

土壤圈における環境影響化学物質の挙動解析（第2報）

Fate and Transport of Environmental Impact Chemicals in Soils (II)

小松登志子（理工学研究科・教授）

Toshiko KOMATSU (Graduate School of Science and Engineering, Professor)

1. 本研究の目的

本研究は、重点研究テーマ「環境影響化学物質のクロスマディア挙動の予測・評価のための統合的解析に関する研究」において、クロスマディアとしての地圏における環境影響化学物質の挙動解析を分子レベルで行うことを目的とする。本年度に予定した研究項目について以下のような結果が得られた。

2. 研究成果

2.1 土壤内におけるガスの拡散・移流に関するトランスポート・パラメータのモデル化

国内の各種土壤（西東京黒ボク土、福島黒ボク土、愛知褐色森林土、埼玉低地土、北海道泥炭土）およびデンマーク土壤について、土壤気相におけるトランスポート・パラメータである土壤ガス拡散係数と通気係数（透水係数に相当するもので、空気の通りやすさを表す係数）を測定し、予測モデルの提案を行った。具体的な成果は以下の通りである。

- 1) 5種類のデンマーク土壤（サイト：Ronhave, Foulum, Jyndevad, Gjorslev, Mammen）についてガス拡散係数を測定し、予測モデルの評価を行った結果、Three-Porosity Model (Moldrup et al., 2004) の適合性が最もよいことが明らかになった。通気係数については土壤間隙径分布に基づいた新しい予測モデルを提案し、このモデルに必要な基準値（間隙径 $30\mu\text{m}$ 以上の土壤気相率 ε_{100} ならびに ε_{100} における通気係数 $k_{a,100}$ ）の予測法も示した（論文③, ④）。
- 2) 西東京黒ボク土（東京大学農場）において 100m の直線上に採取した不攪乱試料について、土壤ガス拡散係数、通気係数、透水係数などを測定し、その空間分布について調べた（図 1）。ガス拡散係数については Penman-Call Model (Moldrup et al., 2005)（図 2），通気係数については

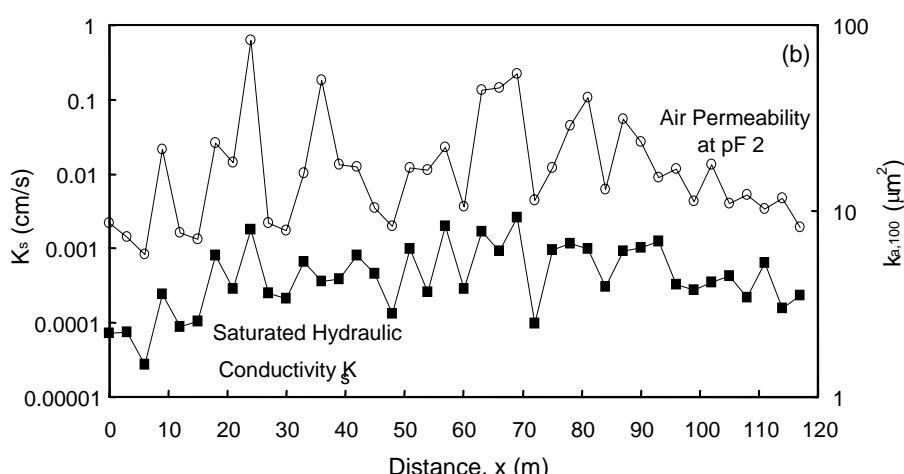


図1 通気係数と透水係数の空間分布の測定例(論文⑤より引用)

Kawamoto et al.(2006) のモデルが最適であることを示した（論文⑤）。

3) 福島ロームについては深さ方向について調べ、間隙量と有機物量が多い表層土での拡散係数が低いこと、拡散係数がゼロとなる無効間隙の値が表層土では大きいことなどが明らかになった（論文⑥）。

4) 土壤ガス拡散係数、通気係数、透水係数などと、気相率や体積水分含有率との相関について統一的に適用できる Bimodal Probability Law Model を提案した（論文②）。

