

画像解析手法のしきい値 RGB を用いた土壤水分特性曲線の特定

立命館大学・衣笠総合研究機構 ○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、災害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、時間と手間と費用がかかる水分特性曲線 (WRC) の取得が必要である。

技術の進歩により、顕微鏡画像の画像解析を行うことが可能となった。画像の特定の色の範囲の面積を自動計測するしきい値の解析技術が発達した。WRC は土壤構造により決まり、対数正規分布する土壤孔隙径分布から求めるモデル (ログノーマルモデル, LN モデル: Kosugi, 1997) により関数化される。従ってしきい値の手法を用いて画像の暗い部分を孔隙として抽出することで WRC を手軽に計測することが可能であると考えられる。

そこで本研究では、不攪乱土壌サンプルを採取し、土壌断面の顕微鏡画像を用いたしきい値の解析により取得した WRC と、従来の手法である加圧板法による WRC を比較し、しきい値による WRC の取得可能性について検証する。

2. 方法

顕微鏡画像からの森林土壌の WRC の特定可能性を検証するために、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 10-15 cm において、100 cc コアサンプラー (高さ 5 cm, 直径 5 cm の円筒) で不攪乱土壌を採った。2つの不攪乱土壌サンプルは、画像解析する試料と従来の手法である加圧板法を行う試料に分けた。

顕微鏡画像を撮影するために、不攪乱土壌は、断面をカッターナイフで水平に削り前処理をした。サンプル表面をデジタル顕微鏡 (キーエンス社製 VHX-5000) で、カラー画像を 10 枚撮影した。画像の一例を図-1 に示す。

顕微鏡画像の土壤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の MATLAB (MathWorks 社製) のしきい値のアプリを用いて解析した。孔隙と考えられる領域は画像中の影になり色が濃いところであった。孔隙を抽出するため色の薄い部分にマスクをかけ、色の濃い部分の面積を自動で抽出した。色空間は RGB (Red, Green, Blue) を用いた。

抽出した孔隙は円形と仮定し、面積の計算式から逆算して孔隙半径を Excel シート上で算出した。孔隙半径のデー

タから、次のように WRC を求めた。孔隙半径は圧力水頭と逆数の関係にあるので、圧力水頭に変換した。孔隙面積率の積み上げ値を算定し値が体積含水率に対応するとした。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。

もう一つの土壌サンプルを用いて、従来の WRC の計測方法である加圧板法を実施した。計測した圧力水頭は 0, -5, -10, -20, -30, -50, -70, -100, -200, -500 cm である。

3. 結果と考察

しきい値の土壌孔隙の画像に対する影響を明らかにするために、まず始めに、R 値のしきい値の上限のみを変え、マスクの変化を明らかにし、WRC を求めた。

マスクの変化が R 値のしきい値のみの影響を受けるように設定するために、他の色、GB の値はしきい値の下限 0, 上限 255 に固定する。このとき、マスクは GB 値による影響を受けない。図-2 に R のしきい値の上限を 135, 155, 175 に段階的に変化させたときのマスクの変化と WRC を示す。図-2 の解析は図-1 の画像を用いて実施した。



図-1. デジタル顕微鏡による土壌の画像の例

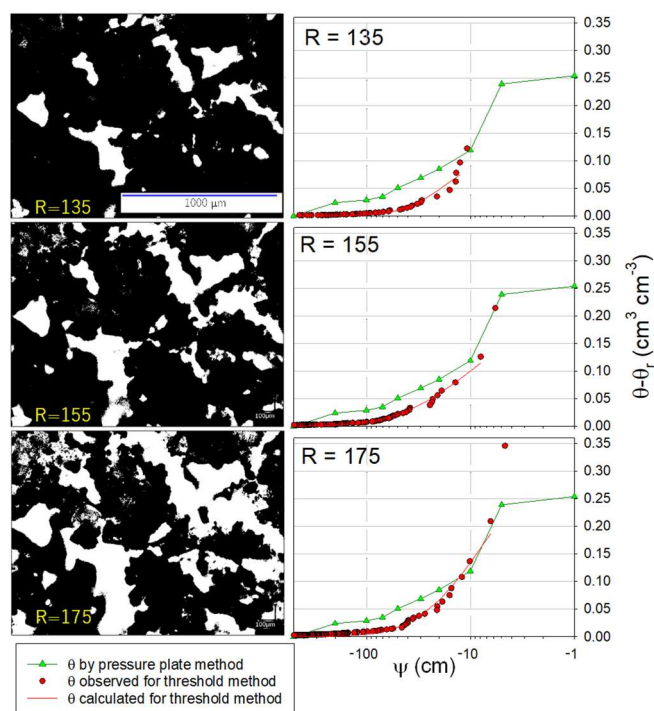


図-2. 左: 図-1 の土壌画像にしきい値 Red の上限を 135, 155, 175 に設定しマスクをかけたバイナリ画像, 右: 左図に対応する水分特性曲線

