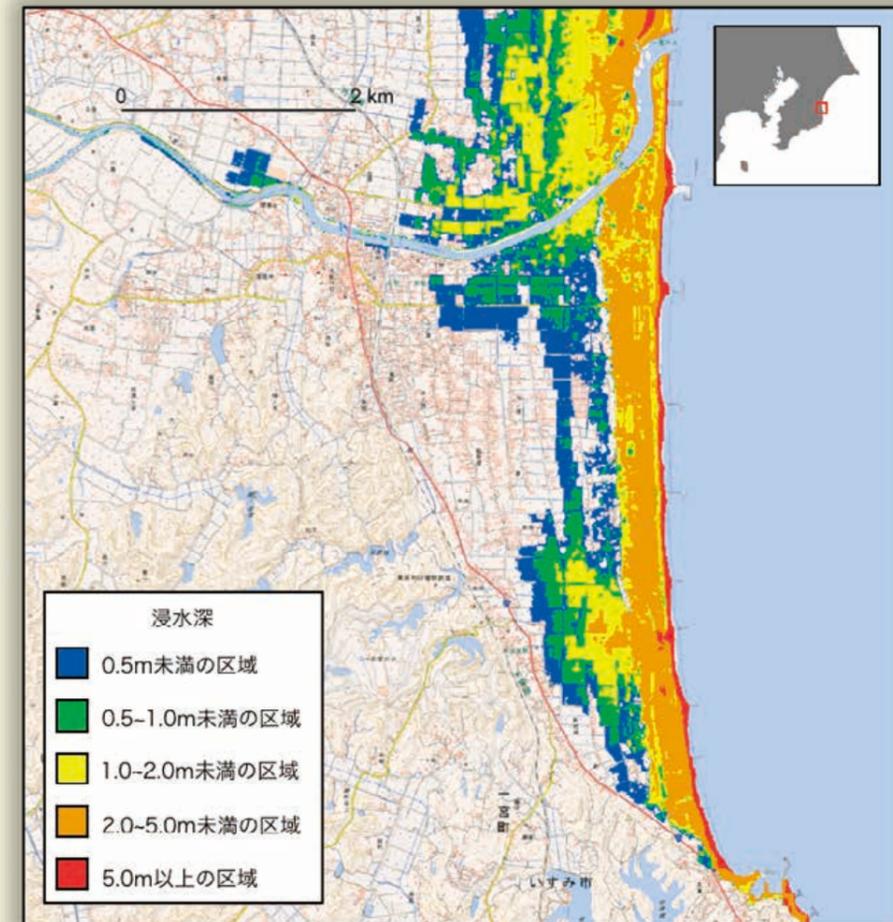


# 津波シミュレータTNSの開発

## Development of Tsunami Simulator TNS



防災科学技術研究所研究資料 第四二七号

津波シミュレータTNSの開発

防災科学技術研究所

## 防災科学技術研究所研究資料

- 第 362 号 地すべり地形分布図 第 49 集「旭川」16 葉(5 万分の 1)．2011 年 11 月発行
- 第 363 号 長岡における積雪観測資料(33) (2010/11 冬期) 29pp. 2012 年 2 月発行
- 第 364 号 新庄における気象と降積雪の観測(2010/11 年冬期) 45pp. 2012 年 2 月発行
- 第 365 号 地すべり地形分布図 第 50 集「名寄」16 葉(5 万分の 1)．2012 年 3 月発行
- 第 366 号 浅間山高峰火山観測井コア試料の岩相と層序(付録 CD-ROM) 30pp. 2012 年 2 月発行
- 第 367 号 防災科学技術研究所による関東・東海地域における水圧破砕井の孔井検層データ 29pp. 2012 年 3 月発行
- 第 368 号 台風災害被害データの比較について(1951 年～2008 年, 都道府県別資料)(付録 CD-ROM)19pp. 2012 年 5 月発行
- 第 369 号 E-Defense を用いた実大 RC 橋脚 (C1-5 橋脚) 震動破壊実験研究報告書-実在の技術基準で設計した RC 橋脚の耐震性に関する震動台実験及びその解析-(付録 DVD) 64pp. 2012 年 10 月発行
- 第 370 号 強震動評価のための千葉県・茨城県における浅部・深部地盤統合モデルの検討(付録 CD-ROM) 410pp. 2013 年 3 月発行
- 第 371 号 野島断層における深層掘削調査の概要と岩石物性試験結果(平林・岩屋・甲山)(付録 CD-ROM) 27pp. 2012 年 12 月発行
- 第 372 号 長岡における積雪観測資料(34) (2011/12 冬期) 31pp. 2012 年 11 月発行
- 第 373 号 阿蘇山一の宮および白水火山観測井コア試料の岩相記載(付録 CD-ROM) 48pp. 2013 年 2 月発行
- 第 374 号 霧島山万膳および夷守台火山観測井コア試料の岩相記載(付録 CD-ROM) 50pp. 2013 年 3 月発行
- 第 375 号 新庄における気象と降積雪の観測(2011/12 年冬期) 49pp. 2013 年 2 月発行
- 第 376 号 地すべり地形分布図 第 51 集「天塩・枝幸・稚内」20 葉(5 万分の 1)．2013 年 3 月発行
- 第 377 号 地すべり地形分布図 第 52 集「北見・紋別」25 葉(5 万分の 1)．2013 年 3 月発行
- 第 378 号 地すべり地形分布図 第 53 集「帯広」16 葉(5 万分の 1)．2013 年 3 月発行
- 第 379 号 東日本大震災を踏まえた地震ハザード評価の改良に向けた検討 349pp. 2012 年 12 月発行
- 第 380 号 日本の火山ハザードマップ集 第 2 版(付録 DVD) 186pp. 2013 年 7 月発行
- 第 381 号 長岡における積雪観測資料(35) (2012/13 冬期) 30pp. 2013 年 11 月発行
- 第 382 号 地すべり地形分布図 第 54 集「浦河・広尾」18 葉(5 万分の 1)．2014 年 2 月発行
- 第 383 号 地すべり地形分布図 第 55 集「斜里・知床岬」23 葉(5 万分の 1)．2014 年 2 月発行
- 第 384 号 地すべり地形分布図 第 56 集「釧路・根室」16 葉(5 万分の 1)．2014 年 2 月発行
- 第 385 号 東京都市圏における水害統計データの整備(付録 DVD) 6pp. 2014 年 2 月発行
- 第 386 号 The AITCC User Guide –An Automatic Algorithm for the Identification and Tracking of Convective Cells– 33pp. 2014 年 3 月発行
- 第 387 号 新庄における気象と降積雪の観測(2012/13 年冬期) 47pp. 2014 年 2 月発行
- 第 388 号 地すべり地形分布図 第 57 集「沖縄県域諸島」25 葉(5 万分の 1)．2014 年 3 月発行
- 第 389 号 長岡における積雪観測資料(36) (2013/14 冬期) 22pp. 2014 年 12 月発行
- 第 390 号 新庄における気象と降積雪の観測(2013/14 年冬期) 47pp. 2015 年 2 月発行
- 第 391 号 大規模空間吊り天井の脱落被害メカニズム解明のための E-ディフェンス加振実験 報告書 –大規模空間吊り天井の脱落被害再現実験および耐震吊り天井の耐震余裕度検証実験– 193pp. 2015 年 2 月発行
- 第 392 号 地すべり地形分布図 第 58 集「鹿児島県域諸島」27 葉(5 万分の 1)．2015 年 3 月発行
- 第 393 号 地すべり地形分布図 第 59 集「伊豆諸島および小笠原諸島」10 葉(5 万分の 1)．2015 年 3 月発行
- 第 394 号 地すべり地形分布図 第 60 集「関東中央部」15 葉(5 万分の 1)．2015 年 3 月発行
- 第 395 号 水害統計全国版データベースの整備．発行予定
- 第 396 号 2015 年 4 月ネパール地震(Gorkha 地震)における災害情報の利活用に関するヒアリング調査 58pp. 2015 年 7 月発行
- 第 397 号 2015 年 4 月ネパール地震(Gorkha 地震)における建物被害に関する情報収集調査速報 16pp. 2015 年 9 月発行
- 第 398 号 長岡における積雪観測資料(37) (2014/15 冬期) 29pp. 2015 年 11 月発行
- 第 399 号 東日本大震災を踏まえた地震動ハザード評価の改良(付録 DVD) 253pp. 2015 年 12 月発行
- 第 400 号 日本海溝に発生する地震による確率論的津波ハザード評価の手法の検討(付録 DVD) 216pp. 2015 年 12 月発行
- 第 401 号 全国自治体の防災情報システム整備状況 47pp. 2015 年 12 月発行
- 第 402 号 新庄における気象と降積雪の観測(2014/15 年冬期) 47pp. 2016 年 2 月発行
- 第 403 号 地上写真による鳥海山南東斜面の雪渓の長期変動観測(1979～2015 年) 52pp. 2016 年 2 月発行
- 第 404 号 2015 年 4 月ネパール地震(Gorkha 地震)における地震の概要と建物被害に関する情報収集調査報告 54pp. 2016 年 3 月発行

 表紙図 …… TNS を用いて再現した 1677 年延宝房総沖地震に伴う津波による千葉県長生郡一宮町付近の浸水深分布

## 防災科学技術研究所研究資料

- 第 405 号 土砂災害予測に関する研究集会–現状の課題と新技術–プロシーディング 220pp. 2016 年 3 月発行
- 第 406 号 津波ハザード情報の利活用報告書 132pp. 2016 年 8 月発行
- 第 407 号 2015 年 4 月ネパール地震(Gorkha 地震)における災害情報の利活用に関するインタビュー調査 –改訂版– 120pp. 2016 年 10 月発行
- 第 408 号 新庄における気象と降積雪の観測(2015/16 年冬期) 39pp. 2017 年 2 月発行
- 第 409 号 長岡における積雪観測資料(38) (2015/16 冬期) 28pp. 2017 年 2 月発行
- 第 410 号 ため池堤体の耐震安全性に関する実験研究 –改修されたため池堤体の耐震性能検証– 87pp. 2017 年 2 月発行
- 第 411 号 土砂災害予測に関する研究集会–熊本地震とその周辺–プロシーディング 231pp. 2017 年 3 月発行
- 第 412 号 衛星画像解析による熊本地震被災地域の斜面・地盤変動調査 –多時期ペアの差分干渉 SAR 解析による地震後の変動抽出– 107pp. 2017 年 9 月発行
- 第 413 号 熊本地震被災地域における地形・地盤情報の整備 –航空レーザ計測と地上観測調査に基づいた防災情報データベースの構築– 154pp. 2017 年 9 月発行
- 第 414 号 2017 年度全国市区町村への防災アンケート結果概要 69pp. 2017 年 12 月発行
- 第 415 号 全国を対象とした地震リスク評価手法の検討 450pp. 2018 年 3 月発行予定
- 第 416 号 メキシコ中部地震調査速報 28pp. 2018 年 1 月発行
- 第 417 号 長岡における積雪観測資料(39) (2016/17 冬期) 29pp. 2018 年 2 月発行
- 第 418 号 土砂災害予測に関する研究集会 2017 年度プロシーディング 149pp. 2018 年 3 月発行
- 第 419 号 九州北部豪雨における情報支援活動に関するインタビュー調査 90pp. 2018 年 7 月発行
- 第 420 号 液状化地盤における飽和度確認手法に関する実験的研究 –不飽和液状化対策模型地盤を用いた模型振動台実験– 62pp. 2018 年 8 月発行
- 第 421 号 新庄における気象と降積雪の観測(2016/17 年冬期) 45pp. 2018 年 11 月発行
- 第 422 号 2017 年度防災科研クライシスレスポンスサイト(NIED-CRS)の構築と運用 56pp. 2018 年 12 月発行
- 第 423 号 耐震性貯水槽の液状化対策効果に関する実験的研究 –液状化による浮き上がり防止に関する排水性能の確認– 48pp. 2018 年 12 月発行
- 第 424 号 バイプロを用いた起振時過剰間隙水圧計測による原位置液状化強度の評価手法の検討–原位置液状化強度の評価に向けた土槽実験の試み– 52pp. 2019 年 1 月発行
- 第 425 号 ベントナイト系遮水シートの設置方法がため池堤体の耐震性に与える影響 102pp. 2019 年 1 月発行
- 第 426 号 蛇籠を用いた耐震性道路擁壁の実大振動台実験および評価手法の開発 –被災調査から現地への適用に至るまで– 114pp. 2019 年 2 月発行
- 第 428 号 長岡における積雪観測資料(40) (2017/2018 冬期) 29pp. 2019 年 2 月発行

– 編集委員会 –		<b>防災科学技術研究所研究資料 第 427 号</b>
(委員長)	浅野 陽一	
(委員)		平成 31 年 3 月 28 日 発行
三輪 学央	下瀬 健一	編集兼 国立研究開発法人
河合 伸一	平島 寛行	発行者 <b>防災科学技術研究所</b>
中村 いずみ	市橋 歩	〒 305-0006
(事務局)		茨城県つくば市天王台 3 – 1
白田 裕一郎	前田 佐知子	電話 (029)863-7635
池田 千春		http://www.bosai.go.jp/
(編集・校正)	樋山 信子	印刷所 前田印刷株式会社
		茨城県つくば市山中 152-4

© National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience 2019

※防災科学技術研究所の刊行物については、ホームページ (<http://dil-opac.bosai.go.jp/publication/>) をご覧下さい。

## 津波シミュレータ TNS の開発

三好崇之\*・鈴木 亘\*・近貞直孝\*・青井 真\*・赤木 翔\*\*・早川俊彦\*\*

### Development of Tsunami Simulator TNS

Takayuki MIYOSHI\*, Wataru SUZUKI\*, Naotaka CHIKASADA\*, Shin AOI\*,  
Sho AKAGI\*\*, and Toshihiko HAYAKAWA\*\*

\* *Network Center for Earthquake, Tsunami and Volcano,  
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan*  
*miyoshi@bosai.go.jp, wsuzuki@bosai.go.jp, naotaka@bosai.go.jp, aoi@bosai.go.jp*

\*\* *Mitsubishi Space Software Co., Ltd., Japan*  
*Akagi.Sho@mss.co.jp, Hayakawa.Toshihiko@mss.co.jp*

#### Abstract

We have developed a software, ‘TsuNami Simulator (TNS)’ in order to conduct numerical simulations of tsunami inundation. TNS solves nonlinear long wave using nesting algorithm by finite-difference method and simulates propagation and run-up of tsunami. The source codes are basically written in Fortran 90. Here, we release TNS version 1.0 that involves user manual, executable files, and some examples. We demonstrated tsunami propagation on flat floor and inundation in the Kochi Plain as examples. The simulator works on GPU as well as on CPU. The calculation speed of the solver on GPU was approximate 47.8 times faster than the solver on CPU using the nested grid of time.

**Key words:** Tsunami, Inundation, Finite-difference method, Nesting grid, GPU

#### 1. はじめに

津波は、海底地殻変動などによって海水に擾乱が生じて、重力を復元力として周囲の海域に伝播し、しばしば陸域に遡上する自然現象である。本研究資料で扱う津波シミュレータ TNS (TsuNami Simulator) は、そのような津波現象の数値計算を差分法によってコンピュータ上で迅速に実施できるソフトウェアである。

津波は、ひとたび発生すると沿岸部を中心に甚大な被害を与えることがある。2011 年 3 月 11 日に発生した「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」は、東北地方沖の太平洋底の下に沈み込む太平洋プレートと陸側プレートの境界を震源断層面とす

るマグニチュード (M) 9.0 の巨大地震であった。この地震では、東日本で大きな揺れを観測するとともに、東日本の太平洋沿岸で非常に高い津波が観測された。この地震と津波によって二万人にも及ぶ人的被害が生じ (消防庁, 2018), 甚大な津波災害の発生は東日本の太平洋岸の広域に及んだ。気象庁 (2011) や Ozaki (2011) によれば、この地震では、気象庁によって地震発生から 3 分後には陸域の地震データで推定された M7.9 の情報に基づいて津波警報・注意報が発表され、沿岸で予想される津波の高さは岩手県で 3 m, 宮城県で 6 m, 福島県で 3 m などとされたが、これが大きく過小評価となった。28 分後には、海域の津波実測値である GPS 波浪計データに基づ

\* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター

\*\* 三菱スペース・ソフトウェア株式会社

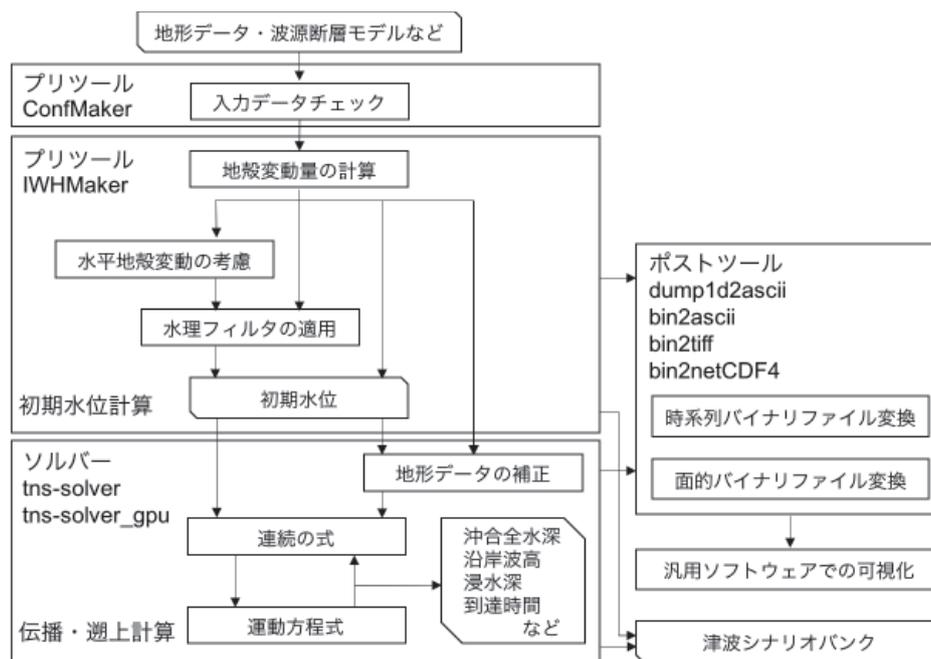


図 1 TNS Version1.0 の構成と主な計算処理フロー  
 Fig. 1 Basic configuration of TNS version1.0 and simulation flowchart.

