された。以上のように、本研究では土壌から作物への放射性セシウムの移行にカリウム以外の元素も関係していることが示唆された。今後、得られた知見をもとに、カリウム以外の化学特性にも着目した作物への RCs 移行低減技術を検討する。また、データの解析を進め、論文として取りまとめることを計画している。

2. 論文

なし

生体への水素同位体取込みの同位体効果の検証

研究代表者：鳥養 祐二

受入研究者：石川 義朗・柿内 秀樹

共同研究者：細根 孟留・小畑 結衣

1. 成果

重水素とトリチウムを含む海水中でヒラメ、ウバガイ、ホタテおよびマコンブを育成し、海生生物における水素同位体の取込みと放出の同位体効果について検討した。海生生物に含まれる水分の迅速な測定法として、自由水を電子レンジで迅速かつ簡便に回収する“マイクロ波加熱法”を提案し、同位体効果の検証に応用した。自由水型トリチウムの測定は液体シンチレーション法により測定した。トリチウム源として重水中に含まれるトリチウムを使用した。重水及びトリチウムを含んだ海水で飼育したヒラメ、ウバガイ、ホタテおよびマコンブの水素同位体の取込み挙動と、重水及びトリチウムを含んだ海水で飼育した物を通常の海水に移して飼育したときの放出挙動を検討した結果、取込み過程と放出過程において、水素同位体の同位体効果は認められなかった。また、十分に重水素とトリチウムを取り込んだ、ヒラメ、ウバガイ、ホタテおよびマコンブを通常海水に戻したときに、重水素とトリチウムの残存は観測されず、速やかに生育環境の水素同位体濃度と平衡になることが明らかとなった。3年間の研究により、海生生物への自由水への取込みと放出においては、同位体効果は無いこと、生育環境の水の水素同位体濃度と平衡になること、が明らかとなった。この研究成果は、2025年9月にオタワで開催される Tritium 2025 国際会議で報告する。

2. 論文

流域から駿河湾への輸送物質の形態

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、海洋生態系への放射性元素等を含む物質の移行経路として河川に着目し、河川水とそれが流入する湾の海水中の物質の形態（溶存態・粒子態）を特に有機物について明らかにすることを目的とした。調査対象は、駿河湾と、駿河湾に流入する河川のうち、流量が大きい狩野川、富士川、安倍川、大井川とした。これら4つの主要流入河川は、河川の規模（流域面積、幹川流路延長、流量）、流域の主要な地質、土地利用が異なっており、輸送する有機物の形態構成が異なることが予想される。観測は、河川については駿河湾への供給フラックスを求めるために最下流の水位流量観測点で行い、駿河湾では沖合部の測点 SR1（35° 03′ 20″ N, 138° 41′ 00″ E、水深約 1000m）で、ほぼ毎月行った。試水をガラス繊維フィルター（Whatman GF/F）でろ過し、溶存有機物（ろ液画分）と粒状有機物（フィルター画分）に分けて分析を行った。本報告では、2024 年の安倍川に注目して結果を記載する。溶存有機物の濃度である溶存有機炭素（DOC）濃度は、安倍川で $0.15 \pm 0.05 \text{ mg C/L}$ （平均±標準偏差）で、他の河川（ $0.61 \pm 0.17 \sim 1.41 \pm 0.78 \text{ mg C/L}$ ）に比べて顕著に低かった。安倍川の源流部が日本三大崩れの大谷崩であることから、大谷崩から供給される土砂粒子が DOC を吸着し（「安倍川餅理論」）、沈降または懸濁化することで表流水の DOC の濃度を低下させるという仮説を立て、検証実験を行った。検証実験では、安倍川下流の粒子を遠心分離により集め、それを元の安倍川の表流水と同じ体積比で狩野川のろ過表流水に加え、攪拌子で攪拌した。その結果、安倍川の粒子は 2 時間の攪拌で狩野川表流水の DOC を約 15% 吸着させ、「安倍川餅理論」が証明された。また、安倍川の地下水と伏流水の DOC 濃度は $<0.08 \text{ mg C/L}$ であり、上流域の表流水（ $<0.1 \text{ mg C/L}$ ）並みに低かった。この結果から、安倍川では、伏流水と地下水が、堆積した土砂の間隙を流れる間に「安倍川餅理論」が働き、DOC の一部が土砂粒子に吸着・除去され、下流の自噴帯で湧出して表流水の DOC を希釈していることが考えられた。安倍川で DOC 濃度が低い根本的な要因として、ダムがなく、下流でも河床勾配が 1/250 と急流であるため、生物による有機物の生産と蓄積が少ないまま河口に到達することが考えられる。

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）

FY2024 Final Report
【若手/Young 共同研究】

若手共同研究（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
Y-24-01	佐藤 ひかる	福島大学大学院卒	会社員	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-24-02	榊原 厚一	信州大学	助教	山地源流域湧水の放射性ラドン濃度の降雨時における挙動	恩田 裕一 辻村 真貴	CRiES	廣田 昌大 平松 翼
Y-24-03	Zandvakili Zahra	高知大学	2nd year Ph.D student	Oxygen, hydrogen, carbon and sulfur isotopes measurement of hot spring waters in the earthquake swarm region	丸岡 照幸 山中 勤	CRiES	
Y-24-04	三浦 輝	電力中央研究所	主任研究員	加速器質量分析法を用いたヨウ素129の海洋動態解明	笹 公和 坂口 綾	CRiES	松中 哲也
Y-24-05	Mundo Jose Rodrigo	金沢大学	Collaborative researcher	オホーツク海南部域における129Iの分布特性と増加要因の解析	笹 公和 坂口 綾	CRiES	松中 哲也 松村 万寿美
Y-24-06	徳永 紘平	日本原子力研究開発機構	研究員	鉄鉱物の化学状態の変化に伴う人形峠センター(旧ウラン鉱床)堆積物中のウラン及びヒ素の移行素過程の解明	山崎 信哉 坂口 綾	CRiES	
Y-24-07	角間 海七渡	京都大学	博士後期課程3年	福島の昆虫群集における放射性セシウムの分布と高濃度放射性セシウム含有粒子が及ぼす影響	和田 敏裕	IER	村上 正志 二瓶 直登 辰野 宇大 佐山 葉 大手 信人
Y-24-08	Cai Yu	東京大学	D3	Elucidation of the spatial distribution and seasonal variation of 210Pb around Japan	平尾 茂一	IER	山澤 弘実 飯本 武志 Li Hanting
Y-24-09	JIN Qianhao	東京大学	2nd Grade for ph.D student	Radon escape speed from water to the air and modification of measurement technique.	山口 克彦	IER	迫田 晃弘 飯本 武志
Y-24-10	小池 弘美	東京大学	特任助教（予定）	自然起源放射性物質の評価目的に応じた各種測定方法に関する研究	床次 真司	IREM	飯本 武志 Guh Changting 三浦 竜一
Y-24-11	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-24-12	Pitakchaianan Chonlada	大阪産業大学	D1	Tritium Concentrations in Precipitation Collected at Osaka, Japan	赤田 尚史	IREM	
Y-24-13	Kosinarkaranun Kanyanan	大阪産業大学	D1	The behavior of cosmogenic 7Be, 22Na, and 210Pb in the surface air over Osaka, Japan, and the exploration of aerosol size distributions with their major chemical compositions associated with 7Be and 210Pb.	赤田 尚史	IREM	
Y-24-14	Jokam Nenkam Therese Line Laure	富山大学	2nd year Ph.D student	Distribution of radioactive materials in freshwater and transport dynamic from land to the coastal ocean	田副 博文	IREM	Oktaviani Ade S Khatun Mst. Tania 勝田 裕大
Y-24-15	大塚 進平	富山大学	博士後期課程・2年	富山深海長谷における近年の堆積環境変化に関する研究	田副 博文	IREM	張 勁 Michael Julian Haryanto 遠藤 真樹 三神 崇重
Y-24-16	Hasan Md Mahamudul	東京大学	Researcher	Development of effective countermeasures for radon exposure: dynamics assessment and parameter investigation of Asian dwelling factors and human lifestyle	大森 康孝	IREM	飯本 武志
Y-24-17	古川 理央	産業技術総合研究所	主任研究員	比例計数管を用いたラドン濃度絶対測定の精度評価	大森 康孝	IREM	原野 英樹
Y-24-18	西野 圭佑	電力中央研究所	研究員	河川水の物理化学状態が駆動する懸濁土砂粒子の凝集に関する数値実験	中西 貴宏 舟木 泰智	JAEA	吉川 裕
Y-24-19	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測定	柿内 秀樹	IES	山下 雅樹

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

東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島第一原発）からの事故由来の Cs-137 直接流出は汚染水対策の 1 つである海側遮水壁が設置された 2015 年以降減少したものの、その後も海洋への流出は継続している。さらに流出口の 1 つとなっている福島第一原発港湾内の海水中の Cs-137 濃度では夏季（8 月～10 月）に濃度が上昇する季節変動がみられるようになった。しかし、季節変動の要因と主要な流出源が未だに明らかになっていない。そこで本研究では、港湾内の海水中 Cs-137 濃度が K 排水路の流出口で最も高く、K 排水路水の濃度が海水と同様に季節変動があることに着目し、K 排水路中の Cs-137 濃度の形成要因を明らかにすることとした。K 排水路水は、35m 盤と呼ばれる敷地内の高台からの湧水と、雨水からなる表面流からなる。無降雨時にも K 排水路には湧水と考えられる流入が一定量存在する。また、K 排水路水の特徴として定常時に H-3 濃度が約 100Bq（2021 年時点）と高く、降雨時に減少する。K 排水路水中の高濃度 H-3 は、35m 盤に配置されたタンクエリアからの H-3 漏えいに伴う地下水への流入によるものだと考えられる。本研究では、この H-3 をトレーサーとして使用し、K 排水路水の Cs-137 濃度の形成要因を流域水文学的解析によって明らかにした。解析は福島第一原発の公表データおよび東京電力からデータ提供されたもの（排水路・地下水 H-3、Cs-137 濃度、気象データ）を使用した。まず、End-Members Mixing-Analysis（EMMA）法を使用し、湧水（基底流）の H-3 濃度をエンドメンバーとし K 排水路水を基底流と表面流に分離した。しかし、この 2 成分だけでは実測の Cs-137 濃度を再現することができず、降雨時には流出の速い成分と遅い成分を再現する必要があった。そのため、実効雨量法にてさらに表面流を 2 種類に分離した。1 つ目は、降雨時に表層を伝って流入する「表層流出」、2 つ目は降雨時に建屋の屋根を伝って流入する「屋根排水」と仮定した。これらの 3 成分と Cs-137 の流量および濃度関係から、K 排水路の Cs-137 濃度の季節変動と流出源について以下の結果を得た。基底流については、敷地内の気温との相関があることが分かった。本研究では、温度係数が 0.047 であり Nakanishi and Sakuma（2019）で報告された係数（0.040-0.097）の範囲内であった。基底流の Cs-137 濃度は 8 月に最も高くなり約 10 Bq/L となる。表面流については、降水量の多くなる 9 月や 10 月に濃度が高くなり、比較的濃度の高い（約 20—30Bq/L）Cs-137 が流入していると推測された。このように、基底流と表面流では異なる濃度上昇の要因があることが示唆された。K 排水路の Cs-濃度は「屋根排水」（約 50%）、「表層流出」（30%）、基底流（20%）で構成され、「屋根排水」が主要な流出源であるため継続的な除染が有効であると考えられる。また、地下水中の高濃度 H-3 は敷地の水文学的解析に活用できる可能性があるため、有効性について引き続き検討していく。

2. 論文

山地源流域湧水の放射性ラドン濃度の降雨時における挙動

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：廣田 昌大・平松 翼

1. 成果

山地森林の水資源涵養機能の評価や洪水・土砂災害の予測のためには、源流域における降雨時の流出発生過程を解明することが重要である。特に、基盤岩地下水の動態は降雨流出過程において重要な役割を果たすと考えられるが、基盤岩地下水の流出を直接的に評価する手法は限られており、岩盤地下水の流出を明確に示した実測データも少ない。本研究では、花崗岩質の基盤岩を有する源流域において、地下水中の Rn-222 濃度の特性を明らかにし、基盤岩地下水流出の解明における Rn-222 のトレーサーとしての有効性を評価することを目的とした。研究対象地において地下水・土壌水ポテンシャルをモニタリングし、地下水および湧水の定期採取を行った。また、液体シンチレーションカウンター法により水の Rn-222 濃度を、水同位体比分析器により水の酸素・水素安定同位体比を、イオンクロマトグラフ法にて主要溶存イオン濃度を分析した。湧水中の Rn-222 濃度は、 21.8 ± 4.34 Bq/L であり、湧水量が比較的小さいときに濃度が高くなる傾向が見られた。一方、地下水中の主要溶存イオン濃度および酸素・水素安定同位体比の値は、深度や採水日による変動がほとんど見られなかった。Rn-222 濃度は、尾根の 20 m 井戸では、75.09 Bq/L であったが、岩盤の風化や破碎が進んだ浅い地下水では低く、湧水に最も近い地表下 0.5 m の井戸では 17.53 Bq/L であった。この結果は、風化や破碎による地中の空隙の増加や、大気とのガス交換の促進が Rn-222 濃度に影響を与えていることを示唆する。花崗岩質の源流域において、Rn-222 は、主要溶存イオンや酸素・水素安定同位体比では明確に区別できない基盤岩地下水の流出を一次的に示すことができると考えられる。また、降雨流出時の基盤岩地下水の動態を解明するためのトレーサーとして有用である可能性がある。本研究では、花崗岩質の源流域において地下水および湧水の Rn-222 濃度を測定し、その特性を明らかにした。得られた結果は、基盤岩地下水流出の評価に Rn-222 が有効なトレーサーとなる可能性を示唆しており、降雨時の水循環解析への応用が期待される。今後は、降雨イベントごとの Rn-222 濃度変動をとらえ、より精度の高い基盤岩地下水の動態解析を進める予定である。

2. 論文

Oxygen, hydrogen, carbon and sulfur isotopes measurement of hot spring waters in the earthquake swarm region

研究代表者：Zandvakili Zahra

受入研究者：丸岡 照幸・山中 勤

1. 成果

The involvement of deep-seated fluids in fault behavior and earthquake generation is well established. However, understanding the origin and time-series variability of these fluids remains limited. Geophysical methods like seismic tomography and electromagnetic surveys provide insights into fluid distribution but are not suited for identifying temporal changes or fluid origins. Geochemical studies, particularly isotopic analyses, offer powerful tools for tracing the sources of fluids and assessing their contributions before seismic events.

This study focused on monitoring Li and Sr isotopic compositions in groundwater samples from Hokkaido, where the 2018 Eastern Iburi earthquake (M6.7) occurred. Previous work by Sano et al. (2020) identified pre-seismic anomalies in hydrogen, oxygen, and carbon isotopic values, suggesting CO₂ influx into groundwater near the epicenter. Using the same samples, we aimed to determine whether deep-seated fluids contributed to these geochemical changes by analyzing Li and Sr isotopes, which are reliable indicators of deep-seated fluid origin.

The isotopic analyses were conducted using MC-ICP-MS and TIMS after a two-step purification process in a clean laboratory at the Kochi Core Center. Our results showed a significant decrease in the Na/K ratio coinciding with the isotopic changes reported by Sano et al. (2020). While a reduction in Na/K can imply deep-seated fluid involvement, our Li and Sr isotope data revealed no evidence of deep-seated fluid migration associated with the Na/K decrease.

These findings suggest that the observed Na/K ratio drop can be explained by the influx of CO₂, supporting the theory of CO₂ migration from an injection site proposed by Sano et al. (2020). The absence of corresponding changes in Li and Sr isotopes further corroborates that CO₂ migration occurred without significant contribution of water transported from deeper crustal levels.

This study provides additional geochemical evidence that enhances the understanding of pre-seismic fluid behavior and highlights the need for integrating isotopic and elemental analyses to investigate complex subsurface fluid dynamics related to earthquake precursors.

2. 論文

加速器質量分析法を用いたヨウ素 129 の海洋動態解明

研究代表者：三浦 輝

受入研究者：笹 公和・坂口 綾

共同研究者：松中 哲也

1. 成果

【背景】東京電力による ALPS 処理水の海洋放出が 2023 年 8 月から開始された。処理水には告示濃度以下であるが、放射性ヨウ素（ ^{129}I 、半減期 1570 万年）が含まれる。 ^{129}I は藻類への濃縮係数が高く、被ばく影響を考慮する上で重要な核種である。本研究では、処理水海洋放出による ^{129}I の濃度上昇がどの程度かを明らかにすることを目的とした。これは、日本国民や諸外国に対して処理水海洋放出の安全性を示すことに貢献する。また、今後稼働が予定されている青森県六ヶ所村の核燃料再処理工場からも ^{129}I が放出されるため、 ^{129}I の海洋における拡散挙動を理解は重要である。 ^{129}I は環境省などの ALPS 処理水モニタリング対象核種になっているが、ICP-MS を用いた分析が行われており、検出ができていない。

【方法】海水試料の広域でのサンプリングは、22 年 10 月、23 年 3 月に行った。1F 近傍でのサンプリングは 23 年 4 月から 24 年 7 月まで 6 度行った。試料前処理は金沢大学 LLRL 施設で行い、 AgI 沈殿とした。本研究では ^{129}I が低濃度であることが予測されるため、AMS による分析を採用し、筑波大学で行った。

【結果】2022 年 10 月の広域サンプル分析の結果、1F に最も近い地点のみ 10^{-6} Bq/L 程度の高濃度を示し、1F から離れた地点では 10^{-8} Bq/L（1F 事故前の濃度レベル）であった。このことは、1F 敷地付近から放射性核種を含む水の漏洩が継続していることを示唆した。処理水放出前、1F 近傍において地点によって ^{129}I に濃度差が見られ、前述した敷地付近からの漏洩が示唆された。処理水放出中のサンプル（23 年 10 月 11 日）でも、地点によって濃度差が見られ、最大では 10^{-5} Bq/L 程度であった。処理水放出完了から 4 日後のサンプル（23 年 10 月 27 日）では低濃度を想定したが、全地点で高濃度であった。これらの濃度について、観測結果のみで解釈することが困難であるため、電中研所有のモデルによる海洋拡散シミュレーションを行い、観測結果と比較した。処理水放出中（23 年 10 月 11 日）について、観測では 1F から南側の地点で高濃度の結果が得られ、シミュレーションの結果から処理水由来の海水が南側へと流れたことが分かり、観測結果の傾向と一致した。処理水放出完了から 4 日後（23 年 10 月 27 日）ではシミュレーションにより処理水由来の高濃度海水が 1F 近傍に滞留していたことが分かり、観測結果の傾向と一致した。観測結果とシミュレーションから予測される濃度レベルは概ね一致した。処理水放出の前後の観測結果を比較して、明確な濃度上昇は見られなかった。1F 敷地付近からの継続的な漏洩の影響が、処理水放出の影響と比較して無視できないレベルであることが示唆され、敷地付近からの漏洩量、漏洩源を明らかにする必要があると考えられる。今後、 ^{129}I の形

態別分析、 ^3H や ^{137}Cs 等、他核種の分析結果も合わせた議論、藻類の ^{129}I 濃度分析などを行う予定である。

2. 論文

オホーツク海南部域における 129I の分布特性と増加要因の解析

研究代表者：Mundo Jose Rodrigo

受入研究者：笹 公和・坂口 綾

共同研究者：松中 哲也・松村 万寿美

1. 成果

Fed by the Soya Warm current (high salinity) and the East Sakhalin Current (cold and low salinity), surface water of the southern Okhotsk can be grouped into Coastal and Offshore areas.

Previously, we found that 129I was carried southward by the ESC. Likewise, in the surface waters, 129I (Offshore > Coastal) linearly correlated with salinity year after year ($R^2 > 0.7$). From the samples collected between 2017 and 2022, it was shown that the highest 129I/127I ratios and 129I activities were found in the offshore area of the Okhotsk Sea, the same area with the lowest temperature and salinity. Annual 129I emissions for the period 2013-2022 are presented for three of the main nuclear waste reprocessing plants in the world. Although the La Hague presented a weak rising trend, other atmospheric releases and liquid discharge were constant or downward.

From a regional perspective, the largest ratios and concentrations of 129I were found in the southern Okhotsk Sea due to the southern transport of the ESC. To a lower degree, the Oyashio Current also generates a southern flux, visible southeast of Hokkaido. The Japan Sea, although at similar latitudes, is an area fed by the Tsushima Warm Current, which has lower ratios and concentrations of 129I. The oceanographic currents were characterized by salinity and temperature.

Summer samples taken in the southern Okhotsk Sea and at the subarctic gyre of the Japan Sea show an increasing trend during the 2017-2022 period. Specifically, the linear regression of the 129I/127I ratios for the southern Okhotsk Sea had a slope of 9.12×10^{-12} . The counterclockwise circulation of the Okhotsk Sea and Amur River discharges are not the main reasons for the increase due to the regional behavior of the phenomenon. Since an increase in 129I annual release is also unlikely, the main hypothesis to explain the increase in 129I would be differences in atmospheric transport patterns.

2. 論文

なし

鉄鉱物の化学状態の変化に伴う人形峠センター(旧ウラン鉱床)堆積物中の ウラン及びヒ素の移行素過程の解明

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（人形峠センター）には旧ウラン鉱床等があるため、(i)浅い地下水（坑水）にウラン(U)やヒ素(As)等が溶存し移動していると同時に、(ii)天然の浄化作用により坑水中の U 等を除去するための堆積場では、坑水に多量に含まれる鉄(Fe)イオンが酸化することで生成する（水）酸化鉄に U 等が吸着・共沈し堆積している。申請者（徳永）らは、主に吸着・脱離実験や放射光 X 線吸収端微細構造（XAFS）解析を用いて、環境試料中での元素の分子レベルの情報を引き出し、より本質的な化学的情報に基づいて人形峠センターにおける元素循環の素過程や環境影響を検討している。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 や As 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。具体的には、堆積場の表層において、鉄は主にフェリハイドライト($\text{FeIIIIOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$)、ゲーサイト($\alpha\text{-FeIIIIOOH}$)、シデライト(FeIIICO_3)、マグネタイト($\text{FeIIFeIII}_2\text{O}_4$)の化学種として存在しており、各鉄鉱物に対して U や As が強く吸着していることが分かった。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。人形峠センターで採取した最表層堆積物コア試料(0~1m 深さ)においても、堆積物の部位により Eh と pH が異なるとともに U や As 濃度が変化しており、鉄鉱物の化学状態の変化に応じて U 等の結合挙動が変化している可能性がある。そこで本研究では、人形峠センターの堆積環境における U 等元素の挙動を明らかにするために、鉄鉱物への U 等元素の結合状態や局所構造を、特に Eh の変化の観点から検討した。

本年度は、堆積場で採取した最表層堆積物コア試料中の鉄鉱物に対する U 等元素の挙動を、放射光 XAFS による元素の化学種解析と室内での逐次抽出実験により検討した。放射光を用いた XAFS 解析により、表層(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 が大きく低下する中層以深(Eh -30~300mV)では 2 価鉄を含む鉄鉱物（シデライト、マグネタイト）も存在することが確認された。同様に U は表層では U(VI)のみで存在するのに対し、中層以深では U(IV)が Eh に応じて割合を変えて確認された。逐次抽出実験により、堆積物中の鉄鉱物に結合する U を逐次的に抽出したところ、U は表層では主にフェリハイドライトに、中層以深では主にシデライトに結合していたことが分かった。さらに、メカニズムは未検討であるが、シデライトは嫌気的な水質条件において U(VI)を U(IV)に還元させることにより、他の鉄鉱物よりも多くの U を吸着することも、本研究の室内実験より示された。この現象が実際

の人形峠センターの堆積環境においても確認され、堆積物中に含まれるシデライトが還元的な環境でのUの挙動を大きく支配している可能性が示唆される。この天然の堆積環境にて、UがU(IV)/U(VI)の両方の価数で鉱物に吸着する環境は非常に珍しく、環境中で価数に応じて挙動が変化する放射性核種の動態研究として、基礎と応用の両面で重要な研究となることが期待される。

2. 論文

福島の高濃度放射性セシウム含有粒子が及ぼす影響

研究代表者：角間 海七渡

受入研究者：和田 敏裕

共同研究者：村上 正志・二瓶 直登・辰野 宇大・佐山 葉・大手 信人

1. 成果

2011 年の福島第一原子力発電所事故以降、福島周辺地域に生息する昆虫類に放射性セシウムが移行していることが確認されている。昆虫類に取り込まれた放射性セシウムは食物網を介して魚類や爬虫類など高次生物へと取り込まれる可能性があり、その濃度を把握することは生態系におけるリスク評価のために重要である。本研究では、昆虫群集における個体レベルでの放射性セシウム濃度の変動や、生息場所と関連した放射性セシウム存在分布を把握することを目的とした。加えて、昆虫体内に含まれる高濃度放射性セシウム含有粒子を検出することのできる手法を用いて、粒子の存在が放射性セシウム濃度のばらつきに及ぼす影響を解明することを目指した。本研究では福島県内の森林域から河川下流の生活圏にかけて複数の調査サイトを設定し、各サイトにおいて地表徘徊性昆虫、飛翔性昆虫および水生昆虫をピットフォールトラップ、衝突板トラップ、サーバーネットを用いて採取した。採取された昆虫は種同定を行い、イメージングプレートを用いたオートラジオグラフィ法により一粒子当たりの放射性セシウム含有量が一定以上である高濃度放射性セシウム含有粒子が体内に含まれているか個体ごとに識別した。また、試料全体の放射能をゲルマニウム検出器により測定し、昆虫群集における放射性セシウム分布を分析した。結果として、摂食による陸生昆虫への高濃度放射性セシウム含有粒子の取り込みとみられる事例が確認された。また、昆虫群集における放射性セシウム分布には個体ごとの食性の特徴が影響していると考えられた。本研究の成果により、昆虫群集における高濃度放射性セシウム含有粒子の検出率や、生物種や生息場所による検出率の変動、あるいは試料全体の放射性セシウム濃度に対する高濃度放射性セシウム含有粒子の寄与率に関して、先駆的な情報を提供することが期待される。今後は識別された粒子に対して走査型電子顕微鏡での観察を実施する。

2. 論文

Elucidation of the spatial distribution and seasonal variation of ^{210}Pb around Japan

研究代表者：Cai Yu

受入研究者：平尾 茂一

共同研究者：山澤 弘実・飯本 武志・Li Hanting

1. 成果

^{210}Pb , a decay product of radon-222 (^{222}Rn), provides unique insights into large-scale atmospheric circulation, regional pollutant transport, and deposition mechanisms. Moreover, ^{210}Pb deposition is critical in assessing radiation exposure risks, especially internal exposure via oral ingestion in regions like Japan. This dissertation investigates the atmospheric concentration, transport, and deposition of ^{210}Pb , with a particular focus on Japan and its surrounding regions.

