

一般セッション(口頭講演) | CS コードシェアセッション:【CS.1】 2.3 加速器質量分析・加速器ビーム分析、7.4 イオンビーム一般のコードシェア

■ 2023年9月20日(水) 9:00 ~ 11:45 | 会 A310 (熊本城ホール)

[20a-A310-1~10] CS.1 2.3 加速器質量分析・加速器ビーム分析、7.4 イオンビーム一般のコードシェアセッション

笹 公和(筑波大)、藤田 奈津子(原子力機構)

9:00 ~ 9:15

[20a-A310-1] 自然環境におけるヨウ素同位体システムの研究 1

○松崎 浩之¹、戸谷 美和子¹、Qi Yuanzhi¹ (1.東大MALT)

◆ 奨励賞エントリー ◆ 英語発表

9:15 ~ 9:30

[20a-A310-2] Iodine isotopes track the iodine cycling in the Beaufort, Chukchi, and Bering Seas

○(P)Yuanzhi Qi¹, Qiuyu Yang¹, Takeyasu Yamagata¹, Hisao Nagai^{1,2}, Yuichiro Kumamoto³ (1.The Univ. of Tokyo, 2.Nihon Univ., 3.JAMSTEC)

9:30 ~ 9:45

[20a-A310-3] ハイマツ試料中放射性炭素濃度の年変動に関する研究V

○武山 美麗^{1,2}、森谷 透^{1,2}、櫻井 敬久²、宮原 ひろ子³、門叶 冬樹^{1,2} (1.山形大AMSセンター、2.山形大理、3.武蔵美)

9:45 ~ 10:00

[20a-A310-4] キャビティリングダウン分光に基づくトリチウム水分析のための試料導入法の開発

○富田 英生¹、岩元 一輝¹、向井 もも¹、齊藤 圭亮¹、鈴木 勇太¹、柘植 紘汰¹、西澤 典彦¹、植村 立²、阿部 理²、阿部 恒³、天野 みなみ³ (1.名大院工、2.名大院環、3.産総研)

10:00 ~ 10:15

[20a-A310-5] JAEA-AMS-TONOにおける加速器質量分析装置に関する研究開発; 2022年度

○藤田 奈津子¹、三宅 正恭¹、松原 章浩²、石井 正博³、神野 智史¹、渡邊 隆広¹、西尾 智博²、小川 由美¹、木村 健二¹、島田 顕臣¹、高橋 悠人³、島田 耕史¹ (1.原子力機構、2.ベスコ、3.ビームオペレーション)

10:30 ~ 10:45

[20a-A310-6] 東京大学MALTの加速器質量分析の現状 - 2023 秋 -

○山形 武靖¹、楊 秋語²、Yuanzhi Qi¹、徳山 裕憲¹、土屋 陽子¹、戸谷 美和子¹、松崎 浩之^{1,2} (1.東大MALT、2.東大院・工)

10:45 ~ 11:00

[20a-A310-7] 都市大タンデムの現状 ~教育利用の状況~

○羽倉 尚人¹ (1.都市大)

11:00 ~ 11:15

[20a-A310-8] 8 MeV Heイオンビームを用いた透過ERDAによる水素同位体比の測定

○笹 公和^{1,2}、工藤 博¹、檜本 洋¹、左高 正雄¹、石井 聡¹、富田 成夫² (1.筑波大加速器、2.筑波大数物)

◆ 奨励賞エントリー

11:15 ~ 11:30

[20a-A310-9] 高速クラスターイオンビーム照射による単層グラフェン膜から放出される二次電子エネルギーの入射粒子依存性

○(M2)宇野 鳴記¹、間嶋 拓也¹、斉藤 学¹、土田 秀次¹ (1.京大院工)

11:30～11:45

[20a-A310-10] TOF-ERDA 装置の大立体角化と検出効率の向上

○藤井 晴也¹、仙田 敬¹、長谷川 千華¹、島 始輝¹、安田 啓介¹、中溝 珠里²、間嶋 拓也² (1.京府大生命環、2.京大院工)

自然環境におけるヨウ素同位体システムの研究 1

Study on natural iodine isotope system 1

東大 MALT, °松崎 浩之, 戸谷 美和子, Qi Yuanzhi

MALT, The University of Tokyo, °Hiroyuki Matsuzaki, Miwako Toya, Yuanzhi Qi

E-mail: hmatsu@um.u-tokyo.ac.jp

現代の地球表層環境に存在するヨウ素 129 (半減期 1570 万年) はその大部分が人為起源のものである。人為起源のヨウ素 129 は、大気圏核実験や使用済み核燃料再処理の過程で環境中に漏洩したものであり、1950 年台から急増し、環境中のさまざまなアーカイブ中に記録されていることから、アンソロポシーン (人新世) を示すマーカーとしての役割が注目されている [1]。

