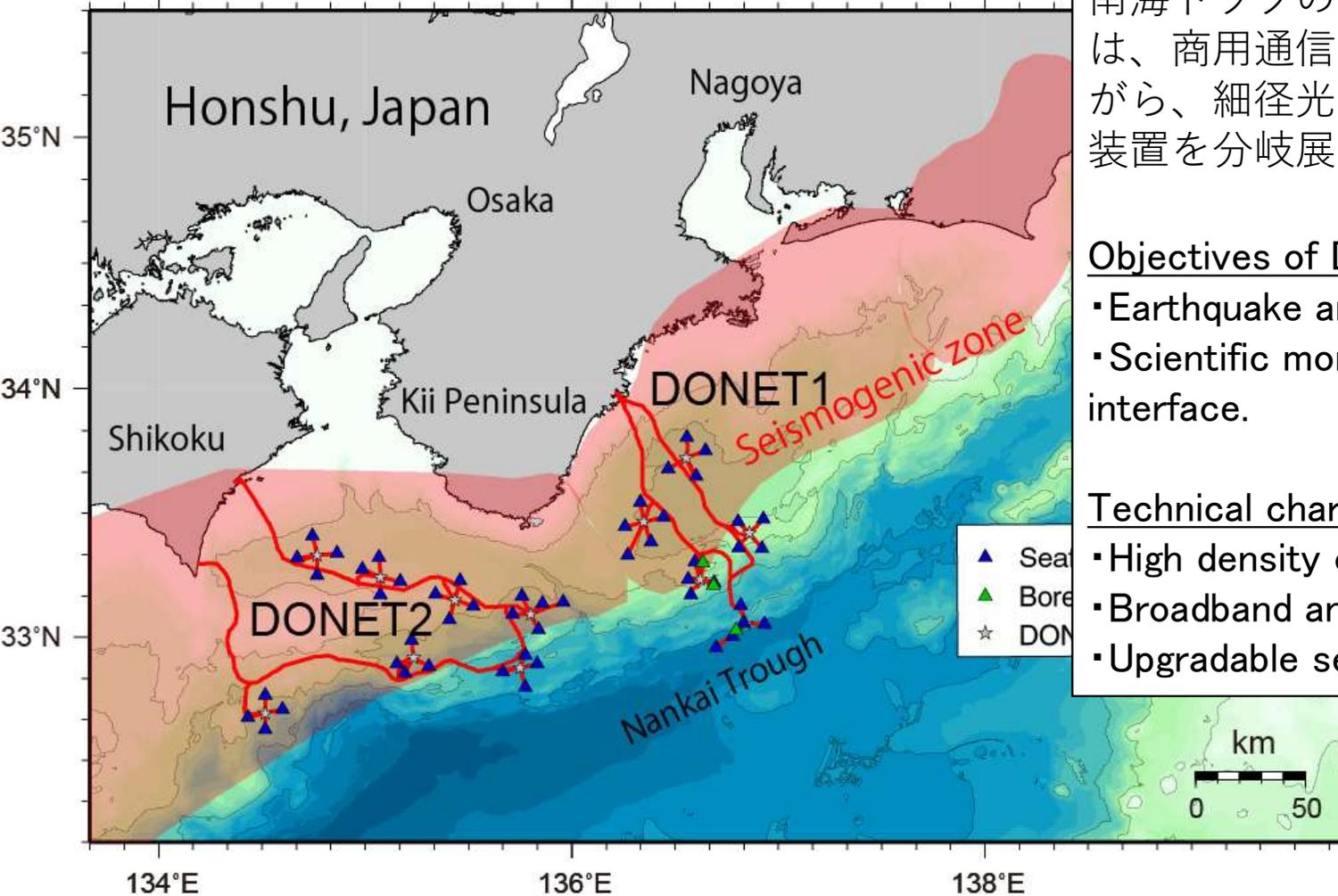


# 海底光ファイバーケーブルによる 海底地殻変動・地震観測への展望

荒木英一郎  
海洋研究開発機構

ワークショップ：海底ケーブルの科学利用と関連技術に関する将来展望  
2019/11/22

地震・津波観測監視システム  
Dense Ocean-floor Network for  
Earthquake and Tsunamis (DONET)



海洋研究開発機構では、海底ケーブルを使った海底地震のリアルタイム観測技術の開発を行ってきました。

南海トラフの地震発生帯に設置したDONETでは、商用通信ケーブル網の技術をベースにしながら、細径光ファイバーケーブルで多数の観測装置を分岐展開・接続する方式を採用しました。

