

学 位 論 文 題 名

Presolar Grains in Primitive Enstatite Chondrites.

(始原的エンスタタイトコンドライトにおけるプレソーラー粒子)

学位論文内容の要旨

本論文では、始原的エンスタタイトコンドライトにおいてこれまで報告のなかったケイ酸塩と炭素質のプレソーラー粒子を発見し、鉱物学的、同位体学的研究を行った。プレソーラー粒子は太陽系を創るもとになった粒子で太陽系とは非常に事なる同位体組成を持つ事から発見されている。始原的な隕石はエンスタタイトコンドライト、普通コンドライト、炭素質コンドライトの3種類あり、各々の隕石が太陽系形成時の酸化還元状態を示している。エンスタタイトコンドライトは最も還元的な環境で形成された特殊な隕石である。その特殊な環境形成過程についてこれまでに様々なモデルが提唱されているが、満足のいくものはない。プレソーラー粒子がその環境を作ったとされるモデルも存在する事から、原始太陽系形成時の初期条件としてプレソーラー粒子の空間的分布や原始太陽系内における加熱プロセスを知る事は重要である。本論文の目的はプレソーラー粒子を用いて原始太陽系形成時の酸化還元環境形成プロセスに制約を与える事である。

第二章では、本研究で用いた分析手法と本研究で開発した新たな分析手法について記している。本研究では高精度な同位体イメージングに北大の同位体顕微鏡システムを用い、隕石の岩石学的研究、プレソーラー粒子の鉱物同定には FESEM-EDS システムを用いた。同位体顕微鏡システムは、投影型二次イオン質量分析装置と研究室で独自に開発した二次元イオン検出器を組み合わせた新しいシステムである。このシステムは独自に開発された世界で唯一の分析機器である為、その特徴と動作原理について特に詳細に記してある。また、本章では鉱物同定するために開発した手法について詳細に記した。この手法を用いる事により鉱物の同定率が従来の方法よりケイ酸塩粒子で60%、炭素質粒子で43%上昇した。

第三章では、本研究で用いた試料と本研究で行った岩石学的研究による記載について記している。プレソーラー粒子は母天体上の熱変成や水質変質により容易に破壊されてしまう事が報告されている為、試料にはエンスタタイトコンドライトの中でも母天体上で熱変成や始原的であると考えられている EH3 に分類される ALHA81189, Yamato-691, SAH97072 の3種類の隕石を用いた。各々の隕石のマトリックスのを同定し岩石学的研究を行った。

第四章では、発見したプレソーラー粒子の存在度、同位体組成、鉱物種について記している。プレソーラーケイ酸塩粒子は酸素同位体比イメージによって同定される。ALHA81189で19個（存在度：17 ppm）、Yamato-691で3個（4 ppm）発見した。SAH97072では発見する事ができなかった。一方、プレソーラー炭素質粒子は炭素同位体比イメージによって同定され、ALHA81189で13個（12 ppm）、Yamato-691で14個（20 ppm）、SAH97072で3個（8 ppm）発見した。ケイ酸塩粒子の酸素同位体組成は約90%が ^{17}O に非常に富んで ^{18}O は太陽系組成を持っている事がわかった。8個のケイ酸塩粒子の鉱物種の同定に成功し、75%がパイロキシン組成を持っていた。また6個のSiC粒子と7個のグラファイト粒子の同定に成功した。そのうち硫化物で取り囲まれているプレソーラー粒子を2個発見した。複合粒子の硫化物の硫黄同位体組成は太陽系組成であった。

第五章は三つの節で構成されている。第一節では、母天体上での熱変成について議論している。3つのEH3試料中のケイ酸塩粒子と炭素粒子の存在度を比較する事によりALHA81189が最も変成を受けていなかった事が示唆された。先行研究による始原的炭素質コンドライトや始原的普通コンドライト中のケイ酸塩粒子と炭素質粒子の存在度と比較する事により、普通コンドライトが形成領域あるいは母天体上で最も強い変成変質プロセスを受けた事が示唆された。第二節では発見したプレソーラー粒子の起源について議論している。ケイ酸塩粒子の酸素同位体組成はどのコンドライトでも同様の分布を示しており、ほとんどの粒子が酸素に富んだAGB星を起源とする事がわかった。一方、炭素質粒子の炭素同位体組成も他のコンドライトと同様の分布で、炭素に富んだAGB星を起源とする事がわかった。この事は太陽系を作るもとになった粒子は酸素に富んだAGB星と炭素に富んだAGB星の混合で形成された事を示唆している。第三節で原始太陽系における還元的環境の生成過程について議論している。プレソーラーSiC粒子とグラファイト粒子の存在度を各々の平均サイズで見積もる事でエンスタタイトコンドライト中には熱変質に弱いとされているグラファイト粒子が非常に多く生き残っていた事がわかった。また、エンスタタイトコンドライト中のプレソーラーケイ酸塩粒子の鉱物種のほとんどがパイロキシン組成を持っている事から、還元的環境ではオリビン組成を持った粒子が選択的に破壊される事が示唆された。プレソーラー粒子を取り囲んでいる硫化物と内包されている粒子が太陽系組成であった事からこの複合粒子は原始太陽系内で形成された事を示唆している。このような粒子はエンスタタイトコンドライトだけに存在する事から還元的環境での形成を示唆している。以上の議論からエンスタタイトコンドライト中のプレソーラー粒子は原始太陽系形成時の酸化還元環境の影響を強く受ける事によって加熱プロセスを生き残り、母天体形成時に還元的環境に存在していた事を示唆している。したがって少なくともコンドライト形成領域では形成時に粒子が全て蒸発するようなプロセスはなかったという事を示唆した。

