

潮汐基準面解析ソフトウェア (TideLevel) の紹介[†]

南部正裕^{*1}, 塩澤舞香^{*1}, 伊能康平^{*2}, 土屋主税^{*3}, 林王弘道^{*1}, 永野 仁^{*1}

Overview of the software for tidal datums analysis (TideLevel) [†]

Masahiro NAMBU^{*1}, Maika SHIOZAWA^{*1}, Kohei INO^{*2}, Chikara TSUCHIYA^{*3},
Hiromichi RINNO^{*1}, and Masashi NAGANO^{*1}

Abstract

The Hydrographic and Oceanographic Department conducts tidal observations to determine tidal datums, to monitor crustal movement or sea level change and so on, which are provided to users through its website. Until now, miscellaneous tools and databases have been used to manage these data. In order to improve operational efficiency and reduce human error, software for tidal datums analysis (TideLevel) has been newly introduced. This paper introduces the functions of the TideLevel, including its internal calculation algorithms. TideLevel provides friendly and intuitive operation, reduces the number of manual inputs which leads to human error, and establishes a data management system that can link related information.

1 はじめに

海上保安庁海洋情報部では、海図に記載される水深や物標の高さの基準となる最低水面や最高水面等の基準面の維持や、潮汐推算の精度の向上等を目的として、全国 20 か所の常設験潮所で潮汐観測を行っている。また、近隣に常設験潮所がない海域では、必要に応じて臨時験潮所を設置し潮汐観測を行っている。基準面の維持のためには、これら潮汐観測の他、基本水準標等を用いた水準測量や GNSS 観測等も行う必要がある。これらの観測結果により水路測量の基準面が決定される(海上保安庁, 2022)。海洋情報部では、平成 14 年海上保安庁告示第 103 号に基づき、これら基準面の全国各地の値を一覧表としてホームページ上

で公開している(以下、一覧表という)(Fig. 1)(海上保安庁, 2023)。海面上昇や地殻変動等により基準面は変動するため、観測結果に応じて一覧表の掲載値は随時更新される。

この他、常設験潮所による潮汐観測情報は、気象庁所管の検潮所も含めて「リアルタイム験潮データ」として海上保安庁ホームページで公開されている。潮位のリアルタイム情報は、津波等の防災の観点からも重要な情報である。さらに、当庁が所管する常設験潮所の潮汐観測データからは、月毎の平均水面を算出し、各管区ホームページにおいて公開している。月毎の平均水面のデータは、国土地理院にも提出しており、海岸昇降検知センターのホームページにおいて、潮位年報の

[†] Received August 30, 2023; Accepted October 13, 2023

* 1 沿岸調査課 Coastal Surveys Division

* 2 企画課 Administration and Planning Division

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

一部としても公開されている（海岸昇降検知センター，2022）。

これまで、これら潮汐基準面の維持管理に関する業務では、複数のシステムや複雑な構成のプログラムを用いて作業を行っていた。2023年度から運用を開始した潮汐基準面解析ソフトウェア（以下、TideLevelという）は、業務の効率化を目指し、これらのシステムやプログラムを集約したソフトウェアである。本稿では、内部で行われている計算アルゴリズムや、導入により作業効率が向上した部分や改善された箇所を中心に、TideLevelの機能について紹介する。

Serverとも連携している。主な機能は、一覧表の更新に使用する基準面解析システムと、平均水面等の算出に使用する潮汐解析システムとに大別される。基準面解析システムでは、潮汐観測、水準測量、GNSS観測の結果や、これらの観測を元に算出した基準面に関する情報を管理することができる。潮汐解析システムでは、常設験潮所や臨時験潮所で行われた潮汐観測データを解析し、潮汐に関する各種成果資料を作成することができる。本稿では、まず基準面解析システムを使用した一覧表更新業務について紹介した後に、潮汐解析システムを使用した潮汐観測データの解析機能について、計算アルゴリズムを含めて概説する。