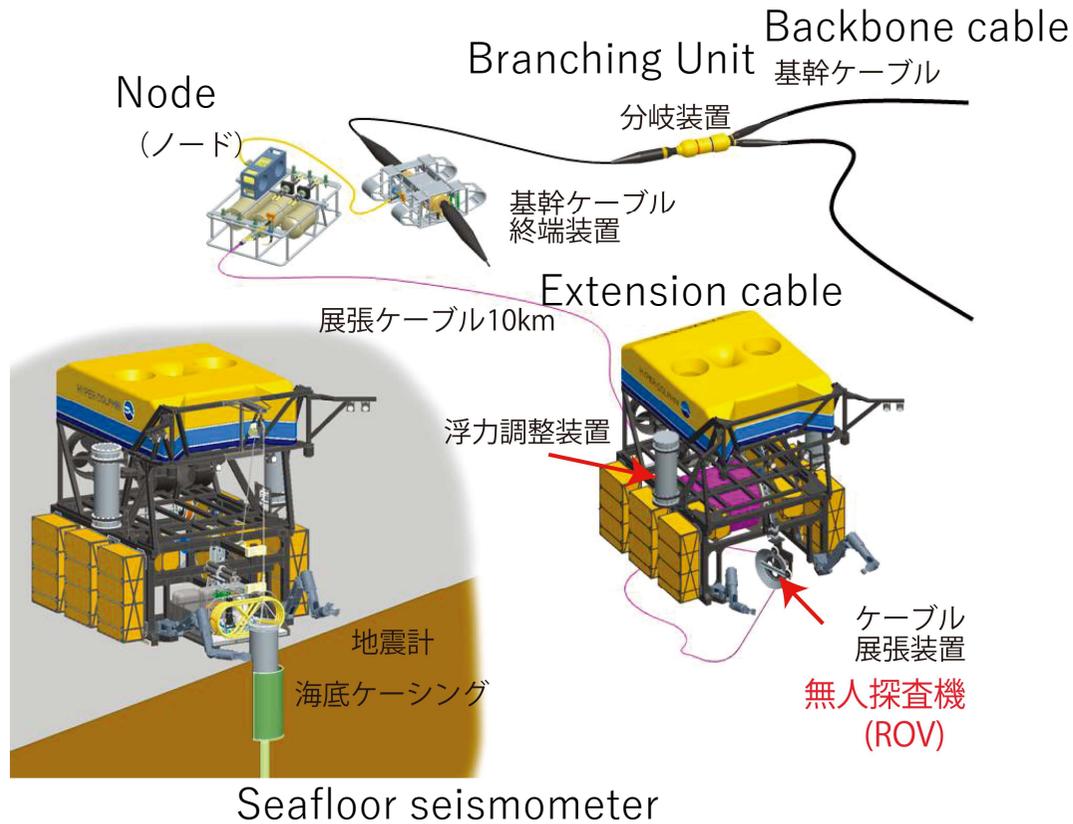
Objectives of DONET network

- Earthquake and Tsunami early warnings.
- Scientific monitoring of convergent plate interface.

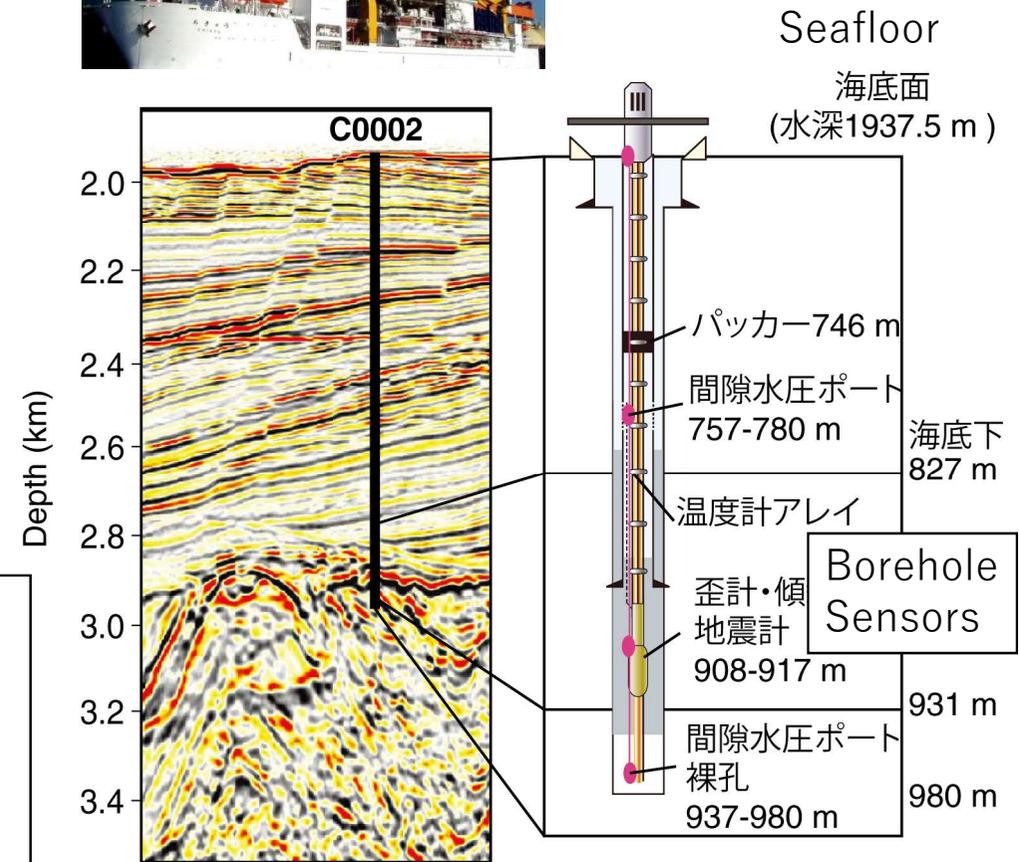
Technical characteristics of DONET

- High density observatory networking.
- Broadband and wide dynamic range observatory..
- Upgradable seafloor observatories.

# Dense Ocean-floor Network for Earthquake and Tsunamis (DONET)



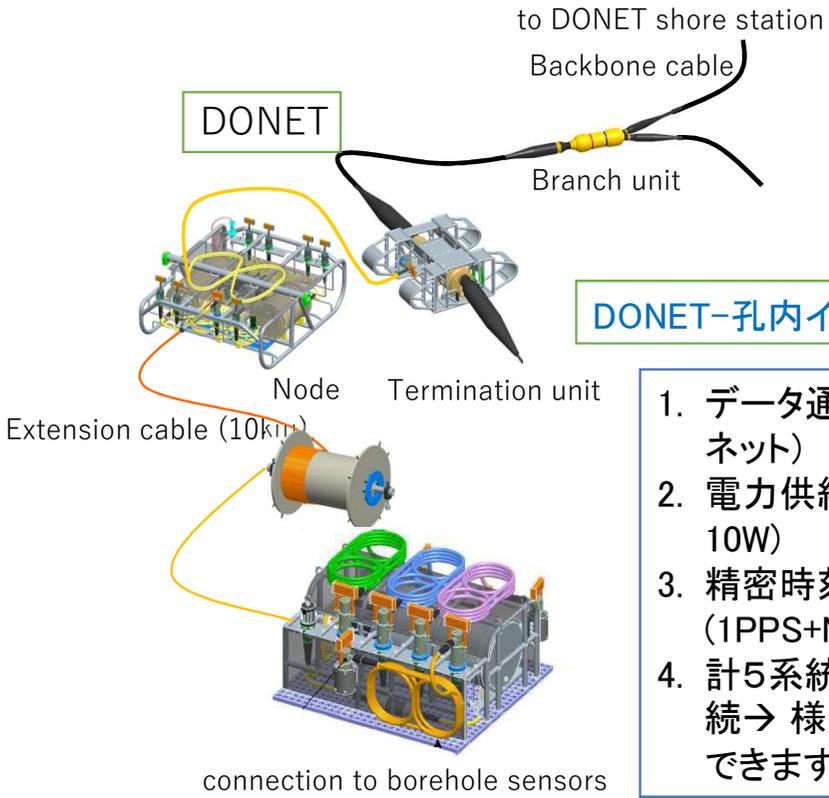
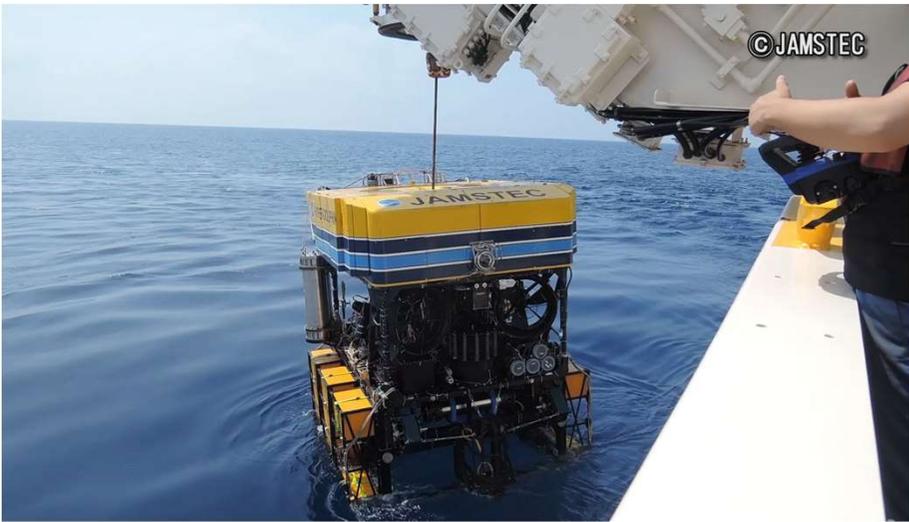
Seafloor borehole observatory



