

Tue. Sep 17, 2019

ROOM B

Room B | General session | S09. Statistical seismology and underlying physical processes

[S09]AM-1

chairperson: ryosuke Azuma(Tohoku University), Ryuta

Arai(JAMSTEC)

9:15 AM - 9:45 AM ROOM B (Symposium Hall, International Science Innovation Building)

[S09-19] Distribution of strain energy density change due to an earthquake faulting in elastic-viscoelastic media*Tatsuhiko Saito¹, Akemi Noda¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

9:15 AM - 9:30 AM

[S09-20] Mechanism of normal-fault type earthquakes under the Boso Peninsula, Japan*Akinori Hashima¹, Hiroshi Sato¹, Toshinori Sato² (1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2. Graduate School of Science, Chiba University)

9:30 AM - 9:45 AM

Room B | General session | S06. Crustal Structure

[S06]AM-1

chairperson: ryosuke Azuma(Tohoku University), Ryuta

Arai(JAMSTEC)

9:45 AM - 10:30 AM ROOM B (Symposium Hall, International Science Innovation Building)

[S06-01] Anisotropic P wave velocity structure around the shallow plate boundary in the northern Hikurangi margin*Ryuta Arai¹, Shuichi Kodaira¹, Stuart Henrys², Nathan Bangs³, Koichiro Obana¹, Gou Fujie¹, Seiichi Miura¹, Dan Bassett², Dan Barker², Rebecca Bell⁴, Kimihiro Mochizuki⁵, Team NZ3D (1. JAMSTEC, 2. GNS Science, 3. Univ. of Texas, 4. Imperial College London, 5. ERI, Univ. of Tokyo)

9:45 AM - 10:00 AM

[S06-02] Seismic wave velocity structures in the Iburi region of Hokkaido, Japan*Takahiro Shiina¹, Kei Katsumata², Masayoshi Ichiyanagi², Hiroaki Takahashi², Ryoichi Nakamura¹, Aitaro Kato¹, Mako Ohzono², Hiroshi Aoyama², Ryo Tanaka², Masamitsu Takada², Teruhiro Yamaguchi², Kazumi Okada², Shin'ichi Sakai¹, Satoshi Matsumoto³, Tomomi Okada⁴, Toru Matsuzawa⁴, Shuichiro Hirano⁵, Toshiko Terakawa⁶, ShinichiroHorikawa⁶, Masahiro Kosuga⁷, Hiroshi Katao⁸, Yoshihisa Iio⁸, Airi Ngaoka⁸, Noriko Tsumura⁹, Tomotake Ueno¹⁰, the Group for the Aftershock Observations of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake (1. ERI, UTokyo, 2. ISV, Grad. Sch. of Sci., Hokkaido Univ., 3. SEVO, Grad. Sch. of Sci., Kyoshu Univ., 4. RCPEV, Grad. Sch. of Sci. Tohoku Univ., 5. Nansei-Toko Observatory for Earthquakes and Volcanoes, Grad. Sch. of Sci. and Eng., Kagoshima Univ., 6. Earthquake and Volcano Reserach Center, Grad. Sco. of Environ., Nagoya Univ., 7. Earthquake and Volcano Observatory, Grad. Sch. of Sci. and Eng., Hirosaki Univ., 8. DPRI, Kyoto Univ., 9. Department of Earth Sci., Faculty of Sci. Chiba Univ., 10. NIED)
10:00 AM - 10:15 AM**[S06-03] Tomography and anisotropy in the 2018 East Iburi earthquake area***Dapeng Zhao¹, Tao Gou², Zhouchuan Huang², Liangshu Wang² (1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University)

10:15 AM - 10:30 AM

Room B | General session | S06. Crustal Structure

[S06]AM-2

chairperson: Ryuta Arai(JAMSTEC), ryosuke Azuma(Tohoku University)

10:45 AM - 12:15 PM ROOM B (Symposium Hall, International Science Innovation Building)

[S06-04] Particle motion of Rayleigh waves in the ocean bottom : Effects of water and sediment*SHUN FUKUSHIMA¹, KIYOSHI YOMOGIDA¹ (1. Hokkaido University, Graduate School of Science, Department of Natural History Sciences)

10:45 AM - 11:00 AM

[S06-05] Phase velocity estimation based on spatial gradient of surface wave arrival time of teleseismic earthquakes observed by S-net*Akira Ishigami¹, Ryota Takagi¹ (1. Univ. of Tohoku)

11:00 AM - 11:15 AM

[S06-06] Investigating Japan Trench Outer Rise Structure off Sanriku and Miyagi Using Multichannel Seismic Reflection Survey*Ehsan Jamali Hondori¹, Yue Sun¹, Hyun-Woo Youn¹, Katsura Kameo¹, Masanari Ashida¹, Juichiro Ashi¹, Jin-Oh Park¹, Tomoko Hanyu², Ayanori Misawa³, Gou Fujie⁴, Seishiro Furuyama⁵, Mayu Ogawa⁵, Keita

Suzuki⁶, Akie Suzuki⁶, Waka Komatsu⁶ (1. Univ. of Tokyo, 2. Kobe Univ., 3. Geological Survey of Japan, 4. JAMSTEC, 5. Tokyo Univ. of Marine Science and Tech., 6. Nippon Marine Enterprises)

11:15 AM - 11:30 AM

[S06-07] Faults mapping of outer rise earthquakes off the Japan Trench

*Shuichi Kodaira¹, Yasuyuki Nakamura¹, Gou Fujie¹, Koichiro Obana¹, Seiichi Miura¹ (1. Research Institute of Marine Geodynamics, JAMSTEC)

11:30 AM - 11:45 AM

[S06-08] Seafloor sediment thickness below S-net observatories revealed from PS conversion wave at the sedimentary base

*Ryosuke Azuma¹, Ryota Takagi¹, Genti Toyokuni¹, Takashi Nakayama¹, Syuichi Suzuki¹, Makiko Sato¹, Naoki Uchida¹, Ryota Hino¹ (1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University)

11:45 AM - 12:00 PM

[S06-09] **P and S wave tomography of the NE Japan forearc region using S-net data**

*Genti Toyokuni¹, Dapeng Zhao¹, Naoki Uchida¹, Takashi Nakayama¹ (1. RCPEVE, Tohoku University)

12:00 PM - 12:15 PM

Room B | General session | S06. Crustal Structure

[S06]PM-1

chairperson:Tatsuya Ishiyama(Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Takashi Tonegawa(JAMSTEC), Masanao Komatsu(Okayama University)

1:30 PM - 3:00 PM ROOM B (Symposium Hall, International Science Innovation Building)

[S06-10] Receiver function imaging of the subducting Pacific plate beneath NE Japan using offshore and on land seismic arrays

*HyeJeong Kim¹, Hitoshi Kawakatsu¹, Takeshi Akuhara¹, Masanao Shinohara¹, Ryota Takagi² (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Graduate School of Science, Tohoku University)

1:30 PM - 1:45 PM

[S06-11] Crustal reflector and seismicity in Iwaki area

*Takashi Iidaka¹, Shinichi Sakai¹, Toshihiro Igarashi¹, Kazushige Obara¹, Aitaro Kato¹, Tetsuya Takeda², Shigeki Nakagawa¹ (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

1:45 PM - 2:00 PM

[S06-12] Heterogeneous crustal structure offshore of the Ibaraki prefecture along the Japan Trench

*Kimihiro Mochizuki¹, Tomoaki Yamada¹, Masanao Shinohara¹, Ryota Hino², Ryosuke Azuma², Yoshihiro Ito³, Yoshio Murai⁴, Kenji Uehira⁵, Toshinori Sato⁶ (1. Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo, 2. Graduate School of Science, Tohoku Univ., 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., 4. Faculty of Science, Hokkaido Univ., 5. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 6. Graduate School of Science, Chiba Univ.)

2:00 PM - 2:15 PM

[S06-13] Seismic Source Fault Model for Kinki Region Based on Geologic and Geophysical Data, Southwest Japan

*Tatsuya Ishiyama¹, Hiroshi Sato¹, Naoko Kato¹, Makoto Matsubara², Tomoko Elizabeth Yano², Susumu Abe³, Masanori Higashinaka³ (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. JGI, Inc.)

2:15 PM - 2:30 PM

[S06-14] The seismological structure about fault zone extending to the lower crust in the northern Kinki district, southwestern Japan

*Shinya Katoh¹, Yoshihisa Iio², Takuo Shibutani², Hiroshi Katao², Masayo Sawada², Kazuhide Tomisaka² (1. Graduate School of Science, Kyoto University., 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University.)

2:30 PM - 2:45 PM

[S06-15] Detailed seismic velocity structure in focal area of the 2016 Central Tottori Earthquake estimated using dense aftershock observation data

*Hiroo Tsuda¹, Yoshihisa Iio², Satoshi Matsumoto³, Shinichi Sakai⁴ (1. Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 3. Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University, 4. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

2:45 PM - 3:00 PM

Room B | General session | S06. Crustal Structure

[S06]PM-2

chairperson:Tatsuya Ishiyama(Earthquake Research Institute, the

University of Tokyo), Takashi Tonegawa(JAMSTEC), Masanao Komatsu(Okayama University)
 3:15 PM - 5:00 PM ROOM B (Symposium Hall, International Science Innovation Building)

- [S06-16] Feasibility study on the waveform inversion to the OBS wide-angle seismic data
 *Gou Fujie¹, Takeshi Sato², Kazuya Shiraishi¹, Shuichi Kodaira¹, Eiichi Asakawa³, Nibe Takao⁴ (1. JAMSTEC, 2. Sapporo Regional Volcanic Observation and Warning Center, JMA, 3. JGI, inc., 4. JAPEX)
 3:15 PM - 3:30 PM
- [S06-17] Seismic velocity structure monitoring of the Nankai accretionary prism from ambient noise correlations during Chikyu drilling
 *Takashi Tonegawa¹, Toshinori Kimura¹, Kazuya Shiraishi¹, Eiichi Araki¹, Masataka Kinoshita², Yoshinori Sanada¹, Seiichi Miura¹, Yasuyuki Nakamura¹, Shuichi Kodaira¹ (1. JAMSTEC, 2. Univ. of Tokyo)
 3:30 PM - 3:45 PM
- [S06-18] Underthrust turbidite facies affecting variation in interplate coupling along the Nankai subduction zone
 *Jin-Oh Park¹, Tetsuro Tsuru² (1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. Tokyo University of Marine Science and Technology)
 3:45 PM - 4:00 PM
- [S06-19] Relationship between three-dimensional detailed crustal structures and very low frequency earthquakes in the Nankai trough off Kumano
 *Kazuya Shiraishi¹, Yasuhiro Yamada¹, Masaru Nakano¹, Masataka Kinoshita², Gaku Kimura³ (1. JAMSTEC, 2. ERI, University of Tokyo, 3. Tokyo University of Marine Science and Technology)
 4:00 PM - 4:15 PM
- [S06-20] **Lithium isotope detects slab-derived fluids in spring water from the Median Tectonic Line fault zone in Shikoku, Japan**
 *Yoshiro Nishio¹, Satoshi Tonai¹, Yu Inokuchi¹, Emika Nakamura¹ (1. Kochi Univ.)
 4:15 PM - 4:30 PM
- [S06-21] **The velocity structure beneath the Aira caldera, deduced from the seismic exploration (4)**
 *Hiroki Miyamachi¹, Reji Kobayashi¹, Hiroshi Yakiwara¹, Shuuichiro Hirano¹, Takeshi Kubo¹, Naohiro Unno¹,

- Takeshi Matsushima², Kazuya Uchida², Rintaro Miyamachi², Hiroshi Katai³, Takuo Shibutani³, Tsutomu Miura³, Jun Nakagawa³, Itaru Yanada³, Takeshi Tameguri³, Kosei Takishita³, Kazuho Nakai³, Yusuke Yamashita³, Yuta Maeda⁴, Shinichirou Horikawa⁴, Kenjiro Mitsuhiro⁴, Takashi Okuda⁴, Shuhei Tsuji⁴, Naoki Sogawa⁴, Kazuo Nakahigashi⁵, Eiji Kurashima⁶, Tomoaki Yamada⁶, Miwako Ando⁶, Shinichi Tanaka⁶, Satoshi Ikezawa⁶, Toshinori Sato⁷, Mare Yamamoto⁸, Satoshi Hirahara⁸, Takashi Nakayama⁸, Ryusuke Azuma⁸, Shuichi Suzuki⁸, Tomoki Tsutsui⁹, Ryuichi Takei⁹, Yuya Tada⁹, Hiroaki Takahashi¹⁰, Hiroshi Aoyama¹⁰, Mako Ohzono¹⁰, Takahiro Shiina¹⁰, Masamitsu Takada¹⁰, Masayoshi Ichibanagi¹⁰, Teruhiro Yamaguchi¹⁰, Chihiro Ito¹⁰, Yuki Susukida¹⁰, Yoshio Murai¹⁰, Tatsuya Nakagaki¹⁰ (1. Kagoshima University, 2. Kyushu University, 3. Kyoto University, 4. Nagoya University, 5. TUMSAT, 6. University of Tokyo, 7. Chiba University, 8. Tohoku University, 9. Akita University, 10. Hokkaido University)
 4:30 PM - 4:45 PM
- [S06-22] P- and S-wave attenuation structures in the Ryukyu Arc, Japan
 *Masanao Komatsu¹, Hiroshi Takenaka¹ (1. Okayama University)
 4:45 PM - 5:00 PM

Room B | General session | S09. Statistical seismology and underlying physical processes

[S09]AM-1

chairperson:ryosuke Azuma(Tohoku University), Ryuta Arai(JAMSTEC)

Tue. Sep 17, 2019 9:15 AM - 9:45 AM ROOM B (Symposium Hall, International Science Innovation Building)

[S09-19] Distribution of strain energy density change due to an earthquake faulting in elastic-viscoelastic media

*Tatsuhiko Saito¹, Akemi Noda¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

9:15 AM - 9:30 AM

[S09-20] Mechanism of normal-fault type earthquakes under the Boso Peninsula, Japan

*Akinori Hashima¹, Hiroshi Sato¹, Toshinori Sato² (1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2. Graduate School of Science, Chiba University)

9:30 AM - 9:45 AM

Distribution of strain energy density change due to an earthquake faulting in elastic-viscoelastic media

