

土壌を充填し、そのバスケットの中央にブロックを埋設した。しかし下から蒸溜水を毛管上昇により吸水させブロックが飽和した後に各種段階に乾燥し、恒温槽内で一定温度のもとにその抵抗値を測定し同時にバスケット全重量を測定して次式からバスケット内の土壌水分含量を求めた。

$$\frac{\text{全重} - (\text{バスケット重} + \text{乾土重} + \text{ブロック重} + \text{ブロック内水分重})}{\text{乾土重}} \times 100$$

(ブロック内水分量は、抵抗値とブロック内水分重とのキャリブレーションにより別に求めておく)

この方法で求めた抵抗値と土壌水分含量との関係を、ポット法により求めたものと比較すると第7図のようでは若干の差を生じたが、土壌のおよその性質を比較検討するには利用できるものと思われる。

バスケットによるこの方法は、乾燥が早やく一定温度で常に測定できるため時間や労力が少なくすむ利点がある。反面、土壌が少量であることや乾燥過程に土壌が均一に乾燥しない等により誤差を生ずる可能性も大きい。そのため、バスケットを大きくして土壌の量を増加し乾燥を逐々に行う等の方法を考えれば一層精密に測定することも可能と思われる。しかし、このため乾燥に時間を要し測定その他に不便となることが予想され、バスケットの利点が消される心配がある。これらの事から、キャリブレーションの方法については試験の目的をも考慮して適当なやり方を更に今後研究する必要がある。

いま、バスケット方法により、石膏ブロックのすぐそばの土壌水分含量と、バスケット全重量から計算して出

した水分含量との関係を乾燥方法の違いとも関連させて測定してみた結果は第8図の通りで、若干異なつてきている。

むすび

以上電気抵抗法による土壌水分測定について、実際に応用してみた結果から2, 3の問題を捨てて触れてみた。この方法の研究は我が国ではなお日が浅く、未解決の問題が甚だ多いが、これについては今後大いに研究されて行かなければならない。

なお、本稿記述中に個人的意見となつた点が多いと思われるが、これらの点については各位の御指導を心からお願いする次第である。

文献

- 1) 安間正虎, 小田桂三郎, 岐部利率: 関東々山農試研報告, 9(1956), 日作紀. 25(2)(1956)
- 2) Bouyoucos, G. J. : Soil Sci., 64(1947)
- 3) Bouyoucos, G. J. : ibid., 78(1954)
- 4) Bouyoucos, G. J. and Mick, A. H. : Teck. Bull. Mick. Agri. Exp. Sta. (1940)
- 5) Bouyoucos, G. J. and Mick, A. H. : Soil Sci., 66(1948)
- 6) Bouyoucos, G. J. and Mick, A. H. : Quart. Bull. 37(1954)
- 7) Kelly, O. J. : Soil. Sci., 61(1946)
- 8) 小田桂三郎: 農及円30(11), 31(6). (1955, 56)
- 9) 小田桂三郎: 農業技術 11(5, 6). (1956)
- 10) Palpat, E. H. and Lull, H. W. : Forest Serv, U. S. D. A. Occ. Paper (1953)

実容積法による圃場水分の測定法

美 園 繁

(農業技術研究所化学部)

1. ま え が き

圃場水分の測定法には、測定の目的や測定対象によつて、また研究の歴史的な位置によつて、種々の方法が採用されている。土壌試料を直接乾熱して、その重量の減少分を水分とする方法、土壌水分と平衡状態にある吸湿体の電気抵抗値を測定し、土壌水分を知る方法、テンシヨメーターの読みから求める方法、熱拡散速度を測定しそのときの土壌水分を知る方法、試料の電気容量を測定しその水分を求める方法などが採用されている。どの方

法も、それぞれの長所と短所をもっている。

この報告は、前述の方法をみとめながら、実容積法による圃場水分の測定法の概要、その長所、歴史的な位置などについて述べるとともに、容積法の採用を提唱しようとするものであり、1959年4月の第1回土壌物理研究討論会における講演に加筆したものである。

