

「水の循環系モデリングと利用システム」

平成13年度採択研究代表者

沖 大幹

(東京大学生産技術研究所 助教授)

「人間活動を考慮した世界水循環・水資源モデル」

1. 研究実施の概要

現在の世界の水の循環は人間がいかに関与するかにより大きく影響されており、同時に人間の水利活動は水循環に影響されている。その相互作用を取り込むモデルフレームワークを構築し、今世紀に予想される世界的な水危機に関して情報発信することが最終的な目標である。今年度は代表的なものとして、以下の事項に関して研究を進めた。

1. 水循環（水供給）モデルの開発
2. 各水需要モデルの開発
 - 2-1. 農業水需要・土地利用モデルの開発
 - 2-2. 都市・生活用水需要モデルの開発
 - 2-3. 環境用水需要モデルの開発
3. 衛星データを含む情報技術の有効活用に関する研究の推進
4. 統合水循環・水資源モデルシステムの構築、及び全球規模水需給アセスメント

2. 研究実施内容

2-1. 水循環モデルの開発

昨年度に開発した、500個以上の貯水池に操作モデルを組み込んだ全球河川流路網モデルTRIPを詳細に整備し、全球に適用できるよう一般化を施した。そして、全球規模において、貯水池操作の影響による流量ピークの増減やずれを定量的に示した。その影響は、雪解け水の影響を大きく受ける北極海に注ぐ大河川において比較的大きく、4月の流量が貯水池操作を考慮しない場合と比較して43%増加する、という結果が得られた。ただ、課題も多く見つかった。具体的には、貯水池への流入量の再現性の低さが起因して流出量及び貯水量の精度が低くなってしまったり、灌漑以外の操作モデルを考慮していないことによる影響が無視できなくなってきたことである。それらの点に関しては、今後モデルの改良を加えていく。

また、とりあえず現段階での結果として、本モデルとGSWP2（全球土壌水分プロジェクト2）の成果を用いた10年間（1986～1995年）全球0.5度河川流量シミュレーションを行った。その結果は、後の2-4で述べる水需給アセスメントの項で述べる。

2-2. 各水需要モデルの開発

2-2-1. 農業水需要・土地利用モデルの開発

1) インドや中国を対象とした土地利用や水利用の集約化や転換に関する調査・分析

インド全体を対象に州別、県別の統計データを時系列に収集し、農業生産の集約化と灌漑の広がり进行分析し、第2次世界大戦後から1980年代中頃までは政府主導による水路灌漑が農業生産の高度化を牽引してきたが、80年代末から現在までは農家個別に導入するポンプ灌漑が急速に普及し、水路灌漑の拡大の停滞を大きく上回っていることがわかった。その背景には電力料金の無料化などの農業振興政策があるものの、その過程で地下水水位の低下などの問題が生じている地域が増えていることも示された。

一方、中国では水資源制約の厳しい黄河中流部において12県330農家に対して土地利用の形態の変遷やその理由、収入構造の変化などを個別調査した。その結果、農業外収入を得る機会の違いによって、限界的な農地の耕作放棄に大きな違いがあることが示された。すなわち、収益の上がる農地はますます集約的に利用され、限界的な農地は選択的に放棄される傾向が強いことがわかった。都市の近くでは野菜など現金収益性の高い作物栽培が可能であり、むしろ農地は保全され、生産が集約化するものの、都市から遠隔な地域（約30km以遠）では農業外収入を得る機会は少なく、また農業そのものも穀物などの収益性のそれほど高くない作物が耕作され、農業生産の集約化の遅れや貧困状態の継続が見られる。都市まで10kmから30km程度の中間領域では、出稼ぎを中心とする農業外収入機会が急速に拡大し、限界的な農地が積極的に放棄されている。このように土地利用・水利用の形態は都市までの距離によって異なる様相を見せることがわかった。

2) 世界の食糧需給と水消費

東京大学のDr. Guoxin TAN氏が開発したGlobal Logitモデルと、世界食料需給モデル(32地域)の組み合わせを行った。作付面積、単位面積あたりの収穫量、国内価格に関して、西暦2020年までの地域毎、4品目(Wheat, Maize, Rice, Soybean)に関する予測値の計算を行った。

2-2-2. 都市・生活用水需要モデルの開発

都市用水需要予測および各国の水利用実態に関するさまざまな文献のレビューを行うとともに、世界各都市の都市用水、家庭用水使用量の経年変化とその要因の解析を行った。これまで解析を行ってきた東京やシンガポールに加え、ヘルシンキやコペンハーゲンなどの水利用の経年変化の情報を集めてその傾向を調べた。いずれの都市においても1970～80年代において、一人あたり水使用量はピークを迎えていることがわかった。また、同様の調査をロンドン、ネパールなどで現地研究者を通して行っている。また、平成14年度から行っていた世界各都市の用途別家庭用水使用量に関する調査とその比較を継続して行っている。水利用用途ごとに各都市で利用量の違いが見られ、用途ごとにいくつかの要因が導き出された。さらには、チェンマイ市の数十世帯を対象として水利用実態に関するアンケート調査を行うとともに、1～3月にかけて各水栓にメータを設置して水利用量の調査を行っている。国内の都市に対しては、都市用水使用量の経年変化と影響因子の解析を20都

