

潮流グリッドデータ作成の試行 ～明石海峡～[†]

宗田幸次^{*1}, 土屋主税^{*2}, 伊能康平^{*3}

Trial of creating of tidal current grid data for the Akashi Strait[†]

Koji MUNEDA^{*1}, Chikara TSUCHIYA^{*2}, and Kohei INO^{*3}

Abstract

The Japan Coast Guard Hydrographic and Oceanographic Department has provided data on tidal current, which is one of the ocean currents, as area information (tidal current grid data). In recent years, technologies related to the ocean have advanced, and new information such as detailed water depth data has been acquired. In addition, the mainstream method of providing tidal current grid data is digital, which has a high variety of information usages from printed matter. The Hydrographic and Oceanographic Department is conducting research to create new tidal current grid data corresponding to these. Between 2019 and 2020, the Akashi Strait was examined as part of first trial at creating tidal current grid data.

1 はじめに

海の流れの情報は、航海安全、海洋での経済活動、海洋環境の保全、及び海洋レジャーなど様々な分野で利活用されている。海上保安庁海洋情報部（以下「海洋情報部」という）では、測量船及び巡視船等を使用し、海流観測、潮流観測及び流況調査等を行って、海の流れに関連する資料を収集している。収集した資料は整理・解析した後、観測報告書等の成果を作成し、印刷物や Web サイトで公表し、国民に寄与している（宗田, 2020）。

海の流れのうち潮汐に伴う流れを潮流と呼ぶ。潮流は大洋に比べ沿岸で強く、潮流調和定数を用いて任意時刻の流向・流速を推算できる。潮流の

空間的な表し方は、点あるいは面的なものがある。面的な場合は、海域をグリッドで区切り、グリッド毎の矢符として表すという手法がよくとられており、海洋情報部では経緯度単位のグリッドが頻繁に用いられた。面的な潮流情報のデータセットとしては、グリッド毎の潮流調和定数と、その潮流調和定数から算出した任意時刻の潮流推算値がある。ここではグリッド毎の潮流推算値を「潮流グリッドデータ」と呼ぶこととする。

潮流グリッドデータは、昭和 50 年代後半に、観測点の潮流楕円要素から作成したグリッド毎の潮流調和定数で作成したものが最初である。平成 10 年代には、流動モデルによる流況シミュレーションの結果から作成したグリッド毎の潮流調和

[†] Received September 9, 2021; Accepted November 2, 2021

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

* 2 企画課 Administration and Planning Division

* 3 沿岸調査課 Coastal Surveys Division

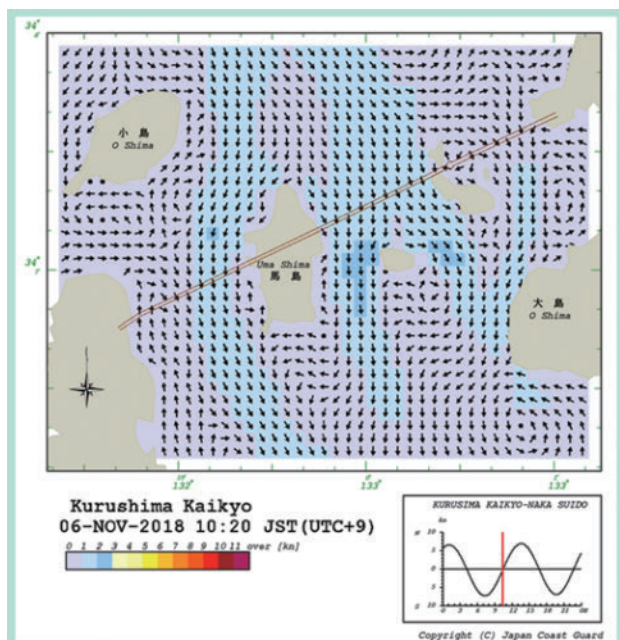


Fig. 1. An example of Kurushima tidal current information published on the Hydrographic and Oceanographic Department website.

図 1. 海洋情報部 Web サイトで公開している来島潮流情報の一例。

定数での作成を開始した。これらの潮流グリッドデータを作成している海域は、強潮流域かつ船舶通航の多い瀬戸内海のほか、船舶通航の多い東京湾、伊勢湾等の内湾域である。平成 10 年代以降は、新たなグリッド毎の潮流調和定数が作成されず、これによって、新たな潮流グリッドデータも作成されていなかった。

平成 10 年代の作成から 20 年以上経過した現代では、海洋の開発に伴う海岸線の変化、技術の進歩による詳細な水深データの取得等があり、これまでに作成した潮流グリッドデータはそれらの変化に対応したものではなくなっている。この問題を解決するには、最新の情報に基づいた潮流グリッドデータの作成が必要である。また、潮流グリッドデータは、各種海洋空間情報との重畳、航海システムへの表示、及び流況予測ツールでの利用等（宗田, 2020）、多様な利活用に対応したデジタルデータの提供が求められるようになっている。新たな潮流グリッドデータは、先行として平成 26（2014）年に船舶通航の要所である来島海峡を作成し、海洋情報部 Web サイトの来島海峡

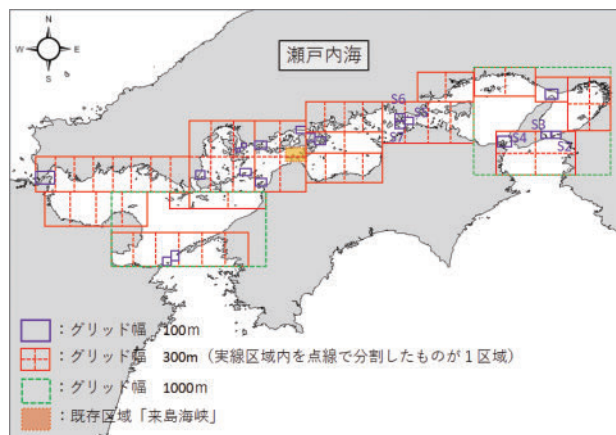


Fig. 2. A draft plan for the grid area and grid size for creating tidal current grid data.

図 2. 潮流グリッドデータを作成するためのグリッド区域及びグリッドサイズの計画案。

潮流情報で公開している（Fig. 1）。また、研究として平成 30 年度は、潮流グリッドデータを作成するためのグリッド区域及びグリッド幅の計画案（以下「潮流グリッドデータ作成計画案」という）を作成した（Fig. 2）。令和元年度～令和 2 年度上半期は、潮流グリッドデータ作成の最初の試行として、最強流速が 7 kn を超え、船舶通航が多い、明石海峡を対象に流況シミュレーションを行った。本稿は、この試行について報告するものである。

2 潮流グリッドデータ作成の試行の概要

潮流グリッドデータ作成の試行は次の流れで行った。最初に、流況シミュレーションを行う。次に、その結果から潮流調和定数グリッドデータを作成する。最後に、潮流調和定数グリッドデータで推算した潮流グリッドデータの精度の検証を行う。潮流グリッドデータの精度の検証は、実測データとして定点に流速計を設置し、昼夜連続観測した流向・流速データ（以下「定点観測データ」という）、測量船で航走し超音波式流向・流速計で観測した流向・流速データ（以下「航走観測データ」という）を使用して行う。各作業の詳細は、以降の章に記載する。

3 流況シミュレーション

流況シミュレーションは、平成 26 (2014) 年に来島海峡に来島海峡について使用した流動モデル「Delft3D」を核とし、平成 28 (2016) 年に比較的容易に潮流シミュレーションが出来るように開発した「流況シミュレーション計算アプリケーション」(以下「計算アプリケーション」という)(海上保安庁海洋情報部環境調査課, 2016a, 2016b; 日本総合システム株式会社, 2016a)を使用した。計算アプリケーションは、流況シミュレーション結果のグリッド毎で流速の北方成分・東方成分について調和分解し、潮流調和定数を作成する。なお、計算アプリケーションのグリッドは、これまで海洋情報部で行っていた経緯度間隔ではなく、実距離間隔で区切られている。

設定ファイルには、計算区域を決定する項目として、グリッド幅、グリッド数、基準緯度・経度、及び X 軸・Y 軸の開始 XY 座標がある。計算区域の決定に伴う項目として、海岸地形データ、ドライポイント、水深データ、開境界位置、及び開境界水位がある。これらのうち、水深データ、開境界位置、及び開境界水位の 3 つは、計算結果を大きく左右する項目である。計算期間等の項目として、基準日、計算開始・終了・間隔、計算結果取得開始・終了・間隔がある。その他の項目として、水質、河川流入ポイント、風向・風速、海底摩擦係数・渦度粘性係数がある (Table 1)。

各項目の設定方法は、プログラムを開発したときの成果品である「流況シミュレーション計算アプリケーション取扱説明書」(日本総合システム株式会社, 2016b)に記載されている。設定の中で重要または注意が必要なところについて以降の節に記載する。

Table 1. List of setting items.

