

Fri. Oct 30, 2020

ROOM C

Room C | Regular session | S06. Crustal structure

[S06]AM-1

chairperson:Takashi Tonegawa(JAMSTEC)

9:00 AM - 10:00 AM ROOM C

[S06-10] 3D crustal velocity model around the source region of the 2015 Gorkha earthquake, central Nepal

○Chintan Timsina¹, James Mori², Masumi Yamada²

(1.Graduate school of Science, Kyoto University,

2.DPRI, Kyoto University, Japan)

9:00 AM - 9:15 AM

[S06-11] Persistent Long-Period Signals Recorded by an OBS Array in the Western-Central Pacific:

Activity of Ambrym Volcano in Vanuatu

○Yuki Kawano¹, Takehi Isse¹, Akiko Takeo¹, HitoshiKawakatsu¹, Daisuke Suetsugu², Hajime Shiobara¹,Hiroko Sugioka³, Aki Ito², Yasushi Ishihara², SatoruTanaka², Masayuki Obayashi², Takashi Tonegawa²,Junko Yoshimitsu² (1.Earthquake Research Institute,

University of Tokyo, 2.JAMSTEC, 3.Kobe University)

9:15 AM - 9:30 AM

[S06-12] Frequency Dependency of the Peak Energy Ratios for Teleseismic P Waves at the Hi-net Stations

○Gugi Aucklandi Ganefianto¹, Hisashi Nakahara¹,Takeshi Nishimura¹ (1.Tohoku University Solid Earth

Physics Lab)

9:30 AM - 9:45 AM

[S06-13] Application of Adjoint Waveform Inversion to Hi-net Data in Central Japan Island

○Kota Mukumoto¹, Takeshi Tsuji¹ (1.Kyushu

University)

9:45 AM - 10:00 AM

Room C | Regular session | S04. Tectonics

[S04]AM-1

chairperson:Takashi Tonegawa(JAMSTEC)

10:00 AM - 10:15 AM ROOM C

[S04-01] 3-D Numerical Simulation of Island Arc Deformation Due to Steady Plate Subduction: Effects of a Bend of the Trench Axis

○Yutaro Mori¹, Yukitoshi Fukahata² (1.Graduate

School of Science, Kyoto University., 2.Disaster

Prevention Research Institute, Kyoto University)

10:00 AM - 10:15 AM

Room C | Regular session | S07. Structure and dynamics of the Earth and planetary interiors

[S07]AM-2

chairperson:Masayuki Obayashi(JAMSTEC)

10:30 AM - 11:00 AM ROOM C

[S07-01] Mantle discontinuities oceanward of the Kile - Honshu slab

○Masayuki Obayashi¹, Yoshimitsu Junko¹, FukaoYoshio¹ (1.JAMSTEC)

10:30 AM - 10:45 AM

[S07-02] Three dimensional shear wave structure in the upper mantle beneath the old Pacific plate

○Takehi Isse¹, Hitoshi Kawakatsu¹, Hajime Shiobara¹,Nozomu Takeuchi¹, Hiroko Sugioka², YoungHee Kim³,Hisashi Utada¹, Sang-Mook Lee³, Kazunori Yoshizawa⁴

(1.Earthquake Research Institute, the University of

Tokyo, 2.Kobe University, 3.Seoul National University,

4.Faculty of Science, Hokkaido University)

10:45 AM - 11:00 AM

Room C | Regular session | S10. Active faults and historical earthquakes

[S10]AM-2

chairperson:Shinji Toda(東北大学)

11:00 AM - 11:45 AM ROOM C

[S10-01] Subsurface structure revealed by S-wave seismic reflection across the East Matsumoto Basin fault, the ISTL fault system

○Haruo Kimura¹, Hisao Kondo², Kouta Koshika³,Yusuke Kawasaki³, Yoko Yoshimi⁴, Hideki Kurosawa³

(1.Central Research Institute of Electric Power

Industry, 2.Geological Survey of Japan, AIST, 3.OYO

Corporation, 4.IRIDES, Tohoku University)

11:00 AM - 11:15 AM

[S10-02] Measurement of strike and dip of the Atotsugawa fault by cosmic ray muons

○Daisuke Ikeda¹, Akimichi Taketa², KatsuyaYamazaki³, Kentaro Omura⁴ (1.Kanagawa Univ., 2.ERI,

3.Chubu Univ., 4.NIED)

11:15 AM - 11:30 AM

[S10-03] On-fault geological fingerprint of earthquake rupture direction

○Yoshihiro Kaneko¹, Jesse Kears² (1.Kyoto

University, 2.Victoria University of Wellington)

11:30 AM - 11:45 AM

Room C | Regular session | S10. Active faults and historical earthquakes

[S10]PM-1

chairperson:Juichiro Ashi(東京大学), chairperson:Haruo Kimura(電力中央研究所)

1:00 PM - 2:15 PM ROOM C

[S10-04] Organization and analysis of the aftershocks of

Ansei Edo earthquake recorded in various historical documents

○Baba Michito¹ (1.University of Tokyo, Earthquake Research Institute)

1:00 PM - 1:15 PM

[S10-05] Temporal variation of the number of felt earthquakes recorded in the Omihachiman Ichida Family Diary: before and after the 1854 Iga-Ueno and 1854 Tokai-Nankai earthquakes (1842-1868)

○Kentaro Hattori¹, Ichiro Nakanishi¹, Junzo Ohmura² (1.Graduate School of Science, Kyoto University, 2.Earthquake Research Institute, University of Tokyo)

1:15 PM - 1:30 PM

[S10-06] Shallow geological structure and cold seep along active faults in the eastern Sagami Bay

○Juichiro Ashi¹, Ken Ikehara², Toshiya Kanamatsu³, Makoto Yamano¹, Ayanori Misawa² (1.UTokyo, 2.AIST, 3.JAMSTEC)

1:30 PM - 1:45 PM

[S10-07] The Nankai subduction zone paleoearthquake history reconstructions using sequential radiocarbon dating of total organic carbon of in sediment cores obtained from off Kumano

○Olo Miura¹, Juichiro Ashi¹, Natsumi Okutsu², Yosuke Miyairi³, Yusuke Yokoyama³ (1.The University of Tokyo, Graduate School of Frontier Sciences, Dept. of Natural Environmental Studies, 2.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3.Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo)

1:45 PM - 2:00 PM

[S10-08] Afterslip on the northernmost Hinagu fault associated with the 2016 Kumamoto earthquake

○Shinji Toda¹, Masayuki Torii², Masashi Omata³, Daisuke Sango⁴, Takashi Ishizawa¹ (1.International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, 2.Center for Water Cycle, Marine Environment and Disaster Mitigation, Kumamoto University, 3.Pasco Corporation, 4.Former: Pasco

Corporation)

2:00 PM - 2:15 PM

Room C | Regular session | S08. Earthquake physics

[S08]PM-2

chairperson:Naofumi Aso(Tokyo Institute of Technology)
2:30 PM - 3:30 PM ROOM C

[S08-01] Quantitative comparison between the radiation-corrected EGF and the conventional EGF

○Ritsuya Shibata¹, Genki Oikawa¹, Naofumi Aso¹, Junichi Nakajima¹, Satoshi Ide² (1.Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2.Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo)

2:30 PM - 2:45 PM

[S08-02] Initial rupture process of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake inferred from 2D/3D source imagings

○Ryo Fujimoto¹, Masanao Komatsu¹, Hiroshi Takenaka¹ (1.Graduate school of natural science and technology OKAYAMA UNIVERSITY)

2:45 PM - 3:00 PM

[S08-03] Physical mechanisms of the 2017 Pohang earthquake, South Korea

○Toshiko Terakawa¹, Wooseok Seo², Kwang-Hee Kim², Jin-Han Ree³ (1.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2.Pusan National University, South Korea, 3.Korea University, South Korea)

3:00 PM - 3:15 PM

[S08-04] Time dependent changes in aftershock activities of the 2016 Central Tottori Prefecture Earthquake revealed by dense seismic observation

○Yoshihisa Iio¹, Satoshi Matsumoto², Joint aftershock observation group of the Central Tottori Prefecture earthquake (1.DPRI, Kyoto University, 2.Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University)

3:15 PM - 3:30 PM

Room C | Regular session | S06. Crustal structure

[S06]AM-1

chairperson:Takashi Tonegawa(JAMSTEC)

Fri. Oct 30, 2020 9:00 AM - 10:00 AM ROOM C

[S06-10] 3D crustal velocity model around the source region of the 2015 Gorkha earthquake, central Nepal

○Chintan Timsina¹, James Mori², Masumi Yamada² (1.Graduate school of Science, Kyoto University, 2.DPRI, Kyoto University, Japan)

9:00 AM - 9:15 AM

[S06-11] Persistent Long-Period Signals Recorded by an OBS Array in the Western-Central Pacific: Activity of Ambrym Volcano in Vanuatu

○Yuki Kawano¹, Takehi Isse¹, Akiko Takeo¹, Hitoshi Kawakatsu¹, Daisuke Suetsugu², Hajime Shiobara¹, Hiroko Sugioka³, Aki Ito², Yasushi Ishihara², Satoru Tanaka², Masayuki Obayashi², Takashi Tonegawa², Junko Yoshimitsu² (1.Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2.JAMSTEC, 3.Kobe University)

9:15 AM - 9:30 AM

[S06-12] Frequency Dependency of the Peak Energy Ratios for Teleseismic P Waves at the Hi-net Stations

○Gugi Aucklandi Ganefianto¹, Hisashi Nakahara¹, Takeshi Nishimura¹ (1.Tohoku University Solid Earth Physics Lab)

9:30 AM - 9:45 AM

[S06-13] Application of Adjoint Waveform Inversion to Hi-net Data in Central Japan Island

○Kota Mukumoto¹, Takeshi Tsuji¹ (1.Kyushu University)

9:45 AM - 10:00 AM

3D crustal velocity model around the source region of the 2015 Gorkha earthquake, central Nepal

*Chintan Timsina¹, James Mori², Masumi Yamada²

1. Graduate school of Science, Kyoto University, 2. DPRI, Kyoto University, Japan

We investigate the 3D crustal structure of central Nepal in the source region of the 2015 Gorkha earthquake (M_w 7.8) by applying a seismic tomography inversion method. We use P- and S-wave traveltimes data of the Gorkha earthquake sequence recorded by a temporary aftershock monitoring network of 42 stations and 1406 events, to determine V_p and V_p/V_s models of the region. Seismicity forms two separate east-west seismic belts located north and south of the main coseismic slip area. The width of the northern belt varies along-strike. First, we calculate a 1D velocity model of the area following the approach of Kissling et al. (1994) and relocate all the events in the database. With this 1D velocity model, we then use SIMUL2000 (Thurber and Eberhart-Phillips, 1999) to determine a coarse 3D velocity model. Finally, the grid spacing is made smaller to determine a detailed 3D velocity model. This study contributes to our knowledge of seismo-tectonics by providing a detailed velocity structure within the source region of the Gorkha earthquake. In addition, we hope to identify structural features that controlled the rupture limit of the main event.

Key words: *Seismic tomography, crustal structure, Nepal Himalaya, Gorkha earthquake*

Persistent Long-Period Signals Recorded by an OBS Array in the Western-Central Pacific: Activity of Ambrym Volcano in Vanuatu

*Yuki Kawano¹, Takehi Isse¹, Akiko Takeo¹, Hitoshi Kawakatsu¹, Daisuke Suetsugu², Hajime Shiobara¹, Hiroko Sugioka³, Aki Ito², Yasushi Ishihara², Satoru Tanaka², Masayuki Obayashi², Takashi Tonegawa², Junko Yoshimitsu²

1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. Kobe University

地殻および最上部マントル構造の解明には雑微動の相互相関解析が有用である。一般的な解析では、雑微動源が空間的に均質に分布することが仮定される。しかし、持続的に地震波信号を生み出す微動源(例えば阿蘇山)が空間に局在すると、前述の仮定が崩れるため、構造解析の結果にバイアスをもたらす可能性がある。全地球規模の解析からギニア湾や西中央太平洋においてもこのような微動源が報告されているが、地震波信号の発生メカニズムはいずれも未解明なままである。

2014年から2017年にかけて、オントンジャワ海台の構造の解明を目的に、地球物理観測網(OJPアレイ)が西中央太平洋に展開された。海底地震計(OBS)の鉛直成分に記録された雑微動に対し、相互相関解析をおこなったところ、観測点間を伝播するレイリー波よりも見かけ群速度の速い波束が観測された。その波束の卓越周期は25秒と18秒であり、信号の強さは季節性変動を示さないものの、大きく時間変動をする。相互相関関数を用いたback projection解析と、地震波データのスペクトログラムの比較から、信号の発生源はOJPアレイ中心部から南東方向に~1900 km離れたバヌアツのアンブリム火山にあると推定された。アンブリム火山の活動的な火口付近にある1点の中周期地震計データを用いてpolarization解析をおこなった。1点の観測点のみでは震源の位置を一意に決定できないが、例えば火口直下に震動源が存在すると仮定すると、2つの周期の信号の震源は、互いに~2 km離れており、ともに海面下~0-1 kmにあると推定される。

このような火山起源の持続的な地震波信号は、阿蘇山周辺でも広域(~2500 km)にわたって観測されており、火山性流体の流れが引き起こしたクラックの持続的な振動に起源をもつことが知られている。一方、アンブリム火山においても、InSARデータを用いた先行研究により、火口直下浅部にダイクが存在すると推定されている。本研究で観測されたアンブリム火山の地震波信号も、阿蘇山のようなクラックやダイクの持続的な振動に起源をもつ可能性がある。地震波信号の発生メカニズムをより詳細に解明するためには、アンブリム火山の火口近傍に地震計観測アレイを展開する必要がある。

Frequency Dependency of the Peak Energy Ratios for Teleseismic P Waves at the Hi-net Stations

*Gugi Aucklandi Ganefianto¹, Hisashi Nakahara¹, Takeshi Nishimura¹

1. Tohoku University Solid Earth Physics Lab

Subsurface heterogeneity in seismic velocity is an important aspect for understanding the seismotectonic setting of a region. Large scale heterogeneities are often studied using for example seismic tomography. On the other hand, smaller scale heterogeneities can be inferred from the scattering of seismic waves.

