

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14811

研究課題名（和文）高周波レシーバ関数解析および稠密海底地震観測網による巨大地震発生帯の調査

研究課題名（英文）Investigation of megathrust seismogenic zone by high-frequency receiver functions with dense array of ocean-bottom seismometers

研究代表者

悪原 岳（Akuhara, Takeshi）

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：30802954

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：沈み込み帯で発生する巨大地震断層すべりの挙動を理解するためには、断層面における物性、とりわけ、断層面近傍に存在する水による圧力（流体圧）を把握することが不可欠となる。本研究では、自然に発生する地震の波形を密に設置した海底地震計で観測し、その波形解析から流体圧を調査することを目指す。

自然に起こる地震の波形は一般的に複雑な波形を示す。加えて、海底地震計では海水内や柔らかい海底堆積物の層内にトラップされた多重反射波の影響で、この複雑性はさらに促進され、詳細な地下構造の解析には向かないとされてきた。本研究では、この課題をベイズ統計による現代的な解析手法により克服した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、海底地震計で記録された自然地震データを利用した解析により、沈み込み帯巨大地震断層面近傍の構造を推定できることが新たに明らかとなった。この自然地震を用いた手法では、従来の人工震源を用いた探査とは異なる物理量に感度があるため、断層面近傍の物性をよりよく拘束することができる。今後、同様な稠密観測を進め、巨大地震断層面の物性をマッピングすることで、巨大地震の被害予測向上につながると期待される。

研究成果の概要（英文）：In order to understand the slip behavior of megathrusts in subduction zones, it is essential to understand the physical properties of the fault plane, especially pore fluid pressure. In this study, we aim to investigate fluid pressure through waveform analysis of natural earthquakes with densely installed ocean-bottom seismometers (OBSs).

Waveforms of natural earthquakes generally show complex waveforms. In addition, multiple reflected waves trapped in seawater or in soft marine sediments further promote this complexity. Therefore, OBS records have been considered unsuitable for detailed subsurface structural analysis. In this study, this challenge is overcome by modern analytical methods using Bayesian statistics.

研究分野：地震学

キーワード：沈み込み帯 巨大地震断層 海底地震計 波形解析 ベイズ統計

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

沈み込み帯で起こる巨大地震とは、地下に沈み込む海洋プレートとその上に乗る大陸プレートの境界(巨大地震発生帯と呼ばれる)で起こる“断層すべり”である。東北太平洋沖地震では、断層すべりが沈み込み帯の浅部に到達し、巨大な津波を引き起こした。以来、西南日本沈み込み帯においても同様に、前回の巨大地震時には滑らなかった浅部域で地震すべりが発生する可能性が指摘され始めているが、確かなことは分かっていない。このような浅部断層のすべりやすさは、その場所における間隙流体圧の大きさに強く依存することがよく知られている。

一般に、地下深くの間隙流体圧の大きさは、地震波の解析によって推測される。間隙流体圧が高い領域では、地震波の伝播速度が顕著に低くなることが利用される。広く行われている人工震源構造探査では、地震発生帯近傍の P 波速度構造を高い空間解像度(10-100 m)で求めることができる。しかしながら、P 波速度と間隙流体圧の定量的な対応関係は必ずしも自明ではない。より正しく間隙流体圧を求めるためには、S 波速度の情報を併せる必要があるが、人工震源の構造探査では、用いられる震源の特性上、S 波速度に感度がない。S 波速度構造は自然に起こった地震の波形解析を通して推定ができる。ただし、自然地震波形の解析では、鉛直方向の分解能はたかだか 1-10 km 程度が限界とされてきた。

2. 研究の目的

従来の研究では、解像度の問題から、巨大地震発生帯の S 波速度を求めることができなかった。本研究では、高周波帯域まで適用可能な新しい波形解新手法の適用(鉛直分解能の向上に寄与)および、稠密海底地震観測網の展開(水平分解能の向上に寄与)により、沈み込み帯巨大地震発生帯の S 波速度を求め、間隙流体圧に関する知見を得ることを目指した。

