

## 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）

氏原直人\*, 成田誉孝\*

Evaluation of sailing seafloor geodetic observation using the acoustic transducer on the bottom of the survey vessel “Takuyo” (preliminary report)

Naoto UJIHARA\* and Yoshitaka NARITA\*

### Abstract

Japan Hydrographic and Oceanographic Department (JHOD) and Institute of Industrial Science, the University of Tokyo have been developing a system for precise seafloor geodetic observation with the GPS/Acoustic combination technique and deploying seafloor reference points on the landward slope of the major trenches around Japan, such as the Japan Trench and the Nankai Trough.

In 2008, JHOD installed an acoustic transducer on the bottom of the Survey Vessel “Meiyo” (550 tons) permanently and started the measurement in sailing method for observing more efficiently and precisely. JHOD also installed the new seafloor geodetic observation system on the S/V “Takuyo” (2,400 tons) in 2010. It is expected that the observations by S/V “Takuyo” will be more precise in strong current area and the number of observations by JHOD will increase.

This report presents the system of sailing seafloor geodetic observation mounted on S/V “Takuyo” and the latest results observed by S/V “Takuyo”.

### 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、三陸沖から室戸沖までの太平洋側に設置されており、当庁所有の中型測量船「明洋」（550トン）による繰り返し観測を実施している。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）。

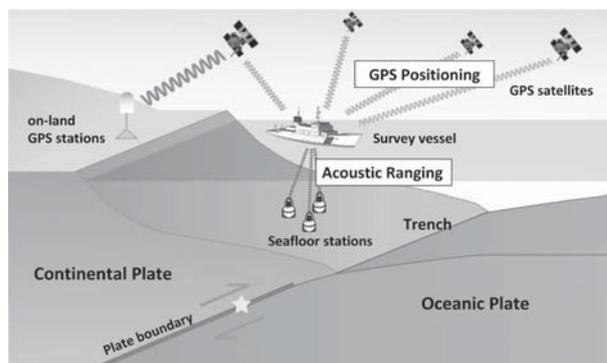


Fig.1 Schematic picture of seafloor geodetic observation.

\* 航法測地室 Geodesy and Geophysics Office

2008年には、従来の漂流観測に伴う測線間の移動等にかかるタイムロスを削減し、測線のコントロールが可能な航走しながらの音響測距観測を実現するため、「明洋」の船底に音響トランスデューサ（送受波器）を常設し航走観測を開始した。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（川井・他，2009，佐藤・他，2009）。

海上保安庁海洋情報部では、引き続き2010年に大型測量船「拓洋」（2,400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常設した。「明洋」と比較し、「拓洋」では、船体の安定性が高いことなどから、海流が速い海域等での観測精度向上が期待されるとともに、観測機会の増加が期待される。

本報告では、大型測量船「拓洋」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について述べる。

## 2 観測機器

「明洋」への海底地殻変動観測機器の取り付け（川井・他，2009）と同様に、Table 1の装置を「拓洋」に取り付けた。基本的構成は「明洋」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、重力計室に動揺計測装置、観測室に各

Table 1 The list of the equipments that are installed on the S/V “Takuyo”.

装置名	設置場所
音響送受波装置	
音響コントローラー	観測室
音響トランスデューサ	船底ドーム
位置計測装置	
GPSアンテナ	マストトップ
GPSレシーバー	観測室
制御・収録装置	
音響収録装置	観測室
動揺収録装置	観測室
動揺計測装置(IMU)	重力計室
時計装置	観測室
海中音速度計測装置	観測準備室

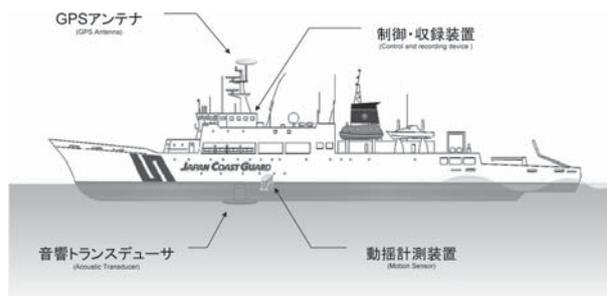


Fig. 2 Installation configuration of the GPS/Acoustic seafloor geodetic observation system on the S/V “Takuyo”.



Photo. 1 The control and recording device of the seafloor geodetic observation system installed in the observation room of the S/V “Takuyo”.

