

津波情報図化ツールの作成とその使用例[†]

鈴木充広^{*1}, 松下 優^{*1}, 石川美風香^{*1}, 高橋日登美^{*2}

Development and usage examples of tsunami information visualization tools[†]

Michihiro SUZUKI^{*1}, Hiroshi MATSUSHITA^{*1},
Mifuka ISHIKAWA^{*1}, and Hitomi TAKAHASHI^{*2}

Abstract

JHOD has been publishing a series of tsunami hazard maps, named “Tsunami Information Maps,” aiming at mariners and port authorities to mitigate tsunami disaster in harbors. A Tsunami Information Map is created using GIS software to represent the results of tsunami simulation for given seismic fault models and bathymetric data. To meet the demands of increasing and diversifying users, the authors have developed new visualizing tools for the simulation results; the tools run in web browsers and can customize the representation of the tsunami information upon the users’ requests. This paper describes the function of the tools and some examples of the visualized tsunami information.

1 はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震での津波被害を契機に、南海トラフ地震等により想定される津波の防災対策の一環として2013年に始まった津波防災情報図の整備も5年目となり、津波防災情報図の整備範囲は九州から東北まで広がった。また整備された津波防災情報図の数も113図を超え、今後さらに増加する予定である。

また、この5年の間に津波防災情報図の整備が進んだ地域では、その地域を管轄する管区海上保安本部、海上保安部署等の協力を得て図の周知活動と提供が行われたことから、津波防災対策のための基礎資料として津波防災情報図が利用される場面が増えてきた。

津波防災情報図が利用される場面が増えるに従い、利用者からの津波防災情報図に対する要望が増加し、その対応が必要となった。2017年から始まった沿岸域の広域津波防災情報図の整備や、第四、第五管区海上保安本部が独自に進めている津波シミュレーションマップの作成などは、そうした利用者からの要望に応えるための取組の一つである。今後、津波防災情報図の利用が増えれば利用者からの要望もまた増えてゆくことが予想される。

筆者らは増加する利用者の要望に効率的に応えるには、利用者自らが情報を加工して目的に合った独自の津波防災情報図を作成することが出来る環境を整備する必要があると考え、津波情報図化

[†] Received October 18, 2017; Accepted November 20, 2017

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

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

ツールを作成した。以下では、作成した津波情報図化ツールの使用例とその機能を紹介する。

2 津波防災情報図とは

現在の津波防災情報図について簡単に説明する。

海上保安庁は、南海トラフ地震及び首都直下地震を波源とする津波災害に対応するため、2013年から海域における津波の挙動を示した津波防災情報図を整備し、船舶の運航に関わる航海者や港湾管理者等の海事関係者に提供してきた。

海上保安庁の作成する津波防災情報図は、

- a. 進入図, 引潮図 (以下「進入図等」)
- b. 経時変化図
- c. アニメーション

の3種類の図を1組として作られている (Fig. 1)。このような構成を採用したのは刻々と変化する複雑な海域の津波の挙動を正しく伝えるための工夫の結果である。

3種類の図は、共通の津波シミュレーション計算結果から作られている。

aは津波が押し寄せ水位が上昇する期間と引き波で水位が低下する期間の二つに分け、前者を進入図、後者を引潮図として作図している。それぞれの期間中の最高または最低の水位をカラースケールで表し、同期間中における最大の流速とその流向を矢符の長さで方向で表した図であり、津波の概要の把握に役立つ。

bはあらかじめ指定した任意の地点における水位及び流速流向の時間変化をグラフ化したもので、その地点における詳細な海水の動きの時間変化の把握に役立つ。

cは津波の挙動を一定間隔でスナップショットし、これを繋ぎ合せてアニメーション化したものである。それぞれの1枚の図は切り取った瞬間の水位をカラースケールで表し、流速流向を矢符の長さで方向で表した画像である。アニメーションは津波の挙動をより視覚的にとらえるのに役立つ。

