

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：82101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25820230

研究課題名(和文) 全球水資源モデルへの河川氾濫・水面蒸発過程の導入による乾燥地湿地帯の数値実験

研究課題名(英文) Numerical simulation on wetlands in arid regions by introducing river inundation and surface evaporation processes into a global water resources model

研究代表者

花崎 直太 (Hanasaki, Naota)

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・主任研究員

研究者番号：50442710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：当初研究計画から若干内容を拡大して研究を実施した。全球水資源モデルH08の水文パラメータ同定プログラムの開発を行った。このプログラムは世界の河川に対して、上流から河口にかけてH08の4つの水文パラメータをモンテカルロ法により自動的にキャリブレーションする。この結果、乾燥地を含む世界全体の流出量の過去再現性が従来に比べて飛躍的に高まった。また、海水淡水化に関するH08のサブモデルを新たに開発した。このサブモデルは海水淡水化が行われる地域とその使用量を地理的、社会経済的、気候的条件から推定する。これにより、表流水や地下水涵養のほとんどない沿岸乾燥地での現実的な水資源シミュレーションが可能になった。

研究成果の概要(英文)：This research was conducted by slightly expanding the contents from the original research plan. A program was developed to calibrate hydrological parameter globally for the H08 global hydrological model. This program automatically calibrates four hydrological parameters of H08 from headwater to river mouth by the Monte Carlo approach for the major rivers in the world. This results in considerable improvement in the reproducibility of retrospective runoff simulation globally including arid areas. A new sub-model of H08 was also developed to estimate the usage of seawater desalination. The sub-model estimates the areal extent where seawater desalination is taken place, and the volume of usage by combining geographical, socio-economic, and climatic conditions. This enables us to conduct realistic water resources simulation in coastal arid zone with little surface water and renewable groundwater resources.

研究分野：全球水文学

キーワード：全球水文モデル 乾燥地

1. 研究開始当初の背景

地球の水循環を時間・空間詳細に解明するため、また、人間社会にとって不可欠な世界の水資源量を現在から将来まで把握するため、全球を対象とした水文モデルが多数開発されてきた。気象・地理データの整備と計算技術の発達により、水収支や流量計算の精度は向上している。しかし、依然として、モデルが観測流量をうまく再現できない河川が残されている。

アフリカのニジェール川とナイル川はその典型である。13の全球水文モデルが参加したモデル相互比較プロジェクト WaterMIP において、ニジェール川下流の観測地点ニアメーにおける計算流量のモデル平均は、観測の十倍にも達した (Haddeland et al., 2011)。同様の問題はアフリカのナイル川でも見られた。これらの2つの河川は降水量の大部分が蒸発してしまう乾燥地にあり、河川流量シミュレーションはもともと難しい。しかし、それ以外にも共通の特徴がある。ニジェール川には「ニジェール内陸デルタ」、ナイル川には「スッド」という巨大な氾濫原・湿地帯が中流域に存在するのである。雨季の流量は巨大な氾濫原・湿地帯を作り、その水の多くが蒸発する。現在の全球水文モデルはこの河川氾濫・水面蒸発の過程を含んでいないため、下流の流出量を過大評価してしまうのだと考えられる。

申請者はこれまで全球水資源モデル (名前を H08 という) の開発を行ってきた (Hanasaki et al., 2008a)。H08 は主要な人間活動を扱うことのできる全球水文モデルである。H08 は 蒸発量や流出量を計算する陸面サブモデル、 河川流量を計算する河川サブモデル、 農業・工業・生活用水の取水を扱う取水サブモデル、 世界の主要な貯水池を操作する貯水池操作サブモデル、 耕作期間や農作物の収量を推定する作物成長サブモデルからなる。出力は空間解像度 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 、1日単位で行われる。

このように、H08 を利用すると取水や貯水池操作といった人間活動を含む、世界の水循環をシミュレーションできる。ただし、H08 の河川サブモデルは流速を固定して上流から下流へ流出量を移動させるだけの単純なものである。そこで、H08 に河川氾濫と水面蒸発に関するサブモデルを加えることにより、氾濫原・湿地帯を持つ河川の水収支と流量計算の精度を向上させるとともに、温暖化と水資源開発 (具体的には灌漑取水や貯水池操作など) が氾濫原・湿地帯に及ぼす影響を評価することが、当初の目的であった。

ただし、研究を進めた結果、そもそも上述の河川では氾濫原・湿地帯に流れ込む流入量に大きなバイアスがあることが明らかになり、乾燥地を含む世界全体の流出量再現性の向上を優先すべきであることが認識された。また、研究を進める際に、沿岸乾燥地における海水淡水化の重要性が拡大していること

も明らかになり、海水淡水化の定量的な推定に関するモデルを開発することで、乾燥地帯における H08 の水資源評価が改良できることも見込まれた。

2. 研究の目的

本研究は全球水資源モデル H08 の世界全体での流出量再現性の向上させることを第一の目的とした。水文モデルシミュレーションにおける流出量の誤差の原因は一般的に、格子気象データの精度・代表性の問題、検証データの精度・入手可能性の問題、モデル構造・要素不足の問題、水文パラメータの不確実性の問題に大別される。ここで、全球シミュレーションへの適用可能性や効果を考え、最後のパラメータの不確実性の問題の解決に焦点を絞り、全球に適用可能な水文パラメータ同定プログラムの開発を進めることにした。加えて、沿岸乾燥地での水資源評価を改良するため、海水淡水化に関するモデルを新たに開発することを第二の目的とした

