

Tue. Oct 25, 2022

Room D | Regular session : S16. Subsurface structure and its effect on ground motion

9:30 AM - 11:00 AM JST | 12:30 AM - 2:00 AM UTC | ROOM D 5th floor (Training Room 520)

[S16] AM-1

chairperson: Shinichi Matsushima (DPRI, Kyoto University), Kimiyuki Asano (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[S16-01] On the variability of the horizontal site amplification factors extracted from the observed Fourier spectra of the S-wave part and the whole wave

*Hiroshi KAWASE¹, Kenichi NAKANO², Jiken WANG³, Eri ITO¹, Jikai SUN¹ (1. DPRI, Kyoto University, 2. HAZAMA ANDO CORPORATION, 3. Graduate School of Engineering, Kyoto University)

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

[S16-02] Cluster analysis of site amplification characteristics along Route 9 estimated by the distributed acoustic sensing (DAS).

*Kento Kumaki¹, Hisashi Nakahara¹, Kentaro Emoto², Masatoshi Miyazawa³, Takeshi Tsuji⁴ (1. Tohoku university, 2. Kyushu University, 3. Kyoto University, 4. University of Tokyo)

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

[S16-03] Construction of the Shallow Velocity Structure Model in the Kyoto and Nara Basins Using Boring Database and Microtremor Array Observations

*KimiYuki ASANO¹, Tomotaka IWATA¹, Teruyuki HAMADA², Kunikazu YOSHIDA², Kazuhiro SOMEI², Haruko SEKIGUCHI¹ (1. DPRI, Kyoto University, 2. Geo-Research Institute)

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

[S16-04] Ground motion characteristics during the 2022 Noto-Hanto earthquake (M_J5.4) and underground velocity structure at ISK00

*Tomotaka IWATA¹, Kimiyuki Asano¹, Takeshi Miyamoto², Mugen Ogata² (1. DPRI, Kyoto University, 2. Graduate School of Faculty of Science, Kyoto University)

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

[S16-05] Input motions on engineering basement during the 2018 Northern Osaka earthquake using shallow surface velocity models based on microtremor array observation

*Shota Goto¹, Kota Asano¹, Hiroyuki Goto², Sumio Sawada² (1. Graduate School of Engineering, Kyoto University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[S16-06] The effect of the complex shape of the basin edge structure to the microtremor Horizontal-to-Vertical spectral ratios by numerical analysis

*Shinichi MATSUSHIMA¹, Zhiwei LIU², Jun'ichi MIYAKOSHI³ (1. DPRI, Kyoto University, 2. Former Department of Architecture and Architectural Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University, 3. Ohsaki Research Institute, Inc.)

Room D | Regular session : S17. Tsunami

11:15 AM - 12:00 PM JST | 2:15 AM - 3:00 AM UTC | ROOM D 5th floor (Training Room 520)

[S17] AM-2

chairperson:Yushiro Fujii

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

[S17-01] Modeling of the 2022 Tonga Eruption Tsunami Recorded on Ocean Bottom Pressure and Tide Gauges Around the Pacific*Yushiro Fujii¹, Kenji Satake² (1. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, 2. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

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

[S17-02] Wave Separation of Tsunami Near Japan Induced by Air Pressure Pulse After the 2022 Tonga Volcanic Eruption*Tung-cheng Ho¹, Nobuhito Mori¹, Masumi Yamada¹ (1. DPRI, Kyoto Univ.)

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

[S17-03] The later phase of tsunami associated with the 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcanic eruption: source estimation using array-based analysis*Ayumu MIZUTANI¹, Kiyoshi Yomogida² (1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Science, Hokkaido University)

Room D | Regular session : S17. Tsunami

1:30 PM - 2:45 PM JST | 4:30 AM - 5:45 AM UTC | ROOM D 5th floor (Training Room 520)

[S17] PM-1

chairperson:Kentarō Imai(JAMSTEC), Yoshinori Shigihara

1:30 PM - 1:45 PM JST | 4:30 AM - 4:45 AM UTC

[S17-04] The slip distribution of the 2009 Samoa earthquake doublet estimated by a joint inversion ocean-bottom pressure and electromagnetic tsunami recordsHiroyo YOKOI¹, *Toshitaka BABA¹, Zhiheng Lin², Takuto MINAMI³, Hiroaki TOH² (1. Tokushima University, 2. Kyoto University, 3. Kobe University)

1:45 PM - 2:00 PM JST | 4:45 AM - 5:00 AM UTC

[S17-05] Estimation of the scale of past submarine landslide tsunamis in the waters around Japan*Yoshinori SHIGIHARA¹, Masataka Inui¹, Ako Yamamoto¹, Hikaru Moriki², Takashi Kumamoto³ (1. National Defense Academy, 2. Okayama Univ., currently NRA, 3. Okayama Univ.)

2:00 PM - 2:15 PM JST | 5:00 AM - 5:15 AM UTC

[S17-06] Slip Distribution of the 1923 Kanto Earthquake Estimated from Tsunami waveforms, Coseismic Deformation Data and Tsunami Survey Heights*Yuichiro TANIOKA¹, Yusuke Yamanaka¹, Yumi Nakadai² (1. Hokkaido University, 2. Prev. Hokkaido University)

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[S17-07] Problems related to Tsunami Source Model of the 1498 Meio Tokai Earthquake on the Coast of Shizuoka Prefecture*Satoshi KUSUMOTO¹, Kentarō Imai¹, Takane Hori¹, Daisuke Sugawara² (1. JAMSTEC, 2. Tohoku University)

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[S17-08] The origin of tsunami trace height in Atashika during the 1944 Showa Tonankai Earthquake*Kentarō IMAI¹, Ryoko Obayashi¹, Yasuyuki Nakamura¹, Yuichiro Tanioka² (1. JAMSTEC, 2. Hokkaido Univ.)

Room D | Regular session : S17. Tsunami

3:00 PM - 4:15 PM JST | 6:00 AM - 7:15 AM UTC | ROOM D 5th floor (Training Room 520)

[S17] PM-2

chairperson:Yutaka Hayashi(Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency), Toshitaka Baba(Tokushima University)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[S17-09] White bubbling tsunami: Its Hazard risk -Case of the 2011 Tohoku-Oki earthquake-

*Yuji ENOMOTO¹, Tsuneaki Yamabe¹, Shigeki Sugiura², Hitoshi Kondo² (1. Shunshu University , 2. Genesis Research Institute Inc.)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[S17-10] Evaluation of contribution of observation points to tsunami inundation prediction using machine learning

*Masato Kamiya¹, Toshitaka Baba² (1. Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Tokushima University, 2. Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences, Tokushima University)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[S17-11] Probabilistic Tsunami Hazard Assessment based on the long-term evaluation for earthquakes along Kuril and Japan trenches

*Kenji HIRATA¹, Hiroyuki FUJIWARA¹, Hiromitsu NAKAMURA¹, Tsuneo OHSUMI¹, Nobuyuki MORIKAWA¹, Shin'ichi KAWAI¹, Takahiro MAEDA¹, Yuji DOHI¹, Shin NEMOTO², Nobuhiko TOYAMA², Tadashi KITO², Xuelei ZHANG², Yasuhiro MURATA³, Mariko KORENAGA⁴, Yuta ABE⁴, Teppei OHNO⁴ (1. NIED, 2. OYO, 3. KKC, 4. CTC)

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

[S17-12] Deep-sea bore: Trench-slope ascent of discontinuities in current speed, water temperature and pressure

*Yoshio FUKAO¹, Hiroko Sugioka², Hajime Shiobara³, Aki Ito¹, Taewoon Kim¹, Ryo Furue¹ (1. JAMSTEC , 2. Kobe Univ., 3. Univ. Tokyo)

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

[S17-13] Progress in Preparing a Draft 10-Year Research, Development, and Implementation Plan for Ocean Decade Tsunami Programme (2021-2030)

*Yutaka HAYASHI¹, Srinivas Kumar TUMMALA², Michael ANGOVE³, Sergio BARRIENTOS⁴, Silvia CHACON⁵, David COETZEE⁶, Christa von HILLEBRANDT-ANDRADE⁷, Alexander RABINOVICH⁸, Harkunti Pertiwi RAHAYU⁹, Francois SCHINDELE¹⁰, Amir YAHAV¹¹, Bernardo ALIAGA ROSSEL¹², Rick John BAILEY¹³, Denis CHANG-SENG¹², Angelos HAIDAR¹² (1. Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 2. Indian National Centre for Ocean Information Services, 3. National Oceanic and Atmospheric Administration, USA, 4. National Seismic Centre, University of Chile, 5. Costa Rica National Tsunami Warning System, National University of Costa Rica, 6. National Emergency Management Agency, New Zealand, 7. Caribbean Office, International Tsunami Information Center, NOAA, USA, 8. Tsunami Laboratory, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 9. Institute of Technology Bandung, Indonesia, 10. National Tsunami Warning Center, Atomic Energy and Alternative Energies Commission, France, 11. National Emergency Management Authority, Israel, 12. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, 13. Bureau of Meteorology, Australia)

Room D Regular session : S04. Tectonics

4:30 PM - 5:15 PM JST | 7:30 AM - 8:15 AM UTC | ROOM D 5th floor (Training Room 520)

[S04] PM-3

chairperson:Yukitoshi Fukahata(DPRI, Kyoto University)

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

[S04-01] Hypocenter relocations of earthquakes off Okinawa island with station corrections obtained from CMT solutions

*Masanao Komatsu¹, Mei Kitamura², Hiroshi Takenaka¹ (1. Okayama University, 2. Okayama University (Current: Japan Meteorological Agency))

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

[S04-02] Effects of the hot plume on the bending of the Philippine Sea slab beneath Kyushu (2)

*Natsuki Kozai¹, Nobuaki Suenaga², Shoichi Yoshioka^{2,1} (1. Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University, 2. Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University)

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

[S04-03] ***The geodynamic evolution of the Mexican subduction zone as an effect of the movement of the Chortís Block***

*Erika Moreno^{1,2}, Marina Manea^{2,1}, Vlad Manea^{2,1} (1. Kobe University, 2. Centro de Geociencias, Universidad Autónoma de México)

Room D | Regular session : S16. Subsurface structure and its effect on ground motion

📅 Tue. Oct 25, 2022 9:30 AM - 11:00 AM JST | Tue. Oct 25, 2022 12:30 AM - 2:00 AM UTC | 🏠 ROOM D
5th floor (Training Room 520)

[S16] AM-1

chairperson: Shinichi Matsushima (DPRI, Kyoto University), Kimiyuki Asano (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[S16-01] On the variability of the horizontal site amplification factors extracted from the observed Fourier spectra of the S-wave part and the whole wave

*Hiroshi KAWASE¹, Kenichi NAKANO², Jiken WANG³, Eri ITO¹, Jikai SUN¹ (1. DPRI, Kyoto University, 2. HAZAMA ANDO CORPORATION, 3. Graduate School of Engineering, Kyoto University)

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

[S16-02] Cluster analysis of site amplification characteristics along Route 9 estimated by the distributed acoustic sensing (DAS).

*Kento Kumaki¹, Hisashi Nakahara¹, Kentaro Emoto², Masatoshi Miyazawa³, Takeshi Tsuji⁴ (1. Tohoku university, 2. Kyushu University, 3. Kyoto University, 4. University of Tokyo)

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

[S16-03] Construction of the Shallow Velocity Structure Model in the Kyoto and Nara Basins Using Boring Database and Microtremor Array Observations

*KimiYuki ASANO¹, Tomotaka IWATA¹, Teruyuki HAMADA², Kunikazu YOSHIDA², Kazuhiro SOMEI², Haruko SEKIGUCHI¹ (1. DPRI, Kyoto University, 2. Geo-Research Institute)

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

[S16-04] Ground motion characteristics during the 2022 Noto-Hanto earthquake (M_J5.4) and underground velocity structure at ISK00

*Tomotaka IWATA¹, Kimiyuki Asano¹, Takeshi Miyamoto², Mugen Ogata² (1. DPRI, Kyoto University, 2. Graduate School of Faculty of Science, Kyoto University)

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

[S16-05] Input motions on engineering basement during the 2018 Northern Osaka earthquake using shallow surface velocity models based on microtremor array observation

*Shota Goto¹, Kota Asano¹, Hiroyuki Goto², Sumio Sawada² (1. Graduate School of Engineering, Kyoto University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[S16-06] The effect of the complex shape of the basin edge structure to the microtremor Horizontal-to-Vertical spectral ratios by numerical analysis

*Shinichi MATSUSHIMA¹, Zhiwei LIU², Jun'ichi MIYAKOSHI³ (1. DPRI, Kyoto University, 2. Former Department of Architecture and Architectural Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University, 3. Ohsaki Research Institute, Inc.)

On the variability of the horizontal site amplification factors extracted from the observed Fourier spectra of the S-wave part and the whole wave

*Hiroshi KAWASE¹, Kenichi NAKANO², Jiken WANG³, Eri ITO¹, Jikai SUN¹

1. DPRI, Kyoto University, 2. HAZAMA ANDO CORPORATION, 3. Graduate School of Engineering, Kyoto University

我々は一般化スペクトルインバージョン手法(Generalized Spectral Inversion Technique, GIT)を用いて、任意地点における地震基盤から上の地盤構造による水平動および上下動のフーリエ・スペクトルの増幅特性（サイト特性）を、我が国の強震観測データ（K-NET・KiK-net・JMA震度計ネット・JMA87型強震計ネット・関震協ネット）から分離・抽出してきた。その際に、まずS波部分のスペクトルを対象として、震源・伝播経路・サイトの各スペクトル特性を分離し、その後全波のスペクトルを対象として得られた震源および伝播経路特性の積でこれを割り込むことにより、全波のサイト特性を抽出している（仲野・川瀬, JJAEE2021）。これまで我々は得られたサイト特性の平均値に専ら注目してきたが、予測精度を考える上では個々のサイト特性における地震間のばらつきについても検討しておく必要がある。そこで本報告では、S波部分と全波部分に対して分離・抽出されたサイト特性の地震間ばらつきについて、各地点および全地点でのばらつき量を比較した。GITの手法については仲野・他（JJAEE2015）および仲野・川瀬（JJAEE2021）を参照されたい。基本式はi番目の地震のj地点でのフーリエ・スペクトル $F_{ss_ij}(f)$ は

$$F_{ss_ij}(f) = S_{s_i}(f) * P_{s_ij}(f) * H_{ss_j}(f) \quad (1)$$

で表される。ここで f は周波数、接尾語のSSは地表面上のS波部のスペクトルであることを表している。S波部とは、JMAのS波の走時表を用いて、S波初動以降をマグニチュードに応じた時間区間（ $M_{JMA} 6$ で5秒、 $6 < M_{JMA} 7$ で10秒、 $7 < M_{JMA}$ で15秒）で切り出し、前後に2秒のコサインテーパをつけたものである。一方、全波のフーリエ・スペクトル $F_{sw_ij}(f)$ を対象にした場合には、上記S波部の地震基盤波に対する相対的なサイト特性が得られるものとして

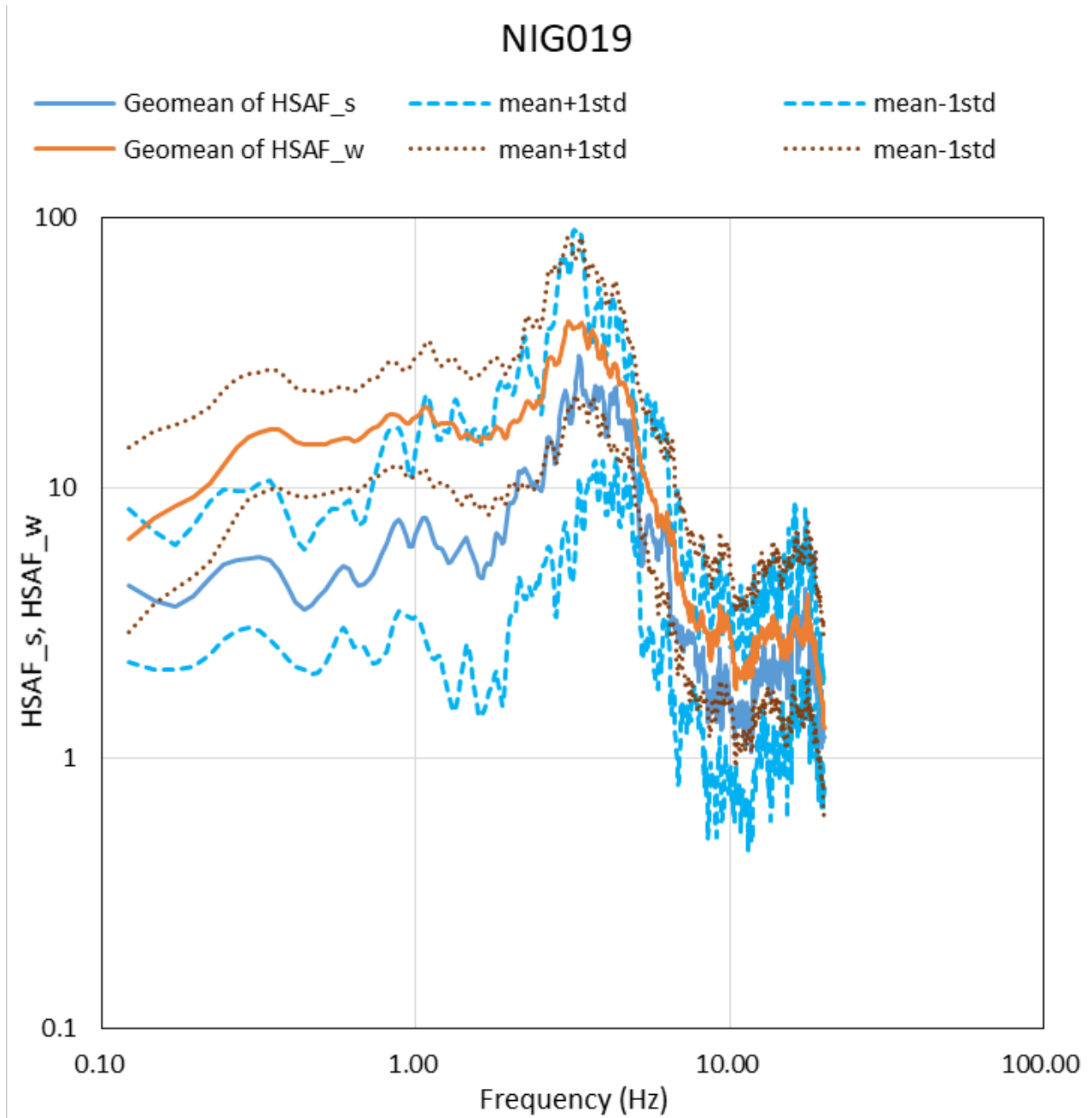
$$F_{sw_ij}(f) = S_{s_i}(f) * P_{s_ij}(f) * H_{sw_j}(f) \quad (2)$$

により全波サイト特性を求めている。この物理的意味は、S波の散乱で生じる後続のCoda波や盆地の端部でS波から変換された盆地生成表面波も含めて、全波の観測スペクトルを入射した地震基盤波に対する相対的な増幅が生じた結果として評価するということである。全波スペクトルを式(2)のように評価する理由は、単純に式(1)のように全波スペクトルを評価すると遠地のサイトで大きな盆地生成表面波が生じていた場合、伝播経路上で振幅の逆転が生じ、特に低振動数域で負のQ値が得られるからである。その場合のサイト特性は安定して求められなくなっている（ちなみに距離減衰式で多用されている応答スペクトルでは継続時間が長くなっても振幅は頭打ちするのでこのような現象は生じない）。なお我々のGITでは拘束条件としてYMGH01の地表地中比から地盤構造を同定し、それから得られる理論サイト特性を観測波のスペクトルから剥ぎ取って露頭地震基盤波としたものを1として用いているので、得られるサイト特性は地震基盤波に対する絶対的なサイト特性となっている。

このようにして得られたS波部のサイト特性と全波のサイト特性を比較すると、NIG019を例にとって添付図に示したように、低振動数側で増幅が大きくなっていることがわかる。2Hz以上の領域では高振動数になるに従って両者の差は段々と小さくなっており、5Hz以上では比はほぼ1.3倍程度になっている。このS波部と全波の平均サイト特性の比を我々はWSRと命名し、それが空間的に滑らかに変化しているため単純な空間補間によってこれを推定することを提案している（仲野・川瀬, JJAEE2021）。

ここでは両者のばらつきに注目する。この例では明らかにS波部のばらつきの方が全波のばらつきよりも大きくなっていることがわかる。S波のばらつきに対する全波のばらつきの比を取ると0.12Hz~20Hzの全周波数平均で0.9、最も小さい3Hz付近で0.4となった。全波のばらつきの全周波数平均値は（対数平均を取って実数に直した値として）1.88で、これがこの地点での予測精度と言える。このばらつきの平均値はサイトによって多少異なり、当然サイト特性の大きな地点の方が大きい傾向にあるが、範囲としては1.5~1.9の範囲にあって安

定した値である。S波部と全波のばらつきの平均値の比は90%前後となっている地点が多く、差としては小さいが、時間区間を短くして到来波動成分としてS波に限定したはずのS波部のサイト特性の方が、何も限定なく様々な波動を含んだ全波のサイト特性よりも予測誤差が大きいというのは意外な結果である。



Cluster analysis of site amplification characteristics along Route 9 estimated by the distributed acoustic sensing (DAS).