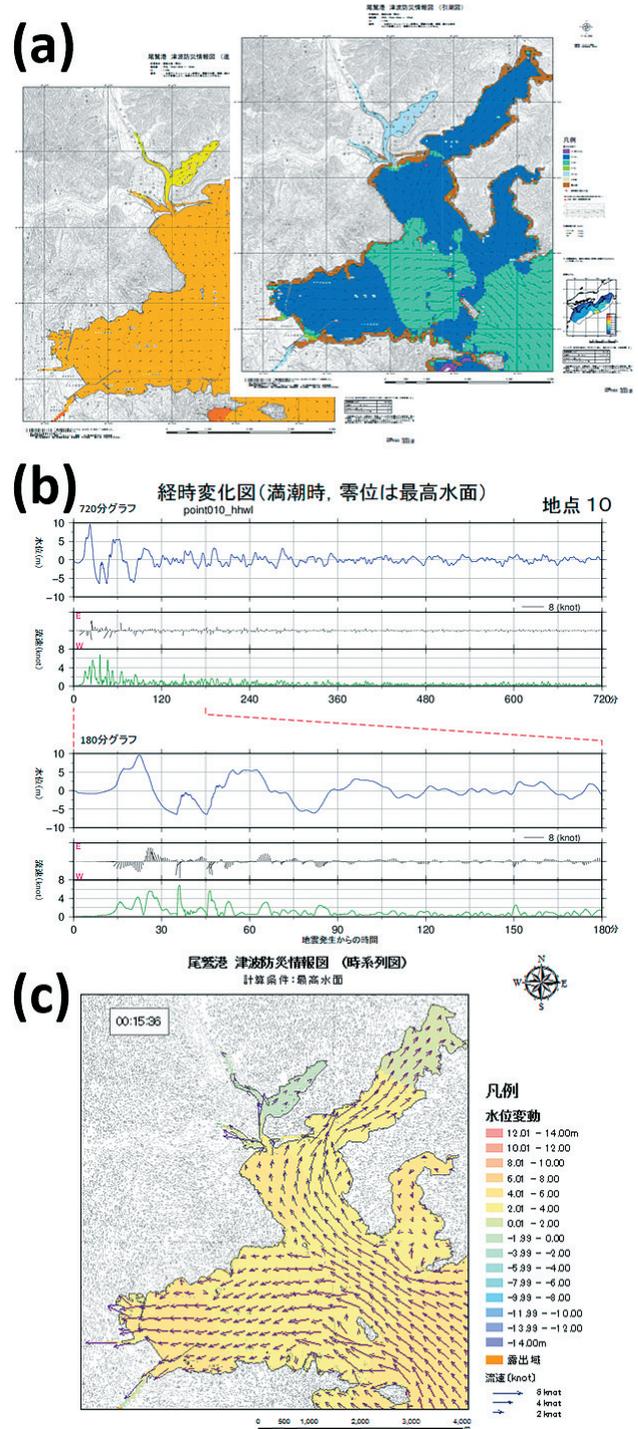


Fig. 1. An example of the Tsunami Information Map at Owase Port. A Tsunami Information Map is composed of three types of figures: (a) Inflow and Outflow maps, (b) Time series, and (c) Animation.

図 1. 尾鷲港の津波防災情報図の例。津波防災情報図は、(a) 進入図と引潮図、(b) 経時変化図、(c) アニメーションの3種類の図で構成されている。

2.1 津波防災情報図の作成

津波防災情報図の作成は津波解析支援 GIS 装置（以下「津波解析装置」）という専用の装置を使って行っている（細萱・他，2005）。この装置は、津波シミュレーション計算ソフトウェアとシミュレーション結果を図化するための GIS ソフトウェア（ESRI 社製の ArcGIS，以下「ArcGIS」）等がインストールされたワークステーションである。この装置を用いた津波防災情報図の作成作業では、まず津波シミュレーション計算を行い、その後 ArcGIS を用いてシミュレーション結果の図化を行う。

2.1.1 津波シミュレーション計算

津波シミュレーション計算の実行には、メッシュ化された海底地形データと津波の波源となる地震の震源断層モデルのデータが必要である。必要なデータがそろった海域であれば、いくつかの条件の設定をするだけで計算を行うことができる。

現在（2017 年 9 月）筆者らが使用している津波解析装置（CPU：Intel Xeon E3-1220 v5 3.0G Hz，実装メモリ：8.0G byte，OS：Windows7 Professional (64)）を用いて、標準的な広さの港湾の 12 時間分の津波シミュレーション計算を実行する場合、これに要する時間は数時間程度である。計算結果は Table 1 に示した 7 種類の CSV 形式ファイル（カンマ区切りテキストファイル）に出力される。このため、CSV 形式ファイルの

Table 1. Output file list of tsunami simulation calculation.

表 1. 津波シミュレーション計算の出力ファイル一覧.