2 TideLevelの機能と構造

TideLevelは、データベース部分にリレーショナルデータベース管理システム（RDBMS）の一つであるPostgreSQLを採用しており、ArcGIS

地名 又は 港名	基本水準標等			最低水面						最高水面
	所在	位置		採 調 年 月	最 近 調 査 年 月	基本水準 標等下 m	平均 水面下 (Z0)m	TP下 m	楕円 体高 m	平均 水面上 m
		緯度(N) ° 〃	経度(E) ° 〃							
	北海道西岸									
宗谷	国土地理院BM(8664号)頂	45-29	141-53	昭49-08		3.53	0.19	0.11		0.19
富磯	国土地理院BM(8662号)頂	45-27	141-53	昭50-08		2.77	0.19	0.07		0.19
稚内	気象庁験潮所気象庁BM頂	45-24-29	141-41-7	平08-08	令02-06	1.81	0.18		26.91	0.18
	国土地理院BM(8654号)頂	45-24	141-43	平08-08		4.93	0.18	0.07		0.18
抜海		45-19	141-37				0.17			0.17
札文島										
船泊	防波堤(西)先端上面にあるHBM(金属標)頂	45-27	141-2	昭57-05	平28-01	1.50	0.17			0.17
香深井		45-20	141-3				0.17			0.17
香深		45-18	141-3				0.17			0.17
利尻島										
鷺泊	東船揚場北方にある北海道開発局BM頂	45-14-42	141-13-50	平20-11	平29-06	4.80	0.17		28.53	0.17
	国土地理院BM(10661号)頂	45-15	141-13	平20-11		20.48	0.17	0.45		0.17
沓形	北防波堤の基部にある北海道開発局BM(金属標)頂	45-11-18.7	141-8-21.1	平29-05		2.27	0.18		28.95	0.18
	国土地理院BM(10659号)頂	45-11-12	141-8-23	平29-08		15.64	0.18			0.18
鬼脇	さきがけふ頭にある北海道開発局BM頂	45-8-6.3	141-18-37.8	平29-06		2.00	0.17		28.56	0.17
稚咲内		45-5	141-38				0.18			0.18
天塩	南導流堤にある北海道開発局BM(金属標)頂	44-53	141-44	平01-06	平12-02	3.40	0.17			0.17
	国土地理院BM(8621号)頂	44-52	141-45	平12-02		5.97	0.17	0.08		0.17
遠別	船揚場北部にあるHBM頂	44-44	141-47	平03-07		4.85	0.17			0.17
	国土地理院BM(8613号)頂	44-44	141-48	平03-07		9.52	0.17	0.05		0.17
天売	物揚場近傍にあるHBM(金属標)頂	44-26	141-20	平17-10		1.49	0.18			0.18
焼尻		44-27	141-26				0.18			0.18
羽幌	南物揚場付近にある北海道開発局BM頂	44-22	141-42	昭63-09	平26-09	3.26	0.18			0.18
	国土地理院BM(8589号)頂	44-22	141-42	平05-11	平12-05	7.89	0.18	0.11		0.18
苫前		44-19	141-39				0.19			0.19

Fig. 1. An example of the list of datum levels for nautical chart.

図1. 平均水面，最高水面及び最低水面一覧表の一例。

3 基準面の決定及び維持と関連する観測情報の管理（基準面解析システム）

3.1 一覧表更新業務の効率化とデータ管理方法の最適化

水路測量において、基準として使用する基本水準標等が3か年以上点検されていない場合や、直近の調査で得た基本水準標等下の最低水面の高さと一覧表掲載値との間に0.10 m以上差がある場合には、測量の都度点検することとされており（海上保安庁，2022）、この点検の際に行われた観測や臨時潮汐観測の結果を踏まえ、本庁海洋情報部において随時一覧表を更新している。基本的に、調査で得た基本水準標等下の最低水面の高さと一覧表掲載値との差が0.10 m未満の場合は最近調査年月のみを更新し、0.10 m以上の場合は観測結果に応じて一覧表掲載の各種基準面の値などを更新している。さらに、基本水準標等が移設、廃止、あるいは新設された際にも一覧表を更新する必要がある。これまで、一覧表の更新業務においては、複数の複雑なエクセルファイルを用いて、掲載地点や掲載値、元となる観測情報を管理していた。管区から文書で提出された一覧表の更新依頼箇所は、本庁職員が各エクセルファイルに手入力しており、人為的なミスを防ぐために複数回の確認作業が不可欠であった。また、一覧表にはおよそ1000地点もの基本水準標等が記載されており、年間約100件程度の更新が行われるため、ある値がどの観測結果に基づいているか等の情報を、過去の分も含めて漏れなく管理するには多大な人的コストを要していた。