2. 実容積法の概要

実容積法は、通常全容積100ccの試料を圃場状態のまま採取し、その全重量W, 実容積Vを測定し、前もつて

測定されている真比重 d を使用して、土壌 3 相の容積 (V_a, V_i, V_s), 重量 (M, S), 空気率 A , 水分率 M_s , 固相率 S_v , 孔隙容積および孔隙率 (p, P), 飽水度 H , 容気度 U , 仮比重 (d_m, d_o) などのほかに、圃場の一定深さの土層の全水分含量 Q (q), 全有効水分含量 A_m , 灌漑要水量 Q_n (q_n) などを求めていく方法である¹⁾。測定値を得るには、計算式による計算の外に、計算図表による方法も行われている²⁾。

この方法に限ったことではないが、採土の良否はとくに容積法の場合測定値の精度に大きな影響を与える。通常 100cc の試料円筒 (金属製) に、特殊な採土器を使用して採土するのであるが、今後さらに改良を加えていかねばならない。深い土層から採土する場合には、採土器には継杖を使用し、はじめにポストホール、オーガで採土位置の 2cm ほど上部までの土を排除しておくと便利である。採土は、土層断面の特性をも考慮しなければならないが、10cm 毎にすると便利である。

真比重は前もつて測定しておくのであるが、それには乾熱法 (試料を円筒とともに 105°C , 15 時間) を併用し、試料の水分 M を知つて、つぎの式から求めるとよい。

$$d = (W - M) / (V - M)$$

この場合、乾熱温度にはとくにアロフエン系土壌の場合注意しなければならない。というのは火山灰土壌のように、粘土礦物がアロフエンを主要成分とするもの場合には、 $100^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ の間で失われる水分が多く、 110°C 附近でも数度の温度差によつて、かなりの水分測定値の差を生ずるからである。

もつとも、計算図表を使用すれば、真比重の誤差に対応する固相容積値の誤差を定量できるので、測定結果の検討には都合がよい。

真比重の測定には、これまでピクノメーター法が使用されていたが、実容積法の場合には、いま述べた方法を採用した方がよい。ピクノメーター法による測定は、主としてその全過程が試料を水浸状態で経過するために、前述の方法による測定値よりも小さな値を得る。とくに膨潤性の大きなアロフエン系の土壌ではこの傾向がつかいからである³⁾。

全重量、実容積、真比重の 3 者を基礎にして求められた測定値は、容積法の特長を生かして、土壌 3 相の垂直分布や 3 角図表に表示される⁴⁾。

また、測定値のチェックや圃場の均一性などを知らうとするときなどには、全重量 W と実容積 V との相関曲線を利用するとよい。実容積法では、水分の密度を $1\text{gr}/\text{cc}$ としているので、また固相の密度は通常 $2.3 \sim 3.0\text{gr}/\text{cc}$ となつていたので、 W と V との間には通常つぎの 2 つの

関係が成立している。

$$W_i > W_j \text{ なら } V_i > V_j$$

$$\Delta W_{ij} \geq \Delta V_{ij}$$

もちろん例外がないわけではないが、そのような場合は特殊な性質の試料か、またわ特殊な条件 (変化過程) におかれているかである。もちろん、測定の誤差に基く場合は、測定をやり直さねばならない。

$W-V$ 曲線は、 V をタテ軸にとれば、 W 軸に対して 45 度以下の傾きをもつ直線となる場合が多い、重量と容積の増減が水分のみによる場合には、 W 軸に 45 度の傾斜をもつ直線となることはいうまでもない。

3. 実容積法の長所

実容積法の長所は、色々の角度からあげられるが、論議を具体的かつ明瞭にするために、圃場水分の問題に重点をおいて検討してみよう。

1) この方法が測定法として優れている点は、圃場状態を保存したままで採取された試料の状態をほとんど変化させることなく、簡単、迅速、しかも他の多面的な諸性質と同時に測定できることである。

試料に乾熱などの著しい変化を与えないから、他の分野、たとえば団粒分析、粒径分析、透水性の測定、生物学的性質や化学的性質の測定などと試料を共用できる。

簡単、迅速に測定できるから、かなり多くの試料を同時に供試できるので、圃場水分の時間的変化を土層全体に亘つて追跡することもできる。乾熱器を使用し、しかも長時間を要する方法に比べると、実容積法の長所は明らかである。

