

# 林地における土壌水分の動態について (IX)

## — 土壌水分特性曲線による不飽和透水係数の推定 —

森林総合研究所九州支所 清水 晃・水谷 完治  
竹下 幸

### 1. はじめに

森林流域内の水移動過程の物理的・理論的な解明や流出過程のシミュレーションには土壌水分特性曲線や不飽和透水係数が必要である。前報<sup>3)</sup>では、不飽和透水係数測定器による実験値と野外での土壌水吸引圧変化をもとにした推定値との比較を行い、良好な結果を得た。しかしながら、このような室内実験や現場の測定値からの推定には経費や測定期間の面から困難な点が多い状況にある。そこで、本報では比較的容易に測定できる飽和透水係数と土壌水分特性曲線を使って不飽和透水係数を推定する方法の比較検討を行ったので報告する。

### 2. 解析方法

土壌水分特性曲線から不飽和透水係数を算出する方法は近年、種々の試みが提案されているが<sup>2)</sup>、本報では以下の様な五つの方法を検討した。

#### (1) Jacksonの方法

JACKSON<sup>3)</sup>は土壌水分特性曲線を分割して以下の式により透水係数を推定した。

$$K_i = K_s (\theta_i / \theta_s)^\beta \frac{\sum_{j=i}^m [(2j+1-2i)h_j^2]}{\sum_{j=1}^m [(2j-1)h_j^2]} \quad (1)$$

$K_i$ : 不飽和透水係数  $K_s$ : 飽和透水係数

$m$ : 分割数  $h_j$ :  $j$ 番目のマトリック吸引圧水頭 (cm)

$\theta_i$ :  $i$ 番目の容積含水率  $\theta_s$ : 飽和容積含水率

ここで(1)式の分子は $i$ 番目までの毛管による透水係数への寄与を表わすもので $j=i$ から $j=m$ までの和である。分母は $j=1$ から $j=m$ までの全ての毛管作用を合計した飽和状態を表わしている。また、指数 $\beta$ は理想的な毛管モデルによると $\beta=1$ や $\beta=4/3$ となるもので、今回はKUNZE (1968)ら<sup>4)</sup>にしたがって、 $\beta=1$ とした。

#### (2) van Genuchtenの方法

van GENUCHTEN<sup>5)</sup>は土壌水分特性曲線が(2)式で表現される時、(3)式を誘導した。

$$S_e = [1 + (\alpha h)^n]^{-m} \quad (2)$$

$$K_r = K_s \cdot S_e^{1/2} [1 - (1 - S_e^{1/m})^m]^2 \quad (3)$$

$$m = 1 - 1/n$$

$S_e$ : 有効飽和度  $S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$

$\theta_r$ : 残留不動容積含水率  $\alpha, n, m$ : 係数

また、van GENUCHTEN<sup>5)</sup>は(4)式の形の土壌水分特性曲線に関しても、Mualemモデル (1976)、Burdineモデル (1953)についてそれぞれ、(5)、(6)式を誘導している。

$$S = (h/h_0)^{-\lambda} \quad (4)$$

$$K = K_s \cdot S^{5/2+2/\lambda} \quad (5)$$

$$K = K_s \cdot S^{3+2/\lambda} \quad (6)$$

$h_0$ : 空気侵入水頭

以下、(5)、(6)式をそれぞれMualem, Burdineの式と呼ぶ。

#### (3) Campbellの方法

CAMPBELL<sup>1)</sup>は土壌水分特性曲線が(7)式で表わされる時、(8)式を誘導した。

$$h = h_0 (\theta / \theta_s)^{-b} \quad (7)$$

$$K = K_s (\theta / \theta_s)^{2b+2/p} \quad (8)$$

(8)式は土壌水分特性曲線が両対数上で直線関係にある場合に適用される。指数 $p$ は1としている。

### 3. 結果と考察

解析に使用した資料は、森林総合研究所北海道支所羊ヶ丘実験林内の落葉広葉樹林分において、I A, II A, II ABの各土層から得られたものである。

層毎の土壌水分特性曲線および計算値は図-1のとおりである。これによると(2)、(4)、(7)式とも良好な適合を示している。

これらの結果をもとに上記の計算方法を適用し、前報で得られた不飽和透水係数(室内実験および野外でのWatsonのInstantaneous Profile method)との比較を行った。図-2は、層毎に不飽和透水係数の推定値・変化の傾向・実験値等をプロットしたものである。これによると、全層に共通して図中の実線(Jackson)一点鎖線(van Genuchten)、二点鎖線(Mualemモ

