

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」
研究課題
「リスク管理型都市水循環系の構造と機能の定量化」

研究終了報告書

研究期間 平成14年11月～平成20年3月

研究代表者：古米 弘明

(東京大学大学院工学系研究科 教授)

1 研究実施の概要

研究背景と構想

流域圏外からの水の導入に依存したフロー型都市水利用システムを維持することに制約が生じており、持続可能な水資源確保や健全な水循環系を構築するために、都市域における雨水・涵養地下水利用や排水再利用が期待されている。そこで、都市自己水源の「質」の動態変化を理解するために、微量汚染物質の雨天時流出挙動の評価、道路排水や下水処理水の地下浸透に伴う浄化機構の解明、医薬品を含めた微量汚染物質の分析、様々な水試料についての水質リスクの多面的な評価を行うことがまず求められる。

多様な水質リスクを管理可能な都市水循環系の構築と都市における水資源の再利用と適正配置を目指すためには、単なる都市に存在する水の「質」を評価するだけでは十分ではなく、都市の水循環系と流域全体の水収支とのつながりに配慮することが求められる。したがって、既存の水源量やその質に対して、ここで提案している新たな都市水の利用におけるリスクがどの程度であるかを、水利用者に明確化することが必要である。そして、科学的な背景をもとに水利用におけるリスクと許容性の判断基準を明示して、都市自己水源の再利用と適正配置を提案することが必要であると考えた。

最終的には、リスク管理可能な都市水循環系の構築や都市における水資源の再利用と適正配置を目指して、図 1.1 に示すような枠組みのなかで、都市水の質とリスク評価に関わる課題を設定して戦略研究を展開した。これらの成果の蓄積を通じて、水利用システムにおけるリスク管理を視点として、都市の水循環系の構造と機能を評価することが最終的なアウトカムとなると考えている。

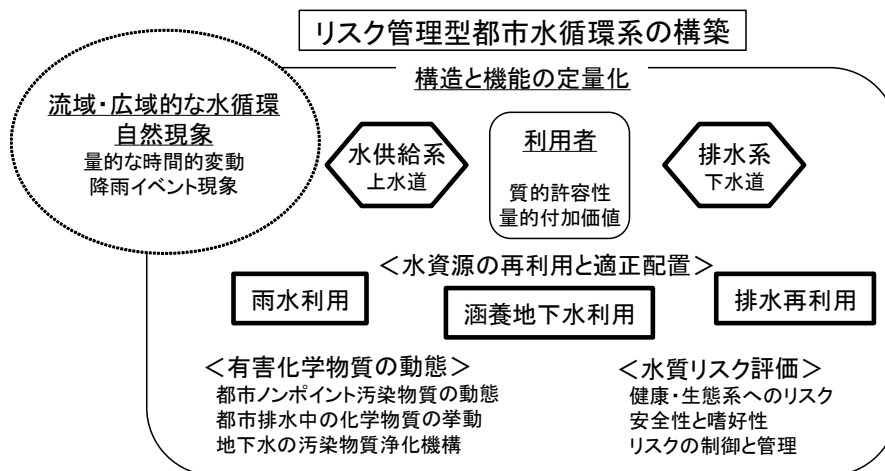


図 1.1 リスク管理型都市水循環系の全体構造

研究実施とその成果

5年の研究期間で、以下に示す5項目を軸に研究実施する5つのグループで研究を展開した。

- 都市ノンポイント汚染物質の動態評価・モデル解析
- 地下水圏の浄化能を考慮した地下水の適正利用手法の開発
- 都市域水循環・再利用から見た都市排水の水溶性微量汚染の評価
- 都市水循環システム構築のための水質リスクの多面的評価
- 都市内自己水源の都市域再利用に特化した水量収支モデル・水質指標の構築

ここでは、すべての研究項目において、都市の雨水や排水や下水処理水、さらにはそれらを地下浸透した涵養地下水を3つの重要な都市自己水源と位置づけてその利用に向けた研究を展開しており、研究項目間の連携の重要性を鑑みて、実施した項目と重要な研究内容を関連付けて成果を整理して示す。

1) 雨水浸透施設地域における都市ノンポイント汚染現象解明

雨水浸透施設が広範に導入され、都下水道局で継続的なモニタリング調査が継続的に実施されていた石神井川流域の都内下水道排水区において、次の項目について研究を実施した。

まず、雨水浸透施設のサブモデル化と浸透施設導入による雨水流出抑制効果を定量的に評価可能な手法を確立する成果を挙げた。さらに、分布型モデルによる詳細な雨水流出解析結果に基づき、汚染物質の雨天時流出挙動の予測に関わる汚染物質原単位の設定方法の確立と微粒子の流出サブモデルの高精度化に大きく貢献した成果を出した。また、高分解能衛星画像を利用した浸透域や植生地の抽出アルゴリズムの開発により中小降雨の流出解析精度の向上に寄与する成果も生み出した。

次に、道路塵埃や道路排水中の微量汚染物質の調査研究、そして、雨水浸透施設内堆積物や道路塵埃及び道路排水中の微量汚染物質の調査研究、雨水浸透ますを通じた地下水涵養過程での重金属類の動態を明らかにするための道路塵埃溶出液と柵堆積物を用いた脱吸着試験、道路塵埃や浸透柵堆積物中の重金属存在形態や吸脱着特性解析、さらには雨水浸透施設下土壌における浸透過程での重金属類の挙動評価についても研究実績を挙げている。これにより、道路排水の浸透による地下水汚染の可能性や雨水浸透施設の都市ノンポイント汚染対策施設としての管理の重要性と除去装置機能の可能性を指摘した。

2) 道路排水とその土壌カラム実験を通じた涵養地下水の水質評価

都市ノンポイント汚染物質を含む道路排水の地下浸透プロセスに着目して、1)での研究成果と連動させながら、模擬道路排水の土壌カラム実験を実施した。そのため、高速道路塵埃を大量(100kg以上)入手して、それを用いて作成した模擬道路排水を対象とした土壌カラム浸透実験を3ヶ月間にわたり実施した。特に、降雨の間欠性も考慮をして連続浸透と間欠浸透の二条件で長期間の実験を行い、涵養地下水の水質評価を行った点は特筆すべき成果と判断している。それは、単なる一般水質項目である有機物や栄養塩類、重金属に留まらず、フッ素系界面活性剤などの微量有機化学物質も同時分析を実施した点にある。そして、溶出しやすい重金属とフッ素系界面活性剤については、土壌吸着機構や水質変換機構についても考察を加えたことも新規性の高い研究成果である。

3) 下水処理水とその土壌カラム実験を通じた涵養地下水の水質評価

従来の環境基準や水道水質基準にある水質項目に加えて、エストロゲンや医薬品類、さらにはバイオアッセイによる水質特性を評価することが、今回の研究課題では重要な位置づけとなっていた。そのために高感度LC/MS/MSを新規導入して、多くの都市排水や環境水中の当該物質の化学分析手法を確立するとともに、低濃度に存在する物質の濃縮方法と組み合わせた複数のバイオアッセイ手法の検討を進めた。

下水処理過程における微量汚染化学物質の除去過程の調査研究、下水処理水の土壌カラム実験研究を組み合わせ実施した。そして、下水処理水、その土壌涵養水に上記の分析手法を適用して、微量化学物質の存在状態や除去過程を調べ、リスク評価データを数多く入手した。特に、抗生物質のLC-MS/MSによる分析法の確立とオゾン処理過程における除去機構の解明は、本研究項目において非常に大きな貢献をした内容である。なお、研究期間後半では、医薬品に加えて、フッ素系界面活性剤も対象に追加して、幅広く微量化学汚染物質の検出に努めた。

一方、下水処理水を涵養した場合の土壌微生物による浄化メカニズムの解析、土壌浄化機能評価のための安定同位体プローブ法と平板培養法を用いたエストラジオール分解菌の探索、放射性同位体元素を利用したエストロン分解菌の探索を進めた。これにより、下水処理水中のエストロゲン物質の分解に関与する微生物群集構造の把握や、エストロン分解菌の検出手法を体系立てて開発できたことは非常に有意義な成果の一つである。

4) 多面的な水質評価のための「ものさし」の作成

水道水源を含む全国一級河川水を対象に、数多くの化学分析項目およびバイオアッセイによる毒性データを多面的に評価する作業を実施して、水質リスクのスコアリングやラン

キングする手法の検討材料を集積した。具体的には、2ヶ年間で北海道及び8地方整備局の管轄区域から4河川ずつ36河川と流下に伴う変化を調べるモデル河川として1河川（多摩川）の合計37河川を対象に水質調査を実施した。そして、環境ホルモン物質や医薬品類を含め、多面的な化学分析項目およびバイオアッセイを行い、下水処理水や土壌浸透水の水質レベルを相対的に把握するための物差しとなる基礎データとして整理した。水質環境基準項目だけでなく、未規制汚染物質を含めて水質評価できたことから、水質特性を反映する項目群ごとにランクを設けることで、レーダーチャートとして表示でき、数値ではなく、図として水の「質」の特徴をわかりやすく示すことができたと考えている。

また、全国40地点の化学分析データやバイオアッセイのデータを非超過率の形で表示することで、水質ランキングを通じたリスクのラベリング手法の手順や表示のあり方について具体的に進展させることに成功した。この非超過確率分布を数多くの水質項目について提示したことは、国際的にも斬新であり、水質を相対的に比較して、水利用者 に理解しやすいものにする工夫として非常に役立つものと判断している。

5) 都市域周辺における地下水収支と大都市における水資源賦存量の推定

水資源の再利用と水利施設の適正配置を提案する基礎的なツールとして、GISデータを利用した流域内の水収支モデルと水質ハイドログラフ算定手法を確立して、都市域周辺における地下水収支や水質の議論が可能なモデルの基礎を築いた。具体的には、浅層地下水と河川の水質の相互作用を検討可能な複合流域モデルの作成、複合流域総観モデルへの蒸発散量サブモデルの新たな組み込み及び地下水・河川水の水質解析、多種類多項目データを活用した水質と河川特性との相互関係の解析を実施した。

また、温帯と熱帯地域に広がるアジア地域を対象に、簡単な水資源賦存量の推定方法を提案して、水資源問題を抱えるアジアのメガシティと我が国の大都市における水収支推定を行った。同時に、国内の大都市における人工的な水循環系が、水文学的な水収支においてどのような位置づけにあるかを相対比較可能な水収支マップを作成した。

6) 水質スコアリング、ラベリング、ランキングから水利用のラベリングへ

上記の一連の現場調査と水質測定を元に、都市に存在する道路排水や下水処理水、さらにはそれらの土壌浸透水の水質レベルを相対的に評価する方法の開発を目指した。それは、3ステップアプローチであり、Step1は、スコアリング(点数化)であり、各項目規制値の科学的根拠を個別に考慮して、各項目リスクの得点換算を行う。次に、Step2では、ラベリング(ラベル貼り、特性化)を想定用途・処理効率等からの特性表示を行う。そして、Step3のランキング(等級付け)では、利用用途・状況に合わせて具体的対応を伴う判定結果を示すものである。

科学的根拠を基礎におきながら、さまざまな環境水や都市の水に対してスコア化やラベル化を適用しながら、同時にその水質レベルを全国河川の水質のものさしと相対比較させることで、水利用者や利害関係者にわかりやすい水質リスク表示のあり方を提案した。この成果が、結果として都市の自己水源の水質リスク評価につながり、水利用者の選択判断の材料となりうると考えられる。

まさに、屋根雨水や道路排水、下水処理水やその高度処理水、さらには涵養地下水など、新たな都市の水源について、その水質のスコアやラベルやランクを統合・総合化して評価できる手法を提案したことになる。さらに、ある都市の水の特徴づけだけでなく、それをさらに処理して、飲用に供するのか、親水用水、修景用水に使うのか、雑用水に使うのかというランク設定を合理的に行うために、処理方法の高度化あるいは土壌涵養処理という方法の処理コストやエネルギー消費量の原単位の試算を行ったことから、より具体的なシナリオ決定へとつながる基礎データの整理も進められたと認識している。

7) 都市内自己水源の適正利用に特化した水量収支モデルの構築

都市居住者の身近な水環境評価に対する意識調査結果を用いて、水環境評価モデルを構築するとともに、まちなかの水環境に対する意識面での水質要求特性の分析を行い、地下水涵養を

通じた水収支バランス化方策の提案、居住者水利用負荷と地域の浸透還元機能のバランスを示す新たな指標導入の検討などを実施した。

地下水涵養を念頭に置いたストック型の水供給について検討する場合に流域を構成する各地区がどのような位置づけを有するのか、定量的に評価する必要がある。そこで雨水浸透と都市活動や土地利用とのバランスを把握できる指標としてウォーターサプライ・フットプリント(WSFP)指標を提案した。WSFP 指標は、地区内で都市活動を行う居住者や事業者の水利用に対して、雨水浸透という形で自然に還元する場合に、その地区の面積がどれだけ必要になるかを表現する指標であり、エコロジカルフットプリントに類似した概念に基づいている。雨水浸透・地下水涵養の効果的達成方策を評価するための新たな指標であると考えている。

そして、これらの研究成果を活かし、東京都野川流域における活動特性の異なる複数の地区を対象として、地下水涵養を通じたストック型の水供給や、各地区の雨水や下水再生水の可能供給量及び、潜在的需要量を明らかにすることで、都市内自己水源の有効活用に向けた具体的な事例検討を行った。

上記の7つの成果は単独の研究グループだけで達成したものではなく、グループ間相互の協力やチーム全体での共同作業の結果生み出されたものである。特に、最終年度は、都市域に存在する自己水源の水質のラベリングや水利用のラベリングの検討を行った。そして、雨水や処理水、さらには涵養地下水という都市自己水資源の適正な配置や利用方策に向けて、水質データなど個別の研究成果を共有してグループ横断的なリスクラベリングに関するタスクグループ活動を重点化した。そして、水利用者や関連利害関係者にわかりやすい水質リスクの表示方法、リスクのスコアリング・ランキング・ラベリングの手順やその方法論の妥当性の検証を行うために、実務者へのアンケートやワークショップ、国際シンポジウムを行い、成果の自己評価と最終とりまとめを行った。これらの協調連携研究活動が、最終的に新規性があり、魅力的な研究成果をもたらしたものと考えている。

参考のために、図 1.2 に過去 5 年間の研究展開と主要な研究内容を示した。

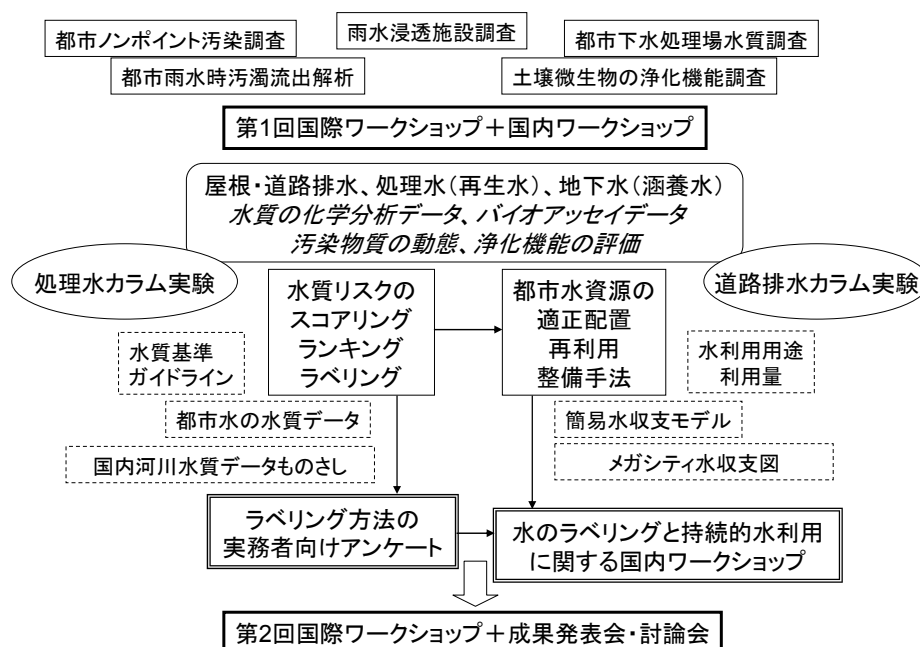


図 1.2 研究展開の流れと成果発表

2 研究構想及び実施体制

(1) 研究構想

当初研究目標と新たな展開に伴う追加目標

都市における目指すべき水循環システムは、現在のようなダムに依存した一過式のものから、ストック型水源である地下水を含めた多様な自己水源を再評価した上で構築され直すべきである。言い換えれば、その構造は自律的で小規模・分散型であることが想定される。都市にある多様な自己水源の水質レベルや水利用におけるリスクを理解して、そのリスクを管理可能な都市水循環系の構築と都市における自己水資源の再利用と適正配置を目指すためには、都市の水循環系と流域全体の水収支とのつながりに配慮して、人工的な都市水循環や水利用における課題をリスク面から課題を抽出して、その内容を明確化する必要がある。

本研究ではリスク物質として、都市活動に伴い排出される化学物質に焦点を絞る。そして、すでに顕在化している有害化学物質だけでなく、多数の未知化学物質による汚染実態を調べるとともに、化学物質濃度とバイオアッセイを組み合わせさせた影響評価手法を駆使して、水質リスクとして評価する。最終的にはリスク管理型の都市水循環系の構造と機能のあるべき姿を創出するための知見を体系的に整理することを目標とした。そのために、次に示す5つの項目設定を行い、図 2.1 に示すように、研究グループ相互の連携を取りながら、整合性のある研究成果を体系立てて蓄積することを試みた。

研究計画・進め方の概要

5年間を研究期間として、以下に示す5項目を軸に研究展開を進めた。すなわち、都市の水フローとしての上水道と下水道システムにおけるリスク物質の動態を理解しながら、都市ノンポイント汚染に代表されるような時空間的に水の質が変化する現象の把握、自己水源となりうる涵養地下水の質変換や汚染物質の動態の把握、水利用の許容性を踏まえた用途別のリスク評価などを主要な基礎研究項目としている。

- 1) 都市ノンポイント汚染物質の動態評価・モデル解析
- 2) 地下水圏の浄化能を考慮した地下水の適正利用手法の開発
- 3) 都市域水循環・再利用から見た都市排水の水溶性微量汚染の評価
- 4) 都市水循環システム構築のための水質リスクの多面的評価
- 5) 都市内自己水源の都市域再利用に特化した水量収支モデル・水質指標の構築

ただし、「都市内自己水源の都市域再利用に特化した水量収支モデル・水質指標の構築」に関しては、当初、「水資源の再利用と適正配置モデルの構築」を目標としたが、都市内自己水源の利用に関する水量収支モデルと水質指標の構築に特化して研究を進めた。

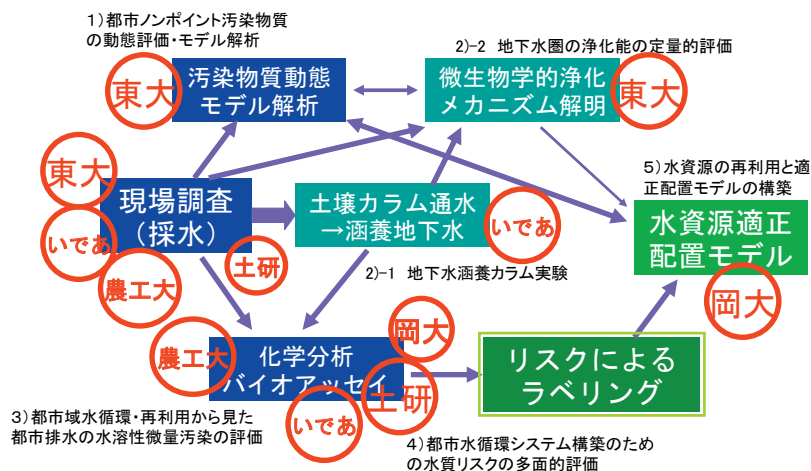


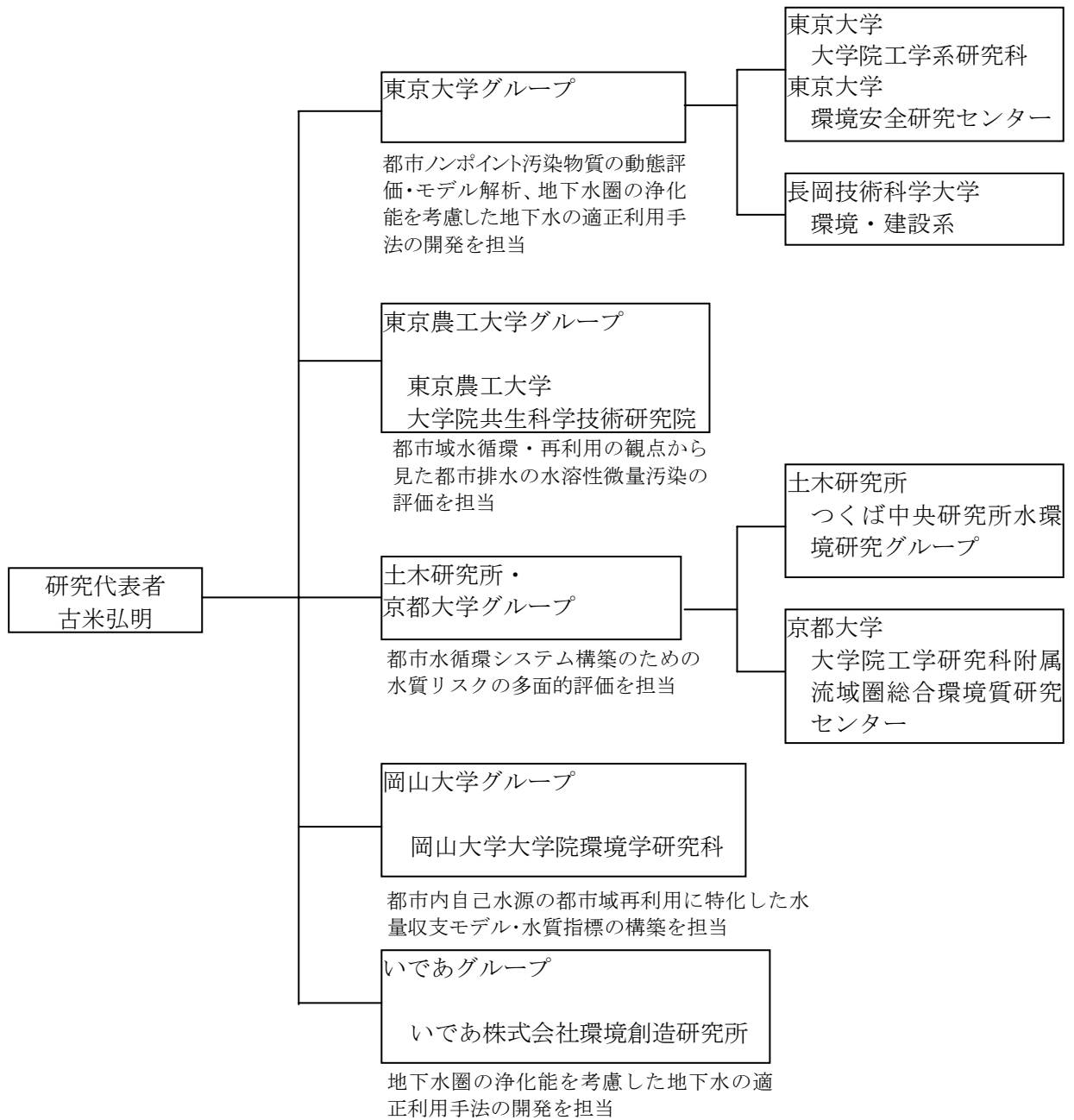
図 2.1 研究項目とグループの相互関係

当初3年間で集中的に雨水浸透施設整備地域や下水処理場などでの現場調査、試料の化学分析やバイオアッセイ、下水処理水と道路排水を対象としたカラム実験などを実施した。そして、後半2年では、都市における水収支の評価作業、水のリスク評価研究を進展させながら、最終的な成果となる、水のラベリングと都市域再利用に特化した水量収支モデル・水質指標の構築に関する成果を出すこととした。

具体的なアプローチとしては、表流水だけでなく、地下水、屋根雨水および道路排水、再生水、涵養地下水などを対象とした調査研究、地下水涵養のカラム実験研究、さらに汚濁モデル解析や水資源の適正配置のための水量収支モデル・水質指標の構築研究などを組み合わせて実施する。現場採取試料と実験試料について、化学分析結果とバイオアッセイを組み合わせた多面的な分析を行い、都市域の潜在的な水資源における有害化学物質の動態と水質のリスク評価を進める。

グループ横断的なリスクによるラベリングに関するタスクグループ活動を展開した。そして、水利用者や関連利害関係者にわかりやすい水質リスクの表示方法、リスクのスコアリング・ランキング・ラベリングの手順やその方法論の基礎を築いた。多様な都市水資源の安全性をマトリックスとして明示を試みる。流域水の収支と関連づけて、都市において利用可能な水資源に関する「リスクのラベリング」情報は、利害関係者の水利用選択の自由度や柔軟性を確保する上で重要なものとなり、最終的には都市域自己水資源の戦略的活用の提案につながるものと考えられる。

(2)実施体制



3 研究実施内容及び成果

3.1 都市ノンポイント汚染物質の動態評価・モデル解析(東京大学グループ)

(1)研究実施内容及び成果

本研究では、都市域における PAH(多環芳香族炭化水素類)や重金属などの都市ノンポイント汚染物質の分布、存在状況を明らかにするとともに、雨水浸透施設における道路排水浸透過程において、これらの都市ノンポイント汚染物質がどのような動態を示すのかを明らかにした。更に、都市ノンポイント汚染物質の雨水流出時の挙動をモデルで評価するために、衛星画像を用いて都市地表面の状態を判別し、雨水流出解析の精緻化を検討した。また、分布型モデルへの雨水浸透施設の組み込み方法について検討をし、各種浸透施設ごとの雨水浸透量の定量的評価を試みた。

1. 都市ノンポイント汚染物質の分布と存在状態の評価

雨水浸透施設におけるノンポイント汚染物質の調査例は海外にあるが(Mikkelsen et al. 1996)、その起源と動態には不明な点も多く、化学形態などの詳細な評価にまでは至っていない。雨水浸透施設の導入されている東京都練馬区内の下水道排水区を対象に、道路塵埃、雨水浸透樹堆積物の採取と、PAH(多環芳香族炭化水素類)や重金属などの存在状態分析を行なった[Murakami et al. 2005, 2007, 2008 b 論文; 村上ら 2006a, b 論文; Aryal et al. 2006b, 2007 論文]。道路塵埃については、比較対照試料として都心部の幹線道路周辺のものも合わせて採取した。道路塵埃については、粒径や比重に着目した分画を行い、また堆積物については堆積深さ方向の汚染分布について調査した。また、採取した塵埃及び堆積物の実験室内での溶出実験を行い、環境中での重金属の動態について評価した。

まず、道路塵埃中の PAH について、その組成から起源を推定する手法を検討した[Pengchai et al. 2004, 2005 論文]。189 報におよぶ文献値および自らの実測値に基づいて、起源 PAH 組成を類型化し、重回帰分析による主要な起源の推定を行ったところ、場所によってタイヤや舗装もディーゼル排出物と並んで主要な PAH 起源となっていることが示唆された。また、粒径と比重により分画した道路塵埃中の PAH を比較すると、比重の小さい画分は存在量(重量)としての寄与は数%であるにも係わらず、PAH の総量では道路塵埃中の 28~44%を占めており、粒子重量当たりの PAH 含有濃度で見ると比重の大きい粒子よりも 1~2桁高い濃度であることが明らかとなった[Murakami et al. 2005 論文]。

次いで、雨水浸透樹等の浸透施設導入以来 20 年以上経過した下水道排水区において、雨水浸透樹堆積物の蓄積状況を調査すると共に、浸透域土壌、住宅地道路塵埃、幹線道路塵埃を採取し、その重金属類の蓄積及び溶出特性を評価した。その結果、浸透樹堆積物では Pb、住宅地道路塵埃では Zn、幹線道路塵埃では Cr、Cu、Zn、Cd、Pb の汚染のレベルが顕著であることが示された[村上ら 2006a 論文]。溶出実験の結果、幹線道路塵埃からの Cr の溶出濃度が比較的高く、都市交通活動に由来した重金属の溶出が示唆された[村上ら 2006b 論文]。更に、塵埃粒子における重金属の局所的な存在状態を評価するために、電子線マイクロアナライザー(EPMA)を用いて、幹線道路塵埃、住宅地道路塵埃、雨水浸透樹堆積物を解析した[Murakami et al. 2007 論文]。その結果、幹線道路塵埃では Cr、Pb の両方を含有する粒子が多く存在したのに対し、住宅地道路塵埃及び樹堆積物では、両方とも含有している粒子は少ないことが示された。塵埃・堆積物の起源を推定するために、道路標識用の 3 種類の黄色塗料についても分析したところ、3 種類ともに Cr 及び Pb を含有し、Cr と Pb との X 線強度比は、幹線道路塵埃の X 線強度比と概ね一致することが判明した(図 3.1.1)。

さらに都市域の地下水の汚染を調査し、有効利用の可能性を評価するため、東京都区部の地下水の水質調査を行った[Takizawa et al. 2007 ポスター発表]。図 3.1.2 には本プロジェクトでの調査結果以外も含めた不圧地下水のアンモニア性窒素および硝酸性窒素の

分布を示した。アンモニア性窒素と硝酸性窒素濃度の合計濃度が、硝酸性窒素の環境基準である 10mg/L を超えた地点は、不圧地下水において 10% (5/51 地点)、被圧地下水で 9% (4/55 地点) 存在した。これらの地点の地下水は有効利用上支障をきたす可能性があった。不圧地下水の窒素濃度の空間分布に傾向が見られ、東側の東京低地は DO が低く、アンモニア性窒素が多く検出され、西側の台地は DO が高く、硝酸性窒素が多く分布していた。被圧地下水では、アンモニア性窒素は臨海部や東側の一部で検出され、硝酸性窒素はほとんど検出されなかった。本プロジェクトにおいては、都東部では、この地域に典型的な被圧帯水層と不圧帯水層が入り組んでいる地域の地下水を 1 地点、都東部の砂層の地下水を 1 地点採水した。これらは共に DO が 1~2mg/L と低い典型的な都東部の地下水であり、かつアンモニア性窒素が 20mgN/L と高濃度な地点であった。都西側では、台地上の武蔵野礫層中の地下水を 3 地点、および多摩川近傍の 1 地点で採水した。これらは共に DO が 7~8mg/L と高い典型的な礫層および砂層の地下水であり、5~9mgN/L のやや高濃度の硝酸性窒素が検出された。

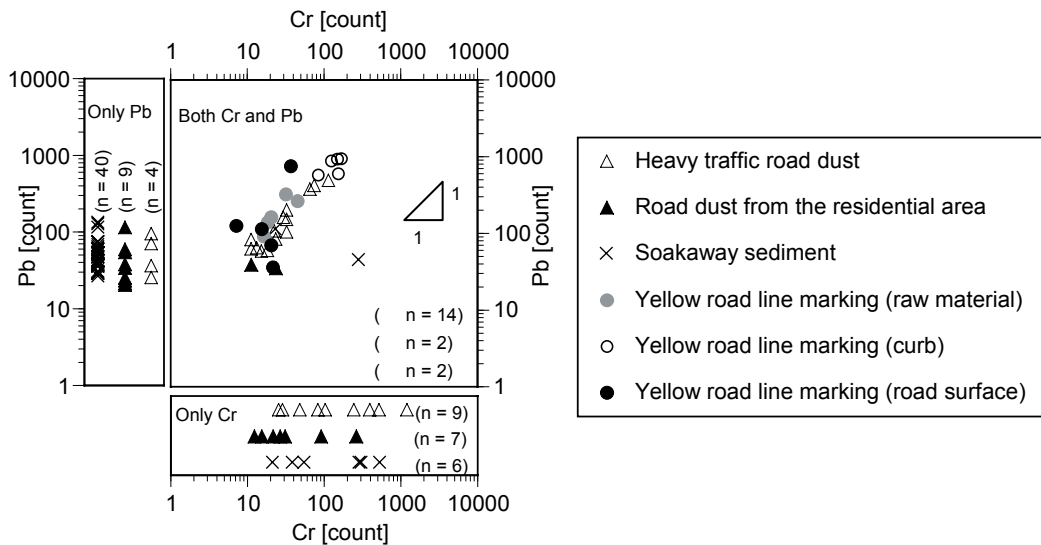


図 3.1.1 道路塵埃及び道路標識用黄色塗料中 Cr 及び Pb 含有粒子における Cr 及び Pb の X 線強度比

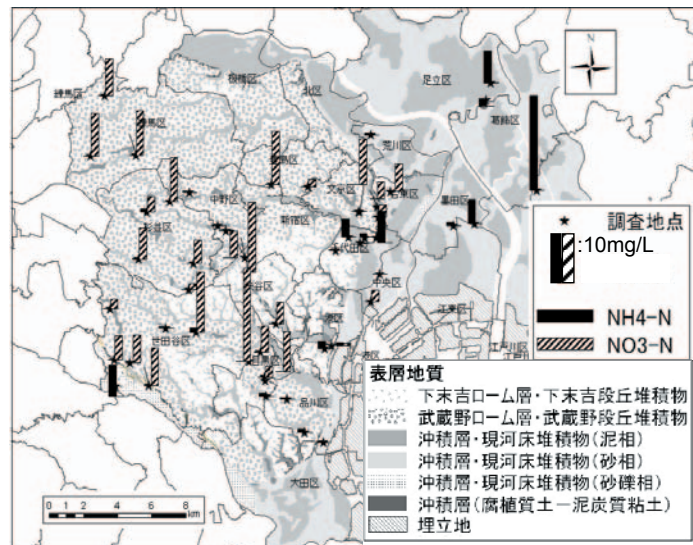


図 3.1.2 東京都の不圧地下水の窒素濃度の分布

2. 土壌浸透過程における重金属の動態評価

土壌浸透過程における重金属類の挙動を評価するために、土壌カラムを用いて模擬道路排水を 12 週間にわたって連続通水/間欠通水し、重金属のカラム内における挙動を追跡した。本研究では、抽出条件に応じて、重金属類を残留画分、酸化画分、還元画分、酸交換画分に分類した(Ure et al. 1993)。ここでは、酸化画分、還元画分、酸交換画分は、可動性画分と見なした。間欠通水条件では、連続通水条件に比べて、可動性画分の重金属類が減少する傾向が示された。また、カラム内の土壌に含まれる腐植物質の特性を FT-IR (Fourier Transform-Infrared Spectrometer) によって解析したところ、連続通水している土壌と間欠通水している土壌とでは、腐植物質の FT-IR スペクトルに顕著な差異が見られ、通水条件が土壌有機物の特性に影響を与え、酸化画分の重金属の減少傾向などが観察された。