ファイル名	内 容	関連する図
SUIL.CSV	最高及び最低水位に関するデータ	進入図等
VEC.CSV	最大流速・流向に関するデータ	
TOTATSU.CSV	メッシュ毎の津波到達時間に関するデータ	
TOUTATU.LINEnnnn.CSV	津波到達時間等時線に関するデータ nnnnは到達時刻判別に用いた津波高 (単位:cm)	
KOSHI.CSV	津波防御施設の破壊状況のデータ	経時変化図
KEIJI.CSV	設定された経時変化点での水位・流速・流向の時間毎のデータ	
JIKEIxxxx.CSV	津波シミュレーション計算の一定時間毎のスナップショットデータ。xxxx は地震発生からの時間(単位:0.1分)	アニメーション

読み取りが可能な Microsoft Excel（以下「エクセル」）等の標準的なソフトウェアを使ってその内容を見ることが可能となる。ただし出力されるファイルの数は 7000 以上あり、総ファイルサイズが数十 G～数百 G byte にのぼるため、個々のファイルの内容を確認することは困難である。

2.1.2 シミュレーション結果の図化

津波解析装置を使用した津波シミュレーション計算結果の図化作業は ArcGIS 上で行う。津波解析装置に搭載された ArcGIS は津波防災情報図作成のための専用機能を有する。この専用機能により計算結果ファイルの読み込みや図化作業の多くは自動化されており、進入図等の基本的な図化作業ではほとんど人手を介さず図を作成することができる。図の作成に要する時間は進入図等で 15 分程度である。アニメーションは多数のスナップショットを作成する必要があるため、数時間程度を要する。

職員は、自動的に作成された図を点検し、流速流向を示す矢符や到達時刻等時線の異常等の修正、レイアウト調整などの編集作業を ArcGIS 上で行い、図を完成させる。

3 津波情報図化ツールの作成

海上保安庁では、前述の津波解析装置を用いて、津波防災情報図を作成し、海事関係者等にこれを提供してきた。海域における津波防災対策の基礎資料として津波防災情報図が活用されるようになる利用者から様々な要望が寄せられるようになった。

利用者から寄せられた主な要望には以下のようなものが挙げられる。

- ・任意地点の水位、流速流向の経時変化が知りたい。
- ・水位変化量を示すカラーバーを変更したい。
- ・隣接する図をつなぎ合わせたい。
- ・最大流速の分布を知りたい。
- ・地盤の隆起沈降の状況を知りたい。

筆者等は津波防災情報を利用者の使いやすい形

で提供したいと考え、利用者の要望にできる限り対応してきたが、要望の件数が更に増えれば一つ一つの要望に個別に対応することは難しくなる。この問題を解決するために、津波シミュレーション計算の結果をもとに各利用者が必要な形で津波防災情報図を描画できる津波情報図化ツール（以下「図化ツール」）を作成した。

利用者からの要望の多くは、自分が知りたい情報をより見やすく表した図が欲しいというものである。つまり、津波シミュレーション計算結果を利用者の望みどおりに図化する作業が行えればよい。また、図化についても高度な測地系変換機能などは求められていないと考えられる。そうした用途であれば図化には ArcGIS のような GIS ソフトウェアは必要ない。それよりも、簡単な操作ですぐに結果が得られることが重要である。図化ツールの作成は、この考えにもとづいて行っている。

3.1 図化ツールと動作環境

作成した図化ツールは、大きく分けて二つの種類がある。一つは、進入図等やアニメーションの元となる静止画像を作るためのプログラム（以下「図化ツール A」）、もう一つは、任意地点での経時変化図を作るためのプログラム（以下「図化ツール B」）である。

図化ツール作成に用いるプログラミング言語はオープンソースの汎用プログラミング言語である、PHP（PHP：Hypertext Preprocessor）とした。PHP は C 言語に似た文法を持っており、使用される関数も C 言語と共通するものが多く習得しやすい言語である。PHP は Web サーバーと組み合わせてサーバーサイドで動作するスクリプト言語として利用されることが多く、HTML ファイルの中に埋め込んで使用することができるため、HTML の構文で入出力のインターフェース部を柔軟に記述できる。更に画像処理を行うためのグラフィックスライブラリを実装しているため、画像処理が必要となる図化ツール作成には適している。

図化ツールの作成と動作試験は、1 台のワークステーション（CPU：Intel Xeon E3-1220 v5 3.0G Hz、実装メモリ：8.0G byte、OS：Windows7 Professional (64)）を Web サーバー兼クライアントコンピュータとして行った。この環境で動作を確認した図化ツールは、今までの実績から大きな手直しをすることなくイントラネットやインターネット環境でも動作することが期待できる。

図化ツールは、まず現在の津波防災情報図を構成する 3 種の図の簡易版を作り出せることを目標として作成した。

3.2 図化ツール A による進入図等の作成

Fig. 2 は図化ツール A を用いて東京湾における進入図に相当する図を作成した画面である。使用した地震断層モデルは内閣府が公表した南海トラフ巨大地震のケース 1（内閣府、2012）である。津波による最高水位をカラスケールで、最大流速とその流向を矢符で表現する点は、これまでの津波防災情報図の進入図等と同じである。ただし、最高水位を表すカラーバーは、必要に応じて変更できる（表示例では 12 種類から選択することが可能）。また、流速を表す矢符の長さも変更可能である。画像の作成には津波シミュレーション計算によって出力された SUII.CSV 及び VEC.CSV のデータをサーバー上で自動的に結合して作る SUIVEC.CSV を用いている。

