

## 研究課題別事後評価結果

### 1. 研究課題名： 人間活動を考慮した世界水循環・水資源モデル

### 2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

#### 研究代表者

沖 大幹（東京大学生産技術研究所 教授）

#### 主たる共同研究者

川島 博之（東京大学大学院農学生命研究科 助教授）

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）

荒巻 俊哉（東京大学大学院工学系研究科 助教授）

柴崎 亮介（東京大学空間情報科学研究センター センター長）

安岡 善文（東京大学生産技術研究所 教授）

喜連川 優（東京大学生産技術研究所 教授）

松村 寛一郎（関西学院大学総合政策学部 助教授）

### 3. 研究内容及び成果：

本研究は、アジアの地域性、とりわけアジアモンスーン気候と稲作文化が水資源・水問題に深く関わっている点を考慮した上で、グローバルな水循環と水資源の評価に関する情報をアジアから発信することを狙いとしている。研究内容を大別すると、1) 人間活動を考慮した水供給量の算定、2) 水需給算定のための土地利用・食糧需給モデリング、3) 環境用水の評価、4) 農業用水の評価、5) 都市用水の評価、6) 共通データの整備、7) 情報基盤技術の開発、そして以上を総合した8) 世界水資源アセスメント、の8つのコンポーネントで構成されている。

#### 1) 人間活動を考慮した水供給量の算定

(1) ダム操作を考慮した水供給モデル開発： 全球河川モデル TRIP 上に貯水容量 10 億 $\text{m}^3$ 以上の大規模ダム 500 の位置情報と緒元をデータベース化、使用目的別に仮定した貯水池操作モデルを実際のダムとその流域に適用して操作モデルに改良を加えるとともにその妥当性を検証した後、500 個の大規模ダムが組み込まれた TRIP を用いて、全球河川流量シミュレーションを行い、各水系における貯水池の効果を定量的に明らかにした。この成果は、後に示す水資源アセスメントに用いられた。

(2) 陸面モデルを用いた水供給量の算定： 研究代表者が共同議長を務めた国際研究プロジェクト“全球土壌水分プロジェクト第二フェーズ(GSWP2)”に参加している陸面モデルに対して 1986 年から 10 年間オフライン・シミュレーションを行い、水収支上不適切なモデルを除外した。次いで、TRIP を用いて全球の河川流量を計算し、世界の 269 の観測地点で検証して、どの流域でどのモデルが妥当な結果を出すかについての知見を基に、流域タイプごとにモデルの重み付けを行い、精度の高い全球流出データが構築された。これは、全球水資源アセスメントに必須な基礎情報となるものである。

#### 2) 水需給算定のための土地利用・食糧需給モデリング

土地利用、水利用の空間分布を説明するモデルとして、マクロな農業的土地利用の推定のために国際交易モデルとリンクしたモデルが、土地利用の分布や強度の推定のために穀物単収モデルがそれぞれ構築された。また、穀物単収モデルから施肥条件や灌漑水条件などを逆推定する手法が開発され、黄河下流域で適用性が検討された。さらに、国際交易モデル (IFPSIM) と効用関数に基づく土地利用変化モデル (LUCM)、および生産性を説明するモデル (EPIC) を総合的に組み合わせることにより、IPCC の SRES の各シナリオと国連の中位推計値を用いて 2020 年までの作付面積予測および4品目に関する全世界の需要と供給を一致させる均衡価格を推

計し、各シナリオの適否を検討・提示し、世界 146 カ国・地域について、所得と都市人口比率との関係式、ならびに都市人口比率の推移と土地利用との関係式を求めて、それらの地域ごとの特性を明らかにした。

### 3) 環境用水需要モデルの開発

自然条件と社会条件の両方を取り入れる形で世界の環境用水推定モデルを構築した。自然条件については、TRIPを用いた河川流量算定結果(GSWP2)から区分した5地域それぞれに対して、これまでの研究や各国の実績を参照しながら、環境用水としての必要量を指定した。社会条件の面からは、環境用水に対する先進国と途上国の要求の違い、先進国のこれまでの経緯、地域の社会文化的特性などを取り入れた。この成果は、全球水資源アセスメントに用いられる。

