

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：特別推進研究

研究期間：2016～2020

課題番号：16H06291

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

研究代表者

沖 大幹（Okii, Taikan）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：50221148

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 340,700,000円

研究成果の概要（和文）：陸域水循環数値シミュレーションシステムの抜本的改革により、世界のグローバル水文学研究を牽引する基盤技術を構築した。

シミュレーション高度化の鍵となる高精度の水文地形データと気象外力データを構築した上で、地球全域を対象とするグローバル陸域モデルの枠組みで洪水氾濫・水資源利用・氷河融解といった詳細な水循環プロセスの精緻な表現を達成した。これらのモデルを陸域統合シミュレータで動的に結合し、陸域水循環の全貌を推計した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

グローバル陸域水循環モデルの大幅な精度向上により、衛星観測を用いた地表水データ同化・リアルタイム洪水危険度予測・気候変動による詳細な水リスク分析など、これまでは不可能だった新たな研究が可能となった。開発した水文地形データや陸域水循環モデルは、地球科学の多様なコミュニティで活用される基盤となっている。また、社会的関心も高いダムによる世界の洪水被害軽減効果や人為的気候変動が世界の河川流量に及ぼす影響なども定量的に明らかとなった。

研究成果の概要（英文）： We established the fundamental data and tools that will lead the world's global hydrology research, by refurbishing the terrestrial water cycle simulation system. First, we constructed high-precision hydro-geographical data and meteorological external force data, which are the keys to advanced hydrology simulations. Second, based on these datasets, detailed water circulation processes such as flood inundation, water use, and glacier melting had been developed within the framework of a global land model which can be coupled with climate models. Then, these advanced process models were dynamically combined as Integrated Land Simulator to estimate the whole picture of the land water cycle.

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 気候変動 陸域モデル 水資源 洪水氾濫 水文地形データ 気象データ

## 1. 研究開始当初の背景

グローバルな水文学研究に利用されてきた陸面モデルは、大気大循環モデルの陸面部分あるいは比較的狭い流域の降雨流出モデルのいずれかを拡張する形で開発が進められてきた。陸域における水・エネルギー循環や気候との相互作用に対する科学的理解の進展により、地下水、氷河・氷床、湖やその循環と凍結、河川と氾濫、人間活動、水温水質、土砂・同位体など水循環に伴う物質循環といった陸面モデル要素の開発が進行中であった。しかし、20年以上も前に基本的な枠組が作成された現状の陸面モデルや降雨流出モデルの拡張は限界を迎えていた。最新の情報計算技術を利用し、陸域の様々な地球科学的過程を柔軟に組み込める次世代型の陸域モデルの構築が必要であり、本研究はその学術的要請に応えるものとして提案された。

一方で、50km 格子という現状の標準的な空間解像度で過去 150 年にも及び全陸域の水・エネルギー循環を推計しようという国際共同研究プロジェクトは世界でいくつか立案実施されているが、気候モデル比較プロジェクト(CMIP6)の陸域部分に関する陸面モデル比較プロジェクト(LS3MIP)を研究提案者らが推進しており、本研究は国際政治的にも重要なこの国際共同研究を支える目的もあった。

また、衛星プラットフォームを用いた地球観測と大気数値モデルの発展などにより、地球全体を高空間解像度で覆うような陸域水循環の境界条件情報の提供体制が整いつつあるため、1km 格子という超高解像度でのグローバルな水循環シミュレーションについても日本ならびに欧米でその重要性が指摘提案され、実現に向けた研究開発が日欧米で取り組まれている最中であり、本研究はそうした世界的な学術競争の中、日本の立ち位置を維持しようとするものであった。

## 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構築する。**

この目的のため、数値天気予報や気候変動予測などに用いられる大気大循環モデルの陸面境界条件を与えるために大気モデルに従属して開発されてきた陸面モデル等の研究蓄積を利用しつつ、人間活動なども考慮可能で、湖沼や河川さらにはその氾濫なども表現可能な陸域要素モデルを構築する。さらに要素モデルを統合して、陸域の水・エネルギー収支と水循環とを大陸規模・日単位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研究期間内に完成させる。

