

X線CTと画像解析による土中の植物根分布の可視化 Visualization of plant root distribution in soil using X-ray CT and image analysis

○戸田武琉¹, 小島悠揮², 濱本昌一郎³, 大竹豊⁴, 神谷浩二²

Takeru Toda, Yuki KOJIMA, Shoichiro HAMAMOTO, Yutaka OHTAKE, Kohji KAMIYA.

1) 研究の背景と目的

通常、植物根は表層土壌に存在する。この植物根は表層土壌に様々な水理学的・力学的・熱的影響を及ぼすと考えられ、植物根が土壌構造や関連する特性に及ぼす影響の評価が進められている。近年のX線CT(Computed Tomography)の著しい進歩により、植物根が土壌内でどのように成長し、植物根分布を形成するのか、また構造に与える影響をミクロスケールで把握できる可能性が出てきた。

植物根を含む土壌構造のCT画像から植物根の分布を評価するためには、CT画像から植物根を分節化する必要がある。そこで本研究では、植物根を含む土壌構造を撮影したCT画像から植物根を自動で分節化する手法を開発し、分布を可視化することを目的とした。また作成された画像から植物根が土壌構造に及ぼす影響の評価にも取り組んだ。

2) 実験方法

内径20mm、高さ50mmの亚克力カラムを作成し、カラム上端まで豊浦砂を充填した。亚克力カラムの底面には排水用の孔の空いたプレートを接着し、また土粒子が流出しないように目開き45 μ mのナイロンシートを貼った。亚克力カラムでダイズ、イタリア

ングラス、ギニアグラスを生育し、十分に根が張った後にX線CTによる亚克力カラム内土壌の撮影を行った。使用した装置はMetrotom 1500(Carl Zeiss, Oberkochen)である。スキャンは、190kV、55 μ Aのエネルギーレベルで行った。また、解像度に相当するボクセルサイズは16.5 μ mで、深さ方向に断面画像を計3000~4000枚撮影した。

CT画像の解析は、画像解析ソフトImageJ(NIH, Maryland)とPythonを用いた。まず、CT画像をImageJで読み込み、最表層の断面画像に対して、目視によって植物根と判断できるボクセルをすべてラベリングした。1枚目の根の抽出は手作業となるが、2枚目以降の画像では、Pythonの自作プログラムを用いて自動的に抽出を行った。抽出の方法を図1に示した。抽出は、1枚目の画像の植物根と判断されたボクセルから1ボクセル分領域を拡大した部分を探索領域とし、輝度値に閾値を設けて行った。この植物根の抽出作業と、間隙水の除去を目的としたノイズ処理を1回の計算とした。1回目の計算が終わったら、抽出された植物根と判断されたボクセルから1ボクセル分領域を拡大した部分を新たな探索領域とし、再度閾値による抽出とノイズ処理を行う。この計算を計20回繰り返し、20ボクセル分の植物根の膨張、収縮、移動に対

¹ 岐阜大学大学院自然科学技術研究科 Graduate School of Natural Science and Technology, Gifu University

² 岐阜大学工学部 Faculty of Engineering, Gifu University

³ 北海道大学大学院農学研究院 Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University

⁴ 東京大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Tokyo University

キーワード：X線CT, 植物根, 土壌構造

応できるようにした。このように上層の植物根の分布を基に順次下層の植物根分布を抽出した。

3) 結果と考察

例としてダイズの根を CT 画像から抽出した 3D 画像を図 2 に示す。ダイズは主根と側根を有するが、主根を中心に側根がカラム内に広く分布している様子が確認できた。主根はやはり鉛直方向に伸長する傾向があり、側根は水平方向への伸長が特徴的であった。ダイズ根は表層部分では水平方向に伸長する傾向が強く、深くなるほど鉛直方向に伸長していたが、これはカラム壁の影響が強く表れていると考えられる。このように根の土壌中での分布を詳細に把握できた。

