

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」
研究課題
「人間活動を考慮した世界水循環水資源モデル」

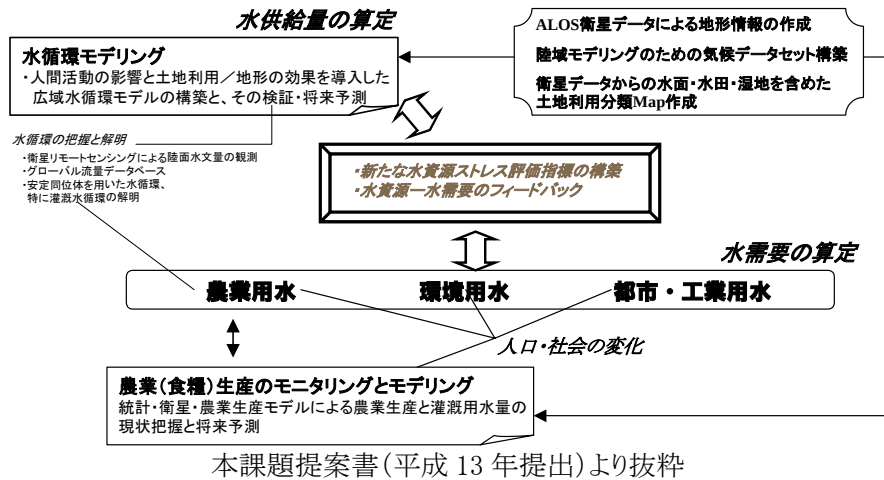
研究終了報告書

研究期間 平成13年12月～平成19年3月

研究代表者：沖 大幹
(東京大学生産技術研究所 教授)

1 研究実施の概要

途上国における人口増加や生活様式・社会構造の変化、世界的な経済発展、そして気候変動の影響等に起因した、世界的な水危機、食糧不足、さらにはそれらに関わる紛争の勃発等の懸念が前世紀末あたりから世界的に喧伝されている。これら危機的な状況は極端な一例だという考え方ももちろんあるが、人間活動の変化と自然の変動、及びその相互作用が何らかの形で少なからず地球の水資源へ影響するのは間違いないと考えられている。こうした水資源問題に関する情報は、本研究の開始前には、ほぼ全て欧米からの発信であった。この状況に対し、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の広域の水資源アセスメント・将来予測、それらのアジアからの情報発信が必要であると考え、これまでの研究成果を生かしつつ社会へ貢献するべく、世界をリードする枠組みでの世界水資源アセスメントを行う研究を構想した。



本研究では大きく分けて、人間活動を考慮した水供給算定(後述の3.1.1、3.1.2)、水需要算定(土地利用・食糧需給(3.1.3、3.1.4)、環境(3.1.5)、農業(3.2)、生活・都市・工業(3.3))、共通基本データの開発(3.1.6)、情報基盤技術整備・開発(3.1.7)と研究コンポーネントを分割しそれぞれ研究開発を進め、最後にコンポーネントの統合化と現時点と将来の水資源アセスメントを行う(3.1.8、3.1.9)という流れを計画したが、果たしてほぼ計画通りに研究推進できた。それら各コンポーネントでは、自分達で開発したモデルや行った観測によって水供給・水利用に関するデータを丹念に精査・推定することにより、他国の研究者のデータや成果を引用しつつ論評するだけでは解かり得なかった、従来のグローバル推定における不確実性、根拠があやふやな仮定等が明らかになった。これらは、当該分野における新たなブレークスルーをもたらすきっかけ、方向性に直接つながるものであり、得られたものは大きい。結果的に、どの研究コンポーネントからも国内外を問わず論文が多数発表され(査読論文 89 件:6成果発表の項参照)、また、全体として国内・国際ワークショップ・シンポジウムを9件共催開催した。

プロジェクト終盤には、個別に進められた研究コンポーネントのほぼすべてを利用・統合する形で IPCC の SRES シナリオに沿った気候予測と人口・経済発展予測に基づいた現在と将来の水資源アセスメントを行い、その結果は2006年8月にサイエンス誌にて公表されるとともに2007年に発表される IPCC の第4次レポートII(影響、適応、脆弱性)の第3章、淡水資源とそのマネジメントの項への引用が予定されている。すなわち、構想時の最終目標であるアジアからの世界をリードする情報発信が達成されたと考える。

次に、構想時に想定していた目標・成果とそれに対する実施・達成内容を以下に記述する。

- ・農耕地の不用意な拡大や過剰灌漑に伴う塩類集積、砂漠化の拡大、あるいは、大河川における流量の長期減少傾向や断流等がアジア、グローバルにおいてどのように推移するのか、それらが環境生態系にどのような影響を及ぼすか、などが明らかになる。逆にそうした事態を招かないようにするための統合的国際水資源管理を行なうための意思決定支援ツールが構築される。
- ・アジア域の水資源に関する世界的情報発信基地となり、日本の環境・水資源戦略の一つの中核的情報源を形作る。また日本が、国際援助や世界銀行等を通じた融資によって、水に関する国際社会貢献を適切に効率良く行なうための、基礎資料・意思決定材料を提供可能とする。

➔ ほぼ実現された。SRES に則ったシナリオにおいて、現在は約 20 億強の人口が水ストレスのある状況に置かれているが、将来(2055 年頃)には 40－70 億人に増加する、ということが本研究によって明らかになり、後述するようにサイエンス誌により発信された(本報告3. 1. 9)。環境・生態に関しても環境用水の概念を定量し(本報告3. 1. 4)、世界に先駆けて水資源アセスメント統合モデルに取り入れ、定量的にその影響を評価した(本報告3. 1. 8)。開発された統合水循環水資源モデルによって、河川流量の長期変動や断流等のメカニズムはほぼ解明された。

また、塩害に関する研究は最終的に行えなかったが、窒素による環境汚染に関するモデリングを精力的に行い、環境負荷解決のための知見が集積された(本報告3. 2)。さらに、農耕地の拡大等については、国際交易による食料需給の調整や都市域の拡大及び気候変動を考慮した土地利用モデルが構築され(本報告3. 1. 3)、人口増加と経済発展を考慮した食料需給を推定することにより、世界各国における将来的な食料需給動向及び潜在的な水需給動向を把握することが可能となった(本報告3. 1. 5)。また、途上国における都市・生活水利用の伸びの影響評価は大変重要であるが、本研究では、これまで情報が少なかった途上国における家庭用水利用の実態について定量的な情報を集めるとともに、都市用水使用量および工業用水使用量の 0.5 度グリッドの全球マップを作成・将来推計に資するモデルを構築した(本報告3. 3)。これらの知見を全て考慮した、気候変動のシナリオと組み合わせたグローバルな視点から水資源アセスメントは、世界的に見て初めての試みであり、政策決定者に対する全世界を俯瞰した情報提供を可能とする。

意思決定支援ツールそのものは構築されなかったが、上記の科学的知見は、国連ミレニアムレポート(MA)、国際水文科学会(IAHS)発行のH2020(2020年の水文学を考える)特集号、国際測地学地球物理学連合(IUGG)のアメリカ地球物理学連合出版の“The State of the Planet”の“Global Water Cycle”や、初めての国際的な水文学事典であるENCYCLOPEDIA OF HYDROLOGICAL SCIENCESの“Global Water Cycle”の項、及び代表者沖がリードオーサーを務めるIPCC第4次レポート(2007)などで社会に発信されることとなり、あらゆる意思決定機関から参照可能になった。その他、代表者の沖は、国際グローバル生物圏研究プロジェクト(IGBP)の水関連グループを中心に、世界気候研究計画(WCRP)、国際人間圏プロジェクト(IHDP)、そして生物多様性研究計画(DIVERSITAS)の4つの国際研究評議会(ICSU)傘下の持続的発展に関する環境研究プログラム(ESSD)の合同によって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に加わるなど、水研究における我が国の国際的プレゼンス向上に貢献している。

- ・グローバルな気候モデル、生態系モデルなどとカップル可能な大規模水文モデルを開発する。これによって、世界的に必要性和緊急性が認識されている地球環境変動モデリング研究に貢献できる。
- ➔ 実現された。我が国の気候モデルの標準陸面モデルであるMATSIROを大幅に改良するとともに、陸面・河川・農業・灌漑・貯水池操作・環境用水を組み込んだ統合水資源モデルが開発された(本報告3. 1. 1及び3. 1. 8)。
- ・将来的には、本モデリング／データベースシステムとオンラインの衛星観測データ、オンラインの短中期気象予測データを組み合わせることによって、「大雨・洪水・渇水による災害軽減を目的とした国際的なリアルタイム監視・警告システムの開発」へと発展させることが可能になる。

➔ 実現された。GEOSS10 年計画の一環として平成 17 年度から行っている『地球観測による効果的な水管理の先導的実現』に本モデリング／データベースシステムが受け継がれた。

- ・ 地球環境・水資源をアプリケーション対象とする3次元可視化技術、ユーザーインターフェース、超大規模データベース運用・Internet 公開技術を開発する。これらは水資源問題以外の地球環境・資源問題の効果的な表現に利用可能な国際的 IT 技術の開発となる。
 - ➔ 実現された。全球長期陸域水文量データベース及びデータダウンロードセンター (DDC)、Web ベースの ICC (相互比較センター) インターフェースが開発された (本報告3. 1. 7)。このデータベース及びインターフェースは、「高分解能大気海洋モデルを用いた地球温暖化予測に関する研究 (K1)」を用いた温暖化時水文量解析にも応用される。
- ・ 日本が打ち上げる衛星 ALOS を用いた日本オリジナルの DEM を開発する。
 - ➔ 実現されなかった。打ち上げが 2006 年 1 月まで延期されたため。
- ・ 衛星による広域・細密アジア土地利用 MAP を作成する。これは、水面・水田・湿地の季節変化を取り入れることによって、世界でも他に類をみない特徴を持った衛星土地利用分類図となる。
 - ➔ 実現された。MODISとASTERを用いて現在のところ世界最高精度である 500m 空間分解能での水田および湿地分布図をアジア全域にわたって作成した (本報告3. 1. 6)。
- ・ アジアにおける水と食料生産、水と二酸化炭素の吸収の関係が明らかになる。これにより、わが国の食糧自給戦略に対する水と農業の視点からの基礎資料提供が可能になる。また、二酸化炭素の排出権取引等を考える際の、水や食料生産等との制約・競合条件について、情報提供が出来るようになる。
 - ➔ 半分実現された。水と食料生産に関しては、全球モデルが開発され、良好な現実再現性が認められ、将来推計に用いられている。しかし本研究では、窒素循環及びその環境負荷により着目し、そちらを重点的に研究した (本報告3. 3) ため、炭素循環 (及び二酸化炭素) との関係には踏み込めなかった。
- ・ 地球の資源・環境を対象とした教育インターネットサイトとしての役割を果たす。すなわち、日本のみならず世界中の学生・生徒にとっての有益な学習・調査サイトを構築する。
 - ➔ 半分実現された。研究用として全球陸域水文データベースが構築され (本報告3. 1. 2、3. 1. 7)、世界中の研究者に利用されているが、いわゆる一般生徒が学べるような学習サイトとまではいかなかった。

最後に、各コンポーネントの研究実施概要を、年ごとに述べる。

平成 13 年(1 ヶ月)

【全体】 研究計画の確認及び実施にあたっての再検討、意思統一

平成 14 年

【水供給算定】 貯水池操作を考慮した全球河川モデル開発・陸面モデル MATSIRO の検証のための現地データの取得

【土地利用】 グローバル土地利用モデルの改良

【環境用水】 文献調査により、各国における環境用水基準を整理

【農業用水】 食料の生産・消費と水質の関係を記述する数理モデルの作成

【生活・都市】 都市用水使用量データの収集を行い先進国都市における生活水の用途別使用量の把握

【共通データ】 水田抽出のための Terra ASTER のシステム幾何補正と精度検証・20 世紀の地表面シミュレーション用フォーシングデータの整備

【情報基盤】 システムの仕様検討および要素技術の開発実験

平成 15 年

- 【水供給算定】 貯水池操作モデルの改良・検証、陸面モデルの相互比較プロジェクトへの参画及び入出力データセットの整備、20 世紀の世界の水文量変動の解析
- 【土地利用】 グローバル土地利用モデルの改良、黄河中流部における穀物の単位面積あたりの収穫量(単収)推定、モデルの県レベルキャリブレーション
- 【環境用水】 水文気候条件ごとの閾値の定量化、全球推定への適用
- 【農業用水】 数理モデルの作成とモデルの検証
- 【生活・都市】 データの揃っている国における経年変化データ収集とその説明因子の検討、タイ王国での現地予備調査
- 【共通データ】 MODIS と ASTER のスペクトル分解による地表面温度分布図の作成
- 【情報基盤】 基盤環境構築、データシステム部およびアプリケーション部の予備的開発

平成 16 年

- 【水供給算定】 GSWP2-ICC (Inter Comparison Center) を利用した全球アンサンブル値の算定、陸面が大気に及ぼす影響及び相互作用の評価・プロセス解明
- 【土地利用】 グローバル土地利用モデルの改良、黄河中流部における穀物単収推定モデルの県レベル灌漑水投入量推定への応用
- 【環境用水】 将来推定に適用可能なモデルの構築
- 【農業用水】 将来の負荷推定とモデルの検証
- 【生活・都市】 都市用水のグリッドデータ化手法の確立、タイ王国チェンマイ市における生活用水使用量現地調査の実施
- 【共通データ】 MODIS データを用いた水田合成画像作成手法の開発
- 【情報基盤】 統合システムの構築、ICC (相互比較センターWeb インターフェース) の実装実験
- 【統合化】 環境用水モデルの取り込み、GSWP2 期間における 10 年間の統合水資源アセスメントの実施

平成 17 年

- 【水供給算定】 灌漑取水を考慮した河川流量モデルの開発
- 【土地利用】 黄河中流部における穀物単収推定モデルの圃場レベルでの検証と衛星画像による LAI 推定手法の開発
- 【環境用水】 環境用水算定に関する社会的因子の考慮
- 【農業用水】 モデルの拡張: 将来の負荷推定の精緻化
- 【生活・都市】 都市用水将来予測の方法論の検討、タイ王国コンケン市における生活用水使用量現地調査の実施
- 【共通データ】 オンラインでの MODIS 及び ASTER 水田域抽出画像配信システムの構築
- 【情報基盤】 ICC の運用および機能追加、DDC の開発開始
- 【統合化】 農業モデルの取り込み

平成 18 年

- 【土地利用】 穀物単収推定モデルの同化手法の開発・検証
- 【環境用水】 定量化指標の考案とグローバルかつ将来にわたる環境用水の需要量推定モデルを構築
- 【農業用水】 モデルの拡張: 大気よりの負荷の追加
- 【生活・都市】 データの取りまとめ、都市用水将来予測図の作成、工業用水の全球グリッドデータ化作業
- 【共通データ】 水田面積比率分布図作成手法の時空間的安定性の評価
- 【情報基盤】 ICC および DDC の運用、今後の発展に向けた検討
- 【統合化】 温暖化シミュレーションデータを用いた水資源アセスメントの将来予測及び世界へ向けたアジアからの情報発信

2 研究構想及び実施体制

(1) 研究構想

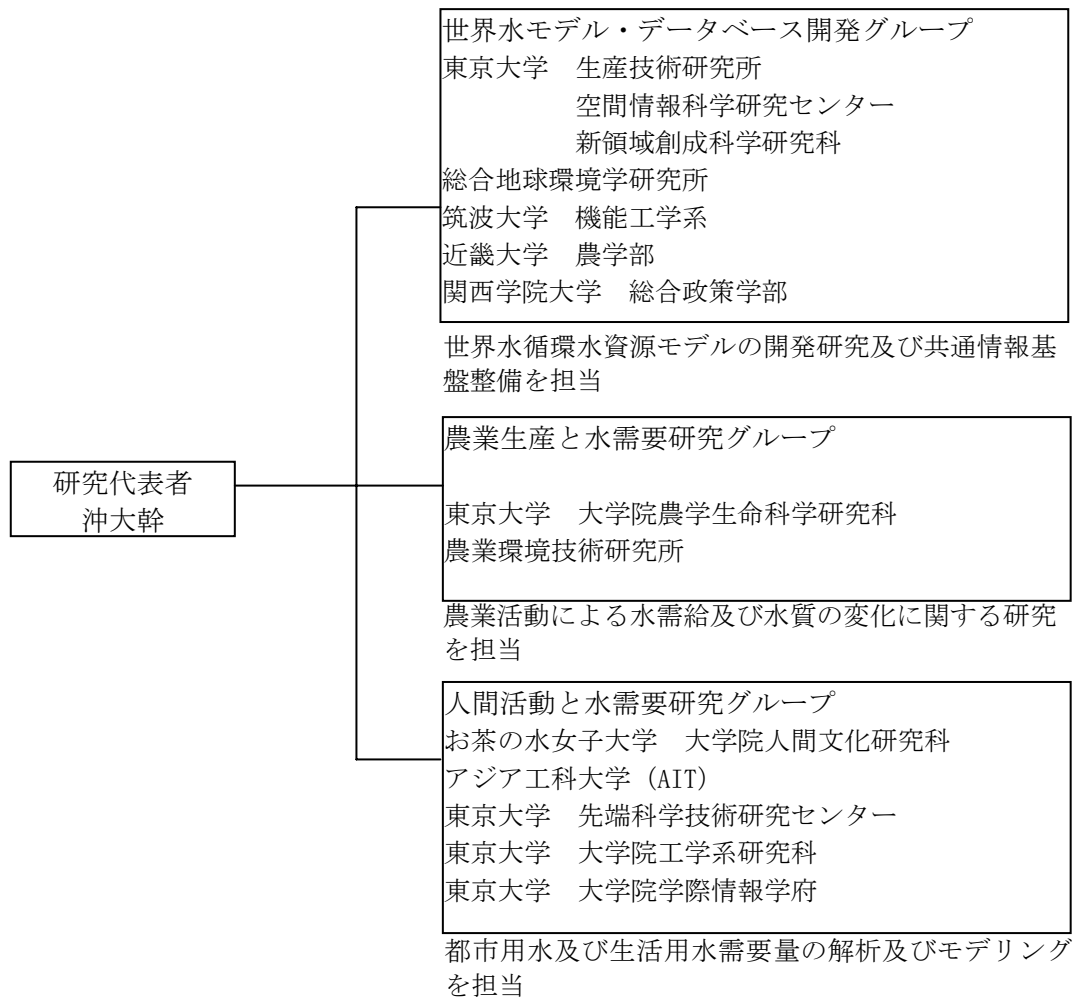
構想当時、本研究では大きく分けて、人間活動を考慮した水供給算定、水需要算定(土地利用・食糧需給モデリング、環境用水、農業用水、生活・都市・工業用水)、共通基本データの開発、情報基盤技術整備・開発 と研究コンポーネントを分割しそれぞれ研究開発を進め、最後にコンポーネントの統合化と現時点と将来の水資源アセスメントを行うという流れを計画した。それぞれのコンポーネントは

- ・水供給算定及び統合化水資源アセスメント:
沖大幹(東京大学生産技術研究所)
- ・土地利用・食糧需給モデリング:
柴崎亮介(東京大学空間情報科学研究センター)
- ・環境用水: 白川直樹(東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻(当時))
- ・農業用水: 川島博之(東京大学大学院農学系研究科)
- ・生活・都市・工業用水:
荒巻俊也(東京大学先端科学技術研究センター(当時))
- ・共通データ整備:
安岡善文(東京大学生産技術研究所)
- ・情報基盤技術開発:
喜連川優(東京大学生産技術研究所)

をそれぞれ代表者とした。研究実施体制としては、農業用水(川島)と生活・都市・工業用水(荒巻)以外のコンポーネントを代表者である沖が取りまとめる形で、3 サブグループ体制とした(実施体制の項参照)。途中、荒巻がアジア工科大に赴任したため、研究分担者の大瀧雅寛(お茶の水女子大学)とサブグループ代表者を交代したが、特に研究推進に支障はなかった。また、農業用水に関しては、近年の環境負荷への注目を鑑みて、川島は水質(重荷窒素化合物汚染)及び窒素循環に特化することにし、量に関する推計・モデリングは水供給算定グループ(沖)の研究項目に含まれることとした。

各研究コンポーネントにおいて、計画されたほとんどの研究項目は多少の時期のずれはあったものの計画通りに進められた。工業用水使用量に関してのみ、現状の先進諸国においても詳細データを得ることが困難であったため、国別データからグリッドデータへ変換する方法論からはじめる必要があり、将来予測モデルの確立は終了間際になるまで達成できなかった。

(2)実施体制



3 研究実施内容及び成果

3.1 世界水モデル・データベース研究(中核機関:東京大学 生産技術研究所)

3.1.1 ダム操作を考慮した水供給モデル開発

代表:沖大幹(東京大学 生産技術研究所)

参加者:花崎直太(国立環境研究所)、鼎信次郎(総合地球環境学研究所)

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

現在世界には 45000 の大ダムがあり、それらの総貯水容量の総和は 7000-8000km³ に上ると報告されている(WCD, 2000)。これは Korzun (1978) による世界の平均河道内貯水量推定値 2120km³ の3倍、同じく総年間河川流量 40,000km³ の約2割にのぼるため、貯水池操作は地球の河川システム、延いては地球の水循環システムにも影響を与えていると考えられる。そこで本研究では、貯水池操作による流域・地球水循環への影響や水需給バランスへの影響を定量的に評価するモデルを構築する。

なお、本課題は本プロジェクトの構想の根本となったものであり、比較的早い時期にモデルの大枠が開発された。以降の全球水資源評価に用いる利用可能な水資源量は、本モデル及び本モデルに改良を加えたものから推定されている。研究内容の詳細な記述は「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、水工学論文集第 48 巻、pp463-468、2004」及び「N. Hanasaki, S. Kanae, T. Oki, A reservoir operation scheme for global river routing models, *J. Hydrology*, **327**, pp.22-41, 2006」を参照のこと。

②モデル構築

(ア)貯水池の配置

全世界の大ダムを Oki and Sud (1999)の開発した全球河川モデル TRIP に配置する。対象とする貯水池は World Register of Dams (WRD98; ICOLD, 1998)に掲載されているもののうち総貯水容量が 10 億 m³ 以上のものとする。条件を満たすダム(堤体)は 833 あった。この中から副ダム(一つの貯水池を複数のダムで構成する場合の補助的なダム)や記録上の重複を除去した正味の貯水池の数は 593 であった(表 1-1)。次に WRD98 には緯度・経度の情報がなかったため、世界地図上で位置の確認を行った。この結果、緯度・経度が判明したものは 500 であり、TRIP の全球デジタル河道網地図に配置された。これらの貯水容量の総和は 4421km³であるが、これは WRD98 に記載された全ての貯水池の総和 7200km³ の約6割を占め、十分な代表性があると考えられる。これらの位置情報に加え、WRD98 に掲載されていた名前、貯水容量、目的などがデータベース化された。

表 1-1 本研究で対象とする貯水池

WRD98 に掲載された ダム・貯水池	総数	貯水容量[km ³]
1) ダムの総数	25,410	7200
2) 10 億 m ³ 以上のダム	833	4700
3) 10 億 m ³ 以上の貯水池	593	4700
4) 3)で緯度・経度が判明	500	4421

(イ)貯水池の操作

貯水池操作のモデル化は花崎ら(2003)を改良した。貯水池操作は貯水池の主目的が灌漑の場合とそれ以外の場合で分けて考えた。

③シミュレーションの設定

モデルに与える流出場データは Global Soil Wetness Project (GSWP; Dirmeyer et al.

1999)で用意された 1987 年から 1988 年の2年分の 10 日おき全球流出場データである。このデータは International Satellite Land-Surface Climatology Project (ISLSCP; Meeson et al 1995)の製作した土壌・植生パラメータと地表面付近の気象データを 11 の陸面過程モデル (LSM) にフォーシングして得られたものである。本研究ではこの中から日本気象庁の SiB を利用して得られた結果を利用する。

流量計算は上流から下流に向けて行われる。計算格子に貯水池が配置されている場合は格子への流入量を貯水池への流入量とし、前節で述べられた操作方法に従い放流量計算を行う。貯水池からの放流量がその格子の流出量である。計算のタイムステップは 12 時間で、流速は全球一律 0.5[m/s]を仮定した。TRIP による全球流量シミュレーションについては Oki et al(2001)を参照されたい。ここで貯水池操作を行わない場合のシミュレーションを CTRL、行う場合のシミュレーションを RES と名づける。貯水池の初期貯水量の推定のために 1987 年の流出量データを利用してスピナップを行った。

④モデルの検証

シミュレーション結果の妥当性を示すため、表 1-2 に示す3流域で貯水池操作と下流の河川流量それぞれについて計算値の検証を行った。

表 1-2 検証地点

河川名	検証地点名	
Chao Phraya (タイ)	貯水池	Sirikit (灌漑)
	流量観測点	Nakhon Sawan
Colorado (アメリカ)	貯水池	Glen Canyon (発電)
	流量観測点	Little Colorado
Missouri (アメリカ)	貯水池	Oahe (治水)
	流量観測点	Yankton

図 1-1 に Sirikit 貯水池の操作結果を示す。上図は放流量(太線)と流入量(細線)を、下図は貯水量を示している。両者とも実線は計算値、破線は観測値である。放流量計算は季節変動の特徴をよく捉えている。しかし貯水量に関する計算には現実と大きな乖離がある。まず初期貯水量(1987 年1月時点)であるが観測値が $6300 \times 10^6 [\text{m}^3]$ に対し、推定値は $7700 \times 10^6 [\text{m}^3]$ であり、約 20%の過小評価となっている。スピナップは年々の変動が少ない場合に有効な初期値推定方法であるが、年々変動が大きい大貯水池の貯水量を推定するにはより適切な方法の開発が必要である。そして貯水量が乾期(1月～8月)に急減するのは放流量の計算値を観測値に比べ大きく見積もったためである。1987 年の年間放流量の計算値は $5640 \times 10^6 [\text{m}^3/\text{year}]$ 、観測値は $4320 \times 10^6 [\text{m}^3/\text{year}]$ であった。放流量を過大に見積もった原因は二つ考えられる。一つは初期貯留量が過大で1月に計算される k_{rls} が大きくなったこと、もう一つは Chao Phraya 川において $k_{\text{dep}} \times k_{\text{area}} = 0.3$ が過大だったことである。

図 1-2 は下流の Nakhon Sawan での流量計算結果である。太い実線は RES 計算値、細い実線は CTRL 計算値、破線は観測値を示す。RES の結果には CTRL では現れなかった乾期のピークが再現されていたり、雨期のピークが緩和されていたりと季節変動の再現性が向上していることが確認される。ただし 1987 年の RES の年平均流量($770 [\text{m}^3/\text{s}]$)は上流の貯水池の過大な放流を受けて、CTRL (同 $590 [\text{m}^3/\text{s}]$) を約 30%上回ってしまっている。

図 1-3 に Glen Canyon 貯水池の操作結果を示す。灌漑目的の貯水池ではないため、年平均流量に放流係数をかけた量が毎月一定に放流されている。1年目の1987年に見える放流量の2つのピークは貯水量が貯水容量を上回ったため生じている。このときの流入量の計算値は実測値に比べ過大であるが、これは入力する流出場データの問題であり、放流量・貯水量のシミュレーションは妥当と考えられる。

図 1-4 は下流の Little Colorado での流量を示している。CTRL の流量は極めて大きな

季節変化をもっていたが、RES は流量が平均化され、観測値と良好な対応を見せている。ただしここでも流量の系統的な過大評価が見られる。

図 1-5 に Oahe 貯水池の操作結果を示す。Oahe 貯水池の上流には二つの大貯水池があり、流入量の季節変動は小さくなっている。計算値は放流量を一定にしているが、観測値は冬期に少なめに、夏季に多めに放流している。これは現実には冬期に河川が凍結するため放流量を抑える操作、夏季に舟運を行うため流量の減少する秋に向けて流量を増やす操作、上下6貯水池での統合的な操作が行われているからと考えられる。しかし観測流量の季節変動は最大でも±20%割程度であり、放流量を年間一定としても十分な再現性を示すと判断した。

図 1-6 は下流の Yankton での流量である。観測値には4月頃から10月頃にかけて流量が漸増し、11月に急落するパターンが見られる。これは前述した河川凍結や舟運と関係があると考えられる。この流域の場合年流量は過小評価されていることが分かる。

3流域の3貯水池の貯水池操作と3地点の流量を検討してきたが、いずれも貯水池下流の季節変動パターンは貯水池を考慮することにより、観測値に近づくことが示された。しかし流量そのものは観測値との乖離が大きい場合があり、貯水池操作の再現性向上のためにも、流出場の改善が今後の課題として残された。

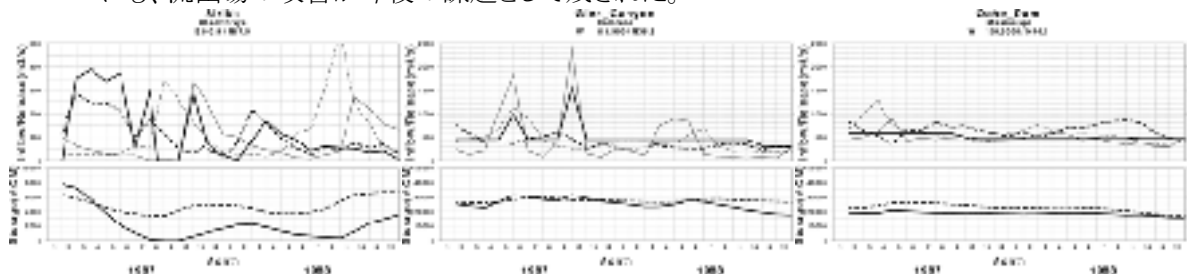


図1-1 Sirikit 貯水池の操作

図 1-3 Glen Canyon 貯水池操作

図 1-5 Oahe 貯水池の操作

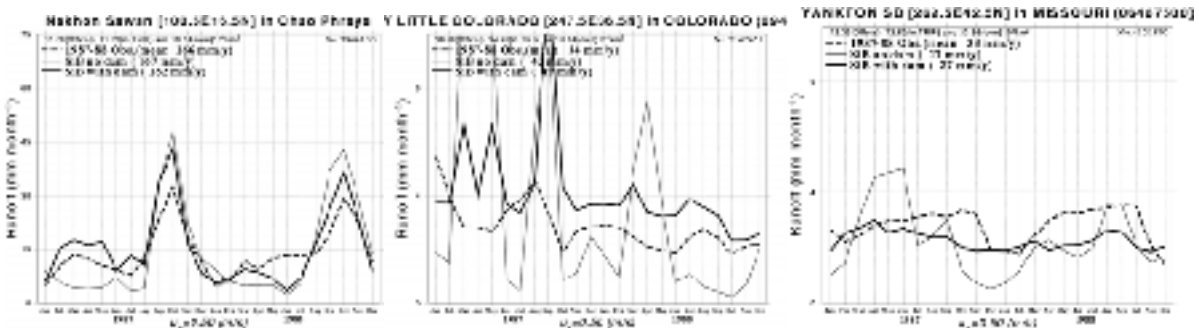


図 1-2 Chao Phraya 川 Nakhon Sawan

図 1-4 Colorado 川 Little Colorado

図 1-6 Missouri 川 Yankton

(2) まとめ及び研究成果の今後期待される効果

世界の 500 の貯水池を TRIP の全球デジタル河道網に配置し、貯水池操作ルールをモデル化することにより、貯水池操作を考慮した全球河川流量シミュレーションを行った。そして貯水池操作を考慮する場合としない場合のシミュレーション結果を比較し、全球の河川システムに対する貯水池操作の影響を定量的に示した。

本研究の多くの課題(流入量の再現性が低い・灌漑以外の操作・検証事例が少ない等)は、その後の研究で大幅に改善された。その改良版モデルが、後に示す水資源アセスメントに用いられている。今後は、中小ダムの影響の評価や、高解像シミュレーションへ対応するためのモデル開発が必要である。

参考文献

Dirmeyer, P. A. Dolman, A. J. and Sato, N. The Pilot Phase of the Global Soil Wetness Project. *Bull Amer Meteor Soc*, **80**, 851-878, 1999

- 花崎直太、鼎信次郎、沖大幹、虫明功臣 グローバルに適用可能な貯水池操作モデルの開発
水工学論文集 **47** 181-186, 2003
- Hanasaki, N., S. Kanae, T. Oki, A reservoir operation scheme for global river routing models,
J. Hydrology, **327**, pp.22-41, 2006
- Korzun, V. I. World Water Balance and Water Resources of the Earth. *Studies and Reports in
 Hydrology*, **25**, UNESCO, 1978.
- Meeson, B. W., Corprew, F. E., McManus, J. M. P., Myers, D. M., Closs, J.W., Sun, K. J.,
 Sunday, D. J. and Sellers, P. J. ISLSCP Initiative I – Global datasets for land-atmosphere
 models, 1987-1988. Vol. 1-5, NASA, CD-ROM. 1995
- Oki, T. & Sud, Y. C. Design of Total Runoff Integrating Pathways (TRIP) –A global river channel
 network. *Earth Interactions* **2**, <http://EarthInteractions.org>
- Oki, T., Agata, Y., Saruhashi, T., Yang, D. and Musiake, K. Global assessment of current water
 resources using total runoff integrating pathways, *Hydrological Sciences Journal*, **46**(6),
 983-995, 2001
- World Commission on Dams. Dams and Development: A new framework for decision making
 2000

3. 1. 2 陸面モデルを用いた水供給量算定

代表: 沖大幹(東京大学 生産技術研究所)

参加者: 花崎直太、宮崎真(国立環境研究所)、生駒栄司(東京大学空間情報科学研究センター)、喜連川優・沈彦俊・芳村圭(東京大学生産技術研究所)、鼎信次郎(総合地球環境学研究所)

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

本研究プロジェクトにおいて最重要項目の一つである「現在における水ストレス算定」のため、全球土壌水分プロジェクト第二フェーズ(Global Soil Wetness Project; GSWP2)に参加し、共同議長の一員としてこの国際プロジェクトを取り仕切った。GSWP2 における本 CREST プロジェクトとしての科学的な目標は、現在の地表面流出量全球分布及び時間変動を最適に求めるためであり、かつデータベース部門として大容量データベースの構築と Web 上の相互比較インターフェースを開発するためという目標を持って取り組んだ。この項では前者について記述し、後者については 3. 1. 7 で述べる。詳細については、「N. Hanasaki, S. Kanae and T. Oki, Global Runoff Dataset Produced by GSWP2, AMS annual meeting, San Diego, 2005」「P.A. Dirmeyer, X. Gao, M. Zhao, Z. Guo, T. Oki, and N. Hanasaki, The Second Global Soil Wetness Project (GSWP-2): Multi-Model Analysis and Implications for our Perception of the Land Surface, Bull., Amer. Meteor. Soc., in print, 2006」を参照のこと。

