

鼎 信次郎

東京工業大学大学院情報理工学研究科・准教授

世界の持続可能な水利用の長期ビジョン作成

## §1. 研究実施の概要

本領域の目標である「持続可能な水利用の実現」のために、過去から未来の世界の水需給を算定し、世界のどこで持続可能でない水利用が行われているのか、それがどのように深刻化しそうかを的確に知り、水資源逼迫に対する Critical Level (CL) の設定とその回避のための長期ビジョンの作成を行うのが本研究の狙いである。また、それら世界の水資源逼迫が、貿易立国である日本の将来に及ぼす影響を調べることも本研究の狙いである。

過去から将来の世界の水需給の算定において、最大の水利用ユーザーは食料生産のための灌漑地農業であることに着目し、本年度はまず、拡大を続けた 20 世紀の灌漑地面積の歴史的変化を全球空間データベース化した。この灌漑地データと世界水資源モデルを用いて 20 世紀後半の水需給再現シミュレーションを行った。特筆すべき成果として、20 世紀後半の非持続性地下水 (=化石地下水に相当)からの取水量の全球シミュレーションに成功した。同時に、将来シナリオの整備を進めており、21 世紀の食料・農業生産需要について複数のシナリオを生成した。当初の予定通り進んでおり、次年度はこれらのシナリオとモデル、さらには以下の記述に含まれるストック型水資源のシミュレーションを統合することによって、21 世紀の複数のシナリオ下での世界の水需給シミュレーションを遂行する。

上記のような将来予測を行う一方で、水資源の持続可能性や CL の判定のための検討を進めている。本研究では、農地での持続的な生産、生態に着目した水環境(いわゆる環境流量)、ストック型水資源の枯渇の三要素から、持続可能性すなわち CL の検討を試みている。農地については、衛星データを用いた世界各地の灌漑農地データベース構築を開始し、世界各地の農地の持続可能性把握のための時系列衛星植生指数データセットを整備するなど、予定通り研究を進めた。水環境(環境流量)の側面においては、世界の主要 755 河川の流量データを用いて、流況特性を代表する指標を統計解析により抽出し、流況指標と流域ごとの魚類種数との関係について環境流量の CL の設定に強く繋がる結果を得た。ストック型水資源については上記の世界水需給シミュレーションの中に含む形で、氷河の融解減少と地下水の枯渇・持続可能性シミュレーションを順調に進展させた。

## §2. 研究実施体制

### (1)「代表」グループ

① 研究分担グループ長: 鼎 信次郎 (東京工業大学大学院情報理工学研究科、准教授)

#### ② 研究項目

- ・総括
- ・将来社会シナリオの作成
- ・持続可能な水利用の「道筋」の算定・提示
- ・Virtual Waterの考えを応用した「水の安全保障」に関する提言の試み

### (2)「農業・地域計画」グループ

① 研究分担グループ長: 長野 宇規 (神戸大学大学院農学研究科、准教授)

#### ② 研究項目

- ・持続可能な水利用と農業

### (3)「政策」グループ

① 研究分担グループ長: 遠藤 崇浩 (筑波大学大学院生命環境科学研究科、准教授)

#### ② 研究項目

- ・持続可能な水利用のための政策オプションの検討

### (4)「水環境」グループ

① 研究分担グループ長: 吉村 千洋 (東京工業大学理工学研究科、准教授)

#### ② 研究項目

- ・水域生態系および都市のための持続可能な水利用の検討

### (5)「全球モデル」グループ

① 研究分担グループ長: 花崎 直太 (独立行政法人・国立環境研究所・社会環境システム研究領域、研究員)

#### ② 研究項目

- ・全球水資源モデルによる世界の水需給見通しの計算

### (6)「気候」グループ

① 研究分担グループ長: 山田 朋人 (北海道大学大学院工学研究科、准教授)

#### ② 研究項目

- ・将来気候シナリオの作成

(7)「ストック」グループ

- ① 研究分担グループ長:平林 由希子 (東京大学・大学院工学系研究科附属総合研究機構、准教授)
- ② 研究項目
  - ・ストック型水資源(氷河等)の持続可能性の検討

### §3. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(4-1)に対応する)

#### (1) 代表グループ、気候グループ及び全球モデルグループ

過去から将来の世界の水需給の算定において、気候シナリオと社会シナリオの設定および全球水資源モデルの整備・改良は、最重要の研究項目である。H22年度もこれらの進展に鋭意取り組んだ。これらの研究については上記3グループが一体となって進めている。

社会シナリオとしては、最大の水利用ユーザーは食料生産のための灌漑地農業であることに着目し、本年度はまず、人口増加とともに拡大を続けた 20 世紀の灌漑地面積の歴史的变化を全球空間データベース化した。この作成した全球灌漑地データと世界水資源モデルを用いて 20 世紀後半世紀の水需給再現シミュレーションを行った。特筆すべき成果として、20 世紀後半の非持続性地下水(=化石地下水に相当)からの取水量の全球シミュレーションに成功した。同時に、将来シナリオの整備を進めており、21 世紀の食料ひいては農業生産需要について複数のシナリオを生成した。また、将来の土地シナリオの一部としてのバイオ燃料作付可能面積について、複数のシナリオを検討した<sup>7),8)</sup>。

