

Fri. Oct 30, 2020

ROOM D

Room D | Regular session | S01. Theory and analysis method

[S01]AM-1

chairperson:Tomoya Takano(Earthquake Research Institute, The University of Tokyo), chairperson:Shuhei Tsuji(Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

9:00 AM - 10:00 AM ROOM D

[S01-10] Separation of temporal variation in transfer function of ACROSS source using Independent Component Analysis

ORina Suzuki¹, Koshun Yamaoka¹ (1.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

9:00 AM - 9:15 AM

[S01-11] Method to detect change in amplitude using an artificial seismic source, ACROSS, and its application to in-situ data

OShuhei TSUJI¹, Koshun YAMAOKA¹, Ryoya IKUTA² (1.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2.Department of Geosciences, Shizuoka University)

9:15 AM - 9:30 AM

[S01-12] Derivation of SPAC-like expressions for strains measured by DAS

OHisashi NAKAHARA¹, Kentaro EMOTO¹, Takeshi NISHIMURA¹ (1.Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University)

9:30 AM - 9:45 AM

[S01-13] Detection and location methods of volcanic tremors using seismic cross-correlation: application to Sakurajima volcano

OTheodorus Permana¹, Takeshi Nishimura¹, Hisashi Nakahara¹, Nikolai Shapiro² (1.Tohoku University, Japan, 2.Institut des Sciences de la Terre, Grenoble, France)

9:45 AM - 10:00 AM

Room D | Special session | S23. Frontier of observational seismology-Future of dense seismic observation

[S23]AM-2

chairperson:Katsuhiko Shiomi(NIED)

10:30 AM - 11:45 AM ROOM D

[S23-01] Seismological evidence for a seamount subduction in eastern Shikoku

OKatsuhiko SHIOMI¹ (1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

10:30 AM - 10:45 AM

[S23-02] Detection of deep low-frequency earthquakes in the Nankai subduction zone over 11 years using a matched filter technique

OAitaro Kato¹, Shigeki Nakagawa¹ (1.Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

10:45 AM - 11:00 AM

[S23-03] [Invited] Crustal activity monitoring using ocean networks for earthquakes and tsunamis

ONarumi Takahashi¹, Takane Hori² (1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2.Japan Agency for Marine Earth Science and Technology)

11:00 AM - 11:30 AM

[S23-04] Ambient noise tomography in the forearc region off northeast Japan using S-net

ORyota Takagi¹, Kiwamu Nishida² (1.Graduate School of Science, Tohoku University, 2.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

11:30 AM - 11:45 AM

Room D | Special session | S23. Frontier of observational seismology-Future of dense seismic observation

[S23]PM-1

chairperson:Ryota Takagi(Graduate School of Science, Tohoku University)

1:00 PM - 2:15 PM ROOM D

[S23-05] [Invited] Dense seismic observation using seafloor optical fiber cable system off Sanriku by Distributed Acoustic Sensing

OMasanao Shinohara¹, Tomoaki Yamada¹, Takeshi Akuhara¹, Kimihiro Mochizuki¹, Shin'ichi Sakai¹ (1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

1:00 PM - 1:30 PM

[S23-06] Estimation of Site Amplification of Azuma volcano: Analyses of Seismic Signals Recorded by Fiber Optic Cable and DAS

OTakeshi Nishimura¹, Kentaro Emoto¹, Hisashi Nakahara¹, Satoshi Miura¹, Mare Yamamoto¹, Shunsuke Sugimura¹, Ayumu Ishikawa¹, Tsunehisa Kimura² (1.Graduate School of Science, Tohoku University, 2.Schlumberger)

1:30 PM - 1:45 PM

[S23-07] Analysis of dense records of the DAS observation using fiber optic cable in the urban area

OKentaro Emoto¹, Hisashi Nakahara¹, Takeshi

Nishimura¹, Mare Yamamoto¹, Kodai Sagae¹, Gugi Ganefianto¹, Katsuhiro Yabu¹ (1.Graduate School of Science, Tohoku University)

1:45 PM - 2:00 PM

[S23-08] Characteristics of DAS data by Artificial Vibration

○Masayuki Tanaka¹, Akio Kobayashi¹, Akio Katsumata¹, Koji Tamaribuchi¹, Tsunehisa Kimura², Shunsuke Kubota³, Yukihide Yoda⁴ (1.Meteorological Research Institute, 2.Schlumberger, 3.YK Giken Co., 4.NEC Corporation)

2:00 PM - 2:15 PM

Room D | Special session | S23. Frontier of observational seismology-
Future of dense seismic observation

[S23]PM-2

chairperson:Aitaro Kato(Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

2:30 PM - 3:30 PM ROOM D

[S23-09] 3-D S-wave velocity structure derived by

ambient noise tomography using dense short-period OBS array of off Ibaraki region

○Lina Yamaya¹, Kimihiro Mochizuki¹, Takeshi Akuhara¹, Kiwamu Nishida¹, Tsuyoshi Ichimura¹, Kohei Fujita¹, Takuma Yamaguchi¹, Takane Hori² (1.ERI, Univ. of Tokyo, 2.JAMSTEC)

2:30 PM - 2:45 PM

[S23-10] High-density event locations with high-density

OBS network at off-Ibaraki region

○Shinji Yoneshima¹, Kimihiro Mochizuki¹
(1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

2:45 PM - 3:00 PM

[S23-11] [Invited] Dense seismic observation design for

capturing background of large inland earthquakes (lessons from "0.1Manten" hyper dense seismic observation)

○Satoshi Matsumoto¹ (1.Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University)

3:00 PM - 3:30 PM

Room D | Regular session | S01. Theory and analysis method

[S01]AM-1

chairperson:Tomoya Takano(Earthquake Research Institute, The University of Tokyo), chairperson:Shuhei Tsuji(Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

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

[S01-10] Separation of temporal variation in transfer function of ACROSS source using Independent Component Analysis

○Rina Suzuki¹, Koshun Yamaoka¹ (1.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

9:00 AM - 9:15 AM

[S01-11] Method to detect change in amplitude using an artificial seismic source, ACROSS, and its application to in-situ data

○Shuhei TSUJI¹, Koshun YAMAOKA¹, Ryoya IKUTA² (1.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2.Department of Geosciences, Shizuoka University)

9:15 AM - 9:30 AM

[S01-12] Derivation of SPAC-like expressions for strains measured by DAS

○Hisashi NAKAHARA¹, Kentaro EMOTO¹, Takeshi NISHIMURA¹ (1.Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University)

9:30 AM - 9:45 AM

[S01-13] Detection and location methods of volcanic tremors using seismic cross-correlation: application to Sakurajima volcano

○Theodorus Permana¹, Takeshi Nishimura¹, Hisashi Nakahara¹, Nikolai Shapiro² (1.Tohoku University, Japan, 2.Institut des Sciences de la Terre, Grenoble, France)

9:45 AM - 10:00 AM

Separation of temporal variation in transfer function of ACROSS source using Independent Component Analysis

