

「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

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、研究プロジェクト初年度である本年度は、各研究グループの計画実施準備に重点を置き、来年度以降の本格的な連携体制を整えた。

水質評価グループでは、環境試料中の病原ウイルスの測定法について、より信頼性の高いものにするため、内標準核酸を用いて、ウイルス濃度の定量及び PCR 阻害の検知を同時に行う手法を開発した。水質変容ポテンシャル指標の開発に向けては、既存の AOC(Assimilable Organic Carbon)の拡張を意図した検討を高度浄水処理法である生物活性炭を対象として、ギ酸、酢酸、シュウ酸を資化する細菌群の同定・探索を行った。

流域水資源グループでは、荒川・利根川上流域を対象として、流域水文・水質モデルの開発に必要となる流域地理情報・人口や産業等汚水の排出源分布のデータを整備するとともに、モデルの入力となる気象データやモデル検証のための水文・水質情報の収集を行った。また、ホン川流域については、領域気象モデルを用いた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に取り組んだ。

都市雨水グループでは、道路塵埃と雨水とを混合させた模擬路面排水中の重金属の詳細分析を行い、雨天時に道路塵埃から溶出する重金属の挙動及び存在形態を評価した。また、2 箇所における屋根排水や貯留雨水の試料採取装置設置と予備的な水質分析を行った。また、既設の道路排水浸透貯留施設における、道路排水水質モニタリングの準備を進めた。また、事業体を中心に保有する屋根排水、道路排水の水量・水質に関する既往調査データの収集に向けて、データ取得者、取得時期等の属性と水質項目等を整理した。

都市地下水グループでは、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て、地下水利用の課題を解析した結果、荒川流域では水道事業及び農業用水が主要な地

下水の利用者であり、一部が工業用水として使われていること、中流域の地下水は硝酸性窒素汚染によって広範に汚染されていることなどを明らかとした。更に、ハノイ市のホン川流域については、ハノイ市の関係機関を訪問し、ハノイ市の水資源並びに水利用に関する課題を抽出・整理した。

都市水利用デザイングループでは、ハノイにおいて現地調査および荒川下流工事事務所へのヒアリング調査、文献調査を通して、各対象地域について、水利用や水管理、LCA 評価の基礎データを収集した。ハノイについては、地域ごとに水利用の状況が違い抱えている問題が異なること、まもなく水資源マスタープランが完成する予定であることなどから、次年度に再度現地関係機関と調整をしながら、具体的な対象地域を選定することとした。荒川については、流域全体を対象として水利用に関するアンケート調査を実施する準備を進めた。

§ 2. 研究実施体制

(1) 古米グループ

① 研究分担グループ長：古米 弘明（東京大学、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「水質変容ポテンシャル」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 研究分担グループ長：石平 博（山梨大学、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 研究分担グループ長： 谷口 健司（金沢大学、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 研究分担グループ長： 矢島 啓（鳥取大学、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 研究分担グループ長： 屋井 裕幸（(社)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時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 研究分担グループ長： 滝沢 智（東京大学、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。脆弱な水道施設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。例えば、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 研究分担グループ長： 林 武司（秋田大学、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。例えば、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 研究分担グループ長： 荒巻 俊也（東洋大学、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 研究分担グループ長： 窪田 亜矢（東京大学、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 研究分担グループ長: 大瀧 雅寛 (お茶の水女子大学、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

< A, 水質評価グループ >

Real-time RT-PCR による水中ウイルスの定量において、RT-PCR 阻害による定量値の過小評価が起り得る。阻害の軽減に関する研究もなされているが、これらは阻害の完全な除去を保障するものではない。そこで、PCR 阻害の影響を簡便かつ正確に評価する手法が必要となることから、本年度は信頼性の高い環境試料中のウイルス測定法の評価法を開発した。