一方で、自然環境においても、ヨウ素 129 は生成している。大気中においては、キセノン (Xe) と宇宙線との相互作用 ($^{129}\text{Xe}(n, p)^{129}\text{I}$) で、海水中や地殻中では天然ウラン 238 の自発核分裂によって、ヨウ素 129 は生成する。ヨウ素は地球表層環境中に遍在している元素であることを考えると、生成したヨウ素 129 と地球上に存在する安定同位体ヨウ素 127 がよく混合し、その割合が定常状態にあるような系が存在すれば、放射性炭素年代測定と同様に、年代測定が可能となる可能性がある。

また、宇宙線で生成するヨウ素 129 のみが記録されたアーカイブの分析が可能であれば、新たな宇宙線の時系列変動の指標となる。しかも半減期が長いため、1,000 万年オーダーの時系列記録を得られる可能性がある。

こうした、自然環境のヨウ素同位体システムの研究は、先に述べた人為起源のヨウ素 129 の妨害によって、困難な状況である。まずは、環境中で自然環境で生成したヨウ素 129 を分離することが難しい。この点に関しては、環境中でのコンタミネーションに注意すれば、古い年代のアーカイブや、深部海水・地下水などが貴重な試料となる。ついで、こうした試料を処理するための実験室環境におけるコンタミネーションが問題となる。最後に、一般に自然環境で生成したヨウ素 129 は生成量が小さいため、加速器質量分析測定時における同位体比 ($^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$) が低くなるため、高感度な加速器質量分析システムが必要となる。

筆者らは、最近の実験技術の向上や、人為起源ヨウ素 129 の動態に関する知見の蓄積により、自然環境におけるヨウ素同位体システムを研究する準備が整ってきたと考えている [2]。今後、この研究課題を進めるにあたり、現在得られている自然環境で生成したヨウ素 129 のデータ (深海、地下水等) をまとめ、今後の展望について議論する。

参考文献

[1] A.T. Bautista VII, et al. (2023) Science of the Total Environment, 887, 164021.

[2] H. Matsuzaki, et al. (2020) Nuclear Inst. And Methods in Physics Research, B463 47, 55-63.

Iodine isotopes track the iodine cycling in the Beaufort, Chukchi, and Bering Seas

The Univ. of Tokyo ¹, Nihon Univ. ², JAMSTEC ³, °(P) Yuanzhi Qi¹, Qiuyu Yang¹, Takeyasu Yamagata¹, Hiroyuki Matsuzaki¹, Hisao Nagai^{1,2}, Yuichiro Kumamoto³
E-mail: yuanzhiqi@um.u-tokyo.ac.jp

Due to its unique geographical location, the Arctic Ocean and its neighboring seas exhibit heightened vulnerability to climate change. Consequently, the intricate material and energy cycles within these regions exert a profound influence on global climate patterns. Iodine emissions to the atmosphere from high-latitude seas near the Arctic Ocean have gradually increased over the past few decades as Arctic sea ice has decreased due to global warming. The emission of iodine from the ocean to the atmosphere is closely related to the iodine cycle and the iodine speciation distribution in seawater. In this study, we present our observations regarding the concentrations of different iodine isotopes (¹²⁷I and ¹²⁹I) encompassing total iodine (TI), iodide (I⁻), and iodate (IO₃⁻) in seawater samples. Two depth profiles were collected in the Beaufort Sea, along with an additional collection of 15 surface seawater samples obtained from the Beaufort, Chukchi, and Bering Seas between 12 August and 6 October 2022.

At different ocean depths, the distribution of iodine is controlled by a variety of water masses, such as Pacific water, Atlantic water, and freshwater. In the surface ocean, the salinity and iodine speciation analysis results can clearly distinguish the Beaufort Sea from the other two seas, and in different sea areas, the isotopic characteristics of different iodine species were significantly correlated with salinity (Fig.1). Considering the three large rivers (Mackenzie, Yukon, and Kuskokwim) injected into the study area, we can reasonably speculate that rivers are the key factors affecting the iodine circulation and distribution in the surface ocean of this region. The Arctic intermediate water contained iodine isotopic signatures consistent with those of the North Atlantic. The upper ocean was dominated by the net reduction from IO₃⁻ to I⁻ due to the biological activities of phytoplankton, while the net oxidation from I⁻ to IO₃⁻ is mainly in the intermediate and deep ocean. Simulation of iodine cycling based on isotopic signatures of different iodine species revealed the presence of the reduction process from IO₃⁻ to I⁻ and the iodide input from sediments to seawater in Arctic intermediate water. The oxidation, reduction, and iodide input rates were 0.95 ~ 2.41, 0.26 ± 0.13, and 0.23 ± 0.14 nM/year, respectively. Our study indicates that ¹²⁹I can provide essential and detailed information for the iodine cycling study.

