

(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7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砕航海（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。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、2025年2月に無人潜水艇（ROV）による海底での実際の状況観察を行った。観測状態での浮力計算に問題があったと見られる状態が確認され、自己浮上回収前に正しい状態へROVで修正する事になった。機器の回収は2025年11月のKM25-11航海（内部砕航海）で実施予定であったが、黒潮流軸部が観測点と重なったことでROV潜航作業が不可能となり、2026年度の内部砕航海の機会に回収する予定である。

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2024年度に行った。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、設置時には観察出来ていないので、UDBBOBSと共に状況観察を2025年2月に実施した。センサー部へ繋がる水中ケーブルの放出が不完全であったが、基本的な移行動作は完了していた。KM25-11航海時に、自己浮上での回収を試みたが、錘切り離し動作は正常に完了した返答があったが、センサー部の傾斜状態は設置時と全く変わらず、過去の実地試験時とは異なる想定外の状況になっている。これも、ROV潜航での状況確認が必須となったので、2026年度の航海での回収予定となった。

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ROV備船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、海況・天候の制約から1台のみの回収となった。2025年に残る1台の回収を実施する計画であったが、ONC側のROV備船航海実施時にトラブルが続き、2026年内のROV備船航海にて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1）。2025年度は、ローカルな海洋変動の影響を取り除く手段として、全海洋モデル(hycom)による海面高変動データから、各OBP地点近傍での時系列データを取り出し、差分を取ることを検討中。先行研究では、このようなモデルデータとの差分をとることでより見やすい水圧データになる、とあったのだが、モデルデータに異常なデータ値の区間がランダムに存在しており、それらを取り除いた処理を今後進め、地殻変動のイベントが無いかを調べる。

事前に想定した開発項目と直接関係しない機器開発も行った。長期海底観測の途中で、一部の観測データを実用的に取り出すための水中WiFi通信機能をBBOBST-NXに付加し、日向灘での4年観測を開始した。設置・展開のROV潜航作業後、OBS内のレコーダーと船上をWiFi・光ファイバー経由でIP接続し、通信・データ転送することに成功した（図2）。実効的なデータ転送速度として1Mbpsを確保しているが、WiFi電波強度が低いのを改善しなければならない課題が明らかになった。

さらに1-5に関連して、海底において大振幅の地震波を飽和せずに記録するために、小型の長期観測型海底加速度計の開発を行っている。直径50cmのチタン製球型耐圧容器を用いた長期観測型海底地震計は従来から使用されており、本開発は、この長期観測型海底地震計に低消費電力の小型サーボ型加速度計を搭載する。これまでも、長期観測型海底加速度計を開発してきたが、小型サーボ型加速計の消費電力が大きかったために、電池搭載量から直径65cmのチタン製球型耐圧容器を用いていた。近年、低消費電力の小型サーボ型加速計(日本航空電子製JA-5VE1)が利用できるようになり、海底加速度計を小型化する目処が立った。まずは、JA-5VE1について、地震研究所内において、評価試験観測を行った。その結果、計測された加速度は従来の小型サーボ型加速計と比べて、遜色がないことを確認し

た(図3)。消費電力を実測したところ、供給電圧 $\pm 7.4V$ において、約75mWとなった。この消費電力は従来用いているリチウム電池により、約半年の電力を供給できる。50cm球型耐圧容器に3成分観測のために、3つの加速度計を直交するように実装し、試作機を製作した。2026年度以降の試作機による海底観測を計画する。

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(新システム)について、2025年7月に波浪の影響を受けやすい汀部から沖側約100mまでの区間の観測ケーブル、アースケーブルやシーアースの敷設状況について、ダイバーによる点検を行い、必要な清掃・補修を行った。新システムの給電電圧が2025年4月中旬より、増加傾向でかつ間欠的に数分単位で変動し、6月下旬からは海底の観測ノードYOB3が複数回再起動していた。そこで、新システムのビーチアースの清掃を行うと共に、設置以降、0.7Aであった供給電流を0.8Aに増加させた。その結果、YOB3は再起動しなくなったが、すべての海中ノードで内部温度が約1°C上昇したことが確認された。一方、海水に暴露している水圧計の温度は、最も陸寄りのYOB1で約0.5°C上昇したことが確認されたが、残りの2つの海中ノードの水圧計については、温度変化が見られなかった(図4)。

・「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。水中WiFi通信機能の実現も、海底観測中の機器からのデータ回収手段として新たな選択肢を増やし、観測機能の高度化に繋がっている。