き、岩手県で 6 m、宮城県で 10 m 以上、福島県で 6 m と更新された。これらの値は、津波の痕跡調査結果 (例えば, Tsuji *et al.* 2014) と概ね一致しており、津波即時予測にとって海域での津波実測データは有効であった。また、気象庁の津波警報・注意報は津波の高さと到達時刻が示されるのみで、陸域への遡上や浸水という危機感の認識に至りにくい。適切な津波情報提供を行うための津波浸水予測技術の推進は急務であり、本研究資料が扱う津波シミュレーション技術はその根幹である。

防災科学技術研究所 (以下、防災科研) では、このような背景をふまえて津波被害の軽減のために、津波を海底観測点で早期に確実に捉えて、沿岸の津波高さだけでなく陸域への遡上も含めた精度の高い津波予測情報を提供する研究開発と技術開発を進めてきた。東日本の太平洋底に敷設した日本海溝海底地震津波観測網 (S-net) は、世界で最も広域高密度なリアルタイム海底観測網で、150 観測点を 6 ルートからなる総延長約 5,500 km の海底光ケーブルで接続している (Kanazawa *et al.*, 2016 ; 防災科学技術研究所, 2018)。S-net により津波の発生を沖合で直接的に検知することが可能となった。一方、平成 26 年から 5 年にわたって内閣府の総合科学技術・イノベーション

ン会議による戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) において、津波遡上即時予測システムの開発を行ってきた。これは、S-net で観測される水圧情報を、事前に計算しておいた膨大な津波シナリオ群からなるデータベース (以下、津波シナリオバンクという) とリアルタイムに照合し、津波検知後即時に沿岸津波高や遡上域などを予測するシステムである (例えば, Aoi *et al.* 2019 ; 近貞ほか, 2019)。

精度の高い津波遡上予測を実現するためには、高精度な初期津波波源の推定や津波伝播過程の計算とともに、詳細な地形モデルや沿岸構造物の分布を用いて、市町村単位ほどのスケールで津波遡上の様子を計算できることが望ましい。とくに、データベース検索型の津波遡上予測では、津波シナリオバンクの構築において、高負荷な計算を要する大量の津波浸水計算を網羅的に実施することが求められ、伝播・遡上計算を高精度かつ効率的に実施することが重要である。津波数値計算を実施するためには、津波現象を記述した方程式を離散化して、コンピュータを用いて差分法などの数値解法を用いることが一般的であるが、解決する問題や計算機環境に応じてこれまでに多くの計算コードが開発されてきた。

東北大学が中心となり、ユネスコや国際測地学

地球物理学連合と共同で開発した Tohoku University Numerical Analysis Model for Inundation (TUNAMI) は、国内のみならず国際的にも使用実績が豊富なツールである。一連の計算コードなかでも TUNAMI-N2 は浸水解析が可能な非線形長波方程式に基づいて開発されたものである (例えば, Goto *et al.*, 1997; Imamura *et al.*, 2006)。近年, TUNAMI-N2 は大規模計算の取り組みとして, 「京」などのスーパーコンピュータへの適用もなされている (例えば, Oishi *et al.*, 2015; 大石ほか, 2016; Musa *et al.*, 2018)。高性能津波計算コード JAGURS は, 主に非線形分散波方程式に基づく開発がなされ, ネスティングアルゴリズムの実装やプロセス並列やスレッド並列による並列計算が可能で, 「京」での適用例もある (例えば, Baba *et al.*, 2015; Baba *et al.*, 2016; 安藤ほか, 2014)。津波の荷重効果と海水の鉛直密度分布を取り入れて, 遠地津波をよりよく再現するモデリングがなされている。また, 和歌山県が導入した津波予測システムのシナリオ計算に用いられた実績がある (石橋ほか, 2018)。ほかにも, 米国海洋大気庁 NOAA では, Method Of Splitting Tsunami (MOST) というモデルが非線形長波方程式をベースに数値分散の考慮のもと作られており (Titov and Gonzalez, 1977), NOAA の津波予測システムで利用されている (Tang *et al.*, 2009)。津波のモデル化は, 観測記録を説明するように理論モデルを修正することでなされてきたが, 津波の発生頻度の低さと観測機器の乏しさ, 沿岸地形や構造物の詳細データが不足することから, 津波モデルの検証には困難な側面もある。

我々は, これまでの課題や知見を生かして, 差分法による迅速な津波浸水計算が実施できる津波シミュレータ TNS を開発し, パッケージ版として TNS Version1.0 (以下, TNS1.0) を公開する (図 1)。TNS の開発の目的は, ユーザが津波浸水計算をできるだけ簡便に実施でき, 津波浸水予測を目的としたシナリオバンク構築ができるソフトウェアを提供することである。ユーザは, 研究者・技術者・自治体の防災担当者を想定しており, 一般的な Linux 環境のもとで計算が実行でき, GIS による可視化を可能とした。以下では, TNS で用いた支配方程式を含む津波数値計算の概要, TNS1.0 の概要を述べ, TNS1.0 を用いた計算例, シナリオバンク構築の目安となる津波シナリオを得る計算時間について述べ

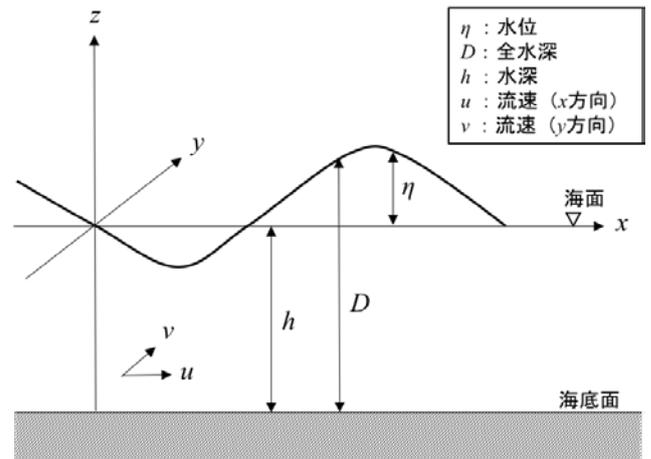


図 2 TNS における主な物理量の定義  
Fig. 2 Definition of basic parameters in TNS.

る。なお, 本研究資料には, TNS1.0 の操作手引書, 実行可能な例題の電子ファイル等を添付し, ユーザが比較的容易に津波浸水計算を開始できるように配慮した。

## 2. 津波の数値計算

### 2.1 支配方程式

TNS による近地津波の伝播を記述する基礎方程式は二次元非線形長波方程式を用いた。TNS で扱う主な物理量は図 2 のように定義し, 鉛直上向きを正とする。Cartesian 座標系 (UTM 座標系, 平面直角座標系などが適用できる) において連続の式は,

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

であり, 運動方程式は,

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) + gD \left( \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) \\ + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) + gD \left( \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \\ + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

と記述される。ここで,  $\eta$  は水位,  $M$ ,  $N$  は  $x$ ,  $y$  方向の線流量 (または全流量フラックス;  $x$ ,  $y$  方向の流速と全水深の積),  $D$  は全水深 (水深  $h$  と水位  $\eta$  の

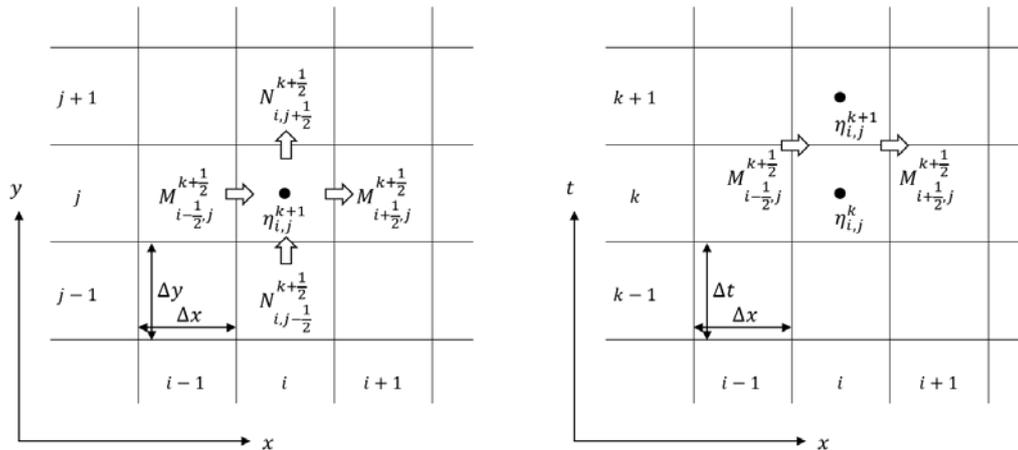


図 3 TNS で用いたスタッガード格子. x-y 平面(左), x-t 平面(右)  
 Fig. 3 Staggered grid used in TNS. X-y plane (left), and x-t plane (right).

和),  $g$  は重力加速度,  $n$  は粗度係数である. (2) 式と (3) 式の第 1 項は局所項, 第 2 項と第 3 項は移流項, 第 4 項は水面勾配項, 第 5 項は摩擦項である. この方程式を差分化して数値的に解くことで, 沖合の水位や陸域の浸水深といった物理量を計算する. なお, 波長が水深より十分に大きい長波近似のもとでは, (2) 式と (3) 式の移流項と摩擦項が無視でき, 線形長波方程式となる.

TNS による遠地津波の伝播・浸水の計算は, Cartesian 座標系の計算コードを遠地津波計算に拡張する方針で開発を進めた. 遠地では球座標系による線形分散波方程式(または線形長波方程式)を用いて, 浸水計算を含む近地で Cartesian 座標系に接続し, 非線形長波方程式による計算ができるようにした. コリオリ力の考慮など従来の定式化に加えて, Inazu and Saito (2013) の方法を用いた荷重による効果を導入した. ただし, TNS1.0 では近地で発生する津波シナリオバンクの構築を想定しており, これらの機能は実装していない.

## 2.2 海底地殻変動・初期水位と境界条件

基礎方程式を解くためには, 初期条件と境界条件が必要である. 津波は, 地すべりや海底火山噴火, 隕石の衝突によっても生じるが, 本研究資料では断層のズレ破壊である地震で生じた海底地殻変動に伴う津波を対象とする. TNS では, 矩形の波源断層の緯度, 経度, 深さ, 走向, 傾斜, すべり角およびすべり量の断層パラメータに対して地殻変動を計算し, 初期条件となる初期水位を計算できる. また,

矩形断層だけでなく多数の小断層からなる要素断層による計算にも対応している. 地殻変動計算は, Okada (1992) による半無限弾性体中の断層変位による地殻変動の解析解を用いる. 矩形断層による地殻変動計算だけでなく, 遠方で断層面の広がりの影響が小さい場合には点震源で近似する計算も実施可能とし, 計算の高速化を実現した. 初期水位は, 上下地殻変動に加えて水平地殻変動による効果 (Tanioka and Satake, 1996) を加味できるように整備した. 上下地殻変動をそのまま初期水位とする方法も適用できるが, Kajiura (1963) による水理フィルタを適用することで, 海面変位分布を与えられるようにした. 初期水位は瞬間的に与えることができるほか, 段階的に地殻変動を与えることで, 破壊伝播の効果やライズタイムの効果も考慮することもできる. これらの条件は, 計算のパラメータファイルと波源断層の設定ファイルでユーザが自由に設定可能である.

境界条件は, 外洋では透過条件とした. 陸へは非線形長波の場合には遡上条件, 線形長波の場合には完全反射とした. 遡上条件は, 小谷ほか (1998) の方法を用いて, 陸側格子点の地盤高より海側格子点の水位が高い場合に, その差を全水深として与えることで線流量を計算する方法を実装した. 浸水計算の不安定を避けるために, 全水深が閾値よりも小さくなった場合には, 線流量をゼロとみなして計算を進める実装をしてある. また, 最大格子をもつネスティング層の計算領域の周囲に, 吸収領域 (例えば, Clayton and Engquist, 1977) を設けて, 人工的な反射

波を減衰させることができるようにした。

### 2.3 地形データと沿岸構造物

地形データは海域と陸域の区別なく後述する各ネスティング層の格子間隔にあわせて、ユーザが準備する必要がある。浸水計算では、地殻変動が陸域で顕著な場合や潮位によって浸水パターンが異なるため、伝播・遡上計算における地形データは地殻変動や潮位によって変化させた結果が使用される。地殻変動の考慮は、地形データに地殻変動分を加味することで実装した。潮位の考慮は、地形の標高を潮位分だけ上下させることで実装し、擬似的に海水面を変化させた。遡上計算は格子点が陸の場合に実施されるが、格子点が海か陸かを判定する必要がある。ユーザが海陸の判定データを準備しない場合には、地形データをもとに自動的に海陸が設定される。この場合、海拔 0 m 以下が海域とみなされる場合があるなど、注意が必要である。

遡上の計算を実施するうえで、海岸や河川の堤防といった沿岸構造物の存否は浸水深に影響する。TNS では格子間の境界に線構造物を設置できるようにコードを記述し、運動方程式を計算する際に処理が実施される。沿岸構造物については、沿岸構造物が健全な場合、沈下して健全ではない場合、越流破壊を考慮した場合の計算を可能とした。堤防を越流する際は、本間(1940)に基づく越流計算方法を実装した。SIP では、構造物条件として越流による損傷を考慮した流量計算に関して、フラジリティカーブを利用して実施する方法が提案されている(有川ほか, 2017)。

### 2.4 差分方程式とネスティング格子

TNS では非線形長波方程式(または線形長波方程式)を差分化することで、Leap frog 法を用いた差分法による数値計算によってタイムステップごとに  $\eta$  や  $D$  を得ることで方程式を解く。スタッガード格子を導入し、 $\eta$ ,  $h$  を格子点  $(i, j)$  で、 $M$ ,  $N$  を半格子ずらした点で定義し(図 3)、(1)-(3) 式を離散化する。連続の式(1)は、

$$\begin{aligned} \eta_{i,j}^{k+1} &= \eta_{i,j}^k - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left( M_{i+\frac{1}{2},j}^{k+\frac{1}{2}} - M_{i-\frac{1}{2},j}^{k+\frac{1}{2}} \right) \\ &\quad - \frac{\Delta t}{\Delta y} \left( N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k+\frac{1}{2}} - N_{i,j-\frac{1}{2}}^{k+\frac{1}{2}} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

となる。次に、得られた水位を用いて運動方程式(2)

と(3) から  $x$  方向と  $y$  方向の線流量を求めるためには、水位と水深の和である全水深  $D$  が必要である。地表または海底が露出する場合を考慮して、

$$D_{i,j}^{k+1} = \max\{\eta_{i,j}^{k+1} + h_{i,j}, 0\} \quad (5)$$

と書ける。(5) 式がゼロの場合、地表または海底が露出しており、水位を

$$\eta_{i,j}^{k+1} = -h_{i,j} \quad (6)$$

と再定義する。このようにして得られた水位、全水深などを用いて線流量を求める。運動方程式(2)と(3)は次のように書ける。 $x$  方向の(2)式は、

$$\begin{aligned} M_{i+\frac{1}{2},j}^{k+\frac{1}{2}} &= M_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} \\ &\quad - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left( A_{11} \cdot \frac{\left( M_{i+\frac{3}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} \right)^2}{D_{i+\frac{3}{2},j}^{k-\frac{1}{2}}} + A_{21} \cdot \frac{\left( M_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} \right)^2}{D_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}}} \right. \\ &\quad \left. + A_{31} \cdot \frac{\left( M_{i-\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} \right)^2}{D_{i-\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}}} \right) \\ &\quad - \frac{\Delta t}{\Delta y} \left( B_{11} \cdot \frac{M_{i+\frac{1}{2},j+1}^{k-\frac{1}{2}} \cdot N_{i+\frac{1}{2},j+1}^{k-\frac{1}{2}}}{D_{i+\frac{1}{2},j+1}^{k-\frac{1}{2}}} \right. \\ &\quad + B_{21} \cdot \frac{M_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} \cdot N_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}}}{D_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}}} \\ &\quad \left. + B_{31} \cdot \frac{M_{i+\frac{1}{2},j-1}^{k-\frac{1}{2}} \cdot N_{i+\frac{1}{2},j-1}^{k-\frac{1}{2}}}{D_{i+\frac{1}{2},j-1}^{k-\frac{1}{2}}} \right) \\ &\quad - \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot g \cdot D_{i+\frac{1}{2},j}^k \cdot (\eta_{i+1,j}^k - \eta_{i,j}^k) \\ &\quad - \Delta t \cdot \frac{g \cdot (n_{i,j})^2}{\left( D_{i+\frac{1}{2},j}^k \right)^{\frac{7}{3}}} \cdot \frac{M_{i+\frac{1}{2},j}^{k+\frac{1}{2}} + M_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}}}{2} \\ &\quad \cdot \sqrt{\left( M_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} \right)^2 + \left( N_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} \right)^2} \end{aligned} \quad (7)$$

となる。一方、 $y$  方向の(3)式は、

$$\begin{aligned}
 N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k+\frac{1}{2}} &= N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} \\
 &-\frac{\Delta t}{\Delta y} \cdot \left( A_{12} \cdot \frac{\left( N_{i,j+\frac{3}{2}}^{k-\frac{1}{2}} \right)^2}{D_{i,j+\frac{3}{2}}^{k-\frac{1}{2}}} + A_{22} \cdot \frac{\left( N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} \right)^2}{D_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}} \right. \\
 &\quad \left. + A_{32} \cdot \frac{\left( N_{i,j-\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} \right)^2}{D_{i,j-\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}} \right) \\
 &-\frac{\Delta t}{\Delta x} \left( B_{12} \cdot \frac{M_{i+1,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} \cdot N_{i+1,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}}{D_{i+1,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}} \right. \\
 &\quad \left. + B_{22} \cdot \frac{M_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} \cdot N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}}{D_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}} \right. \\
 &\quad \left. + B_{32} \cdot \frac{M_{i-1,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} \cdot N_{i-1,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}}{D_{i-1,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}} \right) \\
 &-\frac{\Delta t}{\Delta y} \cdot g \cdot D_{i,j+\frac{1}{2}}^k \cdot (\eta_{i,j+1}^k - \eta_{i,j}^k) \\
 &-\Delta t \cdot \frac{g \cdot (n_{i,j})^2}{\left( D_{i,j+\frac{1}{2}}^k \right)^{\frac{7}{3}}} \cdot \frac{N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k+\frac{1}{2}} + N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}}}{2} \\
 &\quad \cdot \sqrt{\left( M_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} \right)^2 + \left( N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} \right)^2} \quad (8)
 \end{aligned}$$

となる。(7)、(8)式の摩擦項は陰的な差分を用いており、 $k+1/2$ での線流量が含まれる項があるので、移項して整理したうえで解く。また、移流項の計算では、風上差分を用いており、係数は線流量によって、

$$\begin{aligned}
 M_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} > 0 \text{ のとき, } & A_{11} = 0, A_{21} = 1, A_{31} = -1 \\
 M_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} \leq 0 \text{ のとき, } & A_{11} = 1, A_{21} = -1, A_{31} = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} > 0 \text{ のとき, } & B_{11} = 0, B_{21} = 1, B_{31} = -1 \\
 N_{i+\frac{1}{2},j}^{k-\frac{1}{2}} \leq 0 \text{ のとき, } & B_{11} = 1, B_{21} = -1, B_{31} = 0 \\
 N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} > 0 \text{ のとき, } & A_{12} = 0, A_{22} = 1, A_{32} = -1 \\
 N_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} \leq 0 \text{ のとき, } & A_{12} = 1, A_{22} = -1, A_{32} = 0 \\
 M_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} > 0 \text{ のとき, } & B_{12} = 0, B_{22} = 1, B_{32} = -1 \\
 M_{i,j+\frac{1}{2}}^{k-\frac{1}{2}} \leq 0 \text{ のとき, } & B_{12} = 1, B_{22} = -1, B_{32} = 0
 \end{aligned}$$

と決めている。なお、定義されていない点での物理量は周辺4点の物理量の平均値で定義する。

計算を安定的に解くためには、数値計算における情報伝達の速さが、津波が伝播する速さよりも大きいことが条件となる(CFL条件)。例えば、線形長波方程式を解く場合には、

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} > \sqrt{2gh_{max}} \quad (9)$$

を満たす必要がある。ただし、 $\Delta x$ は空間格子幅、 $h_{max}$ は計算領域の最大水深である。非線形長波方程式を解くためには、位相速度に波高が関係するためより厳しい条件となることがあるため、計算の発散を防ぐためタイムステップは余裕をもって十分小さく設定するほうがよい。

TNSでは、TUNAMIやJAGURSと同様に空間格子幅の比を1:3となるようネスティング格子を導入した。連続の式で水位を計算し、子領域から親領域へは水位を接続する。その後、運動方程式で線流量を計算し、親領域から子領域へ線流量を接続する。子領域から親領域への水位接続は、次のように処理した。ひとつの親領域に対応する子領域9格子について、全水深 $D$ が正の値をもつ格子で水位の和を計算し、格子数9で割った値を親領域の水位へ接続する。このとき、条件によって(5)(6)式と同様な処理をして、水位と全水深を得る。ただし、陸域での接続は子領域の9格子のうち1格子以上が浸水している場合に親領域へ水位を接続するようにした。また、時間方向にもネスティング格子を選択できるように実装し、タイムステップの比が1:3となるように設定

表 1 例題で用いた断層パラメータ  
 Table 1 Fault parameters used in examples.

