

奨励金No.1400

津波伝播・遡上計算用地形データ作成ツールの開発 ～世界津波防災力の向上に向けて～

近貞 直孝

防災科学技術研究所 主任研究員

Developing digital terrain model creating tool for tsunami inundation calculation- Toward tsunami disaster mitigation around the world

Naotaka Chikasada,

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (NIED), Chief Researcher



本研究では、世界の津波防災力の向上を目指して、その基礎となる津波伝播・遡上計算用地形データ作成ツールの開発を行った。このツールでは、陸域の高分解能地形データである ASTER GDEM と海域地形データである GEBCO を組み合わせて津波計算に必要なネスティング地形を作成することが可能である。また、日本全国を対象とした高解像度地形データを GtTM の一部として公開したことで、津波計算の大きな障壁である地形作成が容易になり、津波防災力の向上に向けて津波研究の後押しに貢献している。

With the aim of improving tsunami disaster mitigation capabilities around the world, we have developed a digital elevation data generation tool for tsunami propagation and inundation calculations. This tool allows us to generate nesting topography and bathymetry data for tsunami calculations by combining high resolution ASTER GDEM topography data and GEBCO Gridded Bathymetry Data covering global ocean area. We have confirmed that this tool has been useful for several studies. The release of high-resolution digital elevation data GtTM covering the entire Japan has also encouraged tsunami research to improve tsunami disaster mitigation capabilities.

1. 研究内容

1. 背景

世界中の沿岸地域には人口が密集し工業地帯もあることから、津波に備えることは多くの国にとって重要である。しかし、主に着目されているのは繰り返し発生している海溝型地震による津波に限られ、特定の地域でのみ備えがされているのが現状である。例えば、2018年9月にインドネシア Sulawesi 島の Palu 湾内で発生した地震では、海底地殻変動の少ない横ずれ断層であったにも関わらず大きな津波が湾内の沿岸域を襲い、海底もしくは沿岸の地すべりによって推定以上の津波が発生したと考えられている (Arikawa et al, 2018)。

他にも、日本海の孤島渡島大島の山体崩壊による津波 (Ioki et al, 2019) や、九州西岸域で発生する「あびき」と呼ばれる気象津波 (Hibiya and Kajiu, 1982) といった、いわゆる海底で発生した地震による津波とは異なる仕組みで生じる津波の存在や発生メカニズムが明らかになってきている。さらに、2022年1月には、トンガ諸島の Hunga-Tonga Hunga-Ha'apai (HTHH) 火山の大規模噴火によって生じた気圧波によって励起された津波が世界中で観測された (Kubota et al, 2022)。「あびき」のように発生する地域が限定される気象津波もあるが、火山噴火による津波のように発生場所が全く特定することが出来ない津波もあり、

このような津波にも備えるため、場所によらない津波防災、減災のための準備が必要とされている。

世界中の沿岸地域で津波計算を実施できるようにするためには、津波の伝播・遡上計算を行う数値計算コードと海域及び陸域の数値地形データが必要不可欠である。津波数値計算コードについては、高機能かつ高速な JAGURS (Baba et al, 2017) がオープンソースソフトウェアとして公開されており、誰でも自由に使うことが出来る。数値地形データについては公開されているものもあるが、自治体などが非公開で保有している場合も多く、仮に非公開の数値地形データを利用することが出来たととしても、津波計算に適した形式に変換するには相当量の経験が必要とされる。そこで本研究では、公開されている数値地形データを組み合わせて、津波伝播・遡上計算に適した形へ変換する数値地形データ作成ツールを開発をした。そして、作成した数値地形データを公開することで、世界の津波防災力を向上させる一助となることを目標としている。

2. Global tsunami Terrain Model の作成

我々は、津波の伝播・遡上計算に適した全球の数値地形データとして Global tsunami Terrain Model (GtTM) の作成を行っている。その基礎となる海域の数値地形データは、Seabed 2030 プロジェクト (Nippon Foundation and GEBCO, 2018) で作成、公開している GEBCO Gridded Bathymetry Data を利用する。最新の GEBCO 2023 でも 15 秒角（赤道上で約 500 m）の分解能だが、1,000 m 以浅では、100 m 分解能で数値地形データを整備する計画となっている。一方、陸域の地形、特に沿岸域の地形については、いわゆる地図データとしての標高情報が必要であり、先進国では基本的に整備されているが、途上国では未整備であることも少なくない。そこで、陸域の数値地形データについては、ほぼ全球の陸域を 1 秒角（赤道上で約 30 m）の分解能でカバーしている