### 4) 農業用水の評価－農業生産と水需要の研究

東アジア13カ国を対象として主に食料生産と消費の過程から生成される窒素が環境に与える影響について、公表されている統計データに基づき、窒素循環モデルを構築して負荷量の地域分布と水質汚染の現状が推定された。モデルは、数カ国での河川水と地下水の採取・分析と水利用や施肥状況などの現地調査を基に検証され、性能が明らかにされた。

### 5) 都市用水の評価－人間活動と水需要の研究

世界各地30都市の水供給機関に対する家庭内用途別水使用量と関連因子に関する情報を基に、用途別使用水量ごと使用水量を規定する要因、水使用量原単位の経年変化とその要因について明らかにした。また、アジア途上国の生活用水の実態を知るために、タイの都市部と非都市部の合計120世帯を対象に雨季と乾季それぞれについて、小型流量メータの設置による1ヶ月間の調査を行い、用途別使用水量の評価に関する基礎的情報を収集した。これらの成果に既往のデータベースや文献の情報を加えることにより、全球スケールで0.5度グリッドの都市用水使用量の現状マップを作成した後、IPCCのSRESのシナリオに基づき、2000～2050年間の変化の将来マップを作成した。これらの成果は、統合モデルの一部として、後に示す全球水資源アセスメントに用いられる。

### 6) 共通データの整備－リモートセンシング・衛星観測データ利用に関する研究

人工衛星MODISとASTERによる可視・赤外のリモートセンシング・データを併用してアジア域の水田分布を抽出する手法を開発した。MODISが持つ高い時間分解能を生かし、ASTERの持つ高い空間分解能を補完的に利用することによって、世界で初めて500mという高い空間分解能でアジア域の水田と湿地分布図の作成に成功した。

### 7) 情報基盤技術の開発－データベース構築とシミュレーション可視化技術の開発

超大容量の地球規模水循環観測とシミュレーションデータを容易に短時間で取扱うことができる情報基盤システムを構築した。このシステムの実現に当たって、ペタバイト単位に達する超大容量データを効率的に扱うことが可能なシステムの基盤部分の構築、地球規模水循環データに特有の小容量・超多数のファイルの管理手法とツール群の開発、水循環／水資源データに特化した視覚化ツール群の開発、基盤ファイルシステムと視覚化アプリケーションの統合、など解決すべき様々な課題を順次クリアーして、データ間の相互比較が可能なInter Comparison Center(ICC)と任意のデータを簡単な操作で容易にダウンロード可能なData Download Center(DDC)の運用の実現に漕ぎ着けた。このシステムは、プロジェクトの水循環・水資源に係わる観測・計量データとシミュレーションデータを統合的に管理する情報基盤として活用した。

### 8) 世界水資源アセスメント

水需給の季節変化を取り入れ、かつダムによる貯留調整効果を考慮した全球統合水資源モデル(陸面過程、河川、農業、貯水池操作、環境用水、灌漑のサブシステムで構成)を構築し、このモデルを用いて、IPCCのSRESシナリオに沿った気候予測と人口・経済発展予測を基に2001～2100年の世界の水資源需給状況を推定した。この過程で、人間活動を組み込んだ全球の水循環現状図が作成された。世界的な将来予測については、

農業用水は2030年まで緩やかに増加した後、緩やかに減少してゆくこと、生活用水は2050年以降の人口減少に対応して2065年頃から減少に転じること、工業用水はGDPの増加に対して使用効率の改善が追いつかないために2100年まで延び続けること、などが指摘された。

また、世界の河川流域別の将来予測では、全球集計において高い水ストレス(取水量/水資源量 $>0.4$ )を受ける人口は、現在約20億強、2055年頃にはシナリオによって、40–70億人に増加すること、さらに、2075年頃ではシナリオによっては減少する傾向もあれば、増え続けるものもあること、などが指摘された。