*Rina Suzuki¹, Koshun Yamaoka¹

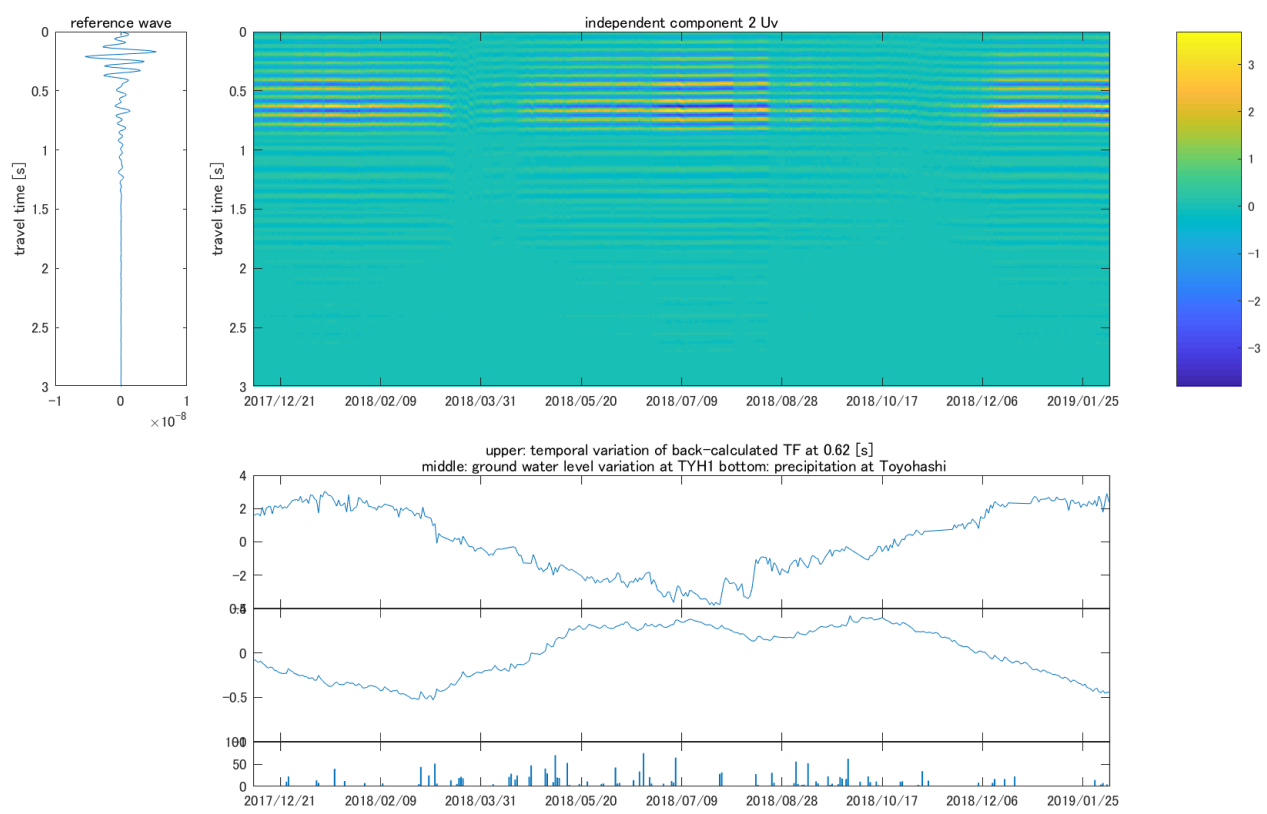
1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

ACROSS source is a vibration source that can generate seismic wave of constant frequency band by accurately controlled rotation of eccentric weight. This source can gain a signal with high signal-to-noise ratio by taking advantage of stable operation for long period. Therefore, it is suitable for continuous monitoring of the propagation property of seismic wave. The ACROSS source is used for monitoring temporal variation of seismic velocity in many studies. Ikuta et al. (2002) reported that observed velocity change was caused by multiple factor such as rainfall and strong motion by earthquake. In this study, we applied Independent Component Analysis (ICA) for the observation data using the ACROSS vibrations in Mikawa Observatory of Nagoya University in Toyohashi City, Aichi Prefecture. We try to separate independent variation in order to research influence of each factor to the temporal variation of transfer function

ICA is a method to extract statistically independent signal from the mixing of multiple signals. By an assumption that the variation of transfer function by each factor is independent and observed variation of transfer function is linearly mixed by these variations, we can extract variation by each factor using ICA.

In this study we used fourteen-month long data for monitoring temporal variation of transfer function at stations around the ACROSS source installed at Mikawa Observatory of Nagoya University. There are six components in the transfer function: up-down, north-west, and east-west components by vertical excitation (Uv, Nv, and Ev component) and those components by horizontal excitation (Uh, Nh, and Eh component). For our analysis, we synthesized horizontal component at seismometer which is parallel to the vibration direction using Nh and Eh, named Hh. Uv and Hh component mainly include P and S wave, respectively. For the analysis, we used transfer function in frequency domain and performed data whitening and dimension compression as a preprocessing. Data whitening maximizes the performance of signal separation by ICA. Dimension compression is made by Principal Component Analysis to reduce noise that may be included less important components. We applied ICA to the preprocessed transfer function and succeeded to obtain independent components. Among many methods of ICA, we adopted AMUSE method (Tong et al., 1991, Nemoto and Kawakatsu, 2005) that is often applied to time series signals.

Independent components obtained by ICA show same temporal variations but show difference in travel time part in Uv and Hh. Comparing each independent component with ground water level data, independent components show high correlation with ground water level variation. The temporal variation of this independent component mainly appeared in later wave.



Method to detect change in amplitude using an artificial seismic source, ACROSS, and its application to in-situ data

*Shuhei TSUJI¹, Koshun YAMAOKA¹, Ryoya IKUTA²

1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2. Department of Geosciences, Shizuoka University

我々は、伝播振幅の変化を人工震源装置「アクロス」を用いて取得した伝達関数から検出する手法を開発し、その手法を先行研究Ikuta et al. (2002)で取得された伝達関数に適用した。その結果、地震時の強振動や注水実験に伴う振幅変化等を含めて、ノイズの影響を考慮して連続的に振幅変化を推定できることを確認した。

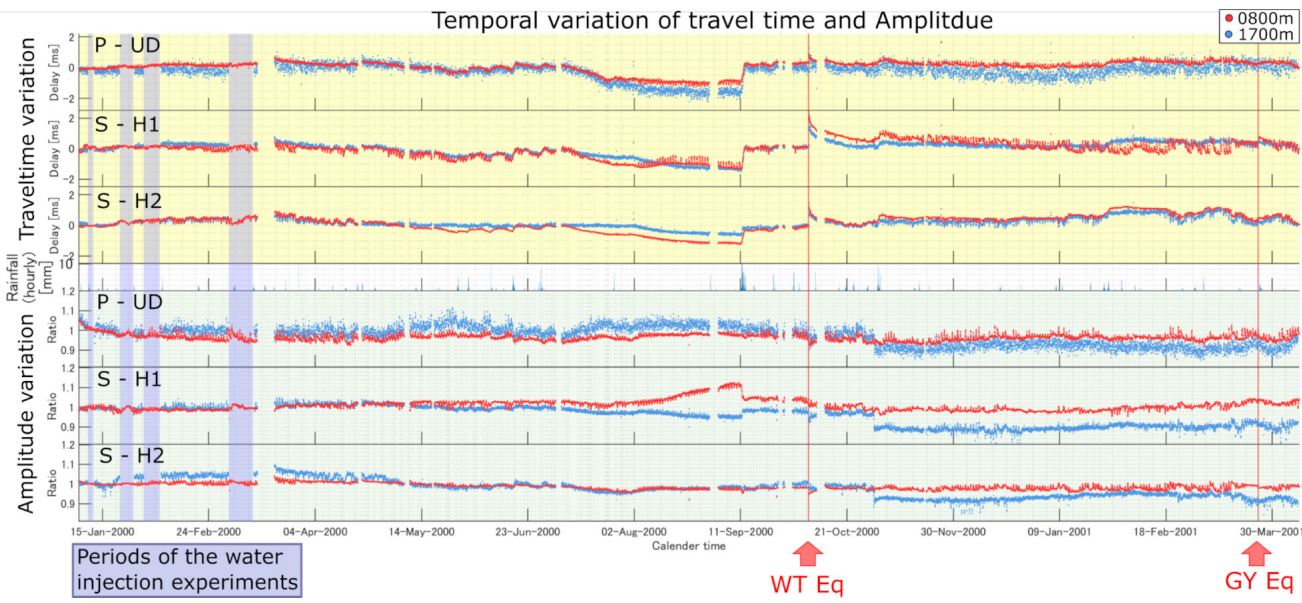
減衰の時間変化は、間隙流体の移動やクラックの開閉といった地下構造の変化を反映すると考えられる。従来は自然地震のスペクトルの傾きを比較する手法で主に調べられ、地震の発生に伴う減衰の増加(Chun et al. 2004; Kelly et al. 2013)や、火山活動に伴う減衰の時間変化(Titzschkau et al. 2010)が報告されている。

本研究は、このような減衰の時間変化を、人工震源装置「アクロス」の特長を利用して推定する新手法を開発した。本手法の特徴は、ノイズの変化に影響されずに減衰変化を推定できることにある。周波数領域ではアクロスの信号は飛び飛びの周波数成分で表現できるため、隣接する周波数成分の分散はその周波数の伝達関数に含まれているノイズの分散と同一であると仮定することができる。信号の周波数成分の2乗からノイズ分散を差し引いたものが、求める信号の2乗の推定値となる。これにより、エンベロープの比を計算する手法や、単純にエネルギーの比を計算する手法に比べてノイズの影響を受けずに推定することが可能になった。

