

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：82706

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26889077

研究課題名(和文) 全球河道幅・河道深さデータベースの構築による大規模洪水の予測精度の向上

研究課題名(英文) Development of global channel width and depth database for better flood simulations

研究代表者

山崎 大 (YAMAZAKI, Dai)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・統合的気候変動予測研究分野・研究員

研究者番号：70736040

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：1. 水面マップから河道幅を自動計算するアルゴリズムを開発し、全球衛星水面マップに適用することで、「全球河道幅データ：GWD-LR」を構築した。衛星観測に基づいた全球規模の河道幅データ構築は世界初の成果であり、洪水予測・生物多様性評価・水資源量推定など、多様な分野の研究者にデータを提供した。
2. Landsat画像33,890枚を用いて「全球水面マップ：G3WBM」を構築した。水面頻度を考慮した高解像度の全球水面マップとして世界唯一のプロダクトであり、本研究の河道幅データの精度向上に用いた他、水域生態系・洪水リスク評価・マalaria予測などの国内外の研究者にデータを提供した。

研究成果の概要(英文)：1. A new algorithm which calculates river width from a water body map was developed. The developed algorithm was applied to the global satellite water body map, and the "Global Width Database for Large Rivers: GWD-LR" was constructed. The GWD-LR is the first global-scale satellite-based river width product. The constructed database is distributed and applied to multi-discipline studies such as flood simulation, biodiversity, and water resources assessment.
2. The "Global 3-second Water Body Map: G3WBM" was developed using 33,890 Landsat images. The G3WBM is the first global high-resolution water body map which considers the frequency of water existence. The G3WBM was used to improve the accuracy of river width calculation in this project. In addition, the developed database was distributed to and used by many researchers working on various topics such as aquatic ecosystem, flood risk assessment, and malaria projection.

研究分野：グローバル水文学

キーワード：水文学 河川 湖沼 リモートセンシング 全球 データベース

1. 研究開始当初の背景

全球河川モデルは、大陸河川の地表水動態解析、リアルタイム洪水予測、温暖化時の洪水リスク推定、気候モデル中の淡水フラックス計算など、地球水循環研究において学術的・実務的に重要なツールである。本研究の代表者である山崎らは、これまで全球河川モデルの開発および高度化に取り組んできた^[1,2,3]。しかし、河川モデルの地形パラメータである河道断面（河道幅と河道深さ）の設定方法が、洪水シミュレーションにおける大きな不確実性の要因となっていた。

全球河川モデルを用いた既往研究では、河道幅や河道深さは流域面積や流量の単調増加関数で与えられていた。しかし現実の河川では、河道幅や河道深さは局所的な地形・地質・気候などによって大きく変動するため、単純な経験的関数で河道幅や河道深さを近似することは現実的ではないと指摘されていた。河道断面は、河川の流下能力を決定する非常に重要な地形パラメータであり、不正確な経験的関数の代わりに衛星データなど観測値に基づく河道断面パラメータの設定が全球河川モデルの不確実性の低減に必須であった。

2. 研究の目的

本研究の主目的は、全球河川モデルの河道断面パラメータ（河道幅・河道深さ）を、衛星地形データを用いて全球スケールで計算し、観測値に基づいた「全球河道幅・河道深さデータベース」を構築することである。さらに、開発したデータベースを論文および Web で発表・公開することで、河川モデリングや水関連分野の研究コミュニティへ研究成果の展開を図る。

河道幅や河道深さの計算には衛星地形データ（全球水面マップ・全球河道位置データなど）が必要である。しかし、既存の衛星地形データには誤差や制約が含まれており、そのままでは河道幅と河道深さの高精度計算が難しい。そこで、本研究では河道断面パラメータの計算に必要な、高解像度の衛星地形データの整備を行うことも目的とする。

3. 研究の方法

(1) 全球河道幅データベースの構築

衛星水面マスクおよび河道位置データ（表面流向データ）を入力データとして、河道幅を自動計算するアルゴリズムの開発を試みた(図1)。河道幅計算アルゴリズムは、まず入力データに含まれる誤差を低減したのちに、河道中心線を決定して河道幅を計算する。出力される河道幅データを全球河川モデルに適応するには、河道幅データと河道位置データの整合性が取れている必要がある。そのため、河道幅計算アルゴリズムは河道幅の計

