

世界の水資源の持続可能性評価のための 統合型水循環モデルの構築に関する研究

Developing an Integrated Hydrological Model
for Sustainability Assessment of World Water Resources

沖 大幹 (OKI TAIKAN)

東京大学・生産技術研究所・教授



研究の概要

今後懸念される世界の水問題に対して国際社会がとるべき施策に資するために、これまで開発してきた統合型水循環モデルを本研究でより深化し、このモデルを20世紀の100年分について日単位で実行し水・エネルギー収支、水循環、水利用の推定を行い、グローバルスケールでの水と食料の持続性に関してシミュレーションに基づく定量的な知見を得る。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：水資源、温暖化、持続可能性、統合的水循環モデル、人間活動

1. 研究開始当初の背景

本研究の統合型水循環モデルのように、世界の水資源を推定できるモデルと呼べるのは、研究開始時点では我々グループの他にはドイツのカッセル大学にしかなく、人間活動の組み込み、物理法則・植物生理に基づいた水収支算定、詳細なプロセス研究に基づく水利用モデル、気候モデルと結合可能、などの点では日本が現時点で世界をリードしており、極めて独創的な研究である。しかし、「今の地球システムは水資源に関して持続可能か？」という社会からの一番重要かつ素朴な疑問に対して、まだ明確な回答はできていなかった。そのような意味においても、統合型水循環モデルを全面的に深化させるための研究開発がまだまだ必要であった。

2. 研究の目的

2014年ごろに発表される予定のIPCC第5次報告書への貢献を念頭に置き、水と食料両者の持続性をグローバルスケールで議論できるように、さらに今後懸念される世界の水問題に対して国際社会がとるべき施策に資するように、これまで開発してきた統合型水循環モデルをより発展的に構築する。

3. 研究の方法

統合型水循環モデルは大きく自然系水循環モデル、人間系水利用モデルに分けられ、それらのモデルに関して精緻化、高精度化を図り、さらに、両者を結びつけるサブモデルとして窒素循環・水質、ダム・発電用水、深層地下水資源のモデルを新たに開発し、全体を統合したモデルシステムを構築する。この統合型水循環モデルを20世紀の

100年分について日単位で実行し、水・エネルギー収支、水循環、水利用の推定を行い、検証データを用いてその適合性を確認するとともに、主要なフィードバック過程や、ダム貯水池の効果、人口や経済発展、土地利用変化がグローバルな水循環と水利用にどの程度インパクトを与えてきたのかを定量的かつグローバルに明らかにする。さらにいわゆる温暖化に伴う気候変動シミュレーションモデルへの採用を目指し、グローバルな水循環・水資源の将来像を明らかにする。

4. これまでの成果

全球水資源アセスメントのための統合水循環モデルの構築

季節変動を考慮した全球水資源アセスメントをするために、陸面水文過程、河道流下、農業用水、貯水池操作、環境用水、生活・工業用水の6つの要素を包括した統合モデルを構築した。この統合モデルはグローバルスケールでの先端的な水資源アセスメントに必要不可欠である。信頼できる推定結果を得るには詳細なモデルのみならず、精度の高い入力値を利用する必要があるため、本研究では更なる各要素モデルの高度化、新規モデルの開発、入力値の高精度化を進めている。

大気再解析データを用いた水同位体循環推定

全球気候モデルへ水安定同位体過程を組み込み、数十年間の全球水同位体循環を推定した。海水面温度(SST)だけを入力値に使う全球モデルと違って、スペクトルナッジング手法を用いたことで推定精度は大幅に改善された。この手法は同位体観測が行われていない地域にも同位体情報を提

供し、生化学分野、水文学分野、古気候研究などの境界条件や初期値情報として非常に有益である。

窒素負荷量推定の生化学モデルの構築

施肥量、人口分布、土地利用、社会センサスに基づき農業、工業、生活にかかる窒素負荷量を算定する統合モデルを構築した。また、土層からの窒素浸出をモデル化し、水圏への硝酸態窒素の流出を分布型数値モデルによって推定した。このモデルは国レベルでの窒素負荷量の推定に利用でき、気候変動や土地利用変化に伴う表層水質など水圏環境への影響評価の強力な手法として期待される。