次世代陸域モデルの構築と平行して、**グローバル水文学における現代的な課題に対する以下の 4 つの挑戦的シミュレーション研究を推進する。**1 つ目は、日本域における 1km 解像度での実時間シミュレーションである。次世代陸域モデルを用いて、洪水氾濫や渇水、異常乾燥などの早期警戒情報の提供可能性を明らかにする。2 つ目は、アラル海流域の 50 年シミュレーションである。降水量や灌漑取水水量などの不確実性をいかに減らすかと共に、蒸発散と融雪と氷河融解があいまって非常に微妙なバランスの上に成り立っているアラル海流域の水収支の推計に挑戦する。3 つ目は、全大陸 1km 解像度でのシミュレーションの 1 年分の実行である。これは次世代陸域モデルによる 1K1K 推計の実行に向けた技術的な課題を抽出し、数値シミュレーションシステムの構築に資することを目的とする。4 つ目は、全大陸 50km 解像度での長期陸域モデルシミュレーションであり、1850 年～2100 年の水・エネルギー収支、水循環再現・予測シミュレーション結果から、気候変動に伴う洪水頻度や旱魃頻度の長期変化を抽出し、適応策などに資する。

## 3. 研究の方法

### [ 研究方法 ]

グローバルな水循環シミュレーションの実現には、要素モデル開発に加えて、モデルの境界条件となる地理情報や気象外力データの整備が重要である。また、要素モデルが表現するプロセスの相互作用を扱うモデル結合フレームワークも必要となる。さらに、構築したデータとモデルを用いて地球水循環の解析を行うためのシミュレーションシステムも必要となる。

本研究では、衛星観測データ・国際的な統計データなどグローバルに利用可能な様々な情報を統合し、高度な解析手法を適用して、標高・河川地形・氷河の物理特性といった高精度・高解像度の地理情報および長期間・高信頼性の気象データセットを構築した。

また、次世代型陸域モデルの核となる要素モデルの新規開発や高度化に取り組み、地球環境や人間社会の持続可能性を議論するのに重要な、洪水浸水域・河川水質・氷河融解・農業水利用といった重要な水文プロセスを表現できる要素モデルを開発した。さらに、要素モデルを統合して気候モデルとの結合やリアルタイム計算にも活用できる「統合陸域シミュレータ」を開発した。

開発したデータ群・モデル群を用いて、陸域水循環を様々な時空間スケールで捉える数値シミュレーションシステムを構築し、気候変動リスク評価や災害予測研究などに貢献した。

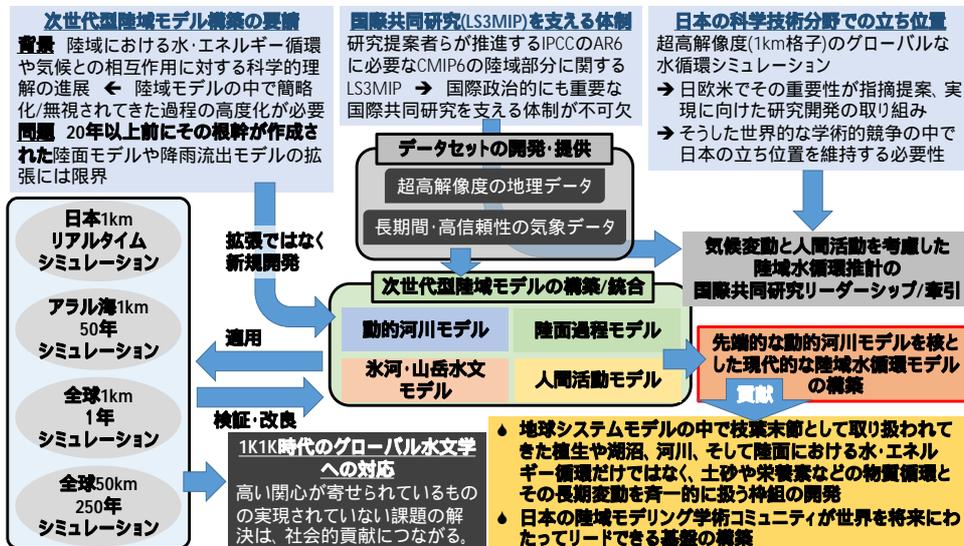


図1：本研究プロジェクトの概要

【 研究を遂行する上で生じた問題点及びその解決方法 】

研究計画全体の目標達成に影響するような大きな問題は生じなかった。

【 当初に予定していた研究経費の使用計画を変更して行った研究計画・研究方法 】

初年度に導入予定だった同位体分析装置の納入遅れ、2019年度に企画した国際学術集会のCOVID-19の影響による延期、プロジェクト終了前に購入予定だったデータストレージの半導体不足による納期遅れ等によって複数回の予算繰越が発生したが、制度的支援と工夫によって研究計画の進捗自体への大きな影響は回避され、計画通りに研究開発目標を達成できた。

