

2022年9月16日(金)

伊藤謝恩ホール

奨励賞 受賞講演 | プレナリートーク

奨励賞受賞講演

座長:森本 幸司、高橋 嘉夫、木野 康志

15:30 ~ 16:30 伊藤謝恩ホール

[2S03-05-Zoom] セッションのオンライン参加 (Zoom)

[2S03] 精密質量と崩壊事象の相関測定法の開拓による超重
元素の直接質量測定

*庭瀬 暁隆¹ (1. 高エネルギー加速器研究機構)

15:30 ~ 15:50

[2S04] バライト共沈法の環境放射化学・地球化学的な応用
に関する研究

*徳永 紘平¹ (1. 日本原子力研究開発機構)

15:50 ~ 16:10

[2S05] 硬組織を指標とした福島第一原発事故後の野生動物
への⁹⁰Srと¹³⁷Csの取り込みの研究

*小荒井 一真^{1,2} (1. 東北大学、2. 日本原子力研究開発機
構)

16:10 ~ 16:30

奨励賞 受賞講演 | プレナリートーク

奨励賞受賞講演

座長:森本 幸司、高橋 嘉夫、木野 康志

2022年9月16日(金) 15:30 ~ 16:30 伊藤謝恩ホール

Zoomはこちら

[2S03-05-Zoom] セッションのオンライン参加 (Zoom)

[2S03] 精密質量と崩壊事象の相関測定法の開拓による超重元素の直接質量測定

*庭瀬 暁隆¹ (1. 高エネルギー加速器研究機構)

15:30 ~ 15:50

[2S04] バライト共沈法の環境放射化学・地球化学的な応用に関する研究

*徳永 紘平¹ (1. 日本原子力研究開発機構)

15:50 ~ 16:10

[2S05] 硬組織を指標とした福島第一原発事故後の野生動物への⁹⁰Srと¹³⁷Csの取り込みの研究

*小荒井 一真^{1,2} (1. 東北大学、2. 日本原子力研究開発機構)

16:10 ~ 16:30

(2022年9月16日(金) 15:30 ~ 16:30 伊藤謝恩ホール)

[2S03-05-Zoom] セッションのオンライン参加 (Zoom)

Zoomはこちら

2S03

精密質量と崩壊事象の相関測定法の開拓による
超重元素の直接質量測定

(高エネルギー加速器研究機構 和光原子核科学センター)○庭瀬 暁隆

原子核は中性子や陽子といった核子の集合体が、結合エネルギー分だけ軽くなった状態で安定した系と考えることができる。結合エネルギーは核の存在や安定性を決定する指標となり、核子間相互作用を議論するための最も基本的かつ重要な物理量である。原子質量は核種固有の値であるため、精密な測定からその原子番号と質量数を一意に決定することができ、未知の超重元素の直接同定のためのツールとして期待がされている。これまでに世界各国で重核の精密質量測定実験が行われてきたが、測定された最も重い元素は 103 番元素の Lr で、104 番以降のいわゆる超重元素の直接質量測定には未だかつて成功していない。我々はこれまでに、多重反射型飛行時間測定式質量分光器(MRTOF-MS)[1]と気体充填型反跳分離装置(GARIS-II)[2]を用いた SHE-Mass facility において、重核の精密質量測定実験を遂行してきた。

超重元素は、その小さな生成反応断面積に起因して一度に取り扱える量が極めて少なく、限られた数原子から核種同定を行わなければならない。そのため分子イオンや散乱粒子に起因した偶発事象による背景事象から弁別された、確度の高い質量測定が必要となる。本研究では、超重核の直接質量測定を目指して、新検出器 α -TOF[3]の開発を行った。 α -TOF 検出器は、従来の飛行時間検出器に Si 検出器が組み込んであり、重イオンの飛行時間信号の取得とそれに続いた α 崩壊事象の相関取得を可能とする。これによって、一日に数イベント以下の極めて稀な事象においても、崩壊事象を核の足跡とすることで確度の高い精密質量測定を実現する。

α -TOF 検出器は、重核の飛行時間と崩壊特性の相関測定ができるという強みを活かし、MRTOF による核分光研究への適用も期待される。そこで本研究の第二段階では、 α -TOF 検出器を搭載した MRTOF の核分光利用のデモンストレーション実験として、 ^{207}Ra の崩壊-飛行時間の相関測定を行った。MRTOF 単体では分離不可能であった異性体 $^{207\text{m}}\text{Ra}$ を、 α -TOF による崩壊事象との相関から弁別し、 $^{207\text{m}}\text{Ra}$ の励起エネルギーの直接測定に成功をした。更には半減期と α 崩壊分岐比も同時に決定でき、近傍核との系統性から励起状態のスピンを $J^\pi=13/2^+$ と決定した[4]。

本研究の最終段階として 105 番元素 ^{257}Db の質量測定実験を遂行した。総計 105 時間のビーム照射で 11 個の $^{257}\text{Db}^{3+}$ の飛行時間と相関した崩壊イベントを取得。これら 11 事象の飛行時間信号から ^{257}Db の質量を 1ppm の相対精度で決定、世界初となる超重元素の直接質量測定に成功した[5]。本講演では一連の研究成果についての発表を行う。

[1] P. Schury *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. B **335** (2014) 39.