Motivation and Objectives

Prior research has established a strong link between ^{210}Pb deposition and topographical features. Quantify the distribution of ^{210}Pb deposition across the Northern Hemisphere and analyze its transport pathways under various climatic conditions. However, comparisons between modeled and observed data frequently reveal a systematic underestimation. Therefore, this study aims to investigate the seasonal and spatial variability of ^{210}Pb deposition in Asia and its influence on Japanese regions, particularly in relation to the East Asian monsoon system.

Methodology

The study employed a combination of meteorological (WRF) and atmospheric transport models (HIRAT) to simulate ^{210}Pb transport and deposition from 2012 to 2015. Simulations were conducted at spatial resolutions of 48 km. Observational data from monitoring stations across Asia and Japan were used to validate the model and identify areas for improvement.

Findings and Contributions

In Asia, the annual average ^{210}Pb deposition flux was approximately $17.2 \text{ Bq m}^{-2} \text{ month}^{-1}$, with significant seasonal and spatial variability. Winter deposition was highest along the Sea of Japan coast, the eastern coast of Vietnam, and Siberia, while regions such as southern China and the Bay of Bengal exhibited lower deposition. Summer deposition patterns shifted, with the Bay of Bengal and the western coast of the Philippines experiencing elevated levels, while deposition along the Sea of Japan and Siberia decreased.

In Japan, seasonal variations in ^{210}Pb deposition were strongly influenced by the East

Asian monsoon system. During winter, the Siberian High and East Asian troughs drove strong northwesterly winds that transported ^{210}Pb -enriched air masses from eastern Siberia and the Kazakhstan-Xinjiang border to Japan, resulting in heavy deposition along the Sea of Japan coast. In summer, southerly and westerly winds transported air masses rich in ^{210}Pb from southern China, contributing to elevated deposition in Kyushu.

These findings underscore the complex interplay between atmospheric circulation, precipitation, and topography in shaping regional deposition patterns.

This study advances the understanding of ^{210}Pb behavior by providing detailed insights into its spatial and temporal deposition patterns across the Asia. The findings clarify seasonal variations, transport pathways, and the influence of climatic factors, contributing to more reliable atmospheric models.

2. 論文

Cai, Y.; Yamazawa, H.; Imoto, T.

Long-range transport model analysis on seasonal and spatial variations of ^{210}Pb deposition across Asia

Journal of Environmental Radioactivity, Volume 280, December 2024, 107563

<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2024.107563>

Radon escape speed from water to the air and modification of measurement technique.

研究代表者：JIN Qianhao

受入研究者：山口 克彦

共同研究者：迫田 晃弘・飯本 武志

1. 成果

Radon, as a noble gas with water-soluble properties, can be generated in, transported through, and exhaled from soil and water into the atmosphere. However, quantifying the escape speed of radon from water surfaces remains challenging due to the lack of feasible direct measurement methods, particularly for in-situ continuous monitoring.

This study aims to develop and optimize an accumulation chamber method for in-situ measurement of radon escape rate from water to the atmosphere. Concurrently with measuring radon accumulation in the chamber, radon levels in water were recorded as a critical factor influencing escape velocity.

During this fiscal year, we evaluated the performance of four detectors for measuring aqueous radon, including RAD7 (DurrIDGE Co.), AlphaGUARD PQ2000 (Saphymo Co.), scintillation cell with AB-7 (Pylon Electronics Co.), comparing with Liquid Scintillation Counting (LSC; LB-5, Aloka Co.) as reference method. A radon-rich water sample was serially diluted to create a concentration gradient (1833 to 0.3 Bq/L). Each detector measured radon via a bubbling system. The regression factor(k) between readings of the detector and reference method (LSC) has been calculated.

As result, AlphaGUARD ($k_{AG}=0.0698\pm0.0008, R^2=0.993$) and scintillation cell ($k_{LC}=0.1132\pm0.0009, R^2=0.998$) exhibited strong linear correlations with LSC across all concentrations.

RAD7 performed well ($k_{RAD7}=0.1017\pm0.002, R^2=0.998$) but only at concentrations >10 Bq/L, consistent with its manual. The derived linear relationships (AlphaGUARD or scintillation cell vs. LSC) can serve as conversion factors for field-based in-situ measurements of radon concentration in water.

2. 論文

自然起源放射性物質の評価目的に応じた各種測定方法に関する研究

研究代表者：小池 弘美

受入研究者：床次 眞司

共同研究者：飯本 武志・Guh Changting・三浦 竜一

1. 成果

放射線・放射性物質を利用することを目的としない人間活動の結果として、自然に存在する物質の比放射能が意図せず濃縮され、比較的高くなることがある。それらが放射性物質であるとは認知されずに身のまわりに存在し、突然放射性物質として認知され、自治体などの放射線に馴染みの無いグループが対応に苦慮する状況にある。自然起源放射性物質（NORM）の物理的・化学的特性が放射能測定に与える影響について、物量や放射能のばらつきといった性状に鑑み、その評価を行った。特に、今回は試料調整およびジオメトリ、さらに自己吸収の影響に着目し、それぞれの要因が測定結果に及ぼす程度を検討した。試料調整およびジオメトリによる検出効率の変動に関しては、試料の不均一性と形状の影響を考察した。前者については、文献調査により、U8 容器封入時、縦方向の偏在で低エネルギー側のピークが最大 3.88 倍、高エネルギー側のピークが 2.75 倍過大評価される可能性が確認された。後者については、配管内に物質がリング状に付着した状態をモデル化し、内部に空洞がない標準化されたピーク効率曲線と比較すると、低エネルギー側のピークでは約 5～7% の検出効率の上昇が確認された。

自己吸収の影響に関しては、硫酸バリウムを含む場合に低エネルギー域でのピーク効率の低下が顕著であった。硫酸バリウムを 80 mol% 含む場合、試料を U8 容器に封入し Ge 半導体検出器で測定したモデルで、88 keV で 51%、122 keV で 26% のピーク効率の低下が計算により評価された。さらに、実際に小学校で使用されていた手作りゴールポストを構成する配管内部に高放射能を有する堆積物が付着していたケースについて分析を行った。この事例では、堆積物がいつ頃から存在していたかを推定するために、Pb-210(γ 線 46.5 keV) の比放射能を算出する必要があった。試料の構成成分が不明で粉碎等の前処理も困難であったため、比較的粒径が小さいものを U8 容器に封入し Ge 半導体検出器を用いて測定を実施した。その結果、原子力規制庁が定める「放射能測定法シリーズ」に従った方法では、自己吸収による補正を行った場合に比べ、放射能が約半分に過小評価されることが示された。本事例ではその後、堆積物の由来を明らかにするために年代推定を行ったが、自己吸収補正を行わずに評価した場合には約 16 年、補正を適用すると約 60 年という大きな差が生じた。関係者への聞き取り調査と照合した結果、補正後の推定値が実態に合致していることが確認された。

物質の特性が測定条件等に適切に反映されない場合、NORM に関する情報の正確な整理や評価が困難となる。標準方法と認知される測定方法や条件を検討なく NORM に適用する場合も散見されるが、実態を的確に評価する上で、物質の性状を踏まえた適切な測定と

補正処理が不可欠である。また、これまでに報告されたデータは、特定の目的に基づいて測定されたものであり、計測に誤りが無い限り数値としては信頼できる。しかし、異なる目的で取得されたデータを同列に扱うことには注意が必要である。たとえば、環境バックグラウンドの平均値を示すデータと、高線量地域を選択的に測定したデータとを同一の基準で比較すれば、地域の実態を誤って理解するおそれがある。加えて、公表論文の測定条件のみでは、物質が適切に測定されているか判断できない場合があることにも留意すべきである。

2. 論文

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・林 哲平

1. 成果

本研究では、「電子スピン共鳴法によるニホンザルの被ばく線量推定」として、ESR スペクトルの解析方法の改良を行った。野生動物各個体の被ばく線量を評価する上で、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量が良い指標となりうる。炭酸ラジカル量は電子スピン共鳴法（ESR）によって定量できるが、福島第一原子力発電所事故に係る線量領域では生来のラジカルによる ESR 信号が無視できず、被ばく線量推定の精度に影響する。個体間・歯種間のエナメル質の化学的均一性なども検討の余地がある。

今年度は、ESR スペクトルの解析方法として、焼き鈍し法を用いた最適化を実装した多成分分解コードを整備した。現在、歯の ESR スペクトルの解析に用いることができるソフトウェアは限られており、トリアージなど緊急性の高い被ばくを想定して作成されているため、解析時間が短く、多数のパラメータを探索する上で課題があった。本研究では、低吸収線量（100 mGy 前後）の試料の ESR スペクトルを解析するために、探索範囲を広げるとともに、Mn マーカーによる磁場の較正や炭酸ラジカルスペクトルの解析式を導入することで、不要な変数を減らす工夫を行った。一般に利用しやすいように、解析から可視化まで1つのコードで完結するように設計し、OS 依存性をなくすために R 言語を用いて実装した（将来的には python 等の他言語にも書き換え可能である）。

作成したコードの妥当性を検証するため、害獣駆除された野生ニホンザルの歯を用いて実験を行った。歯を砕き、重液分離によってエナメル質と象牙質を分け、エナメル質を洗浄・乾燥後、マイクロチューブに封入し、試料とした。60Co 線源を用いて試料にガンマ線を照射し、東北大学の ESR 装置（JES-X320）で測定し、ESR スペクトルを得た。実測のスペクトルと有機ラジカル成分の強度が類似する模擬スペクトルを生成し、多成分分解コードの解析精度の検証を行った。その結果、単に ESR スペクトルのフィッティングを行うより、ESR スペクトルの微分形も評価対象に加えることで精度向上できることが示された。今年度の研究では他に、ESR 測定装置の各種制御パラメータ（変調幅や掃引時間、マイクロ波パワーなど）の最適化も行った。マイクロ波パワーの増大により S/N 比を向上できる見込みが立ったため、次年度これに注力する。

得られた成果は EPR Biodose2024 にてポスター発表を行い、プロシーディングスを投稿した。

2. 論文

Tritium Concentrations in Precipitation Collected at Osaka, Japan

研究代表者：Pitakchaianan Chonlada

受入研究者：赤田 尚史

1. 成果

This research aims to establish another efficiency laboratory for low-level tritium measurement at Osaka Sangyo University, Daito, Osaka, Japan (34.71 N, 135.64 E) and obtain a better understanding of tritium behaviors in environmental water. Also, study the seasonal variation, regional distribution of tritium activity concentration, and meteorological factors for each region that affect the tritium concentration. In addition, to estimate the recent tritium concentration in precipitation, the effects of latitudes and longitudes, and seasonal variation trends in Japan. Nowadays, the levels of tritium in the atmosphere are those of natural origin before the nuclear test. Nuclear power stations, nuclear-reprocessing plants, and fusion facilities are observed as further occurrence sources. Then, to appraise the influence of nuclear facilities and long-distance transport from the continent where the tritium level is relatively high, it is necessary to investigate background levels of tritium. In the future, in the fusion reactor which becomes an occurrence source. It is important to control the release of tritium into the environment from these facilities. Thus, a local radioactive impact may be observed in the vicinity of nuclear facilities, where the tritium activity concentration might be over the natural level. The monthly precipitation samples were collected at the rooftop of the 16th building (altitude is 31m) of Osaka Sangyo University from January 2020 to December 2023. pH (B-211, Horiba, Kyoto, Japan) and electrical conductivity (EC) (E-771, Horiba) were measured. Tritium enrichment apparatus by electrolysis using solid polymer electrolytic film has been applied to this research. 500 mL of the sample were purified until electrical conductivity was less than $30 \mu\text{S cm}^{-1}$. During electrolytic enrichment 500 mL water samples were enriched until 10 mL of final volume. Electrolysis was carried out for 2 days with an electrolytic current of 30 A. For tritium measurement, the final volume of enriched water samples was mixed homogeneously with 10 mL of liquid scintillation cocktail (Ultima Gold LLT; PerkinElmer) in a 20 mL polyethylene scintillation vial. The tritium measurements were performed by using a low background liquid scintillation counter (Hitachi AccuFLEX LSC-LB7). The cocktails were kept cold and dark at a low temperature (10°C) for 5 days and purge the radon gas in the measurement chamber with Ultra-pure nitrogen gas (15mL/min) to avoid strange scintillation caused by chemiluminescence and photoluminescence. Each sample was measured for 100 minutes, 10 repeated, and 3 cycles which in a total measurement time of 3,000 minutes. Monthly precipitation amount ranged from 17 to 415 mm and was high in summer and low in winter.

Annual precipitation amounts in 2020, 2021, 2022, and 2023 were 1526, 2019, 1247, and 1600 mm, with the arithmetic mean value of 1598 mm. The pH data ranged from 5.0 to 6.5, and about 67% of the samples were in the range of acid rain with the pH < 6.0. The EC ranged from 3 to 33 $\mu\text{S cm}^{-1}$. There was no clear seasonal trend for either pH or EC. The tritium concentration in the monthly precipitation ranged from 0.22 to 0.51 Bq L⁻¹ and was high in spring and low in summer. Annual tritium concentrations (arithmetic mean standard deviation) in 2020, 2021, 2022, and 2023 were 0.35 ± 0.10 , 0.34 ± 0.07 , 0.32 ± 0.07 , and 0.34 ± 0.15 Bq L⁻¹.

2. 論文

Monitoring of tritium concentrations in tap water and rainwater collected in Thailand.
<https://doi.org/10.1093/rpd/ncae159>

The behavior of cosmogenic ^7Be , ^{22}Na , and ^{210}Pb in the surface air over Osaka, Japan, and the exploration of aerosol size distributions with their major chemical compositions associated with ^7Be and ^{210}Pb .

研究代表者：Kosinarkaranun Kanyanan

受入研究者：赤田 尚史

共同研究者：

1. 成果

Air pollution issue is a significant global issue. ^7Be and ^{210}Pb are the radionuclides serve as tracers for understanding aerosol behavior. The activity ratio of ^7Be to ^{22}Na is used as tracer of stratosphere-troposphere vertical exchange in global aerosol radionuclide monitoring networks. This study aims to understand the behavior of ^7Be , ^{22}Na , and ^{210}Pb , as well as chemical composition attached by ^7Be and ^{210}Pb , throughout the year in Osaka, Japan. It also aims to prevent the air pollution from the particulate matter in the aerosols. [Method] Aerosol samples were collected using a high-volume air sampler (HV-1000R, Sibata) and a low-pressure cascade impactor (LP-20, Tokyo Dylec Corp.) that classifies aerosols into 12 sizes (0.06–13 μm). Monthly rainwater deposition samples were collected using a 0.18 m^2 open bucket (total deposition) and a 0.07 m^2 dust fall sampler (wet deposition), then filtered, evaporated on Advantec No. 1 filters (300 mm), and stored in U8 containers. Sampling was conducted on the rooftop of Building No.16, Osaka Sangyo University (34.71° N, 135.64° E). Activity concentrations of ^7Be , ^{210}Pb , and ^{22}Na were measured using an HPGe detector (GX2018, Canberra). Water-soluble ions (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) in aerosols were analyzed by ion chromatography (DIONEX ICS-1100). [Result] The activity concentration of ^7Be peaks in spring and autumn at Hirosaki and Osaka. In contrast, the activity concentration of ^{210}Pb peaks in spring and autumn in Osaka, whereas in Hirosaki, it peaks in autumn and winter. The activity concentration of ^{22}Na in Osaka ranges from 0.01 to 2.34 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$, while in Athens, it ranges from 1.03 to 2.72 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Unlike in Osaka, the data from Athen were not discontinuous due to lower detection limit. The total deposition rate of ^{22}Na in Osaka shows the highest concentration in spring and autumn. However, in August, the total deposition rate of ^{22}Na was undetectable because the values were lower than detection limit. In Fukui, the deposition rate of ^{22}Na exhibits larger peaks in winter and lower values in summer. Throughout the year, the relationship between the size distribution of ^7Be and ^{210}Pb -carrying aerosols and major chemical composition of aerosols suggested that SO_4^{2-} –

is a potential medium for ^7Be and ^{210}Pb . The $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}$ ratio serves as an indicator of air mass origins, including stratospheric intrusions, upper tropospheric influences, and boundary layer air masses. The $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}$ ratio in Finland is higher than in Osaka. In Finland, the $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}$ ratio increases with aerosol particle diameter due to enhanced ^7Be input from the stratosphere, where ^7Be attaches to growing fine aerosols, while ^{210}Pb is more abundant in smaller particles. In Osaka, the ratio increases in fine particles but decreases for particles larger than $2\text{ }\mu\text{m}$ due to local ^{210}Pb emissions and resuspension of coarse aerosols, including radon emissions from the land surface. $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}$ ratio peaks at different particle sizes in Osaka ($< 1\text{ }\mu\text{m}$) and Finland ($> 1\text{ }\mu\text{m}$) due to air mass origin, seasonal variations, meteorological conditions. [References]

[1] Kheamsiri, K., Modibo, O. B., Hadi, B. S. W., Kuwata, H., Yamada, R., Kranrod, C., and Akata, N. Atmospheric concentrations of ^7Be and ^{210}Pb in weekly aerosols at Hirosaki, a heavy snowfall area in Japan. *Radiation Protection Dosimetry*. 200, 1782–1786 (2024).

[2] Tokuyama, H. and Igarashi, S. Seasonal Variation in the Environmental Background Level of Cosmic-Ray-Produced ^{22}Na at Fukui City, Japan. *Journal of Environmental Radioactivity*. 38, 147-161 (1998).

[3] Savva, M. I., Karangelos, D. J., & Anagnostakis, M. J. Determination of ^7Be and ^{22}Na activity in air and rainwater samples by gamma-ray spectrometry. *Applied Radiation and Isotopes*. 134, 466-469 (2018).

[4] Paatero, J., Ioannidou, A., Ikonen, J. and Lehto, J. Aerosol particle size distribution of atmospheric lead-210 in northern Finland. *J. Environ. Radioact.* 172, 10-14 (2017).

2. 論文

Not yet

Distribution of radioactive materials in freshwater and transport dynamic from land to the coastal ocean

研究代表者：Jokam Nenkam Therese Line Laure

受入研究者：田副 博文

共同研究者：Oktaviani Ade S・Khatun Mst. Tania・勝田 裕大

1. 成果

1.Introduction

The radionuclide ^{137}Cs , a byproduct of nuclear accidents, is commonly found in topsoil and frequently detected in groundwater (Bugai et al., 2022). This nuclear fallout can disperse due to atmospheric currents, leading to environmental contamination far from the original explosion site. Research has demonstrated that ^{137}Cs were detected in groundwater decades after nuclear accidents (Onda et al., 2020). Following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident, groundwater contamination by radionuclides was anticipated, leading to numerous studies to assess their vertical migration within the soil profile. It has been observed that ^{137}Cs exhibit high sorption to geological materials and low mobility in the subsurface environment, resulting in their tendency to remain relatively stationary rather than migrating continuously into groundwater. This situation highlights the urgent need to monitor ^{137}Cs levels in groundwater and to clarify the mechanisms involved in its occurrence into groundwater.

2.Methods

2.1.Study area

The Kurobe River Alluvial Fan (KRAF), located 60 km west of the FDNPP in Toyama Prefecture along the Sea of Japan, was chosen to monitor environmental radioactivity and investigate the mechanisms by which ^{137}Cs from global nuclear fallout reaches groundwater. The KRAF was selected due to: (1) its abundance and multi-aquifer of groundwater resources; and (2) its short distance and steep terrain from the mountainous area (~3000 m altitude) to the coastal area. These characteristics facilitate a rapid response to environmental changes and global warming, making KRAF an ideal site for evaluating the dynamics of water transportation and the movement of dissolved solutes such as ^{137}Cs .

2.2. Field Sampling and Analysis:

Sample Collection: In February 2024, groundwater and surface water samples from 20 points across the KRAF aquifer were collected.

Field Measurements: In-situ parameters, including water temperature, pH, oxidation-

reduction potential (ORP), and electrical conductivity (EC) were measured at each sampling point.

2.3. Laboratory Analysis:

Bicarbonate was measured in an unfiltered sample (within 6 h following the sampling) by titration with HCl. Major ions were measured by IC and ICP-OES. Water-stable isotopes ($\delta^{2}\text{H-H}_2\text{O}$ and $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$) were analysed using a Picarro L2130-I analyser. ^{137}Cs were measured on 20L of sample using KNiFC–PAN resin in a well-type HPGe detector as described by Hegedűs et al. (2020).

2.4. Ongoing analysis

^{137}Cs , $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analyses are ongoing to fully address the hydrogeological processes and clarify the mechanisms of ^{137}Cs in groundwater.

3. Preliminary results

As of now, six samples have been analysed, and none have detected ^{137}Cs . The minimum detectable activity concentration (MDC) ranged from 0.15 to 0.62 mBq/L, depending on the counting time, which varied between 1 and 9 days. In comparison, the concentration of ^{137}Cs in Japanese river water is approximately 1 mBq/L, which is higher than the levels found in our samples. This suggests that ^{137}Cs have been removed from the water through interactions with mineral particles in the soil.

4. Future work

The research will continue ^{137}Cs in the remaining samples, as well as measurements of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ concentrations in surface and groundwater. The anticipated outcomes aim to clarify the hydrogeological processes and the mechanisms by which ^{137}Cs interact with groundwater.