一方、TideLevelでは、管区職員の行う観測業務から本庁職員の行う一覧表更新業務まで、一連の作業を1つのツールで行うことができる。これにより、管区から提出された更新依頼内容を本庁で手入力する必要がなくなり、大幅な業務効率化につながった。管区職員と本庁職員それぞれが行う、観測の登録から一覧表更新までのTideLevelにおける作業の概要を以下に記す（Fig. 2）。

(1) 管区職員：観測を行う前に、観測計画を登録する。

- (2) 管区職員：観測終了後、観測結果を登録する。
 (3) 管区職員：観測結果から成果書類を作成する。
 (4) 管区職員：登録した観測結果に基づき、一覧表の更新依頼を作成する。ここでは、登録した観測結果と現行の一覧表の掲載値を比較し、一覧表に反映させたい項目を選択することができる。
 (5) 本庁職員：管区から提出された更新依頼を確認し、部署内での決裁を行う。
 (6) 本庁職員：決裁終了後、管区からの更新依頼を反映させた一覧表を出力する。

また、一覧表掲載値、観測情報、更新履歴等がデータベース化されたことにより、掲載値と各種観測データとの対応関係やその変遷が明確となり、必要な時に利用しやすいデータ管理の仕組みが実現された。さらに、管区から提出された更新

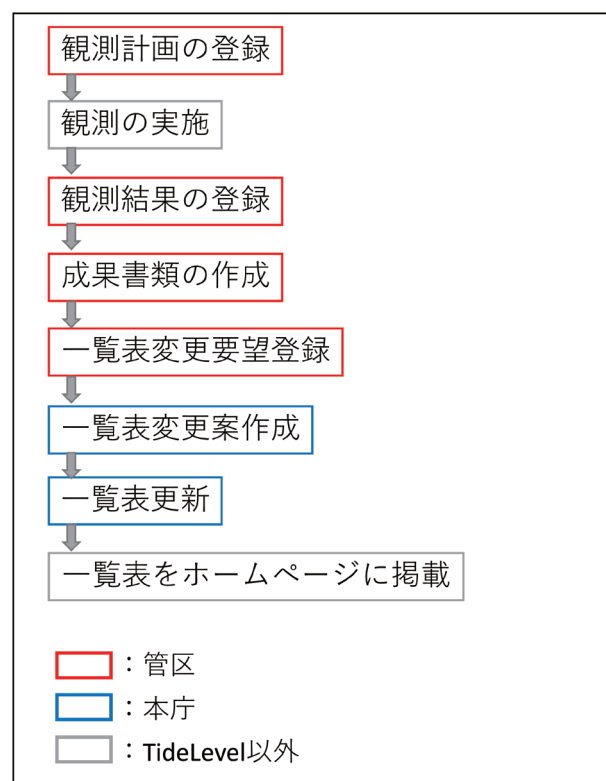


Fig. 2. Workflow for updating the list of datum levels for nautical chart.

図2. TideLevelを活用した一覧表更新作業のフロー図。

Table 1. The observation reports that can be output by TideLevel, and the information required to create each of them.
表 1. TideLevel で出力可能な成果書類とそれぞれの作成に必要な情報項目。

成果書類	必要な情報
水路測量標等記事	ベンチマーク諸元情報(名称、緯度経度、調査年月日、最低水面からの高さ等)、 ベンチマークの図面情報(案内図、写真等)
基準測定成果表	験潮所諸元情報(験潮所名、緯度経度、観測開始及び終了日、験潮器名等)、 水準測量結果(ベンチマークの標高、観測基準面の高さ等)、 潮汐観測結果(観測期間、観測基準面上の平均水面の高さ等)、
基準面決定簿	験潮所諸元情報(験潮所名、観測開始及び終了日、験潮器名等)、 水準測量結果(ベンチマークの最低水面からの高さ)、 5か年平均水面、短期平均水面、 一覧表に記載する決定値 図面情報(潮位関係図、月表、測定成果表、同時験潮記録等)
GNSS観測成果表	GNSS観測データ(観測点情報、電子基準点情報、観測機器情報、各種解析結果等)
GNSS測量観測手簿	GNSS観測データ(所在地、観測期間、観測機種、写真、地図、計算結果等)