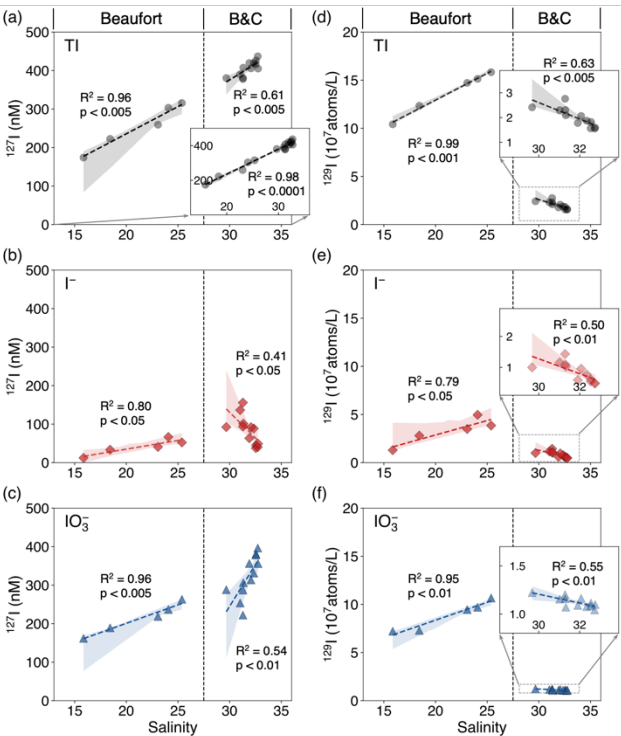


Fig.1. Correlations between isotopic characteristics of iodine species and salinity

ハイマツ試料中放射性炭素濃度の年変動に関する研究 V

Research of annual variations of ^{14}C concentrations in pinus pumila V山形大 AMS センター¹, 山形大理², 武蔵美³○武山 美麗^{1,2}, 森谷 透^{1,2}, 櫻井 敬久², 宮原 ひろ子³, 門叶 冬樹^{1,2}Yamagata Univ. Center for AMS¹, Yamagata Univ.², Musashino Art Univ.³,○Mirei Takeyama^{1,2}, Toru Moriya^{1,2}, Hirohisa Sakurai², Hiroko Miyahara³, Fuyuki Tokanai^{1,2}

E-mail: takeyama@sci.kj.yamagata-u.ac.jp

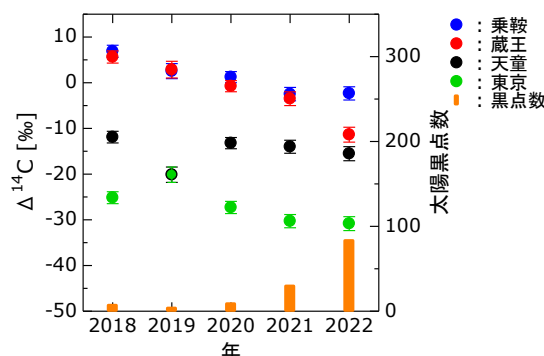
放射性炭素 (^{14}C) は、宇宙線と大気中の窒素 (^{14}N) との相互作用により生成され、直ちに酸化されて二酸化炭素 ($^{14}\text{CO}_2$) となり、大気中の二酸化炭素と混合して光合成により植物内に移行する。宇宙線の強度は、太陽活動の変動や宇宙線増加現象を反映するため、年代の判明している古木年輪の ^{14}C 濃度を高精度に測定することで、過去の太陽活動の周期性や太陽フレアに起因する宇宙線増加現象が調べられてきた[1-4]。しかしながら、1945 年以降の大気圏核実験で大気中の ^{14}C 濃度が急激に増加し、1963 年のピーク時には核実験前の約 2 倍程度に達した。核実験中止後は海洋との二酸化炭素交換により ^{14}C 濃度は減少し、現生の大気中の ^{14}C 濃度は、ほぼ核実験前の濃度に戻りつつある。したがって、現生の単年植物中の ^{14}C 濃度を加速器質量分析 (AMS) 法により高精度に分析することで、太陽活動や宇宙線増加に起因する生態系中の ^{14}C 濃度依存性をリアルタイムで測定できると期待される。

そこで、我々は乗鞍岳および蔵王山の高山帯に生息するハイマツの球果と葉 (図 1) を 2018 年から継続的に採取し、 ^{14}C 濃度測定を行っている。また、化石燃料の影響を比較するために、東京都および山形県天童市の市街地からアカマツ試料を採取し、同じく ^{14}C 濃度測定を行った。試料の ^{14}C 濃度測定には、AMS システムおよびグラフィイト作製システムからなる山形大学高感度加速器質量分析装置 (YU-AMS) を使用した。図 2 に各試料の採取年に対する球果中の ^{14}C 濃度と太陽黒点数[5]を示す。乗鞍岳で採取したハイマツ試料の ^{14}C 濃度は 2018 年から 2021 年にかけて減少し、2022 年は若干増加した。蔵王山のハイマツ試料の ^{14}C 濃度は 2018 年から 2022 年にかけて減少した。天童市のマツ試料の $\Delta^{14}\text{C}$ は、乗鞍岳および蔵王山のハイマツ中の $\Delta^{14}\text{C}$ と比較していずれの年も低い値を示し、採取年に対する依存性は見られなかった。東京都のマツ試料は他の試料と比べ、いずれの年も最も低い $\Delta^{14}\text{C}$ 値を示し、2019 年以降は減少傾向を示した。本講演では、より詳細な測定結果について報告する。

- [1] F. Miyake et al., Nature, 486, 240-242 (2012).
- [2] F. Miyake et al., Geophys. Res. Lett., 48, e2021GL093419 (2021).
- [3] H. Miyahara et al., Sci. Rep., 11(1), 5482-5482 (2021).
- [4] H. Miyahara et al., Geophys. Res. Lett., 49, e2021GL097201 (2022).
- [5] WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels.