[2] D. Kaji *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. B **317** (2013) 311.

[3] T. Niwase *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. A **953** (2020) 163198.

[4] T. Niwase *et al.*, Phys. Rev. C **104** (2021) 044617.

[5] P. Schury, T. Niwase *et al.*, Phys. Rev. C **104** (2021) L021304.

Direct mass measurement of superheavy nuclides via decay-correlated mass spectroscopy.
NIWASE, T.

2S04 バライト共沈法の環境放射化学・地球化学的な応用に関する研究 (JAEA) ○ 徳永紘平

【はじめに】 福島原発事故により放出された放射性核種の挙動の理解とその環境回復は重要な課題であり、この多量で多様な放射性核種が地表・地下環境にてどのように移行・濃集するかを解明することができれば、地球表層の放射性核種を含むあらゆる元素の長期間に渡る物質循環予測研究として、基礎と応用の両面で重要な研究となる。講演者はこれまで、水-鉱物間での元素の吸着・共沈実験や放射光 X 線吸収微細構造 (XAFS) 法による分析を用いて、環境試料中での元素の分子レベルの情報を引き出し、より本質的な化学的情報に基づいて地球表層における元素循環の素過程や環境影響を明らかにしてきた。本発表ではこれらの分析を基にした最新の成果について報告する。

【過去環境復元の古環境計の開発(地球化学)】 まず講演者は、天然のバライト (BaSO_4) 中に含まれる微量元素の化学状態を放射光 XAFS による分析から特定することにより、バライト中のセレン (Se(IV)/Se(VI)) とヒ素 (As(III)/As(V)) の陰イオンの価数比が共存する水の酸化還元状態 (E_h ; 水素電極を基準とした場合の酸化還元電位) を反映し、古環境復元の手法として利用できることを明らかにした。この手法で開発したバライト中のセレンとヒ素の価数比を用いた古環境復元ツールの開発は世界初の試みであり、過去の地球の溶存酸素濃度の復元が可能になるとともに、これまで濃度や同位体比を用いて相対的にしか評価されなかった酸化還元状態の定量的な評価が可能になる。

【陰イオン系核種の効果的な処理処分法の開発(環境放射化学)】 次に講演者は、放射光 XAFS を用いた分析によりバライト中で微量元素を安定化させる局所構造を特定することで、放射性核種処理の分野において新たな知見を明らかにした。本研究で得られた、(1) カルシウムイオン添加によりバライト結晶構造の歪みの程度を増加させることで、他の微量元素の取り込みを促進する効果、(2) リン酸イオン吸着によりバライト表面で二次的な結晶相を生成させることで、固相からの対象元素の溶出を低下させる効果、などは講演者の研究の独自性を示すものであり、バライト共沈法による放射性核種の水溶液中からの効果的な除去と、鉱物構造内での長期的な安定化が可能になる。こうしたアイデアを、福島汚染水処理で問題となる長寿命陰イオン放射性核種であるセレン 79 やヨウ素 129 の陰イオン処理に適用したのは講演者の研究が初めてであり、従来のハイドロタルサイトに代表される層状複水酸化物への吸着処理に代わる、新たな陰イオン系核種の処理処分法としての利用が期待される。

【環境中での放射性核種の移行・濃集挙動の解明(環境放射化学)】 これらの研究に加えて、講演者は放射光 XAFS を用いた分析により環境試料中の元素の化学種や鉱物に対する吸着・脱離のメカニズムを特定することで、天然の環境中での元素循環機構の解明を行っている。例えば日本原子力研究開発機構の人形峠環境技術センターの堆積環境において、土壤中に確認されるシデライト (FeCO_3)、ゲーサイト ($\alpha\text{-FeOOH}$)、フェリハイドライト ($\text{FeOOH}\cdot n\text{H}_2\text{O}$) の鉄鉱物にウラン等の元素はそれぞれ特徴的に取り込まれており、溶存酸素に応じたこれら鉄鉱物の化学状態の変化が天然の堆積環境中での放射性核種の移行・濃集挙動を制限することが示されている。

A study of barite coprecipitation behavior and its application to environmental radiochemistry and geochemistry
Tokunaga, K.

