

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23740345

研究課題名(和文) 厳密な理論波形の作成によるマントル最下部低速度領域速度構造の推定

研究課題名(英文) Detail structure of the large low shear velocity province at the base of the mantle, estimated by waveform modelling of S waves

研究代表者

藤 亜希子 (TO, Akiko)

独立行政法人海洋研究開発機構・地震津波海域観測研究開発センター・研究員

研究者番号：70587344

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、観測S波波形のフォワードモデリングにより、マントル最下部の低速度構造を詳細に調べ、マントル上昇流の形態を推定することであった。最初に、西太平洋の地震を北米の地震計で捉えた直達S波に、顕著な振幅異常を見つけた。解析の結果、この特徴は、コア-マントル境界上でハワイ下から数百km南西の局所的な超低速度異常により説明可能と分かった。有限波長の効果により、S波波形の歪みから、局所的な超低速度構造と広域低速度領域を区別することは難しい。広域低速度領域と見なされる構造が、実際は局所的な超低速度構造の集合体であり、マントル上昇流がブルームクラスターの形態を持つ可能性を示唆する結果を得た。

研究成果の概要(英文)：The aim of this project was to investigate the detail structure of slow seismic velocity anomaly at the base of the mantle and to estimate the form of the mantle upwelling flow. The amplitude of direct S waves for earthquakes in Western Pacific recorded at U.S. are anomalously small. The results of waveform forward modelling show that a previously proposed cylindrical ultra low velocity zone placed at the base of the mantle can be one of the cause of the anomalous S wave amplitudes. The result also shows that due to a finite frequency effect, it is often difficult to distinguish whether the distortion of S waveforms is caused by a large low shear velocity province or an ultra velocity zone at the base of the mantle. The result infers that what is seen as a large low shear velocity province in tomographic models could be in reality a cluster of plumes, whose images are blurred due to technical limitations in handling the finite frequency effect of S waves.

研究分野：地震学

キーワード：コア-マントル境界 実体波 広域低速度領域 スペクトル要素法

1. 研究開始当初の背景

既存のS波トモグラフィーモデルでは、太平洋とアフリカのマンテル最下部に広域のS波低速度領域(LLSVP)が見られる。解像度の限界により、トモグラフィーモデルにおいてLLSVPはのっぺりと広く映し出されている。しかし、先行研究によりLLSVPの周辺や内部には激しい不均質が存在することが示唆されている(To et al., 2011)。LLSVPはマンテル上昇流の発生場所と考えられており、それらの周辺及び内部の詳細構造を知ることが、上昇流の形態を解明する鍵となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、マンテル最下部の広域低速度領域 (LLSVP, 標準的な球対称地球内部構造モデルに対して10%未満のS波速度低下) に対して、超低速度領域 (ULVZ, 10%以上のS波速度低下)がどのように分布するのかを明らかにすることであった。例えば、LLSVPの中心部に超低速度領域が位置するのか、それとも端に位置するのかを、地震波形から判定することが出来れば、上昇流が、マンテル内の組成不均質を成因とした形態を持つのか、それとも温度不均質によってのみ生じるのか、を判定する為の重要な材料となる。

3. 研究の方法

地震波形データは、これまでに蓄積したデータと、IRIS DMCより新たに収集したデータを利用した。まず、マンテル最下部構造に感度を持つデータを選び出し、走時異常分布、振幅異常分布、後続波の有無、パーティクルモーションなどを精査した。一部のデータで、特に振幅異常が顕著であったので、それらの特徴に着目し波形のフォワードモデリングを行った。既存のS波トモグラフィーのマンテル最下部に見られる低速度構造の、速度低下量を部分的に強めたり、その高さを変化させたりして約30個の構造モデルを構築した。それらのモデルに対してスペクトル要素法(Capdeville et al., 2011)により周期8秒までの理論波形を作成し、観測波形と比較した。

4. 研究成果

(1) パプアニューギニアの地震を北米の観測点で捉えた地震計記録では、震源から距離と方位が、それぞれ約90度と約55度の場所(南カルフォルニア周辺)を中心に、直達S波の振幅が極端に小さくなることを見つけた(図1, 図2)。震源の位置が数百キロメートル程ズレた別の地震では、S波の振幅が局所的に小さくなる場所が大きく異なっており、震源からの距離と方位がそれぞれ約100°と約50°の周辺である。震源位置が少し変化する

