

古米 弘明

東京大学大学院工学系研究科・教授

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. 研究実施の概要

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いるが、各研究グループ間連携を進め、荒川流域およびハノイ市を対象地域とした水資源や水利用に関する現地調査やモデル解析を実施するとともに、都市雨水、地下水、再生水などの活用を促進するための水質分析、新たな水質評価手法開発、水辺の住民価値判断に向けた解析などを行った。そして、2010年10月には第8回東南アジア水環境シンポジウムにおける企画セッションを、また、2011年3月にはハノイにて共同研究者や実務者を含めたワークショップを開催して、本プロジェクト紹介と研究成果の公表を行った。

水質評価グループでは、ハノイ市を対象として糞便汚染の起源解析の指標としてのコブウイルス属の有効性評価を行い、病原微生物の健康リスク評価へ向けた新規知見を得た。また、異なるプロセスの再生水から細菌の単離や同化性有機炭素濃度の測定を実施して、水質変容ポテンシャルの創出に向けた基礎的な水質情報の収集を実施した。さらに、フーリエ変換質量分析計を新規導入して、水中有機物の詳細分析のための前処理方法と分析条件の検討を進めた。

流域水資源グループでは、CMIP3における気候モデルによる再現実験結果を踏まえて、対象二流域における気温・降水量などの再現性ダウンスケーリング解析、水文水質データの整理やモデル入力情報の整備、パラメータ同定と検証を通じた観測水質データの再現計算を行った。また、荒川流域では、水道原水取水位置、生活排水処理施設、畜産頭羽数、地形等の情報をGISデータベースとして整備した。

都市雨水グループでは、道路排水浸透貯留施設や個別住宅屋根雨水収集施設を対象に、連続的な水質モニタリングを実施して、大腸菌群数、重金属および窒素など流出動態を詳細に調べた。特に、道路排水の窒素については安定同位体比を用いた起源解析から大気由来の窒素の重要性を明らかにした。また、都市雨水データベースの作成にあたり、雨水利用や雨水貯留浸透対策を実施している都市を対象にヒアリング調査を実施した。

都市地下水グループでは、ハノイ市周辺での地下水水質・湖沼底質調査を実施し、またアンモニアを含む水の塩素消毒副生成物であるNDMAの生成を想定して、室内実験によりNDMAの

紫外線分解を試みた。荒川流域では、地下水観測井戸のデータを整理し、地下水と地盤のコンピュータモデルで解析して、水田の灌漑期に地盤の収縮が起こり、その後に地下水水位が回復しても徐々に地盤沈下が進行することを明らかにした。

都市水利用デザイングループでは、ハノイ都市圏を対象とした水利用シナリオの検討と用途別水利用の予備調査を8月に実施して、60軒程度の家庭での本格実態調査を行うこととした。また、水利用システム全体への市民の意識、価値判断の解析に向けて、江戸城外堀を例として、水辺空間のデザインと住民意識、管理制度の整理を行うとともに、水辺への価値判断構造のモデル化や施策オプションの検討を進めた。

§2. 研究実施体制

(1) 古米グループ

① 研究参加者

研究分担グループ長: 古米 弘明 (東京大学工学系研究科、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」と「水利用を想定した水質変容ポテンシャル指標の創出」

概要: 水質評価グループとして、都市水利用における水質リスク評価と新規水質指標である「水質変容ポテンシャル」の創出に取り組む。水の履歴情報と微生物測定を組み合わせる微生物リスクを総合的に評価し、必要な水処理法を提示する新しいスキームの開発を行う。並行して、微生物の有機物質化及び増殖を指標として、水質の変容性を示す新たな指標を開発する。また、都市雨水管理・利用グループとしての研究にも参画し、屋根雨水や道路排水の水質分析(特に重金属や病原微生物)や水質変容の評価を担当する。