3. 研究の方法

2019 年度に、西南日本沈み込み帯熊野灘海域において、海底地震計の稠密アレイを設置した。同地震計アレイは、2021 年度に回収を行った。また、この観測により得られたデータのほかに、熊野灘海域で運用されている海底ケーブル地震観測網(DONET)および日向灘海域において別途設置された海底地震計稠密アレイによるデータも解析の対象とした。

データ解析にあたっては、デコンボリューションによって下処理された遠地地震波形(レシーバ関数波形と呼ばれる)および、地震計の雑微動記録から抽出される表面波の情報に基づき、S 波速度構造を推定する。しかし、海底地震計の波形データは堆積層や海水層内の多重反射波により、複雑さが増している。複雑な波形情報からより客観的に S 波速度構造を推定するために、ベイズ統計に基づくインバージョン手法を適用する。

4. 研究成果

(1) 解析コードの作成・公開

観測データから S 波速度構造を推定するために、トランスディメンショナル・マルコフ連鎖モンテカルロ法に基づくインバージョン解析のコードを作成・ウェブ上に公開した(https://github.com/akuhara/SEIS_FIL0)。本手法自体は、2010 年代以降に地震学で普及し始めたものであるが、海水層の影響など、海底地震計への適用可能なオープンソースソフトウェアが存在しなかったため、独自に作成を行った。本コードは別のプロジェクトでも活用され、論文出版につながっている(Akuhara et al. 2021, EPS; Yamaya et al. 2021, JGR)。

(2) 熊野灘海域における沈み込む堆積層内の高間隙流体圧

熊野灘海域においては、人工震源による構造探査が精力的に行われており、詳細な反射断面(反射波により地下の物性不連続面をイメージしたもの)が得られている(図 1a の背景)。本研究では、自然地震波形を用いて、反射断面と比較可能な鉛直方向の解像度で、S 波速度構造を推定することに成功した(Akuhara et al. 2020, GRL)。とくに、海洋プレートとともに沈み込む堆積層の中でも、デコルマ面(巨大地震のすべり面)より浅い部分で S 波速度が顕著に低下していることが明らかとなった。この低速度域は、高間隙流体圧によるものと考えられ、本地域で発生するスロー地震の発生に貢献していると推測される(図 1b)。

(3) 日向灘海域における付加体内浅部の貯水層

日向灘では海洋プレートが熊野灘海域よりも深くまで沈み込んでいる。そのため、巨大地震断層面近傍の S 波構造推定は現時点ではできていない。一方で、プレート境界面より浅い付加体内に、S 波の低速度層が存在することが分かり、付加体内の貯水層を反映すると考えられる。この貯水相は、少なくともアレイの口径(直径およそ 4 km)程度の広がりを持つことが明らかとなったが、既存の構造探査の結果と照らし合わせると、より広域に広がっている可能性がある。この貯水域の成因や、スロー地震の発生、本地域に沈み込む九州・パラオ海嶺との関係性を調査中である。

(4) スロー地震発生環境の解明にむけて

熊野灘における海底地震観測の期間中（2020年12月から2021年2月）に、大規模なスロー地震活動が発生した。本研究で設置したアレイ観測網のデータを解析することで、スロー地震活動域のS波速度構造を詳細に解像できるだけでなく、このスロー地震の発生位置を高精度で求められる可能性がある。すなわち、スロー地震発生域近傍の物性とスロー地震発生の関連性が詳細に議論できると期待される。今後、S波速度構造の解析を進めるとともに、この稠密アレイを活用することで、どれだけ精度よくスロー地震の震源が決められるかを検討する。