	Y (m)	X (m)	Depth (km)	Strike (°)	Dip (°)	rake (°)	Length (km)	Width (km)	slip (m)
ex01	79500.00	194400.00	14.0	180.00	15.00	90.00	159.00	79.50	3.98
ex02, 03	-7427.97	114429.00	10.0	228.69	5.59	117.16	159.00	79.50	3.98

して、格子間隔が大きいネスティング層の計算を軽減することができる。各ネスティング層で空間格子間隔と最大水深を調べて、CFL 条件をみだす必要があるため、設定できるネスティング層は限られる。

陸域で沿岸構造物を考慮して詳細な浸水分布を得る場合には、空間格子の大きさを 10 m 程度にする必要があり、これには細かなタイムステップを要する。逆に沖合では条件は緩くすることができ、計算量を減らせるため、計算時間の短縮が可能である。

### 3. TNS Version1.0

TNS の主たる計算コードは Fortran 90 でプログラム群の開発を行っており、GPU 版は CUDA7.5 に準拠した開発を行っている。本研究資料では、津波シナリオバンクの構築に活用される主要な機能をパッケージ化した TNS Version1.0 を添付する。TNS1.0 には、操作手引書、Linux で動作するコンパイル済みの実行ファイル、例題と入力ファイル設定例を含めた。また、入出力ファイルのフォーマットが記述された「津波シナリオバンクデータ規約集」も添付する。TNS の構成は、断層パラメータに基づき初期波高を計算するプリツール部、津波の伝播・遡上を計算するソルバー部、計算結果の可視化等を実施するポストツール部(図 1)からなる。

操作手引書は、TNS1.0 で実行できる具体的な津波計算を記述しており、実行ファイルが動作する環境に関する事、初期波高と津波伝播・遡上計算の実行方法に関する事、例題による具体的な計算例と入力ファイル例などを記述した。実行ファイルは、一般的な Linux 環境で動作し、例題の実行ができるもので、かつシナリオバンクの構築に必要な計算が実行できるものを含めた。初期水位を求めるプリツール部の実行ファイルは、ConfMaker と IWHMaker であり、ConfMaker により計算条件の設

定を行ったあと、IWHMaker により矩形断層(群)による初期水位を計算できる。一度 IWHMaker で計算された初期水位データを用いて津波伝播・遡上の再計算を行う場合には、ConfMaker で出力されるソルバーの計算条件ファイルを変更すればよい。伝播・遡上を計算するソルバー部の実行ファイルは tns-solver で、Cartesian 座標系における津波計算を CPU で実施できる。また、これに対応する GPU 版の実行ファイルを tns-solver\_gpu として添付した。ポストツール部の実行ファイルは、2次元バイナリファイルを GeoTIFF ファイルに変換する bin2tiff、2次元バイナリファイルを netCDF 形式に変換する bin2netCDF4、2次元バイナリファイルをアスキーファイルに変換する bin2ascii、1次元バイナリファイルをアスキーファイルに変換する dump1d2ascii 等を含め、ユーザが可視化しやすいように計算結果を処理するツールを準備した。

TNS は大規模な計算環境がない場合を考慮して、計算規模を抑えるためネスティング格子を導入することで1回の計算におけるメモリ使用量を抑制した。また、逐次計算に加えて、伝播・遡上の計算においては、GPU を用いた計算も可能なコードを開発し、後述するように計算時間の短縮を実現し、CPU 版では OpenMP によるスレッド並列、MPI によるプロセス並列によるコードの開発も進めた。TNS1.0 のソルバーでは、CPU による逐次計算、GPU 計算、OpenMP の利用が可能である。なお、本研究資料では、TUNAMI-N2 や JAGURS と同様のネスティング格子を用いた方法を扱ったツールの開発について報告し、前田ほか(2015)や Maeda *et al.* (2017) で経過を報告した局所細分化適合格子法による計算コードの開発については機会を改めて報告する。

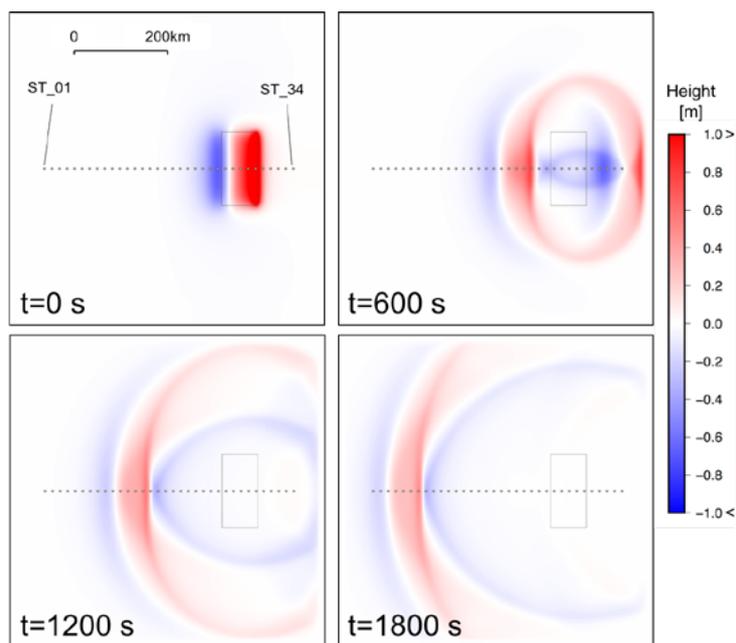


図 4 例題 ex01 による初期水位 (t=0) と水位のスナップショット

Fig. 4 Initial wave height (t=0) and snapshots of wave height obtained from the results of ex01.

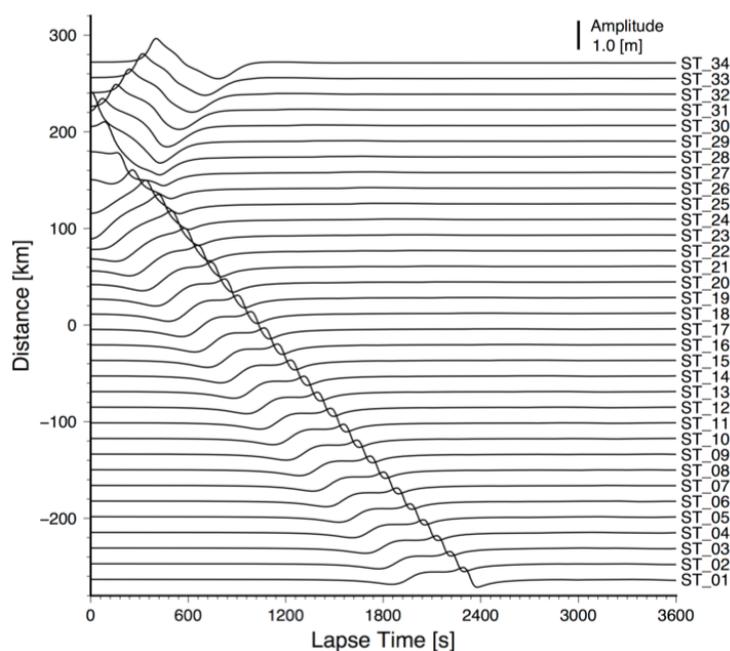


図 5 例題 ex01 による各観測点における水位時系列

Fig. 5 Tsunami height in each station obtained from the results of ex01.

#### 4. 津波浸水・伝播計算事例

TNS1.0 を用いた具体的な計算例を示す. ここでは, 入力ファイル一式および出力ファイルの一部を添付した一様水平の海底 (水平床) を仮定した場合 (ex01) と, 入力ファイルの XML ファイルを添付し

た四国沖の矩形断層による津波計算例 (ex02, ex03) を示す. 得られた計算結果については, TNS1.0 のポストツール, 地理情報システムの QGIS, GMT (The Generic Mapping Tools; Wessel *et al.* 2013) 等を用いて作成した図を示して説明する.

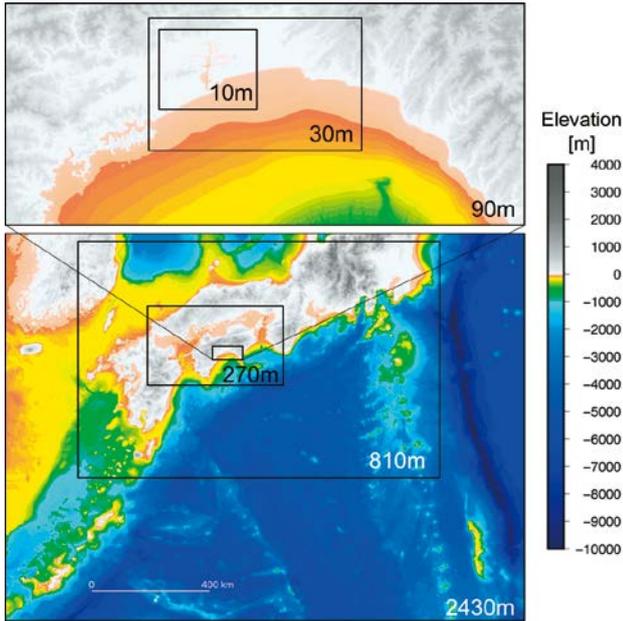


図6 高知平野の浸水計算のための地形と計算領域  
Fig. 6 Topography and study region for inundation simulation in the Kochi Plain.

#### 4.1 水平床による計算事例

計算事例(ex01)として、水平床の計算をとりあげ、TNSによる津波伝播計算に関して計算結果をもとに論ずる。計算領域は、591.3 km×591.3 kmで、領域全体で水深を一律4,000 mの海域とした。鉛直上向きを正としているので、添付した地形ファイルの値はすべて-4,000である。水平床なので、ネスティング格子を用いる必要はないが、ネスティング計算の例を示すために、格子間隔を親領域で810 m、子領域で270 mとし、3:1の割合で接続した。外洋境界は透過条件とし、吸収領域も設定した。波源断層モデルの断層パラメータは、表1に示す。モデルの東側領域の海底下に矩形断層を配置し、西側がせり上がる純粋な逆断層運動を仮定し、この断層運動による津波を計算した。剛性率は $5.0 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ とした。モーメントマグニチュード(Mw)は8.2である。初期水位は、Okada (1992)による上下地殻変動を海面で与えた。潮位はT.P.+0.0 m、沿岸構造物の設定なしのケースである。得られた初期水位を用いて、線形長波方程式を解き、3,600秒(1時間)の津波を計算した。時間方向のネスティングも利用し、タイムステップを親領域で1.5秒、子領域では0.5秒とした。観測点は、16.2 km間隔で配置した。

得られた結果を図4および図5に示す。波源断層

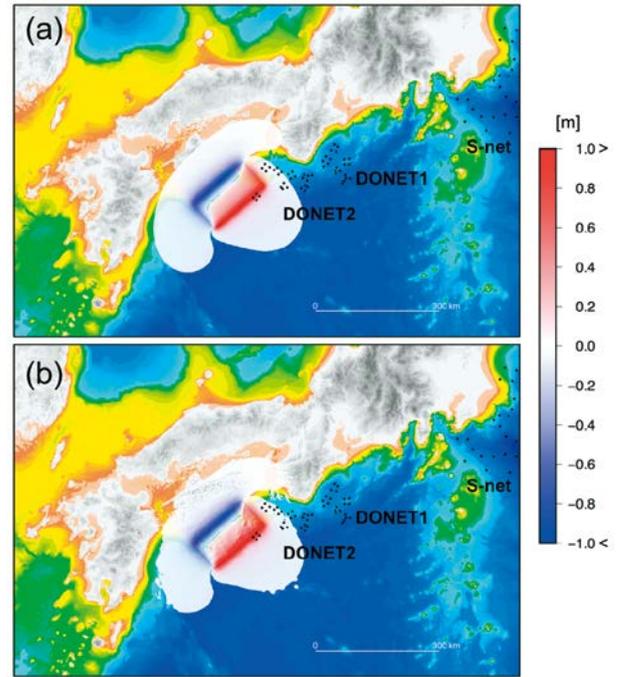


図7 例題 ex02 の可視化例。(a) 上下地殻変動分布と(b)初期水位分布

Fig. 7 An example of visualization of ex02. (a) Vertical crustal movement, (b) initial tsunami height.

は、西に傾き下がる低角逆断層であるため、西側に沈降域が広がり、東側に隆起域が広がる。図4に示すように、大局的にはST\_26付近を境に、西側では海面が下がってから上がることであり第1波としては引き波(青)、東側では海面が上がってから下がることになるため第1波としては押し波(赤)が伝播する。このような様子は、図5に示す観測点の津波波形(水位時系列)でもみられ、初期水位が下がった場所から西側に位置する観測点では引き波が第1波となっており、負の方向に変動する。東側に位置する観測点では押し波となっており、正の方向に変動する。水深が4,000 mのとき、津波は約200 m/sで伝播するが、図5からは津波が約200 m/sで伝播していることがうかがえる。

水平床の問題は問題設定が簡単なので、数値計算や津波計算の基本的な性質を理解することができる。例えば、非線形長波方程式を用いて解くと、ほぼ同一の結果が得られ、この例題が線形長波近似の成り立つ範囲であることが理解できる。波源断層の上端深さを海底から2 kmにし、水理フィルタを適用しない設定にした場合には、数値分散による振動をスナップショットや波形で確認することができ

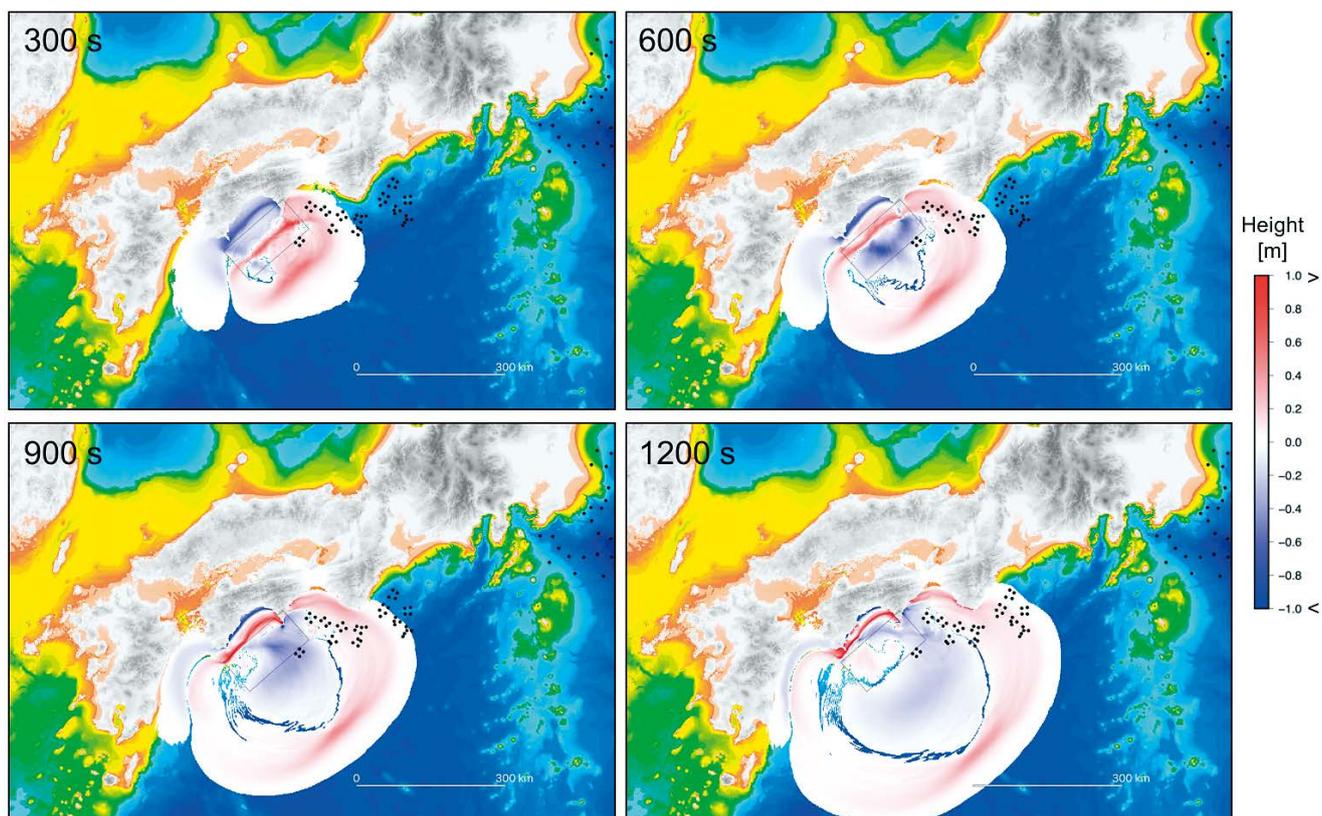


図 8 例題 ex02 で得られた津波発生から 300s, 600s, 900s, 1200s 経過後の水位のスナップショット  
 Fig. 8 Snapshots of wave height after 300s, 600s, 900s, and 1200s from origin time obtained from the results of ex02.

る。また、規模の大きな津波計算の場合には、領域の境界で人工反射波が生じることも確認できる。

#### 4.2 高知平野の浸水計算例

浸水計算事例 (ex02, ex03) として、四国沖を震源とする地震による津波浸水計算を示す。地震の種類は、沈み込むフィリピン海プレートの上面に沿うプレート間地震を想定した。図 6 に計算領域を示す。計算範囲は西日本と地震・津波観測監視システム (DONET) 敷設域を含む領域で、浸水計算対象地域は高知平野である。地形データ、粗度データおよび堤防データは、内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」によって、南海トラフの巨大地震による津波断層モデルと津波高・浸水域等の検討 (内閣府, 2012) で作成されたデータで、G 空間情報センターから提供されているもの (内閣府, 2016) を TNS 用に変換して使用した。なお、パッケージには、これらのデータを TNS1.0 の計算に利用できる変換ツールを準備した。地形の最小格子間隔は沿岸域で 10 m, 最大格子間隔は沖合で 2,430 m, その間を 30 m, 90 m, 270 m, 810 m 間隔の層で接続し、そ

れぞれは 1 : 3 で接続した。計算は、平面直角座標 (JGD2000) の第 04 系において実施した。津波の波源断層モデルは表 1 に示す。剛性率は  $5.0 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$  とした。モーメントマグニチュードは Mw8.2 である。初期水位は Okada (1992) による上下地殻変動に水平地殻変動による効果 (Tanioka and Satake, 1996) と水理フィルタ (Kajiura, 1963) を考慮したものを用いた。潮位は ex02 で T.P.+0.0 m, ex03 で T.P.+0.93 m とした。沿岸の堤防などのコンクリート構造物は、100% 沈下する場合を設定した。得られた初期水位を用いて、非線形長波方程式を解き、6 時間分の津波を計算した。タイムステップは 10 m, 30 m 格子間隔で 0.5 秒, 90 m, 270 m で 1.5 秒, 810 m, 2,430 m では 4.5 秒とした。粗度係数は 10 m, 30 m 格子で定義し、その他は 0.025 で一定とした。なお、ex02 では最小格子間隔を 90 m, ex03 では 10 m とし、浸水は ex03 で評価した。

図 7 には、上下地殻変動量分布、水平地殻変動と水理フィルタを考慮した場合の初期水位分布を示す。波源断層は、全体として北西傾斜の低角逆断層

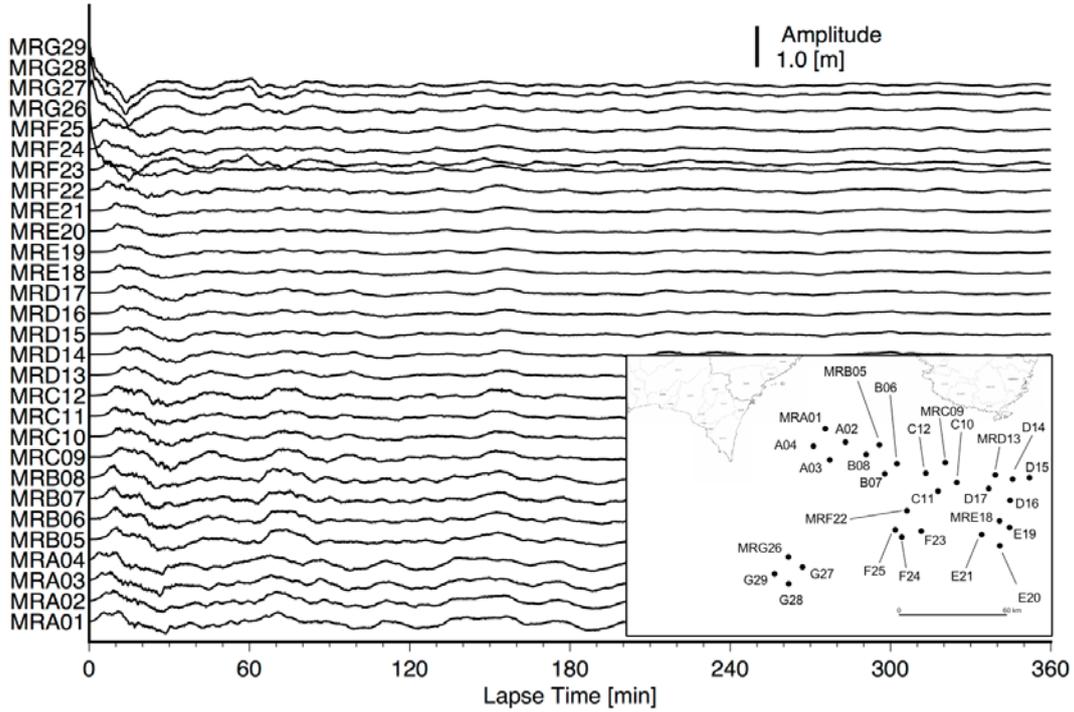


図9 例題 ex02 の DONET2 観測点における 6 時間分の全水深時系列  
 Fig. 9 Time-series of total depth in DONET2 stations for 6 hours obtained from the results of ex02.

