

C会場 | 一般セッション：S06. 地殻構造

2022年10月24日(月) 9:45 ~ 10:45 | C会場 8階 (820研修室)

[S06] AM-1

座長: 椎名 高裕(産業技術総合研究所地質調査総合センター)

9:45 ~ 10:00

[S06-01] 南海トラフ室戸沖におけるプレート境界断層の詳細構造とプレート境界地震

*藤江 剛¹、新井 隆太¹、白石 和也¹、中村 恭之¹、小平 秀一¹、木村 学¹、海宝 由佳¹、尾鼻 浩一郎¹、三浦 誠一¹ (1. 海洋研究開発機構)

10:00 ~ 10:15

[S06-02] 南海トラフ浅部沈み込み帯における地震学的構造の時間変化とスロー地震との関連

*利根川 貴志¹、悪原 岳²、山下 裕亮³、杉岡 裕子⁴、篠原 雅尚²、武村 俊介²、辻 健² (1. 海洋研究開発機構、2. 東京大学、3. 京都大学、4. 神戸大学)

10:15 ~ 10:30

[S06-03] 浅部微動域を規定する上盤プレートの不均質構造：日向灘における稠密地殻構造探査の成果

*新井 隆太¹、三浦 誠一¹、中村 恭之¹、白石 和也¹、藤江 剛¹、小平 秀一¹、高橋 努¹、仲西 理子¹、海宝 由佳¹、濱田 洋平¹、Ma Yanxue²、望月 公廣²、仲田 理映²、木下 正高²、橋本 善孝³ (1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 東京大学地震研究所、3. 高知大学)

10:30 ~ 10:45

[S06-04] Tectonic tremorのシグナルから推定される豊後水道下のマントルウェッジ異方性

*石瀬 素子¹、加藤 愛太郎¹ (1. 東京大学地震研究所)

南海トラフ室戸沖におけるプレート境界断層の詳細構造とプレート境界地震

Detailed seismic structure and seismic activities along the plate interface off Cape Muroto Nankai Trough

*藤江 剛¹、新井 隆太¹、白石 和也¹、中村 恭之¹、小平 秀一¹、木村 学¹、海宝 由佳¹、尾鼻 浩一郎¹、三浦 誠一¹

*Gou FUJIE¹, Ryuta Arai¹, Kazuya Shiraishi¹, Yasuyuki Nakamura¹, Shuichi Kodaira¹, Gaku Kimura¹, Yuka Kaiho¹, Koichiro Obana¹, Seiichi Miura¹

1. 海洋研究開発機構

1. JAMSTEC

日本列島下にフィリピン海プレートが沈み込む南海トラフでは、M8を超える巨大地震のほか、微小地震や各種スロー地震(低周波微動、超低周波地震、非地震性滑りなど)まで、多様なプレート境界断層滑り現象が発生している。巨大地震とスロー地震の関係性はまだよく分かっていないところもあるが、たとえば超低周波地震は巨大地震震源域より浅い側(トラフ軸側)と深い側(陸側)に分布するなど、同じプレート境界断層の滑り現象でありながら、通常地震とスロー地震では発生場所を棲み分けていると考えられている。したがって、両者の発生場の構造的な特徴を把握できれば、プレート境界滑り現象の多様性を決定付ける要因、すなわちプレート間固着を決定付ける要因の理解に繋がると期待される。

