

Athena++ による 自己重力流体シミュレーションの高精度化

○花輪 知幸¹ 富田 賢吾² (1.千葉大学 2.東北大学)

星や惑星の形成では、自己重力が重要な役割を果たす。従って、星形成のシミュレーションでも、自己重力を精度よく求めることは、信頼できる結果を得るために重要である。本講演ではHanawa & Mullen (2025, ApJS, 277, 53) による時間空間4次精度の解法を 公開コード Athena++ に実装した結果を報告する。実装したコードPoisson 方程式を多層格子反復法 (multigrid iteration)により解くことにより、重力ポテンシャルを4次精度で求める。また、得られたポテンシャルと数値流束から、数値セルあたりの重力加速度や重力エネルギー解放率を4次精度で与える。開発したコードはAthena++の書式に従って書かれているので、磁場や輻射などの物理モジュールと組み合わせて使うことができる。またMPIを利用した並列計算も可能である。Athena++はAdaptive Mesh Refinement (AMR)にも対応しているが、格子の幅が変化するレベル境界では、1次精度の接続公式が使われている (Tomida & Stone 2023, ApJS, 266, 7)。この境界条件を2次精度に書き換えると、計算時間をほとんど増やさず、レベル境界での打ち切り誤差を減らせることも実証した。図は連星のポテンシャルを例題として、Athena++で求めた数値解と解析解との差を表している。2次精度のレベル境界を用いると、レベル境界の近傍での打ち切り誤差を小さくできる。レベル境界の外側で打ち切り誤差が大きくなるのは、格子間隔が広がるためで、一様格子でも同様の打ち切り誤差が残る。

