



ERAN

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

2023 年度 成果報告書

FY2023 Annual Report



筑波大学
アイソトープ環境動態研究センター



福島大学
環境放射能研究所



弘前大学
被ばく医療総合研究所



日本原子力研究開発機構
廃炉環境国際共同研究センター



国立環境研究所
福島地域協働研究拠点



環境科学技術研究所

放射能環境動態・影響評価
ネットワーク共同研究拠点（ERAN）

FY2023 Final Report

【重点/Priority 共同研究】

採択番号	申請者	所属	課題名	共同研究者	受入研究者	受入機関
P-23-20	信濃 卓郎	北海道大学	土壤の放射性セシウムの植物利用に及ぼす有機物の影響について		塚田 祥文	IER
P-23-21	長谷川 浩	金沢大学	機能性界面活性剤を用いた放射性物質汚染土壤の減容化	Begum Zinnat Ara	Rahman M.M. Ismail	IER
P-23-22	高木 淳一	京都大学	福島県の淡水・汽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	三田村 啓理 荒井 優志	和田 敏裕	IER
P-23-23	大手 信人	京都大学	帰還困難区域内の森林土壤における高濃度放射性セシウム含有粒子の分布	村上 正志 二瓶 直登 辰野 宇大 長澤 和佳 脇 嘉理	和田 敏裕	IER
P-23-24	平良 文亨	長崎大学原爆後障害医療研究所	帰還困難区域における工事車両の往来に伴い再浮遊する粉塵中の ¹³⁷ Cs及び重金属の成分特性の解析	CUI Limeng 松尾 政彦	平尾 茂一	IER
P-23-25	大木 淳之	北海道大学	海洋表面でのオゾン反応によるヨウ素化合物の発生メカニズムの解明	出口 将斗	高田 兵衛	IER
P-23-26	青野 辰雄	福島国際研究教育機構	福島県前田川、高瀬川および猿田川における粒子態セシウムフラックスに関する研究	FAN Shaoyan 那須 康輝 福田 美保	高田 兵衛	IER
P-23-27	遠藤 大二	酪農学園大学	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	大沼 学 中嶋 信美	石庭 寛子	IER
P-23-28	横畠 泰志	富山大学	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 ⁹⁰ Sr汚染について	青木 譲	高貝 慶隆 石庭 寛子	IER IER
P-23-29	安岡 由美	神戸薬科大学	環境中ラドンによる放射線施設監視モニタの感度確認5：活性炭型ラドン検出器による感度確認	向 高弘	床次 真司 細田 正洋 大森 康孝	IREM IREM IREM
P-23-30	有吉 健太郎	福島県立医科大学	野生動物細胞におけるバイスタンダー効果の解析		三浦 富智	IREM
P-23-31	山城 秀昭	新潟大学	被災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	中田 章史	三浦 富智	IREM
P-23-32	中田 章史	北海道科学大学	エビジェネティクス解析を利用した放射線影響評価系の開発	山城 秀昭	三浦 富智	IREM
P-23-33	木野 康志	東北大学	野生キノコの放射性セシウム濃度の測定	山下 琢磨	三浦 富智	IREM
P-23-34	飯本 武志	東京大学	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
P-23-35	柳澤 文孝	山形大学	山形蔵王の樹氷に含まれている鉛-210の動態	岩田 尚能	赤田 尚史	IREM
P-23-36	岩田 尚能	山形大学	山形蔵王の樹氷に含まれているベリリウム-7の動態	柳澤 文孝	赤田 尚史	IREM
P-23-37	栗田 直幸	名古屋大学	福島県浜通り地域における降水の同位体組成に関する研究		赤田 尚史	IREM
P-23-38	岩井 敏	東京大学	Indoor Environment Radiation Assessment and Radiation Protection in Veterinary Hospitals	飯本 武志 小池 弘美 WANG Xueqing	細田 正洋	IREM
P-23-39	永井 尚生	日本大学	太平洋における海水中Be同位体の分布	山形 武靖 松崎 浩之	田副 博文	IREM
P-23-40	杉原 奈央子	海洋生物環境研究所	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	白井 厚太朗 山田 正俊	田副 博文	IREM
P-23-41	反町 篤行	東洋大学	大気エアロゾル生成に対するラドン壊変生成物の寄与に関する観測		大森 康孝	IREM
P-23-42	佐々木 隆之	京都大学	酸化鉱物表面の核種濃集挙動に関する分光学的研究	土肥 輝美 長澤 圭太	藤原 健壯	JAEA
P-23-43	黄倉 雅広	東京大学	福島県以外の自治体の放射能汚染された土壤や物品の適切な管理・処分に関する考察	橋間 俊 飯本 武志	土肥 輝美	JAEA
P-23-44	吉川 英樹	東京慈恵会医科大学	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	箕輪 はるか	土肥 輝美 佐々木 祥人	JAEA JAEA

採択番号	申請者	所属	課題名	共同研究者	受入研究者	受入機関
P-23-45	高橋 成雄	会津大学	統合空間線量率マップに基づく除染効果の視覚解析	櫻井 大督	操上 広志 真田 幸尚	JAEA JAEA
P-23-46	小西 博巳	新潟大学	放射性セシウムの移動媒体についての鉱物学的研究	萩原 大樹	萩原 大樹	JAEA
P-23-47	三角 和弘	電力中央研究所	松川浦から海洋への溶存放射性セシウムの供給過程の解明	辻 英樹 三浦 輝 浜島 靖典 津旨 大輔	林 誠二	NIES
P-23-48	小松 仁	福島県環境創造センター	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	村上 貴恵美 神田 幸亮 稻見 健司 壁谷 昌彦	玉置 雅紀	NIES
P-23-49	神田 幸亮	福島県環境創造センター	福島県内におけるキジの行動圏調査	小松 仁 村上 貴恵美	玉置 雅紀	NIES
P-23-50	高橋 真哉	筑波大学	植物培養細胞を用いた帰還困難区域における遺伝子発現を指標としたモニタリング手法の検討		玉置 雅紀	NIES
P-23-51	坪野 考樹	電力中央研究所	尾駒沼における物質循環把握		植田 真司	IES
P-23-52	山下 雅樹	東京大学	宇宙暗黒物質探索における環境トリチウムの影響の研究	小林 雅俊	柿内 秀樹	IES
P-23-53	田中 将裕	核融合科学研究所	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-23-54	橋本 晃佑	福島県環境創造センター	環境試料中トリチウムの相互比較分析に関する検討	前川 晓洋	柿内 秀樹	IES
P-23-55	玉利 俊哉	九州環境管理協会	トリチウム分析前処理における試料水精製工程の効率化に関する研究	島 長義 山中 潤二 桑田 遥	柿内 秀樹 今井 祥子 赤田 尚史	IES IES IREM
P-23-56	鳥養 祐二	茨城大学	生体への水素同位体取り込みの同位体効果の検証	細根 孟留 南場 大輝	柿内 秀樹 石川 義朗	IES IES
P-23-57	渡部 敏裕	北海道大学	根圈効果による土壤の放射性セシウム動態への影響解析	水野 亜紗美	海野 佑介 武田 晃	IES IES
P-23-58	桐原 慎二	弘前大学地域戦略研究所	海藻類から排出される有機物の挙動に関する検討	田中 義幸	石川 義朗	IES
P-23-59	柳原 啓晃	量子科学技術研究開発機構	低線量・低線量率放射線による消化管腫瘍の発がんリスク評価	森岡 孝満 今岡 達彦 鈴木 健之	山内 一己	IES
P-23-60	石川 敦子	量子科学技術研究開発機構	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	森岡 孝満 今岡 達彦 山田 裕 KIN Yoshika	田中 聰 中平 嶺	IES IES

福島県の河川を流れる懸濁物質の放射性セシウム濃度と物理化学的特徴の関係性

氏名：那須 康輝

受入研究者：恩田 裕一

共同研究者：樊 少艶・福田 美保・竹内 幸生・谷口 圭輔

1. 成果

東京電力福島第一原子力発電所事故によって、環境中に Cs-137 をはじめとする人工放射性核種が拡散及び沈着した。これらの核種は河川を介して陸域から海域へと移行しているが、平水期間の阿武隈川による Cs-137 移行において、懸濁態が大きく寄与することが報告されている[1]。出水期間の水位変化に伴う陸水中の Cs-137 濃度の変化に関して、これまで渓流域[2]や宮城県の二級河川である大川[3]などで報告されているが、出水による水位変化が比較的緩やかな一方、流量が多い一級河川での報告例は少ない。そこで本課題では、福島県の一級河川である阿武隈川で、出水期間の水位変化に伴う懸濁物質の濃度、懸濁物質中の Cs-137 濃度及び懸濁物質の粒度分布の変化について、その関係も含めて明らかにすることを目的とした。福島県二本松市の阿武隈川中流域で、2023年11月7～8日の出水期間に、2時間ごとに河川水を約 60 L 採取した。河川水試料のうち約 40 L を懸濁態カートリッジフィルター（孔径 1 μm）でろ過したのち、Ge 半導体検出器を用いてカートリッジの Cs-137 を測定し、懸濁物質中の Cs-137 濃度を算出した。残りの河川水試料約 20 L はメンブレンフィルター（孔径 0.45 μm）でろ過したのち、フィルター上の懸濁物質を超音波洗浄して、懸濁液として回収した。この懸濁液から遠心分離（12,860 × g、30 分間）及び凍結乾燥によって懸濁物質を取り出し、粒度分布分析装置（LA-960、堀場製作所）で懸濁物質の粒度分布を測定した。比較として、2022年8月～2023年12月の期間のうち、前日に 1.0 mm を超える降雨がみられない日を選び、月 1 回程度の頻度で河川水を採取し、同様に測定を行った。二本松アメダス観測所での 11 月 7～8 日の総降水量は 33.0 mm で、このうち 11 月 7 日 5～10 時の期間に 31.5 mm の降水がみられた。二本松水位観測所の河川水位は、11 月 7 日 6 時の 2.65 m から急速に上昇し、11 月 7 日 13 時に 4.37 m を観測したのち、緩やかに低下した。河川水位の上昇とともに懸濁物質濃度（17～388 mg/L）と懸濁態 Cs-137 濃度（19～261 mBq/L）も上昇し、平水期間の範囲（それぞれ 4～28 mg/L、2～32 mBq/L）と比較しても、1 柄以上高かった。河川水位の上昇によって冠水した河川敷などから懸濁物質が大量に流入したものと考えられる。一方、懸濁物質中の Cs-137 濃度は 810～2580 Bq/kg 乾の範囲であり、平水期間の範囲内（460～3520 Bq/kg 乾）

にあった。宮城県の大川での結果[3]と同様に、一級河川の阿武隈川でも、懸濁物質濃度と懸濁態 Cs-137 濃度との間に有意な正の相関関係がみられた($R^2 = 0.55$ 、 $p < 0.01$)。懸濁物質の粒度分布について、水位が上昇し始めた 11 月 7 日 6 時の懸濁物質は粒径の大きい粒子 ($> 50 \mu\text{m}$) の割合が多く、水位が高かった 11 月 7 日 12 時の懸濁物質は粒径の小さい粒子 ($< 15 \mu\text{m}$) の割合が多かった。なお、懸濁物質の中央粒径と懸濁物質中の Cs-137 濃度との間には明確な関係性はみられなかった。今後は、今回得られた試料について、鉱物組成や有機物含有量、炭素及び窒素の同位体比などの分析を行い、懸濁物質の起源についても推定を行いたい。引用文献 [1]K. Taniguchi et al., Environ. Sci. Technol., 2019, 53, 12339-12347, [2]篠宮佳樹, 水利科学, 2017, No.354, 19-31, [3]橋本達範ら, 土木学会論文集 B1(水工学), 2015, Vol.71, No.4, I_1195-I_1200

2. 論文

Fan, S., Nasu, K., Takeuchi, Y., Fukuda, M., Arai, H., Taniguchi, K. & Onda, Y. (2024). Transport of radioactive materials from terrestrial to marine environments in Fukushima over the past decade. Pure and Applied Chemistry. <https://doi.org/10.1515/pac-2023-0802>

福島県を流れる河川における放射性セシウムの長期観測

氏名：樊 少艶

受入研究者：恩田 裕一

共同研究者：福田 美保・那須 康輝・竹内 幸生・谷口 圭輔

1. 成果

2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う東京電力（株）福島第一原子力発電所事故により、大量のセシウム137（ ^{137}Cs ）をはじめとする放射性物質が環境中へ放出された。 ^{137}Cs の物理的半減期が約30年と長いため、生物に対する長期的な被ばく線量を評価するうえで、 ^{137}Cs の環境中における動きを把握することは重要である。このため、河川を介してイオンなどのように河川水中で溶存した状態（溶存態）あるいは河川水中の土壌粒子などに吸着された状態（懸濁態）で移行する ^{137}Cs の動きを把握することを目的とし、2011年～2015年にかけて筑波大学が、2015年以降は福島県環境創造センターが、福島県内を流れる河川水の放射性セシウム濃度を継続的に観測している。本研究課題においては上記観測を引き続き実施し、継続性のある試料およびデータを取得することができた。河川を介して海洋へ移行する ^{137}Cs の動きを把握することを目的とし、長期間にわたって観測した懸濁態 ^{137}Cs 濃度、懸濁物質、河川流量などの結果をもとに、河川における放射性セシウムの長期的な動態及び土地利用状況との関係を明らかにするとともに、2012年10月から2020年12月までの、福島県内陸域から海洋への ^{137}Cs 移行量を推測した。河川の懸濁態 ^{137}Cs 濃度は、事故直後の高濃度($3.2\sim5.7\times10^4 \text{ Bq/kg-dry}$)から2023年10月時点では、 $1/10$ から $1/100$ まで低下した(阿武隈川水系 $333\sim6995 \text{ Bq/kg-dry}$ 、浜通り河川 $179\sim19122 \text{ Bq/kg-dry}$)。2023年7月時点の溶存態 ^{137}Cs 濃度は阿武隈川水系で $0.00056\sim0.011 \text{ Bq/L}$ 、浜通り河川で $0.0021\sim0.058 \text{ Bq/L}$ であり、日本の飲用水基準(10 Bq/L)より2～4桁低かった。各河川の懸濁態 ^{137}Cs 濃度の減少傾向の平均値は $Y=a_1 e^{-k_1 t} + a_2 e^{-k_2 t}$ 式により近似できた。この傾向は流域ごとに異なり、 k_1 は、土地利用が草地・裸地や水域の割合が高いところで大きかった。一方、 k_2 は、土地利用が都市域の割合が低いところで大きかった。福島県沿岸域(9河川、11地点)における2012年10月から2020年12月までの海洋への懸濁態 ^{137}Cs 移行量は 17TBq と推定された。各地点の流域初期沈着量に対する懸濁態 ^{137}Cs 移行率は、相対的に小さかったところは 0.1% 、大きかったところは 1.7% であった。各地点の懸濁態 ^{137}Cs 移行率の違いは、上流域におけるダム湖被覆率の大小(負の相関)と年間河川比流量の多少(正の相関)に応じていると考え

られる。本調査地点において、河川水中の放射性セシウム濃度が継続的に減少し続けていることを定量的に示すことで、河川水の安全・安心に係る情報発信を行った。また、本結果は学術誌 *Pure and Applied Chemistry* に掲載された。(Fan, S., Nasu, K., Takeuchi, Y., Fukuda, M., Arai, H., Taniguchi, K. & Onda, Y. (2024). Transport of radioactive materials from terrestrial to marine environments in Fukushima over the past decade. *Pure and Applied Chemistry*. <https://doi.org/10.1515/pac-2023-0802>)。本結果が現状の国際的な理解に寄与し、他の研究者等も参照できるデータとして活用されていくことが期待できる。

2. 論文

Fan, S., Nasu, K., Takeuchi, Y., Fukuda, M., Arai, H., Taniguchi, K. & Onda, Y. (2024). Transport of radioactive materials from terrestrial to marine environments in Fukushima over the past decade. *Pure and Applied Chemistry*. <https://doi.org/10.1515/pac-2023-0802>

天然水中の溶存と懸濁態間の ^{137}Cs の分配係数の化学的意味付け

氏名：廣瀬 勝己
受入研究者：恩田 裕一

1. 成果

2011年3月の福島第一原子力発電所事故により、多量の放射性セシウムが環境中に放出された。地表に沈着した放射性セシウムは、主に土壤粒子に吸着して固定される。一部の ^{137}Cs は河川水により陸域から海洋に移行することが知られている。福島の高濃度 ^{137}Cs 汚染域の時間変遷等の実態解明をするためには、淡水系を含め水圏の ^{137}Cs の動態を解明することが求められている。中でも、溶存 ^{137}Cs と懸濁粒子の分配挙動についての理解を深めることがその動態解明の鍵となる。現在までに、淡水系、海水を含め多くの分配定数が求められている。その結果によると、日本の淡水ではその値が $104\sim108 \text{ L kg}^{-1}$ まで大きく変動することが明らかにされている。従って、分配定数の変動を支配する化学的・物理的要因を明らかにすることが重要である。 ^{137}Cs の天然水及び懸濁粒子の間の分配挙動は、典型的な化学過程と考えることができる。この場合、セシウム同位体の中で主要な核種である安定セシウム(^{133}Cs)が基本的な化学過程を支配している。事実、福島県の灌漑水中の ^{133}Cs 濃度は $11\sim700 \text{ pmol L}^{-1}$ に対して ^{137}Cs は 0.2 pmol L^{-1} (200 Bq L^{-1} に相当)以下であり圧倒的に ^{133}Cs 濃度が高い。天然水と懸濁粒子（あるいは堆積物）の間の ^{133}Cs の固液平衡及び ^{133}Cs と ^{137}Cs の間の同位体平衡が成立していると仮定すると、 ^{137}Cs で求められた分配定数 K_d は ^{133}Cs の濃度の関数になることが分かった。この関係は条件を設定すれば、次の式で表される。 $\log K_d = -\log [^{133}\text{Cs}] + C$ ここで、 $[^{133}\text{Cs}]$ は固液平衡にある溶液（河川水など）の ^{133}Cs 濃度である。また、C は定数であるが、懸濁粒子中の Cs イオンの結合サイトの濃度(近似的には、懸濁粒子中の交換可能 ^{133}Cs 濃度)を表し、同じ条件の懸濁粒子濃度の場合定数になるが、異なった条件では結合サイト濃度が変動する。灌漑水、海水、及び火口湖（今回、バッチ抽出法で K_d を求めたところ、 20 L kg^{-1} であった）の ^{137}Cs の分配定数はこの関係で説明できることが明らかになった。日本の淡水中的 ^{133}Cs は低濃度であるが大きく変動しており、それが分配定数の変動の主要な要因の一つとなる。

2. 論文

航空機およびドローンレーザー計測を活用した森林状態と水循環の把握

氏名：五味 高志
受入研究者：恩田 裕一・加藤弘亮

1. 成果

森林の水源涵養機能を考える場合、森林の空間的・時間的な広がりを考える必要がある。だが、とくに水文プロセスの把握では、単木レベルから斜面区画、さらには小流域（数ヘクタール）いった小スケールでの調査研究が行われてきた。これらの研究では、スケールや立地条件により水文プロセスが多様であり空間的な「ばらつき」も大きい。それに対して、近年対象となる水源涵養機能の発揮は、流域などのまとまった範囲が対象となる。流域治水のように下流域の災害対策や水資源管理を含めた流域の資源管理とも関連している。流域的視点で森林を考える場合、多様な林分を考慮する必要が出てくる。そこで、流域スケールでの森林状態と森林管理の指標と森林水文プロセス指標をつなげることを目的とした。森林管理の影響を加味した森林の水源涵養機能の評価に向けて、森林状態と水文プロセスを関連付けていく必要がある。しかし、流域を対象とした場合、人工林のみならず広葉樹林が含まれること、降雨のみならず降雪を考慮した森林水文プロセスが必要であることなど課題も多い。そこで、多様な林分で構成される流域スケールでの蒸発散量推定を目的とし、森林状態を考慮した蒸発散モデルの構築が行われた。温帯森林地域を中心とした国内外の既往研究（65 報）およびデータベース（FLUXNET：38 サイト）のデータを整理し、樹高・立木密度・樹種（針葉樹・広葉樹）との関係を検討し、遮断と蒸散についてのモデル化を実施した。加えて、降雨と降雪による遮断の違いも考慮することで、積雪地域における遮断量の評価が行えるようになった。その上で、針葉樹林では遮断と立木密度、広葉樹林では遮断と樹高との関係を明らかにした。蒸散については樹高や気孔のガスの通りやすさを示す指標の関係から、蒸散モデル（簡略化ペンマン・モンティース式）を構築した。これらのモデルに森林簿などの森林情報を適応した。本モデルを、国内外の実地観測点の結果と比較したことと、良好な整合性が得られた。このように、既往のデータを統合的に解析することで、水源涵養機能の評価に必要となる広域での蒸発散量評価を可能とした。さらに、水源涵養機能の評価で重要な森林情報の整備やその高度化のために、航空機レーザー計測を用いた高分解能の森林実態調査技術を適応した。これにより、樹高と密度の精度が向上された。また、過密林分（1000 本/ha 以上）や広葉樹林などの解析手法の構築にむけて、ドローン搭載型 LiDAR やマルチスペクトルによる解析手法とその広域展開などの技術要素の発展も検討した。

2. 論文

不均一な土壌環境に応答した根における偏在的 K+/Cs+輸送制御の検証

氏名：西田 翔
受入研究者：古川 純

1. 成果

【目的】植物体において Cs+は K+の吸収・輸送経路を介して集積する。植物は低 K+ 条件に曝されると、根から葉への K+輸送を活性化することで K+不足を回避すると考えられている。しかし実際の土壌では K+は不均一に分布しており、K+濃度の高い領域にある根と低い領域にある根で K+/ Cs+吸収活性にどのような違いがあるのかは明らかにされていない。本研究では、水耕栽培系を用いた根分け実験により不均一 K+条件を再現し、各種 K+輸送関連遺伝子の発現を調査することで、不均一 K+条件における植物の K+吸収および輸送のメカニズムを明らかにすることを目的とした。

【方法】水耕栽培で 4 週間栽培した個体の根を二手に分け、それぞれを +K 条件および -K 条件に暴露し、0、1、3、5、7 日目に根をサンプリングした。根から RNA を抽出し、RT-qPCR により K+輸送関連遺伝子の発現量を調査した。培地からの K+吸収に関わる輸送体として高親和性 K+トランスポーターの HAK5 および低親和性 K+チャネルの AKT1、根から地上部への K+輸送を担う輸送体として高親和性 K+トランスポーターの NPF7.3 および低親和性 K+チャネルの SKOR、そして NPF7.3 および HAK5 の発現誘導を担う転写制御因子として MYB59 を調査対象とした。

【結果】低親和性 K+チャネルの AKT1 の発現パターンは異なる K 条件の間で違いは認められず、一方で親和性 K+トランスポーター HAK5 は -K 条件の根においてのみ著しい発現誘導が確認された。このことから培地からの K+吸収は、+K 条件では AKT1 が、-K 条件では HAK5 がそれぞれ担うと考えられた。これまで MYB59 は -K 条件でのみ発現が誘導されることが報告されていたが、不均一 K 条件では、-K のみならず +K 条件でも発現の誘導が認められた。これは、全身性シグナリングにより -K 条件下の根から +K 条件下の根へ K 欠乏シグナルが伝達したことを意味している。この時、低親和性 K+チャネルである SKOR の発現は異なる K 条件の間で違いが無かった一方で、高親和性 K+トランスポーターである NPF7.3 の発現はむしろ +K 条件で有意に高いことが明らかとなった。これは、NPF7.3 の発現が未知の因子により +K で促進、あるいは -K で抑制されることで、高 K 領域の根で偏在的に K+吸収能が高まることを示唆している。これは経済合理性に優れた能力だと言える。

【考察】本研究により初めて不均一 K 条件における植物の K+吸収・輸送のメカニズム

おける実験では明らかにされなかったものである。現在、放射性同位体を用いたトレー
サー実験により、実際の K⁺動態を明らかにするべく研究を進めている。また、各種輸
送体の Cs⁺輸送能を調査することで、不均一条件における Cs⁺動態の解明につなげる。

2. 論文

植物器官間炭素動態解析に向けた炭素同位体分析技術の確立

氏名：YIN Yong-Gen

受入研究者：古川 純・海野 佑介・今田 省吾

共同研究者：三好 悠太

1. 成果

葉で作られた光合成産物（炭素）の輸送と分配の効率化は、農作物の収量性を向上させる上で重要である。しかし、体内を流れる炭素の輸送経路や分配様式は目に見えない複雑な生理機能であるため、その正確な計測は技術的に困難である。炭素の輸送と分配に関する研究には、安定同位体の炭素 13 (C-13) や放射性同位体 (RI) の炭素 14 (C-14) または炭素 11 (C-11) がトレーサとして用いられている。申請者らは、これまでに異なる 3 つのトレーサ (C-11、C-13、C-14) 実験を同一メソッドで実施できるように実験手法の統一化を行って来た。本研究では、3 つの共同研究機関が有する C-11、C-13、C-14 の炭素トレーサ実験技術に加えて、それぞれの成分分析手法を開発することで新しい実験体系を確立することを目的として実施した。具体的に、QST・高崎研では $^{11}\text{CO}_2$ を用いてトマトの葉から果実へ向かう光合成産物の輸送過程をリアルタイムで可視化することで、短期間（～3 時間）における果実へ流入する光合成産物の転流パターンの把握を行った。同様なメソッドを用いて $^{13}\text{CO}_2$ をトレーサとしてトマトの葉に与え、長期間（約 24 時間）転流させた後、茎や果実などを採取し、筑波大学が所有する C-13 分析装置 (IR-MS) を用いて、各器官における ^{13}C の分配量の分析に供試した。また、筑波大学アイソトープ環境動態研究センターにおいて上記と同じメソッドで $^{14}\text{CO}_2$ をトマトの葉に与え、約 24 時間後、葉や果実などの器官を採取し、輪切りした組織内の C-14 の分布をイメージングプレート (IP) を用いて画像化した。その後、葉や茎などの組織から可溶性成分を抽出し、薄層クロマトグラフィー (TLC) による可溶性成分の分離および液体シンチレーションカウンター (LSC) による C-14 放射能量の定量を行った。茎内部の C-14 の内分布は葉柄と連結した維管束組織に集中しており、他の維管束では検出されなかった。可溶性成分の TLC 実験の結果、C-14 で標識された可溶性糖のうちスクロース、グルコース、フルクトースのシグナルバンドが IP によって検出された。それぞれの糖が葉と茎で異なる分布を示しており、葉ではスクロースが検出されず、茎ではフルクトースが検出されなかった。このことは、サンプリングしたタイムポイント (^{14}C 投与 24 時間後) において、葉にパルスで与えた C-14 がスクロース（転流糖）として茎への移行がほとんど終了おり、グルコースとフルクトース

として葉に残されていることが示唆された。また、茎においてはスクロースの移行が継続されている可能性が示唆された。今後、本研究で確立した実験系を基に、各器官・組織レベルの炭素動態と代謝の解析を進める予定である。

2. 論文

なし

宇宙・素粒子の稀現象探索実験のためのウラン・トリウム不純物計測と 純化方法の開発

氏名：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

無機シンチレータ結晶は、二重ベータ崩壊現象の探索などニュートリノの質量探索などの基礎物理学過程を探索するために幅広く応用されている。カルシウム 48 (48Ca) を含むフッ化カルシウムは大容量の結晶を作製することができ、48Ca の濃度を濃縮することができれば高感度の二重ベータ崩壊探索実験を実行することができる。二重ベータ崩壊の感度は、現時点では結晶及び周辺材料に含まれる放射性不純物によるベータ線やガンマ線によるバックグラウンド事象によって制限されている。二重ベータ崩壊の感度目標は、半減期 1021 年以上と考えられ、これに対応するための放射性不純物濃度に対する制限は ^{238}U および ^{232}Th についていずれも 1 ppt 以下であることが要求されている。本研究では、 CaF_2 結晶に含まれる ^{238}U および ^{232}Th を減らすために結晶偏析による不純物除去の効果を検討した。フッ化カルシウムを直接純化するためには結晶化における偏析効果を期待し、長さ 9 cm、直径 0.9 cm の長尺結晶を作製して結晶化の順にウランおよびトリウムの濃度が高くなっているかどうかを確認した。ウランおよびトリウムの濃度は、フッ化カルシウムを粉碎して硝酸で溶かし、ICP-MS によって濃度を測定した。その結果、ウランの濃度については結晶成長と共に濃度が上昇し、順調に偏析が進んでいることが確認された。しかしながら、トリウムについては ICP-MS に導入するサンプルを作成する過程で環境からの汚染が起こり、ただしい濃度を測定することができなかった。フッ化カルシウムそのものを純化する方法は結晶化の偏析以外では困難なため、その原料を純化した後に合成する方法を提案した。原料の一つとして塩化カルシウムの純化を試みた。適切なキレート樹脂を使用してウランとトリウムを純化する工程を施し、その結果得た水溶液中に含まれるウランとトリウムの濃度を ICP-MS で測定した。その結果、ウランについては純化によって 2 枠近く減少したことを確認した。ただし、トリウムの濃度については、回収率が低い条件であったため適正に測定することができなかった。本年度の研究によって、ウランの濃度を正しく測定することはできたが、トリウムの濃度については汚染や回収率の低減など予測

できなかった要因によって正しく測定できなかった。次年度以降には、試料の準備段階における汚染の防止、トリウム回収率の確認と液性の適切な管理を行って正確な測定を可能にする。

2. 論文

発表論文 1. “Present status of PICOLON project”, K. Fushimi, D. Chernyak, H. Ejiri, K. Hata, R. Hazama, T. Iida, H. Ikeda, K. Imagawa, K. Inoue, H. Ito, T. Kisimoto, M. Koga, K. Kotera, A. Kozlov, S. Kurosawa, K. Nakamura, R. Orito, A. Sakaguchi, A. Sakaue, T. Shima, Y. Takaku, Y. Takemoto, S. Umehara, Y. Urano, Y. Yamamoto, K. Yasuda, S. Yoshida, Proceedings of the 37th Workshop on Radiation Detectors and Their Uses, KEK Proceedings 2023-1, (2024), p43, arXiv:2402.08786v1 学会発表（招待講演） 1.

「宇宙・素粒子分野における、極微量元素除去技術を応用したシンチレータの高純度化技術」、伏見賢一、日本結晶成長学会 バルク成長分科会 第 115 回研究会「シンチレータ結晶開発と放射線検出器応用の動向」、東北大学金属材料研究所、2024 年 2 月 21 日 2.

「極微量元素除去技術を応用した放射線検出器材料の高純度化と高感度化」、伏見賢一、坂上陽俊、西島渉悟、梅原さおり、黒澤俊介、高久雄一、坂口綾、裕隆太、山本祐平、今川恭四郎、保田賢輔、小寺健太、浦野雄介、極低放射能技術研究会(LBGT2024)、2024 年 2 月 5 日（リモート会議） 3. 「無機シンチレーターの純化について」、伏見賢一、研究会「放射線計測技術と濃縮同位体」、大阪産業大学梅田サテライトキャンパス、2023 年 10 月 18 日 学会発表（招待講演以外） 1. 「二重ベータ崩壊探索用 CaF₂ の高純度化」、伏見賢一、坂上陽俊、裕隆太、今川恭四郎、小寺健太、黒澤俊介、坂口綾、高久雄一、梅原さおり、山路晃広、山本祐平、保田賢輔、日本物理学会 2024 年春季大会、オンライン開催、2024 年 3 月 19 日 2. 「高純度 CaF₂ 開発に向けた CaCl₂ の純化」、坂上陽俊、伏見賢一、裕隆太、今川恭四郎、小寺健太、黒澤俊介、坂口綾 D、高久雄一、梅原さおり、山本祐平、保田賢輔、日本物理学会第 78 回年次大会、東北大学、2023 年 9 月 17 日

環境中 I-129 の質量分析のための SI トレーサブルな よう素標準液の開発

氏名：浅井 志保
受入研究者：坂口 綾

1. 成果

【背景】福島第一原発では、ALPS 処理水の海洋放出が開始された。半減期 1610 万年の放射性よう素 I-129 は、処理水中に存在する可能性のある核種の 1 つで安全評価対象となっていることから、迅速測定が可能な ICP-MS を用いた分析法の整備が進められている。ICP-MS による I-129 の定量では、得られる測定値を国際的に認められる値とするために、I-129 の放射能濃度を認証値とする認証標準物質（CRM）を用いて検量線法等により定量するのが望ましい。しかしながら、現状入手可能な CRM は、把握できる限り、NIST SRM 等の輸入品のみである。さらに、回収率補正に用いる「よう素標準液」は、質量分析用に値付けされた標準物質の供給がない。【目的と実験】ICP-MS の一般的な定量法である検量線法では、濃度既知の基準液を CRM 等から調製して測定し、計数率と濃度の関係を決定する。しかし、現状入手可能な I-129 の放射能濃度の認証値をもつ CRM は NIST SRM 4949d のみである。そこで、非放射性のよう素標準液（I-127 天然存在度ほぼ 100%）を代替物質として用いれば、RI 管理負担や供給安定性の課題を解決できると考えた。本研究では、日本の国家計量標準機関である産総研 NMIJ が供給する高純度物質よう素酸カリウム（NMIJ CRM 3006-a）から I-127 標準液を調製し、検量線の基準とすることで I-129 分析結果の国際同等性を確保することを目指した。【結果と考察】NMIJ CRM 3006-a を原料物質として作成した I-127 標準液の「よう素」としての濃度は 682.91 mg/kg、拡張不確かさの相対値は 0.022% となり、十分に低い不確かさで調製できた。この I-127 標準液は、試料に近い濃度レベルまで希釈して検量線の作成に使用する。ところが、ICP-MS における感度が I-129>I-127 となるため補正が必要となる。そこで、よう素同位体に近い質量数をもつテルル同位体（Te-124, Te-125, Te-126, Te-128, Te-130 など）を測定して感度の違いの補正を試みた。テルル同位体は、酸素コリジョンモード（Xe-129 を除去）でも高感度かつ安定して測定が可能であったため、再現性よく質量差別効果補正係数を算出できた ($\Delta m 2$ で 0.974)。しかし、テルルとよう素は別の元素であるため、今後、NIST SRM の I-129 と I-127 を実測しモル比／計数率比を算出することで感度のずれ方が一致することを確認する計画である。

2. 論文

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

氏名：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
AZZI Louise, Adèle Marthe・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 30 ppt, ^{232}Th は 100 ppt 未満)。本研究ではこのレベルの有機物中の放射性元素測定手法の確立を目的とし、2023 年度はこれまでに確立した器具の洗浄を含む測定プロセスによる検出下限の評価を行った。

<測定プロセス> 測定試料はあらかじめ東北大学で洗浄などの下準備をした後発送し、筑波大学の実験室でマイクロ波灰化装置を用いて乾式灰化を行い、残渣を溶液化したものを質量分析法(ICP-MS)で測定する。

<洗浄方法の確立> 目標感度到達の妨げとなる環境からの試料汚染の低減を行うための灰化・溶液化に用いる石英ビーカーの洗浄を以下の手順で行った。(1)耐薬品性ドラフト内で電子工業用硝酸 1.5 mol/L に加熱しながら数日つけ置く (2)ビーカーを超純水ですすいだ後、超純水で加熱しながら数日つけ置く (3)ビーカーを超純水ですすぎ、使用直前まで 10 倍に希釈した TMSC 溶液につけ置く (4)使用直前にクリーンベンチ内において超純水ですすいだ後高純度硝酸 15.2 mol/L 1 mL をビーカーに加え、内部を洗うようにしてビーカーを振って洗浄する。 (5)クリーンベンチ内で高純度硝酸 0.15 mol/L 2 mL を用いて同様に洗浄を 2 回行い、最後に超純水でよくすすぎ、クリーンベンチ内で乾燥させる。

<ブランク試験> 上記手法で洗浄したビーカーを用い、乾式灰化と溶液化のプロセスのブランク試験を行った結果、 ^{238}U や ^{232}Th の検出下限は数 ppt であることが分かった。ICP-MS の装置自体の検出下限は 1.1 ppq (^{238}U) および 8.1 ppq (^{232}Th) であり、今後さらに実験環境のクリーン化を行うことでより微量の ^{238}U , ^{232}Th 測定を可能にすることを目指す。

2. 論文

蛍光 X 線分析法を用いる環境水中の極微量ウラン、トリウム

および重金属元素の迅速定量法の開発

氏名：保倉 明子

受入研究者：坂口 綾

共同研究者：高久 雄一・小川 風士・所 雅人

1. 成果

環境水中のウランの定量法として、 α 線スペクトロメトリーや誘導結合プラズマ質量分析法が公定法として採用されている。極微量のウランから放出される α 線を検出するためには、環境水からの濃縮作業等に時間がかかる上、ウランは半減期が長いため計測に長時間を要する。本研究では、環境水中のウラン、トリウム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。環境水中において、これらは極微量で存在するため、分子認識型の吸着材を利用する固相抽出法と、偏光光学系を搭載したエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置を組み合わせ、迅速・簡便な定量法の開発に取り組んだ。超純水 1 L に、無機分析用混合標準液 XSTC-331 (Th, U など 29 元素を含む) を 0.1~1 mL 添加し、1~10 $\mu\text{g}/\text{L}$ の模擬水試料を調製した。試料水中の元素の濃縮には、セルロース繊維を基材とするキレート繊維吸着材 IRY CH-1(キレスト)を用いた。酢酸アンモニウム緩衝液で pH を調整した模擬試料水 1 L に、1 g の CH-1 を加えて 5 ~90 分攪拌した後、吸着材を回収して 60 °C で 24 時間乾燥させた。この固体粉末試料を試料カップに入れ、蛍光 X 線(XRF)分析に供した。偏光光学系エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置(Epsilon 5, Malvern Panalytical)において、二次ターゲット材 Al, Fe, Ge, Zr, Mo, CsI を選択し、測定時間を 600 秒として計測した。一方、溶液内の元素濃度を ICP-MS (Agilent 7700) で定量し、吸着材における捕集率を算出した。CH-1 は XSTC-331 に含まれる多くの元素を高効率で捕獲した。吸着は非常に速く、1 g の吸着材を用いて、溶存する 90 %以上を 30 分で捕集することが可能となり、固体吸着材で微量元素の 1000 倍濃縮が実現した。ただし、アルカリ・アルカリ土類金属元素および As, Se, Mo, Sb など陰イオンで溶存する元素については、捕獲率が 10 %以下となった。吸着材を XRF 計測し、各元素の検出下限値（計測時間 600 秒）を算出したところ、固体中において U は 0.01 mg/kg となり、これは溶液中では 0.01 $\mu\text{g}/\text{L}$ に相当した。また水道法で基準が定められている 11 元素のうち Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb について、基準値を計測するのに十分な検出下限値が得られた。今後は、水溶液中で陰イオンとして

溶存している元素を捕獲する吸着材を適用し、より多くの重金属元素の迅速定量法を確立する。

2. 論文

Masato Tokoro, Shi Zhiyuan, Isao Yamaji, Yuichi Takaku, Aya Sakaguchi, Akiko Hokura, Quantitative analysis of iodine and bromine in soil using an energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometer with three-dimensional polarized optics, Analytical Sciences, 10.1007/s44211-024-00541-7

Pseudo isotope dilution as an approach for quantification of Np-237

in environmental samples by ICP-MS

氏名 : ZHENG Jian

受入研究者 : 坂口 綾

共同研究者 : QIN Lin · 青野 辰雄

1. 成果

Pseudo isotope dilution as an approach for quantification of Np-237 in environmental samples by ICP-MS Jian Zheng, Ning Qin, Tatsuo Aono Host researcher: Aya Sakaguchi 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 . The use of ^{242}Pu as a pseudo isotope dilution tracer has been proposed for quantification of ^{237}Np in environmental samples. However, due to the chemical property difference between Pu and Np isotopes, this approach often resulted in ca. 10 % lower recovery of Np than that of Pu, mainly caused by the chemical fractionation of Np and Pu during the sample pretreatment and subsequent chemical separation processes. Neptunium-237, owing to its long half-life ($t_{1/2}=2.14 \times 10^6$ y) and similar conservatism to ^{137}Cs , has the potential to replace ^{137}Cs for water mass circulation studies on decades and even longer time scales. A new method for the determination of ^{137}Cs , ^{237}Np , and Pu isotopes in seawater samples was proposed to solve the difficulty of ^{237}Np analysis in seawater. The developed method includes the separation technique of ammonium phosphomolybdate (AMP) adsorption for ^{137}Cs and anion exchange chromatography for ^{237}Np and Pu, measurement technique of gamma spectrometry for ^{137}Cs and SF-ICP-MS for ^{237}Np and Pu isotopes. ^{242}Pu as a pseudo isotope dilution tracer for Np, the negligible chemical fractionation between ^{237}Np and ^{242}Pu of 1.02 ± 0.06 ($k=2$) was obtained by implementing sophisticated control of the redox system and chromatographic elution optimization. The analytical results for the

International Atomic Energy Agency Certified Reference Materials (IAEA-443) agreed with the reference values, showing chemical yields of 65–88%, U decontamination factor above 106 level, and improved sample throughput (5 days for 12 samples). Meanwhile, the lower method detection limits (MDLs) of ^{237}Np , ^{239}Pu , and ^{240}Pu were $1.3 \cdot 10^{-3}$, 0.065, and $0.15 \mu\text{Bq L}^{-1}$ for 15 L seawater, respectively. Results obtained by the developed method can be used to evaluate the impact on the marine ecological system of the planned marine discharge of Fukushima decontaminated wastewater. Working towards that purpose, we are the first to report the ^{237}Np activity concentration in Pacific Ocean seawater sampled near the station site and we obtained the value of $0.122 - 0.154 \mu\text{Bq L}^{-1}$. Publication 1. S. Zhang, Z. Liu, G. Yang, J. Zheng, S. Pan, T. Aono, A. Sakaguchi (2023): Rapid method to determine ^{137}Cs , ^{237}Np and Pu isotopes in seawater by SF-ICP-MS. Anal. Chem. 95, 16892-16901.

Publication 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

Publication

1. S. Zhang, Z. Liu, G. Yang, J. Zheng, S. Pan, T. Aono, A. Sakaguchi (2023): Rapid method to determine ^{137}Cs , ^{237}Np and Pu isotopes in seawater by SF-ICP-MS. Anal. Chem. 95, 16892-16901.
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.

