

氏 名	いわ 岩 間 憲 治
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学 位 記 番 号	論 農 博 第 2458 号
学位授与の日付	平 成 15 年 1 月 23 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	軟 X 線撮影による土壌孔隙構造の三次元画像化とその定量的解析

論文調査委員 (主 査) 教 授 三 野 徹 教 授 高 橋 強 教 授 小 崎 隆

論 文 内 容 の 要 旨

土壌間隙は、透水性や保水性などの土壌物理性や、土壌中の小動物の生息圏に大きな影響を及ぼすと考えられる。しかし、土粒子や腐植など土壌の固体部分是不透明であり、また土壌内部に存在する間隙の断面形状、分岐、屈曲、および隣接間隙との接続状況はどれも複雑である。このため、複数の間隙が組み合って構成される間隙構造を把握することは困難である。そこで土壌間隙の性質を考慮した研究では、均質な間隙構造を想定することが多い。

近年、軟 X 線撮影により土壌内部構造を観察する技術が開発された。これにより、間隙の形状、連続性、隣接間隙への分岐・接続、閉塞状況などを影像で把握できるようになり、水や空気などの流体が何処に存在しどのように移動するかが検証可能となった。さらに、ステレオ撮影技術を用いることでそれらの間隙の三次元空間上での位置関係を把握することも可能となった。

以上より、本論文では土壌間隙のうち管状間隙（以下孔隙）の構造を研究対象に、供試土壌の軟 X 線ステレオ影像から土壌の三次元空間上での孔隙の位置座標と孔隙径を計測するシステムを開発した。次にその技術で得た孔隙データから孔隙の構造的特徴および流体の挙動を定量的に評価することを目指した。

第 1 章では、軟 X 線撮影技術を用いた土壌に関する既往の研究事例を示すとともに、本論文の目的・構成について述べた。

第 2 章では、軟 X 線陰影像の陰影精度について検証した。土壌孔隙のステレオ影像が劣化すると陰影の位置認識（測定）に影響し、影像から再構成される孔隙の三次元画像の精度に大きく影響する。この影像の画質や形状の精度を左右する要因として、フィルム特性、現像状態、X 線焦点の大きさがあげられる。そこで、これらの要因がフィルム上の陰影に与える影響を評価し、陰影のぼかしや陰影位置を認識（測定）する場合に含まれる誤差が三次元像の再構成にどれだけ影響するか検証した。

第 3 章では、軟 X 線ステレオ影像から陰影の三次元画像を自動的に表示するためのシステムを開発した。まず、画像処理装置に CCD カメラを介してフィルム影像を取り込んで陰影を認識させた。次に左右の陰影像を比較し、自動的にどの組み合わせがともに同一孔隙であるかをその形状や位置ずれの程度から判断して同定させ、双方の陰影の座標から孔隙の三次元座標を求めてコンピュータ・グラフィックスで示した。このシステムを検証するため、針金を孔隙と見立てたステレオ・フィルムを作成して適用し、陰影から三次元座標が得られることを確認した。最後に実際の土壌孔隙に適用して陰影形状が複雑になるとその認識が不可能となる点など問題点を指摘し、今後の発展の方向を示した。

第 4 章では、土壌孔隙の三次元画像を求めるシステムを改良し、土壌孔隙ステレオ影像に適用して、孔隙の形状分布を定量的に評価した。まず、供試土壌はジュラルミン製の採土容器で採取することとした。これにより、採土容器による軟 X 線の減衰を押さえるとともに、実験室で供試土壌を改めて採取・成形する必要がなくなりかなりの手間を省くことができた。つぎに、陰影の認識と左右の陰影の同定を目視で行い画像処理装置がその作業を補佐するシステムに改良して、土壌孔隙の三次元像を再構成することとした。灰色低地水田土壌と黒ボク畑地土壌にこのシステムを実際に適用して、土壌孔隙断面の

