

目次

若手共同研究

野田 祐作「耐塩性野生種 <i>Vigna marina</i> が持つ Cs 吸収・蓄積機構の解析」	1
佐藤 志彦「シンクロトロン放射光を利用した放射性微粒子の物理化学性状解明」	4
田中 草太「陸生無脊椎動物を対象とした食物網を介した放射性セシウムの移行の解明」	6
楠本 多聞「3D カメラを用いた放射線量マッピング技術の確立」	10
鈴木 杏菜「福島県川俣町及び浪江町で採取した土壌及びリター層の ^{90}Sr 濃度」	12
林 剛平「東京電力福島第一原子力発電所事故による環境放射能汚染把握のための航空機モニタリングデータの解析」	15
阿部 悠「染色体凝縮阻害剤を用いた新規細胞遺伝学的線量評価法の確立」	17
真塩麻彩実「医療系廃棄物として水圏環境へ放出される白金, ガドリニウム, テクネチウム-99 分析法の確立」	20
大森 康孝「天然放射性核種ラドン測定に対する放射性同位体トロンの干渉」	22
Donovan Anderson「Estimation of life-time doses to wild boar using dicentric chromosome analysis」	26
恵谷 玲央「マウス造血幹細胞の遺伝子変異の経時的変化-全身照射マウスによる検討」	28
小荒井一真「Agilent8800 を用いた安定セシウム測定精度向上方法の検討」	30

重点共同研究

Ismail Md. Mofizur Rahman「Recovery of radionuclides from washing effluent containing excess aminopolycarboxylate chelator in solution」	34
内藤 健「 <i>Vigna</i> 属耐塩性野生種のナトリウム吸収に関する イメージング解析」	35
田中 万也「福島原発で発生する汚染水中の陰イオン放射性核種除去に関する基礎研究」	37
阿部 善也「福島第一原発事故由来の放射性核種を含む非水溶粒子物性解明～環境中からの効率的な分離法の提案を目指して～」	41
松中 哲也「日本海・オホーツク海における人為起源 ^{129}I の動態と海洋循環研究」	44
大槻 勤「放射性セシウムを含んだ不溶性エアロゾルの簡便な測定法に関する研究」	47
北 和之・林 菜穂・南 光太郎・五十嵐 康人・保坂 健太郎・木名瀬 健・足立 光司・古川 純 「大気粒子と植物・菌類との放射性セシウム移行可能性の研究」	49
二宮 和彦「福島県で採取された放射性セシウムを含む不溶性粒子の微量元素分析」	53
頼 泰樹「水稻のセシウムおよびカリウムの体内輸送解析」	55
吉村 和也「舗装面からの溶存態 Cs-137 溶出フラックスの評価」	58
谷口 圭輔「福島県内外の河川における放射性セシウムの形態別の濃度変化とその要因」	60
Christopher Gomez「Hydraulic Connectivity of Tree-barks from 3D SfM-MVS Analysis to Measure Water, Radionuclides and Pollutants Access to the Ground」	65

Yoschenko Vasyl 「Identification of the factors governing the radiocesium root uptake into Japanese cedar」	68
久保田富次郎 「沈着量データベースを用いた農山村流域における放射性 Cs の流出率の算定」	69
宇都宮 聡 「高濃度放射性セシウム含有微粒子 (Cesium-rich microparticle, CsMP) の本質的解明に基づく炉内の情報と環境影響～福島表層土壌における CsMP の放射能寄与率定量法開発～」	72
脇山 義史 「除染が土砂および ^{137}Cs の動態に及ぼす影響」	75
五十嵐 康人・北 和之・石塚 正秀・保坂 健太郎・羽田野 祐子 「森林生態系からの放射性 Cs のバイオ・リサスペンションに関する研究」	77
山口 直文 「波浪が作用する環境での泥質堆積物の動態：造波水路実験による検討」	83
鈴木 正敏 「福島原発事故に被災した野生ニホンザル生体試料を用いた放射線影響解析」	86
立田 穰 「底生生物消化管内堆積物の $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}$ 濃度比による陸域起源粒子の推定手法」	88
齊藤 敬 「2 ノズルタイプ 3 D プリントを利用したガンマ線測定用基準線源の開発」	91
鄭 建・山田 正俊 「Distribution of hard-to-detect Pu and Cs-135 isotopes in early stage monitoring seawaters after the Fukushima nuclear accident」	92
熊本雄一郎 「アーカイブ海水試料を利用した福島第一原発事故初期の放射性セシウムの動態解明」	95
菓子野元郎 「遅発性活性酸素が関与する放射線抵抗性獲得機構の解明」	98
樋口 健太 「桜島の火山活動とラドン及び子孫核種濃度の解析」	101
中田 章史 「野生動物の生物線量評価と分子マーカーの探索」	103
青山 道夫 「福島沿岸域における東電福島第一原発事故起源放射性セシウムとトリチウムの分布の研究」	106
張 勁 「化学トレーサーを用いた海底湧水による沿岸海域への物質輸送状況の解明」	109
山城 秀昭 「被災野生動物の初期胚における受精能と染色体動態解析」	112
津旨 大輔・坪野 考樹 「福島第一原子力発電所事故による ^{137}Cs の海洋中の挙動に対する河川供給の影響」	114
赤田 尚史・柳澤 文孝・床次 眞司 「山形蔵王で観測される樹氷に含まれる宇宙線生成核種濃度の測定」	117
古川 雅英 「高精度ラドン・トリチウム測定による海底湧水探索手法の検討」	120
神田 穰太 「福島沿岸海域における高線量粒子の海洋生態系影響に関する研究」	122
猪股 弥生 「日本海及び北太平洋における放射性セシウム濃度の時空間変動解析」	124
則末 和宏 「海洋の粒子中“擬超ウラン核種”の分析法開発に向けた基礎検討」	127
香崎 正宙 「放射線発がん和誤りがち DNA 修復経路選択への関与に関する研究」	131
内山 雄介 「台風出水に伴う新田川起源懸濁態放射性核種の沿岸域でのインベントリ解析」	133
荻部 甚一 「請戸川流域における福島第一原子力発電所事故に由来する放射性ストロンチウムの空間分布」	136
真田 哲也 「北海道二股ラジウム温泉の鉱泉水中ラドン濃度の測定と季節変動に関する研究」	139

高橋 温 「福島第一原発事故後の環境に棲息するアライグマの歯の効率的な ESR 測定プロトコールの開発」	143
清水 良央「高線量環境に棲息するアライグマの骨および軟骨への放射性物質の取り込みに関する加齢要因の検討」	146
木野 康志「福島県浪江町で捕獲されたネコの臓器中放射性セシウムの測定」	150

国際共同研究

Nathalie Leonhardt・Satomi Kanno・Jun Furukawa 「Contribution of K transporters to Cs uptake and accumulation in rice」	155
Olivier Masson・Denis Maro・Kazuyuki Kita・Atsuyuki Sorimachi・Yasuhito Igarashi・Yuko Hatano 「Observation of atmospheric radioactive cesium and its wet deposition and modelling of resuspension and deposition processes」	158
Xinchao Sun 「Nutrient transport and water flow velocity in xylem of forest species」	160

耐塩性野生種 *Vigna marina* が持つ Cs 吸収・蓄積機構の解析

野田 祐作（農研機構・遺伝資源センター）

研究成果概要

① 研究目的

本研究は *Vigna* 属耐塩性野生種のセシウム (Cs) 輸送・蓄積能の評価から Cs 低吸収植物作出を目指している。平成 29 年度では、放射性 Cs (^{137}Cs) を用いて *Vigna* 耐塩性野生種 3 種の Cs 輸送・蓄積能を評価した。*V. nakashimae* では Cs の葉への流入はナトリウム (Na) と同様に抑制されていたが、Cs のみ主茎および腋芽の茎頂部へ多量に輸送されていた。*V. riukiensis* では Na 同様に高い Cs 蓄積能を示した一方で、葉内の Na 局在と Cs 局在は明確に異なっていた。*V. luteola* では Na と Cs は特定の葉に蓄積する共通点を示したが、Cs のみ他の 2 種同様に主茎および腋芽の茎頂部に蓄積していた。このように同族元素 Na との制御機構の共通性および違いを明確にした。しかし、いずれの野生種も茎頂部に Cs が高蓄積したため、Cs 低吸収植物と評価できなかった。そこで、本年度は根から Na を排出する機構を持つ耐塩性野生種 *V. marina* を用いて、Cs 輸送・蓄積能を検証した。

② 研究方法

V. marina をセラミスクレイ上で 1 週間発芽させた後、水耕栽培（大塚ハウス水耕液）で 2 週間生育する。水耕栽培後、放射性 Cs (^{137}Cs ; ^{133}Cs 担体 100 μM 付与) 10 kBq を含む水耕液で 3 日間処理する。処理後、各種の植物体内の放射性 Cs の局在を BAS イメージング法にて評価する。処理条件は以下の通りである：明期 14 時間 28°C；明期 10 時間 25°C。

③ 結果・考察

V. marina の Cs 輸送・蓄積は腋芽を含む葉および茎では抑制されていた (Fig. 1)。Na 輸送・蓄積も Cs と同様に植物体への流入が抑制されていた (Fig. 2)。しかしながら、Cs のみ生長点で高い蓄積がみられた (Fig. 1 矢頭)。生長点の Cs 蓄積は他 3 種の耐塩性野生種にも同様に観察されていた。*V. marina* は根から Na を排出するが、本研究で実施した 100 μM CsCl 水耕液では根からの Cs 排出は確認できなかった。

本研究結果は *V. marina* の Cs 輸送における Na 輸送と共通点と違いを明らかにした。Na と Cs は共に導管流にて植物の地上部に輸送される。そして、*V. marina* は Na および Cs を植物に流入させない制御機構を持っていた。しかしながら、生長点への Na 流入を抑制する制御機構はあるが、Cs に対してはその機構が存在しないことが明らかになった。その他の植物でも、ポプラの経根吸収で生長点への高い Cs 蓄積が確認されている (Noda *et al.*, 2016)。また、福島原発事故以降に放射性 Cs 蓄積のためモミの新芽に形態異常が生じたと示唆する報告もある (Watanabe *et al.*, 2015)。したがって、低 Cs 吸収植物を作出するためには、Cs を生長点に蓄積しない植物の探索や、突然変異誘発で生長点への蓄積を抑制した植物を作出するなどの方法が必要になるだろう。*Vigna* 属の中には他にも高い耐塩性を持つ野生種が存在する。今後、他の *Vigna* 属耐塩性野生種を用いて、低 Cs 蓄積かつ生長点への Cs 蓄積が抑制された野生種を見出していきたい。



Fig. 1 ^{137}Cs 局在. 矢頭は茎頂部の ^{137}Cs 蓄積を示す. Bar = 1 cm.



Fig. 2 ^{22}Na 局在. Bar = 1 cm.

成果発表

②学会発表

野田祐作、古川純、鈴木伸郎、尹永根、石井里美、栗田圭輔、河地有木、内藤健、友岡憲彦「放射性ナトリウムを用いたリアルタイムイメージングが暴くハマササゲのナトリウム排出とその周期性」、第134回日本育種学会岡山講演会、2018年9月

③ その他

野田祐作「放射性物質環境動態・環境および生物への影響に関する学際共同研究」、第8回 CRiED 研究部門セミナー（筑波大学 アイソトープ環境動態研究センター）、2019年1月8日

シンクロトロン放射光を利用した放射性微粒子の物理化学性状解明

佐藤志彦（日本原子力研究開発機構）

研究成果概要

① 研究目的

福島第一原子力発電所事故で放出した不溶性セシウム含有粒子（通称：セシウムボール）の生成原因を突き止めることは、廃炉作業のみならず粒子状で環境中に存在するセシウムの挙動を解明する上で大きな意義がある。しかしながら不溶性セシウム粒子が最初に発見されてから7年余りが経過したが、いまだ生成箇所・要因に関する決定的な情報は得られていない。

② 研究方法

本研究課題では不溶性セシウム粒子に対しこれまで用いられてきたシンクロトロン放射光実験に替え、新たに硬 X 線光電子分光（HAXPES）および光電子顕微鏡（PEEM）を用い、上記の課題解決を図った。

③ 結果・考察

HAXPES で 1 号機から放出した TypeB 粒子を観察したところ、 CsSiFeO_4 が検出された。この化学形態は軌道計算により CsSiO_x よりもエネルギー準位が低く、安定であることが先行研究で示されていたが、本研究によりその存在が実証された。また表層から数 nm 内側に結合エネルギーが低い状態が見出され、このエネルギーからは 0 価に近い Cs の存在が示唆された。Cs は一般的にイオン化しやすく、環境中で 0 価の状態で存在することは実質困難である。一方、この状態は表面では観測されず、限定的な領域で存在することも確かめられたことから、粒子の生成は還元的雰囲気の中で生じ、その過程でメタルのセシウムが封入されるような現象があったのではないかと推定された。

PEEM では TypeA 粒子を世界で初めて観察することに成功した。元来、不導体である不溶性セシウム粒子は帯電による放電で影響が生じる恐れがあったが、これまでに検討を進めてきた試料準備法により、放電を回避し像を得られることを確認した。次年度以降はより鮮明な画像取得を試みる計画である。

成果発表

① 論文発表

該当無し

② 学会発表

佐藤他 福島第一原発1号機由来の不溶性セシウム粒子中に含まれるセシウムの化学状態 第32回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム 2019年1月 福岡

佐藤他 1号機由来不溶性セシウム粒子の多面的分析による生成シナリオの解明 2018日本放射化学学会年会・第62回放射化学討論会 2018年9月 京都

③ その他

該当なし

陸生無脊椎動物を対象とした食物網を介した

放射性セシウムの移行の解明

田中 草太 (京都大学大学院農学研究科)

研究成果概要

① 研究目的

東京電力福島第一原子力発電所事故後の節足動物における放射性セシウム濃度の経年変化は、食性によって大きく異なり、他の昆虫類を捕食する肉食性のジョロウグモでは、植食性のコバネイナゴや雑食性のエンマコオロギと比較して、放射性セシウム濃度が維持される傾向にある(Tanaka et al., 2016)。餌資源を生きた植物、すなわち、生食連鎖に依存する種は、事故後の時間経過とともに放射性セシウムが減少するのに対して、放射性セシウムが蓄積するリターや土壌表層の有機物に起因する腐食連鎖に依存する種は、濃度が維持されるものと考えられる。本研究では、腐食連鎖に依存するミミズにおける放射性セシウムの濃度および体内動態を明らかにする目的で、表層性のミミズを対象として、放射性セシウム濃度の経年変化、体内分布、および生物学的半減期を調査した。

② 研究方法

福島第一原発から北西約 40 km に位置する飯舘村の落葉広葉樹を主とする山林を調査地とし、土壌表層の有機物を餌資源とするフトミミズ科 (Megascolecidae) の表層種 (Epigeic) を調査対象とした。調査期間は、2014-2016 年の 3 ヶ年とした。サンプリングは、ミミズ成体が多く発生する 8-9 月とし、毎年度、同地点の半径約 30 m の範囲で実施した。ミミズは、オートラジオグラフィによって、放射性セシウムの体内分布を可視化するとともに、ゲルマニウム半導体検出器を用いて、ミミズの体の部位ごとの放射性セシウム濃度を定量した。さらに、採集したミミズを非汚染土壌・リターに移し、時間経過ごとに放射性セシウム濃度を測定することで、生物学的半減期を求めた。

③ 結果・考察

ミミズの¹³⁷Cs濃度の中央値は、2014-2016年の3ヵ年でそれぞれ、4.87 Bq/g fw、5.30 Bq/g fw、4.67 Bq/g fwを示し、有意な変化は認められなかった (Kruskal-Wallis test, $p = 0.878$; Fig. 1)。この結果から、腐食連鎖に依存するミミズは、放射性セシウム濃度を維持していることが示された。放射性セシウムの体内分布を把握するため、体壁筋と消化管を含むその他臓器に分離後にオートラジオグラフィを行なったところ、放射性セシウムは特定の臓器に濃縮されることはなく、消化管内に存在することが示唆された (Fig. 2)。この結果を定量的に評価するため、体の部位ごとの放射性セシウム濃度を測定した結果、ミミズ体内の放射性セシウムは、95%以上が腸管内に存在することが明らかとなった。また、放射性セシウムのミミズ体内からの消失時間を実験的に求めた結果、放射性セシウムの消失曲線は二相性を示し (Fig. 3)、生物学的半減期は速い成分で約0.1日、遅い成分で約27日となることが明らかになった。この結果からミミズにおける放射性セシウムの代謝は早く、体組織への吸収は少ないことが示唆された。上記の結果から、ミミズにおいて放射性セシウムが維持される要因として、放射性セシウムが保持されている土壌表層の有機物を餌資源として利用する表層性ミミズの生態的特性によるものであることが示唆された。

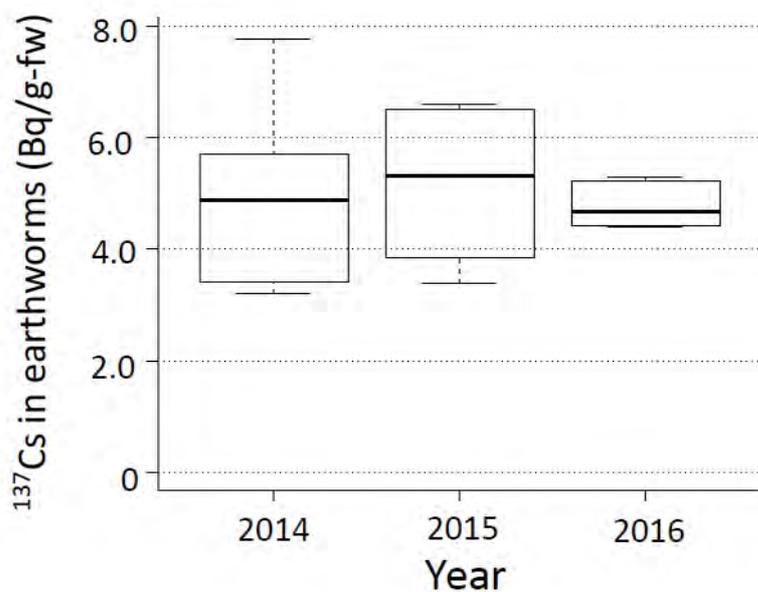


Fig. 1 ミミズにおける¹³⁷Cs濃度の経年変化, [3] Tanaka et al., 2018.

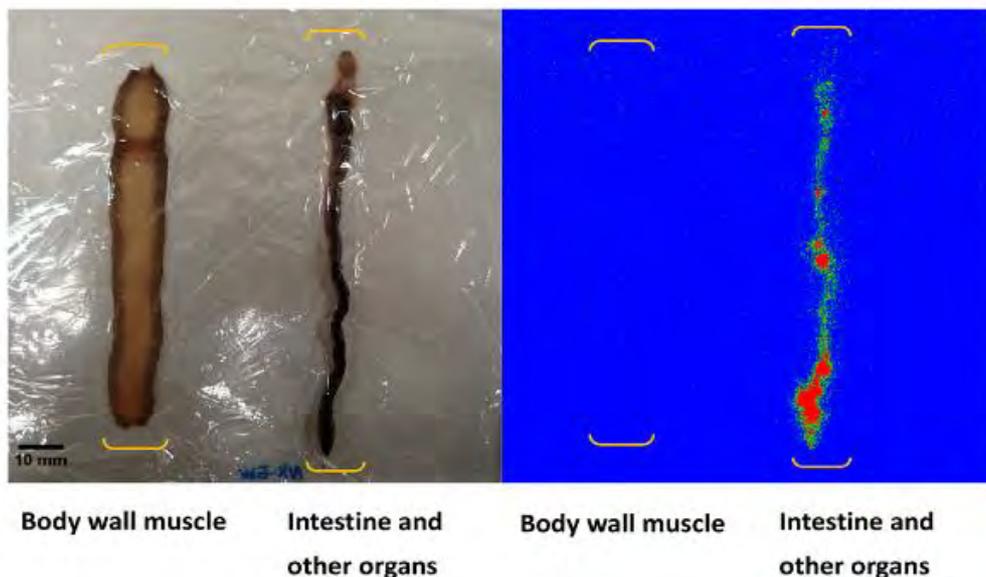


Fig. 2 体壁筋と消化管を含む他の臓器に分離した後のオートラジオグラム,
[1] Tanaka et al., 2018.

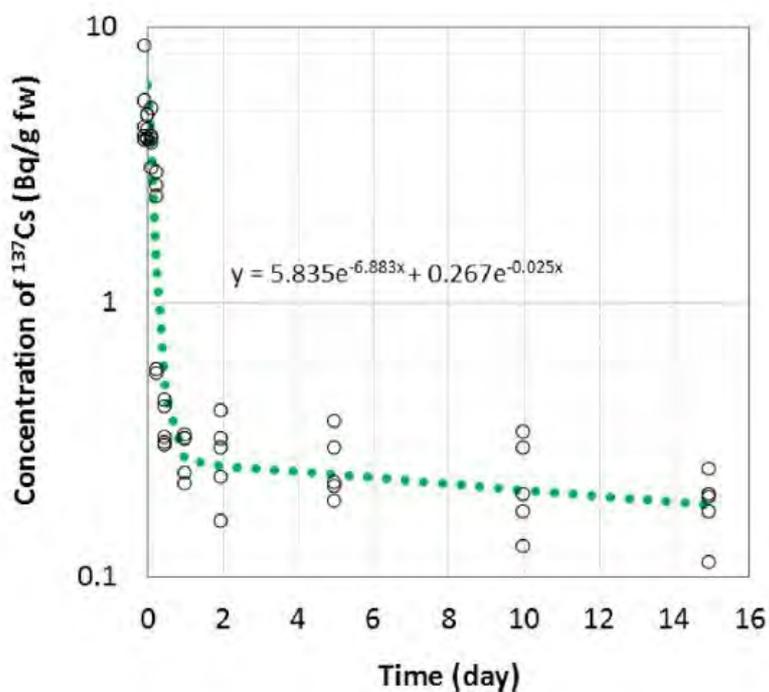


Fig. 3 ミミズ体内からの ^{137}Cs の消失曲線, [1] Tanaka et al., 2018.

参考文献

- Tanaka, S., Hatakeyama, K., Takahashi, S., & Adati, T. (2016). Radioactive contamination of arthropods from different trophic levels in hilly and mountainous areas after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Journal of environmental radioactivity*, 164, 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.07.017>

成果発表

① 論文発表

原著論文

- [1] **Tanaka, S.**, Adati, T., Takahashi, T., Fujiwara, K., & Takahashi, S. (2018). Concentrations and biological half-life of radioactive cesium in epigeic earthworms after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of environmental radioactivity*, 192, 227-232. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.06.020>

総説

- [2] **Tanaka, S.**, Adati, T., Takahashi, T., & Takahashi, S. (2018). Radioactive cesium contamination of arthropods and earthworms after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Low-Dose Radiation Effects on Animals -Long-Term Study on The Fukushima Nuclear Accident. in press. *Springer*, Tokyo.

Proceedings (査読あり)

- [3] **Tanaka, S.**, Adati, T., Takahashi, T., & Takahashi, S. (2018). Evaluation of radiocesium contamination on a forest floor using epigeic earthworms as a bioindicator. *Proceedings of the 19th Workshop on Environmental Radioactivity*. KEK Proceedings 2018-7, 215-218.

② 学会発表

- [1] ○ **田中草太**・足達太郎・高橋知之・高橋千太郎 (2018) 福島県で採集された節足動物への放射性セシウムの移行状況—原発事故後6年間の推移. 日本保健物理学会第51回研究発表会 2018年6月29-30日 ホテルライフオーポート札幌(ポスター発表)
- [2] ○ **田中草太**・足達太郎・高橋知之・高橋千太郎 (2018) 節足動物及び表層性のミミズを指標とした放射性セシウムの食物網を介した動態. 第5回福島原発事故による周辺生物への影響に関する勉強会 2018年8月3-4日 東京大学農学部(口頭発表)

③ その他

なし

3D カメラを用いた放射線量マッピング技術の確立

楠本 多聞 (放射線医学総合研究所)

研究成果概要

① 研究目的

東京電力福島第一原子力発電所における事故以降、放射性物質の飛散が社会問題となり、除染や原子炉廃止措置等、様々な課題が今現在も残されている。本研究では、その中でも、『除染』に焦点を当てる。除染作業を効率化するためには、放射性セシウムの線量分布計測が必須となる。そこで、放射性セシウムの分布を、3D カメラを用いてマッピングすることを本研究の目的とする。3D カメラは、波の浸食による地形の形状変化等を捉えることを目的として開発されたもので、位置情報を高精度で手に入れることができる。この3D カメラと、従来の放射線測定技術を融合させ、線量マッピング技術の確立を目指す。

② 研究方法

光刺激ルミネッセンスを利用した検出器である OSL 線量計の中で、nanoDot は小型かつ軽量であり数 μSv のガンマ線計測が可能である受動型の積算線量計である[1]。福島県浪江町 (37.554493, 140.834729) において、1 カ月程度 nanoDot 線量計を設置し、Cs-137 由来の積算線量を計測した(2018 年 9 月 14 日～10 月 10 日)。得られた結果は、同様の場所、期間において測定した D シャトルの結果と比較した。今後は従来技術の nanoDot (または D シャトル) を用いて取得したデータを参考とし、3次元ガンマカメラの開発に取り組む予定である。

③ 結果・考察

Fig. 1 に測定結果を示す。緑のプロットが nanoDot を用いて測定した線量であり、紫のそれは D シャトルを用いて測定した結果である。Location A は地面に設置した OSL による結果であり、B は地上 100 cm、C は 40 cm に設置した nanoDot 及び OSL による測定結果である。両者の結果はよく一致していることが分かる。これより、nanoDot が環境放射線の測定への適用が可能であることが示せた。nanoDot の最大の

売りは数 μGy という低線量域での放射線計測が可能であることにある。今後の予定として、数時間～数日程度という短い期間設置し低線量領域で環境放射線量の測定を行う。また、ドローン等を用いて測定サイトの開空度等の情報と照らし合わせ、Cs-137の堆積状況等も明らかにする予定である。

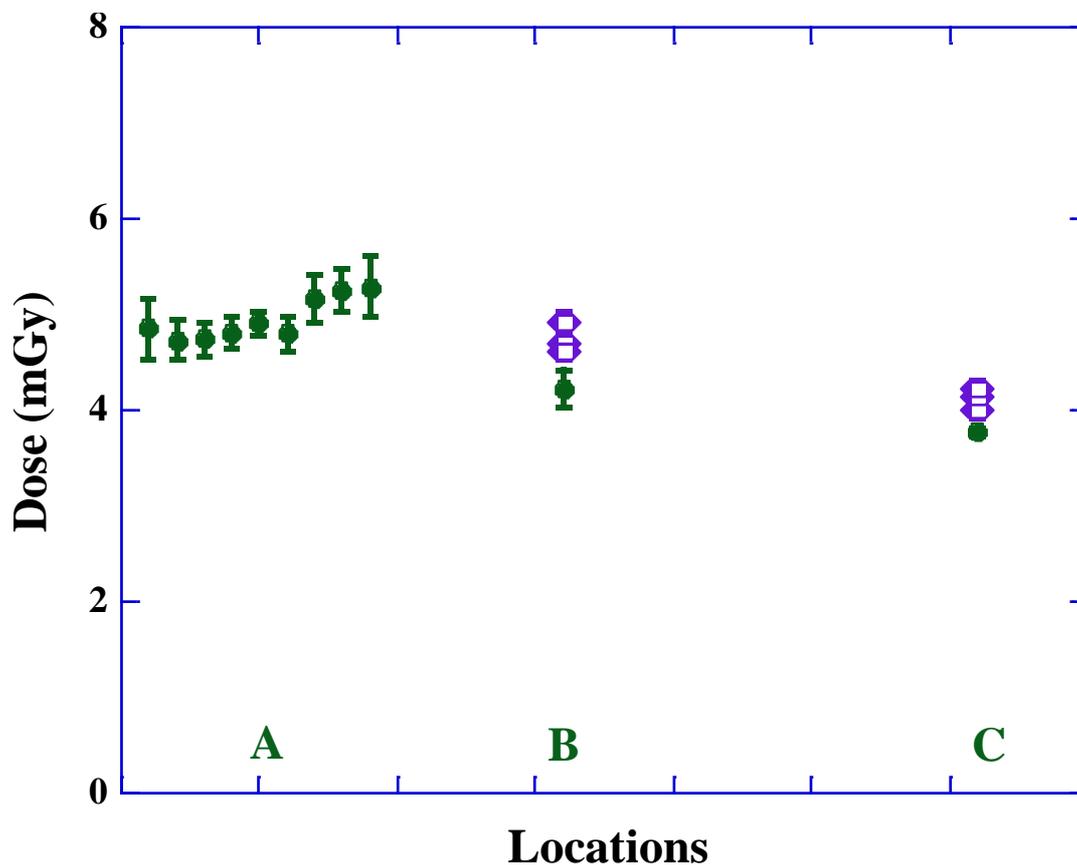


Fig. 1. 線量と測定位置の関係。A は地上、B は地上 1 m、C は 40 cm に設置した。また、緑のシンボルは nanoDot による測定結果であり、紫のそれは D シヤトルによるものである。

参考文献

[1] Bindu et al., Radiat. Prot. Dos. 143 (2011) 27-32.

成果発表

① 論文発表

準備中

福島県川俣町及び浪江町で採取した土壌及びリター層の⁹⁰Sr 濃度

鈴木杏菜（大阪大学大学院理学研究科）

研究成果概要

① 研究目的

2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所の事故により、環境中に大量の放射性核種が放出された。セシウム (¹³⁴, ¹³⁷Cs) やヨウ素 (¹²⁹, ¹³¹I) に注目した研究がこれまで多く行われてきているが、原子力事故において重要である ⁹⁰Sr に関する研究は極めて限られている。これは ⁹⁰Sr の放出量が少ないこと、純ベータ線放出核種であるため測定が難しいことが原因である。一方で放射性核種の分布や環境中の移行過程は、放射性核種の化学的性質により変化し、⁹⁰Sr の環境挙動はセシウムやヨウ素と異なっている。これらを理解することは事故の状況を解明する上で重要である。本研究では、福島県の大部分を占める森林における ⁹⁰Sr に注目し、今後の環境動態を明らかにするためにリター及び土壌中の分布を調べた。

② 研究方法

本研究では2012年から2017年に福島県川俣町において、スクレーパープレートにより0.5 cm ずつの深さごとに、深さ5 cm まで採取された土壌試料とリター試料を分析した。まずこれらの試料について、Ge 検出器による ¹³⁷Cs の定量を行った。そして加熱により有機物を分解したのち、硝酸により土壌成分から Sr を抽出した。沈殿法に基づく ⁹⁰Sr の単離を行い、チェレンコフ光の測定を2週間程度連続的に繰り返すことにより、各試料における ⁹⁰Sr 濃度を決定した。化学収率は分離前に入れた Sr キャリアーを ICP-MS により定量することで決定した。

③ 結果・考察

各試料について年度ごとの¹³⁷Csと⁹⁰Srの深度分布を作成した。土壌とリターに含まれる放射能の量は、年度とともに上昇しており、これはリターからの¹³⁷Csと⁹⁰Srの供給によるものと考えられる。土壌に移行した放射性物質は時間とともに下方浸透が起きている様子が確認されたが、時間とともにリター層の放射能が減少するような傾向は得られなかった。土壌中のトータルのインベントリーから、重心深度を求め¹³⁷Cs及び⁹⁰Srの移動度を決定した。2012年採取の試料は、土壌への⁹⁰Srの沈着時に土壌への吸着に時間がかかるため、大きな移動度が得られたが、そのほかの試料からは0.2-0.3 cm/yという移動度が得られた。¹³⁷Csについても同様の解析を行い、⁹⁰Srに近い0.2-0.3 cm/yという移動度が得られた。過去のチェルノブイリ事故等からの知見では、⁹⁰Srの移動度は¹³⁷Csよりも大きいと報告されており、川俣町においては⁹⁰Srの移動度が極端に小さいことが明らかとなった。これはリター層からの⁹⁰Srの移行が影響していると考えられ、より長期の観測によりリター層からの供給について詳しい知見が得られると期待される。

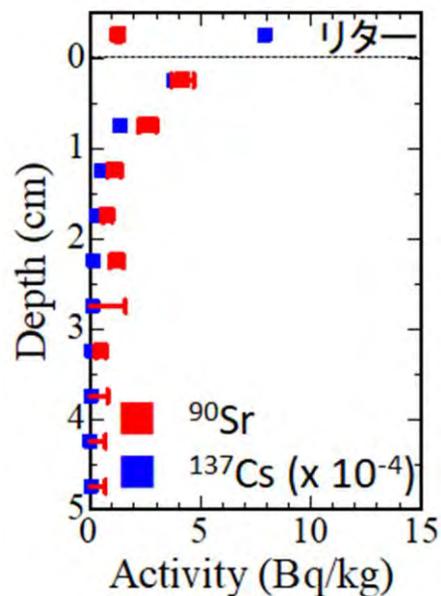


図:2013年採取の土壌の¹³⁷Csおよび⁹⁰Srの深度分布

成果発表

① 論文発表

該当なし

② 学会発表

日本地球惑星科学連合 2018 年大会 (2018/5/20-24 幕張)

「福島県川俣町及び浪江町における土壌中の ^{90}Sr 濃度の深度分布」

○鈴木杏菜、張子見、二宮和彦、山口喜朗、高橋純子、恩田裕一、篠原厚

③ その他

該当なし

東京電力福島第一原子力発電所事故による環境放射能汚染把握のための 航空機モニタリングデータの解析

林 剛平 (福島県立医科大学 医学部 災害公衆衛生看護学講座)

研究成果概要

① 研究目的

東京電力福島第一原子力発電所事故後行われた、環境放射能汚染把握のための航空機モニタリングは、米国核エネルギー省によるものと、日本国文科省によるものがある。前者は、生データが公開されているため、最適な解像度での放射能汚染地図の作成が可能であるが、後者は現時点では、2 kmメッシュに内挿後のデータしか公開されていない為、生データからの解析によってより有意義なものとなりうる。また、後者は、前者の測定範囲よりも広範な範囲を測定している利点を有する為、長期に亘る放射性セシウム汚染による影響を解析する上で重要である。本研究では、主に後者のデータを解析し、前者と比較することで放射性セシウムの動態を考察する。

② 研究方法

本研究では、研究代表が使用している ArcGIS10.0 を使い、文科省航空機モニタリングデータの解析を行い、文科省土壌モニタリングデータとの検証を行う。検証後、米国核エネルギー省が行った航空機モニタリングデータと比較することで、ウェザリング効果を可視化し、今後の放射性セシウム汚染がどのように減衰するかを予測する。

③ 結果・考察

文科省航空機モニタリングデータ並びに、米国核エネルギー省航空機モニタリングデータと文科省土壌モニタリングデータとの検証を行った。土壌モニタリングデータに対する、それぞれの航空機モニタリングデータを累乗近似により検証した結果、 R^2 は、前者は 0.83、後者は 0.8 となった。現在、ウェザリング効果を検証する為に、文科省航空機モニタリングデータの詳細なデータを用いようと試みている。

本研究の成果として、文科省航空機モニタリングデータのセシウム 134、137 の合算値を用いることで、先行研究による検出下限値 10000Bq/m²を 6400 Bq/m²に引き下げることが出来た。これにより、低レベル汚染地域に於ける詳細な土壤汚染地図を獲得し、測定値を有する地域の面積を 2.62×10¹⁰m²から 3.36×10¹⁰m²に拡大することが出来た。放射線防護の観点からも、低レベル汚染地域の汚染の把握は、高レベル汚染地域に対する対照群作成の際に重要な結果となった。また、農作物の汚染の状況を把握する際にも、土壤汚染状況を把握することは必須であり、この汚染地図の作成は、今後の東日本の農作物の汚染の実態を相対化することに役立つと考えられる。研究の成果を公開することにより、原発事故によるリスクコミュニケーションに科学的な指標を提供するものとなることが期待される。

成果発表

① 論文発表

なし

② 学会発表

・放射性物質環境動態・環境および生物への影響に関する学際共同研究」
2018 年度キックオフ・シンポジウムにおけるポスター発表 筑波大学 2018
年 6 月 18 日

・「放射性物質環境動態・環境および生物への影響に関する学際共同研究」2018
年度最終報告会における口頭発表 弘前大学 2019 年 2 月 14 日

③ その他

なし

染色体凝縮阻害剤を用いた新規細胞遺伝学的線量評価法の確立

阿部悠 (福島県立医科大学)

研究成果概要

① 研究目的

二動原体染色体 (Dic) 法は、緊急被ばく医療における生物学的線量評価法のゴールドスタンダードであるが、正確な被ばく線量評価を行うには、長時間のコルセミド (分裂停止剤処理) による分裂開始後、1 回目の分裂中期染色体像を捉えなければならない。しかし、コルセミド処理時間が長くなるほど染色体が過度に凝縮し、Dic の鑑別が難しくなる。染色体凝縮は細胞分裂時にコンデンシン複合体による DNA の修飾によって主に制御されていることは既に知られており、その修飾の大部分はリン酸化によるものである。この過程を阻害することで染色体凝縮を人為的に制御することができると考えられる。そこで本研究では染色体凝縮を阻害剤で人為的に制御した染色体標本作製し、新規染色体線量評価法を確立するとともに、Dic 解析の効率化を図るため自動解析ソフトウェアに適した染色体像の獲得を目的とする。

② 研究方法

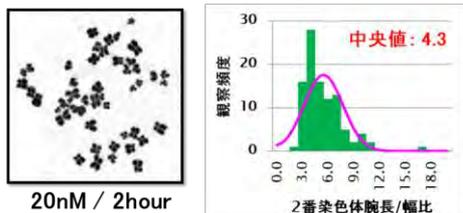
正常培養 B リンパ芽球細胞株 (B cell line) に通常の方法と同様にコルセミドを加え 48 時間培養する。その際、分裂期を中心に機能するリン酸化酵素に対する阻害剤を経時的かつ添加濃度を段階的に変更しながら培養液に加え、リンパ球を処理後、細胞を固定しギムザ法にて染色体標本作製を観察する。凝縮効果の確認には、2 番染色体の全長と腕幅の比をとり阻害剤未処理の検体との比較を行う。また、染色分体の開きの程度も指標の一つとする。客観的な判断指標として Dic 自動解析ソフトウェアによる解析結果と人による解析結果を比較し、最も効率化が見られる標本作製条件を検討する。

③ 結果・考察

これまでの研究成果から 2 番染色体の全長と腕幅の比で 6.5 以上を染色体凝縮抑制効果ありとし、単独の阻害剤処理で染色体凝縮抑制効果の見られる分裂期関連キナー

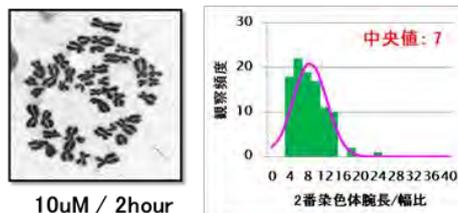
ゼ(CK2, Haspin 等)について複数の阻害剤組み合わせによる効果の確認と未検討のキナーゼ阻害剤について検討を行った。

GSK461364 (Inhibit: Polo-like kinase 1)



凝縮抑制効果なし

TBCA (Inhibit: Casein kinase 2)

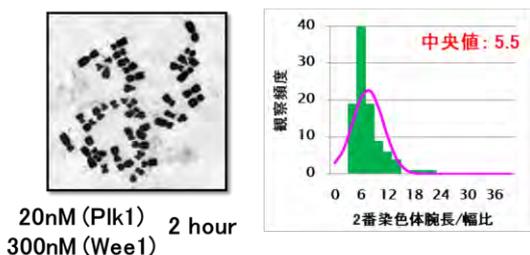


凝縮抑制効果あり

GSK461364 (Inhibit: Polo-like kinase 1)

&

MK-1775 (Inhibit: Wee 1 kinase)

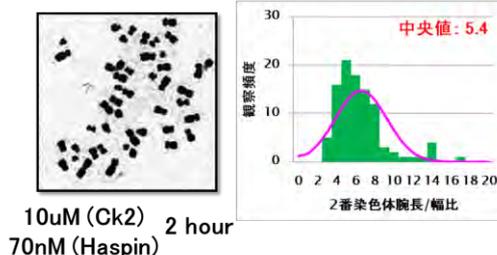


凝縮抑制効果(-)&(+)の組み合わせ

TBCA (Inhibit: Casein kinase 2)

&

SGI1776 (Inhibit: Haspin)



凝縮抑制効果(+)&(+)の組み合わせ

単独の阻害剤処理では染色体凝縮抑制効果が認められた阻害剤(TBCA, MK-1775, SGI-1776 等)を単独では凝縮抑制効果が認められなかった阻害剤との併用処理では, 染色体凝縮抑制効果の増強は認められなかった。また, 染色体凝縮抑制効果が認められた阻害剤同士の併用処理においても期待された増強効果は認められなかった。これは阻害剤の併用処理で, 細胞生存率の低下や分裂期染色体像の観察頻度の低下が目立ったことから, 培養条件, 特に阻害剤濃度の再検討が必要であると考えられる。

また, 今回染色体凝縮抑制効果が確認されたキナーゼはいずれもヒストンの直接修飾が報告されており, ヒストン修飾に関与するキナーゼ以外のタンパク質も候補物質として期待できる他, 阻害剤の組み合わせについてヒストンを修飾するものとヒストン以外を修飾するキナーゼの阻害剤の組み合わせを検討していく必要がある。

成果発表

① 論文発表

なし

② 学会発表

なし

③ その他

なし

医療系廃棄物として水圏環境へ放出される白金，ガドリニウム，テクネチウム-99 分析法の確立

真塩 麻彩実（金沢大学）

研究成果概要

① 研究目的

白金やガドリニウム、テクネチウム-99 は医療系廃棄物として排出される元素と言われている。白金は抗がん剤のシスプラチンに使われており、病院の排水などでは白金濃度が高くなっていると指摘されている (Vyas et al. 2014)。同じように病院の排水からはMRIに用いられているガドリニウムも濃度が高くなっていると報告されている (Nozaki et al. 2000)。また、がん細胞の検査に用いられるテクネチウム-99 も同様に病院排水中に多く含まれていると考えられている。これらの金属元素は病院の排水から河川・海洋に流れていくため、河川水中の濃度を測定することで、病院からの医療系廃棄物がどこまで広がっているかを調べることを目的とする。

② 研究方法

まずは微量金属元素を測定できるクリーンな実験環境の整備から始める。クリーンブースやクリーンルームを設置し、コンタミしない実験環境を設置する。白金の分析には陰イオン交換樹脂を用いて濃縮し、ICP-MS を用いて測定する方法を用いる (Suzuki et al. 2014)。この方法を改良し、白金と同時にガドリニウムやテクネチウム-99 が測定できるか検討する。陰イオン交換樹脂の種類やサンプル濃縮後の洗浄方法を変更することによって、濃縮分離の最適条件を検証する。濃縮分離の前処理に関しては金沢大学で行い、測定を弘前大学の ICP-MS (Agilent 8800) を用いて行う。分析方法の検証後、実サンプルの測定を行う。サンプルとしては河川水の採取を行い、ろ過した水サンプルを用いる。都市域と郊外でサンプリングを行うことで比較を行い、それぞれの汚染の拡がり具合を検証する。