海洋研究開発機構では南海トラフ沈み込み帯におけるプレート間固着・すべり分布の現状把握とモニタリングを目指し、海底観測ネットワークの構築を進めるとともに、2018年度から大規模な海域構造探査によりプレート境界断層の実態把握研究を進めている。この一環で、2019年末、我々は浅部超低周波地震(sVLFE)が活発な室戸岬沖で制御振源(エアガン)と稠密な海底地震計アレイ(2km間隔)を用いた構造調査観測を実施した。調査海域には、土佐簗と呼ばれる海底地形上の高まりと、その高まりを横切る土佐簗海盆と呼ばれる谷地形が顕著に発達しているのが特徴である。土佐簗海盆は海底地形の窪地であり、プレート境界断層はその下約10kmに位置するが、以下のように土佐簗海盆付近においてプレート境界断層滑り(固着・すべり)が大きく変化していることが知られている。まず、土佐簗海盆付近を境に海側(トラフ側)ではsVLFEが多数発生する一方、陸側ではsVLFEはほとんど発生していない。また、地殻変動観測研究では、土佐簗海盆付近を境に海側は固着が弱く、陸側は固着が強い傾向が示されている。したがって、土佐簗海盆直下のプレート境界部では、断層の固着・すべり状態が変化していることが期待される。

実際、土佐簗海盆直下には顕著な構造不均質性があることが最近の海洋研究開発機構の解析研究からも明らかになってきた。Nakamura et al. (2022, GRL)は潮岬から室戸岬にかけた広域で実施した稠密な地震波反射法データを解析することで、土佐簗海盆直下はプレート境界断層の形状か上盤内の地震波速度の異常帯に相当する可能性が高いことを指摘している。しかし、反射法データのみではプレート境界断層の確からしい形状やその周辺の物性を解き明かすことはできないため、断層固着・滑りを決定付けている構造要因についてはよく分かっていない。そこで、本研究では、反射法データのみからでは精度よく決定することができないプレート境界断層付近の詳細なプレート境界断層形状や断層付近の物性(地震波速度)を高い解像度でイメージングすることを目指して、海底地震計で観測される屈折波を活用して、下記の手順で高解像度地震波速度構造モデルを構築した。まず、初動走時トモグラフィによって長波長地震波速度構造モデルを構築し、その結果を初期構造として波形インバージョン(周波数領域、音響場、Full-waveform Inversion, FWI)によって短波長不均質をモデル化した。

FWIの結果から、土佐瀨海盆付近を境に、プレート境界(ここでは沈み込む海洋地殻の表面とする)の上側の物性(地震波速度)が顕著に変化することが明らかになった。すなわち、スロー地震(sVLFE)が卓越する海側では、プレート境界直上の地震波速度は低い一方で、プレート固着が強い陸側ではプレート境界直上(上盤プレートの底面)の地震波速度が高い。これは、スロー地震が発生する浅部側のプレート境界面付近には沈み込むプレートが持ち込む堆積物などに由来する柔らかい物質が厚く分布している一方で、スロー地震が観測されていない深部側ではプレート境界面付近には柔らかい物質が失われていることを示唆していると考えられる。したがって、南海トラフ域におけるsVLFE発生域と固着域(通常の地震が発生する領域)を隔つ要因の一つは、プレート境界断層付近の物性(低速度物質の分布)であると考えられる。

南海トラフ浅部沈み込み帯における地震学的構造の時間変化とスロー地震との関連

Relationship between slow earthquakes and temporal changes in seismological structure in the shallow Nankai subduction zone

*利根川 貴志¹、悪原 岳²、山下 裕亮³、杉岡 裕子⁴、篠原 雅尚²、武村 俊介²、辻 健²

*Takashi TONEGAWA¹, Takeshi Akuhara², Yusuke Yamashita³, Hiroko Sugioka⁴, Masanao Shinohara², Shunsuke Takemura², Takeshi Tsuji²