市程度を対象として行い、世帯人数が重要な因子として導かれる結果となった。

また、日中の業種別工業用水使用状況についてデータを収集して比較を行い、多くの業種で中国における回収利用率が日本の30年前のレベルであることが確認された。

2-2-3. 環境用水需要モデルの開発

環境用水に影響を与える指標を抽出し、需要量算定モデルの骨組を構築した。要因は気候・地文・人間の3つに分類され、グリッドごとに値を与えて需要量を算出する。気候条件としては月別降水量と気温、地文条件としては安定帯/変動帯および標高と平均勾配を最初の抽出項目とした。環境用水にかかわる自然環境特性との関係を検討した結果を踏まえ、降水量は雨季と乾季の組み合わせで6通り、気温は最寒月の平均気温で4通りに分類することとした。また標高と勾配は河川工学のセグメント論に基づいて組み合わせ6通りに分類することとした。それぞれの類型に対して管理目標となる項目（生物、水質、土砂など）を定め、異なった基準で環境流量を決定する。人間社会的要因としては経済発展段階とアジア型/ヨーロッパ型/その他の文化類型を適用する方向で検討をすすめているが、まだ明確な結果は得られていない。

2-3. 衛星データを含む情報技術の有効活用に関する研究の推進

2-3-1. 衛星データ利用

1) 大陸スケールの水田域の抽出

前年度までは衛星画像を利用して、一つのピクセル内のVSW(植生、土壌、水)の比率をミクセル分解法によって推定するアプローチをとったが、本プロジェクトで用いることになる水収支モデルでは土地被覆の経時変化よりむしろ土地利用を把握する方が有効であるため、15年度は、中解像度の衛星データから水田域の抽出を行い、低空間分解能データへの展開手法の開発を行った。研究対象地域は、タイ中央平原の水田地域で、一区画あたりの面積は広いが、区画ごとに異なる成育ステージの農地が混在している地域である。ASTER/VNIR画像は15m空間解像度で、研究対象地域の成育ステージの異なる水田領域抽出が可能であることがわかった。水田が含まれるピクセルのミクセル情報をASTER/VNIRとMODIS/1KMデータの対応より求めて、インドシナ半島領域の水田分布図を作成した。

2) 衛星画像と穀物生産力モデルの組み合わせによる灌漑農地の抽出と灌漑水量の推定方法の開発

水資源制約の厳しい半乾燥地域において穀物生産力を規定する大きな要因は灌漑の有無である。あらかじめキャリブレーションされた穀物生産力モデルを利用してLAI(葉面積指数)の時間的な変化と穀物収量を推定することができれば、モデルからのLAIの時系列変化値と衛星画像から得られるLAIの変化値を付き合わせることで、作付日や収穫日、収量や灌漑水投入量を推定できる可能性がある。すなわちある地域が穀物畑でありそこに作付けされている穀物の種類やその組み合わせをあらかじめ知ることができれば、衛星画像から収量や水投入量を知ることができる。今年度は中国の黄河中流域において、予備的な検討を行い、まず衛星データを利用しない場合でも、穀物生産力モデル

と収量データから投入水量をほぼ正確に推定できることを示した。今後、この方法を黄河中流部地域でより精密に検証・改良するとともに、大陸スケールに適用する。

2-3-2. 情報技術の有効活用

1) 河道網データベースの公開

0.1度グリッド標高データを用いて、世界河道網データを作成した。標高データだけを用いて作成する河道は、現実の河道位置とずれている箇所が多く含まれるため、地図や現地の情報を参考に、手作業で修正する必要がある。今年度は、作成した河道網データ(未修整)をインターネット上に公開し、複数の作業者がデータの更新ができるようなWEBシステムの開発を行った。

2) GSWP2-ICC (Inter Comparison Center) 構築・運営

データ収集作業の支援およびデータベース構築へ向けてのハードウェア整備、システム構築を行い、インターフェース実験システムの開発を開始した。まず今年度格納された10モデル分のDB化、ビジュアライゼーションツールの開発を行い、WEB経由で利用可能なデータ比較システムを構築し、容易な操作で視覚的に各モデル間の比較が可能となることを目的とした。加えて、沖研究室と協力して本システムのより実用的かつ高次の利用方法の調査と検討を行った。