② GSWP2 とは

GSWP2 では複数の LSS に対してオフライン・シミュレーションを行う。オフライン・シミュレーションとは大循環モデル(General Circulation Model; GCM)の一要素である LSS を独立して利用する方法であり、あらかじめ用意した大気データおよび土壌・植生パラメータを LSS に与え、陸面の熱・水収支を解き、陸面のフラックスや状態量を得る。GSWP2 の入力データ・パラメータの空間解像度は $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (緯度×経度)であり、南極を除く全陸地について用意されている。大気データは時間解像度3時間で1982年7月から1995年12月までの13年半用意されている。先行して行われた GSWP1 の期間は1987～1988年の2年であり、期間が大幅に延長されているのが特徴である。植生パラメータは月別の気候値、土壌パラメータは期間中固定である。大気データも土壌・植生パラメータは ISLSCP-II (Hall et al. 2004)を利用している。但し、ISLSCP-II の大気データが再解析値であるため、実測値を反映するため Dirmeyer and Tan, 2001 などのアルゴリズムを利用して補正が行われている。再解析データのバイアスや補正アルゴリズムの影響を評価するため、入力データの一部(あるいは全て)を別のデータや手法に差し替える感度分析実験が予定されている。出力データの空間の解像度、領域は入力のそれと同じであるが、計算結果として提出される時間解像度は1日(但し1995年に関しては3時間)であり、期間は1986年から1995年までの10年分となっている。出力される変数はLSSによって異なる。GSWP2に参加を表明している研究機関は24あり、それぞれが独自のLSSを用いることになっている。開発の経緯や目的が異なるため、土壌や植生の扱いに関してLSS間には大きな差異がある。LSSの相互比較もGSWP2の一つの目的である。

③ 研究手法

まず GSWP2 の全参加モデルについてデータを整備し、水収支をチェックした。水収支が閉じないモデルは対象から外した。つぎに全球河川モデルを利用して流出データから河川流量を計算し、世界の269地点の観測地点で検証を行った。各流域について年流量のバイアスと流量ピークのタイミングを全モデルについて評価し、どの流域でどのモデルが妥当な結果を出すかの知見を得る。これをもとに、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を構築する。その後、既存の全球流出データとの詳細

な比較・検討を行う。

④ 結果と考察

1987～1988 年の2年分の河川流量を計算し、月観測値を使って平均誤差(BIAS)と二乗平均平方根誤差(RMSE)を計算した結果を図 2-1 と図 2-2 に示す。紙面の都合上、10 モデルの平均流出量を利用した結果のみを示す。まず BIAS は北半球の中高緯度でほとんど 20%以上を示し、過大評価をしていることが分かる。RMSE はほとんどの地点で 100%以上になっているが、BIAS が小さいところでは RMSE も小さくなっており、流出の過大評価傾向が RMSE の増加につながっていることが分かる。この流出量の過大評価の地理的分布を調べるため、現在よく利用されている UNH/GRDC の全球流出量データ(Fekete et al. 2000)との年流出量の差をとったのが図 2-3 である。アマゾン、アフリカの一部、ユーラシア大陸の内陸部を除き、ほとんどの地域で過大評価が見られる。この原因は降水量が過大であったのが原因と考えられる。図 2-4 は GSWP2 で与えられた降水量データと CMAP(Xie and Arkin, 1997)の降水量データを比較したものである。多くの地域で降水量の過大傾向が流出量にも現れたことが示唆されるが、南米やアフリカの熱帯域ではこの関係がなく、別の問題がある可能性が高い。最後に、全球陸地における水とエネルギーの分配を、全てのモデルを用いて平均し、平均値の季節変化・経年変化の幅を付記したものを図 2-5 に示す。10 年平均値のモデル間の差の方が、マルチモデルアンサンブルの年々変動よりも大きいことが明らかであり、まだまだ LSM 相互の差が大きいことがわかる。

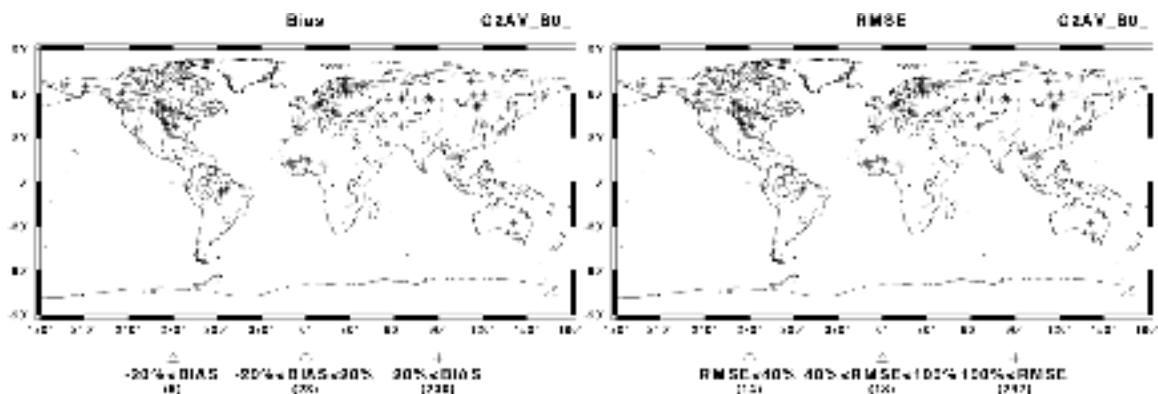


図 2-1 河川流量観測地点での BIAS

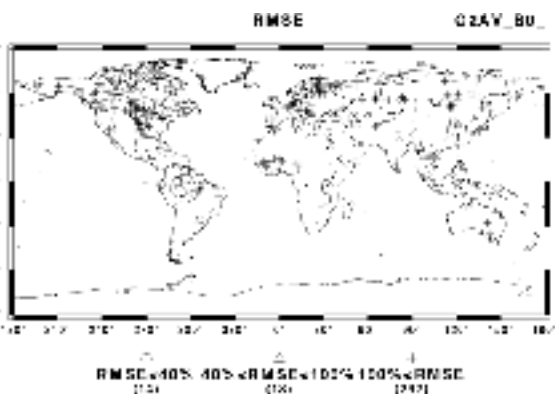


図 2-2 河川流量観測地点での RMSE

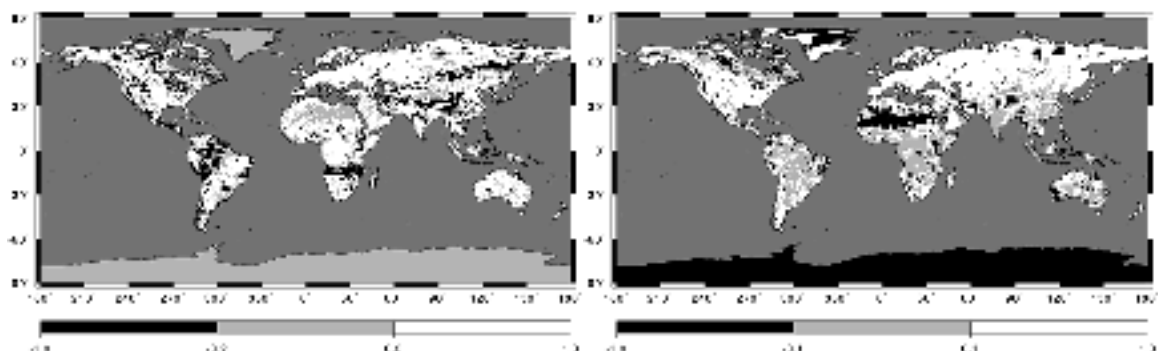


図 2-3 GSWP2 と UNH の流出量の差

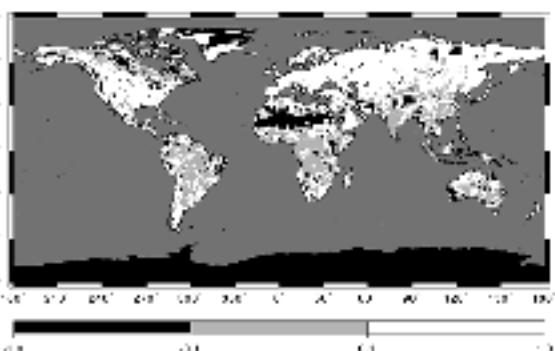


図 2-4 GSWP2 と CMAP の降水量の差

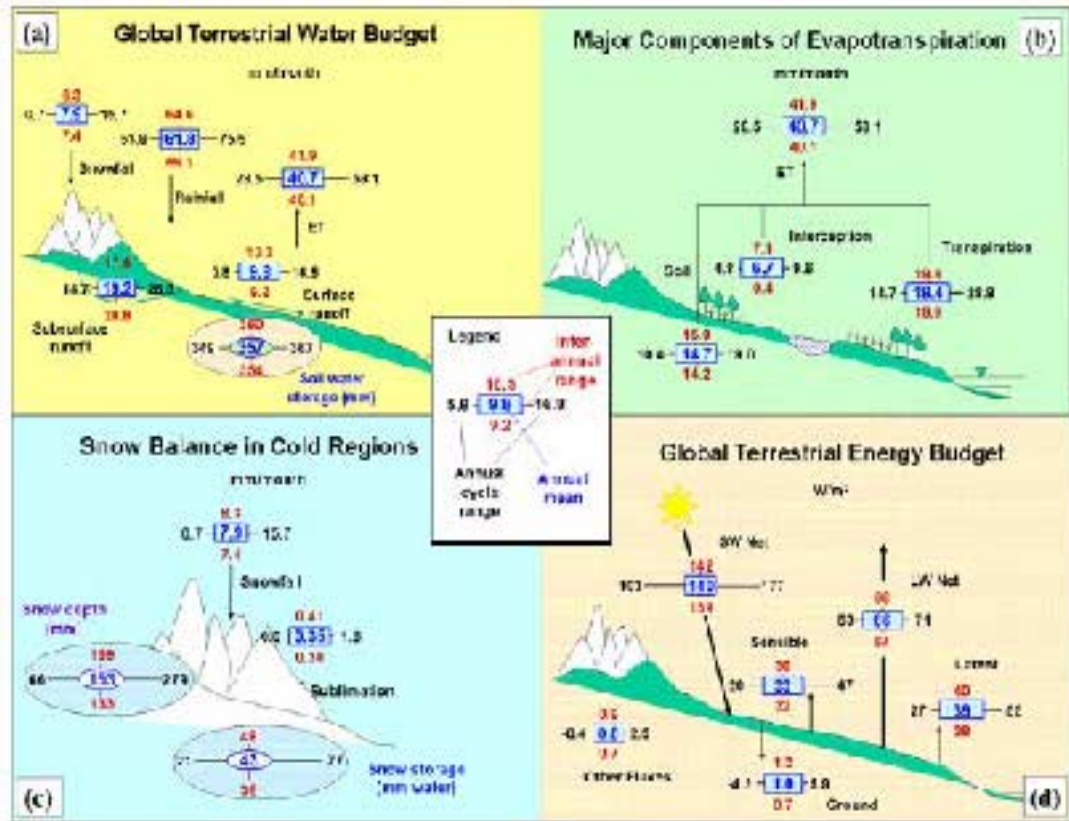


図 2-5 GSWP2 による水・エネルギー収支及びその分配。
マルチモデル平均値及び季節変化・経年変化の幅も示している。

(2)研究成果の今後期待される効果

十年という、ENSO などの経年変化も含まれる期間において、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、現時点では最適解ともいえる地表面水エネルギー状態を得た。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うると同時に、現状の利用可能な淡水資源量の分布を算出することができ、全球水資源アセスメントの必須基礎情報となるものである。

参考文献

- Dirmeyer, P., Gao X. and Oki, T.; The second Global Soil Wetness Project GSWP-2, *IGPO Publication*, No. **37**, 2002.
- Dirmeyer, P A. and Tan L.; A multi-decadal global land-surface data set of state variables and fluxes. *COLA Technical Report* **102**, 2001
- Dirmeyer, P.A., X. Gao, M. Zhao, Z. Guo, T., Oki, and N. Hanasaki, The Second Global Soil Wetness Project (GSWP-2): Multi-Model Analysis and Implications for our Perception of the Land Surface, *Bull., Amer. Meteo. Soc.*, in print, 2006
- Fekete, B.M., Vörösmarty C.J., Grabs, W. Global, composite runoff fields based on observed river discharge and simulated water balances. *WMO GRDC Report* No. **22**, 1999
- Hanasaki, N., S. Kanae, T. Oki, A reservoir operation scheme for global river routing models, *J.Hydrology*, **327**, pp.22-41, 2006
- Xie and Arkin 1997: Global Precipitation: A 17-year monthly Analysis Based on Gauge Observations, Satellite Estimates and Numerical Model Outputs. *BAMS*, **78**, 2539-2558

3. 1. 3 土地利用・食糧需給モデリング

代表: 柴崎亮介(東京大学 空間情報科学研究センター)

参加者: K.S. Rajan(東京大学生産技術研究所)

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

研究の狙いは、土地利用と連動した形で空間的、定量的に水利用状況を推定できるシミュレーションモデルの構築にある。農業における灌漑水利用に代表されるように、水利用は土地利用と密接に結びついている。また都市への人口集中と相まって、都市域での水質悪化は深刻化し、多くの住民の健康に影響を与えている。しかしながら、農地の拡大、利用の集約化、都市の拡大など、土地利用と水利用についてその空間的な分布や利用強度、その変化の状況を定量的に説明するモデルはない。そこで本課題では、農業的な土地利用と都市の拡大に焦点をあて、土地利用・水利用の空間分布を説明するモデルを構築することを目的とする。

② 研究実施方法

(ア) 土地利用、水利用の空間分布を説明するモデルの構築

水利用上、もっとも量的に重要な農業的土地・水利用にまず着目する。農業的土地利用の総体はマクロ的には国際・国内の食料需給で決まるため、貿易政策なども考慮した需給バランスモデルが必要となる。農業的土地利用の空間的な分布や強度は、穀物の価格や単収などを考慮して、土地利用主体(農民など)が作目などを決定することで決まると考えられる。そこで、まず栽培可能な穀物の単収を、灌漑の強度や施肥条件などを入力とする単収予測モデルにより推定し、これまでの作目や食料需給や農業政策などから決まる価格条件を加味して、土地利用主体がもっとも「利益」が高いと考える作目を選択すると考えて、モデル化する。

(イ) 穀物単収モデルを用いた灌漑条件などの推定方法の開発

灌漑水の投入量に関する分析を進めるにあたり、投入量に関するデータが得られないことが大きな問題となることが多い。詳細な現地調査を行えば、灌漑水利用量を得ることはできるが、労力や時間制約からきわめて限られた地域でしか、詳細なデータは得られないのが普通である。一方、穀物単収モデルは施肥条件や灌漑水の投入条件などをインプットとして、葉面積指数やバイオマス量、単収などを算定する関数であることから、葉面積指数や単収などが与えられれば、灌漑水の投入量などを逆推定できる可能性がある。そこで、詳細なケーススタディを通じて、逆推定の可能性と方法を定量的に評価する。

③ 研究成果

(ア) 土地利用、水利用の空間分布を説明するモデルの構築

これまで開発されてきた農業的土地利用モデルを以下の点について、改良した。

1) 国際交易モデルとの連携方法の改良や穀物単収推定モデルの詳細較正

各国・地域の食料(穀物などの農業生産物)に関する需給関係を推定するためには国際交易を考慮する必要があり、国際交易モデルを土地利用モデルにリンクさせているが、需給変化によって引き起こされる穀物の価格変化が土地利用変化に与える影響度が高すぎ、長期のシミュレーションを行うと、土地利用は短い期間で大きく変動する現象が見られた。これはモデルキャリブレーション時に利用したデータの期間が短かったことなどによる。そこで、統計データの期間を拡大すること、中国などにおいて補助的に土地利用分布データなどと付き合わせることなどの作業を通じて、モデルの調整を行い、より安定的な結果が得られるように改良を加えた。あわせて穀物単収モデルも中国黄河流域などの検証地区を設定し、詳細な現地調査を行うことで、単収や葉面積指数などの推定精度を地点ごとに詳細に検証しパラメータの調整や感度分析を行った。また穀物別単収などに基づき作目を選

択するロジックについても一部見直しやパラメータチューニングを行った。これらの結果に基づき、農業的土地利用変化や灌漑水の投入量の変化に関する将来シミュレーションをより安定的に行うことが可能となった(図 3-1)。

2) 都市の拡大モデルの追加

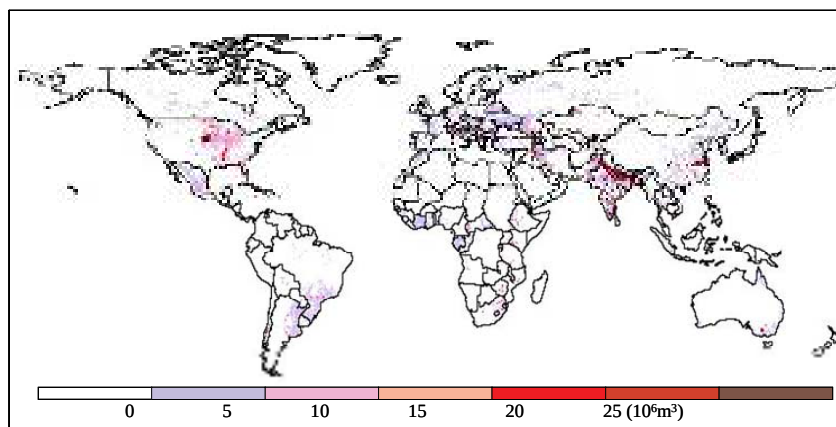
これまでのモデルでは、農業的土地利用のみが考慮されてきた。しかし、人口の増加や都市への集中などにより都市的土地利用が拡大し、都市周辺の比較的良好な農地が転換されることが危惧される。一方、都市の拡大はもっとも大きな水質汚濁付加の発生源でもあり、都市の拡大をシミュレーションすることが必要となる。そこで、都市の拡大シミュレーションモデルを開発した。具体的には、農村から各都市への移動人口を各都市のサイズや一人あたり GDP などにより説明し、自然増とあわせてそれぞれの都市人口の増分を推定する。そして各都市の人口増に応じた市街地拡大を、道路や地形条件を考慮して行う。都市拡大モデルはバンコク、フエ(ベトナム)など都市土地利用データが詳細に得られた地域で検証を行った。また、タイバンコックなどにおいてシミュレーションランを行った(図 3-2)。

(イ) 穀物単収モデルを用いた灌漑条件などの推定方法の開発

全球レベルでは収量データが国単位の統計値でしか得られないことから、穀物単収モデルは国単位で精度検証がなされていたにすぎない。単収モデルを利用して、灌漑条件などの推定を行う際には、地点や小地域ごとの詳細なデータを用いて穀物単収モデルの精度検証を行う必要がある。そこで、黄河流域中流部の陝西省を対象として県単位の統計値と付き合わせ、かつ黄河中下流部(山西省と河北省の一部)において圃場レベルの単収データや葉面積指数データなどを収集・計測し、それらのデータを用いて穀物単収モデルのキャリブレーションや感度分析を行った。その結果を用いて、県単位の施肥データや単収データの統計値から、県スケールで灌漑水の平均的な投入量を逆推定することを試み、推定結果が既存の調査結果とよく一致することを確認した(図 3-3)。

また、空間的に一層詳細な分布推定を達成することを目的に、黄河中下流部の圃場レベルの調査計測データを用いて、単収推定モデルのパラメータを推定し、推定値の時間的、地域的な安定性などを検証した。その結果を下に灌漑条件や施肥条件が、単収や葉面積指数の推定値に与える影響を感度解析した。その結果、パラメータがきちんとキャリブレーションされ、かつ施肥条件や灌漑条件が正確にわかっている場合にはモデルの再現精度はたいへん高いこと、結果として施肥条件、単収、葉面積指数が調査・計測されていれば、灌漑条件を推定することが可能であることを示した。

さらに、この結果に基づいて広域にわたる灌漑条件の分布を推定するためには、葉面積指数の分布を広域推定する方法を開発する必要があることがわかったので、葉面積指数を衛星リモートセンシング画像(ランドサット画像)から推定する方法を構築、検証した。しかし、対象地域で施肥条件分布については広域に得ることができなかったため、灌漑条件の広域推定精度を実証することはできなかった。そこで、統計データから得られる平均的な施肥条件や灌漑条件から得られたそれほど精度の高くない単収推定結果を、衛星リモートセンシングデータから得られる葉面積指数の広域分布データと同化し、単収の推定精度を大きく向上できることを実証的に示した。この方法を用いることで、現地の詳細な施肥条件や灌漑条件データが得られなくても、衛星画像から何時点かの葉面積指数データが推定されれば、比較的高い精度で単収を推定できる(図 3-4)。



Distribution of annual irrigation water requirements in each 0.1deg grid

図 3-1 農業的土地利用と同時に推定された灌漑用水投入量の分布

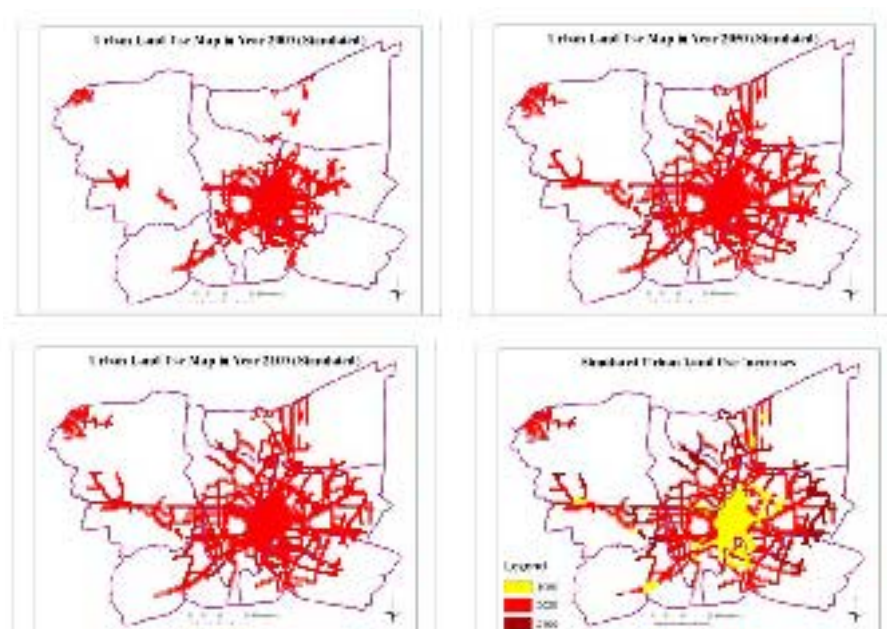


図 3-2 都市の拡大モデルによるバンコクでの都市域推定。左上から 2000 年・2050 年(右上)・2100 年(左下)の推定値であり、右下は、1980 年からの差分を色で表現している。

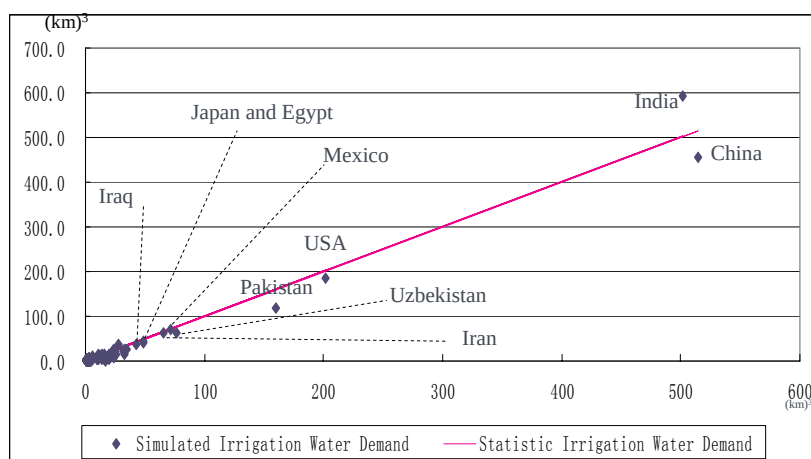


図 3-3 国別の灌漑水投入量の推定結果。横軸が統計値、縦軸が推計値。

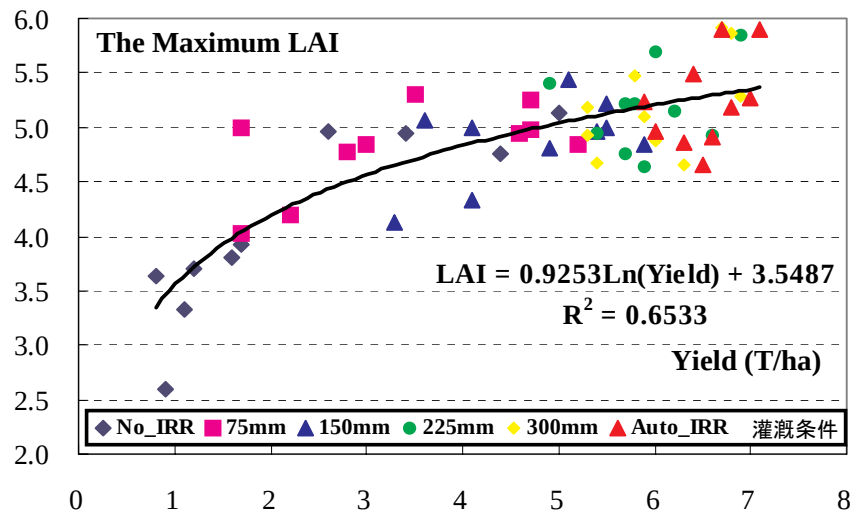


図 3-4 キャリブレーション済み穀物単収モデルを利用した LAI(葉面積指数)・単収・灌漑条件の関連の視覚化結果(他の条件が与件となっていれば、LAI または単収の計測結果から灌漑条件を定量的に推定できる)

(2) 研究成果の今後期待される効果

土地利用と水利用の空間分布モデルについては、国際交易による食料需給の調整や都市域の拡大を考慮したモデルを構築できた。気候変動などを組み込むことで気候変動による作目の変化や食料需給への影響などを評価することができる。また同時に灌漑水の投入必要量も算定される。逆に灌漑水の供給制限が与えられれば、それによる単収の変動、作目や土地利用自体の変動などもシミュレーションできる。今後、こうしたさまざまなシナリオの下で、単収ばかりでなく作付け作物種類の変動、土地利用の変動、都市化によるインパクトなどを空間的に明らかにすることができる。

単収推定モデルを利用することで、灌漑条件や施肥条件などを、単収や葉面積指数の計測結果から逆推定できることなどが示された。現地調査データの制約などからケーススタディ地区は黄河流域に限られており、また灌漑条件の推定も県平均値での検証に留まっていたが、単収推定モデルを核としたデータ同化の可能性を実証的に示すことに成功した。将来は衛星リモートセンシングから得られる葉面積指数や地上バイオマス量、土壌水分などの計測値を元に単収推定モデルを使った逆推定(同化)を行うことで、単収と灌漑条件を同時に得られるなど、農業環境計測の可能性が大いに広がったと考える。

3. 1. 4 環境用水需要モデル開発

代表: 白川直樹(筑波大学 機能工学系)

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

世界各地の水資源マネジメント政策において、環境用水の確保に対する意識が高まっている。これは、ある程度の経済的豊かさを得た地域の人々が生活環境や自然環境に相対的に大きな価値を置くようになったこと、地球的な規模で人間活動の自然環境に対する働きかけがすすんだ結果、人間活動が制約を受ける面も意識されてきたこと、自然の水循環を利用する河川マネジメントが人工的な管理よりも多面的に見てすぐれた機能を発揮するケースが出てきたこと、などの複合的な要因によるものである。将来の水資源アセスメントにおいて環境用水を考慮することは不可欠だが、各地域の自然特性や社会発展段階などによって環境の性質や環境配慮の意味は異なってくるため、その予測・評価には既存の他の用水(農業用水、都市用水など)ともまた異なった考え方を取り入れる必要がある。いまだに環境用水をこのような観点から世界的に取り扱った例はなく、考え方の根本部分から積み上げていかなくてはならない。本研究は、環境用水に対する基本的な考え方から具体的な需要量予測まで、環境用水のアセスメントモデルを構築しようとするものである。

② 研究実施方法及び結果

諸国の環境用水政策／研究の現況を網羅的に調査した結果、この分野において突出した地域がいくつか見つかった。その背景や内容をみるに、地域の自然条件と発展段階や地域開発の歴史が現況での意識の違いを生んでいると理解された。自然条件としては乾燥－湿潤の軸が重要だが、さらには季節的な乾季の有無や年々変動の激しさが環境用水対応にも差異となって現れている。経済的にある程度発展しないと環境用水の需要は社会的に顕在化してこないが、自然変動の激しい地域や自然環境が収入源として重い地位を占めるような地域ではその早遅にややずれがみられる。また、自然変動の緩慢な地域で重大な環境負荷をかけ続けた場合には、環境用水の必要性は格段に高まる。そして社会が成熟するとともに、環境用水に対する人々の期待(項目、効果など)は徐々に移り変わっていく。

こうした地域的な背景を基礎にして、定量的な見積もりも行う。グローバルな流量データについては、東京大学生産技術研究所の Global Water Resource Data Archive を利用した。全球 0.5 度グリッドの河道網(TRIP)、1986～1995 年の流出量(GSWP2)、グリッド内人口分布のデータを用いている。ここでいう流出量とは、ダム操作等の人為が加わらない自然流出量である。

まず、使用したデータ(河川流出量)の季節性を調べた(図は省略)。北半球では 5 月に最大流量が、2 月に最少流量が生じる場所が多く、積雪が水循環に大きな影響を持っていることがうかがえる。しかし南半球ではそのような傾向はみられない。この流出量データを元に、図 4-1 のように閾値を定めた。カリフォルニア州はじめ各地の環境流量の事例から設定値下限とみられる約 $0.03\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$ の比流量に対応する値として月流出量 1mm、またわが国の正常流量基準であり諸外国における環境流量の標準的な設定値にもよく現れる $0.3\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$ に対応する値として月流出量 10mm を判別基準値とする。

最大月流出量が 10mm 未満で最少月流出量が 1mm 未満の場所は極乾燥地とみなす。図 4-2 に分布を示すように、アフリカの北部と南部、オーストラリアの大部分、西アジアおよび中央アジア、北米・南米の中緯度西岸部などがこの範疇に該当する。最大月流出量が 100mm 以上で最少月流出量が 10mm 以上の場所を湿潤地とした。日本を含む東アジア、東南アジア島嶼部、北欧、米国東部・南部などが該当する。残る範囲のうち、最少月流出量が 1mm 未満、または最大月流出量が 100mm 以上に該当する地域を雨季乾季が存在する地域とし、それ以外を安定した地域とした。前者には東南・南アジアやサブサハラ、ブラジルなどがあり、後者には南欧・東欧、中国中部、北米中部などがあてはまる。

こうして4つに分類した各地域には次のような考え方で環境用水必要量を設定・計算した。

まず月流出量が1mm未満の場合(乾季)には、乾燥状態が河川の自然な状況を形成する条件になっていると考え、環境用水の確保を行わない。次に平常時流量には、Tennantが最小限必要な値として推奨している4)平均流量の10%という目安を用いることとした。これは現状の各事例に照らすとやや緩い値の感もあるが、現実には多くの国が採用している基準でもある(表-2)。ただしここでは年平均流量の代わりに各月平均流量との割合をとる。そして月流出量10mm以上の時期には、Tennantが豊水期の許容値としている同30%を用い、特定期流量に相当するものとした(「通年安定」地域を除く)。

以上の条件をもって計算を行った結果を図4-3に示す。計算は各月について行っているが、紙数の都合上3ヶ月ごとの値を図示している。

グリッドごとの流出量(mm/month)で表現しており、10mm/monthがおおよそ $0.386\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$ にあたる。自然流量をベースにしているのでも北半球高緯度地帯などで河川流下の追従がみられるが、東南アジアやアマゾンなど一年を通して量の多い地域もみられる。日本も世界的にみて必要量がかなり大きい。

全球の平均値は5月に最大値14.06mm/monthをとり、最小値は11月の4.30mm/monthである。年間88.17mmという結果になった。モデル上の全球平均流出336mmの約26%にあたる。

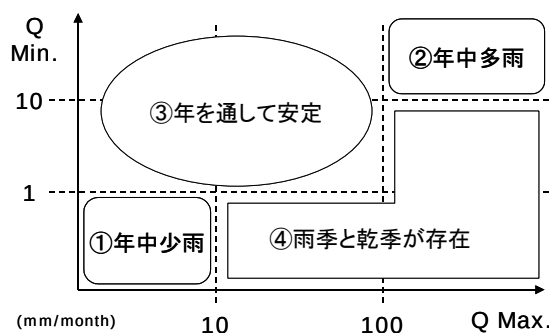


図4-1 流出量の季節性による地域区分

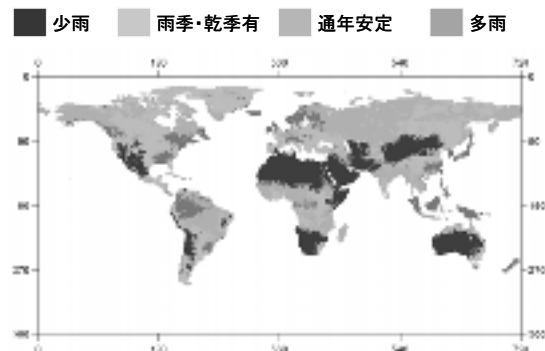


図4-2 4区分された地域の分布

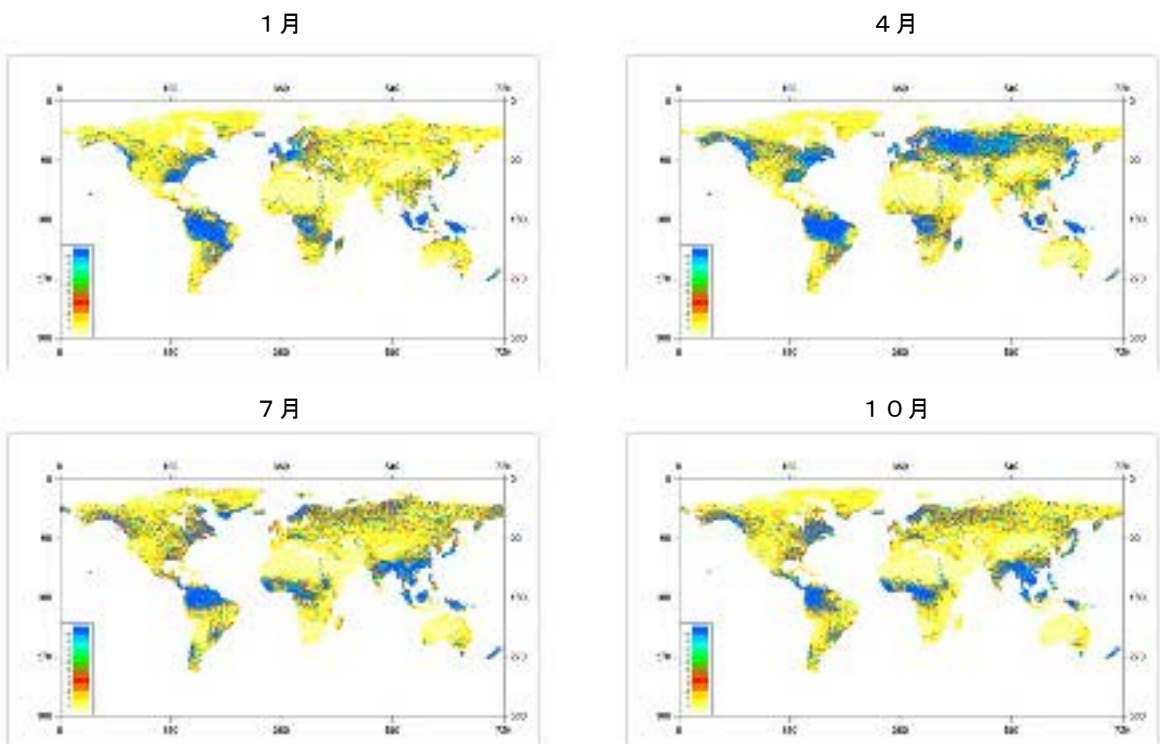


図4-3 環境用水需要量の見積もり($10^6\text{m}^3/\text{month}$)