(2) 石平グループ

① 研究参加者

研究分担グループ長: 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」

概要: 流域水資源グループの中で河川流量・水質の再現及び予測を行う。流域内の水量・水質の変化を表現できる分布型水文・水質モデルを開発するとともに、温暖化実験結果の力学的ダウンスケーリングにより得られる気象外力情報などを、このモデルに入力することで、河川の水量・水質の将来予測を行う。

(3) 谷口グループ

① 研究参加者

研究分担グループ長:谷口 健司 (金沢大学理工研究域、特任助教)

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」

概要:流域水資源グループで実施する気候変化下での水資源予測に必要な気象条件を得るため、各国研究機関による温暖化実験結果の力学的ダウンスケーリング手法の開発を行う。また、アジア域での気候条件の長期変化傾向と変動の解析を行う。

(4) 矢島グループ

① 研究参加者

研究分担グループ長: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」

概要:流域水資源グループの中で、温暖化にともなう湖沼・貯水池における水量・水質の将来予測を行う。本年度は、荒川流域における汚水の排出源に関するデータおよび浦山ダムに関する基礎データの収集整理を行う。

(5) 榊原グループ

① 研究参加者

研究分担グループ長:榊原 隆 (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」

概要:都市雨水として利用可能性が高い道路排水及び屋根排水を中心に、都市雨水利用に関する効率的な計画設計及び維持管理に資するために、各管理者等に分散所有されている水量・水質情報を調査条件とあわせて広く閲覧・利用できるデータベースを構築する。

(6) 屋井グループ

① 研究参加者

研究分担グループ長: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」

概要:屋根雨水とあわせて、道路排水の収集・貯留・浸透を適宜組み合わせた一連の都市域における雨水管理手法や雨水利用システムの提案を行う。また、古米グループと連携して、利用用途に応じた雨水の水質基準や人工涵養する際の水質基準の検討に資するため、雨水の原水や集水・貯留過程での水質変容を体系的に調査する。

(7) 滝沢グループ

① 研究参加者

研究分担グループ長: 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」(ハノイ市における水利用の現状調査)

概要: ハノイ市を対象として、ハノイ大学、ハノイ土木大学などのほか、天然資源環境省、新設の水道会社などとの協力関係を築き、ハノイ市の水資源並びに水利用に関する関連の資料の入手や課題についてのヒアリングを行う。脆弱な水道水源しか有しないハノイ市における水供給実態や深刻な水問題の現況を整理する。具体的には、ハノイ市水道局と水道会社の関係、地下水源の汚染実態、北部の新規水源開発の必要性、貯水池で富栄養化問題、将来の気候変動等への対応状況などを調査する。

(8) 林グループ

① 研究参加者

研究分担グループ長: 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」(荒川流域における地下水データの収集)

概要: 荒川流域における地下水水位並びに水質に関するデータを収集し、荒川流域における地下水涵養状況と地下水利用の課題を解析する。具体的には、年間を通じて平均的な揚水する水道用水と、灌漑期に大量に揚水する農業用水との関係、地下水揚水の推移と地盤沈下の発生との関係を整理する。

(9) 荒巻グループ

① 研究参加者

研究分担グループ長: 荒巻 俊也 (東洋大学国際地域学部、教授)

② 研究項目

「対象地域の選定と水利用シナリオの検討」

概要: アンケート調査や水利用調査の対象となる地域を、首都圏およびハノイ都市圏から具体的に選定し、現地の水利用、水管理に関わる情報の他、人口や産業、経済水準、生活環境などの情報を収集、整理する。さらに、対象地域において将来に向けて考えられる水利用システムのシナリオを複数検討し、それらの得失を定性的に検討する。

(10) 窪田グループ

① 研究参加者

研究分担グループ長: 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

「パフォーマンスの定量化手法の検討」と「水辺空間のデザインと住民意識、管理制度の整理」

概要:水利用システムの LCA 評価のために必要となる、各種燃料の供給・使用など共通プロセスのインベントリデータ、浄水処理や下水処理など基本的なプロセスのインベントリデータを整備する。また、ケーススタディにより、歴史的な変遷や現状における水辺空間のデザインが、地域住民にとっての地域への意識向上やひいてはまちづくりにどのような影響を及ぼしているのか、明らかにすると同時に、水辺空間をめぐる法制度を整理する。

