

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 <sup>137</sup> Csの排出に与える影響		恩田 裕一	CRiES
Y-23-03	榊原 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	<sup>129</sup> I・ <sup>228</sup> Ra・ <sup>234</sup> Th/ <sup>238</sup> U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 昂平	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 <sup>210</sup> 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 翰庭	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 Tchunte 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	HEGEDŰS 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 勁 ハリアント マイケル 遠藤 真樹 鄒 文傑	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 勁 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 椋平	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 敏顕

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・実験を通じた現象理解に加え、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、土壌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壌の保水性・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 137Cs 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 137Cs 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 137Cs in rivers are tightly bound to suspended sediments (SS), understanding the dynamics of particulate 137Cs 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 137Cs 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 137Cs. 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 137Cs 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 137Cs 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 137Cs were more consistent over the same period. In contrast, the control of water flow/rainfall on sediment transport with 137Cs 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  $^{137}\text{Cs}$  loss using meteorological radar data, quantified land use, and  $^{137}\text{Cs}$  inventories. We found a significant positive correlation between this metric and  $^{137}\text{Cs}$  dynamics in the Koise, rather than Sakura, which well-supports our explanation of highly  $^{137}\text{Cs}$  contaminated sediment in Koise mainly from the forest. Overall, our results suggest that forested areas in Kasumigaura lake may continue to discharge particulate  $^{137}\text{Cs}$  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：榊原 厚一

受入研究者：恩田 裕一・辻村 真貴

共同研究者：廣田 昌大・平松 翼

#### 1. 成果

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。山地溪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ったが、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、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った。Rn-222 濃度においては、高水期の渓流水では Rn-222 が検出されなかった。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ったため、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、渓流水の流量と渓流水中 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、岩盤地下水の渓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壌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、現在の還元的水質条件下では堆積物中に安定に存在するが、同たい積場閉鎖措置（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、環境試料中での元素の分子レベルの情報を引き出し、より本質的な化学的情報に基づいて人形峠センターにおける元素循環の素過程や環境影響を検討してきた。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(FeII $\text{CO}_3$ (Sid.)), 嫌気下で安定)、フェリハイドライト(FeOOH $\cdot$ nH $_2$ O(Fh.)), 大気下で準安定)、ゲーサイト( $\alpha$ -FeIII $\text{OOH}$ (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価から3価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  $\mu$ -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 ( $^{238}\text{U}$ ) 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 ( $\text{Fe}^0$ ), bimetallic  $\text{Fe}^0$ , and others) have shown remarkable performance in reducing  $^{238}\text{U}$  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 YFe $^0$ -Pre) and post-synthesis (annotated as YFe $^0$ -Post)). Batch experiments were conducted using the synthesized nanocomposites for the simultaneous removal of  $^{238}\text{U}$  and As from both synthetic water (initial concentration: 10 mg/L), and real mill tailing pond water (initial concentration: 20- $^{238}\text{U}$  ug/L and 7-As ug/L). A dose of 0.1 g/L yeast-based magnetic nanocomposites (YFe $^0$ -Pre and YFe $^0$ -Post) showed faster  $^{238}\text{U}$ /As removal compared to that of bare  $\text{Fe}^0$ , yielding full simultaneous removal of 10 mg/L initial  $^{238}\text{U}$ /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：笹 公和

共同研究者：松中 哲也・坂口 綾・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 ( $1.33-1.53 \times 10^{-10}$ ), 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：笹 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 ( $^{129}\text{I}$ ) 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  $^{129}\text{I}$  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  $^{127}\text{I}$ +放射性ヨウ素  $^{129}\text{I}$ ）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  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 、ICP-MS により  $^{127}\text{I}$  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 桁程度濃度が高く、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  $^{129}\text{I}$  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/ $^{129}\text{I}$  比を考慮することで、原発近傍における  $^{129}\text{I}$  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 綾女

