

「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

古米弘明

東京大学大学院工学系研究科・教授

研究題目

気候変動に適応した調和型都市圏水利用システムの開発

§1. 研究実施体制

(1) 古米グループ(東京大学)

① 研究代表者: 古米 弘明 (東京大学大学院工学系研究科、教授)

② 研究項目

- ・ 都市水利用における病原微生物の総合リスク評価
- ・ 水利用を想定した水質変容ポテンシャル指標の創出
- ・ 都市雨水・道路排水の水質分析

(2) 石平グループ(山梨大学)

① 主たる共同研究者: 石平 博 (山梨大学大学院附属国際流域環境研究センター、准教授)

② 研究項目

- ・ 分布型水文・水質モデルの開発

(3) 谷口グループ(金沢大学)

① 主たる共同研究者: 谷口 健司 (金沢大学理工研究域、准教授)

② 研究項目

- ・ 温暖化実験結果のダウンスケーリングとアジア域での気候条件の長期変化傾向の解析

(4) 矢島グループ(鳥取大学)

① 主たる共同研究者: 矢島 啓 (鳥取大学大学院工学研究科、准教授)

② 研究項目

- ・ 温暖化にともなう湖沼・貯水池の水量、水質の将来予測

(5) 森田グループ(国土技術政策総合研究所)

① 主たる共同研究者: 森田 弘昭 (国土交通省国土技術政策総合研究所、下水道研究官)

② 研究項目

- ・ 都市雨水の水量・水質データベースの構築

(6) 屋井グループ(雨水貯留浸透技術協会)

① 主たる共同研究者: 屋井 裕幸 (社団法人 雨水貯留浸透技術協会、技術第二部長)

② 研究項目

- ・ 道路排水管理と雨水利用システムの開発

(7) 滝沢グループ(東京大学)

① 主たる共同研究者: 滝沢 智 (東京大学大学院工学系研究科、教授)

② 研究項目

- ・ 地下水水質の現状把握と地下水汚染源の推定

(8) 林グループ(秋田大学)

① 主たる共同研究者: 林 武司 (秋田大学教育文化学部、准教授)

② 研究項目

- ・ 地下水涵養源としての表流水の役割評価

(9) 荒巻グループ(東洋大学)

① 主たる共同研究者: 荒巻 俊也 (東洋大学国際地域学部、教授)

② 研究項目

- ・ 住民意識や価値判断の把握
- ・ 統合的な環境パフォーマンス評価

(10) 窪田グループ(東京大学)

① 主たる共同研究者: 窪田 亜矢 (東京大学大学院工学系研究科、准教授)

② 研究項目

- ・ 住民意識や価値判断の把握
- ・ 地域協働メカニズムの解析
- ・ 価値判断構造の解析とモデル化
- ・ 統合的な環境パフォーマンス評価

(11) 大瀧グループ(お茶の水女子大学)

①主たる共同研究者:大瀧 雅寛 (お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科、教授)

②研究項目

- ・ 用途別都市用水需要の実態調査
- ・ 都市用水需要の将来予測手法の開発

§ 2. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

<全体>

流域圏水資源の脆弱性を考慮しながら、持続可能な調和型の都市圏水利用システムを開発することを最終的な目標として、水資源や水需要の状況が異なる荒川流域とハノイ市郊外の新興市街化地域とを対象として研究活動を継続展開した。チーム全体としての水利用デザイン手法の提案に向けて、5 研究グループの連携を深め、成果の統合化を進めた。

まず、荒川流域に関しては、流域の水資源の量と質に関する将来予測のモデル解析を進めるとともに、新たな水質評価手法開発、河川水や再生水などの有機物組成分析、水利用に関する安全性やリスク受容に関する住民意識の定量的な解析を行った。そして、流域レベルでの成果として、水利用シナリオの多目的最適化のシステム構築、都市雨水・再生水利用のデータベースの充実、水資源情報を集約したプラットフォームづくり構想を段階的に進めた。また、荒川流域を対象とした水資源や水利用に関わる利害関係者を交えたワークショップ開催(平成 25 年度)に向けて、国土交通省水資源部や荒川上流河川事務所との協力体制を築いた。

