

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006-2008
 課題番号：18510074
 研究課題名（和文） 土壌中の移流・分散制御による選択的物質輸送を用いた省資源・低コスト土壌環境管理
 研究課題名（英文） A cost effective soil environment management using selective solute transport management governed by convection and dispersion.
 研究代表者
 森 也寸志（MORI YASUSHI）
 島根大学・生物資源科学部・准教授
 研究者番号：80252899

研究成果の概要：

自然に存在する土壌にはマクロポアと呼ばれる粗大間隙があり、溶質が迅速に流れ出てしまい、効果的な施肥や薬剤散布を妨げている。そこで土壌が僅かに不飽和になる条件下で溶質移動を行うと分散が卓越し、溶質が正規分布様に土壌全体に分散し、汚染土壌の浄化では効率的に栄養塩を土壌細部に送り届けることが出来た。人工的にこの構造を作ると、浸透を制御できる限りにおいて、湛水を防止し、長期に溶質浸透を可能にできることが明らかになった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,800,000	0	1800,000
2007年度	1,300,000	390,000	1690,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3600,000	540,000	4,140,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：環境技術，土壌圏現象，移流・分散，浸透現象，土壌汚染，施肥管理，環境保全

1. 研究開始当初の背景

土壌は環境資源の一つであり、土壌汚染対策法に代表されるように、その維持管理は国の資源管理として重要視され始めた。しかし実施される汚染土壌浄化は現場を大きく破壊する技術や潤沢な資金を前提としたものが多く、使う人や使うサイトを限定してしまっている。土壌環境の維持管理技術は場所を問わず世界的な広さを持って必要とされる技術であるから、低コストで環境に対する負荷が小さい（レスインパクト）ことが環境修復技術として求められている。

それにもかかわらず、地球最表の環境浄化

層とも言える土壌中の物質循環は不均一であるため、浸透理論通りにならない現象が多くあることが統一的な理解を妨げている。しかし、その間隙構造はマクロポアとミクロポアに大別され、人体の大動脈と毛細血管とも言ふべき機能分化をし、物質移動に大きく貢献している。X線で可視化すると、2つの領域には秩序だった違いがあり、水分量変化に応じて物質はどちらか一方の領域を優先的に移動し、それによって移流・分散も変化することが明らかにされた。この不均一性を上手く利用すると、分散の拡大や特定領域での物質貯留など物質循環の制御が可能である

ことがわかってきた。

一般に土壤環境に対するアプローチは土壤を均一と見なした管理か、人工的に均一なものを作り出そうとするかどちらかである。そのため自然の構造を無視した維持管理技術が構築されるが、依然として自然界にはマクロポア・ミクロポアといった土壤間隙の構造が残っている場所の方が圧倒的に多い。そこで、非破壊検査で精査した土壤間隙構造のデータからヒントを得て、浸透理論式が当てはまらないことから嫌われていたマクロポア・ミクロポアの不均一性の発現を逆に利用することを考えた。

さらに本研究では、新たに作られる土地についても自然を模した土壤間隙構造を積極的に作り、それをもって土壤環境の管理を行うことも計画した。本手法は自然界に存在する土壤が本来持つ機能を最大限に活用することで効率的に土壤環境管理を行うもので、自然土壤を破壊し、均一を想定した土壤基盤を人工的に作り、高価な機器を投入する土壤管理技術とは一線を画すものである。仮に将来的に、様々な環境資源管理技術に炭素相当排出量、窒素相当流出量などの課税が発生するならば、本技術はこれらの数値が非常に小さい、すなわち環境に与える負の影響が非常に小さな技術を提供することになる。現場を大きく壊さない環境修復技術は国の社会基盤もしくは環境資源である土壤を保全することになり、資産価値を維持することにつながる。

2. 研究の目的

ここでは土壤が元来持つ構造を利用して、有用または有害な物質を選択的に移動・貯留させる技術開発を試みようと考えた。本研究では、土壤の二重間隙構造性を精査し、移流・分散を制御する最適な境界条件を明らかにし、もって低コスト・省資源利用で、土壤環境に対するインパクトの小さな維持管理技術を構築することを目標とする