水分を水分量のみでなく、他の物理性とくに固相、気相の状態と関連させて測定できるので、圃場の土壌水分系の状態をかなり明らかにすることができる。

水分の測定結果の表示に、水分重量の乾土重量に対する百分比で表わすような重量法を使用すると、火山灰土壌とくにその下層土のように、固相率も固相重量も相対的に小さい場合、水分の過大評価を生じ、沖積土壌のように固相率も固相重量も相対的に大きい場合水分の過小評価を生ずる傾向をもつているが、水分率や飽水度のような容積法の表示では、このような傾向を防止できる⁶⁾。

水分率による圃場水分の表示を土層別にすれば、任意の深さの土層全体に亘つて、加算 (積分) によつて、全水分量あるいは全有効水分量を求めることができる。即ち、面積 1ha , 厚さ $h_i\text{cm}$ の土層の水分率を M_i とすると、この土層の全水分量 $Q(\text{m}^3)$ は

$$Q = \sum_i M_i h_i$$

となり、水柱換量 q (mm) は

$$q = \frac{1}{10} Q = \frac{1}{10} \sum_i M_i h_i$$

となる。土層断面の構造上の特性を考慮しなければならないが、土層の厚さを 10cm 毎にしておけば、水分率そのものの加算によつて水柱換算量 q を、水分率の10倍の加算によつて全水分 Q を得ることができる。即ち、

$$Q = 10 \sum_i M_i, \quad q = \sum_i M_i, \quad h_i = 10$$

となる。

有効水分を同様の方法で表示すれば、全水分と同様の計算によつてその全量を求めることができる。実容積法の優れた点である。

2) 実容積法は、圃場水分を土層全体に亘つて、その1部分として測定するのみでなく、水文学的な全空間における水分の循環過程の中の1部分として測定する方法である。

すでに述べたように、実容積法は圃場水分を水柱換算量で測定できる。このことは、水分の循環過程の中で、降雨量、土面蒸発量、地表面流出量、植物による蒸発散量、灌漑水量、土層中への透過水量などと共通の尺度を使用することである。これらの諸量はいずれも「長さ」の単位mmを使用する。

重量法では、土壌水分と乾土あるいは湿土との重量の相対的比率で表示するので、水文学的な循環過程が研究方法のうえでは、土壌水分のところで中断されていた。容積法の採用によつて、この欠点を改めることができる。

3) 圃場水分に関する尺度を、圃場がおかれている水分の循環過程の全空間で共通にすることは、圃場水分に関するわれわれの認識を正確にするうえで重要な役割を果たすことになる。もちろん、農業の実際面にもこのような正確な認識が有効な実りを保証するものであることはいうまでもない。圃場水分の現状を知り、その将来を予見し、灌漑時期および灌漑水量を決定するうえで、容積法の長所は効果的に利用されるであろう。

圃場水分に関する研究の将来は、より一層運動学的な研究を促進することが、その発展のためにきわめて重要であると考えられるが、容積法の採用は、この面でも有効に作用するであろう。

4. 実容積法の歴史的位罫

土壌物理の試験研究の発生以来の歴史ではなくて、また国際的な視野でみるということではなくて、わが国における最近10数年の歴史をたどつて、その中で実容積法を位置づけてみようと思う。

この期間に、わが国における土壌物理の試験研究は、

かなり急速に発展し、内容的にも豊富になつてゐる。この発展の方向は、すでに予見されてゐたように、学問の外側の諸要因の作用を無視することはできないがもつとも重要なものは土壌学自身の発展によつてきめられてきている。現在でも、いままでの歴史にみられなかつたほどの広い規模と深さ、内容の豊富さを保つて発展していつている。

