

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：82706

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06904

研究課題名（和文）海底面近傍の不均質構造を取り入れた理論波形による海底下浅部S波速度構造の推定

研究課題名（英文）Estimation of shear wave velocity structure at shallow ocean bottom, by using synthetic waveforms that rigorously handles the complex structures in the vicinity of seafloor

研究代表者

藤 亜希子 (TOH, Akiko)

国立研究開発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） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：海底地震計記録を用いて、南海トラフ海溝型巨大地震発生域のS波速度構造モデルを構築することを最終目的としている。海底地震計のS波記録は、海底付近の低速度層の影響を大きく受けている。本研究では、まず、既存の地震探査データに対して、スペクトル要素法を用いて理論地震波形を作成し、海底付近の構造に対するS波波形の感度を定量的に評価した。更に、Neighborhood algorithmを使った全波形インバージョンによる構造推定に向けて予備調査を行った。研究期間の後半は、本研究対象の海域で、2015年に発生した浅部低周波地震活動の海底地震計記録を解析し、沈み込み帯構造に対する震源分布を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We aim to construct S-wave velocity structural model using records of ocean bottom seismometers for the shallow subduction zone of Nankai trough where mega-thrust earthquake occurs repeatedly. The S waveforms recorded by the ocean bottom seismometers are heavily distorted by propagating through slow layers in the vicinity of ocean bottom. In this study, we first quantitatively evaluated such distortions by constructing synthetic waveforms using spectral element method. Also we conducted feasibility tests of probabilistic full waveform inversion using Neighborhood algorithm. During the latter half of the project period, we focused on analyses of very low frequency earthquakes that occurred in the target region in October 2015. We revealed their spatial distribution with respect the shallow subduction zone structure.

研究分野：地震学

キーワード：スペクトル要素法 広帯域海底地震計 S波速度構造 Neighborhood algorithm

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 海溝型巨大地震が発生する南海トラフでは、その理解を目指して、構造探査により高解像度のP波速度( $V_p$ )構造モデルが得られている。一方、海底下の物質を推定しダイナミクスを議論する上で不可欠であるS波速度( $V_s$ )構造に関する知見は限られるという問題がある。 $V_s$ モデルが低解像度である原因の一つは、構造探査データにおいて、海中のエアガン震源からS波は射出されない為、 $V_s$ に感度を持つ波のシグナルが弱いことにある。更に、海底地震計に記録されるS波波形は、海底付近の低速度層を伝播した影響を大きく受けている。観測されるS波波形を使って海底下 $V_s$ 構造を推定する為には、海底表層の激しい不均質構造が波形に及ぼす影響を定量的に評価出来るツールが必要である。

(2) 2015年10月に研究対象とする海域で、一週間程度の浅部低周波地震活動が発生した。これらの震源分布を求めることは、浅部沈み込み帯構造を推定する上でも重要である。

### 2. 研究の目的

[1] 波形モデリングによる海底下 $V_s$ 構造推定に向けて、海底表層の泥層によるS波波形への影響を評価すること、及び、ベイズ推定による $V_s$ 構造推定の実現可能性を評価することを目的とした。

[2] 2015年10月発生した超低周波地震(VLFE)の、浅部沈み込み帯構造に対する震源分布を求めること、特に、プレート境界断層以外におけるVLFE発生の有無を明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) 観測データは、南海トラフ東部の熊野灘で、2004年に短周期海底地震計74台を用いて屈折法探査により得られた三成分を使った(NT0405, Nakanishi et al., 2008)。初期モデルは、初動から約1.8秒間分の波形を用いて、acoustic waveform inversionにより測線NT0405上で得られたKamei et al., (2012)のP波速度モデルを用いた。スペクトル要素法により、海底面付近の激しい不均質を含む速度構造モデルに対する厳密な理論波形を作成した。

速度構造モデルのベイズ推定を実現する為のNeighborhood algorithmのソフトウェアは、オーストラリア国立大学のホームページより取得した。

(2) 熊野灘に展開されている地震・津波観測監視システム(DONET)の広帯域地震計データから、VLFEを目視で抜き出した。それらの中に、互いに低周波数帯域の波形がそっくりで、ほぼ同じ場所で発生したと推定

されるVLFEのグループが複数存在した。しかし、個々のイベントについて震源を求めると、それらは空間的にバラついてしまう問題に直面した。原因は、VLFE波形に特有の走時測定の高難しさから生じるエラー等にあると考えられる。そこでまず、検出された全イベントをクラスタ解析し、波形の特徴から発生位置が非常に近いと推定されるVLFE同士をグループ化し、各グループの代表的な震源位置を求めることにより、震源の推定位置のバラつきを低減した。

