

Mon. Oct 24, 2022

Room A | Special session : S22. Earthquakes, tsunamis, and related phenomena around Hokkaido subduction zone

9:30 AM - 10:45 AM JST | 12:30 AM - 1:45 AM UTC | ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S22] AM-1

chairperson: Takashi Chiba (Rakuno Gakuen University)

9:30 AM - 10:00 AM JST | 12:30 AM - 1:00 AM UTC

[S22-01] [Invited] Recurrence and forecast of great earthquakes along Kuril Trench

*Kenji SATAKE¹ (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

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

[S22-02] Identifying the sources of the 1611 Keicho tsunami

*Yusuke YAMANAKA¹, Yuichiro TANIOKA¹ (1. Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University)

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

[S22-03] Geological evidence of coastal erosion generated with 17th-century tsunami in a beach ridge plain, eastern Hokkaido

*Yuki SAWAI¹, Toru Tamura¹, Yumi Shimada¹, Koichiro Tanigawa¹ (1. Geological Survey of Japan, AIST)

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

[S22-04] Liquefaction history of the ground in the area around the Kuril Islands Trench, Hokkaido, Japan, based on archaeological data

*Wataru HIROSE¹, Hiroaki Takahashi² (1. Hokkaido Research Organization, 2. ISV, Hokkaido University)

Room A | Special session : S22. Earthquakes, tsunamis, and related phenomena around Hokkaido subduction zone

11:00 AM - 12:00 PM JST | 2:00 AM - 3:00 AM UTC | ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S22] AM-2

chairperson: Yusuke Yamanaka (Faculty of Science, Hokkaido University)

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

[S22-05] Structure difference across the submarine canyon in the Kuril subduction zone off Hokkaido and its relation with interplate slip behaviors

*Hiroto Yamaguchi¹, Shuichi Kodaira², Gou Fujie², Tetsuo No², Yasuyuki Nakamura², Kazuya Shiraishi², Nobukazu Seama¹ (1. Kobe University, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

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

[S22-06] Re-evaluation of normal fault distribution in the outer slope of the western Kuril Trench, off the southeastern coast of Hokkaido, based on recent acquired seismic reflection data and bathymetry data

*Tetsuo NO¹, Shuichi Kodaira¹, Kentaro Imai¹, Koichiro Obana¹, Gou Fujie¹, Yasuyuki Nakamura¹, Kazuya Shiraishi¹, Ryo Miura¹, Masao Nakanishi² (1. JAMSTEC, 2. Graduate School of Science, Chiba Univ.)

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

[S22-07] **Development of Real Time Tsunami Forecast Method for Outer-Rise Earthquakes occurred along the Kurile Trench**

*Miu Matano¹, Yuichiro Tanioka¹, Tatsuya Nakagaki¹, Masato Kamiya², Toshitaka Baba², Tetsuo No³, Kentarou Imai³, Yusuke Yamanaka¹, Shuichi Kodaira³ (1. Hokkaido University, 2. Tokushima University, 3. JAMSTEC)

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

[S22-08] Numerical investigation of tsunami in tsunami earthquakes for developing a real time tsunami forecasting method using S-net data

Tatsuto Oishi¹, *Yuichiro Tanioka¹, Yusuke Yamanaka¹ (1. Hokkaido University)

Room A | Special session : S22. Earthquakes, tsunamis, and related phenomena around Hokkaido subduction zone

3:45 PM - 4:45 PM JST | 6:45 AM - 7:45 AM UTC | ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S22] PM-2

chairperson:Mako Ohzono(Faculty of Science, Hokkaido University)

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[S22-09] Seafloor Geodetic Observations along the Kuril Trench off Nemuro

*Fumiaki TOMITA¹, Motoyuki Kido¹, Yusaku Ohta², Ryota Hino², Takeshi Iinuma³, Chie Honsho², Mako Ohzono⁴, Hiroaki Takahashi⁴ (1. IRIDeS, Tohoku University, 2. Graduate School of Science, Tohoku University, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 4. Graduate School of Science, Hokkaido University)

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

[S22-10] Crustal deformation characteristics in and around Hokkaido and Tohoku region as seen from ITRF14 reference frame

*Yuka Ishida¹, Hiroaki Takahashi², Mako Ohzono², Weiwei Wu³, Guojie Meng³ (1. The Department of Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Science, Hokkaido University, 3. Institute for Earthquake Forecasting, China Earthquake Administration)

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

[S22-11] Estimate an interplate coupling in the southern Kuril trench with a stress-constrained inversion method

*Shunsuke Imai¹, Hiroaki Takahashi² (1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan)

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

[S22-12] Strain concentration around the volcanic front in eastern Hokkaido caused by southern Kuril subduction

*Mako OHZONO¹, Hiroaki TAKAHASHI¹ (1. ISV, Faculty of Science, Hokkaido University)

Room A | Special session : S22. Earthquakes, tsunamis, and related phenomena around Hokkaido subduction zone

5:00 PM - 6:00 PM JST | 8:00 AM - 9:00 AM UTC | ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S22] PM-3

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

5:00 PM - 5:15 PM JST | 8:00 AM - 8:15 AM UTC

[S22-13] Current state of seismic activity off Tokachi and Nemuro

*Hiroaki TAKAHASHI¹, Masayoshi Ichiyanagi¹, Ryosuke Azuma² (1. Hokkaido University, 2. Tohoku University)

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

[S22-14] Recent seismic activity in and around Hokkaido, Japan (2018-2021)

*Tetsuo TAKANAMI¹ (1. Hokkaido Research Center of Geology)

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

[S22-15] Spatio-temporal seismic velocity variation near the Japan-Kuril trenches junction revealed from long-term dense-OBS network observation

*Takehiro Sato¹, Ryosuke Azuma¹, Ryota Takagi¹, Ryota Hino¹, Masanao Shinohara² (1. Tohoku University, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

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

[S22-16] Shallow VLFE observation at the Erimo-oki, southern off Hokkaido, using a broadband OBS array and F-net

*Ryosuke AZUMA¹, Ryota Takagi¹, Satoru Baba², Ryota Hino¹, Masanao Shinohara³ (1. RCPEVE, Graduate School of Science, Tohoku Univ., 2. JAMSTEC, 3. ERI, Univ. Tokyo)

Room A | Special session : S22. Earthquakes, tsunamis, and related phenomena around Hokkaido subduction zone

📅 Mon. Oct 24, 2022 9:30 AM - 10:45 AM JST | Mon. Oct 24, 2022 12:30 AM - 1:45 AM UTC | 🏢 ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S22] AM-1

chairperson: Takashi Chiba (Rakuno Gakuen University)

9:30 AM - 10:00 AM JST | 12:30 AM - 1:00 AM UTC

[S22-01] [Invited] Recurrence and forecast of great earthquakes along Kuril Trench

*Kenji SATAKE¹ (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

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

[S22-02] Identifying the sources of the 1611 Keicho tsunami

*Yusuke YAMANAKA¹, Yuichiro TANIOKA¹ (1. Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University)

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

[S22-03] Geological evidence of coastal erosion generated with 17th-century tsunami in a beach ridge plain, eastern Hokkaido

*Yuki SAWAI¹, Toru Tamura¹, Yumi Shimada¹, Koichiro Tanigawa¹ (1. Geological Survey of Japan, AIST)

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

[S22-04] Liquefaction history of the ground in the area around the Kuril Islands Trench, Hokkaido, Japan, based on archaeological data

*Wataru HIROSE¹, Hiroaki Takahashi² (1. Hokkaido Research Organization, 2. ISV, Hokkaido University)

[Invited] Recurrence and forecast of great earthquakes along Kuril Trench

*Kenji SATAKE¹

1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

19～20世紀に発生したM8クラスの巨大地震の履歴に基づき、宇津（1972）は日本海溝北部～千島海溝南部を7つの領域に区分、根室沖が（第1種）地震空白域であると指摘、1972年以降の30年間に巨大地震が発生する確率が40～57%と推定した。その翌年、1973年根室半島沖地震（M7.4）が発生した。

その後の研究によって千島海溝の地域区分は見直され、地震調査委員会は2003年に公表した「千島海溝沿いの地震活動の長期評価」において、十勝沖・根室沖・色丹島沖・択捉島沖に分け、十勝沖におけるM8クラスの地震の30年発生確率を60%程度とした。その半年後の2003年9月26日に、十勝沖地震（M8.0）が発生したが、その震源域は1952年十勝沖地震（M8.2）の津波波源域よりも小さかった。そこで、地震調査委員会（2004）では「千島海溝沿いの地震活動の長期評価（第二版）」において、「十勝沖」「根室沖」の領域を2003年地震に合わせて変更、両地域におけるM8クラスの地震の30年発生確率をそれぞれ0.02～0.5%、30～40%と推定した。

十勝沖と根室沖の間にある厚岸沖は、1952年には十勝沖地震で、1894年には根室沖地震で破壊したようである。地震調査委員会（2017）は、「千島海溝沿いの地震活動の長期評価（第三版）」において、過去の震源域の多様性を考慮し、根室沖の両側に境界領域を設定し、M8クラスの地震の30年確率を十勝沖で8%、根室沖で80%程度とした。また、それまで考慮されていなかった、海溝軸付近の津波地震や、海溝軸外側の正断層地震についても評価した。

千島海溝では、東北地方太平洋沖地震と同じようなM9クラスの地震が17世紀に発生していた。これは、1990年代後半から北大・道地質研や産総研のグループによって行われてきた、津波堆積物や過去の海水準変動の復元に基づく古地震調査の成果である。

霧多布湿原では、泥炭層の中に火山灰層とともに数枚の砂層が挟まっており、最上位の砂層は、17世紀に噴火した北海道南部の駒ヶ岳や樽前山からの火山灰層の直下に位置していることから、海岸から数kmまで砂を運ぶような巨大な津波が17世紀に発生したとされた（Nanayama et al., 2003）。この地震について、三陸地方で記録されている1611年慶長奥州地震と対比する見解もあるが、釧路春取湖の湖底堆積物の年縞によれば、発生年は1637年前後とされている（Nanayama, 2020）。

17世紀の砂層の下位では、過去2500年間に6枚の津波堆積物層が発見されたことから、これらの津波の発生間隔はおおよそ500年とされていたが、火山灰層に加えて、泥炭層中の炭化物の放射性炭素年代からそれぞれの砂層の堆積年代を推定したところ、再来間隔は100～800年とばらつき、その平均は約400年となった（Sawai et al., 2009）。

同様な津波堆積物は海岸段丘上や段丘崖でも発見されており、それらの標高から、17世紀の津波の沿岸での高さは、十勝から根室の海岸で15～20 mと推定されている（平川, 2012）。

17世紀の地震の断層モデルとして、Satake et al.（2008）は十勝沖・根室沖のプレート間地震の連動モデル（Mw 8.5）を提唱した。断層面のすべり量は十勝沖で10 m、根室沖で5 m、深さは15～50 km程度である。Ioki and Tanioka（2016）は、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえ、海溝付近に25mのすべりを加えた、プレート間地震と津波地震の同時発生モデル（Mw8.8）を提案した。

地震調査委員会（2017）は、このような超巨大地震について、過去の地震の発生時期の不確定さも考慮し、30年確率を7～40%とした。

内閣府の日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会（2022）は、東北・北海道地方の各地で発見された過去6000年間の津波堆積物に基づいて最大規模の津波の推定を行った。千島海溝（十勝・根室沖）モデルは、襟裳岬より東側の津波堆積物・歴史資料に基づき、十勝沖の海溝軸付近のプレート境界浅部に最大すべり（約80m）を持つ断層で、Mwは9.3である。日本海溝（三陸・日高沖）モデルは、岩手県・青森県・北海道襟裳岬以西のデータに基づき、三陸沖北部の海溝軸付近のプレート境界浅部及び日高・下北沖のプレート境界や

や深部（40～50km）に大きなすべり（約40m）を持つ断層モデル（Mw 9.1）を提案している。これらの地震から想定される津波高は宮古市で約30m，えりも町で約28mとなり，最悪（冬の深夜）の場合，死者数は日本海溝地震で約199,000人，千島海溝地震は約100,000人とされている。