種収録装置、マスト部分にGPS用アンテナを取り付けた（Fig. 2）。「明洋」の収録装置では、音響収録装置、動揺収録装置、GPSデータ収録装置が別々に設置されていたが、「拓洋」の装置では各収録装置をLAN接続する事により通常観測中は1台のパソコン（ディスプレイは2画面）にて操作できるようになり、観測にかかる負担が軽減された（Photo. 1）。

## 3 船底装備

音響トランスデューサは「拓洋」も「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）。

海底基準局の位置はマストに設置されたGPSアンテナ（Photo. 3）により船位を決定し、船底



Photo. 2 Installation of the acoustic transducer under hull of the S/V "Takuyo".



Photo. 4 Installation of PHotonic Inertial Navigation System (PHINS).



Photo. 3 Installation of the antenna on the mast for GPS observation.



Photo. 5 Measurement by leveling method for calculating the position relation between the devices.

に取り付けられた音響トランスデューサで海底基準局との距離計測を行うことにより決定している。船底の音響トランスデューサと GPS アンテナの位置を事前に把握し、観測時に発生する船体動揺を動揺計測装置（重力計室に設置、Photo. 4）にて計測・補正する必要がある。これら装置間の位置関係把握のため、測量作業及び位置計測作業を行った。

GPS アンテナと音響トランスデューサの測量は「拓洋」のドック入渠時に行った。ドックに入渠して水を抜いても GPS アンテナと音響トランスデューサを同時に見通せる場所が無いため、まず補助点を設けて補助点と GPS アンテナの測量を行った。また、音響トランスデューサの位相中

心点の直下にマーキングを施し、音響トランスデューサと直下点間の距離計測を行った。次に日を改めて「拓洋」ドック出渠後に補助点と音響トランスデューサ直下点の測量を実施した。このように2度の測量及び計測結果を結合する事により 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。なお、測量には光学測量と GPS 測量の両方を行った (Photo. 5)。

GPS 測量の解析には測地基線測定装置 (GARD) を用いた。解析結果と GPS 測量時に収集した動揺計測装置のデータを対応づけた。

以上により GPS アンテナ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+) - 1.4579 m  
 Y (右舷側が+) - 0.7492 m  
 Z (下が+) 31.2449 m  
 斜距離 31.2879 m

4 観測テスト

(a) 「拓洋」観測装置による音響測距結果及び「明洋」観測結果との比較

2010年12月に「相模湾」海底基準点において、2日間の音響測距テスト観測を2セット実施した。海況は2日とも良好であった。

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載せる。相関処理には、音

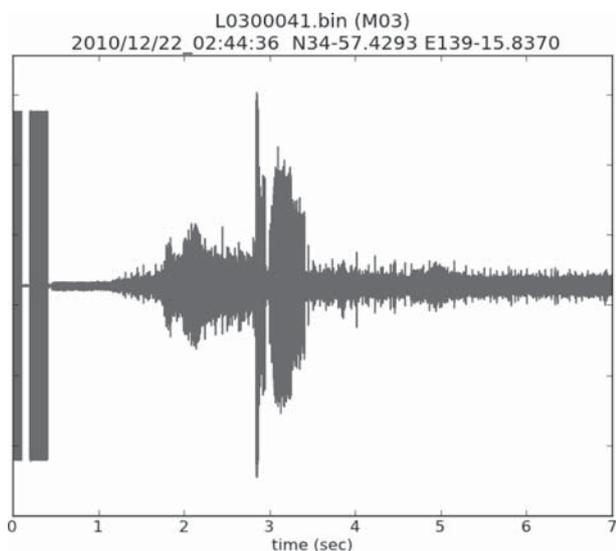


Fig. 3 Example of an acoustic signal.

響解析ソフト「sas」(富山, 2003) を使用した。

相関処理を実施した相関係数の分布について、Fig.5 左に「拓洋」のテスト観測における結果を、同図右に同月に実施した「明洋」の観測 (4 セット) における結果を載せる。「明洋」と比較し、「拓洋」による多少相関値は悪くなるが、音響解析は問題なく実施できている。

また、「潮岬沖2」海底基準点において、2011年1月に測量船「明洋」が、同年2月に測量船「拓洋」が観測を行った。両観測とも観測中に風速20 knot を超える海況の悪い時、また風速10 knot 程度の海況が良いときがあったことから、音響測距について海況による影響比較を行った (Fig. 6)。海況が良い時が悪い時と比べ、相関が良くなる傾向がある。また、「明洋」と比較し「拓洋」のほうが荒天時の安定性が高いと想定されたが、相関値からその傾向は見られない。しかし、安全性の観点から「明洋」では観測を断念す