*Kento Kumaki¹, Hisashi Nakahara¹, Kentaro Emoto², Masatoshi Miyazawa³, Takeshi Tsuji⁴

1. Tohoku university, 2. Kyushu University, 3. Kyoto University, 4. University of Tokyo

分散型音響計測 (DAS) は、近年地震学の分野で注目が高まっている光ファイバーケーブルを用いた地震動観測手法である。DASには、全長数10 kmの測線に沿って 5-10 m 間隔で稠密に振動観測できること、レーザー光を入射してその後方散乱波を解析する装置を既存の通信用光ファイバーケーブルに接続することにより比較的容易に計測可能であること、等の利点があり、これにより低コストで従来よりも空間的に稠密な地震動の計測が可能となる。先行研究では、京都府内の国道9号線沿いに敷設された光ファイバーケーブルを使用した DAS観測 (宮澤・他, 2022) に基づき、自然地震の直達S波振幅から観測域の平均に対する相対的なサイト増幅特性の空間分布を求めた (熊木・他, 2022)。本研究では、先行研究の結果よりも周波数帯を細かく分割し解析を行い、さらにその結果を用いてクラスター分析を行ったので、その結果について報告する。

京都駅前の京都国道事務所から丹波IC辺りまでの国道9号に沿った長さ約50 kmの区間にわたり約5m間隔でケーブルに沿った軸ひずみ速度1成分を計測した。観測期間は2021年8月23日から同9月24日までの33日間、サンプリング周波数は500 Hzである。期間中に発生したマグニチュード 2.5から4.9の6個の自然地震を解析に使用した。解析対象の地震としては、レコードセクション上で地震波を確認でき、震源距離と輻射パターンによる影響を低減するため、測線から80から120 km程度離れたイベントを選んだ。震源は主に京都府大阪府境界付近、和歌山付近に分布している。国道9号は交通量が多く、夜間でも自動車による振動が含まれるが、解析対象地震を絞り、複数の地震記録を用いることで、その影響を軽減させる。

具体的な解析手順は次のとおりである。各場所のひずみ速度記録に0.1-1, 1- $\sqrt{2}$, $\sqrt{2}$ -2, 2-2 $\sqrt{2}$, 2 $\sqrt{2}$ -4, 4-4 $\sqrt{2}$, 4 $\sqrt{2}$ -8, 8-8 $\sqrt{2}$, 8 $\sqrt{2}$ -16 Hzのバンドパスフィルターを適用する。理論走時を基に、各周波数帯域において、S波初動の到達時の1秒前から5秒間のRMS値を計算する。測線区間の全チャンネルの平均値が1になるようにRMS値を規格化し、メジアンフィルタを9点ごとにかけ測線に沿った空間方向に平滑化を行った後、6個の地震の規格化RMS値の平均値を計算する。各チャンネル (観測点) で得られた9つの周波数帯域のRMS値を特徴量とするk平均法を用いたクラスタリングにより、9313点の観測点を分類し周波数特性を抽出する。その際、クラスター数は3から7つを試し、6つが最適として選択した。

クラスター分析により得られた6つのクラスターの特徴は次のとおりである。クラスター1は、RMS値が0.1から0.6と小さく、2-2 $\sqrt{2}$ Hz帯域で最小値をとる。クラスター2は、RMS値が0.5から1.5に分布し、4 $\sqrt{2}$ -8 Hz帯域以上の高周波数でやや卓越する。クラスター3は、RMS値が0.9から2に分布し、2 $\sqrt{2}$ -4 Hz 帯域で最大値をとる。クラスター4は、RMS値が1から5に分布し、2 $\sqrt{2}$ -4 Hz 以下の帯域で卓越する。クラスター5は、RMS値が0.8から3周辺に分布し、4 $\sqrt{2}$ -8 Hz 帯域で最大値をとる。クラスター6は、RMS値が全周波数帯域で3以上に分布する。図1は結果の可視化のために、PCAにより2次元に次元削減を行い各チャンネルの値をクラスターごとに色分けしプロットしたものである。クラスター1とクラスター2には、それぞれ4797点、2446点のチャンネルが属しており、測線全体を通して分布していたが、測線北西部である京丹波町周辺ではこれらのクラスターのみが主にみられた。これは京丹波町周辺の測線が山地を通過しており、地質や地形の特性が反映されていると考えられる。クラスター3は1141点のチャンネルから成り、測線全体に広く分布していた。また、クラスター4とクラスター5はそれぞれ399点と463点のチャンネルから構成され、亀岡盆地内に集中して分布していた。どちらも全周波数帯域でRMS値が比較的大きく、高周波数側にRMS値が卓越する箇所があるといった特徴がみられる。クラスター6は67点のチャンネルが属しており、京都市西大橋上のチャンネルが主に属していた。西大橋は揺れやすく、全周波数帯域で大きなRMS値であったため、他とは異なるクラスターに分類されたと考えられる。今後は各クラスターに対する考察をさらに深め、この地域のサイト増幅メカニズムの理解につ

なげていく必要がある。

謝辞

本研究は、京都大学防災研究所拠点研究（一般推進）、及びJSPS科研費JP21K18748の助成を受けました。光ファイバー通信ケーブルは、京都大学防災研究所と近畿地方整備局京都国道事務所との間で締結した覚書に基づき、京都国道事務所より借用しました。ここに記して感謝いたします。

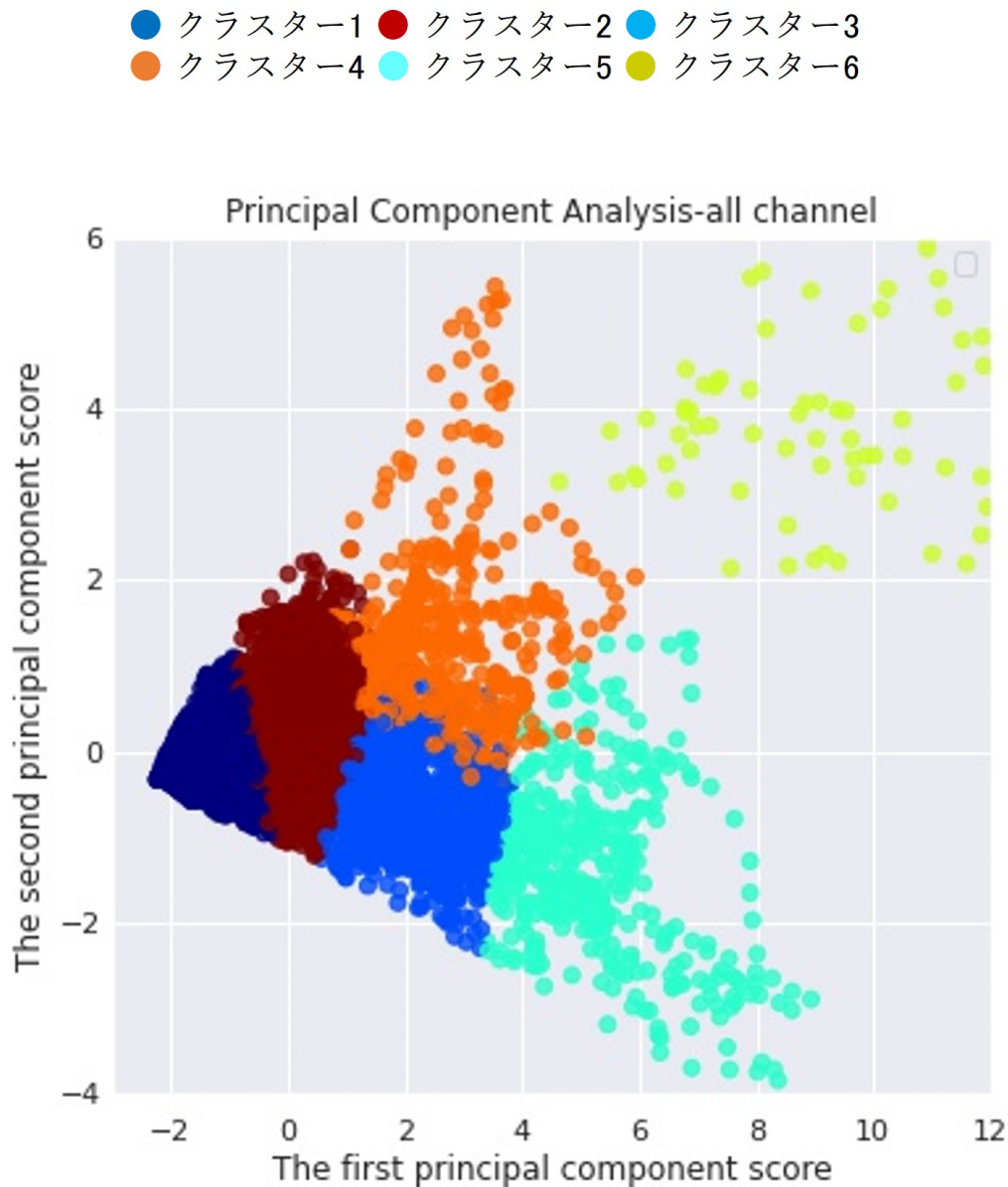


図1. 各周波数帯域のRMS値に対して、PCAを適用し2次元まで次元削減を行い、クラスターごとに色分けしてプロットした。

Construction of the Shallow Velocity Structure Model in the Kyoto and Nara Basins Using Boring Database and Microtremor Array Observations

*KimiYuki ASANO¹, Tomotaka IWATA¹, Teruyuki HAMADA², Kunikazu YOSHIDA², Kazuhiro SOMEI², Haruko SEKIGUCHI¹

1. DPRI, Kyoto University, 2. Geo-Research Institute

令和元年度から3年度にかけて実施した「奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測」（代表機関：京都大学防災研究所）では、奈良盆地東縁断層帯の地震を想定した強震動予測の高度化のため、奈良盆地東縁断層帯に近い京都盆地（山科盆地、山城盆地を含む）及び奈良盆地等の深部及び浅部の地盤速度構造モデルを新規に作成するための各種の調査・解析が実施された。本発表では、京都盆地から奈良盆地にかけての地域を対象とした浅部地盤速度構造モデルの作成について報告する。本研究では、ボーリングデータベースの解析に基づいて作成した地質モデルと微動アレイ観測による位相速度情報を統合して解析し、浅部地盤のS波速度構造を250 mメッシュでモデル化した。ここでは、工学的基盤相当のS波速度を350 m/sと設定し、それ以浅を浅部地盤として取り扱った。

まず、世界測地系の4分の1地域メッシュ（250 mメッシュ）毎に、ボーリングデータベースに基づく浅部地盤地質モデルを作成した。関西圏では、これまでも自治体の地震被害想定や地盤工学的研究を目的に、各地でボーリングデータベース解析による地盤モデル作成が行われている。京都市域の一部については全国電子地盤図（地盤工学会, 2014）によるモデルを活用し、京都市を除く京都府南部については平成17年度京都府地震被害想定調査（京都府, 2006）により作成されたモデルを関西圏地盤情報データベースに収録されたボーリングデータで検証・修正することで活用した。京都市域の残余（京都盆地の一部及び山科盆地）及び奈良盆地全域について、関西圏地盤情報データベース及び新規に収集したボーリングデータを用いて新たにモデル化した。モデル化の方法は全国電子地盤図と同様である。各メッシュでは工学的基盤まで深度1 m刻みで、優勢土質と平均N値をモデル化した。既存ボーリングデータのないメッシュについては、微地形区分（若松・松岡, 2020）が同じ周辺のメッシュのボーリングデータから補間することでモデル化した。

また、地表から工学的基盤付近までの地盤構造に関する位相速度情報の取得のため、極小半径（半径0.6 m）～小半径（半径2～10 m）の微動アレイ観測を面的に多数実施した。京都盆地南部から奈良盆地にかけての176地点で実施した。調査地点の選定に当たっては、調査対象地域の浅部地盤構造を面的に把握するため、地表地質分布も考慮しながら、概ね2 km間隔で選点した。調査地点の多くは、沖積層分布域であるが、宇治丘陵、平城山丘陵などの大阪層群分布域、堆積盆地縁辺の段丘面の一部でも調査を行った。各微動アレイ観測では、白山工業製JU410を4式用い、正三角形アレイによる4点同時観測を行った。取得した微動波形記録のうち、上下動成分を用いて、空間自己相関（SPAC）法（Aki, 1957）により、半径毎のSPAC係数を求めた。最後に、各半径のSPAC係数を統合し、拡張SPAC法（凌・岡田, 1993）によって位相速度の分散曲線を得た。ほぼすべての観測点で、位相速度が400 m/sを超えるあたりまで得ることができた。位相速度の対象周波数帯域としては概ね2 Hz以上である。

浅部地盤のS波速度構造をモデル化するため、土質毎にN値と有効土被り圧からS波速度を与える経験式を作成した。山本・他(2005)が大阪平野の沖積層を対象として提案した経験式の形を用い、この係数を土質ごとに与える。まず、本重点調査観測で収集及び既存データベースに搭載の計45地点のPS検層結果を整理し、粘性土、砂質土、礫質土のそれぞれの土質区分について、N値、有効土被り圧、S波速度の関係の経験式を求めた。得られた経験式を初期モデルとし、上述の極小～小半径の微動アレイ観測及び本重点調査観測で実施した小～大半径の微動アレイ観測により得られた計197地点の位相速度をRayleigh波基本モードの位相速度分散曲線で説明できるよう、経験式の係数を遺伝的アルゴリズムで最適化することにより、適切な浅部地盤S波速度構造モデルを得た。その際、工学的基盤以深の構造が位相速度に及ぼす影響を適切に考慮するため、S波速度が600 m/sを半無限層とし、浅部地盤構造モデルの基底とS波速度600 m/sの半無限層の間に中間層を1層設

定し、観測点毎にこの中間層の層厚とS波速度を求めた。中間層の層厚及びS波速度は、浅部地盤構造モデルの経験式の係数と同時に求めることは困難であるため、ここでは、浅部地盤構造モデルと中間層のパラメータを交互に求め、収束するまで反復した。

最終的に得られたモデルによる理論分散曲線は各微動アレイ観測点の観測位相速度を概ね説明することができた。盆地端部で残差が大きい地点もいくつか見られたが、全体として初期モデルに比べて、本検討で最終的に得られた浅部地盤速度構造モデルにより残差が改善している。

謝辞：本研究は令和元～3年度科学技術基礎調査等委託「奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測」により実施しました。

Ground motion characteristics during the 2022 Noto-Hanto earthquake ($M_j5.4$) and underground velocity structure at ISK00

*Tomotaka IWATA¹, Kimiyuki Asano¹, Takeshi Miyamoto², Mugen Ogata²

1. DPRI, Kyoto University, 2. Graduate School of Faculty of Science, Kyoto University

2022年6月19日に石川県能登地方で $M_j5.4$ の地震が発生して、K-NET正院(ISK002)では震度6弱を観測し、周辺で被害が生じた。この記録は周波数1 Hz程度が卓越していることが見てとれた。染井・他(2022)では、ISK002を含む北陸地方の強震観測点記録を用いて、スペクトルインバージョンにより観測点サイト増幅特性を求めているが、ISK002のそれは、地震基盤面相当の地表観測点のサイト増幅特性を2とした時に、解析周波数帯の0.2-10Hzにおいて、10倍以上の増幅特性を持っていることが示されている。染井・他(2022)では観測点サイト増幅特性を1次元重複反射理論に基づく理論増幅と仮定して、当該サイトのS波速度構造の推定も行っている。これらの結果からはISK002においては、工学的基盤面相当以浅の浅部地盤構造による地震波への影響が大きいと推定されている。

一方、珠洲の平野部においては、1993年能登半島沖地震($M_j6.6$)においても建造物被害が発生しているが、単点微動による地盤の卓越周波数特性から、被害を及ぼした地震波の特性と沖積層厚についての議論がなされていた(土質工学会・1993年地震災害調査委員会(1993))。

本研究ではこれらの調査結果を踏まえ、微動アレイ探査を実施し、当該地域の地質ボーリング資料などをもとに、ISK002及び周辺地域の浅部地盤構造と地震動増幅特性についての議論を行う。

参考文献：

社団法人 土質工学会・1993年地震災害調査委員会(1993), 1993年釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告書, 404pp.

