

Mon. Oct 24, 2022

Room C | Regular session : S06. Crustal structure

9:45 AM - 10:45 AM JST | 12:45 AM - 1:45 AM UTC | ROOM C 8th floor (Training Room 820)

[S06] AM-1

chairperson: Takahiro Shiina (Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[S06-01] Detailed seismic structure and seismic activities along the plate interface off Cape Muroto Nankai Trough

*Gou FUJIE¹, Ryuta Arai¹, Kazuya Shiraishi¹, Yasuyuki Nakamura¹, Shuichi Kodaira¹, Gaku Kimura¹, Yuka Kaiho¹, Koichiro Obana¹, Seiichi Miura¹ (1. JAMSTEC)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[S06-02] Relationship between slow earthquakes and temporal changes in seismological structure in the shallow Nankai subduction zone

*Takashi TONEGAWA¹, Takeshi Akuhara², Yusuke Yamashita³, Hiroko Sugioka⁴, Masanao Shinohara², Shunsuke Takemura², Takeshi Tsuji² (1. JAMSTEC, 2. Univ. of Tokyo, 3. Kyoto Univ., 4. Kobe Univ.)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[S06-03] Upper-plate structural heterogeneities controlling shallow tremor: Results from active-source seismic surveys in the Hyuga-nada area

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

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[S06-04] Mantle Wedge Anisotropy from Tectonic Tremors beneath the Bungo Channel

*Motoko ISHISE¹, Aitaro KATO¹ (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

Room C | Regular session : S06. Crustal structure

11:00 AM - 12:00 PM JST | 2:00 AM - 3:00 AM UTC | ROOM C 8th floor (Training Room 820)

[S06] AM-2

chairperson: Ryuta Arai (JAMSTEC)

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[S06-05] Shallow crustal structure and slip tendency of bend-faults in the outer rise of the Japan Trench*Yue SUN¹, Ayumu Miyakawa², Ehsan Jamali Hondori³, Jin-oh Park¹ (1. AORI, the University of Tokyo, 2. AIST, 3. GSE)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[S06-06] The crust and uppermost mantle structure across the central part of the NE Japan Arc revealed from the 2019 onshore seismic refraction/wide-angle reflection profiling - III*Takaya IWASAKI¹, Hiroshi SATO^{2,3}, Eiji KURASHIMO³, Hirokazu ISHIGE⁴, Hidehiko SHIMIZU⁵, Tatsuya ISHIYAMA³, Takashi IIDAKA⁶, Masanao SHINOHARA³, Shinji KAWASAKI⁴, Susumu ABE⁴, Naoshi HIRATA³ (1. Association for the Development of Earthquake Prediction, 2. Shizuoka University Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards, 3. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 4. JGI, Inc., 5. JOGMEC, 6. Interfaculty Initiative in Information Studies, the University of Tokyo)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[S06-07] An estimation of the crustal reflector in the north Ibaraki area using S-wave later phases*Takahiro SHIINA¹, Yuta AMEZAWA¹, Takahiko UCHIDE¹, Haruo HORIKAWA¹, Kazutoshi IMANISHI¹ (1. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[S06-08] A preliminary report of faults and natural gas layers observed in lowlands of the eastern Tokyo*Tetsuro TSURU¹, Naoto KUMAGAI¹, Kazuo YAMAGUCHI², Jinoh PARK³ (1. TUMSAT, 2. AIST, 3. AORI, The University of Tokyo)

Room C | Regular session : S06. Crustal structure

4:00 PM - 5:00 PM JST | 7:00 AM - 8:00 AM UTC | ROOM C 8th floor (Training Room 820)

[S06] PM-2

chairperson: Takashi Tonegawa (JAMSTEC)

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[S06-09] Shear wave splitting and seismic velocity structure in the focal area of the earthquake swarm in the Noto Peninsula, central Japan*Tomomi Okada¹, Martha Savage², Shin'ichi Sakai³, Keisuke Yoshida¹, Naoki Uchida⁴, Ryota Takagi¹, Shuutoku Kimura¹, Satoshi Hirahara¹, Toru Matsuzawa¹ (1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Victoria University of Wellington, New Zealand, 3. The Interfaculty Initiative in Information Studies, University of Tokyo, 4. Earthquake Research Institute, University of Tokyo)

4:15 PM - 4:30 PM JST | 7:15 AM - 7:30 AM UTC

[S06-10] Detailed structure of the uppermost part of the Philippine Sea Plate beneath the Kii Peninsula*Katsuhiko Shiomi¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

4:30 PM - 4:45 PM JST | 7:30 AM - 7:45 AM UTC

[S06-11] Spatial variations and causes of fracture structure in and around Hakone volcano*Ryou HONDA¹, Yuki Abe¹, Yohei Yukutake², Shin'ichi Sakai³ (1. Hot springs research institute of Kanagawa prefecture, 2. Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo, 3. Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo)

4:45 PM - 5:00 PM JST | 7:45 AM - 8:00 AM UTC

[S06-12] Seismic velocity structure beneath Kikai-caldera, Japan, from seismic refraction survey*Akihiro Nagaya¹, Gou Fujie², Shuichi Kodaira², Satoru Tanaka², Yojiro Yamamoto², Hiroko Sugioka^{4,1}, Hiroki Miyamachi³, Tetsuo Matsuno⁴, Hironori Otsuka⁴, Keita Suzuki^{4,5}, Nobukazu Seama^{1,4} (1. Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 4. Ocean Bottom Exploration Center, Kobe University, 5. Nippon Marine Enterprises, Ltd)

Room C | Regular session : S19. Seismology, general contribution

5:15 PM - 6:00 PM JST | 8:15 AM - 9:00 AM UTC | ROOM C 8th floor (Training Room 820)

[S19] PM-3

chairperson: Keisuke Onodera (Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

5:15 PM - 5:30 PM JST | 8:15 AM - 8:30 AM UTC

[S19-01] Room Seismic Intensity measurement by a ultra compact seismometer*Naoshi HIRATA¹, Takashi FURUYA², Hiroshi TSURUOKA¹ (1. ERI, Univ. of Tokyo, 2. ISAD)

5:30 PM - 5:45 PM JST | 8:30 AM - 8:45 AM UTC

[S19-02] Estimation of the sources of primary microseisms excited by typhoons around Japan*Hiroki Kawakami¹, Naoki Suda¹ (1. Hiroshima University)

5:45 PM - 6:00 PM JST | 8:45 AM - 9:00 AM UTC

[S19-03] Introduction of NASA's Titan Exploration Mission: Dragonfly – For the first seismic investigation on an icy moon–

*Keisuke Onodera¹, Hiroaki Shiraishi², Satoshi Tanaka², Taichi Kawamura³, Takefumi Mitani², Hideki Murakami⁴, Ryuhei Yamada⁵, Shunichi Kamata⁶, Jun Kimura⁷, Hiroyuki Kurokawa⁸, Kiwamu Nishida¹, Yasuhito Sekine⁸, Takeshi Tsuji⁹, Ralph Lorenz¹⁰ (1. ERI/The University of Tokyo, 2. ISAS/JAXA, 3. IPGP, 4. Kochi University, 5. The University of Aizu, 6. Hokkaido University, 7. Osaka University, 8. Tokyo Institute of Technology, 9. School of Engineering/The University of Tokyo, 10. Johns Hopkins University)

Room C | Regular session : S06. Crustal structure

📅 Mon. Oct 24, 2022 9:45 AM - 10:45 AM JST | Mon. Oct 24, 2022 12:45 AM - 1:45 AM UTC | 🏢 ROOM C 8th floor (Training Room 820)

[S06] AM-1

chairperson: Takahiro Shiina (Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[S06-01] Detailed seismic structure and seismic activities along the plate interface off Cape Muroto Nankai Trough

*Gou FUJIE¹, Ryuta Arai¹, Kazuya Shiraishi¹, Yasuyuki Nakamura¹, Shuichi Kodaira¹, Gaku Kimura¹, Yuka Kaiho¹, Koichiro Obana¹, Seiichi Miura¹ (1. JAMSTEC)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[S06-02] Relationship between slow earthquakes and temporal changes in seismological structure in the shallow Nankai subduction zone

*Takashi TONEGAWA¹, Takeshi Akuhara², Yusuke Yamashita³, Hiroko Sugioka⁴, Masanao Shinohara², Shunsuke Takemura², Takeshi Tsuji² (1. JAMSTEC, 2. Univ. of Tokyo, 3. Kyoto Univ., 4. Kobe Univ.)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[S06-03] Upper-plate structural heterogeneities controlling shallow tremor: Results from active-source seismic surveys in the Hyuga-nada area

