

海洋潮汐モデルに基づく潮位補正手法の検討

堀内大嗣：大陸棚調査室

西下厚志：海洋調査課

Examination of tidal correlation method based on ocean tide model

Daishi HORIUCHI: Continental Shelf Surveys Office

Atsushi NISHISHITA: Hydrographic Surveys Division

Abstract

We investigated the applicability of tidal correction estimated from an ocean tide model NAO.99 Jb for bathymetric survey data, examining the accuracy of the model and calculated tide from the extra tide gauge by comparing with observations at a permanent tide station in the Miyakejima Island. Tides calculated from both the NAO.99 Jb model and extra tide gauge can be utilized for the short-period tidal correction in the Miyakejima Island. Application of the short-period tidal correlation can drastically reduce errors in tide estimation for depth measurements.

1 はじめに

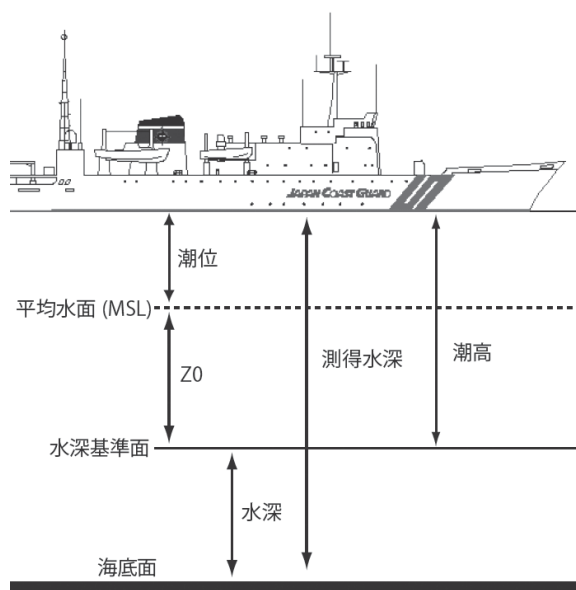
海上保安庁海洋情報部では測得した水深データに対して測深器の器差，送受波器の喫水位置，水中音速度の変化の補正を行っており，水深200 mよりも浅い水域については潮高の補正も行っている。

第1図は，測得水深と測量結果としての水深の違いを示したものである。ただし第1図の測得水深は，測深器の取り付け位置等の補正を既に行っているものとする。

なお本稿においては，観測時の海面と平均水面との差を潮位，観測時の海面と水深基準面との差を潮高と呼ぶ。

我が国では水深の基準面として，平均水面から，潮汐の主要4分潮であるK1，O1，M2，S2潮の振幅和（以下Z0）だけ低い面を採用している。よって水路測量によって測得した水深データに対して潮高の補正を行うには，次の3つの情報が必要である。

1. 水深データを測得した時刻における，海面の高さ
2. 平均水面の高さ



第1図 測得水深と測量結果の水深の違い
Fig. 1 Difference between measured depth and chart depth

3. 主要4分潮の振幅

沿岸域における測量では、測量水域に常設験潮所がある場合には平均水面およびZ0の値は予め求められているため、それらの値および潮位の観測値を用いて潮高の補正を行っている。常設験潮所がない場合は、測量水域の近傍において験潮器を設置して潮位観測を行い、観測した潮位の値を調和分解してZ0を算出する。Z0の値が過去に算出されている場合は、その値を用いることもある。平均水面については、日平均水面または月平均水面の変動が測量水域と同じとみなせる近傍の常設験潮所の験潮記録と比較を行い算出する。このように求められたパラメータを用いて、潮高の補正を行っている。

しかし外洋域においては、測量時の潮位やZ0の値および平均水面に関する情報が乏しく、潮高の補正を行うことができていない。

外洋域における測量時の潮位やZ0の値を得るため、主要4分潮を含む数種類の分潮の振幅と遅角が与えられZ0の値と任意の時間の潮位を算出することのできる海洋潮汐モデルを用いることを予定している。

本稿では海洋潮汐モデルを用いて潮高等の補正を行う場合の測深結果の誤差の大きさについて、常設験潮所における観測結果とモデルの算出結果の比較を通じて考察する。対象とする海洋潮汐モデルはNAO.99 Jb (Matsumoto et al., [2000])である。

海洋潮汐モデルによる潮高を用いて潮高補正を行った結果の測深誤差の大きさを評価するため、三宅島周辺の海域において験潮所の観測潮高とモデルによる潮高を比較し、期待される精度について考察する。最終的には外洋域において水圧式験潮器を設置して観測を実施し、海洋潮汐モデルを用いて潮高を補正する場合の測深結果の誤差の評価を行うことを予定しているが、外洋域に設置する験潮器の性能については評価が行われていない。よって三宅島の近傍に水圧式験潮器を設置して観測を行い、その観測精度についても評価を行う。

