

### 測量船「光洋」への海底地殻変動観測装置の設置<sup>†</sup>

吉田 茂\*

Installation of a seafloor geodetic observation system on the S/V *Koyo*<sup>†</sup>

Shigeru YOSHIDA \*

#### Abstract

The Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard (JHOD), has installed an acoustic transducer on all of its survey vessels (excluding the S/V *Tenyo*) to conduct GNSS-Acoustic ranging (GNSS-A) observations. JHOD also installed a seafloor geodetic observation system on the new S/V *Koyo* (4,000 tons) commissioned in March 2021 to improve the efficiency of its GNSS-A observations. In this article, we report on the outline of the seafloor geodetic observation system installed on the S/V *Koyo*, the survey method and the resulting relative position between the GNSS antenna and the transducer, and the result of the test observation. The result of the test observation indicated that the horizontal components of the seafloor site position observed by the S/V *Koyo* agree with the trend of the time series estimated from our regular GNSS-A observations. On the other hand, the vertical component indicated the possibility of a positioning bias, which would necessitate further evaluation by continuing the GNSS-A observations using the S/V *Koyo*.

#### 1 はじめに

海上保安庁海洋情報部では、2000年以降、GNSS-音響測距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（例えば、藤田，2006；佐藤・藤田，2012；Yokota et al., 2018）。GNSS-音響測距結合方式では、GNSS観測によりマストに設置されたGNSSアンテナの位置を、船体動揺計測装置により船の姿勢をそれぞれ計測して、船底に設置された送受波器の時々刻々の位置を求める。同時に、音波を用いて、海底にあらかじめ設置した複数の海底局と送受波器との間の音響往復走時を計測する（音響測

距観測）（Fig. 1）。測量船は、あらかじめ設定された測線上を航走しながら観測する。測線は海底局の周囲に直線4本と周回1本の計5本が設定されており、第1測線、第2測線…という具合に先頭から順に番号をつけている。これら5本の測線で1セットの観測を構成する（Fig. 2）。1回の観測では測線上の進行方向を変えて複数セットの観測を実施して、合計数1,000個以上の走時データを取得し、最小二乗法で海底局の位置を決定する。

海底基準点は主に日本海溝沿い及び南海トラフ沿いの陸側の海底に展開されており、これまでに

<sup>†</sup> Received September 10, 2021; Accepted November 9, 2021

\* 沿岸調査課 海洋防災調査室 Geodesy and Geophysics Office, Coastal Surveys Division

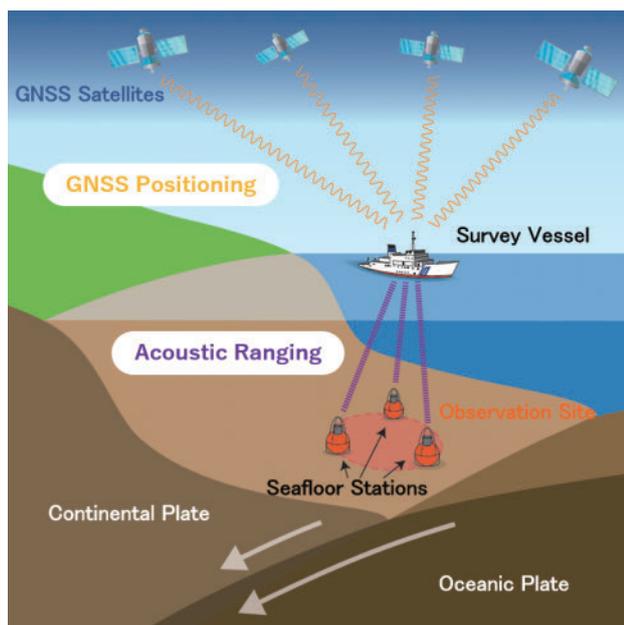


Fig. 1. Schematic picture of GNSS-Acoustic seafloor geodetic observation.

図1. GNSS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測の概念図。

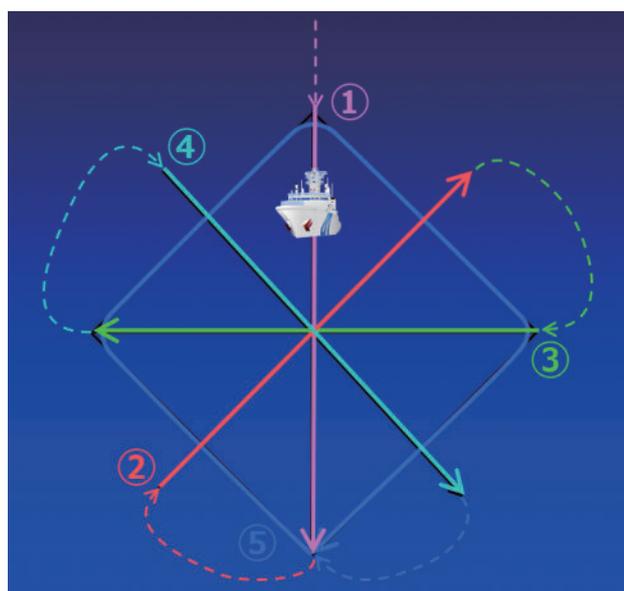


Fig. 2. Survey lines for GNSS-Acoustic seafloor geodetic observation.