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

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[S06-04] Mantle Wedge Anisotropy from Tectonic Tremors beneath the Bungo Channel

*Motoko ISHISE¹, Aitaro KATO¹ (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

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

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

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、土佐簗海盆付近を境に、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。

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

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

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った現象が確認された。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

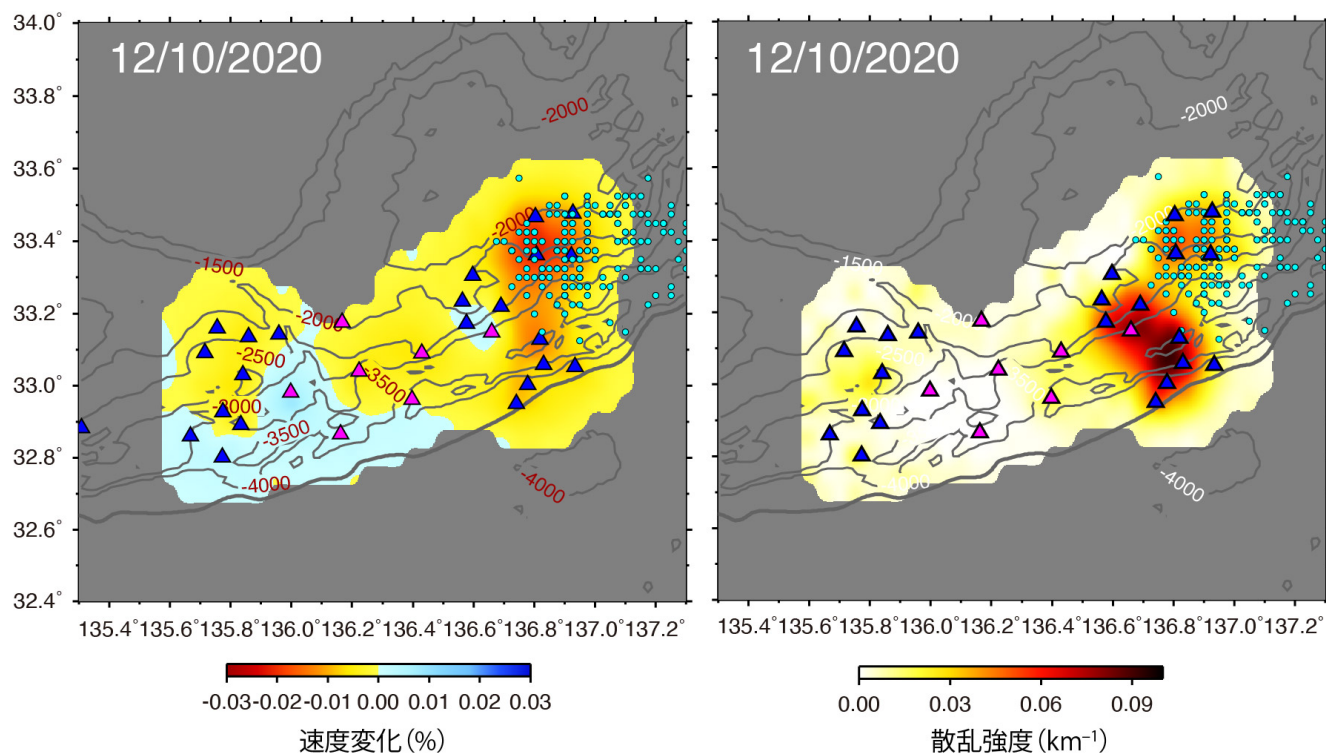


図. (左) 2020年12月10日の速度変化(ただし、時間分解能は30日). (右) 2020年12月10日の不均質構造の変化. リファレンスは2020年9–10月. 水色丸はTakemura et al. 2022による2020年12月10日±5日分の浅部超低周波地震の分布. 青三角はDONET観測点、紫三角は海底地震計を示す.

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

*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. 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の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。

Mantle Wedge Anisotropy from Tectonic Tremors beneath the Bungo Channe

*Motoko ISHISE¹, Aitaro KATO¹

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。

Room C | Regular session : S06. Crustal structure

📅 Mon. Oct 24, 2022 11:00 AM - 12:00 PM JST | Mon. Oct 24, 2022 2:00 AM - 3:00 AM UTC | 🏢 ROOM C
8th floor (Training Room 820)

[S06] AM-2

chairperson: Ryuta Arai (JAMSTEC)

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[S06-05] Shallow crustal structure and slip tendency of bend-faults in the outer rise of the Japan Trench

*Yue SUN¹, Ayumu Miyakawa², Ehsan Jamali Hondori³, Jin-oh Park¹ (1. AORI, the University of Tokyo, 2. AIST, 3. GSE)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[S06-06] The crust and uppermost mantle structure across the central part of the NE Japan Arc revealed from the 2019 onshore seismic refraction/wide-angle reflection profiling - III

*Takaya IWASAKI¹, Hiroshi SATO^{2,3}, Eiji KURASHIMO³, Hirokazu ISHIGE⁴, Hidehiko SHIMIZU⁵, Tatsuya ISHIYAMA³, Takashi IIDAKA⁶, Masanao SHINOHARA³, Shinji KAWASAKI⁴, Susumu ABE⁴, Naoshi HIRATA³ (1. Association for the Development of Earthquake Prediction, 2. Shizuoka University Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards, 3. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 4. JGI, Inc., 5. JOGMEC, 6. Interfaculty Initiative in Information Studies, the University of Tokyo)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[S06-07] An estimation of the crustal reflector in the north Ibaraki area using S-wave later phases

*Takahiro SHIINA¹, Yuta AMEZAWA¹, Takahiko UCHIDE¹, Haruo HORIKAWA¹, Kazutoshi IMANISHI¹ (1. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[S06-08] A preliminary report of faults and natural gas layers observed in lowlands of the eastern Tokyo

*Tetsuro TSURU¹, Naoto KUMAGAI¹, Kazuo YAMAGUCHI², Jinoh PARK³ (1. TUMSAT, 2. AIST, 3. AORI, The University of Tokyo)

Shallow crustal structure and slip tendency of bend-faults in the outer rise of the Japan Trench

*Yue SUN¹, Ayumu Miyakawa², Ehsan Jamali Hondori³, Jin-oh Park¹

1. AORI, the University of Tokyo, 2. AIST, 3. GSE

沈み込んでいく海洋プレートの性質は、沈み込んだ後に海溝型巨大地震に大きく影響する。実際に、日本海溝付近では、海溝型巨大地震が発生した後に、巨大津波を引き起こすアウターライズ地震が発生した(例えば、1896年明治三陸沖地震と1933年昭和三陸沖地震)。これらの地震の発生様式を解明するために、日本海溝アウターライズの浅部地殻構造を調査することは重要な課題である。そのため、東京大学大気海洋研究所の「可搬式反射法地震探査システム」を学術研究船「新青丸」に搭載し、2019年4月にKS-19-05次航海と2020年9月にKS-20-14次航海でマルチチャンネル反射法地震(Multi-channel seismic; MCS)探査を実施した。MCSデータを処理した結果、岩手沖及び宮城沖の測線では、海底面から下方へ遠洋性堆積物・チャート・音響基盤層(玄武岩)の三つの層から成していることが確認できた。太平洋プレートが日本海溝へ沈み込む際に、プレートの折り曲げにより正断層群が発達し、明瞭なホルスト・グラベン(地塁・地溝)構造が発達している。岩手沖及び宮城沖の両方の測線ともプチスポット火山(Hirano et al., 2006)の存在が確認されている。プチスポット火山と海溝の相対位置によって、正断層の発達パターンが異なっていることが分かった。更に、Hirano et al. (2006)のプチスポット火山Site Aが存在する岩手沖の測線では、海溝軸から海側75 kmの範囲内でチャート層の反射面が消失し、音響基盤層の最上部の反射極性が反転していることが判明した。プチスポット火山の存在によってMCS測線の音響基盤がかく乱されている現象は多数の先行研究でも報告されているが、このように広範囲で均一の反射極性反転が発見されたのは初めてである。この現象をより詳しく調べるため、同海域での他の測線の観測結果を参照する必要がある。本研究では、「新青丸」のMCSデータに加え、JAMSTECが1997年から取得したMCSデータの再処理を行い、日本海溝のアウターライズにおいて広域的な地殻構造の解釈を行っている。