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7年度の成果に関連の深いもので、令和7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., T. Yamada, S. Fukushima and H. Yamahana, Distributed Acoustic Sensing Observation Using Seafloor Cable Observation System in the Japan Sea, 2025 IEEE Underwater Technology (UT), Taipei, Taiwan, 2025, 1-5, doi: 10.1109/UT61067.2025.10947411., 査読有, 謝辞有

Fukushima, S., M. Shinohara, T. Yamada, R. Hino, R. Azuma, Y. Ito, Y. Yamashita and H. Takano, Enhanced P-wave velocity imaging by marine airgun-source seismic surveys with distributed acoustic sensing. Sci Rep 15, 18111, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-01190-0>, 査読有, 謝辞有

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 distributed acoustic sensing using seafloor cable observation systems around Japanese islands, OCEANS 2025 - Great Lakes, Chicago, IL, USA, 1-7, 2025, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

Shiobara, H., Nishida, S., Araki, W., and Ito A., Underwater WiFi system for the long-term BBOBS data retrieval using the ROV, AGU-FM 2025, DI13B-0036, 15 Dec. 2025.

Yamahana, H. and M. Shinohara, Development of GUI software for picking up seismic phases

from distributed acoustic sensing records, Japan Geoscience Union Meeting 2025, STT42-12, 29 May, 2025

Shinohara, M., S. Aoi, S. Fukushima, T. Yamada, T. Takeda, T. Kunugi, K. Uehira, M. Mochizuki, T. Akuhara, K. Mochizuki¹, and S. Sakai, Distributed acoustic sensing seismic observations using fibers on seafloor cable observation systems installed in Japan, IAGA/IASPEI Joint Scientific Meeting 2025, S05d, AS25-0238, Lisbon, Portugal, 2 Sep. 2025.

Shinohara, M., S. Aoi, S. Fukushima, T. Yamada, T. Takeda, T. Kunugi, K. Uehira, M. Mochizuki, T. Akuhara, K. Mochizuki¹, and S. Sakai, Seismic observations by distributed acoustic sensing using seafloor cable observation systems around Japanese islands, OCEANS 2025 - Great Lakes, Chicago, IL, USA, 1 Oct. 2025

篠原雅尚、光ファイバーセンシング計測が拓く超高密度海底地震観測、地震調査研究推進本部30周年特別シンポジウム、2025年10月14日

Shinohara, M., Z. He, S. Tanaka, and H. Otsuka, High performance seismic observation by distributed acoustic sensing using off-Sanriku geophysical cable observation system, Seismological Society of Japan 2025 Fall meeting, S02-07, 21 Oct. 2025

Shinohara, M., S. Aoi, T. Takeda, T. Kunugi, K. Uehira, and M. Mochizuki, Distributed acoustic sensing observation for seismic activity in westernmost Nankai trough region using N-net offshore system, AGU-FM 2025, S13A-04, 15 Dec. 2025

(9) 令和7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8年度実施計画の概要：

現時点での2026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、2026年5月末に予定している海洋研究開発機構の内部枠航海でUDBBOBSとNX-2Gの自己浮上・ROV潜航回収を行う。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年度中での、房総半島沖3重会合点の超深海域への設置について検討する。

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・機器の開発など、海底面での傾斜観測の高度化を進め。

1-5としたOBPアレイ観測は、引き続き、ローカルな海洋起源ノイズの低減手法の検討を進めると共に、残る1台のOBPのROVでの回収をONCと協働し実施する。また、試作した小型海底加速度計を用いて、海底における実観測を試みる。

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、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：

