

擬似圧縮性法を用いた 3 次元マントル対流シミュレーション手法

Iterative algorithm using pseudo-compressibility for three-dimensional mantle convection with strongly variable viscosity

亀山 真典[1]; 陰山 聡[2]

Masanori Kameyama[1]; Akira Kageyama[2]

[1] 地球シミュレータセンター; [2] 地球シミュレータセンター

[1] ESC/JAMSTEC; [2] ESC

<http://www.es.jamstec.go.jp/esc/research/Solid/members/kameyama/>

マントル対流の数値シミュレーションでは、高粘性かつ非圧縮の流体の速度場を求める部分が計算時間の 9 割以上を占めており、この部分の高速化は大規模な 3 次元数値シミュレーションの実現においてとりわけ重要である。加えて、マントル物質の粘性率は空間的に大きく変化することから、マントル対流の速度場を正確に求めることは非常に困難であった。本研究では、マントル対流の速度場を高速かつ精度よく計算する頑健な数値解法を新しく開発した。新しい数値解法は、多重格子法に擬似圧縮性法と局所時間刻み法を組み合わせた反復解法であり、運動量と質量の保存則を同時に満たす速度場と圧力場を逐次的に求めていく。この方法は (i) マトリックスを構成する必要がないため使用メモリ量が少ない、(ii) ポアソン方程式を陽に解く必要がない、(iii) ベクトル化・並列化が容易である、という優れた特徴を持っており、3 次元大規模数値シミュレーションに適した手法になっている。

この計算手法を用いて、有限体積法に基づく 3 次元矩形領域内でのマントル対流シミュレーションプログラムを構築した。粘性率に温度及び深さ依存性を与えたモデルで過去の 2 次元及び 3 次元シミュレーションとのベンチマークテストを行なったところ、粘性率の空間変化がある場合でも精度のよい解が得られていることを確認した。また粘性率の空間変化が大きくなるほど反復解法の収束性が悪くなるものの、多重格子法の反復サイクル中の pre-smoothing 及び post-smoothing の回数を増やすことで解法の頑健さを向上させることができ、粘性率の空間変化が最大で 10 の 10 乗にも及ぶ問題も解くことが可能になった。同様の修正は、粘性率が局所的に大きく変化する領域（例えば地表面のプレート境界域）を伴う問題を解く際にも有効である。

今後は 3 次元球殻形状モデルへの拡張およびモデルの大規模化を通じて、より現実的なマントル対流シミュレーションの実現に向けたモデルの高度化を進めていく予定である。