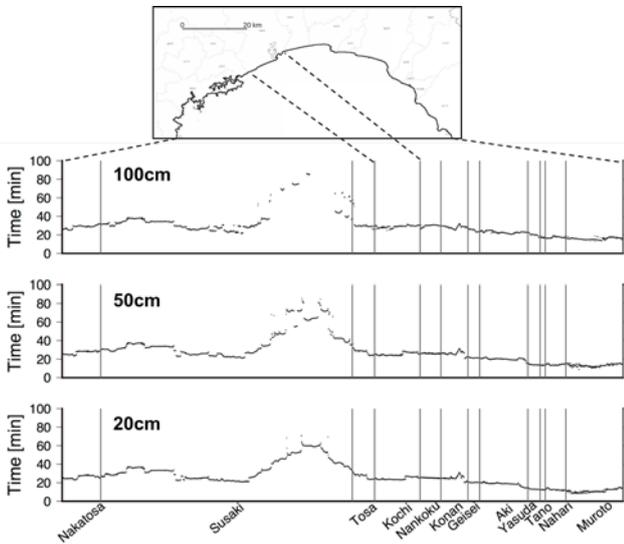


図10 例題 ex02 による沿岸での津波到達時間 (20 cm, 50 cm, 100 cm)  
 Fig. 10 Tsunami arrival time (20 cm, 50 cm, 100 cm) at the coastal points obtained from the results of ex02.

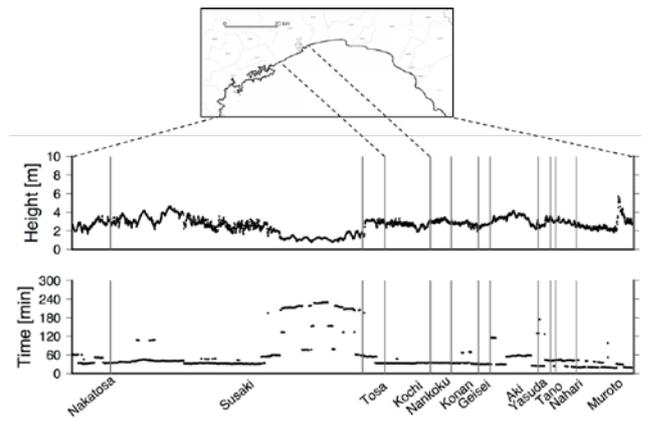


図11 例題 ex02 による沿岸での最大相対水位と到達時間  
 Fig. 11 Maximum relative tsunami height and its arrival time at the coastal points obtained from the results of ex02.

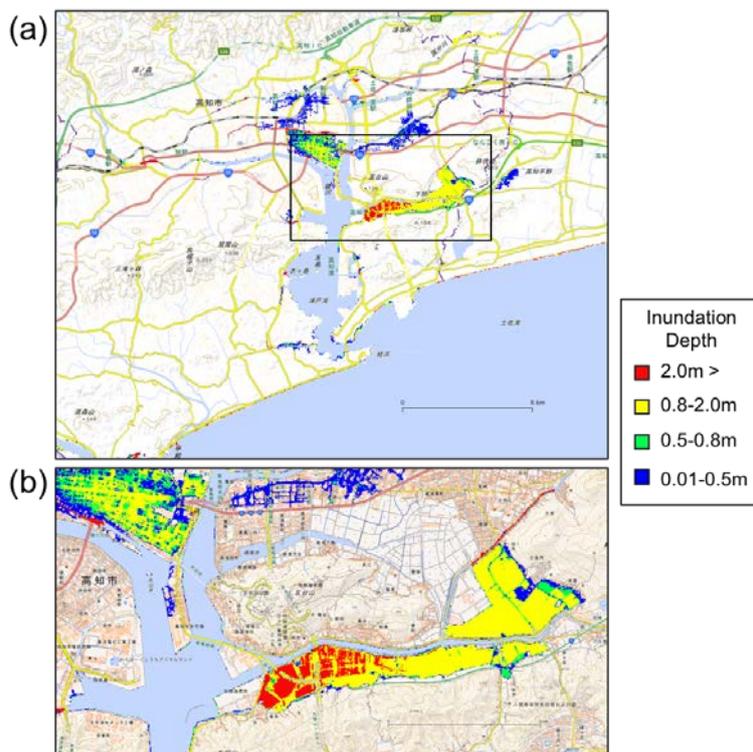


図 12 例題 ex03 による最大浸水深分布。(a) 10 m 格子領域, (b) 高知市五台山周辺の拡大図  
 Fig.12 Maximum inundation depth obtained from the results of ex03. (a) 10 m grid region, (b) enlarged map around Mt. Godai in Kochi city.

であるため、陸側に沈降域が広がり、東側に隆起域が広がっている。大局的には北西側では海面が下がってから上がることになり第 1 波としては引き波、沖では海面が上がってから下がることとなるため第 1 波としては押し波が伝播する。図 8 には、津波発生から 300, 600, 900, 1,200 秒後の水位のスナップショットを示す。高知平野が面する土佐湾には、最初に青色で示す引き波が到達して(300s, 600s), その後に赤色で示す押し波が到達することがよく分かる。さらに、押し波に着目してそれぞれを比べると、陸に近づくにつれて水位が高くなっていることがわかる。一方、室戸岬より東方へは、押し波が第 1 波として伝播する様子がわかる。これは、地殻変動の隆起と沈降の境が室戸岬付近になるためと分析できる。図 9 には、津波波源に近い DONET2 の各観測点における全水深時系列を示す。DONET2 観測点では第 1 波が押しとなっていることが分かる。また、波源近傍にある観測点 (MRG26-29) では、地殻変動量が大きいため永久変位がみてとれる。隆起域に位置するこれらの観測点では、全水深は小さくな

る。全水深は水圧と比例する量なので、水圧計による観測記録との対比が容易である。

伝播した津波はやがて沿岸に到達する。例題 ex02 による到達時間の分布を図 10 に示す。沿岸水位抽出点は、太平洋岸を中心に配置した。計算前に設定した閾値、20 cm, 50 cm, 100 cm の津波が到達する時間である。波源に近い室戸市では 20 分より早く津波が到達することが分かる。また、沿岸での相対水位の分布を図 11 に示す。この波源の場合には、沿岸には 2-6 m の津波が押し寄せることがわかり、到達時間の分布は複雑である。最大浸水深分布を図 12 に示す。高知平野の内陸まで浸水する様子がうかがえ、五台山の周辺では 2 m を超える浸水が生じる。GIS 上で出力結果(10 m 格子)を表示することで、浸水の範囲を具体的に把握することが可能である。

津波シナリオバンクには、沖合の海底観測点での全水深(水圧)変動時系列、沿岸の波高・到達時間、陸域での浸水深分布等が活用でき、浸水予測システムで利用することができる(Aoi et al., 2019; 近貞ほか, 2019)。

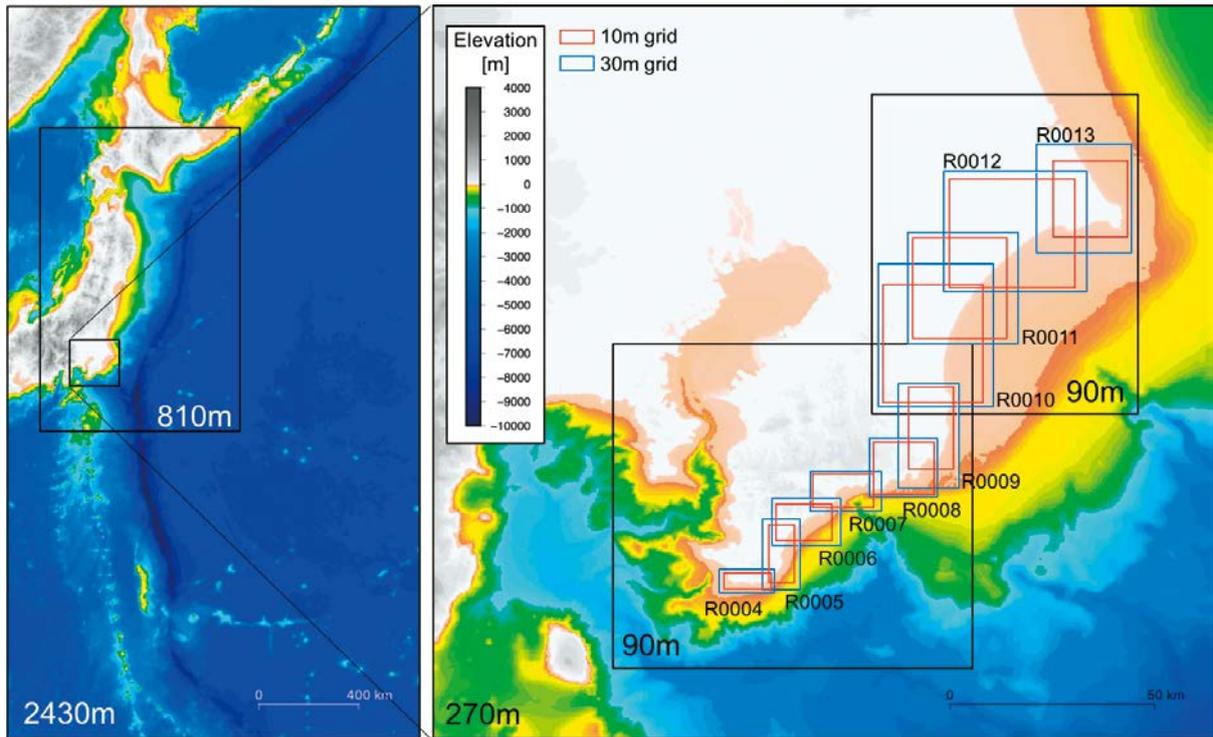


図 13 千葉県九十九里・外房地域の計算領域

Fig. 13 Simulation area for the Kujukuri and Sotobo regions in Chiba Prefecture.

## 5. 計算時間の見積もり

### 5.1 CPU と GPU による計算時間の見積もり

TNS の開発目的のひとつは、津波シナリオバンクを構成するシナリオ計算ができることであるが、津波浸水計算には、高い計算コストを要する。ここでは、TNS1.0 の実行ファイルを用いてシナリオ計算を実施する時間の目安を見積もる。対象地域は、津波遡上即時予測システムの津波シナリオバンク構築(近貞ほか, 2019)で取り扱った千葉県九十九里・外房地域とし、最小格子 10 m のネスティング格子を用いた 10 領域 (R0004 から R0013) の場合に、ひとつの波源断層に対する伝播・浸水計算にどの程度の計算時間が必要かを見積もった。図 13 に計算領域を示す。各計算領域に対して矩形断層による初期水位分布を計算し、それによる津波計算を 1,000 ステップ分だけ実行して評価し、入出力にかかる時間は含めていない。計算は、1CPU を用いた計算 (CPU01) と 1GPU を用いた計算 (GPU01) を実施した。時間ネスティングは、例題 ex03 と同様に、90 m 格子と 270 m 格子でタイムステップが 3 倍となるように設定し、2,430 m 格子では 10 m 格子のタイムステップの 9 倍である。計算に用いた計算機に関する情報を

表 2 に示す。

表 3 に本研究資料で見積もった計算時間を示す。時間ネスティングを用いた場合 (TC1, TG1) について、1,000 ステップの結果をもとに 6 時間分の計算に必要な時間を見積もった。CPU を用いた 1 コアの計算では、10 領域の 6 時間分の津波計算に約 421.4 時間、GPU を用いた計算では、約 8.8 時間と見積もられた。GPU による高速化は 47.8 倍となった。1,000 シナリオを準備する場合には、1GPU を用いた場合には約 1 年を要することになる。津波シナリオバンクを構築する場合には、CPU でも GPU でも複数の計算を並行して進めることが必須であり、大型計算機は有力な計算資源である。

CPU の計算は、gfortran によってコンパイルしたものであるため、より高速化が図れるコンパイラによる実行ファイルを用いることで一層の高速がはかれる。また、OpenMP を用いたスレッド並列による並列計算をすることで 1 計算の実行時間を短縮することは可能である。しかし、現状では理想的な並列化効率は達成できていないため、計算時間やメモリがシステムに収まる場合には、効率よく計算を並行に実施することで実計算時間を短縮するのがよい。

表 2 本研究で利用した計算機環境  
Table 2 Computer resources used in this study.

	Machine	CPU/GPU	Memory
CPU01	HA8000-tc	Intel Xeon E5-2697v2	64GB
GPU01	HP DL380 Gen9	NVIDIA Tesla K40C	128GB

表 3 千葉県九十九里・外房地域に対する 1 シナリオの浸水計算に要する計算時間  
Table 3 Estimated calculation time of inundation simulation for one scenario in the Kujukuri-Sotobo region.

Region	Num. of Grid	Time Step [s]	CPU01		GPU01		Speed Up		Speed Up	
			TC1 [s]	TC2 [s]	TG1 [s]	TG2 [s]	TC2/TC1	TG2/TG1	TC1/TG1	TC2/TG2
R0004	3,590,896	0.25	611.8	1,356.0	13.6	24.2	2.2	1.8	45.1	55.9
R0005	4,189,828	0.10	752.1	1,499.8	15.6	26.6	2.0	1.7	48.1	56.3
R0006	4,537,876	0.10	821.3	1,571.3	16.9	27.9	1.9	1.6	48.5	56.3
R0007	4,549,324	0.05	797.1	1,547.7	16.6	27.7	1.9	1.7	48.1	55.8
R0008	5,255,356	0.20	893.7	1,644.6	19.2	29.9	1.8	1.6	46.5	54.9
R0009	5,794,276	0.25	914.9	1,668.7	21.2	31.9	1.8	1.5	43.1	52.4
R0010	10,993,324	0.25	1,954.3	2,756.3	39.4	50.1	1.4	1.3	49.7	55.0
R0011	9,472,612	0.25	1,642.0	2,446.5	33.5	44.2	1.5	1.3	49.0	55.4
R0012	12,159,364	0.25	2,044.9	2,858.1	43.5	54.2	1.4	1.2	47.0	52.7
R0013	6,879,352	0.25	1,354.7	2,115.9	26.9	37.6	1.6	1.4	50.3	56.2
Total	67,422,208	-	11,786.6	19,465.0	246.4	354.5	1.7	1.4	47.8	54.9

TC1とTG1は時間ネスティングあり，TC2とTG2は時間ネスティングなし。

多数のシナリオ計算を複数の領域で実施する場合には，異なるシナリオで同一領域の計算を並行して進めるのが望ましい。GPU の計算は，CUDA7.5 の環境で構築したものであるが，本研究資料で使用した NVIDIA Tesla K40C よりも新しい GPU が登場している。より新しい GPU に適用することで，一層の高速化が期待できる。

### 5.2 ネスティング格子による計算時間の短縮

TNS では 1 回の計算にかかるメモリや計算量削減のためネスティング格子を空間と時間について導入している。5.1 では時間ネスティングを用いた結果を示しているが，時間ネスティングを用いない場合との比較を行った。計算対象領域は，5.1 と同じである。表 3 に 1,000 ステップ実行した結果を示す。時間ネスティングを用いた場合 (TC1, TG1) は，用いなかった場合 (TC2, TG2) に比べて CPU で 1.7 倍，GPU で 1.4 倍，高速化された。計算時間の短縮のた

めに，計算結果に影響がない場合には時間ネスティングを設定することが望ましい。

### 6. まとめ

津波の数値計算をコンピュータ上で迅速に実施できるソフトウェア「津波シミュレータ (TNS)」を開発した。TNS は，津波浸水予測を目的とした津波シナリオバンクを構築するためのシミュレーションツールとして開発を進め，ネスティング格子を用いた差分法で非線形長波方程式を解くことで，発生した津波の伝播・遡上を計算する。計算コードは Fortran 90 を基本としており，本研究資料では津波シナリオバンクの構築に活用される主要な機能をパッケージ化した TNS Version1.0 を公開した。TNS1.0 には，操作手引書，一般的な Linux で動作するコンパイル済みの実行ファイル等を含め，計算事例として例題を添付した。ユーザが比較できるように，例題を実

際に計算して結果を示した。水平床での例題に対しては、沖合での水位時系列、津波波高のスナップショット等から正しく計算できることを示した。また、高知平野の浸水計算例では、DONET2での全水深変動の時系列、津波波高のスナップショット、沿岸での到達時間や最大波高分布、浸水深分布等を示し、QGIS等のソフトウェアで可視化例を示した。津波シナリオバンク構築のための目安として、千葉県九十九里・外房地域の10領域に対して計算時間をCPUとGPUで見積もった。6時間分の津波計算にCPUでは約421.4時間を要し、GPUを用いた計算では約8.8時間を要した。GPUによる高速化は、時間ネスティングを用いた場合にCPUの約47.8倍、用いなかった場合に54.9倍となった。また、時間ネスティングを利用することで計算時間は、CPUで約1.7倍、GPUで1.4倍高速化することを示した。

## 謝辞

本研究資料の成果の一部は、総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「レジリエントな防災・減災機能の強化」(管理法人：JST)として実施した。本研究資料では、地形データ、粗度データおよび堤防データは、内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」によるものを用いたほか、千葉県より貸与いただいた地形モデルおよび粗度データ、国土地理院の基盤地図情報数値標高モデル5mメッシュ(標高)、米国海洋大気庁のETOPO1、中央防災会議の地形データを使用した。QGISを用いた図の一部に国土地理院提供の地図を使用した。計算の一部に、防災科研が所有する防災情報システムの大規模シミュレーションシステムを用いた。本研究資料を作成するうえで、鈴木進吾氏、前田宜浩氏との津波数値計算に関する議論は有意義でした。以上、記して感謝いたします。

## 添付資料

本研究資料には巻末にTNS操作手引書を添付するほか、電子媒体で以下の資料を提供する。

- TNS Version1.0
- TNS 操作手引書
- 津波シナリオバンクデータ規約集

## 参考文献

- 1) 安藤和人・馬場俊孝・松岡大佑・加藤季広(2014): 「京」コンピュータによる大規模津波シミュレーション—津波伝搬遡上コードの超高並列向け最適化—。情報処理, **55**, 817-822.
- 2) Aoi, S., Suzuki, W., Chikasada, N., Miyoshi, T., Arikawa, T., Seki, K. (2019): Development and utilization of real-time tsunami inundation forecast system using S-net data, *J. Disaster Res.*, in press.
- 3) 有川太郎・関克己・下迫健一郎・高川智博・千田優(2017): フラジリティカーブによる防護施設の被災状況を考慮した津波浸水計算手法の開発。土木学会論文集B2(海岸工学), **73**, I\_337-I\_342.
- 4) Baba, T., Takahashi, N., Kaneda, Y., Ando, K., Matsuoka, D., and Kato, T. (2015): Parallel implementation of dispersive tsunami wave modeling with a nesting algorithm for the 2011 Tohoku tsunami, *Pure Appl. Geophys.*, **172**, 3455-3472.
- 5) Baba, T., Ando, K., Matsuoka, D., Hyodo, M., Hori, T., Takahashi, N., Obayashi, R., Imato, Y., Kitamura, D., Uehara, H., Kato, T., and Saka, R. (2016): Large-scale, high-speed tsunami prediction for the great Nankai trough earthquake on the K computer, *Inter. Jour. of High Per. Comp. App.*, **30**, 71-84, doi:10.1177/1094342015584090.
- 6) 防災科学技術研究所(2018): 地震津波火山ネットワークセンター (<http://www.mowlas.bosai.go.jp/>, December 25, 2018)
- 7) 近貞直孝・鈴木亘・三好崇之・青井真・根本信・大嶋健嗣・松山尚典・高山淳平・井上拓也・村田泰洋・佐竹次郎・阿部雄太・是永真理子・橋本紀彦・赤木翔(2019): 津波浸水の即時予測を目的とした津波シナリオバンクの構築。防災科学技術研究所研究資料, **430**, 169pp.
- 8) Clayton, R. and Engquist, B. (1977): Absorbing boundary conditions for acoustic and elastic wave equations, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **67**, 1529-1540.
- 9) Goto, C., Ogawa, Y., Shuto, N. and Imamura, F. (1997): IUGG/IOC Time Project, Numerical method of tsunami simulation with the leap-frog scheme.

