

**Mualem-van Genuchten モデルの飽和体積含水率が  
土壤水分移動の数値シミュレーション結果に与える影響  
Effect of the Saturated Water Content of Mualem-van Genuchten Model  
on the Results of Numerical Simulation of Soil Water Movement**

○池添優樹\*, 岩田幸良\*\*, 関勝寿\*\*\*, 谷口智之\*\*

Yuki IKEZOE, Yukiyoshi IWATA, Katsutoshi SEKI and Tomoyuki TANIGUCHI

## 1. はじめに

土壤水分移動の数値シミュレーションでは、Richards式と連続の式を用いて動水勾配と不飽和透水係数から水フラックスが計算される。動水勾配の算出にはマトリックポテンシャルが必要で、水分特性曲線より求められる。不飽和透水係数は土壤水分量に依存するため、水分特性曲線と飽和透水係数よりマトリックポテンシャルと不飽和透水係数の関係式を推定する。このようなモデルとしてMualem-van Genuchten (MVG) モデルがある。MVG モデルのパラメータのうち飽和体積含水率 ( $\theta_s$ ) については、①定義から間隙率を用いる場合<sup>1)</sup>があるほか、②フィッティングパラメータとして非線形回帰して決定する場合もある<sup>2)</sup>。あるいは、封入空気が残存する畑地土壤により近い条件として、③毛管飽和状態での体積含水率を用いる手法も考えられるが、 $\theta_s$ の違いがシミュレーション結果に及ぼす影響は十分に検討されていない。そこで本研究では、 $\theta_s$ として①～③の各値を用いてHYDRUS-1Dでシミュレーションを実施し、同パラメータの違いが計算結果に与える影響を評価した。

## 2. 方法

国内の4圃場（長野県中野市・塩尻市、北海道比布町、熊本県益城町）から採取された土壤物理データから、上記①～③による $\theta_s$ を用いてMVGにより水分特性曲線と不飽和透水係数を求めた。得られた値を用いて、HYDRUS-1Dにより数値シミュレーションを実施した。計算領域として深さ100cmまでの土層を設け、地表面から30cm深まで根の給水を設定した。計算日数は50日間とした。地表面からの蒸発量は無視し、下部境界条件は自由排水とした。さらに、(1)5mm/dayの蒸散を50日間与え続ける乾燥条件と、(2)(1)に加えて25日目に土層に35mmの降雨を与える降雨条件の2つのシナリオを設定した。初期水分条件は、乾燥条件では全層でpF 0, 0.5, 1.0, 1.5の4パターン、降雨条件では全層pF 1.0とした。乾燥条件では5, 30, 50日目、降雨条件では5, 20, 30, 50日目にpF値と $\theta$ の鉛直プロファイルを出力した。

## 3. 結果と考察

**MVGパラメータ、水分特性曲線と不飽和透水係数の推定結果** 各土壤のMVGパラメータをTable 1に示す。益城町以外の土壤では上記①～③の $\theta_s$ の値に違いがみられ、中野市では特に値が大きく異なった。また、中野市のフィッティング条件では $\theta_s$ が2.01と非常に大きな値となった。MVGパラメータから推定された水分特性曲線と不飽和透水係数をFig. 1に示す。水分特性曲線は特に高水分域で $\theta_s$ の影響を大きく受け、不飽和透水係数は低水分領域まで $\theta_s$ の影響を大きく受ける場合があった（Fig. 1a）。

\* 九州大学大学院生物資源環境科学府 Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

\*\* 九州大学大学院農学研究院 Faculty of Agriculture, Kyushu University

\*\*\* 東洋大学自然科学研究室 Natural Science Laboratory, Toyo University

キーワード：HYDRUS, 水分特性曲線, 不飽和透水係数

**Table 1** 各土壤の MVG パラメータ Parameters of Mualem-van Genuchten model for each soil sample

$\theta_s$ の条件	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$ (1/cm)	$n$	$K_s$ (cm/day)	$l$	土性*
長野県中野市	フィッティング	0.07100	2.01200	16800	1.1100	0.5	Heavy Clay
	完全飽和	0.06091	0.78700	3.1987	1.0992		
	毛管飽和	0.09022	0.71003	0.85504	1.1093		
長野県塩尻市	フィッティング	0.26768	0.70677	0.61724	1.2665	0.5	Heavy Clay
	完全飽和	0.25249	0.73200	1.0432	1.2313		
	毛管飽和	0.28720	0.66690	0.29124	1.3339		
北海道比布町	フィッティング	0	0.53345	0.05561	1.1977	0.5	Light Clay
	完全飽和	0	0.57000	0.10099	1.1868		
	毛管飽和	0	0.53147	0.05379	1.1983		
熊本県益城町	フィッティング	0.00767	0.68039	0.11739	1.1391	0.5	Heavy Clay
	完全飽和	0	0.68712	0.13155	1.1357		
	毛管飽和	0.04096	0.66173	0.08379	1.1549		

