

## Seismotectonic characteristics in the Yun-Chia-Nan area, Southwest Taiwan: Insight from seismic ambient noise

\*Chih-Yin Lin<sup>1</sup>

1. Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University, Minhsiung, Chiayi, Taiwan

The seismic ambient noise tomography (ANT) has been widely used in regions lack of earthquake data to image subsurface seismic velocity as well as its spatial-temporal variations using surface wave type of Green's function extracted from cross correlation of seismic ambient noise. Due to vigorous collision of the Eurasian Plate and the Philippine Sea Plate, the deformation front of Taiwan composes complex folds and fault systems. The Yun-Chia-Nan area is suited in southwest segment of the deformation front, where includes southern portion of the Western Foothills and the Coastal Plain. The detailed physical properties for the above mentioned areas are not well known as a result of less seismicity. Thus, we had conducted a 2-year project to deploy a temporary broadband array with 14 stations. The project is not only to monitor seismic activities in the Yun-Chia-Nan area, but also to derive an average 1-D shear-wave velocity structure using seismic ambient noise.

By analyzing time domain empirical Green's function (TDEGF) from the cross correlation of seismic ambient noise between station-pairs, we are able to obtain 1-D shear-wave velocity profile. Our results indicate that between the period of 1–10 s, shear-wave velocity shows prominent low value in the upper crust. We also compare time variant of shear-wave velocity profiles derived from a station pair (HNME-RELI) located in the east of the Chukuo fault. Interestingly, we find that, after 10-years, shear-wave velocity becomes greater as depth is beyond 2 km. This feature might imply crack closing due to intensive orogenic process in Taiwan.

Keywords: Ambient Noise, 1-D shear-wave velocity structure

## Study on property of seismogenic activity for Chianan area

\*JING-YUAN HUANG<sup>1</sup>, YI YING WEN<sup>1</sup>, SHIH CHUNG WEN<sup>1</sup>

1. National Chung Cheng University

Previous study has suggested Chianan area as the region with higher probability to generate large earthquake in next 30 years. In this study, we collect the P and S arrival data (2008/11~2015/12) determined by the Central Weather Bureau (CWB) and two local seismic networks, which were operated by National Center for Research on Earthquake Engineering (NCREE) and Integration of geodynamic research in Chiayi area (ITCH) projected by National Chung Cheng University, respectively. Through applying the 3D relocation analysis and stress inversion, we attempt to further understand the properties of seismic activity and the implication of the tectonic structures in this area.

Our results show that: (i) The faulting mechanisms do not exactly correspond with the regional tectonic stress and active faults in this area. The primary strike-slip faulting mechanism might be related to the preexisting normal fault. (ii) The lowest friction coefficient was obtained in the southwest region to the Meishan fault with a value of 0.3. This might respond to the complicated fracture system of the Meishan fault. (iii) The seismic activities in Chianan area most range between 5 to 15 km depth, and the various friction coefficients (0.3~0.5) indicate the complex fault structure and heterogeneity in this region. We hope this integrated seismic data and study result can provide some helpful information for potential seismic-hazard assessment in Chianan area.

Keywords: Chianan area, Seismic activity, Stress inversion

# Seismotectonics of the Taiwan Shoal Region in the Northeastern South China Sea: Insights from the Crustal Structure

\*Jinlong Sun<sup>1</sup>, Huilong Xu<sup>1</sup>, kuiyuan Wan<sup>1</sup>

1. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences

An earthquake cluster, which included the great September 16, 1994, earthquake, occurred in the Taiwan Shoal region on the outer rise of the Manila Trench. Several previous studies had given important information to better our understanding of the September 16, 1994 earthquake. However, little is known about the earthquake cluster. To understand the mechanisms that controlled and generated the earthquake cluster, it is important to investigate the deep crustal structure of the Taiwan Shoal region. We present a two-dimensional seismic tomographic image of the crustal structure along the OBS2012 profile, which is based on ocean-bottom seismograph (OBS) data. The structure exhibits a high-velocity anomaly in the upper crust beneath the Taiwan Shoal, which is flanked by low-velocity anomalies. We studied 765 earthquakes (Richter magnitude  $M_L > 1.5$ ) that occurred from 1991 to 2015. An analysis of the earthquake epicenters, regional faults, and crustal structure allowed us to better understand the nature of the active tectonics in this region. The results of these analyses indicate that (1) the high-velocity area represents major asperities where stress is concentrated and corresponds to the location of the earthquake cluster; (2) the earthquake cluster was influenced by fault interactions. However, the September 1994 earthquake was independent of these seismic activities and instead was associated with the reactivation of a pre-existing fault, and (3) an accumulation of compressive stress may trigger future damaging earthquakes in the Taiwan Shoal region, because the slab pull was resisted by the exposed pre-collision accretionary prism and the resistive force caused the in-plane compressive-stress accumulation.

Keywords: earthquake cluster, crustal structure, Taiwan Shoal

## Sedimentary structure of Bohai Bay Basin from teleseismic receiver functions

\*Yan Wu<sup>1</sup>, Lupei Zhu<sup>2</sup>, Zhifeng Ding<sup>1</sup>

1. Institute of Geophysics, China Earthquake administration, 2. Saint Louis University

We calculated P receiver functions from 895 teleseismic events which were recorded by 70 temporary stations from Sep. 2006 to Sep. 2009. For the stations were located on thick sedimentary structures, it is difficult to identify the P to S converted phases from the Moho discontinuity. The first few seconds after the direct P arrival are mainly controlled by the sedimentary structure response which includes the Ps phase generated by the bottom of the basin and its multiple reverberations in the basin. Based on these characteristics, we used the Neighborhood Algorithm method to invert the data and try to find the best basin velocity model that produces the best fit between the theoretical receiver functions and observed receiver functions in the least-square sense. The results show that there is a series of depressions and uplifts orienting in the NNE direction in BBB. The sedimentary depth in the Jizhong depression is about 3~6 km. There are several secondary depressions and uplifts alternating in the NNE or NE direction in the Jizhong depression. The thickest sedimentary layer is located in the eastern Jizhong depression. The above shows the characteristics of a half rift valley (rift valley)-half horst (horst) structure. The ratio of the P velocity to S velocity in the uplifts is larger than the one of the depressions. It may be caused by the lack of the Paleogene stratum in the uplifts. The proximity of geothermal fields and the high Vp/Vs-ratio depressions shows a close relationship between the high temperatures of the stratum and the large ratios of P velocity to S velocity; The average of S velocity of the sedimentary in the uplift is smaller than the one in the depression, and the thicker sedimentary area always has a higher average S velocity. These characteristics show a relationship of thick sedimentary and high average S velocity. It may be because that the thicker sedimentary area has a thicker Paleogene stratum and the S velocity of the Paleogene stratum is much higher than the ones of the Neogene and Quaternary stratums. The sedimentary structure provides a base to determine crustal structure beneath the BBB.

Keywords: Neighborhood Algorithm method, Teleseismic receiver function, Seidimentary Structure

## レシーバ関数による大和海盆下のリソスフェア構造推定

### Lithosphere structure of the Yamato Basin from receiver function analysis

\*悪原 岳<sup>1,2</sup>、中東 和夫<sup>3</sup>、篠原 雅尚<sup>2</sup>、山田 知朗<sup>2</sup>、山下 裕亮<sup>4</sup>、塩原 肇<sup>2</sup>、望月 公廣<sup>2</sup>

\*Takeshi Akuhara<sup>1,2</sup>, Kazuo Nakahigashi<sup>3</sup>, Masanao Shinohara<sup>2</sup>, Tomoaki Yamada<sup>2</sup>, Yusuke Yamashita<sup>4</sup>, Hajime Shiobara<sup>2</sup>, Kimihiro Mochizuki<sup>2</sup>

1. Now at Department of Earth, Ocean and Atmospheric Sciences, University of British Columbia、2. 東京大学地震研究所、3. 東京海洋大学、4. 京都大学防災研究所

1. Now at Department of Earth, Ocean and Atmospheric Sciences, University of British Columbia, 2. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 3. Tokyo University of Marine Science and Technology, 4. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Large earthquakes have occurred around the Japan Sea, including the 2007 Chuetsu-oki Earthquake. To estimate the risk of potential earthquakes and tsunami, better understanding of the lithosphere structure beneath the Japan Sea is an issue of importance. Revealing the lithosphere structure would also help constrain the formation process of the Japan Sea, which has been considered due to back-arc opening. In this study, we conducted receiver function analysis using broad-band ocean-bottom seismometers (BBOBS) installed at the Yamato Basin from 2013 to 2016. The final goal of this study is to detect a lithosphere-asthenosphere boundary (LAB), which provides fundamental information of the oceanic plate i.e., thickness of the lithosphere. Teleseismic P waveforms recorded by horizontal sensors at offshore sites are significantly affected by multiple reflections and conversions within the sediment layer beneath the seafloor. These multiple phases have potential to overprint signals from the LAB. We, therefore, first estimated shallow (< 20 km) crustal velocity structure from receiver function waveform inversion. Then we searched for the depth and contrast of the LAB which can better explain observed waveforms than any structure models without the LAB. As a result, we acquired good waveform fitting with only the shallow crustal structure. We also found that the LAB located at 70 km depth can improve the waveform fitting. Unfortunately, we could not identify LAB-related signals visually due to dominating sediment reverberations. Statistical approach is left for future studies to confirm whether this improvement in the waveform fitting truly represents the existence of the LAB or not.