RT-PCR における阻害の機構としてプライマーのアニーリング阻害及び cDNA もしくは 2 本鎖合成阻害が考えられる。よって対象ウイルスゲノムと同一のプライマーにより等しい塩基長で増幅される核酸を内標準として用いることで (RT-) PCR における阻害の影響評価をより正確に行うことが可能である。本研究では DNA ウイルスである腸管系アデノウイルス 及び RNA ウイルスであるノロウイルス GII 型のそれぞれについて特異的な内標準核酸 (PSC-DNA/RNA) を作成し、ウイルス濃度の定量及び PCR 阻害の検知を同時に行う手法を開発した。さらに、手法を環境水試料に適用し、(RT-) PCR 阻害の影響評価を行った。

内標準核酸を用いることで、(RT-) PCR 阻害をより正確に評価可能となることを示した。本手法により、河川水試料からのウイルスゲノム検出に際し核酸抽出阻害及び (RT-) PCR 阻害により、定量値を大きく過小評価していることを示し、ゲノム定量値の信頼性の評価が可能となった。

水質変容ポテンシャル指標の開発に向けて、AOC(Assimilable Organic Carbon)の概念拡張を意図した検討として、代表的な AOC のモデル物質として、ギ酸、酢酸、シュウ酸を選択し、これらを資化する微生物の探索を行った。安定同位体プロービング法(SIP: Stable Isotope Probing)による解析を行い、T-RFLP 法によって資化微生物の多様性を評価した結果、特定の基質のみを資化する細菌の存在に加え、ギ酸、酢酸、シュウ酸のすべてを資化している同一の細菌群の存在も示唆された。

<B, 流域水資源グループ>

荒川及び利根川上流域を対象として、流域水文・水質モデルの開発に必要な流域地理情報を整備するとともに、モデルの入力となる気象データやモデル検証のための水文・水質情報の収集を行った。地理情報については、高解像度数値地形データ(ASTER G-DEM)をもとに、対象流域の擬河道網を試作した。その結果、利根川上流域及び荒川上中流域については、概ね妥当な河川網を表現できているが、下流域の比較的平坦な地形となっている部分については修正が必要であることが明らかとなった。今後はさらに高精度の数値地形データ(GISMAP)や実河川網データを導入することで改善を図る予定である。また、気象・水文・水質情報については、1990 年以降の約 10~20 年間を対象として、降水量(荒川:31 地点、利根川上流 78 地点)、流量(荒川:22 地点、利根川 13 地点)、水質(荒川 83 地点、利根川 127 地点)のデータを整備した。

また、荒川流域における人口や産業等汚水の排出源分布のデータと水系および利水に関する地図データを収集し、GIS データとして整理した。また、将来予測計算を行う主要な対象ダムとして、荒川流域において生活用水を首都圏に供給することができる浦山ダム(総貯水容量 5800 万 m³)を選定した。そして、当該ダムの管理者である水資源機構が所有する河川流量・水質・気象・ダム諸元などに関する基本データを収集し、貯水池モデルの構築に利用できるよう整理を行った。

流域レベルの水資源変動予測に必要な気象条件の推定のため、領域気象モデルを用いた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に取り組んだ。対象領域はアジア域とし、領域気象モデルには米国大気研究所を中心に開発された WRF を用いた。ダウンスケーリング結果の検証には気象庁長期再解析データ及び GPCP 降雨量データを用い、各気圧面の気温及び高量分布を比較した結果、雲微物理に Morrison 2-moment scheme、積雲対流に Grell-Devenyi Ensemble を用いた組み合わせの再現性が良好であった。降雨分布では、ダウンスケーリングによって地域毎の強弱の再現性が向上する可能性が示唆された。また、現地観測データを用いて、研究対象であるベトナムホン川流域における降雨量の長期変化傾向把握のための基礎的な解析を実施した。

<C, 都市雨水管理・利用グループ>

都市雨水として道路排水を想定し、その汚染源となる道路塵埃に着目した実験を実施した。

雨水と混合させることで作成した模擬路面排水中の重金属(Ni、Cu、Zn、Pb)のフリーイオン態＋不安定錯体形態(Labile 態)について測定を行った結果、雨水と接触した道路塵埃からは、接触した直後に急激に Labile 態で溶出が生じること、Ni、Cu 及び Zn については接触時間の増加につれて溶存態重金属濃度が増加する傾向がみられる一方で、Pb については接触直後の濃度増加後に減少する傾向を示すことを明らかにした。また、連続的な道路排水の水質モニタリングのために、既設の道路排水浸透貯留施設(三鷹市)を選定して管理者との情報交換を進めた。さらに、新規導入した誘導結合プラズマ質量分析計の設置と、道路排水に含まれる自動車排ガスのマーカーとして白金類の分析も進めた。

