

熱伝導率の深さ依存性と強い圧縮性をもつ流体の熱対流シミュレーション：スーパー地球のマントル対流に対する考察

Numerical experiments on mantle convection of super-Earths with variable thermal conductivity and adiabatic compression

*亀山 真典¹、山本 真由美¹

*Masanori Kameyama¹, Mayumi Yamamoto¹

1.国立大学法人愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター

1.Geodynamics Research Center, Ehime University

巨大な地球型惑星「スーパー地球」が近年に次々と発見されてきたことを受け、スーパー地球のマントルダイナミクスの研究が現実味のあるターゲットとなってきた。その際に考慮すべき重要な点の1つは、スーパー地球のマントル内に期待される高い圧力である。これにより、スーパー地球のマントル内部では物性値が大きく変化するだけでなく、断熱圧縮の効果が流れの様式に強く影響していると考えられる。本研究では強い圧縮性に加え、粘性率・熱伝導率の空間変化を持つ流体の熱対流シミュレーションを行い、スーパー地球のマントル対流の様相を考察した。

本研究では地球の10倍の質量を持つスーパー地球のマントルを想定し、深さ6000km、縦横比1:4の2次元箱型領域内での圧縮性流体の熱対流を考える。ここでは非弾性流体近似を用いることにより、流体の上昇/下降に伴う断熱的温度変化の効果をとり入れている。さらにマントル物質の粘性率は温度とともに指数関数的に減少し、熱伝導率は深さとともに指数関数的に増加すると仮定した。これらの物性量の依存性の強さを系統的に変化させて熱対流シミュレーションを行い、内部の対流様式や熱構造の変化を観察した。

その結果、粘性率の温度依存性と熱伝導率の深さ依存性の双方とも十分に大きい場合には、上面沿いに発達する「冷たくて固いふた」に加えて、底面直上には「深部成層圏 (deep stratosphere)」とも呼ぶべき特異な層が形成されることが分かった。この層の内部は (i) 安定な温度成層と (ii) 鉛直方向の流れが非常に弱い、という点で特徴づけられ、気象学の「成層圏」の性質によく似ている。この特異な層が発達する理由は、上面で「冷たくて固いふた」が厚く発達したことに加え、深部での熱伝導率が高くなっていることである。この両者によってマントル内部の温度が全体的に上昇し、断熱温度変化が鉛直方向の流れを抑制する効果が強まった結果、安定な温度成層をもつ「深部成層圏」が形成されたと理解することができる。さらに熱伝導率の深さ依存性のみを変化させて、「深部成層圏」が形成された場合とされなかった場合で熱輸送効率を比較したところ、熱伝導の寄与も含めた全体的な熱輸送効率は「深部成層圏」が形成された場合のほうがむしろ高くなっていることも分かった。

本研究の結果より、粘性率の温度依存性と熱伝導率の深さ依存性の双方とも十分に大きいマントルをもつスーパー地球では、表面に「冷たくて固いふた」が、加えてマントル最下部には「深部成層圏」が形成されることが期待される。「深部成層圏」の形成により、マントル対流はあまり活発でなく、マントル最下部からの上昇流がほとんど発生しない反面、マントル全体では熱輸送効率が高いために核の冷却は進み、核の対流運動が促進される可能性が考えられる。よって「スーパー地球」とは、プレートテクトニクスやホットスポット火山はないものの、固有の磁場を持っている惑星かもしれない。

キーワード：スーパー地球、マントル対流、断熱圧縮

Keywords: super-Earths, mantle convection, adiabatic (de)compression