算に加えて、水域内での表面流向を河道中心線に一致するように変更することで、河道位置データの自動修正も行うように設計した。

開発した河道幅計算アルゴリズムを、既存の全球衛星水面マップ (SWBD^[4]と MODIS Water Mask^[5]) および全球河道位置データ (HydroSHEDS^[6]と GDBD^[7]) に適用することで、90m 解像度の全球河道幅データベースを構築した。

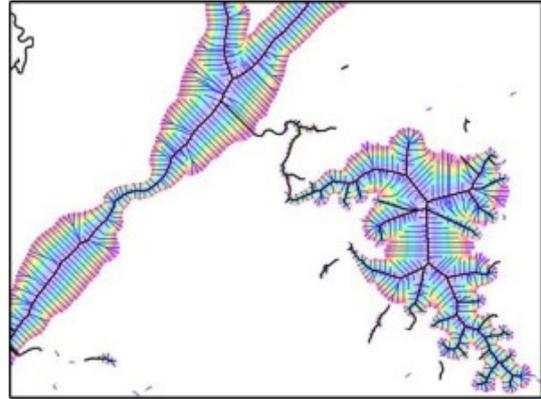


図1：河道幅計算アルゴリズムの概念図

衛星水面マップから、河川および湖沼の中心線を決定し河道幅を計算する。衛星水面マップと河道位置データを同時に用いることで、水面マップの誤差を自動補正や複列河道といった複雑な形状の区間における河道幅の自動計算が可能ないように設計した。

(2) 全球高解像度の水面マップの開発

全球河道幅データベースを高精度化するために、水面存在頻度を考慮した全球高解像度の水面マップの新規開発を試みた。既存の衛星水面データである SWBD^[4]は、解像度は30mだが北緯60度以南しかカバーしておらず、MODIS Water Mask^[5]は全球をカバーするが解像度が250mであった。また両者は単一時期の観測データに基づく水面マップであり、水面存在頻度を考慮していないため河道と氾濫原が分離されていないという制約があった。さらに、雲や雪などによる観測ギャップが存在しており、河道幅計算における障害となっていた。

そこで本研究では、複数時期の Landsat 画像を用いることで、雲などによる観測ギャップを補完するとともに、水面の存在頻度を計算することで恒久的な水面と一時的な氾濫域の分離を試みた。まず、各 Landsat 画像の各ピクセルに対して、雲や雪氷がなく地表面が観測されている確率として「観測確度」を、反射率や輝度温度から計算した。また、水が存在する確率を「水面確率」として、主に正規化水指標 (NDWI) に基づいて計算した。各ピクセルにおいて、観測確度で重み付けをした水面確率の平均値を「水面存在頻度」とした。雲や雪氷などは NDWI が高いため水面と誤判定されることがあるが、観測確度で重み付けをすることでその影響を抑制できる。水

面存在頻度が 0.7 以上となったピクセルを「恒久的な水面」、水面存在頻度が 0.1~0.7 であったピクセルは「一時的な氾濫域」と判定した。

構築した水面存在頻度を計算するアルゴリズムを、Landsat GLS 全球画像アーカイブ^[8]に含まれる 33,890 枚の衛星画像に適用した。入力 Landsat 画像のサイズが 3.5TB、中間ファイルサイズが 20TB を超える大規模計算を実行し、新たな全球高解像度 (90m) の水面マップを構築した。

(3) 河道深さ全球推計に向けたデータ整備

研究開始段階では、「全球河道幅データベース」を構築・高度化した後に、全球河川モデルが計算した水面標高を衛星高度計による観測値と比較することで、全球規模で河道深さを推定して「全球河道幅データベース」を開発する計画であった。しかし、必要な衛星地形データを精査したところ、河道深さの推計を行うには地形データの精度が不十分であることが分かった。そこで河道深さの推定に必要な全球地形データの整備 (全球標高データの誤差補正・全球河道位置データの再構築) を進めるため、必要となるデータ (衛星レーザー高度計・衛星森林マップなど) の収集および基礎的な計算アルゴリズム開発に着手した。

