

「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利用するかに大きく影響されており、同時に人間の水利用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. 総合水循環モデルの開発
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. 農業生産に着目した水環境推移に関する研究
5. 統合水循環・水資源モデルシステムの構築および全球規模水需給アセスメント

2. 研究実施内容

2-1. 統合水循環モデルの開発

大気大循環モデル(GCM)を用いた温暖化実験結果の水循環場には、モデル独自の時空間バイアスが存在する。そこで、各モデル間の時空間バイアスを解消するために GCM マルチモデルによる SRES シナリオに基づいた将来予測を行い、その中で 2050 年代、2070 年代を対象に全球における水資源アセスメントを行った。具体的には、GCM モデルの出力(過去 30 年)を観測データと比較し時空間スケールのバイアスを最大限に除去し、将来のモデルの出力を修正して将来の水資源供給の時空間変化を評価した。同時に、将来の人口・経済発展パターンを考慮し、現在と将来の水需要を推定した。そして、渇水地域や全球における水需給の変化、さらに温暖化による全球における水需給への影響などを含めた総合的な水資源アセスメントを行った。その結果、現在世界で水ストレスを受けている人口は凡そ 16 億人であるが、2050 年代には SRES の A1 と B1 シナリオではその倍になり(27-35 億)、また A2 シナリオでは 3 倍以上(52-59 億)になる可能性があること

がわかった。一方、気候温暖化によって多くの地域で渇水状況が改善される可能性もあることがわかった。

次に、統合水循環モデルの一部である河川－灌漑－農業統合モデルも完成し、日および月単位での水循環・水利用のシミュレーションが可能になった。この統合モデルの開発により、従来のモデルによる年単位での水資源アセスメントに比べて、より現実的なアセスメント結果を得ることができるようになった。特に、流域内での取水による上下流の関係、例えば、上流側での取水によって下流側の水ストレスを増加するなど、も評価できるようになった。来年度も、この統合モデルを改良し、施肥効果や収量の予測向上などの改善を行っていく予定である。

また、今年度から黄河下流域灌漑農業地域で、水量・水質総合観測を開始し、まる一年の結果が得られた。この観測結果から、灌漑や施肥などの人間活動による地下水への窒素負荷が顕著であることがわかった。来年度は、この総合観測の結果を用いて、灌漑区スケールでの人間活動－水利用－水循環－環境負荷相互作用のメカニズムおよび水管理モデルの構築を行っていく予定である。

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

人口増加、経済発展、地球温暖化の影響は地球規模で食料需給を逼迫する可能性があるため、これまで食料に関する国際交易と土地利用変化を相互的に進める研究を遂行してきた。そこで、国際交易モデルと効用関数に基づく土地利用変化モデルを融合し、小麦・トウモロコシ・米・大豆の各品目の作付面積の実勢値を再現可能なモデルの構築を試みた。その上で、国連機関による人口の予測データおよびコロンビア大学のグループにより構築された IPCC の SRES シナリオに基づく経済成長率予測値を融合モデルの外生変数として、1800×1405 の格子点状に対応する 2020 年までの作付面積予測を試みた。構築されたモデルは、所得、人口、為替レートが外生変数として与えられている部分均衡モデルである。

またオーストラリアにて、牧場から植林への土地利用の変化による土地価格、植林コストなどの現地調査を遂行した。

学会発表に関しては名古屋大学にて開催された環境科学会、バンコクのアジア工科大学に隣接する国連環境計画(UNEP)の会合にて、開発したモデルの成果を報告した。APN の会合では、米国大気海洋局により構築された夜間光衛星画像データセットと経済指標データとの関連に関する報告を行った。なお、本研究の遂行に関しては、東京大学空間情報科学研究センター、北海道大学環境科学院、中国・武漢師範大学、国連食糧農業機関、米国大気海洋局、オーストラリアの植林会社の協力を得ている。

2-2-2. 都市・生活用水需要モデルの開発

生活用水使用量について、国単位でのデータを 0.5 度グリッド毎のデータへ変換するアルゴリズムを開発し、現状の都市用水使用量全球図を作成した。これは都市用水需要量の将来予測をグローバルに行うためのベースデータとして活用することが出来る。

