

日本沿岸域における楕円体高基準水深測量の標準手順確立に向けて： 測深データ処理の試行と水深データの検証[†]

大久保匡騎^{*1}, 住吉昌直^{*2}, 伊能康平^{*1}, 小林研太^{*3}, 土屋主税^{*4}, 野澤理香^{*5}, 栗田洋和^{*6},
小川 遥^{*7}, 長野勝行^{*1}, 山野寛之^{*1}, 吉澤 信^{*1}, 熊谷卓也^{*1}, 安原 徹^{*8}

Developing the standard operating procedures of ellipsoidally referenced surveys at coastal
waters in Japan: trials of bathymetric data processing and verification of their results[†]

Masaki OKUBO^{*1}, Masanao SUMIYOSHI^{*2}, Kohei INO^{*1}, Kenta KOBAYASHI^{*3}, Chikara TSUCHIYA^{*4},
Rika NOZAWA^{*5}, Hirokazu KURITA^{*6}, Haruka OGAWA^{*7}, Katsuyuki NAGANO^{*1}, Hiroyuki YAMANO^{*1},
Makoto YOSHIZAWA^{*1}, Takuya KUMAGAI^{*1}, and Toru YASUHARA^{*8}

Abstract

In recent years, with the spread and improvement in the accuracy of kinematic GNSS positioning, ellipsoidally referenced surveys (ERS) have become practically possible, which in principle do not require tide observations during the bathymetric surveys. In this paper, as the first step of a trial to establish the standard operating procedures for ERS in Japan, we presented the practical operating procedures of bathymetric data processing in ERS and vertical datum model estimation, by using the existing bathymetric data in Tokyo Bay. In this case, the validity of the ERS operating procedures was verified by comparing the depths in the ERS procedures with those in the conventional procedures with tidal reduction.

1 はじめに

現在、日本の水深測量では、最低水面からの深さである水深を測るための主な現場作業として、測深時の海水面からの深さ（以下、潮高改正前水

深とする）を測定する測深作業に加えて、潮汐等により時々刻々と変化する海水面の高さである潮位を観測する験潮作業を行っている。

この験潮作業は測深作業中に渡って継続的に行

[†] Received October 6, 2021; Accepted November 8, 2021

* 1 沿岸調査課 Coastal Surveys Division

* 2 技術・国際課 海洋情報技術調整室 Process Control and Improvement Office, Technology Planning and International Affairs Division

* 3 警備救難部 管理課 Administration Division, Guard and Rescue Department

* 4 企画課 Administration and Planning Division

* 5 情報管理課 Marine Data Management Division

* 6 技術・国際課 Technology Planning and International Affairs Division

* 7 技術・国際課 海洋研究室 Ocean Research Laboratory, Technology Planning and International Affairs Division

* 8 第七管区海上保安本部 海洋情報部 Hydrographic and Oceanographic Department, 7th Regional Coast Guard Headquarters

うことが必要不可欠である。この理由として、測深作業のみで得られる潮高改正前水深は、深さの基準である海水面が時々刻々と変化することで測定値が時間に依存し、そのままでは測深精度の範囲内での再現性を確保するのは一般的に困難であるためである。

一方で、験潮作業は常に成功できるとは言い切れない。臨時験潮所では、水圧式センサーの機器不調、ドリフト、設置位置の変動及び設置場所の選定ミス等によるリスクが存在する。常設験潮所であっても、井戸詰りや時刻遅延等のリスクはゼロではない。もし万が一、験潮作業の途中で失敗があれば、最悪の場合、測深作業のやり直しが生じる可能性さえある。

このような既存のリスクを回避できる新しい水深測量の方法として注目されているのが、楕円体高基準水深測量である。楕円体高基準水深測量では、現場の測深作業で得られる潮高改正前水深と同時刻のGNSS海上測位の楕円体高を組合せることで、楕円体高基準の深さ（以下、楕円体水深とする）を直接測定して、データ処理時に、楕円体高基準の最低水面（以下、最低水面モデルとする）を加えることにより、水深へと変換処理する方法である。

楕円体高基準水深測量の最大の特徴は、測深作業中に渡る継続的な験潮作業が原理的には不要となる点にある。最低水面モデルを決定するための験潮作業は必要ではあるものの、少なくとも験潮作業の時期が測深作業の期間に縛られることがなくなる。また、楕円体水深は、従来の測深作業で得られる潮高改正前水深とは異なり、深さの基準である楕円体高は時間変化せず一定であるため、験潮データの資料整理を待つことなく、測深作業のみで楕円体水深という再現性のある結果を迅速に得られる。このように、楕円体高基準水深測量では、測深と験潮という2つの異なる要素が明確に分離されているため、迅速かつ手戻りのない現場作業の実現につながる事が期待される。

楕円体高基準水深測量は、コンセプトとしては提案されていたものの（日本水路協会、2001-

2003；小田巻・中村、2003）、近年、高精度のキネマティックGNSS測位が測深システムに普及してきたことにより、比較的手軽に実現できるようになってきた。例えば、水路測量分野の先進国では、マルチビーム測深をはじめとした音響測深においても、楕円体高基準水深測量が、既存の水路測量と並んで、選択肢の1つとして実用化されている（松本・他、2019）。また、日本の航空レーザー測深において、楕円体高基準水深測量の基本的な考え方が既に採用されている（富澤・小野、2013）。

本稿では、日本における楕円体高基準水深測量の標準手順の確立を目指した試行の第一段階として、東京湾における既存データを用いた楕円体高基準の測深データ処理と最低水面モデル作成を試行的に行い、水深を求める具体的な手順を示した。本手順により得られた水深と潮高改正を要する従来の処理で得られた水深を比較して、その妥当性を検証した。

2 楕円体基準のデータ処理

2.1 使用データ

本稿では、第三管区海上保安本部の測量船「はましお」（吉澤・他、2019）の平成30（2018）年、令和元（2019）年、令和2（2020）年のパッチテストで取得したマルチビーム測深データを使用した。本海域は、横須賀験潮所から4-7 km程度離れた沿岸域で（Fig. 1）、水深の異なる4つの海域からなる（Table 1）。本海域の選定においては、以下の要件を考慮して実施した。

- (1) 最低水面モデルの誤差を極力排除するため、対象海域の最寄りに常設験潮所が存在し、かつ、対象海域を囲むように複数の常設験潮所が存在すること。
- (2) 複数のデータセットを用いた比較検証を行うため、複数年に渡って測深していること。

測深作業では、浅海用のデュアルヘッド型マルチビーム測深機 Teledyne RESON 社製 SeaBat IDH T50-R を使用した。ただし、令和元（2019）年においては右舷側のソナーが不調であったた