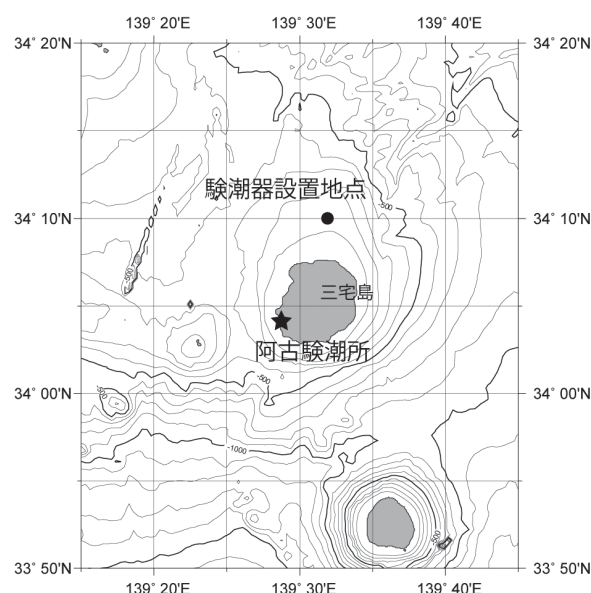
2 海洋潮汐モデル

NAO.99 Jbモデルは、TOPEX/POSEIDON衛星が観測した海面高度データの調和分解で得られた短周期の16分潮の情報を用いて潮位の予報を行うモデルである。日本周辺 ($20^{\circ} \text{ N} - 65^{\circ} \text{ N}$, $110^{\circ} \text{ E} - 165^{\circ} \text{ E}$) の範囲では緯度方向・経度方向ともに5分の解像度で各分潮の振幅と遅角が与えられており、任意の時刻における潮位を算出することができる。算出した潮位に、モデルに組み込まれている主要4分潮の振幅和を加えることで潮高を導出する。

3 常設験潮所における観測・推算潮高と潮汐モデルの比較

3.1 比較を行う阿古験潮所の概要

海洋潮汐モデルの精度を求めるため、三宅島の阿古験潮所 ($34^{\circ} 04' \text{ N}$, $139^{\circ} 29' \text{ E}$) における観測潮高 (以下観測潮高) および潮汐表に基づく推算潮高 (以下推算潮高) と、海洋潮汐モデルが算出する潮高 (以下モデル潮高) を比較する。阿古験潮所の位置を第2図に示す。



第2図 水圧式験潮器の設置地点 ($34^{\circ} 10.0' \text{ N}$, $139^{\circ} 31.9' \text{ E}$)

Fig. 2 Locations of Aoko tidal station ($34^{\circ} 04' \text{ N}$, $139^{\circ} 29' \text{ E}$, star) and water pressure tide gauge ($34^{\circ} 10.0' \text{ N}$, $139^{\circ} 31.9' \text{ E}$, round)

海洋潮汐モデルは緯度経度ともに5分ごとの解像度であるため、阿古験潮所との比較には $34^{\circ}05'N$ 、 $139^{\circ}25'E$ の地点において算出した潮位を用いた。

観測潮高には日本海洋データセンター (JODC) 保管のデータを、推算潮高の計算は海上保安庁発行の潮汐表に基づいて行った。

Z0の値については、次のとおりである。

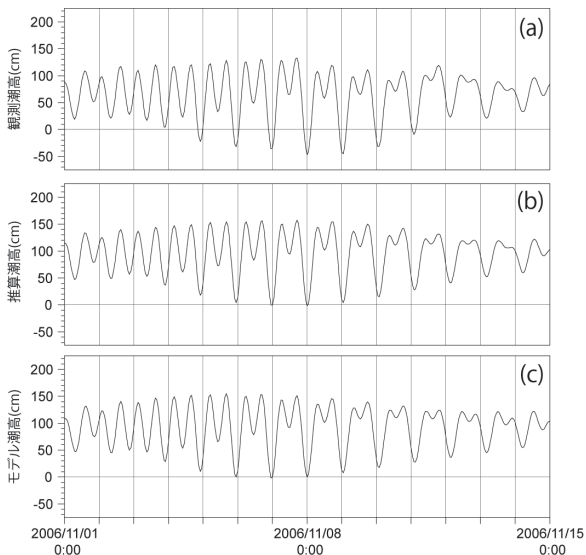
- 実測値：91 cm
- モデル：93 cm

モデル潮高としてモデルが算出した潮位に上記の93 cmを加えた値を用いる。

3.2 観測・推算潮高とモデル潮高の差 (短期間)

