

画像解析による土壌水分特性曲線の取得における顕微鏡倍率の影響

京都大学大学院 農学研究科 ○林 祐妃

1. はじめに

近年、気候変動により土砂災害が増加しており、予知のために飽和不飽和浸透計算が有効な手段となる。しかしこの数値計算には、多大な時間と手間と費用がかかる水分特性曲線（WRC）の取得が必須となる。

画像の解析技術が進歩している。近年、Hayashi (2025)が、土壌の顕微鏡画像を用いることにより、WRCを取得できる可能性が高いことを明らかにした。顕微鏡画像の取得の際にどの倍率が良いか問題となる。例えば倍率が低いと小さい孔隙がとれない、倍率が高いと画像の代表性に欠けるといった問題が生じるかもしれない。

そこで本研究では (Hayashi, 2026), 不攪乱土壌サンプルを採取し、倍率が異なる土壌断面の顕微鏡画像を用いたWRCと、従来の手法である加圧板法によるWRCを比較し、WRCの取得のために最適な倍率について検証する。

2. 方法

2.1 土壌採取

顕微鏡画像から森林土壌を取得するために、立命館大学BKCの自然緑地内にて、森林土壌を採取した。植生は広葉樹林であった。粒度はシルトであった。深度10-15cmにおいて、100ccコアサンプラー（高さ5cm、直径5cmの試料円筒）で不攪乱土壌を2つ採った。1つは不攪乱土壌サンプルの表面の画像を取得するため、もう1つは加圧板法を実施するためである。

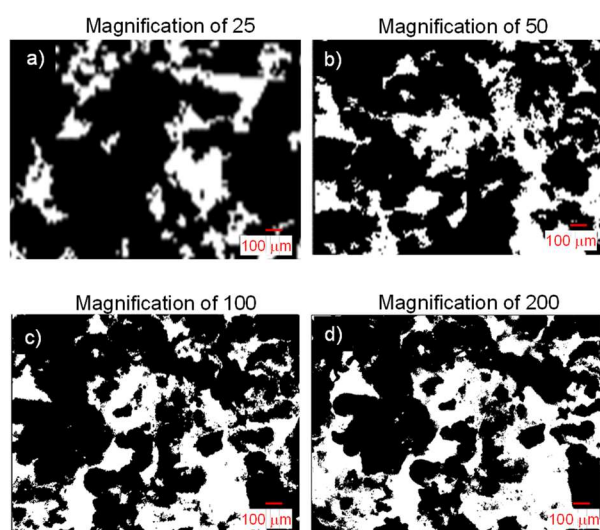


図-1. 土壌のデジタル顕微鏡から得られる異なる倍率のバイナリ画像の例

2.2 画像取得

顕微鏡画像を撮影する前処理として、不攪乱土壌サンプルの表面をカッターナイフで水平に削った。サンプルからデジタル顕微鏡（キーエンス社製 VHX-5000）により、カラー画像を25, 50, 100, 200倍の倍率で、順に4, 16, 16, 64枚撮影した。

2.3 画像解析

顕微鏡画像から土壌孔隙径分布の測定を実施するために、画像解析プログラミング言語、MATLAB（MathWorks社製）のしきい値の手法を用いて解析した。画像中で孔隙の領域は影になっている。そこで色が濃い領域を、しきい値を設定し抽出した。抽出した各領域の面積を自動計測した。色空間はRGBを用い、Gを上側のしきい値を125に固定し、他の色指標はしきい値として使用しなかった。

2.4 データ処理

抽出した孔隙の面積データから次のようにWRCを求めた。孔隙は円形と仮定し、塩の面積の計算式から逆算し、孔隙半径をExcelシート上で算出した。孔隙半径のデータを、孔隙半径は圧力水頭と逆数の関係にあることから、圧力水頭に変換した。さらに孔隙面積率の積み上げ値を体積含水率とし算定した。以上の方法で求めた、圧力水頭と体積含水率の関係はWRCとなる。

3. 結果と考察

3.1 土壌構造のバイナリ画像

倍率が土壌孔隙の画像に及ぼす影響を明らかにするために、図-1に倍率を4段階に変化させた時の土壌構造のバイナリ画像を示す。

25倍は画素が粗いため画像がぼやけている。孔隙の面積を正確にとらえられない可能性が高い（図-1a）。

50倍では25倍で見られなかった孔隙が存在している。25倍より50倍の方が、画素が高いため、孔隙径分布も正確にとらえられる（図-1b）。

100倍において、この画像では孔隙の複雑な形状がくっきりと捉えている。大小の孔隙を正確にとらえられると予測される（図-1c）。

200倍は100倍の画像と比較して、あまり孔隙の形状の違いはないように見える。しかし、100倍では別の孔隙と認識されている領域が繋がる傾向が見られた（図-1d）。

3.2 各サイズの孔隙量

50, 100, 200 倍の倍率において、各サイズの孔隙量を各倍率の画像サンプル数を 16 枚としたときのヒストグラムを図-2 に示す。

>75 μm (非毛細管孔隙の大) と 30-75 μm (非毛細管孔隙の小)の大孔隙は、50 倍の低倍率がより加圧板法の測定値に近い値に集中して分布する (図-2a, 2b)。これは図-1d で示したように、200 倍の画像は孔隙どうしが繋がったため、孔隙の領域が広くなり過ぎたためである。従って、50 倍の低倍率の方が大孔隙の量に関して正確にとらえることが分かった。