工業および生活用水使用量推定手法の開発

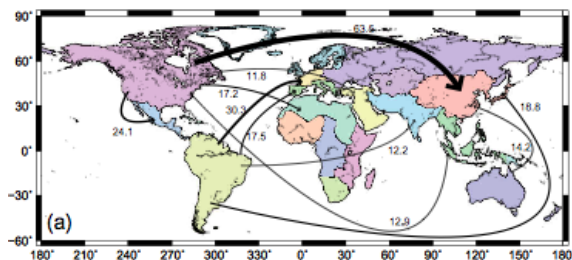
統合型水循環モデルとの統合に向けた生活用水使用量算出モデル、水質汚濁負荷算出モデルを開発した。そしてこれらのモデルを用いて、グリッドごとに水資源逼迫度および生活系汚濁負荷による濃度上昇量を算出し、生活系水利用による水循環への影響が大きい地域を同定した。また、工業用水予測の既存モデルの精度向上のためのパラメータの決定方法にも検討を加えた。

Virtual water tradeの評価手法の開発

統合水循環モデルを用いた主要農畜産物の virtual water trade の評価手法を開発した。1985年から1999年に関して試算したところ、総降雨量は113,900 km³/yr、平均蒸発量は72,080 km³/yrであった。また、green water 起源の非灌漑耕地からの蒸発散量、灌漑耕地からの蒸発散量、blue water 起源の灌漑耕地からの蒸発散量はそれぞれ7,820、1,720、1,530 km³/yrであった。5主要農産物(大麦、トウモロコシ、米、大豆、小麦)と3主要畜産物(牛肉、豚肉、鶏肉)の全球での virtual water 輸出量は545 km³/yrであることが推定された(下図)。その内、61 km³/yr (11%)が blue water であり、26 km³/yr (5%)が持続可能性の低い水であると推計された。本研究により、統合水循環モデルを用いて virtual water trade の評価および起源の推定が可能となった。将来の食糧問題や人口問題を検討するに当たり、本モデルは水、食糧、土地利用を複合的に評価する強力な手法として期待される。

5. 今後の計画

自然系水循環モデルおよび人間系水利用モデルの統合化に向けた各要素モデルの高度化と検証データの収集を今後も継続しつつ、プログラムコードおよびマニュアルの整備を順次進め、あるモデルの出力を別のモデルの入力として有機的に利用



されるようなシナジーを最大限生かした統合化を目指す。そして、構築した統合型水循環モデルを用いて将来の水資源持続可能性評価を行い、その

成果を国際社会の政策立案支援に資することができるようにとりまとめて公表する。

6. これまでの発表論文等

(1) Hanasaki N., Kanae S., Oki T., Masuda K., Motoya K., Shirakawa N., Shen Y., and Tanaka K.: An integrated model for the assessment of global water resources – Part 1: Model description and input meteorological forcing. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 12. 1007-1025 (2008)

(2) Hanasaki N., Kanae S., Oki T., Masuda K., Motoya K., Shirakawa N., Shen Y., and Tanaka K.: An integrated model for the assessment of global water resources – Part 2: Applications and assessments. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 12.1027-1087 (2008)

(3) T. Nakaegawa and M. Hosaka: Effects of calibrated current speeds and groundwater scheme in a global river-flow model on river discharge and terrestrial water storage. *Hydrological Research Letters*. 2. 18-21 (2008)

(4) T. Nakaegawa and M. Hosaka: Reproducibility of the seasonal cycles of hydrological variables in Japanese 25-year Reanalysis. *Hydrological Research Letters*, 2. 56-60 (2008)

(5) Yoshimura K., M. Kanamitsu, D. Noone, and T. Oki, Historical isotope simulation using Reanalysis atmospheric data, *J. Geophys. Res.* 113, doi:10.1029/2008JD010074 (2008)

(6) Otaki Y., Otaki M. and Yamada T.: Attempt to Establish an Industrial Water Consumption Distribution Model. *Journal of Water and Environment Technology*. 6. 85-91 (2008)

(7) Nakagawa N., M. Otaki, T. Aramaki and A. Kawamura: Influence of water-related appliances on projected domestic water use in Tokyo. *Hydrological Research Letters*. 3. 22-26 (2009)

(8) He B, Oki T., Kanae S., Mouri G, Kodama K, Komori D and Seto S.: Integrated biogeochemical modeling of nitrogen load from anthropogenic and natural sources in Japan. *Ecological Modeling*. 220. 2325-2334 (2009)

(9) Hanasaki N., Inuzuka T., Kanae S. and Oki T.: An estimation of global virtual water flow and sources of water withdrawal for major crops and livestock products using a global hydrological model. *Journal of Hydrology*. 384. 232-244 (2010)

(10) 渡部哲史, 沖大幹, 鼎信次郎: 気候変動下での全球水資源量評価に向けた気候モデル出力値補正手法の開発と検証. *水工学論文集*. 54. 259-264 (2010)

他 10 報