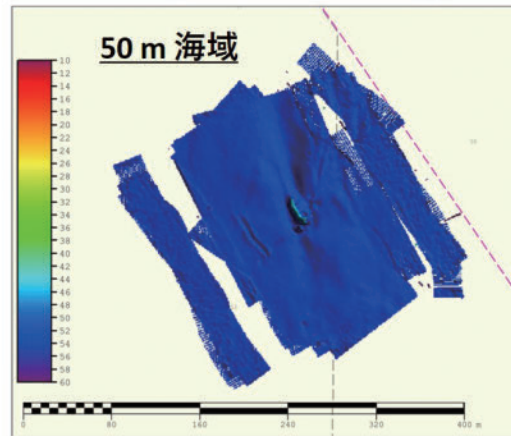
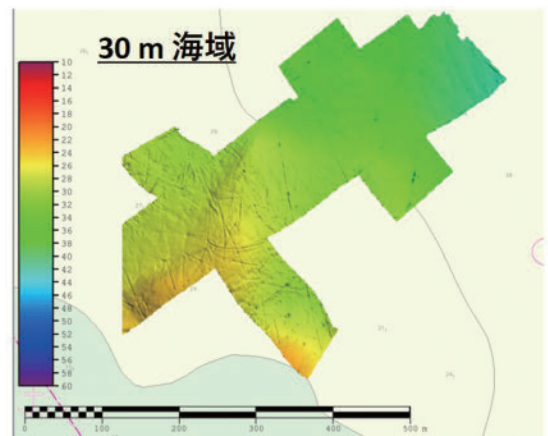
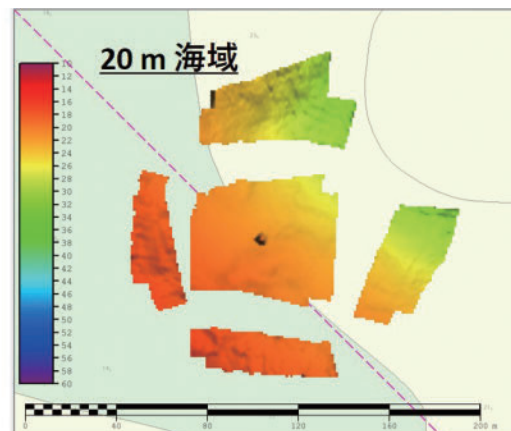
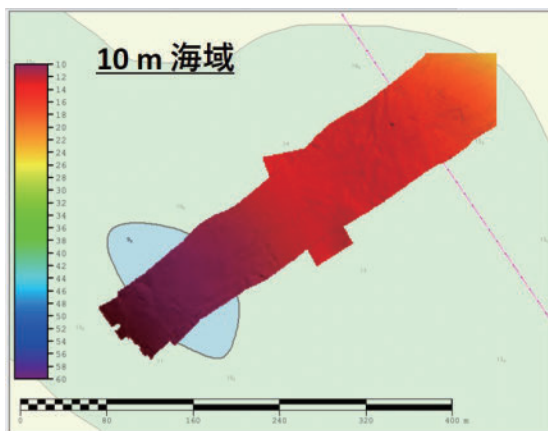
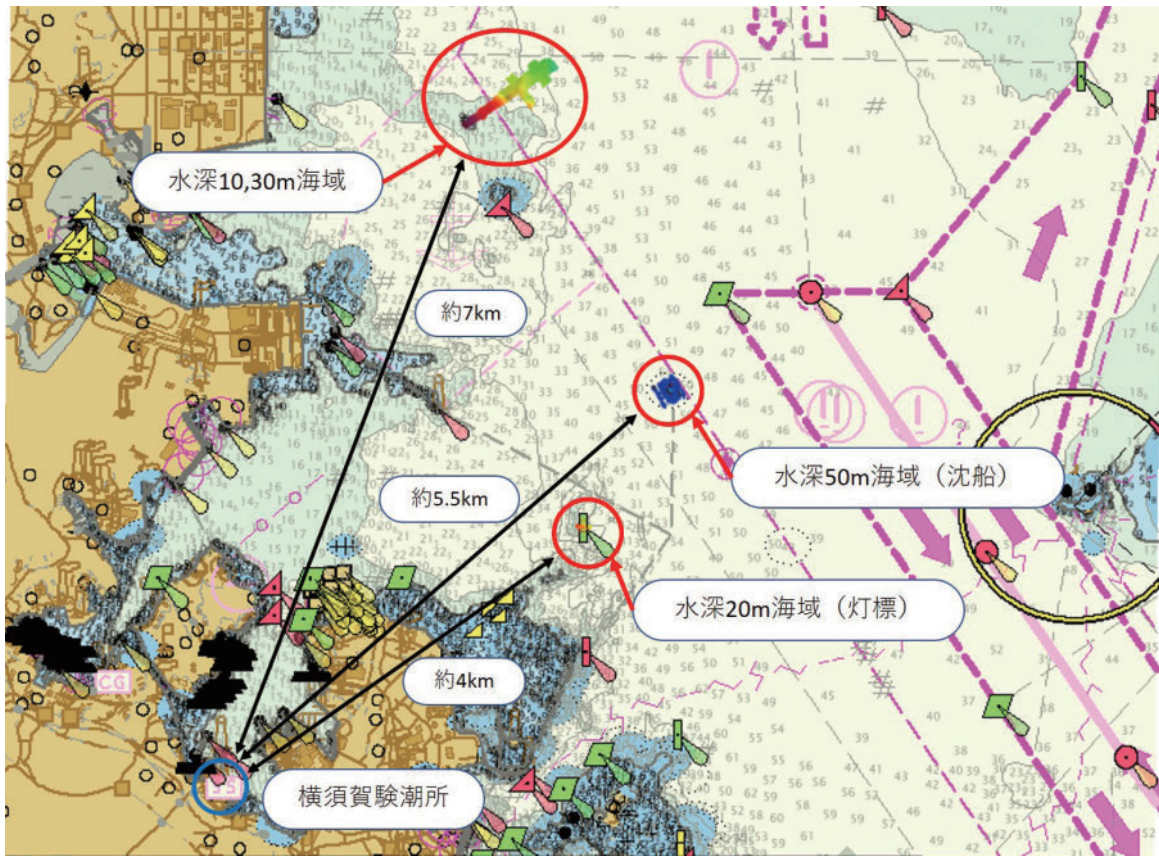


Fig. 1. Locations of patch-test areas and the Yokosuka tide station.

図1. パッチテスト実施海域と横須賀験潮所の位置。

Table 1. Patch-test areas of each year.

表1. 各年のパッチテスト実施海域.

	10m 海域	20m 海域	30m 海域	50m 海域
平成30 (2018) 年	7/26	7/27	7/26	7/26
令和元 (2019) 年	-	9/10	-	9/10
令和2 (2020) 年	-	1/17	-	1/17

め、左舷側のソナーのみ使用した。水中音速プロファイル測定は、AML社製 Smart X SVPSを使用した。従来の処理で使用する潮高改正のための験潮データは、横須賀験潮所の5分間隔の実測データを使用した。

マルチビーム測深機の測位・動揺検出器は、Applanix社製 POS/MV Ocean Master V5 (以下、POS/MV という) を使用した。キネマティック処理のために必要な POS/MV の測位・動揺 RAW データは、制御ソフトウェア POSView で収録した。

2.2 キネマティック処理

POS/MV の測位・動揺の RAW データの高精度化のための統合キネマティック処理では、Applanix社製 POSpac MMS 7.2 のスマートベース処理を採用した (Fig. 2)。電子基準点データは、「鋸南」「千葉花見川」「八王子」「三浦2」の4点の RINEX データ (30秒値) を国土地理院の「電子基準点データ提供サービス」からダウンロードして使用した。電子基準点の測地成果は、国土地理院の「基準点成果等閲覧サービス」に元期から今期へのセミダイナミック補正を適用して使用した。GNSS 衛星軌道データは基本的に精密暦を使用した。スマートベース処理における SmartBase Quality Check のために放送暦も使用した。本処理手順の詳細については、住吉・他 (2019) をご覧いただきたい。

