

(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）海底での地震・地殻変動観測の高度化に向けた観測技術開発

（英文）Instrumentation for next stage ocean floor observation in seismology and geodesy

(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

(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

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

ア. 観測基盤の整備

(5) 本課題の5か年の到達目標：

地震発生予測の基礎的観測研究を行う上で、海洋プレートの沈み込み帯でのプレート境界地震及びスロースリップイベントが繰り返し発生している場の直上である海底での、地震・地殻変動観測は、その核心部での時間経過・詳細な状態の把握に重要である。陸域と同等な観測を海底で実現させるという基本的観点から、これまで長期高密度な機動的地震観測、機動的強震観測、機動的で長期の広帯域地震・測地観測、新方式のケーブルシステムによる定常的地震観測、などをこの十数年の間に実現させてきた。海域での地震・地殻変動観測をより高度化させるため、陸上と同等な広帯域地震観測を海域で機動的に行う技術開発、超深海域での機動的広帯域地震観測の実用化、海底面での機動的な水圧・傾斜・重力観測の面的展開技術の実用化、および定常的な海域観測網の高度化、などを今後の技術開発の課題として取り組む。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

本研究課題では、明確な年度計画は設定せず、後述の開発項目のうち予算的裏付けや試験観測が可能となったものを順次進めて行く。その理由として、これらの機器開発の予算はその大部分を科学研究費や運営費交付金（地震研内のセンター経費・所長裁量経費など）で賄っていること、及び試験観測には研究船（潜水艇）利用が必要で、その実施には不確定要素が多いためである。

具体的に現在想定している、機動的観測技術での開発項目は以下のものである。

1-1. 超深海域での長期（広帯域）地震観測の実用化

1-2. 次世代型広帯域海底地震計の自律動作方式への機能高度化

1-3. 面的展開が可能な海底面での傾斜観測の実用化

1-4. 海底での機動的かつ面的重力計測の観測手法の実用化

1-5. 観測能力の維持と高度化を念頭にした機能強化とデータ処理手法の開発

1-6. 浅海や超深海での余震観測など新技術の実地検証を目的とした臨時観測の実施

また、定常的観測技術としては以下を開発項目とする。

- 2-1. 高信頼性を保ちつつ、大規模展開に適した対費用効果の高いケーブルシステムの開発
- 2-2. 海底測地観測システムを接続可能なケーブルシステムの開発
- 2-3. 分散型音響センシング（DAS）と通常の地震計を用いた定常ケーブル観測システムの構築
- 2-4. 利用中の通信用海底ケーブルで使用可能なDASケーブル観測システムの開発
- 2-5. 新しい光ファイバセンシング技術を用いたケーブル観測システムの開発

(7) 令和6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

（7）に挙げたうちの以下の開発項目について開発研究をそれぞれ実施した。

1-1は、超深海用広帯域海底地震計（UDBBOBS）の開発として、科研費（学術変革・分担・代表：田中〔2021～2025〕、挑戦的研究〔開拓〕・代表：塩原〔2023～2027〕）を主たる経費として推進しており、2023年度末までに詳細な仕様を決定、各部の製作を進めていた。2024年度は、海洋研究開発機構の内部桙航海（KM24-11）の観測研究と共同する形で試験観測の機会を確保し、2024年9月に熊野灘で設置作業を行った（図1）。着底確認後に音響通信で観測状態へ移行できたことは確認できたが、現時点（2025年1月）までには海底での実際の状況を観察できていない。機器の回収は2025年後半での同様な内部桙航海で実施予定であるが、それまでの間に無人潜水艇での状況観察を行う計画である。

1-2についても、2019年夏以降延期され続けていた試験観測の機会を上記のUDBBOBSと併せて確保し、同一地点での設置を行った。この自律動作方式の次世代型広帯域海底地震計（NX-2G）についても、構造を改修した後での観測状態への移行結果状況が観察出来ていないので、UDBBOBSと共に状況観察を行う計画である。

1-3では、2020年に房総半島沖に設置した広帯域海底地震・傾斜計（BBOBST-NX）を2024年7月に新青丸航海（KS24-13）で潜航回収した。2年間分の観測データが無事取れており、今後解析を進める。同一地点に設置してあった自己浮上型の海底電磁流速計は2022年秋に回収済みで、海底環境温度などのデータも揃っている。

