

土 壤 水 分 の 測 定 法

矢 部 勝 彦*

Soil Moisture Measurement

Katsuhiko YABE

Faculty of Agriculture, University of Osaka Prefecture

ま え が き

耕地における自然状態の土壌水分量を連続的に同一地点で測定することは、畑地かんがいではかんがい用水量に関する諸元を決定する上で非常に大きな意味を有する。また、その他土壌の物理的性質及び力学的性質、土壌水分と植物の生育状態を調査する上でも大きな意味をもつ。このため、土壌水分量の測定法に関する研究が古くから行われ、現在もなお研究は続けられており、測定方法の種類も非常に多い。そこで、現在までに発表されてきた土壌水分量の測定方法の中で代表的なものを列挙しそれらの簡単な説明を加え、さらに、現在、主に野外で供用されている測定方法に関して解説を加えたい。

I 各種の土壌水分測定について

各種土壌水分量の測定法に関して、物理的方法(直接、水の物理的性質を測定の手段とするもの)、化学的方法(水と化学薬品との化学作用を利用するもの)と電気的方法(電気的性質を測定の手段とするもの)の3種に大別される。それらの各種測定法の名称、測定原理、同一地点の連続的の測定の可否、可測水分範囲及び特徴等について表-1に示す。

II 野外での土壌水分測定について

野外における自然状態のもとで経時的ないし、同一地点の土壌水分の変化を連続的に追跡するためには前節で示したように多くの方法が考えられる。そこで、現在までに主に野外で使用されてきた測定方法の内、テンシオメーター法、電気抵抗法、誘電恒数法、中性子線法及び熱伝導度法について順を追って説明を加える。

(1) テンシオメーター法

本法の原理は、土壌中の所定の部位に埋設した多孔質磁管にビニール製導管を介して圧力計に連結し、水を満した多孔質管の壁を通じて土壌水と管内の水とを水理学的に連結させ、土壌水の圧力と管内の圧力とを平衡状態

にさせ、圧力計の示度から水分張力を読み取る装置である。もっとも一般に用いられている水銀マンノメーター式テンシオメーターの装置を図-1に示す。本法では直接土壌水分量を知ることができないため、別に図-2に示すような土壌水分張力-水分量曲線を作成しておき、張力値の読みを水分量に読みかえる必要がある。一方、本法の特徴は、簡単に自作でき、操作も簡単で連続測定が

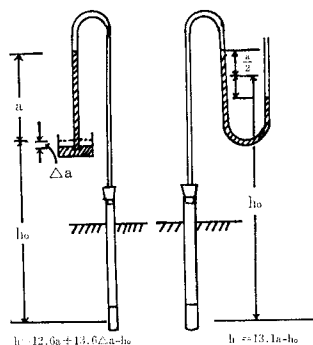


図-1 テンシオメーター模式図

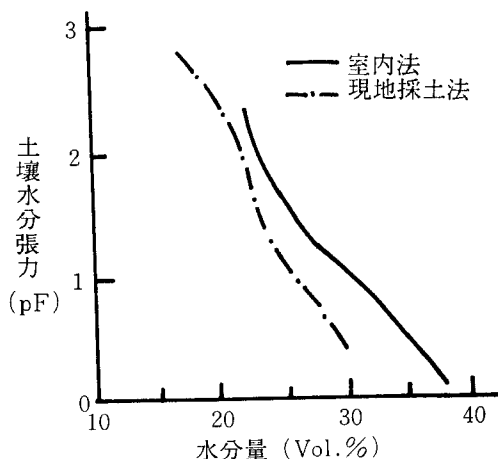


図-2 テンシオメーターのキャリブレーション・カーブ(湯村による)