図化ツール A のデフォルトの設定は進入図作成用であるため、Fig. 2 の図を作成するには、図化したい海域とシミュレーションに使用した震源断層モデルを選択するだけである。その後は図を確認しながらカラーバーの種類を選び、カラスケールで示す最高水位の最小値と最大値、最大流速を示す矢符の長さや描画密度等の修正の必要なパラメータを変更して、試行錯誤で図を修正し、求める図を作る。試行錯誤を数度繰り返しても作業に要する時間は 1～2 分程度である。

Table 2 は現在使用している津波解析装置と図化ツール A の図化機能の比較である。

図化ツール A において未実装とした到達時刻

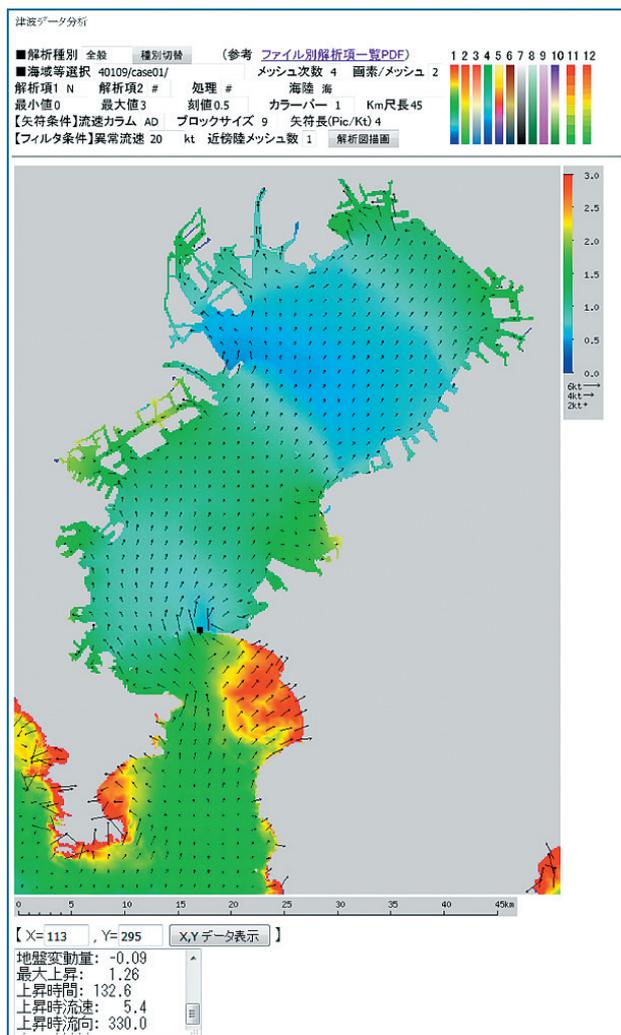


Fig. 2. Screenshot of the tsunami information visualization tool. The color scale represents the highest water level, and the arrows represent the maximum speed and the direction of inflow.

図 2. 津波情報図化ツールの画面例。カラースケールは最高水位を表し、矢符は進入する水の最大流速と流向を表している。

等時線描画、経緯度線描画、背景地図表示機能は、今後実装を予定している。不可とした表示座標系変更の機能については、図化ツールに求められる機能ではないと考えており、実装の予定はない。以上のとおり津波解析装置では可能で、図化ツール A には実装されていない機能がある一方、水位等のカラーバーの種類の変更や流速流向の矢符長の変更などの処理については、図化ツールの方が津波解析装置で図化するよりもずっと容易に行える。更に図化ツール A には、図の任意の箇

Table 2. Comparison of visualizing functions between the existent GIS and the visualization tool A.