一方、水資源を地下水に大きく依存しているハノイ市郊外の新興市街化地域に関しては、異なる水供給状況にある集落を対象として、採水・水質調査、水利用実態調査、水と共同体との関わりに関するアンケート調査を実施した。また、地下水涵養源の推定のための現場調査を継続して行った。そして、2012 年 11 月には東南アジア水環境シンポジウムと連携して、水資源や水利用の行政関係者や実務者をも対象とした本プロジェクトのシンポジウムを開催して、プロジェクト紹介と、ハノイでの先端的研究成果の公表を行った。

<A:水質評価グループ>

環境水中のヒト糞便汚染ウイルス指標の候補である植物ウイルスのトウガラシ微班ウイルス (Pepper Mild Mottle Virus : PMMoV) の起源に関する調査を行った。多数測定した生活雑排水由来 PMMoV の濃度を用いた算定負荷量では、河川水中の PMMoV の存在量を説明できないことから、PMMoV の主たる起源がヒト糞便由来であることを示した。すなわち、PMMoV がヒト糞便汚染指標として有効であることを明らかにした。ウシ、ブタ糞便汚染ウイルス指標の候補であるウシコブウイルス (BKoV)、ブタコブウイルス (PKoV) の定量 PCR 構築を目的として、北海道から便試料を入手して BKoV, PKoV の検出を行った。半数以上の試料が

ら BCoV, PCoV が検出され、DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) 解析により 1 試料中に複数のウイルス株が存在したことから、遺伝子情報解析を進めた。

再生水中の生分解性有機物を対象として、水質変容を起こす可能性とその程度を表す指標として、**Bacterial Growth Fingerprint (BGF)** 法を開発した。その開発過程において、異なる基質利用特性を持ち、再生水中での再増殖能の高い9株を選定し、試験水中での増殖特性を指標化した。また既往の手法を用いた再生水中の生分解性有機物の評価と微生物再増殖の成果をとりまとめ、論文として公表した^{A-1)}。また、フーリエ変換質量分析計 (**Fourier Transform Mass Spectrometry : FTMS**) を用い、再生水処理工程水中の有機物成分の変化を明らかにした。さらに再生水処理工程において微生物再増殖により水質変容をもたらす成分の生成と除去について、BGF 法と FTMS による有機物組成分析との結果を併せて評価し、特定の細菌株の増殖基質となっている有機物を分子レベルで同定した

<B: 流域水資源グループ>

流域における水量・水質変化の将来予測に関する要素技術(温暖化実験結果の力学的ダウンスケーリング、分布型水文・水質モデル、湖沼モデル、汚水排出源解析)の開発・統合に加え、次期温暖化実験結果の利用に向けた検討を行った。

力学的ダウンスケーリングに関しては、対象期間の長期化と計算負荷軽減のための手法の見直しと、現在気候(11年間)の計算を実施した。また、最新の温暖化予測結果(CMIP5)の利用を開始し、高時間解像度のデータを用いることで、温暖化に伴う短期的な変動幅を適切に与えるよう疑似温暖化結果作成手法を修正し、将来気候のダウンスケーリングを開始した。

分布型モデルの開発では、河川流量の長期計算に加え、荒川流域を対象として、土砂生産・輸送過程のモデル化を行った。また、紅河流域を対象とした土砂流出量の経年変化の解析結果から、植被変化が土砂流出量増加の主要因であることを明らかにした^{B-1)}。

湖沼モデルに関しては、ダウンスケーリング及び流出予測データのバイアス補正の検討^{B-2)}を行った上で、現在・将来気候における1年分の浦山ダム貯水池における水量・水質に関する予測結果を得た^{B-3)}。その信頼性を高めるため10年程度の予測計算を行う準備を行った。また、河川水質の分析では、対象を利根川流域の水道原水水質に広げ、地理情報から抽出した流域の汚染要因との関係を統計的に分析し水質評価式を作成した。

