

名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE) 年代測定研究部タンデトロン加速器質量分析
装置の現状と利用 (2023年度)

**Status of Tandetron Accelerator Mass Spectrometer
at the Institute of Space–Earth Environment Research of Nagoya University (2023)**

北川浩之^{1*}・南 雅代¹・池田晃子¹・日比由利子¹・高須沙夜香¹・西田真砂美¹・田村順子¹

Hiroyuki Kitagawa^{1*}, Masayo Minami¹, Akiko Ikeda¹,
Yuriko Hibi¹, Sayaka Takasu¹, Masami Nishida¹, Junko Tamura¹

¹名古屋大学宇宙地球環境研究所

¹ ISEE, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8601, Japan.

*Corresponding author. E-mail: hiroyuki.kitagawa@nagoya-jp

Abstract

The Tandetron Accelerator Mass Spectrometer (AMS), operated by the Division for Chronological Research of the Institute for Space–Earth Environmental Research at Nagoya University, has been utilized to conduct ¹⁴C dating necessary for various research fields. In the fiscal year 2023, ¹⁴C measurements have been performed on 1,134 samples from laboratory code NUTA2-30529 to NUTA2-31662. We have performed intensive maintenance to improve the accuracy of AMS ¹⁴C measurements and ensure systematic operational planning such as the replacement of the compressed air supply system and the repairment of the beam profile monitoring system (BPM).

Keywords: AMS; ¹⁴C dating

1. はじめに

名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究部では、タンデトロン加速器質量分析計 (High Voltage Engineering社製 Tandetron AMS, Model 4130-AMS) を管理・運用し、多様な共同利用・共同研究を実施している。本装置は1999年から25年間に亘って運用され、31,662試料の¹⁴C年代測定が行われてきた。本装置と同タイプのTandetron AMSの半数以上が運用停止・更新されてきたが、イギリス・オックスフォード大学 (Oxford Radiocarbon Accelerator Unit) やドイツ・キール大学 (The Leibniz Laboratory for Radiometric Dating and Stable Isotope Research) などの国際的に知名度のある研究施設で運用され、AMS ¹⁴C測定の重要な役割を担っている。

2023年度は、ISEEの共同利用・共同研究の枠組みである加速器質量分析装置等利用 (共同利用、https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/co-re/2023/accept/2023_Saitaku_09_AMS-Research.pdf) 及び加速器質量分析装置等利用 (委託分析)、修士研究や博士研究など教育・研究に必要となる1,134試料の¹⁴C年代測定 (NUTA2-30529 からNUTA2-31662) を実施した。古代遺伝学・海洋学・地形学・堆積学・古環境・歴史学・考古学・大気環境などの広範囲の研究、さらに¹⁴C年代測定法の技術的な高度化につながる研究開発のために利用された。以下に、本年度実施したISEE共同研究「加速器質量分析装置等利用 (共同利用) の11研究課題を示す。

1. 近代以前の生物の遺伝的多様性の解明のための解析試料の年代測定 (岸田拓士・地球環境史ミュージアム、現在、日本大学)

2. 水試料の放射性炭素濃度測定における生物活動の影響除去に関する新手法開発（高橋 浩・産業技術総合研究所）
2. ^{14}C 同位体指標用いた海藻生息域の海流季節変化の把握（谷水雅治・関西学院大学）
3. 沖積層に含まれる碎屑物を用いた堆積年代の高精度解析（中西利典・ふじのくに地球環境史ミュージアム）
4. 湖沼堆積物を用いた最終氷期以降のモンゴル高原の古環境復元（勝田長貴・岐阜大学）
5. 「トトロの森」の形成・発達史解明（山田和芳・早稲田大学）
6. 福井県三方五湖周辺の遺跡の編年（北川淳子・福井県年縞博物館）
7. 放射性炭素を用いた大気エアロゾルの発生起源解析（池盛文数・名古屋市環境科学調査センター）
8. 赤石山脈における大規模斜面崩壊の発達過程解明に向けた高精度年代測定（荻谷愛彦・専修大学）
9. 海洋棘皮動物の分布に対する氷期間氷期の影響（大路樹生・名古屋大学）
10. 湿地堆積物の堆積過程の高精度復元（奥野 充・大阪公立大学）
11. 温暖化アナログとしての縄文海進最盛期の北海道沿岸部の水温・栄養塩循環・海流の定量的復元（窪田 薫・海洋研究開発機構）

2. AMSのメンテナンス

名古屋大学Tandetron AMSは導入後25年が経過し、計画的な運用を行うためには老朽化した部品の整備・更新が必要となっている。通常のメンテナンスとともに、イオン源で発生したC⁻の引き出し電源（GLASSMAN HIGH VOLTAGE INC, EH series、最大電圧40 KV）の制御系の修理（2024年2月）、空調装置（ドレインが詰まりによる水漏発生）の対応（2024年1月）などを行ったが、致命的なトラブルは発生しなかった。11月19日と12月29日～1月3日の2度の計画停電があり、この期間をTandetron AMSの集中整備期間とし、以下のメンテナンス作業を行った。

