

衝撃波中でのコンドリュールの衝突破壊確率とコンドリュール形成のための初期ダスト-ガス質量比に対する条件

Collisional Destruction of Chondrules in Shock Waves and Conditions of Initial Dust to Gas Mass Ratio for Chondrule Formation

中本 泰史[1]; 三浦 均[2]

Taishi Nakamoto[1]; Hitoshi Miura[2]

[1] 筑波大・計物セ; [2] 筑波大・数物

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

コンドリュールは、原始太陽系星雲内部での瞬間的加熱現象により形成されたと考えられている。いくつかの形成モデルがある中で、衝撃波加熱モデルが最ももっともらしいと考えられている。星雲中に衝撃波が発生するとガスとダストの間の相対速度が励起されるが、この相対速度によってダスト粒子は減速され、同時に摩擦加熱によって加熱される。これが衝撃波加熱モデルである。

ダスト粒子に作用する摩擦力は、相対速度とダスト半径に依存する。相対速度が半減する時間スケールは、ダスト半径に比例し相対速度に反比例する。すなわち、小さなダストほど早く減速する。これは、サイズの異なるダスト間にも相対速度が生じ、それらの間の衝突が起こりえることを意味する。ダスト間の相対速度は 1 km s^{-1} かそれ以上にもなるので、衝突によって破壊が起こる可能性がある。もし衝突破壊が激しく発生したとするとコンドリュールがほとんど形成されなくなってしまうので、衝撃波加熱モデルはコンドリュール形成モデルとして不適当と言うことになるかも知れない。

そこで私たちは、衝撃波モデルに基づいて衝撃波内でのコンドリュールの衝突破壊確率を調べた。衝撃波加熱モデルとしては Miura & Nakamoto (2004) のものを用い、ガスの流れとダスト粒子の運動を、流体力学及び熱力学の方程式系を解くことによって求めた。この計算により、ダストの速度と数密度を位置とダスト半径の関数として求め、それらより、各ダスト粒子に対する他のダスト粒子の相対速度および衝突頻度を求めた。さらに、後に述べる衝突時のある条件により、衝突破壊が起こるかどうかを判定した。最後に、あるダスト粒子に対する衝突破壊の数を数えることで衝突破壊確率を求めた。

衝突破壊実験によると、ダスト粒子同士の衝突がある条件を満たすと、ターゲット粒子は破壊されると思われる。ここでは簡単のため、次の条件を用いた： $e M \text{ is less than } f m V^2 / 2$ 、ここで $e = 3 \times 10^6 \text{ erg/g}$ (Takagi et al. 1984)、 M はターゲット粒子の質量、 m はプロジェクタイトルの質量、 V は相対速度、そして f は効率であり、本研究では $f = 0.3$ を用いた。

衝撃波に突入する前のダスト粒子のサイズ分布については、対数正規分布を仮定した。なお、平均サイズは 250 ミクロンとし、分散は $\log_{10} 2$ とした。初期のダスト/ガス質量比については、0.001, 0.01, 0.1 の3つの場合を調べた。なお、太陽系の平均組成は約 0.01 である。

計算の結果、ダスト粒子がある臨界半径よりも大きいとき、衝突破壊確率が 1 を超えることがわかった。すなわち、この粒子は衝撃波中で破壊されてしまうと思われる。この臨界半径は初期ダスト/ガス質量比に依存し、衝撃波速度が $v_s = 8 \text{ km s}^{-1}$ で前面ガス密度が $n_0 = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ の衝撃波のとき(低速度・高密度)、それぞれ 330 ミクロン(初期質量比 0.1)、750 ミクロン(0.01)、2 mm (0.001)となった。また、衝撃波速度が $v_s = 40 \text{ km s}^{-1}$ で前面ガス密度が $n_0 = 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ の衝撃波のとき(高速度・低密度)は、臨界半径はそれぞれ 130 ミクロン(初期質量比 0.1)、310 ミクロン(0.01)、730 ミクロン(0.001)となった。したがって、衝撃波加熱モデルにおいて観測される普通コンドライト中のコンドリュールのサイズを再現するためには、初期ダスト/ガス質量比は 0.01 程度かそれ以下である必要であることがわかった。