<C: 都市雨水管理・利用グループ>

都市雨水排水の水質評価のうち、路面排水を貯留浸透させる施設の貯留水について多項目水質計(水温, pH, DO, EC, 濁度)による連続計測を行った。そして、屋根雨水と同様に路面雨水も初期雨水カットを行うことにより、貯留雨水の水質変容を抑えられることから、現場における道路排水管理手法の留意点を整理した。また、雨水利用促進につなげるために、利用用途に応じた雨水の水質基準や人工涵養する際の基準の検討も進め、道路排水利用を含めた「都市雨水活用の手引き」の作成を進めた。

一方、荒川流域圏にある東京都及び埼玉県の自治体を対象にしたアンケート調査を通じて、下水処理場の再生水供給実績や場外利用事例についての情報を収集した。再生水供給施設の供給水量、供給開始時期等、再生水利用施設の利用用途、利用水量、利用開始時期等を統合して、都市雨水・再生水利用のデータベースの試行版を構築した。また、東京都を対象に開発した地域ごとの潜在的な雨水利用可能量を、建物種類と土地利用の GIS を利用して推定する手法^{C-2)}を応用して、荒川流域での雨水利用可能量を推定する検討を進めた。

<D:都市地下水管理・利用グループ>

都市域の地下水汚染は、その起源や機構が複雑なため推定方法が確立していなかったが、本研究では東京都区部を対象に、医薬品類とトリチウムによるマルチトレーサー法が有機フッ素化合物汚染の起源・機構の推定に有効であることを示した。

ハノイでは、都市化の程度が異なる 3 集落において採水調査とアンケート調査を行い、家庭で使用する水源や、浄水器とその性能に関するデータを得た^{D-1)}。水道が未普及の地域では過半数の家庭が地下水と雨水を併用していたこと、砂ろ過と RO 膜を併用することでヒ素や鉄が 90%以上除去できること、さらにセラミック膜や NF 膜を使用した家庭において維持管理が不適切な場合にはヒ素や鉄が効果的に除去されていなかったことなどを整理した。

また、ハノイ市の地下水涵養源を明らかにするため、表流水や地下水の酸素・水素安定同位体比を測定し、地下水が降水・紅河および蒸発の影響を受けた地表水によって涵養されることを示した。さらに、昨年度に引き続き 1 ヶ所のため池近傍でコアボーリングと 2 つの観測井(深さ:10m 及び 48m)を設置し、GPS 測量により水位を正確に測定した。水位データは順調に収集・解析されており、定期採水により水質や地下水涵養機構の季節変動との関連性を調べた。

<E:都市水利用デザイングループ>

ハノイ都市圏については、2012 年 8 月に 3 地区(**Gia Thuong-Bac Bien, Thanh Tri, Vinh Quynh**)を対象とした調査を実施した^{E-5, E-6)}。調査内容は、iPad を用いた水利用状況に関するアンケート調査、利用水量推定のための蛇口の流量検査および簡易水質検査、および対象家屋の物理的構造や当該コミュニティのこれまでの水の使い方や捨て方、共同体としての管理状況など歴史・文化的背景なども含めたヒアリング調査である。この調査から、対象地区が生活水準や水源、共同体の変遷など特徴的な違いを有しており、水源の種類により炊事など一部の用途のみ影響を受けることや、生活水準と使用されている水利用機器の間に関係性があることが示唆された。また、小型流量計の改良を進め、試作機の開発がほぼ完了した。

荒川流域については、環境パフォーマンス評価の結果を用いた水利用シナリオの多目的最適化のシステムを構築してきたが^{E-4)}、これに水利用システムに対する住民の選好を組み合わせる作業を開始した。具体的には、コンピュータプログラムを援用したコンジョイント分析の手法によるアンケート調査を実施し、その適用可能性について検討した。また、下水処理水を活用して河川環境

改善や湧水対策を行うことと、水道水の利用方法についての意識などについてのアンケート調査を実施し、安全性が関係する項目について特定の属性において評価が高いことを確認した。さらに、安全性やリスク受容を規定する要因についてのアンケート調査を実施した。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