雨水浸透樹が実際に設置されている地点の土壌を採取し、土壌への重金属の吸着特性を評価した。特に、重金属間の競合的な吸着反応に着目し、表層及び下層の土壌について、それぞれ 6 種類の重金属 (Zn, Cd, Ni, Cu, Pb, Cr) を単独添加する系と、二種類の重金属を添加する系の計 21 ケースの吸着実験を行い、Langmuir 平衡式と Freundlich 平衡式を適用することで、競合的な吸着関係を定量的に整理した。その結果、Cr, Pb, Cu は競合性が高いのに対して、Zn, Cd, Ni は競合性が低い性質があることが明らかになった。図 3.1.3 は下層の土壌に対する Zn および Cu の吸着特性を示しており、Cu の共存により大幅に Zn の土壌への吸着が低下するのに対し、Cu は Zn や Ni の共存の如何によらずほぼすべてが土壌に吸着されることが分かる。逐次抽出法によって、重金属の存在形態を分析したところ、競合性の高い Cr, Pb, Cu については、酸交換画分だけでなく、還元画分や酸化画分への吸着も観察されたのに対し、競合性の低い Zn, Cd, Ni は、酸交換画分への吸着がほとんどであることが明らかになった。これらのことより、吸着部位の選択性の差異が競合性を決定する因子の一つになっていることが示唆された。

更に、雨水浸透樹堆積物を対象として、堆積物中の重金属の溶出特性についても考察した。溶存態重金属類を化学形態別に分析することで、Cu などの有機錯体が堆積物に吸着される一方で、Zn などのフリーイオンが堆積物から溶出されることが確認された [Murakami et al. 2008 a 論文]。また、有機物との錯体形成、pH の低下、還元状態などが、重金属の溶出に影響することが確認され、特に有機物との錯体形成が重金属の存在形態の変化に大きく寄与することが示された [Aryal et al. 2007 論文; Hossain et al. 2007 論文]。各種重金属の溶出特性を評価した結果、移動性が高い Zn, Cd, Ni だけでなく、Pb や Cu も堆積物からの溶出がありえることが明らかになった。

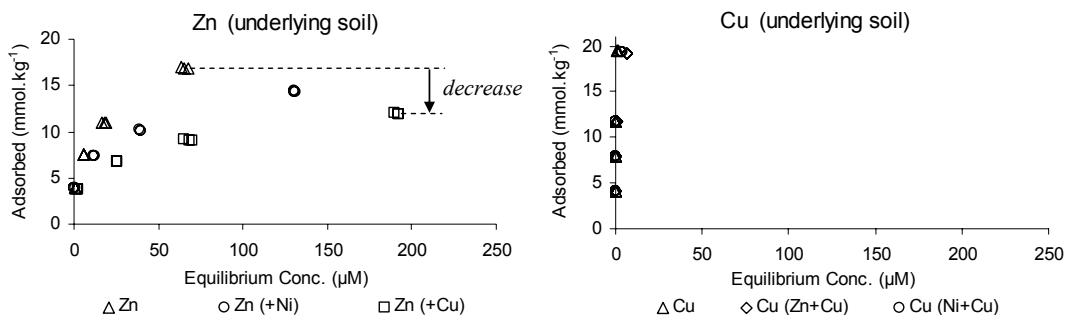


図 3.1.3 下層土壌への亜鉛・銅の吸着に対する共存する他の金属の影響

3. 衛星画像を用いた都市地表面情報の解析と雨水流出解析への応用

都市ノンポイント汚染物質の流出解析の精緻化を目的として、市街地の高分解能衛星画像から浸透域である植生地を抽出するアルゴリズムについて検討を行った [Kim et al. 2007 ポスター発表]。今回用いた IKONOS 衛星画像では、赤色光、青色光、緑色光、近赤外光の情報を利用することができる。従来、植生地の抽出に用いられてきた正規化植生指

数(NDVI=(近赤外光-赤色光)/(近赤外光+赤色光))では、植生地と青・緑色の屋根とを区別することが困難であることから、抽出条件の最適化を進めた。その結果、(近赤外光-赤色光)、(近赤外光-緑色光)、(近赤外光-青色光)という3つの差分値を組み合わせて、植生地の特徴を評価した結果、新たに都市植生地指標(UVI=(近赤外光-緑色光)/(近赤外光-赤色光))という指標を用いることで、人工芝や緑・青色の屋根を除外して、植生地のみを精度よく抽出することに成功した。

次に、UVIによる植生地抽出が、雨水流出解析の結果にどのように反映されるのかを評価するために、細密数値情報の土地利用に基づいた従来の雨水流出解析と、IKONOS衛星画像と東京都都市計画地理情報システムを組み合わせることで土地利用を抽出した結果に基づいた雨水流出解析を比較した。その結果、初期流出の部分において、後者の方が実測値に近い流出パターンを再現できることが示唆された。

4. 浸透施設を組み込んだ雨水流出モデルの構築と都市域水収支の評価

雨水浸透施設の導入されている東京都練馬区内の下水道排水区を対象に、マンホールや下水管をモデル化可能な分布型モデルに浸透施設を組み込み、工種別・浸透施設別の浸透量を考慮した雨水流出解析を行い、その再現性について検討した。雨水浸透施設による浸透量の評価は、昭島つつじヶ丘ハイツのように住宅地域における報告例は既にあるが((社)雨水貯留浸透技術協会 2002)、本研究では、白子川及び石神井川流域における市街区域における雨水浸透機能の評価を行った。その結果、浸透施設の適切なモデル化による再現性の大幅な向上が認められた[Furumai et al. 2005 論文]。このモデルを用いて降雨規模ごとの各種浸透施設の効果を定量的に比較したところ、大降雨ほど浸透LU側溝の寄与が相対的に大きくなることが分かった[村上ら in press 論文]。

さらに、日本の各都市域における降雨量、浸透量、蒸発散量、地表面流出量に、都市活動による水利用量を関係づけることで都市域における水収支を明らかにした(図3.1.4)[Moroizumi et al. 2007 ポスター発表]。その際に、水量を降雨量と比較できるように都市面積で除する、水源を取水点に応じて都市内の地表水、都市外の地表水などに区別してまとめる、といった工夫を凝らした。得られた水収支に基づいて、都市域における水利用の自立性の指標を提案した。提案された指標は、①水供給自立度、②雨水潜在水供給度、③地下水涵養度、④工業用水再生利用度、⑤下水処理水再生利用度、⑥下水高度処理度、である。札幌市、仙台市、広島市が比較的良好であったのに対し、東京23区、名古屋市、大阪市における水利用の自立性は低いと判断することができた。本指標は、水利用の自立性の観点から問題を抱える都市の判断基準として有用であると考えられた。

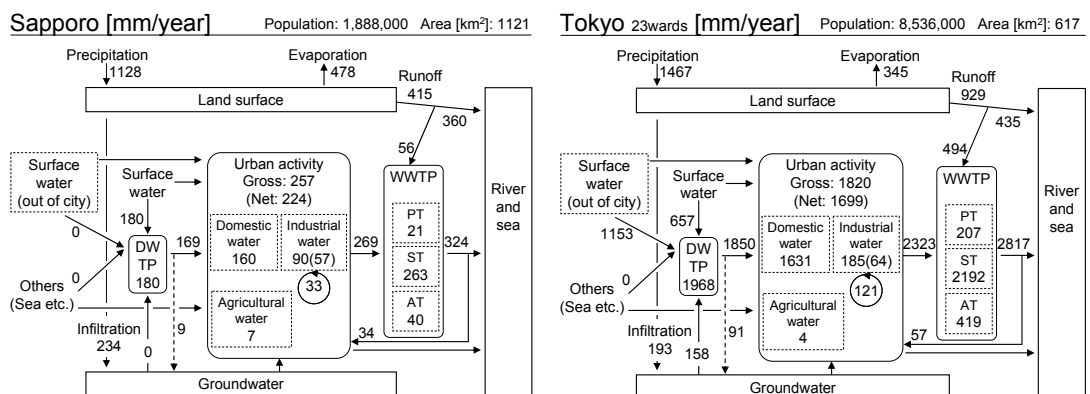


図 3.1.4 札幌市及び東京における水収支

(2)研究成果の今後期待される効果

本研究では、PAH 組成に基づいた汚染物質の起源推定、電子線マイクロアナライザー

による塵埃粒子表面の重金属分析、逐次抽出法による重金属の存在形態など、都市ノンポイント汚染物質の起源、分布、存在状態に関する貴重な情報が多数得られた。これらの知見は、都市ノンポイント汚染物質の動態を議論していく上で有用と考えられる。また、都市域の雨水浸透施設の周辺土壌を対象として、重金属の存在状態や環境条件変化に対する溶出特性、競合的な吸着特性に関して多くの知見が得られた。雨水浸透施設を通じた地下水涵養を考える際に、これらの知見に基づいて、重金属に起因するリスクの定量化と変容の過程を考慮することは、健全な都市水循環系の構築に必須である。

衛星画像を用いて確立した都市地表面における植生地の抽出は、流出解析の精緻化に大きく貢献するものである。さらに、浸透施設を組み込んだ分布型モデルを構築し、都市雨水の地下浸透による地下水涵養の定量的評価が可能となった。上述の、汚染物質特性・動態に関する知見と、浸透施設も含めた都市雨天時流出の詳細な解析モデルとを組み合わせることにより、都市ノンポイント汚染物質の雨天時流出現象を詳細に把握できることが期待される。

<参考文献>

- (社)雨水貯留浸透技術協会 (2002) 雨水浸透貯留施設の 20 年経過における流出抑制効果に関する研究報告書 浸透工法導入 20 年の軌跡
- Mikkelsen P.S., Häfliger M., Ochs M., Tjell J.C., Jacobsen P. and Boller M. (1996) Experimental assessment of soil and groundwater contamination from two old infiltration systems for road run-off in Switzerland. *Sci. Tot. Environ.*, 189/190, 341-347.
- Ure A.M., Quevauviller PH., Muntau H. and Griepink B. (1993) Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques of the BCR of the commission of the European communities, *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, 51, 135-151.

3. 2 地下水圏の浄化能を考慮した地下水の適正利用手法の開発(東京大学グループ)

(1)研究実施内容及び成果

本研究では、小型土壌・地下水カラムシステムを開発し、下水処理水を涵養した場合の土壌微生物相への影響及び化学物質除去能について検討した。特に、分子生物学的手法を駆使して、微生物群集構造の解析ならびに化学物質分解に寄与する微生物の分類・同定を行い、微生物学的側面からの下水処理水涵養に伴う土壌環境への影響評価手法を開発するとともに、土壌・地下水圏における分解速度の定量化や汚染物質浄化機能を表現するモデルの構築を目指した。対象化学物質として、下水二次処理水中に含まれる微量化学物質の一つである 17 β -エストラジオール(E2)に着目し、土壌との比較のために、活性汚泥における E2 分解機構についても評価した。

1. 下水処理水の通水による土壌微生物相への影響評価

内径 25mm、長さ 150mm のアクリル製のカラムを 30 本作成し、カラム 1 本につき東京大学農学部の土壌 30 g を充填し、東京都内の下水処理場の処理水 2 種(未消毒・塩素消毒)および水道水の計 3 種の水を、4 週間にわたり流速約 1 mm/hr で通水した。下水処理水を通水した場合の DOC の経時変化を評価したところ、通水直後に充填土壌由来と考えられる高い値が観察された後、徐々に通水前の値まで低下し、10 日目には最も低い値を示した。10 日目以降、徐々に増加する傾向が見られたことから、7~10 日目で充填土壌による土壌浄化能は最大となり、10 日目以降は、土壌に吸着していた不溶性有機物が溶出し DOC の上昇が見られたと考えられる。

通水前後における土壌微生物の DGGE バンドパターンを考察した[Kurisu et al. 2005 口頭発表]。一ヶ月間の通水によりカラム内の土壌微生物群集構造に大きな変化は認められなかったものの、いくつかの微生物の DGGE バンドについて消滅または出現が確認され、比較的緩やかな微生物相変化が起こっていることがわかった。DNA シークエンス解析より、 β -Proteobacteria 群に属する微生物は比較的影響を受けやすく、下水処理水の通水により存在割合がやや増加する傾向が見られた。一方、Acidobacteria 群に属する微生物は下水処理水の通水によりほとんど影響を受けないことがわかった。また、土壌微生物相の変化に及ぼす影響としては、下水処理水の塩素消毒処理の有無による違いは認められなかった。

2. 消毒法の異なる下水処理水を用いた場合の土壌微生物相への影響評価

東京都内の公園の土壌 30g を充填したカラムに、3 種類の下水処理場二次処理水(未消毒、UV 消毒、塩素消毒)を約2ヶ月間にわたり流速約 1 mm/hr で通水した。流入水の平均 DOC は、未消毒、UV 消毒、塩素消毒それぞれ 5.4、5.8、6.5mg/l であり、塩素消毒により DOC が約 20% 高くなっている現象が認められた。未消毒下水処理水には 10⁵ 細胞/ml の細菌が存在したが、UV 消毒で 1/100 に、塩素消毒で 1/1000 に減少していた。このような水質の処理水を約2ヶ月通水したところ、流出水の DOC は、未消毒、UV 消毒、塩素消毒の系で、平均して各々 20%、27%、29%減少し、土壌による DOC の除去能が保たれていることが確認された。この除去能が土壌への吸着によるのか、微生物分解によるのかは今後の検討課題である。

通水による土壌微生物への影響を、ほぼ 10 日ごとの DGGE バンドパターンの変化より比較検討した。約2ヶ月間の通水を通して、未消毒、UV 消毒、塩素消毒の系で、バンドパターンに大きな変化は認められなかった。このことから、流速約 1 mm/hr の処理水の通水では、土壌環境は大きく攪乱されることなく、土壌微生物相が保持されたものと考えられた。

3. 土壌の有するエストロゲン分解・除去能の評価手法の開発

バイアル瓶に湿土壌 5 g、滅菌 Milli-Q 水 5 mL 及び 17 β -エストラジオール(E2) 100 μ g を添加し、暗所にて最長 5 日間振とうした。いずれの土壌を用いた場合でも、E2 は 5 日目

までに 95 %以上分解された。振とう時間の経過とともに土壤微生物 DNA の PCR-DGGE バンドパターンやバンド強度に変化が見られたが、E2 添加の有無による差は認められず、E2 分解菌由来のバンドを特定することはできなかった。次いで、畑地土壤に E2 を 100 μ g 添加した系において、安定同位体プローブ法 (SIP) と平板培養法を用いて E2 分解菌の探索を試みた[坂田ら 2006 口頭発表]。畑地土壤に添加した E2 は 2 日後にはほぼ完全に分解された。E2 を塗布した平板培養の結果、計 11 個のハロ形成コロニーが検出され、単離された 11 株のうち 6 株は *Streptomyces* 属細菌、1 株は *Paenibacillus* 属細菌と相同であることが明らかになった。ステロイド骨格の 4 つの炭素を安定同位体標識した E2 を用い、E2 を資化する細菌を探索した。安定同位体炭素が含まれていると考えられる高比重側の DNA 画分を分取したところ、*Bacillus funiculus*、*Sphingomonas* sp.、*Bradyrhizobium* sp. に相同性の高い 16S rDNA が検出され、これらの細菌が E2 の資化を行っていることが推察された。しかし、分離株と同じ位置の DGGE バンドは、高比重側の DNA 画分からは検出されなかったことから、平板培養法で単離された単離株の資化能については更なる検討が必要である。

下水処理水を土壤浸透させて地下水涵養する場合、処理水中に含まれる汚染物質の影響が懸念される。土壤への負荷を正確に評価するためにも、下水処理過程における汚染物質の除去特性を事前に把握することが重要である。放射性同位体元素で標識した E2 をスパイクしたバイアルに、2 箇所の下水処理場から採取した活性汚泥を添加し、培養を行ったところ、16 時間以内に E2 はほぼ全量分解されることが確認された。培養後の試料を採取し、放射性同位体元素を取り込んだ細菌を検出し、FISH によってその系統的な同定を試みた[Zang et. al. 2007 口頭発表]。放射性同位体元素を取り込んだ細菌は、全細菌数の 1-2% に相当し、それらの多くは β -*Proteobacteria* に属することが示された。また、 α -*Proteobacteria* や γ -*Proteobacteria* に属する細菌の一部も、E2 分解に関与していることが示された。 β -*Proteobacteria* に属する細菌群に特異的なプローブを複数用いることで、E2 分解菌の更なる絞込みを行った。その結果、*Sphaerotilus* 属の細菌が、主要な E2 分解菌であることが示唆された(図 3.2.1)。実際の土壤においても、*Sphaerotilus* 属の細菌が E2 分解に関与しているのかどうか、今後検討する必要がある。

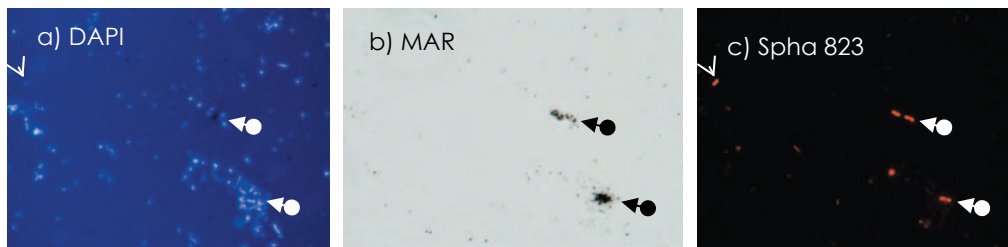


図 3.2.1 17 β -エストラジオール分解に関与する細菌の特定
a) DAPI 染色 (全菌)、b) MAR 画像 (放射性同位体元素を取り込んだ細菌)、
c) Spha823 プローブによる FISH 画像 (*Sphaerotilus* 属の細菌)

(2)研究成果の今後期待される効果

本研究によって得られた成果は、下水処理水による地下水涵養を議論する際に重要な情報(土壤微生物相に与える影響、生物学的な化学物質除去能)を提示している。これらの情報を活用することで、土壤の浄化機構を定量的に評価し、E2 をはじめとしたリスク因子の挙動を正確に把握することができると期待される。また、活性汚泥における E2 分解系において、放射性同位体元素と FISH を組み合わせた手法によって、E2 分解菌の同定が可能であることを示したが、ここで確立した手法は、その他の化学物質への応用も容易であり、土壤の生物学的な浄化機構を解明する上で有用なツールになると考えられる。

3.3 都市域水循環・再利用の観点から見た都市排水の水溶性微量汚染の評価(東京農工大学グループ)

(1)研究実施内容及び成果

都市自己水源の利用可能性を検討する上で、「質」の評価を行うことが非常に重要であると考えられる。本グループでは、全国一級河川に加えて、都内地下水や湧水などの環境水試料の水溶性微量汚染物質の評価を担当した。対象物質は、水溶性微量汚染物質である医薬品、抗生物質、陰イオン系界面活性剤、フッ素系界面活性剤等であった。

1. 下水処理過程, 河川及び地下水における医薬品の分布と動態解析

1990年代初頭より、欧米を中心に新たな環境汚染物質として医薬品が注目されてきたが、研究開始当初、日本における水環境中での汚染の有無を確認した例はなかった。また、地下水中の医薬品汚染に関する報告例は世界的に見ても限られている。そのような背景のもと、医薬品の分析方法の確立と下水処理過程, 河川及び地下水における医薬品の汚染実態の解明を行った。

対象とした物質は日本での使用量が多いと思われる医薬品類 13 種類であった(解熱鎮痛消炎剤: ibuprofen, naproxen, fenoprofen, mefenamic acid, ketoprofen, propyphenazone, ethenzamide, 抗てんかん剤: carbamazepine, 殺菌剤: thymol, triclosan, 酸化防止剤・医薬品原料: p-Hydroxybiphenyl, 昆虫忌避薬: diethyltoluamide, 鎮痒剤: crotamiton)。全ての対象成分で、相対標準偏差 12%以下, 回収率 70%以上と, 良好な分析方法を確立することができた。

医薬品の用途から、水環境において下水処理水が重要な汚染経路であると考えられたため、下水処理過程での医薬品の存在とその動態を明らかにした[Nakada et al. 2006, 2007 論文]。下水流入水中で濃度が高い成分は crotamiton, ibuprofen, triclosan, diethyltoluamide であり, 数百 ng/L 程度で存在した。同様に, 二次処理水中で濃度が高い成分は crotamiton, mefenamic acid, ketoprofen, diethyltoluamide, triclosan であり, 数百 ng/L 程度で存在した。図 3.3.1 に一次及び二次処理過程による医薬品の除去率を示す。Ibuprofene や thymol は一次及び二次処理による除去率が 95%以上であったが, crotamitone, carbamazepine, propyphenazone など一次及び二次処理過程による除去に限界がある成分も確認された。そこで, 高度処理(砂ろ過, オゾン処理)による医薬品の除去の評価を行った。その結果, 一次及び二次処理による除去が明確でなかった crotamiton などは, 砂ろ過による除去も比較的lowかったが, オゾン処理を加えることにより有効な除去が行われ, 高度処理による除去効果が期待できた(図 3.3.2)。オゾン処理は医薬品と同時に測

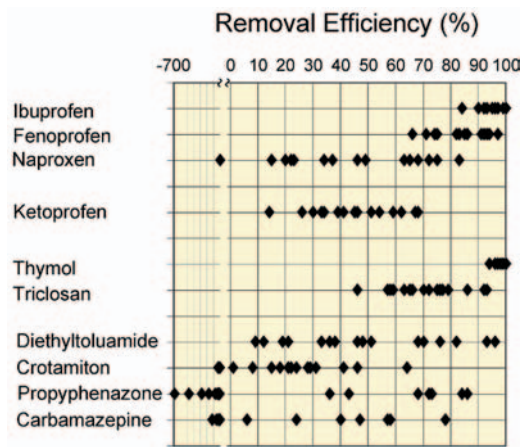


図 3.3.1 一次及び二次処理過程における医薬品の除去率

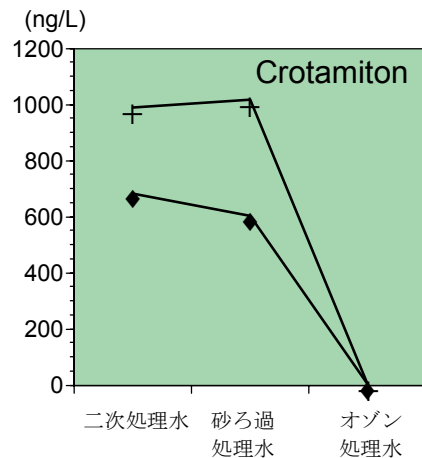


図 3.3.2 高度処理による crotamiton の除去

定した女性ホルモン類やフェノール系環境ホルモンの除去にも有効であり、オゾン処理に伴い女性ホルモン活性が処理前に比べて1%以下に低下することが確認された[Shinohara et al., 2006 著作物]

下水処理水中に多数の医薬品類が検出されたことより、下水処理水が放流される河川水中での医薬品の汚染の広がり懸念された。そこで、全国的な医薬品汚染の実態を把握するために、全国一級河川水中の医薬品濃度を測定した[Takada et al., 2007a 口頭発表]。全国一級河川の医薬品濃度を図 3.3.3 に示す。調査した河川全てにおいて、**ibuprofene**, **naproxen**, **triclosan**, **crotamiton**, **carbamazepine** などの医薬品が数 ng/L から数百 ng/L の濃度範囲で有意に検出された。特に、都市域における医薬品濃度が極めて高かった。中でも、**crotamiton** は全国の河川から広く高濃度で検出され、**crotamiton** 濃度と流域人口密度との間には強い相関関係が認められた(図 3.3.4)。よって、**crotamiton** が都市排水の影響を表す化学指標としての有用であることが示された。

次に、東京都内地下水における医薬品の汚染の実態を明らかにした。図3.3.5に地下水中の医薬品濃度を河川と比較して示す。調査した 16 地点のうち、14 地点から **crotamiton** が有意に検出され、**crotamiton** による地下水汚染が広域にわたることを世界で初めて明らかにした。その濃度レベルは河川と同程度であった。このことは、二次処理水を用いた土壌カラム実験において、**crotamiton** が土壌による除去を受けにくいという結果と調和的であった[篠原ら, 2006 論文]。下水の漏れなどが土壌を経由して地下水汚染を引き起こしていることが示唆された。

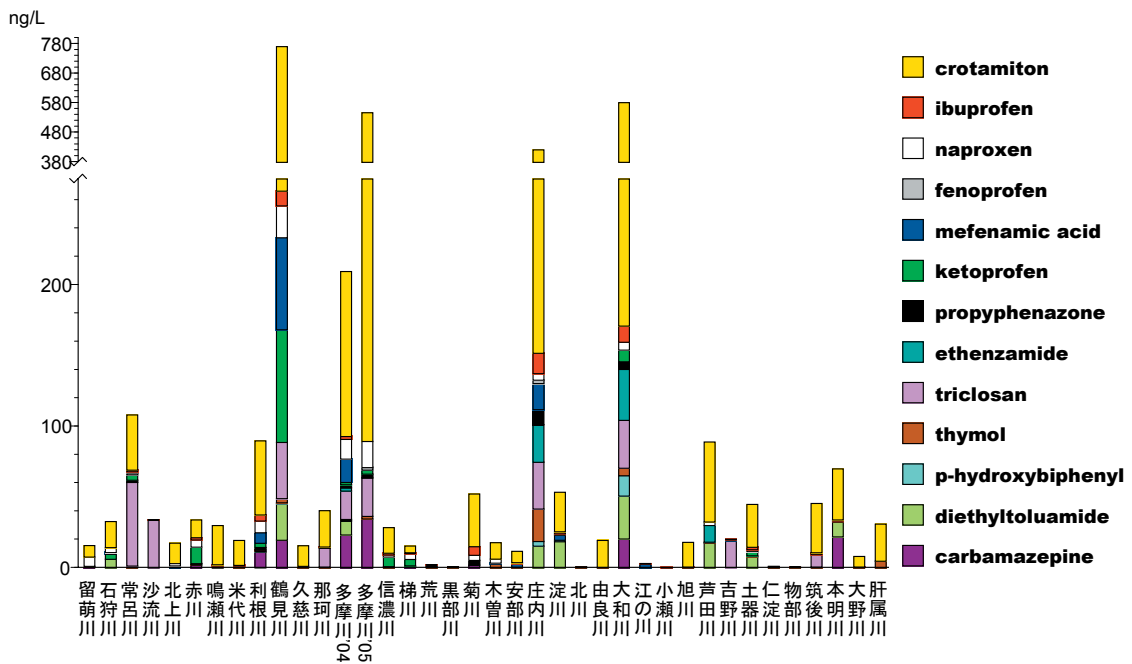


図 3.3.3 全国一級河川水の医薬品濃度

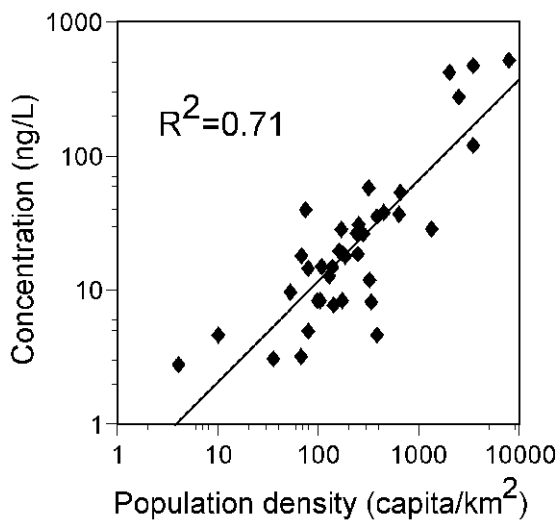


図 3.3.4 全国一級河川の流域人口密度と crotamiton 濃度の相関関係

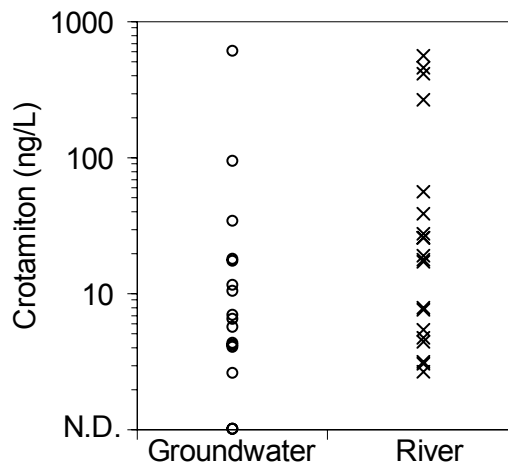


図 3.3.5 全国一級河川及び地下水中 crotamiton 濃度の比較

2. 河川における抗生物質の汚染実態の解明

医薬品と同様に、日本における水環境中の抗生物質の存在と分布に関する情報は限られている。そこで、人及び畜産用途に用いられる抗生物質分析方法の確立と河川水中の抗生物質の汚染の実態解明を目的とした。

対象としたのは、抗生物質の中でも使用量が多いサルファ系抗生物質 8 成分 (sulfamethoxazole, sulfapyridine, sulfathiazole, sulfadimethozine, sulfamerazine, trimethoprim) 及びマクロライド系抗生物質 4 成分 (erythromycin-H₂O, clarithromycin, roxithromycin, azithromycin) であった。全ての成分で相対標準偏差 9% 以下、回収率 74% 以上の良好な結果が得られた。

図 3.3.6 に全国一級河川における抗生物質の濃度を主要な 7 成分に関して示す [Managaki et al., 2007 口頭発表]。全ての河川からいずれかの抗生物質が有意に検出され、抗生物質の汚染が全国規模で広がっていることが明らかとなった。検出された抗生物質のうち、sulfapyridine が主要な成分であり、河川水中で数 ng/L ~ 数百 ng/L で検出された。庄内川、大和川では他の河川より高濃度で抗生物質が検出された。これらの河川は流域人口が多いためと考えられる。また鹿児島県の肝属川は他の河川の濃度組成とは異なり sulfamethazine が相対的に高濃度で検出された [Managaki et al., 2007 口頭発表]。sulfamethazine は動物用抗生物質として使用されており、肝属川の流域では養豚が盛んなことから、検出された抗生物質は家畜排水由来と考えられた。

家畜排水由来の抗生物質の河川への寄与を明らかにするために、畜産業が盛んに行われている群馬県赤城山麓において、さらなる詳細な調査を行った [村田ら, 2007 口頭発表]。最上流部に位置する粕川からは抗生物質は検出されなかったのに対し、畜産業が盛んに行われている地域の下流を流れている荒砥川では、sulfamethoxazole, trimethoprim, erythromycin-H₂O, clarithromycin, roxithromycin が検出された。中でも sulfamethoxazole と trimethoprim が数十 ng/L と、比較的高濃度であった。このことから、検出された抗生物質は山麓における家畜排水の影響を受けていると考えられる。実際に、家畜排水とその活性汚泥処理水から高濃度の sulfamethoxazole と trimethoprim が検出された。家畜排水では sulfamethoxazole 50,128 ng/L, trimethoprim 1,806 ng/L, 家畜排水活性汚泥処理水では sulfamethoxazole 378 ng/L, trimethoprim 6999 ng/L であった。一方、市街地を流れる早川を含む最下流 3 河川では、clarithromycin や azithromycin 等のマクロライド系抗生物質が相対的に多く検出された。全国一級河川を対象とした調査においても都市河川では

clarithromycin や azithromycin が多く検出される傾向があり(図 3.3.6), 市外区域を通過した最下流の河川から検出された抗生物質の濃度組成が都市河川と類似していることから, 検出された抗生物質は主に下水から供給されていると考えられた。

さらに, Vietnam の Mekong Delta における抗生物質の調査も行い, 国間比較を行った [Managaki et al., 2007 論文]。Mekong Delta におけるサルファ系抗生物質は多摩川と同程度だったが, マクロライド系抗生物質は多摩川よりも顕著に低濃度であった。Vietnam における豚などの家畜排水から sulfamethazine が特徴的に高濃度で検出され, 肝属川と同様の結果が得られた。Sulfamethazine が家畜由来の汚染物質のマーカールとして機能する可能性が示唆された。

