

学 位 論 文 題 名

Aluminum-26 and oxygen isotopic distributions of CH-chondrite CAIs and CV-chondrite chondrule

(CH コンドライト CAI と CV コンドライトコンドリュールにおける
アルミニウム-26と酸素同位体分布)

学位論文内容の要旨

2次イオン質量分析計を用いて、マグネシウムの高精度同位体比測定により放射性起源の ^{26}Mg の過剰を検出し、10万年の分解能をもつ ^{26}Al - ^{26}Mg 年代測定法を開発した。従来、 ^{26}Al - ^{26}Mg systemによる年代測定はアノーサイトなどの High Al/Mg 比を持つ鉱物でのみ適用が可能であった。しかし low-Al/Mg phase のために、従来の electron multiplier を用いる分析法では有意な年代が得られなかった spinel において、Faraday cup 検出器を用いる高精度な同位体分析法により、10万年の分解能で、原始太陽系における物質進化の形成過程を議論することを可能にした。

マグネシウム同位体分析を行った同一スポットに対して、酸素同位体組成の局所分析を行い、物質の進化と酸素同位体組成の進化をリンクすることを可能にした。

Allende 隕石中の CAI のスピネルの inferred $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ は $(6.11 \pm 0.61) \times 10^{-5}$ と非常に大きく、これまで太陽系最古の物質であると考えられてきた鉱物 (canonical value $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al} = 5 \times 10^{-5}$) よりも、約20万年古い年代を示すことを明らかにした。このスピネルの酸素同位体比は $\Delta^{17}\text{O} = -24\text{‰}$ を示し、原始太陽系における最初期の環境は ^{16}O -rich であった。スピネル中ではマグネシウムの重い同位体が濃集しており、質量に依存した同位体分別を経験し、これは CAI 中のスピネルが蒸発残渣であったことを示唆している。

一方、Allende 隕石のコンドリュール中から発見した spinel は、酸素同位体比が $\Delta^{17}\text{O} = 5\text{‰}$ であり、 ^{16}O -poor な環境下で結晶化したことを示している。そのスピネルの inferred $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ は $1.50 \pm 0.71 \times 10^{-5}$ であった。一方、同じコンドリュール中のメソスタシスの inferred $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ は $0.16 \pm 0.98 \times 10^{-5}$ であり、このメソスタシスは結晶後の変成の影響を受け Al/Mg system が攪乱されていた。しかしスピネルは変成に強く Al/Mg system が攪乱されることなく、このコンドリュールが CAI 形成後およそ200万年後に結晶化したことがわかった。

CV コンドライトの形成にておいて次の制約を課すことができる。

(1) もし ^{26}Al が原始太陽系円盤に均一に存在していたのであれば Al-Mg system が時計として

機能し、CAIs とコンドリュールの結晶化の差は 200 万年であり、酸素同位体組成は原始太陽系円盤において 200 万年の間に $\Delta^{17}\text{O} = -24$ から -5‰ に変化した。

(2) もし ^{26}Al が原始太陽系円盤に均一に存在してなかったのであれば Al-Mg system が時計として機能しないので、原始太陽系円盤において酸素同位体比とマグネシウム同位体比の不均質は独立に存在していた。

Acfer 214 CH コンドライト中の CAI の酸素同位体組成は、 $\Delta^{17}\text{O} = -25 \sim -0$ ‰ と幅広く分布しているのに対して、一つの inclusion 内では非常に均質であった。それぞれの inclusion に対してマグネシウム同位体分析を行うと、これらの CAI からは有意な ^{26}Mg の過剰は検出されなかった。

このことは原始太陽系円盤の進化において次のような制約を課すことができる。

(1) Al-Mg system が時計として機能するならば、FGIs の結晶化年代は 300 年以上に及び、酸素同位体の不均質が原始太陽系円盤に存在していた。

(2) Al-Mg system が時計として機能しないならば、 ^{26}Al と酸素同位体の空間的な不均質が原始太陽系円盤内に独立に存在し、 ^{26}Al と酸素同位体の分布には相関が無かった。

(3) もし原始太陽系円盤内に ^{26}Al が inject される以前に CH-コンドライトの FGIs が結晶化したならば、 ^{26}Al の inject される以前の原始太陽系円盤内に酸素同位体の不均質がすでに存在していた。

CV コンドライトと CH コンドライトに ^{26}Al - ^{26}Mg system を用いることによって現在から 45.67 億年前における原始太陽系円盤の形成初期 300 万年間における酸素同位体進化を 10 万年の分解能をもつ時間軸を入れて議論することが可能になった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 塚 本 尚 義

副 査 教 授 竹 下 徹

副 査 助教授 角 皆 潤

副 査 助教授 倉 本 圭

学 位 論 文 題 名

Aluminum-26 and oxygen isotopic distributions of CH-chondrite CAIs and CV-chondrite chondrule

