

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）光ケーブル式海底観測システムと分散型音響センシング技術による海域地震観測・解析技術の開発

（英文）Development of observations and data analyses using distributed acoustic sensing and seafloor optical cables

(3) 関連の深い建議の項目：

6 観測基盤と研究推進体制の整備

(1) 観測研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度かつ大規模な地震・火山噴火現象の解明

地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測（重点研究）

ア. プレート境界巨大地震の長期予測

5 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究

(1) 南海トラフ沿いの巨大地震

(2) 首都直下地震

(5) 本課題の5か年の到達目標：

光ファイバセンシング技術の一つであり、振動を計測する分散型音響センシング（Distributed Acoustic Sensing、以下DAS）は、近年様々な分野で応用され始めている。地震関係分野では、資源探査のための構造調査に多く利用されており、地震観測にも適用され始めている。この計測は、光ファイバー末端からレーザー光のパルスを送出し、光ファイバー内の不均質から散乱光を計測し、その変化から、振動を検出する方法である。光ファイバーに沿って、時空間的に密な観測を実施できることが特長である。国内では、地震津波観測システムとして過去に設置された海底光ケーブル観測システムのうち、使用可能な光ファイバがあるシステムでこれまでに観測が行われている。例えば、地震研究所が1996年に設置した三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムは、伝送路である海底ケーブルに予備の光ファイバがあり、この予備光ファイバに、DAS計測を適用することによって、空間的に高密度の海底地震観測が実施できることがわかっている。海洋研究開発機構でも室戸岬沖に「海底地震総合観測システム」として敷設された光ケーブルを用いた試験観測を進めるとともに、地方自治体や民間が所有する通信用海底ケーブルを用いた観測にも取り組んでいる。DAS観測が生成するデータは莫大なものであり、定常観測を行うためには、引き続き、解析技術も含めた技術開発が必要である。本研究課題では、現在利用可能な海底ケーブルシステムにDAS技術を適用して、稠密な海底地震観測を定常的に行うシステムを開発すると共に、このシステムを用いて観測域の地殻活動を把握することを目的とする。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

海底ケーブルシステムの設置に大きな費用がかかるために、海底ケーブルを用いる観測技術開発を行う本研究課題では、対象を現在設置済みの海底光ファイバを用いた地震津波観測システムを対象とする。現在設置されているケーブル観測システムにおいても、分散型音響センシング(DAS)技術による計測は専用の光ファイバを必要とするために、使用していないまたは予備の光ファイバを含むシステムを用いて、技術開発を進める。DAS技術による地震観測は、数mの間隔で、数十kmにわたり、データを取得することができることが特長である。しかしながら、DAS技術による地震観測は単位時間あたりに生成されるデータ量が莫大なものであり、定常的に観測を実施するためには、莫大なデータを適切に取り扱う技術開発やデータから情報を抽出する解析技術開発が必要である。現在、国内において定常的なDAS観測を行っている例もあり、その技術を発展させることで、国内でDAS計測可能な既存システムを用いて定常観測を実施する。一方、現在S-netやDONETなどのケーブル観測システムが稼働しており、これら従来の海底地震津波観測システムからのデータと併合処理することにより、地殻活動を高精度に把握する解析手法も開発する。DASはファイバ軸方向の成分のみを観測していることから、従来の地震計との併合処理が有益である。以上を達成するために、本研究課題では主たる開発項目を、

- ・ 既設の光ケーブル式海底観測システムを用いたDAS技術による地震観測データの評価
- ・ 定常観測を実施するためのデータ量低減技術の開発
- ・ 稠密データから必要な情報抽出するデータ処理技術の開発
- ・ DASデータと従来の観測網データの併合処理による高精度解析技術の開発

とする。さらに、システムが構築できた場合には、DAS観測システムによる地殻活動の高精度モニタリングを実施する。また、大学・研究機関が所有する地震津波観測システム以外の海底ケーブルのファイバの利用や、広帯域地震・地殻変動の観測が期待できる光ファイバ計測技術についても広く検討を実施する。

