

測量船「海洋」への海底地殻変動観測装置の設置

秋山裕平*, 氏原直人*, 大門 肇*

Installation of seafloor geodetic observation system on the S/V “*Kaiyo*”

Yuhei AKIYAMA*, Naoto UJIHARA*, and Hajime DAIMON*

Abstract

Japan Hydrographic and Oceanographic Department (JHOD) installed an acoustic transducer on the bottom of the S/V “*Meiyo*” (550 tons) in 2008 and the S/V “*Takuyo*” (2,400 tons) in 2010, and started sailing measurements for more efficient and precise seafloor positioning. JHOD also have installed a new seafloor geodetic observation system on the S/V “*Kaiyo*” (550 tons) in 2012.

This report presents the new system mounted on the S/V “*Kaiyo*” and the results of test observation.

1 はじめに

海上保安庁海洋情報部では、東京大学生産技術研究所の技術協力のもと、GPS／音響結合方式による海底地殻変動観測の技術開発及び海底基準点の展開を行っている（藤田，2006）（Fig.1）。海底基準点は、主に日本海溝沿い及び南海トラフ沿いの太平洋側に設置されており、これまでに、宮城県沖、福島県沖等における定常的な地殻変動や2005年の宮城県沖の地震（ M 7.2）や2011年（平成23年）東北地方太平洋沖地震（ M 9.0）に伴う地殻変動を検出することに成功している（例えば、藤田，2006；Sato et al., 2011）。

従来は測量船の船尾にGPSアンテナ及び音響トランスデューサ（送受波器）を観測の度に設置し、観測を実施してきた（漂流観測）が、この方法では測線間の移動の度に音響トランスデューサを引き揚げて次の観測ポイントに移動しなければならず、タイムロスが大きかった。タイムロスの削減、及び測線のコントロールが可能な航走しな

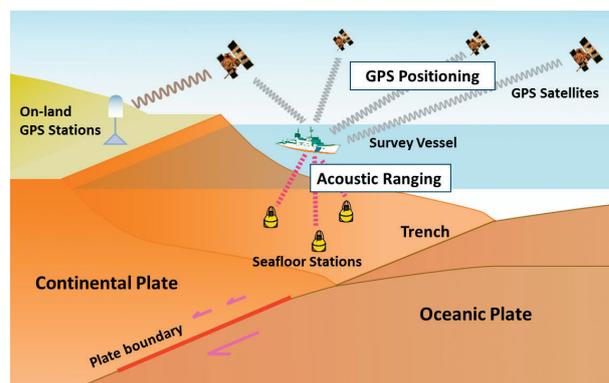


Fig. 1 Schematic picture of seafloor geodetic observation.

がらの音響測距観測を実現するため、2008年に中型測量船「明洋」（550トン）、2010年に大型測量船「拓洋」（2,400トン）の船底に音響トランスデューサを常設し、航走観測を開始した（川井・他，2009；氏原・成田，2012）。これにより、従来と比較して、音響測距データの空間的なバランスの改善、一海域に要する観測時間の大幅

* 海洋調査課 航法測地室 Geodesy and Geophysics Office, Hydrographic Surveys Division

な短縮等によって、より短時間で安定した観測を行うことが可能となった（佐藤・他，2009）。

これら2隻の測量船に続き、2012年3月には、中型測量船「海洋」（550トン）に音響トランスデューサ等の海底地殻変動観測システムを常設した。

本報告では、「海洋」に搭載した海底地殻変動観測システムの装備状況及びテスト観測の結果、また「明洋」及び「拓洋」とのデータの比較結果を報告する。

2 観測機器の設置

「海洋」に取付けた観測機器を Table 1 に示す。基本的構成は「明洋」及び「拓洋」と大きく変わらず、船底に送受波用音響トランスデューサ、ジャイロ室に動揺計測装置、観測室に各種収録装置を取付け、マスト部分の GPS 用アンテナは支柱観測時代にキネマティック GPS 観測の精度評価を目的として取付けたものを再利用した (Fig. 2)。

「拓洋」の装置では、各収録装置を LAN 接続することにより観測中は1台のパソコン（ディスプレイは2画面）にて操作できる方式を採用したが、「海洋」の装置も同様とした (Photo 1)。なお、「明洋」の装置は、2012年3月に収録装置の一部を更新し、上述の「拓洋」及び「海洋」と同様の方式とした。

Table 1 List of the equipment installed on the S/V “Kaiyo.”