図 1. 試料に用いたハイマツの球果(左)と葉(右)

図 2. ハイマツ・マツ球果の採取年に対する $\Delta^{14}\text{C}$ 濃度と太陽黒点数

キャビティリングダウン分光に基づくトリチウム水分析のための試料導入法の開発 Development of sample injection system for tritiated water analysis based on cavity ring-down spectroscopy

¹名大院工, ²名大院環, ³産総研

○富田 英生¹, 岩元 一輝¹, 向井 もも¹, 齊藤 圭亮¹, 鈴木 勇太¹, 柘植 紘汰¹,
西澤 典彦¹, 植村 立², 阿部 理², 阿部 恒³, 天野 みなみ³

¹Grad. School of Eng., Nagoya Univ., ²Grad. School of Env. Studies, Nagoya Univ., ³AIST

○Hideki Tomita¹, Kazuki Iwamoto¹, Momo Mukai¹, Keisuke Saito¹, Yuta Suzuki¹, Kota Tsuge¹,
Norihiko Nishizawa¹, Ryu Uemura², Osamu Abe², Hisashi Abe³, Minami Amano³

E-mail: h-tomita@energy.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

トリチウム (T) は半減期約 12 年の β 壊変核種であり、 β 粒子を計数する液体シンチレーションカウンティングによる分析が広く行われている。一方、生体・環境トレーサー、廃棄物分析などの応用においては、前処理が簡便で、測定による有機廃棄物が生じない迅速・簡便かつ高感度なトリチウム分析システムが求められている。そこで、本研究では、超高感度赤外レーザー吸収分光 (Cavity Ring Down Spectroscopy : CRDS) に基づくトリチウム水分析法の開発を行っている。CRDS では、2 枚の高反射率鏡で構築される光共振器内をガス試料で満たして分析を行う。光共振器内に連続発振レーザー光を入射すると、波長と共振器長が共鳴条件を満たした時、光が共振器内に蓄積される。光共振器からの漏れ光を検出し、閾値を超えた時に瞬間的に入射光を遮断することで透過光強度は指数関数的に減衰する (リングダウン信号)。この信号の減衰率は、吸収物質の分子数密度に相関があり、共振器内での多重反射により実効的な光路長が長く確保できることに加えて、レーザー強度の変動の影響を受けないため、超高感度な分析が実現できる。今回は、CRDS によるトリチウム水分析に向けた微量水分試料導入法^[1]について報告する。

2. トリチウム分析に向けた微量水分試料導入法の開発と HDO スペクトルの取得

水分子は物質に非常に吸着しやすい性質があるため、前の試料の水分子が体系内に吸着し、コンタミネーションとして次の測定に悪影響を及ぼす。そこで、一連の測定でコンタミネーションが発生しないように、Flow through 法に基づく微量水分試料導入系を開発した。Flow through 法では、常に水蒸気が連続的に流れているため、チューブやガスセル内に吸着している分子が速やかに置換され、コンタミネーションの影響を効果的に除去できる。開発した導入系を用いて HDO を含む試料を導入した際の圧力変動とその際に得られた CRDS スペクトルを Fig.1 に示す。試料導入時は HDO のスペクトルを取得できたのに対して、導入後はスペクトルが消失したことからコンタミネーション効果を抑制した導入系であることが確認できた。

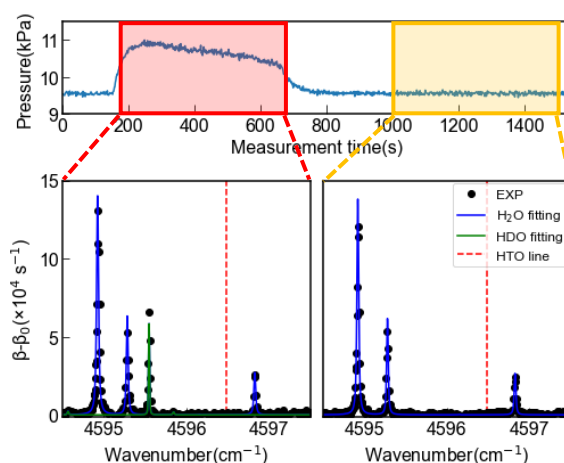


Fig.1 Time trend of gas pressure in the gas cell (upper) and CRDS spectra during (left) and after (right) sample introduction

参考文献 [1] K. Iwamoto *et al.*, Proceed. Optica Advanced Photonics Congress 2022 JT6A.7, (2022).