大きさの分布とその方向性の分布を求めた。この結果、各土壌が持つ構造的な特徴を定量的に示すことができ、システムの有用性を明らかにした。

第5章では、土壌孔隙の三次元データを用いて孔隙構造が透水性に与える影響を定量的に示した。ここでは、灰色低地水田土壌を対象に孔隙の三次元データを求め、透水係数を計算した。この計算は、ダルシーの法則とハーゲン・ポアズイユの法則を組み合わせたものであり、さらに、孔隙の分岐を無視した場合と考慮した場合、孔隙全体の断面積の平均値を用いた場合と最小値を用いた場合、軟X線撮影の初期の段階から見られるものだけのデータを用いた場合と、条件を変えて求めた。同一供試土壌で定水位透水試験も行って比較した結果、陰影として現れる土壌孔隙が透水性に大きく寄与し、それ以外の間隙の影響は小さいことを示した。

第6章では、土壌孔隙中に造影剤が移動する状況をビデオ撮影し、観察・解析した。流体の動きを造影剤の陰影から判断しており、水も全く同じ流動を示すとは考え難いが、流動体（造影剤・水）が孔隙や間隙を連絡して脈動して流れる様子をはっきりと確認できた。

結論では、以上の内容をまとめた上で、本論文で示したシステムの問題点や今後の発展の方向を示した。

論文審査の結果の要旨

透水性や保水性などの土壌の物理的特性や、土壌中の微小生物の生態系は土壌間隙構造に支配されていると考えられる。しかし、土壌の固相の構成要素である土粒子や有機腐植物質はいずれも不透明であるため、間隙の位置、形状、および間隙の接続状況などを立体的に把握することはきわめて困難であるといえる。近年、レントゲン撮影やCT（コンピューター断層撮影）など様々な非破壊検査技術が開発され、医療や工業の分野で利用が進んでいる。土壌学の分野でも軟X線と土壌用造影剤を用いて土壌内部の間隙構造を映像化する手法が開発され、既往の測定技術によって得られる土壌物理特性と組み合わせで観察・解析されるようになった。本研究では、軟X線ステレオ撮影により管状粗間隙（以下孔隙）を対象に土壌内部の三次元座標を求めた。その結果、孔隙構造の形状分布を明らかにし、同一試料で透水試験を行った結果と比較して、孔隙と透水性の関係を定量的に示すことに成功した。さらに、孔隙中の流体の挙動をビデオ撮影して、観察・解析し、新たな知見を得た。評価すべき点は以下の4点である。

1. 孔隙のみを対象としたとはいえ、その三次元座標を求め、コンピュータ・グラフィックスで表示することで、孔隙構造を直感的に把握することに成功した。
2. 孔隙構造の三次元データより孔隙径頻度分布と孔隙の方向別分布を求めるシステムを開発した。これを灰色低地土水田土壌およびクロボク畑地土壌に適用し、それぞれの構造的な特徴を明らかにした。
3. 土壌の空間的変異性は非常に大きいため、同一の供試土壌で透水試験と軟X線ステレオ撮影を行った。これにより、土壌孔隙をパイプラインと見立てて求めた透水係数と透水試験により得られる透水係数と比較して、孔隙と透水性の関係を明らかにした。また、飽和透水試験に対する問題点を示唆した。
4. 土壌に造影剤を流して軟X線ビデオ撮影し、孔隙中に造影剤がどのように移動するかを映像で示した。水も同じ流動を示す保証はないが、流動体（造影剤・水）が孔隙間を連絡し、脈動して流れる様子がはっきりと確認できた。さらに流速を求めて、透水試験の結果と比較・評価した。

以上のように、本論文は土壌の孔隙構造を測定してそれを定量化する方法を検討するとともに、透水係数などの土壌物理特性との関係を比較・評価したものであり、土壌科学や土壌物理学に寄与するところが多い。

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14年11月18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。