③ 結果・考察

実験を行うにあたって、クリーンな実験環境の整備を行った。実験室内にクリーンブースを設置し、前濃縮作業が行えるような環境を整えた。整備した実験環境で白金の分析を行ったところ、検出限界は 0.76pmol/L まで下げることに成功した。さらな

るクリーンな実験が必要にはなってくるが沿岸海水中の白金濃度レベルであれば測定できる環境ではある。この実験環境で岩手県大槌湾の海水を測定したところ1.6-3.3pmol/Lの値を示した。外洋海水よりは濃度レベルが高いものの、沿岸海水としては先行研究と同じような値をとった。今後他の湾のサンプルも順次分析を行っていき、医療系廃棄物との関連を調べていく。

成果発表

① 論文発表

なし

② 学会発表

なし

③ その他

8/27 から産休に入ったため、学会には参加できず。

天然放射性核種ラドン測定に対する放射性同位体トロンの干渉

大森 康孝 (公立大学法人福島県立医科大学)

研究成果概要

① 研究目的

放射性元素であるラドン (^{222}Rn ; 半減期 3.8 日) とその同位体であるトロン (^{220}Rn ; 半減期 56 秒) は、土壌に普遍的に存在する。ラドンおよびトロンは気体であるため、土壌やそれを含むコンクリートなどにおいて生成後、空隙を通り抜け、大気や屋内空間に散逸する。散逸したラドンおよびトロンはヒトが吸い込むことになるため、これら元素は重要な自然起源の放射線源である。

ラドンおよびトロンの濃度を測定する機器は幾つか開発されている。その中には、検出器への放射性元素の導入に、元素の自然拡散を利用する機器がある。先行研究において、ラドンとトロンが共存する実験室環境における測定の結果から、ラドンとトロンを弁別する機能を有しないラドン測定器は、トロンをラドンとして誤って検出してしまうことによりラドン濃度を過大評価すること (つまり、ラドン濃度測定に対するトロン干渉) が指摘されていた。他方、筆者らの環境中における測定において、先行研究と同様にラドン濃度の過大評価が認められたが、これに加えて過大評価が環境の風速場に依存して変化する傾向が認められた。これは、自然拡散を利用する測定器において、トロンの検出器への侵入率が風速に依存して変化することを示唆している。

筆者らの測定は環境中でおこなったため、トロン濃度が低く ($50\text{-}200\text{ Bq m}^{-3}$)、トロン侵入率の推定に大きな誤差を伴った。さらに、トロン濃度が日変動を示し、均一ではないという課題があった。本研究では、これらの課題を解決し、測定器へのトロン侵入の風速依存性を明らかにすることを目的とした。

② 研究方法

弘前大学被ばく医療総合研究所のトロン標準場を使用して実験をおこなった。トロン標準場は、トロン濃度を高濃度で維持できる設備である。トロン標準場は、トロン源を通した外気を標準場内に導入し、標準場内のトロンを外気へ排出する。トロン標準場内の空気はファンにより十分に攪拌され、トロン濃度の空間分布は均一化されている。本研究では、ファンの回転速度を調整することによりトロン標準場内の風速場

を調整した。トロン濃度測定器の校正実験において設定されている回転速度を基準とし、それとそれよりも高い回転速度の2種の条件において実験をおこなった。基準風速場および高風速場における、測定器設置位置における風速は、それぞれ 0.84 m s^{-1} および 1.84 m s^{-1} であった。

トロン侵入率の検証には、AlphaGUARD (Bertin 社、フランス) および高換気率 RADUET (Radosys 社、ハンガリー) の測定器を使用した。両測定器は、換気口にフィルタを張った拡散方式による空気の導入を採用し、ラドンおよびトロンのアルファ線を検出するという共通点を有する。他方、アルファ線の検出原理は、AlphaGUARD は電離箱方式、RADUET は固体飛跡検出器 (CR-39) 方式と異なる。両測定器ともラドンやトロンに関する研究で頻繁に使用される測定器である。AlphaGUARD を使用した実験では、約 $1,000 \text{ Bq m}^{-3}$ のトロン濃度で約 12 時間、測定器を曝露し、測定値の指示値をトロン濃度で除した値をトロン侵入率とした。RADUET を使用した実験では、約 $13,000 \text{ Bq m}^{-3}$ のトロン濃度で約 5 日間、測定器を曝露し、固体飛跡検出器に記録されたアルファ線の飛跡の密度 (tracks mm^{-2}) を積算トロン濃度 ($\text{kBq m}^{-3} \text{ h}$) で除した値を2種の風速場の条件で比較した。

③ 結果・考察

基準風速場および高風速場における AlphaGUARD および RADUET のトロン侵入率を図 1 に示す。AlphaGUARD、RADUET ともにトロンへの応答が認められた。

AlphaGUARD では、基準風速場と高風速場におけるトロン侵入率に有意な差は認められず、ともに約 0.08 であった。これは、先行研究で報告されているトロン侵入率約 0.10 と整合する。他方、RADUET では、基準風速場と比較して高風速場のトロン侵入率が有意に高く、23%高い値を示した。

AlphaGUARD と RADUET の風速に対するトロンへの応答の違いを詳しく調べるため、両測定器

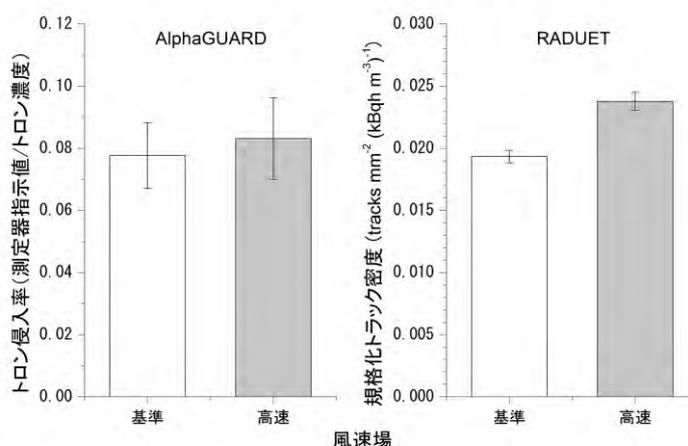


図1 AlphaGUARD と RADUET の各風速場におけるトロン侵入率の比較

がフィルタを介した自然換気を検出器への空気の導入方法として採用していることに着目して、換気速度とそれを規定する諸パラメータを評価した。その結果を表1に示す。AlphaGUARD と RADUET では、トロン侵入率および換気速度に2倍程度の差がある。換気速度はフィルタの気体透過性および測定器の容積に対する換気口の面積の比（測定器の形状）に依存するが、両測定器の形状には大きな差はなく、両測定器の換気速度の違いはフィルタの気体透過性に依ることが分かった。つまり、RADUET で使用されているフィルタの気体透過性が高いため、トロン侵入率が高く、風速への依存が生じたと考えられる。

表1 AlphaGUARD と RADUET の換気速度とそれを規定するパラメータの値

測定器	トロン侵入率	換気速度(h^{-1})	気体透過係数 (m h^{-1})	測定器の形状 (m^{-1})
AlphaGUARD	0.08	3.9	0.6	6.3
RADUET				
基準風速場	0.18	10.1	1.8	5.7
高速風速場	0.23	13.1	2.3	5.7

本研究では AlphaGUARD のトロン侵入率は風速に依存しなかったが、筆者が環境中でおこなった測定ではトロン侵入率の風速依存性が認められた。フィルタ中の空気の流れは、層流と乱流に大別される。流れが層流の場合、空気の流量はダルシー則にしたがうため、フィルタ間の圧力差（つまり、換気口付近の風速）が大きくなると、フィルタ中を流れる空気の量は増大する。他方、流れが乱流の場合はダルシー則が成り立たず、フィルタ間の圧力差が大きくなってもフィルタ中の空気の流量は増大しない。つまり、換気口付近の風速が増大しても換気量は増大しない。この理論にしたがうと、本実験条件において AlphaGUARD のフィルタ中の空気の流れは乱流となっており、風速が増大してもトロン侵入率は増大しなかったと考えることができる。同様に、RADUET のフィルタ中の空気の流れは層流となっているため、風速の変化に応じてトロン侵入率が変化したと考えられる。これらを検証するためには、極低速の風速場におけるトロン侵入率を評価し、様々な風速場におけるトロン侵入率を明らかにする必要がある。

成果発表

① 論文発表

該当無し。

② 学会発表

該当無し。

③ その他

該当無し。

Estimation of life-time doses to wild boar using dicentric chromosome analysis

Donovan Anderson (Fukushima University)

Summary of the Project

Dicentric chromosome analysis is a primary standard of cytogenetic biodosimetry, as it has the necessary sensitivity for assessing significant acute radiation doses. Recent studies have shown utility of dicentric for determination of chronic lifetime dose, however, it is uncertain if it is sufficient. Accurate estimation of radiation exposure is the most important subject for doing impact assessment, especially on free-ranging wild animals that inhabit environments which vary in dose levels. The opportunity to utilize cytogenetic biodosimetry methods as a dosimeter for lifetime radiation doses will improve future studies on low dose-effect relationships on free-ranging mammals. Since the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident free-ranging mammals, such as Japanese wild boar, have been exposed to low doses of chronic radiation in the Difficult-to-Return-Zones. The objective of this study is to determine if quantifying dicentric chromosomal aberrations is suitable to estimate chronic lifetime radiation doses to Japanese wild boar by comparing with other lifetime doses estimated from traditional methods.

As the first step for our purpose, we established the method of dicentric chromosome analysis for wild boar. We collected blood samples from wild boar that inhabited radiation contaminated areas in 2018, cultured blood according to IAEA cytogenetic dosimetry procedure, and were able to obtain sufficient quality and number of chromosome metaphases for analyses. In 2018-2019 fiscal year we have preliminary results of counting dicentrics in each individual and compared with other estimated lifetime doses determined by some traditional radionuclide dose assessment programs (e.g. ERICA and RESRAD), and hand-held instruments used to measure dose rates at capture sites. Metaphases for wild boar samples are still in progress of being scored and a dose estimation curve using gamma-ray induced radiation on wild boar blood is being established.

List of Publication

(In progress) Estimation of life-time doses to wild boar using dicentric chromosome analysis

(In progress) A comparison of dicentric frequencies in wild boar lymphocytes measured by conventional analysis and FISH.

マウス造血幹細胞の遺伝子変異の経時的変化

-全身照射マウスによる検討-

恵谷玲央 (大分県立看護科学大学)

研究成果概要

① 研究目的

放射線によりヒトに誘発される代表的ながんとして、急性骨髄性白血病が挙げられる。放射線誘発急性骨髄性白血病(rAML)のモデル動物である C3H系マウスに3Gy(rAMLを好発する線量)を全身照射すると、造血幹細胞(HSC)の2番染色体上にある *Sfp11* 遺伝子の欠失が高頻度に観察されることが報告されている。我々はこれまでに、rAMLの起源となる *Sfp11* 遺伝子の欠失がいつ、どのようなメカニズムで生じ、その後、蓄積あるいは細胞競合等によって除去されるのかという時空間的な細胞動態について検討を行ってきた。その中で、rAMLの発症は線量・線量率に依存することが考えられており、*Sfp11* 遺伝子欠失の除去には細胞動態が関与している可能性がある。そこで、本共同研究では、放射線全身照射後のマウス諸造血組織中の造血系細胞を対象に、rAML発症に必須な *Sfp11* 遺伝子の欠失を有する細胞の割合の経時的変化を解析することで、rAML発症までの生物学的プロセスの考察を目標とする。

② 研究方法

8週齢の C3H/HeN/c1 雄マウスに1-3Gyの放射線を急性照射し、1, 4, 8, 26週間後の各エンドポイントで屠殺し、造血組織(大腿骨、脾臓)からそれぞれ磁気ビーズ法により造血系細胞を分離し測定し、2番染色体上の *Sfp11* 遺伝子欠失についての解析を行った。*Sfp11* 遺伝子欠失の解析には、弘前大学被ばく医療総合研究所に設置されている自動コメットアッセイ解析・mFISH/mBAND解析システムを使用した。

③ 結果・考察

大腿骨中の造血系細胞数は3GyのX線全身照射1週間後に増加し、26週間後まで緩やかに減少した。一方、脾臓中の造血系細胞数は照射1週間後にわずかに減少し、26週間後で増加した。*Sfp1*遺伝子欠失頻度は、3Gy照射後早期(1週間後)に、大腿骨・脾臓において増加した。大腿骨において増加した*Sfp1*遺伝子欠失頻度は、4週目から26週目にかけて緩やかに減少を示したが、脾臓における*Sfp1*遺伝子欠失頻度は26週目でも高値を維持した。高線量・高線量率照射照射後の造血幹細胞を含む造血系細胞は、大腿骨中と脾臓とで異なる細胞動態を示した。また、照射後に脾臓が主な造血の場になる可能性が示唆された。高線量・高線量率照射照射によって増加した脾臓における*Sfp1*遺伝子欠失頻度は、照射から26週間後でも高値を維持しており、脾臓において残存する*Sfp1*遺伝子欠失がAMLの発症に関与している可能性がある。*Sfp1*遺伝子欠失は比較的低線量でも観察することが可能であり、今後は自然環境中の放射性物質による野生動物への低線量放射線の影響を*Sfp1*遺伝子欠失を指標として解析し、生物影響の把握・評価法へと発展させていきたい。

成果発表

① 論文発表

なし(準備中)

② 学会発表

なし

③ その他

共同研究の年次報告会ポスター発表(2/14)

Agilent8800 を用いた安定セシウム測定精度向上方法の検討

小荒井一真 (東北大学大学院理学研究科)

研究成果概要

① 研究目的

表 1. ウシ骨試料中のアルカリ金属濃度

試料	試料番号	K (ppm)	Rb (ppb)	Cs (ppb)
骨試料 1	1	111±2	236±37	20±8
	2	102±1	90±0.3	<0.2
	3	90±2	105±2	<0.3
	4	52±2	91±2	<0.4
平均±標準偏差		89±26	130±71	
骨試料 2	1	490±3	590±18	<0.3
	2	480±9	646±3	<0.2
	3	405±24	605±3	<0.4
	4	447±7	655±78	<0.4
平均±標準偏差		455±38	624±32	

表 2. ナラ材試料中のアルカリ金属濃度

試料	試料番号	K (ppm)	Rb (ppb)	Cs (ppb)
木材試料 1	1	2720±23	5600±37	34±3
	2	2610±30	5430±46	21±0.3
	3	2270±43	4820±117	16±1
	4	2390±36	5020±75	15±0.3
平均±標準偏差		2500±204	5220±361	22±9
木材試料 2	1	2380±93	4830±64	21±1
	2	2280±82	4740±74	20±0.1
	3	2250±48	4720±40	19±1
	4	2250±34	4690±52	18±1
平均±標準偏差		2290±64	4740±61	19±1

本共同研究の目的は、ICP-MS による環境試料中安定セシウムの測定精度向上である。環境中での放射性セシウムの移行を評価する際に、放射性セシウムの移行だけでなく、安定セシウムにも注目する必要がある。しかし、環境試料中の安定セシウムは ppb オーダーで存在しており、ICP-MS による定量が容易でない。安定セシウムが低濃度試料の場合、機器状態によっては検出限界以下となり、測定が困難な状況が想定される。そこで、東北大学工学部の Agilent8800 において、安定セシウムの測定精度向上のための条件検討を行った。

② 研究方法

Agilent8800 において、均質化したウシ骨（骨試料 1 および 2）とナラ材（木材試料 1 および 2）を対象とし、条件検討を行った。それぞれの粉末試料は 0.1 g 程度

分取し、マイクロウェーブ分解装置(Speedwave MWS3+, analytikjena) によって湿式分解をした。分解後ろ過によって残渣を除去し、5、100、1000 倍にそれぞれ希釈し測定に使用した。測定の際は、同一試料を 3 回繰り返し測定することで得られた平均値 ± 標準偏差を定量値とした。また、それぞれの試料から 4 検体採取し、上記の試料の分取から測定までの工程を個別に処理した。

③ 結果・考察

表 1 にウシ骨のアルカリ金属濃度を示す。骨試料 1 のうち 1 度の測定を除き、安定セシウムの測定値は全て検出限界以下であった。骨試料は主成分のカルシウムが高濃度であるため、5 倍希釈以上高濃度での測定は不可能であった。一方で、カリウム、ルビジウムは全ての試料において定量でき、4 検体の測定における定量値の標準偏差も小さかった。表 2 はナラ材試料中のアルカリ金属濃度を示す。全ての試料について、カリウム、ルビジウム、セシウムが定量できた。しかしながら、カリウム、ルビジウムに比べ安定セシウムの定量値や平均値の標準偏差は相対的に大きかった。そのため環境試料中の安定セシウム測定において、現在よりも精度向上が必要であることが明らかになった。特に硬組織試料は、現在より濃い試料での精度向上が不可能であるため、セルガスや脱溶媒システムの導入などによって安定セシウムの測定条件を調整する必要があることが示唆された。安定セシウムを高精度に測定することで、これまで議論が不十分であった放射性セシウムの元素としての動態解明が期待される。

成果発表

① 論文発表

K. Koarai, Y. Kino, T. Oka, A. Takahashi, T. Suzuki, Y. Shimizu, M. Chiba, K. Osaka, K. Sasaki, T. Fukuda, E. Isogai, H. Yamashiro, T. Sekine, M. Fukumoto, H. Shinoda. “Incorporation and Accumulation of Strontium-90 in the Hard Tissue of Animals and Their Relationship with Strontium-90 Pollution in the Environment” in “Low-Dose-Rate Radiation Effects on Animals and Ecosystem-Long-Term Study on the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident” Ed. By M. Fukumoto (Springer, in press).

小荒井一真, 木野 康志、西山純平、岡 壽崇、高橋 温、鈴木 敏彦、清水 良央、千葉 美麗、小坂 健、佐々木 啓一、福田 智一、磯貝 恵美子、関根 勉、福本 学、篠田 壽、ウシの歯の放射能測定による福島第一原発事故後の環境汚染評価, *KEK Proceedings 2018*, **7**, 225-230 (2018).

金子拓、小荒井一真、木野 康志、西山純平、岡 壽崇、高橋 温、鈴木 敏彦、清水 良央、千葉 美麗、小坂 健、佐々木 啓一、漆原佑介、鈴木正敏、関根 勉、篠田 壽、福本 学、福島第一原発事故被災サルの硬組織中の放射能濃度, *KEK Proceedings 2018, 7, 231-236* (2018).

小野拓実、小荒井一真、木野 康志、西山純平、金子拓、岡 壽崇、高橋 温、鈴木 敏彦、清水 良央、千葉 美麗、小坂 健、佐々木 啓一、漆原佑介、福田 智一、磯貝 恵美子、関根 勉、福本 学、篠田 壽、福島第一原発事故被災ウシの歯・骨中の放射性・安定セシウムの測定, *KEK Proceedings 2018, 7, 219-224* (2018).

田巻廣明、小荒井一真、木野 康志、西山純平、金子拓、小野拓実、岡 壽崇、漆原佑介、高橋 温、鈴木 敏彦、清水 良央、千葉 美麗、藤嶋洋平、Valerie Goh See Ting、有吉健太郎、鈴木正敏、三浦富智、関根 勉、篠田 壽、福本 学、南相馬市・浪江町野生ニホンザル・アライグマの放射性セシウムの臓器内放射能濃度, *KEK Proceedings 2018, 7, 237-242* (2018).

② 学会発表

(Oral) Role of animal teeth for estimation of environmental pollution of Sr-90 and Cs-137 just after the Fukushima Daiichi Power Plant Accident

Kazuma Koarai, Yasushi Kino, Junpei Nishiyama, Hiraku Kaneko, Atsushi Takahashi, Toshihiko Suzuki, Shimizu Yoshinaka, Mirei Chiba, Ken Osaka, Keiichi Sasaki, Yusuke Urushihara, Tomokazu Fukuda, Emiko Isogai, Hideaki Yamashiro, Toshitaka Oka, Tsutomu Sekine, Manabu Fukumoto, Hisashi Shinoda
RadChem2018 (The 18th Radiochemical Conference), Mariánské Lázně, Czech, 2018/5/13-5/18.

(口頭発表) ウシの歯中の放射能濃度からの環境中 Sr-90 と Cs-137 の挙動の推定

小荒井一真、木野康志、西山純平、高橋温、鈴木敏彦、清水良央、千葉美麗、小坂健、佐々木啓一、福田智一、磯貝恵美子、岡壽崇、関根勉、福本学、篠田壽
第 55 回アイソトープ・放射線研究発表会、文京区、東京都、2018/7/4-6.

(口頭発表) 被災サル歯中 Sr-90 の測定と歯を用いた被災サルの骨髓線量の推定

小荒井一真、木野康志、西山純平、金子拓、小野拓実、高橋温、鈴木敏彦、清水良央、千葉美麗、小坂健、佐々木啓一、漆原佑介、鈴木正敏、福田智一、磯貝恵美子、岡壽崇、関根勉、篠田壽、福本学

第5回福島第一原発事故による周辺生物への影響に関する勉強会, 文京区, 東京, 2018/8/3-8/4.

(口頭発表) ウシの歯を用いた福島第一原発事故後の Sr-90 汚染経過の推定

小荒井一真、木野康志、西山純平、金子拓、小野拓実、高橋温、鈴木敏彦、清水良央、千葉美麗、小坂健、佐々木啓一、漆原佑介、福田智一、磯貝恵美子、岡壽崇、関根勉、福本学、篠田壽
日本分析化学会第67年会, 仙台市, 宮城県, 2018/9/12-14.

(口頭発表) 福島第一原発事故後の環境中からウシ硬組織への Sr-90 の移行挙動

小荒井一真、木野康志、西山純平、金子拓、小野拓実、高橋温、鈴木敏彦、清水良央、千葉美麗、小坂健、佐々木啓一、漆原佑介、福田智一、磯貝恵美子、岡壽崇、関根勉、福本学、篠田壽
2018 日本放射化学会年会・第62回放射化学討論会, 京都市, 京都, 2018/9/18-9/20.

(口頭発表) 歯と骨に記録された ^{90}Sr の取り込み履歴を用いた福島第一原発事故被災サルの骨髄線量の推定

小荒井一真、木野康志、西山純平、金子拓、高橋温、鈴木敏彦、清水良央、千葉美麗、小坂健、佐々木啓一、漆原佑介、鈴木正敏、福田智一、磯貝恵美子、岡壽崇、関根勉、篠田壽、福本学
日本放射線影響学会第61回大会, 長崎市, 長崎, 2018/11/7-11/9.

(口頭発表) 福島第一原子力発電所事故後の動物生息地の土壌中 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs の状態

小荒井一真

「福島原発事故で放出された放射性物質の多面的分析」専門研究会、京都大学複合原子力科学研究所、熊取町、大阪府、2018/12/21.

(口頭発表) 動物臓器内放射能濃度測定と被ばく線量評価

小荒井一真

新学術領域研究宇宙観測検出器と量子ビームの出会い。新たな応用への架け橋。若手ハードウェア研究会、豊中市、大阪府、2019/3/7-3/8

(口頭発表) 福島原発事故後のウシ、サルの硬組織への環境中からの ^{90}Sr の移行

小荒井一真、木野康志、西山純平、金子拓、高橋温、鈴木敏彦、清水良央、千葉美麗、小坂健、佐々木啓一、漆原佑介、鈴木正敏、福田智一、磯貝恵美子、岡壽崇、関根勉、篠田壽、福本学
第20回環境放射能研究会, つくば市, 茨城県, 2019/3/12-3/14.

③ その他

Recovery of radionuclides from washing effluent containing excess aminopolycarboxylate chelator in solution

Ismail Md. Mofizur Rahman (Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University)

Summary of the Project

The earthquake-tempted tsunami besieged a vast area in the Tohoku and Kanto region of Japan, which included many farmlands. The sandy- or muddy-type tsunami deposits in distributed areas later accumulated radionuclides released from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. Besides, the soils beneath the tsunami deposits were assumed to be altered due to the compression of the surface soil as a result of deposition of earth and sand, and infiltration of the chemicals eluted from the deposits. Although the waste-mixed soil properties have spatial and temporal variations, the geo-environmental contamination generated a considerable amount of polluted solids that should be decontaminated. During the previous-phase of our research, we studied chelator-assisted washing remediation of the radionuclide-contaminated waste. Current research aims to design a scheme to recover radionuclides from washing effluent containing excess aminopolycarboxylate chelator in solution.

List of Publication

1. I.M.M. Rahman, Z.A. Begum, B. Ahmmad, H. Tsukada, and H. Hasegawa, Effect of extraction variables for the chelator-assisted washing remediation of strontium and geochemically-related elements from soils, In: *Proceedings of the 67th Annual Meeting of Japan Society for Analytical Chemistry* (September 12-14; Sendai, Japan), 2018.

Vigna 属耐塩性野生種のリウム吸収に関するイメージング解析

内藤 健 (農研機構・遺伝資源センター)

研究成果概要

① 研究目的

本研究の目的は、*Vigna* 属から選抜された耐塩性野生種のリウムの吸収特性や器官・組織ごとのリウム蓄積量を評価し、耐塩性機構の解明や遺伝子の単離に結びつけることである。

Vigna 属とはアズキのなかまであり、多様な環境に適応した野生種が多数あることが特徴である。これまでの研究から、耐塩性は種分化の過程で複数回独立に生じており、また塩ストレス直後のリウムの吸収・蓄積様式が種ごとに全く異なることも明らかとなった。

しかしながら、リウムの吸収・蓄積様式が時間とともに変化する可能性については未だ検証されていない。そこで、本研究では植物体の全身の元素局在様式を容易にモニターできる RI トレーサーの手法を用いて、事前に3日間の塩ストレス処理を受けた *Vigna* 属野生種群について、リウムの吸収・蓄積様式を評価することを目指した。

② 研究方法

本研究では耐塩性に優れた *V. marina*, *V. luteola*, *V. trilobata*, *V. riukiensis* および *V. nakashimae* と、耐塩性をもたない *V. angularis* を供試した。事前に塩ストレス処理を施して順応させ、3日後から (^{22}Na) を吸収させて BAS イメージング解析を行うことにより、リウムの吸収・蓄積様式に変化が時間とともに変化するのかどうかを明らかにすることを目指した。

具体的には、水耕条件で2週間栽培した植物体を 50 mM NaCl を含む水耕液に3日間移し、さらに 100 mM NaCl (^{22}Na を含む) の水耕液に移して3日間栽培した。その後、BAS イメージングによって植物体内におけるリウムの局在を可視化した。

③ 結果・考察

耐塩性をもたない *V. angularis* は、前処理後の塩ストレスによって顕著に障害を生じたため、そもそも順応できなかったと考えられる。前処理なしの実験では葉へのリウム

流入を抑制していたが、前処理ありの条件では葉に Na^+ が流入しており、これが障害の原因となったと考えられる。

V. nakashimae は前処理によって Na^+ の吸収・蓄積様式に顕著な変化が見られることはなかったが、前処理ありの条件では下位葉に一部障害斑が見られた。また、障害斑では Na^+ のシグナルが強く見られたことから、*V. nakashimae* は葉への Na^+ 流入が全くないわけではなく、継続的に葉から Na^+ を送り出す師管輸送を行っていると考えられた。この排出機能の限界を超えた領域に Na^+ が蓄積し、障害斑を形成したと考えられる。

V. riukiensis は前処理なしの条件では葉に多量の Na^+ を蓄積したのに対し、前処理ありの条件では *V. nakashimae* と同様に根・茎で顕著な Na^+ 蓄積が見られ、葉への流入はむしろ抑制されていた。したがって、前処理なしで見られた多量の Na^+ 吸収は、浸透圧ショックに対抗するための溶質を、 Na^+ で賄っていると考えられた。

V. trilobata は前処理なしでは葉に Na^+ が流入して障害を生じてしまったのに対し、前処理ありの条件では根および茎に Na^+ が蓄積され、葉への Na^+ 流入が抑制された。したがって、*V. trilobata* の耐塩性は前処理によって誘導的に発揮されると考えられた。

V. luteola では前処理なしの条件では第3本葉に選択的に Na^+ が蓄積されたのに対し、前処理ありではそれが第4本葉となった。しかしいずれにせよ最上位完全展開葉に選択的に Na^+ が蓄積される傾向に変化はなかった。

V. marina は前処理なしの状態ではとにかく Na^+ をシャットアウトし、しかもそれは根からの周期的な Na 排出によることが明らかとなった。また、前処理後の *V. marina* は *V. luteola* と同様の Na^+ 蓄積様式を示したことから、*V. marina* は *V. luteola* と共通の耐塩性機構を有しているだけでなく、さらに根からの Na^+ 排出能力を獲得したものと考えられる。

成果発表

- ① 論文発表

- ② 学会発表

- ③ その他

福島原発で発生する汚染水中の陰イオン放射性核種除去 に関する基礎研究

田中万也（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構）

研究成果概要

① 研究目的

東京電力福島第一原子力発電所で発生する大量の汚染水処理が大きな問題となっている。短期的には放射性セシウムやストロンチウムのような短半減期核種の処理が課題となっている。一方で、中長期的な観点からはセレン79、ヨウ素129、テクネチウム99といった長半減期の放射性核種の処理が問題となる。これらの核種は一般的な表層環境条件においては陰イオン形として存在する。そのため、個々の放射性核種に対しては化学形態を踏まえた適切な処理方法が求められる。本研究では、特に処理が困難で研究例が少ないテクネチウムを対象として水溶液中からの新たな除去方法を確立することを目的とした。

② 研究方法

同族元素であるテクネチウムとレニウムは大気条件下では、それぞれ過テクネチウム酸イオン(TcO_4^-)及び過レニウム酸イオン(ReO_4^-)として存在する。このため、本研究では、テクネチウムのアナログとして安定同位体レニウムを用いて実験を行った。レニウムの吸着媒として、層状構造を持つ Ni-Zn 塩基性塩 ($\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x(\text{OH})_2(\text{OCOCH}_3)_{2x} \cdot n\text{H}_2\text{O}$) を合成した。15 ml ポリプロピレン製遠沈管にレニウム含む水溶液 10 ml に対して Ni-Zn 塩基性塩粉末 20 mg を添加し、室温で 24 時間振とうした。その後、孔径 0.2 μm メンブレンフィルターで固液を分離した。そして、水溶液中に残ったレニウム濃度を、アイソトープセンターに設置された ICP-MS を用いて定量することにより吸着量(除去量)を求めた。水溶液には、純水、NaCl、NaNO₃、Na₂SO₄ を用いた。純水条件においてレニウムの初期濃度を 67.1 nM から 12.5 mM に変化させて吸着の濃度依存性を評価した。

Ni-Zn 塩基性塩に吸着したレニウムの局所構造を調べるために EXAFS 法を用いた。EXAFS スペクトルの測定は高エネルギー加速器研究機構 Photon Factory の BL12C にて行った。EXAFS 測定用の試料はレニウム初期濃度 1.34, 2.68, 4.03 及び 5.37 mM の

水溶液中でそれぞれ調製した。また、0.1 M NH_4ReO_4 水溶液中でレニウムを吸着させた Ni-Zn 塩基性塩の XRD パターンの測定を行った。

③ 結果・考察

図 1 に初期濃度を変化させたレニウム吸着実験（吸着等温線）の結果を示した。溶液中のレニウム濃度の増加とともに吸着量が増加したが、傾き ($[\text{Re}]_{\text{ad}}/[\text{Re}]_{\text{dis}}$) は徐々に低下した。そして、平衡濃度が 3 mM を超える領域では吸着量がおおよそ一定となった。吸着サイトが二つ以上ある場合は、高濃度領域において再び吸着量が増加することが期待される。しかし、そうした高濃度領域における吸着量の増加は認められないことから、Ni-Zn 塩基性塩のレニウム吸着サイトは一つであると考えられる。Ni-Zn 塩基性塩の XRD パターン解析から、レニウムを吸着させた場合に面間隔が 13.08 Å から 12.59 Å へ縮まることが分かった。このことは、層間の酢酸イオンと過レニウム酸イオンが陰イオン交換することにより水溶液中からレニウムが除去されることを示しており、レニウムは層間サイトに吸着することが明らかとなった。また、これらの吸着データを用いてラングミュアプロットをした結果、良い直線関係（相関係数 $R = 0.998$ ）が得られた（図 1 右図）。このことから、Ni-Zn 塩基性塩へのレニウム吸着はラングミュア型吸着で説明できることが分かった。

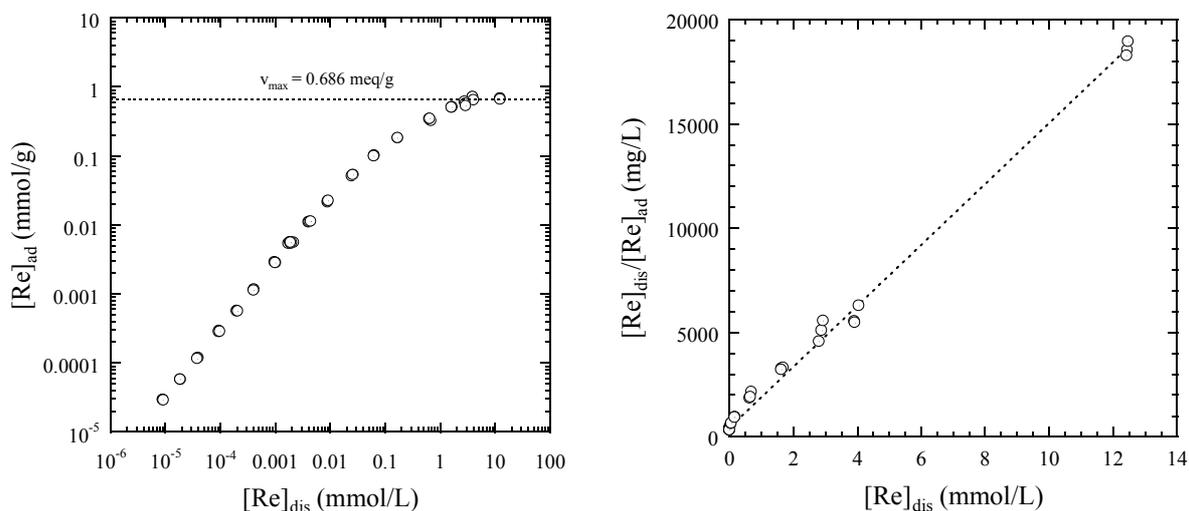


図 1. 純水条件におけるレニウム吸着。[$\text{Re}]_{\text{init}}$, [$\text{Re}]_{\text{dis}}$ はそれぞれ初期レニウム濃度、平衡濃度を表す。（左図）吸着等温線。（右図）ラングミュアプロット。

図 2 に水溶液の組成を変化させた実験結果を示した。縦軸は分配係数 K_d を表し次式で定義した。

$$K_d = ([\text{Re}]_{\text{init}} - [\text{Re}]_{\text{dis}}) / c[\text{Re}]_{\text{dis}} \quad (\text{mL/g})$$

ここで、 $[\text{Re}]_{\text{init}}$, $[\text{Re}]_{\text{dis}}$, c はそれぞれ初期レニウム濃度、平衡濃度、固液比である。 K_d は純水条件において最も高い値を示し、塩濃度の増加とともに低下した。このことは、過レニウム酸イオンの吸着が共存する陰イオンの影響を受けやすいことを示している。影響の程度は硫酸イオンが最も大きく、塩化物イオンと硝酸イオンは同程度であった。図2において _re は一旦純水中でレニウムを吸着させた後、ナトリウム塩を添加した実験結果を表し、対応する各々の実験（例、10 mM NaCl と 10 mM NaCl _re ）は同程度の K_d 値を示した。このことはレニウム吸脱着が可逆過程であることを意味している。

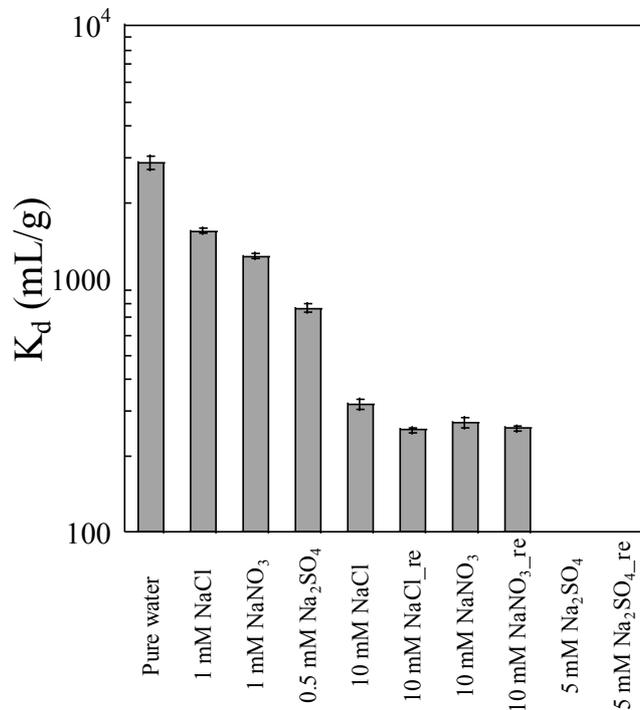


図2. 異なる溶液組成におけるレニウム吸着. エラーバーは3～7回繰り返し実験の標準偏差を示す. _re は一旦純水中でレニウムを吸着させた後、ナトリウム塩を添加した実験.

レニウム L_{III} 吸収端 EXAFS スペクトルの解析結果を図3にプロットした。Ni-Zn 塩基性塩は 0.1 M NH_4ReO_4 溶液と同様の EXAFS 振動スペクトルを示した（図3左図）。また、それらの動径構造関数はレニウム原子のまわりの酸素原子に由来するピークが見られたが、それ以外のピークは認められなかった。したがって、レニウムは外圏型錯体として静電的に吸着していると考えられる。このことは図2に示したようにレニウム吸着が競合イオンの有無に影響を受けやすいことと調和的であると言える。また、

Ni-Zn 塩基性塩はレニウム吸着量に関係なく同様の EXAFS 振動スペクトルを示した。これはレニウムの吸着サイトが層間のみであるためであると考えられる。

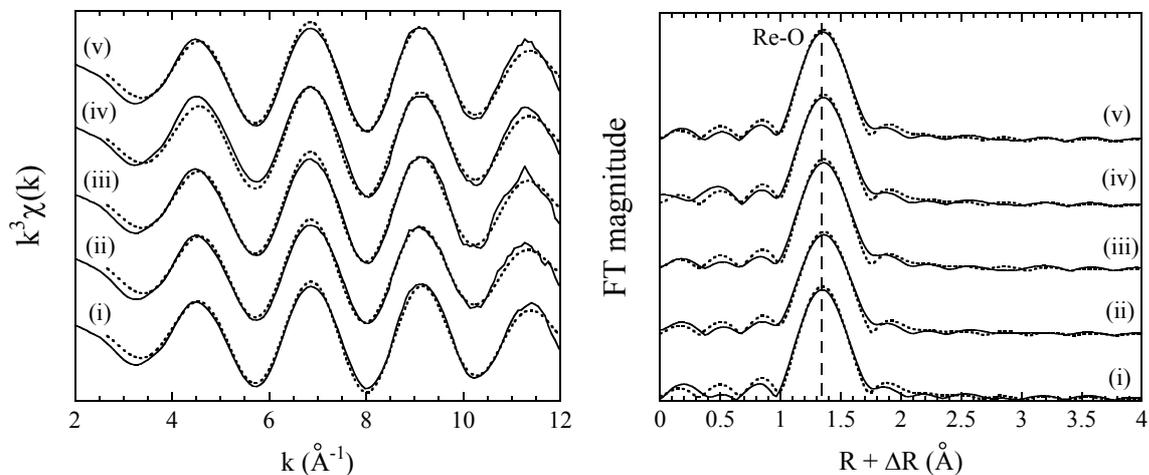


図 3. レニウム L_{III} 吸収端 EXAFS スペクトルの解析結果. (i) 0.1 M NH₄ReO₄, (ii) 62.4 mg/g Re Ni-Zn 塩基性塩, (iii) 94 mg/g Re Ni-Zn 塩基性塩, (iv) 106 mg/g Re Ni-Zn 塩基性塩, (v) 128 mg/g Re Ni-Zn 塩基性塩. (左図) EXAFS 振動. (右図) 動径構造関数.