ASTER GDEM (Fujisada, 2012) を用いる。将来的には、1 秒角分解能の ASTER GDEM と 100 m 分解能の GEBCO データを合成することで、世界中任意の沿岸地域で津波の遡上計算が可能となると期待できる。

本研究では、陸域と海域の数値地形データを統合して JAGURS を用いた津波遡上計算に利用可能なネスティングされた地形を作成するツールを開発した。陸域に ASTER GDEM、海域に GEBCO データを用いることで、陸域では最大 1 秒角、海域では最大 15 秒角の分解能の数値地形データを作成することが出来る。この作成ツールでは地図上で地形の区切りの位置が確認できるようになっており、例えば発散の原因となりうる海陸の境界の位置を調整することが出来るようになっている。また、入力には任意の数値地形データを指定することが出来る。

一方、日本全域（東経 117～155 度、北緯 20～49 度）をカバーする数値地形データとして、G 空間情報センター (<https://front.geospatial.jp/>) から公開されている南海トラフ域と日本海溝域の数値地形データと GEBCO データを統合し、2 秒分解能（日本付近で約 50 m）である GtTM/WholeJapan2020 (図 1) を作成し、公開した [1, 4]。ここで用いた GEBCO 2019 は 30 秒分解能のため、海域では実際には無い分解能のデータとなっているが、津波伝播・遡上計算をする際には、高分解能な状態で地形がなめらかに接続されていることが重要なため、得られる最大分解能である 2 秒角を基準として一様分解能の数値地形データとした。また、ASTER GDEM と GEBCO データを用いて、2022 年 1 月に噴火した HTHH 火山の近傍にある Tongatapu 島で生じた浸水域を見積もるため、ASTER GDEM の分解能 1 秒角に合わせて、HTHH 火山を含む領域（西経 176～174 度、南緯 22～19 度）の数値地形データを作成、公開した [4]。

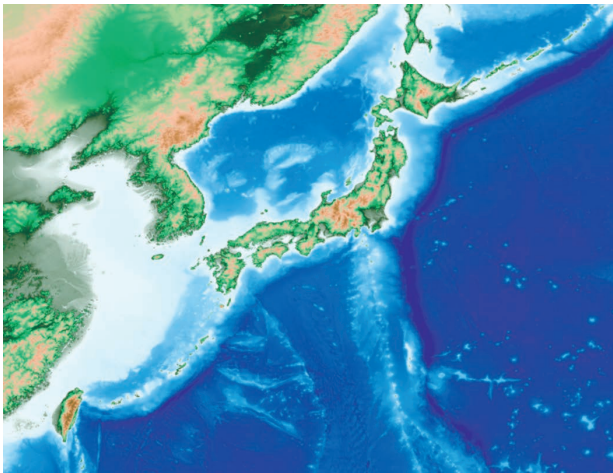


図1. 作成した2秒角分解能の日本全域の数値地形データ

3. 適用例

津波の研究を進展させる上でもう1つ欠かせないのが、津波の観測波形である。観測波形の解析から、津波の初期波源を求める研究が様々な実施されているが、用いた津波計算コードや数値地形データの違いにより例え同じ波源であったとしても検潮所などの地点で計算される計算波形は変わりうる。そのような違いを検証するため、津波波形データベース (TwDB) [5] が構築されているが、そこでも共通基盤として、GtTM/WholeJapan2020 から東日本、西日本、日本海の領域を切り出した数値地形データが使われている。公開している GtTM は、他にも海域の研究 (Nakamura, 2022; Sato et al, 2022) や文部科学省の分科会でも利用されている。

また、海溝軸の外洋側で発生することが知られているアウターライズ地震による津波の分散性の評価では、通常考えられているように分散性によって津波の波高が低くならず、引波が先行するアウターライズ地震津波においては、分散性によって津波の波高が高くなることが示された [2]。このような研究においても、2秒角分解能の GtTM から、2、6、18秒角のネスティング地形を作成して津波伝播計算に貢献している。加えて、科研費課題「千島海溝沖アウターライズ津波即時予測に向けた震源断層マッピングと津波評価