【 研究進捗評価で受けた指摘事項に対する対応状況 】

研究進捗評価では、プロジェクトの進捗状況に対する指摘はなかったが、「本研究成果が、温暖化予測、リアルタイム洪水予測、水資源アセスメント等幅広い分野に活用されるよう、今後とも関連機関との対話を進められることを望む。」という建設的なコメントを受けた。これに応えるため、本研究で構築した要素モデルやシミュレーションシステムを用いて、統合陸域シミュレータの気候モデルへの実装、リアルタイム水循環シミュレーションシステムの構築と社会実装、水資源をはじめとする気候変動リスク評価システムへの研究成果の提供など、研究成果に基づく幅広い応用研究に取り組んでおり、本研究プロジェクト終了後も継続する。

4. 研究成果

【 本研究課題による研究成果 】

<次世代陸域モデルを支える高精度の水文地理データと気象外力の整備>

(河川地形データ) 全球陸域水循環モデルの基礎的地理情報であり境界条件となる高解像度・高精度の水文地形データを開発した。既存の衛星観測データに含まれる複数の誤差成分を分離・除去する手法を開発し、世界最高精度の標高データ MERIT DEM を開発した(Yamazaki et al. 2017)。さらに MERIT DEM に衛星観測やオープンマップの水面データを組み合わせ、30000 行以上におよぶ独自の河川地形分析プログラムを開発し、非常に精度の高い河川地形データ MERIT Hydro を構築した(Yamazaki et al., 2019)。これらの水文地形データは、全球河川モデル CaMa-Flood の地形パラメータとして使用し、水位と浸水域の推計精度を大幅に向上させた。

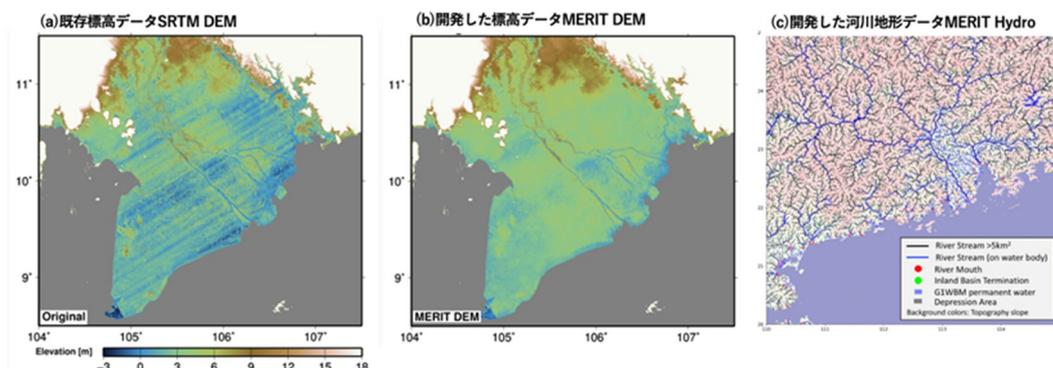


図2：高精度なグローバル水文地形データの開発

(氷河デブリデータ)数値モデル計算で氷河を扱うにあたり、氷河の融解速度に影響を与えるデブリ(氷河上の岩屑)は無視できない。本研究では衛星観測データを用いて、デブリ被覆分布の推定と熱抵抗値計算の広域展開を行った。画像数の多いLandsat8を用い、地形・標高データや気候再解析値ERA5を組み合わせ、デブリ分布を推定した。

(湖沼地理データ)水位変動といった湖沼の物理的な側面を十分に表現するため、全球レベルでの湖沼データの整備に取り組んだ。本研究初年度における海外機関による全球湖沼データセットHydroLAKESの発表は想定外であったが、HydroLAKESの湖沼モデルへの利用にむけ、既存の他の湖沼データとの比較を実施して一致度やメタデータの違いなどを明らかにした(Nakaegawa et al., 2016)。また、これらのデータを、本課題で開発されたモデルへの入力値として利用しやすいようにフォーマットを整備するほか、Webのマップ上で、湖沼情報と気候情報を一体的に可視化・表示するアプリケーションの更新を行った(Nakaegawa et al., 2018)。

(長期全球気象外力データの開発)1901年から2014年までの全球気象外力データを開発した(Kim, 2017, DIAS dataset)。時間解像度は3時間、空間解像度は0.5度である。20世紀再解析データを力学的ダウンスケーリング手法で気象学的整合性を保ちながら高解像度化した。LS3MIP(van den Hurk et al., 2016)といった国際プロジェクトなどで利用されている。

