

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料  
〔平成31（2019）年度研究進捗評価用〕

平成28（2016）年度採択分

令和元（2019）年5月17日現在

研究課題名（和文） グローバル水文学の新展開  
研究課題名（英文） New frontiers in global hydrology  
課題番号：16H06291  
研究代表者  
沖 大幹 (OKI TAIKAN)  
東京大学・未来ビジョン研究センター・教授



研究の概要：全大陸 1km 空間解像度での過去から将来にわたる 1000 年間の水・エネルギー循環の推計に向けて、今後 20 年以上にわたって世界のグローバル水文学をリードできる次世代陸域モデルの基盤を構築する。そのため、陸域の水・エネルギー収支と水循環とを大陸規模・日単位のスケールで精度良く推計でき、大気や海洋、生物圏などからなる地球システムモデルとも結合可能な陸域水循環の物理的側面に関する次世代陸域モデルの枠組を完成させる。

研究分野：グローバル水文学

キーワード：水文学、統合型水循環・水資源モデル

### 1. 研究開始当初の背景

大気水収支法による現代的なグローバルな水循環の研究の開闢、陸面モデルと河川モデルを用いたグローバルな水循環推計と世界の水資源アセスメントや気候変動影響への応用、そして水循環モデルへの人間活動の考慮など、代表者をはじめとする研究者らの先駆的な取り組みによってグローバルな水循環研究はここ 20 年で大きく発展した。

### 2. 研究の目的

近未来にぜひとも実現したい全大陸 1km 空間解像度での過去から将来にわたる 1000 年間の水・エネルギー循環の推計に向けて、今後 20 年以上にわたって世界のグローバル水文学をリードできる次世代陸域モデルの数値シミュレーションシステムの基盤を本研究では構築する。

### 3. 研究の方法

大気モデルの陸面境界条件を与えるために開発された陸面モデルの研究蓄積と、斜面や河道における水動態に関する水文学的知見を組み合わせ、人間による水資源操作、河川湖沼の氾濫などを表現する陸域水・エネルギー循環モデルを、河川モデル CaMa-Flood や水循環モデル H08 を軸として新たに開発する。

また、グローバル水文学では、外力と呼ばれる降水量・地上気温・風速などの気象情報や、土地利用・地形情報といった境界条件データが算定精度に大きな影響を及ぼす。そのため、これらのデータの収集・推計・整備と公開を通じて当該分野の発展に寄与する。

### 4. これまでの成果

次世代陸域モデルの境界条件となる高解像度地理データおよび長期気象外力の整備が完了した。高解像度地理データを活用して河川・陸面過程・人間活動・山岳氷河などの陸域水文プロセスの要素モデルを高度化し、新規開発した「統合陸域シミュレータ」によるモデル結合も実現した。現在は、次世代陸域モデルによる長期/高解像度の水循環シミュレーションに向けたシステム構築・検証作業を進めている。主要な成果は次の通りである。

#### (1) 基盤となる高解像度地理データ整備

陸域モデルの基盤となる水文地形データについて、NASA などが公開する標高マップと衛星観測データを統合し、誤差を大幅に削減した高精度の全球標高データ「MERIT DEM」[Yamazaki et al. 2017]、さらに MERIT DEM もとに複数水域データを統合した高精度表面流向データ「MERIT Hydro」を構築した。これらは世界最高精度の水文地形データと評価され、現在までに 600 以上の機関で利用されている。その他、山岳氷河の融解予測に必要な全球氷河デブリ情報や、海水淡水化施設や運河導水までを表現した全球水利用情報 [Hanasaki et al. 2018] も世界で初めて構築され、次世代陸域モデルで活用されている。

#### (2) 高解像度長期気象外力データ整備

全球長期シミュレーションに向け、20 世紀再解析データセットに力学的ダウンスケーリング手法を用いて、1871-2014 年までの全球 50km 高解像度の気象再解析データ「GSWP3-FD」

を構築した。GSWP3-FD は、20 世紀全期間の日変化まで高精度で再現する唯一の気象再解析データであり、CMIP などの国際研究プロジェクトや国内外のモデル開発機関ですでに活用されている [van den Hurk, Kim et al. 2016]。

また、気象予測情報を自動取得し、日本域 1km 解像度で 39 時間先までの陸域水循環を定常的に推計する枠組みが完成した。

### (3) 次世代陸域モデル開発

CaMa-Flood に MERIT DEM を統合して水面標高や浸水域の再現精度を大幅に向上させ、衛星観測との直接比較を実現した。また、熱収支に基づく全球河川水温の推計も可能となり [Tokuda et al., 2018]、北極海への熱流入量の変遷など重要な結果が得られている。