染井一寛・浅野公之・岩田知孝・大堀道広・宮腰 研(2022), 北陸地方の強震観測点におけるサイト増幅特性とそれを用いた速度構造モデルの推定, 京都大学防災研究所研究発表講演会, B120.

謝辞：

国立研究開発法人防災科学技術研究所強震観測網(<https://doi.org/10.17598/NIED.0004>)のデータを利用しました。関係諸氏に感謝致します。本研究は令和4年度科学研究費(特別研究促進費)「能登半島北東部において継続する地震活動に関する総合調査」(22K19949, 研究代表：平松良浩(金沢大学))によるサポートを受けました。記して感謝致します。

Input motions on engineering basement during the 2018 Northern Osaka earthquake using shallow surface velocity models based on microtremor array observation

*Shota Goto¹, Kota Asano¹, Hiroyuki Goto², Sumio Sawada²

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

2018 年大阪府北部の地震における高槻市と茨木市の建物被害は局所的に被害の大きい地域があるが、既存の地盤増幅率の分布と対応しないことが浅野らにより示されている¹⁾。一方で、茨木市の一部を対象とした調査によると、常時微動の卓越周期と被害分布に対応が見られることが指摘されている²⁾。そこで本研究は震源域の地震観測点(図1)において常時微動アレイ観測を行い、表層地盤の影響と工学的基盤へ入射する地震動の影響とを分離することを試みる。

図1に示すTKT2を除く8か所で常時微動アレイ観測を行った。TKT2については既往研究によるデータ³⁾を用いた。なお、地震観測点でないIBR4で観測を行った理由は後述する。アレイ半径を2m, 5m, 10m(ただし、TKT0は2mと5m, IBR4は10mと2m)とし、正三角形の頂点と外接円の中心に加速度計を置き、3成分の観測を30分ずつ行った。得られたデータに空間自己相関法を用いて求めた位相速度分散曲線を満たすような地盤の速度構造を推定する。工学的基盤をS波速度350m/sと仮定し、その深部に500m/sの層も仮定する。H/Vスペクトルや近傍のボーリングデータを参照し得られた速度構造を初期値として遺伝的アルゴリズムを用いて最適化を行った。図2に各個体の速度構造(黒線)、最適モデル(赤線)、工学的基盤までの深さ(青矢印)を示す。IBR0とIBR1で他と比べて深い工学的基盤が認められたため、この中間位置において追加で常時微動アレイ観測を行った(IBR4)。この結果、IBR4ではIBR0やIBR1に比べて浅く、この差がどの程度有意であるかは引き続き検討が必要である。

表層地盤の速度構造を用いて、観測された地震動から工学的基盤上の地震動を推定する。解析にはDYNEQ⁴⁾を用い、動的変形特性はH-Dモデルを用いた。推定された工学的基盤波(NS成分)とNS, EW成分の最大速度を図3に示す。白川は万博や中穂積、東中条、玉島よりも震源に近いが、工学的基盤上の速度波形の振幅はこれらの震源から遠い場所よりも小さい。K-NET高槻や竹ノ内についても同じことが言える。この理由については破壊の前方指向性により南西方向に伝わる波の振幅が大きくなった可能性等が考えられるが、より詳細な検討が必要である。

参考文献

- 1) 浅野晃太, 後藤浩之, 奥村与志弘, 澤田純男: 2018 年大阪府北部の地震における高槻市・茨木市の建物被害分布と高槻市の被害要因に関する地理学的考察, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学 77 巻, 4 号, p. I_638-I_648, 2021
- 2) 森伸一郎, 小林巧: 2018 年大阪府北部の地震における茨木市内の震度と地盤卓越振動数の関係, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学)77 巻 4 号 p.I 490-I 502, 2020
- 3) Goto: Bayesian posterior mean velocity modeling as alternative to resolution guaranteed imaging, Proc.of the 6th IASPEI/IAEE International Symposium: Effect of Surface Geology on Seismic Motion, 2021
- 4) 吉田望: DYNEQ A computer program for DYNAMIC response analysis of level ground by EQUIVALENT linear method, Version 4.00, 2020, 関東学院大学

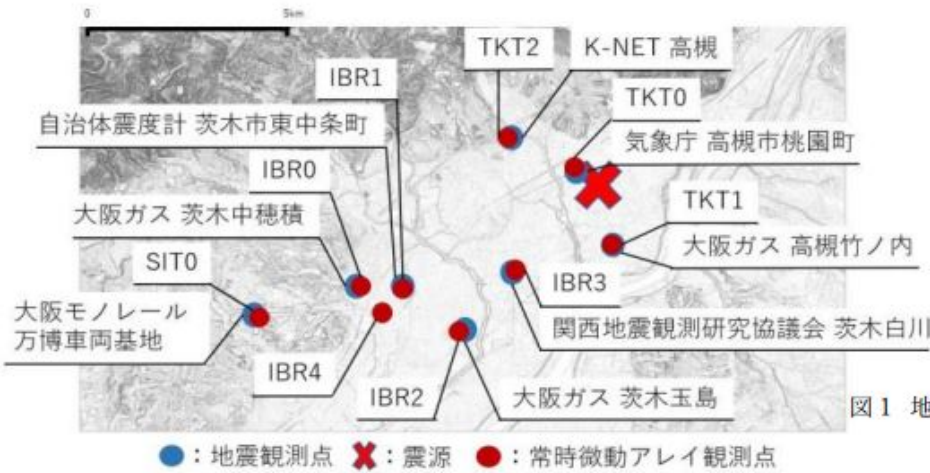


図 1 地震観測点と常時微動アレイ観測点

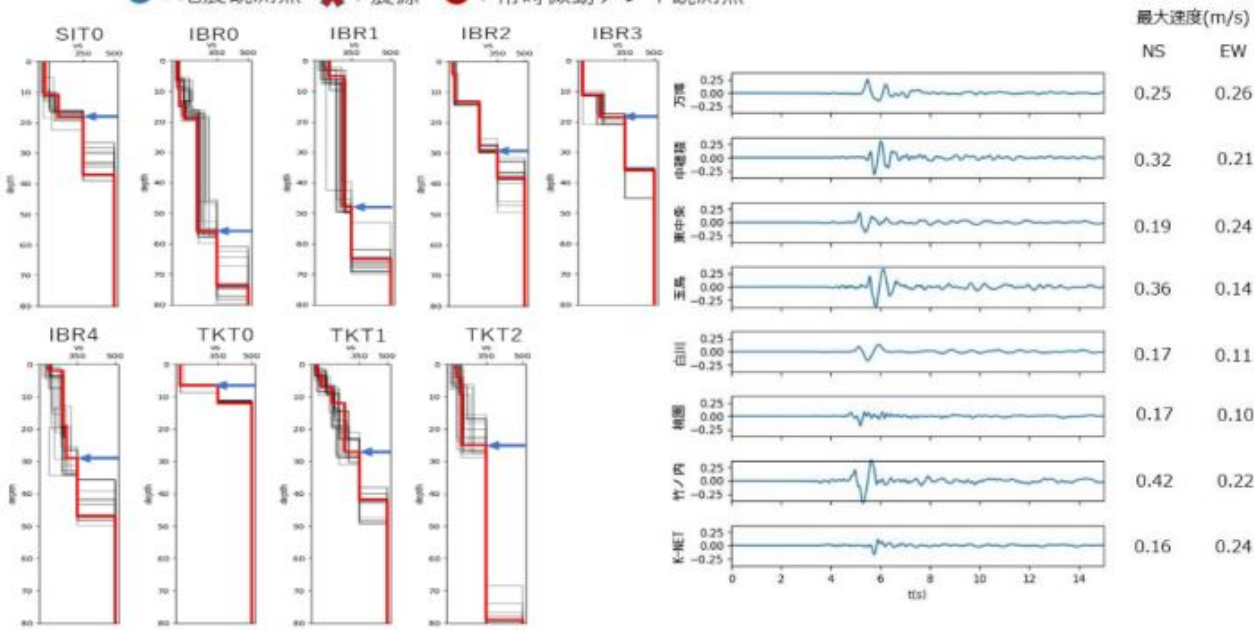


図 2 速度構造モデル

図 3 工学的基盤上の速度波形(NS)と最大速度

The effect of the complex shape of the basin edge structure to the microtremor Horizontal-to-Vertical spectral ratios by numerical analysis

*Shinichi MATSUSHIMA¹, Zhiwei LIU², Jun'ichi MIYAKOSHI³

1. DPRI, Kyoto University, 2. Former Department of Architecture and Architectural Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University, 3. Ohsaki Research Institute, Inc.

平成7年（1995年）兵庫県南部地震の際にみられたように、盆地端部のように地下の地盤・基盤構造が急激・複雑に変化する場所では、盆地境界の形状によりその周辺の地震動特性に影響を与える。従って、地震動による被害を軽減するためには、地下の地盤・基盤構造と地震動特性との関係を把握することが必要である。一方、常時微動は比較的容易に観測ができ、地下の地盤・基盤構造を推定する経済的な手法の一つであり、多点を観測するのが容易なことから空間分布を調査することに長けており、地震動の空間分布との関係を検討するのに利用できるとすれば有用である。これまで、京都盆地、特に東山との盆地東部の境界部での盆地端部における微動水平上下スペクトル比（MHVR）にみられる方位依存性および形状と盆地端部における基盤の段差構造との関係を調べるために、京都盆地において微動観測を実施してきた（松島・宮腰, 2022）。この観測で得られた観測MHVRについて考察をすることに繋げるために、基盤の段差構造の形状との関係についてパラメトリックスタディを行った。基盤の段差構造の形状に関するパラメトリックスタディについては、Hamabe et al. (2019)などにおいて神戸市域を念頭に行われている。本研究では京都市消防局防災対策室(2002)においてコンパイルされた1998年からの調査結果を参考に、盆地端部における基盤段差構造について5種類の二次元モデルを作成し、これらのモデルに対し、数値解析MHVRを計算し、基盤段差構造の形状とMHVRの特徴の関係を整理した。5種類のモデルは、(a)垂直、(b)傾斜(21.8°)、(c)傾斜(11°)、(d)二段、(e)途中逆断層とした（Fig.1）。モデルは、盆地内を深さ200mの1層とし、基盤と合わせて2層速度構造モデルとした。モデルの物性値については、京都市消防局防災対策室(2002)の結果を参考にして、盆地内は $V_p=2000\text{m/s}$ 、 $V_s=630\text{m/s}$ 、 $\rho=2000\text{kg/m}^3$ 、基盤は $V_p=4500\text{m/s}$ 、 $V_s=2500\text{m/s}$ 、 $\rho=2500\text{kg/m}^3$ とした。基盤段差構造モデルの作成とメッシュ化はCUBIT(<https://cubit.sandia.gov/>)を使用した。計算には、EFISPEC3D (De Martin, 2011)を用いた。モデルサイズは5種類ともに長さ20km、幅20km、深さ12kmとし、最小メッシュサイズは盆地内で166m、基盤で500mとしてメッシュ内にGauss-Lobatto-Legendre (GLL) ノードを $5 \times 5 \times 5 = 125$ 点を配置することで有効振動数を3.8Hzとした。入力関数としては、継続時間1sの双曲線正接関数の1階微分とし、拡散波動場理論 (Sánchez-Sesma et al., 2011, Matsushima et al., 2014) に基づいて数値解析MHVRを計算した。加振点と同じ場所での応答を計算し、応答を入力関数でデコンボリューションしてグリーン関数を計算した。継続時間は20秒とした。その結果、基盤構造の違いより、盆地境界からの距離が同様でも、理論MHVRの形状や振幅特性が大きく違うことが分かった。特に、傾斜モデル (b, c) の場合は傾斜角によらず、MHVRのピークはなだらかであり方位依存性が顕著ではないこと、二段モデル(d)では踊り場部分では方位依存性が顕著に現れること、途中逆断層(e)では逆断層部分で深くなった部分の影響で方位依存性が現れることが分かった。

参考文献：

De Martin, Florent, 2011, Verification of a spectral-element method code for the southern California earthquake center LOH.3 viscoelastic case, Bull. Seismol. Soc. Am., 101(6), 2855-2865, doi:10.1785/0120100305.

Hamabe, Ryota. et al., 2019, A Study on the Influence of the Basin Edge Structure to the Characteristics of the Basin-Edge Effect, Proceedings of the 27th International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly.

浜辺亮太・他, 2019, 盆地端部における地震動特性に関する研究, 日本地球惑星科学連合2019年大会予稿集, SSS13-29.

京都市, 2002, 平成 13 年度 地震関係基礎調査交付金 京都盆地の地下構造に関する調査成果報告書, (地震調査研究推進本部, H 14 京都市: 京都盆地の地下構造 <https://www.hp1039.jishin.go.jp/kozo/KyotoCty7frm.htm>) .

松島信一・宮腰淳一, 2022, 京都盆地における観測微動水平上下スペクトル比と基盤構造との関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道) , 21039, 77-78.

Matsushima et al., 2014, The Effect of Lateral Heterogeneity on Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio of Microtremors Inferred from Observation and Synthetics. Bulletin of the Seismological Society of America, 104 (1), 381–393, doi: <https://doi.org/10.1785/0120120321>

Sánchez-Sesma, Francisco J., et al, 2011, A theory for microtremor H/V spectral ratio: application for a layered medium. Geophysical Journal International, 186, 221-225, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05064.x>

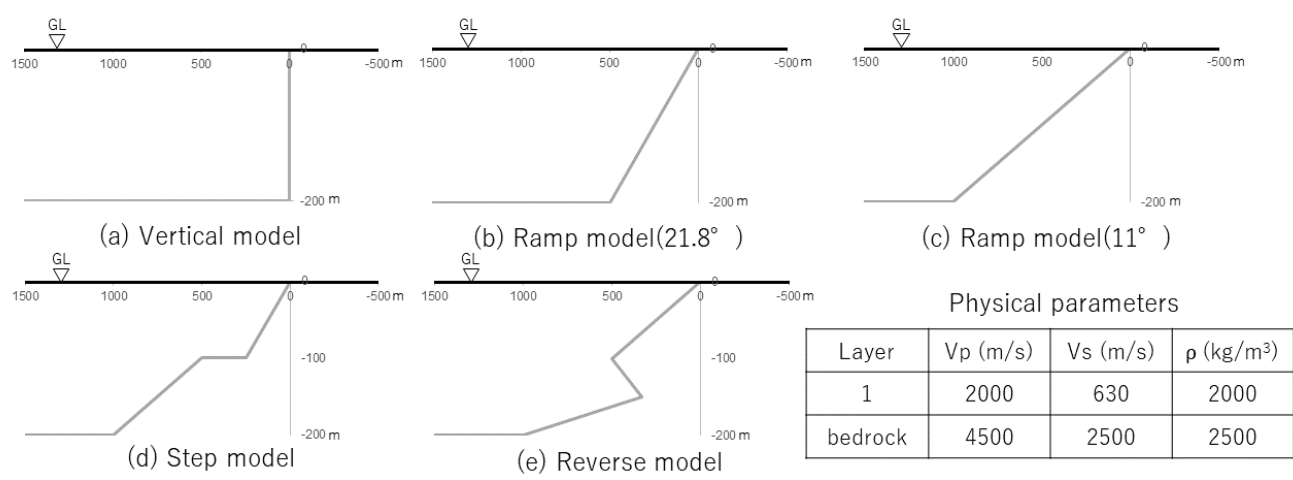


Fig.1 Sections of two-dimensional velocity structure models used for numerical analysis of microtremor Horizontal-to-Vertical spectral ratios

Room D | Regular session : S17. Tsunami

📅 Tue. Oct 25, 2022 11:15 AM - 12:00 PM JST | Tue. Oct 25, 2022 2:15 AM - 3:00 AM UTC | 🏢 ROOM D
5th floor (Training Room 520)

[S17] AM-2

chairperson:Yushiro Fujii

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

[S17-01] Modeling of the 2022 Tonga Eruption Tsunami Recorded on Ocean Bottom Pressure and Tide Gauges Around the Pacific

*Yushiro Fujii¹, Kenji Satake² (1. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, 2. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

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

[S17-02] Wave Separation of Tsunami Near Japan Induced by Air Pressure Pulse After the 2022 Tonga Volcanic Eruption

*Tung-cheng Ho¹, Nobuhito Mori¹, Masumi Yamada¹ (1. DPRI, Kyoto Univ.)

