

海洋潮汐モデルを用いた沖合域測深データの潮高補正[†]

堀内大嗣*

Tidal correction for water depth data of offshore areas based on the ocean tide model[†]

Daishi HORIUCHI*

Abstract

Bathymetric data acquired in offshore areas usually include the errors which are resulted from the tidal height variations as well as the bathymetric data at coastal areas. In order to correct the bathymetric data by removing these errors in the offshore areas, I devised a method to use the estimated tidal height variations based on the ocean tide model NAO.99 Jb (Matsumoto et al., 2000). The tidal correction based on the NAO.99 Jb model could resolve the difference of depth between adjacent survey lines that is generated from the tidal height variation.

1 はじめに

潮汐は地球の海面で普遍的にみられる現象である。海上保安庁海洋情報部では沖合域においても測深を実施しているが、その際に取得したデータにも潮汐の影響は表れている。例えばデータを取得した時刻の潮汐による海面の変動量が異なるために、Fig.1のように隣り合う測線間に段差が生じてしまうことがある。沿岸域であれば、測深作業中の潮汐による海面の変動量を験潮所等で観測し、取得した水深データに対して補正を行うことによって、これらの段差を消去することができる。しかし沖合域においては潮汐による海面の変動量の観測が困難であるため、それに代わる新たな手法が必要となる。

このため、海洋潮汐モデルを用いて潮汐による海面の変動量を推算し、その値を使用して測深データの補正を行う方法について検討を行った。本稿では、海洋潮汐モデルで計算した海面の変動

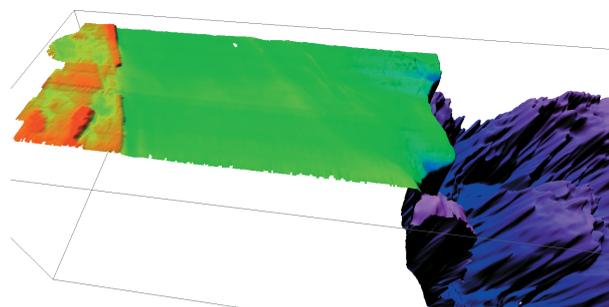


Fig. 1. A bathymetric map of the offshore area without tidal correction.

図 1. 沖合域で測得した水深データを用いて作成した海底地形図（潮高の補正を行っていないもの）。

量と、沿岸の験潮所や沖合域に設置した験潮器によって得られたデータを用いて、海洋潮汐モデルによる補正の効果の検証を行った結果について報告する。

[†] Received October 16, 2013 ; Accepted January 8, 2014

* 海洋調査課海洋防災調査室 Geodesy and Geophysics Office, Hydrographic Surveys Division

2 語句の定義

本稿で用いる語句を、以下の通り定義する。

- ・ Z_0 ：平均水面と最低水面の差（測量地点における潮汐の主要4分潮 (M_2, S_2, K_1, O_1) の振幅和)
- ・ 潮位：測量時の海水面と平均水面との差
- ・ 潮高：測量時の海水面と最低水面との差（潮位と Z_0 の和）

なお、潮位および潮高は、どちらも鉛直上向きを正とする。 Z_0 、潮位、潮高の関係を Fig. 2 に示す。

3 海洋潮汐モデル

沖合域において取得した水深データに対して、日本周辺海洋潮汐モデル NAO.99 Jb (Matsumoto et al., 2000; <http://www.miz.nao.ac.jp/staffs/nao99/>; 松本, 2004) を用いて潮高改正を行う場合の効果について検証を行った。

NAO.99 Jb モデルは、日本周辺（北緯 20~65 度，東経 110~165 度）において、緯度経度とも 5 分（南北方向で約 9.3 km、東西は約 8.7 km（北緯 20 度）~3.9 km（北緯 65 度）の間隔）のメッシュ毎に定義された、主要4分潮を含む短周期（約1日未満の周期）16分潮 ($M_2, S_2, K_1, O_1, N_2, P_1, K_2, Q_1, M_1, J_1, OO_1, 2N_2, \mu_2, \nu_2, L_2, T_2$) の振幅と遅角の値から、任意の時刻にお