全球水資源モデル H08 に、地下水・海水淡水化・運河導水などの水源と水源別の水利用アルゴリズムを導入し、世界の自然水循環と水利用を精度良く包括的に推定するモデルへと大幅に改良した [Hanasaki et al. 2018]。

上記の要素モデルを統合した「ILS : Integrated Land Simulator」の開発も順調に進行している。従来の陸面モデル MATSIRO の鉛直 1 次元化と全面的な構造改革を行った上で CaMa-Flood・H08 との結合を実現した。結合に用いるカップラー・境界条件作成等の重要な基礎ツールの整備も進め、1km 解像度日本域リアルタイム実験や 50km 解像度全球長期実験などが可能な状況となっている(図)。

### (4) グローバル水文学で重要な実験・解析

改良された H08 を利用し、世界でこれまで広く用いられてきた経験的な水逼迫指標と代表的な閾値により水逼迫が表現できる理由を初めて解明した [Hanasaki et al. 2018b]。

2003 年のヨーロッパの熱波と干ばつを対象にモデルの再現性を検討したところ、水資源(本課題のモデル含む)や水力発電の分野では過大評価傾向にあり、現在の気候変動影響による経済評価の解釈には注意が必要であることが示された [Schewe et al., 2019]。

参画者らは複数の影響評価モデルに基づき人間活動が、月々の河川水利用と水不足にどのように影響したかを定量評価し、水不足に適応するためには人間活動の相互作用と不確実性の正確な考慮が極めて重要であることを示した [Veldkamp et al., 2017]。

また、H08 の長期シミュレーション結果に基づき、正味の仮想水輸出は水資源量の多い国が大半である点、また、水資源にも経済的にも貧しい国は存在していないことなどを初めて明らかにした [Oki et al., 2017]。

### (5) 現時点での研究成果の波及性

本研究の ILS、CaMa-Flood、H08、山岳水河モデル等は、すでに国内外多数の研究機関で

利用される旗艦モデルとなっている。また、モデルのために整備した高解像度地理データと気象外力データが、高解像度・高精度で地球全域のデータ収集・整備したことを高く評価され、研究コミュニティに限らず地球科学の多岐にわたる研究にすでに活用されており、波及効果も高い研究となっている。

### 5. 今後の計画

今後は、最先端の研究知見を取り込むため要素モデルの高度化を継続しつつ、要素モデルを統合した次世代陸域モデルの構築に焦点を当てる。また、長期/高解像度の水循環シミュレーションに向けたシステム開発にも目処が立ち、次世代陸域モデルの精度検証の準備も整いつつある。研究期間終了までに、次世代陸域モデルの開発目標は達成できる見込みであり、グローバル水文学の新たな研究領域の開拓につながると期待される。

### 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

本研究課題の成果である主要な論文 5 編

(1) Schewe et al., State-of-the-art global models underestimate impacts from climate extremes, *Nature Communications*, 2019.

(2) Hanasaki et al., A global hydrological simulation to specify the sources of water used by humans, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2018.

(3) Veldkamp et al., Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20th and 21st century, *Nature Communications*, 2017.

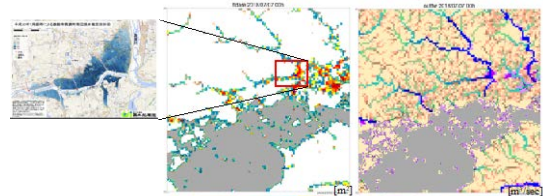
(4) Yamazaki et al., A high-accuracy map of global terrain elevations, *Geophysical Research Letters*, 2017.

(5) Oki, T. et al., Economic aspects of virtual water trade, *Environ. Res. Lett.*, 2017.

分担者の山崎が 2019 年文部科学大臣表彰(若手研究者部門)、芳村が 2018 年に気象学会堀内賞、山崎と鼎が 2018 年に水工学論文賞、金が 2018 年にアメリカ地球物理学連合の Top Author 賞を受賞した。

プロジェクト WebPage

<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/TiMiNG/>



図：日本域リアルタイム実験による岡山県高梁川近辺での 2018 年 7 月 7 日 0 時(平成 30 年豪雨時)の河川氾濫面積(中央)と河川流量(右)。左図は実際の小田川洪水時の浸水域。