キーワード：リソスフェア構造、海底地震計、レシーバ関数解析

Keywords: Lithosphere structure, Ocean-bottom seismometer, Receiver function analysis

## 南西諸島周辺海域の三次元速度構造

### 3D velocity model in the region of Nansei-Shoto

\*勝山 美奈子<sup>1</sup>、清水 祥四郎<sup>1</sup>、新井 麗<sup>1</sup>、佐藤 伸明<sup>1</sup>、田中 恵介<sup>1</sup>、高橋 成実<sup>1,2</sup>、金田 義行<sup>1,3</sup>

\*Minako Katsuyama<sup>1</sup>, Shoshiro Shimizu<sup>1</sup>, Rei Arai<sup>1</sup>, Nobuaki Sato<sup>1</sup>, Shigeyoshi Tanaka<sup>1</sup>, Narumi Takahashi<sup>1,2</sup>, Yoshiyuki Kaneda<sup>1,3</sup>

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 防災科学技術研究所、3. 香川大学

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. Kagawa University

#### Introduction

This is a part of the project “Comprehensive evaluation of faults information on offshore Japan”, by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). The project consists of three themes, 1) Collecting seismic survey data and building a database of offshore faults, 2) Interpreting distribution of active faults using seismic data collected, and conducting the seismic re-processing by leading-edge seismic technology for the seismic data obtained in previous decades, 3) Building the fault models for a simulation of strong motion and tsunami disaster, based on the interpreted faults.

Our purpose of this study is make a 3D velocity model in the Nansei-Shoto to provide with the support we needs to interpret faults.

The Nansei-Shoto is one of the islands arcs along the West Pacific continental margins (Philippine Sea Plate subducts Eurasian Plate) and has typical topographic features as an islands arc, where marginal seas, volcanic fronts, islands arcs, sedimentary basins and trenches are regularly and zonally aligned toward the Pacific Ocean.

#### Methods and data

3D velocity model was constructed by seismic data, well data (ex. T-D curve), and ocean bottom seismometer(OBS) refraction survey data which were obtained by a various agencies and private companies. Horizons such as acoustic basement and unconformity were interpreted using reflection seismic sections. Conrad discontinuity and Mohorovicic discontinuity were interpreted on refraction surveys and consulted previous study. Layer structure and velocity model were created on these horizons by calculation using “Decision Space Geoscience”. The bin size of model creation is 1,000m horizontally (in the case of crust, 500m is applied) and 100m vertically, respectively.

#### Result

We obtain a result that understands geological structure in Nansei-Shoto. So in this session, we will take a discussion concerning structural characteristic based on the 3D velocity model.

キーワード：3次元速度構造、南西諸島、琉球列島、沈み込み帯

Keywords: 3D velocity model, Nansei-Shoto, Ryukyu islands, subduction zone

## 南西諸島周辺海域における断層分布

### Fault distribution around the Nansei-Shoto

\*佐藤 伸明<sup>1</sup>、清水 祥四郎<sup>1</sup>、高橋 成実<sup>1,2</sup>、新井 麗<sup>1</sup>、安藤 五郎<sup>1</sup>、勝山 美奈子<sup>1</sup>、田中 恵介<sup>1</sup>、金田 義行<sup>1,3</sup>

\*Nobuaki Sato<sup>1</sup>, Shoshiro Shimizu<sup>1</sup>, Narumi Takahashi<sup>1,2</sup>, Rei Arai<sup>1</sup>, Goro Ando<sup>1</sup>, Minako Katsuyama<sup>1</sup>, Shigeyoshi Tanaka<sup>1</sup>, Yoshiyuki Kaneda<sup>1,3</sup>

1. 海洋研究開発機構、2. 防災科学技術研究所、3. 香川大学

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. Kagawa University

This is a part of the project “Comprehensive evaluation of faults information on offshore Japan”, by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). The project consists of three themes, 1) Collecting seismic survey data and building a database of offshore faults, 2) Interpreting distribution of offshore faults using seismic data collected, and conducting the seismic re-processing by leading-edge seismic technology for the seismic data obtained in previous decades, 3) Building the fault models for a simulation of strong motion and tsunami disaster, based on the interpreted faults. This report is the outcome, fault distribution around the Nansei-Shoto (Ryukyu Islands), in 4<sup>th</sup> year since the start of the project.

Interpretation of fault distribution must be based on features of geography and geological structure from seismic reflection data. Bathymetric data are one of the important clue to understand offshore fault distribution. The effective use of high resolution bathymetric data makes progress in the comprehensive study of the relationship among seafloor topography, subsurface structure and seismicity. In the project, we have created detailed bathymetric maps around the Nansei-Shoto (e.g. red relief image map) by the integration of topographic data including high quality bathymetric data with multi-narrow beam echo sounder, and achieved the interpretation of offshore faults with the bathymetric map, seismic profiles by front-line seismic processing and earthquake mechanism information from the Japan Meteorological Agency. As a result, 441 offshore faults were found out around the Nansei-Shoto through the project. The Ryukyu Islands is a chain of islands that extends about 1,200 km from Kyushu to Taiwan. The Ryukyu Islands system is located at a convergent plate margin where the Philippine Sea Plate is subducting beneath the Eurasia Plate along the Ryukyu Trench. In the southwestern Ryukyu arc, the subduction is oblique to the trench, while in the northeastern Ryukyu arc, it is perpendicular to the trench. The Oblique subduction causes extensional stress in the back-arc and compressive or extensional stresses in the fore-arc depending on the sense of arc curvature and the relative motion of the plates.

The study area can be divided into three regions, based on differences in the basic stress pattern and developing fault type: back-arc, fore-arc, and island arc. In the back-arc basin called as the Okinawa Trough, there are numerous normal faults with echelon structures, east-northeast to northeast trending, resulted in the initial rifting and subsequent spreading process. In the southeastern area of the Kyushu Island, where is a rift zone in the northeastern extension of the Okinawa Trough and is under E-W compression with strike-slip faulting type, normal faults and lateral strike-slip faults develop concurrently. For the fore-arc region, on the trench side, reverse faults, that are considered to be spray faults derived from the plate boundary, exist within accretionary prism or fore-arc basins, meanwhile on the island arc side, normal faults are formed on the terrace slope in parallel to the island arc. In the island arc region, normal faults, which cut perpendicular to the axis of the arc like transvers fault, develop such as the Tokara Gap, the Kerama Gap and the Miyako Saddle, and these structural gaps play structural transmit zone between the trench and the trough.

Here we will introduce the fault distribution with several seismic profiles around the Nansei-Shoto.