ける潮位を計算するものである。潮高は、任意のメッシュにおいて計算された潮位に、そのメッシュにおける Z_0 を加えることによって、算出することができる。

4 検証

NAO.99 Jb モデルを用いて計算した潮位（以下、「モデル潮位」という）が、現実の潮位と一致しているかどうかを検証するため、(1) 沿岸域の常設験潮所/検潮所における観測潮位とモデル潮位の比較、および (2) 沖合域に水圧式験潮器を設置して観測した潮位とモデル潮位の比較を行った。モデル潮位は短周期の分潮によるものであるため、1日を超える時間スケールの潮位変化は再現できない。この再現できない成分（以下、「長期成分」という）については、常設験潮所/検潮所および、沖合域における水圧式験潮器で得られた潮位の観測値から取り除き、検証の対象外とした。

観測値の中の長期成分は、観測値の前後12時間の移動平均（12時間前から12時間後までの値の平均値）を取ることで算出した。観測値から長期成分を差し引くことで、1日以下の時間スケールの潮位変化の成分を抽出し、モデル潮位との比較を行った。

以下、本稿では、観測値から長期成分を除く処理を行った結果を「観測潮位」と呼ぶ。また、日時は、すべて UTC である。

4.1 沿岸域での観測潮位とモデル潮位の比較

東シナ海および日本海西部沿岸の13の験潮所/検潮所（厳原，博多，佐世保，大泊，中之島，名瀬（以上6か所は海上保安庁所管の験潮所），西郷，浜田，境，福江，那覇，石垣，与那国（以上7か所は気象庁所管の検潮所））における観測潮位と、モデル潮位の比較を行った。本稿では以後、験潮を行っている地点の呼び方を「験潮所」で統一する。これらの験潮所における潮汐の観測データは、日本海洋データセンター (JODC) 提供のものを使用した。

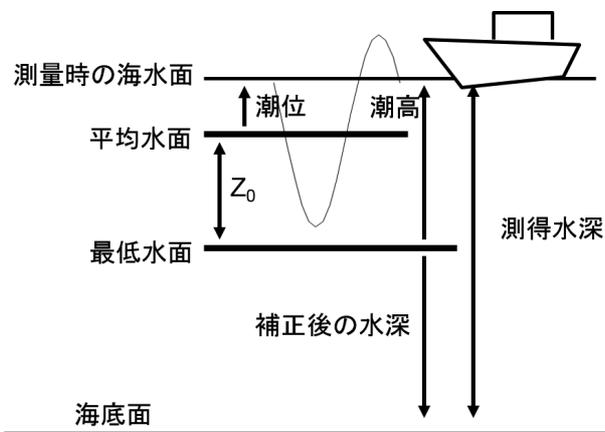


Fig. 2. Relations between Z_0 , tidal variation, and tidal height.

