

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料 〔令和5（2023）年度 中間評価用〕

令和5年3月31日現在

研究期間：2021～2025
課題番号：21H05002
研究課題名：衛星地球観測による新たな全球陸域水動態研究
研究代表者氏名（ローマ字）：沖 大幹（OKI Taikan）
所属研究機関・部局・職：東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授
研究者番号：50221148

研究の概要：

地球物理学的なモデリング先行であった全球水動態研究を、衛星観測に軸足を置いた新たな地球表面水動態モニタリング研究へと変革する。人間活動および河川動態を考慮可能な陸域モデルに衛星による地球観測情報等をデータ同化するアルゴリズムを開発し、水面面積、河川流量、ダム貯水量、水利用量など、これまで分布・変動の広域観測推定が困難であった水循環要素のグローバルな動態を明らかにする。

研究分野：地球惑星科学、土木工学

キーワード：グローバル水文学、水災害、水資源、陸域モデル、データ同化

1．研究開始当初の背景

地球規模での陸域水動態の把握はグローバル水文学における根本的課題である。これまでは、観測に基づく気象外力を利用して、全球陸面モデルと河川モデルによる数値シミュレーションに基づき最適推計を行う手法などによる推計値が用いられてきた。一方で近年人工衛星による陸域観測が急速に進歩し、特に地表水の空間解像度と観測頻度が急増していた。また水面や水位の高精度観測から河川流量を推定する手法も複数提案されていた。そのため、そうした最新の衛星観測と我々の次世代陸域モデルとの統合により、数値モデルへの過度な依存から脱却して、衛星を含む従来の観測のみでは推計が難しかった河川流量の空間的に連続した分布、またダム貯水量や放流量、取水量や灌漑量といった人為的水操作などの全球陸域水動態を明らかにする研究の機運が高まっていた。

2．研究の目的

新しい衛星地球観測を陸域モデルに取り込むアルゴリズムの構築、衛星観測を最大限に生かした地球表面の時空間に詳細な水動態情報の創出、そしてそうして得られる情報の解析に基づく観測・公開データの乏しい途上国を含む地域の水利施設の運用や水利用の実態の解明が本研究の目的である。

より具体的には、河川・湖沼の動態や人間による水利用による影響を考慮可能な数値モデルと、最新衛星から得られる水面面積や水面標高等の観測データとを同化し、ダム貯水量・取水量・地下水揚水量・地下水流動などを含み、10km 解像度・日単位でグローバルな水動態時空間変動を定量化する。

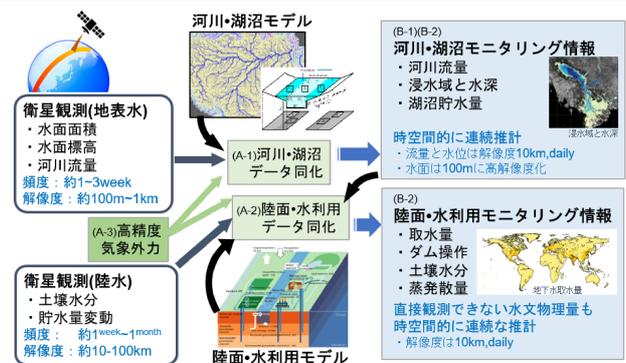


図1：陸域水動態モニタリング方法の概要

3．研究の方法

本研究では、河川・湖沼の動態や人間による水利用による影響を考慮可能な数値モデルと、最新衛星から得られる水面等の観測データとを同化し、ダム貯水量・取水量・地下水揚水量・地下水流動などの物理量も付して、10km 解像度・日単位での水動態時空間変動及び数年規模の長期傾向を、不確実性の幅を持った形で定量化する。研究手法の概要を図1にまとめた。

まず、(A-1) 衛星による水面面積、水面標高、河川流量、土壌水分等の観測情報を、全球河川・湖沼モデルにデータ同化して河川流量の最適推定値を求める手法を確立し、さらに (A-2) 最適推定した河川流量情報に加えて土壌水分や陸水貯留量変動の衛星観測を組み合わせて陸面・水利用モデルにデータ同化して、取水量や貯水池操作を最適推定する枠組みを開発する。(A-3) それらを統合してモニタリングシステムを構築するとともに、データ同化の高精度化に向けて要素モデルと気象外力の高度化にも取り組む。構築したシステムを用いて、(B-1) 水面面積と水面標高の衛星観測が豊富な直近10年を対象に陸域水動態モニタリング情報「標準プロダクト」を先駆けて創出する。さらに (B-2) 衛星河川流量等の新世代衛星データを同化できるようシステムを拡張することによって、水利用量など衛星から直接観測できない要素を含む「高度プロダクト」を生成する。