成果発表

① 論文発表

Tanaka, K., Kozai, N., Ohnuki, T. and Grambow, B. (2018) Study on coordination structure of Re adsorbed on Mg-Al layered double hydroxide using X-ray absorption fine structure. Journal of Porous Materials (in press)

Tanaka, K., Kozai, N., Yamasaki, S., Ohnuki, T., Kaplan, D.I. and Grambow, B. Adsorption mechanism of ReO₄⁻ on Ni-Zn layered hydroxide salt and its application to removal of ReO₄⁻ as a surrogate of TcO₄⁻. (in preparation)

② 学会発表

田中万也、香西直文、大貫敏彦、Bernd Grambow 層状複水酸化物を用いた汚染水からの陰イオン核種除去に関する基礎研究. 2018 年度地球化学会年会、2018 年 9 月 11 日～13 日、琉球大学千原キャンパス

③ その他

福島第一原発事故由来の放射性核種を含む非水溶粒子物性解明

～環境中からの効率的な分離法の提案を目指して～

阿部 善也（東京理科大学 理学部第一部 応用化学科）

研究成果概要

① 研究目的

福島第一原発事故により環境中に飛散した放射性物質のうち、ケイ酸塩ガラスを主成分とする非水溶性で数～数百 Bq の放射能を持つ微粒子が注目を集めている。事故の初期段階で原発 1 号機または 2 号機で生成されたものが、水素爆発やベントなどのイベントに伴い大気中へと放出されたものと考えられ、事故直後に東日本各地で大気粉塵を捕集したフィルターからの発見が相次いでいる。また、非水溶性であるために環境中で長期的な影響力を持つことが懸念され、実際に福島県内の帰還困難区域で採取された土壌や河川堆積物からは、直径数 μm のごく微小なものから肉眼で観察可能な $100 \mu\text{m}$ を超える大型のものまで、多数の放射性粒子が発見されている。今後、原発事故由来の汚染土壌の処理を考えるうえで、こうした粒子の効率的な分離回収は重要な課題の一つである。そこで本研究では、福島第一原発事故由来の非水溶性粒子に着目して、環境中からの効率的な分離法の提案を目指して、1 粒子単位の詳細な物性の解明を目指す。

② 研究方法

事故直後に東日本で捕集された大気粉塵試料、および帰還困難区域内で採取された土壌試料を対象として、イメージングプレートを用いたオートラジオグラフィと、マイクロマン્યピレータを用いて放射性粒子を単離した。分離された放射性粒子について、以下の 3 種類の研究を実施した。分析は全て非破壊で実施した。なお、本研究で実施した実験は、本共同研究による助成に加えて、「平成 30 年度英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業（国際共同型、代表：五十嵐 康人先生）」による支援を受けて実施された。

1) 詳細な化学的性状の解明

各粒子について、1 粒子単位で Ge 半導体検出器によるガンマ線スペクトル測定と、低真空型電子顕微鏡による形態観察を行った。その後、各粒子を SPring-8 へと持ち込み、分光分析ビームライン BL37XU において、縦横 $1 \mu\text{m}$ 以下に集光した単色 X 線を励起光として、蛍光 X 線分析 (SR- μ -XRF) により各粒子の化学組成および元素分布を、X 線吸収端近傍構造分析 (SR- μ -XANES) により粒子中の金属元素の化学状態を、X 線回折分析 (SR- μ -XRD) により結晶構造を 1 粒子単位で明らかにした。SPring-8 での放射光実験は社会・文化利用課題として、2018 年度の前期 (2018A1704)、後期 (2018B1748) に実施した。

2) 1 粒子単位での蛍光特性の解明

東京大学医科学研究所ニコンイメージングラボへと放射性粒子を持ち込み、同ラボ内に設置された多光子励起顕微鏡 A1RMP（株式会社ニコン製）を用いて、1 粒子単位での蛍光特性を調査した。紫～緑色までの 3 種類の励起波長（405, 488, 561 nm）に対する蛍光特性の有無および生じた蛍光の波長を検証した。

3) 放射線の直接観測

空冷型ペルチェ冷却装置を搭載した冷媒不要の小型霧箱 SML-02（株式会社ナリカ製）を用いて、放射性粒子から発生する放射線の直接観測を試みた。

③ 結果・考察

ここでは、帰還困難区域で採取した土壌試料より分離された放射性粒子（以下、粒子 S）に関する分析結果を報告する。粒子 S は直径約 50 μm の球形であり、さらに厚さ 10 μm 程度の「殻」のような物質が粒子を覆うように一部に付着している。電子顕微鏡で観察された反射電子像からは、粒子自体より殻状物質の方が強いコントラストを示した。ガンマ線スペクトル測定で得られた粒子 S の放射能は、2011 年 3 月当時に減衰補正した ^{137}Cs 放射能として $27.2 \pm 0.9 \text{ Bq}$ であった。粒子 S からは ^{134}Cs も検出され、2011 年 3 月当時に減衰補正した $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比は約 0.93 となり、福島第一原発 1 号機で生成したものであると推定された。

粒子 S について、37.5 keV に単色化した X 線を励起光とした SR- μ -XRF を実施した結果、Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Sr, Sb, Cs, Ba, Pb, U が検出された。これらの元素の起源について考察すると、U は核燃料、さらに Sr～Ba までの重元素はその核分裂生成物に起源づけることができる。Pb は放射線防護材、Cr～Zn は格納容器や建屋などの原子炉の構成材料に由来すると考えられ、粒子から検出された元素の起源は全て原子炉内部および周辺の物質で説明可能であった。さらに、XY ステージによって試料を縦横に走査しながら SR- μ -XRF を行うことで、元素分布を調べることができる（SR- μ -XRF イメージング）。その結果、上記の元素は試料中に不均一に存在していた。元素分布はいくつかのパターンに分けることができ、Zn, Sr, Cs, Ba, Pb は粒子本体部分に広がるように分布していたのに対し、Cr, Mn, Fe, Ni は粒子に付着した殻状物質に濃集する形で存在していた。また、U は粒子本体表面の数 μm の範囲のみに分布していた。Sb についても、U とは異なる数 μm の範囲に分布していた。SR- μ -XANES および SR- μ -XRD の結果、粒子本体部分は非晶質（おそらくはケイ酸塩ガラス）であり、殻状物質は Fe_3O_4 を主成分としていることがわかった。SR- μ -XRF イメージングの結果と合わせて考えると、殻状物質は原子炉の構成材料として使用されたステンレス鋼が酸化したものである可能性が考えられるが、粒子 S が土壌から分離されたものであることを考慮すると、殻状物質が炉内由来ではなく土などの付着物である可能性も考慮する必要があるだろう。

粒子 S について多光子励起顕微鏡により 1 粒子単位での蛍光特性を調べた結果、3 種類の励起波長のうち、紫色 (405 nm) でのみ特徴的な緑色蛍光 (約 510 nm) の発光が検出された。ただし、粒子 S 全体から蛍光が示されたのではなく、蛍光物質はきわめて局所的に存在していた。SR- μ -XRF イメージングの結果と比較すると、蛍光が検出された部位は U の分布ときわめてよく一致していた。U がケイ酸塩ガラス中にウラニルイオン (UO_2^{2+}) の形で存在する場合、320~430 nm の紫外~青色光で励起され、強い緑色 (510~530 nm) の蛍光を生じ、この性質は一般に「ウランガラス」などの工芸品としても知られている。よって粒子 S は、核燃料由来と考えられる U を含有しており、さらにその U は強い蛍光特性を持つウラニルイオンの形で存在していると結論付けられた。

さらに粒子 S について、小型霧箱による放射線の直接観測を試みた結果、粒子 S を中心として 1 秒間に 10 個以上の飛跡が観察された。飛跡は細くジグザグに曲がった飛跡を示し、これはベータ線によるものであると考えられる。このベータ線には粒子中の ^{137}Cs および ^{134}Cs のベータ崩壊に伴うものと、ガンマ線由来の二次的なものの双方が含まれていると考えられる。

一般に、福島第一原発事故由来の放射性粒子を環境試料から分離する際には、粒子から放出される放射線を Ge 半導体検出器やイメージングプレートで検出することで粒子の存在を確認し、徐々にその範囲を狭めていくことで粒子の場所を特定するが、1 粒子を分離するまでに 1 日~数日を要する。本研究により、ウラニルイオンによる特徴的な蛍光、あるいは粒子から放出される放射線の飛跡を直接的に観測することで、放射性粒子の場所を「リアルタイム」で特定できる可能性が示された。この知見は、研究目的で環境試料から放射性粒子を分離する際に役立つだけでなく、放射性物質により汚染された土壌等の効率的な除染方法を開発するうえでも重要であると考えられる。今後は実用化を視野に入れ、さらなる研究を進めたい。

成果発表

① 論文発表

準備中

② 学会発表

準備中

③ その他

特になし

日本海・オホーツク海における人為起源 ^{129}I の動態と海洋循環研究

松中哲也（金沢大学環日本海域環境研究センター）

研究成果概要

① 研究目的

長期海洋観測により、日本海底層水とオホーツク海高密度陸棚水の循環が冬季気温上昇によって弱まりつつあることが示唆されている[1-2]。日本海・オホーツク海において、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、気候変動に対する海洋循環の応答性を経時的に理解する上で重要である。本研究は、主としてヨーロッパ核燃料再処理施設から大気経由で供給されると考えられている長寿命の ^{129}I （半減期：1570 万年）を対象に、日本海・オホーツク海における動態を広域的に明らかにし、海洋循環トレーサーとしての利用性を検討することを目的とした。

② 研究方法

2017-2018 年の国内研究機関の調査航海（蒼鷹丸：2017 年 7 月・2018 年 7 月、及び鶴洋丸：2018 年 4 月）において、日本海の対馬海流域とリマン海流域にわたる 11 地点（北緯 38-46°、東経 135-141°）、オホーツク海南部域の 3 地点、及び東シナ海の黒潮流域である長崎沖の 7 地点で表層海水を採取した（図 1A）。また、日本海盆において、鉛直方向に水深 3,500m まで採水を実施した。0.45 μm 孔径のフィルターでろ過した海水 0.5 L に対し、1 mg の ^{127}I 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 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 比を測定し、ICP-MS を用いて試料の ^{127}I 濃度を測定した後、 ^{129}I 濃度を算出した。他の放射性核種（ ^{137}Cs ・ ^{226}Ra ・ ^{228}Ra ）と水質のデータを併せて、水塊構造を把握しながら海水中 ^{129}I の動態解析を行った。

③ 結果・考察

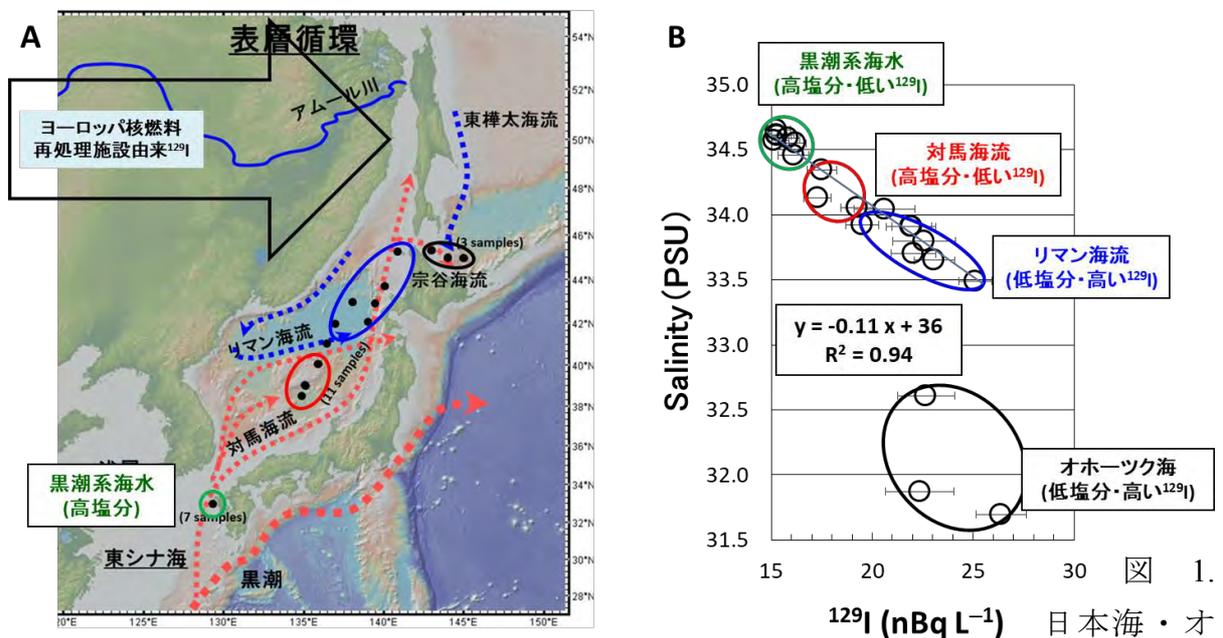
表層海水中の ^{129}I 濃度は、日本海で 17.8-25.1 nBq L^{-1} 、及びオホーツク海で 22.4-26.4 nBq L^{-1} の間で分布した。また、対馬海流の起源の 1 つである黒潮系海水の ^{129}I 濃度は、15.1-16.2 nBq L^{-1} と低かった。東シナ海と日本海における ^{129}I 濃度は、塩分と負の相関関係（ $R^2 = 0.94$ ）にあったのに対し、オホーツク海ではその関連性は認められなかった（図 1B）。従って、今回観測した日本海における表層水中の ^{129}I 濃度は、主とし

て東シナ海からの黒潮系海水を含む対馬海流と高緯度からのリマン海流に由来する水塊の混合によって決まっていると考えられる。

鉛直観測を実施した日本海盆において、2007年と2017年の表層水中 ^{129}I は $22.8 \pm 1.0 \text{ nBq L}^{-1}$ [3]と $22.7 \pm 0.6 \text{ nBq L}^{-1}$ であり、誤差範囲内で一致した。それに対し、2017年の底層水中 ^{129}I は $4.2 \pm 0.6 \text{ nBq L}^{-1}$ であり、2007年($3.0 \pm 0.5 \text{ nBq L}^{-1}$) [3]と比べ 1.2 nBq L^{-1} 増加した。これらの結果を基に算出した2007–2017年(10年間)における日本海底層水の滞留時間は 167 ± 22 年であり、 ^{14}C をトレーサーとして算出した1979–1995年(16年間)における滞留時間(98 ± 23 年) [4]と比べ、1.7倍高かった。今後、日本海における ^{129}I 鉛直分布の観測を増やし、得られた滞留時間の信頼性を高めると共に、気候変動と日本海底層水の滞留時間の変化との関連性を検討する予定である。

引用文献

[1] T. Gamo, Trends anal. chem., 30, 1308–1319 (2011), [2] T. Nakanowatari et al., Geophys. Res. Lett., 34, 1955–2004 (2007), [3] T. Suzuki et al., Nucl. Instr. Meth. B, 268, 1229–1331 (2010), [4] Y. Kumamoto et al., Geophys. Res. Lett., 25, 651–654 (1998)



ホーツク海・東シナ海における表層海水の採取地点 (A)、及び表層海水中の ^{129}I 濃度と塩分の分布 (B)

成果発表

① 論文発表

Sakaguchi, A., Inaba, R., Sasa, K., Matsunaka, T., Hosoya, S., Takahashi, T., Honda, M., Yamano, H., Sasaki, K., Yamasaki, S., Watanabe, T., Sueki, K. (2018) Reconstruction of anthropogenic ^{129}I temporal variation in the Japan Sea using a coral core sample, Marine Environmental Research, 142, 91–99.

② 学会発表

Matsunaka, T., Nagao, S., Inoue, M., Ochiai, S., Morita, T., Miki, S., Aramaki, T., Kudo, I., Honda, N., Takikawa, T., Sasa, K., Honda, M., Sueki, K. 「Anthropogenic iodine-129 in the Japan Sea Bottom Water and Dense Shelf Water of southern Okhotsk Sea」 Japan Geoscience Union Meeting 2018, Makuhari, Japan, 20–24, May, 2018.

松中哲也, 長尾誠也, 井上睦夫, 落合伸也, 笹公和, 森田貴己, 三木志津帆, 本多直人, 工藤勲, 滝川哲太郎, 荒巻能史, 本多真紀, 末木啓介 「ヨウ素 129 を用いた日本海における海洋循環研究」2018 日本放射化学会年会・第 62 回放射化学討論会, 2018.9.24–26.

松中哲也, 長尾誠也, 井上睦夫, 落合伸也, 笹公和, 高橋努, 本多真紀, 末木啓介, 森田貴己, 三木志津帆, 本多直人, 荒巻能史 「2017-2018 年における日本海底層水中のヨウ素 129 分布」第 21 回 AMS シンポジウム, 2018.12.17–18.

③ その他

Matsunaka, T., Nagao, S., Inoue, M., Ochiai, S., Morita, T., Miki, S., Aramaki, T., Kudo, I., Honda, N., Takikawa, T., Sueki, K., Honda, M., Sasa, K. (2018) : Anthropogenic iodine-129 in the Japan Sea Bottom Water in 2017, UTTAC ANNUAL REPORT 2017, 21–22.

放射性セシウムを含んだ不溶性エアロゾルの簡便な測定法に関する研究

大槻 勤 (京都大学 複合原子力科学研究所)

研究成果概要

① 研究目的

福島第一原子力発電所の事故によって溶融した炉心の付近で生成する放射性エアロゾルの性状およびその生成メカニズムを知ることは、放出された後の環境中での放射性物質の移行を推測する上で重要な情報となる。そのため、我々の研究室では核分裂生成物を含んだ放射性エアロゾルを模擬的に生成する装置を開発し、生成させた放射性エアロゾルの性質を調べ、その生成メカニズムの解明を目指している。これまでの研究では核分裂生成物を生成するために自発核分裂性核種である ^{252}Cf を用い、対象とするエアロゾルとして溶液状エアロゾルを用いた実験を行い、核分裂生成物が溶液状エアロゾル粒子に付着して放射性エアロゾル粒子が生成する過程について考察を行ってきた。本研究では、不溶性エアロゾルの簡便な測定法を開発するために、様々な性状を持った不溶性エアロゾルを模擬的に生成することを目的とし、研究用原子炉 (KUR) で照射したウラン試料を加熱することで放出される核分裂生成物 (FP) を用いた放射性エアロゾル生成装置の開発を行った。

② 研究方法

粉末状の $^{235}\text{UO}_2$ を石英管に減圧封入し、KUR の圧気輸送管 (Pn-2) を用いて 1 MW 運転時に 30 分間の熱中性子照射を行った。照射した $^{235}\text{UO}_2$ 粉末を別の石英管内に移し、管状炉を用いて 1000°C に加熱することで $^{235}\text{UO}_2$ 粉末から FP を放出させた。一方、アトマイザを用いて 0.01 M の塩化ナトリウム溶液からなる溶液状エアロゾルを発生させ、吸引ポンプを用いて FP とともにチェンバー内に導入した。溶液状エアロゾルと FP をチェンバー内で混合することで放射性エアロゾルを生成させ、ポリカーボネートフィルターを用いて捕集し、ガンマ線スペクトロメトリを行った。

結果・考察

捕集フィルターのガンマ線スペクトロメトリの結果から、 ^{131}I 、 ^{132}Te 、 ^{140}Ba 等の FP が $^{235}\text{UO}_2$ から放出され、溶液状エアロゾル粒子に付着することで放射性エアロゾルが

生成し、フィルターに捕集されたことを確認した。これらの結果から、中性子照射を行った $^{235}\text{UO}_2$ を加熱して FP を取り出すことで、模擬的に放射性エアロゾルを生成する手法が有効であることが確認できた。今後、本手法を用いて様々な条件下において生成する性状の異なる不溶性エアロゾルを生成させ、それらの簡便な測定法の開発を行う。

成果発表

① 論文発表

なし

② 学会発表

竹内裕弥、高宮幸一、関本俊、沖雄一、大槻勤、「照射ウランを用いた放射性エアロゾル生成模擬実験のための装置開発」, 第 20 回「環境放射能」研究会, つくば, Mar/12-14/2018.

③ その他

高宮幸一、「核分裂生成物を用いたエアロゾル模擬実験」, 京都大学複合原子力科学研究所 専門研究会「福島原発事故で放出された放射性物質の多面的分析」, 熊取, Dec/21/2018.

大気粒子と植物・菌類との放射性セシウム移行可能性の研究

北 和之、林 菜穂、南 光太郎、五十嵐 康人（茨城大・理）、
保坂健太郎（科学博物館）、木名瀬 健、足立光司、（気象研）、古川 純（筑波大）

研究成果概要

① 研究目的

（株）東京電力福島第一原子力発電所の事故により放出され、地表や植生に沈着した放射性セシウムは、何らかの形で一部が再飛散により大気中に放出され、拡散・移行している。観測により、森林の近傍では大気中の放射性セシウムが夏季にかけて増加する季節変化を示すことが明らかになり、この時期に大気中に浮遊する粒子の多くは植生から放出されたと思われる粗大炭素質粒子であるため、それがこの季節の放射性セシウム再飛散をひき起こす担体となっている可能性が示唆されている。また大気粒子サンプルを純水抽出すると 60-90%の放射性セシウムが水中に脱離することが分かった。

本共同研究では、今年度、粗大炭素質粒子の中でも、植物・菌類に起源をもつ DNA を持つ生物粒子が放射性セシウム再飛散の担体であるのか、定量的に明らかにすることを目標とした。

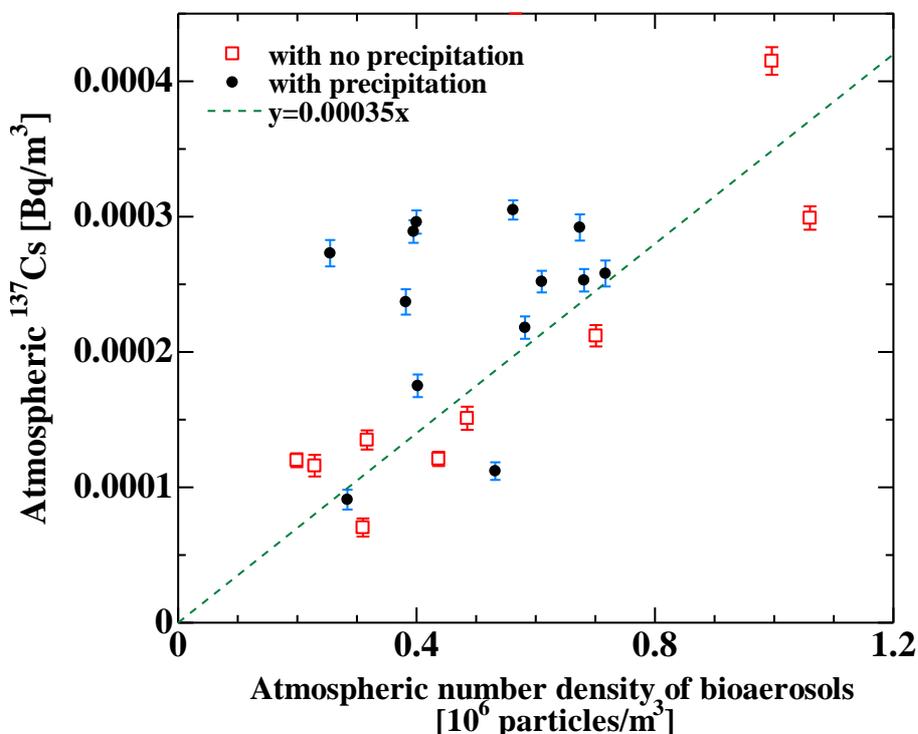
② 研究方法

福島県浪江町の観測サイトにおいて 2017 年の 8 月～10 月にハイボリュウムエアサンプラーで昼夜別に捕集した大気粒子試料を用い、1)そこに含まれる放射性セシウムによる大気放射能濃度の変化を求める。2)捕集した粒子のうち生物粒子を、DNA を染色する色素である DAPI を用い、蛍光顕微鏡で観察することで、その大気数密度を定量する。3)DAPI 染色しても蛍光を発しない濃色の生物粒子は、形態から生物起源が判定し、その大気密度も定量する。4)大気放射能濃度と生物粒子の数密度に比例関係があるか調べる。さらに、その比例係数が昨年度明らかにしたキノコ胞子中の Cs137 放射能濃度と合致するか調べる。

③ 結果・考察

福島県浪江町において 2017 年の 8 月～10 月にハイボリュウムエアサンプラーにより石英繊維フィルター上に捕集した大気粒子試料のうち、22 サンプルを用いて上記 1)～4)の手順で解析を行った。下図に、DAPI 染色により検出した生物粒子の数密度と大気 Cs-137 放射能濃度の関係を示す。四角でしめした非降水時のサンプルでは、生物粒子数密度と大気 Cs-137 放射能濃

度は非常によい正相関を示し、生物粒子が大気再飛散をひき起こしていることを確認する結果となった。黒丸で示した降水時のサンプルでは、非降水時と同じ範囲に存在する点も多いが、それより低い生物粒子密度で同程度の大気 Cs-137 放射能濃度を示す場合が存在していることが分かった。これは、DAPI 蛍光では検出できない濃色の生物粒子、とくに子嚢の大気飛散が降水時に多く発生するためと考えており、現在検証中である。また、下図の傾きが示す生物粒子 1 個当たりの Cs-137 放射能は、昨年度測定したキノコ孢子 1 個当たりの放射能に比べ 1 桁小さくなった。これは生物粒子の体積を考慮していないためと考えており、今後生物粒子の体積補正を行い、定量的に consistent であるか明確にしたい。



成果発表

① 論文発表

Igarashi, Y., Kita, K., Maki, T., Kinase, T., Hayashi, N., Hosaka, K., Adachi, K., Kajino, M., Ishizuka, M., Sekiyama, T.T., Zaizen, Y., Takenaka, C., Ninomiya, K., Okochi, H. & Sorimachi, A. (2019). Fungal spore involvement in the resuspension of radiocaesium in summer. *Scientific Reports*, **9**.

② 学会発表

保坂健太郎：林内と海岸で採るバイオエアロゾル（きのこ），第12回バイオエアロゾルシンポジウム概要集，pp.25-26，2019. 第12回バイオエアロゾルシンポジウム，茨城大学 水戸キャンパス 茨城大図書館ライブラリーホール，2019年2月18-19日.

牧輝弥，北和之，石塚正秀，作田裕也，保坂健太郎，岩坂泰信，五十嵐康人：森林内を浮遊するバイオエアロゾルの群集構造変化，第12回バイオエアロゾルシンポジウム概要集，pp.27-28，2019. 第12回バイオエアロゾルシンポジウム，茨城大学 水戸キャンパス 茨城大図書館ライブラリーホール，2019年2月18-19日.

河村公隆，北和之，& 五十嵐康人. (2018). 大気エアロゾル中の菌類孢子有機物トレーサーと ^{137}Cs の関係：福島県で採取した昼夜試料の解析結果. *日本地球化学会年会要旨集 2018 年度日本地球化学会第 65 回年会講演要旨集* (p. 15). 一般社団法人日本地球化学会.

Maki, T., K. Kita, T. Kinase, M. Ishizuka, Y. Igarashi: Sequential changes of airborne microbial communities emitted from forest ground surface in Fukushima, 2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium/15th IGAC Science Conference, Sunport Takamatsu Convention Center, 2018. Sept. 25-29.

Kita, K., N. Hayashi, K. Minami, M. Kimura, Y. Igarashi, K. Adachi, Y. Zaizen, T. Maki, M. Ishizuka, H. Okochi, J. Furukawa, K. Ninomiya, and A. Shinohara: Bioaerosol emission and its role in re-emission of radioactive cesium from forest in Fukushima, 2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium/15th IGAC Science Conference, Sunport Takamatsu Convention Center, 2018. Sept. 25-29.

林奈穂，北和之，五十嵐康人，牧輝也，小坂橋基夫，降水時の森林からのバイオエアロゾル放出源変化，第35回エアロゾル科学・技術研究討論会，名古屋大学，2018年7月31日～8月2日.

北和之，林奈穂，南光太郎，木村茉央，五十嵐康人，足立光司，牧輝弥，石塚正秀，大河内博，古川純，二宮和彦，篠原厚：福島高線量地区における夏季大気セシウム放射能濃度増加とバイオエアロゾル，日本地球惑星科学連合2018年大会，講演番号：MAG33-15，講演セッション：M-AG33 福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態，幕張メッセ国際展示場 A02 (東京ベイ幕張ホール)，2018年5月20日.

Kita K., Naho Hayashi, Koutaro Minami, Mao Kimura, Yasuhito Igarashi, Koji Adachi, Teruya Maki, Masahide Ishizuka, Hiroshi Okochi, Jun Furukawa, Kazuhiko Ninomiya, and Atsushi Shinohara: Increase of radioactive cesium resuspension to the atmosphere with bioaerosols in a polluted area in Fukushima, EGU General Assembly 2018, GII.2/AS4.21/BG1.31/EMRP4.4/ERE5.6/HS11.11/NH8.8/OS4.11/SSS13.16 Media,

Geoscience processes related to Fukushima and Chernobyl nuclear accidents, Orals / Thu,
12 Apr, 08:30–12:00 / Room 0.49.

③ その他

福島県で採取された放射性セシウムを含む不溶性粒子の微量元素分析

二宮和彦（大阪大学）

研究成果概要

① 研究目的

福島第一原子力発電所事故では、 SiO_2 の母材に放射性Csが高濃度に濃集した水に不溶性放射性微粒子（不溶性粒子）が放出されたことがわかっている。この粒子は水に不溶性である性質から放出時の状態を保持していると考えられ、その性質を調べることでより事故時の原子炉内環境についての情報を得ることが期待される。本研究では、不溶性粒子中に含まれる微量元素、とくに不揮発元素であるSrの量を調べることで不溶性粒子の生成過程の解明を試みた。

② 研究方法

本研究ではまず環境中から採取した不溶性粒子について、SEM-EDS分析や γ 線測定によって放射性Csの放射能（ ^{134}Cs , ^{137}Cs ）や比放射能、放射能比（ $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ）などの性質を調べて不溶性粒子の分類化を行った。そして固相抽出法に基づいた放射化学的手法を用いて不溶性粒子中に含まれるSrを定量した。

③ 結果・考察

本研究では $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ の値から1号機由来と推測される粒子と、2号機または3号機由来と推測される粒子に含まれるSrを定量した。不溶性粒子中に含まれる ^{137}Cs に対する ^{90}Sr の放射能比（ $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ）の値は全て 10^{-4} のオーダーとなり、粒子中に存在するSrの量は極僅かであり、各原子炉によって値に顕著な差がないことがわかった。不溶性粒子中の $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ の値を福島県内で採取された土壌の報告値と比較すると、両者はよく一致するということがわかった。

成果発表

① 論文発表

準備中

② 学会発表

五十嵐淳哉、張子見、二宮和彦、篠原厚、末木啓介、佐藤志彦

「福島県大熊町で発見された放射性 Cs を含む不溶性粒子の破壊分析による微量元素定量」

第 62 回放射化学討論会 2018 年 9 月 18-20 日、京都

五十嵐淳哉、張子見、二宮和彦、篠原厚、佐藤志彦、箕輪はるか、吉川英樹

「福島県大熊町及び双葉町にて採取した放射性セシウムを含む不溶性粒子の分類」

環境放射能研究会 2019 年 3 月 12-14 日（予定）、茨城

③ その他

水稻のセシウムおよびカリウムの体内輸送解析

頼 泰樹 (秋田県立大学 生物資源科学部)

研究成果概要

① 研究目的

東日本大震災に起因する原発事故によって広範囲に拡散した放射性セシウム (Cs) の農産物への汚染阻止のため、莫大なコストがかかる汚染土壌の剥ぎ取りやカリウム (K) 肥料の増肥が実施されている。一方で高等植物の Cs 吸収経路が特定されていなかった。これまでの研究で我々はイネが根から Cs を取り込む経路は主に高親和性 K トランスポーターの $OshAK1$ によることを明らかにした。 $OshAK1$ のノックアウトにより Cs^+ の取り込みは大幅に抑制される。 K 濃度を変化させた水耕栽培の結果、 K 濃度が低い条件では $oshak1$ 変異体の地上部 K 濃度は大きく変わらないが、根の K 濃度は低くなり、根に取り込んだ K は速やかに地上部に輸送されることが示されている。また、イネが根に取り込んだ Cs の地上部への移行率は $oshak1$ 変異体のほうが野生型と比較して高いことが示された。 K 欠乏条件下では地上部の K^+ を確保するため、イネは導管への K^+ ローディングを担う $OshAK5$ の発現量をあげる。 $OshAK5$ は $OshAK1$ と相溶性が高い配列を有しており、 Cs^+ の導管へのローディングには $OshAK5$ の関与が示唆されている。

本研究は根に取り込まれた後の Cs^+ の輸送経路を明らかにすることを目的に今年度は $OshAK5$ の役割について調べた。

② 研究方法

あきたこまちの突然変異体 $oshak1$ および $OshAK5$ の欠失 Tos ライン、対照として野生型 (あきたこまちおよびお日本晴) を用い、播種後 2 週間の幼植物の $^{42,43}K$ 標識および ^{137}Cs 標識によるトレーサー実験を実施した。

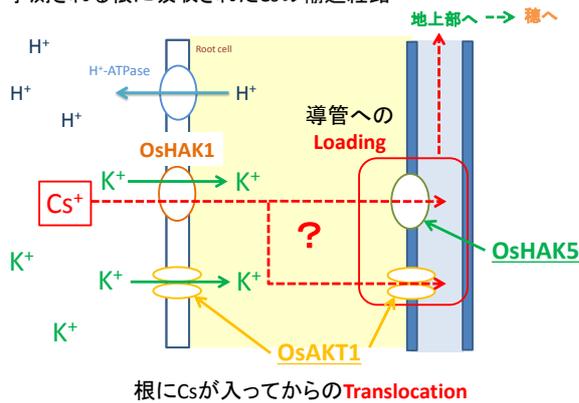
K 濃度は通常の木村氏 B 液の K 濃度を $\times 1.0$ として、 $\times 0.05$ 、 $\times 0.5$ 、 $\times 2.0$ の 3 段階に設定し、それぞれの K 濃度の条件下における Cs および K の吸収、輸送について IP を用いたイメージングとガンマカウンタによる定量解析を行った。

③ 結果・考察

OsHAK1 の突然変異体の Cs 吸収は大幅に抑えられるものの低濃度域の $^{42,43}\text{K}$ のトレーサー実験の結果、K の吸収速度は野生型および OsHAK5、OsAKT1 欠失変異体と比較して遅いことが示された。

その一方、oshak5 変異体では ^{137}Cs および $^{42,43}\text{K}$ の根への取り込みは野生型と有意差がなく、根に取り込まれた Cs の地上部への移行についても野生型と大きな差が見られなかった。以上の結果からは一旦根に取り込まれた Cs は地上部への移行においては K とは異なる経路により輸送されていることが示唆され、OsHAK5 以外の輸送体の関与が考えられた。また、他の可能性として、K 輸送体はイネでは 50 種類がゲノム上に存在しており、協業的に K^+ を植物体内で輸送しており、また互いに相補的關係にあることが明らかにされている。OsHAK5 欠失変異体では OsHAK5 の欠失を他の K 輸送体 (OsHAK1 を含む) が補うため、結果的に Cs 輸送に影響がみられなかったことが考えられる。そこで、今後 OsHAK1 および OsHAK5 の両方をノックアウトした 2 重変異体を作成し、Cs と K の体内輸送への影響を解析する予定である。

予測される根に吸収されたCsの輸送経路



カリウム輸送におけるOsHAK5とOsAKT1の機能について

① 根でのカリウムの吸収

土壤のK濃度が低い時

$\text{OsHAK1} > \text{OsHAK5} > \text{OsAKT1}$

土壤のK濃度が高い時

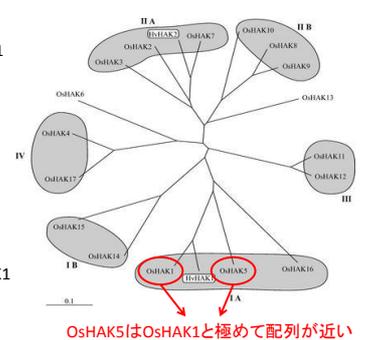
$\text{OsHAK1} < \text{OsAKT1}$

② 地上部へのカリウム輸送

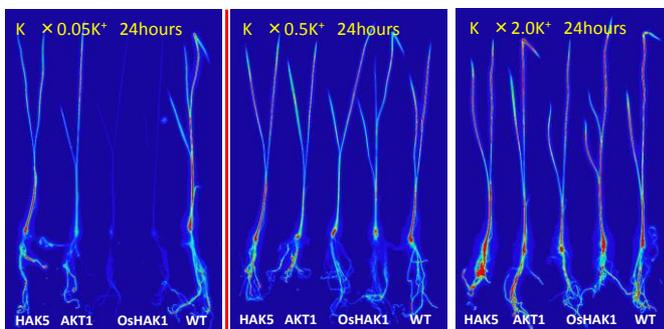
導管周辺

$\text{OsHAK5} > \text{OsAKT1} > \text{OsHAK1}$

Bañuelos et al. Plant Physiol. 130(2):784-95.(2002)
Inventory and Functional Characterization of the HAK Potassium Transporters of Rice.



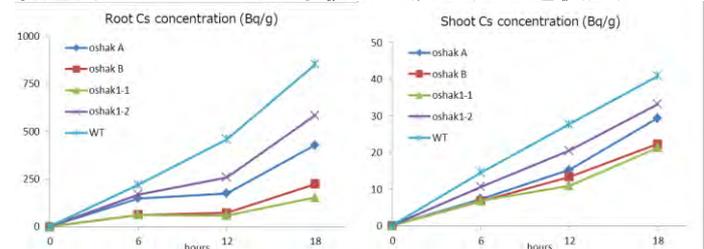
各遺伝子のノックアウト系統の K^+ 吸収 (^{42}K , ^{43}K を使用)



OsHAK1は K^+ 低濃度域で K^+ 吸収にとって重要な役割を補完できる輸送体がない

K濃度が 0.27mM 以上では K^+ の系統の K^+ 吸収・輸送にも大きな差はない。OsHAK5, OsAKT1をノックアウトしても K^+ 吸収や地上部への輸送に影響は見られない。

各遺伝子のノックアウト系統のCs吸収 (^{137}Cs を使用)



成果発表

① 論文発表

該当なし

② 学会発表

頼 泰樹、河端 美玖、古川 純、雨宮 あや乃、上野 真菜、由利 かほる、
佐藤 奈美子、永澤 信洋、服部 浩之

水稻の OsHAK1 以外の主要K輸送体のセシウム吸収・輸送への関わり

日本土壌肥料学会 神奈川大会

③ その他

舗装面からの溶存態 Cs-137 溶出フラックスの評価

吉村和也（国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構）

研究成果概要

① 研究目的

河川水系を介した Cs-137 の移行挙動において、市街環境の流域に占める割合が影響することが示唆されている。また、市街地から雨水排水を介して流出する Cs-137 は、溶存態が優占的であることが観測結果から示されている。しかしながら溶存態 Cs-137 の起源、溶出フラックスとその支配要因は明らかとなっていない。

本研究では市街地の主要な要素である舗装面に焦点をあて、Cs-137 の溶出特性を評価することを目的とした。併せて舗装面に由来する放射性 Cs-137 の溶出量を流域スケールで評価し、水系の Cs-137 の移行挙動に対する市街地の役割を評価することを目的とした。

② 研究方法

溶出試験

大熊町、および富岡町の舗装面を対象に、Cs-137 の溶出試験を行った。対象の舗装面は、アクリル板でプロット（1m 四方）を作成した後、純水で表面を浸漬した（図 1）。試水は一定時間ごとに採取した。



図 1 溶出試験プロット

対象とする舗装面の Cs-137 存在量 (Bq m^{-2}) は、コリメータを付した可搬型ゲルマニウム半導体検出器 (Falcon-5000, CANBERRA, USA) で計測した。

地上計測に基づく流域からの Cs-137 流出量の評価

大熊町、富岡町内の舗装面 8 地点において、可搬型ゲルマニウム半導体検出器 (Falcon-5000, CANBERRA, USA) を用いた In-situ 測定を 2014 年から継続して実施

した。Cs-137 存在量 (Bq m^{-2}) の減少速度から、富岡町の観測対象流域について、溶存態 Cs-137 の溶出量を推定し、観測結果と比較した。

③ 結果・考察

溶出試験

溶出試験は大熊町で 2018 年 12 月 11 日の 1 回、富岡町で 2018 年 11 月 1 日、及び 12 月 11 日の 2 回実施した。Cs-137 濃度は分析中である。試験は今後も実施し、試験前の無降雨期間や日照時間などを変数として、Cs-137 溶出フラックスを解析する予定である。

地上計測に基づく流域からの Cs-137 流出量の評価

舗装面における Cs-137 存在量の減少速度は平均で -0.108 year^{-1} (標準偏差は -0.062 year^{-1}) であり、物理減衰を除いた溶出による減少速度は -0.085 year^{-1} であった。溶出による減少速度を用いて算出した、観測流域からの溶存態 Cs-137 流出量は、約 $503 \text{ MBq year}^{-1}$ であった。一方、観測された溶存態 Cs-137 流出量の観測値は約 26 MBq year^{-1} であり、実測値が推定値よりも顕著に低い値となった。これは実測値において、未確認の排水経路が存在するために過少評価している、ないしは推定値の算出根拠となる Cs-137 存在量の減少速度が過大評価であることによると考えられる。今後、溶出試験結果から、実測値と推定値の信頼性について検証する。

成果発表

① 論文発表

吉村和也, 2018, 地上計測を用いた市街地からのセシウム-137 流失率の評価, Proceedings of the 19th Workshop on Environmental Radioactivity. KEK. 36-40. (In Japanese with English abstract)

② 学会発表

吉村 和也, 金井塚 清一, 2018. 降雨に伴う市街地からの放射性セシウムの流出. 2018 年度 日本地球化学会第 65 回年会

福島県内外の河川における 放射性セシウムの形態別の濃度変化とその要因

谷口 圭輔（福島県環境創造センター）

研究成果概要

① 研究目的

東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故により、福島県は広範囲にわたり放射性物質による汚染を受けた。河川を介して移動する放射性セシウム（Cs）の濃度は低下を続けていることがわかっているが、河川水の飲用及び農業利用の安全確認のため、その動態を把握することが必要とされる。特に、溶存態の放射性 Cs は生体への取り込みが起りやすいため、観測を続ける必要がある。

本共同研究では、多段式ろ過装置及び陽イオン交換樹脂を用い、溶存態の放射性 Cs 濃度の測定を実施する。申請者が取得している懸濁態の放射性 Cs の濃度のデータと合わせて解析を行い、形態別の放射性 Cs 濃度の経時変化を把握することで、河川の放射性セシウムの動態と流域の特徴との関係の解明に資する知見を得ることを目的とする。

② 研究方法

阿武隈川流域と、福島県浜通り地区に位置する 8 つの 2 級河川に合計 31 カ所の河川観測点を設置している (Fig. 1)。各観測点の集水域面積・平均初期 Cs-137 沈着量 (2011 年 7 月 2 日時点) を Table 1 に示す。

懸濁態 Cs-137 濃度の測定のため、No. 18 を除く 30 地点に、浮遊砂サンプラーを設置し、1~4 ヶ月に一度サンプラー内部に溜まった土砂試料を回収した。上澄みを除去し、乾燥 (2017 年 10 月までの試料は 105~110°C で 24 時間の乾燥, それ以降の試料については凍結乾燥) した試料を U8 容器に封入し、HpGe 半導体検出器を用いて Cs-137 濃度を測定した。

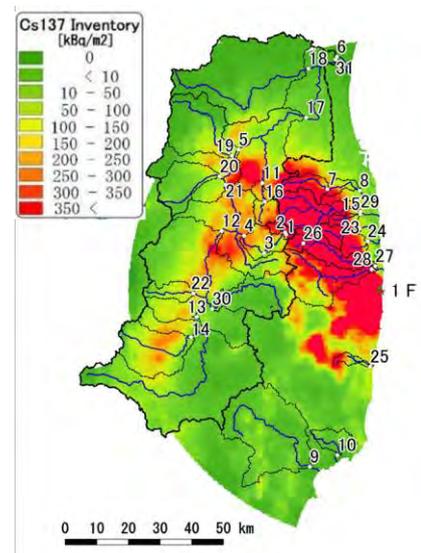


Fig. 1 観測地点の位置図。
背景のカラーコンターは 2011 年 7 月 2 日時点の Cs-137 沈着量。

Table 1 観測地点の特徴。Site No.は Fig. 1 中の数字に対応する。初期インベントリーとして用いた 2011 年 7 月 2 日時点の Cs-137 沈着量は、文科省第 3 次航空機モニタリング測定結果、都道府県ごとの航空機モニタリング結果、第 1 回無人ヘリによる測定結果を基に作成した。

Site No.	Site name	Catchment area [km ²]	Averaged initial inventory of Cs-137 [kBq m ⁻²]	Site No.	Site name	Catchment area [km ²]	Averaged initial inventory of Cs-137 [kBq m ⁻²]
1	Mizusakai (Miz)	7.5	587	17	Marumori (Mar)	4123.9	113
2	Kuchibuto_Upper (KU)	21.4	408	18	Funaoka-ohashi (Fun)	775.2	27
3	Kuchibuto_Middle (KM)	62.8	304	19	Senoue (Sen)	313.3	51
4	Kuchibuto_Down (KD)	135.2	248	20	Yagita (Yag)	184.6	63
5	Fushiguro (Fus)	3644.5	102	21	Kuroiwa (Kur)	2921.4	109
6	Iwanuma (Iwa)	5313.2	96	22	Tomita (Tom)	72.6	117
7	Mano (Man)*3	75.6	521	23	Ota (Ota)	49.9	1,638
8	Ojmadazeki (Oji)	110.8	418	24	Odaka (Oda)	50.3	750
9	Matsubara (Mat)	570.9	46	25	Asami (Asa)	25.8	197
10	Onahama (Ona)	70.1	45	26	Tsushima (Tsus)	25.4	813
11	Tsukidate (Tsuk)	83.6	222	27	Ukedo (Uke)	152.6	2,329
12	Nihonmatsu (Nih)	2380.3	88	28	Takase (Tak)	263.7	696
13	Miyota (Miy)	1286.6	77	29	Haramachi (Har)	200.3	858
14	Nishikawa (Nis)	289.4	137	30	Akanuma (Aka)	242.6	57
15	Kitamachi (Kit)	35.8	537	31	Watai (Wat)	5313.2	96
16	Kawamata (Kaw)	56.6	226				