表 2. 津波解析支援 GIS 装置と図化ツール A の図化機能比較。

(主な機能)	津波解析支援 GIS 装置	図化ツール A
水位の色分け表示	可能	可能
水位の色分け変更	〃	〃
水位以外の色分け表示	手動により可	〃
流速流向の矢符表示	可能	〃
矢符長の変更	再解析が必要	〃
到達時刻等時線描画	可能	未実装
表示座標系変更	〃	不可
経緯度線描画	〃	未実装
背景地図表示	〃	未実装
データ閲覧機能	不可	可能
必要とされるソフトウェア	ArcGIS	Webブラウザ

所の津波シミュレーション計算結果の各種数値を表示させる機能があり、データの詳細を確認したい場合に便利である (「Table 2」データ閲覧機能)。

また、Web ブラウザ上で図の作成に必要なパラメータの設定から表示までを行えるという点は、図化ツール A の大きな利点である。

描画指示から描画完了するまでの津波解析装置と図化ツール A のレスポンスタイムを Fig. 2 の図の表示を例として計測した (5 回の実測値を平均した値)。その結果は図化ツール A が 6.2 秒、津波解析装置が 9.4 秒であった。両者で行う処理内容等と同じにすることはできないため、両者のレスポンスタイムの数値の直接比較には意味がないが、体感速度の参考として記す。

3.3 図化ツール A を用いたアニメーション作成

第 3.2 節において使用した図化ツール A は、プログラムとしては、ユーザーインターフェース部と画像生成部の二つから構成される (以下、区別が必要な場合は前者を「図化ツール A (UI)」, 後者を「図化ツール A (GC)」とする)。図化ツール A (UI) は、画像生成部である図化ツール A (GC) に画像描画条件を付加して呼び出す。呼び出された図化ツール A (GC) は、付加された描画条件に従って、画像を生成し、呼び出し元の図

化ツール A (UI) に画像データを返す。第 2 節の進入図等の描画には SUIIVC.CSV ファイルのデータを用いたが、図化ツール A (GC) に付加する描画条件を変更すれば、SUIIVC.CSV 以外のファイルの図化も可能であり、実際に図化ツール A は津波解析装置の津波シミュレーション計算で出力される SUII.CSV, VEC.CSV, JIKEIxxxx.CSV, TOUTATU.CSV の図化にも対応している。

津波防災情報図のアニメーションの元となる静止画像は JIKEIxxxx.CSV に記録された水位と流速流向を図化したものであるから、図化ツール A で、必要な数だけ JIKEIxxxx.CSV ファイルを図化すればアニメーションを作る準備が整う。ただ津波防災情報図のアニメーション作成には通常数百～数千の静止画像が必要となるため手作業で図化を行うことは現実的でない。何らかの方法で描画条件を付加して図化ツール A (GC) を呼び出し、生成された画像を保存する必要がある。筆者等はこの処理にエクセルを使い、エクセルのマクロプログラムで図化ツール A (GC) を制御し、必要な数の静止画像を得ている (Fig. 3)。

なお、静止画像からアニメーションを作成する処理については一般の画像処理ソフトを用いている (津波解析装置での処理も同様である)。

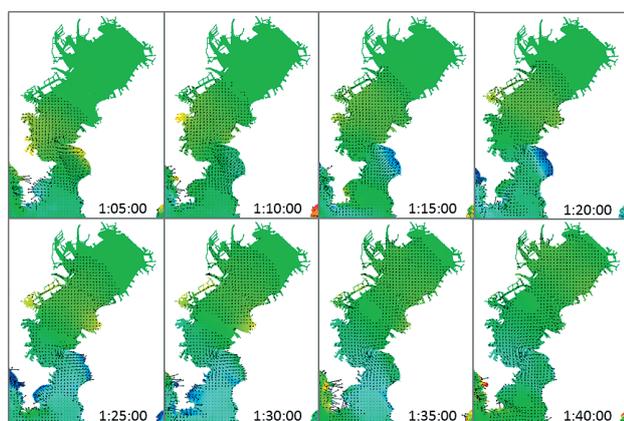


Fig. 3. Continuous still images created with the visualization tool A (an example of Tokyo Bay).