③ 社会条件のモデル化

現在の世界において、環境用水の対策が進んでいるのは例外なく経済先進国である。発展途上国では使える河川水をあえて河道に残しておく動機は何も無い。河川環境の価値は相対的に先進国で高く途上国で低い。また、環境用水の目的では水質や漁業に関わるものは早い時期から顕在化するが地形や攪乱に関するものは順番として後に現れる傾向がみられる。環境用水を考慮した将来の水資源アセスメントにあたり、これらの条件について、先進国における経緯から指標化を試みてモデルに取り入れた。また、水文変動の安定した地域と変動が激しい地域では、社会の成立条件が異なると考えられる。アジアモンスーン域の途上国が経済的に発展してもヨーロッパ型の環境用水を求めるようになるわけではなく、北アフリカ・西アジアの国々が湿潤地型の環境用水を必要とするわけではない。このように、社会条件は自然条件と完全に独立して動くことはできないようにした。間接的ながら社会の受容可能性まで考慮できたと考えている。

(2) 研究成果の今後期待される効果

今後の水資源政策では、何らかの形で環境用水を取り入れることは喫緊の課題となりつつあるといえるが、本課題では、社会条件と自然条件の両方を取り入れる形で環境用水推定モデルが構築された。現在及び将来の水資源アセスメントに加えて、政策提言の根拠としても、このモデルが使われていくことが期待される。本項目の結果は統合モデルの一部として3. 1. 8及び3. 1. 9における統合水資源アセスメントに用いられた。

参考文献

- Tennant, D., Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources, *Fisheries*, Vol.1, pp.6-10, 1976.
- Shirakawa, N., and Nobuyuki Tamai, Use of economic measures for establishing environmental flow in upstream river basins. *Int. J. River Basin Management*, Vol.1, No.1, 15-19, 2003
- 白川直樹, グローバル水資源アセスメントを目指した環境用水需要量に対する影響要因の分類, *水工学論文集* 48:421-426, 2004.
- 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

3. 1. 5 食料需給モデリング

代表: 松村寛一郎(関西学院大学 総合政策学部)

参加者: Guoxin TAN (Culture and Education Information Center Huazhong Normal University)、杉本賢二(東京大学新領域創成科学研究科)、柳島宏治(国連食糧農業機関)

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

人口増加と経済発展により全世界における食料需要量は増加傾向にあり、食料供給量を増加させる必要がある。食料を供給するための耕地面積は減少傾向にある。食料の供給には、水が不可欠である。国連農業機関(Food and Agricultural Organization)の協力を得て、世界各国における将来的な食料需給動向を把握する。食料生産に関する水の消費原単位より、潜在的な水需給動向を把握する。カロリーベースの食料自給率(以下: 総合食料自給率)の改善と食品廃棄物低減に関する研究を進める。これらの研究を総合的に組み合わせることにより、政策決定者に対する全世界を俯瞰した情報提供を目的とする。

② 研究実施方法

本課題では、以下の3点のモデルを総合的に組み合わせることにより、土地利用変化、穀物価格変化、灌漑水需要変化等に関して将来予測を行った。

- Productivity Impact Calculator (EPIC)
- International Food Policy Simulation Model (IFPSIM)
- Land Use Choice Model

総合食料自給率改善には、国民 1 人・1 日あたりの国産供給熱量(以下: 国産熱量)の増加と国民 1 人・1 日あたりの総供給熱量(以下: 総供給熱量)の減少の両方が考えられる。

③ 研究進捗状況および研究結果

人口増加および経済発展に伴い、世界における食料需要量は増加している。食料供給量は、気候変化、土地利用変化、水資源の影響、技術的な進歩だけでなく、実際に農耕に従事している人々の判断基準となる食料価格によっても大きな影響を受ける。食料価格は、国際価格に為替の影響および各国政府の補助金や関税の影響を受けた生産者価格、消費者価格に転換される。消費者価格は、各国における需要動向に影響を及ぼす。競合状態にある穀物の価格が高騰した場合には、他の穀物(より価格が低い)に対する需要が増加する。生産者価格は、各国における供給動向に影響を及ぼす。競合状態にある穀物においては、より価格の高いものに対する供給が増加する。国連食糧農業機関により開発された国際交易モデル(IFPSIM)と効用関数に基づく土地利用変化モデル(LUCM)、生産性を説明するモデル(EPIC)の融合により小麦、トウモロコシ、米、大豆の各品目の作付面積および生産性の実勢値を表現可能なモデルの構築を試みた。融合されたモデルは、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り、東西方向 3600×南北方向 1405 の格子点上に表現することが可能な構造となっている。以上の点を踏まえた研究を遂行した結果、以下の内容の研究結果が得られた。

(ア) モデルの組み合わせによる小麦、とうもろこし、米、大豆の需給動向の把握

IPCC の SRES シナリオ(A1b: 高度成長社会、A2: 多元化型、B1: 持続発展型、B2: 地域共存型)に基づく経済成長率予測および国連の中位推計値を用いて西暦 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の推計を試みた(図 5-1)。A1b シナリオに基づいた経済成長率では、均衡価格が上昇し、増加する需要に供給が追いつかなくなる可能性があることが示され、A1b シナリオ以外への方向転換

が必要であることが示された。

(イ)世界各国の所得と都市人口比率の関係式

全世界 146 カ国・地域についての 1 人あたりドルベースでの所得と都市人口比率の推計式を求めて、地域毎の特性を把握した。

(ウ)土地利用と都市人口比率の関係式

全世界 146 カ国・地域についての都市人口比率の推移と土地利用の関係を求めた。

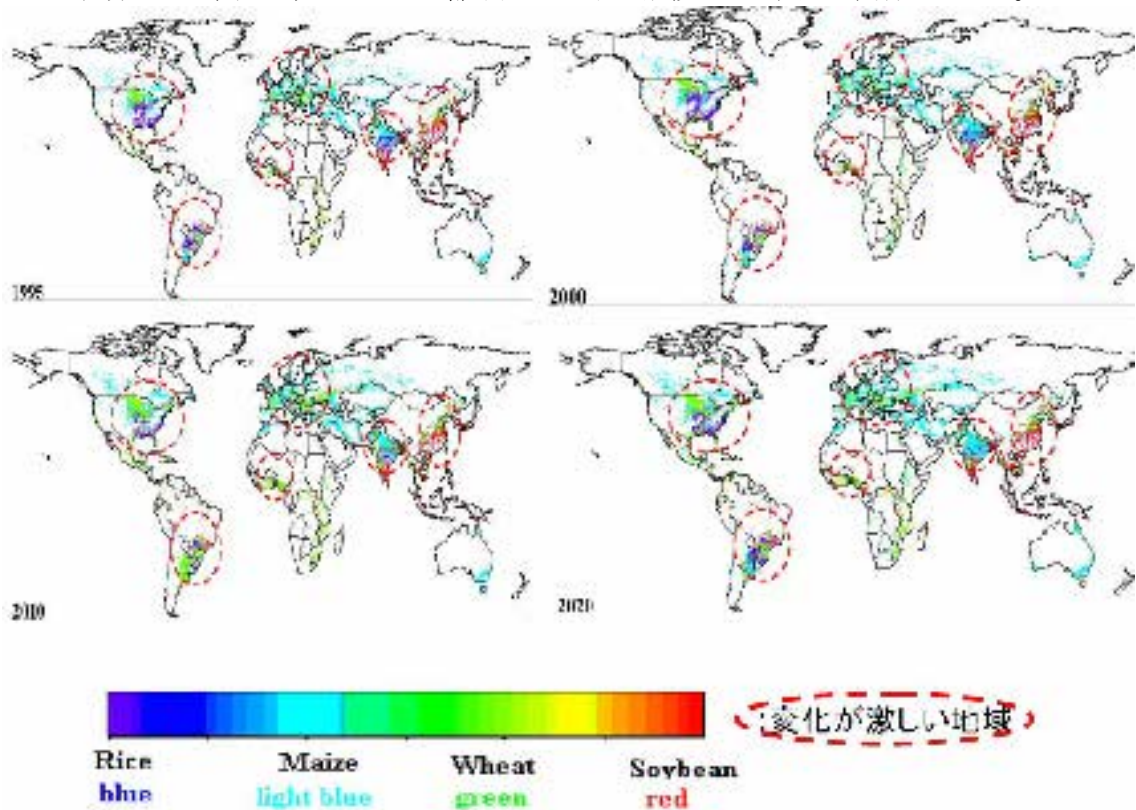


図 5-1 品目別作付面積変化(1995-2020, SRES;A1b シナリオ)

(2) 研究成果の今後期待される効果

東西方向 3600×南北方向 1405 の格子点上について小麦、トウモロコシ、米、大豆の空間分布を表現することが可能なモデルが構築された。空間上に展開された膨大なデータを用いて、社会工学的な見地より推測された所得の変化や生産者価格の変化による食料の需給量の変化を捉えることは、あくまでも計算に過ぎない。計算結果に関して、あらゆる可能性を踏まえた上で、実測値との整合性を取る努力を怠ってはならない。現時点において構築されている作物生産モデルは、生産者が、作物の作付面積を増減させる要因として、価格情報により代弁させてきた。実際の生産者が抱えている問題は、価格だけでなく、作物のブランド化の問題とか、農薬の問題とか、土地がやせてしまうなどの目にみえない心配事が数多くある。また需要者側にとっても安全な食品への影響や、農家の置かれている状況等を理解することができれば、お互いにとってメリットがあるような形での歩み寄りが可能となるかもしれない。BSE の問題で米国からの牛肉の輸入が途切れたときに、より多くの人々が代替品としての豚肉あるいは鳥肉への移行が行われることが指摘されたが、実際にはそうはならなかった。数値モデルでは説明しきれない要因が、特に社会活動を考えた場合には、見られることがある。地球観測技術、ネットワーク技術、コンピューター技術の進化、

ハードウェアの容量の増大化と低価格化の動きにより、蓄積されつつある情報量は、加速度的に増加している。衛星画像データなど、敷居が高いと思われてきたデータセットについても、たとえば、サーチエンジンの Google Earth では、容易に利用することが可能となってきた。政策決定者が利用する際には、あくまでも参考情報に過ぎなかった予測モデルの存在価値が増大し、複雑化する世界において、より有効な解決策を創り出していくための強力な道具になりうる可能性がある。本研究成果をさらに進歩させ、かつ考えられうる情報ソースとの組み合わせ、マイクロ情報の付加により、予測精度の向上が可能となる。

3. 1. 6 リモートセンシング・衛星観測データ利用研究～MODIS を用いたアジアの水田分布図の作成～

代表: 安岡善文(東京大学生産技術研究所)

参加者: 竹内渉・根本利弘(東京大学生産技術研究所)、越智士郎(近畿大学)

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

水田は、世界の総面積のおよそ 90%がアジアに分布するとされており、数十億人の食料源である米の生産場所として重要な地位を占めており、これから抱える人口増加問題や水問題においてその重要性を増すと考えられる。さらに近年は、地球温暖化ガスの一つであるメタンの主要な発生源として、西シベリアやカナダに分布する泥炭湿地とともに、その重要性が指摘されはじめた(Takeuchi et al., 2003)。現在、全地球レベルでの水田での環境変動が激しく、どのような水田がどこに分布しているのか、また、その水田環境がどのように変動しているのか、正確な情報は極めて少ない。本研究では、これまで衛星観測の適用が限られてきた水田の分布図作成について、MODIS と ASTER による可視・赤外のリモートセンシングを利用することにより、世界最大の稲作地帯であるアジアに適用する研究を行った(図 6-1)。

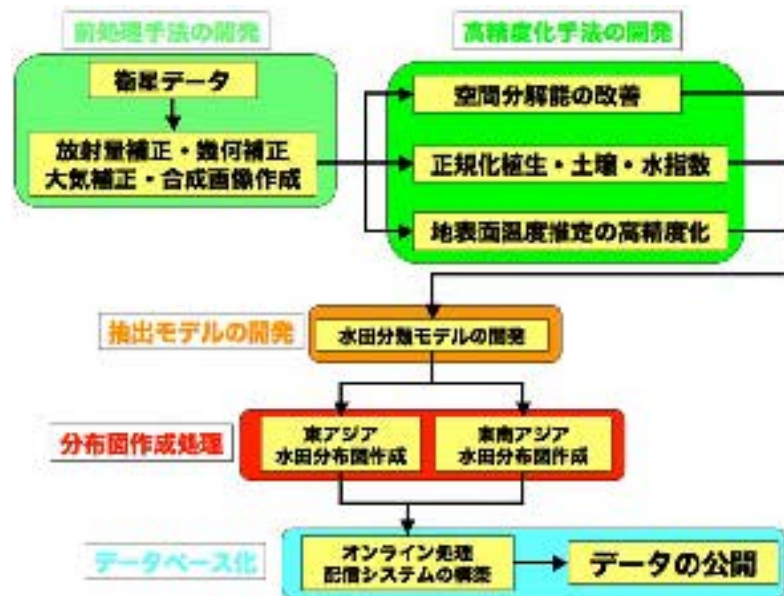


図 6-1 衛星データを用いたアジア水田分布図作成手法。

② 研究手法・結果

水田のように季節変化を考慮した分類が必要な場合には、MODIS のように一年を通じて多数の画像を入手できるデータを利用することが必要不可欠である。しかしながら、MODIS の空間分解能は 250m から 1000m と比較的低いため、平滑化された粗い画像しか得られない。一方、ASTER のように 15m から 90m の高い空間分解能を持つ画像を用いれば、地表の細かいレベルの情報も判別することができる。MODIS が持つ高い時間空間分解能と広い観測範囲を保持しつつ、ASTER の持つ高い空間分解能を補完的に利用することにより、MODIS の画素内に混在している土地被覆情報を抽出する手法について検討を行った(竹内ら 2003a)。また、従来よく用いられてきた正規化植生指数(NDVI)の考えを拡張し、水田観測に有効な短波長赤外チャンネルを利用することにより正規化土壌指数(NDSI)と正規化水指数(NDWI)を提案し、湿地観測への有効性を確認した(竹内ら 2004)。さらに、地表面における熱エネルギーの交換、それに伴う水の移動を支配し、地球規模での環境を評価するために重要なパラメータである地表面温度(LST)にも着目した。MODIS

データ(広域高頻度観測性)と ASTER データ(高空間分解能)を組み合わせることで、空間分解能の改善と放射率の補正を同時に行い、地表面温度を推定する簡便な手法を開発した(竹内ら 2003b)。

単期作と多期作の観点から、東アジアと東南アジアに分けて分布図作成を行った。東アジアは、日本、韓国、北朝鮮、中国を含む水田分布図を作成した。まず、空間分解能 250m のチャンネル 1 および 2 の 15 日間 MODIS 合成画像を用いて評価基準画像を作成し、季節変動を失わないようにデータ圧縮を行った。これに、ASTER データから作成した水田分布図を教師として、水田とそれ以外のカテゴリについて、クラス平均および分散を用いた判別距離を算出した。次に、判別率の高さに従って重み付けをした NDVI 画像を作成し、カテゴリ分解を行うことにより水田の分布図を作成した。最後に、作成した水田分布画像を、現在大陸レベルで唯一入手可能な IGBP-DIS データと国際稲研究所 (IRRI) が公表している国別統計データとの比較を行った結果、IRRI が公表している値と矛盾しない結果を得た。

東南アジアは、カンボジア、ラオス、ミャンマー、タイ、ベトナム、マレーシア、インドネシア、バングラディシュ、インド、ネパールを含む水田分布図を作成した。まず、MODIS データから正規化植生・土壌・水指数(NDVI, NDSI, NDWI を総じて NDXI と呼ぶ)と地表面温度および季節変動を失わないように評価基準を行った(図 6-2)。次に、ASTER データおよび現地調査により取得した水田の緯度経度情報を用いて教師データを作成し、評価基準画像を使用して水田の一期作と二期作を区別した分布図を求め、湛水時期と稲の生長度合いの年間変動を空間的に求めた。

現在のところ世界最高精度である 500m 空間分解能での水田および湿地分布図をアジア全域にわたって作成した(図 6-3)。作成した水田分布画像を、IGBP-DIS データと IRRI が公表している国別統計データとの比較を行った結果、MODIS を用いて作成した水田分布画像から求めた水田面積は、従来の AVHRR を使用して求めた推定値よりも大きく精度が向上した。

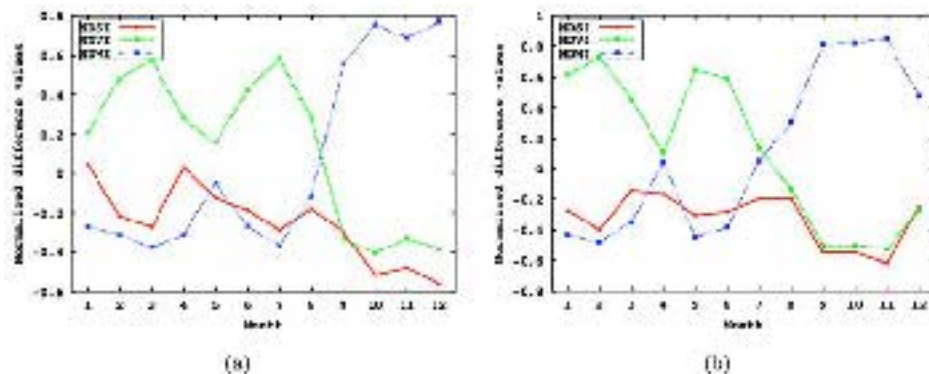


図 6-2 東南アジアの代表的な水田地帯における MODIS NDXI の時系列変動: (a)チャオプラヤ川流域の二期作水田、(b)メコン川流域の二期作水田。NDVI が稲の成長を NDWI が水田の湛水状態をそれぞれ表している。

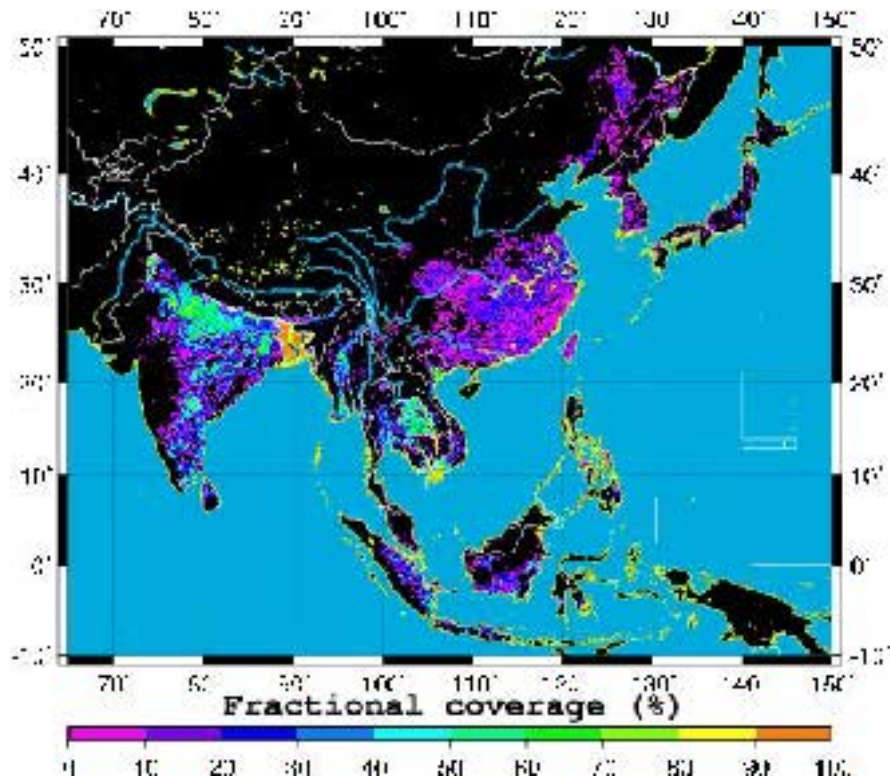


図 6-3 アジアの水田面積比率画像。画像の濃淡は、各画素における水田の面積比率を表しており、1 画素の大きさは 500m 四方に相当する。

(2)研究成果の今後期待される効果

衛星データのオンライン配信を行っている機関は世界各国に存在するが、その分布は欧米に限られており、いずれのシステムにおいてもレベル 1b データの FTP 配信にとどまっている。本研究では、東京およびバンコクで東大生研が受信している MODIS データを対象とし、放射量補正・幾何補正・切り出し・雲なし合成画像作成などの処理を施してユーザにデータを配信するシステムを構築した。2002 年の運用開始からアジアの国々を中心に多数のユーザを集めており、毎月 15 万件のアクセスがあるサイトに成長した。また、計画の継続性を考慮するために現在稼働している MODIS センサーが提供する情報を最大限活用し、次世代への知見として蓄積をしていくことを念頭に置いた。本研究で開発した水田分布図作成手法は、次世代観測衛星である NPOESS に搭載予定の Visible and Infrared Imaging Radiometer Suite(VIIRS)センサーへと即座に適用可能であり、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。

参考文献

- 竹内 渉、安岡善文. WWW を用いた ASTER データ管理システムの構築. *写真測量とリモートセンシング*, **43**(4), pp. 35-40, 2004.
- 竹内 渉、安岡善文. MODIS と ASTER のスペクトル分解による地表面温度分布図の作成. *写真測量とリモートセンシング*, **42**(5), pp. 27-39, 2003a.
- 竹内 渉、安岡善文. Terra ASTER のシステム幾何補正と精度検証. *写真測量とリモートセンシング*, **42**(2), pp. 38-41, 2003b.
- Takeuchi, W. , Tamura, M. , and Yasuoka, Y. Estimation of methane emission from West Siberian wetland by scaling technique between NOAA AVHRR and SPOT HRV. *Remote Sensing of Environment*, **85**(4), pp. 21-29, 2003.

3. 1. 7 データベース構築・シミュレーション可視化技術開発

代表:喜連川優(東京大学生産技術研究所)

参加者:生駒栄司(東京大学空間情報科学研究センター)・根本利弘(東京大学生産技術研究所)、花崎直太(国立環境研究所)

(1)研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

ペタバイト単位に到達し得る超大容量地球規模水循環観測及びシミュレーションデータをアーカイブし、効率的なデータ探索を可能とする共通の情報システムの構築、及び水資源データに特化した可視化インターフェースおよびその統合システム構築を行う。

② 研究実施方法

・地表面水エネルギー収支算定モデル比較研究データセンターの構築

現在世界で複数存在する陸面(水エネルギー収支算定)モデル(LSM)を用いて同一の境界条件で行われ作成された全球長期間シミュレーションデータをアーカイブし、それぞれのモデルの特性・性能を可視化インターフェースを用いて比較検討を行ってより信憑性のある水資源データの抽出を実現するため、喜連川研究室と沖研究室との合同で比較研究データセンターを構築する。

③ 研究結果

本研究目標を実現するにおいて、解決すべき非常に大きな検討課題として超大容量データを効率的に扱うことが可能なシステムを基盤部分として構築することが挙げられる。昨今の情報技術の進歩に伴い、数100GB(1ギガバイト=10の9乗バイト)クラスのハードディスクを備えたコンピュータは決して珍しいものではなくなったが、多くの場合は1ファイルそのものが大容量のファイルであり、本研究で対象としているような膨大な数の小ファイルサイズのファイルを対象とはしていない。そのため、本システムで対象とするデータに特化したファイル管理手法の検討とツール群の開発を最初に実施した。

平成14年に導入した磁気ディスクアレイ、テープドライブおよび、シミュレーションの実施とこれら記憶装置を管理・利用するための世界水モデルシミュレーションサーバで構成されたプロトタイプシステムにおいて、上述のように小容量・超多数のファイルを効率的に高速に検索する手法の検討を行い、サーバ上のメモリ、磁気ディスク、テープドライブの3段階の階層的ファイルシステム構造を有する基盤ファイルシステムの設計を実施した。また、ファイルシステム部分の検討と同時にユーザーインターフェース部分の検討も開始した。これは上述のような特異なファイル形式を有するデータを、一般的なデータ視覚化アプリケーションで視覚を行うことが困難であるため、本研究に特化したツール群の開発が必要となったからである。同年に導入した大型ディスプレイおよび地球環境データ視覚化出力装置を用い、本データの有する様々な特徴を有効に視覚化する手法の検討を進めた。そして、この2つの大きな課題の成果を連携させるため、同年導入のRGBスイッチャを介して視覚化出力装置とシミュレーションサーバの相互接続実験も開始した。

平成15年には前年に設計を行った基盤ファイルシステムを実運用可能なシステムへと発展させるために、より実利用環境に即した磁気ディスクアレイ装置、磁気テープドライブ装置を導入し、実データでのファイルシステム運用実験を進め、基盤環境の構築をほぼ完了した。また、ユーザーインターフェース部分においては、前年の大型ディスプレイ上でのツール検討結果に基づき、更に大型ディスプレイを追加導入した上で実用的な視覚化アプリケーション群の開発を行った。

平成16年にはここまで開発された基盤ファイルシステムと視覚化アプリケーションが一体化した統合システムの開発を開始し、当該分野の研究者と協力してインターフェースの実利用実験も行った。この年はまずデータの準備が完了した10モデル分を基盤システムに格納し、データベース化を行った後、新規導入を行った磁気ディスクアレイ上に効率的

なアクセスを実現する各種インデックスを作成する等、必要なデータを自在にアクセス出来る環境の構築を行った。また、本研究で開発した視覚化アプリケーション群を WEB 上に実装を行ったビジュアライゼーションツールのプロトタイプを構築した。このプロトタイプは、様々なデータ間の相互比較を実現する Inter Comparison Center(ICC)としての機能を有し、TB (テラバイト=10³ ギガバイト)級のデータが一元的に管理され、Web ページ上の平易な操作で柔軟かつ容易に視覚化が可能となった。平成16年に実現された ICC の機能としては、1データ間の相互比較機能、指定データの全モデル間同時一括比較機能、領域指定時系列抽出機能などがあり、さらにこれらの出力結果の確認を行うツールとして、アニメーション機能も含めた視覚化ツール群の開発も開始し、上記機能と統合したシステムとして構築を行った。

平成17年にはより実利用ベースの研究開発を進め、ICC においてはさらに高度な機能を有するインターフェースの実装、実利用者の視点に立った柔軟な相互比較実現手法の開発、効果的な視覚化手法の実現を目標として研究を進めた。加えて、実利用者からのニーズに応え、本システムにアーカイブされているデータを容易な操作で任意のデータをダウンロード可能な Data Download Center(DDC)の開発を開始した。

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なシステムへの改良を続けている(図 7-1)。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(図 7-2)。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(図 7-3)。

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。平成17年は DDC 用に新たに磁気ディスクアレイ装置とダウンロード用各種処理を実施するシミュレーション用サーバを導入し、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(図 7-4)。

また、両システム共、平成17年はより多くのユーザを対象とした利用実験を行うため、同年導入のファイアーウォールシステムを設置した公開サーバとして運用を行った。

平成18年は新たに導入した磁気ディスク装置に更にデータを追加した上で、前年までに開発を行った ICC,DDC のより実用的運用を実施し、その問題点の検討と改善の実施、今後の発展を考慮したより拡張性の高いシステムへの発展的開発を行った。基盤データベースシステムにおいては、ここまで対象としてきた全球をカバーするシミュレーション出力データだけではなく、各種定点センサーによる取得データ等、多様な形式がサポート可能なフレームワークへの拡張手法の検討を行った。インターフェースおよびビジュアライゼーション部においても、空間・時間的な多様性を考慮したシステムへの発展可能性の検討を行った。



図 7-1 ICC/Data Visualization on Scratch Pad システム

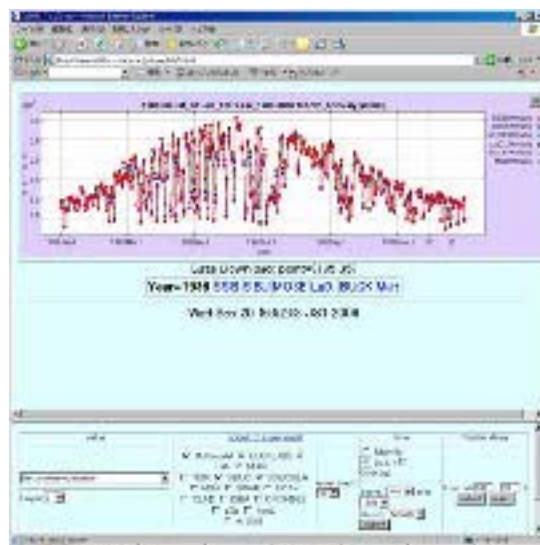


図 7-2 ICC/Time Sequential Comparison システム



図 7-3 ICC/ Model Intercomparison Workbench システム



図 7-4 DDC Web インターフェース

(2)研究成果の今後期待される効果

本研究において開発された ICC および DDC は、従来その管理や表示すら困難であった超大容量地球規模水循環観測およびシミュレーションデータを、必要とする研究者が必要とする形で非常に容易かつ短時間で扱うことを実現したシステムである。本システムを利用することによって期待される成果として、まず ICC におけるモデル間相互比較によって、より信憑性が高いモデルの開発の一助となることが考えられる。モデル開発者が自身のモデルと他のモデルとの比較を行い、その差異等から得られた知見によってますます現実に即したパラメータの設定等が可能となるケースや、自身のモデルを空間的・時間的に視覚化して比較することで、さまざまな問題点の発見なども想定される。DDC においては、従来そのデータ量の膨大さから研究上十分に利用することが出来なかった数多くの研究者が、自身の環境下で容易に利用が可能となったため、さらに多様な分野での活用が期待される。

さらに、ICC/DDC とともに、そのデータ利用のハードルを低くした結果、他分野からの利

用の増加や、一般教育的な側面からの利用も想定される。

3. 1. 8 世界水循環水資源モデルを利用した温暖化時の水資源影響評価

代表:沖大幹(東京大学生産技術研究所)

参加者:花崎直太・宮崎真(国立環境研究所)、安形康(東京大学新領域創成科学研究科)、山田智子・大瀧雅寛(お茶の水女子大学大学院人間文化研究科)、内海信幸・沈彦俊・Magnus Bengtsson・安川雅紀・喜連川優・芳村圭(東京大学生産技術研究所)、生駒栄司(東京大学空間情報科学研究センター)・鼎信次郎(総合地球環境学研究所)

(1)研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

既往の水資源アセスメント研究では、年単位で推計されているという大きな問題を抱えていた。現実には水資源量や取水量に大きな季節変化があるうえ、温暖化により降水の強度や頻度といった短い時間スケールでの水文現象への影響が懸念されており、月単位、日単位での評価が不可欠である。ここで年単位未満の変動性を考察するには、水需要に大きな影響を与える農事暦や作付け種の設定や需給バランスの時間的調整を行う貯水池操作を明示的に扱うモデルが必要になる。人間活動を考慮した全球統合水資源モデルを用いて、水需給の時間偏在を考慮した地球温暖化時の水資源への影響評価を試みる。

なお、本項の記載内容は、「花崎直太・内海信幸・山田智子・沈彦俊・Magnus Bengtsson・鼎信次郎・大瀧雅寛・沖大幹、温暖化時の水資源影響評価のための全球統合水資源モデルの開発」として水工学論文集に投稿中(2007年3月発行予定)である。

② 研究手法

(ア) 全球統合水資源モデル

モデルは花崎らの全球統合水資源モデルを利用した。花崎らによる統合水資源モデルは陸面過程、河川、農業、貯水池操作(本報告書3. 1. 1参照)、環境用水(本報告書3. 1. 4参照)、灌漑の6つのサブモデルからなる。計算対象は全球の陸域で、空間解像度は $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ である。3時間単位の気象要素(長波、短波、気温、気圧、風速、比湿、降雨、降雪)および地理情報(河道網、灌漑面積、ダム分布など)の入力データに対し、日単位の河川流量や灌漑需要量といった水循環や水資源に関する出力データを返す。陸面過程モデルは BUCKET、河川モデルは TRIP、農業モデルは SWIM ベース、貯水池操作は Hanasaki et al. (2006)によって成り立っている。

(イ) 全球気象データ

温暖化時の全球気象データは「人・自然・地球共生プロジェクト 高分解能大気海洋モデルを用いた地球温暖化予測に関する研究(K1)」で開発されたものを利用した。排出シナリオには SRES A1B が用いられている。期間は2001～2100年で、時間解像度は3時間、空間解像度は約 $1.125^{\circ}\times 1.125^{\circ}$ である。このデータを $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ に空間内挿し、さらに系統的なバイアスを補正した物理量をモデルに入力した。

(ウ) 土地利用データ

土地被覆(農地面積、灌漑面積、作付け種)は将来100年にわたり変化していくと考えられる。まず農地面積は1960～2000年にかけて増大したものの最近の伸び率は鈍く、今後も大幅な増加が見込めないとみなして2000年時点で固定した。灌漑面積は増加傾向が続いており、人口との相関が報告されていることから、以下のように求めた。

$$A_y = aP_y + b \quad (4)$$

ここで P_y は国別人口、 A_y は灌漑面積である。 a と b はFAOSTATによる1961年から2000年の国別の統計データを利用して最小二乗法で国別に推定した。作付け種及び農事暦に関しては、気象要素の過去10年間の気候値を農業モジュールに入力して求めた。

(エ) 水需要データ

水需要は農業用水(W_{irg})、工業用水(W_{ind})、家庭用水(W_{dom})の三つを考慮する。このうち農業用水は統合モデルが日単位で推定するが、工業用水と家庭用水に関しては内海(2006)の推定値を用いた。以下では取水量と消費量を区別する。取水量とは水源から取る水量、消費量とは蒸発したり汚染されたりして他の用途に使えなくなる水量である。将来のGDPと人口はSRESシナリオを利用した。工業用水と家庭用水の消費量は20世紀の統計データより、工業用水は取水量の10%、同じく家庭用水は20%だとした(後述の3.3参照)。取水は河川のみから行い、家庭用水、工業用水、農業用水の順に取水されるとする。ただし、各グリッドの灌漑面積の増加は、人口増との競合を考慮し、現在世界で最も人口密度の高い地域でのデータから人口一人当たりの非農用地(居住地や交通、造園などの用地)が最低 $150\text{m}^2/\text{capita}$ 確保されるようにした。

③ 将来予測結果

(ア) 取水ベースの需要量の将来予測

推定された世界の灌漑用水、工業用水、都市用水取水量を図8-1に示す。工業用水はSRESによるGDP予測を元にしており、世界全体で見た場合GDPの顕著な増加に対して効率の改善が小さいため、2100年まで伸び続ける。家庭用水は国別の一人当たり取水量をまずGDP予測を元にして求め、これに人口をかけている。一人当たり取水量は経済成長に伴い2100年まで増加を続けるが、対数型の関数を採用しているため、伸び率が押さえられる。SRES A1Bシナリオでは人口は2050年以降減少し、都市用水も2065年を境に減少に転じる。農業用水は毎年の気象条件に応じて計算されるため年々変動を持つ。取水量は2030年まで緩やかに上昇した後、緩やかに減少していく。人口が減少に転じる2050年以降は灌漑面積も減少することを考えると、単位面積当たりの灌漑需要量が減少することを示している。参考値として気候変化による需要量変動を考慮せず、灌漑面積に比例して灌漑取水量が変化すると仮定した内海(2006)の結果を破線で示す。2030年以降で傾向が変わってくることから、温暖化の進展とともに取水量が灌漑面積に比例しなくなっていくことが示唆される。

(イ) 需給バランスの将来予測

次にこの水需要が賄えるかを考察してみたい。ここで以下の指標 R_{CWD} を考える。

$$R_{\text{CWD}} = \sum_{i=1}^{12} \max(W_i, D_i) / \sum_{i=1}^{12} D_i \quad (8)$$