キーワード：海域断層、反射法地震探査、琉球弧、琉球トレンチ、沖縄トラフ

Keywords: offshore fault, seismic reflection survey, Ryukyu Arc, Ryukyu Trench, Okinawa Trough



## Downward continuation of multichannel seismic data for full waveform inversion -Synthetic modeling-

\*大平 茜<sup>1,2</sup>、小平 秀一<sup>1,2</sup>、野 徹雄<sup>2</sup>、藤江 剛<sup>2</sup>

\*Akane Ohira<sup>1,2</sup>, Shuichi Kodaira<sup>1,2</sup>, Tetsuo No<sup>2</sup>, Gou Fujie<sup>2</sup>

1. 横浜国立大学、2. 海洋研究開発機構

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

In order to constrain the physical properties of fine scale crustal structure, it is necessary to integrate borehole-scale physical property data and regional-scale seismic data. Recently high-resolution reflection images and detailed seismic velocity structures have become available by using a combination of a synthetic ocean bottom experiment (SOBE) method [Harding et al., 2007] with pre-stack depth migration and/or full waveform inversion, in addition to the conventional data processing of multichannel reflection data [e.g., Arnulf et al., 2012; 2014; Harding et al., 2016]. The SOBE method is based on the downward continuation [Berryhill 1979], which is a technique to extrapolate the observed wavefield to an arbitrary surface by applying Kirchhoff's integral extrapolation, for the purpose of improving the imaging condition. However, most previous studies using the SOBE method are limited to data from mid-ocean ridges, where the seafloor depth is shallow, with few exceptions [Ghosal et al., 2014]. Here we present the results of synthetic modeling tests to evaluate the effect of the downward continuation to multichannel seismic data obtained in other tectonic region (e.g., subduction zone). At first, we redatumed both shot and receiver gathers from synthetic streamer data (up to 12 km offsets) to a depth close to the seafloor, and confirmed that the refraction phases from shallow part of the crust become first arrivals at near offsets. As a next step, we plan to a travel time tomography using the first arrivals, and compare the spatial resolution with that of original data. In this presentation, we will discuss the effect of the downward continuation and application methods to real seismic data and geometries.

## 房総沖スロースリップイベント周辺域の3次元地震波速度構造とフィリピン海プレート上面の反射波強度分布

### 3-D seismic velocity structure and distribution of reflection intensity near the main slip area of the Boso Slow Slip Event

\*河野 昭博<sup>1</sup>、佐藤 利典<sup>1</sup>、篠原 雅尚<sup>2</sup>、望月 公廣<sup>2</sup>、山田 知朗<sup>2</sup>、植平 賢司<sup>3</sup>、眞保 敬<sup>3</sup>、町田 祐弥<sup>4</sup>、日野 亮太<sup>5</sup>、東 龍介<sup>5</sup>

\*Akihiro Kono<sup>1</sup>, Toshinori Sato<sup>1</sup>, Masanao Shinohara<sup>2</sup>, Kimihiro Mochizuki<sup>2</sup>, Tomoaki Yamada<sup>2</sup>, Kenji Uehira<sup>3</sup>, Takashi Shimbo<sup>3</sup>, Yuya Machida<sup>4</sup>, Ryota Hino<sup>5</sup>, Ryosuke Azuma<sup>5</sup>

1. 千葉大学大学院理学研究科、2. 東京大学地震研究所、3. 防災科学技術研究所、4. 海洋研究開発機構、5. 東北大学大学院理学研究科

1. Graduate School of Science, Chiba University, 2. Earthquake Research Institute of Tokyo University, 3. NIED, 4. JAMSTEC, 5. Graduate School of Science, Tohoku University

房総半島沖には、太平洋プレート (PAC)、フィリピン海プレート (PHS)、本州島弧 (HIA) が接し合う三重会合点が位置している。PACは日本海溝でHIAとPHSの下へ沈み込み、PHSは相模トラフでHIAの下へ沈み込んでいる。この2つの海洋プレートの沈み込みによって、房総沖スロースリップイベント (房総沖SSE) などの様々な地震学的イベントが発生しており、それらを理解するために関東周辺の地下構造を知る事は重要である。

自然地震、人工地震を用いた探査が過去に実施されているものの、依然として明らかになっていない領域が多いのが現状である。この状況を改善するため、2009年7月から8月にかけて、房総半島沖に3つの測線と合計27台の海底地震計 (OBS) が設置され、エアガンを用いた構造探査が実施された。

2016年10月の日本地震学会秋季大会(S06-P09; 河野他)では3つの測線下の2次元地震波速度構造と、PHS上面周辺の反射波強度分布について発表し、房総沖SSE発生領域周辺においてPHS上面から強い反射波が見られる事が明らかになった。今回は更に、測線外に設置されたOBSのエアガンデータを用い、房総沖スロースリップ発生領域周辺の3次元地震波速度構造とフィリピン海プレート上面の反射波強度の面的分布を求める。

3次元地震波速度構造は、取得されたエアガン発震データから漸進的モデル改良法 (Sato and Kenett, 2000) と屈折波初動トモグラフィ (FAST) (Zelt and Barton, 1998) を用いて求めた。次に、プレート境界面からの反射波と思われるフェイズの走時をピックし、その走時データにTraveltime mapping手法 (Fujie et al. (2006)) を適用して反射面の分布の推定を試みる。測線外に設置されたOBSデータから、PHS上面からの反射波と思われるフェイズが見られるようであり、現在反射波強度分布の推定に向けて解析中である。

謝辞：本研究の遂行にあたり、2009年7月から8月にかけて実施された洋上構造探査に白鳳丸を使用させて頂きました。船長以下乗組員の方々に感謝いたします。またその翌年OBSの回収を行った (株) 新日本海事 (現 (株) 深田サルベージ建設) の新潮丸の船長以下乗組員の方々にも心から御礼申し上げます。また、本研究は文部科学省による「地震及び火山噴火予知のための観測計画」の支援、および科研費 (25287109) の補助を受けました。

キーワード：3次元地震波速度構造、海底地震計、フィリピン海プレート、房総沖スロースリップイベント、Traveltime mapping

Keywords: 3D seismic refraction survey, Ocean Bottom Seismometer (OBS), Philippine Sea plate, Boso slow slip event, Traveltime mapping

## 陸上および海底地震観測データの統合解析による日向灘の3次元地震波速度構造の推定

Three dimensional seismic velocity structure in the Hyuganada region, western part of Nankai Trough, Southwestern Japan, revealed by an integration analysis of inland and ocean-bottom seismic observation data

近藤 健太郎<sup>1</sup>、\*清水 洋<sup>1</sup>、山下 裕亮<sup>2</sup>、八木原 寛<sup>3</sup>、馬越 孝道<sup>4</sup>、松島 健<sup>1</sup>、平野 舟一郎<sup>3</sup>、内田 和也<sup>1</sup>  
Kentaro Kondo<sup>1</sup>, \*Hiroshi Shimizu<sup>1</sup>, Yusuke Yamashita<sup>2</sup>, Hiroshi Yakiwara<sup>3</sup>, Kodo Umakoshi<sup>4</sup>,  
Takeshi Matsushima<sup>1</sup>, Shuichirou Hirano<sup>3</sup>, Kazunari Uchida<sup>1</sup>

1. 九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター、2. 京都大学防災研究所、3. 鹿児島大学大学院理工学研究科附属南西島弧地震火山観測所、4. 長崎大学環境科学部

1. Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 3. Nansei-Touko Observatory for Earthquakes and Volcanoes, Kagoshima University, 4. Faculty of Environmental Science, Nagasaki University

プレート境界地震の発生ポテンシャルや発生準備過程を理解するためには、プレート間の固着の特性を明らかにする必要がある。近年、日向灘では小繰り返し地震（相似地震）やスロースリップイベントの発生などからプレート境界の固着の不均質が明らかにされている。本研究では、海底地震観測データを用いたトモグラフィ解析により、陸上観測データのみでは十分に解くことができない日向灘の3次元速度構造の推定を行い、固着の不均質をコントロールする構造・物性について知見を得ることを目指す。

使用したデータは陸上と海底地震観測データの併合処理によって震源再決定を行ったイベント446個および九州大学地震火山観測研究センターで震源決定されたイベント229個を合わせた計675個である。3次元インバージョン解析にはZhang and Thurber (2003)によるdouble difference tomography法を用いた。このプログラムで用いる初期構造には、Joint hypocenter determination法 (Crosson, 1976) によって得られた1次元速度構造を使用した。また、初期構造と同時に得られた観測点補正值を利用することで、海底のごく浅部にある堆積層による影響をできるだけ除去した。また得られた結果はCheckerboard Resolution test (CRT; Grand, 1987)を行うことで分解能を評価した。

沈み込む高速度のスラブとともに、その上部のマントルウェッジにおける低速度・高ポアソン比の領域がイメージされた。また、九州パラオ海嶺の沈み込みに対応する領域は相対的に低速度であることが示され、プレート境界付近のポアソン比は、下盤（スラブ内）では深さとともに小さくなる傾向が見られた。これらは、Yamashita et al.(2012)によって推定されたプレート間固着強度と相関がある可能性を示唆するが、さらなる検証が必要である。

キーワード：地震波速度構造、日向灘、プレート境界

Keywords: seismic velocity structure, Hyuganada, interplate

# Seismic wave attenuation and local depth of seismogenic layer in the crust beneath Kyushu, Japan

\*志藤 あずさ<sup>1</sup>、松本 聡<sup>1</sup>、大倉 敬宏<sup>2</sup>

\*Azusa Shito<sup>1</sup>, Satoshi Matsumoto<sup>1</sup>, Takahiro Ohkura<sup>2</sup>

1. 九州大学 大学院理学研究院附属 地震火山観測研究センター、2. 京都大学 大学院理学研究科附属 地球熱学研究施設  
1. Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University, 2. Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University

Attenuation of seismic wave energy is caused by two factors: scattering and intrinsic absorption. The former is the scattering of seismic wave energy due to random heterogeneities in seismic wave velocity and the density of the medium, while the latter is the conversion from seismic wave energy to heat energy by internal friction due to anelasticity of the medium. Quantifying scattering and intrinsic attenuation is important to understanding the structure of the lithosphere in terms of seismotectonic features. In this study, we separately estimate scattering and intrinsic attenuation by applying the multiple lapse time window analysis (MLTWA) technique [Hoshihara et al., 1991].