図 3. 図化ツール A で作成した連続した静止画像 (東京湾の例)。

3.4 図化ツール B を用いた経時変化図の作成

Fig. 4 は図化ツール B によって経時変化図を作成した表示画面の様子である。

図化ツール B は指定された JIKEIxxxx.CSV ファイルの範囲の簡単な地図を表示 (図化ツール A (GC) で描画) する。使用者がこの地図上で経時

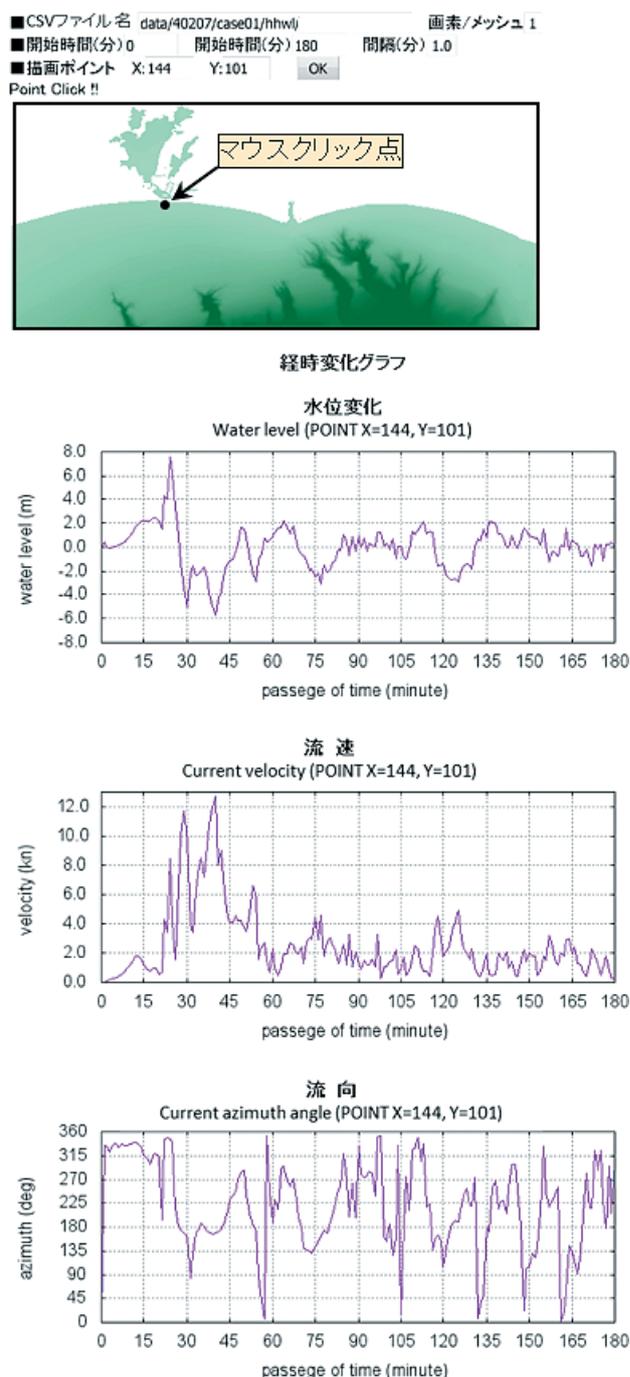


Fig. 4. Time series drawn with the visualization tool B (an example of Enshu-nada).

図 4. 図化ツール B で作成した経時変化図 (遠州灘の例)。

変化図を描かせたい地点をマウスクリックすれば、その位置を読みだして JIKEIxxxx.CSV ファイルのデータから経時変化図を作成し、表示する。

JIKEIxxxx.CSV ファイルから経時変化図を作成する手法は、鈴木・他 (2014) でエクセルのマクロプログラムで行った例が紹介されており、図化ツール B の経時変化図作成のための処理はこれとほとんど同じものなので説明は省略する。

3.5 図化ツール使用の応用例

紹介してきた図化ツールは津波防災に係る海事関係者が、目的に合った津波防災情報図を作成することを支援する目的で作成したものであったが、それ以外の応用例を 3 つ紹介する。

3.5.1 最大流速図

Fig. 5 は津波発生時の東京湾の最大流速図である。最大流速図とは、津波シミュレーション計算の時間内の最大流速の分布を示す図である。船舶の運航にとって強い流れは常に危険なものであることから、そうした危険な流れが発生する場所を示す最大流速図は、避難海域等の検討に不可欠な資料である。Fig. 5 で使用した震源モデルは、(a) が南海トラフ巨大地震ケース 1、(b) が元禄関東地震 (内閣府, 2013) である。

図は最大流速をカラースケールで表し、その瞬間の流速と流向を矢符の長さで表している。最大流速図については、第四管区海上保安本部や第五管区海上保安本部が既に独自に作成しているが、今回作成した図では、最大流速だけでなく最大流速時の流向も解るように流速、流行を表す矢符を描画させている。流向を示すことで、それぞれの地点の最大流速が押し波の期間のものか、引き波の期間のものかの判別ができる。

また、両図を見比べると、どちらの図でも東京湾中央部に比較的流速が小さな海域が現れることが判る。地震の震源の位置や規模は (a)、(b) で異なるが、最大流速の分布の傾向には共通点が見いだせる。二つのモデルだけではこの傾向が普遍

