



マントル対流の数値シミュレーション: 月から地球まで、さらにスーパー地球まで

地球惑星科学および
その関連分野

研究者所属・職名 : 地球深部ダイナミクス研究センター・教授

ふりがな かめやま まさのり

氏名 : 亀山 真典

主な採択課題 :

- [基盤研究\(C\)「系外地球型惑星マントル対流シミュレーション: 大きさ・組成・圧縮の効果の統合的理解」\(2018-2021\)](#)
- [基盤研究\(B\)「固液2相系・多成分系を扱う3次元マントル対流シミュレーションプログラムの開発」\(2010-2013\)](#)
- [基盤研究\(C\)「世界最高速の3次元マントル対流シミュレーションプログラムの開発」\(2007-2009\)](#)

分野 : 固体地球物理学、惑星科学

キーワード : マントル対流、地球型惑星、スーパー地球、数値流体力学、高粘性流体、大規模計算

課題

●なぜこの研究をおこなったのか？(研究の背景・目的)

マントルとは地球型惑星の内部の大半(地球でいうと体積の約8割)を占める固体の岩石でできた部分を指す。その中で生じるゆっくりとした流れは、火山活動やプレート運動など、地球表面で暮らす我々が体験・想像する地学現象のほとんど全てに関係している。また最近いくつかの地球型惑星が太陽系外で発見されたことにより、マントル対流研究がカバーすべき範囲も大きく拡大した。地球型惑星のマントルの流れを研究することで、その惑星の内部で起こっている活動や、その惑星がたどった進化の歴史を理解することを目指している。

●研究するにあたっての苦労や工夫(研究の手法)

マントル対流シミュレーションの最大の技術的な困難は、「固体」の状態にあるマントルを「流体」と扱うことそれ自体にある。流れを記述する数式の中では、固体のマントルは粘り気の非常に強い流体とモデル化することになるが、それによって流体力学シミュレーションで一般的な手法が使用できなくなる。しかしこの研究では、特異な流動特性をもつマントル対流の数値シミュレーションに適した独自のシミュレーション手法を開発することによってその困難を克服した。

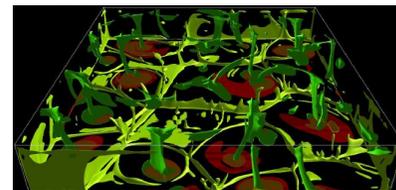


図1 3次元マントル対流シミュレーションで得られた流れ構造の例

マントル対流の数値シミュレーション：月から地球まで、さらにスーパー地球まで

地球惑星科学および
その関連分野

研究成果

● どんな成果がでたか？ どんな発見があったか？

まず太陽系内の小さい地球型惑星を主な対象として、マントルのもつ3次元的な球殻の形状の違いが内部の流れに与える影響を検討した。その結果、球殻の内径と外径の比が小さい「ぶ厚い」マントル内の熱対流は非常に特異な様相を示すことが分かった。さらに球殻のマントルが「ぶ厚く」なるほど内部で対流が発生しにくくなることも分かった。これより（核の小さい）月のマントルの対流は、その下の核からの加熱というよりはむしろマントル物質のもつ放射性元素による内部からの加熱の影響を強く受けていることが考えられる。

これと並行して、最近発見された太陽系外の巨大地球型惑星「スーパー地球」を対象として、そこで期待される種々の効果を取り入れたシミュレーションを行った。その結果、内部の高い圧力によってマントル物質は強く圧縮され、その熱対流も大きく影響されることが分かった。さらにマントル物質の性質も劇的に変化することを想定すると、まるで大気の「成層圏」のような構造が「スーパー地球」のマントルの底に発達しうることも分かった。この「成層圏」は、マントル内の上昇ブルームの発生やその下の核の冷却を妨げたりするであろうから、「スーパー地球」での生命の居住可能性を低下することが考えられる。

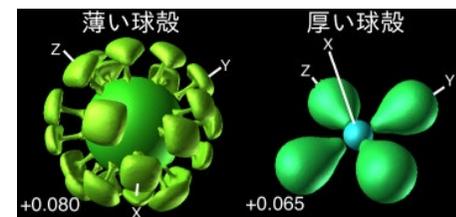


図2 厚みの異なる3次元球殻内熱対流の構造の比較

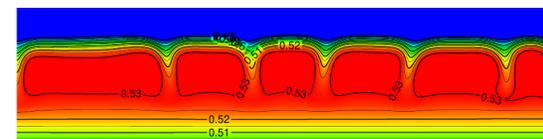


図3 質量が地球の10倍の「スーパー地球」のマントル内を模した熱対流の構造

今後の展望

● 今後の展望・期待される効果

高压高温下で起こるマントル鉱物の相転移（結晶構造の変化）に代表される構成物質の性質や流動特性の変化を、より忠実に反映したモデルの開発を目指す。数値流体力学モデルの進展と計算機の性能の向上の「かけ算」を通して、シミュレーション研究の高度化を加速度的に進めたい。とりわけ、冷たくて固い惑星表面で「プレートテクトニクス」が起こり得る設定を調べることは、我々の地球と同じように生命を育む惑星の候補の選び出しにつながるだろう。

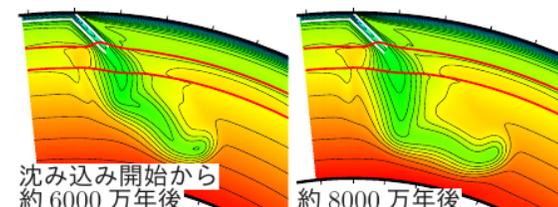


図4 「地表面から沈み込むプレート」を模した低温の流体がマントル内で示しうる特異な挙動と形態