

令和元年6月10日現在

機関番号：13301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16347

研究課題名(和文) 石英中炭素14の超高感度測定法の開発と氷河地形編年への応用

研究課題名(英文) Development of ultrasensitive accelerator mass spectrometry for C-14 in quartz

研究代表者

松中 哲也 (Matsunaka, Tetsuya)

金沢大学・環日本海域環境研究センター・助教

研究者番号：60731966

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：石英中に存在する宇宙線生成核種炭素14を検出するための高感度で迅速な加速器質量分析法を確立し、モレーン岩石に炭素14表面照射年代法を適応させて氷河地形編年を行うことが目的である。6MVタンデム加速器とガスイオン源を用いて、二酸化炭素から炭素14を迅速に測定する手法開発を進めた。ガスイオン源は固体イオン源と比べてバックグラウンドと測定誤差が高いが、少なくとも0.5-1.0ミリグラムの二酸化炭素について炭素14の迅速測定が可能である。他の宇宙線生成核種(ベリリウム10・アルミニウム26・塩素36・カルシウム41)の超高感度測定も可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ガスイオン源を用いて、少なくとも0.5-1.0ミリグラムのCO<sub>2</sub>ガス試料について、グラファイト処理を施す必要の無い、高感度で迅速な<sup>14</sup>C測定に成功した。前処理を含めて2日間で10試料の<sup>14</sup>C測定が可能であり、迅速性の観点から意義があるだけでなく、CO<sub>2</sub>として導入できる他の分析装置(元素分析計、レーザーアブレーション、ガスクロマトグラフ)とAMSを連結する応用研究が今後期待できる。

研究成果の概要(英文)：The first test of the <sup>14</sup>C-accelerator mass spectrometry (AMS) system was successfully performed using a gas/solid hybrid ion source and an automated sample preparation system with an elemental analyzer (EA). The maximum <sup>12</sup>C current of 11 μA was achieved using the optimized CO<sub>2</sub> flow rate to the hybrid ion source. The machine background of <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C for the AMS system reached to 2.4 × 10<sup>-6</sup> (0.02 percent modern carbon, pMC) using unprocessed mineral graphite. The blank level of <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C including the combustion process for an IAEA-C1 graphite sample was 4.6 × 10<sup>-6</sup> (0.05 pMC), demonstrating the low blank level of the automatic sample preparation system. In contrast, the blank level of <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C including the combustion process for an IAEA-C1 CO<sub>2</sub> sample was 5.0 × 10<sup>-5</sup> (0.49 pMC), an order of magnitude worse than that for the graphite sample. The measurement uncertainty for the gas ion source was 0.6%, 2 times worse than that for the solid ion source (0.3%).

研究分野：地球化学

キーワード：炭素14 ガス/固体ハイブリット型イオン源 加速器質量分析

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

石英中の宇宙線生成核種  $^{10}\text{Be}$ ・ $^{26}\text{Al}$  を用いて、モレーン岩石の表面露出年代(宇宙線照射に曝されていた期間)を決定する研究が2,000年代以降ヒマラヤを対象に行われてきた(Owen et al., 2005; Zech et al., 2009)。しかしながら、長寿命放射性核種の  $^{10}\text{Be}$ (半減期:150万年)と  $^{26}\text{Al}$ (半減期:71万年)を基に決定された年代値の誤差は、過去20,000年間の年代値で、1,000~7,000年と大きく、高精度の表面照射年代法が必要とされていた。石英中の宇宙線生成核種の一つである  $^{14}\text{C}$ (半減期:5,730年)を用いた方法が、Lifton et al. (2001)やYokoyama et al. (2004)によって開発され、ローレンタイド氷床の後退時期決定などに適用された(Anderson et al., 2008; Briner et al., 2012)。これらの研究による  $^{14}\text{C}$  年代誤差は300年以下と比較的小さかった。従って、 $^{14}\text{C}$  を表面照射年代法に適用することにより、氷河地形の露出年代を  $^{10}\text{Be}$ ・ $^{26}\text{Al}$  法より高精度で決定できると期待される。しかしながら、石英中  $^{14}\text{C}$  の抽出装置とそれに続く前処理装置は、高バックグラウンドや石英中  $^{14}\text{C}$  が極微量であることなどの理由により、国内で稼働している施設が無い状況にあった。

