

走査型透過 X 線顕微鏡 (STXM) を用いた地球外物質の有機物分析

癸生川陽子¹¹ 東京工業大学 理学院地球惑星科学系

隕石試料の走査型透過 X 線顕微鏡(STXM)を用いた炭素 X 線吸収端近傍構造(C-XANES)分析データの解析手法の検討を行い、様々な種類の隕石の比較から、これらの隕石に含まれる有機物の特性と母天体過程との関連を紹介する。

炭素質コンドライトと呼ばれる隕石には、最大で数 wt.%程度の有機物が含まれており、太陽系の始原的物質進化や地球に生命の原材料を提供した可能性から着目されている。有機物の大部分は不定形な高分子固体有機物（不溶性有機物と呼ばれる）である。加えて、比較的 low molecular weight の有機化合物も多種類含まれており、アミノ酸、糖類、核酸塩基類も検出されている。これらの有機物は、太陽系形成時の塵や微惑星内で形成されたものに加え、太陽系形成以前の分子雲由来のものを含む可能性があるが、いまだに真相は解決していない。さらに、これらの隕石の母天体が経験した水質変質や熱変成などのプロセスにより、構造の変化が起こったと考えられている。このような母天体過程を通し、不溶性有機物の分子構造が変化し、水素や酸素が減少してより芳香族に富む構造になったことが知られている。一方で、隕石の組織は非常に微細であり、マイクロナノスケールでの有機物の不均一が見られる。

走査型透過 X 線顕微鏡(STXM)を用いた炭素 X 線吸収端近傍構造(C-XANES)分析は、高空間分解能で有機官能基イメージングが可能であるため、隕石などの地球外物質中の有機物の微細構造分析に適しており、炭素質コンドライトや小惑星サンプルの分析に活用されている。しかし、STXM を用いた有機官能基イメージングの 3 次元的なデータに対して、十分な情報を引き出せていない感が否めない。また、スタックイメージからのスペクトル抽出の際の恣意性などの問題もある。そこで本研究では、機械学習による主成分分析(PCA)を用いたイメージング解析などの手法の検討を行うとともに、複数の種類の炭素質コンドライトの STXM/C-XANES データ解析を行い、それぞれの有機物の特徴を明らかにした。

試料として、粒径数 100 μm 程度の隕石粉末試料を金板に圧着し、集束イオンビーム(FIB)装置を用いて厚さ 100 nm の切片を作成し、フォトンファクトリー-BL-19A の STXM により C-XANES 分析を行った。機械学習による主成分分析(PCA)を用いたスタックイメージ解析[1]などの手法を用い、組成ごとの C-XANES スペクトルの分離・抽出の検討を行った。また、各スペクトルはガウシアンフィッティングによる各官能基ピークの定量[2]を行い、隕石試料内での不均一および異なる種類の隕石間での違いを表した。本講演ではこれらの結果を紹介し、それぞれの有機物の特徴から、これらの起原や進化過程に迫りたい。

本研究の遂行にあたり、富永宇氏、鈴木政紀氏、高橋嘉夫氏、山下翔平氏の協力に感謝する。

[1] Z. Gainsforth *et al.*, *Meteorit. Planet. Sci.* **59**, 2073 (2024).

[2] C. Le Guillou *et al.* *Anal. Chem.* **90**, 8379 (2018).