*Tatsuhiko Saito¹, Akemi Noda¹

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

はじめに

地震は歪みエネルギーを使って発生するため、地殻に蓄えられる歪みエネルギーの可視化と定量化が重要である。例えば、南海トラフ沿いのプレート間の固着が内陸の地震発生層に引き起こすせん断歪みエネルギーの増減分布と内陸地震活動との関連(Saito et al. 2018 JGR), 熊本地震前震・本震によるせん断歪みエネルギーの増加域での余震活動の活発化など、歪みエネルギーと地震活動の関連性(Noda et al. 2018 ACES; Tanaka et al. 2018 JpGU)が報告されてきた。

地殻内の歪みエネルギーの可視化、定量化を行う際には、弾性リソスフェア粘弾性アセノスフェアの影響を考慮することが重要である。Hashima et al. (2014 Pageoph)は、ラプラス変換と波数積分法によって、歪み・応力の時空間変化を計算し、粘弾性アセノスフェアが、応力蓄積過程ではせん断応力を保持せず流体のように、地震による瞬間的な応力変化時には弾性体として、地震後の応力緩和過程では粘弾性として振る舞う様子をシミュレートした。

本研究では、周波数領域での波数積分法によって、弾性リソスフェア粘弾性アセノスフェア中の歪みエネルギーの時空間変化を可視化、定量化する。

計算手法

フーリエ変換した線形粘弾性構成則と平衡方程式をもとに、ダブルカップル点震源に対する周波数応答を計算し、周波数領域から時間領域へと変換することで、歪み場・応力場の時空間変化を計算する(対応原理 correspondence principle)。水平成層構造を仮定し、波数積分法を利用し計算する。周波数領域で表しているために、弾性波動場(運動方程式)の波数積分法(Zhu et al. 2002 GJI)との結合・拡張が容易に行える利点がある。初期値定理 initial value theorem として、高周波数極限の周波数応答が弾性応答を表し、最終値定理 final value theorem として、低周波数極限の周波数応答が変位・応力場の完全緩和を表す。

計算結果

一例として、半無限粘弾性媒質のアセノスフェアの上に弾性層のリソスフェアが載った構造を想定し、ダブルカップル点震源による応力変化と歪みエネルギー密度分布を計算した。初期値定理に基づき、緩和時間(500 yr)に比して十分高周波数(40 yr^{-1})の周波数応答は、弾性媒質を仮定した場合と良く一致することを確認した。また、最終値定理に基づき、十分低周波数($2\pi/5000 \text{ yr}^{-1}$)の周波数応答は、アセノスフェアの剛性率がゼロの場合の応力変化と良く一致することを確認した。

ある背景応力場を仮定して、断層面にかかるトラクションと断層すべり方向が同じ向きの場合を考え、ダブルカップル点震源による歪みエネルギー密度の増減分布を可視化・定量化した。通常、背景応力場に従って断層運動が起こると、断層面で応力が降下し、地殻内の総歪みエネルギーは減少する(e.g., Savage 1969 BSSA)。一方、点震源のシミュレーションでは、断層運動によって地殻内の総歪みエネルギーが増加する。地震発生によって媒質の歪みエネルギー総量が増加することは、非現実的な結果である。この結果は、平均的なすべり方向が背景応力場のトラクションと同じ向きでも、短波長のすべり成分が極端に多ければ歪みエネルギーは増加し得ること(例 Saito & Noda 2019 JpGU)に対応している。点震源の場合、短波長のすべり成分が極端に多く、実効的な応力降下量が初期応力に比べ大きくなるので、Savage (1969)の前提条件が崩れ、歪みエネルギーが増加することになる。

Mechanism of normal-fault type earthquakes under the Boso Peninsula, Japan

*Akinori Hashima¹, Hiroshi Sato¹, Toshinori Sato²

1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2. Graduate School of Science, Chiba University

1. はじめに

2019年5月25日、房総半島下でMw 4.9の地震が発生し、関東地方の広域にわたり揺れが感じられ、最大震度は千葉県で震度5弱であった。この地震は防災科学技術研究所のHi-netメカニズム解カタログによれば、深さ26 kmで発生した正断層型の地震であった。したがって、この地震はプレート境界地震ではなく、上盤プレートと太平洋プレートにはさまれたフィリピン海スラブで起きたプレート内地震であると考えられる。付近では6月1日にも同様のメカニズムを示すMw4.6の地震が発生した。

プレート内部の地震は、数千年以上の長期にわたるプレート境界のすべり運動により、その周囲に蓄積された応力を解放するように起こると考えられる。したがって、これらの地震の発生メカニズムを定量的に明らかにするためには、プレート内部の応力蓄積過程をモデル化する必要がある。

著者らは、これまでの研究において、関東盆地周囲の地質学・変動地形学データに基づき、太平洋プレートとフィリピン海プレートの定常沈み込み運動と伊豆半島の衝突の効果による長時間スケールの変動をモデル化した[1]。本発表では、この関東盆地の長時間変動モデルについて述べ、このモデルを用いて房総半島下に形成される内部蓄積応力場を計算し、地震活動との関連を議論する。

2. 関東盆地の長時間変動モデル

本研究で用いるモデルでは、Matsu'ura & Sato (1989)の定常的プレート沈み込みモデル[2]にもとづき、プレート境界面における定常すべり運動によってフィリピン海と太平洋プレートの沈み込み運動を表現した。また、伊豆小笠原弧の衝突はすべり速度欠損を与える（定常的固着）ことによりモデル化した。一方、地質学・変動地形学的手法によって見積もられた過去100万年の上下変動データによると、はじめ関東盆地のほぼ全域で沈降運動が起こっていたが、沈降域は徐々に狭まり、最終間氷期（12.5万年前）以降は全域での隆起運動へと転じている。同時期には、フィリピン海プレートの運動方向が北北西から北西方向へ変化したことが指摘されている[3, 4]。そこで、本モデルを用い、フィリピン海プレートの運動方向変化による伊豆小笠原弧衝突の効果の時間変化を計算し、関東盆地の上下変動パターンの時間変化を満たす衝突領域の範囲を定めた。得られた衝突範囲は伊豆半島の周囲のプレート境界が押し込まれた領域であるが、現在の北西方向のプレート運動下では伊豆半島よりも西側の部分の効果が大半を占める。

3. 関東盆地、房総半島下の応力状態

得られたプレート沈み込みと伊豆半島の衝突モデルを用いて、プレート内部の応力蓄積レートを計算した。関東地方上盤側の地殻内応力は伊豆半島における北西-南東圧縮応力、フィリピン海プレート内部の横ずれ的な応力場とともに、関東盆地の東部では、ドーナツ状のメカニズム解で表される、東西・南北ともに伸張的な応力場を示す。房総半島下のフィリピン海プレート内部の応力場も上盤側と同様に、水平伸張的な応力場を示す。5月25日、6月1日の地震は東西伸張の正断層型であるが、計算で示した水平伸張の応力蓄積パターンと調和的であり、フィリピン海スラブ内部の弱面において断層すべりとして解放されたものと考えられる。

引用文献

- [1] Hashima et al., Tectonophysics, 679, 1-14, 2016.
- [2] Matsu'ura and Sato, Geophys. J. Int., 96, 23-32, 1989.
- [3] Nakamura et al., Bull. Soc. Geol. Fr., 26, 221-243, 1984.
- [4] 貝塚, 地学雑誌, 96, 223-240, 1987.

Room B | General session | S06. Crustal Structure

[S06]AM-1

chairperson: ryosuke Azuma(Tohoku University), Ryuta Arai(JAMSTEC)

Tue. Sep 17, 2019 9:45 AM - 10:30 AM ROOM B (Symposium Hall, International Science Innovation Building)

[S06-01] Anisotropic P wave velocity structure around the shallow plate boundary in the northern Hikurangi margin

*Ryuta Arai¹, Shuichi Kodaira¹, Stuart Henrys², Nathan Bangs³, Koichiro Obana¹, Gou Fujie¹, Seiichi Miura¹, Dan Bassett², Dan Barker², Rebecca Bell⁴, Kimihiro Mochizuki⁵, Team NZ3D (1. JAMSTEC, 2. GNS Science, 3. Univ. of Texas, 4. Imperial College London, 5. ERI, Univ. of Tokyo)
9:45 AM - 10:00 AM

[S06-02] Seismic wave velocity structures in the Iburi region of Hokkaido, Japan

*Takahiro Shiina¹, Kei Katsumata², Masayoshi Ichianagi², Hiroaki Takahashi², Ryoichi Nakamura¹, Aitaro Kato¹, Mako Ohzono², Hiroshi Aoyama², Ryo Tanaka², Masamitsu Takada², Teruhiro Yamaguchi², Kazumi Okada², Shin'ichi Sakai¹, Satoshi Matsumoto³, Tomomi Okada⁴, Toru Matsuzawa⁴, Shuichiro Hirano⁵, Toshiko Terakawa⁶, Shinichiro Horikawa⁶, Masahiro Kosuga⁷, Hiroshi Katao⁸, Yoshihisa Iio⁸, Airi Ngaoka⁸, Noriko Tsumura⁹, Tomotake Ueno¹⁰, the Group for the Aftershock Observations of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake (1. ERI, UTokyo, 2. ISV, Grad. Sch. of Sci., Hokkaido Univ., 3. SEVO, Grad. Sch. of Sci., Kyoshu Univ., 4. RCPEV, Grad. Sch. of Sci. Tohoku Univ., 5. Nansei-Toku Observatory for Earthquakes and Volcanoes, Grad. Sch. of Sci. and Eng., Kagoshima Univ., 6. Earthquake and Volcano Reserach Center, Grad. Sco. of Environ., Nagoya Univ., 7. Earthquake and Volcano Observatory, Grad. Sch. of Sci. and Eng., Hirosaki Univ., 8. DPRI, Kyoto Univ., 9. Department of Earth Sci., Faculty of Sci. Chiba Univ., 10. NIED)
10:00 AM - 10:15 AM

[S06-03] Tomography and anisotropy in the 2018 East Iburi earthquake area

*Dapeng Zhao¹, Tao Gou², Zhouchuan Huang², Liangshu Wang² (1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University)
10:15 AM - 10:30 AM

Anisotropic P wave velocity structure around the shallow plate boundary in the northern Hikurangi margin

*Ryuta Arai¹, Shuichi Kodaira¹, Stuart Henrys², Nathan Bangs³, Koichiro Obana¹, Gou Fujie¹, Seiichi Miura¹, Dan Bassett², Dan Barker², Rebecca Bell⁴, Kimihiro Mochizuki⁵, Team NZ3D

1. JAMSTEC, 2. GNS Science, 3. Univ. of Texas, 4. Imperial College London, 5. ERI, Univ. of Tokyo

地震波異方性は媒質の層構造や応力状態に依存するため、これらを推定する指標として広く用いられている。プレート沈み込み帯の海溝軸周辺では、海域観測データを用いたS波スプリッティング解析等から、海底下浅部のS波方位異方性が複数の沈み込み帯で明らかになってきた（例えば、Tonegawa et al. 2017）。一方、P波の異方性推定には制御震源データを用いた解析が最適であるが、南海トラフ等の一部地域を除くと multi azimuth を密にカバーするデータの取得はほとんどなされておらず、地域性や沈み込み環境との関係など未知な点が多い。

海洋研究開発機構は2017年度に日米英ニュージーランドの各研究機関と共同で、ニュージーランド北島東方沖のヒクラング沈み込み帯にて大規模な3次元地震探査データを取得した。調査地域は海溝海側から前弧海盆までの領域で、海溝直交方向に60km、海溝平行方向に14kmである。この領域内に4列に2km間隔で展開した97台の海底地震計（OBS）で140,000以上のエアガン発振の記録が収録された。エアガン発振は3次元反射法探査用に非常に稠密に実施されたため、異方性研究に適したmulti-azimuthのデータの取得に成功した。このデータセットにまず初動走時トモグラフィ解析を適用し、等方性を仮定した3次元P波速度構造を推定した。得られた3次元P波速度モデルから、沈み込む太平洋プレート上の堆積層や上盤プレート内の付加体に対応する低速度域が明らかとなった。既存の反射断面（Barker et al., 2018）と比較すると、この付加体内にはプレート境界からの分岐断層が複数存在すると考えられる。次に、上記の3次元P波速度モデルから計算される初動の走時残差を各OBSと地震波の伝播方向の方位角ごとに分類したところ、走時残差は顕著な方位依存性を示すことがわかった。特に、前弧海盆上に設置したOBSでこの方位依存性が明瞭であり、最大で約4%のP波速度の方位異方性が存在することがわかった。一方、海溝より海側ではこの異方性の特徴は不明瞭になる。また、海溝より陸側ではP波がより速く伝播する軸がほぼ東西（海溝に直交する方向）に向くことも確認した。調査海域のヒクラング沈み込み帯では、構造探査と同じ時期に掘削調査も行われており、borehole breakoutのデータから最大水平圧縮応力がおおよそ海溝と直交する方向に向くことが明らかになっている。これらの結果から、P波速度の異方性も大局的にはプレート沈み込みに起因する広域応力場を反映していると考えられる。

Seismic wave velocity structures in the Iburi region of Hokkaido, Japan

*Takahiro Shiina¹, Kei Katsumata², Masayoshi Ichianagi², Hiroaki Takahashi², Ryoichi Nakamura¹, Aitaro Kato¹, Mako Ohzono², Hiroshi Aoyama², Ryo Tanaka², Masamitsu Takada², Teruhiro Yamaguchi², Kazumi Okada², Shin'ichi Sakai¹, Satoshi Matsumoto³, Tomomi Okada⁴, Toru Matsuzawa⁴, Shuichiro Hirano⁵, Toshiko Terakawa⁶, Shinichiro Horikawa⁶, Masahiro Kosuga⁷, Hiroshi Katao⁸, Yoshihisa Iio⁸, Airi Ngaoka⁸, Noriko Tsumura⁹, Tomotake Ueno¹⁰, the Group for the Aftershock Observations of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake

1. ERI, UTokyo, 2. ISV, Grad. Sch. of Sci., Hokkaido Univ., 3. SEVO, Grad. Sch. of Sci., Kyoshu Univ., 4. RCPEV, Grad. Sch. of Sci. Tohoku Univ., 5. Nansei-Toku Observatory for Earthquakes and Volcanoes, Grad. Sch. of Sci. and Eng., Kagoshima Univ., 6. Earthquake and Volcano Reserach Center, Grad. Sco. of Environ., Nagoya Univ., 7. Earthquake and Volcano Observatory, Grad. Sch. of Sci. and Eng., Hirosaki Univ., 8. DPRI, Kyoto Univ., 9. Department of Earth Sci., Faculty of Sci. Chiba Univ., 10. NIED