「ノード」からの展張接続方式を採用したため、DONETでは、観測装置を運用中に交換したり、アップグレードさせることができます。

「ちきゅう」で掘削した孔内のセンサーもこのため、DONETに接続することができました。

# DONETへの多様なセンサー接続

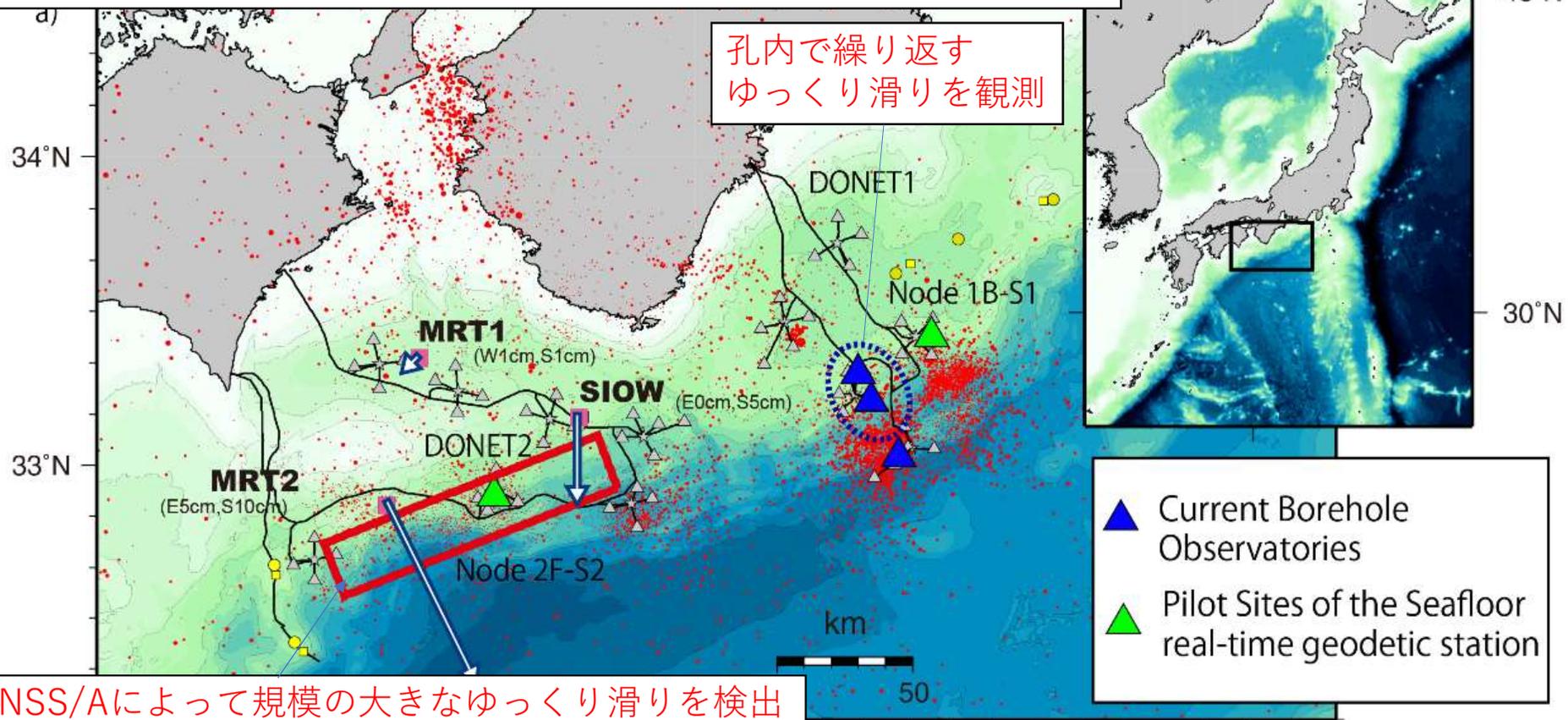


## DONET-孔内インターフェースの機能

1. データ通信(RS422, イーサネット)
2. 電力供給 (DC 24/30V 10W)
3. 精密時刻基準の供給 (1PPS+NMEA sentences)
4. 計5系統の個別センサーの接続→ 様々なセンサーを接続できます。

DONET-孔内インターフェースと同様の仕組みを用いて、海底に新しいセンサーを接続し、海底地殻変動を連続的にモニタリングすることができるように、研究開発を進めています。