Identifying the sources of the 1611 Keicho tsunami

*Yusuke YAMANAKA¹, Yuichiro TANIOKA¹

1. Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

1611年に発生した慶長地震による津波(慶長地震および慶長津波)に対して、先行研究によって東北沖や北海道沖がその波源域の候補として提案されている。北海道沖波源説は、慶長地震と17世紀に千島海溝沿いのプレート境界で発生した地震(17世紀地震)が同一であると仮定した上で提案されているものである。したがって、慶長津波の波源域の特定は17世紀地震の解明と千島海溝沿いで発生する地震の予測において重要である。本発表ではYamanaka and Tanioka¹⁾で得られた成果に基づき、推定された慶長津波の波源域と慶長地震の特性について報告する。なお以下で述べる内容はその要旨と同一の内容である。

本研究では、三陸海岸に対して決定されている慶長津波の痕跡高の空間分布に着目した。まずそれらを精査することにより、三陸海岸に位置する小谷島では津波が局所集中することによりその高さが約30 mに達していたことがわかった。これを踏まえて数値実験を行った結果、三陸海岸に短周期の津波が影響する場合にのみ、そのような局所集中が発生した。さらに、小谷島に接する海域では周期8分程度の固有振動特性があり、津波がそれを励起することで局所集中が強化されることが明らかになった。次に、17世紀地震による津波の挙動を推定したところ、小谷島には長周期成分が卓越する津波が影響した。一方、日本海溝沿いのプレート境界浅部域を震源域に含む地震が発生した場合、小谷島には短周期成分を主要成分として含む津波が影響することがわかった。さらに、東北沖を対象に津波のグリーン関数を推定し、その位相特性を定量的に分析した。慶長地震は日本海溝沿いのプレート境界浅部域に震源域を持ち、その地震により発生した短周期の津波が固有振動を励起して小谷島に局所集中したと仮定し、これらがもたらされる断層モデルをグリーン関数の位相特性を踏まえながら構築した。構築した断層モデルのモーメントマグニチュードは8.5であり、これによる津波は、小谷島に局所集中する津波特性およびその周辺地域で観測された津波の痕跡高分布を妥当に再現することができる。東北沖を波源とする津波では三陸海岸に有意な短周期波が影響する可能性があるが、17世紀地震による津波ではその可能性が低いこと、および東北沖を波源とする津波によって慶長津波の局所集中特性を再現できることを踏まえると、慶長津波は東北沖に波源域を持つ津波であり、慶長地震と17世紀地震は同一でないと考えられる。

1) Yamanaka, Y. and Tanioka, Y. (2022) Short-wave run-ups of the 1611 Keicho tsunami along the Sanriku Coast, *Progress in Earth and Planetary Science*. <https://doi.org/10.1186/s40645-022-00496-1>
(http://progearthplanetsci.org/index_j.html)

Geological evidence of coastal erosion generated with 17th-century tsunami in a beach ridge plain, eastern Hokkaido

*Yuki SAWAI¹, Toru Tamura¹, Yumi Shimada¹, Koichiro Tanigawa¹

1. Geological Survey of Japan, AIST

文書の記録が多く残されている本州西南部では、過去約1300年間に発生した巨大地震・津波の履歴が古文書・歴史書から検討されている。これに対して北海道東部の歴史記録は19世紀以降に限られているため、それ以前における地震・津波の繰り返し間隔は地質学的手法によって明らかにするしかない。こうした背景から、過去に発生した海溝型地震とそれに伴った津波の履歴を調べるため、津波堆積物に関する研究が、北海道東部の湿原域で1990年代より行われてきた。その結果、過去数千年間にわたり平均して約340-380年の間隔で巨大な津波が発生していたこと（Nanayama et al., 2003; Sawai et al., 2009; Ishizawa et al., 2017）、最後の巨大津波は17世紀頃（1630年頃？）に発生したこと（Ishikawa, 2013; Nanayama, 2020）が明らかにされた。発表者らは、こうした巨大津波によって過去の海岸がどのような影響を受けたのかを明らかにするため、地形・地質の調査を行ってきた。本講演では、その成果の一部を報告する。

地形・地質の調査は、北海道浜中町の浜堤列平野である霧多布湿原において行った。まず、地形の特徴を詳細に把握するため、無人航空機を使用したフォトグラメトリ（写真測量）を行った。浜堤は海岸線と平行に分布する地形的な高まりだが、現在の海岸線から約300m内陸に位置する浜堤において、海岸線と直行方向に浜堤を切るような池沼・湿地が点在することが明らかになった。次に、地下の堆積構造を推定するために池沼を横断・縦断する方向で地中レーダー探査（GPR）ところ、浜堤の砂層を示すGPR反射面が池沼の地下において切断されていることがわかった。さらに、GPR反射面が示す堆積物を確認するため、ジオスライサーによって柱状堆積物試料を採取した。試料を肉眼と医療用CTで観察したところ、浜堤の砂層が侵食され、その上に砂層と泥炭層が堆積していることが確認できた。侵食痕の直上で認められた砂層は、中礫～大礫サイズの泥炭の塊を含むイベント層と考えられた。本研究で確認された池沼は、その地形的特徴、GPR反射面が示す堆積構造、地下で見られた堆積物を総合的に判断し、津波や暴浪によって形成された穿掘池（scour pond）と推定された。

Scour pondの形成年代は、堆積物中の火山灰層によって推定した。ジオスライサーによって採取された試料には明瞭な火山灰層が認められる。火山灰層の起源を推定するためにEDX分析を行ったところ、本研究で見られた火山灰層は、上位より樽前aテフラ（Ta-a, 1739年）、駒ヶ岳c2テフラ（Ko-c2, 1694年）、駒ヶ岳dテフラ（Ko-d, 1640年）と考えられた。Scour pondの泥炭層は駒ヶ岳dテフラの少し前から堆積が始まっていることから、scour pondは17世紀の巨大津波によって穿掘されたものと考えられることができる。なお、scour pondの湖底堆積物中に見られたイベント堆積物は、海岸が穿掘された直後に堆積した津波堆積物と解釈することができる。

仮に、本研究で検討されたscour pondが17世紀の巨大津波によるものであるとすれば、当時の海岸線は現在よりも約300m内陸に位置していたことを意味している。17世紀のイベントが発生した当時の地殻変動を復元した研究によれば、地震が発生する前に海岸は継続的に沈降し、地震が発生した後に数十年かけて隆起し離水した（Sawai et al., 2004）。現在の海岸は、その離水イベントによって300m程度広がったものと考えれば矛盾がない。

本研究の一部はJSPS科研費（20H01988）により実施した。

引用文献

Ioki, K., Tanioka, Y., *Earth Planet. Sci. Lett.* 433, 133–138 (2016).

Ishikawa, S., Ph D thesis. Kyushu University, Fukuoka, Japan (2013).
Ishizawa, T. et al., *Quat. Geochronol.* 41, 202–210 (2017).
Nanayama, F. et al., *Nature* 424, 660–663 (2003). Nanayama, F. Geological Society of London, Special Publications 501, 131–157 (2020).
Sawai, Y. et al., *Science* 306, 1918–1920 (2004). Sawai, Y. et al., *J. Geophys. Res.* 114, <https://doi.org/10.1029/2007JB005503> (2009).

Liquefaction history of the ground in the area around the Kuril Islands Trench, Hokkaido, Japan, based on archaeological data

*Wataru HIROSE¹, Hiroaki Takahashi²

1. Hokkaido Research Organization, 2. ISV, Hokkaido University

【はじめに】

千島海溝周辺では、今後30年間以内においてM8.8以上の巨大地震の発生確率が7～40%と、地震に伴う強震動および津波リスクが極めて高い状態にある（地震調査研究推進本部，2017）。この地域の津波履歴については、たとえばSawai et al.（2009）をはじめ北海道太平洋岸で行われてきた多くの津波堆積物研究の調査により、過去6000年間程度の履歴が明らかにされている。一方で強震動の履歴については、文献記録により過去1000～1500年間にわたり履歴を検証可能な本州とは異なり、文献記録の乏しい北海道では19世紀以前の履歴は不明な点が多い。

強震動履歴に関する研究手法としては、文献調査の他に考古遺跡における地割れや噴砂（地盤液状化）などの地盤変状発生履歴によるものがある。北海道においても伏島・平川（1996）・羽坂ほか（1997）、廣瀬ほか（1999）などによる先駆的な研究が石狩低地帯中～南部の先史地震についてとりまとめを行い、1834年石狩地震の他に後期縄文～擦文期にかけての噴砂や地盤亀裂が認識されている。一方、千島海溝に隣接する北海道東部～中南部にかけては地震学の見地に立った検討はこれまで行われていない。我々は現在、北海道全域を対象とした膨大な考古資料（調査報告書・写真およびスケッチ等）の再検証を進めている。ここでは千島海溝に隣接した北海道東部～中南部にかけての調査結果について概要を報告する。

【根室半島】

根室市の南西部、温根沼に隣接する縄文早期～擦文期（トビニタイ期）の遺跡（温根沼2遺跡）では、基盤岩（上部白亜系～古第三系根室層群）を覆う海成段丘に形成された遺跡において噴砂跡が認められた。段丘面から段丘崖へと移行する箇所にある標高8～16mの緩斜面において、おおむね東北東～西西南走向で延長約80mの正断層変位を有する亀裂を充填する噴砂である。段丘堆積物を構成するMIS5e期の海成砂が液状化したものと推定される。

【根釧台地】

伊茶仁カリカリウス堅穴群遺跡をはじめとする、低位段丘～沖積低地にかけての遺跡群で噴砂痕跡が多く認められた。低位段丘における噴砂はしばしば垂直変位量数cm程度の正断層変位を有する等高線に沿った亀裂に伴って認められる。噴砂脈は分岐や屈曲、側方への貫入など不規則な形態をとることが多い。これらから、強震動による地盤の液状化と段丘堆積物の斜面変動が同時に発生し、形成された開口亀裂中に噴砂が上昇、未固結な段丘堆積物中に貫入（一部は地表に噴出）したと推定される。

【十勝～日高地域】

この地域では、明瞭な噴砂脈は認められなかった。猿別C遺跡ではTa-cテフラを切る小規模な地すべりイベントが認められるが、地震（強震動）との関係は不明である。

【石狩低地～苫小牧地域】

この地域では先行研究で認識されていた噴砂イベントに相当する後期縄文～擦文期、1834年石狩地震に対応する噴砂イベントが多数認められた。札幌周辺と恵庭～千歳地域の沖積低地～低位段丘縁辺の遺跡に集中して確認される。

【噴砂形成イベントの時期】

摩周火山や樽前火山・北海道駒ヶ岳などから更新世末～完新世に噴出した広域テフラとの関係から、北海道東部～中南部における噴砂イベントの発生時期について整理した。これらはテフラ層との切り合い関係から推定したものである。十分な数の噴砂が観察できていない場合、明らかに地表噴出した噴砂を除き、噴砂が切ったテフラよりは新しい、ということを示すものであることに留意が必要である。

根室半島～根釧台地では、（約12000年前）、約5500～4500年前、約4000～3000年前、約2500年前、1000～500年前、西暦1739年以降と、多岐にわたる時期に噴砂イベントが発生した可能性が指摘でき

る。一方、隣接する十勝～日高地域では、明瞭な噴砂イベントは見いだされないことから、これらの噴砂イベントは根室半島～根釧台地にかけて強震動をもたらした強震動イベントに関連するとみなしてよいだろう。石狩低地～苫小牧地域では、1834年石狩地震に相当するイベント（Ta-aテフラを切る）がH37遺跡など札幌市北部～石狩川下流に集中、擦文文化期（11世紀以降）～アイヌ期（Ta-aテフラ以前）、続縄文～擦文文化期のイベントは札幌周辺～石狩低地南部まで広く認められる。続縄文～擦文文化期については根室～根釧台地では該当するイベントがないこと、近接する石狩低地東縁断層帯の最新活動から一つ前の活動期（約2400年前～8世紀以前）と重なることから、石狩低地断層帯の地震活動による可能性も含めた検討が必要である。

【謝辞】

本研究にあたっては、各自治体の教育委員会および学芸員の方々にご協力いただきました。感謝いたします。

Room A | Special session : S22. Earthquakes, tsunamis, and related phenomena around Hokkaido subduction zone

📅 Mon. Oct 24, 2022 11:00 AM - 12:00 PM JST | Mon. Oct 24, 2022 2:00 AM - 3:00 AM UTC | 🏢 ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S22] AM-2

chairperson:Yusuke Yamanaka(Faculty of Science, Hokkaido University)

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

[S22-05] Structure difference across the submarine canyon in the Kuril subduction zone off Hokkaido and its relation with interplate slip behaviors

*Hiroto Yamaguchi¹, Shuichi Kodaira², Gou Fujie², Tetsuo No², Yasuyuki Nakamura², Kazuya Shiraishi², Nobukazu Seama¹ (1. Kobe University, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

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

[S22-06] Re-evaluation of normal fault distribution in the outer slope of the western Kuril Trench, off the southeastern coast of Hokkaido, based on recent acquired seismic reflection data and bathymetry data

*Tetsuo NO¹, Shuichi Kodaira¹, Kentaro Imai¹, Koichiro Obana¹, Gou Fujie¹, Yasuyuki Nakamura¹, Kazuya Shiraishi¹, Ryo Miura¹, Masao Nakanishi² (1. JAMSTEC, 2. Graduate School of Science, Chiba Univ.)

