

3.6 土壌水分

Soil moisture

概要

土壌水分を表わす主な指標には、体積含水率 θ [m^3m^{-3}] とマトリックポテンシャル Ψ [Pa] がある。前者は、土壌全体積のうち水分が占める体積の割合を示し、土壌水の不飽和拡散係数を求めるときなどに使われる。后者は、根による吸水や土壌中の水分移動を論ずるときに使われる。土壌中には大小、様々な大きさの孔が存在する。小さな孔にある水分ほど、吸い出すのに大きなエネルギーを必要とする。そのため土壌水分が少なくなるにつれ、大きな孔にある水分から無くなっていく。マトリックポテンシャルとは、土壌水分が毛管作用や吸着により孔に引き付けられているエネルギーの大きさを示す。すなわち、根が吸水するのに必要なエネルギー量ともいえる。土壌水分が飽和しているときは正の値を、不飽和のときは負の値を示す。マトリックポテンシャルの単位は、単位体積あたりのエネルギーとしたとき、 $\text{Jm}^{-3} = \text{Nm}^{-2} = \text{Pa}$ である。また、単位重量あたりのエネルギーとして定義される水頭 [$\text{Jkg}^{-1}\text{m}^{-1}\text{s}^2 = \text{m}$] は、ポテンシャルの大小を水柱の高さとして実感しやすいことからよく使用される。1m = 9.86hPa である。

土壌水分を表す指標には他に、含水比 [kgkg^{-1}]、飽和度 S_a [m^3m^{-3}] もあり、それぞれ式 3.6-2, 3.6-3 によって算出される。土壌には、水が占めている部分、空気が占めている部分、土壌粒子が占めている部分があり、それぞれ液相、気相、固相という。液相と気相の体積を合わせて全間隙体積という。

$$\theta = \frac{V_r}{V_r + V_s + V_a} = \frac{W_r}{V_r + V_s + V_a} \quad (3.6-1)$$

$$\Theta = \frac{W_r}{W_s} \quad (3.6-2)$$

$$S_a = \frac{V_r}{V_r + V_a} \quad (3.6-3)$$

ここで添え字の r, s, a はそれぞれ液相、固相、気相の、V は体積を、W は質量を意味する。

測器の種類

土壌の体積含水率の測定について用いられるものに米国 Campbell Scientific Inc. の CS616-L (Fig. 3.6-1) などの TDR (Time Domain Reflectometry) 水分計がある。これは土壌の誘電率が体積含水率により変動することを利用して高周波電磁波の反射により土壌の誘電率を測定する。TDR 水分計は、多くの土壌で広い含水率範囲において、プローブの長さに対応する土層内の平均体積含水率の計測が可能であるが、温度や土壌塩分の影響により誤差が生じる可能性もある。近年、普及しつつある静電容量法を用いた安価な誘電率水分計 (例えば米国 Decagon Devices, Inc. 製 EC-5, Photo 3.6-1 など) にも同様の温度・塩分の影響がある。センサの感部長は、5cm ~ 1m 以上と多様である。測定したい土壌部位に応じて使い分け

マトリックポテンシャルの測定には、テンシオメータ（Photo 3.6-2）を用いる。テンシオメータは、脱気水を満たした素焼きのポーラスカップを、オーガーなどを用いて土層中の測定する深さに埋めてカップ周辺の土壌水と連続させ、カップ内の水が引き付けられる力を、圧力センサで測定する。



Fig. 3.6-1 TDR 土壌水分計 CS616-L。(画像：Campbell Scientific Inc.提供)



Photo 3.6-1 誘電率土壌水分計 EC-5。(写真：Decagon Devices, Inc.提供)



Photo 3.6-2 テンシオメータ DIK-3000 シリーズ (写真：大起理化工業(株)提供)

測定方法

センサの設置に関しては基本的に土壌温度の測定点と同じ場所にとすることとする。フラックス観測を目的とした場合の土壌水分の測定深度の選定においては、植物の根の存在する深度領域内での水分の状況を十分に把握することを念頭に置いて各観測サイトの状況に応じて判断するべきである。一例として森林総合研究所のカンボジア国コンポントム州の常緑林サイトにおいては、樹木の根は主に 2m 程度の深度までに分布していることから、地表から 20, 50, 100, 150, 200, 250cm の深度において観測を行っている。また、土壌環境は空間的に非常に不均一であるので、可能な限り、面的・深度的に十分な反

復を行うことを薦める。

体積含水率計のセンサ感部やポーラスカップを土中に挿入するときは、付け根まで隙間が生じないように押し込む。深い部分に設置する際には、土壌断面を作成して横方向に挿入して (Photo 3.6-3) 埋め戻す。大きな攪乱を避けたい場合には、所定の深度までオーガーで鉛直方向の穴を開け、延長ロッドの先端に取り付けたセンサ感部を挿入する。また体積含水率計のセンサ感部やテンシオメータのポーラスカップの周りに隙間があると、豪雨時などに水が流れ込むことがあるので、土を流し込んで隙間を埋めておく。



Photo 3.6-3 土壌水分計 (EC-5) 設置のために作成した土壌断面。(筑波大学陸域環境研究センター, 写真: 森林総合研究所飯田真一氏提供)

テンシオメータのポーラスカップを挿入する時、強い力をかけるとポーラスカップが割れるので注意する。テンシオメータのエアプール内の水は次第に減るので、空にならないように適時、水を補給する必要がある。一端水を補給すると、ポーラスカップ内の水は大気圧に開放されるので、再び正しい値を示すようになるには1~24時間を要する。エアプールの栓をする時や設置の時、許容範囲を超えた圧力をかけるとセンサを破壊するので注意する。圧力センサを含む地上部に直射日光が当たると、温度変化によりエアプール内の空気の膨張収縮、センサ出力の温度ドリフトが生じ、大きな誤差となるので、日除けをする。テンシオメータ内の水分が凍結するとセンサが破壊されるので、凍結の恐れのある期間は測定を休止し、水を抜いておく。

次式に示すような土壌水分特性曲線を用いると、体積含水率とマトリックポテンシャルをお互いに換算することができる。

$$\Psi = c_1 \left(\frac{\theta}{\theta_{\text{sat}}} \right)^{c_2} \quad (3.6-4)$$

ここで θ_{sat} は飽和体積含水率 [$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$]、 c_1 、 c_2 は定数で、一般に加圧板脱水装置を用いた加圧板法によって求められる。加圧板法とは採取した土壌サンプルの下面を大気圧に開放し、上面に高圧をかける。その圧力差で土壌水分を減少させる方法である。

校正

センサが直接測定する土壌の中性子透過率，電気抵抗，熱伝導率，誘電率などと体積含水率の関係式は，土壌組成，含有物などによって大きく変化する。したがって土壌水分センサから出力された値をそのまま鵜呑みにせず，炉乾法などによる値で校正を行なう必要がある。

幅広い土壌含水率が得られるように，土壌が湿っている時や乾燥している時も含めるようにして，土壌を採取してくる。このとき，100cc や 400cc の試料円筒に採取するのがよい。サンプルの重さを測ったのち，105 の乾燥炉に入れて水分を蒸発させる。その時の減少重量 [g] を試料円筒の体積 [cm³] で割ると，体積含水率が得られる。炉乾法によって得られた体積含水率と，センサによる測定値の関係を比較し，近似式を得る。センサによる観測値を得られた近似式に代入することにより，より正確な体積含水率を得ることができる。