1-5に関連するものとして、2022年9月からカナダバンクーバー島南西沖で開始した海底水圧計（OBP）6台によるアレイ観測の回収作業を、2024年7月に実施した。4台は正常に回収されたが、残る2台は海底での所在は明確であるが、錘切り離し用の電池出力が無い旨の応答となった。急遽、カナダビクトリア大学のOcean Networks Canada（ONC）との連携により、海底ケーブル観測網保守を目的とした無人潜水艇航海時にこれらを回収する予定が組まれ、2024年10月に実施された。海況・天候の制約で、2024年は1台のみの回収となったが、2025年に残る1台の回収を実施する予定である。回収された5台分のOBPデータは、ONCの海底水圧データと合わせての基本的データ処理を進めている（図2）。

2-1に関しては、2014年に復旧した既設の三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システム、および2015年に設置した新規開発の海底光ケーブル式地震津波観測システム、両方を用いた併行観測を引き続き実施しており、両システムの保守および改良を実施した。特に、ICT技術を利用した新規開発の海底光ケーブル式地震津波観測システムは長期間の連続観測を続けており、信頼性が実証できつつある（図3）。

2-3については、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を引き続き実施した。また、これまでに蓄積したデータを用いて解析を進めた。2024年度は、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よる仏国FOSINA社のDAS観測装置を用いた観測を実施した（図4）。複数の製造会社の計測器を比較することにより、地震観測に適した計測方式の検討も実施している。

・「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

1-1・1-2・1-3の各項目は、今後の海底地震・測地観測研究を高度化していく基礎となる開発研究である。また、1-5は長期海底水圧アレイデータの取得に加え、1台の未回収OBPではこれまで20年以上使用してきた錘切り離し機構の運用で発生しなかった障害が起きたと見られるので、2025年に当該OBPを回収して原因究明を進めたい。これもまた、海底観測機器の安定した運用への基礎となる。

2-1・2-3については、海底ケーブルを利用する海底地震津波観測研究の高度化を目指している。近

年は、千島海溝西部、日本海溝、南海トラフに海底ケーブル観測システムが設置され、防災面および科学面に大きな寄与があるが、高精度なデータ解析の実現という観点で、引き続き観測点の空間的高密度化を図る必要がある。そのためには、海底ケーブル観測システムのさらなる開発研究が不可欠である。

- (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

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, Halifax, NS, Canada, 1-6, 2024.
doi:10.1109/OCEANS55160.2024.10753809,査読有,謝辞有

- ・学会・シンポジウム等での発表

塩原 肇・伊藤亜妃・杉岡裕子・篠原雅尚, 超深海域での広帯域地震観測へ向けた海底地震計(UDBBOBS)の開発, 日本地震学会2024年度秋季大会, S02-11, 2024年10月22日

Shiobara, H., et al., Ocean bottom pressure gauge array observation for detecting slow earthquakes with a wide frequency range at Southwestern off the Vancouver Island, AGU-FM 2024, S41H-3397, 12 Dec. 2024

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

- (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：

現時点での2025年の開発研究は以下の項目で実施予定である。

1-1・1-2は、年度後半に予定している海洋研究開発機構の内部砕航海でUDBBOBSとNX-2Gの自己浮上回収を行う。また、回収実施前までにこれらの海底での観測状態の状況観察を実施する。データ回収後、近傍のDO-NET坑内広帯域地震観測点のデータとのノイズレベル比較などの解析を進める。UDBBOBSについては、2026年度での超深海域への設置について検討を行う。

1-3は、2024年に回収したデータを含め計3回、のべ5年分の海底広帯域地震・傾斜観測データが蓄積されたので、より適切な温度補正手法の開発など、海底面での傾斜観測の可能性を検証する。

1-5としたOBPアレイ観測は、海洋起源ノイズの低減手法導入を行うと共に、残る1台の無人潜水艇での回収をONCと協働し実施する。

2-1については、2014年に復旧した既設の三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムおよび2015年に設置した新規開発した海底光ケーブル式地震津波観測システムの両方を用いた併行観測を継続して、信頼性の検証を行うとともに、陸上側において、さらなる高度化を実施する。