3. 研究の方法

実験は以下の3つの段階について行った。

- ①マクロポアが存在し、そのままではバイパス流が発生して、移流が卓越することによって浄化剤や施肥が流れだし、無駄になりやすい土壤について、Fig.1 に示す土壤カラムを使った浸透実験を行い、境界条件を制御して、浸透現象中における移流・分散の制御を試みた。
- ②①で最適条件を見つけた後、その制御によって汚染土壤の浄化を行った。油汚染土壤に栄養塩を効率よく輸送することが目的で、併せて長期の実験に耐えうるかどうか、実用上の問題点を観察した。
- ③①②の成果を得たところで、さらに現場に

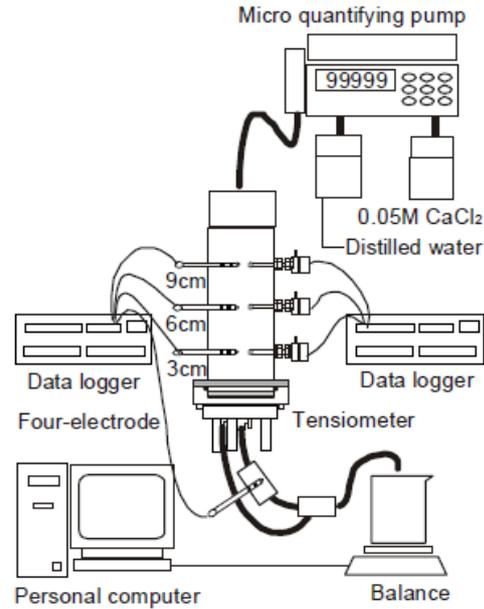


Fig.1. Experimental setup for solute transport experiment

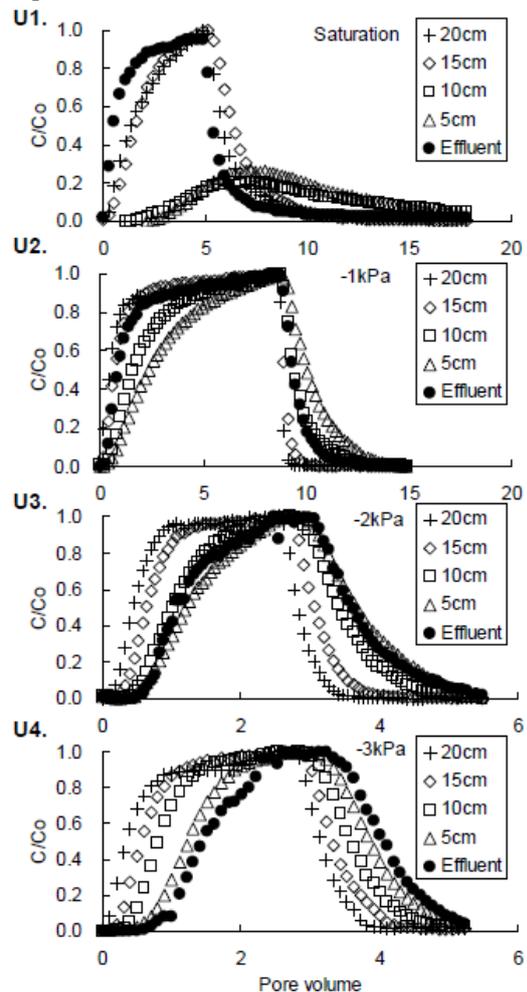


Fig. 2. Breakthrough curves for undisturbed soils with root created macropores:

U1, saturated soil; U2, -1kPa control; U3, -2kPa control; and U4, -3kPa control.

