

学位論文題名

Oxygen isotope variations in a Type A Ca-Al-rich
inclusion from the Allende carbonaceous chondrite
(アエンデ炭素質コンドライトのタイプA 難揮発性包有物の酸素同位体変化)

学位論文内容の要旨

Since the discovery of oxygen isotopic anomalies in Ca-Al-rich inclusions (CAIs) by Clayton and coworkers in the early 1970s, oxygen isotope study for CAI minerals using secondary ion mass spectrometry (SIMS) has revealed oxygen isotopic heterogeneities within single crystals and among grains of CAI mineral phases. However, the origin of such heterogeneities is not well understood. Because CAI may have experienced diverse thermal processes, such as condensation, melting, alteration and metamorphism, oxygen isotopes of CAI minerals could have changed. To reveal the oxygen isotopic heterogeneities in CAIs, a Type A CAI of the Allende meteorite was studied because it has undergone the various thermal processes in the nebula and/or on the parent body.

The ON01 inclusion is a Type A CAI. The chemical compositions and oxygen isotopic compositions of melilites show that core region formed by condensation followed by partial melting in the ^{16}O -poor nebular environment. Perovskite grains with ^{16}O -rich compositions in the core region may infer rapid cooling after partial melting event. Both reversely zoned melilites and lathlike spinel grains are directly indicative of the condensation origin for the gehlenite mantle. The oxygen isotopic compositions of mantle melilites imply that nebular gas surrounding ON01 changed from ^{16}O -poor to ^{16}O -rich composition. Intra-crystalline oxygen isotopic variation of a reversely zoned melilite crystal may result in the wide variation of oxygen isotopes in the gehlenite mantle. Thus, 2D isotopic imaging is required to reveal the origin of the oxygen isotopic variation in the gehlenite mantle.

In-situ high precision isotope imaging conducted using the Hokudai isotope microscope system provides the two-dimensional distributions of both chemical zoning and oxygen isotopic compositions at the sub-micron scale. Individual melilite crystals having reverse zoning show homogeneous distribution either enriched in ^{16}O or depleted in ^{16}O , or variation from ^{16}O -poor to ^{16}O -rich compositions with decreasing åkermanite content.

The homogeneous distributions of oxygen isotopic compositions indicate that melilite crystals in this study condensed from the ^{16}O -depleted or ^{16}O -enriched gas. The correlation between chemical zoning and oxygen isotopic variation is best explained by the radial excursion of the inner edge of the disk gas, resulting in both reverse zoning due to the decrease of total pressure and oxygen isotope change of the gas from ^{16}O -poor to ^{16}O -rich compositions, simultaneously. The fluctuation of the inner edge of the protoplanetary disk is suitable for the formation of the reversely zoned melilite.

This study gives further understandings for the formation of Type A CAIs including fast cooling history and the condensation origin for the gehlenite mantle. This study provides constraints on the astrophysical setting for the oxygen isotope variations in CAI minerals in the early solar system.

学位論文審査の要旨

主査	教授	塚本尚義
副査	教授	永井隆哉
副査	准教授	山本順司
副査	講師	橘省吾

学位論文題名

Oxygen isotope variations in a Type A Ca-Al-rich inclusion from the Allende carbonaceous chondrite

(アエンデ炭素質コンドライトのタイプA 難揮発性包有物の酸素同位体変化)

博士学位論文審査等の結果について（報告）

Ca と Al に富む包有物 (CAI) 中に酸素同位体異常が 1970 年代初期に発見されて以来、二次イオン質量分析法による CAI 鉱物の酸素同位体研究は、鉱物内部や鉱物間の酸素同位体不均質の状態を次々と明らかにしてきた。CAI は太陽系形成時に存在した原始惑星系円盤中の様々な加熱過程により酸素同位体比を変化させてきているのであるが、その現象の実体については未だに諸説が存在し決着がついていない。この現象を解明することは太陽系最初期の環境と歴史を明確にする上で必要不可欠であると考えられている。

本論文では、アエンデ隕石中に見つかったタイプ A CAI である ON01 を構成する鉱物の酸素同位体分布を新しく開発した二次イオン質量分析法により詳細に研究することにより原始太陽系円盤中の加熱現象について考察し、新しい CAI 生成モデルを導いた。

メリライト中の酸素同位体組成と化学組成は ^{16}O 成分に乏しい原始太陽系円盤ガス中における凝縮現象により CAI コア部分は形成され、その後、部分熔融を受けたことを示した。コア部分のペロブスカイトは ^{16}O に富む酸素同位体組成を持っているのでプレカーサー結晶であると考えられる。一方、逆累帯構造を持つメリライトと短冊状のスピネル結晶はゲーレナイト組成のマントルが円盤ガスからの直接凝縮物であることを示している。マントルメリライトの酸素同位体組成の変化は ON01 の形成環境の酸素同位体組成が ^{16}O 成分に乏しい円盤ガスから ^{16}O 成分に富む円盤ガスへと変化したことを示す。

高精度のその場同位体イメージングを、北大同位体顕微鏡を用いてこの CAI に適用した。この同位体イメージングは、サブミクロンの空間分解能を有し酸素同位体比と化学組成の二次元分布を与える。これにより逆累帯構造を持つ個々のメリライト結晶

は ^{16}O 成分に富む均質な酸素同位体組成をもつもの、 ^{16}O 成分に乏しい均質な酸素同位体組成をもつもの、 ^{16}O 成分に富む組成から乏しい組成に変化するものの3種類が存在し、これらが直接接して存在することを明らかにした。

以上の ON01 CAI の分析結果から、この CAI は原始太陽系円盤の太陽近傍における領域で形成されたと考える説を提唱した。太陽近傍の原始太陽系円盤領域は、円盤内は ^{16}O 成分の乏しいガスで充満されており、円盤内縁と太陽との間には ^{16}O 成分に富む太陽コロナガスにより充満されていると考えられる。また、形成当時の活発な原始太陽活動により円盤内縁は太陽から一定の距離にあるのではなく、数日周期で太陽に近づいたり太陽から遠ざかったりする振動変動が常時起こっていたと考えられる。もし CAI が原始太陽系円盤内縁付近で形成されたなら、CAI 鉱物は円盤ガスや太陽ガスから直接凝縮される。また、円盤ガスから太陽ガスの環境に変化するときは、メリライト結晶は逆累帯構造をもち成長する。このとき、同時に、酸素同位体組成は ^{16}O 成分に乏しい組成から ^{16}O 成分に富む組成へと変化する。一方、円盤ガス内や太陽ガス内で CAI が凝縮する場合は、それぞれ、 ^{16}O 成分に乏しい組成あるいは ^{16}O 成分に富む組成だけを持つ鉱物が形成される。

以上を要するに、著者は、太陽系最初の岩石である CAI の成因について、その化学組成と酸素同位体組成の変化を同時に説明する天体物理現象についての新知見を得たものであり、太陽系の起源研究に対してその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。