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

[S17-03] The later phase of tsunami associated with the 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcanic eruption: source estimation using array-based analysis

*Ayumu MIZUTANI¹, Kiyoshi Yomogida² (1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Science, Hokkaido University)

Modeling of the 2022 Tonga Eruption Tsunami Recorded on Ocean Bottom Pressure and Tide Gauges Around the Pacific

*Yushiro Fujii¹, Kenji Satake²

1. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, 2. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

2022年1月15日のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山噴火に伴う津波が、太平洋周辺の海底水圧計（DART）と検潮所で記録された。津波の第1波は、火山付近からの津波の伝播速度から推定される到達時間（ETA）よりもはるかに早く記録され、噴火による気圧波（ラム波：伝播速度は約310 m/s）に励起された津波であった。第2波も、一部の観測点ではETAより早く到達しており、伝播速度200～250 m/sの大気重力波によるものと考えられる。

本研究では、空間格子間隔24弧秒の球面座標系において、20時間の津波伝播を線形長波方程式で数値的に解いた。火山中心の1格子点から広がる環状の水位を津波伝播計算の入力とした。環状の水位の広がり、その伝播速度と波源での初期振幅によってパラメータ化され、計算領域内すべての格子点における振幅は、 $1/\sqrt{R \cdot \sin(\delta)}$ で距離減衰する。ここで、 R は地球の半径、 δ は震央距離（角距離）を示す。DARTで観測された第1波と計算波形の比較から、水位変化の立ち上がり時間を600秒と仮定して、上記2つの波源パラメータ、すなわち波源での初期振幅（3.83 m）と発震時刻（04:16 UT）をインバージョンによって求めた。インバージョンは3つの異なる伝播速度（305, 310, 315 m/s）で行ったが、310 m/sのときに観測波形と計算波形の一致度が最も良い結果が得られた。この時、同心円状に広がる水位の環の幅は約370 kmである。

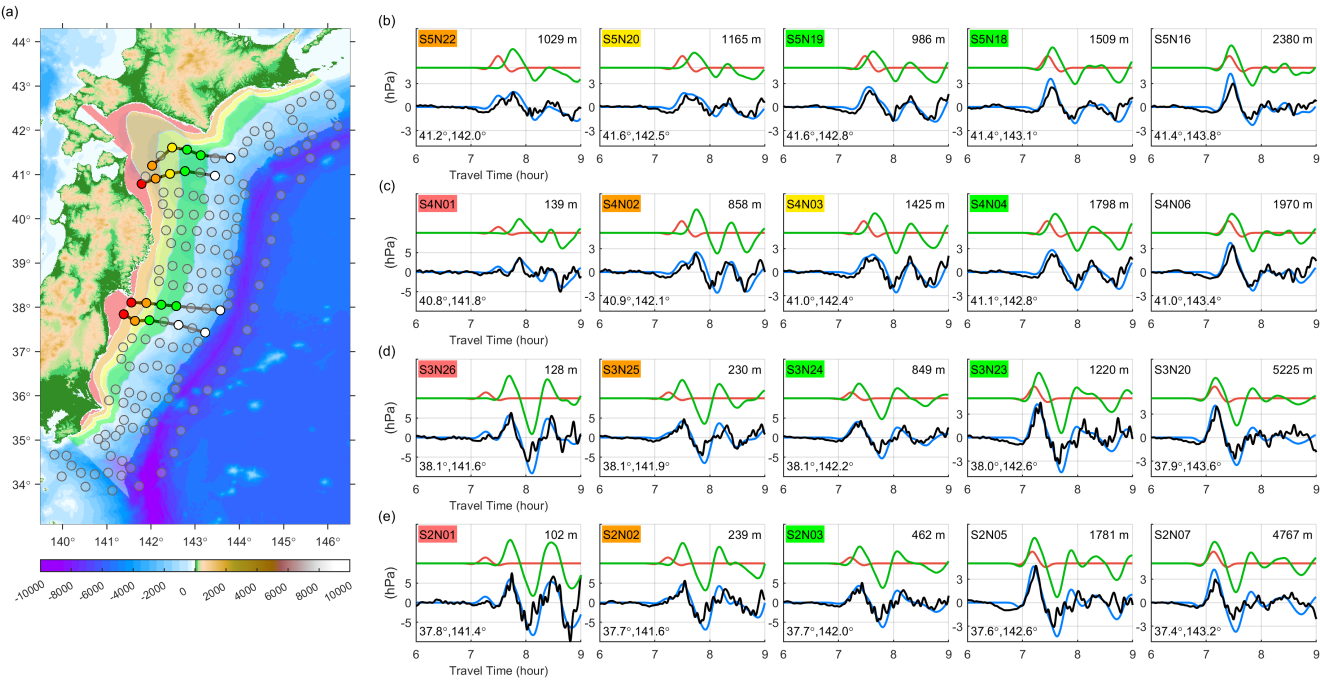
津波の第2波は、200～250 m/sの伝播速度で、負の初期振幅（-1 m）を持つ環状の水位の広がりによって計算した。計算波形と残差波形（観測波形から、第1波の計算波形を差し引いたもの）の相関係数が高くなるのは、第2波の伝播速度が日本と南アメリカに向かって速く（240～250 m/s）、北米に向けてやや遅い（200～210 m/s）場合であった。ラム波と大気重力波の2つの環状に広がる水位によって計算した波形は、日本など遠地の検潮所で記録された津波波形も後続波を含めて概ね再現できる。

Wave Separation of Tsunami Near Japan Induced by Air Pressure Pulse After the 2022 Tonga Volcanic Eruption

*Tung-cheng Ho¹, Nobuhito Mori¹, Masumi Yamada¹

1. DPRI, Kyoto Univ.

Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcano erupted at UTC 04:14, 15 Jan. 2022. After the eruption, global tsunami monitoring systems and tide gauges observed tsunami signals earlier than expected tsunami waves (Carvajal et al., 2022). The recorded data revealed that the fast-traveling traveled at a velocity of about 300-315 m/s (Kubota et al., 2022; Yamada et al., 2022), which was much faster than the conventional tsunami average velocity of around 200 m/s. The eruption excited an air pressure pulse known as the Lamb wave (Matoza et al., 2022). The sea surface disturbances induced by Lamb wave (hereafter, pressure-forced wave) traveling with the Lamb wave at the same velocity. The pressure-forced waves were observed much earlier and are considered the fast-traveling tsunamis (Kubota et al., 2022). However, studies indicated that the pressure-forced waves could generate ocean gravity waves after a major water depth change, such as continental slopes. The generated ocean gravity waves were first instrumentally recorded after the eruption of the Krakatau volcano in 1883, where the ocean gravity waves were generated when air pressure pulse at major changes in depth (Garrett, 1970). After the eruption of Hunga Tonga, it was the first time that pressure-forced waves were widely observed by ocean bottom pressure gauges (OBPGs). Tanioka et al. (2022) reported the separated waves observed by the OBPGs near Japan Trench. Their synthetic test indicated that the separation effect is sensitive to the wavelength of the Lamb wave. Yamada et al. (2022) pointed out that compared to OBPGs, the sea surface disturbances were much delayed at tide gauges because the tsunami separated and traveled in ocean gravity wave after passing the continental slope. To understand the mechanism of the wave separation, we performed two-dimensional simulations of synthetic tests and the real bathymetry with the case of Hunga Tonga. Our simulations show that the separated waves were the pressure-forced wave, which traveled at the same velocity of Lamb wave, and the ocean gravity wave generated at changes in depth. Variation of water depth rescales the amplitude of the pressure-forced wave, and the amplitude change generates an ocean gravity wave due to conservation of mass. The generated ocean gravity wave travels at long wave velocity, which is slower than the Lamb wave. The velocity difference between the pressure-forced wave and the generated ocean gravity wave led to the wave separation. We reproduced different stages of separated waveforms recorded by S-net stations between Japanese east coast and Japan Trench. Our result suggests that any volcano may induce the fast-traveling tsunami, i.e., the pressure-forced waves and ocean gravity waves, as the volcanic eruption excites a significant air pressure pulse, such as 2022 Hunga Tonga or 1883 Krakatau. Our synthetic tests showed that the pressure-forced wave would be amplified as it travels to deeper water. The pressure-forced waves are small in shallow-water coastal areas, where the ocean gravity waves are usually larger. The wave heights of ocean gravity waves are associated with the change of depth. In other words, a larger depth change results in a larger amplitude change of pressure-forced wave, and the generated ocean gravity wave is larger. It implies that the induced tsunami wave height is limited when the air pressure pulse travels only in shallow water. Future works on the tsunamis in the Atlantic Ocean, such as the Caribbean Sea and the Mediterranean Sea, can help us understand the tsunami induced by the air pressure traveling from land.



The later phase of tsunami associated with the 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcanic eruption: source estimation using array-based analysis

*Ayumu MIZUTANI¹, Kiyoshi Yomogida²

1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Science, Hokkaido University

2022年1月に発生したHunga Tonga-Hunga Ha'apai火山の噴火に伴う津波は世界中で観測されており、特にその第一波については、噴火で生じた大気ラム波によって励起されたと考えられている(e.g., Carvajal et al., 2022; Kubota et al., 2022)。一方で、その後続波の励起メカニズムについては、これまでに火山周辺での海底変位や大気重力波と海洋の共鳴などが示唆されているものの、定量的な解析は十分になされていない。本研究では、DONET及びS-netの水圧記録に対して、アレイ解析手法の一つであるVespa解析を適用することで後続波の到達時刻と到来方向を求め、それを基に後続波の励起源の推定をおこなった。

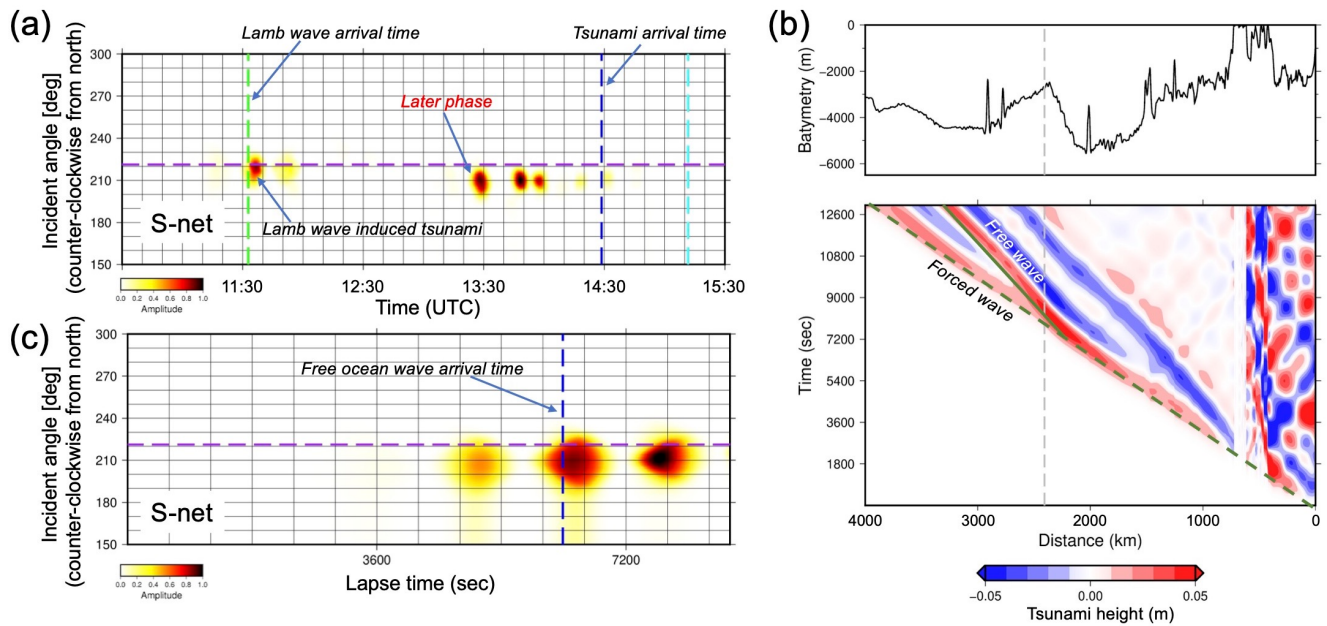
Vespa解析では、線形長波を仮定することでアレイ内の津波の位相速度を計算し、入射角ごとのSlant stackの強度分布(Vespagram)から、入射角の時間変化を推定する(e.g., Rost and Thomas, 2002)。得られたVespagramにおける後続波は、火山からの直達津波の予測走時より早く到達しており、その入射角はトンガーアレイ間の大円経路と異なる(図a)。つまり、後続波の励起源は、火山周辺の海底変位や大気重力波ではないことが示唆された。

Garrett(1970)では、大気波によって海洋に励起されるforced waveが、海底地形が大きく変化する領域を通過する際にfree waveへ変換することが指摘された。図aのVespagramにおける後続波の到来時刻を基にfree waveが発生する領域を推定したところ、南緯5度・東経165度付近となった。

次に、この領域と火山を結ぶ大円経路に沿った一次元海底地形(図b上)を用いて数値計算をおこなった結果、図b下のように、Vespagramから推定された領域周辺においてfree waveが発生することが確認できた。

さらに、一次元計算で得られたfree waveを波源としてJAGURS(e.g., Baba et al., 2016)を用いた二次元津波計算をおこなった。合成波形から計算したVespagramは観測記録から得られたものと調和的な結果となった(図c)。

まとめると、DONET及びS-netで観測された後続波には、噴火によって発生した大気ラム波がナウル島南部に位置する水深の浅い領域を通過する際に発生したfree waveが寄与していると考えられる。一方、一次元計算をもとにした合成波形の振幅は、観測波形と比較して1/20程度小さくなっている。観測された振幅を再現するためには、海底地形への斜め入射の効果などの三次元的なモデルを考慮する必要があると考えられる。



Room D | Regular session : S17. Tsunami

📅 Tue. Oct 25, 2022 1:30 PM - 2:45 PM JST | Tue. Oct 25, 2022 4:30 AM - 5:45 AM UTC | 🏢 ROOM D 5th floor (Training Room 520)

[S17] PM-1

chairperson: Kentaro Imai (JAMSTEC), Yoshinori Shigihara

1:30 PM - 1:45 PM JST | 4:30 AM - 4:45 AM UTC

[S17-04] The slip distribution of the 2009 Samoa earthquake doublet estimated by a joint inversion ocean-bottom pressure and electromagnetic tsunami records

Hiroyuki YOKOI¹, *Toshitaka BABA¹, Zhiheng Lin², Takuto MINAMI³, Hiroaki TOH² (1. Tokushima University, 2. Kyoto University, 3. Kobe University)

1:45 PM - 2:00 PM JST | 4:45 AM - 5:00 AM UTC

[S17-05] Estimation of the scale of past submarine landslide tsunamis in the waters around Japan

*Yoshinori SHIGIHARA¹, Masataka Inui¹, Ako Yamamoto¹, Hikaru Moriki², Takashi Kumamoto³ (1. National Defense Academy, 2. Okayama Univ., currently NRA, 3. Okayama Univ.)

2:00 PM - 2:15 PM JST | 5:00 AM - 5:15 AM UTC

[S17-06] Slip Distribution of the 1923 Kanto Earthquake Estimated from Tsunami waveforms, Coseismic Deformation Data and Tsunami Survey Heights

*Yuichiro TANIOKA¹, Yusuke Yamanaka¹, Yumi Nakadai² (1. Hokkaido University, 2. Prev. Hokkaido University)

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[S17-07] Problems related to Tsunami Source Model of the 1498 Meio Tokai Earthquake on the Coast of Shizuoka Prefecture

*Satoshi KUSUMOTO¹, Kentaro Imai¹, Takane Hori¹, Daisuke Sugawara² (1. JAMSTEC, 2. Tohoku University)

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[S17-08] The origin of tsunami trace height in Atashika during the 1944 Showa Tonankai Earthquake

*Kentaro IMAI¹, Ryoko Obayashi¹, Yasuyuki Nakamura¹, Yuichiro Tanioka² (1. JAMSTEC, 2. Hokkaido Univ.)

The slip distribution of the 2009 Samoa earthquake doublet estimated by a joint inversion ocean-bottom pressure and electromagnetic tsunami records

Hihiro YOKOI¹, *Toshitaka BABA¹, Zhiheng Lin², Takuto MINAMI³, Hiroaki TOH²

1. Tokushima University, 2. Kyoto University, 3. Kobe University

2009年サモア地震（Mw 8.0）はアウターライズ地震とプレート境界型地震の双子地震であったとされる。先行研究によりいくつかの断層モデルが提案されているものの、どの断層モデルを用いても完全には津波遡上高を再現できないなど、いまだ改善の余地がある。精度のよい断層モデルを求めるには観測データの充実が必要である。2009年サモア地震の津波は、従来の海底水圧計（OBP）に加えて、海底電位差磁力計（OBEM）でも記録されていた。そこで本研究ではOBPとOBEMデータの双方を同時に用いた線形インバージョンにより2009年サモア地震の断層モデルを推定した。OBEMデータは津波鉛直磁場成分を海面変動に変換してからインバージョン解析に利用した。OBEMデータから変換された海面変動を特別な処理をすることなく解析に取り込むことができた。また、本研究では津波グリーン関数の生成には波数分散性と地殻の弾性の効果を考慮できる数値モデルを利用した。このため、より遠方で観測されたOBPデータをインバージョンに取り込むことができ、OBEM観測と合わせて多くの観測データを利用できた。得られたすべり分布において、最大のすべり量は7.1mでアウターライズ断層のほうにあらわれた。プレート境界断層の最大すべり量は6.2mであった。剛性率40GPaを仮定して、地震モーメントを計算するとアウターライズ断層では 4.33×10^{20} Nm（Mw 7.7）、プレート境界断層で 8.27×10^{20} Nm（Mw 7.9）で、全体で 1.26×10^{21} Nm（Mw 8.0）であった。計算津波波形と観測津波波形の比較において、RMSEは7.3 mm、Variance Reductionは79%で、本モデルは先行研究よりも観測波形をよく説明した。推定された2009年サモア地震の断層モデルは、先行研究で提案された断層モデルよりプレート境界のすべり領域が東西方向に狭く（幅約50km）、位置がプレート浅部（海溝軸方向）にやや移動した。すべり領域が東西方向に狭くなるのはOBEMデータに依存する。OBEMから推定された海面変動には比較的波長の短い津波が記録されておりこれが影響している。すべり域のプレート浅部への移動は波数分散性と地殻の弾性の効果により津波の伝播速度が低下することに起因する。本研究ではOBEMで観測された津波磁場の鉛直成分のみを利用したが、水平成分も津波の流速場の情報を含んでおり、今後は津波磁場の水平成分の利用を検討する予定である。

Estimation of the scale of past submarine landslide tsunamis in the waters around Japan

*Yoshinori SHIGIHARA¹, Masataka Inui¹, Ako Yamamoto¹, Hikaru Moriki², Takashi Kumamoto³

1. National Defense Academy, 2. Okayama Univ., currently NRA, 3. Okayama Univ.

1. 研究の目的 日本周辺海域では、大小さまざまな海底地すべりおよび崩壊地形が分布し、その近傍に分布する海底活断層の活動による地震に関連したものもあるとされている。当然、それらの中には津波を伴ったイベントも存在すると推察されるが、その詳細は不明である。沿岸部に発電所に代表される重要インフラ施設が点在する我が国の状況を鑑みると、今後、日本周辺海域で発生する可能性のある海底地すべり津波のハザードを推定する技術を確立することは、防災対策上非常に重要である。そこで本研究では、日本周辺海域の海底地すべり跡のデータを利用することにより、過去に発生した可能性のある海底地すべり津波の規模を推定することを試みた。

2. 解析手法 森木ら（2017）が海底地形アナグリフを用いて判読した海底地すべり跡に関するGISデータから、海底地すべりの諸元を求めた。同データは、約6,000地点における地すべりの面積、滑落崖の周長、地すべり斜面の原地形の傾斜角、地すべり発生位置の水深等の情報が海域ならびに海底地形ごとに整理されている。本研究では、これらのデータを基に海底地すべりの体積を地すべり面積（形状を矩形に近似）と層厚から構成される三角柱に仮定することにより、海底地すべり津波の推定に必要な変数として、地すべり幅、長さ、層厚を推定した。そして、海底地すべりによって発生する津波波源振幅（負の最大津波水位）をWatts et al. (2005)の経験式を用いて計算した。ここで、海底地盤の密度は、IODPの試錐コアデータから回帰される関数により求めた。

