

海底地殻変動観測による ゆっくりすべりの モニタリングの現状と今後

国立研究開発法人海洋研究開発機構

堀 高峰

内容

- **南海トラフの現状**

- DONETとそれに接続された孔内観測装置による海底連続リアルタイム地殻変動観測
- 2016年4月の事例：プレート境界での発生を確認

- **日本海溝・千島海溝の現状**

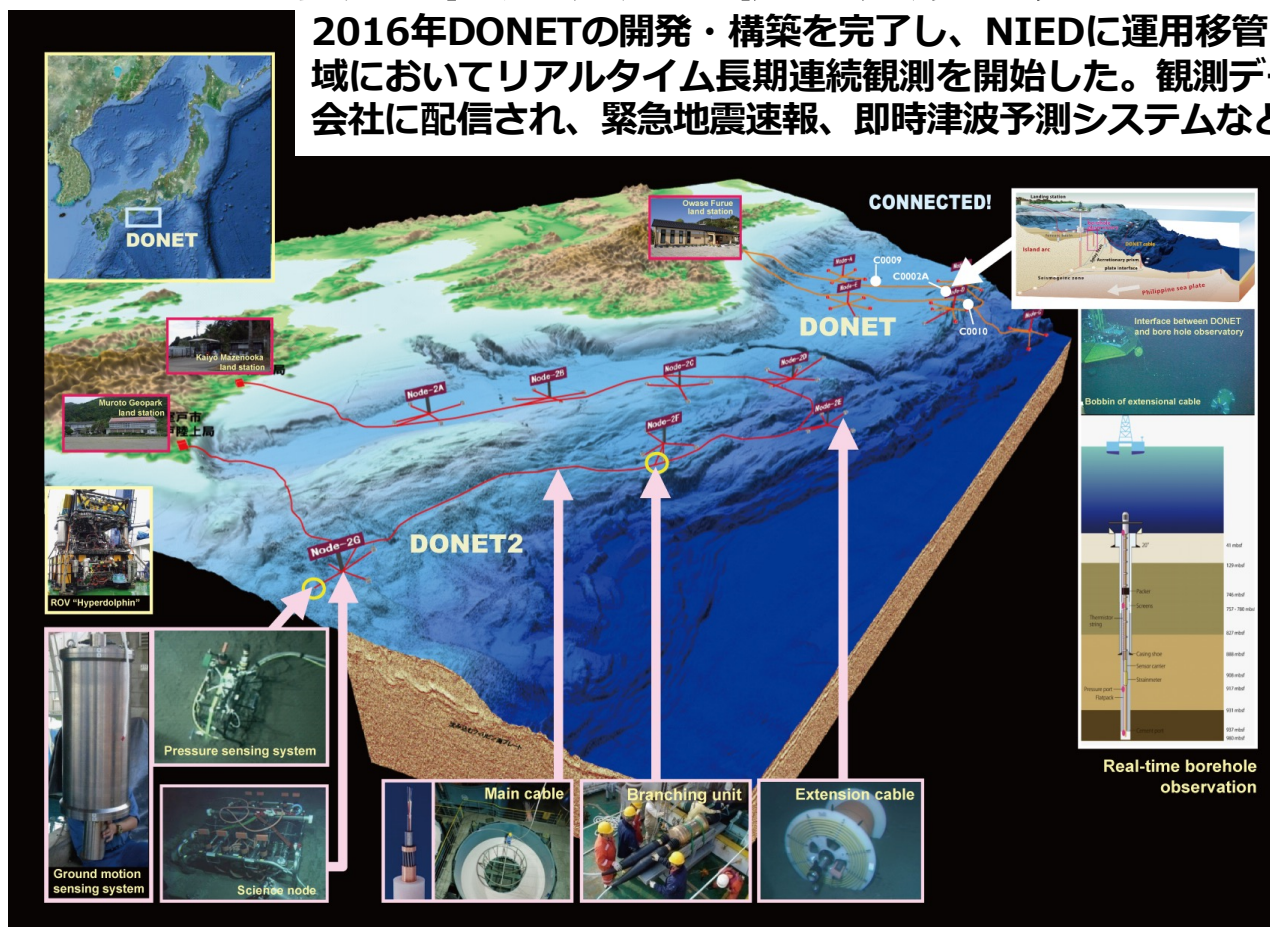
- 海底リアルタイム地殻変動観測網はまだない&断層情報も不十分
- GNSS音響測距での地殻変動観測をWave Gliderによる自動観測で加速

- **リアルタイム地殻変動観測技術の開発**

- 光ファイバーセンシングによって地殻変動観測する技術を開発
 - 光ファイバーセンシング&WGの活用で、日本海溝・千島海溝でもリアルタイム地殻変動観測を

DONET: 地震・津波観測監視システム

2016年DONETの開発・構築を完了し、NIEDに運用移管した。南海トラフ地震発生帯の想定震源域においてリアルタイム長期連続観測を開始した。観測データは、気象庁の他、地方自治体や電力会社に配信され、緊急地震速報、即時津波予測システムなどに活用されている。