4. 研究成果

(1) 全球河道幅データベースの構築

開発した河道幅計算アルゴリズムを、既存の衛星水面データ (SWBD と MODIS Water Mask) に適用することで、全球河道幅データベース (Global Width Database for Large Rivers: GWD-LR) を構築した (図 2)。学術論文^[雑誌論文⁽³⁾]として発表した初版 (version 1.0) は、SWBD のみを用いた北緯 60 度以南のみのデータベースであったが、その後 MODIS Water Mask を用いて全球に対象範囲を拡張したもの (version 1.1) を構築し、国際学会で紹介するとともに^[学会発表⁽⁴⁾ (6)]、Web Page で公開した。

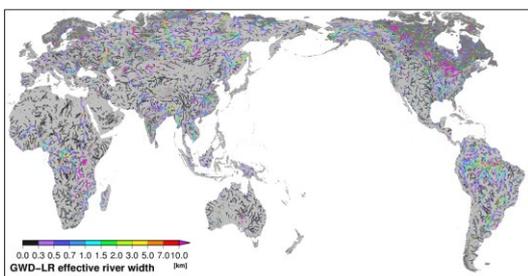


図 2 : 全球河道幅データベース GWD-LR

本研究による衛星水面マップを用いた「観測データに基づく」全球規模での河道幅の計算は世界初の実績であり、既往の全球河川モデルで用いていた「単純な関数で河道幅を与える」という仮定を置き換えるものである。全球河川モデルにおける大きな不確実性要

因の一つを解消することになり、開発した河道幅データが他機関の全球河川モデルでも採用されるなど、非常に大きな影響があった。

また、全球規模の河道幅データベースは他に類似データが存在しないために、河川モデリング以外の研究者からも大きな反響があった。2016 年 5 月までに、次世代衛星高度計の観測シミュレーターによる衛星打上げ前の精度評価、気候変動の食料供給の安定性評価、メタンなどの温室効果ガスの排出量評価、水域における生物多様性および生態系の評価、など様々な研究分野からのデータ提供要請を受け、国内外 58 の研究機関に開発した河道幅データベースを提供した。

(2) 全球高解像度の水面マップの開発

Landsat GLS に含まれる全 33,890 枚の衛星画像に、水面頻度を計算するアルゴリズムを適用することで、全球 90m 解像度の水面マップ (Global 3-second Water Body Map: G3WBM) を構築した (図 3)。学術論文^[雑誌論文⁽²⁾]や国際学会^[学会発表⁽¹⁾ (3)]で発表するとともに、Web Page で開発したプロダクトを公開した。また、解像度 30m の全球水面マップの計算も終了し^[雑誌論文⁽¹⁾]、データ公開の準備を進めている。

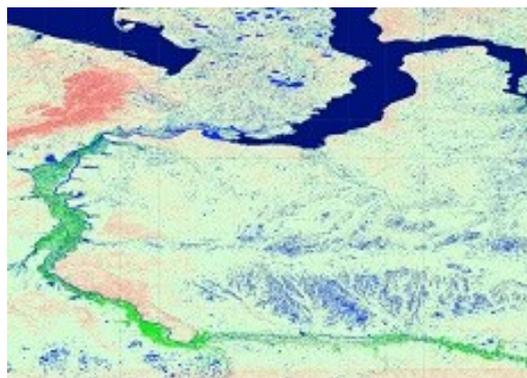


図 3 : 全球水面マップ G3WBM (オビ川流域の拡大図)

水面の存在頻度を考慮した全球高解像度の衛星水面マップとしては、2016 年 5 月現在では世界唯一のプロダクトである。複数時期の Landsat 画像を用いることで、地球上に存在する水面を「恒常的な水面」と「一時的な氾濫域」(図 3 の青色および緑色) に分離した。地球全体では、325 万 km² の恒常的な水面 (陸地全体の約 3%) および 49 万 km² の一時的な氾濫域が検出された。これにより、河道と氾濫原の区別が可能となり、河道幅のより高精度な計算につながった。