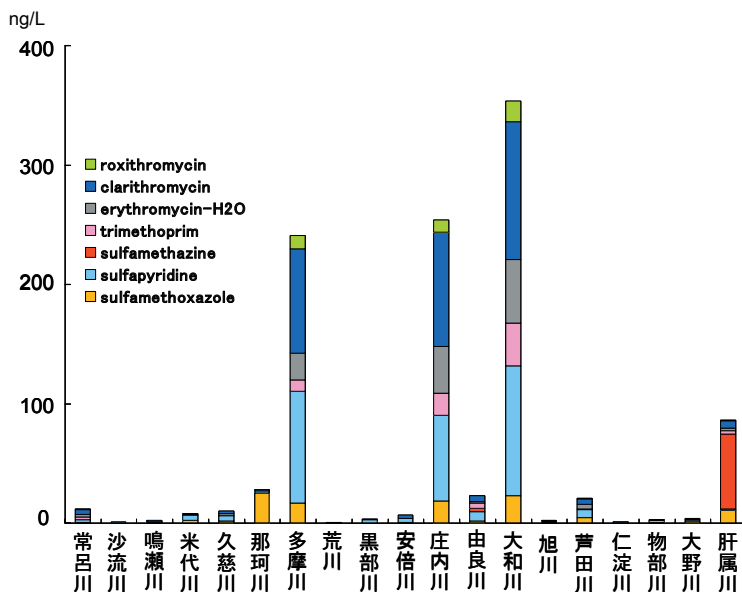


図 3.3.6 全国一級河川中の抗生物質

3. 下水処理過程及び河川における陰イオン界面活性剤直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩(LAS)及びその分解産物による汚染実態の解明

直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩(LAS)は量的に最も多く使われている陰イオン界面活性剤で, その生産量の多さと, 毒性から LAS は PRTR(環境汚染物質排出移動登録)法第一種指定化学物質に分類されており, 現在は環境中への排出量, 移動量を含めた管理が義務付けられている。LAS の生産量の半分以上は家庭用の合成洗剤の界面活性剤として用いられており, LAS は洗剤の使用により日常的に水環境中へ大量に放出され広範囲に分布している化学物質の一つである。そこで, 高速液体クロマトグラフタンデム質量分析計(LC-MS/MS)による LAS とその分解産物である SPC 同族体の同時分析方法を確立し, 全国の一級河川水中の LAS 及び SPC の濃度を測定することを試みた。同時に, 合成洗剤中に微量に含まれる蛍光増白剤の 2 成分(DSBP と DAS1)についても測定もおこない, 全国河川における合成洗剤の汚染状況をより多角的に検討した。LAS 及び SPC の回収率は, それぞれ 93%~105%, 62%~77%という良好な回収率が得られた。

まず, 下水処理過程での LAS 及び SPC の挙動の解明を試みた[真名垣ら, 2005 論文]。SPC 濃度は下水流入水中よりも二次処理放流水中で濃度が高かった。特に二次処理放流水中では親化合物である LAS よりも SPC が高濃度で存在した。LAS と SPC の濃度比の変化から, 下水処理過程において LAS が分解され, SPC が生成していること示唆された。

次に, 全国一級河川のモニタリング調査を行った結果, 蛍光増白剤, LAS 及び SPC が広い範囲で検出され, 洗剤による汚染が全国の河川で広がっていることが明らかになった(図 3.3.7) [真名垣ら, 2005 論文]。これらの洗剤成分は都市河川で高濃度になるという傾向を示した。下水処理水の流入のある多くの河川で LAS よりも SPC が高濃度で検出された。

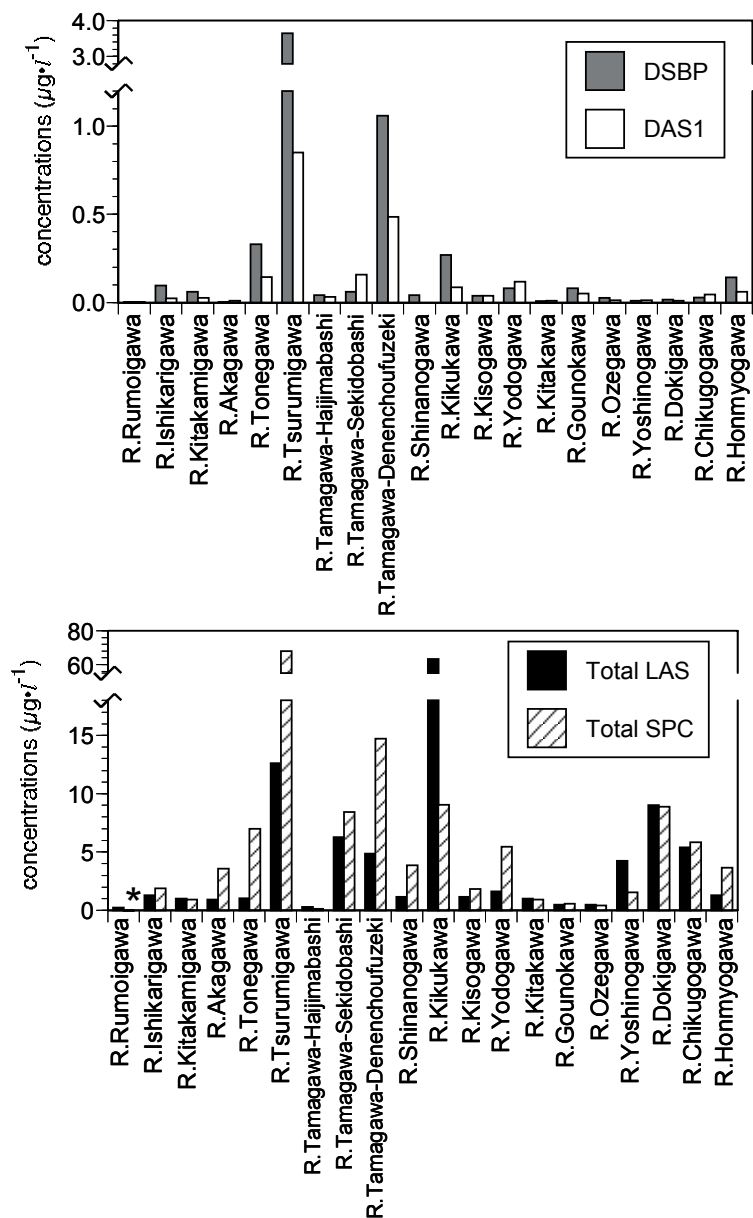


図 3.3.7 全国一級河川中の合成洗剤成分濃度

4. 河川及び地下水におけるフッ素系界面活性剤の汚染実態の解明

フッ素系界面活性剤は、環境中において難分解性な水溶性微量汚染物質である。欧米や日本においても水環境中のフッ素系界面活性剤に関する調査が行われてきているが、その対象成分は perfluorooctane sulfonate (PFOS)及び perfluorooctanoic acid (PFOA)が中心であり、その他の成分についての報告例は限られている。また、消火訓練場下といった特定の場所を除き、地下水におけるフッ素系界面活性剤の汚染の報告例はない。そこで、フッ素系界面活性剤 9 成分の分析方法を確立した上で、全国一級河川及び地下水におけるフッ素系界面活性剤の汚染の実態を明らかにし、さらに起源についての考察を行った。

対象としたのは、PFOS, perfluoroheptanoic acid (PFHpA), PFOA, perfluorononanoic acid (PFNA), perfluorodecanoic acid (PFDA), perfluoroundecanoic acid (PFUA), perfluorododecanoic acid (PFDDA), perfluorotridecanoic acid (PFTDA), perfluorooctane sulfonamide (FOSA)である。相対標準偏差 15%以下、回収率 76%以上の良好な分析精度

が得られた。

全国一級河川水中のフッ素系界面活性剤の分布を図 3.3.8 に示す。9 成分のうち、PFOS, PFHpA, PFOA, PFNA の濃度が高く、河川水中の PFOA は New Jersey, Department of Environmental Protection による飲料水の暫定的な指針値 40 ng/L を超過する地点が複数存在した。また、都市域における濃度が高い傾向があった一方で、PFOA だけが特異的に高濃度で存在する地点があった。これらの河川水は、他の水質項目では極めて良好と判断されるような地点である。このような新規の水溶性汚染物質を測定することで、今まで見過ごされてきた水質評価が可能となった。フッ素系界面活性剤が特異な起源あるいは挙動を持つ汚染物質として着目に値すると考え、都市排水の有力な指標であると考えられる医薬品の crotamiton を用いることで、河川水中のフッ素系界面活性剤の起源推定を行った。図 3.3.9 に crotamiton とフッ素系界面活性剤の相関関係を示す。河川水中の PFOS, PFHpA, PFNA は、crotamiton と強い相関関係が認められた。さらに、その回帰直線上に下水二次処理水のデータが位置したことから、河川水中の PFOS, PFHpA, PFNA は下水二次処理水などの都市排水由来であると考えられた。一方で、PFOA と crotamiton との相関関係は弱く、crotamiton 濃度が低いにもかかわらず PFOA が高濃度で存在するよう

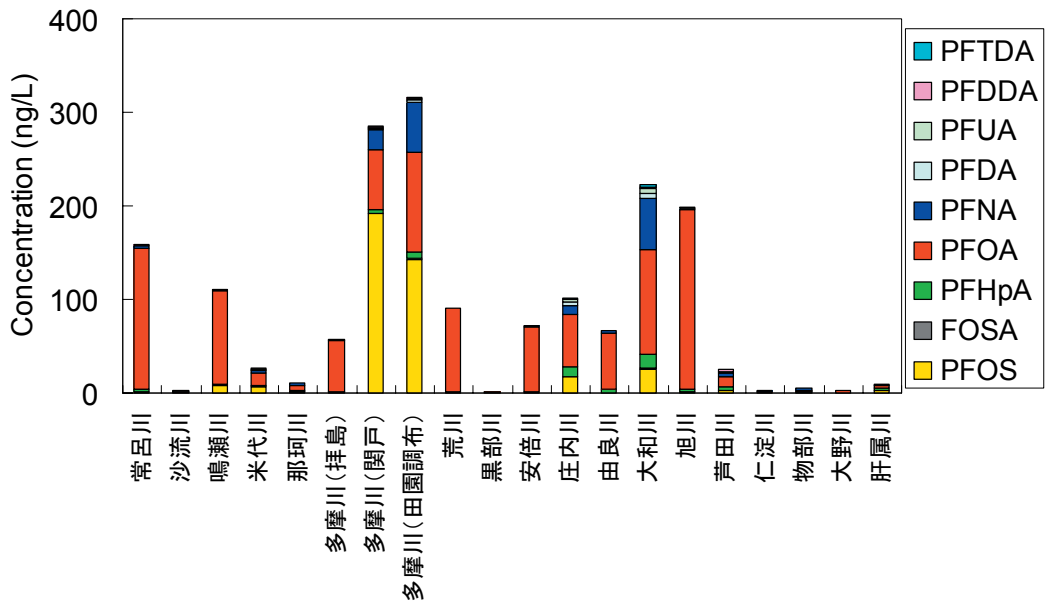


図 3.3.8 全国一級河川中のフッ素系界面活性剤濃度

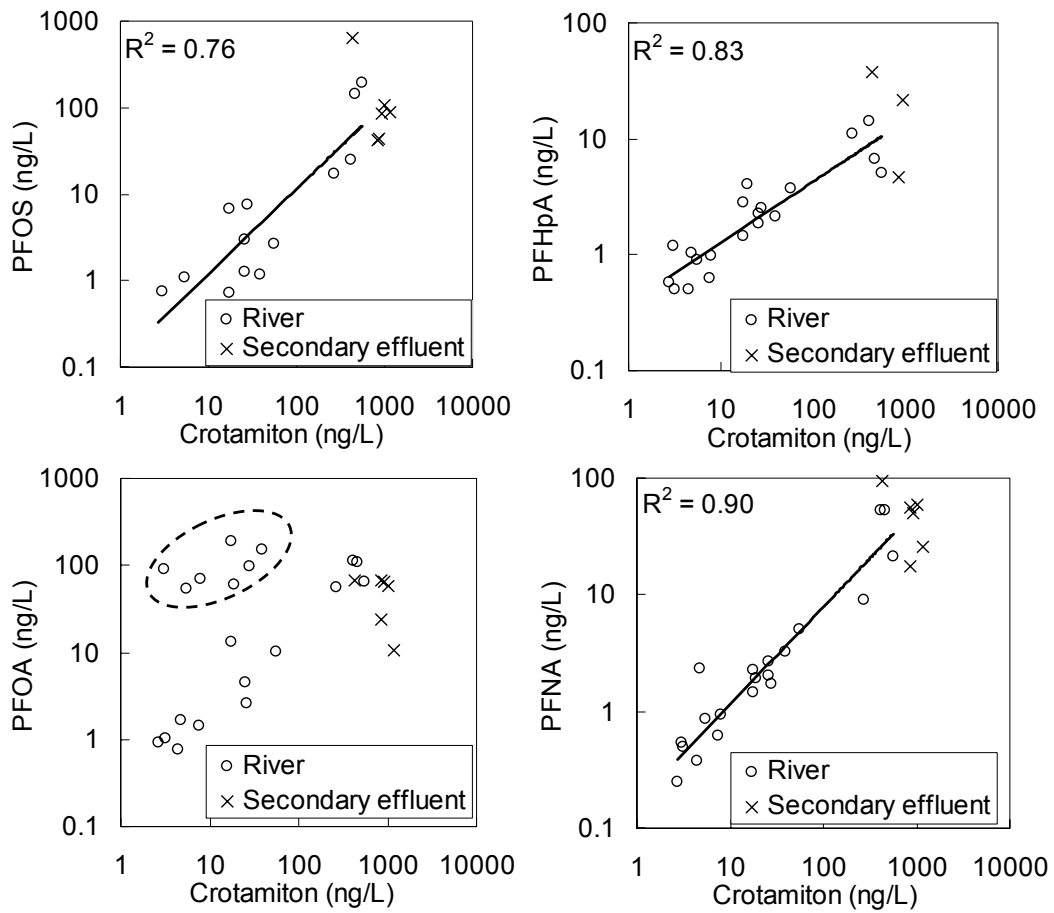


図 3.3.9 全国一級河川における crotamiton とフッ素系界面活性剤との相関関係

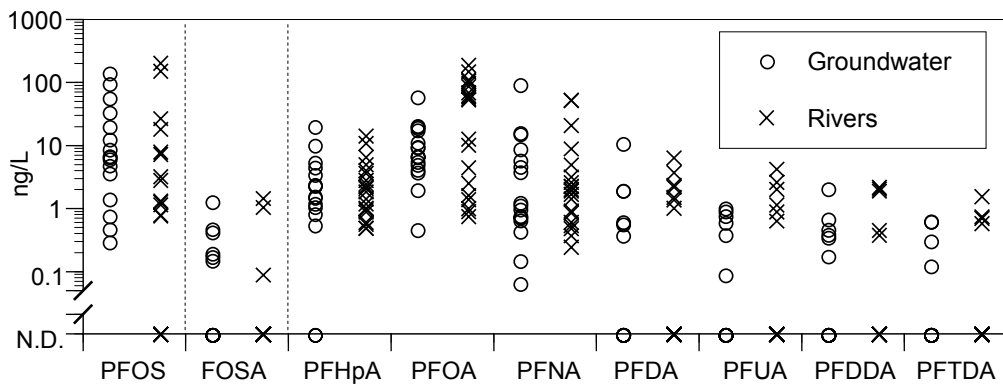


図 3.3.10 全国一級河川及び地下水中フッ素系界面活性剤濃度の比較

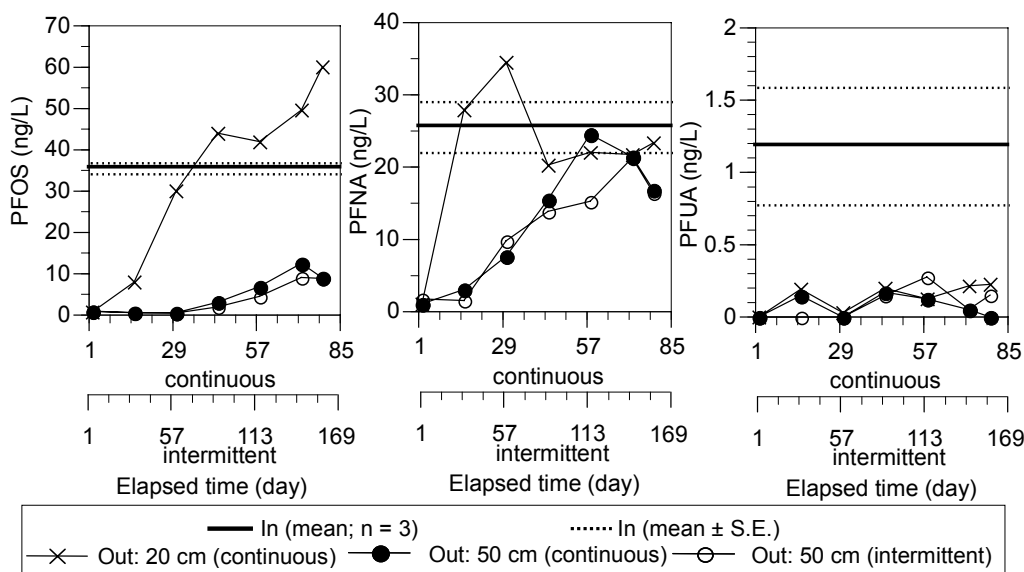


図 3.3.11 土壌浸透中のフッ素系界面活性剤の挙動

な河川も存在した。PFOA は都市排水に加え、工場などの特定の汚染源が存在することが考えられた。

次に、東京都内地下水中のフッ素系界面活性剤の存在と分布を明らかにした [Murakami et al, 2007a ポスター発表]。図 3.3.10 に地下水中のフッ素系界面活性剤濃度を河川と比較することで示す。地下水中でも河川と同程度のフッ素系界面活性剤が存在することが明らかとなった。PFOS, PFHpA, PFOA, PFNA といった低分子のフッ素系界面活性剤が高濃度で存在していた一方で、高分子のフッ素系界面活性剤である PFDA, PFUA, PFDDA, PFTDA や PFOS の前駆物質の一つである FOSA は相対的に低濃度であった。さらに、地下水中では PFOS の存在割合が相対的に高く、PFOS/PFNA 比は 7.2 ± 8.8 (arithmetic mean \pm S.D.) であり、河川水の PFOS/PFNA 比 1.4 ± 2.2 と比較して有意に高かった。この理由として、地下水と河川水との間でフッ素系界面活性剤の起源または土壌中の挙動が異なることが考えられる。

そこで、土壌カラム浸透実験(詳細は3. 6に示す)により、フッ素系界面活性剤の土壌浸透中の挙動の解明を試みた [Murakami et al, 2007a ポスター発表]。図 3.3.11 に土壌カラム流入水及び流出水中の PFOS, PFNA, PFUA 濃度の挙動を示す。PFUA 等の高分子カルボン酸イオン類は実験期間を通じて除去されたのに対し、PFOS や PFNA 等の低分子カルボン酸イオン類は実験初期に土壌に分配されたものの、時間経過に伴ってカラム流出水中濃度が増加することが観察された。PFOS や低分子カルボン酸イオン類のフッ素系界面活性剤の土壌での除去率が低いことは、地下水における存在と調和的であった。特に PFOS は、実験後期の 20 cm カラムにて、カラム流入水よりも流出水中濃度の方が高く、微生物分解に伴って前駆物質から PFOS が生成されたと考えられる。PFOS は PFNA と比べて破過が遅かった一方で、前駆物質からの生成によって最終的には流入水よりも高濃度で地下水へと到達する可能性が示唆された。土壌浸透中の前駆物質からの PFOS の生成が、河川水よりも地下水の方が PFOS/PFNA 比が高かった可能性の一つとして考えられた。

(2)研究成果の今後期待される効果

以上のように、新規の水溶性汚染物質の観点から、環境中の分布と動態の把握を進めることができた。特に、今回のように全国の河川を網羅した医薬品類、抗生物質、合成洗剤

関連物質、フッ素系界面活性剤の総合的なモニタリングは初めてである。全国の河川水から医薬品、抗生物質、合成洗剤関連物質、フッ素系界面活性剤など様々な汚染物質が検出され、広域に渡る汚染が明らかとなった。このことから、生活排水由来の化学物質 (everyday chemicals) の総合的なリスク評価が必要であると考えられた。本研究により、日本の河川において everyday chemicals の濃度レベルを包括的に把握し、それに基づき適切なリスク評価をおこなっていくための新たな水質評価のためのデータの蓄積に成功した。

3. 4 都市水循環システム構築のための水質リスクの多面的評価(土木研究所/京都大学グループ)

(1)研究実施内容及び成果

本サブテーマでは、都市水循環システムの構築のため、地下水涵養もしくは地下浸透処理を想定して実施された下水二次処理水や雨天時道路排水の土壌カラム実験において、通水前後の水質を生物影響の観点から評価(バイオアッセイ)を行った。バイオアッセイは生物への影響を指標とするため、対象となる水に含まれる物質の影響を包括的に把握できることから水質評価の上で有用であり(松原ら, 1996)、個々の物質濃度についての測定と併せることで、再利用水の評価において新たな情報となることが期待できる。

さらに、現行の高度処理における水質変化についても、バイオアッセイにより評価を行った。また、それらの実験で確認された水質変化を相対的に比較するために、全国一級河川調査および東京都地下水調査を実施し、得られた試料のバイオアッセイを行った。

加えて、上記の都市水循環システムとそれにより得られる水質変化を、水質面はもとより、コスト面からも評価した。

1. 二次処理下水を用いた土壌カラム実験

①研究のねらい

都市内自己水源の一つである下水処理水を地下浸透させ、地下水涵養する際の土壌浸透過程における水質の変化を多角的に評価するために、土壌浸透カラム実験を行い、土壌浸透における水質変化をバイオアッセイにより測定した。

②研究実施方法

3. 6に詳細を示す通り、二次処理下水を流入水とした土壌カラム実験を行い、カラムへの流入水と流出水をバイオアッセイにより評価した。バイオアッセイに用いた生物種は、遺伝子組み換え酵母、細菌、藻類の3種類である。遺伝子組み換え酵母は、人のエストロゲン受容体を組み込んでおり、試料中に含まれるエストロゲン(雌性ホルモン)様の活性が測定可能である(Routledge et al., 1996)(以下、YES試験)。食物連鎖の底辺を構成する細菌、藻類を用いたバイオアッセイでは、生態系への影響を評価することが可能であり、それぞれ海産細菌、緑藻を用いている。以下、海産細菌を用いた試験をマイクロトックス試験、緑藻を用い、試料もしくはその濃縮液を曝露し潜在的な増殖能を調べる試験をAGP試験、リンおよび窒素を添加して行う試験を藻類生長阻害(AGI)試験とした。これらの藻類試験については、多量のサンプルを効率的に処理するため、新たな試験手法の開発を行った[山下ら 2005, 2006論文; 山下ら 2004口頭発表; 原田ら2007b口頭発表; 山下ら 2003, 2004ポスター発表]。

③研究結果

カラムへの流入水中エストロゲン様活性は、10-50 ng-E2/Lと、全国一級河川における値(後述)に比べ、高い値であった(図 3.4.1)。しかし、カラム通過後の流出水中のエストロゲン様活性は、検出下限値以下か、1 ng-E2/L程度と低い値であり、土壌カラムによる安定的な除去が確認された[Nakada et al. 2007著作物; Nakada et al. 2004, 2005a, 2005b, 2007口頭発表; Tanaka et al. 2005b口頭発表]。生態系への影響を評価するために行ったバイオアッセイの結果のうち、毒性指標となる阻害試験の結果については、毒性の強さを他の水質指標等と比較する際に扱いやすくするため、得られた毒性指標値のEC50を毒性単位(TU=100/EC50)に変換した(USEPA, 1991)。マイクロトックス試験においては、供試下水処理水および土壌浸透カラム処理水ともに、おおむね影響は観察されなかった。一方、藻類を用いた成長試験の結果、供試下水処理水では藻類の増殖が確認されたが、土壌浸透カラム処理水では藻類の増殖が確認されなかった。以上の結果より、土壌カラムにより、物質によっては効果的に除去が確認された。同試料の機器分析の結果、窒素類はほとんど除去されなかったことが確認されたため、下水処理水を地下水涵養する際には、特に窒素除去のために前処理工程が必要であることが示唆されたが、土壌浸透は炭素、リ

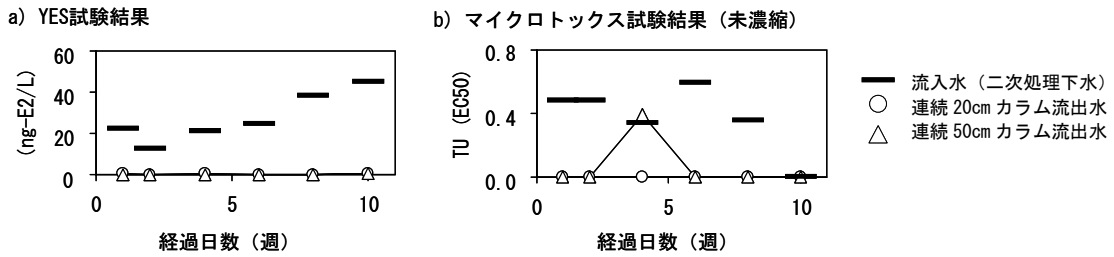


図 3.4.1 二次処理下水を用いた土壌カラム実験における生物影響の変化

ン、金属類、エストロゲン様物質の除去には有効であり、同処理法は二次処理下水再生および地下水涵養のための有効な手段となる可能性が高いことが明らかとなった[山下ら 2005 口頭発表]。

2. 模擬道路排水を用いた土壌カラム実験

①研究のねらい

都市内自己水源の一つである雨天時路面排水を地下浸透させ地下水涵養する際の、土壌浸透過程における水質の変化を多角的に評価するために、土壌浸透カラム実験を行い、土壌浸透における水質変化をバイオアッセイにより測定した。

②研究実施方法

下水処理水を用いた土壌カラム実験と同様の方法により道路排水での地下涵養を想定した実験を実施した(3.6参照)。本実験では、ファーストフラッシュを想定し、都内幹線道路から採取した道路塵埃、雨水浸透柵堆積物から調整した模擬道路排水をカラム流入水とした。流入水およびカラム流出水の水質を評価するため、前述の YES 試験、マイクロトックス試験、AGP 試験、AGI 試験に加え、変異原性試験を行った。変異原性試験は、水質リスクの中でも発ガン性や催奇形性と関連が深い変異原性の観点からの評価のため行い、Ames 試験を実施した。本研究では安全側の評価を行うため、塩素を添加した試料水の変異原性、すなわち変異原性生成能 (Mutagen Formation Potential、MFP) を測定した (Takanashi et al., 2001) (以下 MFP 試験)。試料中の変異原性物質は CSP-800 カートリッジを用いた固相抽出法によって濃縮し、TA100-S9 条件で Ames 試験を行った。MFP の強度は試料水 1 L 当りの正味の復帰コロニー数で評価した。

③研究結果

図 3.4.2 に各試験結果を示した。運転前半は MFP レベルが大きく変動したが、後半は比較的安定したことが分かる(図 3.4.2, d)。流入させた模擬道路排水の MFP 平均値は 6,990 net rev./L であったことから、特に運転後半において土壌浸透によって MFP は効率的に除去された。運転 7 週以降の MFP の平均値(平均除去率)は、連続 20 cm:1,760 net rev./L (75%)、連続 50 cm:1,060 net rev./L (85%)、間欠 50 cm:960 net rev./L (86%) であった。この後半における安定した除去には土壌による変異原前駆物質の生分解が大きく寄与したものと考えられる[Komatsu et al. 2007 ポスター発表]。マイクロトックス試験により算出された毒性値 (TU) は、流入水では平均 0.04 であった(図 3.4.2, b)。運転が安定したと考えられる 7 週目以降における各浸透条件における平均値(平均除去率)は、連続 20 cm:0.02 (65%)、連続 50 cm:0.01 (71%)、間欠 50 cm:0.01 (74%) と、MFP 同様に土壌カラムによる高い除去が確認された。エストロゲン様活性については、連続 20cm カラム流出水中に低濃度ながら有意な値が確認されたが(図 3.4.2, a)、AGI 試験同様、流入水中の活性や毒性の変動が大きいため正確な除去率の算出はできない。しかし、各浸透条件における流出水中の活性や毒性と比較すると、定性的には土壌カラムにより効果的に活性や毒性が除去されていると推察される。

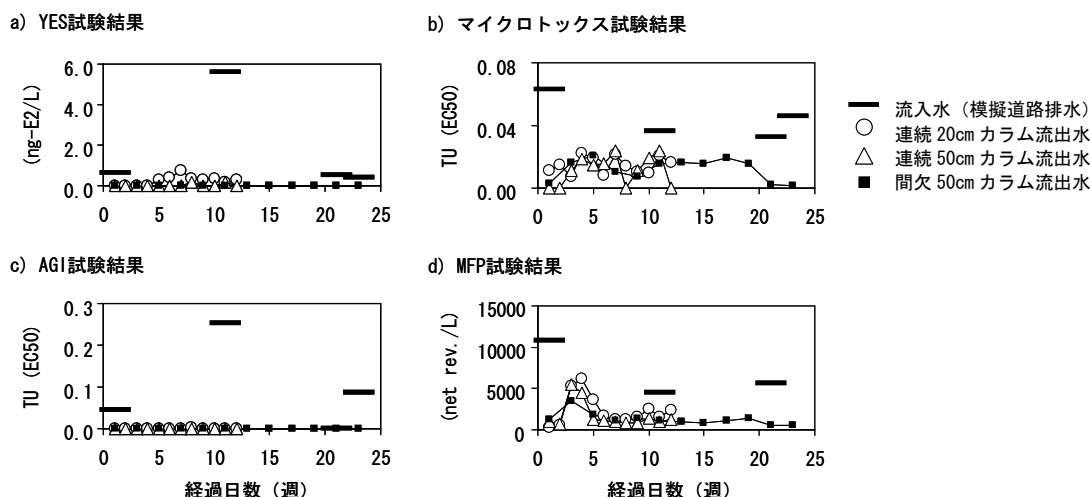


図 3.4.2 模擬道路排水を用いた土壌カラム実験における生物影響の変化

3. 下水処理場高度処理施設調査

①研究のねらい

都市の自己水源のひとつである下水処理水の再利用を想定した場合、前項までの土壌浸透処理の他に、現状では普及率は低いがおゾンや紫外線照射などの物理化学的な高度処理が水質を向上させる上で有効である(日本下水道協会, 2001 後)。そこで、実稼働中の下水処理場高度処理施設において試料を採取し、各種のバイオアッセイ手法を用いて評価を行った。

②研究実施方法

東京都西部に位置する下水処理場において調査を行った。昭和 53 年に稼働を開始した同処理場は、一般的な活性汚泥処理を行っており、二次処理、塩素消毒後の処理排水は多摩川へと放流されている。二次処理水の一部は、さらに凝集剤添加による砂ろ過とおゾンによる酸化処理を行い、清流復活用水として近隣の用水路へと放流されている。同処理場で、2003 年 7 月、11 月には二次処理水、砂ろ過水、おゾン処理水を、2004 年 6 月には流入下水、二次処理水、砂ろ過水、おゾン処理水を採取し、バイオアッセイにより各処理工程における水質変化を評価した。なお、評価に用いたバイオアッセイとしては、すべての調査において YES 試験を、第一回目の調査において AGP 試験を実施した。

③研究結果

すべての試料において、エストロゲン様活性が検出された(図 3.4.3)。第 1 回目調査を除くと、砂ろ過によるエストロゲン様活性の低減効果は低かった。一方、おゾン処理においては明瞭な活性低減が確認され、おゾンによるエストロゲン様物質の分解能の高さが推察された。事実、本共同研究で行われたエストロゲン類やノニルフェノール等の分析の結果においても、それらの物質の高い除去が確認されている。第 3 回目調査では、流入下水のエストロゲン様活性の測定も行った。同流入下水に対する各処理工程における処理水の活性より、処理工程毎の活性低減割合(除去率)を算出した(図 3.4.4)。その結果、砂ろ過処理におけるエストロゲン様活性の除去率は 20%程度であるのに対し、一次および二次処理、おゾン処理においてはそれぞれ 40%と 30%と高い除去率が確認された。また、一次および二次処理過程までのエストロゲン様活性の除去率は約 40%であるが、おゾン処理まで行うことにより同活性の除去は約 100%まで向上できることが実測された[Nakada et al. 2006, 2007 論文]。AGP 試験においては、二次処理水、砂ろ過水、おゾン処理水ともに高い増殖能が観察され、高度処理においても増殖能が低下しなかった。

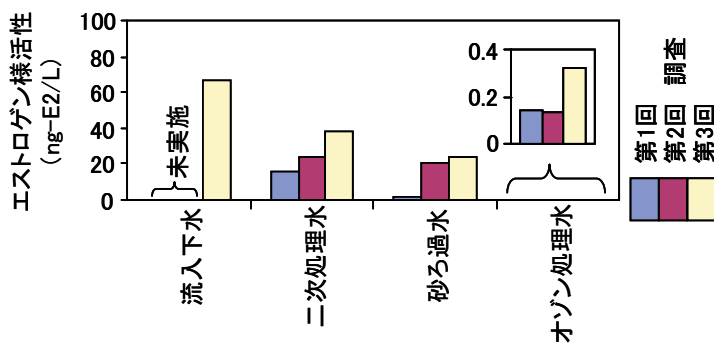


図 3.4.3 高度処理工程におけるエストロゲン様活性の消長

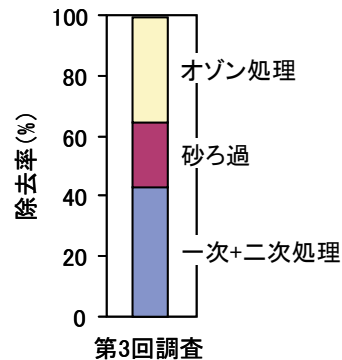


図 3.4.4 流入下水のエストロゲン様活性に対する各処理工程におけるエストロゲン様活性低減効果

4. 全国一級河川調査

①研究のねらい

再生水の利用を推進するために、水の利用先の視点から、そのリスクや許容性を検討することが重要であると考えられる。このため、再生水のリスクについて、相対的な評価を行う際に“ものさし”となるベンチマークが必要となる。その第一段階として、相対的な基準とする基礎データを集めるため、実際の河川における水質の分布を調査した。

