

「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」
平成21年度採択研究代表者

H24 年度 実績報告

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. 研究実施体制

(1)「代表」グループ

① 研究代表者: 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 主たる共同研究者: 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 主たる共同研究者: 遠藤 崇浩 (大阪府立大学 現代システム科学域 環境システム学類、准教授)

③ 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

主たる共同研究者: 吉村 千洋 (東京工業大学理工学研究科、准教授)

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

主たる共同研究者:花崎 直太 (独立行政法人 国立環境研究所・地球環境研究センター
気候変動リスク評価研究室、主任研究員)

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

主たる共同研究者:山田 朋人 (北海道大学大学院工学研究科、准教授)

研究項目

・将来気候シナリオの作成

(7)「ストック」グループ

主たる共同研究者:渡部哲史(東京大学・大学院工学系研究科附属総合研究機構、助教)

研究項目

・ストック型水資源(氷河等)の持続可能性の検討

§ 2. 研究実施内容

本領域目標である「持続可能な水利用の実現」のため、過去から将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

の長期ビジョン作成を行うのが本研究の狙い(図 1)である。

(I) 複数の社会・気候シナリオを用いた全球長期水需給シミュレーション (代表グループ、気候グループ、全球モデルグループ)

過去から将来の世界の水需給算定のため、代表グループ、気候グループ及び全球モデルグループが一体となり研究を進めてきた。H24 年度は H23 年度から引き続き、過去の気候シナリオおよび社会シナリオを設定¹³⁾した。続いて IPCC 第 5 次レポート用の気候予測出力に即した社会シナリオに準拠した 21 世紀の気候変化や人口変化、灌漑地面積変化シナリオを設定した。これらの作成されたシナリオと全球水資源モデルを用いて 1960 年から 2050 年頃を対象とした世界の水需給再現・予測シミュレーションを行った¹³⁾。その結果として、世界の各地における河川・貯水池・非持続性水源(化石地下水等)への依存度を推定した(図 2)。各地域での水利用の脆弱性が表わされ、再利用の推進等がなければ、今後どの程度の非持続的な取水が増加せざるを得ないかを推計することも可能となった。これにより、図 1 の持続可能な水利用の長期ビジョン作成を行うための準備はおおよそ整ったと言える。持続可能な利用を考える際に重要となる水質と水需給再現・予測シミュレーションの結果との関係性を明らかにしその実態を把握する取り組みを始めた⁷⁾。

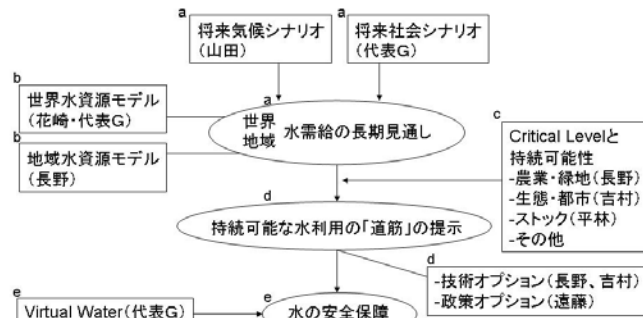


図 1. 研究の流れ

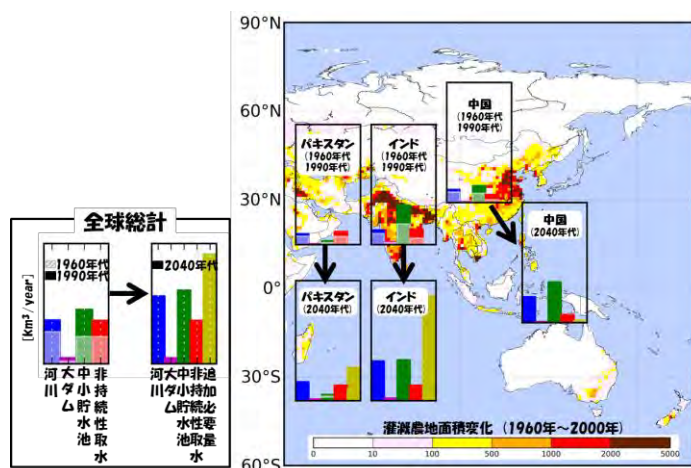


図 2. 取水源別の灌漑必要水量の変化 (1960・1990・2040 年代)。

(II) 灌漑地の持続可能性及び CL の検討 (農業・地域計画グループ)

