

衝撃波加熱モデルにおけるコンドリュールの最大サイズ：高速気流中の液滴表面のはぎ取り効果

The maximal size of chondrules in shock wave heating model: Stripping of liquid surface in a hypersonic rarefied gas.

加藤 貴昭[1]; 中本 泰史[2]; 三浦 均[3]

Takaaki Kato[1]; Taishi Nakamoto[2]; Hitoshi Miura[3]

[1] 筑波大・数物; [2] 筑波大・計物セ; [3] 筑波大・数物

[1] Pure and Applied Sciences, Univ. of Tsukuba; [2] CCP, Univ Tsukuba; [3] Pure and Applied Science, Univ. of Tsukuba

コンドライト隕石の主要構成成分として、コンドリュールと呼ばれる珪酸塩鉱物がある。コンドリュールは球形で、典型的には数百 μm 程度の特徴的なサイズを持つ。また構造の鉱物学的特徴から、少なくとも一度高温状態の下で融解し、その後急冷されて再固化することにより出来たと考えられている。

コンドリュールの形成モデルはこれまでにいくつも提唱されているが、いまだ確定はしていない。しかしその中で、観測から得られている様々なコンドリュールの性質を説明することの出来る有望なモデルとして、衝撃波加熱モデルがあげられる。これは星雲内に生じた衝撃波の後面でガスとダストの間に相対速度が生じ、その摩擦によってダストが加熱されて融解するというモデルである。

衝撃波によってダストが融解すると、液状になったダスト（液滴）には周囲の高速気流によって変形や内部流が生じる。ダスト全体が完全に溶け、内部が一樣になった液滴に対しては流体力学方程式が線形の範囲で解かれ、変形や内部流、圧力分布が求められた (Sekiya et al. 2003)。また、高速気流により液滴に働く動圧と液滴の表面張力の釣り合いから液滴の分裂についても議論され、分裂しないための最大サイズも見積もられている (Susa & Nakamoto 2002)。

しかし加熱を受け融解するタイムスケールに比べて熱伝導のタイムスケールが大きい時には、ダストは表面から熱伝導により中心に向かって順に暖められて融解し、部分溶解の状態となる。つまり表面が液体で、中心に固体が残る状況が実現すると考えられる。このような状況で起きる現象を議論するためには、中心に固体コアが存在する液滴について考えなければならない。

本研究では衝撃波後面の高速気流中における、内部に固体コアが存在する液滴の挙動を調べるために、流体力学方程式を線形の範囲で解析的に解き、変形・内部流・圧力分布を求めた。その際の境界条件として、液滴中心に球状の固体表面を設定し、また液滴表面では高速気流により受ける力・表面張力・ストレステンソルの釣り合いを考えた。

内部流と圧力勾配は中心の固体コアに対して力を及ぼすために、固体コアは中心に留まる事が出来ずに動き出す。ダストが完全に融解するタイムスケールよりも短い時間で固体コアが動くと、液滴から固体コアが飛び出す、という現象がおきると予想される。これは言い換えると、融解途中のダストの表面から溶液が剥がされると見ること出来る。

このはぎとりの現象が起きるのは以下の2つの条件が満たされた時であると思われる。

(1) ダストが融解するタイムスケールよりも熱伝導のタイムスケールが大きい

(2) ダストが融解するタイムスケールよりも固体コアが動くタイムスケールが小さい

固体コアに働く力を求めてこれらのタイムスケールを比較すると、ダストの半径が大きいほど、また、衝撃波の速度・密度が大きいほど、表面のはぎ取りが起きやすいことが分かった。これは、ダスト半径が大きいほど完全に融解するまでの時間が長くなるためであり、また、衝撃波の速度・密度が大きいほど溶液内部の内部流と圧力勾配が大きくなるためである。したがって、液滴表面のはぎ取り現象のために、形成されるコンドリュールのサイズに上限が現れることがわかる。実際、コンドリュールが形成され得る衝撃波パラメーターを用いて、剥ぎ取りが起きずにダスト全体が融解する事が出来る最大のサイズを求めると、1~2mm程度になり、観測から得られているコンドリュールの最大サイズと良く一致することが分かった。

衝撃波加熱モデルに基づいたこの剥ぎ取りの現象がコンドリュールの最大サイズを自然に説明することからも、衝撃波加熱モデルがコンドリュール形成を説明するモデルとして適当であることを示唆している。