日本海溝アウターライズに発達する正断層群の活動性を評価するため、Morris et al. (1996)で提唱されたSlip tendency (T_s)を利用する。 T_s は各断層面に作用するせん断応力と垂直応力の比であり、 T_s 値が大きいほど断層は再活動し易く、地震発生リスクも高いことが報告されている。 T_s の計算方法としては、まずYamaji et al. (2006)で提唱された応力インバージョン法を利用し、2012年7月から2022年7月までの岩手沖及び宮城沖のアウターライズで発生した浅部地震の震源メカニズム解を用い断層周辺の応力場を推定する。その後、MCS深度断面図及び海底地形図を利用し断層の方位角及び傾斜角を測定することで、せん断応力と垂直応力を求め、 T_s を計算した。また、断層の開口性を評価するため、Ferrill et al. (1999)で提唱されたDilation tendency (T_d)を計算した。

予察的な結果として、1) 岩手沖において、他のMCS測線も「新青丸」MCS測線と同様に、広範囲に渡ってチャート層の反射面が消失する現象が確認された。2) 日本海溝アウターライズにおいて、音響基盤が不連続な部分が存在する。音響基盤が断続的にチャート層の上に偏移し、それらの反射波の周波数が低下していることが確認された。この現象は、アウターライズが隆起し始めた場所に多発している。3) 岩手沖及び宮城沖の両方とも西傾斜(海溝方向)を持つ正断層が高い T_s を持つ傾向を示す。これは、この二つの地域において推定された応力場がいずれも最大主応力軸がほぼ鉛直からわずかに東に傾斜し、最小主応力軸が水平からわずかに西に傾斜していることが原因として考えられる。4) T_d の変化パターンは T_s とほぼ同様に、西傾斜(海溝方向)を持つ正断層で高い T_d を持つ傾向を示している。5) 高い T_s と大きい断層変位と一致しないため、断層変位がそのまま T_s の大きさによるものではないと考えられる。

The crust and uppermost mantle structure across the central part of the NE Japan Arc revealed from the 2019 onshore seismic refraction/wide-angle reflection profiling - III

*Takaya IWASAKI¹, Hiroshi SATO^{2,3}, Eiji KURASHIMO³, Hirokazu ISHIGE⁴, Hidehiko SHIMIZU⁵, Tatsuya ISHIYAMA³, Takashi IIDAKA⁶, Masanao SHINOHARA³, Shinji KAWASAKI⁴, Susumu ABE⁴, Naoshi HIRATA³

1. Association for the Development of Earthquake Prediction, 2. Shizuoka University Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards, 3. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 4. JGI, Inc., 5. JOGMEC, 6. Interfaculty Initiative in Information Studies, the University of Tokyo

We constructed the whole crustal structure model across the NE Japan from an extensive onshore-offshore seismic expedition, which was undertaken in 2019 from the Yamato bank to the Japan Trench across the central part of the NE Japan arc (Sato et al., 2020a, b). Our main data were acquired on the 150-km long onshore seismic line extending from the Shonai Plain on the coast of the Sea of Japan to the eastern margin of the Kitakami Mountains on the Pacific coast.

First, we revised the previous crustal model by Iwasaki et al. (2021a,b; 2022) from the travel-time analysis using the ray-tracing technique. In the modelling for the crooked part of the profile, “the distance correction (Iwasaki et al., 2021a)” was applied to correct the systematic travel-time shifts arising from the ray-tracing calculation under the simple 2D assumption. This was quite effective, and revealed highly complicated sedimentary structure beneath the western and middle parts of the profile. The structure of lower crust and uppermost mantle were modelled from the first arrivals and later phases at far offsets (>50-60 km). To extract reliable structural information from weak wide-angle reflections, we applied the stacking method to the original seismic records, and carried out intensive travel-time analysis both for the original and stacked seismic sections.

Next, synthetic seismograms was computed based on the asymptotic ray theory. We also included the above-mentioned distance correction, and compared with the observed records. This amplitude calculation showed inadequateness of modelling only from the travel-time data, and could refine the geometry and velocity contrast at layer boundaries within the sedimentary part, and constrain several velocity discontinuities existing in the middle/lower crust and uppermost mantle.

The obtained model at the present stage has the following features.

- (1) The uppermost part crust consists of 4 layers of V_p = 1.6-2.0, 1.8-3.5, 3.7-5.0 and 4.5-5.5 km/s, representing sedimentary and volcanoclastic rocks. Their geometry shows significant change along the profile line, well correlated with fault and caldera systems developed in the surveyed region under successive tectonic processes in the NE Japan arc.
- (2) The velocity of the crystalline upper crust is 5.8-6.1 km/s, but show higher values of 6.0-6.25 km/s in the eastern end of the profile (in the Kitakami Mts.), well consistent with the previous refraction wide-angle reflection studies (Iwasaki et al., 1994, 2001).
- (3) The thickness of the middle crust is 5-7 km with a velocity of 6.4-6.5 km/s. The lower crust is composed of three layers with velocities ranging from 6.6 to 7.1 km/s. This part is generally reflective with less seismic activity.

- (4) The Moho is situated at 30.5-32 km depth. The Pn velocity is about 7.7 km/s. At the bottom of the lowermost crust, there may exist a 2-km thick transition zone (7.1-7.4~7.5 km/s). Hence, the resultant velocity contrast at the Moho is only 0.2~0.3 km/s.
- (5) The uppermost part of the mantle is also reflective, which contains two velocity discontinuities with a contrast of 0.1~0.2 km/s at depths of 38 and 46 km.
- (6) Low frequency earthquakes are occurring at depths of 17-40 km, just within the reflectivity zones in the lower crust and uppermantle found from the present study.
- (7) Gross structural features (velocity values and crustal thickness) are well consistent with those from the tomographic analyses by Kurashimo et al. (2021, 2022).

References

- Iwasaki et al., 1994. *J. Geophys. Res.*, **99**, 22187-22204.
- Iwasaki et al., 2001. *Geophys. Res. Letters*, **28**, 2329-2332.
- Iwasaki et al., 2021a. 2021 JpGU Meeting, SCG49-05.
- Iwasaki et al., 2021b. Program and Abstract of the 2021 Fall Meeting of Seismological Society of Japan, S06-03.
- Iwasaki et al., 2022. 2022 JpGU Meeting, SCG50-04.
- Kurashimo et al., 2021. 2021, JpGU Meeting, SCG49-04.
- Kurashimo et al., 2022. 2022, JpGU Meeting, SCG50-03.
- Sato et al., 2020a. 2020 JpGU-AGU Joint Meeting, MIS03-P05.
- Sato et al., 2020b. 2020 Spring Meeting of JAPT, 016.

An estimation of the crustal reflector in the north Ibaraki area using S-wave later phases

*Takahiro SHIINA¹, Yuta AMEZAWA¹, Takahiko UCHIDE¹, Haruo HORIKAWA¹, Kazutoshi IMANISHI¹

1. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

2011年東北地方太平洋沖地震以降、茨城県北部および福島県浜通りでは地殻内地震の活動が活発化している。これらの地域では深さ10 km以浅の活動に加えて、地殻内地震の発生深度としてはやや深い、深さ15-20 kmでも地震の発生が確認されている。また、この深さ付近ではS波反射面が存在することを指摘している[臼田・他, 2020, JpGU].

産業技術総合研究所地質調査総合センター（GSJ）では2016年6月から茨城県北部で臨時観測網を展開し、地震観測を実施している。この臨時観測網は茨城県常陸太田市・高萩市にまたがって、5 km程度の間隔で設置された7つの観測点で構成される。この臨時観測網においても、S波反射と解釈される明瞭な後続波が観測された[椎名・他, 2022, JpGU]. そこで本研究ではGSJ臨時観測網および周辺の定常地震観測網において観測される地殻内地震のS波反射波を用いて、特に茨城県北部下において、地殻内部に存在するS波反射面の詳しい分布を検討した。

本研究ではまず、茨城県北部および福島県浜通り付近で発生した地震の震源位置と同地域の1次元速度構造の推定を行った。解析には、2003年から2021年に発生したマグニチュード3.5-4.5の地震767個を用い、P波およびS波の到着時刻を手動で検出した。これらの地震の発生深度は0-30 kmである。震源位置と1次元速度構造はShiina and Kano [2022, GJI]の手法により再決定した。次に、GSJ臨時観測点および周辺のHi-net観測点（N.THGH, N.KIBH/N.KI2H, N.JUOH）でS波反射波を同定し、その到達時刻を読み取った。ここでは2016年6月以降に発生した地震50個を対象とした。観測波形からS波反射波に対応する振幅増加区間を読み取り、その中央時刻をS波反射波到達時刻として扱う。この値はS波反射波の最大振幅の到達時刻におおよそ一致する。そのうえで、事前に決定した震源位置と速度構造のもと、MCMC法（マルコフ連鎖モンテカルロ法）を用いてS波反射波の到達時刻を説明する反射面の分布を推定した。