表 1. 設定項目の一覧。

計算区域	計算期間	計算基礎情報	流れの要素ほか
グリッド幅	基準日	海岸地形データ	水質
グリッド数	計算開始・終了	ドライポイント	河川流入ポイント
基準緯度・経度	計算間隔(分)	水深データ	風向・風速
X軸・Y軸の開始XY座標	計算取得開始・終了	開境界位置	海底摩擦係数・渦度粘性係数
	計算取得間隔(分)	開境界水位	

3.1 グリッド幅、グリッド数、基準緯度・経度、X 軸・Y 軸の開始 XY 座標

グリッド幅、グリッド数、基準緯度・経度、及び X 軸・Y 軸の開始 XY 座標の設定をいくつか Table 2 に示す。グリッド幅は、「潮流グリッドデータ作成計画案」(Fig. 2)を元に 300 m を基本とし、より細かい 200 m, 150 m, 100 m を設定した。グリッド数は、グリッド幅 300 m では X 軸が 90 ~ 110, Y 軸が 60 ~ 75, 同 200 m では X 軸 200, Y 軸 150, 同 150 m では X 軸 54 ~ 200, Y 軸 54 ~ 150, 及び同 100 m では X 軸 80 ~ 130, Y 軸 80 ~ 110 を設定した。なお、計算時のグリッド数は計算アプリケーションの設計により XY 軸とも設定値+2 となる。基準緯度・経度は、計算区域の中央近くになるよう北緯 34.6 度, 東経 135.0 度を設定した。なお、基準緯度・経度は、

Table 2. Settings of grid width, number of grids, reference latitude / longitude, and starting coordinates of X-axis / Y-axis.

表 2. グリッド幅、グリッド数、基準緯度・経度、及び X 軸・Y 軸の開始 XY 座標の設定。

グリッド幅	グリッド数	基準緯度・経度	開始XY座標
X軸：300 Y軸：300	X軸：90 Y軸：60	緯度：34.6 経度：135	X軸：-12000 Y軸：-7000
X軸：300 Y軸：300	X軸：110 Y軸：70	緯度：34.6 経度：135	X軸：-15000 Y軸：-7500
X軸：300 Y軸：300	X軸：100 Y軸：75	緯度：34.6 経度：135	X軸：-12000 Y軸：-10500
X軸：300 Y軸：300	X軸：110 Y軸：75	緯度：34.6 経度：135	X軸：-15000 Y軸：-9000
X軸：200 Y軸：200	X軸：200 Y軸：150	緯度：34.6 経度：135	X軸：-12000 Y軸：-10500
X軸：150 Y軸：150	X軸：200 Y軸：150	緯度：34.6 経度：135	X軸：-12000 Y軸：-10500
X軸：150 Y軸：150	X軸：54 Y軸：54	緯度：34.6 経度：135.0	X軸：-3200 Y軸：-2500
X軸：100 Y軸：100	X軸：130 Y軸：110	緯度：34.6 経度：135.0	X軸：-6500 Y軸：-2500
X軸：100 Y軸：100	X軸：80 Y軸：80	緯度：34.6 経度：135.0	X軸：-3300 Y軸：-2400
X軸：100 Y軸：100	X軸：130 Y軸：110	緯度：34.6 経度：135.0	X軸：-6500 Y軸：-2500

グリッド幅等の設定を変える毎に、X軸・Y軸の開始XY座標の設定が大きく変わることから作業効率を考慮し同じ設定とした。X軸・Y軸の開始XY座標は、グリッド番号X:1, Y:1の位置(計算区域の左下角)をXY座標上のどこにするかの設定である。グリッド幅300mではX:-12000~-15000, Y:-7000~-9000, 同200mではX:-12000, Y:-10500, 同150mではX:-3200~-12000, Y:-2500~-10500, 同100mではX:-3300~-6500, Y:-2400~-2500を設定した。この設定を行うことで、設定したグリッド幅、グリッド数に応じた計算区域が設定される。計算区域の設定は、良好な計算結果を得るまでに10回以上行った。

3.2 海岸地形データ

海岸地形データは、主に陸地グリッドと海域グリッドの境界を可視化するために使用する。海岸地形データは、拡張子が「.txt」・「.jbd」・「.shp」のファイルが使用できる(日本総合システム株式会社, 2016b)。海岸地形データは、基本、緯度・経度の頂点があり、頂点と頂点を結んだ線データとなったものである。計算アプリケーションの設計上、この頂点は1000点までとなっている。本試行では海洋情報部で所有していた日本沿岸の海岸線のshpファイルをArcGISで編集し、明石海峡付近の頂点が1000以下のshpファイルを作成して使用した。一例として、計算区域・海岸地形データ・水深データの設定後の画面をFig. 3に示す。

3.3 水深データ

水深データは、海洋情報部が業務用として作成した「海底地形データ」から試行の計算区域を網羅するように抽出した海底地形データを計算アプリケーションの設定ファイルのフォーマットに変換したものである。水深データはグリッドポイントデータであり、グリッド幅が150mである。水深データの構成は、緯度、経度、水深値である。

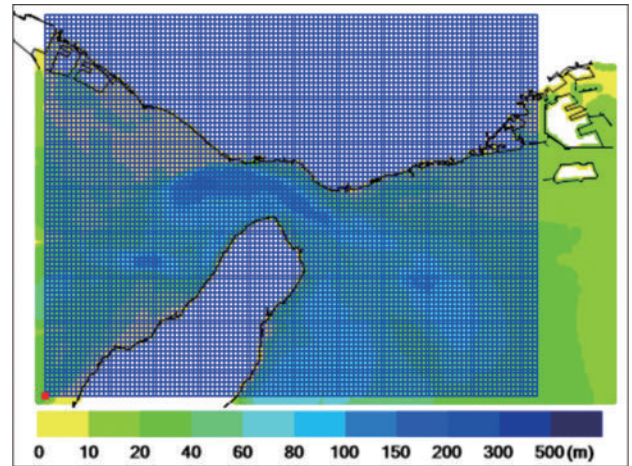


Fig. 3. Screen after setting calculation area, coastal topography data, and water depth data.

図3. 計算区域・海岸地形データ・水深データの設定後の画面。

3.4 ドライポイント

ドライポイントは、流況計算を行わないグリッドを設定するもので、3.3節で設定したグリッド毎の水深データから自動計算される。ただし、海岸線付近は自動で設定されていないグリッドがあるので、海岸地形を見ながら、手動で設定する。

3.5 開境界位置

開境界位置は、3.1節の計算区域の設定に応じて変わる。開境界位置は、計算アプリケーションの自動計算によって一時的に計算区域の外縁の海域部分に1つの線として設定される。3.6節で後述するとおり、1つの線の始点と終点に潮汐調和定数を設定する。始点と終点の間のグリッドの潮汐調和定数は始点と終点の値から線形補間される。補間された値は実際の開境界水位を反映するとは限らず、流況シミュレーションの異常終了、不良な計算結果の原因になりうる。開境界位置は、手動で設定されたものを変えることができる。本試行では、なるべく細かく調和定数を設定するために、自動で設定された1つの線の開境界位置を4~8グリッド毎に分割し、複数の線の開境界位置を設定した。開境界位置の設定は、後に記載する開境界水位の設定と連携しているので、開境界水位のデータの分布も考慮する必要がある。

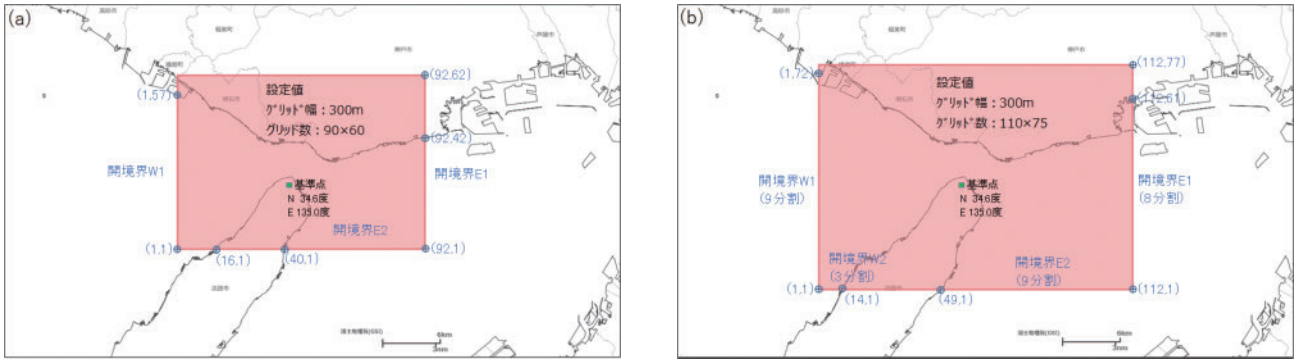


Fig. 4. Example of calculated area and open boundary. (a) Settings at the start of the trial. (b) Settings that gave the best calculation results.

図 4. 計算区域と開境界の例. (a) 試行を開始した頃の設定. (b) 最も良好な計算結果が得られた設定.

る. 計算区域と開境界位置の設定の一例を Fig. 4 (a), (b) に示す. (a) は試行を開始した頃の設定であり, (b) は最も良好な計算結果が得られたグリッド幅 300 m の設定である.

3.6 開境界水位

開境界水位は, 時系列の水位データまたは潮汐調和定数 (分潮数は 29, Table 3 参照) を使用する. 潮汐調和定数を使用した場合は, 同データから計算期間の水位データが計算され, この水位データを流況シミュレーションに使用する (日本総合システム株式会社, 2016b). 本試行では潮汐調和定数を使用した. 使用した潮汐調和定数は, 平成 16 (2004) 年に, 一般財団法人日本水路協会と海洋情報部との共同研究である「潮流情報等の船上における表示利用の高度化に関する研究」の成果物として作られたものである (以下「H16 システム潮汐調和定数」という) (日本水路協会, 2004, 2005a, 2005b). なお, H16 システ

ム潮汐調和定数そのものの値では, 良好な計算結果が得られない場合もあり, その場合は観測結果から求めた潮汐調和定数に近い値に修正して使用した.