*大阪府立大学農学部

表-1 各種土壌水分測定法

測定法名称	可測水分 範囲 (pF)	土壌の攪 乱度(大, 中, 小)	同一地点 連続測定 (可, 否)	野外測定 (適, 普, 否)	測定原理	特 徴	文 献
普通炉乾法	0~7.0	大	否	普	加熱乾燥	正確であるが採土量, 礫含有量に問題	1), 2)
赤外線乾燥法	"	"	"	"	赤外線乾燥	時間の短縮, 採土量, 礫含有量に問題	
定量採土法	"	"	"	"	一定容積土壌の加熱乾 燥	仮比重, 三相分布測定 可, 採土量礫含有量に 問題	3), 4)
ソイルポイント法	3.0~4.2	小	"	"	埋設ソイルポイントの 吸水量変化	平衡時間が長い	5), 6)
多孔質プラグ法	"	"	可	"	埋設多孔質プラグの吸 水量変化	平衡時間が長い, プラ グと素焼体との接触に 問題	7), 8)
ドロップテスト法	0~7.0	大	否	"	} 成形供試体の変形, } 土壌への計器針の圧 } 入抵抗	} 土木工事現場での迅 } 速測定, 精度劣る	1), 9) 10),
Availameter法	"	"	"	"			
氷点降下法	2.9~4.8	"	"	否	土壌水分の氷点降下度 ある蒸気圧と平衡した 土壌水分自由エネルギー	サンプル量に問題	11), 12)
蒸気圧法	4.5~6.4	"	"	"		サンプル量により平衡 時間が左右される	15), 16)
遠心法	2.5~4.2	"	"	"	一定遠心力と平衡した 土壌水分量	測定時間が短い, 体積 変化に問題	13), 14)
土柱法	0~1.5	中	"	"	一定土壌水分張力と平 衡した土壌水分量	平衡時間が長い	13), 17)
吸引法	0~3.0	大	"	"	一定吸引圧と平衡した 土壌水分量	"	18), 19)
加圧板法	1.0~3.2	"	"	"	一定加圧力と平衡した 土壌水分量	"	20), 21)
加圧膜法	3.0~5.2	"	"	"	"	"	22), 23)
テンシオメータ 法	0~3.0	小	可	適	多孔質カップを介した 土壌水分張力	ヒステリシス, 温度の 影響	24), 25)
サイクロメータ 法	3.0~4.7	中	"	"	露点に達するまでの温 度降下度	迅速測定, 温度, 熱電 対に問題	26), 27)
超音波法	0~	小	"	"	超音波伝達速度の減衰 割合	試作段階, 温度, 塩類 濃度の影響小	28), 29)
中性子線法	0~7.0	"	"	"	速中性子とH原子との 衝突散乱による熱中性 子化	絶対水力量測定, 高価 危険性	30), 31)
熱伝導度法	"	"	"	"	土壌水分の熱伝導度	局部的乾燥	32), 33)
電気抵抗法	(1.5~4.2)	"	"	"	吸収体ブロック中の電 極間電気抵抗	温度, 塩類濃度の影響	34), 35)
誘電恒数法	2.7~4.2	"	"	"	電極間の電気容量	温度の影響, 漏洩コン ダクタンスに問題	36), 37)
アルコール燃焼法	0~7.0	大	否	普	アルコール燃焼による 脱水	迅速測定, サンプリ ングに問題	38), 39)
カーバイト法	"	"	"	"	発生アセチレンガスの 圧力	"	40), 41)

でき、安価であり、自記録ができることである。問題点としては、温度の影響を受けること、タイムラグが存在すること、土壌の脱水が進むと根への線水源になる等計測誤差を伴うことが、室内法と現地採土法によるキャリブレーション・カーブの作成がむずかしいことなどが考えられる。

(2) 電気抵抗法

本法の原理は、一定間隔に2極の電極を包埋した多孔

質吸収体を土壌中に埋設し、吸収体の吸湿水分と土壌水分が平衡状態に達したとき電気抵抗を測定する方法である。電極を包埋する吸収体の材質により石コウブロック土壌水分計とかガラスフィルタブロック土壌水分計(図-3)と名称がつけられている。本法でも直接土壌水分量を知ることができないためキャリブレーションカーブを作成しなければならない。例えば温度補正に関しては図-4に示す。また、土壌水分の可測範囲は吸収体の材