図2. 海底地殻変動観測における測線の配置例。

2011年東北地方太平洋沖地震（M 9.0）に伴う地殻変動及びその余効変動，並びに南海トラフ沿いでのプレート沈み込みに伴う地殻変動を検出することに成功している（例えば，Sato et al., 2011；Watanabe et al., 2014；Yokota et al., 2016）。

これまでに，中型測量船「明洋」（550トン），大型測量船「拓洋」（2,400トン），中型測量船「海洋」（550トン），大型測量船「昭洋」（3,000トン），大型測量船「平洋」（4,000トン）に海底地殻変動観測装置が設置されている（川井・他，2009；氏原・成田，2012；秋山・他，2013；秋山・横田，2014；吉田・他，2021）。さらに観測の機会を増加させることを目的に，これら5隻の測量船に加え，2021年3月に就役した大型測量船「光洋」（4,000トン）にも海底地殻変動観測装置が設置された。

本報告では，「光洋」に搭載した海底地殻変動観測装置の概要についてまとめる。また，GNSS-音響測距結合方式による観測に必要なGNSSアンテナと送受信機間の位置計測を，2020年10月20日の最終ドック入渠の際に実施したので，その結果を報告する。最後に，「光洋」での海底局位置観測の再現性を評価するため，他船による局位置解析結果と比較した。

## 2 観測機器の設置

「光洋」に設置した観測機器を Table 1 及び

Table 1. Specifications for the GNSS-Acoustic observation equipment installed on the S/V Koyo.

表1. 「光洋」に設置した海底地殻変動観測機器の規格。

装置名	規格
位置計測部	
GNSSアンテナ	septentrio PolaNt-x MF
GNSS受信機	septentrio PolaRx5
制御収録装置	septentrio
制御部	
制御装置	海洋電子 KD-MAC10-2
収録装置	海洋電子 KD-MAL10-3
時計装置	海洋電子 KD-ITS200-2
波形観測装置	Keysight Technologies DSOX4024A
通信装置	BUFFALO LSW5-GT-8NS/BK
電源部	
磁気増幅型安定化電源装置	電研精機研究所 PSN-3 k VA
無停電源装置	オムロン BU150R
海中音速度測定部	
海中音速度測定装置	Seabird SBE-19plusV2
船体動揺計測部	
船体動揺計測装置	iXBlue HYDRINS
音響送受信機	
送受信機・マッチングアンプ	海洋電子 TRBS812-15



Photo 1. Positions of installed equipment for the GNSS-Acoustic observation on the S/V *Koyo*.

写真1. 「光洋」に設置した海底地殻変動観測装置の配置.



Photo 2. Acoustic transducer to be mounted on the hull of the S/V *Koyo*.

写真2. 「光洋」船底に設置した音響送受波部の送受波器.

Photo 1 に示す. 基本的構成は「明洋」, 「拓洋」, 「海洋」, 「昭洋」及び「平洋」と同様である. 船底に送受波器 (Photo 2), 中央重力計室に船体動揺計測装置 (Photo 3) 及びマッチングアンプ (Photo 4), マスト部分に GNSS アンテナ (Photo 5), 観測室に制御部の各機器 (Photo 6 左上) 及び GNSS 受信機 (Photo 6 左下, HUB に隠れている) を設置した. 制御部の各機器は LAN 接続により観測室制御卓上のパソコンで一元的に操作できるようになっている (Photo 6 右側). なお, 本装置は, 1 回の送受信シーケンスに複数の測距信号を連ねて発振するマルチ測距 (横田・他,



Photo 3. Dynamic motion sensor "HYDRINS" (the innermost one).

写真3. 「光洋」中央重力計室に設置した船体動揺計測装置 (4つ並んだ装置の一番手前).



Photo 4. Matching amplifier.

写真4. 「光洋」中央重力計室に設置したマッチングアンプ.

2017; 松下・小池, 2018) が可能である.



Photo 5. GNSS antenna installed on the mast of the S/V Koyo.

写真5. 「光洋」マスト部分に設置されたGNSSアンテナ。



Photo 6. Control and recording devices for the seafloor geodetic observation system installed in the laboratory of S/V Koyo.