新たに開発した手法が実データに適用できることを確認するためIkuta et al. (2002)で取得され、Ikuta and Yamaoka (2004)で走時変化に基づいて発生した現象の詳細な検討が行われている伝達関数に適用した。この伝達関数は、2000年1月から2001年4月にかけて、野島断層の分岐断層近傍に設置されたテストサイトで得られた。この期間には、比較的規模が大きな地動を伴う地震が4回発生しており、また、断層に水を圧入する注水実験が合計4回行われた。この伝達関数は、走時変化に関して詳細に解析がなされており、地震時の変化に関しては、Ikuta et al. (2002)で走時変化の解析が行われ、2000年鳥取県西部地震($M_w=6.6$, 震央距離165km)と、2001年芸予地震($M_w=6.4$, 震央距離215km)の2回の地震に関して走時変化が起こったことが、注水実験に関しては、山岡・生田(2001)で4回行われた実験のうち、2回目と4回目の注水に伴う走時変化が報告されている。さらに、地震時の変化の原因については、Ikuta and Yamaoka (2004)で異方性に注目した詳細な検討が行われ、間隙流体圧の上昇によるクラックの選択的な開口が原因であったと推測されている。

本研究の手法を適用して得られた振幅変化の結果には、地震時の振幅変化と注水実験に伴う変化、および降雨に伴う変化や長期的な変化が見られた。振幅変化は、鉛直成分のP波と、水平2成分のS波に着目して計算を行い、同時に、先行研究の手法で計算した走時変化も計算した。求めた振幅変化と走時変化を図に示す。地震時の振幅変化は、2000年鳥取県西部地震に関しては、最大で5%にも及ぶ振幅の急激な減少と、その後約1週間程度で振幅がもとの水準に回復する様子が見られたが、芸予地震に関してはわずかなステップ上の振幅変化が見られたのみであった。注水実験に伴う変化は、最大で5%程度で、4回行われた注水実験のうち、2回目と4回目のみに顕著な変化が観測された。その変化は、どちらの回でも一度振幅が上昇し、その後元に戻るような変化であった。

Ikuta and Yamaoka (2004)で指摘されているように、地震時の変化がクラックへの流体の流入によって起こったならば、粘性損失によって振幅の減少が期待される。我々の解析でも、地震時には振幅が減少し、彼らの考えと矛盾しない。一方、注水実験に伴う変化は、振幅の増大と、それに引き続く振幅減少とみなすことができる。振幅の増加は注水による応力の増大によって周辺岩石中のクラックが閉じることが原因、振幅の減少は注水された水が拡散することで粘性損失の範囲が拡大することが原因と解釈できる。



Derivation of SPAC-like expressions for strains measured by DAS

*Hisashi NAKAHARA¹, Kentaro EMOTO¹, Takeshi NISHIMURA¹

1. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

はじめに

光ファイバーケーブルを用いた分散型音響計測（DAS）は、1次元式的ではあるが大変稠密に歪（あるいは歪速度）を計測できるため、地震学の分野でも近年利用され始めている。DASで計測される物理量はケーブルに沿った軸歪であり、通常測定される地動並進成分とは異なるため、地震学でこれまでに使用されてきた解析手法を軸歪にも適用できるように拡張する必要がある。例えば、地震波干渉法についてはすでに適用がはじめられている（例えば、Martin et al., 2018）。本研究では、DASのデータを用いて微動探査を行うことを目指して、表面波のみを考慮して、2観測点における動径方向の軸歪のクロススペクトルと複素コヒーレンス（SPAC法で用いられる物理量）の解析的導出に成功したので、ここに報告する。

定式化

定式化の流れは、Haney et al. (2012)に従う。彼らは観測点に様々な方向から入射するレイリー波、ラブ波に対して、2観測点の変位場のクロススペクトル行列の全成分の定式化を行ったが、本研究では2観測点の動径方向の軸歪のクロススペクトルを求める。表記はTakagi et al. (2014)に従う。レイリー波とラブ波は互いに無相関であるとする。入射波動場は非等方的で、方位角についてフーリエ級数展開を行う。地形は考慮せずケーブルは水平に設置されているとする。この時、2つの観測点における動径方向の軸歪のクロススペクトルには、レイリー波だけでなくラブ波も寄与し、それぞれ以下のように導出できる：

レイリー波部分

$$H^2 (k^R)^2 / 8 * [a_0^R \{ 3J_0(k^R r) - 4J_2(k^R r) + J_4(k^R r) \} + \sum C_m^R(\phi) i^m \{ J_{m+4}(k^R r) - 4J_{m+2}(k^R r) + 6J_m(k^R r) - 4J_{m-2}(k^R r) + J_{m-4}(k^R r) \}]$$

ラブ波部分

$$(k^L)^2 / 8 * [a_0^L \{ J_0(k^L r) - J_4(k^L r) \} + \sum C_m^L(\phi) i^m \{ -J_{m+4}(k^L r) + 2J_m(k^L r) - J_{m-4}(k^L r) \}]$$

ここで、 k は波数、 r は2観測点間の距離、 a_0 , c_m は入射方位角に関するフーリエ級数の展開係数、 ϕ は2観測点を結ぶ方位角、 H はレイリー波のH/V比、上付きのR, Lはレイリー波、ラブ波を意味する。 $J_m(\cdot)$ は m 次の第1種ベッセル関数である。レイリー波とラブ波の寄与の和が、求めるクロススペクトルになる。さらに、それをゼロラグでの値で規格化することにより、複素コヒーレンスを導出することができる。

議論

導出した複素コヒーレンスは、光ファイバーケーブルが完全に直線であると仮定できれば、そのままの形で使用可能である。もちろん実際のケーブルは道路等に沿って配置されていることが多く、直線的ではないことも考えられるが、ケーブルが比較的直線的な部分のデータのみを用いて解析することが可能であろう。もし入射波の等方性を仮定できると、上の2式で c_m が0になり、 a_0 の項のみが残る。観測された軸歪の複素コヒーレンスの合わせこみにより、レイリー波とラブ波の位相速度、レイリー波とラブ波のエネルギー比の3つのパラメータを推定する逆問題を構築できる。動径方向の軸歪1成分だけでレイリー波とラブ波をどこまで適切に分離できるかが鍵になる。

入射波の非等方性を仮定する場合には、入射方位角に関するフーリエ級数展開の次数によって決めるべきパラメータ数が異なる。また、一つの方向のケーブルだけでは、入射方位角依存性を完全には決定できないため、少なくとも2つ以上の方向を向いた直線部分のデータが必要になる。

ケーブルの曲折が強い場合は、ケーブルの接線方向が2観測点を結ぶ方位からずれてしまうため、歪の座標変

換が必要となる．定式化には動径方向の軸歪だけではなく歪の他の成分も現れるため，さらに複雑な形になる．

結論

本研究では，動径方向の軸歪の2観測点におけるクロススペクトルと複素コヒーレンスの解析的導出に成功した．この式に基づくと，DASの歪記録の複素コヒーレンスから，レイリー波とラブ波の位相速度を原理的に推定できる．実際問題として，動径方向の軸歪1成分だけからレイリー波とラブ波をどの程度うまく分離できるかは，今後，実データの解析を通して確認する予定である．

Detection and location methods of volcanic tremors using seismic cross-correlation: application to Sakurajima volcano

*Theodorus Permana¹, Takeshi Nishimura¹, Hisashi Nakahara¹, Nikolai Shapiro²

1. Tohoku University, Japan, 2. Institut des Sciences de la Terre, Grenoble, France

Volcanic tremors are associated with the movement of volcanic fluids such as magma and gas in the conduit of a volcano. Determination and monitoring of their source locations are important to understand the mechanism that controls the eruptive behavior. However, seismic records of volcanic tremors are known to have complex waveforms with unclear seismic phases and variations in the amplitude and duration. We develop and evaluate methods to detect volcanic tremor signals from continuous seismic records and determine the source location. We employ cross-correlation analysis to avoid reading the arrival time of seismic phases and assume the propagation of direct S-wave. The calculated cross-correlation functions (CCFs) contain information on signal coherency and relative travel time that are useful for detection and location. The method is applied for every 10-minute of the seismic data of six JMA stations at Sakurajima volcano.