#### 4. 事後評価結果

##### 4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

原著論文として国内誌42件、国際誌47件、査読付学術書英文5編、一般書(英文1編、和文11編)、総説・解説36件、招待講演(国内13件、国際28件)、口頭発表(国内90件、国際96件)と優れた成果が極めて多く発表されている。これまでに順次、国連ミレニアムレポート(MA)、国際水文科学会(IAHS)発行の特集号“Hydrology 2020”、アメリカ地球物理学連合出版の“The State of the Planet”の“Global Water Cycle”の章、“ENCYCLOPEDIA OF HYDROLOGICAL SCIENCES”の“Global Water Cycle”の項などに発表され、世界への発信という主要目標を果たしている。特に、世界水資源アセスメントの成果が依頼論文として、2006年8月の米国科学雑誌 Science に発表されたことは、この研究が世界的に注目されている証左である。主要な研究成果の評価を以下にまとめる。

- (1) 陸面モデルを用いた水供給量の算定において、実績を持つ複数の陸面モデルを同一の気象条件で動かし、10年という、ENSOなどの経年変化も含まれる期間に対して、現時点では最適解といえる地表面の水とエネルギー状態に関するデータセットを作成した。このデータセットは、今後類似したデータセットのベンチマークとなり得る。
- (2) アジア域の高解像度の水田分布図は、環境問題を考える上で極めて有用な基本情報である。ここで開発されたその作成手法は、次世代観測衛星 NPOESS に搭載予定の Visible and Infrared Imaging Radiometer Suite(VIIRS)センサーにそのまま適用可能であり、水田観測について長期的な展望を持つ観測手法が構築されたといえる。
- (3) 水循環・水資源に係わる膨大なデータを容易に扱うことが出来る情報基盤システムが開発された。ICC は、視覚化機能を含み同一データによるモデル出力間の相互比較を容易にしているので、モデル間の性能比較やモデルの向上にとって極めて有用なツールとなる。DDC は、多くの研究者が自身の環境下で膨大なデータを容易に利用できるように設計されているので、さらに多様な分野での活用が期待される。
- (4) 構築された全球統合水資源モデルは、貯水池操作等の人間活動を組み入れたことや時空間解像度の点などで世界最先端のものである。そして、このモデルによる世界の水資源の現状評価と将来予測は、気象データには最新の高解像度の温暖化気候シミュレーションの結果を利用したこと、灌漑用水需要量に大きな影響を与える灌漑面積、農事暦、栽培種の変化を考慮したこと、既存の研究にない水需給の季節性を考察していることが特長であり、世界的に最先端の成果といえる。また、作成された現状の全球水循環図は、人間活動を含めた形での世界の水循環の定量的な様相を判りやすく示したもので、他に類例がなく、今後世界各国の教科書などに転載、利用されることが期待される。

##### 4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

以上のように、“グローバルな水循環と水資源の評価に関する情報をアジアから発信する”というプロジェクトの目標は、計画通り達成され、この分野の発展に大いに貢献した。また、研究代表者は、国際研究評議会(ICSU)の下に2004年に立ち上げられた全球水システムプロジェクト(Global Water System Study; GWSP)のサイ

エンスパネルメンバーであり、同時に IPCC 第 4 次レポート(2007)のリードオーサーとなっており、これらにこの CREST 研究の成果が反映されることによって、水循環研究分野における我が国の国際的プレゼンスの向上に貢献している。

#### 4-3. その他の特記事項(受賞歴など)

国際水文科学協会 (IAHS) の Tison Award(2003)を研究代表者らが受賞したほか、若手共同研究者を中心として、土木学会の水工学論文賞(2006)／論文奨励賞(2004、2006)や環境賞(2005)、日本水大賞奨励賞(2004)、東京大学総長賞学生表彰(2004)、国際協力大学生論文コンテスト特選－JICA 総裁賞(2003)などを受賞。この研究プロジェクトを通じて、多くの優れた若手研究者を育成した。