2018年9月6日に発生した北海道胆振東部地震（M=6.7）やその余震は、これまで考えられてきた内陸地震の発生深度下限（約15 km）よりも深い20-40 kmに分布する [Katsumata et al., 2019]. 胆振地方の東側に位置する日高山脈を中心とする地域では千島弧と東北日本弧が衝突しており、島弧—島弧の衝突帯として知られている。このため、北海道胆振東部地震はそのような北海道中軸部における複雑なテクトニクスに関連した地震であると考えられる。本研究では、北海道胆振地方を中心とした領域の地震波速度構造の詳細な推定を試みた。そして、得られた地震波速度構造をベースに北海道胆振東部地震の発生メカニズムや余震を含む一連の活動と同地域におけるテクトニクスとの関係を検討した。

地震波速度構造の推定にはDouble-difference (DD) tomography法 [Zhang and Thurber, 2006]を用いた。解析期間は2008年11月9日から2018年11月8日までの10年間である。このうち、2018年9月7日から同年11月8日の期間中は2018年北海道胆振東部地震合同観測グループによって行われた臨時観測で取得されたデータを含む。使用した観測点の数は定常的な観測点が73、臨時観測点が20の計93点である。地震数は胆振東部地震本震前の期間が3,089個、本震後の期間が805個となる。マグニチュードの下限はM=2とした。P波とS波の読み取り値は全期間でそれぞれ209,009、176,052である。また、DDデータはP波で114,083、S波で104,348となった。グリッド間隔は東西方向に7.5-15.0 km、南北方向に12.5-15.0 km、深さ方向は4.0-20 kmとした。初期1次元速度構造は北海道大学地震火山研究観測センターで使用されているルーチン構造 [笠原・他, 1994]をベースに深さ10 km以浅を吉田・他 [2009]の推定値で置き換えたものを使用した。解析結果の妥当性はCheckerboard resolution testを行うことで確かめた。

胆振地方から日高山脈にかけて、地震波の低速度域が明瞭にイメージされた。このうち、地表面付近の低速度域は石狩低地帯に発達する厚い堆積層に対応する。また、低速度域は深さ40-70 km程度まで分布し、その下限は東（日高山脈）側で深くなる。この特徴は千島弧との衝突による東北日本弧の沈み込み [e.g., Iwasaki et al., 2004; Kita et al., 2012]を表していると考えられる。さらに、北海道胆振東部地震はそのような明瞭な地震波低速度域の西端に位置する。言い換えると、胆振東部地震の震源域周辺を挟んで地震波速度が急激に変化しているように見える。この地震波速度境界（あるいは急激な変化域）はほぼ南北に分布し、余震の広がる方向と一致する。地表の地質構造でも見られるように、南北に伸びる不均質性は北海道中軸部の特徴的な構造である。したがって、本解析の結果は、千島弧と東北日本弧の衝突を起因とする複雑な構造が胆振地方においても発達していることを示すとともに、北海道胆振東部地震がそのような不均質構造と密接に関係した地震であることを示唆する。なお、3次元速度構造での震源再決定を行った結果、胆振東部地震の本震深さはおよそ35 kmとなった。また、震源域周辺ではP波で5.5-7.2 km/s程度、S波で3.0-4.0 km/s程度と見積もられた。このことから、胆振東部地震の一連の地震活動は主として島弧地殻内部で発生したものであると考えられる。

Tomography and anisotropy in the 2018 East Iburi earthquake area

*Dapeng Zhao¹, Tao Gou², Zhouchuan Huang², Liangshu Wang²

1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University

We used a seismic tomography method (Zhao *et al.*, 1992, 2015) to investigate 3-D P and S wave velocity (Vp, Vs) structures and Poisson's ratio images in the source area of the 2018 East Iburi earthquake (M 6.7) in Hokkaido, Japan. We collected a large number of P and S wave arrival-time data from two groups of earthquakes released by the Japan Meteorological Agency (JMA) Unified Earthquake Catalog, which were recorded at 74 seismic stations belonging to the Kiban seismic network installed in southern Hokkaido. One group contains 53,784 P-wave arrivals and 38,840 S-wave arrivals from 3073 local shallow and intermediate-depth earthquakes during June 2002 to August 2018 before the East Iburi earthquake. The intermediate-depth earthquakes mostly occurred in the subducting Pacific plate, providing very good ray coverage in the mantle wedge beneath the source zone. The other group contains 8540 P-wave arrivals and 6528 S-wave arrivals from 460 earthquakes that occurred in the crust and uppermost mantle (mostly < 40 km depth) during 6–14 September 2018, including the mainshock and aftershocks of the East Iburi earthquake. The picking accuracy of the arrival times is estimated to be ~0.05–0.15 s for P-wave data and ~0.1–0.2 s for S-wave data. The 2018 Iburi mainshock occurred at the edge of a high-Vp (2–4%) seismogenic zone. Significant low-Vs (-1 to -3%) and high Poisson's ratio (2–7%) anomalies are imaged in and below the source zone and extend to the upper surface of the subducting Pacific slab, most likely reflecting ascending fluids released by the slab dehydration. A high consistency between the fault plane and the low-Vs and high Poisson's ratio anomalies indicates that the fluids may have entered the fault and affected the rupture nucleation. A high-V (1–3%) anomaly is revealed in the fore-arc mantle wedge and connects with the high-V seismogenic zone, probably reflecting a lithospheric fragment and contributing to cool down the mantle wedge. We also apply the method of Wang and Zhao (2013) to investigate the 3-D Vp azimuthal anisotropy structure in the 2018 Iburi earthquake area. The results reveal complex seismic anisotropy in the crust in and around the source zone, which may reflect complicated stress regime and strong structural heterogeneities there.

References

- Wang, J., D. Zhao (2013). P-wave tomography for 3-D radial and azimuthal anisotropy of Tohoku and Kyushu subduction zones. *Geophys. J. Int.* **193**, 1166–1181.
- Zhao, D., A. Hasegawa, S. Horiuchi (1992). Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan. *J. Geophys. Res.* **97**, 19909–19928.
- Zhao, D., H. Kitagawa, G. Toyokuni (2015). A water wall in the Tohoku forearc causing large crustal earthquakes. *Geophys. J. Int.* **200**, 149–172.

Room B | General session | S06. Crustal Structure

[S06]AM-2

chairperson: Ryuta Arai(JAMSTEC), ryosuke Azuma(Tohoku University)

Tue. Sep 17, 2019 10:45 AM - 12:15 PM ROOM B (Symposium Hall, International Science Innovation Building)

[S06-04] Particle motion of Rayleigh waves in the ocean bottom : Effects of water and sediment

*SHUN FUKUSHIMA¹, KIYOSHI YOMOGIDA¹ (1. Hokkaido University, Graduate School of Science, Department of Natural History Sciences)

10:45 AM - 11:00 AM

[S06-05] Phase velocity estimation based on spatial gradient of surface wave arrival time of teleseismic earthquakes observed by S-net

*Akira Ishigami¹, Ryota Takagi¹ (1. Univ. of Tohoku)

11:00 AM - 11:15 AM

[S06-06] Investigating Japan Trench Outer Rise Structure off Sanriku and Miyagi Using Multichannel Seismic Reflection Survey

*Ehsan Jamali Hondori¹, Yue Sun¹, Hyun-Woo Youn¹, Katsura Kameo¹, Masanari Ashida¹, Juichiro Ashi¹, Jin-Oh Park¹, Tomoko Hanyu², Ayanori Misawa³, Gou Fujie⁴, Seishiro Furuyama⁵, Mayu Ogawa⁵, Keita Suzuki⁶, Akie Suzuki⁶, Waka Komatsu⁶ (1. Univ. of Tokyo, 2. Kobe Univ., 3. Geological Survey of Japan, 4. JAMSTEC, 5. Tokyo Univ. of Marine Science and Tech., 6. Nippon Marine Enterprises)

11:15 AM - 11:30 AM

[S06-07] Faults mapping of outer rise earthquakes off the Japan Trench

*Shuichi Kodaira¹, Yasuyuki Nakamura¹, Gou Fujie¹, Koichiro Obana¹, Seiichi Miura¹ (1. Research Institute of Marine Geodynamics, JAMSTEC)

11:30 AM - 11:45 AM

[S06-08] Seafloor sediment thickness below S-net observatories revealed from PS conversion wave at the sedimentary base

*Ryosuke Azuma¹, Ryota Takagi¹, Genti Toyokuni¹, Takashi Nakayama¹, Syuichi Suzuki¹, Makiko Sato¹, Naoki Uchida¹, Ryota Hino¹ (1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University)

11:45 AM - 12:00 PM

[S06-09] P and S wave tomography of the NE Japan forearc region using S-net data

*Genti Toyokuni¹, Dapeng Zhao¹, Naoki Uchida¹, Takashi Nakayama¹ (1. RCPEVE, Tohoku University)

12:00 PM - 12:15 PM

Particle motion of Rayleigh waves in the ocean bottom : Effects of water and sediment

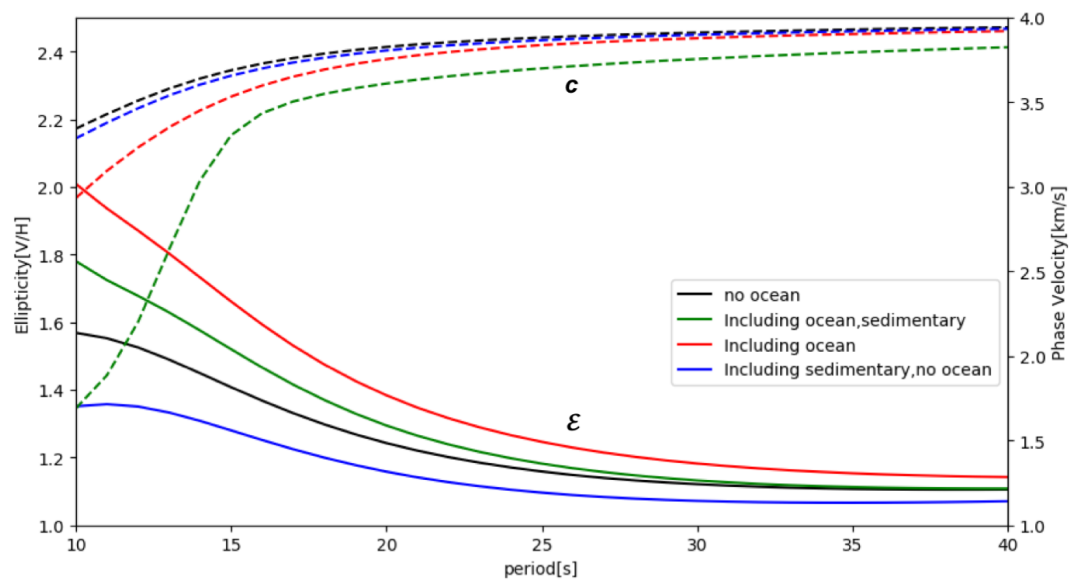
*SHUN FUKUSHIMA¹, KIYOSHI YOMOGIDA¹

1. Hokkaido University, Graduate School of Science, Department of Natural History Sciences

表面波の波形記録から地球表層の地球内部構造を推定する際、表面波が伝搬する2点間の位相速度や群速度の分散曲線がこれまで用いられてきた。これとは別にレイリー波の楕円率からも観測点の近くでの地震波速度構造を推定できることが知られている(e.g., Tsuboi & Saito, 1983)。レイリー波の楕円率は固有関数の地表面での振幅比で定義されるため、位相速度よりも浅い部分の地球内部構造に感度が高い。強震動の研究分野でのサイト特性を簡便に評価するために、常時微動の水平と上下成分の振幅比、H/V値が用いられるが、基本的には同じ原理である。近年DONETなどの海底地震計技術の発達により海底面での地震波が数多く観測されるようになり、レイリー波の楕円率も詳しい観測が可能となりつつある。しかし、陸上地震計と海底地震計では、境界条件が異なるため楕円率が異なることが予想される。さらに堆積層では急激にP波速度やS波速度が減少するが、海底堆積層の楕円率への影響は十分に研究されていない。

本研究では楕円率を V/H 値として周期10秒から40秒の海底面でのレイリー波の楕円率を計算した。PREM (e.g., Dziewonski & Anderson, 1981)には3kmまで海が含まれているが、海を含むPREMと海を取り除いたPREMについて楕円率を計算し、陸上地震計と海上地震計での楕円率の違いを検証した。さらに海を含むPREMと海を含まないPREMそれぞれに海底と地表から500mまで堆積層（PREMからP波速度を10%、S波速度を50%減少とした）を含め、楕円率への影響を検証した。これらの4つのモデルの楕円率（実線）と位相速度（点線）を図に示す。陸上での観測（no ocean）では位相速度の研究で明らかにされているように、堆積層があると位相速度は周期20秒以上でもほぼ一様に減少し、楕円率は小さくなる、すなわち表面に低速度層が加わるため水平動が卓越する。一方、海が加わると、位相速度は（深さに応じて）周期15秒前後から短周期では大きく減少するが長周期ではあまり変化はない。これは位相速度の感度が長周期帯において表面近くでは小さいためである。一方、海底面での楕円率は海が存在すると（赤線）、全周期わたり、大きくなっており、周期が短くなるとこの特徴が強くなり、水平動に比べて上下動が大きくなっている。堆積層の場合と異なり、観測点の上側にP波だけが存在する層があると上下動成分だけが選択的に大きくなるためと考えられる。これに対して、堆積層を含む場合には（緑線）、陸上と同じように、楕円率は小さくなり、上下動が大きくなる効果は抑えられる。

このように、海底面ではP波速度もS波速度も遅い堆積層があっても、P波速度だけが存在する海水の効果のために、上下動が大きくなる可能性がある。



Phase velocity estimation based on spatial gradient of surface wave arrival time of teleseismic earthquakes observed by S-net

*Akira Ishigami¹, Ryota Takagi¹

1. Univ. of Tohoku

地震発生環境やプレート境界面におけるすべり特性の理解のためには、地震波速度構造が重要な情報の一つになる。また、近年の稠密観測網の整備により、観測波形を波動場として捉えることが可能になってきた。本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震後に防災科学技術研究所が整備した日本海溝海底地震津波観測網（S-net）の観測データを用いて、東北日本前弧海域下における表面波位相速度分布を、位相到達時間の空間勾配を取ることで推定した。