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

氏名：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

1. 成果 【背景と目的】 放射性ストロンチウム（ ^{90}Sr , ^{89}Sr ）は、原子力施設の放射線モニタリングにおける重要な難測定核種である。これらは純ベータ線放出核種のため、放射能測定前に他の元素から分離する必要がある。従来の化学分離法は、煩雑で長時間の作業時間を必要とする。より簡便で迅速な化学分離法の開発が切望されている。我々はケイ酸バリウム（BaSi₂O₅）を主成分とするストロンチウム吸着剤（ピュアセラム®MAq、日本化学工業社製）を用いた測定法の開発に取り組んでいる。メカニズムの推定から吸着剤ではなく吸着剤と称する。本吸着剤を用いた海水中放射性 Sr 快速測定法を確立し、操作時間 5 時間程度で 0.6Bq L⁻¹ の検出限界で測定できることを報告した（論文 1）。本研究ではこの手法を、より低レベルの放射性 Sr 濃度の海水試料に適用することを目的とした。【実験】 海水を 1M HCl 相当に調整し、Sr 吸着剤ピュアセラム®MAq とともに 4 時間攪拌したのち静置した。上清をデカンテーション除去したのち遠心分離により Sr 吸着剤を分離回収し、Y 担体を加え保管した。2 週間以上経過し ^{90}Sr - ^{90}Y の平衡到達後、Sr 吸着剤から Y を化学分離して回収し、低 BG ガスフローカウンタ（LBC-4601, Hitachi Co., Ltd）あるいは液体シンチレーションカウンタ（LSC-6100, Aloka Co., Ltd.）を用いて ^{90}Y の β 線を測定した。この Y の化学分離操作を、海水試料 100mL を出発物質とし、 ^{90}Sr - ^{90}Y , ^{90}Y , ^{85}Sr トレーサーを添加して検討した。ピュアセラム®MAq を EDTA で溶解したのち HCl 酸性としてケイ酸塩沈殿を除去し、Y を Fe に共沈させ、陰イオン交換樹脂カラムを用いて Fe を除去し、Y を水酸化物沈殿として回収した。 ^{85}Sr による Sr 回収率の測定は、オートガンマカウンタ（2480 WIZARD2, Perkin Elmer Inc.）を用いて行った。【結果と考察】 Y の化学分離操作において、ケイ酸塩沈殿の生成に 12 時間以上の時間をかけることで Si, Ba を多く除去でき、また水酸化物沈殿生成の前に充分に沸騰させることで Fe への Y の共沈を促進させ、Sr 除去率および Y 回収率を上昇させることができた。Sr 除去率は 99.9%、Y

回収率は約 60% となった。今後の課題は、Y の回収率をさらに増加させること、Y と Sr を短時間で分離すること、作業の簡略化および時間短縮が挙げられる。さらに大容量試料 (5L) への適用を目指している。

2. 論文

1. 箕輪はるか, 緒方良至, 小島貞男, 有信哲哉, 加藤結花“ケイ酸バリウムを主成分とする Sr 収着剤を用いた環境水中の放射性ストロンチウムの迅速分析法” Radioisotope 投稿中

地下宇宙素粒子物理学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

氏名：南野 彰宏

受入研究者：坂口 綾

共同研究者：天内 昭吾・島村 蓮

田中 雅士・吉田 斎

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] 2023年度は、液体シンチレーター検出器の構成部材のうち、液体シンチレーター中の放射性不純物含有量の低減を試みた。具体的には、液体シンチレーターの純化システムにパーティクルフィルターの一種である金属焼結フィルターを新たに加え、純化処理を行った。

[結果] 上記の純化システムで液体シンチレーターを処理し、U系列の娘核である ^{214}Bi と ^{214}Po の連続崩壊を遅延同時計測でアルファ線バックグラウンド量を測定したところ、 ^{214}Po の崩壊頻度が1.2 mBqであった。金属焼結フィルター導入前の α 線バックグラウンド量も ^{214}Po の崩壊頻度で1.2 mBqであったため、金属焼結フィルターによってバックグラウンドを低減させることはできなかった。

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

氏名：星 正治
受入研究者：坂口 綾・恩田 裕一

1. 成果

本研究のグループは、1994年からカザフスタンのセミパラチンスク核実験場周辺で放射線被曝とその人の健康への影響に関する研究を行ってきた。その間、(1)土壤と水の汚染測定と線量測定研究を行い、(2) 放射性微粒子の影響に関する動物実験を行い、放射性微粒子がラットの肺に与える新たな影響を発見した。そして、その影響は外部放射線の20倍以上であることが判明した。(3) ウラン鉱山地域のステプノゴルスク近くのアクス村では、建物内のラドン濃度が規制値を超えていたことがわかった。今年度の調査研究と成果を以下に示す。

(1) 核実験場付近の放射線量の評価：この研究では、TL（レンガサンプルからの石英粒子による）およびESR（歯サンプルによる）線量測定データ、核実験時のアーカイブ線量データ、Cs-137の土壤汚染、を文献から収集した。そして、現在試験場周辺の村の住民の被曝線量を評価している。

(2) 放射性微粒子の研究：これまで $^{56}\text{MnO}_2$ を使用していたが、 ^{56}Mn はベータ線だけでなく、ガンマ線を多数放射するので、ベータ線だけの影響ではなかった。一方、 ^{31}Si はベータ線しか放出しないため、 ^{31}Si を初めて使用することにした。これにより、純粋な放射性微粒子の影響を観察できる可能性がある。 ^{31}Si は、 SiO_2 の数ミクロンの微粒子の粉末を、アルマトイの原子炉の熱中性子で放射化し生成した。そして、生成した $^{31}\text{SiO}_2$ をラットに1時間噴霧し、ラットの臓器の変化などをナザルバエフ大学、MRRC、広島大学などと共同で解析中である。

(3) ラドン濃度などの測定：アクス村では、小学校と一般住民の住居でラドン濃度を測定した。空気中の粉塵もエアサンプラーで収集し、放射能と重金属を測定した。ラドン濃度の結果1は、調査地域全体で4~2000 Bq m^{-3} の範囲であった（平均および標準偏差: $290 \pm 173 \text{ Bq m}^{-3}$ ）。また、アスタナでは、住居の19%でラドン濃度が推奨制限値の 100 Bq m^{-3} を超え、アクス村ではすべての住居がこの制限値を超えていたことが分った。ラドン濃度は、 100 Bq m^{-3} 増加するごとに肺がんのリスクが16%増加することが知られている。そのため、アスタナ市一部とアクス村では屋内ラドン濃度が高く、健康上のリスクを引き起こす可能性がある。したがって、ラドン濃度を低減するための何らかの対策が必要であると考えている。今後、この問題を協力者と一緒に考えていく。（1Tokonami, Omori et al. J Radiol Prot 43 (2023) 023501, doi.org/10.1088/1361-6498/acda41）。

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もとづく環境影響と炉内状態の解明

氏名：宇都宮 聰
受入研究者：山崎 信哉
共同研究者：杉本 侃駿・宮崎 加奈子

1. 成果

事故後 12 年経過し、除染等により環境中の放射能は大幅に低減してきたことから、帰還困難区域の一部解除が施行されてきています。現在残っている環境中の放射能は主に半減期が約 30 年のセシウム 137 によるもので、私たちの周辺や屋内においてその存在状態、分布を正しく知ることは、帰還をより安全なものにするために欠かせません。一方で通常は環境中に低い濃度で存在しているこの放射性セシウムが高濃度に濃集する直径数ミクロンの高濃度放射性セシウム含有微粒子 (CsMP) がメルトダウンの時に大量に形成して、原発から環境中に放出されたことが分かってきました。PM2.5 と同じで見えないほど小さく、局所的に高い放射能を放つことからその分布が懸念されていますが、特に屋内に流入した粒子や沈積した粒子の数は分かっておらず、その定量的計測法の開発と建物内部での存在量や分布の解明が望まれていました。我々は、スタンフォード大学、ナント大学、ヘルシンキ大学、東工大、筑波大、国立極地研と共同で、福島第一原発から南西方向に約 2.8 km 離れた、事故後閉鎖されている小学校の建物内部を 2016 年に初めて調査して、独自で開発した手法を用いて廊下に残留する粉塵に含まれる高濃度放射性セシウム含有微粒子を定量することに成功しました。その結果、高濃度放射性セシウム含有微粒子が 1 平米から集められた粉塵中に 2,400 個以上含まれる場所、粉塵全体の放射能のうち約 39% がその微粒子由来の場所が存在しました。一方で、建物の外では微粒子由来の放射能が全体の 1.5% 程度であることから、今回の結果は、事故時に放出されたセシウムの中に短い期間ですが多量の高放射性セシウム含有微粒子が含まれ、それらが建物の開閉状態によっては建物内部に流入して粉塵として残されることを示唆しています。今後は同様の手法を用いながら、帰還困難区域の建物内部にこの粒子がどの程度流入して、残留しているかを把握し、安心できる帰還につなげることが期待されます。

2. 論文

安価なドローンによる風況観測システムの精度検証

氏名：渡来 靖
受入研究者：中村 祐輔

1. 成果

大気中の放射性・汚染物質などの微粒子の挙動調査として、高層大気における気象観測やモデル構築が行われてきた。一方、生物へ直接影響を及ぼす物質の取り込み過程を調査するうえで、地表面近傍における気象場の把握が重要である。近年、無人航空機(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)は環境動態・自然災害等の調査に利用されているが、気象観測の分野において、観測手法が確立しているとは言い難い。また、気象観測に特化した機体は、高価で運用に専門知識が必要となるため活用シーンが限られる。そこで本研究は、汎用のドローンと気象センサーによって比較的安価なシステムを構築し、データの精度検証を実施することで、観測手法の確立を目指す。特に、今年度は上空風況の精度検証に着目する。精度検証のための観測は、ドローンに小型の気象センサーを搭載し、地上から高度数100mまでを上昇・下降させることで実施された。観測は、2022年3月において筑波大学放射線・アイソトープ地球システム研究センター観測圃場にて、2024年2月においてエイブルスポーツ交流センタードローン練習場にて、それぞれ実施された。使用したUAVは、Phantom4 pro (DJI社製)である。気象センサーは、iMet XQ2 (温度・相対湿度・気圧・GPS; InterMET社製)、ドップラーライダーLR-S1D2GA (風向・風速; 三菱電機社製)、超音波風向風速計 FT205 (風向・風速; FT Technologies)が使用された。ドローンで観測された気温・湿度を観測圃場の鉄塔による観測データと比較した結果、ドローンー圃場の気温差が+0.1°C、相対湿度が+0.3%を示した。この差は、気温・湿度センサーの測定精度程度であるため、ドローンによる観測値が十分な精度を有していることを示している。一方、夜間の時間帯に限定すると、気温差が+0.5°Cを示した。これは、ドローンによって生じる風が周囲の安定層を破壊したこと、気温が上昇したものと推測される。ドローンに搭載された超音波風速計の風向・風速をドップラーライダーによる風向・風速と比較した結果、ドローンードップラーライダーの風速差が+0.9m/s、風向差が-15.2°を示した。観測事例が少ないため、差の要因について十分な考察は行なえないが、超音波風速計のドローンへの搭載方法を改善する必要があると考えられる。以上のように、上記の検証を実施したこと、ドローンによる気象観測手法の一部が確立された。一方で、下記に挙げる課題も残されている。すなわち、ドローン自体が発生させる風の影響を低減させること、超音波風速計のドローンへの搭載方法である。今後は、このような課題を検証していくことで、ドローンによる気象観測手法の確立を目指す。

2. 論文

なし

赤城大沼湖水中セシウム濃度時間予測モデルの精密化に関する検討

氏名：齋藤 誠紀
受入研究者：羽田野 祐子
共同研究者：中村 誠・大高 郁斗

1. 成果

群馬県にある赤城大沼湖水中のセシウム濃度を長期予測できるモデルの開発が望まれている。筑波大学の羽田野教授らによって非整数階拡散方程式によってセシウムの濃度の時間発展に関する研究が進められている。一般的な拡散方程式とは異なり、非整数階拡散方程式は非整数の微分階数 α を持つ拡散方程式である。赤城大沼のセシウム濃度の計測データを非整数階拡散方程式にフィッティングすることで、 α の値が 0.625 と求められている。本研究では流体計算シミュレーションによって α の値を求める上で、セシウム濃度の時間発展が非整数階拡散方程式に従う素過程を解明することを目指す。赤城大沼では春と夏の二度、水の温度変化による密度変化によって水の循環が起こる。そこで、密度による水の循環を予測する流体シミュレーションを実施した。水の温度が 4°C であるときに水の密度は最大となる。春の循環では水面あたりの温度が 0°C付近だが、夏に近づくにつれ水面が 4°C を超え循環が起こる。また、秋の循環では水面が 4°C を超えるが、冬に近づくにつれ水面が 4°C を下回り循環が起こる。以上のシミュレーションを行うために、流体計算ソフトである OpenFOAM を用いて、循環が起らぬ期間では定常状態での計算を行い、循環が起きる期間では非定常状態での計算を行った。具体的なシミュレーションモデルとして、x 軸方向、y 軸方向、z 軸方向の長さがそれぞれ 700m (70 セル)、600m (60 セル)、16m (32 セル) の直方体形状の水槽を用意し水の循環を求めた。定常のシミュレーションモデルは、2 月、6 月、8 月、10 月の 4 つの温度分布を初期温度として用いて、それを定常状態で計算した。また、3 月～5 月、11 月～1 月の二つの期間を時間変化を考慮して、温度分布を設定した。非定常のシミュレーションモデルの時間の刻み幅は 0.25 秒、シミュレーション時間は 80 万秒に設定した。初期の温度分布 (3 月、11 月) を初期温度として設定する。メッシュの上面と下面を最終の温度分布 (5 月、1 月) になるように 8 回に分けて変化させた (1 回当たり 10 万秒の計算)。計算した流速分布を用いて、 α の値を以下の方法で見積もった。
 1. シミュレーションを通して計算した z 軸方向の流速場 u_z を得る。
 2. 飛躍距離の確率密度関数であるガウス分布から飛躍距離 x を得る。
 3. xu_z から待ち時間 t を求める。
 4. 両対数軸にとった待ち時間 t のヒストグラムを作成し、傾きを計算して α を求める。この方法で求めた α は 0.0 程度の値となり、0.625 とは異なる値を得た。拡散項が入っていないこと、乱流が計算が不十分であること、湖の流入、流出が考えられていないこと、湖の形状が考慮されていないことなどの原因が考えられる。次年度以降はこれらの点を考慮した計算を目指す。

2. 論文

Pb-210 を用いた湖沼堆積物の年代決定と I-129・Cs-137 の沈着量変動

氏名：松中 哲也
受入研究者：笛 公和
共同研究者：落合 伸也・坂口 紗綾

1. 成果

【はじめに】 過去 50 年間にわたって日本海底層水の水温上昇と溶存酸素減少が観測され、冬季気温上昇によって日本海の深層循環が弱まりつつあることが示唆されている。日本海において、放射性トレーサーを用いて表層・深層循環の変化を検知することは、近年の地球温暖化に伴う海洋循環の応答性を明らかにする上で重要である。熱中性子核分裂によって生成される人為起源の I-129（半減期：1,570 万年）は、日本海において大気、河川、および海流を介して供給され、海水循環トレーサーとしての利用が期待されている。日本海におけるその主な供給プロセスと供給量の実態を把握する必要がある。本研究は、越境汚染物質の 1 つであり主に 1950 年以降の核燃料再処理や核実験に起因する I-129 について、環日本海域における沈着量変動を明らかにすること目的とした。

【試料と方法】 能登半島と渡島半島の湖沼から 2011 年に採取された柱状堆積物について 1 cm 每に分割した堆積物を分析試料とした。均一化した乾燥堆積物（乾燥重量：1.5 g 程度）をプラスチック容器に密封し、金沢大学 LLRL の Ge 半導体検出器を用いて Pb-210 と Cs-137 を測定した。堆積物中 I-129 の熱加水分解法による抽出と精製は I-129 バックグラウンドが低い金沢大学 LLRL で実施した。堆積物（0.5 g）から生成した燃焼ガスをトラップしたアルカリ溶液に対し、1 mg の I-127 キャリア（Deepwater iodine, I-129/I-127: $\sim 1 \times 10^{-14}$ ）を加えて同位体希釈を行った後、ヨウ素を溶媒抽出・逆抽出で精製し、硝酸銀を添加してヨウ化銀ターゲットを作製した。筑波大学の加速器質量分析計でターゲットの I-129/I-127 比を測定し、Purdue 1 (I-129/I-127: 8.38×10^{-12}) を標準として規格化した。ICP-MS を用いて試料の I-127 濃度を測定した後、I-129 濃度を算出した。特に能登半島の湖沼堆積物に対し、Cs-137 と Pb-210 の高解像度分析結果に基づく堆積層の形成年代と主に核燃料再処理施設から大気経由で供給される I-129 の沈着量変動を解析した。

【結果と考察】 能登半島の湖沼堆積物中の余剰 Pb-210 (Pb-210ex) 濃度は、表層から深度 30 cm において 84.2–739 Bq/kg (試料採取日に壊変補正済) の範囲にあり、深度 29 cm 以深では未検出であった。質量深度 (Mass depth: g/cm²) に対する Pb-210ex の深度分布を基に堆積速度を解析した結果、表層から 0.836 g/cm²/yr (深度 0–7.5 cm)、0.0638 g/cm²/yr (深度 7.5–15.5

cm)、0.192 g/cm²/yr (深度 15.5–25.5 cm)、及び 0.0522 g/cm²/yr (深度 24.5–29.5 cm) と変化した。一方、Cs-137 濃度は表層から深度 29 cm において 8.6–71.2 Bq/kg (試料採取日に壊変補正済) の範囲にあり、深度 22–27 cm 付近に極大を示す深度分布であった。Cs-137 の極大層は、Pb-210 から算出した堆積速度を基にすると 1966–1978 年に形成されたことが分かった。堆積物中の I-129 は 0.13–93.0 μBq/kg の範囲にあり、沈着量に換算すると 0.004–77.8 nBq/cm²/yr であった。I-129 沈着量は 1946 年以前において 0.004–0.025 nBq/cm²/yr と低いレベルであったのに対し、1946 年以降増加し、1978 年と 2011 年に極大を示した。この傾向は 1950 年以降の核燃料再処理、及び 2011 年の福島原発事故伴って、大気放出された I-129 の沈着量増加を表している可能性が示唆された。

2. 論文

Rodrigo Mundo, Tetsuya Matsunaka, Takuya Nakanowatari, Yukiko Taniuchi, Mutsuo Inoue, Hiromi Kasai, Kaisei Mashita, Hayato Mitsunushi, Nagao Seiya, A review of the oceanographic structure and biological productivity in the southern Okhotsk Sea, Progress in Oceanography, 194, 103194, 2023.

福島第一原発事故のゾウリムシへの影響

氏名：藤島 政博

受入研究者：難波 謙二

共同研究者：児玉 有紀・CATANIA Francesco・LYNCH Michael

1. 成果

原発事故による環境放射線がゾウリムシ (*Paramecium*) 属の形態・細胞分裂速度・各種行動等に変異を誘発している可能性を明らかにするため、中深沢池(大熊町)で *Paramecium caudatum* (ゾウリムシ) と *P. bursaria* (ミドリゾウリムシ) を採集し、その細胞分裂速度と細胞内共生クロレラの状態を調べ、実験室の同種と比較した。また、実験室の株を 50 mL のプラスチック遠心管に入れ、穴径 15 μm のナイロンメッシュで管口を塞いで池に一定期間放置し、回収後に、実験室の同じ株のゾウリムシと比較した。中深沢池の岸の高さ 1 m の空間線量は、2021 年度が約 25 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 、2022 年 10 月 15 日が約 19.9 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ であった。2021 年度に中深沢池から採集した *P. caudatum* は採集直後の細胞分裂速度が低く、実験室で培養すると分裂速度が回復した。しかし、2022 年度は、この結果の再現性が得られず、細胞分裂速度は、栄養状態や温度の変化の影響が大きい可能性が示唆された。一方、同年度に中深沢池から採集した *P. bursaria* は、どの細胞も細胞内共生クロレラの密度が低く、さらに宿主の後方に偏って存在していた。そこで、2022 年度は実験室の *P. bursaria* (Yadag1N 株)を前述の特殊容器に入れて中深沢池に 48 日間沈め、影響を調べた。しかし、クロレラの状態に変化は無かった。したがって、2023 年度は、前年度より長期間の 65 日間沈め、共生クロレラへの影響を調べた。また、中深沢池から採集した *P. bursaria* の共生クロレラの状況を調べた。どちらの *P. bursaria* でも共生クロレラの密度の減少と宿主細胞後端部への偏在が誘導されていた。この結果は、環境放射線量が高いと共生クロレラの密度と細胞内局在性が変化することを示している。また、環境放射線の影響の有無を調査する初期段階の方法として、この方法が利用できることが示された。共生クロレラの宿主細胞内の位置の安定化は、クロレラを包む宿主由来の特殊な膜 (perialgal vacuole 膜、PV 膜) と宿主ミトコンドリアとの接着に依存するので、2024 年度以降は、この現象が環境放射線で誘導される原因の解明を行う。また、今後の調査には、年度ごとに中深沢池の空中放射線量が除染によって減少していることに考慮が必要となった。

2. 論文

土壤の放射性セシウムの植物利用に及ぼす有機物の影響について

氏名：信濃 卓郎
受入研究者：塙田 祥文

1. 成果

土壤の放射性セシウムの植物利用に及ぼす有機物の影響について 氏名：信濃卓郎 受入研究者：塙田祥文 共同研究者：望月杏樹 1. 成果 東京電力福島第一原発の事故に由来する放射性物質による農地の汚染からの回復は、除染とカリウム肥料による移行抑制対策が確立している。一方で、これまでの知見では有機物の投入量が多くなると土壤から植物への移行性が高まることが報告されることが多いが、その影響は有機物中に多く含まれるカリウムによる効果に基づくのか、あるいは有機物そのものの効果なのかについては判然としていない。その理由として土壤中の有機物と放射性セシウムの関係に加えて、土壤中のカリウムと放射性セシウムの動態が重要な要因であることが想定され、これを明らかにすることを目的として以下の試験を行った。福島県南相馬市内の畑作圃場において複数年にわたり堆肥の施与を行っている圃場を利用して、異なるカリウム施肥を組み合わせた大豆栽培を行った。また、ポット試験により伊達市のカリウム欠乏土壤を利用して堆肥とカリウムを組み合わせた試験を行った。土壤の交換性カリウム、全放射性セシウム、交換性放射性セシウム、植物体の放射性セシウムを分析し、植物への土壤から放射性セシウムの移行に関して解析を行った。得られた結果からは、移行係数と交換性カリウムの関係が堆肥の施与の有無によって明かに異なっていた。このことは、放射性セシウムの移行に対しての有機物の施与効果は交換性カリウムによる影響に加えて有機物そのものによる影響があることが明らかになった。さらに、有機物の画分を行ったところ、堆肥の施与によって放射性セシウムの交換性放射性セシウム割合が減少していることが示された。この知見は堆肥を活用する意義をカリウムによる効果のみではなく、放射性セシウムの動態に対しても影響を与えることを初めて明らかにした内容である。

2. 論文

Suzuki, M., Kubo, K., Hachinohe, M., Sato, T., Tsukada, H., Yamaguchi, N., Watanabe, T., Maruyama, H., Shinano, T. Effect of cattle manure compost application to the crop growth and transfer of cesium from soil to crops in the field physically decontaminated the radionuclides. Science of The Total Environment, 2024, 908, 167939.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167939>

機能性界面活性剤を用いた放射性物質汚染土壤の減容化

氏名：長谷川 浩
受入研究者：Ismail Md. Mofizur Rahman
共同研究者：Begum Zinnat Ara

1. 成果

【Research objective】 In soil environments, Cs-137 is typically tightly bound to finer-sized particles rather than larger ones, and this association with soil clay particles is resistant to removal through conventional remediation methods. Consequently, the separation of soil particles containing the majority of radionuclides from those with minimal or no radioactivity could be a valuable strategy for minimizing the volume of contaminated soils. This study investigates the impact of the surfactant sodium N-dodecanoyl-taurine (SDT) on reducing the volume of radioactive waste by facilitating the movement of fine particles adhered to larger ones. Furthermore, the research aims to evaluate the retention behavior of Cs-137 contents across various soil size fractions both before and after treatment with Milli-Q water (MQW) and SDT. 【Experimental】 Soil samples (collected at a depth of 0–10 cm) were obtained from Minamitsushima, Namie machi in Fukushima prefecture. Suspensions comprising 10 g of soil (with particle size <2 mm) with MQW or SDT were shaken for 16 h at 60 rpm and passed through sieves of 500, 212, 100, 53, and 0.45 µm sizes. The soil particles collected on the sieves were oven-dried at 50 ° C for 24 h, removed using a sieve brush, and dried at 105 ° C. The MQW- and SDT-treated samples were analyzed for Cs-137 activity concentrations in soil size fractions, and the impact of SDT as a dispersing agent was assessed. 【Results and discussion】 Treatment with MQW revealed that around 18% of the total soil content (within the < 2000 µm size range) contains 2.5% of the entire Cs-137 content. In the < 100 µm size fraction, the retention of Cs-137 was 79 ± 1% with MQW treatment, which increased to 83 ± 1% after SDT treatment. Dissolution of Cs-137 in the dispersant was minimal, accounting for ≤ 0.4%. The FTIR spectrum analysis of both untreated and MQW- and SDT-treated soils indicated comparable absorbance peaks for the representative functional groups, with variations in absorbance intensity.

2. 論文

- 1) M.A.A. Mamun, S. Hayashi, R.I. Papry, O. Miki, I.M.M. Rahman, A.S. Mashio, H. Hasegawa, Influence of different arsenic species on the bioavailability and bioaccumulation of arsenic by *Sargassum horneri* C. Agardh: Effects under different phosphate conditions, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 30, 98246-98260, 2023.08, DOI: 10.1007/s11356-023-29371-2
- 2) M.M.H. Rocky, I.M.M. Rahman, F.B. Biswas, S. Rahman, M. Endo, A.S. Mashio, K.H. Wong, H. Hasegawa, Cellulose-based materials for scavenging toxic and precious metals from water and wastewater: A review, *Chem. Eng. J.*, 472, 144677, 2023.09, DOI: 10.1016/j.cej.2023.144677
- 3) M.S. Alam, S. Fujisawa, M. Zuka, Y. Zai, A.S. Mashio, I.M.M. Rahman, K.H. Wong, H. Hasegawa, Cellular uptake and biotransformation of arsenate by freshwater phytoplankton under salinity gradient revealed by single-cell ICP-MS and CT-HG-AAS, *Environ. Chem.*, 20, 183-195, 2023.08, DOI: 10.1071/EN23041
- 4) S. Rahman, M. Saito, S. Yoshioka, S. Ni, K.H. Wong, A.S. Mashio, Z.A. Begum, I.M.M. Rahman, A. Ohta, H. Hasegawa, Evaluation of newly designed flushing techniques for on-site remediation of arsenic-contaminated excavated debris, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 30, 112052-112070, 2023.10. DOI: 10.1007/s11356-023-30140-4
- 5) S. Rahman, I.M.M. Rahman, H. Hasegawa, Management of arsenic-contaminated excavated soils: A review, *J. Environ. Manage.*, 346, 118943, 2023.12, DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.118943
- 6) F.B. Biswas, M. Endo, S. Rahman, I.M.M. Rahman, K. Nakakubo, S. Mashio, T. Taniguchi, T. Nishimura, A. K. Maeda, H. Hasegawa, Recovery of rhodium from glacial acetic acid manufacturing effluent using cellulose-based sorbent, *Sep. Purif. Technol.*, 328, 124995, 2024.01, DOI: 10.1016/j.seppur.2023.124995
- 7) M.M.H. Rocky, I.M.M. Rahman, Y. Sakai, F.B. Biswas, S. Rahman, M. Endo, K.H. Wong, A.S. Mashio, H. Hasegawa, Enhanced recovery of gold from aqua regia leachate of electronic waste using dithiocarbamate-modified cellulose, *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, 26, 816-829, 2024.3, DOI: 10.1007/s10163-023-01824-3
- 8) S. Barua, K. Dewan, S. Islam, S. Mojumder, O. Sikder, R. Sarkar, H. Hasegawa, I.M.M. Rahman, Chemical composition, anti-oxidant and anti-microbial activities of Bangladesh-origin jhum cultivar basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil, *International Journal of Secondary Metabolite*, 10, 511-524, 2023.11. DOI: 10.21448/ijsm.1230316

福島県の淡水・汽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

氏名：高木 淳一

受入研究者：和田 敏裕

共同研究者：三田村 啓理・荒井 優志

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 12 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種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を探り、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を選定した。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、電気ショッカーを用いて捕獲したニホンウナギ 655 個体（全長 95–709 mm、体重 1–679 g）に PIT タグを装着した。そして日下石川の感潮区間より上流の淡水域に PIT タグの受信機を設置し、長期間を見据えた移動モニタリングシステムを構築した。次に、昨年度に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 ± 0.2 Bq/kg, N = 5)に比べて日下石川(5.4 ± 1.4 Bq/kg, N = 8)で有意に高かった（マン・ホイットニーの U 検定、 $p < 0.01$ ）。今年度はサンプルを日下石川にて 11 個体を、松川浦にて 3 個体を更に追加し、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

帰還困難区域内の森林土壤における高濃度放射性セシウム含有粒子の分布

氏名：大手 信人
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・長澤 和佳・脇 嘉理

1. 成果

目的 2011 年の東電福島第一原子力発電所事故以降、河川水中からは放射性セシウム (Cs) を比較的多量に含む高濃度放射性セシウム含有微粒子 (CsMPs) が検出された。当研究グループの調査から、CsMPs は降雨の土壤侵食に伴い河川に流入し、河川水中の懸濁態 Cs 濃度や分配係数の一時的な増加要因となることが確認された。今後の河川水の Cs 濃度への影響や CsMPs の動態予測を踏まえ、河川上流域における CsMPs の分布把握は重要であると考えられる。本年は福島県内の帰還困難区域内の森林、特に降雨における土壤侵食に伴う移動が考えられる谷間地形の土壤を対象に CsMPs の分布調査を行った。

方法 森林内の谷筋を流れる溪流付近から、斜面方向にかけて試料を採取、地形を調査するトランセクト調査を行った。本研究では、対象地においてトランセクト調査を 3 斜面、各斜面下部から上部にかけて 4-5 地点で試料採取を行った。土壤は表層 0-5cm の表土試料と 0-30cm 深さのライナー試料をそれぞれ採取した。採取土壤は乾燥後（ライナー試料は所定の土壤深さでの切り分けも含む）、試料中の Cs 濃度をゲルマニウム半導体検出器で測定した。また、CsMPs 由来の Cs 濃度をイメージングプレートを用いたオートラジオグラフィー法で測定した。本研究では、オートラジオグラフィー法における一粒子当たりの放射性セシウム含有量が一定以上の粒子を高濃度放射性セシウム含有粒子として識別した。

結果 表層土壤を用いた調査地内の Cs および CsMPs の分布に関して、斜面最上部と比べ、斜面下部の河床付近の土壤では単位面積当たりの Cs 濃度および CsMPs 由来の Cs 濃度 (CsMPs 濃度) が低く、降雨時の増水に伴う侵食作用により Cs とともに CsMPs が流出していることが示唆された。また、ライナー試料の分析において、斜面上部で Cs 濃度の土壤内鉛直分布のピークこそ土壤表層にみられるが、CsMPs 濃度のピークは土壤表層と土壤 10cm 以深の両方にもみられる採取地も存在した。Cs の分布から同採取地は比較的土砂の堆積や攪乱を受けていないと推察されるため、この結果から、CsMPs は土壤間隙中を移動する、またはミミズ等の土壤生物の働きによって土壤下層に異動しうることが示唆された。なお、当該資料の CsMPs と思われる微粒子を走査型電子顕微鏡を用いて分析を行ったが、単離した粒子自体はミクロ団粒内であり、ミミズ等の活動によってできた微小な団粒内に CsMPs が取り込まれていることが示唆された。

2. 論文

海洋表面でのオゾン反応によるヨウ素化合物の発生メカニズムの解明

氏名：大木 淳之
受入研究者：高田 兵衛
共同研究者：出口 将斗

1. 成果

海水中のヨウ化物イオンが大気中オゾンと反応すると、ヨウ化物イオンが酸化されてヨウ素分子(I₂)が生じる。最近の研究によると、海洋から大気へのヨウ素放出のうち、この反応に由来するヨウ素分子放出が最も大きな寄与を持つと報告されている。いっぽう、海水中でヨウ素分子が発生すると、海水中の有機物と反応して、有機ヨウ素ガスが発生することも考えられている。本研究では、海水中のヨウ化物イオンと大気中オゾンの反応に起因した有機ヨウ素ガスの発生を調べるために、海水とオゾンを反応させる室内実験を行った。オゾン発生器により、大気中オゾン濃度と同程度のオゾン(20 ppb～)を含むガスを生成して、4 mL/min で海水反応チャンバーに送り、海水 100 mL と約 2 日間反応させた。オゾン反応後から 3 日以上経過すると、そのガラス瓶内でジヨードメタン(CH₂I₂)が増えることが確認された。オゾン反応後 13 日目までジヨードメタンが増え、その後は増えなかった。ジヨードメタンの発生総量は 0.9 pmol であった。実験に使用した自然海水には、無機ヨウ素のヨウ化物イオンが 100 nmol/L ほど、ヨウ素酸イオンが 400 nmol/L ほど含まれている。自然海水にヨウ化物イオンを添加(+900 nmol/L)して同様の実験を行ったところ、ジヨードメタンの発生量が 3.8 pmol と顕著に増えた。海水中のヨウ化物イオンをオゾンが酸化してヨウ素分子が発生、そのヨウ素分子と溶存有機物の反応によりジヨードメタンが発生したことが考えられた。自然海水にヨウ素酸イオンを添加(+4 μmol/L)して同様の実験を行ったところ、ジヨードメタンの発生量が 1.6 pmol 増えた。この結果は、海水中無機ヨウ素とオゾン反応によるヨウ素分子の発生に関して、海水中のヨウ素酸イオンが関与していることを示唆する。これは、海洋大気間のヨウ素循環に関する新たな反応プロセスを提唱することにつながる。放射性ヨウ素も、通常のヨウ素反応と同じに移動するので、今後、この新プロセスを解明する必要がある。また、本研究では、ジヨードメタン発生に海水中の溶存有機物がどのように関与しているのかを調べるために、人工海水に有機物を添加して同様の実験を行った。その際、実験室内から超純水に混入する揮発性有機物を除去する目的で、人工海水に UV-C を 30 分以上照射して有機物分解をする処理を施した。有機物フリーにした人工海水に、アルギン酸やクエン酸を添加したところ、クエン酸添加区ではジヨードメタン発生が確認された。しかし、その理由は明らかではない。今後、乳酸ナトリウムなど、有機物の種類を変えて、同様の実験を継続する予定である。

2. 論文

福島県前田川、高瀬川および猿田川における粒子態セシウムフラックスに関する研究

氏名：青野 辰雄
受入研究者：高田 兵衛
共同研究者：FAN Shaoyan・那須 康輝・福田 美保

1. 成果

福島県双葉町の十万山付近の空間線量率の低い地域を流域とする前田川と浪江町の比較的空間線量率の高い地域を流域とする猿田川と合流する高瀬川において河川水中の放射性セシウム ($Cs : 134Cs$ および $137Cs$) 濃度は、溶存態 Cs 濃度だけでなく、粒子態 Cs フラックの影響が大きいことが明らかになっている。しかし粒子態 Cs の形態については十分に研究がなされていない。そこで空間線量率が異なる流域の形態別 Cs 濃度の季節変化について調査を行った。前田川、猿田川と高瀬川において季節ごとに河川水等のサンプリングを行い、河川中の放射性 Cs 濃度（溶存態および粒子態）のモニタリングを実施した。粒径毎の粒子態 Cs は分別濾過法等を行い、粒子態 Cs の化学形態も調査した。得られた結果より、 Cs フラックス(MBq/month)を推定し、台風通過に伴う大出水時が発生した 2019 年の結果と比較を行い、経年変化を明らかにした。。2021 年から 2022 年にかけて猿田川上流で $Cs-137$ の濃度とそのフラックス (MBq/month)は約 75% の減少が観測された。一方で、猿田川の中流で流入する沢水の $Cs-137$ 濃度は 2023 年が 2021 年に比べて 5 倍ほど高くなった。下流の $Cs-137$ 濃度は、上流に比べて 2-3 倍高い程度で、また下流になるにつれて、フラックスは高くなる傾向にもあった。2023 年の河川水中の $Cs-137$ 濃度の溶存態と粒子態の割合は、おおむね 50% であった。粒子態 $Cs-137$ 濃度は、懸濁粒子（粒径:0.45-1 μm）よりも小粒子（粒径:1 μm 以上）中の $Cs-137$ 濃度が高い傾向にあった。フィルターに捕集された粒子について、1M 酢酸アンモニウム溶液と過酸化水素水を用いて溶出実験を行ったところ、懸濁粒子からは顕著な溶出が認められなかったが、小粒子ではイオン吸着態に約 15%、有機態に約 30% の溶出が認められた。粒径 63 μm 以下の堆積物ではイオン吸着態に約 5%、有機態に約 15% の溶出が認められた。今後は得られた分析結果を基に粒子態 $Cs-137$ のより正確な輸送過程が解明する。

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

氏名：遠藤 大二
受入研究者：石庭 寛子
共同研究者：大沼 学・中嶋 信美

1. 成果

本研究では、アカネズミゲノムへの環境放射能の影響を調査することを目的として、Scaffold としてのみ報告されているゲノム上の遺伝子予測方法を開発した。Scaffold としてゲノムが報告されてる場合の予測のための技術的背景は下記の 3 点となる。 背景 1: 染色体レベルでのゲノム配列判明種はタンパク質およびゲノム上のエクソンが公開されているが公開レベルが Scaffold 段階の場合にはタンパク質も Scaffold 上のエクソンも公開されていない。 背景 2: エクソン位置の推定方法は ①de Novo 遺伝子予測 と ②タンパク質との相同性検索 の 2 種の方法が存在する。 背景 3: ①de Novo 遺伝子予測ではエクソン数の多いタンパク質は予測されないが、②ゲノムに対してエクソンに分割されたタンパク質との相同性検索は DNA のサイズが染色体レベルまで大きい場合には実行困難な場合が多い。 一方、現状で可能な状況は、下記の通りである。 ①近縁のタンパク質情報判明種では、Scaffold 上のエクソン配列を高信頼性で予測可能である。 ②近縁種間では、エクソン構造はほぼ同じである。本研究では、これらの背景と状況を前提として、近縁のタンパク質情報判明種の情報を利用して Scaffold 上のエクソン配列を高信頼性で予測可能とする必要があった。 本研究では、予測を行うために、下記の手順を確立した。 ①染色体 DNA データを分割(100 万塩基に分割-1 万塩基が重複)し、DNA の塩基配列をタンパク質をクエリとした tblastn 相同検索に対応するデータにした。 ②続いて、タンパク質情報判明種のタンパク質情報を利用するため、重複のないタンパク質セットを作出した。これは、基準種とできる種ではタンパク質アミノ酸配列情報に多数の重複が見られ、そのままでは利用できないためである。 ③登録タンパク質の重複を除くため、タンパク質のアミノ酸配列の相同性解析とクラスター化を実施した。 ④続いて、基準種の gff データに基づいて基準種のタンパク質をエクソン相当アミノ酸配列に分割した。 これらの準備に基づいて、タンパク質データのゲノムに対する相同性検索を下記のように実施した。 ①エクソン相当アミノ酸配列をエクソンごとに分割したデータを作成した ②①をクエリ、適切な長さに分

割したゲノム DNA データをデータベースとする blastn 相同性検索を実施した。③マウスとラットのような近縁種間で相同性検索の信頼性を検証した。結果として、基準種としてラットを設定した場合、上記手順①について、9.6 万件のタンパク質全長×9.6 万件のタンパク質全長→92.5 億件の blastp 相同性検索結果から 19866 件のクラスターを作出し、約 16 万件のエクソン相当アミノ酸配列を作成した。これらのデータでのタンパク質とゲノム DNA の blastn による相同性検索を実施した結果、ラットタンパク質とラットゲノムでは、エクソン予測の正解率は 99.6% であり、ラットタンパク質とマウスゲノムでの予にの正解率は 88.6% であった。プログラム実行のための条件設定には 1 年間かかったが、結果的には、約 16 万件のエクソンと分割ゲノムデータベースによる blastn を所要時間 6 時間程度で実行できるようになった。本研究の方法を用いることにより、アカネズミゲノムへの環境放射能の影響を調査することが可能となった。

2. 論文

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 ^{90}Sr 汚染について

氏名：横畠 泰志

受入研究者：高貝 慶隆・石庭 寛子

共同研究者：青木 譲

1. 成果

2023 年度は、福島県双葉郡浪江町及び南相馬市で 2018 年に捕獲したアズマモグラ *Mogera imaiizumii* 7 頭の下顎臼歯と、前肢骨（鎖骨または橈骨）の安定ストロンチウムと放射性ストロンチウム (^{90}Sr) の濃度を表面電離型質量分析計で計測し、後者の前者に対する比（以下、放射性 Sr 比）を得た。上顎臼歯の摩耗状態から、捕獲個体を齢群 I（生後 1 年未満）、II（生後 1 年以上 2 年未満）、III（生後 2 年以上）に区分した。齢群 III の 1 頭を除く 6 頭の下顎臼歯と前肢骨の計測値の間には、安定ストロンチウム質量、 ^{90}Sr 線量、 ^{90}Sr 質量、放射性 Sr 比のいずれにも有意差は検出されなかった (Mann-Whitney の U 検定、 $P > 0.05$)。例数は少ないが、南相馬市と浪江町産の齢群 I 及び II の個体の前肢骨には Sr 濃度比の違いがほとんど見られず（南相馬市 ($N=6$) : $3.32 \pm 0.68 \times 10^{-11}$ ；浪江町 ($N=2$) : $4.05 \times 10^{-11}, 4.94 \times 10^{-11}$ ）、一方浪江町産の齢群 III の個体はそれよりも高い Sr 濃度比 (11.2×10^{-11}) を示した（*平均土標準誤差）。放射能汚染地において高齢のモグラが高い Sr 濃度比を示すのは、その環境下において多くの ^{90}Sr が存在し、高齢個体の体内において、より蓄積が進んでいるためである可能性がある。浪江町では 2014 年以降齢群 I に相当する個体の捕獲が減少しており、繁殖活動の低下が示唆されるが、今後分析個体数が増加し、特に南相馬市産の齢群 III、浪江町産の齢群 I の個体が追加されていけば、この傾向がより明確になるものと予想される。一方、これまでに富山大学のゲルマニウム半導体検出器で測定していた当該個体の筋肉中の放射性セシウム濃度 ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) には、齢群による Sr 濃度比ほどの違いがなく、むしろ南相馬市・浪江町間で顕著な差が見られた（南相馬市 : $17.92 \sim 26.68 \text{ Bq/kg}$ ；浪江町 : $269.15 \sim 324.21 \text{ Bq/kg}$ ）。両地域間には土壤中放射性セシウム濃度に大きな違いがあり、浪江町がより高い。体内に長期にわたって蓄積せず、當時摂取と排出を繰り返すセシウムにおいて、環境中の濃度がアズマモグラ体内の濃度に強く反映していると考えられる。アズマモグラの捕獲された地域や齢群に関わりなく、両地域のモグラ筋肉中放射性セシウム濃度と放射性 Sr 比には弱い正の相関がみられた (Spearman の順位相関係数 : 0.25)。アズマモグラの捕獲場所の放射性 Sr 比の値はまだ断片的にしか得られていないが、汚染源が同一であるため、基本的に放射性 Cs 汚染の進んだ環境下では放射性 Sr 比も高い傾向があると予想されるので、今後アズマモグラの捕獲場所での土壤中の放射性 Sr 比の測定が進めば、この傾向もより明らかになるであろう。