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

[S22-07] **Development of Real Time Tsunami Forecast Method for Outer-Rise Earthquakes occurred along the Kurile Trench**

*Miu Matano¹, Yuichiro Tanioka¹, Tatsuya Nakagaki¹, Masato Kamiya², Toshitaka Baba², Tetsuo No³, Kentarou Imai³, Yusuke Yamanaka¹, Shuichi Kodaira³ (1. Hokkaido University, 2. Tokushima University, 3. JAMSTEC)

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

[S22-08] Numerical investigation of tsunami in tsunami earthquakes for developing a real time tsunami forecasting method using S-net data

Tatsuto Oishi¹, *Yuichiro Tanioka¹, Yusuke Yamanaka¹ (1. Hokkaido University)

Structure difference across the submarine canyon in the Kuril subduction zone off Hokkaido and its relation with interplate slip behaviors

*Hiroto Yamaguchi¹, Shuichi Kodaira², Gou Fujie², Tetsuo No², Yasuyuki Nakamura², Kazuya Shiraishi², Nobukazu Seama¹

1. Kobe University, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

北海道沖の千島海溝沈み込み帯では十勝沖と厚岸沖の間に釧路海底谷が海岸から海溝軸までほぼ直角に延び、この海底谷を境にプレート境界で発生する地震とスロー地震の分布が分かれていると考えられている。プレート境界でこれまで発生した地震として特に規模が大きく研究がされているのは1952年十勝沖地震(M8.1)や1973年根室沖地震(M7.4)、2003年十勝沖地震(M8.0)があげられる。1952年十勝沖地震の地震時すべりは十勝沖から厚岸沖の沿岸から海溝軸近くまでの広い範囲で推定されている。1973年の根室沖地震や2003年の十勝沖地震で推定された地震時すべりやAfter slipは1952年十勝沖地震の地震時すべり領域の一部で、十勝沖から厚岸沖の海溝軸近くでは1952年以降すべりが観測されていないことが知られている(Okamura et al.2008など)。この1952年十勝沖地震以降すべりが観測されていない海溝軸近くの領域をAzuma et al.2012ではSeismic gapと定義している。スロー地震の一種であるVLFE(超低周波地震)、微動は釧路海底谷より西側(十勝沖)で観測される。VLFEはseismic gapの領域内では観測されず、微動はSeismic gapの領域でも観測されている。Seismic gapは海底谷を越えて東側まで続くのに対し、微動は海底谷を越えていない。この海底谷は谷を挟んで東西に連続した海底地形や地下構造が存在することが知られている。そこで、釧路海底谷周辺で反射法地震探査を用いて詳細な地下構造を明らかにし、海底谷を挟んだ地殻活動の違いを支配している要素を地下構造から議論する。反射法地震探査は8本の2次元測線に沿って、海溝軸の前後500 km 海溝軸平行に150kmの範囲に及ぶ大規模な多チャンネル反射法地震探査を行った。その結果、海溝軸から80kmまでのプレート境界面をイメージングすることに成功した。このイメージングによって明らかになったプレート境界の深度とOverriding Plateの構造の大きな注目点としては3点あげられる。1点目は微動がプレート境界のある深さで帯状にみられるが、その深度がSeismic gapの内外で異なる点である。Seismic gap内ではプレート境界がより浅い12-14kmの深さの領域で、gap外では18km以深の深い領域で発生していることが明らかになった。2点目は、プレート境界と平行な多数の反射体からなる「Reflective zone」が存在していることである。このReflective zoneは海底谷の東部(厚岸沖)でのみ海溝軸から30-60kmの範囲で観測される。海底谷の西側(十勝沖)ではReflective zoneは観測されない。海底谷の西側(十勝沖)では海溝軸から40-70kmの範囲で微動が観測されている。Reflective zoneの存在の有無が微動の有無を分けているようである。日本海溝の沈み込み帯では、同様の反射帯が岩手-宮城沖と房総半島沖で観測されている。先行研究で指摘されていないが、この反射帯がみられる領域では微動が発生していないことも発見した。3点目はWedgeの構造が概ね海底谷を境界にして東西で異なる点である。Qiu and Barbot 2022では大陸地殻の海溝近傍に当たるaccretionary wedgeを陸側からPaleo-prism、Inner wedge、Outer wedgeの3つの部分に分けた。本研究では海溝軸側の2つの部分Inner wedgeとOuter wedgeに注目する。海底谷より東側(厚岸沖)ではOuter wedgeは高角に陸側傾斜した反射帯から主に構成され、Inner wedgeは反射が少ない。西側(十勝沖)ではOuter wedgeは低角に陸側傾斜した反射で構成され、Inner wedgeは多数の反射がみられる。また、Outer wedgeはInner wedgeの下にもぐりこむ構造をしているが、東側より西側の方が長い距離にわたってもぐりこんでいる。東側・西側それぞれのWedgeの構造はQiu and Barbot 2022で示された色丹島沖の千島海溝・岩手沖の日本海溝それぞれで見られるWedge構造とよく似ている。Outer wedgeが千島海溝型の東側(厚岸沖)ではReflective zoneが観測され微動は観測されない。日本海溝型の西側(十勝沖)ではReflective zoneが観測されず、微動が観測される。一方でSeismic gapを見るとこれらの違いにも関わらず両方の領域にまたがって存在している。Reflective zone、Outer wedge、プレート間すべりのお互いの関係性はまだ明らかではない。しかし、今回の観測は微動の分布がSeismic gapやOuter wedge、Reflective zoneと関連している可能性を示唆している。本発表では、釧路海底谷周辺の様々な構造の違いを紹介し、緩急のすべり現象との比較を行う。

Re-evaluation of normal fault distribution in the outer slope of the western Kuril Trench, off the southeastern coast of Hokkaido, based on recent acquired seismic reflection data and bathymetry data

*Tetsuo NO¹, Shuichi Kodaira¹, Kentaro Imai¹, Koichiro Obana¹, Gou Fujie¹, Yasuyuki Nakamura¹, Kazuya Shiraishi¹, Ryo Miura¹, Masao Nakanishi²

1. JAMSTEC, 2. Graduate School of Science, Chiba Univ.

千島海溝の海溝海側は、2007年に千島列島中部のシムシル島沖で M_w 8.1 (Ammon et al., 2008)、2020年に千島列島北部のパラムシル島沖で M_w 7.5 (Ye et al., 2021) など比較的多くのプレート内地震が発生している。その一方、北海道南東沖千島海溝の海溝海側は、2012年に発生した M_j 6.9の地震など襟裳海山南東部付近での地震活動は顕著であるが、ここ100年で見ると日本海溝における昭和三陸地震津波のような大地震は観測されていない。北海道南東沖千島海溝の海溝海側は大地震の観測例がないものの、先行研究によって多くの正断層地形の分布が確認されている。例えば、Kobayashi et al. (1998)やNakanishi (2011)は海底地形データをもとに、海溝海側斜面の断層地形のマッピングを行い、断層地形は海溝から約80 kmまで存在するが北海道海膨までは達していないことや海溝海側斜面の断層地形の走向が中生代磁気異常縞模様とほぼ平行で、海洋底拡大に起因する構造的弱線のうち、アビスカルヒルが再活動してできたものであることを論じている。海溝海側斜面の断層地形は、大局的には海洋プレートの屈曲による影響で形成された構造であるが、各々の海溝の特徴や分布の詳細は、海溝軸との位置関係、海洋プレートの形成年代や様式、プレートの屈曲率等のセッティングや条件によって異なることもわかってきている（例えば、中西, 2017）。

本発表は、科研費基盤(A)「千島海溝沖アウターライズ津波即時予測に向けた震源断層マッピングと津波評価」の一環として、Nakanishi (2011)による断層地形のマッピングの結果をもとに、近年取得されたマルチチャンネル反射法地震探査(MCS)データや海底地形データを解析し、襟裳海山付近から納沙布断裂帯付近までの千島海溝西部の海溝海側斜面における正断層分布を再評価した結果について報告する。

MCSデータは2016~2020年に海洋研究開発機構(JAMSTEC)の調査船「よこすか」「かいいい」「かいめい」を用いた4航海で取得した計34測線を使用し、ノイズ抑制処理を重点的に適用した上で、深度マイグレーション処理を行った。海底地形データについては、JAMSTEC船舶で取得されたデータを再処理して、それらのデータがカバーしていない部分についてはSRTM15+データ(Tozer et al., 2019)やGEBCOデータ(GEBCO Compilation Group, 2019; 2020)や先行研究データ(海上保安庁・海洋研究開発機構, 2011)等を重ねて、データの接合部は可能な限り不整合が生じないように処理した。解析で得られたMCSデータをSchlumberger社製のPetrelに登録して、海溝海側斜面に形成された正断層の解釈作業を行い、それらの断層の空間的な接続性を海底地形データやNakanishi (2011)の結果を用いて評価し、正断層の分布に関する検討を行った。

結果として、断層の走向や分布に関してはNakanishi (2011)に沿っているが、断層の形成は海溝軸から約100 km海側から始まっていることがわかった。これは正断層の構造が海底地形よりもMCS探査で得られた結果の方が明確に判別しやすいことによる。Fault throwの大きさも海底地形より海洋地殻上面での変位から推定する方が大きくなっている一方で、先行研究でも指摘されていることだが、日本海溝の海溝海側斜面断層(e.g. Tsuru et al., 2000; Nakamura et al., 2018)と比べると、Fault throwの大きさは若干小さい傾向にある。ただし、断層の間隔は千島海溝の方が日本海溝より狭く、密に分布している。また、対象海域には海溝軸付近に襟裳海山や拓洋第一海山が位置しており、それらの海山を切るような比較的最長い断層が存在する一方で、海山が存在している領域での断層の分布数は海山がない領域と比べると少なく、Fault throwの大きさにも影響が生じているような結果になっている。MCS探査の結果から読み取ると、海山の存在の影響で地殻の厚さが対象領域で6~10 kmの間で変化しているので、海洋地殻の厚さ等の構造が海溝海側斜面の断層の分布や形成に影響を与えている可能性がある。

Development of Real Time Tsunami Forecast Method for Outer-Rise Earthquakes occurred along the Kurile Trench

*Miu Matano¹, Yuichiro Tanioka¹, Tatsuya Nakagaki¹, Masato Kamiya², Toshitaka Baba², Tetsuo No³, Kentarou Imai³, Yusuke Yamanaka¹, Shuichi Kodaira³