本処理では、測位・動揺データの統合処理により、POS/MV 原点 (本システムでは、IMU 参照

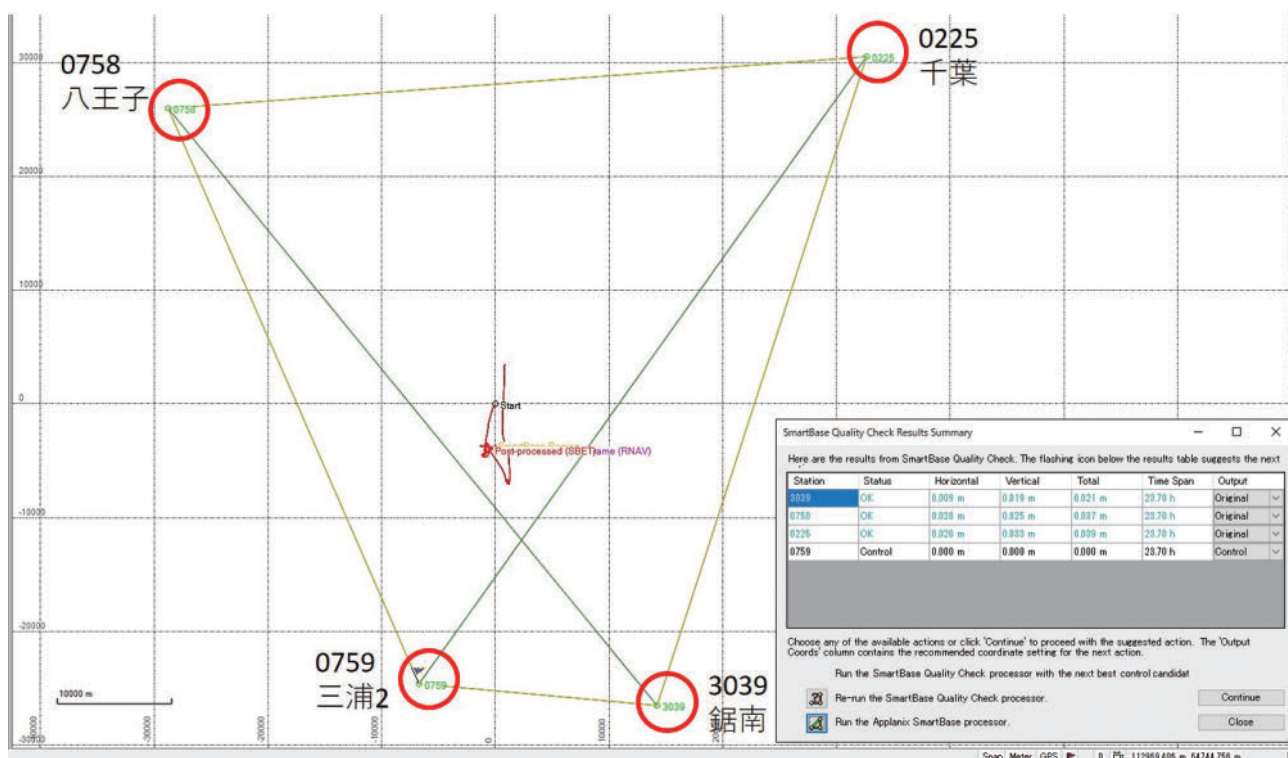


Fig. 2. Screenshots of SmartBase Processor and SmartBase Quality Check processing in POSpac. The points in the red circle indicate the GNSS-based control stations used for the processing. The red line in the screen indicates the track line.

図2. SmartBase Processor と SmartBase Quality Check の POSpac 処理画面。赤丸で囲まれた点は処理に使用した電子基準点を示す。中央の赤線は航跡を示す。

Table 2. XYZ distances from the reference point of the lever arm offset to the primary GNSS antenna each converged in POSPac processing, and differences from their initial values.

表 2. 各 POSPac 処理において収束したレバーアームオフセット原点からプライマリ GNSS アンテナまでの XYZ 距離とその初期値からの差分.

Ref to PriGNSS レバーアーム オフセット [m]	初期値	POSPac 計算値				初期値からの差分			
		2018/7/26	2018/7/27	2019/9/10	2020/1/17	2018/7/26	2018/7/27	2019/9/10	2020/1/17
X (Forward)	-6.653	-6.788	-6.784	-6.780	-6.760	-0.135	-0.131	-0.127	-0.107
Y (Starboard)	1.588	1.450	1.450	1.510	1.510	-0.138	-0.138	-0.078	-0.078
Z (Downward)	-7.494	-7.460	-7.450	-7.460	-7.474	0.034	0.044	0.034	0.020

点) から Primary GNSS アンテナまでのレバーアームオフセット値を計算した. 計算は, 正確な推定を行うため, 値の収束を確認するまで 3 回繰返した. 各データの最終値 (Table 2) には, 概ね再現性があり, 本処理が適切に行われたことが分かる.

2.3 測深データ処理

楕円体高基準の測深データ処理 (以下, 楕円体処理とする) においては, 楕円体水深を変換処理して水深を求める際に, 験潮所における楕円体高基準の最低水面の固定値を用いた場合 (以下, 楕円体処理 (固定値) とする) とジオイド傾斜等を考慮した最低水面モデルを用いた場合 (以下, 楕円体処理 (最低水面モデル) とする) の 2 種類の処理を行った. 加えて, 潮高改正を要する従来の処理 (以下, 潮高処理とする) も行った.

処理ソフトウェアは CARIS 社製 HIPS & SIPS 10.4 を使用した. 楕円体処理では, 潮高処理を基本にしつつ, GPS Tide 計算の工程を追加した. 具体的な処理手順は, 以下のとおりである.

- (1) 新規プロジェクトを処理ソフトウェア上で作成する. 異なる処理方法の比較を容易にするため, 各年に加えて, (a) 楕円体処理 (固定値), (b) 楕円体処理 (最低水面モデル), (c) 潮高処理の 3 つの処理方法毎に, 個別の

プロジェクトを作成した.

- (2) 各センサーの取付け位置・角度等が記述された Vessel ファイルを作成する. 基本的に, デュアルヘッド型の Vessel ファイルを作成した. 右舷が不調であった令和元 (2019) 年のみ, シングルヘッド型の Vessel ファイルを作成した.
- (3) 作成したプロジェクトから, マルチビーム測深データ (HSX ファイル) を読み込む.
- (4) POS/MV の測位・動揺 RAW データ (000 ファイル) の中から, 高精度の True Heave を読み込む.
- (5) POSPac 処理で得られた高精度の測位・動揺データ (SBET ファイル) を適用する.
- (6) 楕円体処理の場合, GPS Tide を計算する.
 - (a) 楕円体処理 (固定値) の場合, Datum Type の Single Value として, 平均水面, 最高水面及び最低水面一覧表 (海上保安庁, 2021; 以下, 平均水面等一覧表とする) における横須賀の最低水面の楕円体高である 35.34 m を使用した (Fig. 3a).
 - (b) 楕円体処理 (最低水面モデル) の場合, Datum Type の Datum Model として, 次節で述べる最低水面モデルを使用した (Fig. 3b, Fig. 4). この最低水面モデルのファイル (緯度, 経度, 楕円体高) を処理ソフトウェアに読み込