結果として、深さ13 km程度を上端とし、ほぼ北落ちに30度程度の傾斜を持つ反射面が茨城県北部地域下に存在することが示唆された。このような反射面は同地域の地殻内地震活動と相補的な分布であるとともに、臼田・他 [2020]の結果におおむね整合する。臼田・他 [2020]は逆VSP解析に基づくイメージング結果から地殻内反射面の分布を解釈しているのに対し、本研究ではS波反射波の到達時刻から直接反射面の推定を行っている。したがって、本研究の結果はより精緻な地殻内反射面のモデルを与えるものであろう。また、推定した反射面は低速度[e.g., Tong et al., 2012, Solid Earth]かつ低比抵抗[Umeda et al., 2015, JGR]な領域の直上に位置する。以上から、茨城県北部地域の下部地殻付近には強い不均質構造が存在し、それがS波反射波の励起に大きく寄与していることが推察される。

謝辞：本研究では気象庁一元化震源カタログおよび防災科学技術研究所Hi-netの観測波形データを使用しました。また、本研究は文部科学省の情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト（STAR-Eプロジェクト）[JPJ010217]ならびにJST CREST [JPMJCR1763]の支援をいただきました。記して感謝申し上げます。

A preliminary report of faults and natural gas layers observed in lowlands of the eastern Tokyo

*Tetsuro TSURU¹, Naoto KUMAGAI¹, Kazuo YAMAGUCHI², Jinoh PARK³

1. TUMSAT, 2. AIST, 3. AORI, The University of Tokyo

1. はじめに

反射法地震探査は地下の構造形態を高精度に映像化する手法として、地殻構造探査や石油探査分野で広く使用されている。著者らは海洋生態系への環境負荷を抑制しつつ、船舶が輻輳する海域でも実施できる地震探査システムの開発に取り組んでいる。システムの特徴は、非パルス波振源である水中スピーカーを利用する小型の探査システムであり、これまで、東京湾などでの海上試験において、二次元地震探査データの取得および三次元データ取得実験を実施した。

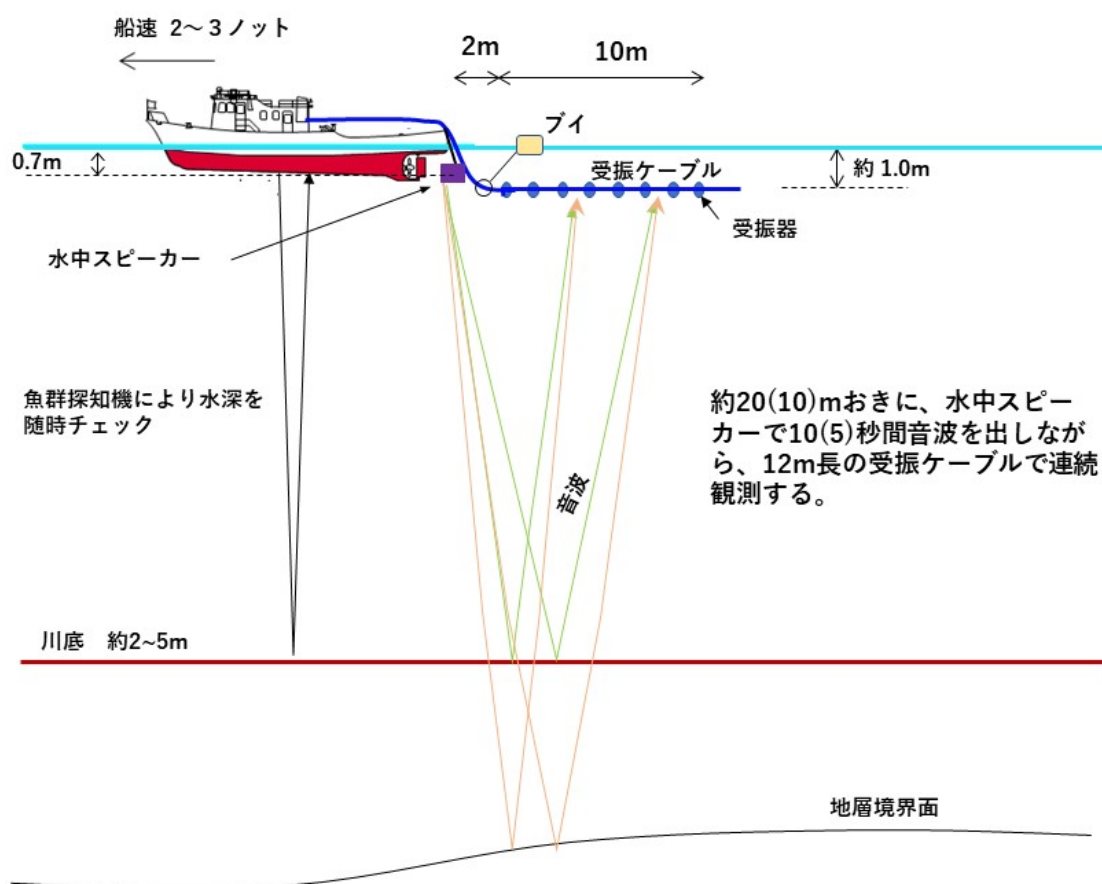
東京湾における地震探査の結果、海底下78mに分布するガス層（以下、海底ガス）や断層に封鎖されたガス層（断層トラップ）が発見された（Tsuru et al. 2019; 鶴ほか, 2021, JAPT）。海底ガスは、北は浦安沖、南は東京湾アクアライン付近まで連続して分布している。また、一部の断層は海底面を切っているように見える。

2. 河川での反射法地震探査

海底ガスの北限を調査するため、2021年11月に荒川河口から約5km遡上しつつ反射法地震探査を行った。その結果、ガス層は河口付近で一旦途切れるものの断層近傍で分布することが示唆された（Tsuru et al., 2021, JpGU）。そこで、2022年6月、更なる地震探査を隅田川、荒川、新中川および旧江戸川の下流域で実施した。その結果、全ての河川で明瞭な断層とそれらの近傍に分布するガス層の存在が確認された。発振周波数帯域などの違いにより、隅田川と荒川で取得された反射断面図では川底からの反射波の特定が困難であったものの、新中川および旧江戸川の反射断面上では、川底まで変位が達しているように見える断層もいくつか存在する。

3. 考察

比較的落差の大きな断層をマッピングすると、荒川断層と東京湾北部断層の延長部に挟まれたエリアおよびその周辺に分布しているものが多い。また、過去に建設工事中にメタンガスが湧出した場所も、同様のエリアに多く分布している。以上のことから、これら2つの断層は東京の下町低地まで延長している可能性があり、それらに挟まれたエリアおよびその周辺では、断層に沿って地下からメタンを含む流体が上昇している可能性があると考えられる。



調査期間: 2022.06.02~2022.06.03, 船舶: 第三網弁丸 3.9トン

Room C | Regular session : S06. Crustal structure

📅 Mon. Oct 24, 2022 4:00 PM - 5:00 PM JST | Mon. Oct 24, 2022 7:00 AM - 8:00 AM UTC | 🏢 ROOM C 8th floor (Training Room 820)

[S06] PM-2

chairperson: Takashi Tonegawa (JAMSTEC)

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[S06-09] Shear wave splitting and seismic velocity structure in the focal area of the earthquake swarm in the Noto Peninsula, central Japan

*Tomomi Okada¹, Martha Savage², Shin'ichi Sakai³, Keisuke Yoshida¹, Naoki Uchida⁴, Ryota Takagi¹, Shuutoku Kimura¹, Satoshi Hirahara¹, Toru Matsuzawa¹ (1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Victoria University of Wellington, New Zealand, 3. The Interfaculty Initiative in Information Studies, University of Tokyo, 4. Earthquake Research Institute, University of Tokyo)

4:15 PM - 4:30 PM JST | 7:15 AM - 7:30 AM UTC

[S06-10] Detailed structure of the uppermost part of the Philippine Sea Plate beneath the Kii Peninsula

*Katsuhiko Shiomi¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

4:30 PM - 4:45 PM JST | 7:30 AM - 7:45 AM UTC

[S06-11] Spatial variations and causes of fracture structure in and around Hakone volcano

