

衝撃波加熱モデルによる斑状コンドリュールの形成可能なサイズ

Possible size of porphyritic chondrule in the shock-wave heating model

保田 誠司 [1]; 中本 泰史 [2]

Seiji Yasuda[1]; Taishi Nakamoto[2]

[1] 筑波大・数物; [2] 筑波大

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

コンドライト隕石に含まれる直径 1mm 程度の球形の珪酸塩構造物であるコンドリュールは原始太陽系星雲内でのダストの急激な加熱によって形成されたと考えられている。衝撃波加熱モデルは、コンドリュールの様々な観測的制約条件を説明しようということが理論的に示されているため、コンドリュール形成の最も有力なモデルのひとつと考えられているが、これまでの衝撃波加熱によるコンドリュール形成の研究は、ダスト内部の温度が一様であることが仮定されていた。実際には、衝撃波加熱モデルではダストはガス摩擦による加熱を片面から受けるため表面がまず暖まり、内部は熱伝導によって暖められるため、ダスト表面の一部が溶融する状態が実現する(2005 合同大会)。

Kato, Nakamoto, and Miura (2006) は、ダスト表面全体が溶融している状態を仮定して、ガス流によって誘起される溶融部における定常流を線形解析によって計算し、内部の固体コアが溶融部からとび出す、つまり溶融部がガス流によって剥ぎ取られ、コンドリュールのサイズが数mm以下に抑えられることを示した。この研究は、融点でのみ融解が起こると仮定していたのでダストの一部が溶融した途端に剥ぎ取りが起きるが、実際にはソリダス温度からリキダス温度の間で徐々に溶融が進み、ソリダス温度付近の溶融し始めの温度では、粘性が高いので剥ぎ取り過程が起きない可能性がある。

斑状コンドリュールの前駆体であるダストは、リキダス温度以下約 200K ($T_{\min} = 1700\text{K}$) とリキダス温度 ($T_{\text{liq}} = 1900\text{K}$) の間の温度を経験したと考えられている (Cohen et al. 2000)。従って、斑状コンドリュールを形成したダストは、粘性の高い溶融状態しか経験しなかったと考えられ、剥ぎ取り過程は起きなかったかもしれない。

そこで本研究では、衝撃波加熱を受けたダスト内の温度・粘性分布を、三次元熱伝導方程式を解くことで求め、剥ぎ取り過程を考慮した斑状コンドリュールの形成可能なサイズを調べた。

まず、ダスト溶融部の剥ぎ取り過程が起きるためには固体部分に対して液体部が動く必要がある。ガス流によって流れが誘起されるタイムスケール ($t_{\text{flow}}(T)$) は、溶融ダスト内に誘起された内部流の循環のタイムスケール (Sekiya et al. 2003) を使うことで評価できる。一方で、剥ぎ取り過程が起きるには、液体部と固体部が共存していなければならない。ダスト内のある部分が温度 T に達してからダストの全体が温度 T に達するまでの時間として、共存状態が継続する時間 ($t_{\text{duration}}(T)$) として定義した。二つのタイムスケールを比較して、 $t_{\text{flow}}(T)$ が $t_{\text{duration}}(T)$ よりも小さいならば剥ぎ取りが起きることになる。伝播速度 12 km/s、ガス密度 $2.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ の衝撃波にダストがさらされた場合の $t_{\text{flow}}(T)$ と $t_{\text{duration}}(T)$ の比較をしたところ、

リキダス温度付近まで温度上昇しないと様々な半径で $t_{\text{flow}}(T)$ が $t_{\text{duration}}(T)$ よりも小さい状況は実現されず、剥ぎ取り過程が起らない可能性が高い。例えば、半径 1mm では $T = 1860\text{K}$, 5mm では $T = 1820\text{K}$, 10mm では $T = 1810\text{K}$ まで温度上昇しないと、 $t_{\text{flow}}(T)$ が $t_{\text{duration}}(T)$ よりも小さくはならない。

つまり、斑状コンドリュールの形成可能なサイズは、数 mm よりも大きくなる可能性がある。

また、一方で斑状コンドリュールが形成されるためには、 $T_{\min} \sim T_{\text{liq}}$ の温度幅にダスト全体の最高温度が収まる必要がある。ダストのサイズが大きいと非一様性は大きくなるため、この温度幅にダスト全体の最高温度が収まらなくなる。最高温度がこの温度幅にちょうど収まるような半径が斑状コンドリュールの形成可能なサイズである。そこで、様々な衝撃波パラメータのもとで、ダスト内の温度分布を調べ、形成可能なサイズを求めたところ、回転を考慮しない場合には、約 5mm、回転を考慮した場合には約 25mm となった。

以上より、斑状コンドリュールの形成可能なサイズは、観測で見られるコンドリュールの最大サイズよりも大きく、衝撃波加熱モデルは観測的制約条件と整合的であると言える。