(11)大瀧グループ

① 研究参加者

研究分担グループ長: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、准教授)

② 研究項目

「用途別都市用水需要の実態調査」

概要:現地調査の準備として、調査対象地域の事前調査および絞り込みを行う。また実測調査の準備として、簡易流速計の電源部の改良、および簡易な設置方法の改良といった装置の改善を行い、本調査において迅速、かつ多数のサンプルが得られるように技術的な工夫を加える。

§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)

<A:水質評価グループ>

糞便汚染の起源解析の指標としてのコブウイルス属の有効性を評価することを目的として、ベトナム・ハノイ市の環境水(河川・池・湖)や畜産廃水から、従来の様々な糞便汚染指標ならびに病原微生物に加え、コブウイルス属のゲノムの検出・定量を行った。その結果、アイチウイルスの存在量は、ヒトのウイルス性胃腸炎の原因となる代表的な RNA ウイルスと比較して多いことが確認された。また、その存在量は、人口の多い都市運河や上流からの影響で汚染レベルが高いと考えられる下流域ほど多くなることが明らかになった。このことから、コブウイルス属の存在量は、汚染影響を的確に反映していることが示唆された。さらに、養豚場の廃水からは、ブタコブウイルスのみが検出されたことから、コブウイルス属をタイプ別に検出することにより糞便汚染源の特定が可能であることが示唆された。以上のことから、コブウイルス属は、病原微生物の汚染レベルの評価による感染リスクと糞便汚染源を明らかにするウイルス指標として有効である可能性が高いことが示された。水環境からのコブウイルス属の検出事例は今回が初めてであり、今後、情報の少ないコブウイルス属の遺伝情報を蓄積し、高感度な検出方法を確立する予定である。また、内標準核酸 CIPC (Competitive Internal Positive Control)を用いたウイルス定量系の精度の向上を進めた。本年度は、コブウイルス属の中でヒトに感染するアイチウイルスについて、内標準核酸を作成し、環境試料に含まれる阻害物質により過小評価された場合にはそれが分かるように検出システムを改良することに成功した。

水質変容ポテンシャルの創出については、生分解性有機物の評価として水処理工程における同化性有機炭素濃度 (Assimilable Organic Carbon:AOC) の測定を行った。水道原水・水道水については、オゾン-生物活性炭処理を導入した浄水場で通年の観測を行い、水道水の AOC 濃度が $33\text{-}89\ \mu\text{gC}\cdot\text{acetate/L}$ の範囲にあることを確認した。また、再生水については、処理プロセスの異なる国内 7 か所の再生水処理プラントから工程水を採取し、AOC の測定を行った。その結果、オゾン処理を導入しているプロセスでは、オゾン処理によって AOC 濃度が二次処理水の 2-5 倍に増加することを確認した。再生水の AOC 濃度は $20\text{-}400\ \mu\text{gC}\cdot\text{acetate/L}$ であり、米国の事例 ($45\text{-}3200\ \mu\text{gC}\cdot\text{acetate/L}$) と比較しても濃度は低い傾向にあることが明らかになった。更に、異なる再生水試料から細菌株約 90 株の単離を行い、これらの細菌の基質利用特性や増殖特性のスクリーニングに着手した。今後は、これらの細菌を再生水の水質変容ポテンシャルの測定に活用する予定である。また、再生水などの詳細な有機物分析を目的として、サイズ排除クロマトグラフィーによる分子量分布の解析等を行うと共に、フーリエ変換質量分析計 (FTMS) の導入を行った。濃縮(固相抽出、凍結乾燥)や脱塩などの前処理方法と共に、イオン化条件などの分析条件を検討し、分析プロトコルの確立を進めた。

<B:流域水資源グループ>

気候変化の下での流域規模の水量・水質変化を予測する手法の開発を目的とし、本年度は 1)