全球水面マップも論文発表後から大きな注目を集めている。2016 年 5 月までに、地球生物化学、渡り鳥の休息場所調査、淡水域の生物多様性調査、砂漠地帯の生態系の評価など、全球河川モデル以外の多様な分野の研究者からデータ公開要請を受け、国内外 28 の研究機関に開発した水面マップを提供した。

(3) 河道深さ全球推計に向けたデータ整備

当初計画にあった「全球河道深さデータベース」を構築するには、衛星地形データ（標高データ SRTM と河道位置データ HydroSHEDS）の精度が不十分であることが分かった。とりわけ、衛星標高データに含まれる標高バイアスによって、河川モデルが計算する水面標高と衛星高度計による観測値の間に系統的な誤差が生じてしまうことが、河道深さ推定の大きな問題となることが分かった。

そこで、河道深さの推計を達成できる精度を持つ新たな全球標高データを整備するために、以下のデータを収集して精度評価および基礎的な標高補正のためのアルゴリズム開発に着手した。

① 全球衛星標高データ

これまでの研究で用いていた SRTM^[9]は、北緯 60 度以南のデータしか存在しないという大きな問題があったが、それ以外にも様々な波長のランダム誤差や、植生キャノピーによる標高バイアスが含まれることが分かった。そこで複数の全球標高データ（ASTER GDEM, EarthEnv-DEM, ViewfinderPanoramas DEM, SRTM X-band DEM, SRTM 1-sec DEM, ALOS World-3D 30m など）をダウンロードし、それぞれの精度を比較したところ、SRTM3 DEM と Viewfinder Panoramas DEM を組み合わせて使うことが、もっとも河川モデルに適した標高データとなることを発見した。

② 衛星レーザー高度計による地表面標高

標高データの誤差を検出・補正するには、基準となる高精度の地表面標高サンプルが必要である。そのため、10cm より高い鉛直精度をもつ ICESat 衛星レーザー高度計が観測した約 2 億地点の地表面標高サンプルを収集した。収集した標高サンプルを用いて SRTM 衛星標高データの精度を評価したところ、既往研究では議論されていなかった最大で 10m 程度の大きさをもつ長波長の絶対誤差の全球分布が明らかになった（図 4）。

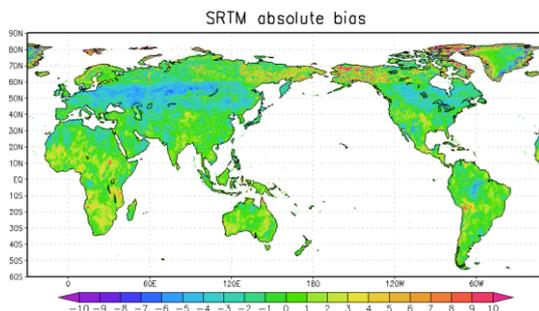


図 4：ICESat 高度計を用いた全球データ解析で明らかになった SRTM DEM の絶対誤差

③ 全球衛星森林データ

衛星標高データに含まれる植生キャノピーによる標高バイアス（樹木によって実際の地表面よりも標高が高くなる系統誤差）を除

去するには、森林域の空間分布および樹木の高さを示すデータが必要であった。そこで、近年発表された Landsat による森林密度データと、ICESat の衛星高度計などを用いた全球樹高データを収集した。収集した森林データの精度評価を行ったところ、平滑化や高解像度化が必要ではあるが、衛星標高データの誤差補正には有効であることが分かった。

<引用文献>

[1] Yamazaki et al. (2011), A physically-based description of floodplain inundation dynamics in a global river routing model, *Water Resources Research*, vol. 54, W04501.

[2] Yamazaki et al. (2013), Improving computational efficiency in global river models by implementing the local inertial flow equation and a vector-based river network map. *Water Resources Research*, 49(11), 7221-7235.

[3] Yamazaki et al. (2014), Regional flood dynamics in a bifurcating mega delta simulated in a global river model, *Geophysical Research Letters*, 41, 3127-3135.

