

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13641

研究課題名(和文) 3次元地震探査データに基づくプレート境界浅部の応力状態と詳細構造の推定

研究課題名(英文) Estimation of stress state and detailed structure of the shallow plate boundary based on 3D active-source seismic data

研究代表者

新井 隆太 (Arai, Ryuta)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門(地震発生帯研究センター)・副主任研究員

研究者番号：20738752

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：プレート境界浅部の応力状態を明らかにするため、ニュージーランド・ヒクランギ沈み込み帯で取得した3次元地震探査データに走時トモグラフィ解析を適用し、P波速度とその方位異方性の3次元分布を高解像度で推定した。解析の結果、付加体内に発達する分岐断層とプレート境界断層の近傍で顕著なP波速度異方性を検出した。付加体内のP波の速い軸はプレート沈み込み方向に一致し、沈み込みによる圧縮応力場を反映している。一方、前弧海盆から陸側の領域ではP波の速い軸は海溝に平行な方向を向くことから、この場所を境にプレート境界での固着状態および上盤プレート内の断層構造が変化する可能性があることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、プレート境界浅部の地震波速度異方性がプレート境界の応力状態やすべり様式、断層構造と密接に関係することがわかった。その学術的な意義が認められ、本研究の成果を出版した国際学術論文はEditors' Highlightsに選出され、高い評価を受けた。本研究と同様のデータ解析を日本周辺を含む他の沈み込み帯に適用することで、プレート境界浅部の実態とそこで発生する地震活動に関する理解がさらに進むと考えられる。

研究成果の概要(英文)：To reveal the physical and frictional properties of the shallow part of the plate boundary, I constructed a three-dimensional (3D) anisotropic P-wave velocity (V_p) structure model in the northern Hikurangi margin, New Zealand, by applying a traveltime tomography analysis to 3D seismic refraction data. The V_p model shows that significant anisotropic features occur in the vicinity of active branching faults in the accretionary wedge and the plate boundary. The fast axes of V_p are consistent with the direction of the plate convergence and thus reflect the compressional stress regime caused by the subduction. On the other hand, it rotates to the trench-parallel direction on the landward side of the forearc basin, which suggests that the coupling condition at the plate boundary and fault structures in the overriding plate may change at this location.

研究分野：構造地震学

キーワード：3D地震探査 プレート沈み込み帯 P波速度異方性 津波地震

1. 研究開始当初の背景

地震・津波発生予測の高精度化のためには、巨大地震や津波の発生域となるプレート境界浅部の摩擦特性と応力状態を知ることが重要である。例えば、2011年東北地方太平洋沖地震の特徴として、海溝軸に近いプレート境界浅部で数十メートルにおよぶ地震時のすべりが起こり巨大津波の発生につながったことが挙げられるが、地震後の掘削調査から、そのすべりは摩擦の小さい粘土鉱物に富むプレート境界で発生していたことがわかっている (Fulton et al., 2013)。しかし、プレート境界浅部が地震発生前はどのような応力状態にあり、どの程度固着していたか、という疑問は未解決のままである。

プレート境界浅部の固着状態を直接的に知る方法として、海中音響測距技術を用いた海底地殻変動観測がある。南海トラフではこの手法を用いてプレート間固着の空間分布が示されている (Yokota et al., 2016)。しかし、それらの研究で用いられている海底観測点は海溝軸周辺を十分カバーしておらず、プレート境界浅部の固着状態の不確定さは大きい。また、観測に伴う様々な制約から世界の他の沈み込み帯への展開はほとんど進んでいない。将来的な巨大地震に備えて地殻変動観測を強化する領域を明確にするためにも、別のアプローチによってプレート境界浅部の固着状態や応力場を推定する方法が求められている。

2. 研究の目的

上記の問題に応えるため、本研究ではプレート境界の応力状態を推定する新しいアプローチを確立することを目的とする。特に、応力場と地震波速度異方性の相関関係に着目し、プレート境界浅部におけるP波速度の方位異方性を3次元かつ高解像度で推定する。そのために、2018年にニュージーランド・ヒクラング沈み込み帯で取得した3次元地震波探査データを用いたトモグラフィ解析を実施する。また、2018年に同じ調査海域で行われた掘削調査による成果と統合的に解釈することで、本研究の有効性を検証する。

