

(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：

次世代の機動的海底地震観測に向けた観測技術の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 新たな観測技術の開発

(1) 海底における観測技術の開発と高度化

イ．海底地震観測技術

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

イ．上部マントルとマグマの発生場

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震予知研究において実際の地震発生の場合・現象を捉えるためには、海域での地震観測研究は欠かせないものである。しかし、海底ケーブル網が存在・計画されているのは限られた海域であり、今後空間・時間的な観測空白域を網羅し新たな知見を得るためには、機動的な海底地震観測技術の新たな開発が必須である。次の 3 項目に示す技術開発は、これまで基礎的な試験観測、またほぼ実用観測を行ってきたものである。そのうち、超深海型海底地震計 (UDOBS) は設置したが回収不能となっており、今後開発しなければならない箇所が多く残っている。また、広帯域海底地震計 (BBOBS) は、既に大規模アレイ観測を実施しているが、水平動成分はノイズレベルが高くデータを解析する上で有効利用しにくい問題点がある。これを解決するため科学研究費等で開発研究を開始しているが、潜水艇による試験観測の機会が少ないことから開発期間が不足している。その他、海底での強震観測については、スマトラ地震の余震観測として試験的に実施した。

これらを踏まえた上で、以下の 3 項目を具体的な技術開発の内容として計画している。

(a) 海溝軸付近など水深 6000m 以上の超深海域での地震及び他のセンサーによる海底観測技術開発で、空間的観測空白域を埋める。

(b) 海底強震観測の高度化で、数年間の地震発生待ち受けと震源域近傍での高い信号強度へ対応する。

(c) 海域での浅部超低周波微動などを直上で精密に捉えられる能力を持つ海底広帯域地震観測の高度化で、陸上観測点に匹敵・凌駕する品質のデータを取得し、脈動域～潮汐変動の時間軸へ対応する。

これらの成果の地震観測研究における波及的重要さは言うまでもない。また、各技術開発共に、既存の海底地震観測システムを多少変更して対応できる内容ではないため、完全な観測技術へと完成するのには 5 年間では短い可能性はある。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度においては、上記 (a) と (b) の仕様検討を行う。(c) は科研費で進行中の試験観測研究を継続して進め、研究を継続するために科研費を申請する。特に (a) の UDOBS は、これまでの問題点を

精査し、超深海域で確実に使用可能な部品の選定を進め、その解決策を全体構造の見直しという点まで含めて検討する。

平成 22 年度においては、(a) の機器試作を開始し、(b) の機器設計を進める。(c) は試験観測研究を継続して進める。翌年度の試験観測に向け、観測船利用の申請を行う。

平成 23 年度においては、(a) の試験観測を開始し、(b) の機器試作を開始する。(c) は試験観測研究を継続して進め、機器の改良を行う。翌年度の試験観測に向け、観測船利用の申請を行う。

平成 24 年度においては、(a) の試験観測を継続し問題点を解決する、(b) の試験観測を開始する。翌年度の試験観測に向け、観測船利用の申請を行う。

平成 25 年度においては、(b) の試験観測を継続し問題点を解決する。

(7) 計画期間中 (平成 21 年度 ~ 25 年度) の成果の概要 :

本 5 か年での技術開発の具体的内容は、(a) 水深 6000 m 以深の超深海域での海底観測技術開発、(b) 海底強震観測の高度化、(c) 海底広帯域地震観測の高度化、の 3 項目である。