Peak energy ratio is a measure for the strength of small-scale heterogeneities, and is defined as the ratio of the maximum energy of P wave in the transverse component seismogram, to the sum of the maximum energy in the transverse, radial, and vertical components. According to Sato (2006), the peak ratio can be approximated as $1.81 \varepsilon^2 z/a$ where ε , z , and a are fractional fluctuation in seismic velocity, thickness of the heterogeneous medium, and correlation distance respectively. Kubanza et al., (2007) used the peak ratio to quantify small-scale velocity heterogeneities on a global scale. In Japan, Nishimura (2012) estimated the peak ratios and found that non-active regions such as those far from volcanoes, yield smaller peak ratio, albeit still larger than at stable continents. Nishimura (2012) noted that the peak ratios generally increase with frequency, but did not quantify this observation. In this study, we quantify the frequency dependency of the peak ratio and discuss its relations to Japan's tectonic setting.

Data from 803 stations and 99 earthquakes, recorded for the period between 2010 and 2019, were considered for this study. Teleseismic events with magnitude and depth of 5-6.5 and >300 km respectively were used, ranging between 0°-60° epicentral distance. We discarded any source-receiver pair with less than 10 signal-to-noise ratio, and calculated the mean-squared envelopes. Finally, we stacked the envelopes for all stations that record >10 earthquakes.

Results show that there is a divide in scattering properties over Japan, where larger peak ratios can be found on east Japan. This was previously obtained by Nishimura (2012) and successfully replicated here. Uncertainty is calculated using the Jack-Knife test, presented as the coefficient of variation, with error on average considerably less than 5%. We perform the analysis under four frequency bands: 0.5-1; 1-2; 2-4; and 4-8 Hz, and observe an overall increase in peak ratio with frequency similar to Nishimura (2012). To analyse the frequency dependency in our results, we define *frequency gradient* as the gradient, m of the trendline $\log p = m \log f_c + a$ where p is the peak ratio, and f_c is the central frequency of each frequency band.

There is a seeming pattern of the frequency dependency in relation to the volcanic front. Stations located on the West/back-arc show steeper frequency gradient hence stronger frequency dependency. We look into Kanto-Tokai, Tohoku, and Kyushu where the traces of the volcanic front are more conspicuous. We performed the t-value test to determine that statistically, western peak ratios are more dependent on frequency, for Kanto-Tokai, Tohoku, and Kyushu. We also did the Pearson's χ^2 test to confirm the perceived visual pattern of high correlation to the West and vice versa at Kanto-Tokai and Tohoku. For Kyushu, the visual impact is not as discernible as the others even though the difference in East and West frequency gradients is statistically significant.

There are possible scenarios that might explain this frequency dependency. If the pattern mostly reflects the scattering in the deeper lithosphere, then this contrast can be attributed to the more inhomogeneous

velocity structure of the mantle wedge in the back-arc where rich small-scale heterogeneity region scatters high frequency seismic components more strongly than lower frequencies. This accordingly increases the profoundness of the scattered P wave contribution into the transverse seismogram at higher frequencies. On the other hand, the makeup of the transverse seismogram is mostly influenced by scattering in the shallow depth, which would imply impressions from shallow structures such as sedimentary plains. This only further emphasizes the needs to study the depth dependency in scattering heterogeneity, for example, by combining teleseismic and local events to model the seismogram envelope using the Monte Carlo simulation. This will be the premise for our future works.

Acknowledgement: We would like to thank the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED), Japan, for their data of high sensitivity seismograph network (Hi-net).

Application of Adjoint Waveform Inversion to Hi-net Data in Central Japan Island

*Kota Mukumoto¹, Takeshi Tsuji¹

1. Kyushu University

Since 2000, seismic velocity structures have been resolved by waveform-based tomography technique due to growth of computational resource. Waveform inversion problem can be solved by using adjoint technique. Adjoint technique takes advantage of full numerical simulation and finite frequency sensitivity kernels (banana-doughnut sensitivity kernels). These advantages can give more accurate estimation and fine structures in crustal and global seismic tomography model (Tape et al., 2009, Zhu et al., 2012).

In Japan, ray tomographic method mainly has been used for imaging crustal structures as P-wave velocity and S-wave velocity model (Matsubara et al., 2019). Seismic interferometry by using seismic ambient noise also has been implemented for S-wave velocity structures (Nimiya et al., 2020, Nishida et al., 2008). More recently, adjoint method was used to estimate velocity model in Kanto region and found more heterogeneous structures compared to models which was estimated by using ray-based technique (Miyoshi et al., 2016). In this research, adjoint tomography was employed to estimate S-wave velocity model in central Japan. In central Japan, existing velocity models were estimated by inverting either surface or first arrival of body wave. On the other hand, our velocity model was estimated by jointly inverting both surface and body waveforms.

We used 84 earthquakes and 35,065 waveforms data that recorded by 358 Hi-net stations. Because the signals with high signal to noise ratio were required, this study used earthquakes that have magnitude over than 4. Here, we tried to fit time-frequency phase misfit between observed and synthetic seismograms with period band of 30~5 second. Surface wave is dominant component in our data, therefore, synthetic data was obtained by spectral element method which can accurately estimate the effects of free surface topography. We found that the final model is similar to S-wave velocity model estimated by seismic interferometry (Nishida et al., 2008). Our results show velocity anomalies related with volcanos, Median Tectonic line and Niigata-Kobe Tectonic line.

Room C | Regular session | S04. Tectonics

[S04]AM-1

chairperson:Takashi Tonegawa(JAMSTEC)

Fri. Oct 30, 2020 10:00 AM - 10:15 AM ROOM C

[S04-01] 3-D Numerical Simulation of Island Arc Deformation Due to Steady Plate Subduction: Effects of a Bend of the Trench Axis

○Yutaro Mori¹, Yukitoshi Fukahata² (1.Graduate School of Science, Kyoto University.,
2.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

10:00 AM - 10:15 AM

3-D Numerical Simulation of Island Arc Deformation Due to Steady Plate Subduction: Effects of a Bend of the Trench Axis

*Yutaro Mori¹, Yukitoshi Fukahata²

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

島弧海溝系は、島弧で高く海溝で低い重力異常および地形で特徴づけられる。このような特徴は、沈み込み帯において例外なく観測されるが、その変形の物理的メカニズムは未解明の問題として残されている。

Fukahata and Matsu'ura (2016)は、プレートの定常沈み込みによって引き起こされる島弧リソスフェアの変形を弾性-粘弾性2層構造における変位の食い違い理論に基づいて理論的に計算し、島弧-海溝系の2次元的な変形メカニズムをリソスフェアの回転運動と重力の組み合わせで説明した。

しかし、実際の沈み込み帯における島弧-海溝系の形成過程においては、沈み込む海洋プレートの3次元的な形状による効果も重要と考えられる。例えば、豊後水道や日本海溝と千島海溝の接合部(津軽海峡沖)など、海溝軸が屈曲している場所で屈曲部付近に大きな負のフリーエア重力異常が観測される(Sandwell and Smith, 1997)。この効果は数値モデルにより再現されている(Hashimoto et.al., 2004, 2008)が、重力異常が生じる物理的メカニズムは説明されていない。

本研究では、変位の食い違い理論(Fukahata and Matsu'ura, 2005, 2006)に基づいて定常沈み込みによる島弧リソスフェアの変形を計算する3次元数値モデルを実装した。このモデルを用いて、走向の異なる2本の直線的な海溝軸がなめらかに繋がる形状を持つプレート境界における定常沈み込みによって引き起こされる島弧リソスフェアの変形を計算した。ここで、2本の海溝軸の交わる角度を20度から80度まで変化させてその影響を調べた。

数値計算の結果、いずれの角度においても海溝軸の屈曲部付近に大きな沈降が生じることが再現された。この結果は、実際の沈み込み帯において観測される重力異常と調和的である。また、海溝軸の屈曲する角度が大きくなるほど沈降の空間スケール及び沈降量が大きくなることが分かった。

このような沈降のパターンは、水平方向の運動に基づいて以下のように合理的に説明される。2本の海溝軸のそれぞれに対し、海洋プレートはななめ沈み込みをする。そのななめ沈み込みの横ずれ成分の方向は、海洋プレートから見て海溝軸の屈曲部に対し右側で右横ずれ、左側で左横ずれとなる。これにより、島弧リソスフェアは屈曲部付近で左右に開く方向に運動をする。このような水平方向の運動に伴って海溝軸の屈曲部付近において質量が不足した結果、島弧リソスフェアで大きな沈降が生じたと考えられる。この考えは、2本の海溝軸の交わる角度が大きくなるほど横ずれ成分が大きくなり、屈曲部周辺の沈降量が大きくなることも調和的である。

Room C | Regular session | S07. Structure and dynamics of the Earth and planetary interiors

[S07]AM-2

chairperson: Masayuki Obayashi(JAMSTEC)

Fri. Oct 30, 2020 10:30 AM - 11:00 AM ROOM C

[S07-01] Mantle discontinuities oceanward of the Kile - Honshu slab

○Masayuki Obayashi¹, Yoshimitsu Junko¹, Fukao Yoshio¹ (1.JAMSTEC)

10:30 AM - 10:45 AM

[S07-02] Three dimensional shear wave structure in the upper mantle beneath the old Pacific plate

○Takehi Isse¹, Hitoshi Kawakatsu¹, Hajime Shiobara¹, Nozomu Takeuchi¹, Hiroko Sugioka², YoungHee Kim³, Hisashi Utada¹, Sang-Mook Lee³, Kazunori Yoshizawa⁴ (1.Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2.Kobe University, 3.Seoul National University, 4.Faculty of Science, Hokkaido University)

10:45 AM - 11:00 AM

Mantle discontinuities oceanward of the Kile - Honshu slab

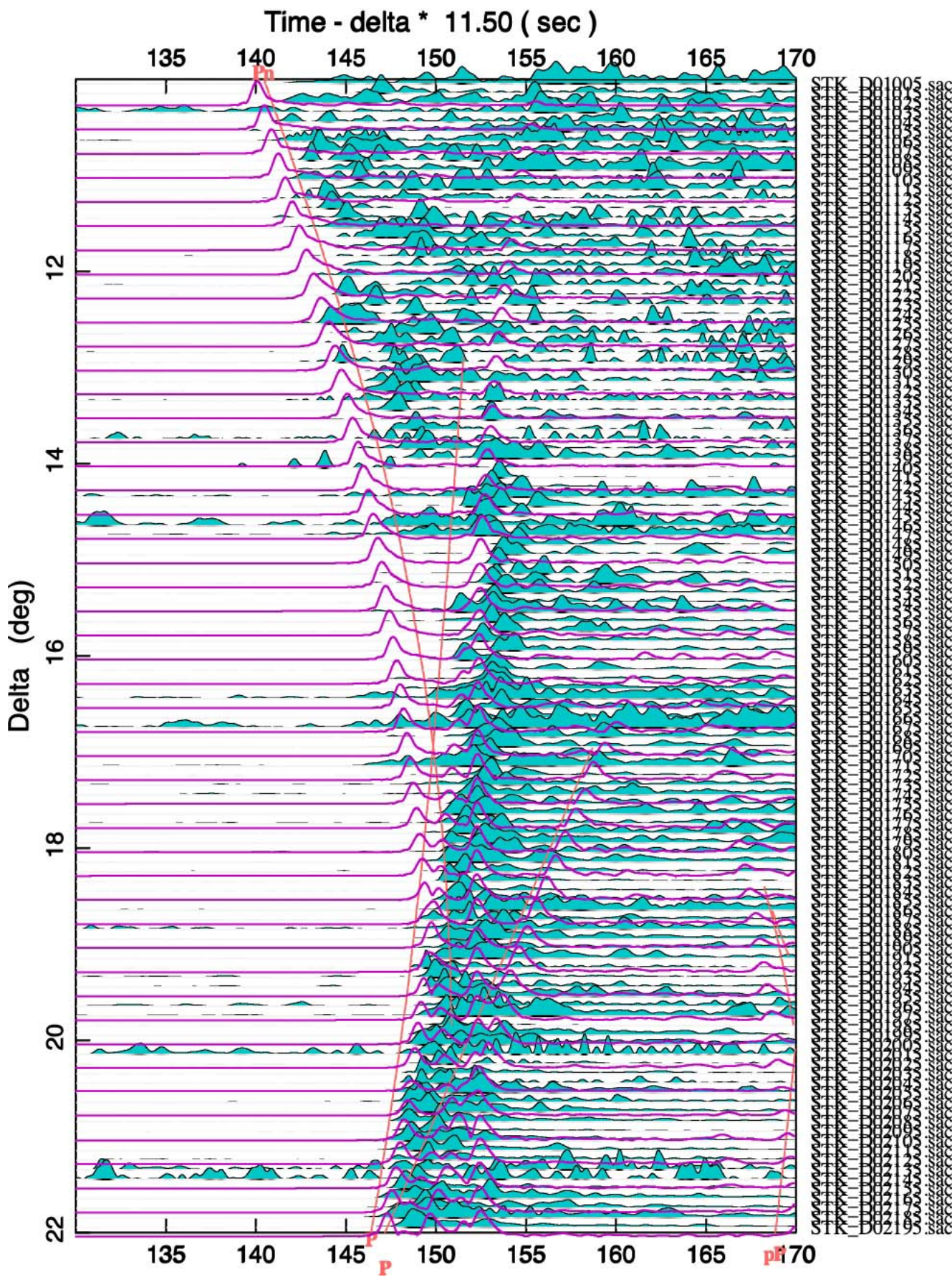
*Masayuki Obayashi¹, Yoshimitsu Junko¹, Fukao Yoshio¹