DONET1

- ✓ 2011年8月運用開始
- ✓ 観測点： 22
- ✓ 長期孔内観測システム： 3
- ✓ 海底ケーブル長： 320km

DONET2

- ✓ 2016年8月運用開始
- ✓ 観測点： 29
- ✓ 海底ケーブル長： 500km

観測センサー

- ✓ 強震計
- ✓ 広帯域地震計
- ✓ 圧力計
- ✓ 精密温度計

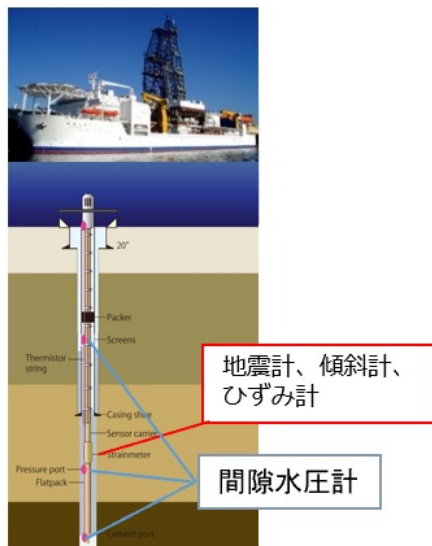
DONETの特徴

- ✓ **高信頼性**：基幹ケーブルシステムは、信頼性の高い通信海底ケーブル技術を基に開発
- ✓ **冗長構成**：2系統のデータ伝送路と給電路を備え、部分的な障害に対して耐力のあるシステム設計
- ✓ **置換機能**：観測装置は、ROVにより交換、整備、更新等が可能

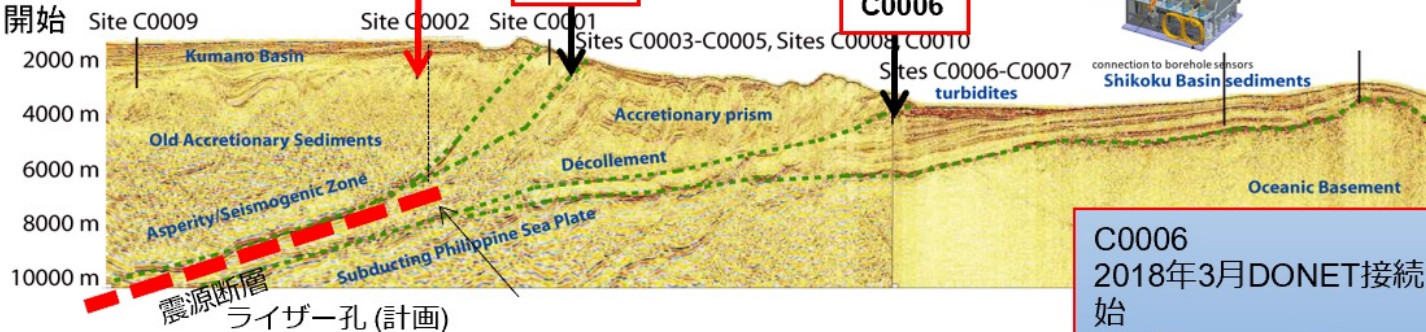
地震発生帯現状把握

連続リアルタイム地殻変動観測システムの構築

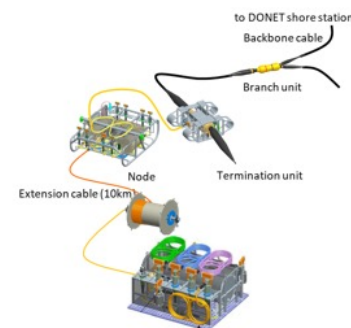
1. 「ちきゅう」による長期孔内観測センサーの設置



C0002 :
海底下980 m, 水深1938 m
2013年観測開始
C0010 :
海底下650 m, 水深2650 m
2016年観測開始

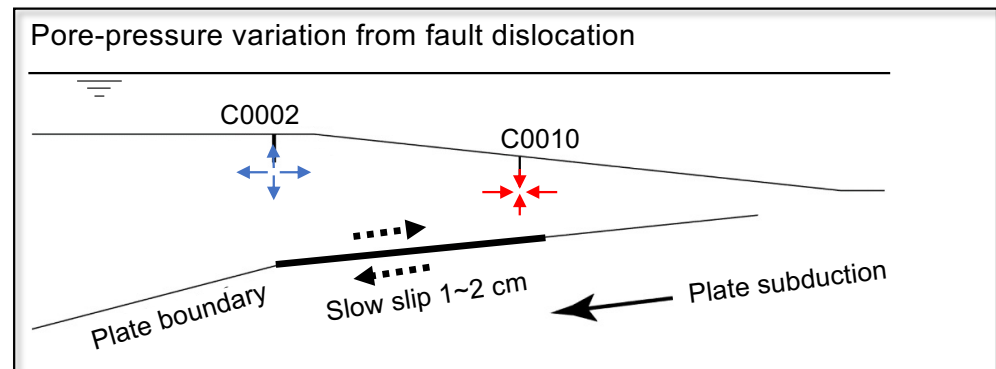
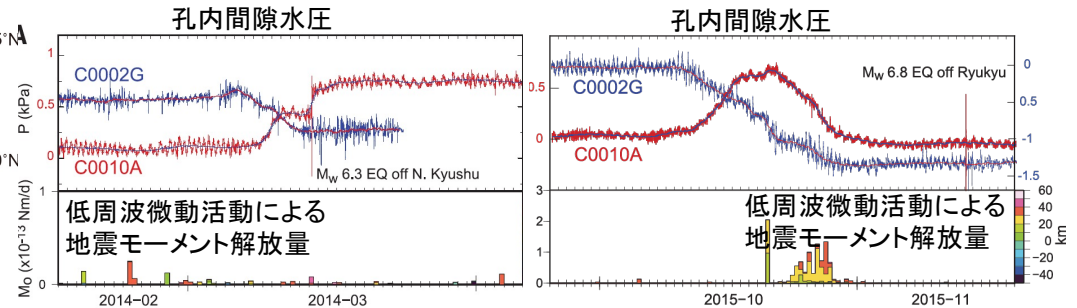
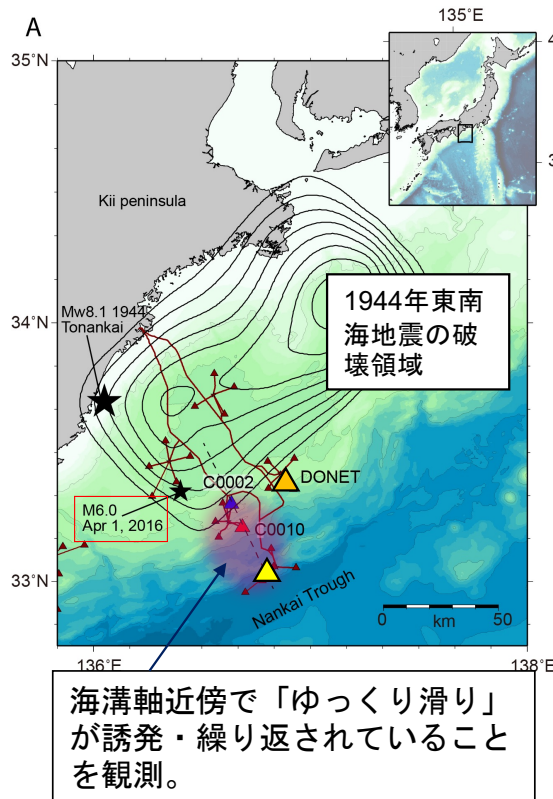
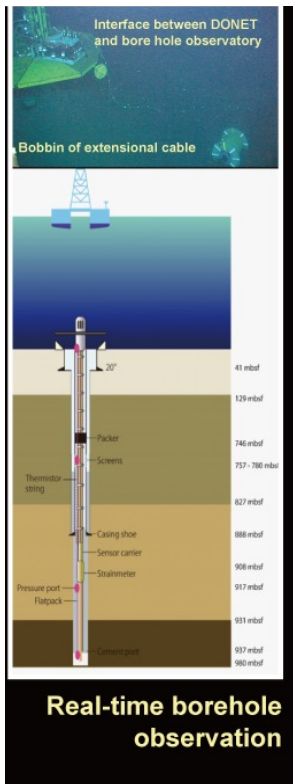