謝辞 本研究は、JST CREST JPMJCR2104 の支援を受けて行われた。

**JAEA-AMS-TONO における
加速器質量分析装置に関する研究開発; 2022 年度
Research and Development for Accelerator Mass Spectrometer
at JAEA-AMS-TONO; 2022FY**

日本原子力研究開発機構¹, 株式会社ベスコ², ビームオペレーション株式会社³,
○藤田奈津子¹, 三宅正恭¹, 松原章浩², 石井正博³, 神野智史¹, 渡邊隆広¹, 西尾智博²,
小川由美¹, 木村健二¹, 島田顕臣¹, 高橋悠人³, 島田耕史¹

Japan Atomic Energy Agency (JAEA)¹, PESCO Co., Ltd.², Beam Operation Co., Ltd.³,
°Natsuko Fujita¹, Masayasu Miyake¹, Akihiro Matsubara², Masahiro Ishii³, Satoshi Jinno¹,
Takahiro Watanabe¹, Tomohiro Nishio¹, Yumi Ogawa², Kenji Kimura¹, Akiomi Shimada¹,
Yuto Takahashi³, Koji Shimada¹
E-mail: fujita.natsuko@jaea.go.jp

日本原子力研究開発機構東濃地科学センター土岐地球年代学研究所では、地質環境の長期安定性に関する研究における技術開発において、加速器質量分析装置 (Accelerator Mass Spectrometer : AMS) を用いた年代測定を実施している。AMS は希少放射性核種を対象とした超微量同位体比測定が可能な装置であり、当センターにおいても地質試料や地下水試料、考古学試料等の年代測定に取り組んでいる。現在当センターには AMS が 3 台あり、うち 2 台は年代測定の実試料測定用であり、もう 1 台が超小型 AMS の開発に向けた試験装置である。

実試料測定用の 2 台の AMS は JAEA-AMS-TONO-5MV (NEC 製 15SDH-2, 最大加速電圧 5.0 MV) と JAEA-AMS-TONO-300kV (HVE 製 4103Bo-AMS, 最大加速電圧 300 kV) であり、2 台とも、炭素-14 (¹⁴C), ベリリウム-10, アルミニウム-26, ヨウ素-129 の 4 核種を測定している。また 5MV の AMS ではこれら 4 核種に加えて、地下水の年代測定に有用な塩素-36 (³⁶Cl) の測定に向けた技術開発も実施している。

超小型 AMS の開発に向けた試験装置 (最大引出電圧 40 kV, タンデム加速はなし) は ¹⁴C 測定用であり、イオンチャネリングを利用した AMS の同質量分子の新しい分別方法を実証するための装置である[1]。これまで ¹⁴C 測定実用化のための実証試験に向け、検出部において質量 14 の電流を計測した。今後、¹⁴C の検出に向けて研究開発を行っていく予定である。

発表では、微少量 ¹⁴C 試料の前処理法や測定方法の検討、³⁶Cl 測定のための硫黄-36 除去方法の検討などを含む、それぞれの研究開発状況を報告する。

[1] 藤田 他, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会 シンポジウム, (2023) 17a-A304-5.

東京大学 MALT の加速器質量分析の現状 – 2023 秋 –

Status report of the MALT, The University of Tokyo – Autumn 2023 –

東京大学 MALT¹ ○山形武靖¹, 楊秋語², Yuanzhi Qi¹, 徳山裕憲¹, 土屋 (春原) 陽子¹,
戸谷美和子¹, 松崎浩之^{1,2}

MALT, The Univ. of Tokyo¹, NEM, The Univ. of Tokyo², Takeyasu Yamagata¹, Qiuyu Yang²,
Yuanzhi Qi¹, Hironori Tokuyama¹, Yoko Sunohara Tsuchiya¹, Miwako Toya¹, Hiroyuki Matsuzaki^{1,2}
E-mail: Yamagata@um.u-tokyo.ac.jp

東京大学総合研究博物館タンデム加速器施設 MALT (Micro analysis laboratory, Tandem accelerator, The University of Tokyo)は米国 NEC 社製ペレトロン 5UD 加速器 (最大加速電圧 5MV) を運用しており、学内外を問わず研究・教育活動のための施設として用いられている。例年加速器運転時間のおよそ 3 分の 2 が加速器質量分析 (Accelerator mass spectrometry: AMS) マシントimeに充てられている。AMS マシントimeの他は NRA(Nuclear Reaction Analysis), ERDA (Elastic Recoil Detection Analysis)を行なっている。現在ルーチン測定として AMS を行なっている核種は ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{36}Cl と ^{129}I であり、 ^{41}Ca と ^{236}U の開発を行なっている。