植物根を抽出し、分節化した後に 3 次元画像処理ソフトウェア ExFact VR (日本ビジュアルサイエンス, 東京) を用いてクリギング手法により土粒子, 間隙水, 間隙空気 の分節化を行った。図 3 はある深度の断面の分節化画像である (間隙水分析用の画像であり, 植物根は空隙となっている)。間隙水の分布は空気と比較すると小さな間隙にあることがわかる。また植物根の周囲には水で満たされた間隙が多いことも見て取れる。今後は, このような分節化した画像を使って, 土粒子配列や間隙構造の分析を進めていく。これにより植物根が土壌構造に与える影響が解明されると考えられる。

4) 結論

植物根を含む土壌カラムの CT 画像から植物根を自動で分節化し, ミクロ単位で植物根の分布を可視化することに成功した。さらに土粒子, 間隙水, 間隙空気, 植物根の分節化画像の作成に成功した。今後は土粒子配列や間隙構造の分析を進めていく。

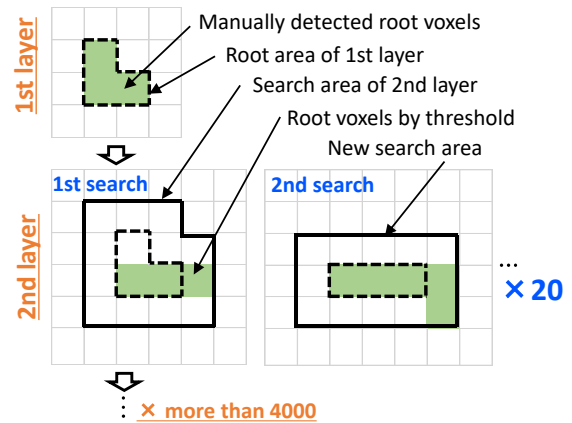


図 1 植物根の抽出方法

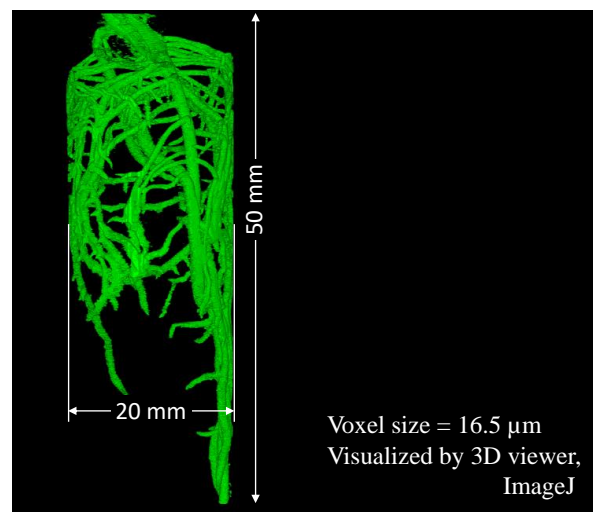


図 2 ダイズ根の三次元画像

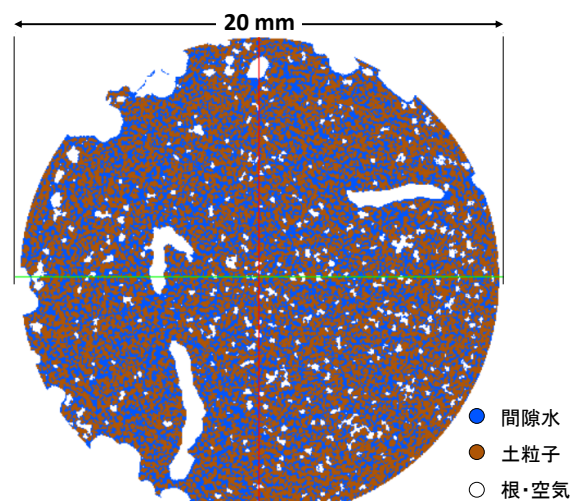


図 3 分節化画像

【謝辞】本研究は科研費 (若手研究) 21K14940 の支援を受けた。