分布型水文・水質モデルの開発、2) 温暖化実験結果の力学的ダウンスケーリング手法の検討、3) 汚水排出源データの収集・解析および湖沼モデルの開発を行った。

流域水文・水質モデルの開発については、年度当初に計画した通り、対象流域である荒川流域及び紅河流域の気象・水文データの整理、モデル入力情報の整備と、長期間の水量(河川流量)の再現計算を行った。荒川流域では、実測値とモデル計算値の比較により、パラメータ同定(1990～1993年)と検証(1994～2003年)を行い、紅河流域においては、グローバルデータセットや気候値をもとに整備した外力情報を用いて、約40年間(1961～2004年)の長期流出解析を実施した。その結果、両流域において概ね妥当な流出量推定結果が得られることを確認した。

温暖化実験のダウンスケーリング手法の検討では、まず、IPCC第4次レポート作成に活用された第3次結合モデル相互比較プロジェクト(Phase 3 of Coupled Model Intercomparison Project: CMIP3)における23個の気候モデルについて、20世紀再現実験結果での夏季アジアの気候を比較し、各モデルの特性を把握した。また、非静力学モデル the Weather Research Forecast (WRF)を用い、荒川流域周辺及びベトナム・紅河周辺を対象にしてダウンスケーリングを試行し、気温・降水量などの再現性の確認を行った。さらに、CMIP3の8つのモデル出力を用いて20世紀気候再現実験による1991～2000年及びA1B排出シナリオによる2061～2070年の各10年の平均場から温暖化バイアスを抽出し、気象庁長期再解析データとあわせて疑似温暖化結果を作成し、気候変化下でのダウンスケーリングを試行的に実施した。

汚水排出源データの収集・解析では、荒川流域の水道原水取水位置、生活排水処理施設、畜産頭羽数、地形等の情報をGISデータベースとして整備するとともに、水道原水取水位置上流における流域の汚染リスク要因を空間的に抽出し、水道原水別の集水域情報として集計した。湖沼モデルの開発については、荒川上流に位置する浦山ダムを対象として、汎用3次元水理モデルELCOMとそれと連結した生態系モデルCAEDYMを用いて、2009年に観測された水質データ(水温、DO、濁度、クロロフィル、栄養塩等)の再現計算を行うとともに、貯水池の水質保全設備のひとつである清水バイパスの運用シナリオ(3通り)にもとづいたシミュレーションを行い、その効果を明らかにした。

<C:都市雨水管理・利用グループ>

三鷹市の道路排水浸透貯留施設において、連続的な道路排水の水質モニタリングを実施した。そして、雨天時道路流出水の重金属および窒素の溶存態と懸濁態それぞれについて、流出機構と負荷量を評価した。さらに、窒素については安定同位体比を用い起源解析を行った。その結果、Pbの流出負荷量のほとんどは懸濁態で占められるのに対し、Ni、CuおよびZnでは溶存態としての流出負荷量も重要であること、 $\delta^{18}\text{O}\text{-NO}_3$ より住宅地道路排水中の NO_3 は主に大気由来であること、また降雨時間の増加に伴い、大気降下物の寄与が増加していくことを明らかにした。

既存の2箇所の個別住宅に初期雨水採水を実施して、大腸菌や大腸菌群数の計数や重金属の測定を行い、初期0.5mm以下で多くの汚濁物質が流出することを複数降雨で確認した。ただし、降雨後に採水装置内に懸濁物質が沈殿している可能性があることから、新たに採水装置1基も含

めて回収時に装置内を混合する採取方法と次降雨前の洗浄方法を確立した。これにより、年度後半の懸濁物質に関わる水質分析結果の精度向上を確保した。また、見附市の体育館屋根排水を消雪井戸への注入に関連して水質分析と貯留に伴う水質変化を調べた。

道路排水及び屋根排水などを対象とした都市雨水データベースの作成にあたり、都市雨水利用あるいは雨水貯留浸透対策が実施されている都市(東京都墨田区、名古屋市、福岡市、熊本市、および沖縄県)を対象にヒヤリング・アンケート調査を実施した。