風乾細土を試料とし、主として実験室における個別的な物理性の測定を中心としていた時代があつた。その頃は土壌水分の測定および表示法は主として重量法によつていた。

土壌水分の測定、表示に重量法が採用されてゐた1つの主要因は、土壌学の主流が土壌化学であつて、化学の本来的任務が実体追及を主とし、質量あるいは重量に重点をおいていることによるものであろう。分解、合成などの化学反応の面からみれば、化学は物質変化をとりあつてゐるのであり、その意味ではもちろん運動の学問であることにはかわりはないが、それはマクロの立場であつて、ミクロの立場からみれば、化学的な元素が浮び上つてくる。その意味で実体追及を主としているといえる。

また、土壌の固液界面の物理化学的性質と水分との関係や土壌の乾湿状態あるいはその度合を表わすには、重量法でも有効であつたという事情にもよるものであろう。とくに、近年の膠質化学の研究成果は、土壌学の分野に急速にとり入れられてゐる時期であつたからである。

重量法がもはや全然無効になつたということではない。今日でもなお有効な側面をもつてゐるし、それは今後も利用されていくであろう。ここでは、土壌水分に関する試験研究に重量法が採用されてゐたことについて、その歴史的な必然性を、土壌学の内部に見出そうとしたのである。

物理学の本来的な任務は、運動の追及である。実体あるいはその構造がつねに問題になることはいうまでもないが、「質量」、「長さ」、「時間」を基礎にして、力、運動量、エネルギーなどをたえず問題にしていかねばならない。したがつて、前にのべた重量法のみにとらわれている限り、土壌学と物理学の両側面を統一的にもつてゐる土壌物理学の独自の発展は十分に望み得ないであろう。

重量法が主流をなしていた時代には、本来ならば容積法によらねばならないはずの、Porosityの測定法も、実験室で充填された粗状態、密状態の風乾細土について、その試料の真比重 d および仮比重 d_a から

$$P = (1 - \frac{d_a}{d}) \times 100$$

という方法で求められた。この方法は典型的な重量法である。

土壌学の発達とともに、風乾細土による実験結果は、圃場の状態を的確に表現し得ないことが確認され、試料に湿土を採用することが一般的になつたが、重量法の基本的な特長は変つていない。他方、とくに農業工学および作物の分野ですんでいたが、圃場における水分の運動学的な測定が重要視され、水分変化の速度が追及されるようになってきた。けれども、理論の内容からみれば、たとえば透水性や毛管作用などに関連する分野のように、重要ではあるが植物の入つていない『裸地』の理論が中心となつていた。

このような研究方法は、われわれが複雑な自然を正確に認識していく場合、必然的に採用する方法であるとともに、また、今後ともなお有効に利用されねばならない方法である。

けれども、土壌物理学が研究対象としている現実の土壌(場)は、植物が入つており、その根系あるいは根毛組織からの吸水、葉面からの蒸発散作用が伴なつている。

現在の土壌物理学の重要問題の1つは、このような植物根系の入つた場の、新しい理論を準備していくために、土壌内部の現象を、土壌をとりまく外部の現象と関連させながら、正確によみとつていくことであろう。少くとも、ここ数年間はそうなるであろう。

このような必然的な課題を追及するためには、適確な尺度を必要とするが、実容積法はこの要請に答えるものである。

5. あとがき

実容積法の長所およびその歴史的な位置については、すでに述べた通りであるが、実容積法が採用されても、圃場水分の運動全般を把握できるわけではない。

実容積法は、基本的には水分の容積量および重量の量的側面を測定する方法であつて、水分張力、運動速度、水分のエネルギーなどのような質的な側面を、直接測定する方法ではない。したがつて、水分の量、質の全面を明らかにするためには、他の方法と併用しなければならない。この点では重量法と同様である。

筆者は、土壌物理学の研究分野に実容積法の採用されることを提唱するとともに、それによつて試験研究が前進することを期待している。

参考文献

- 1) 美國 纂：土肥誌，29の2 (1958)
- 2) 美國 纂，土肥誌，30の3 (1959)
- 3) 美國 纂：土肥誌，29の3 (1958)
- 4) 美國 纂，下村和子：土肥誌，29の7 (1958)
- 5) 美國 纂：農業技術誌，11の1, 2, (1956)
- 6) 美國 纂：土肥九州大会講演 (1959)