In all the studied area, intrinsic attenuation dominates over scattering attenuation at low frequencies (1-2 Hz), whereas scattering attenuation predominates at higher frequencies (> 2 Hz). The results show strong spatial variations in scattering and intrinsic attenuation that depend mainly on the tectonic setting. Areas with strong scattering and intrinsic attenuation geographically correlate with the locations of the volcanoes and active faults.

We compare the relationships between scattering attenuation and intrinsic attenuation quantitatively in the typical tectonic settings, volcanoes and active faults. Areas with relatively strong scattering attenuation correspond to the volcanoes, while area with relatively strong intrinsic attenuation correspond to the active faults. We also compare the scattering attenuation and intrinsic attenuation with local cut off depth of inland earthquakes, D90 defined as the depth, above which 90% of the earthquakes occur [Matsumoto et al., 2016]. Areas with relatively strong scattering attenuation correspond to shallow seismogenic layers. The areas geographically correlate with volcanoes.

## Acknowledgments

This work was partly supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP15J40067.

キーワード：地震波減衰、地震発生層

Keywords: seismic wave attenuation, seismogenic layer

## 2016年熊本地震震源域の地震波トモグラフィー

### Tomographic imaging of the 2016 Kumamoto earthquake area

\*山下 慧<sup>1</sup>、趙 大鵬<sup>1</sup>、豊国 源知<sup>1</sup>

\*Kei Yamashita<sup>1</sup>, Dapeng Zhao<sup>1</sup>, Genti Toyokuni<sup>1</sup>

1. 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター

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

2016年4月16日01:25(JST)に、布田川-日奈久断層帯の破壊によりM7.3の熊本地震本震が発生した。この本震の直前には、2016年4月14日21:26と4月15日00:03にそれぞれM6.5とM6.4の前震が起これ、2016年12月31日までに震度1以上の余震が4000回以上発生した。地震の活動域は、熊本県から大分県の別府-万年山断層帯にわたる別府-島原地溝帯の大部分であり、広域にわたり地震活動が活発になった。また、別府-島原地溝帯は多くの活断層と阿蘇山、九重山、鶴見岳といった活火山が存在し、熊本地震による火山活動への影響も懸念される。そこで、本研究では九州地方に研究領域を設定し地震波トモグラフィーによる解析を行い、別府-島原地溝帯の3次元地下構造を推定し、熊本地震の発生機構について解明を試みた。

本研究では、研究領域を九州地方の北緯30.5°~34.5°、東経129.0°~133°に設定し、等方性地震波トモグラフィー法(Zhao *et al.*, 1992, 2011)と異方性トモグラフィー法(Wang and Zhao, 2013)を用いて大量のP波とS波走時データを解析した。三次元速度構造を推定するためのグリッドは、等方性成分に対して水平方向に0.2°間隔、異方性成分に対して0.4°間隔で配置し、深さ方向は地表から1, 10, 25, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 km(フィリピン海スラブ内には高速4%の速度異常を与え、その上面から5, 15, 30 km)に配置した。使用した地震観測点は195点で、震源データは気象庁一元化震源カタログ及び東北大学で読み取られた走時データを使用した。

トモグラフィーの結果からは、九州中央部の前弧地域のマントルウェッジに顕著な低速度異常領域が確認された。これはフィリピン海スラブの脱水によって生じたマントルの蛇紋岩化した領域を示唆している(e.g., Abe *et al.*, 2013)。また、この地域にはtrench-parallel方向にFast Velocity Direction(FVD)をもつP波の方位異方性が確認された。背弧地域のマントルウェッジにおいても顕著な低速度異常がイメージングされ、trench-normal方向にFVDをもつP波の方位異方性が確認された。これはスラブの脱水と高温のマントル上昇によるものと思われる(e.g., Zhao *et al.*, 2011; Wang and Zhao, 2013)。別府-島原地溝帯に沿う断面では、熊本地震の前震と本震は上部地殻にある高速度異常領域に位置するが、その下の下部地殻と最上部マントルには低速度と高Poisson比の異常体が見られる。これらの結果から、フィリピン海スラブの脱水とマントルウェッジにある流体が上部地殻まで上昇し、布田川-日奈久断層帯に浸入したことにより、2016年の熊本地震を誘発したと考えられる(Zhao and Liu, 2016)。

#### 参考文献

Abe, Y., T. Ohkura, K. Hirahara, T. Shibutani (2013) Along-arc variation in water distribution in the uppermost mantle beneath Kyusyu, Japan, as derived from receiver function analyses. *J. Geophys. Res.* **118**, 3540-3556.

Wang, J., D. Zhao (2013) P-wave tomography for 3-D radial and azimuthal anisotropy of Tohoku and Kyushu subduction zones. *Geophys. J. Int.* **193**, 1166-1181.

Zhao, D., A. Hasegawa, S. Horiuchi (1992) Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan. *J. Geophys. Res.* **97**, 19909-19928.

Zhao, D., W. Wei, Y. Nishizono, H. Inakura (2011) Low-frequency earthquakes and tomography in western Japan: Insight into fluid and magmatic activity. *J. Asian Earth Sci.* **42**, 1381-1393.

Zhao, D., X. Liu (2016) Crack mystery of the damaging Kumamoto earthquakes. *Science Bulletin* **61**, 868-870.

キーワード：トモグラフィー、2016年熊本地震

Keywords: tomography, the 2016 Kumamoto earthquake

## 長岡地域における震源分布と速度構造（その3）

### Earthquake Distribution and Velocity structure in Nagaoka Region

\*関根 秀太郎<sup>1</sup>、澤田 義博<sup>1</sup>、笠原 敬司<sup>1</sup>、佐々木 俊二<sup>1</sup>、田澤 芳博<sup>1</sup>、阿部 信太郎<sup>2</sup>、吉見 雅行<sup>2</sup>

\*Shutaro Sekine<sup>1</sup>, Yoshihiro Sawada<sup>1</sup>, Keiji Kasahara<sup>1</sup>, Shunji Sasaki<sup>1</sup>, yoshihiro tazawa<sup>1</sup>, Shintaro Abe<sup>2</sup>, Masayuki Yoshimi<sup>2</sup>

1. 地震予知総合研究振興会、2. 産業技術総合研究所

1. Association for the Development of Earthquake Prediction (ADEP), 2. National Institute of Advanced Science and Technology (AIST)

新潟県長岡地域はひずみ集中帯に位置し、近年、中越地震や中越沖地震を発生してきた地域でもある。この地域には、2010年11月より地震予知総合研究振興会が稠密観測網（AN-net）を展開しており、そのデータを用いて速度構造等を求めた[関根・他(2016)]。本研究では、AN-netで観測されてきたデータおよび過去の一元化処理震源の検測値に加えて、長岡平野の南部に展開されている産総研の地震観測網のデータを用いることにより、長岡地域の詳細な震源分布および速度構造を求めることにする。

15点の観測点で構成されており、ちょうどAN-netの南側に展開されている。各観測点では、速度型地震計VSE355-EINが設置されており、オフラインでデータが取得されている。本研究においては、2011年11月から2013年の2月までの101個の地震に対して自動読み取りを行った結果をデータとして加えている。