2. 論文 分析の途中であるため、該当なし。

2. 論文

分析の途中であるため、該当なし。

環境中ラドンによる放射線施設監視モニタの感度確認 5：

活性炭型ラドン検出器による感度確認

氏名：安岡 由美

受入研究者：床次 真司・細田 正洋・大森 康孝

共同研究者：向 高弘

1. 成果

【緒言】 屋内のラドン（ ^{222}Rn ）は肺がんの主要な原因とされている。Darby らは、屋内ラドン濃度 100 Bq m^{-3} あたりの肺がんリスクが 16%増加すると報告した[1]。世界保健機関（WHO）は屋内ラドン濃度に対する参考レベルとして 100 Bq m^{-3} を提案している[2]。ラドンの活性炭捕集器であるピコラド（AccuStar）は、簡易測定器として屋内の空気中ラドン濃度の測定に利用されてきた。しかし、ピコラドの屋内ラドン濃度のスクリーニング器としての有効性は確立されていない。一方、食品中の有害物質に対しては スクリーニング法[3-5]が示されている。そこでは、横軸に基準値、縦軸に検証値を取り、回帰曲線とその 95%予測区間を求め、基準値が決定限界である時の 95%予測区間の下限値の検証値をカットオフ値として算出している。カットオフ値は、決定限界を確実に下回ると判断できるサンプルを選択するために使用される値である。この方法をもとに、ピコラドが屋内ラドン濃度のスクリーニング器として有効であるか検討した。本研究の最終目的は、地震先行現象の検知を排気モニタデータから得るために、屋内ラドンを用いた排気モニタ値の校正をピコラドで実施することである。

【方法】 ラドンを含む地下水を線源とした自家製ラドンケース（12 L）に設置したピコラド 4 本に、ラドンを 48 時間曝露した。同時に PMT-TEL（Pylon）で、ピコラド回収前 6 時間の平均ラドン濃度を求め、基準値 CS (Bq m^{-3})とした。曝露したピコラドに、液体シンチレータ（インスタフロープラス、PerkinElmer Inc.）を 15 mL 添加し、液体シンチレーションカウンタ（Tri-Carb2300TR、PerkinElmer Inc.）で 60 分間測定した。4 本のピコラドから平均ラドン濃度を求め[6]、検証値 C (Bq m^{-3})とした。なお、PMT-TEL は弘前大学被ばく医療総合研究所のラドン曝露場で校正した。

【結果・考察】 自家製ラドンケース内の湿度を、ラドンの定量性が認められている範囲内にある 32%–74%に調節し[7]、計 24 回実験（48–114 Bq m^{-3} ）した。ラドン濃度の基準値を横軸に取り、本実験による検証値を縦軸として相関散布図を作成し、回帰曲線と 95%予測区間を求めた。検証値が 100 Bq m^{-3} （WHO 参考レベル）のとき、基準値の

範囲は $99\text{--}121 \text{Bq m}^{-3}$ のため、 100Bq m^{-3} を超える可能性がある。本実験で求めた検証値の 95%予測区間を用いて、基準値 100Bq m^{-3} （決定限界）の時、カットオフ値は 83Bq m^{-3} であり、さらに検証値が 83Bq m^{-3} のとき、基準値の範囲は $79\text{--}100 \text{Bq m}^{-3}$ で、 100Bq m^{-3} を超える割合は 5% に減少した。結論として、PicoRad のカットオフ値はこの値の切り捨てにより 80Bq m^{-3} となった。ピコラドは、カットオフ値を 80Bq m^{-3} として判定すれば、WHO 参考レベルの屋内ラドン濃度をスクリーニングするための測定器として、有効であることがわかった。【参考文献】[1] Darby, S., et al., 2006. Scand. J. Work Environ. Health. 32, 1–84. [2] WHO, 2009. WHO handbook on indoor radon. [3]厚生労働省, 2012. 食品中の放射性セシウムスクリーニング法 p7. [4] Commission Regulation (EU) 2017/771 of 3 May 2017 amending Regulation (EC) No. 152/2009 as regards the methods for the determination of the levels of dioxins and polychlorinated biphenyls. OJ L 115, 4.5.2017, pp 22–42 (2017). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/771/oj> (閲覧：2024年3月21日) [5] United States Department of Agriculture Food Safety and Inspection Service. Office of Public Health Science. Screening for pesticides by LC/MS/MS and GC/MS/MS, April 2022. CLG-PST5.08. (2022). [6] Wakabayashi, A., et al., 2019. Radioisotopes 68, 317–329. [6] 川本他. In: Proceedings of the 24th Workshop on Environmental Radioactivity 90–97 (2023)

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., Practical cut-off value for radon concentration in indoor air using an activated-charcoal radon collector, Radiation Protection Dosimetry, 2024 (in press) (P-23-29)

野生動物細胞におけるバイスタンダー効果の解析

氏名：有吉 健太郎
受入研究者：三浦 富智

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、被ばくしたヒト細胞の培養培地が、非被ばくのニホンザル細胞、アライグマ細胞、アカネズミ細胞にDNA損傷を引き起こす結果を得ている。本研究では、細胞間シグナル伝達に関与している細胞外小胞（エクソソーム）に注目し、ヒト細胞由来のエクソソームを回収したのち、ニホンザル、アライグマ、アカネズミ細胞、に処理しバイスタンダー効果が引き起こされるか調べることで、種を超えて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】 ヒト細胞(HDFn)に 0Gy (sham-irradiated)、4Gy (1Gy/min) X線を照射したのち、48時間培養を行った培養液からエクソソームを抽出する。0Gy 培地エクソソームと 4Gy 照射エクソソームをバイスタンダー細胞（ニホンザル細胞(mff441)、アライグマ細胞(PL033)およびアカネズミ細胞(N3(1))）にそれぞれ処理し 24時間培養を行う。その後、バイスタンダー細胞における小核試験とDNA二重鎖切断のマーカーである γ H2AXの免疫蛍光染色を行い、DNA損傷頻度の定量化を行った。その結果、0Gy 培地エクソソーム処理群では未処理のバイスタンダー細胞と比較して微小核の出現頻度、および γ H2AX フォーカスの細胞あたりの数に差は見られなかったが、4Gy 照射エクソソーム処理群の全てで、エクソソーム未処理/0Gy 照射エクソソーム処理群より高い頻度で微小核と γ H2AX フォーカスが誘導された。また、エクソソーム中にミトコンドリアDNA(mtDNA)が増加することが判明したため、エクソソームにmtDNAの断片(ND1, および ND5)を封入したものを作成し、対照群として核DNAの断片(SLCO2B1, および SERPINA1)を封入したものを作成し、ヒト細胞に処理したところ、mtDNA断片を処理した群でのみ、 γ H2AX フォー

カスが誘導された。最後に、このエクソソーム中 mtDNA がヒト以外の細胞でも放射線照射によって増加するかを検討したところ、4 Gy X 線照射によって、ヒト細胞、アカネズミ細胞は増加するものの、ニホンザル、アライグマ細胞では mtDNA の増加は確認できなかった。放射線被ばくによるバイスタンダー効果を誘導する因子として mtDNA に着目したが、mtDNA がバイスタンダー因子であるか否かは種によって異なる可能性があることが判明した

2. 論文

被災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

氏名：山城 秀昭
受入研究者：三浦 富智

1. 成果

放射線は、DNA 損傷だけでなく、エピジェネティック、細胞一細胞間の相互作用、適応応答などの影響があることが報告されている。しかし、精子形成における放射線感受性が高い遺伝子が存在するのか明らかにされていない。これまで ERAN の助成を受け、被災アカネズミ精巣を用いて、精子形成に関連する遺伝子の発現を RNA-seq 法により網羅的に解析した。その結果、被災アカネズミの繁殖期精巣では、Lsp1, Ptprk, Tspear の発現量が、非繁殖期精巣においては Fmo2 が、対照区のそれら値に比較して有意に変動していたことを明らかにした。本研究では、被災アカネズミにおける精子形成能評価にこれら遺伝子が放射線高感受性バイオマーカーになり得るか否かを検討することを目的として、本年度では、対照のアカネズミ精巣を用いて選定した遺伝子に対するプライマーセットの有効性を RT-PCR にて検討した。その結果、RNA-seq 解析から得られた Lsp1、Ptprt、Tspear および Fmo2 の精子形成に関連する遺伝子に対するプライマーセットの有効性が確認された。今後は、被災アカネズミ精巣を用いてこれら遺伝子が精子形成能の放射線高感受性バイオマーカーになるか RT-PCR および q-PCR にて継続して検討する。

2. 論文

エピジェネティクス解析を利用した放射線影響評価系の開発

氏名：中田 章史
受入研究者：三浦 富智
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。高線量放射線による配偶子形成および胚発生過程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。以上のことから、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。本年度は、低線量慢性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。放射線によるエピジェネティクスな変化が生じている原因を探るため、DNA のメチル化に関する遺伝子 Dnmt1、Dnmt3A、Dnmt3B、ヒストンのメチル化に関する遺伝子 Wdr5 について、定量的 PCR を用いて遺伝子発現量を解析した。さらに、DNA のメチル化を評価するために遺伝子発現に影響する転写調節領域におけるメチル化頻度の測定として MSRE-qPCR が適用可能かどうか検討した。その結果、低線量放射線によって、DNA のメチル化、ヒストンのメチル化に関する遺伝子の発現量が変化することが明らかになった。また、メチル化感受性制限酵素を利用して MSRE-qPCR と定量的 PCR の結果、Sox9 のプロモーター領域におけるメチル化頻度は、LDR で有意に減少し、Sox9 の遺伝子発現が有意に上昇していた。今後、プロモーター領域における DNA メチル化パターンの解析について検討したい。

2. 論文

Uemura I, Takahashi-Suzuki N, Kuroda S, Kumagai K, Tsutsumi Y, Anderson D, Satoh T, Yamashiro H*, Miura T*, Yamauchi K, Nakata A*, Uemura I, Takahashi-Suzuki N, Kuroda S, Kumagai K, Tsutsumi Y, Anderson D, Satoh T, Yamashiro H*, Miura T*, Yamauchi K, Nakata A*. Effects of low-dose rate radiation on immune and epigenetic regulation of the mouse testes. Radiation Protection Dosimetry (in press).

野生キノコの放射性セシウム濃度の測定

氏名：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

野生キノコの放射性セシウム濃度の測定 木野康志(A)、山下琢磨(B)(A)、三浦富智(C)
(A) 東北大学・理学研究科、(B) 東北大学・高度教養教育・学生支援機構、(C) 弘前大学、被ばく医療総合研究所 1. はじめに 2011年3月、東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故（以降、原発事故）により、多くの放射性物質が大気中に放出された。原発事故直後は、東日本各地で食物の放射能汚染が報道され、社会問題となった。原発事故から13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2023年10月10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4,411検体、近縁種などを含めないとすると、612種の野生キノコを採取した。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 $0.1 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 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、 $0.1 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 以上 $0.2 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 以下で放射性ブ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、 $0.2 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 以上の宮城県内で比較的沈着量が多かった地域である。 2. 試料と測定方法
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、100mL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。キノコ同土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 衍減少したが、遮蔽体の重量は 1 t 近くになる。

3. 結果と考察 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 100 Bq/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、ほぼ一定の値となつた。また、13 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講演会で市民に伝えている。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りえる。これがマスコミに取り上げられ騒ぎになることがあるが、大き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。

References [1]
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/kinoko/qa/seigenmiyagi.html> [2]
<https://radioactivity.nra.go.jp/ja/list/362/list-1.html>

2. 論文

1. “Estimation of external dose for wild Japanese macaques captured in Fukushima prefecture: decomposition of electron spin resonance spectrum”, Yusuke Mitsuyasu, Toshitaka Oka, Atsushi Takahashi, Yasushi Kino, Kenichi Okutsu, Tsutomu Sekine, Takuma Yamashita, Yoshinaka Shimizu, Mirei Chiba, Toshihiko Suzuki, Ken Osaka, Keiichi Sasaki, Masatoshi Suzuki, Manabu Fukumoto, Hisashi Shinoda, Radiat Prot Dosimetry 199, (2023) 1620-1625. 1. 尾田晃平、光安優典、山下琢磨、木野康志、奥津賢一、関根勉、高橋温、篠田壽、イメージングプレートを用いた試料中放射性核種推定法の開発、KEK Proceedings (第 24 回「環境放射能」研究会 Proceedings), 2023 (2022) 115-120.

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

氏名：飯本 武志
受入研究者：赤田 尚史

1. 成果

大規模な原子力災害のみならず、原子力施設や放射線施設での事故トラブル情報により、そのリスクレベルに必ずしも相応しない不安をいただき、反応してしまう人々が多く存在する事実を、我々は過去の国内外での長い原子力・放射線の利用の歴史で経験してきた。その原因のひとつに、放射線リテラシーの不完全さがあるとも指摘されている。本研究では、安定的な環境放射線リテラシーを構築するための手段のひとつとして学校教育に着目し、我が国のみならず、国際的な視点での放射線教育に関する実践戦略を検討し、その効果を分析した。具体的には、アジア・太平洋地域諸国の協力を得て、中等学校における放射線教育の実施状況を調査し、この地域全体としての特徴のみならず、各国別の特徴にも着目して整理することを試みた。特に、教員側の放射線に関する知識、興味や意欲、実際に授業で扱った教育項目に加え、生徒側の放射線に対する授業前後の知識や理解度、印象等の変化をアンケート調査し、何が生徒の心を動かし、放射線に関する教育効果を高める条件になり得るかについて重回帰分析、ウィルコクソンの符号付順位検定、クラスター分析等を駆使し考察した。これまでのフィリピン、マレーシア、インドネシアの中等学校放射線教育の実施実態調査及びアンケート調査の解析によれば、特筆すべき結果として、「放射線」という語や関連の学習に関して教師側が特定の感情を強く持ちすぎると、生徒の心が離れ、学習動機が低下する傾向が有意にみられた。

(論文) 1. Ai SHUHARA, Ayako MORIMOTO, Jo NAKAYAMA, Rumiko HAYASHI, Ryuta TAKASHIMA, Takeshi IIMOTO. STEAM Educational Development of Risk Management Education Framework for Secondary School Students. Jpn. J. Health Phys. 2023; 58 (1): 5-9. 2. Hiromi Koike, Takao Kawano, Takeshi Iimoto. Estimation of Radiation Field Produced by a Coin-shaped Naturally. Radiation Environment and Medicine. 2023;12(1) :74–79. 4.

2. 論文

山形蔵王の樹氷に含まれている鉛-210 の動態

氏名：柳澤 文孝
受入研究者：赤田 尚史
共同研究者：岩田 尚能

1. 成果

$^{7\text{Be}}$ 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碎反応によって生成される放射性核種である。冬季の蔵王（図1）の 1600m 以上に存在している樹氷（Ice Monster）には $^{7\text{Be}}$ が含まれている。 $^{7\text{Be}}$ は圏界面ギャップから対流圏に降下し、大気の流れによって蔵王に飛来したと考えられる。冬季（11月～翌3月頃）に山形県蔵王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た。試料を自然融解させ、前処理を行ってから $^{7\text{Be}}$ を測定した。地上・高層天気図や人工衛星 MODIS 画像、気象データ、流跡線解析、等温位面解析などを用いて $^{7\text{Be}}$ の飛来経路、飛来する気象条件について考察した。

(1) $^{7\text{Be}}$ が高濃度(14 Bq/L 以上)の場合 バイカル湖付近に高気圧が存在している。バイカル湖の北側に伸びている流跡線が多い。(2) $^{7\text{Be}}$ が中濃度(8～14Bq/L)の場合 バイカル湖付近に高気圧が存在している。バイカル湖の南側に伸びている流跡線が多い。流跡線の始まりが高気圧の北側の方が圏界面ギャップに近い。また、高気圧における風は時計回りになっていることから、流跡線の始まりが高気圧の北側の方が $^{7\text{Be}}$ 濃度の高い空気塊が蔵王に飛来しやすいと考えられる。(3) $^{7\text{Be}}$ が低濃度(8 Bq/L 未満)の場合 バイカル湖付近に高気圧が存在しておらず、成層圏から供給される $^{7\text{Be}}$ が活発でなかった。バイカル湖付近まで伸びている流跡線が少なく、バイカル湖付近の $^{7\text{Be}}$ 濃度の高い空気塊が蔵王に運搬されていない。海洋上で高度が低下する流跡線が多いことから、運搬してきた $^{7\text{Be}}$ が途中で海に落下したなどが考えられる。

2. 論文

山形蔵王の樹氷に含まれているベリリウム-7の動態

氏名：岩田 尚能
受入研究者：赤田 尚史
共同研究者：柳澤 文孝

1. 成果

地殻中にある ^{238}U が壊変して ^{222}Rn となり、 ^{222}Rn が壊変して ^{210}Pb となって大気中に拡散する。一方、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といったアジアの乾燥・半乾燥地帯（沙漠地帯）で砂嵐が生じる。大気中に拡散した ^{210}Pb は黄砂に付着して、黄砂と共に大気中を移動することになる。過冷却水滴と雪が高度 1600m 以上（自由大気層）にあるオオシラビソの上で一体化して大きな氷の塊となつたものが樹氷（Ice Monster）である。樹氷には ^{210}Pb が含まれている。山形県蔵王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た。主要・微量化学組成、 ^{210}Pb 、ベリリウム-7、トリチウム、水素・酸素同位体の測定を行った。後方流跡線解析・人工衛星 MODIS 画像を用いて ^{210}Pb を含む黄砂の移動過程・移動条件を検討した。（1）高濃度の場合、乾燥域付近を低気圧が通過することで地上では砂嵐が発生して上空では黄砂が観測される。大気塊の移動中に雲が無いことから降雪の影響を受けていない。（2）中濃度の場合、乾燥域付近を低気圧が通過することで地上では砂嵐が発生して上空では黄砂が観測される。大気塊の移動中に雲があることから、黄砂の一部が蔵王に着氷する前に降雪と共に降下したと考えられる。（3）中濃度の場合、乾燥域付近に高気圧が存在しており、地上では砂嵐が発生して上空では黄砂が観測される。大気塊の移動中に雲が無いことから、降雪の影響を受けていないと考えられる。（4）低濃度の場合、大気塊が乾燥域を通過していない、あるいは、大気塊が乾燥域を通過しているが黄砂が発生していないなどが考えられる。

2. 論文

福島県浜通り地域における降水の同位体組成に関する研究

氏名：栗田 直幸
受入研究者：赤田 尚史

1. 成果

気圈-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、循環過程を書きらかにすることは重要である。福島県浜通り地域では原子力発電所事故に起因する放射性物質濃度に関するデータは数多く公表されているが、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、福島第一原子力発電所に比較的近い浜通り地域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。福島第一原子力発電所の北側に位置する浪江町と南側に位置する富岡町において月ごとに降水試料を採取する。採取された試料を実験室に輸送し、pH、EC、水素・酸素安定同位体比、トリチウムおよび主要イオン成分の測定を行う。トリチウムについては、濃度が低いことが予想されることから、濃縮操作を行った後に測定した。ここでは津島地区で採取された月間降水のトリチウム濃度を示す。福島第一原子力発電所事故から約1年半経過した2012年10月から2021年12月までの月間降水中トリチウム濃度は0.10 – 0.85 Bq/Lの範囲であり、春季に高く夏季に低くなる季節変動傾向が認められた。2013年から2021年の年平均濃度は0.39 – 0.48 Bq/Lであり、日本で観測されるバックグラウンド濃度と同程度であった。

2. 論文

Indoor Environment Radiation Assessment and Radiation Protection in Veterinary Hospitals

氏名：岩井 敏
受入研究者：細田 正洋
共同研究者：飯本 武志・小池 弘美・WANG Xueqing

1. 成果

愛玩動物は人間社会における家族の一員としての側面が強いことから、放射線防護の対象としては国際放射線防護委員会（ICRP）が勧告する「ヒト以外の生物種」の枠組みに収まるはずではなく、また、獣医療における計画的な被ばくや、原子力災害時の環境汚染に巻き込まれてしまうような緊急時の防護の考え方の整理もない。本研究の究極の目標は、愛玩動物に関連した放射線防護システムを構築し、社会実装プロセスを想定した課題を具体的に整理し、その解決のための選択肢を明らかにすることにある。研究実施初年度の令和 5 年度は獣医療環境に着目し、患者としての愛玩動物等や彼らをとりまくステークホルダー（医療従事者等）の放射線防護に関して、特に彼らの被ばく線量や周辺環境の線量分布の実態を明らかにするプロセスに着手した。具体的には、国内の獣医療関係者へのヒアリングを通じて本研究の設計を強化し、動物病院施設の体系を完全に復元した現場を用意し、エックス線装置や CT 装置利用時の周辺環境と関係者の放射線量を実測すると共に、放射線輸送計算コード PHITS によりモデル解析をする環境を整えた。これに基づき、次年度以降に獣医療環境における被ばく対象者や周辺環境の放射線量を実測すると共に、モデル解析の検討を進める。また、診療上に役立つ防護具や治具の開発、ALARA を推進するためのステークホルダーへの新しい教育モジュールと教材（動画や VR の導入等も検討の対象とする）の開発なども想定して、研究計画をより具体化していく。

2. 論文

- 1.Kazuji Miwa, Takeshi Iimoto. A Source-Related Approach for Discussion on Using Radionuclide-Contaminated Materials in Post-accident Rehabilitation. Journal of Radiation Protection and Research. 2023;48(2):68–76.
- 2.嶋田和真, 永井晴康, 橋本周, 飯本武志. 特集 1F 事故の教訓と課題 III 1F 事故の教訓を踏まえた原子力防災の在り方. 日本原子力学会和文誌 (ATOMZ) .

3.五十嵐悠、榎本敦、小嶋光明、小田啓二、高橋賢臣、飯本武志. 日本保健物理学会「エックス線被ばく事故検討 WG」活動報告—第 1 分科会 エックス線利用上の安全規制と現場管理—. Jpn. J. Health Phys. 2023;58 (3):141-150. 4.高橋康幸 監修、飯本武志(担当:共著). 放射線安全管理学. 南江堂 2023 年 11 月 5 日. ISBN978-4-524-20394-9.

太平洋における海水中 Be 同位体の分布

氏名：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

[背景と目的] 長半減期放射性核種 ^{10}Be (1.36×10^6 y) は短半減期放射性核種 ^{7}Be (53.35d) と共に大気上層において宇宙線と大気との核反応により定常的に生成し、大気循環により輸送され地表・海面へ降下する。我々はこれまで太平洋の洋上大気において ^{7}Be , ^{10}Be 濃度が大気循環の下降域($20\text{-}30^\circ\text{N,S}$)で極大値、上昇域($0^\circ, 50\text{-}60^\circ\text{N,S}$)で極小値を示すことを明らかにした。また、表層海水中 ^{7}Be , ^{10}Be 濃度も大気中濃度と類似した緯度分布を示すことも明らかにしたが、混合層の平均滞留時間が数年以上のため、 ^{10}Be 濃度の緯度分布は極大値と極小値の比が小さい分布であった。海水中の Be の平均滞留時間は数 100 年と推定されており、長半減期 ^{10}Be は安定同位体 ^{9}Be と挙動を共にし、最終的には海水から海底に除去され海底堆積物に蓄積される。本研究は北太平洋における ^{9}Be , ^{10}Be の鉛直分布を求め、他の海域との比較を行い海洋循環に関するトレーサーとして活用することを目的とする。 [方法と結果] 2012-2017 年に北太平洋北部 47°N 付近(東京-バンクーバー)において採取した海水試料について ^{9}Be , ^{10}Be 濃度の鉛直分布測定を行う。 ^{10}Be は海水(250/20 L)採取時に Be 担体(2/0.5 mg)を加え鉄共沈により回収し、Be の分離精製後、東大 MALT において ^{10}Be -AMS 測定を行う。 ^{9}Be は海水 250mL をシリカゲルカラムを用いて脱塩濃縮し、弘前大 IREM において ICP-MS により ^{9}Be 濃度測定を行う。現在、 ^{10}Be 濃度測定は概ね終了しており、今年度は海水試料の脱塩・濃縮過程において溶離液の加熱濃縮過程を省略する手法を確立して ^{9}Be 濃度測定を行った。 北部北太平洋 47°N における 2012 年(KH-12-4 BD09, 11, 14 : $171^\circ\text{E}, 180^\circ\text{E}, 170^\circ\text{W}$) および 2017 年(KH-17-3 CL02, 04, 05, 07 : $160^\circ\text{E}, 175^\circ\text{E}, 170^\circ\text{W}, 160^\circ\text{W}$) の Be 同位体の鉛直分布は概ね相互に類似した分布であった。 ^{9}Be , ^{10}Be の鉛直分布は表層以外はほぼ同じであり、 ^{9}Be 濃度($\times 10^{10}$ atoms/cm³ 又は $\times 16.6\text{pM}$)、 ^{10}Be 濃度($\times 10^3$ atoms/cm³)は表層で 0.3 及び 0.5, 300-500m 付近で共に ~1、その後ほぼ直線的に増加し 5000m 以深で共に ~2 であった。 $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ ($\times 10^{-7}$ atom/atom)は 2000m 以深で、BD09, 11, 14 : 1.10, 1.12, 1.07, CL02, 04, 05, 07 : 0.93, 0.91, 0.94, 0.97 とおおむね一定であり、北太平洋(25.0°N , 170.0°E)における文献値 1.23 ± 0.10 [1] に近い値が得られた。 [1] M.Kusakabe et al.,EPSL,82(1987)231-240

2. 論文

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

氏名：杉原 奈央子
受入研究者：田副 博文
共同研究者：白井 厚太朗・山田 正俊

1. 成果

2011 年に発生した東電福島第一原発事故によって放出された放射性核種は未だ環境中に残留しているものの、そのモニタリングの時間解像度には制約がある。これを解決するために生物硬組織による遡及的環境モニタリングが有効である。特に ^{90}Sr は水溶性が高く、炭酸カルシウムで構成される貝殻に取り込まれやすい性質を持ち、半減期も 28.79 年と長いことから、データの空白期間である事故から数ヶ月後の濃度変遷も解明できる可能性がある。本研究では二枚貝貝殻中の放射性・安定ストロンチウム濃度を指標として、環境中の放射性核種の動態を復元する手法の確立を目指す。今年度は 2015 年 6 月に福島県内の河川で採取したカワシンジュガイ 2 個体を分析に供した。貝殻を次亜塩素酸 Na で 1 時間程度処理することで、殻皮を除去し、精密ドリルを用いて成長方向に沿って貝殻粉末を削り出した。 ^{90}Sr 濃度は DGA レジンを用いた固相抽出法 (Tazoe et al., 2016) により前処理を行い、ガスフローカウンタで測定することで、公定法よりも迅速に測定することができた。これらの作業は弘前大学にて実施した。 ^{90}Sr 分析に加えて、カワシンジュガイの成長速度を推定するために、粉末の一部を酸素安定同位体比分析に供した。酸素安定同位体比分析は東京大学大気海洋研で実施した。結果、カワシンジュガイ貝殻中の ^{90}Sr 濃度は個体①は 18.1-26.1mBq/g、個体②は 25.9-50.2mBq/g であった（採取日に減衰補正）。縁辺から蝶番にかけて ^{90}Sr 濃度に明瞭な傾向はみとめられなかった。今回の分析において、貝殻の部位ごとに ^{90}Sr の濃度差がみられなかった理由として、カワシンジュガイの貝殻は付加成長している外層が溶解していたこと、特に蝶番付近での溶解が激しかった。また、成長速度が遅く、今回分析に供した試料量、0.3 g/試料では十分な時間解像度が得られていないことなどが考えられた。酸素安定同位体比分析の結果からもカワシンジュガイの成長速度が遅いことが明らかとなっている。今後は試料の微量量化や、貝殻断面の成長線との対応を行うことで、二枚貝が経験した ^{90}Sr 暴露の履歴を復元することを目指す。

2. 論文

N/A

大気エアロゾル生成に対するラドン壊変生成物の寄与に関する観測

氏名：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。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。自然放射性物質であり、希ガスであるラドンは土壤から大気中へ散逸される。ラドンは大気中において壊変後、帯電した成分と中性成分（非付着ラドン壊変生成物）を形成し、大気エアロゾル粒子に付着した成分（付着ラドン壊変生成物）を生成する。森林における林内において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(Jayaratne et al., 2011)、森林からの大気エアロゾルの放出にラドン壊変生成物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、都市郊外の森林において大気エアロゾル生成過程に対するラドン壊変生成物の寄与に関する観測の実施、基礎データの取得することを目的とした。観測は、2023年8月31日～9月4日（5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20m）に設置された観測鉄塔において実施された。ラドンとその壊変生成物濃度はそれぞれ電離箱法（拡散モード）とシリコン半導体検出器（流量：0.5 L/min）により1時間間隔で測定された。エアロゾル個数濃度は0.3、0.5、1、3、5 μmの分級でエアロゾル計測器（光散乱方式）により5分間間隔で測定された（データ解析では1時間平均値を使用）。測定高度は約2 mであった。ラドンとその壊変生成物濃度は午前中、エアロゾル個数濃度は夕方から翌日午前中に濃度が増加する傾向であった。これは林床付近の乱流拡散などの微気象条件が影響した可能性があった。大気エアロゾル個数濃度とラドン壊変生成物濃度の関係では、午前中において粒径0.3-0.5 μmで正の相関関係、午後から夜中において粒径0.3 μm以上で負の相関関係が確認された。したがって、ラドン壊変生成物が大気エアロゾル生成・成長過程に寄与の可能性が示唆された。

2. 論文

酸化鉱物表面の核種濃集挙動に関する分光学的研究

氏名：佐々木 隆之
受入研究者：藤原 健壮
共同研究者：土肥 輝美・長澤 圭太

1. 成果

1. 研究成果報告 放射性核種の保管や廃炉工程の安全評価に資する放射性核種の地中移行挙動を検討するには、原位置あるいはそれに関連した地質環境における取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取着させたカオリナイト試料に対し、透過型電子顕微鏡(TEM)および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、熱硫酸により変質処理を施したカオリナイト試料について、幅広い pH 条件で非放射性金属イオンを取着させ、取着分配係数 Kd の取得および STEM-EDS による元素マッピングの取得を行なった。硫酸処理後のカオリナイト試料について XRD, XRF を適用したところ、濃度の高い硫酸で処理した試料ほど、Al/Si 比が低下し、また結晶性が低下した。3 値アクチノイドの化学アノログとしての Eu の同固相への取着については、酸性から中性の pH 領域では変質影響が見られなかった一方で、塩基性 pH 領域では Kd の低下が確認された。STEM-EDS によるカオリナイト試料の粒単位の元素マッピングでは、変質の程度に関わらず弱酸性領域では Eu が固相の全面に取着することが確認された。これらの結果は、弱酸性領域では Eu が主に Si 成分のサイトに取着するため、固相の変質影響を受けにくいことを示唆している。本研究で得た Al/Si 比やヒンクレー指数などのパラメータと、Kd 値との相関を評価するには、今後、Si 成分および Al 成分の取着サイトにおける Eu の表面錯体反応モデルに基づく考察、さらに、モデルフィットティングパラメータと変質固相のゼータ電位や原子間距離といったミクロスコピックな表面状態との関連を検討することが肝要である。

2. 発表論文リスト T. Dohi, K. Iijima, M. Machida, H. Suno, Y. Ohmura, K. Fujiwara, S. Kimura, F. Kanno, Application of radiocaesium microscale observation methodology to parmeliod lichen and ultrastructural analyses using STEM-EDS, Environmental radiochemical analysis VII, Chapter 5 (2023) 50-57. 日本原子力学会 2023 年秋の大会、口頭発表、Eu のカオリナイトへの取着に及ぼす変質影響、1D01、長澤圭太、菅野太志、土肥輝美、藤原健壮、佐々木隆之

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

氏名：黄倉 雅広
受入研究者：土肥 輝美
共同研究者：橋間 俊・飯本 武志

1. 成果

2011年3月の東京電力・福島第一原子力発電所事故（以下、原発事故）に起因した環境放射性物質汚染により、サイトから約200km離れた首都圏も大きな混乱に巻き込まれ、原子力施設非立地地域がゆえに関連する自治体は専門知識や準備が十分ではなく、各々に厳しい対応を迫られた。本研究ではそのような影響を受けた自治体のうち、高い線量を示す土壌の発見や、市民の混乱から協働除染に至るプロセスを経験した千葉県柏市をケーススタディとした。当時の市の職員らは、課題解決のため参考資料の一つとしてICRP勧告の原発事故後の対応に関する記述を参考にしてさまざまな対応策を模索した。しかし、ICRP勧告に記載されている記述は抽象的な表現が用いられており、地方行政官や地域住民など実際の現場で活動する非専門家が読み解くことは難しい傾向にある。本研究では実際の現場での事例を振り返り、最新の知見が掲載された勧告と比較、検証を行い、勧告の趣旨をより具体的かつ明確にすることを試みた。現場で経験したさまざまな知見が最新の勧告に反映されているかの視点でまた逆に実例が勧告の記述から解釈できるかどうかという観点からも考察を行った。柏市の特徴のひとつに「市民との協働した除染活動」が挙げられるが、これに該当する記述はいずれの勧告書にも見当たらない。地域住民と市職員が町会単位で相互にコミュニケーションをとりつつその地域に相応しい方法を自らが計画し、放射線の基礎や除染の技術を学び、地域活動の一環として官民一体となって協働をすることで、結果として放射線リスクの相場観が共有された。柏市のような周辺に原子力施設がない人口密集地において、このような言わば協働除染を実施することで住民の不安軽減につながった可能性があると考えられる。勧告の記述からの解釈の例として、ICRP Pub.146に記載された廃棄物の処理プロセスが挙げられる。うち150項には廃棄物の処理プロセスについて適切な特性評価、分別、一時保管、処分ルートの確保と記載がある。柏市では、市内に存在する放射性物質の付着した廃棄物は「指定廃棄物」「市の管理する土地内の廃棄物」「民有地内の除去土壌」に大別され（分別）、例えば「指定廃棄物」についてはゴミ焼却により発生した指定廃棄物は市内清掃工場（北部・南部）、最終処分場に保管されている状態である（一時保管）。また「民有地内の除去土壌」については協働除染により発生した除去土壌が該当する。一方で、現在物量や放射能量といった特性評価は未実施であり、今後処分ルート確保に向けて更に検討を進めていく必要がある。

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

氏名：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) 樹木の放射性セシウム（以下放射性 Cs と記す）の汚染が、事故後どのように変化しているかを把握する目的で、2013 年に樹木の表面の放射性 Cs 汚染について調査した同一地点の約 10 年後の放射性 Cs を同様に調査した。放射性 Cs の存在状態の変化が樹皮表面の線量変化の評価に資すると考えている。さらに、樹皮表面は様々な状態にあることから、2013 年当時、放射性 Cs の存在割合の高かった樹皮表面に繁殖した苔を対象とし、放射性 Cs の保持能の把握を試みた。

(実験方法) 報告者らは、福島市内にて 2013 年に調査した樹木が、現在でも同じ場所に存在していることを確認した。推定年齢 50~80 年程のケヤキであり、ケヤキの根元が除染のために新しい土が 10 cm ほど盛り上げられているほかは、大きな枝ぶり、樹形、周辺の建物との位置関係などほとんど変化がないことを確認した。樹皮表面の放射性 Cs の測定は次のように実施した。

①まず、1m x 2m の透明なビニールシートに実験室であらかじめ 10 cm 四方のマス目をマジックで書き込み測定座標軸が分かるシートを用意した。現場で樹木の幹回りに巻き付け、その上から GM サーベイメータを用いて表面線量率を測定し記録した。また、樹皮表面の様子について、樹皮が剥げて木部がむき出しになっている場所、苔や地衣類の生育している場所などをシートに直接書き写し表面観察のデータとした。

②2013 年の時に、報告者らは 3 cm 四方に切断した IP フィルム 36 枚を格子状につなげたフレキシブル IP フィルムを作成し、現場で樹木の幹回りに巻き付けることにより、樹木表面での放射性 Cs の IP 撮像を行った。2013 年の樹木表面の測定箇所が判明できたので今回も同一箇所で同様に IP フィルムを巻き付け一晩曝射し、翌朝実験室まで持ち帰り解析した。

(結果及び考察)

① 2013 年と 2023 年のケヤキ表面の線量率を比較したところ、10 年経過後の表面線量率は最大で 0.17 cpm と BG と同等になり、2013 年当時の最大 19.7 kcpm から大幅に減少していた。

② IP 測定で樹木表面の放射性 Cs の分布状態が観測され、その中に粒子形態の Cs の残存が示唆された。以上のように 2013 年と 2023 年に同一ケヤキ表面における樹皮・苔での Cs の保持能が調査できた。今後、樹皮や苔に付着した Cs の存在形態を化学的に把握し、それらの減衰予測評価を行う。

2. 論文

なし

統合空間線量率マップに基づく除染効果の視覚解析

氏名：高橋 成雄
受入研究者：操上 広志・眞田 幸尚
共同研究者：櫻井 大督

1. 成果

空間線量率マップなどの計測データから得られる科学的な知見は、東日本大震災後の福島第一原発周辺地域の効果的な除染や避難指示解除などの計画立案に重要な役割を果たす。我々は、航空機モニタリング、走行サーベイ、歩行サーベイなど複数の測定データを統合することで得られる統合空間線量率マップを用いて、そのような科学的な知見を得るために視覚解析システムの実装を長期的に目指している。特に本研究では、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を計算した。そして、統合空間線量率マップデータを視覚的解析する対話処理システムを実装し、空間線量率マップ上のサンプル点ごとに異なる期間における線量率低減度を比較し、過去に実施された除染作業の実際の効果などの確認を行った。まず、福島第一原発周辺地域に対し、2014～2017年の期間と2017～2020年の期間の空間線量率低減度を計算し、どちらの期間において優位に空間線量率が下がっているかを、マップ上の各サンプル点において比較を行い、その結果を文献[1]にまとめた。具体的には、2017～2020年の期間の空間線量率の低減度が大きく減少しているところは、特定復興再生拠点区域として指定された場所に多く含まれることを視覚的に確認した。これは、それらの地域で2018年頃から順次除染作業を進められてきたが、そのことを視覚的データ解析により確認できたことを意味し、実施された除染作業が一定の効果を上げていることを示す結果となった。また、Feng, Onda, Wakiyamaらにより2022年に発表された文献[2]では、飯舘村新田川周辺の2012～2014年の除染実施の詳細が紹介されている。これについても、当該地域の2011～2013年の期間と2013～2015年の期間の空間線量率低限度を計算し、どちらの期間において優位に空間線量率が下がっているかを視覚的に解析することで、実際に行われた除染作業の効果の検証を行った。その結果、2013～2015年の期間の新田川周辺地域の空間線量率低減度が非常に高いことが、視覚的に確認することができた。文献[2]によると、2013年と2014年において新田川上流域周辺で集中的に除染作業が行われているが示されており、得られた結果はこの除染作業の効果を裏付ける事実ととらえることができる。

きる。今後の課題として、時系列統合空間線量マップから得られる各サンプル点における空間線量率低限度が、除染作業の履歴に加えて、地形特徴や土地利用の違いと特定の関係があるかなどを調べるための視覚解析作業を進めていく。これにより、除染作業を行う地域選定において、いろいろな要因を考慮したより効果的な指標の提示を実現していく。
参考文献 [1] 高橋 成雄, 櫻井 大督, 長尾 郁弥, 操上 広志, 真田 幸尚, 可視化研究の最前線: 空間線量率マップの視覚解析, シミュレーション (Journal of the Japan Society for Simulation Technology), 42(2), pp. 68-75, 2023. (in Japanese) https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=202302246379998755 [2] B. Feng, Y. Onda, Y. Wakiyama, et al. Persistent Impact of Fukushima Decontamination on Soil Erosion and Suspended Sediment. Nat Sustain 5, 879?889 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00924-6>

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

氏名：小西 博巳
受入研究者：萩原 大樹
共同研究者：萩原 大樹

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の観点で重要である。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（ $250\text{-}106\ \mu\text{m}$ ）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があることを報告した。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、有色鉱物の風化・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、ハンドピックした有色鉱物の中から、表面の形態、色を基にさらに分画し、それぞれの放射性セシウム濃度をGe半導体検出器で測定した。河川水系の上流から下流にかけて、風化・変質が多い有色鉱物および風化・変質が少ない有色鉱物のいずれも放射性セシウムが吸着していた。特に、風化・変質が多い有色鉱物に放射性セシウムをよく吸着する傾向が認められた。したがって、角閃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。今後は、細粒分画における無色鉱物と放射性セシウムと変質した鉱物種の吸着形態を考察する。

2. 論文

松川浦から海洋への溶存放射性セシウムの供給過程の解明

氏名：三角 和弘
受入研究者：林 誠二
共同研究者：辻 英樹・三浦 輝
浜島 靖典・津旨 大輔

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。これまで主に観測を行ってきた松川浦の南部の観測点では、間隙水中の塩分が直上水よりも高い傾向がみられ、海水系の海底湧水の影響が示唆されている。2023年度の観測でも南部の観測点では同様の傾向が見られた。一方、2023年度に新たに実施した松川浦の北西部の観測点では、間隙水中の塩分と直上水の塩分が同程度であり、松川浦内でも海底湧水の影響の強弱があることが示唆された。今後、日本原子力研究開発機構にて実施されている、松川浦内の堆積物中のセシウムのインベントリの長期変化のデータを参照しつつ、松川浦から海洋への放射性セシウムの供給量を推定する。

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

氏名：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
稲見 健司・壁谷 昌彦

1. 成果

1. 成果 東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故により、現在でも狩猟対象鳥獣において放射性セシウムが検出されている。福島県では、有害鳥獣捕獲、個体数調整及び狩猟における捕獲・処理等の安全確保に必要な情報を県民に発信するため、イノシシ、ツキノワグマ等の野生鳥獣の放射線モニタリング調査を行っている。これらの野生鳥獣の放射線モニタリング調査の結果から、生物種によって体内のセシウム 137 濃度が異なり、とりわけイノシシにおいて筋肉中のセシウム 137 濃度が高い傾向が認められている。加えて、イノシシの筋肉中のセシウム 137 濃度と捕獲場所のセシウム 137 土壌沈着量に正の関係があること、同様な土壌沈着量の汚染レベルのエリアで捕獲されたイノシシであっても、個体間で測定値のバラツキが大きいという結果が得られている。一方で、狩猟対象種以外の野生鳥獣の筋肉中の放射性セシウム濃度については知見が少なくその野生鳥獣における放射性セシウムの汚染状況は不明である。本研究では、福島県における様々な野生鳥獣の筋肉中の放射性セシウム濃度についての知見を得ることを目的とする。2013年から2022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=143, ほ乳類:N=76)。得られたデータを用いて、生息地域の放射性セシウム土壌沈着量と筋肉中放射性セシウム濃度との相関の確認、生息地域間における筋肉中放射性セシウム濃度の比較、ほ乳動物と鳥類間における筋肉中放射性セシウム濃度の比較、及び食性による放射性セシウム濃度の比較を行った。その結果、生息地域の放射性セシウム土壌沈着量と筋肉中放射性セシウム濃度については会津と中通りで弱い正の相関、浜通りで強い正の相関がみられた。生息地域間における筋肉中放射性セシウム濃度は浜通り、中通りに比べて会津が有意に低かった。ほ乳動物と鳥類間における筋肉中放射性セシウム濃度は、ほ乳類が鳥類に比べ有意に高かった。食性による放射性セシウム濃度は、それぞれ会津の鳥類で雑食よりも動物食、中通りのほ乳類で雑食よりも植物食のほうが有意に高かった。本研究によつて、近年においても食品の基準値である 100 Bq/kg を超過する個体が鳥類とほ乳