References

Bugai, D., Kireev, S., Hoque, M.A., Kubko, Y., Smith, J., 2022. Natural attenuation processes control groundwater contamination in the Chernobyl exclusion zone: evidenc

2. 論文

富山深海長谷における近年の堆積環境変化に関する研究

研究代表者：大塚 進平

受入研究者：田副 博文

共同研究者：張 勁・Michael Julian Haryanto・遠藤 真樹・三神 崇重

1. 成果

令和6年度能登半島地震に伴って発生した複数の海底地すべりは津波の早期到達をもたらしたことが指摘されている(Masuda et al.,2024, Mulia et al.,2024)。また、地震後のカニ籠の消失や深層水用の取水管切断も地すべりの影響と考えられており、非常に速い移動速度で堆積物が浅海域から深海域へ運ばれたことが推測される。富山湾南部では、音波探査と水中ドローンによる観察によって、複数の地すべりの痕跡が発見されているが(Minami et al.,2024)、水中ドローンでの観察は浅海域に限定されており、北部の深海域における海底の変化は十分に明らかにされていない。そこで、地すべり発生に伴って、富山深海長谷に運搬された堆積物の起源とその過程を定量的に評価するため、地震前に調査済みの地点を対象に、採泥調査を実施した。試料は、堆積構造を調べるために、X線CTスキャンと粒度分析が行われ、堆積物起源を明らかにするために、元素組成、有機炭素、CN含有量が測定された。さらに、表層堆積物の堆積年代決定のため、 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs の測定が実施された。最も厚いイベント堆積物(～15cm)は能登半島東部で採取され、急速な上方粗粒化とそれに続く緩やかな上方細粒化の粒度分布を示し、混濁流の堆積を示唆していた。2022年の同地点の調査では確認されていないことから、今回の地震後に発生したものである可能性が高い。 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ と ^{137}Cs 濃度の鉛直分布からは、タービダイト下部と最表層堆積物との間に、低濃度のギャップ層が確認され、これは斜面崩壊による古い堆積物の再堆積に関連していると考えられた。 $\delta^{13}\text{C}$ とTN/TOCに基いた混合モデルにより計算された異なる有機物起源の寄与率は、タービダイト層内の高い陸起源有機物(50%以上)の寄与を示しており、崩壊堆積物が、富山深海長谷を経由して、より沿岸側の海域から運搬されたことが考えられた。加えて、タービダイトの下部の元素組成を解析した結果、高濃度のCrおよびNi(最大値195 ppm、134 ppm)が確認された。Cr、Niは、姫川上流域から供給される超塩基性岩類であることが明らかになっており(Ohta et al., 2004)、これらの元素の濃縮が見られる姫川沖合が地すべり起源である可能性が示唆された。以上の結果は、今回の地震に伴う津波や漁業被害の実態解明に貢献する重要な知見となる。

2. 論文

Development of effective countermeasures for radon exposure: dynamics assessment and parameter investigation of Asian dwelling factors and human lifestyle

研究代表者：Hasan Md Mahamudul

受入研究者：大森 康孝

共同研究者：飯本 武志

1. 成果

As of the development of effective countermeasures for the radiological exposure of radon and thoron inhalation, this project focused on the environmental dynamics and systematic parameter investigation in Bangladeshi dwellings, as one of the case studies of the Asian environment. Based on the natural radiation-induced cancer risk and high radiation background area situations in Bangladesh, we performed systematic radon (Rn-222, Rn), thoron (Rn-220, Tn), and natural radiation (gamma radiation) research in 300 Bangladeshi dwellings. Through several environmental surveys from 2019, we aimed to ascertain the preliminary countrywide Rn and Tn exposures pertaining to the Bangladeshi population's internal and external dose calculations. RADUET, a solid-state type nuclear track detector, was used to assess annual Rn and Tn concentrations. In addition, we collected all of the previous long-term Bangladeshi Rn data published by previous peer-reviewed papers for combining with our measured data pertaining to formulating countrywide Rn mapping. Alternatively, Tn study is the first in Bangladesh to formulate the country's baseline research. In the case of background radiation, we employed glass badge-based RPL dosimeter along with RADUET. Apart from the external dose calculation, we applied gamma radiation estimation as one of the tools to understand additionally the Rn and Tn's potentialities for natural radiation exposures in Bangladesh. As of the results, we prepared a novel Rn mapping for Bangladesh¹ identified the northern regions and mud-type dwellings with elevated levels of Rn exposures along with the potential environmental factors of lower ventilations and building materials. While combining with our measured Rn levels, Bangladesh's weighted average values² were obtained as 113 Bqm-3; which is higher than the WHO's reference levels. Continuously, mud/soil types dwellings that occupy larger Bangladeshi inhabitants; in our research, exhibited higher level of Rn exposures. As the first Tn study in Bangladesh, we estimated the range as 7-1686 Bqm-3 expressing the mud/soil dwellings with the highest potentials along with indoor distant-based spatial distributions of Tn gas in Bangladeshi dwellings. Using the ICRP recommended methodology, the highest Rn and Tn population-based annual effective internal dose is 2 mSvy-1 for Rn and 5 mSvy-1 respectively for Tn for Bangladeshi soil based indoors. Alternatively, the external dose

obtained from long-term gamma radiation estimation is around 1.5mSvy-1. While using our gamma radiation estimation/NORM source identification in understanding the potential source evaluation, we identified that Bangladesh has potential thorium problem and thus Tn sources in the natural environment of soil/sand which transmit through various rivers. Furthermore, building materials contained elevated level of Rn and Tn sources which formulated elevated gamma radiation. Finally, while conducting model room experiments with continuous Rn, Tn estimation, the Bangladeshi population's indoor human activities are obtained significant influential parameters affecting the spatial distributions for Rn, Tn and their dose calculation parameters.

2. 論文

None

比例計数管を用いたラドン濃度絶対測定の精度評価

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。国立研究開発法人 産業技術総合研究所（以下、産総研）では、一次標準器としてラドン濃度の絶対測定が可能な多電極比例計数管（Multi-Electrode Proportional Counter: MEPC）を開発し、ラドンの校正システムの確立を目指している。本研究では、開発した MEPC の絶対測定の精度評価を弘前大学被ばく医療総合研究所（以下、IREM）が所有するラドンばく露場で行った。産総研で他の希ガスでの標準供給実績がある通気式電離箱（I-409601、大倉電気株式会社）は、構造が単純な事から安定的に測定が可能である事が期待できる。本年度は上記の通気式電離箱を用い、MEPC で通気式電離箱を校正した場合の校正定数と、モンテカルロシミュレーション PHITS(Sato et al., 2018) 及び IREM での測定結果から計算した校正定数とを比較した。MEPC のラドンの計数効率、先行研究（Furukawa et al., 2023）により、計数管内部で子孫核種が壁面に付着していると仮定した場合 $1.9[s^{-1} Bq^{-1}]$ と求められており、本研究でも計数効率は $1.9[s^{-1} Bq^{-1}]$ を採用した。

モンテカルロシミュレーション PHITS(Sato et al., 2018) 及び IREM での測定結果から、通気式電離箱の校正定数が $1.24 \times 10^{16} [Bq m^{-3} A^{-1}]$ と求められた。一方 MEPC で校正した場合の校正定数は平均でおよそ $7 \times 10^{15} [Bq m^{-3} A^{-1}]$ 程度と半分ほどであった。さらに、MEPC で校正した値はばらつきが大きく、MEPC で安定な測定結果を得るために測定条件を改善する必要がある事が示唆された。今後は測定条件を改善するとともに、MEPC の最適な測定レンジを明らかにし、計数効率を見なおす必要がある可能性を視野に入れ、さらなるデータの蓄積を目指す。

Reference

Sato, T., Iwamoto, Y., Hashimoto, S., Ogawa, T., Furuta, T., Abe, S., Kai, T., Tsai, P.-E., Matsuda, N., Iwase, H., Shigyo, N., Sihver, L., Niita, K. 2018. Features of Particle and Heavy Ion transport code system (PHITS) version 3.02. J. Nucl. Sci. Technol. 55, 684–690.

Furukawa, R., Janik, M., Kodaira, S., Manabe, S., Matsumoto, T., Shimodan, C., Sato, Y., Harano, H. 2023. Standardization of Rn-222 concentration using the multi-electrode proportional counter. Appl. Radiat. Isot. DOI: 10.1016/j.apradiso. 111076

2. 論文

河川水の物理化学状態が駆動する懸濁土砂粒子の凝集に関する数値実験

研究代表者：西野 圭佑

受入研究者：中西 貴宏・舟木 泰智

共同研究者：吉川 裕

1. 成果

福島第一原子力発電所事故によって陸域へ放出された放射性セシウムは、河川水中の懸濁粒子に吸着し、粒子態として下流へ運ばれた後、河口域での塩分上昇によって一部が溶存態へと移行し外洋へと拡散されていくとされている (Takechi et al., 2016). 一方で河口域の乱流混合は粒子の衝突確率を高め、その一部を凝集させる (Ayala et al., 2008) ため、一部の粒子態セシウムは堆積泥にとどまることも知られている (Kubo et al., 2018). この堆積泥からのセシウムの溶出は出水時に限られない継続的なセシウムの供給源となりうる (Otosaka et al., 2020). 本課題は理想化された数値実験を通じて、河口域での混合現象が土砂堆積量にどのように影響するか明らかにすることを最終目標としている。過年度の採択課題により、懸濁粒子の凝集過程は粒子分布の変質（粒径・粒子数）を通じて粒子による水平的な物質輸送能力を減少させることが分かった。この変化には粒子の凝集確率やフラクタル次元などいくつかのパラメータが影響を及ぼす。特に沿岸域に特徴的な塩分の空間変化は懸濁粒子の凝集確率を変化させることが先行研究（主に室内水槽実験）により報告されているが、その定量的な議論はあまり進んでいない。

そこで本年度は、前年度までに整備した粒子モデルを用いて先行水槽実験の追試験を行うことで、凝集確率パラメータの塩分依存性の定量評価を試みた。数値実験には電力中央研究所の保有する計算機を用い、室内実験に関する議論を JAEA と行った。室内実験と比較するための数値モデルには Lagrangian cloud モデル (Riechelmann et al., 2012; Nishino and Yoshikawa, 2024) を採用した。比較対象として選定した水槽実験は Ou et al. (2016) および Edzwald et al. (1974) である。これらはともに工業用 kaolinite（懸濁土砂の主な構成物質）試料を用いた水槽実験であり、前者は静水中の沈降に伴う凝集現象を、後者は一定シアで攪拌された水槽内での凝集現象を対象にしたものであり、ともに実験設定が単純である点で検証が容易と判断した。前者は等価な設定の数値実験を行い、結果を比較することである塩分に対応する凝集確率を推定した。後者は主に凝集理論をもちいた解析的な考察に基づき、先行研究により報告された結果を凝集確率へと射影した。2つの比較の結果を結合することにより、ごく低塩分 (0 ppt) から高塩分 (~18 ppt) にかけての塩分-凝集確率の対応関係を得た。推定された関係は先行研究による定性的な報告と一致する特徴を示した。

今年度の成果として得られた塩分-凝集確率関係は、Lagrangian cloud モデルに限らず、ほかの粒子モデルを用いる場合にも凝集表現の基礎となるものである。したがって、今年度の成果として得られた関係を既存の粒子モデルに組み込んで用いることで、沿岸域での

塩分上昇にともなう凝集現象をより高精度に再現できるようになると考えている。この検証は次年度以降の課題である。

2. 論文

Nishino, K. and Yoshikawa, Y. “Numerical simulations on effects of turbulence on the size spectrum of sinking particles in ocean surface boundary layer” *Frontiers in Earth Sciences*, vol. 12, 2024. DOI: 10.3389/feart.2024.1427564

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測定

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

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。

暗黒物質とは宇宙に存在する未知の質量で、天文学的な観測から水素・ヘリウムなど通常の物質の 5 倍以上の存在が示唆されるものの、未だその正体は明らかになっていない。その暗黒物質の正体を明らかにするために我々が取り組んでいるのが直接探索という手法で、8.6 トンの液化したキセノンガスを用いた検出器をイタリア・グランサッソ研究所に設置し、暗黒物質と通常の物質が衝突する現象の観測を目指している。暗黒物質とキセノン原子の衝突は極稀であることから、直接探索によって暗黒物質を観測するためには背景事象源となる放射性物質の影響を排除することが不可欠となる。

トリチウムは水素や水蒸気などの形で液体キセノンに溶け込んでしまうため、主要な背景事象源の一つとなっている。しかしながらキセノン中の存在量が非常に少ない(10^{-25} mol/mol かそれ以下)ことから、トリチウム原子の数を直接的に測定することは困難となっている。そのため、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、主としてキセノン中に含まれる微量水素の測定法の開発に取り組んだ。混合ガスから水素のみを選択的に透過させることのできるパラジウム製の薄膜を用いることで希ガス中の水素ガスを取り出し、残留ガス分析装置によって解析を行った。最終的な目標は 10ppt (10^{-11}) 程度のオーダーでの測定であるが、まず原理実証としてアルゴンガスと水素が混合されたキャリブレーションガスを用いた測定を行い、10ppb (10^{-8}) の混合水素ガスで感度を確認することに成功した。またさらなる低濃度での測定に向け、装置の安定化の主な要因として分析装置の電氣的ノイズや装置全体の温度安定性が主な要因となることを突き止めた。今後は本研究の成果を生かしてさらに低い濃度での測定、また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。その際には、昨年度までに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/水素濃度比の数値を用いる。

またもう一つの取り組みが、環境中にメタンの形で存在するトリチウムの測定である。昨年度までに行った環境中のトリチウム測定では水素分子や水分子の形で存在するトリチウムの測定を行った。これらに加えてメタンに関しての測定を行うため、可燃性のメタンガスボトルを使わない測定法について準備を実施した。

2. 論文

E.Aprile, M.Kobayashi et al (XENON collaboration), First Search for Light Dark Matter in the Neutrino Fog with XENONnT, Phys. Rev. Lett. 134, 111802 (2025)

E.Aprile, M.Kobayashi et al (XENON collaboration), First Indication of Solar B-8 Neutrinos via Coherent Elastic Neutrino-Nucleus Scattering with XENONnT, Phys. Rev. Lett. 133, 191002 (2024)

E.Aprile, M.Kobayashi et al (XENON collaboration), The XENONnT dark matter experiment, Eur. Phys. J. C 84, 784 (2024)

放射能環境動態・影響評価
ネットワーク共同研究拠点（ERAN）

FY2024 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.	種目	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-24-01	海外	Haruko Wainwright	MIT	Assistant professor	Global environmental monitoring database development	恩田 裕一	CRIES	
I-24-02	海外	Cooper Russell James	University of Liverpool	Faculty Director of Postgraduate Research / Professor of Hydrology	Impact of landscape decontamination on runoff and erosion fluxes following the Fukushima nuclear accident	恩田 裕一	CRIES	
I-24-03	海外	Blake Henry William	University of Plymouth	Professor	Utility of portable gamma sensors to support agricultural land management decisions for soil and contaminant management	恩田 裕一	CRIES	
I-24-04	海外	Smith Thompson James	University of Portsmouth	Professor of Environmental Science	Radioactivity in aquatic systems in Europe and Japan	恩田 裕一	CRIES	
I-24-05	海外	Feng Bin	Technische Universität Wien	Junior researcher	霞ヶ浦湖畔の異なる土地利用が浮遊物質輸送と粒子状 ¹³⁷ Csの排出に与える影響	恩田 裕一	CRIES	
I-24-06	海外	Johnson Edward Thomas	Colorado State University	Professor	Radiocesium Migration and Nutrient Dynamics in Fukushima	恩田 裕一 アンダーソン ドノヴァン	CRIES	Christian Grabowski
I-24-07	海外	Feng-Yun J. Huang	Central Taiwan University and Science and Technology	Assistant Professor	Comparison of ⁹⁹ Tc concentration in seawater between Japanese and Taiwanese coastal area	恩田 裕一 坂口 綾	CRIES	
I-24-08	海外	Wiederin Andreas	University of Vienna	Scientific project staff and 4th year Ph.D student	Characterization and first uses of an isotopic Np spike	坂口 綾	CRIES	
I-24-09	海外	Shinkarev Sergey	State Research Center - Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency	Head	Assessment of the average external dose to air in a group of settlements located around the Semipalatinsk Nuclear Test Site on the basis of thorough analysis of available input data useful for retrospective dose estimations	坂口 綾	CRIES	星 正治 Stepanenko Valeriy
I-24-10	海外	岩花 剛	アラスカ大学フェアバンクス校	Research Associate Professor	アラスカの永久凍土融解が環境中の放射性物質動態に与える影響	五十嵐 康記	CRIES	
I-24-11	海外	Lihoreau Mathieu	National Center for Scientific Research (CNRS)	Research Director	Effects of environmental radiocontamination on pollinators' behaviour and cognition	難波 謙二	IER	水澤 玲子 Bonzom Jean-Marc Armant Olivier Gagnaire Béatrice Goulefert Loïc Abenis Kristine
I-24-12	海外	Gilbert Franck	French National Center for Scientific Research (CNRS)	Research Director	Soil biodiversity and functional processes in radio-contaminated forests (Fukushima Prefecture, Japan)	難波 謙二 ヴァシル ヨシェンコ 和田 敏裕	IER	Bonzom Jean-Marc Capowiez Yvan Iribar-Pelozuelo Amaia Hättenschwiler Stefan 金子 信博
I-24-13	海外	Bonzom Jean-Marc	Institute for Radioprotection and Nuclear Safety (IRSN)	Researcher	Effect of radioactive contamination in Fukushima Prefecture on wildlife: the case of the tree frog	難波 謙二 石庭 寛子 和田 敏裕	IER	Dasque Léa Frelon Sandrine Armant Olivier Lengagne Thierry Mondy Nathalie
I-24-14	海外	Protsak Valentyn	Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and National Academy of Sciences of Ukraine	Senior Researcher	Parameterization of the long-term dynamics of cesium distribution in the suspended sediment-water system in water bodies of the Chernobyl Exclusion	コノブリョフ アレクセイ	IER	
I-24-15	海外	Kanivets Volodymyr	Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and National Academy of Sciences	Researcher	Influence of temperature and ammonium on radiocesium seasonality in water bodies	コノブリョフ アレクセイ 脇山 義史	IER	
I-24-16	海外	Komissarov Mikhail	Ufa Institute of Biology UFRS RAS	Senior researcher	The temporal dynamics of radiocesium in water and its distribution in bottom sediments of the Ogaki Dam Reservoir	コノブリョフ アレクセイ 脇山 義史 五十嵐 康記	IER	
I-24-17	海外	Chandrasekaran A.	Sri Sivasubramaniya Nadar College of Engineering	Assistant Professor	Determination of internal exposure due to natural radioactivity in decorated ceramic building materials used in India	ラハマン モハマド モフィズル イスマイル	IER	
I-24-18	海外	Musthafa M. Saiyad	The New College (Autonomous)	Assistant Professor	Abundance and diversity of radiation resistant zooplankton communities from Extreme regions of Kayamkulam Estuary, Natural high background radiation area (NHBRA), Kerala, South West Coast of India	ラハマン モハマド モフィズル イスマイル	IER	
I-24-19	海外	Islam Md. Atikul	Hajee Mohammad Danesh Science and Technology University	Associate Professor	Assessment of Naturally Occurring Radioactive Materials in Soil and Foodstuffs from Barapukuria Coal Fired Thermal Power Plant Area, Dinajpur, Bangladesh	ラハマン モハマド モフィズル イスマイル	IER	Khan Rahat Begum Zinnat Ara
I-24-20	海外	Biswas Foni Bushon	University of Chittagong	Associate Professor	Synthesis and characterization of Ru(III) and Ru(IV) complexes of C-chiral isomeric hexamethyl tetraazamacrocyclic ligands and their applications in the decontamination of radioactive waste	ラハマン モハマド モフィズル イスマイル	IER	Roy Tapashi Ghosh Rabi Saswata Begum Zinnat Ara
I-24-21	海外	Chowdhury Faisal Islam	University of Chittagong	Professor	Synthesis and characterization of nanocomposites for separation of radiostrontium from wastewater	ラハマン モハマド モフィズル イスマイル	IER	Begum Zinnat Ara

海外共同研究（外国機関所属研究者）

採択No.	種目	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-24-22	海外	Al Mamun Shamim	University of Canterbury	Visiting Professor	Unravelling Cadmium Fluxes in Native Plants of New Zealand Using Synchrotron Technology and radionuclide fractionation	ラハマン モハマド モフィズ ル イスマイル	IER	Robinson Brett Begum Zinnat Ara
I-24-23	海外	Mahiuddin Md.	Khulna University	Associate Professor	Development of graphene-based magnetic nanocomposites for radioactive waste management	ラハマン モハマド モフィズ ル イスマイル	IER	
I-24-24	海外	Alam Md. Ferdous	Bangladesh Atomic Energy Commission	Principal Scientific Officer	Evaluation of Isotopic and Chemical Characteristics in Environmental Samples from the neighboring locations of Rooppur Nuclear Power Plant, Bangladesh	ラハマン モハマド モフィズ ル イスマイル	IER	Begum Zinnat Ara
I-24-25	海外	Bezhenar Roman	Institute of Mathematical Machines and System Problems NAS of Ukraine	Senior Researcher	Investigation of sedimentation areas in the Fukushima coastal area for Cs-bearing microparticles released from rivers using Lagrangian particle tracking model	高田 兵衛 津旨 大輔	IER	Maderich Vladimir
I-24-26	海外	Tóth Piroska	University of Pannonia	4th grade	Tritium measurement in hot springs in the Carpathian basin (EU) and the Hamadori-Hakadori (Japan) mountain ranges	グシエフ マキシム	IER	
I-24-27	海外	Morgenstern Gerd Uwe	Geological and Nuclear Sciences	Principal Scientist	Tritium measurements in New Zealand and Japan fresh and thermal water springs	グシエフ マキシム	IER	
I-24-28	海外	Burdo Olena	Institute for Nuclear Research National Academy of Sciences of Ukraine	Researcher	Establishment of FISH probes for dicentric analysis of wild rodents in Chornobyl	石庭 寛子 三浦 富智 アンダーソン ドノヴァン 藤嶋 洋平	IER	中田 章史
I-24-29	海外	Kountchou Noubé Michaux	Institute of Geological and Mining Research (IRGM)	Research Officer	Development of a test bench for the electronics of ionizing radiation detectors based on FPGA and microcontrollers	床次 眞司 細田 正洋	IREM	Saidou Mbarndouka Taamté Jacob Folifack Signing Vitrice Ruben Omgba Abanda Zacharie Stève Yerima Abba Hamadou
I-24-30	海外	Mbarndouka Taamte Jacob	Institute of Geological and Mining Research	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	Saidou Oumar Bobbo Modibo
I-24-31	海外	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 細田 正洋	IREM	Singh Deepak
I-24-32	海外	Ndjana Nkoulou li Joseph Emmanuel	INSTITUTE OF GEOLOGICAL AND MINING RESEARCH	RESEARCHER	Radiological characterization of local building materials and environmental monitoring of the iron bearing areas of Mbalam, Kribi and Bipindi, South-Cameroon. (Continued)	床次 眞司 大森 康孝 クランロッド チュティマ	IREM	Saidou Tchuente Siaka Yvette Flore Oumar Bobbo Modibo
I-24-33	海外	Yusuf Darlina	Technology Organization of Nuclear Energy, Research and Innovation National Agency (BRIN)	Senior Researcher	Risk and analysis base on stress oxidative and immune biomarker	三浦 富智	IREM	Tetrianá Devita Lusiyanti Yanti Purnami Sofiati Utami Tyas Hayu
I-24-34	海外	Kovács Tibor	University of Pannonia	Associate Professor, Head of the Department of Radiochemistry and Radioecology	Comparison of strontium measurements in fishbone	三浦 富智 アンダーソン ドノヴァン	IREM	Tuvshinsaikhan Ganbaatar
I-24-35	海外	Winarni Dwi Ilma	The National Research and Innovation Agency of Indonesia (BRIN)	Junior Researcher	Bacterial-assisted Environmental Phytoremediation of Cs-137 Contaminated Soil	赤田 尚史 田副 博文	IREM	Nugraha Djatnika Eka
I-24-36	海外	Kim Hyuncheol	Korea Atomic Energy Research Institute	Principal Researcher	A Simple and Straightforward Technique for determination of 90Sr and radiocesium in seawater	田副 博文	IREM	
I-24-37	海外	Rahman Md Safiur	Bangladesh Atomic Energy Commission	Scientist	Capacity building for development of nuclear techniques for analysis of radionuclides and potential toxic elements in environmental samples	田副 博文	IREM	Choudhury Rabia Tasrina
I-24-38	海外	Mas José Luis	University of Seville (Spain)	Professor	Precise and rapid determination of 238U in seawaters from the Southern Ocean using ID-ICP-MS	田副 博文	IREM	篠永 妙子
I-24-39	海外	López-Lora Mercedes	University of Seville (Spain)	Postdoctoral researcher	239Pu, 240Pu and 237Np in seawater from the Southern Ocean	田副 博文	IREM	篠永 妙子 Chamizo Elena
I-24-40	海外	Perez Tribouillier Uematzin Habacuc	Federal Institute of Technology Zurich (ETH Zürich)	Postdoctoral researcher	Measurements of U-236 in seawater samples from the Southern Ocean	田副 博文	IREM	篠永 妙子
I-24-41	海外	Csordás Anita	University of Pannonia	assistant professor	Evaluation of the transferrability of an AI driven radon release prediction method based on machine learning	大森 康孝 床次 眞司	IREM	Homoki Zsolt
I-24-42	海外	Sola Phachirarat	Chulalongkorn University	Ph.D student	Intercomparison on passive radon measurement for nation survey in Thailand caves.	クランロッド チュティマ 床次 眞司	IREM	田副 博文
I-24-43	海外	Pojprapai Soodkhet	Suranaree University of Technology	Professor	Portable cancer detector based on DNA probe	クランロッド チュティマ 床次 眞司	IREM	
I-24-44	海外	Rattanapongs Chanis	Kasetsart University	Lecturer	Proficiency test of passive radon measurement for nation survey at Hin Dat hot spring in Kanchanaburi, Thailand	クランロッド チュティマ 床次 眞司	IREM	Sola Phachirarat

Global environmental monitoring database development

研究代表者：Haruko Wainwright

受入研究者：恩田 裕一

1. 成果

Environmental monitoring – the measurements of air, water and soil quality and associated attributes – plays a critical role in protecting the environment and public health. Such monitoring is often done as a part of regulatory requirements at or near industrial facilities which release hazardous substances routinely or may release in accident circumstances. In addition, monitoring is essential for existing soil and groundwater contamination sites during remediation and post-remediation institutional controls.

In this project, we explore how to modernize environmental monitoring activities for water/air/soil pollution, taking advantage of recent advances in sensing technologies, GIS and data science. We have reviewed different data management strategies at or adjacent to existing and historical nuclear facilities. Our particular focus this year is to evaluate the available database in terms of the potential to apply machine learning and AI techniques to datasets as well as perform meta-analyses across multiple sites, such as Wainwright et al. (2024).

In Japan, the Environmental Radioactivity Research Network Center (ERAN) database manages the datasets used in the published papers from the network, containing more than four million data points. Japan Atomic Energy Agency (JAEA)'s Database for Radioactive Substance Monitoring Data provides the monitoring datasets after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. The datasets are downloadable with the online map visualization function.