依頼内容が、現在本庁において審査中であるのか、あるいは一覧表に反映済なのか等のステータスが一目でわかるようになったため、業務の進捗管理にも役立っている。

3.2 観測成果資料の自動作成

潮汐観測やGNSS観測等、一覧表の基準面算出のための観測終了後には、各観測結果をまとめた成果書類を作成し保管している。これらの観測から、観測対象間の高さ方向の距離が得られ、これにより基本水準標（ベンチマーク）と最低水面の関係付けを行っている。つまり、常設験潮所においては、基本水準標から球分体、球分体から錘測基点、錘測基点から観測基準面、観測基準面から平均水面、平均水面から最低水面の距離を算出する。また、臨時験潮所においては、球分体が副標頂、錘測基点が副標ゼロ位となる。基準面決定簿や基準測定成果表等の各種成果書類は、それら

の観測対象間の高さ方向の距離の算出過程の整理や確認のために作成される。

これまででは、所定のフォーマットに観測結果を1つずつ入力して各種成果書類を作成していたが、TideLevelでは、登録された観測結果の情報をもとに、これらの成果書類を作成することができる。Table 1に、TideLevelで作成可能な成果書類と、各成果書類を作成する際に必要な情報をまとめた。それぞれの情報は、各成果書類に応じた形式で引用される。また、例えば験潮所諸元情報は水路測量等記事や基準面決定簿に用いられるなど、複数の成果書類に重複して引用される情報もあり、そのような場合に、個別に入力するのではなく、単一のデータベースから引用することは、入力作業の負担軽減や入力ミス防止につながるものと考えられる。

4 潮汐観測データの解析と管理（潮汐解析システム）

4.1 インターフェイスの改良

TideLevel 導入前においては、験潮所における潮汐観測データの可視化や月表作成に、Unix 系サーバ上の専用ソフトウェア「潮汐・潮流メニュー」が使用されており、これを X Window System の一種である Exceed を介して操作していた。「潮汐・潮流メニュー」は、導入当時は先進的なソフトウェアであったが、起動に時間を要する他、地図やグラフ上でグリッド状に選択した部分が拡大される等、最近の標準的な地図アプリケーション等に慣れた職員にとっては、操作方法も独特であった (Fig. 3)。また、グラフに表示できるデータ種類が少なく、利便性に欠ける部分があった。

一方、TideLevel は、ウェブブラウザから操作を行うため、視認性や操作性が「潮汐・潮流メニュー」と大きく異なる。例えば地図やグラフにおいては、マウスホイールで拡大縮小の操作が可能であり、多項目を色分けして並列表示できる等、ウィンドウにはシンプルかつ視認性の高いデザインを採用した (Fig. 4)。また、各常設験潮所のリアルタイムの潮位データを表示する時系列プロット表示機能においては、1分平均観測潮位や1分単位の推算潮位、1日観測潮位等の様々な項目がグラフ上に表示され、凡例をクリックすると各項目の表示と非表示を切り替えることができる。これにより、多面的かつ詳細に潮位の傾向を見ることができるようになった。特に、常設験潮所のリアルタイム潮位表示機能の視認性と操作性が向上したことにより、異常な潮位変化の早期発見が容易になった。異常な潮位変化は、高潮（たかしお）や津波等緊迫性を要するもの以外にも、験潮所のメンテナンスや導水管のつまり等でも生じうる。異常な潮位変化の早期発見は、迅速な要因特定と緊急性の判断を後押しし、関係各所への正しい情報提供が可能となることで、非常時の適切な初動対応へと繋がる。また月表作成時等、過去の一定期間の観測データを取りまとめる際においては、

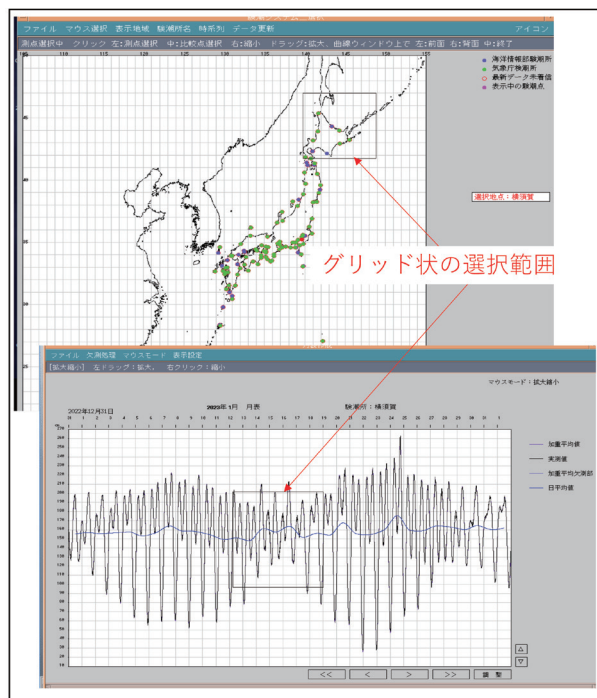


Fig. 3. An example of the operation screen of the previous tool.