農業・地域計画グループは、灌漑農業分野における水利用および水資源変動に対する CL の設定に取り組んでいる。H24 年度は世界各地の灌漑農業に関する衛星画像解析および世界各地

域(トルコ、タイ、ベトナム、カンボジア、オーストラリア等)における共同研究の成果を世界灌漑農業アトラス WAIASS(World Atlas of Irrigated Agriculture for Suitability Sciences)として整備し国内外での公開を開始した。CL および適応策の事例研究では、洪水問題の事例としてチャオプラヤ川およびメコン川デルタの農作物洪水被害と農家の適応戦略、渇水問題の事例としてオーストラリア・マレー・ダーリン川流域の渇水影響と水取引制度等の統合的水資源管理による適応戦略に関する実態を衛星画像解析と現地調査により明らかにした。

(Ⅲ) 水系生態系の持続可能性及び CL の検討 (水環境グループ)

水環境グループでは水域生態系および都市における持続可能な水利用の検討に取り組んでいる。H24 年度は、流量変動(流況)を含む流域特性と流域内魚類群集の関係を表す魚類分布モデル³⁾を代表グループと共同し全球水資源モデルと統合した^{5), 10)}。このような全球スケールでのモデル統合は世界で初めてであり、各流域における魚類群集形成の重要な知見となるだけでなく、将来予測される流域内水収支の変化に対応する魚類群集の応答を定量的に示すことが可能となった(図 3)¹⁰⁾。流域スケールでの魚類分布モデルや新水質指標の開発^{2), 4)}と合わせて、生態系保全の観点から河川流況の CL や水利用の長期ビジョン作成のための基盤を構築した。また、都市における水利用の高度化レベルを明確するために、新たな渇水指標を開発した⁸⁾。これにより、水資源量、給水システムなどの都市水道システムの特徴を踏まえての渇水評価が可能となった。



図 3. 2050 年までの主要流域における魚類種数の変化ポテンシャル。人口増加に際し、食糧増産を最も重視した灌漑地拡大シナリオの下で推定された世界の河川の流量に基づき、主要 100 流域における魚類種数の変化ポテンシャルを推定した結果¹⁰⁾。

(Ⅳ) ストック型水資源の持続可能性及び CL の検討 (ストックグループ)

ストックグループでは陸上に貯留されるストック型水資源全体の Critical Level(CL)を求めるために、世界の水資源評価において重要な要素である山岳氷河・雪氷および地下水涵養の全球モデル化、ならびに将来予測シミュレーションの実行に必要な気候外力データセットの整備を行ってきた^{6), 9)}。これまでに開発してきた全球氷河モデル HYOGA2 は地表気温の上昇に伴う小さい氷河の消失が再現でき、氷河の融解に伴う水資源量の一時的な増加と、氷河が消失した後の水資源量の減少をシミュレーションすることが可能である。よって、H24 年度はこの HYOGA2 に、気候モデル特有のバイアスを補正した将来気候外力データセットを与えることにより、現在から将来(1948~2100)における氷河の変化量を時系列で推定した¹²⁾。本推定には IPCC 第 5 次報告書に向けて世界の複数機関が実施した気候変動予測情報を用いている。また、それらのバイアス補正に際しても、本チームがこれまでに開発した、長期間の平均に関するバイアスのみならず年々の変動に関するバイアスについても補正を行う手法を採用している。これらの取り組みにより、本研究で得られた推定は既往の研究に比べて、気候変動の影響評価の際に重要な不確実性の考慮

という観点でより適切である。

(V) 法制度等の政策オプションの調査と、様々な地域への適用可能性についての検討（政策グループ）

政策チームは、節水・水利転用・下水の再利用・地表水と地下水の連結利用等々、利水政策の効能およびその副作用を明らかにすることに取り組んでいる。これらを通じて将来の水資源逼迫についての適切な適応策の策定に貢献する。これまで水銀行制度という水利転用政策を中心に研究を進め、H24年度末に、その機能、長所、問題点、特に日本を念頭に他地域に導入する際の留意点を明らかにした単著を公刊した^{3-2, 3)}。さらに同時並行的に東京やバンコクの事例として地表水と地下水の連結利用についても調査を進め、人工涵養量、地下水税、地下水採取量、地下水位の経年データを収集し、地下水管理政策の流れを可視化する作業を進めている。今後は様々な地下水管理政策の効果、問題点、そして対応策の多様性を生み出している制度的基盤の違いを明らかにする。