溶存態 Cs-137 濃度の測定のため、バケツ等を用い、平水時の河川水 40~100L を採水した。持ち帰った試料を、定量ろ紙で粗ろ過した後、0.45 μm のメンブレンフィルターを通過させた。そのろ液を陽イオン交換樹脂カートリッジに通水させ、溶存態 Cs-137 を陽イオン交換樹脂に吸着させた。通水後の陽イオン交換樹脂を 0.7L マリネリ容器に封入し、HpGe 半導体検出器を用いて Cs-137 濃度を測定した。

③ 結果・考察

懸濁態・溶存態の放射性セシウム濃度の経時変化を、Fig. 2 に示した。2014 年以前の溶存態 Cs-137 濃度は、筑波大学が AMP 共沈法で測定したデータである。懸濁態・溶存態ともに、2011 年に比べ 10 分の 1~100 分の 1 程度に濃度が低下している。また、事故後 2 年目以降、濃度低下速度が鈍化している。

チェルノブイリ原発事故後の溶存態 Cs-137 濃度の低減傾向は、3 重指数関数的な挙動を示したことが知られている (Smith et al., 2005)。事故後 1 年間は、実効環境半減期 (T_{eff}) が数日~1 月の初期フェイズ、8~9 年目までは実効環境半減期 (T_{eff}) が 1~5.5 年の中間フェイズ、それ以降は実効環境半減期 (T_{eff}) がさらに長くなる長期フェイズに相当するとされる。

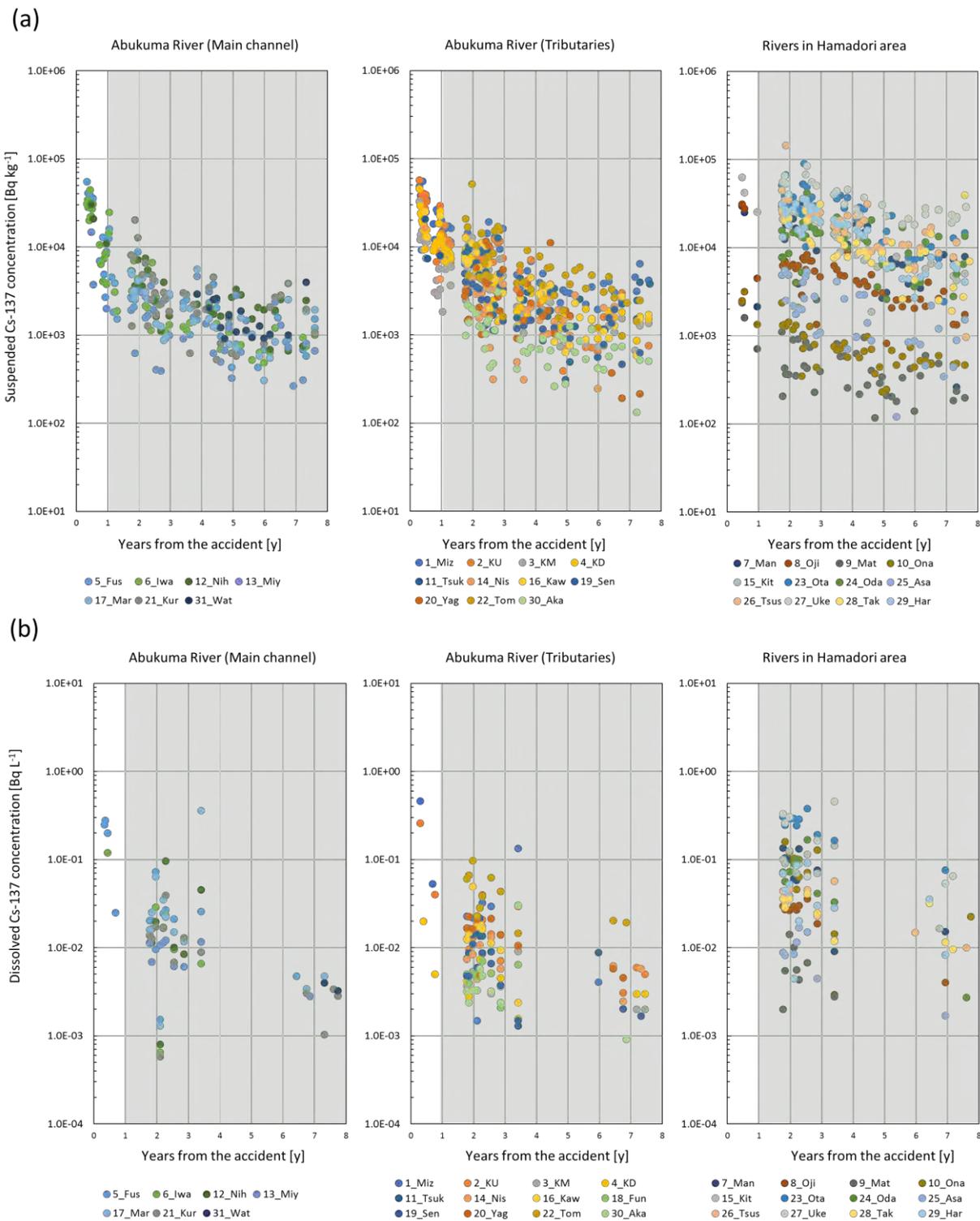


Fig. 2 形態別の Cs-137 濃度の経時変化。各図の薄緑に塗られた部分は中間フェーズに当たる期間であることを示す。(a) 懸濁態、(b) 溶存態。

事故後8年目を過ぎた福島河川の中間フェイズについても、2012年から2018年までのデータを用いて実効環境半減期 (T_{eff}) を算出した。Fig. 3 にその分布を箱ひげ図で示した。懸濁態・溶存態の T_{eff} の範囲はそれぞれ1.4~5.8年と2.3~8.8年、平均値は2.8年と3.6年であった。いずれの形態も、欧州河川で観測された値の範囲に3つの例外(懸濁態1地点、溶存態2地点)を除き含まれていた。

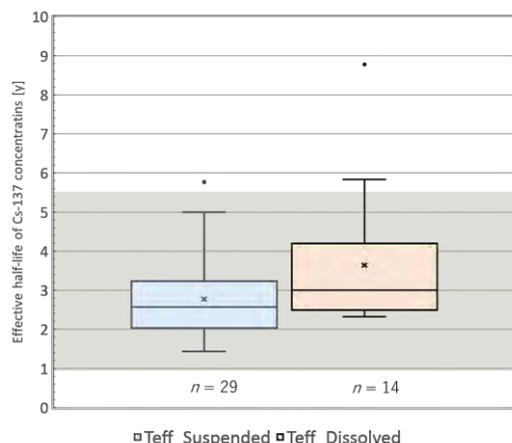


Fig. 3 中間フェイズにおける形態別Cs-137の実効環境半減期 T_{eff} の分布。左が懸濁態、右が溶存態。黄色い網掛けの範囲は、欧州の河川における中間フェイズの実効環境半減期の範囲を示す。

以上より、福島県内外の河川における形態別の放射性セシウム濃度の低下傾向は、現在のところチェルノブイリ事故後の欧州の河川と類似した傾向を示すことが確認された。

今後、長期フェイズへの移行により、濃度低下速度のさらなる鈍化が起きる可能性がある。継続的な観測に基づいて状況を把握していくことが重要であると考えられる。

(引用文献)

Smith, J. T., Voitsekhovitch, O. V., Konoplev, A. V., Kudelsky, A. V., 2005. Radioactivity in aquatic systems. In: Smith, J. T., Beresford, N. A. (Eds.), Chernobyl - Catastrophe and Consequences. Praxis Publishing, Chichester, UK, pp. 139-190.

成果発表

① 論文発表

なし

② 学会発表

谷口圭輔, 新井宏受, 竹内幸生, 藤田一輝, 吉田博文, 倉元隆之, 恩田裕一, 福島県の河川における放射性セシウムの移行状況観測. 第53回日本水環境学会年会, P-001. 2019/3/7, 甲府 (山梨).

③ その他

Keisuke Taniguchi, Hirotsugu Arai, Yukio Takeuchi, Hirofumi Yoshita, Kazuki Fujita, Yuichi Onda, Measurement of the dissolved radiocaesium concentrations of river water in Fukushima prefecture. 5th Fukushima University IER Annual Symposium, 0-5. 2019/3/14, Fukuishima.

以上

Hydraulic Connectivity of Tree-barks from 3D SfM-MVS Analysis to Measure Water, Radionuclides and Pollutants Access to the Ground

Christopher Gomez (Kobe University)

Summary of the Project

Objectives:

The transport of radionuclides and pollutants has been the object of intensive research at the university of Tsukuba CRIED. One of the aspect that has not been investigated yet is the role of the surface roughness of the tree trunk in controlling the water transfer and the mode of transfer to the ground. The present research proposes to elucidate this question by combining photogrammetric 3D method and testing.

The sub-objectives will be to:

- (1) Construct a 3D model of tree trunks in the experimental forest;
- (2) Model the surface roughness of different trees species and recreate experiments looking at water behavior on the tree bark;
- (3) Using a handheld penetrometer, measure the water absorption capacity of the tree bark to understand the modalities of transport and accumulation in the bark.

Methodology

The research combines both an empirical approach and computer and analogic simulations. The empirical approach consists in the acquisition of the tree bark 3D structure using the Structure from Motion photogrammetric method applied to photographs from handheld cameras and from UAV-born imagery.

The empirical data will then be analyzed in a GIS environment (QGIS) to model the surface roughness and the ruggedness index. The round tree trunk data will then be opened to run surface water routine model, which will indicate degrees of connectivity along the trunk and thus the ability of the tree bark to conduct water. As the water might be “lost” by bark absorption during the transfer process, measures in dry and wet conditions will be conducted, and bark samples will be analyzed in the laboratory for humidity. The humidity data will be correlated with

penetrometer data, in such a way that a large dataset of penetrometer data will help complete the laboratory measurements.

The present research is based on the assumption that the tree barks act as a micro-topography guiding the water and absorbing it like a soil would do, and therefore it is possible to apply a catchment concept to model the transport of water over the bark. The water conductance will be a product of a, b, c that can be seen as series of hydraulic cross sections [a,b].

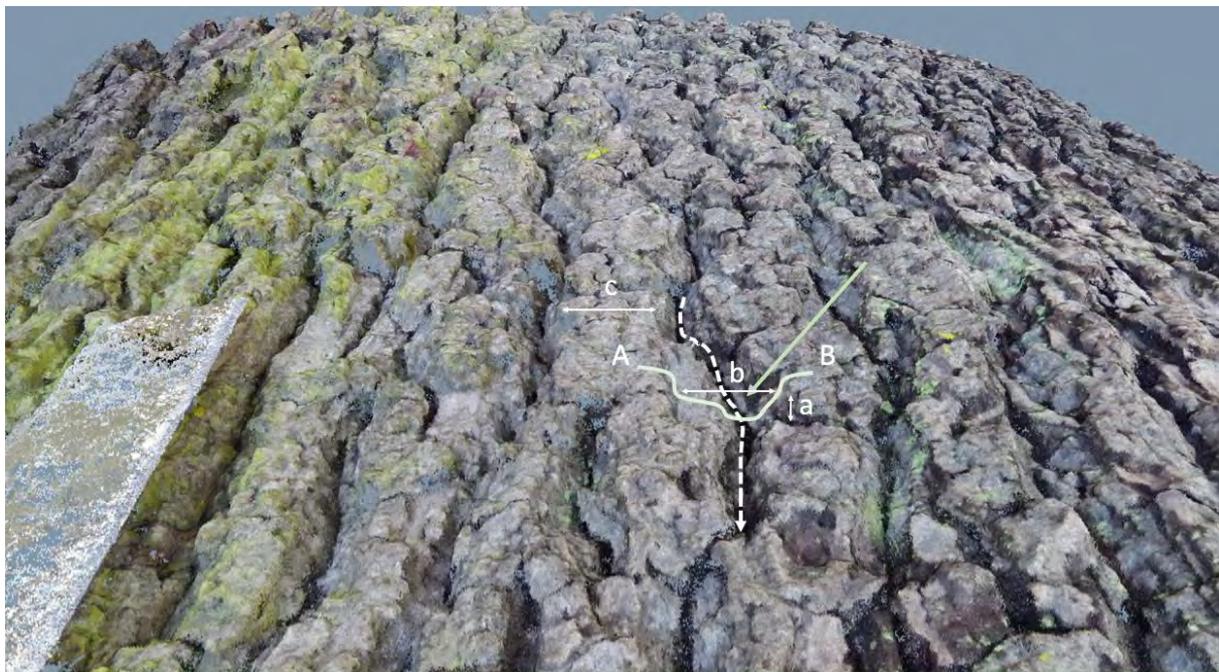
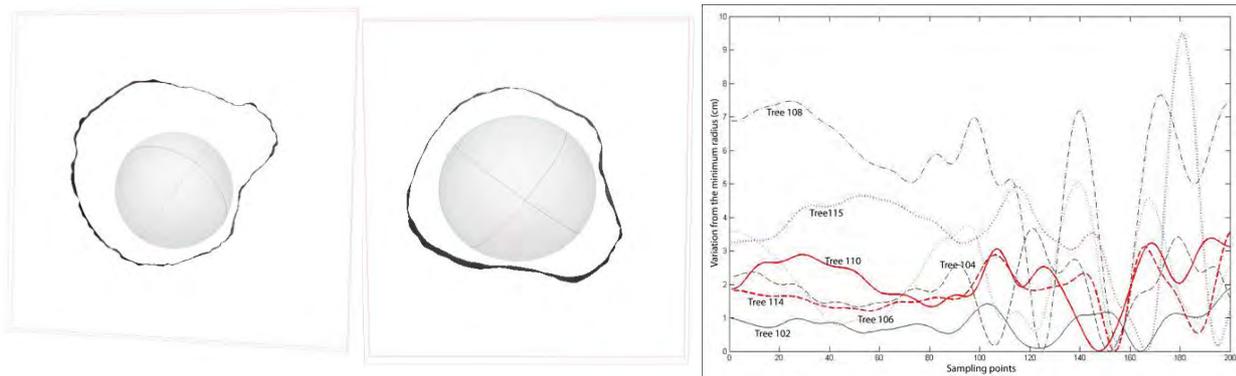


Fig. 1 Top view of the variation of circularity of the tree trunks and the signal representation of it. The image show a 3D point-cloud of the tree surface used to measure the microstructure.

List of Publication

None.

Identification of the factors governing the radiocesium root uptake into Japanese cedar

Yoschenko Vasyl (IER, Fukushima University)

Summary of the Project

① Research aim

The research was aimed at development of methods for identification of the factors that determine magnitude of the radiocesium root uptake into the cedar trees, and on explanation of its possible future dynamics.

② Research method

Layer (5-cm) sampling of soil to the whole depth of the root-inhabited volume of soil at the different distances around the control trees at the experimental site in Yamakiya. In the collected samples, measurements of the fine root areas and concentrations of stable and radioactive cesium isotopes.

③ Results/Discussion

Sampling was carried out and all roots were successfully extracted from the collected soil samples using the specially designed elutriator. Software for calculation of the fine root areas has been developed. Measurements of the cesium isotope concentrations in soil samples are in progress. The first results show that more than more than 90% of the total radiocesium inventory is localized in the upper 15 cm of soil, while stable cesium and fine roots are distributed more uniform in the studied soil profiles. Dependence of uptake fluxes on the distributions of the cesium isotopes and roots in soil will be analyzed after completion of the measurements.

List of Publication

T.Yoshihara, V.Yoschenko, K.Watanabe, K.Keitoku, 2019. A through year behavior of ^{137}Cs in a Japanese flowering cherry tree in relation to that of potassium. J Env Radioact, 202:32-40

V.Yoschenko et al. Radionuclide dynamics in the forest ecosystems of Fukushima and Chernobyl. SPERA Conference 2018, 6-9 Nov, Perth, Australia

沈着量データベースを用いた農山村流域における

放射性 Cs の流出率の算定

久保田富次郎（農研機構・農村工学研究部門）

研究成果概要

① 研究目的

東日本大震災に起因する東京電力福島第一原子力発電所の事故により生じた福島県東部を中心とした放射性物質による汚染は、地域の主要産業の一つである農業へ大きな影響を与えてきた。事故後 7 年を経過し、急を要する現地対応が一段落する中で、将来のため、アジアモンスーン地域で初めて発生したこの原子力災害について科学的な記録を残していくことが重要な課題である。これまで申請者らは、安全な農業用水源の確保を目指すとともに、環境中における放射性物質の動態を明らかにするために、河川やため池等において放射性 Cs のモニタリングを実施してきた。本共同研究では、行政による水質モニタリングデータと筑波大学で開発された放射性 Cs の初期沈着量データ等を用いて、帰還困難区域内のため池の放射性 Cs の特徴について提示する。

② 研究方法

農林水産省東北農政局によるため池モニタリングが実施されている大熊町、双葉町、浪江町の帰還困難区域内に立地する 23 箇所のため池を解析対象とした。ため池の水深、および、水の濁度、SS、全 Cs-137、溶存態 Cs-137、ならびに底質（乾燥）の Cs-137 濃度には、2017 年度に得られたため池モニタリングデータを用いた。ここで、ため池における採水深度は、全水深が 1m 以下の比較的浅いため池では 0.1m、全水深が 1m を超えるため池では、0.5m である。また、ため池地点の Cs-137 沈着量は、初期沈着量 GIS データや放射線量等分布マップ（第 4 次）を使用し算定した。得られたデータを元に、沈着量と Cs-137 濃度の関係ならびに水深と Cs-137 濃度の関係について検討する。

③ 結果・考察

(1) 帰還困難区域内のため池水質の特徴

今回研究対象とした帰還困難区域内に立地するため池では、事故後、6年を経ても、調査時点で全Cs-137濃度が0～最大45Bq/L、平均4.4Bq/L、溶存態Cs-137が0～最大5Bq/L、平均1.4Bq/Lと比較的高い状態であった。特に、溶存態Cs-137は通常の水環境では見られない1Bq/L超の濃度で検出されるという特徴がみられた。そこでCs沈着量と水や底質のCs濃度との関係を検討し、以下の関係式を得た。

$$\text{全Cs-137 (Bq/L)} = 0.0010 \times [\text{Cs-137 沈着量 (kBq/m}^2\text{)}] + 1.16 \quad (R^2=0.11) \quad \text{---①}$$

$$\text{溶存態Cs-137 (Bq/L)} = 0.00033 \times [\text{Cs-137 沈着量 (kBq/m}^2\text{)}] + 0.28 \quad (R^2=0.28)$$

---②

$$\text{底質Cs-137 (乾土・Bq/L)} = 20.2 \times [\text{Cs-137 沈着量 (kBq/m}^2\text{)}] + 37800 \quad (R^2=0.30)$$

---③

なお、式①において外れ値1点を外すと、

$$\text{全Cs-137 (Bq/L)} = 0.00095 \times [\text{Cs-137 沈着量 (kBq/m}^2\text{)}] + 0.49 \quad (R^2=0.37) \quad \text{---①'}$$

となり、重相関係数の改善がみられた。

以上のように、ため池地点へのCs-137沈着量とため池の全Cs-137および溶存態Cs-137濃度の関係には、重相関係数が0.11～0.28程度と弱い正の相関関係が見られることがわかった。また、Cs-137沈着量と底質のCs-137濃度の関係についても、重相関係数が0.30とやや弱い正の相関関係が認められた。

(2)ため池の諸元と水質の関係

ため池の底質には、高濃度の放射性Csが堆積している。一般に、ため池の水深が浅いと、底質の巻き上げや底質からの溶出により、放射性Cs濃度が高まる懸念がある。そこで、ため池の諸元、特にため池の水深が水のCs-137濃度に与える影響の関係を検討し以下の関係式を得た。

$$\text{全Cs-137 (Bq/L)} = -7.98 \times [\text{水深 (m)}] + 20.1 \quad (R^2=0.06) \quad \text{---④}$$

$$\text{溶存態Cs-137 (Bq/L)} = 0.093 \times [\text{水深 (m)}] + 1.35 \quad (R^2=0.0009) \quad \text{---⑤}$$

このように、水深と水の全 Cs-137 および溶存態 Cs-137 の相関関係はごく弱い、もしくは無相関となった。

そこで、沈着量の違いによる影響を排除し、水深と水の放射性 Cs 濃度の関係をより明確にするため、水の全 Cs-137 および溶存態 Cs-137 濃度をそれぞれ地点毎の Cs-137 沈着量で除すことにより規格化して再度検討を行った。その結果、次式が得られた。

$$\text{規格化全 Cs-137 (Bqm}^2\text{/MBqL)} = -0.22 \times [\text{水深 (m)}] + 1.52 \quad (R^2=0.003) \quad -④'$$

$$\text{規格化溶存態 Cs-137 (Bqm}^2\text{/MBqL)} = 0.091 \times [\text{水深 (m)}] + 0.34 \quad (R^2=0.011) \quad -⑤'$$

このように、沈着量で規格化された Cs-137 濃度と水深の関係式を求めたが、重相関係数は低く、関係性の明確化は見られず相関は認められなかった。

以上から次の結論を得た。

帰還困難区域内のため池水の放射性 Cs 濃度は、一部で全 Cs-137 や溶存態 Cs-137 が高いものが認められた。これらのため池水の全画分ならびに溶存態画分の放射性 Cs 濃度は、ため池地点の沈着量とともに弱い相関が認められた。一方、ため池の採水地点の水深と水の Cs-137 濃度の関係では、全画分ならびに溶存態画分との相関は認められず、また、沈着量で規格化した水の Cs-137 濃度を用いても同様であった。

成果発表

① 論文発表

なし。

② 学会発表

今後、学会における発表を検討する。

③ その他

共同研究の年次報告会でポスター発表(2/14)を行った。

高濃度放射性セシウム含有微粒子 (Cesium-rich microparticle, CsMP)

の本質的解明に基づく炉内の情報と環境影響

～福島表層土壌における CsMP の放射能寄与率定量法開発～

宇都宮 聡 (九州大学)

研究成果概要

① 研究目的

2011年に福島第一原子力発電所(FDNPP)から環境中に放出された放射性Csは、その大部分が水溶性Csとして放出され、土壌中の粘土鉱物に強く吸着・固定されて表層5cm以内のとどまっていると考えられている。一方で最近、通常のCs吸着粘土鉱物(Cs-clay)よりも約 10^{7-9} 倍放射能密度が高い高濃度放射性Cs含有微粒子(CsMP)が大気中、土壌中から発見されている。本研究では、表層土壌中における全Cs放射能に対するCsMPの放射能寄与率定量法(QCP法)を確立し、実際の福島県の表層土壌に適用することを目的とした。

② 研究方法

土壌から放射能を持つ粒子を単離し、粒子の各々の形態(CsMP・Cs-clay)を判別したのち、各粒径における粒子の個数-放射能ヒストグラムを作成し、放射能に基づくCsMPの条件を決定した。その条件をもとに、実際の福島県内4地点の表層土壌におけるCsMPの放射能寄与率と個数を算出した。

③ 結果・考察

オートラジオグラフィによる画像解析に基づくQCP法を確立した。114 μ mメッシュ以上の粒子はすべてCs-clayまたはその凝集体と同定され、114 μ mメッシュ未満の粒子からはほぼすべてのCsMPが確認された。この画分において、0.06 Bq以上の放射能を持つ粒子をCsMPと同定し、その値を閾値として設定した。QCP法によって、福島県内の各表層土壌中におけるCsMPの放射能寄与率(RF値)は8-32%、土壌1gあたり48-318個のCsMPが含まれていると算出された。(図1)

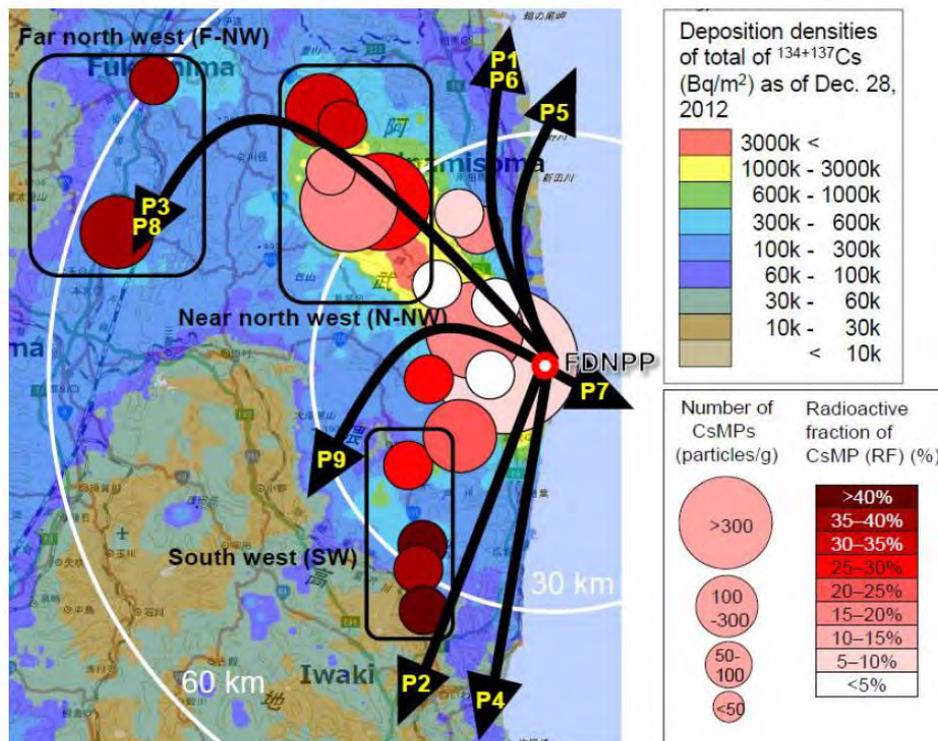


図1. QCP法を20の表層土壤に適用した結果

マップは Extension Site of Distribution Map of Radiation Dose/GSI Maps を改編した。円のサイズは CsMP の個数を示し、色は全放射能に対する CsMP 由来放射能の割合 RF 値を示している。個数と RF 値の分布と特徴に基づいて、3つの領域 far-northwest (F-NW), near-northwest (N-NW), と southwest (SW)に分けた。黒色矢印はセシウムプルームの番号と進路を示している。

成果発表

① 論文発表

[1] Ikehara, R.; Suetake, M.; Komiya, T.; Furuki, G.; Ochiai, A.; Yamasaki, S.; Bower, W. R.; Law, G. T. W.; Ohnuki, T.; Grambow, B.; Ewing, R.C.; Utsunomiya, S. Novel Method of Quantifying Radioactive Cesium-Rich Microparticles (CsMPs) in the Environment from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. Environ. Sci. Technol. 2018, 52 (11).

② 学会発表

[2] Ikehara, R.; Suetake, M.; Komiya, T.; Furuki, G.; Ochiai, A.; Yamasaki, S.; Bower, W. R.; Law, G. T. W.; Ohnuki, T.; Grambow, B.; Ewing, R.C.; Utsunomiya, S. August 12-17, 2018, Goldschmidt Conference, Boston, United States. (Oral)

[3] 池原遼平, 古木元気, 末武瑞樹, 山崎信哉, 難波謙二, 大貫敏彦, Bernd Grambow, Gareth T.W. Law, Rodney C. Ewing, 宇都宮聡. 原子力学会 2017 年秋の大会, 北海道大学. (口頭)

[4] 池原遼平, 古木元気, 末武瑞樹, 山崎信哉, 難波謙二, 大貫敏彦, Bernd Grambow, Gareth T.W. Law, Rodney C. Ewing, 宇都宮聡. 2017 年 12 月 2 日, 原子力学会九州支部第 36 回研究発表講演会, 九州大学西新プラザ. (口頭)

[5] 池原遼平, 末武瑞樹, 小宮樹, 古木元気, 山崎信哉, Gareth T.W. Law, 大貫敏彦, Bernd Grambow, Rodney C. Ewing, 宇都宮聡. 原子力学会 2018 年秋の大会, 岡山大学. (口頭)

③ その他

特になし

除染が土砂および ^{137}Cs の動態に及ぼす影響

脇山 義史 (福島大学環境放射能研究所)

研究成果概要

① 研究目的

放射性物質が多量に沈着した地域では、表土の剥ぎ取りや客土などの除染作業が進められている。放射性物質の除去あるいは埋没による空間線量率の低下が期待される一方で、こうした大規模な土地改変によってその地域の水文応答や土砂動態が変化する可能性がある。本研究では、除染が土砂および ^{137}Cs 動態に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。今年度は昨年度に引き続き、除染地を含む土地利用条件の異なる土地において土砂および ^{137}Cs の流出量を観測するとともに、土壌侵食予測モデルを用いた除染が土砂および ^{137}Cs 動態に与える影響の評価を試みた。

② 研究方法

川俣町山木屋地区および伊達市月舘地区内の未除染地の4か所(未耕作畑、耕作畑、草地、森林)と除染地の2か所(未耕作、耕作)に2014年に設置した土壌侵食プロット(縦22.13 m、横5 m、森林のみ2011年設置)によって行った。なお、未耕作地は未除染・除染後ともに除草剤で土壌表面を裸地化した状態にした。流出した土砂を回収し、流出土砂の ^{137}Cs 濃度の測定を行い、 ^{137}Cs 流出量を算出した。比較のため、 ^{137}Cs 濃度を ^{137}Cs 初期沈着量で除して、正規化 ^{137}Cs 濃度を求めた。

また、汎用土壌流亡式 (Universal Soil Loss Equation, USLE) に基づいて、新田川流域における土砂の ^{137}Cs 濃度の試算を行った予測した。今回の侵食プロットによる計算結果をパラメータ化し、除染無しの条件・除染有りの条件でそれぞれ土砂および ^{137}Cs 流出量を計算し、土砂の ^{137}Cs 濃度を算出・比較した。

③ 結果・考察

約4年間の観測年平均土壌侵食量は、耕作地 ($1.8 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$) で最大で、未耕作地 ($0.40 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$)、除染未耕作地 ($0.17 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$)、除染後耕作地 ($0.092 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$)、森林 ($0.0029 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$)、草地 ($0.0020 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$) の順に大

大きく、概ね植被率が小さいほど大きかった。加重平均正規化 ^{137}Cs 濃度は森林 (0.084 m kg^{-1}) で最も高く、除染後耕作地 (0.025 m kg^{-1} 、※除染前 ^{137}Cs 初期沈着量ベースでは 0.0058 m kg^{-1})、除染後未耕作地 (0.014 m kg^{-1} 、※除染前 ^{137}Cs 初期沈着量ベースでは 0.0031 m kg^{-1})、草地 (0.015 m kg^{-1})、未耕作畑 (0.012 m kg^{-1})、耕作畑 (0.0062 m kg^{-1}) の順であった。年間の ^{137}Cs 流出割合 (積算 ^{137}Cs 流出量を ^{137}Cs 初期沈着量で除した値) は、耕作畑 ($1.1 \% \text{ year}^{-1}$)、未耕作畑 ($0.46 \% \text{ year}^{-1}$)、除染後未耕作 ($0.25 \% \text{ year}^{-1}$ ※除染前 ^{137}Cs 初期沈着量ベースでは $0.058 \% \text{ year}^{-1}$)、除染後耕作 ($0.25 \% \text{ year}^{-1}$ 、※除染前 ^{137}Cs 初期沈着量ベースでは $0.058 \% \text{ year}^{-1}$)、森林 ($0.024 \% \text{ year}^{-1}$)、草地 ($0.0031 \% \text{ year}^{-1}$) の順であった。除染地では、流出土砂の ^{137}Cs 濃度が除染前にくらべてかなり低下する一方で、裸地化・耕作などを行って侵食されやすい状態になると、流出土砂量の増加によって、未除染の森林や草地よりも ^{137}Cs 流出量が大きくなることを示唆する結果となった。

上記の観測結果および既往研究から土壌侵食・ ^{137}Cs 流出に関するパラメータを抽出し、USLE に基づいて新田川流域における除染有り・除染無しの条件で計算を行った。その結果、2013年から2017年までの土砂の ^{137}Cs 濃度平均値は、除染無しの条件では 25 KBq kg^{-1} 、除染有りの条件で 5 kBq kg^{-1} となった。除染有りの場合の土砂の ^{137}Cs 濃度は、新田川の最下流地点で行っている観測結果とおおむね一致していた。ただし、両条件ともに土砂流出量が過大であるなどの問題があるため、今後も観測を継続するとともにモデル計算の精度を向上させていきたい。

成果発表

- ① 論文発表

- ② 学会発表

- ③ その他

森林生態系からの放射性 Cs のバイオ・リサスペンションに関する研究

五十嵐 康人 (京都大学複合原子力科学研究所)

北 和之 (茨城大学大学院理工学研究科)

石塚 正秀 (香川大学創造工学部)

保坂 健太郎 (国立科学博物館・植物研究部)

羽田野 祐子 (筑波大学アイソトープ環境動態研究センター)

研究成果概要

① 研究目的

福島第一原発事故後に福島県内の森林地域での大気観測により、夏季に放射性セシウム (Cs) の大気中濃度が上昇し、この原因として森林生態系から発生する Cs を濃縮した真菌類孢子などをはじめとするバイオエアロゾルが重要視されてきている

(Igarashi et al., 2019; Kinase et al., 2018)。実際、福島県浪江町の里山地域で採取した HV フィルターは多くのバイオエアロゾルを捕集している (Fig. 1)。しかしながら、バイオエアロゾル、殊に真菌類孢子の放出メカニズムは不明点も多く、モデル化一定式化もほぼ行われていない。そこで、放射性 Cs のバイオエアロゾルによる大気への再浮遊過程のモデル化一定式化の達成を目指し、国立科学博物館筑波実験植物園での観測によるデータを解析し、プロセスを考察して、定式化を図る。

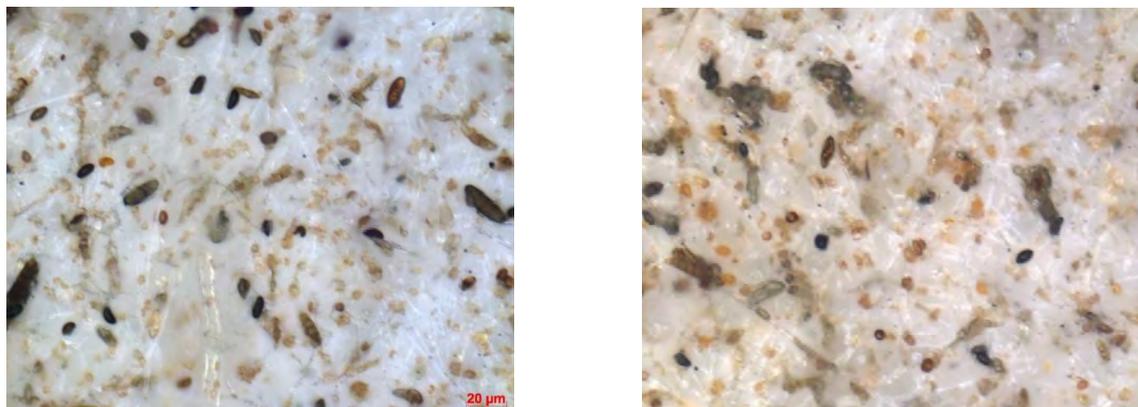


Fig. 1 福島県浪江町の里山地域で暖候季に捕集した HV フィルター試料の光学顕微鏡観察例

② 研究方法

国立科学博物館筑波実験植物園での放射性 Cs 観測、バイオエアロゾルの個数濃度観測、性状観測、気象観測など、現在進行形で取得されている諸データを総合的に解析することをねらった。



Fig. 2 筑波実験植物園に設置した観測機器および気象観測タワー。

具体的には、国立科学博物館筑波実験植物園（複数の樹林帯をはじめ、我が国植生の再現をおこなっている）でキノコ子実体発生量データの取得を図り、同時に、暖温帯落葉広葉樹林（クヌギ・コナラ林）にHV サンプラー、LV サンプラー、気象観測装置などを設営しているため (Fig. 2)、今回の研究のフィールドとして設定した。今夏（6月末～8月）および今秋（10月末～11月初）の観測では、気温、湿度、日射などの気象データや蛍光連続法と蛍光顕微鏡によるバイオエアロゾル個数濃度、放射性セシウム濃度、DNA 解析による生物種の解析などとリンクして、緩和渦相関法・傾度法による放出フラックス観測、さらに係留気球とヘリコプターによるサンプリングによって、バイオエアロゾルの放出の実態解明と放出量の定量化を目的とし計画・実施している。この秋にはビデオによる子実体からの胞子放出の野外での撮像や胞子個数濃度変動の把握も行った。本報告では、その一部の結果と考察を示す。

③ 結果・考察

2018 年度に筑波実験植物園内で採集されたきのこについて、「標本数多い」⇔「発生量多い」⇔「胞子をよりたくさん放出」⇔「バイオエアロゾルが多く放出」されたと考えて、標本数トップ5（属ごと）に並べると、以下のとおりとなった；担子菌門
 1. テングタケ属 *Amanita*（標本数：41） 2. ベニタケ属 *Russula*（29） 3. イグチ属 *Boletus*（15） 4. ナヨタケ属 *Psathyrella*（10） 5. ウラベニガサ属 *Pluteus*（9）。
 他方、子のう菌門ではノボリリュウタケ属 *Helvella*（5）が最高となった。他方、我が国においてはキノコの胞子放出現象は、すばらしい芸術作品として映像化されているが、科学的なデータとして使用できるものはなく、今回、これが達成されたことは意義が大きい。



Fig. 3 筑波実験植物園で見つかるテングタケ属のキノコ子実体（左）とヒラタケからの孢子放出の実態（右）矢印の先に孢子雲が白く見える。

古来より「百聞は一見に如かず」と云うように、科学研究においても、電子顕微鏡や光学顕微鏡によるミクロの世界の可視化や、シミュレーションモデル結果のアニメーションによる可視化が様々な分野での現象理解の上で、大きな貢献をしている。今回、実証的なデータとして野外での自然のキノコ孢子放出の撮像を行うことが初めて可能となったことにより、最新の映像分析技術を用い個々の孢子の放出を数値化・定量化し、大気中への拡散を追跡する道筋を見出すことが出来た。

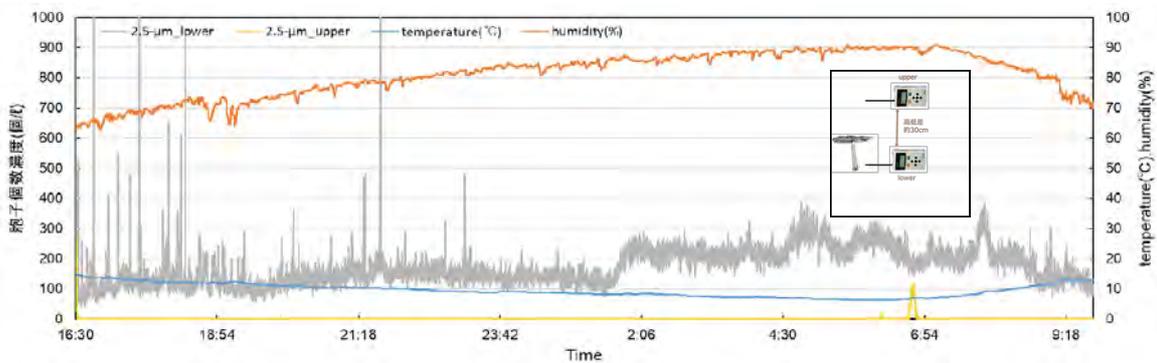


Fig. 4 筑波実験植物園におけるキノコ子実体傘直下と上方約 30cm における OPC（光学式粒子計測装置）による孢子個数濃度の時間変化

傘直下と上方約 30cm における OPC（光学式粒子計測装置）による孢子個数濃度の時間変化 (2.5 μm 以上の粒子の比較) を Fig.4 に示す。傘の下のみ大気中の個数濃度が増加・変動しており、孢子放出の状況を捉えることができた。気象パラメーターと比較すると、傘直下孢子個数濃度は夜間に増大しているように考えられた。またこの時間帯の相対湿度は 80%以上に増大しており、湿度の増大が孢子放出につながるとする従来知見を確認することができた。

謝辞： バイオエアロゾルのフラックス観測では反町篤行博士（福島県立大学）に、バイオエアロゾルの分析では牧輝弥博士（金沢大学）に、バイオエアロゾルの個数濃度観測では渡辺幸一博士（富山県立大学）にそれぞれお世話になった。ここに記して感謝する。

成果発表

① 論文発表

Igarashi, Y., Kita, K., Maki, T., Kinase, T., Hayashi, N., Hosaka, K., Adachi, K., Kajino, M., Ishizuka, M., Sekiyama, T.T., Zaizen, Y., Takenaka, C., Ninomiya, K., Okochi, H. & Sorimachi, A. (2019). Fungal spore involvement in the resuspension of radiocaesium in summer. *Scientific Reports*, **9**.

Kajino, M., Sekiyama, T. T., Igarashi, Y., Katata, G., Sawada, M., Adachi, K., Zaizen, Y., Tsuruta, H. & Nakajima, T. (2019). Deposition and dispersion of radio - cesium released due to the Fukushima nuclear accident: Sensitivity to meteorological models and physical modules. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*.

Mathieu, A., Kajino, M., Korsakissok, I., Périllat, R., Quélo, D., Quérel, A., Saunier, O., Sekiyama, T.T., Igarashi, Y. & Didier, D. (2018). Fukushima Daiichi-derived radionuclides in the atmosphere, transport and deposition in Japan: A review. *Applied Geochemistry*, **91**, 122-139.

Zhang, Z., Ninomiya, K., Yamaguchi, Y., Kita, K., Tsuruta, H., Igarashi, Y., & Shinohara, A. (2018). Atmospheric activity concentration of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs after the Fukushima Daiichi Nuclear Accident. *Environmental Science & Technology*, **52**(17), 9917-9925.

② 学会発表

保坂健太郎：林内と海岸で採るバイオエアロゾル（きのこ），第12回バイオエアロゾルシンポジウム概要集，pp.25-26，2019。第12回バイオエアロゾルシンポジウム，茨城大学 水戸キャンパス 茨城大図書館ライブラリーホール，2019年2月18-19日。

石塚正秀，田中邦明，小川実姫，保坂健太郎，五十嵐康人，牧輝弥，北和之：きのこ孢子飛散の動画撮影，第12回バイオエアロゾルシンポジウム概要集，pp.23-24，2019。第12回バイオエアロゾルシンポジウム，茨城大学 水戸キャンパス 茨城大図書館ライブラリーホール，2019年2月18-19日。

牧輝弥，北和之，石塚正秀，作田裕也，保坂健太郎，岩坂泰信，五十嵐康人：森林内を浮遊するバイオエアロゾルの群集構造変化，第12回バイオエアロゾルシンポジウム概要集，pp.27-28，2019。第12回バイオエアロゾルシンポジウム，茨城大学 水戸キャンパス 茨城大図書館ライブラリーホール，2019年2月18-19日。

河村公隆, 北和之, & 五十嵐康人. (2018). 大気エアロゾル中の菌類孢子有機物トレーサーと ^{137}Cs の関係: 福島県で採取した昼夜試料の解析結果. *日本地球化学会年会要旨集 2018 年度日本地球化学会第 65 回年会講演要旨集* (p. 15). 一般社団法人日本地球化学会.