解析には加速度計で記録された遠地地震による長周期表面波を使用する。観測記録をXYZ成分からUNE成分への座標変換後、上下動成分を用いて、Rayleigh波について解析を行った。解析手法はLin et al. (2009) に従い、解析手順は以下の通りである。まず、狭帯域フィルタを使用した周波数時間解析（FTAN）を行い、観測点毎に位相速度分散曲線を得た。次に、ある周期に着目してその周期における各観測点での到達時刻を空間的に補間して、到達時刻マップを得た。この到達時刻の勾配を計算することでRayleigh波のスローネスを求めることができ、スローネスの逆数を取ることで位相速度分布を得た。これを様々な周期で同様の解析を行い、20-50sの周期について5sごとに位相速度分布を得た。

上で述べた手順のうち、周波数時間解析における位相速度推定には、位相の 2π の任意性の問題が存在する。一般に、標準的な位相速度分散曲線を基準としてサイクル数を推定することが行われるが、基準の位相速度分散曲線と実際の位相速度の差が大きい場合や、初期位相による影響が大きい場合には、サイクル数を誤って推定する可能性がある。本研究では、基準とする位相速度分散曲線を繰り返し修正することでこの問題を解決した。まず、初期モデルを陸域におけるPREM 1 Dモデルで与え、周波数時間解析を行い、各観測点で位相速度の分散曲線を得る。次に、得られた位相速度分散曲線の平均を取り、それを次のイタレーションの際の基準分散曲線として用いて周波数時間解析を行う。この処理を繰り返し行うことで、観測網において一定のサイクル数を得ることができた。

以上の解析で得られた位相速度は3.6-3.9km/sであり、Rayleigh波の位相速度として妥当な値が得られた。位相速度の周波数分散も確認することができ、周期45sにおいては高速度領域であるスラブを示すような速度異常が確認できた。また、宮城・福島沖の領域がそれより北および南の領域に比べて高速度を示すパターンも確認できた。

今後は、今回推定された位相速度の空間パターンが地下構造を反映したものであるのか、それとも解析上生じたものなのかを、解析する地震を増やすことで確かめたいと考えている。また、位相到達走時マップを得る際の補間方法も位相速度の空間パターンに影響を与えている可能性があり、これについても検討を行いたい。さらに、陸上の地震計のデータも用いて上記の解析を行うことで、海域だけでなく陸上を含めたより広い範囲における位相速度マップを得、先行研究と比較を行いたいと考えている。

Investigating Japan Trench Outer Rise Structure off Sanriku and Miyagi Using Multichannel Seismic Reflection Survey

*Ehsan Jamali Hondori¹, Yue Sun¹, Hyun-Woo Youn¹, Katsura Kameo¹, Masanari Ashida¹, Juichiro Ashi¹, Jin-Oh Park¹, Tomoko Hanyu², Ayanori Misawa³, Gou Fujie⁴, Seishiro Furuyama⁵, Mayu Ogawa⁵, Keita Suzuki⁶, Akie Suzuki⁶, Waka Komatsu⁶

1. Univ. of Tokyo, 2. Kobe Univ., 3. Geological Survey of Japan, 4. JAMSTEC, 5. Tokyo Univ. of Marine Science and Tech., 6. Nippon Marine Enterprises

Introduction

A number of historically large earthquakes with magnitude higher than 8 occurred in the Japan Trench subduction zone, with the March 2011 Tohoku earthquake (M 9.1) being the latest one. Obana et al. (2012) used ocean bottom seismograph observations after Tohoku earthquake and realized that the mechanism of intraplate earthquakes beneath the outer rise of Japan Trench has changed at depths below 20 km from a reverse faulting to a normal faulting pattern. Their observation suggested that the stress regime of the Pacific plate has changed to a tensional stress down to a depth of 40 km after the Tohoku earthquake. This could have a direct impact on the occurrence of the large normal faulting earthquakes which could trigger a Tsunami. In order to investigate the detailed geological setting of the outer rise of Japan Trench off Sanriku and Miyagi of northeast Japan, we have conducted a high resolution multichannel seismic reflection survey in April, 2019.

Data Acquisition and Processing

We used research vessel *Shinsei-Maru* for survey KS-19-05 to acquire seismic reflection data along two seismic lines. Line number 5 off Miyagi passes closely to the epicenter of Tohoku earthquake, and line number 1 off Sanriku is in the northern part of the study area. A streamer was towed at a nominal depth of 6 m with 288 channels at intervals of 6.25 m to record the data with a maximum offset of 1800 m. Two GI airguns (2 x 355 cubic inches) at a depth of 5 m were fired simultaneously at shot intervals of 50 m and 37.5 m for line 5 and line 1, respectively. The total length of seismic line was 100 km and 150 km for line 5 and line 1, respectively. Due to a problem with acquisition tools, the depth of streamer could not be fixed in line 5 and a significantly strong swell noise contaminated the reflection data. Moreover, a large amount of spike noise occurred due to the recording system issues, which demanded advanced noise suppression methods. We used a time-variant band-limited envelope thresholding technique to suppress the strong swell noise. The spiky traces were manually edited to be excluded from data processing, and FX deconvolution filter was applied to further reduce the noise effect. Stacked sections and post-stack time-migrated sections illustrated the high resolution subsurface structure of the Japan Trench outer rise.

Results and Future Work

We could recognize a horst and graben pattern which starts from the seaside and continues toward the Japan Trench axis with clear associated normal faults. There are three major vertical displacements along

line 5, the line close to the Tohoku earthquake epicenter, which are of significant importance for further investigation. We also observed a series of horst and graben structures that are characterized by normal faults with displacements of several hundreds of meters along line 1. We found slumping-like structure containing turbidites in the major grabens, which we believe were produced by the normal faulting earthquakes. Our future work is to apply advanced velocity model building and depth imaging techniques including reverse time migration (RTM) for a detailed and more accurate imaging of the subsurface structure.

Acknowledgments

We are grateful to the crew of the R/V *Shinsei-Maru* for their support in acquiring the seismic reflection data. This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number 18H03732. We thank Paradigm/Emerson (<http://www.pdgm.com>) for providing seismic data processing software.

References:

Obana K., G. Fujie, T. Takahashi, Y. Yamamoto, Y. Nakamura, S. Kodaira, N. Takahashi, Y. Kaneda, and M. Shinohara, 2012, Normal-faulting earthquakes beneath the outer slope of the Japan Trench after the 2011 Tohoku earthquake: Implications for the stress regime in the incoming Pacific plate, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. **39**, L00G24.

Faults mapping of outer rise earthquakes off the Japan Trench

*Shuichi Kodaira¹, Yasuyuki Nakamura¹, Gou Fujie¹, Koichiro Obana¹, Seiichi Miura¹

1. Research Institute of Marine Geodynamics, JAMSTEC

日本海溝海側アウターライズでは2011年東北沖地震発生直後から地震活動が活発化し、本震発生から8年以上が経過した現在でも、依然として東北沖地震発生前より有意に高い地震活動が続いている。また、1896年明治三陸地震と1933年昭和三陸地震のようにプレート境界での巨大地震に続いて沈み込む前の海洋プレート内で正断層型巨大地震が発生することも指摘されており、これらの観測事実から東北沖地震発生後のアウターライズ域では巨大な正断層地震発生の可能性も危惧されている。

東北地震発生後、日本海溝域ではS-netの運用が開始されるとともに、津波浸水即時予測システムの構築も進められている。しかしながら、アウターライズ地震に対しては津波予測等に必要な震源断層に関する情報が極めて少ないのが現状である。そこで、海洋研究開発機構では徳島大学、防災科学技術研究所などと共同で日本海溝アウターライズ域での震源断層マッピングとそれらを用いた津波予測の研究を進めている。本講演では震源断層マッピングに向けた地下構造探査の最新結果を報告する。

海洋研究開発機構では千島海溝南部から日本海溝域アウターライズ域において大局的地下構造を把握するための調査を2009年より進めてきた。その結果、アウターライズ域では最上部マントルP波速度が海溝海側約150km付近から8~12%減少していることが確認され、これはプレート折れ曲がりによる断層発達に伴うマントルの蛇紋岩化作用の結果であると解釈された。そこで、2017年度からは大局的調査によって推定された断層発達域において、海底広域調査船「かいめい」による集中的な反射法地震探査を開始した。2017年度は「かいめい」慣熟航海の一環として北緯38~39°付近で6測線の反射法探査データを取得し、2018年度は調査航海として38~36°付近の10本の測線で反射法探査データを取得した。

2018年度航海で得られたデータは船上処理の後、ノイズ抑制処理、多重反射波抑制処理、速度解析、重合前時間マイグレーション等を実施した。その結果、プレート折れ曲がりに伴う海洋地殻上面の正断層構造や海洋地殻上面から往復時間約2秒下に明瞭な海洋モホ面がイメージングされた。海洋地殻上面は折れ曲がり断層の落差は海溝付近では往復時間0.5秒（約500m）に達するものもある。また、海洋モホ面も明瞭にイメージングされているが、ところどころに不連続な特徴を示している。一方で、地殻内、及びマントル内には正断層を示すような明瞭な反射面は見えていない。

アウターライズ域で実施された地震観測の結果からは深さ40km程度まで正断層地震が観測されており、震源分布から断層の傾斜は55~75°と推定されている。この急傾斜のために反射法地震探査データからは地殻内・マントル内の断層イメージが得られなかった可能性がある。一方で、地震観測から示された傾斜角を仮定して基盤で確認された正断層構造をモホ面まで延長すると、モホ面の不連続な領域とよい対応を示している。

現在、反射法地震探査データから推定されるマントルまで伸びる正断層の分布、及び海底地形によるその断層の横方向の連続性、地震活動情報に基づく断層の深さ分布などの観測データを用いてアウターライズ震源断層マッピングをすすめている。今後、これらの情報を基にM7.5相当以上の震源断層を用いてアウターライズ巨大正断層地震による津波計算を実施する予定である。

Seafloor sediment thickness below S-net observatories revealed from PS conversion wave at the sedimentary base

*Ryosuke Azuma¹, Ryota Takagi¹, Genti Toyokuni¹, Takashi Nakayama¹, Syuichi Suzuki¹, Makiko Sato¹, Naoki Uchida¹, Ryota Hino¹

1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University

日本・千島海溝域に展開されたケーブル式リアルタイム海底地震観測網「日本海溝海底地震津波観測網（S-net, 防災科学技術研究所）」の運用が2016年に開始され、海域で発生する巨大地震・津波の早期検知による防災面や地震活動の実態把握など科学面での発展が期待される。一方で、海底下の表層には低地震波速度の未固結堆積層が不均質な厚さで存在するため、海底地震計記録を用いた解析にはこの表層堆積層による走時遅れを適切に補正する必要がある。そこで本研究では、堆積層基盤でP波からS波に変換する波（PS変換波）とP波初動との走時差をS-net観測点において読み取ることで、日本・千島海溝域の表層堆積層厚さの空間分布を推定した。

地震波形の読み取りにあたり、傾斜面に設置されたS-net観測点のセンサーの姿勢と方位を決め地震波形記録を上下・水平動成分に分離する必要がある。ここではTakagi et al. (under review) において加速度波形の重力加速度と遠地地震表面波の振動軌跡から求めたセンサーの姿勢と方位を用い、速度波形を上下・東西・南北成分に変換した。次に、2017年1月から2018年9月までに東日本で発生した太平洋スラブ内の地震30個（Mjma = 3.9–6.2, 深さ4–98 km）についてP波初動を験測し、それらの到達時刻で時間軸を揃え震央距離で並べたギャザーを観測点ごとに作成した。地震波速度が非常に遅いため堆積層中では波線は鉛直に近く、観測点直下の堆積層基盤でのPS変換波はP波と同じ見かけ速度で水平動記録にあらわれるため、観測点ギャザー上で震央距離によらず一定の走時差で振幅の増大が顕著な相を堆積層基盤変換波とみなし、それよりも早い時刻にも振幅の増大する相がある場合には候補として験測した。

S-net全150点の観測点ごとにPS-P走時差の平均値を求めた結果、太平洋プレート上では~1.1–1.7秒程度であったが、陸側斜面では~1.5–3.3秒程度と分布の幅が広く、海溝軸の内外で大局的に異なることがわかった。さらに太平洋プレート上であっても日本海溝沿いの観測点で1.3–1.5秒、千島海溝側で1.6–1.7秒、海溝会合部で約1.1秒と走時差が領域ごとに変化した。一方、陸側斜面上に注目すると、斜面下部と海岸近く（~2秒以下）に対して斜面中部（~2秒以上）では相対的に走時差が大きい。加えて、斜面中部の水深1,000~3,000mの範囲では、海底面の斜度の緩やかな日高トラフ（~2.5–3.3秒）から斜度の増加する三陸沖から房総沖に向かって1.8秒程度まで減少し、島弧沿いに大きく変化した。PS-P走時差に対して堆積層内のP波速度を2 km/s, S波速度を陸側斜面で0.6 km/s (Yamamoto et al., 2006)・海側斜面で0.25 km/s (Fujie et al., 2016)と仮定し推定した堆積層厚さ分布は人工地震探査（例えば, Tsuru et al., 2002; Fujie et al., 2016; Azuma et al., 2018）の結果と整合的である上、基盤の深くなっている場所は、日高トラフや十勝沖での発達した海盆の存在を示す低重力異常 (Basset et al., 2016)ともよく対応する。したがって、本研究により堆積層の基盤の深さが太平洋プレート上と陸側斜面の上部・下部で浅く、陸側斜面中部では日高トラフと三陸沖以南とで異なる様子を捉えられたとえる。

本研究のPS-P走時差分布は上野・他 (2019) の推定値とも概ね一致するが、日高トラフや房総沖の観測点にはPS-P験測値のばらつき（±0.06–0.17秒程度）を上回って異なる傾向があり、同定した相が上野・他と異なる可能性がある。そこで、各地震の水平動2成分の波形から4つの周波数帯（1–2, 2–4, 4–8, 8–16 Hz）でエンベロープ波形を求め重合したものを観測点ごとに作成し、本研究および上野・他による験測値と比較した。その結果、走時差の一致がよい福島沖～三陸沖の観測点ではPS変換波の験測時刻において2–8 Hz帯域のエンベロープ振幅が顕著に増大するのに対し、不一致の大きい房総沖～茨城沖の観測点では複数の時刻で段階

的に振幅が増加，日高トラフでは全帯域で特徴的な振幅増加を持たない傾向があった．一般的に，P波からS波への変換効率は上下層間の地震波速度コントラストの大きさに依存する．すなわち，PS変換波の振幅の明瞭さが，堆積層－基盤岩間の速度コントラストや堆積層内構造の情報になりうる．したがって，変換波の明瞭さの異なる日高トラフ，三陸沖～福島沖，房総沖とでは異なる過程で未固結堆積層が形成されたと考えられる．

P and S wave tomography of the NE Japan forearc region using S-net data

*Genti Toyokuni¹, Dapeng Zhao¹, Naoki Uchida¹, Takashi Nakayama¹

1. RCPEVE, Tohoku University

The great 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0) occurred off the Pacific coast of Northeast Japan, where the Pacific plate is subducting beneath the Okhotsk plate. The S-net (the Seafloor observation network for earthquakes and tsunamis along the Japan Trench) that initiated in 2016 is a large-scale, permanent, ocean-floor seismograph network with cabled 150 stations, which covers a wide oceanic region off Northeast Japan (Kanazawa, 2013). In this work, we study the 3-D seismic velocity structure beneath the NE Japan forearc region covered by the S-net.