開境界水位は, 開境界 (線) の開始のグリッド番号と終了番号に設定する. 使用した潮汐調和定数 29 分潮のうち, 一例として M_2 分潮を Fig. 5 に示す. Fig. 5 の黒字の文字・英字・番号は, 設定した各開境界を示す. 青字は H16 システム潮汐調和定数の振幅と遅角を示す. 赤字は観測結果から求めた潮汐調和定数の振幅と遅角を示す. 開境界水位は, 計算でエラーが発生した場合, 計算が正常終了するよう修正する必要がある, 1 つの計算区域で 3 回以上設定を変えて計算しなおすこともあった.

3.7 基準日, 計算開始・終了・間隔, 計算結果取得開始・終了・間隔

基準日は, 計算の基準となる日を設定する. 計算開始・終了は, 流況シミュレーションの計算を行う期間の開始年月日時分秒・終了年月日時分秒を設定する. 計算間隔は, 計算を行う間隔を設定するもので, 数値計算の発散を防ぐため, 次の式 (Delft Hydraulics, 2009) を満たすようにしている.

Table 3. Tide division of tidal harmonic constant.
表 3. 潮汐調和定数の分潮.

長周潮	日周潮	半日周潮	1/3日周潮	1/4日周潮	1/6日周潮
Sa	Q_1	μ_2	MO_3	MN_4	$2MN_6$
Msf	O_1	N_2	M_3	M_4	M_6
	M_1	ν_2	MK_3	SN_4	MSN_6
	P_1	M_2		MS_4	$2MS_6$
	K_1	L_2			$2SM_6$
	J_1	S_2			
	OO_1	K_2			
		$2SM_2$			

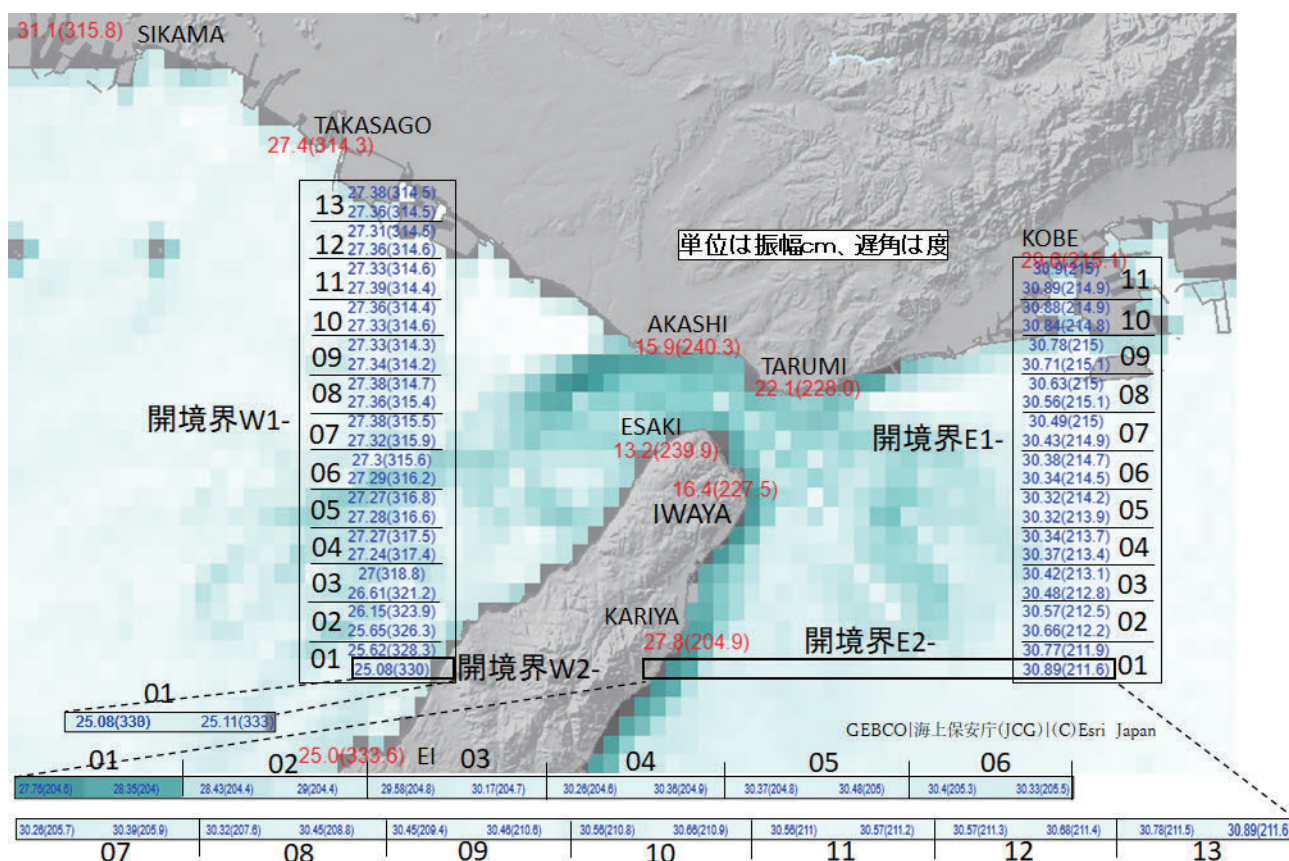


Fig. 5. An example of the open boundary water level setting. Blue letters are the amplitude and retardation of the H16 system tidal harmonic constant. Red letters are the amplitude and retardation of the tidal harmonic constant obtained from the observation results. Retardation is in parentheses for both.

図5. 開境界水位の設定の一例。青字はH16システム潮汐調和定数の振幅と遅角。赤字は観測結果から求めた潮汐調和定数の振幅と遅角。両者とも括弧内が遅角。

$$dt < \frac{dx}{\sqrt{gH}}$$

計算間隔 [s] グリッド幅 [m] 最大水深 [m] 重力加速度 (9.8 m/s²)

試行の計算開始・終了は、1年間(369日)の調和分解を行うことを前提としたので、計算日数が372日間となるよう、開始:2017年12月29日00時00分00秒、終了:2019年1月3日23時00分00秒を設定した。なお、潮汐推算値を入力とし、潮流調和定数を結果として採用するので、開始年は本質的に結果に影響を与えない。計算間隔は、計算間隔の計算式からグリッド幅300mは0.3秒、同200mは0.2秒、同150mは0.05秒、同100mは0.04秒を設定した。

計算結果取得開始・終了は、計算結果を取得

(出力)する期間の開始年月日時分秒・終了年月日時分秒・間隔を設定する。計算開始・終了内になるよう設定することから開始:2017年12月30日00時00分00秒、終了:2019年1月2日23時00分00秒を設定した。取得間隔は、調和分解に1時間毎のデータを使用することから60分を設定した。流況シミュレーションでは計算区域・開境界水位データを変更することが多く、計算開始・終了及び計算取得開始・終了・間隔を変更すると設定の回数が更に多くなるため本研究では常に同じ設定とした。

3.8 水質、河川流入ポイント、風向・風速

水質は、流況シミュレーション区域の層数・厚さ・塩分・水温を設定する。本試行では、流況シミュレーション区域の最大水深約150m等を考

慮し、層数：1、厚さ：100、塩分：31、水温：15を設定した。塩分・水温は、海洋情報部 Web サイトの日本海洋データセンターの塩分・水温統計を参考にした。河川流入ポイントは、河川から流入を加味するための設定だが、本試行では潮流のみのシミュレーションとするため設定しなかった。風向・風速は、流況シミュレーションに風の影響を加味するために設定できるが、本試行では、風の影響も考慮しないため、全て風速 0.00 m/s とした。

3.9 海底摩擦係数・渦度粘性係数

海底摩擦係数・渦度粘性係数は、流況シミュレーション区域の海底摩擦係数・渦度粘性係数を設定する。本試行は、計算アプリケーションのデフォルト設定とし、グリッド全体を次の設定とした。海底摩擦係数 計算式：Chezy. 渦度粘性係数 3D 乱流モデル：Algebraic.

3.10 各項目の設定ファイル読み込み用ファイル

各項目の設定ファイルが完了すると、これら設定ファイルを計算アプリケーションに読み込むための拡張子「.mdf」のファイル（以下「mdf ファイル」という）が作成される。流況シミュレーションで計算区域、開境界水位データ等の設定を変更した分、mdf ファイルも作成される。このため、各項目の設定情報、mdf ファイル、及び計算結果の概要を表に記録しながら計算アプリケーションを実行した。記録の一例を Table 4 に示す。本試行では良好な計算結果を得るまでに 10 種類以上の mdf ファイルを作成することとなった。

4 流況シミュレーションの結果

流況シミュレーションの後は、計算の処理内容やエラーを出力するログファイルで正常に終了しているかどうか確認を行った。計算が正常に終了したものは、流速・流向値、及び流況を確認するため、グリッド毎の潮流調和定数で作成した潮流グリッドデータを簡易に図化した。Fig. 6 は簡易に図化したところ、潮流グリッドデータが良好で

Table 4. Recording the contents of the setting file for each item.

表 4. 各項目の設定ファイルの内容の記録.

