

「水の循環系モデリングと利用システム」

平成14年度採択研究代表者

古米 弘明

(東京大学大学院工学系研究科 教授)

## 「リスク管理型都市水循環系の構造と機能の定量化」

### 1. 研究実施の概要

#### 研究のねらい

流域圏外のダム湖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には限界があり、“持続可能な”水資源の確保、健全な水循環の観点から、都市域における雨水・涵養地下水利用や排水再利用に多くの期待が寄せられている。雨水利用や排水再利用、涵養地下水利用を推進するためにも、都市自己水源の「質」の動態変化を理解した上でその利用可能性を検討すること、水用途の視点からそのリスクや許容性を踏まえた検討をすることが非常に重要であると考えられる。

#### 研究の概要

本年度は、水道水源を含む全国一級河川水を対象に、多面的な化学分析項目およびバイオアッセイによって得られる水質項目を多角的に評価する作業を開始して、水質リスクをランキングする手法の検討に着手した。また、昨年度実施した下水処理水涵養の土壌カラム実験試料の化学分析とバイオアッセイとその水質リスクデータの詳細整理、道路排水に対する土壌カラム実験の準備などを実施した。さらに、グループ単位の研究としては、分布型モデルによる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、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、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、消毒法の異なる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、下水処理過程における医薬品の除去過程の調査研究、水の循環利用とその評価方法の検討なども進めた。

#### 研究の成果と今後の見通し

複合流域の総観モデルにより推定可能な浅層地下水と河川水の流出過程と都市域排水区モデルによる雨水浸透効果を結合して評価できるシステムへの展開を目指し、最終的には都市水資源の再利用や最適配置を検討するためのツールへと拡張することを進める。また、連続土壌カラム実験を模擬道路排水に対しても実施して、地下水涵養プロセスにおける微量汚染物質の動態把握を進める。今年度開始した河川水の水質リスクのランキングを継続するだけでなく、都市域の地下水についても水質リスクのランキング用試料の入手を計画

する。これらを比較対照として、下水処理水、道路排水、それらの土壌涵養水について水質リスク評価を行い、相対的なリスクレベルをわかりやすく明示することなど、質的な安全性や質確保のための経済性の表示方法（リスクラベリング）の検討をさらに進める。

## 2. 研究実施内容

### 1) 都市ノンポイント汚染物質の動態評価・モデル解析

都市交通活動や燃焼活動を主起源とする微量汚染物質の雨天時流出挙動や流出負荷量の予測を行うことを目的として、分布型モデルにおける汚染物質原単位の設定方法の確立、汚染物質のキャリアとしての微粒子の挙動を再現するための流出サブモデルの高精度化を進めた。

雨水浸透枡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枡堆積物、浸透域土壌及び住宅地道路塵埃を、また幹線道路の塵埃を採取・回収し、その重金属類の蓄積及び溶出特性を評価した。その結果、浸透枡堆積物のPb、住宅地道路塵埃のZn、幹線道路塵埃のCr、Cu、Zn、Cd、Pbの人為汚染のレベルが顕著であり、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。今後は、人為汚染の程度や存在量と溶出との相関の評価方法や塵埃からの溶出特性に係る因子を明らかにする必要がある。

### 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

#### 2-1 地下水涵養カラム実験

前年度実施した下水処理水涵養の土壌カラム解体と土壌分析を実施した。これに続いて、今年度は道路排水を対象とした土壌カラム涵養実験の準備を行った。模擬道路排水を作成するため、都内幹線道路の道路塵埃と雨水浸透施設である枡内堆積物の採取とその化学分析を実施した。106 $\mu$ mでの篩い分けにより約800gの塵埃試料を得た。この塵埃を用いて人工的に作成した道路排水が実際の道路排水と同等な水質（有機物、重金属など）を有するかの検討を実施したところ、塵埃濃度を予想以上に高くする必要があることが判明した。したがって、模擬道路排水の作成についてさらに検討する必要性から、本格的な道路排水のカラム実験は次年度に延期することとした。