図 3. 潮汐・潮流メニューの操作画面の一例。

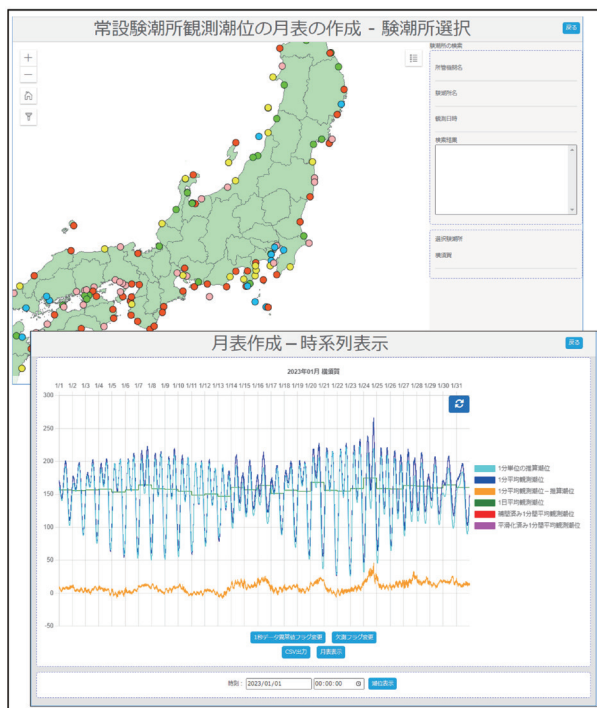


Fig. 4. An example of the operation screen of the TideLevel.

図 4. TideLevel の操作画面の一例。

欠測箇所が自動的にハイライトされ補間処理も行われるため、欠測箇所の見逃し削減につながるものと考えられる。

さらに、TideLevelは、海洋情報部内で運用されている、海洋情報業務で取り扱うデータを保管する海洋データ管理アプリケーション(以下、データ管理アプリという)とも連携している。2023年8月現在では、当庁所管の常設験潮所のデータセット(処理前の1秒間隔データ、処理後の1分間隔データ、月表データ、メタデータ等)をTideLevelで毎月出力し、データ管理アプリに半自動的に登録している。これにより、データのバックアップを取ることができるだけでなく、部内職員の潮位情報へのアクセスが容易となり、部内業務における潮汐情報の利活用促進が期待できる。

4.2 月表作成アルゴリズム

TideLevelでは、験潮所毎の1秒間隔の観測潮位(以下、1秒間隔観測潮位)から、1か月分の毎正時観測潮位および1日毎の高低潮の時刻と潮位をまとめた月表を作成することができる(Fig. 5)。常設験潮所に限らず臨時験潮所で観測を行った場合においても、観測結果をアップロードすることにより月表作成をすることが可能である。また、月表作成時には、推算潮位の他に、1秒間隔観測潮位を元に作成された1分平均観測潮位、1分平均観測潮位の推算潮位からの偏差、1日平均観測潮位、補間済み1分平均観測潮位、平滑化済み1分平均観測潮位の6つの時系列データが算出され、これら6項目を時系列グラフ上で表示し潮位観測結果について詳細に確認することができる(Fig. 6)。この他、欠測の存在範囲は欠測時間4時間未満の「補間あり欠測フラグ」または欠測時間4時間以上の「補間なし欠測フラグ」でハイライトされ、一目でわかるようになっている。以下では、月表作成時のデータ処理方法について紹介する。

4.2.1 月表項目の算出方法

1秒間隔観測潮位から月表表示項目が算出され

るまで、TideLevel内で自動で行われるデータ処理の概要を以下(1)-(4)に示す。

(1) 1分平均観測潮位の算出

1秒間隔観測潮位から、1分平均観測潮位が算出される。1分平均観測潮位は、1秒間隔観測潮位の-29秒から+30秒までの平均値とし、この1分間に1つでもデータがあれば作成される。