(7) 令和6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地震研究所が所有する三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムの予備光ファイバおよび新潟県粟島周辺に設置されている海底ケーブル地震観測システムのファイバに、DAS計測器を接続し、空間的に高密度の海底地震観測を実施した。また、これまでに蓄積したデータを用いた解析を進めた。さらに、2024年4月に、三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムの予備光ファイバに仏国FOSINA社のDAS観測装置を接続した観測を実施した。このDAS装置は、Heterodyne方式を用いており、ゲージ長が異なるデータを計測後のデータ処理により作成できることが特長である。今回は、300m以上のゲージ長によるDASデータを作成した。新潟県粟島周辺に設置されている海底ケーブル地震観測システムによる2024年能登半島地震のDAS計測による余震観測は、2024年2月に開始し、5月に終了し、多数の余震を観測することができた(図1)。高知県沖から日向灘にかけての海域では、新しいケーブル式海底地震津波観測網N-netが開発整備されている。N-netは沖合システムと沿岸システムの2つの観測システムからなり、海底ケーブルは片端は宮崎県串間市に、もう一つの片端は高知県室戸市に陸揚げされている。南海トラフに近い領域に敷設された沖合システムの試験運用は2024年7月に開始された。通信用光海底ケーブルでは、束ねたファイバが鉄線やポリエチレンなどの保護材と一体化した金属製のパイプに通っている。以前はパイプに接着剤などが詰められ、ファイバがケーブル本体と強く結合していた(リジッド)が、2010年頃からの光海底ケーブルは張力がかかってもファイバが切断しにくいようにパイプにはジェリーなど柔らかい物質が詰められるようになった(ルース)。これまで国内で行われたDAS観測の多くはリジッド海底ケーブルを用いており、ルース光海底ケーブルを用いたDAS観測は余り行われていない。N-netシステムはシステム全体を考慮してルース光海底ケーブルが用いられている。このような背景の元で、N-net沖合システム串間局側においてDAS計測を実施し観測データの評価を行った。DAS観測は2024年8月から10月まで行い、良好な記録が得られた(図2)。観測開始後の8月8日には日向灘で発生した気象庁マグニチュード7.1の地震を観測し、その後も多数の余震が観測された。また、雑微動の解析からは、ノイズレベルが国内他地域のシステムにおけるノイズレベルとほぼ同じであり、結合がルースであるN-netの海底ケーブルにおいてもDAS計測が有益であることがわかった。

・ 「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

現在利用可能な海底ケーブルシステムにDAS技術を適用することにより、稠密な海底地震観測を定常的に行うシステム開発に利する基礎的なデータを得ると共に、DAS観測による観測域の地殻活動把握に貢献する観測が実施できた。また、防災技術に活用するための基礎データも取得している。例えば、現在狩猟となっている結合がルースな海底ケーブルを用いても、精度の高い地震観測が実施可能であることが判明した。また、近距離での大地震の観測を行ったことにより、大地震の震源決定及び規模推定について、さらなる技術開発が必要であることもわかった。

(8) 令和6年度の成果に関連の深いもので、令和6年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Fukushima, S., M. Shinohara, K. Nishida, A. Takeo, T. Yamada and K. Yomogida, 2024, Retrieval and precise phase-velocity estimation of Rayleigh waves by the spatial autocorrelation method between distributed acoustic sensing and seismometer data, *Geophys. J. Int.*, 237, 1174–1188. <https://doi.org/10.1093/gji/ggae103>, 査読有, 謝辞無

Miao, Y., A. Salaree, Z. J. Spica, K. Nishida, T. Yamada and M. Shinohara, 2024, Assessing the Earthquake Recording Capability of an Ocean-bottom Distributed Acoustic Sensing Array in the Sanriku region, Japan, *Seismol. Res. Lett.* 4 <https://doi.org/10.1785/0220240120>, 査読有, 謝辞無

Shinohara, M., T. Yamada, S. Fukushima, and H. Yamahana, in press, Distributed acoustic sensing observation using seafloor cable observation system in the Japan Sea, 2025 IEEE Underwater Technology (UT), 査読無, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Shinohara, M., T. Yamada, T. Yagi, M. Masuda, T. Hashimoto, H. Abe, S. Fukushima, and H. Yamahana, Seismic observation using the seafloor optical fiber cable with distributed acoustic sensing in the Japan Sea, Japan Geoscience Union Meeting 2024, STT36-03, 17 May, 2024.