We have newly collected two sets of arrival-time data. The first set contains arrivals picked by our technical staff, which include 36,002 P and 13,326 S arrivals of 241 local earthquakes recorded at the S-net and other inland Hi-net stations. The second data set contains arrivals picked by the first author (G.T.), which include 3,754 P-wave arrivals of 63 local earthquakes recorded by the S-net. Then the newly picked data are integrated with the existing arrival-time data from 747 teleseismic events for P-wave and 643 teleseismic events for S-wave, as well as 2,528 local earthquakes recorded at 1,852 Hi-net stations on the Japanese land areas (Liu & Zhao, 2016). These combined data are inverted to obtain new 3-D P- and S-wave velocity models (V_p , V_s) beneath the entire NE Japan arc by using the tomographic method of Zhao et al. (2012).

In this work we focus on the obtained 3-D images at depths < 80 km below the region covered by the S-net. The major results are summarized as follows.

- (1) The spatial resolution of the V_p and V_s images at depths of 5~60 km beneath the S-net is greatly improved.
- (2) Prominent low- V_p and low- V_s anomalies are revealed in the off-Iwate and off-Fukushima areas. These features are consistent with those revealed by previous works (e.g., Zhao et al., 2011; Huang & Zhao, 2013; Liu and Zhao, 2018), suggesting that our hand-picked arrival-time data are quite accurate and robust.
- (3) A significant high- V_p anomaly is revealed along the Japan Trench especially beneath the off-Miyagi region where the rupture of the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0) initiated, which may reflect that the sedimentary layer is very thin there above the subducting Pacific plate.

References

- Huang, Z., D. Zhao (2013) JAES, 70–71, 160–168.
 Kanazawa, T. (2013) Underwater Technology Symposium (UT), 2013 IEEE International.
 Liu, X., D. Zhao (2018) Science Advances 4, eaat4396.
 Zhao, D. et al. (2011) GRL 38, L17308.
 Zhao, D. et al. (2012) GJI 190, 816–828.

Keywords: Seismic tomography, Offshore Northeast Japan, S-net, 3-D velocity structure

[S06]PM-1

chairperson: Tatsuya Ishiyama (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Takashi Tonegawa (JAMSTEC), Masanao Komatsu (Okayama University)

Tue. Sep 17, 2019 1:30 PM - 3:00 PM ROOM B (Symposium Hall, International Science Innovation Building)

[S06-10] Receiver function imaging of the subducting Pacific plate beneath NE Japan using offshore and on land seismic arrays

*HyeJeong Kim¹, Hitoshi Kawakatsu¹, Takeshi Akuhara¹, Masanao Shinohara¹, Ryota Takagi² (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Graduate School of Science, Tohoku University)

1:30 PM - 1:45 PM

[S06-11] Crustal reflector and seismicity in Iwaki area

*Takashi Iidaka¹, Shinichi Sakai¹, Toshihiro Igarashi¹, Kazushige Obara¹, Aitaro Kato¹, Tetsuya Takeda², Shigeki Nakagawa¹ (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

1:45 PM - 2:00 PM

[S06-12] Heterogeneous crustal structure offshore of the Ibaraki prefecture along the Japan Trench

*Kimihiro Mochizuki¹, Tomoaki Yamada¹, Masanao Shinohara¹, Ryota Hino², Ryosuke Azuma², Yoshihiro Ito³, Yoshio Murai⁴, Kenji Uehira⁵, Toshinori Sato⁶ (1. Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo, 2. Graduate School of Science, Tohoku Univ., 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., 4. Faculty of Science, Hokkaido Univ., 5. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 6. Graduate School of Science, Chiba Univ.)

2:00 PM - 2:15 PM

[S06-13] Seismic Source Fault Model for Kinki Region Based on Geologic and Geophysical Data, Southwest Japan

*Tatsuya Ishiyama¹, Hiroshi Sato¹, Naoko Kato¹, Makoto Matsubara², Tomoko Elizabeth Yano², Susumu Abe³, Masanori Higashinaka³ (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. JGI, Inc.)

2:15 PM - 2:30 PM

[S06-14] The seismological structure about fault zone extending to the lower crust in the northern Kinki district, southwestern Japan

*Shinya Katoh¹, Yoshihisa Iio², Takuo Shibutani², Hiroshi Katao², Masayo Sawada², Kazuhide Tomisaka² (1. Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University.)

2:30 PM - 2:45 PM

[S06-15] Detailed seismic velocity structure in focal area of the 2016 Central Tottori Earthquake estimated using dense aftershock observation data

*Hiroo Tsuda¹, Yoshihisa Iio², Satoshi Matsumoto³, Shinichi Sakai⁴ (1. Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 3. Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University, 4. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

2:45 PM - 3:00 PM

Receiver function imaging of the subducting Pacific plate beneath NE Japan using offshore and on land seismic arrays

*HyeJeong Kim¹, Hitoshi Kawakatsu¹, Takeshi Akuhara¹, Masanao Shinohara¹, Ryota Takagi²

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Graduate School of Science, Tohoku University

The seismogenic zone of NE Japan subduction zone locates at offshore, where in situ observation is only possible with ocean bottom sensors. The seismogenesis of subduction zones has a close relationship with the hydrous state of the subduction zone system, and water has been observed as a low velocity zone of the subducting plate. Continuous imaging of the subsurface structure from the trench, crossing the whole forearc, is important to understand the relationship between seismicity and seismic structure, as well as to delineate the water transportation in subduction. On land, arrays from different institutes cover Japanese islands densely enough to get good quality receiver function images. On the seafloor, several temporary arrays of pop-up type ocean bottom seismometers were deployed over the years (e.g., Shinohara et al., 2012, EPS). Furthermore, the ocean bottom cable network off the coast of NE Japan (S-net; Kanazawa et al., 2016, SubOptic) has allowed a real-time and permanent observation on the seafloor from late 2016. In this work, we conduct the receiver function analysis of those amphibious array data to produce continuous receiver function images from ocean to land. To use the ocean bottom seismic data for imaging, special care has to be taken for the effect of the low velocity sediment on top of the seafloor; an extremely slow S-wave velocity (< 0.5 km/s) of the thin sediment causes a large delay in arrival times (e.g., ~ 2 seconds) to the converted waves that may result in misplacement of an image if the effect is not corrected. The common conversion point stacked images show a continuously dipping oceanic Moho along profiles crossing ocean and land. Besides, the forearc part of the subducting plate shows a signature of a low velocity layer above the oceanic Moho as land stations do. The result of this work presents the first receiver function image in NE Japan using both ocean and land stations that shows coherent structural signatures of the subducting oceanic plate.

Crustal reflector and seismicity in Iwaki area

*Takashi Iidaka¹, Shinichi Sakai¹, Toshihiro Igarashi¹, Kazushige Obara¹, Aitaro Kato¹, Tetsuya Takeda², Shigeki Nakagawa¹

1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

1) はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震以降、日本列島の地震活動は大きく変化した。これらの地震活動の変化は、東北地方太平洋沖地震に伴い島弧の応力場が変化したことに関係していると考えられる。いわき地域の地震活動においては、東北地方太平洋沖地震以降大きく変化し、地震が増加した。しかし、その理由はいまだに明らかになっていない。東京大学地震研究所では関係機関と連携し、この地域で60点規模の臨時地震観測をおこなった。いわき地域で発生した地殻内地震について、この臨時観測点で観測された波形記録を見ると、ひとつの特徴として2種類の後続波が観測された。その原因を調べてみると、2つの後続波は、地殻内に存在する境界面とモホ面からの反射波であることがわかった(臼田, 修士論文2018)。臼田(2018)では、いわき地域に発生した地震と臨時観測の観測点を用いて、逆VSP法解析による調査から反射面の位置の推定をおこなった。

この地域の地震活動の特徴として、上部地殻での活動に加えて、地殻中部でも顕著な活動域が見られることが挙げられる。この地殻中部の活動域は、地殻内反射面とほぼ一致し、地殻中部の地震活動と反射面との関係が深いことが示唆された。また、反射波の振幅が大きいことから、地殻内の反射波は流体を含んでいる層からの反射波である可能性が指摘され、地殻中部の地震活動が地殻内流体によって引き起こされた可能性が示された(臼田, 2018)。さらに、この領域の地殻上部の地震活動と反射面との関係を調べた。この領域の地震活動は、東北地方太平洋沖地震に伴い3月11日に活発化が始まっている。一連の活動は、検出された反射面の南部の直上で始まり、地殻内反射面を中心にして取り囲むように地震活動が活発となっていることがわかった(飯高・他, 2019)。このように地震活動と反射面の位置は密接な関係があり、一連の地震活動が地殻内流体と関係している可能性が指摘された(飯高・他, 2019)。臼田(2018)によって求められた反射面は北緯37度まで求められているが、その北側でも地震活動は活発であり、地震と反射面との関係を明らかにするために、北緯37度以北における反射面の存在の有無を明らかにすることが重要であると考えられる。そのため北側について、観測域の北側で発生した地震を中心に北緯37度以北の観測点を調べた。反射面を検出するため、逆VSP法解析による解析を用い解析をおこなった。

2) データおよび解析

いわき地域で、2012年に北緯37度以北に発生したマグニチュード3以上の地震について解析をおこなった。用いた観測点は、この地域に展開した臨時観測点とHi-net, F-net等の観測点を用いた。この地域の地震活動は、上部地殻で発生する深さ15km以浅の地震と、15kmから30kmに発生する地殻中部の地震の活動が見られる。この解析では、地殻上部で発生した15km以浅の地震を用いた。

解析手順は以下のようにした。(1) 波形から後続波を検出する。(2) その後続波のパーティクルモーションを調べ、P波であるかS波であるかを明らかにする。(3) 後続波の起源を調べる(反射された波であることを確認する)。(4) 後続波を用い逆VSP法解析により地殻内反射面を求める。

3) 結果

後続波を調べることによって、パーティクルモーションや見かけ速度から、観測された後続波は地殻内に存在する境界面からのS波の反射波であることがわかった。この地域では、これまでに逆VSP法解析による調査から反射面の検出が行われており、北緯37度まで反射面の存在が示されている(臼田, 修士論文2018)。一方、この地域の地震活動は、一辺が30km~50kmの三角形の領域で活発に発生しており、その地震活動は北緯37度以北にも見られる。また、この地域の地震活動と反射面との関係が示唆されており、その観点に立って考

えると、北緯37度以北の地殻内部においても反射面の存在が推測される。

今回の解析で、このいわき地域で反射波を用いて逆VSP 法解析をおこなったところ、これまで求められていた地域の北側の北緯37度以北にも、反射面が存在することが確認された。このことは、この地域においては、地震活動が活発な領域において広く地殻内反射面が存在することを示している。この反射面は、反射波の振幅が大きいことから、地殻内流体起源である可能性が示唆されている。この地域の活発な地震活動と地殻内流体との関係を明らかにしていくことは、地殻内地震の発生原因を考えるうえでひじょうに重要な課題である。また、地殻内流体の物理的性質やその供給源を明らかにしていくことは、内陸地震の発生メカニズムの現象解明に向けた重要な研究課題であると考えられる。

Heterogeneous crustal structure offshore of the Ibaraki prefecture along the Japan Trench

*Kimihiro Mochizuki¹, Tomoaki Yamada¹, Masanao Shinohara¹, Ryota Hino², Ryosuke Azuma², Yoshihiro Ito³, Yoshio Murai⁴, Kenji Uehira⁵, Toshinori Sato⁶

1. Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo, 2. Graduate School of Science, Tohoku Univ., 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., 4. Faculty of Science, Hokkaido Univ., 5. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 6. Graduate School of Science, Chiba Univ.

茨城県沖100 kmの日本海溝沿いでは、M7級地震が約20年間隔で繰り返し発生してきた。この震源域周辺で行われた構造調査では富士山級規模の沈み込んだ海山が確認されたが、その位置はM7級地震の震源域から外れていた（Mochizuki et al., 2008）。また、海域地震観測で観測された微小地震も、この沈み込んだ海山周辺には分布していないことが明らかとなった。これらの結果から、Mochizuki et al. (2008) は、沈み込んだ海山はM7級繰り返し地震のアスペリティとなっていない可能性を示した。Wang and Bilek (2011) は、海山が沈み込むことによって、上盤側構造内にフラクチャー網が形成され、したがってプレート境界面周辺ではひずみエネルギーが蓄積されないために、規模の大きな地震が発生しないである可能性を議論した。最近の研究によって、本領域でスロー地震が発生していることが明らかとなった（例えばMatsuzawa et al., 2015 ; Nishikawa and Ide, 2018）。通常の地震からスロー地震まで、多様な地震活動とプレート境界周辺構造との比較検討は、地震発生メカニズムの理解のために重要な課題である。

ニュージーランド北島沖合のヒ克蘭ギ沈み込み帯では、多様な地震活動とプレート境界の形状的特徴との比較検討が進められている。例えばWallace et al. (2016) は海域での地震・地殻変動観測網によって、その直下で発生した大規模なスロースリップの観測に成功し、スロースリップにおけるすべり量の詳細な分布を明らかにした。その結果を見ると、スロースリップによる断層すべりは、地震波構造調査や電磁気観測から明らかにされた沈み込んだ海山を避けるように分布していることがわかった。またTodd et al. (2018) は、ヒ克蘭ギ沈み込み帯では初めてとなる、海域における微動活動を確認し、しかもその活動が沈み込んだ海山周辺域に限って分布することを明らかにした。これらのことから、ヒ克蘭ギ沈み込み帯北東部における多様な地震活動は、そのすべりの性質の違いとともに、プレート境界面上の異なった場所に分布していると考えられる。地震波構造調査によるプレート境界面の形状や物性の特徴を詳細に明らかにすることで、多様な地震の発生メカニズムの理解が深まることが期待される。

周期的に発生する大規模な地震からスロー地震まで、多様な地震活動が見られる茨城県沖日本海溝沿いでは、海底地震計とエアガン人工震源を用いた海域構造調査が複数の測線に沿って行われてきた。これらの構造調査の結果をまとめることによって、プレート境界周辺の構造的および物性的特徴の空間分布を明らかにすることができると考えられる。本研究では2011年2月に白鳳丸を用いて行った構造調査のデータ解析を進め、既存の構造調査の結果と合わせ、プレート境界周辺の構造的特徴を議論する。

Seismic Source Fault Model for Kinki Region Based on Geologic and Geophysical Data, Southwest Japan

*Tatsuya Ishiyama¹, Hiroshi Sato¹, Naoko Kato¹, Makoto Matsubara², Tomoko Elizabeth Yano², Susumu Abe³, Masanori Higashinaka³

1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. JGI, Inc.