For the detection, we adopt a detection method called the network covariance matrix analysis that measures the signal coherency over the seismic network, referred to as the “spectral width”. However, this method does not specifically detect volcanic tremors, since any signal that is coherent across the seismic network may also be detected. We extend the network covariance matrix method by further computing a classification measure. To specifically target volcanic tremors, a weight function is defined, where the weight is set to be non-zero at the frequencies where the tremor signal is the most coherent. For the location method, we apply the CCF-based source scanning algorithm (CCF-based SSA) that locate the source by finding a location that maximizes the “brightness” function in a grid-search scheme. The location method has been evaluated in the previous study by using volcano-tectonic earthquakes and simulated tremors (Permana et al., 2020). Therefore, application to real seismic data is new.

We analyze continuous seismic data during the period of April-September 2017 in the frequency range of 1-4 Hz. Catalog and reports of activities at Sakurajima volcano by the JMA are used for validation. For each source location, the corresponding spectral width value is used as a measure of location reliability. For further interpretation, we select only reliable source locations by imposing a criterion of the spectral width and correlation coefficient that is computed from CCFs calculated between component pairs of the seismometer. We successfully detect two time periods where volcanic tremors mostly occurred associated with the increase in eruptive activity. In the first time period in May, the tremors are characterized by long-duration signals, the source locations are mostly distributed at depths of 0-6 km beneath the Minamidake and Showa craters, and the eruptions are characterized by continuous ash emission. Changes in source location preceding and following an eruption are also observed. In the second time period is in August-September, the tremors are mostly short-duration and intermittent, but we are able to detect a continuous tremor that accompanies an episode of Strombolian eruption and their sources are determined at shallow depths (<2 km depth). Comparison with magma supply system from various studies shows that the estimated depth distribution of the source location appears to consistent with the movement of magma from the shallow magma chamber at about 5 km depth to beneath Showa crater. Our results show that the detection and location methods based on cross-correlation analysis can be very useful to monitor tremor activity at a volcano and provide insights into the movement of magma and eruptive behavior.

Room D | Special session | S23. Frontier of observational seismology-Future of dense seismic observation

[S23]AM-2

chairperson:Katsuhiko Shiomi(NIED)

Fri. Oct 30, 2020 10:30 AM - 11:45 AM ROOM D

[S23-01] Seismological evidence for a seamount subduction in eastern Shikoku

○Katsuhiko SHIOMI¹ (1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

10:30 AM - 10:45 AM

[S23-02] Detection of deep low-frequency earthquakes in the Nankai subduction zone over 11 years using a matched filter technique

○Aitaro Kato¹, Shigeki Nakagawa¹ (1.Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

10:45 AM - 11:00 AM

[S23-03] [Invited] Crustal activity monitoring using ocean networks for earthquakes and tsunamis

○Narumi Takahashi¹, Takane Hori² (1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2.Japan Agency for Marine Earth Science and Technology)

11:00 AM - 11:30 AM

[S23-04] Ambient noise tomography in the forearc region off northeast Japan using S-net

○Ryota Takagi¹, Kiwamu Nishida² (1.Graduate School of Science, Tohoku University, 2.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

11:30 AM - 11:45 AM

Seismological evidence for a seamount subduction in eastern Shikoku

*Katsuhiko SHIOMI¹

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

はじめに

前回、我々は、四国東部下に沈み込むフィリピン海プレート内の海洋モホ面の傾斜方向を詳細に解析し、明瞭な凹凸が存在する可能性があることを報告した（汐見・他, 2019年度地震学会秋季大会）。本講演では、解析範囲を四国全域に拡大するとともに、四国東部についても新たなデータを追加し、その特徴をより明確に捉えるとともに、改めてその解釈を行った。

解析方法・データ

解析には、四国全域に設置されている定常観測点ならびに臨時観測点計153地点で収録された遠地地震波形記録（M5.8; $30^\circ \Delta 90^\circ$ ）を用いた。目視等によりS/Nの良い波形を抽出したのち、0.1-1.0Hzの帯域通過フィルタを適用し、レシーバ関数を求めた。各観測点で求められたradial成分のレシーバ関数で確認される最も顕著な変換波位相に着目し、その位相が変換した面の概略深さと面の傾斜方向を、Harmonic decomposition法（Bianchi et al., 2010）を用いて推定した。この際、Matsubara & Obara (2011)による三次元速度構造モデルを用いた。

結果・議論

四国中部から西部ならびに室戸岬周辺の観測点では、速度不連続面はおおむね北西方向に深くなる傾向を示した。この方向は既存のスラブモデルと整合していることから、解析対象とした顕著な不連続面は海洋モホ面であると解釈した。一方、徳島県北部周辺の観測点では、いずれも、南方すなわち南海トラフに向かって深くなる速度不連続面を検出した。この特徴は従来のモデルからは説明出来ない。しかし、Harmonic decomposition法は各観測点を独立に解析する方法であり、観測環境の異なる近接した複数観測点で同様の結果が得られるということは、その地域の実際の特徴を表していると考えられる。では、この南傾斜の顕著な速度不連続面は何を意味するのか。

過去の構造探査等から、スラブに接する陸側モホ面がトラフ軸側に傾き下がる不連続面として存在しうることが知られている。この場合、陸側モホ面のより深部に、やはり明瞭な不連続面であるはずの海洋モホ面が存在するはずであるが、レシーバ関数からは、後続位相に顕著な変換波を確認することが出来なかった。また、前述の通り室戸岬周辺では北西方向に傾斜する海洋モホ面を検出したと考えているが、徳島県北部の観測点で陸側モホ面を検出したとした場合、南側の観測点に対し、海洋地殻の厚さ（~10 km程度）分、浅く検出される必要があるが、本解析で求めた概略深度はトラフ軸から離れるに従って単調に増加する傾向となっている。以上の特徴から、徳島県北部で検出した南傾斜の不連続面は陸側モホ面ではない。

四国東部沖での構造探査により、室戸岬沖に沈み込む海山が存在することが発見されており、この海山の北側底部に相当する海洋モホ面は南方に傾斜している（Kodaira et al., 2002）。この海山は、四国海盆の過去の拡大軸である紀南海山列の延長上にあり、今回検出した南傾斜の不連続面はさらにその北部延長に位置する。一方、四国東部は深部低周波地震（微動）活動が、四国西部や紀伊半島に比べて低調であるとともに、香川県内と香川・徳島県境付近の2列に分かれて分布するという特徴がある。このうち、県境付近の活動域の南端が本研究で南傾斜の不連続面を検出した観測点の分布とほぼ一致する。このことから、香川県内の活動がスラブ上面と陸側モホ面が接する場所、県境付近の活動は沈み込む海山のような海洋地殻内の構造異常と陸側地殻の接する場所と解釈することが可能である。なお、この地域のレシーバ関数断面は複雑であり、スラブ上面の形状をレシーバ関数から同定することは、現時点では困難である。また、トモグラフィ解析（例えば、弘瀬・他, 2007）でも十分な解像が得られておらず、スラブ上面の形状を解明することは今後の課題である。

謝辞：本研究には、防災科研Hi-net/F-net観測点のほか、気象庁、産総研VA-net、東大地震研究所、京大防災

研究所，高知大による定常観測点ならびに文部科学省「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の一環として設置した臨時観測点のデータを使用しました．本臨時観測の実施にあたって，武田哲也氏，上野友岳氏に多大なるご協力を頂きました．本研究の一部はJSPS科研費JP16H06475およびJP16H06473の助成を受けました．

Detection of deep low-frequency earthquakes in the Nankai subduction zone over 11 years using a matched filter technique

*Aitaro Kato¹, Shigeki Nakagawa¹

1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

To improve our understanding of the long-term behavior of low-frequency earthquakes (LFEs) along the tremor belt of the Nankai subduction zone, we applied a matched filter technique to continuous seismic data recorded by a dense and highly sensitive seismic network over an 11 year window, April 2004 to August 2015. We detected a total of ~510,000 LFEs, or ~23× the number of LFEs in the JMA catalog for the same period. During long-term slow slip events (SSEs) in the Bungo Channel, a series of migrating LFE bursts intermittently occurred along the fault-strike direction, with slow hypocenter propagation. Elastic energy released by long-term SSEs appears to control the extent of LFE activity. We identify slowly migrating fronts of LFEs during major episodic tremor and slip (ETS) events, which extend over distances of up to 100 km and follow diffusion-like patterns of spatial evolution with a diffusion coefficient of $\sim 10^4 \text{ m}^2/\text{s}$. This migration pattern closely matches the spatio-temporal evolution of tectonic tremors reported by previous studies. At shorter distances, up to 15 km, we discovered rapid diffusion-like migration of LFEs with a coefficient of $\sim 10^5 \text{ m}^2/\text{s}$. We also recognize that rapid migration of LFEs occurred intermittently in many streaks during major ETS episodes. These observations suggest that slow slip transients contain a multitude of smaller, temporally clustered fault slip events whose evolution is controlled by a diffusional process.

