

「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、雨水浸透施設が導入された下水道排水区における詳細な雨水流出解析、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、道路塵埃や道路排水中の微量汚染物質の調査研究、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、下水処理水涵養の土壌カラム実験研究などを組み合わせて実施した。そして、雨水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したとともに、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。さらに、昨年度確立した高感度LC/MSによる分析手法やバイオアッセイ手法を、道路排水、下水処理水を対象とした土壌カラム実験で得られる土壌涵養水に適用して、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入手した。

#### 研究の成果と今後の見通し

流域水収支モデルと雨水浸透を定量的に評価できる下水道排水区レベルのモデルの結合を目指し、都市水資源の最適配置を検討するためのツールへと拡張することが次の段階となる。また、下水処理水だけでなく道路排水に関しても、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必要がある。また、都市周辺の河川水や地下水を比較対照として、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やランクをわかりやすく示すことなど、質的な安全性の表示方法（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

### 2. 1 都市ノンポイント汚染物質の動態評価・モデル解析

都市域の雨天時流出水としての屋根雨水や道路排水中に含まれる汚染物質の特性評価と雨水浸透ますを通じて地下涵養するプロセスに特化した汚染動態を調べることを目的として、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、道路排水試料の入手、そのPAHや重金属など存在状態分析、浸透雨水試料の採取方法の検討を行なった。また、対象排水区における雨水流出抑制効果を評価するために、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。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、様々な浸透施設普及戦略の流出抑制効果を定量的に評価することが可能となった。

### 2. 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

#### 1) 地下水涵養カラム実験

下水処理水が地下涵養水として利用が可能かどうかを検討することを目的として、直径200φ、高さ600mmのステンレス製カラムに土壌（関東ローム）を充填して、連続的に下水処理水を涵養させる土壌浸透実験を約80日間にわたり実施した。そして、土壌浸透の前後の水質変化やバイオアッセイ手法による水質リスク評価に供した。その結果、通水した下水処理水中の有機物や栄養塩類の土壌吸着や生物分解が観察され、物質ごとに異なる除去過程があることを明らかにした。一方、低濃度の重金属類については、実験開始から終了までほとんど変化は見られなかった。

#### 2) 地下水圏の浄化能の定量評価

小型カラムを用いた地下水涵養モデル実験手法の開発を目的として、下水処理水を通水した場合の土壌の浄化力および微生物生態に及ぼす影響を評価した。土壌への吸着、再溶出、生物反応による水質変化を再現性よく観察できることを確認した。また、土壌微生物DNAを抽出して、16S rDNAのV3領域を標的としたPCR-DGGEにより微生物群集構造への影響を調べた結果、一ヶ月間の通水により土壌微生物群集構造に大幅な変化はないものの、いくつかの微生物群の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。

### 2. 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

都市排水中の水溶性微量物質による汚染の実態を解明することを目的として、医薬品起源化学物質、抗生物質、合成洗剤について高速液体クロマトグラフ-質量分析計(LC-MS/MS)を用いた分析方法を確立した。その分析方法を、1) 東京都内の下水処理場の二次処理水、砂濾過処理水、オゾン処理水、2) 降雨時高速道路排水、3) 土壌カラム実験土壌浸透水の試料について適用した。

その結果、図1に示されるように、下水の二次処理水中の微量化学物質の除去にはオゾン処理が有効であること、また、二次処理水の土壌カラムへの涵養により女性ホルモン類と合成洗剤成分が効果的に除去されることが明らかになった。