写真6. 「光洋」観測室に設置された制御部のデバイス（左上：制御部の各機器，左下：GNSS受信機，右：制御卓上のパソコン）。

### 3 GNSS アンテナ—送受波器間の位置計測手法

海底地殻変動観測において必要なのは、船体動揺計測装置の座標系に準拠したGNSSアンテナ—送受波器の相対位置ベクトルである。そのため、以下の作業が必要となる。まず、測定の結果を測量地点のローカルENU座標に準拠して決定する。それと同時に船体動揺計測装置のデータを収録し、船体動揺計測装置の座標系をローカルENU座標系と結び付ける。ローカルENU座標で得られた測量結果を船体動揺計測装置の座標系に回転させて一致させることで、船体動揺計測装

置の座標系に準拠した相対位置ベクトルを得る。

Fig. 3に、測量に用いた測点の配置を示す。図中、送受波器底面の中心点であるSとGNSSアンテナ底面の点ANTの相対位置が求めるべき量である。5096は起点となる街区三角点で、同じく街区三角点の5097との位置関係から真北方位角を算出した。M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6はドック近傍に至るトラバー経路で、M-4, M-5, M-6が船体に至るドック近傍の点である。GNSSはGNSSアンテナ頂点である。FR.34, FR.38, FR.62, FR.66は、別途行ったマルチビー

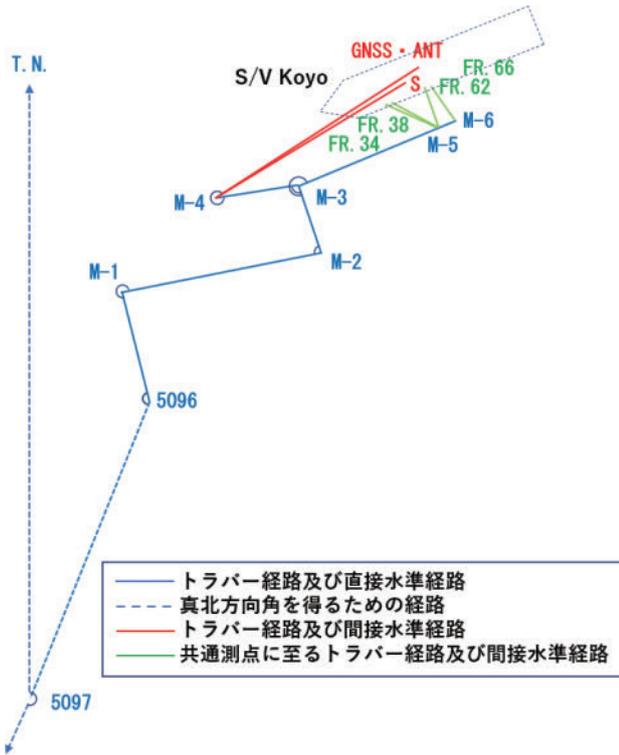


Fig. 3. Locations of survey points for the relative positioning.

図3. 測量に用いた基準点・主要点網図.

ム測深機の測量結果と結合するための共通測点で、「光洋」左舷側に設置された。今回の測量では、造船所近隣の街区三角点2点の位置から開放トラバースの手法で真北方向角と座標値を得る方法により、5096, M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6, S, FR.34, FR.38, FR.62, FR.66, GNSSの測量を実施した (Photo 7)。

測距・測角にはトータルステーション (ニコントリニブル製 M3 DR2) を用いた。5096 から M-4, M-5, M-6 までの高低差は水準儀 (ソキア製 SDL30) を用いた直接水準測量により実施した。測角は正反2回の計4回実施した。測距については2セット実施し、その平均値を採用した。気象補正は、距離が短いため実施しなかった。直接水準測量は往路と復路を実施し、3級水準測量の許容範囲に収まっていることを確認した。トータルステーションを使用した光学測距・測角による間接水準を実施したのは S, GNSS と、FR.34, FR.38, FR.62 と、FR.66 の3組である。1組目は M-4 を基点とし、2組目は M-5 を基点とし、3組目は M-6 を基点とした。

ANT は GNSS からアンテナの厚さを引くことで求め、最終的に必要な ANT のローカル ENU 座標に準拠した位置を求めた。今回の測量では、測量結果を別の方法で評価するために、測量中に GNSS アンテナを稼働させてデータを取得した。

なお、今回の測量手法は、前年度に同じドックで実施した測量船「平洋」の測量の際に実施した手法を踏襲した (吉田・他, 2021)。

#### 4 GNSS アンテナー送受波器間の位置計測結果

測量成果を元に算出したローカル ENU 座標 (平面直角座標系のⅢ系) の値を Table 2 に示す。S は送受波器中心点である。ANT はアンテナ底



Photo 7. Survey for relative positioning of the GNSS antenna to the acoustic transducer using a total station.