1. Hokkaido University, 2. Tokushima University, 3. JAMSTEC

1. 背景

日本海溝沿いのアウターライズでは1933年昭和三陸地震により大津波が発生し、三陸沿岸は津波による甚大な災害を被った。千島海溝沿いではそのような巨大地震がアウターライズで発生した過去の例は知られていない。しかし、最近のJAMSTECによる千島海溝沿いの海底構造調査によりアウターライズでの海底活断層（正断層）が多数マッピングされている。これらの断層が活動し巨大地震が発生した場合、大きな津波が北海道沿岸に押し寄せると考えられる。また、これらの活断層の周辺領域には海底地震津波観測網（S-net）が設置されており（図）、各観測点で観測された津波波形を利用することで精度の良い津波の即時予測が可能になると考えられる。そこで本研究は、科研費基盤(A)「千島海溝沖アウターライズ津波即時予測に向けた震源断層マッピングと津波評価」の一環として、それらの正断層で発生する巨大地震による大津波を早期に予測するため、S-net観測点で観測されることが期待される海底圧力波形を用いて簡便な方法で震源断層を特定する。さらに将来、北海道沿岸を襲う津波の特性を即時的に予測する手法の開発を目指す。

2. 手法

震源断層として、JAMSTECによる海底構造調査によりマッピングされた活断層の情報（野他、本日本地震学会秋季大会）から構築された23個の千島海溝アウターライズ地震断層モデルを用いる。まず、それぞれの断層モデルに基づき海底地殻変動量を求め、梶浦フィルターを用いて高周波成分を除去して初期海面変動を推定した。その伝播を線形Boussinesq方程式に基づき推定し、S-netの観測点40点（図）における津波波形を求め、海底圧力波形に変換した。これを観測された圧力波形と見なし、地震発生から500秒までの波形の特徴から震源断層を特定する手法を開発する。

3. 結果

まず500秒の観測波形から震源断層を特定するために、Inoue et al. (2019)の手法を参考に圧力波形の特徴から、次に示す基準によって観測点を4つに分類した。1）圧力波形が原点より下で推移（隆起域の観測点）、2）圧力波形が原点より上で推移（沈降域の観測点）、3）1パルスの圧力波形が入る（隆起域または沈降域の近傍の観測点）4）その他（震源域から遠方の観測点）。分析結果の代表例を図に示しており、S-netの観測点を上記基準で分類することにより震源域が特定できる事が分かった。さらに、海底構造調査結果から、アウターライズでは地塁・地溝構造が発達しているため、断層の傾斜方向が相反する2つの断層タイプがあることが分かっている。両者の断層運動による海底地殻変動は分布が異なるため、断層の傾斜方向の違いも500秒間の波形から判別できることが分かった。海底構造調査により推定された23個の断層モデルは近接しているものも多く、全てを本手法で識別することは難しいが、識別の難しい断層モデルの場合には予想される海底地殻変動もほぼ同じであることから、津波即時予測の上で問題は少ないと考えられる。今後、さらに解析を進め、津波の即時予測に有用な情報の抽出に取り組むとともに、手法を改善することで500秒間より短い間隔での震源断層推定を試みる。津波即時予測にとって時間の短縮は避難時間確保の上で最も重要な課題である。

参考文献

Inoue, M., Y. Tanioka, Y. Yamanaka, Method for Near-Real Time Estimation of Tsunami Sources Using Ocean Bottom Pressure Sensor Network (S-net), Geosciences, doi:10.3390/geosciences9070310.

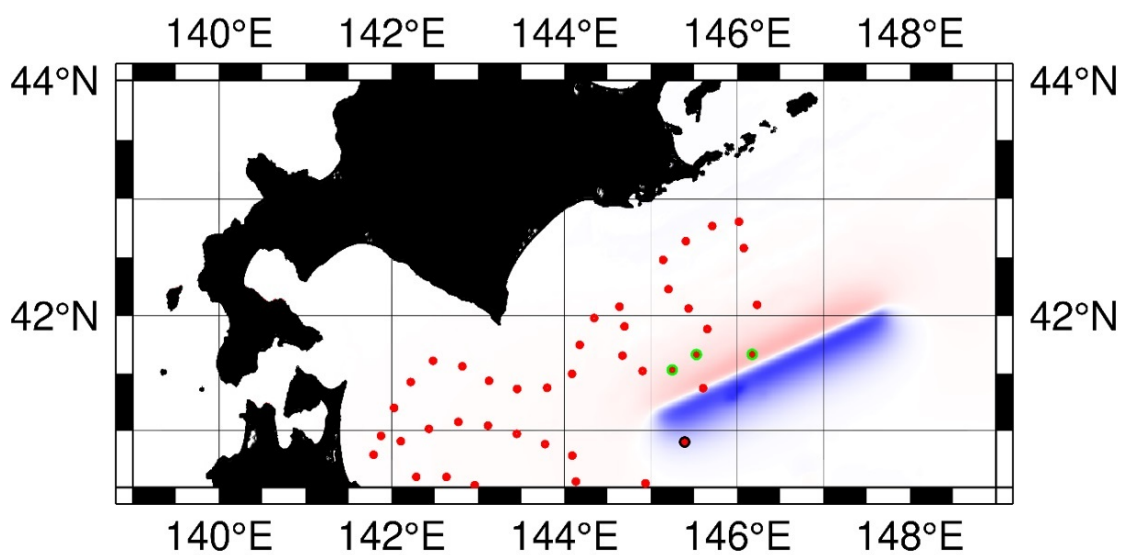


図 1つの断層モデルから計算される初期波高分布（赤：隆起、青：沈降）と S-net 観測点分布（赤丸）。
隆起域と判別された観測点（緑枠）、沈降域と判別された観測点（黒枠）

Numerical investigation of tsunami in tsunami earthquakes for developing a real time tsunami forecasting method using S-net data

*Tatsuto Oishi¹, Yuichiro Tanioka¹, Yusuke Yamanaka¹

1. Hokkaido University

1. はじめに

日本はこれまでに幾度も津波被害を受けてきた。そのため、様々な津波の即時予測手法が開発されてきたが、その中でも津波地震による津波の沿岸波高の予測は難しい。津波地震は地震による強震動から予測される津波の規模を上回る規模の津波を発生させる地震と定義され、観測される地震動に基づく津波予測では津波高を過少評価する可能性が高い。そのため、津波地震に対応可能な津波予測手法は気象庁をはじめ様々な研究機関で研究されている。現在、日本海溝・千島海溝沿い沈み込み帯では海底地震津波観測網（S-net）が設置され、150点での海底地震観測データと海底圧力観測データがリアルタイムで配信されている。また、日本海溝・千島海溝沿いでは過去に1896年明治三陸地震をはじめ1963年千島地震や1975年根室半島沖地震など津波地震が発生してきた。そこで本研究では、津波地震時にS-netで観測されることが期待される水圧データを解析することにより、津波の波源を予測する手法の開発を目指す。

2. 手法

本発表では代表的な津波地震として知られる1896年明治三陸津波地震とそれによる津波を対象とした分析結果を報告する。Tanioka and Seno (2001)を参考に、長さ210km、幅50km、すべり量6.7mの断層モデルを仮定した。上記断層モデルから地殻変動量を計算し、Tanioka and Satake (1996)の水平変動による効果を加えて津波初期水位とした（図）。津波の伝播計算は線形理論に基づき行い、S-net観測点で地震発生後500秒までに計算された津波波形を海底圧力波形に変換した。これを観測水圧波形として用いて分析した。

3. 結果

S-netの観測点での圧力波形の一部を図に示す。震源域内で、陸よりの観測点から海溝外側の観測点までの圧力波形を見ると、沈降域内に位置する観測点の圧力波形は正圧領域を推移していることがわかる。隆起域の幅は狭くなったため、隆起域に位置する観測点はない。海溝外側の観測点では、1パルス以上の波形を捉えていることがわかる。したがって、このように圧力波形の特徴を分類することにより、地震津波による津波の波源域を特定可能であることが示された。今後、この分類手法を利用した波源位置推定手法の精緻化を行い、津波地震に対応できる津波予測手法の開発につなげる。

参考文献

- ・ Tanioka Y, Seno T (2001) Sediment effect on tsunami generation of the 1896 Sanriku tsunami earthquake. *Geophys Res Lett* 28:3389–3392
- ・ Tanioka Y, Satake K (1996) Fault parameters of the 1896 Sanriku tsunami earthquake estimated from tsunami numerical modeling. *Geophys Res Lett* 23:1522–1549

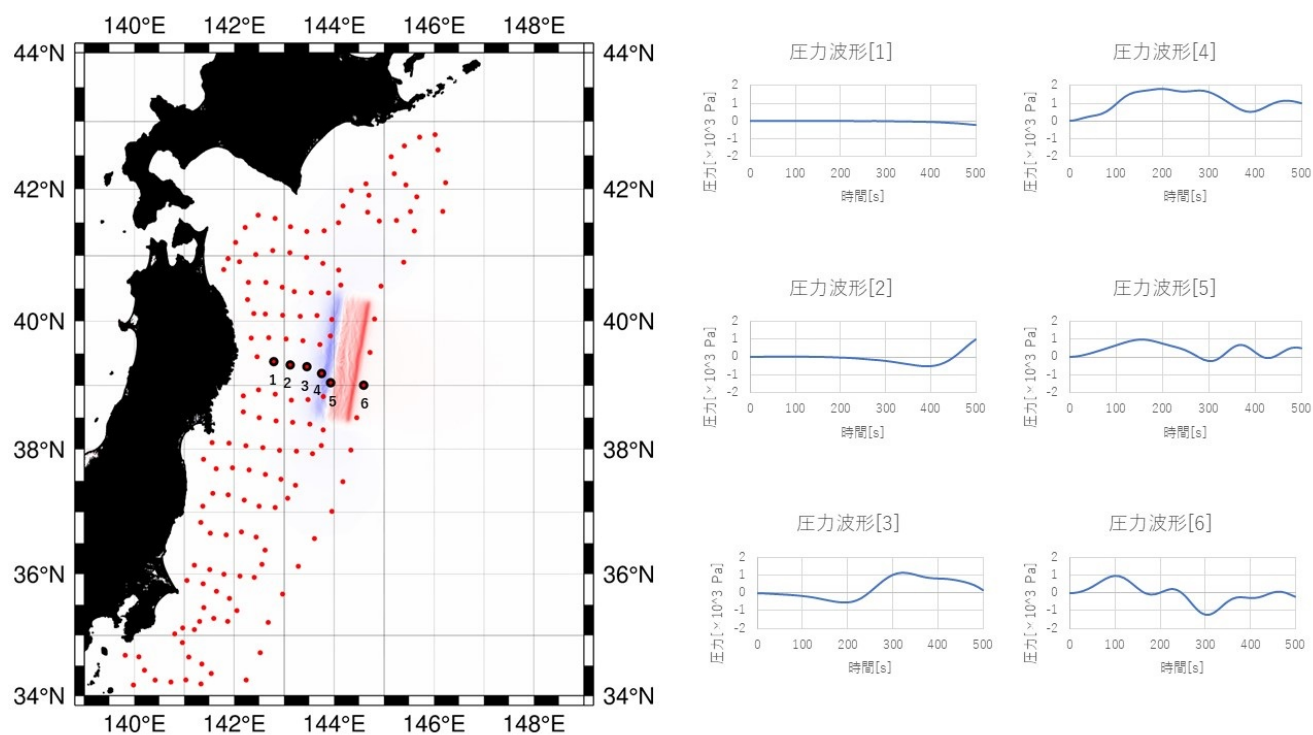


図 S-netの観測点(左図)と計算された代表的な圧力波形の例(右図)

Room A | Special session : S22. Earthquakes, tsunamis, and related phenomena around Hokkaido subduction zone

🏠 Mon. Oct 24, 2022 3:45 PM - 4:45 PM JST | Mon. Oct 24, 2022 6:45 AM - 7:45 AM UTC | 🏠 ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S22] PM-2

chairperson:Mako Ohzono(Faculty of Science, Hokkaido University)

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[S22-09] Seafloor Geodetic Observations along the Kuril Trench off Nemuro

*Fumiaki TOMITA¹, Motoyuki Kido¹, Yusaku Ohta², Ryota Hino², Takeshi Iinuma³, Chie Honsho², Mako Ohzono⁴, Hiroaki Takahashi⁴ (1. IRIDeS, Tohoku University, 2. Graduate School of Science, Tohoku University, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 4. Graduate School of Science, Hokkaido University)

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

[S22-10] Crustal deformation characteristics in and around Hokkaido and Tohoku region as seen from ITRF14 reference frame