### 2. 研究の目的

(1) 石英中に極微量存在する宇宙線生成核種  $^{14}\text{C}$  を検出するための超高感度で迅速な加速器質量分析(Accelerator mass spectrometry: AMS)法とその前処理法を確立する。石英中  $^{14}\text{C}$  の抽出装置の開発、および筑波大学に導入された6 MV加速器質量分析装置とガス/個体ハイブリット型イオン源を用いて極微量  $\text{CO}_2$  ガス(10  $\mu\text{gC}$ )の直接  $^{14}\text{C}$  測定法の開発を行う。

### 3. 研究の方法

(1) 石英中  $^{14}\text{C}$  抽出装置、および超高感度で迅速な  $^{14}\text{C}$  - 加速器質量分析法の開発

真空ライン付電気炉(1,800 )の石英中  $^{14}\text{C}$  抽出装置の開発を実施する。問題の高いバックグラウンドを下げる工夫を行う。 $^{14}\text{C}$  測定は筑波大学に導入された国内初となるガス/個体ハイブリット型イオン源(図1)を装備した6MV加速器質量分析装置を用いて行う。石英から得た  $\text{CO}_2$  ガスについて、グラファイト化処理を施すことなく  $^{14}\text{C}$  測定を実施できると考えられる。この手法は、通常  $^{14}\text{C}$  測定に1 mgC 程度の試料が必要であるところ、10  $\mu\text{gC}$  程度の極微量炭素で  $^{14}\text{C}$  測定ができることから、超高感度で迅速な  $^{14}\text{C}$  年代決定(誤差:0.5%)が可能になると期待される。グラファイト試料をターゲットとする固体イオン源を用いた場合に比べ、前処理迅速化と試料微量化の観点から利点がある。スコットランド大学AMS施設では、1-2  $\mu\text{l min}^{-1}$ の流量で  $\text{CO}_2$  試料をガスイオン源内のTiターゲットに導入することによって最大11  $\mu\text{A}$  の  $^{12}\text{C}$  カレントを引き出すことに成功し、200  $\mu\text{gC}$  から1 mgC の  $\text{CO}_2$  試料に対して、固体イオン源と同程度の精度(0.5%)で  $^{14}\text{C}$  測定を実施している(Xu et al., 2007)。筑波大学の6MV タンデム加速器に装備されたガス/個体ハイブリット型イオン源とガスハンドリングシステム、および自動前処理システムを用いて、以下2点に着目して迅速  $^{14}\text{C}$  測定法を検討した。

ガス/個体ハイブリット型イオン源のセットアップ

グラファイトと  $\text{CO}_2$  サンプルの  $^{14}\text{C}$ -AMS 測定性能

米国NEC社製のガスハンドリングシステムに装填した高純度  $\text{CO}_2$  ガスをガスイオン源内のTiターゲット表面に導入し、セシウムスパッタリングによって引き出される  $^{12}\text{C}$  カレントが最大となる最適  $\text{CO}_2$  流量を調べると共に、イオン源のアイオナイザーやセシウムオープンを調整した。炭素量を1 mgC に調整した  $^{14}\text{C}$  濃度が異なる標準物質(IAEA-C1: マーブル、IAEA-C7: シュウ酸、NIST-HOxII: シュウ酸)を対象に、元素分析計を併用した自動前処理システムを用いて  $\text{CO}_2$  を精製・封管した。  $\text{CO}_2$  試料を最適流量でガスイオン源に導入し、引き出された各種イオン( $^{12}\text{C}$ 、 $^{12}\text{CH}$ 、 $^{12}\text{CH}_2$ 、 $^{13}\text{C}$ 、 $^{13}\text{CH}$ 、 $^{14}\text{C}$ )をタンデム加速器へ質量数12、13、14ごとに逐次入射させて  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  と  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  を計測した(3,000 cycle  $\times$  6-10回)。ターミナル電圧が3.0 MVの条件下で、12 MeVの  $^{14}\text{C}^{3+}$  をE-Eガス検出器で計数した。試料の  $^{13}\text{C}$  を-25%に規格化して同位体分別効果を補正し、下記式により  $^{14}\text{C}$  濃度(Percent modern carbon: pMC)を算出した。また、標準物質のグラファイト試料をターゲットとした固体イオン源による  $^{14}\text{C}$  測定結果と比較した。