はじめに 近畿地域の西南日本内帯では第四紀に活動的な南北～北北東走向の逆断層と東西～東北東走向の横ずれ断層が密に分布し、これらは鮮新-更新統および中後期更新世・完新世に形成された新旧の地形を累積的に変位させる（活断層研究会，1991）。当地域では1995年兵庫県南部地震以降に数多くの反射法地震探査が実施されており、得られた反射法地震探査断面の解釈に基づく震源断層モデルの推定が可能である。また、近畿地域には鮮新・更新統の堆積盆が広く分布し（例えば市原編，1993）、その層序は反射断面の解釈や断層のすべり速度を推定する上で有用である。そこで、当地域で過去に取得された反射法地震探査断面および変動地形・地質構造・鮮新-更新統の層序に基づき構造解釈を行い、近畿地域に分布する活断層の震源断層モデルの構築を試みた。本発表では主要な活構造について例を示すとともに、課題を整理する。

反射法断面と断層モデルの概要 震源断層モデルの構築に際し、1980年代以降に近畿地域で実施された主要な反射法地震探査断面を収集し、測線位置と断面のコンパイルを行った。反射断面の解釈にあたっては、産業技術総合研究所・地質調査総合センター発行の5万分の1・20万分の1地質図に加えて市原編（1993）や吉川・三田村（1999）、Satoguchi and Nagahashi (2012)等の鮮新・更新統の層序・構造を参照するとともに、都市圏活断層図、池田ほか（2002）等の活断層・変動地形の位置・性状に関するデータを参照した。また、重力異常データ（地質調査総合センター編(2013)など）も使用した。

逆断層である琵琶湖西岸断層帯と右横ずれ断層である花折断層帯は近接して並走しており、何れが主要な構造かについてはよく分かっていない。そこで両断層帯の構造的な関係について詳細に検討することを目的として、両者を横断する2測線で実施した高分解能反射法地震探査の結果（石山ほか, 2018）から、琵琶湖西岸断層帯は地表位置から西に中角度で傾斜する逆断層であること、また花折断層帯は高角ないしはほぼ垂直な断層面をなすと考えられる。一方、地震波速度構造モデル（Matsubara et al., 2017）に基づく測線沿いの東西断面・微小地震活動および震源メカニズム解（松原・ヤノ, 2018）によると、右横ずれ断層である花折断層帯と整合的なメカニズム解を持つ地震活動は深さ10 km以浅に限定されるのに対して、逆断層型のメカニズム解を持つ地震は堅田断層の断層面の下方延長部に分布しており、高角の右横ずれ断層である花折断層帯が、中角度で西に傾斜する逆断層である琵琶湖西岸断層帯の上盤側に発達するとする構造モデル（佐藤ほか, 2007）と整合的である。このように、花折断層帯・琵琶湖西岸断層帯については、反射法地震探査および再決定震源による地震活動・震源メカニズム解から、低角～中角度で西に傾斜する逆断層である琵琶湖西岸断層帯が主断層であり、花折断層帯がその上盤側に発達する高角の横ずれ断層と推定される。

大阪平野周辺には、上町断層帯、生駒断層帯に代表される南北走向・東傾斜の逆断層と、有馬-高槻断層帯、六甲-淡路断層帯に代表される東西～東北東走向の横ずれ断層が近接して分布しており、その構造的な関係は複雑である。上町断層・生駒断層を横断する大大特測線（Sato et al., 2009）の再解析結果や重力異常データから、上町断層・仏念寺山断層が生駒断層とは独立したリトリックな断層面を有する逆断層であること（石山ほか, 2018）、枚方断層や有馬-高槻断層帯が従来の推定よりも北および東に延び、その東端部がとほぼ収束することなどが明らかとなった。2018年6月18日の大阪府北部の地震（M6.1）の本震・余震は、これらの複数の断層帯が近接する上町断層の北部延長である仏念寺山断層の深部延長周辺にあたるが、震源断層面の推定や大阪府北部の地震との関係を詳細に義論するためには、深部構造探査により仏念寺山断層などの構造的特徴を更に詳細に把握することが必要である。

引用文献 地質調査総合センター編, 日本重力データベースDVD版, 2013;市原編, 『大阪層群』, 創元

社, 1993; 石山, 活断層・古地震研究調査報告, 3, 145-155, 2003; 石山ほか, 活断層・古地震研究調査報告, 4, 155-162, 2004; 石山ほか, 日本地震学会秋季大会予稿集, S24-04, 2018; 活断層研究会, 新編日本の活断層, 東京大学出版会, 1991; Sato, H. et al., Tectonophysics, 472, 86-94, 2009; Sato, H. et al., Tectonophysics, 644-645, 58-67, 2015, 2015; Satoguchi, Y. and Nagahashi, Y., Island Arc, 21, 149-169, 2012; 吉川・三田村, 地質学雑誌, 105, 332-340, 1999; 吉川ほか, 物理探査学会第77回春季大会講演論文集, 114-117, 1987.

The seismological structure about fault zone extending to the lower crust in the northern Kinki district, southwestern Japan

*Shinya Katoh¹, Yoshihisa Iio², Takuo Shibutani², Hiroshi Katao², Masayo Sawada², Kazuhide Tomisaka²

1. Graduate School of Science, Kyoto University., 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University.

GNSS観測により新潟-神戸ひずみ集中帯(NKTZ)の存在が確認されている(Sagiya et al. 2000 Pure appl. geophys). NKTZではM7以上の内陸地震が多く発生しており、NKTZは日本列島の内陸域への歪・応力の蓄積や集中に重要な働きをしていると考えられている。そのため、NKTZの成因を明らかにすることは、内陸域への歪・応力の蓄積や集中のメカニズムを理解するために重要である。現在、Iio et al. (2002 Earth Planet Sci Lett)により、断層帯深部の流体による不均質構造の変形により直上の上部地殻でひずみ速度が大きくなるというNKTZの成因モデルが提唱されており、このモデルでは流体による不均質構造が下部地殻の断層帯深部に局所的に存在していることが必要と考えられている。

現在までの研究(Katoh et al. 2019 JpGU)で、自然地震を用いたS波反射法解析の結果から、近畿地方中北部の下部地殻には有馬高槻断層帯(ATFZ)と同じ走行をもち、ATFZの傾斜方向にのみ存在する不均質構造(reflector)が明らかになり、さらにレーザ関数イメージングでこのreflectorが地震波低速度の薄い層である可能性があることが推定された。これより、このreflectorはATFZの下部地殻への深部延長であると結論づけ、reflectorはIio et al. (2002)によって提唱された断層帯深部の不均質構造であると考えた。しかし、レーザ関数イメージングにおいて、reflectorの上面での地震波速度の不連続面はS波反射法解析と整合的な結果が得られたが、reflectorの下面での不連続面はやや不明瞭であった。そのため、本研究ではreflectorよりも深部の構造をより詳細に求めることを目的として解析を行なった。

解析手法はS波反射法解析とレーザ関数イメージングである。S波反射法解析では、観測された地震波のコーダ波部分をコーダ波の減衰率(codaQ)を用いて振幅の補正を行ない、3Dスタッキングをすることでreflectorの位置を求めている。S波反射法解析においてcodaQが重要なパラメーターとなるが、先行研究では推定されたcodaQの値が精度よく求められているかの確認を行なっていなかった。そこで、本研究では推定されたcodaQの精度を相関係数から統計的に評価し、推定されたcodaQの精度が良い波形だけをS波反射法解析に用いた。次に、先行研究でのレーザ関数イメージングでは、1Hzまでの遠地地震の波形を用いてレーザ関数を求めていたが、本研究では1Hz以上の高周波の波形も用いることでレーザ関数の地震波速度不連続面への感度を上げreflectorの下面を詳細に求めようとした。

上記の手法を用いて推定された下部地殻における断層帯深部の地震学的構造について発表し、近畿地方中北部の下部地殻に存在するreflectorはIio et al. (2002)によるモデルで必要とされる断層帯深部の不均質構造であるかどうかを議論する。

Detailed seismic velocity structure in focal area of the 2016 Central Tottori Earthquake estimated using dense aftershock observation data

*Hiroo Tsuda¹, Yoshihisa Iio², Satoshi Matsumoto³, Shinichi Sakai⁴

1. Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 3. Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University, 4. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

2016年10月21日に鳥取県中部においてM6.6の地震（鳥取県中部地震）が発生した。震源の深さは約10km、震源断層は北北西－南南東方向に延びる左横ずれ断層であった。本研究では、下記の稠密余震観測で得られたデータを用いて、地震波走時トモグラフィーにより本震の震源域における詳細な地震波速度構造を推定した。本研究で得られた速度構造と先行研究により推定されたすべり分布や応力場を比較することで、本震の発生過程を考察した。

鳥取県中部地震の余震域において、京都大学・九州大学・東京大学地震研究所合同観測班により稠密地震観測が行われた。地震計の設置は本震発生の翌日10月22日から11月8日にかけて行われ、3成分地震計（京大・九大担当、満点地震計）10点、3成分地震計（地震研担当、GSX）10台、1成分地震計（0.1満点地震計）49点の計69点が設置された。1成分地震計は2016年12月12日まで、3成分地震計（GSX）は2017年3月まで、3成分地震計（満点地震計）は現在まで観測が行われている。図には、それら臨時観測点と2016年10月22日から12月15日に深さ15 km以浅で発生した14,166個の地震の震源をプロットした。ただし、図にプロットした震源は、臨時観測点で得られたデータを用い、震源決定プログラムhypomh（Hirata & Matsuura, 1987）によって決定したものである。

地震波走時トモグラフィー解析には、臨時観測点のデータに加え、2点の定常観測点のデータも使用した。トモグラフィー解析のプログラムとして、ダブルディファレンストモグラフィーのプログラムであるtomoDD（Zhang & Thurber, 2003）を使用した。トモグラフィー解析のようなインバージョン解析では、初期値にもっともらしい値を与えることが重要である。そこで、1次元速度構造と震源位置を同時に推定するインバージョン手法であるVELEST（Kissling et al., 1994）を使用し、もっともらしい1次元速度構造、震源位置をあらかじめ推定し、それらをトモグラフィー解析の初期速度構造、初期震源位置として使用した。

強震波形のインバージョンにより、震源周辺と震源北部の2ヶ所に大きなすべりが推定されている（Kubo et al., 2017）。本研究で得られた断層面上の速度構造では、その2ヶ所の大すべり域が高速度域に、その周囲のすべりの大きくなかった領域が低速度域におおむね対応している。高速度域で地震時すべりが進展し、低速度域ですべりの進展が阻害されたことが示唆される。

謝辞：気象庁、防災科学技術研究所による定常地震観測点のデータを使用させていただきました。

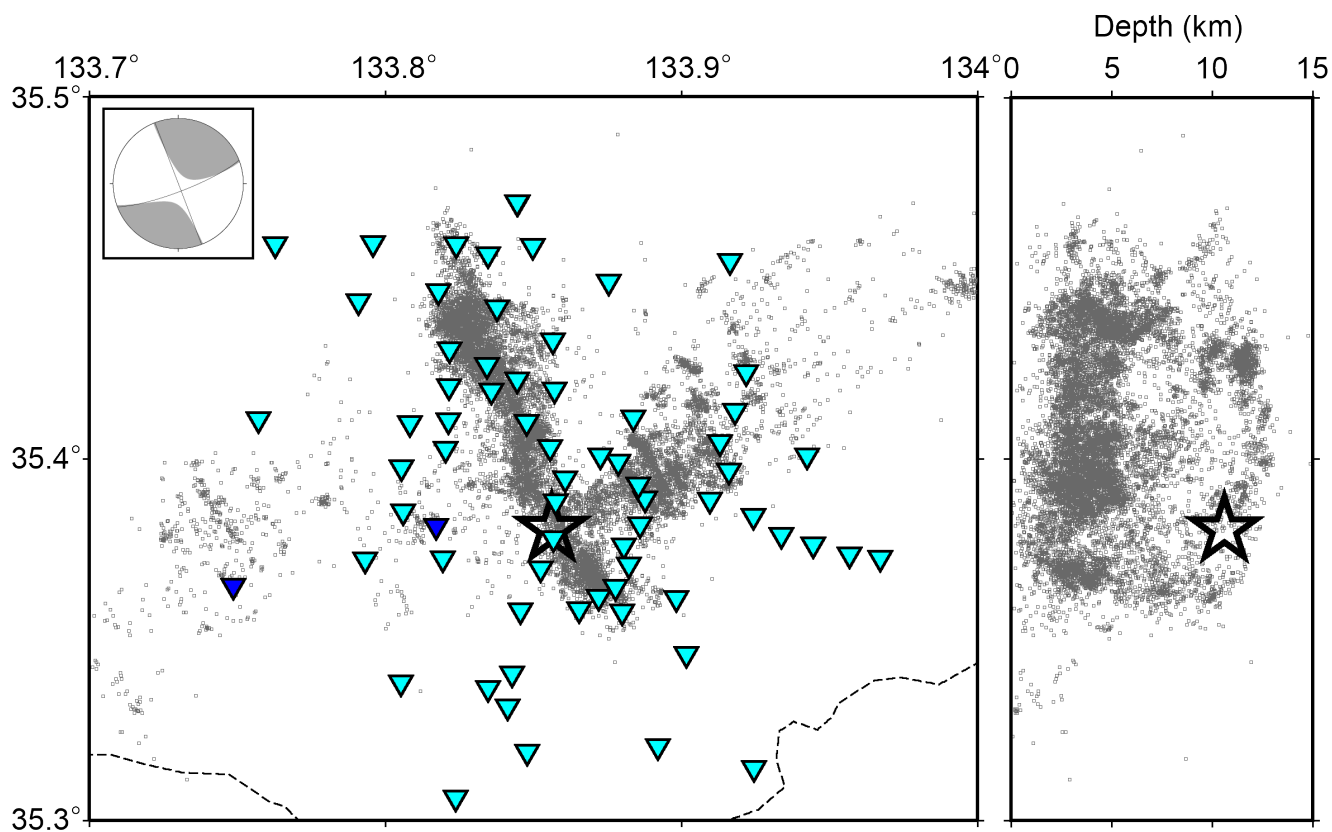


Figure. グレーの点は、2016/10/22~12/15に深さ15 km以浅で発生した地震の震源を表す。星は、鳥取県中部地震の震源を表す。図中の発震機構解は、鳥取県中部地震の気象庁によるCMT解析の結果を表す。水色の三角は臨時観測点を、青の三角は定常観測点を表す。