1. 海洋研究開発機構、2. 東京大学、3. 京都大学、4. 神戸大学

1. JAMSTEC, 2. Univ. of Tokyo, 3. Kyoto Univ., 4. Kobe Univ.

南海トラフ域の熊野灘から紀伊半島沖にかけて、沈み込み帯の浅部において2020年末から1ヶ月ほど活発なスロー地震活動が発生した（例えば、Takemura et al. 2022; Yamamoto et al. 2022; Ogiso and Tamaribuchi 2022）。Tonegawa et al. (2022)は南海トラフ域においてDONETのノイズ記録を用い、6～10年間に渡って地震波速度構造と不均質構造の2種類の時間変化を推定した。この期間には2020年末のイベントも含まれている。その結果、2020年末のイベント中に地震波速度が低下してそれがイベント後も残る一方、不均質構造はイベント中に変化し、その後イベント前の元の状態に戻ることを指摘した。これらは地震波速度と不均質構造の変化を引き起こしている現象の時間スケールが異なっていることが原因と考えられる。そこで、本研究では、DONET1とDONET2の間に設置され、かつ、2020年末のイベントを観測した海底地震計の記録を使用することで、これらの地震波速度および不均質構造の時空間変化のマッピングを行う。また、これらの結果から、2020年末のイベントの背景にある現象を理解することを試みる。

海底地震計は短周期地震計を使用しており、連続記録の期間は2019年9月～2021年5月である。相互相関関数の計算には上下動成分を使用し、周波数領域でスペクトルホワイトニングを行った。また、相当する期間のDONET1 & 2の上下動成分も使用した。周波数帯域は0.5–2.0 Hzである。それらを30日間毎にスタックし、リファレンス波形は全期間スタックした波形を使用した。地震波速度構造の時間変化の抽出にはストレッチング法を用い（Wegler and Sens-Schönfelder, 2007）、不均質構造の時間変化の抽出には相互相関係数を用いた（Obermann et al. 2013）。それぞれの空間マッピングにはObermann et al. (2013)の手法を用いた。

結果では、DONET1とDONET2の間でも地震波速度が低下してイベント後も継続し、不均質構造はイベント中に変化してその後もとに戻るという現象が確認された。空間マッピングでは、熊野灘において、速度低下は浅部超低周波地震の分布と良い一致を示したが、その一方で、不均質構造の変化は浅部超低周波地震の分布とややずれるという結果となった（図参照）。

これらを解釈すると、不均質構造の時間変化は震源域内もしくはその周辺から上昇してきた流体の移動によるもの（Tonegawa et al. 2022）で、地震波速度の時間変化は上盤側の浅部の応力場がスロー地震によって変化したものと考えられる。つまり、不均質構造が流体の移動によって変化したのであれば（図右側）、同じ場所で速度が低下するべきだが、観測ではそのようになっていない（図左側）。また、それらの時間スケールも異なる。そのため、地震波速度の低下はスロー地震活動によって引き起こされた応力場の変化に対応していると考えられる。つまり、応力場の変化によってクラックの配向やアスペクト比、もしくは、付加体浅部の imbricate thrust に起因する亀裂の変形などが起こったと考えられる。