写真7. トータルステーションによる GNSS アンテナ・送受波器間の相対位置の測量。

Table 2. Calculated positions of survey points (w.r.t. the zone III).

表 2. 算出された各測点の位置 (Ⅲ系基準).

測点	X(N・m)	Y(E・m)	H(U・m)	備考
5097	-228741.379	-115135.627	10.376	
5096	-228614.243	-115085.664	4.808	
M-1	-228566.146	-115097.210		
M-2	-228549.137	-115013.723		
M-3	-228520.262	-115022.997	3.042	
M-4	-228525.520	-115058.055	3.006	5096からの直接水準
M-5	-228495.474	-114964.095	2.741	5096からの直接水準
M-6	-228492.327	-114957.247	2.729	5096からの直接水準
S	-228476.463	-114978.644	-6.602	
FR.34	-228485.300	-114986.873	4.391	TDはS.1点の直上、HiはS.1+1.628m
FR.38	-228484.309	-114984.489	4.380	
FR.62	-228478.296	-114970.096	4.327	
FR.66	-228477.294	-114967.679	4.313	
GNSS	-228469.398	-114972.844	25.205	アンテナトップを測った
ANT(GNSS)	-228469.398	-114972.844	25.132	HiはGNSS.1-0.073m

面中央の位置であるので、今回測定したアンテナ頂点 GNSS の値から、アンテナの厚み 0.073 m を補正して算出した。GNSS はアンテナ中央トップにミラーを置き、他の測点と同様に測定・算出した 2 測点間の比高から器械高とミラー高の値を引いて算出した。

船体に関連する測点である、FR.34, FR.38, FR.62, FR.66, GNSS, S を、ANT を原点とした座標に直し (Table 3), 入渠時に測得した船体動揺計測装置である HYDRINS の約 2 時間の計測平均値 (Table 4) を元に、得られた各測点の値を、ANT を原点として回転させることで、HYDRINS のヨー軸の原点方向とそれに直交するロール軸・ピッチ軸を基準とした三次元座標軸に座標変換した (Fig. 4). HYDRINS は、2020 年 10 月 21 日 06 時 17 分 25 秒～08 時 15 分 07 秒 (UTC) の間、記録を行った。

船が海に浮かんでいる状態で HYDRINS を起動させると、HYDRINS のエラー量が船の揺れによって徐々に収束し、初期化が完了する。しかし、ドックに入渠した状態では動揺が生じないため、まず、HYDRINS の正規の取り付け位置で電源を投入し 15 分静止、そのまま反時計回りに 90 度ずらした位置で 15 分静止、同じく 180 度ずらした位置で 15 分静止させることで初期化を行った。最後に正規の向きで固定させた (コールドスタート)。記録中のデータの揺らぎは、ヘディングが 0.01 度、ロールは 0.03 度、ピッチは 0.04 度

Table 3. Coordinates with ANT as origin.

表 3. ANT を原点とした座標.

測点	X(N・m)	Y(E・m)	H(U・m)	備考
S	-7.065	-5.800	-31.734	
FR.34	-15.902	-14.029	-20.741	
FR.38	-14.911	-11.645	-20.752	
FR.62	-8.898	2.748	-20.805	
FR.66	-7.896	5.165	-20.819	
GNSS	0.000	0.000	0.073	
ANT	0.000	0.000	0.000	HiはGNSS-0.073m

Table 4. Observed values of heading, rolling, and pitching by HYDRINS while surveying.

表 4. 測量時の動揺計測装置の計測値.

ヘディング(真北方向を起点に東周りに+・度)	246.731
ロール(+なら左舷が上がる・度)	0.105
ピッチ(+なら船首が上がる・度)	0.220

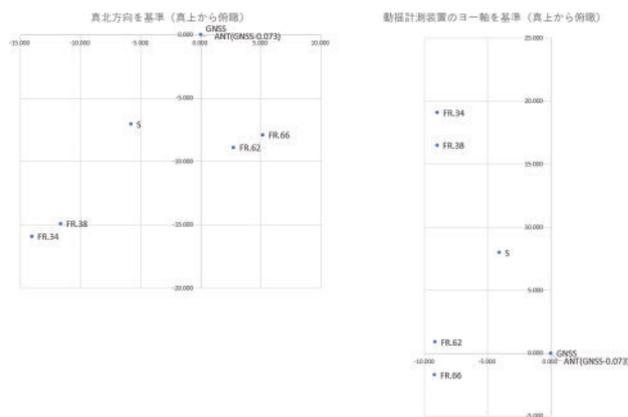


Fig. 4. Rotation of the coordinates of survey points on the vessel from the local ENU coordinates to the motion sensor's coordinates.

図 4. 船体各点の座標のローカル ENU 座標系から動揺計測装置の座標系への回転.