[S06]PM-2

chairperson: Tatsuya Ishiyama (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Takashi Tonegawa (JAMSTEC), Masanao Komatsu (Okayama University)

Tue. Sep 17, 2019 3:15 PM - 5:00 PM ROOM B (Symposium Hall, International Science Innovation Building)

[S06-16] Feasibility study on the waveform inversion to the OBS wide-angle seismic data

*Gou Fujie¹, Takeshi Sato², Kazuya Shiraishi¹, Shuichi Kodaira¹, Eiichi Asakawa³, Nibe Takao⁴ (1. JAMSTEC, 2. Sapporo Regional Volcanic Observation and Warning Center, JMA, 3. JGI, inc., 4. JAPEX)

3:15 PM - 3:30 PM

[S06-17] Seismic velocity structure monitoring of the Nankai accretionary prism from ambient noise correlations during Chikyu drilling

*Takashi Tonegawa¹, Toshinori Kimura¹, Kazuya Shiraishi¹, Eiichiro Araki¹, Masataka Kinoshita², Yoshinori Sanada¹, Seiichi Miura¹, Yasuyuki Nakamura¹, Shuichi Kodaira¹ (1. JAMSTEC, 2. Univ. of Tokyo)

3:30 PM - 3:45 PM

[S06-18] Underthrust turbidite facies affecting variation in interplate coupling along the Nankai subduction zone

*Jin-Oh Park¹, Tetsuro Tsuru² (1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. Tokyo University of Marine Science and Technology)

3:45 PM - 4:00 PM

[S06-19] Relationship between three-dimensional detailed crustal structures and very low frequency earthquakes in the Nankai trough off Kumano

*Kazuya Shiraishi¹, Yasuhiro Yamada¹, Masaru Nakano¹, Masataka Kinoshita², Gaku Kimura³ (1. JAMSTEC, 2. ERI, University of Tokyo, 3. Tokyo University of Marine Science and Technology)

4:00 PM - 4:15 PM

[S06-20] Lithium isotope detects slab-derived fluids in spring water from the Median Tectonic Line fault zone in Shikoku, Japan

*Yoshiro Nishio¹, Satoshi Tonai¹, Yu Inokuchi¹, Emika Nakamura¹ (1. Kochi Univ.)

4:15 PM - 4:30 PM

[S06-21] The velocity structure beneath the Aira caldera, deduced from the seismic exploration (4)

*Hiroki Miyamachi¹, Reji Kobayashi¹, Hiroshi Yakiwara¹, Shuuichiro Hirano¹, Takeshi Kubo¹, Naohiro Unno¹, Takeshi Matsushima², Kazuya Uchida², Rintaro Miyamachi², Hiroshi Katai³, Takuo Shibutani³, Tsutomu Miura³, Jun Nakagawa³, Itaru Yanada³, Takeshi Tameguri³, Kosei Takishita³, Kazuho Nakai³, Yusuke Yamashita³, Yuta Maeda⁴, Shinichirou Horikawa⁴, Kenjiro Mitsui⁴, Takashi Okuda⁴, Shuhei Tsuji⁴, Naoki Sogawa⁴, Kazuo Nakahigashi⁵, Eiji Kurashima⁶, Tomoaki Yamada⁶, Miwako Ando⁶, Shinichi Tanaka⁶, Satoshi Ikezawa⁶, Toshinori Sato⁷, Mare Yamamoto⁸, Satoshi Hirahara⁸, Takashi Nakayama⁸, Ryusuke Azuma⁸, Shuichi Suzuki⁸, Tomoki Tsutsui⁹, Ryuichi Takei⁹, Yuya Tada⁹, Hiroaki Takahashi¹⁰, Hiroshi Aoyama¹⁰, Mako Ohzono¹⁰, Takahiro Shiina¹⁰, Masamitsu Takada¹⁰, Masayoshi Ichiyanagi¹⁰, Teruhiro Yamaguchi¹⁰, Chihiro Ito¹⁰, Yuki Susukida¹⁰, Yoshio Murai¹⁰, Tatsuya Nakagaki¹⁰ (1. Kagoshima University, 2. Kyushu University, 3. Kyoto University, 4. Nagoya University, 5. TUMSAT, 6. University of Tokyo, 7. Chiba University,

8. Tohoku University, 9. Akita University, 10. Hokkaido University)

4:30 PM - 4:45 PM

[S06-22] P- and S-wave attenuation structures in the Ryukyu Arc, Japan

*Masanao Komatsu¹, Hiroshi Takenaka¹ (1. Okayama University)

4:45 PM - 5:00 PM

Feasibility study on the waveform inversion to the OBS wide-angle seismic data

*Gou Fujie¹, Takeshi Sato², Kazuya Shiraishi¹, Shuichi Kodaira¹, Eiichi Asakawa³, Nibe Takao⁴

1. JAMSTEC, 2. Sapporo Regional Volcanic Observation and Warning Center, JMA, 3. JGI, inc., 4. JAPEx

人工振源を用いた海域地震波構造探査は海底下の地殻構造をイメージングするもっとも効果的な手段である。海域地震探査は、直下からの反射波を稠密な地震計(ハイドロフォン)で観測し海底下の地震波反射面分布をイメージングする反射法地震探査(MCS)と、遠方に設置した海底地震計(OBS)などの観測データを用いて地震波速度構造をモデリングする屈折法地震探査に大別される。

反射法は高解像度で地下構造(反射構造)をイメージングできるが、直下からの反射エネルギーは弱いため10km以深といった深部のイメージングは容易ではない。一方、屈折法は遠距離で観測される深部を伝播した地震波も活用できるため、反射法に比べ深部までイメージングできる。しかし、一般に、屈折法データは地震波の走時(振源から観測点までの伝播時間)のみを用いて解析される事が多く、水平方向の解像度が数km以上など空間分解能が反射法に比し大きく劣る。

この状況を大きく改善し得るのが、屈折法で観測される波動場を活用して地下構造をイメージングする波形インバージョン解析手法である。波形インバージョン解析は一般に稠密な波動場観測が必要となるため、OBSを用いた海域屈折法探査では活用例は未だ多くはないが、Kamei et al. (2013, EPSL) や Gorszczyk et al. (2017, JGR) など海洋研究開発機構が南海トラフ域で実施した稠密OBS探査データ(OBS間隔が1km)によって、走時解析に比して遥かに高解像度で地震波速度構造がモデリングできることが示され始めている。

そこで、我々は海洋研究開発機構が実施した二つの海域、南海トラフ域(Kamei et al., 2013と同じ調査)、伊豆小笠原前弧域、で取得した稠密OBS屈折法探査データに波形インバージョン解析手法を適用し、その可用性について検討した。その結果、波形インバージョン解析の結果は走時解析結果に比して圧倒的に高解像度であるばかりでなく、イメージングされた速度境界は反射法によって把えられる浅部堆積層の地震波反射面分布とも非常によい一致を示すこと、さらにはそれらの速度境界が反射法ではイメージングができない深度まで続いていることなどが確認できた。これらの結果はOBS屈折法データに波形インバージョンを適用することで、地殻構造研究が大きく進展することを改めて認識させるものである。

本講演では、南海トラフ域、伊豆小笠原前弧域における波形インバージョン解析結果を示すとともに、その結果を反射法イメージング結果と比較し、OBSデータ解析における波形インバージョン解析手法の実用性について議論する。また、間引きテストの結果などにもとづき、今後の海域地殻構造探査の進むべき方向などについても議論する。

Seismic velocity structure monitoring of the Nankai accretionary prism from ambient noise correlations during Chikyu drilling

*Takashi Tonegawa¹, Toshinori Kimura¹, Kazuya Shiraishi¹, Eiichiro Araki¹, Masataka Kinoshita², Yoshinori Sanada¹, Seiichi Miura¹, Yasuyuki Nakamura¹, Shuichi Kodaira¹

1. JAMSTEC, 2. Univ. of Tokyo

2018年10月から2019年3月にかけて、地球深部探査船「ちきゅう」によって南海トラフC0002孔の掘削が行われた（国際深海科学掘削計画（IODP）第358次研究航海）。この掘削中の海底地震計記録を用いて付加体の構造モニタリングを行うため、2018年11月から2019年5月にかけてC0002孔から半径800 m以内に6点、半径4-10 km付近に4点の海底地震計を設置し、(1)掘削中の海底常時振動の記録、(2)「ちきゅう」からのエアガン発震、(3)海底広域研究船「かいめい」からのエアガン発震の記録を取得した（Kimura et al. JpGU2019）。本研究では、これらの海底地震計の波形記録に相互相関解析を適用して反射波の抽出を試み、船舶によるエアガン記録と比較してそれらの同定を行い、さらに、同定された反射波の位相・振幅の時間変化の有無を検証する。

海底地震計と孔内（海底下約900 m）に設置された地震計の波形（ノイズ）記録に相互相関解析を適用したところ、4-20 Hzの帯域で二種類の信号を取得できていることがわかった。一つはロータリー掘削中のドリルビットと地層のトルクによって生じる上向きに伝播するS波（ビットシグナル：ドリルビットで地層を掘削する際の連続的な振動）で、もう一つは「ちきゅう」のアジマススラスタ（船舶の推進装置）や掘削機器の動作による船体振動を震源とする音波が海中を伝わりさらに海底下を下向きに伝播するP波である。これらが卓越する時間帯は、ドリルビットの回転率の情報により区別することが可能なこともわかった。本研究では、海底下から戻ってくる反射波を対象にしているため、船体振動による地震波のみを使用する。

C0002孔を通る20 kmの測線（N30°W）上で、「かいめい」によるエアガン発震が行われた。それらの海底地震計記録の水平動成分を見ると、P波から遅れて6秒付近に分岐断層から、8秒付近に海洋性地殻上面からのPS反射波が確認できた。「ちきゅう」の船体振動記録から得た相互相関関数と、「ちきゅう」によるエアガン発震から得た相互相関関数を比較すると、完全に一致とは言えないまでも、非常によく似たフェイズを観測することができた。

さらに付加体の地震波速度構造の潮汐応答を調べるため、C0002孔から約3.7 km離れたDONET(Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis)観測点（KMD16）の水圧計記録を用い、その水圧の大きさに分けてスタックを行った。その結果、水圧の値（荷重）が大きいときのほうが小さいときのものに比べて、反射波の振幅が大きくなることがわかった。その一方で、走時の系統的な変化は見られなかった。このことは、海底での水圧が大きいときに海底下に存在する地震波速度不連続面の速度コントラストが上昇していることを示唆している可能性がある。

謝辞：DONETの水圧計記録を使わせていただきました。また、「ちきゅう」・「かいめい」・「よこすか」の関係者の皆様に感謝申し上げます。

Underthrust turbidite facies affecting variation in interplate coupling along the Nankai subduction zone

*Jin-Oh Park¹, Tetsuro Tsuru²

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. Tokyo University of Marine Science and Technology

Trench sediments get involved in subduction-zone processes such as interplate coupling and megathrust earthquake generation. Although recent seafloor geodetic observations have revealed variation in interplate coupling along the Nankai subduction zone, what constrains the variation is not fully understood. Based on seismic reflection characteristics and drilling results, we mapped three Miocene turbidite facies within the Shikoku Basin sedimentary section incoming to the Nankai subduction zone: western turbidite (WT), central turbidite (CT), and eastern turbidite (ET). These turbidite facies are apparently discrete, and also underthrust along the megathrust fault (i.e., décollement) immediately beneath the overlying accretionary wedge. An inferred landward extension of the three turbidite facies correlates well with the recent slip-deficit rates (SDRs) (Yokota et al., 2016) indicative of interplate coupling. The ~200-km-wide, sheet-like WT overlaps partially with a high-SDR region ($\text{SDR} > 5 \text{ cm/yr}$). The underthrust WT with possibly enhanced drainage could cause low fluid pressures and high effective stresses in the footwall of the décollement, eventually affecting the high-SDR region. The ~115-km-wide, channel-filling CT is almost consistent with a moderate-SDR region ($\text{SDR} > 4 \text{ cm/yr}$) between the high-SDR region and patch. The underthrust CT deposited within erosional channels or isolated basement lows may generate local compartments of excess pore pressure in the footwall of the décollement and thus the moderate-SDR region, leading to segmentation of the neighboring high-SDR region and patch. The ~100-km-wide, sheet-like ET interbedded with thick hemipelagic mudstone facies coincides roughly with another moderate-SDR region between adjacent high-SDR patches. The underthrust ET with the less-permeable mudstone layer may cause relatively high pore pressures and low effective stresses in the footwall of the décollement, and help low-coupling condition at the moderate-SDR region and thus segment the two high-SDR patches. The shallow décollement with the high SDR in the WT region may be associated with the tsunami earthquake generation.