3. 結果と考察 日本海東縁と南海トラフに関して、海底地すべり面積と体積に対する津波波源振幅の関係を図1に示す。地すべりの規模には面積・体積共に対数スケールの比例関係にあり、両海域にそれほど顕著な違いは見られない。発生する津波の特徴としては、南海トラフでは地すべりの規模が大きいほど大きな津波イベント（10m以上～30m未満）が発生している。他方で、日本海東縁では10m超の津波イベントが南海トラフよりも多く発生しており、それらは必ずしも地すべりの規模に対応していない。特に面積が50km²付近では、30m以上の大規模な津波イベントも複数認められる。このような違いになる理由としては、地すべりの発生深さに起因すると考えられる。津波波源振幅は地すべり発生位置の水深に反比例する。両海域の水深の平均値は、南海トラフで約2,300mであるのに対し日本海東縁は約1,400mであり、さらに0～1,000mの範囲の発生頻度としては後者の方が多い。以上の結果から、日本海東縁では南海トラフと比較すると大規模な海底地すべり津波イベントが過去に発生していた可能性が示唆される。

謝辞 本研究は科研費（基盤研究（B）：22H01606）の一環で実施されました。ここに記して謝意を表します。

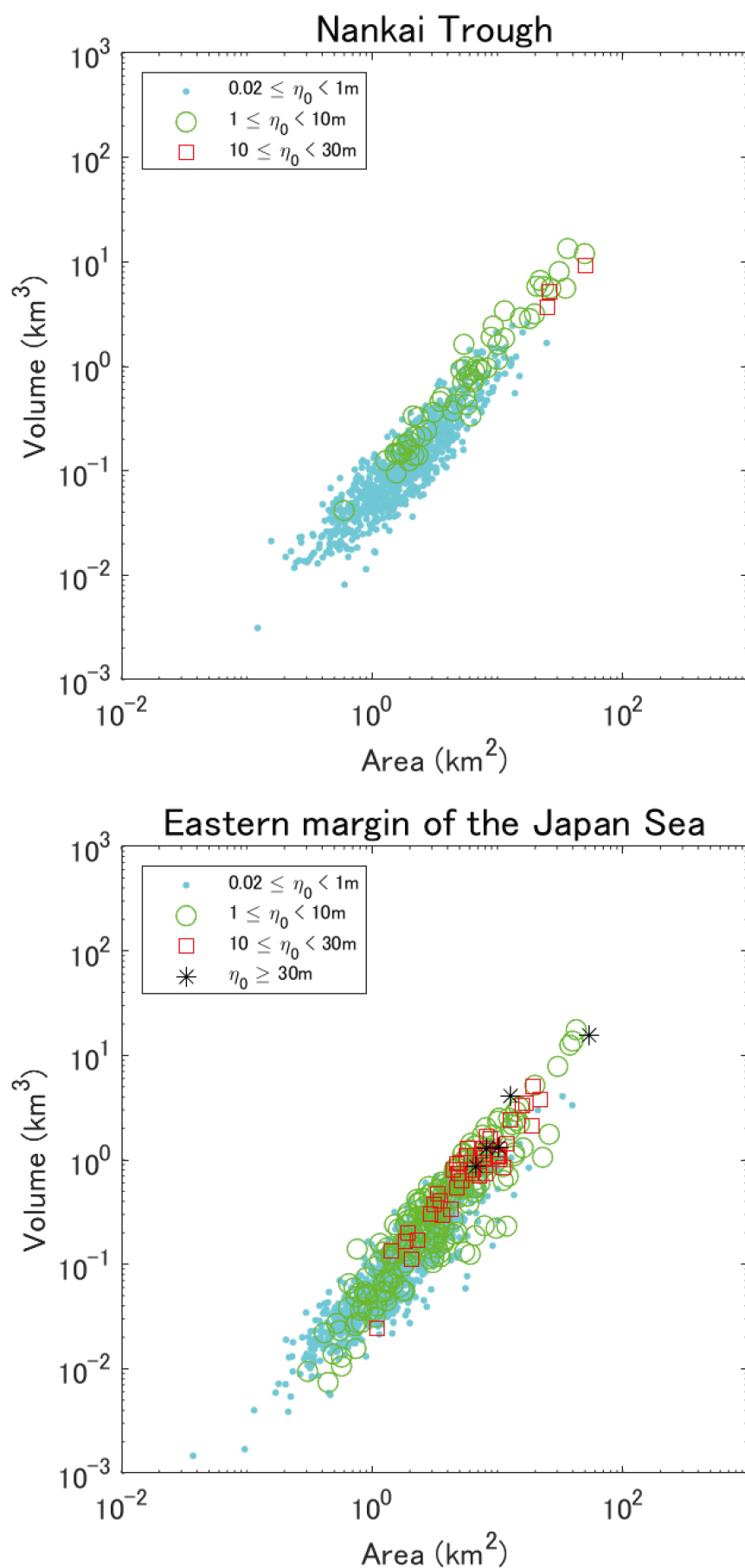


図1 地すべり面積，体積と津波波源振幅の関係（上：南海トラフ，下：日本海東縁）

Slip Distribution of the 1923 Kanto Earthquake Estimated from Tsunami waveforms, Coseismic Deformation Data and Tsunami Survey Heights

*Yuichiro TANIOKA¹, Yusuke Yamanaka¹, Yumi Nakadai²

1. Hokkaido University, 2. Prev. Hokkaido University

1. はじめに

1923年関東地震は首都圏で10万人以上の死者・行方不明者を出し、日本全体に甚大な被害が波及した大地震であった。この地震の震源過程はすでに多くの研究者によって推定されている。地震波形や地殻変動データを使用して推定されたすべり量分布は、首都直下のプレート境界で西側と東側に2つの大きなすべり域を持つことが明らかになっていた。ただ、相田（1993）は伊豆半島沿岸で調査された最大9mの津波遡上高がプレート境界での断層モデルでは説明できないとし、伊豆半島沖で西相模湾断裂上の断層が同時に破壊したとした断層モデルを提案した。さらに最近、中臺他（JpGU2022）は震源域近傍の検潮所で記録された津波波形記録と地殻変動データを用いたジョイントインバージョンにより関東地震のすべり量分布を推定した。その結果、これまで地震波形や地殻変動データから推定されたすべり量分布と大局的には同様であり、西側と東側に2つの大きなすべり域が推定された。しかし、西側の大すべり域は相模トラフ側（浅部域）に張り出しており、今までの結果との違いとして推定された。またこの部分のプレート境界は津波波形により良く拘束されていることも分かった。そこで本研究では、中臺他（JpGU2022）が推定したプレート境界西側浅部の大きなすべり（約9m）が相田（1993）の指摘した伊豆半島沿岸の高い津波遡上高の原因ではないかと考え、伊豆半島沿岸での津波遡上計算を実施した。

2. 手法

断層モデルとして中臺他（JpGU2022）により推定された関東地震のすべり量分布および、比較のためそのすべり量分布から西側浅部の小断層のすべり量をZeroとしたすべり量分布も用いた。津波数値計算は非線形長波近似式を用い、津波遡上計算を行った。格子間隔は2秒とした。また、伊豆半島沿岸の遡上が調査された地域の近傍の地形は地震発生当時の地形に修正した。

3. 結果

図に伊豆半島沿岸で調査された津波遡上高と計算遡上高の比較を示す。中臺他（JpGU2022）で推定されたすべり量分布を用いると調査された津波遡上高が上手く説明できることが分かった。また、プレート境界西側浅部のすべりが無い場合はやはり、伊豆半島沿岸の津波遡上高を説明できないことも明らかになった。つまり、相田(1993)により指摘された西相模湾断裂上の断層の破壊は無くても、プレート境界西側浅部のすべりがあれば伊豆半島沿岸の津波遡上高は説明でき、さらに検潮所での津波波形や陸上の地殻変動も説明できることが明確になった。

参考文献

相田（1993）、相模湾北西部に起こった歴史津波とその波源数値モデル、地学雑誌、102、427－436。

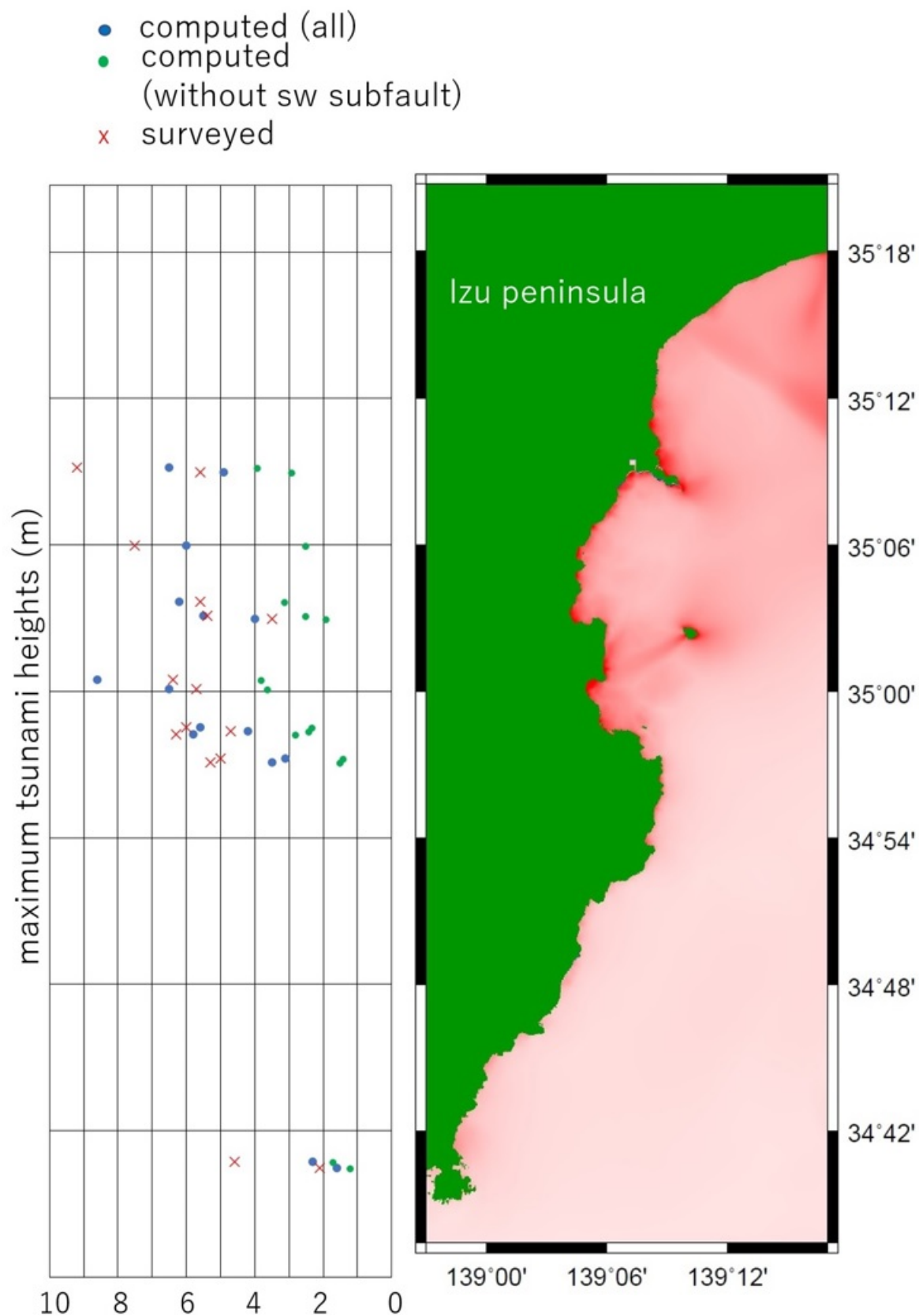


図 調査津波遡上高 (x) と計算遡上高 (●: 中臺他 JpGU2022 のすべり量分布) と計算遡上高 (●: 西側浅部小断層を除く) を比較

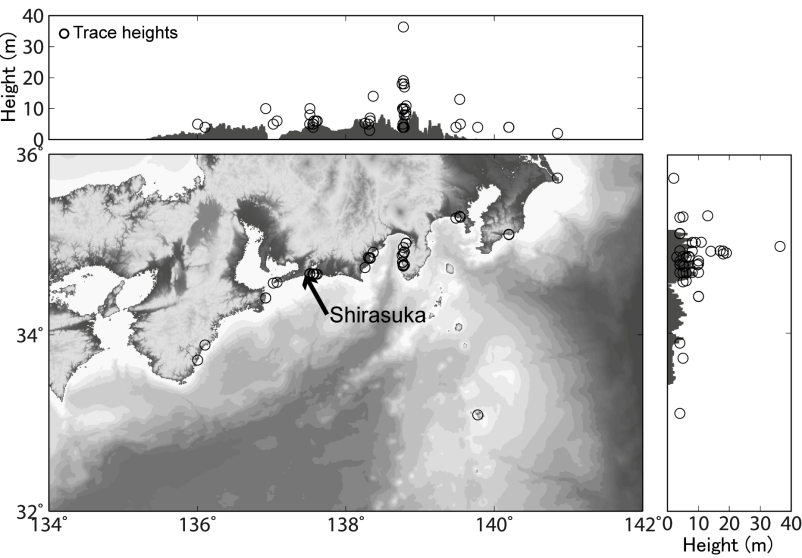
Problems related to Tsunami Source Model of the 1498 Meio Tokai Earthquake on the Coast of Shizuoka Prefecture

*Satoshi KUSUMOTO¹, Kentaro Imai¹, Takane Hori¹, Daisuke Sugawara²

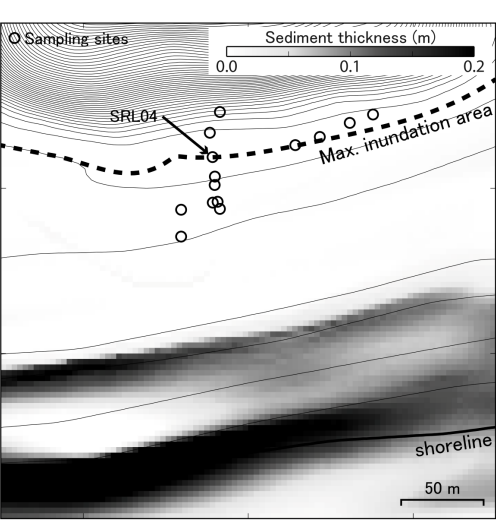
1. JAMSTEC, 2. Tohoku University

1498年明応東海地震は南海トラフで発生した海溝型巨大地震であり、その地震に伴って生じた津波は静岡県沿岸部を中心に甚大な被害を及ぼした。これまで安中ほか(2003)や阿部(2017)によって津波波源モデルの推定が試みられているが、一部の痕跡高を再現できないことからさらなる検証の余地がある。なお、阿部(2017)やKitamura et al. (2020)では、駿河湾内での海底地すべりの関与も示唆されている。明応東海地震は古文書記録の痕跡信頼度が低く、波源推定には文献記録だけでなく津波堆積物を活用する必要がある。そこで本研究では本地震の解明に向けて、文献記録と堆積物記録を数値シミュレーションとの比較により再検討した。まず文献記録に基づく検証では、津波痕跡データベースから痕跡信頼度B~Dのものを選び、このうち外海に面した計60地点を抽出した。日本近海の全域50mメッシュの海底地形データ(Chikasada, 2020)と安中ほか(2003)によって提案された津波波源モデルを基に高性能津波計算コード(JAGURS; Baba et al., 2017)を使って津波伝播の数値シミュレーションを実行した。その結果、計算津波高は痕跡高より全体的に低く、波源モデルは過小評価であることが分かった(図1a)。静岡県伊豆市小土肥集落にある栄源寺では、津波被害記述が残されており、都司ほか(2013)による現地測定の結果、津波痕跡高は18 mで、痕跡信頼度はDと結論付けた。現在の小土肥集落は海岸線からおよそ200 mの範囲に広がっており、これは大日本帝国陸地測量部五万分の一地形図と大差ない。明応東海地震発生当時の集落も現在と同じ位置にあったと仮定すれば、数値解析による検証が可能と考えられる。しかしながら、従来の波源モデルでは小土肥八幡神社まで津波は到達しない。次に堆積物記録に基づく検証では、明応東海地震の津波堆積物が確認されている静岡県湖西市白須賀(Komatsubara et al., 2008)において、同様に津波土砂移動計算(高橋・他, 1999; 高橋・他, 2011; Sugawara et al., 2019)を実施した。図1bに地震発生から3時間後における土砂堆積量を示す。津波堆積物を確認できる掘削地点(SRL04)まで津波は到達するものの土砂は全く堆積しなかった。これは白須賀の海岸に到達する津波が低く、掘削地点まで土砂を移動させるだけの流速を確保できないためである。以上の検証から、現在提唱されている明応東海地震の津波波源モデルは文献記録・堆積物記録どちらからみても過小評価となっていることが明らかとなった。南海トラフ巨大地震の推移予測のためにも早急に波源モデルも再検証を行う必要がある。また静岡県伊豆市小土肥集落では津波痕跡が確認されているにもかかわらず、堆積物調査が実施されていない。今後伊豆市によって調査されたボーリング調査の結果を精査したのち掘削調査を実施する予定である。図1. (a)明応東海地震の計算津波高と津波痕跡高。丸は実測された津波痕跡高、灰色の棒が最寄りの海岸線における計算浸水高をそれぞれ示す。(b)静岡県湖西市白須賀における最大浸水範囲と津波土砂移動数値解析による土砂堆積量。地形コンターは1m間隔である。謝辞：本研究は R2-6年度文部科学省「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」(研究代表者：海洋研究開発機構 小平秀一)の一環として行われました。

(a) Comparison of tsunami trace and the simulated heights



(b) Sediment transport simulation at Shirasuka



The origin of tsunami trace height in Atashika during the 1944 Showa Tonankai Earthquake

*Kentaro IMAI¹, Ryoko Obayashi¹, Yasuyuki Nakamura¹, Yuichiro Tanioka²

1. JAMSTEC, 2. Hokkaido Univ.

昭和東南海地震の波源断層モデルについては、津波波形逆解析に基づく検討（Satake, 1993; Tanioka & Satake, 2001; Baba et al., 2005）が行われている。一方、当該地震の津波痕跡高分布を説明するための波源断層モデルは矩形断層モデル（相田, 1979; 安中・他, 2003）による検討にとどまっている。

本研究では、当該地震による津波痕跡高分布を説明することのできる昭和東南海地震の波源断層モデルの再評価を行い、さらに三重県新鹿の13.6 mにおよぶ津波痕跡高の励起源について検討を行う。本研究で用いた津波痕跡高は既往報告（例えば、中央气象台, 1945; 表, 1946; 羽鳥, 1974; 飯田, 1977; 三重県, 1995）や三重県沿岸の当該地震津波に関する石碑情報（新田, 2016）を利活用して津波痕跡高の再調査を実施した。