2. 「ハイパードルフィン」によるDONETへの接続



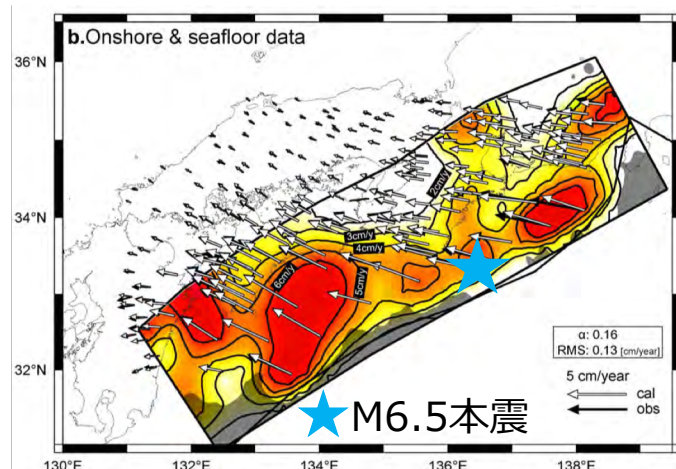
C0006
2018年3月DONET接続・連続観測開始
海底下495 m 水深3871 m

海底連続リアルタイム地殻変動観測システムで ゆっくりすべりによる歪変化を観測

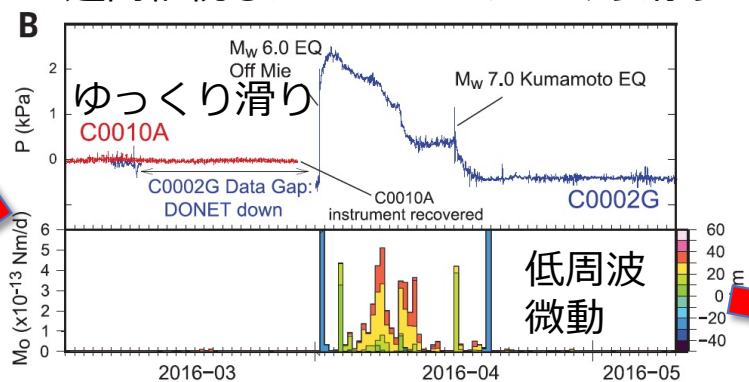


Araki et al., *Science*, 2017

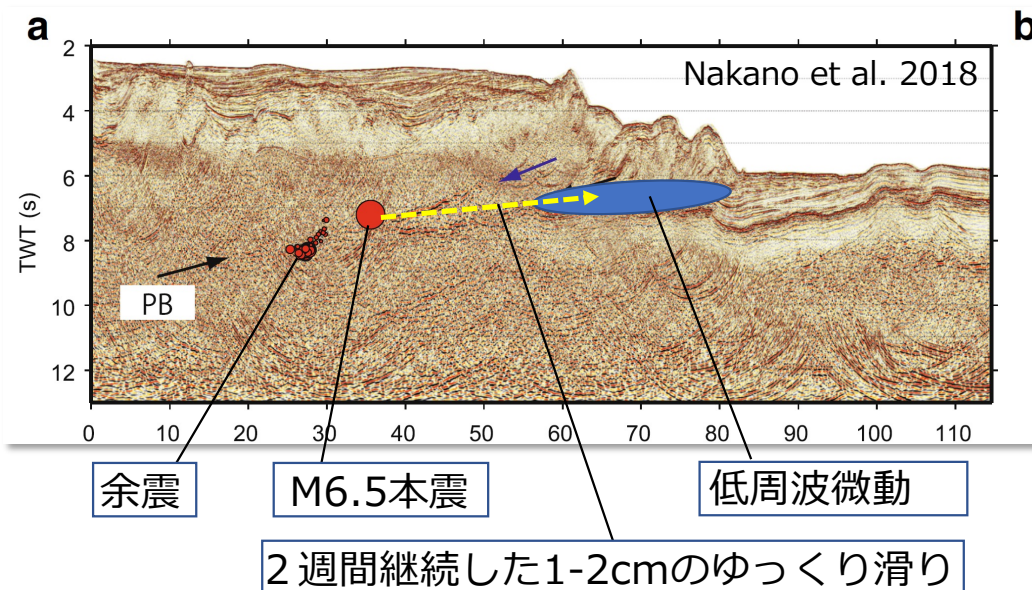
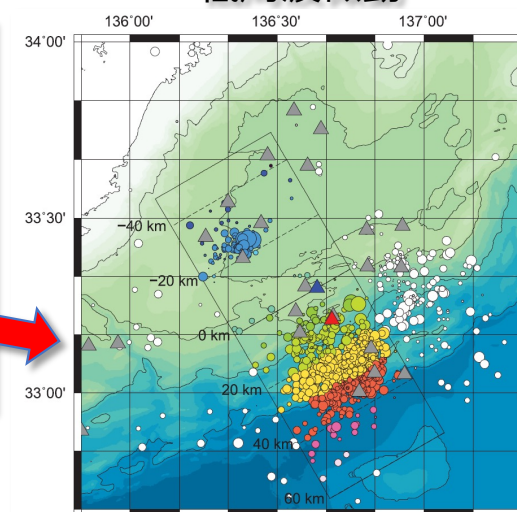
2016.4.1の地震とその後のゆっくりすべり



2週間継続した1-2cmのゆっくり滑り



低周波微動



南海トラフ地震断層で発生したM6.5の地震とその後に起きた、ゆっくり滑り・低周波微動とを記録

プレート境界でのすべりかどうかをリアルタイムで知るためには

- (1) リアルタイム海底地殻変動観測
- (2) 詳細な断層形状などの構造情報
- (3) 即時データ解析

の3点セットが必要

南海トラフ（熊野灘は特に高感度）は可能

内容

- 南海トラフの現状

- DONETとそれに接続された孔内観測装置による海底リアルタイム地殻変動観測
- 2016年4月の事例：プレート境界での発生を確認

- 日本海溝・千島海溝の現状