ここで W_m は月単位の取水量、 D_m は月単位の需要量である。つまり、月毎の水需要量に対してどれだけの水資源が実際に供給できたかを示すもので、季節変動性を考慮した水資源指標である。 R_{CWD} が1に近いほど、水ストレスが小さく、0に近いと必要なときに水が取れないことを示す。本研究では R_{CWD} が0.9以上の場合を低ストレス、 R_{CWD} が0.4以上の場合を中ストレス、それ未満の場合を高ストレスとした。図8-2は、それぞれのストレス下にある人口を示したものである。この結果、高ストレスにある人口は21世紀半ばまで増加し、その後世界人口が減少に転じて、ほとんど減少しないことが示された。また図8-3は2001年のストレスと比べて、2050年、2100年のストレスの分布がどのように変化するかを示したものである。水ストレスが高いか将来高くなる地域はインドから中近東を通りアフリカ大陸まで広がることが示された。水ストレスが低いか将来低くなる地域はカナダ、ヨーロッパからロシアの西部に広がり、2050年から2100年にかけて西ヨーロッパのストレスが増加し、東シベリアのストレスが減ることが示された。

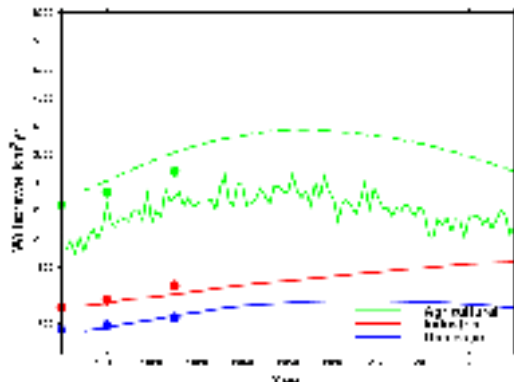


図 8-1 取水量ベースの需要量の将来予測。
点は Shiklomanov (2000)の推計値、破線は内
海(2006)の結果。

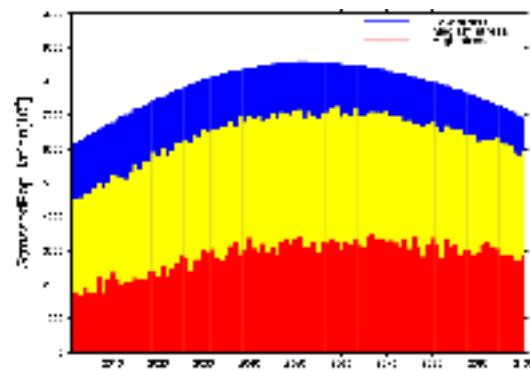


図 8-2 図4 水ストレス別の世界の人口
(単位:百万人)

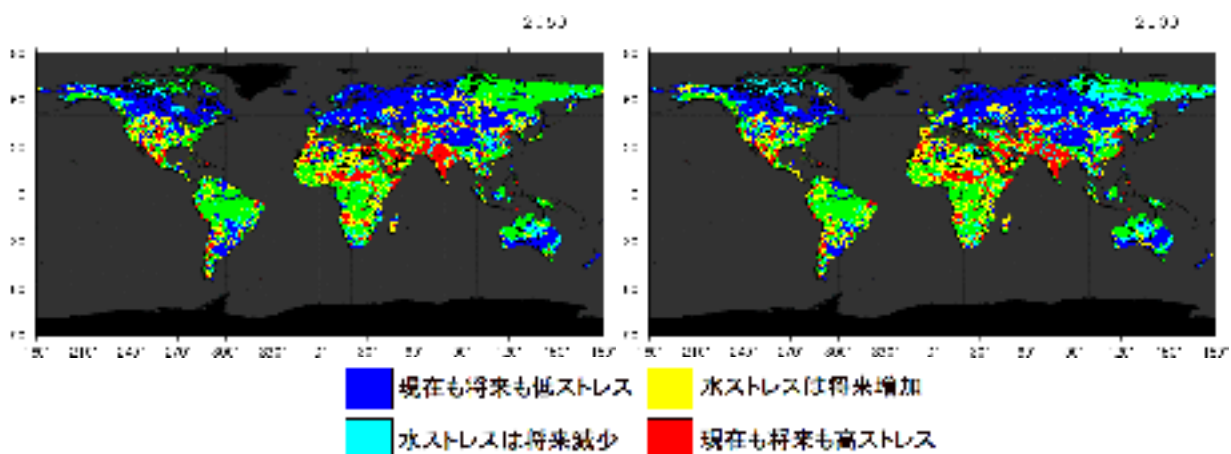


図 8-3 2001 年と比較した水ストレスの変化(左:2050 年、右:2100 年)

(2)結論及び研究成果の今後期待される効果

気候変動による水資源への影響を評価することを目的とした全球統合水資源モデルを開発し、2001 年から 2100 年までの水資源量と水需要量、および需給バランスのシミュレーションを行った。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と考えられる灌漑面積、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徴である。

今後モデルの信頼性を高めていくために本研究では3つの課題が明らかになった。第一に気候データのバイアス補正である。気候モデルの出力には現状では大きなバイアスが含まれるため、補正は必要だが、現実の気象・気候の再現性や GCM の水熱収支との整合性をより検討する必要がある。第二に農業モデルの改良である。今回のシミュレーションからは栽培種の推定や栽培期間の推定に問題があることが明らかになった。観測データとの検証とモデルの改良を重点的に進める必要がある。第三に予測の不確実性の幅を示すことである。そのためには GCM を変えた実験や、SRES シナリオを変えた実験、検証データのある 20 世紀再現実験などを行い、GCM と統合モデル双方の感度や再現性に関するより詳細な検討が必要である。

参考文献

- 内海信幸 温暖化シナリオに基づいた将来のグローバルな水需給アセスメント、東京大学卒業論文、2006。
花崎直太・内海信幸・山田智子・沈彦俊・Magnus Bengtsson・鼎信次郎・大瀧雅寛・沖大幹、温

暖化時の水資源影響評価のための全球統合水資源モデルの開発、水工学論文集、投稿中

Döll, P. and S. Siebert, Global modeling of irrigation water requirements, WRR, 38-4, 2002.

Hanasaki, N., S. Kanae and T. Oki, A reservoir operation scheme for global river routing models, *J. of Hydrol*, **327**, pp.22-41, 2006.

Oki, T. and Kanae, S., Global hydrological cycles and world water resources, *Science*, **313**, 1068-1072, 2006.

3. 1. 9 二酸化炭素排出各シナリオにおける統合水資源アセスメント

代表: 沖大幹(東京大学 生産技術研究所)

参加者: 鼎信次郎(総合地球環境学研究所)・花崎直太・宮崎真(国立環境研究所)、内海信幸・沈彦俊・Magnus Bengtsson・Hyungjun Kim・安川雅紀・喜連川優・芳村圭(東京大学生産技術研究所)、生駒栄司(東京大学空間情報科学研究センター)、安形康(東京大学新領域創成科学研究科)

(1) 研究実施内容及び成果

① 概要

本プロジェクトで個別に進められた研究コンポーネントのほぼすべてを利用し、それらを統合する形で IPCC の SRES シナリオに沿った気候予測と人口・経済発展予測に基づいて現在と将来の水資源需給状況を推定した。流域ベースでの評価では、全球において高い水ストレス(取水量/水資源量 >0.4)がかかる人口は、現在約 20 億強、将来(2055 年頃)にはシナリオによって、40–70 億人に増加する。さらに、2075 年ごろに、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。このような相違性は、人間社会の水利用・水管理に対しての行動指針になるものと考えられる。この結果と現在の水循環水資源の結果を結合して、サイエンス誌にレビュー論文として公表した(T. Oki and S. Kanae, Global Hydrological Cycles and World Water Resources, *Science*, Vol. **313**, no. 5790, pp. 1068–1072. DOI: 10.1126/science.1128845, 2006.)。本項目の図はサイエンス誌からの転載である。

② 手法及び結果

本 CREST プロジェクトのまとめという位置づけで、現在の地球水循環状況を世界各地の研究機関が出す複数の陸面モデルを 1986–1995 年の同一のフォーシングデータで動かして、陸地の水・エネルギー循環のアンサンブル平均を求め、さらに高解像度の土地利用情報などを使って、現在地球上主なランドスケープにおける水循環図(図 9-1)を作成した。

また、IPCC の SRES シナリオに沿った気候予測と人口・経済発展予測に基づいて現在と将来の水資源需給状況を推定した。将来の水資源量の推計にはアメリカ、ヨーロッパ、日本などの 6 機関の気候モデル(表 9-1 参照)が SRES に基づき計算した流出高の将来予測それぞれを、全球河川流路網モデル TRIP(Total Runoff Integrating Pathways)に入力して得た 1 度グリッドの河川流量データを用いた。水需要面では農業用水、生活用水、工業用水需要をそれぞれ予測し、その和を水需要量とし、農業用水需要量では将来の需要量は人口に比例して変化すると仮定し、現在の農業用水需要量マップの各グリッドに人口変化率をかけることで将来の水需要量を予測した。工業用水需要量予測では工業用水の需要量の変化要因が経済規模変化と水利用効率変化であると仮定し、経済規模変化を表す GDP 変化率と、水利用効率変化の代替指標と考えたエネルギー使用量の変化率を現在の工業用水需要マップに乗じて将来の工業用水需要量とした。生活用水は現在の生活用水取水量と GDP の関係をプロットして求めた近似曲線に将来の GDP 予測を当てはめて将来の需要量とした。なお、現在の取水量には公開されている FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations)の国別取水量データ(AQUASTAT online database, 2000)を用い、農業用水需要量は灌漑農地面積分布(Siebert and Döll, 2005)、生活用水と工業用水需要量は人口分布にしたがって 1 度グリッドマップに分布させた。

水ストレスの計算は、水需要面を考慮した指標を含む二つの指標(1 人当たり水資源賦存量、水資源賦存量に対する取水量)によって、河川の流域ごとに行った。つまり、河川の河口部の年流量を河川流域人口で割ったものをその河川流域の一人あたり水資源量とし、河川流域内の取水量を河口部の年流量で割ったものをその河川流域の水資源量に対する水需要比とした。

その結果、流域ベースでの評価では、全球において高い水ストレス(取水量/水資源量

>0.4)がかかる人口は現在約 20 億強、将来(2055 年頃)には、シナリオによって 40－70 億人に増加することが分かった(図 9-2)。さらに、2075 年ころに、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。このような相違性は、人間社会の水利用・水管理 に対しての行動指針になるものと考えられる。



図 9-1 全球水収支の様子

期間	略号	モデル	機関
現在	gswp	_____	GSWP2
将来	gisr	GISS-ER	NASA/Goddard Institue for Space
	mirm	MIROC3.2 (medres)	CCSR/NIES, Japan
	mpi	MPI-ECHAM5	Max Planck Institute for
	mri	MRI-CGCM2.3.2a	MRI, Japan
	ccsm	NCAR-CCSM3.0	Natioanl Center for Atmospheric
	ukmo	UKMO-HadCM3	Hadley Centre for Climate Prediction

表 9-1 用いたデータ及びモデル

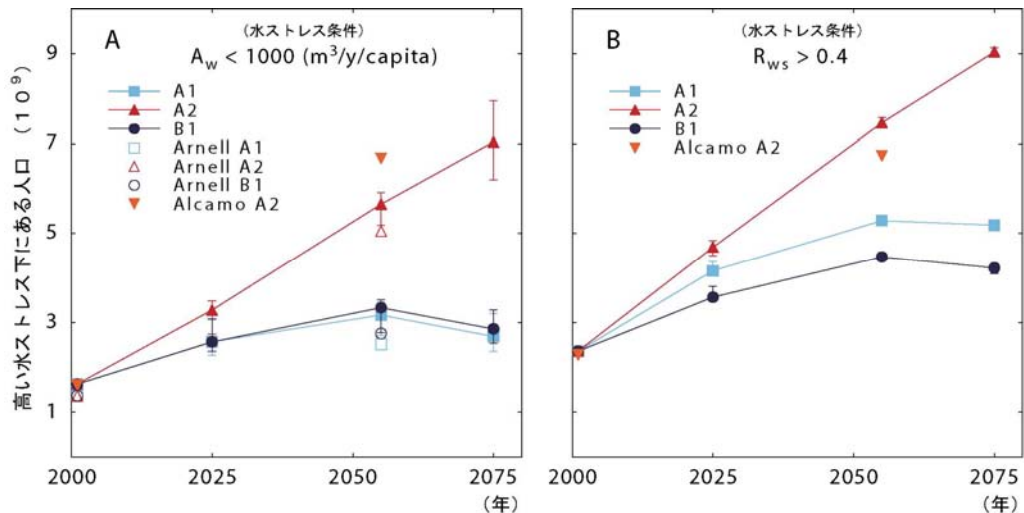


図 9-2 3 つのシナリオに対応して推定された現在から将来にいたる高い水ストレス下にある人の数。高い水ストレスかどうかの閾値は(A)水混雑度指標 $A_w = Q/C < 1000 \text{ m}^3/\text{year}/\text{人}$ 、(B)渇水指数 $R_{ws} = (W-S)/Q > 0.4$ とし、ここに、 Q 、 C 、 W 、 S はそれぞれ、再生可能水資源量、人口、取水量、海水淡水化による水資源量である。エラーバーは 6 つの気候モデルによる再生可能水資源量の推計に対応した高い水ストレス下にある推定人口の最大値と最小値である。2010–39 年平均を 2025 年に、2040–2069 年平均を 2055 年に、2060–89 年平均を 2075 年にプロットしている。

(2)研究成果の今後期待される効果

個別には、人間活動を含めた形で世界の水循環の定量的な様相を示した図1は、水資源の循環状態を最新の情報に基づいて判りやすく示したもので他に類がなく、今後、世界各地の教科書などに転載、利用されることが期待される。しかしながら、図1では、いったん取水された水がどのようにしてどの程度自然の水循環に戻っていくのかの見積もりがいまいなままである。また、グローバルなスケールでの地下水の循環に関して明確な分離ができていない。また、窒素・リン・カリウムや土砂などが水循環と共にどの程度運ばれているのかを定量的に示すことは生態系への影響評価に不可欠だがそうした質に関する推定もこれからの課題となる。これらをグローバルに示す研究にも現在着手しており、今後の進展が期待される。

また、沖がリードオーサーの一人となっている IPCC の第 4 次報告書に何らかの形で本論文の結果が反映されて、将来の水資源に関する温暖化対策立案にも資するものと期待される。

参考文献

- 花崎直太・内海信幸・山田智子・沈彦俊・Magnus Bengtsson・鼎信次郎・大瀧雅寛・沖大幹、温暖化時の水資源影響評価のための全球統合水資源モデルの開発、*水工学論文集*、投稿中
- Hanasaki, N., S. Kanae and T. Oki, A reservoir operation scheme for global river routing models, *J. of Hydrol.*, **327**, pp.22–41, 2006.
- Oki, T. and Kanae, S., Global hydrological cycles and world water resources, *Science*, **313**, 1068–1072, 2006.

3. 2 農業生産と水需要研究(中核機関:東京大学 大学院農学生命科学研究科)

代表:川島博之(東京大学大学院農学生命科学科)

参加者:露木聡・万木孝雄・岡本勝男・Juraiporn Kaewthip・高田直也・Mulyanto Darmawan(東京大学大学院農学生命科学科)、横沢正幸・新藤純子、戸田任重(農業環境技術研究所)、

(1)研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

化学肥料が使用される以前は、生命活動は微生物による窒素固定により生成される窒素化合物にほとんど依存していた。陸上生態系にもたらされる、生物が利用可能な窒素は、表1に示す様に1900年ころは約120 Mt N y⁻¹であったと考えられる(Galloway and Cowling, 2002)。(この「生物に利用可能な窒素」は、アンモニア、アミン、アミノ酸など還元態の窒素と、窒素酸化物、硝酸、亜硝酸などの酸化態の窒素であり、“reactive nitrogen”と呼ばれ、Nr と記される。本稿では原則として、単に「窒素」、「N」と記す。)20 世紀に入りハーバーボッシュ法により大気中の窒素(窒素分子)を人工的に固定することが可能になり、それが肥料として大量に使用されるようになった結果、現在は、自然生態系における窒素固定は多少減少したものの、窒素肥料により85 Mt N が加わった。また豆類などの耕作による窒素固定が33 Mt N へ、化石燃料の燃焼による窒素酸化物の生成が21 Mt N へと増加し、トータルで233 Mt の窒素が生成されている(表10-1)。即ち、人間活動により、陸上生態系に負荷される窒素は最近の100年間に倍増したことになる。窒素肥料の使用は、稲や小麦の多収量品種の開発と相まって、農作物の反収を飛躍的に上昇させ、食料生産に非常に大きな効用をもたらした。一方これまで窒素が制限要因であった陸上生態系において、人為的な窒素負荷が増大することにより、地下水の硝酸汚染や河川・湖沼・海岸域の富栄養化を引き起こすなど環境悪化の原因ともなっている。例えばミシシッピ川流域から流れ込む汚濁負荷や窒素により、メキシコ湾で広域にわたる低酸素現象が発生することが大きな問題となり(Beardsley, 1997; Rabalais et al., 1999 など)、またヨーロッパ及び北アメリカで、窒素負荷が森林の窒素飽和を引き起こして森林衰退を招くという仮説に基づき、解明のための大規模な研究が進められている(Aber et al., 1998; Wright, R.F. and Rasmussen, 1998 など)。

東アジアにおいては、近年の経済発展に伴って、化学肥料使用量はFAO 統計によると1960年代から現在までに20倍以上に増加し(FAO, 2004)、また窒素酸化物排出量の増大も著しい。世界の成長センターである東アジアは、窒素負荷の観点においてもホットスポットとみなされている(Galloway, 2000)。窒素の増大による地下水の深刻な硝酸汚染や湖沼の富栄養化についての報告も見られるが(Zhang et al., 1996; Jin et al., 1990)、この地域における窒素負荷とその影響の全容は十分に把握されていない。

本研究では、東アジアを対象に、主として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検討する。公表されている統計データに基づいて、窒素循環モデルを用いて負荷量分布と水質汚染の現状を推定する。

② 研究実施方法

推定は、図10-1に示す窒素循環モデル(Shindo et al., 2003, Shindo et al., 2005)により行った。モデルでは農地、森林、草地、その他(都市、砂漠など)の4種類の土地利用を想定して、各々に対する窒素の負荷量を物質収支に基づいて次の様な仮定の下で、国毎或いは中国の省ごと、日本の県毎に求めた。

- (1) 農地からの窒素負荷(NLc)は、窒素肥料の施肥量と豆類と稲の栽培による窒素固定による農地への窒素インプットから作物の収穫による持ち出しを差し引いた残りとして計算され、それが農地面積に比例して空間的に分布すると仮定した。
- (2) 家畜からの窒素負荷(NLlv)は、家畜が摂取した飼料中の窒素から生産された肉類(肉、ミルク、卵)中の窒素を差し引いて計算され、農地と草地の合計面積に比例して

空間的に分布すると仮定した。FAO 等の統計から得られる飼料の量は、同じ統計の肉類生産量と比較すると非常に過小であり、不足分は作物残渣や食物残渣を利用していると思われ、飼料の使用量を既存の統計値から見積もることは困難である。そこで、牛肉、豚肉、鶏肉、ミルク、卵の各々の飼料効率(肉類生産物の重量/飼料重量、スミル, 2003)、各肉類の構成割合と窒素含有量(FAO, 2004)、飼料の窒素含有量などに基づいて、飼料として必要な窒素量を推計した。

- (3) 人からの窒素負荷(NL_w)は、人が食料として摂取した食物中の窒素が全て負荷となると仮定し、人口分布に比例して空間的に分布すると仮定した。これには食品産業からの排出も含まれる。人からの尿尿、ゴミ、排水などによる負荷は、一部はそのまま環境中へ放出され、また一部は下水により集められ処理された後、同じグリッド内の河川へ放出されると仮定し、下水処理の割合は WHO による各国の下水普及率のデータを参考に設定した。
- (4) エネルギー生産の窒素負荷(NL_{NO_x})は、化石燃料の燃焼に伴う窒素酸化物の発生量であり、アイオワ大学のデータベースに公表されている発生量分布(緯度経度1度のグリッド)データを用いた。このデータベースに 2000 年の値のみが掲載されているので、過去の発生量はエネルギー使用量(Energy Information Administration, 2002)の経年変化に比例すると仮定して見積もった。これを 1km グリッドに分割し、各 1km グリッドセルから発生した窒素酸化物が半径 50km の範囲に指数関数で減衰しながら等方的に拡散して沈着すると仮定して各グリッドへの負荷量を求めた。
- (5) 自然生態系からの窒素負荷(NL_n)は、森林と草地に関して各々窒素固定の原単位(単位面積当たりの窒素固定速度)と空間分布を用い、草地の場合は年間固定量の全てが、森林の場合は 1/3 が負荷となると仮定して推定した。

なお、国ごと(中国は省ごと、日本は県ごと)に、窒素肥料使用量と家畜からの窒素負荷量(NL_{lv})に各々アンモニア排出係数をかけて、アンモニア揮散量を計算した。国ごと(地域ごと)のアンモニア排出係数は、肥料の種類ごとおよび家畜の種類ごとの文献値(Bouwman, 1997)、各種肥料の使用割合および各種家畜の構成割合に基づいて見積もった。アンモニア揮散量は、各々 NL_c と NL_{lv} と同じ方法により各グリッドに割り振り、NL_{NO_x} と同様に、半径 50km に沈着すると仮定した。これを NL_{NH₃} と記す。

上記の推定において、窒素肥料使用量、各作物及び肉類の生産量、輸出入量、消費量、また家畜頭数などは、FAO のデータベース(1961-2002 年データ:FAO, 2004)のデータを基本データとして用い、中国に関しては中国統計年鑑(1999 年データ:中華人民共和国国家統計局編, 2000)、日本に関しては養分収支算定システム(1997 年データ:三島ら, 2004)などのデータを省別、県別の推定のために補足的に用いた。また各々の起源の負荷量は、衛星データを用いて推定された 1×1km グリッド毎の土地利用データ(Belward et al., 1999)に基づいて空間分布を作成した。

各グリッドへの窒素負荷は土壌及び地下水層中で、脱窒により除去され、或いは有機物として不動化され、残りが河川へ流出し、河川中で更に浄化されて海へ流出すると考える。土壌中及び地下水層中の水の移動はピストンフローを仮定した。即ち、図 10-2 の模式図に示した様に、負荷された窒素は降水と共に上部から下部へと押し出され、その過程で、温度にのみ依存する速度で1次反応により窒素が除去されると仮定した。土壌層厚、地下水層の深さは場所によらず一定と仮定したので、水の滞留時間は各グリッドにおける流速(=降水量-蒸発散量; m y^{-1})のみに依存する。地下水の横方向への移動は考量せずに、グリッド毎に地下水層の鉛直方向の平均濃度を各グリッドの地下水濃度と仮定し、その平均濃度の地下水が河川へ流出し、流路に従って海へ流出すると仮定した。実際の計算に当たっては、土壌層厚(土壌の保水容量)を 30cm、地下水層は 3m と仮定し、土壌中及び地下水層中での反応速度係数($k_{20,S}$ 、 $k_{20,G}$ 、単位: y^{-1})の値及び河川中での除去割合 k_R は、推定結果の濃度レベルが東アジアの既存の水質データ(UN GEMS/WATER, 2003)とほぼ一致する様に設定した($k_{20,S}=0.8$ 、 $k_{20,G}=0.05$ 、 $k_R=0.5$)。

推定対象地域は、東アジア 13 カ国 (ASEAN 加盟の 10 カ国と日本、中国、韓国) とした。これらの国の多くでは、最近数十年間の経済発展が著しく、農業生産量も大きく増大し、一方、環境汚染も一部で問題化している。今後我が国と社会的・経済的にますます密接な関係が予想される地域である。

③ 域別窒素負荷量の経年変化と地域分布

図 10-3 に対象 13 カ国合計の窒素負荷量の 1961 年から 2002 年までの変化を示した。窒素負荷は 1970 年代後半から 80 年代に急激に増加し、90 年代には停滞を示しつつ段階的に増加している。全域の総窒素負荷量は、1961 年は約 14 Mt、1980 年は 32 Mt、2000 年は 54 Mt であり、各々これらの約 65% が中国における負荷である。全負荷量のうち食料生産、消費による窒素負荷 ($NL_c + NL_{lv} + NL_w + NL_{NH_3}$) が占める割合は、各年 36%、70%、78% となり、これも増加の傾向にあり、窒素負荷の増加は主として増加する人口に食料を供給するために窒素肥料の使用量を増加させてきた結果といえる。エネルギー生産による窒素酸化物の沈着量は、現在でも全窒素負荷量の 10% に満たない。この間、この地域の人口は 10 億 2 千万人から 20 億 1 千万人へとほぼ倍増した。耕地面積は 194 万 km^2 から 247 万 km^2 へと 1.3 倍の増加であるのに対して、穀物生産量は、1.5 億 t から 4.8 億トンへ 3.3 倍増加した。反収の増加は窒素肥料の投与に大きく依存し、窒素肥料使用量は、160 万 t から 3150 万 t へと 20 倍に増加している。穀物需要の増加は、経済成長に伴う食生活の変化にも起因している。動物性食品からの窒素の一人当たりの摂取量は、1961 年には 1.0 g day^{-1} であったのが、2002 年には 4.4 g day^{-1} となった。日本やシンガポールを除く国では消費される肉類の大部分を国内で生産しており、そのための飼料穀物の生産の増大も著しい。

図 10-4 にシンガポールを除く 12 カ国の国土面積当たりの窒素負荷量の変化、図 10-5 に中国の 2000 年における省別の平均負荷量、また図 10-6 にその空間分布を示した。シンガポールは全域が人口の密集した都市であり、平均負荷量が 1961 は約 23 t km^{-2} 、2000 年は約 55 t km^{-2} であり、他の国と比較して圧倒的に高い。図 10-4 を見ると、1961 年には、日本と韓国以外の国の窒素負荷はほとんど自然生態系の窒素固定に起因し、化学肥料使用量が少ないために作物生産による負荷は非常に小さい (図ではわからないが、東南アジアの大部分の国では作物生産による負荷は負値であり、土壌から養分を収奪して農業が行われていた)。日本と韓国では既に相当量の窒素肥料が使用されており、作物生産からの窒素負荷及び人からの負荷も他の国と比べて大きい。この 2 国、特に韓国では 1980 年までに更に大量の肥料が使用される様になり、全負荷量も増加し、また中国でも作物生産による負荷の増加が見られる。それ以外の多くの国で、窒素負荷は 1980 年から 2000 年の間に急激に増加し、現在韓国が最も単位面積当たりの負荷が大きい。近年の肥料使用量の増加が著しいベトナムがこれに続いている。ベトナムでは、窒素肥料使用量が 1980 年ころには 10-20 万トン程度だったが、2000 年には 133 万トンと約 10 倍に増加した。

中国は、砂漠地帯を含む広大な国土を持っているため、単位面積当たりの平均窒素負荷量は現在でもあまり大きくない。しかし図 5 に示した中国の直轄市、省、自治区別の平均負荷量、及び図 10-6 の空間分布を見ると、地域による違いが非常に大きいことがわかる。上海市は近年の沿海部の著しい経済発展により現在 1300 万人以上の人口を有する大都市である一方、面積当たりの窒素肥料使用量や家畜頭数も多く、他の省市と比べると負荷量が突出して大きく、単位面積当たりの総負荷量はシンガポールに近い。次に高いのは、江蘇省、山東省、河南省、また北京市、天津市など中国東部の華北平原付近であり、特に黄河と長江の下流域の畑二毛作地帯の負荷が高い。1961 年からの増加率もこの地域で最も大きい。一方、水田作を主とする南部諸省や、近年大規模開発による稲作が行われているという東北三省は比較的 low 負荷、また内モンゴルや西域の自治区での負荷量は極めて小さい。また、台湾、ベトナム南部のメコンデルタ地帯も大きな負荷を受けている。

④ 東アジアにおける水質変化の推定

図 10-7 に地下水と河川水の窒素濃度分布の推定結果を示した。地下水濃度は窒素負

荷の大きい中国東部の黄河および長江下流域において非常に高く、上海市、江蘇省、山東省の2000年の平均は各々59、40、34 mgN L⁻¹となった。局所的には更にこの数倍高い濃度も予測されている。硝酸性窒素濃度に関するWHOの飲料水基準は、11.3 mgN L⁻¹ (50 mg NO₃ L⁻¹)であるので、これらの地域では大幅に基準を超過していることになる。窒素負荷量の小さかった1961年には、これらの省市の地下水の平均窒素濃度は、4~6 mgN L⁻¹であったろうと推定された。また、負荷量のあまり大きくない中国東北地方でも高濃度となった(遼寧省、吉林省の平均濃度が各々24、20 mgN L⁻¹)が、吉林省と同程度の負荷量であるベトナムでは、3.5 mgN L⁻¹と低い。これは、モデルにおいて、窒素除去の反応速度が温度に依存する(Q₁₀=3)と仮定していること、多雨の地域で希釈効果が働くことに起因している。なお、最も負荷の大きいシンガポールの濃度は、16 mgN L⁻¹程度で、飲料水基準は超えているが、中国東部と比較すると低濃度の結果となった。これは、上記の原因に加えて、シンガポールでは窒素負荷の半分を占める人からの負荷が、下水普及率が高いため、地下水への負荷とならないことも理由の一つである。

河川水濃度は、地下水と類似の空間分布であるが、河川中での窒素の除去と上流からの河川水による希釈により、地下水よりかなり低濃度であり、例えば、2000年の上海市、江蘇省、山東省、遼寧省の平均濃度は各々、17、11、10、6 mgN L⁻¹と計算された。

⑤ 東アジアの窒素負荷と水質の現状——モデルの検証

窒素循環モデルにより前述の様な窒素負荷量と水質の東アジアの分布が得られた。この結果が妥当なものであるかどうかを検証するために、2002年~2004年に東アジアの数カ所(中国山東省、内モンゴル自治区、雲南省、タイ、ラオス、フィリピン、東マレーシア(ボルネオ島)、カンボジア)で地下水、河川水を採取・分析し、採取地点が含まれるグリッドにおける濃度の推定値と比較した。表10-2に調査地域とサンプリング時期、地点数を示した。

図10-8に、地下水と河川水の個々の地点の実測値とモデルによる推定結果をと比較した結果を示した。横軸の実測値は溶存無機態窒素(DIN、硝酸態窒素とアンモニア態窒素の合計)である。地下水では、いくつか例外はあるがほとんどのサンプルでアンモニア態窒素濃度は極めて低く、DINのせいぜい5%程度であった。一方河川水のアンモニア濃度は、DINのうち0%から100%まで場所によって様々であった。モデルでは窒素の形態は特に区別していないが、河川からDINとほぼ同量の有機体窒素が流出すると考えられている(Galloway, 1995)ので、図10-8bの縦軸は、モデルによって計算された流出量の2分の1をDINと想定してプロットしてある。湖沼・貯水池などのDIN濃度は、河川に比べて滞留時間が長いので、より低濃度であった。

測定値の空間的な変動は大きく、DIN濃度の範囲は地下水では0.1~273 mgN L⁻¹、河川・湖沼で0~34 mgN L⁻¹であった。地下水の濃度は特に変動が大きく、数十メートル離れた井戸水でも大きな濃度差がある場合もある。特に山東省の場合は、地下水中DIN濃度は、地点によって100倍以上の違いがあり、同じ1kmグリッド内にある地点でも10倍以上異なるケースも見られた。最高濃度の273 mgN L⁻¹(全て硝酸態窒素だった)は、極めて高い濃度であるが、山東省青島市のそばの萊西市の野菜生産基地のものである。温室内で、きゅうり、インゲン、アロエなどを生産している。地下水は灌漑水として用いられ、飲料には用いていないと思われるが、生産基地から数百メートル離れた井戸水の濃度も100mgN L⁻¹を超えていた。施肥量などに関する聞き取り調査によると、約570 kgN ha⁻¹の化学肥料に加えて鶏糞などの有機肥料も用いている。地下水濃度、河川水濃度とも、地域内の変動とともに、地域間にも大きな変動がある。山東省>(内モンゴル自治区、雲南省)>(タイ、フィリピン)>(東マレーシア、ラオス、カンボジア)のような濃度の違いが見られる。内モンゴルは山東省に続いて、雲南省と同程度に濃度が高いが、図10-4、10-5を見ると内モンゴルの単位面積当たりの窒素負荷はかなり小さく、雲南省やタイ、フィリピンの2.5~3分の1程度である。内モンゴルも東北地方と同様に寒冷少雨である。モデルでは、窒素負荷量に加えて、気温による微生物活性の違いと降水量による希釈効果の違いによって窒素濃度

が支配されると仮定しているが、この仮定が現実の場合においても妥当であることを示唆していると考えられる。

実測値とモデルによる推定値を比較すると、地下水に見られるような局地的な大きな濃度変動をモデルによって再現することは難しい。本モデルは 1km グリッドという空間分解能で国や地方単位の統計データに基づいて負荷量を見積もっていることなどから、推定値は大きな不確定性を持っており、特定の河川や井戸の窒素濃度を的確に推定することは困難である。しかし、図 10-9 に示したように、地域、国ごとの平均濃度は、両者がかなり良く対応している。地域ごとの平均濃度の傾向(順番)も前述の実測値のものとはほぼ一致している。従って、このようなモデルによって、地域的な濃度特性は比較的良好に推定でき、将来の経済状況や食料需給の変化による環境影響を長期的、広域的に推定するための一つのツールとなり得るであろう。

表 10-1 生物利用可能窒素の陸域における生成量(Mt N y⁻¹)

	1890 年	1990 年
自然生態系での窒素固定	100	89
豆類、米などの生産による窒素固定	15	33
放電による NO _x 生成	5	5
化石燃料の燃焼	0.6	21
化学肥料		85
合 計	120.6	233

表 10-2 東アジアにおける水質測定地域と地点数

国・地域	サンプリング	サンプリング地点数		
	時期	河川	地下水	湖・貯水池
中国山東省(青島, 済南周辺)	Dec.2002, Mar. 2003	5	14	7
雲南省(昆明、麗江、大理周辺)	Feb.2004	6	8	5
内蒙古自治区(フフホト、東勝、四子王旗周辺)	Oct. 2003	6	5	0
タイ(コンケン、ナコンラチャシマ周辺)	Feb. 2003	8	1	4
ラオス(ビエンチャン周辺)	Feb. 2003	4	2	1
フィリピン(マニラ、ロスバニョス周辺)	Dec. 2003	5	3	4
東マレーシア(コタキナバル周辺)	Oct. 2003	16	0	0
カンボジア(プノンペン周辺)	Aug. 2004	2	0	0