装置名	規格
GPSアンテナ	Trimble Zephyr Geodetic
GPS受信機	Trimble NetR9
制御収録装置	SEA M-DNR
時計装置	SEA M-PTG-2
精密電源	SEA M-SMP
動揺計測装置	iXBlue PHINS III
音響トランスデューサ	SEA M-SATR-2
CTD	Sea-Bird SBE19plus V2

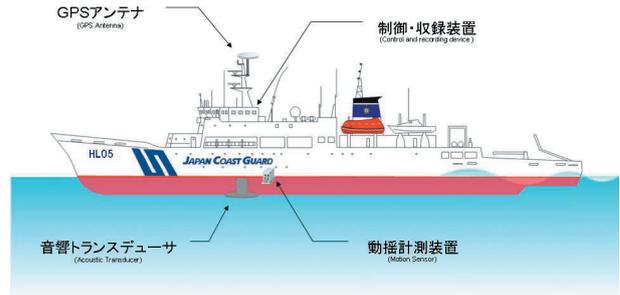


Fig. 2 Situation of installation of GPS/acoustic seafloor geodetic observation system on the S/V “Kaiyo.”



Photo 1 Recording device of seafloor geodetic observation system installed on the S/V “Kaiyo.”

3 音響トランスデューサ-GPS アンテナ間の位置計測

音響トランスデューサは、「拓洋」及び「明洋」と同様、マルチビーム測深機の取り付けられている船底ドーム内に取り付けた (Photo 2)。

海底局の位置は、マストに設置された GPS アンテナ (Photo 3) により船位を、ジャイロ室に設置された動揺計測装置 (Photo 4) により船の姿勢を計測しながら、船底に取り付けられた音響トランスデューサで音波を用いて海底局との距離計測を行うことにより決定する。このため、予め船底の音響トランスデューサと GPS アンテナの位置を精密に決定しておく必要がある。これら装置間の位置関係を決定するため、位置計測作業を

Installation of seafloor geodetic observation system on the S/V “Kaiyo”

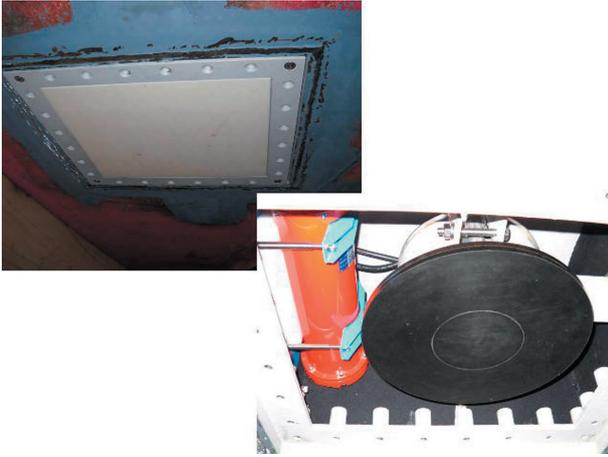


Photo 2 Installation of an acoustic transducer on the bottom of the S/V “Kaiyo.”



Photo 3 Installation of a GPS antenna at the mast of the S/V “Kaiyo.”