本講演では特に最近飛躍的に性能が向上した ^{236}U -AMS について紹介する。 ^{236}U (半減期 2.34×10^7 y)は人為起源放射性核種として、福島第一原子力発電所のデブリの燃焼度解析、核実験または再処理工場から放出された成分の海洋トレーサーへの利用など今後の応用研究の展開が見込まれる。東京大学 MALT の ^{236}U -AMS システムにおいて検出器をガスカウンターから TOF 検出器に変更したことによって ^{235}U の妨害が低減し、バックグラウンドが $^{236}\text{U}/^{238}\text{U} = 3 \times 10^{-12}$ に向上したことを 2022 年秋期学術講演会で紹介した。 ^{236}U のターゲット作成について検討し引き出すビームカレントの向上を行い、北極海の海水中 ^{236}U 濃度の測定を行った。海水中で U は炭酸錯体となって保存成分として振る舞い、海水とともに移動する。北極海における主な起源は La Hague と Sellafield の核燃料再処理工場から放出された成分である。 ^{236}U 放出量は 1985 年から 1995 年が多く、その後は減少し一定である、同時に放出される ^{129}I は 1990 年から放出量が増加しており、 $^{129}\text{I}/^{236}\text{U}$ は北極海に流入した年代によって大きく異なるため、採取点の海水の年代の指標となる。そこで北極海の海水循環の年代指標として海水中 ^{236}U 濃度と ^{129}I 濃度を測定した。北極海の表層海水中 ^{236}U 濃度はほぼ一定であった。ボーフォート海の深度分布は表層 1×10^7 atoms kg^{-1} であった。50 m 付近は太平洋起源の水塊が流入した影響によって $(0.5 - 1) \times 10^7$ atoms kg^{-1} に減少し、100 – 1000 m にかけて大西洋起源の再処理工場で放出された ^{236}U を含む水塊の影響によって $(2 - 3) \times 10^7$ atoms kg^{-1} にピークを持ち、深層に向けて減少する分布を示した。

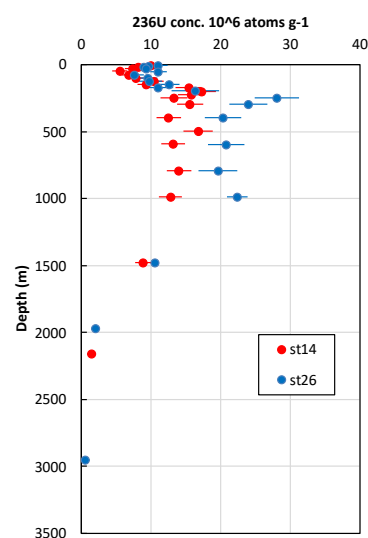


Fig. 1 The Depth profile of ^{236}U concentration in the Arctic Ocean.

都市大タンデムの現状 ～教育利用の状況～
Present states of TCU-Tandem - Status of educational use -

都市大 °羽倉尚人

TCU °Naoto Hagura

E-mail: nhagura@tcu.ac.jp

東京都市大学・原子力研究所では、2018 年 5 月から 1.7MV ペレトロン・タンデム加速器（都市大タンデム）^[1]を運用している。研究用原子炉「武蔵工大炉」が廃止措置段階に入ったため新たな教育・研究のための設備として導入された。SDD（silicon drift detector, Amptek）を用いたエネルギー分散型の荷電粒子線励起 X 線分光（EDS-PIXE）分析実験をスタートさせ、武蔵工大炉建屋のコンクリート^[2]や使用済燃料再処理プロセスにおけるマイナーアクチニド（MA）の回収に用いられる吸着剤^[3]、そのほか環境試料を主な分析対象としている。2021 年からは学内の他学科の研究室との共同利用も開始しユーザーの拡大に向けた第一歩を踏み出している^[4]。本学や他大学の学部学生や大学院生を対象とした実験実習科目の一テーマとして教育利用を進めている。本報告では、運用開始から 5 年を経過した当施設のタンデム加速器の主に教育利用での状況を報告する。

[1] 羽倉尚人 ほか、日本原子力学会和文論文誌、Vol. 17、No. 3/4、pp. 111-117 (2018).

[2] N. Hagura, et al., International Journal of PIXE, Vol. 28, Nos. 3 & 4, 77-84 (2018).

[3] S. Watanabe, et al., Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B 477, 60-65 (2020).

[4] 小森あかね ほか、放電学会年次大会、2021/12、B-2

8 MeV He イオンビームを用いた透過 ERDA による 水素同位体比の測定

Measurement of Hydrogen Isotope Ratios by Transmission ERDA using 8 MeV He Ion Beams

筑波大加速器¹, 筑波大数物² [○]笹 公和^{1,2}, 工藤 博¹, 檜本 洋¹, 左高 正雄¹,
石井 聡¹, 富田成夫²

UTTAC, Univ. Tsukuba¹, Pure and Applied Sciences, Univ. Tsukuba², [○]Kmikazu Sasa^{1,2}, Hiroshi
Kudo¹, Hiroshi Naramoto¹, Masao Sataka¹, Satoshi Ishii¹, Shigeo Tomita¹