In the US, the US Nuclear Regulatory Commission (NRC) publishes a report on the radioactive effluent releases from all the nuclear power plants in the US, although the raw data values are not directly usable in a machine-readable format. One of the US Department of Energy (DOE) sites – the Hanford site – has a comprehensive online open database, PHOENIX, which allows users to view data on the site map and download datasets. In addition, the TRAC database (trac.pnnl.gov/) has compiled the types and footprints of the large plumes at the DOE Environmental Management sites, tracking the progress in the environmental restoration and closure status. In parallel, the DOE Office of Legacy Management (LM) has a publicly available open database – the Geospatial Environmental Mapping System (GEMS: <https://gems.lm.doe.gov/>) –

across over 100 sites. We find that GEMS allows users to download machine-readable datasets with two separate tables of station locations and concentrations in a unified format across the sites, which are easily ingestible for machine learning and data analytics software. In addition, GEMS provides well logs and photos that are important for understanding the nuanced information of each station and site. However, there are still challenges to accommodate the new types of datasets such as remote sensing images and data products (such as airborne LiDAR data).

In summary, there has been significant advances in environmental databases associated with radiological contamination. In particular, GEMS is a good example of uniform data formats across many sites. These advances follow the other databases – ECMWF's ERA5 weather database, the USGS National Water Data, and US EPA's Air Quality System (AQS)* database – enabling large data science applications.

Reference: Wainwright, H.M. et al. (2024). The Iodine-129 Paradox in the Nuclear Fuel Cycle—Is Dilution a Solution? <https://www.researchsquare.com/article/rs-4853533/v1> (pre-print)

2. 論文

Impact of landscape decontamination on runoff and erosion fluxes following the Fukushima nuclear accident

研究代表者：Cooper Russell James

受入研究者：恩田 裕一

1. 成果

Introduction:

The project brought together the expertise of Onda's group in radiocesium migration and landscape change with the modelling tools of Cooper's group in runoff and erosion measurement to produce novel understanding of the impacts of decontamination within the Special Decontamination Zone on water and sediment fluxes.

Background & Importance:

Within the Special Decontamination Zone, topsoil was removed and replaced with a 5 cm layer of "clean" crushed granite. No study has quantified the impact of the substantial differences in physical properties of the granitic soil on runoff and erosion fluxes, and thus the potential for its use to enhance rates of Cs-137 wash-off elsewhere within the catchment.

Rainfall Simulation:

Rainfall events were simulated in the Large-scale Rainfall Simulator at NIED, Tsukuba, Japan over two soil-plots, one consisting of granitic sand and the other of Andisol from Fukushima, Japan. Three rainfall events of differing intensity and duration were simulated: (1) 45 mm/hr for 26.5 minutes; (2) 75 mm/hr for 26.5 minutes; (3) 105 mm/hr for 13.5 minutes. The water and sediment discharge, and the particle size of the transported sediment, was measured during and at the end of each of these events to quantify the effect of soil conditions, and rainfall intensity and duration on runoff and soil erosion.

At the downslope end of each of the plots, a gutter was installed to measure the water and sediment discharge, and the particle size of the transport sediment. The particle size was measured by taking samples of deposited sediment from the gutter for each rainfall event. The water level in a v-notch weir installed within the gutter, and the water volume and sediment mass was recorded during each rainfall event. In addition, numerous cameras were installed along the length of the two plots to track the runoff velocity within the rills that developed during each rainfall.

Key Results:

1. The granitic soil had fundamentally different hydraulic and sediment characteristics to original soil in Fukushima. Namely the granitic soil had a higher infiltration rate and poorer

water storage capacity, and experienced enhanced rates of runoff in comparison to the original soil.

2. Granitic soil had high form drag leading to enhanced rill erosion and the transport of large particles sizes.

3. The topographic change in the granitic soil plot was greater than observed for the Andisol soil plot. This included the development of larger rills and more numerous microrills, and an overall soil loss. This change was more enhanced at higher rainfall intensities.

3. These differences have important consequences for agricultural productivity in decontaminated areas in Fukushima, making the landscape less resilient to erosion and landslides during the typhoon season, as well as having potential implications for the transport of soil-phase radiocesium.

2. 論文

Cooper, J.R. Onda Y. Sakai, N. (2004) Overland flow hydraulics during storm events. Proceedings of 12th International Conference on Fluvial Hydraulics, September 2004.

Cooper, J.R. Onda Y. Sakai, N. (2004) Using surface image velocimetry to determine shallow, overland flow dynamics on eroded hillslopes. Proceedings of International Surface Velocimetry Workshop, October 2004.

Radioactivity in aquatic systems in Europe and Japan

研究代表者：Smith Thompson James

受入研究者：恩田 裕一

1. 成果

This project is a collaboration between The University of Portsmouth and The University of Tsukuba. The objective is to understand the factors controlling long term levels of radionuclides in rivers and lakes. The project has now collated data of radiocaesium and radiostrontium data from more than 30 rivers and lakes in Japan and Europe. Data analysis has begun with an investigation into how water chemistry is related to radiocaesium levels in surface water. Initial results indicate that some water quality parameters are associated with radiocaesium levels. Various models have been tested for prediction of radiocaesium activity concentrations. Current work is ongoing to evaluate catchment characteristics to investigate their relation to radiocaesium contamination.

2. 論文

None yet

霞ヶ浦湖畔の異なる土地利用が浮遊物質輸送と粒子状 ^{137}Cs の排出に与える影響

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

Radiocesium Migration and Nutrient Dynamics in Fukushima

研究代表者：Johnson Edward Thomas

受入研究者：恩田 裕一・アンダーソン ドノヴァン

共同研究者：Christian Grabowski

1. 成果

Many regions contaminated by the release of radionuclides following the 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant disaster are still being investigated today. The mountainous forest areas surrounding Fukushima prefecture were most affected by fallout radionuclides, primarily radiocesium (Cs134 and Cs137), and remain a focus area for remediation and scientific research. Several models have been developed to estimate ambient dose equivalent rates ($H^*(10)$) using data on the depth distribution of fallout radiocesium in the forest soils.

Our hypothesis is that two different models will accurately predict radiation doses within 20% based on soil samples. The hypothesis was tested by applying the two models to a research plot in Kawauchi Village Japan, where forestry remediation such as clear-cutting and litter removal has been conducted. Using soil sampling data for radiocesium at the Kawauchi test site, these models were used to estimate $H^*(10)$ and compared to measurements taken using handheld instrumentation. The distribution of radiocesium in soil for each sampling locations at the test site was determined using an exponential expression of vertical distribution. These distribution values were then used in two different models, one estimating $H^*(10)$ using conversion coefficients from Bq/m^2 to $\mu\text{Sv/hr}$, and the other model estimating $H^*(10)$ using a “field of view” approach, estimating a surrounding area’s contribution to total $H^*(10)$ measured at a central point within the test area. The results from this comparison provide a real-world test of computer model effectiveness. The conclusion was that both models could accurately predict radiation levels based on soil samples within 20% of measured values using field instrumentation but could improve if experimental conditions more closely matched those assumed in the model’s design.

2. 論文

Comparison of ^{99}Tc concentration in seawater between Japanese and Taiwanese coastal area

研究代表者：Feng-Yun J. Huang

受入研究者：恩田 裕一・坂口 綾

1. 成果

Technetium-99 is a long-lived (half-life of 2.11×10^5 years) artificial radionuclide primarily produced in nuclear reactors, which can potentially impact the environment and human health. In this study, methods for the preconcentration and separation of ^{99}Tc from seawater will be developed, followed by the determination of ^{99}Tc using a liquid scintillation counter (LSC). Additionally, the recovery yield relationship between $^{99\text{m}}\text{Tc}$ and Re during the preconcentration and separation of ^{99}Tc by various resins, including AG1-X8, TEVA, and TK-201, will be evaluated. The preconcentration and separation of ^{99}Tc from 1L of seawater using different resins, such as AG1-X8/TEVA and AG1-X8/TK-201, will be investigated. Tracers, including $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{99}Tc , and stable Re, will be employed to assess the chemical yield of ^{99}Tc during these processes. Chemical yield evaluations during separation will be performed using gamma counting, LSC, and inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). Decontamination factors (DF) for interfering nuclides, including Re, Mo, Ru, Co, Ni, Ag, Sb, V, Zn, and Pb, will be evaluated via ICP-OES during the preconcentration and separation of ^{99}Tc . The minimum detectable activity (MDA) of ^{99}Tc by LSC will be calculated based on literature equations. The preconcentration and separation methods for ^{99}Tc in seawater, as well as experimental flowcharts for processing 1L of seawater, have been successfully established. The tracers $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{99}Tc , and Re have been effectively utilized to monitor the chemical yield during the preconcentration and separation processes. The chemical yields, based on $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{99}Tc , and Re tracers, for AG1-X8, AG1-X8/TEVA, and AG1-X8/TK-201 resins were determined to be $96.9 \pm 1.5\%$, $94.1 \pm 2.7\%$, and $96.9 \pm 3.9\%$; $93.1 \pm 1.5\%$, 95.9% , and $97.7 \pm 4.8\%$; and $89.9 \pm 0.6\%$, $97.1 \pm 17.6\%$, and $100.4 \pm 2.9\%$, respectively. For impurity removal during the preconcentration and separation processes, the results indicate that Mo, Ru, Co, Ni, Ag, Sb, V, Zn, and Pb can be effectively removed with DF values exceeding 1,000 during the separation of ^{99}Tc using AG1-X8/TK-201 resin. Radiochemical determination of ^{99}Tc in seawater via LSC has been successfully established. The MDA of ^{99}Tc by LSC was calculated to be between 0.0342 and 0.0378 Bq/L. However, this MDA is significantly higher than the expected ^{99}Tc concentration in seawater ($\sim 1 \text{ Bq/m}^3$). As a result, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) will be employed to measure ^{99}Tc post-

preconcentration and separation in this project, as ICP-MS offers higher sensitivity and greater potential for detecting trace radionuclides in environmental samples.

2. 論文

Characterization and first uses of an isotopic Np spike

研究代表者：Wiederin Andreas

受入研究者：坂口 綾

1. 成果

In a recent collaboration between the University of Vienna and the University Tsukuba, a new isotopic Np spike has been developed. The Np spike material has been produced at the AVF Cyclotron at the RIKEN Nishina Center for Accelerator Based Science, and chemically purified at the University of Tsukuba. This material is intended to solve the problem of normalization in the measurement of ^{237}Np by (advanced) mass spectrometric means such as Accelerator Mass Spectrometry or specialized QQQ-ICP-MS systems by measuring the environmental ^{237}Np relative to a known quantity of the ^{236}Np spike added to each sample before beginning the chemical processing and measurement.

The characterization and first application of this material faced steep challenges in both the low quantity produced, and the potential isobaric interference from both ^{236}Pu and ^{236}U on the desired ^{236}Np spike isotope. A combination of three independent measurement techniques at the Vienna Environmental Research Accelerator – two of them developed for this purpose and one using a unique Ion Laser InterAction Mass Spectrometry (ILIAMS) setup were required to solve this problem. Extensive optimization of these methods allowed for a full characterization while leaving sufficient spike material for up to 70 environmental AMS samples.

With a small quantity of a prototype Np spike available, the final step was the application of this new spike material to a selection of environmental samples.

The ERAN grant I-24-08 was requested with the aim of funding the collection, transportation and measurement via Accelerator Mass Spectrometry of two 20L seawater samples from off the coast near Fukushima. Specifically, one sample was collected close to the outlet for treated water close to a scheduled release, and one at a larger distance. Due to its long half life, significant quantities of ^{237}Np have been released by reprocessing plants in past decades. The aim was to either verify the successful removal of Np from the Fukushima treated water, or to identify the releases as a new ^{237}Np source term.

The two samples have been filtered to remove solids suspended during my stay at the University of Tsukuba in 2024, and after adding the new ^{236}Np spike prepared for AMS measurement. This measurement was successfully performed at the Vienna

Environmental Research Accelerator, with no significant difference between the two sampling sites. The results are currently being prepared for publication alongside a validation of the new isotopic Np spike and a selection of other environmental ^{237}Np samples. I can't provide a valid interpretation of the results or the exact values before completing the ongoing discussions on these points with the co-authors.

2. 論文

The manuscript is in preparation

Assessment of the average external dose to air in a group of settlements located around the Semipalatinsk Nuclear Test Site on the basis of thorough analysis of available input data useful for retrospective dose estimations

研究代表者：Shinkarev Sergey

受入研究者：坂口 綾

共同研究者：星 正治・Stepanenko Valeriy

1. 成果

Research on radiation exposure and its effects on human health around the Semipalatinsk nuclear test sites (SNTS) in Kazakhstan is in focus of many studies in order to derive the radiation risk. Reconstruction of external radiation dose to air in settlements located around the SNTS is the principal initial point for correct evaluating the radiation risk. There are following important steps on the way of external dose reconstruction: (1) to collect available input data useful for dose reconstruction, (2) to critically analyze them and (3) to use the most reliable input data for objective assessment of external exposure to the residents. Those input data are: (a) archival exposure rate measurements conducted soon after fallout in a vicinity of considered settlements, (b) available contemporary measurements of ^{137}Cs deposition density inside and outside a given settlement; (c) TL/OSL measurements using quartz grains from quartz containing samples, which were “witnesses” of irradiation.

During this project the following research has been done:

- (1) In order to collect all available data that might be useful for dose reconstruction, an intensive search of published materials has been conducted. All collected data were put together in the form of database for each settlement of interest.
- (2) All input data collected together for each settlement have been thoroughly considered and critically analyzed taking into account published information on: parameters of considered tests, weathering conditions, locations of the settlements with respect to the trajectories of the traces related to the most significant tests.
- (3) The most reliable input data were determined for further use. The up-to-date methodologies have been applied for external dose reconstruction of the settlement-average dose assessment.

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 carried out. The best estimates of the settlement-average dose to air are in the range (1-600) mGy.

2. 論文

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 Grosche, Vladimir Iatsenko, Alla Androsova, Zukhra Apsalikova, Noriyuki Kawano, Masaharu Hoshi, Comparison of external dose estimates using different retrospective dosimetry methods in the settlements located near Semipalatinsk Nuclear Test Site, Republic of Kazakhstan, J. Radiat. Res., 65, January 2024, 36–46, <https://doi.org/10.1093/jrr/rrad082>.

V. Stepanenko, A. Kaprin, S. Ivanov, P. Shegay, V. Bogacheva., S. Shinkarev, H. Sato, N. Kawano, M. Ohtaki, N. Fujimoto, S. Endo, A.Sakaguchi, E.Ostroumova, K.Zhumadilov, A.Kushugulova, M Hoshi. Features of internal absorbed dose microdistribution in biological tissue irradiated by $^{31}\text{SiO}_2$ microparticles compared with dose microdistribution from exposure to $^{56}\text{MnO}_2$ particles. J. Radiat. Res., 66, 2025, 16–23, <https://doi.org/10.1093/jrr/rrae096>.

アラスカの永久凍土融解が環境中の放射性物質動態に与える影響

研究代表者：岩花 剛

受入研究者：五十嵐 康記

1. 成果

北極域では急激な温暖化の影響により永久凍土の融解が進んでいる。その永久凍土には水銀等の様々な重金属が含まれており、生態系に有害な物質の流出増加が懸念されている。永久凍土上には、1950 から 60 年代にかけて実施された大気核実験の降下物とそこに含まれる放射性核種も堆積し、凍土に取り込まれている。凍土の存在によってこれまで安定していた土地が融解して流動化する一方、アラスカ各地で河川水が変色し、水質が変化する事例が多発しているが、これらの大気核実験降下物とそこに含まれる放射性物質がどのような流出するかがわかっていない。本研究の目的は、アラスカの主要な河川を対象として、河川中に存在する重金属および長半減期核種である ^{137}Cs 濃度を明らかにすることである。

申請代表者の所属研究機関・アラスカ大学で実施中の永久凍土環境変化モニタリングを伴う複数の研究プロジェクトと連携し、アラスカ・北東ノーススロープ、北西ノーススロープ、およびフェアバンクス近郊における近年の凍土動態の情報を取得し、それぞれの地域を代表する河川において、河川水をサンプルした。河川水を濾過後、イオンクロマトグラフィーにより溶存イオン、ICM-PS により微量元素濃度を測定した。また Cs-137 については、水溶態・懸濁態の濃度を求めた。現地での採水の結果、河川中の溶存態 Cs-137 は検出されなかった。懸濁態の濃度は最大で 0.86 Bq/kg となり、予想されていたよりも小さい値であった。凍土の融解が進む地域において、大気核実験の降下物はまだ地表面に留まっている可能性が示唆された。

2. 論文

なし

Effects of environmental radiocontamination on pollinators' behaviour and cognition

研究代表者：Lihoreau Mathieu

受入研究者：難波 謙二

共同研究者：水澤 玲子・Bonzom Jean-Marc・Armant Olivier・
Gagnaire Béatrice・Goulefert Loïc・Abenis Kristine

1. 成果

Insect pollinators are vital to the maintenance of terrestrial ecosystems and global food security. Bees, wasps, flies, and butterflies heavily rely on learning and memory to forage on flowers. However, these cognitive abilities can be disrupted by environmental stressors, which can have dramatic consequences on populations if food supply is compromised. This approach has recently been successful in Europe to demonstrate the dramatic impact of neonicotinoid insecticides on pollinators and ban them even at non-lethal doses. Following this approach, our aim was to study the effects of radioactive contamination on the cognitive health of pollinators in the Fukushima Prefecture.

We massed phenotype the cognitive health of pollinators using a newly developed automated and non-invasive “flower”, i.e., Y-maze device in which individual insects must learn to find a sucrose reward, that operate continuously without the need of experimenters. Our system uses on-board artificial intelligence, enabling recognition of individual insects. It is autonomous (on batteries), which means we can collect data over long periods of time without the need of human intervention in highly contaminated areas.

We ran two field campaigns in 2024. During the first field work session (Spring), we focused on population of domestic honey bees (*Apis mellifera*) that have been sat up in different sites characterized by contrasted levels of radio-contamination with the BEERAD project (2022-2024, PI: Béatrice Gagnaire). During the second field work session (Summer), we focused on wild pollinators in the same sites, giant hornets (*Vespa mandarinia*) naturally found in the study area. In both campaigns, we compared the cognitive health of insects in six sites carefully selected for their contrasted levels of radiocontamination (low, medium, high).

Our preliminary analyses indicate that both honey bees and hornets tested in the low contaminated sites showed higher learning performances than those tested in the high contaminated sites. Specifically, low radio-contamination levels had critical sublethal effects on domesticated honey bees after only six weeks of controlled exposure. Similar

effects were observed on wild giant hornets, for which exposure was uncontrolled. In the future, we plan to deploy a permanent monitoring of insect cognitive health across all sites. We also plan to study in the impact on key ecosystem services such as pollination and predation.

This is the first study to show that radio-contamination impairs animal cognition. Beyond advancing our fundamental understanding of the environmental impact of radio contamination, this research may help develop conservation procedures of and accelerate the return of agriculture in contaminated zones.

2. 論文

Soil biodiversity and functional processes in radio-contaminated forests (Fukushima Prefecture, Japan)

研究代表者：Gilbert Franck

受入研究者：難波 謙二・ヴァシル ヨシェンコ・和田 敏裕

共同研究者：Bonzom Jean-Marc・Capowiez Yvan・
Iribar-Pelozuelo Amaia・Hättenschwiler Stefan・金子 信博

1. 成果

The RINSHŌ project aims to investigate the effects of radiocontamination on soil biodiversity and associated functional processes in forests of the Fukushima Prefecture. Our hypotheses are: (i) radiocontamination has an impact on soil biodiversity, (ii) radiocontamination has an impact on the activity of soil organisms and the processes they drive, (iii) the impact of radiocontamination is dose-dependent.

From November 2023 to November 2024 period, six Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) forest sites positioned along a radiocontamination gradient, were studied. Following the initial setup of in situ experimental units (5 units per site, n=30) and samplings, additional collections of experimental devices and samplings were conducted respectively after 6 and 12 months of experimentation (June and November 2024).

Very preliminary results suggest differences in soil and litter biodiversity (based on eDNA metabarcoding approach) and a reduction of functional processes (leaf litter decomposition and bioturbation) due to radiocontamination. So far, this impact does not appear to be dose-dependent. Others environmental parameters such as temperature and humidity, may also have affected the observed results.

The complete set of results must now undergo in-depth analysis that includes all environmental parameters, particularly to determine whether there is a link between changes in biodiversity and functional processes, and to assess how different environmental factors (radiocontamination, temperature, humidity) account for the differences in soil functioning across studied forests.

Keywords: Fukushima Prefecture, ionizing radiation, forest, soil communities, functional processes.

2. 論文

Effect of radioactive contamination in Fukushima Prefecture on wildlife: the case of the tree frog

研究代表者：Bonzom Jean-Marc

受入研究者：難波 謙二・石庭 寛子・和田 敏裕

共同研究者：Dasque Léa・Frelon Sandrine・

Armant Olivier・Lengagne Thierry・Mondy Nathalie

1. 成果

Context & Objective

There are still many uncertainties about the long-term chronic effects of radioactive pollution on wildlife, which limits their use for implementation of environmental radioprotection criteria. This ERAN project is the third part of a study dealing with male tree-frogs (*Dryophytes japonicus*) living along a radioactive contamination gradient in Fukushima Prefecture. Since energetic metabolism plays a crucial role in the efficiency of the organism's major biological functions, we measured in a first step the activity of three enzymes involved in the energetic metabolism in the thoracic muscles of tree frogs (collected in 2022). Results shown that both aerobic and anaerobic metabolisms were positively correlated with the individual ionizing radiation absorbed dose rate that suggests a potential energy trade-off due to ionizing radiation exposure during the breeding season (data not yet published). Since the thoracic muscles play a crucial role in the calling behaviour of male tree frogs, as they are involved in the production of the vocal sounds used to attract conspecific females, the aim of this project was to investigate the relationship between calling effort (highly energetically costly), hormone levels, and sperm parameters. Understanding these trade-offs will help assess the reproductive costs of radiation exposure and its effects on population dynamics.

Methodology

To achieve our objective, during the breeding season (i.e. May and June 2024), we measured tree frog calls along a contamination gradient in Fukushima Prefecture. We captured, individually caged and recorded the calls of 15 tree frogs at each of the 9 sampling sites. Environmental parameters (air and water temperature, sound ambiance, etc.) were also measured, as they can influence the individuals' calls. The calling parameters studied included: intra-bout speed, call ratio (i.e. the number of songs produced per hour), the total time spent calling throughout the night, and the dominant frequency. The following day, tree-frogs were killed and dissected out. The gonadosomatic index (gonad mass / individual mass), and the spermatozoa concentration, speed, and movement angle were measured. We also collected saliva

samples to measure testosterone concentration, a parameter that directly influences call production and sperm maturation. The femur bone of the tree frogs was collected to perform a skeletochronology procedure to determine the age of the calling individuals captured. Finally, the carcasses were mineralized, and their Cesium-137 activity was measured by liquid scintillation to obtain an internal dose rate. To estimate the external dose rate, we placed RPL dosimeters in the tree frogs' habitats.

Results

Since the duration of the field campaign and the different analyses to perform, some results are still in progress.

However, the first key findings indicate that tree frogs do not differ significantly in age across all sampled sites, and the same holds true for testosterone concentration. These results suggest that individuals are of comparable age and reproductive status regardless of site. Furthermore, the gonadosomatic index, sperm concentration, and intra-bout speed—a parameter closely linked to the individual's energetic state—are all positively correlated with the external dose rate at the sampled sites. Two alternative hypotheses could explain these patterns: either males from contaminated sites invest more in sexual traits to enhance their reproductive success, or they are in better physiological condition due to the absence of other environmental stressors such as pesticides, which are more prevalent in the rice field environments of control sites.

The next step will be to compute individual total dose rates, once internal activities are available. This will allow us to link each individual's exposure to specific observed parameters, while accounting for other relevant variables such as temperature, individual mass, and more.

2. 論文

Parameterization of the long-term dynamics of cesium distribution in the suspended sediment-water system in water bodies of the Chornobyl Exclusion

研究代表者：Protsak Valentyn

受入研究者：コノプリョフ アレクセイ

1. 成果

In the wake of the Chernobyl and Fukushima accidents, radiocesium has become a radionuclide of most environmental concern. The ease with which this radionuclide moves through the environment and is taken up by plants and animals is governed by its chemical forms and site-specific

environmental characteristics. Distinctions in climate and geomorphology, as well as Cs-137 speciation in the fallout, result in differences in the migration rates of Cs-137 in the environment and rates of its natural attenuation.

The goal of the project was to obtain the parameters of long-term dynamics of particulate and dissolved Cs-137 in the suspended sediment-water system for water bodies of the Chernobyl contaminated areas and compare with Fukushima data. Empirical multi-exponential model and semi-empirical "diffusional" model have been used (Konoplev et al., 2021).

Cs-137 activity concentrations in freshwater decreased with time after both accidents. In the case of Chernobyl, this decline in Cs-137 concentrations is well-predicted by a semiempirical "diffusional" model. However, the Cs-137 concentrations in Fukushima declined faster than predicted by the "diffusional" model. Two potential explanations of this difference in the behavior of Chernobyl- and Fukushima-derived radiocesium were suggested: (1) extensive remediation activity during the first several years after the Fukushima accident, which substantially reduced the Cs-137 content in the topsoil layer of the contaminated catchments; and (2) difference in surface runoff formation processes in Fukushima and Chernobyl due to higher intensity of precipitation and slopes in the Fukushima area.

Opposite to Chernobyl, the apparent distribution coefficient $K_d(\text{Cs-137})$ in the sediment-water system of Fukushima rivers and ponds was found to decrease with time after the accident. Proceeding on the assumption that the decrease in K_d is associated with the decomposition of glassy Cs-rich microparticles, the timescale of Cs-137 leaching from them was estimated to be in the range 6–20 years. The obtained estimates are consistent with the findings of laboratory experiments (Okumura et al.,

2019).

