

B06a 粒子法的輻射流体力学計算法

犬塚修一郎 (京大理)

星や銀河の形成の問題や、連星系における降着円盤の問題などに代表されるような天体物理学的流体力学の問題では、計算領域の中にほとんど真空の部分が生じ、扱うべき現象の空間的尺度が桁で大きく変化する。そのため、粒子を用いたラグランジュ法である Smoothed Particle Hydrodynamics 法 (以下、SPH と略す) がしばしば用いられている。いわゆる衝撃波捕獲問題において低精度であるという SPH 法の最大の欠点は、高次精度 Godunov 法 (MUSCL, PPM 等) の核をなす Riemann 問題解法を導入することで克服される (Inutsuka, JCP 179, 238, 2002)。以前の試み (Inutsuka 1994, 1995 等) では、最終的なスキームが厳密な保存形式ではなかった。今回の方法は、運動量やエネルギーを (計算機の丸め誤差の範囲で) 完全に保存する計算スキームを構築するため、そもそもの SPH 法の定式化を根本的に改良した。具体的には、(連続体の) 流体のラグランジアンから (離散化された) 有限自由度のラグランジアンを定義し、そこから計算すべき時間発展の式を得る方法を採用している。その結果、マッハ数が 10^5 を超えるような極超音速の衝撃波問題においても解析解と一致する計算法が得られる。さらに、この計算法の定式化はそのまま輻射流体力学の基礎方程式にも適用可能であり、非常に高精度・効率的な計算が可能になることを示す。その際、数値的にも保存形式的に定式化することが、光学的に厚い状態での輻射輸送を精度良く解くためには本質的である。一般に保存形式のメッシュ法では時間発展させる基本変数として total energy E (熱エネルギー + 運動エネルギー) をまず更新するのに対して、この方法は (内部) 熱エネルギー u を基本変数として更新する保存形式になっている。そのため、(通常の) メッシュ法の高精度 Godunov 法よりも超音速問題において優れており、特に天体物理の問題に適していると言える。