

土壌の水分供給能力評価について
Evaluation of water supplying ability of a soil

○成田賢介(岩手大学)、平田佑介(岩手大学)、原 道宏 (岩手大学)

○NARITA Kensuke(Iwate Univ), HIRATA Yuusuke(Iwate Univ), HARA Michihiro(Iwate Univ)

岩手大学

Iwate University,

キーワード: 環境調節(Environmental control)、農業施設(Agriculture structure)、計測制御(Measurement control)、土壌環境(Soil and environment)

連絡先: 〒020-8550 盛岡市上田 3-18-8 岩手大学農学部農林環境科学科リサイクル生物生産工学講座環境制御工学研究室 原 道宏、Tel.&Fax:(019)621-6125, E-mail: mrhara2000@yahoo.co.jp 成田賢介 E-mail: a3206025@iwate-u.ac.jp

1、はじめに

本研究では、植物の根が土壌中の水分を吸収するときの水分移動を、土壌の特性により判断していくことを目的としている。植物の根による水分の吸収は植物の生命維持における最も重要な生理活動のひとつであり、光合成や蒸散といった他の生理活動に大きく影響する。植物根が土壌から水分を吸収するとき、土壌から抵抗を受ける。つまり、水分の移動には水ポテンシャルが大きく影響しており、水は水ポテンシャルの高いほうから低いほうへ流れるので、通常の水分を豊富に含む土壌は水ポテンシャルが高く、反対に植物根は低いので、植物は土壌から水分を吸収することができます。しかし、土壌が乾燥し、水ポテンシャルが低下すると、植物はより低い水ポテンシャルを維持しなくてはならず、水分吸収が困難になり、やがて枯れてしまう。つまり、土壌中の水分移動は土壌

および植物根の水ポテンシャルの勾配によって決まると考えることができる。

そこで本研究では、植物根の水分の吸収に大きく影響を与える「土壌の水分供給能力」を検討していきたい。これは「土壌に隣接する培地の水ポテンシャルが一定の時間パターンで低下したときに供給される水分量」と定義され、つまり植物の吸水態勢が一定のときに、土壌が植物根にどれほどの水を供給できるかを表している。さらにいうと、土壌中の水分が根の表面まで到達するには、根に隣接している土壌の水ポテンシャルが周りよりも低くなくてはならず、根はそれよりもさらに水ポテンシャルが低くなくては水分を吸収できないと考えられる。この水の流れは、土壌の種類により異なるので、「土壌の水分供給能力」という観点から土壌の性質を検討していきたい。

2、研究の目的

土壌の水理特性が、植物根の吸水にどのように関わるかを知ることは非常に重要である。本実験では、赤玉土を用いその特性を検討する。土壌が水分を失う過程の特徴を水分張力や重量変化、体積含水率を通して検討することを目的とした。また、土壌の湿潤度と植物の限界日蒸散量との関係も検討する。

3、材料および方法

(1)実験材料・装置

- ・園芸用土 赤玉土 (小粒)
- ・インキュベータ
- ・データロガー (CR-10)
- ・土壌水分張力センサ (テンシオメータ

KDS-S5)

- ・電子分析天秤 (島津製 AUW320)
- ・電子天秤 (HF-4000)
- ・外部電源 (LEADER 836-3D)

(2)実験方法

始めに室内で十分に乾燥させた、赤玉土を用意し、含水比を求める。このとき5つの土壌サンプルを用意し、120℃で24時間乾燥させる。次に直径5mmの穴を開けた1Lのポットを用意し、それとポットの底に敷くろ紙を合計した重量を測る。用意した土をポットに入れ、テンシオメーターを設置した状態で水に浸して腰水をし、水分張力の測定を開始する。この状態で3時間ほどおいて、水から取り出す。これを20分ほど置いて余分な水(重力水)を切り、排水された分の水の重量を記録する。テンシオメーターを取り外し、土とポットの合計重量を測定する。テンシオメーターの素焼き部分と土粒子との密着度を上げるために、底に泥を塗り、再びテンシオメーター設置して、バットにデータロガーなどをすべてまとめる。パソコンの重量計測プログラムを起動し、計測開始の準備として、天秤には何も載せずに、プログラム上で