E-mail: ksasa@tac.tsukuba.ac.jp

弾性反跳検出分析 (ERDA: Elastic Recoil Detection Analysis)は、加速イオンの原子核とターゲット原子の相互作用に基づくため、物質中の軽元素、特に水素の検出に利用されてきた。ERDA による粒子検出は、ターゲット原子の質量に依るため、十分な質量分解能があれば物質中の同位体に関する情報を得ることができる。本研究では、透過レイアウトの ERDA (T-ERDA)を用いて、厚さ 2.5 μm の Mylar (ポリエチレンテレフタレート, $(\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4)_n$)と厚さ 1.35 μm の PPS (ポリフェニレンサルファイド, $(\text{C}_6\text{H}_4\text{S})_n$)の薄い水素含有フィルム中の水素 (H)と重水素 (D)の含有比率を測定した。T-ERDA の検出角度が 0° の場合、 ^4He イオンのエネルギーが 8–10 MeV のときに H と D の反跳断面積は 1–2b/sr と大きく向上する[1], [2]。したがって、T-ERDA は H だけでなく、D も同時に検出することが可能となる。また、T-ERDA は定量分析において参照試料を必要としない利点もある。

筑波大学 6MV タンデム加速器からの 8 MeV の $^4\text{He}^{2+}$ ビームを用いて、 2×10^{-5} Pa の圧力下で実験を実施した。 $^4\text{He}^{2+}$ ビームは、試料上の $\sim 0.1 \times 0.1 \text{ mm}^2$ に集束された。Mylar フィルムと PPS フィルムの裏側には、入射した $^4\text{He}^{2+}$ が粒子検出器に入ることを防ぐため、厚さ 20 μm または 25 μm の Ni 箔を設置した。反跳 H と D のエネルギーは、Ni 箔を通過した後に 0° から 3.78° の角度範囲で 33 keV の分解能を有するシリコン表面障壁型半導体検出器で測定された。ビーム電流値は試料ホルダーに取り付けられたファラデーカップによって測定され、0.5–0.7 nA で 15–60 分間の T-ERDA スペクトルを取得した。反跳 H と D の T-ERDA スペクトルより、Mylar フィルムの場合、決定された D/H 比と対応する D 密度(atoms/cm³)は、それぞれ $(1.65 \pm 0.08) \times 10^{-4}$ と $(5.75 \pm 0.28) \times 10^{18}$ となった。また、PPS フィルムでは、 $(1.64 \pm 0.08) \times 10^{-4}$ と $(4.93 \pm 0.24) \times 10^{18}$ となった。本研究は、T-ERDA が物質中の D/H 比の非破壊測定に広く適用できることを示すものである。

参考文献

- [1] H. Kudo, H. Naramoto, M. Sataka, S. Ishii, K. Sasa, S. Tomita, J. Phys.: Con-dens. Matter **33**, 465901 (2021).
- [2] H. Kudo, M. Kurosawa, H. Naramoto, M. Sataka, S. Ishii, K. Sasa, S. Tomita, J. Phys.: Condens. Matter **34**, 435902 (2022).

高速クラスターイオンビーム照射による単層グラフェンから放出される二次電子エネルギーの入射粒子依存性

Incident particle dependence of the energy of secondary electrons emitted from monolayer graphene by fast cluster ion beam irradiation

京大院工 ○(M2)宇野 鳴記, 間嶋 拓也, 斉藤 学, 土田 秀次

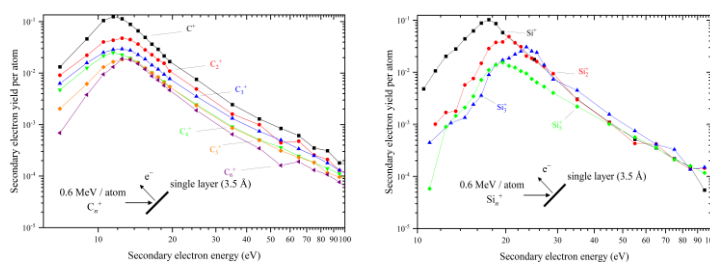
Kyoto Univ. ○Naruki Uno, Takuya Majima, Manabu Saito, Hidetsugu Tsuchida

E-mail: uno.naruki.46a@st.kyoto-u.ac.jp

高速クラスターイオンビームは、特有の照射効果があることが知られており、物質分析への応用が期待されている。クラスター特有の照射効果は、クラスター構成原子が集団となって標的の電子系にエネルギー付与をすることに起因している。したがって、生成された二次電子のエネルギーを測定することは、エネルギー付与過程の解明のために繋がる。しかし、以下の2つの課題により未だ基礎過程の解明には至っていない。(i) クラスター構成原子は、標的内で核間距離が広がり、集団としての照射効果が消失してしまう。(ii) 生成された二次電子は固体内で励起、電離によってエネルギーを失いながら輸送され、表面から放出される。この輸送過程があることにより、二次電子の発生時におけるエネルギー分布を測定することが困難になっている。これら2つの問題は標的の膜厚が主な原因となっている。これを解決するために、我々は標的に単層グラフェン膜を使用した。