[4] NASA/NGA (2003), SRTM Water Body Data Product Specific Guidance, Version 2.0, available online: http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SWBD/SWBD_Documentation/

[5] Carroll et al. (2008), A new global raster water mask at 250 m resolution, *International Journal of Digital Earth*, 2(4), 291-308.

[6] Lehner and Grill (2013), Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. *Hydrological Processes*, 27(15), 2171-2186.

[7] Masutomi et al. (2009). Development of highly accurate global polygonal drainage basin data. *Hydrological Processes*, 23(4), 572-584.

[8] Gutman et al. (2013). Assessment of the NASA-USGS global land survey (GLS) datasets. *Remote Sensing of Environment*, 134, 249-265.

[9] Farr et al. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission, *Review of Geophysics*, 45, RG2004.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件) (全て査読あり)

- (1) 池嶋大樹, 山崎大, 吉川沙耶花, 鼎信次郎, 多時期 Landsat データ解析を用いた全球水面マスクの高解像度化, 土木学会論文集 B1(水工学), 2016, vol. 72(4), pp. 421-426.
- (2) Dai Yamazaki, Mark A. Trigg, & Daiki Ikeshima, Development of a global ~90m water body map using multi-temporal Landsat images, Remote Sensing of Environment, 2015, vol. 171, pp. 337-351, DOI:10.1016/j.rse.2015.10.014
- (3) Dai Yamazaki, Fiachra O'Loughlin, Mark A. Trigg, Zachary F. Miller, Tamlin M. Pavelsky, & Paul D. Bates, Development of the Global Width Database for Large Rivers, Water Resources Research, 2014, vol. 50, pp. 3467-3480, DOI:10.1002/2013WR014664

[学会発表] (計6件)

- (1) Dai Yamazaki, Mark A. Trigg, and Daiki Ikeshima, A Global ~90 m Water Body Map Derived from Multi-temporal Landsat Images and Its Application to Global Hydrodynamic Modelling, AGU Fall Meeting 2015, San Francisco (USA), 18 December, 2015 (招待講演)
- (2) Dai Yamazaki, Advancement of global-scale river hydrodynamics modelling and its potential applications to Earth System Models, AGU Fall Meeting 2015, San Francisco (USA), 15 December, 2015 (招待講演)
- (3) Dai Yamazaki, Fiachra O'Loughlin, Mark Trigg, and Paul Bates, GWD-LR: a satellite-based global database of river channel width, EGU General Assembly 2015, Vienna (Austria), 16 April, 2015
- (4) Dai Yamazaki, and Mark Trigg, Full-automatic retrieval of global 90-m water mask from multi-decadal LANDSAT-GLS images, EGU General Assembly 2015, Vienna (Austria), 14 April, 2015
- (5) 山崎大, LANDSAT GLS を用いた全球 90m 水面マスクの開発, 第 23 回生研フォー

ラム「宇宙からの地球観測・災害のモニタリングとリスク評価」, 東京大学生産技術研究所 (東京), 2015年3月3日

- (6) Dai Yamazaki, Shinjiro Kanae, Yukiko Hirabayashi, Fiachra O'Loughlin, Mark Trigg, Paul Bates, Latest updates in global flood modelling: channel bifurcation and global river width database, AGU Fall Meeting 2014, San Francisco (USA), 18 December, 2014

[その他]

- (1) 全球河道幅データベース (GWD-LR) を公開・配布するための Web Page
<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/GWD-LR/index.html>
- (2) 全球高解像度水面マップ (G3WBM) を公開・配布するための Web Page
<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/G3WBM/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山崎 大 (YAMAZAKI, Dai)
国立研究開発法人海洋研究開発機構・統合的気候変動予測研究分野・研究員
研究者番号: 70736040

(2) 研究協力者

TRIGG, Mark A.
University of Bristol, School of Geographical Sciences, 研究員

O' LOUGHLIN, Fiachra
University of Bristol, School of Geographical Sciences, 研究員

池嶋 大樹 (IKESHIMA, Daiki)
東京工業大学大学院、修士課程学生