Ishizuka M., K. Tanaka, Y. Igarashi, K. Hosaka, K. Kita: Spore emission of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) as one of bioaerosol particles: Shape and size characteristics, 2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium/15th IGAC Science Conference, Sunport Takamatsu Convention Center, 2018. Sept. 25-29.

Maki, T., K. Kita, T. Kinase, M. Ishizuka, Y. Igarashi: Sequential changes of airborne microbial communities emitted from forest ground surface in Fukushima, 2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium/15th IGAC Science Conference, Sunport Takamatsu Convention Center, 2018. Sept. 25-29.

Kita, K., N. Hayashi, K. Minami, M. Kimura, Y. Igarashi, K. Adachi, Y. Zaizen, T. Maki, M. Ishizuka, H. Okochi, J. Furukawa, K. Ninomiya, and A. Shinohara: Bioaerosol emission and its role in re-emission of radioactive cesium from forest in Fukushima, 2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium/15th IGAC Science Conference, Sunport Takamatsu Convention Center, 2018. Sept. 25-29.

田中邦明, 石塚正秀, 五十嵐康人, 保坂健太郎, 北和之: シイタケ孢子の形状計測と孢子飛散機構に関する基礎的研究, 平成 30 年度全国大会 土木学会第 73 回年次学術講演会, 北海道大学, 2018 年 8 月 29-31 日.

五十嵐康人, 北和之, 牧輝弥, 保坂健太郎, 反町篤行, 羽田野祐子, 石塚正秀, 齊藤保典, 川端康弘, 大河内博, 白石浩一, 富田孝幸, 足立光司, 財前祐二, 水谷耕平, 河村公隆, つくば実験植物園でのバイオエアロゾル観測, 第 35 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 名古屋大学, 2018 年 7 月 31 日~8 月 2 日.

林奈穂, 北和之, 五十嵐康人, 牧輝也, 小坂橋基夫, 降水時の森林からのバイオエアロゾル放出源変化, 第 35 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 名古屋大学, 2018 年 7 月 31 日~8 月 2 日.

石塚正秀, 田中邦明, 五十嵐康人, 保坂健太郎, 北和之: シイタケ孢子の飛散機構の解明に向けた基礎的実験 -孢子の形状特性の観察-, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会 (JpGU2018), 投稿番号: C004701, 講演番号: MAG33-P10, 講演セッション: M-AG33 福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態, 幕張メッセ国際展示場 7 ホール, 5 月 20 日.

北和之, 林奈穂, 南光太郎, 木村茉央, 五十嵐康人, 足立光司, 牧輝弥, 石塚正秀, 大河内博, 古川純, 二宮和彦, 篠原厚: 福島高線量地区における夏季大気セシウム放射能濃度増加とバイオエアロゾル, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 講演番号: MAG33-15, 講演セッション: M-AG33 福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態, 幕張メッセ国際展示場 A02 (東京ベイ幕張ホール), 2018 年 5 月 20 日.

田中邦明, 石塚正秀, 五十嵐康人, 保坂健太郎, 北和之: シイタケ胞子の形状特性と胞子飛散に関する基礎的研究, 平成30年度土木学会四国支部第24回技術研究発表会, 徳島大学, 2018年5月19日.

Kita K., Naho Hayashi, Koutaro Minami, Mao Kimura, Yasuhito Igarashi, Koji Adachi, Teruya Maki, Masahide Ishizuka, Hiroshi Okochi, Jun Furukawa, Kazuhiko Ninomiya, and Atsushi Shinohara: Increase of radioactive cesium resuspension to the atmosphere with bioaerosols in a polluted area in Fukushima, EGU General Assembly 2018, GI1.2/AS4.21/BG1.31/EMRP4.4/ERE5.6/HS11.11/NH8.8/OS4.11/SSS13.16 Media, Geoscience processes related to Fukushima and Chernobyl nuclear accidents, Orals / Thu, 12 Apr, 08:30–12:00 / Room 0.49.

③ その他

波浪が作用する環境での泥質堆積物の動態：造波水路実験による検討

山口直文（茨城大学）

研究成果概要

① 研究目的

これまで、波浪が底面近傍まで作用するような浅い環境において、細粒な泥質堆積物は水中を漂い続け、その場にはほとんど残されないと一般的に考えられてきた。しかし近年の研究によって、高濃度の泥質堆積物が供給された場合には、fluid mud と呼ばれる高濃度のサスペンション粒子を含む泥質流体が形成されることにより、波浪が作用する場においても短時間で急速に堆積しその場に残されることが明らかになった。しかし、こうした波浪が作用する環境において、供給された泥質堆積物が、実際に底面近傍でどのように振る舞い、どの程度の濃度で残されるようになるのかについては明らかになっていない。そこでこの研究では、波浪が作用する環境を造波水路内に再現し、泥質堆積物を供給した場合の底面近傍での現象と堆積物濃度を調べた。

② 研究方法

実験は、筑波大学アイソトープ環境動態研究センター環境動態予測部門の二次元造波水路を用いて行った。実験区間には水路内に入れ子型の仕切り（水路幅：0.10 m）を設置し、中に初期砂床として硅砂（中央粒径：約 200 μm ）を敷いた。今回の実験では、波浪条件は一定（水深：0.30 m，周期：1.0 s，波高：7 cm（設定値））とし、実験区間上方から供給する水と泥質堆積物（含水カオリン，中央粒径：5 μm ）の混合物の濃度を変化させて計 3 試行実施した。波浪条件は、底面に凹凸がある場合にウェーブリップルがかろうじて形成する程度の小さい振動流流速になるように設定している。水と泥質堆積物の混合物の初期濃度は、それぞれ 20, 100, 250 g/L とした。

各実験試行では、まず波浪を作用させ、初期地形としてウェーブリップルの形状が定常状態になるまで発達させた。その後、上方から、攪拌させた水と泥質堆積物の混合物を約 40 分間供給し、砂床上への泥質堆積物の堆積の有無や底面近傍での現象を観察した。また、底面近傍の泥水の堆積物濃度を測定するため、初期砂面直上 5 cm においてサイフォンによる採水を行った。

③ 結果・考察

実験では、3条件全てにおいて、上方より供給された水と泥質堆積物の混合物は波によって攪拌されたが、水塊内に濃度躍層と思われる境界が観察された。低層の高濃度泥水は、波により水平方向へ拡散され、砂床がない、より低い場所へ輸送され堆積している様子が観察された。一方、3条件全てにおいて、波浪が作用する間は砂床上には泥質堆積物は明瞭に堆積せず、ウェーブリップル内に葉理状に薄く残されるのみであった。底面近傍で採水した泥水に含まれる堆積物濃度を測定した結果、供給した濃度が 20, 100, 250 g/L である実験において、それぞれおよそ 2–2.5, 6–7.5, 9–12 g/L であった。また、それぞれの実験において、波浪の作用を停止させた場合には砂床上に泥質堆積物が残された。

今回の実験の振動流は、ウェーブリップルが形成されうる限界に近い小さい流速であった。また、底面近傍の泥水の堆積物濃度は、最も大きい実験では 10 g/L を超える状態であったことが採水の結果から明らかになっている。一般に、堆積物のサスペンション濃度が 10 g/L を超えた場合に fluid mud と呼ばれる状態になると考えられている (Faas, 1991)。今回の実験結果は、こうした比較的小さい流速条件で、さらに fluid mud 状態になりうる高濃度の泥水であっても、ウェーブリップルが存在し底面近傍で渦が発生する場合には、泥質堆積物が常に巻き上げられ堆積しにくいことが示唆された。

今回の実験で使用した泥質堆積物は、自然界の泥質堆積物と比べて非常に細粒であり、カオリンに限られている。今後は、より粗粒なシルトサイズの場合や、ベントナイトなど別の鉱物組成の場合についても検討が必要であると考えられる。また、今回の実験では、高濃度の泥水が水平方向のわずかに低い場所へと拡散する様子が観察された。こうした波浪による水平拡散と、低い場所への濃集は、泥質堆積物の局所的かつ急速な堆積を引き起こす可能性がある。こうした泥質堆積物の堆積における、微小な高低差などの地形の影響についても今後検討が求められる。

成果発表

① 論文発表

準備中

② 学会発表

山口直文・関口智寛, 2019, 「泥 vs 波 (予報)」, 日本堆積学会 2019 年大阪大会
(要旨投稿済み, 発表予定) .

③ その他

なし

福島原発事故に被災した 野生ニホンザル生体試料を用いた放射線影響解析

鈴木正敏（東北大学災害復興新生研究機構）

研究成果概要

① 研究目的

本課題では旧警戒区域に生息している野生ニホンザル試料を用い、ヒトに近縁な霊長類試料で福島原発事故による放射線被ばく生物影響を検討した。特に酸化ストレス状態について検討し、ヒトの被ばく影響を予測するための外挿が期待される知見の蓄積を目的とした。福島原発事故による被ばくは、過去の実験データが不足している低線量・低線量率域の放射線に長期間被ばくし続けることに特徴があるが、事故と同様の放射線被ばくを動物実験で再現することは現実的に難しく、旧警戒区域で被ばくした野生動物は科学的に貴重な試料になると考えられている。

② 研究方法

旧警戒区域に生息していた野生ニホンザルから、以下の用途に適した方法で試料を採取した。大腿筋に含まれる放射性セシウム濃度をゲルマニウム検出器で測定し、測定結果はニホンザルに最適化された換算係数を用いて内部被ばく線量率の評価に用いた。また、血漿と大腿筋はマロンジアルデヒド(MDA)を指標として体内の酸化状態を評価する目的で使用した。ヘパリン入採血管に入れた血液を遠心分離で血漿を回収し、血漿中 MDA 濃度を測定した。大腿筋を用いた MDA 検出では、ヘモグロビンを除去する工程を追加し、MDA 検出を阻害する要因を低減化した。調整した大腿筋試料中のタンパク質濃度を測定し、単位タンパク質量中の MDA 濃度として大腿筋中 MDA 濃度を算出した。

③ 結果・考察

本年度は内部被ばく線量率が 100 $\mu\text{Gy}/\text{日}$ 未満の個体から得られた試料を検討に用いた。対照地域に生息していた非被ばく個体の血漿中 MDA 濃度の平均値と比べると、

旧警戒区域個体の MDA 濃度の平均値は低下する傾向であったが、有意差はみとめられなかった。大腿筋中の MDA 濃度も同様の傾向が得られた。マウス動物実験より血漿中 MDA 濃度が被ばく線量率に依存して上昇することを確認しているが、実験的に極めて低い線量率の放射線被ばくによって、血漿中 MDA 濃度が一旦低下する傾向を示唆してきた。本年度の解析に被ばく線量率が低い地域の個体を選択したことから、野生ニホンザルの解析結果は動物実験の結果に矛盾しないと考えられる。本課題で得られた結果は、放射線災害事故後の回復期の体内酸化状態を検討した結果と位置付けられる。酸化ストレスは様々な疾患の要因と考えられているため、本年度検討した結果を、現在でも高度な被ばくが続いている野生ニホンザルの解析結果と比較・検討することが、今後の継続調査で重要な検討事項になると思われる。

成果発表

① 論文発表

なし

② 学会発表

なし

③ その他

なし

底生生物消化管内堆積物の $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}$ 濃度比による陸域起源粒子の推定手法

立田 穰 （電力中央研究所）

研究成果概要

① 研究目的

福島沿岸海底土や懸濁粒子における ^{137}Cs 濃度は充分には低減していない。より汚染された陸域河川からの高濃度粒子流入の寄与の可能性について検討する必要がある。陸域起源粒子態 ^{137}Cs の寄与多寡の推定手法として、平成 28-29 年度は底生魚胃内容物中堆積物粒子 (<75 μm) における $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ 比を解析した。分析の結果では、沿岸ベントスの消化管内堆積物中鉛-210 濃度が沖合より低かった。これは、陸域の親核種であるラドン由来の過剰鉛 210 寄与が沿岸で大きいという従来知見と相反していた。同様に ^{137}Cs 濃度も沿岸より沖合が高かった。そこで、沖合の生物消化管内における堆積物粒子 (<75 μm) は、沿岸において初期暴露されたという仮説を導いた。平成 30 年度は、モデル計算により海底環境中での初期吸着 ^{137}Cs 濃度を求め、調査により得られる実測値と比較して、この仮説を検証する。

② 研究方法

平成 30 年度の研究用試料として、新青丸研究航海 (9 月) により採集ベントスの船上培養を行い、消化管内堆積物を採取した。ベンロス消化管内堆積物粒子中の ^{210}Pb 濃度はアルファスペクトロメータによる ^{210}Po 平衡 ^{210}Pb 放射能から求めた。また、金沢大学低レベル放射能分析設備を用いて ^{137}Cs 、 ^{226}Ra (^{214}Bi) ガンマ線を計測した。得られた ^{210}Pb 濃度と ^{137}Cs 濃度の関係から、沿岸海底環境中での陸上由来 ^{137}Cs の存在寄与の多寡を解析した。

③ 結果・考察

福島沿岸・沖合で採取された海底表層堆積物および底生生物・魚類消化管内堆積物では、粒径 <75 μm で標準化した粒子中の ^{210}Pb 濃度と ^{137}Cs 濃度の間には正の相関がみられた (累乗近似, $r=0.85$)。両核種の濃度は沿岸ほど低く (10 - 100 Bq kg-dry $^{-1}$)、沖合では高かった (>100 Bq kg-dry $^{-1}$)。これに対して、陸域河川氾濫物の粒径 <75 μm 粒子における ^{210}Pb 濃度と ^{137}Cs 濃度は、これらの相関関係から外れていた (^{210}Pb 濃度: 100 Bq kg-dry $^{-1}$ 、 ^{137}Cs 濃度:>1000 Bq kg-dry $^{-1}$)。

沿岸における海底堆積物粒子の起源は、陸域から河川により運搬される鉱物粒子が主である。このとき、陸域粒子中 ^{210}Pb 濃度は、粒子内粘土鉱物中の ^{226}Ra から生成した $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$ 、および大気中 ^{222}Rn から生成した ^{210}Pb の沈着による過剰 $^{210}\text{Pb}_{\text{exA}}$ との総和である。粒子が海洋に流入した後は、海洋上の大気中 ^{222}Rn から生成した $^{210}\text{Pb}_{\text{exA}}$ および、海水中の ^{238}U から ^{226}Ra を経由して生成した ^{210}Pb の吸着が加わり、海水中微粒子中の過剰 $^{210}\text{Pb}_{\text{exS}}$ 濃度はさらに増加すると理解される。したがって、海洋の堆積物微粒子中 ^{210}Pb 濃度は以下の総和と考えられる。

$$\text{粒子における } ^{210}\text{Pb} \text{ 濃度} = ^{210}\text{Pb}_{\text{sup}} + ^{210}\text{Pb}_{\text{exA}} + ^{210}\text{Pb}_{\text{exS}}$$

これに対して、粒子中 ^{137}Cs の起源は、主に事故初期の海水中高濃度 ^{137}Cs の吸着に基づく $^{137}\text{Cs}_{\text{sea}}$ と考えられる。仮に、陸域流入粒子の流入による ^{137}Cs 増分があるとする場合は、陸域ですでに吸着された $^{137}\text{Cs}_{\text{ter}}$ との総和になると推定される。一方、粒子中 ^{137}Cs の存在形態については、粘土鉱物の結晶格子内に固定される画分 $^{137}\text{Cs}_{\text{ref}}$ と、海水中濃度が低下するにつれて粒子から溶出する無機態可溶画分 $^{137}\text{Cs}_{\text{labile}}^{\text{INOR}}$ 、および粒子表面の有機態可溶画分 $^{137}\text{Cs}_{\text{labile}}^{\text{OR}}$ が考えられる。海域においては、起源にかかわらず存在形態は収斂すると仮定すると、濃度は以下の総和と考えられる。

$$\text{粒子における } ^{137}\text{Cs} \text{ 濃度} = ^{137}\text{Cs}_{\text{ref}} + ^{137}\text{Cs}_{\text{labile}}^{\text{INOR}} + ^{137}\text{Cs}_{\text{labile}}^{\text{OR}}$$

ここで、上記の式において、沿岸から沖合方向増加する項は理論的には見いだせない。すなわち、 $^{210}\text{Pb}_{\text{sup}}$ は粒子の鉱物組成で規定されるため一定であり、また地下水の影響を汀線に限定した場合は、沿岸海水中ウラン含量は一定であるため海水由来 $^{210}\text{Pb}_{\text{exS}}$ も増減しないと理解される。一方、 $^{210}\text{Pb}_{\text{exA}}$ は陸起源 ^{222}Rn のため沿岸海域において高いはずである。また、 $^{137}\text{Cs}_{\text{ref}}$ については事故初期に高濃度水に接触機会が大きかった沿岸に近いほど濃度が高いはずである。さらに、無機態可溶画分 $^{137}\text{Cs}_{\text{labile}}^{\text{INOR}}$ と有機態可溶画分 $^{137}\text{Cs}_{\text{labile}}^{\text{OR}}$ も経時的に減少するものの空間的には $^{137}\text{Cs}_{\text{ref}}$ の類似物であり沿岸で高いと理解される。

従って、沖合が高濃度となる要因は、沿岸から沖合方向への粒子輸送と考えるのが合理的である。そこで、Misumi et al. (2014) のモデルを用いて、粒子が動かない場合の初期暴露 ^{137}Cs 濃度をシミュレーションで再構築し、これを実測値で除して、 ^{137}Cs 濃度実測値/初期暴露再現 ^{137}Cs 濃度の比をもとめた。その結果、 ^{210}Pb 濃度が高いほど、初期暴露濃度に対する ^{137}Cs 濃度実測値の過剰が認められた (<20 倍)。すなわち、2013

年採取時の沖合の<75 μm 粒子(^{137}Cs と ^{210}Pb 濃度が $100 \text{ Bq kg-dry}^{-1}$)が、2011 年の初期暴露時には、より沿岸にあったと仮定すると ^{137}Cs 過剰を説明できることが示された。

粒子吸着 ^{137}Cs の起源推定については、測定した夏井川氾濫原堆積物粒子(<75 μm)の ^{137}Cs 濃度 $2000 \text{ Bq kg-dry}^{-1}$ を陸域エンドメンバー、 ^{137}Cs 濃度 $30 \text{ Bq kg-dry}^{-1}$ を初期吸着の海域エンドメンバーと仮定した場合は、粒子中 ^{137}Cs 濃度が調査海域の平均的値 $100 \text{ Bq kg-dry}^{-1}$ となるには、沿岸堆積物における陸域流入粒子寄与を $4\%[(1-(2000-100)/(2000-30))\times 100]$ とみなす必要があった。また、 ^{137}Cs 濃度 $100 \text{ Bq kg-dry}^{-1}$ を初期吸着の平均的海域エンドメンバー、粒子中 ^{137}Cs 濃度を高濃度海域値 $400 \text{ Bq kg-dry}^{-1}$ と仮定した場合は、高濃度堆積物における陸域流入粒子寄与は最大 $16\%[(1-(2000-400)/(2000-100))\times 100]$ と試算された。

成果発表

① 論文発表

なし

② 学会発表

なし

③ その他

なし

2 ノズルタイプ3Dプリンタを利用したガンマ線測定用基準線源の開発

齊藤敬（尚絅学院大学）

研究成果概要

① 研究目的

近年低価格化・高精度化が進んでいる3Dプリンタ・3Dスキャナを用い、任意形状の試料の放射能を正確に求めるためのガンマ線測定用基準線源を開発することを目的としている。

昨年度の本共同研究にて、ある程度の試料の測定は可能となったが、いくつかの問題点が存在していた。それらの問題を解決すべく、新しいタイプの3Dプリンタを用いさらなる高精度のガンマ線測定用基準線源の開発をめざす。

② 研究方法

試料の基本的な作成方法には、これまでの3Dスキャナ・3Dプリンタを用いた線源作成方法を踏襲する。これまでの方法に加え、3Dプリンタ用フィラメントを自作可能なエクストルーダを用い、樹脂ペレットに比重の高い試薬を混ぜ込み、比重を高めたフィラメントを自作する。これによりこれまで問題になっていた「自己吸収」の問題を解決する。さらに、2つのノズルを持ち2種類のフィラメントを任意の割合で混合できる熱溶解積層方式3Dプリンタと、天然の放射性核種を混ぜ込んだフィラメントも同時に作成し、任意の場所に放射性核種が存在する試料を作成し「試料中に任意の放射能の偏り」のある模擬線源を作成する。

③ 結果・考察

作成したフィラメントは、押し出し成形が安定せず、太さにばらつきがでてしまった。そのため、3Dプリンタ内で目詰まりを起こし安定してプリントアウトができなかった。また、強度も通常のABSと比較し極端に弱くなり途中でフィラメントが切れるなどして、モデルの形成も途中で止まってしまう結果となった。さらに長期間フィラメントを静置しておくと強度がさらに弱まった。これはポリ乳酸樹脂（PLA）のフィラメントでもしばしば起こる現象である。PLA樹脂では乾燥機で保管することによりある程度解決できることより、本方法でも試してみる予定である。

成果発表

① 論文発表

② 学会発表

- ・ 3Dプリンタを利用した人工北投石中の放射能の定量，第71回日本温泉科学会大会，2018年9月6日～8日，大分県別府市 別府温泉.
- ・ 3Dプリンタを利用した人工北投石中の放射能，第20回「環境放射能」研究会，2019年3月12日～14日，高エネルギー加速器研究機構.

③ その他

Distribution of hard-to-detect Pu and Cs-135 isotopes in early stage monitoring seawaters after the Fukushima nuclear accident

研究代表者：鄭 建 Jian Zheng (National Institute of Radiological Sciences)

受入研究者：山田正俊 (弘前大学)

Summary of the Project

1. Introduction

This collaborative study exploited the cutting-edge mass spectrometric analytical methods developed in National Institute of Radiological Sciences to analyse the hard-to-detect radioactive isotopes of ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{135}Cs and ^{137}Cs in seawater samples provided by Hirosaki University. These monitoring seawater samples were collected from the coastal area off Fukushima in the early stage (in April and May 2011) after the Fukushima Daiichi Nuclear Power plant (FDNPP) accident.

In FY2018, our study focused on the distribution of Pu isotopes ($^{239+240}\text{Pu}$ activity and $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratio) in the early stage monitoring seawaters. FDNPP-derived Pu isotopes have been released into the terrestrial environment due to atmospheric deposition and the $^{239+240}\text{Pu}$ amount was estimated to be 1.0-2.4 GBq. Since the marine environment received not only the atmospheric deposition but also the direct discharge of highly contaminated liquid wastes as well as the runoff input, it was unavoidable for the FDNPP derived Pu isotopes entering into the marine environment, which caused concerns due especially to seafood safety. Previous studies were inadequate to verify whether the FDNPP accident raised marine Pu contamination due to the delayed sampling period. By contrast, the seawater samples of this study collected in the early stage of the accident (within two months after the FDNPP accident) were much more promising to provide the evidence for the contamination extent of Fukushima-derived Pu isotopes in the marine environment.

2. Methodology

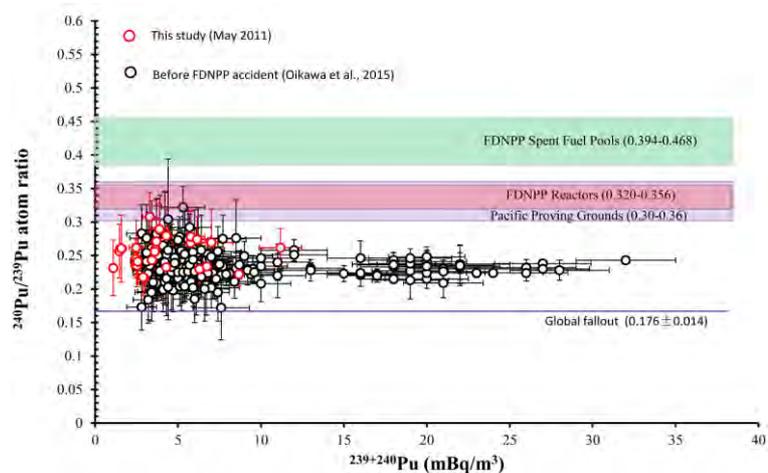
Seawater samples were collected during two oceanographic expeditions YK11-E02 and NT11-E01, which were done in May 2011 by JAMSTEC. All the seawater samples were filtered using a 0.20 μm pore size cartridge filter to remove suspended particles and were acidified to pH~2 by adding HNO_3 for storage and transport to prevent Pu isotopes from

adsorbing onto the wall of container. Pu isotopes were analyzed using a method which involved $\text{Fe}(\text{OH})_2$ primary co-precipitation, $\text{CaF}_2/\text{LaF}_3$ secondary co-precipitation, extraction chromatographic (TEVA, UTEVA and DGA resins) separations and SF-ICP-MS detection (Men et al., 2018, *Sci. Rep.* 8, 1892).

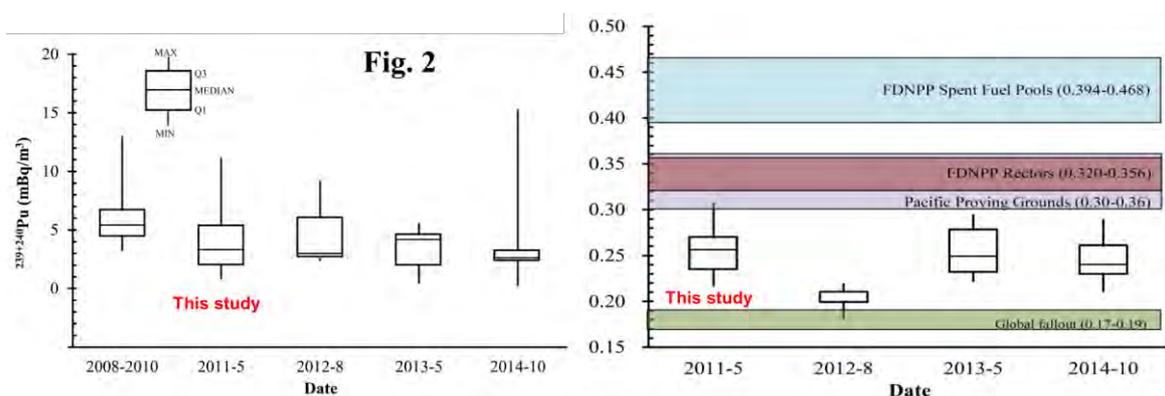
3. Results and discussion

Values for $^{239+240}\text{Pu}$ activities and $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratios from Oikawa et al. (2015, *J. Environ. Radioact.* 142, 113–123) (2008–2010) and this study were plotted in Fig. 1. It was obvious that neither $^{239+240}\text{Pu}$ activities nor $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratios exceeded the corresponding background ranges before the FDNPP accident. Therefore, it can be concluded conservatively that there were no notable amounts of Pu isotopes released into the marine environment from the accident.

Fig. 1. $^{239+240}\text{Pu}$ activities vs $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratios in seawater off the coast of the FDNPP site.



The temporal variation of $^{239+240}\text{Pu}$ activities and $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratios in seawater within 100km from the FDNPP site after the accident were plotted as a box plot in Fig. 2. $^{239+240}\text{Pu}$



had no obvious interannual variation in the seawater. The maximum $^{239+240}\text{Pu}$ activity observed in October 2014 did not exceed the background level before the FDNPP accident

(ND-32.0 mBq/m³). As for ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu atom ratios, all the data fell between that of Pacific Proving Ground (PPG) close-in fallout and global fallout, within the background level before the FDNPP accident (0.173-0.322). The contributions of the PPG close-in fallout observed in this study ranged from 26% to 77%, with a mean of 48%. This might suggest that the PPG is still an important source even more than 60 years after the 1950s and the North Equatorial Current systems continuously transport the remobilized Pu from the Marshall Islands area to the Northwest Pacific Ocean.

List of Publication

Publication in Journals

1. W. Men, **J. Zheng***, H. Wang, Y. Ni, Y. Kumamoto, M. Yamada, S. Uchida (2019): Pu isotopes in the seawater off the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant site within two months after the severe nuclear accident. *Environ. Pollut.* 246, 303-310.

Publication in conference

1. **Jian Zheng**, Wu Men, Hai Wang, Yuichiro Kumamoto, Masatoshi Yamada, Shigeo Uchida, Plutonium isotopes in seawater off Fukushima within two months after the accident. Goldschmidt 2018, August 12-17, 2018, Boston, USA. (Invited talk)

アーカイブ海水試料を利用した福島第一原発事故初期の放射性セシウムの動態解明

熊本雄一郎（海洋研究開発機構）

研究成果概要

① 研究目的

2011年3月11日の東日本大震災とその後の大津波によって破損した東京電力福島第一原子力発電所（FNPP1）から、放射性セシウムが北太平洋に放出された。文部科学省は事故直後から東北沿岸域において海水中放射性セシウム濃度の測定（「海域モニタリング」）を開始したが、急激な濃度低下が起った5月以降はその緊急時対応用の簡易測定法では正確な濃度測定が困難となった。8月以降はリンモリブデン酸アンモニウム（AMP）を用いたより高感度な測定方法に変更されたが、5月～7月の間はデータの空白期間となった海域もある。本研究は、弘前大学に保管されている「海域モニタリング」の予備海水試料に含まれる放射性セシウムを高感度なAMP濃縮法を用いて再測定し、2011年5月を含む事故から数カ月以内の福島県沿岸域におけるFNPP1事故由来の放射性セシウムの動態を再現することを目的とする。

② 研究方法

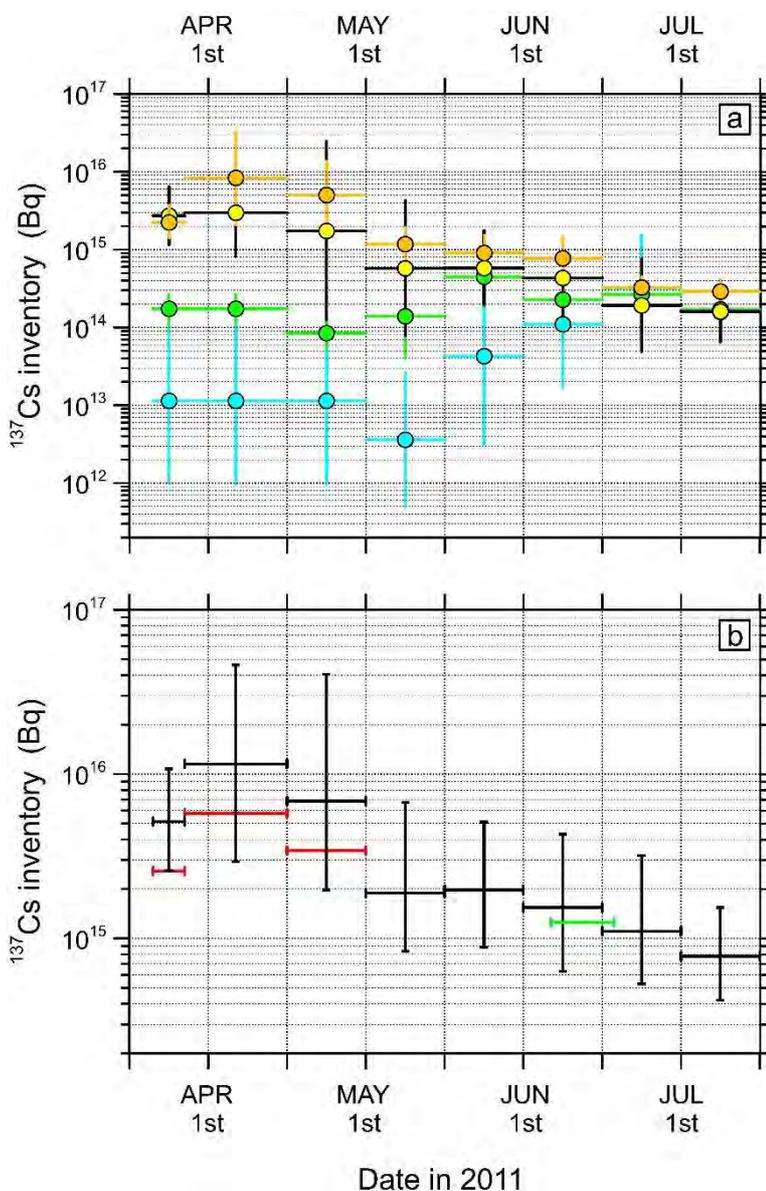
「海域モニタリング」初期に採取された海水試料は、前処理を施されることなく直接ガンマ線検出器によってその中に含まれる放射性セシウム濃度が測定された。本研究では、その海水試料に含まれる放射性セシウムをAMPによって濃縮した後に、ガンマ線計測することによって低濃度の放射性セシウム（セシウム134とセシウム137）を定量化した。海水試料は国立研究開発法人海洋研究開発機構所属の調査船航海において、FNPP1から30～50km離れた福島県沖合海域で採取された予備の海域モニタリング海水56検体を用いた。AMPを用いた濃縮作業及びゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線計測による放射性セシウムの測定は、海洋研究開発機構むつ研究所で実施された。AMP濃縮を実施する前に、各海水試料100mlを蒸発乾固させて得られた海塩中の放射性セシウム濃度を測定し、その蒸発乾固法では測定できなかった試料についてAMP処理を実施した。前処理作業およびガンマ線計測に伴う測定の不確かさは、おおよそ8%と見積もられた。また、国立研究開発法人水産研究・教育機構の中央水産研究所が、2011年4～5月にFNPP1沿岸海域で採取した海水に含まれる放射性セシ

ウム濃度も、AMP 処理して再度測定した。さらに同年6月に、米国の観測船によって行われた海洋観測にて採取された海水中放射性セシウム濃度も測定した。これら再測定、追加測定によって得られた新しいデータを、先行研究によって報告されているデータと統合することで新たなデータセットを作成した。それらを元に、FNPP1 から直接流出した汚染水に由来する放射性セシウムの動態を推定した。

③ 結果・考察

本研究で得られた新たなデータセットをもとに、2011年3月下旬から7月上旬の間の、FNPP1 からおよそ300km 圏内における溶存セシウム¹³⁷のインベントリ(Bq)を図1aに示した。30km 圏内(オレンジ)、100 km圏内(黄色)では経時とともに指数関数的にインベントリが減少したことがわかる。その外側の北側300km 圏内(緑)と南側300 km圏内(青)ではそれぞれ5月下旬にインベントリが増加した。これらは、FNPP1 から直接流入したセシウム¹³⁷が約2カ月をかけて、300 km圏内に広がった過程を示唆している。これらの各エリアのインベントリの総和(図1b)から、汚染水の直接流入によって、北太平洋に移行したセシウム¹³⁷を3-6 PBqと推定した。

図1 (a) FNPP1 から30km 以内(オレンジ)、100km 以内(黄色)、北側300km 以内(緑)、南側300km 以内(青)における¹³⁷Csのインベントリ(Bq)。(b) 黒線は、上記各エリアのインベントリを足し合わせたFNPP1 から300km 圏内の¹³⁷Csのインベントリ(Bq)を示す。赤は、平均到達深度を40mではなく20mとした時のインベントリ。緑は、先行研究による見積(Buesseler et al., 2012)。



一方、100 km圏内（オレンジと黄色）では、2011年5月上旬にそのインベントリーが大きく減っている一方で、その外側の300km圏内（緑と青）ではそれに対応するインベントリーの増加が見られない（図1a）。これについては、5月上旬に黒潮続流もしくは黒潮フロントに沿った、強い東向きの流れに沿って大量のセシウム137が北太平洋の外洋域に運ばれたことが原因ではないかと推察された（図2）。この東方への輸送は、その空間的な広がりが数10km以下と小さいため、限られた海洋観測による測定結果では検出されなかったものと考えられる。

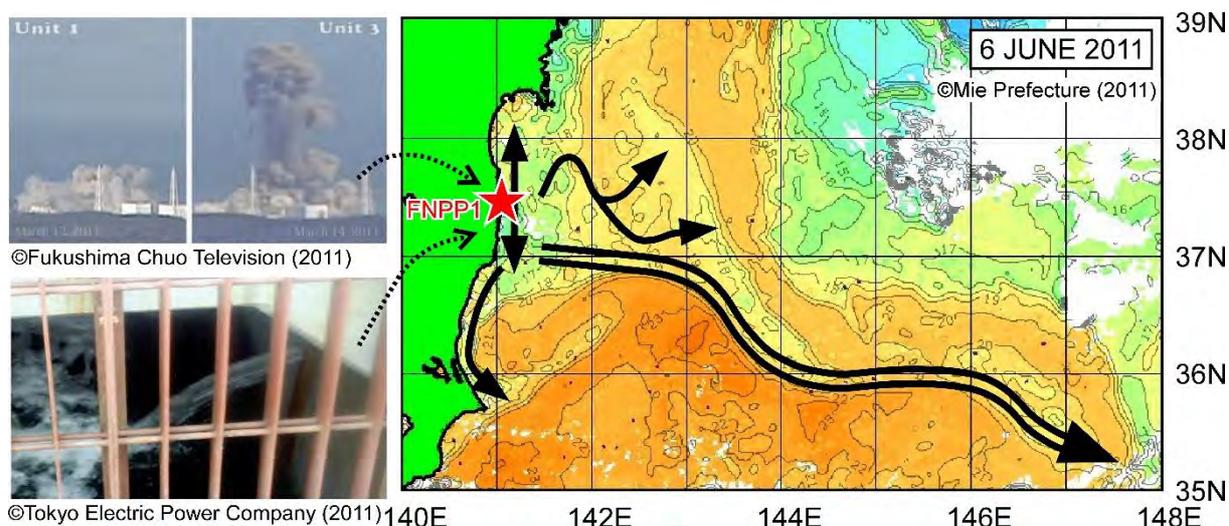


図2 FNPP1 起源の放射性セシウムが、福島沿岸から北太平洋の外洋域に運ばれる過程を示した模式図。2011年5月～8月にかけて黒潮フロントに沿った東向きの強く細い流れによって、福島沿岸から外洋域に多くの放射性セシウムが運ばれたことが推察された。

成果発表

① 論文発表

該当なし

② 学会発表

該当なし

③ その他

該当なし

遅発性活性酸素が関与する放射線抵抗性獲得機構の解明

菓子野元郎 (奈良県立医科大学)

研究成果概要

① 研究目的

放射線の生物への影響を評価する際、個体や個人間、あるいは臓器や組織間での放射線感受性の違いは非常に重要である。また、放射線被ばくした細胞から分泌される何らかの因子を受け取ることによって、細胞の放射線感受性に影響が生じることが報告されている。この「バイスタンダー効果」は様々な影響に寄与することが報告されているが、我々は、バイスタンダー効果を仲介する分泌性因子の働きを解明したいと考えている。今回、放射線照射後の遅発性活性酸素（放射線照射後に即時的に誘発する活性酸素とは異なり、ミトコンドリアを介して後から誘導される活性酸素）に着目した。直接被ばくした細胞のみならず、バイスタンダー効果により活性酸素が制御される機構を解明し、その機構が放射線感受性に及ぼす影響を明らかにしたいと考えている。

② 研究方法

分泌性因子を介した細胞の機能制御においては、がん細胞と正常細胞とで違いがあることが示唆される。本研究では、ラットグリオーマ由来 C6 細胞、及びラット正常アストロサイト由来 RNB 細胞を用い、それぞれの細胞で分泌性因子の働きを調べた。分泌性因子の働きを調べる方法として、medium transfer 法を用いた。T75 フラスコに 500000 個の細胞播種し、翌日、X 線 4Gy を照射し、2~4 日後において、非照射条件と 4Gy 照射条件の各細胞培養上清を回収し、別に用意した細胞へ処理し、処理 24 時間後の細胞を解析に用いた。指標として、放射線感受性はコロニー形成法で調べ、細胞内酸化度は APF 法で調べた。さらに関与する代謝変化、遺伝子発現変化を調べるため、メタボローム解析、マイクロアレイ解析の委託を行った。

③ 結果・考察

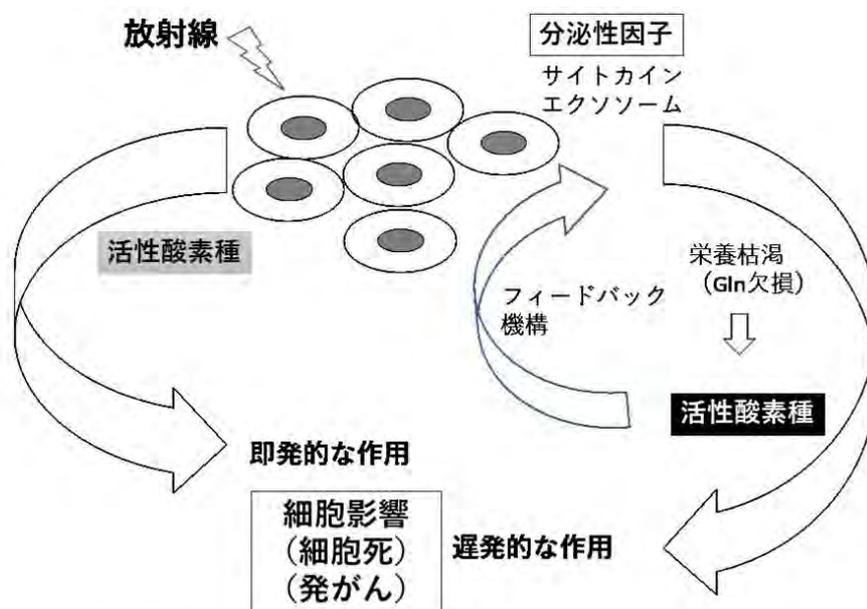
ラットグリオーマ由来 C6 細胞の培養上清のうち、非照射条件で 4 日後に回収したもののにおいて、顕著な放射線増感作用がみられた。2 及び 3 日の培養後の培養上清や、4Gy 照射 4 日後の培養上清においては増感作用が見られなかったため、非照射条件の

4日間培養のものに増感作用を示す因子が含まれると考えられた。放射線増感作用を示した培養上清処理細胞のメタボローム解析の結果、グルタミン依存的な代謝経路が抑制されていたことから、培養上清成分の中でもグルタミン量の低下が特徴づけられ、これが放射線増感作用の原因である可能性が示唆された。4日後の培養上清にグルタミンを添加したものを処理した細胞で放射線感受性を調べたところ、放射線増感作用が部分的に抑制された。従って、グルタミン枯渇が原因で放射線増感作用が発揮されることがわかった。このグルタミン枯渇による放射線増感作用はラット正常アストロサイト由来 RNB 細胞では見られなかったため、がん細胞特異的である可能性が高い。次にどのような経路で培養上清が増感作用を示すのかについて調べるため、マイクロアレイによる遺伝子発現解析を行った。その結果、C6 細胞では非照射 4 日間培養の培養上清処理細胞において、分裂期の進行に関わる Plk1、Aurora キナーゼ A などの発現が抑制されていた。アポトーシス誘導に関わる遺伝子発現の変化もみられた。正常 RNB 細胞の培養上清処理において、これらの遺伝子発現変化は見られなかった。このことから、培養上清処理により放射線増感作用がみられた細胞では、G2/M チェックポイントの機能低下が引き起こされ、それに引き続く放射線照射の結果、異常な DNA 切断を含む細胞が染色体分離の時期である分裂期へ侵入し、結果として mitotic catastrophe が起こりやすくなったと予想される。現在、この経路による細胞死が実際に見られるか否かを解析中である。

一方、グルタミン枯渇ではグルタチオンへの影響が予想されるが、実際、培養上清処理により C6 及び RNB の両細胞でグルタチオン生合成が抑制されることがわかった。しかし、細胞内酸化度は、両細胞ともに培養上清処理で低くなることが示された。このことは、グルタチオン抑制による細胞内酸化度の増加が、フィードバック機構を活性化させ、酸化度を低下させる作用のある分泌性因子を放出させている可能性が示唆される。この機構は、放射線照射後の活性酸素制御機構を考える上で興味深いので、今後この機構の解明を目指したい。

放射線照射後の即発的な活性酸素誘導は、間接作用として DNA 鎖切断に大きく寄与し、細胞影響に反映されることはすでに明らかである。しかし、遅発性活性酸素がどのように放射線感受性に関わるのかについては不明な点が多く残されている。今回の結果は、細胞が産生する分泌性因子を介した機構により、細胞内酸化度が制御されていることを示唆しており、放射線照射後の細胞影響にも関わる可能性は高い。今後、細胞が放出するサイトカインやエクソソームの中で細胞内酸化度を抑制する働きを

する因子の同定を目指したい。また、アカネズミやアライグマなど野生動物細胞における細胞外因子の作用を調べることで、活性酸素制御機構と放射線防護機構に種差があるのか否かを確認したい。



分泌性因子による作用と活性酸素種の関与についての模式図。遅発的な作用による細胞影響の機構において、遅発性活性酸素が関与すると考えられる。分泌性因子の働きは多岐にわたると考えられる。生物種によって、この制御機構がどの程度の共通点をもつのか興味深い。

成果発表

① 論文発表

なし

② 学会発表

小橋川新子、菓子野元郎、真田悠生、田野恵三、増永慎一郎：グルコピラノシルアスコルビン酸の照射後処理による放射線感受性の変化～正常細胞とがん細胞の比較、日本放射線影響学会 61 回大会、長崎市、2018 年 11 月

③ その他

桜島の火山活動とラドン及び子孫核種濃度の解析

樋口 健太 (日本医療大学)

研究成果概要

① 研究目的

The present study examined the association between volcanic activities and ambient radon concentrations in the vicinity of Mt. Sakurajima. If the atmospheric radon concentration in the vicinity of Sakurajima is related to the volcanic activity of Sakurajima, where is it mainly supplied?

