

コンドリュール中の空隙および金属/硫化物粒子の3次元サイズ分布とそれらの成因

Three-dimensional size distributions of voids and metal/sulfide grains in chondrules and their origin

土山 明[1], 中野 司[2], 上杉 健太郎[3]

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

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

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

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

珪酸塩液滴の急冷物であるコンドリュールは、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、その形成論やそれに基づいた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。最近、コンドリュールの3次元構造が大型放射光施設 SPring-8 に設置されている高分解能 X 線 CT 装置 (SP- μ CT)[1] を用いて明らかにされ、外形および内部における空隙や金属/硫化物粒子の分布から、コンドリュールはその形成時に数 100 回転/秒という高速で回転していたことが主張された[2]。

本研究では、[2]において撮影したコンドリュール中の空隙および金属/硫化物粒子のサイズ分布を求めることにより、空隙や金属/硫化物粒子の成因について議論する。サンプルは Allende 隕石 (CV3) から取り出した 22 個のコンドリュールである。得られた各サンプルの CT 画像において、CT 値 (物質の線吸収係数に対応する CT 画像の輝度) についての閾値を用いて空隙と金属/硫化物粒子を認識した。画像のノイズを考慮して、10 画素 (画素サイズは $5.833 \mu\text{m}^3$) 以上からなるものを、空隙あるいは粒子とした。ほとんどのコンドリュールに多かれ少なかれ、空隙 (0-2.8 vol.%) や金属/硫化物粒子 (0-6.8 vol.%) の存在が認められた。これらのうちコンドリュール内に 100 粒子以上が存在するもの (空隙、金属/硫化物粒子に関してそれぞれ 8 および 11 個のコンドリュール) について、粒子の体積が等しくなるような球相当径 (L) を求め、これらの数密度分布 ($n(L)$) を 3次元において求めた。空隙サイズは、大きなサイズのいくつかの粒子を除いて、 $\log(n)$ が L に比例する指数分布をする。一方、金属/硫化物粒子のサイズは、 $\log(n)$ が $\log(L)$ に比例する冪分布 (冪数=1.5-3) をしているように見える。

コンドリュールが高速回転していたとすると、空隙や金属/硫化物粒子はその遠心力によって、前者は回転軸に後者は回転軸から離れるように移動する。遠心力による移動のタイムスケールはコンドリュール冷却のタイムスケールより十分に早いので、もしコンドリュール液滴が形成されたときすでに空隙や金属/硫化物粒子が存在していたとすると、バードオリビンコンドリュールのような完全溶解を経験したものでは、空隙は回転軸に、金属/硫化物粒子はコンドリュール表面にまで移動していることが予想される。実際、バードオリビンコンドリュール中の金属/硫化物粒子はその表面にしか存在せず、前駆物質として金属/硫化物粒子がコンドリュールに取り込まれたと考えると矛盾はない。また、前駆物質としての金属/硫化物粒子のサイズ分布が破碎などによって決められていたと考えると、これらの粒子サイズの冪分布を説明することができる。一方、空隙は回転軸に近い所に集中してはいるが、完全に回転軸上にはない。従って、空隙はコンドリュール液滴形成時に存在したもの (例えば、前駆物質であるダストボールの空隙を取り込んだ) ではなく、バードオリビンの晶出以降に生成されたものということになる。具体的には、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発泡がおこり、生成された空隙はオリビンの板状結晶にトラップされて、完全には回転軸に集まらなかったものと考えられる。この空隙のサイズは指数分布をしているが、火成岩中の結晶や泡のような nucleation and growth による粒子成長でもそのサイズが指数分布をすることが知られており[3]、コンドリュールメルト中での発泡 (空隙の nucleation and growth) と調和的である。但し、開放系での nucleation and growth によってある種の仮定をすれば粒子サイズが指数分布をすることは示されているが (CSD 理論[4])、閉鎖系での指数分布は自明ではなく、閉鎖系と考えられる岩石中でも何故指数分布になるのかはよくわかっていない。発泡の原因となった揮発性成分としては、アルカリ元素や硫黄などの中程度揮発性成分が考えられるが、微量の水の可能性も否定はできないであろう。

[1] Uesugi et al. (1999) Proc. SPIE, 3772, 214. [2] 土山ら (2002) 合同大会要旨; Tsuchiyama et al. (2003) LPSC, XXXIV, 1271. [3] 森下 (1992) 火山, 6, 285-293. [4] Marsh (1988) CMP, 99, 277-291.