

氏 名 森 也 志
 学位(専攻分野) 博士(農学)
 学位記番号 論農博第2215号
 学位授与の日付 平成11年1月25日
 学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当
 学位論文題目 SOFT X-RAY VISUALIZATION AND ANALYSIS ON HYDRAULIC AND
 GEOMETRICAL PROPERTIES OF SOIL MACROPORE
 (軟X線による土壌粗間隙の可視化と水理学的・幾何学的特性の解析)

(主査)
 論文調査委員 教授 三野 徹 教授 高橋 強 教授 小崎 隆

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、軟X線を用いて土壌粗間隙を可視化し、その構造と水理学的特性についてまとめたものである。すなわち、土壌間隙構造を観察・解析し、次いで造影剤をトレーサーとして飽和・不飽和における水分の移動過程を実証的に観察・解析した結果を論述している。その内容を要約すると以下のとおりである。

まず第一章では、土壌中における物質の移動現象を左右する因子のひとつとしてバイパス流をあげ、土壌粗間隙中の水・物質移動の特性を明らかにする必要性を述べた。また、土壌粗間隙の特性を調べる種々の研究手法を紹介し、軟X線を用いた本研究の必要性を説いた。

第二章では、土壌組成、造影剤の有無、サンプラー材質を考慮して、X線吸収原理をもとに粗間隙を高解像度で造影する条件を調べた。最適出力は80-85kVpと医療用X線より低い領域にあり、それ以上の出力では解像度が上がらないこと、また、造影剤を使用すれば使用しない場合に比べ100倍近く解像度が上がり、最高解像度は42.3 μ mにもなることを示した。

第三章では、土地利用の違いが土壌間隙構造の差異に与える影響を定性的に観察、分類した。水田、畑地とも作土と心土では間隙構造が異なり、作土では団粒間隙・ペッド間隙、心土では管状孔隙が卓越することを示し、また、水田では水稻根の形状を呈した鉛直方向の管状孔隙が発達し、畑地では粗間隙によって管網が形成されており、土地利用が土壌間隙構造に影響することを明らかにした。さらに水田では代かきの後一年以内に新しい管状孔隙が形成されることも観察した。

第四章では、フーリエ変換を利用して、粗間隙発達方向性や間隔を抽出することを試みた。水田、畑地、森林の順に間隙構造の方向性が強いことを明らかにして、目視による観察結果を定量的に裏づけることができた。また、周波数領域でこれを解析することにより、水田土壌は少数かつ一定方向に卓越した間隙によって、一方、畑地土壌は様々な方向に発達した多数の間隙から構造が形成されることがわかった。しかし、森林土壌については団粒間隙が透過写真として多重に造影されるためこのような評価は難しいことがわかった。定性的に記述されることが多い形態観察も、このようにして定量的評価が可能となることを示した。

第五章では、造影剤をトレーサーとして、飽和土壌中の水移動を可視化し、バイパス流発生の特徴を解析した。水田、畑地では管状孔隙を、森林土壌では団粒間隙を水は流れること、さらにそれは通水可能な粗間隙の一部であることを明らかにした。水田は水みちの径の変動や屈曲が小さく、一方、畑地は径の変動や屈曲が大きいことを示した。流れの状態を把握するためにレイノルズ数を算出すると粘性項より慣性項が大きくなることがわかり、一般的に導入される層流の仮定が適用できない場合もあることが分かった。

第六章では、排水試験を行い、土壌間隙構造が不飽和水移動に及ぼす影響を調べた。画像解析により土壌からの排水は粗間隙からマトリックスという明確な順序があることが明らかであり、森林、畑地、水田の順にこの傾向が強いことを示した。不飽和透水係数を算出すると、飽和付近で不連続点が発生し、土壌からの排水が粗間隙とマトリックスという二重間隙構造

の影響を受けていることが数値解析の上からも立証された。この二重間隙構造性の状況は土壌の乾燥密度の大小と密接な関わりを持ち、粗間隙とマトリックスとの物理性の違いがこの間隙構造性に影響することがわかった。

以上、本論文では軟X線を利用して、水と物質の移動に大きな影響を及ぼす土壌粗間隙を可視化し、その幾何学特性を検討し、また、造影剤をトレーサーとしてその水理学的特性を明らかにした。

論文審査の結果の要旨

土壌は固相部分と間隙部分から構成され、間隙部分では水や空気などの流体が貯留されたり、移動したりする。間隙は複雑な幾何学的構造を持つために、土壌中の流体の存在状態や移動状況はきわめて複雑であり、多様な環境が形成されている。本研究は、軟X線を用いてこのような複雑な土壌間隙を非破壊的に直接観察し、その幾何学的構造を明らかにするとともに、間隙中を通過する土壌水の移動状況を分析したものである。本論文の評価できる主要な点は以下の通りである。

(1) 軟X線は生体の非破壊観察や手荷物検査などさまざまな用途に利用されるようになってきたが、土壌・間隙観察では、出力が80-85kVp程度のエネルギーレベルで最も高いコントラストが得られること、さらに造影剤の使用により、2オーダー以上も高い解像度が得られることを理論的及び実験的に明らかにした。

(2) 水田土壌と畑土壌について軟X線を利用して間隙の観察を行った結果、水田の作土は団粒間隙が発達しているが、下層の心土では水稻根に起源を持つ管状孔隙が支配的であること、畑土壌では複雑に連なった間隙が発達していることを見出した。

(3) 軟X線写真を利用して得られた画像をもとにフーリエ変換を適用することにより、粗間隙の発達方向や、平均間隔が定量的には握できることを明らかにした。そして、水田、畑、森林土壌の順に土壌構造が発達していることを直接確認した。

(4) 造影剤をトレーサーとして、軟X線により間隙内の水の移動状況を観察した結果、飽和状態の土壌において従来では平均的にしかは握できなかった土壌中の浸透水の詳細な動きを明らかにし、浸透流解析において前提として用いられる層流状態の仮定からはずれるような流れが発生していることを確認した。また排水試験ではまず粗間隙の水が排除され、ついでマトリックス間隙へと移る状況を確認した。

以上のように、本論文は軟X線を用いて、土壌間隙並びにその中の水の移動状況を非破壊的に観察することに成功した。そしてこの方法を適用して間隙構造の特性を分析するとともに、間隙中の水の動きについて考察を加えている。これらの結果は土壌科学、とくに土壌物理学、土壌化学、土壌生成学などの分野の発展に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成10年11月16日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。