- 海底リアルタイム地殻変動観測網はまだない&断層情報も不十分
- GNSS音響測距での地殻変動観測をWave Gliderによる自動観測で加速

- リアルタイム地殻変動観測技術の開発

- 光ファイバーセンシングによって地殻変動観測する技術を開発
 - 光ファイバーセンシング&WGの活用で、日本海溝・千島海溝でもリアルタイム地殻変動観測を

日本海溝・千島海溝の海底地殻変動観測： GNSS-Aによる年数回のモニタリング

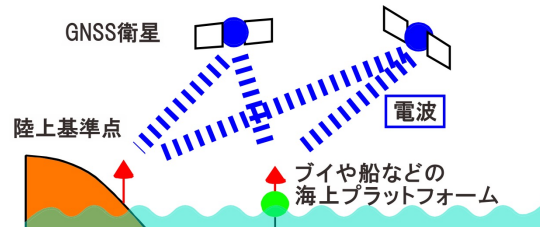
海底基準局

(2020年4月1日現在、地震調査研究推進本部調べ)

● 国立大学法人 ● 海上保安庁



リアルタイム海底地殻変動観測網は存在せず
現場で測定する基準局にも空白域がある



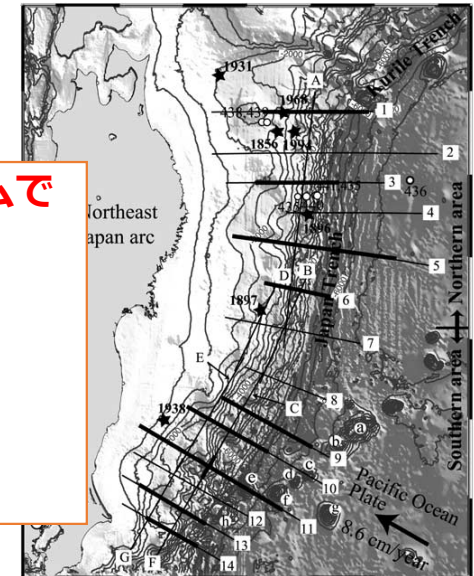
プレート境界でのすべりかどうかをリアルタイムで知るためには

- (1) リアルタイム海底地殻変動観測
 - (2) 詳細な断層形状などの構造情報
 - (3) 即時データ解析
- の3点セットが必要

日本海溝・千島海溝はいずれも未整備



無人機Wave Gliderによりコストを削減し、高頻度観測を実現すべくシステム開発・R1試験観測。
→ 船舶を使った場合と同程度の精度での海底局位置の測位が可能なることを実証 [Iinuma et al., 2021]。



Tsuru et al. (2002)