*Yuka Ishida¹, Hiroaki Takahashi², Mako Ohzono², Weiwei Wu³, Guojie Meng³ (1. The Department of Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Science, Hokkaido University, 3. Institute for Earthquake Forecasting, China Earthquake Administration)

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

[S22-11] Estimate an interplate coupling in the southern Kuril trench with a stress-constrained inversion method

*Shunsuke Imai¹, Hiroaki Takahashi² (1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan)

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

[S22-12] Strain concentration around the volcanic front in eastern Hokkaido caused by southern Kuril subduction

*Mako OHZONO¹, Hiroaki TAKAHASHI¹ (1. ISV, Faculty of Science, Hokkaido University)

Seafloor Geodetic Observations along the Kuril Trench off Nemuro

*Fumiaki TOMITA¹, Motoyuki Kido¹, Yusaku Ohta², Ryota Hino², Takeshi Iinuma³, Chie Honsho², Mako Ohzono⁴, Hiroaki Takahashi⁴

1. IRIDeS, Tohoku University, 2. Graduate School of Science, Tohoku University, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 4. Graduate School of Science, Hokkaido University

2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）では、巨大な断層すべりがプレート境界浅部まで到達し、それに伴い巨大な津波が発生した。そのため、沈み込み帯でのプレート境界型超巨大地震の発生様式の理解および津波を含めた災害リスク評価には、こうしたプレート境界浅部での大すべりの挙動を理解することが極めて重要である。

千島海溝では、太平洋プレートの沈み込みに伴い（MOVELモデルによるオホーツクプレートに対する沈み込み速度： ~ 9.1 cm/yr・N293°）、過去にM7-8クラスの地震が十勝沖や根室沖でセグメントを分けて繰り返し発生している。一方で、近年の津波堆積物調査等から、17世紀に十勝・根室沖の両セグメントを破壊した巨大な地震が発生し、かつプレート境界浅部で大きなすべりが生じていた可能性が示された（Ioki & Tanioka, 2016）。そのため、2011年東北地方太平洋沖地震と同じくプレート境界浅部での巨大な断層すべりが今後発生する可能性が懸念されている。しかし、プレート境界浅部域での歪みの蓄積の有無は、陸上の測地観測網から検出することが困難である。そこで、東北大学・北海道大学では、千島海溝根室沖における現在のプレート間固着状態を明らかにするため、2019年にGNSS音響結合方式による海底地殻変動観測（GNSS-A観測）点を3点設置し、船舶及び海洋研究開発機構の所有するウェーブグライダーを用いたGNSS-A観測の実施を開始した。

3点のGNSS-A観測点の内、2点（G21：海溝軸から約100 km, G22：同約35 km）は陸側斜面に設置し、1点（G23：同約35 km）は沈み込む太平洋プレート上に設置した。各観測点は、三角形に配置した3つの海底局とその中心に設置した1つの海底局の計4つの海底局で構成されており、水平変位のみならず鉛直変位の検出にも有利になる（Tomita et al., 2019）ように配置した。これらの観測点において、これまでに4回のキャンペーン観測を実施した：2019年7月（新青丸：KS-19-12）、2020年10月（KS-20-16）、2021年4月（KS-21-05）、2022年5月（備船）。また、G22観測点では、2021年4月と2022年5月の観測時に、船舶とウェーブグライダーを併用して観測データを取得した。

海中音速の水平成層構造を仮定した海底局アレイ変位の推定では、どの観測点もオホーツクプレート固定で北西向きに $\sim 6-9$ cm/yrの変位速度が得られ（G21： ~ 6.4 cm/yr・N264°、G22： ~ 8.1 cm/yr・N222°、G23： ~ 9.1 cm/yr・N290°）、海溝軸に近い観測点でもプレート間固着と考えられる変動が生じていることが示された。これらの結果は、観測回数が4回と少ないことに加えて、海中音速の水平不均質性を考慮していないため、今後のさらなる観測・解析を踏まえた上で、プレート間固着状態を解釈していく必要がある。一方、上下変動についてはどの観測点でも $\sim 4-10$ cm程度の沈降傾向が得られているが、テクトニックな変動としてはあまりにも大きい。上下変動成分には、用いた船舶の差異や初期音速構造などによる系統誤差が乗りやすいため、それらの影響を今後評価していく必要がある。

本発表までに海中音速の不均質性を考慮した解析（Tomita & Kido, under review）を実施する見込みである。本発表では、その結果に基づく推定変位を紹介し、その上で千島海溝沿いプレート境界浅部でのプレート間固着状態について議論したい。

参考文献

Ioki & Tanioka (2016), *Earth and Planetary Science Letters*, 433, 133-138, doi: 10.1016/j.epsl.2015.10.009.

Tomita et al. (2019), *Earth, Planets and Space*, 71:102, doi: 10.1186/s40623-019-1082-y

Crustal deformation characteristics in and around Hokkaido and Tohoku region as seen from ITRF14 reference frame

*Yuka Ishida¹, Hiroaki Takahashi², Mako Ohzono², Weiwei Wu³, Guojie Meng³

1. The Department of Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Science, Hokkaido University, 3. Institute for Earthquake Forecasting, China Earthquake Administration

1. はじめに

日本列島を含む北西太平洋地域は、太平洋プレート・フィリピン海プレート・オホーツクプレート・ユーラシアプレートの4つのプレートに覆われている。太平洋プレートの沈み込み境界周辺では2003年に十勝沖地震(M8.0)、2011年に東北地方太平洋沖地震(M9.0, 以降太平洋沖地震)といった巨大な地震が発生しており、これらの地震発生後にプレートの収束速度の変化などといった時間的な変動が報告されている。Yokota and Koketsu (2015)において、東北～関東地方に設置されたGEONET観測点を用いて2011年太平洋沖地震に先立って発生した長期的な地殻変動を示した。また、Heki and Mitsui(2013)では北海道から東北地方にかけて太平洋側に位置するGEONET観測点において、2003年十勝沖地震と2011年太平洋沖地震の発生によって日本海溝での太平洋プレートの沈み込みの一時的な加速が示唆される測地観測結果を示した。2011年太平洋沖地震の震源域から2000kmほど離れた南鳥島(021098)においては地震前後での有意な変化は見られず、このことから上記の変動は南千島～東北地方周辺に限られるとした。本研究では、新たな国際地球基準座標系 ITRF2014(Altamimi et al., 2016)で推定された座標値を用いて、先行研究で見られたような太平洋沖での巨大地震発生に伴うプレート運動の変化が広域な北西太平洋地域におけるGNSS観測(GEONET, IGS, CMONOC)の結果においても見られるか等の地殻変動場の時空間的特徴の確認を行った。また、これまでに推定されてきたプレート運動モデルと実際のGNSS観測の結果を巨大地震の発生前後で比較してモデル値との局所的なずれの有無を確かめ、北海道におけるregionalな変動の様子を検討した。

2. 使用データ

本研究では、GNSS観測データとして国土地理院により提供されているGEONETの日々の座標値F5解(松村他, 2021)のうち北海道から東北地方にかけて設置されている観測点のデータと、中国地震局のGNSS連続観測網CMONOCの観測データ、そしてIGS(国際GNSS事業)が提供する北西太平洋地域に設置されたGNSS観測点データをBernese GNSS software version 5.2(Dach et al., 2015)を用いて解析したものを使用した。これらのデータはすべて余効変動も考慮に入れられているITRF2014に準拠しており、それぞれ解析手法には違いがあるものの同観測点での座標値の比較を行った結果ほとんどの観測点で非常に良い一致を示しており、同一の基準系に準拠した座標値が得られていることを確認している。

3. 結果

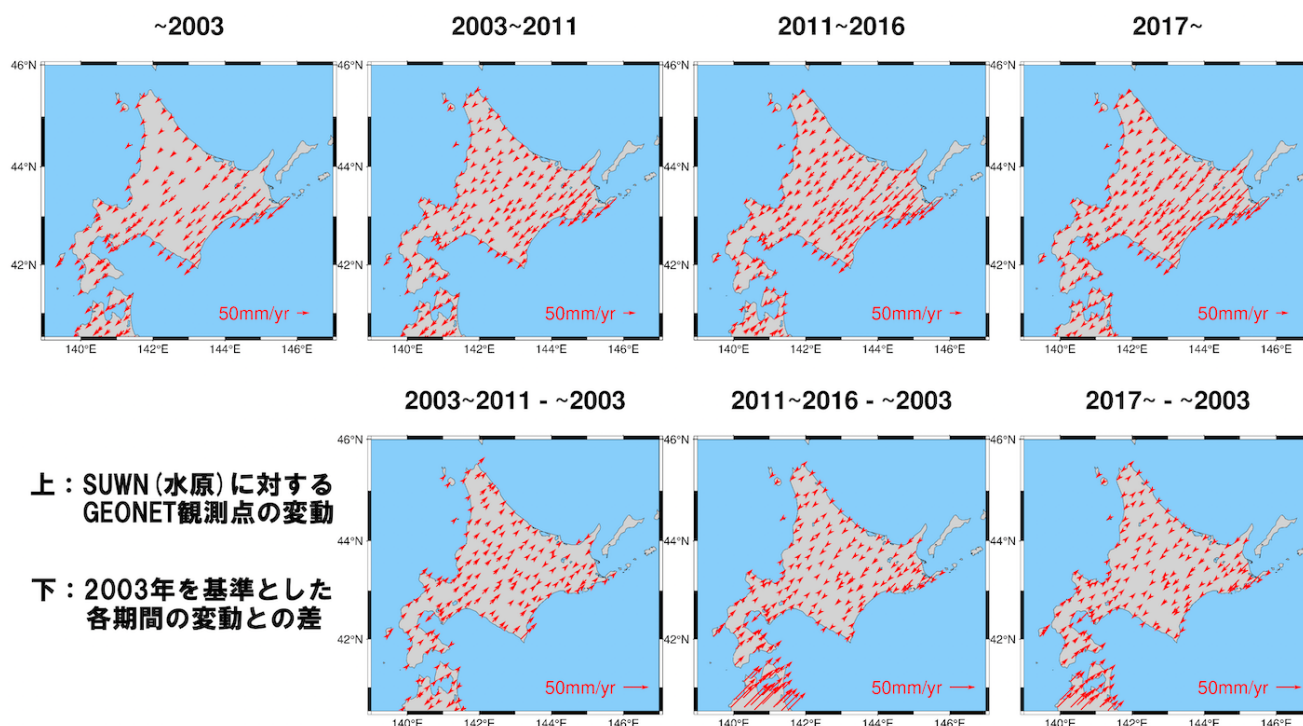
・2003年十勝沖地震と2011年太平洋沖地震の発生前後の変動について
上記2つの地震について、2003年以前よりGNSS観測を行なっている観測点について2003年までの変位速度と2003年十勝沖地震発生後～2011年太平洋沖地震までの変位速度、2011年太平洋沖地震～2016年末、そして2017年以降の変位速度をそれぞれ比較した。具体的には、太平洋プレート上やユーラシア大陸上に位置するIGS観測点(KOKB,BJFS,SHAO,SUWN)や北海道～東北地方の変動、日本列島周辺に位置するプレートに対する各GNSS観測点の相対運動を確かめた。その結果、Tomita et al.(2015)でも言及されたようにHeki and Mitsui(2013)で示唆されたほどの大きな加速現象は見られなかったものの、2011年太平洋沖地震の発生から10年以上発生した現在も北海道南部から東北地方にかけて地震発生前と比較して変位速度の大きさに変化が見られ、この現象はこの地域で地震による粘性緩和が未だ解消されていないことに起因するものであると考えられる。

・地震発生前の前兆の有無について

Yokota and Koketsu(2015)において、2011年太平洋沖地震の前駆現象として2002年から東北地方のGEONET観測点にて東西方向の変位の様子の変化が報告されている。今回は同様の変動がITRF2014に準拠したF5解でも見られるかを確認した。その結果、950158(種市)やその周辺の観測点については先行研究での指摘通り2002年ごろから水平変動がみられたが、940041(いわき),950167(山田),950179(亶理)などについては上下成分は2002年ごろから変動が見られるものの水平成分についてはそれより遅れて変動がみられ、この変動の時空間特性の検討が必要であると考えられる。