- A-1. Thayanukul, P., Kurisu, F., Kasuga, I. and Furumai, H. (2012) Evaluation of Microbial Regrowth Potential by Assimilable Organic Carbon in Various Reclaimed Water and Distribution Systems, *Water Research*, 47(1), 225-232. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.051>)
- A-2. 稲葉愛美, 片山浩之, Tran Thi Viet Nga, 端昭彦, 古米弘明 (2013) 環境水中の糞便汚染指標としてのブタコブウイルスおよびウシコブウイルス, 用水と排水 (掲載決定)
- B-1. Wang, J. and Ishidaira, H. (2013) Effects of human-induced vegetation cover change on sediment flow using satellite observations and terrestrial ecosystem model, *Annual Journal of Hydraulic Engineering, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1 (Hydraulic Engineering)*, 69(4), I_205-I_210. (DOI: 10.2208/jscejhe.69.I_205)
- B-2. 矢島啓, 崔貞圭, 谷口健司 (2013) WRF によるダウンスケーリングの不確実性が貯水池水質予測計算に与える影響, *土木学会論文集 B1(水工学)*, 69(4), I_1489-I_1494. (DOI: 10.2208/jscejhe.69.I_1489)
- B-3. 崔貞圭, 矢島啓, 谷口健司, 馬籠純 (2013) 疑似温暖化モデルを用いたダム貯水池における将来の水質変化予測, *土木学会論文集 B1(水工学)*, 69(4), I_1495-I_1500. (DOI: 10.2208/jscejhe.69.I_1495)
- C-1. 小島啓輔, 佐野翔一, 古米弘明 (2012) 住宅地道路排水由来の重金属および窒素の汚濁負荷に対する路面堆積物および大気降下物の寄与, *水環境学会誌*, 35(8), 119-126.
- C-2. Kim, J.Y. and Furumai, H. (2012) Assessment of rainwater availability by building type and water use through GIS-based scenario analysis, *Water Resource Management*, 26(6), 1499-1511. (DOI:10.1007/s11269-011-9969-9)
- D-1. An, D.T., Kuroda, K., Takizawa, S., Hayashi, T., Nga, T.T.V. and Oguma, K. (2013) Household Survey of Installation and Treatment Efficiency of Point-of-Use Water Treatment Systems in Hanoi, Vietnam. *IWA-Aqua*, in press.
- E-1. 吉岡佐, 栗栖聖, 花木啓祐 (2012) 江戸城外濠の水質改善を目的とした環境用水導

- 入の効果とコスト評価, 土木学会論文集 G(環境), 環境工学研究論文集第 49 巻, 68(7), III_691-III_702.
- E-2. 大塚佳臣, 栗栖聖, 窪田亜矢, 中谷隼 (2012) 都市河川の水辺環境改善を目的とした下水処理水導入に関する住民の受容性評価, 土木学会論文集 G(環境), 環境工学研究論文集第 49 巻, 68(7), III_463-III_470.
- E-3. Pham, N.B., Aramaki, T. and Hanaki, K. (2013) Assessment of Stakeholders' Preferences Toward Sustainable Sanitation Scenarios, *Water and Environment Journal*, **27**(1), 58-70. (DOI: 10.1111/j.1747-6593.2012.00327.x)
- E-4. 牧誠也, 中谷隼, 栗栖聖, 花木啓祐 流域圏水利用システム再構築におけるライフサイクル環境影響の多面的評価, 水環境学会誌(登載決定)
- E-5. Otaki, Y., Otaki, M., Pham, N.B., Tran, T.V.N. and Aramaki, T. (2013) Micro-component Survey of Residential Water Consumption in Hanoi, *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(2), 469-478.
- E-6. Pham, N.B., Aramaki, T., Otaki, M. and Otaki, Y. Water Demand Management: a Strategic Approach towards Sustainable Water Use System in Hanoi, *Journal of Water and Environment Technology*, accepted.

(3-2) 知財出願

- ① CREST 研究期間累積件数(国内 2 件)