また、データの少ない発展途上国に関しては、データ収集を行うと共に、タイ王国およびスリランカにて水使用量の実態調査を行った。タイ王国では水栓毎にメーターを設置し用途別の使用状況を把握するとともに、水使用量を増減させる決定因子の抽出および住民の使用意識調査も併せて調査した。スリランカにおいては、東部 Trincomalee 地区において地域住民を対象としたアンケート&ヒアリング調査を行った。この調査の結果、調査地では水洗トイレや電気洗濯機など水使用機器の普及はまだ進んでいないものの、約 130Lcd の水を生活用水として使用しており、生活用水の水源調査と水道用水使用量の解析結果を通じて、その使用内訳を具体的に推定することができた。また、発展途上国の将来予測として、主に先進国でのデータ収集を行い飽和需要量予測のデータベースを作成した。

工業用水に関しては、衛星データおよび GIS データを活用し、国単位のデータを 0.5 度グリッド毎のデータへ変換するアルゴリズムを開発しているところであり、現在継続中である。

2-2-3. 環境用水需要モデルの開発

自然流量のハイドログラフから各地点における環境用水の需要を推定するモデルを作成し、現在は特にアジア域で問題となる攪乱洪水の扱いや社会発展段階と環境配慮の関係をモデルに取り入れるべく検討を進めている。攪乱洪水に関しては、出水と生物生息場の関連を事例から整理し、主として自然条件からの考察を行った。社会発展段階では制度面の考察が壁になっているが、簡単な経済指標からの推定を行った。ドイツやフロリダ、カリフォルニアなどで進められている湿地の回復や遊水機能についてもモデルに組み込む方向付けができています。今後、これらの項目に関してもモデルに実装する予定である。

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

H17 年度は GSWP2 データを対象としたデータ相互比較センター (GSWP2-ICC) およびデータダウンロードセンター (GSWP2-DDC) の開発を進めた。GSWP2-ICC に関しては、約 60 変数のデータに対し、世界 16 機関が各自のモデルを同一のフォーシングデータを用いて実行した結果を対象とし、全球 1 度グリッド、2 年分の日毎データのアーカイブを行い、容易な操作と軽快な表示を実現した Data Visualization on Scratch Pad システム、時系列表示に重点を置いた Time Sequential Comparison システム、モデル同士の差を視覚化した Model Intercomparison Workbench システムのプロトタイプの開発を行った。まず、Data Visualization on Scratch Pad システムにおいては、変数やモデル等、各種パラメータをマウスで選択するだけで当該データを即座に表示する WEB ベースのインターフェースを開発し、領域切り出しや表示方法のカスタマイズ等、よりユーザフレンドリーなシステムへの改良が続いている。Time Sequential Comparison システムに関しては、全球上で指定された点の時系列変化を即座に視覚化し、複数モデル・複数実験間の相互比較等も可能な高次処理・視覚化インターフェースの実装を行った。Model Intercomparison Workbench システムにおいては、全 16 モデル間の差異を明示的に視覚化し、利用者がその差異の地域特性の理解を深める支援

ツールとして開発を進めた。GSWP2-DDC に関しては、膨大なデータ数およびデータ量を意識せず、容易な操作で必要とするデータが的確に取得可能なシステムの開発を進めた。H17 年度で開発を行ったプロトタイプとしては、ICC と同じデータを対象とし、モデル間比較および実験間比較の観点から相関性の高いデータを連続してダウンロードが可能なインターフェースの実装を行った。

2-4. 農業生産に着目した水環境推移に関する研究

アジアにおける窒素収支について数理モデルを作成している。この数理モデルは食料の生産と消費に伴う窒素負荷および大気より降下する窒素負荷を考慮している。また、この数理モデルは脱窒過程を考慮することにより水質の推定も可能である。この数理モデルに経済発展に伴う人口の移動、所得の向上による食料消費量、エネルギー消費量の増加に伴う負荷量増大を組み込む作業を行った。なお、人口は中国を 388 地域に分けて検討を行っている。