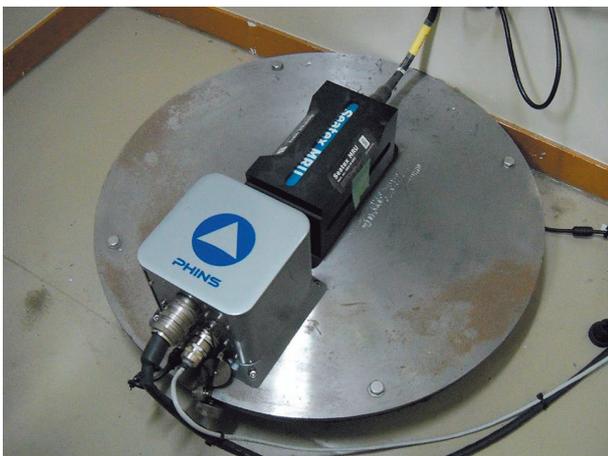


Photo 4 Installation of a motion sensor, PHotonic Inertial Navigation System (PHINS).

行った。

GPS アンテナと音響トランスデューサの測量は「海洋」のドック入渠及び出渠時に行った。ドックに入渠中には、GPS アンテナとドックサイド共通点（2箇所）とのGPS 測量及び測角を行い、船底の音響トランスデューサの中心から垂線直下に測点を設置し、この間は直接測定を行った。また、出渠後には、音響トランスデューサ直下測点とドックサイド共通点とのGPS 測量及び測角を行った。このように2度のGPS 測量及び測角結果を結合することによりGPS アンテナと音響トランスデューサとの位置関係を求めた（Photo 5）。

GPS 測量の解析には Trimble Business Center (Ver. 2.70.4) を用いた。また、この解析結果と「海洋」入渠時に計測した動揺計測装置 (PHINS) のデータを対応付けた。

以上により GPS アンテナ底面を原点とした音響トランスデューサの最終的な座標値は次の通り。

X (船首側が+)	1.5347 m
Y (右舷側が+)	-1.2790 m
Z (下が+)	23.6768 m
斜距離	23.7609 m



Photo 5 Measurement of the distance between the acoustic transducer on the bottom of the vessel and the GPS antenna at the mast.

4 テスト観測

(1) 音響測距結果

2012年3月に「相模湾」海底基準点において、音響測距テスト観測を2セット（通常の半分程度）実施した。当日は風浪階級4（波高1.25～2.5 m）、風速10 m/sであった。

Fig. 3に取得した音響波形の一例を、Fig. 4に相関処理結果の一例を示す。相関処理には、音響解析ソフト「sas ver. 1.2.0」（富山，2003）を使用した。

Fig. 5左に、相関係数の分布を示す。なお、Fig. 5右には比較として2012年2月に実施した「明洋」の観測（4セット）における相関係数の分布を示した。Fig. 5から、「明洋」と比較し、「海洋」による観測での相関係数は全体的に低い

ように見える。過去の「明洋」の観測における海況が同程度の観測時と比較しても、海洋の相関係数は0.1程度低い傾向がある。原因として、船体ノイズ等が考えられるが、音波の往復時間の決定には問題ないと考えられる。

(2) 局位置解析結果の比較

「相模湾」海底基準点において、「海洋」（2012年3月，2セット）と「明洋」（2012年2月，4セット）によって得られた局位置解析結果を比較した。なお、KGPS解析にはIT ver. 4.2（Colombo, 1998），局位置解析にはSGOBS ver. 3.6（藤田・他，2004）において基本解析（各海底局の位置を独立に求め、重心位置を海底基準点の位置として決定）にて解析を実施した。

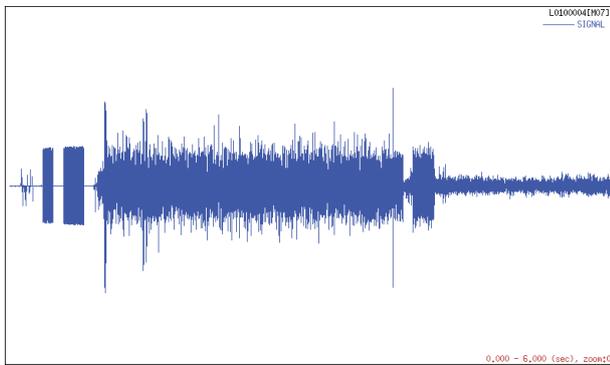


Fig. 3 Example of an acoustic signal.