<D: 都市地下水管理・利用グループ>

ハノイ市の地下水利用について、2010年9月から10月にかけてハノイ市を訪問し、ハノイ郊外の5か所のコミュニティで地下水サンプルを採水した。その結果、ハノイ市の水道水源として利用されている被圧地下水、また、家庭用に使われている不圧地下水ともにアンモニア、鉄、マンガン、ヒ素などによる汚染を受けていることが明らかとなった。また、それらの調査候補地点となっているコミュニティの1つでは、地下水涵養源となっている池の底泥をコアサンプリングし、土壌間隙水の分析を行った。その結果、池の水質は鉄、マンガン、ヒ素濃度が低いものの、土壌の間隙水は高濃度の鉄、マンガン、ヒ素を含むことが分かった。

ハノイの地下水には高濃度のアンモニアと有機物(DOC)が含まれるため、塩素消毒により副生成物であるNDMAが生成する可能性が高い。そこで、試験的にNDMAの簡易な分解方法として紫外線による分解を試みたところ、紫外線照射量を高めることによりNDMAの分解が可能であることが明らかとなった。また、紫外線照射後に塩素を添加しても、NDMAは再生成することがなかった¹⁾。これらのことから、ハノイ市の地下水を水道水源とする場合は、紫外線消毒が有効であることが推定された。

また、2011年3月には、ハノイにおいてベトナムの水関連の省庁、ハノイ市担当部局、水道会社、研究者などを招聘して、ハノイの水利用に関する課題と現状についての意見交換を行った。さらに、ハノイ近郊の4か所の池で底質サンプルを採取し、土壌間隙水や、土壌の含有成分について分析を行った。

荒川流域の埼玉県川島町では農業用水として地下水を揚水しているため地盤沈下を経験した。最近では、地下水の揚水量を制限し、地下水水位の低下傾向は収まったものの、地盤沈下は進行する状況にある。その原因を探るため、川島町の地下水観測井戸のデータを整理し、地下水と地盤のコンピュータモデルで解析したところ、水田の灌漑期に大量に揚水することで地盤の収縮が起こり、その後地下水水位が回復しても徐々に地盤沈下が進行することが分かった。また、農業用水は浅い不圧帯水層から揚水しているが、その場合も地盤沈下が起こりうることも明らかとなった。

<E: 都市水利用デザイングループ>

ハノイ都市圏を対象とした水利用シナリオの検討と用途別水利用の実態調査については、8月に第1回調査を実施した。調査内容は、実態調査の調査候補地の踏査と一般家庭へのヒアリング

と調査協力依頼、簡易メータの取り付け可能性の確認、などである。100軒程度の家庭を訪問し、6割程度の家庭で調査が可能であることがわかったが、現地のトイレや洗濯機に対応した計測方法の改良が必要であることがわかった。現地の水利用状況は地区によって異なっており、それぞれの地区に応じた水利用シナリオが想定されることが示唆された。都心近くの地域では水洗トイレ、シャワー、洗濯機など水利用機器の普及は相当進んでおり、また水利用において水道水圧の問題が一つの鍵となっていることもわかった。第1回調査後、メータの改良、現地への輸送、アンケート調査票の改訂作業を行い、2～3月にかけて第2回調査を実施した。この調査では、約50軒の家庭の各蛇口に小型流量計を取り付けるとともに、アンケート調査を実施した。小型流量計による測定は、7月まで継続して実施する予定である。なお、水利用シナリオの検討については、まず、コミュニティにおける排水処理のシナリオ検討を行なった³⁾。その結果、現地調査の結果から地域ごとに異なる水利用シナリオや排水処理を想定する必要性が示唆されたため、数回の現地調査を行った後に、地域性に応じたシナリオを描くこととした。