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

2. 論文

福島県内におけるキジの行動圏調査

氏名：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

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、食品基準値である 100 Bq/kg を大きく下回っているものの出荷制限がかけられたままである。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。キジの捕獲数とモニタリング数が多い福島県二本松市にて、令和 3 年および令和 4 年の 11 月にカモ網等を用いてメスキジ 2 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、狩猟期間である 11 月から 2 月までの 4 ヶ月間とした。行動圏サイズを最外郭法及び固定カーネル法を用いて算出した。その結果、最外郭法により推定した捕獲個体の行動圏サイズは 0.06 から 0.31 km² であった。キジは主に阿武隈川の河川敷内の高茎草地、竹林等がモザイク状に分布している地域及び堤内地の畑地と畑地に隣接する低木が疎らに生育する高茎草地を包括する地域を利用していた。また、カーネル法により推定した捕獲個体の行動圏サイズは、50%行動圏で 0.009 から 0.006 km²、95%行動圏で 0.04 から 0.03 km² であった。利用頻度の高い地域は高茎草地、竹林等がモザイク状に分布している阿武隈川の堤内地であった。今回調査をおこなったメスキジ 2 羽の行動圏サイズは、最大でも 0.3 km² 程度であり、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で暮ら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。今後は個体数を増やすと共に性差についても調査を行う必要があると考えられる。

2. 論文

植物培養細胞を用いた帰還困難区域における遺伝子発現を指標とした

モニタリング手法の検討

氏名：高橋 真哉

受入研究者：玉置 雅紀

1. 成果

放射性物質蓄積に伴う空間線量率の高い帰還困難区域を含む計画的避難区域は、2013年から面積比で30%弱にまで縮小しているが、環境放射線による生物影響は長期間継続的なモニタリングが必要である。野外の放射性物質汚染による直接的な生物影響は定量的評価が困難であり、現在まで効果的なモニタリング法は存在しない。我々はこれまで、DNA相同組み換えレポータ遺伝子を持つ植物培養細胞を用いたゲノムDNA相同組み換え頻度を測定パラメータとする簡便な新規放射線モニタリング法の構築に取り組んできた。本研究では、従来のゲノムDNA相同組み換え頻度定量に加え、新たに遺伝子発現量を指標とした継続的な野外放射線モニタリングについて検討を開始している。今年度は、1 mGy以下の曝露を行ったシロイスナズナカルスを用いたRNA-Seq解析を実施した。シロイスナズナ野生株(Col-0)胚軸から誘導したカルスに対して、帰還困難区域内にて採取した放射性物質を含む土壌を用いて、国立環境研究所内に設置されたチャンバーにて曝露を行った。24時間(91 μGy)、168時間(649 μGy)曝露後、カルスを回収し、凍結保存をおこなった。その後、総RNA抽出を行い、RNA-Seq解析に用いた。その結果、24時間曝露と168時間曝露で計93遺伝子の発現変動が確認できた。GO解析では、DNA修復に関連した遺伝子は検出できなかったが、二次代謝関連遺伝子、ストレス応答関連遺伝子の発現変動が見られた。現在、同様の曝露条件での植物体における遺伝子発現解析を実施している。

2. 論文

なし

尾駒沼における物質循環把握

氏名：坪野 考樹
受入研究者：植田 真司

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駒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駒川からの海水とともに尾駒沼に流入する。尾駒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。尾駒沼・尾駒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、沼の水位高度を精度よく計測できた。この水位高度を用いて、水圧計の高度を推定することにより、水圧データから沼・河川の高度を高精度で検討することが可能となった。この水位差結果より、長期観測が可能となり、上げ潮・下げ潮時で尾駒川から尾駒沼へ流入・出する流速が異なることが分かった。上げ潮時と下げ潮の水位変化の非対称性により、尾駒沼の水位振幅には、大潮小潮の周期（約 14 日）をもつことが説明できた。雪により水圧計が回収できなかったことから、3月以降に再回収を行う予定である。

2. 論文

CO₂ の観測結果について論文を準備中。

宇宙暗黒物質探索における環境トリチウムの影響の研究

氏名：山下 雅樹
受入研究者：柿内 秀樹
共同研究者：小林 雅俊

1. 成果

宇宙暗黒物質探索における環境トリチウムの影響の研究 氏名：山下雅樹 共同研究者：小林雅俊、柿内秀樹 1. 実験概要 XENON 実験はグランサッソ地下実験施設(イタリア)にて世界最高感度で暗黒物質直接 探索や宇宙素粒子の探索を行っている。XENON 実験では気相・液相からなる二相型 Xe Time Projection Chamber を検出器として用い、Xe を標的及び検出媒体としている。2020 年、XENON1T 検出器の観測において予期せぬ信号超過が観測され、それは暗黒物質やアクションの可能性があるが一方でトリチウムのベータ崩壊による背景事象の疑いもあった。トリチウムによるバックグラウンドとして大気から何かしらの混入を疑い現地で大気中トリチウムの測定を行い背景事象の理解を進める。 2. 成果 <XENONnT 実験 山下・小林> 本研究を通してトリチウムバックグラウンドが次期 XENONnT 実験に及ぼす可能性が分かったため、その対策を行なった。 検出器内、配管内に HTO, HT などのアウトガスとして存在しうるため、観測前にキセノンガス用の水素除去装置(ゲッター)の再生や数週間におよぶ検出器及び配管の真空引き、またさらにガス循環によるアウトガスの低減を行った。効果を定量的に評価できていないが、実際の観測データをみると XENON1T に比べ 1/6 ほど他のバックグラウンド含めてを下げることに成功し、2020 年の超過事象はトリチウム由来の可能性が高いと結論づけた。 <環境研におけるトリチウム定量評価 柿内> 神岡およびイタリア・グランサッソ研究所で採取したすべてのサンプルの分析を終了した。サンプルは、環境研にて濃縮を行い、液体シンチレーションカウンターを用いてトリチウム含有量の定量評価を行った。昨年度に続き最終サンプルであるグランサッソでの水サンプル中を測定し、HTO $0.63 \pm 0.11 \text{Bq/L}$ 結果が得られ日本での値とほぼ同じことが確認できた。HT の比放射能は HTO の比放射能よりも約 105 倍高いことが日本と同様イタリアでも初めて測定された。

2. 論文

“The XENONnT Dark Matter Experiment”, arXiv:2402.10446 Eur.Phys.J.C に投稿中
(共著者 : Kobayashi Masatoshi, Masaki Yamashita)

大気中のトリチウム濃度測定とその化学形態別評価

氏名：田中 将裕
受入研究者：柿内 秀樹

1. 成果

大気中のトリチウム濃度測定とその化学形態別評価 氏名: 田中将裕 受入研究者: 柿内秀樹 1. 成果: 目的: トリチウムは、宇宙線生成核種として環境中にさまざまな化学形態で存在する。一方、人為起源として原子力施設などから環境へ放出されている。環境中のトリチウム挙動として、雨水や河川水、海洋、水蒸気など水状トリチウムを対象とした研究が広く行われている。一方で、大気中のトリチウムは、水蒸気状(HTO)、分子状(HT)、炭化水素状(主に CH₃T)で存在していることが知られている。これらを化学形態別に弁別測定した研究例は少なく、生成起源など未解明な点がある。例えば、化学形態別の観測結果では、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)や炭化水素(CH₄)に着目し、大気中トリチウム濃度との相関から HT や CH₃T の生成起源解明を試みる。方法: 大気中トリチウム濃度の観測は、研究代表者が開発した化学形態別トリチウム捕集装置を用いた。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て化学形態を弁別した。捕集期間を 1 月とし、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。装置の詳細は参考文献[1]を参照のこと。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)を組み合わせ、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。結果: 昨年度に整備した大気微量成分測定システム(水素、メタン、一酸化炭素を対象)を本年度も継続して運用し、観測データの蓄積を進めた。また、大気微量成分の測定と並行して、1 月もしくは半月毎の平均値として化学形態別大気中トリチウム濃度の測定を行った。観測した 2022 年 6 月から 2023 年 12 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 との間には明確な相関が確認されなかった(相関係数: 0.04)。このことは、HT の生成過程は H₂ の生成過程とは異なり、他に供給源が存在することを示唆している。また、CH₃T と CH₄ の相関では、弱い相関が確認された(相関係数: 0.43)。現状では、大気微量成分の観測データ

タと比較可能な大気中トリチウム濃度データ数が少ないこともあり、今後も継続した観測データの収集を進め、来年度の観測データを加えてさらなる考察を行う予定である。 [参考文献] [1] T. Uda et al., Fusion Eng. Des., 81 (2006) 1385-1390.

2. 論文

Masahiro Tanaka, Chie Iwata, Miki Nakada, Saori Kurita and Naofumi Akata,
“Chromatographic analysis of molecular hydrogen (H_2) in the atmosphere for
understanding atmospheric tritiated hydrogen (HT)”

環境試料中トリチウムの相互比較分析に関する検討

氏名：橋本 晃佑
受入研究者：柿内 秀樹
共同研究者：前川 曜洋

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たことから、トリチウムをはじめとした海水の放射能に関する社会的な関心が高まっている。このことから、必要なモニタリングの確実な実施はもとより、分析の信頼性確保がより一層重要なとなる。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によって、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ている。昨年度、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。今年度は、環境試料中の濃度レベルが低いために検出が難しく、前処理法が煩雑と言われている有機結合型トリチウム(以下、「OBT」という)について、魚試料を対象に分析を行うこととした。なお、福島県環境創造センターでは、OBT分析に関する知見が乏しいため、まずは分析精度・分析技術の向上を目的として、環境科学技術研究所の助言・技術指導のもと、トリチウムで標識した魚試料の分析を行った。まず、魚試料(ヒラメ)を凍結乾燥・粉碎処理し、複数のLotに分割の上、それぞれにトリチウム水(トリチウム濃度 $109.1 \pm 1.5 \text{ Bq/L}$)を添加した。この操作により、魚試料中の硫黄、窒素、酸素等に結合する水素が、ある程度の割合でトリチウムに交換する(以下、この操作を「トリチウム標識」という)。トリチウム標識した試料を乾燥させ、標識に使用したトリチウム水(以下、「標識後トリチウム水」という)を回収するとともに、乾燥させた魚試料を二連式管状型電気炉により石英管内で燃焼させ、燃焼水を回収した。回収した燃焼水に過酸化ナトリウムを加え、別発表(E-23-17)の手法(以下、「簡易蒸留」という)を二度繰り返すことにより精製し、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。一方、回収した標識後トリチウム水は、過マンガン酸カリウムを加えた後、7時間の還流と簡易蒸留により精製し、同様にトリチウム濃度を測定した。分析結果について、Lot①は燃焼水 $20.3 \pm 2.3 \text{ Bq/L}$ 、標識後トリチウム水 $86.9 \pm 3.9 \text{ Bq/L}$ 、Lot②は燃焼水 $17.8 \pm 3.5 \text{ Bq/L}$ 、標識後トリチウム水 $86.9 \pm 3.9 \text{ Bq/L}$ である。

ウム水 85.2 ± 3.4 Bq/L、Lot③は燃焼水 16.8 ± 2.7 Bq/L、標識後トリチウム水 81.4 ± 3.4 Bq/L であった。また、各 Lot について、添加したトリチウム水、回収した燃焼水及び標識後トリチウム水の量とそれぞれのトリチウム濃度から、各試料のトリチウム量を算出すると、Lot①はトリチウム水 0.65 ± 0.01 Bq、燃焼水 0.07 ± 0.01 Bq、標識後トリチウム水 0.52 ± 0.02 Bq、Lot②はトリチウム水 0.66 ± 0.01 Bq、燃焼水 0.06 ± 0.01 Bq、標識後トリチウム水 0.51 ± 0.02 Bq、Lot③はトリチウム水 0.66 ± 0.01 Bq、燃焼水 0.07 ± 0.01 Bq、標識後トリチウム水 0.49 ± 0.02 Bq となり、その収支を評価すると、一連の操作を通して概ね 84 %～90 %程度のトリチウムを回収した結果となることから、本分析結果が妥当なものであることを確認した。 本結果を踏まえ、次年度以降、両機関による相互比較分析等につなげていく予定である。

論文

トリチウム分析前処理における試料水精製工程の効率化に関する研究

氏名：玉利 俊哉

受入研究者：柿内 秀樹・今井 祥子・赤田 尚史

共同研究者：島 長義・山中 潤二・桑田 遙

1. 成果

【目的】 トリチウム分析の前処理は煩雑である。有機物試料の場合、組織自由水型トリチウム（TFWT）、組織結合型トリチウム（OBT）の形態を分析対象とするが、それぞれ真空凍結乾燥、燃焼法により得られた試料水（自由水、OBT燃焼水）を精製処理する必要がある。これらの試料水には有機物が多く含まれ、還流分解による精製処理には人手、時間を要する。本工程の省力化、迅速化のため、溶存有機物中のC-14前処理等で実績のある紫外線（UV）照射法の導入可否を検討したとともに、酸化剤添加一密閉加熱放置する方法を検討した。 【実験】 2022年度成果（ERAN F-22-76）にて得られたUV照射条件（試料水10mLにH₂O₂を0.1mL添加後、UV照射60分）が、高DOC濃度かつ低pHであるOBT燃焼水に適用可能であるかを確認するため、魚試料のOBT燃焼水とそれを中和処理した試料水（中和済みOBT燃焼水）について、上記の条件で処理を行い、DOC、pH、UVスペクトルを測定した。UV照射装置はMetrohm 705 UV Digester（出力500W）を用いた。また、中和済みOBT燃焼水50mLについて、一般的な還流装置を用いた方法と、密閉容器内で酸化剤（MnO₄）を添加し加熱放置する方法について、それぞれ異なる加熱時間で有機物分解を行い、DOC、pH、UVスペクトルを測定した。 【結果】 魚試料のOBT燃焼水と中和済みOBT燃焼水のDOC濃度は正確に測定することができなかった。理由は定かではないが、マトリックスの影響もしくは中和操作にてNa₂O₂を使用したことにより多量のNaが含まれていたことが影響したと考える。UV照射後の試料水のUVスペクトルを測定したところ、OBT燃焼水と中和済みOBT燃焼水のどちらも照射時間を3時間としても有機物分解は不十分であった。UV照射法は松葉自由水の有機物分解には適用可能だが、魚OBT燃焼水には適用できないことが分かった。一般的な還流方法と酸化剤添加一密閉加熱放置する方法でそれぞれ有機物分解を行った試料水のUVスペクトルを測定したところ、それぞれ8時間と24時間の加熱時間で有機物分解は十分であった。ただし、OBT燃焼水に含まれる有機物量は燃焼操作毎に異なるため、一般的な還流方法では8時間でも有機物分解が不十分な場合がある。酸化剤添加一密閉加熱放置する方法は還流装置のマシンタイム削減になり、手間も少ないため有用である。

論文

生体への水素同位体取り込みの同位体効果の検証

氏名：鳥養 祐二
受入研究者：柿内 秀樹・石川 義朗
共同研究者：細根 孟留・南場 大輝

1. 成果

重水素とトリチウムを含む海水中で魚と貝を育成し、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。海生生物の自由水に含まれるトリチウム濃度の測定では、既往の凍結乾燥法を用いた場合、1つに試料の測定に1ヶ月以上の測定時間が必要である。そのため、多数の試料測定が必用な研究は行うことができない。そこで、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。マイクロ波加熱法は、魚の可食部を蓋部分に穴の空いたレンジ対応容器に入れ、容器ごとチャック付きポリ袋に入れ、レンジ出力100Wで10分程度加熱を行った。放冷後、チャック付きポリ袋内に凝縮した水を回収し、液体シンチレーション法によりトリチウムを測定した。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。魚はヒラメを、貝類はホッキ貝とホタテ貝を用いた。重水及びトリチウムを含んだ海水で飼育したヒラメ、ホッキ貝、ホタテ貝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、ホッキ貝及びホタテ貝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。

2. 論文

根圧効果による土壤の放射性セシウム動態への影響解析

氏名：渡部 敏裕
受入研究者：海野 佑介・武田 晃
共同研究者：水野 亜紗美

1. 成果

土壤中のセシウム (Cs) 動態に影響を与える要因の一つに、雲母などの粘土鉱物が挙げられる。雲母は通常では閉じた層間（収縮層）にカリウム (K) を多く固定しているが、風化によって層間から徐々に K が放出されると層間が開き、膨潤層が形成される。この膨潤層と収縮層の間にできる Frayed Edge Site (FES) に Cs が選択的に強く固定され、植物への吸収は抑制される。一方、Cs は FES 以外では鉱物表面や膨潤層などの Regular Exchange Site (RES) にも吸着し、これらは他の陽イオンと交換されやすい。先行研究で植物根近傍の雲母の風化が促進され、層間から K が放出されることが示されており、Cs についても同様の現象が起こることが予想される。そこで本研究では、植物が粘土鉱物中の Cs に与える影響について調べるために Cs 吸収能の高いシロバナルーピンの根と粘土鉱物の接触試験を行った。金雲母に対して K 処理を行い、カルシウム/マグネシウム態に変換した後、Cs を添加し Cs 含有風化鉱物を調整した。これをナイロンメッシュバッグに入れ、根箱栽培した根に 3 日間接触させた。XRD の結果から、根の接触による鉱物の層構造への影響はなかったことが示唆された。酢酸アンモニウム抽出で測定した鉱物の交換態 K は根の接触の有無で違いはなかったが、交換態 Cs は根の接触により有意に減少した。また、非交換態 K および Cs は根の接触の有無で差がなかった。以上のことから、シロバナルーピンの根は鉱物の層構造を変化させないが、鉱物において酢酸アンモニウムにより抽出される形態の Cs の放出を促進している可能性が示唆された。今後は、鉱物中の Cs のより詳細な形態別の動態に与える根の影響を調べ、鉱物と植物根の関係について理解を深める必要がある。

2. 論文

海藻類から排出される有機物の挙動に関する検討

氏名：桐原 慎二

受入研究者：石川 義朗

共同研究者：田中 義幸

1. 成果

海藻は、海水中から炭素、窒素、水素を取り込み有機物として固定すると同時に、藻体の分解や代謝を通じて海水中にそれらを排出する。本研究では、マコンブ *Saccharina japonica* によるカーボンニュートラルの貢献を検討するため、マコンブ胞子体（以下、藻体）が生産する有機物中の炭素分解過程を調べた。さらに、大型再処理施設の本格稼働に伴い六ヶ所沖に放出が見込まれるトリチウムのマコンブ藻体内への移行を評価するため、重水素を用いたばく露実験に取り組んだ。

(1) 嫌気条件下での藻体外排出有機物の分解速度の検討 2023年6月にむつ小川原港で養殖した藻体を15°Cに保った35Lの海水に1週間浸漬後にGF-75で濾過し、好気性分解実験では144本の遠心管（容量50mL）に40mLずつ分注し、嫌気性分解実験では二酸化炭素を曝気した後に144本の遠心分離管に空気を含まないよう充填し、試料とした。各試料を1,5,10,15,20°Cの恒温槽に36本ずつ移し、培養7, 13, 28, 53, 75, 144, 201日目に各温度段階の試料を6本ずつ取り出し、海水中の全有機炭素（TOC）とATPの含有量を測定した。この結果、藻体から放出されたTOCの分解過程には、好気及び嫌気条件で差異が認められた。好気条件下ではTOCは培養28日目までに比較的急減したのち大きな変化が見られなくなり、実験終了時に2.19-2.54mg/Lの範囲にあって、低温ほど減少が緩やかであった。ATPは実験開始直後に急増したが、13日目には20pmol/L前後の値を示した。一方、嫌気条件下では、TOCは低温ほど減少が緩やかで、実験終了時に2.95-3.41mg/Lの範囲にあって好気条件下に比べ高い値を示した。また、ATPは培養144日目まで緩やかに増加した。本結果から、藻体が排出する有機物を低温で溶存酸素量が低い深海のような環境に輸送することで、より長期間、海洋中に炭素を貯蔵できるようになると推察された。

(2) 藻体の重水素ばく露実験 むつ小川原港内で養殖した藻体を27個体採取し、葉長約3cmに調整後に重水添加海水(2000 μ molD/molH)の水槽中で35日間培養した。この間に3-8日間ごとに計7回、3個体ずつ藻体を採取し、藻体中の非交換型有機結合重水素(NxOBD)を測定した。この結果、藻体中のNxOBD濃度は、実験開始時の152-154 μ molD/molHから培養14日目には774-804 μ molD/molHに增加了。その後、増加速度が緩やかになり、実験終了時に843-980 μ molD/molHの範囲を示した。濃度曲線は、次式に適合し、Cmaxが823molD/molHと計算された。

$$\text{NxOBD } (\mu \text{ molD/molH}) = 823 * (1 - \exp(-0.0743 * t)) + 153$$

t: 培養日数 本結果から、藻体によるトリチウム固定の挙動について新たな知見が得ることができた。

2. 論文

低線量・低線量率放射線による消化管腫瘍の発がんリスク評価

氏名：柳原 啓見

受入研究者：山内 一己

共同研究者：森岡 孝満・今岡 達彦・鈴木 健之

1. 成果

原爆被爆者や医療放射線に被ばくした集団の疫学調査から、放射線を被ばくした量に比例してがんのリスクが上昇することが示されている。しかしながら、低線量や低線量率の被ばくにおいては、がんの発生率が低いために正確な発がんのリスクは解明されていない。そこで、本共同研究では、消化管腫瘍を発症する放射線発がん高感受性モデルマウス（ApcMin/+マウス、ヒト家族性大腸腺腫症のモデル）を用い、異なる線量や線量率で得られた消化管腫瘍を解析し、低線量・低線量率被ばくの発がんリスクを評価することを目的とした。前年度に引き続き、量子科学技術研究開発機構放射線医学研究所と公益財団法人環境科学技術研究所の両研究所で得られたデータを共有することで、統一的なリスク評価モデルを構築できるか否かを検討した。C3B6F1 ApcMin/+マウスと C57BL/6J ApcMin/+マウスを比較し、遺伝的背景の異なる 2 系統のデータを、どのように解釈し統合するかという課題がみえた。今年度は、腫瘍発生率、腫瘍数、腫瘍径などのデータを検討した結果、C3B6F1 ApcMin/+マウスでは小腸腫瘍、C57BL/6J ApcMin/+マウスでは小腸腫瘍および大腸腫瘍のデータを使用したリスク評価システムを構築できることが期待された。本研究の成果は、低線量・低線量率の被ばくによるがんリスクの予測につながり、動物実験データのヒトリスク評価への外挿の信頼性を向上させるための基礎情報となることが期待される。

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

氏名：石川 敦子

受入研究者：田中 聰・中平 嶺

共同研究者：森岡 孝満・今岡 達彦・山田 裕・KIN Yoshika

1. 成果

量子科学技術研究開発機構放射線医学研究所（量研放医研）および環境科学技術研究所（環境研）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、量研放医研と環境研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）のデータベース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デジタル化を行う際のフォーマットについて検討を行った。さらに、データベースの環境整備を行い、外部公開にむけた準備を開始した。これまでに蓄積してきた実験動物データをデータベース検索や出力機能を備えたアプリケーションへ実装し、組織標本を共通化したフォーマットで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、放射線リスク評価に資する新たな知見が得られ可能性が期待できる。【参考文献】 R. Semba, T. Morioka, H. Yanagihara, K. Suzuki, H. Tachibana, T. Hamoya, Y. Horimoto, T. Imaoka, M. Saito, S. Kakinuma, M. Arai. Azithromycin induces read-through of the nonsense Apc allele and prevents intestinal tumorigenesis in C3B6F1 Apc(Min/+) mice. Biomed Pharmacother. 2023 Aug;164:114968. S. Yi, T. Morioka, K. Daino, T. Nakayama, M. Nishimura, S. Kakinuma. Ionizing radiation promotes, whereas calorie restriction suppresses, NASH and hepatocellular carcinoma in mice. Int J Cancer. 2023 Oct 15;153(8):1529-1542. H. Yanagihara, T. Morioka, S. Yamazaki, Y. Yamada, H. Tachibana, K. Daino, C. Tsuruoka, Y. Amasaki, M. Kaminishi, T. Imaoka, S. Kakinuma. Interstitial deletion of the Apc locus in β -catenin-overexpressing cells is a signature of radiation-induced intestinal tumors in C3B6F1 ApcMin/+ mice. J Radiat Res. 2023 May 25;64(3):622-631.

2. 論文 なし

放射能環境動態・影響評価
ネットワーク共同研究拠点（ERAN）

FY2023 Final Report

【若手/Young 共同研究】

若手共同研究

採択番号	申請者	所属	課題名	共同研究者	受入研究者	受入機関
Y-23-01	亀山 敏顕	東京大学大学院	森林伐採が水文過程に及ぼす影響のモデル評価：唐沢山流域試験地における水文・同位体データを用いて		恩田 裕一	CRiES
Y-23-02	FENG Bin	TU Wien	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
Y-23-03	榎原 厚一	信州大学	森林源流域における放射性ラドンをトレーサーとして用いた地下水流出・涵養域マッピング	廣田 昌大 平松 翼	恩田 裕一 辻村 真貴	CRiES CRiES
Y-23-04	徳永 紘平	日本原子力研究開発機構	シデライトの化学状態の変化に伴う環境中での放射性核種の移行・濃集挙動の解明		山崎 信哉	CRiES
Y-23-05	MAAMOUN Ibrahim	Japan Atomic Energy Agency	Effect of yeast-based magnetic nanocomposites on trace elements levels in water at old uranium mill tailings site	田中 万也	山崎 信哉	CRiES
Y-23-06	MUNDO Jose Rodrigo	Kanazawa University	129I・228Ra・234Th/238Uをトレーサーとしたオホーツク海南部域の海流と水塊構造解析	松中 哲也 坂口 綾 松村 万寿美	笹 公和	CRiES
Y-23-07	三浦 輝	電力中央研究所	加速器質量分析法を用いた放射性ヨウ素の海洋動態解明	松中 哲也 坂口 綾 松村 万寿美	笹 公和	CRiES
Y-23-08	猪俣 綾女	福島県内水面水産試験場	太田川水系におけるダム湖及び河川における魚類への放射性セシウムの移行経路の解明	島村 信也 山田 学 真壁 昇平	和田 敏裕	IER
Y-23-09	瓜生 純也	福島県水産資源研究所	福島県松川浦における水生生物の放射性セシウム濃度と食物源の関係		和田 敏裕	IER
Y-23-10	渡部 翔	福島県水産海洋研究センター	松川浦における環境水中の放射性セシウム動態に関する研究	榎本 昌宏	和田 敏裕 高田 兵衛	IER IER
Y-23-11	CAI Yu	The University of Tokyo	日本周辺における ²¹⁰ Pbの空間分布と季節変化の解明	黄倉雅広 HASAN Md Mahamudul JIN Qianhao	平尾 茂一	IER
Y-23-12	JIN Qianhao	Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo	Study on Influence Factors on Radon Exhalation rate from soil - the improvement of accumulation chamber technique and back diffusion effects	迫田 晃弘 飯本 武志	山口 克彦	IER
Y-23-13	湯本 景将	筑波大学大学院	阿武隈高地に生息するセミ類ヒグラシ族2種の遺伝構造	津田 吉晃	兼子 伸吾	IER
Y-23-14	小池 弘美	東京大学	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	飯本 武志 顧 昌庭 橋間 俊 李 翁庭	床次 真司	IREM
Y-23-15	MBARNDOUKA Jacob	Institute of Geological and Mining Research	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	Saïdou OUMAR BOBBO Modibo	床次 真司 細田 正洋	IREM IREM
Y-23-16	BACHIROU Soumayah	Centre for Atomic Molecular Physics and Quantum Optics	Environmental radiation exposure in the Fukushima Prefecture and in a radon prone area of the Adamawa region in Cameroon	Saïdou DANIEL Bongue SAMUEL Guillaume Bineng ISSA Hamadou	床次 真司 細田 正洋	IREM IREM
Y-23-17	OUMAR BOBBO Modibo	Institute of Geological and Mining Research	Establishing the first radon and thoron detectors calibration system in Africa: Second step	Saïdou	床次 真司 細田 正洋 大森 康孝 Kranrod Chutima	IREM IREM IREM IREM
Y-23-18	HEBSIA GOURDA Eric	University of Yaoundé I	Determination of seasonal correction factors for radon and thoron concentrations in the different climatic zones of Cameroon	OUMAR BOBBO Modibo	床次 真司 細田 正洋 Kranrod Chutima	IREM IREM IREM
Y-23-19	HU Jun	National Institutes for Quantum Science and Technology	Alpha particle spectroscopy using Fluorescent Nuclear Track Detectors and confocal laser scanning microscopy		床次 真司 Kranrod Chutima	IREM IREM

採択番号	申請者	所属	課題名	共同研究者	受入研究者	受入機関
Y-23-20	FAYETTE Sime Kitcha	Faculty of sciences in University of Yaounde 1	Study of environmental radioactivity in Fukushima prefecture, JAPAN and in a rare-earth element bearing area of Akonolinga, CAMEROON.	YVETTE FLORE Siaka Tchuente JOSEPH EMMANUEL Nkoulou li Ndjana SERGE DIDIER Soh Takoukam	床次 真司 Kranrod Chutima	IREM IREM
Y-23-21	TRAN Thanh Mai	Dalat Nuclear Research Institute	Establishment of on-site culture system to evaluate cytogenetic effect on human and wild mice in Fukushima		三浦 富智	IREM
Y-23-22	HEGEDÜS Miklós	University of Pannonia	Tritium concentration in natural water samples using ultra low-level tritium counting system	TIBOR Kovács SUDOWE Ralf	赤田 尚史 Anderson Donovan	IREM
Y-23-23	大塚 進平	富山大学大学院	海底谷への粒子輸送と水塊構造の関係：富山湾を例として	張 劲 片境 紗希 北澤 唯佳 OKTAVIANI Ade S KHATUN Mst. Tania	田副 博文	IREM
Y-23-24	JOKAM NENKAM Therese Line Laure	University of Toyama	Distribution of radioactive materials in freshwater and transport dynamic from land to the coastal ocean	張 劲 片境 紗希 北澤 唯佳 OKTAVIANI Ade S KHATUN Mst. Tania	田副 博文	IREM
Y-23-25	HASAN Md Mahamudul	The University of Tokyo	Development of effective countermeasures for radon exposures: usage of the air cleaner and room air conditioning as tools for sustainable mitigation of human effective dose	飯本 武志	大森 康孝	IREM
Y-23-26	玉熊 佑紀	長崎大学	モンテカルロシミュレーションを用いた連続捕集型大気モニタの測定ジオメトリの最適化	橋本 啓来	大森 康孝 細田 正洋 山田 棋平	IREM IREM IREM
Y-23-27	西野 圭佑	一般財団法人 電力中央研究所	沿岸海底からの懸濁粒子の分布が凝集を通じて背景乱流へ応答する物理過程の解明	吉川 裕 津旨 大輔 三浦 輝	中西 貴宏 舟木 泰智	JAEA JAEA
Y-23-28	植村 逸平	北海道科学大学大学院	低線量放射線環境における生体防御機構への影響評価	中田 章史	山内 一己	IES

森林伐採が水文過程に及ぼす影響のモデル評価：

唐沢山流域試験地における水文・同位体データを用いて

氏名：亀山 敏顯

受入研究者：恩田 裕一

1. 成果

森林環境での放射性物質動態の現状把握・将来予測には、物質移動を駆動する現象の一つである水移動・貯留の再現と予測が重要である。その達成には、観測・実験を通した現象理解に加え、時空間的に拡張した場で様々な条件に対し現象を再現できる水循環モデルによる評価が必要である。しかし従来のモデルでは、水分環境の時空間分布の低い再現精度やパラメータ探索に頼ったモデル運用のため実際の流域特性やその変化を反映した評価が行えてこなかった。そこで本研究では、パラメータ探索を行わずその場所の流域特性を入力に水循環を再現可能なモデルを開発し、実地への適用・検証と数値実験により流域特性とその変化が水循環に及ぼす影響の機構論的解明を目的とした。開発モデルの基はこれまでの ERAN 等を通して申請者が開発した分布型の水循環物理モデル BLock Aggregation of Darcy's law Elements model (BLADE) である。本年度は BLADE を実測データのある山地森林流域（神奈川県大洞沢流域、49 ha）に適用し、観測された水文データを基に検証した結果、パラメータ探索することなく流域の水分環境の時空間分布を高精度に再現することに成功した。さらに、土壤と基岩を明示的に扱う BLADE の特性を活かし、基岩を考慮する場合と考慮しない場合のそれぞれに対しマルコフ連鎖モンテカルロ法（1000 サンプル）とベイズ推論を行うことで、流出の再現精度やパラメータ推定およびそれらの不確実性に対し基岩の考慮がどのような差を生むか調べた。大洞沢流域に適用した結果、基岩を考慮する場合の方が特に低流量時の再現精度が高く、基岩を考慮しない場合は土壤の保水性・透水性を適切に推定できないことが明らかになった。また、推定された基岩地下水位の時空間分布は地表面から推定されるものとは異なり、基岩地下水は異なる集水構造を持つことが示唆された。

2. 論文

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

氏名：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

/

森林源流域における放射性ラドンをトレーサーとして用いた

地下水流出・涵養域マッピング

氏名：榎原 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

洪水を緩和し、水資源を貯留する役割を持つ山地においては、地下水の涵養や流出過程の解明が重要である。山地渓流周辺における地下水と地表水の相互作用の多くは、河床近傍である hyporheic zone（河床間隙水域）の中で起こっていることが知られている。その中でも、急峻な斜面や間隙の多さなどによって透水性が高いという特徴を持つ山地源流域では、岩盤地下水が流出に寄与していると予想される。しかしながら、hyporheic zone と地表水の相互作用の研究で用いられてきたような主要溶存イオンなどのトレーサーでは岩盤地下水の流出を明確に示すことができないことが現状である。放射線同位体であるラドン(Rn-222)は、岩盤中のラジウム(Ra-226)の放射性崩壊によって地下水に供給され、半減期が 3.8 日と短いため、地表水との濃度差が大きい。そのため、地下水と地表水の相互作用を調査するトレーサーとして非常に有効である。そこで、本研究では、放射性同位体 Rn-222 をトレーサーとして用いることで、山地源流域における地下水中 Rn-222 濃度の特徴・要因を示し、地下水と地表水の相互作用を明らかにすることを目的とした。研究対象地は福島県世戸八山集水域である。この地域は森林で覆われており、基岩は花崗岩である。地下水・渓流水を採取し、Rn-222 濃度、酸素・水素安定同位体比、主要溶存イオン濃度を分析した。地下水において、水質や酸素・水素安定同位体比では深度や調査日による値の違いはほとんど見られなかつたが、地下水中 Rn-222 濃度は、花崗岩の風化・破碎が激しい上部ほど低い値を示した。石田(2007)では、風化残留核とマサに含まれる Bi-214 の放射線計数率を比較した結果、風化によって U-238 の溶脱が進むことを示した。このことから、岩石が風化・破碎されて透水係数が高いことで岩石からの元素溶出が深部より多いと考えると、先行研究と整合性が取れるため、主な要因である可能性が高いと考えられた。岩盤地下水の渓流水への流出は、水質や酸素・水素安定同位体比では明確に区別できなかつた。Rn-222 濃度においては、高水期の渓流水では Rn-222 が検出されなかつた。水質や酸素・水素安定同位体比においては、高水期と低水期でほとんど変化が無かつたため、この結果は

降雨で起こった移流等による大気とのガス交換の活発化による影響だと考えられた。低水期では、多くの地点で Rn-222 が検出され、溪流水の流量と溪流水中 Rn-222 濃度が同様に増減している箇所が見られた。hyporheic zone 中の Rn-222 濃度は低いか無視できる程度である (Frei et al., 2019) ため、この結果から、岩盤地下水の溪流水への流出が示唆された。

2. 論文

シデライトの化学状態の変化に伴う環境中での放射性核種の移行・濃集挙動の解明

氏名：徳永 紘平
受入研究者：山崎 信哉

1. 成果

原子力機構人形峠環境技術センター（以下、人形峠センター）の鉱さいたい積場には、製錬で生じた鉱さいの他、坑水中の環境負荷元素を濃集した土壤堆積物が多量に存在する。これらの堆積物中の元素は現在の水質環境では安定に存在しているが、今後の人形峠センターの施設閉鎖に伴う水質環境の変化による二次的な溶出が懸念されている。つまり、溶存酸素濃度に応じて挙動が変化するヒ素(As)やウラン(U)は、現在の還元的な水質条件下では堆積物中に安定に存在するが、同様な積場閉鎖措置（脱水・覆土等）による酸化的環境への変化に伴い堆積物から溶出する可能性がある。このような背景から、講演者等はこれまで主に吸着・脱離実験や放射光 XAFS 解析を用いて、環境試料中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きた。人形峠センターで採取した堆積物に対する酸化・嫌気的な水質を模擬した条件での溶出実験では、堆積物中に多く含まれる鉄(Fe)の化学状態の変化が As や U の挙動に大きな影響を与えることが示された。これは人形峠センターの堆積物において、Fe はシデライト (FeIICO_3 (Sid.)、嫌気下で安定)、フェリハイドライト($\text{FeOOH}\cdot\text{nH}_2\text{O}$ (Fh.)、大気下で準安定)、ゲーサイト($\alpha\text{-FeIIIOOH}$ (Gt.)、大気下で安定)の 3 つの化学種で存在し、水中の酸素濃度の上昇に伴い堆積物中の Fe の化学種が 2 値から 3 値の鉱物相へと変化し、その際に As を強く吸着したのではないかということである。先行研究(Guo et al., 2013)より、Sid.から Gt.へと鉱物相が変化していく過程において As の吸着量が急増することが報告されている。しかし天然の環境にてこの現象を確認した研究は非常に少なく、またそのメカニズムは殆ど分かっていない。本研究では、人形峠センター内で採取した堆積物への As・U の吸着・脱着の化学反応を、溶存酸素濃度を変えて調べた。放射光を用いた μ -XAFS 解析により、堆積物に確認される Sid.・Gt.・Fh. の Fe 鉱物相に、As と U は異なる価数・結合状態で存在することが分かった。また溶出実験前後の試料の比較より、Fe の化学種は嫌気下では変わらない一方、大気下では酸化的な価数に変化することが確認された。加えて室内実験より、大気下で Sid.から Gt.へと変化するときの As の吸着量と結合状態の変化を調べたところ、Fe 鉱物相の変化により As の吸着構造も変化し、As の吸着量が上昇した。これらの結果は、人形峠センターにおいて深

部の還元的環境で生成した Sid.は大気下にて Gt.へと変化し、その際に生じる As 吸着量の増加が堆積物からの As 溶出を抑制することを示唆する。この天然の堆積環境における As の挙動を Sid.の化学反応から明らかにしたのは本研究が初めてであり、人形峠センターにおける放射性核種の環境汚染抑止技術の開発に資するだけでなく、その反応に潜む普遍的な物理化学原理の抽出が可能となり、放射性廃棄物処理や環境中での放射性核種の挙動の理解のための基礎情報となることが期待される。また人形峠センターで採取された表層堆積物では、U·As の化学種の深さ方向の狭い範囲(10-20 cm 間隔)での価数変化が確認されている。この天然の堆積物中にて、U が U(IV)と U(VI)の両方の価数で存在し、鉱物へ吸着している環境は非常に珍しく、環境中での価数に応じて挙動が変化する U 動態研究としても重要な役割を果たすことが期待される。

2. 論文

Tokunagaa, K., Takahashic, Y., & Kozaia, N. (2023). Arsenic and iron speciation and binding in the surface soils in Ningyo-toge mill tailings pond using X-ray absorption fine spectroscopy. Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences, 23, 14-19.

**Effect of yeast-based magnetic nanocomposites on trace elements levels
in water at old uranium mill tailings site**

氏名 : MAAMOUN Ibrahim

受入研究者 : 山崎 信哉

共同研究者 : 田中 万也

1. 成果

Ningyo-toge mine, located in Okayama Prefecture, was used for uranium mining, milling and refining for around 18-20 years, until it was closed in 1982. The site is disclosed as radiation area, originated from the mining residues discarded and left after closing the mine. Currently, the Ningyo-toge site is planned for cleanup and the prevention of any future environmental contamination. Applying water treatment technologies in the site (e.g., Ba sulfate co-precipitation, and natural attenuation by ferrihydrite) can contribute to lowering the levels of trace elements of main in water, including uranium (^{238}U) and arsenic (As). Meanwhile, yeast cells have been utilized as biosorbent for the removal of heavy metals, dyes, and organic compounds from wastewater, owing to its low-cost, easy production, and high sorption abilities. Correspondingly, magnetic nanomaterials (e.g., zero-valent iron (Fe0), bimetallic Fe0, and others) have shown remarkable performance in reducing ^{238}U and As concentrations from real Ningyo-toge water samples, with removal efficiency $> 90\%$ (ERAN-FY-22-03). Hence, in accordance with such research aspects, the main aim of this work is to investigate the effect of yeast-based magnetic nanocomposites on lowering the trace elements levels in real contaminated water from the old uranium mill tailings site. The yeast cell suspension was used for the synthesis of yeast-based magnetic nanocomposite via chemical reduction of iron precursors, considering two approaches (i.e., pre-synthesis (annotated YFe0-Pre) and post-synthesis (annotated as YFe0-Post)). Batch experiments were conducted using the synthesized nanocomposites for the simultaneous removal of ^{238}U and As from both synthetic water (initial concentration: 10 mg/L), and real mill tailing pond water (initial concentration: 20- ^{238}U ug/L and 7-As ug/L). A dose of 0.1 g/L yeast-based magnetic nanocomposites (YFe0-Pre and YFe0-Post) showed faster ^{238}U /As removal compared to that of bare Fe0, yielding full simultaneous removal of 10 mg/L initial ^{238}U /As concentration. FTIR

spectra of the freshly synthesized yeast-based magnetic nanocomposites showed an abundance of amide I/II groups in both YFe0-Pre and YFe0-Post, which could have contributed to better adsorption of $^{238}\text{U}/\text{As}$ species. Unlike YFe0-Pre, typical Fe0 crystalline peaks were not maintained in the amorphous YFe0-Post, resulting in better $^{238}\text{U}/\text{As}$ simultaneous removal efficiency, which was depicted by XRD patterns. Furthermore, the XRD of spent YFe0-Pre showed several peaks attributed to iron oxides and U/As-Fe complexes. In conclusion, the synthesized yeast-based magnetic nanocomposites showed enhanced performance in the simultaneous removal of $^{238}\text{U}/\text{As}$ within real mill tailings water samples.

2. 論文

129I・228Ra・234Th/238Uをトレーサーとしたオホーツク海南部域の

海流と水塊構造解析

氏名：MUNDO Jose Rodrigo

受入研究者：笛 公和

共同研究者：松中 哲也・坂口 紗・松村 万寿美

1. 成果

1. 結果 The southern Okhotsk Sea is an excellent fishing ground, producing 352 kton / year of scallops, crabs, salmon, etc. Fed by the Soya Warm current (SWC, high salinity) and the East Sakhalin Current (ESC, cold and low salinity), surface water of the southern Okhotsk can be grouped into Coastal and Offshore areas. Previously we found that 129I is carried southward by the ESC. Likewise, in the surface waters 129I (Offshore > Coastal) anti-correlates with salinity. The Cold Water Belt (CWB) is formed by the upwelling of cold subsurface seawater. Hence, the CWB exhibits high biological production (Mustapha and Saitoh, 2009). The formation mechanism of the CWB have been studied leaving 2 theories: 1. The upwelling due to resonance and 2. The elevation of thermocline through baroclinic-wave adjustment. However, both theories allocate the source of the CWB before and after Soya Strait (at the intermediate cold water, ICW), respectively. To elucidate the nutrients' cycle at the southern Okhotsk Sea, it is indispensable to clarify the formation mechanism of the CWB. After an identification of the different water masses based on their physical properties, we found that 1. The highest 129I/127I ratio was observed at OSW's subsurface ($1.33\text{--}1.53 \times 10^{-10}$), which is modified by Sea Ice melting. 2. Dense-SWC, as Japan Sea's winter-mixed water, has higher 129I/127I ratios than SWC, but lower than Okhotsk Sea surface water (offshore area). 3. It is likely that ICW do not have a high 129I/127I ratio. 4. The CWB had a low 129I/127I ratio ($< 1.10 \times 10^{-10}$), even lower than ICW's. From the difference in 129I/127I ratios of the endmembers, it can be concluded that the formation mechanism of the CWB would be the upwelling of Japan Sea's subsurface waters due to resonance. Such mechanism has been previously theorized as follows: when a stratified barotropic flow passes through the shallow (50 m depth) Soya Strait, internal Kelvin waves cause a nonlinear resonance with the seafloor, provoking a large boundary surface displacement

that causes the lower layer to rise (Mitsudera et al., 2011a) at the Cape Krillion (at the left respect to the passing flow), whereas the baroclinic adjustment generated after the strong upwelling causes a strong baroclinic jet in the surface layer along the SWC axis and a dome-like structure in the subsurface layer (Mitsudera et al., 2011b). A further re-analysis will be performed when chlorophyll-a and macronutrients data becomes available.

