

## X線マイクロCTによる炭素質コンドライト中の有機物ナノグロビュールの3次元 的観察と画像シミュレーションによるCT像の評価

### Three-dimensional observation of organic nanoglobules by microtomography and evaluation of CT images by image simulation

松本 徹<sup>1\*</sup>, 土山 明<sup>1</sup>, 中村-メッセンジャー 圭子<sup>2</sup>, Michael.E.Zolensky<sup>2</sup>, 中野 司<sup>3</sup>, 上杉 健太郎<sup>4</sup>

Tooru Matsumoto<sup>1\*</sup>, Akira Tsuchiyama<sup>1</sup>, Keiko Nakamura-Messenger<sup>2</sup>, Michael.E.Zolensky<sup>2</sup>, Tsukasa Nakano<sup>3</sup>, Kentaro Uesugi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 阪大・院理・宇宙地球, <sup>2</sup> NASA Johnson Space Center, <sup>3</sup> 産総研地質情報研究部門, <sup>4</sup> JASRI

<sup>1</sup> Earth and Space Sci., Osaka Univ, <sup>2</sup> NASA Johnson Space Center, <sup>3</sup> GSJ/AIST, <sup>4</sup> JASRI

有機物ナノグロビュールと呼ばれる数百 nm の直径の球状有機物が、始原的炭素質コンドライト、IDPs、81P/Wild2 隕星塵中などに見つかっており、多くの場合その内部には空隙が存在している [1-3]。ナノグロビュールの成因として、<sup>15</sup>N、<sup>13</sup>C の正の同位体異常から分子雲や原始太陽系円盤外縁部などの極低温環境下での有機物氷の光化学反応の可能性 [4] や、有機物の天体中での水質変成 [1] などが挙げられている。もし、これらの過程を経て生成したのであれば、ナノグロビュール内部の空隙部分には、主に H<sub>2</sub>O と揮発性有機物で構成された氷あるいは流体で満たされていた可能性がある。しかし、これまでの TEM 観察などの破壊分析では、流体が存在しても試料作成時に失われ、その存在は確認されていない。従って、流体の存在の有無を確かめるためには、非破壊による隕石内部へのサブミクロンスケールの分析が必要とされる。

そこで本研究では SPring8 の BL47XU において、吸収コントラストを利用した結像型 X 線 CT [5] を用いて、炭素質コンドライトである Tagish Lake 隕石中のナノグロビュールの撮影を試みた。数十 μm の隕石破片サンプルを 7 keV で撮影し、各サンプルにつき約 800 スライス画像から成る 3 次元構造が得られた。

撮影した一部の隕石からウルトラマイクロームにより超薄切片を切り出し、TEM 観察を行った。TEM 像で確認できたナノグロビュールを CT 像と比較したところ、ナノグロビュールが確認できた。しかしながら、CT 像は TEM 像とは一対一には対応せず、また中心部で負の線吸収係数を持つなど、X 線の屈折の影響が考えられる。従って、CT 像からナノグロビュール内部の様子を推定することができなかった。また、CT 像において多くのナノグロビュールらしき物体が見られたが、TEM 観察と比較していないため、本当にナノグロビュールかどうかの判断が困難なものもある。

そこで、X 線の屈折と吸収を考慮した CT 像をシミュレーションによって求めることにより、CT 像のみから隕石中のナノグロビュールを特定し、さらにその内部の状態を明らかにできるか調べた。Tagish Lake 隕石マトリックス中の代表的な鉱物である saponite に囲まれているナノグロビュールを考え、内部は空隙がある場合、水で満たされている場合を想定した。平行 X 線が試料に入射し吸収・屈折を起こした透過光が検出器に到達した際の強度を求めた。線数係数と屈折率は物質の密度と組成から求めた。実際の撮影では結像光学系を使用したため、フレネルゾーンプレート (FZP) の焦点の像が拡大されるが、今回のシミュレーションでは検出器の位置は FZP の焦点に対応することになる。得られた透過強度から、検出器の画素サイズ (40.8nm)、point spread function (FWHM=360nm) を考慮し再構成計算によって CT 像を作成した。その結果、水を含むナノグロビュールと空隙を持たないものは CT 像で区別できないこと、また、有機物の膜が薄いナノグロビュールと球状の空隙は区別できないことが分かった。また、実効的な空間分解能は約 300 ミクロンであった。TEM 像との比較したナノグロビュールの CT 像とシミュレーションで得られた CT 像とを比較すると、このナノグロビュールは水を含んでいない可能性が高いことが分かった。しかし、シミュレーション結果と実際の CT 像は厳密に一致していない。これは、試料の不均一性や、FZP の焦点の試料との相対的な位置が撮影中に変化するなどの原因が考えられる。一方、シミュレーション結果により、CT 像からナノグロビュールの外形を決定できることが明らかになった。これよりナノグロビュールの 3 次元構造を定量的に求めることができた。

本研究により CT 像からナノグロビュールの隕石中の位置や分布の 3 次元情報を知ることができることが示された。将来的にはナノグロビュールの直前までサンプルを削り、SIMS などの分析を行うことで、流体が存在すればその組成や同位体分析が可能となるものと考えられる。

[1] Nakamura K. et al (2002) Int. J. Astrobiol., 1, 179. [2] Messenger S. et al. (2008) LPS XXXIX, Abstract #2391. [3] De Gregorio B. T. (2009) LPS XXXX, Abstract #1130. [4] Nakamura-Messenger K. et al (2006) Science, 314 1439-1442. [5] Uesugi K et al (2006) Proceedings of SPIE6318:63181F.

キーワード: 有機物ナノグロビュール, X 線 CT, 炭素質コンドライト, 画像解析

Keywords: X-ray microtomography, organic nanoglobule, carbonaceous chondrite, image simulation