

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. 研究実施体制

【A:水質評価グループ】(1) 古米グループ

【B:流域水資源グループ】(2) 石平グループ、(3) 谷口グループ、(4) 矢島グループ

【C:都市雨水管理・利用グループ】(1) 古米グループ、(5) 尾崎グループ、(6) 屋井グループ

【D:都市地下水管理・利用グループ】(7) 滝沢グループ、(8) 林グループ

【E:都市水利用デザイングループ】(9) 荒巻グループ、(10) 窪田グループ、(11) 大瀧グループ

(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、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

(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) 尾崎グループ(国土技術政策総合研究所)

① 主たる共同研究者: 尾崎 正明 (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いるが、次の5研究グループで成果を挙げるとともに、グループ連携を深め、安定成長の段階にある先進国の都市流域圏である荒川流域と、人口増加や水インフラの整備が今後も求められるハノイ市郊外の新興市街化地域を対象として、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。荒川流域に関しては、水資源情報の集約化や都市雨水利用データベース試行版の構築など、流域レベルでの研究成果とりまとめを段階的に進めている。また、2012年3月にはハノイの水資源と水利用に関するワークショップを開催して、本プロジェクト紹介とハノイでの研究成果の公表を行った。

### <A:水質評価グループ>

コブウイルス属のウシコブウイルス(BkoV)、ブタコブウイルス(PkoV)、アイチウイルス(AiV)およびPMMoV(ペッパーマイルドモットルウイルス)に着目し、荒川流域およびハノイにおいて、糞便汚染の起源解析に関する調査を行った。また、定量方法の高度化に関する検討も行った<sup>A-1)</sup>。PMMoVは他のウイルスよりも高濃度であり、ヒト糞便指標にとりして有望であることがわかった。糞便汚染が生じていると考えられる荒川下流域の全調査地点からAiVは大きな変動なく検出されたが、上流域からは他の腸管系ウイルスと同様に検出されなかった。ハノイ市Nhue川においても同様に、AiVは安定した濃度で検出された。BkoV、PkoVは荒川流域およびハノイ市Nhue川流域から幅広く検出された。コブウイルス属は、異なる河川環境において同様の傾向を示し、各種動物の糞便汚染の有無を評価するのに有効であることが強く示唆された。現在までに、札幌近郊のウシ、ブタ糞便、それぞれ約200検体を収集した。今後は、BkoV、PkoVの遺伝子情報解析および定量PCRの構築を進め、定量手法を確立して環境試料に適用し、糞便汚染期限の解析を試みる。

再生水のAOC濃度・従属栄養細菌数の変動を把握するために、平成22年度から継続した再生水モニタリングを完了した。また、国内の複数の水再生プラントからR2A培地を用いて約200種の細菌を単離した。これらの単離株の16S rRNA遺伝子を解析して35種類程度に絞った後、Biolog GN2 MicroPlateを用いて95種類の有機物の利用可能性を評価した。その結果、これらの単離株の基質利用特性は6種類に分類され、水質変容ポテンシャルの測定に有用な情報が得られた。また、一部の単離株については再生水中での増殖特性の評価を開始し、処理方法の異なる再生水では増殖の挙動が異なることを確認した。

再生水中有機物の化学分析については、シリカ系C18とポリマー系PPLを用いた固相抽出の最適化を行い、再生処理工程水に対して30-60%程度の回収率を達成した。フーリエ変換質量分析計(FT-MS)を用いてインフュージョン分析(分析質量範囲:m/z=100-1000)を行った結果、

m/z=300 付近を中心にして 400-500 個のイオン分子が各工程水から検出された。精密質量数から求めた分子式を元素組成比に基づいて分類し、処理水中の有機物分子組成に関する基礎情報を得た。インフュージョン分析のため定量性の評価には限界があるが、二次処理において LAS が減少する一方で、LAS 代謝産物が増加する挙動などを確認した。

### <B:流域水資源グループ>

流域規模の水量・水質変化の将来予測を目的とし、要素技術の検討(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、分布型水文・水質モデルの開発、污水排出源データの収集・解析および湖沼モデルの開発)を行うとともに、それらを統合した流域水資源量予測の枠組みを提示した。また、将来予測情報の提供方法に関する予備的検討も開始した<sup>B-2)</sup>。