[Invited] Crustal activity monitoring using ocean networks for earthquakes and tsunamis

*Narumi Takahashi¹, Takane Hori²

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

南海トラフ沿いの大規模地震の発生の可能性が相対的に高まったと評価された場合等に、気象庁は臨時情報を発表する。この場合、日頃からの地震の備えの再確認やできるだけ安全な防災行動をとることが推奨されている。2011年東北地方太平洋沖地震は甚大な被害をもたらしたが、「通常と異なる動き」があったことがb値、p値、地殻変動、地震活動、前震の余効変動等から示された(内閣府、2012)。この「大規模地震の発生の可能性が相対的に高まった」ことを南海トラフ域で示すために、定常的な地殻活動のモニタリングが必要であると考えている。

南海トラフ域は東北沖と異なりマグニチュード(M)2以上を持つ地震活動が低調である。そのため、できるだけ小さい地震を捉え、それらの地震活動の背景である地殻内の応力場変化を把握することが重要である。海底地震・津波観測監視システム(DONET)は稠密な観測体制を構築している。M0.7以上の地震を観測しているが、それらの地震の震源位置、具体的にはプレート境界、上盤、下盤のいずれに分布するか知ることが必要である。これまで海域における断層情報総合評価プロジェクトを通して構築してきた南海トラフ域の三次元速度構造を用いてDONETの走時データから震源位置を評価し直した。その結果海洋性地殻内の断層イメージを得、また、2016年4月1日三重県南東沖の地震の位置がプレート境界であることを確認した。海域構造探査による断層評価と海域観測網によるゆっくりすべりを含めた地震活動を直接比較することが実現しつつある。南海トラフ域の観測体制としては、地殻変動成分も含む超広帯域かつ稠密な観測環境が望ましい。それは、連動発生を考慮すれば余効変動の把握は必要不可欠であるからである。しかし、海底水圧計にはドリフトノイズが含まれ、また、南海トラフ域には海水密度が異なる黒潮が時には位置を変えながら分布する。このドリフトの校正技術や、海面ブイ等を用いた気象と海象の両方の同時観測が行われ、地殻変動観測実現に向けて検討を進めている。

現在、防災科研では、海域観測網は南海トラフ域の土佐沖から日向灘にかけて新たな南海トラフ地震津波観測網(N-net)を構築中である。DONET, S-netやN-netといった海域観測網と高感度地震観測網(Hinet)を組み合わせ、広帯域な地殻活動モニタリングを実現していきたい。これらの情報は、推移予測シミュレーションにつながり、地域の防災減災に貢献することになる。これらの情報を利用して、「地震の備え」や「安全な防災行動」を各地域でカスタマイズしながら取り入れて避難訓練を実施するような形が望ましいと考えている。

Ambient noise tomography in the forearc region off northeast Japan using S-net

*Ryota Takagi¹, Kiwamu Nishida²

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

防災科学技術研究所の日本海溝海底地震津波観測網（S-net）によって、東北日本前弧海域下におけるスロー地震活動や沈み込み帯浅部の構造に関する新たな知見が得られるようになった [e.g., Tanaka et al., 2019; Nishikawa et al., 2019]。しかし、地震発生場の理解に重要だと考えられるS波速度構造の理解は限られている。本研究では、S-netで観測された常時微動の相互相関解析から表面波を抽出し、東北日本前弧海域におけるS波速度構造を推定することが目的である。解析では、2016年8月から2019年8月までの3年分の加速度計データを使用し、センサー設置姿勢の補正 [Takagi et al., 2019] と地震を含むセグメントの除去を行った後、観測点間の相互相関関数を計算した。また、対象とする0.1 Hz以下の周波数帯域では常時微動振幅が機器ノイズレベル以下であるため、Takagi et al. [2020] の方法により観測点間でコヒーレントな機器ノイズの影響を除去した。0.04–0.1 Hzにおいて表面波を抽出でき、SPAC法 [Aki, 1957; Nishida et al., 2008] により位相速度を推定してモードを特定した。Vertical成分同士（VV成分）の相互相関関数とVertical成分とRadial成分（VR成分）の相互相関関数にはレイリー波の基本モードが卓越し、Transverse成分同士の相互相関関数にはラブ波の基本モードが卓越する。また、Radial成分同士の相互相関関数ではレイリー波の卓越モードが海底面の深さによって変化し、浅海域では基本モード、深海域では約0.06 Hzより高周波数帯域において1次高次モードが卓越する。本研究では、まずVV成分とVR成分を用いて、レイリー波基本モードの位相速度マップを推定した。観測点ペア毎の位相速度測定には Nagaoka et al. [2012] の方法、トモグラフィーには Rawlinson and Sambridge [2003] の方法を用いた。0.04–0.06 Hzにおいて、海溝陸側斜面下部では約北緯38度より北部が高速度、南部が低速度と推定された。また、海溝陸側斜面中部では約北緯37度から約北緯39度の範囲で高速度、それより北部と南部で低速度と推定され、特に日高沖と房総沖の低速度領域が顕著である。推定された位相速度分布は主に上盤内のS波速度不均質構造を反映すると考えられるが、レイリー波の1次高次モードおよびラブ波の使用することで、S波速度構造をより拘束できると考えられる。

Room D | Special session | S23. Frontier of observational seismology-Future of dense seismic observation

[S23]PM-1

chairperson: Ryota Takagi (Graduate School of Science, Tohoku University)

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

[S23-05] [Invited] Dense seismic observation using seafloor optical fiber cable system off Sanriku by Distributed Acoustic Sensing

○Masanao Shinohara¹, Tomoaki Yamada¹, Takeshi Akuhara¹, Kimihiro Mochizuki¹, Shin'ichi Sakai¹ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

1:00 PM - 1:30 PM

[S23-06] Estimation of Site Amplification of Azuma volcano: Analyses of Seismic Signals Recorded by Fiber Optic Cable and DAS

○Takeshi Nishimura¹, Kentaro Emoto¹, Hisashi Nakahara¹, Satoshi Miura¹, Mare Yamamoto¹, Shunsuke Sugimura¹, Ayumu Ishikawa¹, Tsunehisa Kimura² (1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Schlumberger)

1:30 PM - 1:45 PM

[S23-07] Analysis of dense records of the DAS observation using fiber optic cable in the urban area

○Kentaro Emoto¹, Hisashi Nakahara¹, Takeshi Nishimura¹, Mare Yamamoto¹, Kodai Sagae¹, Gugi Ganefianto¹, Katsuhiko Yabu¹ (1. Graduate School of Science, Tohoku University)

1:45 PM - 2:00 PM

[S23-08] Characteristics of DAS data by Artificial Vibration

○Masayuki Tanaka¹, Akio Kobayashi¹, Akio Katsumata¹, Koji Tamaribuchi¹, Tsunehisa Kimura², Shunsuke Kubota³, Yukihide Yoda⁴ (1. Meteorological Research Institute, 2. Schlumberger, 3. YK Giken Co., 4. NEC Corporation)

2:00 PM - 2:15 PM

[Invited] Dense seismic observation using seafloor optical fiber cable system off Sanriku by Distributed Acoustic Sensing

*Masanao Shinohara¹, Tomoaki Yamada¹, Takeshi Akuhara¹, Kimihiro Mochizuki¹, Shin'ichi Sakai¹

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

光ファイバをセンサとして用いるDistributed Acoustic Sensing(DAS)計測は、空間的に高密度なデータが取得可能であることから自然地震観測に応用されており、海底ケーブルによる先駆的な観測例もある。DAS計測は、光ファイバセンシング技術の一つで、コヒーレントなレーザー光の短いパルスを送信し、シングルモードファイバに連続して送信し、後方散乱を観測する。ファイバ近傍で発生した振動により発生したファイバの微小な変形が後方散乱波のパターンを変化させることから、振動を検出する。パルスを送出してからの時間が観測点までの距離に対応する。また、後方散乱波のパターン変化検出には干渉測位を用いており、散乱源の距離変化（歪変化）を計測する。干渉させる散乱波の散乱源の距離（ゲージ長）が空間的な分解能に相当し、地震観測の場合はゲージ長は数十mに設定することが多い。すなわち、地震計を数十m間隔で、長さが敷設されているファイバに対応するアレイ観測が行うことができる。

