

D''層におけるダイナミクスと地震波速度異方性の関係

Relation of dynamics with seismic anisotropy in the lowermost mantle

岡本 建人[1], 隅田 育郎[1], 中久喜 伴益[2]

Tatsuto Okamoto[1], Ikuro Sumita[2], Tomoeki Nakakuki[3]

[1] 金大・理・地球, [2] 広大・理・地球惑星

[1] Earth Science, Kanazawa Univ, [2] Earth Sci., Kanazawa Univ., [3] Dept Earth Planet Syst Sci, Hiroshima Univ

はじめに

最近の地震学的研究によると、マントル最下部のD''層には局所的に地震波速度異方性が観測されている。また、マントル上昇域のD''層では、異方性の水平方向不均一が大きいことがわかっている(Lay et al., 1998)。D''層の異方性構造は、ダイナミクスと進化を反映していると考えられるため、その成因を理解することは非常に重要である。

D''層に関する過去の研究には、地震学的観測も数値計算も多数あるが、それらを繋げるモデルは皆無である。そのため、地震学的観測で得られた情報は、D''層のダイナミクスや進化を読み取る上で直接有効に活用されていない。

本研究では、マントル上昇域における地震波速度異方性の構造からD''層の発達段階を読み取る手法の開発に繋がりたいと考えている。その目標を達成するため、地震波速度異方性とダイナミクスを定量的に関係づけるモデルの構築を目的とする。

地震波速度異方性の成因としては、結晶の選択配向とメルトの配向が考えられている。結晶の選択配向は高応力下で転位クリープにより形成される、と一般に考えられている(McNamara et al., 2001)。今回計算された応力レベルでは転位クリープを起こすに十分でなく、上昇域の異方性を説明するにはメルトの配向の方が適切であるということがわかった。そこで、メルトの配向に焦点を当てる。

数値モデル

- | 縦 500 km × 横 1500 km の 2 次元箱型
- | 底 (コア - マントル境界) 温度 : 4000K (一定)
- | 上境界の温度 : 1000K, 1500K, 2000K の 3 通り (一定)
- | 粘性コントラスト : 2 桁, 4 桁, 6 桁
- | 側面の温度境界条件 : 断熱
- | 速度境界条件 : free slip
- | 内部熱源なし
- | ソリダス : 3800K (Boehler, 2000)
- | リキダス : 5500K (同上)

モデル領域に多数の tracer を配置しておき、4 次のルンゲクッタ法を用いて軌跡を計算する。その tracer が、ソリダスを超えると変形を開始させる。ソリダスでメルトは円 (等方的) と仮定する。メルトの変形計算は McKenzie (1979) に従う。次に、Nishizawa and Yoshino (2001) の手法に従い、メルトのアスペクト比と配向、メルトフラクションをもとに、その点で水平方向に伝播する地震波速度を計算する。

結果

マントルの粘性率は温度に強く依存するため、モデル上下の温度差により粘性コントラストは桁で大きく変化する。本研究では、粘性コントラストの大小により3つの対流パターンに分類できることが確認できた。これらの結果は、Solomatov & Moresi (1995) のレジーム・ダイアグラムと整合的である。

メルトは流れに従い最下部の熱境界層で発生し、上昇流 (ブルーム) に取り込まれる。メルトのアスペクト比は上昇流の下部とブルームヘッドで大きく、ヘッドでは100程度にも達する。メルトの変形は、その時点でのメルトの形状と応力場により決定される。結果、ブルーム内の応力場にほぼ対応して、メルトの配向は鉛直3層構造になることが分かった。

この構造に対応して熱境界層内 ($SH > SV$)、ブルーム管 ($SH < SV$)、ブルームヘッド ($SH > SV$) で地震波速度異方性のタイプも鉛直3層構造となる。また、水平方向にはブルーム管の数倍のスケールで異方性のタイプが変化し、ブルームの裾では ($SH < SV$)、下降域の下では ($SH > SV$) となる。異方性の程度は、最下部の熱境界層で最も顕著で10% ($SH > SV$)、ブルームヘッドで0.4% ($SH > SV$)、CMB付近で超低速度になるのは、メルトフラクションが大きいことよりもアスペクト比が大きいことの方が寄与している。

本研究の結果から、D''層の発達段階を読み取る次のような方法を提案する。

1. ヘッド部分の異方性を捉える (ヘッドの高さは時間とともに増加する)
2. 水平不均一の波長を決める (波長は時間とともに増加する)
3. ブルームの管を鉛直方向に伝播するような震央距離の小さい ScS 波をもちいて、異方性 ($SH > SV$) の程度を調べる (異方性の程度は時間とともに増加)

謝辞

本研究を行なうに際し、楕円状メルトを含む媒体の弾性定数を求める code を提供していただいた、産業技術総合研究所の西澤修氏に感謝します。