## 連続的な海底地殻変動観測点の展開

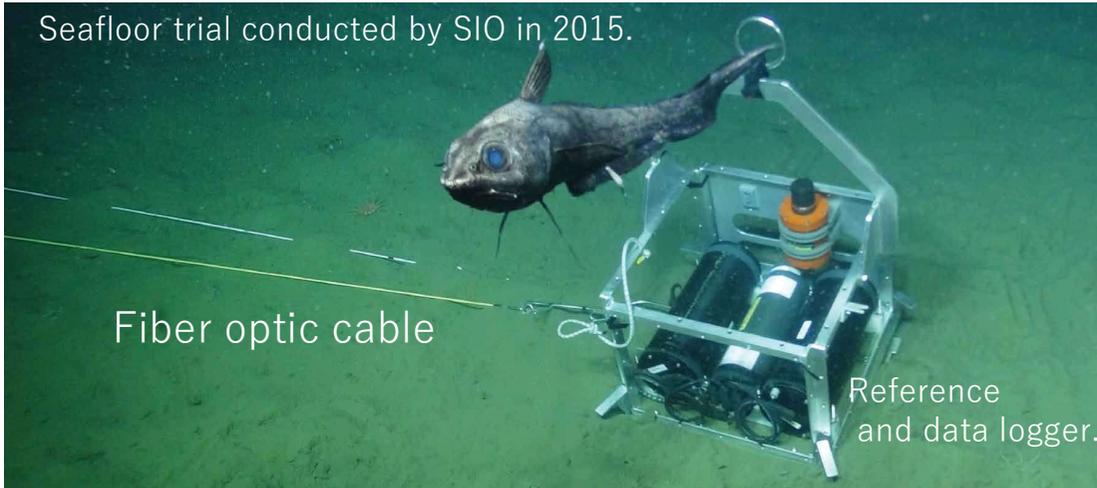


南海トラフではすでに「ちきゅう」で掘削した孔3か所のセンサー（青）で計測を行い、「ゆっくり滑り」等の地殻変動現象を検出していますが、新たに2か所の海底（緑）にセンサー群を設置し、連続的に海底地殻変動を計測しようとしています。

2019年6月には、そのうち1点（2F-S2）で、光ファイバーの伸縮を高精度に計測する「光ファイバー歪計」の設置を行って観測を開始しています。

## 光ファイバー歪計とは？

Seafloor trial conducted by SIO in 2015.

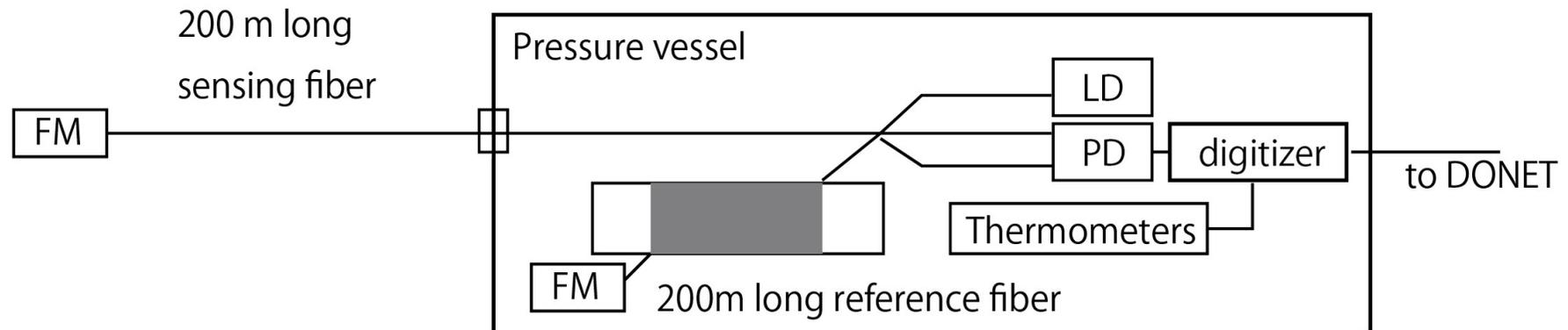


光ファイバー歪計とは、200m程度の光ファイバーの伸縮をレーザー光干渉計によって1ナノメートル以下の高分解能で計測することによって海底面の伸縮を高精度に計測するものです。

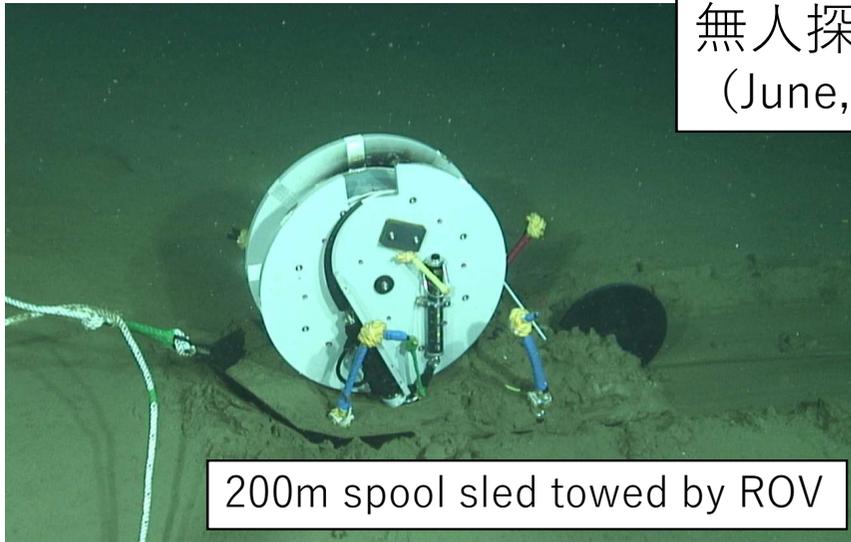
歪感度がピコ歪のレベルで期待できるため、ゆっくり滑り(0.1  $\mu$ 歪程度)が十分検出できる可能性があります。