- IOC Manuals and Guides, **35**, 130 pp., UNESCO, Paris.
- 10) 本間仁(1940)：低溢流堰堤の流量係数(第2編), 土木学会誌, **26**, 849-862.
- 11) Imamura, F., Yalciner, A., and Ozyurt, G. (2006): Tsunami modelling manual (TUNAMI model), 58pp. (<http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/projects/manual-ver-3.1.pdf>, December 21, 2018)
- 12) Inazu, D. and Saito, T. (2013): Simulation of distant tsunami propagation with a radial loading deformation effect. *Earth Planets Space*, **65**, 835–842, doi:10.5047/eps.2013.03.010.
- 13) 石橋正信・馬場俊孝・高橋成実・今井健太郎(2018)：DONET 観測情報を活用した津波予測システムの社会実装—和歌山県の事例—。自然災害科学, **37**, 125-142.
- 14) Kajjura, K. (1963): The leading wave of a tsunami, *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, **41**, 535-571.
- 15) Kanazawa, T., Uehira, K., Mochizuki, M., Shinbo, T., Fujimoto, H., Noguchi, S., Kunugi, T., Shiomi, K, Aoi, S., Matsumoto, T., Sekiguchi, S., and Okada, Y. (2016): S-net project, cabled observation network for earthquakes and tsunamis, in Abstract WE2B-3, Presented at SubOptic 2016, Dubai, April 18-21.
- 16) 気象庁(2011)：東北地方太平洋沖地震への気象庁の対応について(報告), 気象業務の評価に関する懇談会, 17pp. (<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/hyouka/kondankai/kondankai16/shiryuu6.pdf>, August 29, 2018)
- 17) 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫(1998)：GISを利用した津波遡上計算と被害推定法。海岸工学論文集, **45**, 356-360.
- 18) 前田宜浩・青井真・岩城麻子・早川俊彦(2015)：局所細分化適合格子法を用いた津波シミュレーション。日本地球惑星科学連合2015年大会予稿集, HDS27-03.
- 19) Maeda, T., Aoi, S., Iwaki, A., and Hayakawa, T. (2017): A tsunami propagation modeling based on the adaptive mesh refinement, *Proceedings 16<sup>th</sup> World Conf. Earthq. Eng.*, 2104.
- 20) Musa, A., Watanabe, O., Matsuoka, H., Hokari, H., Inoue, T., Murashima, Y., Ohta, Y., Hino, R., Koshimura, S., and Kobayashi, H. (2018): Real-time tsunami inundation forecast system for tsunami disaster prevention and mitigation, *J. Supercomput.*, **74**, 3093-3113.
- 21) 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)(平成24年8月29日発表), 100pp.
- 22) 内閣府(2016)：津波断層モデル, 南海トラフの巨大地震モデル検討会. (<https://www.geospatial.jp/ckan/organization/naikakufu-01>, January 17, 2019)
- 23) Oishi, Y., Imamura, F., and Sugawara D. (2015), Near-field tsunami inundation forecast using the parallel TUNAMI-N2 model: Application to the 2011 Tohoku-Oki earthquake combined with source inversions, *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 1083–1091, doi:10.1002/2014GL062577.
- 24) 大石裕介・今村文彦・菅原大助・古村孝志(2016)：津波解析における信頼性の高い市街地浸水モデルに関するスパコンを用いた検討。土木学会論文集 B2(海岸工学), **72**, I\_409-I\_414.
- 25) Okada, Y. (1992): Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **82**, 1018-1040.
- 26) Ozaki, T. (2011): Outline of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw 9.0) —Tsunami warnings/advisories and observations—, *Earth Planets Space*, **63**, 827–830.
- 27) 消防庁(2018)：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について(第157報), 40pp. (<http://www.fdma.go.jp/bn/higaihou/pdf/jishin/157.pdf>, August 29, 2018)
- 28) Tang, L., Titov, V. V., and Chamverlin, C. D. (2009): Development, testing, and applications of site-specific tsunami inundation models for real-time forecasting, *J. Geophys. Res.*, **114**, C12025, doi:10.1029/2009JC005476.
- 29) Tanioka, Y. and Satake, K. (1996): Tsunami generation by horizontal displacement of ocean bottom, *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 861-864.
- 30) Titov, V. V. and Gonzalez, F. I. (1997):

Implementation and Testing of the method of splitting tsunami (MOST) Model, NOAA Tech. Memo. ERL PMEL-112, 11pp.

- 31) Tsuji, Y., Satake, K., Ishibe, T., Harada, T., Nishiyama, A., and Kusumoto, S. (2014): Tsunami heights along the Pacific coast of Northern Honshu recorded from the 2011 Tohoku and previous great earthquakes, *Pure Appl. Geophys.* **171**, 3183–3215, doi:10.1007/s00024-014-0779-x.
- 32) Wessel, P., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis, J. F., and Wobbe, F. (2013): Generic Mapping Tools: Improved version released, *EOS Trans. AGU*, **94**, 409-410.

(2019年1月7日原稿受付,  
2019年1月7日原稿受理)

## 要 旨

津波の数値計算をコンピュータ上で実施できるソフトウェア「津波シミュレータ(TNS)」を開発した。TNSはネスティング格子を用いた差分法で非線形長波方程式を解くことで、津波の伝播・遡上をシミュレートする。計算コードはFortran 90を基本としている。TNS Version1.0を公開し、操作手引書、実行ファイル、例題等を含めた。例題として、水平床の問題と高知平野を対象とした浸水計算を示した。ソルバーはCPUまたはGPUで動作する実行ファイルであり、計算時間を評価したところ、時間ネスティングを用いた場合に、GPUによる高速化はCPUの約47.8倍となった。

**キーワード：**津波，浸水，差分法，ネスティング格子，GPU

津波シミュレータ  
TsuNami Simulator (TNS) Version 1.0  
操作手引書

国立研究開発法人 防災科学技術研究所  
2019年3月



## 目次

1. はじめに.....	1
1.1. TNS とは .....	1
1.1.1. 初期津波高の計算 .....	1
1.1.2. 津波伝播・遡上の計算.....	1
1.1.3. 計算結果の可視化 .....	1
1.2. TNS パッケージの内容.....	2
1.2.1. 津波シミュレータ TNS 実行ファイル .....	3
1.2.2. 例題計算用データ入力ファイル.....	5
1.3. 用語定義.....	8
2. TNS の動作環境構築.....	9
3. TNS による津波伝播・遡上計算.....	10
3.1. 計算パラメータ記述 XML ファイルの作成 .....	12
3.2. 計算条件設定ツールの実行.....	30
3.3. 初期津波高計算ツールの実行.....	33
3.4. 津波伝播・遡上計算ソルバーの実行 .....	34
3.5. 計算結果のポスト処理 .....	38
3.5.1. 時系列データバイナリファイルの ASCII 変換 .....	38
3.5.2. 分布データバイナリファイルの ASCII 変換 .....	39
3.5.3. 分布データバイナリファイルの GIS ラスタ変換.....	40
3.5.4. 分布データバイナリファイルの netCDF 変換 .....	41
3.6. 内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」提供データ変換ツールの実行 .....	42
4. TNS 使用上の留意点.....	44



## 1. はじめに

### 1.1. TNS とは

津波シミュレータ (Tsunami Simulator: TNS) は、国立研究開発法人防災科学技術研究所がパッケージ化した津波伝播・遡上シミュレーションを実施するためのソフトウェアです。TNS のソースコードは、主に Fortran90 / CUDA C で実装されています。

#### 1.1.1. 初期津波高の計算

海底地殻変動による初期津波高を計算できます。

- ・ 地殻変動計算プログラム DC3D (Okada, 1992) に基づき、矩形断層のすべりに伴う地殻変動を計算します。
- ・ 複数の矩形要素断層からなる断層パラメータを入力可能です。
- ・ 要素断層ごとにすべり量、すべり開始時間、すべり継続時間を設定できます。
- ・ Tanioka and Satake (1996) による水平地殻変動の影響を適用できます。
- ・ Kajiura (1963) による水理フィルタを適用できます。

#### 1.1.2. 津波伝播・遡上の計算

空間格子幅の比を 1:3 とするネスティング格子を用いた二次元線形/非線形長波理論に基づく津波伝播・遡上を計算できます。TUNAMI-N2 (Imamura et al., 2006) と同等の実装をしています。

- ・ 計算スキームは 2 次の Leap-Frog であり、計算格子は Staggered Grid です。
- ・ 非線形長波理論の移流項は、数値分散を解消するため風上差分として処理しています。
- ・ 海陸境界は、線形長波理論に基づく場合は全反射条件、非線形長波理論に基づく場合は小谷ほか(1998)による遡上境界条件です。
- ・ 最大格子間隔の計算領域の周囲に吸収境界が設定されます。
- ・ 外海側の境界条件は、Imamura et al. (2006) に基づき透過境界として計算され、各領域境界の外海判定は自動的に設定されます。
- ・ 標高を上げ下げすることにより疑似的に潮位条件を導入できます。
- ・ 堤防などの構造物をラインデータとして導入でき、本間 (1940) の公式に基づく構造物の越流の計算や越流破壊を計算できます。
- ・ 地震発生時の構造物の沈下比を一律の値で設定できます。

#### 1.1.3. 計算結果の可視化

計算結果の出力データを GeoTIFF 形式および netCDF 形式に変換でき、GIS ツールによる計算結果の可視化が可能です。

## 1. はじめに

### 1.2. TNS パッケージの内容

TNS パッケージは

- ・ 津波シミュレータ TNS 実行ファイル (bin フォルダ)
- ・ 例題計算用データ (example フォルダ)

から構成されています (図 1)。

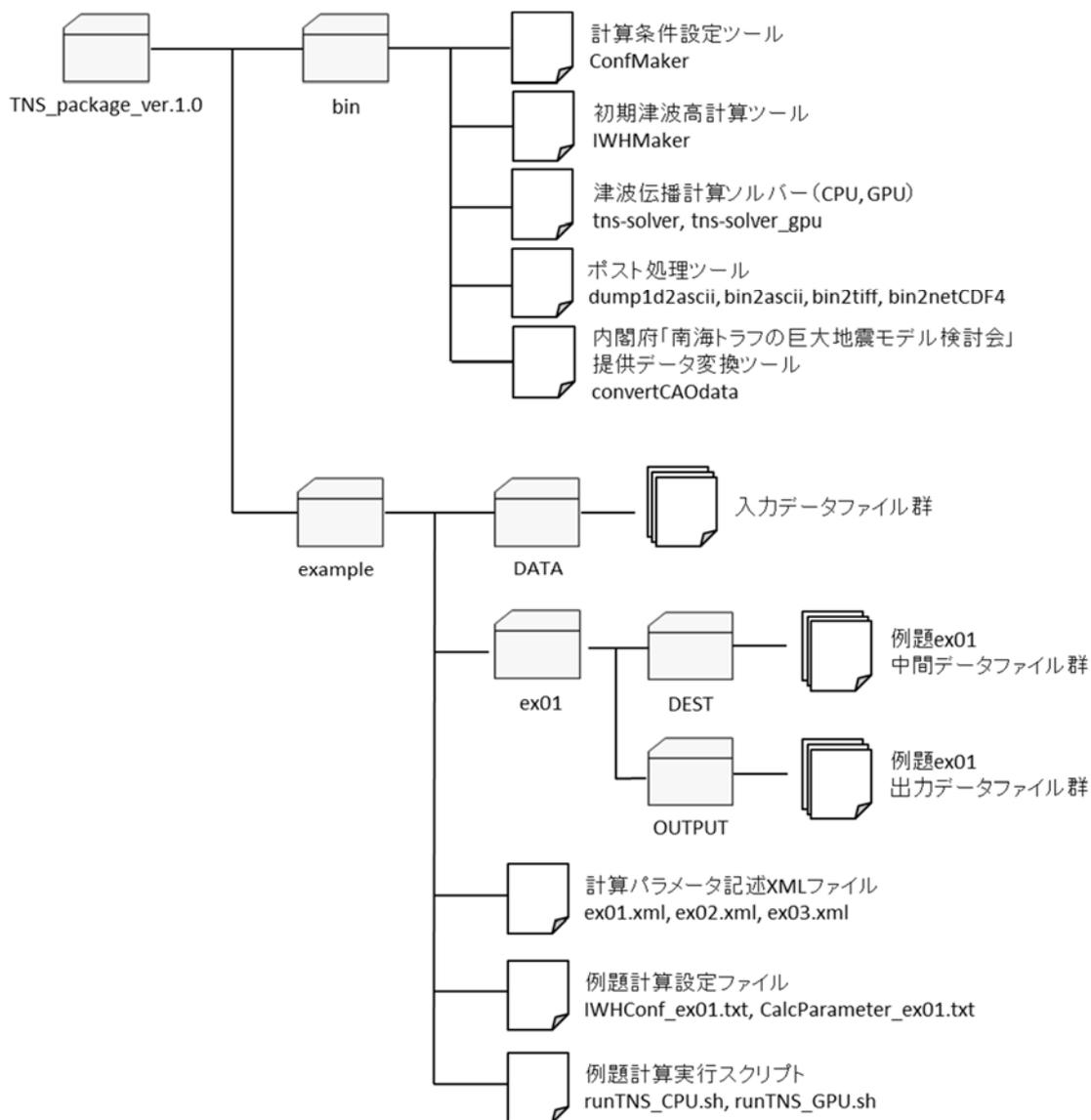


図 1 TNS Version1.0 のパッケージの内容。

### 1.2.1. 津波シミュレータ TNS 実行ファイル

津波シミュレータ TNS は以下のツール群から構成されており、本パッケージには、各ツールの Linux 用コンパイル済実行ファイルを梱包しています。

- **ConfMaker**

計算条件設定ツールです。

津波伝播・遡上計算に必要なファイルの作成処理を行います。

- **IWHMaker**

初期津波高計算ツールです。

断層パラメータを入力として地殻変動量を計算し、初期津波高を求めます。tns-solver の入力データファイルを生成します。

- **tns-solver / tns-solver\_gpu**

津波伝播・遡上シミュレーションソルバーです。

ネスティング格子を用いた二次元線形/非線形長波理論に基づく津波伝播・遡上計算を実行します。

tns-solver では、CPU による津波伝播・遡上計算が実行可能です。tns-solver\_gpu では、GPGPU による高速な津波伝播・遡上計算が実行可能です。

- **dump1d2ascii**

津波伝播・遡上計算結果変換ツールです。

tns-solver / tns-solver\_gpu が出力する時系列データバイナリファイルを ASCII ファイルに変換します。

- **bin2ascii, bin2tiff, bin2netCDF4**

津波伝播・遡上計算結果変換ツールです。

IWHMaker および tns-solver / tns-solver\_gpu が出力する分布データバイナリファイルを変換します。それぞれ、ASCII ファイル、GeoTIFF ファイル、netCDF ファイルを出力します。

- **convertCAOdata**

入力データ変換ツールです。

内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」における検討に係る地形データ、粗度データ、堤防データ（以下、提供データ）を利用する場合に用います。提供データを TNS で使用可能な形式に変換します。データは G 空間情報センターから入手できます。

南海トラフの巨大地震モデル検討会 <http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html>

G 空間情報センターの該当ページ <https://www.geospatial.jp/ckan/organization/naikakufu-01>

## 1. はじめに

実行ファイルは以下に示す条件でコンパイルしています。

### 環境

項目	内容
OS	CentOS 6.6
Fortran コンパイラ	gfortran 4.4.7
C++コンパイラ	g++4.4.7
GPU	TESLA K40
CUDA	7.5.17

### コンパイル時設定

実行ファイル	コンパイルオプション	使用ライブラリ
ConfMaker	-O3	gdal-1.11.4, xerces-c-3.1.2
IWHMaker	-O3	proj.4-4.9.2 ※
tns-solver	-O3 -fopenmp	proj.4-4.9.2 ※
tns-solver_gpu	-O3 sm=35	proj.4-4.9.2 ※ CUDA-7.5
dump1d2ascii	-O3	
bin2ascii	-O3	
bin2tiff	-O3	gdal-1.11.4
bin2netCDF4	-O3	netcdf-4.3.2
convertCAOdata	-O3	

※ ライブラリ proj.4-4.9.2 は TNS Version1.0 のコンパイルで使用していますが、実行時のインストールは不要です。

### 1.2.2. 例題計算用データ入力ファイル

TNS パッケージの example ディレクトリには、例題計算の設定を記述した XML ファイル (ex01.xml, ex02.xml, ex03.xml) が含まれます。また、例題 ex01 の ConfMaker を実行した際に生成される計算設定ファイル (IWHMaker\_ex01.txt, CalcParameter\_ex01.txt)、例題 ex01 実行用のシェルスクリプト例 (runTNS\_CPU.sh, runTNS\_GPU.sh) も example ディレクトリに配置されています。

No.	項目	内容
1.	ファイル名	ex01.xml
	種別	計算パラメータ記述 XML ファイル
	説明	シミュレーションの設定およびパラメータを記述する XML ファイルです。 ex01.xml は水深 4,000m の水平床における津波伝播シミュレーションを実行する設定です。
2.	ファイル名	ex02.xml, ex03.xml
	種別	計算パラメータ記述 XML ファイル
	説明	シミュレーションの設定およびパラメータを記述する XML ファイルです。 ex02.xml, ex03.xml はともに、高知県沖を震源とする規模 Mw8.2 の断層モデルによる津波伝播・遡上シミュレーションを実行する設定です。ex02 は最小 90m メッシュ、ex03 は最小 10m メッシュの設定例を記述しています。計算領域は、内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」提供データ変換ツールの実行で入力データを作成することを仮定しています（作成した計算領域データはパッケージには含まれません）。
3.	ファイル名	IWHConf_ex01.txt
	種別	初期津波高計算ツール設定 ASCII ファイル
	説明	初期津波高計算ツール IWHMaker の計算設定およびパラメータを記述する ASCII ファイルです。例題 ex01 の計算設定を記述しています。
4.	ファイル名	CalcParameter_ex01.txt
	種別	津波伝播・遡上計算設定 ASCII ファイル
	説明	津波伝播・遡上シミュレーションソルバー tns-solver / tns-solver_gpu の計算設定およびパラメータを記述する ASCII ファイルです。例題 ex01 の計算設定を記述しています。
5.	ファイル名	runTNS_CPU.sh, runTNS_GPU.sh
	種別	例題計算実行スクリプト
	説明	例題 ex01 の計算実行手順を記述しています。

1. はじめに

TNS パッケージの example/DATA ディレクトリには、津波伝播・遡上シミュレーションの例題計算入力用に以下のデータファイルが含まれています。

No.	項目	内容
1.	ファイル名	TPG_D4000-M0810.dat, TPG_D4000-M0270.dat
	種別	地形標高分布データファイル
	説明	津波シミュレーションを行う二次元直交座標格子領域の格子点情報および各格子点における標高 (m) を格納した ASCII ファイルです。 例題計算用として、全メッシュで標高-4,000m (水深 4000m) が設定された格子間隔 810m と 270m の 2 つのデータファイルを用意しています。
2.	ファイル名	Fault_ex01.dat, Fault_ex02.xml
	種別	断層パラメータファイル
	説明	断層すべりにより生じる津波初期波源を計算するための断層に関するパラメータを記述した ASCII ファイルです。 Fault_ex01.dat は例題 ex01 用として、TPG_D4000-M0810 領域内に位置する矩形断層 (規模 Mw8.2) のパラメータを記述したファイルです。 Fault_ex02.dat は例題 ex02、ex03 用として、高知県沖を震源とする矩形断層 (規模 Mw8.2) のパラメータを記述したファイルです。 EPSG:2446 での位置座標を記述しています。
3.	ファイル名	Station.dat, Station_E2446.dat
	種別	観測点定義データファイル
	説明	津波シミュレーションによる時系列データを計算する観測点を設定した ASCII ファイルです。 Station.dat は例題 ex01 用として、TPG_D4000-M0810 領域内で西端から東端にかけて等間隔に配置された観測点 34 点を設定しています。 Station_E2446.dat は例題 ex02、ex03 用として、S-net 観測点および DONET 観測点の位置を記述した設定ファイルです。位置座標は EPSG:2446 での値です。
4.	ファイル名	ExtractCoastalPoint_E2446_0090-03.dat
	種別	沿岸水位抽出点データファイル
	説明	津波シミュレーションによる最大水位、水位スナップショットおよび水位到達時間を計算する沿岸水位抽出点を設定した ASCII ファイルです。 ex01 は陸域なしの例題なので沿岸水位抽出点を設定していません。 ExtractCoastalPoint_E2446_0090-03.dat は例題 ex02 用として、土佐湾沿岸部の 90m メッシュの中心位置を沿岸水位抽出点した設定ファイルです。位置座標は EPSG:2446 での値です。