### <陸域水循環の重要プロセスを扱う要素モデル開発>

(河川水動態モデル)河川シミュレーションの核となる全球河川モデルCaMa-Floodの高度化に取り組んだ。地形データを本研究で開発したMERIT DEM/Hydroに置き換えて水動態シミュレーションの高精度化を実施した。これにより、水位と浸水域の再現精度が大幅に向上し、衛星地表水観測との直接比較が可能になり河川水動態データ同化などの先端的な研究につながった(Revel et al., 2021)。また、モデル全体を現代的なコード構造に書き換え、フレキシブルな実験設定や他陸域要素モデルとの結合を容易にした。さらに、河川水温(Tokuda et al., 2019)や土砂輸送(Hatono and Yoshimura 2020)など水質や物質循環に関わるスキームも開発した。

(全球水資源モデル)人間活動のための様々な水源からの取水を表現するため、全球水資源モデルH08の水利用・水管理サブモデルを大幅に改良した。これにより、6つの主要な水源、すなわち、大規模貯水池の操作を含む河川流量・導水路による送水・小規模貯水池・海水淡水化・再生可能な地下水・非再生可能な地下水からの取水量を別々に推定することが可能になった(図3)。モデルを検証するため、1979~2013年までの期間を対象とした全球水文シミュレーションを実施した。

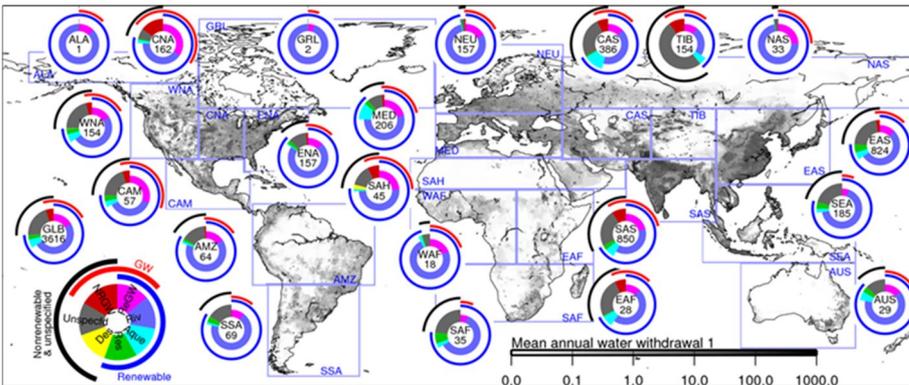


図3：開発した水資源モデルを用いて推定した地域別の年総取水量に対する水源別の割合  
マゼンタは再生可能な地下水、水色は河川、シアンは導水、薄緑は小規模貯水池、黄色は海水淡水化、グレーは不特定表流水、濃い赤は再生可能でない地下水である。単位は km<sup>3</sup> yr<sup>-1</sup>。

### <要素モデルを結合する統合陸域シミュレータの開発>

気候モデルにおける陸の挙動の表現は、地表面パラメタリゼーションとして発展したため、大気モデルに従属したサブモデルである事が大きな問題点となっていた。本研究課題では、従来とは異なる新たな陸モデルの開発を構想し、前述の問題点を解決する手段として「陸独立」というスローガンを掲げた新たな陸モデル「統合陸域シミュレータ」の開発を行った。

開発に数年間を費やし、Nitta et al. (2020)にてILSのバージョン1.0(ILS v1)の完成を宣言した(芳村と新田,2022)。ILS v1は、気候モデルMIROC5で実際に動いていたLSSであるMATSIRO5をベースに、単体でも実行可能なようにコードを全面的に書き換えて軽量化したMAT-1Dと、比較的近年開発され利用者が増加している河川動態モデルであるCaMa-Floodの2つを、陸域の物理過程を表現するコアモデルとした。それらを汎用カプラーJcupで結合することで、全球陸域オフライン実験など、様々なシミュレーションを実施することができるようになった。

### <陸域水循環シミュレーションシステムの構築と長期解析>

(日本域 1km リアルタイムシミュレーション) 2019 年に、日本域を対象とした陸域水循環シミュレーションシステム「Today's Earth - Japan」(以下、TE-Japan) が新たに開発され、実時間運用を開始した。TE-Japan は、1/60 度 (1km) 解像度で 1 日 8 回 (3 時間毎) 39 時間予測を行うシステムである。TE-Japan を使って 2019 年台風 19 号時の洪水予測性能について検証し、実際に破堤が発生したと報告のあった 142 地点中 130 地点においてアラートが出され、平均的に約 32 時間のリードタイムがあった (Ma et al., 2021)。

(全球 1km シミュレーション) ILS による全球 1km 計算を実現するために、MPI/OpenMP を用いたハイブリッド並列化やベクトル計算機対応などの計算効率改善に取り組んだ。富岳での 1km テスト計算を実施し、長期計算に向けて河川モデルの MPI 並列数を増やす工夫や、ノード間通信を伴うデータ内挿の効率化といった重要課題を洗い出した。また、河川モデル CaMa-Flood 出力を高精度にダウンスケールする手法を開発し、ポストプロセスにより全球 90m 解像度の浸水深さ分布の時系列推定が実現した。