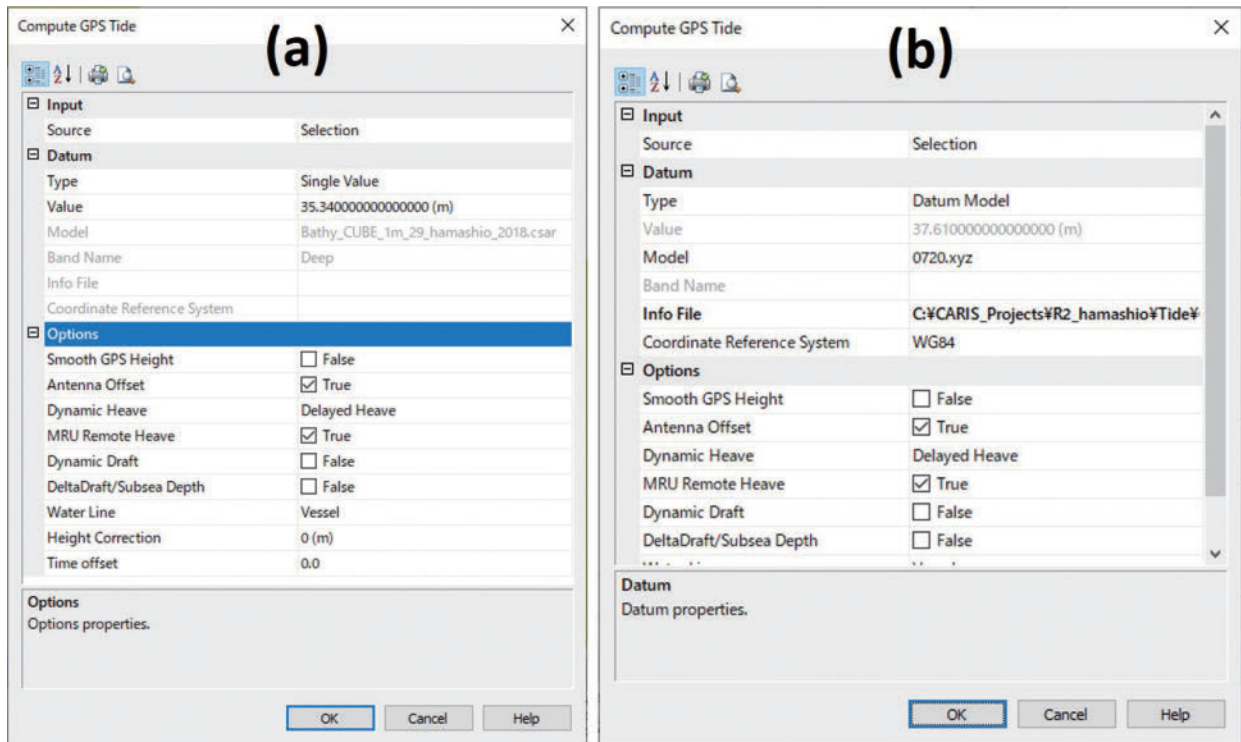


Fig. 3. Screenshots of GPS tide computing in CARIS HIPS & SIPS processing: (a) using a single value and (b) using a vertical datum model.

図 3. GPS Tide の計算画面：(a) 固定値を使用した場合、(b) 最低水面モデルを使用した場合。

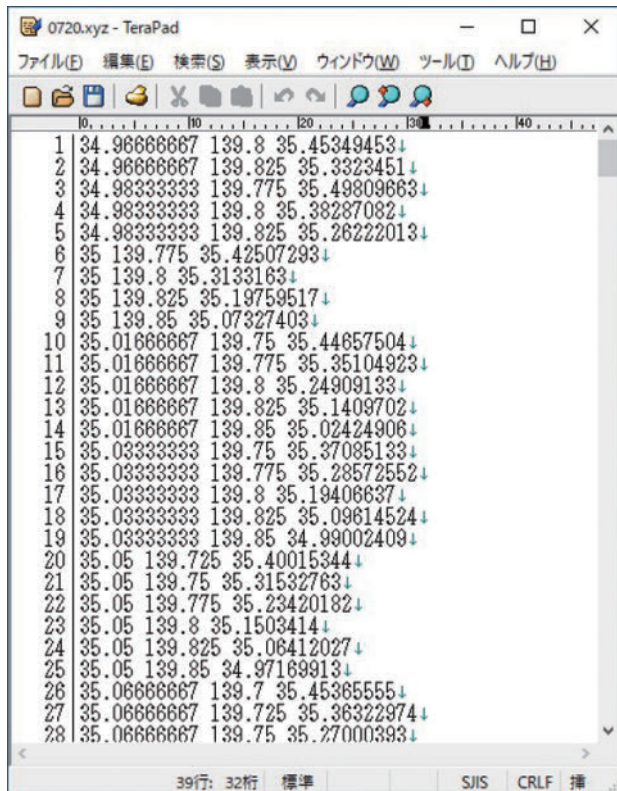


Fig. 4. Screenshot of a text file of the vertical datum model.

図 4. 最低水面モデルのテキストファイルの画面。

- せるために、Column Name に対するデータの Column Index を指定する Info File を別途作成した。(c) 潮高処理の場合、験潮で得られた潮位データを読み込む。横須賀験潮所で観測された潮位データ（5分値）を使用した。
- (7) 音速プロファイルを適用する。現場作業では複数の音速プロファイルを観測するため、測深データに対して、観測時刻が前後4時間以内のものの中で観測地点が最も近いものを、処理ソフトウェアで自動選択して適用した。
 - (8) 各センサーのデータを統合する Merge 処理を行う。適用する Tide は、楕円体処理では GPS を、潮高処理では Observed/Predicted を選択する。
 - (9) 測深データの精度である TPU (Total Propagated Uncertainty) を計算する。CUBE 水深（住吉・他, 2020）を求める際に必要となる。測深データとその精度から CUBE 水深を求める。
 - (10) 処理方法・海域・年毎による結果の比較検

証のため、これら CUBE 水深の標準偏差や各差分を計算した。

2.4 最低水面モデルの作成

楕円体処理において、水深は次の式により求められる。

$$\begin{aligned} \text{水深} &= \text{潮高改正前水深}^{(t)} - \text{潮高}^{(t)} \\ &= \text{潮高改正前水深}^{(t)} - (\text{海面の楕円体高}^{(t)} - \text{最低水面モデル}) \\ &= (\text{潮高改正前水深}^{(t)} - \text{海面の楕円体高}^{(t)}) + \text{最低水面モデル} \\ &= \text{楕円体水深} + \text{最低水面モデル} \end{aligned}$$

ここで右上に記された (t) は、潮汐等によって時間変化する物理量を表す。なお、楕円体水深と最低水面モデルの両方が潮汐等では時間変化しないという事実は注目に値する。

本稿で用いた最低水面モデルは、以下の手順で作成した。

1. 常設験潮所における観測基準面の標高 $H_{(0\text{ofg})}$ と観測基準面上の平均水面 MSL の和により、常設験潮所の平均水面の標高 $H_{(MSL)}$ ($=H_{(0\text{ofg})} + \text{MSL}$) を算出。
2. 平均水面の標高 $H'_{(MSL)}$ を、Triangulated Irregular Network (以下、TIN とする) アルゴリズムを用いて作成。
3. 平均水面の標高グリッド $H'_{(MSL)}$ とジオイド高の空間モデル N の和により、平均水面の楕円体高である平均水面モデル $EH_{(MSL)}$ ($=H'_{(MSL)} + N$) を算出。
4. 平均水面モデル $EH_{(MSL)}$ から Z_0 (最低水面から平均水面までの高さ) を差引き、最低水面の楕円体高である最低水面モデル $EH_{(DL)}$ ($=EH_{(MSL)} - Z_0$) を算出。