海域	明石海峡 (区域名M2-B)
設定ファイル名	AKASHI_11.mdf
基準日	2017/12/29
計算開始・終了	開始：2017/12/29 00:00:00 終了：2019/01/03 23:00:00
計算間隔(分)	0.3
取得開始・終了	開始：2017/12/30 00:00:00 終了：2019/01/02 23:00:00
取得間隔(分)	60
基準緯度・経度	緯度：34.6 経度：135.0
海岸地形データ設定	ArcGISproで編集して作成した<base_gansen_1.shp>
水深データ設定	海洋情報部の業務用海底地形データを編集して作成したファイル<depth_sea.dat>を使用 ※自動計算あり
開始	X軸：-15000 Y軸：-9000
グリッド幅	X軸：300 Y軸：300
グリッド数	X軸：110 Y軸：7 ※設定後は各+2となり、X軸：112 Y軸：77
開境界水位設定 (調和定数)	潮汐調和定数ファイルから作成した調和定数ファイルを使用。詳細は次のファイルを参照 <【設定記録】_AKASHI_11_開境界及び水位データ (調和定数) 設定ファイル.xlsx>
水質設定	層数：1 層の厚さの層：1 厚さ：100 塩分：31 水温：15 ※塩分・水温はJ-DOSSの塩分・水温統計図を参考
河川流入ポイント設定	座標X：2 座標Y：2 流入量：0 m ³ /s 流入層：0
風向・風速設定	風向・風速値とも'0'を設定 使用ファイル「WIND_non_20171229-20190103.csv」
海底摩擦係数・渦度粘性係数	グリッド全体 【海底摩擦係数】 計算式：Chezy 【渦度粘性係数】 3D乱流モデル：Algebraic グリッド個別 範囲選択 チェックなし X 1~1 U 65 粘度：10 Y 1~1 V 65 拡散率：10
計算結果概要	・計算処理のログは、「tri-diag.AKASHI_11.txt」を参照。正常終了。計算時間約5時間。

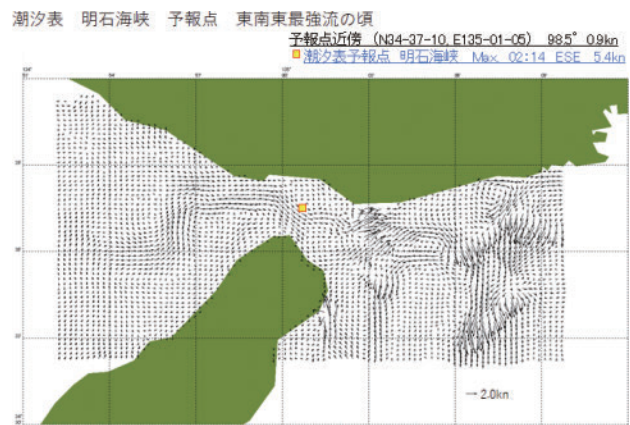


Fig. 6. An example of a simple diagram of tidal current grid data.

図 6. 潮流グリッドデータを簡易に図化した一例.

なかったものの一例である。潮流推算時間は、潮汐表の明石海峡予報点が東南東 (ESE) 最強流 (5.4 kn) の頃であるが、潮流グリッドデータは、予報点近傍で流向が東南東 (98.5 度)、流速が 0.9 kn であり、大きく違っていた。また、大阪湾側には流速 2 kn 以上の潮流があり、流況が周辺の潮流と異にしている。

5 潮流調和定数グリッドデータの作成

潮流調和定数グリッドデータの作成は、計算アプリケーションの調和分解計算を使用して行った。同データは、グリッドポイントの緯度・経度等のメタ情報、29分潮の北方・東方成分の速度・遅角で1セットとし、このセットがグリッドポイ

ント分あり1ファイルになっている。なお、主方向の潮流調和定数は計算されない。潮流調和定数グリッドデータの北方・東方成分の遅角・速度を使用して潮流推算を行うことで、任意の時間の潮流（流向・流速）グリッドデータを作成することができる (Fig. 7 (a), (b))。

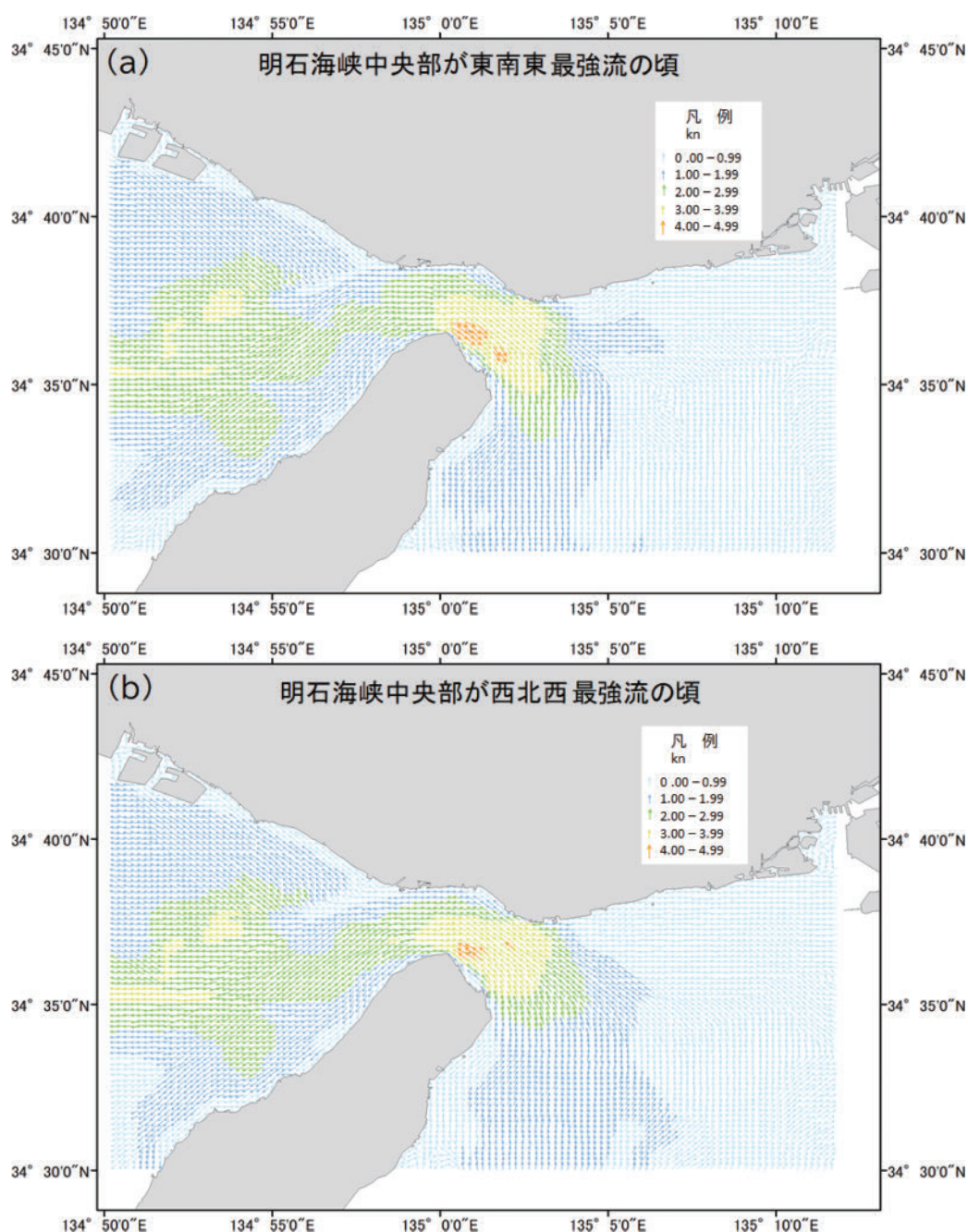


Fig. 7. An example of plotting tidal current grid data. (a) When the central part of the Akashi Strait was the east-southeast strongest current. (b) When the central part of the Akashi Strait was the west-northwest strongest current.

図7. 潮流グリッドデータを図化した一例。(a) 明石海峡中央部が東南東最強流の頃。(b) 明石海峡中央部が西北西最強流の頃。

6 潮流グリッドデータの検証

潮流グリッドデータの検証は、実測データとして定点観測データと航走観測データを使用し、流況シミュレーション実測データ比較アプリケーション（以下「実測データ比較アプリケーション」という）（海上保安庁海洋情報部環境調査課, 2016b；日本総合システム株式会社, 2016c）を使用した。検証の内容は次に記載する。

6.1 定点観測データ

定点観測データは、観測期間が昭和 47（1972）年 7 月 10 日から平成 18（2006）年 7 月 6 日までに観測間隔 10 分～60 分で 15 昼夜以上観測された 9 点で 12 データセット（同じ点で観測期間が異なるものがある）、ある時刻の観測値を 1 単位としたデータ総数 20,806 を使用した。潮流グリッドデータは、実測データ比較アプリケーションを使用し、定点観測データがあるグリッドの潮流推算を行い作成したものを使用した。定点観測データ 9 点との検証結果をまとめたものを Table 5 及び Fig. 8 に示す。

定点観測データ 9 点と潮流グリッドデータの北方・東方成分流速の相関は、やや強い～強いが 8 点（10 データセット）、弱い～弱いが 2 点（2 データセット）であった。相関が最も強い点は、Fig. 7 の「② 1995 年（2 期間）」（観測期間が平成 7（1995）年 9 月 7 日～10 月 6 日）で、相関係数が北方成分流速で 0.9657、東方成分流速で 0.9555 であった（Fig. 9（a），（b））。相関が最も弱い点は、Fig. 7 の「③ 1988 年」で、相関係数が北方成分流速で 0.4188、東方成分流速で 0.5304 であった（Fig. 10（a），（b））。

潮流グリッドデータの流速から観測データの流速を引いた流速差の絶対値は、位置番号①・②・③・⑥・⑦・⑧・⑨で 1.0 未満が 80.0% 以上であった。位置番号④は流速差 1.0 未満が、6 月～7 月観測 66.1%，9 月～10 月観測 67.1% であった。また、流速差が 1.0 kn 以上（潮流グリッドデータが小さい）が、6 月～7 月観測 33.4%，9 月～10 月観測 32.4% であった。位置番号⑤は流

Table 5. Summary of verification results in fixed point observation data.