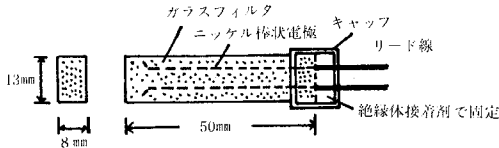


図-3 ガラスフィルタブロックの構造図

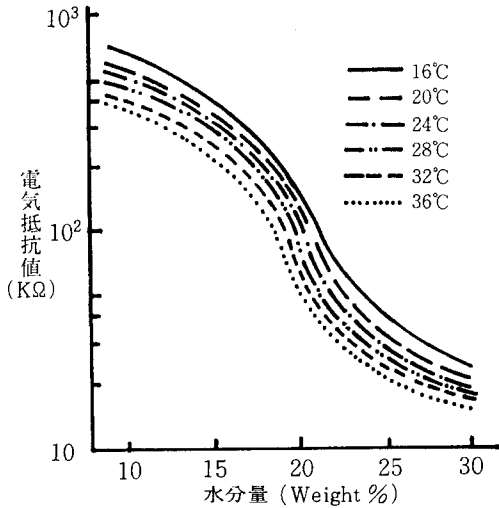


図-4 電気抵抗式水分計（ガラスフィルタブロック）の温度補正に関するキャリブレーション・カーブ

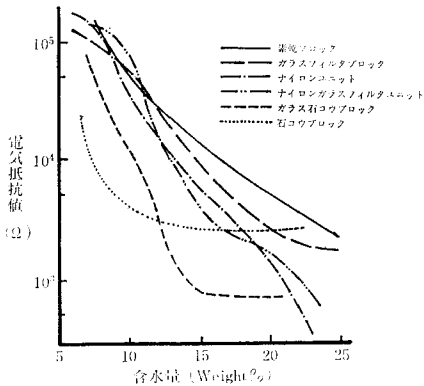


図-5 電気抵抗式水分計のキャリブレーション・カーブ（西出による）

質により異なる。これらの材質の違いによるキャリブレーションカーブの一例を図-5に示す。本法の特徴は、小型で、構造は簡単、取扱いも簡単で連続測定はもとより自記記録も可能で安価な土壌水分測定法と言える。問題点としては、温度、土壌溶液濃度の影響を受けること、吸収体の孔隙性を規制した抵抗特性の個体差をなくせないことが挙げられる。

(3) 誘電恒数法

本法は、絶縁した2果の平板電極あるいは棒状電極と円筒状電極間に被測定物を挟んだ場合、この電極間に静

電容量ができる。この静電容量は物質の誘電率に比例する。一方、この誘電率は普通の物質で10以下であるが水は約80もあるので、含水量の増加と共に含水物質の見かけの誘電率が増加し、静電容量も水分量に比例して増大する。したがって、静電容量の変化を知ることにより土壌水分量を測定できる。適用にあたっては、予め静電容量—水分量のキャリブレーションカーブを図-7に示すように作成しておき、野外での静電容量を測定することにより土壌水分量を読みとる。本法の本徴は、土壌中の塩類濃度の影響が小さいこと、低水分領域で感度が良く、迅速測定が行え、しかも可測水分範囲が広く、自記記録が可能なことである。問題点としては、温度の影響を受けること、漏洩コンダクタンスの存在すること及び高価なことなどがあげられる。

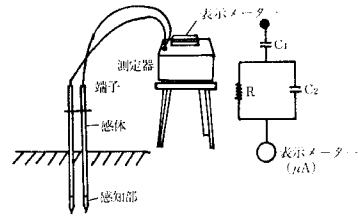


図-6 D I K誘電式水分計の模式図

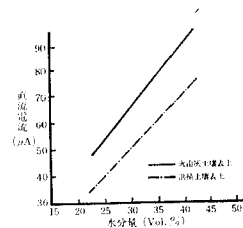
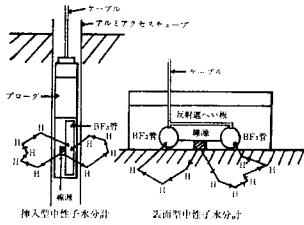


図-7 誘電式水分計のキャリブレーション・カーブ（美園による）

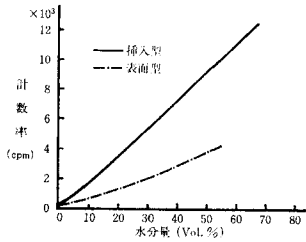
(4) 中性子線法

本法は、中性子源 (Ra, ^{210}Po , Am等) から放射された速中性子が周囲の水のH原子と弾性的に衝突を繰返して減速され、ついに熱拡散速度のエネルギーをもつ熱中性子となる。この速中性子から熱中性子になる割合は中性子源の周囲に存在するH原子量、すなわち水分量に比例する。したがって、熱中性子の量を測定することにより水分量を知ることができる。この中性子線法による中性子水分計には図-8に示すように挿入型と表面型の2種類ある。

中性子水分計は一定体積内の水分量の容積比と対応するものであるから土壌の仮比重が既知のもとで図-9に示すような含水量—計数値のキャリブレーションカーブを予め作成しておく必要がある。野外測定では、地表面



図一八 中性子水分計の模式図



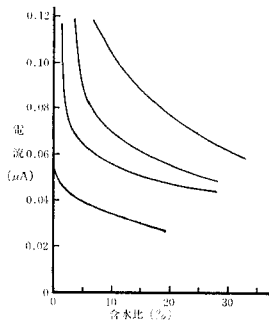
図一九 中性子水分計のキャリブレーション・カーブ

近くの土壌水分量を知るために表面型の中性子水分計を使用し、土壌中の水分の垂直分布や地表面から任意の深さの水分量を知るために挿入型の中性子水分計を使用する。また、挿入型を使用する場合は図一八に示すように円筒形プローブを挿入するためのアクセスチューブが必要となる。

本法の特徴は、非破壊的、迅速で測定時の個人差がないこと、自記記録が可能でしかも他の水分測定方法よりも精度高く測定できることである。問題としては、安全性、高価、軽量化及び鉛直分解能を高めなければならないことなどがあげられる。

(5) 熱伝導度法

本法は、土壌中に埋設したコイルに電流を流すとジュール熱が発生し、このコイル周辺の土壌水分が場い場合には熱伝導度が高く、その熱は土壌中に放出してコイルの温度が低下する。したがって、この抵抗変化をホイートストーン・ブリッジに接続した電流計の電流の大きさ