15-30 μm (毛細管孔隙の大)と 3-15 μm (毛細管孔隙の小)の小孔隙はどの倍率でも加圧板法より小さい (図-2c, 2d)。倍率に応じてこれらの孔隙量が多く捉えられる傾向はない。倍率が高くなるとバイナリ画像において小孔隙が増える傾向が見られると予測されたがそうではないことが分かる。これは、ソフトのメモリーの関係であまり小さな孔隙まで扱うことができないためである。

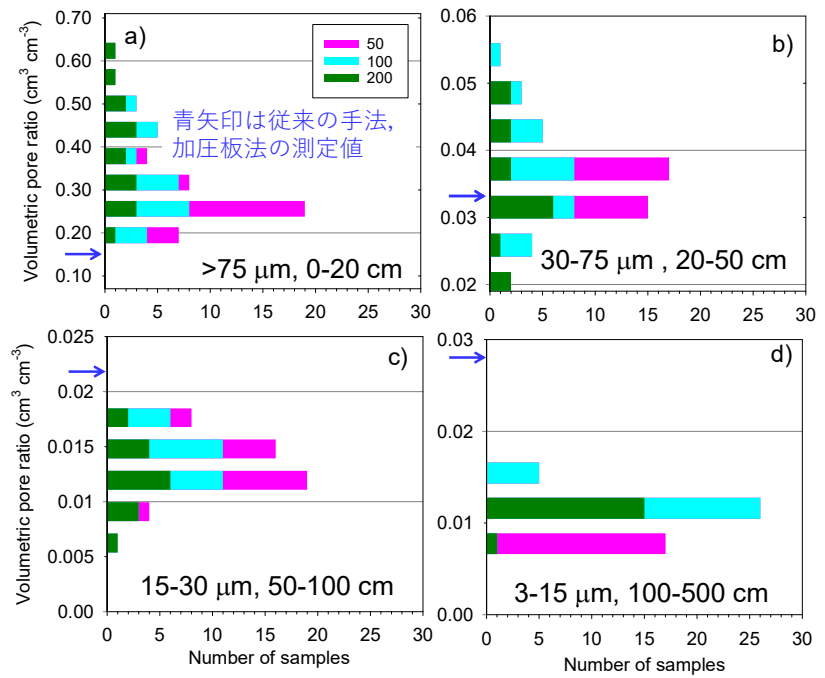


図-2. 倍率を 50, 100, 200 倍に設定したときの各サイズの孔隙量のヒストグラム

空間分布図から分かったが、倍率が上がると局所的な傾向をとらえるため、ばらつきが大きくなる。

ψ_m ; すべての倍率において加圧板法の方が、値が小さい。倍率の増加に対する増減の傾向は見られない。すなわち孔隙半径が加圧板法より大きく採られる傾向がある。

σ ; 平均値は倍率が変わっても加圧板法とほぼ同じであるが、倍率に応じた傾向はあまりない。200 倍のエラーバーがかなり大きく、ばらついていることが分かる。

以上から、倍率のはっきりとした影響を及ぼしたのは θ_e のみであった。また θ_e から倍率を 50 倍において水分特性パラメータをより正確にとらえることが分かった。

4. おわりに

>30 μm の大孔隙は 50 倍の低倍率によってより正確に孔隙を抽出できた。しかし、小孔隙は、画像による手法からは、倍率によらず過小評価されることが分かった。水分特性パラメータは θ_e のみ倍率の増加による増減の傾向を持ち、このパラメータは 50 倍のとき精度が高かった。

引用文献;

Hayashi, Y., 2025, Applicability of soil pore size distribution derived from digital microscopy images to determination of water retention curve. A.G.E., Volume 8, Issue 1 e70049 4.
 Hayashi Y., 2026, Effect of Magnification on Determination of Water Retention Curve using Image-Based Analysis. A.G.E., Volume 9, Issue 1 e70318
 Kosugi, K. 1997. A new model to analyze water retention characteristics of forest soils based on soil pore radius distribution. J. Forest Res. 2:1-8.

(問い合わせ先, hayashiyuki336@gmail.com)

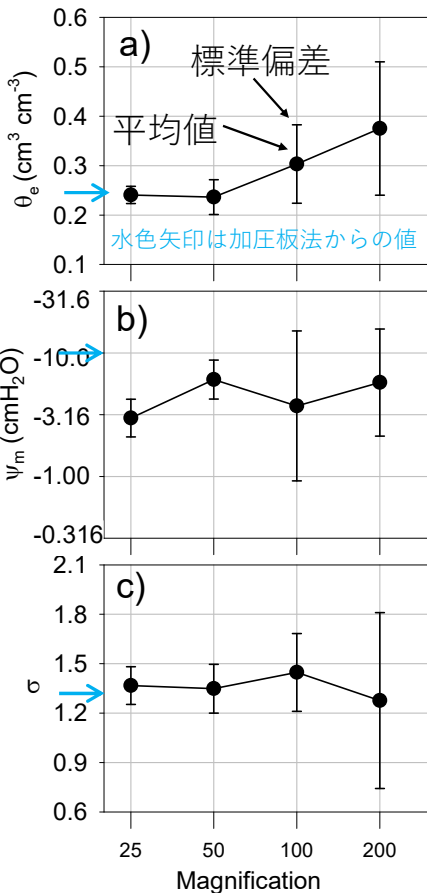


図-3. 倍率と水分特性パラメータ (LN model, Kosugi, 1997) の関係

小孔隙の量は画像からは過小評価されることが分かった。

3.3 水分特性パラメータ

どの倍率が最も適当な水分特性パラメータを測定できるか調べた。

θ_e ; 25 倍, 50 倍ともに、加圧板法とほぼ同じ値であった。倍率が上がると平均値大きくなり加圧板法の値から離れた。また、倍率が上がると標準偏差も大きくなった。 θ_e の