②研究実施方法

(1)流域情報の整理と調査対象河川の選定

限られた数の河川調査データから日本の河川についての代表性を検討する際には、調査対象とする河川の特性を考慮する必要がある。そこで、まず全国の地域特性を網羅するために9つの地方整備局から4河川を選定して調査することとした。各地方整備局の管轄河川から4河川を選定する方法は、各河川における流域状況を反映する指標を設定し、それらの指標をもとに調査対象河川を選定することとした。ここでは、流域状況を反映する指標として、流域面積、年平均流量、污水处理整備率、人口密度を設定した。なお、人口密度の算出は、各河川の流域に含まれる市町村の面積と人口を河川地図や住民基本台帳をもとに情報を整理した。污水处理整備率の算出は、公共下水道処理人口、合併浄化槽処理人口、農業集落排水処理人口、コミュニティープラント処理人口などの情報をもとに行った。次に、河川の指標数値が偏らず分散するようにこれらの指標を数値順に並べ、最大の河川と最小の河川、及び40%順位の河川と70%順位の河川の合計4河川を各地方整備局が管轄する河川から抽出した。

このようにして選定した36河川を対象に、水質に関わる項目のデータを用いて水質分布のヒストグラムを作成し、同様に作成した全国109河川のヒストグラムの分布パターンが最も類似した指標を河川選定の指標とした。なお、BOD(国土交通省河川局, 2004)、エストロゲン様活性(国土交通省河川局環境河川課, 2002)、フレッシュ度(国交省河川局ホームページ, 2004)とした。

(2)選定河川の調査

選定した36の河川について、2004年及び2005年に各18河川の最下流の環境基準点において、11月～12月に1回採水を行った。得られた試料に対し、YES試験、マイクロトックス試験、AGP試験、AGI試験、MFP試験に加え、一般水質項目、栄養塩類、環境ホルモン関連物質、重金属、医薬品、洗剤由来物質、多環芳香族炭化水素類等の分析を実施した。本サブテーマでは、生物影響試験の結果のみ報告する。

表 3.4.1 選定した河川と流域面積

地整名	調査年	河川名	流域面積 (km ²)	地整名	調査年	河川名	流域面積 (km ²)
北海道	2004	留萌川	270	近畿	2004	北川	211
	2005	沙流川	1,350		2005	大和川	1,300
	2005	常呂川	1,930		2005	由良川	1,880
	2004	石狩川	14,330		2004	淀川	8,240
東北	2004	赤川	857	中国	2004	小瀬川	340
	2005	鳴瀬川	1,130		2005	芦田川	870
	2005	米代川	4,100		2005	旭川	1,810
	2004	北上川	10,150		2004	江の川	3,900
関東	2004	鶴見川	235	四国	2004	土器川	140
	2005	久慈川	1,490		2005	物部川	508
	2005	那珂川	3,270		2005	仁淀川	1,560
	2004	利根川	16,840		2004	吉野川	3,750
北陸	2004	梯川	271	九州	2004	本明川	87
	2005	黒部川	682		2005	肝属川	485
	2005	荒川	1,150		2005	大野川	1,465
	2004	信濃川	11,900		2004	筑後川	2,863
中部	2004	菊川	158				
	2005	安倍川	567				
	2005	庄内川	1,010				
	2004	木曾川	9,100				

③研究結果

(1)対象河川の選定

選定した 36 河川と、全国一級河川(109 河川)に対し流域面積、年平均流量、汚水処理整備率、人口密度の分布をそれぞれ比較した。その結果、それぞれの指標によって選択された 36 河川と全国 109 河川における水質のヒストグラムのパターンは、流域面積で選定したケースが最も相関が高くなった。そこで、詳細な調査を行う河川は流域面積を基準に 36 河川を選出した(表 3.4.1)。

(2)選定河川の調査

a.河川選択の妥当性

全国の河川における、エストロゲン様活性、BOD、T-N、T-P のデータに基づいて、非超過率を整理した結果を図 3.4.5 に示した。ここでは、109 河川全てのデータ(国土交通省河川局、2004)と、今回選出された 36 河川での調査結果のデータを非超過率によって比較した。

その結果、選択された河川の濃度分布も、全国河川の分布と類似していた。このことから、流域面積を基準に選択した場合、少ない数のデータからでも全国の傾向を把握することが示された。そこで、これらの河川調査から得られたデータを“ものさし”とし、生物影響等の毒性データとの比較を行った。

b. 生物影響、毒性、変異原性ポテンシャルの調査

全国河川調査における YES 試験、マイクロトックス試験、AGI 試験、MFP 試験の結果を、前述の土壌カラム実験および下水処理場高度処理施設調査の結果と、後述の東京都内地下水調査の結果とともに図 3.4.6 に示した。

エストロゲン様活性(図 3.4.6、a)は、0.1 ng-E2/L から 40 ng-E2/L まで幅広い分布が確認されたが、約 80%の河川におけるエストロゲン様活性は、0.1 から 0.5 ng-E2/L の範囲であった。この結果と前述の下水処理場高度処理施設における調査結果、二次処理下水を用い

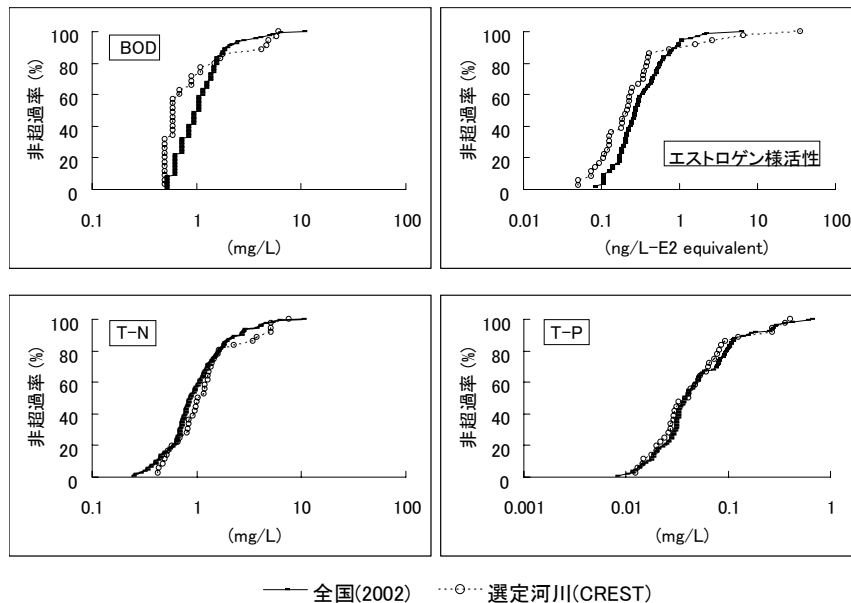


図 3.4.5 全国河川データと選定河川データの非超過率による比較

た土壌カラム実験の結果を比較すると、前者においては砂ろ過まで処理を行ってもエストロゲン様活性の明瞭な低減はできないが、オゾン処理により全国一級河川の水質分布の約 30%の水質まで低減できることが明らかとなった。後者(土壌処理を想定したカラム実験)においても、流入下水と同程度のエストロゲン様活性を有する土壌カラム実験原水(二次処理下水)が、土壌カラム通過によりオゾン処理と同レベルの水質にまで再生されていることが明らかとなった[原田ら 2006 論文; 原田ら 2006b, 2006c 口頭発表; Harada et al. 2005 ポスター発表]。

マイクロトックス試験においては、約 30%の試料から有意な毒性が検出された(図 3.4.6、b)。前述の模擬道路排水を用いた土壌カラム実験の結果と比較すると、原水では河川水の調査結果に比べ比較的高い毒性であったが、土壌カラムを通過することにより低減した毒性は全国一級河川の水質分布の約 50%程度であった[Harada et al. 2007 ポスター発表]。

MFP 測定の結果、全国河川水 36 試料の MFP 強度は 210 net rev./L から 20,200 net rev./L まで、ほぼ 100 倍近い大幅な値の違いを示した。図 3.4.6 に示した MFP の非超過率の分布の型から、MFP は対数正規分布に近い累積度数分布を示したことが分かる。このことは Shapiro-Wilk の正規性検定の結果によっても裏付けられた。MFP は全体の約 60%が 1,400~3,400 net rev./L の範囲内に分布し、幾何平均は 2,400 net rev./L、中間値は 2,440 net rev./L であった。また、水道水の変異原性レベルにおいて重点的な対策が望ましいと提案されている 3,000 net rev./L を上回った比率は 28%であった。MFP、及び、同時に測定した溶存態全有機炭素(DOC)の値について、流域状況を表す代表的指標である流域の人口密度との関連性を検討した。その結果、対数値を用いた相関係数は、人口密度と DOC では 0.26 であったのに対して、人口密度と MFP では 0.42 と、MFP の方が高い正の相関を示した。したがって、河川中の変異原前駆物質として人間活動に起因する有機物の寄与が高いことが示唆された[小松ら 2007 論文; 金山ら 2006 口頭発表; Komatsu et al. 2005 ポスター発表]。

ここから、河川における濃度分布を把握することができ、さらにある多くの河川では満足している濃度レベルや、極端に悪い場合の濃度レベルを把握することができる。これらの情報は、再利用水の水質リスクを検討する際の一つの“ものさし”として重要な参考になると考えられる[Tanaka 2005 口頭発表; 田中ら 2007 口頭発表; Suzuki et al. 2007 口頭発表;]

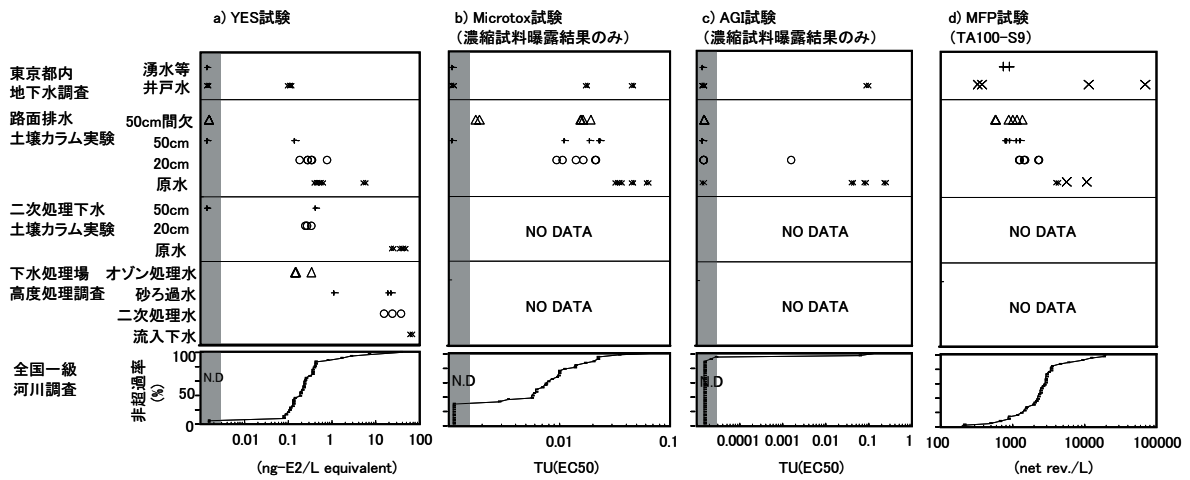


図 3.4.6 全国一級河川調査における生物毒性等試験結果と各調査・実験結果との比較
a) YES 試験、b) Microtox 試験、c) AGI 試験、d) MFP 試験

5. 東京都地下水調査

①研究のねらい

本研究では、都市で発生する排水の多くを水資源と考え、地下水の涵養を兼ねた地下滞水層における貯留、そして涵養もしくは貯留された地下水は適切な管理のもと効率的に利用されることを想定している。そのため、現状における地下水の水質を予め評価することが必要である。

②研究実施方法

東京都区部の4つの観測井、国分寺崖線の湧水、川崎市内の浄水場より上水原水を採取した。各試料の水質を評価するため、前述の YES 試験、マイクロトックス試験、AGP 試験、AGI 試験、MFP 試験を実施した。

③研究結果

YES 試験の結果、練馬区で採取された地下水(2 試料)についてのみエストロゲン様活性が検出された。同活性は全国一級河川水質の水質分布と比較すると約 10%と低い値であった(図 3.4.6, a)。二次処理下水を用いた土壌カラム実験において同活性の高い除去が確認されていることより、汚染源が近いことが推察される。

マイクロトックス試験および AGI 試験の結果、6 試料中それぞれ 4 および 5 試料では明確な毒性は検出されず多くの地下水は毒性影響を及ぼさないと考えられた。しかし、2 検体についてはマイクロトックス試験において全国一級河川水質の分布に比べ高い毒性が検出され、その影響非超過率で 85~100%と相対的に高い値であった(図 3.4.6, b)。このことから、土壌中を経由してきた地下水においても地点によっては毒性を示すことがあり、その毒性の程度は表流水(河川水)と同程度の幅を持つことが示された。一方、AGI 試験においては 1 試料で高い毒性が検出され、その毒性値は河川水における非超過率で 98.5%となり、河川としての最高値とほぼ同じであった(図 3.4.6, c)。なお、マイクロトックスで毒性がみられた 2 試料のうち、一つは藻類でも毒性が検出されたが、もう一つは藻類では毒性が検出されなかった。このように生物種ごとに異なる毒性影響がみられたことから、地下水に含まれる毒性発現に関わる物質が地点によって異なることが推察された。

MFP 試験においても、マイクロトックス試験において高い毒性が検出された 2 試料では、全国一級河川水質の非超過率で 95~100%に位置し相対的に高い値であった(図 3.4.6, d)。しかし、他の 4 試料では、全国河川水質の非超過率の 5~10%に位置し、低いレベル

にあった。

以上より、人為的汚染の影響が示唆された2試料を除くと、種々のバイオアッセイで評価した地下水試料の毒性は、全国河川水質と相対比較して低いレベルにあることが判明した。

6. 各種処理方式におけるコスト評価

①研究のねらい

本研究で目指している都市水循環システムの構築においては、既存のシステムに対して低コストで省エネルギー型であることが望ましい。そこで、本システムを適用する様々なケースのフィージビリティスタディに資する情報を得るため、コストとエネルギーの原単位を試算した。

②研究実施方法

本システム及び対象となる既存システムにおいて適用する各処理法の原単位については、具体的な設備やユーティリティを想定し、設備費等によるイニシャルコストと稼働に必要な電気代等によるランニングコストをそれぞれ算出し、また、消費電力からエネルギーを算出し、水量当たりの値として求めた(石崎 勝義(1979), (社)日本下水道協会(2001 前), (社)日本下水道協会(1999), (財)河川環境管理財団(2007), 東京都環境局(2002), 東京都水道局(2006))。

③研究結果

都市水循環システムの地下水涵養方法として、屋根雨水について雨水浸透柵を用いる場合、道路排水等について雨水浸透装置を用いる場合、下水処理水について注水井を用いる場合について、下水処理水の高度処理水(三次処理)や水道水とのコストやエネルギーの比較を行ったところ、水道水との比較ではコスト面でもエネルギー面でも有利となり、高度処理水との比較ではケースによってはコスト面やエネルギー面で有利となった。特に、コスト面では下水処理水を地下浸透させる場合に、エネルギー面では屋根雨水あるいは道路排水を地下浸透させる場合に、既存システムとの比較で大幅に有利となる結果が得られた。

(2)研究成果の今後期待される効果

都市自己水源の利用にあたっては、河川をはじめとする多様な水源における、様々な水質項目の濃度レベルを包括的に把握し、それに基づき利用対象とする水源の適切なリスク評価をおこなっていく必要がある[八十島ら 2004 論文; 田中ら 2004, 2005, 2006a, b, c 招待講演; Okayasu et al. 2005 口頭発表; Yamashita et al. 2005 口頭発表; 原田ら 2006, 2007a 口頭発表; 中田ら 2006 口頭発表; 北村ら 2007 口頭発表; Fukunaga et al. 2007 ポスター発表]。

今後は、残りの選定河川における調査を実施し、さらにデータを積み重ねることで、水質分布の精度を上げること、また、地下水や湖沼水などの多様な水域の水について同様に調査することで、水質リスクの“ものさし”のベースとなるデータの幅を拡げていくことを目指す。

<参考文献>

- Routledge, E.J. and Sumpter, J.P. (1996). Estrogenic activity of surfactants and some of their degradation products assessed using a recombinant yeast screen. *Env. Tox. Chem.*, 15(3), pp.241-248
- Takanashi, H., Urano, K., Hirata, M., Hano, T. and Ohgaki, S (2001) Method for measuring mutagen formation potential (MFP) on chlorination as a new water quality index, *Water Research*, 35, pp.1627-1634.
- USEPA (1991). Technical support document for water quality-based toxics control, EPA/505/2-90-001
- 石崎 勝義(1979). 注入井による地下水の人工涵養, 地下水人工涵養技術シリーズ(そ

- の 2), 土木研究所資料 第 1498 号, 建設省土木研究所
- (財)河川環境管理財団(2007). 植生浄化施設計画の技術資料(2007 年度版)
 - 国交省河川局ホームページ(2004). 河川百科事典統計データ一級河川水系別延長等, <<http://www.mlit.go.jp/river/jiten/toukei/birn84p.html>>
 - 国土交通省河川局監修, (社)日本河川協会編 (2004). 2002 日本河川水質年鑑, CD-ROM, 山海堂
 - 国土交通省河川局環境河川課資料(2002). 平成 13 年度水環境における内分泌攪乱化学物質に関する実態調査結果
 - 東京都環境局(2002). 東京都雨水浸透指針解説
 - 東京都水道局(2006). 東京都水道局環境報告書平成 18 年版
 - (社)日本下水道協会(1999). 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説(平成 11 年版)
 - (社)日本下水道協会(2001 前). 第 2 章 管路施設, 下水道施設計画・設計指針と解説(前編)2001 年版, pp.348
 - (社)日本下水道協会(2001 後). 第 4 章 水処理施設, 下水道施設計画・設計指針と解説(後編)2001 年版, pp.1-328
 - 松原正明, 南山瑞彦, 田中宏明(1996). 河川水質管理におけるバイオアッセイの活用の展望について, 1994 日本河川水質年鑑, 建設省河川局監修, pp.1007-1019

3.5 都市内自己水源の都市域再利用に特化した水量収支モデル・水質指標の構築 (岡山大学グループ)

(1)研究実施内容及び成果

1. 水のリスク評価のための新規指標の提示

①はじめに

都市水循環系での雨水や再生水利用、涵養地下水利用の推進のためには、量の確保とともに「質」の管理において、より多種多様なリスクを想定した、社会的にも判りやすい新しい手法が必要である。都市域での各種再生水利用用途を具体的に考慮した水の適性を、「必要十分に包括的」に判断するための評価のあり方を科学的根拠に基づいて設計し、その妥当性を示す必要がある。(小野 2003 口頭発表) 現行の各種水質基準の考え方を踏襲しながら、新規手法として、3ステップからなる評価方法を提案する。本報告ではその初段階である各種水質項目分析値ならびにバイオアッセイ結果についてのスコアリングの概念と実データからの妥当性を検証した結果を報告する。

②評価手法(3ステップアプローチ)

Step1 スコアリング:点数化＝各項目リスクの得点換算(各項目規制値の科学的根拠を個別に考慮)

Step2 ラベリング:ラベル貼り＝特性化(スコアをカテゴリズ、想定用途・処理効率等からの特性表示)

Step3 ランキング:等級付け＝利用用途・状況に合わせて具体的対応を伴う判定結果として提示。

スコアリング手法の試案・検討法①絶対的目盛り(科学的根拠):各水質項目・元素分析結果・内分泌攪乱を想定したフェノール類・バイオアッセイ結果(エストロゲン様活性・Microtox・藻類増殖能・変異原生成能)の値について国内外の各種基準値を考慮、影響を意味づけしたスコアリング法を提示。各水質項目・各種基準の策定の考え方、バイオアッセイ結果については生物学的見地・要勘案現象への閾値を主根拠とした。②相対的目盛り(検証):全国都市一級河川実測データの非超過率値を算出。実際に都市水源として利用される水質との比較により、スコアリング結果の妥当性を調べる。今回試案での基本的考え方は親水空間としての都市水利用を想定。水生生物の健全な育成を含む。危険域の設定値は直接飲用に準じるが、水生生物保全等含む律速値での単一スコアリングに対する検証をおこなった。

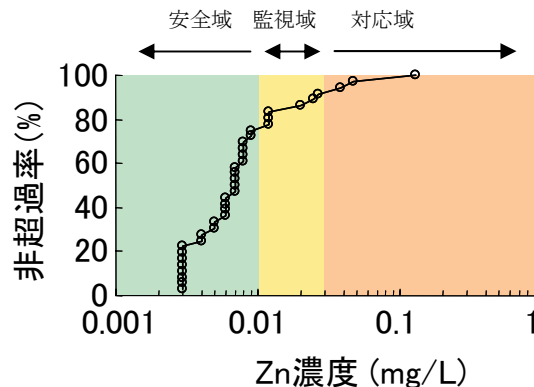


図 3.5.1 亜鉛のスコアリング結果例

③スコアリング評価結果ならびに検証と考察(毛利ら 2007 口頭発表)

各種水質基準、文献考察での生物学的・生態的事象から勘案したスコアリングの切り値を設定し、各スコアと全国都市一級河川 42 ヶ所の水質実測データの非超過率の関係を求めた。

その結果、都市河川水において危険域スコアは金属元素類については鉄、マンガン、

アルミニウム等性状から設定された項目に散見された。もう一つは図 3.5.1 に示す水生生物保護の観点での亜鉛(河川・湖沼の基準項目 0.03mg/L)であったがたとえば水道水が有すべき性状であればスコアの切り値は異なってくる。また窒素・リンについて、超過の傾向がみられた。水産用水基準に準じた値で切っているため、生態系循環物質として都市河川で超過が多くなっていることも考えられる。

④ラベリング評価

ラベリングとはスコアをカテゴリ化し、レーダーチャートの表現で対象となる水の特性を表示することである。この考えを進めるために、ヒト慢性毒性軸を新たに設定した。ここで五段階のスコアを設定した。水道水基準値の 1/10 以下を「安全域(0点)」、1/10 から水道水質基準値を「監視域(1点)」、水道水質基準値からその 10 倍までを「対応域(2点)」、10 倍から 100 倍までを 3 点、100 倍から 1000 倍までを 4 点、1000 倍以上を 5 点とした。この表示に従って整理しなおしたものが表 3.5.1 である。

表 3.5.1 スコアリング結果の統合化(ヒト慢性毒性の例)

	0点	1点	2点	3点	4点	5点
NO2-N (mg/L)	≤0.005	0.005~0.05	0.05~0.5	0.5~5	5~50	≥ 50
Cd (mg/L)	≤0.001	0.001~0.01	0.01~0.1	0.1~1	1~10	≥ 10
Pb (mg/L)	≤0.001	0.001~0.01	0.01~0.1	0.1~1	1~10	≥ 10
Ni (mg/L)	≤0.001	0.001~0.01	0.01~0.1	0.1~1	1~10	≥ 10
Se (mg/L)	≤0.001	0.001~0.01	0.01~0.1	0.1~1	1~10	≥ 10
Cr (mg/L)	≤0.005	0.005~0.05	0.05~0.5	0.5~5	5~50	≥ 50
As (mg/L)	≤0.001	0.001~0.01	0.01~0.1	0.1~1	1~10	≥ 10
Sb (mg/L)	≤0.0015	0.0015 ~0.015	0.015 ~0.15	0.15 ~1.5	1.5~15	≥ 15
B(a)P (µg/L)	≤0.07	0.07~0.7	0.7~7	7~70	70~700	≥ 700
PFOS (µg/L)	≤0.1	0.1~1	1~10	10~100	100~1000	≥ 1000
PFOA (µg/L)	≤0.004	0.004~0.04	0.04~0.4	0.4~4	4~40	≥ 40
Hg (mg/L)	≤0.0001	0.0001 ~0.001	0.001 ~0.01	0.01 ~0.1	0.1~1	≥ 1
F (mg/L)	≤0.08	0.08~0.8	0.8~8	8~80	80~800	≥ 800

さらにこれらから河川試料の慢性毒性スコアの分布をプロットしたものが図 3.5.2 である。この図中に道路排水を処理した場合の結果を縦線で挿入してある。処理することにより、スコアが減少することが読み取れる。

レーダーチャート上にこれらの毒性ごとのスコアを示したのが図 3.5.3 であり、対象試料ごとにこのようなレーダーチャートすなわちラベルが記され、また処理などの措置によりラベルが変化することが識別できる。

⑤ランキング

ランキングは、用途別にラベリングした指標を表示し、利用用途や処理方法などの意思決定をおこなうことである。たとえば、あるラベルの水を処理して、飲用に供するのか、景観用水に使うのか、雑用水に使うのかというランク設定が、処理方法の高度化あるいは土地利用という方法を使ったシナリオ決定がなされる。都市域における水利用用途として、親水用水(生態系に配慮した用水路への影響無視)、親水用水(生態系に配慮した修景用水に使用)、散水・打ち水・人による洗車用水、水洗トイレ、工業用の洗車・冷却塔用水、道路散水(道路散水車による散水用水・都市ノンポイント対策散水)、修景用水(生態系保全:せせらぎなど)、修景用水(都市河川の維持用水)、修景用水(ビル街区内)、非常用生活用水、防火用水を設定した。曝露量の違いを考慮して用途別にスコアの補正を行う(表 3.5.2)。この事例のプロトタイプについては、次節を参照とする。

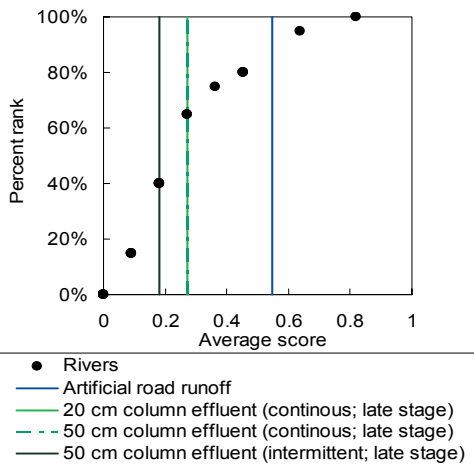


図 3.5.2 河川試料の慢性毒性得点の分布
 示例および道路排水カラム実験結果との比較

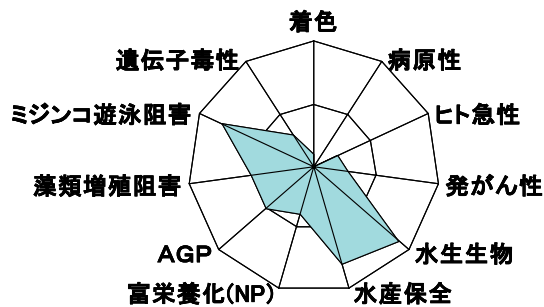


図 3.5.3 レーダーチャート表

表 3.5.2 水利用用途別補正係数

(×1・・・スコアを補正しない, ×10・・・スコアを1減らすことと同等

×100・・・スコアを2減らすことと同等, ×1000・・・スコアを3減らすことと同等)

	親水用水*	親水用水**	散水・ 打ち水・ 人による 洗車用水	水洗 トイレ	工業用の洗車・ 冷却塔用水	道路散水
着色・性状	×1	×1	×10	×10	×10	×10
ヒト急性	×10	×10	×100	×100	×1000	×1000
ヒト慢性	×10	×10	×100	×100	×1000	×1000
水生生物	-	×10	-	-	-	-
内分泌かく乱	-	×10	-	-	-	-
富栄養化	×10	×10	-	-	-	-
AGP	×10	×10	-	-	-	-
バクテリア急性毒性	-	×10	-	-	-	-
エストロゲン様活性	-	×10	-	-	-	-
遺伝子毒性	-	-	-	-	-	-

	修景用水 (生態系保全:せせら ぎなど)	修景用水 (都市河川の維 持用水)	修景用水 (ビル街区内)	非常用 生活用水	防火用水
着色・性状	×10	×10	×10	×1	×100
ヒト急性	×1000	×1000	×1000	×1	×100
ヒト慢性	×1000	×1000	×1000	×10	×100
水生生物	×1	-	-	-	-
内分泌かく乱	×1	-	-	-	-
富栄養化	×10	-	×10	-	-
AGP	×10	-	×10	-	-
バクテリア急性毒性	×1	-	-	-	-
エストロゲン様活性	×1	-	-	-	-
遺伝子毒性	-	-	-	×1	-

* 通常の親水用水

** 生態系に配慮した修景用水に使用

- 考慮せず

※いずれの用途でも臭い・外観は不快でないことが条件。また、利用者の必要に応じて臭気強度を設定できる。

2. 都市内自己水源の有効利用と適正配置

リスク管理型都市水循環系の構築のためには、都市内自己水源の有効利用と適正配置に関する計画的視点に基づく評価システムの導入が必要不可欠である[小野 2003 著作物]。

ここでは、まず 2,000 人以上に及ぶ都市居住者の身近な水環境評価に対する意識調査結果を用いて、水環境評価モデルを構築するとともに、まちなかの水環境に対する意識面での水質要求特性の分析を行った。主要な分析結果は、まちなかに「流れ」が不足している地区への「流れ」の導入が効果的であり、下水再生水の一部を地下涵養し再び居住者評価の低い流域に上流還元することで、水環境を効果的に改善できる可能性を明らかにした。これより、まちなかでの水環境創出や地下水涵養のあり方及び、それらの重要性を居住者アンケート調査に基づき定量的に明示した[谷口ら 2005 論文]。

一方で、先述のような地下水涵養を念頭に置いたストック型の水供給について検討する場合に流域を構成する各地区がどのような位置づけを有するのか、定量的に評価する必要がある。そこで雨水浸透と都市活動や土地利用とのバランスを把握できる指標としてウォーターサプライ・フットプリント(WSFP)指標を提案した。WSFP 指標は、地区内で都市活動を行う居住者や従業者の水利用に対して、雨水浸透という形で自然に還元する場合に、その地区の面積がどれだけ必要になるかを表現する指標である。都市整備手法の異なる複数の地区に適用したところ、スプロール市街地等と比較して、計画的に整備された市街地において、雨水浸透施設の導入が WSFP 指標値を効果的に低減させることを示した。これより、フロー型の水利用システムからストック型の水利用システムへ転換させる場合の流域内での各地区の位置づけについて、定量的で、かつ分かりやすく示す指標を提案するとともに、具体的に都市整備手法に着目して、その各地区の位置づけを明示した[氏原ら 2006 論文]。

これらの研究成果を活かし、東京都野川流域における活動特性の異なる複数の地区を対象として、地下水涵養を通じたストック型の水供給や、各地区の雨水や下水再生水の可能供給量及び、潜在的需要量を明らかにすることで、都市内自己水源の有効活用に向けた流域内での水資源配置に関する検討を行った。地下水涵養を通じたストック型の水供給について検討する際には、先に提案した WSFP 指標を導入した。分析結果を図 3.5.4、3.5.5 に示す。現状では、商業・業務系地区の WSFP 指標が最も高かったのに対して、屋根や路面を対象として雨水浸透施設を 30%導入した場合、既に浸透効率の高い大規模公園地区とほぼ同じ値となることが示された。

また、雨水や下水再生水を対象として、各対象地区の水利用用途を検討するとともに、それらの水量計算を実施した。なお、先述の水環境評価モデルより、まちなかの水環境は居住者の QoL に大きな比重を占めることが明らかとなっているため、日常的に利用される雑用水等に加えて、水環境創出のための親水・修景用水についても対象とした。また、これら水利用用途に関して衛生学的安全性の観点からスコアリングを行った。各対象地区の

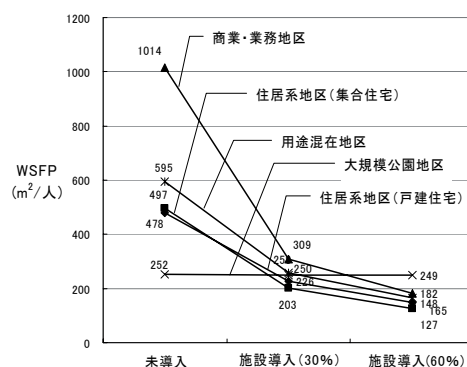


図 3.5.4 各対象地区の WSFP 指標値 (シナリオ分析:居住者ベース)