1. JAMSTEC

本州スラブの下410-km不連続面の直上には低速度異常があり、高温の異常に起因することが示唆されている (e.g. Obayashi et al, 2006; Bagley & Revenaugh, 2008) . しかしそこで示された低速度異常域は本州スラブおよび伊豆-小笠原スラブの北端付近と限定的であり、その広がりはまだ明らかでない。我々はJpGU-AGU joint meeting 2020において千島海溝付近で起きた11地震を解析し、南千島から本州にかけても2-3%の低速度異常が410-km不連続面の直上にあるが、660-km不連続面付近では顕著な異常が見られないことを示した。そこでは11地震の自乗エンベロープ波形を震源深度が120kmとなるように補正後スタックした波形を用い、スタック波形の走時を説明する1次元速度構造をフォワードモデルリングによって示した。

今回、Obayashi et al. (2006) で示された1次元速度モデルM200M (200°C高温及び1%未満のメルトに起因する410-km不連続面直上の低速度異常および410-km不連続面の沈降) に基づく波形を計算し、スタック波形との比較を行った (図) 。このモデルでは深さ310~460kmでM200Mを採用し、他の深さでは解析に使用したすべての地震-観測点間波線に沿った3次元速度構造 (GAP_P4 ; obayashi et al., 2013) の平均で1次元構造を求めている。図が示すようにモデルM200Mによる合成波形は410-km 不連続面に関連するトリプリケーション波形を非常に再現している。従って沈み込むスラブの下410-km不連続面付近の異常は本州スラブに限られたものではなく千島から本州にかけても見られる一般的な現象と考えられる。ただし、410km不連続面より浅い最深点を持つ初動波形の振幅は観測に比べて非常に小さく、トモグラフィーの平均では説明できず、スラブに対応する高速異常は改良しなくてはならないことを示唆している。

図：11個の地震をスタックした自乗エンベロープ波形 (青色で塗りつぶされたもの) とM200M 1次元速度構造をもとに合成された波形 (マゼンタ) 。



Three dimensional shear wave structure in the upper mantle beneath the old Pacific plate

*Takehi Isse¹, Hitoshi Kawakatsu¹, Hajime Shiobara¹, Nozomu Takeuchi¹, Hiroko Sugioka², YoungHee Kim³, Hisashi Utada¹, Sang-Mook Lee³, Kazunori Yoshizawa⁴

1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2. Kobe University, 3. Seoul National University, 4. Faculty of Science, Hokkaido University

多国間連携による海底地球物理観測イニシアティブ「太平洋アレイ」計画は、太平洋の年代の異なる様々な海域で1~2年のアレイ観測を展開することで、10~15年程度の期間で太平洋全体をカバーする「アレイによるアレイ」観測を実現し、海洋リソスフェア・アセノスフェアの理解を統合的に深化させることを構想している。

この太平洋アレイの第1期アレイとして、2018年秋から2019年秋にかけ、グアム東方沖の深海盆（海洋底年代約1.7億年）において、海底地震電磁気観測（Oldest-1アレイ）を日韓合同で実施した。このアレイは、太平洋最古の海洋底に位置しており、プレート成長の端成分を実証的に制約すると共に、太平洋プレート生成初期のプレート成長を明らかにすることを目的としている。観測は、日本側が観測機器（広帯域海底地震計（BBOBS）12台、海底電位差磁力計7台）を供出し、機器の設置・回収は韓国の研究船を使用して実施された。この観測では従来のBBOBSに微差圧計（DPG）を追加し、さらに錘の足の長さを従来の1mから2mに延長する改良を加えたものを使用した。BBOBS 12台中11台は良好な記録を取得し、1台はDPG記録のみ取得であった。傾斜ノイズ・コンプライアンスノイズ除去を施した鉛直成分を解析に用いた。

本研究は、表面波インバージョン手法を用いた上部マントルS波速度構造から、西太平洋の古い海洋底（1.2-1.8億年）の特徴を明らかにすることを目的としている。

Oldest-1アレイで得られた地震波形記録を用い、4次の高次モードまでの表面波位相速度を測定し、既存の測定データ(Isse et al., 2019, EPSL等)に追加し、鉛直異方性を考慮した太平洋全体の3次元上部マントルS波速度構造を求めた。

得られた構造は以前のモデル(Isse et al., 2019)と大局的には似ているが、西太平洋域に注目するとOldest-1アレイ直下では以前のモデルよりリソスフェアが高速度かつ厚いという違いが得られた。海洋底年代毎の上部マントルの速度構造を求めたところ、1.2-1.4億年までは海洋底が古くなるほど高速度であるが、1.4億年より古い海洋底では年代依存は不明瞭であった。

Room C | Regular session | S10. Active faults and historical earthquakes

[S10]AM-2

chairperson: Shinji Toda(東北大学)

Fri. Oct 30, 2020 11:00 AM - 11:45 AM ROOM C

[S10-01] Subsurface structure revealed by S-wave seismic reflection across the East Matsumoto Basin fault, the ISTL fault system

○Haruo Kimura¹, Hisao Kondo², Kouta Koshika³, Yusuke Kawasaki³, Yoko Yoshimi⁴, Hideki Kurosawa³ (1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Geological Survey of Japan, AIST, 3. OYO Corporation, 4. IRIDES, Tohoku University)

11:00 AM - 11:15 AM

[S10-02] Measurement of strike and dip of the Atotsugawa fault by cosmic ray muons

○Daisuke Ikeda¹, Akimichi Taketa², Katsuya Yamazaki³, Kentaro Omura⁴ (1. Kanagawa Univ., 2. ERI, 3. Chubu Univ., 4. NIED)

11:15 AM - 11:30 AM

[S10-03] On-fault geological fingerprint of earthquake rupture direction

○Yoshihiro Kaneko¹, Jesse Kears² (1. Kyoto University, 2. Victoria University of Wellington)

11:30 AM - 11:45 AM

Subsurface structure revealed by S-wave seismic reflection across the East Matsumoto Basin fault, the ISTL fault system

*Haruo Kimura¹, Hisao Kondo², Kouta Koshika³, Yusuke Kawasaki³, Yoko Yoshimi⁴, Hideki Kurosawa³

1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Geological Survey of Japan, AIST, 3. OYO Corporation, 4. IRIDES, Tohoku University

糸魚川-静岡構造線断層帯北部区間は、主に神城断層および松本盆地東縁断層北部によって構成されるほぼ南北走向の活動セグメントであり、その変位センスは東側隆起の逆断層成分が主体となっている（例えば、地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2015, 糸魚川-静岡構造線断層帯の長期評価（第二版）, 60p）。本研究では、糸魚川-静岡構造線断層帯北部区間の松本盆地東縁断層北部の活動に伴う地震時断層変位量を明らかにすることを目的とし、深度50 m程度までを対象としたS波反射法地震探査を実施した。

本探査地点は、松本盆地東縁断層北部のほぼ中央付近である長野県北安曇郡池田町花見に位置する（図a. 探査地周辺の活断層分布。近藤・谷口（2014, 巨大地震による複合的地質災害に関する調査・研究報告書, 地質調査総合センター速報, 66, 147-158）に加筆）。測線周辺には大峰山地から西流する扇状地面群が分布し、東側隆起の低断層崖および撓曲崖が生じている（例えば、丸山ほか, 2010, 糸魚川-静岡構造線断層帯における重点的な調査観測 平成17~21年度 成果報告書, 文科省研究開発局・国交省地理院・東大地震研, 230-254）。また、測線周辺ではこれまでも、トレンチ調査や群列ボーリング調査が実施され、活動履歴や地震時上下変位量が検討されている（遠田ほか, 2010, 糸魚川-静岡構造線断層帯における重点的な調査観測 平成20年度 成果報告書, 文科省研究開発局・国交省地理院・東大地震研, 109-122; 丸山ほか, 2010, 前出; 近藤・谷口, 2014, 前出; 丸山ほか, 2015, 活断層研究, 15, 87-92）。

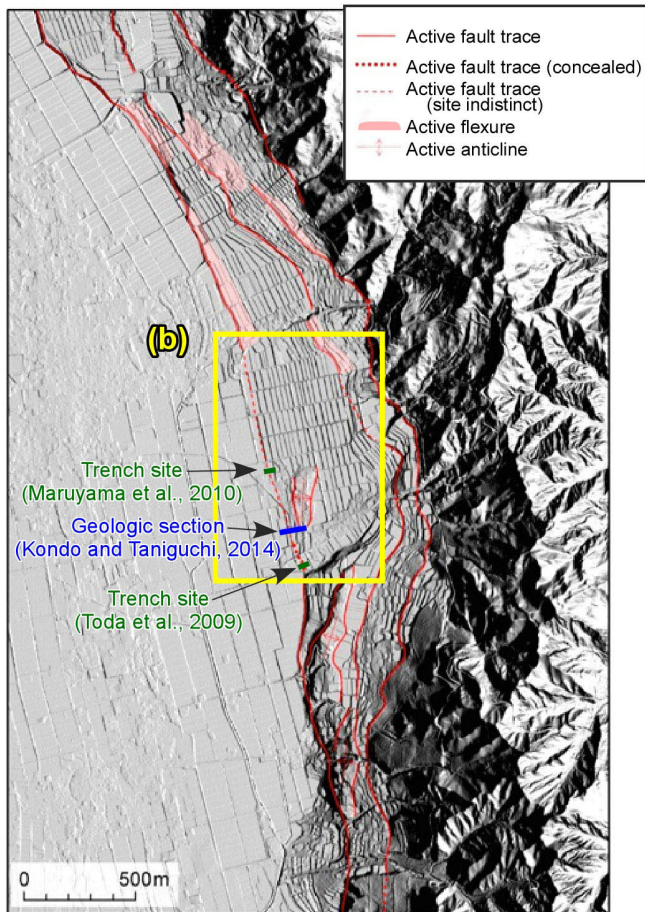
本探査測線群は、測線長130~500 mの東西3本と南北3本の合計6本の測線で構成される（図b. S波反射法地震探査測線および既存ボーリング掘削地点の詳細位置。ボーリング掘削地点は近藤・谷口（2014, 前出）および近藤・木村（2018, 活断層の評価に関する調査観測「活断層帯から生じる連動型地震の発生予測に向けた活断層調査研究」平成29年度 成果報告書, 文科省研究開発局・産総研, 3-54）による。基図には池田町発行の1:2,500都市計画図を用いた）。現場探査データ取得は、一般的な共通中間点重合法（例えば、物理探査学会, 2016, 物理探査ハンドブック 増補改訂版, 1045p）によって行った。発震点間隔・受振点間隔は共に2 m（標準）で、震源にはOYO CAG製のポータブルバイブレータを使用し、受振器にはOYO Geospace製のGS-20DM（固有周波数14 Hz）を使用した。各測線共に固定展開によって、Geometrics Inc.製のGEODEを用いてサンプリング間隔0.5 ms、記録長2 sでデータ収録を行った。取得した探査データに対して、SeisSpace ProMAX（Halliburton Energy Services製）を用いて、一般的な共通中間点重合法（例えば、物理探査学会, 2016, 前出）による各種のデータ編集・フィルタ処理を施し、地質・構造解釈に資する探査断面を得た。