5) 上述の他に、通気不良が予想される埼大通り沿いのケヤキ並木の街路樹枠から土壤試料を採取し、そのガス拡散・通気特性を明らかにした（学会発表③）。また、これまでに得られた土壤ガスのトランスポート・パラメータを用いて、地盤改変がメタンの土壤内移動に及ぼす影響を数値実験により検証した（学会発表⑧）。さらに、構造に異方性のある粘土、泥炭土におけるトランスポート・パラメータやローム土における溶質拡散係数は現在測定中であり、現場での土壤ガス分布測定についても準備中である。

2.2 土壤コロイドの流出解析と凝集・分散特性

デンマーク土壤を用いて土壤からのコロイド流出試験を行った。そして、水移動を移動相と不動相の 2 つとして扱う Two-region Model をコロイド流出解析に適用し、モデルが土壤からのコロイド流出を適切に表現しうることを明らかにした（論文①）

国内土壤として立川ローム表土から抽出した土壤コロイド溶液を用いて、凝集・分散特性や粒径分布に pH が及ぼす影響を調べた。その結果、弱酸性から中性付近の pH 領域ではコロイド粒子同士の電気的反発力が大きいため凝集沈降速度が小さくなり、強酸性の pH 領域では電気的反発力が小

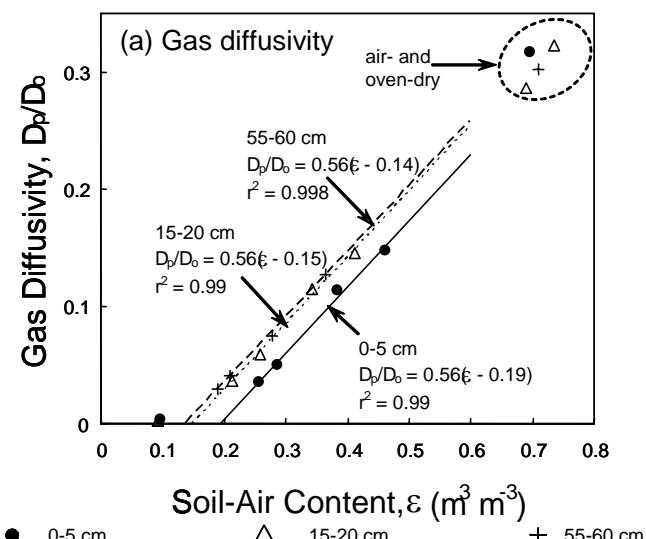


図2 ガス拡散係数と気相率の関係およびPenman-Callモデルの適用例(論文⑤より引用)

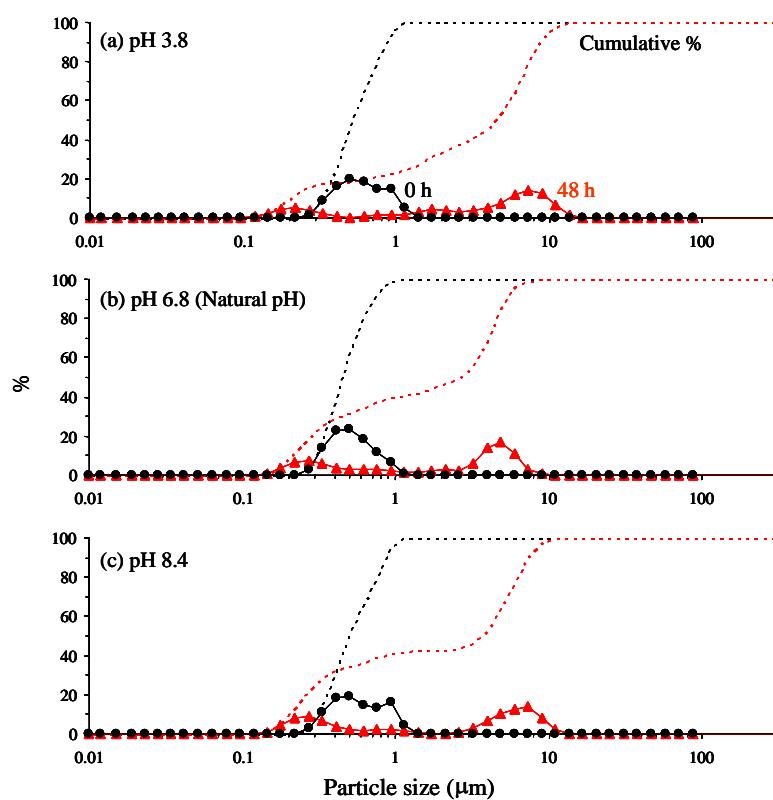


図3 土壤コロイドの粒径分布の時間変化の測定例(論文⑦より引用)

