

## 土壌中における物質移動現象の移動拡散方程式 (ADE) と連続時間ランダムウォーク (CTRW) による解析比較

### Analysis material movement phenomenon in soil by Continuous time random walk and Advection-diffusion equation

# 木代 康丈 [1]; 羽田野 祐子 [2]; 堀 俊和 [3]; 毛利 栄征 [4]

# Yasutake Kishiro[1]; Yuko Hatano[2]; Toshikazu Hori[3]; Yoshiyuki Mohri[4]

[1] 筑大・シス情・リスク; [2] 筑波大・シス情; [3] 農工研; [4] 農工所

[1] Risk, System and Inf, Tsukuba Univ; [2] Inst. Eng. Mech & Sys., Tsukuba Univ.; [3] NIRE; [4] NIRE

土壌中における物質移動現象の移動拡散方程式 (ADE) と連続時間ランダムウォーク (CTRW) による解析比較

近年、法整備や社会情勢などにより土壌・地下水汚染の問題が深刻化する中、汚染の拡大を予測したり、修復の割合などを正確に予測したりすることが経済的にも、リスク工学的にも重要となっている。汚染物質の地下水中の移動予測に関して、従来から移流分散方程式 (ADE) が広く用いられてきた。しかし、実際の濃度分布を表せていない部分があるということがわかってきた。その原因として考えられるものに低濃度に分布が広がるテーリングや分散係数が距離依存し一定でないことが上げられる。しかしながら、どのような条件、場面で発生するかなど未知な部分が多い。そこで、未知な部分を解明し正確な予測をすることが重要である。それらの問題点を解決し、ADE に代わる新しいモデルとして連続時間ランダムウォーク (CTRW) が Hatano[1] や Berkowitz[2] から提案されている。

本研究では比較的スケールの大きい均質性、均一性が非常に高い場を作り透水実験を行った。実験装置は幅 260mm\*高さ 300mm\*長さ 7600mm の水路に対して東北硅砂 6 号 (平均粒径 0.34mm) を自動砂充填機により水中落下法で充填した。汚染物質を想定した NaCl 水溶液 (質量濃度 0.5%) を一定動水勾配で、水で飽和した土壌中に連続注入し、その濃度の経時変化を見る。塩分濃度計センサは 0.1m, 0.2m, 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m, 3.0m, 4.0m, 5.0m, 6.0m, 6.5m, 7.0m, 7.5m の位置に設置した。動水勾配は高い場合 (30/800) と動水勾配が低い場合 (9/800) の 2 種類について行った。その他の実験条件として、間隙率は Kozeny の式と Hazen の式で求めた 0.30~0.55 を用いた。乾燥バルク密度は  $1.532\text{g/cm}^3$ 。また実験は恒温条件 22 度で行われるため温度の影響は排除することができる。実験装置を図に示す。

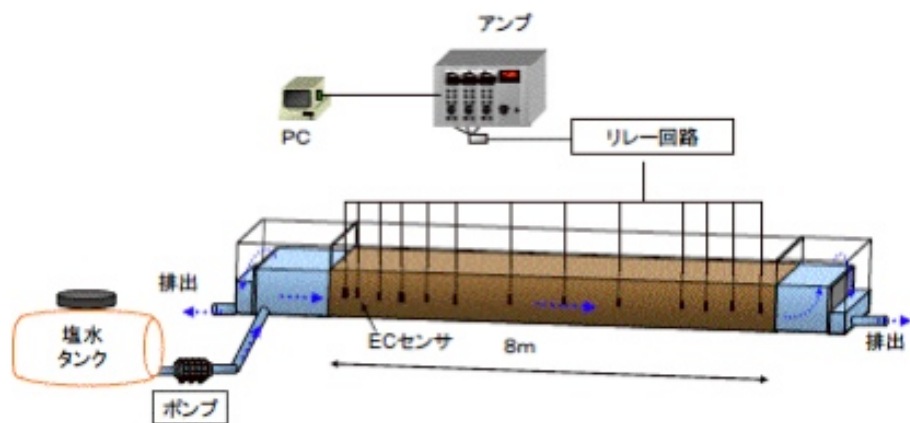
得られた実験結果について解析を行った。得られた実験結果は均質・均一性の高い場にも関わらず既存研究のような異常拡散性を確認することができた。そこで、従来の ADE の問題点を解決できる可能性があるとして提案されている CTRW を用いてフィッティング出来るようなモデルの作成を試みた。実験から得られた濃度の経時変化をプロットした破過曲線を ADE と CTRW とフィッティングさせ比較した。その結果、特に濃度の高い部分において ADE に比べて CTRW のフィッティングが実験結果に合うことから、CTRW によって異常拡散をモデル化することが可能であることがわかった。また、既往研究では Bijeljic ら [3] が距離やペクレ数に応じて、土壌中の物質移動が CTRW の挙動から ADE の挙動に変化するということをシミュレーションと理論によって示している。そこで本研究では実験により、CTRW から ADE への挙動の変化を示し、ADE と CTRW の関係性を考察した。実験結果から分散係数の距離依存性を確認でき、ある一定の距離以降分散係数は一定値に安定することを示せた。つまり、CTRW から ADE の挙動に変化することを実験により示した。

本研究では約 8m の長水路トレーサー実験により、土壌中の物質の異常拡散現象を確認した。そして、従来の土壌中の物質移動予測モデルである移流分散方程式 ADE に代わる連続時間ランダムウォークモデル CTRW の有用性を示した。さらに、分散係数の距離依存性を実験により確認し ADE と CTRW の関係性について考察した。今後は物質移動モデルである CTRW のパラメータ設定方法についてより検討をし、1 点の観測地点からパラメータを設定できる方法を考慮している。さらに、パラメータの設定方法について物理的な解析を行っていく。

[1] Hatano, Y., and N. Hatano (1998), Dispersive transport of ions in column experiments: An explanation of long-tailed profiles, *Water Resour. Res.*, Vol34(5), 1027-1033.

[2] Berkowitz, B. and Scher, H.: On characterization of anomalous dispersion in porous and fractured media, *Water Resour. Res.*, Vol.31 (6), pp.1461-1466, 1995.

[3] Bijeljic B. and M. J. Blunt: Pore-scale modeling and continuous time random walk analysis of dispersion in porous media, *Water Resour. Res.*, Vol 42, W01202, doi: 10.1029/2005WR004578.



実験装置概要