*Ryou HONDA¹, Yuki Abe¹, Yohei Yukutake², Shin'ichi Sakai³ (1. Hot springs research institute of Kanagawa prefecture, 2. Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo, 3. Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo)

4:45 PM - 5:00 PM JST | 7:45 AM - 8:00 AM UTC

[S06-12] Seismic velocity structure beneath Kikai-calddera, Japan, from seismic refraction survey

*Akihiro Nagaya¹, Gou Fujie², Shuichi Kodaira², Satoru Tanaka², Yojiro Yamamoto², Hiroko Sugioka^{4,1}, Hiroki Miyamachi³, Tetsuo Matsuno⁴, Hironori Otsuka⁴, Keita Suzuki^{4,5}, Nobukazu Seama^{1,4} (1. Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 4. Ocean Bottom Exploraiton Center, Kobe University, 5. Nippon Marine Enterprises, Ltd)

Shear wave splitting and seismic velocity structure in the focal area of the earthquake swarm in the Noto Peninsula, central Japan

*Tomomi Okada¹, Martha Savage², Shin'ichi Sakai³, Keisuke Yoshida¹, Naoki Uchida⁴, Ryota Takagi¹, Shuutoku Kimura¹, Satoshi Hirahara¹, Toru Matsuzawa¹

1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Victoria University of Wellington, New Zealand, 3. The Interfaculty Initiative in Information Studies, University of Tokyo, 4. Earthquake Research Institute, University of Tokyo

1. はじめに

石川県能登地方では、2020年8月ごろから地震活動が活発化し、2022年8月時点でも継続している。地震活動の活発化の原因としては、地下の変動源による応力変化と流体圧の上昇などが考えられている。本研究では震源域に設置した臨時観測点および定常観測点を用いたS波スプリッティング解析により、S波偏向異方性について検討を行った。また、地震波速度トモグラフィ解析により、震源域の地震波速度構造について検討を行った。

2. 手法・データ

S波スプリッティングについて、本研究では、Silver and Chan (1991)を基としたMFAST (Savage et al., 2010)を使用した。MFASTでは、様々な位置や長さの時間窓による解析結果のクラスター分析を行う。そのことでS波偏向異方性を安定にかつ高速に推定することができると期待される。

データは、2022年6月末から震源域に設置した臨時観測点および定常観測点による波形データを用いた。地震計は短周期地震計（固有周波数：1Hzまたは2Hz）、または広帯域地震計である。サンプリング周波数は100Hzである。

地震波速度構造について、手法は、ダブルディファレンストモグラフィ法（Zhang and Thurber, 2003, 2006）を用いた。2020年2月～2022年7月までの1648個の地震を解析に用いた。

3. 結果

S波偏向異方性の空間分布

異方性の卓越方向は概ね東西方向と南北方向に推定された。東西ないし北西-南東方向の異方性は、最大水平圧縮軸方向と概ね一致する。したがって、応力による異方性が観測された東西方向の異方性の原因として考えられる。一方、概ね東西方向と南北方向の走向を持つ断層が確認されており、構造的な異方性を見ている可能性も考えられる。

S波偏向異方性の時間変化

定常観測点の一つである、N.SUZHについて、異方性の時間変化を検討した。異方性の方向については、顕著な時間変化は見られなかった。異方性の大きさについては、2021年の6～9月ごろ以降の期間において、それ以前の期間に比べて、特に震源域の西部での活動に対し、大きな異方性が観測された可能性がある。

地震波速度構造

震源域深部、深さ18kmに高いVp/Vs領域を確認した。この領域では周囲と比べて、やや大きなP波速度が得られた。対象領域には第三紀の火成岩が分布していることから、高いVp/Vs領域は古いマグマだまりを示している可能性があり、そこから放出された（あるいはそこを経由した）流体がこの群発地震活動に関わっていることを示唆する。

議論

この地震活動は、比較的断層構造の発達した未熟な応力性の異方性が分布し、深部に流体を示唆する高いVp/Vsの領域が確認される南部より活動が開始した。その後、断層構造が発達している構造的な異方性が分布する北部での活動が活発となった。

Introduction

Seismic activity in the Noto region of Ishikawa Prefecture has increased since August 2020 and has

continued as of August 2022. Stress changes due to subsurface sources and increases in fluid pressure are discussed as the causes of the seismic activity increase. In this study, S-wave polarization anisotropy was investigated by S-wave splitting analysis using temporary and permanent stations located in the epicenter area. We also investigated the seismic wave velocity structure in the source region by analyzing seismic wave velocity tomography.

Methodology and Data

In this study, we used MFAST (Savage et al., 1990), based on Silver and Chan (1991); MFAST performs a cluster analysis of the analysis results by time windows of various locations and lengths. MFAST is expected to provide a stable and fast estimation of S-wave polarization anisotropy. The data were waveform data from permanent and temporary stations set up in the epicenter area since June 2022. The seismographs were short-period seismographs (natural frequency: 1 Hz or 2 Hz) or broadband seismographs. The sampling frequency was 100 Hz. For seismic tomography analysis, the double-difference tomography method was used (Zhang and Thurber, 2003, 2006). We used 1648 earthquakes from February 2020 to July 2022 for the analysis.

Results

Spatial distribution of S-wave polarization anisotropy

The directions of anisotropy were generally in the east-west and north-south directions. The east-west or NW-SE anisotropy generally coincides with the direction of the maximum horizontal compression axis. Therefore, stress-induced anisotropy can be the cause of the observed east-west anisotropy. On the other hand, faults with strike directions generally east-west and north-south have been identified, and structural anisotropy may be another cause.

Time variation of S-wave polarization anisotropy

We examined the time variation of anisotropy at N.SUZH, one of the permanent stations. No significant time variation was observed in the direction of anisotropy. Larger anisotropy was observed, particularly for the activity in the western part of the focal area, from about June-September 2021 compared to the period up to that period.

Seismic velocity structure

A high V_p/V_s region was identified beneath the focal area, at a depth of 18 km. This high V_p/V_s region has slightly larger P-wave velocities than the surrounding area. Since Tertiary igneous rocks are distributed in the target area, the high V_p/V_s region may represent an old magma reservoir, suggesting that fluids released from (or through) the magma reservoir are involved in this seismic swarm.

Discussion

This seismic activity started in the southern part of the area, where relatively immature fault structure development, stress anisotropy is distributed, and high V_p/V_s regions suggestive of fluid at depth are identified. Subsequently, activity became more active in the northern part, where structural anisotropy with well-developed fault structures is distributed.

Detailed structure of the uppermost part of the Philippine Sea Plate beneath the Kii Peninsula

*Katsuhiko Shiomi¹

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

はじめに

紀伊半島は南海トラフ沿いで発生する海溝型巨大地震の震源モデルを検討する上で極めて重要な地域である。Shiomi & Park (2008, doi: 10.1029/2007JB005535) は、紀伊半島内の防災科研Hi-net/F-net各観測点で得られたレシーバ関数 (RF) のスタックから、フィリピン海プレート内海洋モホ面の位置や傾斜方向を推定し、スラブ内で発生する地震活動やテクトニック微動活動との関係を議論した。その後、様々な機関による観測データの蓄積も進み、解析に使用できる遠地地震データが格段に増加した。本研究では、紀伊半島内に設置された各機関の観測点で得られたRFにHarmonic Decomposition解析法 (HD法, e.g., Bianchi *et al.*, 2010, doi: 10.1029/2009JB007061) を適用することにより、観測点下の海洋モホ面の傾斜方向分布をより高精度かつ高密度に把握するとともに、海洋地殻相当深さ付近における異方性構造を推定し、その特徴について検討を行った。