図 2. Z_0 、潮位、および潮高の関係。

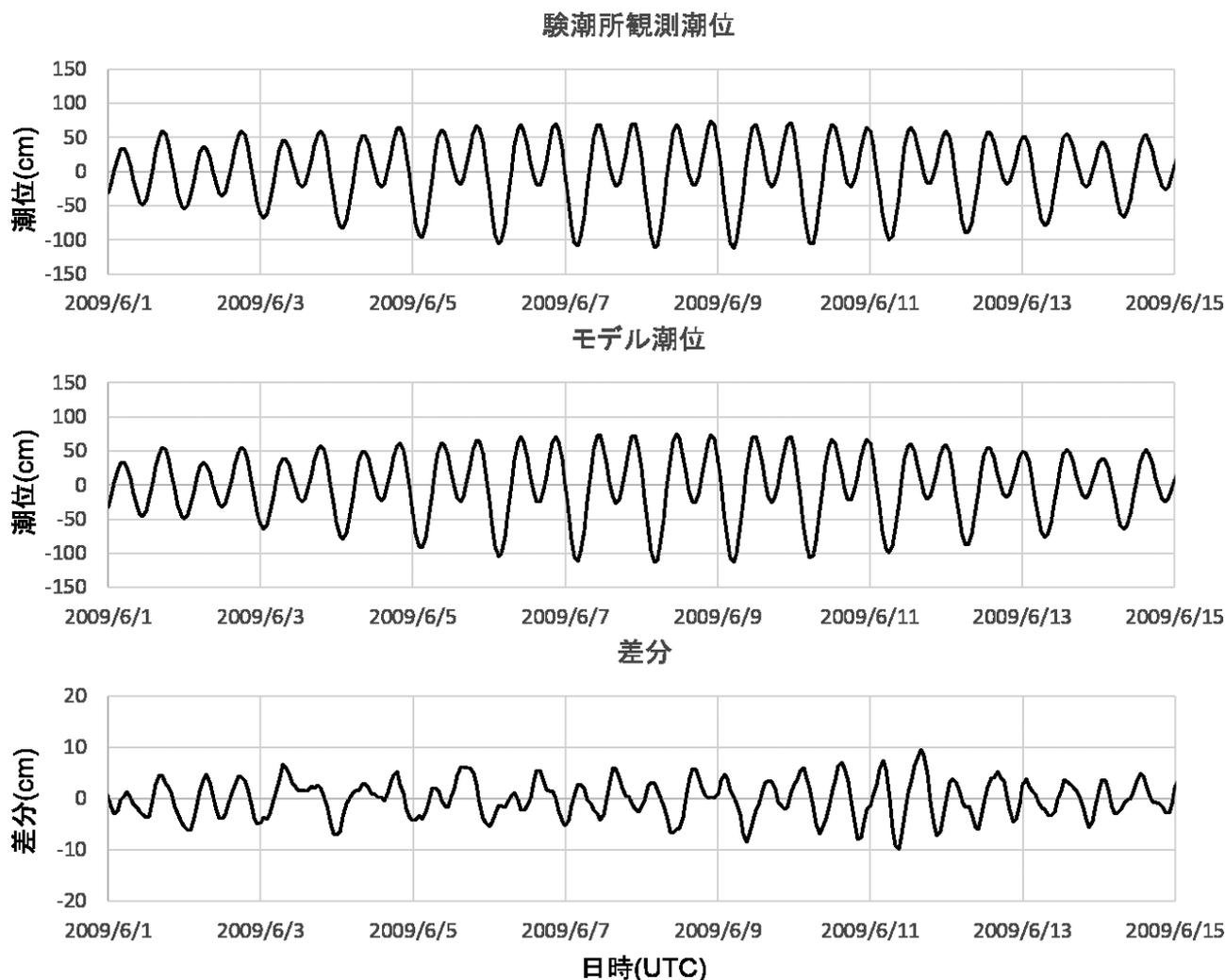


Fig. 3. Tidal variations at the Nakanoshima tidal station. Observed data after removal of long term variations (upper), NAO.99 Jb model (middle), and difference between them (lower) are shown.

図 3. 中之島験潮所における潮位. (上) 観測潮位から長期成分を除去したもの. (中央) NAO.99 Jb モデルを用いて計算した潮位. (下) 上記 2 種類の潮位の差分.

2009 年 1 月 1 日 0 時から 2010 年 1 月 1 日 0 時までの毎正時のデータについて、潮位の比較を行った。例として、中之島験潮所における 2009 年 6 月 1 日から 6 月 15 日までの観測潮位、験潮所が含まれるメッシュにおけるモデル潮位、および両者の差分を Fig. 3 に示した。波形、振幅とも、観測潮位・モデル潮位がよく似た形をしている。1 m 程度の振幅で変動する潮位に対して、両者の差分はそれより一桁小さい 10 cm 程度の範囲におさまっていることがわかる。

Table 1 には、検証を行った 13 の験潮所における観測潮位とモデル潮位の差の RMS (Root Mean Square), Z_0 および験潮所の座標を示した。 Z_0 の

Table 1. RMS of the deference between tidal variations based on observation after long term variations are removed and NAO.99 Jb model at permanent tidal stations.