得られた深度変換断面に対する地質学的解釈の結果、断層にほぼ直交する3本の東西測線のそれぞれにおいて、約20度で東傾斜する断層、あるいは断層に伴う東側隆起の変形構造が認められた（図c. 探査結果断面の解釈の例。3本ある東西測線のうち、最も北側の測線の断層付近を拡大したもの）。こうした断層の傾斜角と既存研究で得られている地震時上下変位量（近藤・谷口, 2014, 前出）から、本地点における断層傾斜方向沿いの地震時変位量は約5.3 mと算出された。さらに、完新世の断層活動履歴（丸山, 2010, 前出; 近藤・谷口, 2014, 前出）も考慮して断層傾斜方向に沿った平均変位速度を算出すると、約1.5~2.1 mm/yrとなった。

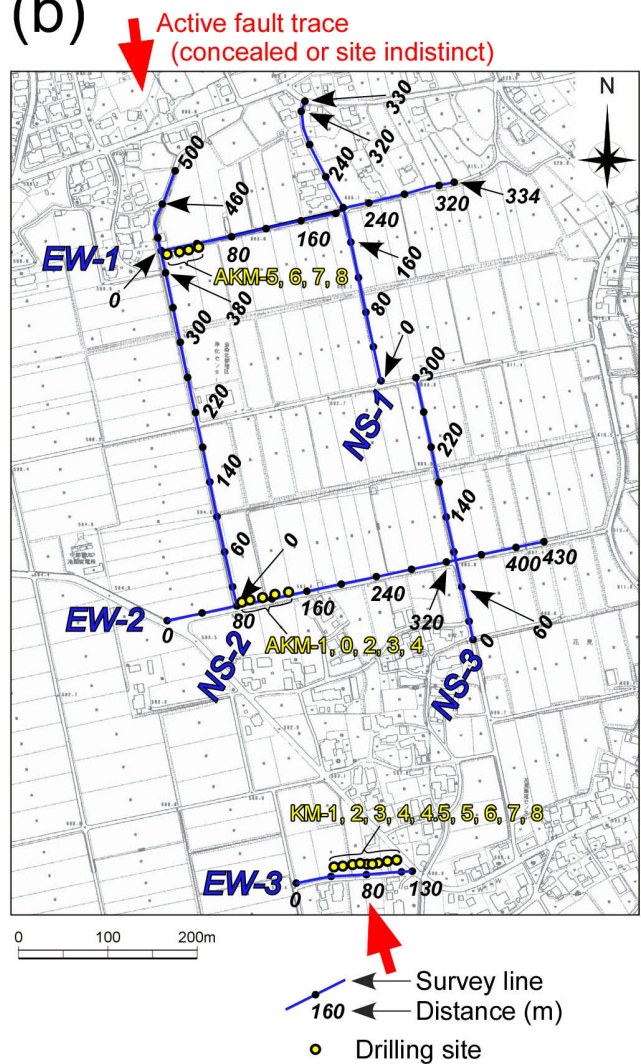
【謝辞】本探査の現場作業においては、地元官公庁・住民および応用地質株式会社の関係各位に御理解・御協力いただいた。本研究は文部科学省「活断層帯から生じる連動型地震の発生予測に向けた活断層調査研究」プロジェクトの一部として実施した。前記プロジェクトのメンバー及び外部評価委員の皆様には多くの御協力と

議論をいただいた。以上，ここに記して謝意を表する。

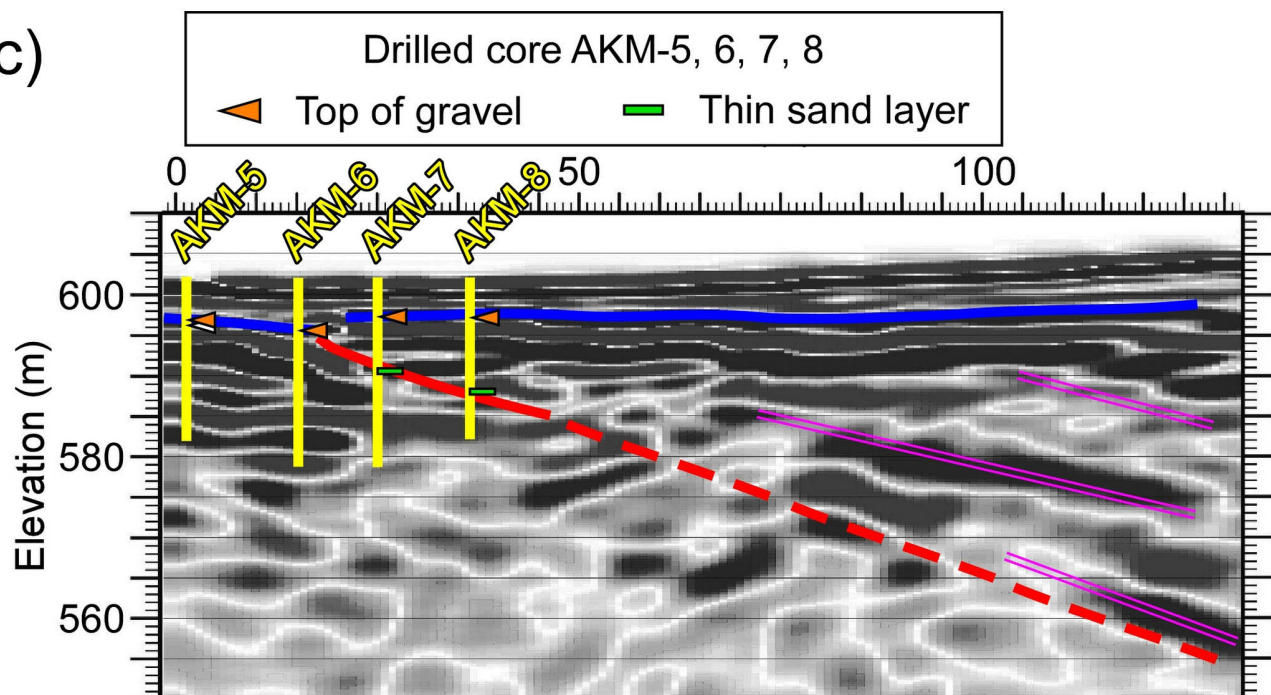
(a)



(b)



(c)



Measurement of strike and dip of the Atotsugawa fault by cosmic ray muons

*Daisuke Ikeda¹, Akimichi Taketa², Katsuya Yamazaki³, Kentaro Omura⁴

1. Kanagawa Univ., 2. ERI, 3. Chubu Univ., 4. NIED

地震時の強振動分布や津波の規模と挙動の予測には断層の姿勢とすべり量が必要であるが、地下数10mから数100mまでの断層の姿勢については、測定が困難である場合も多く、観測の空白域となることがある。本研究ではボアホール内に設置可能な宇宙線ミュオン検出器を開発し、地下浅部の3次元密度構造の測定を可能とした。また本手法で跡津川断層の破碎帯において密度構造測定を行ない、断層の姿勢の測定を行なった。この手法により、断層破碎帯や上盤下盤に密度差がある断層浅部の姿勢を測定することが可能である。

宇宙線ミュオンを用いた透視技術はミュオグラフィと呼ばれ、数十mから数kmまでの構造物の内部構造（平均密度）を非破壊的に測定できる事、一地点から広範囲の領域を測定する事が可能であることから、火山等巨大な構造物の透視が行われてきた。一方で宇宙線ミュオンは上空から飛来するため測定対象は検出器より上方に位置する物に限られる事、既存のシンチレータを用いた検出器はその大きさや電源から設置箇所が限られることから、地下の構造測定には不向きであった。そこでボアホール内に挿入可能な小型のミュオン検出器を開発した。この検出手法は特定の仰角（約 55 ± 15 度）に感度があるため、ボアホール内を深さ方向にスキャンすることで、地下浅部の3次元密度構造を測定する事を可能とした。この探査は密度に感度のある測定であり、断層破碎帯や上盤下盤に密度差がある断層の姿勢を測定することができる。

観測は防災科学技術研究所の跡津川ドリリングプロジェクトにより掘削したボアホールで行なった。ボアホールの直径は15cmであり、シンチレータを用いたミュオン検出器設置空間としては極小である。開発したミュオン検出器を図1に示す。検出器は長さ1mのシンチレータ16枚で構成されており、方位角ごとに到来ミュオン数を測定可能である。本測定器を用いて2016年から2017年にかけて、地下100mまで10m刻みに測定を行なった。

観測された各深さ各方向からのミュオン数から断層の姿勢の情報を得るためには、本観測状況を反映したミュオン数期待値モデルが必要である。モデルは地表におけるミュオンのエネルギースペクトル、詳細地形データ（DEM）による地中通過距離と地中での減衰量、検出器応答を組み合わせることで構築されており、断層の影響の少ない浅部でその妥当性を検証している。このモデルに断層を加え、断層の位置、姿勢を変えた場合のミュオン数期待値と、観測データの一致度を比較することで、断層の姿勢を推定する。一例として、断層を1枚板だと仮定し、走行、傾斜、深さ、幅、密度をパラメータとして、それぞれ走行傾斜を10度刻み、深さ、幅を10m刻み、密度を 0.1 g/cm^3 刻みで動かした結果、最も観測データと一致したパラメータと、走行-傾斜平面での χ^2 乗/自由度の様子を図2に示す。この結果は既知の大局的な走行や、ボアホール近傍の露頭に見られる傾斜と良く一致している。

本研究で構築したボアホール内ミュオン検出器を用いた断層浅部の探査手法は、既存の測定手法では得る事が難しかった地下数10mから数100mにおける広域の断層破碎帯や上盤下盤に密度差がある断層の姿勢を測定するユニークな手法となる。現在、本検出器の改良型として、検出器直径を120mmから86mmへと小型化することで、陸上掘削において最も多用される86コアで使えるようにし、かつ到来天頂角にも感度を持つ測定器を開発中である。

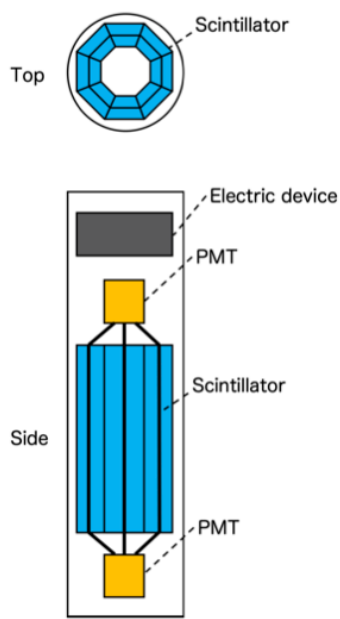


図 1: ボアホール設置型ミュオン検出器の模式図

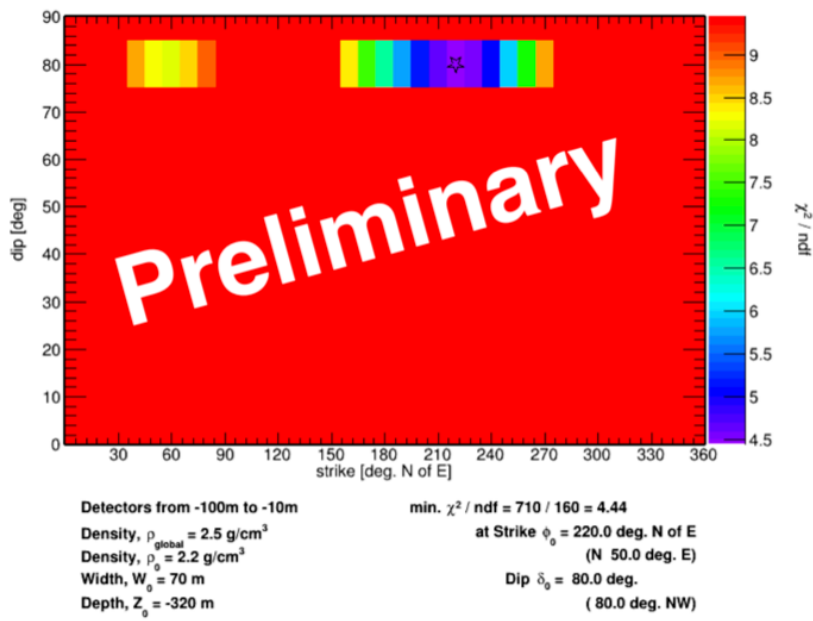


図 2:断層を 1 枚板であると仮定した場合に最も観測データと一致した断層のパラメータと、走行-傾斜平面における χ^2 乗/自由度の様子

On-fault geological fingerprint of earthquake rupture direction

*Yoshihiro Kaneko¹, Jesse Kears²

1. Kyoto University, 2. Victoria University of Wellington

How earthquake ruptures evolve and propagate are major outstanding questions in seismology. Our current understanding is limited to modern events captured by seismic networks, making it impossible to observe rupture propagation that occurred during earthquakes in the distant past. Here we propose a new method to discern the rupture propagation directions of past large earthquakes based on geological features preserved on fault slip planes. These features—called slickenlines—are striations formed during seismic slip and record dynamic fault movement during past surface-breaking earthquakes. We develop a theoretical framework that links slickenline curvature with rupture mode and rupture propagation direction for all faulting types and test our model using a global catalogue of historical surface-rupturing earthquakes with seismologically constrained rupture directions. Our results reveal that historical observations are consistent with theoretical predictions, thus providing a robust way to uncover the rupture directions of large earthquakes that lack instrumental data.