スクリプス海洋研究所 (SIO)と共同で開発を行い、JAMSTECが敷設設置とDONETへの接続を行っています。

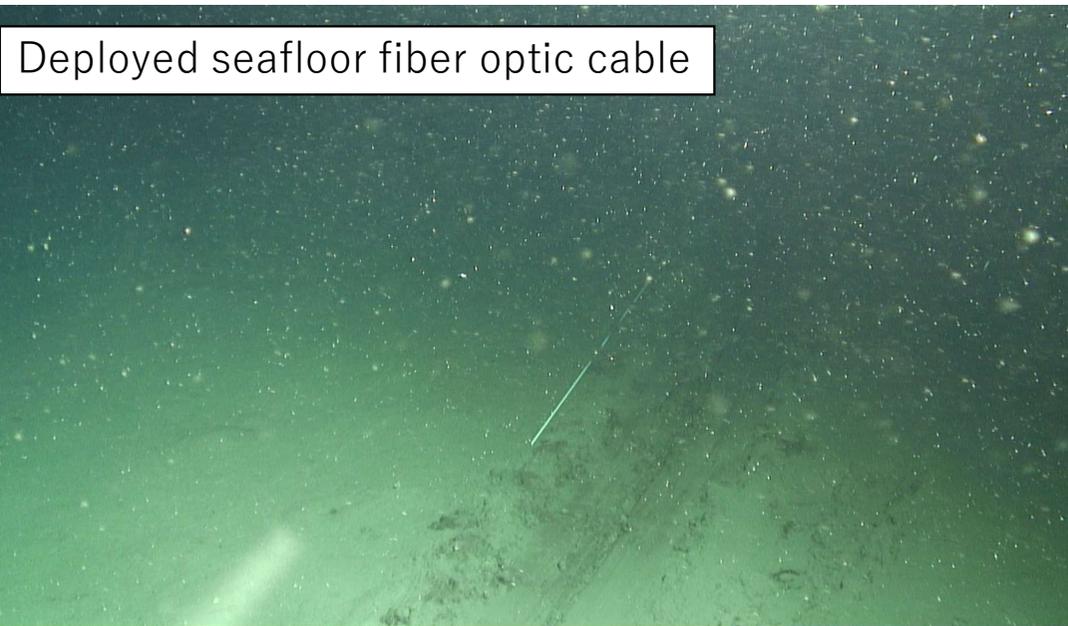
## 光ファイバー歪計の構成



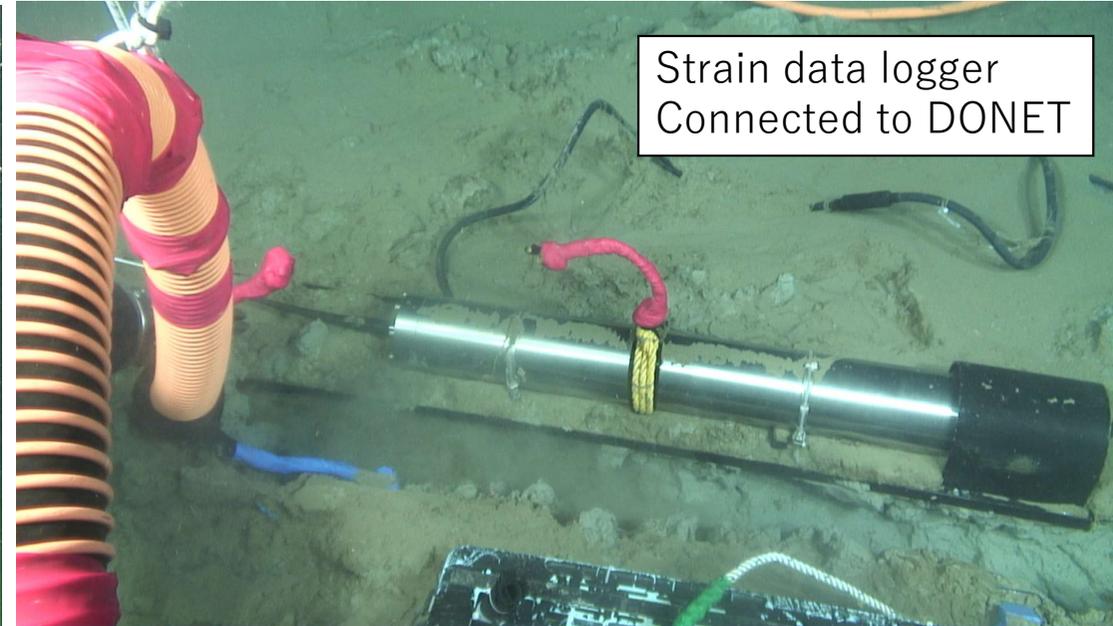
無人探査機による海底への光ファイバー歪計の敷設  
(June, 2019 KS19-J03 Shinsei Maru Hyper Dolphin ROV cruise)