\* 土性は国際法による分類である。

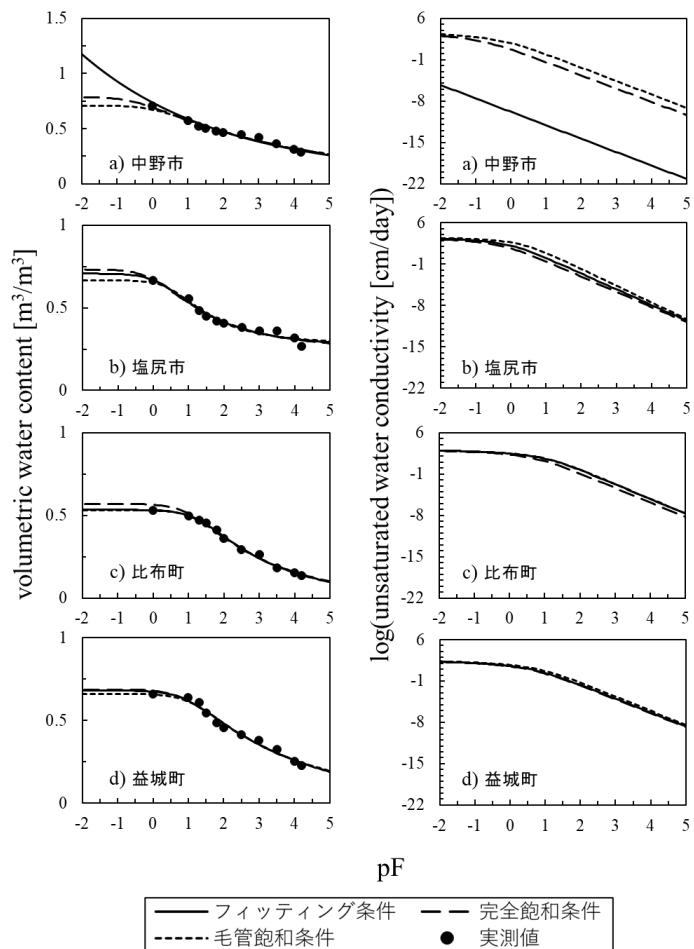
**シナリオ解析結果** 乾燥条件では初期条件の pF 値が小さいほど  $\theta_s$  が pF 値の鉛直プロファイルに与える影響が大きく、特に根の吸水域の 0~30 cm 深で  $\theta_s$  の違いにより pF 値の計算結果に大きな違いが認められた。これは、低 pF 域で水分特性曲線が  $\theta_s$  の影響を受けやすいためであると考えられる。30 cm 以深については、塩尻市や比布町では不飽和透水係数の差は小さく見えるが (Fig. 1b, c), 不飽和透水係数が大きいことから  $\theta_s$  の違いにより pF 値の鉛直プロファイルの計算結果が異なった。一方、中野市では不飽和透水係数の差が大きいものの、不飽和透水係数が全体的に小さいことから水移動が抑制され、 $\theta_s$  の違いが計算結果に与える影響は小さかった。

降雨条件では、特に中野市において、 $\theta_s$  が雨水の浸透プロセスに大きな影響を与えることが確認された。

**謝辞** 本研究は生研支援センター

「イノベーション創出強化研究推進事業」(JPJ007097) の支援を受けた。ここに記して謝意を示す。

〈引用文献〉 1) 赤井浩一, 大西有三, 西垣誠 (1977): 有限要素法による飽和-不飽和浸透流の解析. 土木学会論文報告集, 1977(264): 87-96. 2) 弓削こずえ, 阿南光政 (2016): 畑地における作物根の分布と土壤面蒸発の変動を考慮した土壤水分動態解析と消費水量の定量化. 土壤の物理性, 134, 17-24.



**Fig. 1** 各土壤の水分特性曲線と不飽和透水係数  
Soil water retention curves and unsaturated hydraulic conductivity of each soil sample