2006年11月1日0時から2006年11月15日0時までの期間における、阿古験潮所における1時間ごとの観測潮高・推算潮高とモデル潮位を第3図に示す。満潮・干潮のタイミングや干満差に関して、概ね一致して変動している。

観測潮高と推算潮高の差については、海上保安庁



第3図 2006年11月1日から15日までの阿古験潮所の (a) 観測潮高, (b) 推算潮高, (c) モデル潮高

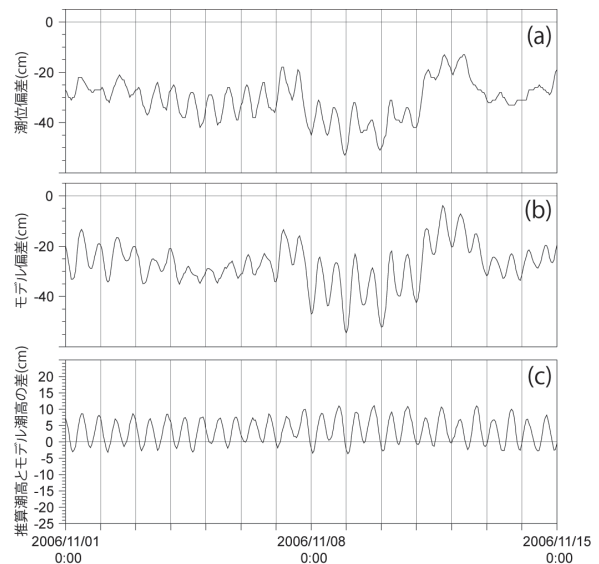
Fig. 3 Tides above tidal datum at Ako tidal station from 1 November 2006 to 15 November 2006. (a) observed, (b) predicted, (c) model.

や気象庁で潮位観測情報とともに提供されており、偏差 (海上保安庁) あるいは潮位偏差 (気象庁) と呼ばれている。本稿では観測潮高と推算潮高の差を潮位偏差と呼び、観測潮高とモデル潮高の差はモデル偏差と呼ぶことにする。潮位偏差, モデル偏差, 推算潮高とモデル潮高の差を第4図に示す。

潮位偏差およびモデル偏差はよく似た変化をしており1日より長い時間スケールでの増減と、約半日の周期で潮位偏差は5 cm程度, モデル偏差は10 cm程度の振幅で増減の繰り返しがみられる。潮位偏差およびモデル偏差の絶対値はそれぞれ最大で53 cmおよび54 cmであった。

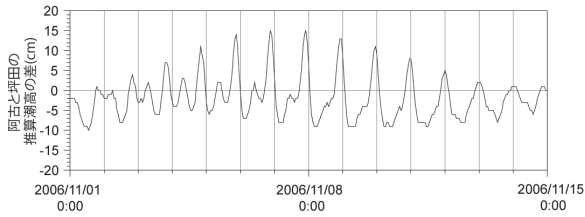
推算潮高とモデル潮高の差については約半日の周期で5 cm程度の振幅で増減を繰り返しており、潮高の差の絶対値は最大で11 cmであった。

各潮高の差に生じている周期的な増減は、各分潮の振幅と遅角にわずかな差が存在することによって生じていると思われる。参考として2006年11月1日0時から2006年11月15日0時までの期間における、



第4図 2006年11月1日から15日までの阿古験潮所の (a) 観測潮高と推算潮高の差, (b) 観測潮高とモデル潮高の差, (c) 推算潮高とモデル潮高の差

Fig. 4 Differences of tides above tidal datum at Ako tidal station from 1 November 2006 to 15 November 2006 between (a) observed and predicted, (b) observed and model, (c) predicted and model.



第5図 2006年11月1日から15日までの阿古験潮所と坪田験潮所の推算潮高の差
 Fig. 5 Differences of tides above tidal datum between Ako tidal station and Tsubota tidal station from 1 November 2006 to 15 November 2006.