ダウンスケーリング手法の検討では、荒川・利根川流域及びベトナム・紅河流域に関して、非静力領域気象モデルを用いて現在気候のダウンスケーリングを実施し再現性の検討を行った。また、2 つの気象海洋結合モデルによる温暖化予測結果を用いた疑似温暖化結果の作成とそのダウンスケーリングを行い、詳細な将来気候情報を作成し将来の降水特性の変化について解析を行った。さらに、これらの結果を流域水文モデル及び湖沼モデルの入力情報として整備した。

流域水文・水質モデルについては、モデル構築ならびにパラメータの同定、モデル改良を行った<sup>B-1),B-5)</sup>。また、特徴的な気象・水文条件(豊水、渇水年)について、現在気候と将来気候それぞれのダウンスケーリング結果を用いて流出計算を行い、河川流況の変化について解析を行った。

湖沼モデルの開発については、荒川流域上流部の浦山ダムを対象に、3次元水理水質予測モデルを用いて、清水バイパスの運用による貯水池内およびダム下流河川の水質向上効果の定量的評価を行った<sup>B-3)</sup>。また、同ダムを対象に温暖化傾向に季節的な気温上昇量の差があるときの気温変化が植物プランクトンに与える影響を明らかにした<sup>B-4)</sup>。さらに污水排出源データの収集・解析では、荒川流域の表流水が水源である水道水源流域を対象に、汚染要因情報を整備した GIS データと土地被覆情報から上流抽出解析を行うとともに、水道原水水質と流域の汚染要因から、地理情報のみから推定できる水質評価式を作成した。

### <C:都市雨水管理・利用グループ>

屋根排水及び道路排水などを対象とした都市雨水利用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(川崎市、京都市、大阪市、神戸市、高松市及び松山市)を対象にヒヤリング・アンケート調査を実施した。また、各施設の雨水利用用途や利用開始時期、貯留槽の容量等が確認できる都市雨水利用データベースの試行版を作成し、平成 22 年度に収集した墨田区、福岡市、熊本市及び沖縄県の雨水利用データを入力した。

過年度から引き続き屋根雨水やその貯留水の水質モニタリングを実施した。また、路面排水を貯留浸透(ならびに歩道表面から蒸発)させる施設の貯留水の水質モニタリングを実施した。その結果、屋根雨水は当然であるが、路面排水も初期雨水をカットする構造にすることで、貯留した水の腐敗を長期にわたり防止可能であることが確認された。また、採水した屋根雨水や路面排水の

水質についてスポット分析から、多項目水質計(水温, pH, DO, EC, 濁度)による連続計測を行った。

雨水貯留条件として水温と塩素処理を考慮し、これらの因子が貯留雨水の微生物学的水質の安定性にどのような影響を与えるのかを評価した。回収した屋根雨水からは大腸菌群、一般細菌、従属栄養細菌は検出されたが、大腸菌は検出されなかったため、実験前に大腸菌を添加した。培養開始時に終濃度が1mg/Lとなるように次亜塩素酸を添加した後、15℃、25℃、35℃で1週間培養し、大腸菌、大腸菌群、一般細菌、従属栄養細菌の濃度変動を調査した。塩素処理の結果、大腸菌及び大腸菌群は検出下限以下となり、その後の再増殖も見られなかった。一方、一般細菌や従属栄養細菌では、初期に濃度減少した後、培養温度によっては再増殖現象が観察された。このことから、貯留雨水中では、大腸菌、大腸菌群の塩素処理に対する感受性は高いこと、一般細菌、従属栄養細菌に対する塩素処理の影響、再増殖特性は温度に依存することが示された。

#### <D:都市地下水管理・利用グループ>

都市域における地下水は、自然由来および人為的な起源による様々な物質により汚染を受けている可能性がある。このような汚染の実態は、これまで十分に解明されていなかったことから、荒川流域である東京都区部とその周辺地域を対象に、NDMA、医薬品類及び有機フッ素化合物の地下水中の分布を調査した(D-1, D-2)。その結果、東京都区部ではこれらの微量汚染物質による地下水汚染が広範囲に及んでおり、ところにより高濃度で検出された。その理由については一部の地下水の地下浸透など、都市活動に由来することが示唆された。さらに、埼玉県内の荒川中流域では、地下水中の臭化物イオン濃度を測定した。その結果、局地的に臭化物イオン濃度の高い地下水が検出されたが、Br/Cl比から過去の海水侵入以外の原因があることが示された。