水辺空間のデザインと住民意識、管理制度の整理については、江戸城外堀についてその現況や整備にあたっての歴史的経緯を文献調査、実地踏査により把握するとともに、市民の価値判断の構造を解析するためのアンケート調査の設計を行い、1月に約5千人に対して調査を実施した。その結果、水辺空間の利用の度合いが人の認知構造に強い影響を与えており、またすべての側面において印象を高く評価していること、また従来よりその地点を知っていたことが価値評価を高める傾向にあることが確認された。一方、江戸城外堀において各地点の特性により、認知→印象→価値、という相関関係の違いが見られた。これらのことから、情報提供の機会を増やすより、その地点を利用するなどの経験を増やすことが価値評価を高めることに有用であることが示唆された。

また、荒川中流域にあたる埼玉県南部および江戸川中流域にあたる千葉県北西部を対象として、水辺空間への価値選好の差を生む要因および地域による価値選好の差を解析するためのアンケートを準備した。ただし、調査実施開始直前に地震が発生したため、本調査は5月に延期した。

パフォーマンスの定量化手法の検討では、東京都+埼玉県の水利用システムのライフサイクル環境影響評価を実施した。地球温暖化など多くの環境影響項目では、下水の高度処理導入によって負荷が大きくなった。また、下水を高度処理した場合、再生水利用によって浄水処理量が削減されると、その分だけ環境影響は小さくなるが、現状システムよりは大きくなった。ただし、建設の寄与が大きい鉱物資源や、浄水処理の薬品の寄与が大きい間接水消費では、異なる傾向となった。

§4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

1. 高松達朗, 酒井宏治, 小熊久美子, 村上道夫, 小坂浩司, 浅見真理, 滝沢智 (2010) N-ニト

ロソジメチルアミンの紫外線分解と遊離塩素添加による再生成の評価, 環境工学研究論文集, 47, 127-133.

2. 原本英司, 片山浩之, 浅見真理, 秋葉道宏, 国包章一 (2010) 河川水からのウイルス及び原虫の同時濃縮法の開発, 水道協会雑誌, 79(10), 2-11.
3. Pham Ngoc Bao, Toshiya Aramaki and Keisuke Hanaki (2010) Multi-criteria Evaluation of Wastewater Treatment Scenarios for Small Towns in Developing Countries - Case Study of Toan Thang Town in Vietnam, *Journal of Water and Environmental Technology*, 8(4), 269-291.
4. Nguyen Van Huy, Michio Murakami, Hiroshi Sakai, Kumiko Oguma, Koji Kosaka, Mari Asami, Satoshi Takizawa (2011) Occurrence and formation potential of N-nitrosodimethylamine in ground water and river water in Tokyo, *Water Research*, 45, 3369-3377.
5. Masaaki Kitajima, Tomoichiro Oka, Hirotaka Takagi, Yukinobu Tohya, Hiroyuki Katayama, Naokazu Takeda, and Kazuhiko Katayama (2010) Development and application of a broadly reactive real-time reverse transcription-PCR assay to detect murine noroviruses, *Journal of Virological Methods*, 169(2), 269-73.
6. H. Sakai, H. Katayama, K. Oguma and S. Ohgaki (2011) Effect of photoreactivation on ultraviolet inactivation of *Microcystis aeruginosa*, *Water Science & Technology*, 63(6), 1224-1229.
7. Hiroshi Nishikoori, Michio Murakami, Hiroshi Sakai, Kumiko Oguma, Hideshige Takada, Satoshi Takizawa (2011) Estimation of contribution from non-point sources to perfluorinated surfactants in a river by using boron as a wastewater tracer, *Chemosphere*, in press.
8. Keisuke Kojima, Michio Murakami, Chikage Yoshimizu, Ichiro Tayasu, Toshi Nagata, Hiroaki Furumai : Evaluation of surface runoff and road dust as sources of nitrogen using nitrate isotopic composition, *Chemosphere*, in press.
9. Yurina Otaki, Masahiro Otaki, Haruka Sugihara, Lada Mathurasa, Petch Pengchai, and Toshiya Aramaki (2011) Comparison of residential indoor water consumption patterns in Chiang Mai and Khon Kaen, Thailand, *Journal of AWWA*, Vol. 103, No.5, pp.104-110, in press.

(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)