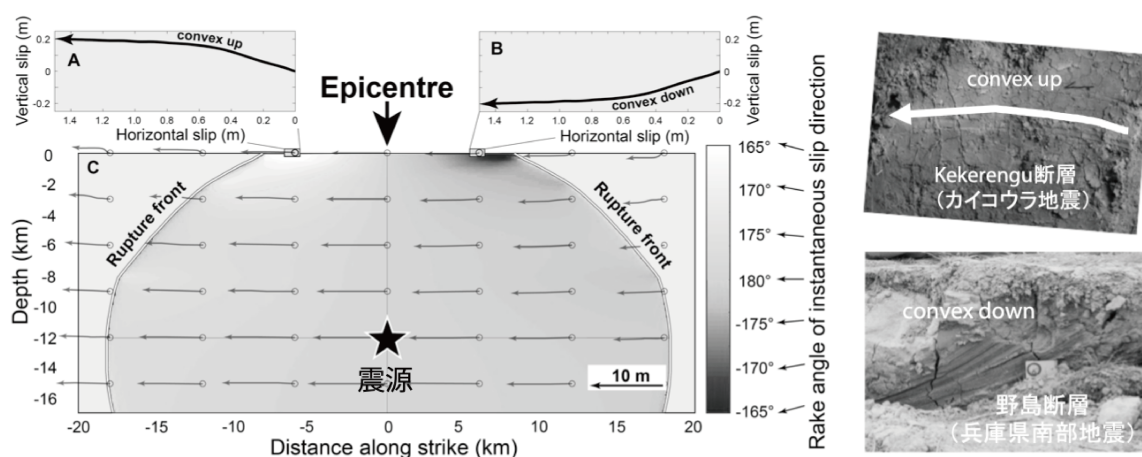


図1：動的破壊シミュレーションから見る断層面上の条線（太い黒の矢印）の特性。背景の色は地震開始から7秒後の条線（レイク角）を表している。震源の左側の方向Aの地表にある条線はConvex upを示しているが、反対側（方向B）はConvex downである。条線の特性は破壊伝播方向に依存し、実際に記録された断層条線の湾曲（右側の写真）と一致する。

Room C | Regular session | S10. Active faults and historical earthquakes

[S10]PM-1

chairperson: Juichiro Ashi(東京大学), chairperson: Haruo Kimura(電力中央研究所)

Fri. Oct 30, 2020 1:00 PM - 2:15 PM ROOM C

[S10-04] Organization and analysis of the aftershocks of Ansei Edo earthquake recorded in various historical documents

○Baba Michito¹ (1.University of Tokyo, Earthquake Research Institute)

1:00 PM - 1:15 PM

[S10-05] Temporal variation of the number of felt earthquakes recorded in the Omihachiman Ichida Family Diary: before and after the 1854 Iga-Ueno and 1854 Tokai-Nankai earthquakes (1842–1868)

○Kentarō Hattori¹, Ichiro Nakanishi¹, Junzo Ohmura² (1.Graduate School of Science, Kyoto University, 2.Earthquake Research Institute, University of Tokyo)

1:15 PM - 1:30 PM

[S10-06] Shallow geological structure and cold seep along active faults in the eastern Sagami Bay

○Juichiro Ashi¹, Ken Ikehara², Toshiya Kanamatsu³, Makoto Yamano¹, Ayanori Misawa²
(1.UTokyo, 2.AIST, 3.JAMSTEC)

1:30 PM - 1:45 PM

[S10-07] The Nankai subduction zone paleoearthquake history reconstructions using sequential radiocarbon dating of total organic carbon of in sediment cores obtained from off Kumano

○Io Miura¹, Juichiro Ashi¹, Natsumi Okutsu², Yosuke Miyairi³, Yusuke Yokoyama³ (1.The University of Tokyo, Graduate School of Frontier Sciences, Dept. of Natural Environmental Studies, 2.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3.Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo)

1:45 PM - 2:00 PM

[S10-08] Afterslip on the northernmost Hinagu fault associated with the 2016 Kumamoto earthquake

○Shinji Toda¹, Masayuki Torii², Masashi Omata³, Daisuke Sango⁴, Takashi Ishizawa¹

(1.International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, 2.Center for Water Cycle, Marine Environment and Disaster Mitigation, Kumamoto University, 3.Pasco Corporation, 4.Former: Pasco Corporation)

2:00 PM - 2:15 PM

Organization and analysis of the aftershocks of Ansei Edo earthquake recorded in various historical documents

*Baba Michito¹

1. University of Tokyo, Earthquake Research Institute

安政江戸地震は西暦1855年11月11日の午後10時ごろに発生した地震で、江戸市中で地震動による家屋の倒壊や火災を引き起こした他、関東一円にも大きな被害をもたらした。

安政江戸地震の本震や被災状況の分析は多くの研究で行われている一方で、安政江戸地震の余震活動についての研究は多くない。本研究では、様々な江戸で記録された史料中の余震記録を整理するとともに、それらの史料と江戸近郊で特に詳細な余震記録を含む『海老原家文書』（千葉）を比較することで安政江戸地震の余震活動の分析を試みた。

安政江戸地震の余震活動は様々な史料で記録されており、例えば余震の発生時間や揺れの程度を詳細に記録した『破窓の記』（江戸）や揺れの程度について特に詳細な『なるの日並』（江戸）などがある。他にも、余震記録を含む資料のうち江戸から離れた地点で記録されたものには『俊純日記』（群馬）や『豊田家日記』（千葉）、『飛騨地震年表』（岐阜）、『海老原家文書』（千葉）などがある。

『海老原家文書』は千葉県史料財団が『千葉県史』の編さん事業の一環として平成11年(1999)年から平成15年(2003)年12月までの4年5ヶ月にわたり本埜村(現印西市)の海老原文彦家を調査した際に発見された史料の一つで、『安政地震書留之事』として、竜腹寺村(印西市)の海老原善兵衛によって安政江戸地震による被害や余震が記録されている。石瀬他(2019)では『海老原家文書』や『成田村組合村々潰家破損書上帳』などを用いて、安政江戸地震の際の成田市や佐倉市における震度を再決定した。

本研究では上記の史料に加えて、『なるの後見艸』（江戸）、『斉藤月峯日記』（江戸）、『山口直毅日記』（江戸）、『安政二年乙卯珍話』（江戸）、『大沼氏記録』（長野）、『中村仲蔵記録』（江戸）、『巷街贅説』（江戸）、『日記抄』（江戸）、『村垣淡路守範政公務日記』（江戸）、『別本藤岡屋日記』（江戸）、『安政乙卯地震紀聞』（江戸）、『大地震大風見聞記』（江戸）、『自身の噂』（江戸）、『津軽藩御日記』（江戸）なども用いた。

余震について特に詳細に記録された史料のうち、『破窓の記』では丸の大きさ、丸の下に記録された時間で、それぞれ揺れの大きさと発生時を記録している。『海老原家文書』では基本的に「何月何日、昼(または夜)何時に(揺れの大きさ)が何回あった」という形式で余震を記録している。『破窓の記』と『海老原家文書』に記録されている余震記録を1日ごとにプロットすると以下の事が分かった。

まず、安政元年十月から十一月の間に『海老原家文書』にはおよそ140回、『破窓の記』には97回の揺れを記録しているが、安政元年十月二日から十日までの期間で、2つの史料中の余震の記録の数には大きな差があった、また、十月十日以降の揺れの記録数は両史料ともによく一致している。

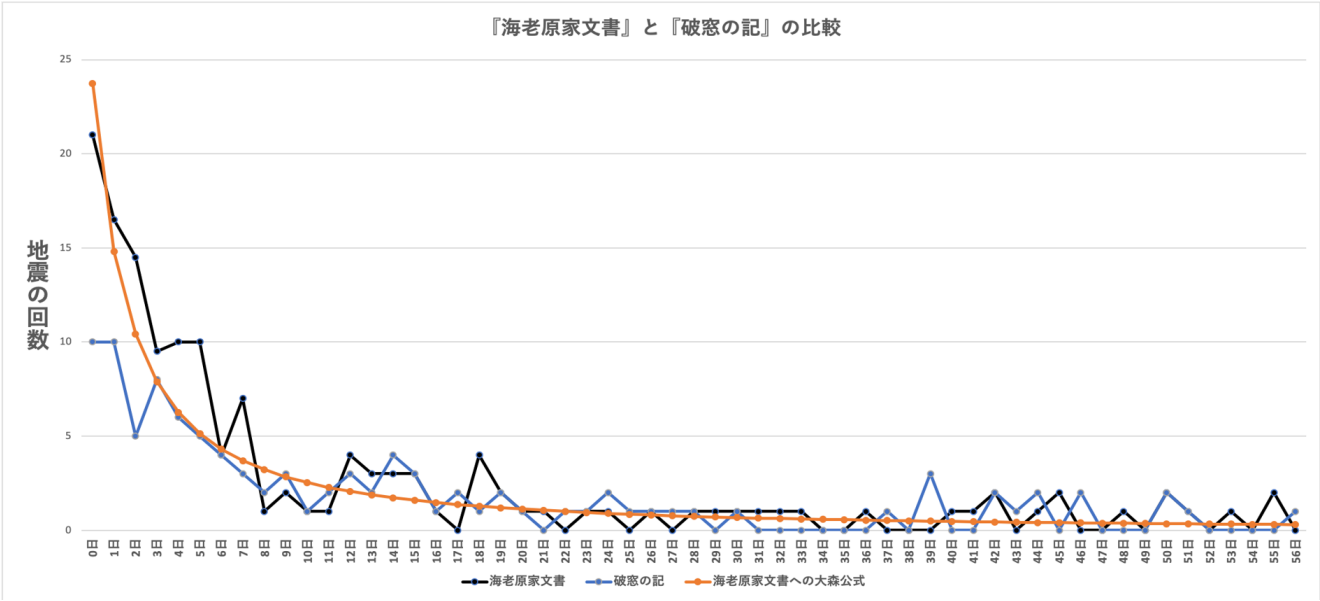
本研究では、余震活動を評価する方法の一つとして存在する大森・宇津公式(Ustu 1957)を用いた。海老原家文書の余震記録のうち、本震発生直後から十一月末日までの期間で大森・宇津公式をフィッティングしたところ図のようになり、フィッティングした曲線は『破窓の記』で記録された余震記録と本震から3日目以降でよく一致した。このことから、十月二日から五日の間で江戸の史料で見落とされた余震が、『海老原家文書』で記録されている可能性があると考えられる。

『海老原家文書』や『豊田家日記』などの江戸から離れた地域の史料と江戸で記録された史料中の余震記録を比較した。その結果、印西市では、中村(2011)で最大余震とされた十月六日の地震による揺れは大きくなかった可能性がある。また、中村(2011)では十月十二日の余震も最大余震に準ずる揺れとされていたが、『海老原家文書』を記録した地域では大きな揺れを記録していない。他にも、十月七日、十二日、十七日、二十二日、二十五日、十一月一日、の地震が複数の史料で記録されていた。

異なる史料に同一の時間で揺れが記録されていても、異なる地震を記録している可能性がある一方で、余震について詳細に記録した史料を複数比較することで、歴史地震の余震についても震央をより詳しく推定できるかもしれない。

本研究において熱心なご指導をいただいた神戸大学の杉岡裕子教授と『海老原家文書』を紹介していただいた

地震研究所の石瀬素子氏に感謝の意を表します.



Temporal variation of the number of felt earthquakes recorded in the Omihachiman Ichida Family Diary: before and after the 1854 Iga-Ueno and 1854 Tokai-Nankai earthquakes (1842–1868)

*Kentaro Hattori¹, Ichiro Nakanishi¹, Junzo Ohmura²

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

The Ichida Family Diary contains the records from 1804 to 1906, and the earthquake records from 1804 to 1872 are transcribed and have been used by several authors to study earthquakes and seismic activity during the period of nineteenth century. The Diary for 1804 to 1872 had been written by four heads (9th to 12th) of the Ichida Family, a merchant based in Omihachiman, Shiga Prefecture and having their branch office in Takasaki, Gunma Prefecture.

Hattori et al. (2020) have noticed the presence of the Takasaki office and also frequent business trips of the heads between Omihachiman and Takasaki and long stay of the heads in Takasaki. They have examined the earthquake records for 1804 to 1841 in the Ichida Family Diary and shown that the observation points of earthquakes in the Diary are divided into Omihachiman, Takasaki, and points on the trips between the two office towns, depending on the location of the writer of the Diary (the 9th and the 10th head).

Figure 1 shows the number of felt earthquakes and the locations where the writer felt the earthquakes for each year of 1804 to 1841 in the Ichida Family Diary. All the earthquakes recorded in the Ichida Family Diary were considered to be felt in Omihachiman and used in earthquake studies. However, a significant number of earthquakes felt in Takasaki are found in the Diary.