200m spool sled towed by ROV



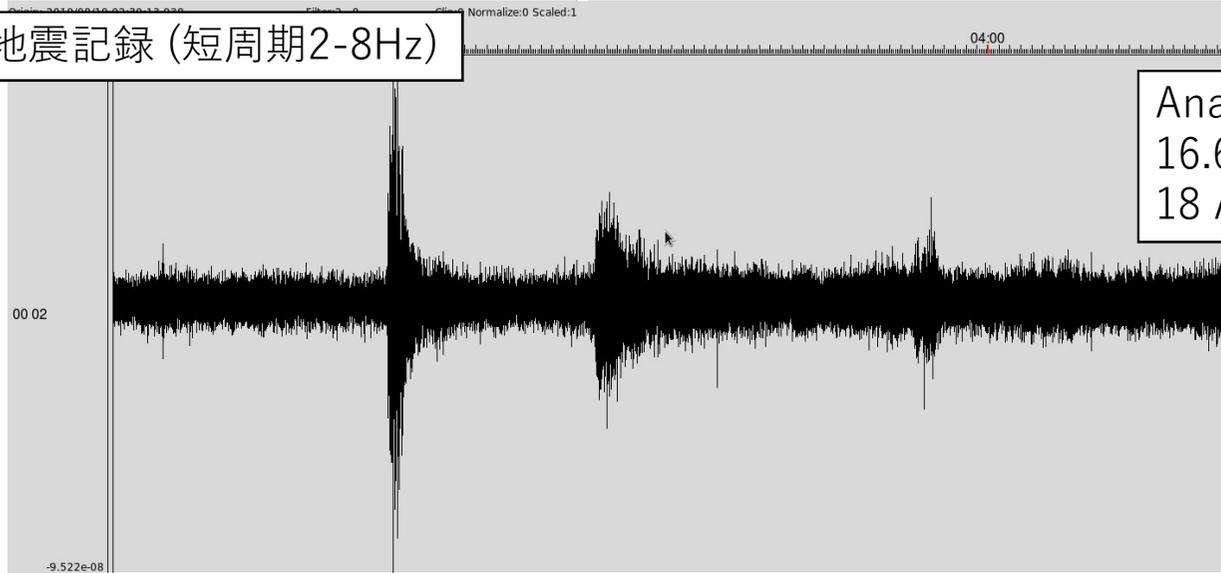
Deployed seafloor fiber optic cable



Strain data logger  
Connected to DONET

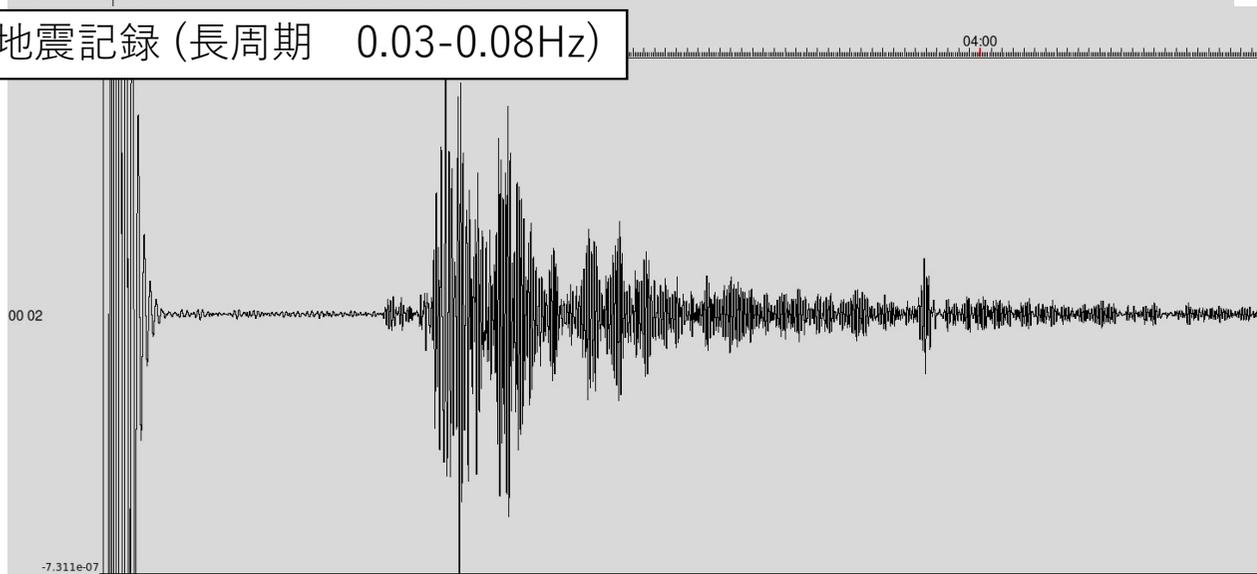
# 南海トラフに敷設した光ファイバー歪計の初期データ

海底歪地震記録 (短周期2-8Hz)



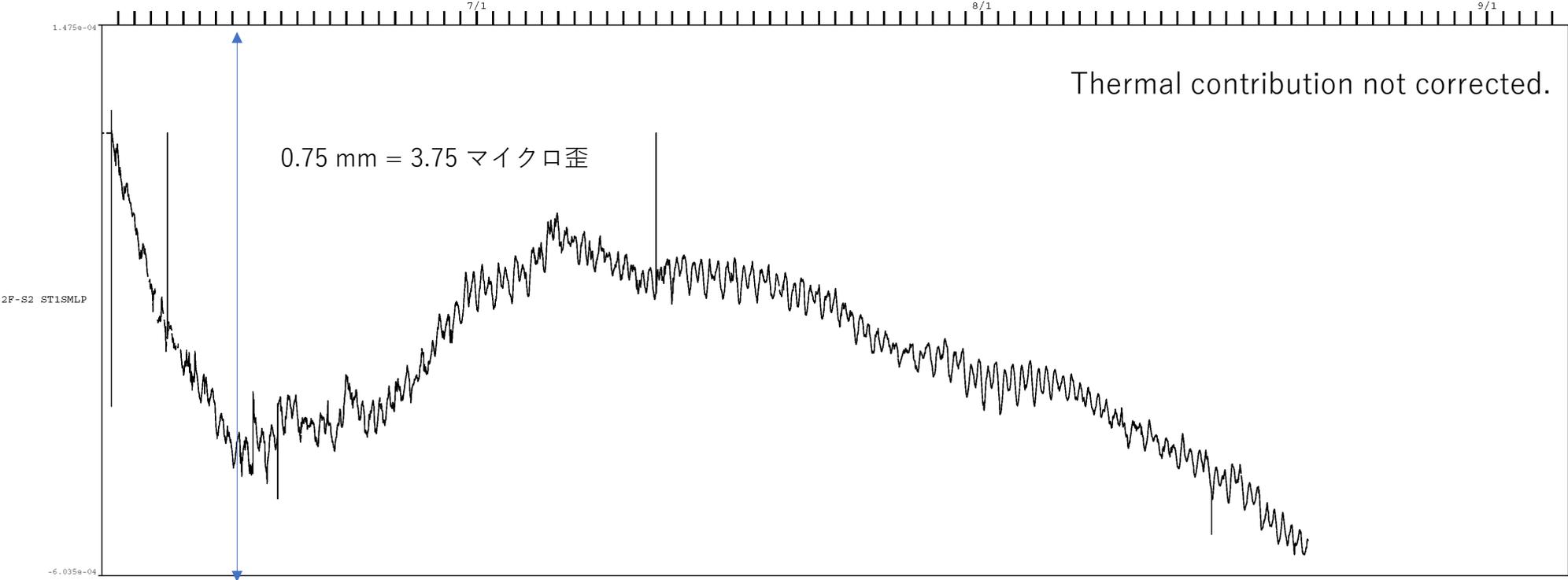
Anatahan region, Northern Mariana Islands  
16.640N, 146.322E Mw 5.9 48 km  
18 Aug 2019 18:00:29 UT

海底歪地震記録 (長周期 0.03-0.08Hz)