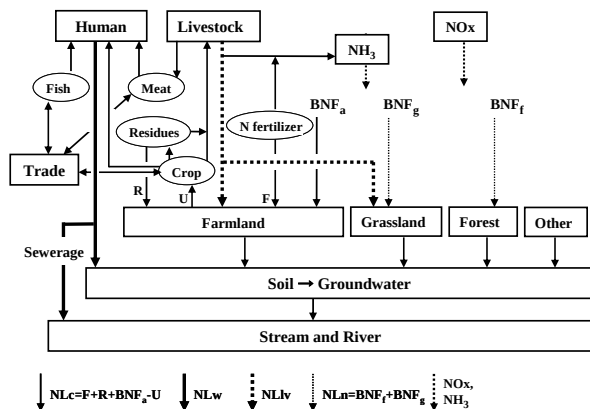


図 10-1 窒素収支モデルによる窒素フローの概要

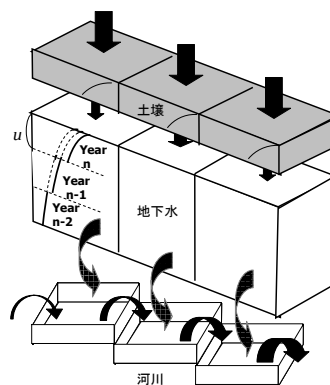


図 10-2 土壌、地下水層での水移動と窒素除去反応

土壌層、地下水層の各々に関して
 $dC/dz = -k_T C/u$
 $C_z = C_0 \exp(-k_T z/u)$
 $k_T = 3(\sigma-20)/10 \cdot k_{20}$
 C_0 : 深さ 0m での窒素濃度
 C_z : 深さ z m での窒素濃度
 k_T : T°C における窒素除去係数
 u : 流速 (m/y)=降水量-蒸発散量

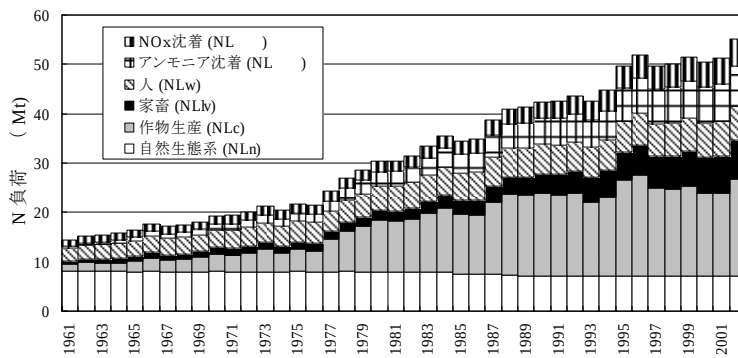


図 10-3 東アジア 13 カ国の総窒素負荷量の経年変化

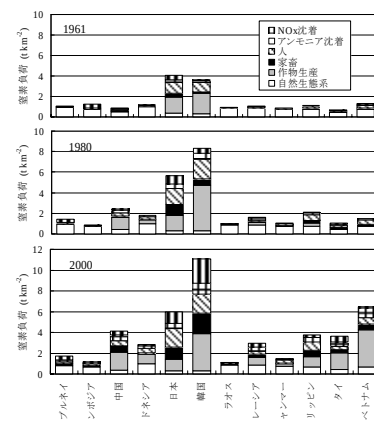


図 10-4 各国の国土単位面積当たりの窒素負荷量の変化

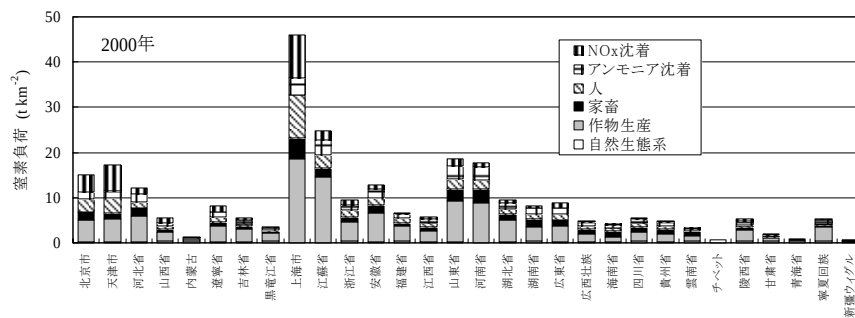


図 10-5 中国省・市・自治区の単位面積当たりの窒素負荷量(2000 年)

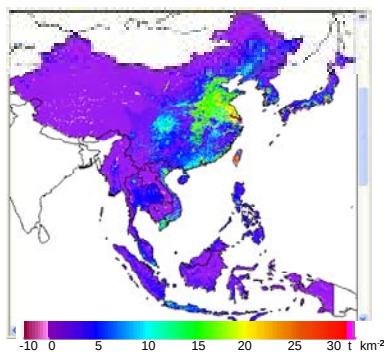


図 10-6 総窒素負荷量の空間分布 (2000 年、単位: t km⁻²)

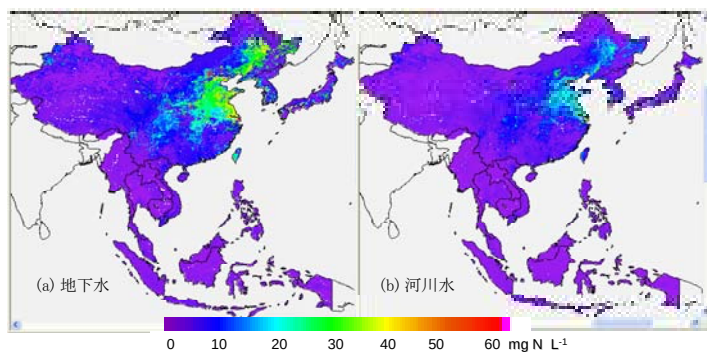


図 10-7 地下水(a)、及び河川水(b)の窒素濃度推定値の空間分布(2000 年、単位 mgN L⁻¹)

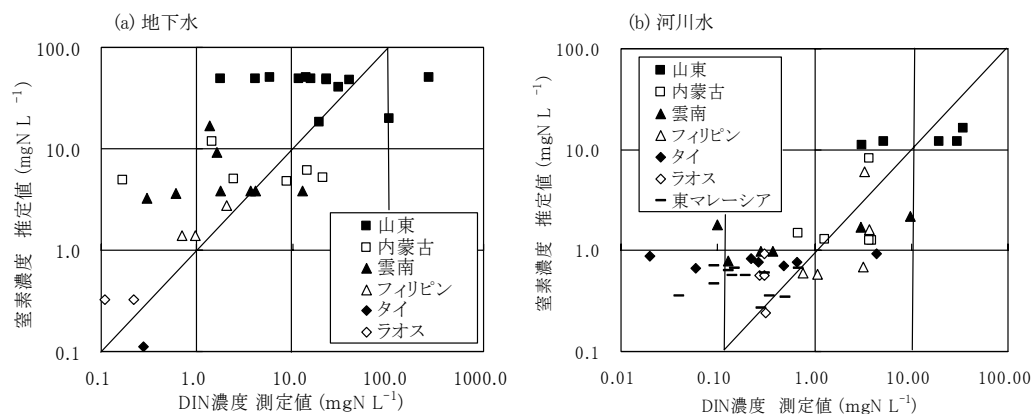


図 10-8 東アジア各国で測定した地下水(a)と河川水(b)の DIN 濃度とモデルにより推定した窒素濃度の比較

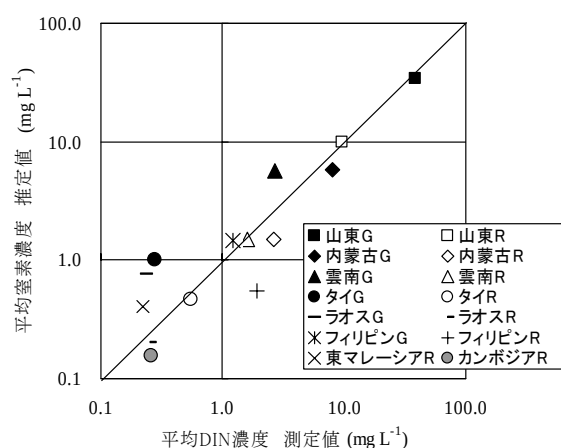


図 10-9 地域平均濃度の測定値と推定値の間の比較
(地名の後ろの G は地下水、R は河川水を表す。)

(2) 結論及び研究成果の今後期待される効果

簡単な窒素循環モデルを用いて、東アジアの窒素負荷と水質への影響の最近の 40 年間の変化の概要を示した。東アジアでは人間活動、特に農業による食料供給によって環境への窒素負荷は約3倍に増加し、深刻な水質汚染が発生している地域の存在が示された。しかし地域による違いは著しい。カンボジアやラオスでは、現在でも肥料が十分でなく、農業は土壌から養分を収奪することにより行われていると思われる。一方、中国東部や韓国など、明らかに過剰施肥である地域もある。

シンガポールは単位面積当たりの窒素負荷量が最大であり、上海もまた大きな負荷を受けていることが示された。現在の負荷量マップを詳細に見ると、他にも大きな負荷を持つ地域がスポット的に散在しており、その多くは人口密度の高い大都市に相当していることがわかった。特にインドネシア(メダン、マカサーなど)、韓国(ソウル、光州)、中国(香港、北京、台湾の高雄)に対応する地域で総負荷量が 40 tN km⁻²を超えていた(Shindo et al., 2005)。このような都市部では、農村地帯からの人口移動により、最近 40 年間の負荷の増加率が他の地域と比べて著しく大きく、今後もますます過密化すると予想される。下水処理などの対策が講じられない場合、都市化による深刻な汚染を引き起こすと考えられる。

今後の東アジアの窒素負荷を予測するには、様々な要因を検討する必要がある。FAO による予測では人口は 2030 年に 2000 年の 1.2 倍弱まで増加する。現在この地域のほとんどの国では米などの穀物はほぼ充足しているが、人口増加に対応するため、また特に

今後増加することが予想される動物性タンパクへの需要を満たすための飼料穀物増産のために、窒素肥料をもっと必要とするであろう。現在多くの国で一人当たりの動物性タンパク摂取量は日本と比較してかなり小さい。一方、アジアは肥料効率が先進国と比べて低く、また農業における窒素のリサイクリング率も小さいといわれている(Cassman et al., 2003; Zhu et al., 2004)。中国や韓国では窒素による環境汚染が既に認識されている地域もあり、その解決のために適切な肥料の選択、施肥管理など、肥料効率を上げるための努力がなされるであろう。将来の窒素負荷の変化はこれらの努力にも依存している。

参考文献

- Aber, J., McDowell, W., Nadelhoffer, K., Magill, A., Berntson, G., Kamakea, M., McNulty, S., Currie, W., Rustad, L. and Fernandez, I. (1998) Nitrogen Saturation in Temperate Forest Ecosystems Hypotheses revisited. *BioScience* **48**, 921-934
- Beardsley, T. (1997) Death in the deep: "Dead zone" in the Gulf of Mexico challenges regulators. *Scientific American* **277**(5), 17-20.
- Belward, A.S., Estes, J.E. and Kline, K.D., 1999. The IGBP-DIS global 1-km land-cover data set DISCover: a project overview. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, **65**: 1013-1020.
- Bouwman, A.F., Lee, D.S., Asman, W.A.H., Dentener, F.J., Van der Hoek, K.W., Olivier, G.J., (1997) A global high-resolution emission inventory for ammonia. *Global Biogeochemical Cycles* **11**, 561-587.
- Cassman, K.G., Dobermann, A., Walters, D.T. and Yang, H., 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annu. Rev. Environ. Resour.* **28**:315-358
- Center for Global and Regional Environmental Research, 2002. Emission Data. ACCESS, Available via <http://www.cgrer.iowa.edu/ACCESS/ACCESS-index.htm>
- Energy Information Administration (2004) International Energy Annual 2002, <http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/contents.html>
- Galloway J. N., W. H. Schlesinger, H. I. Levy, A. Michaels and J. L. Schnoor (1995) Nitrogen fixation: Anthropogenic enhancement-environmental response, *Global Biogeochemical Cycles*. **9**(2), 235-252.
- Galloway, J.N. (2000) Nitrogen mobilization in Asia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. **57**, 1-12.
- Galloway, J.N. and E.B. Cowling (2002) Reactive nitrogen and the world: 200 years of change, *Ambio* **31**, 64-71.
- Jin, X., Liu, H., Tu, Q., Zhang, Z. and Zhu, X. (1990) Eutrophication of Lakes in China, 4th International Conference on Conservation and Management of Lakes, pp.652.
- 三島慎一郎・松森信・井上恒久 (2004) 都道府県・市区町村単位での窒素収支算定を行うデータベースの構築. *日本土壌肥科学雑誌* **75**, 275-281.
- Rabalais, N. N., Turner, R.E., Justic, D., Dortch, Q. and Wiseman Jr., W.J. (1999) Characterization of hypoxia: Topic 1 Report for the integrated assessment on Hypoxia in the Gulf of Mexico. *NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 15*. http://www.nos.noaa.gov/products/hypox_t1final.pdf.
- Shindo, J., Okamoto, K. and Kawashima, H. (2003) A model based estimation of nitrogen flow in the food production-supply system and its environmental effects in East Asia. *Ecological Modelling* **169**/1-2, 197-212.
- Shindo, J., Okamoto, K. and Kawashima, H. (2005) A model based estimation of effect of population concentration into the urban area in the Eastern Asia in terms of nitrogen pollution, *Ecosystems and Sustainable Development V* (edited by Tiezzi, E. et al.), *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol. **81**, WIT press, ISBN: 1-84564-013-6, 115-123
- スミル、バーツラフ (Smil, Vaclav)・逸見 謙三・柳沢 和夫【訳】・食料・農業政策研究センタ

- 一【編】世界を養う.(2003)、食料・農業政策研究センター国際部会;農山漁村文化協会、389p.
- UN GEMS/WATER, 2003. Global Environment Monitoring System, Freshwater Quality Programme (GEMS/WATER), United Nations Environmental Programme. <http://www.gemswater.org/publications/index-e.html>.
- Wright, R.F. and Rasmussen, L. (1998) Introduction to the NITREX and EXMAN projects. *Forest Ecology and Management* **101**, 1-7.
- Zhang, W.L., Tian, Z.X., Zhang, N. and Li, X.Q. (1996) Nitrate pollution of groundwater in northern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **59**, 223-231.
- Zhu, Z., Xiong Z. and Xing, G. (2004) Impact of population growth and economic development on the N cycle in Asian regions. *Program and Abstracts of the Third International Nitrogen Conference*, **50**.

3. 3 人間活動と水需要研究(中核機関:お茶の水女子大学 大学院人間文化研究科)

代表:大瀧雅寛(お茶の水女子大学大学院人間文化研究科)

参加者:荒巻俊也(東京大学大学院工学系研究科)、大瀧友里奈(東京大学大学院学際情報学府)、杉原晴佳(お茶の水女子大学大学院人間文化研究科)、Magnus Bengtsson(東京大学生産技術研究所)

(1)研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

本研究グループの目標は、世界各地域の水資源アセスメントを行ううえで必要となる都市や産業における水使用の現状を把握するとともに、その予測を行うことである。

都市用水の中でも、人口の都市集中化によって急激に増大する可能性のある生活用水量の予測は、単なる原単位と人口予測の積で予測できるものではない。水道の布設、生活レベルの向上、都市部と非都市部の格差といった様々な要因を考慮して、一人当たり使用量を予測する必要がある。一方で先進諸国においては、既に生活用水の一人当たり使用量は既に頭打ちとなっており、今後増大するとは考えにくい。即ち、発展途上国における、人口集中及び水消費原単位の増大によって加速度的な需要の増大を警戒しなければならない。しかし、世界的に見ると1人当たり水使用量の情報は現状の値について十分に整備されているとは言えない。よって、本グループでは

(a) 各都市における用途別水使用量の収集と影響因子の解析、

(b) 途上国(タイ国)都市における用途別水使用量の実態調査と影響因子の解析、
を行い、現状の生活用水使用量とそれに影響を与える因子について解析を行い、これらの解析から得られた結果をもとに

(c)世界各地域の都市用水使用量の現状値と将来予測値を表す地図の作成、
を行った。

都市用水と並んで、今後需要が増大すると考えられるのが工業用水である。しかし工業用水に関しては詳細なデータが少ない。特に世界の工業用水データは国別単位のデータ(各国内の総合計量)以外は入手が困難なため、現状においても世界規模での工業用水量の分布は把握しにくくなっている。そこで本研究では、工業用水量データの揃っている日本の状況を詳細に分析することにより、工業用水量を決定する因子を解析し、その結果を利用して、国別単位データをグリッドデータに配分する手法を検討した。また合わせて、将来予測を行うための基礎的な知見をまとめることを目的とした。

② 都市用水使用量の予測

(a) 各都市における用途別水使用量の収集と影響因子の解析

世界各都市の水供給機関に対して電話によるヒアリング調査、電子メールによるアンケート調査を行い、世界 30 都市における家庭内の用途別水使用量の情報を収集した。また、水資源量、価格、世帯人数、気温、降水量、水資源量、穀物からの摂取カロリー(食文化を表す指標として)データの収集も併せて行い、各用途別水使用量ごとにそれらの指標との相関解析を行った。その結果、図 11-1 に示すように先進国のさまざまな都市において用途別の家庭用水使用量を比較した場合にも、ヨーロッパの都市とアメリカや日本、オーストラリアの都市では、水使用状況に差があることが示された。相関解析の結果では、水資源量や水の価格などが、水洗便所用水、洗濯用水と関連性が高いことが示された。

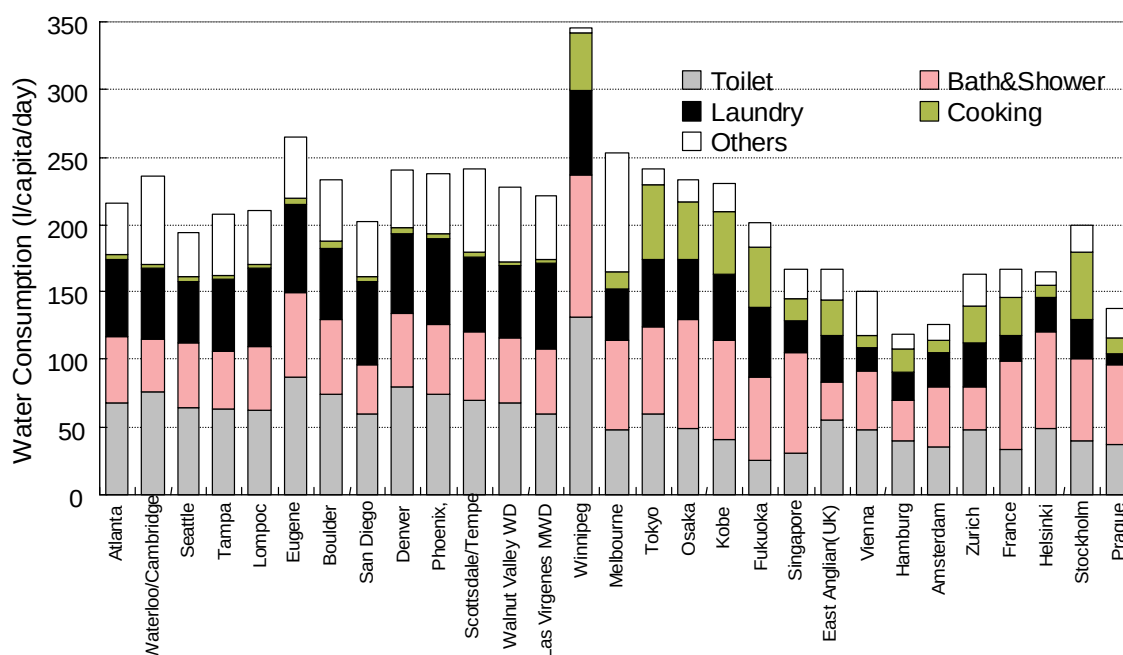


図 11-1 世界各都市における用途別水使用量

また、国内からさまざまなタイプ(都市の規模、水資源の逼迫状況)の都市を選定して、1950～2000 年の一人当たり都市用水、家庭用水使用量、世帯人数、平均所得、水洗化率、水道普及率、水道料金などの情報を収集し、それら指標との相関関係の解析を行った。さらに、東京、京都、シンガポール、ヘルシンキ、コペンハーゲン、ロンドンについて、一人当たり水使用の経年変化の状況を、文献や水供給機関へのヒアリング、現地研究者への委託調査などにより収集し、その変動傾向について考察を行った。いずれの都市においても 1970～90 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。特に日本国内の都市について詳細な解析を行った。具体的には、家庭用水と家庭用以外の水量とを分けて解析した結果、いずれの都市においても家庭用以外の水使用量は変化がなく、家庭用水の変動が都市用水の変動の主な要因であることが明らかとなった。また水使用量変化を増加期と飽和期に分けてそれぞれの決定因子の特定を行い、増加期においては世帯人数が主な決定因子であった。

さらにこれらの文献調査の結果から、Demand side management (水需要管理)の現状と今後の可能性についても検討を行った。世界各地において、水需要管理の多くの試みが行われてきているが、これらは水資源開発と比較して経済面でも環境面でも優れているにもかかわらず、多くのケースにおいて関連するステークホルダーからの十分な支援が得られていないことがわかった。

(b) 途上国(タイ国)都市における用途別水使用量の実態調査と影響因子の解析

発展途上国の中でも経済成長期にあるタイ王国を対象として取りあげ、家庭用水使用の詳細な調査を行った。特に用途別の使用量を把握することによって、増大が懸念される用途およびその増加率、増加の原因を把握することによって、これまでこの様なデータの欠損していた発展途上国での生活用水需要量予測を綿密に行うことを目的とした。

タイ王国の中でも水資源が豊富なチェンマイ市および慢性的に水不足状況にある東北部のコンケン市に焦点をあて調査を行った。特にコンケンでは、都市部、非都市部の相違点を探るべく、コンケン市街(以後都市部)、Phu Pha Man 地域(以後非都市部)の2箇所において調査を行った。調査は雨季および乾季の 2 回にわたり、チェンマイでは合計 60 件、コンケンでは、合計 120 件の家庭(都市部 59 件、非都市部 60 件)において、アンケート

トおよび小型流量メータ(図 11-2)の設置によって一ヶ月間の水使用量を調査した。

この結果を用いて、各使用用途において、1 人あたりの 1 日平均使用量と世帯人数・世帯における5歳以上の人数・日中在宅している人数・世帯の1ヶ月の収入・1 人当たりの1ヶ月の収入において相関を調べたが、いずれにおいても明確な相関はみられず、生活形態、生活レベルは決定因子としては弱いことがわかった。またいずれの用途別使用量も図 11-3 に示すように対数正規分布に従う形となった。この分布系を元にして、各地域および季節毎の各用途別使用量をまとめたのが表 11-1 である。この平均値だけでなく、t-検定および Kolmogorov-Smirnov 検定(以下 KS 検定)にて、それぞれの用途別における季節差、地域差の平均値、分布形の差の有意について検定した。チェンマイとコンケンの比較から、いずれの場合もチェンマイにおける水使用量が多く、特にトイレ、炊事用は差が見られるが、水浴びシャワーは有意な差が現れなかった。これは水浴び用水は、水資源の乏しいコンケンにおいても節水意識が働きにくい用途であるためと推測される。一方トイレ、炊事は意識によって増減に影響を与えやすい因子であるとも考えられる。

コンケンにおける都市部、非都市部に関して、比較した結果を図 11-4 に示す。都市部の水使用量は、非都市部に比べて、殆どの用途において多いことが明らかになった。しかし洗濯用水に関しては、機械を用いた場合にはその差が小さい事もわかった。即ち、人の手で調節可能な用途に関しては、状況によって増減の可能性が大きい、機械化される場合はある程度予測された水使用量となることが確認されたことになる。この知見によって生活レベルの向上に伴う水需要量予測を、機械化と非機械化の用途で区別して行えば、より現実的な予測となることが示唆された。



図 11-2 Small flow meter equipment for measuring water flow

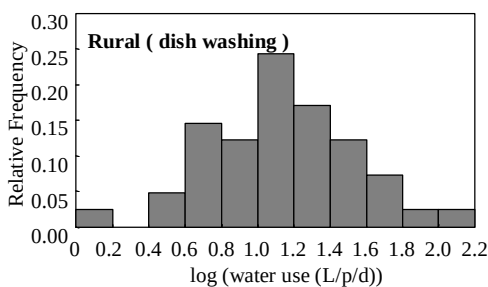


図 11-3 Log-normal distribution of water use for dish washing

表 11-1 Average water use for each purpose

	2004-2005				2004	
	Khon Kaen				Chang Mai	
	Dry season		Rainy season		Dry season	Rainy season
	Urban	Rural	Urban	Rural		
Toilet	10	7	7	7	14	11
Bath & shower	23	15	21	15	23	28
Cloth washing	17	14	16	13	17	18
Dish washing	11	13	9	10	17	15

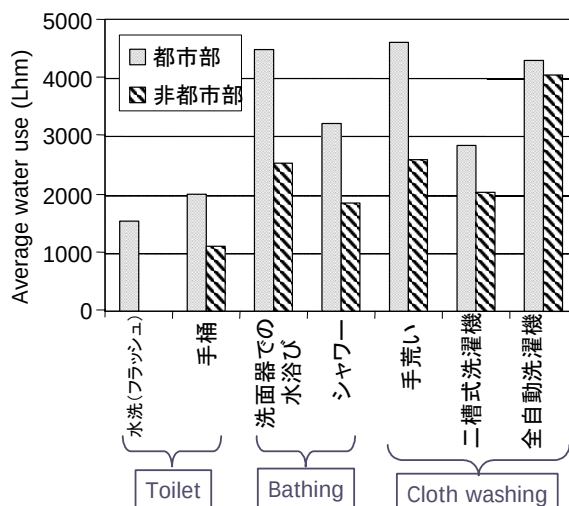


図 11-4 Water use in urban and rural area for each purpose

(c)世界各地域の都市用水使用量の現状値と将来予測値を表す地図の作成

全球スケールで0.5度グリッドごとの現状および2050年までの都市用水使用量を推測し、水需要マップを作成した。

まず現状マップの作成であるが、各国ごとの都市用水使用量については信頼性の高い情報が不足していることから、FAOのAquastatのデータベースを元に文献調査や前述したタイにおける実態調査などの情報を用いて一部補正をして用いた。また、このデータは水道事業体による給水量しか含んでいないものと考えられたため、自己水源を利用している場合などを想定して補正を行った。このデータと都市および非都市地域における水道普及率の違いから、都市および非都市地域における1人当たり都市用水使用量を算出した。0.5度グリッドごとの都市および非都市地域の人口は、各国ごとの都市人口率や土地利用を元に推定された情報を用い、1人当たり都市用水使用量と掛け合わせて現状の使用量を推定した。

図11-5はこのようにして算出された都市用水使用量を各流域ごとに河川流出量で除した値を示しており、濃い色(青)はその値が高い、つまり河川流出量に対して都市用水使用量が高い流域を示している。黄河流域や中東地域、北米西部などが該当している。この図は農業用水や工業用水を加味していないが、これらの地域では水不足となる可能性が高いことが示唆されている。



図11-5 Estimated current resource pressure from domestic withdrawals per river basin. Dark colors indicate high withdrawals-to-resource ratios.

将来予測であるが、まず人口と都市化の状況を予測する必要がある。これはSRESの人口予測と国連の都市人口の予測から2050年までの0.5度グリッドごとの都市および非都市人口の予測を行った。また、1人当たり都市用水使用量についてもSRESの4シナリオを念頭において推定を行った。我々の予測では、1人当たりGDPに基づく水使用量の増加とピークの設定、ピークに達した後の水使用量の減少をモデル化しており、従来行われてきたこれまでのトレンドからの水使用予測などと比べて、より現実的な予測が行えるようになった。

水道へのアクセスがある都市人口、水道へのアクセスがある非都市人口、水道へのアクセスがない人口の3カテゴリに分けて、個別に水使用量原単位の推定モデルを作成した。1人当たりGDPがある水準に達する前を水使用量の成長期として、1人当たりGDPの増加に応じて水使用量が増加することとし、それぞれ異なるピーク使用量を設定してそれに向けた漸近曲線により予測を行った。また、都市内の他用途(公共用水や漏水など)については生活用水に対する比率を仮定した。

1人当たりGDPがある水準以上の主として先進国については、すでに水使用量のピーク

に達していることから、A1 および A2(経済成長優先シナリオ)では現状の水使用量原単位をそのまま用い、B1 および B2(環境保全優先シナリオ)では現状から 2025 年までに 20%の減少、2050 年までにさらに 10%の減少を想定した。

図 11-6 はこのようにして求められた SRES A1 シナリオにおける都市用水使用量の 2000～2050 年にかけての変化分を各流域の河川流出量で除したものである。緑で示された地域は人口の減少により水使用量が減少している。また、中近東やアフリカ、中国、インドネシア、インド、中南米太平洋側の臨海部で赤くなっており、今後水使用量の急速な増大が見込まれることが示されている。現状値の図と比較すると現状で都市用水使用量が多い地域と将来都市用水使用量が増加する地域が一致している例も多く、これらの地域では都市用水と他の用途の水利用のコンフリクトが大きくなることが予想される。

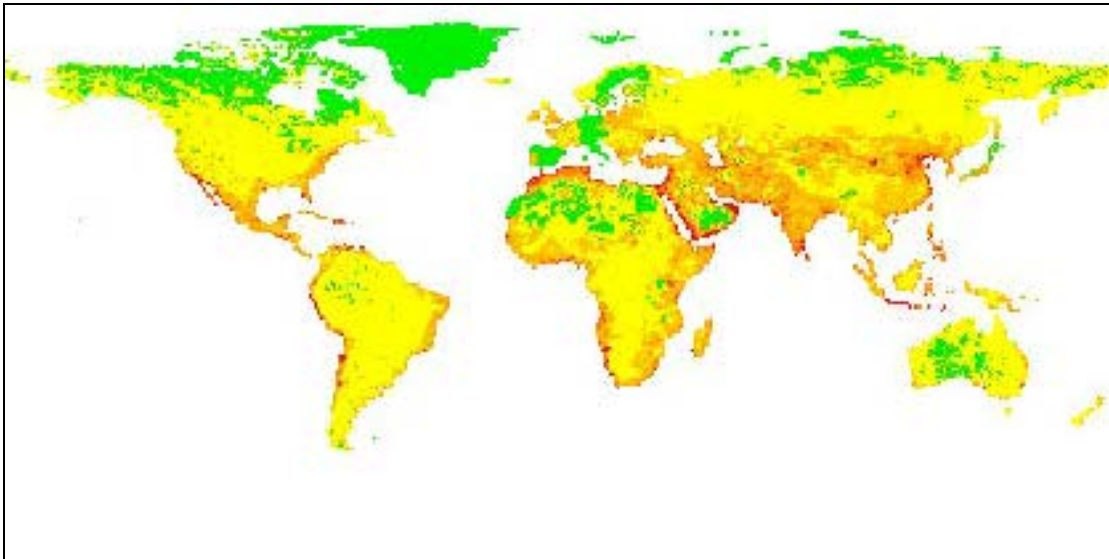


図 11-6 Estimated increase in domestic water use 2000-2050 compared with available freshwater resources. Green color indicates decreasing use. Yellow, orange and red increasing degrees of resource pressure caused by domestic water use growth.

③ 工業用水使用量の予測

まず都道府県レベルの工業用水量データを用いて、用水量と相関の高い因子の割り出しを行った。候補として挙げた因子は、以下の 12 項目である。(人口、面積、人口密度、世帯数、海に面するか否か、内水域、海岸線の長さ、工業用地面積、事業所数、従業者数、製造品出荷額)これらの変数をステップワイズ法にて絞り込み、相関の高い因子を割り出したところ、工業用地面積において高い相関係数が得られた。これは業種毎であっても全業種合計量であっても同様の結果であった。ただし、世界的に見て工業用地面積をメッシュデータとして取得するのは極めて困難である。そのため、都市面積を代替指標とすることにした。都市面積のうち工業用地ではない面積は多いが、メッシュサイズを拡大していけば、各メッシュに含まれる工業用地面積と都市面積の比率が同等になっていくことが考えられる。そこで、メッシュサイズの大小が都市面積と工業用水使用量との相関に及ぼす影響についての日本のメッシュデータを用いて確認を行った。

図 11-7 は、各メッシュサイズとその時の都市面積と工業用水使用量との相関係数の推移を示したものである。図に示されるとおり、メッシュサイズが大きくなると、それにつれて工業用水と都市面積の相関係数も高くなっていることがわかる。0.5 度グリッドではおおそ 0.8 程度となっており、十分高い相関が得られていることになり、都市面積によって国レベルのデータをグリッド毎に配分することができると考えられる。この関係をもとに全球スケールでグリッドごとの工業用水使用量の現状値を算出し、図 11-8 のように図化した。今後は日本以外の国における同様の試算を行って、この手法の妥当性の確認を行っていく必要

がある。

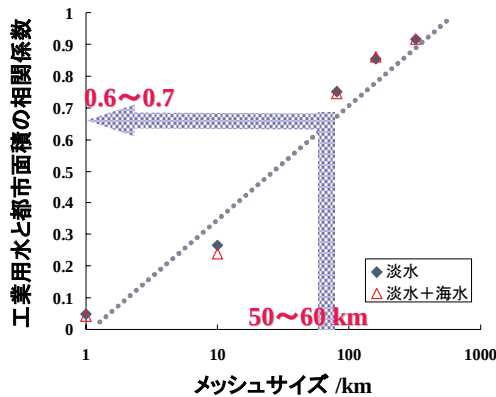


図 11-7 Correlation coefficient in various mesh size data

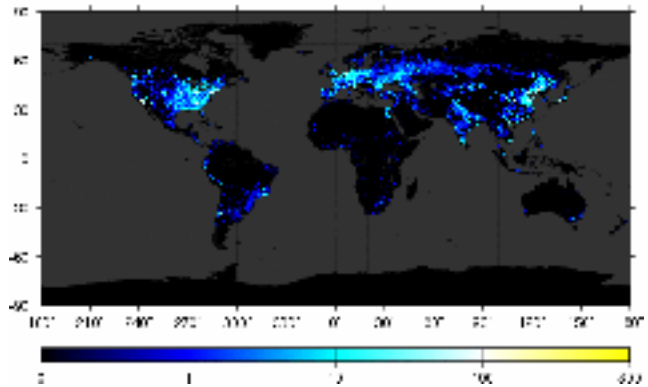


図 11-8 Estimated grid-data of industrial water use in 2000

(2)研究成果の今後期待される効果

記載が前後しているが、本項目の結果は統合モデルの一部として3. 1. 8及び3. 1. 9における統合水資源アセスメントに用いられた。

途上国において、都市用水需要は今後も増え続けるものと予想される。そのためには水資源施設、水供給施設の計画・建設が必要となってくるが、これらは多大なコストが必要となるだけでなく、建設とその運用が与える環境影響も大きくなるものと考えられる。本グループでは、これまで情報が少なかった途上国における家庭用水利用の実態について定量的な情報を集めるとともに、さまざまな文献情報も集めてきており、これらの情報は途上国において適切な水供給インフラを計画していくうえで貴重な情報となるであろう。

本グループでは都市用水使用量および工業用水使用量の 0.5 度グリッドの全球マップを作成した。都市用水使用量の予測値については、従来の同種の予測結果と比較して、SRES の将来シナリオを想定し、1人当たり水使用量が将来減少する可能性を組み込むなど、現実性、水資源アセスメントへの有用性という点で洗練されたものとなっている。工業用水の現状値についても世界的に見て初めての試みといえるものであり、今後気候変動のシナリオと組み合わせてグローバルな視点から水資源アセスメントを行っていくうえで有用なものと言える。

参考文献

- Aramaki T., Suzuki M., Hanaki K., International analysis and projection of domestic water use, *Journal of Global Environment Engineering*, **10**, 1-10., 2004.
- Bengtsson, M., T Aramaki, M Otaki and Y Otaki. Learning from the future: what shifting trends in developed countries may imply for urban water systems in developing countries, *Water Science and Technology: Water Supply*, Vol.5, No.3-4, pp.121-127, 2005.