② 研究方法

2.1 Radon measurement

Our research group constructed the monitoring post in Ichiki district of Tarumizu city (Figures 1,2 and 3). At this monitoring post, which is 10 km southeast from the Minamidake volcanic mouth of Sakurajima Mountain, outdoor radon concentrations were consecutively measured ever one hour using an Alpha GUARD radon monitor (SAPHYMO, France) during the period between August 2003 and July 2007.

2.2 Data on weather and volcanic activities

We obtained the official records on the frequencies of Mt. Sakurajima eruptions and earthquakes observed after those eruptions kept at the Kagoshima Local Meteorological Observatory. Also used were outdoor concentrations of SO₂ and the direction and speed of wind in Kanmachi district of Tarumizu city, which were consecutively monitored and kept at the Kagoshima Prefectural Institute of Environmental Science.

2.3 Statistical methods

In regression analyses, hourly averaged values of radon or SO₂ concentrations were regressed on hourly average wind speeds and or hourly average wind directions. In the analysis of wind directions, we considered the tail winds as those blowing from Mt. Sakurajima to the monitoring spot, which is located in the SSE direction of the volcano. In this paper, we used N, E, S and W when referring to wind directions of the north, east and south and west, respectively. The wind speed of tail wind was calculated as follows since the wind blowing from Mt. Sakurajima to the monitoring spot is the NNW wind: wind speeds themselves for the wind from the NNW; wind speeds x cos (22.5°) for the wind from the NW or N; wind speeds x cos (45°) for the wind from the WNW or NNE; wind speeds x cos (67.5°) for the wind from the W or NE; zero for the rest of wind directions. The wind speed of head wind was calculated using a similar approach.

③ 結果・考察

The geometric mean radon concentration at the monitoring post on the days with eruptions was 7.5 Bq m^{-3} , which was statistically significantly higher ($P < 0.001$) than that ($= 6.5 \text{ Bq m}^{-3}$) on the days without eruptions, when the data were restricted to hours with no wind. On the days without eruptions, a tail wind blowing at the speed of 10 m s^{-1} resulted in a radon concentration of 6.60 Bq m^{-3} , which was significantly higher ($P < 0.001$) than that associated with a head wind with the same wind speed (6.15 Bq m^{-3}). In order to confirm the effects of tail and head winds, we analyzed ambient SO_2 as well, ambient SO_2 concentrations at the hours of tail wind were higher than those at the hours of head wind.

Radon concentration at the monitoring post on the days with eruptions was statistically significantly higher than that on the days without eruptions. The major source of radon at the monitoring post was earth crust-derived gas emitted and dispersed from underground. However, plume and discharge from Mt. Sakurajima were also contributing to ambient radon concentrations.

成果発表

① 論文発表

投稿中

② 学会発表

Kenta Higuchi, Masahiro Hosoda, Shinji Tokonami, Mayumi Tsuji, Suminori Akiba: Associations between Ambient Radon Concentrations and Mt. Sakurajima' Eruptions. ICHLERA2018, September 24-27, 2018, Aomori, Japan.

③ その他

なし

野生動物の生物線量評価と分子マーカーの探索

中田章史（北海道科学大学）

研究成果概要

① 研究目的

放射線によって様々な染色体異常が誘発されるため、生じた染色体異常の頻度から、被ばく線量が推定可能である。近年、放射線汚染地域に生息するアライグマにおいても、放射線に特異性のある染色体異常が検出された。このことから、福島第1原発事故後7年経た今でも放射線影響を受けている動物がいることから、放射線の影響を考慮しなければいけない。しかしながら、アライグマの線量効果関係が不明であるため、正確な線量評価ができない。

さらに、染色体異常の出現頻度を指標にした線量の推定法は単一染色による染色体の形態の違いを基準としていることから、細胞分裂のステージや標本作成時の条件により染色体の形態の識別が困難な場合があるということが問題となっている。そこで、この問題点を解決するために、セントロメア領域を識別する方法が有効であることが知られている。

本共同研究では、アライグマの生物線量評価のための検量線を作成し、線量評価を容易にするために、セントロメアに存在する DNA 反復配列を単離することを試みた。

② 研究方法

検量線の作成

捕獲したアライグマより麻酔下で採取した末梢血は、0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5 Gy で X 線照射した後、DNA 修復のために2時間、37度で保持した。X線照射した末梢血リンパ球は、20%ウシ胎児血清加 RPMI1640 培地で懸濁し、分裂刺激剤である phytohemagglutinin 存在下で48時間培養した。なお、1回目の細胞分裂の分裂中期像を得るために、細胞分裂停止剤であるコルセミドを培養開始24時間後から添加した。培養終了後、細胞浮遊液を遠心(400 x g, 5分, 室温)して上清を除去し、0.075M 塩化カリウム溶液に細胞沈査を再浮遊させ低張処理を行った。低張処理後、冷固定液(メタノール:酢酸=3:1)を用いて細胞を固定した。冷固定液で細胞濃度を調製し、

空気乾燥法により染色体標本を作成した。4%ギムザ溶液で染色した標本を高倍率(× 630)で観察した。

PCR による反復配列の探索

アライグマのゲノム情報が乏しいため、既報のセントロメア領域の DNA 配列、ヒメネズミ (Fukushi et al., 2001) およびハントウアカネズミ (Matsubara et al., 2008) のセントロメア領域、マウスのセントロメア領域のマイナーサテライト配列 (Wong and Rattner 1988) のコンセンサス配列からプライマーをデザインした。さらに真核生物で保存性の高いことで知られている CENP-B box もプライマーとして利用した。PCR の条件は、標的の DNA 配列に多様性がある反復配列であることを考慮し、アニーリング温度の条件を複数設定した。

③ 結果・考察

検量線作成のために、アライグマのリンパ球から染色体標本を作製したところ、スライドあたり 12 から 1223 個の中期分裂像が観察された。一般的に、生物線量評価を行うためには、線量によって 50 から 2000 個の中期分裂像が必要である。本研究で用いたアライグマ個体は、原因は不明であるが、解析可能な中期分裂像を十分に得ることができなかった。そのため、別個体に対して、本研究と同様の検量線作製を行う必要があると考えている。

一方、線量評価の精度向上のために、アライグマのセントロメアを構成する DNA 配列の単離を試みた。14 種類のプライマーを組み合わせ、様々な温度条件で PCR による増幅を試みた結果、アニーリング温度を 45.0°C の時に様々なサイズの DNA 断片の増幅が観察された。この増幅した産物は、アライグマの中期分裂像に対して Fluorescence *in situ* hybridization によって染色体上の分布を確認した。その結果、Mus min F × APE cen R、Mus min F × MMU Cenp F、Mus min F × MMU Cenp R の組み合わせの増幅産物が、セントロメア領域の DNA 配列を含んでいることが明らかになった。今後は、これらの増幅産物を用いて、クローニングを行い、アカネズミのセントロメア領域の DNA 配列を決定する予定である。

成果発表

① 学会発表

1. 小松一樹、目黒栞奈、近能真優、坂美幸、中田章史、三浦富智、山城秀昭：野生雌アカネズミの繁殖周期に伴うカレンダー遺伝子の発現動態. 第67回北信越畜産学会. 2018. 11
2. 藤嶋洋平、有吉健太郎、中田章史、GOH Valerie、葛西宏介、小荒井一真、鈴木正敏、山城秀昭、木野康志、岡壽崇、篠田壽、吉田光明、三浦富智：放射線汚染地域に生息するアライグマにおける細胞遺伝学的解析. 日本放射線影響学会第61回大会. 長崎市. 2018. 11.
3. 小松一樹、大平拓也、目黒栞奈、山城秀昭、藤嶋洋平、ヴァレリースイーティング、葛西宏介、中田章史、有吉健太郎、吉田光明、福本学、三浦富智：被災アライグマにおける卵巣の卵胞発育能の評価. 日本放射線影響学会第61回大会. 長崎市. 2018. 11.
4. 庄司莉那、目黒栞奈、小松一樹、大平拓也、山城秀昭、藤嶋洋平、ヴァレリー ティング、葛西宏介、中田章史、有吉健太郎、吉田光明、福本学、三浦富智：透明帯除去マウス卵子を用いた被災アライグマ精子の卵子侵入能の評価. 日本放射線影響学会第61回大会. 長崎市. 2018. 11.

福島沿岸域における東電福島第一原発事故起源放射性セシウムとトリチウムの分布の研究

青山道夫（福島大学環境放射能研究所）

研究成果概要

① 研究目的

2011年3月の東京電力福島第1原発事故で海洋に放出された放射性セシウムのうち一部は北太平洋の西部亜熱帯循環により、数年未満の時間スケールで東シナ海、日本海に到達し、さらに一部は津軽海峡を抜けて太平洋に戻っているというシグナルが本研究申請者らのグループの観測と解析で明らかになった。

放射性セシウムとトリチウムの2014年のデータ解析から、福島県沿岸では放射性セシウムの主たるソースは福島第一原発からの漏洩であるが、トリチウムに関しては河川水経由の流入量の方が多いいことを明らかにしている。

本研究で得られるデータと、政府等のモニタリングデータをあわせて解析することにより、沿岸での放射性セシウムとトリチウムの分布と起源の研究を行う。

② 研究方法

本研究期間中に6回の福島県沿岸および2回の河川での試料採取をおこない、放射性セシウムの精密分析を行う。また試料を選択し、トリチウム測定を行う。

政府、東京電力および福島県によるモニタリングデータを収集し、データベースとする。河川流量等の水文学的資料を収集する。

③ 結果・考察

政府、東京電力および福島県による福島第一原発を含む東北沿岸の海水中の放射性セシウムおよびトリチウムおよび河川水中のトリチウムのデータを収集し、HAMデータベース global に組み込んだ（人件費は別なプロジェクトの予算を使用）。

福島第一原発の北と南に位置する相馬と富岡で沿岸の海水をそれぞれ6回採取し、抽出後、金沢大学尾小屋地下測定室で放射性セシウムの精密分析を行った。また富岡において沿岸海水および海水の採取地点に近接する富岡川で河川水を採取し、電解濃縮で濃縮後、トリチウムを分析した。

富岡川のトリチウム放射能はゆっくり減少しており、2013年ではおよそ1000 Bq m⁻³であったのが、2018年では400 Bq m⁻³まで減少していた。これは、福島第一原発事故で放出されたトリチウムが水循環に入って河川水となって海洋に輸送される過程を反映し、徐々に成層圏で生成され降水となって北半球中緯度に降下するトリチウムの放射能濃度に近づいていることを示している。

これに対し、富岡で採取した海水中のトリチウムは、2014年および2018年ではどちらも100 Bq m⁻³程度であり、大きな経年変動は見られない。また、原子力規制庁の沿岸でのモニタリングデータも、2014年から2017年までトリチウム放射能濃度は50-200 Bq m⁻³の範囲であり富岡のデータと同様に大きな経年変動は見られない。これは、基本的に福島沿岸のトリチウム放射能濃度を決めているのは、水循環に入って河川および降水経由で海洋に輸送される成層圏で生成するトリチウムであることを示唆している。また、福島第一原発からのトリチウムの漏洩は、徐々に減少してきているがそのソースの減少は沿岸での海水中トリチウムの放射能濃度の変動には、わずかにしか効いていないことも示唆している。しかし、短期的な変動を見てみると、富岡で採取した海水中のトリチウムとセシウム137の間には非常に良い相関があり、沿岸に沿って福島第一原発から漏洩したトリチウムと放射性セシウムが希釈されながら富岡での両核種の放射能濃度を変動させていることを示唆している。

富岡および相馬での海水中の放射性セシウムの濃度変動を考えるためには、ソースである福島第一原発近傍での漏洩の状況を見る必要がある。東京電力が公表しているデータを解析すると、2013年から2016年にかけて放射性セシウムは濃度見かけの半減時間一年で減少してきていたが、2017年以降では減少していない。さらに港内物揚場と56放水口では、2016年から2018年では、共に冬(1-2月)に低く、夏(7-10月)に高い季節変化を示している。2016年以降56放水口ではセシウム137放射能濃度は年平均で100-140 Bq m⁻³を示し、富岡(福島第一原発から南に10 km)まで行くと濃度は約10分の1となり、減少しなくなった傾向は同じである。また、相馬(福島第一原発から北に48 km)だと、セシウム137放射能は平均的には富岡の約半分程度であり、沿岸の流れの方向が逆転すると同じくらいの濃度を示すことがある。

富岡と相馬の変動傾向は、ソースが依然として福島第一原発にあり、沿岸土砂についているセシウムの脱着による流出や、河川からの寄与は依然として小さいことを示唆している。

成果発表

① 論文発表

Aoyama M. Long-term behavior of ^{137}Cs and ^3H activities from TEPCO Fukushima NPP1 accident in the coastal region off Fukushima, Japan. J Radioanal Nucl Chem. 2018;316(3):1243-52.

② 学会発表

Michio Aoyama, Yasunori Hamajima, Yayoi Inomata, Yuichiro Kumamoto, Takaki Tsubono and Daisuke Tsumune, Long term behavior of radiocaesium and tritium in the Fukushima coast until the end of 2018, 5th annual symposium of IER, Fukushima Univ.

③ その他

化学トレーサーを用いた海底湧水による沿岸海域への物質輸送状況の解明

張 勁 (富山大学大学院理工学研究部)

研究成果概要

① 研究目的

地下水が直接海底から湧き出す海底湧水は、陸域から沿岸海域への水・物質輸送のプロセスの1つとして世界で広く認識されている。富山湾沿岸海域で確認されている海底湧水は陸域の地下水と連動する淡水性海底湧水であり、陸域から富山湾への水・物質供給においては河川水に次いで重要な役割を担っている。しかし近年、地球温暖化などの気候変化により富山湾沿岸の海底湧水の湧出量が変化し、これにともなって陸域から富山湾への水・物質供給量やその供給過程が変化している可能性が高い。そこで本研究では、現在の陸域から富山湾への栄養塩および炭酸各種のフラックスを明らかにし、それぞれの供給量の長期変化を評価することを目的とする。

② 研究方法

海底湧水の存在が確認されている片貝川扇状地において、浅層地下水18地点および観測井2地点と河川1地点を対象とし、海底湧水は片貝川扇状地の沖合海域にある魚津市青島沖水深約8mで湧出しているものを調査対象とした

(Fig.1)。試料は2017~2018年において地下水は計5回60試料を採取し、2018年9月にスキューバダイビングにて海底の潜水調査および海底湧水の直接採取を実施した。

採取した地下水、河川水、海底湧水の試料は現場でただちに水温、pH、電気伝導度を測定し、採取日のうちにHCO₃濃度の分析および孔径0.2μmのメンブレンフィルターを用いて濾過をした。ろ過後は主要化学成分と水素・酸素安定同位体比(Picarro社製・L2120-i, L2130-i)を測定した。

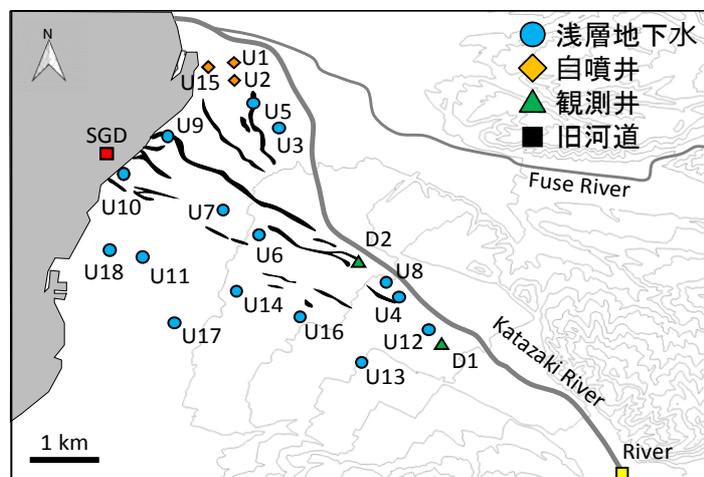


Fig. 1 調査対象地点

③ 結果・考察

本研究の結果より、片貝川扇状地の陸域から沿岸海域への水・物質輸送は、気候変化にともなって大きく変化していることが明らかとなった。研究の中で、特に、海底湧水は栄養塩および炭素の重要な供給源であることが分かった。主な結論は以下の通りである：

1. 片貝川扇状地の延長上に存在する海底湧水は陸域の地下水と連動しており、 SiO_2 濃度、 NO_3+NO_2 濃度が低かった。これは、陸域での滞留時間が短く、地表からの肥料の寄与が低いことが示唆された。
2. 片貝川扇状地地下水の同位体比が過去と比べて低下していることが分かり、溶存成分濃度との関係性から標高の高い場所を起源とする水がより多く浅層地下水へ浸透していることが示唆された。その原因の1つとして山間部における降雪量減少および降雨量増加が関係していると推測された。
3. 2つの観測井の pH が低下しており、他の溶存成分濃度から施肥と降雨量増加が原因であることが明らかとなった。特に pH 低下の影響が大きいのは降雨量増加を受けた観測井で、算出した $\text{CO}_2(\text{aq})$ 濃度は過去 10 年で 2 倍に増加していた。
4. 過去のデータと本研究の分析結果を用いて、陸域から沿岸海域へ物質供給量の算出を行った。その結果、片貝川扇状地において栄養塩供給量は 4~5 割減少していた一方で、 $\text{CO}_2(\text{aq})$ 供給量は約 2 倍に増加していた。さらに、富山県全域から富山湾への栄養塩供給量も算出したところ片貝川扇状地と同様に減少しており、 NO_3 は約 6 割、 PO_4 は約 8 割減少した。

以上のことから、海底湧水は栄養塩の供給源のみならず炭素供給源として重要で、その変動に注目していく必要のあることが示された。今後は沿岸海域にて、Ra および Rn 同位体比のマッピングを実施して現在の海底湧水湧出量を推定するとともに、水循環内の物質動態や陸から沿岸海域へのより正確な物質供給量の評価を行う予定である。

成果発表

① 論文発表

1. 神林 翔太, 張 勁, 成田 尚史, 山田 正俊 (2018): 汽水域における放射性セシウムの分布状況と輸送過程の把握: 福島県松川浦での事例, 月刊海洋, 61, 113-120 (査読無)
2. 片境 紗希, 神林 翔太, 張 勁 (2018): 沿岸海底湧水を介した海洋への水・物質供給とその長期変化—研究レビューと富山湾での事例—, 月刊海洋, 61, 43-50 (査読無)

② 学会発表

- 片境 紗希, 張 勁, 神林 翔太 (2018): 30年間の気候変化に伴う片貝川扇状地地下水の動態把握と沿岸海域への影響の評価, jpGU2018 (口頭発表)

③ その他

該当なし

被災野生動物の初期胚における受精能と染色体動態解析

山城 秀昭（新潟大学農学部）

研究成果概要

① 研究目的

生殖巣は放射線高感受性組織の一つであるが、精子形成過程ならびに初期発生過程におけるバイアスリスクにより、生殖・発生における放射線影響は不明な点が多い。従って、個体より得られる生体試料の解析に加え、自然の環境に制御されない、生殖工学技術を用いた生殖機能の評価も必要不可欠である。本共同研究では、2018年2月に採取・凍結保存したアライグマ精子を用いて、アライグマ卵子を採取することができなかつたため、異種のマウス卵子を用いた受精能と初期胚の染色体動態に及ぼす影響を解析することにより、被災野生動物の生殖機能を評価することを目的とした。

② 研究方法

被災アライグマは避難指示区域（空間線量 $0.15\text{--}10.6\ \mu\text{Gy/h}$: 2018年2月）、対照の個体として青森県弘前市 ($0.03\ \mu\text{Gy/h}$: 2018年2月)にて捕獲した。精子は、精巣上体から採取し、ストローに充填し、液体窒素にて凍結保存した。精子の先体の染色は、新鮮あるいは凍結融解後の精子を FITC-PNA 用いて蛍光染色を施した。ICR系マウスから卵子を採取し、ヒアルロニダーゼ処理にて卵丘細胞を除去し、プロテアーゼを用いて透明帯を除去した。その後、マウス透明帯除去卵子と凍結融解したアライグマ精子の異種間体外受精を行った。

③ 結果・考察

被災アライグマの繁殖期において、凍結融解後の生存率が60%以上で精子を凍結保存することができた。凍結前に正常な先体を維持していたアライグマ精子の割合は、弘前で10%、福島で5.7%と低い値を示し、弘前個体の58%、福島個体の94%の割合で一部先体にダメージがあることが確認された。また、凍結融解後も同様の傾向の値が認められた。透明帯除去マウス卵子を用いて凍結融解アライグマ精子を体外受精した場合、21~45%の割合で前核が形成され、卵子侵入能があることが認められた。マウスの単為発生および初期胚を用いて、染色体動態を解析する標本作製法の条件を決定することができた。

表1. 透明帯除去マウス卵子を用いたアライグマ精子の卵子侵入率

Oocyte	Sperm	Mouse (n)	Oocyte(n)	Pronuclear (%)
Zona	PL18	5	71	0 (0)
Zona-Free	PL16	4	83	18 (21.7)
	PL17	4	88	33 (37.5)
	PL18	4	60	21 (45.0)

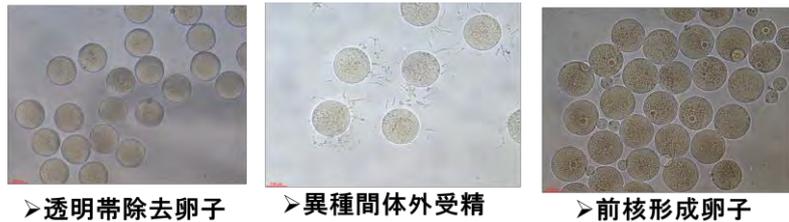


図1. 透明帯除去マウス卵子とアライグマ精子の異種間における体外受精

以上の結果より、被災アライグマにおける生殖機能への影響評価に汎用できる生殖工学技術と初期胚の染色体を解析する技術が応用可能になり、今後、被災野生動物における低線量慢性被ばくの生殖機能に及ぼす影響を解析するための一つの基礎データになることが期待される。

成果発表

① 論文発表

② 学会発表

1. 透明帯除去マウス卵子を用いた被災アライグマ精子の卵子侵入能の評価. 庄司莉那, 目黒栞奈, 小松一樹, 大平拓也, 山城秀昭, 藤嶋洋平, Goh Valerie Swee Ting, 葛西宏介, 中田章史, 有吉健太郎, 吉田光明, 福本学, 三浦富智. 日本放射線影響学会第61回大会. 長崎ブリックホール. 平成30年11月7日～9日.

2. 被災アライグマにおける卵巣の卵胞発育能の評価. 小松一樹, 大平拓也, 目黒栞奈, 山城秀昭, 藤嶋洋平, Goh Valerie Swee Ting, 葛西宏介, 中田章史, 有吉健太郎, 吉田光明, 福本学, 三浦富智. 日本放射線影響学会第61回大会. 長崎ブリックホール. 平成30年11月7日～9日.

③ その他

福島第一原子力発電所事故による ^{137}Cs の海洋中の挙動に対する河川供給の影響

津旨大輔・坪野考樹 一般財団法人電力中央研究所

研究成果概要

① 研究目的

福島第一原子力発電所の事故により、海洋へ放射性物質が漏洩した。海洋への主な供給経路は大気からの降下と直接漏洩があり、その量と海洋中の挙動に関する見積もりが行われてきた。陸上に降下した放射性物質の河川を通じた流出については、各河川における研究が行われているが、海洋への影響については明らかになっていない。領域海洋モデルと河川流出モデルを組み合わせ、海洋における観測結果との比較によって、海洋中の ^{137}Cs の挙動に対する河川供給の影響を明らかにすることを目的とする。

② 研究方法

水平解像度約 1km の領域海洋モデル(ROMS)を用い、福島第一原子力発電所からの直接漏洩と境界からの流入に加え、河川供給を考慮した ^{137}Cs 濃度分布の再現計算を実施する。直接漏洩率はモデルによる推定結果を用いる。観測結果からの推定式によって設定した河川中 ^{137}Cs 濃度と河川モデルによる流量を掛け合わせ、各河川の ^{137}Cs の供給率を推定する。海洋および河川のデータの存在する期間、2013年から2016年を対象とする。海洋のデータは様々な機関で分析されており、その分析精度にはばらつきがある。シミュレーション結果との比較において、データの分析精度を考慮した比較を行う。

③ 結果・考察

2013年から2015年までの各河川中の溶存 ^{137}Cs 濃度を推定した。河川流出率の見かけの半減期は約 2.4年であった。溶存 ^{137}Cs 濃度 (Bq/m^3) に河川流量 (m^3/year) を掛けて、流出率 (Bq/year) を求めた。流量の大きい阿武隈川と濃度の高い請戸川の流出率が大きい。直接漏洩率のほうが河川流出率よりも大きく、2015年末においても約 2桁大きい。河川流量は大きく変動するが、年々変動は小さい。つまり、直接漏洩率の見かけの半減期は約 1年であるのに対し、河川流出率の見かけの半減期は約 2.4年となる。

福島第一原子力発電所前面海域における流動の観測結果計算結果の比較を行った。

再現結果は、南北流成分が卓越し、3-4日周期で転流する現象をよく再現することが出来た。また、河川による淡水供給の影響によって、南下流が強化される現象が一部の期間で確認出来たが、その差は小さかった。つまり流動の再現性に対して、河川影響は小さいことが分かった。これは、福島第一原子力発電所近傍では、2級河川が多く、河川水の影響が少ないこと、南北流が入れ替わることによって、南流の強化の効果が見えにくいこと、などが要因と考えられる。

時系列変化において、2013年以降の直接漏洩率減少の見かけの半減期は0.95年であった。一方、河川供給率の見かけの半減期は2.39年であった。海洋観測点の ^{137}Cs 濃度の見かけの半減期は、直接漏洩と境界からの流入に加え、河川の影響を受けており、地点においてその値が異なっていた。つまり、直接漏洩の影響を受ける海洋観測点の ^{137}Cs 濃度の見かけの半減期は約1年であり、河川影響を受ける海洋観測点では約2年であった。また、外洋においては北太平洋の広域への大気降下の影響を受けているため、見かけの半減期は約15年であった。相馬における海洋観測点の見かけの半減期は、約2年であり、この地点においては直接漏洩の影響は小さく、河川の影響が大きいと考えられる。河川からの供給を考慮したシミュレーションは、河川の影響が大きい相馬沖の観測点における見かけの半減期を再現出来た。ただし、 ^{137}Cs 濃度のシミュレーション結果は5倍程度過小評価となっており、河川からの供給率の推定に対する改良の必要性が示唆された。宇多川の河口部には、汽水湖である松川浦が存在している。松川浦における塩分の影響によって、河川水中の懸濁態や堆積物からの ^{137}Cs の溶脱の可能性が指摘されている。松川浦においては、河川および海洋と比較して、高い溶存 ^{137}Cs が観測されており、今度、過小評価の改善のためには溶脱プロセスの考慮が必要となる。

成果発表

① 論文発表
該当なし

② 学会発表

津旨 大輔、坪野 考樹、三角 和弘、立田 穰、豊田 康嗣、恩田 裕一、青山 道夫；
領域海洋モデルにおける物質循環評価に対する河川影響，第26回地球環境シンポジウム，長崎大学，2018/9/5

津旨 大輔、坪野 考樹、三角 和弘、立田 穰、豊田 康嗣、恩田 裕一、青山 道夫；
福島第一原子力発電所事故由来の放射性物質の海洋中の挙動に対する河川供給の影響，第55回アイソトープ・放射線研究発表会，東京大学弥生講堂，
2018/7/5

Tsumune, D., T. Tsubono, K. Misumi, Y. Tateda, Y. Toyoda, Y. Onda, M. Aoyama; Impacts of riverine input on oceanic ^{137}Cs derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, 日本地球惑星科学連合2018年大会，幕張メッセ，2018/5/20

Tsumune, D., T. Tsubono, K. Misumi, Y. Tateda, Y. Toyoda, Y. Onda, M. Aoyama; Impacts of riverine input on distribution of oceanic ^{137}Cs released from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, European Geophysical Union General Assembly 2018, Vienna, Austria, 2018/4/12

③ その他

該当なし

山形蔵王で観測される樹氷に含まれる宇宙線生成核種濃度の測定

赤田尚史（自然科学研究機構・核融合科学研究所）

柳澤文孝（山形大学学術研究院）

世話人：床次眞司（弘前大学）

研究成果概要

① 研究目的

日本の山岳地域では、冬季に着氷を観察することができる。着氷現象とは、大気中に存在する0℃以下でも凍結しない水滴（雲粒）である過冷却水滴が物体に衝突し付着する現象である。山形蔵王では、この着氷が大きく成長した「樹氷」が生成される（図1）。樹氷は、亜高山地帯に分布する常緑樹であるアオモリトドマツ（オオシラビソ：*Abies mariesii*）に雪と氷が付着してできる現象である。冬季に冷たく乾いたシベリアからの季節風が日本海上空で水分を吸い上げ雪雲となり、朝日連邦で大部分の水分が雪として除かれる。その後山形盆地上空を越え、蔵王連峰の斜面を登るように吹き上げ、断熱膨張により冷却し降雪をもたらす。残った水分は凝結し過冷却水滴となり、物体に衝突することで着氷を生成する。この樹氷は、蔵王を含む東北地方の一部の山岳地帯（八甲田や八幡平など）でしか見ることができない自然現象であるため、様々な研究が行われてきている。樹氷は標高が高く地表面付近の影響を比較的受けにくい自由大気内で成長するため高層大気成分の影響を強く受けると予想される。一方、大気高層では二次宇宙線と大気との反応により放射性核種が生成されており、成層圏-対流圏の混合過程を明らかにするためのトレーサーとして用いられている。本研究では、基礎データ収集を目的に、蔵王で採取された着氷に含まれる宇宙線生成核種とイオン成分を測定した結果について報告する。



図1 大きく成長した樹氷

研究方法

着氷試料の採取は、山形県蔵王地蔵岳山頂付近（1680 m a.s.l.）にある蔵王ロープウェイ蔵王地蔵山頂駅周辺で行った。冬季の蔵王地蔵岳山頂付近では、定常的に西からの風が観測されるが、蔵王連峰の北西側には山形盆地や朝日連峰があるものの大規模な工業地帯や化学物質の発生源は存在しない。このことから、ローカル成分の着氷への混入は少ないものと考えられる。試料は、ロープウェイ山頂駅付近の人為的影響が無いと思われる地点に決めた定点（38°9'6"N, 140°26'6"E）において、ビニールロープに付着していたものを直接ビニール袋内に掻き取り採取した。試料の採取は、おおよそ採取日の午前9時頃行った。採取地点は採取時にすべての着氷が落とされるため、前回採取した日から採取日までに付着したものである。採取した試料は実験室に持ち帰り自然融解させた後、pHとECの測定を行った。その後、試料水の一部を分取し、口径0.45 μmのフィルターでろ過した後、イオンクロマトグラフ分析装置（CompactIC 761, Metrohm）を用いて陰イオン（Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻）の分析を行った。残りの500-3000 mLを陰イオンおよび陽イオン交換樹脂樹脂を十分混合したカラム（Powdex PAO, PCH, Ecodyne Co.）に通し、ろ過および吸着を行った。通水後、樹脂を磁性皿に移して80°Cのオーブンで乾燥させ、均一化した後に容器に詰めて測定用試料とした。宇宙線生成核種であるBe-7（ $T_{1/2}=53.3$ 日）は、高純度Ge半導体検出器（GX3518, Canberra, 相対効率41.4%）を用いて、25万秒測定により定量した（477.6 keV）。

② 結果・考察

2016/2017冬季の着氷中Be-7濃度は0.52-13.01 Bq L⁻¹の範囲で、12月から1月にかけて高く、2月に低くなる結果であった。冬季の蔵王では、冬型の気圧配置（西高東低）の際には北西の風が卓越し、南岸低気圧が発達した際は南西からの西の風が卓越する。採取日と気圧配置の関係を確認すると、12月から2月初旬では冬型の気圧配置が支配的であるのに対し、2月中旬から南岸低気圧型の頻度が多くなる。本調査期間の最高値（13.01 Bq L⁻¹）が観測された2016年12月19日は典型的な冬型の気圧配置であった。冬型の気圧配置の際は、Be-7濃度が上昇すると共にSO₄²⁻濃度も上昇する傾向が認められた。一方、2017年2月10日（Be-7: 0.78 Bq L⁻¹）は南岸低気圧型であり、SO₄²⁻濃度も比較的低い傾向にあった。これらの結果から蔵王の樹氷に含まれるBe-7濃度は空気塊の移動経路により変動していると言え、冬季北西の季節風により輸

送される空気塊は、同時に大気汚染物質も輸送していると言える。今後、樹氷を生成する水の水素・酸素安定同位体等を測定することで、水蒸気の供給源についても検討する予定である。



図2 着氷に含まれる Be-7 濃度 (2016/17 冬季)

成果発表

① 論文発表

なし

② 学会発表

柳澤文孝：アイスモンスター（樹氷）に関して新たにわかったこと，第25回大気環境学会北海道東北支部学術集会，2018年10月。

③ その他

なし

高精度ラドン・トリチウム測定による海底湧水探索手法の検討

古川雅英（琉球大学理学部）

研究成果概要

① 研究目的

環境水中のラドン (^{222}Rn) やトリチウム (^3H) は、地球表層における水循環過程を知るためのトレーサーとして利用可能と考えられるが、陸水の海洋環境への影響を評価する上で重要な「海底湧水」、つまり海底から海洋への陸源地下水の湧出や浸みだしの定量的探索への応用については、手法が確立されているとはいえない。本共同研究では、様々な高精度放射能測定技術を組み合わせることによってマルチトレーサー手法を開発し、波浪と河川の影響が比較的少ない沖縄のサンゴ礁域をテストフィールドとして、陸源地下水の海底湧出域の特定とその湧出量・拡散状況など、従来は情報が不足していた水循環過程の定量的把握を試みる。

また、半減期の異なる複数核種によるマルチトレーサー手法の開発は、水循環過程の解明のみならず、大気を含む地球表層環境における物質輸送・循環を解明する上で有効であると考えられる。本研究でテストフィールドとする亜熱帯サンゴ礁域（沖縄県下の島々、) においては、陸水（淡水）そのものが造礁サンゴ成長の阻害要因の一つであるが、陸水に含まれる窒素やリンなどの栄養塩もサンゴ成長の阻害要因になることから、陸水湧出の定量的把握は、サンゴ礁生態系の維持・管理を行う上でも貴重な情報となることが期待される。さらに、東京電力福島第一原子力発電所の事故に由来する高濃度トリチウム汚染水の環境・生態系影響を評価する上でも有用であると考えられる。

② 研究方法

沖縄島の内陸域湧水として森川と垣花樋川、海岸域の湧水として米須と受水・走水、沖縄県内で最大規模の鍾乳洞である玉泉洞の洞内滴下水、および東浜で海水を採取した ()。これらのうち、トリチウム測定用の試料については蒸留・電解濃縮による試料調整を行い、液体シンチレーションカウンターによる測定を行った。また、ラドン測定用の試料についてはそのままの状態、液体シンチレーションカウンターによる測定を行った。沖縄島以外では、宮古諸島の多良間島 () で陸水（地下水）とラグーン内海水を採取し、試料調整を行った。

③ 結果・考察

沖縄島で得た湧水および鍾乳洞内滴下水のトリチウム濃度は、いずれも約 0.13 Bq/L と極めて低い値であった。海水試料のトリチウム濃度は約 0.05Bq/L であり、陸水よりもさらに低い値となった。洞内滴下水のラドン濃度は約 10Bq/L であった。米須，受水・走水の海岸域湧水ラドン濃度は約 3Bq/L であり，洞内滴下水に比べて低い値になった。また，東浜の海水試料については，液体シンチレーション法および静電捕集型ラドンモニタ RAD7 による予備的測定の内いずれにおいても ND であった。現在、過去に得たデータも含めて解析・考察中である。

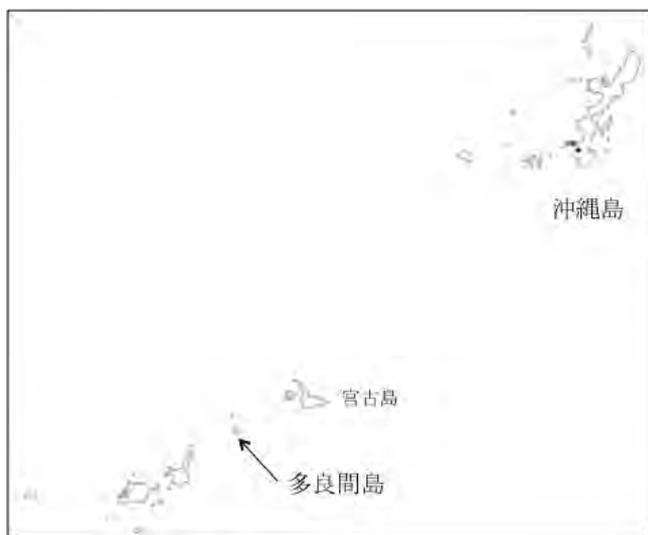


図1 研究対象域（沖縄県）



図2 採水地点（沖縄島）

成果発表

関連論文

仲宗根峻也・石津裕二・池本憲弘・城間吉貴・赤田尚史・田中将裕・古川雅英 (2018)

沖縄島における陸水中トリチウム濃度. 保健物理, 53(3), DOI:10.5453/jhps.53.000.

福島沿岸海域における高線量粒子の海洋生態系影響に関する研究

神田穰太 (東京海洋大学)

研究成果概要

① 研究目的

福島第一原子力発電所事故による沿岸海域における海底堆積物や懸濁粒子中の放射性セシウム分布・動態や、魚への放射性セシウムの移行過程には依然として多くの不明点があり、海域や魚類の今後の汚染の推移を見通すことを難しくさせている。特に、海底堆積物や懸濁粒子中には比較的高線量の放射性セシウムを含む粒子の存在が確認されており、環境試料中の放射性セシウムの計測値にも大きな影響を与えていることがわかってきた。海洋環境におけるこのような高線量粒子の性状と、放射性セシウム動態への高線量粒子の寄与を中心に解析し、沿岸海域生態系の放射性セシウムレベルの今後の推移の予測に資することを目的とする。

② 研究方法

東京海洋大学グループは、練習船等により 2011 年 7 月から 2017 年 5 月までの約 6 年間にわたり計 13 回実施された調査航海、およびそれに付随する漁船等による沿岸調査で得られたプランクトンネット試料、セディメントトラップ試料、懸濁粒子試料、堆積物試料などを保有している。これらの試料について、バルクの放射能測定値が高いものを中心に、イメージングプレート (IP) による解析により、高線量粒子の有無の確認を継続的に実施してきた。また、イメージングプレート (IP) の画像解析により、出現頻度や放射能測定値への寄与を定量的に評価している。特に今年度は、これらの粒子を単離することに重点を置き、走査型電子顕微鏡、電子線マイクロアナライザー (EPMA) などにより形状、化学組成等の解析を行った。

③ 結果・考察

堆積物中の高線量粒子については、昨年度に単離した 31 個の高線量粒子の性状解析を継続し、形態、粒径共に、土壌等の陸域環境でこれまでに得られてきているタイプに近いものであることを確認している。単離した粒子の ^{137}Cs 放射能は 1 個あたり 4~10,300Bq であり、うち 20 個は堆積物試料の放射能の 50%以上を占めていた。元素組成分析からは、コンクリート系の成分が形成過程に関与していると推測されており、

共同研究者による μ CT解析によれば、粒子内部に気泡上の構造を持つものが多く、溶解した粒子が比較的速やかに冷却して形成されたことが示唆される。一方、2014年1月から2015年5月までに熊川河口沖で実施した現場ろ過装置による試料採取で得られた海水中の懸濁物試料については、 ^{137}Cs 放射能が893~2,079Bq/kgであり、同地点で採取された堆積物のkgあたり放射能を大きく上回っていた。高線量粒子は放射能全体の13~54%を占めていたが、IP画像では高線量粒子の ^{137}Cs 放射能は1個あたり0.1~0.5Bqと推定され、堆積物に比べて低い値であった。堆積物から単離された粒子の多くの粒径は数十 μm であったことから、懸濁物の高線量粒子の粒径は少なくとも1桁程度小さい可能性もある。粒径が小さいためか、懸濁物試料からは今のところ高線量粒子の単離には成功していない。セディメントトラップ観測で得られている沈降粒子からも高線量粒子の存在は確認しており、懸濁（浮遊）粒子、沈降粒子についての単離と形態・性状の解析を進め、単離された堆積物粒子との比較を行うことで、これらの粒子の海水と堆積物間の移行過程や陸域からの供給過程について、重要な情報を得ることができると考えられる。

成果発表

① 論文発表

Kubo, A., K. Tanabe, G. Suzuki, Y. Ito, T. Ishimaru, N. Kasamatsu-Takasawa, D. Tsumune, T. Mizuno, Y. W. Watanabe, H. Arakawa, J. Kanda (2018) Radioactive cesium concentrations in coastal suspended matter after the Fukushima nuclear accident, *Marine Pollution Bulletin*, 131 Part A, 341-346.