(全球長期シミュレーション) 結合気候モデル比較プロジェクト CMIP6 を構成する実験である陸面シミュレーション比較実験 LS3MIP を分担者の金が共同議長としてリードした。気候外力に対する陸面フィードバックの解明を主な目的とし、本研究で開発している陸域モデルも参画した。Land-hist 実験は 1901 年から 2014 年までマルチモデルアンサンブル実験を行い、全球陸域のエネルギー・水・炭素循環の相互作用と長期変動性が明らかとなった。

(アラル海流域シミュレーション) 陸面過程モデル SiBUC をベースに、灌漑地開発や灌漑効率の歴史の変遷、大規模水体の変化などを考慮することで、アラル海集水域に特化した陸域水循環モデルを作成し長期シミュレーションを実施した (Kobayashi et al., 2022)。畝間灌漑と点滴灌漑で消費される水量の差は土壌の性質や気象条件によって異なることが明らかとなり、畝間灌漑に適していない農地が 1990 年以降増加し、水利用効率を下げている可能性が確認された。

### [ 当初に予見していなかった新たな展開等によって得られた研究成果 ]

#### <高精度の水文地形データ・気象外力データの開発から発展した研究>

高精度水文地形データの開発で全球陸面モデルでの斜面水文プロセスの高度な表現が可能になり、国際共同研究に参画して斜面水文プロセスのモデル化アイデアをまとめた意見論文 (Fan et al., 2018) が掲載された。これをきっかけに斜面水文プロセスのモデリング研究が国際的に着目されるようになり、本研究成果が世界的な研究の潮流形成に大きく貢献した。高精度水面標高データ MERTI DEM と MERIT Hydro は非常に注目されており、グローバルな地形解析や高解像度河川シミュレーションなど多数の新たな共同研究につながった (Lin et al., 2021 など)。

長期気象外力データ整備を進める研究に関連して、Park et al. (2017) では、150 年以上にわたる地球上の陸域降水量に関する研究をすべて照査し、近代的な測器を使った組織立った観測網がなかった時代の降水量推計はどの程度の精度だったのかを当初計画に加えて調査した。その結果、19 世紀末から 20 世紀初頭にかけての陸域降水量の推定値の範囲は、最先端の気候研究ユニット (CRU) データセットから得られる地上平均降水量の経年変化と同等であること、すなわち当時の研究は驚くべき良い精度で平均陸域降水量を推定できていたことがわかった。そのような結果が得られるとは当初予見しておらず、さらに過去の復元への展開につながった。

#### <開発した陸域水循環モデルを用いた応用的研究や国際共同研究>

全球水資源モデル H08 も参加した Schewe et al. (2019, Nature Comm) の研究では、地球規模の気候変動影響モデルが極端な気候条件の影響をどの程度捉えているのかについて、重要なシステム広範にわたって、初めての体系的な検証に成功した。2003 年のヨーロッパの熱波と干ばつを将来の同程度の規模の事象の歴史的アナロジーとして用いたところ、農業、陸上生態系、熱による死亡といった重要な分野における影響の極端さを大多数のモデルが過小評価していること、水資源と水力発電への影響はいくつかの河川流域で過大評価していること、モデル間のばらつきがしばしば大きいことが分かった。こうした結果は、将来の異常気象による社会的リスクは、これまで考えられていたよりも大きい可能性があることを示唆している。

また、同じく H08 が参加した Gudmundsson, Boulange et al. (2021, Science) の研究では、まず 1971 年から 2010 年にかけて、世界各地の 7250 の観測所から得られた低流量、平均流、高流量の時系列を解析し、ある地域は乾燥し、ある地域は湿潤するという空間的に複雑なトレンドパターンが、低流量、平均流量、高流量で一貫して存在することが確認された。次に H08 を含む全球水循環モデルシミュレーションから計算された傾向は、人為的な気候変動を考慮した放射強制力を考慮した場合にのみ、観測結果と一致することが示された。水や土地の管理によるシミュレーションでは、観測されたトレンドパターンを再現するのに十分な効果は得られなかった。この結果は、地球規模での河川流量の変化傾向の原因が気候変動にあることを証明している。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計116件（うち査読付論文 111件／うち国際共著 64件／うちオープンアクセス 87件）