地震研究所は、1996年に三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムを設置し、2011年東北地方太平洋沖地震の被災による中断を経て、現在も観測に用いている。このシステムは将来の拡張用として、6本（3組）のファイバが用意されている。このファイバは、分散シフト・シングルモードファイバであり、DAS計測が適用可能なファイバである。そこで、次期海底ケーブル式観測システムの新技術として、三陸沖光ケーブル観測システムを用いてDAS技術を用いた地震観測を行うこととした。DAS技術による海底観測は、これまで「点」であった観測を、「線」での観測に変化させる画期的なものである。

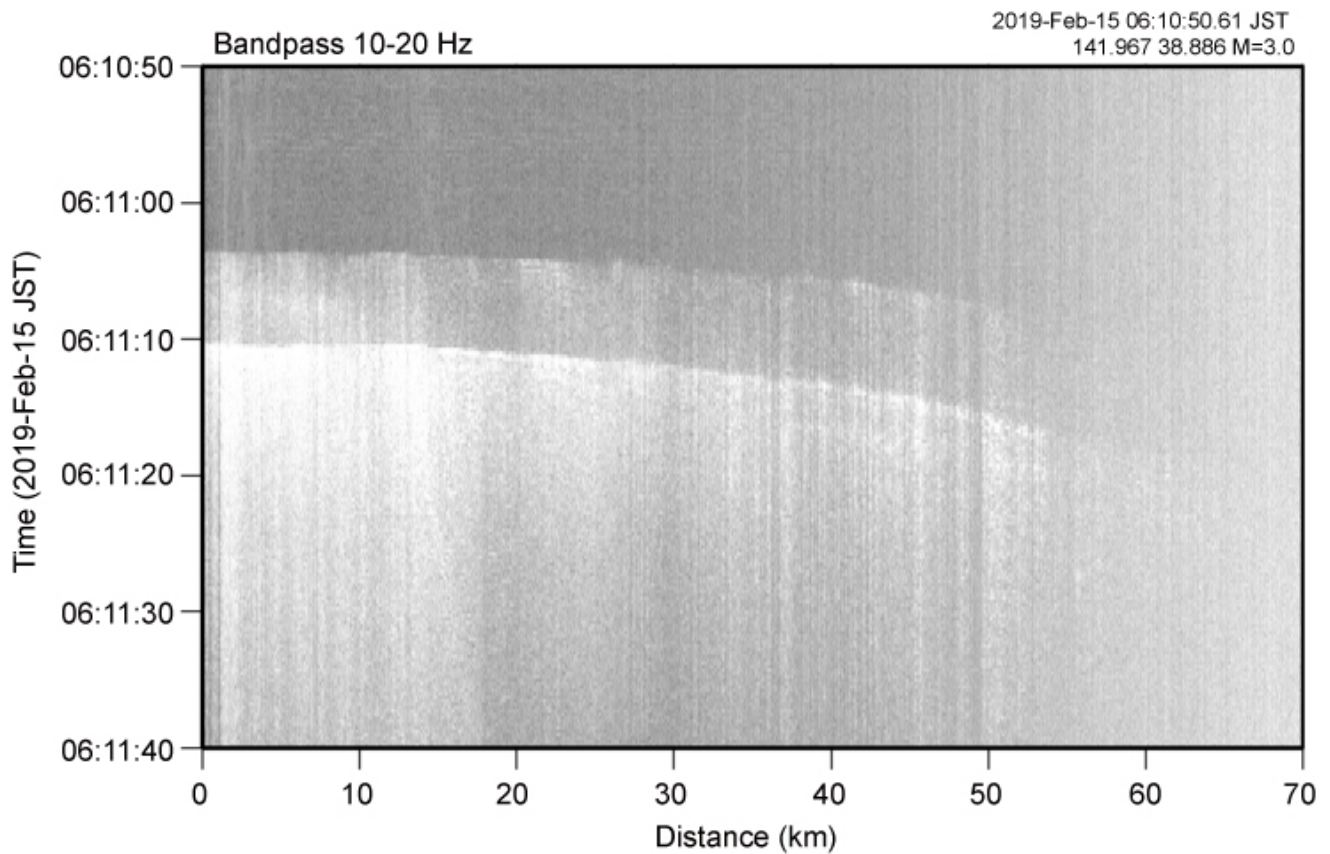
パイロット観測として最初のDAS計測を、2019年2月13日から15日までに実施した。DAS計測の計測器を陸上局に設置し、陸上局から100kmまでの区間において、サンプリング周波数500Hz、ゲージ長(空間分解能)10mまたは40mで連続収録した。収録チャンネル間隔は5mとしたので、全20,000チャンネルのデータとなった。収録期間は約46時間である。その結果、マグニチュード1クラスの微小地震を始め観測システム近傍で発生した小さな地震や深発地震など多数の地震が観測された(図)。また、陸上局から70km程度までの区間において地震波の到達を確認することができた。また、雑微動のノイズスペクトルを求めたところ、陸上の歪計に比較可能なレベルであることもわかった。

DAS計測技術は発展中の技術であり、計測装置についても、各社からそれぞれの特徴がある装置が提案されている。そこで、複数の会社の装置をもって試験観測を実施し、開発を進めることとした。2019年6月25日から28日にかけては、1回目とは異なる計測器により、約72時間の観測を行った。計測装置の特徴により、6月の測定では、計測全長は5kmと短くなったが、チャンネル間隔1m、ゲージ長は7mから32mとして高精度の観測とした。この観測においても、観測システム近傍で発生した比較的規模の小さな地震や、深発地震など多数の地震が観測され、検出性能としては二つの計測装置にほぼ違いがないこと、また、ノイズスペクトルの比較からも異なる計測装置間でもノイズレベルは同等であることがわかった。

2回のパイロット観測により、海底ケーブルを用いたDAS計測による地震観測は有用であることが明らかとなった。海底におけるモニタリング観測のためには、さらに長期の収録期間が必要となる。また、DAS計測データの評価には、より長期間のデータが必要である。そこで、モニタリング観測を意識して、できる限り長期間で連続したDAS計測を、2019年11月18日から12月2日にかけて実施した。記録期間は記録装置の容量に依存しており、現状は2週間が最長となった。収録パラメータの多くは、2月の実験と同じとした。ただし、収録容量を削減するために、全計測長を18日は約48kmとし、2日目からは70kmとした。データの総容量は15テ

ラバイトとなった。同じく、深発地震を含む多くの地震が収録され、良好な記録が得られた。今後は、このデータを用いて、DAS計測データの評価を進めるとともに、長期モニタリングのためのデータ処理・収録システムの開発を検討する。

図 2019年2月に実施した三陸沖光ケーブル観測システムにおけるDAS計測により収録された地震記録例。横軸は陸上局からの距離、縦軸は時間である。



Estimation of Site Amplification of Azuma volcano: Analyses of Seismic Signals Recorded by Fiber Optic Cable and DAS

*Takeshi Nishimura¹, Kentaro Emoto¹, Hisashi Nakahara¹, Satoshi Miura¹, Mare Yamamoto¹, Shunsuke Sugimura¹, Ayumu Ishikawa¹, Tsunehisa Kimura²

1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Schlumberger

通信用に開発された光ファイバー内を伝播する光は、ファイバーコア内の欠陥や不純物などにより後方散乱される。その散乱波を利用したDistributed Acoustic Sensing(DAS)systemを用いることで、ファイバーに生じた歪みの時間変化を数メートルから数十メートル間隔で測定することができる。今回、このシステムを利用して地盤増幅特性を推定したので報告する。

解析に用いたデータは、2019年秋季大会、2020年JpGUで報告した、磐梯吾妻スカイラインの道路に沿った光ファイバーケーブルとDASによるものである。土湯温泉ゲートから浄土平までの総長14.2kmにわたり、間隔10m、ゲージ長40mで歪み速度を記録している。道路はほぼ南北方向に伸びているが、その中程と南側でつづら折りとなっている箇所もある。光ファイバーケーブルは、深さ50cmほどに埋設された管内に設置されている。2019年7月4日から、南端にある土湯温泉ゲートに、シュルンベルジェ社のheterodyne Distributed Vibration Sensing (hDVS)を設置し、サンプリング周波数1000Hzで約3週間の連続観測を行った。

