

# Anisotropic shear wave velocity structure in the D" layer beneath the Antarctic Ocean

メタデータ	言語: eng 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/14612">http://hdl.handle.net/2297/14612</a>

氏名	臼井 佑介
学位の種類	博士 (理学)
学位記番号	博甲第 784 号
学位授与の日付	平成 18 年 3 月 22 日
学位授与の要件	課程博士 (学位規則第 4 条第 1 項)
学位授与の題目	Anisotropic shear wave velocity structure in the D" layer beneath the Antarctic Ocean (南極海の下の D" 層の異方的な S 波速度構造について)
論文審査委員 (主査)	平松 良浩 (自然科学研究科・助教授)
論文審査委員 (副査)	深尾 良夫 (独立行政法人海洋研究開発機構・センター長), 川崎 一朗 (京都大学・教授), 古本 宗充 (名古屋大学・教授), 隅田 育郎 (自然科学研究科・助教授)

## Abstract

We analyze seismograms from 68 deep earthquakes in Southeast Pacific and South American subduction zones from 1990 to 2003 recorded by 13 broad-band seismographic stations located in New Zealand, South America, Antarctica and Australia to study the anisotropy and velocity structure of shear waves in the D" layer beneath the Antarctic Ocean. We observe that transverse components (SH) arrive earlier than longitudinal components (SV) for S waves passing through the D" layer. The estimated anisotropy is up to 2.0%.

We systematically observed Scd phases due to the D" discontinuity that has been reported beneath circum Pacific regions. For  $\Delta < 85^\circ$ , Scd phase are observed between S and ScS arrivals in the transverse component, and SH waveforms show a double arrival at slowness near 9.0 s/deg while SV waves remain a single arrival. We perform waveform modeling and the differential travel time analysis among S, ScS, Scd and SKS phases to explain the observations. The optimum shear wave velocity structure is transversely isotropic. The SH velocity structures have a 2.0% velocity discontinuity at 300 ~ 350 km above the core-mantle boundary. The SV structures are similar to PREM.

The anisotropic D" layer,  $V_{SV} < V_{SH}$ , beneath the Antarctic Ocean is significantly thicker than those beneath Alaska and the Caribbean Sea. It is expected that the temperature at the depths of post perovskite phase transition in this study areas are 500 K ~ 1000 K lower than those of beneath Alaska. The thick D" layer beneath the Antarctic Ocean can be possibly attributed to subducted material which began to accumulate ~180 Ma. The variation in the thickness of the D" layer can be interpreted to be controlled by the amount of paleo-slab material deposited.

## はじめに

Core-Mantle Boundary から上数百 km の領域である D"層には、1~3%の S 波速度異方性があり、アラスカやカリブ海などの高速度領域では、 $V_{SV} < V_{SH}$  異方性が観測されている。D"層の異方性は、多くの研究で鉛直軸が回転対称となる Transverse Isotropy を仮定し、直交する SV と SH の 2 つの振動方向におけるスプリッティングが観測されている。一般に異方性媒質は、媒質中の含有物やクラックなどが、ある一定方向に成すような応力・歪場で形成され、異方性の強さは、母体と含有物の速度対比・クラック密度・クラックの形状・選択配向の度合いなどに依存する。D"層の異方性を研究することで、応力・歪の場(流れの場)を知ることができる。

本研究では、南極海の下の D"層に注目した(図 1)。南極海の下の D"層は、最大で+2.0%の高速度領域である。太平洋南極海嶺(Region A)の下では、1.5%の  $V_{SV} < V_{SH}$  異方性が観測され、深さ 2550km に 2.0%の速度不連続面を持つ異方性速度構造モデル(SYYM)が報告されている[1]。さらに本研究領域の Region C 近傍において、深さ 2580km に S 波の不連続面がある usb2 モデルが報告されている[2]。最近の研究によって、perovskite より密で高速度な post-perovskite の存在が明らかになり、これらの領域の D"層において LPO (Lattice Preferred Orientation)異方性が発達する可能性も示唆されている[2]。本研究では、異方性の分布や原因を考察し、さらに異方性速度構造を推定することにより、トモグラフィーの結果からは見えない D"層の形成過程を議論することを目的とする。D"層は未だ謎の部分が多いが、地球の全マントル対流システムを理解するために、多くの地震学的観測事実を調査することが不可欠である。