3. 研究の方法

解析に用いた3次元地震波探査データは、日米英NZの研究機関が参画する国際共同研究の一環で2018年1-2月に取得された。14万点以上のエアガン発振を稠密(2km間隔)に展開された海底地震計97台で記録したものであり、世界的にも類を見ない規模・密度のデータセットである(図1)。このデータから、初動走時を視視で読み取った。解析に用いた読み取り値は約44万である。この走時データには等方的な速度モデルでは説明できない有意な方位異方性が含まれていることを確認した後で、方位異方性を考慮した走時トモグラフィ解析 (Dunn et al., 2005) を適用した。

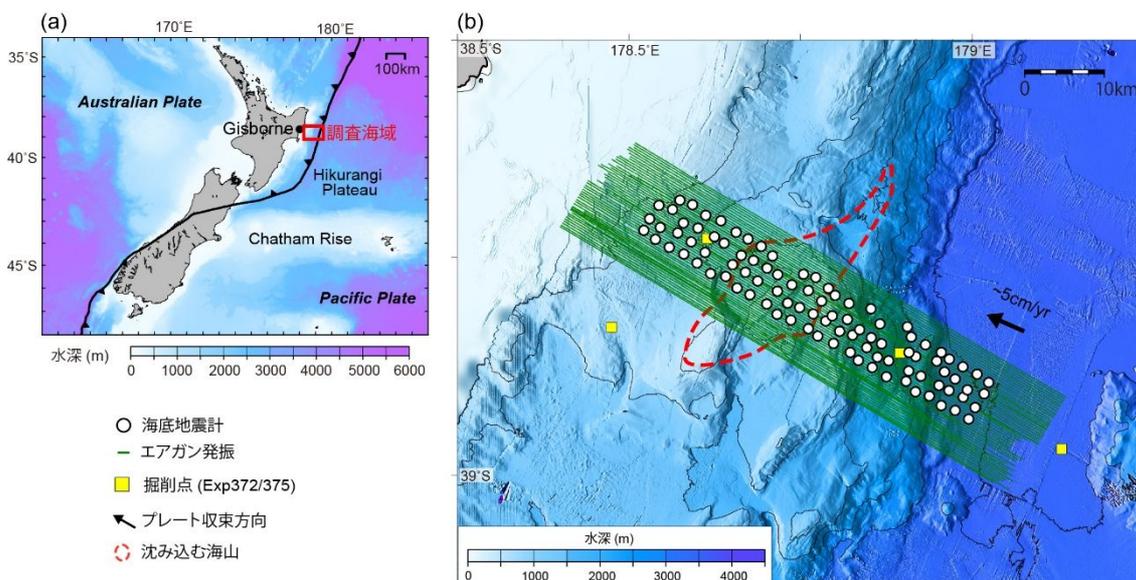


図1. ニュージーランド・ヒクラング沈み込み帯での3次元地震波探査。

4. 研究成果

本研究で得られた成果は以下の通りである。

(1) 付加体内に発達する分岐断層やプレート境界断層の近傍で周囲より大きな P 波速度の異方性を検出した (図 2)。P 波の速い軸は付加体内でプレート沈み込み方向におおむね一致することがわかった (図 3)。

(2) 得られた P 波速度の異方性を先行研究による S 波速度異方性や掘削データに基づく応力場と比較することで、結果の妥当性を検証した。本研究の結果は、S 波速度の異方性だけでなく、掘削孔における borehole breakout から推定される主圧縮軸の向きとも整合することがわかった (図 3)。このことから、本研究で得た P 波速度の異方性がプレート境界周辺の応力場を強く反映していることを示した。つまり、断層周辺の空隙 (クラック) が主圧縮応力の方向に配向するために異方性が生じると解釈できる。

(3) 一方、異方性の大きさに着目すると、本研究で推定した P 波速度異方性は引っぱりの応力場が卓越することで空隙の密度が高いプレート拡大軸周辺 (Dunn, 2015) と同等の大きさを示すこともわかった。このことから、調査海域では空隙の配向の効果に加えて、実験的に異方性を示すことがわかっている粘土鉱物の層がプレート境界周辺の断層に沿って発達し、地震波速度の異方性を生じている可能性が考えられる。

(4) 海溝に近い前弧付加体内では P 波の速い軸が海溝に直交する方向を向くのは対照的に、前弧海盆より陸側の領域では海溝に平行な方向を向くことがわかった (図 3)。この場所を境に上盤プレート内の断層構造およびプレート境界での固着状態が変化する可能性を示した。