屋根排水に関しては、既存屋根雨水貯留施設への流入雨水及びその貯留水の水質モニタリングの準備を進めた。まず、モニタリング対象の屋根や貯留タンクの材質の整理や設置周辺環境の現場調査を行い、そのうち、2 箇所の個別住宅に初期雨水(屋根雨水 1mm～3mm)の新規作成の採取装置を設置した。年度末には、屋根排水や貯留雨水の予備的な水質分析(窒素、重金属、病原微生物、など)を行った。

また、道路排水及び屋根排水を対象として、各下水道事業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ために、既往調査データの収集準備と、データベースの必要機能及び活用用途のフォーマット及び仕様(案)を作成した。

<D, 都市地下水管理・利用グループ>

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利用の課題を解析した結果、水道事業及び農業用水が主要な地下水の利用者であり、一部が工業用水として使われていること、水道事業者による揚水が年を通じて平均的な量であるのに比べて、農業用水では特に灌漑期に大量に揚水するため、地下水水位は揚水後に元の推移に戻っても、地盤沈下が発生している可能性があること、ふっ素・ひ素など主に地質に由来するとおもわれる汚染物質が検出される地域がある一方で、施肥による硝酸性窒素汚染が広範に進行しており、汚染対策が必要であることなど、地下水利用の現状と課題を明らかとなった。

また、ハノイ市のホン川流域については、ハノイ大学、ハノイ土木大学、天然資源環境省、新設の水道会社などを訪問し、ハノイ市の水資源並びに水利用に関する課題についてのヒアリングを行うとともに、関連の資料を入手した。例えば、ハノイ市は合併による人口急増のため、深刻な水不足に直面していること、地下水を水源としているハノイ市水道局では、南部の地下水源がヒ素やアンモニアで汚染されていることから供給可能な水量に限りがあり、今後は、北部の水源を開発する必要があるが利用可能量については不確定である。一方、河川水を水源とする VINACONEX 系の水道会社では、河川上流の HoaBin ダムで富栄養化が進行し、水利用の障害になっているが、有効な対策が見いだせていない。気候変動等により、渇水や富栄養化の悪化が進行した場合、ハノイ市の水供給は地下水・河川水ともに水量と水質の深刻な問題を抱えていることを整理した。

<E, 都市水利用デザイングループ>

ハノイにおいて現地調査および荒川下流工事事務所へのヒアリング調査、文献調査を通して、各対象地域について、水利用や水管理、その他流域の諸情報を収集した。ハノイについては、地域ごとに水利用の状況が違い抱えている問題が異なること、まもなく水資源マスタープランが完成する予定であることなどから、次年度に再度現地関係機関と調整をしながら、具体的な対象地域を選定することとなった。荒川については、特定の流域を対象とすることはせず、流域全体を対象としてアンケート調査を実施することとした。また、ハノイでの水利用調査には、既存の小型流量計(250 セット)を使用することとして、次年度に行う現地調査に備えて、全ての流量計の通水検査及び洗浄、さらにカウンターの電池交換などを行い実地調査の準備を行った。

環境パフォーマンス評価に関して、日本国内を対象として LCA 評価の基礎となる、各種化石燃料および電力の供給・使用など共通プロセス、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し、それぞれの単位の供給に係る CO₂、CH₄、N₂O、NO_x、SO_x 排出の原単位を作成した。

都市計画と水辺利用の関係については、大正時代の近代都市計画の幕開け時より、都市における水辺に対して風致地区を代表とする制度が用意されたものの、高度利用や道路建設の勢いにより魅力的な水辺の保全や創造には基本的には至っていない。さらに水質や水利用といった点からの水辺のあり方に都市計画面からの配慮のあり方を検討した。