

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： リスク管理型都市水循環系の構造と機能の定量化

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点)

研究代表者

古米 弘明 (東京大学大学院工学系研究科 教授)

主たる共同研究者

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)

田中 宏明 (京都大学大学院工学研究科 教授)

鈴木 穰 ((独)土木研究所水環境研究グループ 上席研究員)

小野 芳朗 (岡山大学大学院環境学研究科 教授)

伊藤 光明 (いであ(株)常務執行役員)

3. 研究内容及び成果

本研究は、持続可能な水資源確保や健全な水循環系の構築に向けて、都市域の自己水源である雨水、地下水そして都市排水の再生水を用途に応じて効果的に利用することを目標とし、特にそれらの水質の実態把握とリスク評価に重点を置いて展開された。次の5つのサブテーマに対応する担当グループ、すなわち A. 都市ノンポイント汚染物質の動態評価・モデル解析、B. 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、C. 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、D. 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、および E. 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、が設定され、グループ間で実験データや収集データを共有するなど、密に連携した協力体制のもとに進められた。

以下に主な研究内容と成果の概要を列記する。

- (1) 都市ノンポイント汚染物質の動態評価・モデル解析： 雨水浸透施設が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、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と存在状況が明らかにされるとともに、土壌カラム実験により、浸透施設から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が明らかにされた。また、雨水流出解析の精度向上に向けて、高分解能衛星画像の利用により土地被覆分類の精緻化が図られるとともに、雨水浸透施設を組み込んだ分布型流出モデルを構築して、浸透施設の効果の定量的評価を可能にした。このモデルを用いて、我が国の主要都市に対してそれぞれの水源自立性を判断する目的で、水収支が推算された。
- (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： 下水処理水と雨天時道路排水の浸透による浄化機能が、小型土壌・地下水カラムシステム実験によって調べられた。下水処理水に対する実験では、土壌微生物相への影響および化学物質除去能について検討された。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・同定が行われ、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が開発された。また、総有機物量、リンおよび重金属類については安定的に除去されるが、窒素の除去率は低いことなどが確認された。模擬道路排水に対する実験では、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除去率が低下することなどが指摘されている。

- (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： 都市自己水源の利用可能性を検討する前提として、下水処理水、河川水および地下水の水溶性微量汚染物質（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）の実態を、広範な水質モニタリングと分析によって明らかにしようとしている。医薬品成分の汚染については、下水処理の各過程における医薬品成分の動態を追跡し、高度処理によって除去が期待できること、全国36の一級河川の医薬品濃度を測定した結果、都市域において極めて濃度が高く、特にcrotamitonは全国の河川から広く高濃度で検出されたこと、東京都内地下水について調査した16地点のうち14地点からcrotamitonが有意に検出され、その濃度レベルは河川と同程度であったこと、などが指摘されている。河川水の抗生物質による汚染については、調査河川ごとの抗生物質の濃度組成を明らかにし、その由来を推定している。界面活性剤による汚染については、陰イオン系界面活性剤直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩(LAS)とその分解産物による汚染実態が、下水処理過程ならびに調査された一級河川に対して、また、フッ素系界面活性剤の汚染実態が、河川水と東京都内地下水に対して、それぞれ明らかにされた。さらに、フッ素系界面活性剤成分の土壌浸透中の挙動と地下水への影響を調べるために、土壌カラム浸透実験が行われ、地下水と河川水の成分の相違に対する説明の根拠を得ている。
- (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： 下水二次処理水と雨天時路面排水を地下に浸透させて利用することを想定して、土壌カラム実験が行われた。水質の評価には、通常の水質項目試験のほかに生物への影響を包括的に把握できるバイオアッセイ手法が適用された。下水処理水については、土壌浸透により、窒素類はほとんど除去されないが、炭素、リン、金属類、エストロゲン様物質は有効に除去されること、路面排水については、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こと、などを明らかにしている。高度下水処理水の利用を想定して、既設の下水処理場高度処理施設からの採取試料に対してバイオアッセイ手法の各種試験が適用され、オゾン処理によってエストロゲン様活性はほぼ完全に除去されるが、藻類増殖能は低下しないこと、などが指摘されている。地下水や再生水の水質リスクを河川水との比較で相対的に評価することを狙いとして、全国36一級河川からの採水試料に対してバイオアッセイ各種試験に加え、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が実施された。水質項目ごとに濃度の非超過確率分布図を作成し、これと都市内各種水源の水質濃度との比較により相対的リスク評価を可能にする“ものさし”が提示された。都市内地下水の資源としての利用を想定して、東京都内の地下水や湧水などにバイオアッセイ各種試験が適用され、採水地点ごとに汚染の程度と汚染源が検討されている。
- (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： 水質リスクに対する多様で異なる観点からの判断を可能にするために、3段階の評価法、すなわち、スコアリング(各水質項目を既存の基準値等を考慮して点数化)、ラベリング(スコアをカテゴライズ、用途・処理効率等から複数の特性軸を設定してレーダチャート表示)、およびランキング(利用用途に応じた等級付け)が提案され、その有用性が示されている。この評価法の適用および雨水浸透効果を表す新たな指標の導入によって、東京都野川流域を対象に都市内自己水源の有効活用に向けた事例検討が行われた。また、岡山県3河川流域とアジア大都市における水資源賦存量が推算されている。
- (6) チーム全体としての研究のとりまとめ： (1)で開発された流出モデルにより推算された日本の15都市の水収支に基づく各都市での水源の自立性等の考察、都市雨水と下水処理水の利用に関する留意事項の全体的整理、都市自己水源の水質スコアリング、ラベリングおよびラン