2-3については、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よるDAS観測を引き続き行い、計測方式の異なるDAS計測装置の比較や、連続観測に適したシステムの開発研究を実施する予定である。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

塩原 肇（東京大学 地震研究所）,篠原 雅尚（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）,一瀬 建日（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：無

(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：東京大学 地震研究所

電話：03-5841-8287

e-mail：shio@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：塩原肇

所属：東京大学 地震研究所

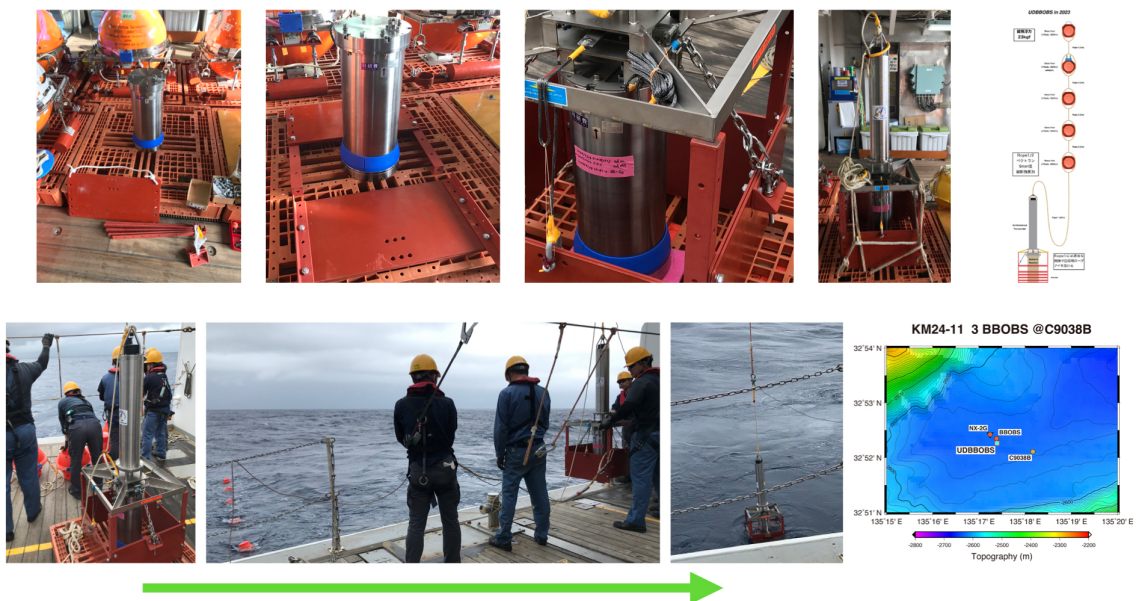


図1 UDBBOBSの試験観測

上段： 「かいめい」 船上でのUDBBOBSの設置前準備。茶色のパレット中央にセンサーなどを収納した耐圧容器を置き、その周囲から錘を組み上げ、その上に動作制御部と音響トランスポンダを載せていく。

