

## 地下水汚染物質の移流分散現象に関する数値モデリングと健康リスク評価への応用

井上一哉<sup>1</sup>

### Numerical modeling of advective-dispersive transport of groundwater contaminants, and its application to health risk assessment

Kazuya INOUE<sup>1</sup>

この度、「地下水汚染物質の移流分散現象に関する数値モデリングと健康リスク評価への応用」に対し、日本雨水資源化システム学会奨励賞をいただき、まことに身に余る光栄であり、心からお礼申し上げます。神戸大学大学院農学研究科の田中勉先生には、研究活動に関する多大なるご支援ならびにご鞭撻をいただき、また、学生時代からの恩師である、青山咸康先生、小林晃先生には長年にわたる暖かいご指導をいただき、この場をお借りしてお礼申し上げます。

地下水汚染物質の移流分散現象をモデル化し、数値的に解くことは、汚染の拡大予測や浄化対策の立案、浄化効果の評価など、地盤環境汚染問題を解決する上で重要なプロセスです。また、環境汚染対策は汚染修復から汚染予防・管理へ移行しつつあり、地域レベルでの環境管理・行動指針の策定には、生活環境に関わる情報の利活用と実験成果、数値解析技術を融合的したアプローチが望まれます。さらには、地盤環境内で相互に影響する水の流れと物質輸送過程を評価する知識・技術の進展とともに、最近の情報化社会の流れと相まって、地盤環境汚染に伴う健康リスクに対する評価手法の確立も社会的に望まれている学術成果であります。地盤環境の汚染は物理的に多くの不確実性を内包した問題ですから、数値モデリングにおいては不確実性への対応も重要な因子となります。

このような状況の中、流れ場の不確実性を確率的に扱うことで、地下水の汚染源を同定するための最適な観測点配置について数値的に検討する（論文[1]）とともに、ラボスケールの溶質移動実験を通じて、地下水汚染源と移流分散現象に関与する物理量の逆解析により、多角的に汚染源推定問題に取り組みました（論文[2]）。また、溶質の輸送挙動を定量化すべく、画像解析を応用したユニークなパラメータ同定手法を開発し、良好な推定結果を導きました（論文[3]）。さらに、種々のトレーサ実験を遂行することで、不均質透水場にお

ける溶質分散について実験的に整理する（論文[4]）とともに、逆解析手法に加えて、ランダムウォーク粒子追跡法を用いて、観測位置と推定精度の関係について検証しました（論文[5]）。

一方で、ラボレベルからフィールドレベルへ研究を展開し、オランダ国内のフィールドを対象として、フィールドでの濃度観測結果を基に、観測位置や観測規模に応じた溶質のマクロ分散の推定結果のばらつきを考察し、マクロ分散の評価に適した観測点について評価しました（論文[6]）。また、ランダムウォーク粒子追跡法に時間・空間モーメント法を応用して、不均質浸透場における縦方向と横方向のマクロ分散を精度よく導出し、計測された透水係数分布を基に、地球統計学に立脚した不均質地盤ならびに成層地盤を考慮することで、透水係数の空間分布とマクロ分散の関係を時間・空間モーメント量の変動過程とともに導出しました（論文[7]）。さらに、サイトでの地下水揚水に伴う流れ場の変化に応じたマクロ分散の変化を求めるだけでなく、時間モーメント法と空間モーメント法により推定されるマクロ分散の差異を考慮することで、数値解析手法としてのランダムウォーク粒子追跡法の有効性を検証しました（論文[6, 7]）。加えて、オランダ国内にある埋立処分場からのベンゼン漏洩に起因する健康リスク問題を対象として、一連の健康リスク評価方法を示しました（論文[8]）。その過程では、ランダムウォーク粒子追跡法によりベンゼンの広域移動を予測するとともに、種々の水文地質条件を考慮することで、確率論的観点から汚染水暴露に対する健康リスクを定量的に評価しました。また、不確実性を考慮しつつ、サイトの情報収集から健康リスク解析に至る一連の流れを構築することによって、移流分散現象に関する数値モデリングの構築と健康リスク評価への応用を図りました。

複雑な物質輸送過程を表現するには、実験による検証と古典理論を含めた数値モデリングによる現象の記述が不可欠です。また、観測データは現象を語る貴重なデータですから、実測結果とモデリングのバ

<sup>1</sup>神戸大学大学院農学研究科助教, Assistant Professor, Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, 1-1 Rokkodai, Nada, Kobe 657-8501, Japan

ランスが実現象を表現する上で重要になってきます。先の東日本大震災では、汚染された土壌や廃棄物の処理など、様々な地盤環境課題が顕在化しており、特に、健康面への影響の定量化は今後も一層、重要視されると考えられます。数値解析により導かれる結果が広く社会に受け入れられるためにも、室内およびフィールド実験と数値解析技術をともに進化させる必要があるでしょうし、他分野との技術連携も必要でしょう。地盤環境汚染問題の解決に向けて今後も視野の広い研究を継続していきたいと思っております。

この度は本当にありがとうございました。

#### 受賞対象論文

- [1] Inoue, K., Masaki, I. and Tanaka, T.: Monitoring network design for detection of groundwater contamination under parameter uncertainty, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 10(2), pp.11-18, 2005.
- [2] Inoue, K., Masaki, I. and Tanaka, T.: Parameter estimation and contaminant source characterization in horizontal tracer experiment in two-layered porous media, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12(1), pp.1-9, 2006.
- [3] Inoue, K., Masaki, I., Setsune, N. and Tanaka, T.: Tracer experiments and parameter estimation in horizontally two-dimensional homogeneous porous media, *Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering*, 74(1), pp.87-95, 2006.
- [4] 井上一哉, 松永尚子, 正木一平・田中勉: 分散性の異なる不均質多孔質体内における縦分散現象に関する実験的検討, *水工学論文集*, 52, pp.403-408, 2008.
- [5] Inoue, K., Kobayashi, A., Matsunaga, N. and Tanaka, T.: Application of particle tracking method to dispersivity identification and its experimental verification, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 13(2), pp.7-16, 2008.
- [6] 井上一哉, 松永尚子, 田中勉: ランダムウォーク粒子追跡法によるマクロ分散評価と流れ条件の影響, *応用力学論文集*, 土木学会, 12, pp.895-904, 2009.
- [7] Inoue, K., Uffink, G.J.M., Kobayashi, A., Matsunaga, N. and Tanaka, T.: Disparity of macrodispersivity estimated from temporal and spatial moments using random walk particle tracking in heterogeneous porous formations, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 15(2), pp.21-31, 2010.
- [8] Inoue, K., Uffink, G.J.M., Kobayashi, A. and Tanaka, T.: Health risk assessment for a leachate plume from a landfill under different hydrogeological conditions, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 16(2), pp.1-12, 2011.