デル) がほぼ平行に並び、すべての推定値が Jackson と Mualem モデルの間に存在していることがわかる。従って、今回の様な土壤水分特性曲線を使用した場合、推定法によって次のように区分される。van Genuchten 法はどの層でも最小の推定となっており、実験値に最も近い値を示している。Jackson はこれに次いで小さい傾向にあり、Watson による野外法に適合している。上記以外の三法は透水係数の減少勾配は若干異なるが、ほぼ同様に過大な推定となっている。また、土層別に適合度を見ると、II AB 層が最も良く、すべての推定がほぼ満足できるものと思われる。次に II A 層は室内実験と野外実験にかなりの差が生じているため、明瞭には判定できないが、全体的に適合性が悪く、透水係数の減少勾配が実験値に比して過大になっているように思われる。最後に IA 層であるが、野外実験に対してはやや過小、室内実験に対しては van Genuchten が良好な適合を見せている。以上の結果をまとめると、van Genuchten と Jackson (Kunze) の方法が高い適合性を持つと考えられる。残りの三法はいずれもベ

キ乗形式で土壤水分特性曲線を表わすもので、適合範囲が狭く、やや過大な推定になったものと思われる。また、土層別には飽和透水係数に大きく関わる大孔隙が多い A 層で適合性が悪く、下層の AB 層で良くなっているように思われる。今後は飽和度の高い領域や大孔隙の多い土層上層での推定値の改善が必要であろう。

引用文献

- (1) CAMPBELL, G.S. : SOIL PHYSICS WITH BASIC, pp.49~59, Eisevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1985
- (2) 井上光弘ほか : 土壤の物理性 46, 21~29, 1982
- (3) JACKSON, R.D. : Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36, 380~382, 1972
- (4) KUNZE, R.J. et al. : Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32, 760~765, 1968
- (5) 清水晃ほか : 日林北支論 37, 177~179, 1989
- (6) van GENUCHTEN, M. TH. : Soil Sci. Soc. Am. J. 44, 892~898, 1980

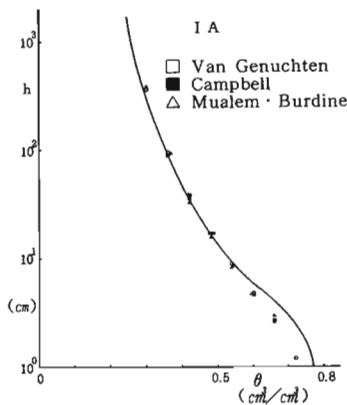


図-1-(1) IA層の土壤水分特性曲線

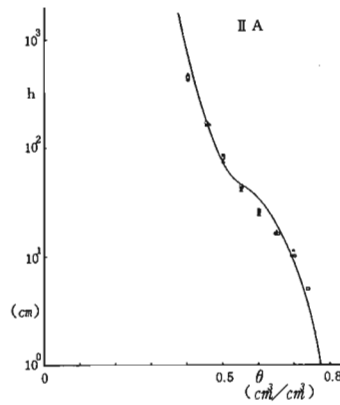


図-1-(2) II A層の土壤水分特性曲線

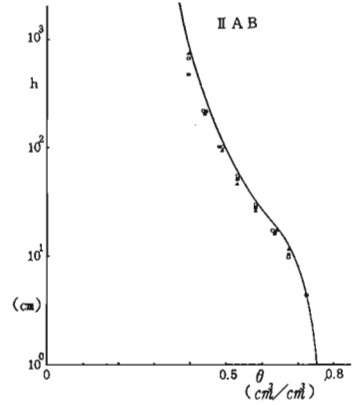


図-1-(3) II AB層の土壤水分特性曲線

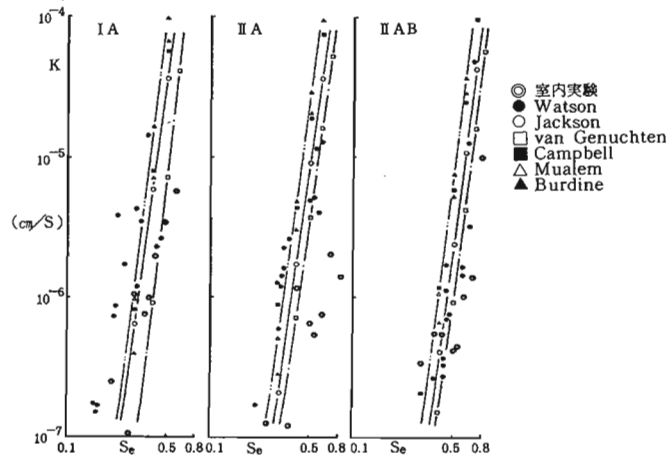


図-2 不飽和透水係数の比較 (両対数)