② 学会発表

なし

③ その他

なし

日本海及び北太平洋における放射性セシウム濃度の時空間変動解析

猪股弥生 (金沢大学環日本海域環境研究センター)

研究成果概要

① 研究目的

2011年3月の東京電力福島第一（FNPP1）原発事故に伴い、北太平洋に放出された放射性セシウムの一部は海洋表層を東方へ、残りは北太平洋の西部亜熱帯循環により、モード水として亜表層を南方に輸送されたことが明らかになっている。また、その一部は、数年スケールで日本海における濃度の上昇を引き起こしたことが確認されている。Inomata et al. (2018a)が日本海における放射性セシウム上昇事象についての解析を行った結果、放射性セシウムの濃度が2017年以降に減少することが予想されている。そこで、本研究では日本海へのFNPP1放射性セシウム濃度の変動を調べることを目的とする。

② 研究方法

日本や韓国のモニタリングデータ、研究論文等に報告されているデータを収集し、日本海における放射性セシウム濃度の時空間変動を明らかにする。1950年代に行われた大規模核実験由来の放射性セシウムの濃度変動を外挿し、その値との差分から福島第一原子力発電所由来の放射性セシウム濃度を推定する。日本海における海水流入量から、事故後数年スケールにおけるFNPP1由来の放射性セシウムの日本海への流入量及び太平洋への流出量を確定する。

③ 結果・考察

2012年以降、日本海南岸の太平洋、東シナ海、及び日本海において、放射性セシウムの濃度の増加が観測されている。北太平洋亜熱帯域では、表層水が永年躍層に入り、亜熱帯モード水（STMW）や中央モード水（CMW）が形成されることが指摘されている。そのため、FNPP1からの直接漏洩及び降水により大気から海洋へ沈着したFNPP1由来の放射性セシウムが、STMWやCMWに取り込まれたと考えられている。

日本南方の太平洋では、放射性セシウムの高濃度がSTMWで観測され、さらにその

最大濃度は下流側に位置する東シナ海よりも 1-2 年早く観測された。また、

$^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比が日本南方の太平洋、東シナ海、日本海でほぼ同じであった。以上のことから、東シナ海・日本海で観測された放射性セシウムの濃度の増加は STMW に取り込まれた放射性セシウムであると考えられている (Inomata et al., 2018b)。

日本海の上流に位置する東シナ海（鹿児島、佐賀、韓国のモニタリングステーション）で採取された海水中の放射性セシウムの濃度は、2015 年に最大値が観測され、その後徐々に濃度の減少傾向が認められた。日本海西南部のモニタリングステーション（島根、福井、石川、新潟）において観測された放射性セシウムの濃度は 2016 年に最大値が観測され、2017 年には濃度の減少傾向が認められた。日本海北部（北海道泊）及び津軽海峡付近では、放射性セシウムの濃度は徐々に増加し、2016 年及び 2017 年に観測された放射性セシウムの濃度はほぼ同程度であった。今後、放射性セシウムの濃度が減少することが予想される。この時空間変化から、FNPP1 由来の放射性セシウムが東シナ海から日本海を輸送されていること、また FNPP1 由来の放射性セシウムの日本海への輸送は数年の時間スケールであったことが明らかになった。さらに、2011 年の FNPP1 事故以降、放射性セシウムの濃度は約 $\sim 3\text{Bqm}^{-3}$ になっていた。これは、FNPP1 による放射性セシウムの流入により、日本海における放射性セシウムの濃度が FNPP1 事故前の約 2 倍となったことを示唆している。

2016 年までに日本海に流入した放射性セシウムは約 $0.21 \pm 0.01 \text{ PBq}$ であり、そのうち $0.09 \pm 0.01 \text{ PBq}$ が、津軽海峡をぬけて太平洋へ戻ったことが明らかになった。これは、日本海に流入した放射性セシウムの約 43% が太平洋に戻ったことを示している。また、これは北太平洋モード水に取り込まれた放射性セシウムの約 2.1% に相当していた。なお、2017 年の対馬海峡から日本海への海水流入量のデータはまだ入手できていないため、2017 年以降の日本海への放射性セシウム流入量の見積もりは今後の課題としたい。

今後、10-20 年スケールのより大きな亜熱帯循環による放射性セシウムの濃度増加が起こる可能性もあり、将来的には本研究課題で明らかになる事故後数年スケールの循環による輸送量との比較も期待される。

成果発表

① 論文発表

1. Inomata, Y., Aoyama, M., Hamajima, Y., Yamada, M. (2018a) Transport of FNPP1-derived radiocaesium from subtropical mode water in the western North Pacific Ocean to the Sea of Japan. *Ocean Sci*, 14, 813-826 (査読有)
2. Inomata, Y., Aoyama, M., Tsubono, T., Tsumune, D., Kumamoto, Y., Nagai, T., Yamagata, H., Kajino, M., Tanaka, T., Sekiyama, T., Oka, E., Yamada, M. (2018b) *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 318, 1587-1596 (査読有)
3. Aoyama, M., Inomata, Y., Tsumune, D., Tateda, Y. (2019) Fukushima radionuclides in the marine environment from coastal region of Japan to the Pacific Ocean through the end of 2016. *Progress in Nuclear Science and Technology*, 6, 1-7(査読有)
4. Aoyama, M., Hamajima, Y., Inomata, Y., Kumamoto, Y., Oka, E., Tsunono, T., Tsumune, D. (2018) Radiocaesium derived from the TEPCO Fukushima accident in the North Pacific Ocean: surface transport processes until 2017. *Journal of Environmental Radioactivity*, 189, 93-102 (査読有)

② 学会発表

Yayoi Inomata, Michio Aoyama, Yasunori Hamajima, and Masatosi Yamada. Rapid transportation of FNPP1 derived radiocaesium suggesting new pathway of subtropical mode water from the western North Pacific in the Sea of Japan. EGU. 201804. Vienna

猪股弥生, 青山道夫, 濱島靖典, 山田正俊. 日本沿岸域における福島第一原発事故由来放射性セシウムの再循環. JpGU. 201805. 幕張

③ その他

海洋の粒子中“擬超ウラン核種”の分析法開発に向けた基礎検討

則末 和宏 (新潟大学)

研究成果概要

① 研究目的 海洋における超微量元素ビスマス (^{209}Bi) は ^{241}Am や $^{239+240}\text{Pu}$ 同位体と類似した分布や動態を示す元素である。本研究では、これらの放射性核種の生物地球化学サイクルをよりよく理解する目的で、Bi を“擬超ウラン核種”として着目し主に粒子態 Bi の分析法開発に向けた基礎検討を行った。また、Pu との連関が示唆される北太平洋中層水等特徴的な水塊に照準をあて、北太平洋域における溶存態 Bi 分布データの広域解析を行った。

② 研究方法

海洋中の粒子状物質を孔径 $0.2\ \mu\text{m}$ のフィルターにより分離した。フィルター試料は、湿式分解・閉鎖型蒸発乾固システムを用いて粒子分析に供し、粒子態 Bi 濃度を評価した。粒子態の基礎検討には佐渡の海洋深層水取水施設で採取した海水なども用いた。また、北太平洋で採取したろ過海水についても分析を進め、溶存態 Bi のデータ解析を行った。

③ 結果・考察

湿式分解・蒸発乾固による繰り返し精度を評価したところ、リーチング操作によって良好な繰り返し精度を得ることができた。溶存態 Bi のデータ解析結果から、太平洋の重要な海域では亜表層で特徴的な濃度極大を示すことが判明した。これは放射性セシウム等と類似した挙動である。一方で、北太平洋中層水の上流域となる親潮系の低塩分水などの西部海域では、同様の特性は見出されなかった。この結果は東部海域で過去に報告されている結果と対比的であり、Bi の分布が非定常状態にある可能性が予見された。

成果発表

① 論文発表

則末和宏. GEOTRACES 航海と Pb 安定同位体の共同研究. *月刊海洋号外* **18** (2018) 76-80.

② 学会発表

- (1) 則末和宏, 松原由奈, 中川正親, 小畑元, 蒲生俊敬, 岡村慶, 永石一弥, 石川剛志. 亜寒帯北太平洋および亜熱帯西部北太平洋における溶存態鉛安定同位体の分布 (KH-12-4 次航海などの観測結果を中心に). 平成 30 年度高知大学海洋コア総合研究センター共同利用・共同研究成果発表会 (2019/3/8) @高知大学海洋コア総合研究センター
- (2) 松原由奈, 中川正親, 則末和宏, 小畑元, 蒲生俊敬. 北太平洋における溶存態鉛安定同位体の分布. GEOTRACES Japan の現状と今後の展開 (2019/2/21) @東京大学柏キャンパス
- (3) 荒井翼, 則末和宏, 小畑元, 西岡純, 近藤能子, 蒲生俊敬. 太平洋における溶存態ビスマスの分布. GEOTRACES Japan の現状と今後の展開 (2019/2/21) @東京大学柏キャンパス
- (4) 丸山魁, 則末和宏, 小畑元, 南秀樹, 中口譲, 蒲生俊敬. 亜寒帯北太平洋における懸濁粒子態微量元素の分布. GEOTRACES Japan の現状と今後の展開 (2019/2/21) @東京大学柏キャンパス
- (5) 則末和宏. 海洋における擬超ウラン核種ビスマスの動態. 放射性物質環境動態・環境および生物への影響に関する学際共同研究 2018 年度 最終報告会 (2019/2/14) @弘前大被ばく医療総合研究所
- (6) 丸山魁, 則末和宏, 南秀樹, 小畑元. 亜寒帯北太平洋における粒子態微量元素の断面分布. 北海道大学低温科学研究所共同利用シンポジウム「西部北太平洋亜寒帯域における物質循環および海洋生態系とのリンケージ」(2019/10/24) @北海道大学低温科学研究所
- (7) 荒井翼, 則末和宏, 小畑元, 西岡純, 近藤能子. 西部北太平洋における溶存態ビスマスの鉛直断面分布および水塊との関係. 北海道大学低温科学研究所共同利用シンポジウム「西部北太平洋亜寒帯域における物質循環および海洋生態系とのリンケージ」(2019/10/24) @北海道大学低温科学研究所
- (8) 松原由奈, 中川正親, 則末和宏, 小畑元. 西部北太平洋における鉛安定同位体比の高精度鉛直分布. 北海道大学低温科学研究所共同利用シンポジウム「西部北太平洋亜寒帯域

における物質循環および海洋生態系とのリンケージ」(2019/10/24) @北海道大学低温科学研究所

- (9) 深澤徹, 則末和宏. 海水中のテルル化学種の分析法開発. 第32回日本分析化学会関東支部新潟地区部会研究発表会(2018/9/21) @新潟大学駅南キャンパスときめいと
- (10) 浅沼大地, 松原由奈, 丸山魁, 則末和宏. 海水中懸濁粒子態 Pb 安定同位体比の高精度分析法の開発のための基礎検討. 第32回日本分析化学会関東支部新潟地区部会研究発表会(2018/9/21) @新潟大学駅南キャンパスときめいと
- (11) 松原由奈, 中川正親, 則末和宏. 西部北太平洋における鉛とその安定同位体比の分布. 第32回日本分析化学会関東支部新潟地区部会研究発表会(2018/9/21) @新潟大学駅南キャンパスときめいと
- (12) 荒井翼, 則末和宏. 西部北太平洋における溶存態 Bi と水塊の関係. 第32回日本分析化学会関東支部新潟地区部会研究発表会(2018/9/21) @新潟大学駅南キャンパスときめいと
- (13) 角田隼, 荒井翼, 則末和宏. 琉球海溝における超微量元素 Bi の鉛直分布の解明. 第32回日本分析化学会関東支部新潟地区部会研究発表会(2018/9/21) @新潟大学駅南キャンパスときめいと
- (14) 氏家渉, 則末和宏, 福崎紀夫. 大気中浮遊性粒子態微量元素の粒度別定量分析法開発. 第32回日本分析化学会関東支部新潟地区部会研究発表会(2018/9/21) @新潟大学駅南キャンパスときめいと
- (15) 荒井翼, 則末和宏, 小畑元, 西岡純, 近藤能子, 蒲生俊敬. 西部北太平洋における溶存態 Bi と水塊の関係. 2018年度日本地球化学会年会(2018/9/12) @琉球大学千原キャンパス
- (16) 松原由奈, 中川正親, 則末和宏, 小畑元, 岡村慶, 永石一弥, 石川剛志, 蒲生俊敬. 西部北太平洋における鉛安定同位体の高精度分布. 2018年度日本地球化学会年会(2018/9/12) @琉球大学千原キャンパス
- (17) 永石一, 中田亮一, 石川剛志, 松原由奈, 則末和宏. MC-ICP-MS を用いた海水試料中のサブナノグラムレベルの鉛同位体分析. 2018年度日本地球化学会年会(2018/9/12) @琉球大学千原キャンパス
- (18) Norisuye, K., Obata, H., Gamo, T., Lee, J.-M., Boyle, E.A. Dissolved Pb stable isotopes in the Bay of Bengal. *Goldschmidt Conference* (2018). 15 Aug.

- (19) Maruyama, K., **Norisuye, K.**, Obata, H., Minami, H., Nakaguchi, Y., Tazoe, H., Gamo, T.
Distributions of total particulate trace elements in the subarctic North Pacific. ***Goldschmidt Conference*** (2018). 15 Aug.
- (20) **則末和宏**. 海洋中”擬超ウラン元素”としての Bi. 放射性物質環境動態・環境および生物への影響に関する学際共同研究 2018 年度キックオフミーティング (2018/6/18) @筑波大学大学会館国際会議室

③ その他

放射線発がんと誤りがち DNA 修復経路選択への関与に関する研究

香崎正宙 (産業医科大学)

研究成果概要

① 研究目的

放射線照射によって致命的な二本鎖切断が生じ、その二本鎖切断は主に相同組換え(HR)、非相同末端修復(NHEJ)、塩基除去修復(BER)によって修復される。これらの修復経路に加えて、代替末端修復(Alt-EJ)、一本鎖アニーリング(SSA)などの発がんに関与する誤りがち DNA 修復経路がヒトでも存在することが最近明らかになってきた。本研究では、放射線被ばくの関与が強く示唆されている小児/若年期に多い骨肉腫に着目し、骨肉腫を好発するロスムンド・トムソン症候群の原因遺伝子 RECQL4 欠損細胞を用いて、誤りがち DNA 修復経路の選択と放射線発がんとの関連を調べることで、放射線発がんを理解することを目的とする。

② 研究方法

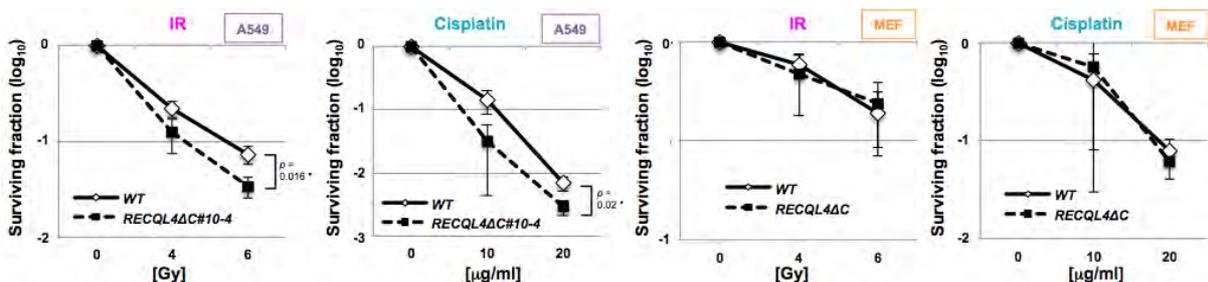
I. これまでに CRISPR-Cas9 技術を用いて、HCT116 大腸がん細胞、MCF7 乳がん細胞、A549 肺がん細胞などのがん細胞株と、MCF10A や MEF 細胞などの非がん細胞株を背景に、RECQL4 遺伝子破壊ヒト細胞株を樹立して、表現型の比較解析を行った。

II. 表現型の比較解析には、蛍光免疫染色法や、GFP レポーター解析法等を用いて放射線照射後の DNA 修復経路の活性化を定量的に解析した。

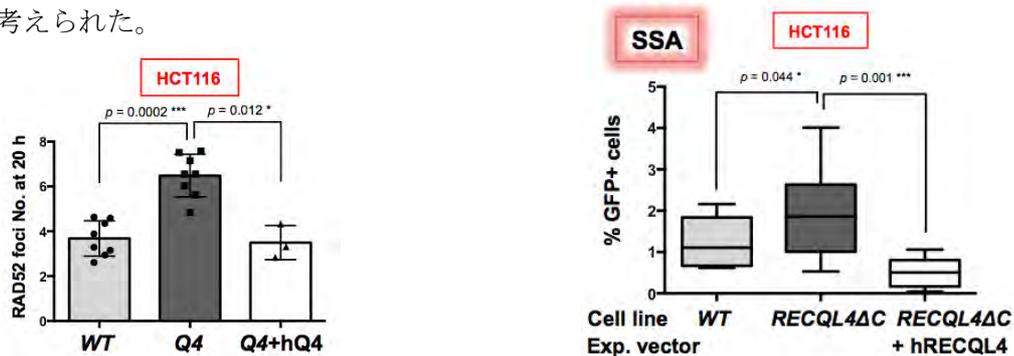
III. RECQL4 欠損がん細胞の培養細胞系を用いて、誤りがち修復経路 SSA 因子の一つである RAD52 阻害剤を処理して、*in vitro*における増殖抑制効果を調べた。

③ 結果・考察

I. RECQL4 欠損がん細胞(A549 肺がん細胞等)特異的に、放射線や抗がん剤のシスプラチンに感受性を示した(下図)。この表現型は非がん細胞(マウス繊維芽細胞 MEF 等)では観察されなかった。このことから、RECQL4 欠損がん細胞での放射線照射後の DNA 修復経路の異常が考えられた。

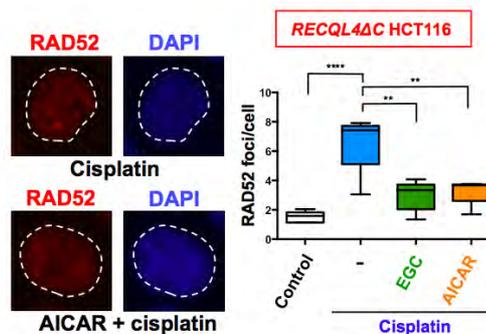


II. 放射線照射後に、RECQL4 欠損大腸がん細胞において、SSA 経路因子 RAD52 の有意な活性化が蛍光免疫染色法で観察された(左下図)。また、GFP レポーターアッセイによって、SSA 活性の有意な上昇を定量的に確認した(下右図)。以上のことから、RECQL4 欠損がん細胞では、NHE や BER などの修復経路の欠損等によって、放射線照射後に SSA 活性を増加させて生存しようとする特徴があると考えられた。



III. そこで、RAD52 を標的阻害することで、*in vitro* (右下図: EGC, AICAR は RAD52 阻害剤)で、RECQL4 欠損 HCT116 大腸がん細胞の増殖を有意に抑制することが確認できた。以上から、RECQL4 欠損ロスムンド・トムソン症候群患者の骨肉腫に対しては、RAD52 を標的阻害することで、抗がん治療効果が期待できる結果が得られた。今後は、*in vivo* でのがん細胞の増殖効果を確認することで、抗がん治療への応用を目指す。

成果発表



① 論文発表：修正して再投稿中

学会発表：第 61 回日本放射線影響学会での発表

その他：該当なし

台風出水に伴う新田川起源懸濁態放射性核種の 沿岸域でのインベントリ解析

内山 雄介 (神戸大学)

研究成果概要

① 研究目的

福島新田川流域には原発事故直後に大量の放射性セシウム ^{137}Cs が大気経由で沈着し、高濃度の懸濁態 ^{137}Cs として河道に集積したのち、出水毎に間欠的に海域へ供給され、沿岸域の底質環境に影響を与え続けている。本研究では、現地観測によるコアサンプルの解析と、4段ネスト JCOPE2-ROMS 海洋モデル、波浪推算モデル SWAN、河川土砂流出モデル iRIC-Nays2DH、混合粒径土砂 3次元海洋輸送モデル、放射性核種吸着モデルを連成させた超高解像度広域での土砂およびそれらに吸着した懸濁態 ^{137}Cs の海洋移流分散モデリングを行い、台風 201326 号出水イベントに伴う新田川起源土砂の河口・沿岸域における輸送、再懸濁、堆積、浸食過程の時空間特性を評価することを目的とした。

② 研究方法

(1) 数値モデル：内山ら (2016) による JCOPE2-ROMS ダウンスケーリング 3次元海洋流動モデルをコアとする 4段ネスト超高解像度モデルを用い、2013/10/16 に福島海域に最接近した台風 201326 号に伴う大規模出水に着目した 2ヶ月間の再解析を行った。本研究では、計算初期に海底に分布していた土砂と河川からの流入土砂を別個にモデル化することにより、土砂輸送に対する河川影響を陽的に分離することに成功した。

(2) 現地観測：出水イベント直後の 2013/10/18・10/30 に実施された新田川河口周辺海域における底質調査結果を用いて懸濁態 ^{137}Cs 輸送特性に関するモデルの検証を併せて行った。

③ 結果・考察

(1) 気象海象条件：台風が接近した 10/16 には風速 20 m/s、有義波高 4.6 m の強風・高波が惹起され、河川流量は最大で $180 \text{ m}^3/\text{s}$ に達した。

(3) 出水直後の海底堆積層の状態：海底堆積層表層中央粒径は河口から沖に 4km ほどの Sta. 6 で最も細かく、河口直近 (Sta. 2, 3) と河口北の原町火力発電所港内、河口南側の順に粗粒化していた。堆積層表層 ^{137}Cs 濃度は粒径と逆相関となっており、比表面積の大きな細粒分ほど濃度が高かった。また、 ^{137}Cs の堆積層内インベントリ (積分深さは海底面下 10~30cm, それ以深は $^{137}\text{Cs}=0$ と仮定) も定性的な傾向は表層 ^{137}Cs と同様であった。つまり、直近の出水イベントの影響を強く受ける表層 ^{137}Cs と、履歴効果を反映した ^{137}Cs インベントリの分布傾向が同様であるという事実から、出水ごとに概ね同様な懸濁態 ^{137}Cs が繰り返されていることが示唆された。

(4) モデルによる平均構造：河口周辺の平均表層流は概ね南南東方向であり、海岸線湾曲部、構造物、河口地形による強い沖向き流れが数か所で発現していた。一方、底層流には表層流を補償するような岸向き流れが発達し、沿岸湧昇モードであった。水深 10 m 以浅でのせん断応力には沿岸方向に周期性が見られるものの、全体的に 0.5 N/m^2 以上となり、全画分土砂に対して浸食が卓越する状況にあった。

(5) 土砂輸送特性：河口周辺に堆積域が形成され、河口の沖合では浸食が卓越していた。沖向き流れが強化される領域を中心としてその北側に浸食域、南側に堆積域が形成される傾向にあり、河口地形や構造物に沿岸漂砂が捕捉され、浸食・堆積域が沿岸方向に交互に形成されていた。淡水流入に伴う重力循環による底層向岸流に伴う岸向き漂砂によって、河口域には土砂が集積しやすいことが分かった。

(6) 懸濁態 ^{137}Cs 輸送：海底堆積層に移行した新田川起源懸濁態 ^{137}Cs の空間分布から、台風接近前は南方向への土砂輸送によって河口南の岸近傍に張り付くように集中して分布していた。台風・出水後には河口前面の半径約 2 km 程度の領域に大量に堆積したあと、主に南方向に徐々に輸送されて分散した。新田川北の発電所港湾内での顕著な集積も確認された。

(7) 主要な結論：懸濁態 ^{137}Cs インベントリ解析によると、台風通過直後の 10/18 までに新田川から海域へ流入した懸濁態 ^{137}Cs の総量は約 30 GBq, 11/30 までに約 56 GBq であり、このうち 25 GBq (45.3%) は河口 1 km 圏内に堆積していた。その沖側の河口外縁域での堆積はごく僅かであり、出水後の 10/18 に 1.3 GBq まで増加したあと減少し、11/30 までに 0.37 GBq (河口堆積量の約 1.5%) に低下した。河口外縁域では浸食が卓越し、懸濁態 ^{137}Cs の空間的な半減期は 3 日程度と見積もられた。浅海域における沿岸漂砂は南方向に偏っており、河口南側には約 14 GBq (流出量の 25.1%)

が堆積していたのに対し、北側には 1.7 GBq しか輸送されなかった。一方、水深 10 m 以深の沖合へは約 6.5 GBq (11.7 %), 計算領域外へは 7.9 GBq (14.2 %) が流出した。以上の結果は現地調査結果と整合的であることが確認された。

成果発表

① 論文発表

Uchiyama, Y. and Tokunaga, N. (2019): A post-disaster assessment on a storm-induced flood and associated coastal dispersal of the river-derived suspended radiocesium originated from the Fukushima nuclear accident, *Proc. 3rd International Symposium on Green and Sustainable Technology (ISGST2019)*, 6 pp., Apr. 23-26, Kampar, Malaysia. (Accepted)

② 学会発表

Tokunaga, N., Uchiyama, Y., Tsumune, D., Yamada, M., Tateda, Y., Ito, Y., Ishimaru, T., Watanabe, Y., Ikehara, K. and Fukuda, M. (2019): Nearshore transport of suspended radiocesium In the Fuksima Coast derived from Niida River induced by Typhoon Wipha (新田川河口海域における台風 Wilpa による出水イベントに伴う懸濁態放射性セシウムの沿岸輸送について), *Japan Geoscience Union Meeting 2019 (JpGU 2019)*, Chiba, Japan, May 26-30, 2019.

Tokunaga, N., Uchiyama, Y., Tsumune, D., Yamada, M., Tateda, Y., Ito, Y., Ishimaru, T., Watanabe, Y., Ikehara, K. and Fukuda, M. (2019): A flood-induced sediment and suspended radiocesium transports in the Fukushima Coast due to Typhoon 201326 analyzed with a JCOPE2-ROMS downscaling model and in situ observations, *AOGS 16th Annual Meeting (AOGS 2019)*, Singapore, Jul. 28 - Aug. 2, 2019.

③ その他

なし

請戸川流域における福島第一原子力発電所事故に由来する 放射性ストロンチウムの空間分布

苅部甚一（近畿大学工学部化学生命工学科）

研究成果概要

① 研究目的

本研究では、これまでに放射性 Sr 迅速分析法を用いて福島県浪江町の請戸川流域における放射性 Sr (Sr-90) 汚染実態の解明を行い、請戸川上流の一部地域で土壌、河川水、魚骨中の Sr-90 濃度が請戸川下流域、高瀬川、青森県および北海道内の河川に比べて特異的に高いことを明らかにしてきた (苅部 2017, 2018)。一方で、土壌から河川を経由して魚類 (魚骨) へ至る Sr-90 の経路については詳細に把握できていない。また、魚骨中の Sr-90 の個体間および時間的変化の要因についても未解明である。そこで、上記の課題を解決して請戸川流域における放射性 Sr 汚染実態の解明をさらに進めることを目的とした。

② 研究方法

2018 年 8 月に請戸川上流域 (d) の小河川にて調査を行った (図 1)。地点 P1 では河川水 (10L) と河川近傍の土壌 (表層 5cm)、NP2, NP4, NP6 では小河川に流入する湧水 (20L) および近傍の土壌、NP3 および NP5 では河川水 (10L) を採取した。また、魚類の捕獲は P1~NP4, NP6 までの範囲で行った。採取した魚類 (イワナ) は骨を灰化後に酸分解、土壌は灰化後に酸抽出、河川水はキレート樹脂による Sr の濃縮を行った。その後は各試料ともに Sr Resin (Eichrom) (骨, 土壌, 河川水) もしくは DGA Resin (Eichrom) (骨, 土壌) を用いた固相抽出処理 (Karube et al. 2016, Tazoe et al. 2016) を行い、最終的に放射性イットリウム (Y-90) のベータ線を低バックグラウンド 2 π ガスフローカウンター (日立アロカメディカル) で測定し、放射性 Sr (Sr-90) の放射能を算出した。今回は P1, NP2, NP4 で採取した水および土壌試料、イワナの分析結果を中心に報告する。

③ 結果・考察

P1, NP2, NP4 における表層土壌の Sr-90 濃度は, P1: 72 ± 2 Bq/kg dry, NP2: 57 ± 2 Bq/kg dry, NP4: 21 ± 1 Bq/kg dry となった. 今回の調査では河川水中の Sr-90 濃度 (P1) は測定することはできなかったが 2016 年では 0.005 Bq/kg の値が得られており, 今回はこの値を P1 の河川水の濃度として他地点との比較を行った. P1 よりも上流域で小河川に流入する湧水については, P1 により近い NP2 が 0.007 ± 0.001 Bq/kg, NP2 よりも上流に位置する NP4 は 0.003 ± 0.001 Bq/kg となった. NP2 の湧水の Sr-90 濃度が源流部の NP4 の湧水よりも高い理由の一つとして, これらの地点の土壌中 Sr-90 濃度の違いが考えられえらる. これは, NP2 は NP4 よりも土壌中 Sr-90 濃度が高いため, そこから溶出する Sr-90 の量が NP2 で多いことによると思われる. また, これらの結果は, P1 の河川水が源流部の NP4 の湧水よりも高くなっている要因の一つとして P1 と NP4 の中間に位置する NP2 のような場所からの高 Sr-90 濃度の湧水の流入があることを示唆している. 今回の研究では NP3 から NP4 の範囲で採取したイワナの分析を行った (3 個体). その結果, 258 ± 25 Bq/kg ash, 262 ± 22 Bq/kg ash, 363 ± 23 Bq/kg ash となり, 少なくとも 2016 年のイワナの値 ($138 \sim 754$ Bq/kg ash) に比べて低くなっている傾向は見られなかった. このことは, 現在も魚類には原発事故由来の放射性 Sr が多く蓄積していることを示している. 以上のように, 今回の研究から請戸川流域における原発事故由来放射性 Sr の土壌から河川, 魚類への移行経路の一端が明らかとなったといえる.

図表

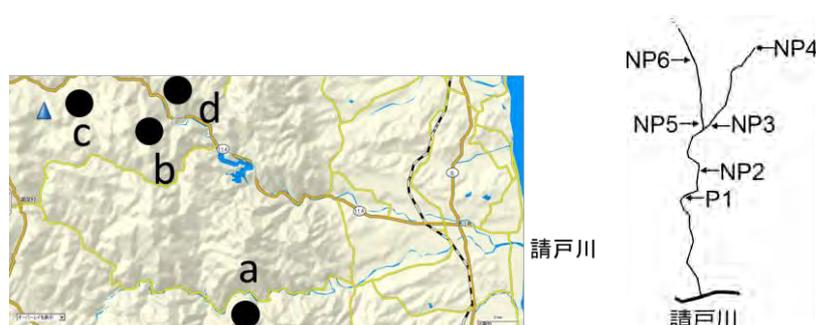


図 1 左：福島県浪江町を流れる請戸川流域における調査地点 (a, b, c, d) .
右：調査地点 d の小河川における環境試料採取地点.

引用文献

苧部 (2018) : 平成 29 年度 放射性物質環境動態・環境および生物への影響に関する
学際共同研究 共同研究成果報告書

苧部 (2017) : 平成 28 年度 放射性物質環境動態・環境および生物への影響に関する
学際共同研究 共同研究成果報告書

Karube et al. (2016) : Environ Sci Pollut Res 23:17095-17104

Tazoe et al. (2016) : Talanta 152:219-22

成果発表

① 論文発表

② 学会発表

1, 苧部甚一 (2018): 陸水環境における福島第一原子力発電所事故に由来する放射性ストロンチウムの分布, 第 12 回米国 Eichrom Technologies 社製・フランス国 TrisKem International 社製抽出クロマトグラフィー用レジンおよびパックドカラムのユーザーズセミナー, KKR ホテル東京, 東京都千代田区

2, 苧部甚一, 川上拓磨, Park Soeun, 榎井優志, 中里亮治, 鈴木仁根, 加藤健一, 田副博文, 田中敦 (2019): 福島県浪江町の陸水環境中における福島第一原子力発電所事故に由来する放射性ストロンチウム汚染の実態, 霞ヶ浦流域研究 2019, レイクエコー, 茨城県行方市

3, 苧部甚一, 川上拓磨, Park Soeun, 榎井優志, 中里亮治, 鈴木仁根, 加藤健一, 田副博文, 田中敦 (2019): 陸水環境における福島第一原子力発電所事故由来の放射性ストロンチウムの空間分布, 第 20 回「環境放射能」研究会, 高エネルギー加速器研究機構, 茨城県つくば市

③ その他

北海道二股ラジウム温泉の鉱泉水中ラドン濃度の測定と 季節変動に関する研究

真田哲也（北海道科学大学）

研究成果概要

① 研究目的

これまで北海道長万部町の「二股らぢうむ温泉」において、鉱泉水中のラドン濃度を可搬型液体シンチレーション計数装置（Triathler, HIDEX）で測定し、観音の湯（鉱泉水）のラドン濃度が 111 Bq/L を超える濃度であることが確認された。また、観音の湯（鉱泉水）のラドン濃度は 150 Bq/L-209 Bq/L であり、夏季に低く冬季に高くなる傾向がみられた。

そこで本研究では、観音の湯のラドン濃度の季節変動を把握するため、四半期ごとに鉱泉水を採取し、液体シンチレーション計数装置を用いてラドン濃度を測定するとともに、化学成分、水温、pH、トリチウム濃度、水素および酸素の安定同位体を測定して鉱泉水の季節変動、起源等の環境動態を把握する。

② 研究方法

過去の調査結果¹⁾ から道内の鉱泉で最も高いラドン濃度を示した長万部町の二股温泉において、鉱泉水中のラドン濃度を液体シンチレーション計数装置で測定を行った。鉱泉水試料をシリンジで 10 mL 採取し、あらかじめ 10 mL のミネラルオイルシンチレータを入れた 20 mL のガラスバイアルに静かに注入後、30 秒間振とうして抽出した。静置後、放射平衡を待った後（3.5 h 以上）、液体シンチレーションカウンタ（Aloka 社製 LSC6100）で 3600 秒間測定し積算計数率は積分バイアス法によって求めた。ラドン濃度 C_0 (Bq/L) は次式より求めた。

$$C_0 = (A_0 - B_0) \times \exp\left(\frac{0.693 \times t_e}{T}\right) \times \frac{1}{f} \times \frac{1}{V}$$

ここで、 A_0 は試料の積算計数率 (cps)、 B_0 はバックグラウンドの積算計数率 (cps) である。また、 te は経過時間 (s)、 T はラドンの半減期、 f は計数率からラドンへの換算係数 (4.5 cps/Bq)²⁾、 V は試料量 (10^{-2} L) である。

③ 結果・考察

二股温泉の鉱泉水（観音の湯）の温度、pH、電気伝導度 (EC)、および酸化還元電位 (ORP) を表 1 に示す。いずれの値も年間を通してあまり変化しないことが分かった。

観音の湯のラドン濃度の範囲は 150–209 Bq/L、算術平均値は 181 ± 21.4 Bq/L (変動係数：11.8%) であり、採取時期によりラドン濃度の変動が確認された。また、トリチウム濃度の範囲は 0.33–0.41 Bq/L、算術平均値は 0.37 ± 0.029 Bq/L (変動係数：7.8%) であり、季節による変動はラドン濃度と比較して少なかった。

観音の湯の地下における滞留時間を推測するため、トリチウム濃度を用いて以下の式³⁾より試算した。

$$Y_0 = \frac{\left\{ \ln(A) - b + Y \frac{\ln(2)}{T} \right\}}{a + \frac{\ln(2)}{T}}$$

Y_0 : 地下水を涵養した降水年

A : トリチウム濃度 [T. U.]

Y : 採取年

T : トリチウムの半減期 (12.3 年)

a および b : 回帰係数 (年代により異なる。1984 年以降は $a: 0$ 、 $b: 2.303$)

表 1 二股温泉観音の湯の測定結果

採取年月日 [年/月/日]	水温 [°C]	pH	EC [mS/cm]	ORP [mV]
2016/10/21	18.9	6.58	5.1	128
2016/11/6	18.9	7.00	7.6	145
2017/2/14	17.4	6.41	8.1	116
2017/6/22	17.9	6.15	5.6	192
2017/9/7	22.4	6.04	6.9	154
2017/12/23	17.7	6.23	7.0	165
2018/3/25	14.2	6.28	5.3	188
2018/6/24	18.8	6.07	6.8	152
2018/9/30	21.8	6.10	6.5	148
2018/12/2	18.8	6.44	6.7	155

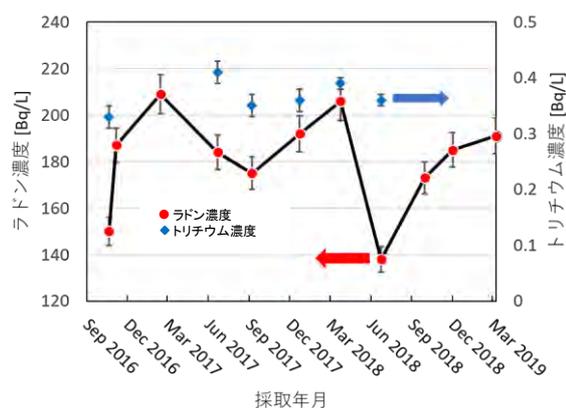


図 1 二股温泉観音の湯のラドン濃度とトリチウム濃度

その結果、表2に示すように19–22年の滞留時間（涵養年）であることが推測された。

表2 二股温泉観音の湯のトリチウム濃度から算出した滞留時間

試料名	採取日	トリチウム濃度	T.U.	地下水を涵養した降水年	滞留時間(年)
観音の湯	2017/6/22	0.41±0.02	3.4	1998	19
	2017/12/23	0.36±0.02	3.0	1995	22
	2018/3/25	0.39±0.01	3.3	1998	20
	2018/6/24	0.36±0.01	3.0	1996	22

観音の湯、札幌市の降雨水、長万部川、および比較のために二股温泉4号泉、モッタ海岸温泉の δD と $\delta^{18}O$ の関係を図1に示す。図のように観音の湯は天水線上に分布しており、天水起源と考えられる。また、降雨水は季節変動を示しており、1月、2月、3月、10月、11月、12月の冬季はd値が高くシベリア気団を主体とする冬の降水が卓越しており、4月から9月はd値が低く太平洋上を移動する太平洋気団を主体とする夏の降水が卓越していた。一方、観音の湯は変化が無く、地下において一定期間滞留し混合した後、地表に湧出していることが示唆され、トリチウム濃度により推定した滞留時間と整合性がある結果となった。

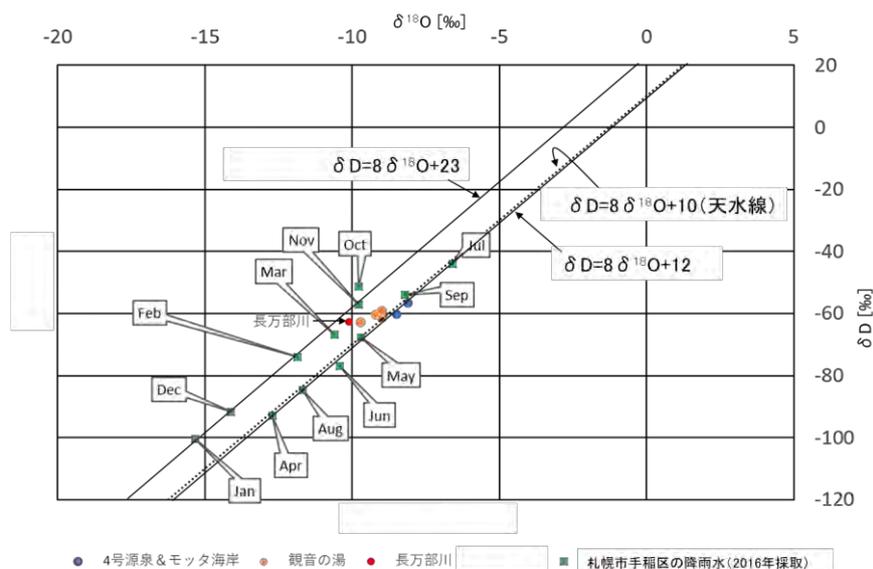


図2 δD と $\delta^{18}O$ の関係

以上の結果から、二股温泉観音の湯のラドン濃度は、夏季に低くなり、冬季に高くなる季節変動が見られた。観音の湯のトリチウム濃度を指標として滞留時間を試算したところ、約 20 年と推定された。また、 δD および $\delta^{18}O$ の関係から、観音の湯は天水起源であることが考えられた。さらに、その d 値は、降雨水と比較して年間を通してほぼ一定であり、降雨水が地下を涵養する過程で混合していると考えられる。

参考文献

- 1) 青柳直樹, 市橋大山, 内野栄治: 北海道の温泉及び鉱泉のラドン濃度 (第 2 報), 北海道衛生研究所報, 53, 55-57 (2003)
- 2) R. Tanaka, S. Araki, Y. Yasuoka, T. Mukai, S. Ohnuma, T. Ishikawa, N. Fukuhori and T. Sanada: A simplified method for improved determination of radon concentration in environmental water samples, *Radioisotopes*, 62, 7, 17-32 (2013)
- 3) 本島 勲: 酸素、水素およびラドンの同位体による地下空洞周辺地下水の考察, 地下水学会誌, 35, 3, 185-200 (1993)

成果発表

① 論文発表

なし

② 学会発表

日本保健物理学会第 51 回研究発表会、平成 30 年 6 月 29-30 日、札幌市

③ その他

なし

福島第一原発事故後の環境に棲息するアライグマの歯の効率的な

ESR 測定プロトコールの開発

高橋 温 (東北大学病院)

研究成果概要

① 研究目的

福島第一原子力発電所の事故後の環境において、空き家にアライグマが棲息し害獣として駆除対象となっているが、これらのアライグマは高線量の環境下で成長しているため環境からの生体への放射性物質の取り込みを検討するうえで非常に貴重なサンプルである。これらのアライグマの検討を行う場合、個体の被ばく量を推定することが極めて重要である。外部被ばく量の推定には歯のエナメル質を用いた ESR 法による方法が用いられているが、アライグマに本法を適用した報告はない。従来ヒトで検討されてきた本法であるが、アライグマの歯の特徴はヒトとは大きく異なり、歯式、構造や詳細な形成時期など未知の部分が多い。本申請では多数のアライグマの歯を効率よく ESR 測定するためサンプル調整法のプロトコールを開発することを目的とした。

② 研究方法

福島第一原子力発電所事故の影響が及んでいないと思われる地域（コントロール地域）において捕獲されたアライグマの歯を用いて次の 2 点について検討した。

(1) ESR 法において 100mg 程度のエナメルサンプルがあれば測定は可能と考えられるため、1 個体で最も効率よくエナメル質を回収できる歯がどのような組み合わせなのかを明らかにする。

(2) ESR 法によって得られたスペクトルが被ばく量解析のための ESR 解析プログラムで適応可能かどうかを検討する。ベースラインから実施し、続いて積算照射いき、それぞれの照射における適合を検討する。

③ 結果・考察

(1) アライグマの歯列の一例を Fig. 1 に示す。上下で歯式は変わらないが、ヒトと異なり大きい犬歯が特徴的である。犬歯の体積が ESR のためのエナメル質の大部分を占めるものと思われる。また、捕獲された個体の中には犬歯が破折や損傷が多く犬

歯が欠損している個体ではエナメル収量が減少した。犬歯は、他の個体との闘争や捕獲されたときのトラップへの攻撃などにより喪失されるものと思われた。歯列の欠損がない個体においては1個体から200mg程度のエナメル質を抽出できた。一方で、歯の喪失を伴う個体においては70mg程度の収量しかないものもあった。また、ESR計測に必要なエナメル質は100mg程度であり、十分なエナメルを得るためには歯に欠損がない個体では上下顎のどちらか片方の歯があれば充分であるが、歯の損失がある個体では片顎以上の歯が必要で、損失の程度によっては十分なエナメル量を確保できない場合もあることが判明した。

Fig.1 アライグマの歯列構成

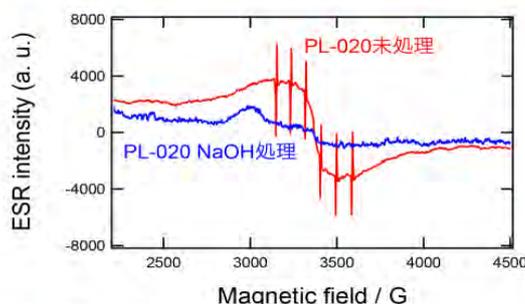


上顎も同様の歯列構成

13

(2) Fig.2 に未処理の歯をエナメル抽出し、そのままのサンプルのESRスペクトルを描記したもの(赤のスペクトル)、そのサンプルをNaOH処理したもののスペクトル(青のスペクトル)を示す。NaOH処理により左右の基線のギャップはある程度改善したものの本処理のみではフィッティングに至らなかった。

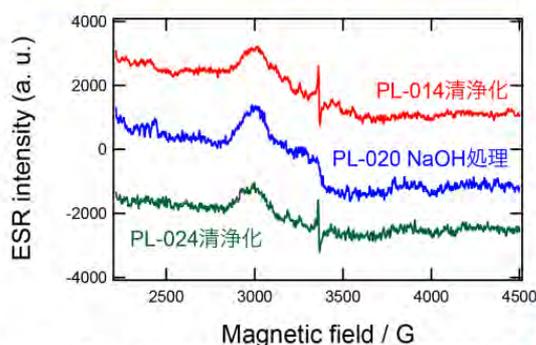
Fig.2 アライグマのESRスペクトル



基線が一致しない(スパイクはマーカー)。NaOH処理で妨害スペクトルは消失したが基線はまだ一致しない。→フィッティングに至らず。

Fig.3にエナメル抽出前にEDTA処理を行ったサンプルのスペクトルを示す(赤および緑のスペクトル)。NaOH処理を行ったサンプル(青のスペクトル)と同様の傾向のスペクトルを得ることができたうえ炭酸ラジカルのピークも良好に保存されていた。しかしながら、この処理を行ってもフ

Fig.3 アライグマのESRスペクトル



破砕する前にEDTA & 大まかに汚れを取り除くと典型的なスペクトルに近づくが、基線が一致しない。今後ケミカルを駆使してフィッティングを目指す。大まかに汚れを取るの有効。→フィッティングに至らず。

フィッティングには至らなかった。

本研究期間では試みた方法ではフィッティングに至らなかったが、今後はさらなるケミカル処理を検討しフィッティング可能なスペクトルを得るためのプロトコルの開発を旨とする予定である。

成果発表

① 論文発表

なし

② 学会発表

岡 壽崇、高橋 温 ほか：外部被ばく線量評価のための ESR 法の検出限界の改善，第 20 回環境放射能研究会，つくば市，茨城県，2019/3/12-3/14.