4. 謝辞

北西太平洋地域のGNSS観測データは国土地理院が提供するRINEXファイルを使用し、その解析にはIGSが提供するプロダクトやBern大学で開発されたソフトウェアBernese GNSS Software Version 5.2を用いた。日本国内のGEONET観測データは国土地理院が提供するF5解を使用した。ここに記して感謝いたします。



Estimate an interplate coupling in the southern Kuril trench with a stress-constrained inversion method

*Shunsuke Imai¹, Hiroaki Takahashi²

1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan

目的・背景

北海道道東の十勝沖・根室沖は、千島海溝より太平洋プレートが陸側のプレートの下に沈み込む、沈み込み帯である。沈み込み帯における地震の発生は地震間期のプレート収束によって蓄積したひずみの解放であり、すべり欠損速度は、プレート間のひずみ蓄積量を推定する指標となる。そのため、当該地域のすべり欠損速度を正しく見積もることで、次の地震で想定し得る最大のすべり量や、その災害規模をより正確に検討することができる。現状すべり欠損速度を導出する手法として、陸域の測地データを用いた測地インバージョンが一般的であるが、陸域の測地データのみ、あるいは一部海底の測地データを用いたとしても、測地点は陸域に偏在しており、主に遠い沖合の断層のすべりに対して解像度が低いものとなってしまう。また、本来摩擦固着がない地域でも、運動学的には固着しているとみなされる場合がある。本研究では応力条件を拘束したインバージョン法 (Lindsey et al. 2021) を用いることでより海溝軸に近いエリアの解像度を上げることを目指した。Lindsey et al. (2021) ではこの手法を日本海溝に適用し、2011年東北沖地震前の期間において旧来手法にくらべプレート境界浅部での滑り欠損速度が大きかった可能性を示した。本研究では、1996年以降の国土地理院電子基準点データにLindsey et al.(2021)の手法を適用し、十勝沖・根室沖のプレート間固着状態の時空間変化について検討を行う。

データセットとインバージョン手法

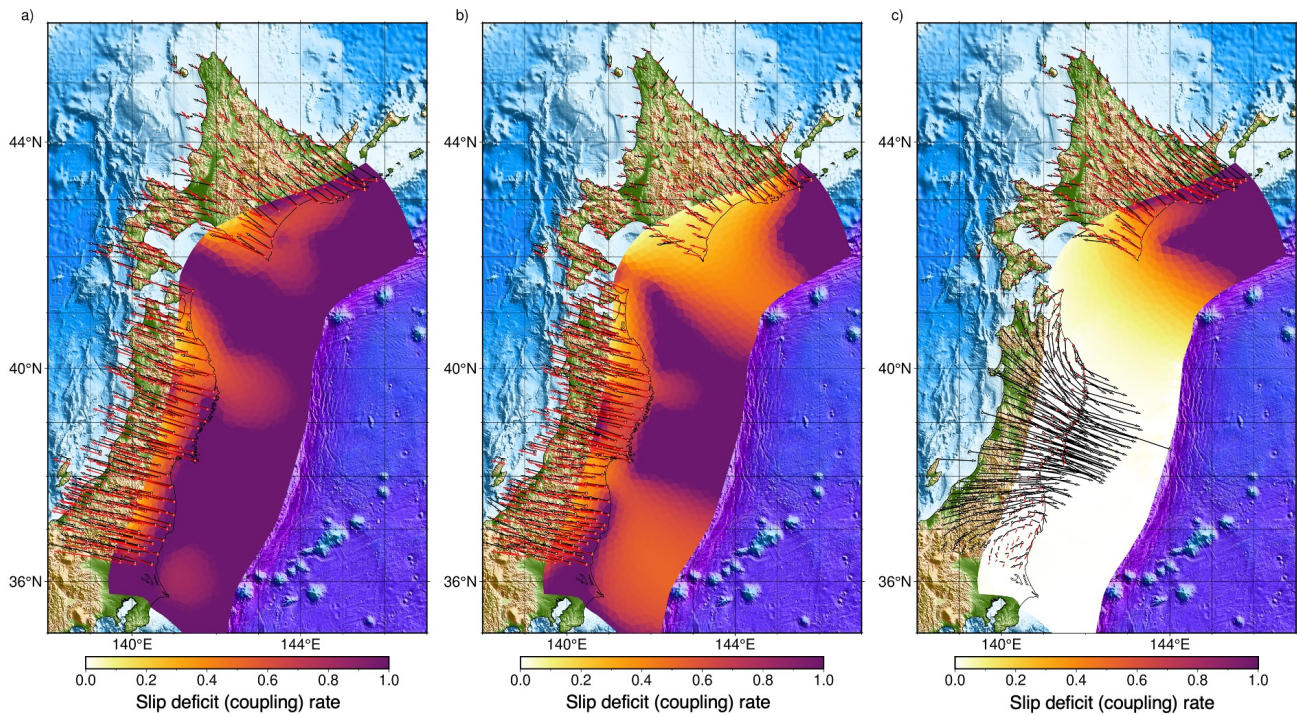
国土地理院電子基準点日々座標値F5解を時系列の東西、南北、上下変位に変換した上で期間を①2003年十勝沖地震前(1996.3.21~2003.9.25)、②2011年東北沖地震前(2006.9.26~2011.3.9)、③2011年東北沖地震後(2014.3.11~2022.6.25)の3つの期間に分け、年周・半年周運動の影響を除外した直線近似の傾きを変位速度(mm/yr)とした。F5解はITRF14に準拠しており、北米プレート準拠の基準系に変換するため、plate motion calculator (UNAVCO web site) を用いて各観測点の北米プレートによる理論変位を計算して速度ベクトルを平行移動させて入力に用いる変位速度を導出した。計算に使用する三角メッシュはSlab2スラブモデルに沿って作成されたものを用いた(Haues et al., 2018)。地震間期の余効変動やスロースリップがない状態では応力速度が常に正であるという拘束条件を基に計算を行った。計算にはLindsey et al. (2021)が公開しているMatlabプログラムを用いた。北米プレートを固定した場合の太平洋プレートの相対運動量はGSRM v2.1(Kreemer et al., 2014)を参照した。グリーン関数はNikhoos et al., 2015の手法によって計算されたものを用いた。

結果と考察

図aと図bから、2003年十勝沖地震前は十勝根室沖の海溝軸寄りを含む広い範囲で固着度が高い状態であったが、2003年十勝沖地震後には、例えばItoh et al. (2019)が示したように、大すべり域に加えプレート境界浅部の固着度も低下したことがわかる。この領域ではVLFや微動の発生が知られているが(Nishikawa et al., 2019, Baba et al., 2020)、固着度の低下はAsano et al. (2010)で示されたVLF活動の活発化と関連している可能性がある。2003年十勝沖地震後は粘弾性緩和による地殻変動が卓越しており(例えばItoh and Nishimura, 2016, Itoh et al., 2021)その影響の評価が必要である。図bと図cが示すように、2011年東北沖地震の前後を通じて十勝沖付近の固着度は増加し、根室寄りの地域では2003年以前の結果と類似して高い固着度が維持されていることがわかる。全期間を通じて、十勝根室沖の海溝軸に近いプレート境界浅部では固着度が高く、沿岸部では低い傾向が示唆されており、先行研究(国土地理院会報, 2012, Itoh et al., 2021)や、海底地殻変動観測の結果(太田・他, 2021)と整合的である。継続して固着度が低いdowndip側では中規模繰り返し地震

が知られており（佐鯉・他, 2014, 気象庁気象研究所, 2021）、定常的なすべりを示唆している可能性がある。根室沖の固着度は解析期間を通じて常に高度合いを維持しているが、これは断層モデルの端であることによるアーティファクトである可能性がある。

謝辞：国土地理院電子基準点のF5解を利用しました



東北～北海道地方のGNSS変位データを使用したすべり欠損速度の導出結果。矢印黒は観測値、赤は予測値。

a) データセット①(1996年～2003年) b) データセット②(2006～2011年) c) データセット③(2014～2022年)

Strain concentration around the volcanic front in eastern Hokkaido caused by southern Kuril subduction