Relationship between three-dimensional detailed crustal structures and very low frequency earthquakes in the Nankai trough off Kumano

*Kazuya Shiraishi¹, Yasuhiro Yamada¹, Masaru Nakano¹, Masataka Kinoshita², Gaku Kimura³

1. JAMSTEC, 2. ERI, University of Tokyo, 3. Tokyo University of Marine Science and Technology

南海トラフ熊野灘では、歴史的に繰り返される巨大地震のほか、スロースリップイベントや浅部超低周波地震（shallow very low frequency earthquake, 以後はsVLFE）などが観測されており、それらの発生要因やメカニズムについて理解するための調査・研究が盛んに行われている。その中で、三次元反射法データをもとに、海洋プレート形状や付加体内部の変形構造とsVLFEの関係についての詳細な議論は十分に行われていない。本研究では、反射法データ再解析により品質の改善された三次元地殻構造イメージをもとに、前縁スラスト帯の詳細地質構造とsVLFE発生の関係を明らかにする。

三次元地殻構造の解析に用いたデータは、南海トラフ熊野灘において2006年の三次元反射法地震探査で取得されたものである。地震発生帯の詳細な三次元地質構造をより良く理解するため、データに再処理と重合前深度マイグレーションを実施し、イメージ品質の改善を行った（Shiraishi et al., 2019）。ここでは、前縁スラスト帯の地質構造を見直すこととし、約30km×12kmの範囲の三次元反射波イメージについて、コヒーレンス解析を用いた不連続構造の抽出と断層の解釈、海洋地殻上面とデコルマ面のホライゾン追跡などを行った。次に、Nakano et al. (2018)によるsVLFEのCMT解推定結果について、水平方向と深度方向のBootstrap法による推定誤差に基づき、震源決定精度の比較的良好な震源のみを選別し、三次元地質構造との対比を行った。

データ再解析の結果、シーケンススラストの発達する浅部の互層ユニットより下位の、アンダースラスト堆積物の内部には複数の反射面がより明瞭になっており、これらのいくつかはスラスト群のデタッチメントと認定できる。ホライゾン追跡を行ったデコルマ面は、全体として比較的なめらかな表面形状を持って北西から南東へ深度約7kmから4.3kmまで浅くなる。そして、東側では緩やかな傾斜で海底面まで達する一方、西側では南端部で急傾斜を伴って一度浅くなってから緩やかに海底面に達する。海洋地殻上面は、同様に全体的に北西から南東へ深度約8kmから6.5kmまで浅くなる中で、地殻内の逆断層（e.g., Tsuji et al., 2009, 2013）に伴う変位や起伏が顕著である。特に、対象領域の中央部、デコルマ面の急傾斜部からは北へ約4kmの位置に、高低差約1kmのリッジが認定された。また、推定誤差の平均値以下で選別されたsVLFEのほとんどは、深度誤差が1.62km以下の精度で、海洋地殻上面近傍と厚さ約2kmのアンダースラスト堆積物の内部に位置しており、その多くが海洋地殻のリッジの北側に分布している。

海洋地殻上面の起伏とsVLFE震源分布が高い相関があるのは、海洋地殻上面の形状がsVLFEの発生をコントロールする要因の一つであることを示唆している。震源メカニズムが低角逆断層型と推定されたsVLFE（Nakano et al., 2018）の多くは、海洋地殻上面のリッジの陸側を中心として、半遠洋性泥質堆積物からなるアンダースラスト堆積物層の内部で、デコルマ面または堆積物中のデタッチメントを利用して発生している可能性が考えられる。今後、sVLFEを含む地震活動と構造との関係をさらに深く理解するために、デコルマ面や付加体内部の断層の三次元形状は欠かせない要素となる。

謝辞：本研究は、JSPS科研費基盤S（JP15H05717）によりサポートされています。

Lithium isotope detects slab-derived fluids in spring water from the Median Tectonic Line fault zone in Shikoku, Japan

*Yoshiro Nishio¹, Satoshi Tonai¹, Yu Inokuchi¹, Emika Nakamura¹

1. Kochi Univ.

日本のような沈み込み帯においては、海溝を通じて地下深部に注入された海洋プレートから、地下深部の高温高圧によって水が放出される（＝「脱水」が進行する）。一方、沈み込んだプレートの年代が大きく異なる太平洋プレートとフィリピン海プレートでは、脱水の様式が大きく異なる（例えば、片山他, 2010）。東北日本下に沈み込む太平洋プレートは、1.3億年前と古くに海嶺で作られたため低温である。そのため、東北日本の火山前線に達するまでの前弧域で、太平洋プレートからの「脱水」はさほど進行せず、火山前線まで沈み込んで、ようやくプレートから顕著な脱水が起こるようになる。一方、西南日本下に沈み込むフィリピン海プレートは、2千年前に比較的最近に作られたためまだ熱い。そのため、西南日本の火山前線に達するまでの前弧域で、フィリピン海プレートから「脱水」が激しく起こっていることが予測される。前弧域のマントルは、溶融が起こるほど温度が高くないため、西南日本前弧域では、地下深部の高温高圧によってプレートから放出された水が上昇する「水みち」が多数存在することが予測される。そして、その水は地殻内の断層を辿って地表に湧出していると考えられる。この観点から、西南日本前弧域は、プレートから放出された水の調査研究に非常に適した場所といえる。

地下の流体分布の調査研究においては、電気比抵抗構造探査や地震波トモグラフィーといった地球物理学的手法が強力なツールであるが、流体の起源部を特定することは地球物理学的手法では難しい。そこで、地表で採取する湧水の地球化学など物質科学的知見を併用することで、より高度な深部起源流体像を得ることが期待される。しかし、深部由来の流体が地表まで上昇する過程で地表水の混入は避けることができない。これまでも温泉の地球化学的調査研究は行われてきたが、従来から利用されていた伝統的な地球化学指標の多くが地表水混入の影響を大きく受けて、深部由来流体の情報を得ることは困難であった。伝統的地球化学ツールの中でも、ヘリウム同位体指標は地表水混入の影響が少ないが、マントル成分の検出に優れたツールであって、スラブ起源成分を直接検出することはできない。この理由で、これまで湧水試料の中からスラブ起源成分を特定できた地球化学研究はない。

最も軽いアルカリ金属元素であるリチウム（Li）は、水に分配されやすい元素の1つである。岩石を含む水溶液は温度が上昇すると共に、水溶液中のLi濃度が急速に上昇する。実際に河川水のような低温しか経験していない地表水に比べると、温泉水など高温を経験した水のLi濃度は有意に高い。地表水と高温を経験した深部流体のLi濃度の差が極めて大きいため、地表水混入の影響はLiの場合は他の元素に比べるとはるかに小さい。流体相に分配されやすい特徴は、Li以外のアルカリ金属元素の共通した特徴であるが、Liは他のアルカリ金属元素と異なって軽元素の安定同位体比（ $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ ）を利用することができる。水と岩石が共存する系において、岩石との反応温度が高くなるほど水溶液の $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ 比は反応した岩石の値に近づき、流体の起源温度の推定を可能とする。特に周囲に火山が存在しない前弧域においては、得られた起源温度から流体の起源深度を推定することができる。このように深部流体の強力なツールとなるLi同位体指標であるが、最近まで分析が困難であったため、他の地球化学指標に比べると得られた知見は限られていた。

中央構造線は日本島弧における最も活動的な断層帯の1つである。断層帯は地下深部の流体の上昇経路として期待され、より深部由来の流体を検出できる。本研究では、西南日本前弧域で上昇するスラブ起源流体を特に四国中央構造線付近の湧水中から検出することを試みた。その結果、四国の中央構造線付近の湧水中のLiはスラブ起源であることが見えてきたため本研究発表で説明する。

参考文献：片山他(2010) 地学雑誌112, 205-223

The velocity structure beneath the Aira caldera, deduced from the seismic exploration (4)

*Hiroki Miyamachi¹, Reji Kobayashi¹, Hiroshi Yakiwara¹, Shuuichiro Hirano¹, Takeshi Kubo¹, Naohiro Unno¹, Takeshi Matsushima², Kazuya Uchida², Rintaro Miyamachi², Hiroshi Katai³, Takuo Shibutani³, Tsutomu Miura³, Jun Nakagawa³, Itaru Yanada³, Takeshi Tameguri³, Kosei Takishita³, Kazuho Nakai³, Yusuke Yamashita³, Yuta Maeda⁴, Shinichirou Horikawa⁴, Kenjiro Mitsuhiro⁴, Takashi Okuda⁴, Shuhei Tsuji⁴, Naoki Sogawa⁴, Kazuo Nakahigashi⁵, Eiji Kurashima⁶, Tomoaki Yamada⁶, Miwako Ando⁶, Shinichi Tanaka⁶, Satoshi Ikezawa⁶, Toshinori Sato⁷, Mare Yamamoto⁸, Satoshi Hirahara⁸, Takashi Nakayama⁸, Ryusuke Azuma⁸, Shuichi Suzuki⁸, Tomoki Tsutsui⁹, Ryuichi Takei⁹, Yuya Tada⁹, Hiroaki Takahashi¹⁰, Hiroshi Aoyama¹⁰, Mako Ohzono¹⁰, Takahiro Shiina¹⁰, Masamitsu Takada¹⁰, Masayoshi Ichiyanagi¹⁰, Teruhiro Yamaguchi¹⁰, Chihiro Ito¹⁰, Yuki Susukida¹⁰, Yoshio Murai¹⁰, Tatsuya Nakagaki¹⁰

1. Kagoshima University, 2. Kyushu University, 3. Kyoto University, 4. Nagoya University, 5. TUMSAT, 6. University of Tokyo, 7. Chiba University, 8. Tohoku University, 9. Akita University, 10. Hokkaido University

〔1〕 人工地震探査概要

南九州の大隅半島～始良カルデラ～薩摩半島～甑海域を東西に横断する約165 km長の人工地震探査測線を設定し、2017年と2018年に観測を実施した。陸域の測線上に約100m間隔で830点、海域の測線上には1 kmまたは2 km間隔で42点の観測点を展開した。人工震源には、2017年は陸域で9カ所の爆薬震源（各薬量200kg）を、2018年はエアガン（容量6000 cubic inch）を海域測線上で100m（一部の区間では50m）間隔で発震すると共に、陸域では大型パイプレータ4台による多重発震を使用した（JpGU, 2019）。

〔2〕 走時データと解析手法

2018年のエアガン震源による走時データは膨大な量であるため、今後、データ整理が終わり次第、データ解析に用いる。今回は、2017年度のP波初動走時データに2018年の観測で得られた新たなP波初動走時データの一部を加え、解析を実施した。解析手法は、これまでと同様に、二次元トモグラフィー法（LTI法（Asakawa and Kawanaka, 1993）、SIRT法）である。高密度な観測点配置と高密度な爆薬震源及びエアガン発震を考慮し、トモグラフィー法における各セルサイズを200m×200mとし、測線下の詳細な速度構造（暫定版）の推定を試みた。また、エアガン発震時に曳航したストリーマーケーブルのデータの解析も行った。

〔3〕 解析結果

ストリーマーケーブルデータの解析により、測線B（桜島の北方海域）では、水平成層を示唆する複数の明瞭な反射面が深さ2km以浅で確認できた。一方、測線H（桜島の南方海域）測線D（甑海域）では、多くの断裂構造が検出された。

主測線下の速度構造については、データ量が増えたことにより、従来の解析結果よりも、より安定した解が得られる傾向である。発表時に詳細を報告する。

P- and S-wave attenuation structures in the Ryukyu Arc, Japan

*Masanao Komatsu¹, Hiroshi Takenaka¹

1. Okayama University

九州南端から台湾北東にかけて位置する南西諸島を対象として、Komatsu and Takenaka (2017, IASPEI)はP波およびS波の減衰トモグラフィを行った。その際、震源スペクトルのコーナ周波数 f_c は気象庁マグニチュードから算出し、 Q が周波数に独立であるとして減衰量 t^* を決定した。本研究では、南西諸島で発生した地震について、Sコード波のスペクトル比から推定した f_c （小松・竹中，2018，地震学会）を採用し、 Q の周波数依存性を考慮して t^* を決定した。決定した t^* を用いて減衰トモグラフィを行い、 Q^{-1} の3次元空間分布を推定した。対象とした地震は、南西諸島で2002年6月～2017年5月の期間に発生した2874イベント（Fig. 1）である。観測波形記録のP波およびS波初動を3秒間切り取り、振幅スペクトルを計算した。 Q が周波数 f に依存して変化すると仮定すると、1 Hzの Q_0 を用いて $Q = Q_0 f^\alpha$ と表現される。本研究では、P波とS波のスペクトルから、 Q の周波数依存性を考慮した t^* の決定を行い、 α の最適値を見積もった。その値は、P波とS波でそれぞれ0.55と0.8である。次に、 t^* をデータとして地震波減衰トモグラフィを行った。波線追跡に必要なモホ面は公開されている最新の反射法探査の結果をコンパイルしてモデル化し、沈み込むフィリピン海(PHS)プレート上面は最新のモデルを採用した。推定された Q^{-1} の空間分布より、以下のことが分かった。沖縄トラフ内や火山活動が活発な地域において、高減衰領域が広がっている。これは地下から供給される高温物質や流体が原因と考えられる。沈み込むPHSプレートに沿った Q^{-1} の分布と南西諸島で発生した短期的スロースリップ・イベント(SSE)の断層モデルを重ねると（Fig. 2），PHSプレート直上の高減衰域と一致した。沈み込むPHSスラブから供給された流体（例えば、脱水した水）がSSEに大きく関わっていると考えられる。

謝辞：防災科研，気象庁，鹿児島大の波形記録，気象庁一元化処理震源データを使用しました。波線追跡にはZhao et al. (1992, 1994)によるコードを使用しました。

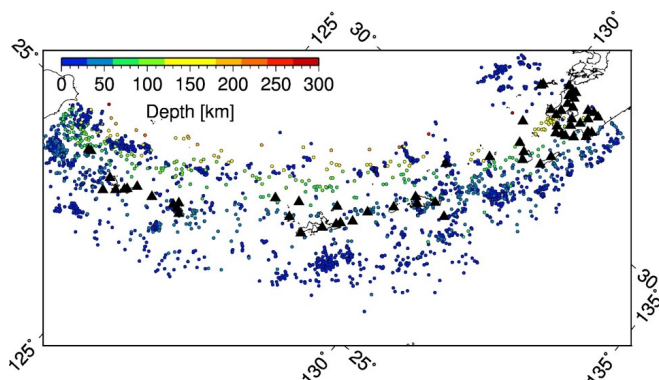


Fig. 1: Events and stations in this study. Colored circle and triangle indicate the epicenter and the station, respectively. Color of each circle denotes the depth of the event.

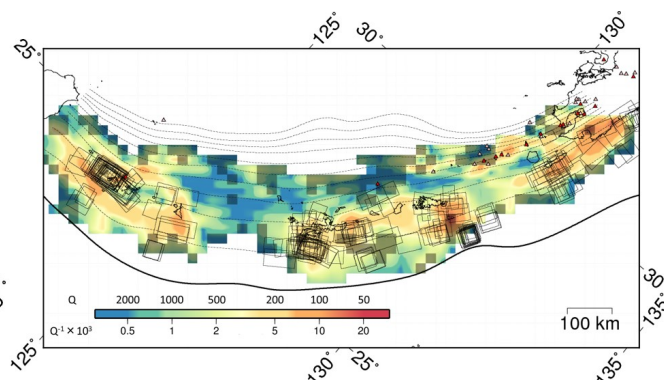


Fig. 2: Q^{-1}_p structure along a curved surface located 5 km above the PHS plate. Black rectangles show SSEs estimated by Nishimura (2014). Dashed lines are contours of top of the PHS plate with intervals of 20 km.