No.	項目	内容
5.	ファイル名	ConstLine-Param_0001.dat, ConstLine-Param_0002.dat
	種別	構造物ラインパラメータファイル
	説明	<p>構造物ライン分布データの沈下割合、越流時破壊の有無を設定する ASCII ファイルです。</p> <p>ConstLine-Param_0001.dat は沈下なし、越流時破壊なし</p> <p>ConstLine-Param_0002.dat は 2 種類の構造物のうち一方（盛土構造物を想定）は沈下率 75%で、越流時破壊あり、もう一方（コンクリート構造物を想定）は沈下率 100%、構造物なし</p> <p>の設定となっています。</p>
6.	ファイル名	HeightThreshold.dat, InundationThreshold.dat
	種別	到達時間閾値設定ファイル
	説明	津波高および浸水深の到達時間を計算する閾値を設定したファイルです。
7.	ファイル名	colormap[Type].dat
	種別	カラーマップファイル
	説明	<p>ConfMaker および bin2tiff が出力する GeoTIFF ファイルの配色を設定するファイルです。</p> <p>[Type]と対象データの対応は以下のとおりです。</p> <p>TPG：地形標高分布データ用の配色設定です。</p> <p>RCF：粗度係数分布データ用の配色設定です。</p> <p>Z：鉛直地殻変動および水位用の配色設定です。</p> <p>Z+70, Z+93：潮位に T.P.+70cm, T.P.+93cm を設定した場合の静水面からの水位用の配色設定です。</p> <p>MN：線流量用の配色設定です。</p> <p>IND：浸水深用の配色設定です。</p>

## 1. はじめに

### 1.3. 用語定義

TNS 操作手引書（以下、本書と記します）で使用する用語・データの定義は、津波シナリオバンクデータ規約集（以下、規約集と記します）に従います。また、以下の用語を用います。

用語	種別
GPGPU	General-purpose computing on graphics processing units の略で、GPU 資源を汎用的な処理に応用することを目的としています。アプリケーションの加速化に応用されます。
CUDA	Compute unified device architecture の略で、NVIDIA が提供する、汎用的な並列コンピューティングプラットフォーム/プログラミングモデルです。C/C++や Fortran 言語で記述されます。
GeoTIFF	TIFF (Tagged Image File Format) に地理情報を付加したもので、基本的に TIFF に準拠しています。

## 2. TNS の動作環境構築

TNS の実行には、一般的な Linux 環境を必要とします。また、以下に示すライブラリをインストールする必要があります。

GDAL ver.1.11.4

<https://www.gdal.org/>

Xerces-C++ XML Parser ver.3.1.2

<http://xerces.apache.org/xerces-c/>

GPU 計算については、以下の GPU 計算用ライブラリをインストールする必要があります。

CUDA ver.7.5

<https://developer.nvidia.com/cuda-downloads>



## TNS 入力ファイルリスト

「要否」欄に「★」を付けたファイルは TNS の実行に最低限必須のファイル、「※」を付けたファイルは ConfMaker が出力するファイルです。

No.	要否	種別
1.	★	計算パラメータ記述 XML ファイル
2.	★	断層パラメータファイル
3.	★	地形標高分布データファイル
4.		粗度係数分布データファイル
5.		構造物ライン分布データファイル
6.		構造物ラインパラメータファイル
7.		陸判定マップデータファイル
8.		観測点定義データファイル
9.		沿岸水位抽出点データファイル
10.		到達時間閾値設定ファイル
11.		カラーマップファイル
12.	※	初期津波高計算ツール設定 ASCII ファイル
13.	※	津波伝播・遡上計算設定 ASCII ファイル

### 3.1. 計算パラメータ記述 XML ファイルの作成

TNS 実行に必要な設定・パラメータは、XML ファイルに記述します。

TNS パッケージには、XML ファイルの記述例を 3 例含めています。

XML ファイルの構成は以下の通りです。

- (1) 計算プロジェクト設定
- (2) 初期津波高計算設定
- (3) 津波伝播計算設定
- (4) 計算領域設定
- (5) その他計算設定
- (6) 出力設定
- (7) ファイル可視化設定

XML ファイル設定詳細においてタグ名に「(★)」を付けた項目は、TNS を実行するために必ず設定する必要があります。「(★)」を付けていない項目については、XML ファイルに設定を記述しなかった場合、デフォルト値が設定されるかまたはデフォルト処理が実行されます。

また、条件付で設定が必須となる項目は「(※)」を付けています。

## (1) 計算プロジェクト設定

計算ケースを識別するための情報を記述します。

XML ファイル設定	
ConfMakerSettingFile	
ProjectName (★)	
説明	計算結果を識別するためのプロジェクト名を指定します。 tns-solver / tns-solver_gpu の出力先は<ProjectName>ディレクトリ内の'OUTPUT'となります。
設定例	ex01
DestDir	
説明	中間ファイル出力ディレクトリ名を指定します。 ConfMaker, IWHMaker の出力先は<ProjectName>ディレクトリ内の<DestDir>ディレクトリとなります。
デフォルト値	DEST
Datum	
説明	ConfMaker が出力する GeoTIFF ファイルの EPSG を指定します。
デフォルト値	3100

ex01.xml 設定例 (L.1~L.5)。

```

1 <?xml version="1.0" encoding="Shift_JIS"?>
2 <ConfMakerSettingFile>
3   <ProjectName>ex01</ProjectName>
4   <DestDir>DEST</DestDir>
5   <Datum>3100</Datum>

```

(2) 初期津波高計算設定

IWHMaker による初期津波高計算に必要な設定を記述します。

XML ファイル設定	
ConfMakerSettingFile (続き)	
CalcParameter	
InitialWaveHeightSetting	
DeformationTolerance	
説明	地殻変動計算の打ち切り変動量 (m) を指定します。 指定された打ち切り変動量に応じて、地殻変動計算を高速化します。0.0 を指定した場合、高速化は行われません。
デフォルト値	0.0
HorizontalDeformation	
説明	水平地殻変動寄与の選択を指定します。 0 : 寄与なし、1 : Tanioka and Satake (1996) の式適用
デフォルト値	0
HydraulicFilter	
説明	水理フィルタの選択を指定します。 0 : 水理フィルタなし、1 : Kajiura (1963) の式適用
デフォルト値	0
FaultModel	
CoordinateType	
説明	断層パラメータ設定座標系を指定します。 0 : 直交座標系、1 : 球座標系 ※「1 : 球座標系」は TNS Version 1.0 では対応していません。
デフォルト値	0
FileName (★)	
説明	断層パラメータファイル名を指定します。 ファイル形式は規約集の断層パラメータファイル規約 (33 ~ 35 ページ) を参照してください。
設定例	./DATA/Fault_Mw82_RECT.dat

ex01.xml 設定例 (L.6~L.15)。

```
6 <CalcParameter>
7   <InitialWaveHeightSetting>
8     <DeformationTolerance>0</DeformationTolerance>
9     <HorizontalDeformation>0</HorizontalDeformation>
10    <HydraulicFilter>0</HydraulicFilter>
11    <FaultModel>
12      <CoordinateType>0</CoordinateType>
13      <FileName>./DATA/Fault_ex01.dat</FileName>
14    </FaultModel>
15  </InitialWaveHeightSetting>
```

ex03.xml 設定例 (L.6~L.15)

誤差 0.001m までを許容して地殻変動計算を高速化、水平地殻変動考慮、水理フィルタ有効

```
6 <CalcParameter>
7   <InitialWaveHeightSetting>
8     <DeformationTolerance>0.001</DeformationTolerance>
9     <HorizontalDeformation>1</HorizontalDeformation>
10    <HydraulicFilter>1</HydraulicFilter>
11    <FaultModel>
12      <CoordinateType>0</CoordinateType>
13      <FileName>./DATA/Fault_ex02.dat</FileName>
14    </FaultModel>
15  </InitialWaveHeightSetting>
```

### 3. TNSによる津波伝播・遡上計算

断層パラメータファイルは波源断層に関する以下の値を記述した ASCII データファイルです。  
 図 3 に日本近海における断層パラメータの設定例を示します。

- ・断層原点 Y 座標、X 座標 (UTM 座標、単位 m)、海面基準深さ (m)、海底基準深さ (m)
- ・断層の走向方向 (度)、傾斜角 (度)、すべり角 (度)
- ・長さ (m)、幅 (m)、すべり量 (m)
- ・要素断層名、破壊開始時間 (秒)、すべり継続時間 (秒)

断層パラメータファイル記述例 (Fault\_ex01.dat)

```
79500.00 194400 14000.00 10000.00 180.0 15.0 90.0 159000.00 79500.00 3.98 RECT 0.0 0.0
```

複数の要素断層で近似する波源断層モデルも、ひとつの断層パラメータファイルに複数行の要素断層パラメータを記述することで設定可能です。

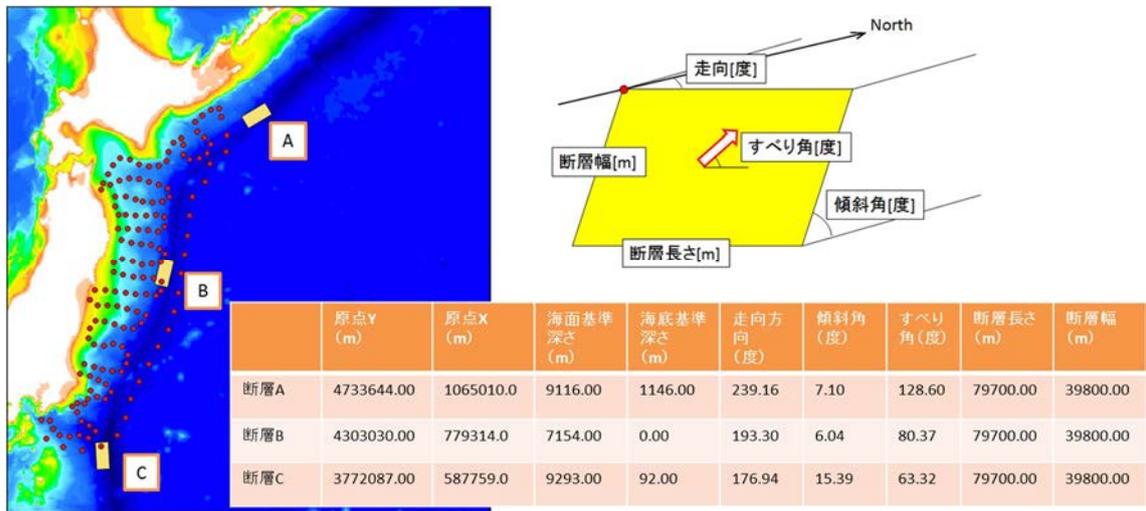


図 3 日本近海の断層パラメータ設定例 (座標系は UTM Zone54)。

## (3) 津波伝播計算設定

tns-solver / tns-solver\_gpu による津波伝播計算に必要な設定を記述します。

XML ファイル設定	
ConfMakerSettingFile (続き)	
CalcParameter (続き)	
TsunamiCalcSetting	
TotalTime (★)	
説明	計算時間 (秒) を指定します。
設定例	3600.0
TimeIncrement (★)	
説明	最小格子領域の時間刻み (秒) を指定します。 設定が CFL 条件を満たしていない場合、ConfMaker により WARNING が出力されます。
設定例	0.5
TideWaterLevel	
説明	潮位 (cm) を指定します。
デフォルト値	0.0
RiseUpType	
説明	断層パラメータのすべり継続時間の反映の有無を設定します。 0 : すべり継続時間をすべて 0 秒とします。 1 : すべり継続時間を考慮します。
デフォルト値	0

## ex01.xml 設定例 (L.16~L.21)

```

16 <TsunamiCalcSetting>
17   <TotalTime>3600</TotalTime>
18   <TimeIncrement>0.5</TimeIncrement>
19   <TideWaterLevel>0</TideWaterLevel>
20   <RiseUpType>0</RiseUpType>
21 </TsunamiCalcSetting>

```

## ex03.xml 設定例 (L.16~L.21)

潮位 T.P.+93cm

```

16 <TsunamiCalcSetting>
17   <TotalTime>21600</TotalTime>
18   <TimeIncrement>0.25</TimeIncrement>
19   <TideWaterLevel>93</TideWaterLevel>
20   <RiseUpType>0</RiseUpType>
21 </TsunamiCalcSetting>

```

#### (4) 計算領域設定

津波伝播計算を実施する領域の階層に関する設定を記述します。階層は、設定する計算領域の格子間隔の数だけ指定する必要があります。

XML ファイル設定	
ConfMakerSettingFile (続き)	
CalcParameter (続き)	
LayerSet	
Layer	
LayerNo (★)	
説明	階層番号を指定します。
設定例	2
GridSize (★)	
説明	階層の格子間隔 (m) を指定します。
設定例	270
TimeIncrementRatio	
説明	階層の計算時間刻みの比を指定します。 1 または 3 が設定可能です。3 を指定した場合、上位の階層と計算時間刻み比 1:3 で時間ネスティング接続します。
デフォルト値	1

ex01.xml 設定例 (L.22~L.33)。

```

22 <LayerSet>
23 <Layer>
24 <LayerNo>1</LayerNo>
25 <GridSize>810</GridSize>
26 <TimeIncrementRatio>1</TimeIncrementRatio>
27 </Layer>
28 <Layer>
29 <LayerNo>2</LayerNo>
30 <GridSize>270</GridSize>
31 <TimeIncrementRatio>3</TimeIncrementRatio>
32 </Layer>
33 </LayerSet>
    
```

ex01.xml では、270m 格子領域の時間刻みを 0.5 秒として、2 領域の時間刻みは以下の通りに設定されます。

項目	格子間隔	計算時間刻み
階層 1	810m	1.5 (=0.5*1*3) 秒
階層 2	270m	0.5 (=0.5*1) 秒

ex03.xml 設定例 (L.22~L.53)

2430m 格子領域から 10m 格子領域までを接続する場合の階層設定

```

22 <LayerSet>
23 <Layer>
24 <LayerNo>1</LayerNo>
25 <GridSize>2430</GridSize>
26 <TimeIncrementRatio>1</TimeIncrementRatio>
27 </Layer>
28 <Layer>
29 <LayerNo>2</LayerNo>
30 <GridSize>810</GridSize>
31 <TimeIncrementRatio>3</TimeIncrementRatio>
32 </Layer>
33 <Layer>
34 <LayerNo>3</LayerNo>
35 <GridSize>270</GridSize>
36 <TimeIncrementRatio>1</TimeIncrementRatio>
37 </Layer>
38 <Layer>
39 <LayerNo>4</LayerNo>
40 <GridSize>90</GridSize>
41 <TimeIncrementRatio>3</TimeIncrementRatio>
42 </Layer>
43 <Layer>
44 <LayerNo>5</LayerNo>
45 <GridSize>30</GridSize>
46 <TimeIncrementRatio>1</TimeIncrementRatio>
47 </Layer>
48 <Layer>
49 <LayerNo>6</LayerNo>
50 <GridSize>10</GridSize>
51 <TimeIncrementRatio>1</TimeIncrementRatio>
52 </Layer>
53 </LayerSet>

```

ex03.xml では、10m 格子領域の時間刻みを 0.25 秒として、各領域の時間刻みは以下の通りに設定されます。

項目	格子間隔	計算時間刻み
階層 1	2430m	2.25 秒 (=0.25*3*3)
階層 2	810m	0.75 秒 (=0.25*3)
階層 3	270m	0.75 秒 (=0.25*3)
階層 4	90m	0.25 秒
階層 5	30m	0.25 秒
階層 6	10m	0.25 秒

津波伝播計算を実施する計算領域に関する設定を記述します。

XML ファイル設定	
ConfMakerSettingFile (続き)	
CalcParameter (続き)	
Region	
RegionNo (★)	
説明	領域識別番号を指定します。 1 から始まる整数値で指定してください。
設定例	1
RegionName (★)	
説明	領域名を指定します。 ConfMaker, IWHMaker の出力ファイルに反映されます。
設定例	D4000-M0810
BaseRegionNo (★)	
説明	ネスティング親領域の領域番号を指定します。 親領域がない領域では 0 を設定してください。
設定例	0
CoordinateType	
説明	0 : 直交座標系、1 : 球座標系 ※「1 : 球座標系」は TNS Version1.0 では対応していません。
デフォルト値	0
GridSize (★)	
説明	領域格子間隔 (m) を指定します。
設定例	810
NonLinearTerm	
説明	運動方程式の非線形項を設定します。 0 : 非線形項なし、1 : 非線形項あり ※最小格子領域で 1 とした場合、当該領域の陸域浸水深データが計算されます。
デフォルト値	0
Topography	
FileName (★)	
説明	地形標高分布データファイル名を指定します。 ファイル形式は規約集の「地形標高分布データファイル規約」(5~7 ページ) を参照してください。
設定例	./DATA/TPG_D4000-M0810.dat

XML ファイル設定	
RoughnessCoefficient	
UniformValue	
説明	粗度係数を設定します。 UniformValue を設定した場合、全計算メッシュで一定値の粗度係数が設定され、FileName の設定は不要となります。
デフォルト値	0.025
FileName	
説明	粗度係数分布データファイル名を指定します。 ファイル形式は規約集の「粗度係数分布データファイル規約」(10 ページ) を参照してください。
デフォルト処理	全計算メッシュで粗度係数 0.025 として粗度係数分布データバイナリファイル・GeoTIFF ファイルを作成します。
設定例	./DATA/Roughness/Roughness_0010-19.dat
ConstructionLineData	
FileName	
説明	構造物ライン分布データファイル名を指定します。 ファイル形式は規約集の「構造物ライン分布データファイル規約」(12~15 ページ) を参照してください。
デフォルト処理	構造物なしとして計算します。
設定例	./DATA/ConstLine/ConstLine_0010-19.dat
LandMap	
FileName	
説明	陸判定マップデータファイル名を指定します。 ファイル形式は規約集の「陸判定マップデータファイル規約」(23 ページ) を参照してください。
デフォルト処理	地形標高分布データ、構造物ライン分布データおよび潮位に基づいて ConfMaker が陸判定マップを自動生成し、陸判定マップバイナリファイル・陸判定マップ GeoTIFF ファイルを作成します。 ConfMaker が自動生成する陸判定マップデータには、計算開始時に静水面まで浸水する陸域メッシュに陸判定フラグ”2”が設定されます。

## ex01.xml 設定例 (L.34~L.61)

```

34   <Region>
35     <RegionNo>1</RegionNo>
36     <RegionName>D4000-M0810</RegionName>
37     <BaseRegionNo>0</BaseRegionNo>
38     <CoordinateType>0</CoordinateType>
39     <GridSize>810</GridSize>
40     <NonLinearTerm>0</NonLinearTerm>
41     <Topography>
42       <FileName>./DATA/TPG_D4000-M0810.dat</FileName>
43     </Topography>
44     <RoughnessCoefficient>
45       <UniformValue>0.025</UniformValue>
46     </RoughnessCoefficient>
47   </Region>
48   <Region>
49     <RegionNo>2</RegionNo>
50     <RegionName>D4000-M0270</RegionName>
51     <BaseRegionNo>1</BaseRegionNo>
52     <CoordinateType>0</CoordinateType>
53     <GridSize>270</GridSize>
54     <NonLinearTerm>0</NonLinearTerm>
55     <Topography>
56       <FileName>./DATA/TPG_D4000-M0270.dat</FileName>
57     </Topography>
58     <RoughnessCoefficient>
59       <UniformValue>0.025</UniformValue>
60     </RoughnessCoefficient>
61   </Region>