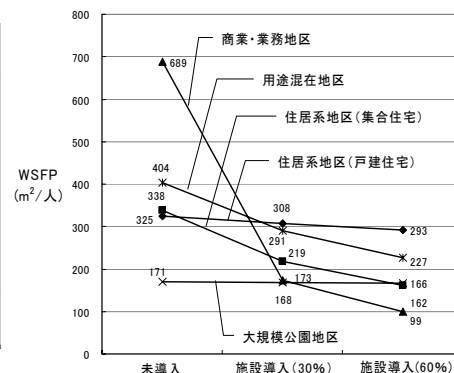
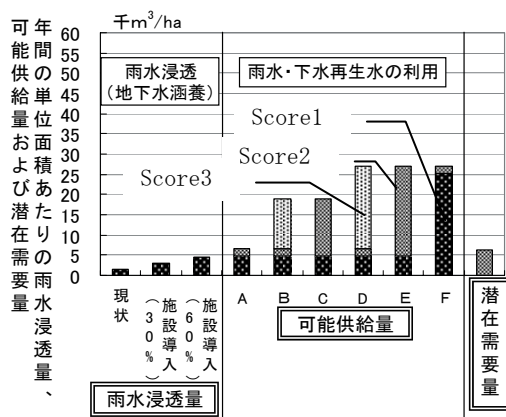
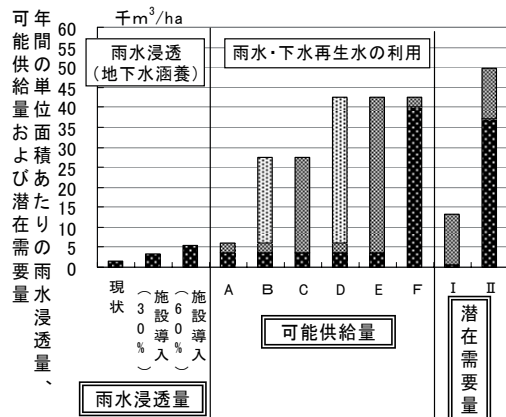


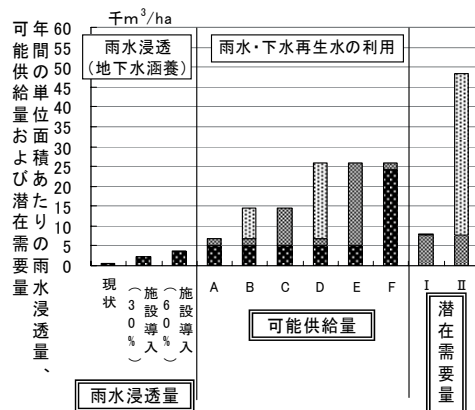
図 3.5.5 各対象地区の WSFP 指標値



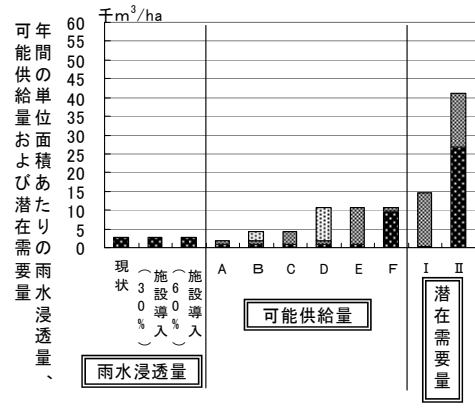
①住居系地区(戸建住宅) 国分寺市東元町1丁目



②住居系地区(集合住宅) 調布市国領町2,3丁目



③商業・業務地区 国分寺市本町2,3丁目



④大規模公園地区 調布市野水1丁目

凡例 (シナリオ)

可能供給量

①雨水利用方式

A: 雨水利用方式のみ

②地区循環方式(雨水利用方式併用)

B: Score3に準ずる処理方式

C: Score2に準ずる処理方式

③広域循環方式(雨水利用方式併用)

D: Score3に準ずる処理方式

E: Score2に準ずる処理方式

F: Score1に準ずる処理方式

スコアリング基準

① 大腸菌:

不検出/100ml, Score1, 2

1000CFU/100ml 以下

(大腸菌群数), Score3

② 濁度:

2度以下を常に遵守, Score1

2度以下を管理目標, Score2, 3

図 3.5.6 年間の単位面積あたりの雨水浸透量, 可能供給量および潜在需要量 (⑤用途混在地区を除く)

雨水や下水再生水の可能供給量および潜在的な需要量を図 3.5.6 に示す。分析の結果、各地区の活動特性によって水利用特性は大きく異なり、例えば、住居系地区(戸建住宅)では、雨水利用方式のみで、その地区のスコア(要求水質)および需要量を満たす程度の供給が得られ、さらに地下水涵養を通じた水資源の供給源となる可能性が高いことが明らかとなった。その一方で、大規模公園地区では、潜在需要を満たすだけの供給可能性はなく、周辺地区からの供給を前提とした水資源配置が望ましいことが示された。このことより、流域内におけるストック型の水利用システムを検討するにあたり、雨水や下水再生水を対象とした効率的な水資源配置の必要性和、それに向けた活動特性ごとの各地区の位置づけを明確にできたことで、流域内にこの他多数存在するこれら同タイプの地区の水量・水質把握等、適切な水資源配置を実施する際の基礎的な検討資料を示した(氏原ら 2007 論文)。

3. 流域モデルと地下水モデルの構築

①流域モデル

流域水循環のモデル化は目的に応じ変数が選ばれる。標準的な流域モデルは水文学の流出モデルに近いが、流砂を伴う移動床問題に接続するような場合、粗度係数や摩擦速度などといった水理学諸量の評価が不可欠で、湖沼やダム貯水池の富栄養化など生物・生態現象まで含めて扱うには栄養塩を流量に応じて与える水質学の側面をもたせる必要がある。ここでの流域モデルは以下の基本法則で構成される。①位数則:位数、河道長、流域面積、河床勾配および河道数について等比を検討する。これらは必須ではないが、勾配のみ初期値として採用する。ただし、標準断面が各流域下流端で定義されるために1/3~1/10程度のファクターをかけ上流の粗度係数が過大とならないようにした。②レジム則は流量に応じ幅と水深・流速を変化させる。流量のべき乗則を用いて、3者の積が流量にもどることから係数の積が1、べき指数和が1になる。③抵抗則は平均流速公式(マンニング公式と粗対数則の積分)および等流摩擦速度を用いる。マンニング粗度係数と相当粗度および摩擦速度を与え、勾配、河床粒径および流砂(浮遊砂)を考慮する。最後に④キルヒホフ則は連続式として合流と分流・貯留を考慮し水温・濁度などスカラー水質も流量の重みつき平均で合流後の水質を与える。

②タンクモデル

流域の水・熱・土砂・濃度収支を考える。水収支は降水・蒸発・浸透から日単位タンクモデルで表面流と浸透流成分を考え、上記の流域モデルと結合し、総観モデルとする。水温移流解、濁度は平衡濃度分布を仮定し、懸濁物を浮遊砂で代表させ熱・土砂収支を考慮する。つぎに溶存物質はモデル水質ルーチンにより河川・地下水を流量比で混合させる。酸性雨、地表汚濁源、農地流出や風化岩由来の鉱物イオン総計を電気伝導度に代表させた。岡山河川流域(高梁川・旭川・吉井川)では電導度が上流より下流域、河川水より地下水で高いことからタンク段数に応じて地下水電導度を高く与え、流下縦断方向に電導度分布を計算し基準点観測値と比較し適合性を検証した。冬の渇水時に高梁川で高電導度がみられたが、計算値は流量過剰または濃度不足から十分再現しなかった以外、3河川とも電導度の再現は概ね良好であった。旭川の電導度が最も低く、変動幅も小さい理由として、流域幅が小さく一般流量に占める浸透流の割合が最も低いことが理由と結論された。

③河川水と地下水

総観モデルは基本的に川筋の山腹地下水が河川に流出すると想定したが、大陸低平地河川や洪水で増水した有堤河川下流部では河道から堤内に向かう地下水の逆向きの動きがある。例えば、岡山旭川の伏流水である雄町冷泉は河道から3kmの距離で電導度が1.5~2倍に高くなるほか、下流部で海水混入があると極めて複雑となる。これらは地下水の流向に応じて濃度物質が移流されるためにほかならないが、導水勾配の変化を適切に与える必要がある。河川水と近隣の地下水あるいは土壌カラム浸出水試料の基本イオン組成とその変化状況から栄養塩は速やかに浸出排除されることがみられた。さらに、河川水のラベリングで得られている濃度と非超過確率プロットと類似の関係が同日・同河川の濃度と流程間に認められ、溶存物質に関する総観モデルの結果はラベル空間構造を推定する用途が考えられる。

④他流域への適用[Okubo and Kochi 2007 口頭発表]

我国の中小流域に展開した総観モデルを大河に拡張する際の困難な問題は降水データの収集である。バングラデシュでは水資源局の日降水量を収集しえたが、対象とした上メグナ流域は、上流がインドに属し一部多雨域を含む。一方、モデルの擬似等流仮定から日単位解析は特に下流域における流況定常性に問題がある。ここでは、大河流域の空間規模・移流時間を考慮し週単位の降水量データを用いて年52週の解析を行った。降水は空間的内挿・外挿で補間したのち週単位に集計した。時間分解能は落ちるが、多年度データを効率的に扱える長所もある。複数地点の降雨量と下流端水位(潮位)から、タンクモデルと不等流解析を併用し10年単位の解析が可能となった。対象流域は雨季に洪水氾濫するが、これを含め総観モデルを作成した。上流域における減水期、流量ハイドログラフの

急激な低下を再現するには、基底流量を絞る必要があり、深層の地下水脈の存在が示唆された。ただし、週単位の解析では、本川から支流メグナへの背水過程が十分表現できず、本川から水質的影響を受けるかどうかについては、さらに検討の余地がある。

⑤都市氾濫への適用

総観モデルを同国首都ダッカの都市氾濫に適用することを試みた。都市域点源から発生する濃度物質が都市氾濫水に含まれる懸濁物に吸着して排水経路の窪地(平水時池沼)に堆積するパスがある。これらは重金属や栄養塩が主体であるが、豪雨によって池沼水位が増加すると共沈した濃度物質は難透水性の底泥内を浸透し濃度ピーク位置が僅かではあるが移動し、やがて帯水層にぬけるとみられる。本モデルは懸濁物と溶存物を同時に扱えるので単純化した仮定で沈降(堆積)量に比例する可溶性濃度物質の吸着共沈を説明できる。洪水はこのように河川・地下水を通して都市水利用に影響するので地下水質の長期変化も含め、さらに検証していく必要がある。

4. 蒸発散量の推定とアジア大都市水資源量

水資源の再利用と水利施設の適正配置を考えるためには、流域内における水収支をできる限り正確に把握し、水資源賦存量を推定することが求められる。そこで、本研究では、まず、岡山県流域を対象に水収支構成要素の一つである実蒸発散量と水収支の推定を行った。次いで、簡易的な手法を用いてアジアの大都市における水資源賦存量を推定した。以下に、それぞれの研究成果の概要を述べる。

①岡山県 3 河川流域における実蒸発散量の推定と水収支[藤井ら 2004 口頭発表; 山本ら, 2006 口頭発表]

岡山県の旭川, 高梁川, 吉井川の 3 河川流域における実蒸発散量(図 3.5.7)および流域水収支を推定した。アメダス観測地点の気象データから Morton 法, 修正 B&S 法を用いて地表面被覆と標高を考慮した 1km メッシュごとの実蒸発散量を推定し, 結果の検証に Penman 式による蒸発散位も計算した。さらに, 降雨と河川流量の差が蒸発散量であると仮定し, 流域平均降水量をティーセン分割法で算出し, 河川流出高は流量年表のデータを用いて流域水収支を求めた。その結果, 修正 B&S 法による実蒸発散量は, 都市部が最も低くなり一般的な傾向をとらえることができたが, Morton 法は Penman の蒸発散位とほぼ等しくなり過大に推定された。流域水収支の推定は, 旭川流域では水収支から求めた蒸発散量と気象データから推定した蒸発散量の差が大きくなったが, 高梁川や吉井川流域では近い値を示し妥当な水収支が推定できた。

②アジアの大都市における水資源賦存量の推定[小村ら 2007a, b 口頭発表]

過去数年間の気象データをもとに簡易的な手法により実蒸発散量を求め, この結果と降水量データを用いてアジアの大都市における水資源賦存量の推定(図 3.5.8)を行った。可能蒸発散量の推定には Hamon 式を用いたが, 熱帯地方では Penman 式と比べると推定値にかなりの差が生じたため, Hamon 式と Penman 式による可能蒸発散量の直線回帰式を求め, Hamon 式による推定値を補正した。アジアの大都市における水資源賦存量は, 総量で見ると豊富だが, 一人当たりで見ると非常に少ないことが明らかになった。都市の人口, 市域面積の定義の仕方によっても水収支の計算結果は影響を受ける。また, 地域に応じた流出係数の設定が厳密には必要となるが, 本研究のように簡易な方法でアジアの大都市における水収支を把握したのち, 都市活動に伴う水利用との関係を相対的に整理することは水資源の有効利用を検討する上で有効であると考えられる。

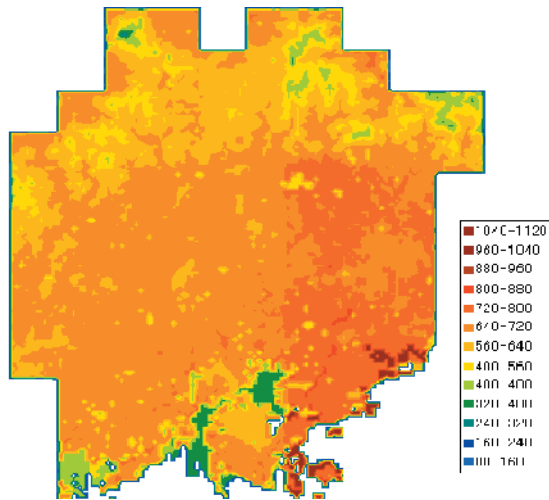


図 3.5.7 修正 B&S 法による年実蒸発散量分布図

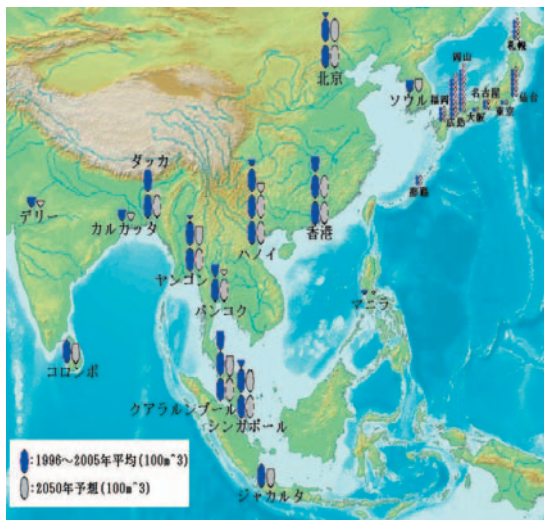


図 3.5.8 アジアの大都市における一人あたりの水資源賦存量

(2)研究成果の今後期待される効果

水環境行政の成熟により、水環境のリスク評価研究において、より微量物質影響・予防原則への流れがある一方、それらの成果の蓄積により不確実係数を減ずる「予測」原則的な段階が、管理においてもすでに始まっている。水利用目的に合わせた複数の切り値をもつスコアリングの本概念は評価において判断根拠の具体的な提示を可能とし、最終目標としては、トップダウン式の安全の保証のみならず、社会的安心への寄与と想定している。

都市内自己水源の有効活用に向けた水資源配置の必要性と、その際の活動特性ごとの位置づけを明確にすることで、流域内にこの他多数存在する同タイプの地区の水量・水質把握の際など、今後、流域全体で水資源配置を見直す上での重要な検討材料を示した。

3.6 地下水圏の浄化能を考慮した地下水の適正利用手法の開発(いであ株式会社グループ)

(1)研究実施内容及び成果

都市における持続可能な水利用システムを構築するためには、都市での自己水源利用の可能性を評価することが必要である。都市の水資源として雨水や下水処理排水等があげられるが、自己水源として利用するには「質」の動態変化を理解し、水用途の視点からその許容性を含めた検討が必要である。

本研究では土壌浸透による水質浄化能を考慮し、雨水、下水処理水等の水資源利用の可能性について土壌カラム(図 3.6.1)を作成し検討を行った[篠原ら 2006 論文; Nakada et al. 2007 著作物; Murakami et al. 2007 口頭発表; 佐藤ら 2004、2007 ポスター発表]。

カラム実験土壌は、東京都練馬区石神井町内公園で採取した。はじめに公園内の盛土された表層部をミニコンボで取り除き、GL-0.9~1.2m の範囲の関東ロームを実験土壌とした。

採取土壌は、はじめに自然乾燥させ、乾燥後、ステンレス製の篩を用いて土壌粒径 $75\mu\text{m}\sim 2\text{mm}$ に分別した。 $75\mu\text{m}\sim 2\text{mm}$ の範囲に分別した土壌を直径 200mm、高さ 600mm のステンレス製カラムに土壌厚 20cm(重量 5kg)及び 50cm(重量 12.5kg)となるように加えた。

土壌カラムに浸透させる水は、下水処理水、道路排水の2種類を用いることとし、下水処理水は、標準活性汚泥法により処理した水に塩素を添加したものをを用いた。道路排水は量の確保が困難なことから首都高速道路から採取した塵埃と地下水(静岡県志太郡大井川町)と重量比 1:25 に 8 時間混合させ、16 時間静置した上澄み液を模擬道路排水として用いた。

カラムへの浸透は 300mL/hr 程度(降雨 10mm/hr と想定)と設定し、通水はペリスタポンプにより行った。実験に使用する器材は溶存する物質の吸着等を考慮し、ステンレス製のものをを用いることとし、送液ポンプローラー部配管についてはタイゴンチューブを用いたが、それ以外の箇所はステンレス製とした。

また、道路排水を想定したケースでは、浸透条件により土壌吸着能が変化するかを検証するため、50cm カラムで連続して浸透させるケースと 24 時間間欠で浸透させるケースの 2 条件について実験を行った。

実験期間として下水処理水を用いたケースでは 80 日間、道路排水の連続浸透ケースでは 78 日間、間欠浸透ケースで 156 日間実施し、実験終了時での土壌カラムへの浸透量は、下水処理水、道路排水とも 600L 程度となり、東京都の降雨量で換算した場合では約 13 年分に相当する。

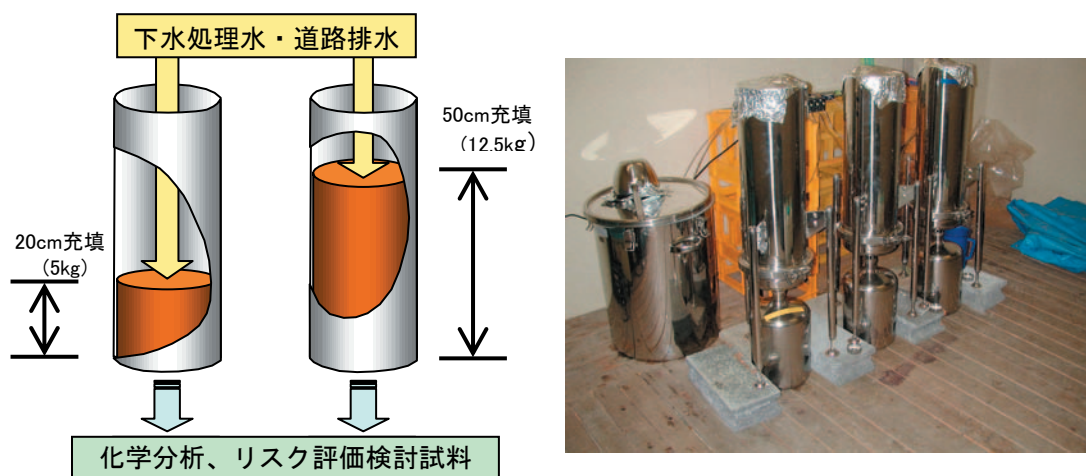


図 3.6.1 土壌カラム実験装置

下水処理水を用いた土壌浸透カラム実験の結果、土壌浸透により総有機物量(TOC)、リン及び重金属類については安定的な除去効率が確認された(図 3.6.2)が、窒素の除去率は低く、窒素類のうちアンモニウム態窒素は土壌浸透前後で急激に濃度が低下する一方、硝酸態窒素の増加が確認された(図 3.6.3) [Nakada et al. 2007 著作物]。無機態窒素は、土壌中でバクテリアによる硝化作用により形態の変化が確認された。

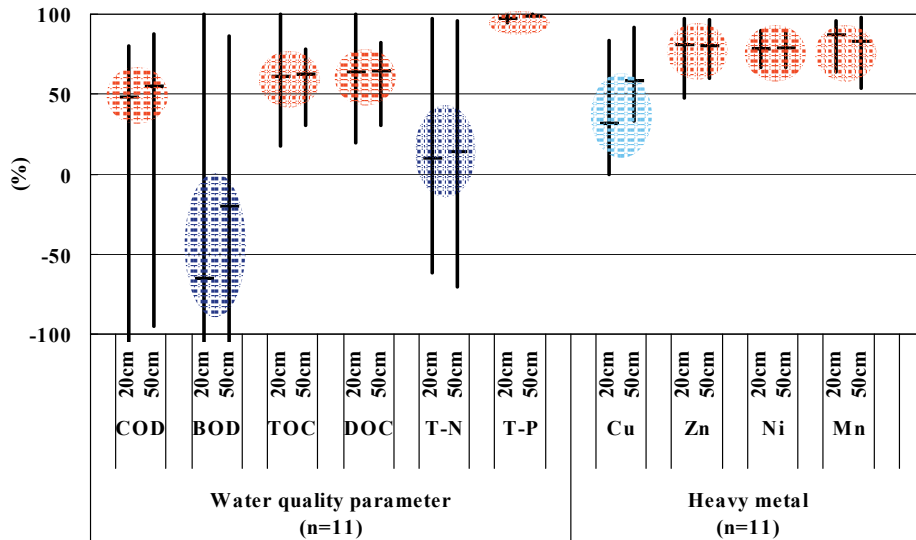


図3.6.2 土壌中での除去率:下水処理水

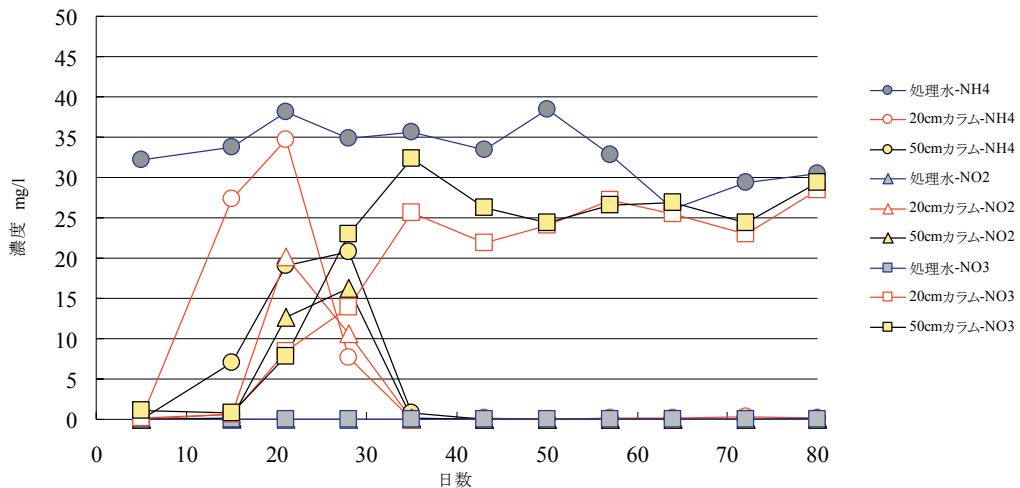


図 3.6.3 土壌浸透後の無機態窒素濃度の変化

次に模擬道路排水を用いたケースでも下水処理水を用いた場合と同様に総有機物量(TOC)、リンの他、銅、亜鉛、ニッケル等の金属類は概ね良好な除去率を示した。

模擬道路排水中にはマグネシウム(平均 3mg/L)、ストロンチウム(30mg/L)、バリウム(0.26mg/L)、亜鉛(0.13mg/L)等の金属類が比較的高濃度に含有しており、マグネシウム、ストロンチウム、バリウム等は浸透時間に応じて徐々に除去率が低下した(図 3.6.4)。

土壌厚と除去率の関係は(図 3.6.5)、ストロンチウム、バリウム以外でははっきりとした関係は見られなかったが、ストロンチウム、バリウムの除去率は厚さにより異なることが確認さ

れた。また、連続、間欠の浸透条件の違いによる土壌への吸着能は、ストロンチウム、バリウム以外では運転条件による違いは見られなかったが、ストロンチウム、バリウムでは実験終了時の除去率は同程度となっており、ストロンチウムとバリウムについては土壌中の除去率は浸透した水の量に依存する結果となった。

窒素は下水処理水の場合と同様に土壌中では除去されず、実験開始時から低い除去率となった。道路排水中の無機態窒素は、ほとんどが硝酸態窒素であり、浸透後徐々に増加していることから土壌中で有機態窒素が無機化され、速やかに硝化されるものと考えられる。

カラム実験の結果から浸透させた水に含まれる物質の土壌中の挙動は、個々に異なることが確認された。浸透させる水により含有する成分は異なるが、この実験手法により土壌浸透を想定した水が適切であるかどうかの判断が可能となるものと思われる。また、硝酸態窒素のように土壌中で除去されない物質、徐々に脱離してしまう物質については、事前に除去するなど検討内容が明確になるものと思われる。

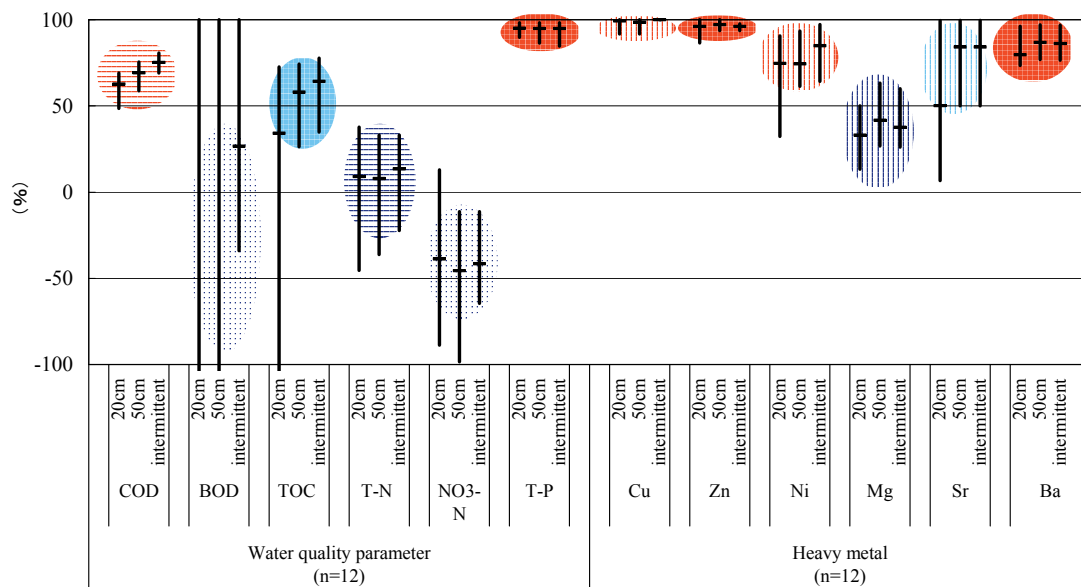


図 3.6.4 土壌中での除去率: 模擬道路排水

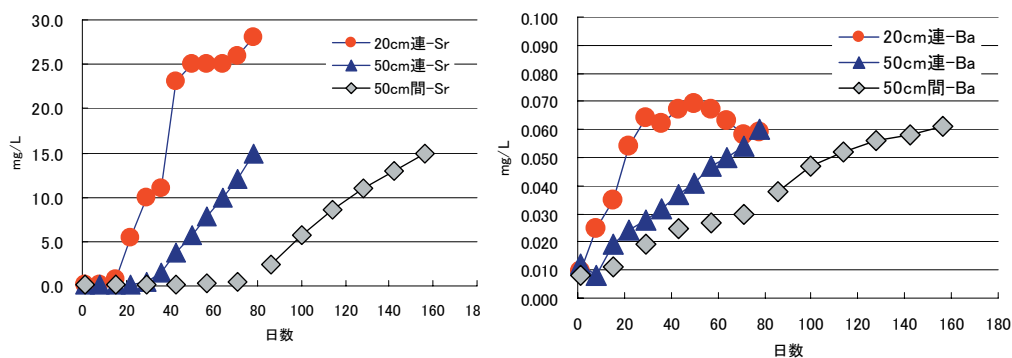


図 3.6.5 土壌浸透後のストロンチウムとバリウムの濃度変化: 模擬道路排水

(2)研究成果の今後期待される効果

本実験手法により土壌浸透を実施する際の水の「質」を判断することが可能となった。各種基準は水の「質」を判断する基準となるが、本来はその用途により異なるものと思われる。本実験手法は水資源として排水を利用するにあたり、その水が何の用途で利用可能であるかの判断する手がかりとなり、水の用途の枠組みを明確する材料となるものと思われる。

3.7 チーム全体による研究総括

(1)研究実施内容及びその成果

持続可能な水資源確保や健全な水循環系を構築するためには、都市内自己水源の有効利用と適正配置に関する計画的視点に基づく評価システムの導入が必要である[小野 2003 著作物]。そこで、本研究では、雨水や下水処理水などを浸透することで得られる涵養地下水利用を想定し、フロー型からストック型の都市水利用システムへの移行を目標として研究を進めてきた[谷口ら 2005 論文; 古米 2006]。その中でも、都市自己水源の量及び質を包括的にその動態を評価することで、多様な水質リスクを管理可能な都市水循環系を構築するという試みに大きな特色があった。

1) 都市域水利用の自立度の検討

都市の水循環系と流域全体の水収支のつながりに配慮することが、都市域における水利用の自立性を議論する上で必要であると考え、国内 15 都市を対象に都市域における水収支を明らかにした。都市域における浸透量、実蒸発散量、地表面流出量の算出を行った上で[小村ら 2007a, b 口頭発表]、都市活動による各種水利用量を比較し、都市域の水利用の自立性の指標の提案を行った(図 3.7.1)[Moroizumi et al. 2007 ポスター発表]。札幌市、仙台市、広島市などは比較的自立性が高かったのに対し、東京 23 区、名古屋市、大阪市における水利用の自立性は低いと判断することができた。フロー型からストック型の都市水利用システムへの移行を議論する上で本指標が有用であると考えられる。自立性の低い都市域には、雨水や下水二次処理水などを積極的に地下水涵養することで、多様な都市内自己水源を確保することがひとつのオプションとして期待される。

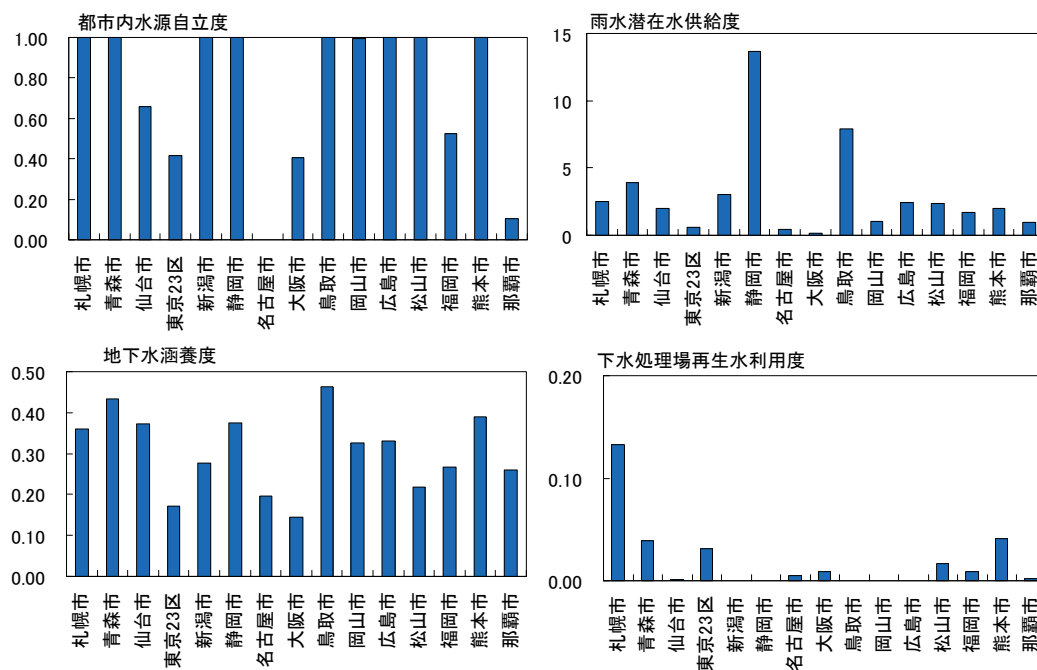


図 3.7.1 国内 15 都市における自己水源と水利用の自立度評価

雨水利用による地下水涵養の可能性を議論するために、雨水浸透施設による浸透機能の評価を行った[Furumai et al. 2005 論文; 村上ら in press 論文]。浸透施設の機能を組み込んだモデルを提案し、浸透量の定量化に成功した。異なる降雨特性ごとに各種浸透施設からの浸透量を定量化することで、大降雨時においてもその機能を発揮することを明らかにした。このことは、雨水浸透施設の導入によって雨水利用に基づいた涵養地下水利用が有望であることを示唆している。