(2) 欠測の判定と補間

上記(1)で算出された1分平均観測潮位について、連続4時間未満の欠測がある場合、補間あり欠測フラグが付与され、次のように値が補間される(Fig. 7)。まず、欠測期間の直前と直後の1分平均観測潮位と推算潮位の偏差が計算される。次に、欠測期間の1分平均観測潮位と推算潮位の偏差について、欠測前後の偏差から線形による補間値が計算される。得られた偏差の線形補間値を推算潮位に加えることで、補間済み1分平均観測潮位が作成される。連続4時間以上欠測していた場合は、補間なし欠測フラグが付与され、補間が行われない。なお、補間あり欠測フラグまたは補間なし欠測フラグは、手動で追加・削除し編集することが可能であり、編集後は自動で補間値の再計算が行われる。

(3) ローパスフィルタの適用

作成された1分平均観測潮位及び補間済み1分平均観測潮位にローパスフィルタを適用し、平滑化済み1分平均観測潮位を作成する。ここでは、±5時間の加重平均により平滑化している。ローパスフィルタの詳細については、佐藤(1989)を参照されたい。

(4) 1日平均観測潮位および月平均観測潮位の算出

上記(3)で作成された1分平均観測潮位のうち、毎正時の値が毎正時観測潮位とされる。また、毎正時観測潮位の平均値が1日平均観測潮位、1日平均観測潮位の平均値が月平均観測潮位として算出される。ここで、毎正時観測潮位が1つもない場合や、補間なし欠測フラグにより1分平均観測潮位に4時間以上欠測がある場合は、1日平均観測潮位は算出されない。また、1日平均観測潮

位が15日分に満たない場合は、月平均観測潮位は算出されない。なお、月平均観測潮位算出時に1日平均観測潮位がない日が含まれていた場合は、平均した合計日数が月表に記載される。

4.2.2 高低潮の算出方法

高低潮の時刻と潮位の算出方法は、沿岸開発技術ライブラリー No. 13 潮位を測る（海象観測情報の解析・活用に関する研究会編，2002）に掲載されている方法を採用している。詳細については、伊能・土屋（2022）を参照されたい。

4.3 調和定数の算出

潮汐由来の周期の振動（分潮）の振幅と位相（遅角）を求める解析を調和分解といい、調和分解に

よって得られる各分潮の振幅と遅角のセットは調和定数と呼ばれる（海上保安庁，1992）。これまで、海上保安庁では、専用ソフトに観測データを入力して調和分解を行ってきたが、TideLevelでは、月表作成時に算出された毎正時観測潮位を用いて調和分解を行うことができ、常設験潮所又は臨時験潮所毎に15日分、32日分又は369日分の調和定数を算出することができる。算出後は、得られた調和定数から計算した推算潮位と調和分解に用いた観測潮位を時系列で重ね合わせて表示し、調和定数から計算した推算潮位が観測潮位をどれだけ再現しているか確認できるため、得られた調和定数の妥当性を直感的に簡易に把握することができる（Fig. 8）。なお、調和定数算出の詳細については、土屋（2020）を参照されたい。