キングの補足説明、などが行われている。また、最終年度には、第2回国際ワークショップだけでなく、関連実務者が集う会合で成果発表とアンケートを実施し、本研究の社会への還元とともに研究へのフィードバックを図って、研究のとりまとめに供された。

#### 4. 事後評価結果

##### 4 - 1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

原著論文(国内誌17件、国際誌15件)、学会発表(招待講演:国内6件、国際3件、口頭発表:国内55件、国際43件、ポスター発表:国内9件、国際25件)、特許出願(国内0件、国際0件)と、原著論文は必ずしも多いとはいえないが、多くの新規性のある成果が未だ口頭発表の段階にとどまっており、今後論文として発表されることが期待される。

以下に、研究全体を通しての評価をまとめる。

- (1) 都市自己水源の可能性を持つ雨水とその排水、下水処理水、地下水、ならびに比較のレファレンスとしての河川水に対して、多種多様な微量汚染物質とバイオアッセイ的特性による汚染の実態が明らかにされた。この過程における新たな化学分析法やバイオアッセイ試験手法の工夫・開発を含めて、系統的で広範な汚染実態の解明は、これまでにない貴重な成果として高く評価される。
- (2) 下水処理水と道路排水に対する土壌カラム実験により、各種の水溶性汚染物質の浸透にともなう変化について新規性のある多くの知見を得ている。従来、浸透水の量的評価に関する研究は進んでいるが、遅れていた質的变化の研究を進展させたことは評価できる。今後、この種の研究が、土壌物理特性の導入など、浸透の量的評価の成果を取り入れて、理論的にも深化・発展することを期待する。
- (3) 全国河川の各種水質試験データをもとに提案された“ものさし(各水質濃度などを非超過確率で表示)”は、都市自己水源の水質を河川水質との対比で相対的な評価を可能にした点が分かりやすい。また、提案された3段階の水質リスク評価法は、各自己水源の処理レベルに応じた利用用途を検討する上で有用と考えられる。これらの評価手法は、一般流域河川の水質管理にも広く活用される可能性をもっている。
- (4) 本研究の成果を総合する形で、実際の都市河川流域における自己水源の活用例を示す事例研究が行われている。今後、都市自己水源の活用をより具現化するためには、土壌層や地下水帯水層の特性を踏まえた地下水涵養の可能性の検討、洪水流出抑制効果や非常時水源確保からの評価、我が国の現行の水資源配分における都市域自己水源利用の意義や課題のより多面的な整理など、さらに広汎な検討が必要であるが、本研究はその端緒を開いたものと評価できる。

##### 4 - 2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

都市域自己水源の活用は、持続可能な水資源確保や健全な水循環系の構築の観点から、今後の水資源・水環境分野における重要な研究課題である。本研究は、都市域自己水源の利用に向けた基礎研究から応用にわたるわが国初の体系的研究である。特に、都市域水源の多種多様な水溶性物質による汚染の程度の実態把握、地下浸透過程での各種汚染物質の除去に関する実験的知見、水質リスク評価法の開発などは、今後この分野の発展の基礎となる先駆的研究成果である。

いっぽう、我が国では従来、水資源の計画・管理が主に水量に注目して行われてきたが、水需給の量的バランスがほぼ達成された現在、量と質を一体化した水資源マネジメントが今後の政策の重要課題として検討され始めている。本研究の成果は、こうした方向の研究にも大きなインパクトを与え、取り入れられて深化・拡大されることが期待される。

##### 4 - 3. その他の特記事項(受賞歴など)

(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)