

X線CT法によるコンドリュールの3次元外形と内部構造 - コンドリュールの高速回転と星雲ガス中での運動

3-D shapes and internal structures of chondrules by X-ray CT method - their high-speed rotation and movement in nebular gas

土山 明[1], 重吉 亮一[2], 中野 司[3], 上杉 健太郎[4]

Akira Tsuchiyama[1], Ryoichi Shigeyoshi[2], Tsukasa Nakano[3], Kentaro Uesugi[4]

[1] 阪大・院理・宇宙地球, [2] 鹿大・理・物理科学, [3] 産総研 地球科学情報研究部門, [4] JASRI

[1] Earth and Space Sci., Osaka Univ., [2] Phys. Kagoshima Univ., [3] Geological Survey of Japan/AIST, [4] JASRI

<http://www.ess.sci.osaka-u.ac.jp/~akira/>

コンドリュールは、始源的な隕石であるコンドライトを特徴づける主要な構成物であり、その形成論や太陽系惑星円盤の進化を議論するために、多くの研究がなされている。特に近年の化学分析機器の発達により、同位体や微量元素分析が精力的になされ、形成年代を始めとする多くの情報が得られるようになった。一方、形状など物理的な情報についての進展は、あまりなかった。

コンドリュールはほぼ球形であることから、無重力下において溶融し、その後冷却されて形成されたと考えられている。しかし厳密には真球ではない。最近、コンドリュールの3次元構造が高分解能X線CT法により定量的に測定され、オプレート形状（錠剤状）のものが存在することが確認された [1]。さらに、その内部に存在する空隙の分布から、このコンドリュールは溶融時に回転していたことが指摘された。しかし、これは1個のコンドリュールについての結果であり、統計的な研究が必要である。

本研究では、大型放射光施設 SPring-8 に設置されている高分解能X線CT装置 [2] を用いて、Allende 隕石 (CV3) から取り出したコンドリュールを撮影し、表面のなめらかな約 20 個について、3次元外形と内部の金属鉄/硫化物粒子および空隙の分布状態を、定量的・統計的に解析した。その結果、オプレート形状（扁平率 0.88-0.98）のものほかに、プロレート形状（ラグビーボール状：扁平率 0.74-0.98）のものや3軸不等形状のものも見出された。オプレートおよびプロレート形状のコンドリュールについて、金属鉄/硫化物粒子あるいは空隙の回転対称軸回りの慣性モーメントを求め、ランダムな分布のものと比較した。これによると、これらの扁平したコンドリュールについては、金属鉄/硫化物粒子が回転対称軸から離れて存在し、一方空隙は回転対称軸付近に集まっている傾向が見られた。このことは、コンドリュールは溶融時に回転しており、遠心力により重い金属鉄/硫化物粒子は回転軸から離れて、軽い空隙は回転軸に向かって移動したことを強く示唆している。

回転により扁平となったオプレート状コンドリュールの形状を、液滴の遠心力と表面張力との釣り合いによる平衡形状 [3] とみなすことにより、その回転速度を見積もると 50-300 回転/秒という高速で回転していたことになる。一方、プロレート状コンドリュールは長軸を軸として回転するとともに、周囲の星雲ガスとの相対的な並進運動によりガス抵抗を受けて、長軸方向に伸びたものと考えられる。CT像より作成した3次元モデルをみると、このプロレート状コンドリュールは長軸方向にわずかに非対称で、その飛翔方向も推定できる。このことは、コンドリュール形成時にガスが存在していたことを意味しており、再現実験から推定されたコンドリュールの冷却速度 [4] を、定性的に説明できる。回転速度がわかれば、プロレート形状から、ガス圧と飛翔速度との積を定量的に求めることが可能であろう。

コンドリュールが形成時に高速回転していたことは、その成因論に大きな制約を与える。衝撃波による加熱機構で、高速回転を与えることは可能である。しかしながら、プロレート状コンドリュールの存在は、回転軸と飛翔方向とが平行なものが存在したことを意味しており、衝撃波でこのようなものを作るのは困難なように思われる。オプレート状コンドリュールでは、扁平率とサイズとの間には負の相関が認められ、形成時にコンドリュールに与えられた回転角速度の大きさはある一定の範囲にあったことが示唆される。

今回撮影したほとんどのコンドリュールには空隙が見られ、珪酸塩や金属鉄/硫化物にとともに、量的には少ないが (0-3 vol.%) コンドリュールの普遍的な構成要素であることがわかった。オプレート状のバードオリビンコンドリュールにおける空隙の分布から、これらの空隙はオリビンの晶出以降に生成されたものであり、オリビンの結晶化によってメルト中の揮発性成分濃度が上昇して、パブリングがおこったものと考えられる。

[1] Tsuchiyama et al. (2000) LPSC, XXXI, 1566. [2] Uesugi et al. (1999) Proc. SPIE, 3772, 214. [3] Chandrasekhar (1965) Proc. Roy. Soc. London, A, 286, 1. [4] Tsuchiyama et al. (1980) EPSL, 48, 155.