## データ

解析に使用したデータは、IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology)と FDSN (Federation of Digital broadband Seismic Networks)のオーストラリア、ニュージーランド、南極大陸の 13 観測点で記録された地震波形を用いた。解析期間は 1990 年から 2003 年で、使用した地震は、南米の沈み込み帯で起こったマグニチュード 5.5 以上、震源の深さ 89km 以深の S/N 比のよい深発地震 68 個を用いた。これらのデータセットから、南東太平洋海盆、スコーティア海嶺の下の D"層を調査する(図 1)。データ取得後、観測点側の上部マントル異方性の補正と上部・中部マントルの速度不均質のために起こる走時異常の補正を行い、0.02Hz~0.2Hz の band-pass filter をかけ、解析に用いる S,  $S_{diff}$ , SKS の立ち上がりを読み取った。また、震央距離 83°までのデータにおける ScS, Scd の読み取りは、Young and Lay (1990)[4]の picking 法を用いた。

## 異方性の解析結果

南極海全体を通して観測された異方性は、SV の到着時間から SH の到着時間を引いた  $\Delta T_{SV-SH}$  値が、平均で約+2.5 秒であり、アラスカやカリブ海と同じ  $V_{SV} < V_{SH}$  の異方性が観測された(図 1)。到着時間差と D"層内を伝わる距離を用いて見積もった異方性は、最大で 2.2%で

あり、アラスカやカリブ海地域(~3.0%)と比較するとやや弱い。異方性の分布はアラスカ地域などで報告されているような系統的な傾向は見られず、数 100km のスケールで不均質に分布している。また Region A, C, D では、震央距離 70°~90°の SH において、PREM モデル[5]では見られない、D”層上部の速度不連続面によって引き起こされた triplication phase (Scd)が観測された(図 2)。

### 異方性速度構造の推定

次に、観測された D”層の異方性を説明する異方性速度構造を、相対走時残差と波形モデリングによって推定した。本研究では、特徴的な Scd 波が見られた Region A, C, D について解析した。理論波形計算法は DSM[6]を用いた。Reference モデルは PREM とした。SV は線形な速度構造を想定し、SH については不連続面を持つ構造を想定した。深さ 2400km 以深の構造に焦点を当て、深さ 2600km での速度(-1.5%~1.5%)、CMB での速度(-2.0%~2.0%)、不連続面の深さ(2500km~2700km)、速度増加量(0.5%~3.25%)の範囲でモデルを構築した。それぞれのモデルについて、S-SKS, S-ScS, S-Scd, Scd-ScS 相対走時と、SV-SH, ScSV-ScSH の時間差を計算し、観測値からの残差の Root Mean Square (RMS)を計算した。

その結果、Region A では、深さ 2550km に 2.0%の不連続面を持つ SYM2 モデル、Region C では、2600km に 2.0%の SUHF.a モデル、Region D では、2600km に 2.0%の SUHF.b モデルが得られた。

### 考察

これらのモデルは、最下部マントルにおいて最大 2.0%の高速度モデルであり、これは、グローバルなトモグラフィの結果と一致する。また、SV と SH の構造で最大 2.0%の相違があることは、観測された異方性の結果とも一致する。Kendall (2000)[7]では、このような D”層での異方性の原因は transverse isotropy を仮定すると、lattice preferred orientation (LPO)、または shape preferred orientation (SPO)で説明できるとしている。最近の超高温超高压実験によって、post-perovskite 相(ppv)が明らかになった。Tsuchiya et al. (2004)[8]によれば、最下部マントルの温度-圧力条件において、ppv は最大で 10%の  $V_{SV} < V_{SH}$  異方性があることを示した。また、b 軸が鉛直方向に選択配向している場合、2~3%の異方性があることがわかった。このことは、本研究結果を含めて、これまでの地震学的な観測事実を支持する結果である。