において劣化土壌の修復技術として活用することを考えた。土壌劣化のプロセスを観察すると単純に透水性の低下によってそれが引き起こされることが分かった。すなわち、浸透性が悪化し、表層付近に有機物など物質が蓄積するようになり、それが強い雨によって洗い流され、植生が貧弱なというフィードバックが働いていることが明らかになった。そこで人工マクロポアを作って圃場における養水分の状態がどのように変化するかモニタリングを続けた。

4. 研究成果

一連の研究の結果以下のような成果が得られた。

(1) マクロポア・ミクロポアが混在する自然の土壌を初めとする様々な間隙構造を持つ土壌において、浸透速度を飽和の約 1/10 で、サクションを-3kPa 程度にすると移流に代わって分散が卓越するようになり、間隙構造に依存することなく、微細間隙に溶質を送り届けることに成功した (Fig.2)。例えば油汚染土壌については飽和条件で栄養塩を流すだけ流すといった浄化方法よりは、浸透速度を下げて、不飽和を維持しながら浄化の方が効果的であることが明らかになった (Figs.3,4)。

(2) (1) の成果を得る過程で、マクロポアを有する土壌については長期実験が可能であることが分かった。間隙構造にマクロポアが無いものは逆に目詰まりを起こしやすく、長期実験には耐えないことが多かった (Fig.5)。マクロポアを有する土壌については微生物活性も高く、通気組織としての役割が認められた。すなわち、浸透現象が制御できる限りにおいてはマクロポアは存在する方が様々なアプリケーションにおいて有利である。

(3) 最後に土壌中に人工的にマクロポアを作って浸透を促進することを試みたところ、人工マクロポアはサイズにはほとんど関係なく、1cm 未満の小さな穴でも充分鉛直浸透を卓越させることが明らかであった (Fig.6)。劣化土壌では表層土壌の透水性が不良になり、表層に電解質や有機物がたまりやすい (Figs.7)。従って、表面流が発生しやすく、汚濁負荷の原因となったり、有機物が効果的に貯留できない。これを改善する手段として人工的にマクロポアを作って一年観察したところ、処理区は対照区に比べて深い部位に水分が蓄えられることがわかった。室内実験では土壌中に有機物がある割合で蓄積できる初期の成果も得られ、劣化土壌の回復技術としての展開を見いだした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

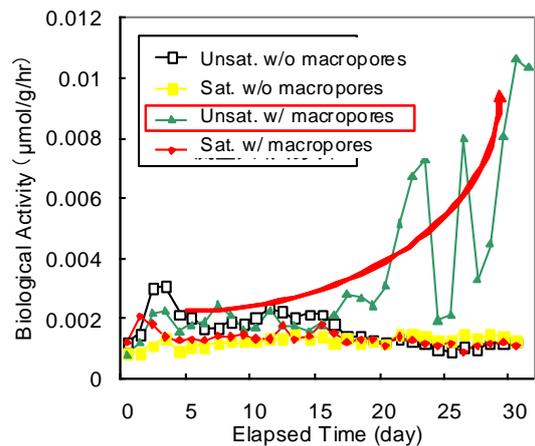


Fig. 3 Biological activity measurement during bio-remediation

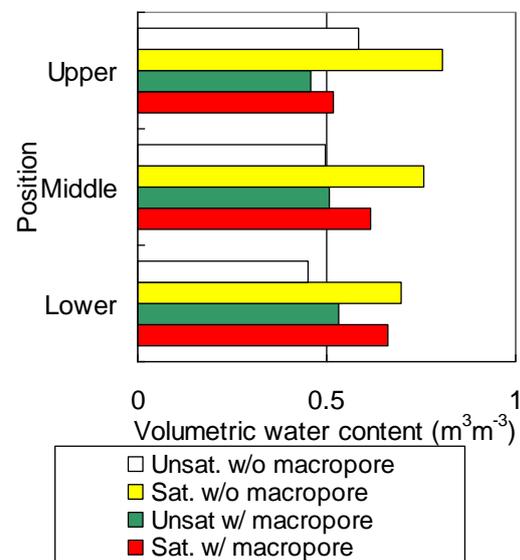


Fig.4 Volumetric water content control

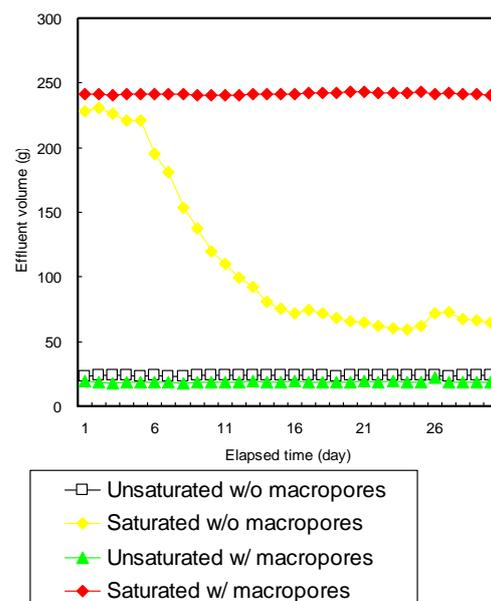


Fig. 5 Flux Control during the experiment.