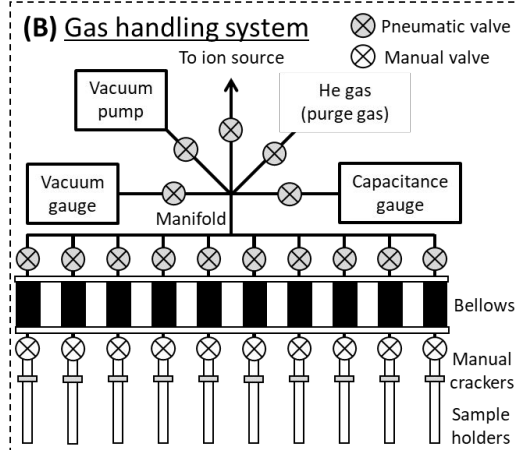
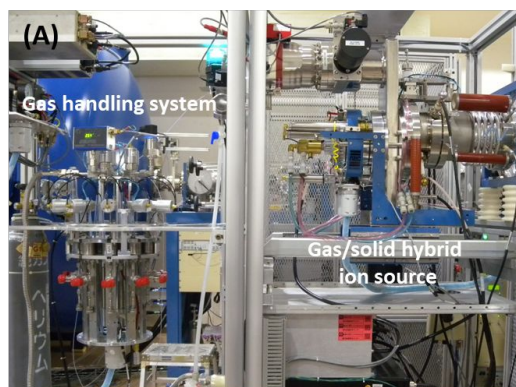


図1. ガス/固体ハイブリット型イオン源とガスハンドリングシステムの写真(A)と概念図(B)

#### 4. 研究成果

##### (1) ガス/固体ハイブリッド型イオン源のセットアップ

ガスハンドリングシステムは、ペローズに導入したCO<sub>2</sub>試料の圧力を一定に保つことにより、CO<sub>2</sub>試料をガスイオン源のTiターゲット表面に一定流量で導入することを可能にする。ペローズとマニフォルド内のCO<sub>2</sub>圧力を3-21 Torrの範囲で変えてビームテストを実施した結果、~4.6 μAの最大<sup>12</sup>Cカレントが引き出される。CO<sub>2</sub>圧力は~12 Torrであることが分かった(図2)。この時のCO<sub>2</sub>流量が~1.6 μl min<sup>-1</sup>であることを先行研究(Xu et al., 2007)から見積った。更に、アイオナイザー(24 A)とセシウムオープン温度(115 °C)の最適化により、<sup>12</sup>Cカレントの最大値は11 μAとなった。また、1 mgCのCO<sub>2</sub>試料について1時間のビームテストを行った結果、7 μA以上の<sup>12</sup>Cカレントが50分維持されていた。従って、1 mgCのCO<sub>2</sub>試料について、3,000 cycle(5分)で10回程程度の連続<sup>14</sup>C測定が可能であると考えられた。

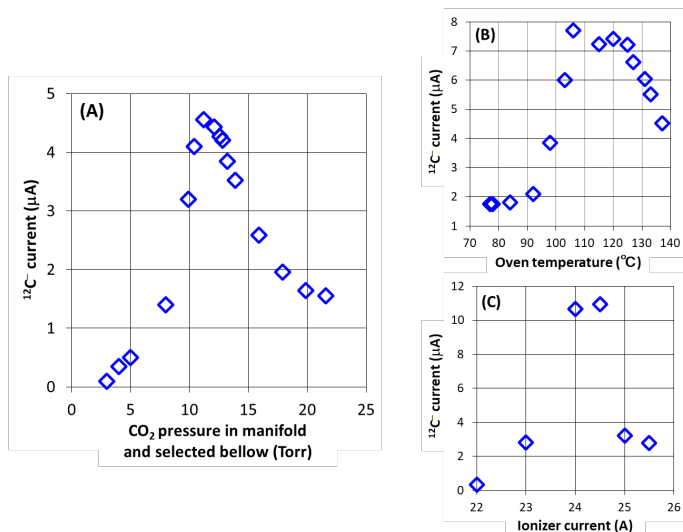


図2. ガスイオン源から引き出される<sup>12</sup>CカレントとCO<sub>2</sub>圧力(A)、セシウムオープン温度(B)およびアイオナイザー(C)の最適化