In the present paper, we study the earthquake records for 1842 to 1868 in the Ichida Family Diary. This period is fairly different in the situation of the Diary from the preceding period of 1804 to 1841. The 10th head retired and transferred the business of the Ichida Family including the Takasaki office to the 11th head, but the 10th head continued writing the diary after the retirement. Two kinds of diaries written by the 10th and 11th heads exist for 1847 to 1862 and we obtain homogeneous records of felt earthquakes in Omihachiman. Thus the earthquake records of Omihachiman during 1842 to 1868 may be considered much better in quality than those for 1804 to 1841.

Figure 2 shows the yearly number of the earthquakes felt in Omihachiman for 1842 to 1868. The number of the earthquakes may have a peak in 1848 and decrease to once or twice a year right before the occurrence of the 1854 Iga-Ueno earthquake or the 1854 Tokai-Nankai earthquakes. Spatial characteristics of this seismic activity will also be discussed.

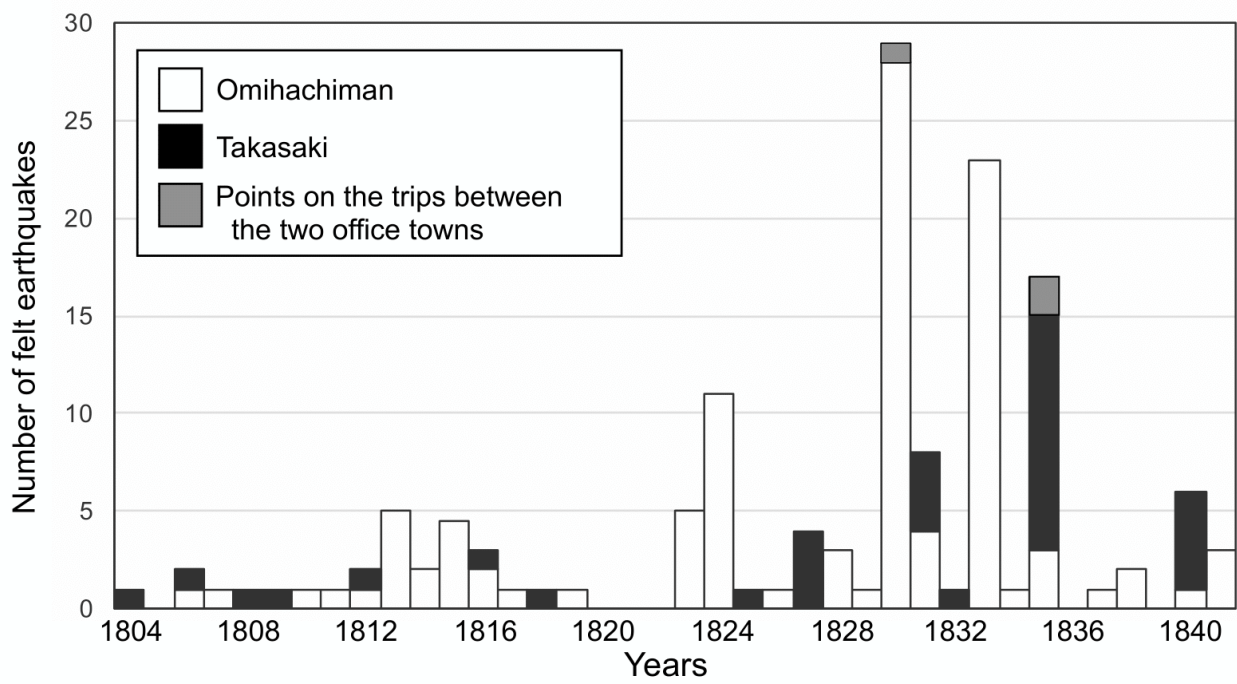


Fig.1 Number of felt earthquakes in the Ichida Family Diary (1804~1841). When the Diary records frequent earthquakes without the number of times, we consider it as three times.

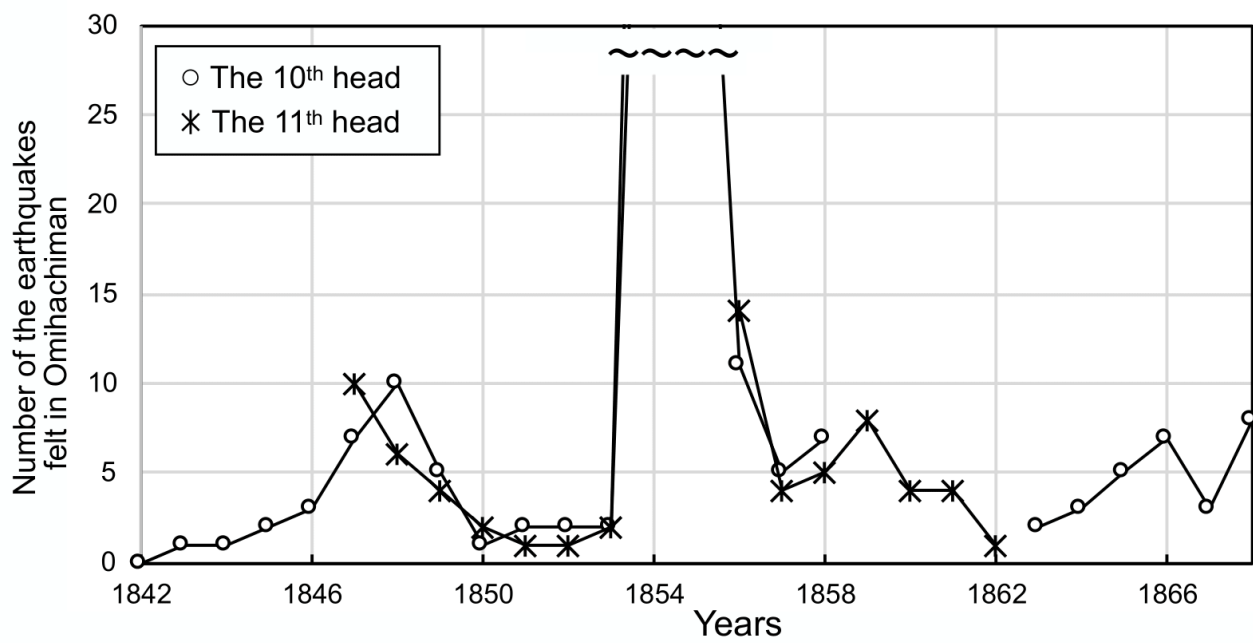


Fig. 2 Number of the earthquakes felt in Omihachiman in the Ichida Family Diary (1842~1868). When the Diary records frequent earthquakes without the number of times, we consider it as three times.

Shallow geological structure and cold seep along active faults in the eastern Sagami Bay

*Juichiro Ashi¹, Ken Ikehara², Toshiya Kanamatsu³, Makoto Yamano¹, Ayanori Misawa²

1. UTokyo, 2. AIST, 3. JAMSTEC

相模トラフ沿いでは巨大地震が繰り返し発生しており1923年大正関東地震の震源域である相模湾東部では、北西－南東方向に海丘が並び、その麓を繋げた相模構造線（木村, 1973, 科学）に活断層が推定されている（活断層研究会編, 1991, 新編日本の活断層）。海陸統合地殻構造調査では、国府津-松田断層の南東延長部に東傾斜の反射面が確認され、プレート境界断層とそこから分岐した断層が捉えられている（佐藤ほか, 科学, 2010）。しかし、最近の断層活動を議論するに足る海底浅部の変形構造と試料に基づく年代データは得られていない。海底浅部構造は高周波を用いたサブボトムプロファイラー（以下SBP）で探査されるが、複雑な地形の所では音波が散乱・減衰して構造を捉えることが困難である。本研究は、高分解能の浅部構造探査と断層試料の採取により最近の断層の活動を明らかにすることを目的とした。

白鳳丸KH-10-3, KH-11-9, KH-16-5次航海では、無人探査機NSSに周波数1.5～6kHzのチャープ式音源と受信機を搭載し、海底から高度10 m 程度で深海曳航を行い高解像度のSBP記録を得た。三浦海丘南西斜面の探査では、複数の断面において斜面麓に断層とみられる北東へ約30度で傾斜した反射面を捉えた（Misawa et al., 2020, Geo-Marine Letters）。反射面の上盤側はいずれの地点も無構造であるが、下盤側はほぼ水平な成層構造が認められる地点と崖錐堆積物によるカオティックな構造の地点があった。KH-16-5次航海では、SBPで位置を特定し、ピストンコアラで断層試料の採取を行った。コア試料は、深度1.2 mまでは暗緑色のシルト質粘土とシロウリガイの貝殻片を含んだ含礫泥層の互層からなる。深度1.2 mから2.6 mまではシルト質の薄層が15 cm前後の間隔で暗緑色の粘土中に挟在する。断層とみられる厚さ約5 mm のゾーンは、深度2.25 mに認められ、シルト質粘土と砂～細礫サイズの岩片から構成される。このゾーンは古地磁気による方位補正の結果、北～東の方向へ30度の傾斜を示し、SBP断面に見られた傾斜した反射面に相当すると解釈される。また、ゾーンの上下の浮遊性有孔虫の放射性炭素年代は、一部逆転がみられるものの、年代差は小さく、変位の小さい副断層である可能性が高い。複数の測線でのSBP記録から、北西－南東方向の断層はミ型の雁行配列をしているとみられ、ジョグの部分のSBP記録ではほぼ鉛直の断層が発達しており横ずれ変位が生じているものとみられる。

コア試料には、シロウリガイの貝殻片と礫からなる層が複数認められ、メタンを含んだ流体の過去の湧出を示す。白鳳丸KH-19-5次航海では、斜面基部を中心に生きたシロウリガイが広く分布し、限定的な分布ではあるがシンカイヒバリガイの生息も確認した。一般的にシンカイヒバリガイは高濃度のメタン湧出域に生息していることから、この地点でのメタン湧水が活発であることを示唆する。この地点では、冷湧水の湧出変動を調べるため、自己浮上式熱流量計を設置し約1年間の長期観測を実施中である。

The Nankai subduction zone paleoearthquake history reconstructions using sequential radiocarbon dating of total organic carbon of in sediment cores obtained from off Kumano

*Io Miura¹, Juichiro Ashi¹, Natsumi Okutsu², Yosuke Miyairi³, Yusuke Yokoyama³

1. The University of Tokyo, Graduate School of Frontier Sciences, Dept. of Natural Environmental Studies, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

南海トラフ沿岸における古地震履歴は、Garrett et al. (2016, Quaternary Science Reviews) によってまとめられ、各地域(セグメント)の地震発生履歴を概観することができる。しかし、コンパイルされた先行研究の多くは陸域のデータを用いたものであり、震源近傍の海域のデータを用いた例は限られる。

海底堆積物は、洪水や海底地すべり、地震といったイベントを記録しており、その堆積物の年代を調べることでイベントの発生年代が推定される。通常、海底堆積物の年代は、火山灰との対比、浮遊性有孔虫の放射性炭素 (^{14}C) 年代などを用いて推定することが多い。しかし、浮遊性有孔虫化石の産出に乏しく、浮遊性有孔虫の ^{14}C ($^{14}\text{C}_{\text{foram}}$) 年代測定に必要な量を得られない場合がある。また、地震履歴を推定するために、洪水性などの他の要因のものを排除し、イベントが地震性であることを確認する必要がある。

本研究では、浮遊性有孔虫化石の産出の少ない南海トラフの試料において、全有機炭素の放射性炭素 ($^{14}\text{C}_{\text{TOC}}$) 年代測定を高密度で測定することにより、地震性イベントの発生年代を高精度で推定した。本研究で用いた試料は、学術研究船「新青丸」のKS-14-8航海において、熊野沖の閉鎖型海盆から採取されたマルチプルコア試料、およびピストンコア試料である。この試料採取地点は、熊野川河口から南東に約80kmの地点に位置する外縁隆起帯に発達した小海盆であり、海底谷に直結していないことから、洪水などの陸からの直接的な土砂の影響を受けにくい。本研究では、海盆内の凹地(2372 m 地点)と凸地(2255m地点)からそれぞれ試料を採取した。これらの試料を、肉眼観察、X線CT画像による内部構造観察を行った後に、 $^{14}\text{C}_{\text{TOC}}$ 年代測定用の試料をサンプリングした。測定は東京大学大気海洋研究所に設置されているシングルステージ型加速器質量分析装置を用いた。その後、得られた年代は年代較正プログラムOxCal 4.4にて補正した。補正後に得られた放射性炭素年代とOkutsu et al. (2020, JpGU Abstract)によって得られた火山灰、 $^{14}\text{C}_{\text{foram}}$ 年代を比較し、高密度測定 $^{14}\text{C}_{\text{TOC}}$ 年代の有用性について検討した。

凹地のピストンコア(全長6.7m)のX線CT画像観察には、イベント層が18枚、火山灰層が1枚観察された。コアの深度に対する年代モデルにおいて、火山灰、 $^{14}\text{C}_{\text{foram}}$ 年代を用いて堆積速度を推定すると、深度2.5 - 3.1mで、およそ40 cm /kyrであり、それ以外の深度では、およそ70 cm/kyrである。 $^{14}\text{C}_{\text{TOC}}$ 年代モデルでもほとんど同様の堆積速度であるが、深度2.5 - 3.1 mにおいて堆積速度が変化する傾向も見られた。