Double Difference tomography)（以降、tomo-DD法とする）を用いた。解析範囲は、水平方向には、37.5N, 138.75Eを中心として、N35E方向に回転した±100kmと、そこに直交する±90kmの領域であり、水平方向には5km間隔のグリッドを、また深さ方向は、0kmから35kmまでは2.5km間隔、その下は、10km間隔で100kmまで配置した。読み取りデータとしてはAN-netで読み取られた2010年10月1日から2017年1月31日に発生した地震のうち、震源の再決定を行った後の地震および1997年以降2016年9月までに発生した地震のうち、M2.0以上で観測された周辺域の地震、計15010個の地震を用いた。なお、解析領域内における観測点の数は174点である。走時の総数は、絶対走時として、P波369,852本、S波328,375本、相対波線の組はP波1,364,619組、S波1,151,624組を用いている。

AN-netの南部に位置している観測点を加えたことにより、長岡平野の南部の解像度が上がり平野の形状の推定がよりよく求められることがわかった。現在は、長岡地域で発生した地震のみをマージしているため、今後は、範囲を広げてデータを加えることにより、より広域での詳細な速度構造を求めることができると考えられる。

謝辞

本研究では、気象庁、防災科学技術研究所、東大地震研究所、東北大学、京都大学の観測点で観測された波形を用いております。また、気象庁一元化処理震源のカタログに載っている検測値を用いております。記して感謝いたします。

キーワード：トモグラフィ、速度構造

Keywords: tomography, velocity structure

# 大阪湾岸中央南部地域に沿う泉北グラーベン北域を横断する重力調査

## Gravity survey across the northern region of Senboku Graben along southern area of central Osaka bay

\*領木 邦浩<sup>1</sup>

\*Kunihiro Ryoki<sup>1</sup>

1. 兵庫職業能力開発促進センター電気・電子系地球環境電気資源学教室

1. Institute of Geoscience and Electric Resource Science, Department of Electric and Electronic Systems, Hyogo Polytechnic Center

### 1. はじめに

人口の集中した堆積盆上の都市ではよく知られていない伏在活断層による地震被害が懸念され、堆積基盤の構造を把握することが喫緊の課題である。筆者はこれまで大阪泉北地域において上町断層帯の重力構造を明らかにしてきた(例えば、領木(2011)、領木(2015)など)。特に領木(2016)では、高石地区での重力測定において湾岸に沿うグラーベン構造が推定され、上町断層帯沿岸部(吉岡・他, 2013)の北縁部分の位置が確認された。今回は領木(2016)の測線の約3km北側に設定した東西測線で重力測定を行った結果を報告する。

### 2. 対象地域

今回の測線(図1)は大阪府堺市中区学園町東詰から同市西区浜寺公園町の浜寺水路護岸までの東西約8kmである。このうち、南海本線浜寺公園駅南から石津川西までの2.2km間は杉山(1997)の反射法地震探査帯第2測線にほぼ一致する。

### 3. 測定方法

重力測定にはLaCoste & Romberg相対重力計G-308を使用した。測定点は原則として国土地理院基本基準点および公共街区基準点・補助点上とし、各点の測量成果を重力補正時に使用した。街区補助点が亡失している場合は地図上でその元位置を確認して重力測定点とした。平野部での測定のため、地形補正は施されていない。

### 4. 測定結果

図2に東西方向に投影したfree air異常および単純Bouguer異常の結果を示す。横軸は今回の測線の西端からの距離である。図2には吉岡・他(2013)が示した距離0.40 km付近に位置する推定地下活断層(1)、0.96 km付近に伏在活断層(2)とこれに伴う活撓曲、1.68 km付近にやや位置が不明確な活断層(3)とこれに伴う活撓曲、3.60 km付近にやや位置が不明確な活断層(4)のそれぞれの位置を併記している。これらの断層はいずれも今回の測線におおむね直交している。

### 5. 考察

重力断面から推定できる断層位置を基盤の落差の中心で代表させると、その位置は地表で観察される活断層位置から上盤側にずれている。これは岩田・他(2013)が堆積層を剛体球集合体で表現して計算した数値シミュレーションの結果からも支持される。

図2に示された結果のうち、測線の始点でブーゲー重力異常が低くなっているのは幅170m以上ある浜寺水路の地形効果に起因するものと考えられる。図2に見られるブーゲー異常の分布から、断層(3)は西落ち、断層(4)は東落ちが示唆される。また、重力異常値は距離4.00km付近から滑らかに上昇している。これは三国丘高重力異常地域の外周部に測線が沿っていることに起因すると考えられる。

以上の測定に基づいて今後より詳細な議論を行うためには、地形補正および広域重力補正を施す必要がある。なお、浜寺水路より西側は広大な埋立地に立地する石油等のコンビナートであり、保安上余人の立ち入り



が大変難しい地区であるが、彼の地がグラーベン構造を示すか否かを検証するためには、ここでの稠密な重力測定が不可欠である。

## 謝辞

秋田大学国際資源学部資源開発環境学教室の西谷忠師教授(当時・現名誉教授)を始めとする物理探査学研究室の皆様には重力測定に際し過大な配慮を賜った。記して謝意を表します。

## 参考文献

岩田・他(2013): 断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造解明のための調査観測, 上町断層における重点的な調査観測平成22~24年度成果報告書, 文部科学省研究開発局・京都大学国土地理院(2017): 基準点成果等閲覧サービス, <http://sokuseikagis1.gsi.go.jp/index.aspx>. 防災研究所, p. 66 - 163.

領木(2011): 和泉市西北部-中央部での都市地盤構造解析のための重力測定, 近畿職業能力開発大学校紀要, vol. 19, p. 18 - 19.

領木(2015): 基本基準点測量および街区基本調査の成果を援用した都市域での野外調査 - 基準点上での稠密重力測定例 -, 日本地球惑星科学連合2015年大会予稿集, S-SS31-PO5.

領木(2016): 上町断層帯を横断する高石-堺測線に沿う泉北グラーベンでの稠密重力測定, 日本地球惑星科学連合2016年大会予稿集, SSS26-P01.

杉山(1997), 上町断層系の反射法弾性波探査, 平成8年度活断層研究調査概要報告書, 工業技術院地質調査所, 105-113.

吉岡・他(2013): 活断層の活動区間を正確に把握するための詳細位置・形状等の調査, 上町断層における重点的な調査観測平成22~24年度成果報告書, 文部科学省研究開発局・京都大学防災研究所, p. 5 - 65.

キーワード: 大阪平野、上町断層帯、地下構造、逆断層、数値地理情報、公共基準点

Keywords: Osaka Plain, Uemachi fault zone, subsurface structure, reverse fault, digital geographic information, public control point



図1 重力測定点の位置 A-A': 今回の測定点, B-B': 領木(2016)の測定点

Fig. 1 Position of gravity measurement points. A - A': current measurement points, B - B': measurement points by Ryoki (2016).

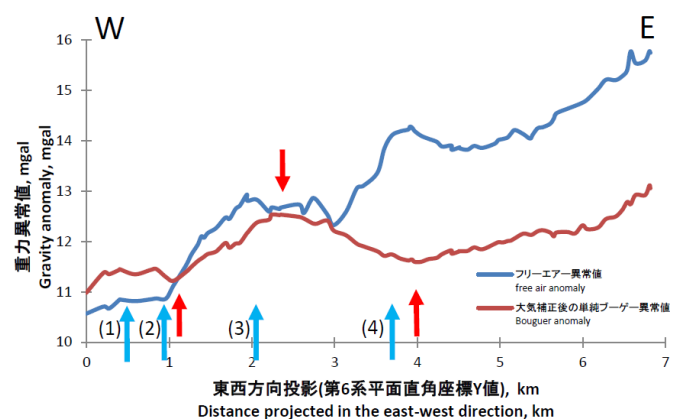


図2 重力異常稠密測定の結果 東西断面 赤色矢印は単純ブーゲー異常値の極値の位置を示し, 青色矢印は吉岡・他(2013)による活断層位置を示す。

Fig. 2 Profile of gravity anomaly in dense survey East-West section. Red arrows indicate the points of the extremal value in the simple Bouguer anomalies. Blue arrows indicate the points of active fault (after Yoshioka, et al., 2013).