阿古験潮所 (34°04′ N, 139°29′ E) および坪田験潮所 (34°03′ N, 139°33′ E) の推算潮高の差を第5図に示す。坪田験潮所の推算潮高の算出は、気象庁ホームページの分潮一覧表のデータに基づいて行った。

第5図にみられるように、緯度方向に1分・経度方向に4分程度しか離れておらず各分潮の振幅と遅角のパラメータの違いがわずかな場所であっても、その潮高の差に周期的な変化が存在し最大で15 cm程度のずれが生じている。

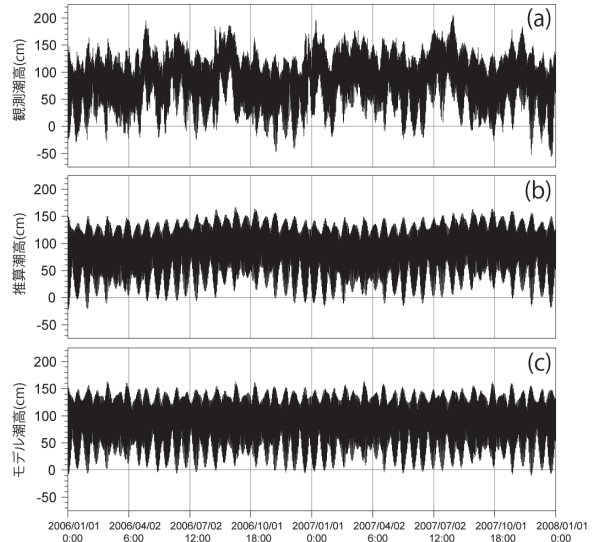
常設験潮所において短期間 (2週間) の観測潮高・推算潮高・モデル潮高を比較した結果、満潮・干潮のタイミングや干満差に関して概ね一致しているものの、潮位偏差やモデル偏差には1日より長い時間スケールでの変化がみられた。

次に1年以上の長期間について観測潮高・推算潮高・モデル潮高の比較を行い、モデル潮位の精度を議論する。

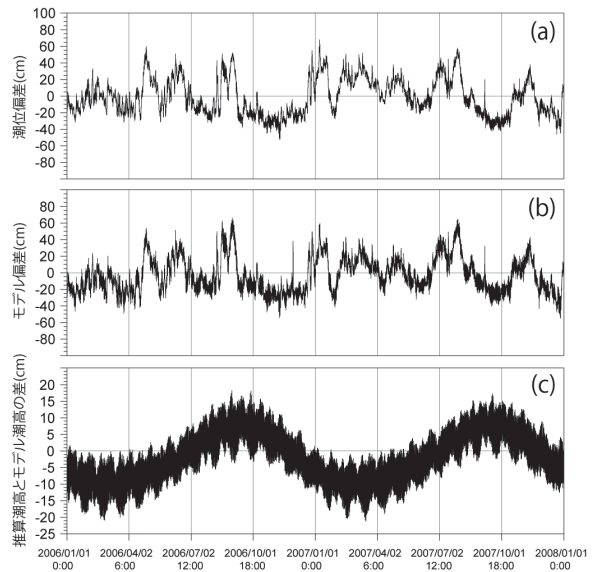
3.3 観測・推算潮高とモデル潮高の差 (長期間)

2006年1月1日0時から2007年12月31日23時までの期間における、阿古験潮所における1時間ごとの観測潮高・推算潮高とモデル潮高を第6図に、それぞれの差を第7図に示す。

潮位偏差とモデル偏差は短期間で比較した場合と同様によく似た変化をしており、その絶対値は潮位偏差とモデル偏差のそれぞれについて最大で68 cmおよび66 cmである。潮位偏差は気圧や海流流路の



第6図 2006年1月1日から2007年12月31日までの阿古験潮所の (a) 観測潮高, (b) 推算潮高, (c) モデル潮高
 Fig. 6 Tides above tidal datum at Ako tidal station from 1 January 2006 to 31 December 2007. (a) observed, (b) predicted, (c) model.



第7図 2006年1月1日から2007年12月31日までの阿古験潮所の (a) 観測潮高と推算潮高の差, (b) 観測潮高とモデル潮高の差, (c) 推算潮高とモデル潮高の差
 Fig. 7 Differences of tides above tidal datum at Ako tidal station from 1 January 2006 to 31 December 2007 between (a) observed and predicted, (b) observed and model, (c) predicted and model.