データ・解析方法

解析には、紀伊半島及びその周辺に設置された防災科研Hi-net/F-netに加え、大学、気象庁、産業技術総合研究所の地震計並びに国土交通省による振動センサーで収録された遠地地震 (M5.8) による波形記録を用いた。自動あるいは目視によりS/Nの悪い波形を除去したのち、観測波形に1.0 Hzの低域通過フィルタを適用し、RFを推定した。各観測点で得られたRFから顕著な正の振幅を有する変換波を抽出し、Matsubara *et al.* (2019, doi: 10.5772/intechopen.86936) による地震波速度構造に基づき、この変換波が励起された速度不連続面の深さを求めた。解析対象とした地震波速度不連続面は太平洋岸から内陸部に向かって深くなる傾向が見えることから、フィリピン海プレート内海洋モホ面と判断した。変換面の深さ分布は、既存のモデル (e.g., Shiomi *et al.*, 2008, doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03786.x) と矛盾しない。次に各観測点で求めた海洋モホ面深さを対象としてHD法を適用し、調和成分の抽出を行った。この際、各観測点で得られたRFに対して500回のブートストラップ抽出を行い、その結果から平均値ならびに標準偏差 σ を求めた。各抽出に対するHD法の結果において、非モデル成分のRMS振幅がモデル成分のRMS振幅よりも大きい場合、その結果は不採択とした。500回の抽出を経ても200回の採択結果が得られない観測点及び200回の採択が得られても $\pm 2\sigma$ が45度を超える観測点は「結果不安定」とした。なお、モホ面傾斜方向の推定には調和成分の1次項 ($k=1$) の $-0.2 \sim 0.2$ 秒、海洋地殻相当層の異方性の特徴推定には2次項 ($k=2$) の $-0.7 \sim -0.3$ 秒を対象とした粒子軌跡の主軸方位を用いた。

結果

海洋モホ面傾斜分布から、紀伊半島は大きく以下の4つの領域に分割可能であった：①北東傾斜を示す和歌山県南部～三重県南部地域。②北傾斜を示す和歌山県北部～奈良県南部地域。③北西傾斜を示す三重県中部～奈良県北部地域。④結果不安定な観測点が集まる三重県北部地域。領域①のうち、和歌山・三重県境付近に位置するE.KTUでは北西傾斜、E.HGUでは南東傾斜と、周辺とは異なる方位を示した。この2点を結ぶ直線の北西延長部には深部微動のギャップが位置するほか、スラブ内地震活動度が変化する場所とも対応しており、何らかの微細な構造的特徴を検出した可能性がある。一方、領域①の北端部は和歌山県内で発生する深部微動域の南端と一致するが、領域③では深部微動活動域とそれ以外で傾向の変化は見られない。領域④では近接する5観測点で結果不安定となったが、Shiomi *et al.* (2008) を見ると、この地域のスラブの等深線間隔はやや広く、スラブがほぼ平坦になっている可能性が考えられる。海洋地殻相当層の異方性構造は、深部微動域よりトラフ軸側では概ねスラブ等深線と平行に速い軸が分布する。深部微動域直下からdown-dip側を見ると、三重県北部～奈良県北部では引き続き北東－南西方向に速い軸を持つ分布が見られるが、奈良県南部～和歌山県北部

では南北方向を中心に，結果がばらつく傾向にある．プレートが湾曲している影響を受けている可能性も考えられるが，速い軸の方位がばらつく領域はスラブ内地震の活動域が海洋地殻から海洋マントル内に遷移する領域と概ね対応しており，スラブ内の鉱物の組成変化を捉えている可能性もある．

謝辞：本研究を実施するにあたって，気象庁，東大地震研，京大防災研，産総研，国土交通省による観測データを使用いたしました．記して感謝致します．

Spatial variations and causes of fracture structure in and around Hakone volcano

*Ryou HONDA¹, Yuki Abe¹, Yohei Yukutake², Shin'ichi Sakai³

1. Hot springs research institute of Kanagawa prefecture, 2. Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo, 3. Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo

1.はじめに 箱根火山のカルデラ内には、古い亀裂やダイク、微小亀裂などの多くの割れ目や亀裂が存在する。そのような既存の割れ目系は、マグマや熱水が侵入する経路として利用され、地震活動の活発化や水蒸気噴火の際の地殻変動の原因となっている可能性がある。我々はこれまでも、S波スプリッティングと呼ばれる現象を利用して地下の亀裂系についての研究を行ってきたが (Honda et al., 2014)、本研究ではFuzzy C-means法と呼ばれる手法を用いて地下の亀裂系の方位についてクラスタリングを実施して、箱根火山の亀裂系の特徴を明らかにした。2. 解析手法 本研究では亀裂系の詳細な空間分布を推定するため、2016年から2017年にかけて箱根火山及びその周辺で実施した機動観測のデータを利用した。まず、S波スプリッティングの解析を行い、各観測点での速いS波の振動方向 (LSPD) のデータを集める。この振動方向が観測点直下の亀裂系の方向に相当する。ただし、機動観測点の場合はセンサーの設置方位の誤差が大きいと考えられることから、事前に遠地地震の波形を用いて方位の修正を行った。次に、観測点ごとに異方性の強度などで重みづけしたLSPDの平均を計算し、最後にFuzzy C-means法を用いて平均LSPDのクラスタリングを実施した。3. 結果 Fuzzy C-means法ではクラスター数を任意で与えるため、クラスター数を2から7まで変化させて、いくつかのクラスターに分けるのが尤もらしいか調べた。その結果、箱根カルデラの亀裂系は2つのクラスター (AおよびB) または4つのクラスター (A1、A2、B1、およびB2) に分類できることが分かった。B1はおおむね中央火口丘付近、B2はカルデラの南北、A1、A2はカルデラ西部もしくはカルデラ周辺に分布する。

広域応力場の圧縮軸の方向に対応する北西-南東方向の亀裂系が卓越するクラスター (B1) は、広域応力場によって掲載された微小な亀裂系やダイクの存在を示していると考えられ、古い火口の配列方向ともよく一致している。クラスターB2は、箱根カルデラの南北に存在する丹那断層および平山断層の走向に近い方向を持つクラスターであり、これらの断層の断層破碎帯が存在することを示唆している。クラスターA1、A2はB2の共役系 (B2と直交する走向をもつ断層) で説明できる可能性があるが、局所的な応力場による微小亀裂の配列や古い火山構造もこのようなクラスターの原因となりえる。例えば、Doke et al (2020)では、箱根の西側における歪の圧縮軸は、北西南東よりもやや東西寄りの方向を向いていることが示されており、このような局所的な応力場によって形成された亀裂系が存在している可能性もある。

Seismic velocity structure beneath Kikai-caldera, Japan, from seismic refraction survey

*Akihiro Nagaya¹, Gou Fujie², Shuichi Kodaira², Satoru Tanaka², Yojiro Yamamoto², Hiroko Sugioka^{4,1}, Hiroki Miyamachi³, Tetsuo Matsuno⁴, Hironori Otsuka⁴, Keita Suzuki^{4,5}, Nobukazu Seama^{1,4}

1. Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 4. Ocean Bottom Exploraiton Center, Kobe University, 5. Nippon Marine Enterprises, Ltd

鬼界カルデラは鹿児島県薩摩半島の南部約60 kmに位置する海底火山であり、過去に噴火を繰り返してきた。その中でも最も直近の噴火である鬼界-アカホヤ噴火は7300年前に発生した日本列島で最も新しい巨大なカルデラ噴火である。2016年~2017年に神戸大学「深江丸」によって行われた探査航海により、二重のカルデラ構造や、熱水活動などが明らかになり、カルデラ噴火以降に成長した溶岩ドームの下にマグマ溜まりの存在が示唆されている(Tatsumi et al., 2018)。また、火山ガスやメルト包有物の研究(Kazahaya et al., 2002)によって、地下のマグマ溜まりのモデルが提案されている。一方で、そのモデルを検証できるような地震波速度構造は、これまで推定されていなかった。

そこで、2021年7月19日~8月1日に海洋研究開発機構の海底広域研究船「かいめい」を用いたKM21-05航海では屈折法地震探査が実施された。本研究では、探査によって得られたOBSデータに初動走時トモグラフィ解析(Fujie et al., 2006, 2013)を適用し、鬼界カルデラ地下の二次元P波速度構造を推定した。初動走時トモグラフィ解析には、38台の海底地震計(OBS)の鉛直成分のデータから読み取った約12,200個の初動走時を使用した。