また、本研究の解析領域は、Richards and Engenbretson (1992)[9]によれば、今から約 1 億 2000 万年前から 1 億 8000 万年前に沈み込み帯があったことを示しており、その当時のスラブ物質が、本研究地域の異方性を形成していることが考えられる。また現在沈み込み帯に位置しているアラスカ地域では、不連続面の深さが約 2650km[5]であり、南極周辺地域(2550~2600km)より 50~100km ほど深い(図 3)。このことから、D”層の厚さを CMB から不連続面までの距離と仮定すれば、以前沈み込み帯があった南極周辺地域では、沈み込んだスラブの堆積量が多く、厚い D”層を形成していることが考えられる。

## 結論

本研究地域の D"層は、SH が SV より速い異方性速度構造をしており、SH については、深さ 2550~2600km で速度が 2.0%増加する速度不連続面があることがわかった。他の研究結果と地震波トモグラフィーや過去の沈み込み帯の変遷を合わせて考えると、D"層の厚さの地域性はスラブ物質の堆積量と関連することが示唆される。今後、他地域での解析を通して、現在の D"層の構造と過去のプレート運動史を全地球規模で結び付けられるかもしれない。

## 参考文献

1. Usui, Y., Y. Hiramatsu, M. Furumoto and M. Kanao (2005), *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L13311, doi:10.1029/2005GL022622.
2. Olivieri, M., N. Pino, A., and A. Morelli (1997), *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 2617-2620.
3. Murakami, M., K. Hirose, K. Kawamura, N. Sata and Y. Onishi (2004), *Science*, **304**, 855-858.
4. Young, C. J., and T. Lay (1990), *J. Geophys. Res.*, **95**, 17385-17402.
5. Dziewonski, A. M., and D. L. Anderson (1981), *Phys. Earth Planet. Inter.*, **25**, 297-356.
6. Takeuchi, N., R. J. Geller, and P. R. Cummins (1996), *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 1175-1178.
7. Kendall, J. -M. (2000), *Earth's deep interior, AGU Geophys. monograph*, **117**, 133-155.
8. Tsuchiya, T., J. Tsuchiya, K. Umemoto and R. M. Wentzovitch (2004b), *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L14603, doi:10.1029/2004GL020278.
9. Richards, M. A., and D. C. Engebretson (1992), *Nature*, **355**, 437-440.