③ その他

なし

高線量環境に棲息するアライグマの骨および軟骨への放射性物質の 取り込みに関する加齢要因の検討

清水良央（東北大学歯学研究科口腔病理学分野）

研究成果概要

① 研究目的

硬組織への放射性物質の取り込みは、その組織の代謝状況（形成と吸収）と密接に関連していると推測されるが、野生動物の場合、代謝に最も大きく影響すると考えられる年齢要因が不明である場合が多い。そこで最近、原発事故被災地におけるアライグマについて、歯、頭蓋を用いた年齢推定を行って、代謝パターンの異なる歯、骨、軟骨への放射性物質の取り込みについて年齢との関係を検討することを目的とした。

② 研究方法

材料：被災地域で捕獲されたアライグマ 17 匹および北海道および弘前市で採取されたアライグマ 13 匹の歯、骨、軟骨、その他臓器を採取し検討した。

方法：年齢推定では、頭蓋を用いて頭蓋縫合（鼻骨間縫合、前頭縫合、矢状縫合、鱗状縫合、口蓋正中縫合の 5 縫合について骨性癒合をスコア化（すべて骨製癒合を示す最大値 20）、軟骨結合（蝶後頭軟骨結合および蝶形骨間軟骨結合の骨化をスコア化（すべて骨化した場合、最大値 4）、左右側頭線間距離、また歯を用いて、マイクロ X 線 CT 像より歯の形成状態（犬歯根尖孔径の計測）および咬耗状態（咬耗の進行によりクラス 1～5 に分類、最も咬耗が進行したものがクラス 5（文献参考 J Wildlife Manage 1970））に加え、上顎切歯の組織標本を作製しセメント質形成量から年齢の推定を行った。線量評価では、歯、骨（脛骨）、軟骨は、イメージングプレートにより QL 値を計測して線量を評価した。大腿四頭筋、肝臓についてはゲルマニウム検出器によりセシウム 134、137 を測定した。

③ 結果・考察

年齢推定方法：セメント質からの年齢推定結果を他の加齢要因となるものと比較して検証した。

捕獲時の体重、全長、胴頭長とセメント質から推定した年齢の関係について体重、全長、胴頭長とはおおむね相関を示していると思われた。(図1)

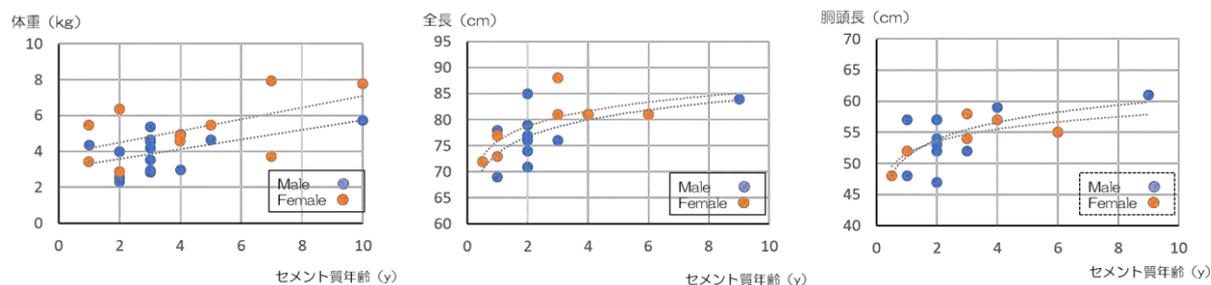


図1：左；体重とセメント質推定年齢との関係、中央；全長とセメント質推定年齢との関係、右；胴頭長とセメント質推定年齢との関係

頭蓋の縫合、軟骨結合、側頭線間距離とセメント質からの推定年齢について、軟骨結合、縫合癒合はいずれもセメント質推定年齢と正の相関を示し、また側頭線間距離は負の相関を示すと思われた。しかしいずれも5歳くらいで最大値ないし最小値を示した。(図2)

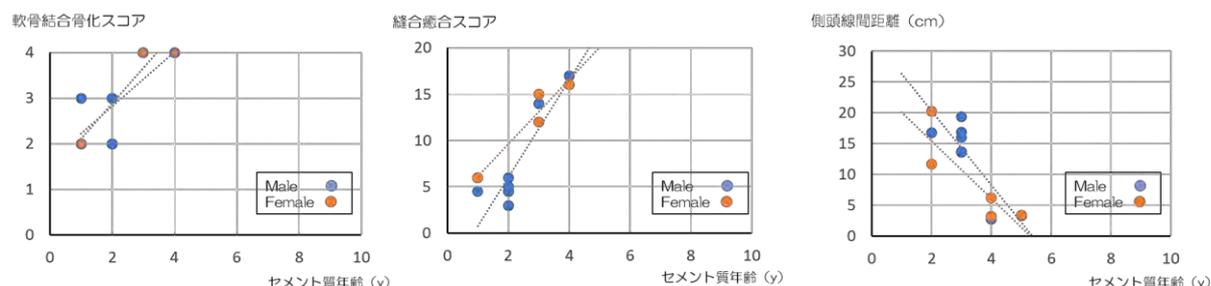


図2：左；頭蓋底の軟骨結合の骨化スコアとセメント質推定年齢の関係、中央；縫合の骨性癒合スコアとセメント質推定年齢の関係、右；側頭線間距離とセメント質推定年齢の関係

犬歯根尖孔径の10カ月齢までの体重との相関と咬耗状態とセメント質推定年齢との関係について、犬歯根尖孔径からの推定値は体重と相関を示さなかった。また咬耗状態はクラス分類が上がるにつれて年齢が上がる傾向は確認できたが、クラス分類からの年齢推定は幅が大きかった。(図3) 少なくとも今回のサンプルについて他の加

齢要因との比較においてセメント質からの推定年齢に大きな矛盾はなくセメント質からの年齢推定を用いて問題ないと考えられた。

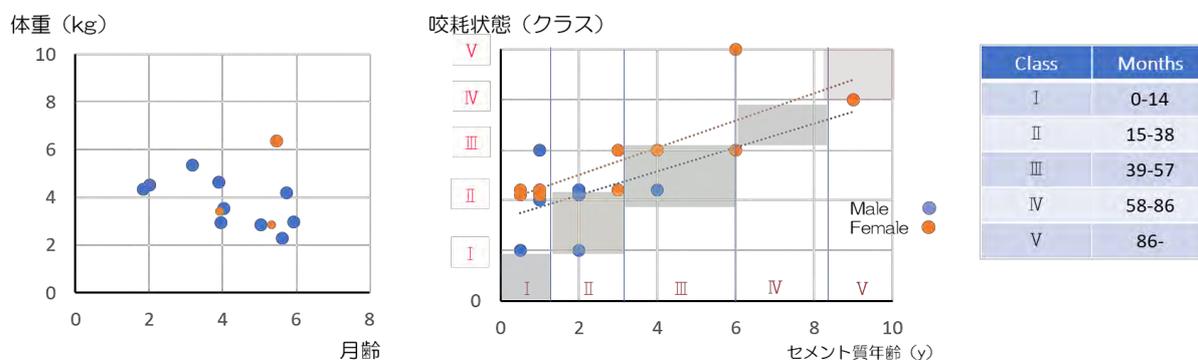


図3：左；犬歯根尖孔径から推定する10カ月までの個体と体重の関係、右；咬耗状態とセメント質推定年齢との関係とクラス分類から推定できるとされる年齢分布表

線量と加齢変化

イメージングプレートを用いた切歯と脛骨のQL値とセメント質推定年齢との比較について、今回の結果からはいずれも高齢な個体ほどQL値が低い傾向を示していた。また特に高線量地域に限定してみた場合も同様の結果を示した。(図4)単純に生息期間が長いことと生体内の蓄積が比例しない可能性があり、年齢影響の可能性が示唆された。

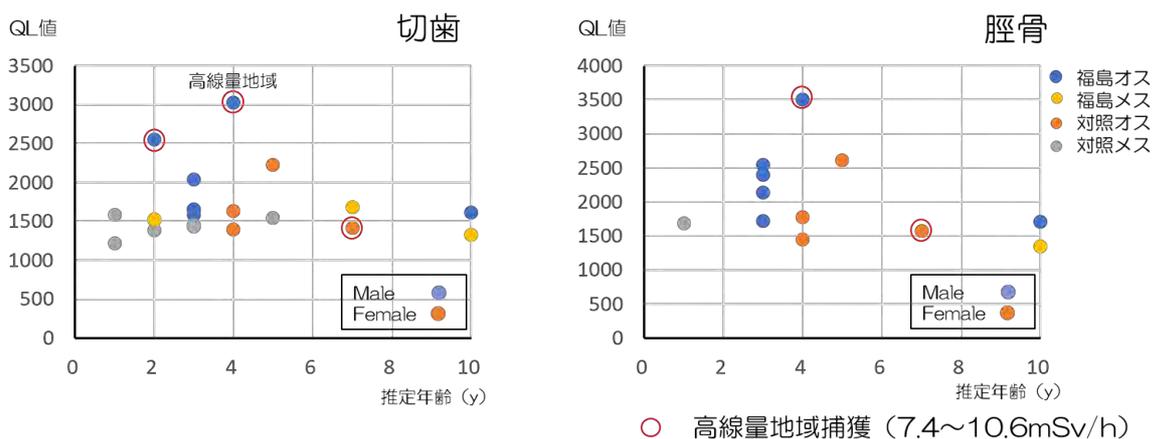


図4：左；切歯QL値とセメント質推定年齢との関係、右；脛骨QL値とセメント質推定年齢との関係

大腿四頭筋、肝臓のセシウム濃度とセメント質推定年齢との関係について、切歯、脛骨のQL値と同様に高齢な個体ほど低い値を示しており、骨と異なる蓄積性を示すと思われる軟組織性臓器においても生息期間の増加に単純に比例しない傾向がみられ、切歯、骨と同様加齢影響を受ける可能性が示唆された。(図5)

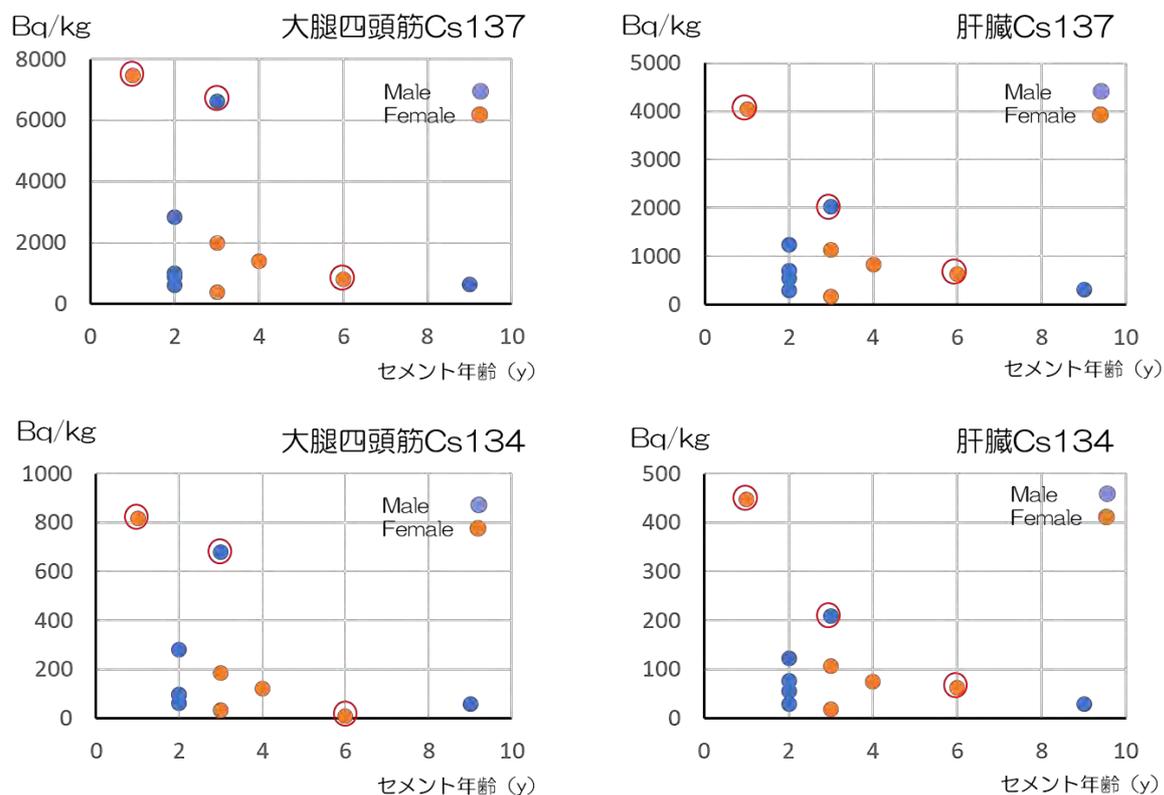


図5：左上；大腿四頭筋セシウム137とセメント質推定年齢の関係、左下；大腿四頭筋セシウム134とセメント質推定年齢の関係、右上；肝臓セシウム137とセメント質推定年齢の関係、右下；肝臓セシウム134とセメント質推定年齢の関係

成果発表

- ① 論文発表
なし
- ② 学会発表
なし
- ③ その他
特記事項なし

福島県浪江町で捕獲されたネコの臓器中放射性セシウムの測定

木野康志 (東北大学大学院理学研究科)

研究成果概要

① 研究目的

福島原発事故による浪江町民の避難の際、止むを得ず放置されたペットなどの動物は、その後町内を自由に徘徊していた。藤嶋（弘前大）らは、放射性物質の残存評価などを目的とし、福島県浪江町内のボランティアグループによって保護されたネコより、去勢・避妊のため摘出された生殖器官を収集し、放射性セシウム（Cs-134、Cs-137）濃度を測定し、2016年の放射線影響学会で報告した。しかし、未測定臓器試料が多くあり、本研究では、この藤嶋らの研究を完遂することを目的とする。これまで市街地での研究例は少なく、アカネズミ、ニホンザルなどの森林での調査と相補的な研究となる。

② 研究方法

2013年10月31日から2016年12月22日にかけて、浪江町市街地を徘徊していたネコに対して、浪江町のボランティアグループにより保護・不妊手術が行われた。この際に摘出された精巣または卵巣および子宮中の放射性セシウム濃度（Cs-134、Cs-137）を高純度Ge半導体検出器により測定した。浪江町は、東京電力福島第一原子力発電所の北から北西側に5 km から 30 km の距離に位置する。2011年3月11日の原発事故により町内全域に避難指示が出されたが、2017年3月31日、「帰還困難区域」を除く区域でこの指示は解除された。浪江町内では、2013年4月に空間線量率が低い順に、A 避難指示解除準備区域（権現堂、高瀬、幾世橋、北幾世橋、棚塩、請戸、中浜、両竹、西台、藤橋）、B 居住制限区域（川添、樋渡、谷津田、田尻、小野田、加倉、苧宿、酒田、立野）、C 帰還困難区域（井手、小丸、大堀、酒井、末森、室原、津島、南津島、川房、昼曾根、下島津、赤宇木、羽附）が指定され、A・B 区域では日中の立入りが可能となり、2017年3月31日に避難指示が解除された。一方、C 区域は避難指示が継続している。

2016年までに測定された78検体に加えて、79検体の測定を行った。試料の重量は0.5～10 g（平均3 g）あった。測定時間は、試料の放射能の強さにより、0.5～10日とした。検出限界（ピーク面積がバックグランド領域の面積の統計誤差の3倍以下を検出限界とする）は最大で10 Bq/kg となるようにした。放射能は、原子炉が停止した2011年3月11日現在の値に換算した。ネコの捕獲地（A、B、C）毎に放射能濃度分布の特徴を調べた。

③ 結果・考察

事故から7年が経過し、ガンマ線スペクトルの中でCs-134の強度は小さくなり、Cs-137と比べて誤差が大きかったため、以下の議論はCs-137について行う。なお、Cs-134とCs-137の2011年3月11日現在の放射能比は、 0.97 ± 0.04 となり、福島原発事故によって放出された放射性セシウムの特徴を示した。

図1に、上述の区域A、B、Cで捕獲されたネコの「卵巣・子宮」と「精巣」のCs-137放射能濃度の分布を示す。区域は、空間線量率の小さい順にA（避難指示解除準備区域）、B（居住制限区域）、C（帰還困難区域）である。区域AはB、Cと比べて低い傾向にあるが、全ての区域で100～1000 Bq/kgの値を示す試料の割合が60～80%あった。分布の傾向を定量的に調べるため、対数正規分布をフィットした。分布は50%を中心に点対称となっておらず、2つ以上の成分なることがわかる。そこで、2成分対数正規分布 $F(x)$

$$F(x) = C \frac{1}{S_1 \sqrt{\rho}} \exp\left(-\frac{(\log x - a_1)^2}{S_1^2 \rho}\right) + (1 - C) \frac{1}{S_2 \sqrt{\rho}} \exp\left(-\frac{(\log x - a_2)^2}{S_2^2 \rho}\right)$$

を用いた。 x は放射能濃度。フィットは割合を n として、

$$n = \int_0^{\log x} F(x') d \log x' = C \operatorname{erf}\left(\frac{\log x - a_1}{S_1}\right) + (1 - C) \operatorname{erf}\left(\frac{\log x - a_2}{S_2}\right)$$

として、 C, a_1, S_1, a_2, S_2 をパラメータとして χ^2 フィットを行なった。

図2に2成分対数正規分布（成分I、II、および和I+II）の例を示す。図2左の場合は、同程度の濃度（160 Bq/kg）の試料が偶然多く採取された場合。図2右は、2系統の汚染があることを示している。2つの成分は重なりが少なく、比較的簡単に分離できた。分離した成分それぞれにおいて、 $\log x$ の平均 a_i と分散 S_i を再現することを確かめた。

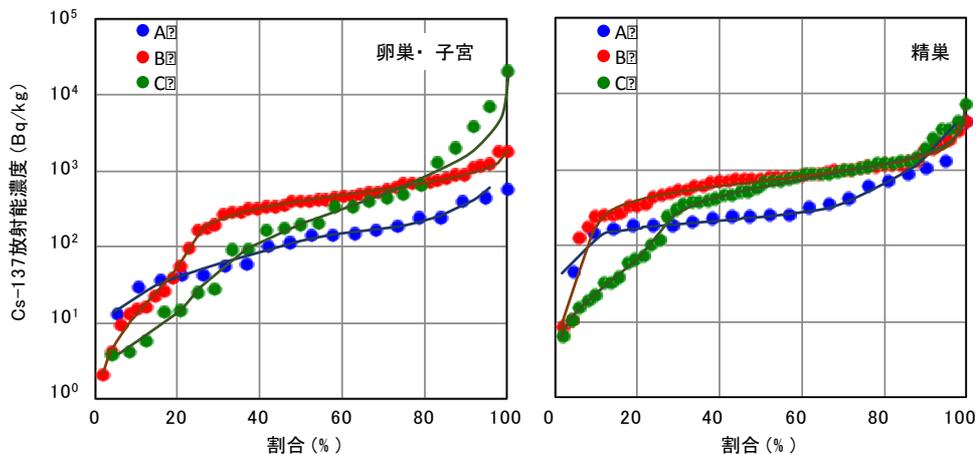


図1 区域毎のCs-137放射能濃度の分布。点は、各区域での放射能濃度測定値を小さい順に並べた。曲線は、2つの対数正規分布の和を実験値にフィットした計算値を示す。

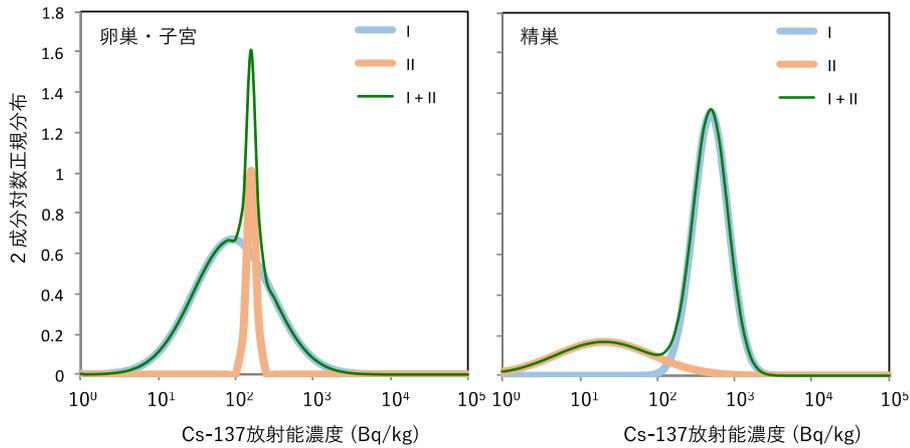


図2 2成分対数正規分布の例。左が区域A、右が区域Bの卵巣・子宮の放射能分布。

表1に各区域での放射能濃度分布を示すパラメータを示す。どのパラメータをみても、精巣の方が卵巣・子宮と比べて放射能濃度が高かった。n数の大きい方を「成分I」とした。Aの卵巣・子宮以外は、低濃度の分布が「成分II」として観測された。1成分の対数正規分布「I+II」と比べると2成分は、サンプル数あたりの χ^2 の値が大幅に改善した。

図3に放射能濃度の年変化を示す。ばらつきが大きいのが、減衰している成分と、ほぼ一定の成分が見える。減衰は除染の効果が見えているのかもしれない。

表1 各区域での放射能濃度分布を示すパラメータ。

試料	区域-成分	Cs-137放射能濃度 (Bq/kg)						n数	C	c2	
		最小値	最大値	平均値	中央値	10^a	10^{a+s}				10^{a+s}
卵巣・子宮	A-I	13	579	166	107	91	18	475	19	0.851	0.003
	A-II	144	184	165	166	160	132	193	3	0.149	
	A-I+II	13	579	166	139	104	21	516	22	1	
	B-I	160	1798	608	472	492	237	1021	36	0.735	0.0009
	B-II	2	170	39	19	21	3	159	12	0.265	
	B-I+II	2	1798	466	394	318	22	4572	48	1	
	C-I	24	20476	1994	338	326	45	2384	19	0.778	0.002
	C-II	4	14	8	6	6	2	17	5	0.222	
	C-I+II	4	20476	1581	196	160	5	5333	24	1	
精巣	A-I	45	4144	888	602	438	69	2794	11	0.534	0.003
	A-II	177	308	226	230	220	160	302	10	0.466	
	A-I+II	45	4144	573	253	269	122	594	21	1	
	B-I	332	3152	971	804	796	392	1617	41	0.811	0.003
	B-II	8	4146	608	243	438	69	2794	9	0.189	
	B-I+II	8	4146	906	769	712	226	2244	50	1	
	C-I	289	7381	1276	868	842	339	2092	37	0.716	0.0007
	C-II	6	241	59	35	36	7	182	14	0.284	
	C-I+II	6	7381	942	662	472	27	8103	51	1	

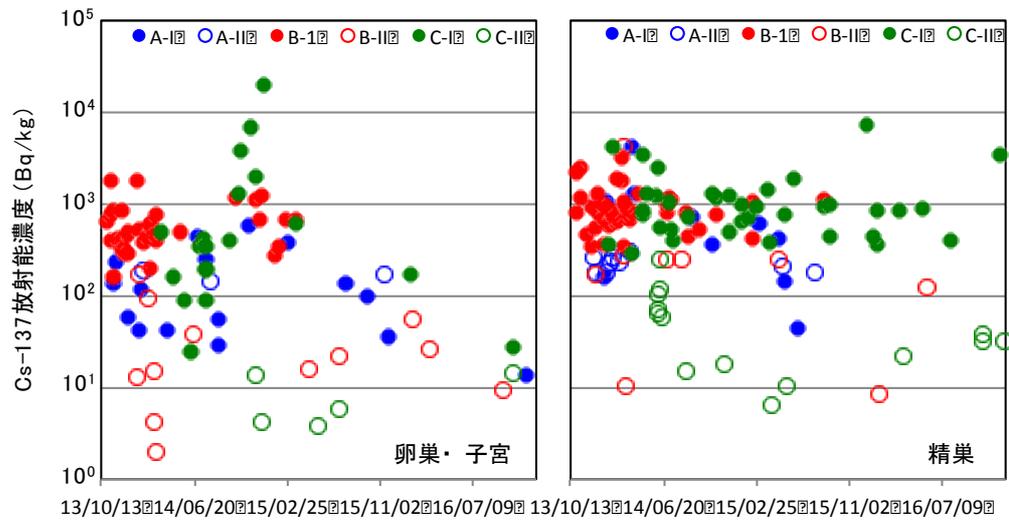


図3 放射能濃度の捕獲日依存性

減衰している放射能濃度 $x(t)$ は、 $\ln x(t) = -at + b$ と表され、A-I の卵巣・子宮に対して $R^2 = 0.11$ で、 $a = 0.000494 \text{ d}^{-1}$ (半減期に換算すると 609 d)、A-I の精巣に対して $R^2 = 0.35$ で、 $a = 0.00148 \text{ d}^{-1}$ (半減期に換算すると 203 d)、A-II の精巣に対して $R^2 = 0.14$ で、 $a = 0.000135 \text{ d}^{-1}$ (半減期に換算すると 2230 d)、B-II の精巣に対して $R^2 = 0.13$ で、 $a = 0.00091 \text{ d}^{-1}$ (半減期に換算すると 331 d)、C-II の精巣に対して $R^2 = 0.14$ で、 $a = 0.000446 \text{ d}^{-1}$ (半減期に換算すると 675 d) となり、他の試料では有意な減衰は見られなかった。今後、検体数を増加させ、捕獲時のネコや環境の状況などの情報を考慮した解析により、汚染の実態を明らかにする。原発事故以降、浪江町市街地を徘徊していたネコの臓器に蓄積された放射性セシウム濃度の採取場所や採取時期による変化は、人が住む環境における放射性物質の動きの指標の一つとなることが期待される。これまで種の調査研究はほとんど行われてなく、空間線量率や土壌調査も環境中の変化を全て把握することは困難であるため、現在我々が行っているアライグマ、アカネズミ、ニホンザルなど様々な野生動物の結果とともに貴重な知見となる。

成果発表

① 論文発表

なし

② 学会発表

③ その他

なし

Contribution of K transporters to Cs uptake and accumulation in rice

Nathalie LEONHARDT (CEA), Satomi KANNO (CEA, JSPS),
Jun FURUKAWA (Univ. of Tsukuba)

Summary of the Project

The aim of the project is to develop safe-food or *in situ* remediation approaches using higher plants for rehabilitation of soil, promising strategy for cost effective treatment of contaminated sites. Plants take up essential elements from the soil through changes in the physico-chemical properties of the rhizosphere (ions exchange, pH...) and via transport systems of the essential elements (K, P, Fe,...). The Cs¹³⁷ radiological contaminant enters using similar transport systems by chemical analogy (for example Cs vs K). In this context, rice mutant lines affected in different type of K⁺ transporters, we will evaluate their capacity to increase or decrease the ¹³⁷Cs uptake in plants in order to generate new cultivars that can be used for phytoremediation or safe-food strategies.

To decipher the molecular mechanisms of Cs uptake and accumulation in plants, we have characterized several rice Tos17 knockout mutant lines that are affected in different K⁺ transport systems. Among them, several lines (*hkt2;1*, *hak5*, *osk5;1*) have been shown to be affected in Cs uptake or accumulation compare to wild-type plants. In order to validate the results obtained in laboratory condition, it was very important to evaluate the capacity of ¹³⁷Cs accumulation in natural paddy field conditions. These mutant lines are Tos17 insertion mutant lines, which have been generated using natural rice retrotransposon, and can be used in the field conditions. To perform the experiments, 11-12 independent plants of each independent lines were cultivated in paddy field belong to NARO Agricultural Radiation Research Center until harvesting grains (3 months, from July to October). Then, using germanium counter, the ¹³⁷Cs contents was measured in shoot, root, and grains. Two different K conditions (with or without K fertilizer) were tested.

Unfortunately, our results revealed no differences in K⁺ concentration in presence or absence of fertilizers suggesting that the K⁺ from the fertilizer is not available for the plants. To confirm this hypothesis, we need to measure K⁺ contents and K⁺ bio-disponibility in soil at several points in the field. Interestingly, we observed differences in ¹³⁷Cs contents in grains between mutant lines and control wild-type (Figure 1). Notably, the mutant line disrupted in the *HKT2;1* gene that is expressed in whole plants and highly expressed in the root, shown an increased in ¹³⁷Cs content in grains and shoot part but not in root (Figure 2). In addition, the mutant line disrupted in the *HAK5* gene that is expressed only in root contents less ¹³⁷Cs in grains compare to wild-type plants. In contrast, no differences in ¹³⁷Cs content were detected in *osk5;1* mutant lines. To confirm these results we would like to perform a new paddy field experiment in 2019. Furthermore,, to decipher the molecular mechanisms of ¹³⁷ Cs in these mutant lines, q-PCR analyses will be perform to determine the K⁺ transporters expression level in wild-type and mutant lines.

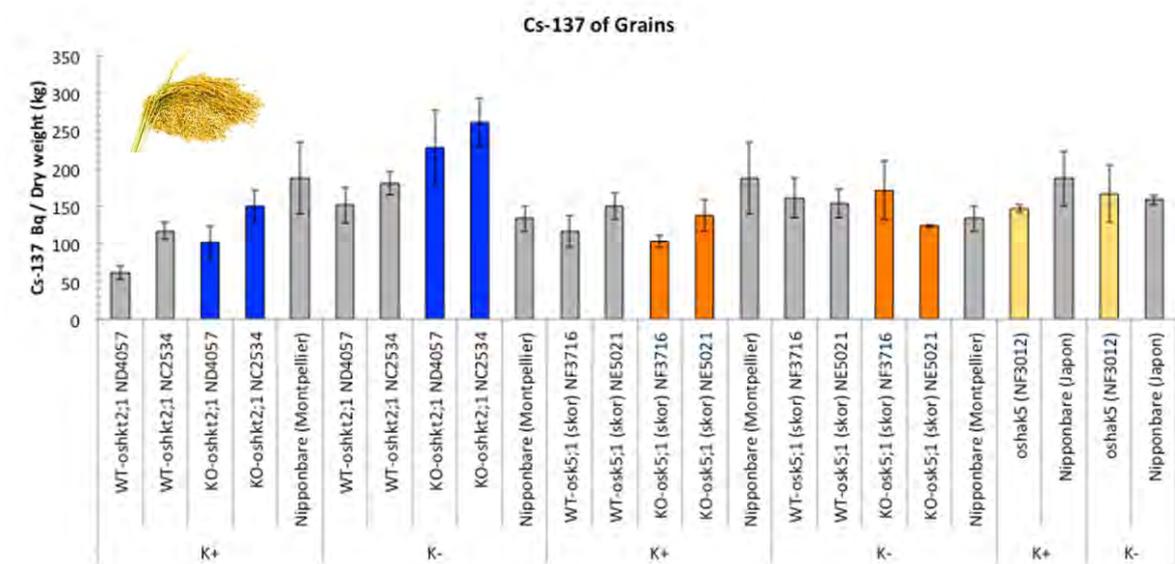


Figure 1. ¹³⁷Cs content of grain, *hkt2;1* mutant lines (Blue), *osk5;1* mutant lines (Orange), *hak5* mutant lines (Yellow) and control lines for each mutant (Grey).

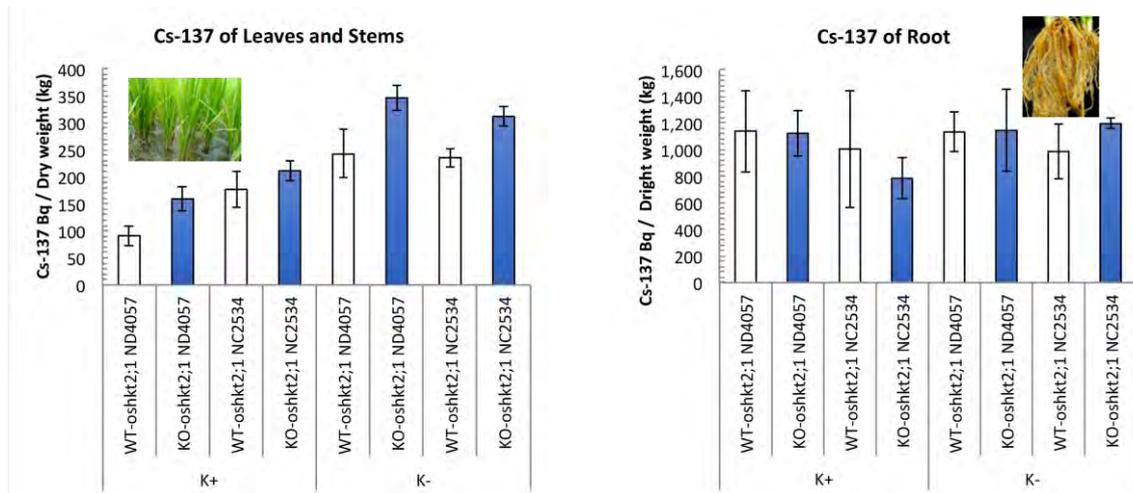


Figure 2. ^{137}Cs content of aerial part and roots of *hkt2;1* mutants. *hkt2;1* mutant lines (Blue), control lines (White).

Observation of atmospheric radioactive cesium and its wet deposition and modelling of resuspension and deposition processes

Olivier Masson, Denis Maro (IRSN), Kazuyuki Kita (Ibaraki U), Atsuyuki Sorimachi (Fukushima Medical U.), Yasuhito Igarashi (Kyoto U), and Yuko Hatano (U. Tsukuba)

Summary of the Project

Although 7 years has passed since TEPCO Fukushima Dai'ichi Nuclear Plant Accident, significant amount of radioactive cesium (radioCs) has been detected in Fukushima. Several studies showed that re-suspension processes are the source of radioCs in the atmosphere, however the flux of the resuspension has not quantified. In this study, we are trying to evaluate re-emission/suspension flux of radioCs with the micro-meteorological techniques (gradient method and relax eddy accumulation (REA) method).

From September to October 2018, we measured atmospheric radioCs activity concentrations by sampling aerosols with high-volume air samplers at heights of 0.7 m and 5.0m over the ground in the observation site in Namie-town, Fukushima. We also measured bioaerosol number densities at the same heights by low-volume air samplers. The re-emission flux can be evaluated by the equation in the gradient method:

$$\text{Flux} = K_d (C_{\text{bottom}} - C_{\text{top}}) / dz,$$

where K_d is the diffusion coefficient, C_{bottom} and C_{top} is the radioCs activity concentrations at 0.7 m and 5.0m, respectively, and dz is the height difference (4.5m). The values of C_{bottom} and C_{top} were measured in the ultra-low background facility of IRSN. K_d is evaluated using meteorological data and 1-D model calculation. The emission flux of the bioaerosols is also evaluated with the relax eddy accumulation method :

$$\text{Flux} = \beta \sigma_w (C_{\text{upward}} - C_{\text{downward}}),$$

Where β is a calibration coefficient, σ_w is standard deviation of vertical wind speed, and C_{upward} and C_{downward} are the concentrations when the vertical wind was upward and downward, respectively. Because the atmospheric Cs-137 concentration is nearly proportional to the bioaerosol concentration in summer and autumn, we can estimate the re-emission flux of radioCs from that of the bioaerosols. We are now processing the data to evaluate the flux both by the gradient method and the REA method.

List of Publication

Journal Papers:

Igarashi, Y., Kita, K., Maki, T., Kinase, T., Hayashi, N., Hosaka, K., Adachi, K., Kajino, M., Ishizuka, M., Sekiyama, T.T., Zaizen, Y., Takenaka, C., Ninomiya, K., Okochi, H. & Sorimachi, A. (2019). Fungal spore involvement in the resuspension of radiocaesium in summer. *Scientific Reports*, **9**.

International conference papers:

Maki, T., K. Kita, T. Kinase, M. Ishizuka, Y. Igarashi: Sequential changes of airborne microbial communities emitted from forest ground surface in Fukushima, 2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium/15th IGAC Science Conference, Sunport Takamatsu Convention Center, 2018. Sept. 25-29.

Kita, K., N. Hayashi, K. Minami, M. Kimura, Y. Igarashi, K. Adachi, Y. Zaizen, T. Maki, M. Ishizuka, H. Okochi, J. Furukawa, K. Ninomiya, and A. Shinohara: Bioaerosol emission and its role in re-emission of radioactive cesium from forest in Fukushima, 2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium/15th IGAC Science Conference, Sunport Takamatsu Convention Center, 2018. Sept. 25-29.

Kita K., Naho Hayashi, Koutaro Minami, Mao Kimura, Yasuhito Igarashi, Koji Adachi, Teruya Maki, Masahide Ishizuka, Hiroshi Okochi, Jun Furukawa, Kazuhiko Ninomiya, and Atsushi Shinohara: Increase of radioactive cesium resuspension to the atmosphere with bioaerosols in a polluted area in Fukushima, EGU General Assembly 2018, G11.2/AS4.21/BG1.31/EMRP4.4/ERE5.6/HS11.11/NH8.8/OS4.11/SSS13.16 Media, Geoscience processes related to Fukushima and Chernobyl nuclear accidents, Orals / Thu, 12 Apr, 08:30–12:00 / Room 0.49.

Nutrient transport and water flow velocity in xylem of forest species

Xinchao Sun (Tianjin University, China)

Summary of the Project

Xylem is the major conduit for the transport of water and nutrients by a mass flow driven by transpiration, which is fundamental to understanding the nutrient uptake and translocation as well as nutritional status of the trees. Transported nutrients vary widely in composition (e.g. inorganic ions such as nitrate and ammonium, organic compounds produced by plant metabolism), depending on plant growth stages, plant species and environmental conditions. For a number of physiological questions, knowledge of transport water velocities and nutrients of xylem sap are of basic interest, whereas little is known about the correlations between sapflow density and nutrients in xylem transport. Additionally, the response of nutrients transported in xylem to environmental changes (e.g., climate change and atmospheric nitrogen deposition) is integral to many aspects of plant metabolism but poorly understood.

Therefore, this proposal research combined forest eco-hydrology and tree physiology with objectives: 1) to analyze the characteristics of chemical composition of nutrients in xylem, in addition to their impact factors; 2) to examine the correlations between nutrients transport and tree transpiration; and 3) to illustrate the eco-physiological mechanism of water and nutrients transported in the xylem of trees. We conducted this research in Jizhou district, Tianjin city, north China. Chinese pine plantation and deciduous broad-leaved forest, which are two typical forest species, were distributed in two study plots, respectively. Xylem sap was collected to analyze the chemical composition (e.g., nitrate, ammonium and inorganic ions). Sapflow densities were carried out by the thermal dissipation method, using Granier-type sensors. We have tried to analyze the characteristics of chemical composition of xylem sap in different trunk positions, forest types, diurnal and seasonal variations. Meanwhile, we have also tried to examine the effect of stand structures (e.g., leaf area index, sapwood area and diameter at breast height) and environmental factors (e.g., soil nitrogen

concentration, solar radiation and vapor pressure deficit) on the chemical composition of nutrients in the xylem sap. Furthermore, the flux characteristics of xylem transporting nutrients in coupling with tree transpiration have been examined to illustrate the response of nutrient transport in xylem to changes in environmental conditions.

This study focused on *in situ* biogeochemical behaviors of nutrients in the xylem sap for elucidating the physiological processes of trees. These findings will improve our understanding of the uptake and assimilation of root, transport and transformation in xylem, and partitioning of nutrients within the plant, and also provide scientific evidences for accurately evaluating forest structures and eco-hydrological functions and their responses to environmental changes.

List of Publication

n.a.