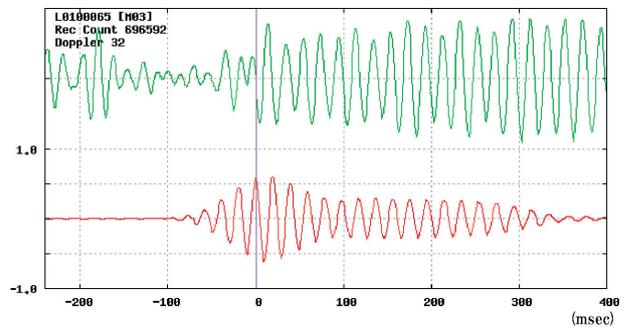


Fig. 4 Received signal (upper) and the result of cross-correlation (lower).

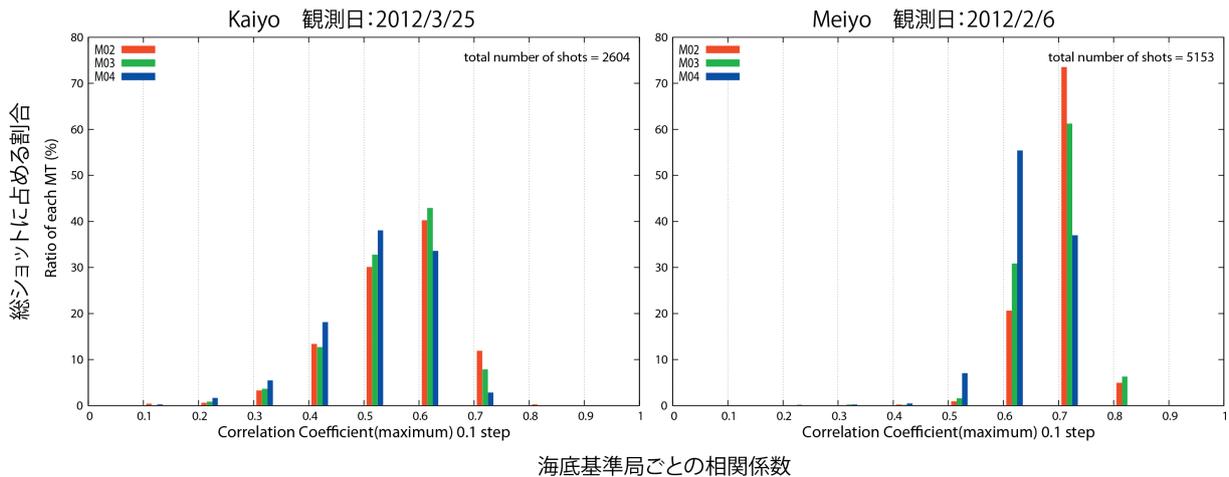


Fig. 5 Comparison of correlation coefficient calculated from acoustic ranging data measured by the S/V “Kaiyo” (left) and the S/V “Meiyo” (right). M02, M03 and M04 show the identification codes of the seafloor stations.