##### (2) グラファイトとCO<sub>2</sub>サンプルの<sup>14</sup>C-AMS測定性能

固体イオン源とガスイオン源による<sup>14</sup>C測定結果を比較した(3,000 cycle×6-10回)。ガスイオン源による<sup>14</sup>C測定結果は、IAEA-C7で49.83±0.58 pMCとなり、誤差内で推奨値と一致した。また、NIST-HOxIIの測定誤差は0.6%であり、固体イオン源の測定誤差(0.3%)より2倍高かった。IAEA-C1(バックグラウンド)の<sup>14</sup>C濃度は、0.49±0.05 pMCであり、固体イオン源のバックグラウンド(0.05±0.01 pMC)と比べて10倍高かった。また、自動前処理システムを併用した場合、10試料程度のCO<sub>2</sub>について、前処理(燃焼、CO<sub>2</sub>精製・封管)からAMSセットアップを含む<sup>14</sup>C測定まで2日間で終了することができる。従ってガスイオン源は固体イオン源に比べて測定誤差とバックグラウンドが高いが、少なくとも1 mgCのCO<sub>2</sub>試料について<sup>14</sup>Cの迅速測定を可能にすることが分かった。10 μgCまでの微量CO<sub>2</sub>試料についても<sup>14</sup>C測定の評価を進めている。

##### (3) まとめ

ガスイオン源の最適CO<sub>2</sub>流量(~1.6 ml min<sup>-1</sup>)、最適パラメーター(アイオナイザー(24 A)とセシウムオープン温度(115 °C))と最大<sup>12</sup>Cカレント(~11 μA)を決定した。ガスイオン源を用いた1 mgCのIAEA-C7の<sup>14</sup>C測定結果は誤差内で推奨値と一致し、NIST-HOxIIの測定誤差は0.6%であった(固体イオン源: 0.3%)。ガスイオン源におけるバックグラウンドは、0.49±0.05 pMCであり、固体イオン源(0.05±0.01 pMC)と比べ10倍高かった。前処理を含めて2日間で10試料のCO<sub>2</sub>についてガスイオン源による<sup>14</sup>C測定が可能であることが分かった。石英中<sup>14</sup>Cの測定に向けて、ガスイオン源を用いて10 μgC程度の微量CO<sub>2</sub>試料の<sup>14</sup>C測定を進める必要があることが分かった。

#### 5. 主な発表論文等

##### [雑誌論文](計20件)

Matsunaka, T., Sasa, K., Hosoya, S., Shen, H., Takahashi, T., Matsumura, M., Sueki, K. (2019) Radiocarbon measurement using a gas/solid hybrid ion source and an automated sample preparation system at the University of Tsukuba, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B* (in press) 査読有。  
<https://doi.org/10.1016/j.nimb.2018.11.042>

Matsunaka, T., Sasa, K., Takahashi, T., Hosoya, S., Matsumura, M., Satou, Y., Shen, H., Sueki, K. (2019) Radiocarbon variations in tree rings since 1960 near the Tokai nuclear facility, Japan, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 439, 64-69, 査読有。  
<https://doi.org/10.1016/j.nimb.2018.12.009>

Hosoya, S., Sasa, K., Takahashi, T., Matsunaka, T., Matsumura, M., Shen, H., Ota,

Y., Takano, K., Ochiai, Y., Sueki, K. (2019) Isobar suppression for  $^{36}\text{Cl}$  accelerator mass spectrometry at the University of Tsukuba, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 438, 131-135, 査読有.  
<https://doi.org/10.1016/j.nimb.2018.07.001>

Sasa, K., Takahashi, T., Matsunaka, T., Hosoya, S., Matsumura, M., Shen, H., Honda, M., Takano, K., Ochiai, Y., Sakaguchi, A., Sueki, K., Stodola, M., Sundquist, M. (2018) The 6 MV multi-nuclide AMS system at the University of Tsukuba: First performance report, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 437, 98-102, 査読有.  
<https://doi.org/10.1016/j.nimb.2018.09.011>

細谷青児, 笹公和, 高橋努, 松中哲也, 松村万寿美, Shen, H., 末木啓介 (2017) 長寿命放射性核種  $^{36}\text{Cl}$  の加速器質量分析法による超高感度測定, *Proceedings of the 18th Workshop on Environmental Radioactivity, High Energy Accelerator Research Organization*, 299-304, 査読有.