これらの成果をふまえ、H25年度は持続可能な水利用の道筋提示のため、全球水逼迫シミュレーションに水逼迫緩和技術・制度的適用を組み込むことを目的とした研究グループ間での集中的な議論を開始する。気候及び全球モデルグループとすでに一体となっている代表グループと各分野に強みを持つ農業・地域計画、水環境、政策グループと上記実施のため鋭意に取り組みたい。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

● 論文詳細情報

[原著論文]

1. Zhang, Y., Hirabayashi, Y. and Liu, S. (2012) Catchment-scale reconstruction of glacier mass balance using observations and global climate data: case study of the Hailuoguo catchment, south-eastern Tibetan Plateau, *Journal of Hydrology*, 444-445, 146-160.
2. Otani, E., Fujii, M. and Yoshimura, C. (2012) Mechanism of light-mediated generation of hydrogen peroxide in the presence of humic substance, *Thai Environmental Engineering Journal Jan-Apr*, 93-98.
3. Iwasaki, Y., Ryo, M., Sui, P. and Yoshimura, C. (2012) Evaluating the relationship between basin-scale fish species richness and ecologically relevant flow characteristics in rivers worldwide, *Freshwater Biology*, **57**(10), 2173–2180. (DOI: 10.1111/j.1365-2427.2012.02861.x).
4. 今岡亮, 藤井学, 吉村千洋 (2012) 腐植物質の化学的性質が鉄との錯形成に及ぼす影響, *土木学会論文集 G(環境)*, **68**, III_525-III_533.
5. Yoshimura, C., Sui P., Iwasaki, Y., Iwasaki, A., Saavedra, O. C. V. and Kanae S. (2012) Challenge for linking riverine environment to fish species diversity at global scale, *Thai Environmental Engineering Journal Jan-Apr*, 31-35.
6. Watanabe, S., Kanae S., Seto, S., Pat, J.-F. Y., F., Hirabayashi, Y. and Oki T. (2012). Intercomparison of bias-correction methods for monthly temperature and precipitation simulated by multiple climate models, *Journal of Geophysical Research*, **117**, D23114 (DOI: 10.1029/2012JD018192).
7. Khajuria, A., Yoshikawa, S., and Kanae, S. (2013) Estimation and prediction of water availability and water withdrawal in India, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1 (Hydraulic Engineering)*, **69**(4), I_145-I_150.
8. Masuyama, T., Saavedra, O. C. V., Yoshimura, C. (2013) Vulnerability assessment of urban water supply systems to drought in Japan, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1 (Hydraulic Engineering)*, **69**(4), I_169-I_174.
9. 渡部哲史, 内海信幸, 鼎信次郎, 瀬戸心太, 沖大幹, 平林由希子 (2013) GCM, RCP シナリオ, バイアス補正手法の選択が日降水量極値の将来予測に与える影響の考察, *土木学会論文集 B1(水工学)*, **69**(4), I_385-I_390.
10. 平野一成, 吉川沙耶花, 吉村千洋, 隋鵬哲, 鼎信次郎 (2013) 全球での水資源利用の長期的変化が河川魚類群集へ与える影響の推定, *土木学会論文集 B1(水工学)*, **69**(4), No.4,

I_1267-I_1272.

11. 山原康希, 山田朋人, Yadu Pokhrel (2013) 全球気候モデルにおける人間活動の影響を考慮した陸面初期値が準季節予報スキルに与える効果. 土木学会論文集 B1(水工学), **69**(4), I_1807-I_1812.
12. Hirabayashi, Y., Yong, Z., Watanabe, S., Koirala, S. and Kanae, S. (2013) Projection of glacier mass changes under a high-emission climate scenario using the global glacier model HYOGA2, *Hydrological Research Letters*, **7**(1), 6-11 (DOI: 10.3178/HRL.7.6).
13. 吉川沙耶花, 山田花グレニス, 花崎直太, 鼎信次郎 (2013) 1960年から2000年における取水源別の全球灌漑必要水量推定, *環境科学会誌*, **26**(2), 191-201.
14. Yamada, T. J., Kanae, S., Oki, T. and Koster, R. D. (2013). Seasonal Variation of Land-Atmosphere Coupling Strength over the West African Monsoon Region in an Atmospheric General Circulation Model. Submitted to *Hydrological Sciences Journal*, accepted.
15. 萩原健介, 石田裕之, 花崎直太, 鼎信次郎 (2013) 農作物の栽培を想定した放棄地および休耕地におけるバイオ燃料の潜在性評価, *環境科学会誌*, accepted.