### 4. 研究成果

(1) P波速度初期モデルに対し、適当な $V_p/V_s$ 比を割り当てた上で、海底面付近に厚さ200m、 $V_p/V_s=3$ の泥層を置き、スペクトル要素法により理論波形を作成した。泥層が無い構造から得られる理論波形と比較した結果、PS変換波の振幅が5倍以上に増幅される等、薄い泥層が波形を大幅に変形させることを確認した。

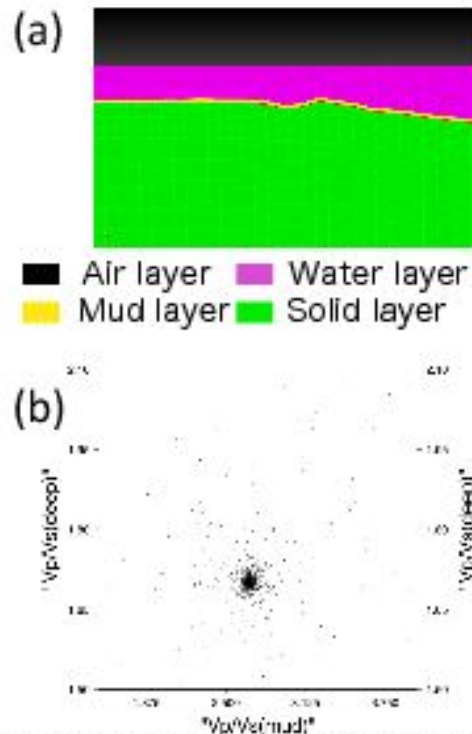


図1 Neighborhood Algorithmを使った $V_p/V_s$ 比推定の予備調査 (a) 構造モデル。(b)海底下 $V_p/V_s$ 比の推定結果。

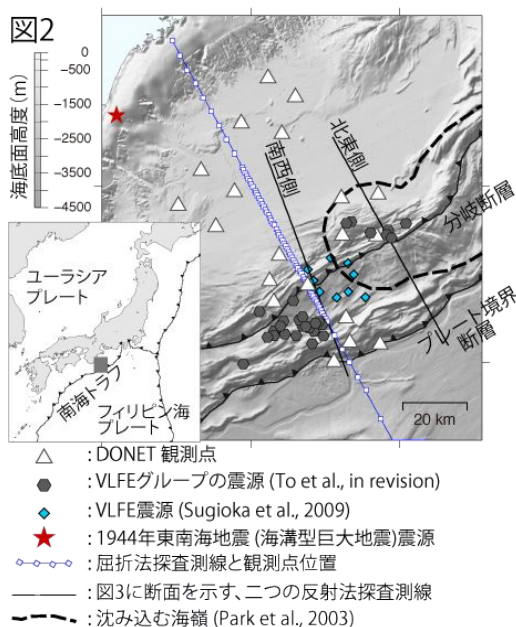
(2) 構造探査で得られた地震波形からNeighborhood Algorithm(NA)を用いて、 $V_s$ 分布を求める為の予備調査を行った(図1)。まず、初期 $V_p$ モデルに対し、泥層とその他の部分で $V_p/V_s$ をそれぞれ2.9及び1.7、Q値を30と500、泥層の厚さを200mとして理論波形を作成した。その後、Q値を適用しない設定で、二層(泥層とその他の) $V_p/V_s$ 比を、NAを使ってどの程度再現できるかを調べた。NAの20回のイタレーションで1200

個の構造モデルを試した結果、それぞれの層について  $V_p/V_s$  が 2.67 と 1.70 に求まった。NA を使った構造探査データの全波形インバージョンが実現可能であることを示した。

(3) 2015 年 10 月の活動期に DONET に記録された VLFE を全て抜き出し、上述のクラスター解析を適用して得られた 31 グループの震源位置を求めた。その結果、VLFE の震源は南海トラフに沿って北東側と南西側に大きく分かれた。それらはトラフ軸からの距離が異なっており、北東側のグループが南西側のグループよりもトラフ軸から離れた場所にある(図 2)。

(4) 2009 年に、Sugioka ら(2012)は、広帯域海底地震計による VLFE 震源域直上の近地観測に世界で初めて成功し、VLFE がトラフ軸近傍のプレート境界断層で発生していることを見出した(図 3 下)。本研究で得られた南西側のグループの VLFE は、Sugioka et al., (2012)において見出された VLFE と同様、海溝軸付近に位置する。

