

# 衝撃波加熱によるコンドリュールサイズ分布の再現：そこから推測される原始太陽系星雲内部のダストサイズ分布

Reproduction of chondrule size distribution by shock-wave heating model: dust size distribution in solar nebula

# 三浦 均[1]; 中本 泰史[2]

# Hitoshi Miura[1]; Taishi Nakamoto[2]

[1] 筑波大・数物; [2] 筑波大・計物セ

[1] Pure and Applied Science, Univ. of Tsukuba; [2] CCP, Univ Tsukuba

コンドリュールとは、コンドライト隕石中に含まれている球状の石質組織である。これは、原始太陽系星雲中に存在した mm サイズのシリケートダストが加熱されて融解し、その後急激に冷却されて形成したと考えられている。コンドリュールのサイズは、直径約 300 - 900 ミクロン付近の狭い範囲に集中している。シリケートダストを加熱する有力なメカニズムのひとつに衝撃波加熱モデルがある。ガスとダストからなる原始惑星系円盤内で衝撃波が発生すると、衝撃波後面でガスとダストの間に衝撃波速度程度の相対速度が生じ、ガス摩擦によってダストが加熱されるというモデルである。このモデルに関してはすでにいくつかの詳細なシミュレーションが行なわれており、適切な強度の衝撃波によってダストが融解しうることが分かっている (e.g., Iida et al. 2001)。今回私たちは、衝撃波加熱モデルではどのようにコンドリュールのサイズ分布を再現しうるかを調べた。

コンドリュール形成過程において、シリケートダストは加熱を受けるとともに、蒸発によりサイズが小さくなる。よって、コンドリュールのサイズは加熱を受ける前のシリケートダストより小さくなる (Miura & Nakamoto 2004)。また、衝撃波後面ではガスとダストの間に大きな相対速度が生じ、ダスト表面には非等方的な動圧が働く。融解したダストは表面張力によって球状を保とうとするが、この動圧が表面張力の作用より大きくなると、融解したダストの分裂が生じ、そのサイズのコンドリュールは形成されない (Susa & Nakamoto 2002)。コンドリュールのサイズ分布を再現するには、これらの効果を考慮してモデル化を行なわなければならない。

私たちはこの問題に対して、以下のようなモデル化を行なって数値計算を行なった。衝撃波後面ガスは 1 次元平行平板定常流を仮定し、流体力学方程式と非平衡化学反応式 (ガス分子に関する気相反応) をセルフコンシステントに解いた。非平衡化学反応を解くことは、ガスの加熱・冷却率を正確に評価するために重要であるだけでなく、シリケートダストの蒸発速度が水素分子分圧に依存しているため、形成されるコンドリュールのサイズを定量的に求めるためにも必要である。ダストに関しては、ガスからのエネルギー輸送や放射冷却・蒸発に伴う気化熱冷却による温度変化、蒸発に伴う半径の収縮、ガス摩擦による速度変化を同時に解いた。そして、ダストの温度が融点を越えて、かつ蒸発によって完全に消失しなかったものがコンドリュールになるとした。また、動圧によって分裂してしまうサイズのダストは、上記の条件を満たしたとしてもコンドリュールにはならないと仮定した。

コンドリュールのサイズ分布を再現するには、前駆体であるシリケートダストのサイズ分布を仮定する必要がある。今回は、べき分布と対数正規分布の 2 種類のパターンに対してサイズ分布の再現を試みた。こうして得られたサイズ分布と実際に測定されているコンドリュールのサイズ分布を比較して、どのような条件下でサイズ分布が再現されるかを調べた。比較する際には、主なサイズ測定法である Thin-section 法のバイアスの影響も考慮した (Eisenhour 1996)。

その結果、前駆体ダストのサイズ分布がべき分布の場合は、普通コンドライトに含まれるコンドリュールサイズ分布を再現するのは難しいことが分かった。次に、前駆体のサイズ分布を普通コンドライト中のコンドリュールサイズ分布に似せた対数正規分布とすると、もともとのサイズ分布を直接反映したようなコンドリュールサイズ分布を得ることができた。その時の衝撃波パラメータとしては、(i) ガス数密度  $\sim 10^{11} \text{cm}^{-3}$  では衝撃波速度  $\sim 40 \text{km/s}$  程度、(ii) ガス数密度  $\sim 10^{14} \text{cm}^{-3}$  では衝撃波速度  $\sim 8 \text{km/s}$  程度が妥当であった。(i) の衝撃波パラメータは、原始惑星系円盤内部で発生した密度波に伴う衝撃波によって説明できる (Desch & Connolly 2002)。また、(ii) に関しては、中心星の磁気活動に伴う X 線フレアが原始惑星系円盤表面と相互作用することによって生じる衝撃波と整合的である。

以上の結果、普通コンドライト中のコンドリュールサイズ分布を再現するためには、小さな前駆体ダストをコンドリュール形成現場から除去する物理過程、もしくは、形成された小さなコンドリュールを除去する物理過程が原始惑星系円盤内で生じていたことが強く示唆される。このシナリオが正しければ、コンドライト中に見られるコンドリュールサイズ分布は上記の選択的サイズ分離の結果を直接示していることになる。