であり、ほぼ変化は見られなかった。また、記録から算出した各値の標準偏差は、ヘディングが 0.00225 度、ロールは 0.00279 度、ピッチは 0.00202 度であった。

HYDRINS に関して位置計測後に 2 点のミスが判明した。1 つはロール方向に間違った補正值  $-0.144$  度が入っていること、もう 1 つは HYDRINS の取付向きが通常とは逆に船尾方向を向いていたことである (Photo 3)。前者については補正值を 0 に修正し、後者については

Table 5. The coordinates of each survey point based on the three axes of HYDRINS.

表 5. 動揺計測装置の 3 軸を基準にした各測点の座標.

測点	X(船首が+・m)	Y(右舷が+・m)	Z(下が+・m)
S	7.997	-4.141	31.773
FR.34	19.090	-9.028	20.831
FR.38	16.509	-9.059	20.832
FR.62	0.911	-9.222	20.826
FR.66	-1.706	-9.256	20.830
GNSS	0.000	0.000	-0.073
ANT	0.000	0.000	0.000

ANT→Sの斜距離 33.024 m

HYDRINS の取付設定を電子的に逆方向に修正することで対応した. しかしながら位置計測時の HYDRINS データには, この 2 つのミスが含まれたままになっているので, 生データからこれらの数値を修正することで対応した.

その結果, ANT を原点とした S の位置は, 船首尾方向を X (船首方向がプラス), 右左舷方向を Y (右舷方向がプラス), 上下方向を Z (下方向がプラス) としたとき,  $X = +7.997$  m,  $Y = -4.141$  m,  $Z = +31.773$  m と求まり, 斜距離は 33.024 m であった. その他の測点の結果については, Table 5 に示す.

## 5 GNSS 測量の位置計測結果の評価

ANT の測量結果を GNSS 測量と比較するために, 2020 年 10 月 20 日 03 時 00 分 00 秒 ~ 04 時 59 分 59 秒, 10 月 21 日 01 時 08 分 49 秒 ~ 02 時 59 分 59 秒及び 04 時 00 分 00 秒 ~ 07 時 59 分 59 秒 (いずれも時刻は UTC) の間, GNSS データを取得した. GNSS 測量の解析には Trimble Business Center (以下 TBC) を用いた. 解析には近傍の電子基準点, 下関 (電子基準点番号: 940079), 北九州 1 (電子基準点番号: 021060), 北九州 2 (電子基準点番号: 021061) の GPS 衛星のみの 2 周波 30 秒データを使用, マストに設置した GNSS アンテナを含む全てのアンテナに対して PCV 補正を適用し, 最終暦で基線解析を行った (Fig. 5).

測量成果には, 座標値が確定している元期座標

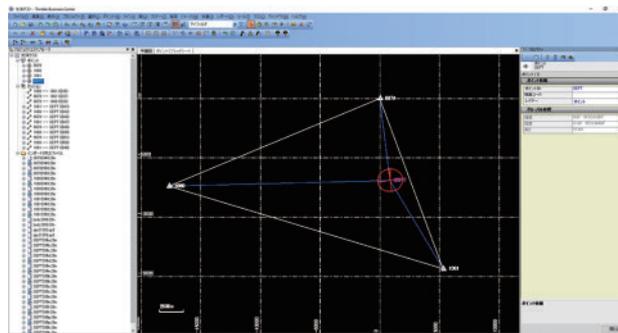
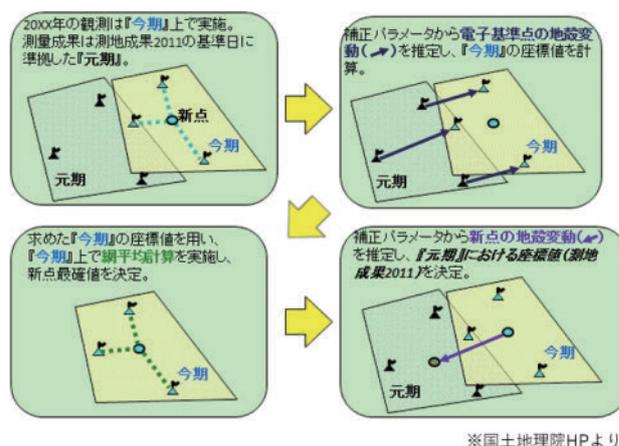


Fig. 5. GNSS analysis with TBC software.

図 5. TBC による GNSS 測量解析.



※国土地理院HPより

Fig. 6. Procedure of semi-dynamic correction (available at <https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/semidyna05.html>).

図 6. セミ・ダイナミック補正の作業手順 (国土地理院 Web site より; <https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/semidyna05.html>).