4. これまでの成果

本研究の主要成果物となる河川モニタリング情報の創出のため、衛星高度計による水位観測を全球河川モデルにデータ同化する手法を確立した[Revel et al. 2023] (図2)。衛星観測とモデル推計の水面標高バイアスが課題となったが、正規化手法などによりデータ同化が実現し、河川流量推計が可能になった。より高精度な推計に向けて、衛星高度計を用いて河道深さパラメータをロバストに補正する手法を開発し、モデル推計水位のバイアス低減を行った[Zhou et al. 2022]。さらに、水位以外の衛星観測データを同化するため、モデルと衛星観測による浸水域とを比較し、それぞれが異なる水面を捉えているためデータ同化前にマスキング処理を行う必要があることを突き止めた[Zhou et al. 2021]。

自然状態の河川流れに加えて取水やダム操作などを考慮した陸域水循環の最適推計に向けて、データ同化の物理コアとなる水動態モデルの高度化にも取り組んだ。全球河川モデルにダム操作スキームを実装し[Hanazaki et al., 2022]、ダム貯水の影響が大きい河川流域での流量や水位の再現性を向上させた。詳細な取水プロセスの考慮に向けて、全球水資源モデルの高解像度化を実施した[Hanasaki et al. 2022]。これらの高度化した水動態モデルを用いて、モデルと観測による水位や河川流量の誤差情報から、取水量などの人間活動による影響をデータ同化で推計する枠組みを開発中である。

また、本研究で開発している全球河川モデルと多数の衛星観測プロダクトを用いて、アマゾン川流域における過去の浸水域変動を分析する国際共同研究を実施し、洪水ピーク時の浸水域に顕著な増加トレンドがあることを突き止めた[Fleischmann et al. 2023]。

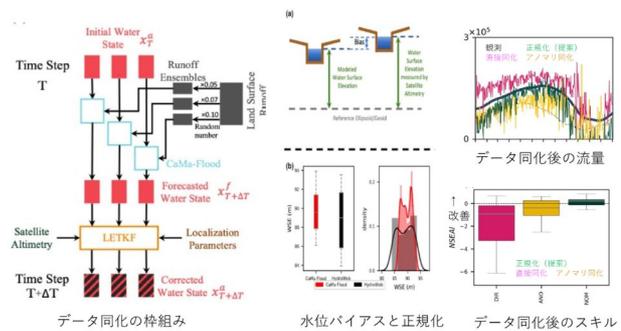


図2: 構築した衛星高度計を用いた河川流量データ同化の枠組み
水位を正規化することで、モデルと衛星観測にバイアスがある場合でも
データ同化により河川流量の推計精度を改善できることを示した。

5. 今後の計画

河川流量の最適推計をさらに高度化するためのモデル開発およびデータ同化手法の研究開発を進める。近年利用可能になった衛星による河川流量推定アルゴリズムを用いて、取水が行われた区間および取水量を推計する枠組みを構築する。また、全球河川モデルと全球水資源モデルを結合してデータ同化を行う枠組みも開発し、河川流量の増減の情報に土壌水分観測などの情報を組み合わせた灌漑状況の推定、衛星による貯水池の水位・水面面積観測データを用いたダム操作の推定など、人間活動を含んだ形での陸域水動態モニタリングを実現する。

創出したデータ同化プロダクトの精度評価のため、陸面モデルや全球河川モデルのシミュレーション結果を衛星観測および現地観測データを用いて包括的に評価するシステムを構築する。さらに同システムを用いてモデルパラメータなどを修正し、陸域水循環の推計精度をさらに向上させていく。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

<学術論文>

M Revel, X Zhou, D Yamazaki, S Kanae, 2023, Assimilation of transformed water surface elevation to improve river discharge estimation in a continental-scale river, *Hydrology and Earth System Sciences*, 27 (3), 647-671

A S Fleischmann, F Papa, S K Hamilton, A Fassoni-Andrade, S Wongchuig, J Espinoza, R C D Paiva, J M Melack, E Fluet-Chouinard, L Castello, R M Almeida, M Bonnet, L G Alves, D Moreira, D Yamazaki, M Revel, W Collischonn, 2023, Increased floodplain inundation in the Amazon since 1980, *Environmental Research Letters*, 18, 34024

X Zhou, M Revel, P Modi, T Shiozawa, D Yamazaki, Correction of river bathymetry parameters using the stage-discharge rating curve, *Water Resources Research*, 58, 2022, e2021WR031226

R Hanazaki, D Yamazaki, K Yoshimura, Development of a Reservoir Flood Control Scheme for Global Flood Models, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14(3), 2022, e2021MS002944

N Hanasaki, H Matsuda, M Fujiwara, Y Hirabayashi, S Seto, S Kanae, T Oki, Toward hyper-resolution global hydrological models including human activities: application to Kyushu Island, Japan, *Hydrology Earth System Science*, 26, 2022, 1953-1975

他 23 編、全て査読あり

7. ホームページ等

プロジェクト WebPage: <http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/TiMiNG/>