

マントル・プレート統合シミュレーションに向けた大変形粘弾性流体コードの開発

Eulerian numerical procedure for large deformation of visco-elastic fluid: Toward plate-mantle simulation

古市 幹人 [1]; 亀山 真典 [2]; 陰山 聡 [3]

Mikito Furuichi[1]; Masanori Kameyama[2]; Akira Kageyama[3]

[1] 地球シミュレータ; [2] 地球シミュレータセンター; [3] 海洋機構

[1] Earth simulator; [2] ESC/JAMSTEC; [3] JAMSTEC

<http://www.es.jamstec.go.jp/esc/research/Solid/index.ja.html>

地球内部において、マントルは熱対流運動をしており、その表面にはプレートが冷たく堅い境界層として存在している。これまでのマントル対流シミュレーションにおいては、マントルの塑性流動を線形粘性流体として取り扱うことにより、マントルの熱対流運動の理解を深めてきた。一方でプレートの運動は、そのレオロジーが強い非線形性を持つために、これまでのマントル対流シミュレーションの枠組みでは、うまく説明がつかないことが知られている。そこでマントル・プレート統合シミュレーションに向けた粘弾塑性の非線形流体コードの開発について紹介を行う。

我々は周りのマントル物質に比べて3桁程度も高い粘性率を持つ堅いプレートを、移流によるプレートの分布関数の拡散をセミラグランジアン法によって小さくし、マントル対流シミュレーションの中で統一的に取り扱うことに取り組んでいる。具体的には、これまでに我々のグループにおいて開発した、マルチグリッド法を用いたマントル対流の高速解法であるACuTE法を用いて、大きな粘性コントラストが存在するストークス方程式の計算を行い、ゆっくりと動く物質に特化して改良したCIP-CSLR法を新たに採用する事により、数値拡散の少ない移流方程式の解を実現した。

またプレートが持つ弾性的な振る舞いを取り入れることを目的として、Maxwell構成方程式をマントル対流シミュレーションの中で解いた。我々の手法では、応力テンソルの移流計算もCIP-CSLR法で行う。そして、これまで離散化して取り扱ってきた、弾性大変形問題に対応するために導入したヤウマン共回転の効果も、セミラグランジアン的な手続きの中で移流項と共に取り扱い、他の非移流項は半解析的に解いた。これらのことより、Maxwell構成方程式を数値積分する際に、時間幅が大きくても安定して振動の少ない解を得られる。

従来用いられている大量の粒子を用いたセミラグランジアン法とは違い、CIPを用いた我々の方法は計算コストが少ないため3次元への拡張が容易である。このことにより、これまであまり知られてこなかった、弾性を伴う非線形流体の3次元的な振る舞いが明らかになることが期待される。発表においては、3次元の粘弾性レイリーテイラー不安定性の数値実験を用いて、我々の提案する手法の有効性を示す。