Higher mean annual precipitation and air temperature promote faster vertical and lateral radiocesium migration in Fukushima as compared with Chernobyl. Wash-off is the principal long-term process responsible for the radiocesium secondary contamination of surface waters in the contaminated areas for both accidents. Particulate and dissolved wash-off ratios in Chernobyl and Fukushima were found to decrease in the mid- and long term as a result of radiocesium depletion in the topsoil layer due to its vertical migration in catchment soils.

Particulate Cs-137 wash-off ratios from the catchments of the Fukushima area display only minor differences compared with those in the Chernobyl area, being at the lower limit of the Chernobyl values. Dissolved Cs-137 wash-off ratios for Fukushima catchments are at least an order-of-magnitude lower than those for Chernobyl, mainly due to an order-of-magnitude difference in the Cs-137 distribution coefficients for the Fukushima and Chernobyl rivers.

In summary, data from Chernobyl long-term studies can be further used to refine predictions of temporal changes in the radionuclide behavior for Fukushima areas.

References

- Konoplev A., Kanivets V., Zhukova O., Germenchuk M., Derkach G. (2021). Mid- to long-term radiocesium wash-off from contaminated catchments at Chernobyl and Fukushima. *Water Research*, 188: 116514. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116514>
- Okumura T., Yamaguchi N., Dohi T., Iijima K., Kogure T. Dissolution behavior of radiocesium-bearing microparticles released from the Fukushima nuclear plant. *Sci. Rep.* 2019, 9, 3520.

2. 論文

1. Igarashi Y., Protsak V., Laptev G., Maloshtan I., Samoilov D., Kirieiev S., Onda Y., Konoplev A. (2024). Effects of Large-Scale Wildfires on the Redistribution of Radionuclides in the Chornobyl River System. *Environ. Sci. Technol.*, 58, 20630-20641. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c07019>
2. Konoplev A.V., 2024. Features of radiocesium behavior in the soil-water environment in areas contaminated after the Fukushima Dai-ichi NPP accident. *Biology Bulletin*, Vol. 51 (11), 3618–3632. DOI: 10.1134/S1062359024701310

Influence of temperature and ammonium on radiocesium seasonality in water bodies

研究代表者：Kanivets Volodymyr

受入研究者：コノプリョフ アレクセイ・ 脇山 義史

1. 成果

Kyiv reservoir is the upper in the cascade of Dnieper reservoirs. Rivers flow into it, carrying cesium-137 from the areas heavily contaminated due the Chernobyl accident. Observation data on water temperature and cesium-137 activity concentrations in the lower dam part of the reservoir for the period 1987-2022 were collected, systematized and analyzed.

Data analysis showed that against the background of a long-term decrease in the activity of dissolved cesium-137 in river water, its regular seasonal fluctuations are observed (increase in summer and decrease in winter). The ratio of the highest to lowest concentrations of dissolved cesium-137 being mostly within range 1.5-3.5. It was found that seasonal fluctuations of dissolved cesium-137 in the water of the Kyiv Reservoir occurs synchronously with the seasonal course of water temperature.

Generally, there are two basic factors explaining seasonal variations of dissolved radiocesium in water bodies: seasonal changes of water temperature and ammonium concentration. An equation has been derived describing seasonal variations of dissolved radiocesium in water bodies considering two basic factors: water temperature and combined concentration of basic competitive cations.

Analysis of available hydro-chemical data at Kyiv Reservoir suggested that the predominant factor of dissolved cesium-137 seasonality is temperature dependence of cesium-137 desorption from sediments described by modified Arrhenius equation. Changes in ammonium concentration have comparable with water temperature contribution to seasonal fluctuations of dissolved cesium-137 activity concentration only in limited number of specific observations.

An empirical two-exponential and semi-empirical diffusional models of long-term dynamics of dissolved cesium-137 in rivers have been derived taking into account its seasonal fluctuations by combination with modified Arrhenius equation. Both models were tested against monitoring data for Kyiv reservoir and satisfactory agreement between modelling and experimental data was reached.

The calculated values of activation energy EA of cesium-137 desorption from sediments into solution in the Kiev Reservoir are close to the values obtained earlier in field studies

on rivers and lakes in the Fukushima-1 accident zone and in laboratory studies of the temperature dependence of radiocesium sorption-desorption on alluvial deposits of the Hanford site in the USA. This gives grounds to believe that the activation energy of cesium desorption from sediments into solution is a value that is more or less universal for a wide range of sediment properties in different geographic regions of the Earth.

2. 論文

Konoplev, A., Kurosawa, H., Wakiyama, Y., Igarashi, Y., Kanivets, V., Nanba, K. Experimental field study of basic mechanisms underlying dissolved ^{137}Cs seasonal variations in ponds heavily contaminated after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Applied Geochemistry*, 2025-01, DOI: 10.1016/j.apgeochem.2024.106250

The temporal dynamics of radiocesium in water and its distribution in bottom sediments of the Ogaki Dam Reservoir

研究代表者：Komissarov Mikhail

受入研究者：コノブリョフ アレクセイ・脇山 義史・五十嵐 康記

1. 成果

A huge portion (about 6.4 PBq) of radiocesium (r-Cs) was deposited in NW of Japan after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. The environment objects in Fukushima Prefecture were seriously subjected to ecological stress, for example the Ogaki – one of the biggest dam in Fukushima Prefecture. The initial contamination level of reservoir catchment area was considered as high (2.4 MBq/m² as of March 2011). The dam represents an essential water resource for the local inhabitants and paddy field irrigation; therefore, the r-Cs concentration has important implications for the “health” of humans and biota. The lateral migration of r-Cs in most cases is associated with soil erosion. In particular, from sloped contaminated catchments, the RNs are transported with runoff. RNs are accumulated/redeposited at different parts of landscape, and some part delivered (with suspended sediments) to water bodies. This leads to a siltation, eutrophication, increase mortality of water fauna, and deterioration in water quality. Because of during natural events such as intensive rainfall and snowmelt, the turbidity and r-Cs concentration in water bodies usually is increase - the siltation rates, features of transport and redistribution of sediments, their texture and concentration of r-Cs (as well in water) is required a detail study.

The previous topic of research proposal was supported by ERAN in last years (I-22-08, I-23-11). The research was conducted for different parts (from source to mouth and elevation: floodplain, 1 and 2 terrace above the riverbed) of Abukuma River. All field and laboratory works were completed. In continuation of research, the Ogaki dam was selected as object of study. The following research objectives were set for 2024:

Task 1. Study of the bottom sediments. Results: the high r-Cs concentrations were found in sediments both of Abukuma River and Ogaki dam with domination of fine fractions. The sediments of Ogaki dam contain in average 5×10^4 Bq/kg of ¹³⁷Cs and ~70% of silt (0.05–0.002 mm) fraction, whereas in Abukuma River – 2×10^3 Bq/kg of ¹³⁷Cs and 50% of silt.

Task 2. Literary analysis related to the reconstruction of radiocesium dynamics in water bodies. The study is focused on the reconstruction of long-term dynamics of ¹³⁷Cs concentration in water bodies contaminated as a result of Chernobyl and “Fukushima-1” NPP accidents. It was found that the vertical distribution of ¹³⁷Cs in bottom sediments of deep-water sites could be a basis for reconstruction of the dynamics of radionuclide

concentration in suspension and in solution (Konoplev et al., 2024).

Task 3. Study of soil erosion and radiocesium distribution in the landscapes of Cis-Ural region. Despite the relative proximity to the East Ural Radioactive Trace and underground nuclear explosions conducted in the Republic of Bashkortostan, the soils are suitable for economic activity. The activity concentration of ^{137}Cs in the surface soil layers ranges from 0.9 to 9.8 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, and inventories range from 1.8 to 5.1 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$, these quantities being higher within the forest (Komissarov et al., 2024).

2. 論文

a) Konoplev A.V., Ivanov M.M., Komissarov M.A., Golosov V.N., Kuzmenkova N.V. Reconstruction of the long-term dynamics of radioactive cesium in water bodies contaminated as a result of nuclear accidents (case studies of Chernobyl and Fukushima). *Lomonosov Geography Journal*. 2024;(6):3–14. (In Russ.)
<https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.79.6.1>

b) Komissarov M., Golosov V., Zhidkin A., Fomicheva D., Konoplev A. The cross-verification of different methods for soil erosion assessment of natural and agricultural low slopes in the Southern Cis-Ural region of Russia // *Land*. 2024. V. 13. 1767.
<https://doi.org/10.3390/land13111767>

Determination of internal exposure due to natural radioactivity in decorated ceramic building materials used in India

研究代表者：Chandrasekaran A.

受入研究者：ラハマン モハマト モフィズル イスマイル

1. 成果

☒Experimental☒ In this work, a total number of 25 vitrified tiles were collected from various locations on building construction sites in Tamil Nadu. The collected tile samples are different sizes shapes, and colours. The samples were packed in polythene bags and labeled properly, and it was transferred into the laboratory for pre-treatment. At the initial stage, the samples are broken into small pieces (typically 5-10 cm in size) using a jaw crusher. Hereafter, the powder crusher instrument was utilized to pulverize and grind the tile samples to the fine powder (typically less than 0.16 mm). A finer, uniform powder is ideal for a gamma-ray spectrometer because it ensures that the sample is homogeneous and allows for more accurate measurements. Both the jaw and powder crusher help to ensure the homogeneity of vitrified tile samples. After that, the grained samples were dried in an oven at 105°C for 2 hour completely removed the moisturizer constant, and packed in a 250 mL Marinelli beaker. At the top of the beaker, the screw caps were tightly sealed with Teflon tape and stored in an undisturbed place for four weeks to allow the natural radionuclides to attain secular equilibrium and their short-lived posterity. Finally, the samples are subjected to NaI (TI) gamma-ray spectroscopic to assess the activity concentration of primordial radionuclides of ^{238}U , ^{232}Th , and ^{40}K of the collected vitrified tiles samples.

☒Observations☒ The activity concentration of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K was determined by NaI (TI) detector-based gamma ray spectrometer for vitrified tiles and slightly higher values were observed. A mean activity concentration of radionuclides was found in the order of $^{40}\text{K} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra}$. From normality results, the significance threshold ^{226}Ra and ^{40}K are both 0.200, which indicates that the distributions of ^{226}Ra and ^{40}K are log-normal. In contrast, the significance value for the frequency distribution of ^{232}Th is less than 0.05, suggesting that this distribution is normal in the collected tile samples. The calculated radiological hazards DR_{in} ELCR_{in} shows the slightly higher whereas R_{aeq} , AEDE_{in} H_{in} , and AGDE shows the less than the world permissible limit. Therefore, vitrified tiles do not possess much radioactivity however continuous monitoring is required for these samples.

2. 論文

Chandrasekaran, A., Rahman, I.M.M. Effect of natural radioactivity along the southern coastal area of Tamil Nadu with statistical approach. J Radioanal Nucl Chem 333, 6155–6165 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10967-024-09735-9>

Abundance and diversity of radiation resistant zooplankton communities from Extreme regions of Kayamkulam Estuary, Natural high background radiation area (NHBRA), Kerala, South West Coast of India

研究代表者：Musthafa M. Saiyad

受入研究者：ラハマン モハマド モフィズル イスマイル

1. 成果

The study documented 21 zooplankton species across 7 taxonomic groups, with Copepoda dominating (9 species; 64.3% of total abundance). Non-copepod groups such as Rotifera (3 species), Cladocera (3 species), and Dinoflagellata (1 species) showed seasonal peaks, particularly during monsoon and post-monsoon periods in Table 1. The zooplankton community inhabiting this estuarine ecosystem exhibits a diverse assemblage of species, reflecting the dynamic interplay of environmental factors and seasonal shifts that characterize such environments (Spilling et al., 2019). Copepods, known for their numerical dominance in many aquatic systems, are well-represented in this study, with species such as *Acartia tropica*, *Pseudodiaptomus annandalei*, *Oithona plumifera*, *Calanoides carinatus*, *Paracalanus parvus*, *Centropages furcatus*, *Temora turbinata*, and *Euterpina acutifrons* contributing significantly to the overall zooplankton abundance.

Conclusion

The study underscores the pivotal influence of seasonal monsoonal cycles on zooplankton community structure in tropical estuaries. Copepods dominated the assemblage, with *Acartia tropica* and *Paracalanus parvus* thriving in nutrient-rich monsoon conditions, while *Oithona plumifera* and *Calanoides carinatus* maintained year-round populations due to their broad environmental tolerance. Non-copepod taxa, such as rotifers and cladocerans, occupied specialized niches during post-monsoon clarity, ensuring trophic continuity. The seasonal surge in *Noctiluca scintillans* highlights the ecosystem's vulnerability to eutrophication, likely exacerbated by anthropogenic nutrient inputs. Climate-driven alterations in monsoon patterns could disrupt these dynamics, favoring smaller, fast-reproducing zooplankton over copepods, with cascading effects on fisheries and carbon cycling. This work provides a baseline for understanding zooplankton-driven ecological processes and abundance in estuaries of NHBRA.

Future recommendations

Future research should prioritize the collection of zooplankton species exhibiting high abundance within the NHBRA (Northern High Background Radiation Area) to assess the

specificity of genes associated with radiation resistance. By integrating whole-genome sequencing approaches, these studies could precisely identify candidate genetic markers linked to radioprotective mechanisms. Such insights would advance our understanding of adaptive traits in high-radiation environments and inform applications in radiation protection research, including biomimetic strategies for mitigating radiation-induced damage in biological systems.

2. 論文

1. Santhanabharathi, B., Pradhoshini, K.P., Suhail Ahmed, M., Priyadharshini, M., Shafeeka Parveen, M.H., Alam, L., Mofizur Rahman, I.M., Duong, V.H., Ud Din War, M. and Saiyad Musthafa, M., 2023. Source, fate and transfer of primordial radionuclides as potential contaminants in environmental matrices of high and low background radiation areas – a critical review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, pp.1-27. <https://doi.org/10.1080/03067319.2023.2277891>
2. Priyadharshini, M., Ahmed, M.S., Pradhoshini, K.P., Santhanabharathi, B., Ahmed, M.F.S., Alam, L., Rahman, I.M., Duong, V.H. and Musthafa, M.S., 2024. Human health risk assessment due to consumption of dried fish in Chennai, Tamil Nadu, India: a baseline report. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(29), pp.41388-41401. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27339-w>
3. Marckasagayam Priyadharshini; Kumara Perumal Pradhoshini; A. Chandrasekaran; Bharathi Santhanabharathi; Munawar Suhail Ahmed; Sakthinarendran Saikumar; Ravi Mani; Van-Hao Duong; Ismail M. M. Rahman; Mohamed Saiyad Musthafa., 2024. Evaluation of ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, and Potentially Toxic Element Concentrations in Aquatic Environments and Polychaetes Along the Southeast Coast of Chennai, Tamil Nadu: A Baseline Report. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1080/03067319.2024.2424464> .
4. Kumara Perumal Pradhoshini, Bharathi Santhanabharathi, A. Chandrasekaran, Munawar Suhail Ahmed, Marckasagayam Priyadharshini, Van Hao Duong, Ismail M.M. Rahman, Mohamed Saiyad Musthafa. Radiation doses received by humans in their dwellings – A baseline report on radionuclides exposure from construction materials used in Chennai, Tamil Nadu, India. Volume 484, 15 February 2025, 136754, *Journal of Hazardous Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136754>.
5. Bharathi Santhanabharathi, Munawar Suhail Ahmed, A. Chandrasekaran, Marckasagayam Priyadharshini, Kumara Perumal Pradhoshini, Murugavel Aarthi, V. Sathish, Raju Krishnamoorthy, Van-Hao Duong, Ismail M.M. Rahman, Mohamed Saiyad Musthafa. Spatial distribution and radiological risk assessment of natural radionuclides in sediments from Kayamkulam Estuary, High Background Radiation Area, Kerala. Volume 2, December 2025, Pages 77-86, *Environmental Pollution and Management*, <https://doi.org/10.1016/j.epm.2025.02.002>.

Assessment of Naturally Occurring Radioactive Materials in Soil and Foodstuffs from Barapukuria Coal Fired Thermal Power Plant Area, Dinajpur, Bangladesh

研究代表者：Islam Md. Atikul

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：Khan Rahat・Begum Zinnat Ara

1. 成果

Assessment of Naturally Occurring Radioactive Materials in Soil and Foodstuffs from Barapukuria Coal Fired Thermal Power Plant Area, Dinajpur, Bangladesh

Introduction: The presence of naturally occurring radioactive materials (NORMs) in the environment can pose potential health risks due to their radiological impact. This study focuses on assessing the concentration of NORMs, specifically Radium-226 (Ra-226), Thorium-232 (Th-232), and Potassium-40 (K-40), in soil and commonly consumed foodstuffs within the vicinity of the Barapukuria Coal-Fired Thermal Power Plant (BCFTP) located in Dinajpur, Bangladesh. The BCFTP has a capacity of 525 MW. Coal-fired power plants are known to potentially release NORMs into the surrounding environment through fly ash and other byproducts. Therefore, understanding the distribution and transfer of these radionuclides is crucial for assessing potential environmental and public health implications in the region.

Objectives: The objectives of this research are as follows. (a) Determine the levels of NORMs (Ra-226, Th-232, and K-40) in soil, plants, and various food items (rice, wheat, fruits, and vegetables) collected from the area surrounding the BCFTP. (b) Evaluate the transfer factors of these radionuclides from soil to plants and food items within the BCFTP area to understand potential pathways of human exposure and associated health impacts. (c) Contribute to a better understanding of environmental radioactivity in coal-fired power plant regions and its implications for public health and food safety.

Materials and Methods: This study involves the collection of soil samples at depths of 0-5 cm and 5-10 cm, as well as 22 different types of food samples (including rice, wheat, fruits, and vegetables) from 22 sampling points around the BCFTP area. The sampling points were strategically selected considering the average wind direction of the area. All collected samples are prepared for analysis, which includes drying, weighing, and, in the case of food samples, making pellets. The activity concentrations of Ra-226, Th-232, and K-40 in the prepared soil and food samples will be determined using gamma-ray spectrometry.

Expected Outcomes and Significance: The findings of this study will provide valuable

data on the levels of NORMs in the soil and commonly consumed foodstuffs in the vicinity of the BCFTP. Understanding the transfer of these radioactive materials from soil to the food chain is crucial for assessing potential radiological risks to the local population.

Progress: Sample collection and preparation have been completed, and the samples are now prepared for analysis. Data analysis and scientific manuscript preparation will follow the analysis phase.

2. 論文

S.R.T. Parija, J. Alam, H. Roy, M. Bhuiyan, M.S. Khan, M.R.A. Rifat, M.S. Ahammed, M. Rahman, M.N. Uddin, I.M.M. Rahman and M.A. Islam (2025) Development of a rapid qualitative and quantitative method for the detection of palm oil adulteration in cow milk from Bangladesh by using ATR-FTIR spectroscopy with chemometric analysis, Food Analytical Methods, (Article In-Press). <https://doi.org/10.1007/s12161-025-02770-6>

Synthesis and characterization of Ru(III) and Ru(IV) complexes of C-chiral isomeric hexamethyl tetraazamacrocyclic ligands and their applications in the decontamination of radioactive waste

研究代表者：Biswas Foni Bushon

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：Roy Tapashi Ghosh・Rabi Saswata・Begum Zinnat Ara

1. 成果

Ruthenium (Ru), a rare transition metal, is used in catalysis, electronics, the nuclear industry, and medicine. However, its compounds pose chemical and radiological toxicity risks. The radioisotopes ^{106}Ru and ^{103}Ru are highly volatile and hazardous, especially RuO_4 . Nuclear power operations and radioactive waste disposal may release these isotopes, making their removal essential. Adsorption-based extraction is a cost-effective solution. Understanding the complexation of Ru(III) and Ru(IV) with chelators is crucial for developing efficient chelator-modified adsorbents.

Synthesis of the ligand 5,7,7,12,14,14-hexamethyl-1,4,8,11-tetraazacyclotetradeca-4,11-dienedihydroperchlorate ($\text{L} \cdot 2\text{HClO}_4$) and isolation of isomers of its saturated analog ('tet-a' and 'tet-b') was carried out according to the procedure adopted in literature (Busch, et al., 1971). The prepared isomeric macrocyclic ligands contain nitrogen as the donor atom. The methanolic solutions of these ligands were treated separately with methanolic solutions of $\text{RuCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ and RuI_3 , producing four corresponding complexes: $[\text{Ru}(\text{tet-a})\text{Cl}_2]\text{Cl}$, $[\text{Ru}(\text{tet-a})\text{I}_2]\text{I}$, $[\text{Ru}(\text{tet-b})\text{Cl}_2]\text{Cl}$, and $[\text{Ru}(\text{tet-b})\text{I}_2]\text{I}$. Characterization of the ligands and complexes was conducted using FTIR ($\nu\text{N-H}$, 3262 s; $\nu\text{C-H}$, 2945 s; νCH_3 , 1381 w; $\nu\text{C-C}$, 1194 s; νNH_2 , 3311 w; $\nu\text{C=O}$, 1686 s; and $\nu\text{Ru-N}$, 422 s), molar conductivity (32 to 66 $\text{ohm}^{-1} \text{cm}^2 \text{mol}^{-1}$), magnetochemical (1.28 to 1.32 B.M.), and electronic spectral (d-d band at 406 nm) analyses. The data suggest that all the complexes are 1:1 electrolyte and octahedral in shape.

The spontaneous formation of Ru(III) complexes with the N-donor ligands 'tet-a' and 'tet-b' indicates that developing stable and cost-effective N-bearing functional group-containing adsorbents could be efficient for the removal of radioactive Ru from nuclear wastes.

2. 論文

N/A

Synthesis and characterization of nanocomposites for separation of radiostrontium from wastewater

研究代表者：Chowdhury Faisal Islam

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

Introduction: Zeolitic imidazolate frameworks (ZIFs) are highly porous and stable, making them ideal for treating wastewater. Combining the rigidity of zeolites with the tunability of MOFs, ZIFs offer high surface area and adjustable pore sizes, enabling effective degradation of toxic contaminants in the water matrix. This study focuses on the role of ZIF-8 in sustainable water purification through advanced dye removal techniques.

Experimental: This study explores the synthesis, characterization, and photocatalytic performance of ZIF-8 nanoparticles. The samples of ZIF-8 were synthesized using (a) 2.978 g (0.01 mol) for J-1 and (b) 4.476 g (0.015 mol) for J-2 of $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ via a simple precipitation method. The synthesized nanoparticles were characterized using XRD, SEM, EDS, and FT-IR. Photocatalytic tests showed effective degradation of eosin yellow dye under simulated solar irradiation. The unique porous structure and stability of ZIF-8 highlight its potential for environmental remediation, particularly in wastewater treatment and pollution control.

Key Findings: FT-IR analysis of ZIF confirmed the vibrational frequencies of Zn-N at 421 cm^{-1} and C=N bond at $1527\text{-}1589 \text{ cm}^{-1}$, consistent with the literature. XRD analysis confirmed the ZIF-8 phase, with Miller indices matching the body-centered cubic structure. SEM analysis revealed cubic, irregular, and porous morphology of ZIF-8 nanoparticles. The photocatalytic degradation rates of Eosin Yellow for J-1 and J-2 were observed at 91.29% and 83.21%, respectively.

Conclusion: The study shows that ZIF-8 nanoparticles synthesized through an eco-friendly method display notable photocatalytic activity, with the lower Zn-containing ZIF demonstrating superior performance compared to the higher Zn-containing sample.

Note: the report is based on the preliminary findings, and more work is underway.

2. 論文

M.A. Hasan, I.M.M. Rahman, M.R. Hossain and F.I. Chowdhury (2025) Quantum chemical investigations into the structural and spectroscopic properties of choline chloride-based deep eutectic solvents, *Chemical Physics Impact*, 10, 100777. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2024.100777>

J. Islam, M. Shareef, R. Anwar, S. Akter, M.H. Ullah, H. Osman, I.M.M. Rahman, M.U. Khandaker and F.I. Chowdhury (2024) A brief insight on electrochemical energy storage toward the production of value-added chemicals and electricity generation, *Journal of Energy Storage*, 77, 109944. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109944>

M.A. Hasan, I.M.M. Rahman, J. Uddin and F.I. Chowdhury (2024) Study of photosensitizer dyes for high-performance dye-sensitized solar cells application: A computational investigation, *Chemical Physics Impact*, 9, 100719. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2024.100719>

R. Anwar, M.M.H. Rocky, J. Islam, M.N. Ullah, M.K. Hossain, F.I. Chowdhury and I.M.M. Rahman (2024) Thermophysical properties and molecular interactions in binary mixtures of oxolane with 2-alkoxyethanols, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 69, (11), 3899-3913. <https://doi.org/10.1021/acs.jced.4c00449>

Unravelling Cadmium Fluxes in Native Plants of New Zealand Using Synchrotron Technology and radionuclide fractionation

研究代表者：Al Mamun Shamim

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：Robinson Brett・Begum Zinnat Ara

1. 成果

Abstract: This report summarizes a study assessing cadmium (Cd) levels in rice and vegetables, as well as their potential health implications, in Bangladesh. The findings indicate that Cd concentrations in certain regions exceed the limits set by the FAO/WHO, posing potential long-term health risks to both children and adults.