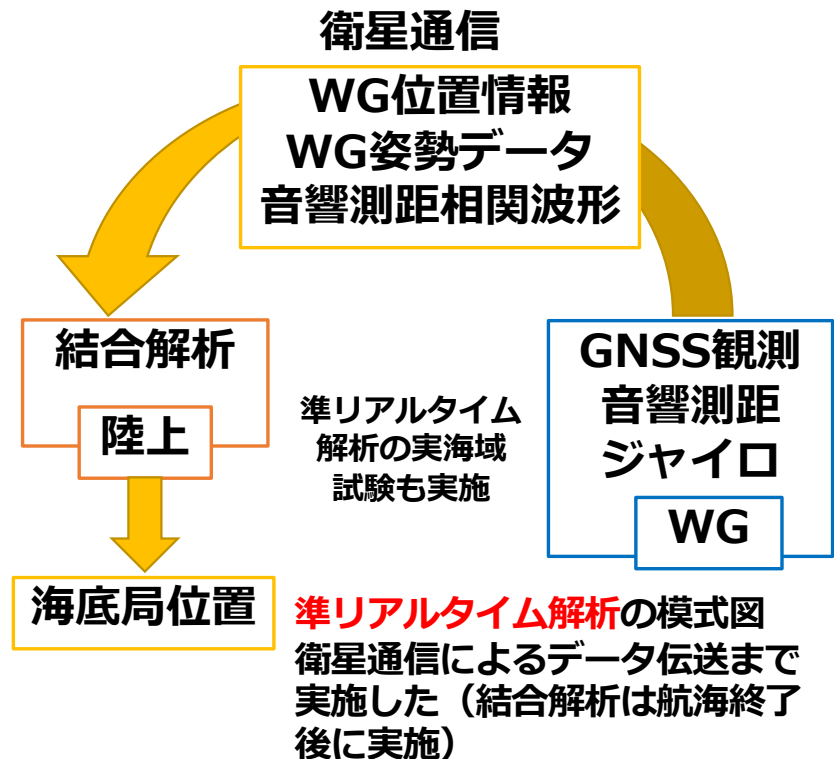
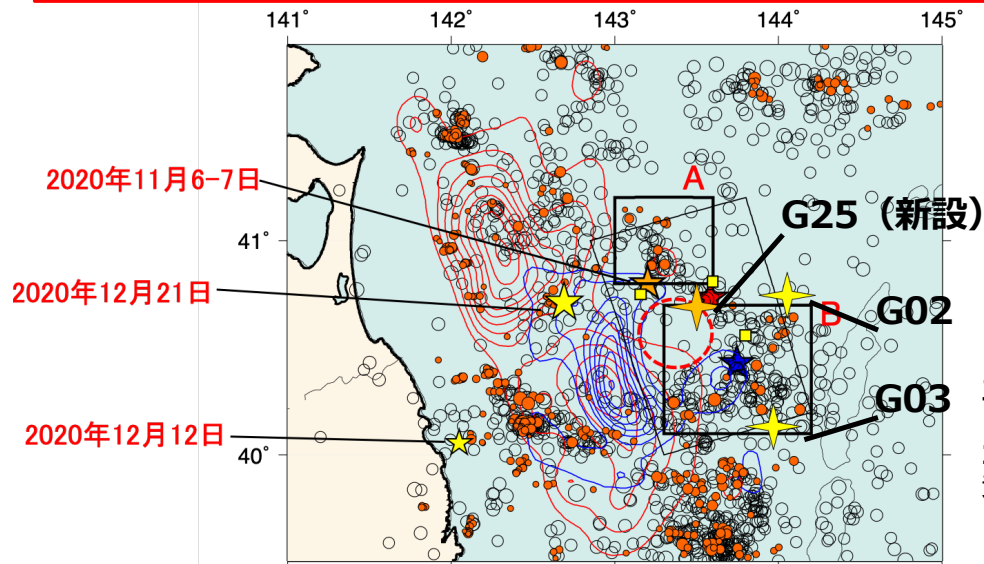
深部断層情報は東北地方太平洋沖地震で大すべりのあった宮城県沖以外では更新されていない

昨年度からWGでの自動観測が実施可能となり、日本海溝・千島海溝でもようやく年数回の観測が実現

WGを活用した海底地殻変動観測の自動化・多頻度化

青森県東方沖における海底地殻変動緊急観測

- 1968年、1994年とM8前後の地震が繰り返し発生している青森県沖で2020年11月6日から7日にかけてM5クラスの地震が続発したため、**地域の固着状態の評価のため、海底地殻変動観測用WGを緊急展開して、既存観測点（G02・G03）と新設観測点（G25）におけるデータを取得した。WGによる観測のため、船舶を選ばないことが緊急観測実現に大きな力となった。**
- 大きな変動（特に、断層すべりに伴うような東向きの変位）は見られず、2020年11-12月の地震活動に伴う顕著な非地震性すべり等は三陸沖北部海溝付近のプレート境界では発生していないことを確認した。



1968年十勝沖地震Mw8.2（赤コンター; Yamanaka & Kikuchi, 2004）、1994年三陸はるか沖地震Mw7.7（青コンター; Nagai et al., 2001）の地震時すべり分布と1930年から2020年11月までのM5以上の地震の震央（黒丸; 気象庁）、1984年から2011年までの繰り返し地震（橙丸）を示す。
黄十字星は既設のGNSS-A観測点（G02・G03）、橙十字星は**新設のGNSS-A観測点（G25）**を示す。黄四角は2021年2月に設置予定の広帯域海底地震計観測点を示す。

