

MC-ICPMSを用いた普通コンドライトコンドルールの高精度Mg同位体分析

High precision Mg isotopic measurement of chondrules from ordinary chondrite meteorite using MC-ICPMS

早川 瑛庸¹、福田 航平¹、飯塚 毅¹、*比屋根 肇¹

Akinobu Hayakawa¹, Kohei Fukuda¹, Tsuyoshi Iizuka¹, *Hajime Hiyagon¹

1. 東京大学大学院理学系研究科

1. Graduate School of Science, The University of Tokyo

短寿命放射性核種である²⁶Al（半減期73万年）は、惑星物質の相対的な年代差を議論する上で広く用いられてきた。太陽系最古の物質とされているCa, Al-rich inclusions (CAIs)の高精度なAl-Mg同位体分析から太陽系誕生時の²⁶Al/²⁷Al比は 5.25×10^{-5} であることが明らかとなった [1, 2]。また、未分化隕石の主要構成物質であるコンドルールの形成年代は、CAIsよりも150-400万年後であるとされてきた [3]。しかし近年、高精度なU-Pb年代測定法から、コンドルールの中にはCAIsと同時期に形成していたものも存在することが示唆された [4]。さらに、U-Pb年代が分かっているエコンドライト隕石のAl-Mg同位体分析から逆算した²⁶Al/²⁷Alの初生比は 1.33×10^{-5} という値を示し、CAIsよりも有意に低い値となった [5]。これらの相対年代と絶対年代の矛盾は、初期太陽系における²⁶Alの分布に空間的な不均一が存在した可能性を示唆する。

初期太陽系における²⁶Alの分布の解明は、Al-Mg年代系の妥当性の評価だけではなく、²⁶Alを熱源とした惑星の分化過程など、惑星の進化を考察する上で重要である。分布を議論するために、様々な隕石種およびその構成物質の高精度なAl-Mg同位体分析が必須であるが、特にコンドルールについては分析例が少なく、先行研究は炭素質コンドライト中のコンドルールに限られている [e.g. 6, 7]。そこで本研究では初期太陽系における²⁶Alの空間的均一性を議論することを目的として、マルチコレクター型の誘導結合プラズマ質量分析器 (MC-ICPMS)を用いた高精度Mg同位体分析手法の開発を行った。また、開発した手法の確度を確かめるため、炭素質コンドライト中のCAIを3つ試験的に分析した。さらに、同手法をこれまで分析例のない普通コンドライト中のコンドルールに適用し、炭素質コンドルールとの比較を行うことで、²⁶Alの分布を議論した。

本研究ではNWA 3118 (CV 3)隕石のCAIを2つ、Allende (CV 3)隕石のCAIを1つ、NWA 7936 (LL 3.15)隕石のコンドルール6つについてMg同位体分析を行った。サンプルのMg同位体比は、純粋なMg溶液であるDSM-3 [8]からの偏差を取り、ppmレベルで算出した ($= \mu^{26}\text{Mg}^*$)。地球の岩石であるBCR-2とJB-2について測定を行った結果、それぞれ $\mu^{26}\text{Mg}^* = -5.9 \pm 11.2, 2.3 \pm 20.0$ (2 σ)という値を示し、先行研究 (e.g., [9]) と同程度の確度と精度の分析に成功した。3つのCAIsのデータを用いてアイソクロンを引いた結果、²⁶Al/²⁷Alの初生比は $(^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al})_0 = (5.08 \pm 0.84) \times 10^{-5}$ と求まった。また、アイソクロンの切片からは $\mu^{26}\text{Mg}^*_0 = -25 \pm 103$ ppmという値を示し、先行研究とよい一致を示す結果となった[1, 2]。このことから、確立した手法の確度の高さが再確認された。

6つのLLコンドルールのうち5つのLLコンドルールは太陽組成(0.10)に近い²⁷Al/²⁴Mg比(0.091-1.04)を示した。太陽系形成時の²⁶Al/²⁷Al比およびMg同位体比が均一であり ($(^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al})_0 = 5.23 \times 10^{-5}$, $\mu^{26}\text{Mg}^*_0 = -40$ ppm)、物質形成時から²⁷Al/²⁴Mg比が変化しなかったと仮定すると、現在の太陽組成に近い²⁷Al/²⁴Mg比をもつ物質の現在の $\mu^{26}\text{Mg}^*$ は²⁶Alの壊変の寄与から0 ppmを示すことが予測される。しかし本研究の結果から、LLコンドライト隕石中の太陽組成に近い²⁷Al/²⁴Mg比をもつコンドルールが異なる $\mu^{26}\text{Mg}^*$ を示すことが分かった。また、誤差の範囲を越えて負の値を示すコンドルールも見つかった。したがって、本研究の結果から初期太陽系において²⁶Alが不均一に分布していた可能性が示唆された。

また、先行研究と比較した結果、普通コンドライトのコンドルールは炭素質コンドライトのコンドルールに比べて低い $\mu^{26}\text{Mg}^*$ を示すものが存在することがわかった。 $\mu^{26}\text{Mg}^*_0 = -40$ ppmという値を用いて太陽系形成時における初生²⁶Al/²⁷Al比を算出した結果、炭素質コンドルールはCAIと同等もしくは67%ほど低い値を示したのに対し、普通コンドルールはCAIに対して47%ほど低い値を示した。以上の結果から、普通コンドライト

および炭素質コンドライトコンドルールにおいて、 ^{26}Al の寄与が不均一であった可能性が示唆された。

[1] Jacobsen B. et. al. (2008) *Earth and Planet. Sci. Lett*, **272**, 353-364. [2] Larsen K. K. et al. (2011) *The Astrophysical Journal Lett*, **735**, L37. [3] Kita N. T. et al. (2013) *Meteoritics and Planet. Sci*, **48**, 1383-1400. [4] Connely J. N. et al. (2012) *Science*, **338**, 651-655. [5] Schiller M. et al. (2015) *Earth and Planet. Sci. Lett*, **420**, 45-54. [6] Luu T.-H. et al. (2015) *PNAS*, **112**, 1298-1303. [7] Olsen M. B. et al. (2016) *Geochim. Cosmochim. Acta*, **191**, 118-138. [8] Galy A. et al. (2003) *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, **18**, 1352-1356. [9] Bizzarro M. et. al. (2005) *The Astrophysical Journal*, **632**, L41-L44.

キーワード：マグネシウム同位体、誘導結合プラズマ質量分析法、コンドルール、難揮発性包有物、初期太陽系

Keywords: Mg isotopes, ICPMS, chondrule, CAI, early solar system