以下では、東京湾における最低水面モデルの具体的な作成手順を示す。

(1) 常設験潮所の平均水面の標高の算出

海岸昇降検知センターに登録されており、平均水面を算出するために十分な期間の潮位データがある東京湾の常設験潮所 (東京、千葉、横浜新港、横須賀、久里浜、鋸山、油壺、布良) の平均

水面の標高を算出する。観測基準面の標高は最新の潮位年報 2019 年版 (海岸昇降検知センター, 2020) の掲載値を採用した。観測基準面上の平均水面は、潮位年報 2015 年版から 2019 年版 (海岸昇降検知センター, 2016–2020) の 5 年分の年平均潮位データの平均値とした。これら観測基準面の標高と観測基準面上の平均水面の和から常設験潮所の平均水面の標高を算出した (Fig. 5)。隣り合う験潮所との平均水面の標高に 10 cm 以上の差があった鋸山は除外し、以下の手順では使用しなかった。

(2) 平均水面の標高の TIN の作成

鋸山を除く 7 か所の常設験潮所の平均水面の標高データから、ArcGIS の TIN の作成 (Create TIN) 機能により東京湾の平均水面の標高の TIN を作成した (Fig. 6)。

(3) 平均水面モデルの算出

ジオイド高の空間モデルは国土地理院の日本のジオイド 2011 (Ver. 2.1) を使用した (国土地理

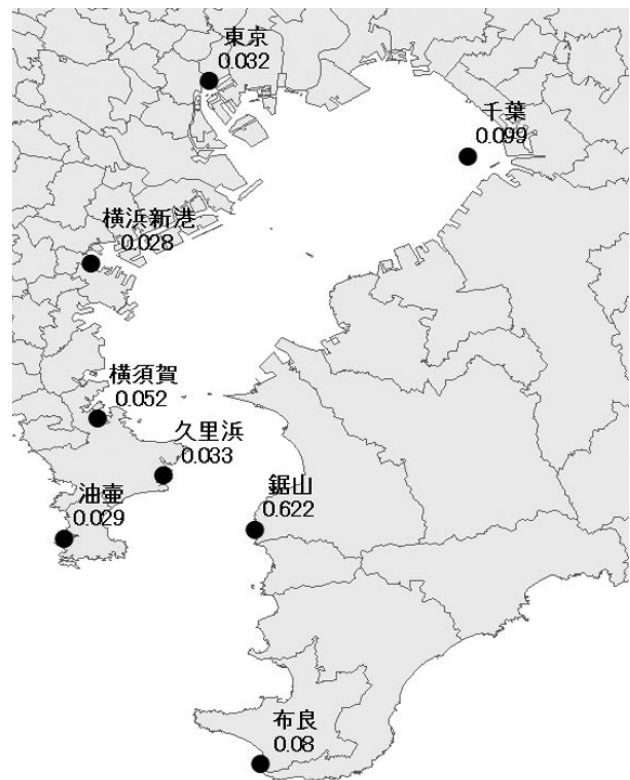


Fig. 5. Elevations of mean sea levels at permanent tide stations [m].

図 5. 常設験潮所の平均水面の標高 [m].

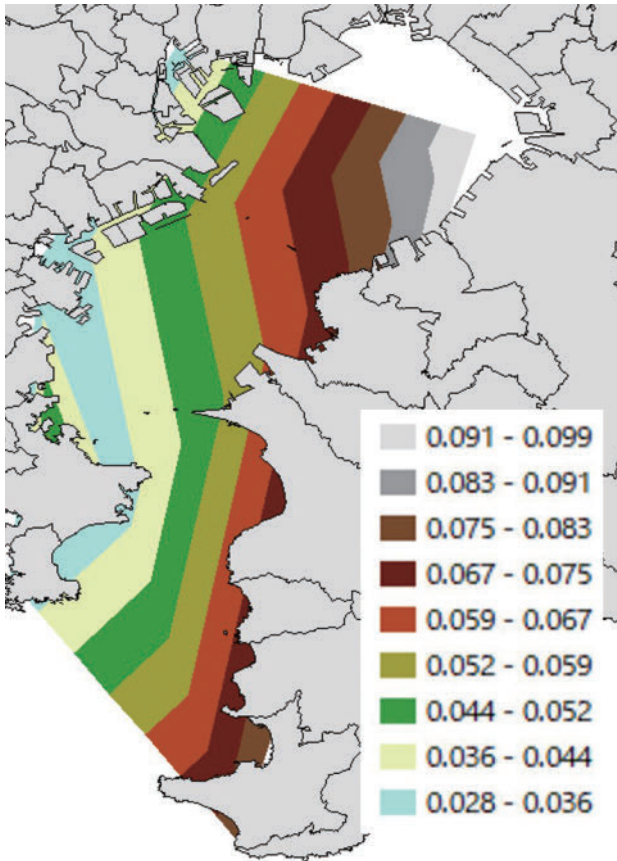


Fig. 6. TIN models of the mean sea level elevations in the Tokyo Bay [m].

図6. 東京湾における平均水面の標高のTIN [m].

院, 2021). 日本のジオイド2011 (Ver. 2.1) は緯度1分×経度1.5分のグリッドデータであり, 平均水面の楕円体高も同様のグリッドで算出する. ArcGISのサーフェス情報の追加 (Add Surface Information) 機能により, ジオイド高データの各グリッドと重なる位置の平均水面の標高データをTINから抽出する. 抽出した平均水面の標高データとジオイド高データの和から平均水面モデルを算出した (Fig. 7).

(4) 最低水面モデルの算出

潮高処理では Z_0 に平均水面等一覧表の東京湾 Z_0 区分図を使用している. 本試行では, 楕円体処理の妥当性を示すため, 楕円体処理と潮高処理で同様の水深が得られるかを検証することから, 楕円体処理の Z_0 は潮高処理と同様に平均水面等一覧表の東京湾 Z_0 区分図を使用する. 平均水面モデルの各グリッドから Z_0 を差引くことで最低水面モデルを算出した (Fig. 8).