初動走時トモグラフィ解析の結果、鬼界カルデラを東北東-西南西方向に横切る測線直下のP波速度構造が得られた。鬼界カルデラ周辺には速度構造の特徴が異なる四つの構造が見られた。一つ目はカルデラ壁両側近傍(測線西端からの距離40 km~80 km、105 km~115 km)直下で、P波速度5.5 km/sの等値線が深さ3 km~4 kmまで盛り上がっている構造である。二つ目は測線西部(測線西端からの距離0 km~25 km)直下で、深さわずか4 kmでP波速度が6 km/sに達する大きい速度勾配である。三つ目は測線東部(測線西端からの距離115 km~175 km)直下、深さ約2 kmにおいて5 km/sであるP波速度が深さ約7 kmで5.5 km/sまで増加する、緩やかな速度勾配である。上述した三つの構造は、本研究の測線と交差するECr11測線(Nishizawa et al. 2019)の地震波速度構造にも見られた。特筆すべきは四つ目の構造である。鬼界カルデラ(測線西端からの距離80 km~100 km)直下の深さ3 kmから8 kmにおけるP波速度は、周囲より0.5 km/s~1 km/s遅く、その水平方向の広がりには約25 kmに達する。この構造はECr11測線の速度構造には見られず、この火山特有の構造を反映していると考えられる。これらの特徴は複数の初期構造を与え、初動走時トモグラフィ解析を行った場合でも、同様の構造が再現された。また、チェッカーボード解像度テストによって、最終的な速度構造の空間分解能の評価を行い、深さ10 kmまでは水平方向15 km、垂直方向5 kmの空間分解能があり、深さ5 kmまでは水平方向7.5 km、垂直方向2.5 kmの空間分解能があることを確認した。以上のように、構造的特徴の再現性、空間分解能の評価から、鬼界カルデラ直下の深さ約3 km~8 kmには、周囲よりも5%~10%地震波速度が遅い領域が存在することが明らかになった。

Room C | Regular session : S19. Seismology, general contribution

📅 Mon. Oct 24, 2022 5:15 PM - 6:00 PM JST | Mon. Oct 24, 2022 8:15 AM - 9:00 AM UTC | 🏢 ROOM C 8th floor (Training Room 820)

[S19] PM-3

chairperson: Keisuke Onodera (Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

5:15 PM - 5:30 PM JST | 8:15 AM - 8:30 AM UTC

[S19-01] Room Seismic Intensity measurement by a ultra compact seismometer

*Naoshi HIRATA¹, Takashi FURUYA², Hiroshi TSURUOKA¹ (1. ERI, Univ. of Tokyo, 2. ISAD)

5:30 PM - 5:45 PM JST | 8:30 AM - 8:45 AM UTC

[S19-02] Estimation of the sources of primary microseisms excited by typhoons around Japan

*Hiroki Kawakami¹, Naoki Suda¹ (1. Hiroshima University)

5:45 PM - 6:00 PM JST | 8:45 AM - 9:00 AM UTC

[S19-03] Introduction of NASA's Titan Exploration Mission: Dragonfly – For the first seismic investigation on an icy moon–

*Keisuke Onodera¹, Hiroaki Shiraishi², Satoshi Tanaka², Taichi Kawamura³, Takefumi Mitani², Hideki Murakami⁴, Ryuhei Yamada⁵, Shunichi Kamata⁶, Jun Kimura⁷, Hiroyuki Kurokawa⁸, Kiwamu Nishida¹, Yasuhito Sekine⁸, Takeshi Tsuji⁹, Ralph Lorenz¹⁰ (1. ERI/The University of Tokyo, 2. ISAS/JAXA, 3. IPGP, 4. Kochi University, 5. The University of Aizu, 6. Hokkaido University, 7. Osaka University, 8. Tokyo Institute of Technology, 9. School of Engineering/The University of Tokyo, 10. Johns Hopkins University)

Room Seismic Intensity measurement by a ultra compact seismometer

*Naoshi HIRATA¹, Takashi FURUYA², Hiroshi TSURUOKA¹

1. ERI, Univ. of Tokyo, 2. ISAD

はじめに

一般家庭の壁にある電源コンセントに差し込むだけ、固定して室内の揺れ（室内震度）を計測し、インターネット経由で波形データ、計測震度などの情報を収集するシステムを開発した。この仕組みによって、一般家庭、事務所などの地震にいる揺れを「計測震度」によって知り、防災行動に結びつくかどうかの実験を神奈川県座間市、東京都新宿区、千葉県成田市などで実施した。

システム

一般消費者用のMEMS、WiFiを搭載した基盤搭載コンピュータ（Raspberry Pi）と、AC/AD変換電源を容器に詰め一体化し、家庭用の100Vコンセントに差し込めるようにした（コンセント差し込み方式小型地震計）。この地震計から、データがWiFi経由で、3成分100Hzの加速度連続記録、最大加速、計測震度値などをデータサーバーに転送される。さらに、解析サーバー経由で、Webで閲覧可能な情報として、3成分加速度波形、1 Hzにデシメーションした3成分ベクトル合成包絡波形、PGA、計測震度（室内震度）が提供される。

計測実験

2021年9月から2022年3月まで、神奈川県座間市で、一般市民20人に対して、10人には本システムを設置し、10人には設置せずに、有感地震時の揺れの体感（体感震度）や防災行動に関するアンケート調査を実施した。また、東京都新宿区の高層ビル、千葉県成田市の事業所ビルにも同様の装置を設置し、室内震度を計測した。

測定結果

室内の揺れを、計測震度を計算するのと同じアルゴリズムで測定すると、一階での測定では、基本的に最寄りの気象庁震度と同様な値が得られた。しかし、数百m程度離れた場所でも、震度階級1程度の増減があることが分かった。さらに、高層ビルの場合には、低層階と高層階で計測震度は異なり、高層階ほど大きくなることも確かめられた。

アンケート調査結果

地震計を設置した被験者と設置しない被験者とで、防災意識に差がでることを期待した実験であったが、今回の調査では顕著な差は現れなかった。対象者が少なかったことと、有感地震数、特に、大震度の揺れが少なかったことが原因と考えられる。今後、実験の規模を大きくして継続する。

まとめ

室内で勘弁に設置できる揺れの測定装置を開発して、一般市民の防災意識の向上に貢献するためのシステム作りをはじめた。現状では、データが不足しているが、比較的近隣の場所、階によって、計測震度が異なることは示せた。今後は、データ数を増して、統計的に意味のあるデータを取得する。

Estimation of the sources of primary microseisms excited by typhoons around Japan

*Hiroki Kawakami¹, Naoki Suda¹

1. Hiroshima University

地震計に記録されるバックグラウンドノイズのうち、およそ0.05-0.1Hzの周波数帯の振動はprimary microseismsと呼ばれ、沿岸域における海洋波と海底地形のカップリングにより発生すると考えられている。特に台風が接近した際には、強力な大気エネルギーにより海洋波が励起され、その結果primary microseismsが強く励起されることが知られている。台風が接近した際のprimary microseismsの震源を推定した研究はこれまでも行われているが、日本へ接近した台風によって励起されたprimary microseismsの震源を系統的に調べた研究は報告されていない。本研究では、2011年から2020年の10年間に発生した台風について、励起されたprimary microseismsの震源推定を行った。

地震波のデータにはF-netの広帯域地震計記録を使用した。観測点ごとに1時間平均のパワースペクトルを作成し、primary microseismsのピークが明瞭な観測点を選択して解析に使用した。台風のデータは気象庁で公開されている「過去の台風情報」を参照した。2011年から2020年の10年間で日本列島に接近した最大風速33 m/s以上の強い台風15個を対象とし、台風が接近した期間の記録を解析した。1時間間隔で台風の位置を特定するため、大気圧データとして京都大学のMSM再解析数値予報データを使用した。また、海洋波のデータはNOAAのWAVEWATCH IIIの解析データを用いた。

本研究では、南シナ海を通過した台風で励起された脈動の震源分布を推定したPark & Hong (2020)と同様にRayleigh波を利用して震源推定を行った。この方法では、Rayleigh波の変位波形の水平成分が上下動成分に対して位相が $\pi/2$ シフトしている性質を利用している。ある方位に回転させた水平成分と、位相を $\pi/2$ シフトさせた上下動成分との相互相関係数が最も大きいとき、その方位に震源があると考えることができる。本研究では、北緯10度～60度、東経100度～160度の範囲において0.5度間隔で仮想的な震源を地表に設定し、各仮想震源に対して相互相関係数の観測点平均を計算することでprimary microseismsの震源を推定した。

その結果、南西諸島周辺と関東地方沿岸がprimary microseismsの励起源として代表的な場所であることが分かった。通常、primary microseismsは沿岸域における海洋波と海底地形のカップリングにより発生するため、台風の移動に伴いprimary microseismsの震源も移動すると考えられる。しかし、南西諸島周辺と関東地方沿岸においては台風の通過後も励起源となっていることが複数の台風において観測された。この結果は、南西諸島周辺と関東地方沿岸が日本列島の中でも特にprimary microseismsの励起に適した地域であることを示している。

震源の停滞の原因を考察するために、南西諸島周辺と関東地方沿岸における震源の停滞と有義波高の時間変化を比較した。その結果、震源の停滞と有義波高の上昇には時間的な相関があることが分かった。南西諸島周辺と関東地方沿岸の海底地形は比較的浅く複雑な地形であることから、周囲よりも相対的に強くprimary microseismsを励起したと考えられる。また、ジャックナイフ法を用いて震源推定結果の誤差についても議論を行った。