## ボアホール内宇宙線ミュオン検出器で探る跡津川断層帯の浅部構造 Probing shallow region structure of Atotsugawa fault fracture zone with cosmic-ray muon detector in borehole

\*山崎 勝也<sup>1</sup>、武多 昭道<sup>1</sup>、小村 健太郎<sup>2</sup>

\*Katsuya Yamazaki<sup>1</sup>, Akimichi Taketa<sup>1</sup>, Kentaro Omura<sup>2</sup>

1. 東京大学地震研究所、2. 防災科学技術研究所

1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2. NIED

本講演では、ボアホール内宇宙線ミュオン観測装置を用いた地下密度構造測定の手法と観測装置について紹介し、2016年に実施した岐阜県飛騨市の跡津川断層帯にあるボアホールでの測定結果と跡津川断層のパラメータ推定について報告する。

断層の走向、傾斜、破碎帯の幅や密度などのパラメータは、地震発生時の震度、災害規模を予測する上で重要な基礎データである。しかし、従来の方法でこれらを詳細に知るためには広範囲かつ空間的に密な調査を行う必要があった。そこで、本研究では近年盛んに研究が進められている宇宙線ミュオンを用いた構造物透視手法によって、一地点からの観測によって断層を含む地下の密度構造を広範囲に調査する手法を開発した。

宇宙線ミュオンを用いた構造物透視手法では物質透過力の高い宇宙線ミュオンの減衰量から経路上の平均密度を測定する。ミュオンの減衰量は透過する物質の密度以外の性質にほぼ依存せず、不均質性の高い地殻表層部においてもその影響を受けずに測定が可能である。また、宇宙線ミュオンの物質透過力は非常に高く、地中でも数kmにおよぶ距離を透過し、断層や火山などの大きな構造物を透視する事が可能である。しかし、宇宙線ミュオンは上空からのみ飛来するため、これまでは観測装置より上方にある火山などの地上に隆起した構造物しか観測対象とすることができなかった。

この課題を克服し、地下の構造物を透視対象とするため、本研究では直径15 cmのボアホール内に設置可能な小型化された観測装置を開発した。本観測装置は小型化のために限定された方向分解能を有し、天頂角方向の測定方向は統計的手法により1方向に限定し、方位角方向は8方向に分解する。この観測装置をボアホール内に設置して深さ方向に装置を移動させることで地下密度構造を探索し、断層を含む周囲の密度構造を一地点から周囲数百メートルに渡って広範囲に測定する。

2016年には岐阜県飛騨市の跡津川断層を貫通するボアホール利用して地下100 mまでの密度構造測定を実施した。その結果過去の掘削調査の記録と矛盾しない方向に低密度領域を検出した。更に、測定結果を用いて断層の走向、傾斜などのパラメータを推定した。

キーワード：宇宙線、ミュオン、ミュオグラフィ、断層、跡津川、ボアホール

Keywords: Cosmic-ray, Muon, Muography, Fault, Atotsugawa, Borehole

# 東濃地震科学研究所のボアホール歪計と応力計で観測されるPL波の特徴 Characteristics of the PL waves observed by the borehole strain and stress meters of Tono Research Institute of Earthquake Science

\*村上 理<sup>1</sup>、石井 紘<sup>1</sup>、浅井 康広<sup>1</sup>

\*Osamu Murakami<sup>1</sup>, Hiroshi Ishii<sup>1</sup>, Yasuhiro Asai<sup>1</sup>

1. 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所

1. Tono Research Institute of Earthquake Science, Association for the Development of Earthquake Prediction

We deployed the network of the borehole strain and stress meters in the Tono region in Japan. We found that we could observe the long-period ground motion between P and S waves arrivals in the strain and stress records from some large earthquakes. The dominant periods of these long-period ground motions range from about 10 seconds to 30 seconds. Because these periods are shorter than the typical periods of the W phase (100 –1000 seconds order), these long-period ground motions are not W phases. We also found these long-period ground motions between P and S waves arrivals in the F-net seismograms. While we clearly found these waves in the radial components, it was difficult to find these waves in the transverse components. Because of this observation, we consider that the long-period ground motions between P and S wave arrivals are PL waves.

In order to clarify the causes of the differences of these PL waves, we estimated the dominant periods of the PL waves observed by the strain and stress meters in our network for many large earthquakes in Japan. We will present the results obtained from this analysis.

キーワード：P波とS波の間の長周期地震動、PL波、歪計、応力計、ボアホール

Keywords: long-period ground motion between P and S arrivals, PL waves, strainmeters, stressmeters, borehole

## 金沢平野北東縁・森本断層を横切る反射法地震探査

### Seismic reflection imaging of the Morimoto fault, Kanazawa, central Japan

\*加藤 直子<sup>1</sup>、石山 達也<sup>1</sup>、佐藤 比呂志<sup>1</sup>、戸田 茂<sup>2</sup>

\*Naoko Kato<sup>1</sup>, Tatsuya Ishiyama<sup>1</sup>, Hiroshi Sato<sup>1</sup>, Shigeru Toda<sup>2</sup>

1. 東京大学地震研究所、2. 愛知教育大学

1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2. Aichi University of Education

文部科学省の「日本海地震津波調査プロジェクト」では、日本海沿岸地域での津波の波高予測・強震動予測を行うために総合的な調査を2013年から実施している。この一環として、2016年度に金沢平野北東縁において活断層である森本断層を横切る地震探査を実施した。森本断層は、金沢平野東縁の森本・富樫東縁断層帯の北部に分布する（活断層研究会, 1991など）。本断層帯については、測線長の短い浅層反射法地震探査しか実施されておらず断層の地下形状についての資料が少ない。このため断層の基本的な形状を明らかにするために、高分解能反射法地震探査、やや低周波を用いた反射法・屈折法地震探査を行った。ここでは、これらのデータ取得と解析、得られた地震探査断面について報告する。

2016年10-11月に反射法地震探査データを取得した。測線は金沢市才田町から俵原町に至る約9 kmの区間である。震源は中型のバイプロサイズ車1台を使用した。受振点間隔は10mで、計885チャンネルの固定展開でデータを取得した。受振システムはオフラインレコーダ（GSR-1, GSX-3ch）を用いた。発震点間隔は10m（高分解能発振）/ 50m（低周波発振）でスイープ周波数は8-100Hz（高分解能発振）/ 8-40Hz（低周波発振）である。データ収録はサンプリング間隔2 msec とし、記録長は4 sとした。屈折法による速度構造を得るために、1 km毎に集中発震（20重合）を行った。記録は良好で、低周波数発震では初動が5km程度に渡って観測された。得られたデータに関して、反射法地震探査に対して共通反射点重合処理法により解析を行った。また、集中発震と低周波発震のデータに対してトモグラフィ解析を行った。反射法地震探査データについては、初動ミュートなどの調整により、詳細な速度構造の抽出に努めた。

得られた反射断面は、往復走時1.5秒（深さ2.0 km）までの連続性の良い反射波が卓越するイメージが得られた。森本断層は東傾斜の逆断層として明瞭にイメージングされた。この断層は、連続性のよい反射面群の基底に約700mの垂直隔離を与えている。測線全体では単斜構造を示し、断層帯周辺で幅700m程度に急傾斜帯を伴う。上盤の反射面はほぼ水平で、断層の深度方向への傾斜変化が少ないものと判断される。

キーワード：森本断層、反射法地震探査、活断層

Keywords: Morimoto fault, seismic reflection profiling, active fault

# 反射法地震探査による会津盆地西縁断層帯中央部の浅部地下構造 Seismic Reflection Survey at West Aizu Basin Fault Zone, Northeast Japan

\*木下 佐和子<sup>1</sup>、伊藤 忍<sup>1</sup>、山口 和雄<sup>1</sup>、内田 洋平<sup>1</sup>、石原 武志<sup>1</sup>

\*Sawako Kinoshita<sup>1</sup>, Shinobu Ito<sup>1</sup>, Kazuo Yamaguchi<sup>1</sup>, Youhei Uchida<sup>1</sup>, Takeshi ISHIHARA<sup>1</sup>