1. 著者名 Boulangé Julien, Hanasaki Naota, Yamazaki Dai, Pokhrel Yadu	4. 巻 12
2. 論文標題 Role of dams in reducing global flood exposure under climate change	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-020-20704-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Gudmundsson Lukas, Boulangé Julien, Do Hong X., Gosling Simon N., Grillakis Manolis G., Koutroulis Aristeidis G., Leonard Michael, Liu Junguo, Müller Schmied Hannes, Papadimitriou Lamprini, Pokhrel Yadu, Seneviratne Sonia I., Satoh Yusuke, Thiery Wim, Westra Seth, Zhang Xuebin, Zhao Fang	4. 巻 371
2. 論文標題 Globally observed trends in mean and extreme river flow attributed to climate change	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 1159 ~ 1162
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1126/science.aba3996	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Nitta Tomoko, Arakawa Takashi, Hatono Misako, Takeshima Akira, Yoshimura Kei	4. 巻 7
2. 論文標題 Development of Integrated Land Simulator	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 68
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40645-020-00383-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 芳村圭, 新田友子	4. 巻 151
2. 論文標題 次世代地球システムモデルに向けた統合陸域シミュレータの開発 ~ 土壌物理プロセスに着目して ~	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土壌の物理性	6. 最初と最後の頁 27-34
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ma Wenchao, Ishitsuka Yuta, Takeshima Akira, Hibino Kenshi, Yamazaki Dai, Yamamoto Kosuke, Kachi Misako, Oki Riko, Oki Taikan, Yoshimura Kei	4. 巻 11
2. 論文標題 Applicability of a nationwide flood forecasting system for Typhoon Hagibis 2019	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10213 (2021)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-89522-8	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 G Kobayashi, K Tanaka, T Khujanazarov, S Tanaka	4. 巻 2022 Volume 32 Issue 5 Pages
2. 論文標題 High-Resolution and Long-Term Land Surface Analysis in the Aral Sea Basin	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Arid Land Studies	6. 最初と最後の頁 139-143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14976/jals.32.S_139	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamazaki Dai, Ikeshima Daiki, Sosa Jeison, Bates Paul D., Allen George H., Pavelsky Tamlin M.	4. 巻 55
2. 論文標題 MERIT Hydro: A High Resolution Global Hydrography Map Based on Latest Topography Dataset	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Water Resources Research	6. 最初と最後の頁 5053 ~ 5073
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019WR024873	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 SASAKI Oriie, FUJITA Koji, SAKAI Akiko, HIRABAYASHI Yukiko, KANAE Shinjiro	4. 巻 75
2. 論文標題 DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A LARGE-SCALE GLACIER MODEL BASED ON AN ENERGY BALANCE APPROACH OVER CENTRAL EUROPE	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_919 ~ I_924
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.75.2_I_919	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hanasaki Naota, Yoshikawa Sayaka, Pokhrel Yadu, Kanae Shinjiro	4. 巻 54
2. 論文標題 A Quantitative Investigation of the Thresholds for Two Conventional Water Scarcity Indicators Using a State of the Art Global Hydrological Model With Human Activities	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Water Resources Research	6. 最初と最後の頁 8279 ~ 8294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018WR022931	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tokuda Daisuke, Kim Hyungjun, Yamazaki Dai, Oki Taikan	4. 巻 55
2. 論文標題 Development of a Global River Water Temperature Model Considering Fluvial Dynamics and Seasonal Freeze Thaw Cycle	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Water Resources Research	6. 最初と最後の頁 1366 ~ 1383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018WR023083	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fan Y., M. Clark, D.M. Lawrence, S. Swenson, and others (D. Yamazaki 36/36)	4. 巻 55
2. 論文標題 Hillslope Hydrology in Global Change Research and Earth System Modeling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Water Resources Research	6. 最初と最後の頁 1737 ~ 1772
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018WR023903	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Schewe Jacob and others (N. Hanasaki (27/50), H. Kim (30/50))	4. 巻 10
2. 論文標題 State-of-the-art global models underestimate impacts from climate extremes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-08745-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 平岡ちひろ、田中賢治、田中茂信	4. 巻 63
2. 論文標題 山岳地帯における気象データの誤差が雪氷融解量計算に及ぼす影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会水工学論文集	6. 最初と最後の頁 I_307-312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大沼友貴彦、金炯俊、芳村圭、新田友子、大石龍太、高田久美子	4. 巻 74
2. 論文標題 陸域モデル国際相互比較実験(LS3MIP)を想定したMATSIROによる20世紀再現実験	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_43-I_48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.74.5_I_43	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Dai Yamazaki, Daiki Ikeshima, Ryunosuke Tawatari, Tomohiro Yamaguchi, Fiachra O' Loughlin, Jeff C. Neal, Christopher C. Sampson, Shinjiro Kanae, and Paul D. Bates	4. 巻 44
2. 論文標題 A high-accuracy map of global terrain elevations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 5844-5853
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2017GL072874	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hanasaki Naota, Yoshikawa Sayaka, Pokhrel Yadu, Kanae Shinjiro	4. 巻 22
2. 論文標題 A global hydrological simulation to specify the sources of water used by humans	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Earth Syst. Sci.	6. 最初と最後の頁 789 ~ 817
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/hess-22-789-2018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Mateo Cherry May R., Yamazaki Dai, Kim Hyungjun, Champathong Adisorn, Vaze Jai, Oki Taikan	4. 巻 21
2. 論文標題 Impacts of spatial resolution and representation of flow connectivity on large-scale simulation of floods	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Hydrol. Earth Syst. Sci.	6. 最初と最後の頁 1~32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/hess-2016-620	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nitta, T., K. Yoshimura, A. Abe-Ouchi	4. 巻 18
2. 論文標題 Impact of arctic wetlands on the climate system: Model sensitivity simulations with the MIROC5 AGCM and a wetland scheme	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Hydrometeor	6. 最初と最後の頁 2923-2936
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JHM-D-16-0105.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Oki Taikan, Yano Shinjiro, Hanasaki Naota	4. 巻 12
2. 論文標題 Economic aspects of virtual water trade	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Environ. Res. Lett.	6. 最初と最後の頁 044002 ~ 044002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-9326/aa625f	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Park, K.J., K. Yoshimura, H. Kim, and T. Oki	4. 巻 98
2. 論文標題 Chronological Development of Terrestrial Mean Precipitation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 BAMS	6. 最初と最後の頁 2411-2427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/BAMS-D-16-0005.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Veldkamp T.I.E., Wada Y., Aerts J.C.J.H., Doll P., Gosling S. N., Liu J., Masaki Y., Oki T., Ostberg S., Pokhrel Y., Satoh Y., Kim H., Ward P. J.	4. 巻 8
2. 論文標題 Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20th and 21st century	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 15697 ~ 15697
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/ncomms15697	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 兔澤知浩, 山崎大, 佐山敬洋, 沖大幹	4. 巻 74
2. 論文標題 サブグリッド斜面流動過程を組み込んだグローバルな陸域モデルの開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_991-I_996
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.74.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藪 優太郎, 芳村 圭, 新田 友子, 鳩野 美佐子, 石塚 悠太, 向田 清峻, 可知 美佐子, 沖 大幹	4. 巻 73
2. 論文標題 1km解像度陸面モデルによる河川流量の検証	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会論文集G (環境)	6. 最初と最後の頁 I_71 ~ I_79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejg.73.I_71	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 van den Hurk Bart et. al.	4. 巻 9
2. 論文標題 LS3MIP (v1.0) contribution to CMIP6: the Land Surface, Snow and Soilmoisture Model Intercomparison Project ? aims, setup and expected outcome	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Geoscientific Model Development	6. 最初と最後の頁 2809 ~ 2832
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/gmd-9-2809-2016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hanasaki Naota, Yoshikawa Sayaka, Kakinuma Kaoru, Kanae Shinjiro	4. 巻 20
2. 論文標題 A seawater desalination scheme for global hydrological models	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Hydrol. Earth Syst. Sci.	6. 最初と最後の頁 4143 ~ 4157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/hess-20-4143-2016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wei, Z., K. Yoshimura, L. Wang, D. Miralles, S. Jasechko, X. Lee	4. 巻 44
2. 論文標題 Revisiting the contribution of transpiration to global terrestrial evapotranspiration	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geophys. Res. Let.	6. 最初と最後の頁 2792-2801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2016GL072235	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 塩尻 大也、田中 賢治、田中 茂信、浜口 俊雄	4. 巻 72
2. 論文標題 地下水取水を考慮した全球陸域水循環モデルによる水逼迫度評価	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 土木学会論文集G (環境)	6. 最初と最後の頁 I_265 ~ I_270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.72.I_265	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計141件 (うち招待講演 28件 / うち国際学会 82件)