3. 研究の方法

(1) 全球水文パラメータの同定プログラムの開発

全球水資源モデル H08 の主要な水文パラメータには、土壌深さ (SD)、バルク交換係数 (CD)、中間流の形状係数 ()、時定数 () がある。従来 H08 を全球に適用する際は とのみを気候帯別に異なる値を設定し、SD と CD は全球一様としてきた。一方、H08 を特定の流域に適用した研究において、これらの4つの係数を流域別に同定すれば、流出量の再現性を飛躍的に向上できることが明らかになってきた。たとえばタイのチャオプラヤ川での研究事例は Hanasaki et al. (2014) と Mateo et al. (2015) に、ガンジス川・メグナ川・ブラマプトラ川は Masood et al. (2015) に、韓半島は Yoo et al. (2016) に、九州は間地 (2017) にまとめられている。特定の流域でのパラメータの決定では、流量観測地点の数が少ないため半手動での実施が可能であるが、全球には流量観測地点が数百～数千あるため、大幅な自動化が必要である。そこで、これまでの特定流域への適用事例での知見をもとに自動化アルゴリズムを構築し、また同定に利用する観測流量データを高度に規格化することにより、全球水文パラメータの同定プログラムの開発を行った。

(2) 海水淡水化のモデル開発

現在入手可能な世界の海水淡水化に関するデータとして国連食糧農業機関の AQUASTAT と Global Water Intelligence 社の DesalData がある。これらを手し国別・プラント別のデータベースを作成した。また海水淡水化を行っている主要国の水利用情報等を重点的に収集した。次に、海水淡水化プラントの所在地と海岸線および主要都市の

距離の関係からどれくらい内陸まで海水淡水化が利用されているのか分析した。また、海水淡水化プラントの容量と主要都市の水利用の関係から、どのような気候・社会経済条件下でどれくらいの海水淡水化への依存度があるのか分析した。これらの分析結果をもとに、地理・気候・社会経済条件から海水淡水化の利用されている地域（Area Utilizing Seawater Desalination; AUSD）と量を推定する海水淡水化モデルを開発した。

4. 研究成果

(1) 全球水文パラメータの同定プログラムの開発

まず Global Runoff Data Centre による全球の過去の観測流量データを整備することにより、世界 89 流域、655 地点の観測流量データベースを構築した。次に、これらのすべての流域に対し、最上流から最下流の観測点まで順に 4 つの水文パラメータを同定していくことで、観測流量の得られる集水域での水文パラメータを決定する大規模なプログラム群を開発した。なお、最下流の観測点より下流側については、上流側と同じ水文パラメータが適用される。また、観測流量が得られない流域については、同一気候帯にあり同定された最も距離の近い流域の水文パラメータが適用される。このプログラムを実行することにより、全球のすべてのグリッドセルについて 4 つの水文パラメータが調整される。

アマゾン川での結果を図 1 に示す。モデルと入力条件は同じだが、4 つのパラメータを改変することにより、流量シミュレーションの結果には顕著な違いが表れる（多数の灰色線）。この中で最も観測（黒線）に近い結果を出すパラメータの組み合わせ（赤線）を求めた。図 2 に示すのは観測流量データを整備した流域である。上流から下流にかけての色の変化が、入れ子状になった流量観測所の集水域を表している。

(2) 海水淡水化モデルの開発

2005 年時点の海水淡水化プラントの分布を図 3 に示す。海水淡水化はアラビア半島と地中海沿岸域にほとんどが分布している。アラビア半島はアラビア湾と紅海沿岸の大都市の周辺にプラントが集中している。地中海沿岸域はリビアとアルジェリア、スペインの一部海岸に加え、スペインやイタリアの島嶼にも大きなプラントが存在する。

海水淡水化サブモデルが推定した海水淡水化の潜在的利用地域を図 4 に示す。図 4 a) は工業・家庭用水を 100% 海水淡水化に依存する領域を推定したものである。図 3 はプラントの位置（配水元）、図 4 は海水淡水化の利用域（配水先）を示しているため、両者は一致しないが、アラビア半島の主要都市に海水淡水化水が配水されていることをよく再現できている。図 4 b) は工業・家庭用水の一

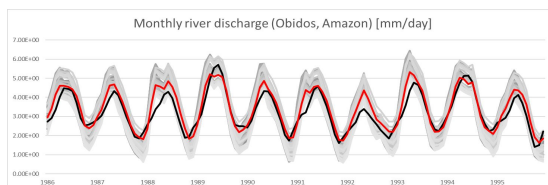


図 1 アマゾン川の月単位河川流量シミュレーションの結果。多数ある灰色線は 4 つの水文パラメータの組み合わせによるばらつき、黒線は観測、赤線は同定されたパラメータによるシミュレーションを表す。