2. 論文

Mundo, R., Matsunaka, T., Nakanowatari, T., Taniuchi, Y., Inoue, M., Kasai, H., ... & Seiya, N. (2023). A review of the oceanographic structure and biological productivity in the southern Okhotsk Sea. *Progress in Oceanography*, 103194.

加速器質量分析法を用いた放射性ヨウ素の海洋動態解明

氏名：三浦 輝

受入研究者：笛 公和

共同研究者：松中 哲也・坂口 綾・松村 万寿美

1. 成果

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検出可能なレベルで放射性ヨウ素 (129I) が含まれると想定されている。本研究では、ALPS 処理水放出前後において海水、堆積物、海藻等に含まれる 129I 濃度を明らかにし、海洋放出の影響を評価することを目的とした。2023 年度は、処理水放出前後の海水を新青丸、漁船により採取した。金沢大学の実験施設を用いて、得られた海洋サンプルからヨウ素（安定ヨウ素 127I + 放射性ヨウ素 129I）の抽出実験を行った。また、筑波大学の AMS を用いて海洋サンプル中の 129I/127I、ICP-MS により 127I 濃度を測定した。処理水放出前の海水試料の分析が完了し、沖合では原発事故前の濃度レベル (10-8 Bq/L) まで下がっていたが、原発近傍 2 km 圏内では平均 1 衍程度濃度が高く、陸域・原発周辺からの流入が続いていることが示唆された。処理水放出中 (2023 年 10 月) に採取した海水の分析は 2024 年度に行う。また、本研究の次のステップとして、弊所所有の海洋拡散モデル・動的生物移行モデルにより 129I の移行・濃縮プロセスのシミュレーションを行い、より詳細な影響評価を行う。海洋拡散モデルに関しては、既にトリチウムを用いたシミュレーションを行っており、タンク内のトリチウム/129I 比を考慮することで、原発近傍における 129I 拡散シミュレーションが可能であると推測する。

2. 論文

太田川水系におけるダム湖及び河川における魚類への放射性セシウムの 移行経路の解明

氏名：猪俣 紗女
受入研究者：和田 敏裕
共同研究者：島村 信也・山田 学・真壁 昂平

1. 成果

太田川水系におけるダム湖及び河川における魚類への放射性セシウムの移行経路の解明 氏名：猪俣紗女 受入研究者：和田敏裕 共同研究者：島村信也、山田学、真壁昂平
福島第一原発の事故後、本県の一部の河川・湖沼では未だ食品衛生法における放射性 Cs の基準値 100Bq/kg-wet を超える魚種が確認されている。出荷制限の解除及び科学的な根拠に基づいた風評被害の払拭を進めるためには、内水面生態系内での ^{137}Cs の移行・蓄積状況を把握する必要がある。本研究では、ヤマメ・フナ類の ^{137}Cs 濃度と正の相関が確認されている湖水（舟木 2019）に着目し、湖水から魚類への ^{137}Cs の移行・蓄積状況を把握するため、県内 5 湖沼における ^{137}Cs の湖水半減期とウグイ生態学的半減期及び見かけの濃縮係数を比較した。2013～2022 年度に県内 5 湖沼で刺し網を用いてウグイを採捕するとともに湖水を採取した。調査期間は、秋元湖では 2014～2021 年度、桧原湖では 2013～2021 年度、真野ダムでは 2013～2016 年度、大柿ダムでは 2014～2022 年度、横川ダムでは 2017～2022 年度であった。採捕したウグイは全長、体長、体重及び筋肉部の ^{137}Cs 濃度を測定し、採取した湖水は溶存態の ^{137}Cs 濃度を測定した。全長 20cm 未満のウグイと湖水溶存態について、 ^{137}Cs 濃度の推移から関係を検討した。 ^{137}Cs 濃度の湖水半減期とウグイ生態学的半減期を算出し、それぞれの長さを湖沼内及び湖沼間で統計解析を行うことで比較した。さらに、年度ごとの見かけの濃縮係数を算出し、湖水の ^{137}Cs 濃度との関係を検討した。各湖沼の湖水溶存態とウグイの ^{137}Cs 濃度は時間の経過とともに低下していた。 ^{137}Cs 濃度の湖水半減期とウグイ生態学的半減期の長さを比較した結果、5 通り中、秋元湖、横川ダムの 2 通りで差が認められた（共分散分析、 $p < 0.05$ ）。湖沼間における湖水半減期とウグイ生態学的半減期は、湖水では秋元湖－真野ダム、大柿ダム、横川ダム、ウグイでは秋元湖－横川ダム、桧原湖－真野ダム、横川ダムで差が認められた（湖水とウグイそれぞれ 10 通り中 3 通り、共分散分析、 $p < 0.05$ ）。年ごとの見かけの濃縮係数（aCR）を求めた結果、最大値は 2022 年度の大柿ダムの 13,569、最小値は 2017 年度の桧原湖の 503 となった。

湖水半減期とウグイ生態学的半減期、見かけの濃縮係数（aCR）は湖沼によって異なることが示され、湖水からウグイへの ^{137}Cs の移行・蓄積状況は湖沼ごとに検討することが必要であると考えられた。今後は、 ^{137}Cs 濃度にばらつきがみられる全長 20cm 以上の個体についても考慮する必要がある。また、ウグイへの ^{137}Cs の移行は湖水以外も影響していることから、餌生物等のその他の要因についても検討していく。

2. 論文 なし

福島県松川浦における水生生物の放射性セシウム濃度と食物源の関係

氏名：瓜生 純也
受入研究者：和田 敏裕

1. 成果

福島県松川浦における魚類及び餌料生物の放射性セシウム濃度 氏名：瓜生 純也 受入研究者：和田 敏裕 福島県北部に位置する閉鎖性潟湖である松川浦は、環境中（海水、海底土）の放射性セシウム（セシウム 137、以下、 ^{137}Cs ）濃度が隣接する福島県外海域（以下、外海域）と比較して高い傾向にある。また、スズキ *Lateolabrax japonicus* の ^{137}Cs 濃度は食品の基準値よりも非常に低い濃度ではあるが、外海域よりも松川浦でわずかに高い傾向がある（松川浦 1.70Bq/kg-wet、外海域 0.98Bq/kg-wet）。この差が生じる要因について食性の面から検討するため、松川浦と外海域でのスズキ及びそれぞれの海域の餌料生物を対象に調査を行った。2019 年～2023 年にかけて、外海域と松川浦においてスズキ及び餌料生物を採捕し、 ^{137}Cs 濃度の測定及び炭素・窒素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ 及び $\delta^{15}\text{N}$ ）の分析を行った。スズキについては、全長、体長、体重を測定し、胃内容物の観察を行った。スズキの胃内容物の出現率は、外海域では魚類が 79%（うちカタクチイワシ 34%、マイワシ 15%、その他魚類 30%）、松川浦では甲殻類が 77%（うちアミ類 45%、エビ類 19%、その他甲殻類 9%、カニ類 4%）であり、外海域と松川浦では胃内容物の組成が大きく異なっていた。松川浦における餌料生物の ^{137}Cs 濃度について今年度に新たに測定した、エビ類のユビナガスジエビは 0.48Bq/kg-wet、カニ類のタカノケフサイソガニで 0.43～0.91Bq/kg-wet であった。松川浦のスズキについて、和田、棚脇前、岩子、大洲東の 4 地点に分けて ^{137}Cs 濃度を比較すると、和田は 0.6～2.68Bq/kg-wet、棚脇前は 0.52～11.7Bq/kg-wet、岩子は 0.78～3.51Bq/kg-wet、大洲東は 0.63～3.3Bq/kg-wet であり、松川浦には複数の河川が流入しているが地点別では差が確認できなかった。スズキが回遊しており差が見えないことも考えられるため、餌料生物を地点別で採捕し ^{137}Cs 濃度を比較することを検討している。CN 安定同位体比分析の結果、松川浦の餌料生物の $\delta^{15}\text{N}$ は 9.84‰で外海のスズキの餌料生物であるイワシ類（ $\delta^{15}\text{N}:9.04\text{‰}$ ）と近い値であり、 $\delta^{13}\text{C}$ は -14.45‰で松川浦のスズキ（ $\delta^{13}\text{C}:-15.50\text{‰}$ ）よりも高かった。このことから外海で成長したスズキ（ $\delta^{13}\text{C}:-17.08\text{‰}$ ）が松川浦に侵入し、松川浦の餌料生物（ $\delta^{13}\text{C}:-14.45\text{‰}$ ）を摂餌するため松川浦で採捕されるスズキ（ $\delta^{13}\text{C}:-15.50\text{‰}$ ）の $\delta^{13}\text{C}$ が外海よりも高くなることが示唆された。また、 $\delta^{13}\text{C}$ と ^{137}Cs 濃度に正の相関があることから、外海域より松川浦で採捕されるスズキの ^{137}Cs 濃度が高いのは、食性の違いによるものだと示唆された。

2. 論文

松川浦における環境水中の放射性セシウム動態に関する研究

氏名：渡部 翔
受入研究者：和田 敏裕・高田 兵衛
共同研究者：榎本 昌宏

1. 成果

陸域に沈着した ^{137}Cs の一部は河川を経由して汽水域及び沿岸域へと流入するが、その詳細な動態には不明な部分がある。既往研究では河口域の環境水のうち表面マイクロ層 (SML (Sea surface microlayer)、水表面から 1mm までの層) 及び同地点の直下水 (水深約 0.5m) に含まれる ^{137}Cs 濃度は、溶存態及び懸濁態のいずれも SML が直下水より高いことが報告されている (e.g. Calmet and Fernandez 1990)。本研究では、環境水中の ^{137}Cs 動態を明らかにするため、2022 年 10 月 14 日 (調査 1) 及び 2023 年 10 月 11 日 (調査 2) に松川浦の人工島桟橋 1 地点において SML 及び直下水を採取し、溶存態及び懸濁態の ^{137}Cs 濃度を測定した。SML は採水器を用いて約 6 時間かけて採取し、直下水は SML 採取の前後に横型採水器を用いて採取した。環境水試料は $0.45 \mu\text{m}$ フィルターによりろ過し、フィルターを通過したものを溶存態、フィルター上に残留したものを懸濁態として分離した後、溶存態は AMP 濃縮法により処理し、それぞれ ^{137}Cs 濃度を測定した。また、同地点において調査後に堆積物を採取した。堆積物試料は吸引ろ過により脱水処理を行った後、 ^{137}Cs 濃度の測定を行い、同試料から算出した乾土率を用いて乾重量当たりの ^{137}Cs 濃度に換算した。SML の容積当たりの ^{137}Cs 濃度は直下水よりも溶存態 (SML: 11.3~11.6 mBq/L、直下水: 4.69~11.0 mBq/L) 及び懸濁態 (SML: 13.3~25.6 mBq/L、直下水: 1.91~5.40 mBq/L) ともに高い傾向が確認された。濃縮係数 (SML / 直下水) を算出して比較したところ、調査 1 の濃縮係数は調査 2 よりも溶存態 (調査 1: 2.05~2.48、調査 2: 1.03~2.11) 及び懸濁態 (調査 1: 8.09~13.4、調査 2: 2.46~4.12) ともに高い傾向が確認された。また、懸濁態の重量当たりの ^{137}Cs 濃度でも同様の傾向がみられ、SML では 513~882 Bq/kg、直下水では 423~588 Bq/kg、濃縮係数は調査 1 では 1.50、調査 2 では 1.15~1.21 であった。堆積物の ^{137}Cs 濃度は 18.3~22.5 Bq/kg であり、懸濁態 (重量当たり) の ^{137}Cs 濃度より明らかに低い値であることが確認された。相馬検潮所における調査同日の 1 時間毎の潮位データと比較したところ、調査 1 と同日の潮位は 112cm、101cm、94cm、94cm、103cm、117cm、133cm と変動し、引き潮と満ち潮の影響を受けていると考えられ、調査 2 の同日の潮位は 47cm、53cm、67cm、85cm、104cm、120cm、129cm と

変動し、満ち潮の影響のみ受けていると考えられたことから、潮位による河川水や海水の流入が濃縮係数の調査間の差の要因の一つと考えられた。今後は、環境情報（水温、塩分等）と併せて解析するとともに、引き潮時、満ち潮時に分けた SML 採取を行うことで、潮位による影響の多寡等についても検証していく。

2. 論文

日本周辺における ^{210}Pb の空間分布と季節変化の解明

氏名 : CAI Yu

受入研究者 : 平尾 茂一

共同研究者 : 黄倉雅広 · HASAN Md Mahamudul · JIN Qianhao

1. 成果

In response to concerns regarding radiation exposure, particularly in regions like Japan where dietary habits significantly contribute to internal radiation exposure, recent research has focused on unraveling the dynamics of ^{210}Pb deposition. The Sea-of-Japan experiences notably high levels of ^{210}Pb deposition during winter. This has led us to conduct a study aimed at elucidating its deposition mechanism. To address this, a combined WRF-HIRAT model was utilized to simulate atmospheric dynamics and ^{210}Pb deposition across the Northern Hemisphere. The simulation spanned from 2012 to 2015, focusing on understanding ^{210}Pb residence time and deposition flux. The results of the research revealed significant insights into ^{210}Pb deposition patterns. The model successfully replicated observed deposition patterns across the Northern Hemisphere, particularly along the Sea-of-Japan coast. Analysis showed distinct variations in deposition patterns based on season and latitude, with winter monsoons significantly impacting deposition in Japan. Mechanisms behind high deposition in the Far East-Japan region were also elucidated, attributing it to the transport of ^{210}Pb from upwind continental areas. Overall, this research marks a significant advancement in understanding ^{210}Pb deposition dynamics. By mapping deposition distributions, analyzing seasonal and latitudinal variations, and uncovering deposition mechanisms, this study offers valuable insights into radiation exposure in Japan and informs strategies for mitigating internal radiation exposure risks in affected regions.

2. 論文

**Study on Influence Factors on Radon Exhalation rate from soil - the improvement of
accumulation chamber technique and back diffusion effects**

氏名 : JIN Qianhao
受入研究者 : 山口 克彦
共同研究者 : 追田 晃弘・飯本 武志

1. 成果

Study on Influence Factors on Radon Exhalation rate from soil - the improvement of accumulation chamber technique and back diffusion effects Qianhao JIN, Akihiro SAKODA, Takeshi IIMOTO Report In this research focusing on the potential environmental parameters influencing the measurement result of Radon exhalation rate using accumulation chamber technique, we have conducted the a long-term in-situ continuous measurement of Radon exhalation from outdoor soil surface in Ningyo-Toge, Okayama Prefecture, where nearby the closed Uranium mining site. By parallelly measuring the soil temperature and soil water contents of the soil surface in and out side of the accumulation chamber during the continuous measurement, it has been observed that these two considered parameters shows 1-2 hours lag inside the accumulation chamber comparing with the outside environment. After precipitations, the water contents of soil inside of the chamber reduce slower and cannot recover to the same level of soil water contents of outside environment. As in past research, soil water contents is one of the important factors affecting Radon exhalation rate from soil surface, and showing inverse-correlation with each other, same as the result in this measurement presented. This illustrated that during a long-term continuous in-situ measurement of Radon exhalation rate from soil surface using accumulation chamber technique(ventilation type) without enough refreshment of covered soil conditions, after precipitation, the measured result cannot represent the Radon exhalation rate from soil in this area. We also compared the model corrected result through the temperature and water contents of soil in and out of the accumulation chamber according to past laboratory experiment with in-situ spot measurement of Radon exhalation rate on uncovered soil surface. The provided model shows a slight effect on decreasing the scattering of the fitting data of Radon exhalation rate, but shows a good result on fixing

the data of special situations of sudden increase of Radon exhalation rate in the beginning of precipitation. Based on the result, we noticed that the model according to the past laboratory experiment cannot correct the influenced data sufficiently. In the future research, the correlation between soil conditions and Radon exhalation rate will be continuously researched both in laboratory and in outdoor environment, to provide improvement strategy on Radon exhalation rate measurement.

2. 論文

阿武隈高地に生息するセミ類ヒグラシ族 2 種の遺伝構造

氏名：湯本 景将
受入研究者：兼子 伸吾
共同研究者：津田 吉晃

1. 成果

帰還困難区域を含む阿武隈高地周辺地域は、冷温帯樹種では本地域特有の遺伝構造が検出されるなど (e.g. Tsuda and Ide 2005)，隠れた生物多様性ホットスポットである可能性が高い。一方、これら地域では原発事故の影響により、セミ類をはじめ動物種の個体数が著しく低下したという報告はあるが (Møller et al. 2013)，その実態、とくに帰還困難区域の生物多様性（遺伝的多様性）は十分に評価されていない。そこで本研究では、セミ類 2 種エゾハルゼミおよびヒグラシを対象に、本地域における現在の遺伝構造を評価することを目的に、1) 分布調査およびサンプル採集、2) 集団遺伝学的解析、3) 福島県内・外他地域集団との比較を行った。 調査および採集許可を得たうえで、上記 2 種について抜け殻を利用した分布調査および成虫・抜け殻の採集を福島県内複数地点で実施した。採集したサンプルから DNA を抽出し、母性遺伝するミトコンドリア DNA について、COI (Folmer et al. 1994) および 16S (Simon et al. 1994) 領域の塩基配列解読を行い、遺伝データを取得した。そして、本研究代表者らで全国各地で別途調査・採集しているエゾハルゼミおよびヒグラシの 2 種の遺伝データと統合し、集団遺伝学的解析を行い、上記 2 種の遺伝的多様性や遺伝構造について評価した。 ミトコンドリア DNA に基づく遺伝構造について、まずエゾハルゼミでは、福島県内と福島県外他地域を比較した場合の遺伝的多様性は同程度であった。全国で 126 のハプロタイプが検出され、福島県内でみられたハプロタイプは、東北地域と同様のものが多かった。一方、ヒグラシでは、福島県内と福島県外他地域を比較した場合の遺伝的多様性は同程度で、全国で 25 ハプロタイプが検出された。南相馬の集団では、2021 年から 2023 年の 3 年間にわたり継続的にサンプル採集をしている地点であるが、2021 年および 2023 年に採集した個体から地域固有なハプロタイプが検出された。このことから、阿武隈高地周辺地域については、他の樹木や魚類での報告があるように、隠れた種内の生物多様性ホットスポットである可能性が示唆された。

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

氏名：小池 弘美
受入研究者：床次 真司
共同研究者：飯本 武志・顧 昌庭・橋間 俊・李 翰庭

1. 成果

温泉地の配管など流体が通過する管状資材の内部には、長期間の使用によって自然起源放射性物質が蓄積することがある。その結果、比放射能が意図せずに濃縮され、比較的に高くなる可能性がある。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、ある日突然に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。このような特徴と、物量や放射能が幅を持つ自然起源放射性物質の基本的な性状に鑑み、配管内に存在する堆積物に関して、測定・評価の目的に応じた放射能の合理的な測定方法を検討した。具体的には、文部科学省と原子力規制庁が発行する放射能測定法シリーズ[1]を基に NORM の放射能測定に適した手法・検出器を選定するために、①同位体分析が可能であり、②広く様々な核種に対応可能で、③特定の試料・核種に特化していない、という 3 つの条件を設定し、これらを満たす測定方法を抽出した。選定された測定手法において、NORM の放射能測定に特に大きな影響を与える測定条件・仮定を特定し、その程度を評価した。また、本研究のケーススタディとして、学校で使用されていたゴールポストから放射能が大きい配管内堆積物が発見された事例[2]を扱っている。Ge 半導体検出器による γ 線スペクトロメトリーにおけるジオメトリの影響では、原子力・放射線施設でのモニタリングにおける試料とは特徴が異なるため、ピーク効率曲線を算出する際に用いる標準線源と試料形状を揃えること、試料内部不均一の影響を取り除くことが困難な場合が存在した。補正のためにはシミュレーションが必要であるが、そのモデル構築のために必要な試料形状・状態の把握のために 2 つの方法の適用を検討した。1 つ目は CT を用いて精度高く形状等を把握する方法、2 つ目は形状等を一般化する方法である。特に 1 つ目をケーススタディに適用した結果、堆積物内の大きな亀裂の有無、大きさ・厚さの情報を得ることはできたが、金属によるビームハードニング+散乱線の影響で CT データを用いたモデルの作成は困難であった。今後は、配管によるスペクトルの硬質化の程度の評価や、本手法の適用可能事例の調査を実施していく。また、他の測定手法についても、値に影響の大きい要因の検証を継続し、各測定手法の特に着目すべき項目の明確化から、NORM の放射能測定体系の構築を進めていく。

2. 論文

日本の環境放射能と放射線 [Internet]. [cited 2023 Mar 9]. 放射能測定法シリーズ.
Available from: <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/library/series/> 2. 小池弘美, 甲斐倫明, 飯本武志. 金属配管廃材で検知された自然起源の放射性堆積物に関する放射線防護学的な論点と課題. 保健物理. 2022;57(3):140–5.

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

氏名 : MBARNDOUKA Jacob

受入研究者 : 床次 真司・細田 正洋

共同研究者 : Saïdou・OUMAR BOBBO Modibo

1. 成果

A study was carried out to assess the indoor radon/thoron concentrations, radon in soil-gas ambient dose rate and primordial radionuclide in soil samples (^{226}Ra 232Th and 40K) in the radon-prone area of the Adamawa region, Cameroon. RADTRAK and RADUET detectors, thoron progeny monitors and DTPS/DRPS are used for indoor radon/thoron and their progeny measurement, while the RADONEYE Plus detectors are used to evaluate the daily dynamic variations. A Passivated Implanted Planar Silicon (PIPS) detector, type Markus 10 were used for radon in soil gas measurements. The ambient dose measurements were carried out using the RADEye detector (NaI (Tl) scintillation detector). The indoor radon and thoron ranged from 80 to 538 Bq m⁻³ and from 17 to 1000 Bq m⁻³ respectively, while radon in soil gas ranged from 26 to 166 kBq m⁻³ with a mean of 80 kBq m⁻³. The daily maximum value of indoor radon concentration was observed overnight and the minimum value during the afternoon. The inhalation dose ranged from 2 to 10.3 mSv y⁻¹, with an average of 5 mSv y⁻¹. Radon and thoron progenies' contributions to the inhalation dose are 72% (3.6mSv y⁻¹) and 26% (1 mSv y⁻¹), respectively. The average value of the excess lifetime cancer risk is about 14%. The radon map was obtained by using the ordinary kriging and the inverse distance weighting methods. It was observed that both methods give acceptable results due to the lower root mean square error (RMSE).

2. 論文

日本の環境放射能と放射線 [Internet]. [cited 2023 Mar 9]. 放射能測定法シリーズ.

Available from: <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/library/series/2>. 小池弘美, 甲斐倫明, 飯本武志. 金属配管廃材で検知された自然起源の放射性堆積物に関する放射線防護学的な論点と課題. 保健物理. 2022;57(3):140–5.1- Soumayah Bachirou, Saïdou, Chutima Kranrod, Ndjana Nkoulou II, Bongue Daniel, Hamadou Yerima Abba, Masahiro Hosoda, Kwato Njock, Shinji Tokonami (2023). Mapping in a radon prone area in Adamawa region, Cameroon, by measurement of radon activity concentration in soil, Radiation and Environmental Biophysics. <https://doi.org/10.1007/s00411-023-01042-3>

**Environmental radiation exposure in the Fukushima Prefecture and in a radon prone area
of the Adamawa region in Cameroon**

氏名 : BACHIROU Soumayah

受入研究者 : 床次 真司・細田 正洋

共同研究者 : Saïdou · DANIEL Bongue · SAMUEL Guillaume Bineng · ISSA Hamadou

1. 成果

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 stable radon gas in low, medium and high concentration. Nowadays, the prevalence of respiratory diseases is very high and one of the major causes is residential exposure to radon and its descendants. Real-time monitoring of radon in homes should be a priority in every country in the world. In Africa, the process of measuring radioactivity or radon is taken care of by international laboratories, as there are very few calibration systems for radon detectors on the continent. This delays decision-making for the protection of populations against radioactive gases. The project on the local production of survey meters and their calibration based on radioactive sources such as Cs137 and radon at stable concentrations, aims to : · Promote the local production of measuring devices based on low-cost electronic components; ·

Mastering techniques for calibrating radon detectors and ambient equivalent dose rate in Africa, specifically in Cameroon; · Realize survey meters made in Cameroon in collaboration with Japan.

2. 論文

日本の環境放射能と放射線 [Internet]. [cited 2023 Mar 9]. 放射能測定法シリーズ. Available from: <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/library/series/> 2. 小池弘美, 甲斐倫明, 飯本武志. 金属配管廃材で検知された自然起源の放射性堆積物に関する放射線防護学的な論点と課題. 保健物理. 2022;57(3):140–5.02

Establishing the first radon and thoron detectors calibration system in Africa:

Second step

氏名 : OUMAR BOBBO Modibo

受入研究者 : 床次 真司・細田 正洋・大森 康孝・Kranrod Chutima

共同研究者 : Saïdou

1. 成果

This work aims to develop the first calibration system for radon and thoron detectors in Africa at the Research Centre for Nuclear Science and Technology (CRSTN), of the Institute of Geological and Mining Research (IRGM) in Cameroon. The radon calibration chamber, radon source, references devices have been provided to Cameroon by the International Atomic Energy Agency (IAEA). Using these materials, radon detectors commercially known as Raduets have been exposed to three different level of radon concentrations (Low, Medium and High) either in CRSTN and in the Institute of Radiation Emergency Medicine (IREM) of the Hirosaki University in Japan. Those concentrations were 132.46, 468.65 and 899.24 kBq h m⁻³ respectively in CRSTN and 193.05, 549.03 and 923.69 kBq h m⁻³ respectively in IREM. The determined calibration factors were 3.85 ± 0.21 and 3.74 ± 0.17 tracks cm⁻² kBq⁻¹ m³ h⁻¹ for low exchange rate chamber and high exchange rate chamber, respectively for the detectors exposed in CRSTN. And, 3.43 ± 0.23 and 3.30 ± 0.20 tracks cm⁻² kBq⁻¹ m³ h⁻¹ for low exchange rate chamber and high exchange rate chamber, respectively for the detectors exposed in IREM. The calibration factors obtained using the CRSTN calibration system are similar to those obtained using IREM calibration system and indicate the reliability of the CRSTN calibration system.

2. 論文

日本の環境放射能と放射線 [Internet]. [cited 2023 Mar 9]. 放射能測定法シリーズ.
Available from: <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/library/series/> 2. 小池弘美, 甲斐倫明, 飯本武志. 金属配管廃材で検知された自然起源の放射性堆積物に関する放射線防護学的な論点と課題. 保健物理. 2022;57(3):140–5. Oumar Bobbo Modibo, Guosheng Yang, Saïdou, Hirofumi Tazoe, Naofumi Akata, Chutima Kranrod, Masahiro Hosoda and

Shinji Tokonami (2023). Environmental radioactivity measurements in soil using inductively coupled plasma mass spectrometry and gamma-ray spectrometry in various areas in Cameroon. *J Radioanal Nucl Chem* (2023). <https://doi.org/10.1007/s10967-023-09033-w>

Alpha particle spectroscopy using Fluorescent Nuclear Track Detectors and confocal laser
scanning microscopy

氏名：HU Jun
受入研究者：床次 真司・Kranrod Chutima

1. 成果

Aluminum oxide doped with carbon and magnesium ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C},\text{Mg}$) -based fluorescent nuclear track detectors (FNTDs) are a novel type of small crystalline detector, which have been successfully applied for neutron dosimetry as criticality dosimeter, for absorbed dose measurement on photon fields in micro-beam radiation therapy, for single-track measurements of protons and heavier ions. This detector can also visualize individual alpha particles and simultaneously measure their location, velocity direction, energy and LET with good accuracy. The main obstacle to applying FNTDs in radionuclide therapy with alpha emitters is that it has not been known how to achieve an accurate and in situ dose assessment for in vitro cellular experiments. In this study, we developed an automatic 3D track reanalysis algorithm (ATRA) to analyze the alpha energy spectra in FNTDs. The algorithm provides an excellent track identification rate and an excellent track linking rate (0.961) without significant variations in various track densities. The algorithm also achieves a reliable track detection rate exceeding 0.927 for track densities at the level of in situ measurement, and it successfully measures the alpha energy spectra for obtaining the absorbed dose. We also confirmed that the track overlap clearly interferes with accurate track reconstruction for track densities beyond 1.5×10^6 tracks cm^{-2} . We provided a correction equation that can be used to obtain the actual alpha tracks for high track densities; the equation may also correct estimations of absorbed doses due to alpha particles.

2. 論文

日本の環境放射能と放射線 [Internet]. [cited 2023 Mar 9]. 放射能測定法シリーズ.
Available from: <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/library/series/> 2. 小池弘美, 甲斐倫明, 飯本武志. 金属配管廃材で検知された自然起源の放射性堆積物に関する放射線防護学的な論点と課題. 保健物理. 2022;57(3):140–5.

Study of environmental radioactivity in Fukushima prefecture, JAPAN and in a rare-earth element bearing area of Akonolinga, CAMEROON.

氏名 : FAYETTE Sime Kitcha

受入研究者 : 床次 真司 · Kranrod Chutima

共同研究者 : YVETTE FLORE Siaka Tchuente

JOSEPH EMMANUEL Nkoulou Ii Ndjana

SERGE DIDIER Soh Takoukam

1. 成果

INTRODUCTION Human beings are exposed daily to ionizing radiation of natural and human origin. The earthquake and tsunami of March 2011 led to the accident at the Fukushima Daichi nuclear power plant, thus causing the massive release of radionuclides into the environment. Environmental radioactivity has therefore become a subject of major concern for public health in this region. The project entitled “« study of environmental radioactivity in Fukushima prefecture, Japan and in the rare-earth element bearing area of Akonolinga, Cameroon »” granted by ERAN FY2021 is subdivided into two parts: the first in Cameroon and the second in Japan. This project has been maintained for the year 2023 in order to successfully achieve the objectives that were set and particularly the objectives of the work in Fukushima prefecture. In particular, collecting soil samples to measure the activity concentrations of Cs-137, Cs-134 and other artificial radionuclides; measure rare earth elements in soil samples taken from the site by XRF spectrometry and compare the results with those obtained in Cameroon; evaluate the radiation doses received by residents more than 10 years after the accident; measure exhalation rates of radon and thoron. RESULTS In Cameroon, in the rare-earth element bearing area of Akonolinga, the annual effective dose values in the whole study area vary from 0.13 to 0.96 mSv y-1 with an average of 0.3 mSv y-1. Radon concentrations in the soil in the surveyed rare earth elements area bearing vary from 5.4 to 75.5 kBq m⁻³ with an average of 24.31 kBq m⁻³. This measurement was done for 27 randomly selected points on the site with Markus 10. RADUET were deployed in fifty dwellings over three months, for indoor radon, thoron and progenies measurements. The mean concentrations of indoor radon, thoron and their progenies in the study site

are 33.96, 63.5 and 5 Bq m⁻³ respectively. Several trace elements were identified by XRF in this study and their average concentrations showed a wide range of values. Their classification in ascending order is as follows: Fe > Ti > Zr > Mn > Cr > V > Ba > Zn > Nb > Ni > Pb > Ga > Cu > Co > Y > Br > Sn. For reasons beyond our control, the work to be carried out at Fukushima in Japan did not take place this year and we hope to carry it out in the new year. CONCLUSION Finally, this project has been partially completed. The part to be carried out in Cameroon has been completed. A publication on trace elements has been submitted and another on indoor radon and thoron is being prepared. We hope in the near future to have the opportunity to carry out part of the work devoted to Fukushima.

2. 論文

日本の環境放射能と放射線 [Internet]. [cited 2023 Mar 9]. 放射能測定法シリーズ. Available from: <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/library/series/> 2. 小池弘美, 甲斐倫明, 飯本武志. 金属配管廃材で検知された自然起源の放射性堆積物に関する放射線防護学的な論点と課題. 保健物理. 2022;57(3):140–5.

**Establishment of on-site culture system to evaluate cytogenetic effect on human and wild
mice in Fukushima**

氏名 : TRAN Thanh Mai
受入研究者 : 三浦 富智

1. 成果

Biodosimetry is recommended by the International Atomic Energy Agency/World Health Organization (IAEA/WHO) to investigate biological effects for radiation victims. In case of large-scale radiation accidents, estimating radiation doses by the dicentric chromosome assay (DCA) is a reliable method. In IAEA's protocol, human blood is cultured at 37 ° C for 48 h in 5% CO₂. Those conditions require electricity and an appropriate laboratory with specialized equipment. But blood samples need to be cultured as soon as possible after collection and the number of biodosimetry laboratories are limited. This situation is intensified during emergency events, making timely and optimal blood culture even more challenging. For example, in the Fukushima Daiichi Nuclear Plant accident, biological samples obtained from humans and wild animals were shipped to a remote research facility for culturing, which limited the analysis method. Therefore, the purpose of this study is to simplify conventional culture methods that enable blood culture for on-site DCA. Peripheral blood was obtained from healthy donors who had not undergone medical treatment such as CT scans or radiation exposure before the collection. Whole blood (WB) was cultured following the DCA method described by the IAEA with other optimized culture conditions. First, different aspects of the culture process were investigated, including the chamber used, container type and positioning, CO₂ provision, radiation dose, with the mitotic index (MI) serving as a metric to assess the efficiency of each condition. Subsequently, the viability of pre-dispensed medium up to one week was tested, evaluating its ability to support sufficient scorable cells using MI. Additionally, to simplify the cell harvest protocol, hypotonic treatment and fixative procedures were conducted at room temperature (20 ° C) instead of 37 ° C, with results assessed using the MI. Finally, the most suitable conditions were then applied on-site, considering the potential for contamination. In the initial experiment, there was no significant difference in the MI between the IAEA conventional protocol and the closed

culture protocol for both irradiated and non-irradiated samples. In the second experiment, aging the pre-dispensed medium for up to 7 days showed no impact on cell culture, as indicated by comparable MIs. The third experiment revealed that harvesting at room temperature had no effect on MI. Finally, on-site cultures remained uncontaminated across all samples, even when conducted by different operators. Consequently, these findings suggest that a simple culture is viable for on-site applications, requiring only minimal laboratory equipment.

2. 論文

日本の環境放射能と放射線 [Internet]. [cited 2023 Mar 9]. 放射能測定法シリーズ. Available from: <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/library/series/> 2. 小池弘美, 甲斐倫明, 飯本武志. 金属配管廃材で検知された自然起源の放射性堆積物に関する放射線防護学的な論点と課題. 保健物理. 2022;57(3):140–5.

**Tritium concentration in natural water samples using ultra low-level
tritium counting system**

氏名：HEGEDŰS Miklós

受入研究者：赤田 尚史・Anderson Donovan

共同研究者：TIBOR Kovács・SUDOWE Ralf

1. 成果

The Fukushima accident created large stockpiles of tritium containing cooling water, which is to be gradually released into the Pacific Ocean, gaining attention from surrounding countries, environmental groups and local residents concerned with the possibility of increasing tritium concentrations in the water and food cycle. Establishing baseline concentration levels and monitoring tritium immission values are important for assuring public safety, providing data for scientific research and risk communication. Japan uses multiple sources for drinking water, including river bank filtration from rivers, lakes and reservoirs, springs and wells of various depths. Tritium concentrations in the environment are very low, therefore tritium measurements require enrichment in order to estimate the radiation exposure from drinking water intake and provide information on the water cycle. Natural water samples were collected at Tomioka Town located south of Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. Samples were enriched by distillation, electrolysis and re-distillation to preconcentrate tritium to measureable levels. Tritium concentrations were determined by a low-background liquid scintillation counter. The observed tritium concentrations were relatively low, rainwater had a mean value of 0.40 Bq/L, freshwater samples showed similar concentrations, while saltwater samples were below 0.13 Bq/L.

2. 論文

海底谷への粒子輸送と水塊構造の関係：富山湾を例として

氏名：大塚 進平

受入研究者：田副 博文

共同研究者：張 勁・ハリアント マイケル・遠藤 真樹・鄧 文傑

1. 成果

海底谷は、陸域から流れ込む土砂の輸送路であり、谷を通じて豊富な有機物や汚染物質が深海へ運搬されている。特に富山深海長谷（以下、TDSC）は、富山湾を横断し、日本海盆まで到達する全長約 750km の大規模な海底谷であり、富山湾最深部の堆積物輸送に重要な役割を持つと考えられる。近年は集中豪雨の発生頻度が増加しているだけでなく、数年前から能登半島周辺での地震活動が活発化している。これらの影響が、日本海最大規模の堆積物シンクである TDSC にも及んでいる可能性が高いことから、現在の堆積物の特徴とその輸送過程を定量的に評価することは重要な課題である。本研究ではこれまでに、富山湾周辺における TDSC 内の表層堆積物を対象に、堆積物起源の特定とその定量化のため、粒度分析、微量・主要金属元素濃度及び有機炭素・窒素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$) の測定を行ってきた。これまでの研究から、表層堆積物中の $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ は -26.4~ -21.5‰、 $\delta^{15}\text{N}$ は 1.7~4.1‰ と地点ごとに大きく変動することが分かった。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ と TN/TOC 比の関係は、この地域の有機炭素が陸由来の C3 植物と海洋由来の粒子態有機炭素の 2 成分で主に構成されていることを示していた。富山県東部の河川沖合とその北部に位置する TDSC 内部において、陸由来有機炭素の割合が特に高く、谷に沿って陸由来有機物が輸送されたことを示唆していた。さらに堆積物の元素組成は、富山湾北部の TDSC では姫川流域に、南部では黒部川流域に類似していたことから、これらの流域が陸由来有機物の起源であると考えられた。TDSC の東西を比較すると、東斜面では西斜面よりも細粒で Cr や Ni 濃度が高く、低い $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ を示した。このことは東斜面側に浅海からの堆積物が運搬されやすいことを示唆している。同時に実施した深層海水の観測では、TDSC の東斜面上には低 DO で、西斜面よりも比較的高濁度の水塊が認められ、谷軸を境に東斜面上では湾から流出する方向の底層流が存在することが報告されていることからも支持された。今後は、現在測定中の $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ・ ^{137}Cs に基いて堆積年代を決定し、元素濃度・同位体比分析との比較から、谷を介した浅海から深海にかけての堆積物輸送を定量的に評価していく。

2. 論文

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

氏名：JOKAM NENKAM Therese Line Laure

受入研究者：田副 博文

共同研究者：張 勁・片境 紗希・北澤 唯佳・

OKTAVIANI Ade S・KHATUN Mst. Tania

1. 成果

Research Report: Distribution of radioactive materials in freshwater and transport dynamic from land to the coastal ocean [Y-23-24] Author: Therese L L Jokam Nenkam Affiliation: Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama, Toyama Gofuku 3190, Toyama 930-8555, Japan. Date: 15/03/2024 1.

Introduction Nuclear accidents like Fukushima released radioactive Cs-137, raising concerns about its transport in water systems like the Kurobe River Alluvial Fan (KRAF). KRAF serves as a crucial water resource, but recent trends like dilution and nutrient depletion raise concerns about its long-term health. Despite its importance, our understanding of KRAF's hydrogeochemistry, the interaction of water with geology, and land use exacerbated by climate change remains limited. This research aims to address this gap by analyzing, for the first time, the distribution of Cs-137, neodymium isotopes (Nd-143/Nd-144), strontium isotopes (Sr-87), and rare earth elements (REEs) within KRAF. These tracers will provide valuable insights into water movement, interaction with aquifer materials, and ultimately Cs-137 transport, shedding light on KRAF's overall health and future management.

2. Methods 2.1. Field Sampling and Analysis: Sample Collection: During the summer and autumn of 2023, groundwater and surface water samples from 35 locations across the KRAF aquifer were collected. This aquifer is the biggest alluvial fan bordering Toyama Bay in the Sea of Japan and consists of multiple layers. Field Measurements: In-situ parameters including water temperature, pH, oxidation-reduction potential (ORP), and dissolved oxygen (DO) were measured at each sampling site.

2.2. Laboratory Analysis: Standard analytical procedures were employed to determine the concentrations of major solutes (HCO_3^- , Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , SiO_2 , PO_4^{3-}), rare earth elements (REEs), and water stable

isotopes (δ 2H and δ 18O) in the collected samples. 2.3. Future Analysis: Cs-137, Nd-143/Nd-144, and Sr-87 analyses will be conducted in the next phase of the research to fully address the study's objectives.

3. Preliminary results The total REE concentration in the Kurobe River was higher in summer (around 247 ng/L) compared to autumn (around 97 ng/L). Groundwater REE concentrations also varied seasonally, ranging from 2.62 to 219.27 ng/L in summer and from 5.26 to 185.26 ng/L in autumn. The REE patterns in water flowing on the alluvial fan exhibited distinct characteristics. Our analysis identified three main groups of patterns that effectively explain the observed variations. These variations are likely caused by factors including substrate geology. The most distinctive characteristics included negative Ce anomalies, light REE (LREE) depletion, and heavy REE (HREE) enrichment. The observed variations in groundwater REEs might be due to a combination of local precipitation (influencing river recharge and infiltration), weathering processes, and REE input from human activities (agriculture and industrial production). Under the neutral to slightly acidic conditions of the KRAF aquifer, REEs, particularly LREEs, are susceptible to removal from the water through adsorption/co-precipitation reactions. The presence of a Ce anomaly further suggests a link to the oxidation state of the groundwater environment.

4. Future work The research will continue with the analysis of the collected water samples. Additionally, 137Cs, 143Nd/ 144Nd, and 87Sr/ 86Sr concentrations in surface and groundwater will be measured. The expected outcomes include:

- Understanding the distribution and transport pathways of Cs-137 within KRAF.
- Elucidating the role of hydrogeochemical processes in Cs-137 fate and transport.
- Contributing to the development of strategies for monitoring and managing radioactive contamination in similar environments.