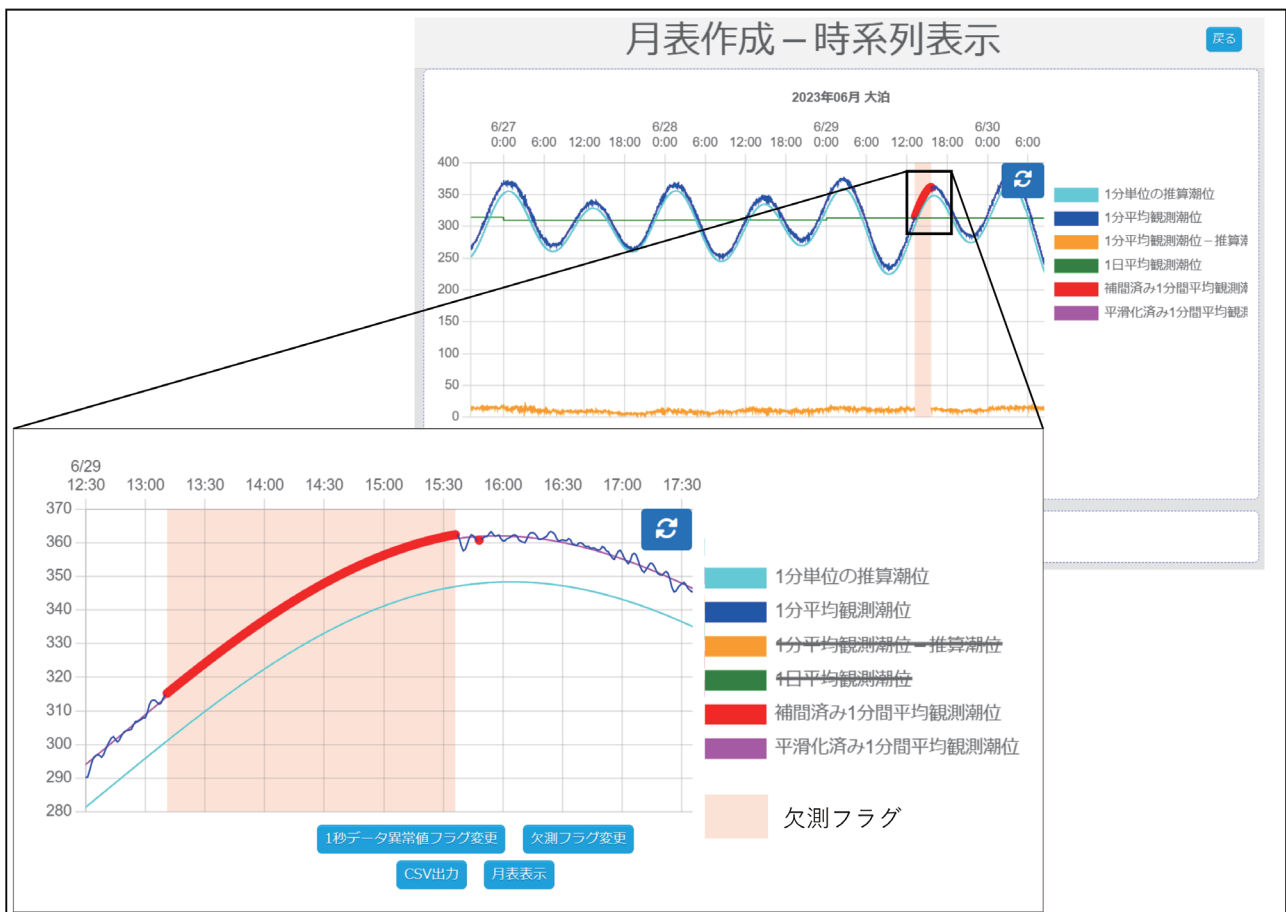


Fig. 6. Time series of tide levels displayed on the page for creating monthly observed tide tables. Missing periods are highlighted and missing values are interpolated with red dots.

図6. 月表作成時に表示される潮位データ時系列グラフ。欠測部分はハイライトされ、赤プロットの補間済み1分間平均観測潮位で置換されている。

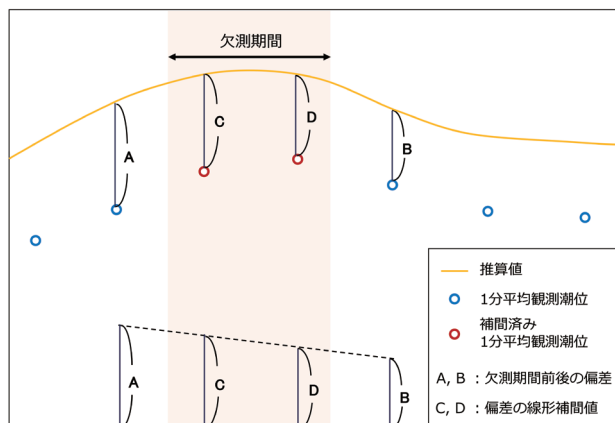


Fig. 7. Illustration of the interpolation method applied to missing periods of less than 4 hours. The y-axis represents the tide level. The yellow curve shows the timeseries of estimated values, the blue dots show the one-minute mean observed values, and the red dots show the interpolated one-minute mean observed values which fill in the missing values. A and B are the observed deviations from the estimated values before and after the missing period, and C and D are the linearly interpolated deviations between A and B. The interpolated one-minute mean observed values are obtained by adding C and D to the estimated values.