凸地のピストンコア(全長7.1m)では、イベント層が14枚、火山灰層が2枚観察された。コアの深度に対する年代モデルにおいて、火山灰、 $^{14}\text{C}_{\text{foram}}$ 年代を用いて堆積速度を推定すると、約30 cm/kyrであり、 $^{14}\text{C}_{\text{TOC}}$ 年代も同様の堆積速度であった。

このことから、高密度の $^{14}\text{C}_{\text{TOC}}$ 年代と限定された層準における $^{14}\text{C}_{\text{foram}}$ 年代、火山灰から推定された年代を組み合わせ、 $^{14}\text{C}_{\text{TOC}}$ 年代との年代差(炭素リザーバー効果)を差し引くことで、高分解能な年代決定ができることが示された。

現在、得られているデータから、 $^{14}\text{C}_{\text{foram}}$ 年代との年代差は、凹地ではタービダイト層をのぞいて、813 - 1501年、凸地では1656 - 2071年古くなっており、深くなるほど年代差が広がるという傾向が見られてい

る． 今後はそれらをさらに検討することで， より高精度な年代決定が期待される．

Afterslip on the northernmost Hinagu fault associated with the 2016 Kumamoto earthquake

*Shinji Toda¹, Masayuki Torii², Masashi Omata³, Daisuke Sango⁴, Takashi Ishizawa¹

1. International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, 2. Center for Water Cycle, Marine Environment and Disaster Mitigation, Kumamoto University, 3. Pasco Corporation, 4. Former: Pasco Corporation

平成28年4月16日に発生した熊本地震（M7.3）では、日奈久断層帯高野-白旗区間北部（日奈久断層北端）から布田川断層帯布田川区間沿い約30kmにわたって地表地震断層が出現した（熊原ほか，2016）．地震断層沿いの最大右横ずれ変位は2.2mであるが，国土地理院電子基準点やALOS-2による干渉SAR解析からは，広域での地震時変動が捉えられた．さらに，衛星測地の結果からは，地震後も地震時変位と同じセンスの余効変動がさらに広域に継続的に生じていることがわかり，震源断層の余効すべりと下部地殻の粘弾性変形によってモデル化された（例えば，Pollitz et al, 2017）．また，中尾ほか（2018）は，GNSS臨時観測から日奈久断層帯で約21cmの余効すべりを推定した．今回，著者らは本震後約4年間に不定期に地震断層を確認した結果，日奈久断層北端の御船町高木地区において目視判別できるほどの顕著な余効すべりを確認したので報告する．

地震後1年間の最も明瞭な変化が確認されたのは，高木地区給油所裏のブロック塀である（図1）．テープ計測のため精度は高くないが，地震時には50cmだった右横ずれ（図1c）が1年後には約70cmにまで成長し，ブロックの剥離も確認されている（図1d）．また，本震の10ヵ月後に新設されたブロック塀にも約5cmの右横ずれが生じている（2020年8月時点）．さらに，その他3箇所地震後に修復されたアスファルト上に右横ずれに整合的な杉型雁行亀裂や1-2cm程度の上下変位，最大3cm程度の右横ずれ変位が認められた．

GNSSデータによる推定ではあるが，一般にプレート境界型の巨大地震では余効すべりの報告例は多い（例えば，1994年三陸はるか沖地震や2011年東北沖地震）．陸上では，サンアンドレアス断層帯上の1966年，2004年パークフィールド地震や2014年南ナバ地震が顕著で，地震時変位と同等かそれ以上の数10cmもの変位が確認されている（Lienkaemper & McFarland, 2017; Lienkaemper et al., 2016）．一方，日本列島内陸では，これまで余効すべりが地震断層上で目視確認されたことはない．間接的に1974年伊豆半島沖地震（M6.9）石廊崎断層にて断層を挟む四辺長計測の結果，地震後2年間に7-25mmの余効すべりが報告されているのみである（宮沢・衣笠，1977）．なお，干渉SARからは布田川断層・出ノ口断層沿いにも部分的に余効すべりが確認されているが，現地目視判別できる地点は認められない．「不完全な破壊」に終わった日奈久断層側で顕著な余効すべりが発生している事実は，今後の地震活動を評価するうえで重要であり，未破壊区間の長期評価にも影響する可能性がある．

謝辞：本研究に用いたALOS-2データは，ALOS-2PIプロジェクト（PI No.3183）のもと，JAXAより提供を受けたものである．

文献：Lienkaemper & McFarland (2017) BSSA, 107, 1082. Lienkaemper et al. (2016,) SRL., 87, 609. 熊原ほか（2016）日本地球惑星科学連合大会要旨．宮沢・衣笠（1977）地質調査所特別報告，6, 105. 中尾ほか（2018）平成28年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査報告書．Pollitz et al. (2017) GRL., 2017, 44, 8795.



図1. 余効すべりが確認された地点. a)矢印が確認地点. 基図は熊原ほか(2016). b)地震後に修復された路面に出現した雁行亀裂群. c)地震直後のブロック塀の変位, d)1年後のブロック塀の変位.

Room C | Regular session | S08. Earthquake physics

[S08]PM-2

chairperson: Naofumi Aso (Tokyo Institute of Technology)

Fri. Oct 30, 2020 2:30 PM - 3:30 PM ROOM C

[S08-01] Quantitative comparison between the radiation-corrected EGF and the conventional EGF

○Ritsuya Shibata¹, Genki Oikawa¹, Naofumi Aso¹, Junichi Nakajima¹, Satoshi Ide²

(1. Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2. Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo)

2:30 PM - 2:45 PM

[S08-02] Initial rupture process of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake inferred from 2D/3D source imagings

○Ryo Fujimoto¹, Masanao Komatsu¹, Hiroshi Takenaka¹ (1. Graduate school of natural science and technology OKAYAMA UNIVERSITY)

2:45 PM - 3:00 PM

[S08-03] Physical mechanisms of the 2017 Pohang earthquake, South Korea

○Toshiko Terakawa¹, Wooseok Seo², Kwang-Hee Kim², Jin-Han Ree³ (1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2. Pusan National University, South Korea, 3. Korea University, South Korea)

3:00 PM - 3:15 PM

[S08-04] Time dependent changes in aftershock activities of the 2016 Central Tottori Prefecture Earthquake revealed by dense seismic observation

○Yoshihisa Iio¹, Satoshi Matsumoto², Joint aftershock observation group of the Central Tottori Prefecture earthquake (1. DPRI, Kyoto University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University)

3:15 PM - 3:30 PM

Quantitative comparison between the radiation-corrected EGF and the conventional EGF

*Ritsuya Shibata¹, Genki Oikawa¹, Naofumi Aso¹, Junichi Nakajima¹, Satoshi Ide²

1. Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2. Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

波形インバージョンは震源過程の時空間発展を詳細に推定する手法として広く用いられている。この波形インバージョンは、グリーン関数と滑り量を時空間でコンボリューションして生成される合成波形で観測波形を再現するアプローチであり、その波形残差を最小にするような各小断層の時間ステップごとの滑り量を最小二乗的に求めるのが一般的である。このとき、グリーン関数として、仮定した速度構造から理論的に求められるグリーン関数 (例えばBouchon, 1981; 武尾, 1985)を用いる場合と、近傍で発生した同様のメカニズムの地震の波形を経験的グリーン関数 (例えばHartzell, 1978)として用いる場合がある。経験的グリーン関数は、実際の複雑な速度構造の影響を説明できる一方で、両者の震源が十分に近いことやメカニズムの類似性が要求されるため、解析対象とする地震の震源近傍に本震と似たメカニズムの地震が存在しなければ適用できないという欠点がある。

しかしながら、地震波形の複雑性に大きく寄与する観測点近傍の経路がほぼ共通であれば、震源位置やメカニズムが多少異なる地震の波形でも、放射パターンの影響を補正した上でグリーン関数として用いることができる可能性がある。そこで本研究では、波形インバージョンの放射パターンを考慮した経験的グリーン関数を用いた波形インバージョン手法を開発し、理論波形を用いてテストを行った。具体的には、波線理論を仮定して、射出角とモーメントテンソルの情報から、対象とする地震の小断層での滑りと経験的グリーン関数に用いる地震について理論的な放射パターン(Aki and Richards, 2002)を計算し、その比を用いてP波・SH波・SV波のそれぞれについて観測点毎に補正をおこなった。

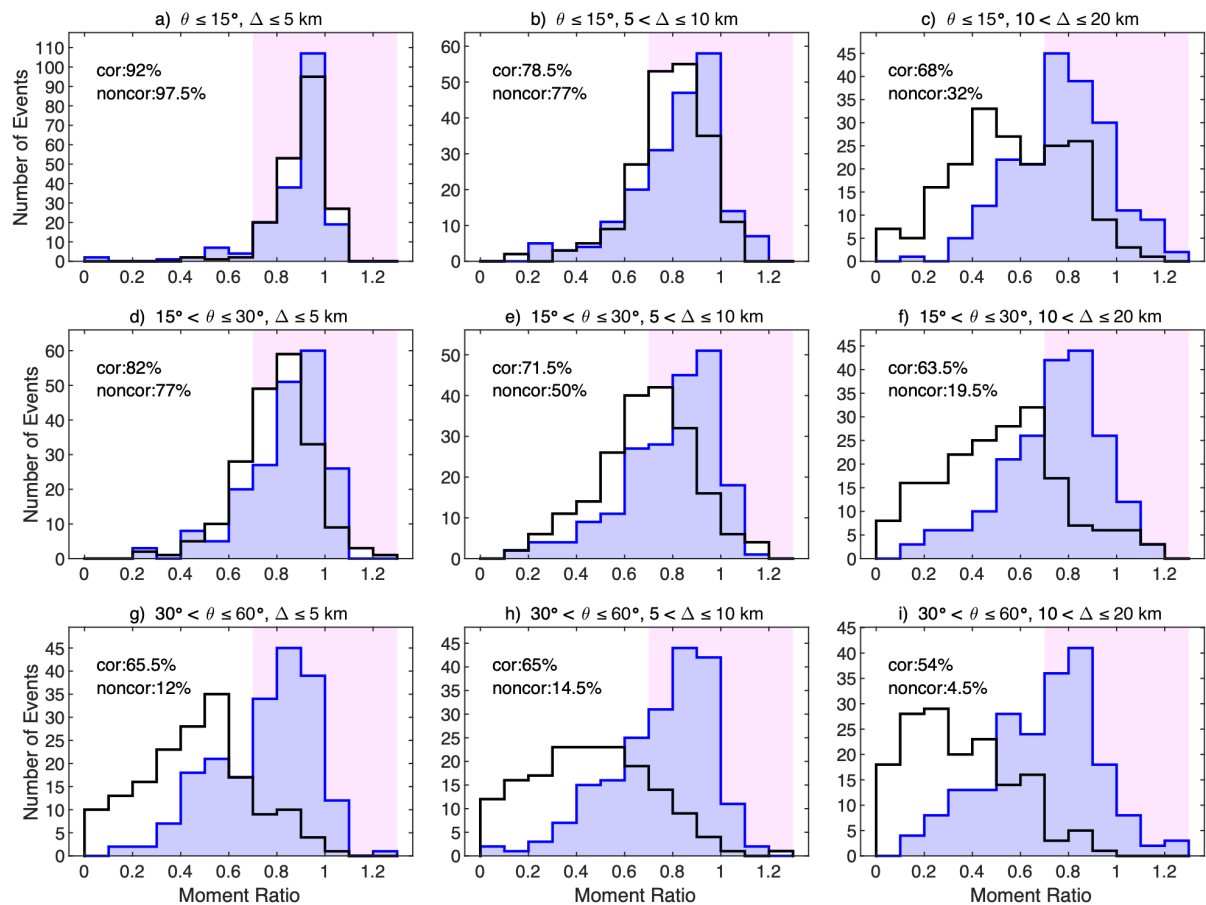
我々はこの新手法を、本震(target event)と経験的グリーン関数として用いる地震(reference event)の理論波形を用いた合成テストに適用した。この合成テストでは、放射パターンを補正した経験的グリーン関数(新手法)を用いた場合と補正しない経験的グリーン関数(従来手法)を用いた場合の結果を、各地震の震源位置とメカニズム、観測点の配置の設定が同じ条件で比較した。我々はこの試行を下記に示す①と②をそれぞれ組み合わせた9つのケースについてそれぞれ200回ずつ繰り返した。

- ①target eventとreference eventの震央間の距離(Δ)について $\Delta \leq 5$ km、 $5 < \Delta \leq 10$ km、 $10 < \Delta \leq 20$ kmの3ケース
- ②target eventとreference eventのカガン角(θ)について $\theta \leq 15$ 度、 $15 < \theta \leq 30$ 度、 $30 < \theta \leq 60$ 度の3ケース