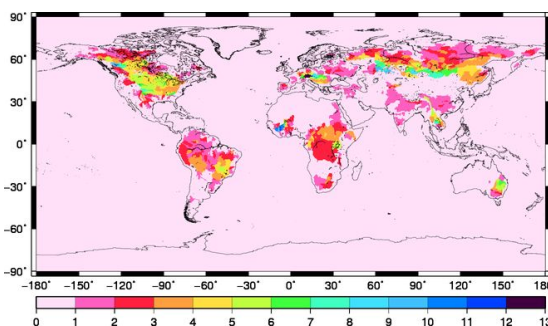


図 2 観測流量データを整備した流域。上流側から下流側に向かうにつれて、集水域は暖色から寒色に変化する。

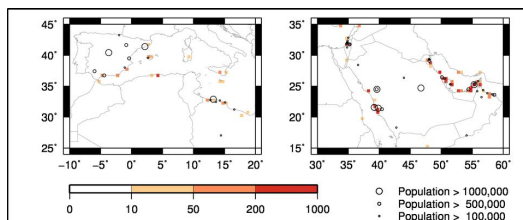


図 3 2005 年時点の世界の主要な海水淡水化プラントの分布（Hanasaki et al. 2016 より転載）。

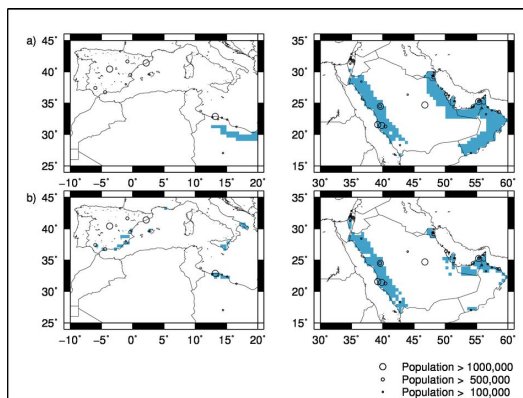


図 4 海水淡水化サブモデルで推定した潜在的な海水淡水化利用域の分布（Hanasaki et al. 2016 より転載）。 a) 工業・家庭用水を 100% 海水淡水化に依存している地域の分布。 b) 一部を海水淡水化に依存している地域の分布。 2005 年時点の世界の主要な海水淡水化プラントの分布（Hanasaki et al. 2016 より転載）。

部を海水淡水化に依存する領域を推定したものである。地中海の島嶼国など、水源の一部に海水淡水化を利用している地域をよく再現することができた。

(3) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクトならびに今後の展開

研究期間全体を通じて、全球水資源モデル H08 の流出量の再現性を向上させるための研究基盤が整備された。従来、全球水文モデルは個別流域でのパラメータ同定が行われることが稀であったが、流出量に大きなバイアスが発生しがちで、モデルの改良や応用に支障をきたすという問題があった。今回開発した全球水文パラメータ同定プログラムを利用することにより、柔軟かつ大幅に自動化された形で水文パラメータの同定が可能になり、今後の水資源シミュレーションの大幅な精度改善が見込まれる。現時点で、主要な人間活動が扱える全球水資源モデルは世界に4つあり、その中で水文パラメータの同定を行ったものは1つだけである。今回の自動化されたパラメータ同定プログラムは国際的にもユニークである他、地域への適用においても力を発揮することが期待される。

また全球に適用可能な海水淡水化モデルは世界で初めての成果である。今後、全球水資源モデル H08 に実装することで、表流水や地下水のほとんど得られない乾燥地での水資源評価が改良されることが期待される。

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 1 件)

Hanasaki, N., Yoshikawa, S., Kakinuma, K., and Kanae, S.: A seawater desalination scheme for global hydrological models, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 4143-4157, 10.5194/hess-20-4143-2016, 2016. (査読あり)

〔学会発表〕(計 4 件)

Hanasaki N.: Incorporation of advanced water abstraction schemes into the H08 global hydrological model, Japan Geoscience Union Meeting 2016, Makuhari Messe (Chiba, Japan), 25 May 2016

Hanasaki N.: Advanced water abstraction schemes in the H08 macro-scale hydrological model and potential applications to the basins in Thailand, The international conference on MAHASRI, 4 Mar 2016, Tokyo Metropolitan University (Tokyo,

Japan)

花崎直太: 対策技術を考慮した全球水資源評価～海水淡水化に着目して～、2014年度水文水資源学会、2014年9月25日、宮崎グリーンスフィア壱番館(宮崎県宮崎市)

花崎直太: 全球水資源モデルによる人間活動の影響評価に関する研究、環境科学会 2014 年会、2014 年 9 月 18 日、エポカルつくば(茨城県つくば市)

〔図書〕(計 1 件)

Hanasaki, N.: Estimating Virtual Water Contents Using a Global Hydrological Model, in: *Terrestrial Water Cycle and Climate Change*, John Wiley & Sons, Inc., 209-228, 2016

〔その他〕

ホームページ等

<http://h08.nies.go.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

花崎 直太 (HANASAKI NAOTA)

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・主任研究員

研究者番号：50442710