(a) に関しては、過去の試験的観測での結果を鑑み、根本的に構造を変えて耐圧性能を安定的に確保しやすい新方式の超深海用海底地震計 (NUDOBS) のプロトタイプ (図 1) を開発し、2012 年 11 月に試験観測を開始、2013 年 2 月に無事回収した。この試験観測では、深海底の環境下で各部が問題無く動作すること (図 2) の確認も目的としたので、無人潜水艇「かいこう 7000II」の潜航時に、投入時から観測状態への移行、回収時の動作を撮影し、潜水艇により回収作業を行った。上記の各段階の動作はもとより、地震観測の機能も問題なかった。この結果を元に、2013 年 4 月には房総半島沖の三重会合点 (水深 9200 m) 地点に NUDOBS を設置し、1 年間の長期観測を実施中である。回収は 2014 年 4 月に予定されている。また、本課題初年度から開発を続けている、従来型の OBS の構造を踏襲した高耐圧のガラス球 1 個を用いた超深海型海底地震計 (UDOBS) も一定の完成レベルに達した。こちらは現在広く用いられている海底地震計と機構および外寸・重量の互換性を維持した上で、システム各部および全体構成の検討を行い、水深 6000 m を超える超深海底に設置可能な実器の製作を行った (図 3)。2012 年 5 月に 6500 m を超える海底に自由落下で設置した。この UDOBS は、船上からの音響通信を用いることにより、自己浮上により回収、データを取得することに成功した。続いて 8 月に 7500 m を超える日本海溝域に UDOBS を自由落下により設置、10 月に自己浮上により回収し、地震データを取得した。さらに 2013 年 8 月にも、7000 m を超える日本海溝域において、設置・回収を行い、制御震源構造探査のデータを取得することに成功した。

(b) については、これまでに実績があるサーボ型加速計を搭載した海底地震計を製作し、観測に用いた。一方、海底における観測のダイナミックレンジの拡大を目的として、2011 年に新たに導入する水晶発振式加速度センサーの検討を行った。2012 年に陸上で試験観測を実施し、2013 年には水晶発振式加速度計 3 式を用いて、3 成分一体型加速度計 1 式への成型を行った。さらに、これを海中重力システムに組み込むことで、自律航行型潜水艇を用いた海中での観測データを取得し、3 成分型の評価を行った。陸上試験と海中試験結果を踏まえ、さらに改良を施した新たな水晶発振式加速度計を用いて、東京大学地震研究所鋸山地殻変動観測所の観測坑内において試験観測を実施した。その結果、従来のサーボ型加速計に比べ、測器ノイズが約 10 分の 1 であることがわかった。なお、この研究は、防災科学技術研究所との共同研究である。

(c) では、2008 ~ 2010 年の間に実地試験観測を重ねて実施したことで、次世代型の広帯域海底地震計 (BBOBS-NX) が 20 秒以上の長周期帯域で陸上観測点並のノイズレベルを 3 成分共に達成できることを確認した。その能力を発揮させるべく、2010 年から開始した特別推進研究 (「ふつうの海洋マントル計画」、代表 : 歌田久司) で海底観測の核として適用開始している。また、無人潜水艇を用いないで運用する方式への機能高度化を目指す基礎データ取得も開始した。先の特別推進研究での航海 (2012 年 8 月) では既設の BBOBS-NX のセンサー部を海底から引き抜くのに要する力を 2 例実測した。またこの高度化への試験観測 (2012 年 11 月設置・2013 年 2 月回収) を実施し (図 4)、無事データを得ると共にこの際にも引き抜き力を測定した。後者の観測では流速計などの機器も近傍に設置しデータを得

ており、今後、詳細なデータ解析を進める。図4中に見られるようにセンサー部中央に大きな物体を置いて、ノイズレベルには影響が見られないことを確認した。前述のNUDOBSで開発した動作・切り離し制御機構は、自己浮上型のBBOBS-NXへの適用も念頭にしている。2013年には、これまでのBBOBS-NX開発について取りまとめた論文を発表した。

(8) 平成25年度の成果に関連の深いもので、平成25年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

D. Suetsugu, and H. Shiobara (2014) Broadband Ocean Bottom Seismology, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, in press.

一瀬建日・竹尾明子・塩原 肇 (2014) 観測記録を用いた海底地震計の時刻補正と刻時安定性, JAMSTEC Rep. Res. Dev., accepted.

