

カルシウム 41 の加速器質量分析法による高感度検出手法の開発

Development of the Ultrasensitive Detection Method for ^{41}Ca by means of Accelerator Mass Spectrometry

筑波大 AMS¹ ○笹 公和¹, 落合 悠太¹, 高橋 努¹, 松村 万寿美¹, 末木 啓介¹

AMS, Univ. Tsukuba¹,

○Kimikazu Sasa¹, Yuta Ochiai¹, Tsutomu Takahashi¹, Masumi Matsumura¹, Keisuke Sueki¹

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

筑波大学 6 MV タンデム加速器質量分析装置[1]では、難測定核種であるカルシウム 41 (^{41}Ca : $T_{1/2} = 1.04 \times 10^5 \text{ yr}$)の加速器質量分析法(Accelerator Mass Spectrometry : AMS)による高感度検出に国内で初めて成功している。 ^{41}Ca は、宇宙線との相互作用である $^{40}\text{Ca}(n, \gamma)^{41}\text{Ca}$ 反応などにより天然に逐次生成されている。自然界同位体比は $^{41}\text{Ca}/\text{Ca} \sim 10^{-14}$ 程度であり、通常の質量分析法では同重体の ^{41}K が妨害となり検出することが困難な核種である。筑波大学では、これまでに 44.5 MeV まで加速した $^{41}\text{Ca}^{7+}$ を検出しており、 ^{41}Ca の検出限界として $^{41}\text{Ca}/\text{Ca} \sim 10^{-14}$ を得ていた[2]。しかし、 ^{41}Ca -AMS に関する技術開発が進展した結果、検出限界として $^{41}\text{Ca}/\text{Ca} \sim 10^{-15}$ を達成するようになったので報告する。

^{41}Ca -AMS では、 CaF_2 試料から負分子イオン CaF_3^- を引き出している。タンデム型静電加速器を用いた AMS では、Cs スパッター型負イオン源から負イオンを引き出す必要があるが、Ca は電子親和力が低いため、単原子での負イオン引き出しができない核種である。本研究では、Cu カソードに詰める CaF_2 試料に添加する物質について、Ag, Nb, Ta, Au 等を検討して、引き出し電流値および検出スペクトルを確認した。最終的に CaF_2 試料に添加する Ag の割合を重量比で Ag : $\text{CaF}_2 = 1 : 3$ として、イオン源引き出し電圧の設定を変更するなどして、 $^{40}\text{CaF}_3^-$ の電流値として最大で 500 nA を得た。また、本研究における ^{41}Ca -AMS では、加速電圧 6.0 MV により $^{41}\text{CaF}_3^-$ を加速して、加速器ターミナルでの炭素薄膜 ($4.8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) により荷電変換をおこない、多価イオンとなった ^{41}Ca を検出器により直接検出している。今回、加速電圧 6.0 MV において荷電変換をおこなって加速する ^{41}Ca の価数を 7 価から、荷電変換分布の割合が高い 5 価に変更することで、ビーム透過率が 7%に向上した。検出器は、5 枚電極型ガス電離箱において、75 nm 厚の Si_3N_4 膜を入射窓に用いてイソブタンガスを封入している。検出器での最適ガス圧を調整して、32.5 MeV の $^{41}\text{Ca}^{5+}$ を検出して、 ^{41}Ca -AMS の測定性能について確認をおこなった。

6 MV タンデム加速器質量分析装置における ^{41}Ca 検出手法の改善により、難測定核種 ^{41}Ca の検出限界として $^{41}\text{Ca}/\text{Ca} \sim 3 \times 10^{-15}$ を達成した。また、 ^{41}Ca の測定精度として、同位体比 1.2×10^{-10} の標準試料に対して約 3%となった。本研究成果により、 ^{41}Ca -AMS の応用として、隕石の落下年代や地形形成における表面照射年代の測定などに利用されることが期待される。

[1] K. Sasa *et al.*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 437, 98 (2018).

[2] H. Seiji *et al.*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 406, 268 (2017).