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

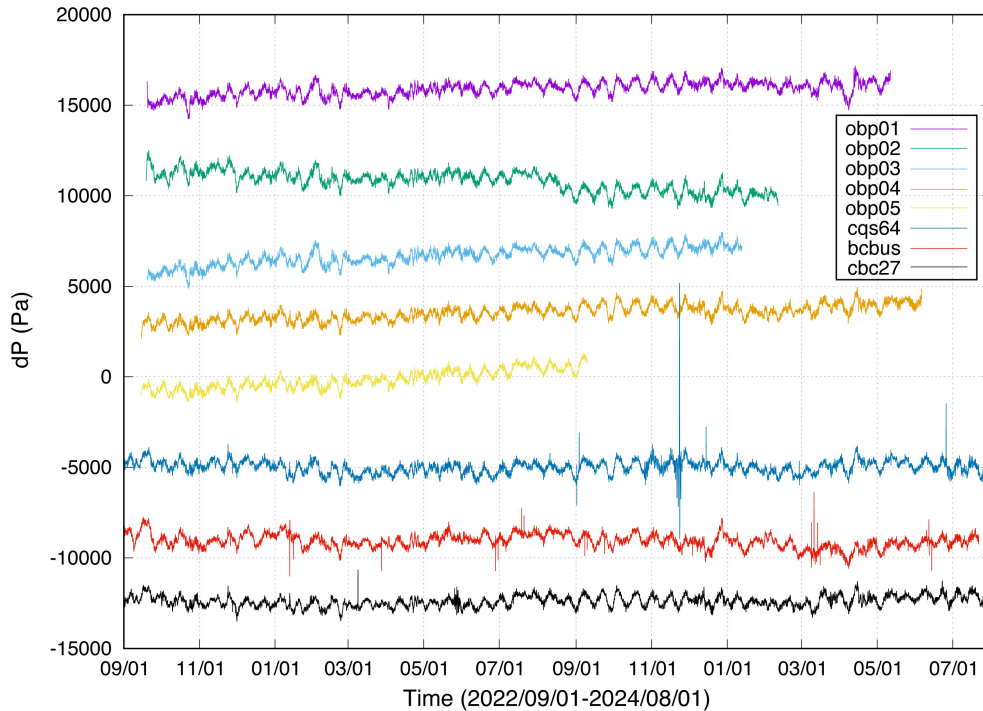


図1 カナダバンクーバー島南西沖でのOBPアレイ観測データ処理
2024年に回収した5台のOBP観測データ(obp01~obp05)に対して、ローカルな海洋変動の影響を取り除く手段として、全海洋モデル(hycom)による海面高変動データから、各OBP地点での時系列データを取り出し、差分を取ることを検討中。OBPデータに加えて、ONCの海底ケーブルシステムに在る海底水圧計3点(cqs64, bcbus, obc27)のデータも同様に処理している。ここで表示しているのはbaytapによる潮汐成分を除去した段階の圧力変動波形。

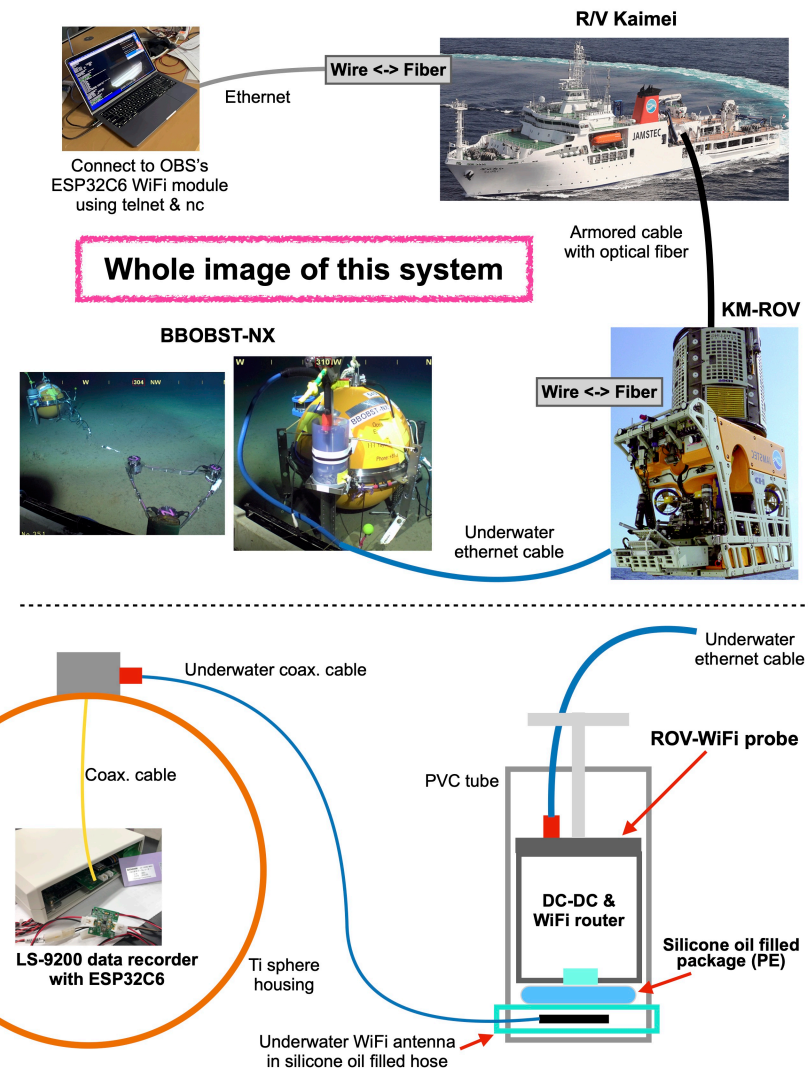


図2 BBOBST-NXに追加した水中WiFi通信機能の实地試験

かいめいKM25-11航海にて、日向灘での長期BBOBSアレイ観測を開始したが、その中心で4年間設置するBBOBST-NXに、観測中のデータをROVで一部回収可能とする水中WiFi通信機能を装備し、实地試験を行った。