Key Findings: (a) The average Cd concentration in the studied area of Bangladesh (Jamalpur) was found to be 1.93 mg/kg, surpassing the FAO/WHO limits. (b) While the Target Hazard Quotient (THQ) and Hazard Index (HI) did not indicate immediate non-carcinogenic risks, the Target Carcinogenic Risk (TCR) exceeded the acceptable threshold for both children and adults. The data suggest a potential for long-term cancer risks associated with Cd exposure through rice and vegetable consumption. (c) The Estimated Daily Intake (EDI) for Cd, along with Nickel (Ni) and Lead (Pb), exceeded the Maximum Tolerable Daily Intake (MTDI), highlighting significant potential health risks in the studied population.

Conclusion and Recommendations: The study concludes that cadmium levels in rice and vegetables in some areas of Bangladesh and India exceed recommended limits, indicating potential health hazards, particularly concerning long-term carcinogenic risks. The findings emphasize the urgent need for consistent monitoring and the implementation of effective regulations to ensure food safety and protect public health. Further research is recommended to gain a deeper understanding of the biogeochemistry of cadmium in the soil and its accumulation in these essential food crops.

Note: This report is based on preliminary findings, and additional research is underway.

2. 論文

S.A. Mamun, M.A. Islam, S.B. Quraishi, M.M. Hosen, B.H. Robinson and I.M.M. Rahman (2024) Assessment of potentially toxic element contents in chickens and poultry feeds from Bangladesh markets: Implications for human health risk, Toxicology Reports, 13, 101706. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101706>

Development of graphene-based magnetic nanocomposites for radioactive waste management

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

1. 成果

Global and regional contamination by anthropogenic radionuclides has occurred due to nuclear testing and accidents, such as those at Kyshtym, Chornobyl, and Fukushima Daiichi. Radionuclides can enter the food chain, posing health risks. Developing cost-effective methods for managing radioactive waste is crucial (Romanchuk et al., 2016). Nanoadsorbents, particularly graphene oxide (GO) combined with iron oxide nanoparticles, show promise for removing radionuclides from wastewater due to their high surface area and magnetic properties (Minitha et al., 2018; Xia et al., 2022). A proposed study aims to create a novel magnetic GO nanocomposite to remove radionuclides from contaminated water efficiently.

Magnetic reduced graphene oxide (M-rGO) is an innovative composite material that is synthesized by effectively combining D-glucose or soluble starch with a mixture of iron salts, specifically Fe(II) and Fe(III), under precisely controlled conditions. This process successfully integrates iron oxide nanoparticles (IONPs) into reduced graphene oxide (rGO), resulting in a material that boasts exceptional magnetic and functional properties. These unique characteristics, including significantly enhanced adsorption capabilities, stem from the dynamic chemical interactions between the components. The fabrication of M-rGO is firstly verified through visual observation of magnetic separation by an external magnet and conclusively verified through a variety of robust analytical techniques, such as ultraviolet-visible (UV-Vis) and Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscopy (SEM). The UV-Vis and FTIR analyses unmistakably demonstrate the transformation of D-glucose/starch to rGO through characteristic peaks. The XRD results reveal distinct peaks for M-rGO instead of rGO, confirming the integration of iron oxide nanoparticles within the composite. Furthermore, the SEM images illustrate a porous structure, which is crucial for adsorption applications due to its high surface area and remarkable ability to trap contaminants effectively.

The resultant M-rGO can remove radionuclides, specifically Sr(II), from contaminated water. The process involves the adsorption of Sr(II) ions onto the surface of M-rGO (Li et al., 2018; Minitha et al., 2018). The inherent magnetic properties allow for efficient solid-liquid separation using an external magnetic field, eliminating the need for filtration or centrifugation. This feature significantly simplifies the separation process while ensuring high removal efficiency.

2. 論文

One paper has been submitted, and another one has been drafted

Evaluation of Isotopic and Chemical Characteristics in Environmental Samples from the neighboring locations of Rooppur Nuclear Power Plant, Bangladesh

研究代表者：Alam Md. Ferdous

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

The baseline radioactivity levels and physicochemical properties of environmental samples collected in the vicinity of the under-construction Rooppur Nuclear Power Plant (RNPP) in Bangladesh have been investigated. The RNPP, comprising two units of 1200 MW each, is anticipated to commence commercial operation in 2027. Recognizing the potential for radionuclide release during operational emergencies and the generation of radioactive waste, this research underscores the importance of isotopic and chemical assessments of environmental samples for ensuring ecological and public safety. Tracking radioactivity levels in environmental matrices, such as soil, sediment, and water bodies, is crucial both before and after a nuclear power plant becomes operational.

The study area was geographically defined by northern longitudes 24.024306 to 24.102518 and eastern longitudes 88.963637 to 89.108499. A total of 20 samples were collected, consisting of 10 soil samples (S1–S10) and 10 water samples (W1–W10), with an approximate inter-sample distance of 1 km. Soil and water samples were obtained from depths of 5 cm and 80–120 feet relative to the surface, respectively.

The physicochemical properties (pH, electrical conductivity, total dissolved solids, total hardness, total alkalinity, and silica), cations (Mg and Ca), anions (Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻), trace metal concentrations (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, and Cd), and the activity of radionuclides (²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K, and ¹³⁷Cs) were measured in the water samples. The results indicated that the physicochemical parameters, except silica, were within the safety limits established by the World Health Organization, the Department of Environment, and the Bangladesh Standards and Testing Institution. The average concentrations of the investigated trace metals were below the recommended levels, except for Mg, Pb, Cd, and Mn. Elevated Mg levels in the groundwater may be attributed to seawater intrusion. The increased concentration of other metals could originate from natural sources, such as the dissolution of manganese oxide, carbonates, and silicates, or from anthropogenic activities, including industrial discharge and landfill leachate. The study identified Mg, Fe, and Pb as the predominant metals in the study area. The

activity concentrations of radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , and ^{137}Cs in the water samples were below the detection limit.

The pH and electrical conductivity levels in the soil samples were within acceptable ranges. The estimated activity concentrations ranged from 31.84 ± 1.62 to 37.53 ± 2.17 Bq/kg for ^{226}Ra , 40.74 ± 2.39 to 52.13 ± 3.15 Bq/kg for ^{232}Th , 472.06 ± 28.46 to 685.23 ± 44.13 Bq/kg for ^{40}K , and 1.15 ± 0.42 to 1.25 ± 0.30 Bq/kg for ^{137}Cs . Notably, all these values were significantly higher than the reported world average values for ^{226}Ra (30 Bq/kg), ^{232}Th (35 Bq/kg), ^{40}K (400 Bq/kg), and ^{137}Cs (4 Bq/kg).

The findings of this research will be beneficial for monitoring and comparing environmental data before and after the operational phase of the RNPP.

2. 論文

N/A

Investigation of sedimentation areas in the Fukushima coastal area for Cs-bearing microparticles released from rivers using Lagrangian particle tracking model

研究代表者：Bezhenar Roman

受入研究者：高田 兵衛・津旨 大輔

共同研究者：Maderich Vladimir

1. 成果

13 years since the Fukushima nuclear accident, the coastal area in front of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant remains contaminated. First of all, it is related to the bottom sediments, which were contaminated with Cs-137 during the accidental and post-accidental releases. Additional contamination of bottom sediments could be caused by river runoff of Cs-bearing microparticles, which were formed in the initial phase of the accident, dispersed in the atmosphere and fell into the watershed of nearby rivers. Cesium may be preserved in such particles for a long time due to its insoluble characteristics. River runoff carries suspended particles along with Cs-bearing microparticles to the coastal areas of the ocean, especially during heavy rains. In the study we applied the Lagrangian particle tracking model Parcels to identify places of potential deposition of such Cs-bearing microparticles in the Fukushima coastal area. As input data we used

- 3D circulation data from the detailed ROMS-based ocean circulation model customized to the Fukushima coast for the period 2013-2016;
- Estimates of released Cs-bearing microparticles from rivers during heavy rains in the selected period;
- Estimates of microparticles' sizes defining vertical velocity of their falling down in the ocean.

The maximum water discharge from the Abakuma River in the period of available ocean circulation took place in early September 2015 and corresponded to the Tropical Storm Etai. In the considered period, the flowrate of the Abakuma River changed from 600 m³/s to 6000 m³/s and back to 600 m³/s. We suggested to release 1 Lagrangian particle per hour at the time of 600 m³/s flow rate and 100 Lagrangian particles per hour at the time of 6000 m³/s flow rate that agrees with Takata et al. (2021), where increasing of flow rate by 10 times led to increasing of suspended particle discharge by approximately 100 times. Microparticles of 3 sizes (average – 23.4 μm, minimal – 11.6 μm, and maximal – 32.7 μm) were considered, according to measurement data by Taniguchi et al. (2020). Stokes settling velocity was applied to each particle size.

As a result, areas of initial distribution of microparticles on the seabed near the Abakuma River mouth after the Tropical Storm Etau in early September 2015 are identified. It is shown that the sedimentation area for microparticles with size 11.6 μm is much larger than that for microparticles with size 23.4 μm and 32.7 μm . Later, under the influence of tides, waves and extreme currents, microparticles can be resuspended and settled in other places. They can also migrate to deeper areas due to bedload. Results of the study were submitted to the EGU-25 conference (Abstract 8294: Sedimentation areas along the Fukushima coast for Cs-bearing microparticles from the Lagrangian particle tracking).

2. 論文

-

Tritium measurement in hot springs in the Carpathian basin (EU) and the Hamadori-Hakadori (Japan) mountain ranges

研究代表者：Tóth Piroška

受入研究者：グシエフ マキシム

共同研究者：Hegedűs Miklós

1. 成果

The Carpathian basin, similar to Japan, is the home of a large number of natural and thermal springs, which offer a potential interest for tritium measurements. However, tritium data are sparse in mountainous ranges' water resources and could provide valuable insights to the hydrodynamics of the area. In Japan, Fukushima Prefecture has recently receiving more international attention due to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) discharge into the ocean, however data are still relatively sparse in natural and thermal springs created by three mountain ranges. In our study, we collected fresh water and geothermal water samples of natural fresh and thermal springs in Tsuchiyu onsen of Fukushima, Japan and Carpathian basin, EU in summer 2023. For the Tsuchiyu onsen sites, fresh and geothermal water samples were distilled at IER and enriched from 300 mL and 500 mL to 50 mL by TRIPURE at Hirosaki University. The 50 mL enriched sample was mixed with 50 mL scintillator (Ultima Gold uLLT, PerkinElmer) in a 100 mL Teflon vial, and were measured by ALOKA Liquid Scintillation Counter Low Background 8 (LSC-LB8) for 1000 min. For Hungarian study sites, freshwater and thermal water spring samples were collected, distilled and are schedule for the enrichment in the next phase of this study. In the Tsuchiyu onsen six sites, the H-3 values of Shimonoyu spring and Lake 1 spring are similar with $0.32(\pm 0.02)$ Bq/L and $0.31(\pm 0.02)$ Bq/L, respectively indicating similar groundwater circulation. The River 2 site has higher H-3 of $-0.39(\pm 0.02)$ Bq/L confirming rain water H-3 contribution to the sampling point. Following these results, we sampled three freshwater and Shinomoyu geothermal water on 4th March 2025 for tritium measurements. For two geothermal bores, both H-3 values are below the detection limit of 0.06 Bq/L suggesting that higher enrichment factor and needs to be applied in the next phase of our joint study.

2. 論文

Tritium measurements in New Zealand and Japan fresh and thermal water springs

研究代表者：Morgenstern Gerd Uwe

受入研究者：グシエフ マキシム

1. 成果

Japan and New Zealand (NZ) have many natural freshwater and thermal springs making them valuable water resource. For sustainable management, their water dynamics need to be understood. Environmental H-3 radioisotope with a half-life of 12.32 years is a useful tracer to study water circulation. In the thermal springs, H-3 levels are expected to be minimal requiring large water volume for the ultra-low level tritium analysis, which is only provided by a few H-3 laboratories, such as GNS Science, NZ and International Atomic Energy Agency (IAEA) HQ, Vienna.

To understand water dynamics, we collected fresh water and geothermal water samples of natural fresh and thermal springs of NZ and Japan, in Tsuchiyu onsen of Fukushima, Japan and Rachel Hot Springs, NZ. In Tsuchiyu onsen, 2L of fresh water samples were collected at Shimonoyu spring, Lake spring and River and of 3 geothermal water at Shimonoyu onsen, and Thermal Well No. 1 & 2. The H-3 values of Shimonoyu spring and Lake 1 spring are similar with $2.70(\pm 0.15)$ TU and $2.65(\pm 0.15)$ TU, respectively, indicating similar groundwater circulation. The River 2 has higher H-3 of $3.30(\pm 0.15)$ TU confirming rain water contribution to the sample. For two thermal bores in Tsuchiyu, H-3 values are below the 0.51 TU detection limit suggesting that the better detection limit and higher enrichment factor are necessary to identify small fractions of young water. In NZ study sites, hot spring samples were collected, distilled and electrolytically enriched with $EF=90$ while the ultra-low level LSC with Detection Limit= 0.015 TU (or 0.002 Bq/L) is on-going at GNS Science. As a result, the comparison would benefit the international collaboration between the NZ and Japan to provide tritium measurements in natural and hot water springs to general public.

2. 論文

Establishment of FISH probes for dicentric analysis of wild rodents in Chornobyl

研究代表者：Burdo Olena

受入研究者：石庭 寛子・三浦 富智・アンダーソン ドノヴァン・藤嶋 洋平

共同研究者：中田 章史

1. 成果

Dicentric chromosomes, which are radiation induced chromosome aberrations, are difficult to analyze in rodents because majority of the chromosomes are acrocentric and the short arms are not visible. The purpose of this study is to establish fluorescence in situ hybridization (FISH) method for the bank vole, *Myodes glareolus* ($2n = 56$), which is a common rodent species in Chornobyl, in order to simplify and shorten the dicentric assessment by visualizing the centromere of chromosomes. However, conducting research in Ukraine has become difficult and unsafe due to the on-going war. To progress our research, we decided to establish FISH probes for a closely related rodent species in Japan.

Using extracted DNA from liver of bank vole (previous study: I-21-11) as a template, the candidate centromere-specific tandem repeat region, Msat-160, was amplified by PCR (referenced by Jernfors et al., 2021) and a novel sequence of 260 bp without homologous was cloned. Then, using designed primer pair based on Msat-160 motifs extracted from whole genome sequence data of bank vole, PCR was conducted for three species, bank vole, grey red-backed vole (*M. rufocanus*), and northern red-backed vole (*M. rutilus*) (previous study: I-23-19). Non-consensual sequence was cloned from an amplified band from northern red-backed vole. These two new sequences were labeled with a fluorescent dye to create probes and hybridize to bank vole chromosomal DNA. Probes from bank vole stained most of chromosomes but some did not. Probes from northern red-backed vole stained most of chromosomes but not all. Comparing the two types of probes, probes from northern red-backed vole merged whole probes from bank vole and stained additional 4 centromeres. As a next step, we will clone another candidate sequence amplified from related species, the northern red-backed vole, and try for FISH analysis.

2. 論文

Development of a test bench for the electronics of ionizing radiation detectors based on FPGA and microcontrollers

研究代表者：Kountchou Noubé Michaux

受入研究者：床次 眞司・細田 正洋

共同研究者：Saïdou・Mbarndouka Taamté Jacob・Folifack Signing Vitrice Ruben・

Ongba Abanda Zacharie Stève・Yerima Abba Hamadou

1. 成果

The primary objective of this project is to develop an efficient, low-cost local test bench for verifying the accuracy of electronic circuits in ionizing radiation detection equipment. Additionally, the project aims to reduce maintenance costs, minimize breakdowns, refurbish existing equipment, improve staff performance, and enhance laboratory capabilities. The test bench will also facilitate pole-zero cancellation adjustments and the study of the pile-up effect.

As part of this initiative, our team has been dedicated to developing a cutting-edge test bench specifically designed for the electronics of ionizing radiation detectors. Our goal is to create a solution that not only ensures the reliability of electronic circuits but also addresses key objectives such as cost reduction, equipment longevity, and the overall enhancement of CRSTN and IREM laboratory capabilities.

The project began with a thorough analysis of requirements, involving extensive discussions with stakeholders to gain a comprehensive understanding of their needs and expectations. Based on these insights, we carefully selected appropriate hardware components, including FPGAs and microcontrollers, ensuring they met stringent criteria for performance, flexibility, and cost-effectiveness. Particular attention was given to selecting analog components such as ADCs, DACs, and operational amplifiers, essential for signal conditioning and data acquisition.

With clearly defined requirements and carefully chosen hardware, we proceeded to design the system architecture. This phase involved outlining the interconnections between the FPGA and microcontrollers, defining communication protocols, and assigning specific roles to each component.

Beyond development and validation, a strong emphasis will be placed on documentation and training. Comprehensive documentation will be compiled, detailing design specifications, implementation methodologies, and testing procedures. Training sessions will be conducted to equip laboratory personnel and maintenance staff with the necessary skills to effectively operate and maintain the test bench.

Looking ahead, we will focus on further validation tests, gathering user feedback for

continuous improvement, exploring collaboration opportunities with other research institutions, and closely monitoring the test bench's performance in real-world conditions. We are confident that this test bench will play a pivotal role in advancing ionizing radiation detection technology, fostering innovation, and driving excellence in scientific research.

2. 論文

Taamté, Jacob Mbarndouka, Michaux Kountchou Noubé, Vitrice Ruben Folifack Signing, Yerima Abba Hamadou, Hosoda Masahiro, and Shinji Tokonami. "Real-time air quality monitoring based on locally developed unmanned aerial vehicle and low-cost smart electronic device." *Journal of Instrumentation* 19, no. 05 (2024): P05036, DOI 10.1088/1748-0221/19/05/P05036 (IOP).

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：Mbarndouka Taamte Jacob

受入研究者：床次 眞司・細田 正洋

共同研究者：Saïdou・Oumar Bobbo Modibo

1. 成果

In our current context the prevalence of respiratory diseases is very high and the major cause after smoking is exposure to residential radon, thoron and its descendants. Real-time monitoring of radon and thoron in homes should be a priority in all countries around the world. In African countries, the process of measuring radon and thoron is supported by international laboratories, as there is no calibration system for radon and thoron detectors installed on the continent. This delays decision-making for the protection of populations against radioactive gases. The project on the Generation of stable gases of radon and thoron at low, medium and high concentration and application to the calibration system aims to :

Locally master the technique of generation of a stable concentration (low, medium and high) of radon and thoron gases for the calibration system of radon and thoron detectors. Many commercial devices are used for the measurement of radon (Rn-222) and thoron (Rn220). These devices must be regularly calibrated. The principle of calibration consists of enclosing the instruments in a known volume, injecting a primary radon standard at a time, and calibrating the devices considering the radioactive decay of radon. One or more measuring instruments can be placed inside the sealed volume of the calibration chamber. The radon standard is circulated in this volume using a closed cycle pump and a fan which ensures the homogeneity of the radon activity concentration in the chamber. To implement our calibration project, we proceed by several working methods, such:

Development and calibration of electronic devices for measuring ambient equivalent dose rate and radon concentration based on new technologies in order to master locally nuclear instrumentations

2. 論文

- 1- Vitrice Ruben Folifack Signing, Jacob Mbarndouka Taamté, Michaux Kountchou Noubé, Zacharie Stève Omgba Abanda, Hamadou Yerima Abba, Saïdou “Real-time environmental radiation monitoring based on locally developed low-cost device and unmanned aerial vehicle”, Journal of Instrumentation, 18 P05031, <https://doi.org/10.1088/1748-0221/18/05/P05031>, 2023, (IOPscience).
- 2- Jacob Mbarndouka Taamté, Michaux Kountchou Noubé, Vitrice Ruben Folifack Signing, Yerima Abba Hamadou, Hosoda Masahiro, Saïdou, and Shinji Tokonami, “Real-time air quality monitoring based on locally developed unmanned aerial vehicle and low-cost smart electronic device”, Journal of Instrumentation, 2024, <https://doi.org/10.1088/1748-0221/19/05/P05036>, JINST 19 P05036 (IOP).
- 3- Jacob Mbarndouka Taamté, Vitrice Ruben Folifack Signing, Modibo Oumar Bobbo, Kountchou Noubé Michaux, Yerima Abba Hamadou, Saïdou, “Air Quality Assessment Based on a Smart Locally CO2 Monitoring System With Validation by a Reference Instrument”, Sustainable Chemical Engineering, DOI: <https://doi.org/10.37256/sce.5120244286>, SCE 2024, 5, 259-278.
- 4- Jacob Mbarndouka Taamté, Koyang François, Gondji Dieu Souffit, Oumar Bobbo Modibo, Hamadou Yerima Abba, Kountchou Noubé Michaux, Saïdou, Shinji Tokonami, “Low-cost radon monitoring with validation by a reference instrument”, Instrumentation Science and Technology, 2022, <https://doi.org/10.1080/10739149.2022.2095401>, (Taylor and Francis).

Environmental Radioactivity, Radiation Physics

研究代表者：Prasad Ganesh

受入研究者：床次 眞司・大森 康孝・細田 正洋

共同研究者：Singh Deepak

1. 成果

The potable groundwater samples is collected from 100 different locations in Yamuna and Tons Valleys. The universally accepted protocols of the American Public Health Association (APHA) is be followed for sample collection, preservation, transportation and analysis. This study investigates the concentrations of different heavy metals ^{52}Cr , ^{55}Mn , ^{56}Fe , ^{60}Ni , ^{63}Cu , ^{66}Zn , ^{75}As , ^{78}Se , ^{95}Mo , ^{111}Cd , ^{121}Sb , ^{137}Ba , ^{208}Pb and ^{238}U in the water samples is measured using an Agilent 8900 Triple quad Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS). Groundwater samples obtained from Yamuna and Tons valley of western Himalayan. The average concentrations of Cr, Cd, TDS, Mo, and Pb have been found to surpass yet fall below the WHO drinking water standard threshold. Heavy metals from both natural and man-made sources affect the groundwater at the test locations. Using a number of indicators, the study conducted a thorough assessment of the overall pollution situation. The levels of Zn, Pb, and Cd pollution range from low to high, from pristine to badly contaminated, and from negligible to seriously affected. The groundwater in the study area appears to be fit for human consumption based on the water quality indices. Therefore, it can be concluded that the inhabitants of the study area have no significant health concerns (both carcinogenic and non-carcinogenic) from the exposure to uranium in the collected water samples. Beyond health risk assessment, uranium levels in groundwater can contribute to geochemical exploration, generation of baseline data and offer insights into geochemical processes in the Himalayan region. Next, we will collect additional samples from the designated region and analyze them for all the heavy metals mentioned above. Subsequently, we will prepare a manuscript and submit it to a suitable journal for publication.

Attended the “5th National Conference on Radiation Awareness & Detection in the Natural Environment (RADNET-V)” from October 7-9, 2024, organized by the Department of Physics, Graphic Era University in association with RADNET India.

Presented two posters at the conference titled:

1. Occurrence, correlation and health implications of uranium and other PTEs in Himalayan Springs.
2. A systematic study of uranium toxicity in drinking water of the Tons valley, Garhwal Himalaya, India.

2. 論文

Nil

Radiological characterization of local building materials and environmental monitoring of the iron bearing areas of Mbalam, Kribi and Bipindi, South-Cameroon. (Continued)

研究代表者：Ndjana Nkoulou li Joseph Emmanuel

受入研究者：床次 眞司・大森 康孝・クランロッド チュティマ

共同研究者：Saïdou・Tchuente Siaka Yvette Flore・Oumar Bobbo Modibo

1. 成果

- ☐ Determination of the radioactivity level in the environment and in local building materials ;
- ☐ Determination of the indoor and soil activity concentrations of radon and thoron gases;
- ☐ Determination of the contribution of exhaled radon and thoron from local building materials;
- ☐ Establishment of the radiological risk mapping of the area.

2. 論文

Risk and analysis base on stress oxidative and immune biomarker

研究代表者：Yusuf Darlina

受入研究者：三浦 富智

共同研究者：Tetrianana Devita・Lusiyanti Yanti・Purnami Sofiati・Utami Tyas Hayu

1. 成果

The Long-term exposure to ionizing radiation (IR) can cause health consequences, even below the dose limit IR exposure in radiation workers, alters the redox environment by increasing the amount of ROS. Increased levels of reactive oxygen species (ROS) can cause oxidative DNA damage. The chronic oxidative stress is involved in many pathological conditions such as inflammation, fibrosis, necrosis, DNA damage, and cancer. Understanding the potential health effects of IR exposure, especially among radiation workers, is essential for further tailoring targeted preventive interventions to reduce harmful IR exposure. Therefore, in this study, we aimed to investigate the association between IR exposure and changes in 8 OHdG and interleukin-6 (IL-6). The samples used in this research were the plasma from 10 radiation workers and 10 controls group. Blood was collected using EDTA tubes. divided into 2 tubes, one tube was irradiated using cobalt60 with a dose of 2 Gy. Plasma was isolated using centrifugation. Concentrations of 8-OHdG and IL 6 were measured using the ELISA method.

The concentration of 8 OHdG was almost the same in all groups. The concentration of 8-OHdG in the samples after irradiation also did not appear to be different. The concentration of IL6 in the blood samples of the worker group was higher than the control but not significantly different. The concentration of IL6 in the blood samples of the irradiated worker group was the highest. There was no significant difference between the blood of workers before and after irradiation. The concentration of IL6 in the samples exposed to 2 Gy radiation, the worker group was significantly higher than the control.