1. 産業技術総合研究所

1. Geological Survey of Japan, AIST

福島県の会津盆地は、南北約30km、東西約13kmの細長い形状をした構造的な内陸盆地であり、東端および西端には会津盆地東縁断層、会津盆地西縁断層が分布している。会津盆地西縁断層は、ほぼ南北方向に延びる長さ約35kmから40kmの西側隆起の逆断層で、塔寺セグメント、千咲原セグメント、新鶴セグメントに分かれている(産総研活断層データベース)。会津盆地内には、沖積層や完新世の低位段丘・扇状地堆積物が分布し、盆地西縁部の丘陵には後期中新世から中期更新世の陸水成の地層が分布しており、盆地と丘陵の境界が会津盆地西縁断層帯とされている(福島県2000、山元他2006)。1611年に会津地方で発生したM6.9の地震(会津地震)は、被害状況より、会津盆地西縁断層が動いて発生したと考えられている(寒川1987)。会津盆地西縁断層の塔寺セグメント最南端と新鶴セグメント最北端は、東西に約2km程度離れており、その間の領域では複数の小さいセグメントに分かれた複雑な断層構造が想定されている。この領域の南部は、南西から流れてくる佐賀瀬川による扇状地が発達しており、地形判読から屈曲した断層構造が想定され、新鶴セグメントとは連続していない。福島県が2000年に実施した新鶴セグメント北端部における浅部反射法地震探査によって、地形判読で解釈された断層位置より東側に西側隆起の撓曲構造が見つかり、地形判読で解釈された断層は侵食位置を示している可能性が示唆された(福島県2000)。本研究では、塔寺セグメントと新鶴セグメントの間の領域において、会津盆地西縁断層がどのような形状になっているのか、2つのセグメントがどのようにつながるのかを解明するため、S波反射法地震探査を実施した。

調査は、塔寺セグメント-新鶴セグメント間の領域南部で3本の測線(北から測線1、2、3)上で行い、測線は全て推定されている会津盆地西縁断層の走向に直交するほぼ東西の道路で展開した。震源には可搬型バイブレータ震源EViS III(GEOSYM社)を用い、スイープ周波数20~160Hz、発震時間は7秒、発震回数は各点3~10回、発震間隔は2mとした。受振機は、固有周波数10Hzの水平動ジオフォン(Geospace社製GS-32CT内蔵)を使用し、8秒間の記録をとった。観測点は2m間隔に96点を同時に設置し、48点ずつ移動して記録を収録した。観測点数は、測線1から3までそれぞれ219点、260点、96点とした。観測データを震源スイープ波形で相互相関した後の発震記録を確認したところ、全測線を通して、SN比の良い記録が得られていることがわかった。測線1、2において、S波速度0.4 km/sを仮定してNMO補正後にCMP重合を行った結果、0.3秒付近に反射面がみられた。これは福島県(2000年)の調査で得られた100m付近の反射面に対応していると考えられる。この反射面は測線の東西で傾きが異なる傾向がみられ、単純には連続しておらず、なんらかの変形構造が存在することが示唆される。今後さらに解析を進め、先行研究や、測線1近傍で行われたボーリングデータとの比較を行う予定である。

キーワード：反射法地震探査、会津盆地西縁断層帯

Keywords: seismic reflection survey, West Aizu Basin Fault Zone

## 南アルプス南端部地域における地下構造の地震波干渉法イメージング Seismic interferometry imaging of subsurface structure in the southernmost area of Southern Japanese Alps

\*長谷川 大真<sup>1</sup>、渡辺 俊樹<sup>2</sup>、伊藤 谷生<sup>3</sup>、狩野 謙一<sup>4</sup>、阿部 進<sup>5</sup>、藤原 明<sup>6</sup>、河内 善徳<sup>7</sup>

\*Hasegawa Daima<sup>1</sup>, Toshiki Watanabe<sup>2</sup>, Tanio Ito<sup>3</sup>, ken'ichi Kano<sup>4</sup>, Susumu Abe<sup>5</sup>, Akira Fujiwara<sup>6</sup>, Yoshinori Kouchi<sup>7</sup>

1. 名古屋大学理学部地球惑星科学科、2. 名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター、3. 帝京平成大学、4. 静岡大学防災総合センター、5. 石油資源開発(株)、6. (株)地球科学総合研究所、7. (株)ジオシス

1. Department of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University, 2. Earthquake and Volcano Research Center, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 3. Teikyo Heisei University, 4. Shizuoka University, 5. JAPEX, Co. Ltd., 6. JGI, Inc., 7. Geosys, Inc.

東海地域ではフィリピン海プレートが日本島弧下に北西方向に沈み込んでおり、東部は伊豆弧の衝突域と沈み込み域の遷移域である。この地域の地下構造を理解するために、南アルプス南端部地域において稠密地震計アレイによる4ヶ月間の地震観測が行われた。本研究では、この観測記録に地震波干渉法イメージングを適用した。地震波干渉法によれば、観測点における鉛直入射の透過波記録から反射応答を抽出することができる(Claerbout, 1968)。フィリピン海プレートと地殻内構造をイメージするために、太平洋スラブで発生した近地深発地震を震源として用いた。解析の結果、いくつかの明瞭な連続性のよい反射面がS波深度断面にイメージされた。これらはS波速度トモグラフィ(Kawasaki, 2015)によって得られたS波速度構造のコントラストによく対応した。また、深さ20 kmにある反射面は、既存研究(Matsu'ura et al., 1991, Hirose et al., 2008, and Kawasaki, 2015)のフィリピン海プレート上部境界によい一致を示した。深さ10 kmにある反射面については、現在のところ、地殻内の付加体堆積物の地質ユニットの境界であると解釈している。

キーワード：地震計アレイ観測、地震波干渉法イメージング、反射深度断面

Keywords: seismic array observation, Seismic interferometry imaging, reflection depth profile

# 人口ニューラルネットワークによる地球物理学的データを用いた地下温度推定

## Estimation of subsurface temperature by geophysical data using Artificial Neural Network

\*菅野 倅大朗<sup>1</sup>、茂木 透<sup>2</sup>、内田 利弘<sup>3</sup>、梶原 竜哉<sup>4</sup>

\*Kotaro Sugano<sup>1</sup>, Toru Mogi<sup>2</sup>, Toshihiro Uchida<sup>3</sup>, Tatsuya Kajiwara<sup>4</sup>

1. 北海道大学大学院理学院、2. 北海道大学工学院、3. 産業技術総合研究所、4. 地熱エンジニアリング株式会社

1. Hokkaido University Graduate School of science, School of Science, 2. Graduate School of Engineering, Hokkaido University, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. Geothermal Engineering Co., Ltd

Accurate estimation of the underground temperature is essential for the resource evaluation of a geothermal reservoir. However, the quantity of temperature data measured in boreholes is usually limited and therefore the estimation of temperature distribution at depth is often difficult. General relationship between resistivity and temperature has been studied in laboratory experiment by using drilling samples, but it is not always applicable because there are many factors that affect the resistivity value.

We have tried to indirectly estimate the underground temperature by geological and geophysical data. By using Artificial Neural Network (ANN) trained by geological and geophysical data, this study aims to estimate underground temperature by resistivity data obtained from magnetotelluric (MT) sounding. MT investigation can estimate resistivity of deep underground easily and reasonably. If we can estimate temperature of deep underground from MT data, for example, we can find a promising geothermal reservoir and decide the location for development of a geothermal power plant.

We chose the Kakkonda geothermal area, Iwate Prefecture, Japan, as a test site of this study. It is because the area is underlain by a high-enthalpy geothermal system, reaching 500°C at 3700m depth. In addition, many drillings and geological surveys were carried out before so we can get many data to educate the ANN.

We educated the ANN by each borehole position, depth and temperature data from well logs, resistivity data from MT sounding, and micro-earthquake hypocenter distribution that disappeared below the brittle-ductile boundary. After that, we tested various ANN structures to verify output temperature with observed temperature in the well-WD-1 up to 2.5 km depth. Then we estimated temperature up to 3.7 km depth of WD-1 to use the constructed ANN showed good result at testing.

As a result, we obtained good agreement up to about 3.1 km depth by several constructed ANNs. However, fitness was not good at blow the sealing layer (appeared at around 3.1 km depth), because resolution of resistivity structure of deeper part is too coarse to emerge changing temperature.

キーワード：ニューラルネットワーク

Keywords: Neural Net Work

## Crustal seismic anisotropy of Tohoku region, Japan constrained by ambient noises

\*Kai-Xun Chen<sup>1</sup>, Yuancheng Gung<sup>1</sup>, Ban-Yuan Kuo<sup>2</sup>, Tzu-Ying Huang<sup>2</sup>

1. National Taiwan University, 2. Institute of Earth Science, Academia Sinica

We present 3D crustal models of  $V_s$  and  $V_s$  azimuthal anisotropy of Tohoku region, Japan. We construct the models by using short to intermediate periods Rayleigh waves derived from noise interferometry and a wavelet-based multi-scale inversion technique.

We employ the Welch' s method to derive the empirical Green' s functions (EGF) of Rayleigh waves from one year of continuous records of 123 short-period stations of the dense high-sensitivity seismograph network (Hi-net), operated by National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED). We compute EGFs for about 3500 station pairs with interstation distance less than 300 km. For each qualified EGF, we measure Rayleigh wave dispersion in the period range from 3 to 16 seconds.