2) 都市雨水と下水処理水の利用における留意事項の整理

雨水浸透を推進するためには、都市ノンポイント汚染物質の動態を把握することが重要である。そのような背景の中で、都市ノンポイント汚染物質の起源及び挙動の解明を進めてきた[Pengchai et al. 2004, 2005 論文; Seker et al. 2004 論文; Murakami et al. 2005, 2008 b 論文; Aryal et al. 2006a 論文; Boonyatumanond et al. 2007 論文; Kose et al. in press 論文]。重金属類を中心に、雨水浸透施設内における存在状態や吸脱着特性に関して多くの知見が得られたことは、重金属に起因する地下水汚染のリスク評価を考える上で有用であると考えられる[村上ら 2006a, b 論文; Aryal et al. 2006b, 2007 論文; Murakami et al. 2007, 2008 a 論文; Hossain et al. 2007 論文]。

現在は原則的に下水処理水の地下水涵養は禁じられているが、将来的に都市内自己水源を確保するための有望な選択肢の一つとして、下水処理水の再利用も想定した。医薬品類など、新規の汚染物質も対象とし、下水処理水における汚染実態や高度処理によるその除去効果の評価などの新たな知見を得ることができた[八十島ら 2004 論文; 真名垣ら 2005 論文; Nakada et al. 2006, 2007 論文; Shinohara et al. 2007 著作物]。また、バイオアッセイによる評価も行うことで、包括的な水質評価に関する知見を蓄積した[八十島ら 2004 論文; 山下ら 2005; 2006 論文]。このように、都市内自己水源として再利用が期待される道路排水や下水処理水に関して、化学分析とバイオアッセイの両観点からその実態と動態を把握することができ、基礎データの蓄積を進めることができた。

道路排水や下水二次処理水を浸透させ、地下水涵養する際の土壌浸透過程における挙動を理解するために、土壌カラム実験を実施した[篠原ら 2006 論文; Nakada et al. 2007 著作物]。化学分析とバイオアッセイの両観点から水質を包括的に評価した点は大きな特徴である。土壌浸透過程で、COD、DOC、リン、重金属類、エストロゲン様活性、PAHs など、多くの汚染物質が除去されることが確認できた。このことは、MFP、AGI 試験、Microtox などのバイオアッセイ試験における毒性の低下からも支持される結果であった。エストロゲン類に関しては、分解に関与する微生物の分類及び同定についての知見も蓄積した[Kurisu et al. 2005 口頭発表; Zang et al. 2007 口頭発表]。一方で、窒素類、crotamiton などの一部の医薬品類、フッ素系界面活性剤は、土壌による除去に限界があった。このことを確認するために、都内の地下水 6 試料を対象に調査を行った。土壌による除去率と河川に対する地下水のパーセンタイル順位の間には有意な相関があり、土壌浸透による除去率が低い物質または指標ほど、河川と比較して相対的に地下水汚染が顕著であった(図 3.7.2)。ただし、DOC や PAHs のように土壌中から溶出しうる成分は相対的に地下水での汚染が顕著な傾向があった。土壌による除去が期待できない物質に対しては、発生源対策や前処理工程による負荷量削減が必要であることが示唆された。

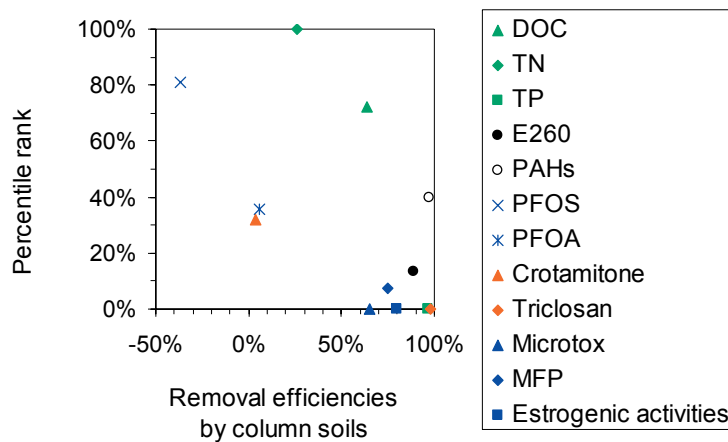


図 3.7.2 土壌カラム実験による除去率と地下水汚染の関係
(Percentile rank: 全国一級河川に対する地下水のパーセンタイル順位(中間値))

3) 都市自己水源の水質スコアリング、ラベリング、ランキングの3ステップ評価

これらの調査と知見に基づいて、道路排水、下水処理水、それらの土壤浸透水および地下水を対象に、水質のスコアリング・ラベリング・ランキングを行うことで、水のリスク評価を行った[Ono and Mohri 2007 口頭発表]。本手法は、多種多様なリスクを想定し、社会的に分かりやすい水質及び水利用の評価を目的として提案されたものである。各種の水源に対し、現行の水質基準の考え方を踏襲した絶対的なリスク評価と河川試料との比較による相対的な評価の両者を兼ね備える点に大きな特徴がある。河川試料は、109の全国一級河川から代表性を損なわないように36河川を選択し[原田ら 2006 論文]、流域特性と水質特性の関係を明らかにした上で水質評価のためのものさしとした[真名垣ら 2005 論文; 小松ら 2006 論文; Managaki et al. in press 論文]。本手法では、水質のランク及び水利用のラベルを最終的な評価結果と位置づけているが、社会的な理解を得るためにスコアリング・ラベリング・ランキングの3ステップによるアプローチによって妥当性と信頼性を高める狙いがある。図3.7.3に各種水質のラベリング結果の一例を示す。各種都市内自己水源の水質を、慢性毒性、内分泌かく乱性、富栄養化などの化学分析から判断される指標と各種バイオアッセイから判断される指標の両観点から判断することができる。本手法により、各指標別に高度処理化や土壤浸透処理によって水質が向上していることが、確認できる。さらに、都市内自己水源の水質を一級河川と比較して相対的に評価することも可能である。例えば、道路排水の土壤浸透水は、全国一級河川の最低水質(100%位)と比較して、全ての軸で同等かそれ以上の水質を、多摩川(田園調布堰)と比較してバクテリア急性毒性を除いた全ての軸で同等かそれ以上の水質を持っていることがわかる。水質のランクの結果を表3.7.1に示す。各種都市内自己水源の水質が用途別にランク付けされることができた。ランキングの結果から各種の水をどの用途に適用できるかどうかの判断はユーザーに委ねることを考えている。一例として、各軸の最大値が0のときを◎、0.5未満を○、0.5以上1.5未満を△、1.5以上を×とする判断基準で水試料の用途適正を決定したケースを表中にあわせて示した。このときの判断基準の結果を表3.7.2に示す。この結果は、水質の観点から、都市内自己水源を用途別に利用可能性を議論する上で極めて有効なツールとなると考えられる。

4) 野川流域における都市自己水源の有効利用モデルの検討

以上の研究成果を活かし、水循環系システム構築に関する評価手法の提案及び水収支モデル構築を行った[中道ら 2004 論文; 氏原ら 2006, 2007 論文]。ケーススタディとして、東京都野川流域における活動特性の異なる複数の地区を対象に、涵養地下水利用や雨水及び下水処理水の可能供給量及び潜在需要量を明らかにすることで、都市内自己水源の再利用の有効性の評価を展開した。WSFP指標から、都市整備手法の異なる地区ごとに雨水浸透施設の効果を評価することで、効果的な地下水涵養を通じたストック型の水供給について検討することができた[氏原ら 2007 論文]。この解析では、水質項目として大腸菌と濁度のみを考慮したものであったが、今後、表3.7.2に示した用途別の選択判断マトリックスを用いることで、水質及び水量の両観点からより合理的で科学的妥当性のある水循環システムの構築につなげたい。また、当初は、流域モデルと地下水モデルを構築し、用途別水利用の有効性の評価との統合化を図ったが、野川流域における地下水モデルの構築までは至らず、用途別水利用評価に特化した形となった。一方、当初の予定になかった雨水及び下水処理水利用に伴うコスト及びエネルギー消費の試算を進めることができ、コスト面では下水処理水を土壤浸透させる場合に、エネルギー面では雨天時排水を地下浸透させる場合に既存のシステムと比較して有利となる結果が得られた。

(2)研究成果の今後期待される効果

本研究により、雨水利用及び下水処理水の再利用に関して、水質及び水量の観点からリスク管理と有効な水利用システムの評価手法の提案を行うことができた。今後は、用途別水利用評価、流域及び地下水モデル、コスト及びエネルギー評価を統合化させることで、都市内自己水源の適正配置の提案へと展開する。また、国外、特に東南アジアの大都市への本手法の適用も期待される。

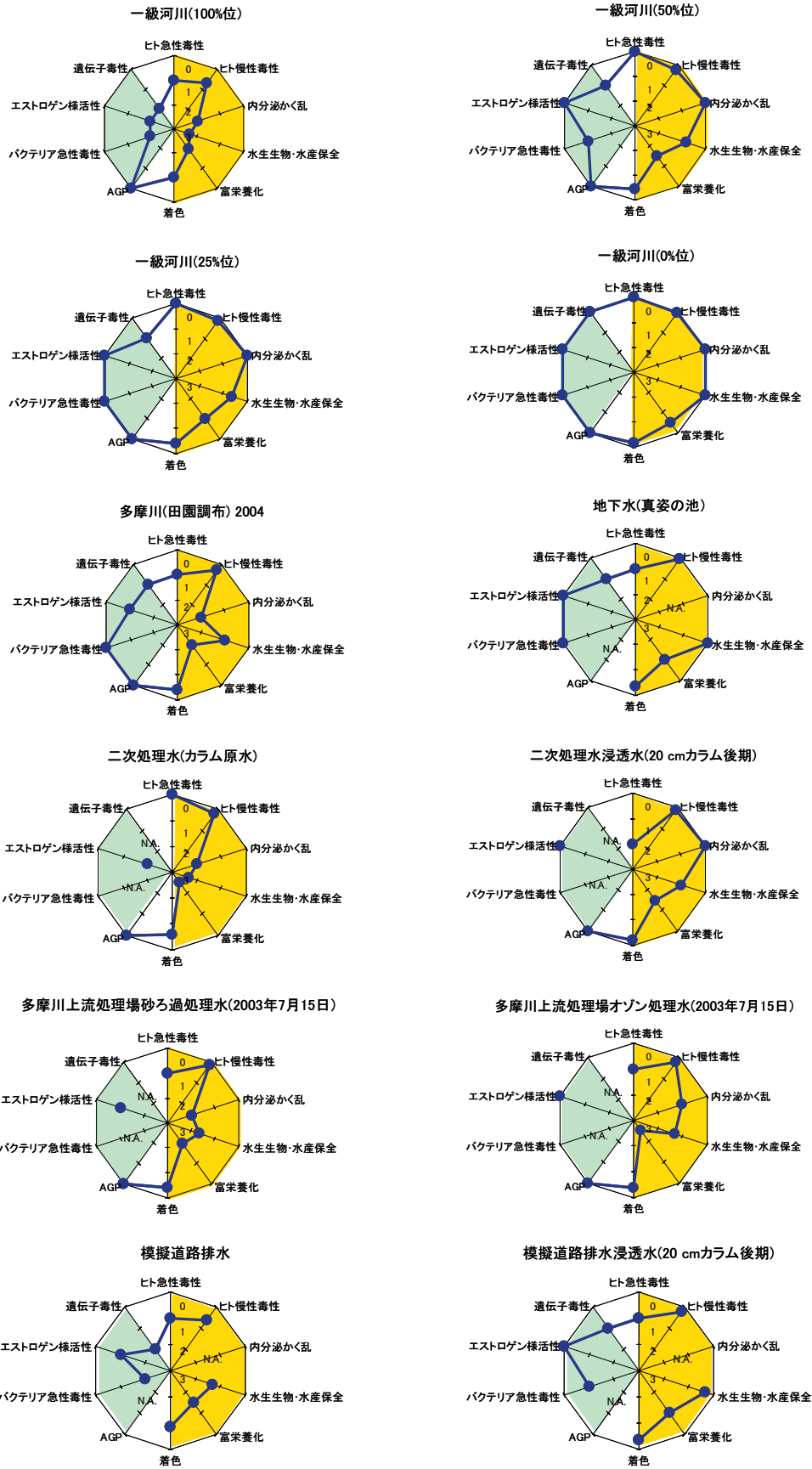


図 3.7.3 水質のラベリング結果の例

表 3.7.1 水質ランクの結果例

多摩川(田園調布堰)

	親水 用水 *	親水 用水 **	散水・ 打ち水・ 人による 洗車 用水	水洗 トイレ	工業用 洗車・ 冷却塔 用水	道路 散水	修景 用水 (生態系 保全)	修景 用水 (都市河 川維持 用水)	修景 用水 (ビル街 区内)	非常用 生活用 水	防火 用水
着色・性状	0.4	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0
ヒト急性	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
ヒト慢性	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
水生生物	-	0	-	-	-	-	1	-	-	-	-
内分泌かく乱	-	1	-	-	-	-	2	-	-	-	-
富栄養化	1	1	-	-	-	-	1	-	1	-	-
AGP	0	0	-	-	-	-	0	-	0	-	-
バクテリア	-	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-
エストロゲン	-	0	-	-	-	-	1	-	-	-	-
遺伝子毒性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
多摩川 ユーザー判断例	△	△	◎	◎	◎	◎	×	◎	△	△	◎

模擬道路排水浸透水(20 cmカラム)

	親水 用水 *	親水 用水 **	散水・ 打ち水・ 人による 洗車 用水	水洗 トイレ	工業用 洗車・ 冷却塔 用水	道路 散水	修景 用水 (生態系 保全)	修景 用水 (都市河 川維持 用水)	修景 用水 (ビル街 区内)	非常用 生活用 水	防火 用水
着色・性状	0.38	0.38	0	0	0	0	0	0	0	0.38	0
ヒト急性	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
ヒト慢性	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
水生生物	-	0	-	-	-	-	0.33	-	-	-	-
内分泌かく乱	-	N.A.	-	-	-	-	N.A.	-	-	-	-
富栄養化	0	0	-	-	-	-	0	-	0	-	-
AGP	N.A.	N.A.	-	-	-	-	N.A.	-	N.A.	-	-
バクテリア	-	0	-	-	-	-	1	-	-	-	-
エストロゲン	-	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-
遺伝子毒性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
道路排水浸透水 ユーザー判断例	○	○	◎	◎	◎	◎	△	◎	◎	△	◎

* 通常の親水用水 ** 生態系に配慮した修景用水に使用

表 3.7.2 用途別の選択判断マトリックスの例

	親水 用水 *	親水 用水 **	散水・ 打ち水・ 人による 洗車 用水	水洗 トイレ	工業用 洗車・ 冷却塔 用水	道路 散水	修景 用水 (生態系 保全)	修景 用水 (都市河 川維持 用水)	修景 用水 (ビル街 区内)	非常用 生活用 水	防火 用水
多摩川	△	△	◎	◎	◎	◎	×	◎	△	△	◎
大和川	△	△	◎	◎	◎	◎	×	◎	△	×	◎
一級河川 (100%位)	△	△	◎	◎	◎	◎	×	◎	△	×	◎
一級河川 (50%位)	△	△	◎	◎	◎	◎	△	◎	△	△	◎
一級河川 (0%位)	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎
真姿の池	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	◎
道路排水	△	△	○	○	○	○	×	○	△	×	◎
模擬道路排水	△	△	◎	◎	◎	◎	×	◎	△	×	◎
模擬道路排水 浸透水	○	○	◎	◎	◎	◎	△	◎	◎	△	◎
二次処理水 (カラム原水)	×	×	◎	◎	◎	◎	×	◎	×	△	◎
二次処理水 浸透水	△	△	◎	◎	◎	◎	△	◎	△	×	◎
オゾン処理水	×	×	◎	◎	◎	◎	×	◎	×	△	◎

3.8 研究成果の自己評価

研究実施概要の「研究実施とその成果(p1)」の項において、次に示す7つの成果を整理した。

- ・ 雨水浸透施設地域における都市ノンポイント汚染現象解明
- ・ 道路排水とその土壌カラム実験を通じた涵養地下水の水質評価
- ・ 下水処理水とその土壌カラム実験を通じた涵養地下水の水質評価
- ・ 多面的な水質評価のための「ものさし」の作成
- ・ 都市域周辺における地下水収支と大都市における水資源賦存量の推定
- ・ 水質スコアリング、ラベリング、ランキングから水利用のラベリングへ
- ・ 都市内自己水源の適正利用に特化した水量収支モデルの構築

ここでは、これらの個別成果をチーム全体として統合した形にして、学術(科学)的成果、実務(工学)的及び社会的成果に分けて研究成果の意義を自己評価した内容をまとめる。

1. 健全な都市水循環システム構築のための微量汚染物質の動態解明
2. 健全な都市水循環システム構築のための水質リスクの多面的評価
3. 都市自己水資源の利活用を支援する水量収支モデル・水質指標の構築

1. 健全な都市水循環システム構築のための微量汚染物質の動態解明

(1) 学術(科学)的成果

① 都市域の水環境中における微量汚染物質の分布及び挙動の解明

合成医薬品、抗生物質、合成洗剤成分とその分解産物、環境ホルモン類、フッ素系界面活性剤、PAHs、ニトロPAHs、重金属類について下水、下水処理水、道路排水、河川水、地下水中の分布を明らかにした。また、PAHs、ニトロPAHs、重金属類といった都市ノンポイント汚染物質に関しては、その起源や雨水浸透施設内での挙動の解明を行うことができた。個々の物質の分布の把握はこれまでも報告例があるが、これらの成分を包括的に一斉に分析した例は世界的に見ても存在せず、都市排水と環境水の微量汚染物質を徹底して明らかにした点で評価できる。

② 都市排水の処理・除去過程における微量汚染物質の動態の解明

下水二次処理水と模擬道路排水を対象とした土壌カラム浸透実験を3ヶ月間にわたり実施したことは、重要な成果である。通常の下水二次処理においては処理できない水溶性微量有機汚染物質を高度処理(砂ろ過処理、オゾン処理)あるいは土壌浸透による除去と除去メカニズムを明らかにした。様々な化学分析とバイオアッセイによって包括的な解明を行ったことは世界的にも例がなく、評価できる。さらに、対象化学物質の化学的な性質・構造と除去機構の関係が明らかにされたことで、他の汚染物質の除去の予測が可能となったことは、学術的な価値がある。模擬的に道路排水を作成する方法を提案し、土壌浸透過程での動態を解明したことは新規性が高い。

③ 都市排水汚染の水溶性マーカーとエストロン分解菌の検出手法の開発

水溶性のマーカーの開発はマーカーの研究においてここ10年来求められてきた課題である。合成医薬品・抗生物質のマーカーとしての有用性を提唱した点は学問的な新規性が高い。この成果は2007年アメリカ化学会の国際シンポジウムで発表され、世界の研究者から注目された。

また、下水中のエストロゲンの生物分解に関連して、分子生物学的手法を活用してエストロン分解菌の検出法を体系立てて開発できたことも非常に有意義であると考えている。

上記の成果は、impact factorの高い国際学術雑誌である、Water Research、Environmental Science & Technology、Science of Total Environment、Chemosphereなどに掲載された。特に、Water Researchに掲載されたNakada et al. (2006)はmost downloaded papersに選ばれたことから海外の研究者に学術的に与えた影響は極めて大きいと考えられる。また、国際雑誌への投稿中論文

も多数あり、今後も継続して成果発表をする予定である。また、都市ノンポイント汚染のモデル化に関するWater Researchの論文に対して、日本水環境学会の論文賞を受賞している。

(2) 実務(工学)的及び社会的成果

① 環境水中の合成医薬品・抗生物質の分析法の開発と分析例の提示

合成医薬品・抗生物質の分析方法を先駆けて確立したことは実務的な観点からも評価できる。本プロジェクトにおいて確立された分析手法は、他の研究者が分析を進める上で参考にされている。

② 都市排水の微量有機汚染物質の処理過程における動態解明

合成医薬品、抗生物質、合成洗剤成分とその分解産物、環境ホルモン類、フッ素系界面活性剤の活性汚泥処理、砂ろ過、オゾン処理における除去機構を解明した。特にオゾン処理による合成医薬品・抗生物質については排水処理の業界からの問い合わせもあり、実務的な成果が大きいものと評価される。

③ 都市排水汚染の水溶性マーカーの開発

合成医薬品、抗生物質等の水溶性の化学物質を都市排水のマーカーとしての有用性を明らかにした。これらのマーカーは雨天時越流水の動態把握や老朽化した下水管からの下水の漏洩による地下水汚染の解明等の21世紀の都市が直面する水質汚染の研究への応用が期待される。

④ 都市ノンポイント汚染物質の起源の解明

重金属類やPAHsといった都市ノンポイント汚染物質の起源を解明した。これにより、負荷量削減のための合理的な発生源対策を立案することが可能となった。

⑤ 河川や地下水の新たな汚染実態の市民への周知

合成医薬品・抗生物質等の日常生活で使う化学物質により河川が汚染されているという事実を多くの市民に知らせることができた。特に、新聞記事掲載などを通じて、自分たちの身近な河川や地下水における汚染実態を知らせることができたことは評価される。合成医薬品・抗生物質は必要不可欠なものが多く、排出源別の排水処理、再利用先を意識した排水処理、すなわち都市水循環の再生を市民が考える上で重要な契機を与えた。

上記の成果は、国際ワークショップ、国内学会における企画セッションなどを通じて、研究者だけでなく実務者に向けた情報発信を行っている。また、項目⑤については新聞記事などに掲載されたことで、社会的にも認識された成果である。

2. 健全な都市水循環システム構築のための水質リスクの多面的評価

(1) 学術(科学)的成果

① 都市排水や再生水評価におけるバイオアッセイ手法の導入

バイオアッセイ手法を都市排水や再生水の評価に取り入れるため、試料の前処理や曝露方法の改良などによって、効率的に多数のサンプルに対応する試験方法を検討し、藻類を用いた新たなバイオアッセイ手法を開発した。

また、様々なバイオアッセイ手法を用いて、再生水の原水となる排水の由来、また再生処理方法などの違いによる様々な再生水を持つ生物影響の程度を把握することで、多様な物質を含む再生水のリスクを包括的に評価することができた。

② 再生水評価における比較指標の提示

全国一級河川の水質を様々な項目について測定し、その分布特性を明らかにした。この水質分布を「物差し」とすることで、様々な再生水の水質レベルの相対的な評価や再生処理方法による水

質向上の効果把握を、より身近な水質との比較により行うことが可能となった。

このような、一般水質項目や微量物質からバイオアッセイ等に至るまでの、多面的な水質分析を、同時に、かつ全国的に行った例はなく、本研究で得られたデータは河川水質の基礎データとして学術的に貴重であることから、今後の水質を対象とした研究において利用価値も高い。

上記の成果は、水環境学会誌、環境工学研究論文集、土木学会論文集などに掲載された。これらの研究成果が得られた時期が研究プロジェクト後半であり、現段階では国際会議論文として発表しているに留まっているものが多いが、国際誌を含めて雑誌へ投稿中、投稿準備中である。

(2) 実務(工学)的及び社会的成果

① バイオアッセイを含めた環境水の水質管理の提案

健康や生態系への配慮が重要視されるようになる中、個別の物質濃度の管理だけでなくバイオアッセイ等による水質評価が日本においても海外同様に検討されるようになることが予想される。本研究で開発された試験手法は、多数の試料を対象とする環境水の水質管理における有用な手段となり得る。

また、本研究で得られた全国河川の水質分布は、再生水のみならず、排水そのものや特定地域の小河川など、様々な水の評価に適用することが可能であり、水質上の問題が提起された際に、そのリスクの程度を関係者が共有し効率的な検討を行うためのツールとなる。

② 再生水評価における比較指標の提示

全国河川水質分布と比較することによって、様々な再生水の水質リスクを相対的・直感的に判断することが可能になった。また、バイオアッセイは生物の反応を指標とするため、化学分析値と比べてより感覚的にリスクを理解する助けになるものと考えられる。これらによって、専門家以外の人に対しても再生水のリスクを説明する際の有用なデータを得ることができた。

上記の成果は、招待講演、国内学会における企画セッション、2回の国際ワークショップなどを通じて、研究者だけでなく実務者に向けた情報発信を行った。また、全国水道コンサルタント協会の協力を得て、水道分野や下水道分野の実務者やコンサルタント向けの特別講演とアンケートを実施することを通じて、実務者の意見反映や社会的にも認識してもらおう機会を設けた。

3. 都市自己水資源の利活用を支援する水量収支モデル・水質指標の構築

(1) 学術(科学)成果

① スコアリング、ラベリング、ランキングによる水質リスクの表示

水環境管理システムにおいて、環境水では水道・水産・工業といった利用用途別の目標基準をそれぞれ段階的に設置し、加えて安全・快適性についての規制基準はこれまで一律で管理されてきた。リスク評価分野では「予防原則」から次世代の考え方として、たとえばダイオキシン TID の見直しに見られるような、不確実要素を減らし、より合理的な「予測原則」への移行が重要視されている。水環境リスク管理においても、健康・環境影響・性状その他の基準値の意味をスコア化、その位置づけをラベルとし、かつ都市域における再利用水の利用促進のための利用用途ごとのランキングを行い、利用者・管理者の自主的な判断が可能な新しい概念ならびにそのシステムを提示したことはこれからの水行政の進むべきひとつの方向性と具体例を効果的に提示した。またその学会発表、論文執筆(予定)による発信を行い、学術的な議論を問うた。

② 可能供給量及び潜在需要量の算出

雨水浸透による雨天時排水の再利用の可能性を議論するために、その可能供給量と潜在需要量を解明した。雨水浸透量の算出において、衛星画像を用いた都市地表面情報の解析を進めることで、微小な降雨における精緻な解析を可能としたことは、学術的に評価できる。また、潜在需要量を評価する指標として WSFP 指標を提案したことは、新規性が高い。

上記の成果は、Water Science and Technology, 環境システム研究論文集、用水と廃水などに掲載された。なお、これらの研究成果が得られた時期が研究プロジェクト最終年度であり、現在、雑誌へ投稿中、投稿準備中のものが多くある。

(2) 実務(工学)的及び社会的成果

① 都市内自己水源の再利用のための水質リスクの表示

再生水利用基準の考え方は、これまでの基準を礎としているものの、より合理性を求めるものであるその性質において、用途設定の実態への適応性と管理項目の必要十分に議論の余地があるものであった。設計者・管理者にとって、水利用状況のより実態に即した水質の必要条件とその評価結果を明確に示す手法を導入することにより、本来の目的である、効率的な水利用、つまりニーズに対応した必要十分な管理体制が選定可能な評価システムのプロトタイプを示し、加えて実務者に対するアンケート調査を実施することにより、その導入可能性、課題などを明らかにした。

② 都市内水収支の算出

浸透量、実蒸発散量、地表面流出量及び都市活動による各種水利用量を算出することで、都市域における水利用の収支を明らかにすることができた。提案された水利用の自立性指標は、都市の水循環の上での課題と対策の抽出に有用であると考えられる。

③ 都市内自己水源の有効利用システム構築のための評価手法の開発

水質ラベル及びWSFP指標により、水量及び水質の両側面から、合理的な都市内自己水源の再利用システム構築のための評価手法を開発できた。都市整備手法への提案を想定し、地域別に有効利用性を議論できたことは実務的な価値があると考えられる。

④ 再生水利用のコスト及びエネルギーの評価

再生水を都市水循環システムに組み入れる際のコストについても検討し、施設費、消費エネルギーの面から各種処理方式の比較を行った。この結果は、実際に再生水のシステムを施策として実施する際の適用性検討に役立つものと考えられる。

⑤ 水利用者参加型の水利活用システムへの支援

水道や河川水等の環境基準での公的安全性保障の達成度と水利用者の感じる安心との間は、取水停止や使用停止、水質浄化による基準達成により、埋めてきたように認識される。

今回の研究成果であるスコア化によって、各水質基準値のもつ意味を基準設定時の根拠から平易に表現し、ラベルによって「そこにある再利用可能な水」のタイプを示し、消費者がその水の質のランクを知る、もしくは選択することが可能にすること。したがって、従来にない斬新で、かつ水利用者参加型のシステム(消費者による選択)を目指すことを支援する社会的な成果と位置づけられると考えている。

上記の成果は、総説、専門家による国内ワークショップ、最終年度の国際ワークショップや国内成果発表会などを通じて、研究者だけでなく実務者に向けた情報発信を行った。また、水道協会の水質関連専門委員会や下水道研究発表会などの場を活用した成果発表とアンケート実施を行うことを通じて、実務者の意見反映や社会的にも認識してもらう機会を設けた。社会への情報発信を目途として、技報堂を通じた図書出版を進めている。

4 研究参加者

①東京大学グループ（都市ノンポイント汚染物質の動態評価・モデル解析と地下水圏の浄化能を考慮した地下水の適正利用手法の開発の研究）

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
古米 弘明	東京大学大学院 工学系研究科	教授	総括、雨水浸透に関する 基礎データ収集	平成14年11月～ 平成19年10月
矢木 修身	東京大学大学院 工学系研究科	教授	供試土壌・地下水選定 バイアル実験	平成14年11月～ 平成18年3月
滝沢 智	東京大学大学院 工学系研究科	教授	地下水水質モデルの構 築・検討	平成15年4月～ 平成19年10月
福士 謙介	東京大学環境安全 研究センター	准教授	ノンポイント汚濁物質 のリスク評価	平成14年11月～ 平成18年3月
中島 典之	東京大学環境安全 研究センター	准教授	総括補佐、ノンポイント 汚濁物質の分析	平成14年11月～ 平成19年10月
栗栖 太	東京大学大学院 工学系研究科	講師	地下水カラム設計予備 実験	平成14年11月～ 平成19年10月
肱岡 靖明	国立環境研究所	研究員	モデル解析のための基 礎データ収集	平成14年11月～ 平成18年3月
藤田 昌一	長岡技術科学大学	非常勤講師 (2003.4-20 06.3 教授)	雨水浸透・水利用に関す る助言	平成15年4月～ 平成19年10月
小松 俊哉	長岡技術科学大学	准教授	ノンポイント汚濁物質 のリスク評価	平成16年4月～ 平成19年10月
姫野 修司	長岡技術科学大学	准教授	ノンポイント汚濁物質 のリスク評価	平成18年4月～ 平成19年10月
Aryal Rupak Kumar	東京大学大学院 工学系研究科	CREST 研究 員	道路排水・屋根排水の解 析	平成15年10月～ 平成17年3月
坂田 佳子	東京大学大学院 工学系研究科	CREST 研究 補助員	G Cによる揮発性有機 塩素化合物分析	平成15年5月～ 平成18年3月
Haltota K.P.K. Jinadasa	東京大学大学院 工学系研究科	CREST 研究 補助員	モデル解析のための基 礎データ収集	平成15年5月～ 平成16年2月
中山 真理子	東京大学大学院 工学系研究科	CREST チー ム事務員		平成15年1月～ 平成16年2月
高取 ちほ	東京大学大学院 工学系研究科	CREST チー ム事務員		平成16年4月～ 平成16年9月
鈴木 千晴	東京大学大学院 工学系研究科	CREST チー ム事務員		平成16年12月～ 平成19年10月

②東京農工大学グループ（都市域水循環・再利用の観点から見た都市排水の水溶性微量汚染の評価）

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
高田 秀重	東京農工大学 大学院共生科学技 術研究院	准教授	水溶性微量汚染物質分 析	平成14年11月～ 平成19年10月

村上 道夫	東京農工大学 大学院共生科学技 術研究院	CREST 研究 員	水溶性微量汚染物質分 析	平成 15 年 4 月～ 平成 19 年 10 月
渡邊 泉	東京農工大学 農学部	助手	水溶性微量汚染物質分 析	平成 14 年 11 月～ 平成 15 年 3 月

③土木研究所／京都大学グループ（都市水循環システム構築のための水質リスクの多面的評価）

氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
田中 宏明	京都大学大学院 工学研究科	教授	水質リスクの多面的評 価法の検討	平成 14 年 11 月～ 平成 19 年 10 月
山下 尚之	京都大学大学院 工学研究科	講師	水質リスクの多面的評 価法の検討	平成 15 年 4 月～ 平成 19 年 10 月
鈴木 穰	土木研究所水環境 研究グループ	上席研究員	水質リスクの多面的評 価法の検討	平成 14 年 11 月～ 平成 19 年 10 月
北村 清明	土木研究所水環境 研究グループ	主任研究員	生態影響バイオアッセ イ手法の確立	平成 15 年 4 月～ 平成 19 年 10 月
中田 典秀	土木研究所水環境 研究グループ	専門研究員	生態影響バイオアッセ イ手法の確立	平成 15 年 4 月～ 平成 19 年 10 月
原田 新	土木研究所水環境 研究グループ	専門研究員 (2004.5-20 06.4 CREST 研究員)	水質リスクの多面的評 価法の検討	平成 16 年 5 月～ 平成 19 年 10 月
宮島 潔	土木研究所水循環 研究グループ	主任研究員	生態影響バイオアッセ イ手法の確立	平成 15 年 4 月～ 平成 18 年 3 月
東谷 忠	土木研究所水循環 研究グループ	専門研究員	生態影響バイオアッセ イ手法の確立	平成 15 年 4 月～ 平成 17 年 3 月
南山 瑞彦	土木研究所材料地 盤研究グループ	主任研究員	水質リスクの多面的評 価法の検討	平成 15 年 6 月～ 平成 16 年 3 月
中村 みやこ	土木研究所水循環 研究グループ	研究員	生態影響バイオアッセ イ手法の確立	平成 14 年 11 月～ 平成 15 年 2 月

