

Athena++コードのための自己重力ソルバ開発と分子雲形成の研究

富田賢吾 (大阪大学)

利用カテゴリ XC-B+

今年度は前年度までに継続してAthena++コードの開発(主に自己重力の実装)と、それを用いた分子雲形成のシミュレーションを行った。

・自己重力ソルバの開発

星形成をはじめとして多くの宇宙物理学の問題には自己重力が重要な役割を果たす。自己重力はポアソン方程式 $\nabla^2 \phi = 4\pi G \rho$ で記述され、様々な数値解法が研究されている。今年度はAthena++にFull Multigrid法に基づくポアソンソルバを実装した。(幾何学的)Multigrid法は格子の分解能を変えながらGauss-Seidel法等の緩和法を反復的に適用することで全ての波長で一様に解を収束させる方法であり、ポアソンソルバの高速解法として広く用いられている。Full Multigrid法はこの手法を更に推し進め最も粗視化したレベルから順に通常のMultigrid法を適用して解を求め、その解を高次精度補完したものを次のレベルの解の初期推定値として用いてMultigrid法を適用するという手続きを再帰的に繰り返し、必要な分解能の解を得る手法である。この手法は少なくとも自己重力のポアソン方程式について反復に必要な初期推定値を必要とせず、一回適用するだけで格子の分解能で決まる精度の解が得られる優れた手法である。本手法をAthena++に実装して弱スケーリングの性能評価をしたのが右図である。分解能にもよるが、プロセス当たり 64^3 の計算(青)であれば4096並列でもMHD(赤)に対して5倍以上の性能が得られており、大規模並列計算でも良好な性能が得られた。また従来良く使われている高速フーリエ変換に基づく解法(黒)をあらゆる状況で上回る性能を達成した。

今後はこの手法をAMRに適用できるよう拡張すると共に、流束制限近似に基づく輻射輸送計算等其他の物理過程への適用も考慮してコードの拡張を進める。

・分子雲形成の自己重力磁気流体シミュレーション

既に大阪大学の岩崎一成氏との共同研究により衝突する星間ガス内での分子雲の形成と乱流の駆動についての研究を進めているが、上で開発した自己重力ソルバを用いて自己重力を考慮した計算を開始した。分子雲の形成の初期段階では質量が少ないために自己重力は重要ではないが、ガスの集積が進むと自己重力が働き始め、分子雲内の高密度領域(「分子雲コア」)が局所的な臨界質量を超えると重力崩壊を起こす。今後計算を高解像度化するとともに状態方程式を調整して重力崩壊を抑制することで長時間計算を行い、分子雲コアの統計的性質を調べる。

