

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K21909

研究課題名（和文）深海底における超稠密地震観測を実現する観測手法の変革

研究課題名（英文）Innovation of observational method in deep seafloor for high density seismological observation

研究代表者

荒木 英一郎 (Araki, Eiichiro)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門(地震津波予測研究開発センター)・グループリーダー

研究者番号：60359130

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：深海底においてこれまでにない密度・数量での稠密アレイ観測を計画し得る超小型・ローコストな海底地震観測装置の開発を実施した。その構成は、リチウムイオン充電電池、3成分ジオフォンの水平維持のためのジンバル、観測処理ボード、可視光通信のための光通信ボードを13インチ4000m耐圧ガラス球内に搭載し、可視光通信により時刻同期、観測起動、停止が行えるものである。また、開発した超小型海底地震計用観測処理ボードを用いて、海底水圧観測装置を製作、伊豆大島沖において2021年7月から長期間の連続水圧計測を実施し、無人探査機によってデータの回収を行うことで、観測処理システムの長期信頼性を確認することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の技術開発によって、沈み込む海域プレート境界部で発生するスロー地震のメカニズムを探求するために必要な稠密かつ長期のアレイ海底地震観測を計画するために必要な基礎技術が進化した。また本研究での、ローコストな観測装置の開発と長期観測による検証を通じて、海底地震以外の海底水圧観測などについても、これまでにない観測が実現された。

研究成果の概要（英文）：We developed an ultra-compact and low-cost seafloor seismic observation instrument that can plan array observations with unprecedented density and quantity on the deep sea floor. The configuration consists of a lithium-ion rechargeable batteries, three-component geophones, a gimbal for horizontal leveling, observation processing board, and optical communication board for visible light communication, all mounted in a 13-inch 4000m pressure-resistant glass sphere, and capable of synchronizing time, starting and stopping observations via visible light communication. The developed observation processing board for the ultra-compact ocean bottom seismometer was used to make a seafloor pressure observation system, and long-term continuous pressure measurements were conducted off Izu Oshima Island from July 2021, and the data was recovered by a ROV to confirm the long-term reliability of the observation processing system.

研究分野：Seismology

キーワード：超小型海底地震計 稠密観測 ローコスト

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海域ではプレート沈み込みに伴いスロー地震が発生していることが知られてきたが、この発生要因は、発生場所とそのメカニズムを十分な解像度で解析できる海底地震観測データがないため明らかでない。海底地震計(OBS)の稠密なアレイ展開によってそのようなデータの取得は可能となると考えられるが、従来から使用されている自由落下・自己浮上式OBSでは精密な設置が困難(2kmの水深を自由落下)であり、測器コスト(約400万円/台)がかかるという困難があった。既存のOBSによる海底地震観測網密度は最密1km/点程度であるが、スロー地震(低周波微動)1つ1つがせいぜい1km程度の断層滑りと考えられるため、断層滑り過程を観測データによって分解することができず、現在、観測科学研究の踊り場に立っている状態である。また、これまでの海底観測技術は、長年の実績に裏打ちされているが、深海底での信頼性確保が優先されるため、チタン等の非常に高価な部品を多数使用しており、そのローコスト化も困難であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、深海底においてこれまでにない密度・数量での稠密アレイ観測を計画し得る超小型・ローコストな海底地震観測装置(OBS)に必要な技術を開発し、その実海域での実証を行うものである。そのため、無人探査機での精密な設置と回収を行うことを前提に、従来の1/20程度のユニットコストのOBSによるこれまでにない稠密アレイ観測のモデルを提案し、その実現に必要なOBSの技術を開発、実海域での実証を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究で確立する技術による深海底での稠密アレイ地震観測モデルは、無人探査機で多数(100台規模)のOBSを海底の設置点に運搬、設置を行い、一定期間の観測の後、再び無人探査機でそれらを回収するか、または海底通信によってデータ回収を行うというものである。この観測モデルの要素であるOBSは、観測対象として想定する低周波微動(スロー地震)を稠密アレイ観測するために、高感度であり、かつ観測点群が高精度に同期した観測を行う必要がある。また、無人探査機で多数の展開を行うために、これまでと比べ大幅に小型軽量かつ安価である必要がある。これを実現するために、従来の自由落下・自己浮上型OBSと異なる以下の技術ポイントを持つOBSを開発する。