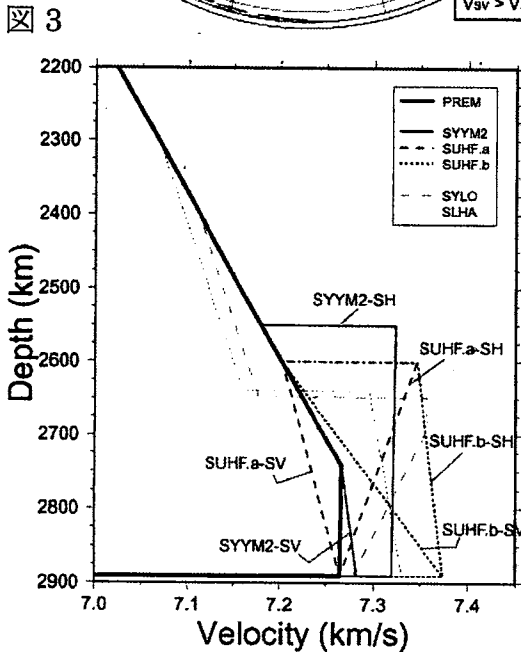
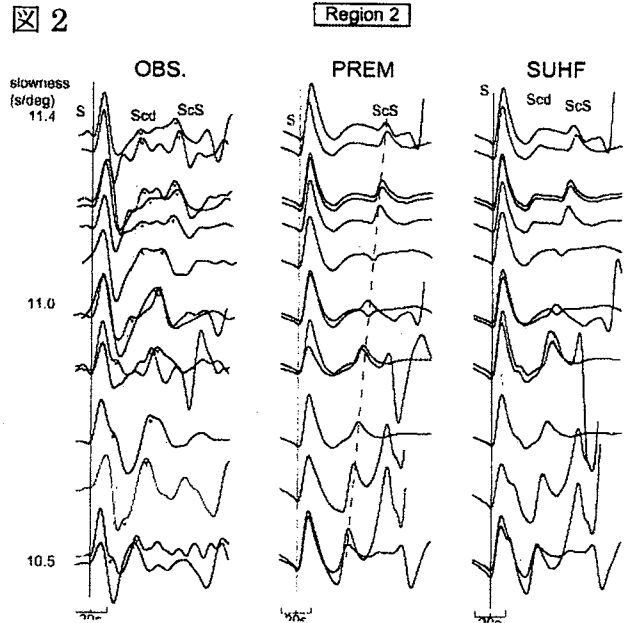
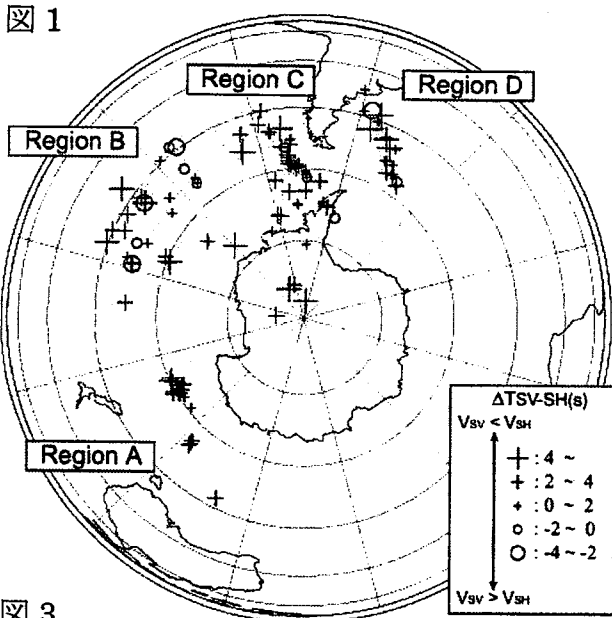


図 1: 観測された SV-SH 時間差と分布

図 2: Scd 波の観測波形と理論波形の比較

図 3: 本研究で得られたモデル (SYYM2, SUHF.a, SUHF.b) とアラスカ (SYLO) とカリブ海で (SLHA) で報告されているモデル

## 学位論文審査結果の要旨

本博士論文は南極海下の D'' 層の S 波速度横造について論じたものである。本博士論文に関し、2月4日に第1回審査委員会を実施、2月7日に口頭発表および質疑応答を行った。本博士論文の審査結果は以下の通りである。D'' 層の地震学的構造については、S 波速度不連続面、SV-SH 波速度異方性、超低速度層の存在が北半球の幾つかの地域において報告されている。D'' 層はマンツルのダイナミクスを理解する上で重要であり、全地球規模での D'' 層の構造の解明は地震学における重要な課題の一つである。本博士論文は D'' 層の速度構造研究の空白域であった南半球に焦点を当て、南極、オーストラリアなどの南極海周辺地域の 10 数年にわたる広帯域地震計データを用いて、地震波速度異方性と速度不連続面に注目し、南極海下の D'' 層の S 波速度構造の解析を行った。南極海下の D'' 層では SH 波の速度が SV 波の速度より最大 2% 速く、SH 波には核マントル境界上 300 ~ 350km 上に 2% の速度不連続があることを明らかにし、その成因として過去にマントル中に沈み込んだスラブ物質の存在を挙げている。本結果と過去に北半球で行われた研究結果との比較を行い、この領域の D'' 層の厚さが他の地域より有意に厚いことを指摘し、近年得られた鉱物学的知見に基づき、過去 1 億 8 千万年前までの沈み込み帯の変遷史と D'' 層の厚さの地域性、最下部マントルにおけるスラブ物質の存在と温度構造を関連づけた新しい解釈を提唱した。したがって、本博士論文は博士の学位に十分値すると評価できる。