表 1. 常設験潮所における、観測潮位（長期成分を除去したもの）と、NAO.99 Jb モデルを用いて計算した潮位の差の RMS.

験潮所/検潮所	RMS(cm)	Z_0 (cm)	緯度	経度
西郷	1.7	17	36° 12' N	133° 20' E
境	2.0	17	35° 33' N	133° 15' E
浜田	2.2	29	34° 54' N	132° 04' E
巖原	8.7	93	34° 11' 52" N	129° 17' 30" E
博多	13.1	110	33° 37' 08" N	130° 24' 28" E
福江	8.9	159	32° 42' N	128° 51' E
佐世保	11.8	165	33° 09' 29" N	129° 43' 26" E
大泊	10.5	142	31° 01' 25" N	130° 41' 21" E
中之島	5.4	125	29° 50' 31" N	129° 50' 52" E
名瀬	5.0	115	28° 23' 08" N	129° 29' 43" E
那覇	6.4	118	26° 13' N	127° 49' E
石垣	7.4	107	24° 20' N	124° 10' E
与那国	3.5	100	24° 27' N	122° 57' E

値は“平均水面、最高水面及び最低水面一覧表” (http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/enkan/Suijun_hyo/Pub.No.741/Top.htm) に掲載されている値を、験潮所の座標は JODC の“潮汐カタログ” (http://jdoss1.jodc.go.jp/cgi-bin/1997/tide_data.jp) に掲載されている値を用いた。

いずれの験潮所においても、差の RMS の値は潮位の Z_0 の値に比べかなり小さい。モデル潮位が観測潮位と大きく異なる場合、その差の RMS は、潮位の最大変動幅の指標である Z_0 よりも大きな値をとることが予想される。日本海西部および東シナ海沿岸の 13 の験潮所において差の RMS が Z_0 の値に比べかなり小さくなったことは、これらの海域においてモデル潮位が観測潮位をよく再現できていることを示している。

4.2 沖合域での観測潮位とモデル潮位の比較

沖合域において観測潮位とモデル潮位が一致しているかどうかを検証するため、沖合域に水圧式験潮器を設置して観測を行い、観測値から算出した観測潮位とモデル潮位の比較を行った。

2009年9月26日から12月1日までの期間、北緯28度40分、東経126度10分、水深約140mの地点の海底に水圧計 Level-TROLL 500 (In-Situ 社製) を設置し、潮位の観測を行った。観測に用いた Level-TROLL 500 では、堀内 (2011) に説明されているように、取得したデータに観測開始からの経過時間に伴う値のドリフトと、水温に起因するノイズが含まれている。これらのドリフトとノイズは、堀内 (2011) のパラメータを用いて補正した。補正後の値を観測値とし、そこから観測値自身の前後12時間の移動平均を差し引くことで観測潮位を算出した。

2009年9月26日0時から12月1日0時までの毎正時について、観測潮位とモデル潮位の差の RMS は 5.7 cm であり、水圧計を設置して観測を行った海域 (東シナ海) に比較的近い沿岸の験潮所 (中之島、名瀬、那覇、石垣、与那国) における観測潮位とモデル潮位の差の RMS と同程度の

値 (4~8 cm) であった (Table 1)。したがって、東シナ海の沖合域においても、沿岸域と同様にモデル潮位が実際の潮位をよく再現できていると考えられる。

5 測深データに対する補正の効果の検証

沖合域で得られた測深データに対して、NAO.99 Jb モデルで計算した潮高を用いた補正を適用し、補正の効果の検証を行った。潮高の補正は、以下の手順で行った。

- 1) GPS 測位データを用いて、測量船の10分毎の位置 (どの地理メッシュ (5分メッシュ) にいるか) を求める。
- 2) 1) の時刻・メッシュにおける潮位を計算し、算出された値にそのメッシュにおける Z_0 の値を加えて、潮高を算出する。
- 3) 潮高の10分値からの内挿により、測深データを取得した時刻の潮高を求め、測深データから差し引く。