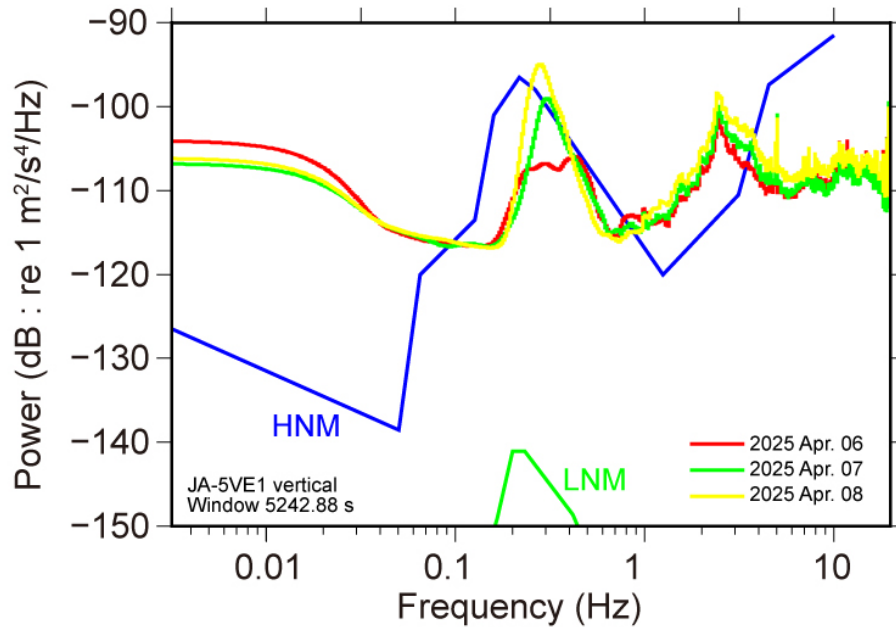


図3 小型サーボ型加速計(JA-5VE1)で観測されたノイズスペクトル
 2025年4月に地震研究所において行った評価試験観測により得られた地震学的ノイズスペクトル。それぞれの日の午前0時から約1.5時間分の記録を用いて、スペクトルを計算した。High Noise Model(HNM)とほぼ同じレベルとなり、他の地震計を用いた観測と調和的である。

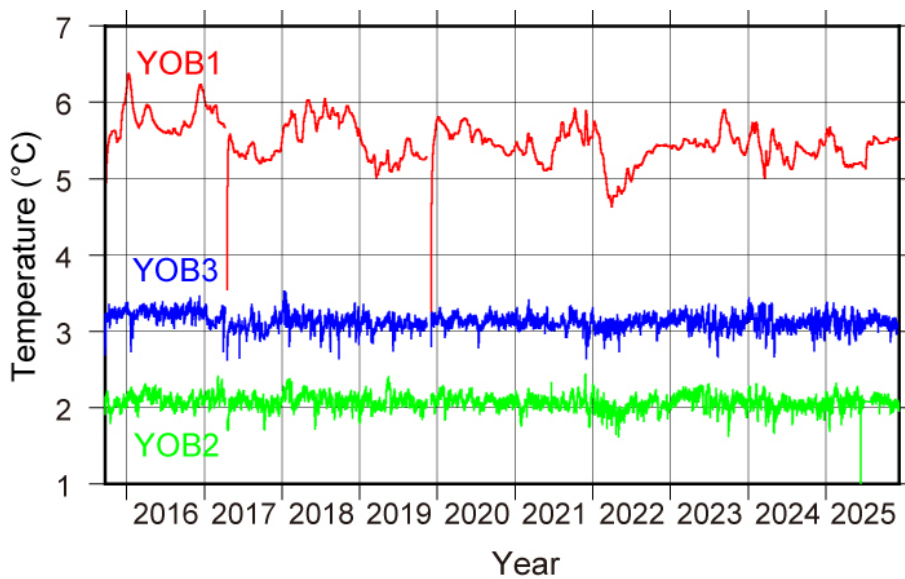


図4 新システムに搭載している水圧計の長期温度変化
 2015年に設置した三陸沖ICT海底光ケーブル式地震津波観測システムに取り付けられている3台の圧力計について、圧力計が計測している温度の30分平均値を計算した。2025年7月に供給電流を0.8Aに増加させたことに対応して、最も陸寄りのYOB1の圧力計は温度が約0.5°C上昇した一方、YOB2、YOB3の圧力計では温度変化が見られない。