

衝撃波加熱によるコンドリュール内部温度の非一様性

Inhomogeneous temperature distribution in chondrules in the shock wave heating

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・計科セ

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

コンドリュールはミリメートルサイズの球形のシリケート構造物であり、コンドライト隕石の主要な構成要素である。コンドリュールは原始太陽系星雲内のダストが何らかの原因で加熱を受けて溶け、表面張力により丸まり、冷えて固まることによって形成されたと考えられている。コンドリュールの形成過程はまだ完全には解明されていないが、有力なモデルのひとつに衝撃波加熱モデルがある。これは、原始太陽系星雲内で発生した衝撃波をガスとダストが通過する際に、ガスは圧力によって減速するのに対して、ダストは減速を受けないためガスとダストの間に相対速度が生じ、ダストはガス摩擦によって加熱を受けるといったものである。

衝撃波加熱モデルによるコンドリュール形成の研究はこれまで様々行なわれてきたが、そのほとんどがダストの内部温度が一様であるという仮定を置いていた。しかしながら、衝撃波による加熱を受ける時にはダストはまず表面がガス摩擦により暖められ、次に熱伝導により表面の熱エネルギーが内部に伝わり、ダスト内部が暖まると考えられる。つまり、衝撃波加熱を受けたダスト内部の温度分布は非一様であったと考えられる。

日本惑星科学会 2004 年秋季講演会において私達は、原始太陽系星雲内でダスト自身が回転していないという仮定の下、衝撃波加熱を受けたダスト内部の温度分布には非一様性が現れ、流れに対して垂直な層状の温度分布になることを報告した。一方、原始太陽系星雲内のダストはなんらかの原因で回転していた可能性もある。

そこで本研究では、3次元熱伝導方程式を数値的に解くことで、衝撃波加熱を受けたダスト内部の温度分布がどのようになるのか、非一様性がどの程度残るのか、という問題を、回転の効果も考慮に入れて一般的に調べた。その結果、衝撃波加熱を受けたダスト内部の温度は、ダストの半径(r)、ダストの回転角速度(ω)、および、加熱の時間スケールに応じて、(a) 層状温度分布、(b) 玉ねぎ状温度分布、(c) 一様温度分布、という3種類の温度分布となり得ることがわかった。これら3種類の温度分布がどのようなときに現れるかは、次の3つのタイムスケールの大小関係で理解することが出来る：加熱のタイムスケール (t_h)、回転のタイムスケール (t_r)、および、熱伝導のタイムスケール (t_c)。

(1) t_h が t_r と t_c よりも小さい場合、加熱のタイムスケールに比べて回転のタイムスケールが長く、熱がダスト表面全体に配分される前に温度変化が起こるため、層状温度分布が現れる。次に、(2) t_h が t_r よりも大きい、 t_c よりも小さい場合、加熱に比べて回転のタイムスケールが短く、熱がダスト表面全体に配分されるが、加熱のタイムスケールが熱伝導のタイムスケールに比べて短いため、周囲が暖かく中心が冷たい玉ねぎ状の温度分布となる。また、(3) t_h が t_c よりも大きい、 t_r よりも小さい場合、回転の効果が小さいために層状の温度分布となる。そして、(4) t_h が t_c と t_r よりも大きい場合、回転のタイムスケールと熱伝導のタイムスケールが加熱のタイムスケールよりも短いため、ダスト内部の温度分布は一様温度分布となる。ここで、 $t_h = t_c$ となるダスト半径を r_c とすると、 r が r_c よりも大きいときに t_h が t_c よりもみじかくなり、層状もしくは玉ねぎ状温度分布(非一様温度分布)となる。また、 $t_h = t_r$ となる回転角速度を ω_c とすると、 ω が ω_c よりも小さいときに t_h が t_r よりも短くなり、ダストの半径にかかわらず層状の温度分布が現れる。たとえば、ダストの半径が $r = 1$ mm で、衝撃波前面のガス密度が $n_g = 1.0 \times 10^{14}$ cm⁻³、衝撃波の速度が $v_{sh} = 12$ km/s のとき、 $r_c = 0.264$ mm、 $\omega_c = 4.17$ s⁻¹ であり、 $n_g = 1.0 \times 10^{11}$ cm⁻³、 $v_{sh} = 40$ km/s の時には、 $r_c = 4.1$ mm、 $\omega_c = 0.27$ s⁻¹ となる。

また、温度分布が玉ねぎ状温度分布の場合、ダストの表面と中心の温度差はダストがどんなに速く回転しても、0 K にならないことがわかった。たとえば $n_g = 1.0 \times 10^{14}$ cm⁻³、 $v_{sh} = 12$ km/s の場合、ダストの表面と中心の温度差の最小値は $T_{fc} = 40$ K となった。これは、どんなに速く回転しても、表面の温度がならされるだけだからである。

本発表ではまた、以上の結果をふまえ、ダスト内一様温度を仮定したときと比べてコンドリュールを形成するための衝撃波条件がどのように変化するかを議論する。