Shinohara, M., T. Yamada, T. Kanazawa, K. Uehira, H. Fujimoto, T. Ishihara, A. Araya, K. Iizasa, and S. Tsukioka (2013) Development of an underwater gravimeter and the first observation by using autonomous underwater vehicle, Underwater Technology Symposium (UT), 2013 IEEE International, doi: 10.1109/UT.2013.6519864.

篠原雅尚・金沢敏彦・新谷昌人・藤本博己・山田知朗・石原丈実・月岡哲 (2013) 海底鉱物資源の産業利用ー日本 EEZ 内の新資源ー, 第3章 1. 移動体搭載型重力計システムの開発と実証試験観測, シーエムシー出版.

篠原雅尚・山田知朗・金沢敏彦・藤本博己・石原丈実・新谷昌人・飯笹幸吉・月岡哲・植平賢司 (2013) 自律型無人潜水機を用いた新規開発海中重力計の海域実証試験観測, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 千葉 (日本), 5 月 23 日, SCG67-18.

篠原雅尚・金沢敏彦・藤本博己・新谷昌人・山田知朗・月岡哲・石原丈実・飯笹幸吉・植平賢司 (2013) 「うらしま」を用いた移動体搭載型重力計システムの実海域実証試験観測, ブルーアース 2013, 東京 (日本), 3 月 15 日, BE13-58.

H. Shiobara, H. Sugioka, T. Isse, A. Ito, M. Shinohara and T. Kanazawa (2013) BBOBS-NX: practical observation tool for broadband seismology at the seafloor, IAHS-IASPO-IASPEI, Gothenburg, Sweden, 23 July 2013, SP3S1.05.

H. Shiobara, H. Sugioka, T. Isse, A. Ito, M. Shinohara, T. Kanazawa (2013) OBSs with the self burying broadband sensor in the NOMan project and an new style OBS for the ultra-deep sea, IRIS OBSIP, OBS Workshop, Redondo Beach, CA, USA, 21-22 Oct. 2013.

塩原肇・篠原雅尚・伊藤亜妃・杉岡裕子 (2013) 超深海域での海底地震観測への新たな挑戦, 日本地震学会秋季大会, 横浜市中区産業貿易センター, 2013 年 10 月 7 日, D11-13.

H. Shiobara, A. Ito, H. Sugioka, M. Shinohara (2013) New style OBS to the abyss, AGU2013 Fall Meeting, 13 Dec. 2013, S51A-2282.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