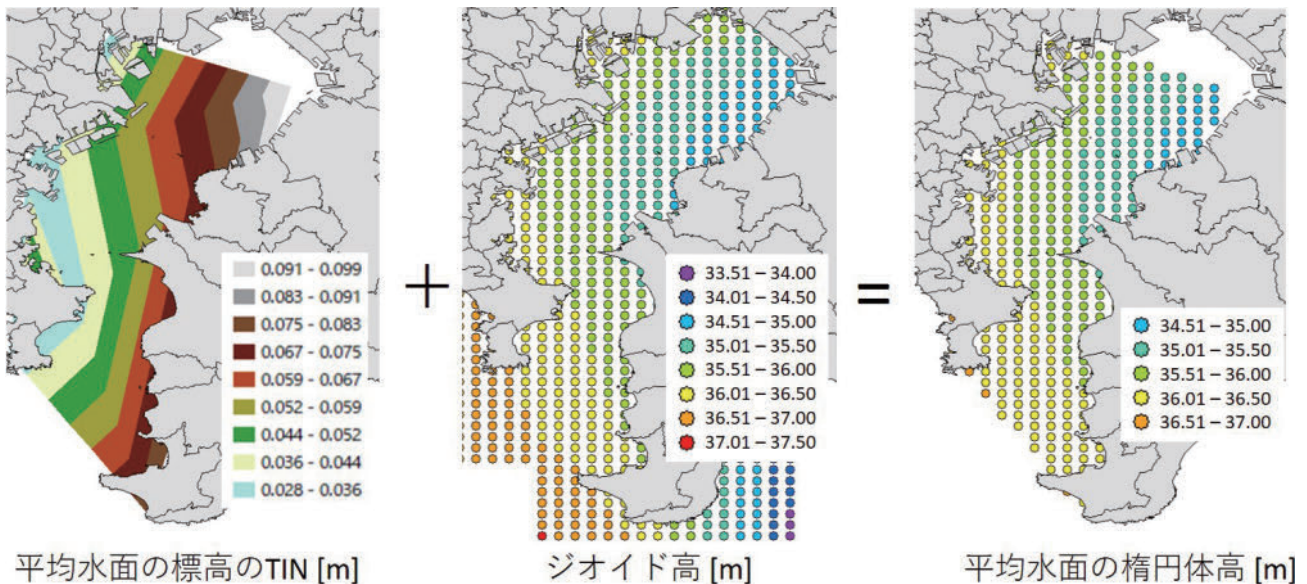


Fig. 7. Calculation of the ellipsoidally referenced mean sea levels [m].

図7. 平均水面の楕円体高 [m] の算出.

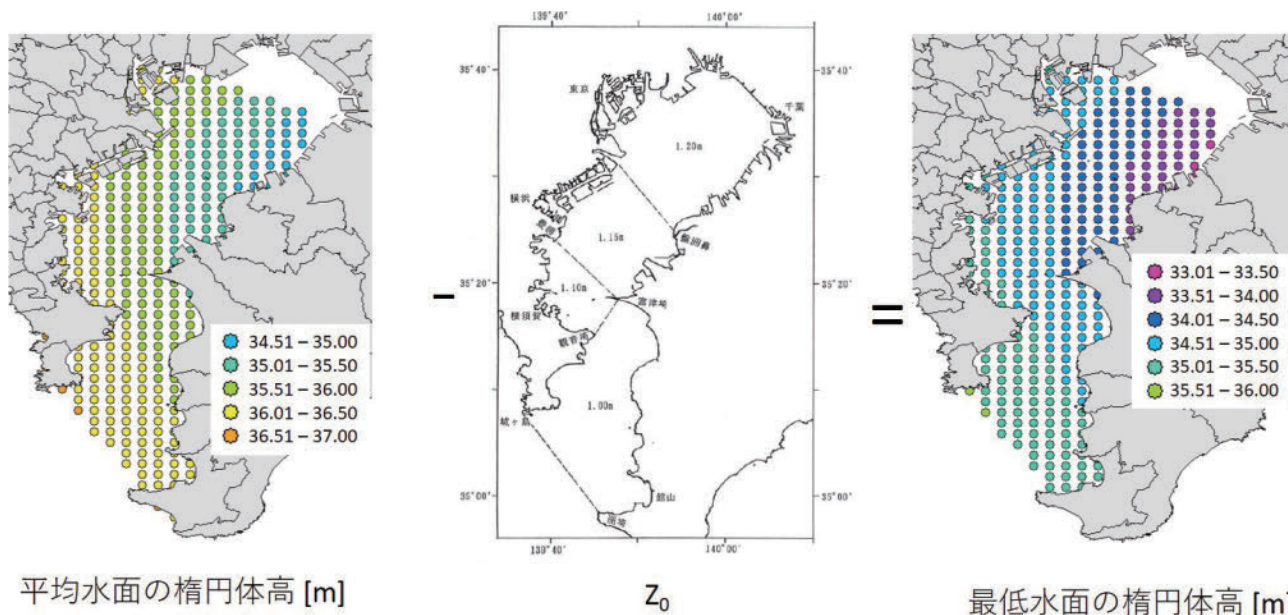


Fig. 8. Calculation of the vertical datum model [m].

図 8. 最低水面モデル [m] の算出.

3 試行結果の検証

前章で述べた手順によって得られる水深や最低水面モデルの妥当性を評価するため、試行結果の比較による検証を行った。

3.1 水深の精度検証

楕円体処理によって最終的に得られる水深の妥当性を検証するため、重複測深領域を用いた水深精度検証や潮高処理水深との比較検証を行った。

3.1.1 重複測深領域を用いた水深精度検証

水深 50 m 海域 (Fig. 1 のように沈船を取囲む井桁測線で測深されている) の CUBE 水深について、オーバーラップ測深された領域の測深データのばらつきを表す StdDev サーフェスの平均値 (加えて、その標準偏差) を Table 3 に示す。本試行において、楕円体処理における StdDev サーフェスの典型値は 4–5 cm であった。加えて、楕円体処理と潮高処理の結果との間には、統計的に有意な差は見られなかった。

3.1.2 潮高処理水深との比較検証

異なる 3 つの処理によって得られた各年の相対水深 (2018 年の潮高処理による水深を基準) を

Table 3. Means and standard deviations of CUBE depth's attributes "StdDev surfaces" at 50 m depth area.

表 3. 水深 50 m 海域における CUBE 水深の属性である StdDev サーフェスの平均値と標準偏差。

StdDev <平均値 ± 標準偏差>	2018 年	2019 年	2020 年
楕円体処理 (固定値)	0.05 ± 0.02	0.04 ± 0.02	0.04 ± 0.03
楕円体処理 (最低水面モデル)	0.05 ± 0.03	0.04 ± 0.02	0.04 ± 0.03
潮高処理	0.04 ± 0.02	0.03 ± 0.02	0.04 ± 0.02

海域毎にプロットした図を Fig. 9 に示す。本図は、楕円体処理 (固定値)、楕円体処理 (最低水面モデル)、潮高処理によって得られた各年の CUBE 水深ごとの差分を計算することで作成された。

本試行において楕円体処理 (固定値) で得られた水深は、潮高処理の水深に比べて概ね 15–25 cm 深くなった。また、対象海域から横須賀験潮所までの距離が遠くなるにつれて、潮高処理からの水深差がより大きくなった。

一方、本試行において楕円体処理 (最低水面モデル) で得られた水深は、潮高処理の水深に比べて、概ね 5–10 cm 浅くなった。また、潮高処理からの水深差については、験潮所までの距離や測