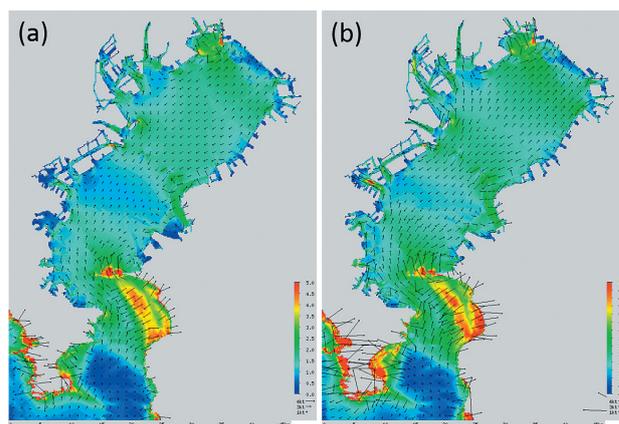


Fig. 5. Maximum flow velocity map in Tokyo Bay created with the visualization tool A. The color scale represents the highest water level, and the arrows represent the maximum speed and the direction of flow. Applied seismic fault models are (a) the Nankai Trough earthquake, Case 1 and (b) the Genroku-Kanto earthquake. Note that the scale of arrows is different between (a) and (b).

図 5. 図化ツール A で作成した東京湾の最大流速図。カラースケールは最高水位を表し、矢符は最大流速と流向を表している。使用した震源モデルは、(a) 南海トラフ地震ケース 1、(b) 元禄関東地震。(a)、(b) で流速のスケールが異なることに注意。

的なものなのかどうかの判断はできないが、他の震源モデルによる津波シミュレーション計算結果を用いて同様の比較を行うことによって、防災対策に役立つ新たな知見が得られるかもしれない。このような簡単な操作で様々な津波の情報を可視化できる図化ツールは、津波の分析ツールとしての用途も考えられる。

3.5.2 地震による地盤変動図

Fig. 6 は、SUII.CSV 等に保存された地盤変動量に関するデータを、図化ツール A を用いて作成した元禄関東地震モデルによる東京湾周辺の地盤変動の状況を示す図である。

震源に近い地域では地盤の隆起沈降の影響により、数値で示された水位変動以上に地盤からの相対水位が大きく変化する場合がある。現在公開さ

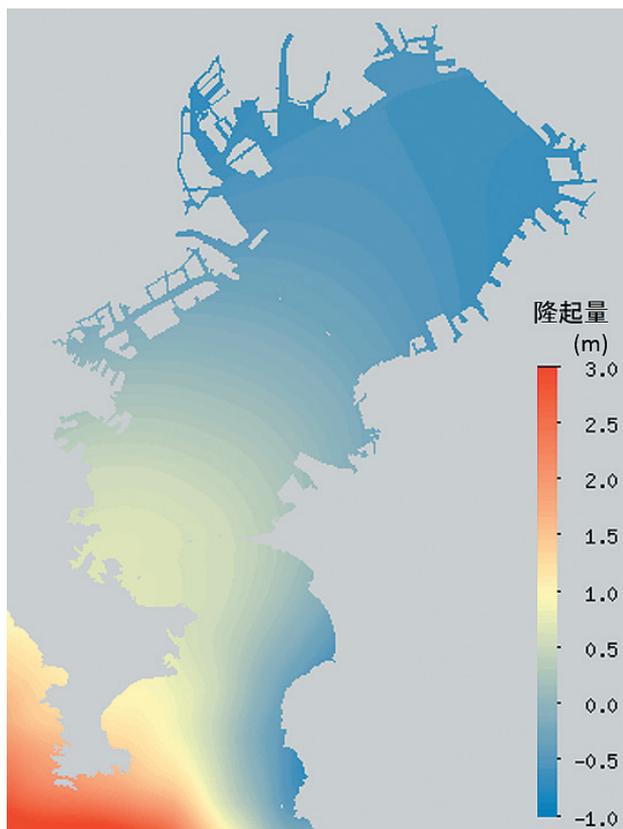


Fig. 6. Ground deformation in Tokyo Bay caused by the Genroku-Kanto earthquake model, created with the visualization tool A.

図6. 図化ツールAで作成した元禄関東地震モデルによる東京湾周辺の地盤変動図。

れている津波防災情報図では図の範囲内の地盤変動量の最大、最小及び平均値が数値で示されているが、どの部分が隆起し沈降するのかといった状況までは知ることが出来ない。しかし、この地盤変動の図と合わせて見ることで、隆起沈降の詳細な情報を補うことができる。

3.5.3 隣接する海域の図の結合

Fig. 7は図化ツールAを用いて作った豊後水道付近の広域図である。豊後水道付近は、津波シミュレーション計算用の地形メッシュデータが3つに分かれているため、津波シミュレーション計算結果も3つに分かれている。この例は、図化ツールAにより同じ描画条件で3つの海域の津波シミュレーション計算結果を図化し、出力された画像をMicrosoft PowerPoint上でつなぎ合わせたものである（図化ツールAで作られた画像