4 研究参加者

研究グループ名： 世界水モデル・データベース研究グループ（代表：沖大幹）

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期	備考
沖 大幹	東京大学生産技術研究所	助教授	総括・水資源アセスメント	H13.12～終了まで	
安岡 善文	東京大学生産技術研究所	教授	衛星による土地被覆解析	H13.12～終了まで	
喜連川 優	東京大学生産技術研究所	教授	情報基盤・データベース構築	H13.12～終了まで	
根本 利弘	東京大学生産技術研究所	助手	情報基盤・データベース構築	H13.12～終了まで	
中野 美由紀	東京大学生産技術研究所	助手	情報基盤・データベース構築	H13.12～終了まで	
鼎 信次郎	総合地球環境学研究所	助教授	水循環モデリング	H13.12～終了まで	
Tran Hung	東京大学生産技術研究所	博士研究員	衛星による土地被覆解析	H13.12～H15.9	
Jan Kucera	東京大学生産技術研究所	博士課程学生	衛星による土地被覆解析	H13.12～H15.9	
遠藤 貴宏	東京大学生産技術研究所	助手	衛星大規模データ収集	H13.12～終了まで	
Manzul Hazarika	東京大学生産技術研究所	博士課程学生	衛星による土地被覆解析	H13.12～H15.9	
竹内 渉	東京大学生産技術研究所	科学技術振興特任研究員	衛星による土地被覆解析	H13.12～終了まで	
平林 由希子	山梨大学	助手	水循環モデリング	H13.12～終了まで	
Chusit Apirumanekul	東京大学生産技術研究所	博士課程学生	降水のフラクタル解析	H16.4～H17.3	
花崎 直太	東京大学生産技術研究所	博士課程学生	世界水循環モデル開発	H13.12～終了まで	
Cho Jaeil	東京大学生産技術研究所	修士課程学生	世界水循環モデル開発	H.17.4～終了まで	
湯 秋鴻	東京大学生産技術研究所	博士課程学生	水循環モデリング	H16.4～H18.9	
小松 光	東京大学生産技術研究所	特別研究員	蒸発散量推定モデルの構築	H16.4～H.18.3	
柴崎 亮介	東京大学空間情報科学研究センター	教授	土地利用／水利用モデリング	H13.12～終了まで	
Rajan krishnan	科学技術振興機構	CREST 研究員	土地利用モデリング	H13.12～終了まで	
生駒 栄司	東京大学空間情報科学研究センター	助手	情報基盤・データベース構築	H13.12～終了まで	

Yang Pen	東京大学空間情報科学研究センター	博士課程学生	情報基盤・データベース構築	H15.4～終了	
和田 由美子	東京大学空間情報科学研究センター	博士課程学生	情報基盤・データベース構築	H15.4～ H16.9	
寺岡 正樹	東京大学空間情報科学研究センター	修士課程学生	情報基盤・データベース構築	H15.4～終了	
余 亮	東京大学空間情報科学研究センター	協力研究員	情報基盤・データベース構築	H13.12～終了 まで	
白川 直樹	筑波大学機能工学系	講師	環境用水需要算定	H13.12～終了 まで	
森山 聡之	崇城大学工学部	助教授	情報基盤・データベース構築	H13.12～終了 まで	
安形 康	東京大学新領域創成 科学研究科	助手	世界水循環モデル	H13.12～終了 まで	
越智 士郎	近畿大学農学部	助教授	衛星大規模データ収集	H13.12～終了 まで	
松村 寛一郎	関西学院大学	助教授	環境地球マネジメント	H13.12～終了 まで	
Islam MD. Sirajul	東京大学生産技術研究所	科学技術振興特 任研究員	水循環モデリング	H15.10～ H.17.3	
芳村 圭	東京大学生産技術研究所	助手	水循環モデリング	H14.10～終了 まで	
宮崎 真	東京大学生産技術研究所	科学技術振興特 任教員	陸域水循環評価	H14.4～ H.18.6	
沈 彦俊	科学技術振興機構	CREST 研究員	水循環モデリング	H.16.5～終了	
小森大輔	科学技術振興機構	CREST 研究員	熱・水収支モデリング	H17.4～終了	

研究グループ名： 農業生産と水需要研究グループ（代表：川島博之）

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期	備考
川島 博之	東京大学大学院農学生命科学科	助教授	グループ統括	H13.12～終了 まで	
露木 聡	東京大学大学院農学生命科学科	助教授	農業用水・生産モデリング	H13.12～終了 まで	
万木 孝雄	東京大学大学院農学生命科学科	助教授	農業用水・生産モデリング	H13.12～終了 まで	
岡本 勝男	農業環境技術研究所	主任研究官	農業用水・生産モデリング	H13.12～終了 まで	
横沢 正幸	農業環境技術研究所	主任研究官	農業用水・生産モデリング	H13.12～終了 まで	
新藤 純子	農業環境技術研究所	主任研究官	水質モデリング	H15.4～終了 まで	

戸田 任重	信州大学理学部	教授	水質モデリング	H15.5～終了まで	
Juraiporn Kaewthip	東京大学大学院農学生命科学科	博士課程学生	タイにおける水質モデリング	H15.5～H16.3	
高田 直也	東京大学大学院農学生命科学科	博士課程学生	アジアにおける農薬使用の実態とそれが水質に及ぼす影響	H15.6～終了まで	

研究グループ名： 人間活動と水需要研究研究グループ（代表：大瀧雅寛）

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期	備考
荒巻 俊也	東京大学大学院工学系研究科	助教授	都市・工業用水算定	H13.12～終了まで	
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	都市・工業用水算定	H13.12～終了まで	
大瀧 友里奈	東京大学大学院学際情報学府	博士課程学生	都市・工業用水算定	H13.12～終了まで	

J S T が雇用し派遣する研究員等

氏名	現職	派遣先	担当する研究項目	参加時期	備考
小森大輔	東京大学研究員	東京大学生産技術研究所	熱・水収支モデリング	H17.4～H.18.3	CREST 研究員
沈 彦俊		東京大学生産技術研究所	水循環モデリング	H16.5～終了まで	CREST 研究員
Rajan Krishnan	International Institute of Information Technology	東京大学生産技術研究所	土地利用モデリング	H14.4～H.18.8	CREST 研究員
Magnus Bengtsson		東京大学生産技術研究所	都市用水評価	H15.1～終了まで	CREST 研究員
生駒 栄司	東京大学助手	東京大学生産技術研究所	世界水循環モデル	H13.12～H15.5	CREST 研究員
安形 康	東京大学助手	東京大学生産技術研究所	世界水循環モデル	H13.12～H15.3	CREST 研究員
芳村 圭	東京大学助手	東京大学生産技術研究所	水循環モデリング	H14.10～H16.4	CREST 研究員
宮崎 真	国立環境研究所研究員	東京大学生産技術研究所	陸域水循環評価	H14.4～H17.3	CREST 研究員
塚田 由紀		東京大学生産技術研究所	水循環モデリング	H15.6～終了まで	CREST 研究補助員
清水 文子		東京大学生産技術研究所	水循環モデリング	H15.10～H.17.11	CREST 研究補助員

黒澤 綾子		東京大学生産技術研究所	水循環モデリング	H14.11～終了まで	CREST チーム事務員
-------	--	-------------	----------	-------------	--------------

5 招聘した研究者等

氏 名(所属、役職)	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Hansa Vathananukij/ カセツアート大学 助教授	アジア水循環シンポジウム参加	東 京	H.17.10.30 ～ 11.7
Panya Polsan/タイ王立灌漑局 中部流域局長	アジア水循環シンポジウム参加	東 京	H.17.10.30 ～ 11.7
Thada Sukhapunnaphan/タイ王立灌漑局 北部流域局長	アジア水循環シンポジウム参加	東 京	H.17.10.30 ～ 11.7
Somchai Baimoung/ タイ気象局 主席気象官	アジア水循環シンポジウム参加	東 京	H.17.10.30 ～ 11.7
Theeranun Raktabutr/タイ気象局 副長官	アジア水循環シンポジウム参加	東 京	H.17.10.30 ～ 11.7
Boonlert Archevarahuprok/タイ気象局 気象官	アジア水循環シンポジウム参加	東 京	H.17.10.30 ～ 11.7

6 成果発表等

(1)原著論文発表 (投稿中、印刷中を含めず、国内誌 42 件、国際誌 47 件)

- 1) Oki, T. and Kanae, S., 2006. Global hydrological cycles and world water resources, *Science*, **313**, 1068–1072, 08/25/2006.
- 2) J. Shindo, K. Okamoto, and H. Kawashima: *Ecological Modelling*, **193**, 703–720 (2006) “Prediction of the environmental effects of excess nitrogen caused by increasing food demand with rapid economic growth in eastern Asian countries, 1961–2020”
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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
- 7) Hanasaki, N., Kanae, S., Oki, T., 2006. A reservoir operation scheme for global river routing models, *Journal of Hydrology*, **327**, 22–41.
- 8) Yoshimura, K., S. Miyazaki, S. Kanae, and T. Oki, 2006. Iso-MATSIRO, a land surface model that incorporates stable water isotopes, *Global Planetary Change*, **51**, 90–107.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.
- 16) Wonsik Kim, Shinjiro Kanae, Yasuchi Agata and Taikan Oki: Simulation of potential impacts of land use/cover changes on surface water fluxes in the Chaophraya river basin, Thailand, *Journal of Geophysical Research*, **110**, D08110, doi:10.1029/2004JD004825 (2005).
- 17) 白川直樹, 日本の中規模多目的ダムにおける河川環境攪乱頻度の人為的变化, *水工学論文集* **50**.
- 18) M Bengtsson, T Aramaki, M Otaki and Y Otaki. Learning from the future: what shifting trends in developed countries may imply for urban water systems in developing countries, *Water Science and Technology: Water Supply*, Vol. **5**, No.3–4, pp.121–127, 2005.
- 19) M.S. Islam, T. Aramaki and K. Hanaki. Development and application of an integrated water balance model to study the sensitivity of the Tokyo Metropolitan area water availability scenario to climatic changes, *Journal of Water Resources Management*, **19**, 4, 423–445, 2005.
- 20) Juraiporn Kaewthip, Hiroyuki Kawashima and Keiji Ohga (2005) Nitrous Oxide Emission in Thailand, *World Resource Review*, Vo. **16** (4), pp.492–501.
- 21) 坂本利弘、岡本勝男、川島博之(2005)多時期 RADASAT 画像を用いた水稲田植日の空間分布, *システム農学*, **21**(1), pp.25–32.

- 22) Shindo, J., Okamoto, and Kawashima, H., (2005), A model based estimation of the effect of population concentration in the urban area in Eastern Asia in terms of nitrogen pollution. In *Ecosystems and Sustainable Development V*, edited by E. Tiezzi, C. A. Brebbia, S. E. J ヤ rgensen and D. Almorza Gomar, (Southampton: WIT Press, U.K., ISBN: 1-84564-013-6), 115-123.
- 23) Okamoto, K., Shindo, J., and Kawashima, H., (2005), Analysis of rapid land-use/land-cover change in North-eastern China using Landsat TM/ETM+ data. In *Ecosystems and Sustainable Development V*, edited by E. Tiezzi, C. A. Brebbia, S. E. J ヤ rgensen and D. Almorza Gomar, (Southampton: WIT Press, U.K., ISBN: 1-84564-013-6), 553-561.
- 24) 新藤純子、木平英一、吉岡崇仁、岡本勝男、川島博之 (2005)、我が国の窒素負荷量分布と全国渓流水水質の測定、*環境科学会誌*, **18**(4), pp.455-463.
- 25) 渡辺夏紀、高田直也、川島博之、(2005)、タイにおける対日輸出用農産物の安全対策、*熱帯農業*, **49**(4), pp.302-307、(情報).
- 26) 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.
- 27) 大楽 浩司, 江守 正多, 沖 大幹, 東南アジア熱帯山岳地域における降水観測と数値解析, *水工学論文集*, **48**, 301-306, 2004.
- 28) 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**, 463-468, 2004.
- 29) 白川直樹, グローバル水資源アセスメントを目指した環境用水需要量に対する影響要因の分類, *水工学論文集* **48**:421-426, 2004.
- 30) 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, 2004.
- 31) 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, *水工学論文集第 48 巻*, pp.229-234, 2004.
- 32) 竹内 渉, 安岡 善文, MODIS データを用いた合成画像作成手法の開発, *写真測量とリモートセンシング*, **43**(5), 36-48, 2004.
- 33) 竹内 渉, 安岡善文, WWW を用いた ASTER データ管理システムの構築, *写真測量とリモートセンシング*, **43**(4), 35-40, 2004.
- 34) Aramaki T., Suzuki M., Hanaki K., 2004. International analysis and projection of domestic water use, *Journal of Global Environment Engineering*, **10**, 1-10.
- 35) Dairaku, K., S. Emori, and T. Oki, Rainfall amount, intensity, duration, and frequency relationships in the Mae Chaem watershed in Southeast Asia, *J. Hydrometeor.*, **5**, No.3, 458-470, 2004.
- 36) Kanae S., Oki T., Kashida A., Changes in hourly heavy precipitation at Tokyo from 1890 to 1999, *Journal of Meteorological Society of Japan*, **82**, 241-247, 2004.
- 37) Miyazaki, S., T. Yasunari, T. Miyamoto, I. Kaihotsu, G. Davaa, D. Oyunbaatar, L. Natsagdorj, T. Oki, Agrometeorological conditions of grassland vegetation in Central Mongolia and their impact for leaf area growth, *J. Geophys. Res.*, **109**(D22), doi:10.1029/2004JD005179, 2004.
- 38) Oki T. and Kanae S., Virtual water trade and world water resources, *Water Science & Technology*, **49**, No. 7, 203-209, 2004.
- 39) Yoshimura, K., T. Oki, N. Ohte, and S. Kanae, Colored moisture analysis estimates of variations in 1998 Asian monsoon water sources, *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**(5), 1315-1329, 2004.
- 40) Yoshimura, K., T. Oki, and K. Ichiyanagi, Evaluation of two-dimensional atmospheric water circulation fields in reanalyses by using precipitation isotopes databases, *J. Geophys. Res.*, **109**(D20), doi:10.1029/2004JD004764, 2004.
- 41) Yang P., Tan G.X., Zha Y., Shibasaki R., Integrating remotely sensed data with an ecosystem model to estimate crop yield in North China, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*,

- 35, Part B7, pp.150-155, 2004.
- 42) Koster, R., P. Dirmeyer, Z. Guo, G.. Bonan, E. Chan, P. Cox, H. Davies, C. T. Gordon, S. Kanae, E. Kowalczyk, D. Lawrence, P. Liu, C. H. Lu, S. Malyshev, B. McAvaney, K. Mitchell, D. Mocko, T. Oki, K. Oleson, A. Pitman, Y. C. Sud, C. M. Taylor, D. Versegny, R. Vasic, Y. Xue, and T. Yamada, Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation, *Science*, **305**(5687), 1138-1140, 2004.
 - 43) 小島千穂、川島博之、新藤純子、岡本勝男、戸田任重、茅原一之、ベトナムにおける食料生産と窒素フロー, *環境科学会誌*, **17**(1), pp.15-24, 2004.
 - 44) Furuhashi, G., Kawashima, H., Ohga, K., (2004) A Projection of Surplus Labor and the GVA Gap in Chinese Agriculture for 2020, *Journal of Agriculture Development Studies*, Vol.14, No.3, PP.40-50.
 - 45) Hirasawa, A., H. Kawashima and K. Ohga, (2004) Country size and cereals self-sufficiency: pattern and sources of scale effect at country-level, Japan *J. of Agricultural Systems*, **20**(1), pp..74-85.
 - 46) 平澤明彦、川島博之、大賀圭治、(2004) 世界各国の穀物自給率と耕地賦存、所得、農業保護 -自給率の基礎的規定要因と日本の位置付け-, *農業経済研究*, **75**, 4, pp.185-197.
 - 47) Okumura, K., T. Satomura, T. Oki, and Khantiyanan, Warawut, Diurnal variation of precipitation by moving mesoscale systems: Radar observations in northern Thailand, *Geophys. Res. Lett.*, **30**(20), 10.1029/2003GL018302, 2003.
 - 48) Phua, Mui-How, and Tsuyuki, Satoshi, Deforestation detection in Kinabalu area, Sabah, Malaysia by using multi-sensor remote sensing approach. *J. Forest Planning* **10**, 31-40, 2004.
 - 49) 戸田任重、椎名未季枝、平林明、新藤純子、川島博之、沖野外輝夫(2004), 千曲川における窒素化合物の由来, *地球環境*, Vol.9, NO.1, pp.41-48.
 - 50) 新藤純子、岡本勝男、郭一令、戸田任重、川西琢也、田中恒夫、川島博之: 2004, 流域窒素循環モデルを用いた東アジアの窒素負荷の現状と環境影響の評価. *地球環境* **9**(1) 93-99.
 - 51) 花崎直太, 鼎信次郎, 沖大幹, 虫明功臣, グローバルに適用可能な貯水池操作モデルの開発. *水工学論文集*第 **47** 巻, pp.181-186, 2003.
 - 52) 白川直樹、玉井信行、環境用水の概念整理と水文統計的設定手法の利用可能性について、*水工学論文集*第 **47** 巻、pp379-384、2003.
 - 53) 平林由希子、鼎信次郎、沖大幹、虫明功臣、陸面水文モデルに対する降水時間スケールのグローバル影響評価. *水工学論文集*第 **47** 巻, pp.169-174, 2003.
 - 54) 山田朋人、鼎信次郎、沖大幹、虫明功臣、地球温暖化に伴うアジアにおける降水量の年々変動の変化. *水工学論文集*第 **47** 巻, pp.97-102, 2003.
 - 55) 芳村圭、沖大幹、大手信人、小池雅洋、水の安定同位体(^{18}O)の鉛直積分型水平2次元循環モデルの構築と検証, *水工学論文集*第 **47** 巻, pp.109-114, 2003.
 - 56) Hanasaki, N., 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, 2003.
 - 57) Oki, T., 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, 2003.
 - 58) Yang D., Kanae S., Oki T., Koike T., Musiake K., Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes, *Hydrological Processes*, **17**, 2913-2928, 2003.
 - 59) Yoshimura, K., T. Oki, N. Ohte, and S. Kanae, A quantitative analysis of short-term ^{18}O variability with a Rayleigh-type isotope circulation model. *J. Geophys. Res.*, **108**(D20), 4647, doi:10.1029/2003JD003477, 2003.
 - 60) Yoshimura, K., T. Oki, N. Ohte, M. Koike, Development and verification of a vertical integrated two dimensional water isotope circulation model, *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering*, **47**, pp25-35, 2003.

- 61) 安形康、談国新、鼎信次郎、沖大幹、虫明功臣, 人間活動を考慮した世界水循環水資源モデルの構築に向けて: 農業生産モデル EPIC を用いた世界の灌漑水量必要量の推定、*水工学論文集*, **47**, 2003.
- 62) 大楽浩司, 江守正多, 沖大幹, 虫明功臣, 領域気候モデルを用いた東南アジア熱帯山岳地域における降水特性の解析. *水工学論文集*第 **47** 卷, pp.79-84, 2003.
- 63) Darmawan, Mulyanto, Tsuyuki, Satoshi, Saito, Hideki, Sawada, Haruo, and Kitayama, Kanehiro, Recognition of spectral pattern characteristic of land cover for assising visual interpretation of Landsat ETM+. *J. Forest Planning* **9**, 35-46, 2003.
- 64) Kawashima, H., Junko Shindo, Katsuo Okamoto and Keiji Ohga, Food Production and Environment in Major River Basins in Asia, *Proceedings of the 1st International conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region*, Vol.1, pp. 473-475, 2003.
- 65) 余亮, 柴崎亮介, 張栄, 2003. GISと穀物生産力モデルによる黄河流域(中部)の穀物収量分布の推定. *システム農学*, **19**, 108-120.
- 66) 川島博之、日本農業のシステム分析、*システム農学* **19**(3), 53-62, 2003.
- 67) Hirabayashi, Y., T. Oki, S. Kanae, and K. Musiaka, Application of satellite-based surface soil moisture data to simulating seasonal precipitation, *J. Hydrometeor.*, **4**, 929-943, 2003.
- 68) 岡本勝男、川島博之、衛星リモートセンシングを用いたアジアの食料生産予測の現状と将来、*システム農学* **19**(3), 46-52, 2003.
- 69) 岡本勝男、横沢正幸、川島博之、衛星リモート・センシングを用いた災害の検出と評価、*システム農学*, **19**(1), pp61-79, 2003.
- 70) Okamoto, K., Shindo, J., and Kawashima, H., Land-use, water resources and nitrogen load in major river basins in Asia. In *River Basin Management II*, edited by C. A. Brebbia, (Southampton: WIT Press, U.K., ISBN: 1-85312-966-6), 423-429, 2003.
- 71) Okamoto, K., Shindo, J., and Kawashima, H., Estimation of available water resources and potential irrigation land area in Asia. In *Water Resources Management II*, edited by C. A. Brebbia, (Southampton: WIT Press, U.K., ISBN: 1-85312-967-4), 279-287, 2003.
- 72) Okamoto K., S. Shindo & H. Kawashima, Sustainable rice cropping and water resources in Asia, Ecosystem and Sustainable Development, *Advances in ecological Sciences*, Vol. **19** pp.1057-1065, 2003.
- 73) Shindo, J., 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, *Advances in ecological Sciences*, Vol. **18**, pp.49-58, 2003.
- 74) Shirakawa, N., and Nobuyuki Tamai, Use of economic measures for establishing environmental flow in upstream river basins. *Int. J. River Basin Management*, Vol.1, No.1, 15-19, 2003.
- 75) 田中恒夫、川島博之、瀬戸英幸、黒田正和、群馬県におけるリン発生負荷量の推定とその低減策、*環境科学会誌*, **16**(2)、105-116, 2003.
- 76) Takada Naoya, Hiroyuki Kawashima and Keiji Ohga, An inquiry in to the current states of DDT use in Bangladesh, *World Resource Review*, **15**, 217-225, 2003.
- 77) 瀬戸心太, 沖大幹, 虫明功臣, 植生層の放射伝達を詳細に考慮したマイクロ波放射計による土壌水分推定. *水工学論文集*, 第 **47** 卷, pp.49-54, 2003.
- 78) Shindo, J. Okamoto, K. and Kawashima, H., A model based estimation of nitrogen flow in the food production-supply system and its environmental effects in East Asia. *Ecological Modelling* **169**, 197-212, 2003.
- 79) Sivapalan, M., K. Takeuchi, S. W. Franks, V. K. Gupta, H. Karambiri, V. Lakshmi, X. Liang, J. J. McDonnell, E. M. Mendiondo, P. E. O'Connell, T. Oki, J. W. Pomeroy, D. Schertzer, S. Uhlenbrook, and E. Zehe, IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003-2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences, *Hydrological Sciences Journal*, **48**(6), 857-880, 2003.

- 80) Chapelon, N., H. Douville, P. Kosuth, and T. Oki, Off-line simulation of the Amazon water balance: a sensitivity study with implications for GSWP. *Clim. Dynamics*, **19**, pp.141-154, 2002.
- 81) Kanae, S., Taikan Oki, and Katumi Musiake, Principal condition for the earliest Asian summer monsoon onset. *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 10.1029/2002GL015346, 2002.
- 82) Toda, H., Y. Uemura, T. Okino, T. Kawanishi, and H. Kawashima, Use of nitrogen stable isotope ratio of periphyton for monitoring nitrogen sources in a river system. *Water Science and Technology*, Vol. **46**, No 11- 12., pp. 431-435, 2002.
- 83) 川島博之, 新藤純子, 酸性雨と地球規模の窒素循環, *環境科学会誌*, **15**(4), pp.281-286, 2002.
- 84) 川島博之, 21世紀における水環境問題と窒素, *環境科学会誌*, **15**(4), pp.299-303, 2002.
- 85) 古橋元、川島博之、大賀圭治、WTO 加盟後の中国・省市自治区別食糧生産予測-関税率および輸送費の変化に伴う食料生産予測-, 2002 年度日本農業経済学会論文集、p.308-312, 2002.
- 86) 平澤明彦、川島博之、大賀圭治、世界各国の穀物自給率と所得、耕地賦存-穀物自給率の基礎的な規定要因-2002 年度日本農業経済学会論文集、p.384-386, 2002.
- 87) Okamoto, K. and H. Kawashima, Role of satellite remote sensing in monitoring system for environmental disasters related to water resources, *Risk Analysis* **III**, Editor: C.A. Brebbia, pp.551-560, 2002.
- 88) Toda, H., Y. Mochizuki, T. Kawanishi, and H. Kawashima, Denitrification in shallow groundwater in a coastal agricultural area in Japan, *Nutrient Cycling in Agro- ecosystems*, **63**, 167-173, 2002.
- 89) 戸田任重、中左 錦、平野弘蔵、上村由香里、沖野外輝夫、川島博之、流域のつなぎ手としての物質循環、*システム農学*, **18**(2), pp.90-99, 2002.

(2) その他の著作物(書籍、総説、雑誌寄稿などを計 53 件)

① 著書

○ 査読付きの学術書(英文) 4編

- 1) Y. Xue, R. W.A. Hutjes, R. J. Harding, M. Claussen, S. D. Prince, E. F. Lambin, S. J. Allen, P. A. Dirmeyer and T. Oki, 2004: The Sahelian climate, in *Vegetation, Water, Humans and the Climate*, P. Kabat, M. Claussen, P. A. Dirmeyer, J. H.C. Gash, L. Bravo de Guenni, M. Meybeck, R. A. Pielke, Sr., C. J. Vorosmarty, R. W.A. Hutjes, S. Lutkemeier Eds., Springer, 73-98. ISBN 3-540-42400-8
- 2) T. Oki, D. Entekhabi, and T.I. Harrold, 2004: The Global Water Cycle, in Sparks, R.S.J., and C.J. Hawkesworth Eds., *State of the Planet: Frontiers and Challenges in Geophysics*, Geophysical Monograph Series Volume **150**, 414 pages, AGU Publications, 225-257.
- 3) T. Oki, 2005: The Hydrologic Cycles and Global Circulation, in M.G. Anderson and J. J. McDonnell Eds., *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, Volume **1**, 656 pages, John Wiley & Sons Ltd, 13-22.
- 4) T. Oki, C. Valeo, and K. Heal, 2006: Eds., *Hydrology 2020*, IAHS Publication, **300**, ISSN 0144-7815.

○ 一般書(和文) 10編

- 1) 沖 大幹、2002: 世界の水危機--気候変動と地球環境--、*日本の水と世界の水*, 東京教育情報センター、ISBN 4-8081-4318-6.
- 2) 沖 大幹、2002: 水循環、*キーワード気象の事典*, 新田尚、伊藤朋之、木村龍治、住明正、安成哲三編集、朝倉書店、ISBN 4-254-16115-8.
- 3) 沖 大幹、2002: GAME-T の経緯と今後の課題、*東南アジアのモンスーン気候学*, 気象研究ノート, No.**202**, 日本気象学会, 271-301.

- 4) 沖 大幹、2002: *防災事典*, 日本自然災害学会[監修]、土岐 憲三編、築地書館、ISBN4-8067-1233-7.
- 5) 沖 大幹、2003: 序文「千年持続社会と千年持続学」、2-2「水資源の現状と将来」、*千年持続社会*、(社)資源協会編、日本地域社会研究所発行、12-20, 58-68. ISBN 4-89022-814-4
- 6) 沖 大幹、2003: 蒸発と蒸散、*地球環境調査計測事典*, 2, 陸域編、竹内 均 監修、フジテクノシステム、25-27. ISBN 4-938555-90-5.
- 7) 沖 大幹、2003: 地球をめぐる水と水をめぐる人々、『*水をめぐる人と自然—日本と世界の現場から—*』、嘉田由紀子 編著、有斐閣選書、199-230. ISBN 4-641-28085-1.
- 8) 沖 大幹、2004: 8.2 降雨のスペクトル特性、*スペクトル解析ハンドブック*, 日野幹雄 総編集、朝倉書店、261-266, (pp621).
- 9) 沖大幹、2004: 第4章水の管理と防災、『*国土の未来*』アジアの時代における国土整備プラン、国土の未来研究会 森地 茂 編著、日本経済新聞社、205-278. ISBN 4-532-35109-X
- 10) 松村寛一郎 玄場公規、*環境地球マネジメント入門*, 白桃書房, 2005

② 総説・解説・他 (計 25 件)

- 1) 岡本勝男、新藤純子、川島博之、物質循環モデル解析におけるリモート・センシングと GIS の役割、*日本水文学会誌*、(印刷中)、2006.
- 2) 波多野隆介・犬伏和之編: 続環境負荷を予測する、博友社、15-28(2005)、「第 1-I 章 東アジアの食料生産・供給による窒素フローとその水環境への影響評価モデル(執筆担当: 新藤純子、岡本勝男、川島博之)」
- 3) 沖大幹、「ヴァーチャルウォーター」が教えてくれること、*JST News*、2005/07/01
- 4) 沖大幹、水利マネジメントの課題と提言、*河川*10月号 2005/10/01
- 5) 沖大幹、バーチャルウォーターと私たちの暮らし、*月刊オルタ*、2005/11/25
- 6) 沖大幹、水利マネジメントの課題と提言、*河川*、日本河川協会、711, 3-8, 10 月, 2005.
- 7) 沖大幹、水災害軽減のための情報伝達と地球温暖化、*Estrela*、財団法人 統計情報研究開発センター、136, 17-23, July, 2005.
- 8) 沖大幹、地球をめぐる水と水をめぐる人々、豊かな水環境を未来へ—第一線の研究者による最新の報告—、森林の公益的機能 新解説シリーズ、4, 日本治山治水協会 発行、3-13, June, 2005.
- 9) 沖大幹、世界に広がる国土の水管理、*土木学会誌*、90, 25-26, June, 2005
- 10) 沖大幹、「バーチャルウォーター、牛井一杯水二トン」、*歴史地理教育*、685, 8-17, June, 2005.
- 11) 沖大幹、淡水と社会と生態系、*グローバルネット*、財団法人 地球・人間環境フォーラム、174, 2-3, May, 2005.
- 12) 沖大幹、第4章水の管理と防災、『*国土の未来*』アジアの時代における国土整備プラン、国土の未来研究会 森地 茂 編著、日本経済新聞社、205-278, March 18 2005. ISBN 4-532-35109-X
- 13) 沖大幹、バーチャルウォーターと世界の水問題の将来展望、ていくおふ、全日本空輸株式会社 ANA 総合研究所、109, 18-27, January 2005.
- 14) 余亮・柴崎亮介 2005 総説 中国の「退耕還林」政策とその実現にむけての課題 『*環境情報科学*』34 巻 1 号, 49-58
- 15) 沖 大幹、雨に思えば、水の文化、ミツカン水の文化センター、17, 2, August 2004.
- 16) 沖 大幹、バーチャルウォーターと水の LCA、水の特性と新しい利用技術、*エヌ・ティー・エス*、415-424, May, 2004. ISBN 4-86043-048-4
- 17) 沖 大幹、「携帯代を節約してでも食べたい物?」*平成新風*、JA 全農ウィークリー、全農、249, 10, March/15, 2004.
- 18) 沖 大幹、「ヴァーチャルウォーター(仮想水): 現状と課題」、*環境管理*、産業環境管理協会、40, 247-254, March, 2004.
- 19) 沖 大幹、世界の水を使うニッポン—水資源の間接消費を考える。FRONT 第3回世界水フォー

ーラム特集号 pp.26-29, 2003.3

- 20) 露木 聡(2003)せめぎあう開発と環境 リモートセンシングで見る東南アジアの環境. 科学 73(7), 762-764.
- 21) 沖 大幹、「ヴァーチャルウォーターについて」、「水」問題の現在, 農政ジャーナリストの会編、農林統計協会発行, 日本農業の動き, 146, 55-72, Nov., 2003. ISBN 4-541-03101-9.
- 22) 沖 大幹, 地球規模の水循環と世界の水資源、膜, 日本膜学会, 28, 206-214, 2003.
- 23) 沖 大幹, 日本の河川技術の世界へ. 河川、日本河川協会 58, No.12(通巻 No.676), pp.80-83 2002. 12
- 24) 沖 大幹, 水循環予測—グローバルな水循環予測と世界の水資源、地球上の生命を育む水のすばらしさの更なる認識と新たな発見を目指して. 科学技術・学術審議会資源調査分科会報告書 pp.22-36 2002.12
- 25) 松村寛一郎, 2005 年 世界の食糧事情は? ~ 一目でわかるサイト、ただいま構築中~JALグループ機内誌 スカイワード

(3) 学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

① 招待講演 (国内会議 12 件、国際会議 12 件)

- 1) 沖大幹(地球研)、Expected Global Water Resources Research at FRSGC、地球フロンティア研究システムセミナー、横浜、2002 年 5 月 10 日
- 2) 沖大幹(地球研)、地球環境問題としてのグローバルな水循環と世界の水資源、気象学会シンポジウム「気象学における地球環境問題」、東京、2002 年 5 月 22 日
- 3) 沖大幹(地球研)、General Comments for 6th Kovacs Colloquium、第 6 回 Kovacs コロキウム、IHP/IAHS、パリ、2002 年 6 月 15 日
- 4) 沖大幹(地球研)、Model Diagnostics and Intercomparison Study in PUB、IAHS/PUB 国際ワークショップ、ブラジリア、2002 年 11 月 20 日
- 5) 沖大幹(地球研)、Virtual Water Trade to Japan and in the World、Virtual Water 会議、IHE-Delft、デルフト、2002 年 12 月 12 日
- 6) 沖大幹(地球研)、Virtual Water Trade to Japan and in the World、第三回世界水フォーラム、京都、2003 年 3 月 17 日
- 7) 沖大幹(地球研)、World Water Resources Assessment in 2050、ヨーロッパ地学連合総会、ニース、2003 年 4 月 8 日
- 8) 沖大幹(地球研)、The Global Water Cycle、国際地学連合総会、札幌、2003 年 7 月 3 日
- 9) 沖大幹(地球研)、Virtual Water Trade to Japan and in the World、ストックホルム水シンポジウム、ストックホルム、2003 年 8 月 12 日
- 10) 沖大幹(地球研)、Tools and Datasets for Global-Scale Assessment on Global Water Systems、GWSP 公開科学会議、ポーツマス、2003 年 10 月 8 日
- 11) 沖大幹(生研)、GLOBAL WATER BALANCE ESTIMATED BY LAND SURFACE MODELS、PARTICIPATED IN THE GSWP2、アメリカ気象学会、シアトル、2004 年 1 月 13 日
- 12) 沖大幹(生研)、Global water resources assessment under climatic change in 2050 using TRIP、アジア水資源国際ワークショップ、つくば、2004 年 3 月 2 日
- 13) 沖大幹(生研)、水資源を利用するとはそもそもどういうことか?、日本学術会議水資源学シンポジウム、東京、2004 年 3 月 23 日
- 14) 沖大幹(生研)、世界の水資源需給と Virtual Water、日中水フォーラム、北京、2004 年 4 月 21 日
- 15) 沖大幹(生研)、Virtual Water が結ぶ世界の水と日本の食糧、沙漠学会「食料生産と水問題シンポジウム」、秋田県立大学、2004 年 10 月 22 日
- 16) 沖大幹(生研)、都市の水循環と統合的水資源マネジメント、エントロピー学会、小平市、2004 年 11 月 20 日
- 17) 沖大幹(生研)、日本の豪雨水害や旱魃渇水はどうなる?、環境省「異常気象と温暖化シンポジウム」、東京、2004 年 11 月 30 日