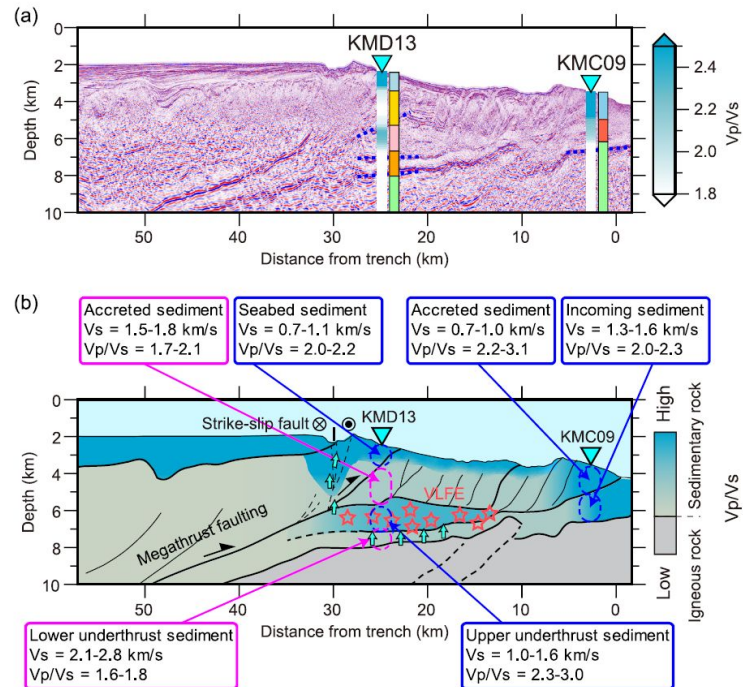


図 1. 熊野灘海域における自然地震波解析の結果 (Akuhara et al. 2020, GRL)。(a) DONET 海底地震計の直下で推定された P 波速度・S 波速度の比。(b) 流体分布の解釈図。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Akuhara Takeshi、Tsuji Takeshi、Tonegawa Takashi	4. 巻 47
2. 論文標題 Overpressured Underthrust Sediment in the Nankai Trough Forearc Inferred From Transdimensional Inversion of High Frequency Teleseismic Waveforms	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2020GL088280
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020gl088280	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Takeshi Akuhara, Hiroko Sugioka, Yusuke Yamashita, Shukei Ohyanagi, Atikul Haque Farazi, Yoshihiro Ito, Ryota Hino, Ryosuke Azuma, Eiichiro Araki, Takashi Tonegawa, Takeshi Tsuji, Kimihiro Mochizuki, Tomoaki Yamada, Shunsuke Takemura, Masanao Shinohara
2. 発表標題 Passive seismic observation at Kumano-nada toward high-resolution study of slow earthquakes
3. 学会等名 International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 悪原岳, 杉岡裕子, 山下裕亮・大柳修慧・Atikul Haque Farazi・伊藤喜宏, 日野亮太・東龍介, 荒木英一郎・利根川貴志, 辻健, 望月公廣・山田知朗・武村俊介・篠原雅尚
2. 発表標題 海域機動地震観測による熊野灘のスロー地震調査
3. 学会等名 海と地球のシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeshi Akuhara, Yusuke Yamashita, Shukei Ohyanagi, Yasunori Sawaki, Tomoaki Yamada, Masanao Shinohara
2. 発表標題 Fluid reservoir in the Hyuganada accretionary prism related to the ridge subduction: implication from a passive seismic array
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takeshi Akuhara, Takeshi Tsuji, Takashi Tonegawa
2. 発表標題 Overpressured underthrust sediment in the Nankai Trough forearc revealed by high-frequency receiver function inversion
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeshi Akuhara
2. 発表標題 Development of seismic inversion tool for flat and isotropic layered structures in the ocean (SEIS-FILO)
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeshi Akuhara
2. 発表標題 Seismic transdimensional inversion tools for flat and isotropic layered structures in the ocean (SEIS-FILO)
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeshi Akuhara, Takashi Tonegawa
2. 発表標題 Constraining S Wave Velocity of the Source Region of Shallow Very Low-Frequency Earthquakes
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Akuhara, Takeshi Tsuji, Takashi Tonegawa
2. 発表標題 Sediment compaction and fluid processes in the Nankai Trough forearc inferred from teleseismic body waves
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>自然地震波の解析で明らかとなった沈み込む堆積層内の高間隙流体圧 https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/research/11785/ SEIS_FIL0 (地震波データ解析用プログラムパッケージ) https://github.com/akuhara/SEIS_FIL0</p>

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------