謝辞

DONETデータを使用しました。

Data citation DONET: doi:10.17598/NIED.0008

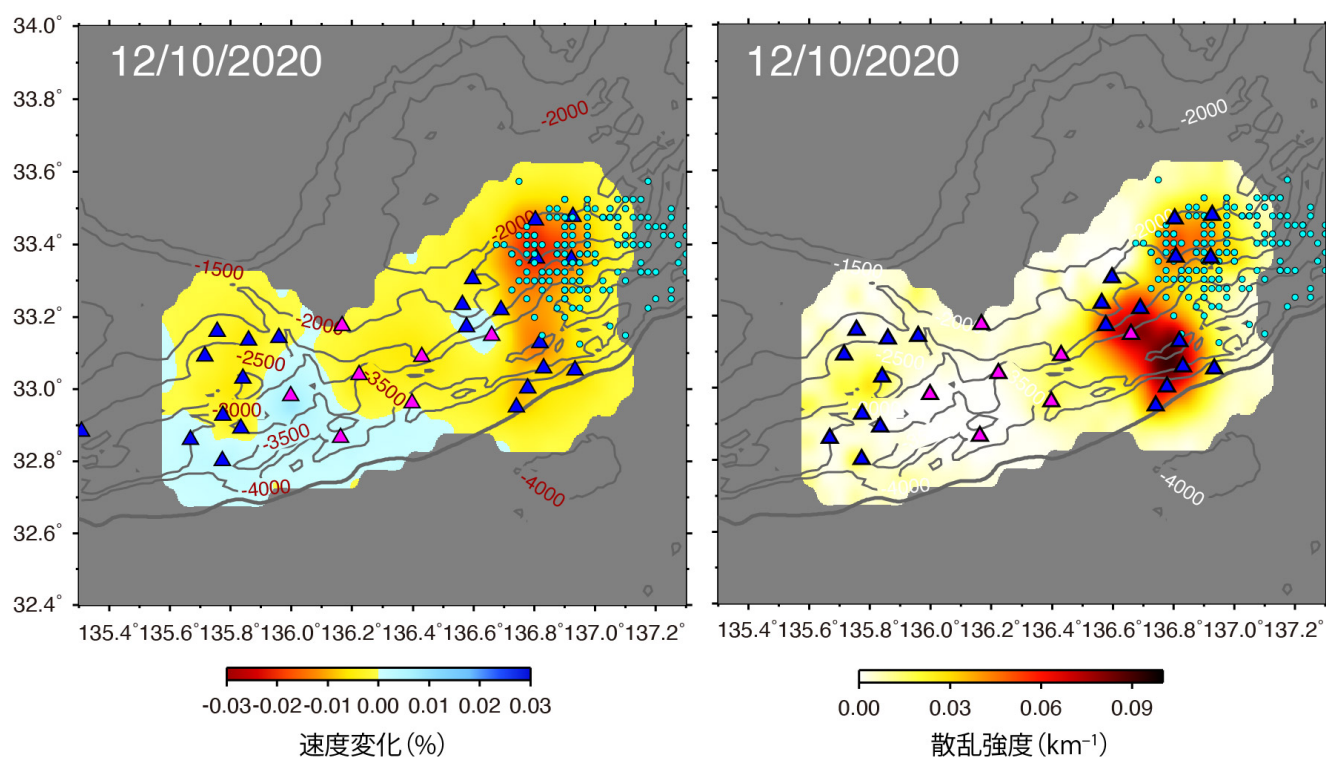


図. (左) 2020年12月10日の速度変化(ただし、時間分解能は30日). (右) 2020年12月10日の不均質構造の変化. リファレンスは2020年9–10月. 水色丸はTakemura et al. 2022による2020年12月10日±5日分の浅部超低周波地震の分布. 青三角はDONET観測点、紫三角は海底地震計を示す.

浅部微動域を規定する上盤プレートの不均質構造：日向灘における稠密地殻構造探査の成果

Upper-plate structural heterogeneities controlling shallow tremor: Results from active-source seismic surveys in the Hyuga-nada area

*新井 隆太¹、三浦 誠一¹、中村 恭之¹、白石 和也¹、藤江 剛¹、小平 秀一¹、高橋 努¹、仲西 理子¹、海宝 由佳¹、濱田 洋平¹、Ma Yanxue²、望月 公廣²、仲田 理映²、木下 正高²、橋本 善孝³

*Ryuta ARAI¹, Seiichi Miura¹, Yasuyuki Nakamura¹, Kazuya Shiraishi¹, Gou Fujie¹, Shuichi Kodaira¹, Tsutomu Takahashi¹, Ayako Nakanishi¹, Yuka Kaiho¹, Yohei Hamada¹, Yanxue Ma², Kimihiro Mochizuki², Rie Nakata², Masataka Kinoshita², Yoshitaka Hashimoto³

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 東京大学地震研究所、3. 高知大学

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 3. Kochi University

南海トラフ西端に位置する日向灘海域では、沈み込み帯浅部において多様なスロー地震活動が発生していることが最近の海底観測で確認されている（Yamashita et al., 2015, 2021; Tonegawa et al., 2020）。これらの地震活動域は九州パラオ海嶺が沈み込む領域にあたっており、沈み込む海山とスロー地震の関係を理解する上で重要な研究対象である。また、九州および種子島の東方沖では海底の陸側斜面に多数の泥火山が存在する（Ujiie, 2000）。こうしたスロー地震や泥火山の発生には地下の流体が密接に関与していると考えられるが、流体の起源や分布、移動様式などには不明な点が多く残されている。