変化のような、非周期的な事象が原因で生じる。特に三宅島のような黒潮流軸の周辺にある地域では、黒潮の流路の変動に伴って海水準がおよそ1 m 変わりうる事が知られている。本稿で比較した2006年1月1日から2007年12月31日の期間において、潮位偏差およびモデル偏差はそれぞれ-53~+68 cm および-55~+66 cm という約1 m の範囲で変化しているため、これら潮位偏差の大部分は黒潮流路の変動が原因であると思われる。

以上のことから阿古験潮所においてモデルが算出する潮高は常設験潮所における推算潮高と同程度の正しさであるとみなせるものの、黒潮流路の変動のような、海水準を非周期的に変化させる事象の影響を補正しない限り、実際の潮高とは最大で70 cm 程度の差がある可能性がある。

次に、何らかの方法によって潮位偏差を補正することができたと仮定して考察を行う。

この場合、実際の潮高と補正後のモデル潮高の差は推算潮高とモデル潮高の差（第7図(c)）と一致するとみなせる。推算潮高とモデル潮高の差（第7図(c)）は約1年の周期で変動し、その差の絶対値は最大で21 cm である。この差が生じる原因は、主に海洋潮汐モデルNAO.99 Jbには組み込まれていない長周期潮であると思われる。長周期潮の中で最も振幅が大きいのは約1年の周期をもつSa潮であり、これは主に海水温の変化に伴う海水の膨張・収縮によって生じる海水準の変動を反映している。阿古験潮所におけるSa潮の振幅は約9 cm であり、第7図(c)でみられる1年周期での変動の振幅と同程度である。

よって長周期潮の影響を補正しない場合、海洋潮汐モデルNAO.99 Jbの精度は21 cm 程度であると思われる。

長周期潮の影響を補正することができた場合、第5図で示したような各分潮の振幅と遅角のパラメータのわずかな違いによって生じる差が海洋潮汐モデルNAO.99 Jbに基づく潮高補正の精度になると思われる。2006年1月1日から2007年12月31日の期間の阿古験潮所において、長周期潮を除いた推算潮高と

モデル潮位の差は最大で13 cm であるため、長周期潮の影響を補正することができれば海洋潮汐モデルNAO.99 Jbの確からしさは13 cm 程度になると思われる。

3.4 三宅島の常設験潮所におけるモデル潮高の比較のまとめ

常設験潮所における潮高の比較から、阿古験潮付近においてNAO.99 Jbモデルに基づき潮高補正を行う場合、長周期潮による海面変動と非周期的な海面変動の影響を考慮しない場合は実際の潮位と70 cm 程度の差が生じる可能性があるが、非周期的な海面変動の影響を考慮できれば21 cm、両方の影響を考慮できれば13 cm 程度の小さい値にできると考えられる。

4 水圧式験潮器による観測値とモデル潮高の比較

4.1 水圧式験潮器について

外洋域においては験潮の記録が乏しく、現時点ではNAO.99 Jbモデルに基づく潮高補正の精度を評価することができない。そのため一時的に験潮器を設置して潮汐の観測を行うことが必要となる。

沿岸域の常設験潮所においては験潮の手段としてフロート式あるいは超音波式の験潮器が用いられているが、外洋域においてはこれらの設備を設置することは困難である。よって外洋における潮汐の観測には比較的設置が容易である水圧式験潮器を用いる。

外洋における潮汐の観測に用いる水圧式験潮器として、In-situ社製Level TROLL 500を用いることを予定しているため、その測定精度について調べる必要がある。Level TROLL 500 (300 PSIA型)の性能は次のとおりである。

- 直径：18.3 mm
- 長さ：21.6 cm
- 重さ：0.197 kg
- 動作温度範囲：-20~80℃
- 記録間隔：最小で0.5秒
- 圧力センサー：シリコンストレインゲージ

- 精度：±0.1% FS
- 分解能：±0.005%以下
- 温度センサー：シリコン製
 - 精度：±0.1℃
 - 分解能：0.01℃
- 実用レンジ：0～約200 m

4.2 水圧式験潮器による観測データの解析方法

Level TROLL 500は圧力センサーによって水圧と気圧の和を測定する。大気中においてセンサーがほぼ0を指示するよう調節されているため、測定される圧力の値はほぼ水圧を反映している。Level TROLL 500は観測した圧力を水深に変換し出力する。

水圧式験潮器の観測結果から水温や気圧の変化といった、長期間で海面を変動させる成分の影響を議論するのは困難である。本稿では水圧式験潮器の観測結果から、1日よりも短い時間スケールで変化する成分のみを取り上げてNAO.99 Jbモデルとの比較を行う。

約1日よりも長い時間スケールで海面が変化する成分を取り除くため、水圧式験潮器による観測結果を基に算出した水深（以下算出水深）のデータからその時間を中心とした算出水深の24時間平均の値を