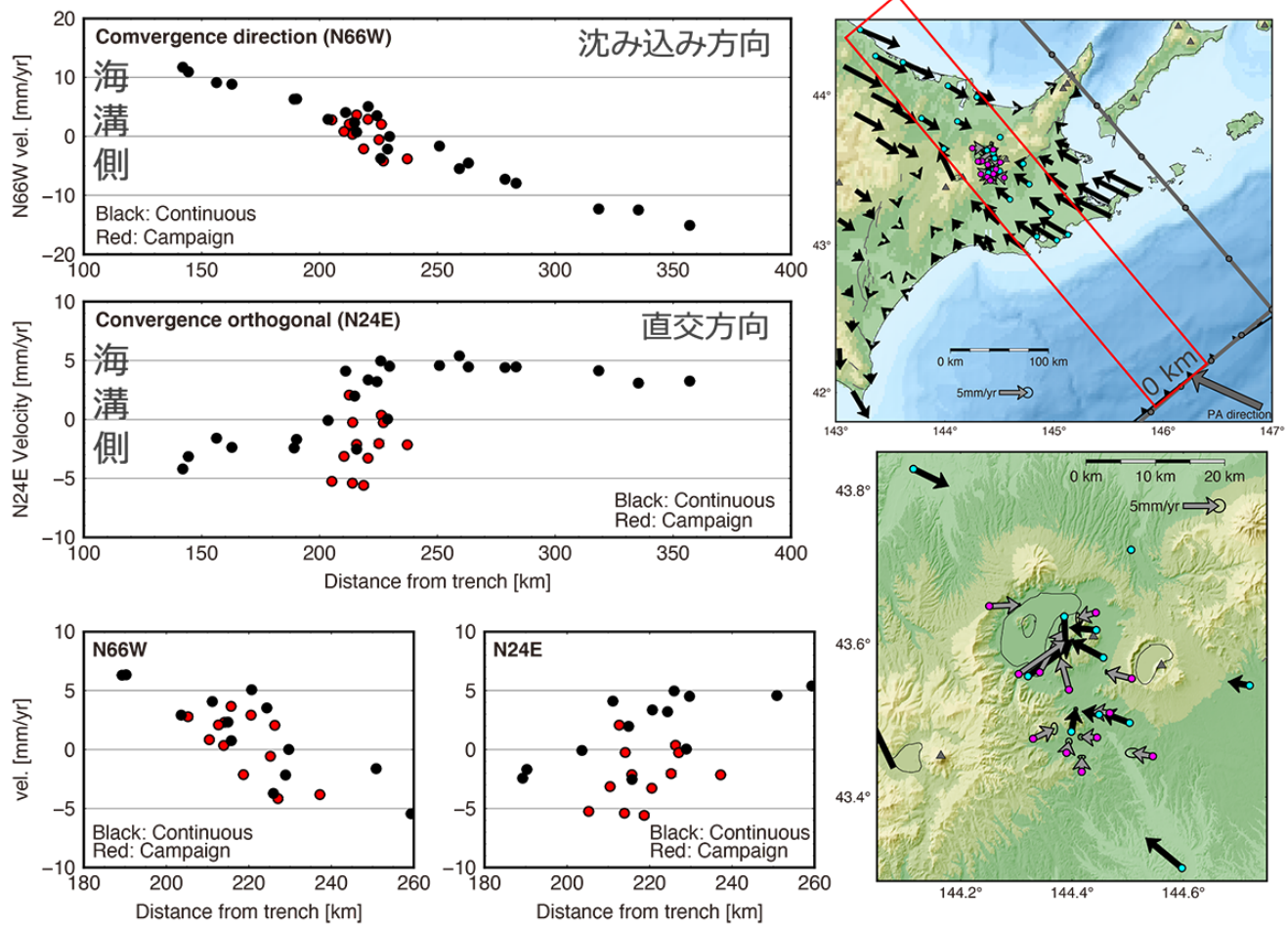
*Mako OHZONO¹, Hiroaki TAKAHASHI¹

1. ISV, Faculty of Science, Hokkaido University

北海道東部は太平洋プレートがオホーツク (北米) プレートに沈み込む島弧地域にあり、内陸部には阿寒-知床火山列などの火山フロントが分布する。屈斜路カルデラから阿寒カルデラにかけての地域は、GEONETなどの全国的なGNSS観測網から定常的に収縮ひずみが大きい場所として知られ、この変形の成因をプレート間固着による広域的なもの、火山活動による局所的なもの、といったかたちで定量的に見積もることは、千島海溝沿いにおけるプレート間固着の現実的な空間分布把握につながり、地震発生ポテンシャルを考える上でも重要となる。屈斜路カルデラ周辺では、そのひずみ集中の詳細な分布とその変形メカニズムを明らかにすることを目的として、GNSSの連続およびキャンペーン観測を実施している。本研究では、Bernese GNSS Software version 5.2の二重位相差解析により、2013年以降の北海道地域のGNSS観測点の日座標を推定し、求めた地殻変動場から各影響について考察する。北海道東部の日座標時系列が比較的一定で変化する2013年から2021年の期間に対し、線形、年周、半年周トレンドを近似して各点の速度を求めた。オホーツクプレートに対する北海道東部の広域的な水平速度場は、千島海溝に近い太平洋側で西北西～北西向きの変動を示し、海溝から離れるにつれて小さくなる。この向きは太平洋プレートの沈み込み方向と概ね一致するが北海道北部の沿岸部（オホーツク海側）でも0になることはないため、背弧側の広範囲でも沈み込みや固着の影響を受けていることを示唆する。海溝から沈み込み方向 (N66°W) に屈斜路カルデラを含むように測線をとって速度プロファイルを作成すると、沈み込み方向の速度成分は全体的に単調に変化し、 ~ 0.2 ppm/yrの短縮 (50 kmで1 cm/yrの速度差) を示す。ただしカルデラ地域周辺ではばらつきが大きい。また、沈み込み方向に直交する (千島海溝に沿う) 方向の速度成分は、前弧側と背弧側で10mm/yrの差が生じ、その間にある火山フロント (屈斜路カルデラ) 周辺で急激な速度変化がある (図)。沈み込み方向とは異なる方向に大きな速度変化があることから、カルデラ周辺ではプレート収束とそれ以外の変動が混在していることが推察できる。例として火山活動起源の地殻変動を仮定すると、屈斜路カルデラ周辺の局所変動は、カルデラ中央部に収縮源となるシルをおくことで概ね説明可能である。ただし、より広域では、火山フロントやカルデラ地域、また背弧側で異なる地下構造があることにより、プレート間固着による地殻変動場が単純なパターンとならないことも示唆されているため、現実的なプレート間固着分布はこの地下構造起因の影響、火山活動やその他要因による局所変動といった様々な時空間スケールでの地殻変動を考慮した上で、推定可能になると考えられる。

謝辞：本研究では国土地理院が提供するGNSSデータを使用しました。弟子屈町はじめ、観測点設置をさせていただいている関係機関に感謝いたします。本研究は文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）」の支援を受けています。

沈み込み方向（と直交方向）の速度プロファイル



Room A | Special session : S22. Earthquakes, tsunamis, and related phenomena around Hokkaido subduction zone

🏠 Mon. Oct 24, 2022 5:00 PM - 6:00 PM JST | Mon. Oct 24, 2022 8:00 AM - 9:00 AM UTC | 🏠 ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S22] PM-3

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

5:00 PM - 5:15 PM JST | 8:00 AM - 8:15 AM UTC

[S22-13] Current state of seismic activity off Tokachi and Nemuro

*Hiroaki TAKAHASHI¹, Masayoshi Ichiyanagi¹, Ryosuke Azuma² (1. Hokkaido University, 2. Tohoku University)

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

[S22-14] Recent seismic activity in and around Hokkaido, Japan (2018-2021)

*Tetsuo TAKANAMI¹ (1. Hokkaido Research Center of Geology)

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

[S22-15] Spatio-temporal seismic velocity variation near the Japan-Kuril trenches junction revealed from long-term dense-OBS network observation

*Takehiro Sato¹, Ryosuke Azuma¹, Ryota Takagi¹, Ryota Hino¹, Masanao Shinohara² (1. Tohoku University, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

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

[S22-16] Shallow VLFE observation at the Erimo-oki, southern off Hokkaido, using a broadband OBS array and F-net

*Ryosuke AZUMA¹, Ryota Takagi¹, Satoru Baba², Ryota Hino¹, Masanao Shinohara³ (1. RCPEVE, Graduate School of Science, Tohoku Univ., 2. JAMSTEC, 3. ERI, Univ. Tokyo)

Current state of seismic activity off Tokachi and Nemuro

*Hiroaki TAKAHASHI¹, Masayoshi Ichiyanagi¹, Ryosuke Azuma²

1. Hokkaido University, 2. Tohoku University

地震本部の今後30年間の長期評価では、千島海溝南部のM8.8程度以上で4-70%、根室沖のM7.8-8.5程度で80%程度と高い切迫度が示されている。十勝根室沖の地震活動の現況を報告する。

防災科研S-netの展開により、2020年9月から気象庁一元化震源処理で海底地震計データの利用が開始され、海域での地震検知能力と震源決定精度が大幅に向上した（植平，2019）。現在までの2年程度のデータからは、十勝根室沖の震央分布の空間的特徴はS-net導入以前と変わらないように見える。沿岸と海溝軸との中間地点よりdown-dip側の領域で地震活動が活発である一方、海溝軸寄りのup-dip側の領域ではS-net導入後も従前と同じく地震活動度が極めて低い。この空間的特徴は以前から指摘されてきたが（Takahashi and Kasahara, 2007）、検知能力の低さによる見かけ上のものではなく、実際の現象である可能性が高まった。この低地震活動域は、えりも岬沖に位置する微動やVLFE発生域の東側に位置し（Nishikawa et al., 2019, Baba et al., 2020）、さらに東方の色丹島沖や択捉島沖にも続いているように見える。色丹島沖の領域では1975年にMt7.9（阿部，2003）の津波地震が発生しており、力学的な固着がある可能性がある。根室沖で2019年より開始された海底地殻変動観測の予察的な結果からは、プレート境界でのすべり遅れがプレート間相対速度にほぼ一致することを示唆する結果が得られているが（太田・他，2021）、力学的な固着の有無を検討する必要がある。

根室沖の沿岸に近いDown-dip側では中規模繰り返し相似地震が知られており、気象庁気象研究所により発生状況がモニターされている（気象庁気象研究所，2021）。釧路町沖の平均すべり速度6.5cm/yrの相似地震は、1954年以降2016年まで11回の発生が知られ（佐鯨・他，2014）、発生間隔は現在まで大きく変化しているようには見えない。釧路から根室の沿岸近くの海域の深さ40-60kmのプレート境界付近では、北西南東向きの帯状地震活動帯に区切られた低地震活動領域が4つ程度存在し、そのうちの1つは相似地震とされる2004年M7.1及び1961年M7.1の大すべり域と一致する（気象庁気象研究所，2014, Takahashi and Kasahara, 2007）。2004年地震の余震活動は、定常的な地震活動域と同じく大すべり域の周辺部でのみ見られた。この余震域中にある平均すべり速度5.1cm/yの中規模繰り返し相似地震発生の間隔は、2004年地震の前後で変化したようには見えない。2004年地震の平均すべり量は1.6mで、1961年からの経過時間から推定されるすべり遅れ速度は3.7cm/yであり、これらdown-dip側の平均すべり速度はプレート間相対運動速度である約8cm/yより有意に小さいものの、国土地理院（2012）による滑り欠損速度と概ね整合する。

S-netの展開により、震源の深さ精度の大幅な向上が期待されている。2021年5月16日十勝沖のM6.1は気象庁震源の深さは8kmで、地震調査委員会では陸のプレートの地殻内地震と評価し、上盤側プレート内地震活動の存在が明確に示された。震央付近には北東南東走向の背斜軸が存在しており（産総研，2010）、西側には活断層が存在する（泉・他，2017）。震源の深さ分布を見るため、Iwasaki et al. (1989)によるP波一次元速度構造と東・他（2019）による観測点補正值を用い、気象庁のP波読み取り値と海溝軸より陸側の海底観測点のみを用いた震源決定を行ったところ、気象庁震源より深い15kmが得られた。余震はプレート境界付近から浅部に分布しているように見える。

以前から指摘されてきた十勝根室沖海溝軸側の低地震活動域は検知能力による見かけ上のものではなく、Takahashi and Kasahara(2007)が利用した北大の微小地震カタログが存在する1976年以降継続している可能性がある。当該海域での海底地殻変動観測からは、運動学的なすべり遅れがプレート間相対運動速度相当である可能性が示唆されており、力学的固着の有無を検討する必要がある。Down-dip側の繰り返し相似地震の履歴からは、1954年以降の平均すべり速度が著しく変化した様子は見られない。震源深さ精度の向上により、上盤側プレート内でのM6クラスの地震活動の存在が明らかになった。気象庁震源・防災科研S-net地震波形・海洋研究開発機構釧路・十勝沖ケーブルシステム波形・SEIS-PC（中村・石川，2005）を利用しました。

Recent seismic activity in and around Hokkaido, Japan (2018-2021)

*Tetsuo TAKANAMI¹

1. Hokkaido Research Center of Geology

本報告では、ごく最近の2018年～2021年に確認された北海道とその周辺の地震活動をレビューする。おおよそM6以上の地震に注目すると、2018年1月24日の青森県東方沖の地震(M6.3, 深さ34km), 同年5月18日釧路沖の地震(M5.8, 深さ47km), そして同年2018年9月6日に胆振地方中東部で発生した北海道観測史上最大の内陸地震(M6.7, 深さ37km)がある。北海道では観測史上最大の内陸被害地震となり、この特別の地震を気象庁によって「平成30年北海道胆振東部地震」と命名された(以後、これを北海道胆振東部地震と称す)。この北海道胆振東部地震に続いて同年11月5日に知床半島先端付近で地震M6.3の地震が発生した。この知床半島先端近傍ではM6を超える大きな地震はこの地震が初めてである。この地震とほぼ同じ場所で10日前の10月26日にM5.5の地震が発生した。これらの地震の深さはともに20kmであり、発震機構もともに西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型の地殻内地震であった。さらに2019年2月21日に北海道胆振東部地震の最大余震(M5.8, 深さ33km)が余震域北端付近で発生し、厚真町で最大震度6弱を観測し、これによってほぼ南北方向に延びた余震域がほぼ確定されたと推定される。2019年3月2日には根室半島南東沖の千島海溝近傍では大変珍しい地震(M6.2, 深さ51 km)が発生した。この地震の震源位置やW-phaseによるWCMTから、この発生機構は千島海溝で沈み込む太平洋プレート内の正断層タイプの地震と推定された。つづいて同年4月28日の十勝地方南部の地震(M5.6, 深さ102km), 同年8月29日の青森県東方沖の地震(M6.1, 深さ21km)などが発生した。同年12月12日には宗谷地方北部で内陸浅発地震(M4.2, 深さ7km)が発生し、最大震度5弱を豊富町で観測した。北海道北部では同程度の地震が時々起こっている。その後、北海道とその周辺の地殻内ではM6を超える比較的大きな地震はほぼ皆無となり、地震活動の静穏期が約1年間継続した。一方、その静穏期の2020年には1月28日の根室半島南東沖地震(M5.5, 深さ96km), 同年5月31日の十勝沖の地震(M5.6, 深さ94km)などのやや深い地震が続発した。さらに当調査領域外であるが、同年2月13日にその東端近傍の択捉島南東沖で調査期間最大の地震(M7.2, 深さ155km)が発生した。前者の静穏期に深部では地震活動が高まったのは興味深い。しかし、11月6日と12月21日には、再び千島海溝と日本海溝の会合部で、比較的大きな地殻内地震(M6.5, 深さ43km)が発生し、前出の2018年1月24日の地震(M6.3, 深さ34km)と2019年8月29日の地震(M6.1, 深さ21km)を加えるとこの調査期間にM6以上の地震が3回起こったことになる。これらの震源域は1856年8月23日の青森県沖地震M7.5や1968年5月16日の十勝沖地震M7.9などの海溝型巨大地震の震源域とほぼ重なっている。2021年には1月27日の北海道胆振地方中東部の地震(M5.4, 深さ128km)が起こり、新冠町で最大震度4を観測した。この地震の震央は北海道胆振東部地震の震央近傍であるが、スラブ内の深さ約128kmで発生した横ずれタイプ地震であった。さらに2021年3月6日の北海道東方沖の地震(M5.9, 24km), 同年5月14日には日高地方中部の内陸地震(M4.6, 深さ20km), 同年5月16日には十勝沖の地震(M6.1, 深さ8km)など比較的小さい地震が続発した。後者の地震の震央は、1952年3月4日の十勝沖地震M8.2と2003年9月26日の十勝沖地震M8.0などの海溝型巨大地震の震源域とほぼ重なるが、今回の地震はその上盤側で発生した。その発生機構もほぼ東西方向に圧縮軸を持った横ずれタイプであり、過去の巨大地震の逆断層タイプとは異なっていた。以上の最近の地震活動調査から、北海道胆振東部地震を筆頭に、青森県東方沖、根室半島南方の千島海溝近傍、知床半島先端近傍など、比較的広範囲に地震活動が確認された。またそれらの発生機構も多様であり、北海道特有の複雑な地学的環境が示唆された。謝辞：本レビューでは気象庁地震カタログ、NIECのF-netカタログ、地震活動の可視化ツールSeis-PC(石川・中村, 1997; 中村・石川, 2005)などを用いた。2019年3月2日には根室半島南東沖のWCMT解は(私信, 金森博雄, 2022)に基づいた。