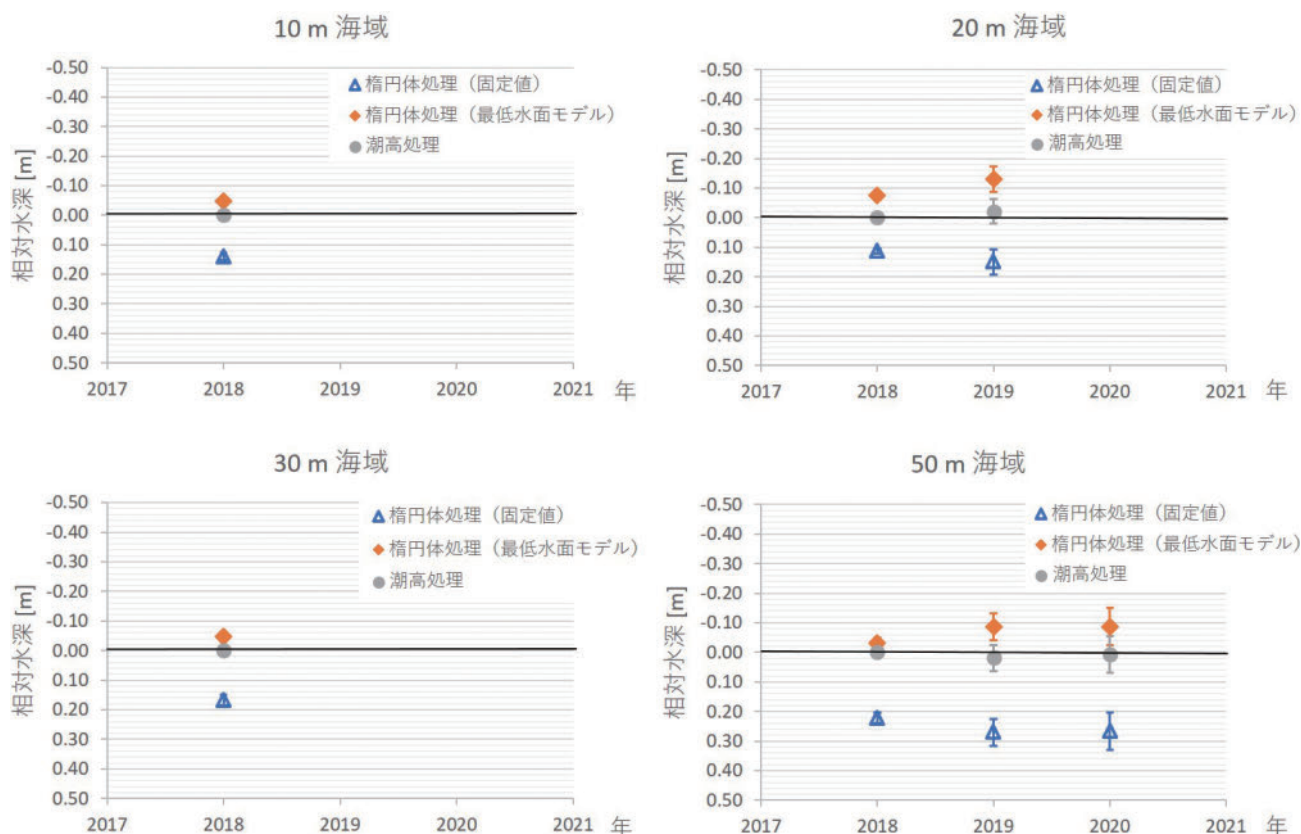


Fig. 9. Relative depths of each area [m] and their standard deviations [m], in referenced to the depths taken in 2018 by the conventional processing method.

図9. 各海域の処理毎の相対水深 [m] と標準偏差 [m]. 2018年の従来処理により得られた水深が基準.

深年に関する有意な傾向は見られなかった.

今回の楕円体処理における潮高処理からの水深差は、水深精度の最も厳しい基準である特級精度（海上保安庁，2009；水深 10, 20, 30, 50 m における限界精度はそれぞれ 26, 29, 33, 45 cm）を満たしていた.

3.2 最低水面モデルの検証

最低水面モデルの妥当性を検証するため、平均水面等一覧表に記載された最低水面の楕円体高データとの比較検証を行った. 平均水面等一覧表に記載された最低水面の楕円体高は、地震等で既存の標の高さが大きく変化した際に、新しく仮設した標と最低水面の高さを関係づけるために用いられる値である. この値は、GNSS 測量により得られた基本水準標等の楕円体高から基本水準標等下の最低水面の値を引くことで算出されている. なお、平均水面等一覧表に掲載された基本水準標

等下の最低水面は、通常、点検時の値と掲載値に 10 cm 以上の差がある場合に更新することが検討される.

まず、本試行の測深海域である横須賀付近の値を比較した (Fig. 10). 平均水面等一覧表における横須賀の標の最低水面の楕円体高は 35.34 m であった. 一方、同標の最近接グリッド（同標の南に約 500 m の位置）における最低水面モデルの値は 35.36 m であった. 更に、同標の位置における最低水面モデルの値は、隣接グリッドから内挿補間すると 35.35 m となり、平均水面等一覧表の値との差は +1 cm（上向き正）だった.

次に、横須賀以外の基本水準標等（秒単位までの位置が記載されている 5 地点）についても、同様の比較検証を行った (Table 4, Fig. 11). 最低水面モデルと平均水面等一覧表の値との差は、最大でも -8 cm（上向き正）だった. また、横須賀を含めた 6 地点中の 4 地点で、最低水面モデル

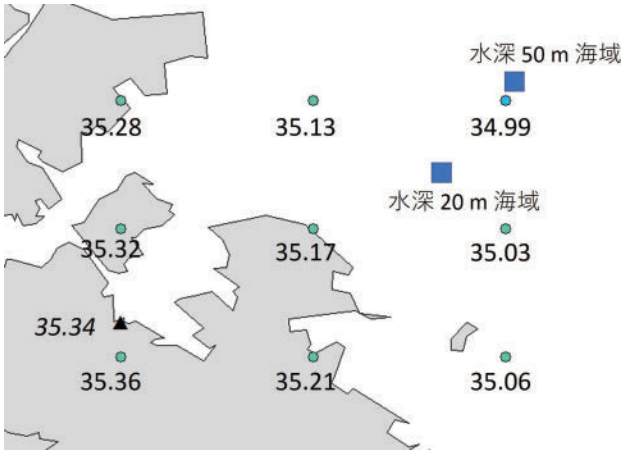


Fig. 10. The vertical datum model [m] and approximate positions of the bathymetry areas. Oblique type indicates the value notified by the Japan Coast Guard.

図 10. 最低水面モデル [m] と測深海域の概位. 斜体の数値は平均水面等一覧表に掲載された最低水面の楕円体高を示す.

の方が平均水面等一覧表の値に比べて低くなっていた.

今回の最低水面モデルと平均水面等一覧表の最低水面の楕円体高の差は、横須賀を含めて、10 cm 以内であることが確かめられた.

4 考察・結論

本試行における重複測深領域を用いた水深精度

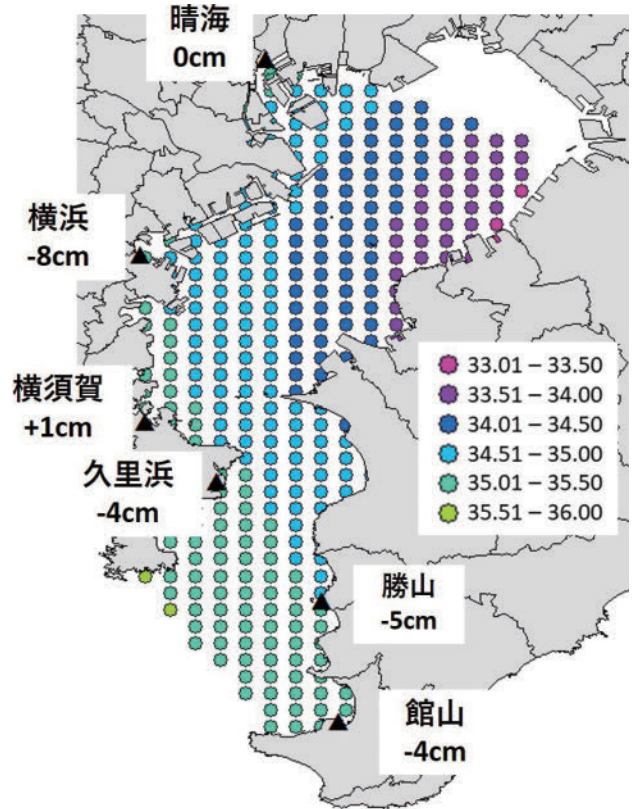


Fig. 11. Differences of ellipsoidally referenced datum levels between the model and the values of the notice at each benchmark.