ることにより、異常振幅の見られる場所が大きく変化することから、その成因となる構造が、マンテル最下部に位置すると推定される。

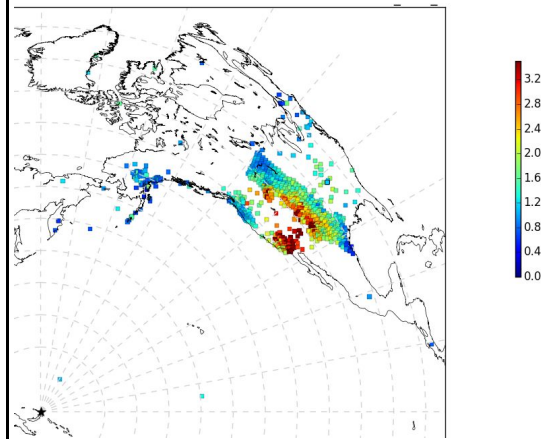


図1 パプアニューギニアの深発地震を北アメリカで捉えた地震波形のS/Sdiff波の振幅。観測されるS/Sdiff波の最大振幅に対する、球対称モデル(PREM)より求めた理論S/Sdiff波波形の最大振幅の比をプロットした。観測されるS/Sdiff波の振幅が小さい場所は、赤色でプロットされている。最大振幅は、0.027Hzから0.11Hzのバンドパスフィルターをかけた波形から測定した。

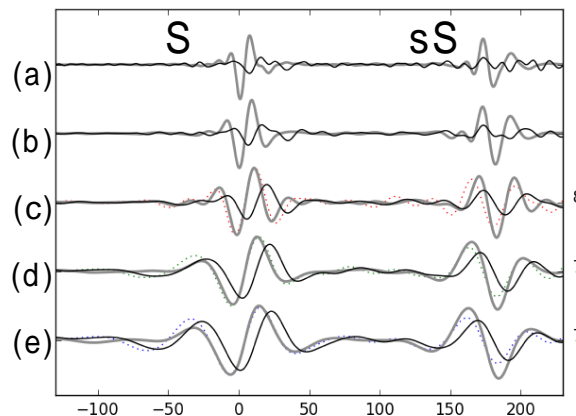


図2 パプアニューギニアの地震を南カルフォルニアの観測点(CI BAR)で捉えたS波とSdiff波の水平動記録。

観測波形を黒線で、PREMより計算した理論波形をグレーの線でプロットした。(a)-(e)は同じ波形に対して異なるバンドパスフィルターを適用した結果をプロットしている。フィルターのコーナー周波数は以下の通り：
 (a) 0.027 - 0.11 Hz (b) 0.025 - 0.075 Hz
 (c) 0.02 - 0.05 Hz (d) 0.01 - 0.03 Hz (e) 0.009 - 0.025 Hz。S波とsS波の観測波形の振幅が、短周期成分(a,b)では理論波形よりもかなり小さく、長周期成分(d,e)では理論波形と同程度であることが分かる。

(2) S 波振幅異常の周波数特性を調べた。上述の南カルフォルニアの記録では、周期 15 秒以下の短周期成分の振幅が特に小さくなる一方、周期 30 秒以上の長周期成分は球対称標準モデルの推定値とほぼ同程度の振幅になることが分かった(図 2)。

(3) 最新の三次元 S 波速度グローバルトモグラフィモデルに対し理論波形を作成した。理論波形には S 波の振幅異常はほとんど見られなかった。このことは、観測波形を説明する為には、トモグラフィモデルで示されるものよりも強い S 波速度異常が存在することを示唆する。

(4) 更に、トモグラフィモデルを精査し、S 波速度を更に低下させることにより、観測される S 波振幅異常の成因となり得る構造があるかを調べた。その経路上にカロリンホットスポットがある。2D 波線追跡を行った結果、震源からの距離が短い(約 14°)為、この構造によって局所的に S 波振幅が減少することはないことが分かった。

(5) Cottaar & Romanowicz (2012) の提唱する太平洋北端に位置する厚さ 20km の円柱形の ULVZ 構造に対する理論波形を Coupled mode SEM により作成した。波線理論を用いると、震央距離 90° に到達する S 波の最深点は深さ約 2660km と予測される。深さ 2891km のコア-マントル境界上に置いた ULVZ の 200km 以上上方に最深点があることになり、これらの波は ULVZ に感度を持たないと予想していた。しかし、理論波形を精査した結果、震央距離 85° ~100 の南カルフォルニア辺りで直達 S 波の振幅が ULVZ 構造により小さくなることが確認された。つまり、有限波長の効果により、波線理論では 200km 以上下方にある ULVZ 構造により S 波波形が歪むことが分かった。

(6) ULVZ をサンプルする理論波形に見られる波形の歪みの周波数特性を調べた。周期 15 秒以下の短周期成分の振幅が小さくなる一方、周期 30 秒以上の長周期成分の振幅は球対称標準モデルから得られる推定値とほぼ同程度である。観測波形と調和的な周波数特性を持つことが分かった。

(7) 以上の解析結果により、観測される S 波または Sdiff 波波形の歪みが、ULVZ と LLSVP のどちらの構造により生じるのかを判別する為には、広い周波数帯域で構造に対して厳密な理論波形を作成することが不可欠であることが分かった。

(8) ULVZ をサンプルする地震波の有限波長の効果を厳密に取り扱わなければ、波形の歪みが広域低速度領域にマッピングされると考えられる。トモグラフィモデルにおいて、

広域低速度領域と見なされる構造が、実際は局所的な超低速度構造の集合体であり、マントル上昇流がブルームクラスターの形態を持つ可能性を示唆する結果を得た。

<引用文献>

Capdeville, Y., To, A., Romanowicz, B., 2003. Coupling spectral elements and modes in a spherical earth: an extension to the sandwich case. *Geophys. J. Int.* 154 (1), 44-57.