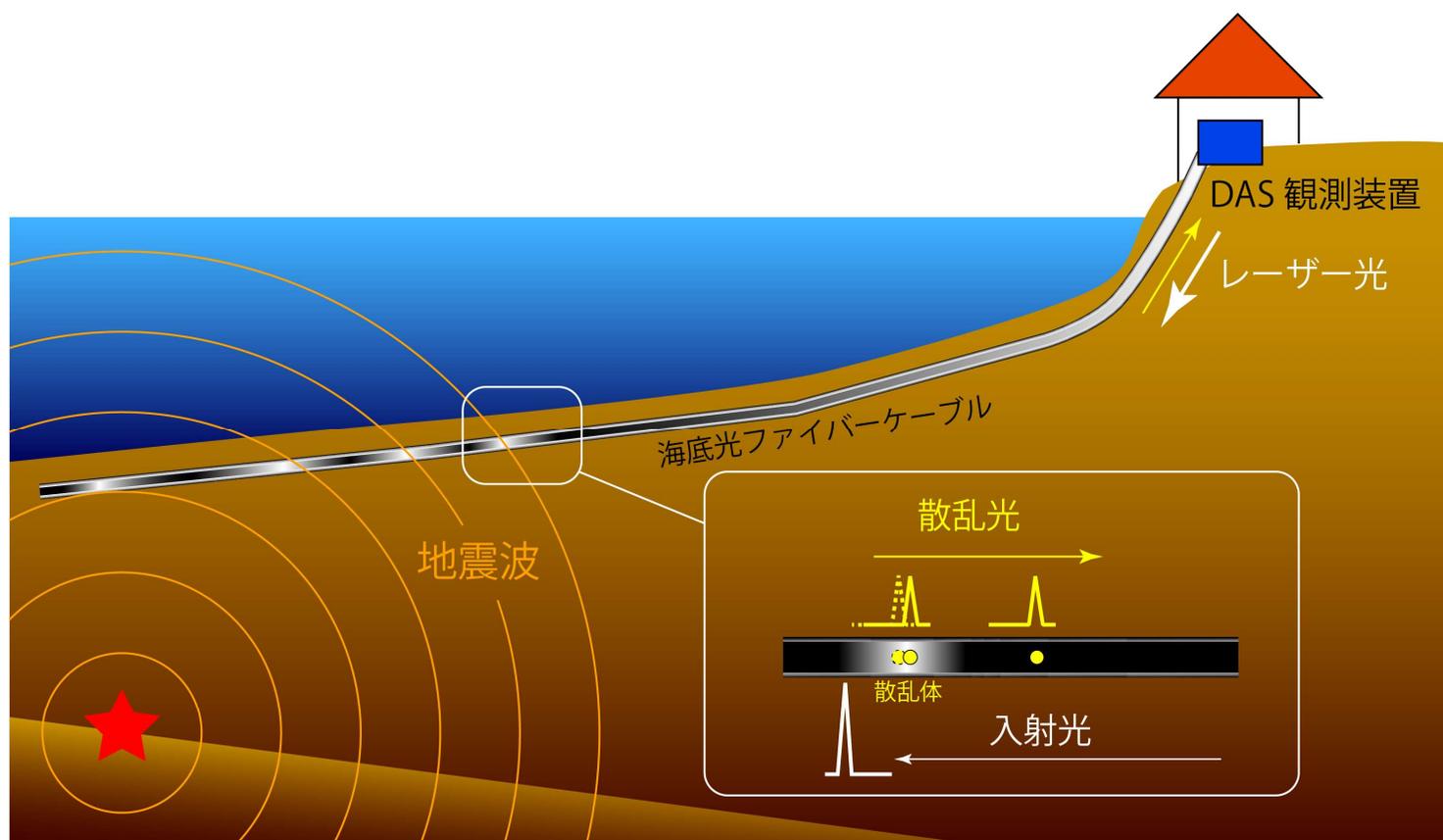
# 南海トラフに敷設した光ファイバー歪計の初期データ

Initial seafloor strain trend of 200 m long strainmeter at 2F-S2 19/6/9 – 19/8/20



海底面では、海洋潮汐と同期した変動が観測されていますが、潮汐による海底圧力変動で海底地盤が変形している様子を見ているものと考えています。

光ファイバー歪の連続的計測：  
分布型音響センシング/Distributed Acoustic Sensing (DAS)

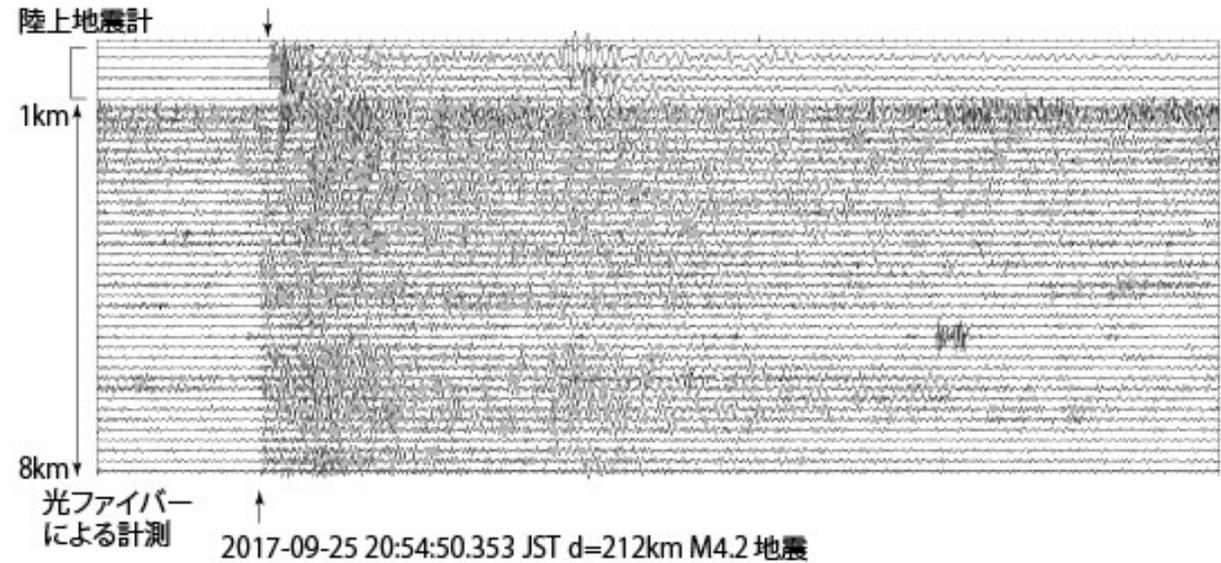
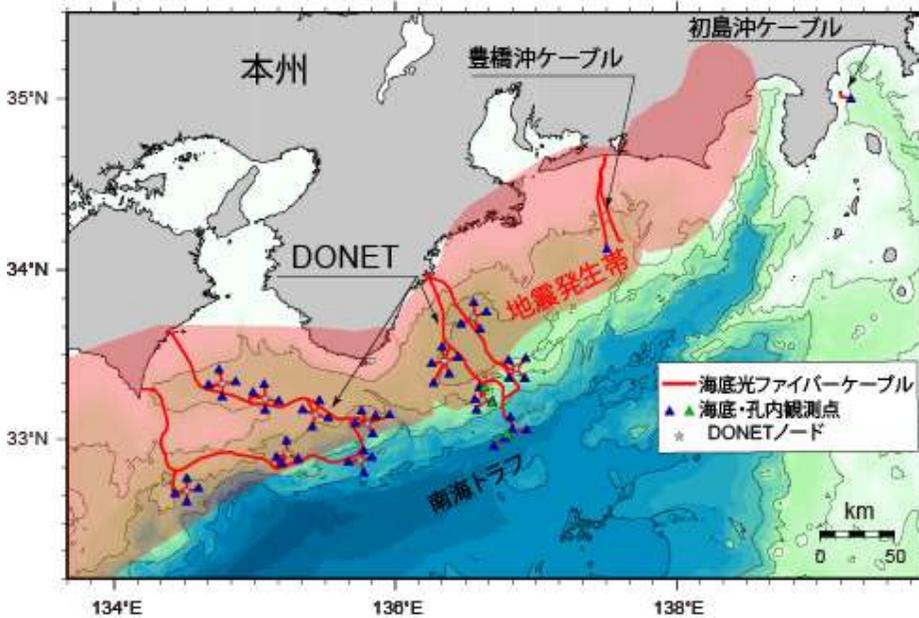