上記 1)、2) の手順を、Fig.4 に示す。

この手順を、Fig.1 で示した測深データに対し適用し、NAO.99 Jb モデルによる補正を行った結果を Fig.5 に示す。Fig.1 に見られた隣り合う測線間に生じていた段差は、Fig.5 には見られない。これは NAO.99 Jb モデルにより補正を適切に行えた結果であると考えられる。

6 まとめ

沖合域における地形調査で得られた測深データに対して、海洋潮汐モデル NAO.99 Jb によって計算された潮高を用いて補正を行うことにより、潮汐が原因で生じていた測線間の段差などの現象を解消できることがわかった。

実際の潮汐には、短周期 (約1日以下の周期) の潮位変動成分だけでなく、1日を超える時間スケールの潮位変動成分が含まれている。NAO.99 Jb モデルで計算できるのは短周期 (約1日以下の周期) の潮汐だけである。したがって NAO.99 Jb モデルによる補正は、1日を超える時間スケールの変動の効果と比較的小さい、数時間~数日程

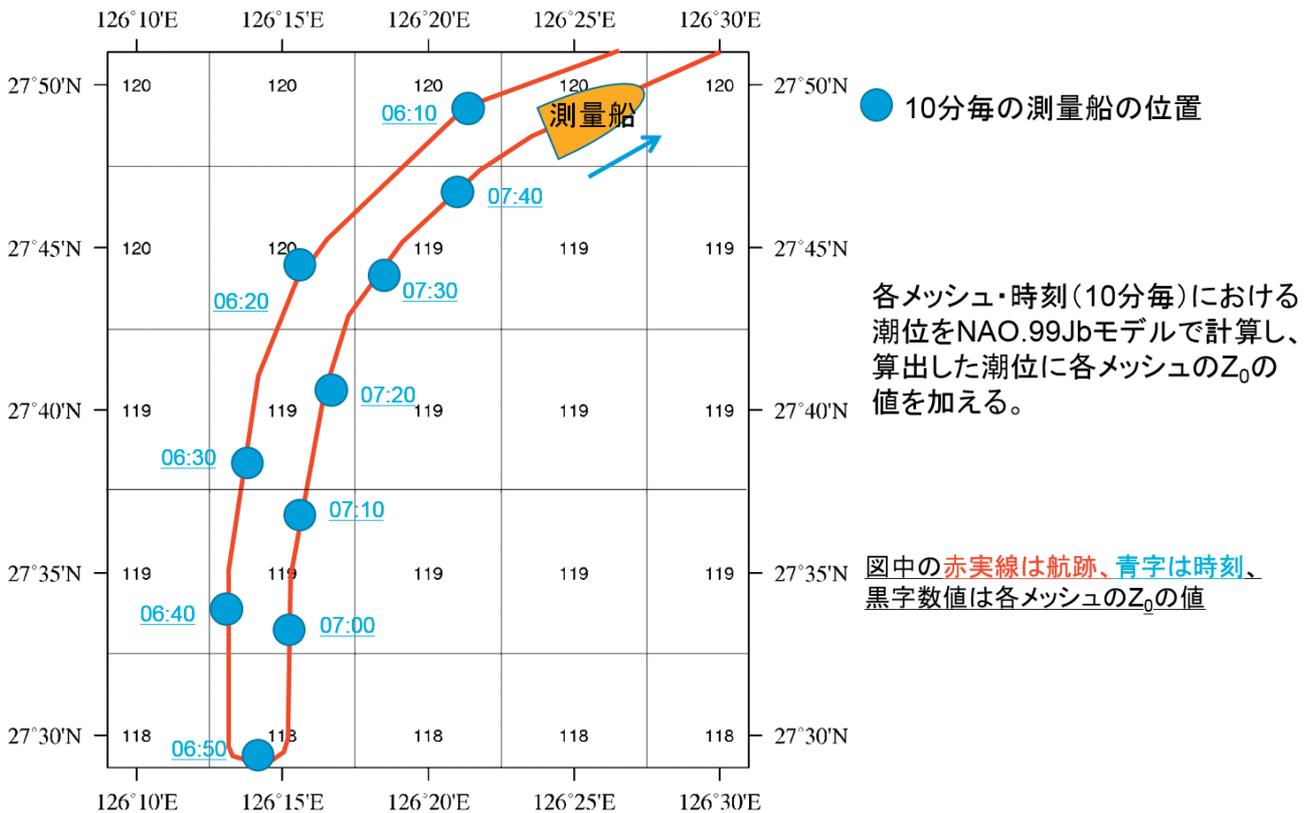


Fig. 4. The procedure of the tidal height calculation.
 図4. 潮高を算出する手順.

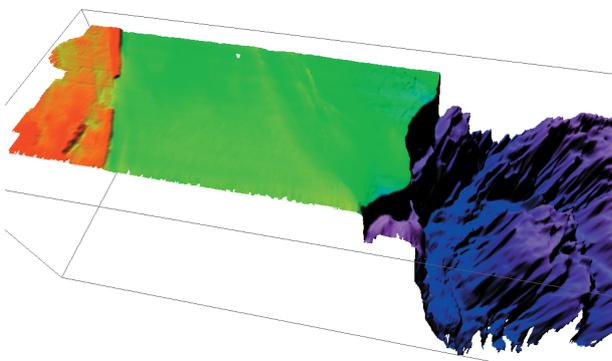


Fig. 5. The bathymetric map of the offshore area with tidal correction based on NAO.99 Jb.
 図5. 沖合域で測得した水深データを用いて作成した海底地形図 (NAO.99 Jb モデルに基づき潮高の補正を行ったもの).

度の期間の地形調査には効果的であると考えられるが、1日を超える時間スケールの潮位変動成分が卓越するような場合、例えば隣り合う海域を数か月のスパンを開けて調査するような場合には、十分な補正を行うことができず、調査海域の境界に段差が生じてしまう可能性がある。1日を超え

る時間スケールの潮位変動は、1年周期の変動成分 (Sa 潮) だけでも 20~30 cm の振幅を持っており、短周期成分と比べても決して小さい値ではない。沖合域における1日を超える時間スケールの潮位変動をどう補正するかは、今後の課題である。