の値と GNSS 測量時の今期座標の値の差を無くすため, 国土地理院が提供しているセミ・ダイナミック補正を反映させた. まず, 電子基準点にセミ・ダイナミック補正を反映させ, 地殻変動を考慮した観測時の電子基準点の推定位置 (今期座標) を基準に GNSS アンテナ (ANT) の今期座標を網平均で算出, そうして求めた位置を今期から元期座標への逆方向のセミ・ダイナミック補正をすることで, ANT の元期座標を求めた. こうすることでトータルステーションによる光学測距・測角で求めるために使った街区三角点と同じ世界測地系 (測地成果 2011) を元にした座標値が算出される (Fig. 6). 各電子基準点の測地成果 2011 における位置は, 国土地理院 Web サイトの

Table 6. ANT position and residuals obtained by GNSS observation.

表 6. GNSS 観測で求められた ANT の位置と残差.

算出された測点ANTの座標(世界測地系(元期・測地成果2011)の値)

測点	緯度	経度	楕円体高(m)	標高(m)
ANT	33° 56' 02".82597	130° 55' 22".94040	57.6459	25.122

算出された測点ANTの座標(III系の値)

測点	X(N・m)	Y(E・m)	H(U・m)
ANT	-228469.4054	-114972.8292	25.122

光学測距・測角とGNSS観測の残差

測点	$\Delta X(N \cdot m)$	$\Delta Y(E \cdot m)$	$\Delta H(U \cdot m)$
ANT	0.0074	-0.0148	0.010

【基準点成果等閲覧サービス】に掲載されている測地成果 2011 の値を、セミ・ダイナミック補正と ANT の標高を算出するために必要なジオイド高の値及び測量結果の比較のために必要な平面直角座標への変換については、同じく国土地理院 Web サイトの【SemiDynaEXE】【ジオイド高計算】及び【平面直角座標への換算】を使用した。そうして求められた位置を Table 6 に示す。

残差については、X、Y 方向の最大残差が -0.0148 m、H 方向については -0.010 m と、どちらも 1 cm 程度の残差が生じたが、今回の GNSS 測量で求めた ANT の位置は予備的なもの以上の意味はないため、開放トラバースの手法により求めた値に問題は無いと判断した。

## 6 海底局位置の再現性評価

### 6.1 音響測距結果

海底局位置計測の再現性を評価するため、2021 年 4 月に「相模湾」海底基準点において試験観測を実施した。観測は 2 セット計 10 測線の観測を 3 連続送信のマルチ測距にて実施し、2,871 個の音響測距データを取得した。得られた受信波形 (Fig. 7) 及び受信波形と参照波形の相関処理の結果 (Fig. 8) の一例をそれぞれ示す。相関処理には音響解析ソフト「sas」(富山, 2003) を使用した。

Fig. 7 を見ると、0 ~ 2 秒の間にマルチ測距の識別信号 (102 msec) と測距信号 (204 msec) の組が 3 組記録されており、それに対する海底局

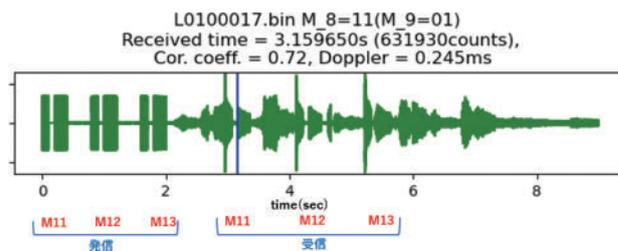


Fig. 7. An example of recorded acoustic signal.

図 7. 「光洋」で観測された受信波形の一例.

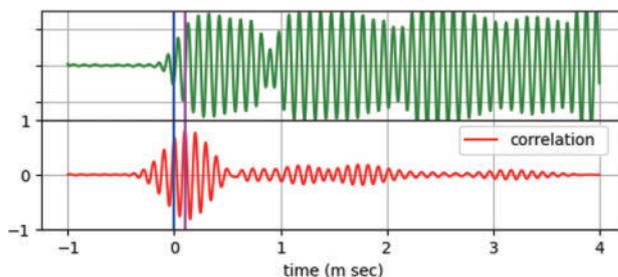


Fig. 8. Enlarged received acoustic signal (upper) and the correlation value of the signal (lower).

図 8. 受信波形の一部 (上) と相関処理の結果 (下).