```

## ex03.xml 設定例 (L.133~L.149)

10m 格子領域に対する地形標高分布データファイル、粗度係数分布データファイル、構造物ライン分布データファイルの設定

```

133  <Region>
134    <RegionNo>6</RegionNo>
135    <RegionName>0010-19</RegionName>
136    <BaseRegionNo>5</BaseRegionNo>
137    <CoordinateType>0</CoordinateType>
138    <GridSize>10</GridSize>
139    <NonLinearTerm>1</NonLinearTerm>
140    <Topography>
141      <FileName>./DATA/Topo/Topo_0010-19.dat</FileName>
142    </Topography>
143    <RoughnessCoefficient>
144      <FileName>./DATA/Roughness/Roughness_0010-19.dat</FileName>
145    </RoughnessCoefficient>
146    <ConstructionLineData>
147      <FileName>./DATA/ConstLine/ConstLine_0010-19.dat</FileName>
148    </ConstructionLineData>
149  </Region>

```

## (5) その他計算設定

ConfMaker による沿岸構造物の地震時破壊および tns-solver / tns-solver\_gpu による構造物越流に関する設定を記述します。

XML ファイル設定	
ConfMakerSettingFile (続き)	
CalcParameter (続き)	
ConstructionLineParameter	
FileName	
説明	構造物ラインパラメータファイル名を指定します。 ファイル形式は規約集の「構造物ラインパラメータファイル規約」(19~20 ページ)を参照してください。
デフォルト処理	構造物なしとして計算します。
設定例	./DATA/ConstLine-Param_0002.dat

ex01.xml では構造物を設定していないため、構造物に関する設定は記述していません。

ex03.xml の設定例 (L.150~L.152)

構造物ラインパラメータ ConstLine-Param-160323\_0002.dat の設定

```

150 <ConstructionLineParameter>
151   <FileName>./DATA/ConstLine-Param_0002.dat</FileName>
152 </ConstructionLineParameter>

```

## (6) 出力設定

tns-solver/tns-solver\_gpu の出力設定を記述します。

出力選択の項目（「Output」タグ）はすべて、「0：出力しない、1：出力する」となります。デフォルト値はすべて「0：出力しない」であり、記述を省略した場合ファイルは出力されません。

XML ファイル設定	
ConfMakerSettingFile (続き)	
CalcOutputSetting	
OutputStartTime	
説明	出力開始時間 (秒) を指定します。
デフォルト値	0.0
Dump1d	
Interval	
説明	時系列出力時間刻み (秒) を指定します。
デフォルト値	5.0
StationPos	
FileName (※)	
説明	観測点定義データファイル名を指定します。このファイルで指定した観測点で、水位・全水深・線流量の時系列データが出力されます。 ファイル形式は規約集の「観測点定義データファイル規約」(27～28 ページ) を参照してください。 ※<Dump1d>のいずれかの<Output>を 1 と設定している場合は必須です。
設定例	./DATA/Station.dat
WaterHeight	
Output	
説明	水位時系列ファイルの出力選択を指定します。
TotalDepth	
Output	
説明	全水深時系列ファイルの出力選択を指定します。
WaterDischarge	
Output	
説明	線流量時系列ファイルの出力選択を指定します。
Dump2d	
Interval	
説明	スナップショット出力時間刻み (秒) を指定します。

XML ファイル設定	
デフォルト値	300.0
WaterHeight	
Output	
説明	水位スナップショットバイナリファイルおよび最大水位分布バイナリファイルの出力選択を指定します。
WaterDischarge	
Output	
説明	線流量スナップショットバイナリファイルおよび最大線流量分布バイナリファイルの出力選択を指定します。
CoastalPoint	
Interval	
説明	沿岸水位 / 相対水位出力時間刻み (秒) を指定します。
デフォルト値	300.0
ExtractPoint	
FileName (※)	
説明	沿岸水位抽出点ファイル名を指定します。 ファイル形式は規約集の「沿岸水位抽出点定義データファイル規約」(29 ページ) を参照してください。 ※<CoastalPoint>のいずれかの<Output>を 1 と設定している場合は必須です。
設定例	./DATA/ExtractCoastalPoint-0090-03.dat
WaterHeight	
Output	
説明	沿岸水位スナップショット CSV ファイルおよび沿岸最大水位 CSV ファイルの出力選択を指定します。
WaterHeightArrivalTime	
Output	
説明	沿岸水位到達時間 CSV ファイルの出力選択を指定します。
ThresholdFileName (※)	
説明	沿岸水位到達時間閾値設定ファイル名を指定します。 ファイル形式は閾値 (cm) が 1 行にひとつ記述された ASCII ファイルです。 ※<WaterHeightArrivalTime>の<Output>を 1 と設定している場合は必須です。
設定例	./DATA/HeightThreshold.dat
RelativeWaterHeight	

XML ファイル設定	
Output	
説明	沿岸相対水位スナップショット CSV ファイルおよび沿岸最大相対水位 CSV ファイルの出力選択を指定します。
RelativeWaterHeightArrivalTime	
Output	
説明	沿岸相対水位到達時間 CSV ファイルの出力選択を指定します。
ThresholdFileName (※)	
説明	沿岸相対水位到達時間閾値設定ファイル名を指定します。 ファイル形式は閾値 (cm) が 1 行にひとつ記述された ASCII ファイルです。 ※<RelativeWaterHeightArrivalTime>の<Output>を 1 と設定している場合は必須です。
設定例	./DATA/HeightThreshold.dat
Land	
Interval	
説明	出力時間刻み (秒) を指定します。
デフォルト値	300.0
Inundation	
Output	
説明	陸域浸水深スナップショットバイナリファイルおよび陸域最大浸水深バイナリファイルの出力選択を指定します。
InundationArrivalTime	
Output	
説明	陸域浸水深到達時間バイナリファイルの出力選択を指定します。
ThresholdFileName (※)	
説明	浸水深到達時間閾値設定ファイル名を指定します。 ファイル形式は閾値 (cm) が 1 行にひとつ記述された ASCII ファイルです。 ※<InundationArrivalTime>の<Output>を 1 と設定している場合は必須です。
設定例	./DATA/InundationThreshold.dat

出力ファイルの詳細は 3.4. 津波伝播・遡上計算ソルバーの実行に記述します。

ex01.xml の設定例 (L.63~L.89)。

```

63 <CalcOutputSetting>
64   <OutputStartTime>0.0</OutputStartTime>
65   <Dump1d>
66     <Interval>5.0</Interval>
67     <StationPos>
68       <FileName>./DATA/Station.dat</FileName>
69     </StationPos>
70     <WaterHeight>
71       <Output>1</Output>
72     </WaterHeight>
73     <TotalDepth>
74       <Output>1</Output>
75     </TotalDepth>
76     <WaterDischarge>
77       <Output>1</Output>
78     </WaterDischarge>
79   </Dump1d>
80   <Dump2d>
81     <Interval>300.0</Interval>
82     <WaterHeight>
83       <Output>1</Output>
84     </WaterHeight>
85     <WaterDischarge>
86       <Output>1</Output>
87     </WaterDischarge>
88   </Dump2d>
89 </CalcOutputSetting>

```

ex01.xml では、計算結果出力を以下の通りに設定しています。

項目	内容	備考
出力開始時間	0 秒から出力	
時系列出力時間刻み	5 秒	
観測点定義データファイル	./DATA/Station.dat	
水位時系列の出力	有効	
全水深時系列の出力	有効	
線流量時系列の出力	有効	
スナップショット出力時間刻み	300 秒	
水位スナップショットの出力	有効	
線流量スナップショットの出力	有効	
沿岸最大水位の出力	無効	(記述省略)
沿岸水位スナップショットの出力	無効	(記述省略)
陸域最大浸水深の出力	無効	(記述省略)
陸域浸水深スナップショットの出力	無効	(記述省略)

### 3. TNSによる津波伝播・遡上計算

ex02.xml の設定例 (L.127~L.156)

スナップショット出力間隔を 300 秒とし、

閾値設定ファイル HeightThreshold.dat と InundationThreshold.dat を使用する場合の設定の例

```
127     <CoastalPoint>
128         <Interval>300.0</Interval>
129         <ExtractPoint>
130
131 <FileName>./DATA/ExtractCoastalPoint_E2446_0090-03.dat</FileName>
131     </ExtractPoint>
132     <WaterHeight>
133         <Output>1</Output>
134     </WaterHeight>
135     <WaterHeightArrivalTime>
136         <Output>1</Output>
137
138 <ThresholdFileName>./DATA/HeightThreshold.dat</ThresholdFileName>
138     </WaterHeightArrivalTime>
139     <RelativeWaterHeight>
140         <Output>1</Output>
141     </RelativeWaterHeight>
142     <RelativeWaterHeightArrivalTime>
143         <Output>1</Output>
144
145 <ThresholdFileName>./DATA/HeightThreshold.dat</ThresholdFileName>
145     </RelativeWaterHeightArrivalTime>
146 </CoastalPoint>
147 <Land>
148     <Interval>300.0</Interval>
149     <Inundation>
150         <Output>1</Output>
151     </Inundation>
152     <InundationArrivalTime>
153         <Output>1</Output>
154
155 <ThresholdFileName>./DATA/InundationThreshold.dat</ThresholdFileName>
155     </InundationArrivalTime>
156 </Land>
```

到達時間閾値設定ファイルの記述例 (HeightThreshold.dat)

```
1 20.0
2 -20.0
3 50.0
4 -50.0
5 100.0
6 -100.0
```

## (7) ファイル可視化設定

ConfMaker により入力ファイルを可視化する際の設定を記述します。カラーマップファイルを設定することで、ConfMaker に設定した領域データの GeoTIFF ファイルが作成されます。

カラーマップファイルは、1 行に値と RGB 値の組がスペース区切りで記述された ASCII ファイルです。ひとつのファイルで 256 色まで設定可能です。

XML ファイル設定	
ConfMakerSettingFile (続き)	
GeotiffSetting	
Topography	
FileName	
説明	地形標高分布データカラーマップを指定します。
設定例	./DATA/colormapTPG.dat
RoughnessCoefficient	
FileName	
説明	粗度係数分布カラーマップを指定します。
設定例	./DATA/colormapRCF.dat
WaveHeight	
FileName	
説明	水位変動カラーマップを指定します。陸判定マップデータ、構造物高データの GeoTIFF ファイル作成にも使用されます。
設定例	./DATA/colormapZ.dat

ex01.xml 設定例 (L.90~L.100)。

```

90 <GeotiffSetting>
91   <Topography>
92     <FileName>./DATA/colormapTPG.dat</FileName>
93   </Topography>
94   <RoughnessCoefficient>
95     <FileName>./DATA/colormapRCF.dat</FileName>
96   </RoughnessCoefficient>
97   <WaveHeight>
98     <FileName>./DATA/colormapZ.dat</FileName>
99   </WaveHeight>
100 </GeotiffSetting>

```

カラーマップファイルの記述例 (colormapIND.dat)

1	-999.0	221	221	221
2	-99.0	255	255	255
3	0.01	0	0	255
4	0.5	0	255	65
5	0.8	255	255	0
6	2.0	248	6	6

## 3.2. 計算条件設定ツールの実行

以下の手順で計算条件設定ツール ConfMaker を実行します。

1. 環境変数 LD\_LIBRARY\_PATH に GDAL 1.11.4 および Xerces-C++ 3.1.2 の lib ディレクトリパスを追加します。
2. 以下のコマンドを入力します。

```
./ConfMaker XXX.xml
```

XXX.xml は計算パラメータ記述 XML ファイル名を示します。

入力ファイルを指定しない場合、以下の使用方法が表示されます。

```
=====  
ConfMaker version 1.0.933  
=====  
  
SYNOPSIS  
Usage: ConfMaker <XML filename>  
  
DESCRIPTION  
ConfMaker makes a TNS project.  
ConfMaker makes GeoTIFF Files and shapefiles.  
  
EXAMPLES  
./ConfMaker ./Example.xml  
  
COPYRIGHT  
Copyright (C) 2012-2019, NIED, All rights reserved.
```

3. 計算過程が標準出力に出力されます。正常に終了すると以下のメッセージが出力されます。

```
Successful Completion. ( ConfMaker Done. )
```

4. ConfMaker を実行したカレントディレクトリに
  - ・初期津波高計算プログラム設定 ASCII ファイル (IWHConf\_(ProjectName).txt)
  - ・津波伝播計算ソルバー設定 ASCII ファイル (CalcParameter\_(ProjectName).txt)

が出力されます。

(ProjectName)は計算パラメータ記述 XML ファイルの<ProjectName>タグで指定したプロジェクト名を表します。

5. 計算パラメータ記述 XML ファイル<DestDir>に指定したディレクトリに以下のファイルが出力されます。出力先ディレクトリが存在しない場合、自動的にディレクトリを作成してファイルを出力します。

IWHMaker, tns-solver / tns-solver\_gpu の入力ファイル

No.	項目	内容
1.	ファイル名	Dump1d_BEST.txt
	種別	観測点集約ファイル
	説明	観測点の計算メッシュ情報を記述した ASCII ファイルです。
2.	ファイル名	CoastExtractPoint_[領域名].txt
	種別	沿岸水位抽出点集約ファイル
	説明	沿岸水位抽出点の計算メッシュ情報を記述した ASCII ファイルです。
3.	ファイル名	[Type]_[領域名].bin
	種別	分布データバイナリファイル
	説明	分布データを記述したバイナリ形式ファイルです。 ファイル名先頭の[Type]はそれぞれ、 ‘TPG’ 地形標高分布データ ‘RCF’ 粗度係数分布データ ‘WBM’ 構造物マップデータ ‘WBH’ 構造物高データ ‘LSM’ 陸判定マップデータ と対応します。
4.	ファイル名	VRT_[領域名].txt
	種別	鉛直地殻変動量分布作用リストファイル
	説明	断層パラメータファイルで設定された破壊開始時間およびすべり継続時間と地殻変動量分布の対応関係を記述するファイルです。 ファイル形式は、「破壊開始時間、すべり継続時間、バイナリファイルパス」の組を 1 行に記述した ASCII ファイルです。「破壊開始時間」および「すべり継続時間」は単位秒、書式%16d で記述されます。
5.	ファイル名	IWH_[領域名].txt
	種別	初期津波高分布作用リストファイル
	説明	断層パラメータファイルで設定された破壊開始時間およびすべり継続時間と初期津波高分布の対応関係を記述するファイルです。 ファイル形式は、「破壊開始時間、すべり継続時間、バイナリファイルパス」の組を 1 行に記述した ASCII ファイルです。「破壊開始時間」およびすべり「継続時間」は単位秒、書式%16d で記述されます。

入力データ可視化ファイル

No.	項目	内容
1.	ファイル名	Station .shp / .dbf / .prj / .shx
	種別	観測点位置情報シェイプファイル
	説明	観測点の位置情報を示すシェイプファイルです。
2.	ファイル名	ExtractPoint .shp / .dbf / .prj / .shx
	種別	沿岸水位抽出点位置情報シェイプファイル
	説明	沿岸水位抽出点の位置情報を示すシェイプファイルです。
3.	ファイル名	Fault .shp / .dbf / .prj / .shx
	種別	断層地表投影形状シェイプファイル
	説明	設定した断層パラメータファイルの断層地表投影形状を示すシェイプファイルです。
4.	ファイル名	[Type]_[領域名].tiff
	種別	分布データ GeoTIFF ファイル
	説明	計算設定 XML ファイルに設定した EPSG, カラーマップファイルで可視化した GeoTIFF 形式ファイルです。 ファイル名先頭の[Type]は構造物高のみ ‘WBHN’ メッシュ北辺構造物高データ ‘WBHE’ メッシュ東辺構造物高データ と対応し、それ以外のファイルは分布データバイナリファイルと同一のデータを表します。

例題計算 ex01 の ConfMaker 出力可視化例を図 4 に示します。

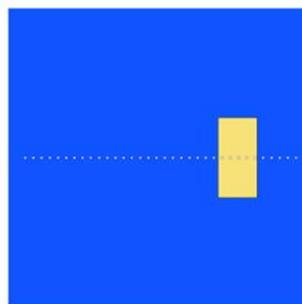


図 4 例題 ex01 の可視化例。QGIS を用いて、地形標高分布データ GeoTIFF、観測点シェイプファイル、断層シェイプファイルを重ねて可視化した。

### 3.3. 初期津波高計算ツールの実行

以下の手順で初期津波高計算ツール IWHMaker を実行します。

1. 実行ファイルと入力ファイルを用意し、以下のコマンドを入力します。

```
$/IWHMaker IWHMaker_XXX.txt
```

IWHMaker\_XXX.txt は初期津波高計算ツール設定 ASCII ファイル名を示します。

入力ファイルを指定しない場合、以下の使用方法が表示されます。

```
=====
IWHMaker version 1.0.933
=====

SYNOPSIS
  Usage: IWHMaker <Config filename>

DESCRIPTION
  IWHMaker makes a Tsunami Initail Wave Height.

EXAMPLES
  $./IWHMaker ./IWHConf_EXAMPLE.txt

COPYRIGHT
  Copyright (C) 2012-2019, NIED, All rights reserved.
```

1. 正常に終了すると、下記メッセージが標準出力に表示されます。

```
Successful Completion. ( IWHMaker Done. )
```

計算設定 XML ファイルで指定したディレクトリに以下のファイルが出力されます。

ファイル名の[作用時間]は、単位秒・書式%04d で記述されます。

No.	項目	内容
1.	ファイル名	VRT_[領域名]_[作用時間].bin
	種別	鉛直地殻変動量分布データバイナリファイル
	説明	鉛直地殻変動量分布のバイナリ形式ファイルです。 ファイル形式は規約集 39 ページを参照してください。
2.	ファイル名	HRZ_[領域名]_[作用時間].bin
	種別	水平地殻変動水位変動量分布データバイナリファイル
	説明	水平地殻変動水位変動量分布のバイナリ形式ファイルです。 ファイル形式は規約集 41 ページを参照してください。
3.	ファイル名	IWH_[領域名]_[作用時間].bin
	種別	初期津波高分布データバイナリファイル
	説明	初期津波高分布のバイナリ形式ファイルです。 ファイル形式は規約集 43 ページを参照してください。

### 3.4. 津波伝播・遡上計算ソルバーの実行

以下の手順で津波伝播・遡上計算ソルバー `tns-solver / tns-solver_gpu` を実行します。

1. `tns_solver_gpu` を実行する場合、環境変数 `LD_LIBRARY_PATH` に CUDA 7.5 の `lib` ディレクトリパスを追加します。
2. 実行ファイルと入力ファイルを用意し、以下のコマンドを入力します。CPU を用いたシリアル実行、CPU における OpenMP によるスレッド並列実行、GPU による実行が可能です。計算機環境にあわせて選択してください。

CPU, シリアル実行の場合

```
$export OMP_NUM_THREADS=1
$./tns-solver CalcParameter_XXX.txt
```

`CalcParameter_XXX.txt` は計算条件設定 ASCII ファイルを示します。

CPU, OpenMP 8 並列実行の場合

```
$export OMP_NUM_THREADS=8
$./tns-solver CalcParameter_XXX.txt
```

GPU 実行の場合

```
./tns-solver_gpu CalcParameter_XXX.txt n
```

`n` は使用する GPU デバイスの番号を示します。指定しない場合、`0` が設定されます。

入力ファイルを指定しない場合、以下の使用方法が表示されます。

`tns-solver`

```
=====
tns-solver version 1.0.933
=====

SYNOPSIS
  Usage: tns-solver <CalcParameter filename>

DESCRIPTION
  tns-solver simulates TSUNAMI propagation and run-up.

EXAMPLE
  $./tns-solver CalcParameter_EXAMPLE.txt

COPYRIGHT
  Copyright (C) 2012-2019, NIED, All rights reserved.
```

`tns-solver_gpu`

```

=====
tns-solver_gpu version 1.0.933
=====

SYNOPSIS
  Usage: tns-solver_gpu <CalcParameter filename> <Device Number>

DESCRIPTION
  tns-solver_gpu calculates TSUNAMI propargation and run-up using GPU.

EXAMPLE
  $./tns-solver_gpu CalcParameter_EXAMPLE.txt 0

COPYRIGHT
  Copyright (C) 2012-2019, NIED, All rights reserved.