#### 2-2 地下水圏の浄化能の定量的評価

小型土壌・地下水カラムシステムを用いて、消毒法の異なる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を実施した。特に、分子生物学的手法を駆使して、微生物群集構造の遷移の追跡や分解に寄与する微生物の分類・同定を行い、消毒の有無による土壌環境への影響を微生物群集に着目した評価を行った。また、地下水利用の観点から、揮発性有機塩素化合物及び下水処理水中の微量汚染物質を対象に、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。主な成果としては、土壌による溶存有機物の除去能が保たれていること、UV消毒や塩素消毒の有無により約2ヶ月間の通水期間中には微生物群集構造に大きな変化は認められないことが明らかとなった。本年度の結果を基礎に、土壌に下水を涵養した場合の土壌微生物

相への影響を評価する手法を整理可能となった。

### 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

昨年度に引き続き東京都内の下水処理場で二次処理水、砂濾過処理水、オゾン処理水を採取し、その中の水溶性微量化学物質の分析を行った。昨年度の結果と併せて、下水処理水の化学汚染による生態リスクの評価とその高度処理による低減を評価した結果、二次処理水をオゾン処理することにより女性ホルモン類および医薬品化学物質の多くが90%以上の除去率で除去されることが明らかになった（図1参照）。また、昨年度実施した土壌カラム実験の試料の詳細な分析データからも、下水処理水を土壌に通水させることにより効果的に女性ホルモン類が除去されることや女性ホルモン様活性も低下することも明らかとなった。涵養土壌における物質収支解析から、これらの除去には土壌微生物による生分解が寄与していることも明らかにした。

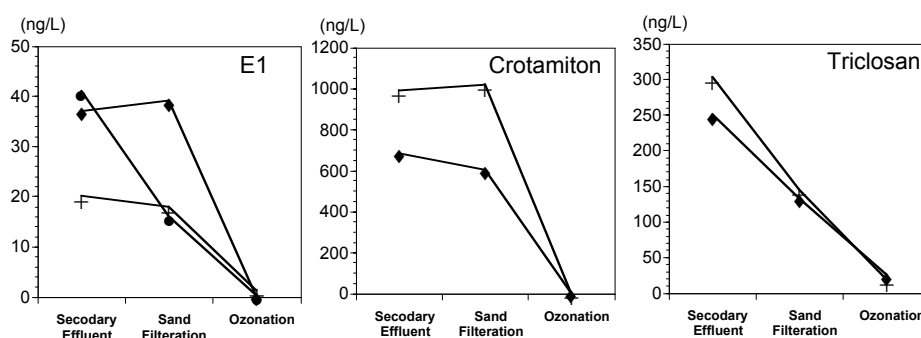


図1 下水高度処理における女性ホルモン類と医薬品の除去

### 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

水資源の水質リスクを相対的に評価するため、水道水源を含む全国一級河川水を対象に、多面的な化学分析項目およびバイオアッセイによって得られる水質項目を多角的に評価し、水質リスクをランキングする方法を検討した。今後3年間で評価する河川を30程度選定した。その際、既存の水質データや流域情報など考慮し、選定された河川の水質リスクの分布が、全国河川の想定される分布を代表できるようにした（図2参照）。本検討から得られる河川の水質リスクランキングのデータベースは、都市内自己水源となりうる様々な下水処理水、道路排水、それらの土壌浸透水などの相対的な水質リスクをラベリングするために利用される。また、昨年度の下水処理水の土壌浸透処理実験試料をバイオアッセイした結果、下水処理水中で検出されたエストロゲン様活性および藻類増殖能は大きく低減・除去される結果が得られた。しかし、藻類への毒性はむしろ増加するという結果が得られたため、土壌自体に阻害物質が存在していた可能性が示唆された。