内容

- **南海トラフの現状**

- DONETとそれに接続された孔内観測装置による海底リアルタイム地殻変動観測
- 2016年4月の事例：プレート境界での発生を確認

- **日本海溝・千島海溝の現状**

- 海底リアルタイム地殻変動観測網はまだない&断層情報も不十分
- GNSS音響測距での地殻変動観測をWave Gliderによる自動観測で加速

- **リアルタイム地殻変動観測技術の開発**

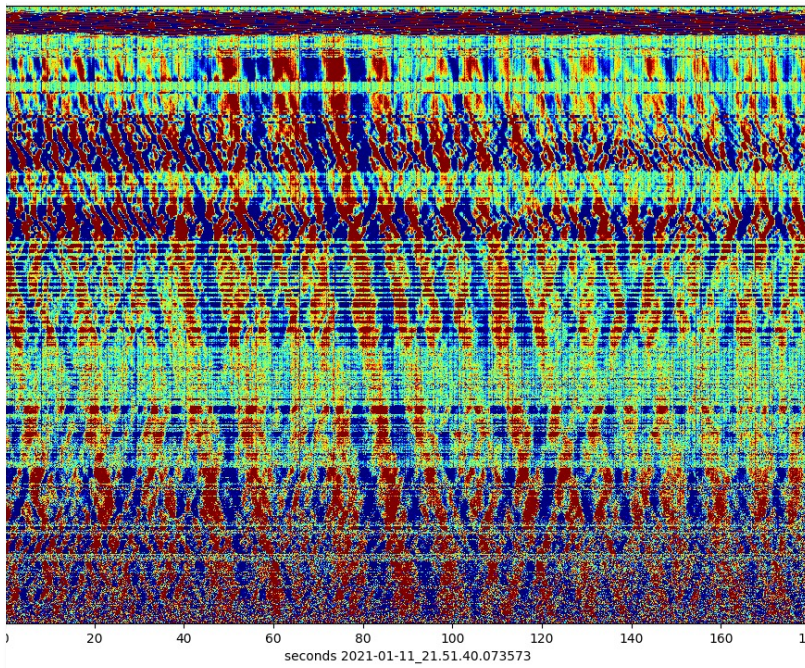
- 光ファイバーセンシングによって地殻変動観測する技術を開発
 - 光ファイバーセンシング&WGの活用で、日本海溝・千島海溝でもリアルタイム地殻変動観測を

リアルタイム地殻変動観測技術の開発

- 光ファイバーセンシングによって地殻変動観測する技術を開発
 - 室戸での通信用光ファイバーケーブルを用いた地震波観測の実現
 - 海底に設置した光ファイバーケーブルでの歪観測の実現
- 将来的に、光ファイバーセンシング&WGの活用で、日本海溝・千島海溝でもリアルタイム地殻変動観測を
 - 既存の釧路沖海底ケーブルの活用や新たな海底基準局設置を検討