- ・無人探査機による展開・回収を前提に錘・音響切り離し装置を備えず小型軽量である。
 - ・稠密に展開されたアレイOBS相互の同期と無人探査機による位置同定・データ回収を行うため、可視光通信機能を持つ。
 - ・小型軽量化・ローコストなOBSのための技術：地震計センサーと処理系・電源・通信充電系がシングルボードに搭載され一体構造となっており、ローコストな耐压容器に収納されている。
 - ・地震計センサーは高感度な動コイル式である。
- また、開発した海底観測技術を用いて、陸上・実海域での実証試験観測を行う。

4. 研究成果

本研究において、初年度には、海底地震計の核となるシングルボードの処理系・電源系を設計した。シングルボード地震計処理系は、3成分地震動、4成分温度、水晶水圧計2式の温度・圧力を同時に観測することができ、リチウムイオン電池1本から自律的観測を行えるもので、データは可視光や赤外光の光通信で読み取ることができる。可視光通信に用いられる発光素子や受光素子の選定・調達、ボードの一次試作、ボードで動作する地震計処理系ソフトウェアの開発を実施した。一次試作を行った地震計処理系の使用が想定される様々な温度での刻時精度・消費電力の確認試験を行い、地震計処理系の改良設計を実施した。

2年度目には、地震計処理系の試験結果を踏まえ、処理系ハードウェアの改良設計試作を行い、試験を実施した。試験は、実験室環境において1か月程度ジオフォン3成分、サーミスター温度計、水晶水圧計を接続し改良設計試作を行った処理ボードで連続データ取得を行った。また、可視光通信の処理系ハードウェア・ソフトウェアの開発と空中での試験を行い、通信プロトコルと通信速度について検討を行った。また、3Dプリンターを用いた均圧筐体の検討・試作を行ったが、可視光通信を高感度に行うための部品は、均圧環境で使用することが難しく、容器の一部に耐圧区画を設ける必要があることがわかった。そのような全体構成においては均圧構成による装置全体のコスト低減が十分に図れない。そこで、低コストで、海域で適用範囲の広い耐压容器であり、なおかつ可視光通信が容易に実施できる地震計容器として、13インチのガラス球1個を利用することとし、海底地震計アレイの実海域試験用耐压容器の調達整備を実施した。一方、予定した、神岡鉱山での陸上試験、実海域試験はコロナ禍の影響を受け実施できなかった。

3年度目には、引き続きコロナ禍の影響が続く中、試作地震計処理系を3成分のジオフォンと組み合わせ、調達した可視光をよく透過する13インチ耐圧ガラス球3台にパッケージングを行うとともに、海底での海底地震計間の光通信の状況を無人探査機で詳細に観測するために、同

じ 13 インチ耐圧ガラス球 1 台に可視光観測装置と多量の可視光観測データを船上に伝送するための光ファイバーケーブルを整備した。また、耐圧ガラス球を保護するとともに、海底面と十分なカップリングを確保して良好な海底地震記録を収録しつつ、海底面に配置した複数の海底地震計の間の可視光通信を可能とするような開口部を持つハードハットを設計し加工製作を行った。

4 年度目においては、実験室において海底地震計間の光通信試験を行ったところ、光通信光の受光感度の調整範囲が狭く、環境光がある場合に通信が行えないことが判明した。実海域試験では、無人探査機の潜航中に海底地震計間や海底地震計との通信試験を行う予定であるため、環境光がある場合に通信が行えないことは問題である。そのため、光通信機構の再設計・製作が必要と判断した。