の応答が 3 ~ 5 秒の間に返ってきていることが見て取れる。この例では、S/N 比が非常に高く、海底局から送信された信号の存在は容易に判別できる。

「光洋」及び「明洋」の、「相模湾」海底基準点における同程度の海況下 (波高 0 ~ 0.1 m, 弱いうねりあり) での観測で得られた受信波形と参照波形の相関係数の分布をそれぞれ Fig. 9 (a), (b) に示す。グラフ横軸の値は理論上の送信波形と取得した受信波形の間の相関係数であり、1 に近づくほど両者は似通っていることをあらわす。

この例では、「明洋」と比較し「光洋」の相関係数は全体的に高い値を示すことがわかる。

### 6.2 局位置解析

上記の試験観測のデータを用いて、通常の観測と同様に局位置解析を実施した。GNSS 解析には RTKLIB ver. 2.4.2 (Takasu, 2013), 局位置解析には GARPOS (Watanabe et al., 2020) ver. 1.0.0 を使用した。

時刻同期に関する修正を観測データに加えたのちに局位置解析を実施し、得られた解をこれまで

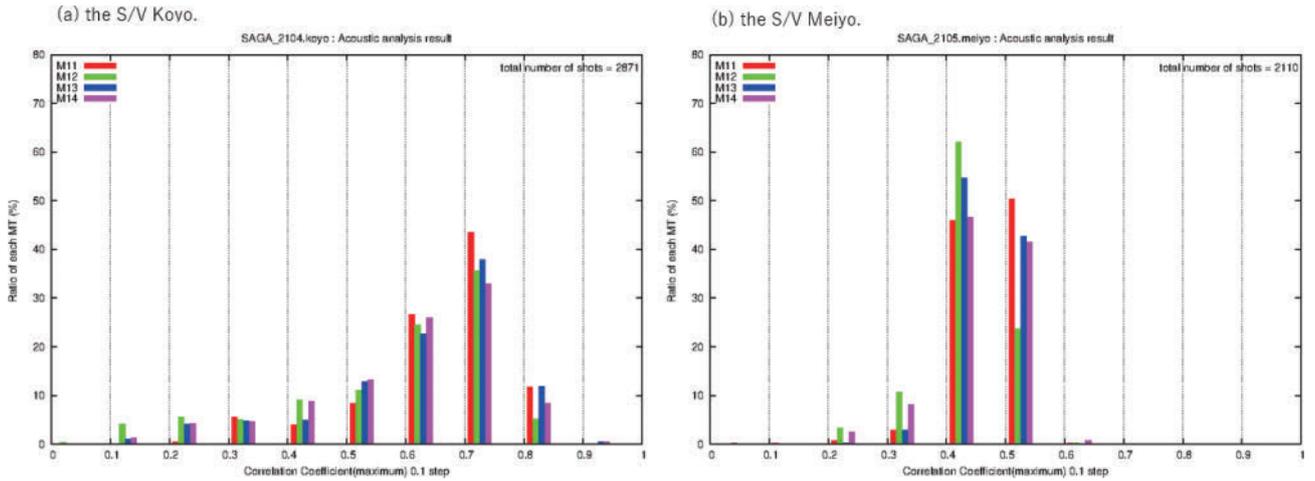


Fig. 9. Histograms of correlation values of return signal obtained at “SAGA” (a) in April 2021 by the S/V *Koyo* and (b) in May 2021 by the S/V *Meiyu*.

図 9. 「相模湾」で取得された音響信号の相関係数の分布。(a) 2021 年 4 月に光洋で取得されたもの、(b) 2021 年 5 月に明洋で取得されたもの。

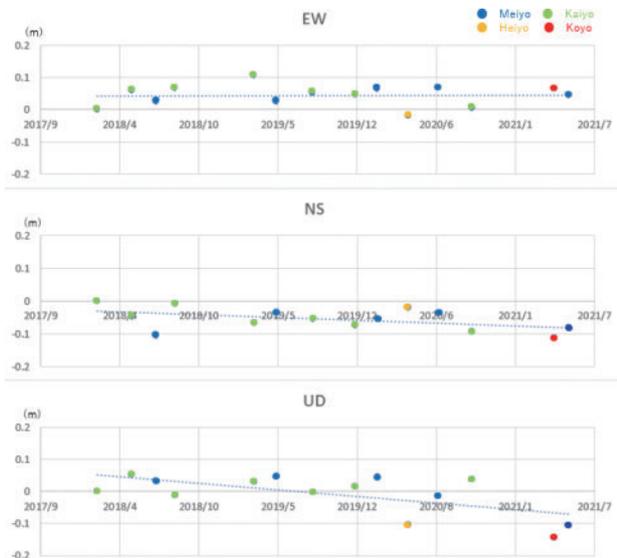


Fig. 10. Time series of the estimated positions at “SAGA” from Feb. 2018 to May 2021.