表 5. 定点観測データにおける検証結果のまとめ。

位置番号	観測期間 (JTS)	観測間隔 (分)	データ総数	北方流速相関係数	東方流速相関係数
①	2006/06/22 15:00 - 2006/07/06 13:40	10	2009	0.7454	0.6746
②	1995/06/12 16:00 - 1995/07/15 11:20	20	2363	0.9572	0.9510
	1995/09/07 15:40 - 1995/10/06 15:00	20	2087	0.9658	0.9555
③	1988/07/26 12:00 - 1988/08/10 11:00	60	360	0.4189	0.5314
④	1995/06/11 15:20 - 1995/07/15 11:20	20	2427	0.9016	0.9756
	1995/09/07 15:20 - 1995/10/11 13:00	20	2444	0.8933	0.9769
⑤	1995/06/11 15:00 - 1995/07/15 10:40	20	2436	0.2675	0.9323
	1995/09/07 15:00 - 1995/10/11 12:40	20	2442	0.1984	0.9328
⑥	1985/10/09 00:00 - 1985/11/09 23:00	60	768	0.8135	0.8355
⑦	1985/10/12 00:00 - 1985/11/12 23:00	60	768	0.8915	0.9183
⑧	1972/07/10 00:00 - 1972/08/11 12:20	20	2342	0.5686	0.9609
⑨	1976/06/11 10:00 - 1976/06/26 09:00	60	360	0.8922	0.9872

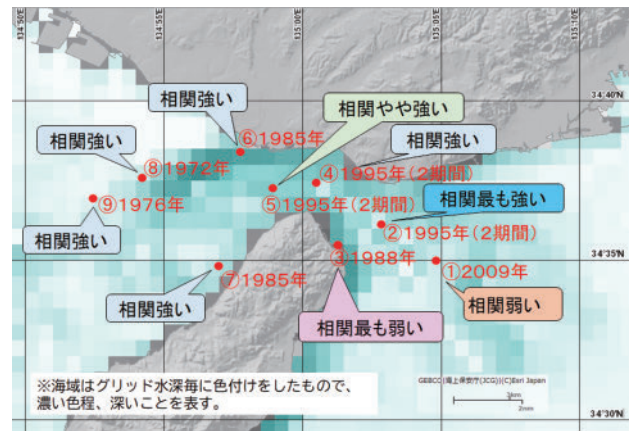


Fig. 8. Summary of verification results in fixed-point observation data.

図 8. 定点観測データにおける検証結果のまとめ。

速差 1.0 未満が、6 月～7 月観測 77.3%，9 月～10 月観測 76.0% であった。また、流速差が 1.0 kn 以上（潮流グリッドデータが小さい）が、6 月～7 月観測 19.1%，9 月～10 月観測 19.3% であった。潮流グリッドデータは、定点観測データとの相関係数が 0.7 以上で相関が強い点が 7 割以上あり、また、流速差 ± 1.0 未満が 80% 以上を占める点が 7 割以上あり、データ期間及び海域を問わず観測データと概ね一致していた。なお、割合が 100% にならないのは、流速差が 1.0 kn 以上のうち潮流グリッドデータ大きい方は、割合が極わずかなことから記載しなかったためである。

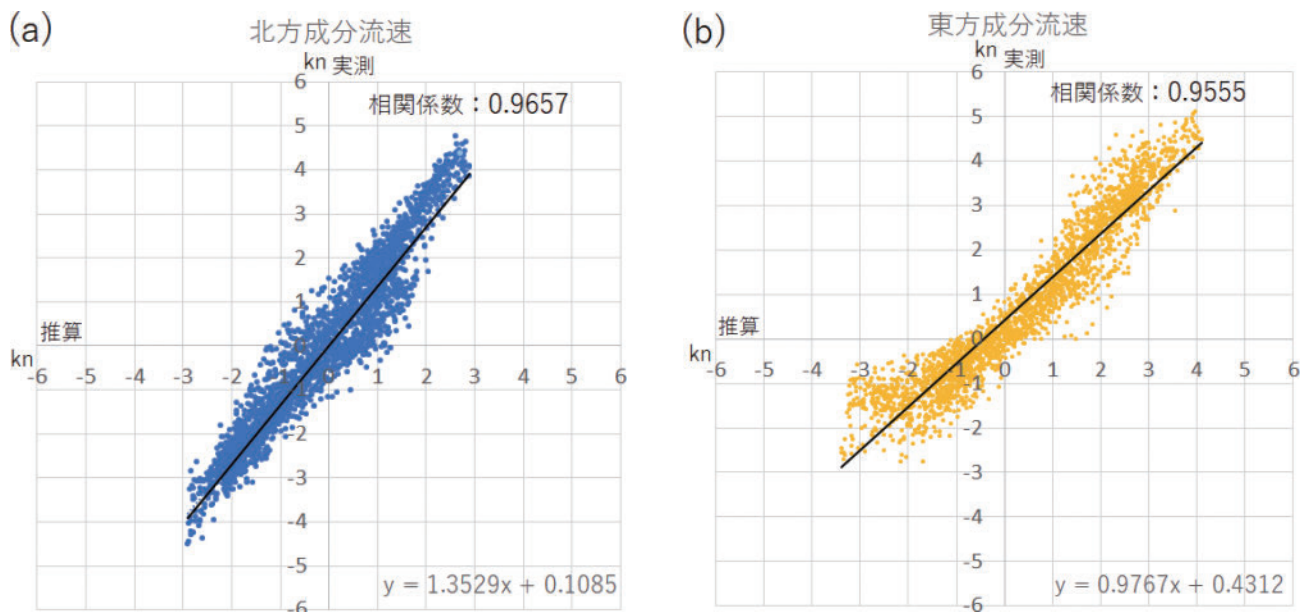


Fig. 9. The point where the correlation between the northern and eastern component current velocities is the strongest.
 図9. 北方・東方成分流速の相関が最も強い点.

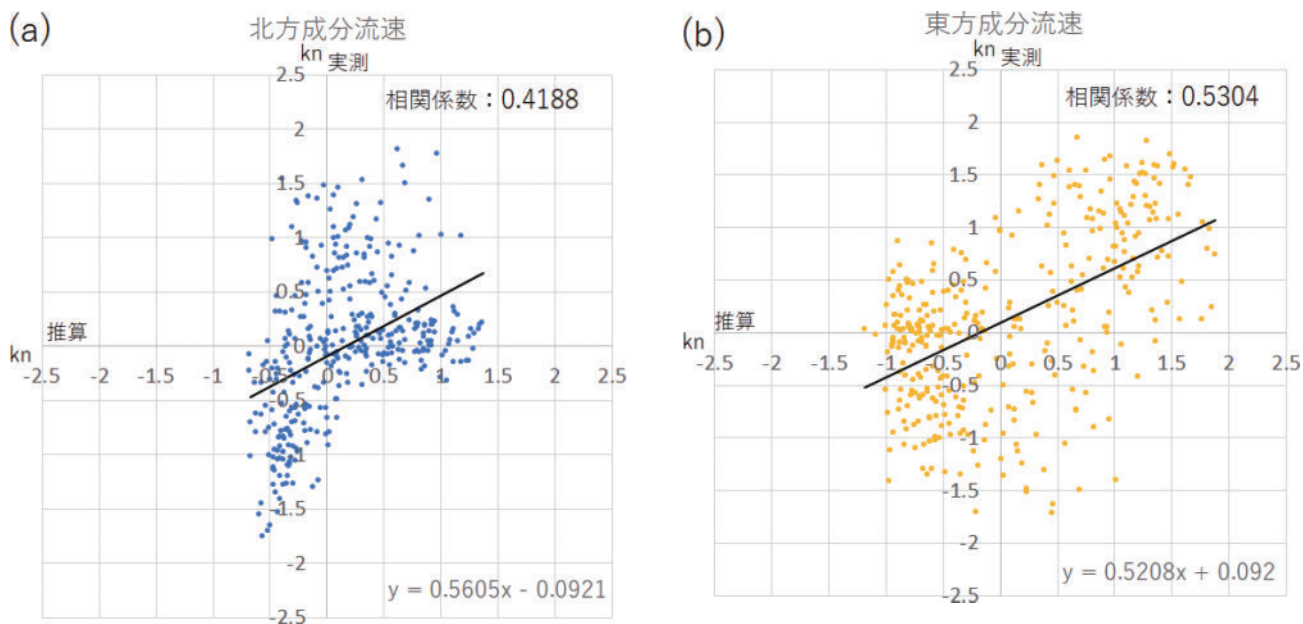


Fig. 10. The point where the correlation between the northern and eastern component current velocities is the weakest.
 図10. 北方・東方成分流速の相関が最も弱い点.