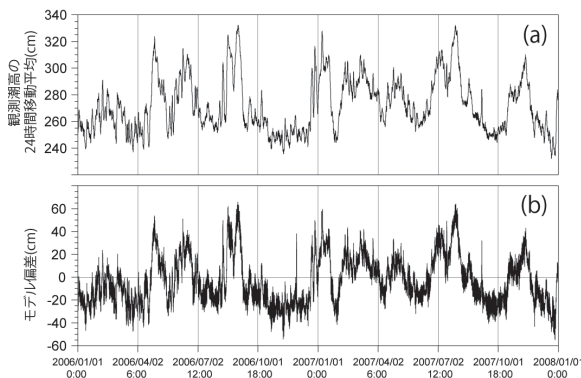
差し引いた値を算出潮位として用いることにする。参考として2006年1月1日0時から2007年12月31日23時までの期間について、阿古験潮所の観測潮高の24時間移動平均とモデル偏差を第8図に、2006年11月1日0時から2006年11月15日0時までの期間について、阿古験潮所の観測潮高からその24時間移動平均を差し引きZ0の値を加えて潮高に変換したものとモデル潮高を第9図に示す。

観測潮高の24時間移動平均とモデル偏差（主として長周期潮と非周期的な海面変動を反映：3-3節より）は、値が大きく変化するタイミングもその大きさもよく一致している（第8図）。観測潮高から24時間平均を差し引いても短周期潮にほぼ影響はなくモデル潮高とよく一致した変動を示している（第9図）。

したがって算出水深についても、その24時間平均を差し引くことによってほぼ短周期潮による潮汐の効果のみを残すことができると思われる。

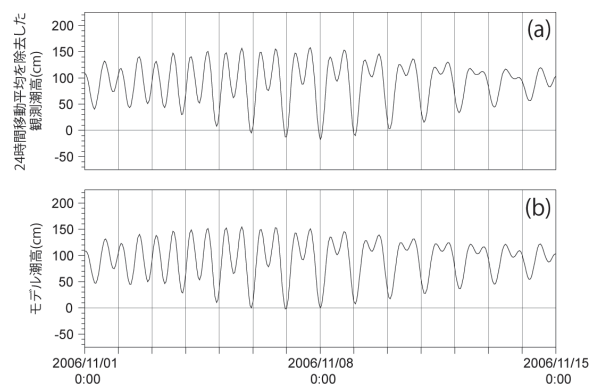
水位計を設置した地点におけるZ0の値を求めるため、算出潮位について最小二乗法による調和分解を行う。

観測期間が約1年（369日）と十分に長い場合は調和分解によって潮汐を異なる周期と振幅を持つ60の



第8図 2006年1月1日から2007年12月31日までの阿古験潮所の (a) 観測潮高の24時間移動平均, (b) 観測潮高とモデル潮高の差

Fig. 8 (a) 24-hour moving average of observed Tides above tidal datum at Ako tidal station from 1 January 2006 to 31 December 2007. (b) Difference between observed tide and model tide above tidal datum at Ako tidal station from 1 January 2006 to 31 December 2007.



第9図 2006年11月1日から15日までの阿古験潮所の (a) 観測潮高と推算潮高の差, (b) 観測潮高とモデル潮高の差, (c) 推算潮高とモデル潮高の差

Fig. 9 Tides above tidal datum at Ako tidal station from 1 November 2006 to 15 November 2006. (a) Subtract 24-hour moving average of observed from observed (b) model.

分潮に分離することができる。このとき調和分解に用いるデータの観測期間にかかわらず、出力で得られる主要分潮の振幅と遅角に関してほぼ等しい数値を得ることができ、調和分解結果に基づく推算潮位やZ0の値にほとんど差はない。海上保安庁や気象庁によって提供される潮位予報でも、同様の方法で算出した60の分潮が用いられている。

観測期間が短い場合は、調和分解によって分離できる分潮の数は少なくなる。また、算出される分潮の振幅の精度も悪くなり、後述するように用いるデータの観測期間が数日違うだけでも算出したZ0の値が数cm変化することもある。

Z0の値を精度よく求め、かつ算出潮高とモデル潮高の比較を十分長い期間で行うため、観測期間は1年にわたることが望ましいが、現実的には1年よりも短い期間のデータを用いて調和分解を行うこととなる。短い期間の観測データを用いる場合に調和分解によって分離できる分潮の数は、彦坂ほか[1966]に基づく13分潮(約1ヶ月)および10分潮(約半月)である。いずれの場合でも、調和分解によって分離した分潮の中にZ0の算出に必要な主要4分潮(K1, O1, M2, S2潮)は含まれる。

4.3 Level-TROLL 500の観測結果から算出した潮高とモデル潮高の比較

水圧式験潮器による算出潮高とモデル潮高を比較するため、2009年6月19日19時から同年7月14日23時の期間において、三宅島の北方(34°10.0'N, 139°31.9'E, 水深約141mの地点(第2図))にLevel TROLL 500を設置して、10分ごとの観測を行った。以下Level TROLL 500と比較するモデル潮高については34°10'N, 139°30'Eの地点において計算したものをを用いる。