下段： 投入時は、回収用の浮力体を海上に投入後、本体を海面まで降ろし自由落下させる。右端に着底後の機器配置（NX-2Gも含む）を示した。

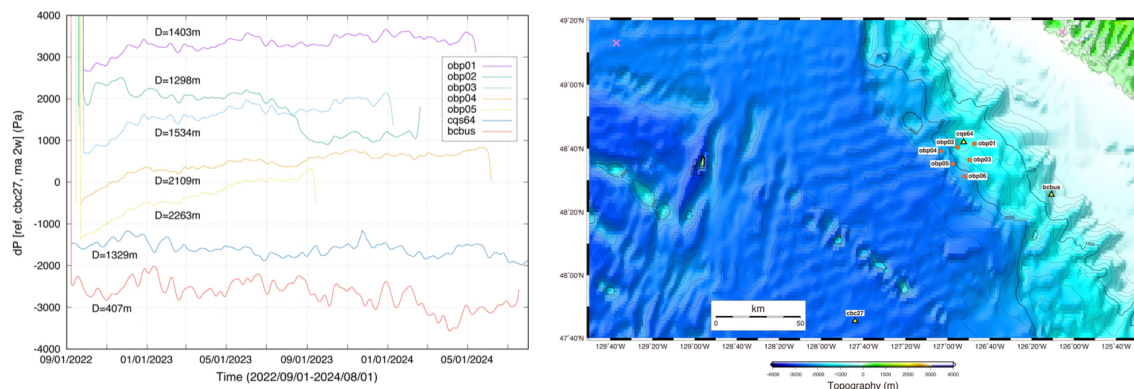


図2 カナダバンクーバー島南西沖でのOBPアレイ観測

左： 5台のOBPとONCの2観測点のデータから、沖合の“cbc27”観測点のデータを基準とした差分の圧力変動記録の全期間分、baytap08での潮汐成分の除去と2週間長の移動平均処理を実施。記録用SDカードの応答遅れによる記録停止がランダムに発生し、1年～2年弱の記録期間となっている。“obp02”で2023年前半に-10hPaのゆっくりした変化が見られるが、今のところインテリジェント型APG内部の起因すると想定している。

右： 6台のOBP（橙丸）、海底水圧データを使用したONC観測点（黄三角）の配置図。2つの×は5台のOBP共通の観測期間中に起きたM5級の地震であるが、現段階ではそれに伴う圧力変動は検出できていない。

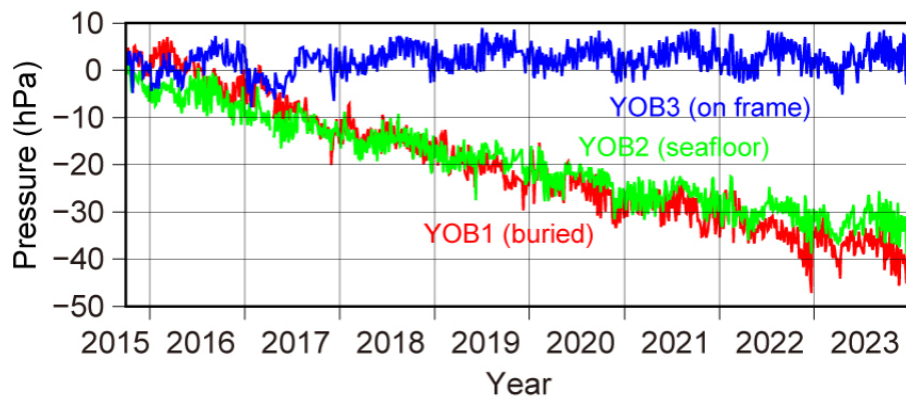


図3 2015年に設置したICT海底光ケーブル式地震津波観測システムに取り付けられている3台の圧力計の長期間変化

潮汐の影響を取り除くために、3日間の平均値を用いている。保護筐体内に収められている圧力計(YOB1、YOB2)は、線形の長期変化しているように見える。一方、水圧計本体が海水に暴露しているYOB3では、長期変化が少ない。

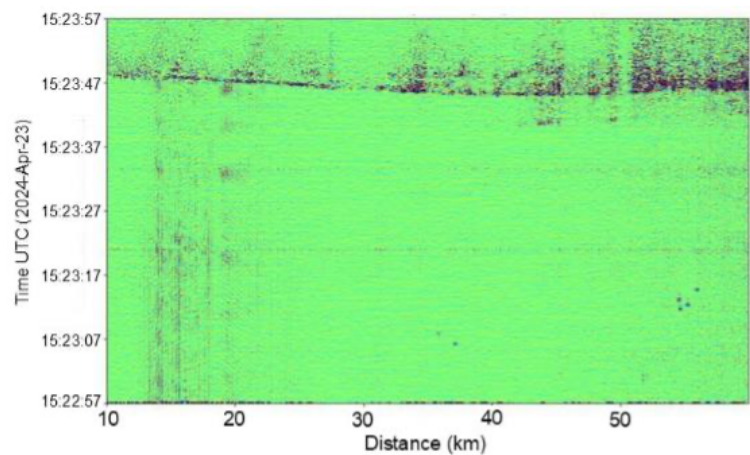


図4 仏国FOSINA社の観測装置による三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムの予備光ファイバを用いたDAS記録

この観測装置は、観測後のデータ処理の段階でゲージ長を変更できることが特徴であり、この記録はゲージ長を300mとしている。震央距離が30km程度のマグニチュード1.0の地震の記録である。9-50 Hzのバンドパスフィルターを適用した。

