

論文審査の結果の要旨

氏名 高橋 (小松) 睦美

本論文は6章から成り、炭素質コンドライトの一種である CV コンドライト中に含まれる Amoeboid olivine aggregates (AOA) についての詳細な鉱物学的研究を行い、AOA の形成過程、Ca,Al-rich inclusion (CAI) とコンドリュールの関連性について明らかにした。

第1章では、AOA が太陽系星雲における初期情報を保持している物質であり、その成因の解明は太陽系進化の物理化学条件、その仮定に関する重要な情報をあたえるものであることが論じられている。本研究の目的とその意義は、従来ほとんど研究されていない reduced type CV コンドライト中の AOA の鉱物学的研究をおこない、初期太陽系平衡凝縮過程における物質進過程を明らかにするとともに、隕石中の他の構成成分との成因関係を考察することで、太陽系内の物理化学条件の変化、物質移動過程を明らかにすることである。

第2章では、本論文で研究を行ったサンプルの記載がなされている。

第3章では、本研究での分析手法及び加熱実験方法についての記述がなされている。

第4章では、CV コンドライト中の AOA の鉱物学的記載、加熱実験の結果が示されている。

Reduced CV コンドライト Efremovka、Leoville、Vigarano と oxidized CV コンドライト Allende に含まれる AOA の鉱物学的研究を行い、reduced CV コンドライト中に含まれる AOA は oxidized CV コンドライト中の AOA に比べ 2 次的変成を殆ど受けておらず、極めて始原的であることを示した。本研究により新たに明らかになった AOA の特徴は、(1) AOA のバルク組成は平衡凝縮計算で凝縮する鉱物のトレンド上には乗らないこと、(2) AOA は中心から外側に向かって、 $\pm(\text{Al,Ti-ディオプサイド}+\text{スピネル})\rightarrow\text{アノーサイト}\rightarrow\text{Al-ディオプサイド}\rightarrow\text{カンラン石}$ という鉱物出現順序を持ち、この順序は、太陽系星雲ガスの平衡を保った冷却による鉱物凝縮順序 (スピネル \rightarrow ディオプサイド \rightarrow カンラン石 \rightarrow ディオプサイド \rightarrow カンラン石 \rightarrow アノーサイト) とは異なること、(3) AOA のバルク組成はフォルステライトとアノーサイトを組成を結ぶ直線上に乗ること、(4) AOA には大規模に溶融した形跡は見られないが、カンラン石の 120° 結晶粒界に示される組織平衡に到達していること、である。従来の AOA に関する研究においては、AOA は太陽系星雲ガスの平衡凝縮物が、低温において層状ケイ酸塩を生成する温度まで星雲ガスと反応し続けたと考えられていたが、上記の研究結果により、AOA が単純な平衡凝縮過程により形成されたものではないことが明らかとなった。

バルク組成がフォルステライトとアノーサイトの混合物の組成でありながら、その2者の中間に Al-ディオプサイドが存在する事実から、AOA の成因として、フォルステライトとアノーサイトの混合物が加熱により一部反応して準安定的に Al-ディオプサイドが形成されたという仮説を

たて、その検証のため、加熱実験をおこなった。合成のフォルステライト、天然のカンラン石、アノーサイト、メリライトの混合粉末を出発物質とし、等温加熱実験及び冷却実験が行われた。フォルステライトとアノーサイト混合粉末の冷却実験において、AOA に見られる特徴と類似した両鉱物の境界に Al-ディオプサイドが存在する組織が得られ、化学組成も実際の AOA に近いことが示された。この実験結果と AOA の鉱物学的研究に基づき、AOA は凝縮物であるフォルステライトとアノーサイトの混合物が加熱により部分熔融し、Al-ディオプサイドが形成されたという新たなモデルを提唱した。さらに、実験産物と AOA に含まれる物質の結晶性を、電子後方散乱回折像法(EBSD)を用いて調べ、いずれも結晶質であることが示された。この手法の宇宙惑星物質への適用は世界で初めてのものであり、結晶度が問題となる宇宙物質のキャラクタリゼーションに、今後有効な手段となることを示した。

第5章は、平衡凝縮過程による鉱物出現順序と AOA の鉱物学的層序に基づく AOA の形成過程についての考察、さらに、AOA と CAI およびコンドリュールとの成因的關係についての考察である。AOA 中の難揮発性鉱物の存在は AOA が高温で凝縮し、星雲内での CAI 形成領域に AOA の起源があることを示していることを論じた。それらはフォルステライトの凝縮後、星雲ガスより隔離され、低温での星雲ガスとの反応を被らなかつたことを論じた。

コンドライトの主要構成成分であるコンドリュールとの関係においては、Al-rich コンドリュールが AOA と類似した構成鉱物、近いバルク組成を持つが、Al-rich コンドリュールは AOA に比べ揮発性元素の含有量が著しく高い値を持つことを示した。その結果、AOA の先駆物が星雲ガスから隔離されず、より低温まで星雲ガスと反応した物質が再加熱・部分融解したものが Al-rich コンドリュールであることを論じた。

第6章は、本論文の結論であり、AOA 形成モデルが示されている。本研究から推測される形成モデルは、①太陽系星雲ガスからのスピネル、Al,Ti-ディオプサイドの凝縮、②フォルステライト及びアノーサイトの凝縮、③それら鉱物の集合体の形成、④星雲ガスからの分離による反応の遮断、⑤再加熱及び部分熔融による Al-ディオプサイドの形成、⑥CV コンドライト母天体の形成、⑦2次的変成、である。

以上のように、申請者は、始原的な reduced CV コンドライト中の AOA についての詳細な研究及び加熱実験を行うことにより、AOA の形成過程について新たなモデルを提案した。星雲ガスからの分離段階の差がコンドライトの構成成分である CAI, AOA、コンドリュールという異なる物質のもととなったことを示し、太陽系星雲における鉱物形成とガスと固体の分離過程に関し重要な知見を与えた。また、EBSD が宇宙物質の結晶性の検証に有効であることを初めて示し、宇宙物質研究に新たな活路を開いた。

以上の結果により、審査委員会は全員一致で論文提出者に対し博士(理学)の学位を授与できると認めた。