さいため凝集沈降速度が大きくなること、これにともない粒径分布が変化することなどが明らかになった（図3）。また、土壤カラムからの土壤コロイドの流出曲線を、静的および動力学的の二つのコロイドの吸着・脱離サイトを考慮したコロイド移動モデルを用いて解析し、コロイド移動を規定するパラメータの定量的評価を行った（論文⑦）。

2.3. 土壤および土壤コロイドへの農薬の吸着（遅延）特性の解明

農薬(2,4-D, アトラジン)を対象として、粘土鉱物（カオリナイト）、土壤（立川ローム）およびそのコロイド画分への吸着特性や吸着メカニズムについて調べた。カオリナイトへの農薬の吸着機構としては、荷電中和と疎水的相互作用が考えられ、これらの影響度合いには土壤溶液のpH、イオン強度（電解質濃度）が大きく作用することが明らかとなった（学会発表⑤、⑨）（図4）。土壤と土壤コロイドでは、後者の2,4-D吸着係数が前者の 3.4×10^3 倍となった（図5）。

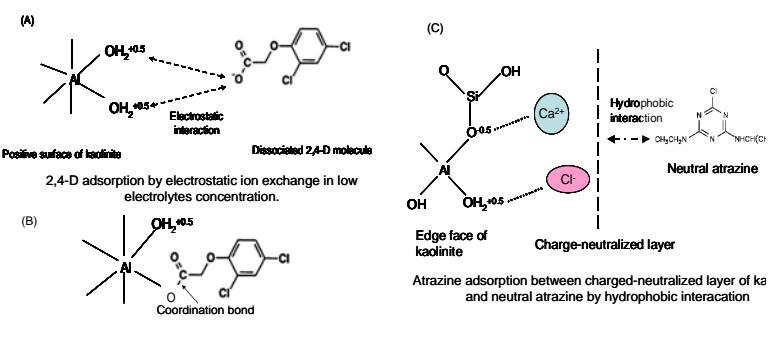


図4 カオリナイトへの農薬の吸着メカニズム

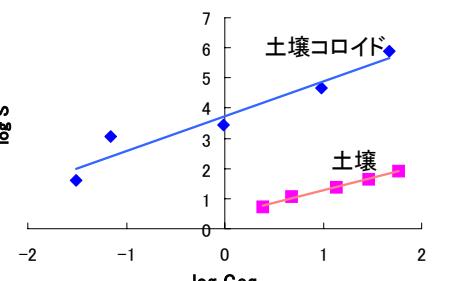


図5 土壤と土壤コロイドへの農薬(2,4-D)の吸着試験の測定例。S:農薬(2,4-D)の吸着量(mg/kg), Ceq:溶液中の平衡濃度(mg/L)

本研究プロジェクトを遂行するにあたり、デンマークオルボー大学 Per Moldrup 教授、埼玉大学大学院理工学研究科川本健准教授、ならびに同大学院博士後期課程 Augustus C. Resurreccion の研究協力を得た。

3. 業績リスト

3.1 論文

- ①Poulsen, T.G., Per Moldrup, Lis W de Jonge, and Toshiko Komatsu, Colloid and Bromide Transport in Undisturbed Soil Columns: Application of Two-region Model, Vadose Zone Journal, No.5, 649-656, 2006.
- ②Poulsen, T.G., P. Moldrup, S. Yoshikawa, and T. Komatsu, Bi-modal probability law model for unified description of water retention, air and water permeability, and gas diffusivity in variably saturated soil, Vadose Zone Journal, No.5, 1119-1128, 2006.
- ③Kawamoto, K., P. Moldrup, P. Schjønning, B.V. Iversen, D.E. Rolston, and T. Komatsu, Gas Transport Parameters in the Vadose Zone: Gas Diffusivity in Field and Lysimeter Soil Profiles, Vadose Zone Journal, No.5, 1194-1204, 2006.
- ④Kawamoto, K., P. Moldrup, P. Schjønning, B.V. Iversen, T. Komatsu, and D.E. Rolston, Gas Transport

Parameters in the Vadose Zone: Development and Tests of Power-Law Models for Air Permeability, Vadose Zone Journal, No.5, 1205-1215, 2006.