天秤を0にリセットする。実験材料・機材をすべて載せたバットを天秤に載せ、データロガーを12[VDC]の外部電源に接続する。このときできるだけ天秤に影響が無いように、細い導線を使用し、ばねの形状にして接続する。また、影響が出てしまう場合は、それを記録しておく。実験は蒸発を早めるために、35℃に設定したインキュベータ内で行った。

計測はおおよそ1週間から2週間ほど継続し、テンシオメーター内の水が無くなって、計測ができなくなるまで続けた。計測終了後はパソコンから重量データを回収し、最終の総重量とその変化量、時間[min]を確認する。そして土の体積を測り、最後に土の含水比を求める。

3、理論

(1)van Genuchtenの理論式

van Genuchtenの導き出した式は、幅広いhに対応することができる。

$$\theta_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{\frac{W - W_r}{\rho}}{\frac{W_s - W_r}{\rho}} = \frac{W - W_r}{W_s - W_r}$$

$$0 \leq \theta_e \leq 1$$

・・・(式1)

θ_e : 規格化した体積含水率 (有効飽和度)

[cm³/cm³]

θ : 体積含水率 [cm³/cm³]

θ_s : 飽和時体積含水率 [cm³/cm³]

θ_r : 最小体積含水率 [cm³/cm³]

ρ : 水の密度 [g/cm³]

ここで、供試した赤玉土においては

$$\theta_s = 0.7153 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$$

$$\theta_r = 0.0000451 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$$

式1の値が0に近いときに精度の良い式を得

るために、van Genuchten(1980)が導き出した次式の水分拡散係数 $D[\theta]$ を求める。

$$D[\theta_e] = \left(\frac{K_s(1-m)}{am(\theta_s - \theta_r)} \right) \theta_e^{\frac{1}{2}-\frac{1}{m}} \left(\left(1 - \theta_e^{\frac{1}{m}} \right)^{-m} + \left(1 - \theta_e^{\frac{1}{m}} \right)^m - 2 \right) \dots (式2)$$

このとき実際に数値を出すときに今回用いた値は $K_s = 0.06 \text{cm/s}$ 、 $\alpha = 0.03971 \text{cm}^{-1}$ 、 $m = 0.1659$ である。この計算によって水分拡散係数が求められる。

水分特性は以下のように表わすことができる

$$\theta_e[h] = \frac{1}{\left(1 + (\alpha|h|)^n \right)^m} \dots (式3)$$

$$m = 1 - \frac{1}{n}$$

α 、 m 、 n は定数

$\alpha = 0.03971 \text{cm}^{-1}$ 、 $m = 0.1659$ 、 $n = 1.199$ を当てはめて表わされたものが図4である。

(2)Kozeny Carman の式

飽和透水係数の推定について述べる。カッコ内は今回用いた値である。

$$K_s = K_p \frac{\rho_w g}{\mu} \dots (式4)$$

K_s : 飽和透水係数 $[\text{cm/s}]$

K_p : 孔隙の形態係数 $[\text{cm}^2]$

ρ_w : 水の密度 $[\text{g/cm}^3]$

($\rho_w = 1 \text{g/cm}^3$)

g : 重力加速度 $[\text{cm/s}^2]$

($g = 980 \text{cm/s}^2$)

μ : 水の粘度 $[\text{g/cm} \cdot \text{s}]$

($\mu = 0.01008 \text{g/cm} \cdot \text{s}$ (20°C))

また、 K_p の求め方は以下に示す。

$$K_p = \frac{P^3}{5(A_m)^2(1-P)^2} \dots (式5)$$

K_p : 孔隙の形態係数 $[\text{cm}^2]$

P : 孔隙率 $[\text{cm}^3/\text{cm}^3]$

($P = 0.21 \text{cm}^3/\text{cm}^3$)

A_m : 孔隙の比表面積 $[\text{cm}^{-1}]$

($A_m = 70 \text{cm}^{-1}$)

