

「破壊型トモグラフィーによるコンドリュールの3次元可視化と観察」 要旨

*佐藤滯央(1), 竹田裕介(2), 深井稜汰(3), 増田雄樹(4),
Mehmet Oguz Derin(5), 植田知幸(6), 伊庭靖弘(6), 臼井寛裕(1,3)

(1)東大・理 (2)公益財団法人高輝度光科学研究センター (3)JAXA
(4)コペンハーゲン大 (5)Morgenrot Inc. (モルゲンロット株式会社) (6)北海道大・理

Introduction: コンドリュールは直径 1mm 程度の球状の固体物質である。一方で、楕円状や扁平な形状のコンドリュールもしばしば見られる[1 ほか]。コンドリュールの変形は円盤・母天体いずれかにおいてコンドリュールが受けた加熱や衝突の過程を表している[2,3]。一部の変形は形成後から微惑星の集積にかけて星雲中を移動する過程で生じた可能性があるため、コンドリュールの多様な形状の成因を解明することは、微惑星へのダストアグリゲイト集積における粒度選別条件[e.g. 4]を制約する手がかりとなる。しかし、隕石の断面画像から粒子の3次元形状を正確に計測することは困難である。そこで、トモグラフィー法によって得られる断面画像を再構成し、粒子の3次元モデルを作成すれば、3次元形状の成因を議論できる。加えて、粒子表面・内部の色彩を得ることにより、コンドリュールを覆うリムの様子を詳細に観察できる。リムの不均質性や、リムで覆われた内部組織の露出・破壊の程度を観察事実から推定でき、初生的なコンドリュールと変形を受けたコンドリュールを区別して認識することが可能である。以上より、本研究の目的は、破壊型トモグラフィー法を用いたコンドリュール3次元モデルの作成と、作成したモデルの表面と内部の観察を行い、得られる情報からコンドリュールの形状の成因について議論を行うことである。

Method: 本研究では、古生物学研究における化石や古環境の復元を目的とした最新技術である、破壊型トモグラフィーを隕石サンプルに応用することで、3次元可視化を行った。まず、Allende 隕石 (CV3 コンドライト) の隕石片 (1880 mm³) を樹脂に包埋し、試料を作成した。作成した試料は 5 μm ごとに鏡面研磨し、研磨した面ごとに高性能デジタルカメラ (所有: 北海道大学、解像度: 240 Mpx、視野: 23.443 mm×15.629 mm、ピクセルサイズ: 1.23 μm) で撮影した。これにより、計 2343 枚 (24 ビット RGB TIFF 形式) の断面画像が得られた。本研究では断面画像中に見られるコンドリュールの中から、外形が円形の 2 粒子と、外形が楕円形の 1 粒子に着目した。3 粒子それぞれの断面画像をソフトウェア (Amira) 上で積層し再構成することで、各粒子のフルカラー3次元モデルを得た。モデルの表面及び内部を 360 度方向から観察し、粒子の3次元形状と色彩、粒子を覆うリムの様子、粒子に見られる特徴的な組織や構造に関する情報を得た。

Results: 3次元可視化の結果、着目した3粒子のうち、球形のコンドリュールが2粒子、非球形のコンドリュールが1粒子見られた。球形のコンドリュールには、表面の1か所に深さ 0.1 mm 程度の円形のくぼみと、突起構造が観察できた。一方、非球形のコンドリュールには、ある一方向に対して平板な面をもつコンドリュールが観察できた。

Discussion: 球形のコンドリュール表面に見られた円形のくぼみは、Barred Olivine コンドリュール上のマイクロクレーター[5]と類似しており、コンドリュール形成後の二次的な影響を反映している可能性が

ある。一方、突起構造を有するコンドリュールは、先行研究の2次元画像上で既に観察されている、突起構造を有するコンドリュールに外観が類似していた。この突起構造は、コンドリュールの変形によってできた構造と考えられる[e.g. 6]。さらに、球形組織と突起構造それぞれの表面の色が3次元モデル上で同じであることが本研究から得られた。よって、リムの集積後にコンドリュールが変形したことで、突起構造が作られたと考えられる。平板な面を有するコンドリュールは、液滴状態で大きな回転速度を経験した際に作られる。回転軸に対して垂直な方向に延長し扁平した形状[7]と、本研究での観察から得られた当該コンドリュールの形状は整合的である。しかし、熔融状態のコンドリュール液滴は表面自由エネルギーが大きく、かつサイズが小さい。そのため形成直後は変形が起こりにくく[8]、高速回転による遠心力の作用のみで平板な形状が作られたとは考えにくい。よって、リム形成後に再度加熱されて熔融し、他のダストまたは隕石母天体上で外的な作用をコンドリュールが受けたことで、平板な形状に変形した可能性がある。

本研究から、以下の物理プロセスをコンドリュールが経験したと考えられる：(i) コンドリュール形成後のダストの衝突により、コンドリュール上の円形のくぼみが生じる。(ii) 細粒リムの集積後の変形により、突起構造を有するコンドリュールが生じる。(iii) 微惑星への集積の前に、加熱及び乱流の影響と、他のダストまたは母天体での衝撃過程による一方向からの変形を受け、平板な面を有するコンドリュールが生じる。今後、観察のサンプル数を増やし、この仮説の検証を進める方針である。加えて、得られた3次元モデルのアスペクト比やラフネスなどのパラメータ算出を行うことで形状の成因を明らかにし、多様なコンドリュールの形状が与える粒度選別への影響を明らかにする。

引用文献

- [1] 北村雅夫, 1989, 鉱物学雑誌, **19**(3), 177-179.
- [2] Nakamura et al., 2012, 日本地球化学会年会要旨集, **59**, 282.
- [3] Forman et al., 2023, *Meteoritics & Planetary Science*, **58**(4), 529-545.
- [4] Simon et al., 2018, *Earth and Planetary Science Letters*, **494**, 69-82.
- [5] Tsuchiyama et al., 2000, *LPSC XXXI*, Abstract #1566.
- [6] Hanna et al., 2015, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **171**, 256-282.
- [7] Miura and Nakamoto, 2007, *Icarus*, **188**, 246-265.
- [8] 上梶ほか, 2006, 日本惑星科学会誌, **15**(1), 12-19.

講演者: 佐藤 澤央

東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 修士1年 JAXA 宇宙研・臼井研究室

連絡先: reosat[at]g.ecc.u-tokyo.ac.jp