最終年度には、陸上および海域での試験の実施のために必要な、超小型海底地震計 4 式の製造を行った。本年度の製造に当たって、超小型海底地震計内に収納される過年度に製造していた観測処理ボードの基板改良再設計を行うとともに、新たに製造をおこなった。また、同じく超小型海底地震計に収納され、観測処理ボードに給電、通信を行うための電池電源ボードの新規設計と製造、近傍に設置した超小型海底地震計や無人探査機との可視光通信を行うための光通信ボードのこれまでの試験結果を踏まえた改良再設計を行った。また、3 成分のジオフォンを超小型海底地震計内に収納し水平をとるためのジンバル機構の設計を行い、3D プリンターを用いて製造した。

また、過年度に設計製作を行った超小型海底地震計用観測処理ボードを用いて、Paroscientific 水圧計のデータを長期間取得できるように製作した海底水圧観測装置を伊豆大島沖に 2021 年 7 月より設置していたが、海底設置した海底水圧観測装置から 2 年半の連続記録を回収することに 2023 年 2 月に成功した（図 1）。

以上、途中コロナ禍の影響を受け、研究期間を 2 か年度にわたり延長していただいたところ、本研究により超小型海底地震計の開発を実施することができた。その構成は、リチウムイオン充電池（電池電源ボード）、3 成分ジオフォン、水平維持のためのジンバル、観測処理ボード、可視光通信のための光通信ボードを 13 インチ耐圧ガラス球内に搭載し（4000m 耐圧）、深海底にアレイ設置することで、地震・水温および水圧（センサー接続の場合）のアレイ観測が行え、水温可視光通信によりアレイの時刻同期、観測起動、停止が行えるものとなった。

また、当初予定した実海域試験は、十分に実施できていないものの、本研究において開発した超小型海底地震計用観測処理ボードを用いて、海底水圧観測装置を製作し、伊豆大島沖において 2021 年 7 月から長期間の連続水圧計測を実施し、2 度にわたり無人探査機によってデータの回収に成功しており、観測処理システムの長期信頼性を確認することができた。研究終了後も開発した超小型海底地震計 4 式を活用した深海底での海底地震観測を実施したい。

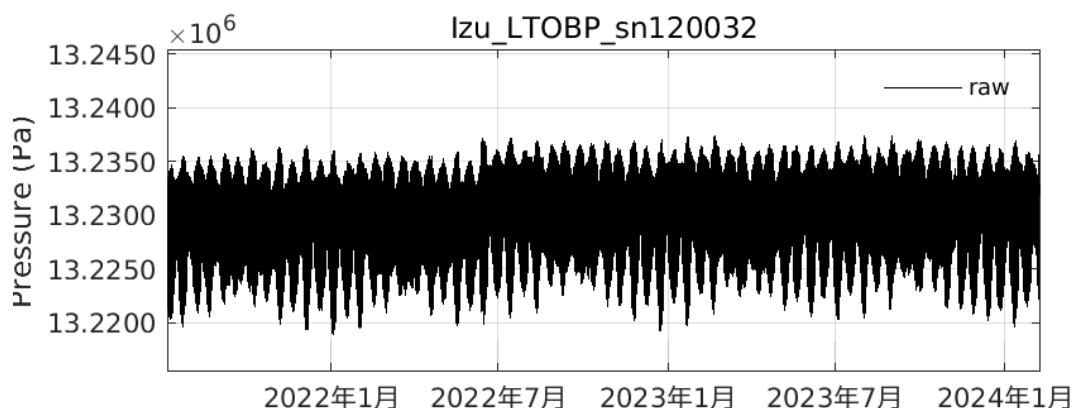


図 1 開発した超小型海底地震計用処理ボードを用いて伊豆大島沖で得られた長期間の連続水圧変動記録

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 町田 祐弥、西田 周平、松本 浩幸、荒木 英一郎
2. 発表標題 長期海底設置用水圧計を用いた伊豆大島東方沖における連続地殻変動観測
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------