2S05

硬組織を指標とした福島第一原発事故後の野生動物への⁹⁰Sr と ¹³⁷Cs の取り込みの研究(¹ 東北大、² 日本原子力研究開発機構)○小荒井一真^{1,2}

【緒言】人為起源の放射性核種の中には生物影響が懸念される核種があり、半減期が約 30 年の ⁹⁰Sr と ¹³⁷Cs は長期の内部被ばくに関与する核種である。2011 年の福島第一原子力発電所 (1F) 事故でも環境中に ⁹⁰Sr と ¹³⁷Cs が放出され、生物への取り込み状況の調査が求められた。ただし、測定対象となる動物は人間の管理下ではなく、経時的な取り込み量の追跡が困難であった。そこで、歯や骨といった硬組織の形成メカニズムである、形成時期のみに組織の基質が沈着し、形成後には組織が入れ替わらないという特徴に注目した。この特徴を活用することで、硬組織中の ⁹⁰Sr や ¹³⁷Cs の分析から硬組織の形成時期における生体への 2 核種の取り込みや環境中の核種分布の変化の解明を試みている。本発表ではウシの歯を用いた 1F 事故後の ⁹⁰Sr、¹³⁷Cs の移行挙動の追跡と魚の耳石のような微細な硬組織用の ⁹⁰Sr 分析手法の開発結果について紹介する。

【ウシの歯への ⁹⁰Sr、¹³⁷Cs の移行挙動】レントゲン写真によりウシの歯の形成時期が事故前後のどちらかで歯を分類した。⁹⁰Sr を測定した結果、歯の形成時期が 1F 事故前から事故後になるにつれ歯への ⁹⁰Sr の取り込み量が増加していることを見出し、事故による環境中の ⁹⁰Sr の分布の変化が歯の形成に伴って記録されていることを示した。¹³⁷Cs についても歯ごとに測定を行い 1F 事故に起因する取り込みを確認しただけでなく、歯への取り込み機構が ⁹⁰Sr とは異なり、¹³⁷Cs は歯の形成後にも取り込まれることを初めて明らかにした。現在これらの知見は、ヒト乳歯を用いた乳幼児への 1F 事故由来核種の取り込み調査にも応用されている。

1F 事故後の環境中から歯に至るまでの 2 核種の移行挙動を知るために、土壌や植物中の ⁹⁰Sr と ¹³⁷Cs の測定も行った。2 つの核種だけでなく安定 Sr や Cs、生体の必須元素である Ca、K も合わせて測定し、比放射能や微量元素/必須元素比を用いて、⁹⁰Sr と ¹³⁷Cs の標識する元素としての硬組織への移行挙動の追跡を試みた。⁹⁰Sr については、ウシ歯の ⁹⁰Sr 比放射能は、土壌の水に可溶性成分の ⁹⁰Sr の汚染を反映していたことが示唆された。また、⁹⁰Sr と Ca は生体へ移行する際に区別されることがわかった。¹³⁷Cs については、ウシの歯の ¹³⁷Cs 比放射能が摂取した食物の汚染を示唆していた。移行の際に安定 Cs や ¹³⁷Cs は K とは区別されずに移行していた。このように ⁹⁰Sr と ¹³⁷Cs が土壌から植物、水などを經由して動物の歯へ移行する際の元素としての挙動を明らかにした。

【硬組織中 ⁹⁰Sr 用 ICP-MS 法の開発】陸域環境の調査で硬組織を有効に活用できたため、魚類の耳石という小さな硬組織を用いて水域環境での ⁹⁰Sr の移行挙動解明にも取り組んでいる。耳石の年輪状組織には魚類の取り込んだ ⁹⁰Sr 量の変化が記録されるが、小さな耳石は ⁹⁰Sr の含有量が少なく、従来の放射能測定法による測定が困難である。そこで僅かな試料量でも ⁹⁰Sr を高感度に分析可能な ICP-MS 法を用いて、分析手法の開発を試みた。化学分離と ICP-MS 内部のリアクションセル反応を組み合わせることで、硬組織中のマトリックスや同重体干渉元素を除去し、初めて 0.1 g の硬組織に含まれる ⁹⁰Sr を ICP-MS 法で分析できた。開発した ICP-MS 法は 1F 事故由来の ⁹⁰Sr を含む硬組織であれば分析可能であり、従来法の困難な耳石をはじめとする微細硬組織に含まれる ⁹⁰Sr を検出できる手法である。

Study on the incorporation of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs into wild animals after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident using hard tissues as an indicator
KOARAI, K.