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：猪俣綾女 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  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  の移行・蓄積状況を把握するため、県内 5 湖沼における  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定し、採取した湖水は溶存態の  $^{137}\text{Cs}$  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、 $^{137}\text{Cs}$  濃度の推移から関係を検討した。 $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  濃度は時間の経過とともに低下していた。 $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  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、 $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  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、 $^{137}\text{Cs}$ ）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  $^{137}\text{Cs}$  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  $1.70\text{Bq/kg-wet}$ 、外海域  $0.98\text{Bq/kg-wet}$ ）。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、 $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  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  $0.48\text{Bq/kg-wet}$ 、カニ類のタカノケフサイソガニで  $0.43\sim 0.91\text{Bq/kg-wet}$  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  $^{137}\text{Cs}$  濃度を比較すると、和田は  $0.6\sim 2.68\text{Bq/kg-wet}$ 、棚脇前は  $0.52\sim 11.7\text{Bq/kg-wet}$ 、岩子は  $0.78\sim 3.51\text{Bq/kg-wet}$ 、大洲東は  $0.63\sim 3.3\text{Bq/kg-wet}$  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  $^{137}\text{Cs}$  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  $9.84\text{‰}$  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  $-14.45\text{‰}$  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  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  の一部は河川を經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  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  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) に松川浦の人工島棧橋 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  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  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、 $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  濃度に換算した。SML の容積当たりの  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  濃度は 18.3~22.5 Bq/kg であり、懸濁態 (重量当たり) の  $^{137}\text{Cs}$  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、満ち潮の影響のみを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 210Pb 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 210Pb deposition. The Sea-of-Japan experiences notably high levels of 210Pb 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 210Pb deposition across the Northern Hemisphere. The simulation spanned from 2012 to 2015, focusing on understanding 210Pb residence time and deposition flux. The results of the research revealed significant insights into 210Pb 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 210Pb from upwind continental areas. Overall, this research marks a significant advancement in understanding 210Pb 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：迫田 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 parallely 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 眞司

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  $\gamma$  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 ( $^{226}\text{Ra}$   $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$ ) 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 (TI) scintillation detector). The indoor radon and thoron ranged from 80 to 538 Bq m<sup>-3</sup> and from 17 to 1000 Bq m<sup>-3</sup> respectively, while radon in soil gas ranged from 26 to 166 kBq m<sup>-3</sup> with a mean of 80 kBq m<sup>-3</sup>. 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<sup>-1</sup>, with an average of 5 mSv y<sup>-1</sup>. Radon and thoron progenies' contributions to the inhalation dose are 72% (3.6mSv y<sup>-1</sup>) and 26% (1 mSv y<sup>-1</sup>), 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 眞司・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<sup>-3</sup> respectively in CRSTN and 193.05, 549.03 and 923.69 kBq h m<sup>-3</sup> respectively in IREM. The determined calibration factors were  $3.85 \pm 0.21$  and  $3,74 \pm 0.17$  tracks cm<sup>-2</sup> kBq<sup>-1</sup> m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> for low exchange rate chamber and high exchange rate chamber, respectively for the detectors exposed in CRSTN. And,  $3.43 \pm 0.23$  and  $3.30 \pm 0.20$  tracks cm<sup>-2</sup> kBq<sup>-1</sup> m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> 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 眞司・Kranrod Chutima

### 1. 成果

Aluminum oxide doped with carbon and magnesium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C,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  $1.5 \times 10^6$  tracks  $\text{cm}^{-2}$ . 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 眞司・Kranrod Chutima

共同研究者：YVETTE FLORE Siaka Tchunte

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<sup>-1</sup> with an average of 0.3 mSv y<sup>-1</sup>. Radon concentrations in the soil in the surveyed rare earth elements area bearing vary from 5.4 to 75.5 kBq m<sup>-3</sup> with an average of 24.31 kBq m<sup>-3</sup>. 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<sup>-3</sup> 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% CO<sub>2</sub>. 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, CO<sub>2</sub> 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（ $\delta^{13}\text{Coc}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ ）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  $\delta^{13}\text{Coc}$  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。 $\delta^{13}\text{Coc}$  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  $\delta^{13}\text{Coc}$  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到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支持された。今後は、現在測定中の  $^{210}\text{Pbex}$ ・ $^{137}\text{Cs}$  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<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SiO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), rare earth elements (REEs), and water stable

isotopes ( $\delta^{2}\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) 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,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ , and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  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<sup>-1</sup>, 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 椋平

共同研究者：橋本 啓来

## 1. 成果

1. はじめに 原子力施設周辺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 $\alpha$ 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 $\alpha$ 線減弱が大きく変化する。本研究では、 $\alpha$ 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。

2. 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。 $\alpha$ 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 $\alpha$ 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径をそれぞれ 25 mm, 20 mm とした。

3. 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、放射線測定の見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 (Takehi 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くつかの先行研究を基に、独自の差分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に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 馴化培地は有意に抑制すること、併せて  $\alpha$ -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巢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 馴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

Ippeii Uemura, Natsuko Takahashi-Suzuki, Saki Kuroda, Kaede Kumagai, Yuki Tsutsumi, Donovan Anderson, Takashi Satoh, Hideaki YAMASHIRO, Tomiatio 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>