自然地震のコーダ波は、十分時間が経過すると空間的にほぼ一様に分布すると考えられる。そこで、コーダ波の相対振幅を測定することで、観測箇所の地盤増幅特性を評価する。用いたデータは、観測期間中に観測された、太平洋沖や内陸で発生した震央距離50-100km、深さ100km以浅の自然地震11個である。コーダ波による解析ではS波走時の2倍以降のデータを利用することが一般的であるが、観測箇所の分布範囲に比べて震源距離が十分大きい。そこで、S波の着信時から50秒後までの波形に対して、10秒間の解析窓を10秒ずつずらしながらRMS振幅を読み取り、測線の中央付近に設定した基準点に対する相対振幅を読み取った。解析周波数は2-6Hzである。解析に用いた地震波は、S波着信時から50秒後までのコーダ波であるが、解析窓の位置の違いによる地盤増幅特性の顕著な違いは認められなかった。

解析の結果、S波増幅特性は、全体として、敷設されている光ケーブルの北側の地域で大きく、南側の地域で小さいことが明らかとなった。地盤増幅特性の大きい北側の光ファイバーが敷設されている場所は、吾妻小富士、一切経山、東吾妻山、高山などの山麓に位置し、比較的平坦な地形の上である。過去の溶岩流や火砕堆積物が積もっていると考えられることから、浅部表層は軟弱地盤で構成されており、増幅特性が大きくなったと推察される。一方、小さい地盤増幅特性が推定された南側の地域は、深い谷地形や尾根筋に光ケーブルが敷設されている。火砕堆積物が浸食されるなど、浅部に軟弱地盤がないと想定される。北側の小河川沿いも、地盤増幅特性が周辺に比べてやや小さい箇所が認められる。

光ファイバーケーブルとDASを利用して自然地震を記録することにより、数10m間隔で容易に地震動が記録できることから、長基線にわたって詳細な地盤増幅特性を調べることが可能であることがわかった。

謝辞

国土交通省の光ファイバーを借用した。観測に当たって、国土交通省東北地方整備局福島河川国道事務所の方々に便宜を図っていただいた。

Analysis of dense records of the DAS observation using fiber optic cable in the urban area

*Kentaro Emoto¹, Hisashi Nakahara¹, Takeshi Nishimura¹, Mare Yamamoto¹, Kodai Sagae¹, Gugi Ganefianto¹, Katsuhiko Yabu¹

1. Graduate School of Science, Tohoku University

近年、光ファイバーケーブルを用いたDAS（Distributed Acoustic Sensing）が地震学において用いられるようになってきた。これは、光ファイバーケーブルを伝わる光パルスの後方散乱波の変化から、ケーブルが変形した位置とその地点におけるひずみを検出するものである。一つの計測装置と一本のケーブルで、数十kmを数m間隔で計測できることが最大の利点である。既存のケーブルを用いる際の地面とケーブルのカップリングや、計測される物理量がひずみテンソルの1成分のみといった制約があるものの、地震学での利用を目的とした手法開発や、観測事例の蓄積が行われてきている。我々は、宮城県内を通る国道4号線沿いに敷設されている通信用の光ファイバーケーブルを利用し、DAS観測を行った。得られた波形記録や、雑微動に地震波干渉法を適用した結果等を紹介する。

計測装置は国土交通省古川国道維持出張所内に設置し、光ファイバーケーブルは、そこから南方向に国道4号線に沿って約50km伸びている。ケーブルは途中で長町利府断層を横切る。ゲージ長・チャンネル間隔は共に5mとし、合計約1万箇所において、500Hzサンプリングで、ケーブルに沿った方向のひずみ速度を記録した。計測は2020年1月から2月にかけての1ヶ月間行った。国道4号線は昼夜を問わず交通量が多いため、全ての時間帯で交通ノイズの影響が見られた。孤立した車の走行ではなく、何台もの車がまとまって通過するため、交通ノイズの波形は複雑で、単純に分離することはできない。期間中に発生したいくつかの地震も記録されたが、交通ノイズの影響は避けられないものであった。また、橋梁部分では、車の通行により橋全体が揺れる振動が見て取れた。長町利府断層の北側で行われていた工事の影響で、光信号の減衰が生じ、長町利府断層付近を含めてその南側ではノイズが大きい記録となった。

得られた1ヶ月間の連続記録に対し、地震波干渉法を適用した。約1万チャンネルを200チャンネルごとのセグメントに分け、各セグメント内のペアで相互相関関数を計算した。計算の際には、時間領域での1bit化と、周波数領域でのホワイトニングを行った。相互相関関数の収束はセグメントによって異なるものの、S/Nのよいセグメントでは、2Hzから8Hzの周波数帯で対称性のよい相互相関関数が得られ、550m/sから600m/s程度で伝播する波が検出された。この周波数帯は、交通ノイズによるシグナルのパワーが強いため、ケーブルのほぼ真上を通る車によるノイズにより、伝播する波が検出されているのだと考えられる。今後、セグメントごとの伝播速度の違いや、相互相関関数の収束性に関する議論を行う予定である。

謝辞

国土交通省所有の光ファイバーを使用させていただいた。観測に当たって、仙台河川国道事務所の方々に便宜を図っていただいた。

Characteristics of DAS data by Artificial Vibration

*Masayuki Tanaka¹, Akio Kobayashi¹, Akio Katsumata¹, Koji Tamaribuchi¹, Tsunehisa Kimura², Shunsuke Kubota³, Yukihide Yoda⁴

1. Meteorological Research Institute, 2. Schlumberger, 3. YK Giken Co., 4. NEC Corporation

近年、分布型音響センシング（DAS; Distributed Acoustic Sensing）の技術を用いた地震観測について多数報告されている。DASは、光ファイバ（コア部分）の一端から非常にコヒーレントな短波長の光パルスを入射し、コア内に存在する多くの分子レベルの不純物や欠陥に衝突して発生する後方散乱光が入射端に戻るまでの時間を計測する。光ファイバは振動や温度等の外乱で変形し、変形した場所で光パルスに位相差が生じる。光パルスの波長変化はひずみ変化速度に対応し、光パルスを等間隔で連続的に入射することにより、ピコストレインレベルのひずみの時間変化が観測できる。しかも、一回のパルスでファイバ全域を細かい間隔で観測できる。

2020年3月、静岡県浜松市天竜区船明地区にある延長約900mの船明トンネル内にて、シングルモード4芯1kmの光ファイバケーブルを敷設し、アダプタで芯同士を接続して総延長4kmのファイバケーブルでDASの試験観測を実施した。これまでの調査で、DASと地震計の双方で観測された近地自然地震の波形記録を比較したところ、地震計記録で見られるP相、S相の実体波はDAS記録でも見られる。また、DASの波形記録はファイバに沿う方向と同じ南北方向の地震計記録と相関が強い。ファイバ近傍で稼働中の真空ポンプのモーター振動及びその高調波などが明瞭に観測された。

しかしながら、DASのデータは、①ゲージ長で区間平均された値である、②不純物や欠陥に当たり発生する散乱光は非常に微弱で、入射する光パルスの強度には上限があり、かつファイバには伝送損失があるため、より遠方の散乱光の信号強度は装置近傍よりも弱くなり、そして、より遠方ほど測定精度は劣るため、S/N比を上げるため加算平均等の処理が行われている、③DASで観測されるデータの物理量はひずみ速度である、など、地震計とは異なる点がある。地震観測で規模推定にDAS記録を用いるには、少なくとも同じ地点で入力振動に対して観測値が線形性を有していることが必要である。また、通常地震波動解析を行う上で再現性が重要である。

船明トンネル内に敷設したファイバは、約30mを2往復半折返している箇所があり、固有周期1秒の三成分速度型地震計が1台設置されている。そこで、敷かれているファイバと直角に30、60、100、130、160、200cm離れた場所で、ハンマーで地面を叩いて振動を起こし、DASの記録に、地震計のように振動源からの距離に応じて振動の減衰が見られるか、同じ設置環境にある同じ場所の異なるファイバで観測される記録と大きく変わらないかなどについて調べたので紹介する。

Room D | Special session | S23. Frontier of observational seismology-Future of dense seismic observation

[S23]PM-2

chairperson:Aitaro Kato(Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

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

[S23-09] 3-D S-wave velocity structure derived by ambient noise tomography using dense short-period OBS array of off Ibaraki region