実験は、京都大学工学研究科附属量子理工学教育センターの2 MV タンデム型ペルトロン加速器を用いて行った。自立単層グラフェン膜に0.6 MeV / atom C_n^+ と Si_n^+ のクラスターイオンビームを照射し、膜からビームの入射方向に対して後方に放出した二次電子を阻止電場型エネルギー分析器で測定した。

図に、単層グラフェンから放出した二次電子のエネルギー分布を示す。縦軸はクラスター構成原子一個あたりの二次電子収量を示す。クラスターサイズが増加することで、二次電子収量が低下していることが分かる。また、 C_n^+ と Si_n^+ 照射を比べると、 Si_n^+ 照射の方がピークを持つ二次電子のエネルギーが大きいことがわかる。これは、 Si_n^+ の方が、原子番号が大きく、クーロン相互作用において、エネルギー移行が大きいイベントが多く起こるからであると考えられる。発表では、誘電応答関数を用いて、入射粒子によるエネルギー移行の違いから、高速クラスターイオンビーム照射による二次電子エネルギー分布を解析した結果を示す。



0.6 MeV / atom C_n^+ と Si_n^+ を単層グラフェンに照射して後方に放出される二次電子エネルギー分布。

TOF-ERDA 装置の大立体角化と検出効率の向上

Increasing of solid angle and improvement of detection efficiency for TOF-ERDA system

京府大生命環¹, 京大院工² ○(M1)藤井 晴也¹, (B)仙田 敬¹, 長谷川 千華¹, 島 始輝¹
安田 啓介¹, (M1)中溝 珠里², 間嶋 拓也²

Kyoto Prefectural Univ.¹, Kyoto Univ.², ○Haruya Fujii¹, Satoshi Senda¹, Chika Hasegawa¹,
Tomoki Shima¹, Keisuke Yasuda¹, Syuri Nakamizo², Takuya Majima²

E-mail: s823632026@kpu.ac.jp

近年、安全性が高い次世代の二次電池である全固体リチウムイオン二次電池 (ASSLB) の開発が進んでいる。電池の高性能化には固体電解質と電極の界面の電圧印加に伴うリチウムイオンの挙動を微視的に解明することが重要である。我々は、ASSLB 内の充放電時のリチウムイオンの挙動を調べることを目的として飛行時間測定弾性反跳粒子検出 (TOF-ERDA) 測定装置の開発を行っている。TOF-ERDA 装置は上流の透過型検出器 (T1) と下流の透過型検出器 (T2) と 1 台のシリコン半導体検出器 (SSD) で構成され、T1 と T2 で飛行時間、SSD でエネルギーを測定する。透過型検出器はフォイル、マイクロチャネルプレート (MCP) 検出器、静電ミラーで構成されている。粒子がフォイルを通過する際に発生する二次電子を静電ミラーで偏向し、MCP 検出器で検出する。本発表では、T2 の有感領域増大による装置の大立体角化と T1 の MCP 検出器変更による検出効率の向上について報告する。

本装置は T2 に厚さ $10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 直径 $25 \text{ mm}\phi$ のカーボンフォイルを使用する設計であったが、カーボンフォイルが破れてしまい装着できず、代わりに $15 \text{ mm}\phi$ のフォイルを使用していた。そこで我々は、フォイルホルダをワイヤーで補強することで $25 \text{ mm}\phi$ のフォイルを作製した。フォイル変更後の立体角は 0.42 msr であり変更前の 0.16 msr と比較すると 2.6 倍となった。また透過型検出器のリチウムに対する検出効率は T2 の値が 90% 以上であったが、T1 の値は 50~60% と低かった。そこで T1 の MCP 検出器の有感領域が $14.5 \text{ mm}\phi$ のものから T2 と同じ $27 \text{ mm}\phi$ のものに変更し、検出効率の変化を調べた。Fig. 1 に T1 の MCP 検出器変更前後のリチウムの検出効率を示す。T1 の MCP 検出器を変更することで T1 のリチウムの検出効率は 50~60% から 70~80% に改善された。

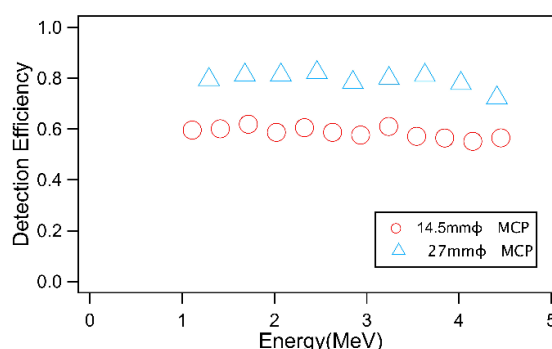


Fig.1 Detection efficiency of the transmission detector for lithium with a MCP of a sensitive area of $14.5 \text{ mm}\phi$, (○) and $27 \text{ mm}\phi$, (△), respectively.