Hosoya, S., Sasa, K., Matsunaka, T., Takahashi, T., Matsumura, M., Matsumura, H., Sundquist, M., Stodola, M., Sueki, K. (2017) Optimization of a E-E detector for  $^{41}\text{Ca}$  AMS using PHITS code simulation, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 406, 268-271, 査読有.  
<https://doi.org/10.1016/j.nimb.2017.03.161>

Wang, J.B., Zhu, L.P., Wang, Y., Peng, P., Ma, Q.F., Habertzettl, T., Kasper, T., Matsunaka, T., Nakamura, T. (2017) Variability of the  $^{14}\text{C}$  reservoir effects in Lake Tangra Yumco, Central Tibet (China), determined from recent sedimentation rates and dating of plant fossils, *Quaternary International*, 430, 3-11, 査読有.  
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.084>

Sasa, K., Takahashi, T., Matsunaka, T., Hosoya, S., Honda, M., Ota, Y., Takano, K., Ochiai, Y., Matsumura, M., Sueki, K. (2018) Operational status of the Tsukuba 6 MV multi-nuclide AMS system in fiscal 2017, *UTTAC ANNUAL REPORT 2017*, 13-14, 査読無.

Matsunaka, T., Sasa, K., Takahashi, T., Hosoya, S., Matsumura, M., Sueki, K., Satou, Y. (2017) : Radiocarbon variations since 1960 in tree rings near the Tokai nuclear facilities in Japan, *UTTAC ANNUAL REPORT 2016*, 28-29, 査読無.

Hosoya, S., Sasa, K., Takahashi, T., Matsunaka, T., Matsumura, M., Shen, H., Sueki, K. (2017)  $^{36}\text{Cl}$  AMS measurements with the 6 MV tandem accelerator, *UTTAC ANNUAL REPORT 2016*, 18-19, 査読無.

Sasa, K., Takahashi, T., Matsunaka, T., Hosoya, S., Matsumura, M., Shen, H., Honda, M., Ota, Y., Matsuo, K., Sakaguchi, A., Sueki, K. (2017) Operation of the Tsukuba 6 MV multi-nuclide AMS system for the year 2016, *UTTAC ANNUAL REPORT 2016*, 16-17, 査読無.

松中哲也, 笹公和, 細谷青児, 高橋努, 松村万寿美, 末木啓介, 佐藤志彦 (2017) : 東日本原子力施設周辺の年輪内における 1960 年以降の炭素 14 濃度変動, *第 19 回 AMS シンポジウム報告集*, 76-79, 査読無.

細谷青児, 笹公和, 高橋努, 松中哲也, 松村万寿美, Shen, H., 末木啓介 (2017)  $^{41}\text{Ca}$ -AMS の実用化に向けた技術開発と測定評価, *第 19 回 AMS シンポジウム報告集*, 49-52, 査読無.

松中哲也, 笹公和, 細谷青児, 高橋努, 松村万寿美, 末木啓介 (2017) : ガスイオン源を用いた迅速  $^{14}\text{C}$  測定法の検討, *第 29 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会報告集*, 150-153, 査読無.

細谷青児, 笹公和, 高橋努, 松中哲也, 松村万寿美, 末木啓介 (2017)  $^{36}\text{Cl}$ -AMS 測定に向けた妨害核種  $^{36}\text{S}$  除去の検討, *第 29 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会報告集*, 146-149, 査読無.