は下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

- ①. Mori, Y. and N. Higashi, Controlling solute transport processes in soils by using dual-porosity characteristics of natural soils, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.* (2009), doi:10.1016/j.colsurfa.2009.02.009.
- ②. 森 也寸志, 宗村広昭, 武田育郎, 土壤浸透水採取による山林斜面における面源負荷の形成過程の解明, *環境技術*, 査読有, 37(11), 1-6, 2008.
- ③. 平井優也, 森 也寸志*, 宗村広昭, 江草直和, 森澤太平. 2008. 多周波電磁探査法による土壤環境モニタリング, 土壤の物理性, 査読有, 109: 3-14.
- ④. Al-Busaidi, A., T.Yamamoto, M.Inoue, E.A.Egrinya, Y.Mori and M.Irshad. 2008. Effects of Zeolite on Soil Nutrients and Growth of Barley Following Irrigation with Saline Water, *Journal of Plant Nutrition*, 31:7, 1159-1173.
- ⑤. 森澤太平, 森 也寸志*, 江草直和, 宗村広昭, 井上光弘. 2007. 管理状態の異なる森林からの集中豪雨に伴う汚濁負荷流出特性—土壤浸透水直接採取からの観察—, *応用水文*, 20, 11-20.
- ⑥. 東 直子・森 也寸志*・井上光弘. 2007. 不飽和土壌中の下方浸透水モニタリング—自動吸引圧制御型サンプラーによる肥料溶脱傾向の把握—. *環境浄化技術*, 44-48.
- ⑦. 東 直子・森 也寸志*・井上光弘. 2006. 不飽和土壌中の下方浸透水採取のための効果的なサクション制御法. *水文・水資源学会誌*, 19:221-227.

[学会発表] (計 20 件)

- ①. 藤原篤志・森 也寸志. 栄養塩浸透域制御による油汚染土壌の効率的浄化. 第 50 回土壤物理学会講演要旨集. 2008 年 10 月. 津市.
- ②. 江草直和・森 也寸志・宗村広昭・井手淳一郎. 電磁探査による表層土壌環境の特徴抽出と面源負荷の推定, 第 50 回土壤物理学会講演要旨集. 2008 年 10 月. 津市.
- ③. 森 也寸志・平井優也・伊藤桂子. 人工マクロポアによる土壌中の効率的な鉛直物質輸送, 第 50 回土壤物理学会講演要旨集. 2008 年 10 月. 津市.
- ④. Mori, Y. Optimizing Contaminated Soil Remediation Processes by Controlling Nutrient Injection Rate. ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings. 2008 年 10 月. Houston, USA.
- ⑤. 森 也寸志. 栄養塩注入速度制御による汚染土壌浄化の効率化と二次汚染の軽減. 環境技術学会. 2008 年 9 月. 大阪市.
- ⑥. 森 也寸志・宗村広昭・平井優也・江草直

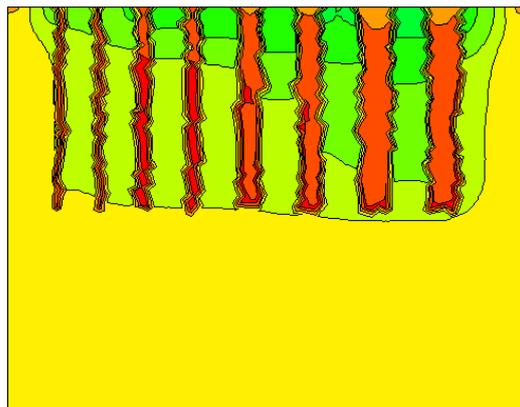


Fig.6 Size dependency of macropores for vertical solute transport.