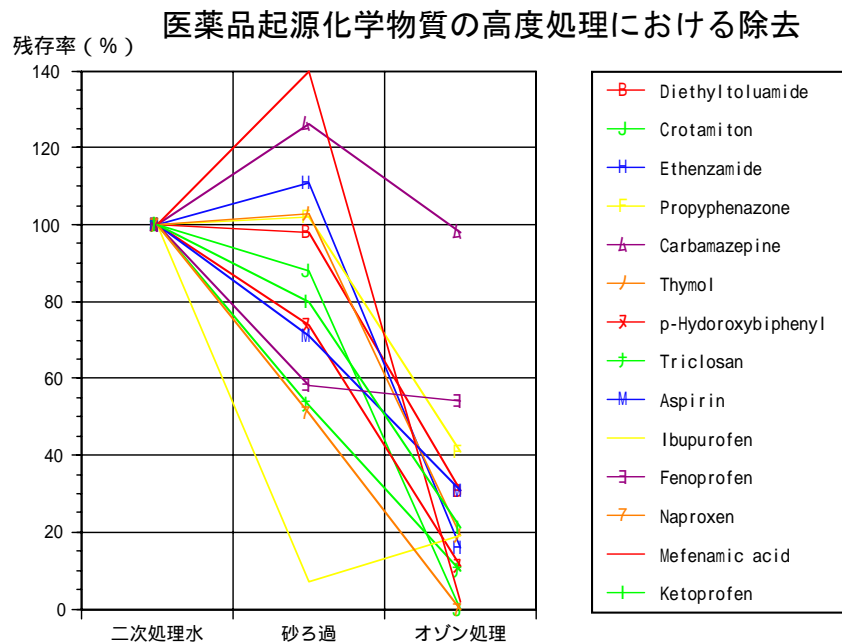


図1 下水の高度処理プロセスにおける医薬品起源化学物質の除去過程

## 2. 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

都市排水循環システムの構築に向け、バイオアッセイを用いた水質リスクの評価を行うことを目的とした。下水処理水の地下浸透を想定して、下水処理水および土壌浸透水について遺伝子組換え酵母によるエストロゲンスクリーニング (YES)、AGP試験 (藻類増殖試験)、藻類生長阻害試験、及びマイクロトックス試験を実施した。また、道路排水については、性状を把握するため同様のバイオアッセイを試験的に実施した。

その結果、下水処理水ではエストロゲン様活性は検出されたが、藻類生長阻害やマイクロトックスによる細菌への毒性はほとんど検出されないこと、その土壌浸透水ではエストロゲン様活性がほとんど検出されなくなるものの、藻類の生長阻害が現れることがわかった。道路排水については、エストロゲン様活性は検出されず、藻類生長阻害やマイクロトックスによる毒性が検出されることなどが明らかになった。したがって、このバイオアッセイ結果と2. 3での化学分析結果を組み合わせることで、水質のリスクレベルやランクを評価するための手法を検討した。

## 2. 5 水資源の再利用と適正配置

岡山県吉井川、旭川、高梁川流域の過去20年の気象データ (月平均の降水量と気温)、国土地理院50m格子標高データおよび河道データに基づいて県内河川の複合流域モデルを作成した。河道位数則 (流域面積・河道長・勾配・河道数)、レジム則 (流量と河幅・水深・流速の関係)、抵抗則 (摩擦速度・粗度係数・相当粗度) およびキルヒホッフ則 (分岐点, 合流点・ダム貯水池) による水収支, 熱と浮遊土砂収支を考慮する流域総観モデルとした。さらに河道における溶存物フラックスが表面流出と基底流出の流量比で変化すると考え、流量則を適用して河川区間ごとの水質を推定し、観測値と比較して、表面流出と

基底流出とを分離して評価できる方法を検討した。

また、Morton法および修正Brutsaert and Stricker法により対象流域内のアメダス観測点で地表面被覆ごとの実蒸発散量を求めた。流域を5km格子に分割，各格子の地表面被覆と標高を抽出，実蒸発散量と標高の関係から格子毎の実蒸発散量分布図を作成した。各支流域の帯水層厚，透水係数および損失量を考慮して地盤内での流程に応じた地下水質の変化を与えることで，安全な水脈がどこに存在するかを推定するための基礎モデルを構築した。

### 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（東京農工大学農学部、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総合研究所、所長）
- 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（論文発表および特許出願）

#### (1) 論文発表

“該当なし”

#### (2) 特許出願

H15年度特許出願件数：0件（CREST研究期間累積件数：0件）