計算結果より、 $K_p = 0.000061 \text{cm}^2$ 、 $K_s = 0.06 \text{cm/s}$ という値が得られた。

(3)土壌の水分拡散係数の推定

上述した van Genuchten の導き出した式2を用いて、土壌の水分拡散係数を推定する。この式の α 、 m は式3の水分特性曲線がよく当てはまる場合に限り用いることができる。

$$D[\theta_e] = \left(\frac{K_s(1-m)}{am(\theta_s - \theta_r)} \right) \theta_e^{\frac{1}{2}-\frac{1}{m}} \left(\left(1 - \theta_e^{\frac{1}{m}} \right)^{-m} + \left(1 - \theta_e^{\frac{1}{m}} \right)^m - 2 \right)$$

$K_s = 0.06 \text{cm/s}$ 、 $\alpha = 0.03971 \text{cm}^{-1}$ 、 $m = 0.1659$

式2により求められた水分拡散係数 $D[\theta]$ を積分することによって、マトリックフラックスポテンシャル $\phi[\theta]$ が求められる。

$$\phi[\theta_e] = \int_0^{\theta_e} D[\theta] d\theta \dots (式6)$$

$\phi[\theta]$: マトリックフラックスポテンシャル $[\text{cm}^2/\text{s}]$

4、結果と考察

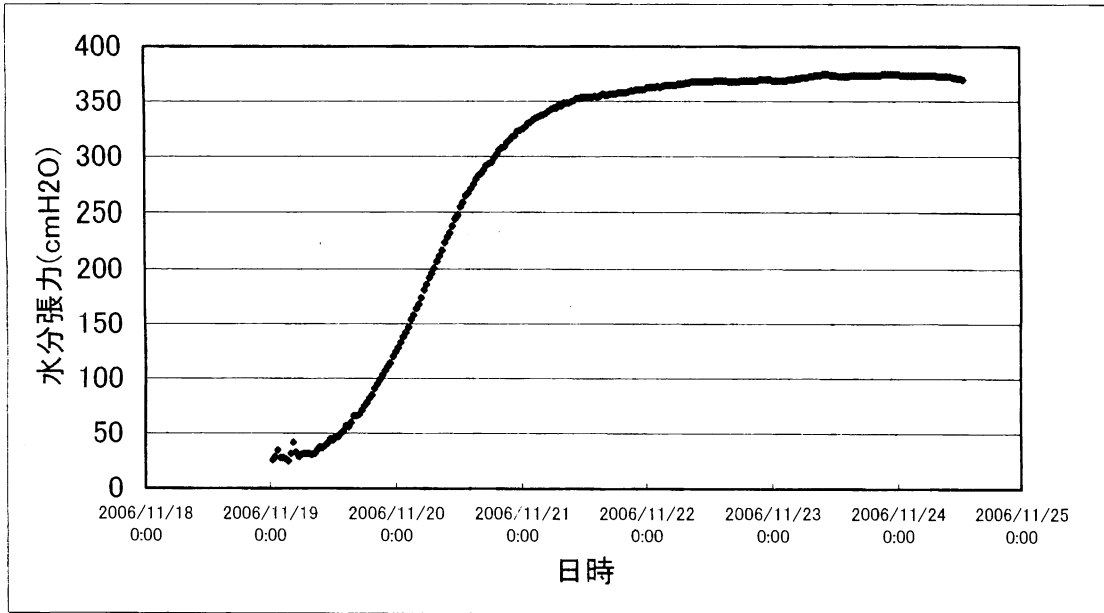


図1 水分張力の変化

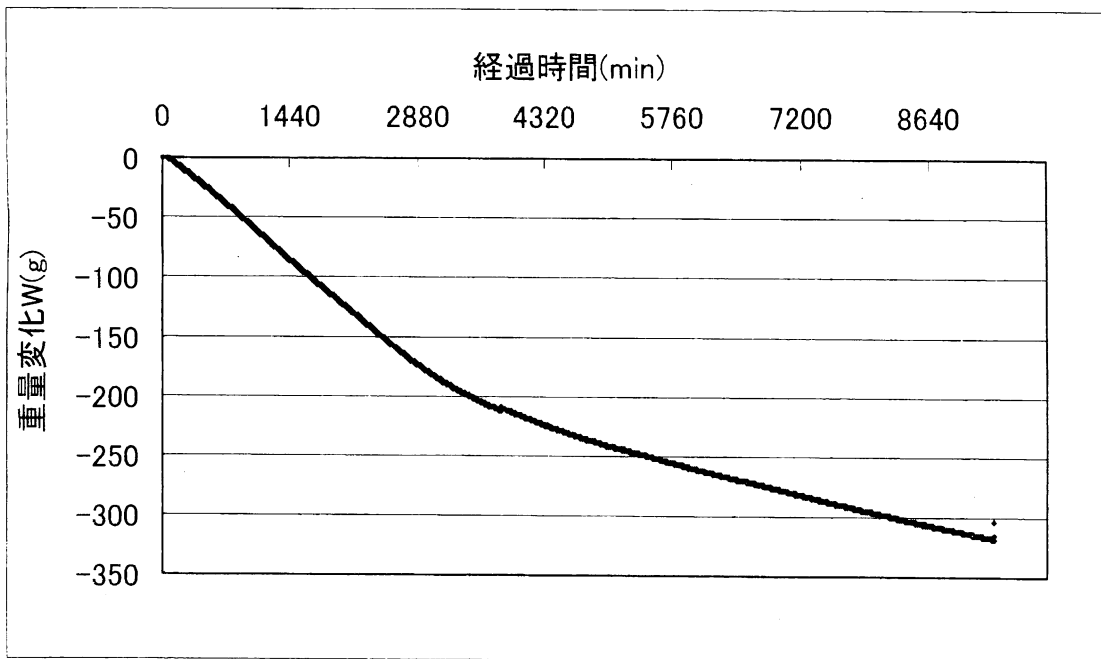


図2 土壌の重量変化

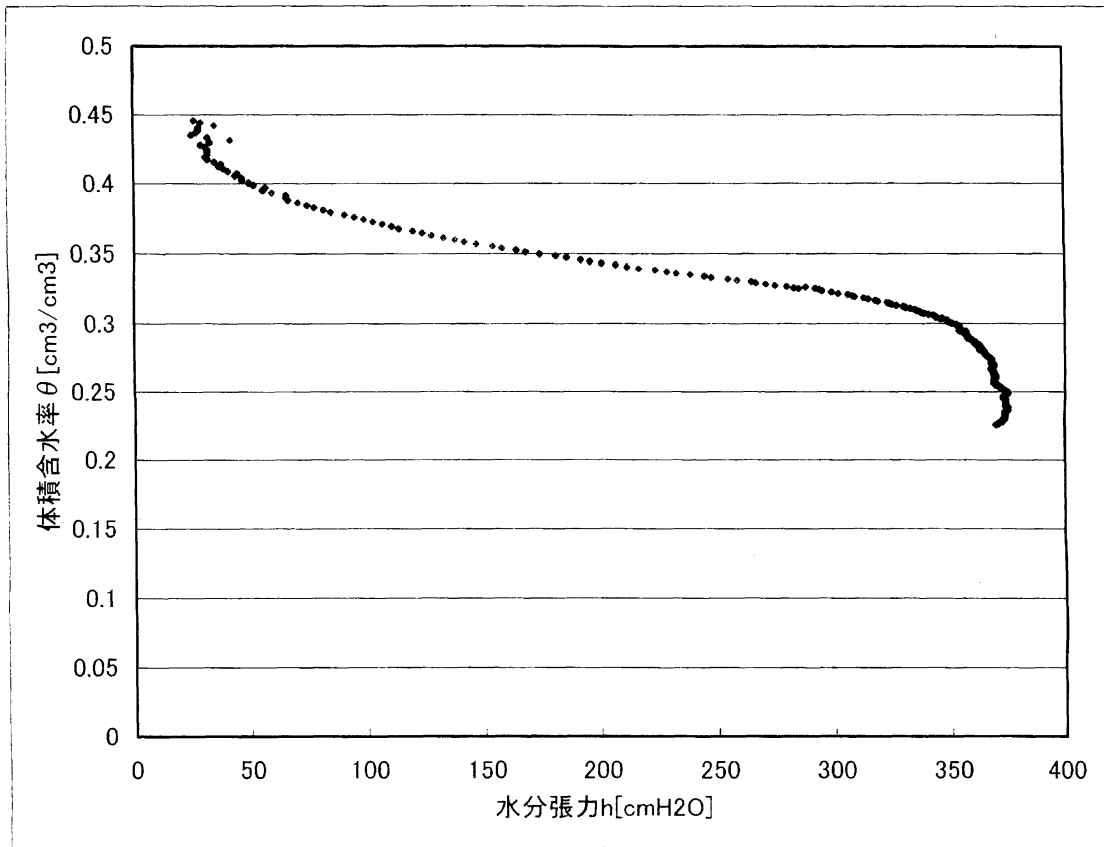


図3 水分張力と体積含水率の変化

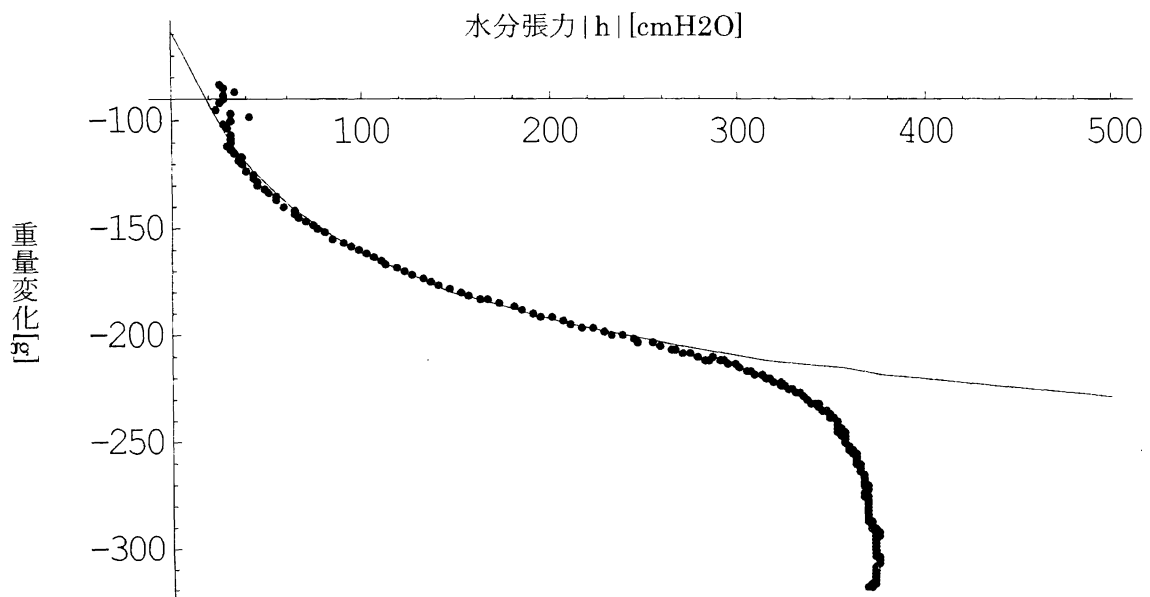


図4 水分張力、体積含水率と水分特性曲線

図1は2006年11月19日0:00から11月24日13:00までの水分張力の変化をグラフに表したものである。これから、開始から2日間に、急激に水分張力が上昇していることがわかる。3日目からは上昇が鈍り、ほぼ一定になった。図2からは1日目、2日目にかけ減少量が多いことから、土壌からの水分蒸発が大きかったことがわかる。

図3は水分張力と体積含水率の変化をグラフにしたものである。van Genuchten(1980)は、水分特性曲線の多くは、式3の α 、 m 、 n に適切な数値を選ぶことにより表されることを見つけた。それを利用して、このグラフにvan Genuchten(1980)が導き出した式を使って、水分特性曲線を加えた図4を示す。ここで、 $h > 250\text{cm}$ において実験データと水分特性曲線との間にずれが生じていることがわかる。これについては、土壌の乾燥速度が均一に進まなかったことと、ある一定値以上に乾燥が進むと、テンシオメータ内の水が土に吸収されてしまい、計測値が実際の値からずれてしまったことが影響していると思われる。

次に、式2を用い、水分拡散係数 $D[\theta]$ を求めた。そして、 $D[\theta]$ を積分した式6によって、マトリックフラックスポテンシャルを求めた。そのグラフを図5に示す。

