

三次元熱流体計算コードの開発：高速ガス流中でのダスト溶融・分裂現象

Three-dimensional thermo-hydrodynamics simulations: Melting and splitting of the dust particle in the high-speed gas flow.

保田 誠司 [1]; 中本 泰史 [2]; 三浦 均 [3]
Seiji Yasuda[1]; Taishi Nakamoto[2]; Hitoshi Miura[3]

[1] 筑波大・数物; [2] 東工大; [3] 京大・物理
[1] Pure and Applied Sciences, Tsukuba Univ; [2] Tokyo Tech; [3] none

コンドライト隕石中にはコンドリュールと呼ばれる直径 1mm 程度の球形のケイ酸塩構成物が多量に含まれている。コンドリュールは、その形状、鉱物的特徴、放射性年代などから原始太陽系星雲中のダストが急激な加熱を受け、表面張力で丸くなり、急冷、固化することで形成されたと考えられており微惑星形成以前の原始太陽系星雲の内部環境を探る手がかりとして期待されている。(Jones et al. 2000) また、コンドリュールは特徴的なサイズ分布を持っており(数百マイクロメートルにピークを持つ lognormal な分布)、その再現性が加熱メカニズムを特定する一つの条件となっている。ダスト加熱のメカニズムとして最も有力なモデルのひとつに衝撃波加熱モデルが挙げられる。

原始太陽系星雲内を衝撃波が通過すると、ガスは急激に加速されるのに対してダストはその場に留まろうとし、両者の間に相対速度が生まれる。このため衝撃波加熱モデルではダストはガス摩擦による加熱をガス流に対する前面に受け、内部や後面は熱伝導によって加熱され、溶融は前面から始まる。また、溶融部は高速のガス流にさらされているため、溶融部の剥ぎ取り、分裂といった力学的な現象を引き起こすと考えられる。Kato, Nakamoto, and Miura (2006) は、固体ダストを取り巻く液体ダストを考え、ガス流によって液体ダストがはぎ取られることを線形近似のもとで示した。さらに、Kadono and Arakawa (2005) は、固体表面に付着する液体がガス流によって分裂することを実験的に示した。これらの現象は衝撃波加熱モデル特有の現象であり、形成されたコンドリュールのサイズ分布に大きな影響を与えたと考えられる。上記ふたつの研究ではダストの溶融状態が仮定されている。しかし実際にはダストのサイズ、回転速度、衝撃波速度、ガスの数密度などによって溶融状態も異なり、ダストのはぎ取り、分裂の様子も変わってくるだろう。

そこで我々は、ダスト溶融の様子やその後の力学的振る舞いを詳しく調べるため、三次元熱流体計算コードを CIP 法を用いて開発している。このようなコードを用いて数値シミュレーションを行うことにより、ダスト粒子の溶融開始から溶融の進行、液層部のはぎ取りや分裂、再固化、といった衝撃波加熱を受けたダストにおこる一連の現象を、定量的に詳しく明らかにすることが期待される。我々は今回、作成した計算コードのチェックとして、溶融した液滴のガス動圧による分裂を調べた実験と比較した。

まず、液滴の変形分裂のパラメータ依存性のチェックとして、一様溶融した液滴の分裂実験 (Hsiang and Faeth 1995) との比較を行った。彼らの実験では、液滴の変形、分裂の様子をウェーバー数 (We : ガスの動圧と表面張力の比) およびオーネゾルゲ数 (Oh : 粘性と表面張力の比) の関数として表している。我々はこの実験を再現し、比較を行った。その結果、以下の点で実験とのよい一致が見られた。(1) Oh が 0.1 以下の場合、変形の度合いや分裂の臨界値が We のみに依存する。(2) 分裂は We が 10 以上で起こる。(3) ガスの動圧と表面張力によって引き起こされる振動現象が見られる。(4) Oh が大きくなるにつれて、粘性によって、変形のタイムスケールが長くなるため、変形前にダスト - ガス間の相対速度が減少し、分裂現象が見られなくなり、変形の度合いが小さくなる。さらに分裂した液滴の分裂片のサイズ分布が適切かどうか調べるため、ガス流に対する前面だけが溶融した状態での分裂実験 (Kadono and Arakawa 2005) との比較を行ったので、その結果も合わせて報告する行ない、よい一致を示すことを確かめた。