笹公和, 石井聡, 大島弘行, 高橋努, 田島義一, 大和良広, 関場大一郎, 森口哲朗, 左高正雄, 榎本洋, 工藤博, 松村万寿美, 山崎明義, 松中哲也, 喜多英治, 上殿明良 (2017) : 筑波大学タンデム加速器施設 UTTAC の現状(2015 年度) -稼働を開始した 6 MV タンデム加速器によるイオンビーム利用研究の展望-, *第 29 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会報告集*, 19-22, 査読無.

細谷青児, 笹公和, 松中哲也, 松村万寿美, 高橋努, Mark Sundquist, Mark Stodola, 末木啓介 (2017) : 難測定核種 AMS 開発に向けた PHITS シミュレーションの適用, *第 18 回 AMS シンポジウム報告集*, 67-70, 査読無.

Hosoya, S., Sasa, K., Matsunaka, T., Matsumura, M., Takahashi, T., Sundquist, M., Stodola, M., Sueki, K. (2016) Application of the PHITS code simulation for hard-to-measure nuclides of AMS, *UTTAC ANNUAL REPORT 2015*, 17-18, 査読無.

Sasa, K., Takahashi, T., Matsunaka, T., Matsumura, M., Hosoya, S., Sueki, K., Stodola, M., Sundquist, M. (2016) : Detection tests of rare particles by the 6 MV tandem accelerator mass spectrometry system, *UTTAC ANNUAL REPORT 2015*, 15-16, 査読無.

黒尾奈未, 笹公和, 細谷青児, 松中哲也 (2016) : 6MV タンデム型静電加速器におけるビ



ーム輸送設定条件の検討, 第 13 回日本加速器学会年会プロシーディングス, 1111-1114, 査読無.

[学会発表](計 20 件)

Matsunaka, T., Sasa, K., Takahashi, T., Sueki, K., Matsuzaki, H., Pre- and post-accident  $^{14}\text{C}$  activities in tree rings near the Fukushima nuclear facility, *International Symposium "Research Frontiers of Transboundary Pollution"*, Kanazawa, Japan, 24-25, January, 2019.

Matsunaka, T., Sasa, K., Takahashi, T., Sueki, K., Matsuzaki, H., Pre- and post-accident  $^{14}\text{C}$  levels in tree rings within 25 km of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, *The 23rd International Radiocarbon Conference*, Trondheim, Norway, 17-22, June, 2018.

Sasa, K., Matsunaka, T., Takahashi, T., Hosoya, S., Sueki, K., Performance of the New Tsukuba 6 MV AMS Facility for Radiocarbon Dating, *The 23rd International Radiocarbon Conference*, Trondheim, Norway, 17-22, June, 2018.

Matsunaka, T., Sasa, K., Hosoya, S., Shen, H., Sueki, K., Development of gas ion source and automated sample preparation system for rapid C-14 measurement, *International Symposium "Environmental researches in northern Japan Sea and related regions: Renewed horizon of Japan-Russia scientific partnership"*, Kanazawa, Japan, 3-4 March 2018.

Matsunaka, T., Sasa, K., Hosoya, S., Shen, H., Takahashi, T., Matsumura, M., Sueki, K., Satou, Y., Rapid C-14 measurement system at the University of Tsukuba and application for nuclear safety, *The 7th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium*, Guilin, China, 20-24 November 2017 (invited).

Sasa, K., Takahashi, T., Hosoya, S., Takano, K., Ochiai, Y., Honda, M., Ohta, Y., Sakaguchi, A., Matsunaka, T., Shen, H., Sueki, K., Progress in Multi-nuclide AMS Techniques for the 6 MV AMS System at the University of Tsukuba, *The 7th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium*, Guilin, China, 20-24 November 2017 (invited).

Sasa, K., Hosoya, S., Matsunaka, T., Takahashi, T., Matsumura, M., Shen, H., Ohta, Y., Sueki, K., Isobar separation techniques of  $^{41}\text{Ca}$  AMS with the 6 MV tandem accelerator, *The Fourteenth International AMS Conference*, Ottawa, Canada, 14-18 August 2017.

Hosoya, S., Sasa, K., Takahashi, T., Matsunaka, T., Matsumura, M., Shen, H., Sueki, K., Isobar suppression for  $^{36}\text{Cl}$ -AMS with the 6 MV tandem accelerator, *The Fourteenth International AMS Conference*, Ottawa, Canada, 14-18 August 2017.