- ⑤Resurreccion, A. C., K. Kawamoto, T. Komatsu, P. Moldrup, N. Ozaki, and D.E. Rolston, Gas Transport Parameters Along Field Transects of a Volcanic Ash Soil. Soil Science, Vol.172, No.1, 3-16, 2007.
- ⑥Resurreccion, A. C., Ken Kawamoto, Toshiko Komatsu, Per Moldrup, Kuniaki Sato, and Dennis E. Rolston, Gas Diffusivity and Air Permeability in a Volcanic Ash Soil Profile: Effects of Organic Matter and Water Retention., Soil Science, Vol.172, No.6, 432-443, 2007.
- ⑦川本 健, 斎藤広隆, Per Moldrup, 小松登志子. 2007. 黒ぼく土カラムからの土壤コロイド流出解析. 埼玉大学大学院 紀要(工学系) (印刷中).

3.2 学会発表

- ①Kawamoto, K., P. Moldrup, T.P.A. Ferré, M. Tuller, O.H. Jacobsen, and T. Komatsu. 2006. Linking the Gardner and Campbell Models for Predicting Unsaturated Hydraulic Conductivity in Near-Saturated Soil. 18th World Congress of Soil Science, 2.1B, 137-8.
- ②Resurreccion, A.C., K. Kawamoto, P. Moldrup, and T. Komatsu. 2006. Gas Transport Parameters Along Field Transects of a Volcanic Ash Soil. 18th World Congress of Soil Science, 2.1B, 137-31.
- ③Komatsu, T., A.C., Resurreccion, K. Kawamoto, K. Kobayashi and P.Moldrup. 2006. Gas transport conditions in urban soil basin with Zelkova (Keyaki) tree: Effect of soil renovation. Proceedings of International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICCEE), 201-206, 2006.
- ④Moldrup P., A. Thorbjorn, T. Olesen, S. Yoshikawa, T. Komatsu, and D. E. Rolston. Individual phase resistances to gas diffusivity in unsaturated soil. 2006 Annual Meetings of American Society of Agronomy & Crop Science Society of America & Soil Science Society, Agronomy Abstracts (CD-ROM), 2006.
- ⑤Sharma, A., K. Kawamoto, T. Komatsu, and P. Moldrup. 2006. Effect of pH and Electrolytes on Adsorption of 2,4-D onto Kaolinite. H11F-1300, American Geophysical Union Fall Meeting 2006.
- ⑥Saito, H., K. Kawamoto, T. Komatsu, P. Moldrup, and J. Simunek. 2006. Numerical Analysis of Colloid Transport in Volcanic Ash Soil. H11F-1306, American Geophysical Union Fall Meeting 2006.
- ⑦Resurreccion, A.C., K. Kawamoto, P. Moldrup, and T. Komatsu. 2006. Effects of Inter- and Intra-Aggregate Pore Space on the Soil-Gas Diffusivity Behavior in Unsaturated, Undisturbed Volcanic Ash Soils. H11F-1307, American Geophysical Union Fall Meeting 2006.
- ⑧Resurreccion, A.C., K. Kawamoto, Komatsu, T., and P. Moldrup. 2006. Methane Diffusion and Reaction in a Landfill Cover Soil Profile as Controlled by Soil Type and Gas Diffusivity. Proceedings of the Symposium on Infrastructure Development and the Environment (SIDE 2006), GEO-007, 1-9.
- ⑨Sharma, A., K. Kawamoto, S. Hiradate, H. Kurokawa, P. Moldrup, and T. Komatsu. Adsorption of 2,4-D and atrazine onto kaolinite: Effects of pH and background electrolytes. J253-P006, Japanese Geoscience Union Meeting 2007, 2007
- ⑩Kawamoto, K., Resurreccion, A.C., P. Moldrup, and T. Komatsu. Predicting transport parameters in soil liquid and gaseous phases based on the Campbell pore-size distribution index. Proceedings of the joint seminar organized by School of Civil Engineering & Technology, Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University, Thailand and Department of Civil & Engineering, Saitama University, Japan, 142-149, 2007

(他, 国内学会発表 9 報)