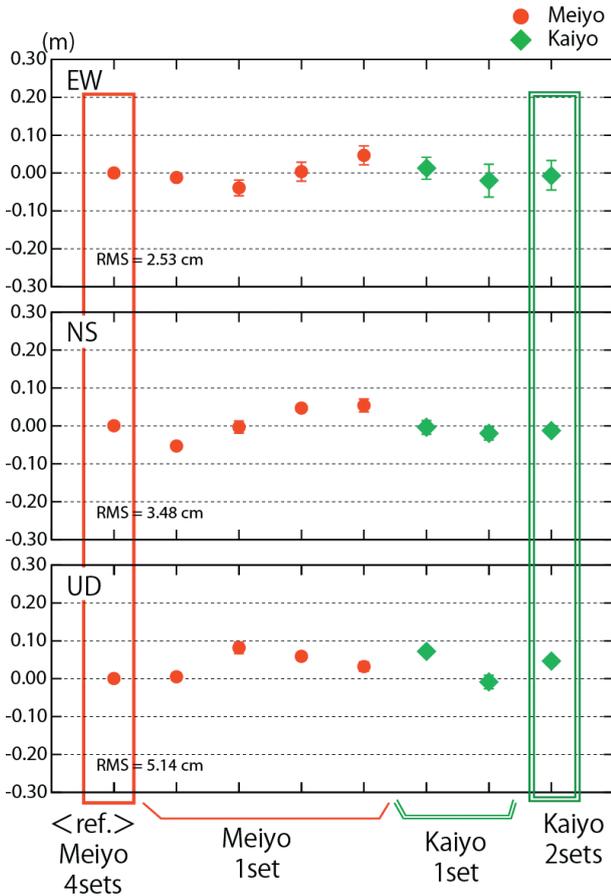


Fig. 6 Comparison of the positioning results by the S/V “Meiyo” (left) and the S/V “Kaiyo” (right) relative to the result using all data of “Meiyo” at “Sagami-wan.” See text for detail.

Fig. 6 に、局位置解析結果を示す。ここでは、「明洋」による 4 セット解を基準として、「海洋」の 2 セット解及びそれぞれの 1 セット解を相対値としてプロットした。「海洋」で取得されたデータ量は通常の半分であるが、「明洋」の 4 セット解との差は水平 1 cm 程度、上下 5 cm 程度であり、また、1 セット解のばらつきも「明洋」と比べて遜色ないから、「海洋」による局位置解は観測結果として遜色はないと言える。

Fig. 7 に、「相模湾」海底基準点における局位置解析結果について、2010 年 12 月から 2012 年 9 月までに「海洋」、「明洋」及び「拓洋」において実施した海底地殻変動観測結果を示す。基準は、「明洋」にて 2012 年 2 月に実施した観測での 4 セット解である。なお、この基準点では、2011