1. 発表者名 Taikan Oki
2. 発表標題 Multisector analysis on water, economy, and climate change
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yamazaki, D.
2. 発表標題 Global river routing & flood inundation modelling: Recent advances and future perspective
3. 学会等名 Hydro-JULES: Next Generation Land-surface and Hydrological Predictions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kei Yoshimura
2. 発表標題 Development of Global Terrestrial Hydrological Monitoring and Forecasting System “Today’s Earth”
3. 学会等名 The 7th UNISEC-Global Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Tanaka, Chihiro Hiraoka, Khujanazarov Temur, Shigenobu Tanaka
2. 発表標題 Surface Energy Balance Observation at the Melting Zone of the Kara-Batkak Glacier
3. 学会等名 JpGU2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Dai Yamazaki, Daiki Ikeshima, Ryunosuke Tawatari, Tomohiro Yamaguchi, Fiachra O'Loughlin, Jeff C. Neal, Christopher C. Sampson, Shinjiro Kanae, and Paul D. Bates
2. 発表標題 MERIT DEM: A new high-accuracy global digital elevation model and its merit to global hydrodynamic modeling
3. 学会等名 American Geophysical Union (AGU) 2017 Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hanasaki, N., Yoshikawa, S., Pokhrel, Y., and Kanae, S.
2. 発表標題 Enhancing the water management schemes of H08 global hydrological model to attribute human water use to six major water sources
3. 学会等名 American Geophysical Union (AGU) 2017 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kim Hyungjun
2. 発表標題 The Land Surface, Snow and Soil-moisture Model Intercomparison Project
3. 学会等名 4th International Conference on Hydrology delivers Earth System Sciences to Society (招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本地球惑星科学連合 (21地球をめぐる水と水をめぐる人々 沖大幹)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東京大学出版会	5. 総ページ数 280
3. 書名 地球・惑星・生命	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>グローバル水文学の新展開: <a href="http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/TiMiNG/">http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/TiMiNG/</a>          全球高精度標高データMERIT DEM: <a href="http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/MERIT_DEM/">http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/MERIT_DEM/</a>          全球河川地形データMERIT Hydro: <a href="http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/MERIT_Hydro/">http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/MERIT_Hydro/</a>          全球河川モデルCaMa-Flood: <a href="http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/cama-flood/">http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/cama-flood/</a>          全球水資源モデルH08: <a href="http://h08.nies.go.jp">http://h08.nies.go.jp</a>          リアルタイム水循環シミュレーションToday's Earth: <a href="https://www.eorc.jaxa.jp/water/">https://www.eorc.jaxa.jp/water/</a>          高精度長期気象外力データセット: <a href="https://doi.org/10.20783/DIAS.501">https://doi.org/10.20783/DIAS.501</a></p>
--