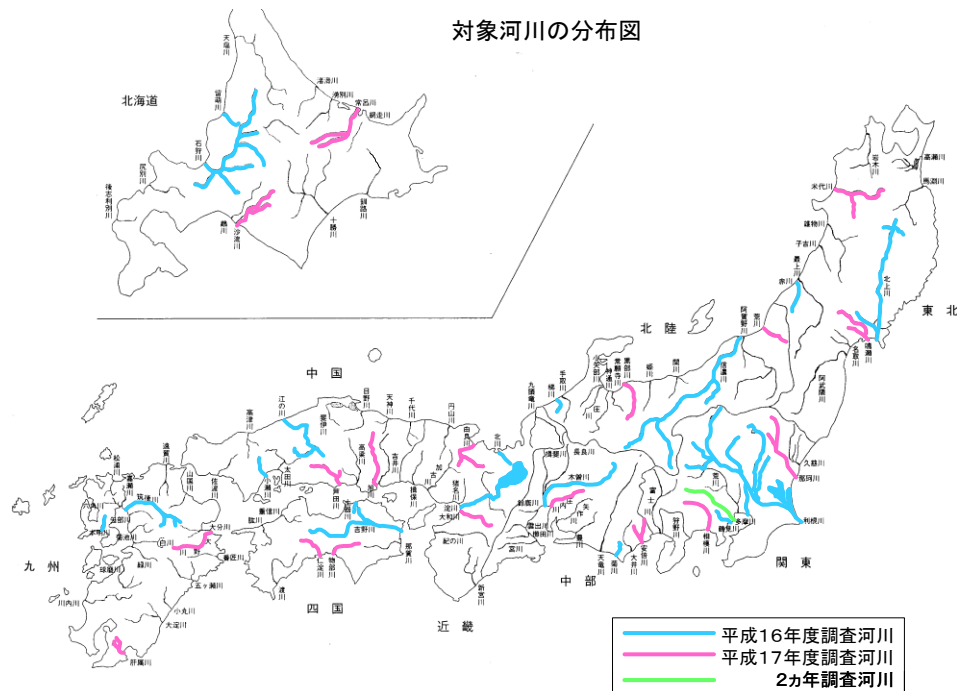


図2 水質リスクランキングのための多角的水質評価の対象河川

### 5) 水資源の再利用と適正配置モデルの構築

岡山県吉井川・旭川・高梁川流域の月気象データ、標高データ及び河道データに基づいて複合流域の流量総観モデルを作成した。本流域モデルを用いて、河川水温の季節変化と懸濁物濃度SSを検討し観測値と比較した結果、流出成分割合を適切に設定することにより流出現象を再現できること、さらには水質解析に拡張する場合には地下水の影響が無視できないことが確認された。また、3次メッシュ土地利用データを用いて土地被覆を考慮した実蒸発散量の推定結果を元に、都市域への地下水流出量の重要性を、降水日と晴天日に分けて検討することが可能とした。さらに、都市の水資源利用と適正配置の研究に関しては、都市社会構造の変化を考慮することの必要性から、社会の構造変化を援用するモデルを採用して地下水涵養の効果を説明する方法を整理した。同時に、水資源の配置問題だけでなく、都市の特性ごとに期待される水の質と水資源の需要量の評価方法や、地下水涵養の持つ意義を都市ごとに検討する手順を構築する方針である。

本研究プロジェクトでは、5つの研究グループが連携して活動を実施している。具体的には、今年度は国内河川水のサンプリングと分析試料の共有、定期的な会合の開催を行い全体の研究計画の再検討や成果報告とその討議などを実施した。2004年11月には、土木学会環境工学研究フォーラムにて、本プロジェクトの企画セッションをCREST船水チームと連携して開催した（参考<http://www.jsce.or.jp/committee/eec/kikaku.html>）。また、来年度6月に開催企予定の国際ワークショップの企画内容の検討や連動して開催する国内

プレワークショップの準備を進めた。

### 3. 研究実施体制

#### 東京大学グループ

- ① 研究分担グループ長：古米 弘明（東京大学大学院工学系研究科、教授）
- ② 研究項目：都市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

#### 東京農工大学グループ

- ① 研究分担グループ長：高田 秀重（東京農工大学大学院共生科学技術研究部、助教授）
- ② 研究項目：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

#### 土木研究所／京都大学グループ

- ① 研究分担グループ長：田中 宏明（京都大学大学院工学研究科、教授）
- ② 研究項目：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

#### 岡山大学グループ

- ① 研究分担グループ長：小野 芳朗（岡山大学環境理工学部、教授）
- ② 研究項目：水資源の再利用と適正配置

#### 国土環境株式会社グループ

- ① 研究分担グループ長：伊藤 光明（国土環境株式会社環境創造研究所、常務執行役員）
- ② 研究項目：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

### 4. 主な研究成果の発表

#### (1) 論文発表

- 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.
- 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.
- 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*、第27巻、第11号、pp.707~714、2004.
- 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実用化に関する研究、*都市計画論文集*、No.39-3、pp.67-72、2004.