図7. 補間済み1分平均観測潮位を作成する際の補完方法のイメージ図。黄色い曲線が推算値、青プロットが観測した1分平均観測潮位を示す。赤プロットは欠測値を前後の値により補間した、補間済み1分平均観測潮位を示す。AとBは欠測期間前後の推算値と観測値の偏差、CとDはAとBの間を線形補間した偏差を示す。補間済み1分平均観測潮位は、推算値にCとDを加えることにより求められる。

5 おわりに

本稿では、TideLevelの主要な機能とその利便性について、従来の手法と比較しながら概説した。TideLevelの導入により、手入力による作業が減ったため、人為的ミスの削減が見込まれる。また、調和分解や成果資料の作成等、関連する業務についても、データ登録の時点からTideLevel上で作業を行うことができるため、業務の効率化が期待される。今後は、現場における観測や観測データの登録業務全般を担う管区の利用者との調整を

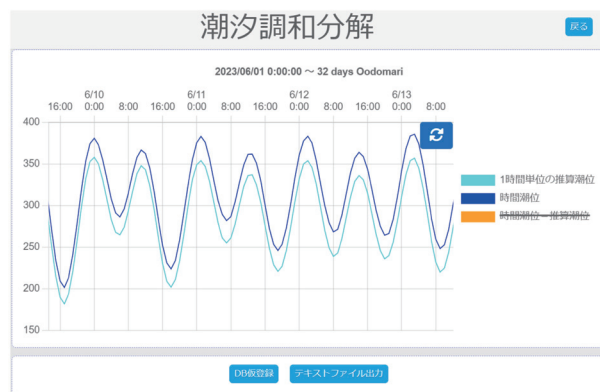


Fig. 8. An example of the reproducibility check screen after harmonic analysis. Blue shows the observed tide level and light blue shows the tide level estimated by the harmonic constants obtained from the harmonic analysis of the observed tide level.

図8. 調和分解後の再現性確認画面の一例。青色は観測潮位、水色は観測潮位の調和分解により得られた調和定数を用いて計算した推算潮位を示す。

より一層図り、より良い業務体制の構築を進めていく。

謝 辞

TideLevelの運用開始に際して、様々なご指摘及びご意見をいただいた各管区海象担当の皆さまに厚くお礼申し上げます。また、本原稿を完成させる上で、有益で適切なお助言をいただいた査読者及び編集者の方に感謝の意を表します。

文 献

伊能康平・土屋主税 (2022) 潮汐表の計算について, 海洋情報部研究報告, 60, 1-14.
 海岸昇降検知センター (2022) 潮位年報令和2年, https://cais.gsi.go.jp/cmdc/center/nenpou/2020/annual_report_2020.pdf.
 海上保安庁 (1992) 日本沿岸潮汐調和定数表, 書誌742.
 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), 83-84, 海上保安庁,

東京.

海上保安庁 (2022) 水路測量業務準則施行細則 (昭和 58 年 4 月 27 日保水海第 13 号, 令和 4 年 3 月 8 日保海海第 184 号により一部改正), 海上保安庁, 東京.

海上保安庁 (2023) 平均水面, 最高水面及び最低水面一覧表, <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/TIDE/datum/index.html>, Accessed 1 August 2023.

海上保安庁, リアルタイム験潮データ, <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/TIDE/gauge/index.php>, Accessed 1 August 2023.

海象観測情報の解析・活用に関する研究会編 (2002) 潮位を測る, (一財) 沿岸技術研究センター.

佐藤 敏 (1989) 潮汐潮流資料処理のためのデジタルフィルター, 水路部技報, 8, 63-71.

土屋主税 (2020) 欠測の多い潮位データの最小二乗法による調和分解, 海洋情報部研究報告, 58, 109-125.

要 旨

海上保安庁海洋情報部では, 水路測量の基準面の決定, 地殻変動や海面変動の把握等のために潮汐観測を行い, 潮汐観測情報やそれに基づく基準面の情報を, 利用者に向けてホームページ等を介して提供している. これまで, これらの情報を管理するために, 複数のツールやデータベースを使用していた. 本稿では, 業務効率化や人為的なミスの削減を目指して新たに導入した潮汐基準面解析ソフトウェア (TideLevel) の機能について, 一部機能の計算アルゴリズムを含めて紹介した. TideLevel の導入により, インターフェイスの操作性の向上, データの手入力が減ったことによる人為的なミスの削減, 関連情報を紐づけたデータ管理の確立等を実現することができた.