塩原 肇・篠原雅尚

他機関との共同研究の有無 : 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震予知研究推進センター

電話 : 03-5841-5712

e-mail : yotik@eri.u-tokyo.ac.jp

URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>

(11) 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 海半球観測研究センター

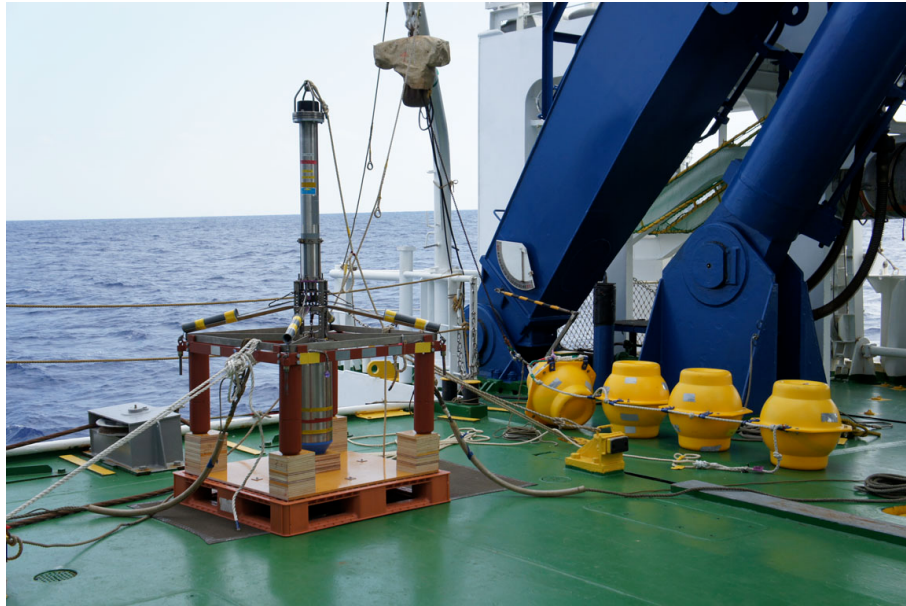


図1 新方式の超深海用海底地震計 (NUDOBS) のプロトタイプ

2012年11月に開始した試験観測での投入前の状態。2013年4月に設置したものは、ガラス球フロートを12000 m耐圧品6個に替えて構成した。

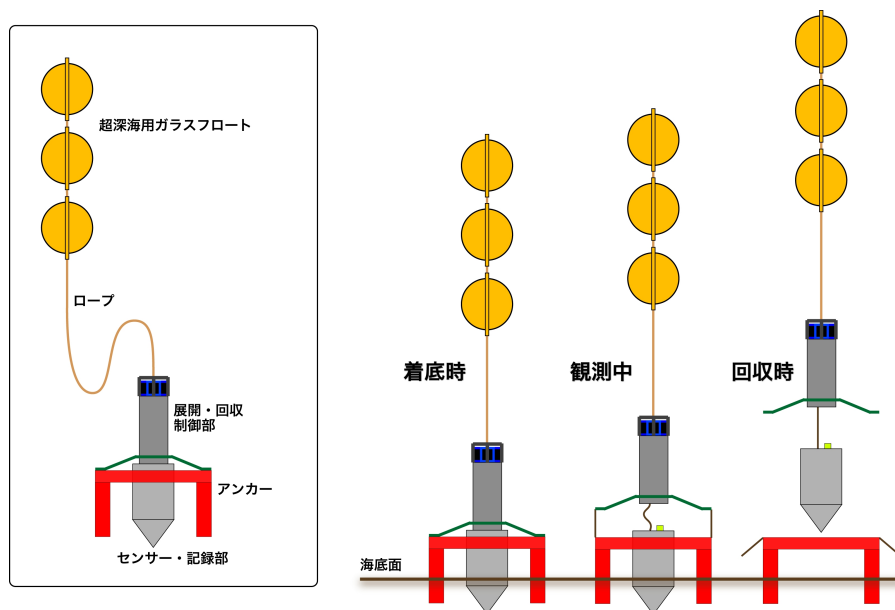


図2 NUDOBSの全体と運用の概念図

全体構造は小型の係留系であり、浮上回収用のガラス球フロートと本体部分(「展開・回収制御部」・「センサー・記録部」・アンカー)を結ぶロープは約20mの長さとなる。設置時には、自由落下による着底後に音響トランスポンダを用い命令を送り、観測状態へ移行させる。その時、「センサー・記録部」を海底に残して「展開・回収制御部」が若干浮上することで機械的な結合を解くが、アンカーと「展開・回収制御部」は繋がった状態を保つ。これにより、地震観測に邪魔な底層流による雑音を最小限にする。回収時には別の命令を送ることでアンカーとの接続を断ち、「センサー・記録部」を引き抜きつつ「展開・回収制御部」と共にガラス球フロートの浮力により上昇する。



図3 超深海型海底地震計 (UDOBS)

現在広く用いられている海底地震計と機構及び外寸・重量の互換性を維持した超深海型海底地震計 (UDOBS) . 設置する前の船上で固定されている状態である . ガラス球を耐圧容器に用いた従来の海底地震計と同じ設置及び回収手順で観測運用可能である .



図4 BBOBS-NX の高機能化への基礎試験

BBOBS-NX を無人潜水艇に頼らず運用可能とする為の基礎データ取得を目的とした試験観測を 2012 年 11 月から 2013 年 2 月にかけて実施した。投入時(左)と同様なセンサー部と記録部の相対位置関係を維持した状態(右)でのノイズレベルを、これまでの記録部を離して配置した状態でのものと、近傍に同時設置した流向流速計のデータと併せて(課題番号 1431 参照)比較検討した。