Cottaar S. and Romanowicz B. 2012, An unusually large ULVZ at the base of the mantle near Hawaii. *Earth planet. Sci. Lett.* 2012;355-356:213-222.

To, A., Fukao, Y., Tsuboi, S., 2011. Evidence for a thick and localized ultra low shear velocity zone at the base of the mantle beneath the Central Pacific. *Phys. Earth Planet. Int.* 184, 119-133.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

Akiko To, Koichiro Obana, Hiroko Sugioka, Eiichiro Araki, Narumi Takahashi, Yoshio Fukao, Small size very low frequency earthquakes in the Nankai accretionary prism, following the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 査読有, 245 巻, 2015, 40-51.

DOI: 10.1016/j.pepi.2015.04.007

Yoko Tono, Kiwamu Nishida, Yoshio Fukao, Akiko To, Narumi Takahashi, Source characteristics of ocean infragravity waves in the Philippine Sea: analysis of 3-year continuous network records of seafloor motion and pressure. *Earth Planets and Space*, 査読有, 66 巻, 2014 年. DOI: 10.1186/1880-5981-66-99

Akiko To, Jan Becker, Bernd Weber, Morifumi Takaesu, Narumi Takahashi, Yoshio Fukao, Seiji Tsuboi, Development of a SeisComp3 module for detecting micro earthquakes and its application to ocean bottom network data, JAMSTEC Report of Research and Development, 査読有, 18 巻, 2014 年, 1-15.

DOI:10.5918/jamstecr.18.1

[学会発表](計 12 件)

Akiko To, Jan Becker, Bernd Weber, Morifumi Takaesu, Narumi Takahashi, Yoshio Fukao, Seiji Tsuboi, Development of a SeisComp3 module for detecting micro earthquakes and its application to ocean bottom network data, AGU Fall meeting 2013, 2013年12月13日, San Francisco, USA.

利根川貴志・深尾良夫・荒木英一郎・藤亜希子・石原 靖・高橋成実、DONET 記録を用いたレシーバ関数解析、日本地震学会 2013 年度秋季大会、2013年10月9日、神奈川県民ホール、産業貿易センター（神奈川県、横浜市）。

藤亜希子・Jan Becker・Bernd Weber・高江洲盛史・高橋成実・坪井誠司、微小地震検出の為に SEISCOMP3 モジュールの開発、及び海底ケーブルデータへの適用、日本地震学会 2013 年度秋季大会、2013年10月7日、神奈川県民ホール、産業貿易センター（神奈川県、横浜市）。

A. To, K. Obana, N. Takahashi and Y. Fukao, Broadband features of the shallow low frequency events in Nankai trough, excited after the 2011 Tohoku-Oki earthquake, 日本地球惑星科学連合大会、2013年5月30日、幕張メッセ（千葉県、千葉市）。

A. To, Obana K., N. Takahashi, Y. Fukao, Low frequency tremors in the Tonankai accretionary prism, triggered by the 2011 Tohoku-Oki earthquake, AGU Fall meeting 2012, 2012年12月6日, San Francisco (USA).

東野陽子、西田究、深尾良夫、藤亜希子、高橋成実、DONET データを用いた海洋長周期重力波の検出、日本地震学会 2012 年度秋季大会、2012年10月18日、函館市民会館・函館市民体育館（北海道、函館市）。

利根川貴志、深尾良夫、藤亜希子、石原靖、高橋成実、DONET 記録を用いた付加体底部からの反射 S 波の検出 -付加体内部の S 波異方性構造の推定 -、日本地震学会 2012 年度秋季大会、2012年10月17日、函館市民会館・函館市民体育館（北海道、函館市）。

西田究・藤亜希子・高橋成美・利根川貴史・深尾良夫、地震波干渉法による DONET 観測データの解析、日本地球惑星科学連合大会、2012年5月23日、幕張メッセ（千葉県、千葉市）。

藤亜希子、尾鼻浩一郎、高橋成実、深尾良夫、2011年東北地方太平洋沖地震により誘発された東南海付加体の低周波微動、日本地

球惑星科学連合大会、2012年5月20日、幕張メッセ（千葉県、千葉市）。

A. To and Capdeville Y., Constraints on the 3D shape of the ultra-low velocity zone at the base of the mantle beneath central Pacific, AGU Fall meeting 2011, 2011年12月8日, San Francisco (USA).

A. To, On the estimation of the wavelength and amplitude of the heterogeneous structure near the core-mantle boundary, The 4th YESA workshop in Ehime University, 2011年9月11日, 愛媛大学（愛媛県、松山市）。

藤亜希子、太平洋下マントル最下部の超低速度地帯の形について、日本地球惑星科学連合大会、2011年5月23日、幕張メッセ（千葉県、千葉市）。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤 亜希子 (TO, Akiko)

独立行政法人海洋研究開発機構・地震津波
海域観測研究開発センター・研究員

研究者番号：70587344