また、将来の気候シナリオデータの構築に取り組んだ。IPCC 第 4 次レポート用 CMIP3 のマルチモデル気候予測出力を用いて、内外挿およびバイアス除去の手法を適用し、気温・降水量に対しての日データ補正法を確立した。それによって 21 世紀のマルチモデル気候シナリオ(日データ)を構築した。IPCC 第 5 次レポート用の気候予測出力データ(CMIP5)の公開は全世界的に遅れているが、公開データを取得次第、同様に CMIP5 に基づいたマルチモデル気候シナリオを構築する予定である。加えて、極端な干ばつ・渇水が将来気候下でどのように変化するかについて気候シナリオ構築を進めた。

全球モデルグループでは、全球水資源モデルのソースコードの高度化やインターフェースの充実を行い、モデルの使い方について他のグループに技術指導を行った。また、全球モデルの地域モデル化も行った。この地域モデルは、農業・地域計画グループでも使われた。

このように全般的に当初の予定通り進んでおり、次年度はこれら上記のシナリオとモデル、さらには以下の記述に含まれるストック型水資源のシミュレーションを統合することによって、21 世紀の複数のシナリオ下での世界の水需給・水逼迫シミュレーションを遂行する。

#### (2) 農業・地域計画グループ

灌漑農地についての水資源変動に対する Critical Level (CL) の同定を行うため、全球の農業生産性の時系列評価には衛星データを用い、水資源制約が確認できた地域については地域水資源モデルおよび灌漑管理実効評価モデルを用いて詳細分析を行うことが本グループの目的である。今年度は①世界各地域の灌漑農地諸元のデータベース構築の検討、②時系列衛星植生指数データセットの整備と解析、③トルコにおける灌漑農地の集中観測および資料収集、④世界水資源モデルの地域スケールへの適用を行った。

①資源と灌漑農業の持続可能性の分析に利用できる長期的な取水量・生産量のデータベー

スは現存せず、まず日本の灌漑農地研究者の間で研究協力およびデータ共有を進める準備を行った。②衛星データを収集し、重点研究対象地域（トルコ、スーダン、ベトナム、カンボジア、オーストラリア）を中心に植生指数時系列データの抽出およびノイズ除去処理等を加えたプロダクトの整備を行った。③昨年度集中観測サイトとして選定したトルコ・セイハン川下流域の灌漑農地において、水文、水質、土地利用のモニタリングを開始した。地表付近の塩分動態と持続可能な土地利用の概念についてそれぞれ論文に取りまとめた<sup>1)2)</sup>。またトルコ・ハラン平原においても 2011 年度から水文モニタリングを開始できる体制を整えた。これらの地域に対し灌漑管理実効評価モデル適用の準備を進めた。④トルコのユーフラテス川流域に対し全球水資源モデル「H08」への適用を試み、空間解像度 5 分の流域データセットの構築を行った。

### (3) 政策グループ

「持続可能な水利用のための政策オプションの検討」を行う政策グループにおいては、主要調査対象であるカリフォルニア州において、先行事例研究を行っている。今年度は特に水利転用政策に着眼し、その具体的な政策事例である渇水銀行や環境用水口座<sup>3)</sup>に関する研究を行った。両者はともに水不足問題に対する政策として有効性をもつが、他方で地元経済への配慮や転用可能な水を法的に定義しておく必要があるなど、一定の制度的担保を要するものであることを明らかにした。

### (4) 水環境グループ

水域生態系の持続可能性を保障するために流域内の水利用に関して対応策を提案するために、研究期間を通して、①水域生態系の生物群集を保全するために必要な流況の明確化、②都市における水利用の高度化レベルの明確化と各種投入技術の検討、③水環境と水利用を持続可能とするための対応策の提案という 3 課題を設定している。

今年度は環境流量の明確化に向けて、流況と水質の両面から水利用と水域生態系の関係を解明する研究を中心に実施した。流況に関しては、昨年度収集した世界の主要 755 河川の流量データを用いて、流況特性を代表する指標を統計解析により抽出することで、世界の河川を流況の観点から整理した。そして、流況指標と流域ごとの魚類種数との関係性を評価した結果、平均流量だけでなく、流量の変動性も種数に影響を及ぼすことが示唆された<sup>9)</sup>。

また、水資源管理と水域生態系の関係を解明するために、河川構造物が魚類の生息場や水質に及ぼす影響に着目し、それらを流域スケールで評価するため基盤を構築した。相模川とチャオプラヤ川を対象として、現地観測および分布型流出モデルの適用を行い、その上で、ダムによる流況改変や分断化を評価するための個体群動態モデルの概念を提案した。また河川構造物が水質や物質循環そして水生生物に及ぼす影響の解明を行った<sup>4), 5)</sup>。