Spatio-temporal seismic velocity variation near the Japan-Kuril trenches junction revealed from long-term dense-OBS network observation

*Takehiro Sato¹, Ryosuke Azuma¹, Ryota Takagi¹, Ryota Hino¹, Masanao Shinohara²

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

地震波干渉法は高い時間分解能で地震波のグリーン関数を抽出できることから、大地震や火山活動に伴う地震波速度の時間変化の検出に広く用いられている。近年ではスロー地震に伴う構造変化についても地震波干渉法によって検出するという試みがなされている (e.g., Tonegawa et al., 2022)。日本海溝-千島海溝会合部では2006年から2007年にかけて42台の海底地震計からなる稠密観測網が展開された。使用した海底地震計は、固有周期1 Hzの3成分速度センサーを備えており、観測された波形はサンプリング周波数200 HzでA/D変換されレコーダーに収録された。観測期間中には3回のテクトニック微動活動 (Kawakubo, 2021) や2度の千島列島沖巨大地震 (Lay et al., 2009)、近地地震 (Mj 6.2) などが発生しており、これらの地震活動に伴う地震波速度の時間変化が期待される。本研究では、海底地震計連続記録に地震波干渉法を適用し、地震活動に伴う地震波速度変化の検出を試みた。解析では、3成分速度連続記録から単一観測点における9成分相互相関関数 (cross-correlation function, CCF) を計算した (Hobiger et al., 2014; Uemura et al., 2018)。周波数帯はスペクトル振幅が観測期間を通して安定していた1-2 Hzを用いた。CCFの計算は1日長の連続記録を60秒ずつ重複するよう切り出した120秒の時間窓ごとに行った。このとき、自然地震などによるCCFのゆらぎを軽減するため2値化処理を施した。地震波速度変化は、観測点周囲の変化は一樣であると仮定し、ラグタイム3秒から30秒内での15秒の移動時間窓における位相ずれを用いて推定した。観測期間全体のCCFの平均を基準CCFとし、それと15日平均のCCFを比較することで最終的な地震波速度の変化時系列を得た。解析の結果、観測期間において、地震波速度の過渡的な時間変化が数回検出された。また、得られた地震波速度の推定誤差は0.02%程度であった。最も顕著な変化は、Mj 6.2の地震に伴う震源近傍で見られた約0.05 - 0.2%の地震波速度低下およびその後の回復であった。この速度低下は強震による地盤の損傷が原因として考えられる。また、約0.02 - 0.05%の地震波速度変化が数回見られた。これらの地震波速度変化はテクトニック微動活動やM 5クラスの近地地震、遠地巨大地震の発生時期と一致していることから、地震活動に関連した変化である可能性がある。今後、これらの地震活動による強震分布や地震波速度変化が見られた領域を比較することにより、地震活動と地震波速度変化についてより詳細に調べていく。

Shallow VLFE observation at the Erimo-oki, southern off Hokkaido, using a broadband OBS array and F-net

*Ryosuke AZUMA¹, Ryota Takagi¹, Satoru Baba², Ryota Hino¹, Masanao Shinohara³

1. RCPEVE, Graduate School of Science, Tohoku Univ., 2. JAMSTEC, 3. ERI, Univ. Tokyo

北海道襟裳岬沖は、日本海溝から千島海溝にわたる沈み込み帯の中でも浅部超低周波地震 (sVLFE) の活動が極めて高い領域であることが、F-netによって明らかとなっている (例えば, Baba et al., 2020). そのごく近傍では、sVLFEの活発化と同期して、両海溝会合部に帯状に発生する微動域の活動も高くなることが、S-net (2017年以降: 例えば, Nishikawa et al., 2019) および機動海底地震観測 (2006–2007年: Kawakubo et al., JpGU, 2021) によって把握された。しかし、沖合で発生する地震に対する陸上と海域観測網とでの震源精度の違いのために、sVLFEと微動の空間的な対応関係の議論は困難であった。加えて、これらスロー地震活動は、近接する沈み込んだ海山から何らかの作用を受けている可能性も考えられるため、とりわけsVLFE活動の実態解明には、活動域直上の広帯域観測による震源精度の向上が重要である。

東北大学と東京大学地震研究所では、sVLFEの発生が予想される沈み込んだ海山周辺において、120秒速度計1台 (図a中ER0) と1秒速度計4台 (図a中ER1~4) で構成した海底地震計 (以降、OBS) アレイ観測を2019年7月6日~2020年10月10日にかけて実施した。OBSアレイに加えて観測期間内のS-netの連続記録のエンベロープ相関法解析により、2019年7月と2020年2月に大規模な微動帯活動が見つかっている (図a-b, 東・他, 地震学会, 2021)。これら微動帯の活動時期には、先行研究と同様にsVLFEも活発化しており (図b, 以降は馬場カタログ, 馬場氏私信), OBSアレイにも地震波形が記録されていることが期待される。

本予稿までに、馬場カタログのsVLFE発震時刻におけるOBS波形記録をF-net記録とともに確認した。馬場カタログのsVLFE発震時刻はプレート境界上に配した仮想震源での理論VLFE波形と観測波形の相関の高い時刻を検索して作成している。そこで、Baba et al. (2019)に準じて緯度・経度方向に0.4度間隔に配した震源グリッドごとに、20–50秒帯域のイベント波形を震源時刻で揃えたペーストアップを作成してS/N比を調べたところ、アレイから60km以上離れた三陸沖以南の震源ではOBSの波形振幅が小さくS/Nが悪いものの、OBSアレイ付近にあたる十勝沖の震源グループでは明瞭に観測されていることがわかった (図c-d)。それぞれの仮想震源についてプレート境界断層すべりを仮定した理論波形を観測波形と比較すると、イベント間の観測到着時刻のばらつきがF-netに比べOBSで大きい傾向がみとれる。これより震源分布が空間的な広がりを持つことが示唆され、波形解析による震源推定によってより高い精度で震源分布を得られる可能性がある。また、十勝沖の地震グループの中には、2–8Hzの帯域で微動のような波形を描くイベントもみられ、Ide et al. (2007) などで示唆される広帯域スロー地震が発生している可能性がある。今後、モーメントテンソル解析による震源推定および周波数解析を進め、会合部でのVLFE活動の実態を明らかにしていく。本研究では、防災科学技術研究所F-net地震波形を利用しました。理論地震波形計算にZhu and Ben-Zion (2013)によるFKパッケージを利用しました。

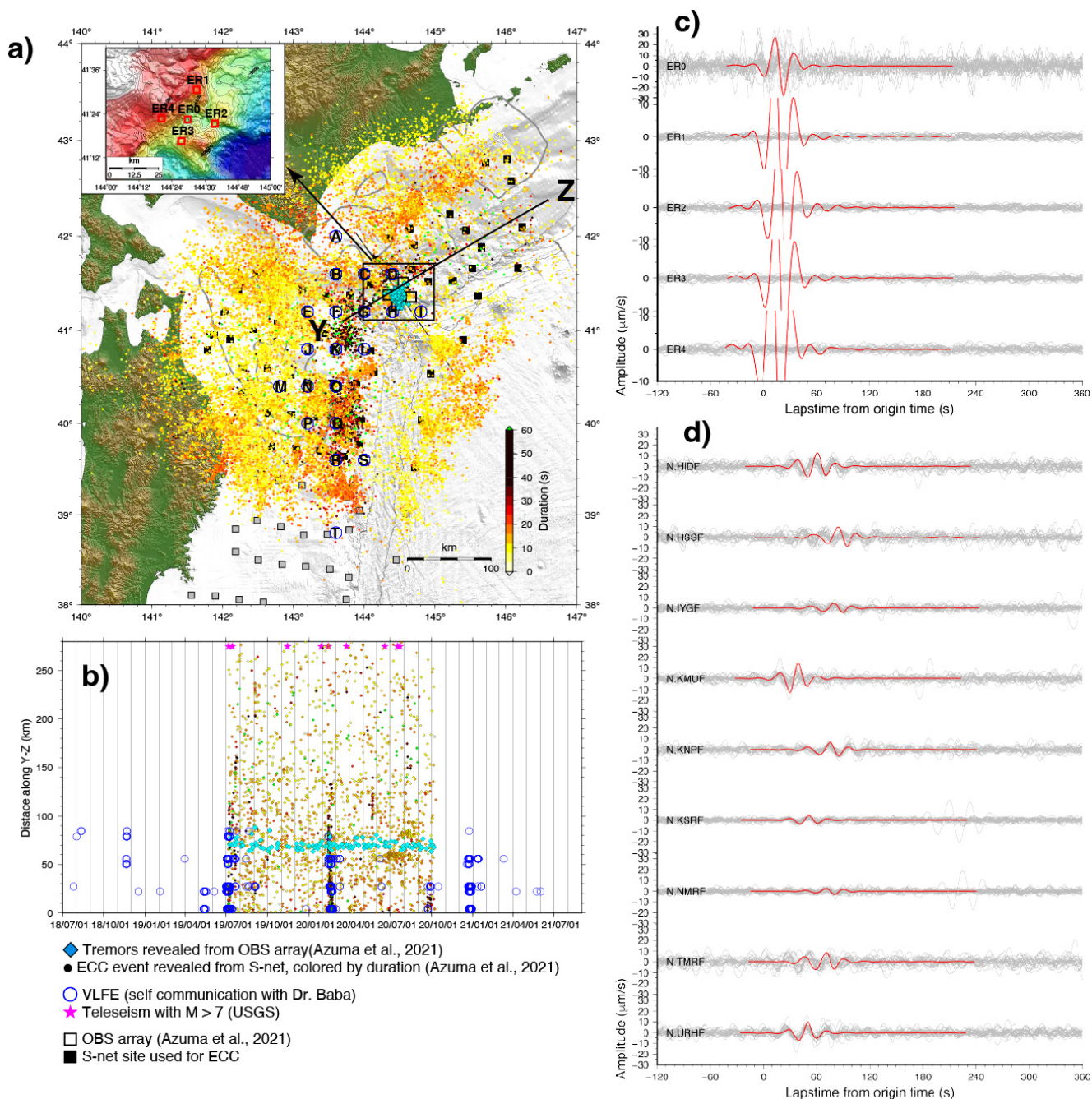


図 a) エンベロープ相関解析による地震震央分布。OBS アレイで検出した微動を水色、S-net で検出した微動・通常地震を暖色～緑色（継続時間）のプロットでそれぞれ示す。青丸は馬場カタログの VLFE 震源。b) Y-Z 測線から 60km 以内のイベントの時空間プロット。c,d) VLFE 震源 C に震源を持つイベントの観測波形（灰）と理論波形（赤）。20–50 秒の帯域通過フィルタを施してある。c は OBS 観測点。d は F-net 観測点。