断層構造は南海トラフ沈み込み帯の3次元構造モデル(Nakanishi et al., 2018)を参照し、地殻変動や津波高の痕跡分布を踏まえて東南海震源域に8枚の小断層を配置した。各小断層のすべりによる地殻変動はOkada (1985)の方法、津波は線形長波理論（空間格子間隔150 m, 時間間隔0.2 s）に基づき計算した。津波痕跡点については空間格子間隔の問題や精緻な地形復元作業を必要とする痕跡点、内海の痕跡点を除いた50点を利用した。地殻変動量については当該地震発生前後の観測値（Satake, 1993）を用い、三重県沿岸の18点を利用した。これらの痕跡を説明する各小断層のすべり量は、誤差ノルムが最小となるようにSA（Kirkpatrick et al., 1983）を用いて推定した。地殻変動や津波痕跡高には観測誤差や本地震以外の地殻変動成分が含まれると考えられる。本解析ではこの誤差を±10%程度と仮定して一様乱数により与え、1,000回試行のアンサンブル平均処理を行い、各小断層のすべり量を評価した。本モデルの地震規模はMw 8.1程度となり、地殻変動や津波高の分布をおおむね再現できた。一方、三重県南部沿岸の新鹿では海岸近くの徳司神社での浸水高（7.5 m）を再現することができる一方で、津波遡上高（13.6 m）を再現することはできなかった。津波痕跡高の分布を考えると、新鹿の遡上高は局所的に高まっており、断層運動から説明することは難しく、地震に伴った海底地すべりによる影響の可能性が示唆される。

以上を踏まえ、新鹿沖の陸棚斜面上における海底地すべり痕や崩落崖によって励起され得る津波について検討を行った。海底地すべり痕については森木・他（2017）による判読結果を利用した。崩落崖については海底地形や反射断面（産総研による）による判読に基づき検討を行った。これらの地形に対してWatts et al. (2005)の方法で海底地すべりによる初期津波振幅を評価した。その振幅が1 mを越える場合には地形復元作業を行い、これを初期条件として海底地すべり津波解析を実施した。この検討において、海底地すべり痕から励起され得る津波についてはWatts et al. (2005)の方法を用いて評価を行うと、各地すべり面上での津波振幅は1 cm以下となり有意な津波を励起しないことがわかった。

陸棚斜面表層の地質性状について、地形表面に観察されるgully、海底面から深さ100 m程度は不安定な堆積層で構成されていることが反射断面から読み取ることができたため、大規模な土砂崩れに起因した崩落崖を想定して検討した。このような崩落崖は陸棚斜面法先に数点存在し、新鹿沖の崩落崖に対して海底地すべり津波解析を行うと、新鹿沿岸で10 m程度、その周辺では1~2 m程度の津波となり、新鹿で局所的な津波の高まりを再現し得ることが判った。崩落崖の規模については検討の余地はあるが、新鹿の津波痕跡高の励起源としては陸棚斜面法先の崩落崖生成時に励起された可能性を定量的に示すことができた。

謝辞：本研究はR2-6年度文部科学省「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」（研究代表

者：海洋研究開発機構 小平秀一），科学研究補助金（研究代表者：谷岡勇市郎，課題番号：19H01977）の一環として行われました。

Room D | Regular session : S17. Tsunami

🗓 Tue. Oct 25, 2022 3:00 PM - 4:15 PM JST | Tue. Oct 25, 2022 6:00 AM - 7:15 AM UTC | 🏢 ROOM D 5th floor (Training Room 520)

[S17] PM-2

chairperson: Yutaka Hayashi (Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency), Toshitaka Baba (Tokushima University)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[S17-09] White bubbling tsunami: Its Hazard risk -Case of the 2011 Tohoku-Oki earthquake-

*Yuji ENOMOTO¹, Tsuneaki Yamabe¹, Shigeki Sugiura², Hitoshi Kondo² (1. Shunshu University, 2. Genesis Research Institute Inc.)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[S17-10] Evaluation of contribution of observation points to tsunami inundation prediction using machine learning

*Masato Kamiya¹, Toshitaka Baba² (1. Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Tokushima University, 2. Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences, Tokushima University)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[S17-11] Probabilistic Tsunami Hazard Assessment based on the long-term evaluation for earthquakes along Kuril and Japan trenches

*Kenji HIRATA¹, Hiroyuki FUJIWARA¹, Hiromitsu NAKAMURA¹, Tsuneo OHSUMI¹, Nobuyuki MORIKAWA¹, Shin'ichi KAWAI¹, Takahiro MAEDA¹, Yuji DOHI¹, Shin NEMOTO², Nobuhiko TOYAMA², Tadashi KITO², Xuelei ZHANG², Yasuhiro MURATA³, Mariko KORENAGA⁴, Yuta ABE⁴, Teppei OHNO⁴ (1. NIED, 2. OYO, 3. KKC, 4. CTC)

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

[S17-12] Deep-sea bore: Trench-slope ascent of discontinuities in current speed, water temperature and pressure

*Yoshio FUKAO¹, Hiroko Sugioka², Hajime Shiobara³, Aki Ito¹, Taewoon Kim¹, Ryo Furue¹ (1. JAMSTEC, 2. Kobe Univ., 3. Univ. Tokyo)

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

[S17-13] Progress in Preparing a Draft 10-Year Research, Development, and Implementation Plan for Ocean Decade Tsunami Programme (2021-2030)

*Yutaka HAYASHI¹, Srinivas Kumar TUMMALA², Michael ANGOVE³, Sergio BARRIENTOS⁴, Silvia CHACON⁵, David COETZEE⁶, Christa von HILLEBRANDT-ANDRADE⁷, Alexander RABINOVICH⁸, Harkunti Pertiwi RAHAYU⁹, Francois SCHINDELE¹⁰, Amir YAHAV¹¹, Bernardo ALIAGA ROSSEL¹², Rick John BAILEY¹³, Denis CHANG-SENG¹², Angelos HAIDAR¹² (1. Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 2. Indian National Centre for Ocean Information Services, 3. National Oceanic and Atmospheric Administration, USA, 4. National Seismic Centre, University of Chile, 5. Costa Rica National Tsunami Warning System, National University of Costa Rica, 6. National Emergency Management Agency, New Zealand, 7. Caribbean Office, International Tsunami Information Center, NOAA, USA, 8. Tsunami Laboratory, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 9. Institute of Technology Bandung, Indonesia, 10. National Tsunami Warning Center, Atomic Energy and Alternative Energies Commission, France, 11. National Emergency Management Authority, Israel, 12. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, 13. Bureau of Meteorology, Australia)

White bubbling tsunami: Its Hazard risk -Case of the 2011 Tohoku-Oki earthquake-

*Yuji ENOMOTO¹, Tsuneaki Yamabe¹, Shigeki Sugiura², Hitoshi Kondo²

1. Shunshu University, 2. Genesis Research Institute Inc.

黒い津波、白い泡津波：2011年東北沖地震で三陸沿岸を襲った”黒い津波”による災害リスクが注目された。土砂混じりのヘドロを巻き込んで衝撃による破壊力が増し、また溺れて吸い込めば「津波肺」と呼ばれる重度の健康障害を被るリスクである。この黒い津波による災害リスクはこれだけに留まらない。というのも、海底に溜まったヘドロのなかの有機物は、分解しメタンが発生する。実際、最近の調査研究で東京湾の海底から数mないし数十mの深さにメタン層が広がっていることが確認された（Tsuru et al., *EPS*, 2019）。ということはヘドロを巻き上げた津波がヘドロのなかに胚胎するメタンをも巻き込めば白く泡立つはずである。2011年東北沖地震では、まさにこのような光景が宮城県名取市沖合で空撮された。NHKスペシャル「黒い津波 知られざる実像」（2019年9月3日3日放映）では”白く泡立つ津波”も映し出されたが、これには特段の言及はなかった。図1は陸上自衛隊東北方面隊が地震直後に撮影した同じ海域での映像である。津波フロントに津波風にのった大量の泡があり、波頭はもうもうと水煙をたて、白く泡だった跡を残しながら陸に向かっていく。光る津波：東北沖地震は昼間の出来事であったが、明治三陸津波（1896/6/15 19:32）や昭和三陸津波（1933/3/3 02:30）はいずれも夜間の襲来で、このとき“光る津波”が目撃された。＜明治三陸津波＞「およそ30分後、巨大な黒い「波の壁」がごう音と青い光をともない三陸一体に襲来しました」（『津波を見た男』）。＜昭和三陸津波＞「地震があつてから湾口の所がいっぱいにモヤッと青赤く光った。それからまた地震があつた。すると白浪がまくれて来て、その後ろから高い真黒な浪が進んできた。」、「越村では、浪頭が白く直線になって光っていた。」（武者『地震なまず』）。すなわち、図1の光景は夜であれば青白く光る津波であったと推測できる。立ち上る水煙（海水ミスト）は正帯電しており、メタンが静電気着火したと考えられる。津波火災：大量のメタン泡が岸に打ち上げられ弾け消えることなくしばし滞留すると引火源になるし、静電気着火により自発発火の可能性もある。1993年北海道南西沖地震で奥尻島青苗港に停泊の5隻の漁船が津波を受けて甲板に大量のメタン泡が滞留して同時火災を起こした事例（Enomoto et al., *Geosciences*, 2019）はまさにメタンによる津波火災である。日本火災学会の調査によると東北沖地震で起きた津波火災件数159件のうち半数強は原因が不明とされていて、メタン・ハザードリスクへの考究はない。しかし気仙沼鹿折地区や名取市関上七丁目での津波火災は海底ヘドロからのメタン泡が火源の一つとなった可能性が高い。図1 白い泡津波：陸上自衛隊東北方面隊撮影、名取市沖



Evaluation of contribution of observation points to tsunami inundation prediction using machine learning

*Masato Kamiya¹, Toshitaka Baba²

1. Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Tokushima University, 2. Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences, Tokushima University

機械学習の手法を適用して津波を予測する取り組みが行われるようになってきた。我々はこれまでに南海トラフの海底水圧計データを入力として、津波の浸水を多層パーセプトロンで予測する枠組みを提案したが、各観測点の予測モデルへの寄与度には着目しなかった。一般に機械学習モデルに利用する特徴量を制限することで、モデルの解釈性および汎用性の向上、学習時間の短縮が期待できる。各観測点の予測モデルへの寄与度を評価することは特徴量の選択だけでなく、津波観測計を新たに整備する際の指標としての観点からも重要である。本研究では南海トラフ巨大地震の津波を対象にLight Gradient Boosting Machine (LightGBM) と SHapley Additive exPlanations (SHAP) という手法を用いて各観測点の寄与度を評価した。LightGBMは決定木アルゴリズムに基づいた勾配ブースティングの機械学習フレームワークである。LightGBMではアンサンブル学習の手法の一つであるブースティングが用いられる。これは、学習した予測モデルが上手く予測できなかった学習データに重みをつけて更に学習を繰り返すことによって作成した複数の予測モデルを組み合わせる方法である。LightGBMにはLeaf-Wiseが採用されており、大規模データの学習に強く、モデルの学習速度が速いことが特徴である。SHAPは協力ゲーム理論のシャープレイ値を機械学習に応用した手法である。SHAPを用いることにより、予測モデルの予測結果に対するそれぞれの特徴量の重要度を求めることができる。SHAP値が大きいほど予測における寄与度が高いことを示す。これにより、ブラックボックスになりがちな機械学習モデルに対して解釈性や説明性を付与することが可能となる。

解析の手順は次のとおりである。まず先行研究が提案した3480ケースの断層シナリオのすべてについて津波計算を実施した。予測処理の負荷を軽減するため、k-means法を用いて浸水深がほぼ同じ領域を予めグループ化することにより予測点数を削減した。予測対象地域は徳島県阿南市周辺とした。西南日本沖の海底にすでに設置されている海底水圧計の55地点と現在構築中の36地点の計91地点の計算された水圧変動データを説明変数、k-means法によって分けられた領域内の浸水深の平均値と標準偏差を目的変数として、LightGBMにより津波浸水予測モデルを構築した。予測モデルの検証のため、別の11個のM9クラスの地震シナリオを使って、フォワード津波計算による真値と機械学習モデルの予測値を比較した。

予測値と真値のRMSEは約0.6mであり、浸水分布をほぼ再現できた。各観測点のSHAP値から、予測地点から比較的近い観測点が津波浸水予測に最も寄与度が高いことが分かった(図1)。一方で、予測地点から離れた地域でも、SHAP値が周辺より高い観測点がまばらに存在している。四国西部～九州沖では観測点2点が周囲の観測点と比較してSHAP値が高かった。

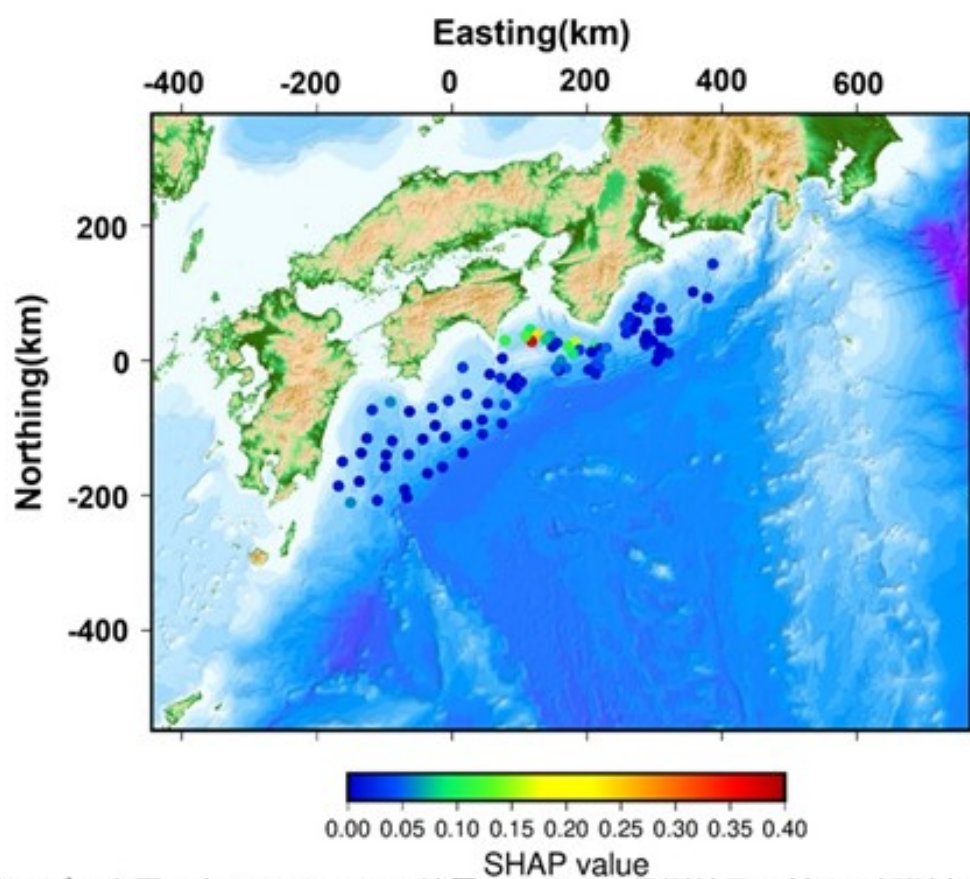


図1. 構築モデルを用いた3480ケースの地震シナリオの予測結果に対する観測点91地点の寄与度

Probabilistic Tsunami Hazard Assessment based on the long-term evaluation for earthquakes along Kuril and Japan trenches

*Kenji HIRATA¹, Hiroyuki FUJIWARA¹, Hiromitsu NAKAMURA¹, Tsuneo OHSUMI¹, Nobuyuki MORIKAWA¹, Shin'ichi KAWAI¹, Takahiro MAEDA¹, Yuji DOHI¹, Shin NEMOTO², Nobuhiko TOYAMA², Tadashi KITO², Xuelei ZHANG², Yasuhiro MURATA³, Mariko KORENAGA⁴, Yuta ABE⁴, Teppei OHNO⁴

1. NIED, 2. OYO, 3. KKC, 4. CTC

はじめに 千島海溝沿い根室沖地震（M7.8-8.5程度）および超巨大地震（17世紀型、M8.8程度以上）の30年発生確率はそれぞれ、7~40%及び70%程度、また日本海溝沿い青森県東方沖及び岩手県北部の地震（M7.9程度）のそれは5~30%と切迫している（地震調査委員会,2017,2019）。今回、我々は、千島および日本海溝沿いで地震調査委員会によって長期評価された概ねM7.8程度以上の地震を対象に、統合確率論的津波ハザード評価（現時点でのハザード評価）を実施した。

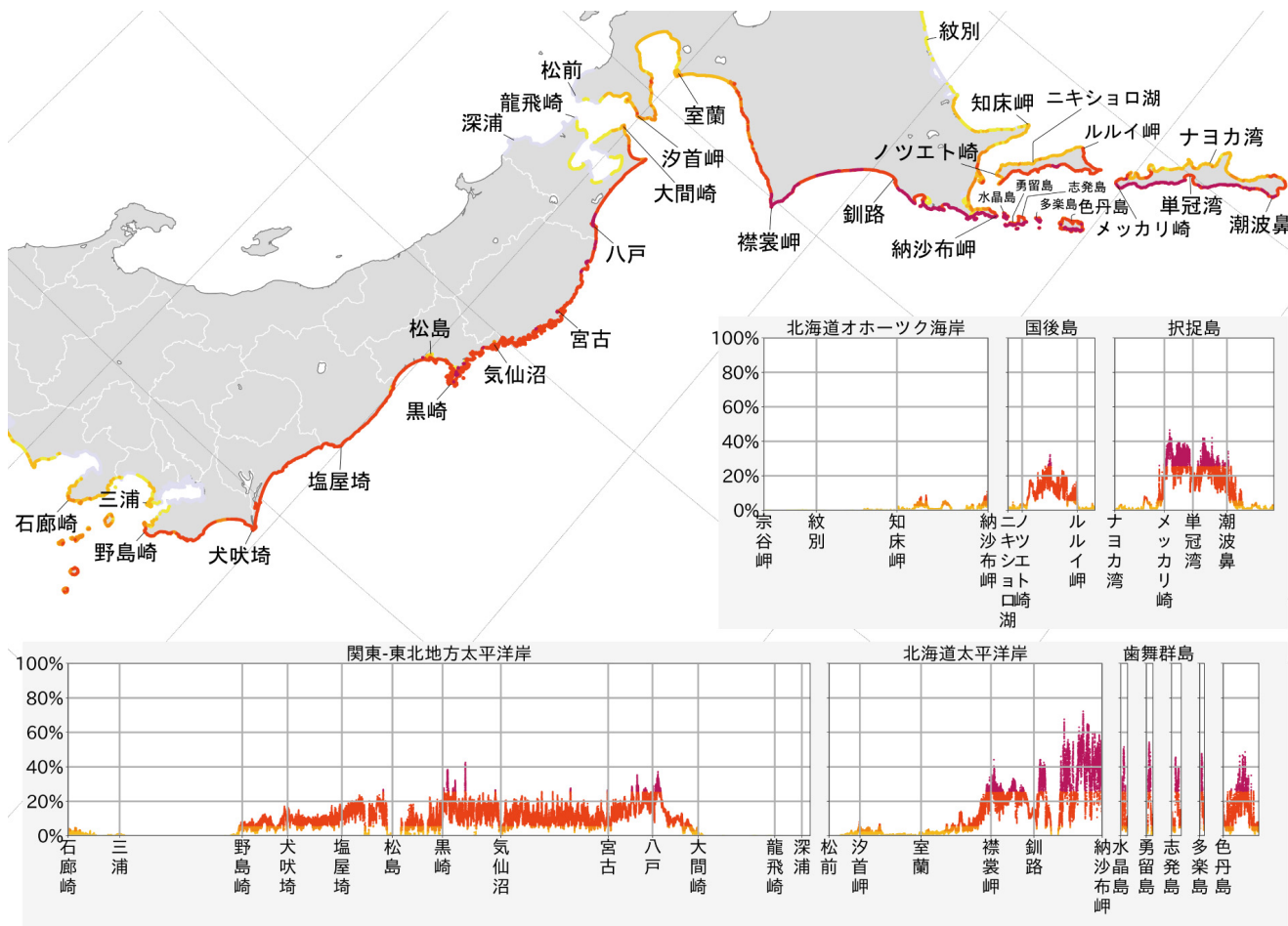
波源断層モデル群の構築 まず長期評価で設定された千島及び日本海溝沿いの地震発生領域に、沈み込む太平洋プレート三次元形状モデルを用いて、プレート間巨大地震、アウターライズ地震、スラブ内地震および津波地震の特性化波源断層モデル群を設定した。プレート間巨大地震および津波地震の波源断層モデルは約5km x 5km要素断層の集合として表現した。構築した特性化波源断層モデルはMw7.6からMw9.2までの合計3700個余りである。