2. 論文

**Development of effective countermeasures for radon exposures: usage of the air cleaner
and room air conditioning as tools for sustainable mitigation of human effective dose**

氏名：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 a continuation of the previous ERAN project (Y-22-24), the effectiveness of indoor room appliances (air conditioner and air cleaner) has been newly investigated in this fiscal year to reduce the effective doses of radon exposure. In the previous fiscal year, a preliminary experiment was done using the air cleaner. Alternatively, a deeper investigation of this research in coupling with air conditioning was done this year. The spatiotemporal behavior of indoor radon and its decay products have been estimated to be used indoors in Chiba prefecture. The obtained values determined radon dose parameters of equilibrium factor, F, and unattached fractions, which were measured to understand the effectiveness of home appliances in reducing radon dose. As a result, using the air cleaner, a relatively stable indoor radon concentration was obtained. The purification stage of the air cleaner might affect absorbing radon gas, which is a new research topic to investigate. Alternatively, the air container operation reduced the F to around half compared to the air coming OFF condition (0.3 and 0.6 respectively). The air cleaner reduced the average radon concentrations by 25% after its operation due to its spatiotemporal variability with indoor ventilation. Diverse time variation of indoor radon decay products was observed between two sides of the air cleaner, possibly due to the airflow direction to/from the air cleaner. In the case of air conditioning, outdoor ventilation significantly influenced the filtration effects, altering the radon and F. Using air cleaner altered the indoor ventilation rate to 0.4 hr⁻¹, which might influence the attachment mechanism of ambient aerosols to be filtered by the purifying stage. Overall, both the air cleaner and air conditioner reduced the F significantly. However, the unattached fraction increased while the filtration occurred due to the extreme filtration by them. The effective dose calculation in developing the effective countermeasure of radon by these two home appliances needs further research incorporating with

simultaneous indoor aerosol behavior estimations, which will be adjusted in future research. Moreover, in the future, the results of this project will be adjusted with the large-scale indoor in-situ radon measurement in Bangladeshi dwellings where such home appliances are used.

2. 論文

Hasan, M.M.; Janik, M.; Pervin, S.; Iimoto, T. Preliminary Population Exposure to Indoor Radon and Thoron in Dhaka City, Bangladesh. *Atmosphere* 2023, 14, 1067.
<https://doi.org/10.3390/atmos14071067>

モンテカルロシミュレーションを用いた連続捕集型大気モニタの

測定ジオメトリの最適化

氏名：玉熊 佑紀

受入研究者：大森 康孝・細田 正洋・山田 棟平

共同研究者：橋本 啓来

1. 成果

- はじめに 原子力施設周辺の環境モニタリングでは施設から放射性核種が放出されていないことを確認するために様々なモニタリングが実施されている。大気浮遊塵中の放射能濃度もモニタリングされており、天然由来の放射性核種と人工放射性核種の弁別が必要となっている。申請者らは両者を弁別できる連続捕集型大気モニタを開発したが、その測定ジオメトリについては最適化の検討がなされていない。本測定器では α 線スペクトロメトリを利用して弁別を行うため、測定ジオメトリにより空気やフィルタによる α 線減弱が大きく変化する。本研究では、 α 線スペクトロメトリを利用した連続捕集型大気モニタの測定ジオメトリの最適化についてモンテカルロ法による放射線輸送計算を用いて検討することを目的とし、前年度に引き続き、フィルタのモデリングとその妥当性の評価及び最適なジオメトリに関する検討を行った。
- フィルタのモデリング及び人工放射性核種の検出下限濃度の評価 本研究ではシリコン半導体検出器を用いた連続捕集型大気モニタの測定ジオメトリの最適化について検討した。検出器には連続大気モニタリングに用いられる半導体検出器 (CAM490-A, Canberra) を用いた。 α 線スペクトロメトリにおいてはフィルタ中の放射性核種の深さ分布もスペクトル形状に大きな影響を与えるため、数種類のフィルタの放射性核種深さ分布を評価した。フィルタは通常環境モニタリングで用いられる HE-40T 及び 2 種類のメンブレンフィルタ (PTFE, セルロース混合エステル製) を用いた。弘前大学被ばく医療総合研究所のラドン曝露場を用いて、フィルタ上にラドン子孫核種を捕集し、真空状態で α 線スペクトルを取得した。Terray らにより報告されているアンフォールディングを用いた手法によりフィルタに存在する放射性核種の深さ分布を評価した。また、最適なジオメトリの検討のため、様々な検出器フィルタ間距離における測定効率及びオーバーラップ比を計算し、仮想的な人工放射性核種の検出下限濃度を ISO11929 による手法を用いて評価した。測定効率、オーバーラップ比の計算には検出器及びフィルタの直徑をそれぞれ 25 mm, 20 mm とした。
- 結果及び考察 PTFE のメンブレンフィルタ

に対して得られたフィルタ内の放射性核種深さ分布は過去の報告と一致した結果を示した。また、本研究により得られた表面に捕集された割合と表面捕集効率に関する過去の報告を比べると、全てのフィルタにおいて近い値を示しており、評価された深さ分布は妥当であることが確認された。また、測定効率は全てのフィルタに対してほぼ同じ値を示し、オーバーラップ比は HE-40T のみ高い値を示した。仮想的な人工放射性核種の検出下限濃度は検出器フィルタ間距離が大きくなるにつれて大きくなり、放射線測定の観点からは距離が近い方が弁別測定に最適である可能性が示唆された。

2. 論文

Yuki Tamakuma, Mizuki Kiso, Aoi Sampei, Hiroki Hashimoto, Chutima Kranrod, Masahiro Hosoda, Sohei Ooka, Masahide Furukawa, Shinji Tokonami, Site-specific dose conversion factors for radon progeny based on ambient aerosol characteristics in an outdoor environment and a tourist cave, Radiation Protection Dosimetry, Volume 199, Issue 18, November 2023, Pages 2207–2211,

沿岸海底からの懸濁粒子の分布が凝集を通じて背景乱流へ応答する物理過程の解明

氏名：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・津旨 大輔・三浦 輝

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 (Kakehi 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)。本研究では理想化された数値実験を通じて、河口域での混合が凝集・堆積過程に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。過年度の採択課題により、懸濁粒子の凝集は粒子分布の性質（粒径・粒子数）を変化させ、分布の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大きな影響を及ぼすことが予想される。特に凝集確率が周囲の水の塩分や有機物量に影響されることはいくつかの室内実験により報告されているが、定量的な議論はあまり進んでいない。定量評価には数値実験の活用が不可欠だが、現状は数値実験に使うパラメータ群の整備も不完全である。そこで今年度は、室内実験と数値実験を比較することで、河口域の懸濁土砂の物理化学的パラメータを取得することを目指し、数値モデルを整備した。室内実験には JAEA が採取した松川浦の懸濁粒子を使用した。(JAEA とは比較のために効果的な室内実験の手法について複数回の打ち合わせを行ったが、事情により今年度は室内実験の実施を見送った。) 数値実験には電力中央研究所の保有する計算機を用いた。室内実験と比較するための数値モデルには Spectral bin モデル (Gelbard et al., 1980; Burd and Jackson, 2002) を採用した。このモデルは懸濁粒子の凝集・分裂を表す Smoluchowski 方程式 (Smoluchowski, 1918) を粒径方向に差分化したものであり、懸濁粒子の粒径分布形状の時間変化を表現することができる。また単純な背景流のもとでおおむね一様に分布した懸濁粒子の動態計算に適しているため、コントロールされた室内実験との比較に都合がよいと判断した。Spectral bin モデルについて紹介したいいくつかの先行研究を基に、独自の差分化法を採用したモデル開発を行った。作成したモデルの性能検

証のため、同じく粒子モデルの検証を行っているいくつかの先行研究（e.g., Shen and Maa, 2016; Jackson, 1990）と同じ設定で数値実験を行い、粒径分布を比較した。その結果、単純な凝集・移流・沈降に関しては十分な性能を発揮することが分かった。一方で作成したモデルでは懸濁粒子の体積（～質量）に関する保存性が悪く、この点が室内実験との比較において課題となることが分かった。

2. 論文

低線量放射線環境における生体防御機構への影響評価

氏名：植村 逸平
受入研究者：山内 一己
共同研究者：中田 章史

1. 成果

慢性的な低線量率電離放射線(LDRIR)の被ばくによる生体影響について不明な点が多く、特に自然免疫についての知見はほとんど知られていない。また、放射線によりエピジェネティックな変異の継承によって、子孫に影響を与える懸念がある。本研究では、自然免疫、ストレス記憶および分化に関わる遺伝子について自然免疫に関わる腸管と継世代に関わる精巣における遺伝子発現とエピジェネティックな制御の変化を調査し、腸と生殖器に共通して発現する遺伝子の関連性を明らかにすることを目的とした。昨年度は、マウスに慢性 LDRIR と高線量率放射線急照射を行い、腸管および精巣を採材し。自然免疫やエピジェネティックに関連する遺伝子のスクリーニングを Real-time PCR および Western blotting により行った。本年度は精巣を中心とし、エピジェネティック変異の評価に必要な DNA メチル化の評価法の検討を行った。まず、雄性 C57BL/6J C エピジェネティック性 LDRIR 照射実験において採取された精巣の DNA を抽出し、Methylation-Sensitive Restriction Enzymes-qPCR によるプロモーター領域の解析を行った。対象遺伝子には腸における Paneth 細胞の分化、精巣の性分化に共通して関与する転写因子 SRY-box transcription factor 9 (Sox9) を用いた。その結果、非照射と比較して慢性 LDRIR 照射によって、Sox9 プロモーター領域のメチル化の有意な抑制が確認されたのと同時に、Sox9 mRNA 発現量の増加も確認された。昨年度みられた放射線による免疫関連指標の変動結果と合わせて、慢性 LDRIR 照射がエピジェネティックな制御と精巣免疫に影響を与えることを立証した。また、この結果から Sox9 が放射線障害から精巣を守ることに決定的に関与することで、精巣に「Paneth 様細胞」のような Sox9 依存性の免疫担当細胞が存在することを示唆した。今回の発見は、Sox9 が生殖系と免疫系に及ぼす二重の影響について独特の洞察を与え、この領域における今後の研究にとって重要な基盤を確立するものである。また、本結果については学会発表および論文投稿を行った。 次に、腸と精巣のコミュニケーションをヒトで観測するための基礎検討として、ヒト結腸癌株化細胞 Caco-2 およびヒト精巣腫瘍細胞株 NEC-8 の馴化培地を利用した手法の確立に着手した。本年度は照射実験の実施が困難であったため、放射線環境を模倣した過酸化水素処理による初期検討を行った。過酸化水素処理

による NEC-8 の細胞生存率の減少を Caco-2 飼化培地は有意に抑制すること、併せて α -defensin5 および Sox9 の有意な増加も確認されたことから、腸由来物質による精巣の免疫防御反応の亢進が示唆された。また、このクロストークにはエクソソーム由来 miRNA が関与している可能性を考え、Caco-2 飼化培地中のエクソソームのマイクロアレイ解析を行った。その結果、無刺激条件下で得られたエクソソーム内に存在し、Sox9 と Paneth 細胞形成を制御することが知られている miR-124 と miR-924 の発現に両細胞間で差がなかったことから、分化を制御すると当初予測された因子とは異なる因子が過酸化水素または放射線照射条件下での臓器間相互作用に関与するのではないかということを示唆している。今後は新たなテーマとして実験計画を練り直しが必要であると考え、「低線量放射線環境における生体防御機構への影響評価」に関する内容は完遂されたことを報告する。

2. 論文

Ippei Uemura, Natsuko Takahashi-Suzuki, Saki Kuroda, Kaede Kumagai, Yuki Tsutsumi, Donovan Anderson, Takashi Satoh, Hideaki YAMASHIRO, Tomiato Miura, Kazumi Yamaguchi, Akifumi Nakata, Effects of low-dose rate radiation on immune and epigenetic regulation of the mouse testes, Radiation Protection Dosimetry, 2024 Mar 5, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncae063>

放射能環境動態・影響評価
ネットワーク共同研究拠点（ERAN）

FY2023 Final Report

【海外/International 共同研究】

海外共同研究

採択番号	申請者	所属	課題名	共同研究者	受入研究者	受入機関
I-23-01	JOHNSON Edward Thomas	Colorado State University	Collaboration with Tsukuba University on Radiocesium Migration and Nutrient Dynamics		恩田 裕一	CRIES
I-23-02	RALPH Timothy	Macquarie University	Evaluation of soil organic matter dynamics at Fukushima using an integrated radio-caesium and carbon stable isotope approach	HELANDER Carl	恩田 裕一	CRIES
I-23-03	村上 治子	Massachusetts Institute of Technology	福島の流域の長期地下水汚染の予備調査		恩田 裕一	CRIES
I-23-04	COOPER Russell James	University of Liverpool	Forecasting radiocesium migration by overland flow during high intensity rainfall events		恩田 裕一	CRIES
I-23-05	BLAKE Henry William	University of Plymouth	Utility of portable gamma sensors to support agricultural land management decisions for soil and contaminant management	TAYLOR Alex	恩田 裕一	CRIES
I-23-06	COPPIN Frederic	Institut of Radioprotection and Nuclear Safety	The use of 137/133Cs isotopic ratio to determine long term behavior of 137Cs in forest	HURTEVENT Pierre	恩田 裕一 加藤 弘亮 高橋 純子	CRIES CRIES CRIES
I-23-07	MCDOWELL Hunter William	University of New Hampshire	Controls on river water biogeochemistry	WYMORE Adam	恩田 裕一 高橋 純子	CRIES CRIES
I-23-08	Wood Mike	University of Salford	Extending the Fukushima Radioecological Observatory'		恩田 裕一 アンダーソン ドノヴァン	CRIES IREM
I-23-09	GILBERT Franck	French National Center for Scientific Research (CNRS)	Soil biodiversity and functional processes in radio-contaminated forests (Fukushima Prefecture, Japan)	BONZOM Jean-Marc ARMANT Olivier CAPOWIEZ Yvan IRIBAR-PELOZUELO Amaia BENOISTON Anne-Sophie	難波 謙二 ヨシェンコ ヴァシリ	IER IER
I-23-10	BONZOM Jean-Marc	Institute for Radioprotection and Nuclear Safety (IRSN)	Effects of environmental radiocontamination in Fukushima Prefecture on tree frog physiology and populations	ARMANT Olivier GILLES André CAR Clément FRELON Sandrine MIURA Ikuo	難波 謙二 石庭 寛子 和田 敏裕	IER IER IER
I-23-11	KOMISSAROV Mikhail	Ufa Institute of Biology UFRC RAS	Distribution peculiarities of sediments and radiocesium on the Abukuma River floodplains and in the Ogaki Dam Reservoir caused by typhoon Hagibis		コノブリョフ アレクセイ 脇山 義史 五十嵐 康記	IER IER IER
I-23-12	LINNIK Grigorievich Vitaly	Vernadsky Institute	Landscape modeling of the fate of radiocesium (r -Cs) in the basins of small pond systems in the vicinity of the Fukushima Daiichi Power Plant (FDNPP)		コノブリョフ アレクセイ 脇山 義史 五十嵐 康記	IER IER IER
I-23-13	ROY Tapashi Ghosh	University of Chittagong	Nickel(II) complexes of carbamoyethyl derivative of octamethyl isomeric macrocyclic chelator: Synthesis, characterization, biological evaluation, and applications in radioactive waste decontamination	BEGUM Zinnat Ara RABI Saswata	ラハマン モハマド モフィズ ルイスマイル	IER
I-23-14	ANANTHANARAYAN AN Chandrasekaran	Sri Sivasubramanya Nadar College of Engineering (Autonomous)	Assessment of prospective Beach Sand Minerals and their Radioactivity along the Thoothukudi to Kanyakumari coastal area of Tamil Nadu		ラハマン モハマド モフィズ ルイスマイル	IER
I-23-15	PALIT Debasish	University of Chittagong	Synthesis of dioxo complexes of molybdenum, an important raw material for nuclear medicine	RAKSHIT Sukla BEGUM Zinnat Ara	ラハマン モハマド モフィズ ルイスマイル	IER
I-23-16	BARUA Suman	University of Chittagong	Assessment of natural radioactivity and function of minerals in soils of the ship-breaking area, Bangladesh, by Gamma Ray spectroscopic and Fourier Transform Infrared techniques	BEGUM Zinnat Ara	ラハマン モハマド モフィズ ルイスマイル	IER
I-23-17	BISWAS Bushon Foni	Faculty of Science	Synthesis and characterization of Co(III) and Ni(II) complexes of N-pendent derivatives of an isomeric octamethyl tetraazamacrocyclic ligand and applications in radioactive waste decontamination	BEGUM A. Zinnat ROY Ghosh Tapashi	ラハマン モハマド モフィズ ルイスマイル	IER

採択番号	申請者	所属	課題名	共同研究者	受入研究者	受入機関
I-23-18	BEZHENAR Roman	Institute of Mathematical Machines & Systems Problems of National Academy of Sciences of Ukraine (IMMSP)	Modelling of the transfer of radionuclides and their uptake by marine biota due to hypothetical accidental release of the Fukushima storage water	MADERICH Vladimir	高田 兵衛	IER
I-23-19	BURDO Olena	Institute for Nuclear Research National Academy of Sciences of Ukraine	Establishment of FISH probes for dicentric analysis of wild rodents in Chornobyl	中田 章史	石庭 寛子 三浦 富智 アンダーソン ドノヴァン	IER IREM IREM
I-23-20	GAGNAIRE Beatrice	IRSN (French Institute for Radioprotection and Nuclear Safety)	Assessment of the effects of ionizing radiation in bees - BEERAD	BONZOM Jean-Marc BELZUNCES Luc BRUNET Jean-Luc DUBOURG Nicolas CREVET Margot	難波 謙二 石庭 寛子	IER IER
I-23-21	ARAMRUN Kitkawin	Office of Atoms for Peace	Radiation Mapping Survey Around Radiation Facilities In Thailand For Radiological Emergency Preparedness And Response		床次 真司	IREM
I-23-22	SUHARIYONO Gatot	National Research and Innovation Agency (ORTN),	Development of Iodine-131 Absorption Efficiency Methods from Charcoal Filters with a Variety of Adsorbent Materials that are cheap for the safety of Thyroid Patients, Nuclear Workers and the Environment		床次 真司	IREM
I-23-23	Makhsun	National Research and Innovation Agency (BRIN)	Radon monitoring system as an earthquake precursor based on a scintillation detector and real time monitoring		床次 真司	IREM
I-23-24	KOUNTCHOU NOUBE Michaux	Institute of Geological and Mining Research	Development of a test bench for the electronics of ionizing radiation detectors based on FPGA and microcontrollers.	Saïdou MBARNDOUKA TAAMTÉ Jacob FOLIFACK SIGNING Vitrice Ruben OMGBA ABANDA Zacharie Stéve YERIMA ABBA Hamadou	床次 真司 細田 正洋	IREM IREM
I-23-25	WAHYUDI Wahyudi	The National Research and Innovation Agency of Indonesia	Spatial uranium distribution in Mamuju	NUGRAHA Djatnika Eka PUTRI Jenisa Andeva	床次 真司 大森 康孝	IREM IREM
I-23-26	NUGRAHA Djatnika Eka	The National Research and Innovation Agency of Indonesia (BRIN)	Development method of Radioparticulates measurement in the Mining area		床次 真司 大森 康孝 クランロッド チュティマ	IREM IREM IREM
I-23-27	NDJANA NKOULOU Il Joseph Emmanuel	Institute of Geological and Mining Research	Radiological characterization of local building materials and environmental monitoring of the iron bearing areas of Mbalm, Kribi and Bipindi, South-Camereroon.	Saïdou TCHUENTE SIAKA Yvette Flore OUMAR BOBBO Modibo	床次 真司 大森 康孝 クランロッド チュティマ	IREM IREM IREM
I-23-28	RATTANAPONGS Chanis	Kasetsart University	Study of the relationship of radon and airborne particulate matter to lung cancer incidence factors in the high background radiation area in Kanchanaburi	ARAMRUN Kitkawin	床次 真司 クランロッド チュティマ	IREM IREM
I-23-29	SYAIFUDIN Mukh	National Agency for Research and Innovation (BRIN)	Construction of Fluorescence in situ Hybridization (FISH) based Translocation Dose-Response Calibration Curve for Evaluation of Health Risk of Nuclear Workers		三浦 富智	IREM
I-23-30	KURNIA lin	National Agency for Research and Innovation (BRIN)	Optimization fixation time for detection gamma H2AX as biomarker of DNA DSB after low dose radiation		三浦 富智	IREM
I-23-31	RAMADHANI Dwi	National Agency for Research and Innovation (BRIN)	Micronucleus-Centromere Assay for Assessing Ionizing Radiation Damage from Unintended and Accidental Radiation Exposures		三浦 富智	IREM
I-23-32	PURNAMI Sofiati	National Agency for Research and Innovation (BRIN)	A cytogenetic dose-response curve for low-dose range gamma-irradiation in human peripheral blood cells using three-color FISH		三浦 富智	IREM
I-23-33	MAKMUR Murdahayu	National Agency for Research and Innovation (BRIN)	Optimization of the tritium analysis method and its application to sea water samples	NUGRAHA Djatnika Eka PUTRA Irawan Permana Deddy	赤田 尚史	IREM
I-23-34	ROSIANNA Ilsa	National Agency for Research and Innovation (BRIN)	Development method of radioactivity measurement in drinking water sample using TXRF	NUGRAHA Djatnika Eka YUSUF Riyaz	赤田 尚史 田副 博文	IREM IREM

採択番号	申請者	所属	課題名	共同研究者	受入研究者	受入機関
I-23-35	RAHMAN M. Safiur	Bangladesh Atomic Energy Commission	Capacity building for development of nuclear techniques for analysis of radionuclides and potential toxic elements in environmental samples collected from Ruppur Nuclear Power Plant (RNPP), Bangladesh	SUDOWE Ralf	田副 博文 アンダーソン ドノヴァン	IREM IES
I-23-36	SOLA Phachirarat	Chulalongkorn University	Study of NORM levels using high purity germanium (HPGe) gamma spectrometry and heavy metals analysis using ICP-MS in soil samples collected from Thailand (continuous)	KRANROD Chutima KRITSANANUWAT Rawiwan	田副 博文	IREM
I-23-37	CHAMIZO Calvo Elena	National Center of Accelerators	Anthropogenic radionuclides in the Southern Ocean	Shinonaga Taeko	田副 博文	IREM
I-23-38	SUDOWE Ralf	Colorado State University	Comparative assessment and analysis of radionuclide measurement in fish of Fukushima	JOHNSON Thomas	アンダーソン ドノヴァン 田副 博文 赤田 尚史 山田 棋平	IREM IREM IREM IREM

I-23-01

**Collaboration with Tsukuba University on Radiocesium Migration and
Nutrient Dynamics**

氏名 : JOHNSON Edward Thomas

受入研究者 : 恩田 裕一

1. 成果

Radiocesium Migration and Nutrient Dynamics in Fukushima Prefecture

2. 論文

None at this time

福島の流域の長期地下水汚染の予備調査

氏名：村上 治子
受入研究者：恩田 裕一

1. 成果

Remarkable progresses have been made in decontamination and recovery after the Fukushima Nuclear Power Plant Accident. The transport of Cs-137 in terrestrial systems has been extensively studied over the past 11 years after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. So far, the major transport pathway has been associated with particulate and sediment transports. However, there is still a concern about the long-term mobility of Cs-137 in the region, particularly in the forested region. Cs-137 has been mostly migrating along with soil particles, but it also migrates towards groundwater as a dissolved component reaching groundwater and surface water. In this study, we will perform a preliminary investigation on dissolved Cs-137 transport in subsurface by synthesizing existing datasets. The US Department of Energy (DOE) Savannah River Site (SRS) F-Area (South Carolina, United States) is a nuclear material production site mainly operated during the Cold War. The SRS F-Area has three unlined seepage basins, which received approximately 7.1 million m³ of acidic, low-level radioactive waste solutions between 1955 and 1988. Currently, an acidic contaminant plume extends from the basins to about 600 m downgradient, moving toward the Fourmile Branch creek. The plume contains various radionuclides (e.g., H-3, I-129, U-238) as well as nitric acid. It is estimated that 8.2 TBq of Cs-137 was released into the basins. It provides opportunity to study the long-term transport of Cs-137. We synthesized Cs-137 discharge data and groundwater and surface water concentration data at the SRS F-Area. Our results show that the concentrations in groundwater rapidly attenuate within F-Area from the basin locations to the downgrading near the stream. We also estimated that the inventory of Cs-137 in the stream was smaller than that in Fukushima coastal region's catchment (14-536 TBq), but the concentrations of Cs-137 in sediment within SRS and some catchments are same order of magnitude. The Cs-137 concentrations in surface water (1km downgradient) were ranged ND to 110 pCi/L (4.1 Bq/L) during 1996-2015. Based on these observations, we may conclude that the groundwater pathway can be quite limited. "

2. 論文

Forecasting radiocaesium migration by overland flow during high intensity rainfall events

氏名 : COOPER Russell James
受入研究者 : 恩田 裕一

1. 成果

The project brought together the expertise of Onda's group in radiocaesium migration with the modelling tools of Cooper's group to produce new understanding of the controls of soil erosion by subsurface drainage and overland flows during high intensity rainfall, in order to better forecast the impacts of rainfall events on radiocaesium wash-off. Rainfall events were simulated in the Large-scale Rainfall Simulator at NIED in Tsukuba over two soil-plots, one consisting of granitic soil, the soil used in decontaminated areas in Fukushima, and the other consisting of Andisol, the original, parent soil in Fukushima. The results revealed: (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 and erosion in comparison to the original soil; and (2) This difference has 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 radiocaesium.

2. 論文

The use of $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ isotopic ratio to determine long term behavior of ^{137}Cs in forest

氏名 : COPPIN Frederic

受入研究者 : 恩田 裕一・加藤 弘亮・高橋 純子

共同研究者 : HURTEVENT Pierre

1. 成果

Due to FDNPP fallouts, Japanese forests have been contaminated by ^{137}Cs in 2011. This study aimed at determining if the distribution of ^{137}Cs reached an equilibrium state in forest ecosystems 12 years after the accident. One of the objectives of the AMORAD international research program (2013-2022) was to improve the efficiency of the Cs-137 transfer modelling in forests at different time scales. Specifically, the model developed by IRSN (TREE4) allowed identifying the transition from a transient post-accident situation to an apparent equilibrium state. The TREE4 model is based in particular on the quantitative description of the biogeochemical cycles of ^{137}Cs and its stable chemical analogues (^{133}Cs and K). The temporal evolution of the $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ isotopic ratio in the different tree organs informs about the achievement of this apparent equilibrium state, which is reached when the $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ isotopic ratio remains constant over time for a given organ or flux (e.g. canopy weathering flux). The comparison of isotopic ratios in biomass organs with those measured in the soil fractions (bulk, labile, exchangeable) should determine which pool has to be considered as the bioavailable stock in soil. The analyses were conducted on samples coming from Yamakiya forest sites. To make the analyses and estimate the target equilibrium $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ isotopic ratio of each site, the total amount of ^{137}Cs (Bq/m^2) and ^{133}Cs (mg/m^2) were estimated for four sampling campaigns (2014, 2016, 2016, 2018). The total amount of both isotopes was considered for tree and added to (1) the total amount in soil, (2) the water available fraction or the Ammonium acetate exchangeable fraction of isotopes. Finally, three targeted equilibrium $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ were obtained : total, tree + soil water available and tree + soil exchangeable. The total ratio was almost stable during the 4 sampling years suggesting that input of ^{133}Cs can be neglected. The results are presented for the three different sampled sites (Mature Cedar plot (MC), Young Cedar plot (YC), and Broadleaves plot (BL)). The $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ of different tree organs were compared to the equilibrium $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ ratios. The $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ ratio depends on which fraction of soil was

considered. As expected, due to the presence of ^{133}Cs included in the mineral soil matrix, the total ratio is the lowest, whereas the tree + soil water available fraction is the highest. Concerning the $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ ratios of tree organs, different behaviors with time were observed. For the organs directly impacted by the initial deposit (Needles) a decrease in the $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ ratio was observed. In contrast the organs not directly impacted (Sapwood) an increase then a decrease was observed. These two behaviors are those theoretically expected for these organs. For roots the ratio seems stable whereas for heartwood a difference in behavior for the three stands can be observed. Finally, the accuracy of $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ ratio in tree organs is higher than that of the water or the exchangeable fraction of these isotopes in soil were considered than the total fraction. Eight years after the accident, evolution of the $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ ratio suggests that equilibrium is not totally reached at the stand scale almost for cedar plots. For the Broadleaves plot it seems that tree organs present the same $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ ratio already two years after the accident. Additional tree organs were sampled during this project until 2023, their analyses will permit to complete the actual dataset.

2. 論文

Extending the Fukushima Radioecological Observatory'

氏名 : Wood Mike

受入研究者 : 恩田 裕一・Anderson Donovan

1. 成果

The Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident in 2011 necessitated the establishment of radioecological observatories to study the long-term effects of radioactive contamination on ecosystems. This report outlines a scoping study conducted to establish an additional Radioecological Observatory in the Fukushima region, aiming to facilitate coordinated, hypothesis-driven research in radioecology. Radioecological Observatories serve as natural laboratories for coordinated research on the effects of radioactive contamination on ecosystems. The European Radioecology ALLIANCE proposed these observatories to focus research efforts and collaborate on studying areas affected by nuclear incidents, including Chernobyl and Fukushima. Several potential sites were initially suggested by the European Radioecology ALLIANCE. However, due to logistical constraints, an "Observatory site" within the Namie area of Fukushima Prefecture was selected. This site is located 23 km northwest of the FDNPP, with an initial deposition of 4,727 kBq/m² and annual precipitation of 1442 mm. The area comprises Japanese Cedar stands with a tree density of 3,300 trees/ha and brown forest soil. The selected site underwent initial characterization to assess its suitability as a Radioecological Observatory. Plausible locations were identified, and data on environmental parameters were collected and published. Although motion-activated cameras and acoustic recorders were initially considered, logistical challenges prevented their deployment. Instead, game trail cameras were deployed at the site. These cameras offer high-quality images and video recording, durability, and animal detection capabilities. However, they have limitations such as a one-time high cost, lack of sound recording, and the need for periodic SD card changes. The scoping study for the Fukushima Radioecological Observatory lays the groundwork for ongoing research into the long-term effects of radioactive contamination in the region. Despite challenges in acquiring equipment, the deployment of game trail cameras represents a significant step towards establishing a comprehensive monitoring system. By fostering collaboration and sharing resources, the observatory aims to contribute to a deeper understanding of the ecological consequences of nuclear incidents and facilitate informed decision-making for the management of affected environments.

2. 論文

Soil biodiversity and functional processes in radio-contaminated forests

(Fukushima Prefecture, Japan)

氏名 : GILBERT Franck

受入研究者 : 難波 謙二 · Vasyl Yoschenko

共同研究者 : BONZOM Jean-Marc · ARMANT Olivier ·

CAPOWIEZ Yvan · IRIBAR-PELOZUELO Amaia ·

BENOISTON Anne-Sophie

1. 成果

1- Soil biodiversity and functional processes in radio-contaminated forests (Fukushima Prefecture, Japan) Keywords: Fukushima Prefecture, ionizing radiation, forest, soil communities, functional processes The objectives of the collaborative French-Japanese RINSHŌ project are to study the in situ effects of radio-contamination on both soil biodiversity (microorganisms and eukaryotes) and two associated functional processes: leaf litter decomposition and soil bioturbation, in forests of the Fukushima Prefecture (representing approximately 70% of the total radio-contaminated land area). Indeed, those two integrative processes are specifically investigated because they are related to the transfer and the transformation of organic matter and are carried out by interacting organisms belonging to various soil biological compartments and ecological niches (from bacteria to macrofauna, epifauna and endofauna). Our hypotheses are: (i) radio-contamination has an impact on soil biodiversity, (ii) radio-contamination has an impact on the activity of soil organisms and the processes they drive, (iii) the impact of radio-contamination is dose-dependent. In the November-December 2023 period, six Cryptomeria japonica forest sites of the Fukushima Prefecture along positioned along a radio-contamination gradient were equipped with experimental units (five units per site). These units were composed of, among other devices: - fine and large mesh C. japonica litter bags to quantify both microbial and all-decomposers litter decomposition; - deposition zones of fluorescent tracers (luminophores) to quantify soil bioturbation; - TMS-4 TMOS dataloggers to register surface and deep temperature and humidity patterns during the experimentation time; - dosimeter columns to measure the radioactivity profiles within soils. Samplings for both eDNA (bacteria and eukaryotes

compartments), physical-chemical and radioactivity analyses of soils and litter were also realized. Collection of experimental devices and complementary samplings will be carried out after six (June 2024) and 12 months (nov-dec. 2024) of experimentation. 2- No paper on our still on-going project has been yet published, but the project has been presented as a poster: 10th Annual Symposium of the IER, Fukushima University "Forest and marine Environments in Fukushima now" - 28-29 February 2024 - Fukushima (Japan). Poster: Soil biodiversity and functional processes in radio-contaminated forests (Fukushima Prefecture, Japan) (Lambert Q., Armant O., Benoiston A-S., Capowiez Y., Hättenschwiler S., Iribar-Pelozuel A., Kaneko N., Lamothe S., Nanba K., Yoschenko V., Wada T., Bonzom J-M. & Gilbert F.)

2. 論文

Effects of environmental radiocontamination in Fukushima Prefecture
on tree frog physiology and populations

氏名 : 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 : ARMANT Olivier・GILLES André・

CAR Clément・FRELON Sandrine・MIURA Ikuro

1. 成果

Objective/Context - The objective of this research project is to better understand and quantify the biological effects of environmental radiocontamination in the Fukushima Prefecture on wildlife. For this purpose, we have chosen a model species, the tree frog (*Dryophytes japonicus*). In June 2022, we captured 214 tree frogs in Fukushima Prefecture at 11 different sites (i.e., corresponding to 11 populations) along a contamination gradient (ambient dose rate range: 0.08 - 6.9 $\mu\text{Sv/h}$). We collected about 20 male tree frogs per population. In this call for ERAN 2023 projects, our primary objective was to analyze all the biological samples (transcriptomic, genetic analyses) and to calculate the dose rates of each individual. Dosimetry - For each of the 11 tree frog populations (named S1, S2, etc.), the average (\pm SD) total dose rates (as well as the range) that we calculated are in $\mu\text{Gy.h}^{-1}$: S6 = 0.001; S7 = 0.002; S8 = 0.003; S5 = 0.005; S2 = 0.006; S4 = 0.03 \pm 0.006 (0.02-0.04); S10 = 0.03 \pm 0.008 (0.02-0.05); S1 = 0.06 \pm 0.04 (0.04-0.21); S11 = 0.18 \pm 0.06 (0.13-0.32); S3 = 0.21 \pm 0.14 (0.10-0.71); S9 = 0.80 \pm 0.25 (0.62-1.74). For sites 2, 5, 6, 7, and 8, the total dose rate is the same for all individuals within the same site. Indeed, since the internal activity is below the detection limit, the total dose rate corresponds only to the external dose rate. Transcriptomics - A reference transcriptome of *Dryophytes japonicus* was produced de novo from organs (testis, eye, brain, heart, testis and liver) dissected from 3 individuals captured in non-contaminated site in the Fukushima prefecture. The testis and tibia muscle of 200 tree frogs exposed along the radio-contamination gradient are currently processed in order to generate mRNAseq transcriptomics data that will allow us to characterize the potential physiological state on tree frogs. Energy metabolism - To investigate effects of exposure to radionuclide contamination on energetic metabolism of

tree frogs, the activities of three enzymes, citrate synthase, cytochrome c oxidase, both linked to aerobic metabolism, and lactate dehydrogenase, relative to anaerobic metabolism, were measured in the thoracic muscles (involved in calling mate) and in the liver (detoxification and energy storage organ). In the thoracic muscle, a dose-related increase of citrate synthase and lactate dehydrogenase activities was observed. No dose-related impact was shown on cytochrome c oxidase meaning that the number of mitochondria does not appear to be affected by radiocontamination. On the contrary in the liver, dose-related decrease in citrate synthase and cytochrome c oxidase activities suggest aerobic metabolism decreases (not significant trend for COX) whereas anaerobic metabolism seems to be boosted to compensate considering the dose-related increase in lactate dehydrogenase activity. Genetics analyses - A first test of dRADseq was performed on eight individuals (two sampled in 2012, two in 2013 and four in 2022). 1,704 loci were compared between these individuals which show strong differentiation between at least three different lineages. These lineages are not congruent with previously identified mitochondrial haplogroups and probably reflect admixture processes. The dRADseq of other individuals is underway and will enable analysis of mito-nuclear discordance, admixture processes and other evolutionary processes inferred from the variation in nuclear genetic diversity.

2. 論文

Publications in progress

Distribution peculiarities of sediments and radiocesium on the Abukuma River

floodplains and in the Ogaki Dam Reservoir caused by typhoon Hagibis

氏名 : KOMISSAROV Mikhail

受入研究者 : Alexei Konoplev · 脇山 義史 · 五十嵐 康記

1. 成果

A huge amount (about 6.4 PBq) of radiocesium ($r\text{-Cs}$) was deposited in north-west of Japan after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. The environment in Fukushima Prefecture was seriously subjected to ecological stress, for example the Abukuma River – the longest (length 234 km) river, and Ogaki dam at Ukedo River – one of the biggest dam in Fukushima Prefecture. The initial contamination levels of both objects were considered as high. The abovementioned water bodies represent an essential water resource for the local inhabitants and paddy field irrigation; therefore, the $r\text{-Cs}$ concentration has important implications for the “health” of humans and biota. During some erosional natural events (intensive rainfall/snowmelt) the turbidity and $r\text{-Cs}$ concentration in water bodies could increase, especially due to typhoons. Hagibis was (6–13 October 2019) the strongest typhoon in the last several decades in Japan and caused widespread destruction and high-floods. The rainfall in Fukushima Prefecture was nearly 600 mm in 24 h (mean annual precipitation is 1200 mm). In such conditions the large amount of contaminated sediments is delivered to the water bodies. The siltation rates, features of transport and redistribution of sediments, their texture and concentration of $r\text{-Cs}$ (as well in water) is required a detail study. This is a continuing study of a previously supported by ERAN research proposal (I-22-08). In 2022 the investigations were conducted for different parts (from source to mouth and elevation: floodplain, 1 and 2 terrace above the floodplain) of Abukuma River. All field and laboratory works were completed. In 2023 we analyzed the obtained results and prepared articles for publication; some data related to Ogaki dam was also used. To improve the reliability of findings, the additional sampling of sediment cores and water in Ogaki dam is planned in 2024. Analysis of obtained previously and compiled results suggest, that the max ^{137}Cs inventory Abukuma River valley bottom in 2018 was $\sim 950 \text{ kBq/m}^2$ (~ 600 in 2019), it is indicated a high washout of $r\text{-Cs}$ from up- and mid-stream to mouth and

ocean. The thickness of “fresh” sediment deposited on the floodplain in the case of the ordinary flood is in the range 1–5 cm, while it increased up to 40–50 cm after the extreme flood associated with typhoon. 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 ^{137}Cs and ~70% of silt (0.05–0.002 mm) fraction, whereas in Abukuma River – 2×10^3 Bq/kg of ^{137}Cs and 50% of silt.

2. 論文

- a) Konoplev, A., Wakiyama, Y., Igarashi, Y., Nanba, K., 2023. Fate and transport of Fukushima-derived radiocesium in the environment: Key findings and challenges for the future. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences 13 (4), 75–90. <https://doi.org/10.26502/ijpaes.4490154>. b) Konoplev, A.V., 2023. Physicochemical mechanisms of dissolved ^{137}Cs seasonal variations in freshwaters: Fukushima and Chernobyl. Radiochemistry 65 (6), 708–714. <https://doi.org/10.1134/S1066362223060127>.

**Landscape modeling of the fate of radiocesium (r-Cs) in the basins of small pond systems
in the vicinity of the Fukushima Daiichi Power Plant (FDNPP)**

氏名 : LINNIK Grigorievich Vitaly

受入研究者 : Alexei Konoplev · 脇山 義史 · 五十嵐 康記

1. 成果

1. Report. Closed and semi-closed ponds in the contaminated zone of the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant (FDNPP) accident in March 2011 are the most suitable objects for radioecological monitoring of the secondary redistribution of ^{137}Cs as a result of erosion processes in different landscapes. Radioactive contamination of reservoirs was formed in March 2011 because of the deposition of ^{137}Cs on the pond water surface, which led to water pollution. In subsequent years, changes in radioactive contamination of ponds occur as a result of input/output ^{137}Cs processes, which are typical for Funasawa and Suzuuchi ponds. Unlike these two ponds, Inkyozaka is closed filled fire extinguishing pond, i.e. radioactivity in this pond can only be added by surface runoff from its catchment. The cartometrically obtained data on the water surface area of reservoirs, as well as the catchment area, clarify similar data presented in [1, 2] and will later be used for appropriate calculations of the intake of r-Cs into reservoirs as a result of wash-off. The area of Inkyozaka water surface is 0.74 ha, whereas the basin area is 2.53 ha, the ratio basin/pond area equal 3.41. Whereas for Suzuuchi (irrigation pond), and Funasawa (recreational urban pond), these ratios are 8.4 and 16, respectively, which indicates that the potential secondary pollution for these two ponds may be significantly higher than for Inkyozaka. However, the data of 2017 survey on ^{137}Cs inventories in catchment soils and bottom sediments for Inkyozaka, Suzuuchi and Funasawa revealed a more complex picture of ^{137}Cs distribution, which cannot be explained by a simple basin/pond ratio to assess secondary redistribution processes as a result of erosion processes. The actual ratio of the average ^{137}Cs inventories in bottom sediments and catchment soils for Inkyozaka, Suzuuchi and Funasawa in 2017 was 0.7, 1.63 and 1.52, respectively. The actual erosion and the corresponding wash-off of ^{137}Cs - 137 into ponds depends on many different landscape factors, including geomorphological, land use, vegetation. Based on the results of the analysis of digital elevation model (DEM)

derivatives (slope, curvatures, LS- factor) and modeling of hydrological factors from DEM using GIS SAGA and GRASS (Flow accumulation, Effective flow length, Sediment balance), an evaluation of radiocesium wash-off by soil erosion as a potential ^{137}Cs - 137 input into ponds was performed.

2. 論文

Konoplev A, Wakiyama Y, Wada T, et al. Radio cesium distribution and mid-term dynamics in the ponds of the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant exclusion zone. Chemosphere 265 (2021): 129058. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129058

Konoplev, A., 2023. Physico-chemical mechanisms of dissolved ^{137}Cs seasonal variations in freshwaters: Fukushima and Chernobyl. Radiochemistry, 65 (6), 708-714 (in English). <https://doi.org/10.1134/S1066362223060127>

Nickel(II) complexes of carbamoyleethyl derivative of octamethyl isomeric macrocyclic chelator: Synthesis, characterization, biological evaluation, and applications in radioactive waste decontamination

氏名 : ROY Tapashi Ghosh

受入研究者 : Ismail Md. Mofizur Rahman

共同研究者 : BEGUM Zinnat Ara • RABI Saswata

1. 成果

- Research objective • Radioisotopes of nickel (r-Ni: Ni-59, Ni-63) are produced in the structural steels of nuclear reactor vessels and internal components from neutron activation of corresponding naturally occurring stable isotopes. The shape-persistent macrocycles can selectively isolate r-Ni from the waste matrix. The current study was undertaken to achieve the following objectives: a) Preparation and characterization of a carbamoyleethyl derivative of octamethyl isomeric macrocyclic chelator; b) Preparation and characterization of its Ni(II) complexes; c) Carrying out a study on their biological activities; d) Using the new macrocycle as an absorbent of radioisotopes of Ni.
- Experimental • The macrocyclic chelator was mixed with the Ni(II) salt in a suitable solvent medium to prepare the metal complexes. The chelator and corresponding metal complexes have been characterized by some physical methods (color, melting point, solubility, etc.), microanalysis (C, H, N, and S), spectroscopic techniques (IR, UV-VIS, NMR, and Mass), and X-ray crystallography. The antimicrobial activities of the chelator and corresponding metal complexes have been studied against some bacteria. The antioxidant activities of the prepared compounds are also investigated.
- Summary of findings • Current work has the following conclusions: a) A new carbamoyleethyl derivative macrocyclic chelator and its Ni(II) complexes have been synthesized and characterized; b) Remarkable biological activities of the prepared compounds were observed; c) The new macrocycle is found to act as an excellent absorbent of Ni(II) during complex formation.