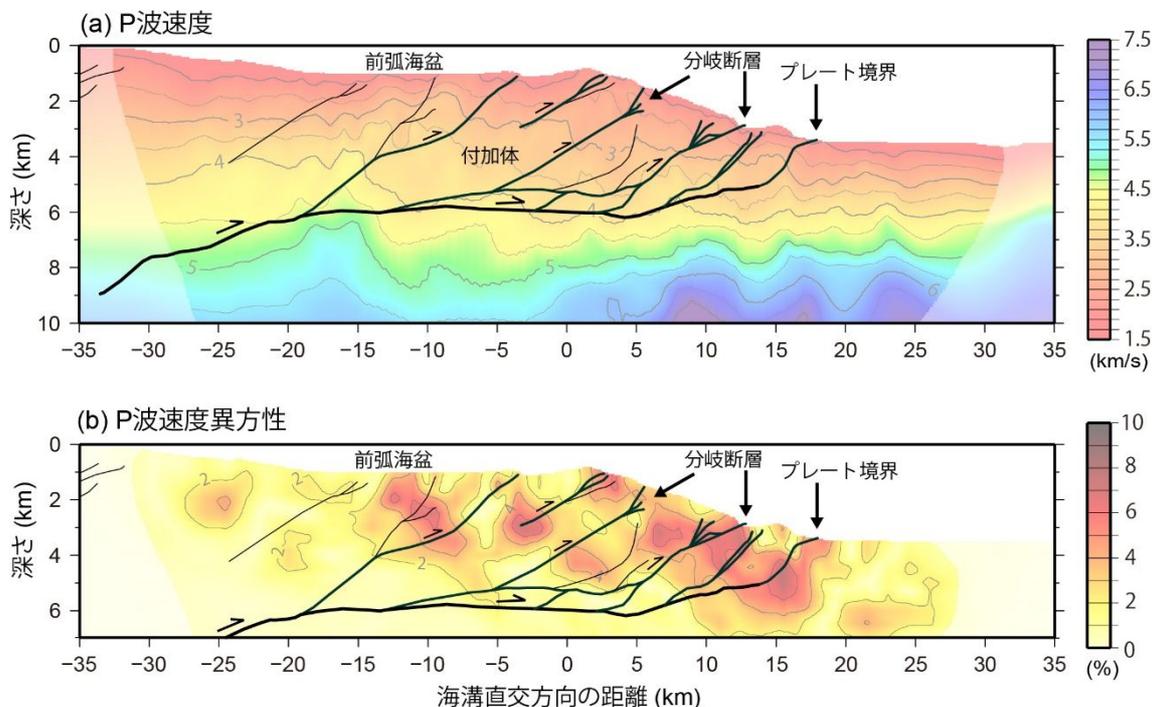


図 2. ニュージーランド・ヒクラング沈み込み帯浅部の P 波速度(a)と方位異方性の断面図. 図中の黒線は反射法探査に基づくプレート境界・分岐断層の位置 (Barker et al., 2018)。