6.2 航走観測データ

航走観測データは、第五管区海上保安本部海洋情報部から同部所属の測量船「うずしお」に搭載された超音波流向・流速計（形式：WH-ADCP）で、平成14（2002）年6月～9月に観測された

36データセット、総データ数9,522の提供を受け、これらのデータを実測データ比較アプリケーション用のフォーマットに変換したものを使用した（Table 6）。データセットの流向・流速を矢符として図化した一例をFig. 11に示す。

Table 6. List of cruising observation data.

表 6. 航走観測データ一覧.

ファイル名 「.txt」省略	開始						終了						データ数
	年	月	日	時	分	秒	年	月	日	時	分	秒	
明石 020620-1	2002	06	20	08	56	54	2002	06	20	11	18	24	567
明石 020620-2	2002	06	20	12	41	42	2002	06	20	15	06	57	582
明石 020620-3	2002	06	20	15	51	03	2002	06	20	19	01	18	762
明石 020621-1	2002	06	21	10	05	18	2002	06	21	11	59	18	457
明石 020621-2	2002	06	21	13	33	36	2002	06	21	15	34	36	485
明石 020711-1	2002	07	11	10	15	54	2002	07	11	11	15	06	234
明石 020711-2	2002	07	11	13	24	33	2002	07	11	14	38	03	295
明石 020711-3	2002	07	11	16	47	27	2002	07	11	18	24	27	389
明石 020712-1	2002	07	12	08	25	51	2002	07	12	09	54	21	355
明石 020712-2	2002	07	12	10	28	36	2002	07	12	11	33	21	260
明石 020712-3	2002	07	12	14	29	09	2002	07	12	14	55	24	106
明石 020712-3b	2002	07	12	14	55	54	2002	07	12	15	40	09	178
明石 020812-1	2002	08	12	09	09	06	2002	08	12	09	45	36	147
明石 020812-2	2002	08	12	09	57	21	2002	08	12	10	22	21	101
明石 020812-3	2002	08	12	10	38	21	2002	08	12	11	04	36	106
明石 020812-4	2002	08	12	11	28	21	2002	08	12	12	03	06	140
明石 020812-5	2002	08	12	12	29	51	2002	08	12	13	08	36	156
明石 020812-6	2002	08	12	13	10	21	2002	08	12	13	44	21	137
明石 020812-7	2002	08	12	13	57	51	2002	08	12	14	25	51	113
明石 020812-8	2002	08	12	14	59	36	2002	08	12	15	31	21	128
明石 020812-9	2002	08	12	15	58	51	2002	08	12	16	33	06	138
明石 020813-1	2002	08	13	09	35	57	2002	08	13	10	31	42	224
明石 020813-2	2002	08	13	10	59	12	2002	08	13	11	30	27	126
明石 020813-3	2002	08	13	11	58	12	2002	08	13	12	27	12	117
明石 020813-4	2002	08	13	12	57	42	2002	08	13	13	37	42	161
明石 020813-5	2002	08	13	13	56	57	2002	08	13	15	24	42	352
明石 020813-6	2002	08	13	15	55	27	2002	08	13	16	41	12	184
明石 020813-7	2002	08	13	16	58	42	2002	08	13	17	33	57	142
明石 020909-1	2002	09	09	08	21	48	2002	09	09	09	46	48	341
明石 020909-2	2002	09	09	09	47	33	2002	09	09	11	04	18	308
明石 020909-3	2002	09	09	13	24	33	2002	09	09	14	34	03	279
明石 020909-4	2002	09	09	14	34	33	2002	09	09	15	39	33	261
明石 020910-1	2002	09	10	09	35	24	2002	09	10	10	49	54	299
明石 020910-2	2002	09	10	10	50	09	2002	09	10	12	19	24	358
明石 020910-3	2002	09	10	14	20	54	2002	09	10	15	27	09	266
明石 020910-4	2002	09	10	15	27	39	2002	09	10	16	34	24	268

潮流グリッドデータは、実測データ比較アプリケーションを使用して、航走観測データがあるグリッドの潮流推算を行い作成したものを使用した。検証結果は、流速差の絶対値 1.0 kn 未満がデータ期間及び海域とも大半（検証データの 85%）を占めている（一例として Fig. 12）。

流速差が 1.5 kn 以上あるグリッドは、期間によらず存在し、大潮や小潮との相関も特に見られなかった。潮流グリッドデータの方が大きい事例

は、神戸市垂水の南、及び明石市明石の南で多く見られた（一例として Fig. 13）。潮流グリッドデータの方が小さい事例は、神戸市垂水の南、及び野島江崎の北が多かった。航走観測データの全流速（9,522）と潮流グリッドデータの流速の相関係数は 0.7824 で相関が強かった。北方・東方成分流速の相関係数についても北方が 0.8551、東方が 0.8813 で相関が強かった。このように潮流グリッドデータと航走観測データは、期間及び海

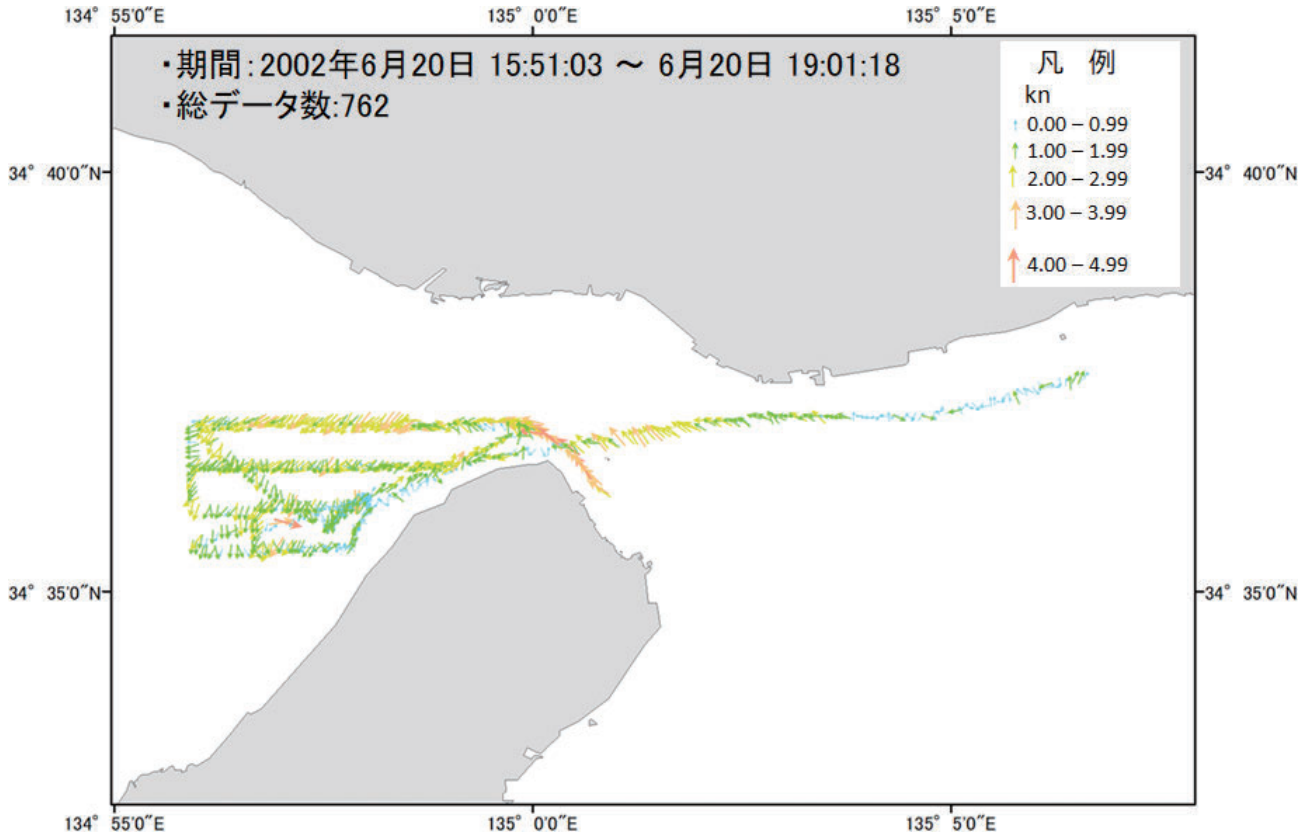


Fig. 11. An example of plotting the current direction and current velocity (arrows) of cruising observation data.

図 11. 航走観測データの流向・流速（矢符）を図化した一例。

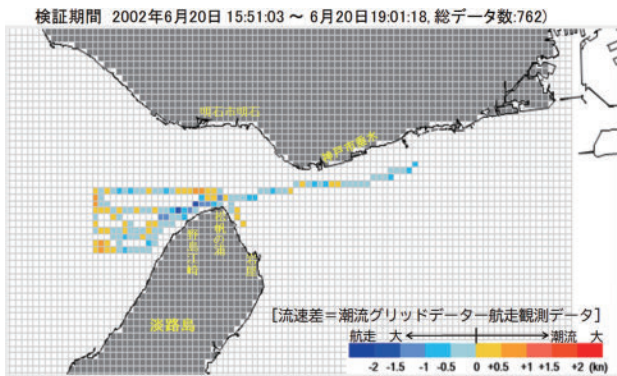


Fig. 12. An example of data in which the current velocity difference less than ± 1.0 kn occupies most of the data period and sea area.