(CH コンドライト CAI と CV コンドライトコンドリュールにおける
アルミニウム-26と酸素同位体分布)

太陽系の起源を実証的に研究するには隕石において他に変わるものがない。従来、隕石を用いた太陽系起源の研究に同位体分析を適用した例は多かったが、安定同位体と精密年代学を組み合わせた研究は未開拓の分野であった。

本論文は、2 次イオン質量分析計を用いて、マグネシウムの高精度同位体比測定により放射性起源の ^{26}Mg の過剰を検出し、10 万年の分解能をもつ ^{26}Al - ^{26}Mg 年代測定法を開発した。従来、 ^{26}Al - ^{26}Mg system による年代測定はアノーサイトなどの高い Al/Mg 比を持つ鉱物でのみ適用が可能であった。本研究では spinel のような低い Al/Mg 比を持つ鉱物に Faraday cup 検出器を用いる高精度な同位体分析法を開発することにより、10 万年の分解能で、原始太陽系における物質進化の形成過程を議論することを可能にした。また、マグネシウム同位体分析を行った同スポットに対して、酸素同位体組成の局所分析を行い、物質の進化と酸素同位体組成の進化をリンクすることを可能にした。

これにより、Allende 隕石中の CAI のスピネルの $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 初生比は $(6.11 \pm 0.62) \times 10^{-5}$ と非常に大きく、これまで太陽系最古の物質であると考えられてきた値 $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al} = 5 \times 10^{-5}$ よりも、約 20 万年古い年代を示すことを明らかにした。このスピネルの酸素同位体比は $\Delta^{17}\text{O} = -24\text{‰}$ を示し、原始太陽系における最初期の環境は ^{16}O -rich であった。また、スピネル中ではマグネシウムの重い同位体が濃集しており、質量に依存した同位体分別を経験し、これは CAI 中のスピネルが蒸発残渣であったことを示唆している。

一方、Allende 隕石のコンドリュール中から発見した spinel は、酸素同位体比が $\Delta^{17}\text{O} = -7\text{‰}$ であり、 ^{16}O -poor な環境下で結晶化したことを示している。そのスピネルの $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 初生比は $(1.50 \pm 0.71) \times 10^{-5}$ であった。これにより、このコンドリュールが CAI 形成後およそ 200 万年後に結晶化したことがわかった。一方、同じコンドリュール中のメソスタシスの $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 初生比は $(0.16 \pm 0.98) \times 10^{-5}$ であり、このメソスタシスは結晶後の変成の影響を受け Al/Mg system が攪乱されていた。

これらの結果は、CV コンドライトの形成にておいて次の制約を課することができる。

(1) もし ^{26}Al が原始太陽系円盤に均一に存在していたのであれば Al-Mg system が時計として機能し、CAIs とコンドリュールの結晶化の差は 150 万年であり、酸素同位体組成は原始太陽系円盤において 200 万年の間に $\Delta^{17}\text{O} = -24$ から -7‰ に変化した。

(2) もし ^{26}Al が原始太陽系円盤に均一に存在しなかったのであれば Al-Mg system が時計として機能しないので、原始太陽系円盤において酸素同位体比とマグネシウム同位体比の不均質は独立に存在していた。

本研究のもう一つの成果は、Acfer 214 CH コンドライト中の CAI の酸素同位体組成は、 $\Delta^{17}\text{O} = -22 \sim -7\text{‰}$

と幅広く分布しているのに対して、一つの inclusion 内では非常に均質であった。そして、これらの CAI からは有意な ^{26}Mg の過剰は検出されなかった。

このことは原始太陽系円盤の進化において次のような制約を課することができる。

(1) Al-Mg system が時計として機能するならば、FGIs の結晶化年代は 300 万年以上に及び、酸素同位体の不均質が原始太陽系円盤に存在していた。

(2) Al-Mg system が時計として機能しないならば、 ^{26}Al と酸素同位体の空間的な不均質が原始太陽系円盤内に独立に存在し、 ^{26}Al と酸素同位体の分布には相関が無かった。

(3) もし原始太陽系円盤内に ^{26}Al が inject される以前に CH-コンドライトの FGIs が結晶化したならば、 ^{26}Al が打ち込まれる以前の原始太陽系円盤内に酸素同位体の不均質がすでに存在していた。

これを要するに、著者は、CV コンドライトと CH コンドライトに ^{26}Al - ^{26}Mg system を用いることによって現在から 45.67 億年前における原始太陽系円盤の形成初期 300 万年間における酸素同位体進化を 10 万年の分解能をもつ時間軸を入れて議論することを世界で始めて可能にしたものであり、宇宙化学の進展に対して貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。