(20H00294)」における津波遡上即時予測の検討で必要となった数値地形データを作成した。HTHH 火山噴火による津波の検討では、日本沿岸に対する津波即時予測の検討について、GtTM を用いた解析を行った [3]。

さらに、東京交通短期大学の交通情報論ゼミに於いて、津波初学者の卒業研究生が、JAGURS と GtTM を用いて、研究対象である千葉県勝浦市の外房線付近に対する津波の影響評価を行うための津波伝播・遡上計算を実施することが出来た [6]。これにより、津波伝播・遡上計算用の数値地形データが整備されていることで、津波計算を実施する上での敷居を下げる事が可能であることが示されたと言える。

本奨励金により、世界の津波防災力向上に向けた研究開発を実施することが出来ました。感謝申し上げます。

4. 参考文献

- Arikawa, T., Muhari, A., Okumura et al., Coastal subsidence induced several tsunamis during the 2018 Sulawesi earthquake. *Journal of Disaster Research*, sc20181201. <https://doi.org/10.20965/jdr.2018.sc20181204> (2018)
- Ioki, K., Tanioka, Y., Yanagisawa, H., and Kawakami, G., Numerical simulation of the landslide and tsunami due to the 1741 Oshima-Oshima eruption in Hokkaido, Japan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124, 1991–2002, <https://doi.org/10.1029/2018JB016166> (2019)
- Hibiya, T. and K. Kajiura, Origin of the Abiki phenomena (a kind of seiche) in Nagasaki Bay, *Journal of the Oceanographical Society of Japan* 38 (1982): 172–182
- Kubota, T., Saito, T., Chikasada, N. Y., and Sandanbata, O., Meteotsunami observed by the

- deep-ocean seafloor pressure gauge network off northeastern Japan. *Geophysical Research Letters*, 48(21), e2021GL094255, <https://doi.org/10.1029/2021GL094255> (2021)
- Baba, T., S. Allgeyer, J. Hossen, et al., Accurate numerical simulation of the far-field tsunami caused by the 2011 Tohoku earthquake, including the effects of Boussinesq dispersion, seawater density stratification, elastic loading, and gravitational potential change, *Ocean Modelling*, 111, 46–54, <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2017.01.002>, <https://github.com/jagurs-admin/jagurs> (2017)
 - Nippon Foundation and GEBCO, Seabed 2030 Project, <https://seabed2030.org/> (2018)
 - Fujisada, H., M. Urai, and A. Iwasaki, Technical methodology for ASTER global DEM, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 50, no. 10, pp. 3725–3736. (2012)
 - Nakamura, M., Distribution of b-value in the central and southern Ryukyu: is the low b-value in the rift-axis of the Okinawa Trough accurate?, *Earth, Planets and Space*, 74(1), 178, (2022)
 - Sato, K., et al., Numerical estimation of a tsunami source at the flexural area of Kuril and Japan Trenches in the fifteenth to seventeenth century based on paleotsunami deposit distributions in northern Japan., *Progress in Earth and Planetary Science*, 9(1), 1–24, (2022)
- 1038/s41598-021-99536-x
- [3] Chikasada, Y. N. and W. Suzuki, Non-seismic Tsunami Real-time Forecasting Under Data Assimilation Approach – Case Study for Hunga Tonga – Hunga Ha’apai Volcanic Eruption Tsunami Using S-net Data, AOGS2022, Singapore (online), 2022
- (学会誌、学会講演等以外の研究成果の発表)
- [4] Chikasada, N., Global tsunami Terrain Model (GtTM), doi:10.17598/NIED.0021, <https://kiyuu.bosai.go.jp/GtTM/> (2020)
- [5] 近貞直孝、津波波形データベース (TwDB)、doi:10.17598/NIED.0024, <https://kiyuu.bosai.go.jp/TwDB/> (2021)
- [6] 岩崎寛人 (指導教員 小宮全、近貞直孝)、地震による津波が千葉県勝浦市周辺を通る外房線に与える影響について～津波計算コードによるシミュレーション～、東京交通短期大学、交通情報論ゼミ (2022)

2. 発表（研究成果の発表）

- [1] 近貞直孝、OpenTSUNAMI プロジェクト始動、第10回巨大津波災害に関する合同研究集会、オンライン、2020年12月
- [2] Baba, T., Chikasada, N., Imai, K. et al. Frequency dispersion amplifies tsunamis caused by outer-rise normal faults. *Scientific Reports*, 11, 20064 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99536-x>