図 12. 流速差 ± 1.0 kn 未満がデータ期間及び海域とも大半を占めているデータの一例。

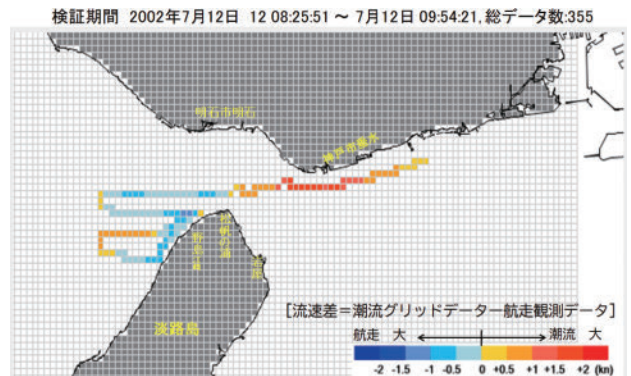


Fig. 13. An example of data in which most of the flow velocity difference was $+1.5$ kn or more, collected in the south of Tarumi, Kobe City.

図 13. 神戸市垂水の南で流速差 $+1.5$ kn 以上が多かったデータの一例。

域を問わず強い相関があった。

6.3 検証結果から分かった課題と解決案

定点観測データ及び航走観測データとの検証により、本潮流グリッドデータは概ね良好ではある

が、相関係数が弱い、または流速差が大きいグリッドも存在し、全てのグリッドが必ずしも一致するものではないことが判った（一例として、定点観測データの位置番号④（観測期間 1995 年 9 月 7 日 15 時 20 分～10 月 11 日 13 時 00 分）との

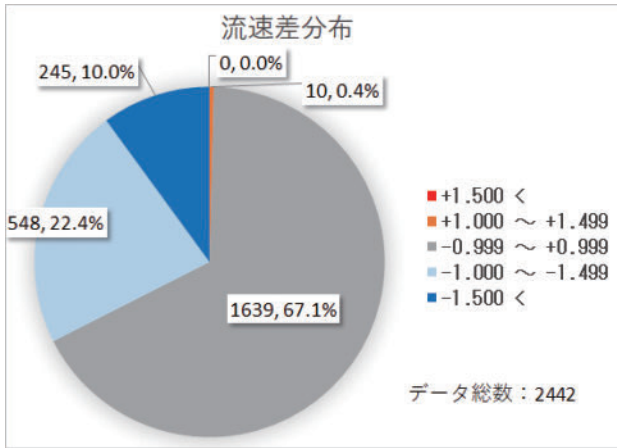


Fig. 14. Current velocity difference between tidal current grid data and fixed point observation data at position number ④ (observation period: September 7, 1995, 15:20 to October 11, 13:00).
 図 14. 潮流グリッドデータと定点観測データの位置番号④（観測期間 1995 年 9 月 7 日 15 時 20 分～10 月 11 日 13 時 00 分）の流速差。

流速差. Fig. 14). 課題は、これら精度があまり良くないグリッドについて、少しでも精度を向上させることである。相関が最も弱い③の定点観測データは、陸岸近傍という、他の定点観測データと大きく異なる点がある。今後、他の海域の試行を行うときにおいては、陸岸近傍の潮流グリッドデータの精度がどの海域でも良くないのか見極めたい。本試行では、計算区域、開境界水位等設定項目を 10 回以上変えたが、一部のグリッドの精度を良くしようと設定を変更すると、他のグリッドの精度が下がることもあった。このことから計算区域によっては、全てのグリッドで精度が高いという結果を求めるのには限界があると感じた。1つの解決案としては、ある一部の区域の精度が良くない場合に、実測データや文献等を参考にして、その区域の潮流調和定数または潮流グリッドデータに係数をかけて補正するという方法も考えられる。こうした補正を広い区域で行うと、何をシミュレーションしたのか判らなくなるため、補正を行う場合は、ごく限られた区域、具体的にはグリッド全体の 1 割未満の区域でのみ行うべきと思慮する。

7 潮流調和定数グリッドデータの係数補正

本試行では、明石海峡中央部付近の潮流グリッドデータの流速は、6.1 節で前述しているように定点観測データ④・⑤より小さく、また、潮汐表の予報点より小さかった。一方、6.1 節及び 6.2 節で前述しているように、明石海峡中央部付近以外の海域は、データ期間及び海域を問わず 7 割以上は概ね一致しているという結果であった。このため、明石海峡中央部付近のみ、係数をかけて流速が大きくなるよう潮流調和定数の補正を試みた。補正範囲を Fig. 15 に示す。

係数の算出には、2020 年の潮汐表から明石海峡の潮流予報点の西北西最強流が 7.0 kn 以上ある 2020 年 1 月 12 日の値を使用した。2020 年 1 月 12 日の毎時の潮流グリッドデータを作成し、潮流予報点と潮流予報点近傍のグリッドデータとの流速比を計算した (Table 7)。潮流調和定数の補正は、流速比最大の 1.64 と平均値 1.41 で行った。潮流予報点の流速と補正した潮流グリッドデータの流速を Table 8 に示す。係数 1.64 の場合は、潮汐表と 1.8 kn の差が生じる時刻があったが、係数 1.41 の場合は、最も差の大きい時刻でも 1.0 kn の差であり、概ね潮汐表と近い値となった。このため係数を掛ける場合は 1.41 の方が適当と判断した。

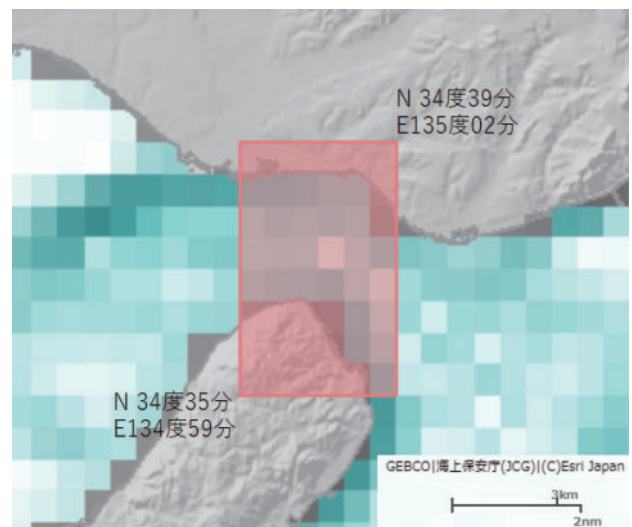


Fig. 15. Correction range of tidal current harmonic constant.
 図 15. 潮流調和定数の補正範囲。

Table 7. Current velocity ratio between the tidal current forecast point and the grid data near the tidal current forecast point.

表 7. 潮流予報点と潮流予報点近傍のグリッドデータとの流速比.

2020年1月12日	東南東最強流時刻, 流速	西北西最強流時刻, 流速	東南東最強流時刻, 流速	西北西最強流時刻, 流速
潮汐表 明石海峡 予報点	02:14, 5.4kn	08:57, 7.2kn	15:01, 4.0kn	21:08, 3.2kn
予報点近傍潮流グリッドデータ	02:00, 4.4kn	09:00, 4.4kn	15:00, 2.8kn	21:00, 2.4kn
流速比 (潮汐表/流況)	1.23	1.64	1.43	1.33

Table 8. The current velocity of the tidal current grid data estimated by the current velocity of the tidal forecast point and the corrected tidal current harmonic constant.

表 8. 潮汐予報点の流速と補正した潮流調和定数で推算した潮流グリッドデータの流速.

2020年1月12日	東南東最強流時刻, 流速	西北西最強流時刻, 流速	東南東最強流時刻, 流速	西北西最強流時刻, 流速
潮汐表 明石海峡 予報点	02:14, 5.4kn	08:57, 7.2kn	15:01, 4.0kn	21:08, 3.2kn
最大流速比 (1.64) で補正した予報点近傍	02:00, 7.2kn	09:00, 7.8kn	15:00, 5.0kn	21:00, 4.1kn
平均流速比 (1.41) で補正した予報点近傍	02:00, 6.4kn	09:00, 7.1kn	15:00, 4.3kn	21:00, 3.6kn

表のほか係数の良否を定性的な視点から判断するため「係数なし」と「係数 1.41」の計算区域全体の流向・流速を図化した。一例として 2020 年 1 月 12 日 02 時の東南東最強流の頃を Fig. 16 (a), (b) に示す。「係数なし」の場合は明石海峡中央部では流速 5.0 kn 以上はなかったが、「係数 1.41」の場合は流速が 5.0 kn 以上となった。流速が 5.0 kn 以上となった明石海峡中央部は、全体から見ても定性的に問題があるようには見えなかった。淡路島付近では係数 1.41 をかけたことにより最大 8.4 kn の流速となったが、今木・他 (1993) によれば「明石海峡の主流は海峡の中心線上、海峡の幅約 1/3 の区域にあり、その北側は岸に向かうにしたがって次第に流速を減じ、主流の南側は激潮を生じることがある。」と報告されている。流速が大きい淡路島付近は主流の南側で、この報告とも合っており、係数 1.41 は実用的に問題ないと思われる。

なお、補正範囲東端付近は、潮流グリッドデータの流速が補正ありと補正なしで 2 kn 近い段差ができています。このことから実用にあたっては、

全範囲を一律の係数で補正するのではなく、係数値に傾斜をもたせ、流速が滑らかになるような工夫が必要と考える。

8 まとめ

潮流グリッドデータ作成の試行を研究として最初に行った明石海峡についてまとめる。流況シミュレーションは、良好な計算結果を得るまで計算区域及び開境界水位の設定を 10 回以上変更したこともあり、今後の試行に生かせる情報をいくつか得ることができた。その情報を次に記載する。

