

伊藤禎彦

京都大学大学院地球環境学堂・教授

都市地下帯水層を利用した
高度リスク管理型水再利用システムの構築

§1. 研究実施の概要

本研究では、気候変動にともなう渇水の激化に対応するために、高度リスク管理技術を応用し地下浸透を利用した合理的な都市内水循環利用システムの構築を目的とする。平成22年度はまず、地下浸透実験に用いる土壌の選定を行った。また、パイロットスケールの地下浸透実験プラント(模擬地下)を設計し、下水処理施設内に設置した。あわせて、関連研究の詳細レビューを行い、対象とする微量汚染物質、病原微生物、さらには注目すべき地下浸透処理条件の絞り込みを行うとともに、必要な分析方法の整備を行った。加えて、システムの数値モデル化に基づく流域への実装シナリオの作成のために必要な確率的手法による都市内水循環システムの基本数値モデルを構築した。今後は、22年度内に整備した研究基盤を用いて、日本、さらにはアジア地域における地下浸透処理の処理性評価を行った上で、本システムの実装シナリオの構築を目指す。

§2. 研究実施体制

(1)「地下浸透処理」グループ(京都大学)

① 研究分担グループ長:伊藤禎彦 (京都大学大学院地球環境学堂、教授)

② 研究項目

1. 地下浸透処理を用いた高度リスク管理型水循環システムの処理性評価

・実験的検討の準備

・パイロットプラントの設計・構築

・微量汚染物質、溶存有機物および微生物の分析方法の整備

・基本処理性能評価および内部反応機構解明とそのモデル化

・微生物学的安全性に関する検討

- 微量汚染物質・溶存有機物に関する検討
 - システムの設計・操作条件・安定性に関する検討
2. システムの数値モデル化に基づく流域への実装シナリオの作成
- ・都市内水循環システムのモデル構築
 - ・地下浸透プロセスを組み込んだ統合的水循環システム数値モデルの構築

(2)「消毒副生成物評価」グループ(国立保健医療科学院)

① 研究分担グループ長: 浅見真理(国立保健医療科学院、主任研究官)

② 研究項目

1. 地下浸透処理を用いた高度リスク管理型水循環システムの処理性評価
- ・実験的検討の準備
 - 消毒副生成物の分析方法の整備
 - ・基本処理性能評価および内部反応機構解明とそのモデル化
 - 消毒副生成物に関する検討

§3. 研究実施内容

地下浸透処理グループ

【課題 1】 地下浸透処理を用いた高度リスク管理型水循環システムの処理性評価

平成 22 年度は、地下浸透実験を行うための大型土壌カラムを設計し、4 塔を京都市上下水道局鳥羽水環境保全センター内に設置した(写真1参照)。あわせて、実験に用いる土壌・運転条件について文献をもとに絞り込みを行い、土壌については真砂土(3 塔, 西日本地域で一般的な表土)と砂(1 塔, 透水性が高い状況を想定)を用いることとした。さらに、滞留時間と不飽和層の厚さが操作因子のうち重要なものであることを見出した。

対象微量汚染物質および病原微生物に関しても、絞り込み・分析方法の整備を行った。微量汚染物質については、多成分の一斉分析というよりは、物性の異なる対象物質を体系的に選択し、それらの挙動について、代謝産物を含めた詳細な解析を行い、処理性を評価することを基本方針とすることとした。病原微生物についても、原虫、細菌、ウイルスそれぞれについて指標微生物の候補を選定した。微量汚染物質・病原微生物については、実態調査の結果と比較検討を行った上で、最終的な指標物質・微生物を決定することとした。あわせて、微量汚染物質及びその代謝産物の同定・定量の主力となるイオントラップ型タンデム質量分析計を導入した。

さらに、処理対象水、処理水中の溶存有機物の構成について分画手法により特性把握を行うためのシステムを整備した。この分画手法では、まず疎水性中性分画を XAD-8 で分離し、その後大型ロータリーエバポレーターで水自体を濃縮する。次に、塩基性分画を陽イオン交換樹脂で分離し、その通過液を酸性条件下で再度 XAD-8 に通して、疎水性酸として回収する。その後通過液を XAD-4 樹脂に通し、疎水性と親水性の中間の性質を示す部分(Transphilic acid and neutral)を抽出する。残った通過液が親水性酸と親水性中性分画である。その後、酢酸を溶媒として脱塩を行うことで、NMR 等各種の分光学的分析が可能となる。



写真1 大型土壌カラム

【課題 2】システムの数値モデル化に基づく流域への実装シナリオの作成

平成 22 年度は、確率論的手法による都市内水循環システムの基本数値モデルの構築を行った。具体的には、まず、家庭からの排水、下水処理、地下浸透処理から水道原水利用ならびに河川還元、そして家庭への配水までのフローに対して、各プロセスに対して、UML(Unified Modeling Language)に基づくプロセス表記手法で表記した。そのため、UML をこれらのフローにおけるプロセスに適用することの可能性について検討した。UML はソフトウェア工学の分野で開発された言語、つまり、システム・モデリングの成果を表記するための記法として開発された言語であることから、これら都市内水循環システムにおけるプロセスの表記言語に UML を用いることにより、情報システムのモデルとの関連付けを容易することが可能となる。また、世界標準化が進められていることから、UML のルールに従うことで、厳格にモデルを記述することができ、理論上、誰が見ても同じ意味に読み解けるプロセス図を表記することができる。このことから、今後、数値解析等を実施するに向けて、基本モデルを UML を用いて記述する表記手法は大変有用である。これらのプロセス図に従い、入力濃度、除去能、出力濃度について、確率分布により表現することが可能となる数値モデル構築した。また、入力濃度、除去能においては、確率分布をサブモデル(モジュール)としてモデル化することで、正規分布のみならず、ワイブル分布や二項分布等、さまざまな確率分布をモデルに組み込むことが可能なモデルとして構築することができた。これまでのところ、確率分布からみた数値モデルの感度分析やシステム特性の把握には至っておらず、さまざまな確率分布からみたモデルの感度分析を行うこと、ならびに、実験的検討から得られたデータとモデルに付与する確率分布との関連性について把握することが必要であるといえる。

消毒副生成物評価グループ

下水放流水を地下水浸透させて再利用に用いる場合、消毒副生成物の観点から注視すべき項目について情報収集を行った。この中で、親水性が高く、海外においても再利用で課題となっている *N*-ニトロソアミン類について、下水放流水や環境水を対象に、LC-MS/MS 法による測定方法の整備を行った。*N*-ニトロソアミン類のうち、国内外での検出事例を考慮し、3 種(NDMA、NMor、Npyr)について検討した。整備した測定方法を用いて、淀川流域および利根川流域の下水処理場の放流水中の *N*-ニトロソアミン類の実態調査を行ったところ、NDMA と NMor が広く存在していることがわかった。

対象項目が消毒副生成物であるため、対象項目の地下水滞層水中の挙動だけでなく、それらの前駆物質についても把握する必要がある。来年度以降は、オゾン処理、クロラミン処理による、*N*-ニトロソアミン類の前駆物質の生成能の評価方法について検討する。模擬地下水滞層稼働後には、*N*-ニトロソアミン類とその前駆物質の滞層水中の挙動について評価を開始する予定である。

§4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

(4-2) 知財出願

① 平成22年度特許出願件数(国内 0 件)

② CREST 研究期間累積件数(国内 0 件)