

P112c テレグラフ方程式を用いた重力ソルバーにおける並列化効率の測定

前田龍之介 (東北大学), 井上剛志 (甲南大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

宇宙の構造形成には自己重力が重要な役割を果たすため、自己重力の効果を考慮した流体シミュレーションが数多く行われている。自己重力のポアソン方程式の数値計算法としてマルチグリッド法が広く用いられているが、超大規模並列計算を行う場合はマルチグリッド法の並列化効率は悪くなり、高度にチューニングされた計算コードであっても 10^4 - 10^5 コア以上では並列化効率が低下することが知られている。そのため、大規模並列シミュレーション ($> 10^4$ コア) を行うためには、並列化効率の良い新しい重力ソルバーを開発することが必要である。

本研究では、テレグラフ方程式を用いた自己重力ソルバーを開発した。テレグラフ方程式は双曲型の偏微分方程式であるため、楕円型のポアソン方程式の場合よりも並列化効率が良いことが知られている。複数のテスト計算の結果、我々の開発したテレグラフ方程式を用いた重力ソルバーの最適な拡散係数は $\tilde{\kappa} \sim 2.5$ であることがわかった。また、我々は開発した重力ソルバーについて弱スケーリングテストを行い、超大規模な並列計算でも本手法が高い並列化効率を維持できることを示した。ここで、我々の手法は OpenMP や GPU を用いていないが、 10^4 コア以上の計算でも高い並列化効率を維持している。加えて、計算の時間ステップが CFL 条件ではなく、加熱・冷却や化学反応によって決定される場合、これらの時間スケールを用いた CFL 条件によって決定される重力の位相速度は、流体速度に音速を加えたものよりもはるかに大きいため、本手法は高速フーリエ変換やマルチグリッド法などのこれまでに知られている自己重力ソルバーに比べて高速に重力計算を行える可能性があることを示す。