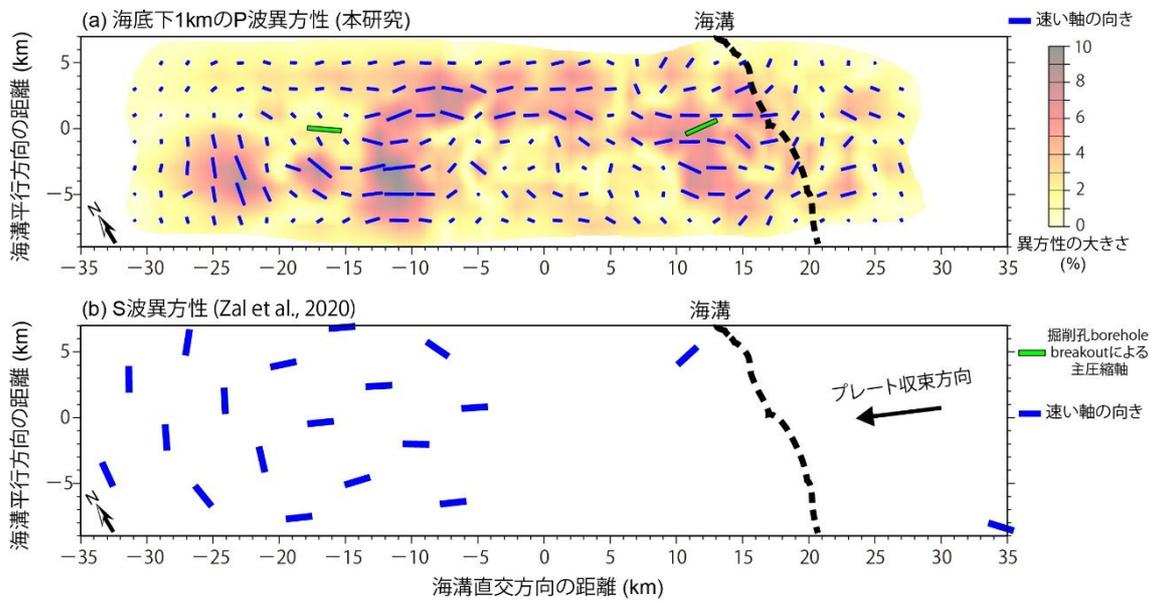


図3. 本研究によるP波速度の方位異方性(a)と先行研究(Zal et al., 2020)によるS波スピリットングによるS波速度の速い軸の向き(b)の比較.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Arai Ryuta, Kodaira Shuichi, Henrys Stuart, Bangs Nathan, Obana Koichiro, Fujie Gou, Miura Seiichi, Barker Daniel, Bassett Dan, Bell Rebecca, Mochizuki Kimihiro, Kellett Richard, Stucker Valerie, Fry Bill, NZ3D Team	4. 巻 125
2. 論文標題 Three Dimensional P Wave Velocity Structure of the Northern Hikurangi Margin From the NZ3D Experiment: Evidence for Fault Bound Anisotropy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JB020433	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 -

1. 著者名 Arai Ryuta	4. 巻 2020
2. 論文標題 Estimation of stress state and detailed structure at shallow plate boundary based on 3D seismic data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Impact	6. 最初と最後の頁 20 ~ 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21820/23987073.2020.3.20	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 R. Bell, M. Gray, J. Morgan, M. Warner, A. Fagereng, L. McNeill, K. Jacobs, S. A. Henrys, B. Fry, S. Watkins, H. Lacey, J. A. Black, V. Lane, D. Daly, D. Lindsay, N. Bangs, R. Arai, S. Kodaira, NZ3D-FWI Team	4. 巻 71
2. 論文標題 New Zealand 3D Full Waveform Inversion (NZ3D-FWI) 2017-2018 Field Acquisition Report	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 GNS Science Report	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21420/ZZ8R-QR04	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Mochizuki K., Sutherland R., Henrys S., Bassett D., Van Avendonk H., Arai R., Kodaira S., Fujie G., Yamamoto Y., Bangs N., Barker D.	4. 巻 47
2. 論文標題 Recycling of depleted continental mantle by subduction and plumes at the Hikurangi Plateau large igneous province, southwestern Pacific Ocean	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geology	6. 最初と最後の頁 795 ~ 798
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1130/G46250.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 新井隆太	4. 巻 72
2. 論文標題 地震波構造探査に基づくプレート境界域の地震学的構造と地殻活動の研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地震	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 MGL1801 Participants - Ryuta Arai, Stephen Ball, Nathan Bangs, Dan Barker, Joel Edwards, Melissa Gray, Shuoshuo Han, Harold Leah, Tim Reston, Hannah Tilley, and Harold Tobin	4. 巻 40
2. 論文標題 The NZ3D Experiment - Adding a new dimension for understanding slow slip events	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 GeoPRISMS Newsletters	6. 最初と最後の頁 14-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 該当する