海洋研究開発機構では、南海トラフ全体のプレート沈み込み構造を高解像度で明らかにし、プレート境界断層での多様なすべり現象の発生要因を包括的に理解することを目指した大規模稠密構造探査研究を2018年度から実施している。2020・2021年度には新学術研究領域「スロー地震学」および「日向灘掘削計画」との共同で、日向灘海域において反射法・屈折法探査データを取得した。本発表では主に、海底地震計(OBS)を用いた稠密屈折法探査から得られたP波速度構造に基づき、浅部微動発生域と泥火山近傍の構造不均質について議論する。

鹿児島県東方沖から南海トラフに平行な方向に延びる測線（HYU01）のOBS屈折法データに波形インバージョン解析を適用したところ、上盤プレート内に幅約10kmでP波速度が2.0-4.0km/sの低速度体が複数検出された。測線近傍には泥火山が多数分布することから、この低速度体は上盤プレート内に形成された大規模な破碎帯であり、その内部に透水性の高い流路が発達していると解釈した。低速度体は海底面直下から鉛直方向に深さ10-13kmのプレート境界まで続いており、プレート境界もしくはさらに深部から海底まで流体が上昇してきている可能性を示している。また、破碎帯が上盤プレート内に発達する場所ではスロー地震活動は低調であり、その東側の低速度体（破碎帯）が不明瞭でスロー地震が活発な領域とは対照的である。この特徴は、Nakajima and Hasegawa (2016)が提案している深部微動域とその直上の排水システムとの関係と整合的であり、浅部微動域においても上盤プレートの排水構造がスロー地震の活動域を規定していると考えられる。一方、微動発生域の北東側で交差する測線（HYU03・HYU04）のデータ解析からは、微動活動が低調になる場所に周囲と比べて顕著な高速度体（ $V_p=3.0-5.0\text{km/s}$ ）が存在することがわかった。この高速度体の地質学的な実体は現時点では不明であるが、これら一連の結果から、スロー地震活動と上盤プレートの構造不均質には密接な関係があり、かつスロー地震の活動域を規定する上盤プレートの要因は複数存在すると考えられる。

Tectonic tremorのシグナルから推定される豊後水道下のマントルウェッジ異方性

Mantle Wedge Anisotropy from Tectonic Tremors beneath the Bungo Channe

*石瀬 素子¹、加藤 愛太郎¹

*Motoko ISHISE¹, Aitaro KATO¹

1. 東京大学地震研究所

1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

【はじめに】

Tectonic tremorの発見（Obara, 2002）以来、「スロー地震」と総称される多様な振動現象が世界中の沈み込み帯で確認されている。スロー地震は、プレート境界の巨大地震と同じような発震機構をもち、かつ活動場所がプレート境界型地震の推定震源域と隣接していることから、プレート境界型の巨大地震発生準備過程との関連性が示唆されてきている。そのため、スロー地震の発生メカニズム、活動様式、発生場などについて、現象解明に向けた研究が精力的に進められている。本研究では、南海トラフ沈み込み帯のスロー地震活動のうち、豊後水道における深部低周波地震のエピソードに注目し、その発生場周辺域における地震波異方性構造について検討を行った。

【解析方法】

異方性構造の推定には、Ishise & Nishida (2012)のS波スプリッティングパラメータの連続測定法を用いた。一般的なS波スプリッティングパラメータの推定（Ando et al., 1980）では、直達S波1パルス分の水平動2成分のデータからひと組のS波スプリッティングパラメータ（速いS波の振動方向、速いS波と遅いS波の到達時間差）を求める。一方、本解析では、連続波形記録全体に対して事前に設定した時間窓をずらしながらS波スプリッティング解析を連続的に実施し、異方性パラメータを連続的に測定する。今回の解析では、時間窓30秒、時間ステップ15秒としたため、15秒ごとのS波スプリッティングパラメータを得た。また、polarization解析も実施し、波線の入射角と到来方向も求めた。同様の方法によりCascadia地方の地殻異方性が推定されている(Bostock & Christensen, 2012)。