3.1 土壌の画像のマスク

バイナリ画像を見るために、図-2の左図に注目する。R値が135から155に変化すると、孔隙と認識されたそれぞれの領域が個別に大きくなる。R値の155から175への変化を見ると、それぞれの領域が個別に大きくなるだけでなく、これまで別々に認識されていた領域が繋がり、一つの大きな領域に広がった。このため、元々大きかった孔隙がさらに巨大な孔隙として認識された。

3.2 水分特性曲線

図-2の右図に、バイナリ画像に対応するWRCを示す。曲線はLNモデルを適応しフィッティングした。

R値が135のとき、加圧板法と比較して $\theta - \theta_r$ の値が小さい。R値が155になると、マスクで仕切られた孔隙径が大きくなり、WRCの曲線が圧力水頭の大きい範囲にシフトした。この変化により孔隙径分布の中央値が増加すると予測できる。さらに圧力水頭の全範囲において $\theta - \theta_r$ が徐々に増加する。この増加は孔隙の総量を増大させる。このような変化はマスクで認識されたどのサイズの孔隙も大きくなっていったことが反映されている。以上の変化を受けて加圧板法の結果に近づいた。

R値が175に増加すると、圧力水頭の値が大きい範囲において $\theta - \theta_r$ が大きくなり曲線は上にシフトする。このため、孔隙の総量はさらに大きくなった。この結果、加圧板法のWRCから離れた。従って、急激にしきい値の手法のWRCの推定精度は低くなるだろう。

3.3 WRCのパラメータとしきい値の関係

図-2では、1枚の土壌画像のR値のみを対象とする結果を見てきた。次に、一般化のために、図-3において10枚の画像から得たLNモデルのWRCのパラメータのRGBのしきい値との関係を示す。

θ_e がしきい値に対してなめらかに増加することはどのRGBでも同じであった(図-3(a))。標準偏差が小さく、ばらつきは小さいことがわかる。 θ_e はしきい値の増加に対して単純に増加する関係がある。

ψ_m はしきい値の増加に応じて増加した(図-3(b))。孔隙半径はしきい値の増加に従って大きくなることが分かる。また、 ψ_m は θ_e より標準偏差が大きく、 θ_e ほど単純に増加する傾向ではなかったことを示している。

σ はばらつきが大きい平均値を見ると、しきい値に従って増加する傾向がある(図-3(c))。この傾向は、図-2に見られたように、しきい値が大きくなると大小の孔隙がまんべんなく抽出されることが原因であると考えられる。 σ

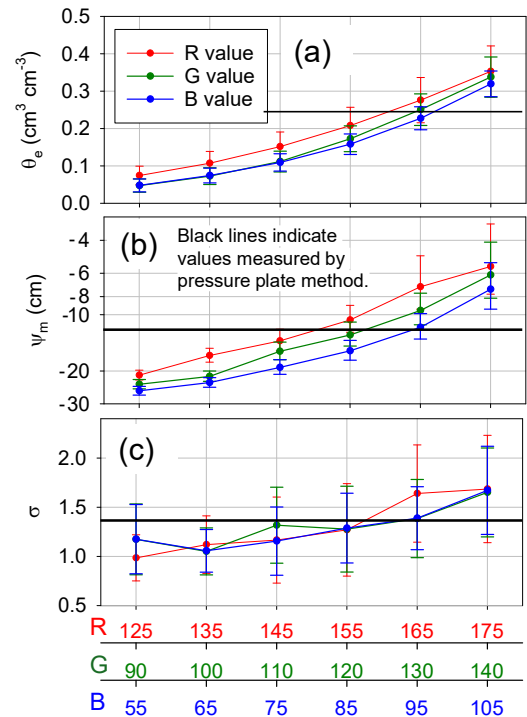


図-3. 画像から得たLNモデルのWRCのパラメータのRGBのしきい値に対する変化。プロットは10枚の相加平均、エラーバーは標準偏差を示す。RGBはそれぞれ異なる横軸を用いた。

は標準偏差が大きいため、加圧板法から得た横線が、図示したRGBのエラーバーの範囲になってしまった。従って、最適しきい値を決めることは難しいと考えられる。

適切なしきい値を明らかにするために、しきい値から求めたパラメータと、加圧板法から導いたパラメータを比較した。図-3における加圧板法からのパラメータの値と曲線との交点のRGB値を最適しきい値と定義する。図-3から最適しきい値を読み取った。同じ色指標であればどのパラメータでも大体同じ値である。この値はWRCが最も加圧板法から求めたWRCと近い曲線となるしきい値(3.2章)とほぼ同じであった。

平均値で表されるパラメータの値が、RGBのどの色でもほぼ同じように変化することが認められた。エラーバーについて着目すると、本図においてパラメータ θ_e 、 ψ_m 、 σ の順に標準偏差が大きくなった。最適しきい値はばらつきが大きくなると特定するのが難しい。パラメータによってしきい値がずれるとしたらこのためであろう。

4. おわりに

WRCのパラメータから求めた最適しきい値を用いることによって、土壌顕微鏡画像からWRCを導くことが可能であることが示された。

参考文献: 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.
(林祐妃の問い合わせ, hayashiyuki336@gmail.com)