

始原的炭素質コンドライトAcfer 094マトリクスの微細組織観察：太陽系始原物質の探索

Microstructure of a matrix in primitive carbonaceous chondrite Acfer 094: investigation for pristine planetary materials

*松本 恵¹、土山 明¹、松野 淳也¹、中藤 亜衣子¹、三宅 亮¹、伊藤 元雄²、富岡 尚敬²、兒玉 優⁴、上杉 健太郎³、竹内 晃久³、中野 司⁵、バッカロ エピファニオ⁶

*Megumi Matsumoto¹, Akira Tsuchiyama¹, Junya Matsuno¹, Aiko Nakato¹, Akira Miyake¹, Motoo Ito², Naotaka Tomioka², Yu Kodama⁴, Kentaro Uesugi³, Akihisa Takeuchi³, Tsukasa Nakano⁵, Epifanio Vaccaro⁶

1. 京都大学大学院 理学研究科、2. 国立研究開発法人 海洋研究開発機構、3. 公益財団法人 高輝度光科学研究センター、4. 株式会社 マリン・ワーク・ジャパン、5. 産業技術総合研究所 地質情報研究部門、6. ロンドン自然史博物館

1. Graduate School of Science, Kyoto Univ., 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. Japan synchrotron radiation research institute, 4. Marine Works Japan LTD., 5. AIST, Geological Survey of Japan, 6. National History Museum, London

はじめに

これまで彗星起源とされる宇宙塵（CP-IDPs）から、太陽系の始原物質が多く見ついている。CP-IDPsはサブミクロンサイズの非晶質ケイ酸塩（GEMS）、ケイ酸塩結晶（オリビン、輝石）、Fe-Ni硫化物、Fe-Ni金属、有機物等からなり、その粒子間に空隙を多く含む^[e.g.,1]。この組織は、初期太陽系でダストが集積してできたものであり、空隙にはかつて氷が存在したと考えられている。このことは、天体の原材料となったダストが、結晶の鉱物の他に非晶質ケイ酸塩や有機物、氷を多く含んでいたことを示唆している。一方、炭素質コンドライトは非晶質ケイ酸塩や有機物を殆ど含まず、氷の存在を示す証拠も見つかっていない。近年、極めて変成度の低い少数の炭素質コンドライトは、マトリクスに非晶質ケイ酸塩や有機物を含むことがわかってきたが^[e.g., 2,3]、その詳細な特徴やCP-IDPsとの関係は明らかでない。本研究では、炭素質コンドライト母天体の原材料物質と集積・進化過程の解明を目指し、最も始原的なAcfer094隕石^[e.g.,2]のマトリクスについて詳細な観察と分析を行った。

試料と手法

試料には2つのAcfer094隕石研磨片（面積：~2.2, ~6.6 mm²）を用いた。初めにFE-SEM観察によりマトリクスの不均質性を調べた。次にマトリクスの代表領域からFIBを用いてハウス形試料（~25×25×30 μm）を作製し、SPring-8 47XUで放射光X線CT撮像（SR-XCT）を行った。本研究のSR-XCTでは、約100 nmの高空間分解能で鉱物相や密度の違いによるコントラストを得て、鉱物相・空隙・有機物の同定や密度の推定が可能である。また、CT試料からFIBを用いて薄片試料を作製し、TEM観察とNanoSIMSによる同位体組成分析を行った。

結果と考察

マトリクスは、Acfer094隕石の約60 vol.%を占め、大部分は微粒子が密に詰まった空隙の少ない組織を示す。FE-SEM観察から、マトリクスに非常に空隙率の高い岩相（超多孔質岩相）が多数分布していることがわかった。超多孔質岩相はいずれも小さく（面積~数十μm²）マトリクスに占める割合は小さい（~0.3 vol.%）。マトリクスの代表領域と超多孔質岩相を含む領域からハウス形試料を作製しSR-XCTを行ったところ、研磨片表面から深さ方向に離れた位置にも超多孔質岩相が含まれていた。このことは、超多孔質岩相の空

隙は研磨時の試料脱離によるものではなく、Acfer094隕石が本来含むものであることを示している。XCT像から推定される超多孔質岩相の密度 ($\sim 1.4 \text{ g/cm}^3$) は、マトリクス ($\sim 2.4 \text{ g/cm}^3$) に比べ小さくCP-IDPs ($\sim 0.7 \text{ g/cm}^3$)^[1]に近い。

TEM観察から、超多孔質岩相は数百nmサイズのGEMSに類似した非晶質ケイ酸塩やオリビン、輝石、Fe-Ni硫化物からなり、空隙の一部に有機物を含むことがわかった。TEM像から見積もった超多孔質岩相の空隙率は、CP-IDPs ($\sim 70\%$)^[1]には及ばないが約40%と高い。また、空隙の少ないマトリクスも超多孔質岩相と同様の構成物からなるが、含水鉱物を少量含み、弱い水質変成を受けていることがわかった。

NanoSIMS分析の結果、超多孔質岩相とマトリクスに有意なC、N、O同位体組成差は見られず、Acfer094隕石バルクに比べやや重い酸素同位体組成をもつことがわかった^[4]。また、非晶質ケイ酸塩の酸素同位体組成は、GEMS平均組成の質量分別線付近にプロットされた。このことは、Acfer094隕石中の非晶質ケイ酸塩がGEMSと同一の起源をもつ可能性を示唆する。

以上の結果は、Acfer094母天体が、CP-IDPsとよく似た原材料からできたことを示唆している。我々は、超多孔質岩相の空隙にはかつて氷が含まれており、炭素質コンドライト母天体形成領域の天体原材料物質の一つだったと考えている。超多孔質岩相の氷が融け去ってできたコンパクトな物質（マトリクス）が、氷を含んだままの超多孔質岩相やコンドリュールと共に集積してAcfer094母天体を形成し、その後氷が融けることで、弱い水質変成が起こったと考えられる。

参考文献

[1] Bradley et al. (2014), *Meteorites and Cosmochemical Processes*, 287-308. [2] Greshake (1997), *GCA*, 61, 437-452. [3] Leroux et al. (2015), *GCA*, 170, 247-265. [4] Clayton and Mayeda (1999), *GCA*, 63, 2089-2104.

キーワード：炭素質コンドライト、Acfer094隕石、非晶質ケイ酸塩、放射光X線CT撮像、透過型電子顕微鏡、NanoSIMS

Keywords: carbonaceous chondrite, Acfer 094 meteorite, amorphous silicates, SR-XCT, TEM, NanoSIMS