謝 辞

海洋潮汐モデルを用いた潮高補正の効果の検証に関して、過去4年間の長きにわたって大陸棚調査室をはじめとする海洋調査課の職員の皆様から、多大なご支援をいただきました。水位計の設置・回収は、測量船「昭洋」に行っていただきました。ご支援を賜りました職員の皆様、ならびに測量船「昭洋」の乗組員、上乗り班の皆様、心より感謝を申し上げます。

文 献

Matsumoto, K., Takanezawa, T., Ooe, M. (2000) Ocean Tide Models Developed by Assimilat-

ing TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model around Japan, *Journal of Oceanography*, 56, 567-581.

松本晃治, NAO.99 b 潮汐予測システム, <http://www.miz.nao.ac.jp/staffs/nao99/>.

松本晃治 (2004) 海洋潮汐モデル NAO.99 b の構築と普及, *測地学会誌*, 50, 3, 187-200.

堀内大嗣 (2011) 水位計 Level-TROLL 500 を用いた験潮手法の検討, *海洋情報部研究報告*, 47, 27-31.

日本海洋データセンター, 潮汐カタログ, http://jdoss1.jodc.go.jp/cgi-bin/1997/tide_data.jp.

海上保安庁海洋情報部, 平均水面、最高水面及び最低水面一覧表, http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/enkan/Suijun_hyo/Pub.No741/Top.htm.

要 旨

沖合域で取得した測深データに対して, 海洋潮汐モデル NAO.99 Jb (Matsumoto et al., 2000) を用いて潮高改正を行う手法について検証を行った. 海洋潮汐モデルで計算した値を用いることで, 潮位変動によって測深データに生じていた, 隣り合う測線間の段差を消去できることが明らかとなった.