さらに、重金属がもたらす藻類や底生動物に対する生態影響の解明も合わせて実施した。その解明には重金属の形態の理解が不可欠であり、鉄を中心に活性酸素種や光が化学形態変化に及ぼす影響を明らかにした。重金属輸送に不可欠な有機物の結合形態を解明するために、

今年度、分子量分画装置を導入した。また、世界の底生動物調査結果を用いて、亜鉛、銅、カドミウムなどの重金属濃度が底生動物の種数に顕著な影響を及ぼさない濃度(閾値)を推定し、環境基準値の妥当性について検討した。今後、早い段階で環境流量の設定手法を提案する計画である。今年度の取り組みにより、その手法提案に有効となる知見やモデリング手法が整備された。

#### (5) ストックグループ

氷河と地下水という枯渇が心配されているストック型の水資源について、その持続可能性や枯渇度を評価することが本グループの目的であり、代表グループと一体として運営されている。

前年度までに開発を行ってきた全球氷河モデル<sup>6)</sup>では、0.5度グリッドごとに仮想的な1つの氷体を仮定し、標高ごとの分布はどの氷河に対しても1つの分布関数をあてはめている。この手法は、体積の減少による氷河の高い標高への縮退の効果や氷河の消失のタイミングに関して不確実性が大きいことが問題であった。そこで本年度は、氷河の形状・面積のクラスを変化させた全球氷河モデルの感度実験を行うと共に、トロント大学のグループが整備した13000個以上の氷河の位置ならびに形状の最新データを入手し、詳細な氷河の空間・標高分布を全球氷河モデルへ導入する作業を開始した。また、中国のハルギー氷河流域を対象に、氷体の熱収支・水収支を数値的に解く詳細な熱収支氷河モデルを適用し、質量収支観測データがない氷河からの融解量の見積もりも行った。今後はこれらのモデル値、観測値を検証の基礎データとし、全球氷河モデルとの比較を行い全球モデルの改良を進める予定である。

これらモデルの検証ならびに改良を行う一方で、氷河からの融け水を全球河道網モデルへ結合し、流域単位のストック型水資源量の見積ができるシステムを完成させた。これにより、氷河を擁する河川流域ごとに現在ならびに将来の氷河由来の水資源量の増減と、河川流量への影響評価を行うことが可能になった。

また、もう一つのストック型水資源である全球地下水の涵養量の数値シミュレーションに成功した。この涵養量は、持続可能という条件下での最大限の地下水取水可能量に相当する。概念的な推定値ではなく物理法則に基づいた全球推定値としては世界初のものとなる。

## §4. 成果発表等

### (4-1) 原著論文発表

#### ●論文詳細情報

- 1) Kume, T., Akca, E., Nakano, T., Nagano, T., Kapur, S. and Watanabe, T. (2010) : Seasonal changes of fertilizer impacts on agricultural drainage in a salinized area in Adana, Turkey, *Science of the Total Environment* 408(16), 3319-3326.
- 2) 遠藤崇浩 (2010) 生態系保護に向けた水配分と政府の役割 —環境用水口座

(Environmental Water Account) を例に一、環境技術、39、15-20.

- 3) Yoshimura, C., Fujii, M., Omura, T. and Tockner, K. (2010) Instream release of dissolved organic matter from coarse and fine particulate organic matter of different origins, *Biogeochemistry*, 100, 151-165 (DOI: 10.1007/s10533-010-9412-y).
- 4) 葛口利貴, 吉村千洋, 小林慎也, 廣岡佳弥子, 李富生 (2010) ダム湖による河川の粒状有機物動態の変化と底生動物群集の関係, *環境工学研究論文集*, 47, 401-411.
- 5) Hirabayashi, Y., Döll, P., Kanae, S. (2010) Global-scale modeling of glacier mass balances for water resources assessments: glacier mass changes between 1948 and 2006, *Journal of Hydrology*, 390, 245-256.
- 6) 萩原健介, 花崎直太, 鼎信次郎 (2011) 農作物の栽培を想定した世界のバイオ燃料ポテンシャル推定, *水工学論文集*, 第 55 巻, S\_265-S\_270.
- 7) Homdee, T., Pongput, K., Kanae, S. (2011) Impacts of Land Cover Changes on Hydrologic Responses: A Case Study of Chi River Basin, Thailand, *水工学論文集*, 第 55 巻, S\_31-S\_36.
- 8) 梁政寛, 岩崎雄一, 吉村千洋 (2011) 世界の河川を対象とした流況の評価と魚類の種多様性との関係解析, *水工学論文集*, 第 55 巻, S\_1459-S\_1464.
- 9) 和田卓也, 山田朋人. 東京における 120 年時間降雨量データを用いたひと雨降雨形態の日変化形の検討, *水工学論文集*, 第 55 巻, S\_481-S\_486.

#### (4-2) 知財出願

- ① 平成22年度特許出願件数(国内 0 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 0 件)