【データ】

佐多岬半島にあるN.MISHとN.IKTHのHi-net連続波形記録を使用した。Kato & Nakagawa (2020)によって検出された深部低周波地震活動が、豊後水道から始まり西へ進展したエピソードを含む4期間について、それぞれ1か月分の連続波形記録解析に用いた（2012年5月、2013年10月、2015年1月、2015年9月）。

【結果】

いずれの期間・観測点においても、深部低周波地震活動が活発な期間の解析において信頼性の高いS波スプリッティングパラメータが得られた。期間を問わずその値は観測点ごとに安定している：異方性の方向は、両観測点ともに西北西-東南東方向で、N.MISHの方がより東西系に卓越している。時間差については、N.MISHでは0.25~0.3秒付近にピークが見られ、N.IKTHでは0.05秒付近と0.25秒付近の2ヶ所にピークが見られる。

【議論・結論】

Cascadiaやメキシコではtectonic tremorのシグナルを用いた異方性推定が行われてきているが（Bostock & Christensen, 2012; Huesca-Perez et al., 2016）、当該地域では先行例がない。そこで、豊後水道下の

tremorと波線経路が似ているスラブ内地震を用いて、tremorのシグナルから得られた異方性の妥当性について検討を行った。用いた地震数は、N.MISHが92地震、N.IKTHが83地震である。これらの地震の直達S波を用いたS波スプリッティング解析の結果、スラブ内地震の解析で得られたS波異方性パラメータは、低周波地震の活動時に観測された異方性とよく似た値であった。この結果はtremorシグナルから得られた異方性の妥当性を示唆している。次に、豊後水道下のtremorシグナルやスラブ内地震の解析で得られた異方性が、波線が通過した領域（上部地殻、下部地殻、マントルウェッジ）のうち、どの部分の異方性の特徴を反映しているのかについて検討を行った。上部地殻については、N.IKTH近傍の地殻地震を用いた通常のS波スプリッティング解析の結果、北西－南東方向に速く、 <0.025 秒の時間差の異方性が得られた。これらの値は、tremorシグナルから得られた方向と大きく異なるうえ、時間差についてもtremorから得られる値の10分の1程度しかない。したがって、上部地殻の異方性の影響は考慮しなくてよいと判断される。下部地殻については、佐多岬半島の深さ25km周辺のP波方位異方性は小さい（ $<1\%$ ）ことが示されている(Ishise & Oda, 2008)。この場合、S波の異方性もP波と同様に小さいと考えられるため、下部地殻の異方性の影響も小さいと考えられる。よって、tremorシグナルから得られたS波スプリッティングパラメータは、主にマントルウェッジの異方性に起因すると考えられる。さらに、マントルウェッジ内で0.2秒以上の到達時間差が生じる場合の異方性の原因について検討を行った：マントルウェッジ内の伝播距離10km、平均S波速度4km/secとし、到達時間差としてN.IKTHの中央値（0.22秒）を使用した場合、異方性の強さ（ $(V_{s_{fast}} - V_{s_{slow}}) / V_{s_{average}}$ ）は約9%と見積もられた。この値は一般的な上部マントルの異方性の大きさ（4%程度）と比べて優位に大きく、マントルウェッジの蛇紋岩化が示唆される。当該地域のような低角沈み込み帯のマントルウェッジに蛇紋岩が形成されている場合、これによる異方性の方向はプレートの沈み込み方向と平行となる（プレート等深度線と直交）。この方向は、本研究で観測された異方性の方向と矛盾しない。

謝辞：本研究は、JST, CREST, JPMJCR1763および科研費（20K04099）の支援を受けました。