④岡山大学グループ（都市内自己水源の都市域再利用に特化した水量収支モデル・水質指標の構築）

氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
小野 芳朗	岡山大学大学院 環境学研究科	教授	水供給システムの再構 築の検討	平成 14 年 11 月～ 平成 19 年 10 月
谷口 守	岡山大学大学院 環境学研究科	教授	都市の水資源適正配置 手法の検討	平成 14 年 11 月～ 平成 19 年 10 月
大久保 賢治	岡山大学大学院 環境学研究科	教授	流域内水収支モデルの 構築	平成 14 年 11 月～ 平成 19 年 10 月
諸泉 利嗣	岡山大学大学院 環境学研究科	准教授	流域内水収支モデルの 構築	平成 15 年 4 月～ 平成 19 年 10 月
毛利 紫乃	岡山大学大学院 環境学研究科	准教授	水供給システムの再構 築の検討	平成 17 年 8 月～ 平成 19 年 10 月

姉川 彩	岡山大学大学院 環境学研究科	CREST 研究 補助員	水供給システムの再構 築の検討	平成 17 年 4 月～ 平成 19 年 10 月
------	-------------------	-----------------	--------------------	------------------------------

⑤いであ株式会社グループ（地下水圏の浄化能を考慮した地下水の適正利用手法の開発）

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
伊藤 光明	いであ株式会社	取締役	土壌カラム実験と涵養 地下水分析	平成 15 年 4 月～ 平成 19 年 10 月
鈴木 幹夫	いであ株式会社 環境調査本部	副本部長	土壌カラム実験と涵養 地下水分析	平成 15 年 4 月～ 平成 19 年 10 月
佐藤 修之	いであ株式会社 環境創造研究所 環境化学グループ	グループ長	土壌カラム実験と涵養 地下水分析	平成 15 年 4 月～ 平成 19 年 10 月

5 招聘した研究者等

氏名(所属、役職)	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Jiri Marsalek (Aquatic Ecosystem Management Research Branch, National Water Research Institute・ プロジェクトチーフ)	2005. 6. 9-10「持続 的な都市の水利用 のための雨水と再 生水に関する国際 ワークショップ」 にて講演をしても らうため	東京	2005.6.7～12
Bernd Heinzmann (Berlin Waterworks ・研究開発部長)		東京	2005.6.7～11
Han Mooyoung (Seoul National University・教授)		東京	2005.6.8～13
Richard Williams (Institute for Ecology and Hydrology、主任 研究員)		東京	2005.6.7～12
伊藤 雅喜(国立保健医療科学院)		東京	2007.6.30～7.1
藤木 修(国土交通省・国土技術政策総合 研究所、下水道研究部長)		東京	2007.6.30～7.1
西嶋 渉(広島大学環境安全センター、教 授)			2007.6.30
浦瀬 太郎(東京工業大学土木工学専攻、 准教授)		東京	2007.6.30～7.1
船水 尚行(北海道大学大学院 工学研究 科、教授)		東京	2007.6.30～7.1
Jaeweon Cho (Gwangju Institute of Science and Technology)		2007.10.4-5 「第2回持続的な都 市の水利用のため の雨水と再生水に 関する国際ワーク ショップ」にて講演 をしてもうため	京都
Hu JiangYong (National University of Singapore、准教授)	京都		2007.10.3～6
Rahman, Md. Mafizur (Bangladesh University of Engineering and Technology、教授)	京都		2007.10.3～6
Seok Dockko (Dankook Univ.、准教授)	京都		2007.10.3～6

6 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内誌 17 件、国際誌 15 件)

1. Petch Pengchai, Hiroaki Furumai, Fumiyuki Nakajima: Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in road dust in Tokyo, *Polycyclic Aromatic Compounds*, Vol.24, No.4-5, pp.713-789, 2004.
2. 八十島誠、山下尚之、中田典秀、小森行也、鈴木穰、田中宏明：下水処理水中に含まれるレボフロキサシン、クラリスロマイシンの分析と藻類生長への影響、*水環境学会誌*、Vol.27, No.11, pp.707-714, 2004.
3. 中道久美子、谷口守、松中亮治：都市コンパクト化政策に対する簡易な評価システムの有用化に関する研究、*都市計画論文集*、No.39-3, pp.67-72, 2004.
4. Sebahat Seker, Kensuke Arakawa, Motochika Sekiguchi, Yoshiro Ono: Biomonitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons in Kojima Bay, *J. Ac. & Tech. Univ. Peshawar*, Vol.28, No.1-2, 2004.
5. Petch Pengchai, Fumiyuki Nakajima, Hiroaki Furumai: Estimation of origins of polycyclic aromatic hydrocarbons in size-fractionated road dust in Tokyo with multivariate analysis, *Water Science & Technology*, Vol.51, No.3-4, pp.169-175, 2005.
6. 山下尚之、田中宏明、宮島潔、鈴木穰：マイクロプレートを用いた AGP 試験の検討、*水環境学会誌*、Vol.28, No.8, pp.493-499, 2005.
7. Michio Murakami, Fumiyuki Nakajima, Hiroaki Furumai: Size- and density-distributions and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban road dust, *Chemosphere*, Vol.61, No.6, pp.783-791, 2005.
8. 真名垣聡、小嶋早和香、原田新、中田典秀、田中宏明、高田秀重：高速液体クロマトグラフィー質量分析計による直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩および分解産物の分析方法の開発と環境試料への応用、*水環境学会誌*、Vol.28, No.10, pp.621-628, 2005.
9. 谷口守、古米弘明、小野芳朗、大久保賢治、諸泉利嗣：居住者意識に基づく水環境評価モデルの構築とその『水が循環するまちづくり』への援用、*環境システム研究論文集*、Vol.33, pp.125-131, 2005.
10. H. Furumai, H.K.P.K.Jinadasa, M. Murakami, F. Nakajima, R.K. Aryal: Model description of storage and infiltration functions of infiltration facilities for urban runoff analysis by a distributed model, *Water Science & Technology*, Vol.52, No.5, pp.53-60, 2005.
11. R.K. Aryal, H. Furumai, F. Nakajima, M. Boller: Characteristics of particle-associated PAHs in a first flush of a highway runoff, *Water Science & Technology*, Vol.53, No.2, pp.245-251, 2006a.
12. 山下尚之、田中宏明、宮島 潔、鈴木 穰：APG 試験と藻類生長阻害試験を用いた下水処理水の河川水質に対する影響評価、*土木学会論文集G*、Vol.62, No.1, pp.191-200, 2006.
13. Norihide Nakada, Toshikatsu Tanishima, Hiroyuki Shinohara, Kentaro Kiri, Hideshige Takada: Pharmaceutical chemicals and endocrine disrupters in municipal wastewater in Tokyo and their removal during activated sludge treatment. *Water Research*, Vol.40, pp.3297-3303, 2006.
14. 古米弘明：都市水循環系における汚濁物の流れと持続的水利用、*環境科学会誌*、Vol.19, No.5, pp.425-434, 2006.
15. 村上道夫、中島典之、古米弘明、Rupak K. Aryal：道路塵埃及び雨水浸透樹堆積物への重金属類の蓄積、*環境科学会誌*、Vol.19, No.5, pp.453-460, 2006a.
16. 篠原裕之、村上道夫、真名垣聡、小嶋早和香、高田秀重、佐藤修之、鈴木穰、中田典秀：土壌浸透過程における水溶性微量有機物質の除去、*環境科学会誌*、Vol.19, No.5, pp.435-444, 2006.
17. 村上道夫、中島典之、古米弘明、加藤勇治：東京都内の道路塵埃中重金属類の

- 溶出特性、水環境学会誌、Vol.29, No.11, pp.731-735, 2006b.
18. R.K. Aryal, H. Furumai, F. Nakajima, M. Murakami, H.K.P.K. Jinadasa: Prolonged deposition of heavy metals in infiltration facilities and its possible threat to groundwater contamination, *Water Science & Technology*, Vol.54, No.6-7, pp.205-212, 2006b.
 19. 氏原岳人、谷口守、古米弘明、小野芳朗：ウォーターサプライ・フットプリント指標を用いた都市活動配置評価 ―水利用・循環の視点から地区整備を考える―、*環境システム研究論文集*、Vol.34, pp.507-513, 2006.
 20. 原田新、中田典秀、山下尚之、佐藤修之、伊藤光明、鈴木穰、田中宏明、古米弘明：全国河川水質分布との相対比較による都市再生水の水質評価、*環境工学研究論文集*、Vol.43, pp501-508, 2006.
 21. Michio Murakami, Fumiyuki Nakajima, Hiroaki Furumai, Bunbunoshin Tomiyasu, Masanori Owari: Identification of particles containing chromium and lead in road dust and soakaway sediment by electron probe microanalyser, *Chemosphere*, Vol.67, No.10, pp.2000-2010, 2007.
 22. Rupak Aryal, Hiroaki Furumai, Fumiyuki Nakajima, Mohammed Hossain: Vertical distribution and speciation of heavy metals in stormwater infiltration facilities: possible heavy metals release to groundwater, *Water Practice & Technology*, Vol.2, Issue 2, 2007. (on-line journal;<http://www.iwaponline.com/wpt/002/wpt0020052.htm>)
 23. 小松俊哉、真部良章、姫野修司、原田新、村上道夫、古米弘明：全国河川水の変異原性生成能の分布および一般水質項目・河川特性との関連性、*水環境学会誌*、Vol.30, No.8, pp.433-440, 2007.
 24. 氏原岳人・谷口守・毛利紫乃・小野芳朗・古米弘明：都市内自己水源の有効活用に向けた水資源適正配置に関する検討―活動特性の異なる複数の地区を対象として―*環境システム研究論文集*、Vol.35、pp.207-217, 2007
 25. Nakada, N.; Shinohara, H.; Murata, A.; Kiri, K.; Managaki, S.; Sato, N. and Takada, H., Removal of selected pharmaceuticals and personal care products (PPCP) and endocrine-disrupting chemicals (EDCs) during sand filtration and ozonation at a municipal sewage treatment plant. *Water Research*, 41, pp4373-4382, 2007.
 26. Boonyatumanond, R.; Murakami, M.; Wattayakorn, G.; Togo, A. and Takada, H., Sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust in a tropical Asian mega-city, Bangkok, Thailand. *The Science of the Total Environment*, 384, pp.420-432, 2007.
 27. T. Kose, T. Yamamoto, A. Anegawa, S. Mohri, Y. Ono: Source analysis for polycyclic aromatic hydrocarbon in road dust and urban runoff using marker compounds, *Desalination*, (in press)
 28. Hossain M.A., Furumai H., Nakajima F., Aryal R.K: Heavy metals speciation in sediment accumulated within an infiltration facility and evaluation of metal retention properties of underlying soil, *Water Science & Technology*, Vol 56, No 11, pp.81-89, 2007
 29. Michio Murakami, Fumiyuki Nakajima, Hiroaki Furumai: The sorption of heavy metal species by sediments in soakaways receiving urban road runoff, *Chemosphere*, Vol.70, No.11, pp.2099-2109, 2008a
 30. Managaki, S.; Murata, A.; Takada, H.; Tuyen, B.; Chiem, N, Distribution of macrolides, sulfonamides and trimethoprim in tropical waters: ubiquitous occurrence of veterinary antibiotics in the Mekong Delta. *Environmental Science & Technology*, Vol.42(23) pp.8004-8010, 2007
 31. 村上道夫、古米弘明、中島典之、Haltota K.P.K. Jinadasa, Rupak K. Aryal：降雨特性の異なる 66 降雨における雨水浸透施設からの浸透量の評価、*用水と廃水*, (in press)
 32. Michio Murakami, Junya Yamada, Hidetoshi Kumata, and Hideshige Takada: Sorptive behavior of nitro-PAHs in street runoff and their potential as indicators of diesel vehicle exhaust particles, *Environmental Science & Technology*, Vol.42(4), pp.1144-1150, 2008b

(2)その他の著作物(総説、書籍などを記載してください。)

1. 小野芳朗：『水と暮らしの環境文化』第3章 京都の名水と琵琶湖疏水—水資源の多様化を求めて、昭和堂、2003年4月20日
2. Norihide NAKADA, Naoyuki YAMASHITA, Kiyoshi MIYAJIMA, Yutaka SUZUKI, Hiroaki TANAKA, Hiroyuki SHINOHARA, Hideshige TAKADA, Nobuyuki SATO, Mikio SUZUKI, Mitsuaki ITO, Fumiyuki NAKAJIMA and Hiroaki FURUMAI : Multiple Evaluation of Soil Aquifer Treatment for Water Reclamation using Instrumental Analysis and Bioassay, In: Southeast Water Environment 2 (Eds: H. Furumai et al.), pp.303-310, IWA Publishing, 2007
3. H. Shinohara, T. Tanishima, S. Kojima, S. Managaki, H. Takada, N. Nakada, H. Tanaka, F. Nakajima and H. Furumai : Water-soluble organic micro-pollutants in municipal wastewater and their removal during advanced treatment, In: Southeast Water Environment 2 (Eds: H. Furumai et al.), pp.311-318, IWA Publishing, 2007
4. H. Furumai : Chapter 14 Reclaimed stormwater and wastewater and factors affecting their reuse, in: Cities of the Future (Eds: V. Novotny and P. Brown), pp218-235, IWA publishing, 2007

(3)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

① 招待講演 (国内会議 8件、国際会議 5件)

1. 古米弘明(東京大学)：都市の持続性からみた水循環の課題、第18回環境工学連合講演会、東京、2003/2/6
2. Hiroaki FURUMAI(東京大学)：Global trends for sustainable urban water management and the future tasks in Southeast Asian countries, International Symposium on Diagnosis, Treatment and Regeneration for Sustainable Urban Systems, Mito, Japan, 2003.3.13
3. Taniguchi Mamoru(岡山大学)：The new guideline for sustainable urban layout WCTR(World Conference on Transportation Research) SIG1, 2003/5/26
4. 田中宏明(京都大学)：流域の水質リスク評価と管理手法、第7回日本水環境学会シンポジウム、東京、2004.9.13-14
5. Hiroaki Furumai(東京大学)：Rainwater and reclaimed wastewater for sustainable urban water use, the XXXI International Association of Hydraulic Engineering and Research Congress, Seoul, 2005.9.11-16
6. 田中宏明(京都大学)：海外報告3(Water Environment, 78th Annual Technical Exhibition and Conference)、第5回廃棄物対策研究発表会、千葉、2005.11.29
7. 田中宏明(京都大学)：水資源のフロンティア、下水処理水再利用のChallenge、環境科学技術シンポジウム2006、岡山、2006.1.20
8. Hiroaki FURUMAI(東京大学)：Reclaimed stormwater and wastewater and factors affecting their reuse, Wingspread Workshop CITIES OF THE FUTURE “Blue Water in Green Cities”, Wingspread (Racine, WI), 2006.7.12-14
9. 田中宏明(京都大学)：日常生活を支える医薬品による水環境汚染、第12回バイオアッセイ研究会・日本環境毒性学会合同研究発表会、東京、2006.9.1-2
10. 古米弘明(東京大学)：水環境をめぐる研究の視点—都市の持続性、水循環・水管理—、日本水道協会関西地方支部第50回研究発表会、2006.11.9
11. 田中宏明(京都大学)：都市の水循環システムと下水道、日本下水道協会関西地方支部下水道講演会招待講演、2006.12.12

12. Hiroaki FURUMAI (東京大学) : Significance of rainwater infiltration and wastewater reclamation for sustainable urban water use, Environmental Societies Joint Conference in Korea, Busan, 2007.5.3
13. 古米弘明 (東京大学) : 都市自己水源の再認識と持続的水利用に向けた水質リスク評価、地球環境カレッジ第 75 回定例講演会, 2007.7.10

② 口頭発表 (国内会議 55 件、国際会議 43 件)

1. 小野芳朗 (岡山大学) : 埋め立て地浸出水のヒメダカ試験系による安全性スコアリングシステムの提示、第 37 回日本水環境学会年会、熊本、2003.3
2. 谷島利勝, 高田秀重 (東京農工大学) : 医薬品起源化学物質の下水処理過程における挙動、第 37 回日本水環境学会年会、熊本、2003.3.6.
3. Hiroaki Furumai (東京大学) : Estimation of origins of polycyclic aromatic hydrocarbons in size-fractionated road dust in Tokyo with multivariate analysis、7th IWA Diffuse Pollution Conference、Dublin、2003.8.21
4. 村上道夫、古米弘明、中島典之 (東京大学) : 雨天流出モデルによる道路・屋根堆積塵埃由来の多環芳香族炭化水素類 (PAHs) の挙動解析、第 5 回日本水環境学会シンポジウム、西宮、2003.9.19
5. Michio Murakami、Hiroaki Furumai、Fumiyuki Nakajima (東京大学) : Runoff modeling of particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in densely populated area、Society of Environmental Toxicology and Chemistry Asia /Pacific ASE2003、Christchurch、2003.9.29
6. 谷口守 (岡山大学) : 都市環境解析のための新しい試み : 電子電話帳が拓く新しい都市分析の可能性、土木計画学研究発表会、豊橋、2003・11・27-29
7. 山下尚之、田中宏明、宮島亘博、玉本博之 (土木研究所) : AGP 試験と藻類生長阻害試験を用いた下水処理水の河川水質に対する影響評価、第 38 回日本水環境学会年会、札幌、2004.3.17-19
8. 坂田佳子、栗栖太、矢木修身、古米弘明 (東京大学) : 下水処理の土壌カラム通水試験による土壌微生物生態への影響評価、第 38 回日本水環境学会年会、札幌、2004.3.17-19
9. 村上道夫、中島典之、古米弘明 (東京大学) : 粒径及び比重により分画した道路堆積塵埃中の多環芳香族炭化水素類(PAHs)の発生源解析、第 13 回環境化学討論会、静岡、2004.7.8
10. 古米弘明、H.K.P.K.Jinadasa、村上道夫、中島典之 (東京大学)、脇岡靖明 (国立環境研究所) : 分布型モデルを用いた都市域雨水浸透施設の流出抑制効果の検討、水文・水資源学会 2004 年研究発表会、室蘭、2004.8.19
11. Hiroaki Furumai、H.K.P.K.Jinadasa、Michio Murakami、Fumiyuki Nakajima and Rupak Kumar Aryal (東京大学) : Model description of storage and infiltration functions of infiltration facilities for urban runoff analysis by a distributed model、6th International Conference on Urban Drainage Modelling- UDM'04、Dresden、2004a.9.15-17
12. Rupak Kumar ARYAL、Hiroaki FURUMAI、Fumiyuki NAKAJIMA (東京大学) : Characteristics of particle-associated PAHs in a first flush of a highway runoff、8th international Conference on Diffuse/Nonpoint Pollution、京都、2004.10.24-29
13. Michio Murakami、Fumiyuki Nakajima、Hiroaki Furumai (東京大学) : Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Size- and Density-Fractionated Urban Road Dust、8th international Conference on Diffuse/Nonpoint Pollution、京都、2004.10.24-29
14. Sebahat Seker、Motochika Sekiguchi、Kensuke Arakawa、and Yoshiro Ono (岡山大学) : Advanced treatment of toxic compounds in simulated storm runoff by a soil

- column system、8th international Conference on Diffuse/Nonpoint Pollution、京都、2004.10.24-29
15. 藤井裕子、諸泉利嗣、大久保賢治、小野芳朗、谷口守 (岡山大学) : 岡山県旭川流域における広域蒸発散量の推定、第 59 回農業土木学会中国四国支部講演会、2004.10.13
 16. OKUBO, K (岡山大学) : A Combined model for surface and subsurface flows in a watershed, International Symposium on numerical simulation of Environmental problems, Okayama, 2004.11.22-23
 17. Hiroaki FURUMAI, Rupak Kumar ARYAL and Fumiyuki NAKAJIMA (東京大学) : Rainwater and reclaimed wastewater for sustainable water use in mega city Tokyo, 2nd Internatinal Symposium on Southeast Asian Water Environment, Hanoi, 2004b.12.3
 18. H. Shinohara, T. Tanishima, S. Kojima, S. Managaki, H. Takada (東京農工大学), N. Nakada (土木研究所), H. Tanaka (京都大学), F. Nakajima and H. Furumai (東京大学) : Water-soluble organic micro-pollutants in municipal wastewater and their removal during advanced treatment, 2nd Internatinal Symposium on Southeast Asian Water Environment, Hanoi, 2004.12.3
 19. Norihide NAKADA, Naoyuki YAMASHITA, Kiyoshi MIYAJIMA, Yutaka SUZUKI (土木研究所), Hiroaki TANAKA (京都大学), Hiroyuki SHINOHARA, Hideshige TAKADA (東京農工大学), Nobuyuki SATO, Mikio SUZUKI, Mitsuaki ITO (国土環境), Fumiyuki NAKAJIMA and Hiroaki FURUMAI (東京大学) : Multiple Evaluation of Soil Aquifer Treatment for Water Reclamation using Instrumental Analysis and Bioassay, 2nd Internatinal Symposium on Southeast Asian Water Environment, Hanoi, 2004.12.3
 20. Hiroaki FURUMAI, Rupak Kumar ARYAL, Michio Murakami, H.K.P.K JINADASA and Fumiyuki NAKAJIMA (東京大学) : Quantitative evaluation of water balance through infiltration facilities by a distributed model, International workshop on water management systems for creating healthy water environment (国際ワークショップ「健康で豊かな水環境を創造するための新しい水管理システムの可能性」)、東京、2005.1.21
 21. Norihide NAKADA (土木研究所), Hideshige TAKADA (東京農工大学), Hiroaki TANAKA (京都大学), Nobuyuki SATO (国土環境), Fumiyuki NAKAJIMA and Hiroaki FURUMAI (東京大学) : Removal of organic micro-pollutants from treated wastewater by soil aquifer treatment, International workshop on water management systems for creating healthy water environment (国際ワークショップ「健康で豊かな水環境を創造するための新しい水管理システムの可能性」)、東京、2005a.1.21
 22. 村上道夫、古米弘明、Rupak Kumar Aryal、中島典之 (東京大学) : 雨水浸透枡堆積物及び道路塵埃中重金属類の存在量と溶出特性、第 39 回日本水環境学会年会、千葉、2005a.3.18
 23. 真部良章、小松俊哉、姫野修司、藤田昌一 (長岡科学技術大学)、古米弘明 (東京大学) : 水道水源の河川水及び地下水の変異原性試験による評価 - 新規水源の利用に向けて -、第 39 回日本水環境学会年会、千葉、2005.3.18
 24. 山下尚之、中田典秀、宮島潔、鈴木穰 (土木研究所)、田中宏明 (京都大学)、佐藤修之、鈴木幹夫、伊藤光明 (国土環境)、矢木修身、中島典之、古米弘明 (東京大学) : 都市内自己水源の活用に向けた下水処理水の土壌カラムによる処理—マイクロトックスおよび藻類試験による処理評価—、第 39 回日本水環境学会年会、千葉、2005.3.19
 25. 坂田佳子、栗栖太、矢木修身、古米弘明 (東京大学) : 消毒法の異なる下水処理水の土壌カラム通水試験における土壌微生物相への影響評価、第 39 回日本水環境学会年会、千葉、2005.3.19
 26. 篠原裕之、谷島利勝、高田秀重 (東京農工大学)、中田典秀 (土木研究所)、田

- 中宏明 (京都大学) : 下水処理場におけるオゾン処理および砂濾過処理による医薬品とエストロゲン様物質の除去、第 39 回日本水環境学会年会、千葉、2005.3.19
27. 小嶋早和香、高田秀重 (東京農工大学) : 河川水中の LAS 及び分解産物-LC-MS を用いた分析法の検討、第 39 回日本水環境学会年会、千葉、2005.3.19
 28. Shoichi. FUJITA (長岡科学技術大学) : Stormwater Management for Sustainable Urban Water Use, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005.6.9-10
 29. Hiroaki TANAKA (京都大学) : Key Factors to Sustain Urban Water Environment Created by Reclaimed Wastewater, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005a.6.9-10
 30. Michio Murakami, Fumiyuki Nakajima, Rupak K. Aryal, Hiroaki Furumai (東京大学) : Identification of particles containing chromium and lead in road dust and infiltration inlet sediment by electron probe microanalysis, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005.6.9-10
 31. Rupak Aryal, Michio Murakami, Mohammed Abed Hossain, Hiroaki Furumai, Fumiyuki Nakajima (東京大学) : Speciation of heavy metals in infiltration inlet sediments, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005a.6.9-10
 32. Yoshiro ONO and Tomohiro KOSE (岡山大学) : Contribution of Various Road Traffic Sources on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Pollution in Okayama City, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005.6.9-10
 33. Yuji OKAYASU, Yutaka SUZUKI, Koya KOMORI, Makoto YASOJIMA (土木研究所) : Occurrence of Estrogen-like Substances in Wastewater in Japan, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005.6.9-10
 34. Hideshige TAKADA, Hiroyuki SHINOHARA, Toshikatsu TANISHIMA, Sawaka KOJIMA, Satoshi MANAGAKI (東京農工大学), Norihide NAKADA (土木研究所), Hiroaki TANAKA (京都大学) : Estrogenic Compounds, Pharmaceuticals, and Synthetic-detergent-derived Chemicals in Secondary Effluents and Their Removal during Advanced Treatment, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005.6.9-10
 35. Norihide Nakada (土木研究所), Hideshige Takada (東京農工大学), Nobuyuki Sato, Mikio Suzuki (国土環境), Hiroaki Tanaka (京都大学), Fumiyuki Nakajima and Hiroaki Furumai (東京大学) : Removal of estrogens, endocrine disrupters and other wastewater contaminants by soil aquifer treatment, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005b.6.9-10
 36. F. Kurisu, Y. Sakata, O. Yagi, H. Furumai (東京大学) : Microbial Community Assessment of Soil Injected with Sewage Effluent by Soil Column Tests, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005.6.9-10
 37. R.K. Aryal, H. Furumai, F. Nakajima and M. Murakami (東京大学) : Sediment deposition and heavy metals accumulation in infiltration inlets installed for two decades in Tokyo, 1st IWA-ASPIRE conference, Sigapore, 2005.7.10-15
 38. Yamashita, N., Yasojima, M., Nakada, N., Miyajima, K., Komori, K., Suzuki, Y. (土木研究所), Tanaka, H. (京都大学) : Effects of antibacterial agents, levofloxacin and clarithromycin, on aquatic organisms, IWA Chemical Industries 2005, Tsukuba & Kashima, 2005.7.14-16
 39. R.K. Aryal, H. Furumai, F. Nakajima and M. Murakami (東京大学) : Clogging of infiltration inlets due to prolonged sediment deposition and its effect on heavy metals release, 第 42 回下水道研究発表会, 東京, 2005b.7.26-28
 40. R.K. Aryal, H. Furumai, F. Nakajima, M. Murakami and H.K.P.K. Jinadasa (東京大

- 学) : Prolonged deposition of heavy metals in infiltration facilities and its possible threat to groundwater contamination, 10th International Conference on Urban Drainage (10ICUD), Copenhagen, 2005c.8.21-26
41. M. Murakami, H. Furumai, F. Nakajima, H.K.P.K. Jinadasa and R.K. Aryal (東京大学) : Comparison of infiltration flows at three types of infiltration facilities in serial rainfall events with different characteristics, 10th International Conference on Urban Drainage (10ICUD), Copenhagen, 2005b.8.21-26
 42. 村上道夫、中島典之、古米弘明、富安文武乃進、尾張真則 (東京大学) : 電子線マイクロアナライザーによる道路塵埃、浸透柵堆積物中のクロム及び鉛含有粒子の特定, 第8回日本水環境学会シンポジウム, 大津, 2005b.9.12-13
 43. 山本高士、内田福太郎、小瀬知洋、姉川彩、小野芳朗 (岡山大学) : 多環芳香族炭化水素類汚染における自動車交通の寄与, 第8回日本水環境学会シンポジウム, 大津, 2005.9.12-13
 44. H. Tanaka (京都大学), N. Nakada (土木研究所), N. Yamashita (京都大学), A. Harada, K. Miyajima, Y. Suzuki (土木研究所), H. Shinohara, H. Takada (東京農工大学), N. Sato, M. Suzuki, M. Ito (国土環境), F. Nakajima and H. Furumai (東京大学) : Reduction of trace pollutants in reclaimed wastewater through soil aquifer treatment, Water Environment Federation, WashingtonDC, 2005b.10.29-11.2
 45. 坂田佳子、栗栖太、矢木修身、古米弘明 (東京大学) : 土壌の17 β -エストラジオール分解能と微生物群集構造, 第21回日本微生物生態学会講演要旨集, p.136, 福岡, 2005.10.30-11.2
 46. 坂田佳子、栗栖太、矢木修身、古米弘明 (東京大学) : 安定同位体プローブ法と平板培養法による土壌中の17 β -エストラジオール(E2)分解微生物の探索と土壌のE2分解力の評価, 第40回日本水環境学会年会, 仙台, 2006.3.15
 47. 村上道夫、中島典之、古米弘明 (東京大学) : 道路塵埃溶出液と雨水浸透柵堆積物の混合による重金属類の脱吸着, 第40回日本水環境学会年会, 仙台, 2006.3.15
 48. 姉川彩、向井一洋、小瀬知洋、小野芳朗 (岡山大学) : 最終処分場における有機化合物の溶出に及ぼす溶存有機物の影響, 第40回日本水環境学会年会, 仙台, 2006.3.17
 49. 原田新, 中田典秀, 宮島潔, 鈴木穰, 八十島誠, 山下尚之, 田中宏明、水環境中に存在する医薬品の複数の水生生物に対する影響検討, 第40回日本水環境学会年会, 仙台, 2006a.3.17
 50. 金山麻里香、真部良章、小松俊哉、藤田昌一 (長岡技術科学大学)、原田新 (土木研究所) : 変異原性生成能を用いた全国河川の水質評価, 第40回日本水環境学会年会, 仙台, 2006.3.15
 51. R.K. Aryal, H. Furumai, F. Nakajima and M.A. Hossain (東京大学) : Vertical distribution and speciation of heavy metals in stormwater infiltration facilities: possible heavy metals release to groundwater, Proceedings of 7th International Conference on Urban Drainage Modelling, Vol.1, pp.253-260, Melbourne, 2006.4.4
 52. 桐賢太郎, 高田秀重 (東京農工大学), 田中宏明 (京都大学), 原田新, 中田典秀, 鈴木穰 (土木研究所) : 水環境中における合成医薬品の動態—河川における分布と河口域における挙動, 第15回環境化学討論会, 仙台, 2006.6.20-22
 53. 村田綾子, 真名垣聡, 高田秀重 (東京農工大学), 村上和雄 (東京家政大学), 田中宏明 (京都大学), 原田新, 中田典秀, 鈴木穰 (土木研究所) : 日本の河川の抗生物質汚染の実態解明, 第15回環境化学討論会, 仙台, 2006.6.20-22
 54. 原田新, 中田典秀, 宮島潔, 鈴木穰 (土木研究所), 佐藤修之 (いであ), 山下尚之, 田中宏明 (京都大学) : 河川水質分布からみた再生水の評価, 第43回下水道研究発表会, 大阪, 2006b.8.25-27
 55. 金鎮英、古米弘明 (東京大学) : 都市計画地域情報と衛星画像を用いた不浸透面および植生地の抽出方法の検討, 水文・水資源学会 2006年総会・研究発表会、

- 岡山、2006.8.29-31
56. 山本将也、諸泉利嗣、大久保賢 治、小野芳朗、谷口守(岡山大学) : 岡山県 3 河川流域における実蒸発散量と水収支の推定、水文・水資源学会 2006 年総会・研究発表会、岡山、2006.8.29-31
 57. Jin Young KIM, Fumiyuki NAKAJIMA and Hiroaki FURUMAI (東京大学) : Identification enhancement of pervious and impervious urban surface through coupled analysis of IKONOS satellite image with Tokyo Metropolitan City Planning Geographic Information, Proc. 2nd International Workshop on Rainwater Harvesting and Management, pp.191-198, Beijing, 2006.9.11
 58. A. Aneqawa, T. Yamamoto, T. Kose, S. Mohri and Y. Ono (岡山大学) : Contribution of polycyclic aromatic hydrocarbons from road traffic sources on river sediment, IWA 10th International Specialized Conference on Diffuse Pollution and Sustainable Basin Management, Istanbul, 2006.9.18-21
 59. 氏原岳人, 谷口守 (岡山大学), 古米弘明 (東京大学), 小野芳朗 (岡山大学) : ウォーターサプライ・フットプリント指標を用いた都市活動配置評価ー水利用・循環の視点から地区整備を考えるー, 第 34 回環境システム研究論文発表会, pp.507-513, 2006.10.11
 60. 原田新、中田典秀、山下尚之、佐藤修之、伊藤光明、鈴木穰、田中宏明、古米弘明 : 全国河川水質分布との相対比較による都市再生水の水質評価、第 4 3 回環境工学 研究フォーラム、 pp.501-508、函館、2006c.11.17-19
 61. 中田典秀、小西千絵、小森行也、鈴木穰、田中宏明 : 河川流域における医薬品存在実態調査、第 4 3 回環境工学フォーラム、函館、2006.11.17-19
 62. Kaisai Zang, Futoshi Kurisu, Hiroaki Furumai, and Osami Yagi (東京大学) : In situ phylogenetic diversity study of estrone degrading microbial community in activated sludge using microautoradiography-fluorescent in situ hybridization, Proc. 4th International Symposium on Southeast Water Environment, pp.67-74, Bangkok, 2006.12.7
 63. 藤田誠 (東京大学), 村上道夫 (東京農工大学), 春日郁朗, 栗栖太, 古米弘明 (東京大学) : 雨水浸透柵における道路排水中の形態別重金属の吸脱着特性の解析、第 41 回日本水環境学会年会講演集、 p.9、2007.3.15.
 64. 村上道夫 (東京農工大学), 佐藤修之 (いであ), 篠原 裕之, 高田秀重 (東京農工大学), 古米弘明 (東京大学) : 土壌浸透による道路排水中フッ素系界面活性剤および重金属類の除去、第 41 回日本水環境学会年会講演集、 p.102、2007a.3.15.
 65. 毛利紫乃、原田新、佐藤修之、小松俊哉、田中宏明、小野芳朗、古米弘明 : 都市水源水の合理的利用のための水質リスクの新規評価手法、第 41 回日本水環境学会年会講演集、 p.414、2007.3.15.
 66. 黒田啓介、福士哲雄、滝沢智、愛知正温、林武司、徳永朋祥、沖大幹 (東京大学) : 東京の地下水汚染と表層地質との関連性、第 41 回日本水環境学会年会講演集、 p.93、2007.3.15.
 67. 北村清明、宮島潔、東谷忠、中田典秀、鈴木穰 (土木研究所) : 下水処理水中での雄メダカのビテロゲニン生成とエストロゲンによる 影響濃度との関係、第 41 回日本水環境学会年会講演集、 p.211、2007.3.15.
 68. 村田綾子、高田秀重 (東京農工大)、滝沢智、福士哲雄、黒田啓介 (東京大学) : 河川および地下水における抗生物質汚染の実態解 明、第 41 回日本水環境学会年会講演集、 p.391、2007.3.15.
 69. 狩野美代、金山麻里香、小松俊哉、姫野修司 (長岡技術科学大学), 佐藤修之 (いであ株式会社) : 道路排水の地下水涵養土壌カラム 試験における変異原性生成能の除去能評価、第 41 回日本水環境学会年会講演集、 p.626、2007.3.15.
 70. 原田新、中田典秀、八十島誠、鈴木穰 (土木研究所) : 水環境中に存在する医薬