- 18) 沖大幹(生研)、地球規模の水循環と世界の水資源、日本リモートセンシング研究会 30 周年記念講演会、東京大学、2004 年 12 月 9 日
- 19) 沖大幹(生研)、Global Water Balance Estimated by Land Surface Models Participated in the GSWP2、アメリカ気象学会、サンディエゴ、2005 年 1 月 11 日
- 20) 沖大幹(生研)、Best Estimates of Global Hydrological Cycle by Off-line Simulations of Land Surface Models、International Conference on Integrated Assessment of Water Resources and Global Change: A North-South Analysis、ボン、2005 年 2 月 24 日
- 21) 沖大幹(生研)、地球温暖化と水資源管理、ダム工学会 15 周年記念シンポジウム、星陵会館、2005 年 12 月 9 日
- 22) 沖大幹(生研)、降水に関する将来の水問題に対応した研究への政策的な取り組み方策について、日本気象学会 2006 年度春季大会シンポジウム、つくば、2006 年 5 月 21 日
- 23) 沖大幹(生研)、Current Challenges in Global Hydrology、国際水文科学会ミニシンポジウム「Current Challenges and Future of Hydrology」、デルフト、2006 年 6 月 28 日
- 24) 沖大幹(生研)、Various Ways of Estimating Virtual Water Trade for Various Purposes、ストックホルム水シンポジウム、ストックホルム、2006 年 8 月 22 日

② 口頭発表 (ポスター発表を含む、国内会議 90 件、国際会議 96 件)

- 1) M. Bengtsson, T. Aramaki. A Global View of Domestic Water Use: Grid-Based Simulation of the Current Situation, Proceedings of the 3rd Asian Pacific Hydrology and Water Resources (APHW) Conference, Bangkok, Thailand, 2006.
- 2) Shen, Y., Utsumi, N., Oki, T., Kanae, S., Potential development of global water resources, Proceedings of the 3rd APHW, 2006.
- 3) Sivakumaran Sithamparanathan and Toshiya Aramaki. Estimation of Household Water End Use in Trincomalee, Sri Lanka, Proceedings of the 3rd Asian Pacific Hydrology and Water Resources (APHW) Conference, Bangkok, Thailand, 2006.
- 4) 山田智子, 大瀧雅寛「工業用水の使用分布予測モデルの構築」水文・水資源学会 2006 年度研究発表会講演集, 2006
- 5) 高玲, 大瀧雅寛「日米中における都市用水量決定因子の比較評価」水文・水資源学会 2006 年度研究発表会講演集, 2006
- 6) J. Shindo, K. Okamoto, and H. Kawashima: Bioenergy-I From Concept to Commercial Processes (2006)” Prediction of the environmental effect of increasing nitrogen by bioenergy production in East Asia”
- 7) 本田学, 岡本勝男, 新藤純子, 川島博之: システム農学会 2006 年度春期シンポジウム(2006)、「中国農村部における家庭用電力消費量の増加 ―都市との比較を中心に―」(アブストラクト提出済み)
- 8) MATSUMURA Kan'ichiro (Kwansei Gakuin Univ, Kobe, Japan)、Usuda Yuichiro (Keio Univ, Japan)、ICHINOSE Toshiaki (NIES-CGER, Tsukuba, Japan)、Chris ELVIDGE (NOAA, USA)、Comparison of DMSP nighttime lights from multiple years (Kan-ichiro Advanced Pacific Network, DMSP Data Utilization Workshop)
- 9) 松村寛一郎(関西学院大学)、Guoxin TAN (Culture and Education Information Center Huazhong Normal University)、杉本賢二(東京大学新領域創成科学研究科)、柴崎亮介(東京大学空間情報科学研究センター)、柳島宏治(国連食糧農業機関)、セマンティックウェブによる国際交易モデルと土地利用変化の改良(Semantic web applied for Global Modeling for Integrated Agricultural Land Use Change)、環境科学会2006年会 9月4~5日
- 10) Matsumura Kan'ichiro, 2006. Global Modeling For Integrated Agricultural Land Use Change Towards year 2020, The 4th International Conference on Politics and Information Systems, Technologies and Applications: PISTA '06 In the context of The 2nd International Conference on Social and Organizational Informatics and Cybernetics: SOIC '06, 2006/07/12.
- 11) Shen Yanjun, Miyazaki Shin, Kanae Shinjiro, Oki Taikan, Yang Dawen, 2006. Energy and

- water processes in irrigated lands at lower reach of Yellow River, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会、CD-ROM、H120-P003.
- 12) Shen Yanjun, Xiao Jieying, Tateishi Ryutaro, 2006. Development of top soil grain size index for monitoring soil degradation of arid land, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会、CD-ROM、Z234-001.
 - 13) M. Bengtsson, T. Aramaki, M. Otaki and Y. Otaki. Where the wells (may) go dry: mapping future competition over water resources. IWA Aspire 2005, Singapore.
 - 14) S. Nautiyal, R. Shibasaki, K.S. Rajan and R.K. Maikhuri, Impact of land use changes on subsidiary occupation: a case study from Himalayas of India (09 pages), 4th International Conference on Environmental Informatics” 26-28 July 2005, Xiamen, China) <http://www.geomaticseng.ryerson.ca/iseis2005/>
 - 15) Yamada, T., S. Kanae, and T. Oki, Contribution of land surface states to precipitation variability in boreal summer with an atmospheric general circulation model, 85th AMS Annual Meeting, San Diego, 2005.
 - 16) N. Hanasaki, S. Kanae, and T. Oki., Global runoff dataset produced by GSWP2, 85th AMS Annual Meeting, San Diego, 2005.
 - 17) N. Hanasaki, S. Kanae, and T. Oki, The impact of reservoir operation on the global river discharge, 85th AMS Annual Meeting, San Diego, 2005.
 - 18) 芳村圭, 同位体陸面モデルについて, 平成 16 年度 HyARC 研究集会『マルチスケールの水循環過程に対する水の水素・酸素安定同位体の応用』, 名古屋大学, 2005.
 - 19) 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, 第 49 回水理講演会, 2005
 - 20) M. Bengtsson, T. Aramaki, M. Otaki and Y. Otaki, Learning from the Future: What Shifting Trends in Developed Countries may Imply for Urban Water Systems in developing countries., Efficient, Santiago de Chile., 2005
 - 21) Shen Y., Xiao J., Oki T., Impacts of urbanization on local hydrological environments, 14th Seiken Forum on Earth Observation and Remote Sensing, Tokyo, 2005.
 - 22) 澤野真治, 小松光, 鈴木雅一, 日本全域を対象とした森林における年降水量の農地・都市域との違い---GIS データセットを用いた解析---, 第 116 回日本森林学会大会, 札幌, 2005.
 - 23) 芳村圭, 大気循環と陸面の相互作用による降水の同位体比の変動, 2005 年森林水文ワークショップ, 第 116 回日本森林学会大会, 札幌, 2005.
 - 24) Shen Yanjun, Effects of urbanization on water resources development and its problems in Shijiazhuang, 第 7 回 IAHS 総会、シンポジウム'Sustainable water management and solutions for large cities', Brazil, 2005.
 - 25) Tang, QiuHong, Water balance within intensively cultivated alluvial plain in an arid environment, 第 7 回 IAHS 総会、Brazil, 2005.
 - 26) Yoshimura K., MATSIROiso and its Performance in IPILPS, IPILPS Workshop, Sidney, 2005.
 - 27) N. Hanasaki, P. Dirmeyer, X. Gao and T. Oki, The Current Status of the Second Global Soil Wetness Project(GSWP-2), EGU General Assembly 2005, Vienna, 2005.
 - 28) 芳村圭, 水の安定同位体を用いた地表面モデルの評価, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, 幕張, 2005
 - 29) 宮崎真、金元殖、芳村圭、趙在一、小池雅洋、平林由希子、鼎信次郎、沖大幹、タイ熱帯モンスーン気候帯における MATSIRO の 1 次元オフライン検証実験 (土壌水理特性推定式の違いによる水収支への影響), 2005 年度日本気象学会春季大会, 東京, 2005.
 - 30) Sirajul, Islam, Global Water Resources under Future Changes; Toward an Improved Estimation, AGU 2005 Joint Assembly, USA, 2005.
 - 31) 芳村圭、沖大幹、鼎信次郎, 降水安定同位体を用いた JRA-25 大気水循環場の評価, 2005 年度日本気象学会春季大会, 東京, 2005.
 - 32) K.Yoshimura, T.Oki, Development of global isotope circulation models, 2nd AOGS Annual

- Meeting 2005, Singapore, 2005.
- 33) 石崎安洋、芳村圭、沖大幹、鼎信次郎, CCSR/NIES 水同位体大循環モデル, 水文水資源学会 2005 年研究発表会, つくば, 2005.
 - 34) 岡澤毅、花崎直太、芳村圭、沖大幹、鼎信次郎, 気象庁メソ数値モデル GPV を用いた日本域河川流量の予測システムの開発に向けて, 水文水資源学会 2005 年研究発表会, つくば, 2005.
 - 35) 山田朋人・鼎信次郎・沖大幹, Locality of land surface impact on precipitation variability in boreal summer, 水文水資源学会 2005 年研究発表会, つくば, 2005.
 - 36) 花崎直太、鼎信次郎、沖大幹, 全球土壌水分プロジェクトを利用した全球日単位の流出グッドデータの構築, 水文水資源学会 2005 年研究発表会, つくば, 2005.
 - 37) Jaeil Cho (東大生研), Wonsik Kim (農環研), Daisuke Komori (東大生研), Seong-Deog Kim, Instrument and data quality assessment at Daegwallyeong CO2 flux measurement site (DFMS) in Korea, AsiaFlux Workshop 2005, Yamanashi, 2005.
 - 38) 芳村圭, 水の安定同位体比情報を用いた地球水循環過程の解明に関する研究, JAMSTEC 横断研究「階層構造の科学」シンポジウム 2005, 東京, 2005.
 - 39) Henderson-Sellers, K. Yoshimura, M. Fischer, P. Irannejad, K. McGuffie, W. Riley, G. Schmidt, K. Sturm, IPILPS: Modelling stable water isotopes exchanges between the land and the atmosphere, 2005 AGU Fall meeting, 5-9 December 2005
 - 40) K. Yoshimura, T. Oki, S. Kanae, and S. Miyazaki, Isotopic impact of land surface processes on precipitation: A 15-year global simulation using iso-MATSIRO, 2005 AGU Fall meeting, 5-9 December 2005.
 - 41) K. Ichiyani, K. Yoshimura, and M.D. Yamanaka, Estimating the origin of water using stable isotopes for withdrawal of the Asian monsoon over Indochina, in Proceedings of 2005 AOGS meeting, 2005.
 - 42) K. Okamoto, J. Shindo, and H. Kawashima: The 11th CERES International Symposium on "Remote Sensing (2005)" Agricultural land-use in northeastern Asia and climate change"
 - 43) 岡本勝男、川島博之: 生研フォーラム (2005) 「中国黒龍江省東部の急激な土地利用変化」
 - 44) 岡本勝男: 日本地理学会 (2005) 「大陸規模の土地利用と環境の変動」
 - 45) 岡本勝男、川島博之: システム農学会 2005 年度春季シンポジウム・一般研究発表会 (2005) 「中国黒龍江省東部の水田と温度条件」
 - 46) 新藤純子、岡本勝男、川島博之: 環境科学会年会 (2005) 「東アジアの食料生産に伴う窒素負荷量の経年変化 - 窒素収支モデルに基づく 1961 年~2030 年の推定 -」
 - 47) 岡本勝男、銭小平、川島博之: システム農学会 2005 年度秋季シンポジウム・一般研究発表会 (2005) 「アジア東部のコメ供給力における気候変動の影響の可能性」
 - 48) 新藤純子、岡本勝男、川島博之: 2005 年度日本水文科学会学術大会 (2005) 「流域の窒素循環モデルによる渓流水水質の推定」岡本勝男、新藤純子、川島博之者: 2005 年度日本水文科学会学術大会 (2005) 「リモート・センシング, GIS とモデルを組合せた物質循環解析」
 - 49) 田中寿典、新藤純子、岡本勝男、Fidela P. Bongat、川島博之: システム農学会 2005 年度秋季シンポジウム (2005) 「社会構造の変化とラグナ湖の水質」
 - 50) 望月純子、Fidela P. Bongat、新藤純子、岡本勝男、川島博之: システム農学会 2005 年度秋季シンポジウム (2005) 「フィリピン農村部における電力需要 - 日本との比較」
 - 51) 水木真衣子、新藤純子、岡本勝男、和 愛軍、川島博之: システム農学会 2005 年度秋季シンポジウム (2005) 「都市への人口集中に伴う雲南省 NOx、SOx 排出量将来予測」
 - 52) 川島博之: 日本水文科学会学術大会 (2005) 「環境研究のための文理融合モデル」
 - 53) 濱口航、岡本勝男、新藤純子、和愛軍、川島博之: システム農学会 2005 年度春季シンポジウム (2005) 「中国雲南省・滇池における窒素フローモデルの構築」
 - 54) 濱口航、岡本勝男、新藤純子、和愛軍、川島博之: 環境経済政策学会 (2005) 「二重構造を残した経済発展が環境に及ぼす影響 (中国雲南省・滇池)」
 - 55) Kan-ichiro Matsumura, Kenji Sugimoto, Tan Guoxin, Ryosuke Shibasaki, Projecting Food

Demand and Supply Using Economic and Spatial Models, UNEP,CAN Meeting, Bangkok, 2005.11

- 56) 松村寛一郎(関西学院大学)、柳島宏治(国連食糧農業機関)、Guoxin TAN(Wuhan University)、杉本賢二、柴崎亮介(東京大学空間情報科学研究センター)、国際交易モデルと土地利用変化、環境科学会 2005 年会講演要旨集、pp.108-109
- 57) K. S. Rajan and R. Shibasaki. (2005) Interactions of policy, land and water use in the indo-gangetic plains – a Historical perspective. An abstract presented at the session “Land use changes and Social systems – Linkages to Water use and resource management”, in the The 6th Open Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community, Bonn, Germany. 9-13 October 2005.
- 58) K. S. Rajan. (2005) Decision making at different scales in land use change models – a view from AGENT-LUC model applications. An abstract presented at the session “Household Decision Making Under Uncertainty: Concepts and Methods”, in the The 6th Open Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community, Bonn, Germany. 9-13 October 2005.
- 59) Nautiyal, S., K. S. Rajan, R. Shibasaki, K.S. Rao, R.K. Maikhuri, and I.S. Bisht. (2005) Land use Intensification and its Ecological Impacts, in Himalayas of India – Lessons for scenario development in mountainous regions. Proceedings of the 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment (Global Monitoring for Sustainability and Security) June 20-24, 2005 Saint Petersburg, Russian Federation
- 60) Yang, P., Wu, W.B., Zha, Y., Chen, Z.X., Zhou, Q.B., Shibasaki, R., 2005. Validating MODIS terrestrial ecology products in North China: linking in situ and satellite measurements. The 1st International Workshop on Sustainable Asia, Yokohama, Japan
- 61) Yang, P., Zhou, Q.B., Shibasaki, R., Zha, Y., Chen, Z.X., 2005. Analysis and validation of the MODIS LAI product for the agricultural application in North China. The 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment, St. Petersburg, Russian Federation.
- 62) Naoki Shirakawa, An Economic Evaluation Model for Environmental Flow Releases Using Hydrological Indices. Proceedings of 3rd Annual Joint Seminar between Japan and Korea on Ecology and Civil Engineering, 67-72. July 2005, Nagoya, Japan.
- 63) Yurina Otaki, Masahiro Otaki, Petch Pengchai and Osamu Sakura, “Water systems and urban sanitation – A historical comparison of Tokyo and Singapore and case study in Thailand” Proc. of 4th conference of the International Water History Association –Water and Civilization, Paris France, 2005
- 64) T. Aramaki, M. Bengtsson. Analysis of water use in each domestic purpose for its forecast in various regions, Proceedings of the 6th Open Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research community, Bonn, Germany, pp.170, 2005.
- 65) Lada Mathurasa, Haruka Sugihara, Toshiya Aramaki, Masahiro Otaki, Pairaya Kucivilize and Wanpen Wirojanagud. Analysis and Forecast of Domestic Water end-uses in Khon Kaen Province, Thailand, Proceedings of Aqua Asia Forum 2005, October 6-7, Bangkok, Thailand, 2005.
- 66) 鼎信次郎, 地球温暖化による陸域水循環の変化に関する今後の研究展望, 日本学術会議地球環境研連第1回 GWSP 委員会, 2004.
- 67) 沖大幹, 地球規模水循環システムアセスメントのためのグローバルなデータベースとツール, 日本学術会議地球環境研連第1回 GWSP 委員会, 2004.
- 68) M. Bengtsson, T. Aramaki, Y. Otaki and M. Otaki, Urban Water Use: What Can Be Learnt from an International Comparison? IWA World Water Congress, 2004.
- 69) M.S. Islam, T. Aramaki and K. Hanaki, “Risk based Assessment of Water Availability from the Tone River and Tokyo Metropolitan Area water Supply under Future Climatic Changes”, 2nd APHW Conference, 2004.

- 70) Yoshimura, K., A global Rayleigh-type isotope circulation model and its further utilization, Stable Water Isotope Model Intercomparison Study (SIMS), IAEA HQ, Vienna, 25-27 Feb., 2004.
- 71) 生駒 栄司, 谷口 建司, 小池 俊雄, 喜連川 優, 「大規模地球環境データアーカイブシステムにおけるデータマイニングツールの構築」, 第 15 回データ工学ワークショップ (DEWS2004) 2004.3
- 72) Kan-ichiro Matsumura, Guoxin TAN, Ryosuke Shibasaki, Early Warning System For Food and Water ~ Integrated Global Modeling for Agricultural Land Use Change ~ , Intergovernmental Consultation on Strengthening the Scientific Base of UNEP Nairobi, 12-15 January 2004
- 73) N. Shirakawa, N. Tamai and S. Phouthone (2002) Change of occurrence of ecological flushing discharge by multiple purpose dams and economic evaluation of re-regulation. Proceedings of Environmental Flows for River Systems, 4th International Ecohydraulics Symposium, March 2002, Cape Town, South Africa.
- 74) Qihong TANG, Taikan OKI, Heping HU, A Runoff-Evaporation Model for Arid Plain Oasis, 水文水資源学会 2004 年研究発表会.
- 75) 須賀可人、沖大幹、鼎信次郎, グローバルモデリングによる全球河川の硝酸性窒素濃度推定, 水文水資源学会 2004 年研究発表会
- 76) Tomohito Yamada, Shinjiro Kanae and Taikan Oki, Influence of atmosphere initial conditions for precipitation predictability in an Atmospheric General Circulation Model, 水文水資源学会 2004 年研究発表会
- 77) 芳村圭・沖大幹, 水の安定同位体の挙動を組み込んだ地表面モデルの構築, 水文水資源学会 2004 年研究発表会
- 78) 岡澤毅, 花崎直太, 鼎信次郎, 沖大幹, 0.1 度河道網を用いた日本全土の流量シミュレーション, 水文水資源学会 2004 年研究発表会
- 79) 花崎直太、沖大幹、喜連川優、生駒栄司、鼎信次郎, GSWP2 データを利用した全球陸域水収支の推定(速報), 水文水資源学会 2004 年研究発表会
- 80) K. Yoshimura, T. Oki, K. Ichianagi, Evaluation of NCEP/NCAR reanalysis and ERA15 by monthly to interannual reproduction of precipitation isotopes, 2nd APHW Conference, 2004.
- 81) Yoshito Suga, Shinjiro Kanae and Taikan Oki, Global Estimation of the Effect of Fertilization on Nitrate Leaching, 2nd APHW Conference, 2004.
- 82) T. Yamada, S. Kanae, T. Oki, How land surface states and atmospheric boundary layer constrain precipitation variability, 2nd APHW Conference, 2004.
- 83) Shen Yanjun, Kondoh Akihiko, Tang Changyuan, Xiao Jieying, Oki Taikan, Kanae Shinjiro, Development and application of a remote sensing model for estimating soil water status and evapotranspiration in semiarid agricultural region, 2nd APHW Conference, 2004.
- 84) Miyazaki, S., W. Kim, H. Kim, Y. Hirabayashi, S. Kanae, J. Kim, T. Oki, The offline validation of minimal advanced treatments of surface interaction and runoff (MATSIRO) on surface fluxes and conditions over tropical deciduous forest in Thailand, 2nd APHW Conference, 2004.
- 85) Chusit Apirumanekul, Multifractal modelling of rainfall to capture extreme rainfall, Spring meeting of EGU, 2004.
- 86) Miyazaki, S., Yasunari, T., Miyamoto, T., Kaihotsu, I., Davaa, G., Oyunbaatar, D., Natsagdorj, L., Oki, T., Impact of seasonal and interannual rainfall variability on grassland vegetation in central Mongolia, Spring meeting of EGU, 2004.
- 87) Shen Yanjun, Tang Changyuan, Kondoh Akihiko, Oki Taikan, Development of a dual-source conceptual model for describing evaporative processes as function of soil water depletion, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会, 幕張
- 88) 烏云娜・岡本勝男・川島博之, 2004, 衛星データを用いた中国内蒙古半乾燥地域のバイオマス変動解析. システム農学会 2004 年度春季シンポジウム・一般研究発表会要旨集「農業

- ー生態系ー環境のシステム思考」, システム農学会, 20(別号 1), 93-94.
- 89) 新藤純子、岡本勝男、戸田任重、川島博之: 2002 , 東アジアの窒素負荷と河川水質の推定. 日本化学会シンポジウム「酸性沈着とキャッチメント手法による生態系影響評価」要旨集, 19-22
 - 90) 新藤純子・岡本勝男・川島博之 2004 東アジアにおける食料生産・供給による窒素フローとその水環境への影響評価モデル, 日本土壌肥料学会講演要旨集
 - 91) 新藤純子, 木平英一, 岡本勝男, 戸田任重, 川島博之, 2004, 我が国の窒素負荷量分布と全国渓流水水質の推定, 環境科学会年会要旨集.
 - 92) 三宅麻利江・Mulyanto Darmawan・露木 聡・Mui-How Phua(2004) Landsat データを用いたマレーシア・サンダカンにおけるオイルパームプランテーション面積の推定. 第 115 回日本林学会大会学術講演集, 569
 - 93) 芳村圭, 同位体を利用した再解析データ及び GCM 出力の比較評価, 名大 HyARC 研究発表会: マルチスケールの水循環過程に対する水の安定同位体の応用, 2004.
 - 94) Okamoto, K., and Yokozawa, M., 2004, Impacts of environmental change to food production in Asia. Proceedings of the International Workshop on Prediction of Food Production Variation in East Asia under Global Warming, held in Tsukuba on 17-19 March 2004, National Institute for Agro-Environmental Sciences (NIAES), 67-68.
 - 95) Swamp forest clearance and agricultural expanding monitoring using remotely sensed data in time series. Proc. The 12th Indonesian Scientific Meeting, Indonesian Student Association in Japan, 155-160.
 - 96) 宮崎 真、安成哲三、宮本 格、開発一郎、G. Davaa, D. Oyunbaatar, L. Natsagdorj、沖 大幹, モンゴル中部草原における水文気象条件とその植生の成長への影響, 2004 年度日本気象学会秋季大会, 2004.
 - 97) 鼎信次郎、平林由希子、山田朋人、沖 大幹, 現実的な陸面水文学の導入による夏の降水量の年々変動(1951-98)の AGCM による再現性, 2004 年度日本気象学会秋季大会, 2004
 - 98) 越田智喜(国土環境)・宮崎真・沖大幹・鼎新次郎・小池 雅洋・芳村圭, マイクロレインレーダによる降水量観測, 2004 年度日本気象学会秋季大会, 2004.
 - 99) K. Yoshimura and T. Oki, Development of an atmosphere-land surface coupled isotope circulation model, The International Conference on Isotopes in Environmental Studies - Aquatic Forum 2004, 2004.
 - 100) Yoshito Suga, Taikan Oki and Shinjiro Kanae, Changes in Fertilizer Use and River Nitrate Transport of the World in the Latter Half of the 20th Century , The Second International Symposium on Southeast Asian Water Environment , 2004.
 - 101) K. Yoshimura, Effect of land surface processes on precipitation isotopes, 6th Int'l Study Conf. on GEWEX in Asia and GAME, 2004.
 - 102) K. Ichiyaniagi, K. Yoshimura, and M.D. Yamanaka, Isotopic composition of rainfall in Thailand depends on the convective system, 6th Int'l Study Conf. on GEWEX in Asia and GAME, 2004.
 - 103) T. Shinoda, H. Uyeda, and K. Yoshimura, Structure of moist layer and sources of water over the southern region far from the Meiyu/Baiu front, 6th Int'l Study Conf. on GEWEX in Asia and GAME, 2004.
 - 104) K. Yoshimura, T. Oki, N. Ohte, and S. Kanae, Estimation and validation of $\delta^{18}\text{O}$ global distribution with Rayleigh-type two dimensional isotope circulation model, 2004 AGU Fall meeting.
 - 105) M. Werner, V. Barras, J. Brown, L. Gourcy, A. Henderson-Sellers, G. Hoffmann, K. Ichiyaniagi, M. Kelley, D. Noone, J. Roads, G. Schmidt, K. Sturm, J. Tindall, P. Valdes, K. Yoshimura, V. Zakharov, SWING - The stable water isotope intercomparison group, 2004 AGU Fall meeting, 2004.
 - 106) 杉原晴佳・安形康・大瀧雅寛, 日本島山地河川における季節別河水比流量の経年変化とそ

- の規定要因—特に降水特性に着目して—水文水資源学会 2004 年研究発表会(室蘭工業大学)2004 年 8 月 19 日
- 107) 松村寛一郎(関西学院大学), 柳島宏治(国連食糧農業機関), Guoxin TAN(Wuhan University, 柴崎亮介(東京大学空間情報科学研究センター), 世界食糧需給モデルと土地利用変化(World Food Model for integrated agricultural land use change) 2004 年 9 月 環境科学会 2004 年会講演要旨集
 - 108) Takeuchi, W., and Yasuoka, Estimating spatio-temporal patterns of paddy fields over Southeast Asia using MODIS time series, Y.25th Asian Conference of Remote Sensing: Changmai 2004/11/24
 - 109) Guoxin Tan, Ryosuke Shibasaki, Kan-ichiro Matsumura, Spatially Explicit global modelling of Land Use change and Irrigation Water requirements, S LAND Open Science Conference, 2003.
 - 110) K.S.Rajan, R.Shibasaki, A coupled analysis of the Land use and Water use changes in the Indo-Gangetic Plains- a framework for integrated study, S LAND Open Science Conference, 2003.
 - 111) Chayanis Manusthiparom, Shinjiro Kanae, Taikan Oki, Integrated water resources management with hydro-climatic prediction, International Water Association (IWA) Asia-Pacific Regional Conference, Bangkok, Thailand, 2003.
 - 112) Oki, T., Agata, Y., Kanae, S., Musiake, K., Saruhashi, T, World Water Resources Assessment for 2050, EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, 2003.
 - 113) Dirmeyer, P, Gao, X, Oki, T., The Second Global Soil Wetness Project (GSWP-2), EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, 2003.
 - 114) Oki, T., Dirmeyer, P. A, Contribution of the Global Soil Wetness Project 2 for PUB, EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, 2003.
 - 115) 川島博之, アジアの水資源の過去・現在・未来, システム農学会 2003 年度春季シンポ、(つくば研究交流センター)
 - 116) 坂本利弘、岡本勝男、川島博之, 多時期 RADARSAT 画像を用いた水田モニタリング—移植期と環境要因評価の関係—, システム農学会 2003 年度春季シンポ、(つくば研究交流センター)
 - 117) Shindo J, 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, Fourth International Conference on Ecosystems and Sustainable Development, Siena, Italy, 2003.
 - 118) Okamoto, K., Yokozawa, M., and Kawashima, H., 2003, Will food-demand growth in China change land-use? CD-ROM Proceedings of International Symposium on LUCC Contribution to Asian Environmental Problems, LUCC-Japan Committee, Science Council of Japan, 1-4
 - 119) 岡本勝男, 2003, アジアの食料生産予測. システム農学会 2003 年度春季シンポジウム・一般発表会要旨集「農業・環境のためのデジタルアジア構築—Digital Asia for Agriculture and Environment—」, システム農学会, 19(別号 1), 32-36.
 - 120) Okamoto, K., Shindo, J., Toda, H., and Kawashima, H., 2003, Environmental changes and food production in Asia. Proceedings of the International Symposium Marking the 10th Anniversary of JIRCAS: Prospects for Food Security and Agricultural Sustainability in Developing Regions - New Roles of International Collaborative Research -, Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS), P.9
 - 121) Kaewthip, J., Kawashima, H., Shindo, J., Okamoto, K., Toda, H., and Ohga, K., 2003, Water pollution relating to agriculture in Thailand. システム農学会 2003 年度春季シンポジウム・一般発表会要旨集「農業・環境のためのデジタルアジア構築—Digital Asia for Agriculture and Environment—」, システム農学会, 19(別号 1), 81-82.
 - 122) 岡本勝男・乌云娜・川島博之, 2003, 衛星データを用いた中国内蒙古半乾燥地域の土地利

- 用・土地被覆変化解析. システム農学会 2003 年度秋季シンポジウム・一般研究発表会要旨集「GIS の農業生産現場での利用をめざして」, システム農学会, 19(別号 2), 52-53.
- 123) K S Rajan and Louis Lebel, Drivers of Change, Globalization, Industrialization, Urbanization, Land Use Change, Working group session on "Integrated Regional Studies of Monsoon Asia", in 3rd IGBP Congress "Connectivities in the Earth System", 2003.
 - 124) Shirakawa, N., Applicability of hydrological indices on flow regime alteration by multiple purpose reservoirs in Japan, 9th International Conference on River Research & Applications (formerly known as NISORS – Ninth International Symposium on Regulated Streams), 2003.
 - 125) 須賀可人, 鼎信次郎, 花崎直太, 沖大幹, 肥料起源窒素の全球河川モデルへの導入, 水文水資源学会 2003 年研究発表会
 - 126) T. Aramaki, Y. Otaki, M. Suzuki, K. Hanaki and M. Otaki. Forecasting and Controlling Domestic Water Demand in an Urban Area, 10th US-Japan Workshop on Global Climate Change, 2003.
 - 127) Y. Otaki, M. Otaki, T. Aramaki and O. Sakura. Residential water demand analysis by household activities, 2nd International Conference on Efficient Use and Management of Urban Water Supply -Efficient 2003, 2003.
 - 128) 荒巻俊也, 鈴木学, 花本啓祐. 各国の生活用水使用量の要因解析と将来予測, 第 11 回地球環境シンポジウム講演論文集, 73-79, 2003.
 - 129) Md. Sirajul Islam, Toshiya Aramaki and Keisuke Hanaki, An assessment of the historical trend and sensitivity of the Tone River flow to climatic changes. The 3rd International Conference on Water Resources and Environment Research (ICWRER), book I, 250-253, 2002.7.23
 - 130) 越智士郎 ASTER データを用いた植生の熱環境緩和効果の評価. 第 12 回生研フォーラム「宇宙からの地球環境モニタリング」2003.3.4
 - 131) 瀬戸心太 土壌・植生・大気の放射伝達モデルに基づく TRMM/TMI による土壌水分推定. 第 12 回 生研フォーラム「宇宙からの地球環境モニタリング」2003.3.4
 - 132) 山口 実靖, 小口 正人, 喜連川 優, 高遅延広帯域ネットワーク環境下における iSCSI プロトコルを用いたシーケンシャルストレージアクセスの性能評価ならびにその性能向上手法に関する考察. 電子情報通信学会第 14 回データ工学ワークショップ DEWS2003 (第 1 回日本データベース学会年次大会) 2003.3.5
 - 133) Manusthiparom Chayanis, Oki Taikan, Kanae Shinjiro Quantitative Rainfall Prediction in Thailand. First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region, 2003.3.13
 - 134) Taikan Oki, Katumi Musiake, Toshiyuki Nakaegawa, Shinjiro Kanae and International Working Group for GAME-Tropics, Hydrological Characteristics of South-East Monsoon Asia from GEWEX Asian Monsoon Experiment in Tropics (GAME-T). First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region 2003.3.13
 - 135) Shinjiro Kanae, Taikan Oki and Katumi Musiake, Influential Conditions of the Indochina Monsoon. First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region 2003.3.13
 - 136) Kei Yoshimura, Taikan Oki and Nobuhito Ohte, A Study on Global Atmospheric Hydrological Processes with Stable Water Isotopes. First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region 2003.3.14
 - 137) Koji Dairaku, Seita Emori, Taikan Oki and Katumi Musiake, An Investigation of the 1998 Monsoon Rainfall over a Tropical Mountain in Southeast Asia Region. First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region 2003.3.14
 - 138) Dawen Yang, Chong Li, Katumi Musiake and Tetsuya Kusuda, Variation of Water Resources of the Yellow River Basin in Last Century. First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region 2003.3.14
 - 139) HANASAKI Naota, KANAE Shinjiro, OKI Taikan and MUSIAKE Katumi, Modeling Reservoir

- Operation for Global River Routing Network Model. First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region 2003.3.14
- 140) Watanabe, T. Oki, and 17 other authors, Diurnal Variation of Atmospheric Circulation in Tropics. First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region 2003.3.14
- 141) Dushmanta Dutta, Srikantha Herath and Sohan Wijesekera, Development and Application of an Urban Flood Risk Analysis System. First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region 2003.3.14
- 142) Hiroyuki Kawashima, Junko Shindo, Katsuo Okomoto and Keiji Ohga, Food production and environment in major river basins in Asia. First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region 2003.3.14
- 143) Masaharu FUKUDA, Masahiro IMBE, Shigeru NAKAMURA and Srikantha HERATH, A Discussion on Watershed Model Requirements for Hydrological Cycle Improvement Planning in Japan. First International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region 2003.3.15
- 144) 沖大幹、ヴァーチャルウォーターの交易と地政学. 第 3 回世界水フォーラム“Virtual Water Trade and Geopolitics” 2003.3.17
- 145) 沖大幹、未来可能性と水. 第 3 回世界水フォーラム・多分野包括的な学術による地球環境問題への挑戦 2003.3.21
- 146) 沖大幹、アジアモンスーン地域における総合的流域管理. 第 3 回世界水フォーラム 2003.3.21
- 147) Shindo, J., Okamoto, K. Toda, H. and Kawashima, H.: 2002, Nitrogen load and its flows in the major river basins in East Asia. BIOGEOMON Books of Conference Abstracts 214.
- 148) 白川直樹(2003)統合水資源管理と環境保全用水, 水文・水資源学会 2003 年研究発表会要旨集, 22-23.
- 149) K. Yoshimura: Atmospheric Water Circulation Processes with Isotopic Information in Precipitation. AIT seminar on Water Resources in the 21st Century under Climate Change Scenarios., 2003 Nov.
- 150) 芳村圭, 沖大幹, 大手信人. 水蒸気起源の変動と雨域・風系の時系列変化. 日本気象学会 2003 年度秋季大会講演予稿集, pp.151. 2003 Oct
- 151) 一柳錦平, 芳村圭, 山中大学. インドネシア・スマトラ島における降水の起源について. 日本気象学会 2003 年度秋季大会講演予稿集, pp.395. 2003 Oct.
- 152) 芳村圭, 沖大幹, 大手信人. 全球同位体循環推定に対する蒸発散水同位体比の影響評価 (5MB). 平成 15 年度土木学会全国大会, II-008. 2003 Sep.
- 153) 芳村圭, 一柳錦平, 沖大幹. NCEP/NCAR 再解析を用いた 23 年間の全球大気水同位体循環推定. 水文水資源学会 2003 年度研究発表会要旨集, pp.48-49. 2003 Jul.
- 154) K. Yoshimura, T. Oki, N. Ohte, and S. Kanae: Simulating short-term ^{18}O variability with a Rayleigh-type isotope circulation model. In Abstracts of 23th General Assembly of IUGG, B.361. 2003 Jul.
- 155) 芳村圭, 沖大幹, 大手信人. 水蒸気起源の変動からみたアジアモンスーンのオンセット. 2003 年度春季大会講演予稿集, pp.130, 2003 May.
- 156) Darmawan, Mulyanto, Tsuyuki, Satoshi, and Saito, Hideki(2003)
- 157) Agata, Y., GAME-T Data Management Report: Introduction of Dataset CD-ROM, Distributed Database Server and Future Plan. 2002 Workshop on GAME-T in Thailand 2002.10
- 158) Manusthiparom, C., Taikan Oki, Shinjiro Kanae, Long-term rainfall prediction in Chao Phraya river basin. 2002 Workshop on GAME-T in Thailand 2002.10
- 159) Yoshimura, K., Taikan Oki, Nobuhito Ohte, Global water isotope circulation modeling with daily validation in Indochina peninsula. 2002 Workshop on GAME-T in Thailand 2002.10