先に述べたように観測期間が短い場合、調和分解によって得られるZ0の値の計算誤差は大きく、調和分解に用いるデータの観測期間によって変動する。本観測において、複数の期間に対して調和分解を行い、算出したZ0の値を第1表に示す。第1表には算出水深から24時間平均を差し引く前と後の両方について調和分解を行った結果を示した。

第1表 水圧式験潮器の観測結果から算出したZ0とNAO.99 JbモデルのZ0の比較

Table 1 Comparison of calculated Z0 from between water pressure tide gauge and NAO.99 Jb model.

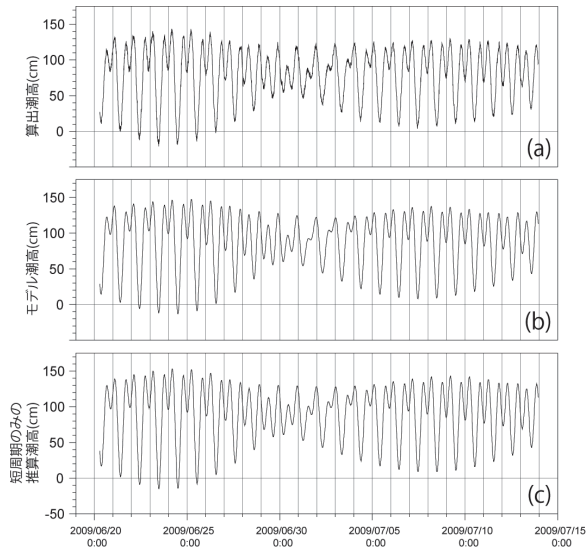
中央日時	モデルZ0	算出したZ0		Z0の差	
		24時間平均の差し引き		24時間平均の差し引き	
		なし	あり	なし	あり
2009/6/28	89 cm	82 cm	83 cm	-7 cm	-6 cm
2009/6/29		83 cm	83 cm	-6 cm	-6 cm
2009/6/30		84 cm	84 cm	-5 cm	-5 cm
2009/7/1		83 cm	83 cm	-6 cm	-6 cm
2009/7/2		83 cm	82 cm	-6 cm	-7 cm
2009/7/3		82 cm	81 cm	-7 cm	-8 cm
2009/7/4		82 cm	81 cm	-7 cm	-8 cm
2009/7/5		82 cm	82 cm	-7 cm	-7 cm
2009/7/6		83 cm	82 cm	-6 cm	-7 cm

それぞれの観測期間における調和分解で用いたのは、中央日時を中心とした合計15日間(360時間)の10分毎の観測データである。24時間平均を差し引く前後で算出されるZ0は多少変化するものの、その差は1cm程度であった。観測値とモデルのZ0の差は最大8cmであった。算出潮高とモデル潮高の最大値を見積もるため、算出潮位にモデルとの差が最大となった時のZ0の値である81cmを加えた値を算出潮高として用いることとする。

2009年6月20日2時から2009年7月14日11時までの期間の算出潮高・モデル潮高と阿古験潮所における短周期潮のみの推算潮高を第10図に、それぞれの差を第11図に示す。満潮・干潮のタイミングや干満差に関して、概ね一致して変動している。

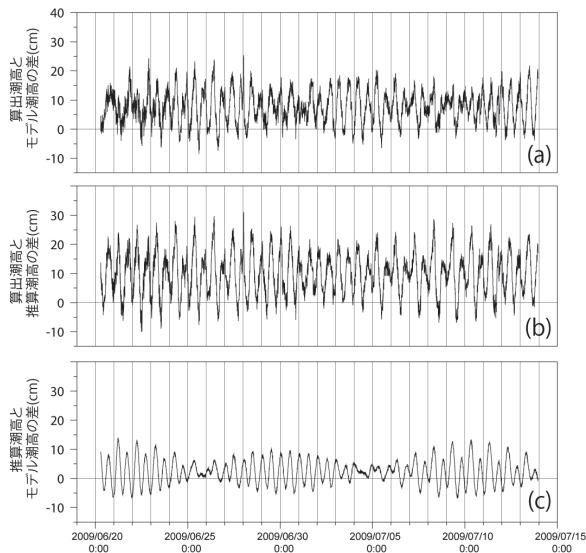
算出潮高とその他2つの潮高の差には半日周期での振動が存在し、その振幅は推算潮高と算出潮高の差の方が大きい。潮高の差についても、モデル潮高と算出潮高の場合は最大25cm、推算潮高と算出潮高の場合は最大31cmと推算潮高と比較する方が大きくなる。モデル偏差については半日周期の振動の振幅と潮高差のどちらも上記のものとは比べて小さい。