Introduction of NASA's Titan Exploration Mission: Dragonfly –For the first seismic investigation on an icy moon–

*Keisuke Onodera¹, Hiroaki Shiraishi², Satoshi Tanaka², Taichi Kawamura³, Takefumi Mitani², Hideki Murakami⁴, Ryuhei Yamada⁵, Shunichi Kamata⁶, Jun Kimura⁷, Hiroyuki Kurokawa⁸, Kiwamu Nishida¹, Yasuhito Sekine⁸, Takeshi Tsuji⁹, Ralph Lorenz¹⁰

1. ERI/The University of Tokyo, 2. ISAS/JAXA, 3. IGP, 4. Kochi University, 5. The University of Aizu, 6. Hokkaido University, 7. Osaka University, 8. Tokyo Institute of Technology, 9. School of Engineering/The University of Tokyo, 10. Johns Hopkins University

1. 概要

DragonflyはNASAのニューフロンティア計画の一つとして2019年に採択された土星衛星タイタン探査ミッションである。過去40年にわたる惑星探査(Voyager, Cassini-Huygens)および地上観測により、タイタンでは、液体が表面に安定的に存在し、大気は生命前駆物質の生成に必要な窒素やメタンなどで構成されていることが確認されている^[1]。こうした環境は、原始地球大気に似通っており、タイタンを探査することで「地球でどのように生命が誕生したのか?」「地球以外の天体に生命は存在する(した)のか?」といった疑問への解答の手がかりを得ることができる^{[2][3][4]}。Dragonflyは2027年に打ち上げ、2034年頃にタイタンに到着し、そこから約3年間の科学観測を行うといった約10年にわたる大規模な計画である^[5]。この計画の特徴として、大型のドローンを用いた離着陸可能な探査が挙げられる(図1)。Dragonflyは、その名の通りトンボのように、タイタン上を転々としながら、各地点で化学分析・気象観測および地球物理観測を実施することで、生命前駆物質の有無、あるとすればその存在量、またそれらの物質の生成に至らしめた環境を明らかにすることを目的としている。上記の観測項目のうち、我々は地球物理観測の中の地震観測を担当する。

2. タイタン地震計: DraGMet SEIS

我々のチームでは、長年JAXA宇宙科学研究所にて開発が進められてきた惑星探査用地震計をDragonflyに提供ならびに氷天体初の地震観測の実現を目指し、観測機器の開発・性能評価・科学的検討を進めている。現在は、2027年の打ち上げに向け、Engineering Model (宇宙機搭載用の前段階)の製作に取り組んでいる。搭載予定の地震計パッケージDraGMet SEIS (Dragonfly Geophysical and Meteorological Package: Seismometer)は、地震計・プリアンプ・風除けカバーからなり、1.5気圧・マイナス180度という過酷な環境において、 3×10^{-9} m/s@0.1-10Hz程度の振動まで測定することを目指している。タイタンにおける地震観測は、自然地震と人工地震の両方を想定しており、これらの観測を通じてタイタンの地震活動度と地下構造の把握を主目的としている。自然地震については、未だ不確定な部分も多く検討の余地があるが、地球・月・火星での地震観測経験から「土星-タイタン間の潮汐作用による断層活動」「氷地殻テクトニクス」「地溝からの間欠泉現象」「氷火山の噴火・溶岩流の噴出」「小天体衝突」「内部海の対流」「固気カップリング」などに起因する地震が考えられている^[6]。人工地震については、サンプル採集掘削用ドリルの稼働に伴う振動を利用し、表層付近の構造を精密に測定することを検討している。

3. 日本の地震学コミュニティの参画誘致

Dragonflyは、氷天体での初の離着陸探査であり、宇宙における生命の存在可能性を調査するといった科学的にも大きな意義を持つ。しかし、土星衛星ということもあり、打ち上げから観測終了まで10年ほどの時間を要するため、場合によっては運用中にメンバーがリタイアするケースも考えられる。こうした長期間に渡る計画では世代間での探査の引き継ぎが必須となるが、国内における惑星地震学コミュニティは未だ数名程度の規模であるのが現状である。世界的にはNASAの火星地震探査計画InSightが成功を収めたことで、地球の地震学者の惑星地震学コミュニティへの参加が進みつつあり、将来の惑星探査においても地震学者の積極的な参加が期待されている。

本発表は、日本の地震学コミュニティの惑星地震探査への参画誘致を目的に、我々の日々の活動と共に、惑星地

震学の魅力, 地球惑星科学における重要性について紹介する.

参考文献 [1] Nimmo and Pappalardo (2016), *JGRE*, 121, 1378. [2] Chyba and Hand (2005), *ARA&A*, 43, 31. [3] Lazcano and Hand (2012), *Nature*, 488, 160. [4] Mckay (2016), *Life*, 6, 8. [5] Barnes et al. (2021), *PSJ*, 2, 130. [6] Vance et al. (2018), *JGR Planet*, 123, 180–205.

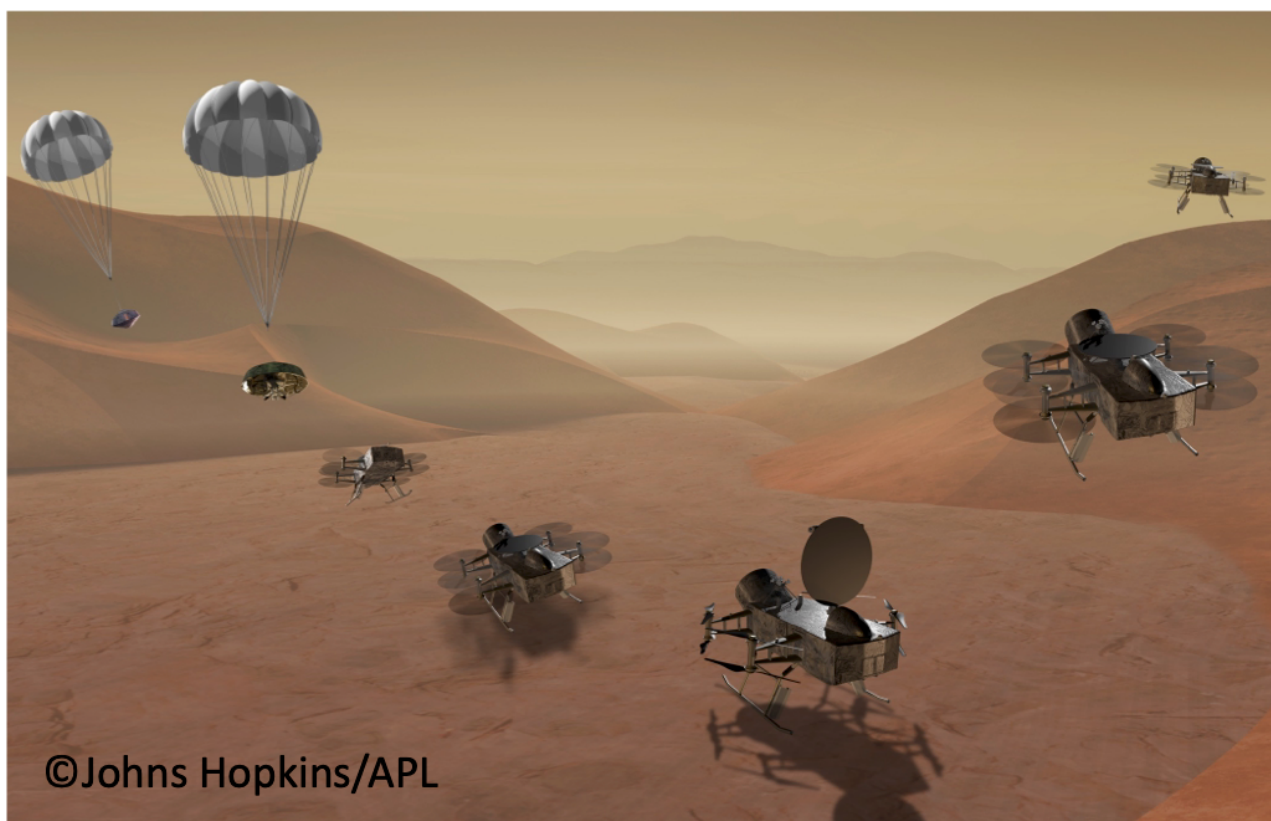


図1. ドローンを用いた離着陸探査の概念図.