Shinohara, M., S. Sakai, and T. Yamada, Long-term continuous seafloor observation for earthquake and tsunami using developed ICT cable observation system off Sanriku, Japan, OCEANS 2024 Halifax, AL1, 24 Sep. 2024.

篠原雅尚・青井真・武田哲也・功刀卓・植平賢司・望月将志・田中伸一・増田正孝、N-net沖合システムによる分散型音響センシング海底地震観測、日本地震学会 2024年度秋季大会、S02P-01、2024年10月22日

Shinohara, M., Innovative seafloor seismic observations with distributed acoustic sensing technology, ERI-IPGP Workshop, WG1 Innovative observation & data, 12 Nov. 2024.

Shinohara, M., S. Aoi, S. Fukushima, T. Yamada, T. Takeda, T. Kunugi, K. Uehira, M. Mochizuki, T. Akuhara, K. Mochizuki, and S. Sakai, Seismic observations by DAS using seafloor cable systems around Japan, SZNet Ocean Floor Observational Technology Workshop, Session 4 - coseismic rupture & tsunamis, landslides, and other hazards, 15 Jan. 2025.

(9) 令和6年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 令和7年度実施計画の概要：

現在設置済みの海底光ファイバを用いた地震津波観測システムを対象とした研究を継続する。DAS観測システムによる地殻活動の高精度モニタリング実施の検討に必要なデータの取得、解析方法の開発を実施する。また、DAS技術による地震観測データを適切に取り扱う技術開発やデータから情報を抽出する解析技術開発も実施する。最終的には、効果的な定常観測システムの開発に向けて、これらを観

測及び技術開発を進める。具体的には、

- ・ 既設の光ケーブル式海底観測システムを用いたDAS技術による地震観測データの評価
 - ・ 定常的観測を実施するためのデータ量低減技術の開発
 - ・ 稠密データから必要な情報抽出するデータ処理技術の開発
 - ・ DASデータと従来の観測網データの併合処理による高精度解析技術の開発
- を引き続き、実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

篠原雅尚（東京大学地震研究所）、塩原肇（東京大学地震研究所）、望月公廣（東京大学地震研究所）、山田知朗（東京大学地震研究所）、悪原岳（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

荒木英一郎（海洋研究開発機構）、尾鼻浩一郎（海洋研究開発機構）、青井真（防災科学技術研究所）、功刀卓（防災科学技術研究所）、武田哲也（防災科学技術研究所）、藤原広行（防災科学技術研究所）、中村洋光（防災科学技術研究所）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所