推算潮高と算出潮高の差の方がモデル潮高と算出潮高の差よりも大きくなる原因は、験潮器を設置した地点との距離が大きい阿古験潮所の方が、各分潮の振幅や遅角といったパラメータの差も大きいため



第10図 2009年6月19日から7月15日までの (a) 三宅島北方における水圧式験潮器による算出潮高, (b) 三宅島北方におけるモデル潮高, (c) 阿古験潮所における短周期長のみの算出潮高

Fig. 10 Tides above tidal datum from 19 June 2009 to 14 July 2009. (a) calculated, (b) model, at the north of Miyake Island. (c) predicted (short-period component only) at Ako tidal station.



第11図 2009年6月19日から7月15日までの三宅島北方における (a) 算出潮高とモデル潮高の差, (b) 算出潮高と推算潮高の差, (c) 推算潮高とモデル潮高の差

Fig. 11 Differences of tides above tidal datum from 19 June 2009 to 14 July 2009 between (a) calculated and model, (b) calculated and predicted, (c) predicted and model.

と思われる。

5 潮高等の補正にNAO.99 Jbモデルを用いた場合と潮高補正を行わない場合の測深精度の比較

測量において潮高補正を全く行わない場合の測深誤差について考える。この場合測量時の海面と水深基準面の間に生じる差は潮高と等しいため、潮高の最大値が潮高による測深誤差とみなせる。

阿古験潮所付近の場合、2006年1月1日から2007年12月31日の期間の験潮所における潮高の最大値は205 cmである。よって潮高補正を全く行わずに阿古験潮所付近で測量を行うと、測深誤差は少なくとも205 cmになる。

短周期潮はほぼ $\pm Z_0$ の範囲で変動しているため、潮高補正を行わない場合の潮高による誤差は少なくとも Z_0 の2倍はある。阿古験潮所の場合 Z_0 は91 cmであるため、短周期潮による誤差は少なくとも182 cmであり、潮高補正を全く行わない場合の誤差の大部分を短周期潮が占めているといえる。

海洋潮汐モデルNAO.99 Jbに基づく潮高補正を行うことにより、測深誤差のうち短周期潮による成分が大きく減少する。短周期潮による潮位と Z_0 の大きさを補正し短周期潮による誤差が182 cmから約13 cmまたは約35 cmと小さくなることにより、長周期潮や非周期的な海面変動成分の影響が残っていても測深誤差を元の値に比べて格段に小さくできる。

以上のことから、海洋潮汐モデルNAO.99 Jbに基づく潮高補正を行うことで、短周期潮による潮高の誤差の大部分を補正できるといえる。長周期潮や非周期的な海面変動成分の影響を補正することができれば潮高による誤差はより小さくなると期待されるため、短周期潮以外による海面変動の量が多い地域では必要に応じてこれらの補正方法を検討する余地があるといえる。

6 まとめ

三宅島周辺において常設験潮所の観測潮高と水圧式験潮器の観測データによる算出潮高を海洋潮汐モ

デル NAO.99 Jb が計算する潮高と比較することにより、NAO.99 Jb モデルに基づき潮高補正を行うと短周期潮による潮高の誤差の大部分を補正できることを示した。

水圧式験潮器による観測結果に基づき NAO.99 Jb モデルの精度を評価すると験潮所の観測データと比較した場合に比べると精度が悪くなるものの、潮高補正を全く行わない場合に比べてはるかに測深の精度は良くなる。今後、潮汐の観測データに乏しい海域において、NAO.99 Jb モデルに基づく潮高補正の妥当性を水圧式験潮器による観測で確認する必要がある。

モデルを用いた潮高補正ではモデルに組み込まれていない長周期潮や非周期的な海面変動成分の影響は補正できないため、これらの影響が大きい地域では必要に応じて補正方法を検討する余地がある。

謝 辞

三宅島北方での調査において多大なご支援、ご援助を頂きました測量船「昭洋」の船長ならびに乗組員の皆様に深く感謝申し上げます。また、本報告の作成において様々な助言を頂きました海洋調査課および大陸棚調査室、海洋情報課の皆様にも厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

彦坂繁雄，赤木登，矢野雄幸：最小自乗法による潮汐調和分解とその精度について，水路部研究報告，1，27-32，(1966)

Matsumoto, K., Takanezawa, T., Ooe, M.: Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model around Japan, *Journal of Oceanography*, **56**, 567-581, (2000)