

ポストペロブスカイト相転移を含めた3次元マントル対流シミュレーション – 下部マントルの熱構造に与える影響 –

Sensitivity study of the thermal state in the lower mantle by 3-D convection with post-perovskite phase transition

亀山 真典 [1]; Yuen David A.[2]; 陰山 聡 [3]

Masanori Kameyama[1]; David A. Yuen[2]; Akira Kageyama[3]

[1] 地球シミュレータセンター; [2] ミネソタ大; [3] 海洋機構

[1] ESC/JAMSTEC; [2] Univ. Minnesota; [3] JAMSTEC

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

最近の第一原理分子動力学シミュレーションや高温高圧実験によって、下部マントルの主要構成鉱物である MgSiO_3 ペロブスカイトがマントル最深部で新たな高圧相 (以下「ポストペロブスカイト相」) へと変化することが示された。この相転移は大きな正のクラベロン勾配を持つことから、ポストペロブスカイト相転移は深部マントルの熱構造やダイナミクスに大きく影響する可能性が期待される。そこで我々は、ポストペロブスカイト相転移の効果を取り入れた3次元マントル対流シミュレーションモデルを構築し、この相転移がマントル深部の熱構造に与える影響について検討した。

計算モデルとして、深さ 3000km、アスペクト比 $6 \times 6 \times 1$ の3次元箱型領域をとり、マントル対流の時間発展を追跡する。ここでは拡張されたブシネスク近似を用いることにより、相転移に伴う潜熱の出入り、断熱膨張・圧縮、及び粘性散逸 (摩擦熱) の効果が熱輸送に陽に取り込まれている。マントル物質の粘性率は温度と深さに依存するものとした。また熱輸送における輻射の効果を取り入れるため、熱伝導率の温度依存性を導入し、マントル深部の高温領域で実効的な熱伝導率が数倍程度大きくなるようにとった。上面から約 660km の深さにはポストスピネル相転移を模した相転移を導入する。ポストペロブスカイト相転移は計算領域下面から約 200km の位置で起こる、絶対値の大きい正のクラベロン勾配を持つ相転移としてモデル化した。可能な限り高い分解能を得るために、計算領域を $512 \times 512 \times 128$ の均質なメッシュに分割し、シミュレーションには著者らが地球シミュレータ向けに新たに開発したマントル対流の高速解法を用いている。

本研究ではポストペロブスカイト相転移を特徴づける熱力学的性質のうち、相転移に伴う密度変化、及び底面境界の温度とそこでの相転移温度との大小関係、の2つを系統的に変えてシミュレーションを行った。前者は相転移の際に出入りする潜熱の大きさを変化させたことに相当する。また後者は底面境界付近でのポストペロブスカイト相の安定性を変化させる意味を持ち、特に底面境界温度がそこでの相転移温度より高い場合には、下降流周辺の低温領域でのみポストペロブスカイト相が卓越する。シミュレーションの結果から、ポストペロブスカイト相転移が深部の熱構造に顕著な影響を与えるのは、(i) 相転移に伴う密度変化が極端に大きく、かつ (ii) 底面境界の温度がそこでの相転移温度よりも低い場合に限られることが分かった。条件 (i) は相転移の際に大量の潜熱が出入りする必要があることを意味し、(ii) はポストペロブスカイト相転移がマントル深部の広範な領域で起こることを要求している。これら2つの条件が満たされた場合には、強い潜熱の出入りが相転移領域の熱構造に大きく影響し、そこでの鉛直温度勾配がポストペロブスカイト相転移の温度・圧力条件から決まるものに近くなることも分かった。しかしながら、高温高圧実験から見積られたポストペロブスカイト相転移の熱力学的性質と本研究結果とを照らし合わせると、実際のポストペロブスカイト相転移では相転移に伴う密度変化の大きさが十分ではなく、その結果下部マントルの熱構造に与える影響は非常に小さいことが示唆される。

謝辞: 本研究の数値シミュレーションには海洋研究開発機構の支援により、地球シミュレータを利用した。