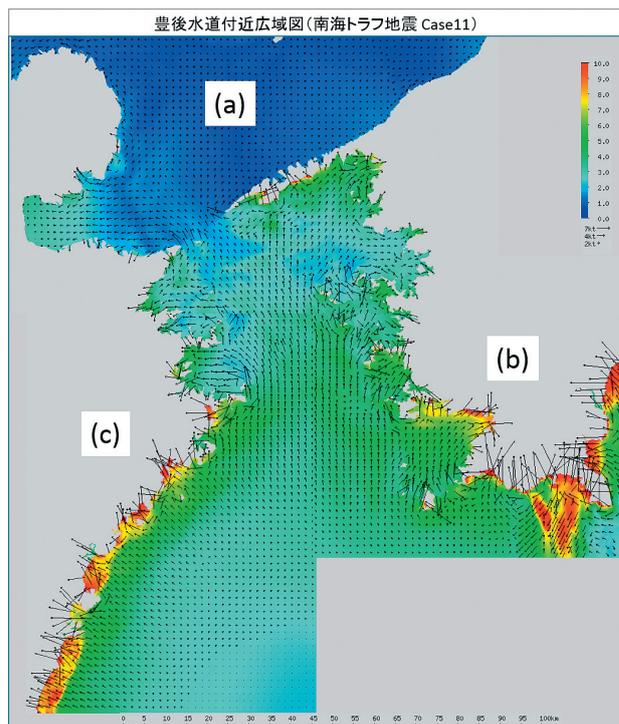


Fig. 7. Wide area map of Bungo-Suido (channel) created with the visualization tool A. The color scale represents the highest water level, and the arrows represent the maximum speed and the direction of inflow. This wide area map is created by connecting the three maps, (a), (b), and (c).

図7. 図化ツールAで作成した豊後水道広域図。カラースケールは最高水位を表し、矢符は流入する水の最大流速と流向を表している。この図は(a), (b), (c)の3図を連結して作成している。

はブラウザの標準機能を用いて簡単に保存できる)。

図化ツールAを用いてこの図を作るのに要した時間は、画像のつなぎ合わせまで含めても10分程度である。

これまで公開されている津波防災情報図は、基本的に各港湾単位に作成されている。一方、津波防災対策を検討する上で広域の防災対策のために隣接する海域の津波防災情報図を結合したいという要望が多くあるが、この図化ツールを利用すればきわめて容易にその要望に応えることができる。

4 むすび

今回紹介した図化ツールは、現在、筆者等の使用するワークステーション上で動作し、外部からの津波防災情報に関する問い合わせや要望に応えるために日々の業務で利用されている。

プログラム自体は汎用性があり、イントラネットやインターネット上でも動作するものであるから、将来は津波防災情報図の図化ツールとして公開を予定している。現在筆者らが行っている作業を、津波防災情報図の利用者自らがネットサーフィンをするような気軽さで利用し、目的に応じた様々な図を作り、それらの情報を読み解いて、津波防災対策に活用する日が来ることを願っている。

謝 辞

各地で津波防災情報図説明会を開き、津波防災情報図の普及に努め、また、津波防災情報図の利用者からの声を伝えてくださったすべての管区海上保安本部、海上保安部署職員の方々から、様々なアイデアを頂きました。第十管区海上保安本部海洋情報部の橋本崇史専門官からの御指摘により、多くの説明の不備を補うことができました。記して感謝いたします。

文 献

- 細萱泉・山内明彦・渡辺一樹・加藤幸弘・長屋好治・矢沼隆（2005）津波解析支援 GIS による津波防災情報図の作成，海洋情報部技報，23，1-7.
- 内閣府（2012）津波断層モデル編—津波断層モデルと津波高・浸水域等について—，南海トラフの巨大地震モデル検討会 第二次報告書.
- 内閣府（2013）首都直下の M7 クラスの地震及び相模トラフ沿いの M8 クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書，首都直下地震モデル検討会.
- 鈴木充広・古河泰典・難波徹（2014）津波防災情報図シミュレーション成果の再利用，海洋情報部研究報告，52，97-106.

要 旨

海上保安庁海洋情報部は、港湾における津波災害を軽減するための資料として、震源断層モデルと海底地形データを用いた津波シミュレーション計算結果をまとめた「津波防災情報図」を整備し、航海者や港湾管理者に提供しているが、ユーザーが求める情報は年毎に多様化してきている。

筆者らは、多様化するユーザーの要求に応えるため、Web ブラウザを用い、要求に応じて津波シミュレーション計算結果を図化する津波情報図化ツールを作成した。本稿では津波情報図化ツールの機能を説明し、更に津波情報図化ツールを用いた津波情報の図化の例を紹介する。