2. 論文

**Assessment of prospective Beach Sand Minerals and their Radioactivity along the
Thoothukudi to Kanyakumari coastal area of Tamil Nadu**

氏名 : ANANTHANARAYANAN Chandrasekaran

受入研究者 : Ismail Md. Mofizur Rahman

1. 成果

• Research objective • Coastal sediments contain a variety of radioactive mineral deposits generated by the weathering and erosion of mineral rocks. The activity concentrations of U-238, Th-232, and K-40 in the Earth's crust are determined by the dispersion of minerals such as monazite and zircon in soil, sediments, sand, and construction materials. Natural radionuclides, specifically U-238, Th-232, and K-40, de-excite to their ground states, producing natural gamma radiation. This radiation is a primary extrinsic irradiation source for animals, plants, and humans worldwide. Continuous exposure to gamma radiation has the potential to injure tissues by modifying cell structure and destroying DNA, which can lead to significant health problems such as cancer. Therefore, this study aims to (i) assess the activity concentration of U-238, Th-232, and K-40 in sediment samples from the southern coastal area of Tamil Nadu through gamma-ray spectrometry, (ii) evaluate the heightened level of radiation hazards by examining radiological parameters, (iii) compare the obtained results with globally recommended limits and similar studies conducted worldwide to comprehend the distribution pattern of radionuclides in the coastal region, and (iv) identify the primary radionuclide contributing to background radiation in the study area using multivariate statistical techniques.

• Experimental • From January to December, samples were systematically collected from Thoothukudi and Kanyakumari (21 locations), with Kanyakumari located in India's southernmost region. A gamma-ray spectroscopy system comprises a NaI(Tl) scintillation detector with 98% counting efficacy, and a 1024-channel computerized multi-channel analyzer (MCA) was utilized to measure the activity concentration of radionuclides. Efficiency calibration was conducted using IAEA-approved reference-grade materials, including RG-U, RG-Th, and RG-K. Energy calibration was achieved by inserting known-energy gamma sources, Cs-137 (662 keV) and Co-60 (1173–1332 keV), into the detector. The activity concentrations of U-238 and

Th-232 and their decay products were determined using their progeny's photopeaks, which were 1764 keV for Bi-214 and 2614 keV for Tl-208. The concentration of K-40 was determined using a gamma-ray transition at 1460 keV. • Observations • The activity concentrations of naturally occurring radionuclides, namely U-238, Th-232, and K-40, were measured in the southern coastal area of Tamil Nadu, India, using the Gamma-ray spectroscopic technique. The findings indicate that elevated thorium levels and the corresponding dose rates are attributed to monazite-deposited beach sediments in the study area. The strong positive correlation between thorium and all radiological parameters suggests that the radioactivity is primarily due to the Th-232. On the other hand, U-238 and K-40 do not significantly contribute to the overall radioactivity despite their elevated levels in the coastal area of Tamil Nadu.

2. 論文

**Synthesis of dioxo complexes of molybdenum, an important raw material
for nuclear medicine**

氏名 : PALIT Debasish

受入研究者 : Ismail Md. Mofizur Rahman

共同研究者 : RAKSHIT Sukla • BEGUM Zinnat Ara

1. 成果

- Research objective • The isotope Mo-99 is an element used in producing technetium-99m (Tc-99m). Tc-99m is used in research into a multitude of ailments. Roughly 85% of medical imaging in nuclear medicine uses this isotope. Mo-99 is produced by the fission reaction of low-enriched uranium, which results in high-specific activity Mo-99. The universal means by which Tc-99m is made available for clinical applications is from the elution of generators containing high-specific activity fission-based Mo-99. However, the fission products are a mixture of different radionuclides. So, it is essential to separate them, and it is done by various means. The complexation of Mo by ligands can separate Mo-99 from the fission product mixture. So, we have planned to prepare some Mo-complexes with some new ligands and characterize them.
- Experimental • Five ligands were prepared by the condensation of S-methyldithiocarbazate with cyclopentanone, furan-2-aldehyde, thiophene-2-aldehyde, pyrrole-2-aldehyde, and acetophenone. The ligands were then allowed to form a complex compound of Mo by taking Mo acetyl acetonate as a precursor. • Findings • The ligands were characterized by IR, NMR, UV spectroscopy, and different physical parameters. It has been seen that all the Mo complexes are black-colored and diamagnetic. The IR, NMR, and UV analyses reveal that the ligand coordinates to the Mo dioxo moiety by azomethine nitrogen and thiol sulfur atom. IR and NMR spectroscopic data also proved the presence of Mo dioxo moiety. The presence of the OH group in the Mo complex was also confirmed by the IR spectrophotometric method. Hence, a bridging structure of the Mo complex is suggested.

2. 論文

Assessment of natural radioactivity and function of minerals in soils of the ship-breaking area, Bangladesh, by Gamma Ray spectroscopic and Fourier Transform Infrared techniques

氏名 : BARUA Suman

受入研究者 : Ismail Md. Mofizur Rahman

共同研究者 : BEGUM Zinnat Ara

1. 成果

• Research objective • Commercial vessels typically enter their end-of-life (EoL) phase after an average economic lifespan of 20 to 30 years and commonly undergo dismantling. Annually, approximately 2% of the global inventory, comprising about 45,000 ocean-going ships, is processed within the ship-breaking and recycling industry (SBRI). In the last two decades, South Asian countries, including Bangladesh, India, and Pakistan, have become favored destinations for end-of-life vessels. The issue of coastal contamination arising from ship-breaking activities at open beaches has been a subject of active debate. Providing an objective opinion on this matter necessitates a health risk assessment of ship-breaking activities. The current study aims to evaluate the impact of natural radioactivity resulting from naturally occurring radioactive materials (NORMs: U-238, Th-232, and K-40) and mineralogical characterization in the soils of the Shipbreaking and Recycling Industries zone in Bangladesh.

• Experimental • From January to December, samples were systematically collected from five Shipbreaking and Recycling Industries (SBRIIs) and one designated control location. Each shipbreaking yard was divided into three distinct segments based on the conducted activities: beaching, cutting, and storage. Notably, the cutting and storage segments are particularly exposed to higher activity levels during ship-breaking operations. Samples extracted from the cutting and storage segments were amalgamated to create composite samples, which were subsequently air-dried and preserved. Following established protocols, these preserved samples were analyzed using Gamma Ray and Fourier Transform Infrared spectroscopic techniques.

• Observations • The concentrations of naturally occurring radioactive materials, namely U-238, Th-232, and K-40, were measured in Bq/kg using the Gamma

Ray spectroscopic approach. These measurements exhibited variations across the pre-monsoon, monsoon, and post-monsoon seasons. Additionally, Fourier Transform Infrared spectroscopy was employed for the identification and characterization of minerals present, including quartz, microcline feldspar, orthoclase feldspar, kaolinite, montmorillonite, illite, and organic carbon.

2. 論文

Synthesis and characterization of Co(III) and Ni(II) complexes of N-pendent derivatives
of an isomeric octamethyl tetraazamacrocyclic ligand and applications in radioactive
waste decontamination

氏名 : BISWAS Bushon Foni

受入研究者 : Ismail Md. Mofizur Rahman

共同研究者 : BEGUM A. Zinnat · ROY Ghosh Tapashi

1. 成果

Cobalt (Co) and nickel (Ni) are essential micronutrients necessary for a well-functioning for human body. However, several compounds of Co and Ni are also considered to have chemical and/or radiological toxicity for the environment or individuals. Co-60 (half-life= 5.3 years) and Ni-63 (half-life = 96 years)) are radioisotopes, which produce high-energy gamma rays with a high chance of penetration into the human body to cause internal irradiation in the human cells and may cause cancer. Radioactive isotopes of Co and Ni may be released to the environment because of nuclear power plant operations; an accident occurs in nuclear power plants; radioactive waste dumping in the sea, or from radioactive waste landfills. Therefore, effectively removing these radioisotopes from the existing contaminants is critically important. For the future development of effective chelator-modified sorbents, it is essential to investigate the complexation behavior of Co(III) and Ni(II) with different chelators. The current study aims achieve the following objectives: 1. Synthesis and characterization of methyl substituted ligand salt, 2,9-C-meso-Me8[14]diene·2HClO₄ (L·2HClO₄) and reduction of the diene to Me8[14]ane. 2.

Synthesis of N-bis-carbamoylethyl ligand LBM from isomeric Me8[14]ane (LB) and its characterization. 3. Synthesis and characterization of Co(III) and Ni(II) complexes of the ligand, LBM. • Experimental • Condensation of 1,2-diamino propane with acetone in the presence of perchloric acid furnished a 14-membered octamethyl tetraazamacrocycle, Me8[14]diene·2HClO₄, which further produced a mixture of isomeric ligands, Me8[14]anes (LA, LB, and LC), on reduction with NaBH₄ and subsequent extraction with CHCl₃ (pH > 12). The isomers were separated by fractional crystallization from xylene. Interaction of LB with excess acrylamide afforded an N-

pendant derivative, LBM, in which two carbamoyleethyl groups were attached to less crowded nitrogen atoms. The complexes of Co(III) and Ni(II) with LBM were synthesized by a non-template method. The complexes were characterized using FTIR, NMR, UV-Vis., and X-ray analyses. • Observations • Upon the interaction of LBM with Co(III) acetate in presence of concentrated HCl produced six-coordinated octahedra complex, $[\text{Co}(\text{LBM})\text{Cl}_2](\text{ClO}_4)$. The reaction between LBM and Ni(III) perchlorate produced six-coordinated octahedra complex, $[\text{Ni}(\text{LBM})(\text{ClO}_4)_2]$. The study suggest that amino-functionalized macrocyclic ligands could be efficient for removing radioactive Co(III) and Ni(II) from wastes.

2. 論文

**Modelling of the transfer of radionuclides and their uptake by marine biota due to
hypothetical accidental release of the Fukushima storage water**

氏名 : BEZHENAR Roman

受入研究者 : 高田 兵衛

共同研究者 : MADERICH Vladimir

1. 成果

The open-source Lagrangian model Parcels was applied for the analysis of trajectories of radioactively contaminated water released from Fukushima storage tanks to marine environment. For this aim, virtual particles were released in the coastal zone near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP). The Parcels model simulates the movement of each particle using 3 components of velocity in the particle location at actual moment of time. The model uses different interpolation schemes, as well as integration schemes for simulating the particles movement due to advection, vertical diffusion, horizontal diffusion etc. Results of simulations can show trajectories, along which the contaminated water will move. The modelling area covers the whole North Pacific. 3D fields for three components of water velocities (U , V , W) were taken from the KIOST-MOM model. They are monthly averaged; so, we used 12 sets of (U , V , W), which were repeated every year. Particles were released from one point near the coast in front of FDNPP at the depth 10 m. One particle was released every 20 minutes during one year, 26,280 particles in total. Simulation was continued for 40 years. Results of simulations were processed to obtain trajectories of particles, which reached selected locations in different parts of Northern Pacific. 11 locations were selected to analyse minimal time needed the contaminated water to reach each location. According to model results, particles will reach Alaska fastest than other locations, only 1.4 years is needed for this. The box model POSEIDON-R was applied for the dose assessment in the area 10×10 km around release point. The release scenario was selected as normal release of Fukushima treated water during 30 years. In the POSEIDON-R model, the dynamic processes for water-sediments interaction and for the uptake and retention of radionuclides in marine organisms, which form pelagic and benthic food chains, were employed. The POSEIDON-R calculations were carried out for 50 years (30 years of

release period and 20 years of post-release period) to emulate the real-time scales of the treated water release. It was realistically assumed that only treated water was routinely released. It was conservatively assumed that the discharge of treated water is governed by the maximal allowable annual release of ${}^3\text{H}$ equal to 22 TBq. Since the concentration of radionuclides including tritium in storage tanks varies, the water discharge rate will be different for each tank depending on the concentration of the tritium to achieve the annual release of 22 TBq. Then treated water from tanks with lower concentrations of tritium could be discharged more intensively leading to a higher release rate for radionuclides other than tritium. Obtained in the model individual doses to humans were well below the 1 mSv per year limit for the general public. They were also below the dose constraint value of $50 \cdot \text{Sv}$ that was set by NRA for domestic nuclear power plants, and even below the annual dose of $10 \cdot \text{Sv}$, which is considered by the IAEA as a dose below which there is no negative health effect to be expected.

2. 論文

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

氏名：BURDO Olena

受入研究者：石庭 寛子・三浦 富智・Anderson Donovan

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 mounted fluorescent dye to create a probe. Then, chromosome spreads of cultured bone marrow cells were prepared for three related species, grey red-backed vole (*M. rufocanus*), Northern red-backed vole (*M. rutilus*) collected in Hokkaido, Japan and bank vole collected in Chornobyl, Ukraine. After labelling each centromere, all of chromosomes with the exception of the Y chromosome were successfully stained for both Japanese vole species. However, for bank vole, some chromosomes were not stained (previous study: I-22-13). To establish new probes, Msat-160 motifs were extracted from whole genome sequence data of bank vole and primers were re-designed. Amplified ladder band by PCR using three species of DNA as template were fluorescently labeled and centromeres of bank vole were labeled by FISH method. Some chromosomes were labeled but some were not, like previous results. As for the next step, we will check sequences of probes and identify the chromosomes that each probe labels and consider using mixture of probes.

2. 論文

Assessment of the effects of ionizing radiation in bees - BEERAD

氏名 : GAGNAIRE Beatrice

受入研究者 : 難波 謙二・石庭 寛子

共同研究者 : BONZOM Jean-Marc・BELZUNCES Luc・
BRUNET Jean-Luc・DUBOURG Nicolas・CREVET Margot

1. 成果

The risk assessment linked to the radiocontamination of the environment after a nuclear accident is a major ecological issue but is still surrounded by controversial results and conclusions on the real impact of such events on flora and fauna inhabiting the targeted zones. Moreover, the potential underlying mechanisms of the action of ionizing radiation are poorly known. Therefore, it is important to acquire data on the potential effects of ionizing radiation on ecosystems both in experimental and realistic conditions. The objective of this project is, using a pluri-disciplinary approach, to increase the knowledge of effects and mechanisms of action of IR on physiology and populations of honeybees in the context of chronic exposure (i.e., exposure of a significant period of time relative to the lifespan of exposed organisms) and at low dose rates (sublethal ecotoxicity) in realistic conditions, i.e., on the field and in the laboratory. However, very few data exist on this subject, and it seems important to conduct studies which will serve as a basis to better evaluate the impacts of IR on animal health using honeybees. Main results: In 2023, six sites were finally selected for hive installation: 2 in Okuma town (High dose), 1 in Namie town and 1 in Futaba town (Low dose) and 2 in Minamisoma town (controls). Our IER colleagues took care of the identification of land owners and the obtention of written authorizations for deploying the hives on the six sites selected. Hives were installed in April 2023 and were sampled in April and in July for Cs measurement and biomarker analyses. Honey was collected in June for measurement of radioCs and pesticide content. In October, the sampling could not have been done due to hornets, who devastated the hives. New hives will be installed in 2024 from April to July. Concerning the laboratory experiments, one irradiation experiment of small hives was performed in April 2023. The irradiation experiment lasted 21 days. Bees were sampled every week for biomarker analyses (still in progress). Analyses were supposed to be done on newborn bees, but the queens stopped spawning while they were inside the irradiation facility. New irradiation experiments will be held in 2024 on queens and larvae.

2. 論文

RADIATION MAPPING SURVEY AROUND RADIATION FACILITIES IN
THAILAND FOR RADIOLOGICAL EMERGENCY PREPAREDNESS
AND RESPONSE

氏名 : ARAMRUN Kitkawin
受入研究者 : 床次 真司

1. 成果

In March 2023, There were two radiological incidents in Prachinburi province, Thailand which were interested to public as well as both national and international medias. The first emergency situation was a missing radioactive source of caesium-137 (Cs-137) contained in a metal cylindrical shielding from a radiation facility, and the second was the detection of metal ash contaminated caesium-137 at a metal foundry. It has not been confirmed whether those two emergency situations are linked to each other. However, people are concerned about radiation health effects and the release of caesium-137 into the environment, which need to be considered in radiation measurements around the affected areas. The car-borne radiation mapping survey is a technique that can be used to assess and investigate radiation levels in areas of public concern. Therefore, the study aims to develop an effective method using various types of active detectors for measuring radiation dose rates around two areas: the radiation facility that the caesium sources missed and the metal foundry that metal ash contaminated caesium-137 found.

Three types of active detectors with global positioning system (GPS) receivers (i.e., two sets of 2-in × 2-in NaI(Tl) scintillation spectrometers (Rad XP, SI Detection, South Korea), a 2-in × 4-in NaI(Tl) scintillation spectrometers (SPIR-Pack, Mirion Technologies, USA), and a 63-mm x 63 mm NaI(Tl) scintillation spectrometers (AT6101C, ATOMTEX, Belarus)) are used to measure radiation dose rates together with latitude and longitude positions of each dose rate record. The radiation measurements are conducted within 10 km around two target areas that emergencies occurred by using those three detectors placed in a car with the car speed not more than 40 km/h. Soil samples are also collected to estimate the activity concentration of radionuclides in those soil samples using gamma spectrometers in order to consider the relationship between

dose rates and activity concentrations of radiation measured around the target areas.

The result of this study is the radiation levels around the radiation facility that the cesium sources missed and the metal foundry that metal ash contaminated cesium-137 found that can be used for assessment and communication with the public about the radiation health effects of the people living within 10 km of the areas and also radiation effects in the environment. Acknowledgement This study has been supported and granted by Program Management Unit Comptitiveness (PMUC), THAILAND: Technical Support EPR Network Development for Nuclear Regulatory Authorities for ASEAN and Environmental Radioactivity Research Network Center (ERAN) FY2023, JAPAN (Grant Number: I-23-21)

2. 論文

Development of Iodine-131 Absorption Efficiency Methods from Charcoal Filters with a Variety of Adsorbent Materials that are cheap for the safety of Thyroid Patients, Nuclear Workers and the Environment

氏名 : SUHARIYONO Gatot
受入研究者 : 床次 真司

1. 成果

1. The Results Introduction This research aims to develop a charcoal filter efficiency method (activated charcoal) for the absorption of Iodine-131 in hospitals and nuclear installations, to obtain a charcoal filter efficiency result close to the efficiency of a charcoal filter added with TEDA (Tri Ethylene Di Amin). A charcoal filter with KI or NaOH as an adsorbent is cheaper than charcoal filters with TEDA adsorbents. The efficiency is close to 99%, so it can help the burden of hospital thyroid patients from an economic and safety perspective of radiation workers in hospitals, nuclear installations, and the surrounding environment, as well as utilizing local products considering that Indonesia is a large producer of activated coconut shell charcoal. Methods This research consists of making activated charcoal filters mixed with Iodine-131 adsorbent material and testing the efficiency of the filter making results. Making variations in the concentration of each activated charcoal filter (charcoal) is weighed as much as 30 grams and placed in a beaker glass. Potassium iodide (KI), and NaOH were weighed respectively and varied in concentration (0%, 5%, 7,5% and 10%). The methanol solution is mixed with distilled water, then put into a bottle. The weighed KI, and NaOH were put into each bottle for each concentration. The solution is put in a heating furnace at 40 oC. The activated charcoal that has been dried and cooled is put in an activated charcoal filter container. Each activated charcoal filter container is labeled for each concentration made. Active charcoal filter efficiency testing was carried out using an Iodine-131 generator. The iodine generator is opened, dimethyl sulfate ((CH₃)₂SO₄) and I-131 are put into the iodine generator. Measurement of the adsorption efficiency of

I-131 at an energy of 364.48 keV on a charcoal filter using a gamma spectrometer system with a NaI(Tl) detector. The Results The quality of impregnated activated carbon decreases if the percentage of impregnated material exceeds 5% by weight. Charcoal with mesh 8-20 (A) is better than mesh 12-30 (B) because the efficiency of charcoal in A is higher than in B. Charcoal with KI compounds has a higher absorption efficiency of I-131 than charcoal with NaOH compounds. Charcoal efficiency with KI and NaOH compounds at a concentration of 5% wt. was better than concentrations of 7.5% and 10% by weight. 2. The Paper I don't have a publication yet, but I hope that I will make a paper this year.

2. 論文

not yet

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

氏名 : KOUNTCHOU NOUBE Michaux

受入研究者 : 床次 真司

細田 正洋

共同研究者 : Saïdou · MBARNDOUKA TAAMTÉ Jacob · FOLIFACK SIGNING

Vitrice Ruben · OMGBA ABANDA Zacharie Stève · YERIMA ABBA Hamadou

1. 成果

Development of a test bench for the electronics of ionizing radiation detectors based on FPGA and microcontrollers Kountchou Noube Michaux, Saïdou, Mbarndouka Taamté Jacob, Folifack Signing Vitrice Ruben, Omgba Abanda Zacharie Stève, Hamadou Yerima Abba, Shinji Tokonami, Hosoda Masahiro The primary objective of this project is to develop an efficient and low-cost local test bench for verifying the correctness of electronic circuits in ionizing radiation equipment. Additionally, the aim is to reduce maintenance costs, minimize breakdowns, refurbish existing equipment, improve staff performance, and enhance laboratory capabilities. The test bench will also facilitate the adjustment of pole-zero cancellation and study the pile-up effect. Within the framework of this project, our team has been dedicated to the development of a cutting-edge test bench tailored for the electronics of ionizing radiation detectors. Our primary goal has been to create a solution that not only ensures the accuracy of electronic circuits but also addresses the overarching objectives of reducing maintenance costs, minimizing breakdowns, and enhancing the capabilities of CRSTN and IREM laboratories. The project began with an in-depth analysis of requirements, involving extensive discussions with stakeholders to understand their needs and expectations fully. Based on these insights, we meticulously selected appropriate hardware components, including FPGA and microcontrollers, ensuring they met the stringent criteria of performance, flexibility, and cost-effectiveness. Additionally, careful consideration was given to selecting analog components such as ADCs, DACs, and op-amps, essential for signal conditioning and data acquisition. With a clear understanding of the requirements and the chosen hardware, we proceeded to design the system architecture. This involved outlining the

interconnections between FPGA and microcontrollers, defining communication protocols, and allocating responsibilities between different components. For the continuation of this project, which is still in progress and will continue in 2024 (FY2024 ERAN), our team will embark on the development of firmware for the FPGA, implementing sophisticated signal processing algorithms and digital control logic, while concurrently developing user-friendly software interfaces for microcontrollers to facilitate seamless control and data acquisition. The integration of hardware and software components will mark a significant milestone, culminating in an exhaustive testing phase. Rigorous testing protocols were employed to validate the functionality, accuracy, and reliability of the test bench. Calibration procedures will be meticulously executed to ensure precise measurements, laying the foundation for robust performance in real-world scenarios. Upon completion of testing, we'll focus on validation and comparison. We will carry out comprehensive comparative tests, benchmarking our test bench against reference equipment such as the Bladewerx microPulser in Cameroon. The results will validate the effectiveness and will contribute to significantly enhance laboratory capabilities. Documentation and training will be a priority to ensure seamless adoption and utilization of the test bench by laboratory personnel. Detailed documentation will be compiled, covering design specifications, implementation details, and testing procedures. Training sessions will be conducted to equip maintenance staff and laboratory personnel with the necessary skills to leverage the test bench effectively in their daily operations. Looking ahead, our focus will be also on further validation tests, gathering feedback for continuous improvement, exploring collaboration opportunities with other research institutions, and closely monitoring the performance of the test bench in real-world scenarios. We are convinced that the test bench to be developed will serve as a cornerstone in advancing the field of ionizing radiation detection,

2. 論文

Jacob Taamté Mbarndouka, Vitrice Ruben Folifack Signing, Modibo Oumar Bobbo, Michaux Kountchou Noubé, and Yerima Abba Hamadou. "Air Quality Assessment Based on a Smart Locally CO₂ Monitoring System with Validation by a Reference Instrument." Sustainable Chemical Engineering (2024): 259-278, <https://doi.org/10.37256/sce.5120>

Vitrice Ruben Folifack Signing, Jacob Mbarndouka Taamté, Michaux Kountchou Noube, 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).

Spatial uranium distribution in Mamuju

氏名：WAHYUDI Wahyudi

受入研究者：床次 真司・大森 康孝

共同研究者：NUGRAHA Djatnika Eka・PUTRI Jenisa Andeva

1. 成果

Spatial Uranium, Thorium and Potassium Distribution at High Natural Background Radiation Area, Mamuju, Indonesia Wahyudi¹, Radhia Pradana^{1,4}, Ilsa Rosianna², Agus Nur Rachman¹, Andeva Jenisa Putri³, Eka Djatnika Nugraha^{1*} Chutima Kranrod⁴, Yasutaka Omori⁴, Shinji Tokonami⁴ 1 Research Center for Safety, Metrology, and Nuclear Quality Technology, The National Research and Innovation Agency of Indonesia 2 Research Center and Technology of Nuclear Fuel Cycle and Radioactive Waste, The National Research and Innovation Agency of Indonesia 3Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Sumatera Institute of Technology, Bandar Lampung, Indonesia 4Institute of Radiation Emergency Medicine, Hirosaki University – Japan * Corresponding author: ekad001@brin.go.id Mamuju is an area that has a high content of uranium. Uranium is geogenic and has three isotopes, i.e., Uranium-238 (238U), 235U, and 234U. Of these, the most abundant is 238U, which makes up about 99.27% of natural uranium. The adverse effects of uranium on human health are due to its radiological and chemical properties. Radioactive elements with a heavy metal nature can deliver a trace quantity of radiation dose to the population. For the present work, surface soil samples from the mineralized area in the high natural background radiation area (HNBRA) Mamuju are collected at 3 locations with different soil depths. This study aims to understand and evaluate the possible interactions of various naturally occurring radionuclides in the Mamuju area. Moreover, the samples are measured using gamma spectrometry with a HPGe detector for determinations of 238U, 232Th, and 40K. Then, make the statistical analysis. The activity concentration of 238U, 232Th, and 40K ranges from 984 to 14507 Bq kg⁻¹, 858 to 4503 Bq kg⁻¹, and 177 to 285 Bq kg⁻¹, respectively. The U/Th concentration ratio in the surface soil was from 0.34 to 11.56 and for the bottom soil 0.58 to 12.90. The research was conducted at Tande-Tande, Botteng, and Palada Villages, Mamuju – West Sulawesi. This tropical region has dry and rainy seasons, and the shape geological contour is hilly land. A study of the spatial distribution

of ^{238}U , ^{232}Th , and ^{40}K radionuclides in the area was carried out taking the soil sampling with variations of depth, and this study assumed that the radionuclides of ^{238}U and ^{226}Ra are equilibrium in the soil. The samples were analysed at the Laboratory with ISO 17025:2017 Accredited. To calculate the activity concentration of ^{238}U in samples, we used the full energy absorbed peak of ^{214}Pb ($E\gamma = 351 \text{ keV}$) and ^{214}Bi ($E\gamma = 609 \text{ keV}$). For ^{232}Th , we used the full energy absorbed peak of ^{212}Pb ($E\gamma = 238 \text{ keV}$), ^{208}Tl ($E\gamma = 581 \text{ keV}$), and ^{228}Ac ($E\gamma = 911 \text{ keV}$), while for ^{40}K , we directly used its single peak of 1460 keV. ^{238}U concentrations in Tande-Tande, Botteng, and Palada are relatively homogeneous at various soil depths as well as ^{232}Th , and ^{40}K . Ratio of U/Th at Tande-Tande and Palada has almost the same trend, showing that the two locations have almost the same conditions. This condition differs from Botteng, where the U/Th is quite large so Botteng may have uranium deposits.

2. 論文

Car-borne survey and dose assessment from external radiation exposure in Bangka Island

Development method of Radioparticulates measurement in the Mining area

氏名 : NUGRAHA Djatnika Eka

受入研究者 : 床次 真司・大森 康孝・Kranrod Chutima

1. 成果

Inhalation of Radon (222Rn) and Thoron (222Rn) progenies in the domestic environment contributes the greatest fraction of the natural radiation exposure to the public and workers. A large proportion of the inhaled radon progeny deposits in the respiratory tract of the lung, while almost all of the gas and fine particles that are inhaled are subsequently exhaled. Nearly the entire lung dose arises from the inhalation of the radon progeny aerosol and not from the gas itself. This research activity aims to measure radioparticulate in mining areas contributed to inhalation dose due to Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and develop a simple method to measure radioparticulate Particulate matter (PM) 10, PM 2.5 and PM 1. The first step is to develop a simple method of radioparticulate, including radon-thoron and their progeny. This method will use an integrated measurement between radioparticulate and EERC/EETC using the improvement of the impactor and measure with Total Reflection X-Ray Fluorescence (TXRF) for direct speciation of elements. Moreover, radioparticulates will be measured in the mining area, especially at the refinery processing in the tin mining industry. After that, estimating the aerosol size distribution were calculating. The result of he Aerosol size distribution as shown in table 1. Table 1. Aerosol size distribution

2. 論文

Pradana, R., Nugraha, E. D., Wahyudi, W., Untara, U., Wiyono, M., Devriany, A., ... & Tokonami, S. Car-borne survey and dose assessment from external radiation exposure in Bangka Island.

Study of the relationship of radon and airborne particulate matter to lung cancer

incidence factors in the high background radiation area in Kanchanaburi

氏名 : RATTANAPONGS Chanis

受入研究者 : 床次 真司・クランロッド チュティマ

共同研究者 : ARAMRUN Kitkawin

1. 成果

The Provincial Health Office, Tha Maka district has the highest number of lung cancer cases in Kanchanaburi. In addition, Kanchanaburi is one of the provinces with high levels of PM 2.5 dust and is in a health hazard category. Therefore, in order to determine the factors that may contribute to these symptoms, the study focuses on radon-thoron measurements in 52 volunteer homes to correlate them with the data and select an area for measuring the concentration of their progeny for each dust size. The passive integrated radon-thoron discriminative monitor (RADUET: Radosys Ltd., Hungary) with a solid state alpha track detector (CR39) was installed for measuring indoor radon-thoron concentrations in the volunteer houses along with the estimation of gamma dose rates indoors and outdoors for choosing the five highest gamma dose rates in each sub-district. Indoor radon-thoron concentrations were again measured using an AlphaGuard detector on five volunteer houses based on the gamma radiation dose rate received at the beginning. Meanwhile, radiation aerosol samples were collected with a Cascade Impactor to separate aerosol particle size using CR-39 and separate the energy of the nuclide based on the Mylar aluminum film thickness. From the results, the measured gamma dose rate values were in the range of 0.11 - 0.25 μ Sv h⁻¹, with the highest value in the Tha Mai sub-district for indoor and in the Ulok Si Muen sub-district for outdoor, which the values were similar to those in other areas of Thailand. The average values of radon and thoron from RADUET were found to be in the range of 13 - 81Bq m⁻³ for radon, with the highest concentration at Phra Thaen, while thoron concentrations were found in the range of 2 - 52 Bq m⁻³ with a maximum value in Phra Thaen. The average equilibrium equivalent radon and thoron within research area buildings as measured by a cascade impactor for separating aerosol particle sizes were 1.9×10^{-5} Bq/m³ and 3.63×10^{-6} Bq/m³. Considering all the data obtained, it was found that the radon thoron levels did not exceed

the limits recommended by the World Health Organization. Therefore, it is possible that the radiation concentration in the area may not have influenced the factors that cause lung cancer. However, additional data or annual data collection is needed to compare all values over the long term.

2. 論文

Construction of Fluorescence in situ Hybridization (FISH) based Translocation Dose-Response Calibration Curve for Evaluation of Health Risk of Nuclear Workers

氏名 : SYAIFUDIN Mukh
受入研究者 : 三浦 富智

1. 成果

Accidental or occupational exposure to ionizing radiation poses a serious risk to public health and safety (Ahmad et al. 2019; Zielinski et al., 2009). According to Barnes et al. (2018), this radiation is a well-known carcinogen and clastogen that damages chromosomes. For the purpose of biodosimetry, a few useful biomarkers can be utilized to show and evaluate the development of radiation-induced alterations in the biological system. In order to triage exposed individuals and implement prompt medical countermeasures, this tool is necessary for quick dose and risk assessment (Herate and Sabatier, 2021). In biological dosimetry, the measurement of chromosomal aberrations in blood samples, mainly dicentric and reciprocal translocation, from exposed personnel is regarded as the "gold standard" and a highly sensitive biomarker (IAEA, 2011). It has been demonstrated that chromosome painting using fluorescence in situ hybridization (FISH) is a reliable and quick way to measure structural chromosome rearrangements, such as chromosome translocation, in human lymphocytes (Shakoori, 2017). The FISH technique, despite its high cost, is thought to be a potent tool for identifying particular chromosomal abnormalities because of its high sensitivity and the speed at which the assays can be completed.

Methods The peripheral blood samples were taken by venipuncture from 3 healthy donors (BD vacutainer). All volunteers were male and non-smokers, with an age range of 40 to 58 years old (average of 51 ± 9.64). In brief, whole blood was exposed at RT to X-rays (dose rate of 1.0 Gy/min) at doses ranging from 0.0, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, and 4.0 Gy. Samples were cultured at 37°C for 48 h, in the presence of 180 $\mu\text{g}/\text{ml}$ phytomemagglutinin. After 48 h, the cultures were fixed, and the chromosome preparations were labeled with a FISH probe according to Abe et al. (2016). At least 800 metaphase cells for every dose of irradiation were scored. Metaphase spreads were captured using the Metafer Image Analysis System (Metasystems). Metaphase spreads were scored blindly for types of damage, which included only a

specific type of stable aberration such as translocations. Fitting the dose-response to the linear-quadratic model was carried out by the method of iteratively reweighted least squares.

Results In this experiment, chromosomes translocations were observed among 36,654 metaphase cells painted with chromosome 1, 2, and 4 for all doses of X-rays under a fluorescence microscope. We found that the frequency of cell-containing translocation-positive metaphases is increasing with the radiation dose increment, where these frequencies became much higher due to exposure to the highest doses (2-4 Gy). There is a similar tendency to increase the frequency of cells containing translocation among the three subjects. It can be seen that subject C is less responsive compared to other subjects (Figure 1). There is a quite large individual differences in the frequency of translocation, especially in higher dose than 1 Gy and in subject C who is youngest respondent, it seem affected by confounding factors such as age which is also depend on life-style like smoking.

Figure 1. Relationship between the frequency of cells containing-translocation with dose of X-ray radiation among three subjects (left) and example of multiple aberrants (right). References Abe, Y., Miura, T., Yoshida, M.A., Ujiie, R., Kurosu, Y., Kato, N. et al

2. 論文

Optimization fixation time for detection gamma H2AX as biomarker of DNA DSB

after low dose radiation

氏名 : KURNIA Iin
受入研究者 : 三浦 富智

1. 成果

Effect of Different Blood Anticoagulant to γ -H2AX Expression for Biodosimetry and Genome Damage Biomarker Application Iin Kurnia Hasan Basri^{1*}, Dwi Ramadhani¹, Mukh Syaifudin¹, Sofiati Purnami¹, Tomisato Miura^{2**} 1Research Center for Radiosotope, Radiopharmaceutical and Biodosimetry Technology Research Organization for Nuclear Energy National Agency for Research and Innovation (BRIN) Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gedung 11, Setu, Tangerang Selatan | 15314 Banten | Indonesia 2Department of Risk Analysis and Biodosimetry Institute of Radiation Emergency Medicine, Hirosaki University Japan *email: iink001@brin.go.id **host research supervisor ABSTRACT Background Biological indicators are used for assessing DNA damage and repair in cells exposed to ionising radiation. DNA double-strand breaks (DSBs) have been known as one of the most significant lesion-producing lethal and mutagenic effects in irradiated cells. This biological marker for DSBs is the presence of γ -H2AX foci in the cell nucleus after exposure to ionising radiation. γ -H2AX formation was analysed in human lymphocytes with the problem being finding the best incubation time, temperature, and anticoagulant type for collecting blood from remote areas before being brought to the laboratory for γ -H2AX analysis. Method The blood was obtained from three male donors and irradiated by X-ray with a dose of 0.5 Gy and held in heparin and EDTA anticoagulant for 1 and 24 hours of incubation time at temperatures of 4°C, 20°C, and 32°C. Cells were fixed with paraformaldehyde and spread on a microscope slide using a Cytospin. The slides were immunostained after an incubation period. The number of foci per cell was scored automatically in about 100 cells per dose using Metavision with foci counting. Result The mean number of foci/cells before irradiation for donor A = 0.02 and 0.05, donor B = 0.03 and 0.04, and donor C = 0.03 and 0.04 in EDTA and heparin anticoagulant, respectively. One hour after 0.5 Gy irradiation, the mean number of foci/cells was A = 0.82, B = 1.21, C = 0.98

in EDTA, and A = 1.13, B = 1.37, C = 1.64 in heparin anticoagulant. After 4 oC incubation time, these were A = 0.43, B = 0.34, C = 0.13 in EDTA, and A = 1.58, B = 1.67, C = 1.39, in 20 oC A = 0.97, B = 0.84, C = 0.53 in EDTA, and A = 1.05, B = 0.87, C = 0.82 in heparin anticoagulant, in 32 oC A = 0.19, B = 0.14, C = 0.09 in EDTA, and A = 0.71, B = 0.42, C = 0.16 in heparin anticoagulant. No statistically significant number of γ -H2AX foci from the A, B and C donor before irradiated in both EDTA and heparin anticoagulants. One hour after 0.5 Gy irradiation there were statistically significant increasing of γ -H2AX foci for all donors both in EDTA and heparin anticoagulant. Twenty hours after incubation in 4 oC, in donor C there was no statistical increasing of number γ -H2AX foci before irradiation but in donors A and B increasing when the blood collected by EDTA anticoagulant, but in heparin anticoagulant the number of γ -H2AX foci from donors A, B and C showed statistical increase. After incubation at 20 oC for 24 hours, for both EDTA and heparin anticoagulant, there were significant increase of number of γ -H2AX foci from donors A, B, and C. After incubation for 320 C for 24 hours except in donor C, number of γ -H2AX foci in heparin anticoagulant showed significantly higher than incubation with EDTA. Conclusion After low dose irradiation, the number of γ -H2AX foci in heparin anticoagulant is higher than that of EDTA anticoagulant and it recommended that anticoagulant factor should be considered before the analysis of γ -H2AX foci for application in biodosimetry and genome damage biomarkers. Keywords: anticoagulant, γ -H2AX foci, ionising radiation, human lymphocytes, biological indicators.

2. 論文

A cytogenetic dose-response curve for low-dose range gamma-irradiation in human peripheral blood cells using three-color FISH

氏名 : PURNAMI Sofiati
受入研究者 : 三浦 富智

1. 成果

Introduction Biodosimetry is a fundamental approach for determining the dose of ionizing radiation absorbed by an individual. The FISH technique using three colored chromosome-specific painting probes (chromosomes 1, 2, and 4) have been used to evaluate the biological effects of low-dose range ionizing radiation on human peripheral blood cells. In this study, we aim to obtain the reference dose response curve for evaluating cytogenetic effects of low-dose range irradiations on human lymphocytes using three color FISH Methodology Human blood from three healthy donors have collected in Heparin-containing vacutainer tubes. Blood samples were irradiated with five X rays doses (0.1; 0.25; 0.5; 0.75 and 1 Gy) then cultured for 48 hours continue with harvesting and painting process. The number of chromosome aberrations have analyzed by chromosome painting (chromosome pairs 1, 2 and 4) for translocation analysis. Result The frequency of translocation was increased with the increment of radiation dose, by following a linear-quadratic curve, based on the observation in three subjects exposed to X-rays. When the data from all subjects were pooled, a similar trend was observed. The equation obtained using the pooled data was: $Y = 0.01283X + 0.0039$ ($R^2 = 0.9664$); which Y: Translocation per cells vs X: Dose (Gy). The increased of translocation with the radiation dose was found, thus our study support the applicability of the FISH technique for biodosimetry.

2. 論文

Dwi Ramadhani, Devita Teriana, Sofiati Purnami, Viria Agesti Suvifan, Iin Kurnia Hasan Basri, Teja Kisnanto, Tiara Andalya Oktariyani, Dira Syafira, Muhamad Yasin Yunus, Tomisato Miura, Mukh Syaifudin and Retno Widowati, γ -H2AX and phosphor-ATM enzyme-linked immunosorbent assays as biodosimetry methods for radiation exposure assessment: a pilot study, Radiation Protection Dosimetry, 2023, 1-8, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncad253>

Optimization of the tritium analysis method and its application to sea water samples

氏名 : MAKMUR Murdahayu

受入研究者 : 赤田 尚史

共同研究者 : NUGRAHA Djatnika Eka • PUTRA Irawan Permana Deddy

1. 成果

I-23-33 OPTIMIZATION OF THE TRITIUM ANALYSIS METHOD AND ITS APPLICATION TO SEAWATER SAMPLES: ANTICIPATION OF TRITIUM DISPOSAL FROM THE FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR REACTOR, JAPAN
MAKMUR Murdahayu, NUGRAHA Eka Djatnika, PUTRA Deddy Irawan Permana & AKATA Naofumi
Introduction Japan has announced plans to discharge more than 1.2 million tons of radioactive water from the waste treatment reactor of Japan's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) into the Pacific Ocean by March 2023. Disposal of tritium waste is carried out on the East coast off the coast of Fukushima, tritium radionuclide will be carried throughout the Pacific Ocean by global ocean currents, and dispersed into the surrounding marginal seas. Tritium-contaminated water will enter the waters of the Indonesian Sea through the Makassar Strait which is the main route for the Indonesian Throughflow. This will have an impact on increasing the concentration of natural tritium in Indonesian waters. Tritium-contaminated water can pose a radiation threat to marine ecosystems and human health, including in the waters of the Indonesian Sea. Thus, the optimization of the tritium analysis method from seawater was carried out in this study and the selected method will be applied to samples from Indonesian marine waters, so that tritium baseline data is obtained before the disposal of tritium waste from Fukushima, Japan.
Methodology There are many marketed scintillation cocktails available for tritium counting, but only several retain a considerable amount of water, and even fewer have adequate specifications for low-level counting. We compared the efficiency of the Ultima gold LLT and OptiPhase HiSafe cocktails, which are now available in our laboratory. Samples were collected samples from Halmahera Sea and Sunda Strait were collected monthly from January to November 2023. Seawater samples were collected using a plastic bottle. After collecting 700 ml of water, samples were distilled to remove any impurities, to reduce quenching, and to prevent the introduction of other radionuclides that might adulterate the results and use electrolytic enrichment

to raise the tritium concentration to a detectable level. One-tenth of a milliliter of the second tenth of the distillate was added to twenty milliliters of polyethylene scintillation vial and mixed with ten milliliters of PerkinElmer's OptiPhase HiSafe scintillation cocktail. We measured the tritium activity of water samples using LSC Quantulus 1220. We counted each sample for three cycles of ninety minutes and then averaged the results to determine the tritium activity. Result and discussion To create DWTS, the ${}^3\text{H}$ solution was spiked with distilled water. Samples were made using various proportions of cocktail to tritiated water, with a 20 ml total vial capacity being made available. For each standard, three cycles of measurements were performed in these tests, with a counting time of ninety minutes per cycle. We were able to verify that the ideal ratio of water to scintillation cocktail was 6:14 ml for Ultima Gold LLT and 10:10 for OptiPhase Hisafe by evaluating the count rates for standard tritium solution. Tritium in the subtropical and tropical regions, showing an average slightly lower activity compared to the northern and subarctic transition zones, follows the overall trend of radiocesium, and based on the annual global tritium prediction results from rainwater, the Indonesian region has a relatively small tritium input (0.5 – 2 TU ${}^3\text{H}$ -3) compared with other regions. The results research show that the baseline data on tritium in seawater from the Halmahera Sea (Code: TNT) and Sunda Strait (Code TJL) is in the range of 0.44 – 0.98 TU, ($n=5$, triplicate) which will become reference data if there is an increase in tritium activity in seawater in the future due to the release of tritium from Fukushima Japan.