光ファイバー歪計と同様に、長い光ファイバーへの入射光に対するレイリー散乱光を使った光干渉計測を行うことで、長い光ファイバーの歪分布の動的な変化を計測する技術 (DAS) が実用されるようになってきました。

DONETなど海底ケーブル観測システムには必ず光ファイバーが入っていますので、その光ファイバーの歪変化を計測できれば、地震計測に応用することができると考えられます。

光ファイバーに沿った方向の連続的な歪変化が検出できれば、観測点密度の飛躍的増加が期待できます。

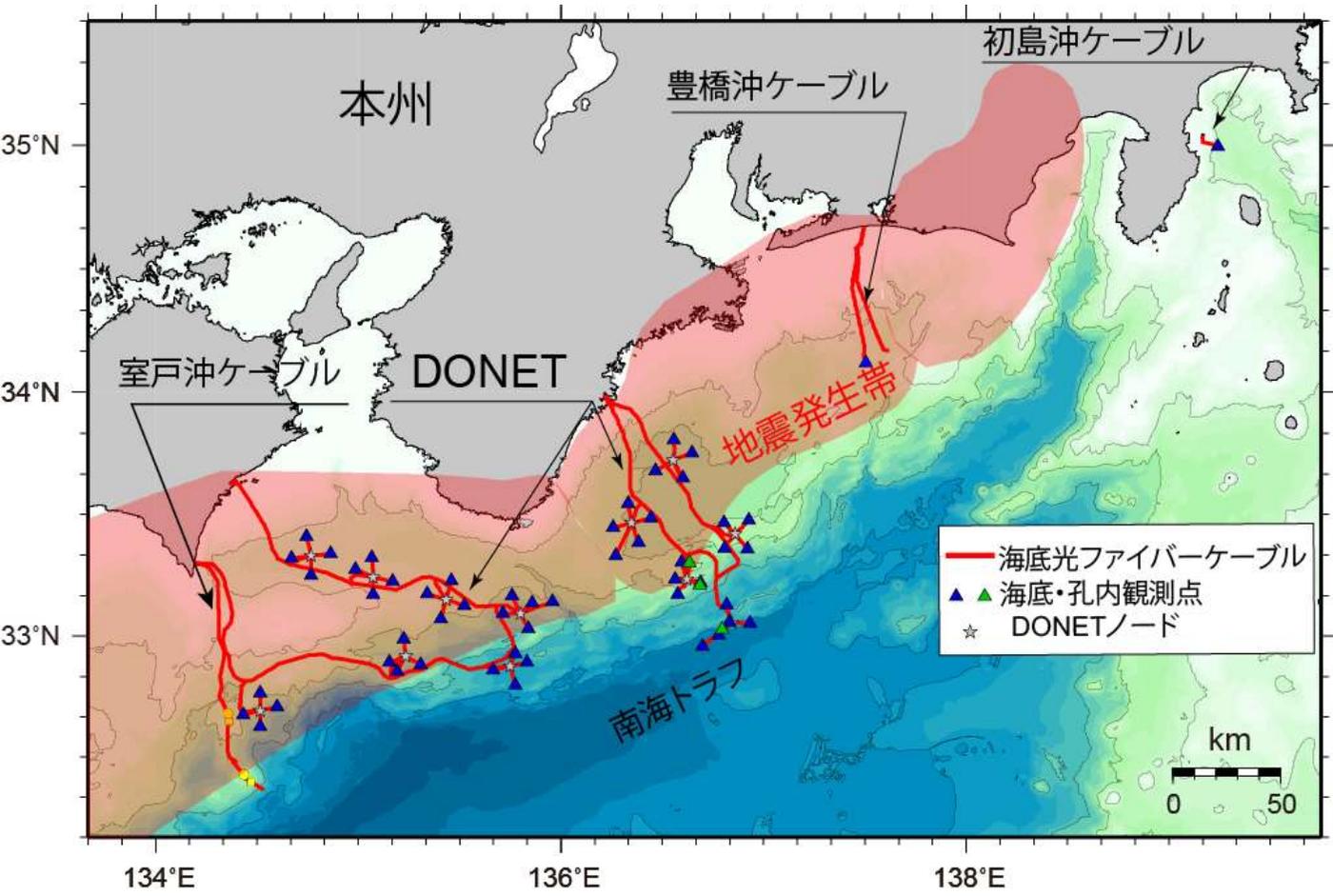
豊橋沖ケーブルを用いたDASの実験  
2017年9月に実施。



陸上の地震計と比較できる地震の記録が得られた。

この実験では  
計測距離(~8km までが有用なデータ)  
計測S/N (背景ノイズは既存の地震計と比べても大)  
長周期安定度 (1秒より長周期での)  
に課題があるものの、高密度な地震観測が実際に行えた点で重要。

# 今後の光ファイバーDASの展開に向けた取り組み



## 計測距離向上

室戸沖ケーブル (~120km)  
豊橋沖ケーブル (~60km)への適用

DONETケーブル・N-NET等にも適用できる可能性?

## 計測S/N・長周期安定化

DAS観測装置の高度化  
光ファイバー歪計のレベルを目指す。

## DAS計測データの活用

光ファイバー歪計の展開と合わせてJAMSTECでは光ファイバーDASの海洋計測への適用に積極的に取り組んでいきます。