There are few interesting features in the resulting models: 1) The lateral variations of the crustal  $V_s$  and  $V_s$  azimuthal anisotropy are closely related to three major factors, surface geology, Quaternary volcano activity and the plate motion. 2) In the shallow crust ( $< \sim 10$ km), the prominent high velocity anomalies are observed in the eastern part of the volcano belt, and they can be attributed to the old sedimentary (Palaeozoic to Mesozoic) and plutonic rocks locating in the northeastern and the southeastern Tohoku, respectively. In the middle crust, the volcano belt is clearly identified by low velocity anomalies. 3) Patterns of the  $V_s$  azimuthal anisotropy demonstrate a strong depth-dependent variation. The anisotropy in the shallow crust is characterised by the typical orogeny parallel anisotropy (OPA), with fast polarization directions (FPD) parallel to the strikes of the mountain ranges, while the pattern of the lower crust anisotropy correlates fairly with the absolute plate motion. None of the above correlations is observed in the middle crust ( $\sim 9 - 20$  km), where the distribution of FPD presents rather chaotic pattern and the corresponding anisotropy is weak.

Keywords: Tohoku, Hi-net, ambient noise, surface wave tomography



## Azimuthal anisotropy of Rayleigh-wave phase velocity from ambient noise tomography in south-central Mongolia

\*Jiatie Pan<sup>1</sup>, Qingju Wu<sup>1</sup>, Yonghua Li<sup>1</sup>, Sergei Lebedev<sup>2</sup>, Munkhuu Ulziibat<sup>3</sup>, Sodnomsambuu Demberel<sup>3</sup>

1. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing, China, 2. Dublin Institute for Advanced Studies, Geophysics Section, 5 Merrion Square, Dublin 2, Ireland, 3. Research Center of Astronomy & Geophysics of Mongolian, Academy of Science, Ulaanbaatar, Mongolia

Although far from any subduction zone, it is interesting that the Mongolian Plateau has high and young (<30 Ma) topography culminating at ~4000 m as well as extensive volcanic activity. The seismic anisotropy could offer constraints on the past and present deformation in the crust and upper mantle. This study for the first time presents the azimuthal anisotropy of Rayleigh-wave phase velocity at periods ranging from 8s to 30s using ambient noise tomography in south-central Mongolia (SCM). Continuous time-series of vertical component between August 2011 and July 2013, recorded by 69 broadband stations temporarily deployed in SCM, have been cross-correlated to obtain estimated Rayleigh wave Green's functions. Applying the frequency and time analysis technique based on the continuous wavelet transformation, a total number of 1478 inter-station phase velocity dispersion curves have been measured. Moreover, Rayleigh wave phase velocity and azimuthal anisotropy maps at periods from 8 s to 30 s have been reconstructed with a grid knots spacing of 50 km. The inversion results reflect the structure from the shallow crust to upper mantle up to approximately 50 km depth. The S-wave velocity structure as well as the azimuthal anisotropy has weekly lateral heterogeneity beneath SCM, with perturbation about  $\pm 2\%$  to the phase velocity and  $\pm 1\%$  to the azimuthal anisotropy, respectively. At short periods (<10s), the phase velocity variations are well correlated with the principal geological units in SCM, with low-speed anomalies corresponding to the major sedimentary basins or Gobi area and high-speed anomalies coinciding with the main mountain ranges. At long periods (e.g. 30 s), the phase velocity distribution is mainly associated with the crustal thickness. The Middle Gobi area always characterized with low-speed anomalies from 8 s to 30 s is possibly related to Cenozoic volcanism. Overall, the fast direction as well as the phase velocity distribution in the northern domains of Mongo-Okhotsk Suture (MOS) is very different from that in the southern domains, indicating the significant differences of distribution of the phase velocity and the azimuthal anisotropy between two sides of MOS may related to the closure of Paleo-Mongo-Okhotsk Ocean. In another words, this study may give geophysical evidence for the location of the front edge of the closure of Paleo-Mongo-Okhotsk Ocean. This work was supported by NSFC (41574054) and the international cooperation project of the Ministry of Science and Technology of China (2011DFB20210).

Keywords: Rayleigh wave, phase velocity, azimuthal anisotropy, ambient noise tomography, south-central Mongolia

## Regional-scale cross-correlation analysis of seismic ambient noise in the Central Indonesia.

\*Masyitha Retno Budiati<sup>1</sup>, Genti Toyokuni<sup>1</sup>, Tomomi Okada<sup>1</sup>

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

The central Indonesia has a complex tectonic structure which is characterized by several subduction zones (e.g., double subduction zones beneath Molucca Sea) and active faults (e.g., Palu Koro, Matano and Hamilton faults). However, due to the limitation of studies, the information of seismic velocity changes beneath the desired regions is needed for monitoring those structures. Currently, cross-correlation functions (CCFs) retrieved from ambient seismic noise are assumed as the representation of the surface wave green function that can show the response of the Earth. Based on this assumption, the asymmetrical signal of the ambient noise cross-correlation results and its spectral amplitude are investigated in order to figure out the propagation direction of surface waves and to understand the dominant frequency components of the CCF. In the present study, we used the vertical component of continuous and broadband (20 sps) seismograms recorded at five permanent stations in and around Sulawesi Island (station codes: BKB, LUWI, SANI, TNTI, and TOLI2). The data period encompasses 1 January to 30 April 2015 (four months). The data were divided into 20 minutes segments with time shift in every 5 minutes to enhance the signal to noise ratio (SNR). We applied taper, whitening, band-pass filter at the frequency band of 0.01 Hz - 1 Hz and binalization in each data segment as the preprocessing steps, then selected the feasible segments and calculated CCF between two contemporaneous segments from two stations. We further stacked the CCFs for 1 day to obtain day-averaged CCFs and finally stacked the day-averaged CCFs over 3 months to retrieve stabilized Rayleigh wave signals. Our preliminary results show that the SNR measurements are enhanced for several pairs after calculating 3-month-averaged CCFs and represent clear Rayleigh waves. The asymmetric shapes of the CCFs indicate that the Rayleigh waves propagated towards Sulawesi Island from the surrounding areas. The maximum spectral amplitudes of the CCFs also exist at frequency of 0.05 Hz - 0.2 Hz which suggest that the dominant energy of the ambient-noise Rayleigh waves are generated by microseisms.

Keywords: Seismic ambient noise, Rayleigh waves, Central Indonesia

## Retrieval of P wave Basin Response from Autocorrelation of Seismic Noise-Jakarta, Indonesia

\*Erdinc Saygin<sup>1</sup>, Phil Cummins<sup>2</sup>, David Lumley<sup>1,3</sup>

1. Centre for Energy Geoscience, School of Earth Sciences, University of Western Australia, Perth, Western Australia, Australia, 2. Research School of Earth Sciences, Australian National University, Canberra, ACT, Australia, 3. School of Physics and Astrophysics, University of Western Australia, Perth, Western Australia, Australia

Indonesia's capital city, Jakarta, is home to a very large (over 10 million), vulnerable population and is proximate to known active faults, as well as to the subduction of Australian plate, which has a megathrust at about 300 km distance, as well as intraslab seismicity extending to directly beneath the city. It is also located in a basin filled with a thick layer of unconsolidated and poorly consolidated sediment, which increases the seismic hazard the city is facing. Therefore, the information on the seismic velocity structure of the basin is crucial for increasing our knowledge of the seismic risk.

We undertook a passive deployment of broadband seismographs throughout the city over a 3-month interval in 2013-2014, recording ambient seismic noise at over 90 sites for intervals of 1 month or more. Here we consider autocorrelations of the vertical component of the continuously recorded seismic wavefield across this dense network to image the shallow P wave velocity structure of Jakarta, Indonesia.

Unlike the surface wave Green's functions used in ambient noise tomography, the vertical-component autocorrelograms are dominated by body wave energy that is potentially sensitive to sharp velocity contrasts, which makes them useful in seismic imaging. Results show autocorrelograms at different seismic stations with travel time variations that largely reflect changes in sediment thickness across the basin. We also confirm the validity our interpretation of the observed autocorrelation waveforms by conducting 2D finite difference full waveform numerical modeling for randomly distributed seismic sources to retrieve the reflection response through autocorrelation.

Keywords: Seismic Noise, Autocorrelation, Interferometry