- 160) Naota Hanasaki, Shinjiro Kanae, Taikan Oki, Katumi Musiake, Simulating river discharge of Chao Phraya considering reservoir operation. 2002 Workshop on GAME-T in Thailand 2002.10
- 161) Shin Miyazaki, Taikan Oki, Yasushi Agata, Shinjiro Kanae, Katumi Musiake, Proposal for GAME-T PILPS. 2002 Workshop on GAME-T in Thailand 2002.10
- 162) Koji Dairaku, Seita Emori, Taikan Oki, Katumi Musiake, Orographic Rainfall in a Tropical Mountainous Region, the Mae Chaem watershed. 2002 Workshop on GAME-T in Thailand 2002.10
- 163) 平林 由希子、鼎 信次郎、虫明 功臣、沖 大幹、降水の変動特性が陸域水収支へ及ぼす影響についての数値実験. 日本気象学会 2002 年秋季大会 2002.10
- 164) 檜田 爽、鼎 信次郎、虫明 功臣、沖 大幹、東京における 1890 年～の時間降水量特性の変化とその季節及び時刻依存性. 日本気象学会 2002 年秋季大会 2002.10
- 165) 本谷 研、増田 耕一、高田 久美子、沖 大幹、グローバルな水収支は降水量計捕捉率補正を考慮した場合どう変わるか? 日本気象学会 2002 年秋季大会 2002.10
- 166) 沖大幹、洪水と水害—自然と人との関わり—. 日本気象学会 2001 年度秋季大会シンポジウム「東海豪雨—自然・都市・人間の関わり—」報告 2002.8
- 167) 鼎信次郎、安形康、虫明功臣、沖大幹、複数の指標を用いた世界の大河川流域の水資源アセスメント ---アジア地域に着目して---. 水文・水資源学会 2002 年研究発表会 2002.8
- 168) 檜田 爽、鼎信次郎、虫明功臣、沖大幹、東京における明治時代から現在までの時間降水量特性の変化. 水文・水資源学会 2002 年研究発表会 2002.8
- 169) 平林由希子、鼎信次郎、虫明功臣、沖大幹、AGCM における降水量の変動特性が陸域水収支に与える影響. 水文・水資源学会 2002 年研究発表会 2002.8
- 170) 花崎直太、鼎信次郎、安形康、虫明功臣、沖大幹、ダムの影響を考慮した全球河川流量シミュレーション. 水文・水資源学会 2002 年研究発表会 2002.8
- 171) 安形康、談国新、鼎信次郎、沖大幹、虫明功臣、農業プロセスモデル EPIC による灌漑水量推定を組み込んだグリッドベース世界水資源アセスメント. 水文・水資源学会 2002 年研究発表会 2002.8
- 172) 安形康、金元植、鼎信次郎、沖大幹、虫明功臣、熱帯アジア気象水文データベースの構築とその応用例: タイ・チャオプラヤ川を対象とした土地利用変化が河川流量に与える影響のシミュレーション. 第 6 回水資源に関するシンポジウム 2002.8
- 173) 三宅基文、沖大幹、虫明功臣、日本を中心とした仮想水の輸出入. 第 6 回水資源に関するシンポジウム 2002.8
- 174) 大楽浩司、江守正多、沖大幹、虫明功臣、東南アジア熱帯山岳における地形性降雨. 第 6 回水資源に関するシンポジウム 2002.8
- 175) Chayanis Manusthiparom, Taikan Oki, and Katumi Musiake, Predictability of monthly rainfall in Chao Phraya river basin of Thailand by using artificial neural network modeling. 第 6 回水資源に関するシンポジウム 2002.8
- 176) Kazuhiro Kumasaka, Taikan Oki, and Katumi Musiake, Equity in water allocation between irrigation and urban use under drought condition: Angat River in the Philippines. 第 6 回水資源に関するシンポジウム 2002.8
- 177) 沖 大幹、安形 康、鼎 信次郎、虫明 功臣、猿橋 崇央、地球環境問題としてのグローバルな水循環と世界の水資源. 日本気象学会 2002 年春季大会 2002.8
- 178) 鼎 信次郎、沖 大幹、虫明 功臣、アジアモンスーン第一オンセットの主要因—GCM 数値実験からの視点—. 日本気象学会 2002 年春季大会 2002.5
- 179) 渡辺 明、沖大幹他 17 名、インドシナ半島における乾期と雨期の大気構造—降水システムの発達・抑制と関連して—. 日本気象学会 2002 年春季大会 2002.5
- 180) 梶原 誠、沖 大幹、松本 淳、日本における 100 年間の豪雨頻度の経年変化. 日本気象学会 2002 年春季大会 2002.5
- 181) Taikan Oki, Yasushi Agata, Shinjiro Kanae, and Katumi Musiake, Global water resources

assessment with simulated discharge by TRIP and dsimulated irrigation water demand. EGS XXVII General Assembly, Nice, France, 2002.4

- 182) 瀬戸 心太、沖 大幹、虫明 功臣, TRMM/PR などのマイクロ波センサを用いた土壌水分および植生情報の抽出と解析. 第3回水文過程のリモートセンシングとその応用に関するワークショップ, 2002.1
- 183) 大瀧友里奈、大瀧雅寛、佐倉統, 都市用水需要予測モデルにおける影響変数の検討. ISM シンポジウム「環境科学と統計科学の新たな融合」, 2002.8
- 184) 岡本勝男・新藤純子・戸田任重・川島博之, 2002, 環境への窒素放出量と流域の土地利用. システム農学会 2002 年度春季シンポジウム・個別研究発表会要旨集「山岳・里山・里地から見た流域－山と流域システムの共生と望ましい秩序形成を求めて－」, システム農学会, 18(別号 1), 90-91.
- 185) 岡本勝男・川島博之, 2002, アジア稲作地帯の農用水資源評価: 天水による栽培可能面積の推定. システム農学会 2002 年度秋季シンポジウム・個別研究発表会要旨集「バイオマス利用による資源循環型社会の構築」, システム農学会, 18(別号 2), 81-82.
- 186) 坂本利弘・岡本勝男・戸田任重・新藤純子・川島博之, 2002, 乗鞍岳東斜面の土地被覆変化. システム農学会 2002 年度秋季シンポジウム・個別研究発表会要旨集「バイオマス利用による資源循環型社会の構築」, システム農学会, 18(別号 2), 77-78.

(4) 特許出願

- ①国内出願 (0 件)
- ②海外出願 (0 件)

(5) 受賞等

① 受賞

- 1) 平林由希子、鼎信次郎、沖 大幹、20世紀の世界陸域水文量の長期変動、水工学論文賞、土木学会、2006
- 2) 花崎直太、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、水工学論文奨励賞、土木学会、2006
- 3) 芳村圭、水の安定同位体(18O)の鉛直積分型水平 2 次元循環モデルの構築と検証、水工学論文奨励賞、土木学会、2004
- 4) 沖大幹、安形康、鼎信次郎、猿橋崇央、楊大文、Global Assessment of Current Water Resources using Total Runoff Integrating Pathways、Tison Award, IAHS、2003
- 5) 沖・鼎研究室、ヴァーチャルウォーターに関する一連の研究と社会への普及活動、環境賞、土木学会、2005
- 6) 沖・鼎研究室、ヴァーチャルウォーターを考慮した世界水資源アセスメント、第 6 回日本水大賞奨励賞、2004
- 7) チャヤニス マヌチパロム、第 2 回東京大学総長賞学生表彰、2004
- 8) チャヤニス マヌチパロム、タイ・チャオプラヤ流域の降水量と流出量に与えるエルニーニョ南方振動の影響を利用した水文気象予測、第6回国際協力大学生論文コンテスト特選(JICA 総裁賞)、2003

②新聞報道

1. 水の世紀を生きる 食卓支える外国の「水」、京都新聞、2002/5/8
2. 地球研 分野超え環境問題解明を、京都新聞、2002/6/5
3. 水資源 牛の飼育に 10 万倍必要、日刊工業新聞、2002/7/19
4. 地球のカルテ 環境開発サミット 忍び寄る水資源危機、日本経済新聞、2002/7/22
5. 「仮想水」1035 億トン、読売新聞、2002/7/23
6. 国内の年間水資源使用量半分を海外依存、日本工業新聞、2002/7/23
7. 環境・開発サミット 明日の地球は・・・商品化巡り争い激化、毎日新聞、2002/7/31

8. 文科省、東大 水の消費量解明します、日本工業新聞、2002/8/8
9. 海外から年間 1000 億トン以上、山陽新聞、2002/8/13
10. Researcher urges water consciousness、The Japan Times、2002/8/20
11. 次代を想う 環境主義への提言、日本工業新聞、2002/8/27
12. 中部の千年遺産、中日新聞、2002/10/16
13. 日本は水を大量輸入？、朝日新聞、2002/10/17
14. 新世紀の科学者たち 衛星や現地調査で水資源の未来探る、讀賣新聞、2002/10/30
15. WAVE この人にあいたい 水の LCA が必要と呼びかける沖大幹さん、環境 goo
<http://eco.goo.ne.jp/wave/files/wave16.html>、2002/12/9
16. 先細る富士の湧く水、毎日新聞、2003/1/1
17. 水は本当に豊かか、京都新聞、2003/1/1
18. 仮想水(バーチャルウォーター)、環境新聞 第33号、2003/1/1
19. 世界の水問題と日本人の生活、パレット 大田区立生活センター発行、2003/1/1
20. 「仮想水」輸入量は世界一、中日新聞、2003/1/19
21. CS 放送「G+」、2003/2/7
22. 「時の話題」、NHK ラジオ第一放送、2003/3/4
23. 国際協力ひろば 特別シンポ 世界の水と日本、讀賣新聞、2003/3/23
24. 卓上四季『日本は「世界一の水の輸入国」だという』、北海道新聞、2003/2/16
25. 社説『世界水フォーラムー立ち止まって見直しをー』、秋田魁新報 2003/2/22
26. 『水の世紀 1』『仮想水」640 億トン日本に、讀賣新聞、2003/3/4
27. 「命の源はいま」国境を声 水は巡る、朝日新聞、2003/3/13
28. シンポジウム報告、讀賣新聞、2003/3/17
29. 論点・焦点「水と食糧」、水フォーラム新聞、2003/3/17
30. 「この人に聞きたい」、NHK 京都放送局、2003/3/19
31. シンポジウムの詳細報告、讀賣新聞、2003/3/23
32. 千年持続社会、讀賣新聞、2003/4/13
33. あさいちばん ニュースアップ『水と地球環境』～環境世紀を水で読み解く～、NHK ラジオ、
2003/4/29
34. 「水問題を考える」、東京大学新聞、2003/6/10
35. 『「仮想水」を見る』発信箱、高橋 豊、毎日新聞、2003/6/16
36. 「Wake Up!」日本テレビ系列 25 局ネット全国放送、「特集:日本の環境と農業」、2003/7/26
37. 「よみうり寸評」、讀賣新聞、2003/8/16
38. アジアを視野に入れ、国土整備のあり方模索を、日本経済新聞、2003/8/29
39. 地域別に降水量長期予測、日本工業新聞、2003/12/2
40. 東京メトロポリタンテレビジョン等、「朝まるJUST」中「みず再発見」、2003 年 10 月 7 日(火)、
14 日、21 日、28 日。
41. 気候変動と水資源、日本水道新聞、2003/11/10
42. 「水」から世界見える、第 1 面、日本農業新聞、2003/12/4
43. 資源としての水を考える、Best Partner1 月号 浜銀総合研究所、2004/1/1
44. 農山村のマネジメント強化徹底重要性増す水・食料の安全保障、日本経済新聞、2004/1/30
45. “水”輸入大国日本、しんぶん赤旗、2004/3/14
46. 日本の水・世界の水～21 世紀の水資源をどう活かしていくのか～、NHK 教育テレビ「土曜フ
ォーラム」、2004/5/8
47. 地球規模で雨の起源推定、日刊工業、2004/5/13
48. 東京の雨はブレンド品、朝日新聞、2004/5/13
49. 「水を石油にするな!」、BS-i「ニッポンの真実」第 17 回、2004/5/24
50. 温暖化が変える雨の降り方、原子力文化 6 月号、2004/6/1
51. 水資源国日本が輸入に頼る「仮想水」とは？、テクノロマン・インタビュー89、商工ジャーナル、
日本商工経済研究所. 351. No.6. 68-71、2004/6/1

52. 第6回日本水大賞、讀賣新聞、2004/6/3
53. 「水に抱かれた楽園」、日本テレビ eco ウィークエンド SP、2004/6/6
54. ブレンド雨、朝日ニュースター(CS放送) キッズニュース、2004/6/20
55. 身近にひそむ水害 自分たちで考える備え、朝日新聞、2004/6/28
56. 雨はどこから来るのだろうか、山梨日日新聞、2004/6/26
57. 地球の水循環の謎を解き水惑星の環境を守る、ジュニアサイエンティスト7月号、2004/7/1
58. 『水の水循環』、NHK 総合「週間こどもニュース」、2004/7/10
59. 教えてください。富野です。ガンダムエース9月号、2004/7/26
60. 電話インタビュー Virtual Water について、ラジオ日本、2004/10/22
61. 気象の中長期予報の精度向上に向けて土壌水分量が降水量に影響する地域を確認、月刊ポータル11月号 財団法人河川情報センター、2004/11/1
62. ウォーターサプライヤーってどんな仕事?『これからはこの仕事! 時代を先取る24の新市場』(幻冬舎、三神万里子)pp.12、2004/11/27
63. 人間活動の影響を導入した次世代水循環モデル作成、科学新聞、2005/2/25
64. 「さらば浪費社会」飽食で増す環境負荷、朝日新聞、2005/3/6
65. 地球温暖化考えてー福井でフォーラム県民550人が参加朝日新聞、2005/3/28
66. 家庭・地域から温暖化防ごう、福井新聞、2005/3/28
67. 原発が温暖化ガス削減、中日新聞、2005/3/28
68. 地球環境フォーラム in ふくい、福井新聞、2005/3/31
69. 干ばつ・洪水水の世紀末、朝日新聞、2005/5/13
70. 省庁横断で戦略立案、讀賣新聞、2005/5/18
71. 「ヴァーチャルウォーター」が教えてくれること、JST News、2005/7/1
72. 雨水の旅を調べる、しんぶん赤旗、2005/7/24
73. 水の輸入大国日本、日本農業新聞開発部広報誌「みどり10月号」、2005/8/30
74. 食料自給率4割の表裏(2)、安足 NOSAI 8月号、2005/8/22
75. バーチャル・ウォーターって、なに?「食べのものが世界を変えている コンビニ弁当16万キロの旅」太郎次郎社エディタス、2005/9/1
76. 日本の「食」を見つめる～水から見る私たちの「食」～、全農エプロン9月号、2005/9/1
77. 特集「限りある資源～水のマネジメントを考える」、SAFE、5-9、住友三井フィナンシャルグループ、55、2005/09
78. 「仮想水を考える 膨大な水輸入国・日本」、日本食糧新聞、2005/10/5
79. 「サイエンス ZERO」『地下水が消える?ひそかに迫る水危機』、NHK 教育テレビ、2005/10/8
80. バーチャル・ウォーターと私たちの暮らし、月刊オルタ、2005/11/25
81. 水循環の回復と再生を目指して、西日本新聞、2005/12/22
82. 第2回「雨から川へ、水のつどい」、かわ No.188、2006/1/1
83. 沖・鼎研究室、Yozemi Journal(YJ)543号(2006年4月号)、代々木ゼミナール、2006/04
84. 「水不足時代世界に到来!」、日本経済新聞、2006/4/30
85. 「トレンド:水環境における課題とソリューション」、東芝レビュー、2006/05
86. ワールドビジネスサテライト「迫る“水”危機」、テレビ東京系、2006/5/5
87. 人口減と生きる第4部膨らむ世界の中で3『『水の国』に好機は巡る』、日本経済新聞、2006/5/15
88. あっ!@デ～タ、低きに流れない水、坪谷英紀、朝日新聞、Sunday Be1面、2006/7/2
89. 世界の水不足に悩む人、70年後は倍増40億人、讀賣新聞、2006年8月25日朝刊
90. 世界の水資源需給予測、日刊工業新聞、2006年8月25日朝刊
91. 「中国北部や米西部で危険」水問題でアセス、科学新聞、2006年9月1日
92. 世界を考えるキーワード/ 仮想水、愛媛新聞 2006/9/11
93. 脱・水ストレス、東京新聞朝刊25面、2006年9月12日

③その他

(6)その他特記事項

本研究プロジェクトの大瀧グループが有限会社「グラーツ」と共同開発した水量測定器を実用販売されている。

(有)グラーツと共同開発した本測定器は、外部電源を必要としないため、設置場所が制約されることがないという長所を持つ。また電池交換無しに約一ヶ月半の稼働が可能であり、短期間水量測定への適用範囲が格段に広がった。

製品情報 URL:<http://www.graz-pk.com/sekisan.html>

7 研究期間中の主な活動

研究チーム：

国際シンポジウム 国際ワークショップの名前 と狙い	年月日、場所 凡その参加人数	海外研究所 関連のプロジェクト
IAHS-Japan Hydrology2020 Meeting	2002/7/12-13 洞爺湖/北海道 16 名	IAHS (International Association of Hydrologic Science: 国際水文科学会)
2002 Workshop on GAME-T and hydrometeorological studies in Thailand and Southeast Asia	2002/10/29-31 Chiangrai, Thailand 約 180 名	NRCT (The National Research Council of Thailand : タイ研 究評議会)
2003 Global Water System Project (GWSP) Asian region workshop	2003/3/19 京都 約 30 名	GWSP (Global Water System Project)
2003 International Symposium on the Climate System of Asian Monsoon and its Interaction with Society	2003/11/11-13 Khon Kaen, Thailand 約 220 名	NRCT (The National Research Council of Thailand : タイ研 究評議会)
Australia-Japan Workshop on Predictions in Ungauged Basins (PUB)	2004/2/2-5 Perth, Australia 約 100 名	IAHS (International Association of Hydrologic Science: 国際水文科学会)・ UNESCO International Hydrological Programme (IHP)・文部科学省 等
21 世紀のアジアの水資源変 動予測に関するシンポジウ ム	2004/3/1-2 つくば 約 100 名	主催：気象研究所 共催：東京大学空間情報科学 研究センター・独立行政法人国 立環境研究所・財団法人電力中 央研究所・独立行政法人農業環 境技術研究所・東京大学生産技 術研究所 後援：文部科学省
2 nd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW) Conference	2004/7/5-8 Singapore 約 300 名	主催：APHW (アジア・太平洋水 文水資源協会)・AOGS (アジア 大洋州地球物理科学会)
Seminar On Hydro-Informatics Membrane System in 21st Century through Utilization, Delineation and Implementation	2004/9/10 Bangkok, Thailand 約 60 名	Kasetsart University
Global Soil Wetness Project 2 (GSWP2) Meeting in Kyoto	2004/9/13-15 京都 約 30 名	RIHN (Research Institute of Humanity and Nature) Global Soil Wetness Project

8 結び

まず、こうした大規模な研究プロジェクトの実現と遂行に尽力いただいたすべての関係者の皆さん、そして広く国民の皆様に深く感謝いたします。水の循環と利用に関しては、国内外ですでに様々な問題が顕在化しており、また研究開発の成果が市民社会の利益に繋がることが大いに期待できるにも関わらず、個々の要素技術や材料の開発だけではなくそれらを組み合わせた上でさらに社会のあり方、制度などとあいまってはじめて目に見える形で成果が現れる、という構造的な問題からか、もしくは長年の営々たる蓄積により社会基盤が整備され、水の循環のマネジメントに伴う不都合に遭遇する機会が現代日本では少なくなったせいかな一般の耳目を集め脚光を浴びることは少なく、また、有史以来ともいえる水の循環を利用し災害を軽減する技術の歴史の長さ故か先端的分野として重点的な研究開発分野だと認識されることは近年少なかったように思います。革新的な発見や発明が見込まれる分野への集中的な研究投資によって日本の科学技術にイノベーションをもたらす礎を築こうという、この戦略的創造研究推進事業(CREST)にあって、地味であるとも言える「水の循環予測及び利用システムの構築」領域が立ち上がり、推進された背景には国内外の多くの方々の熱意と努力があったものと承知しております。そういう意味でも、この5年間で4.7億円という、そうあることではない巨額の予算をいただき、研究を推進できたことは非常に幸運であり、またそれを認めてくれた科学技術・学術と社会の状況に心の底から謝意を表したいと思います。

さて、本研究プロジェクトはグローバルな水循環、水資源のモデルを構築し、それらに基づいて世界の水需給の現状と将来に関する見通しと提言を日本から情報発信していこう、というのが究極の目的でした。幸いにも非常に適切な共同研究者、研究スタッフ、優秀なPD、大学院生、サポーティングスタッフなどに恵まれ、当初の目論見どおり以上の成果が得られました。PDとして雇用した研究員の中からは3名の東大助手が生まれたのを始め、博士課程に在籍していた留学生を含めた大学院生等も国内外で世界の水問題として活躍するなど、よい意味でプロジェクトを通じて切磋琢磨され、若手の人材育成にも貢献していることと思います。一例として、とある元CREST研究員の手記を引用します。

元CREST研究員の感想

本研究の2年目からJST雇用の技術員として参画し、以降プロジェクト管理のような立場としてこのプロジェクトに仕えさせてもらいました。度重なる書類作成を面倒に思うこともありましたが、そのような書類でしか研究内容に触れられないJST本部やCREST事務所の方々のこと、ひいては(自分も含め)納税者のことを考えると、きちんと書類を書くことが誠意と感謝なのだと思うようになり、少し書類作成が楽しくなりました。また、チーム事務やCREST事務所の方々と比較的密に接することにより、事務といういわば裏方の仕事の大変さを知りました。また、彼ら彼女らがいないと、研究者はまったく身動き取れない、ということも身をもって知りました。どういう場合に彼らの負担が増大してしまうのか、実質の負担と気持ちの負担(こちらがより重要)を軽減するには、研究者としてどうすればよいのか、なんてことを大いに考えさせられ、自分なりに少しだけ理解したような気もします。

このプロジェクトを通じて知り合った人間関係や培った経験があつて、今の自分があるのだな、と遠くの地で改めて思っています。増田さんをはじめとしたCREST事務所の皆さん、研究チームの皆さん、そして代表の沖先生に改めて感謝したいと思います。本当にありがとうございました。

ここにも書かれている通り、CREST本部と研究者との間に、領域事務所があつて研究総括を支援しつつ各研究者とのやりとりをして委託分以外の経理までやってもらえたことは良い研究マネジメント体制だったと考えられます。

本研究が極めて順調に推移した要因は他にもいくつもあげられますが、そのひとつとして、大型研究予算によるプロジェクト型研究が我々にとって初めてではなかったことがあげられると思います。それらの経験を踏まえて、我々の分野では優秀な人材の確保が極めて重要であること、若手研究者への投資が一番効果的であることを身にしみて感じていたため、研究費の半分以上を人件費として使用させていただきました。チーム事務員以外にも研究補助員を雇用し、ある意味煩瑣な研究事務をこなしてもらえたことも、研究者が研究業務に集中することに非常に有効であったと思います。また、ほぼ同一組織を中心として中心的な研究メンバーを構成したことも大正解でした。1～2ヶ月に一度研究会合を開いて進捗状況に関する打ち合わせをしたり、研究発表を聞いたり、あるいはデータに関する細かい議論をしたり、といった機会が持てたのは、主要メンバーが地理的に集まりやすかったからこそだと思います。また、最終的にはほとんどの PD の方々が代表者の研究室に机を置くことになりました。これも、メールや電話だけではない頻繁な意思疎通、意見交換をするのに好都合で、特に最終年度のまとめの際には大きな効力を発揮したような気がします。

プロジェクト運営に関しての戦略は、最初の3年で当初の目標に対応した成果をあげ、残りの2年でそれを論文にして発表しつつ、次の研究の芽を育てる、ということでした。そういう意味ではプロジェクト当初の勢いが大事だと考え、合宿形式での研究会を何度か開催しました。離島など、隔離された環境では途中参加などをしにくく、出席者のモチベーションもあがり、なかなか効果があがったように思います。当初は、5年目になるとPDがみんな次を探して離脱するのではないかと、という風にも考えていましたが、多くの優秀な PD のみなさんが最後まで一緒にやってくれているのは心強い限りです。これには、研究期間は10月いっぱいまでだが雇用は年度末3月まで、という運用にしてくださったCREST事務局のはからいのおかげでもあると感謝しています。そうしたこともあり、この3年で成果をあげ、残り2年で公表する、という戦略もほぼ狙い通りに進んだのではないかと思います。

実際には、世界水需給アセスメントやvirtual water trade、グローバルな水・エネルギー収支に関する研究はこのCRESTが始まる以前より進めていましたので、成果があがって当然、あるいはその全てを本プロジェクトの成果にするのはおかしい、という批判もあるかもしれませんが、そうした土台があってこそ初めてプロジェクト研究による集中投資が生きるわけですのでご理解いただきたいと思います。また、プロジェクト期間中に次のプロジェクトのことを考えることに対して違和感を覚える方がいるかもしれません。しかし、研究費があたったらその研究をする、というのは消極的な姿勢であり、もし研究予算がなければ自腹を切ってもこれぞ、と思った研究に取り組み、事前に用意していない限り、期限あるプロジェクト期間内に成果をあげることはほとんど不可能なのではないかと思います。そういう意味では3年程度の競争的資金によるプロジェクトが多い中、このCRESTが5年間であったことはある程度落ち着いて研究に取り組むことができ非常に幸いでした。ただ、後年度になるにつれどんどん予算が減らされた結果、各方面で予算が足りなくなる分があり、他の競争的資金にも頼る必要がでてきてしまいました。また、PDに投資した分、研究分担者の方への配分がプロジェクト後半で激減したことに対しては大変申し訳なく思っています。

さて、本研究プロジェクトでは人間活動を考慮した水循環水資源モデルといったツールや、アジアの水田分布、都市とそれ以外を分離しIPCC/SRESシナリオに即したグローバルな人口分布、グローバル規模の必要環境流量、グローバルな水・エネルギー収支などのデータベース、野外現地観測データや途上国における水使用量の各戸調査データ、さらにはWeb上に構築されたその可視化・配布インターフェース(GSWP2 ICC/DDC)や大規模パネルを用いた可視化システム、また、いくつかのアプローチから推計した生活用水、工業用水、農業用水のグローバルな将来推計、アジアにおける水質の将来展望、農地を中心とした土地被覆変化、そしてそれらを統合した世界の水需給の将来推計など、世界でも他に類をみない包括的な研究成果が得られています。しかしながら、もっとも大きな成果は、こうした人間社会を含む将来推計におけるシナリオの意味が改めて明らかになったことではないかと思います。すなわち、50年後、100年後に実際にどういう水需給状況になるかをいかに精密に「あてるか」ではなく、特定のシナリオに沿った場合にはどういった事態が想

定されるかを複数のシナリオについて提示し、人類社会が目指すべき方向を明らかにする、というのがこうしたシナリオ研究の本来の趣旨だということが研究を通じてまざまざと明白になりました。従って Science 誌の review 論文に述べたとおり、例えば SRES-A2 シナリオに沿った予測の通りにならないようにしなければ、と社会が気づき、何らかの対処行動をおこすようになることこそがこうした研究の目的であり、逆説的ではありますが、そこに示された将来展望がはずれることが研究の究極的な成功である、ということになります。

現在パートタイムで勤務している内閣府総合科学技術会議事務局では各省施策の見解付け、いわゆる SABC 評価ということが行われています。そこで印象的であったのは、とある有識者議員が、「こうした大型研究予算は、研究者のためではなく国民のためでなくちゃいけない」とおっしゃっていたことです。本研究の成果が、我々研究参加者の業績をあげるだけのことになるのか、研究提案や報告書に書かれている通り、本当に国民社会に貢献するようになるのか、それを現時点で判断するのは簡単ではない気がします。おそらく、我々の今後のさらなる研究への取り組みと、社会へ還元しようとする意欲の継続が必要なのではないでしょうか。大学の研究者としては、興味が移れば新しい課題に取り組めばよく、また、学生に特定の課題ばかり与えるのは学生の自由な興味や斬新な発想に基づく新たな研究の芽を摘んでしまうことにもなりかねないので、あまりひとつの研究にばかりこだわるのは良くないのではないかと、という気もします。これには、ひとつのことを続けている方が楽であることは確かなので、楽をしてマンネリにならないように、という意味もあります。しかし、こうして大規模な研究予算を得て所与の成果を世界に示したからには、もはや後戻りはできず、責任をもって今後ともこうしたグローバルな水循環と世界の水資源に関する研究をやめずに続けなければならないのではないかと、という社会的・学術的な重圧も勝手に感じています。継続の必要があるのかないのか、また、立ち返って、いかにすれば研究成果をきちんと社会に還元できるのか、もう少し考えねばと思っています。

もちろん、この分野の研究はこれで終わりでよいと思っているわけではありません。人間活動を考慮したグローバルな水循環・世界水資源モデルにしても、まだまだ改良の余地があります。なにより、地下水をきちんと考慮せねばなりません。農業生産や灌漑取水量の推定精度もまだまだです。リターンフローも適切には考慮されていません。virtual water trade に関連して green/blue water 別の水消費原単位を推計するにはどうすればよいか、という点に関する概念的整理も不完全です。水質を考えるにしても、大気中の化学物質輸送反応過程も含めて考えていくことが狭い分野の垣根を越えておもしろくなりそうです。また、水力発電から始めて、広くエネルギー需給見通しの研究にも十分な理解をすることなしに食料や水の持続性だけを議論してもしようがない気もしています。もちろん、地球温暖化によって気候・気象、特に極値がどのように変化するのか、適応策を立案するに足る空間分解能と確実性をもって推計するような研究も学術的にもおもしろく、かつ、社会の利益に直結するものと思います。

グローバルスケールでの研究にいろいろな視点から批判があることも承知していますが、地球科学あるいは自然地理学の一部としてただ一回の地球の歴史に沿った現象を扱わざるを得ない水循環研究においては、やはり、いわゆる原理的な物理法則ではなく地球全体を見渡して地域間を比較することによって普遍性が担保される部分が大きいのではないかと思います。だからこそグローバルな研究も極めて重要なのです。もちろん、本研究でも、極めて限られた地域で現在や将来の水需給が深刻なことが明らかですので、そうした地域に関する集中的な地域研究も今後重要であり、グローバルな研究と平行して取り組んでいかねばならないと考えています。

思い起こしてみると、5 年前、2001 年秋は世界水資源アセスメントについて、2000 年の Science に掲載された Vörösmarty 等の結果の追実験のような研究結果がようやく出たところで、まだ virtual water trade に関しては我々としては最初の推計を進めるために、概念の整理をしていたところでした。世界水フォーラムが前年 2000 年 3 月にオランダのハーグで開催され、次は 2003 年に日本で開催だ、と盛り上がり始めた頃でした。ハーグでは次世代の水指導者 14 人に選ばれたり、京都に

設立された全国共同利用機関総合地球環境学研究所(地球研)の併任となり忙しい反面、環境分野における他分野の精鋭の研究者と机を並べることに快感を覚えたり、と、新たな研究に意欲を燃やしつつある頃にこの CREST の機会があり、非常にありがたかったように思います。今でも覚えています、プロジェクト申請に対するヒアリングのために根津の JST オフィスへ行った朝、一番初めのヒアリングで極度の緊張をしつつも、こう水循環に関する研究領域を CREST で立ち上げるのなら我々を採用しなくてどうする、成果をあげてやるぞ、と、非常に高ぶった気持ちでした。結果としては、私が代表者として採択された最初的大型研究プロジェクト予算になりました。

無事採択していただいてから5年、あっという間というよりはそれなりに長かった気がします。Virtual Water Trade の成果を発表したのは2002年7月ですし、その後2003年には第3回世界水フォーラム、国際地学連合(IUGG)総会などがあり、また、IPCC の第4次報告書へ向けた活動も開始して lead author に選ばれました。国際水文科学会(IAHS)では Prediction in Ungauged Basins(PUB)も構想され、開始した際には Scientific Steering Committee のメンバーに選ばれました。Global Water System Project の開始にあたっては同様のメンバーとなりました。Global Soil Wetness Project(GSWP)やその母体である Global Land Atmosphere System Studies(GLASS)でも国際パネルのメンバーとして活躍できたのは、CREST 予算の裏づけがあったからだと思っています。Geoscience the Future は2002年から活動を開始して2003年のIUGGに報告して終了しましたが、IAHS の Hydrology 2020 Working Group の活動が始まったのも考えてみれば2002年ですし、その成果は2006年になってようやくまとまりました。どちらも国際的な若手研究者と交流する機会がもてて有意義でした。しかし何より長く感じた理由は、前半は地球研と、後半は内閣府との併任で時間の余裕がなく肉体的にも疲れきっていたからではないかと思います。もし CREST 研究プロジェクトがなければ、優秀な PD もサポーティングスタッフもいず、国際的な活動はおろか、日々の教育研究業務すらこなせなかったのではないかと、思います。そういう意味でも、本プロジェクトは非常にありがたいものでした。

そんな中、2006年の4月になって、Science 誌からグローバルな水循環と世界の水資源に関する review 論文執筆の招待を受けることができました。既存の発表論文、あるいは英文書のどれがこの依頼につながったのかは不明ですが、これまでの努力が CREST 最終年度のちょうど良いタイミングで結実し、報われる思いでした。この review 論文は私以外に共同執筆者は2名まで、という制約があったため、実質的に貢献が大きい鼎博士の名前だけしか掲載できませんでした。もう1名を選ぶことはとても難しかったので2名ではなく1名の方に共同執筆者をとどめました。しかし、実際には我々の CREST 研究チームの総力をあげてデータ解析、作図、文章の構成、練り直し、修正をしました。結果としてはその過程で最後のとりまとめが精力的に進むことにもなりました。これがタイミングよく8月に出版されたことで、我々のプロジェクトだけではなくこの研究領域のステータスが上がることに多少なりとも貢献できたとすれば、まさにご同慶の至りです。

最後に、我々のプロジェクト研究を支えてくださった水循環事務所のみなさん、折に触れてご指導いただいた領域アドバイザーの先生方、領域シンポジウムの際などに忌憚のないコメントや意見をくださった他の研究プロジェクトの先生方、そして研究総括として時に鋭いコメントで、時に暖かい励ましでご指導いただいた虫明功臣先生に深く感謝してこの研究報告の結びとしたいと思います。

2006年9月 研究代表者 沖 大幹