2-4. 統合水循環・水資源モデルシステムの構築、及び全球規模水需給アセスメント

上記2-1の水循環モデル、及びISLSCP2/GSWP2の成果による10年間(1986~1995年)全球0.5度河川流量シミュレーションの結果をもとに、現在における水需給バランスを再評価した。このデータを用いることにより、従来手法(2年分のデータをもとにする)に比べて、各種データの年々変動を検討することが可能になった。特に、水需給比 R_{ws} (河川水の供給に対する水需要量の比)の年々変動の評価に成功したことは新しい成果といえる。その結果、10年中1回以上水需給比 R_{ws} (河川水の供給に対する水需要量の比)が0.4以上となるグリッドセルのほとんどは、10年のうち8回以上そのような事態が生じていることがわかった。しかし人口で見ると、数年に1度しか $R_{ws} \geq 0.4$ とならないグリッドセルの人口はほとんど毎年そうなる人口に拮抗していた。つまり、人口密集地において、数年に一度の渇水時には著しい水不足が起こることとなる。また、MRI(気象研/日本)による20世紀ならびに21世紀GCM気候再現実験の成果を利用して、2050年ごろの平均的な全球0.5度河川流量を推算した。これを用いて、2050年ごろの R_{ws} を全球にわたって再評価した。従来用いていたCCSR/NIES(東大気候システム研究センター/国立環境研)GCMの結果と比べて、MRIのGCMは気候変動の影響が相対的に小さかった。全球での R_{ws} 評価は、気候変動よりも人口予測の予測幅の影響の方が強いことが予想された。

3. 研究実施体制

世界水モデル・データベース研究グループ

- ① 研究分担グループ長：沖大幹（東京大学生産技術研究所・助教授）
- ② 研究項目：
 - ・自然水循環だけでなく灌漑等の人間活動を取り込んだ水循環モデルの作成
 - ・水需要算定との統合による水資源アセスメント
 - ・モデリングとアセスメントのための、大規模リモートセンシングデータの処理
 - ・超巨大データベースの開発、シミュレーション結果の可視化技術の開発

農業生産と水需要研究グループ

- ① 研究分担グループ長：川島博之（東京大学大学院農学生命科学研究科・助教授）
- ② 研究項目
 - ・世界の水需要の過半を占める農業用水需要について、統計解析とモデリングによる、0.5度あるいは0.1度グリッドスケールで算定・予測。及び水資源が制限要因となり得る将来の農業生産／土地利用の予測と分析。

人間活動と水需要研究グループ

- ① 研究分担グループ長：荒巻俊也（東京大学先端科学技術研究センター・講師）
- ② 研究項目
 - ・用途ごとの生活・工業用水需要に影響を与える因子についての検討、及びモデル化
 - ・上記モデルのグローバル評価

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文発表

- Kanae, S., T. Oki, A. Kashida (2004): Changes in hourly heavy precipitation at Tokyo from 1890 to 1999, J. Meteor. Soc. Japan, 82(1), 241-247
- 山田朋人、鼎信次郎、沖大幹、大気大循環モデルにおける大気陸面過程相互作用の比較分析、水工学論文集、48、pp. 223-228, 2003.
- 花崎直太、鼎信次郎、沖大幹、貯水池操作が全球の河川流量に与える影響の評価、水工学論文集、48、pp. 463-468, 2003.
- 芳村圭、小池雅洋、沖大幹、大手信人、地表面蒸発散による分別過程を考慮した水同位体陸面モデル及び流下スキームの構築、水工学論文集、48、pp. 229-234, 2003.
- Yoshimura, K., T. Oki, N. Ohte, M. Koike, Development and verification of a vertical integrated two dimensional water isotope circulation model, Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering, pp25-35, 2003.

- Hirabayashi, Y., T. Oki, S. Kanae, and K. Musiake, Application of satellite-based surface soil moisture data to simulating seasonal precipitation, *J. Hydrometeor.*, 4, 929-943, 2003.
 - Yoshimura, K., T. Oki, N. Ohte, and S. Kanae, A quantitative analysis of short-term 18O variability with a Rayleigh-type isotope circulation model, *J. Geophys. Res.*, 108(D20), 4647, doi: 10.1029/2003JD003477, 2003.
 - Taikan Oki, Yasushi Agata, Shinjiro Kanae, Takao Saruhashi, and Katumi Musiake, Global Water Resources Assessment under Climatic Change in 2050 using TRIP, *IAHS Publ. no. 280*, 124-133, July 2003.
 - Naota Hanasaki, Shinjiro Kanae, Taikan Oki and Katumi Musiake, Simulating the discharge of the Chao Phraya River taking into account reservoir operation, *IAHS Publ. no.281*, 215-223, July 2003.
 - Junko Shindo, K. Okamoto, H. Toda and H. Kawashima, Estimation of the environmental effects of excess nitrogen caused by intensive agriculture in the East Asia based on global nitrogen balance, *Ecosystem and Sustainable Development 2003, Advances in ecological Sciences, Vol. 18*, pp.49-58, 2003
 - Okamoto K., S. Shindo & H. Kawashima, Sustainable rice cropping and water resources in Asia, *Ecosystem and Sustainable Development 2003, Advances in ecological Sciences, Vol. 19* pp.1057-1065
- (2) 特許出願
特になし