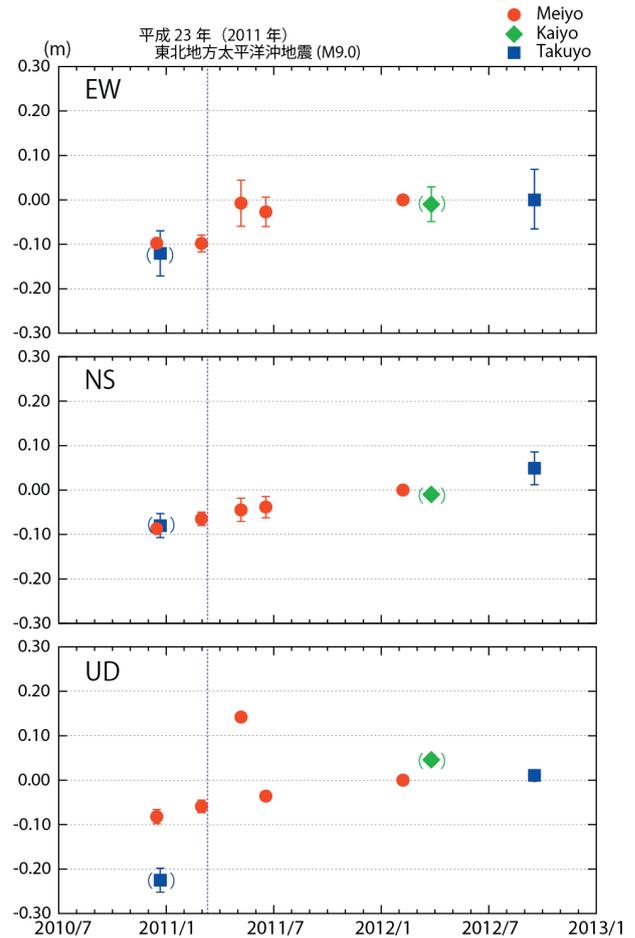


Fig. 7 Time series of the estimated positions at the seafloor reference point “Sagami-wan” from December 2010 to September 2012. Each marker shows observation by the S/V “Meiyo” (red), the S/V “Kaiyo” (green) and the S/V “Takuyo” (blue).

年 3 月の平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に伴い、東に約 10 cm の地殻変動が観測されている。Fig. 7 から、「海洋」の局位置解は、同地震後の他の観測エポックの結果と比べても、水平・上下方向とも大きな差はなく、これまでの観測結果と合わせて使用できることがわかる。

5 おわりに

2012 年 3 月、「海洋」に海底地殻変動観測装置を常設した。観測機器は現在のところ正常に動作をしている。2012 年 3 月に実施したテスト観測の結果、水平成分及び上下成分とも通常の精度の範囲内であった。

海底地殻変動装置を常設した測量船が3隻体制になることから今後、海底地殻変動観測の実施に際し観測機会の増加が期待される。

謝 辞

今回、海底地殻変動観測装置の設置及びテスト観測の実施には測量船「海洋」乗組員の協力のもとに行われたものであり、記して感謝いたします。

参考文献

- Colombo, O. L (1998), Long-Distance Kinematic GPS, *GPS for Geodesy*, 2nd Edition, pp. 537-567, Springer.
- 藤田雅之・佐藤まりこ・矢吹哲一郎 (2004), 海底地殻変動観測における局位置解析ソフトウェアの開発, *海洋情報部技報*, 22, 50-56.
- 藤田雅之 (2006), GPS/音響測距結合方式による海底地殻変動観測～海上保安庁の取り組み (レビュー) ～, *海洋情報部研究報告*, 42, 1-14.
- 川井仁一・浅倉宜矢・松本良浩 (2009), 測量船「明洋」への海底地殻変動観測用送受波器的船底装備について, *海洋情報部技報*, 27, 50-55.
- 佐藤まりこ・浅倉宜矢・齋藤宏彰 (2009), 船底トランスデューサによる航走海底地殻変動観測の評価 (速報), *海洋情報部技報*, 27, 56-65.
- Sato, M., T. Ishikawa, N. Ujihara, S. Yoshida, M. Fujita, M. Mochizuki and A. Asada (2011), Displacement Above the Hypocenter of the 2011 Tohoku-Oki Earthquake, *Science*, 332, 1395, doi: 10.1126/science.1207401.
- 富山新一 (2003), 海底地殻変動観測における音響解析, *海洋情報部技報*, 21, 67-72.
- 氏原直人・成田誉孝 (2012), 測量船「拓洋」への海底地殻変動観測装置設置について (速報), *海洋情報部研究報告*, 48, 85-90.

要 旨

海上保安庁海洋情報部では、東京大学生産技術研究所と技術協力を行いつつ、GPS/音響結合方式による海底地殻変動観測の技術開発及び海底基準点の展開を行っている。我々の海底基準点は、主に日本海溝及び南海トラフ沿い陸側に設置し、測量船による繰り返し観測を行っている。

2008年に中型測量船「明洋」(550トン)、2010年に大型測量船「拓洋」(2,400トン)の船底に音響トランスデューサ(送受波器)を常設し、船底トランスデューサによる航走観測を開始した。これにより、より効率的に観測を実施することができるようになった。引き続き2012年に中型測量船「海洋」(550トン)に音響トランスデューサ等の海底地殻変動観測システム一式を新たに常設した。

本報では、「海洋」に搭載した海底地殻変動観測システムの概要及びテスト観測の結果について報告する。