Sasa, K., Takahashi, T., Matsunaka, T., Hosoya, S., Matsumura, M., Honda, M., Shen, H., Sakaguchi, A., Sueki, K., Stodola, M., Sundquist, M., Performance of the 6MV multi-nuclide AMS system at the University of Tsukuba, *The Fourteenth International AMS Conference*, Ottawa, Canada, 14-18 August 2017.

Matsunaka, T., Sasa, K., Hosoya, S., Shen, H., Takahashi, T., Matsumura, M., Sueki, K., Radiocarbon measurement system using gas ion source and automatic sample preparation system at the University of Tsukuba, *The Fourteenth International AMS Conference*, Ottawa, Canada, 14-18 August 2017.

Matsunaka, T., Sasa, K., Takahashi, T., Hosoya, S., Matsumura, M., Sueki, K., Satou, Y., Radiocarbon variations since 1960 in tree rings near the Tokai nuclear facilities in Japan, *The Fourteenth International AMS Conference*, Ottawa, Canada, 14-18 August 2017.

Sasa, K., Takahashi, T., Matsunaka, T., Matsumura, M., Hosoya, S., Honda, M., Sueki, K., Stodola, M., Sundquist, M., Isobar separation performance of the Tsukuba 6 MV AMS system, *ECAART12*, Jyväskylä, Finland, 3-8 July 2016.

Hosoya, S., Sasa, K., Matsunaka, T., Matsumura, M., Takahashi, T., Sundquist, M., Stodola, M., Sueki, K., Optimization of E-E detector for  $^{41}\text{Ca}$  AMS measurement using PHITS code simulation, *ECAART12*, Jyväskylä, Finland, 3-8 July 2016.

松中哲也, 笹公和, 高橋努, 細谷青児, 松村万寿美, 末木啓介, 佐藤志彦, 東海原子力施設の稼働状況に回答した樹木年輪内の炭素 14 濃度変動, 第 18 回「環境放射能」研究会, つくば, 2017.3.14-16.

細谷青児, 笹公和, 松中哲也, 高橋努, 松村万寿美, Shen, H., 末木啓介, 長寿命放射性核種  $^{36}\text{Cl}$  の加速器質量分析法による超高感度測定, 第 18 回「環境放射能」研究会, つくば, 2017.3.14-16.

松中哲也, 笹公和, 高橋努, 細谷青児, 松村万寿美, 末木啓介, 佐藤志彦, 東日本原子力施設周辺の年輪内における 1960 年以降の炭素 14 濃度変動, 第 19 回 AMS シンポジウム, 佐倉, 2016.12.17-19.

細谷青児, 笹公和, 高橋努, 松中哲也, 松村宏, 松村万寿美, 末木啓介, 難測定核種  $^{41}\text{Ca}$  の加速器質量分析法による超高感度測定, 日本原子力学会 2016 年秋の大会, 久留米, 2016.9.7-9.

松中哲也, 笹公和, 細谷青児, 高橋努, 松村万寿美, 末木啓介,  $\text{CO}_2$  ガスイオン源を用いた迅速  $^{14}\text{C}$ -AMS の開発, 2016 日本放射化学学会年会・第 60 回放射化学討論会, 新潟, 2016.9.10-12.

黒尾奈未, 笹公和, 細谷青児, 松中哲也, 6MV タンデム型静電加速器におけるビーム輸送設定条件の検討, 第 13 回日本加速器学会年会, 幕張, 2016.8.8-10.

松中哲也, 笹公和, 細谷青児, 高橋努, 松村万寿美, 末木啓介, ガスイオン源を用いた迅速  $^{14}\text{C}$  測定法の検討, 第 29 回「タンデム加速器及びその周辺技術の研究会」, つくば, 2016.6.30-7.1.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年:  
国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等  
金沢大学環日本海域環境研究センター  
<http://www.ki-net.kanazawa-u.ac.jp/>  
筑波大学 AMS グループ  
<http://www.tac.tsukuba.ac.jp/~ams/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号 (8 桁):

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名: 笹 公和

ローマ字氏名: SASA, Kimikazu

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。