

Acfer094 隕石中の宇宙シンプレクタイトの TEM 観察

松本恵* (東北大), 土山明 (立命館大, GIG/CAS), 三宅亮 (京都大),
富岡尚敬, 伊藤元雄 (JAMSTEC), 兒玉優 (マリンワークジャパン),
松野淳也 (京都大), 安武正展 (立命館大), 中藤亜衣子 (JAXA/ISAS),
上杉健太郎, 竹内晃久 (JASRI/SPRING-8), 中野司 (産総研),
バックロ エピファニオ (ロンドン自然史博物館)

TEM observations of a cosmic symplectite in the Acfer 094 meteorite

M. Matsumoto* (Tohoku Univ.), A. Tsuchiyama (Ritsumeikan Univ., GIG/CAS),
A. Miyake (Kyoto Univ.), N. Tomioka, M. Ito, (JAMSTEC), Y. Kodama (Marine Works Japan),
J. Matsuno (Kyoto Univ.), M. Yasutake (Ritsumeikan Univ.), A. Nakato (JAXA/ISAS),
K. Uesugi, A. Takeuchi (JASRI/SPRING-8), T. Nakano (GSJ/AIST), E. Vaccaro (NHM in London)

はじめに

Acfer 094 隕石には、宇宙シンプレクタイト (COS: cosmic symplectite) と呼ばれる Fe-O-S-Ni に富む粒子 (数-数十 μm) が含まれている。この粒子は、マグネタイトとペントランダイトからなる数十 nm スケールのシンプレクタイト組織を示し、太陽系物質の中で最も重い酸素同位体組成をもつ^[1,2]。

COS は、前駆の Fe-Ni 金属、硫化物粒子が初期太陽系の ^{17}O , ^{18}O に富む水や水蒸気により酸化され形成されたと考えられているが^[2]、岩石鉱物学的な研究は少なく、その形成過程には未だ議論の余地がある。本研究では、Acfer 094 隕石研磨片中に見出した一つの COS 粒子^[3]について詳細な TEM 観察を行い、新たな COS の産状を発見したので報告する。

試料と手法

本研究の COS 粒子は、事前の NanoSIMS 分析から、先行研究と同様に重い酸素同位体組成 ($\delta^{17}\text{O} = 159.06 \pm 5.79$ (1 σ) ‰, $\delta^{18}\text{O} = 166.31 \pm 3.18$ (1 σ) ‰) をもつ^[3]。また、SPRING-8 BL 47XU で行った X 線 CT 撮影から、粒子内部に微小なインクルージョンを含む^[3]。インクルージョンが含まれる空間は COS 粒子内で閉じており、クラックは見られないことから、COS 粒子形成時に取り込まれたものと考えられる。本研究では、集束イオンビーム (FIB) を用いてインクルージョンを含む超薄断面試料を作製し、TEM 観察を行った。

結果と考察

COS 粒子は、二次元断面では、インクルージョン (直径 $\sim 2 \mu\text{m}$) とそれを殻状に囲む Fe-O-S-Ni 層 (厚さ 1-2 μm) からなる、コア-マンチル構造を示す。これと似た構造 (空隙とそれを殻状に囲む Fe-O-S-Ni 層) を示す COS 粒子は、Abe et al. (2017)^[4] の SEM 観察により多数確認されている。これらの粒子は、元々在ったインクルージョンが、試料研磨時

に脱離した可能性がある。

電子線回折および化学組成分析の結果、インクルージョンは、Na 硫酸塩の単結晶であることがわかった。

また Fe-O-S-Ni 層の STEM-EDS 元素マップ分析を行ったところ、インクルージョンをコアとする同心円状の 3 層構造をもつことがわかった。コア側から、①やや粗粒 (100-200 nm) の FeS とマグネタイトからなる層、②マグネタイトとペントランダイトからなる数十 nm スケールのシンプレクタイト組織層、③Fe 酸化物のみからなる層である。②の層は、マグネタイトの結晶方位に着目すると、径 100-300 nm のドメイン構造をもつ。このドメイン構造は、元々在ったこのサイズの Fe-Ni 金属粒子等を置き換えて形成したと考えられる。

Na 硫酸塩による金属鉄の腐食を模擬した実験^[5-7]では、金属鉄板と Na 硫酸塩を接触させ $\text{N}_2\text{-O}_2\text{-SO}_2$ ガス中で加熱し ($>600^\circ\text{C}$)、接触面に①に似た FeS と Fe 酸化物の混合層や、②に似た FeS-Fe 酸化物ラメラが形成したことを報告している。本研究の COS 粒子は、これと同様の反応過程を経て形成した可能性がある。このような高温条件下での metal-sulfate 反応は、COS が隕石母天体に集積する前に起こった可能性が高い。一方、最表面の③Fe 酸化物層は、母天体集積後の水質変成により COS 粒子表面が酸化され形成した可能性がある。

これらの形成過程は他の多くの COS 粒子にも当てはまる可能性があり、起源を推定する重要な手掛かりになると考えている。

参考文献

- [1] Sakamoto et al. (2007), *Science* **317**, 231-233.
- [2] Seto et al. (2008), *GCA* **72**, 2723-2734.
- [3] Matsumoto et al. (2019), *JpGU*, PPS07-11.
- [4] Abe et al. (2017), *Geochem. J.* **51**, 3-15.
- [5] Buscaglia et al. (1990), *Corros. Sci.* **30**, 327-349.

Keywords: Acfer 094 隕石, 宇宙シンプレクタイト, metal-sulfate interaction, TEM

*Corresponding author: m_matsumoto@tohoku.ac.jp