また、ハノイ市におけるヒ素による地下水汚染のメカニズムの解明を目的として、ため池からの浸透水が地下水水質へ与える影響を評価した。ため池底質の間隙水中のヒ素濃度は同じ池の池水より高く、ヒ素が底質から間隙水へと溶出していることが示唆された。さらにコロイドに吸着したヒ素の環境中での動態を調べるため、UF膜を用いて地表水や地下水試料を分画したところ、地下水中にはコロイド態ヒ素が全溶存態ヒ素の最大37%を占めていることが示された。

一方、地下水の涵養源について明らかにするため、酸素・水素安定同位体比を用いてハノイ市域における地下水の起源を検討したところ、地下水は降水、紅河および蒸発の影響を受けた地表水(池沼や水田)によって涵養されていることが示された。さらに、ため池からの地下水涵養を定量的に評価するため、ハノイ市郊外のため池近傍でコアボーリングと2つの井戸(深さ:10m及び48m)を設置した。

#### <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、昨年3月から7月にかけて6コミュニティ約60世帯での小型流量計を用いた水利用実態調査を行い、家庭内での水利用の様子と用途別のおおよその水利用状況を確認できた。さらに8月および本年3月にiPadを用いたアンケート調査方法を改良して13コミュ

ニティ約 170 世帯に実施した。これらの結果から現時点で、洗濯などいくつかの用途についてはアンケート調査のみでも比較的精度よく水利用量が推定できることや、トイレ用水量が正規分布していることなどが確認できている。また、本年 3 月の調査では、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を行い、郊外部において適切な水利用システムのあり方について検討するための基礎的な情報を収集した。

荒川流域については、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 5 月に実施した。その結果、幼少時の経験が価値選好に影響を与えており、これをもとに人々をカテゴリ分けできる可能性が示唆された。また、6 つの水利用シナリオについて、環境影響 6 カテゴリを指標として環境パフォーマンス評価を行った。さらに、上下水の様々な処理方式の施設および管路の建設・運用・廃棄についてライフサイクルでの環境影響 6 カテゴリおよびコストの原単位を整備し、システム設計の制約条件として実流域の水需給構造を推定した上で、これらの結果を用いて水利用システムの多目的最適化のアルゴリズムを構築・実装した。その結果、複数の評価項目(目的変数)に対する多様な価値観を反映できるパレート最適解が導出された。さらに、本年 2 月に、下水処理水の水質に関する情報を変化させた場合に、アメニティ目的で荒川流域に現存する河川に下水処理水を還流する事に対する住民の受容度の違いを評価するアンケートを実施している。またこれらとは別に、ケーススタディとして江戸城外堀を対象に下水処理水を用いた水質改善施策の効果とコストなどの関係について解析した。

### §3. 成果発表等

- A: 水質グループ
- B: 流域水資源グループ
- C: 都市雨水管理・利用グループ
- D: 都市地下水管理・利用グループ
- E: 水利用デザイングループ

#### (3-1) 原著論文発表

- 論文詳細情報
- A-1. Hata, A., Katayama, H., Kitajima, M., Visvanathan, C., Nol, C. and Furumai, H. (2011) Validation of internal controls for nucleic acid extraction and amplification of enteric viruses in water samples, *Applied and Environmental Microbiology*, **77**, 4336-4343. (DOI: 10.1128/AEM.00077-11)
- A-2. Tobino, T., Kurisu, F., Kasuga, I. and Furumai, H. (2011) Shotgun Isotope Array for Rapid, Substrate-Specific Detection of Microorganisms in a