- 品の水生生物に対する影響、第 41 回日本水環境学会 年会講演集、p.102、2007a.3.16.
71. Kaisai Z., Kurisu F., Kasuga I., Furumai H. and Yagi O. (東京大学) : Investigation of estrone uptake patterns of microbial communities in activated sludge by microautoradiography-fluorescent in situ hybridization、第 41 回日本水環境学会年会講演集、p.465、2007.3.17.
 72. 小瀬知洋、山本高士、姉川彩、毛利紫乃、小野芳朗 (岡山大学) : 自動車交通起源の多環芳香族炭化水素類(PAHs)の汚染経路に関する研究 1. 汚染起源に関する検討、第 41 回日本水環境学会年会講演集、p.490、2007.3.17.
 73. 山本高士、小瀬知洋、姉川彩、毛利紫乃、小野芳朗 (岡山大学) : 自動車交通起源の多環芳香族炭化水素類(PAHs)の汚染経路に関する研究 2. 河川底質汚染への寄与の検討、第 41 回日本水環境学会年会講演集、p.491、2007.3.17.
 74. Okubo, K. and Kochi, Y.: Synoptic Basin Model for the Upper Meghna River, International Conference on Water and Flood Management, II, 181-189, Dhaka, 2007.3
 75. Mamoru Taniguchi, Takehiko Ujihara, Hiroaki Furumai and Yoshiro Ono: Development of a Water Supply Footprint Index to Assess the Water Balance for Local Land-use Planning, 1st International Ecological Footprint Conference, 2007.5.9
 76. Ruchaya Boonyatumanond, Michio Murakami, Hideshige Takada and Gullaya Wattayakorn : Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments, Thailand, 第 16 回環境化学討論会, 1E08, pp.294-295. (北九州, 2007. 6. 20-22)
 77. 村上道夫, 佐藤修之, 今村英二, 黒田啓介, 福士哲雄, 滝沢智, 高田秀重 : フッ素系界面活性剤による地下水汚染の実態, 第 16 回環境化学討論会, 2A02, pp. 142-143. (北九州, 2007b. 6. 20-22)
 78. Hossain M.A., Furumai H., Nakajima F., Aryal R.K: Heavy metals speciation in sediment accumulated within an infiltration facility and evaluation of metal retention properties of underlying soil, Proc.NOVATECH 2007 vol.2, pp827-834, Lyon, 2007.6.26
 79. 小村拓也, 諸泉利嗣, 大久保賢治, 小野芳朗, 谷口守, 古米弘明: アジアの大都市における水資源賦存量の推定、水文・水資源学会 2007 総会・研究発表会、2007a.7.25-27
 80. Hideshige Takada, Norihide Nakada, Kentaro Kiri, Hiroyuki Shinohara, Toshikatsu Tanishima. Utility of crotamiton as a water-soluble persistent molecular marker of pharmaceutical chemicals and sewage, proceeding of symposium honoring Dr. Walter Giger, 234th American Chemical Society National Meeting, 47(2), 600-604, 2007a.8.19-23
 81. Satoshi Managaki, Ayako Murata, Ayako Takeshita, Hideshige Takada, Bui Cach Tuyen. Distribution of macrolides, sulfonamides and trimethoprim in tropical and temperate waters: comparison between Vietnam and Japan. proceeding of symposium honoring Dr. Walter Giger, 234th American Chemical Society National Meeting, 47(2), 686-690, 2007.8.19-23
 82. Hiroaki Furumai, Jinyong Kim : Improved method for identification of plant covered area in urban regions using surface reflectance spectra of IKONOS satellite image, 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集,7-148, 2007.9.12
 83. 李軍(北京工業大学), 古米弘明, 周軍(北京都市排水集団有限公司) : 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集,7-198, 2007.9.12
 84. 原田新、北村清明、鈴木穰、濃縮試料における生物毒性変化～固相抽出法による環境水試料の前処理について～、第 13 回日本環境毒性学会・バイオアッセイ研究会合同研究発表会、2007b.9.16
 85. Kaisai Zang, Futoshi Kurisu, Ikuro Kasuga, Hiroaki Furumai, Osami Yagi: In situ identification of estrone-degrading microorganisms belonging to Betaproteobacteria in activated sludge. 第 23 回日本微生物生態学会講演要旨集、pp73、2007. 9. 17

86. Hiroaki FURUMAI and Fumiyuki NAKAJIMA: Behavior of urban non-point pollutants and rainwater infiltration, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.7-20 (Kyoto, 2007.10.4-5)
87. Takehito UJIHARA, Mamoru TANIGUCHI, Hiroaki FURUMAI, Yoshiro ONO: Water supply footprint index for assessment of water balance, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.21-29 (Kyoto, 2007.10.4-5)
88. Rupak Kumar ARYAL, Hiroaki FURUMAI, Fumiyuki NAKAJIMA, Mohhamed Abed HOSSAIN: Possible threat of groundwater contamination due to prolonged deposition of sediment in infiltration facilities in Tokyo, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.31-43 (Kyoto, 2007.10.4-5)
89. Hideshige Takada, Norihide Nakada, Toshikatsu Tanishima, Hiroyuki Shinohara, Kentaro Kiri, Ayako Murata, Satoshi Managaki, Nobuyuki Sato and Michio Murakami : Occurrence of water-soluble micropollutants in municipal wastewater and their removal during sewage treatments, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.45-53 (Kyoto, 2007b.10.4-5)
90. Michio Murakami, Nobuyuki Sato, Aya Anegawa, Norihide Nakada, Arata Harada, Toshiya Komatsu, Hideshige Takada, Hiroaki Tanaka, Yoshiro Ono and Hiroaki Furumai : Soil aquifer treatment of road runoff water, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.55-61 (Kyoto, 2007.10.4-5)
91. Norihide Nakada, Hiroyuki Shinohara, Michio Murakami, Hideshige Takada, Nobuyuki Sato, Mitsuaki Ito, Arata Harada, Yutaka Suzuki, Hiroaki Tanaka and Hiroaki Furumai : Soil aquifer treatment of secondary treated wastewater, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.63-68 (Kyoto, 2007.10.4-5)
92. Yutaka Suzuki, Arata Harada, Norihide Nakada, Kiyooki Kitamura, Naoyuki Yamashita, Hiroaki Tanaka, Nobuyuki Sato, Mitsuaki Ito, Toshiya Komatsu, Hiroyuki Shinohara, Michio Murakami, Hideshige Takada and Hiroaki Furumai : Multiple evaluation of urban water quality in comparison with nationwide distribution of river water qualities, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.69-73 (Kyoto, 2007.10.4-5)
93. Yoshiro ONO, Shino MOHRI: Risk evaluation for urban water as a scoring method by using bioassays and chemical analysis, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.75-76 (Kyoto, 2007.10.4-5)
94. 古米弘明、中島典之: 都市ノンポイント汚染物質の動態評価・モデル解析, 第2回持続的な都市の水利用のための雨水と再生水に関する国際ワークショップ, pp. 229-233 (京都, 2007. 10. 4-5)
95. 高田秀重: 都市域水循環・再利用の観点から見た都市排水の水溶性微量汚染の評価, 第2回持続的な都市の水利用のための雨水と再生水に関する国際ワークショップ, pp. 235-242 (京都, 2007. 10. 4-5)
96. 田中宏明, 山下尚之, 鈴木穰, 原田新, 中田典秀, 北村清明, 佐藤修之, 伊藤光明, 小松俊哉, 篠原裕之, 村上道夫, 高田秀重, 古米弘明 : 都市水循環システム構築のための水質リスクの多面的評価, 第2回持続的な都市の水利用のための雨水と再生水に関する国際ワークショップ, pp. 243-251 (京都, 2007. 10. 4-5)
97. 小野芳朗, 毛利紫乃, 谷口守: 都市水源のリスク評価法と適正配置, 第2回持続的な都市の水利用のための雨水と再生水に関する国際ワークショップ, pp. 253-254 (京都, 2007. 10. 4-5)

98. 小村拓也, 諸泉利嗣, 大久保賢治, 小野芳朗, 谷口守: 簡易手法によるアジア大都市水収支の推定、第 62 回農業農村工学会中国四国支部講演会講演要旨集、7-8、2007b.10.25

③ ポスター発表 (国内会議 9 件、国際会議 25 件)

1. 岩崎一弘、中杉奈央、大橋美保 (国立環境研究所)、矢木修身 (東京大学) : 原位バイオレメディエーションを目指した不法投棄御汚染地のバイオリータビリティ試験及びその微生物群集解析、環境バイオテクノロジー学会第 19 回シンポジウム、東京、2003・7・2 ポスター
2. 中村明博、矢木修身、栗栖太 (東京大学) : 土壌カラム中における TCE 分解微生物 *Methylocystis* sp. M 株の挙動モデル解析、環境バイオテクノロジー学会第 19 回シンポジウム、東京、2003・7・2 ポスター
3. 山下尚之、田中宏明、宮島亙博、玉本博之 (土木研究所) : マイクロプレートを用いた AGP 試験の検討と河川水質に対する下水処理水の影響、第 40 回環境工学研究フォーラム、和歌山、2003・11・14-15 ポスター
4. 坂田佳子、栗栖太、矢木修身、古米弘明 (東京大学) : 下水処理水の土壌カラム通水試験における土壌微生物群集構造変化、環境バイオテクノロジー学会第 22 回シンポジウム、東京、2004.7.6 ポスター
5. Y. Sakata, F. Kurisu and O. Yagi (東京大学) : Effect on Soil Microbial Community by Feeding Sewage Effluent to Soil Columns, 10th International Symposium on Microbial Ecology, Cancun, 2004.8.22-27 ポスター
6. 村上道夫、Aryal Rupak Kumar、中島典之、古米弘明 (東京大学)、雨水流出抑制型下水道排水区における雨水浸透枘内の土砂堆積レベルと汚染物質の蓄積状況、第 41 回環境工学研究フォーラム、宮崎、2004.11.25-26 ポスター
7. 佐藤修之 (国土環境)、中田典秀 (土木研究所)、鈴木幹夫・伊藤光明 (国土環境)、田中宏明 (京都大学)、古米弘明 (東京大学) : 都市内自己水源の活用に向けた下水処理水の地下水涵養土壌カラム実験、第 41 回環境工学研究フォーラム、宮崎、2004.11.25-26 ポスター
8. 山下尚之 (土木研究所)、田中宏明 (京都大学)、宮島潔、宮本宣博、玉本博之 (土木研究所) : マイクロプレートを用いた AGP 試験の検討と河川水質に対する下水処理水の影響、第 41 回環境工学研究フォーラム、宮崎、2004.11.25-26 ポスター
9. Michio Murakami, Hiroaki Furumai, Fumiyuki Nakajima, Haltota K.P.K. Jinadasa and Rupak K. Aryal (東京大学) : Comparison of infiltration volumes at three types of infiltration facilities in Tokyo in serial rainfall events with different characteristics, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005.6.9-10 ポスター
10. Kentaro KIRI, Toshikatsu TANISHIMA, Satoshi MANAGAKI, Sawaka KOJIMA (東京農工大学), Arata HARADA, Norihide NAKADA (土木研究所), Hiroaki TANAKA (京都大学), Hideshige TAKADA (東京農工大学) : Nation-wide Distributions of Pharmaceuticals and Synthetic Detergent-derived Chemicals in River Water in Japan, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005.6.9-10 ポスター
11. Toshiya KOMATSU, Yoshiaki MANABE, Shuji HIMENO, Shoichi FUJITA (長岡技術科学大学), Arata HARADA and Naoyuki YAMASHITA (土木研究所) : Risk Evaluation of River Waters throughout Japan by Mutagen Formation Potential, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005.6.9-10 ポスター
12. Y. Sakata, F. Kurisu, O. Yagi, H. Furumai (東京大学) : Effects of Sewage Effluent

- Application on Soil Microbial Community Using Soil Column System, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005.6.9-10 ポスター
13. Arata HARADA, Norihide NAKADA, Naoyuki YAMASHITA, Kiyoshi MIYAJIMA, Norihiro MIYOMOTO (土木研究所), Nobuyuki SATO, Mitsuaki ITO (国土環境), Yutaka SUZUKI (土木研究所), Hiroaki TANAKA (京都大学), Hiroaki FURUMAI (東京大学) : Evaluation of Reclaimed Wastewater from the View Point of Estrogen-like Activity in Comparison with River Water in Japan, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005.6.9-10 ポスター
 14. Moroizumi, T, K. Okubo, Y. Ono, and T. Taniguchi (岡山大学) : Estimation of regional-scale actual evapotranspiration in Okayama using AMeDAS, land classification, and elevation data, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005.6.9-10 ポスター
 15. Kenji OKUBO, Toshitsugu MOROIZUMI, Mamoru TANIGUCHI, Yoshiro ONO (岡山大学), Hiroaki FURUMAI (東京大学) : Synoptic Watershed Model Combined with the Runoff Routine, International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, Tokyo, 2005.6.9-10 ポスター
 16. Jin Young KIM, Fumiyuki NAKAJIMA and Hiroaki FURUMAI: Identification enhancement of pervious and impervious urban surface through coupled analysis of IKONOS satellite image with Tokyo Metropolitan City Planning Geographic Information, Proc. 2nd International Workshop on Rainwater Harvesting and Management, pp.191-198, Beijing, 2006.9.11
 17. Michio MURAKAMI, Hiroaki FURUMAI, Fumiyuki NAKAJIMA, R.K. ARYAL and H.K.P.K. JINADASA: An evaluation of multi-functional infiltration facilities installed for two decades in Tokyo on inundation control, groundwater recharge and pollutant retention scales, Proc. 2nd International Workshop on Rainwater Harvesting and Management, pp.123-130, Beijing, 2006.9.11
 18. Arata HARADA, Norihide NAKADA, Kiyooki KITAMURA, Yutaka SUZUKI, Nobuyuki SATO, Mitsuaki ITO, Naoyuki YAMASHITA, Hiroaki TANAKA : Evaluation of reclaimed water in comparison with nationwide distribution of river water qualities, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.157-158 (Kyoto, 2007a.10.4-5) ポスター
 19. Arata HARADA, Norihide NAKADA, Kiyooki KITAMURA, Yutaka SUZUKI, Nobuyuki SATO, Mitsuaki ITO, Naoyuki YAMASHITA, Hiroaki TANAKA : Evaluation of reclaimed water in terms of biological effects with multiple bioassay methods, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.159-160 (Kyoto, 2007b.10.4-5) ポスター
 20. 氏原岳人, 谷口守, 毛利紫乃, 小野芳朗, 古米弘明: 都市内自己水源を活用した流域内における水資源配置に関する基礎的検討ー地下水涵養と雨水・下水再生水の利用に着目してー, 第2回持続的な都市の水利用のための雨水と再生水に関する国際ワークショップ, pp. 161-162 (京都, 2007. 10. 4-5) ポスター
 21. Toshitsugu Moroizumi, Takuya Komura, Kenji Okubo, Michio Murakami, Haruna Watanabe, and Hiroaki Furumai : Estimation of potential water resources and water use in mega cities in Asia, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.163-164 (Kyoto, 2007.10.4-5) ポスター
 22. Hiroki SUGISHITA, Ryoji NAGAO, Naoyuki YAMASHITA, Hiroaki TANAKA, Isao HOWA, Chie KONISHI: PPCPs in Yodo River System: Rough classification based on the occurrences, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.165-166 (Kyoto, 2007.10.4-5) ポスター

23. Aya FUKUNAGA, Ryoji NAGAO, Naoyuki YAMASHITA, Hiroaki TANAKA: An ecological risk assessment approach for pharmaceuticals in effluent from wastewater treatment plants, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.167 (Kyoto, 2007.10.4-5) ポスター
24. Masugu HAMAGUCHI, Naoyuki YAMASHITA, Hiroaki TANAKA: Occurrence of antibiotic resistant *Pseudomonas Aeruginosa* in the aquatic environment, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.169-170 (Kyoto, 2007.10.4-5) ポスター
25. 佐藤修之, 鈴木幹夫, 伊藤光明: 都市の自己水源活用に向けた地下水涵養土壌カラム実験, 都市水源のリスク評価法と適正配置, 第2回持続的な都市の水利用のための雨水と再生水に関する国際ワークショップ, pp. 171-72 (京都, 2007. 10. 4-5) ポスター
26. Michio MURAKAMI, Nobuyuki SATO, Eiji IMAMURA, Kensuke KURODA, Tetsuo FUKUSHI, Satoshi TAKIZAWA, Hideshige TAKADA: Groundwater pollution by perfluorinated surfactants (PFSs), Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.173-174 (Kyoto, 2007a.10.4-5) ポスター
27. Michio Murakami, Nobuyuki Sato, Keisuke Kuroda, Tetsuo Fukushi, Aya Anegawa, Norihide Nakada, Arata Harada, Toshiya Komatsu, Hideshige Takada, Hiroaki Tanaka, Yoshiro Ono and Satoshi Takizawa: Identification of pollutants in groundwater and their removals by soil infiltration, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.175-176 (Kyoto, 2007b.10.4-5) ポスター
28. Satoshi Takizawa, Keisuke Kuroda, Tetsuo Fukushi, Michio Murakami, Norihide Nakada, and Hideshige Takada: Groundwater quality in Tokyo for sustainable urban water use, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.177-178 (Kyoto, 2007.10.4-5) ポスター
29. Jinyoung KIM, Hiroaki FURUMAI, Futoshi KURISU: Development of urban suited vegetation index from IKONOS satellite image for urban runoff simulation, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.179-180 (Kyoto, 2007.10.4-5) ポスター
30. Mohammed Abed HOSSAIN, Hiroaki FURUMAI, Ikuro KASUGA, Fumiyouki NAKAJIMA, Futoshi KURISU: Changes in heavy metals speciation and soil properties in soil system receiving infiltrated road runoff, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.181-182 (Kyoto, 2007.10.4-5) ポスター
31. Kaisai ZANG, Futoshi KURISU, Ikuro KASUGA, Hiroaki FURUMAI: *In situ* phylogenetic identification of estrone-degrading bacteria in activated sludge, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.183-184 (Kyoto, 2007.10.4-5) ポスター
32. Toshiya KOMATSU, Miyo KANOU, Shuji HIMENO, Arata HARADA: Distribution of mutagen formation potential (MFP) in nationwide river waters in Japan and removal of MFP in road runoff by soil infiltration, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.185-186 (Kyoto, 2007.10.4-5) ポスター
33. Jun LI, Chunrong WANG, Hiroaki FURUMAI: Study on hybrid membrane bioreactor for domestic wastewater reclamation, Proceedings of 2nd International Workshop on Rainwater and Reclaimed Water for Urban Sustainable Water Use, pp.191-197 (Kyoto, 2007.10.4-5) ポスター
34. Chunrong WANG, Jun LI, Hiroaki FURUMAI: The study on the coupling bioreactor for the domestic wastewater reclamation of low C/N ration, Proceedings of 2nd

(4)特許出願

①国内出願 (0件)

②海外出願 (0件)

(5)受賞等

①受賞

平成 18 年度日本水環境学会論文賞:

(代表論文)Michio MURAKAMI, Fumiyuki NAKAJIMA and Hiroaki FURUMAI

Modeling of runoff behaviour of particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from roads and roofs, Water Research, Vol. 38, 4475-4483 (2004)

②新聞報道

2004 (平成 16) 年 3 月 10 日 環境新聞 「次世代水環境の時代⑬ 川に流れる医薬品 上」

2004 (平成 16) 年 3 月 24 日 環境新聞 「次世代水環境の時代⑭ 川に流れる医薬品 下」

2004 (平成 16) 年 7 月 27 日 朝日新聞「河川に医薬品成分」

2005 (平成 17) 年 6 月 2 日 水道産業新聞「都市水循環でワークショップ／6 月 9 日・10 日」

2006 (平成 18) 年 7 月 27 日 共同通信「河川に抗生物質や医薬品 汚染各地に、人や動物用」

2006 (平成 18) 年 7 月 28 日 産経新聞「河川に抗生物質 初の全国調査 下水処理しきれず」

③その他

該当なし

(6)その他特記事項

該当なし

7 研究期間中の主な活動

ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
ワークショップ、シンポジウム等				
16/11/26	第 41 回環境工学研究フォーラム企画セッション「リスク管理型水循環系の構築に向けて」	宮崎市	約 80 名	活動成果発表とともに、将来の都市水循環と水利用システムのあり方を議論した
16/12/3	第 2 回東南アジア水環境シンポジウム Sustainable water use and wastewater reclamation セッション	ハノイ（ベトナム）	約 50 名	活動成果発表とともに、雨水利用・管理、排水再利用について議論した
17/6/9-10	持続的な都市の水利用のための雨水と再生水に関する国際ワークショップ	東京大学 武田ホール	約 130 名	日本語でのプレワークショップも含め、2 日間にわたり海外からの 4 件の招待講演、その他 17 件の講演があり、活発な議論がなされた。
19/5/29	水質評価・水質リスク評価に関するワークショップ	全国上下水道コンサルタント協会 会議室	約 25 名	多面的な水質評価やリスクのラベリングに関する話題提供とアンケートを実施して、実務者との討議を実施した。
19/6/19	水質評価・水質リスク評価に関するワークショップ	日本水道協会 会議室 (衛生常設調査委員会)	約 30 名	多面的な水質評価やリスクのラベリングに関する話題提供とアンケートを実施して、水道分野の水質管理実務者との討議を実施した。
19/6/30-7/1	都市の水利用における総合的水質評価・水質リスク評価に関するワークショップ	東京大学 環境安全研究センター	約 20 名	

19/7/10	都市自己水源の再認識と持続的水利用に向けた水質リスク評価に関するセミナー	地球環境 (GE) カレッジホール	約 60 名	CREST 研究プロジェクト紹介と水質評価・リスクのラベリングに関する話題提供とアンケートを実施した。
19/7/25	水質評価・水質リスク評価に関するワークショップ	東京ビックサイト会議室 (下水道研究発表会会場)	約 40 名	多面的な水質評価やリスクのラベリングに関する話題提供とアンケートを実施して、下水道分野の実務者との討議を実施した。
19/10/4-5	第 2 回持続的な都市の水利用のための雨水と再生水に関する国際ワークショップ	京都	約 150 名	
チーム内ミーティング				
15/1/7	チーム内打合せ	東京大学	7 名	研究基本方針と計画
15/2/14	チーム内打合せ	東京大学	10 名	カラム実験計画 次年度研究計画
15/4/10	チーム内打合せ	東京大学	14 名	研究計画
15/5/30	チーム内打合せ	東京大学	18 名	研究進捗状況報告 現場調査計画
15/7/30	チーム内打合せ	東京大学	16 名	下水調査結果報告 現場調査計画
15/12/9	チーム内打合せ	東京大学	22 名	土壌採取報告 カラム実験計画
16/3/15	チーム内打合せ	東京大学	19 名	下水調査結果報告 カラム実験報告 来年度計画
16/4/30	チーム内打合せ	東京大学	4 名	研究計画
16/5/13	チーム内打合せ	東京大学	21 名	研究計画 研究進捗状況報告 現場調査計画 ワークショップ 等企画
16/8/5	チーム内打合せ	東京大学	19 名	研究進捗状況報告 現場調査計画 カラム実験計画
16/8/25	チーム内打合せ	東京大学	7 名	リスクラベリング 方針議論
16/10/14	チーム内打合せ	東京大学	22 名	研究進捗状況報告 現場調査計画 カラム実験計画 成果発表計画
16/12/22	チーム内打合せ	東京大学	28 名	現場調査報告 カラム実験計画 国際ワークショップ 企画 来年度研究計画

17/2/18	チーム内打合せ	東京大学	7名	カラム実験計画
17/5/24	チーム内打合せ	東京大学	16名	国際ワークショップ ^o 準備 カラム実験計画 今年度研究計画
17/6/28	チーム内打合せ	東京大学	10名	現場調査結果討議
17/8/11	チーム内打合せ	東京大学	6名	調査データの解釈 リスクベリング ^o 方針議論
17/10/13	チーム内打合せ	東京大学	19名	リスクベリング ^o 方針議論 追加現場調査計画 成果取りまとめ方針
17/12/22	チーム内打合せ	東京大学	21名	中間評価報告 道路カラム実験報告 全国河川調査報告 成果取りまとめ方針
18/1/11	チーム内打合せ	土木研究所	3名	河川調査結果とりまとめ
18/3/17	チーム内打合せ	仙台	16名	研究成果報告 来年度研究計画 道路カラム実験報告 河川調査報告・方針 最終成果のあり方
19/4/27	チーム内打合せ	東京大学	5名	実務者アンケートについての打合せ
19/5/29	チーム内打合せ	東京大学	16名	研究成果報告 国内、国際ワークショップ事前打合せ
19/8/29	チーム内打合せ	東京大学	12名	研究成果報告 国際ワークショップ ^o 事前打合せ

8 結び

研究の達成度

当初の研究目標に対して、十分に満足できる成果を出すことができたものと考えている。すなわち、達成度は非常に高い。本来は病原微生物などの水質リスク因子も含めて、水利用の安全性や危険性を考えることが必要であるが、研究当初から明確に化学物質に特化してリスクの評価とそのわかり易い明示に徹したことにも関係しているものと考えている。

研究成果を、2回の国際ワークショップにより公表しながら、同時に国内ワークショップを開催することで、国内外への情報発信と成果を世に問うことはできたものと判断している。その意味では、十分に国際的にも先駆的な成果を本プロジェクトで出せたものと理解している。

得られた成果の自己評価

5つの研究項目のそれぞれにおいて、レベルの高い成果を挙げることに成功したと認識しているが、それ以上にグループ間が一体感を持って、最終的な水質のラベリングや水利用のラベリングへ向けて協力体制が築けたことが最も評価できる点であると考えている。他機関で環境水試料や共同実験による処理水の共有化は、その例である。

次に、最終年度において、実務者を含めた専門家へのアンケートの実施や国内ワークショップ開催による成果の再評価を行ったことが非常に有意義であった。

また、2005年度に開催した国際ワークショップにより、国際的な著名な研究者と交流しながら最新の情報を得るとともに、我々の研究の位置づけを明確にしたことも意義深かった。

今後の研究展開

今回は、水利用のラベリングにおいて、化学物質に特化して研究展開した。したがって、病原微生物に関連するリスクは既存の知見に基づいて補足的な解析に留まっている。その意味では、ウイルスなども含めて、それらの感染リスクなどの知見を充実する必要がある。

また、現存の都市の水にどのような水処理を施すことで、どの程度水質ランクが上昇するかの議論も行っているが、必ずしも十分ではなく今後の課題である。特に、水処理コストや処理に伴うエネルギー消費など、経済性や環境負荷の観点も含めた幅広い視点での検討が今後望まれる。

本プロジェクトでは、2005年、2007年と持続的な都市の水利用のための雨水と再生水に関する国際ワークショップを開催しているため、2009年にも継続開催したいと考えている。

現段階で、今回の研究成果を基礎に図書として出版することを考えている。

プロジェクト運営

1) 研究遂行

環境工学分野の研究者を中心に、環境化学、水文・水資源、都市計画、環境毒性のメンバーも加わって、都市の水のリスクと利用について多面的に検討を行うことができた。特に、大学だけでなく独立行政法人の「土木研究所」や民間企業の「いであ」が参画したことにより、研究展開において多くの点でメリットがあった。全国河川試料の入手、恒温条件でのカラム実験の実施、一般水質項目の一斉分析など、両者の機関に負うことが大きかった。

5グループでの研究活動を実施したが、共通のカラム実験、共同での環境水採取、そして試料の共有による多面的な分析を実施したことが、最大の本チームの魅力であり、武器であり、成果の完成度を高めた理由である。その意味では、全体をうまく統率しながら、協力関係を維持できたことは得がたい経験となった。多くの研究者の独立性・独創性を大事にしながら、共同で得た研究成果を雑誌に投稿するなど、成果発表する際の調整は容易ではないが、今回は大きな問題もなく物事は進んだものと理解している。その意味では、各研究機関がそれぞれに活躍されたことから、相互理解と相互連携がスムーズに行われたものと思う。

2) 研究費の使い方

初年度に、配分額のほとんどを LC/MS/MS 導入に使用したことで、早めに微量化学物質の測定方法の確立を進めることが可能となり、その後の現場調査やカラム実験の試料の分析の効率化

が進められた。この成果は、他の関連 CREST 研究プロジェクトチーム(船水班)における化学分析作業への貢献にもなったことと考えている。

人件費と共同実験備品については共通経費的に管理したことから、執行の変更が生じた際には、チーム全体としての最適な研究費活用を検討することが可能となり、有効な研究費執行が実施できたものと判断している。

3) 若手研究者の育成

ポスドク4名が本プロジェクトで活躍したが、それぞれ関連の国際会議や雑誌論文の発表を行い成果を挙げてくれた。そして、そのうち1名は研究機関の研究員、もう一名は母国の大学助教授となった。また、研究補助員3名が実験協力を行った。1名は母国で国の機関で活躍中、1名は国立研究機関で仕事をしており、もう一名は博士取得に向けて準備中である。その意味では、若手研究者の力を得ながら、同時に研究者育成に貢献できたものと判断している。

CREST 推進事業への意見・要望

多額の研究費を、代表者を中心としたチームで比較的自由に柔軟性を持って執行できる研究事業は魅力的であり、研究者としても、また研究企画能力や運営能力をアップする上でも役立つものであった。この種の事業が継続されることが期待される。

当該研究領域自体が、水循環と水利用の類似でありながら異分野の研究者の集合体であり、多くの刺激やアイデアを生み出す効果を生んでいたものと思われる。特に、横断的なワークショップ、領域シンポジウム、泊りがけのナイトセッションなど交流のための企画は非常に有効であった。また、中間評価会だけでなく、これらの機会において研究領域総括や領域アドバイザーなどから頂戴したコメントや指摘により、多くの示唆を得て、研究展開の軌道を調整できたこともよかった。異分野の研究者が集える領域設定が新たな研究展開には必要であると思われる。

JST 全体では、特許や国際的に有名な雑誌への論文掲載が重要視されることは妥当であろうが、国際的に有意義な研究成果を求められていることと、同時に当該分野で先端的で先駆的な国内においても得られた意義ある成果を周知することへの努力も必要である。したがって、成果の評価として、国際雑誌への投稿が重視されるだけでなく、国内向け情報発信がおろそかにならないことも留意が必要であると考ええる。

報告書の印刷費用は認められるものの、図書出版活動への研究費使用が制限されていることを再検討いただきたい。研究成果だけを整理する場合には、営利目的を有する民間出版社からは出版しにくい。より多くの関係者や実務者に技術や知見を提供するには、図書は有力な手段であることから、図書出版に向けた編集など出版活動への研究費執行を許可すること、あるいは別にその研究助成の制度を設けることが期待される。

JST 本部からの事務的な依頼が多いなかで、領域事務所が一貫して研究代表者をサポートする立場を保持してくれたことも有難かった。また、領域予備費への応募ができたことは研究推進において役立った。しかしながら、年度ごとに経理方式が変化したことは、専属の事務補佐員がいるとしても、事務的な混乱を生じる原因となっていた。代表者所属の研究機関はよいとしても、他の関連機関への事務手続きの周知が代表者だけからでは不十分となりうるので、一貫した経理を継続することが期待される。

研究プロジェクトにおけるスナップ写真など



第1回国際ワークショップ発表者一同(東京大学:武田ホールにて)2005年6月



第1回国際ワークショップにおける見学ツアー(お台場海浜公園の海水浄化施設前)2005年6月



第1回国際ワークショップにおける見学ツアー(汐留地区、再生水の散水現場)2005年6月



第2回国際ワークショップ発表者一同(ばるるプラザ京都にて)2007年10月



第2回国際ワークショップにおける見学ツアー(京都市吉祥院水環境保全センター)2007年10月



第2回国際ワークショップにおける見学ツアー(オゾン処理シミュレータ前)2007年10月