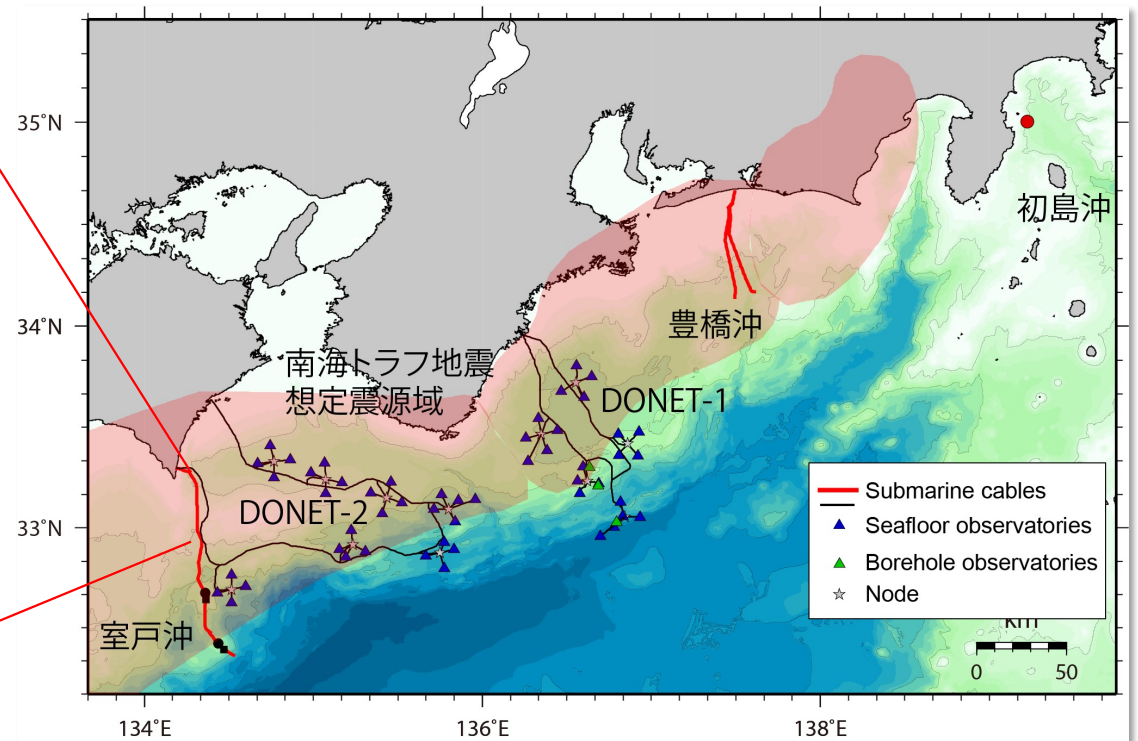
室戸での通信用光ファイバーケーブルを用いた地震波観測の実現

ロシアーモンゴル境界での地震
51.241N, 100.443E 10 km Mw 6.8
11 Jan 2021 21:32:59 UT



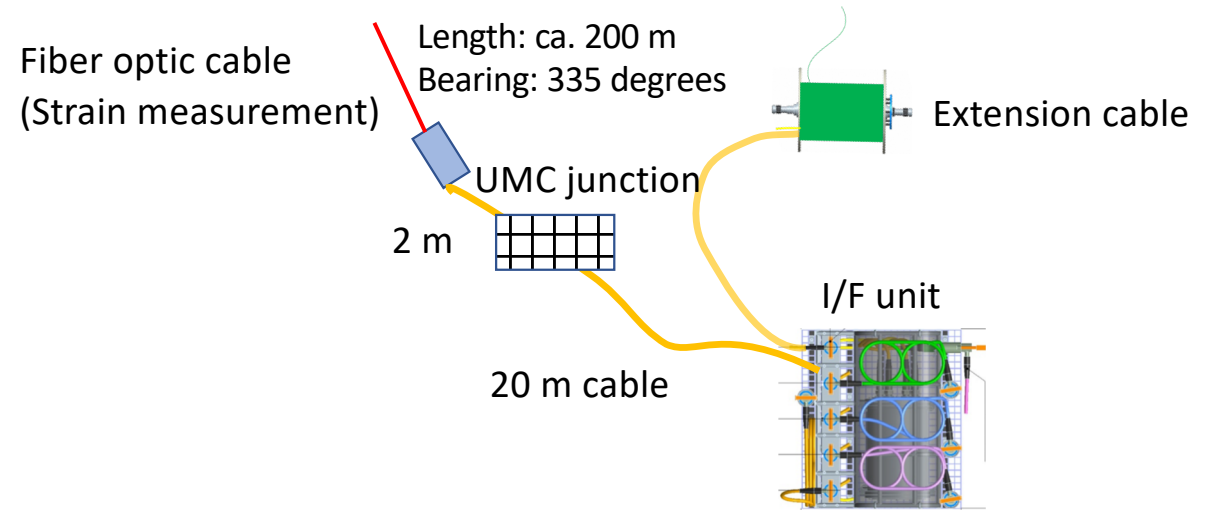
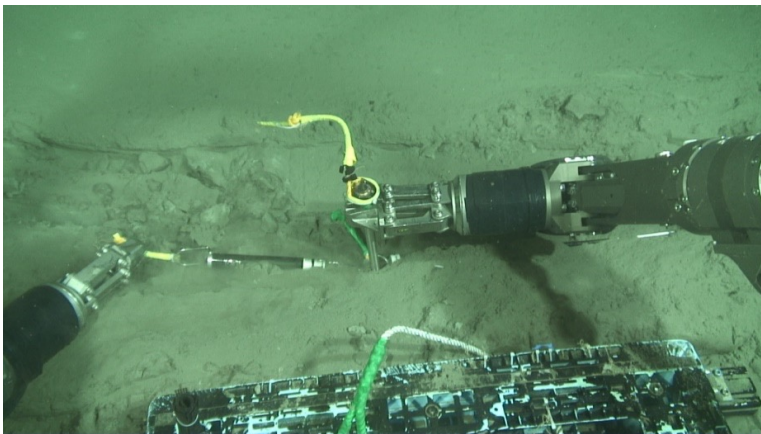
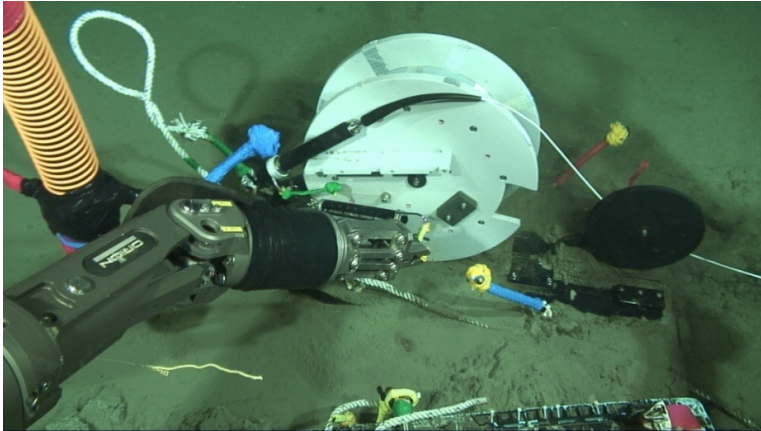
DASを用いた超高分解能地震観測観測により
(e.g., 10-m interval & 500 Hz sampling)
ケーブルに沿った地震波動伝搬を可視化