```

3. 処理内容と入力ファイルの情報が標準出力に出力されます。計算が始まると、10 ステップごとに現在のステップ数が標準出力に出力されます。また、100 ステップごとに、水位、X 方向線流量、Y 方向線流量の最大値と最小値が標準出力に出力されます。
4. 正常に終了すると、計算実行時間が標準出力に出力され、(ProjectName)/OUTPUT ディレクトリに計算結果ファイルが出力されます。

tns-solver / tns-solver\_gpu の計算結果ファイル一覧を記載します。ファイル名の識別子は

- ・ Z : 水位 (m)
- ・ D : 全水深変動 (m)
- ・ M : X 方向線流量 (m<sup>3</sup>/s)
- ・ N : Y 方向線流量 (m<sup>3</sup>/s)

をそれぞれ表します。ファイル名は、

- ・ [領域番号] : 計算パラメータ記述 XML ファイルで設定した領域番号、書式%02d の整数値
- ・ [出力時間] : 単位秒、書式%06d の整数値
- ・ [閾値] : 単位 cm、書式%04d の整数値

に従い記述されます。

No.	項目	内容
1.	ファイル名	Dump1dUni_Z/D/M/N.bin
	種別	時系列バイナリファイル
	説明	設定した観測点の時系列データが出力されるバイナリファイルです。ファイル形式は規約集の水位時系列バイナリファイル規約（水位または線流量の場合、47～48 ページ）および全水深時系列バイナリファイル規約（全水深変動の場合、52～53 ページ）に従います。
2.	ファイル名	Z/M/N[領域番号]_t[出力時間].bin

No.	項目	内容
	種別	スナップショットバイナリファイル
	説明	計算領域全点におけるスナップショットを格納した分布データバイナリファイルです。出力時間刻み・計算領域ごとにファイルが出力されます。 ファイル形式は規約集の「地形標高分布データバイナリファイル規約」(8~9 ページ) の「地形標高 (m)」を出力値で置き換えたものに従います。
3.	ファイル名	Z/M/NMIN[領域番号].bin
	種別	最小分布バイナリファイル
	説明	計算領域における最小値の分布を格納した分布データバイナリファイルです。計算領域ごとにファイルが出力されます。 ファイル形式は規約集の「地形標高分布データバイナリファイル規約」(8~9 ページ) の「地形標高 (m)」を出力値で置き換えたものに従います。
4.	ファイル名	Z/M/NMAX[領域番号].bin
	種別	最大分布バイナリファイル
	説明	計算領域における最大値の分布を格納した分布データバイナリファイルです。計算領域ごとにファイルが出力されます。 ファイル形式は規約集の「地形標高分布データバイナリファイル規約」(8~9 ページ) の「地形標高 (m)」を出力値で置き換えたものに従います。
5.	ファイル名	Coastal-AbsHeight/RelativeHeight_t[出力時間].csv
	種別	沿岸水位/相対水位スナップショット CSV ファイル
	説明	沿岸水位抽出点における水位 (m) /相対水位 (m) のスナップショットが出力される CSV ファイルです。出力時間刻みごとにファイルが出力されます。 ファイル形式は規約集の「最大水位データファイル規約」(54~55 ページ) の「最大水位」を「水位」または「相対水位」に置き換えたものに従います。
6.	ファイル名	Coastal-MaxAbsHeight/ RelativeHeight.csv
	種別	沿岸最大水位/相対水位 CSV ファイル
	説明	沿岸水位抽出点における最大水位 (m) /最大相対水位 (m) および最大値到達時間 (秒) が出力される CSV ファイルです。全抽出点の最大水位変動・到達時間がひとつのファイルに出力されます。 ファイル形式は規約集の「最大水位データファイル規約」(最大水位、54~55 ページ) および「最大相対水位データファイル規約集」(最大相対水位、58~59 ページ) にそれぞれ従います。

No.	項目	内容
7.	ファイル名	Coastal-ArrivalTimeHeight/Tsunami.csv
	種別	沿岸水位/相対水位到達時間 CSV ファイル
	説明	沿岸水位抽出点における水位変動 (m) の閾値到達時間 (秒) が出力される CSV ファイルです。全抽出点および全閾値の到達時間がひとつのファイルに出力されます。 ファイル形式は規約集の「水位到達時間データファイル規約」(水位到達時間、63～65 ページ) および「相対水位到達時間データファイル規約」(相対水位到達時間、66～67 ページ) にそれぞれ従います。
8.	ファイル名	Land-InundationDepth-M[格子間隔]-R[領域番号]_t[出力時間].bin
	種別	陸域浸水深スナップショットバイナリファイル
	説明	陸域メッシュにおける浸水深 (m) のスナップショットが出力される分布データバイナリファイルです。非線形計算が実行される最小格子領域において、出力時間刻みごとにファイルが出力されます。 ファイル形式は規約集の「最大浸水深分布バイナリファイル規約」(70 ページ) の「最大浸水深 (m)」を「浸水深 (m)」に置き換えたものに従います。
9.	ファイル名	Land-InundationDepth.bin
	種別	陸域最大浸水深バイナリファイル
	説明	陸域メッシュにおける浸水深 (m) の最大値が出力される分布データバイナリファイルです。非線形計算が実行される最小格子領域においてひとつのファイルが出力されます。 ファイル形式は規約集の「最大浸水深分布バイナリファイル規約」(70 ページ) を参照してください。
10.	ファイル名	Land-ArrivalTime-M[格子間隔]-R[領域番号]_H[浸水深閾値].bin
	種別	陸域浸水深到達時間バイナリファイル
	説明	陸域メッシュにおける浸水深 (m) の閾値到達時間が出力される分布データバイナリファイルです。非線形計算が実行される最小格子領域において、浸水深閾値ごとにファイルが出力されます。 ファイル形式は規約集の「浸水深到達時間分布データバイナリファイル規約」(72 ページ) を参照してください。

### 3.5. 計算結果のポスト処理

#### 3.5.1. 時系列データバイナリファイルの ASCII 変換

以下の手順で dump1d2ascii を実行し、津波伝播・遡上計算ソルバーが出力する時系列データバイナリファイルを ASCII ファイルに変換します。出力される ASCII ファイルの形式は規約集の水位時系列ファイル規約（水位または線流量の場合、45～46 ページ）および全水深時系列ファイル規約（全水深変動の場合、49～51 ページ）にそれぞれ従います。

1. 実行ファイル dump1d2ascii と入力ファイルを用意し、以下のコマンドを入力します。

```
./dump1d2ascii [Type] XXX.bin YYY.dat
```

XXX.bin は変換対象とする時系列データバイナリファイル、YYY.dat は出力ファイル名を示します。

[Type] は入力ファイルの種別を表し、以下のいずれかが指定可能です。

- ・ 'Z' : 水位時系列データとして処理
- ・ 'D' : 全水深変動時系列データとして処理
- ・ 'M', 'N' : 線流量時系列データとして処理

入力ファイルを指定しなかった場合、以下の使用方法が表示されます。

```
SYNOPSIS
  Usage: dump1d2ascii <DATA Type> <INPUT Time Series BINARY filename> <OUTPUT Time Series ASCII filename>
         <DATA Type>: 'Z', 'D', 'M', 'N'

DESCRIPTION
  dump1d2ascii converts Time Series BINARY file to ASCII file.

EXAMPLES
  ./dump1d2ascii Z ./Dump1dUni_Z.bin ./Dump1dUni_Z.dat

COPYRIGHT
  Copyright (C) 2012-2019, NIED, All rights reserved.
```

2. 正常に終了すると、ASCII ファイルが作成されます。図 5 に可視化例を示します。

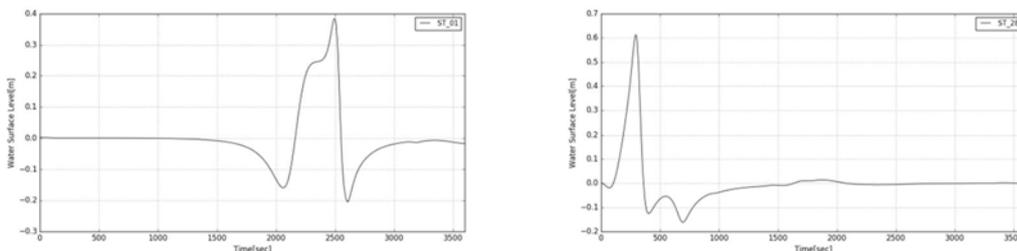


図 5 例題 ex01 の dump1d2ascii 出力可視化例。Dump1dUni\_Z.bin の ST\_01 の水位 (左)、ST\_28 の水位 (右)。

### 3.5.2. 分布データバイナリファイルの ASCII 変換

以下の手順で bin2ascii を実行し、津波伝播・遡上計算ソルバーが出力する分布データバイナリファイルを ASCII ファイルに変換します。出力される ASCII ファイルの形式は、規約集の地形標高分布データファイル規約（5～7 ページ）の「地形標高 (m)」を出力値に置き換えたものに従います。

1. 実行ファイル bin2ascii と入力ファイルを用意し、以下のコマンドを入力します。

```
./bin2ascii [SpongeNum] XXX.bin YYY.dat
```

[SpongeNum]は吸収境界メッシュ数、XXX.bin は変換対象とする分布データバイナリファイル、YYY.dat は出力ファイル名を示します。吸収境界のメッシュは出力時に除外されます。

TNS Version1.0 の tns-solver / tns-solver\_gpu では吸収境界メッシュ数を 50 として計算します。

入力ファイルを指定しなかった場合、以下の使用方法が表示されます。

```
SYNOPSIS
  Usage: bin2ascii <Sponge Boundary Mesh Number> <2D Binary file> <OUTPUT 2D
  ASCII file>

DESCRIPTION
  bin2ascii makes a 2D ASCII file from 2D binary file generated by IWHMaker/tns-solver.

EXAMPLES
  ./bin2ascii 50 ./Z01_t000600.bin ./Z01_t000600.dat

COPYRIGHT
  Copyright (C) 2012-2019, NIED, All rights reserved.
```

2. 正常に終了すると、ASCII ファイルが作成されます。

### 3.5.3. 分布データバイナリファイルの GIS ラスタ変換

以下の手順で bin2tiff を実行し、津波伝播・遡上計算ソルバーが出力する分布データバイナリファイルを GeoTIFF ファイルに変換します。

1. 環境変数 LD\_LIBRARY\_PATH に GDAL 1.11.4 の lib ディレクトリパスを追加します。
2. 実行ファイル bin2tiff と入力ファイルを用意し、以下のコマンドを入力します。

```
./bin2tiff colormapXXX.dat [EPSG] [SpongeNum] YYY.bin ZZZ
```

colormapXXX.dat はカラーマップファイル、[EPSG]は EPSG コード、[SpongeNum]は吸収境界メッシュ数、YYY.bin は可視化対象とする分布データバイナリファイル、ZZZ は出力ファイル名接頭文字列を示します。吸収境界のメッシュは出力時に除外されます。TNS Version1.0 の tns-solver / tns-solver\_gpu では吸収境界メッシュ数を 50 として計算します。なお、吸収境界メッシュ数を 0 にすると、吸収境界での挙動を確認できます (図 6)。

入力ファイルを指定しなかった場合、以下の使用方法が表示されます。

```
SYNOPSIS
  Usage: bin2tiff <Color table file> <CRS EPSG> <Sponge Boundary Mesh Number> <2D
  Binary file> <OUTPUT GeoTIFF filename>

DESCRIPTION
  bin2tiff makes a GeoTIFF file from 2D binary generated by IWHMaker/tns-solver.

EXAMPLES
  ./bin2tiff colormapZ.dat 3100 50 Z01_t000600.bin Z01_t000600

COPYRIGHT
  Copyright (C) 2012-2019, NIED, All rights reserved.
```

3. 正常に終了すると、GeoTIFF ファイル (ファイル名 ZZZ.tiff) が作成されます (図 6)。

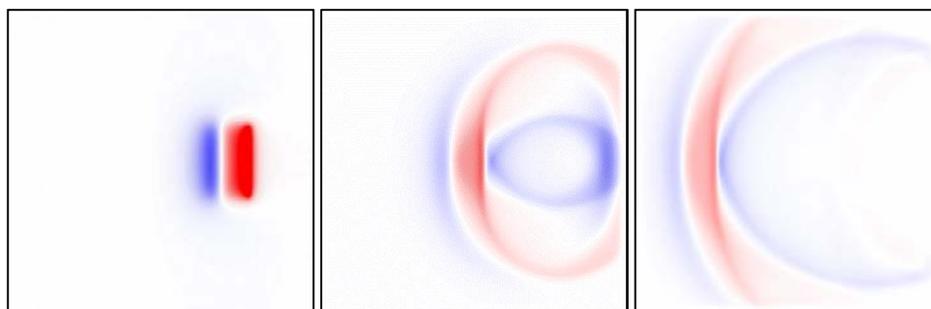


図 6 例題 ex01 の bin2tiff 出力例。左 : D4000-M0810 初期津波高 (Z01\_t000000.bin)、中央 : 900 秒経過時点水位スナップショット (Z01\_t000900.bin)、右 : 1800 秒経過時点水位スナップショット (Z01\_t001800.bin)。吸収境界を含む。

### 3.5.4. 分布データバイナリファイルの netCDF 変換

以下の手順で bin2netCDF4 を実行し、津波伝播・遡上計算ソルバーが出力する分布データバイナリファイルを netCDF4 ファイルに変換します。

1. 実行ファイル bin2netCDF4 と入力ファイルを用意し、以下のコマンドを入力します。

```
./bin2netCDF4 [EPSG] [SpongeNum] YYY.bin ZZZ
```

[EPSG]は EPSG コード、[SpongeNum]は吸収境界メッシュ数、YYY.bin は可視化対象とする分布データバイナリファイル、ZZZ は出力ファイル名接頭文字列を示します。吸収境界のメッシュは出力時に除外されます。TNS Version1.0 の tns-solver / tns-solver\_gpu では吸収境界メッシュ数を 50 として計算します。

入力ファイルを指定しなかった場合、以下の使用方法が表示されます。

```
SYNOPSIS
  Usage: bin2netCDF4 <EPSG> <Sponge Boundary Mesh Number> <2D Binary file>
  <OUTPUT netCDF filename>

DESCRIPTION
  bin2netCDF4 makes a netCDF4 format file from 2D binary file generated by
  IWHMaker/tns-solver.

EXAMPLES
  ./bin2netCDF4 3100 0 TPG_M0810-R0001.bin TPG_M0810-R0001

COPYRIGHT
  Copyright (C) 2012-2019, NIED, All rights reserved.
```

2. 正常に終了すると、netCDF4 形式ファイル（ファイル名 ZZZ.grd）が作成されます。

### 3.6. 内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」提供データ変換ツールの実行

以下の手順で convertCAOdata を実行し、内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」が提供している津波断層モデルのデータ（地形データ、粗度データ、堤防データ）を TNS で設定可能な ASCII ファイルに変換することができます。

1. 提供データに含まれる計算範囲設定エクセルから、以下の計算範囲設定を抽出した ASCII ファイルを作成します。区切り文字は半角スペースまたはタブとします。

- ・エリア No.
- ・メッシュサイズ
- ・南西端の位置（X座標、Y座標）
- ・北東端の位置（X座標、Y座標）
- ・北西端の位置（X座標、Y座標）
- ・メッシュ個数（X方向、Y方向）

抽出手順

① 「mesh.dat」等のテキストファイルを作成します。

```
$ vim mesh09.dat
```

② 計算範囲設定データのエクセルファイルを開き、各格子間隔シートエリア No.からメッシュ個数までのデータをコピーします。

エリアNo.	メッシュサイズ (m)	南西端の位置 (JPO-09)		北東端の位置 (JPO-09)		北西端の位置 (JPO-09)		メッシュ個数		網幅のサイズ		上位接続エリア				水深		
		X座標 (m)	Y座標 (m)	X座標 (m)	Y座標 (m)	X座標 (m)	Y座標 (m)	X方向 (個)	Y方向 (個)	X方向 (m)	Y方向 (m)	エリアNo.	接続点 X (南西端)	接続点 Y (南西端)	接続点 X (北西端)	接続点 Y (北西端)	最低	最高
0270-01	270	-900	-659500	88200	-562300	-900	-562300	330	360	88100	87500	0810-01	1070	40	1070	1070	-232.92	3043.21
0270-02	270	-73800	-432700	55800	-262600	-73800	-262600	480	630	128600	170100	0810-01	960	320	960	700	-806.02	2259.46
0270-03	270	-900000	-262600	112500	-11500	-900000	-11500	750	930	202500	251100	0810-01	960	530	960	390	-2024.60	6229.22
0270-04	270	47700	-52000	193500	280100	47700	280100	540	1230	145800	322100	0810-01	1130	790	1130	30	-1801.47	4034.34

③ テキストファイルの末尾にコピーしたデータを張り付けます。

```
2430-01 2,430 -1062000 -862000 396000 377300 -1062000 377300 600 510
0810-01 810 -867600 -691900 298800 304400 -867600 304400 1440 1230
0270-01 270 -900 -659500 88200 -562300 -900 -562300 330 360
0270-02 270 -73800 -432700 55800 -262600 -73800 -262600 480 630
0270-03 270 -900000 -262600 112500 -11500 -900000 -11500 750 930
0270-04 270 47700 -52000 193500 280100 47700 280100 540 1230
```

- 作成した計算範囲設定ファイルおよび変換する公開データが存在することを確認し、以下のコマンドを実行します。

```
./convertCAOdata [Type] XXX.dat YYY.dat ZZZ.dat
```

XXX.dat は計算範囲設定ファイル、YYY.dat はダウンロードしたデータファイル、ZZZ.dat は出力ファイル名を示します。

[Type]は入力ファイルの種別を表し、以下のいずれかが指定可能です。

- ・ ‘depth’ : 地形データとして処理
- ・ ‘fm’ : 粗度データとして処理
- ・ ‘ir’ : 堤防データとして処理

入力ファイルを指定しなかった場合、以下の使用方法が表示されます。

```
SYNOPSIS
  Usage: convertCAOdata <Type> <Mesh Setting file> <INPUT 2D ASCII file> <OUTPUT 2D
  ASCII file>

DESCRIPTION
  convertCAOdata makes 2D ASCII file.

EXAMPLES
  convertCAOdata depth ./mesh.dat ./depth_0810-01.dat ./TPG_M0810-R0001.dat

COPYRIGHT
  Copyright (C) 2012-2019, NIED, All rights reserved.
```

- 処理内容と入力ファイルの情報が標準出力に出力されます。
- 正常に終了すると、TNS で使用可能な ASCII ファイルが作成されます。

#### 4. TNS 使用上の留意点

TNS を使用するには、以下の使用条件に同意していただきます。

この TNS パッケージおよびドキュメントの著作権は国立研究開発法人防災科学技術研究所にあります。

国立研究開発法人防災科学技術研究所およびその職員・すべての関係者（著作者及び、作成、配布に関わるいかなる者）も、本プログラムの実行または使用、または使用不能によって生じた損害に対して、その有形無形または直接的間接的を問わず、損害賠償などの一切の責任を負わないものとします。それは、その損害の可能性について、関係者が事前に知らされていた場合でも同様です。

TNS パッケージの仕様、およびドキュメントに記載されている事項は予告なしに変更することがあります。使用者が TNS パッケージを使用した成果を公表する場合、以下の論文を引用してください。

- ・三好崇之・鈴木亘・近貞直孝・青井真・赤木翔・早川俊彦（2019）、津波シミュレータ TNS の開発、防災科学技術研究所研究資料、第 427 号、1-18.

本パッケージの全体または一部（オリジナルを修正したものも含む）を不特定多数に再配布する場合、またはこれを営利目的あるいは有償で貸し付ける場合には、国立研究開発法人防災科学技術研究所にご相談下さい。

## 参考文献

- 本間仁 (1940) : 低溢流堰堤の流量係数 (第2編), 土木学会誌, 26, 849-862.
- Imamura, F., Yalciner, C., A. and Ozyurt, G. (2006): Tsunami modelling Manual (TUNAMI model).  
(<http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/projects/manual-ver-3.1.pdf>)
- Kajiura, K. (1963): The leading wave of a tsunami, Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo, 41, 535-571.
- 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫 (1998) : GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 45, 356-360.
- Okada, Y. (1992): Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seismol. Soc. Am., 82, 1018-1040.
- Tanioka, Y. and Satake, K. (1996): Tsunami generation by horizontal displacement of ocean bottom Geophys. Res. Lett., Vol.23, 861-864.