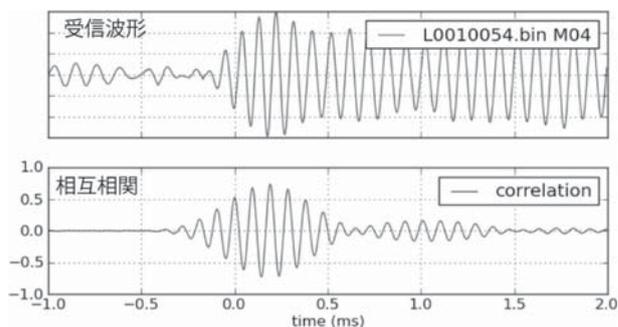


Fig. 4 Received signal (top) and result of cross correlation (bottom).

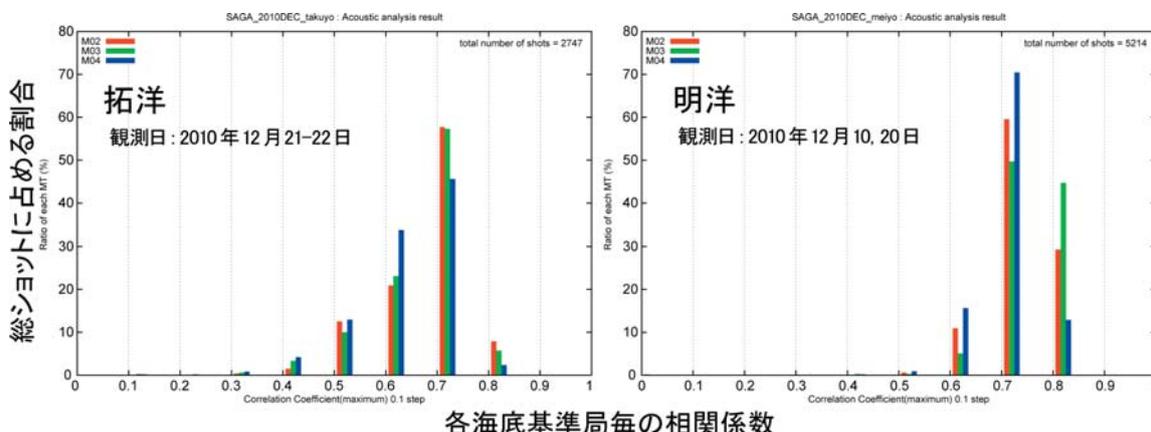


Fig. 5 Comparison of correlation coefficient calculated from acoustic ranging data measured by the S/V “Takuyo” (left) and the S/V “Meiyo” (right).

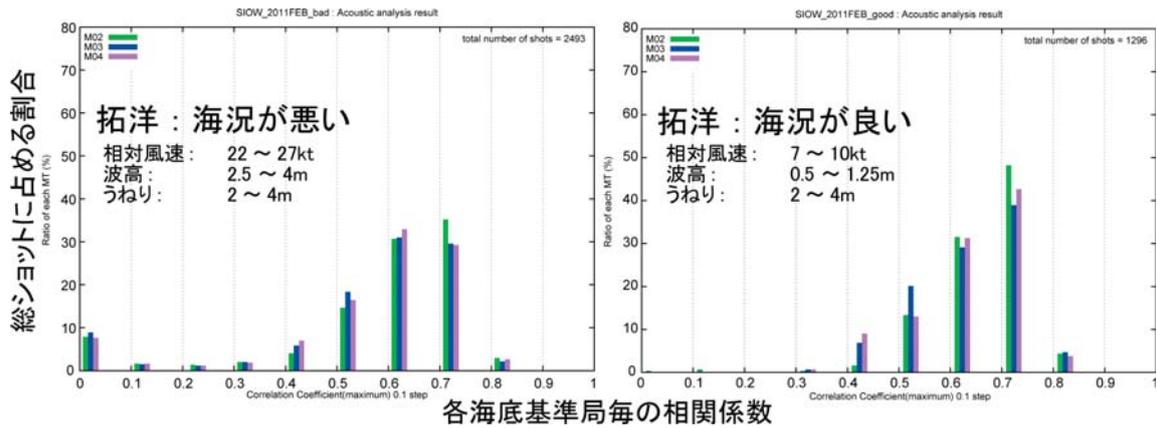


Fig. 6 Comparison of correlation coefficient under different oceanic conditions, calculated from acoustic ranging data measured by the S/V “Takuyo”.