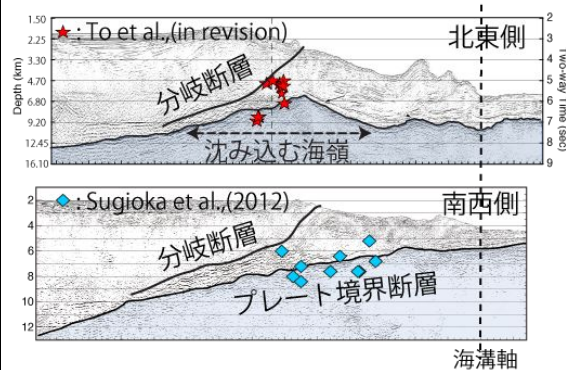
(5) 過去の構造探査の結果から、DONET の北東側では海嶺が沈み込んでおり、沈み込むプレート上面に凸状構造が在ることが知られていた(図 2、3 上)。得られた北東側の VLFE 分布は、海嶺沈み込みに伴う周辺の間隙水圧とせん断応力の変化により整合的に説明できる。つまり、この領域の応力場や歪み解放様式が、沈み込む海嶺の影響を受け、北東側と南西側で全く異なる可能性を示唆する結果を得た。



(6) 北東側グループには、その波形の特徴が極めて浅部で発生したことを示す VLFE が、多数見出された。これらはプレート境界断層から上方へ枝分かれする分岐断層上で発生していると推測される(図 3 上)。つまり、北

東側では、プレート境界断層よりも、寧ろ分岐断層においてプレート間の歪みが解放され、津波も励起される可能性を示す。

図 3 図 2 で示す北東側、及び南西側測線の断面図



### 引用文献

Nakanishi, A., Kodaira, S., Miura, S., Ito, A., Sato, T., Park, J.O., Kido, Y., Kaneda, Y., 2008. Detailed structural image around splay-fault branching in the Nankai subduction seismogenic zone: results from a high-density ocean bottom seismic survey. *J. Geo-phys. Res.* 113, B03105.

Kamei, R., Pratt, G., Tsuji, T., 2012. Waveform tomography imaging of a megasplay fault system in the seismogenic Nankai subduction zone. *Earth Planet. Sci. Lett.* 317–318, 343–353.

Park, J.-O., Moore, G.F., Tsuru, T., Kodaira, S., Kaneda, Y., 2003. A subducted oceanic ridge influencing the Nankai megathrust earthquake rupture. *Earth Planet. Sci. Lett.* 217, 77–88.

Sambridge, M., 1999. Geophysical inversion with the Neighbourhood Algorithm—I. Searching a parameter space, *Geophys. J. Int.*, 138, 479–494.

Sugioka, H., Okamoto, T., Nakamura, T., Ishihara, Y., Ito, A., Obana, K., Kinoshita, M., Nakahigashi, K., Shinohara, M., Fukao, Y., 2012. Tsunamigenic potential of the shallow subduction plate boundary inferred from slow seismic slip. *Nat. Geosci.* 5, 414–418.

### 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

To, A., Capdeville, Y. and Romanowicz, B.: Anomalous low amplitude of S waves produced by the 3D structures in the lower mantle. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 256, 26-36 (2016)査読有。

〔学会発表〕(計 6 件)

To, A., Obana, K. and Araki E.: Distribution of shallow very low frequency earthquakes in the eastern Nankai trough influenced by a subducted oceanic ridge: Results from cluster analysis applied to ocean bottom seismographs, AGU Fall meeting, S41C-07, San Francisco, U.S.A., 15 Dec. 2016.

Araki, E., Saffer, D. M., Kopf, A., To, A., Ide, S., Nakano, M., Kimura, T. and Machida, Y.: Sequence of slow slip events and low frequency earthquakes in the shallow part of the Nankai Trough seismogenic zone observed by seafloor observation network, AGU Fall meeting, T21C-2818, San Francisco, U.S.A., 13 Dec. 2016.

To, A., Obana, K. and Araki E.: Influence of a subducted ridge on the distribution of very low frequency earthquakes in the Nankai accretionary prism: results from cluster analysis of ocean bottom seismographs, Joint Workshop on Slow Earthquakes 2016, P7, 東京大学地震研究所, 東京都文京区, 13–15 Sep. 2016.

To, A., Obana, K. and Araki E.: Spatio-temporal distribution of very low frequency earthquakes in the eastern Nankai accretionary prism revealed by hierarchical clustering analysis of ocean bottom seismometer record, JpGU meeting, SCG21-10, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 22 May 2016.

Araki, E., To, A., M., Kimura, T. Machida, Y. and Saffer, D. M.: Possible shallow episodic slowslip in the Nankai Trough seismogenic zone detected by seafloor borehole observatory. JpGU meeting, SSS02-08, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, 24 May 2016.

To, A., Capdeville, Y. and Romanowicz, B.: Amplitude Anomalies of S Waves Caused by Low Shear Velocity Structures at the Base of the Mantle. AGU Fall meeting, DI51A-2611, San Francisco U.S.A., 18 Dec. 2015.

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

藤 亜希子 (TOH, Akiko)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地震

### (2)研究協力者

Capdeville Yann (CAPDEVILLE, Yann)

Universite de Nantes, CNRS, France

Chargé de Recherche CNRS (CR1)