

ガス・ダスト混合流体の一次元平行平板衝撃波：微惑星周りの弧状衝撃波によるコンドリュール形成シミュレーションに向けて 1-D Plane Parallel Shock Waves of Dust-Gas Mixed Fluid: For Simulations of Chondrule Forming Planetesimal Bow Shocks

勝田 祐哉^{1*}; 中本 泰史¹
KATSUDA, Yuya^{1*}; NAKAMOTO, Taishi¹

¹ 東京工業大学
¹Tokyo Institute of Technology

コンドリュールは mm サイズの球形をしたケイ酸塩組成組織であり、多くのコンドライト隕石の主要な構成要素である。岩石学的な考察から、コンドリュールは太陽系初期に急激な加熱を受けて溶融したと考えられている。その加熱プロセスの有力なモデルの一つとして衝撃波加熱モデルがあり、我々は楕円軌道を持つ微惑星を衝撃波の発生源として有力視している。

微惑星周りの弧状衝撃波でのコンドリュール形成についてはいくつかの計算がなされている (e.g. Boley et al., 2013; Ciesla et al., 2004)。これらの計算では太陽系元素組成からダスト・ガス質量比が $1:100$ と考えている。一方で、岩石学的な考察からコンドリュールが溶解した際の周囲の酸素分圧は高かったことが推定されている。ダストの蒸発によりこの酸素分圧を供給したとすれば、そのダスト・ガスの質量比は太陽系元素組成から見積もられる標準的なダスト・ガス質量比の百倍ないし千倍程度ダストの多い $1:1$ ないし $10:1$ である (Jones et al. 2000)。この場合ダストが衝撃波の流れに与える影響は無視できず、ダストを多く含んだ衝撃波をシミュレーションする必要がある。

ダスト・ガス質量比が高い微惑星周りの弧状衝撃波への応用を目指し、本研究ではまず、1次元平行平板におけるガスとダストの混合流体の衝撃波について物理的な性質を調べた。特に、衝撃波後面における諸物理量がダスト・ガス質量比に対してどのように変化するか注目した。次に、将来的に2次元流や輻射の効果を含めた衝撃波のシミュレーションを行う準備として、1次元平行平板流の数値計算コードの開発も行った。

本研究では簡単のため、ダストは微小なサイズのみ存在するものとし、ダストが常にガスと同じ速度と温度を持つものと仮定する。一方、ダストは 2000 K 以上で全て気化するものとする。

まず、熱エネルギー輸送のない断熱の場合について、衝撃波後面での温度、密度、速度、圧力などを解析的に求めた。ダストがない場合についてはランキン=ユゴニオ関係としてよく知られているものをダスト粒子が入った場合、さらに温度によってダスト粒子が蒸発した場合に対して拡張した。その結果、衝撃波後面での密度や圧力、速度はダスト・ガス比にあまりよらないが、ダスト・ガス比が高いほど温度が高くなることがわかった。圧力については衝撃波前面の運動量流束(動圧)からほとんど決まること、密度と速度については質量流束で決められることから理解することができる。一方で、温度は、ダスト・ガス比が上がると気体の粒子数が少なくなり、同じ圧力を達成する為には高い温度が必要となることから理解することができる。

次に、ZEUSスキーム (Stone and Norman, 1992) を用いて1次元シミュレーションを行った。計算の結果は、解析的に得られた結果とよく一致した。よって、輻射の効果を含めた2次元シミュレーションにスキームを応用する見通しも得られた。

キーワード: コンドリュール, 衝撃波, 流体シミュレーション
Keywords: chondrule, shock wave, hydrodynamics simulation