

加速器質量分析による同重体分離・検出限界へのチャレンジから

天文学研究へ

Astronomy beyond the limits for isobaric separation and detection by accelerator mass spectrometry

清水建設¹ ○木下 哲一¹

Shimizu Co.¹, °Norikazu Kinoshita¹

E-mail: norikazu.kinoshita@shimz.co.jp

放射性核種は、放射能測定もしくは質量分析による原子数測定により定量される。長寿命核種の定量において、質量分析は同重体の干渉を受けるが放射能測定よりも感度の高い測定手法である。加速器質量分析(AMS)は、原子番号の違いによる物理的性質の差を用いて同重体の分離する長寿命核種の検出手法である。ここでは、¹⁰Be、⁶⁰Fe、¹⁴⁶Sm、²⁴⁴Pu に関する AMS での検出から天文学への展開に関するトピックを紹介する。

AMS において、¹⁰Be などの原子番号の小さな核種は、1 MeV/nucleon 程度に加速したイオンを電離箱で測定する。阻止能の違いがスペクトル上で同重体との分離を可能にする。しかしながら原子番号が大きくなるにつれて同重体との阻止能の相対的な差が小さくなるため、⁶⁰Fe や ¹⁴⁶Sm は電離箱だけでは同重体との分離が難しくなる。そのため、大型の加速器を用いてできるだけ高エネルギーに加速したイオンをガス充填磁石に導入する。ガス中での平均電荷の差による軌道の違い、更には、ガス充填磁石の下流側に設置した電離箱による阻止能の違いを利用して同重体の分離を行う。一方で、同重体による妨害のないアクチノイドでは、同重体の分離よりも寧ろイオン源から検出器までを高い効率で輸送することが検出限界の向上につながる。ターミナル電圧 1 MV のアクチノイド AMS 専用の静電加速器を用いて、測定試料 1 個に約 1000 原子の ²⁴⁴Pu が含まれていれば検出可能になった。

¹⁰Be は大気上層で宇宙線と空気との核反応により生成し地表や海底に沈着するので、堆積物の年代測定に利用できる。⁶⁰Fe と ²⁴⁴Pu はそれぞれ重力崩壊型超新星爆発や中性子星合体で生成するので、天文学的な展開が可能になる。¹⁴⁶Sm は惑星形成の年代測定等に利用されている。¹⁴⁶Sm などの長寿命核種の半減期は放射能測定と質量分析による原子数測定により測定する。我々のグループでは、いくつかの核反応で製造した ¹⁴⁶Sm 試料について ¹⁴⁶Sm の放射能測定と AMS による原子数測定を行うことにより ¹⁴⁶Sm の半減期測定を行った¹。得られた新たな半減期により惑星形成の年代に若干の修正が入った。また、¹⁰Be で堆積年代が明らかになった海底堆積物より ⁶⁰Fe と ²⁴⁴Pu の検出を AMS を用いて試み、⁶⁰Fe はいくつかの年代で蓄積量の極大が見られた^{2,3}。これより、太陽系近傍で起こった重力崩壊型超新星爆発により生成したものがパルス的に太陽系内に流入したことが示された。また、²⁴⁴Pu は過去 1000 万年でほぼ一定の流入があることが分かった。²⁴⁴Pu は太陽系からはるか遠くで起こった中性子星合体などで作られたものが流入し続けていることを示す。講演では他の研究者による超新星爆発の位置の推定などについても紹介する。

【参考文献】

- 1) Kinoshita et al., A shorter ¹⁴⁶Sm half-life measured and implication for ¹⁴⁶Sm-¹⁴²Nd chronology in the Solar System. *Science* 335, 1614-1617 (2012).
- 2) Wallner, Kinoshita, Honda, Matsuzaki et al., Recent near-Earth supernovae probed by global deposition of interstellar radioactive ⁶⁰Fe. *Nature* 532, 69-72 (2018).
- 3) Wallner, Kinoshita, Honda, Matsuzaki et al., ⁶⁰Fe and ²⁴⁴Pu deposited on Earth constrain the r-process yields of recent nearby supernovae. *Science* 372, 742-745 (2021).