図 10. 「相模湾」における 2018 年 2 月から 2021 年 5 月までの局位置解析結果の時系列の比較。

他の測量船で実施した結果と比較した (Fig. 10)。個々の観測エポックごとの安定性を比較するため、各海底局位置に関する拘束をかけずに 1 エポックで解くシングルエポックの解析結果を用いた。Fig. 10 では、2018 年 2 月の値を基準値とした偏差分をプロットした。

最小二乗法に基づく近似線を引くと、水平位置は東西、南北方向ともに、近似線に近い値を示し

た。上下成分については近似線より 10 cm 程度下方向に推定されているが、特にシングルエポック解析の GNSS-音響測距結合方式結果においては上下成分の決定精度が良くないこと、まだ「光洋」での観測数は 1 回と少ないことから、「光洋」起因のバイアス誤差の有無を十分な確度で議論することは難しい。測量船ごとのバイアスについては観測を繰り返すことでしか確度が高まらないので、今後も「光洋」での海底地殻変動観測を行う必要がある。事前にバイアスについての情報入手しておくことは、「光洋」が海底地殻変動観測を実施した際により精度の高いデータを得ることにつながる。吉田・他 (2021) も指摘しているように、機器バイアスはドック入渠時のメンテナンスや機器の取り外しの影響、機器のドリフトなどの影響で変化する可能性も高いため、海底地殻変動観測装置が設置された全測量船について、少なくとも年に 1 回以上の定期的な観測を実施することが望まれる。

## 7 結論

2021 年 3 月に就航した最新鋭の大型測量船「光洋」に海底地殻変動観測装置を設置した。本稿で示した観測機器は、2021 年 4 月に実施したテスト観測において、水平成分についてはこれまでの

観測を元にした近似線に近い値を示した。上下成分についてはバイアス誤差が疑われる。しかし、これまで観測回数が少ないため「光洋」の機器起因のバイアス誤差の有無を十分な確度で議論することは難しい。今後も定期的に「光洋」での海底地殻変動観測を行い、検証を続けることが望ましい。

## 謝 辞

測量船「光洋」への海底地殻変動観測装置の設置及び観測の実施は測量船「光洋」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。

## 文 献

- 秋山裕平・氏原直人・大門 肇 (2013) 測量船「海洋」への海底地殻変動観測装置の設置, 海洋情報部研究報告, 50, 91-96.
- 秋山裕平・横田裕輔 (2014) 測量船「昭洋」への海底地殻変動観測装置の設置, 海洋情報部研究報告, 51, 106-112.
- 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.
- 松下 優・小池未空時 (2018) 海底局マルチ測距手法による海底地殻変動観測の効率化, 海洋情報部研究報告, 56, 46-49.
- 佐藤まりこ・藤田雅之 (2012) GPS/音響測距結合方式による海底地殻変動観測技術の進展, 海洋情報部研究報告, 48, 26-40.
- 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.
- Takasu, T. (2013) RTKLIB ver. 2.4.2 Manual, RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, 29-49.
- 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.
- Watanabe, S., M. Sato, M. Fujita, T. Ishikawa, Y. Yokota, N. Ujihara, and A. Asada (2014) Evidence of viscoelastic deformation following the 2011 Tohoku-Oki earthquake revealed from seafloor geodetic observation, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 5789-5796, doi:10.1002/2014GL061134.
- Watanabe, S., T. Ishikawa, Y. Yokota, and Y. Nakamura (2020) GARPOS: Analysis software for the GNSS-A seafloor positioning with simultaneous estimation of sound speed structure, *Front. Earth Sci.*, 8, 597532, doi:10.3389/feart.2020.597532.
- Yokota, Y., T. Ishikawa, and S. Watanabe (2018) Seafloor crustal deformation data along the subduction zones around Japan obtained by GNSS-A observations, *Sci. Data*, 5:180182, doi: 10.1038/sdata.2018.182.
- Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, T. Tashiro, and A. Asada (2016) Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone, *Nature*, 534, 374-377, doi:10.1038/nature17632.
- 横田裕輔・田代俊治・下村広樹 (2017) 海底局マルチ測距手法の実装, 海洋情報部研究報告, 54, 32-37.
- 吉田 茂・渡邊俊一・橋本友寿・中村優斗 (2021) 測量船「平洋」への海底地殻変動観測装置の設置, 海洋情報部研究報告, 59, 178-189.

## 要 旨

海上保安庁海洋情報部で実施している海底地殻変動観測において、既存の本庁所属測量船 (海底

地殻変動観測装置を搭載しない中型測量船「天洋」は除く)に加え, 2021年3月に就航した最新鋭の大型測量船「光洋」(4,000トン)にも海底地殻変動観測装置を設置した. 本稿では, 「光洋」に設置した観測装置の概要, GNSSアンテナと送受波器の位置測定方法と測定結果, 及び2021年4月に実施したテスト観測において, 水平成分についてはこれまでの観測を元にした近似線に近い値を示したこと, 上下成分についてはバイアス誤差の有無が疑われるため検証を続けることが望ましいことを報告する.