The conclusion that there was no significant difference in both parameters of oxidative stress or inflammation between the two groups. In other words, in our study exposure to ionizing radiation had no adverse effects on both parameters

2. 論文

Bacterial-assisted Environmental Phytoremediation of Cs-137 Contaminated Soil

研究代表者：Winarni Dwi Ilma

受入研究者：赤田 尚史・田副 博文

共同研究者：Nugraha Djatnika Eka

1. 成果

This study aimed to develop an environmentally friendly and sustainable remediation strategy for ^{137}Cs -contaminated land. This study establishes a framework for remediating soil contaminated with ^{137}Cs using bacterial-assisted environmental phytoremediation techniques. A key aspect is the selection of plant species suitable for phytoremediation combined with compatible microbes. Plant-based technology has been proposed as a cost-effective, operationally simple, and eco-friendly strategy for remediating radiocesium-contaminated soil. Numerous studies have been conducted to identify plants or varieties that can effectively accumulate ^{137}Cs . To investigate suitable phytoremediation plants, this study estimates the soil-to-banana transfer factor of radionuclides in southern Lampung, Indonesia, a region influenced by a large coal-fired power plant (CFPP) and other heavy industrial activities. Coal combustion in CFPPs concentrates natural radionuclides from the uranium and thorium series within the resulting ash. Soil and banana samples from Srengsem, Mataram, and Rangai Tri Tunggal villages were analyzed for ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{40}K using a calibrated P-type High-Purity Germanium (HPGe) detector. The study found average activity concentrations in soil were $26 \pm 1 \text{ Bq kg}^{-1}$ for ^{226}Ra , $28 \pm 1 \text{ Bq kg}^{-1}$ for ^{232}Th , and $368 \pm 12 \text{ Bq kg}^{-1}$ for ^{40}K . In the banana, ^{226}Ra at $6 \pm 1 \text{ Bq kg}^{-1}$ and ^{40}K at $288 \pm 10 \text{ Bq kg}^{-1}$ were detected, while ^{232}Th was below the detection limit. The transfer factors for ^{226}Ra and ^{40}K were calculated at 0.3 ± 0.2 and 1.6 ± 1.3 , respectively, indicating medium to high radionuclide uptake by the banana.

2. 論文

Capacity building for development of nuclear techniques for analysis of radionuclides and potential toxic elements in environmental samples

研究代表者：Rahman Md Safiur

受入研究者：田副 博文

共同研究者：Choudhury Rabia Tasrina

1. 成果

Research Result

During the project period, we had not done any research dealing with the radionuclides in environmental samples but we have done research on potential toxic elements in surface water and the research work has been published with the following title in Heliyon Journal.

Potential toxic elements in surface water of Mokosh Beel, Gazipur, Bangladesh: Ecological and human health risk assessment for recreational users

Heliyon 11 (2025) e42421

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42421>

Mokosh Beel, a significant wetland in Bangladesh, is increasingly impacted by industrial effluents, leading to potential ecological and human health risks. This study evaluates the surface water quality of Mokosh Beel by analyzing both physicochemical parameters (pH, DO, EC, TDS, and salinity) and the concentrations of potential toxic elements (PTEs) (i.e., Mn, Cu, Ni, Pb, As, Cd, Co, Cr, Sb, and Zn). The findings reveal that most water quality parameters, except pH, exceeded local and international guidelines, indicating poor water quality. Among the PTEs, Mn ($269.13 \mu\text{g/L}$), Cr ($33.20 \mu\text{g/L}$), and Pb ($71.47 \mu\text{g/L}$) surpassed recommended safety limits. The spatial distribution analysis identified Mn and Pb as the primary pollutants based on the single-factor pollution index. The Nemerow pollution index indicated mild to moderate pollution, while the heavy metal pollution index (HPI) and heavy metal evaluation index (HEI) suggested a low degree of pollution at most sampling sites. Principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) linked the majority of PTEs to industrial sources, particularly from tannery, leather, and paint industries. The potential ecological risk index (PERI) showed minimal ecological risk, but the hazard index (HI) indicated non-carcinogenic risks for children, although adults were not significantly affected. Carcinogenic risk assessments highlighted Pb and Cd as key contributors, with risks exceeding the critical threshold for both children and adults. This study underscores the urgency of addressing industrial pollution to safeguard both ecological

health and human well-being, particularly for vulnerable populations like children. Policymakers must implement sustainable water management strategies to mitigate the ongoing contamination of Mokosh Beel.

2. 論文

Precise and rapid determination of ^{238}U in seawaters from the Southern Ocean using ID-ICP-MS

研究代表者：Mas José Luis

受入研究者：田副 博文

共同研究者：篠永 妙子

1. 成果

Objectives.

To determine the concentration of ^{236}U (aU-236) in seawater using the result of isotope ratio $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ (AMS), we quantify ^{238}U concentration (c238) in the seawaters using ID-ICP-MS. A rapid and precise analytical method was developed and applied. The method developed could be applicable for the analysis of ^{236}U in emergency case, e.g., Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant incident.

Methods.

Seawater and seawater ice fragments were collected at the Southern Ocean following a transect covering 51°S - 67°S . The seawater samples were diluted 1:15 m:m in 1% HNO_3 and spiked with approximately 20 pg of ^{233}U . Then the ^{238}U concentration was calculated after measuring the $^{233}\text{U}/^{238}\text{U}$ isotope ratio (ID-ICP-MS) with an ICP-MS/MS (Agilent 8800) coupled to a CETAC ARIDUS II desolvation system at the Servicio de radioisótopos laboratory, CITIUS, University of Sevilla, Spain. This approach allows a precise determination of low ^{238}U concentrations without the need to apply a previous radiochemical separation.

Results.

The calculated concentrations ranged from very low values (0.131 $\mu\text{g}/\text{kg}$) to the expected concentrations range in open seawater (3.1-3.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$). The relative uncertainties ranged 4-14%. They were calculated for a significance $\alpha = 0.05$ (i.e., $k = 2$) after quadratic propagation as required by GUM.

The lower values reflect the result of mixing processes between seawater and melted ice, because dissolved salts such as UO_2^{2+} ion are extruded during ice formation. The extrusion process also affects the dissolved uranium, leading to a decrease of its concentration regarding the seawater.

Date of report: 2025-03-01

2. 論文

239Pu, 240Pu and 237Np in seawater from the Southern Ocean

研究代表者：López-Lora Mercedes

受入研究者：田副 博文

共同研究者：篠永 妙子・Chamizo Elena

1. 成果

Objectives:

This project aims to analyze ^{239}Pu , ^{240}Pu and ^{237}Np in sea ice fragments from the Southern Ocean, following up on our previous ERAN-2023 project which focused on seawater samples. The 1 MV Accelerator Mass Spectrometry (AMS) system at the CNA (Seville, Spain) was used for the analysis. The data could be helpful for a better understanding of the sources and pathways of ^{239}Pu , ^{240}Pu and ^{237}Np into the Southern Ocean, including a possible impact from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant incident on the region of interest.

Methods:

$^{239,240}\text{Pu}$ and ^{237}Np samples were processed and analyzed at the CNA (Seville, Spain) following the methods in (López-Lora et al., 2019; López-Lora and Chamizo, 2019). Pu and Np were extracted as monoxide anions (e.g. $^{239}\text{Pu}^{160}$) from the Cs sputter ion source; analyzed on a first 90° sector magnet; stripped to 3+ charge state (e.g. $^{239}\text{Pu}^{3+}$) in He gas at 670 kV in the accelerator terminal; analyzed on a sector magnet and on an electrostatic deflector; and finally, counted from the total energy signal provided by a gas ionisation chamber. The CNA Pu+Np in-house standard was used for normalisation. Targets containing only iron oxide and Nb were inserted to keep track of the instrumental background. The laboratory background during chemical separation processes was controlled through procedural blank analysis. The masses of interest (i.e. ^{237}Np , ^{239}Pu , ^{240}Pu and ^{242}Pu , the yield tracer) were counted in a 5-20 s pulses using the ARGUS software machine. Background levels for ^{237}Np , ^{239}Pu and ^{240}Pu were below 0.1, 2 and 0.4 fg, respectively.

Results:

The results indicate higher ^{239}Pu concentrations in certain sea ice fragments than in seawater. The ^{237}Np concentrations in the sea ice fragments, in contrast, decrease compared to the seawater. The $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ isotope ratio in some seawater and sea ice samples is below the global fallout level for the $30\text{--}53^\circ$ South latitude, 0.185 ± 0.047 (Kelley et al., 1999). However, the variations in this ratio across samples indicate a need for additional data to interpret those values properly. The findings from this project, along with any future related data, may serve as valuable information for

understanding the marine dynamics in the area studied. No effects from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant incident were found in the samples analyzed.

References:

Kelley, J.M., Bond, L.A., Beasley, T.M., 1999. *Sci. Total Environ.* 237–238, 483–500.

López-Lora, M., Chamizo, E., 2019. *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms* 455, 39–51.

López-Lora, M., Levy, I., Chamizo, E., 2019. *Talanta* 200, 22–30.

2. 論文

Measurements of U-236 in seawater samples from the Southern Ocean

研究代表者：Perez Tribouillier Uematzin Habacuc

受入研究者：田副 博文

共同研究者：篠永 妙子

1. 成果

Objectives:

This project aims to analyze ^{236}U in seawater samples from the Southern Ocean using Accelerator Mass Spectrometry (AMS)-MILEA system at ETH Zurich, collaborating with the CNA, Spain and IREM, Hiroshima University. The data could be helpful for a better understanding of the sources and pathways of ^{236}U fallout into the Southern Ocean, including a possible impact from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant incident on the region of interest.

Methods:

^{236}U and ^{238}U source for AMS measurements were prepared at the CNA (Seville, Spain) and subsequently analyzed at the Laboratory of Ion Beam Physics, ETH Zürich using the 300 kV Multi-Isotope-Low-Energy-Accelerator Mass Spectrometer (MILEA). The U as oxide, was introduced into the ionizing source in matrix of iron oxide and Nb. They were bracketed with the ETH in-house standard Zuttri and with the targets containing only iron oxide and Nb to keep track of the instrumental background. The laboratory background during chemical separation processes was controlled through procedural blank analysis. The standard setup for U measurements at the ETH MILEA system consists of a combination of three slow sequential cycling sequences, with fast cycling of the abundant ^{238}U isotope with ^{236}U , ^{233}U and ^{235}U . Background levels for the measurements were below 2×10^{-14} for $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ and the $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ precision of the measurements was typically below 5%.

Results:

The concentrations of ^{236}U in seawater $(1.6-2.7) \cdot 10^5$ (atom/kg) ($n=3$) were found to be 1-2 orders of magnitude lower than that found in the Atlantic Ocean (Christl, 2012). The $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ atom ratios in surface waters were $(2.0-3.3) \cdot 10^{-11}$ ($n=3$), while in the sea ice fragments ratio were $(2.2-48) \cdot 10^{-11}$ ($n=2$). The higher amount of ^{236}U in the sea ice fragments may be due to atmospheric deposition of global fallout. However, the variations in this ratio across two sea ice samples and high uncertainty indicate a need for additional data to interpret those values properly. Similar to this result for U, some sea ice samples showed higher concentrations of ^{239}Pu and ^{240}Pu , and lower

$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratios than seawater (ERAN I-24-39). The impact of the Fukushima DNPP incident could not be confirmed by the samples analyzed.

Reference: Christl, et al., *Geochim. Cosmochim. Ac.* 77 (2012) 98.

2. 論文

Evaluation of the transferrability of an AI driven radon release prediction method based on machine learning

研究代表者：Csordás Anita

受入研究者：大森 康孝・床次 眞司

共同研究者：Homoki Zsolt

1. 成果

Radon isotopes are responsible for approximately 50-70% of natural radiation exposure to humans, and pose the second highest lung-cancer risk after smoking, so identifying radon-prone areas would help focusing resources to achieve an efficient use of resources for maximum public benefit. The two main sources of indoor radon concentration are the underlaying soil and the building materials. The radionuclide content of modern building materials is being controlled by the screening of building material based on gamma spectrometry, however old building material, and novel building material incorporating NORM may pose challenges, as does the underlying geology. Modern building practices, such as higher energy efficiency, and more insulated buildings equipped with air conditioning may increase previously measured radon concentrations due to changes in ventilation, and restricting air-exchange. ANN based machine learning is a powerful predictive tool for predicting radon risk, and it has been previously used for predicting radon prevalence for a Vietnamese copper ore mine with good results.

Datasets of the sampling location, radionuclide concentrations, soil gas radon concentration, permeability, geogenic radon potential, soil type, measured gamma dose rate, and calculated gamma dose rate of Transdanubian region of Hungary were used to train, validate and test an ANN based algorithm for geogenic radon prediction using 80% of the dataset for training and 20% for prediction. The predictive capacity of the model was evaluated using the test dataset and various standard metrics (RMSE, MAPE, MABE, R and R squared). The ANN was also tested on Japanese datasets to check the transferability of the method and predictive capability.

Compared to the relatively homogeneous region in the vicinity of the Vietnamese copper mine, the heterogeneous nature of the Transdanubian Region requires the inclusion of further parameters. The gamma dose rate or soil Ra-226 concentration, while connected to GRP and radon gas concentration in soil and air, were not reliable predictors of Rn concentrations on their own. Th-232 does not seem to interfere significantly with the GRP measurement method. The current ANN based approach might still prove valuable on a smaller scale in more homogeneous regions after

retraining. Japanese datasets can have similar issues as the Transdanubian region on a national scale due to the heterogeneity of the data, however regional or local scale evaluation might be worth pursuing.

In the future in addition to increasing the input requirement of the current model, the use of different machine learning approaches, such as autoencoder neural network hybridized to the Extra Trees model (AENN-ExT), multi-layer perceptron neural network (MLP), support vector regression (SVR), stochastic gradient descent (SGD), k-nearest neighbors (KNN), and hist gradient boosting regression (HGBR) might be considered and compared to the current ANN based approach.

2. 論文

Due to the short grant period and the difficulties during data analysis no joint paper was published by the research group between April 2024 and March 2025.

Intercomparison on passive radon measurement for nation survey in Thailand caves.

研究代表者：Sola Phachirarat

受入研究者：クランロット チュティマ・床次 眞司

共同研究者：田副 博文

1. 成果

Cave tourism in Thailand has grown increasingly popular due to its natural beauty, cultural significance, and local legends. However, caves are enclosed environments with limited ventilation, making them prone to the accumulation of radon gas (^{222}Rn), a naturally occurring radioactive nuclide that poses health risks, particularly lung cancer after long-term exposure. This research project aims to conduct an intercomparison of passive radon measurement methods at IREM, Hirosaki University, Japan, as part of a national survey of radon levels in Thai caves. The calibration result was used to assess radon concentrations in tourist caves across Thailand and estimate the radiation dose received by visitors and staff. The goal is to establish a foundation for future safety measures and regulatory guidelines.

Since the project commenced in October 2024, the research team has reviewed literature on cave radon studies worldwide and conducted fieldwork at two pilot sites: Tham Chiang Dao in Chiang Mai and Tham Ta Lor in Khon Kaen. The field survey at Tham Chiang Dao was conducted between January 13–31, 2025, using an AlphaGUARD DF 2000 device for active radon measurements and Raduet detectors were put in the caves for 90 days for passive measurements. Soil and water samples were also collected for elemental analysis. The survey at Tham Ta Lor took place between February 17 and March 7, 2025, employing the same methodology. Preliminary results showed that the average radon concentration in Tham Chiang Dao was approximately 500 Bq/m³, while Tham Ta Lor had a higher average of around 1200 Bq/m³. Radon levels in the workplace should not exceed 1000 Bq/m³, as recommended by the International Commission on Radiological Protection (ICRP). These levels may pose health risks with prolonged exposure, particularly for cave staff or tour guides. Data from passive detectors are currently being processed and will be compared with active measurement results for validation. Despite steady progress, the project has faced some limitations. The one-year duration necessitates careful selection of caves to represent diverse conditions across the country. Seasonal challenges such as heavy rainfall, especially in southern Thailand, prompted a shift to survey caves in the northeast during the early stages. Additionally, obtaining permission to access tourist caves required coordination

with multiple agencies and was time-consuming.

On the academic front, the team has begun drafting the first research article to present preliminary findings in an international journal, such as “Toxics”, by the end of 2025.

This study is expected to contribute to the body of knowledge on radiation safety in Thai caves and support policy development in environmental and tourism management.

2. 論文

The results of this research study will be published in the TOXIC or Atmosphere journals by this year.

Portable cancer detector based on DNA probe

研究代表者：Pojprapai Soodkhet

受入研究者：クランロッド チュティマ・床次 眞司

共同研究者：

1. 成果

Overview

Prostate cancer remains one of the most common cancers in men worldwide and is often diagnosed at late stages, resulting in high mortality rates. Prostate cancer antigen 3 (PCA3) has emerged as a promising biomarker, offering greater specificity than traditional prostate-specific antigens (PSAs) for early-stage diagnosis. In this study, we introduce a portable, quartz-crystal microbalance (QCM)-based biosensor enhanced with graphene oxide (GO) nanomaterials for the rapid, sensitive detection of PCA3, offering a viable solution for point-of-care diagnostics.

Methodology

The biosensor was developed using a layer-by-layer assembly of L-cysteine and graphene oxide, enhancing the surface area and increasing the density of binding sites for biomolecules. The GO-modified QCM electrode was thoroughly characterized using XRD, SEM, AFM, and FTIR, confirming the successful deposition of GO with carboxylic moieties, ideal for biomolecular immobilization. Optimization studies included EDC-NHS activation time, capture probe concentration, and incubation conditions.

Results and Performance

The GO-enhanced sensor exhibited excellent performance, detecting PCA3 targets across a wide concentration range (1.00 fM – 1.00 μ M), with a limit of detection (LOD) of 0.93 nM achieved within 20 minutes. SEM and AFM images confirmed a large surface area for GO particle deposition, while FTIR spectra validated the chemical functionality of the modified surface. Selectivity tests demonstrated exceptional discrimination of PCA3 from unrelated analytes including COVID-19, DLX1, and EGFR, all of which showed significantly lower responses—even at higher concentrations—than PCA3 at the lowest tested level.

Conclusion and Implications

The QCM-based biosensor incorporating GO nanomaterials enables rapid, accurate, and selective detection of the PCA3 biomarker, with promising implications for early prostate cancer screening. Its high reproducibility, selectivity, and stability highlight the potential for integration into clinical practice, particularly in urine-based diagnostics. This platform also sets the stage for broader biomedical applications, offering a flexible foundation for

detecting other disease-specific biomarkers in future point-of-care testing systems.

2. 論文

no

Proficiency test of passive radon measurement for nation survey at Hin Dat hot spring in Kanchanaburi, Thailand

研究代表者：Rattanapongs Chanis

受入研究者：クランロッド チュティマ・床次 眞司

共同研究者：Sola Phachirarat

1. 成果

This research aimed to test the proficiency of passive radon measurement analysis for outdoor radon measurement in high background radiation areas. Initially, six samples of Hin Dat hot springs were analyzed, consisting of two hot springs for the public, one hot spring for children, one drinking water well, one hot spring for monks, and a natural waterfall area to examine the amount of radon in the water using a RAD7 radon detector. The results showed that the radon values in the water ranged from 770 to 25,300 Bq L⁻¹, with the lowest values found in the natural waterfall area adjacent to the hot springs and the highest values found in the hot spring for monks, which had relatively high levels compared to many other regions. The radon concentration in the air at three points around the area was measured with a radon detector (AlphaGuard), the values obtained ranged from 13 to 50 Bq m⁻³, approximately 500 times lower than the measured radon concentration in water and exceeded the average outdoor radon level mentioned by the World Health Organization: WHO (average of roughly 10 Bq m⁻³). Therefore, to test the ability of outdoor radon measurement with a passive measuring device, RADUET was installed in the hot spring area with a total of 10 installation points (23 samples) for 3 months. After completion, all RADUETs were sent to the Institute of Radiation Emergency Medicine, Hiroshima University, Japan, for etching and analysis using the RadoMeter system. The experimental results showed that the values ranged from 2 - 67 Bq m⁻³, and all samples had radon concentration values higher than the lower limit of detection (LLD). In conclusion, it is possible to use passive radon measurements to analyze outdoor radon concentrations in high background radiation areas. However, this method still has limitations for measurements in outdoor low background radiation areas.

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）

FY2024 Final Report
【拠点間/Within ERAN 共同研究】

拠点間共同研究

ID	種目	研究代表者	所属	研究課題名	拠点内共同研究者	拠点外共同研究者
E-24-01	拠点間	坂口 綾	CRiES	環境水中の極微量放射性核種測定法の開発	田副 博文 高田 兵衛 高久 雄一	
E-24-02	拠点間	津旨 大輔	CRiES	陸域から海洋への放射性セシウムの供給における汽水域堆積物の影響	林 誠二 辻 英樹	濱島 靖典 三角 和弘 三浦 輝 西野 圭佑
E-24-03	拠点間	五十嵐 康記	CRiES	有機物からのCs-137離脱に影響する要因	辻 英樹 境 優 脇山 義史 佐久間 一幸 恩田 裕一	
E-24-04	拠点間	山崎 信哉	CRiES	比重により分画した表層土中の放射性セシウムの分布とその保持媒体の分析	塚田 祥文	
E-24-05	拠点間	平尾 茂一	IER	東電福島原発周辺における環境中トリチウムの動態解明	柿内 秀樹	
E-24-06	拠点間	脇山 義史	IER	阿武隈川および新田川における出水時の129I動態	笹 公和 平尾 茂一	松村 万寿美 松中 哲也
E-24-07	拠点間	石庭 寛子	IER	野生動物の硬組織試料を活用した線量評価に関する研究	アンダーソン ドノヴァン	岡 壽崇
E-24-08	拠点間	三浦 富智	IREM	核燃料再処理施設再稼働に向けた野生ネズミの調査	今田 省吾 大塚 良仁 中平 嶺 石庭 寛子	山城 秀昭 中田 章史
E-24-09	拠点間	赤田 尚史	IREM	北海道で採取された降水のトリチウム濃度	平尾 茂一	桑田 遥 ケムルータイ ケアムシリ 北山 結彩
E-24-10	拠点間	田副 博文	IREM	請戸川における魚骨試料中のSr-90濃度の変化とその支配要因	アンダーソン ドノヴァン 和田 敏裕 三浦 富智	
E-24-11	拠点間	アンダーソン ドノヴァン	IREM	Estimating radiation exposure in wild boars through chromosomal damage assessment in Fukushima Prefecture	石庭 寛子 藤嶋 洋平 三浦 富智	
E-24-12	拠点間	辻 英樹	NIES	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	
E-24-13	拠点間	柿内 秀樹	IES	アーカイブ試料を用いた環境トリチウムの遡及的評価	恩田 裕一 加藤 弘亮	

環境水中の極微量放射性核種測定法の開発

研究代表者：坂口 綾

拠点間共同研究者：田副 博文・高田 兵衛・高久 雄一

1. 成果

【緒言】 セシウム-135 (^{135}Cs , $T_{1/2} = 230$ 万年)は核実験や核関連施設からの漏洩により環境中に放出された放射性核種であり、 ^{137}Cs に代わる海水循環トレーサーとしての利用と、核関連施設からの放出に関連した濃度定量、長期的な環境影響評価の必要性から測定法の確立が求められている。しかし、一般的な海水中の ^{135}Cs は極微量(推定 1.6 fg/kg)であり、質量測定には海水約 50L から Cs を濃集する必要がある。この課題を解決すべく、本研究では不溶性フェロシアン化コバルト(Co-FC)担持繊維、吸着剤を用いた海水中 Cs の濃集に関する以下の検討をおこなった。

【実験】 〈Co-FC 担持繊維による Cs 吸着・脱離条件の検討〉本研究に使用した Co-FC 担持繊維は、早稲田大学 斎藤恭一先生よりご提供いただいた。一定量の海水に添加する Co-FC 担持繊維 (Co-FC 量 1.9 $\mu\text{mol}/\text{cm}$) 量や本数による 24 時間以内の Cs 吸着率変化を調べた。また、Cs 吸着後の Co-FC 担持繊維をさまざまな脱離液に浸漬、燃焼後に酸抽出することで効率的な Cs 脱離条件を検討した。

〈Co-FC 担持吸着剤の作製〉PP・PE 製の不織布に対してさまざまな条件により GMA をグラフト重合後、Co-FC を担持させることで異なる Co-FC 密度を持つ Co-FC 担持吸着剤を作製した。

〈Co-FC 担持吸着剤の吸着評価〉異なる Co-FC 密度を持つ Co-FC 担持吸着剤を一定量の海水に添加することで Cs 吸着に適した Co-FC 密度の検討をおこなった。

〈Cs 化学分離法の検討〉Co-FC 担持繊維からの脱離液に含まれる Fe, Co および K の除去について、沈殿作製および樹脂による分離等により検討を行った。

【結果】 〈Co-FC 担持繊維による Cs 吸着・脱離条件の検討〉バッチ法による吸着実験から、海水 50L 中の Cs を 8 割以上吸着させるためには Co-FC 担持繊維が最低 10m 必要であることが明らかとなった。脱離条件としては、Cs 吸着済みの Co-FC 担持繊維を燃焼し、濃塩酸で抽出する方法が最も吸着率が良いことがわかった。