1. バルブ・検出器用の圧縮ガスライン及びそれらの制御用ソレノイドバルブの更新
2. 加速器導入部のビームプロファイルモニタリングシステム（BPM）の修理
3. 加速器導入部のファラディカップ（FC3）の交換
4. 高エネルギー側BPMの修理
5. 真空計（イオンゲージ）の電極のクリーニング
6. オートサンプラーの整備
7. Csリザーバの温度制御ユニットの修理
8. 光通信用テレメーターカードメンテナンス及び光ケーブルの交換
9. イオン源ゲートバルブの更新

3. 測定方法・AMSチューニングの変更

3-1 カソードの変更

High Voltage Engineering社製 Tandetron, Model 4130-AMSには、他のAMS装置にない機能が備わっている。グラファイト試料はカソード（ターゲット）の直径2.0 mmのホールに圧密される。直径2.0 mmのグラファイト試料の任意の位置にCs⁺ビームを照射する機能を備えている（以後、「panto機能」という）。このpanto機能により、カソードに圧密されたグラファイト試料の任意の位置をスポット照射することができ、グラファイトの圧密面全面をイオン化できる。グラファイト試料の不均質性の効果を最小化でき、グラファイト試料全体のイオン化を可能としている（実際の測定では、グラファイト試料のほんの一部だけを使い ^{14}C 測定を実施している）。panto機能は、2台のマクソン社製のリニアサーボアンプ（MMC）を用い実現している。現状では、MMCの老朽化により本来の性能が発揮できなく、十分な精度でカソードの位置を制御ができない（代替品への交換を検討しているが、一部イ

オン源制御部の改良が必要)。

グラファイト圧密面の1点(直径は数十マイクロメータ)をイオン源で発生したCs⁺で照射すると、特定部分のグラファイトだけがイオン化され長時間の測定ができない。そのため、カソードのグラファイト試料を圧密するホールの直径を従来の2.0 mm径から、1.5 mm径に変更することで、カソードに圧密されたグラファイトの厚さを約2倍にし、panto機能を使わずとも長時間の測定する仕様に変更した。

長時間測定の安定性(グラファイトのイオン化によりCs照射ポイントが変化する)の確認は今後の課題であるが、panto機能を使わなくても、1 mg程度の炭素から生成したグラファイト試料に関しては、少なくとも2時間程度の安定した測定が可能である。現代炭素に関しては、300,000~400,000個の¹⁴Cを計数することが可能で、統計誤差 ±0.2%以下(炭素14年代の誤差として±15年以下)の測定が可能である。さらに、1.5 mmホールのカソードには微量グラファイト試料の圧密が容易で、100マイクログラム炭素から生成したグラファイト試料の測定が可能である。実際、新型カソードは海洋生物の微小化石骨ら抽出したコラーゲン(上記共同研究課題1)、土器付着炭化物の¹⁴C測定(上記共同研究課題6)などを進めるうえで有効であった。

3-2 低エネルギー側ビームラインの調整

High Voltage Engineering社製Tandetron, Model 4130-AMSの加速器へのイオンビーム入射にはリコンビネーター方式が採用されている。他の型式のAMSで使われているバウンサー電源を使った逐次ビーム入射方式(¹²C、¹³C、¹⁴Cを順番に加速器に入射)と比較して、¹²C、¹³C、¹⁴Cの同時加速、同時計測が可能で点が優れている。リコンビネーター方式では、4つのマグネットを使い、(1)¹²C、¹³C、¹⁴Cビームを分離(イオン源側の2つのマグネットを利用)、(2)チョッパーホイールを使い¹²Cビームを約1/100に減じ、その後¹²C、¹³C、¹⁴Cビームを1つのビームにして(加速器側の2つのマグネットを利用)加速器に入射する。リコンビネーターに導入されるビームの形状を調べるビーム・プロファイル・モニター(BPM)システム(今年度、修理)を用い、リコンビネーターの設定条件を詳細に見直し、加速器に入射されるイオンビームの最適化を図り、加速器へ入射されるイオンビームのフォーカスの改善を図った。

おわりに

名古屋大学Tandetron AMSは導入後25年が経過したが、導入時の性能をほぼ維持し、高精度に¹⁴Cを測定することが可能である。比較的新しい(過去1万年の完新世)試料に関して、試料調製を確実に行えば、1時間程度(20分測定3回、あるいは15分測定4回)で±40年程度の誤差(1 STD)の測定が可能である。バックグラウンドは約1 pMC(現代炭素の1%)以下であり、~50 kBP程度までの試料の年代測定が可能である。今年度は、Tandetron AMSの老朽化した部品の交換などを集中的に実施した。次年度以降のより計画的・効率的な運用が期待される。

謝辞

酢屋徳啓(SVE)氏には、Tandetron AMSの保守管理作業を支援いただいた。マクソンジャパン株式会社(東京都)には、リニアサーボアンプの性能確認をしていただき、代替機の提案をしていただいた。スリーエス株式会社(名古屋市)には、硬度の異なる材質によるプランジャーを製作していただいた。ここに感謝の意を表します。