2-5. 統合水循環・水資源モデルシステムの構築および全球規模水需給アセスメント

水供給（雨量・降雪・蒸発散・流下・灌漑取水・ダム操作などから計算）と水需要（生活用水・農業用水・工業用水・環境用水の各ファクタそれぞれについての推定・統計処理など）について多数のデータセットが収集され、プロジェクトメンバー間で共有されるようになった。これは、現時点のものばかりではなく、過去の記録や将来推計のものも含まれている。後者については、本プロジェクトの成果が次期 IPCC 報告書に寄与できるようにすることを念頭に置き、IPCC の SRES に含まれる 4 種類のシナリオに沿ったものとしている。また、二種類の気象シミュレーションモデルを用いた結果が含まれており、モデルの差に起因する予測のばらつきを評価することが可能となっている。

SRES は世界を四つの地域に分けてそれぞれの地域について人口・GDP ののびを予測している。これを国別の値にダウンスケールする試みがここ 1、2 年ほどで進み、現在ではインターネットで公開されている。本プロジェクトの共通データセットにもこれらを新規に加えた。これらの SRES に基づいた将来予測について、各水需要コンポーネントモデルが動くように整備中である。

3. 研究実施体制

世界水モデル・データベース開発グループ

- 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：世界水モデル・データベース開発研究

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科、助教授）

②研究項目：農業と水需要に関する研究

人間活動と水需要研究グループ

①研究分担グループ長：大瀧 雅寛(お茶の水女子大学大学院人間文化研究科、助教授)

②研究項目：都市及び生活と水需要に関する研究

4. 主な研究成果の発表

- 花崎直太・鼎信次郎・沖 大幹, Bucket 型の陸面過程モデルをベースにした全球統合水資源モデルの開発, 水工学論文集第 50 巻, no. 89, 2006.03.
- 石崎安洋・芳村 圭・沖 大幹・鼎信次郎, CCSR/NIES 5.4g 水同位体大循環モデル：改善のための感度実験, 水工学論文集第 50 巻, no.93, 2006.03.
- 山田朋人・鼎信次郎・沖 大幹, 降水変動に与える陸面影響度の季節性, 水工学論文集第 50 巻, no.91, 2006.03.
- Qiuhong TANG, Taikan OKI, Shinjiro KANAE, A distributed biosphere hydrological model (DBHM) for large river basin, 水工学論文集第 50 巻, no. 7, 2006.03
- Xiao J., Shen Y., Ge J., Tang C., Liang Y., Huang Z., Evaluating urban expansion and land use/cover change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing, *Landscape and Urban Planning*, 75, 69–80. 2006.
- Y. Hirabayashi, S. Kanae, I. Struthers, and T. Oki: A 100-year (1901–2000) Global Retrospective Estimation of Terrestrial Water Cycle, *J. Geophys. Res.*, No. D19, D1910110.1029/2004JD005492, Oct. 2005.
- KIM, Wonsik, Shinjiro Kanae, Yasushi Agata, and Taikan Oki (2005): Simulation of potential impacts of land use/cover changes on surface water fluxes in the Chaophraya river basin, Thailand, *J. Geophys. Res.*, 110, D08110, doi:10.1029/2004JD004825. 2005.
- 山田 朋人、鼎 信次郎、沖 大幹, 相似性を示す統計指標の数学的構造, 水工学論文集, 49, 1–6, 2005。
- 須賀 可人、平林 由希子、鼎 信次郎、沖 大幹, 施肥量の増加に伴う全球河川の硝酸輸送量変化, 水工学論文集, 49, 1495–2000, 2005.
- 花崎 直太、鼎 信次郎、沖 大幹, 灌漑取水の影響を考慮した全球河川流量シミュレーション, 水工学論文集, 49, 403–408, 2005。
- Y. Shen, C. Tang, J. Xiao, T. Oki, S. Kanae, Effects of urbanization on water resource development and its problems in Shijiazhuang, China, *IAHS Publ.*, 293, 280–288, 2005.
- 竹内渉, 安岡善文, 衛星リモートセンシングデータを用いた正規化植生・土壌水指数の開発, 写真測量とリモートセンシング, 43(6), 7–19., 2005.

- 竹内渉,安岡善文, MODIS データを用いた東アジアの水田面積比率分布の作成, 写真測量とリモートセンシング, 43(6), 20-33., 2005.
- 白川 直樹, 水文気候の季節性から推定される環境用水のグローバル必要量, 水工学論文集, 49, 391-396, 2005。