○Lina Yamaya¹, Kimihiro Mochizuki¹, Takeshi Akuhara¹, Kiwamu Nishida¹, Tsuyoshi Ichimura¹, Kohei Fujita¹, Takuma Yamaguchi¹, Takane Hori² (1.ERI, Univ. of Tokyo, 2.JAMSTEC)

2:30 PM - 2:45 PM

[S23-10] High-density event locations with high-density OBS network at off-Ibaraki region

○Shinji Yoneshima¹, Kimihiro Mochizuki¹ (1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

2:45 PM - 3:00 PM

[S23-11] [Invited] Dense seismic observation design for capturing background of large inland earthquakes (lessons from "0.1Manten" hyper dense seismic observation)

○Satoshi Matsumoto¹ (1.Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University)

3:00 PM - 3:30 PM

3-D S-wave velocity structure derived by ambient noise tomography using dense short-period OBS array of off Ibaraki region

*Lina Yamaya¹, Kimihiro Mochizuki¹, Takeshi Akuhara¹, Kiwamu Nishida¹, Tsuyoshi Ichimura¹, Kohei Fujita¹, Takuma Yamaguchi¹, Takane Hori²

1. ERI, Univ. of Tokyo, 2. JAMSTEC

本研究では、茨城沖領域に約6km間隔で展開された短周期海底地震計による数ヶ月間の観測波形に地震波干渉法を適用することで、工学的基盤から地殻上部までの3次元S波速度構造を推定した。2010年10月17日(一部は2011年2月14日)から2011年10月7日にかけて、約6km間隔の短周期海底地震計 (Lenartz 3-D Lite) 32台からなる稠密観測網が茨城沖領域に展開されていた。地震波干渉法 (e.g., Bensen et al., 2007) ではノイズ源の空間的な等方分布を仮定する必要があるため、地震の数が比較的少ない2011年3月8日まで(三陸沖地震(2011年3月9日)及び東北地方太平洋沖地震(同3月11日)の発生前)の観測波形を用いた。

鉛直成分及びradial成分同士の相互相関関数を計算し、鉛直成分からレイリー波の基本モード、radial成分からレイリー波の基本モードと1次高次モードを確認した。まず、spatial auto-correlation (SPAC) 法 (Aki 1957; Nishida et al., 2008)を用いて平均的な分散曲線を測定し、trans-dimensional Markov chain Monte Carlo法 (e.g., Bodin et al., 2012)を用いて平均的な1次元構造を推定した。その結果、最上部に厚さ500mの堆積層 (V_s : 360 m/s)、その下に厚さ1.6kmの堆積層 (V_s : 930 m/s)を推定した。これらの堆積層の下は音響基盤と考えられ、この深さは構造探査によるP波速度構造 (e.g., Tsuru et al., 2002; Mochizuki et al., 2008) とおおよそ一致している。さらに、位相速度の平均からの摂動を推定し (following Nagaoka et al., 2012)、位相速度mapを作成した。その後、各空間グリッドに対して1次元S波速度構造の線形インバージョン (Herrmann, 2013)を行い、これを足し合わせることで3次元のS波速度構造を推定した。堆積層の厚さの変化は摂動としては大きかったが、変化の絶対値は海底面の起伏より小さかった。一方で、上部地殻の構造については、領域の北側より南側の方が複雑であった。本研究領域の南側には海山が推定されており (Mochizuki et al., 2008)、Sun et al. (2020)により海山の沈み込みが上部地殻の構造を複雑にすることが示されている。したがって、本研究領域でも、海山沈み込みに伴い上部地殻が複雑になったと考えられる。

また、本研究の結果を用いた3次元理論波形計算を行った。本観測領域は海底深度が2000から3000mと幅広く、また表面にS波速度の遅い層が厚く堆積しているため、地形の効果が無視できないと考えられる。そのため、本研究で推定した構造を用いて3次元理論波形計算を行い、構造の効果を解釈する。

High-density event locations with high-density OBS network at off-Ibaraki region

*Shinji Yoneshima¹, Kimihiro Mochizuki¹

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

Until 2011 Tohoku-oki earthquake, off-Ibaraki region has been known to be seismically inactive, not only large but even small-to-moderate earthquakes. In this region, a subducting seamount was discovered by Mochizuki et al (2008) in this low seismicity area, and a weak coupling was suggested to account for this low seismicity.

Just after 2011 Tohoku-oki earthquakes, many earthquakes had occurred including the largest aftershock (Mw7.8) of Tohoku-oki earthquake. This suggests that this region is seismically active, presumably as an interaction with the seamount subduction.

Six months before and after the Tohoku-oki e.q. a high-density OBS survey had been conducted from October 2010 to September 2011 with quite dense (6km) spacing. In this OBS experiment, quite a large number of earthquakes (>60,000) were recorded and ~20000 events were located.

A tomography with a double difference hypocenter relocation was applied to obtain the velocity structure and especially the precise hypocenter locations.

The relocated hypocenters formed some clusters in a three-dimensional space. We focused on a cluster that was aligned along the near-vertical direction, whereas many clusters are aligned along the dip and strike directions of the subducting oceanic plate.

This vertically aligned cluster ranges from approximately 8 to 24 km depth, corresponding to above the plate boundary to below the plate boundary, perhaps below Moho. We made a common station gather for these events, which is analogous to a zero-offset reverse VSP (station is located on the seafloor and sources in the underground along a near-vertical trajectory).

We will discuss whether there are any featured converted phases in this gather such as a reflection from the plate boundary so as to gain an insight about the precise depth information of these earthquakes in conjunction with the subducting seamount.

[Invited] Dense seismic observation design for capturing background of large inland earthquakes (lessons from "0.1Manten" hyper dense seismic observation)

*Satoshi Matsumoto¹

1. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University

はじめに

内陸領域で発生するマグニチュード7クラスの地震は大きな被害を周辺領域に与える。このような地震の発生場をとらえ、その特徴を抽出することが将来の内陸地震発生ポテンシャル評価につながると考えられる。このクラスの地震は断層長が30km程度であり、断層を取り巻く構造や地震活動、応力、変形を詳細にとらえることは広域の地震観測網がおおよそ20km間隔であることから難しい。このため、断層周辺により稠密な地震観測網などを展開し、詳細な特徴の把握が試みられている。その結果、速度構造が破壊の開始点や大すべり域に関連していることや断層周辺では応力場が不均質であり、さらに地震前後での変化が検出されている。この場合でも数キロメートルの分解能、発震機構解では数度以上の誤差を持っているため詳細な議論ができなかった。そこで、我々は2000年鳥取県西部地震震源域において1000点の地震観測点を設置し、地震検出能力、発震機構解の精度、構造分解能の向上を目指した（0.1満点地震観測）。ここでは、得られた成果を紹介するとともに今後の内陸大地震発生場解明のための地震観測について検討する。

0.1満点地震観測

2017年3月から2018年4月まで、鳥取県、島根県、岡山県にまたがる領域（直径約35km）に1000点の上下動地震計を設置した。これらは現地調査、観測、保守、撤収まで京大、東大、九大を中心とした多くの研究者と現地のボランティアによって実行された。得られたデータを自動読み取り処理を施し、精度の高いもので1年間のうちに約5000個のイベントが検出された。マグニチュード（M）マイナス1程度まで十分に検出され、また、M>0.5程度の発震機構は精度良く決めることができた。これらのデータをより詳細に解析した結果、火山や地熱地帯で観測されるノンダブルカップル成分を持つ地震が多数発生していることが明らかになった。これは観測点数が500点以上ないと十分検知できないことも分かった。また、本震発生直後と約18年経過した地震活動、メカニズム解を調べた結果、地殻応答がべき乗流体として近似できることや異常なすべりの存在が示唆された。また、構造分解能は1km以下となり、地質構造に対応する詳細な速度異常も発見された。このように詳細な構造・活動特性はこの地震が断層上でもかなり不均質な特性を持ち、流体との関連も強く示唆された。

今後の課題

このように1000点もの観測を行うことにより従来見えなかった多くの知見が得られた。この程度のスペックを持つ観測をM7クラスの地震断層について行うことが、発生した背景や活動特性への理解すすめ、将来へのポテンシャル評価へつながると考えられる。一方では、現状ではボランティアベースのため、多数を行うことには困難が伴う。現在の定常地震観測網（20km間隔）の中でより稠密な観測をするべき地域、調査する内容などを適切に考え、観測デザインすることやそれができる人材を育成することが最も重要だと考えられる。