津波伝播数値計算 Okada(1992)とTanioka&Satake (1996)の方法を用いて初期水位を計算、最小50m間隔の陸上・海底地形データのネスティング・グリッドを用いて、移流項、海底摩擦項、全水深項を含む非線形長波方程式に、陸側に遡上境界条件、海側に透過条件を課し、差分法を適用して津波予測計算を実施、海岸でのすべてのハザード評価地点60万点余りに対して最大水位上昇量を計算した。

地震発生確率モデル 長期評価（地震調査委員会,2017,2019）がそれぞれの地震に対して適用した地震発生確率モデルを基本的に採用した。30年発生確率に幅があると評価されている場合は中央値を用いた。千島海溝沿いの地震の長期評価で発生確率の言及がないアウターライズ地震の地震発生確率モデルは、当該地域の標準的なGR則を仮定し、定常ポアソン過程に従うと考えた。

確率論的統合 千島および日本海溝沿いで発生するそれぞれの地震の津波計算結果を確率論的に統合するために、以下のように考えた。1.基本的に地震は互いに独立に発生する。2.長期評価によって発生確率が評価された地震の破壊領域（震源域あるいは巨視的波源断層モデル）の位置および形状は多様であるため、破壊領域同士は互いに排反である。3.地震破壊時のすべり量分布は多様であるため、同じ破壊領域（震源域）において、異なるすべり量分布を持つ地震モデル同士は互いに排反である。

確率論的津波ハザード評価結果 現時点でのハザード評価結果の一例として、今後30年間で海岸の最大水位上昇量が3mを超える30年超過確率分布図を示す。概して北海道襟も岬以東の太平洋沿岸一帯で30年超過確率が20%以上、根室半島付近では40%以上と高く推定されていることがわかる。一方、東北地方太平洋岸では八戸付近の30年超過確率がやや高くなっている。今回の評価結果は、長期評価で評価された地震のみが発生した場合に限定される、条件付きのハザード評価結果である。今後、長期評価で評価されていない地震および長期評価で評価された地震規模以上の地震を加味し、実用上有益な現時点でのハザード評価を実施する予定である。本研究は防災科研の研究プロジェクト「ハザード・リスク評価に関する研究」の一環として実施している。



Deep-sea bore: Trench-slope ascent of discontinuities in current speed, water temperature and pressure

*Yoshio FUKAO¹, Hiroko Sugioka², Hajime Shiobara³, Aki Ito¹, Taewoon Kim¹, Ryo Furue¹

1. JAMSTEC, 2. Kobe Univ., 3. Univ. Tokyo

1. 序

我々は2013年から2014年までの10か月、Paro社開発の水晶式傾斜計の試験観測を兼ねて、宮城沖の深海底（深さ約3400m）で傾斜観測を実施した（図1の地図参照）。その間、多くの傾斜イベントを検出したが、これらは海底傾斜現象ではなく純粋に海洋現象であった。即ち、（恐らくは内部潮汐波に伴って）海底斜面に発生する内部孤立波（ボア）が測器を通過する際に測器が傾く現象であった（Fukao et al., JGR-O, 2016）。ボアは大陸棚斜面で起こる現象として海洋学分野では良く知られているが、海溝斜面のような深い場所での観測例はこれまでなかった。そこで深海ボアの実態をより明らかにするために、表記発表者中の3人（H.S., H.S., A.I.）は2015年9月から2016年9月までの1年間、前回と同じ場所で従来観測項目に加えて、水温、水圧、2成分流速などの海洋物理観測を行った。こうした海洋物理観測を加えた結果、深海ボアの実態は前回と比べてはるかに明瞭となった。

2. 観測と記録解析

2015年9月から翌年9月までの1年間、宮城沖の日本海溝急斜面から深海平坦面への変換点（水深約3400m）において1点観測を実施した。海洋物理学的な観測項目は、絶対海底水圧計 PARO-8B7000-I-005（詳細はFukao et al., Sci. Adv., 2018）による水圧、Infinity-Deep（詳細はFukao et al., JGR-O, 2016）による水温と流速2成分（東西・南北）である。サンプリング速度は0.25Hzとした。得られた記録からボアを検出するため、全観測項目1年間分を縦横自在にスケールを変えて表示できるようにし、また1年間分の動画を用意した。その結果、ボアは小さいものも含めれば殆ど毎日のように起きていることが判明した。またJCOPE-Tを圧力のレファレンスに取ることで、ボアによる微弱な圧力変化を検出することが可能となった。

3. 結果と議論

図1は観測期間中に起きた最大ボアの12時間記録である。以下、その特徴を図2と対応させて列挙する。図2は1年分の記録から得られる平均的なボアの描像である。

水温変化（図1青線）：Temperature change (Blue line)

ボアの到来前、水温は徐々に上昇し（図2-1）ボア到来直前は高止まりの状態になる（図2-2, 3）。ボア到来による水温低下は突然且つ急激に起こる（図2-4）。ボア内部の低温状態は長時間続く（図2-5）。

西→東流速（図1黒線）：Down-sloping current

ボアの到来前、流れは斜面を下る方向にある（図2-1）が徐々に流速を減じ、ボア到来直前にはほぼ静止流体状態となる（図2-2）。ボアの到来は突然の流速方向の反転（斜面上り流速の発生）によって予測することができる。この時点ではボアフロントを表す急激な温度変化は見られない（図2-3）。斜面上り流速がピークに達する頃、水温の極めて急速な低下が起こる（図2-4）。その後、水温が長く低温のままであるのに対し、斜面上り流速は急速に減速していく（図2-5）。

水圧（図1赤線）：Ocean bottom pressure

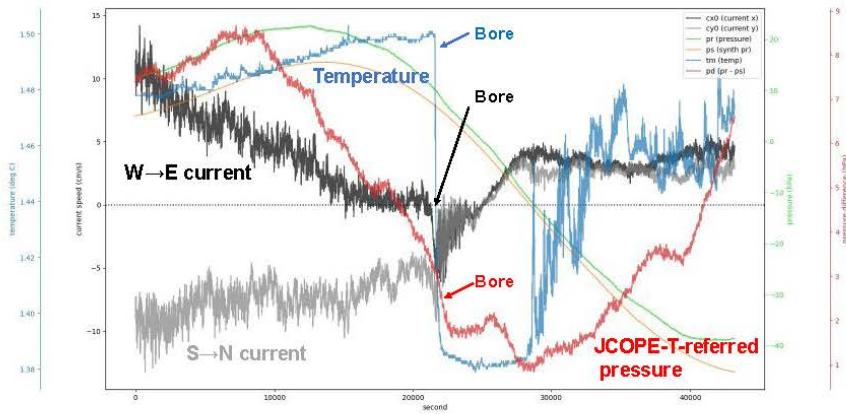
ボア到来に伴い水圧低下が起こる。水圧低下は水温低下と同時に起こることが殆どで（図2-4）、それに先立つことは殆どない。

ボアの終わり方は多様で、始まりのような共通性を見出すことは一般に難しい。

4. 結語

近年、津波観測や海底地殻変動観測に海底水圧計が多用されるようになり、今後は海底傾斜計観測も進むと考えられるが、ボアは測器の周りの水温、水圧、流速を突然変化させるため、得られたか海底観測記録の解釈には注意が必要である。

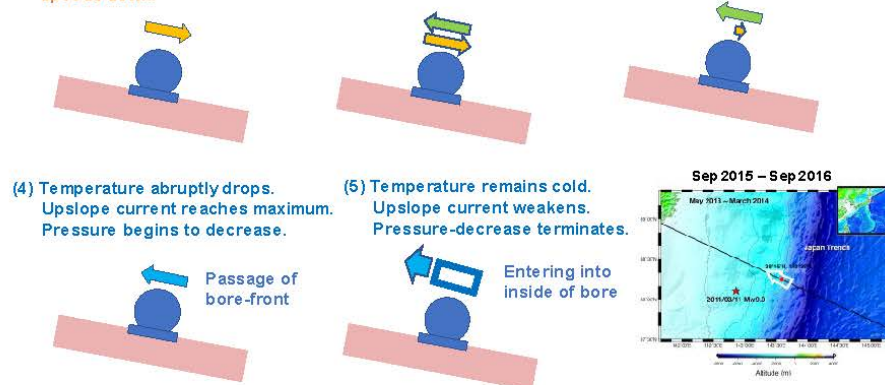
Figure 1. The largest bore through the observational period



12 hours from 2015 -10-21-07:13:27

Figure 2. Suggested processes associated with deep -sea bore

- (1) Temperature gradually rises, Downslope current gradually speeds down. (2) Temperature at highest state, Current at nearly still state. (3) Upslope current abruptly starts without temperature change.



Progress in Preparing a Draft 10-Year Research, Development, and Implementation Plan for Ocean Decade Tsunami Programme (2021-2030)

*Yutaka HAYASHI¹, Srinivas Kumar TUMMALA², Michael ANGOVE³, Sergio BARRIENTOS⁴, Silvia CHACON⁵, David COETZEE⁶, Christa von HILLEBRANDT-ANDRADE⁷, Alexander RABINOVICH⁸, Harkunti Pertiwi RAHAYU⁹, Francois SCHINDELE¹⁰, Amir YAHAV¹¹, Bernardo ALIAGA ROSSEL¹², Rick John BAILEY¹³, Denis CHANG-SENG¹², Angelos HAIDAR¹²

1. Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 2. Indian National Centre for Ocean Information Services, 3. National Oceanic and Atmospheric Administration, USA, 4. National Seismic Centre, University of Chile, 5. Costa Rica National Tsunami Warning System, National University of Costa Rica, 6. National Emergency Management Agency, New Zealand, 7. Caribbean Office, International Tsunami Information Center, NOAA, USA, 8. Tsunami Laboratory, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 9. Institute of Technology Bandung, Indonesia, 10. National Tsunami Warning Center, Atomic Energy and Alternative Energies Commission, France, 11. National Emergency Management Authority, Israel, 12. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, 13. Bureau of Meteorology, Australia

In December 2017, the United Nations General Assembly adopted the 'United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030)' resolution. It aims to significantly advance several research and technology development areas with a view to generating six societal outcomes (Ryabinin *et al.*, 2019) including 'A Safe Ocean'. In June 2021, the Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) General Assembly established the 'Ocean Decade Tsunami Programme' (ODTP). The IOC also established the Scientific Committee (SC) as an advisory. The Working Group on Tsunamis and Other Hazards related to Sea Level Warning and Mitigation Systems (TOWS-WG) will act as the global steering committee of the ODTP. The implementation or coordination of roles for the regional aspects of the programme will be performed by four Intergovernmental Coordination Groups (ICGs). The SC has an advisory role to TOWS-WG for the duration of the ODTP.

Members (two-year terms, renewable) of the SC are nominated by the TOWS-WG and each of the TOWS-WG Task Teams. It currently consists of 11 members (including the Chairperson S. K. TUMMALA) from 10 countries. The initial task of SC is to develop the Draft 10-Year Research, Development, and Implementation Plan for ODTP (Draft 10-Year Plan) for endorsement by the TOWS-WG.

The committee has been preparing for the draft implementation plan by holding meetings in February and June 2022. It has extracted key issues on each area as follows: tsunami risk knowledge; monitoring, detection, and analysis and forecasting of tsunamis; warning dissemination and communication, preparedness, and response capabilities. The Draft 10-Year Plan will be promoting to advancing the monitoring, detection, analysis, and prediction of tsunamis, including those generated by non-seismic sources. The plan will include focus areas related to tsunami warning capabilities, such as the ITU/WMO/UNESCO-IOC Joint Task Force SMART Subsea Cables effort and collaboration with the Nippon Foundation-GEBCO Seabed 2030 project. The Draft 10-Year Plan will improve the societal outcome (A Safe Ocean) of the Ocean Decade with the aim of making 100% of the communities at risk of tsunami prepared for and resilient to tsunamis by 2030 through the implementation of the UNESCO/IOC Tsunami Ready Programme and other initiatives.

Once the first draft is compiled, it will be made available to the member states of the IOC, scientific communities, and other stakeholders for comments. A final draft will be compiled by the committee on the basis of the collected opinions. Thereafter, the approval procedure will commence in IOC.

References

Ryabinin, V., *et al.* (2019): The UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development. *Front. Mar. Sci.* 6:470. doi:10.3389/fmars.2019.00470

Room D | Regular session : S04. Tectonics

📅 Tue. Oct 25, 2022 4:30 PM - 5:15 PM JST | Tue. Oct 25, 2022 7:30 AM - 8:15 AM UTC | 🏢 ROOM D 5th floor (Training Room 520)

[S04] PM-3

chairperson:Yukitoshi Fukahata(DPRI, Kyoto University)

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

[S04-01] Hypocenter relocations of earthquakes off Okinawa island with station corrections obtained from CMT solutions

*Masanao Komatsu¹, Mei Kitamura², Hiroshi Takenaka¹ (1. Okayama University, 2. Okayama University (Current: Japan Meteorological Agency))

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

[S04-02] Effects of the hot plume on the bending of the Philippine Sea slab beneath Kyushu (2)

*Natsuki Kozai¹, Nobuaki Suenaga², Shoichi Yoshioka^{2,1} (1. Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University, 2. Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University)

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

[S04-03] ***The geodynamic evolution of the Mexican subduction zone as an effect of the movement of the Chortís Block***

*Erika Moreno^{1,2}, Marina Manea^{2,1}, Vlad Manea^{2,1} (1. Kobe University, 2. Centro de Geociencias, Universidad Autónoma de México)

Hypocenter relocations of earthquakes off Okinawa island with station corrections obtained from CMT solutions

*Masanao Komatsu¹, Mei Kitamura², Hiroshi Takenaka¹

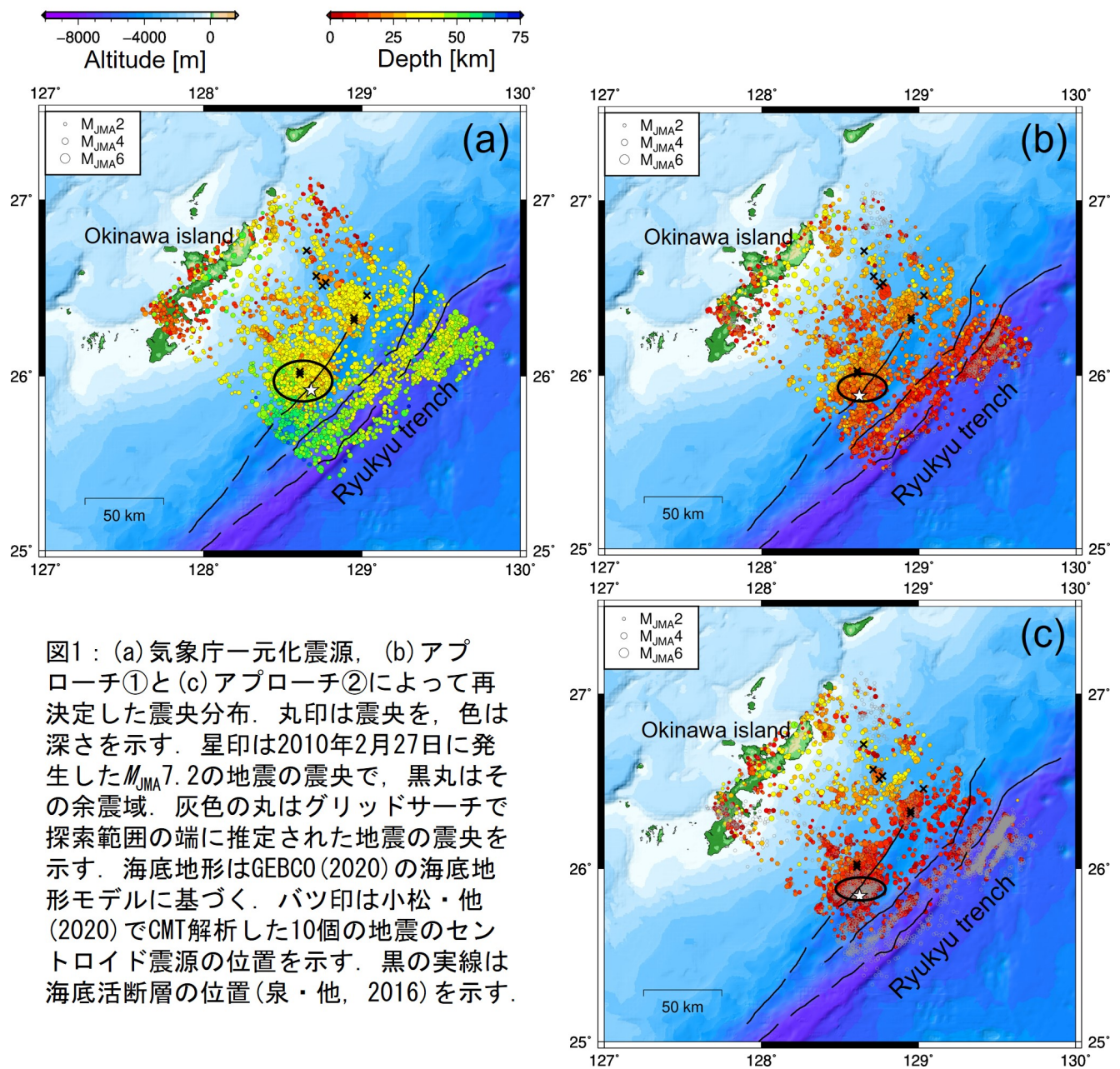
1. Okayama University, 2. Okayama University (Current: Japan Meteorological Agency)