第六章では、本論文の研究をまとめ、原始太陽系形成時の酸化還元環境形成プロセスについて結論を示している。

本研究により、原始太陽系の様々なプロセスから逃れて生き残ったとされていたプレソーラー粒子は原始太陽系形成時の酸化還元環境の影響を受けていた事により、原始太陽系コンドライト形成領域で完全に蒸発していなかった事を示唆した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 坂 本 尚 義

副 査 教 授 藤 野 清 志

副 査 准教授 角 皆 潤

副 査 助 教 伊 藤 正 一

学 位 論 文 題 名

Presolar Grains in Primitive Enstatite Chondrites.

(始原的エンスタタイトコンドライトにおけるプレソーラー粒子)

プレソーラー粒子は太陽系を創る原料になった粒子である。本論文は、始原的エンスタタイトコンドライトにおいてこれまで報告のなかったケイ酸塩と炭素質のプレソーラー粒子を発見し、鉱物学的、同位体学的研究を行った。エンスタタイトコンドライトは最も還元的な環境で形成された特殊な隕石である。その特殊な環境形成過程についてこれまでに様々なモデルが提唱されているが、満足のいくものはない。プレソーラー粒子がその環境を作ったとされるモデルも存在する事から、原始太陽系形成時の初期条件としてプレソーラー粒子の空間的分布や原始太陽系内における変成プロセスを知る事は重要である。よって、本研究では非常に特異な環境下で形成されたエンスタタイトコンドライト中のプレソーラー粒子を研究するという新しいアプローチにより、プレソーラー粒子がどのようなプロセスを受けてきたのかをプレソーラー粒子の同位体組成、存在度、鉱物種の種類という三つの観点から議論する事を目的とした。

第二章では、本研究で用いた分析手法と本研究で開発した新たな分析手法について記している。本研究では高精度な同位体イメージングに同位体顕微鏡システムを用い、隕石の岩石学的研究、プレソーラー粒子の鉱物同定にはFESEM-EDSシステムを用いた。

第三章では、本研究で用いた試料と本研究で行った岩石学的研究による記載について記している。プレソーラー粒子は母天体上の熱変成や水質変質により容易に破壊されてしまう事が報告されている為、試料にはエンスタタイトコンドライトの中でも母天体上で熱変成が少なく、始原的であると考えられているEH3に分類される3種類の隕石を用いた。

第四章では鉱物同定するために開発した手法について詳細に記した。この手法を用いる事により鉱物の同定率が従来の方法よりケイ酸塩粒子で60%、炭素質粒子で43%上昇した。

第五章では、発見したプレソーラー粒子の存在度、同位体組成、鉱物種について記している。ケイ酸塩粒子の酸素同位体組成は約90%が ^{17}O に非常に富んで ^{18}O は太陽系の同位体組成に近い組成を持っている事がわかった。19

個のうち 8 個のケイ酸塩粒子の鉱物種の同定に成功し、その 75%が輝石であった。また 6 個の SiC 粒子と 7 個のグラファイト粒子の同定に成功した。そのうち硫化物で取り囲まれているプレソーラー粒子を 2 個発見した。複合粒子の硫化物の硫黄同位体組成は太陽系の同位体組成に近い組成であった。

第六章は三つの節で構成されている。第一節では発見したプレソーラー粒子の起源について議論している。ケイ酸塩粒子の酸素同位体組成はどのコンドライトでも同様の分布を示しており、ほとんどの粒子が酸素に富んだ AGB 星を起源とする事がわかった。一方、炭素質粒子の炭素同位体組成も他のコンドライトと同様の分布で、炭素に富んだ AGB 星を起源とする事がわかった。この事は太陽系を作るもとになった粒子は酸素に富んだ AGB 星と炭素に富んだ AGB 星の混合で形成された事を示唆している。第二節では、母天体上での熱変成について議論している。3 つの EH3 試料中のケイ酸塩粒子と炭素粒子の存在度を比較する事により ALHA81189 が最も変成を受けていなかった事が示唆された。第三節で原始太陽系における還元的環境の生成過程について議論している。プレソーラー SiC 粒子とグラファイト粒子の存在度を見積もる事でエンスタタイトコンドライト中には熱変質に弱いとされているグラファイト粒子が非常に多く生き残っていた事がわかった。また、エンスタタイトコンドライト中のプレソーラーケイ酸塩粒子の鉱物種のほとんどがパイロキシン組成を持っている事から、還元的環境ではオリビン組成を持った粒子が選択的に破壊される事が示唆された。プレソーラー粒子を取り囲んでいる硫化物と内包されている粒子が太陽系組成であった事からこの複合粒子は原始太陽系内で形成された事を示唆している。

第七章では、本論文の研究をまとめ、エンスタタイトコンドライト中のプレソーラー粒子はエンスタタイトコンドライト形成時の還元環境により太陽系形成時の加熱プロセスを生き残り、母天体上においても還元的環境により保存されていた事を示唆する結論を導いている。

これを要するに、著者は、太陽系起源の最大問題の 1 つであるプレソーラー粒子に関して、エンスタタイトコンドライト中に新しいプレソーラー粒子を発見し、原始太陽系星雲の進化と太陽系極初期天体におけるプレソーラー粒子の生存について新知見を得た物であり、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。