速度構造としてJMA2001(上野ほか, 2002)を仮定し、target eventとreference eventの深さは全て9.99kmとした。target eventとreference eventの理論波形はfkアプリケーション(Zhu and Rivera, 2002)を用いて計算した。また、target eventとreference eventのモーメントマグニチュードは同じ値としており、推定されるモーメント比(モデルパラメータ)は1になるはずである。

以下の図は、上述した9つのケースごとに、200サンプルのインバージョンのモーメント比の分布を示したものである。各ケースについて、 Δ と θ が所定の範囲内になるようにサンプルを生成している。青と白の分布は、それぞれ放射パターンを補正した新手法と補正しない従来手法による結果の分布を表している。赤く塗ったゾーンは推定されたモーメント比が0.7~1.3の範囲であり、cor:、noncor:の後に記された数値はそれぞれ新手法と従来手法のうち赤いゾーンに入った割合を示している。

合成テストの結果、多くのケースで放射パターンの補正によりモーメント比が改善された。しかしながら、本研究では直達波のみについて放射パターンの補正を行なっている一方で、自由表面には直達波とは異なる放射を持つ比較的大きな変換波や反射波が存在するため、多くのサンプルではモーメント比が正確に1とはならないことがわかった。そこで、本研究では、各ケースについて結果を比較して、経験的グリーン関数として用いることが妥当な範囲を検討した。



Initial rupture process of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake inferred from 2D/3D source imagings

*Ryo Fujimoto¹, Masanao Komatsu¹, Hiroshi Takenaka¹

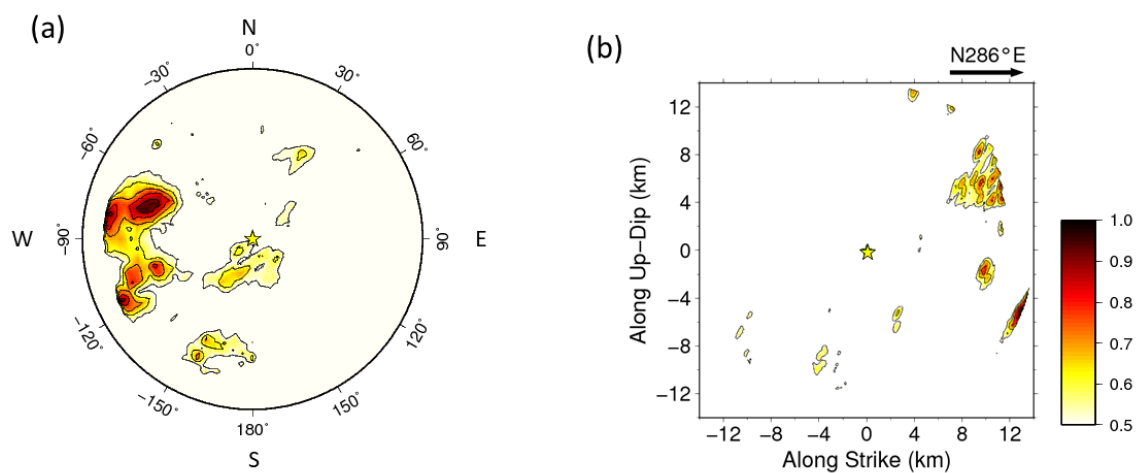
1. Graduate school of natural science and technology OKAYAMA UNIVERSITY

2018年9月6日北海道胆振東部を震源とするM_{JMA}6.7の地震が発生した。本研究ではソースイメージング法 (Takenaka *et al*, 2009, EPS)を用い、地震波の放射強度の時空間変化から、初期の破壊過程を推定する。

この地震は震源近傍の地下構造や余震分布が複雑であるため、その破壊過程も複雑であると考えられる。そこではじめに、破壊過程の推定に断層面の仮定を必要としない3次元のソースイメージング法を、発震から4秒間に対して適用した。次に、気象庁初動発震機構解の断層パラメータを基に仮定した、走向286°、傾斜48°の断層面で2次元のイメージングを実施した。解析には気象庁、北海道、札幌市の震度観測点、防災科学技術研究所のK-NET、KiK-net観測点で記録された加速度波形記録を積分した、速度波形の上下動成分のP波部分を使用した。また、震源は気象庁一元化震源(北緯42.691°、東経142.007°、深さ37.0 km)を採用した。

発震から4秒までの3次元イメージングの結果、発震から約3秒以降に、震源の北西から南西方向で放射強度の強い領域が見られた。この3次元イメージングの結果は気象庁初動発震機構解の北傾斜の節面と調和的であった。そこで、これを断層面と仮定した2次元のイメージングを実施した。その結果、同じく発震後から約3秒以降に震源の北西から南西方向で、放射強度の大きな領域が見られた。これらの結果より、発震後に震源から広がっていった破壊が発震から約3秒後に、震源の北西から南西方向で大きなすべりを引き起こしたと推定される。この震源の北西から南西方向の放射強度の大きな領域は、気象庁の推計震度分布図における震央西側の揺れの大きな領域の存在と調和している。

謝辞：防災科学技術研究所のK-NET、KiK-net及び気象庁、北海道、札幌市の強震観測データを使用しました。



発震後4秒間のイメージング結果.放射強度の変化を色の濃淡で示す.図中央部の黄色の星印は震源.
 (a)3次元のイメージング結果.イメージング範囲は半径16 km,震源から鉛直上下に15 kmの円筒状領域
 で,放射強度の鉛直方向の最大値を表示. (b) 2次元のイメージング結果.走向286°,傾斜48°の断層
 面を仮定.

Physical mechanisms of the 2017 Pohang earthquake, South Korea

*Toshiko Terakawa¹, Wooseok Seo², Kwang-Hee Kim², Jin-Han Ree³

1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2. Pusan National University, South Korea, 3. Korea University, South Korea

浦項（ポハン）地震は、2017年11月15日に韓国南東部の浦項市を震源に発生した中規模地震（ M_w 5.5）である。プレート境界から数百km以上離れた韓国において、この浅い地殻内の地震は2016年慶州地震と共に韓国観測史上最大級の地震であり、韓国社会に数世紀内で最も甚大な被害を引き起こした。しかも、この最大級の地震は、韓国国家プロジェクトとして進められていた浦項地熱開発の発電所内で発生した。このため、この地震は、学界だけでなく一般社会からも大きな注目を集めている。韓国政府により地震後直ちに組織された国際調査団は、詳細な調査・研究を基に、2019年3月、この地震は地熱開発による注水（最大坑口圧：PX1: 27.2 MPa, PX2: 89.2 MPa）が原因で発生したものであると結論付けた（Korean Government Commission, 2019; Ellsworth et al., 2019）。この結論の最も重要な根拠は、浦項地震が約0.5 km²という局所的な注水域内（注水井の到達深度：4.2 ~ 4.3 km）を震源に発生したという事実である。しかし、震源域での間隙流体圧レベルや、本震に続く活発な地震活動の駆動メカニズムはよくわかっていない。

本研究では、地震のメカニズム解から応力場と間隙流体圧場を推定する2つの逆解析を通じて、この地震の発生メカニズムを考察する（Terakawa et al., 2020）。まず、Kim et al. (2020) による91個の地震のメカニズム解（データ期間：2017年11月15日～2018年3月18日、前震2個、本震、余震88個）をデータに、CMTデータインバージョン法（Terakawa and Matsu'ura, 2008）により、震源域周辺域（東西：14 km, 南北：11 km, 深さ：7 km）の応力場のパターンを推定した。対象地域の応力場は東西圧縮の横ずれ断層型と推定され、これは浦項地震発生前のより長い期間（6～20年間）のデータを用いた応力インバージョンの結果（Chang et al., 2010; Soh et al., 2018）とよく一致する。本研究で用いたデータの大部分は余震であるが、浦項地震前後で応力場のパターンに大きな変化が見られないことは、震源域の絶対応力が応力降下量に比べて有意に大きいレベルにあることを示唆する。また、この応力場の特徴は、西南日本の応力場とよく似ており、フィリピン海プレートの沈み込み運動が海溝から数百km以上も離れた背弧の応力場を形成する原因であることを示唆し、大変興味深い。

次に、この応力場と対象領域での応力直接測定により推定された摩擦係数の値（0.4）（Hofmann et al., 2019）を基に、同じデータセットから地震メカニズムトモグラフィー法（e.g., Terakawa et al., 2010）により対象領域の平均的な間隙流体圧場を推定した。震源の近傍には、注水井の開口部付近にピークを持つ間隙流体圧の高まりがあり、最大間隙流体圧（の静水圧からの超過圧力）は 8 ± 3 MPaであった。これは注水による最大坑口圧の1/10程度に相当し、静水圧からの超過圧力を静岩圧と静水圧の差で規格化した無次元量（間隙流体圧係数C）では $C = 0.12$ となる。

浦項地震本震のメカニズム解は、走向227度、傾斜75度、すべり角143度の逆断層成分を含む右横ずれ断層タイプであった。この断層は、震源域の応力場に対する最適面の補助面に近い向きであり、十分な剪断応力を蓄積しながら、法線応力が高いために滑りにくい断層であった。簡易的に震源域での間隙流体圧の時間発展を調べたところ、前震の発生から本震の発生まで間隙流体圧レベルが増加する傾向が見られた。その後、間隙流体圧は急速に減少し、本震発生から8時間程度で静水圧に戻ることがわかった。本震の断層強度の低下量は約7 MPaと見積もられ、これは数千年間の応力蓄積量に対応する大きな値である。この結果は、注水が浦項地震の発生に重要な役割を果たしたことを支持する。浦項の南方40 kmでは、2016年に慶州地震（ M_w 5.4）が発生しており、浦項にも地震を引き起こすに足る十分な応力が蓄積されていたであろう。点震源で考えると、最適面とその補助面でのすべりは同じ変形を引き起こす。つまり、注水で弱くなった補助面で地震すべりが始まれば、周辺域の応力は効率よく解放され、これにより浦項地震は注水量に比べて規模の大きな地震へと成長した

可能性がある。

Terakawa et al. (2020), doi:10.1029/2019GL085964

Time dependent changes in aftershock activities of the 2016 Central Tottori Prefecture Earthquake revealed by dense seismic observation

*Yoshihisa Iio¹, Satoshi Matsumoto², Joint aftershock observation group of the Central Tottori Prefecture earthquake

1. DPRI, Kyoto University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University

2016年10月21日に発生した鳥取県中部地震(Mj6.6)の余震域に、本震発生の翌日早朝から設置を開始した69点の高感度地震計および周辺の高感度定常観測点のデータを用いて、10月22日から12月15日までの約2か月間に発生した余震の震源とメカニズム解を正確に決定し、地震発生と応力場や流体との関係の解明を目指して、それらの時間変化を調べた。

最初に、余震数がほぼ同じとなるように解析期間を2分割し、メカニズム解のパラメータの時間変化を調べた。断層付近を境に余震域を東部と西部に分け、5km×5km×5kmの領域毎に、T,P軸の方位と傾斜角の変化の有無を、KS-testによって検討した。その結果、ほとんどの領域においては、各パラメータの分布が前半・後半の2つの期間で同一であるという帰無仮説が棄却されなかったが、余震域西部の浅部、深さ0~5kmにおいて、T,P軸の方位角の両方において、帰無仮説が棄却された領域が見つかった。つまり、そこでは、T,P軸の方位角が時間変化していることが示された。深部においても、いくつかの領域で帰無仮説は棄却されたが、複数のパラメータで系統的にみられておらず、また、サンプル数が少ないため、その解釈は難しい。

上記では、時間変化の有無を定量的に調べるために、5km×5km×5kmの領域毎というやや広い領域における分布の形を検討したが、T軸の方位の空間分布とその時間変化をより細かく見てみると、浅部において断層からやや離れた地域で、かつ、本震における静的な応力変化が圧縮場となっているところで、T軸の方位の特に大きなものが時間とともに減少している傾向が見られた。これらは、数が少ないため、上記のtestでは検知されなかったものと推定される。また、本震断層近傍における時間変化の有無をKS-testにより検討したところ、本震断層近傍ほど、帰無仮説が棄却されない傾向が見られた。本震断層に近いほど余震数が多いので、この結果の解釈は慎重に行うべきだが、これらの結果は、本震断層近傍では余震活動は時間的に安定しているが、本震断層から離れたところでは、時間変化している可能性が示唆される。

以上のように、鳥取県中部地震の余震域において、特に本震断層に近い余震が多く発生しているところでは、本震の数日後から約2か月間は、震源分布やメカニズム解の時間変化は見られなかった。このことは、鳥取県中部地震の余震活動が、基本的には、高い流体圧による強度低下によってコントロールされていないことを示している。しかしながら、5km×5km×5kmのいくつかのサブ領域では時間変化が検出された。また、本震断層から離れた浅部の本震における静的な応力変化が圧縮場となっているところでは、サンプル数が少ないため有意であることを定量的には示すことが出来ていないが、時間変化している可能性が示唆された。時間変化している可能性のある領域が静的な応力変化と関係することは、時間変化が応力変化に起因することを示唆しているが、本震断層近傍ではなくやや離れたところで見出されたことは、この時間変化が本物であるとしても、単純に静的な応力変化だけで説明できるものではないことを示唆している。