2. 論文

not yet

Development method of radioactivity measurement in drinking water sample using TXRF

氏名：ROSIANNA Ilsa

受入研究者：赤田 尚史・田副 博文

共同研究者：NUGRAHA Djatnika Eka・YUSUF Riyaz

1. 成果

Water is a basic need for humanity Water is an important aspect for living things and one of the Sustainable Development Goals (SDGs). A thorough study was recently carried out involving 45 samples of Drinking Bottled Water (AMDK) originating from 21 cities in Indonesia. This research was conducted by measuring the content of physiochemical parameters, major, trace elements and anions. Physiochemical parameters were measured using digital pH Hanna HI98107, EC digital Hanna DiST 3 HI98303, HACH DR 900 Colorimeter, TDS meter. Concentration of Major Elements (Na, Al, Mg, K, Ca P and S), Trace Elements (Cl, Sr, Cr, Mn, Fe, Zn, As, Sc, Cd, Sb Ba, Pb, Th and U) were measured using Total Reflection X-ray Fluorescence, which was first validated by the method using standard ICP multi-element standard solution IV as a spike sample, determination of standard internal concentration (Ge) and continued measurement by TXRF. Anion concentrations were measured using the Dionex Ion Chromatography system (ICS-210, Thermo Scientific, USA). The results of physiochemical parameter measurements obtained successive values for TDS, EC, Turbidity, Color and pH of 0-262 (mg/L), 0-532 (μ S/cm), 0 NTU, 2-14 TCU. The concentrations of major elements were obtained in the order of concentration of Ca>Na>Mg>P>Al>S>K and trace elements Sb>Ba>Sc>Sn>Th>Br>U>Mn>Pb>Cd. Based on the results of hydrochemical analysis using the Piper diagram, most of the samples (> 90%) belong to the calcium bicarbonate waters. A small portion of the sample (<10%) belongs to sodium bicarbonate waters. The results of the analysis using correlation analysis showed that there was a strong positive correlation (0.61 - 0.80) between Ca and -Mg (0.73), K and Cl- (0.68), TDS and K (0.62), Sc and Ba (0.62), U and Sb (0.67), U with Ba (0.66) and a very strong positive correlation (0.81 - 1.0) between Ba and Sb (0.98). The results of the analysis using Hierarchical Cluster

Analysis and Linear Discriminant Analysis, both of them did not show that the ion levels in the bottled water samples matched the geological data. The results of the calculation of the water quality index as a whole get an index of 100 in 45 samples of AMDK which indicates that the water quality is very good without any threats or disturbances and the water conditions are very close or equivalent to pure.

2. 論文

-

Capacity building for development of nuclear techniques for analysis of radionuclides and potential toxic elements in environmental samples collected from Ruppur Nuclear Power

Plant (RNPP), Bangladesh

氏名：RAHMAN M. Safiur

受入研究者：田副 博文・Anderson Donovan

共同研究者：SUDOWE Ralf

1. 成果

Bangladesh grapples with a significant electricity shortage, making it imperative for the country to bolster power generation efforts. Consequently, our government has initiated a project to establish a 2400 MWe nuclear power plant slated for commissioning in 2025. Hence, it's crucial to develop expertise in managing radioactive materials to ensure radiation safety, mitigate environmental contamination, and facilitate remediation efforts. There's been a growing interest in understanding the uptake kinetics of radionuclides and toxic elements in natural systems to comprehend the dispersion of radioactive waste and toxic elements in the environment. Monitoring radionuclides and toxic elements in vegetables, soil, sediment, rock, and water samples across Bangladesh can furnish vital insights for managing radioactive materials and trace elements in the environment. Therefore, it is important field of study and the following two graduate (M.Sc.) students have completed their thesis under my supervision and their manuscript will be published accordingly.

TITLE: (A). The Level of Natural Radionuclides and Heavy Metals in Ground Water and Health Risk Implication (B). Assessment of Natural radionuclides in soil samples collected from industrial areas of Chittagong city, Bangladesh

2. 論文

Two thesis for graduate students have been completed (A). The Level of Natural Radionuclides and Heavy Metals in Ground Water and Health Risk Implication (Md. Robiul Hasan (Examination Roll: 142324), Nuclear Engineering Department, Dhaka University) (B). Assessment of Natural radionuclides in soil samples collected from industrial areas of Chittagong city, Bangladesh (Md. Robiul Hasan (Examination Roll: 142316), Nuclear Engineering Department, Dhaka University)

Anthropogenic radionuclides in the Southern Ocean

氏名 : CHAMIZO Calvo Elena

受入研究者 : 田副 博文

共同研究者 : Shinonaga Taeko

1. 成果

Anthropogenic radionuclides are widely distributed in the general environment due to a multiplicity of sources. Baseline levels were imposed by the atmospheric testing of nuclear weapons in the 1945-1980 period, with a maximum in the 1960s (Global Fallout). The routine operation of nuclear facilities and nuclear accidents have also introduced radionuclides in the general environment but at local and/or regional scales. To date, there exists an extensive database of anthropogenic radioactivity in the marine environment in the Northern Hemisphere. By contrast, results for the Southern Hemisphere are scarce. In this work, the anthropogenic radionuclides ^{237}Np , ^{239}Pu and ^{240}Pu have been studied in surface seawater samples from the Southern Ocean using the ultrasensitive technique Accelerator Mass Spectrometry (AMS). Samples were collected at the Antarctic Ocean (51° - 67° S, 42.45° - 67.29° E) by cruise KH-19-1 of research vessel R/V Hakuho Maru of the Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) in 2019. Pu and Np isotopes were analysed on the 1 MV AMS system at the Centro Nacional de Aceleradores (CNA, Seville, Spain). The obtained $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{237}Np activity concentrations levels range from 1 to 2 and from 5×10^{-4} to 3×10^{-3} $\mu\text{Bq}/\text{kg}$, respectively, in agreement with the observed levels in surface seawater samples all over the world far from local or regional sources. Most of the obtained $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratios range from 0.17 to 0.3 in agreement with global fallout levels. Data which will be obtained continuously in this project will shed light on the levels of anthropogenic radioactivity and the behaviour of each nuclide in the marine environment surrounding Antarctica.

2. 論文

Comparative assessment and analysis of radionuclide measurement in fish of Fukushima

氏名 : SUDOWE Ralf

受入研究者 : Anderson Donovan · 田副 博文 · 赤田 尚史 · 山田 棕平

共同研究者 : JOHNSON Thomas

1. 成果

The Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident on March 11, 2011, led to significant radioactive contamination of terrestrial and aquatic ecosystems in eastern Japan. Monitoring radionuclide concentrations in the environment became imperative to assess risks to ecosystems, wildlife, and human health. Hirosaki University (HU) and Colorado State University (CSU) started a collaborative effort to enhance research activities and establish an international learning platform for students focused on radiation monitoring, particularly in Fukushima. The collaborative effort centered on comparing methodologies for measuring ^{90}Sr and ^{137}Cs concentrations in fish samples from Fukushima. Both institutes aimed to validate their respective measurement techniques and improve research capabilities. Fish samples were collected from the Yunosawa River in Aomori Prefecture, Japan (control area), and the Ogurasawa River in Fukushima Prefecture, Japan (contaminated area). Measurements of ^{137}Cs showed good agreement between the two institutes, with 3608 ± 160 measured by CSU and 3973 ± 28 measured by HU for fish samples from the contaminated area in Fukushima. Measurements for ^{90}Sr are still ongoing. The collaborative effort confirmed the success of the radioanalytical measurement methods used by both institutes. This validation highlights the reliability of currently used techniques for sample measurement. Future research endeavors will expand the scope to include further comparative measurements and improvements in ^{90}Sr measurement techniques. Additionally, investigations into isotopic ratios in field sites and a comparative analysis of mass spectrometry, gas proportional counting, and liquid scintillation counting sensitivities are planned. These advancements will contribute to refining measurement techniques and enhancing the accuracy of radiation monitoring. The collaboration between HU and CSU helped by validating measurement techniques and enhancing research capabilities. This partnership aims to contribute to ongoing efforts in assessing and mitigating the impacts of radioactive contamination on ecosystems, wildlife, and human health. Through continued collaboration and research advancements, we strive to ensure the safety and well-being of communities affected by nuclear incidents.

2. 論文

N/A

放射能環境動態・影響評価
ネットワーク共同研究拠点（ERAN）

FY2023 Final Report

【拠点間/Within ERAN 共同研究】

拠点間共同研究

採択番号	研究代表者氏名	研究代表者所属	課題名	共同研究者氏名	共同研究者所属
E-23-01	恩田 裕一	筑波大学	六ヶ所村における再処理施設稼働前における森林・溪流のトリチウム状況の把握	グシェフ マキシム 今田 省吾 吉田 智	福島大学 環境科学技術研究所 環境科学技術研究所
E-23-02	坂口 紗	筑波大学	環境水中の極微量Tc分析法確立	田副 博文 赤田 尚史 高久 雄一	弘前大学 弘前大学 筑波大学
E-23-03	山崎 信哉	筑波大学	環境水中ヨウ化物イオンの迅速かつ選択性の回収に向けた電気化学的手法の速度論的検討	平尾 茂一	福島大学
E-23-04	ヨシェンコ ヴァシリ	福島大学	Monitoring study in the forested areas in Rokkasho	難波 謙二 吉田 智 今田 省吾 柿内 秀樹	福島大学 環境科学技術研究所 環境科学技術研究所 環境科学技術研究所
E-23-05	平尾 茂一	福島大学	福島第一原子力発電所周辺における環境中トリチウムの評価	柿内 秀樹	環境科学技術研究所
E-23-06	脇山 義史	福島大学	阿武隈川および新田川における出水時の129I動態	笠 公和 平尾 茂一 松中 哲也 松村 万寿美	筑波大学 福島大学 金沢大学 筑波大学
E-23-07	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	高貝 慶隆 アンダーソン ドノヴァン 岡 壽崇 青木 譲	IER IREM 日本原子力研究開発機構 福島大学
E-23-08	グシェフ マキシム	IER	Tritium water measurements in small Fukushima catchments"	赤田 尚史	IREM
E-23-09	三浦 富智	弘前大学	核燃料再処理施設再稼働に向けた野生ネズミの調査	アンダーソン ドノヴァン 今田 省吾 石庭 寛子 大塚 良仁 山城 秀昭 中田 章史	弘前大学 環境科学技術研究所 福島大学 環境科学技術研究所 新潟大学 北海道科学大学
E-23-10	赤田 尚史	弘前大学	有機物中水素量に関する研究	柿内 秀樹 山田 榧平 桑田 遥	環境科学技術研究所 弘前大学 弘前大学
E-23-11	田副 博文	IREM	Investigation of temporal variation and control factor of Sr-90 in fish bone sample collected in Ukedo River	和田 敏裕 三浦 富智	IER IREM
E-23-12	大森 康孝	弘前大学	自動車走行サーベイによる土壤中のラジウム濃度評価のための基礎的検討	平尾 茂一 床次 真司 細田 正洋 クランロッド チュティマ	福島大学 弘前大学 弘前大学 弘前大学
E-23-13	アンダーソン ドノヴァン	弘前大学	Estimating dose to wild boars in Fukushima Prefecture	石庭 寛子 三浦 富智	福島大学 弘前大学
E-23-14	山田 榎平	弘前大学	水中トリチウム濃度測定に係る相互比較分析	平尾 茂一 赤田 尚史 桑田 遥 Kheamsiri Khemruthai	福島大学 弘前大学 弘前大学 弘前大学
E-23-15	藤原 健壯	日本原子力研究開発機構	有機結合型トリチウム分析の前処理手法の改良	赤田 尚史 寺島 元基 桑田 遥	弘前大学 日本原子力研究開発機構 弘前大学
E-23-16	辻 英樹	国立環境研究所	河川における懸濁物質中の有機物とセシウム137の分配係数の関係	五十嵐 康記 脇山 義史	福島大学 福島大学
E-23-17	柿内 秀樹	環境科学技術研究所	福島における環境トリチウムの遷移的評価	恩田 裕一 加藤 弘亮	筑波大学 筑波大学

環境水中の極微量 Tc 分析法確立

氏名：坂口 綾

受入研究者：田副 博文・赤田 尚史・高久 雄一

1. 成果

人工放射性核種テクネチウム-99(半減期 = 21.1 万年)はその物理化学的性質から、重要核種として環境におけるモニタリングが重要視されている。しかし、一般環境水中の Tc-99 は放射線分析や質量分析のいずれにおいても現状その測定が困難である。先行研究にて、これまで数十～数百 L の海水を必要としていた Tc-99 の分析を 1.5 L で行える可能性が示唆された。しかし、測定の妨害となる核種の除去が不十分でありその実現には至っていない。本研究では、最終的に質量分析による簡便な Tc-99 定量法確立をめざし、さらなる妨害核種の除去のための Tc-99 分離濃縮法を検討した。また、Tc-99 質量分析における分析効率や測定精度向上のために用いる‘スパイク’候補の長半減期 Tc-97(半減期 = 421 万年)および‘トレーサー’候補の短半減期 Tc-95m (半減期 = 60 日)を Nb+Li 核反応により同時に製造できる条件を探索するため、それぞれの反応における励起関数を得ることとした。〈99Tc 分離濃縮法の検討〉質量分析装置(ICP-MS)による Tc-99 分析時の妨害核種(Mo-98, Ru-99)のさらなる除去と海水からの Tc-99 濃縮を目的とし、TEVA レジンおよび Tc-01 レジンを用いた海水からの粗分離・濃縮および精製濃縮分離法について検討した。粗分離過程においては、分析に必要な海水量を TEVA レジン(2 ml)に連続的に流した後、1 M 硝酸で樹脂を洗浄、8 M 硝酸で Tc を溶離する一連の実験において、洗浄条件を変えることにより Tc(Re)の高収率、Ru、Mo の高除去率を目指した。Tc-01 レジンを用いた精製分離過程においては、Tc の溶離条件を予備的に検討し、最終溶離液中の Tc-99 および妨害核種の測定を行った。〈Tc-97 スパイク・Tc-95m トレーサーの製造〉Nb の金属箔を重ねたスタックターゲットに Li-7 イオンビームを 2.9 時間照射することで、52.4-30.5 MeV の範囲において Tc 同位体の製造を行った。照射後の Nb 箔の γ 線測定により得られた Tc-95m、Ru-97(Tc-97)の放射能から核反応断面積を求め、それぞれの励起関数を得た。【結果と考察】〈Tc-99 分離濃縮法の検討〉粗分離過程において、最適化した洗浄量、洗浄速度を 1.5 L の海水に適用し、分離濃縮実験を行った結果、Tc(Re)の回収率は $92.5 \pm 5.1\%$ であった。Mo-98 および Ru-99 の除去係数はそれぞれ 7.3×10^4 、 3.0×10^3 であり、Mo の目標除去係数を達成した。精製分離過程では 100%に近い Tc の回収率を保った上で Ru をさらに 1/230 除去することができると分かった。〈Tc-97 スパイク・Tc-95 トレーサー

の製造〉 Li イオンビームを照射した Nb 箔から Tc-97、Tc-95m の製造が確認され励起関数を得ることができた。製造された Tc-95m/Tc-97 比が 1 Bq/1 fg となる Li ビームエネルギーは 52.4 MeV であり、Nb フォイルから Tc を精製することで今後 Tc の質量分析における有用なスパイク・トレーサー試薬を作成可能なことが示唆された。

2. 論文

環境水中ヨウ化物イオンの迅速かつ選択的回収に向けた

電気化学的手法の速度論的検討

氏名：山崎 信哉
受入研究者：平尾 茂一

1. 成果

環境に存在する放射性ヨウ素の生体影響や環境動態を評価するためには、化学形態ごとに存在量を知ることが重要である。本研究ではヨウ化物イオンを電気化学的手法により回収、定量する方法について実試料への適用可能性について検討を行った。電気化学測定は、作用電極に銀線（ $0.5\text{ mm}\phi$ ）、参照電極に Ag/AgCl 電極(3M NaCl)、対極に白金線を用いて行った。電解液(0.1 M 硝酸カリウム溶液)中に、 ^{127}I - (0-100 μM) 及び ^{125}I - (3 kBq) を添加し、電圧を加えて試料を攪拌しながら定電位電解を行った。電極面積や印加電圧、ヨウ化物イオン濃度を変化させて、溶液中のヨウ化物イオン濃度の経時変化を記録した。反応前後の溶液それぞれについて、NaI シンチレーターを用いてヨウ化物イオン濃度を求めた。実試料として、筑波大学内の松美池で採取した水を $0.45\mu\text{m}$ のフィルターでろ過した水を用いた。電気化学的手法と HPLC-ICP-MS 法でそれぞれ I-濃度を測定し、クロスチェックを行った。環境水レベルのヨウ化物イオン濃度の溶液について印加電圧の影響を調べた結果、+50 mV のとき最も効率よく I-を回収できた。この結果は、前年度に報告したヨウ化物イオンを高濃度に含む溶液で得られた結果と同じであった。また、反応溶液量が 3 mL の場合、15 分以内に反応が定常状態となった。銀線の長さを 5, 10, 15 cm と長くすると反応速度及びヨウ化物イオンの反応量が上昇したが、20 cm の場合 15 cm と全く同じ結果が得られた。ヨウ化物イオン濃度の対数と反応量には直線関係が得られたため、電極に回収したヨウ化物イオン量を定量することで、溶液中のヨウ化物イオン濃度を求めることができると推測された。ため池の水を用いてヨウ化物イオンの回収・定量を試みたところ、本手法の結果と HPLC/ICP-MS の結果が誤差範囲内で一致した。しかし、実試料を測定した際のヨウ化物イオンの電極への回収率は、同濃度のヨウ化物イオンを含む模擬溶液で得られた値と比べて、1/10 以下であった。これは実試料中の有機物が電極に吸着して反応効率を下げたためと推測された。以上の結果より、本電気化学的手法を実環境試料に適用する際は、試料を採取した後、有機物を活性炭などで除くのが好ましいと考えられる。

2. 論文

Monitoring study in the forested areas in Rokkasho

氏名：ヨシェンコ ヴアシル

受入研究者：難波 謙二・吉田 聰・今田 省吾・柿内 秀樹

1. 成果

Background and Aim The planned start of operation of the Rokkasho Reprocessing Plant and MOX Fuel Fabrication Plant in FY2025 may result in releases of radioactive substances into the Environment. This project continues the research initiated in 2022 at two forest observation sites in the area of potential impact of the nuclear fuel cycle facility. Our preliminary results revealed low (background) levels of ^{137}Cs contamination of the components of the study ecosystems originated from the global fallout. In FY2023, we aimed to obtain more detailed data on ^{137}Cs distributions at the experimental sites, which would enable the estimates of radionuclide fluxes in the cedar forest and identification of the most contaminated broadleaf species as potential monitoring targets for the period of the facility operation.

Study Area and Sampling

The study was continued in mature cedar (Site 1) and mixed broadleaf (Site 2) forests located approximately 4 km and 6 km northwest of the nuclear facility, respectively. In 2023, samplers of litterfall (LF), throughfall (TF) and stemflow (SF) were installed. Biomass, litter, and water were sampled in Sep-Nov.

Results: Background Levels of ^{137}Cs in the Study Areas

Based on the measurement results available to the moment, ^{137}Cs deposition levels in the study area are estimated at $2.4 \cdot 1.1 \text{ kBq m}^{-2}$ and $1.8 \cdot 0.4 \text{ kBq m}^{-2}$ in the cedar and broadleaf forest plots, respectively, which corresponds to the GFO level on the Pacific side of land of Japan. The ^{137}Cs expectation depths (mass depths) at the cedar and broadleaf forest sites are $6.2 \cdot 0.4 \text{ cm}$ ($21 \cdot 4 \text{ kg m}^{-2}$) and $6.5 \cdot 0.9 \text{ cm}$ ($25 \cdot 6 \text{ kg m}^{-2}$), respectively (sampling in FY2022). ^{137}Cs concentrations in litter are at the level of several Bq kg^{-1} . Litter inventories account for about 0.3% of the total deposition in the cedar forest and about 0.1% in the broadleaf forest, respectively. ^{137}Cs concentrations in the crown compartments of cedar (foliage, branch) are in the range $1\text{-}3 \text{ Bq kg}^{-1}$. ^{137}Cs concentrations at the level of several Bq kg^{-1} were measured in leaves and branches sampled from several broadleaf species, such as Acer, Lindera, and others. Measurements of ^{137}Cs activities in samples collected from other broadleaf species, as well as in fresh LF and TF from cedar site, are in progress.

What's next · Completion of ^{137}Cs measurements and assessment of the fluxes; ·

Elaboration of a routine monitoring scheme. Specification of the potential monitoring targets (e.g., TF and LF).

2. 論文

福島第一原子力発電所周辺における環境中トリチウムの評価

氏名：平尾 茂一
受入研究者：柿内 秀樹

1. 成果

There is a need for scientific knowledge to evaluate the environmental impact associated with the release of ALPS-treated water stored at the TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) into the ocean. Tritium is a radioactive isotope with a half-life of 12.3 years, most of which is present in the environment as water form, HTO. Since atmospheric transport of HTO is the fastest pathway to organisms living on land, it is necessary to first obtain actual measurements of atmospheric concentrations and then evaluate the consequences of environmental HTO impact. On land, HTO is taken up by plants and is fixed by photosynthesis. Therefore, information on tritium concentration in plants is essential for environmental impact assessment. However, the number of monitoring on land is small compared to the substantial expansion of ocean monitoring. In this study, tritium concentrations in plants in the vicinity of the FDNPP were measured, and the relationship between concentration fluctuations and meteorological conditions was examined. Environmental assessment requires sampling the same plants at multiple sites. In this study, Solidago altissima was used as the monitoring plant because it grows throughout Japan and in many locations in Fukushima. Tissue free water (TFW) was extracted from the collected leaves of Solidago altissima. Traditionally, a combination of vacuum freeze-drying and distillation has been used for the extraction. However, it is difficult to process a large number of samples simultaneously and efficiently in a system consisting of a vacuum pump and a cooling system. Therefore, a new membrane separation method using PTFE filters was applied. Tritium concentration of tissue free water (TFWT) was measured by using low background liquid scintillation counter (Quantulus GCT6220, PerkinElmer). The TFWT concentration was successfully measured and ranged within the variation in previous observations, although the TFWT concentration obtained was slightly higher than the current background level in Japan. The findings presented in this research can be utilized to evaluate the ecological consequences of tritium in the vicinity of a release site.

2. 論文

阿武隈川および新田川における出水時の¹²⁹I動態

氏名：脇山 義史
受入研究者：笛 公和・平尾 茂一
共同研究者：松中 哲也・松村 万寿美

1. 成果

福島第一原子力発電所事故によって放出された長寿命の¹²⁹I(半減期:1,570万年)は、高い化学的活性や¹³⁷Csとの挙動の違いなどの観点から、陸から海洋への挙動を長期的に把握することが必要な核種の1つである。¹³⁷Csに関しては、台風接近などにともなう出水時に懸濁態として多量に流出することが知られているが、¹²⁹Iの出水時における動態を観測した例は少ない。申請者らは2019年度、2020年度は阿武隈川中流地点（集水面積2800km²、平均¹²⁹I沈着量0.041Bq m⁻²）で2018年7月と10月に採取した水試料、2021年度・2022年度は新田川下流の原町地点（集水面積200km²、平均¹²⁹I沈着量0.093Bq m⁻²）で2016年8月・2017年10月に採取した水試料を分析した。この結果、新田川では¹²⁹Iが阿武隈川に比べて、総流出量に対する懸濁態の割合が高いことが示された。このことから、¹²⁹I沈着量が大きいほど懸濁態の寄与が大きくなる可能性が考えられた。この仮説を検証するため、2023年度は流域内の¹²⁹I沈着量がさらに大きいと考えられる新田川上流の蕨平地点で採取した試料を対象として、分析を行った。蕨平地点における集水面積は206km²であり、流域平均¹²⁹I沈着量は0.069Bq m⁻²と推定された。ただし、この沈着量は、流域内の測定点数が少ないので、過小評価されている可能性がある。この地点で2016年8月16～17日の出水イベント時に採取した水試料を用いて、2022年度までと同様に前処理、加速器質量分析法による¹²⁹I/¹²⁷I比測定、ICP-QQQ-MSによる¹²⁷I濃度測定を行った。溶存態¹²⁹I濃度の平均値は 2.4×10^{-4} mBq L⁻¹(n=5), 懸濁物質の¹²⁹I濃度の平均値は 1.1×10^{-2} Bq kg⁻¹(n=5)であった。¹²⁹I/¹²⁷I比の平均値は、溶存態で 1.0×10^{-8} 、懸濁物質で 4.9×10^{-8} であった。これらの値は、新田川下流の原町地点での値よりも高く、両集水域における沈着量の違いを反映していると考えられる。それぞれの濃度の時間変化を見ると、溶存態¹²⁹I濃度は上昇した後に低下し、懸濁物質の¹²⁹I濃度は減少した。見かけの分配係数Kdの平均値は 5.6×10^4 L Bq⁻¹であり、原町地点(2016年: 2.3×10^4 L Bq⁻¹、2017年: 2.2×10^4 L Bq⁻¹)よりも高く、沈着量が多い流域ほど流出に対する懸濁態の寄与が大きくことを示している。¹²⁹Iの流出量は 1.8×10^4 Bqであり、このうち96.7%が懸濁態であった。この懸濁態割合も原町地点(2016年:92%、

2017 年 : 83%) に比べて高い値であった。2023 年度の結果は、流域平均 129I 沈着量が大きい流域では懸濁態として移行しやすいという仮説を支持するものとなった。今後、2017 年に蕨平で採取した試料を分析に供し、この仮説の確認を行う予定である。また、蕨平地点における流域平均 129I 沈着量が過小評価されている可能性があるため、既存データを参照するなどしてその確認を行う。なお、2019 年度・2020 年度に得られた結果をとりまとめて、Applied Geochemistry 誌に投稿し、2024 年 3 月 29 日現在査読中である。

2. 論文

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

氏名：石庭 寛子

受入研究者：高貝 慶隆・Anderson Donovan

共同研究者：岡 壽崇・青木 譲

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 this fiscal year, it was confirmed that CO₂- radicals without impurities could be extracted from the tooth of Japanese field mouse (*Apodemus speciosus*). Collected tooth samples were divided into two groups, young and old, based on the degree of wear of the molars. In each group, molars from 15 individuals were combined at a time due to the small size of mouse teeth, making it challenging to detect radical signals. Subsequently, the molars were powdered, and impurities were removed. Radical signals were detected using electron spin resonance instrument. Intensity of radical in young and old groups showed similar trend with estimated total lifetime radiation dose, i.e., the young group was lower and the old group was higher. As for the next step, dose estimation is performed based on the relationship between stepwise irradiation of the samples and the ESR signal and establish measuring method to detect radical intensity for each individual.

2. 論文

Tritium water measurements in small Fukushima catchments"

氏名：グシェフ マキシム
受入研究者：赤田 尚史

1. 成果

In 2023, small headwater catchments with 26 potential sites were identified for potential water samples and had an area from 0.53 km² to 185 km² at 18 site elevations ranging from 57 m near Abukuma River and 1618 m with discharge from 0.02 m³/s to 2.88 m³/s. On 12 Oct 2023, 19 river water sites (Fig. 1) and one monthly rainwater of September 2023 were sampled for H-3 measurements using Liquid Scintillation Counter after sample distillation. H-3 in rainwater is 0.391(± 0.15) Bq/L at IER roof and H-3 in river water ranges from 0.002(± 0.15) Bq/L to 0.832(± 0.14) Bq/L with an average of 0.335 ± 0.234 . Using $3H=0.21$ (± 0.14) Bq/L with $3H$ in Fukushima precipitation leads to Mean Transit Times (MTT) = 38 years, but the MTT uncertainty needs to be reduced by enrichment process of river water samples at natural tritium levels. Using H-3 values measured at 19 river sites, the annual effective dose of the drinking water pathway ranges from 0.02 nSv to 10.93 nSv with an average of 4.41 \pm 3.07 nSv, which is much lower than the worldwide internal dose. .

2. 論文

Not available

核燃料再処理施設再稼働に向けた野生ネズミの調査

氏名：三浦 富智

受入研究者：Anderson Donovan・今田 省吾・石庭 寛子・大塚 良仁

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がある。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、また地域的隔離により地域集団を作る可能性が考えられる。2023年度は、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年度中のERANサンプルアーカイブに登録した (Metadata: IREMS00007)。

【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°Cで保存している。 ②脾臓：脾細胞培養を行い、染色体標本を作製し、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°C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°C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°Cで保存している。

2. 論文

Metadata of IREMS00007

(https://www.ied.tsukuba.ac.jp/s_archive/IREMS00007.html)

有機物中水素量に関する研究

氏名：赤田 尚史
受入研究者：柿内 秀樹・山田 棟平
共同研究者：桑田 遥

1. 成果

福島第一原子力発電所の廃炉作業に伴い発生する、多核種除去設備で処理された「処理水」の海洋放出が開始された。そのため、環境中におけるトリチウム濃度とその挙動に関心が集まっている。動植物内に含まれるトリチウムは、組織自由水（TFWT）と有機結合型トリチウム（OBT）として存在している。TFWTは有機物を多く含む水試料であり、一般的な水試料と同様な手順で測定される。一方、OBTは有機物を燃焼してトリチウムを水（HTO）として回収した後に水試料と同様な手順で分析するのが一般的である。この燃焼水濃度を用いて経口摂取による内部被ばく線量を評価するためには、有機物中の水素濃度情報が重要となる。また、試料内の水素量を把握することで、乾燥させた有機物試料の燃焼量を把握することもできる。本研究では、有機物試料中の水素濃度分析を実施し、その濃度レベルを明らかにすることを目的とした。対象とした試料は、魚としてクロソイ、ヒラメ、スズキの3種である。また、植物試料として、リンゴとナシの分析も行った。それぞれの試料から可食部を取り分けた後、真空凍結乾燥法により組織自由水と有機物に分けた。乾燥有機物試料は、粉碎・混合した後に元素分析計（MT-6, Yanaco）により水素濃度を測定した。その結果、クロソイ、ヒラメ、スズキの水素含有量はそれぞれ $7.62 \pm 0.05\%$ 、 $7.20 \pm 0.15\%$ 、 $7.09 \pm 0.09\%$ であった。リンゴとナシは、それぞれ $6.57 \pm 0.24\%$ および $6.83 \pm 0.05\%$ であった。この結果より、同量を燃焼した場合、リンゴやナシのような可食部より魚類の方が燃焼水を多く得ることができると言える。今後、本データをトリチウムの経口摂取による内部被ばく線量評価に役立てる予定である。

2. 論文

自動車走行サーベイによる土壤中のラジウム濃度評価のための基礎的検討

氏名：大森 康孝

受入研究者：平尾 茂一・床次 真司・細田 正洋・Kranrod Chutima

1. 成果

1. はじめに 自動車走行サーベイ法は、一般に周辺線量当量率や空気吸収線量率を短期間で広範囲に測定するために用いられる。本研究では、複数台の NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータを自動車に搭載し、走行サーベイによってガンマ線波高分布を取得して土壤中のラジウム濃度の広域マッピングを行うことを最終目標とする。土壤中のラジウム濃度を用いることにより土壤からのラドン散逸率を評価することができるため、ラドン散逸率マップを作成することにより、大気輸送モデルの精緻化やラドンによる潜在的な健康リスクの推定に寄与することができる。本研究で用いる NaI(Tl)シンチレータは、温度変化によって光電ピークがドリフトするという温度特性を有する。さらに、シンチレータの個体差もあるため、複数台のスペクトロメータを用いてガンマ線パルス波高分布を取得する場合には、光電ピークの位置合わせが重要となる。本採択課題では、3 台のスペクトロメータの器差を明らかにするとともに、測定されたガンマ線パルス波高分布を合成し、合成波高分布と非合成波高分布から評価した空気吸収線量率を比較することにより、合成の妥当性を検証した。
2. 方法 測定に用いたスペクトロメータは、3 インチ円筒形 NaI(Tl)シンチレーション式スペクトロメータ EMF211 (EMF ジャパン株式会社) である。地面から 1 m の高さに同型の 3 台（機器 A、B、C）のスペクトロメータを並べて静置し、ガンマ線パルス波高分布を 15 分間測定した。さらに、パルス波高分布を応答行列法によりアンフォールディングし、エネルギースペクトルから空気吸収線量率を評価した。3 台の機器を用いて評価された空気吸収線量率について、機器 A に対する機器 B、C の比を計算し、器差とした。また、15 分間の測定の内、最初の 5 分間で得られたパルス波高分布を抽出し、各チャンネルの計数の和をとることにより、3 つの 5 分間測定のパルス波高分布を 15 分間測定に相当するパルス波高分布へ合成した。合成されたパルス波高分布から応答行列法により空気吸収線量率を評価し、基準とする機器 A で評価された空気吸収線量率と比較した。本申請課題におけるガンマ線パルス波高分布は、岐阜県東濃地域の 9 か所において測定された。
3. 結果及び考察 調査地点における空気吸収線量率は、33–113 nGy/h であった。機器 A により評価された空気吸収線量率に対する機器 B および C により評価された線量率の比は、それぞれ 1.01 ± 0.01 (範囲: 0.99–1.03) および 0.99 ± 0.06 (範囲: 0.89–

1.08) であった。これらの結果から、3台のスペクトロメータにおいて明らかな器差は認められなかった。また、機器 A により評価された空気吸収線量率に対する合成パルス波高分布から評価された線量率の比は 1.01 ± 0.02 (0.98–1.04) となり、明らかな差は認められなかった。以上の結果は、屋外の in-situ 測定において 3台のスペクトロメータから得られるパルス波高分布を単純に合成することは妥当であり、複数台を測定に用いることで測定時間の短縮化を図ることができることを示唆する。他方、スペクトロメータを自動車に搭載した場合、車体による減弱などでパルス波高分布に影響を与えると考えられる。自動車走行サーベイ法におけるパルス波高分布合成技術を確立するためには更なる検討が必要である。

2. 論文

Estimating dose to wild boars in Fukushima Prefecture

氏名 : Anderson Donovan
受入研究者 : 石庭 寛子・三浦 富智

1. 成果

The study aimed to estimate radiation exposure in wild boars of Fukushima utilizing the dicentric chromosome assay (DCA), despite its conventional use for acute radiation exposures in humans. The necessity arises from the crucial need to evaluate the impact of radioactive substances released into the environment on wildlife, particularly in regions like Fukushima characterized by chronic low-dose rate exposures. Assessing radiation exposure in wildlife poses challenges due to factors such as heterogeneous radioactive contamination, variability in external dose rates, animal movements and lifetimes, habitat usage, and food availability. These complexities, including the ingestion of contaminants through grazing, complicate dose estimation for large animals like wild boars. The DCA, primarily used for acute radiation exposures in humans, was used to estimate doses in wild animals of Fukushima. However, uncertainties arise due to differences in radiation responses between humans and wildlife. Wild boars in Fukushima received a lifetime radiation dose of up to 700 mGy using conventional methods, such as physical dosimetry modelling, considering both internal radiocesium accumulation and external ambient dose. A discrepancy in dose-response curves was observed between low dose rate (1.43 mGy/min) and high dose rate (200 mGy/min) calibrations. Using dicentric frequencies in wild boars, estimated doses ranging from background to 750 mGy. Future research aims to increase the number of scored cells for dose-response curve generation and focus on wild boars of Fukushima. Additionally, efforts will be made to develop correction factors for dose rates. Furthermore, alternative methodologies like electron spin resonance (ESR) will be explored for comparative dose assessments. Despite the conventional use of the DCA for acute radiation exposures in humans, this study demonstrates its potential applicability in estimating radiation exposure in wild animals of Fukushima, particularly wild boars.

2. 論文

水中トリチウム濃度測定に係る相互比較分析

氏名：山田 棟平

受入研究者：平尾 茂一・赤田 尚史

共同研究者：桑田 遥・Kheamsiri Khemruthai

1. 成果

トリチウム (H-3) は、半減期 12.3 年の放射性同位体であり、近年では福島第一原子力発電所から海洋放出される処理水中に含まれるため関心が高まっている。測定には、主に液体シンチレーションカウンタ (LSC) が用いられ、現在は様々なモデルの LSC が販売されていることから、その性能評価は重要である。そこで本研究では、弘前大学被ばく医療総合研究所 (IREM) と福島大学環境放射能研究所 (IER) がそれぞれ有する同モデルの LSC における機種間差を評価することを最終目的に、標準試料の準備及び IREM での測定を実施した。標準試料には、Merck 社 (Sigma-Aldrich[®]) の重水試料 (118.17 ± 0.39 Bq/L, 基準日: 2020 年 9 月 9 日) を 100 倍程度に希釈したものを 2 種類 (試料 No.1 及び No.2) 準備した。これを IREM が所有する日本レイテック製 LSC-LB5 及び同社製 LSC-LB7 でそれぞれ 3 回測定した。その結果、試料 No.1 は LB5 で 0.75 ± 0.12 Bq/L、LB7 で 0.75 ± 0.11 Bq/L であり、試料 No.2 は LB5 及び LB7 とともに 1.80 ± 0.11 Bq/L であった。今後は、これら試料の放射能測定を IER の同モデル機種で行い結果を比較する予定である。また、同様のことを両機関が有するを Perkin Elmer 製 Quantulus GCT 6220 で行う予定である。

2. 論文

有機結合型トリチウム分析の前処理手法の改良

氏名：藤原 健壮
受入研究者：赤田 尚史・寺島 元基
共同研究者：桑田 遥

1. 成果

【目的】 生体試料中の有機結合型トリチウム濃度データを取得するためには試料を乾燥処理し、乾燥試料を燃焼することによって燃焼水を回収する必要がある。しかしながら、試料の燃焼では試料種によって燃焼スピードが異なることから突発的な発火を伴い、火災や不完全燃焼による試料のロス、装置の破損等の懸念がある。そのため、試料種ごとに発火を伴わない燃焼プログラムを作成し、安全かつ容易に燃焼可能な半自動燃焼システムの確立を目指した。本件では、発火を伴わない燃焼プログラム作成のための基礎データとして、示差熱天秤(TG-DTA)と赤外分光光度計(FT-IR)との複合分析を行うことが可能な TG-DTA-FTIR 同時測定システムを用いて食部試料及び魚試料の分析を行い、燃焼温度の制御に資するデータの蓄積を図った。

【研究結果】 TG-DTA の分析結果から、松葉試料を燃焼した場合 170°C、280°C、410°C に燃焼のピークが見られた。一方、ヒラメ試料では 160°C、450°C、520°C に燃焼ピークが見られた。燃焼時間の依存性を確認したところ、燃焼時間を長くすることにより、燃焼ピークの高さは低くなるとともに、突発的な発火を防ぐことが分かった。また、FT-IR の結果から、燃焼開始 45 分程度までは水蒸気の吸収帯が見られ、60 分程度より二酸化炭素の吸収帯が見られていた。今回の試料では水蒸気及び二酸化炭素以外の目立ったピークが見られなかつたため、不燃性の物質は確認されなかつたと考えられる。今後、同様の手法でさまざまな試料におけるデータを増やし、試料種における差異を検討していくことが必要である。また、発火を伴わない燃焼プログラムを作成するためには、2 つの観点で調査を進める必要があることが分かった。(1)TG-DTA-FTIR の燃焼条件として、半自動燃焼システムと同様の燃焼スピード及び燃焼時間で分析を行うこと。(2)発生ガスの有無を判断するため、TG-DTA-MS のデータを活用すること。今後、上記のデータを効率よく取得し、燃焼プログラムの開発を進める。

2. 論文

河川における懸濁物質中の有機物とセシウム 137 の分配係数の関係

氏名：辻 英樹
受入研究者：五十嵐 康記・脇山 義史

1. 成果

本研究では、「河川水中の溶存態 ^{137}Cs 濃度は、全ての懸濁物質とのイオン交換ではなく無機懸濁物質のみとのイオン交換により規定される」という仮説について、河川水試料を用いた室内試験により立証した。まず懸濁物質試料として、請戸川上流部(2023年7月)・下流部(2023年8月)において遠心分離により濃縮した懸濁粒子を 60°C で 1 週間以上乾燥し、有機性の多い懸濁物質と少ない懸濁物質を用意した。次に水試料として、請戸川上流部の河川水の現場ろ過した濾液を用意した。これらの試料を用いて、 ^{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)と水温の関係が、懸濁物質試料の性状の違いによりどのように異なるか検証する室内試験を行った。まず懸濁物質濃度が 10 mg/L となるよう、水試料 8 L に上流と下流の懸濁物質を混合し、恒温槽内において定温(上流懸濁物質： 5°C 、下流： $30^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}/5^{\circ}\text{C}$)で 48 時間攪拌し、その後孔径 $0.45 \mu\text{m}$ フィルタでろ過を行い、ろ液を蒸発濃縮後、ゲルマニウム半導体検出器により ^{137}Cs を定量し、攪拌後の溶存態 ^{137}Cs 濃度を求めた(各試験系について 3 反復)。この実験結果から得られる ^{137}Cs 分配係数と水温の関係は、平衡状態を仮定すれば van't Hoff 式に回帰されるはずであるが、全懸濁物質に対する分配平衡の式(モデル-1)と無機懸濁物質に対する式(モデル-2)による再現性の差異を検証することにより、上記の仮説の妥当性をすることができる。なお、懸濁物質中の有機物の割合は、別途持ち帰った水試料をガラス纖維ろ紙にろ過し、ろ紙を 105°C 乾燥後、 $600^{\circ}\text{C} \cdot 30$ 分加熱し、各乾燥過程におけるろ紙の処理前からの重量増加を測定することで定量を行った。まず上流部・下流部で回収した懸濁物質中の有機物の割合はそれぞれ 86% と 52% であった。この結果をもとに、全懸濁物質の濃度(上流・下流ともに 10 mg/L)に対するモデル式(モデル-1)から得られる水温と溶存態 ^{137}Cs 濃度の関係式を、無機懸濁物質のみの濃度(上流： 1.4 mg/L 、下流： 4.8 mg/L)から得られる再現式(モデル-2)と比較したところ、水温と溶存態 ^{137}Cs 濃度の関係は、上流・下流の懸濁物質いずれにおいてもモデル-1 に比べてモデル-2 のほうが再現性が良好であった。このことから、河川水中の溶存態 ^{137}Cs 濃度は水温と無機懸濁物質濃度によって規定される可能性が示唆された。ただし本実験は液相から固相への ^{137}Cs 吸着過程のみについて検討したものであり、実際の河川水中の ^{137}Cs 挙動を再現するためには ^{137}Cs 脱離過程についても同様な試験により検証を行う必要がある。

2. 論文