- Microbial Community, *Applied and Environmental Microbiology*, **77**, 7430–7432. (DOI: 10.1128/AEM.00121-11)
- A-3. Tobino, T., Kurisu, F., Kasuga, I. and Furumai, H. (2012) Specificity of randomly generated genomic DNA fragment probes on a DNA array, *FEMS Microbiology Letters*, **328**, 86-89. (DOI: 10.1111/j.1574-6968.2011.02486.x)
- B-1. Wang, J. and Ishidaira, H. (2012) Effects of Climate Change and Human Activities on Streamflow and Sediment flow into the Hoa Binh Reservoir, 土木学会論文集 B1(水工学), **68** (4), I\_91-I\_96. (DOI: 10.2208/jscejhe.68.I\_91)
- B-2. Khunazarov, T., Ichikawa, Y., Magome, J. and Oishi, S. (2012) Development of Web-Based, Map-Oriented Workspace Platform for Storing and Sharing Hydrological Data, 土木学会論文集 B1(水工学), **68** (4), I\_151-I\_156. (DOI: 10.2208/jscejhe.68.I\_151)
- B-3. 崔貞圭, 矢島啓 (2012) 清水バイパス運用が浦山ダムの水質変化に及ぼす影響, 土木学会論文集 B1(水工学), **68** (4), I\_781-I\_786. (DOI: 10.2208/jscejhe.68.I\_781)(引用番号 T-1)
- B-4. 矢島啓, 崔貞圭, Hamilton, D. (2012) 温暖化の季節パターンの変化がダム貯水池の水質に及ぼす影響, 土木学会論文集 B1(水工学), **68**(4), I\_1645-I\_1650. (DOI: 10.2208/jscejhe.68.I\_1645)(引用番号 T-2)
- B-5. 舛谷 敬一, 馬籠 純 (2011) TOPMODEL における地形指標の DEM 解像度依存性への対応, GIS –理論と応用–, **19**(2), 91-101. (DOI: 10.5638/thagis.19.91)
- C-1. Kojima, K. Murakami, M., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Nagata, T., Furumai, H. (2011) Evaluation of surface runoff and road dust as sources of nitrogen using nitrate isotopic composition, *Chemosphere*, **84**, 1716-1722. (DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.04.071)
- C-2. 金鎮英, 古米弘明 (2012) 建物用途別の雑用水需要量を考慮した雨水利用ポテンシャルの評価, 用水と廃水, **54**(2), 127-135.
- C-3. 村上道夫, 稲葉愛美, 原本英司, 韋希聞, 中村高志, 屋井裕幸, 片山浩之, 古米弘明, 中谷隼, 佐野翔一 (2011) 低炭素型住宅へ向けた雨水利用の可能性 – 住宅における用途別雨水利用を目的とした屋根排水の水質評価 –, 住宅総合研究財団研究論文集, 1-10.
- C-4. Kim, J. and Furumai, H. (2011) Assessment of rainwater availability by building type and water use through GIS-based scenario analysis, *Water Resource Management*, in press. (DOI:10.1007/s11269-011-9969-9)
- D-1. Huy, N.V., Murakami, M., Sakai, H., Oguma, K., Koska, K., Asami, M and Takizawa, S. (2011) Occurrence and formation potential of *N*-nitrosodimethylamine in groundwater and river water in Tokyo, *Water*



- Research, **45**, 3369-3377. (DOI: 10.1016/j.watres.2011.03.053)
- D-2. Kuroda, K., Murakami, M., Oguma, K., Muramatsu, Y., Takada, H. and Takizawa, S. (2012) Assessment of Groundwater Pollution in Tokyo Using PPCPs as Sewage Markers, *Environ. Sci. Technol.*, **46** (3), 1455-1464. (DOI: 10.1021/es202059g)
- E-1. Otaki, Y., Otaki, M., Sugihara, H., Mathurasa, L., Pengchai, P. and Aramaki T.(2011) Comparison of residential indoor water consumption patterns in Chiang Mai and Khon Kaen, Thailand, *Journal ofAWWA*, **103**(5), 104-110.
- E-2. 大塚佳臣, 麻永隆, 栗栖聖, 窪田亜矢, 中谷隼, 花木啓祐 (2011) 空間構成要素と市民の特性に着目した江戸城外濠の価値選好評価, 土木学会論文集 G(環境), **67**(6) (環境システム研究論文集第39巻), II\_173-II\_182. (DOI:10.2208/jscej.67.II\_173)

### (3-2) 知財出願

- ① 平成 23 年度特許出願件数(国内 2 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 2 件)