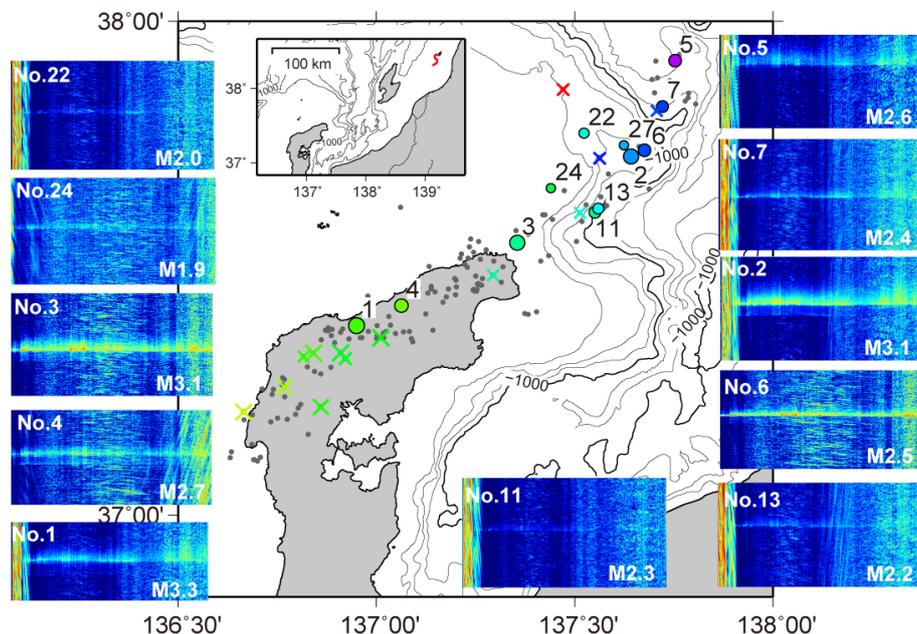


図1 新潟県粟島沖に設置されている地震観測システムによる2024年能登半島地震余震のDAS観測記録
DAS観測による余震観測は2024年2月8日から開始した。2月8日と9日に発生した気象庁震源カタログにリストされている地震の一部についてDAS記録と比較し、記録できていない余震を⊗で、DAS観測できている余震を○で表示した。色は震源の深さを表している。波形記録の番号と震央分布の番号が一致している。震央距離が200km以上にもかかわらず、マグニチュード2程度までの地震が記録できている。

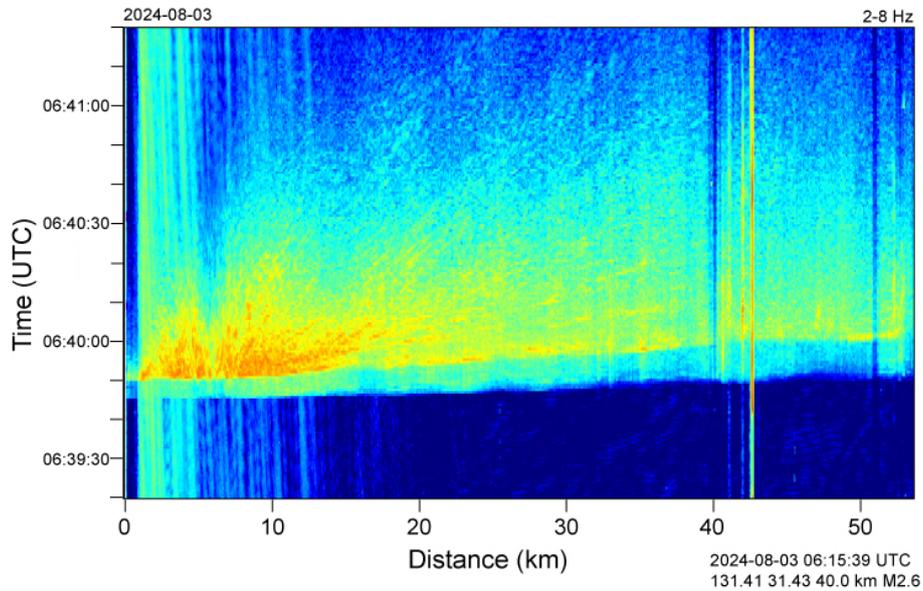


図2 日向灘に設置されているN-net沖合システムによるDAS観測で記録された地震の例
 地震は2024年8月3日に日向灘で発生した地震の周波数帯抽出データ。深度とマグニチュードはそれぞれ40kmと2.6である。図の横軸は串間局からの距離、縦軸は時間である。暖色は振幅が大きいことを示している。観測点間隔は10m, ゲージ長は100mである。また、レーザーパルスの発振周波数は800Hz,であり、記録は200Hzとしている。P波とS波を明瞭に見ることができる。