- ◇海岸地形データ・水深データは、最新のもので計算区域より広めの区域を用意する。
- ◇開境界水位データは可能なら開境界を分割して設定できるものを使用する。
- ◇設定等は必ず記録し、変更したところが明確に分かるように記録する。
- ◇計算区域及び開境界水位の設定の変更が多数見込まれる場合は、計算に要する時間を短縮するため計算開始・終了を 32 昼夜潮流調和分解が行える 35 日程度とする。
- ◇計算の良否に大きく影響を与える設定項目は、水深データ、開境界位置、及び開境界水位である。
- ◇計算が正常に終了し良好な結果を得られたのは、グリッド幅 300 m である。
- ◇グリッド幅 100 m・150 m・200 m の流況シミュレーションは、数回、計算区域、開境界位置、及び開境界水位の設定を変更して行ったが、いずれも計算エラーが発生し正常に終了しなかった (今後の課題)。

実用的に問題ないと判断した明石海峡の潮流グリッドデータの利活用について次に記載する。

1 つ目として、航海安全情報としての利活用がある。現在、IHO の作業部会では、安全な航海に有益となるような様々の情報について S-100 をベースにした新しい仕様に向けた作業が進められ

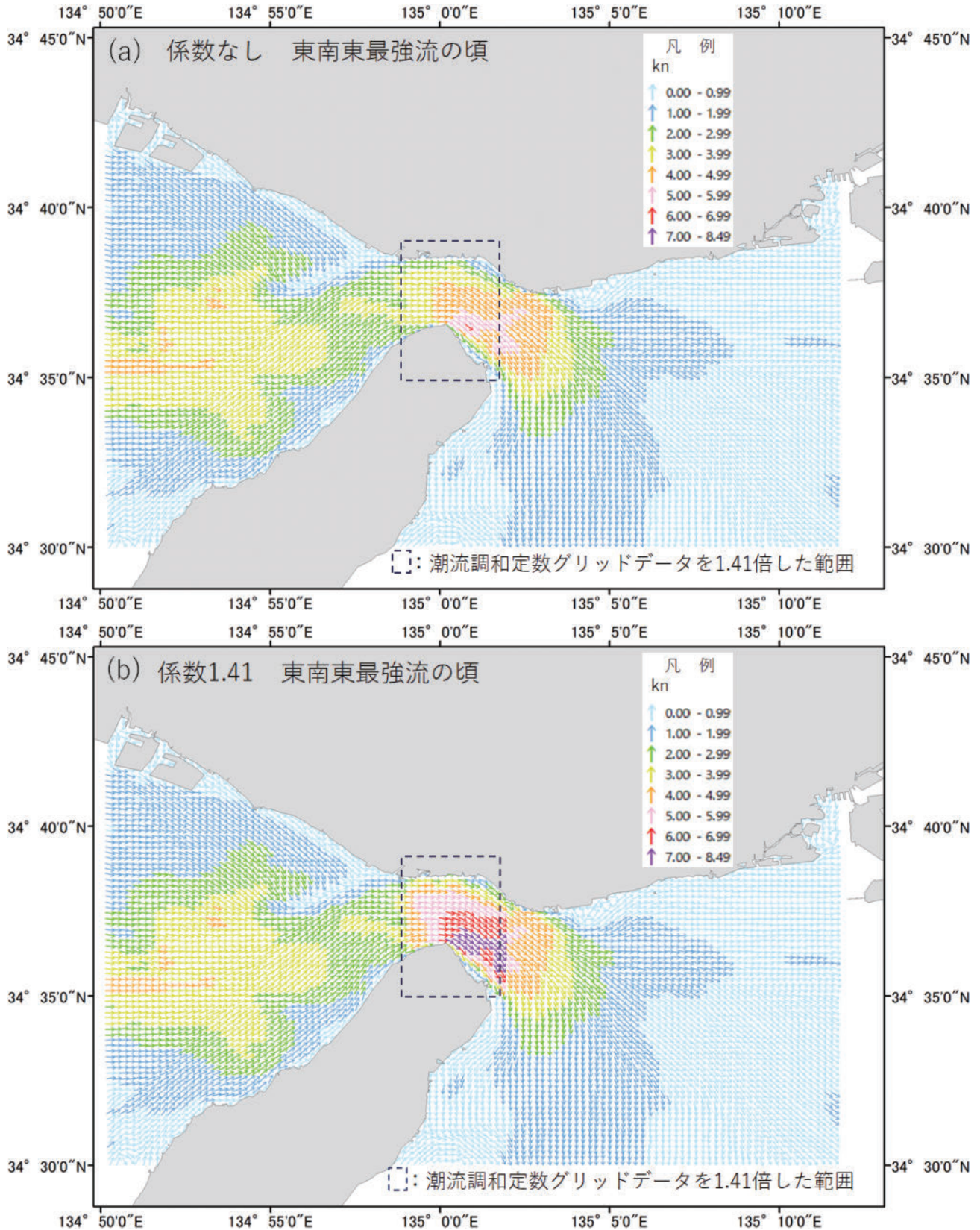


Fig. 16. An example of plotting tidal current grid data. (a) Around the time of the strongest current in the east-southeast without a coefficient. (b) Around the time of the strongest current in the east-southeast with a coefficient of 1.41.

図 16. 潮流グリッドデータを図化した一例. (a) 係数なしの東南東最強流の頃. (b) 係数 1.41 の東南東最強流の頃.

ている。その中には、潮汐・潮位 (S-104) や表層流 (海潮流) (S-111) など (服部, 2021) がある。この表層流としての利活用である。

2つ目として、海洋レジャー、海洋開発、及び海洋環境保全といった海での多様な活動での利活用がある。海での多様な活動で利活用の方法としては、海洋情報部 Web サイトで公開している「海しる (海洋状況表示システム)」での表示がある。

3つ目として、海上保安庁が海難事故の対応のために行っている漂流予測への利活用がある。

これらの利活用は、情報毎に対応したデータファイルを作成する等いくつかの解決すべき課題があるものの、近い将来には実現できるものと思われる。

潮流グリッドデータ作成の試行では、検証として観測 (実測) データが必要である。定点観測データは、これまで海洋情報部が航海安全のため長きに亘り行っている潮流観測によって取得されたものである。また、航走観測データも同様の目的で取得されている。潮流は、将来、地形の変更や気候変動によって変わる可能性もあるため、潮流グリッドデータが整備された後も、こうした観測は引き続き定期的に行う必要がある。

最後に、調和グリッドデータ作成の試行は、令和2 (2020) 年度下半期から2つ目の海域として備讃瀬戸を行っている。

謝 辞

潮流グリッドデータの検証に使用した航走観測データは、今回の試行のために第五管区海上保安部海洋情報部の海象担当者から提供されたものであり、大変有益なデータとなりました。海象担当者におかれましては、業務多忙のところ、ご提供いただき、感謝いたします。また、匿名の査読者には多くの重要なご指摘と有益な改訂のご提案をいただき、本稿は大きく改善されました。ここに記して感謝いたします。

文 献

- Delft Hydraulics (2009) Delft3D-FLOW User Manual, Deltares, Delft.
- 服部友則 (2021) 電子海図に関する近年の動向と S-101 電子海図規格策定に向けた動き, 海洋情報部研究報告, 59, 155-162.
- 今木博健・石垣泰輔・野井潤生・馬場康之 (1993) 大阪湾の潮流に関する水理模型実験 (1), 京都大学防災研究所年報, 36 B-2, 519-533.
- 海上保安庁海洋情報部, 来島海峡潮流情報, https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/kurushima_tidal_current/internet_currpred/Kurushima/htmls/select_areamap.html.
- 海上保安庁海洋情報部, 日本海洋データセンター, https://www.jodc.go.jp/jodcweb/JDOSS/index_j.html.
- 海上保安庁海洋情報部環境調査課 (2016a) 流況シミュレーション計算アプリケーション.
- 海上保安庁海洋情報部環境調査課 (2016b) 流況シミュレーション実測データ比較アプリケーション.
- 宗田幸次 (2020) 潮流調和定数データセットの作成手法に関する調査, 海洋情報部研究報告, 58, 126-134.
- 日本水路協会 (2004) 潮流情報等の船上における表示利用の高度化に関する研究, 調査研究資料, 121.
- 日本水路協会 (2005a) 潮流情報等の船上における表示利用の高度化に関する研究その2, 調査研究資料, 127.
- 日本水路協会 (2005b) 潮流・潮汐予測表示システム (試作版) の説明.
- 日本水路協会 (2015) インターネットサイト「来島海峡潮流情報」の開発, 水路, 173, 9-15.
- 日本総合システム株式会社 (2016a) 流況シミュレーション完成図書.
- 日本総合システム株式会社 (2016b) 流況シミュレーション計算アプリケーション取扱説明書.

日本総合システム株式会社（2016c）流況シミュレーション実測データ比較アプリケーション取扱説明書.

要 旨

海洋情報部では、海の流れの1つである潮流を面的な情報（潮流グリッドデータ）として提供してきた。近年、海洋に関連する技術が進歩し、詳細な水深データなど新たな情報が取得されている。また、潮流グリッドデータの提供形態は、印刷物から情報利用の多様性が高いデジタルが主流となっている。海洋情報部では、これらに対応した、新たな潮流グリッドデータを作成する研究を行っている。令和元（2019）年度～令和2（2020）年度の研究では、潮流グリッドデータ作成の最初の試行として、明石海峡を行った。