本研究では沖縄本島南東沖で発生した地震の震源再決定を行う。地震の震源決定では、観測点が震源周辺に満遍なく分布していることが望ましい。しかし、南西諸島では観測点が島嶼にしかなく、震源に対してその分布には大きな偏りがある。この場合、震源決定の精度は悪くなる。震源決定の精度を向上するための方法の一つに、観測点の標高やその周辺の地下構造の不均質性が地震波の走時に与える影響を軽減する観測点補正值の利用がある。本研究では波形を用いるCMT解析により推定された地震の震源情報を用いて観測点補正を求め、震源再決定を行う。

本研究で使用したデータは、気象庁一元化処理検測値データに記載された、沖縄本島南東沖で発生した M_{JMA} 2.0以上の地震(2000年~2021年)のP波とS波の検測値データである。また、分析に用いた観測点は24点で、21点が気象庁、3点が防災科学技術研究所の広帯域地震観測網(F-net)の観測点である。この24観測点のうち3観測点以上でP波の初動が読み取られた地震について震源再決定を行った。高崎・他(2021, 地震学会秋季大会)と同様の手法により、気象庁が推定した震央周辺を水平方向、深さ方向にグリッドサーチし、観測点間の観測走時差と理論走時差のRMSが最小となる点を震源とした。これにより発震時を未知パラメータとせずに震源決定を行うことが可能である。理論走時の計算には、気象庁の走時表(JMA2001)を用いた。また、走時の観測点補正は、先行研究で得られている、2007年10月から2020年4月までに同じ地域で発生した10個の地震のCMT解析結果(小松・他, 2020, 地震学会秋季大会)によるセントロイド震源を用いて計算した。観測点補正值については2種類のアプローチを行った。CMT解析された全10イベントの観測点補正值の平均を用いる場合(アプローチ①)と、海洋地殻内で発生した8イベントを震源の位置によって3つのグループに分け、気象庁が決定した震央に最も近いグループ内のイベントの観測点補正值のみを用いる場合(アプローチ②)である。

図1は気象庁一元化震源ならびに震源再決定の結果を地図上にプロットしたものである。気象庁一元化震源の場合、沖縄本島から離れるにつれて震源の決定精度が悪くなり、海溝側で深さ50 km程度まで深くなるという不自然な特徴があった。しかし、今回の解析では2つのアプローチいずれの場合もフィリピン海プレートの沈み込みに沿って、海溝から沖縄本島に向かって震源が深くなった。また、海溝側では震央が南西-北東方向に帯状に分布することが明瞭に確認された。この地域は沖縄・ルソン断裂帯の北西端に位置しており、複数の海底活断層が南西-北東方向に延びている。活断層と震源分布はよく対応しており、海底活断層の活動との関連が示唆される。2010年2月27日に発生した M_{JMA} 7.2の地震(図1の星印)とその1日間の余震(図1の黒丸の領域)の再決定結果を別途地図上にプロットすると、震源分布は明瞭に東西方向に並んでおり、その長さは30 km程度である。気象庁や防災科学技術研究所等が推定したCMT解はいずれも東西方向に左横ずれ断層の成分をもつメカニズムであり、この方向に断層面を持つ地震と考えられる。最後に、2つのアプローチを比較すると、海溝側でアプローチ①よりもアプローチ②で震源が海溝寄りに決定され、深さは浅くなった。一方、沖縄本島側ではアプローチ②で島弧よりに決定され、両アプローチでの震源の位置の違いは小さい。アプローチ②では3つグループの境界付近で上記の特徴が分かれており、震源分布の空間的な隔たりも存在する。

謝辞：気象庁一元化処理震源ならびに検測値データを使用しました。本研究は科学研究費助成事業(基盤研究(B) 課題番号22H01311)による援助を受けました。



Effects of the hot plume on the bending of the Philippine Sea slab beneath Kyushu (2)

*Natsuki Kozai¹, Nobuaki Suenaga², Shoichi Yoshioka^{2,1}

1. Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University, 2. Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University

1. はじめに

九州下に沈み込んでいるフィリピン海（PHS）プレートは、深さ70km辺りで、急激に高角に沈み込んでいる（例えば、Wang and Zhao, 2006）。この原因として、北西九州下に存在したといわれているホットプルームが南東方向に水平に流れ、スラブを「く」の字型に押し曲げた可能性が指摘されている（Shinjo et al., 2000）。しかしながら、沈み込んだPHSプレートがこのような急激に折れ曲がる要因について未だ定量的に示された研究はない。本研究では、北西九州下から湧昇してきたホットプルームが、九州下に沈み込むPHSプレートの急激な屈曲に及ぼす影響について、数値シミュレーションを用いて定量的に評価することを試みた。本講演では香西他(2022, JpGU)のモデルに対し、新たにPHSプレートの沈み込み史を考慮したスラブ設定を行い、ホットプルームの温度や位置に関しても改良を加えてみたので、その結果について報告する。

2. モデル設定

本研究では、Torii and Yoshioka(2007)による手法を用いて、2次元箱型熱対流モデルを構築した。本モデルでは、北西九州下から湧昇するホットプルームと、九州の南東沖から沈み込むPHSプレートを数値シミュレーションで再現した(図1)。海溝から北西九州を通る測線に沿って計算を行い、モデル領域は水平方向800km、深さ方向500kmとし、流線の格子数はそれぞれ81、51とした。ホットプルームに関しては、温度を固定した熱源を設定した。温度範囲は Sakuyama et al. (2014)を参考に、深さ約50~100kmで1350~1500℃となるように設定した。また、その熱源を海溝から北西九州までの距離に相当する約400kmの位置に配置した。スラブに関しては、モデル領域の右側温度条件にプレート冷却モデル（McKenzie et al., 1969）を適用し、海溝軸から浅部では、PHSプレートの形状を模したガイドに沿ってプレートを沈み込ませ、その後自由に振舞わせた。13Myrまで計算を行い、PHSプレートの沈み込み速度はプレートの沈み込み史を考慮し、測線に沿って13Ma~3Maで7.7cm/yr、3Ma~0Maで6.4cm/yrとした。海溝における海底の年齢は、計算開始時は0Myrとし、時間の経過とともに徐々に古くなるようにし、4.5Maで九州一パラオ海嶺の沈み込みに伴い年齢が約45Myrと急激に古くなるように設定した。また粘性率の式にはBurkett and Billen (2010)を用いたが、温度依存性が高いため、粘性率の値に上限を設けて計算を行った。これらの計算を通して、九州の南東部で、北西方向からほぼ水平に流れてきたホットプルームとPHSスラブが衝突した際、スラブがどのように挙動するのかについて調べた。

3. 結果と考察

数値シミュレーションの結果、PHSプレートの沈み込みに伴い、厚さが時間的に変化するスラブが、湧昇するホットプルームに押されて折れ曲がる様子を確認することができた。PHSプレートの沈み込み方向にホットプルームがあるため、それを避けるように鉛直下方向へ曲がった可能性もある。また、プレートの沈み込みに伴い、マントルウェッジで時計回りの流れが発生し、ホットプルームがよりPHSプレートの方向へ引き寄せられる傾向が見られた。この現象はShinjo et al. (2000)でも言及されており、この効果によってスラブの屈曲が促進された可能性もある。本数値シミュレーションにより、PHSプレートの沈み込み史を考慮したモデルにおいても水平方向に流れるホットプルームにより、スラブを屈曲させることが可能であることが示すことができた。このことは、PHSスラブの深さ70km辺りで見られる急激な折れ曲がり、ホットプルームによる可能性があることを示唆している。

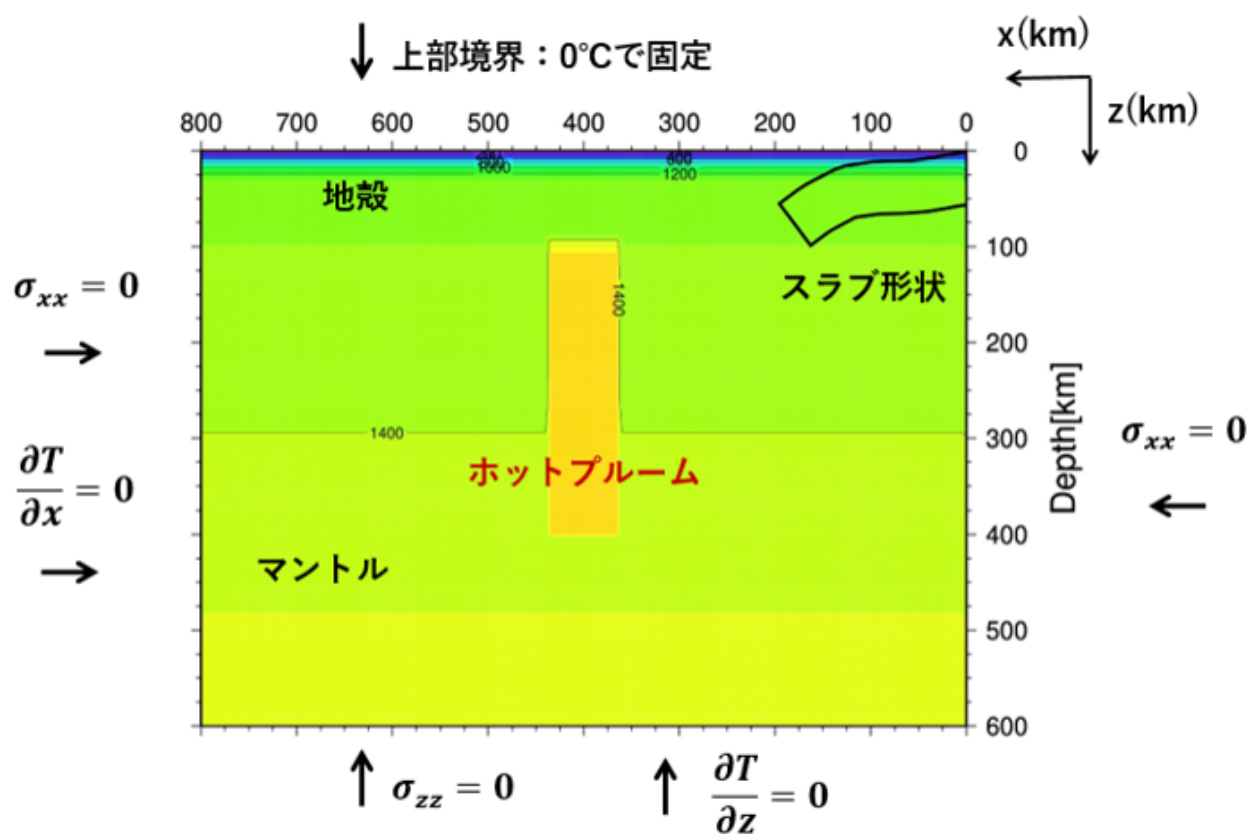


図 1：測線に沿った鉛直断面内におけるモデル領域、初期条件、境界条件の図。背景の色は、初期温度分布を、中央の橙色はホットプルームを表している。横軸(x)は水平距離、縦軸(z)は深さを示している。

The geodynamic evolution of the Mexican subduction zone as an effect of the movement of the Chortís Block

*Erika Moreno^{1,2}, Marina Manea^{2,1}, Vlad Manea^{2,1}

1. Kobe University, 2. Centro de Geociencias, Universidad Autónoma de México

The tectonic evolution of the Chortís block represents a central piece of information in the quest of understanding the geodynamic evolution of Southern Mexico and Central America. Previous studies (Pindell and Dewey, 1982; Mann 1999, 2007; Rogers, 2003; Rogers et al., 2007; Silva-Romo and Mendoza-Rosales, 2009; Ferrari et al., 2014; Molina Garza et al., 2019) have proposed that the Chortís Block was part of the North America plate in the southern Mexico during during the Cretaceous. This continental block was dragged along the South Mexican trench and after 20 Ma was captured by the Caribbean plate. Other studies, such as those of Keppie and Morán-Zenteno (2005) and Morán-Zenteno (2009), argue that the Chortis block separated from the Pacific plate and was pushed by the subduction of Farallon plate towards the East where it docked to its current position. Additional works, such as those of Meschede and Frisch (1998) and James (2006), suggest that the Chortís block is actually autochthonous to the Caribbean plate and moved little compared to its present position.

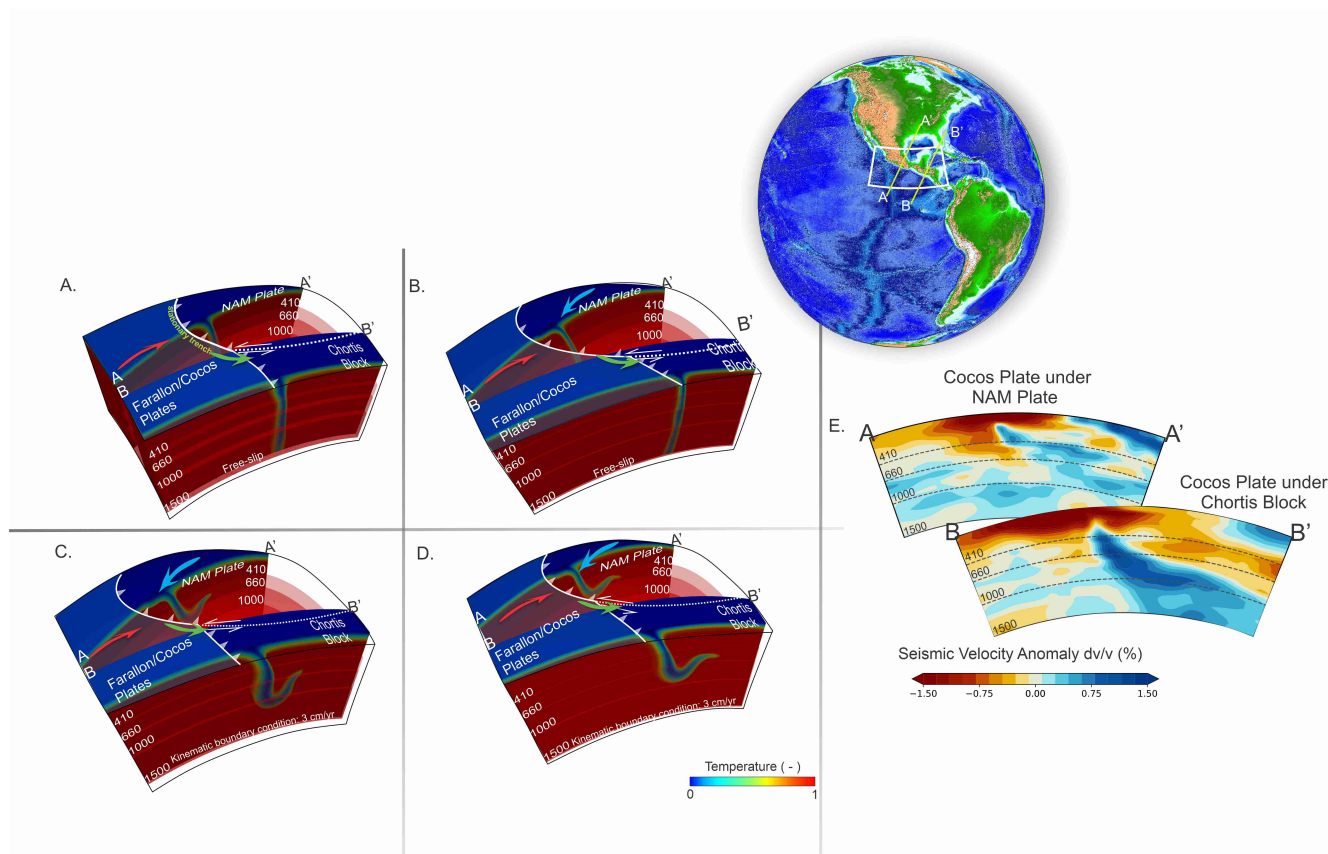
Currently, it is not clear if Chortis Block is autochthonous to the Caribbean plate or if, at some point in time, it moved from somewhere else and was captured by the Caribbean plate.

Likewise, it is not clear how the different motions proposed affected the geometry of the subducted plate. We reproduced numerically each of the aforementioned hypotheses and reveal how the different movements proposed for the Chortis block affect the dynamic subduction of Farallon-Cocos subduction system. We constructed 3D kinematic time-dependent numerical models and determined which of the three hypotheses produced slab geometries that are consistent the observations provided by seismic tomography of the study area.

Our models evolved during 45 Ma and revealed that, at high trench advance motion, the plate has negative dip below 660 km in the lower mantle. Therefore, such high trench motion for the Chortis Block as proposed by Keppie and Morán-Zenteno (2005) are not viable. Likewise, the high erosion rates for southern Mexico as proposed in the Pacific hypothesis are also not feasible because this inhibits the formation of flat subduction specific for central Mexico. Therefore, the Pacific hypothesis generated plates that are not congruent with what is observed in seismic tomography studies of the region.

Moreover, our numerical simulations show that flat subduction for central Mexico is not a consequence of sliding along the South Mexican trench of the Chortis Block but rather a consequence of the interaction between the retreat of the Middle America Trench, the advance of the North American plate, and the accommodation of the Cocos plate.

Our numerical results that best reproduce plate shapes comparable with seismic tomography of the study area, are those that incorporate the hypothesis that Chortis Block was adjacent to southern Mexico during the Cretaceous or relatively close to its present position.



Temperature profiles for the movement of the Chortis Block under the hypothesis that it was adjacent to southern Mexico. In this case, the Chortis Block moves along the South Mexican trench for 45 Ma. In Fig. you can see the different behaviors of the subducted plate when subjected to rotation angles between 30° and 20°. **A.** The trench on the Chortis Block rotates at an angle of 30° to the southeast while the trench on the North American plate remains stationary. **B.** The trench in the Chortis Block rotates at an angle of 30° to the southeast while the trench in the North American plate recedes at 1 cm/yr. **C.** The Chortis Block trench rotates at an angle of 30° to the southeast as the North American plate trench recedes at 1 cm/yr and the lower domain changes from a free-slip condition to a kinematic boundary condition. **D.** the trench angle of the Chortis Block decreases to 20° while maintaining the same conditions as C. **E.** The seismic tomography are based on the GAP_P4 Global P wave tomography model of Obayashi et al. (2013)