〈Co-FC 担持吸着剤の作製〉作製した Co-FC 担持吸着剤の GMA グラフト率は 18.2%～617.7%であった。また、グラフト率の上昇によって不織布強度の低下が見られた。

〈Co-FC 担持吸着剤の吸着評価〉Co-FC 担持吸着剤において最大吸着率 $88.5 \pm 4.8\%$ が得られた。海水 50L 中の Cs を吸着させるためには計 500 cm^2 必要であることが明らかとなり、Co-FC 担持繊維と比較して船上での扱いやすさが向上した。

〈Cs 化学分離法の検討〉Cs と K を吸着させた陽イオン交換樹脂を HNO_3 で溶出させることで K を完全に除去することに成功した。この時の Cs 回収率は $42.0 \pm 4.4\%$ であった。

2. 論文

陸域から海洋への放射性セシウムの供給における汽水域堆積物の影響

研究代表者：津旨 大輔

拠点間共同研究者：林 誠二・辻 英樹

拠点外共同研究者：濱島 靖典・三角 和弘・三浦 輝・西野 圭佑

1. 成果

福島第一原子力発電所の事故によって陸域に降下した放射性セシウムは、河川を通じて海洋に供給されている。2014 年に実施された観測から、福島県相馬市にある松川浦の水中の溶存放射性セシウム濃度は、松川浦に流入する宇多川や、松川浦の水が流出する相馬沿岸の水中の溶存放射性セシウム濃度より高かった。このことは、松川浦が海洋への溶存放射性セシウムの供給源になっていることを示唆している。本研究は松川浦、相馬沿岸、宇多川の水や松川浦の堆積物の間隙水中の溶存放射性セシウムを観測することで、松川浦から海洋への放射性セシウムの供給過程を把握することを目的としている。

2019 年度から 2022 年度にかけて夏と冬の合計 6 回の観測を実施した。2023 年度にも夏の観測を実施し、水や堆積物の間隙水中の溶存放射性セシウムの測定を行った。松川浦の水中の溶存放射性セシウム濃度は宇多川や相馬沖よりも高く、これまでの観測データと整合的な結果が得られた。松川浦の堆積物の間隙水中の溶存放射性セシウム濃度は、水中の濃度よりも数倍程度高く、松川浦の堆積物から間隙水を通じて溶存放射性セシウムが供給されていることが示唆された。

2013 年 11 月、2015 年 7 月、および 2022 年 7 月に、松川浦の堆積物中の ^{137}Cs 濃度に関する詳細な観測が実施され、それぞれの時点におけるインベントリが推定された(Misonou et al., in preparation)。これらのインベントリの時系列変化に基づき、松川浦からの ^{137}Cs フラックスを推定した。その結果、平均年間フラックスは 2013 年 11 月 23 日～2015 年 7 月 8 日の期間から、2015 年 7 月 9 日～2022 年 7 月 19 日の期間にかけて減少していることが明らかとなった。また松川浦からの溶存 ^{137}Cs フラックスは、福島県および宮城県の河川の中でも比較的高い値を示す阿武隈川や請戸川のフラックス (Sakuma et al., 2019) と同程度であり、他の河川とは異なる減少傾向を示していた。

松川浦の堆積物中の ^{137}Cs 濃度が高いのは、事故直後に高濃度の ^{137}Cs を含む海水がこの海域を通過した影響と考えられる。また、間隙水中の溶存 ^{137}Cs 濃度が高いことから、堆積物から溶存 ^{137}Cs が離脱している可能性が高い。つまり、松川浦から海洋への溶存 ^{137}Cs の供給過程は、事故直後に堆積物へ移行した高濃度 ^{137}Cs が、その後の脱離過程によって支配されていることが示唆された。

2. 論文

なし

有機物からの Cs-137 離脱に影響する要因

研究代表者：五十嵐 康記

拠点間共同研究者：辻 英樹・境 優・脇山 義史・佐久間 一幸・恩田 裕一

1. 成果

これまで福島原発事故影響地域において実施された観測的研究から、河川上流域においては河川中の Cs-137 が流域内のリター等の有機物から供給されている事がわかっている。リターに含まれる Cs-137 の離脱は、屋外や実験室における溶出試験等で評価されてきた。しかしながら、スギのリターに含まれる Cs-137 の溶出率は 0.3 % Kurihara et al (2020 JER)から、30 % 程度(例えば、Sakai et al., 2015 JER)まで大きな幅を持っている。さらに言えば、Clint et al. (1992 JER)は草本からの Cs-137 の溶出率が 30～70 %と報告している。本研究では、溶出試験でバイオマスに含まれる Cs-137 の離脱現象を評価する際に生じる差異を生む過程を明らかにすることを目的とした。本研究では、有機物からの Cs-137 の溶出に関してレビューを実施し、溶出試験の中で、溶出率の差異に寄与することが予想される要因を明らかにする。樹種別に 12 報の溶出率が報告されていた。スギの溶出率を報告した論文のうち、3 報で 1 オーダー程度高めの値が報告されていた。この 3 報に共通する点として、冬から春にサンプルを採取している点である。スギ葉の寿命は約 2～3 年で、9 月から翌年 2 月にかけて年間の 67%が落葉(山中ら, 1985) 。Sakuma et al. (2021)では、冬にサンプルしたフレッシュでないスギ葉をリターバックに入れ、約 1 年静置後、溶出試験を実施しているが、低い溶出率を報告していたが、その原因として新鮮でない葉を資料にした影響が考えられた。一方で、前述の 3 報で使用された試料は、落葉後に冬の凍結を経験し、細胞壁等が損傷し溶出率が増すことが想像された。

2. 論文

比重により分画した表層土中の放射性セシウムの分布とその保持媒体の分析

研究代表者：山崎 信哉
拠点間共同研究者：塚田 祥文

1. 成果

1. 序論

2011 年に発生した福島第一原子力発電所事故により、大量の放射性物質が環境中に放出された。特に ^{137}Cs （半減期 30.2 年）は、現在でも主要な放射線源となっている。汚染土壌中の放射性 Cs は主に粘土鉱物と放射性 Cs 含有微粒子（CsMP）に保持されており、CsMP は高い放射能を有する。本研究では、CsMP の密度分布を明らかにし、粘土鉱物との分離の可能性を検討することを目的とした。

2. 実験

本研究では、福島県内の 2 地点（夫沢・小丸）で表層土壌を採取し、化学処理を施した後、重液分離とオートラジオグラフィーを用いて CsMP の密度分布を解析した。まず、有機物や非晶質 Fe 酸化物を分解し、CsMP と粘土鉱物の分離を容易にした。次に、粒径分級を行い、 $63\mu\text{m}$ 以下の粒子を選別した。その後、ポリタングステン酸ナトリウムを用いた重液分離により、 $1.8\sim 3.0\text{ g/cm}^3$ の範囲で 8 つの密度区画に分離した。最後に、オートラジオグラフィーによって各密度区画の試料の放射能を測定し、CsMP の密度分布を解析した。

3. 結果・考察 夫沢の土壌においては、CsMP が主に $2.2\sim 2.4\text{ g/cm}^3$ の密度区画に分布していることが確認された。これは一般的なケイ酸塩ガラスの密度（ $2.2\sim 2.5\text{ g/cm}^3$ ）と一致し、CsMP の主成分が SiO_2 であることを反映していると考えられる。一方、小丸の土壌では CsMP の分布が夫沢とは異なり、 $2.4\sim 2.6\text{ g/cm}^3$ の密度区画に多く確認された。また、高放射能濃度の土壌では、粘土鉱物が凝集しやすく、放射能測定時に影響を及ぼす可能性が示唆された。特に、小丸の高密度区画においては、粘土鉱物が影響を及ぼした結果、CsMP と区別することが困難な場合があった。高放射能濃度土壌においても、密度 $2.2\sim 2.4\text{ g/cm}^3$ の区画を重点的に分析することで、CsMP と粘土鉱物を識別し、単離することが可能であることが示唆された。

4. 結論

本研究により、CsMP の密度分布は主に $2.2\sim 2.4\text{ g/cm}^3$ の範囲に集中しており、粘土鉱物とは異なる特性を持つことが確認された。また、高放射能濃度土壌では粘土鉱物の影響を受けるが、適切な密度分画を行うことで CsMP の単離が可能であることが示された。今後は、密度の区切り方を最適化し、より効率的な CsMP の分離手法を確立することが求められる。

2. 論文

東電福島原発周辺における環境中トリチウムの動態解明

研究代表者：平尾 茂一
拠点間共同研究者：柿内 秀樹

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公衆の安心感醸成のために重要である。ガンマ線放出核種の観測技術は東京電力福島第一原子力発電所（FDNPP）事故後に大きく進展したが、ベータ線放出核種のトリチウムの分布に関する知見は十分とは言えない。本研究では、FDNPP 近傍の植物中トリチウム濃度を明らかにすることを目的とした。FDNPP からおよそ 2km の北西と南西の 2 地点で、松葉および土壌 30cm コアを採取した。採取された試料をアルミバックに封入し実験室に輸送した。松葉については、PTFE フィルターを用いた膜分離法およびシリカゲルを用いた簡便法で組織自由水トリチウムを回収し、燃焼法によって有機結合型トリチウムを回収した。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。組織自由水トリチウム濃度は、北西地点で 0.55 Bq/L、南西地点で 1.05 Bq/L であった。有機結合型トリチウム濃度は、北西地点で 0.72 Bq/L-燃焼水、南西地点で 1.03 Bq/L-燃焼水であった。組織自由水中トリチウム濃度から 2024 年 9 月採取時点の雰囲気中トリチウム濃度が明らかにされた。一方、有機結合型トリチウム濃度から松葉の生育期間のトリチウム濃度の平均値が分かり、近年の日本で観測されるバックグラウンド濃度と同程度かやや高いトリチウム濃度であることが明らかになった。

2. 論文

阿武隈川および新田川における出水時の 129I 動態

研究代表者：脇山 義史

拠点間共同研究者：笹 公和・平尾 茂一

拠点外共同研究者：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 が陸地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しかなく、その動態に関する知見が少ない。2023 年に海洋放出が開始された Alps 処理水の中にも I-129 が含まれており、海域への影響を把握するためにも、陸域起源の 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と考えられる。

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。これまでに阿武隈川に比べて、新田川では I-129 濃度のみならず、I-129/I-127 比や見かけの分配係数が高いことが確認された。2023 年度内に行った 2016 年 8 月の出水イベント時に新田川上流で採取した試料の分析では、新田川下流に比べても I-129 濃度が高く、福島原発由来の I-129 沈着量が多いほど流域からの 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。今年度は、2017 年 10 月の出水イベント時に新田川上流で採取した試料の分析を行い、これまでに得られた知見との比較を行った。

新田川上流の 2017 年 10 月イベント時の溶存態 I-129 濃度、懸濁物質の I-129 濃度、見かけの分配係数の平均値は、それぞれ $0.27 \mu\text{Bq/L}$ ($n=6$)、 5.2 mBq/kg ($n=5$)、 22000 L/kg ($n=5$) であった。出水期間中の溶存態、懸濁態の I-129 流出量はそれぞれ 730 Bq、5600 Bq であった。I-129 濃度水準の指標として懸濁物質の I-129 濃度を過去の平均値データと比較すると、阿武隈川中流では $0.44 \sim 1.0 \text{ mBq/kg}$ 、新田川下流では $2.4 \sim 4.1 \text{ mBq/kg}$ であり、流域への I-129 の沈着量が高いほど高くなることが確認された。また、見かけの分配係数について比較を行うと、阿武隈川中流では $4300 \sim 6100 \text{ L/kg}$ 、新田川下流では $22000 \sim 25000 \text{ L/kg}$ であり、新田川において I-129 が懸濁物質によく保持されていることが示唆される。I-129 流出量は流域と出水イベントの規模に依存するが、阿武隈川では I-129 総流出量に対する懸濁態 I-129 流出量の割合は 2018 年 7 月のイベントで 20% と 2018 年 10 月のイベントで 73% と幅がある一方、新田川の 4 つのデータセット（2 イベント×2 地点）で 83～97% と総じて高い値を示していた。このことから原発事故起源の I-129 の沈着量が多い流域ほど、再移動に対する懸濁態として寄与が大きいことが確認された。今後、福島原発事故起源の I-129 沈着量が多いと考えられる、請戸川などの浜通り河川に焦点を当てることによって、仮説が検証することを計画している。

今年度の成果として、2024 年度中に阿武隈川における 2018 年の観測結果に基づいて論

文 1 報を公表した (Wakiyama et al. 2024, Appl. Geochem. 173, 106134)。関連して、プレスリリースを行い (福島大学第 189 回定例記者会見 2024 年 11 月 13 日)、新聞に 1 件掲載された (科学新聞 2024 年 12 月 13 日 第 3999 号)。

2. 論文

Wakiyama, Y., Matsumura, M., Matsunaka, T., Hirao, S., Sasa, K. 2024. Riverine 129I dynamics during high-flow events on the Abukuma River in Fukushima. Applied Geochemistry, 173, 106134. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2024.106134>

野生動物の硬組織試料を活用した線量評価に関する研究

研究代表者：石庭 寛子

拠点間共同研究者：アンダーソン ドノヴァン

拠点外共同研究者：岡 壽崇

1. 成果

Hard tissues, such as bones and teeth, retain their shape and can be preserved for extended periods, making them useful in species identification within the field of ecology. Recent advancements in analytical technology have made it possible to extract valuable information from archived hard tissue samples. In this study, we will utilize hard tissue specimens that have already been collected to measure levels of radioactive strontium, which is known to accumulate in teeth and bones, and CO₂- radicals, which are known to accumulate in tooth enamel. By doing so, we will be able to assess the radiation exposure levels of wildlife living in the difficult-to-return zone in Fukushima Prefecture.

In last fiscal year, we could measure CO₂- radicals from the tooth of large Japanese field mouse (*Apodemus speciosus*) successfully by electron spin resonance (ESR). As the next step, we estimated exposed dose in mice tooth by additive dose method in this fiscal year. Because of the small size of mouse teeth, making it challenging to detect radical signals, 15 mice teeth were combined together and two groups, young (under 14 months old) and old (over 1 year old), were set up based on the degree of wear of the molars. Each sample was irradiated with ⁶⁰Co in 100 mGy increments up to 300 mGy and the CO₂- radical intensity was measured. The obtained values were used to create a regression line for the two samples to obtain the exposed dose values for the teeth. A comparison of the results obtained with additive dose method and radiological assessment showed a huge difference in values. The reasons for this are that in ESR, the old group had a small sample volume, so the variation in the CO₂- radical intensity extracted by ESR measurement was large. Furthermore, the ecological characteristics of rodents, such as lifetime migration and habitat preference, were not taken into account in the calculation, which may be another reason.

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

拠点間共同研究者：今田 省吾・大塚 良仁・中平 嶺・石庭 寛子

拠点外共同研究者：山城 秀昭・中田 章史

1. 成果

東京電力福島第一原子力発電所の事故により環境中に放出された放射性物質による被ばくの生物学的影響研究が数多く行われてきた。しかし、これらの研究の課題は、事故前のバックグラウンドデータが欠如していることにある。アカネズミは行動半径が中・大型哺乳類に比べて広くなく、また地域の隔離により地域集団を作る可能性が考えられる。令和 6 年度は、春季サンプルの収集を目的として青森県六ヶ所村の 3 地点を調査し、環境測定および野生アカネズミの捕獲を実施した。捕獲した 8 匹の野生アカネズミ (*Apodemus speciosus*) から、脾臓、肝臓、腎臓、心臓、肺、脳、生殖巣および硬組織を採取し、アーカイブ用試料として保存した。令和 5 年度秋期に採取したアカネズミ生体試料が ERAN サンプルアーカイブに登録され、DOI が発行された (DOI: 10.34355/sample-IREM.Hirosaki.U.00137)。令和 6 年度の春季アカネズミ試料については、ERAN サンプルアーカイブに申請済みである。

【各臓器試料の処理・保存状況】

- ①肝臓、腎臓、肺、心臓、大脳：10%中性緩衝ホルマリン固定後、組織学的解析を可能とするため、パラフィン包埋組織を準備した。将来的に、組織切片画像の提供が可能である。また、組織を小片に細切後、液体窒素で急速冷凍した。-80℃で保存している。
- ②脾臓：脾細胞培養を行い、染色体標本作製し、染色体顕微鏡画像を取得した。解析後に画像の提供が可能である。
- ③血液：血清分離後、液体窒素で急速冷凍した。-80℃で保存している。
- ④精巣：ブアン液または 10%中性緩衝ホルマリンで固定後、パラフィン包埋組織を準備した。また、組織を小片に細切後、液体窒素で急速冷凍した。-80℃で保存している。
- ⑤卵巣：ブアン液または 10%中性緩衝ホルマリンで固定後、パラフィン包埋組織を準備した。
- ⑥：硬組織（骨、歯）：-30℃で保存している。

2. 論文

1. Miura, T., Imada, S., Ohtsuka, Y., Nakahira, R., Ishiniwa, H., Yamashiro, H., Nakata, A., Anderson, D., Fujishima, Y., (2024) Biological samples of wild animal (large Japanese field mouse: *Apodemus supeciosus*) in Rokkasho, Aomori, Japan, Center for Research in Radiation, Isotopes, and Earth System Sciences (CRiES), University of Tsukuba, DOI: 10.34355/sample-IREM.Hirosaki.U.00137

北海道で採取された降水のトリチウム濃度

研究代表者：赤田 尚史

拠点間共同研究者：平尾 茂一

拠点外共同研究者：桑田 遥・ケムルータイ ケアムシリ・北山 結彩・吉田 旭

1. 成果

気圏-水圏環境における物質の動態を明らかにするためには、輸送媒体である水の挙動、循環過程を明らかにすることは重要である。日本で観測された降水に含まれるトリチウムは、高緯度地域ほど高い傾向を示す「緯度効果」が認められていることが知られている。47 都道府県の中で最も高緯度に位置する北海道では、トリチウム濃度が報告されているが (Akata et al. 2021)、近年の水の同位体組成については十分とは言えない。本研究では、北海道札幌市において月間降水を採取し、その水素・酸素同位体組成を明らかにすることを目的とした。

2020 年 1 月から 2024 年 4 月における降水中トリチウム濃度を測定した結果、0.28–1.27Bq/L の濃度範囲であり、平均降水中トリチウム濃度は 0.65 ± 0.27 Bq/L であった。Akata et al. (2021) の報告において 2015 年 7 月から 2019 年末までの降水中トリチウム濃度範囲は 0.24–1.59Bq/L、平均降水中トリチウム濃度は 0.68 ± 0.30 Bq/L であったため、同程度の濃度であった。また報告値同様、降水中のトリチウム濃度は春先に高く、夏期に低い傾向を示した。降水中水素酸素の同位体濃度はそれぞれ -103.88–9.26‰、-15.46–1.73‰ の範囲であった。冬季の 11 月から 2 月及びその他の時期の 3 月から 10 月の降水中水素酸素同位体の回帰直線を見ると、冬季は天水線よりも切片が大きく、降雪地域特有の傾向が顕著に見られた。また、その他の時期は天水線と同程度の回帰直線となり文献値と一致する結果となった。

2. 論文

N. Akata, K. Okada, N. Otashiro, H. Kuwata, K. Kheamsiri, K. Ohno, Y. Yoshinaka, R. Yamada, M. Tanaka: Performance test of improved commercially available tritium enrichment system: Toward rapid and high efficiency enrichment. Radiat. Environ. Med., 13, 60-64. (2024)

Estimating radiation exposure in wild boars through chromosomal damage assessment in Fukushima Prefecture

研究代表者：アンダーソン ドノヴァン

拠点間共同研究者：石庭 寛子・藤嶋 洋平・三浦 富智

1. 成果

Estimating the total radiation dose received by large mammals, such as wild boars inhabiting areas contaminated with radionuclides, presents significant challenges—particularly in regions with heterogeneous contamination. These challenges arise from the animals' movement across varied landscapes, leading to fluctuating external exposures. While internal dose rates from radionuclides like ^{137}Cs and ^{134}Cs can be estimated through high-purity germanium (HPGe) detector measurements, accurately assessing external dose rates is more complex. This study aims to investigate the impact of the Fukushima nuclear disaster on wild animals, focusing on the challenges in assessing both internal and external radiation exposure amid environmental heterogeneity. To address this, an established dose-response calibration curve, developed through *in vitro* irradiation, was utilized. Accurately determining radiation doses in environmental components following the release of radioactive materials is crucial for radioecological studies. However, radiation dosimetry for wildlife, especially in chronic low-dose scenarios, is complicated by several factors: Spatial variability in environmental contamination. Changes in external dose rates over an animal's lifetime due to movement patterns Seasonal habitat use and shifts in food availability, which influence radionuclide uptake (e.g., ingestion of contaminated vegetation during grazing) Such variability complicates dose estimation for large mammals like wild boars. To address these challenges, this study explored different methodologies to estimate radiation doses in wild boars from Fukushima. Since ionizing radiation is imperceptible to human senses, dosimetric devices like thermoluminescent dosimeters (TLDs) are typically employed. However, these devices are not always available, and animals (or exposed individuals) may not have worn them. As an alternative, biological dosimetry methods, such as the dicentric chromosome assay (DCA), can be used to retrospectively estimate radiation doses. The DCA detects dicentric chromosomes—formed from misrepaired DNA double-strand breaks—which can be measured from blood samples collected shortly after exposure. Although a dose-response calibration curve has been established, its applicability to wild boars in Fukushima remains uncertain. Notably, boars captured in 2018–2019 showed no detectable dicentric aberrations, whereas samples from 2016 displayed higher frequencies (0.01 to 0.05 dicentrics per 100 cells). Using the 2016 data, differences emerged between dose estimates derived from low-dose rate (1.43 mGy/min) and high-dose rate (200 mGy/min) calibration

curves, with calculated doses ranging from background levels up to approximately 600 mGy. Future work will focus on increasing the number of scored cells to refine dose-response curves and improve dose estimation in Fukushima boars. Efforts will also be directed toward developing correction factors for dose rate effects. Additionally, alternative methods such as electron spin resonance (ESR) will be explored for comparative dose assessments.

2. 論文

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

拠点間共同研究者：五十嵐 康記・脇山 義史

1. 成果

河川水中溶存態 ^{137}Cs 濃度の形成要因として、 ^{137}Cs の分配係数(溶存態 ^{137}Cs 濃度に対する懸濁物質中 ^{137}Cs 濃度の比)と水温の関係は 2 相間のイオン交換反応により規定され、標準反応エンタルピーを -19 kJ mol^{-1} とする van't Hoff 則に従う、という従来の考え方の妥当性を検証するため、昨年度に引き続き請戸川(福島県浪江町)の懸濁物質・ろ過済み河川水を用いた室内試験を実施した。

昨年度実施した、ろ過済み河川水と懸濁物質を定温環境下で混合する、懸濁物質への ^{137}Cs 吸着過程について追試験を行った結果、 $5^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}/30^{\circ}\text{C}$ において ^{137}Cs 分配係数と水温の関係は、無機懸濁物質中 ^{137}Cs と溶存態 ^{137}Cs 濃度との間のイオン交換に基づく平衡状態を仮定したモデル式により良好に回帰できることが明らかになった。一方、超純水(K^{+} 濃度を請戸川の実測値に調整)に懸濁物質を混合する ^{137}Cs 脱離過程試験を実施した結果、 $5^{\circ}\text{C}/30^{\circ}\text{C}$ における ^{137}Cs 分配係数と水温の関係は ^{137}Cs 吸着過程に適用したモデル式による回帰が良好でないことを確認した。そこで懸濁物質に含まれる交換態 ^{137}Cs を酢酸アンモニウムによって抽出した結果、懸濁物質から脱離した ^{137}Cs は交換態 ^{137}Cs の存在量と同程度であり、交換態 ^{137}Cs が脱離量の上限值として機能することが示唆された。

以上のことから、河川水中溶存態 ^{137}Cs 濃度は単純に従来の「 ^{137}Cs の分配係数と水温の関係」により規定されるとは言えず、懸濁物質中の交換態 ^{137}Cs 量や無機懸濁物質の割合が形成因子として関係することが示唆された。今後は ^{137}Cs 吸着・脱離過程双方に適用可能な一般式を同定するために、懸濁物質中の固定態 ^{137}Cs 交換態 ^{137}Cs の間の遷移を考慮に入れた動的モデルの適用について検討を進める必要がある。

2. 論文

アーカイブ試料を用いた環境トリチウムの遡及的評価

研究代表者：柿内 秀樹

拠点間共同研究者：恩田 裕一・加藤 弘亮

1. 成果

水素同位体のトリチウムは原子力関連施設から環境へ放出される放射性物質の一つである。トリチウムは低エネルギーのベータ線を放出する核種のため、環境試料に含まれるトリチウムを測定するためには前処理が必要である。しかし、環境試料から水として回収するための前処理は、大掛かりな装置を必要とするばかりでなく時間を要す工程であるため、効率のよい手法が求められている。そこで、加熱して試料に含まれる水分を気化させ、かつ、疎水性分離膜としてテフロンフィルターを用いることで不可逆的に環境試料から水を分離する手法を開発した。本手法により標準試料 IAEA 443 のトリチウム濃度の測定を行った結果、その測定値が信頼区間内に収まり、その妥当性を示すことができた。

2. 論文