JAMSTECの海底ケーブルシステム:室戸、豊橋、初島

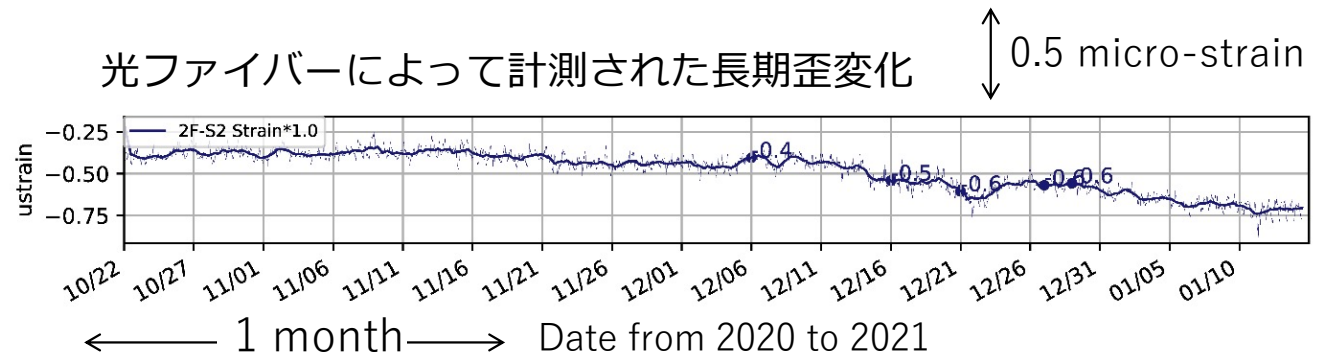


海底に設置した光ファイバーケーブルでの歪観測の実現

ROVによる光ファイバー展開

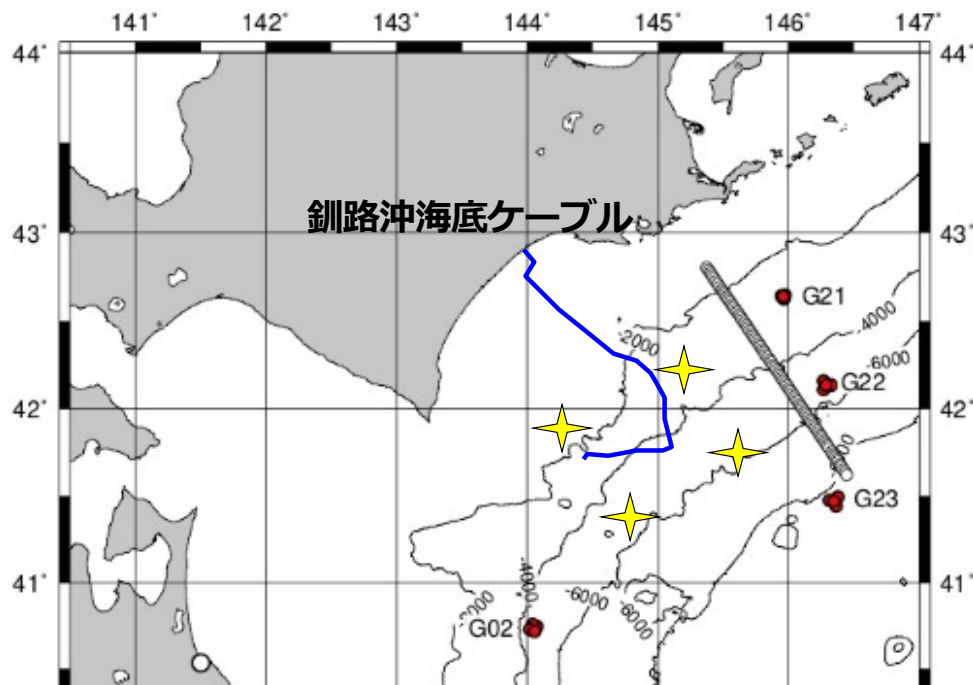


光ファイバーによって計測された長期歪変化



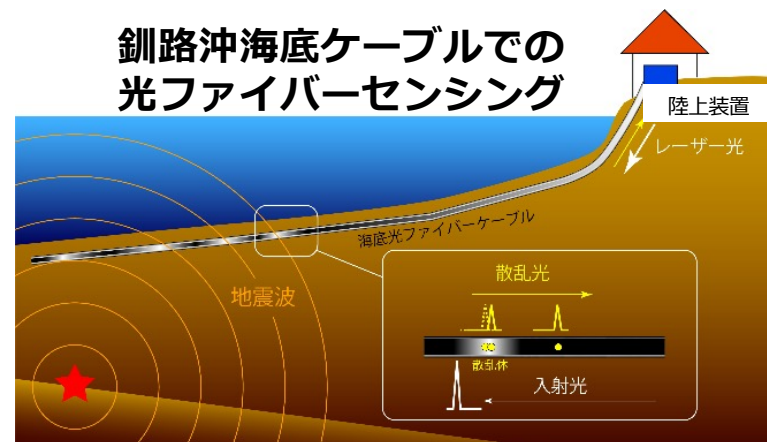
Araki et al. (2021, JpGU Meeting)

千島海溝でのリアルタイム海底地殻変動観測に向けた検討

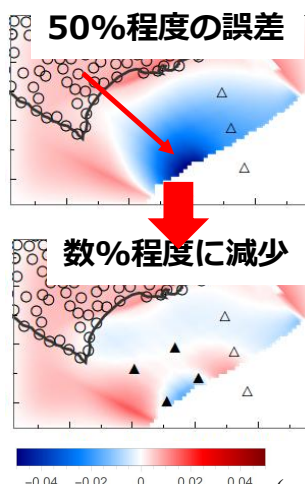


鉬路沖海底ケーブルでの光ファイバーセンシング、鉬路沖への新規海底局設置・専用WG導入による海底地殻変動リアルタイム観測網を検討中

- ・ 室戸海底ケーブルでの光ファイバーセンシング実証済
- ・ 四国沖海底光ファイバーでの歪観測実証済
- ・ WGでのリアルタイムデータ伝送実証済



光ファイバーケーブルによる沿岸（陸から100km程度）でのリアルタイム歪観測



(m) Murakami et al. (2021)



GNSS-AとWGによる沖合でのリアルタイム地殻変動観測

まとめ

- 南海トラフではJAMSTEC・NIED等による海域観測（海底地殻変動の連続モニタリングと断層等のイメージング）と文科省受託等を活用したデータ解析手法の高度化・迅速化が進んでいる
- 日本海溝・千島海溝でも、これらのセットが必要
- その実現のためには、GNSS音響測距でのWG活用や光ファイバーセンシングによる海底地殻変動観測技術の進展や当該地域での海域観測が不可欠