図 11. 各水準標の位置での最低水面モデルの値と平均水面等一覧表に記載されている最低水面の楕円体高の差.

Table 4. Comparisons of ellipsoidally referenced datum levels of both the model and the values of the notice.

表 4. 最低水面モデルと平均水面等一覧表の最低水面の楕円体高の比較.

地点	緯度 [度]	経度 [度]	最低水面の採用調査年月	最低水面の最近調査年月	基本水準標等下の最低水面 [m]	平均水面等一覧表における最低水面の楕円体高 [m]	最低水面モデルへの使用の有無	各水準標の位置における最低水面モデルの値 [m]	最低水面モデルの値 - 平均水面等一覧表における最低水面の楕円体高 [m]
館山	34.9891	139.8423	2012年09月	2015年02月	2.44	35.19	× (臨時)	35.15	-0.04
勝山	35.1094	139.8258	2015年11月	-	3.16	35.05	× (臨時)	35.00	-0.05
久里浜	35.2275	139.7211	2014年06月	2016年10月	3.37	35.23	○ (常設)	35.19	-0.04
横須賀	35.2879	139.6501	2007年04月	2019年04月	4.93	35.34	○ (常設)	35.35	+0.01
横浜	35.4542	139.6444	2006年10月	2018年12月	4.33	35.23	○ (常設)	35.15	-0.08
晴海	35.6489	139.7700	2016年07月	2018年12月	4.28	35.26	○ (常設)	35.26	+0.00

検証から、楕円体処理における測深データの精度は、最低水面モデルや固定値の使用に関わらず、潮高処理と同等であることが確かめられた。また、本試行における潮高処理水深との比較検証から、楕円体処理水深は特級精度の範囲内で潮高処理水深と同等であることが確かめられた。更に、楕円体高処理（固定値）では、本海域のジオイド傾斜の影響が見られたものの、ジオイド傾斜も考慮された楕円体処理（最低水面モデル）では、潮高処理により近い結果が得られることも確かめられた。このように、楕円体処理の本手順によって基本的には妥当な水深が得られることが分かった。

本試行における最低水面モデルの検証から、今回の最低水面モデルは十分に使用可能であり、本手順によって、基本的には妥当な結果が得られると分かった。

楕円体処理（最低水面モデル）で今回得られた水深は、概ね5–10 cmと僅かではあるものの、潮高処理に比べて水深が系統的に浅くなる傾向が見られた。この傾向について、楕円体処理において考えられる要因としては、元期（2011年）から平均水面の算出時（今回は2015–2019年）までの観測基準面の地盤変動やジオイドモデルの精度に起因する最低水面モデルに生じうる誤差、GNSS測位精度（電子基準点の海域までの距離・それらの配置による影響を含む）やレバーアームオフセット高さの精度の測深データ処理において生じる誤差が挙げられる。また、潮高処理において考えられる要因としては、喫水の読取り精度（喫水目盛は20 cm刻み）や積載量・船速の変化による喫水変化、平均水面の算出時（今回の場合2007年）から測深時（今回の場合2018, 2019, 2020年）までの観測基準面の地盤変動が挙げられる。このように、楕円体処理水深のみならず、潮高処理水深にも10 cm程度の誤差が生じうることを強調しておく。

本試行では、不確定な要素を可能な限り排除するため、対象海域の最寄りに常設験潮所が存在し、その周りを囲むように複数の常設験潮所が存

在するような海域を選定した。また、各海域は東京湾内の概ね一か所に局所的に位置しているため、結果として、平均水面の標高の値及びその空間的な変化も小さかった。本稿は、このように試行を行ううえで理想的な海域において、最低水面モデル等を用いた楕円体処理を行い、水深帯に依存せず（少なくとも水深10–50 mに渡って）上手く機能することを示した。常設験潮所の海域までの距離・それらの配置が理想的ではない場合の検証や平均水面の標高・ジオイド傾斜等が異なる他海域における検証は、今後の重要な検討課題であると考えられる。

謝 辞

第三管区海上保安本部海洋情報部、測量船「はましお」の職員・乗組員の皆様には、本試行で使用した測深データを提供いただきました。本原稿を完成させる上で、査読者及び編集者の方には有益で適切なご助言をいただきました。ここに記して感謝いたします。

文 献

- 海岸昇降検知センター（2016）潮位年報 平成27年。
- 海岸昇降検知センター（2017）潮位年報 平成28年。
- 海岸昇降検知センター（2018）潮位年報 平成29年。
- 海岸昇降検知センター（2019）潮位年報 平成30年。
- 海岸昇降検知センター（2020）潮位年報 平成31年（令和元年）。
- 海上保安庁（2009）海上保安庁告示（平成14年4月1日第102号、平成21年3月31日第110号により一部改正）、海上保安庁、東京。
- 海上保安庁、平均水面、最高水面及び最低水面一覧表、<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/datum/index.html>, Accessed 10 March 2021.
- 国土地理院、基盤地図情報ダウンロードサービ

- ス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/geoid.php>, Accessed 10 March 2021.
- 松本良浩・土屋主税・山野寛之・住吉昌直 (2019) 諸外国の事情にみる鉛直基準面モデル構築の取り組み, 海洋情報部研究報告, 57, 87-100.
- 日本水路協会 (2001) K-GPS を用いた水路測量の効率化の研究, 日本水路協会, 東京.
- 日本水路協会 (2002) K-GPS を用いた水路測量の効率化の研究その2, 日本水路協会, 東京.
- 日本水路協会 (2003) K-GPS を用いた水路測量の効率化の研究その3, 日本水路協会, 東京.
- 小田巻 実・中村啓美 (2003) 新しい統一水深データベースの考え方と「ダイナミック」電子海図表示の試み, 海洋情報部技報, 21, 15.
- 住吉昌直・栗田洋和・安原 徹・橋本崇史・小川 遥・長澤亮佑・長野勝行・吉澤 信・眞保智彦・秋山裕平 (2020) マルチビーム水深測量成果における CUBE 水深の採用について: 海外水路機関における最適化の事例紹介, 海洋情報部研究報告, 58, 66-79.
- 住吉昌直・松本良浩・吉澤 信・安原 徹 (2019) マルチビーム測深における高精度後処理測位・動揺データの有用性, 海洋情報部研究報告, 57, 62-74.
- 富澤慎二郎・小野智三 (2013) 航空レーザー測深データの解析手法, 海洋情報部研究報告, 50, 65-79.
- 吉澤 信・住吉昌直・長野勝行・大泊理八・井田 壮太・梅垣裕至・畠山 豊・阿部周平・塚本真由美 (2019) 27メートル型測量船「はましお」, 海洋情報部研究報告, 57, 43-61.

一段階として, 東京湾における既存データを用いた楕円体高基準の測深データ処理と最低水面モデル作成を試行的に行い, 水深を求める具体的な手順を示した. 本手順により得られた水深と潮高改正を要する従来の処理で得られた水深を比較して, その妥当性を検証した.

要 旨

近年, キネマティック GNSS 測位の普及と精度向上により, 測深中の驗潮が原則として不要となる楕円体高基準の水深測量が実用的に可能となってきた. 本稿では, 日本における楕円体高基準水深測量の標準手順の確立を目指した試行の第