

# 加速器質量分析計を用いた フェムトレベル超高感度環境分析

SATテクノロジー・ショーケース2026

## ■はじめに

加速器質量分析計(AMS: Accelerator Mass Spectrometer)は、極微量レベルの長寿命放射性同位体( $^{14}\text{C}$ 、 $^{10}\text{Be}$ 、 $^{26}\text{Al}$ 、 $^{129}\text{I}$ など)を、極めて高感度で分析できる最先端の装置である。従来の放射能測定法が放射線を検出するのに対し、AMSは同位体そのものを直接カウントすることで、検出限界を大幅に引き下げることができる。この技術により、フェムトグラムレベル( $10^{-12}$ ~ $10^{-15}$ )の同位体比計測が可能である。地球・環境科学分野において、AMSは、環境トレーサーのツールとして幅広く活用されている。例えば、 $^{14}\text{C}$ では、年代測定のほか、海洋循環、大気CO<sub>2</sub>の炭素循環研究に用いられ、大気、海洋、陸域間における炭素動態の時空間変動を高精度で追跡できるようになった。また、宇宙線生成核種である $^{10}\text{Be}$ は地表侵食速度や氷河変動の解明に、 $^{129}\text{I}$ は核再処理施設由來のトレーサー研究などに用いられている。

さらにAMSの高感度・高精度化を図ることによって、環境研究の応用範囲を広げることが可能である。たとえば、大気中メタンの $^{14}\text{C}$ が計測できれば、メタンの発生源解析において、極めて有用である。しかしながら、メタンの存在量は、大気CO<sub>2</sub>の200分の一と極めて微量であることから、計測が長らく叶わなかった。

## ■NIES-TERRAにおける極微量 $^{14}\text{C}$ 分析に関する取り組みとその展開

国環研AMS施設(NIES-TERRA<sup>※</sup>)では、AMSを用いた様々な環境トレーサー研究の高度化を通じて、多様な地球環境課題の解明に関する研究を行っている。特に数十 $\mu\text{gC}$ 以下の極微量 $^{14}\text{C}$ 計測(通常のAMSでは~1mgC)に対応する革新的な技術の開発を目的に、米国NEC製5MVタンデム型加速器質量分析計(図1)の大規模なアップグレードを行い、新型イオン源の導入、ビームラインの再構築、試料前処理の低バックグラウンド化を行った。とくに、極微量試料での安定したビーム生成の高精度・高感度化を目指し、試料グラファイトのCの負イオン生成を左右するカソードターゲットのセシウムスパッタリング位置(深さ)の最適化(プラズマ空間の確保)を検討した(図2)。その結果、深さ2.0mmの位置条件において、10 $\mu\text{gC}$ の炭素量で10 $\mu\text{A}$ 以上のビームカレントを30分以上にわたって安定化させることに成功した(図3)。これは、セシウムイオンにより生成されるプラズマが、より安定したCマイナスイオンの生成を促していることによる。また、イオン化効率(IE)については、0.35mmでの5.5%から最大で20.5%(2.0mm)へと約4倍に向

上し、カソードターゲット位置の最適化がビーム生成の鍵であることが示された。さらに、IAEAの標準物質を用いたpMC値( $^{14}\text{C}$ 計測値:パーセントモダンカーボン)の精度検証では、IAEA-C6の標準物質10 $\mu\text{gC}$ で、保証値と約1~3%以内の良好な一致が得られた(表1)。以上から、超微量炭素試料においても、信頼性の高い $^{14}\text{C}$ 計測が可能であることが実証された。

本成果により、今後、大気メタン、PM<sub>2.5</sub>、ブラックカーボン・ブラウンカーボン、有機汚染物質(PAHs等)など、試料量制約により計測が難しかった対象物質への $^{14}\text{C}$ トレーサー研究の応用が可能となった。最後に、メタン、大気微小粒子の $^{14}\text{C}$ に基づく化石燃料・バイオマス起源の定量化は、GHGインベントリ、大気化学輸送モデルの検証・高度化に貢献することが期待される。

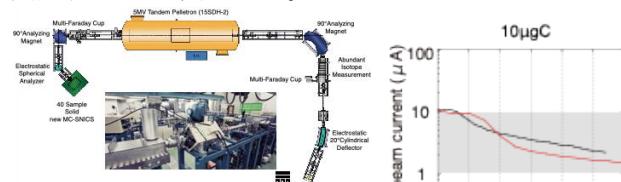


図1 5MV タンデム型加速器質量分析計  
(米国NEC 製)

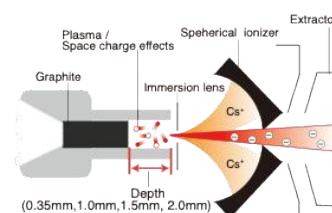


図2 イオン源の概念図

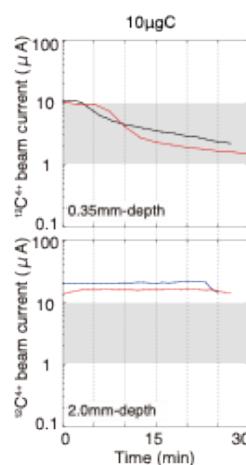


図3 極微量グラファイトのビームカレントの時間変化

表1 IAEA標準物質3種(C1, C6, C8)のpMCの計測結果

IAEA標準物質	保証値	1 $\mu\text{gC}$	10 $\mu\text{gC}$	100 $\mu\text{gC}$
C6	$150.61 \pm 0.11$	$149.8 \pm 3.8$	$151.0 \pm 1.0$	$150.5 \pm 0.4$
C8	$15.03 \pm 0.17$	$14.9 \pm 1.7$	$15.9 \pm 0.4$	$15.1 \pm 0.1$
C1	$0.00 \pm 0.02$	$3.9 \pm 1.3$	$0.6 \pm 0.4$	$0.4 \pm 0.0$

[1] Uchida et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, (2023), 536, 144–153.

\*<https://www.nies.go.jp/chem/terra/index-j.html>

■キーワード: (1) 加速器質量分析計  
(2) 放射性炭素,  $^{14}\text{C}$   
(3) 炭素循環、物質循環  
(4)  $^{14}\text{C}$  極微量分析

■共同研究者: 万徳佳菜子(国立環境研究所)  
小林利行( 国立環境研究所)