図一十 熱伝導式土壌計のキャリブレーション・カーブ (Shaw, B and L. D. Baver による)

を測定することにより土壌水分量を知ることができる。適用にあたっては予め図一十に示すような電流-水分量のキャリブレーションカーブを作成しておき、野外での電流を測定することにより土壌水分量を鑑みとる。本法の特徴は、塩類や地温の影響がなく、検出出力の取出しが比較的容易で自記記録が可能であること。問題点としては熱平衡に達するまでの間に熱源付近の局部的乾燥および熱コウ配による水分移動があり、そのため熱伝導度が低下し計測誤差を生じることがあげられる。

あ と が き

本編は土壌水分の測定法についての詳しい説明は避け、使用機器を選択するにあたり、少しでも参考になればと思ひ土壌水分計測に使用され、しかも自記記録可能な測定法に関して概説したものである。土壌水分測定法に関する文献は非常に多く、全てを紹介しきれないので、できるだけ最少限にとどめ、外国と日本における文献を1つずつ紹介するにとどめた。

引用文献

- 1) 浅川美利：土と基礎，6(6)，25～32 (1958)
- 2) Aljburg, F. K. and D. D. Evans : Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25, 180～183 (1961)
- 3) 美園 繁：日土肥誌，31，216～220 (1957)
- 4) Garton, J. E. and E. R. Crow : Agr. Eng. 35 (1954)
- 5) 玉井虎太郎：九大農芸雑誌，7，1～13 (1936)
- 6) Livingston, B. E. and R. Kotetsu : Soil Sci. 9, 469～485 (1920)
- 7) Davis, V. E. and C. S. Slater : J. Amer. Soc. Agron. 34, 285～287 (1942)
- 8) Richards, L. A. and L. R. Weaver : J. Amer. Soc. Agron. 35, 1002～1011 (1943)
- 9) Turnbull, J. M. : Proc. A. S. C. E. 82, 933～949 (1956)
- 10) Allyn, R. B. and R. A. Work : Soil Sci. 51, 307～322, 391～406 (1941)
- 11) 山中金次郎：日土肥誌，5，47 (1931)
- 12) Richards, L. A., R. B. Campbell and L. H. Heaton : Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 14, 47～51 (1950)
- 13) 中村忠春：土壌物理研究，No. 2，16～19 (1965)
- 14) Briggs, L. J. and J. W. McLane : Proc. Amer. Soc. Agron. 2, 138 (1910)
- 15) 土壌物理性測定法，155～157 (1975)
- 16) Schofield, R. K. : Trans. 3rd Intern. Congr. Soil Sci. 2, 37～48 (1935)
- 17) Russell, M. B. : Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 7, 90～94 (1942)
- 18) Bradfield, R. and V. E. Janison : Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 3, 70～76 (1938)

- 19) Bruce, R. R. and A. Klute : Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27, 18~21 (1963)
- 20) Richards, S. T. : Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 3, 57~64 (1938)
- 21) Richards, L. A. : Soil Sci. 66, 106~110 (1948)
- 22) 福田仁志 : 農土研, 27, 57~59 (1957)
- 23) Richards, L. A. : Soil Sci. 68, 95~112 (1949)
- 24) Richards, L. A. : Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18, 7~10 (1954)
- 25) 鈴木重義 : 農土研, 30, 435~439 (1960)
- 26) 高倉 直 : 農業気象, 28, 245~248 (1973)
- 27) Richards, L. A. and G. Ogata : Soil Sci. (1954)
- 28) 種田行男他 : 農土論集, 46, 1~6 (1973)
- 29) Brustsaert, W. and J. N. Luthin : J. G. R., 69, 643~652 (1964)
- 30) 桂山幸典 : 土壌の物理性, No.35, 38~39 (1977)
- 31) W. Gardner and D. Kirkham : Soil Sci. 73, 391~ (1952)
- 32) 関山哲雄他 : 農気象, 26, 155~157 (1970)
- 33) Show, B. and L. D. Baver : J. Amer. Soc. Agron. 31, 886~891 (1939)
- 34) 西出 勤 : 岐大農報, 27, 1~81 (1969)
- 35) Bouyoucos, G. J. and A. H. Mick : Soil Sci. 63, 455~466 (1947)
- 36) 大起理化工業 : カタログ3報 (1966)
- 37) Anderson, A. B. C. : Soil Sci. 56, 29 (1943)
- 38) 山崎不二夫他 : 農及園, 30, 343 (1955)
- 39) Bouyoucos, G. J. : Soil Sci. 44 (1937), 46 (1938)
- 40) 山田 登 : 農及園, 26, 73~77 (1951)
- 41) 山崎不二夫 : 農土研, 13, 19~26 (1941)

[1980.2.6.受稿]