るような荒天時においても、より大型である「拓洋」では安定性があり観測が可能であると推測されることから、観測頻度の増加が見込まれる。

(b) 局位置解析結果比較

「相模湾」・「潮岬沖2」両海底基準点において、「拓洋」及び「明洋」での局位置解析結果について比較した。なお、両観測とも、「拓洋」での KGPS 収録設定に誤りがあり、KGPS 解析において、約半数のデータで解析が出来なかった。そ

のため、局位置解析も取得データのうち約半分のデータで解析を実施している。なお、KGPS 解析には IT ver. 4.2 (Colombo, 1998)、局位置解析には SGOBS ver. 3.3.3 (藤田・他, 2004) を使用している。

Fig. 7 左に「相模湾」海底基準点における局位置解析結果について、「明洋」との局位置解析結果とともに示す。ここでは、「明洋」による4セット解を基準として、そこからの相対値をプロットした。「拓洋」の解析結果について、「明洋」による観測のバラつきの範囲内であり、観測結果として遜色はない。

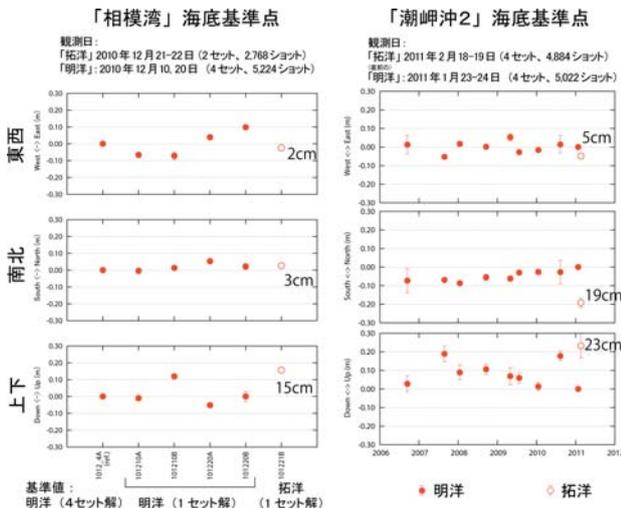


Fig. 7 Comparison of the positioning results.

(Left) The ones measured by S/V “Takuyo” and “Meiyo” relative to the result using “Meiyo”’s all data at “Sagamiwan”.

(Right) Comparison between the result of “Takuyo” and the old ones measured by “Meiyo” at “Sionomisaki-oki 2”.

Fig. 7 右に、「潮岬沖2」海底基準点における局位置解析結果について、2006年から2011年1月までに「明洋」において実施した海底地殻変動観測結果とともに示す。基準は、「明洋」にて2011年1月に実施した観測での4セット解として、相対値をプロットした。東西方向に差はなかったが、南北・上下方向に大きな差がみられる。特に上下成分については数十cmと、大きな差が生じている。2011年1月の「明洋」による観測と2月の「拓洋」での観測の間に、大きな地殻変動等は他に観測されておらず、誤差であると思われる。

この原因として、KGPS 解析結果の不良によるデータ数が少なかったことによる精度の低下や音速度の空間的勾配による影響等も考えられるが、今回の観測データからは原因はよくわからなかつ

た。再度テスト観測を実施するなど、検証が必要であると思われる。

## 5 おわりに

大型測量船「拓洋」に2010年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。2010年12月に実施したテスト観測及び「明洋」による観測結果との比較では、水平成分及び上下成分とも通常の精度の範囲内の結果であった一方、2011年2月に「潮岬沖2」海底基準点で実施した観測と同年1月に「明洋」において同基準点で実施した観測結果とを比較すると、特に上下成分には数十cm程度の違いがあった。今後も「拓洋」でのテスト観測の再度実施、観測データの蓄積により、更なるデータ比較及び検討を実施する必要がある。

海底地殻変動装置を常設した測量船が2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「拓洋」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, in "GPS for Geodesy 2nd Edition", *Springer* 537-568.
- 藤田雅之・佐藤まりこ・矢吹哲一朗 (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の船底装備について, *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.

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.

## 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十数点設置し、測量船による繰り返し観測を行っている。

2008年には、中型測量船「明洋」(550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出来るようになった。引き続き2010年に大型測量船「拓洋」(2,400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。中型測量船「明洋」と比較し、大型測量船「拓洋」では、海流が速い海域等での観測精度向上が期待されるとともに、観測機会の増加が期待される。

本報では、大型測量船「拓洋」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。