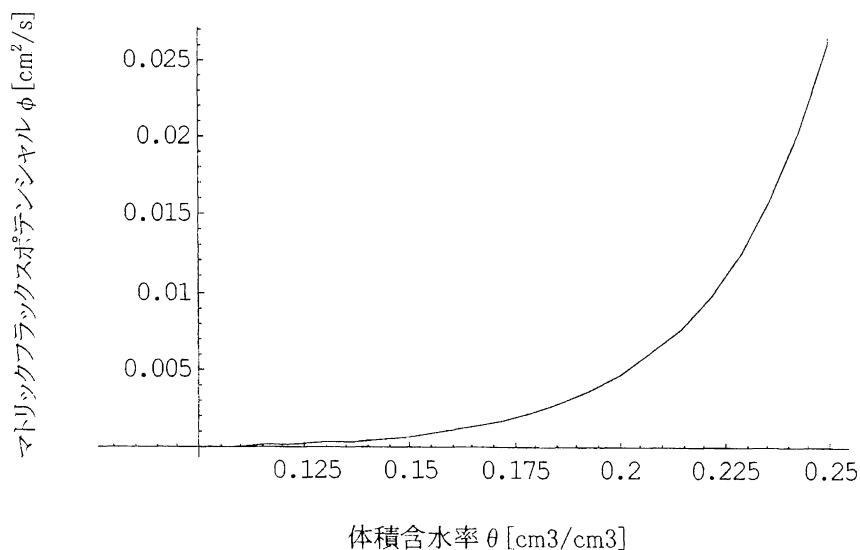


図5 赤玉土のマトリックフラックスポテンシャル

このグラフを見ると体積含水率が一定以上ある場合は、植物は生育に必要な水分を吸収することができることがわかる。しかし、体積含水率 θ が減少すると、マトリックフラックスポテンシャル ϕ が急激に減少してしまう。体積含水率 θ が減少し、マトリックフラックスポテンシャルの差を取ることができなくなったこの状態が、植物が水分吸収に支障をきたし、水分欠乏の状態に陥る状態になったといえる。

5、まとめ

図4の水分張力と重量変化のグラフを見ると、水分特性曲線と大きく異なっている部分があることがわかる。赤玉土脱水データがこのような変化をした原因は、赤玉土の粒が大きく、ポット上部と下部の乾燥速度が異なるということが原因ではないかと考えた。テンシオメータはポットの下部5cmを測定するように挿してあり、約10cmの高さにある上部は乾燥していき、ポット全体の重量は変化したが、下部は乾燥速度が遅く、水分張力があまり変化しなかったためこのような変化が起こったと考えられる。この問題を解消するためには、乾燥速度を今回以上に緩やかにし、ポット内の水分を均一に保つことが必要とされる。また、インキュベータ内での乾燥終了後に含水率を計る際、ポットの上部、中部、下部とそれぞれを計測すると、今回起こった現象の原因究明に役立つと考えられる。これらの事柄を考慮することにより、より良い結果を得ることができると考えられる。

式4によって、飽和透水係数 $K_s=0.06\text{cm/s}$ という値が求められた。参考資料の Klute(1986,p697, Fig.28-6)¹⁾の分類によれば、Medium (中程度) の区分である。これにより、赤玉土は水の透水性が良いといえる特性を持っているので、植物を栽培するには、水の管理が非常に有用であることがわかる。

図5に関しては、体積含水率 θ が低下すると、 $\phi[\theta]$ が急激に減少し、植物が土壌から水分を吸収する時、同一量の水分を吸収するためには大きな力が必要になってくることがわかる。このことから、植物が良好に生育するためには、土壌の体積含水率が或る値以上高いことが必要であることがわかる。その具体的な体積含水率 θ の値は、「土壌の湿潤度と植物の限界日蒸散量との関係」(伊藤 2007) に述べられた $\theta=0.167$ (限界湿潤度)²⁾ に相当すると考えられる。このときのマトリックフラックスポテンシャルの値は、 $\phi=0.00137\text{cm}^2/\text{s}$ である。

6、参考文献

1) METHODS OF SOIL ANALYSIS

Part 1—Physical and Mineralogical Methods Second Edition

(Edited by A. KLUTE 1986)

2) 「土壌の湿潤度と植物の限界日蒸散量との関係」(伊藤 2007)