[学会発表] 計12件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Ryuta Arai, Shuichi Kodaira, Stuart Henrys, Nathan Bangs, Koichiro Obana, Gou Fujie, Seiichi Miura, Dan Barker, Dan Bassett, Rebecca Bell, Kimihiro Mochizuki, Richard Kellest, Valerie Stucker, Bill Fry, NZ3D team
2. 発表標題 P-wave velocity structure and stress state of shallow subduction faults in the northern Hikurangi margin, New Zealand, from NZ3D OBS data
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryuta Arai, Shuichi Kodaira, Stuart Henrys, Nathan Bangs, Koichiro Obana, Gou Fujie, Seiichi Miura, Dan Barker, Dan Bassett, Rebecca Bell, Kimihiro Mochizuki, Richard Kellest, Valerie Stucker, Bill Fry, NZ3D team
2. 発表標題 Seismic evidence for fault-bound anisotropy and its implications on fault structure in the northern Hikurangi subduction zone
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 新井隆太、小平秀一、Henrys Stuart、Bangs Nathan、尾鼻浩一郎、藤江剛、三浦誠一、Bassett Dan、Barker Dan、Bell Rebecca、望月公廣、NZ3D Team
2. 発表標題 ヒクラング沈み込み帯北部プレート境界浅部周辺の P波異方性構造
3. 学会等名 日本地震学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryuta Arai, Shuichi Kodaira, Richard Kellett, Valerie Stucker, Dan Bassett, Stuart Henrys, Koichiro Obana, Nathan Bangs, Dan Barker, Rebecca Bell, Kimihiro Mochizuki, Gou Fujie, Seiichi Miura, Bill Fry, NZ3D team
2. 発表標題 Three-dimensional seismic structure of the shallow plate boundary in the northern Hikurangi margin from NZ3D OBS data
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryuta Arai, Shuichi Kodaira, Stuart Henrys, Nathan Bangs, Koichiro Obana, Gou Fujie, Seiichi Miura, Dan Barker, Dan Bassett, Rebecca Bell, Joanna Morgan, Mike Warner, Kimihiro Mochizuki, Richard Kellett, Valerie Stucker, Bill Fry, NZ3D team
2. 発表標題 Three-dimensional anisotropic P-wave velocity structure around the shallow plate boundary in the Northern Hikurangi margin, New Zealand
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryuta Arai, Shuichi Kodaira, Stuart Henrys, Nathan Bangs, Koichiro Obana, Gou Fujie, Seiichi Miura, Dan Barker, Dan Bassett, Rebecca Bell, Joanna Morgan, Mike Warner, Kimihiro Mochizuki, Richard Kellett, Valerie Stucker, Bill Fry, NZ3D team
2. 発表標題 Structural controls on shallow slow earthquakes: Implications from three-dimensional seismic structure of the Northern Hikurangi subduction zone, New Zealand
3. 学会等名 International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新井隆太
2. 発表標題 地震波構造探査に基づくプレート境界域の地震学的構造と地殻活動の研究
3. 学会等名 日本地震学会2018年秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryuta Arai
2. 発表標題 Summary of NZ3D
3. 学会等名 Mini-Workshop at AGU - Investigating subduction processes at the Hikurangi margin, New Zealand- (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新井隆太・小平秀一・藤江剛・尾鼻浩一郎・山本揚二郎・三浦誠一・望月公廣・仲谷幸浩・Stuart Henrys・Dan Barker・Richard Kellett・Dan Bassett・Nathan Bangs・Harm van Avendonk
2. 発表標題 ニュージーランドヒクラング沈み込帯における地震波構造探査・自然地震観測
3. 学会等名 ブルーアースサイエンス・テク2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryuta Arai, Shuichi Kodaira, Richard L Kellett, Valerie K Stucker, Dan Bassett, Stuart A Henrys, Koichiro Obana, Nathan L Bangs, Daniel H N Barker, Rebecca E Bell, Kimihiro Mochizuki, Seiichi Miura, Bill Fry, NZ3D team
2. 発表標題 NZ3D OBS experiment: Toward elucidating high-resolution plate boundary structure, offshore Gisborne, Hikurangi margin, New Zealand
3. 学会等名 AGU fall meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryuta Arai, Shuichi Kodaira, Richard L Kellett, Valerie K Stucker, Dan Bassett, Stuart A Henrys, Koichiro Obana, Nathan L Bangs, Daniel H N Barker, Rebecca E Bell, Kimihiro Mochizuki, Seiichi Miura, Bill Fry, NZ3D team
2. 発表標題 Resolving Fine-Scale Velocity Structure of the Plate Boundary in the Northern Hikurangi Margin from the NZ3D OBS Survey
3. 学会等名 New Zealand Geosciences 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新井隆太・小平秀一・藤江剛・尾鼻浩一郎・山本揚二郎・三浦誠一・望月公廣・仲谷幸浩・Stuart Henrys・Dan Barker・Richard Kellett・Dan Bassett・Nathan Bangs・Harm van Avendonk
2. 発表標題 NZプロジェクト - ヒクランギ沈み込帯での大規模海底地震観測 -
3. 学会等名 日本地震学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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			
英国	Imperial College London			
ニュージーランド	GNS Science			
米国	University of Texas			