深さ 660km でのクラペイロンスロープの温度依存性がマントル対流に及ぼす影響

The effect of temperature dependency of Clapeyron slope at a depth of 660km on mantle convection

岩永　哲[1], # 吉岡　祥一[1]
Satoru Iwanaga[1], # Shoichi Yoshioka[2]

[1] 九大・理・地球惑星
[1] Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ, [2] Dept. of Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ.

1.はじめに

これまでの高温高圧実験(例えば、Ito and Takahashi, 1989)により、深さ 660km の上部・下部マントル境界ではリングウッダイト→Mg－ペロヴスカイト+マグネシオウスタイトの相転移が起こり、クラペイロンスロープ(dP/dT)が負の吸熱反応となることが確かめられてきた。このため 660km 相転移境界では対流は抑制されると考えられ、過去のマントル対流のシミュレーション結果(Christensen and Yuen, 1985)でも、660km 相転移境界で対流は妨げられ、2 層対流が起こる結果が示されている。しかしながら、最近の高温高圧実験の研究（Hirose, 2002)では、前述の相転移とほぼ同じ深さで起こっているガーネット→Mg－ペロヴスカイトへの相転移において、そのクラペイロンスロープが正の値を取り、発熱反応となることが示された。この相転移境界は前述の相転移境界と 1800℃前後で交差しており、1800℃より低い温度では dP/dT が負に、1800℃より高い温度では dP/dT が正となる可能性が指摘されている。このことによって、高温のプリュームに関しては 660km 相転移境界を通過する際に流れは抑制されるのではなく促進させられる効果が働くことが考えられる。そこで本研究ではこの 660km 相転移境界でのクラペイロンスロープの温度依存性を考慮すると共に、410km のオリビン→ウォズリアイト相転移境界、粘性率の温度・深さ依存性、断熱圧縮、内部発熱や粘性発熱を考慮したマントル対流のシミュレーションを行い、これらの効果がマントル対流にどのような影響を及ぼすかを詳しく調べた。

2.モデル

考えたモデルはアスペクト比 1：2 の 2 次元箱型モデルで厚さを 2000km とした。上下の温度差が 2000℃、2500℃、3000℃の 3 つの場合を考え、温度固定の自由すべりの条件を上下境界面に与え、左右の境界は反射条件とした。拡張ブジネスク近似を用い、どのモデルにおいても 410km 相転移境界、粘性率の温度・深さ依存性、断熱圧縮の効果は常に取り入れた。410km 相転移境界での dP/dT は+2.28MPa/K、660km 相転移境界での dP/dT は、温度依存性を考慮しない場合は常に－2.8MPa/K の値を与え、温度依存性を考慮した場合は 1800℃以下では同じ値を与え、1800℃以上では＋1.3MPa/K の値を与えた。粘性発熱、内部発熱の効果はモデルによってある場合とない場合を考えた。

3.結果

シミュレーションの結果、660km での dP/dT の温度依存性を考慮せず、内部発熱・粘性発熱がない場合、660km 相転移境界を挟んで上部マントルは温度が低く、下部マントルは温度の高い部分に分かれる完全な 2 層対流となり、それに伴う粘性率も下部マントル全体が上部マントルより 10 倍程度低くなる結果となった。dP/dT の温度依存性を考慮すると、完全な 2 層対流であった状態から 1 層対流が起こるようになり、その頻度は上下の温度差が拡大するにつれて大きくなった。1 層対流が起こった直後の粘性率は下部マントルが上部マントルより 10 数倍程度大きくなり最近の研究結果と調和的であり、現在のマントルの状態はこのような時期にあるのかもしれない。また、内部発熱・粘性発熱を考慮することでも同様の影響を与えることがわかり、両方の効果を考慮すると 1 層対流はさらに頻繁に起こるようになり、上下境界面の温度差が 3000℃の場合は 2 層対流より 1 層対流の様相が強く現れる結果となった。