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	仲江川 敏之 (Nakaegawa Toshiyuki)  (20282600)	気象庁気象研究所・応用気象研究部・室長  (82109)	
研究分担者	鼎 信次郎 (Kanae Shinjiro)  (20313108)	東京工業大学・環境・社会理工学院・教授  (12608)	
研究分担者	田中 賢治 (Tanaka Kenji)  (30283625)	京都大学・防災研究所・教授  (14301)	
研究分担者	芳村 圭 (Yoshimura Kei)  (50376638)	東京大学・生産技術研究所・教授  (12601)	
研究分担者	花崎 直太 (Hanasaki Naota)  (50442710)	国立研究開発法人国立環境研究所・地球環境研究センター・室長  (82101)	
研究分担者	山崎 大 (Yamazaki Dai)  (70736040)	東京大学・生産技術研究所・准教授  (12601)	
研究分担者	金 炯俊 (Kim Hyungjun)  (70635218)	東京大学・生産技術研究所・特任准教授  (12601)	平成28年度まで。 (平成29年度以降は、本科研費で雇用。)

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	荒巻 俊也  (Aramaki Toshiya)  (90282673)	東洋大学・国際地域学部・教授    (32663)	
連携研究者	大瀧 雅寛  (Otaki Masahiro)  (70272367)	お茶の水女子大学・人間文化創成科学研究科・教授    (12611)	
連携研究者	大瀧 友里奈  (Otaki Yurina)  (50422382)	一橋大学・社会科学研究科・准教授    (12613)	
連携研究者	平林 由希子  (Hirabayashi Yukiko)  (60377588)	東京大学・工学部・准教授    (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計2件

国際研究集会 RSM2019 (15th International RSM workshop)	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 HYDROLOGY DELIVERS EARTH SYSTEM SCIENCES TO SOCIETY 4	開催年 2017年～2017年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	Potsdam Institute (PIK)			
米国	NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL)	University of California, Los Angeles	University of California, Irvine	他3機関
中国	Tien-Shan High Mount. Sci. Centre			
パナマ	Technological University of Panama			
韓国	Gwangju Institute of Sci. and Tec.	Seoul National University	Chonnam National University	他1機関

共同研究相手国	相手方研究機関			
オランダ	Vrije Universiteit Amsterdam			
キルギス	Academy of Science of Kyrgyz Republic			