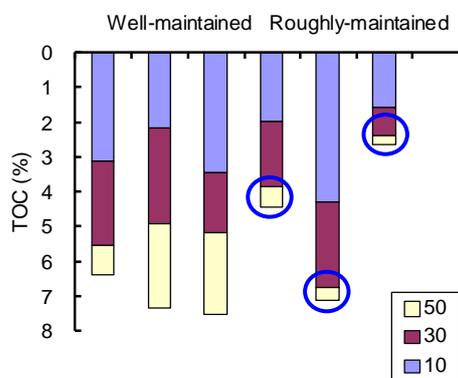


Fig.7 TOC distribution in the vertical soil profile. TOC decreased immediately as profile reached to 50cm depth.

- 和・森澤太平. 多周波数電磁探査法による表層土壌環境モニタリングの可能性. *水文・水資源学会 2008 年度大会*. 2008 年 8 月. 東京都
- ⑦. Mori, Y. and Y. Hirai (2008) Soil Environment Monitoring by Multi-frequency Electromagnetic Sounding. Japan Geoscience Union Meeting, Makuhari, Japan. 2008 年 5 月
 - ⑧. Mori, Y. Optimizing soil remediation process by controlling nutrient injection rate. Japan Geoscience Union Meeting, Makuhari, Japan. 2007 年 5 月
 - ⑨. Mori, Y., S.Takada, N.Higashi, H.Somura, I.Takeda, Characterizing Hydrological Processes in Vadose Zone by Direct Infiltration Water Sampling. ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings. New Orleans, USA., 2007 年 10 月
 - ⑩. Mori, Y., N. Higashi, H. Somura, I.Takeda,

M.Inoue. Characterizing Hydrological Processes in Vadose Zone by Direct Infiltration Water Sampling. American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, USA, 2007年12月

⑪.高田 直・森 也寸志・宗村 広昭・武田 育郎・東 直子・井上 光弘 (2007) 土壌浸透水直接採取による流域水物質循環の解明. 農業農村工学会大会講演会講演要旨集. 1018-1019. 2007年8月 松江市.

⑫.平井優也・森 也寸志. 多バンド電磁探査法による土壌環境モニタリング. 農業農村工学会大会講演会講演要旨集. 1020-1021. 2007年8月 松江市.

⑬.平井優也・森 也寸志・宗村広昭・江草直和・森澤太平 多周波数電磁探査法による土壌環境モニタリング. 第49回土壌物理学会講演要旨集 64-65. 2007年10月. 福岡市.

⑭.森 也寸志・東 直子・宗村広昭・武田育郎・井上光弘 土壌浸透水直接採取による山林斜面における水質形成過程の解明. 第49回土壌物理学会講演要旨集 70-71. 2007年10月. 福岡市.

⑮.東 直子・森 也寸志・井上光弘 不飽和土壌中の根群域からの下方浸透水モニタリング. 第12回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会要旨集 60. 2006年6月.京都市.

⑯.松本祐子・森 也寸志 浸透速度制御による油汚染土壌の浄化率の最適化. 第12回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会要旨集 60. 2006年6月. 京都市.

⑰.森 也寸志・松本祐子 移流・分散制御による油汚染土壌の浄化効率の最適化. 第12回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会要旨集 60. 2006年6月. 京都市.

⑱ .Y.Mori, N.Higashi, M.Inoue. Infiltration Water Sampling Using an Automated Suction-Controlled Flux Sampler. 18th World Congress of Soil Science - 2006年7月. Philadelphia, Pennsylvania, USA.

⑲.松本祐子・森 也寸志. 浸透速度制御による油汚染土壌の微生物浄化の最適化. 第48回土壌物理学会講演要旨集 72-73. 2006年10月. 札幌.

⑳.森 也寸志・東 直子・宗村広昭・武田育郎. 人口減少に伴う土地管理の粗放化が土地の劣化及び汚濁負荷物質の流出に及ぼす影響. 第48回土壌物理学会講演要旨集 72-73. 2006年10月. 札幌.

〔図書〕 (計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究代表者

森 也寸志 (MORI YASUSHI)

島根大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号：80252899

(2)研究分担者

(3)連携研究者