

## 実容積法について

—その測定対象のふれと測定手段の誤差を中心に—

### Some Considerations on the Determination of Sample Volume by the Volumetric Method.

—On the Sampling, Selection and Measurement Errors.—

木 内 一 巳\*

#### I はしがき

実容積法を使い始めて10年以上たった。測定の対象が自然状態の土壌であったため、複雑で、つねに対象のふれと測定誤差とを頭においかかる必要があった。時にふれ疑問になったことをメモしておいたが、やっと一応はまとめられるようになった。実際に圃場でこれを使っておられる方々の参考になれば幸いである。

#### II 測定対象と測定方法および手段

実容積法は、自然状態のままの土壌三相を、容積と質量の関係でとらえる方法と手段の一つである<sup>1,2)</sup>。測定一般がそうであるように、この測定の場合も、測定の対象がどのような状態にあり、どのような変化をしているか、という対象の状態変化の設定からはじめる必要がある。そしていま問題としている測定が、その状態のどこをどのようにとらえようとしているのかを、方法および手段の上からはっきりさせておく必要がある。

土壌物理の対象である土壌は、その変化を起こさせる因子が複雑であり、因子同土入りくみ作用しあっている。そのため、その状態変化のポイントをきちっとつかまえることが困難の場合も多い。対象の複雑さと、それにともなう測定者側の方法、手段の不適當さから、測定の不明確さや、的はずれが作り出される。これについては(1)研究目的が対象からずれている場合(2)方法に制約されてでてくる場合(3)手段に制約されてでてくる場合(4)その他雑多な原因による場合がある。この関係を測定上のあやまりと誤差の形で手際よくまとめたものがある<sup>3)</sup>。古典的には測定誤差だけを問題としてきた。この風習はまだ残っている。

#### III 実容積法のなかみ

ここでは実容積法を使った実録計画でなく、測定のなかみを検討する。実容積法は、採土と実容積測定と計算の3つからなりたっている。

##### 1 採 土

他の容積法が行うのと同様に、採土器を使って自然状態の土壌を一定容積切りとり試料とする。切りとり方が同じであれば、どの容積法であろうと、次の点を注意する必要がある。対象の土壌自身 100 ml 当りの重量実容積とも数%の変位係数をもってふれていることである。これは人為的に制御できない。そのため採土方法に計画が必要になる。そのよしあしが研究のねらい精度に大きくひびいてくる。よく計画された採土試料群では、測定対象のふれと、測定誤差とははっきりわけられる。しかしややもするとこの両者がわけられていない場合もあるので注意を要する。

##### 2 実容積測定

測定に関係したあらゆる誤差は後で述べるとして、ここでは実容積法の原理について検討する。

一般に A B 閉鎖空気系があり同温同圧で両容積が等しいとき、両系の圧縮率は等しい。この原理は両系の器壁が空気と作用しないとみなせるときになりたつ。実容積法はこれを応用したものである。いま A 系には多孔隙を入れその細孔隙壁または空間が空気と作用する場合はどうであろうか。A 系の孔隙空間を含めた全空間が、それのない B 系の空間と同容積の場合、両系の圧縮率は必ずしも同じではない。前系の孔隙径が大きい場合は空気と孔隙との作用が小さいので問題なく成立するとみてよい。しかしその孔隙径が分子オーダーに近づいて行った場合は、両系の圧縮率は異なってくるはずである。このような細孔隙中の気体は、その壁に吸着されるなどして気体の性質から異なってくるからである。土壌は多

\* 長野県松本工業高校

孔質ということに加えて、この孔隙に水の入りこんだ複雑な三相系である。土壌が高水分の場合は、細孔隙は水で満たされて、他の孔隙だけが残されるので、土壌の入った A 系とそれの入らない B 系との圧縮は同じになる。圃場条件の土壌はこの条件とみてよい。しかしより低水分となると、細孔隙壁があらわれ前述の作用があらわれるので、両系の圧縮率は異なってくるはずである。現実に沖積土でも洪積土でも火山灰土でも異なってくる。とくに火山灰土で著しい<sup>4,5)</sup>。土壌の細孔隙と液相気相との相互作用には、孔隙をつくる粘土鉱物や腐植の量や質のちがいが関係するはずである。

3 計 算

土壌の全重量を W gr, その実容積を V ml 真比重を d, 固相容積を Vs ml, 液相容積を Vl ml とすると、実容積 V は

$$V = V_s + V_l \dots\dots\dots(1)$$

である。液相容積 Vl ml が Vl gr であるとする、

$$W = dV_s + V_l \dots\dots\dots(2)$$

がなりたつ。

d は W の乾土重 W' とすると

$$W - W' = V_l$$

$$V - V_l = V - (W - W') = V_s$$

$$\therefore d = W' / \{V - (W - W')\} \dots\dots\dots(3)$$

からもとめられる。

すなわち d がわかっていると、W V の測定から Vs Vl がもとめられ、さらに他の物理量ももとめられる。

d について、松本盆地の沖積土では1年間変らなかつた。試料は約100点である。その変位係数は1.08%であった。また、この圃場に土層断面をつくり、その断面の各層の極めて近い2点間の d のふれをもとめると変位係数が0.1%しかない。土壌の d は圃場の位置により変位係数1%の範囲でふれをもつことになる。この範囲で不均一ということとなる。しかし固相容積、液相容積のそれは松本盆地沖積土では7%程度10%程度である。また松本盆地の西側の扇状地群の一つ烏川扇状地の洪積土でもほぼ同様である<sup>6)</sup>。いままで d は Vs や Vl より変位係数が小さいので、一定とみなして(1)(2)式から Vs Vl を算出していった。しかし前述の沖積土や洪積土では、d と Vs は相関はない。すなわち d と Vs とは、圃場では、無関係に独立にふれていることとなる。するとこの場合は、次のように意味がちがってくる。いま多数の試料を同一圃場からとったとき

$$\left. \begin{aligned} W_1 &= d_1 V_{s1} + V_{l1} \\ W_2 &= d_2 V_{s2} + V_{l2} \\ W_3 &= d_3 V_{s3} + V_{l3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= V_{s1} + V_{l1} \\ V_2 &= V_{s2} + V_{l2} \\ V_3 &= V_{s3} + V_{l3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

であったとしよう。(4)(5)を左辺は左辺、右辺は右辺で加え合わせ、Σ をつけると

$$\Sigma W = \Sigma d V_s + \Sigma V_l \dots\dots\dots(4')$$

$$\Sigma V = \Sigma V_s + \Sigma V_l \dots\dots\dots(5')$$

ここで d と Vs は独立に分布するので

$$\Sigma W = \Sigma d \Sigma V_s + \Sigma V_l \dots\dots\dots(6)$$

と d と Vs を分離できる。(5)' と(6)より

$$\Sigma V_s = (\Sigma W - \Sigma V_l) / (\Sigma d - 1) \dots\dots\dots(7)$$

$$\Sigma V_l = \Sigma V - \Sigma V_s \dots\dots\dots(8)$$

がなりたつ。Vs Vl d の平均値を  $\bar{V}_s \bar{V}_l \bar{d}$  とおくと(7)(8)は

$$\bar{V}_s = (\bar{W} - \bar{V}_l) / (\bar{d} - 1) \dots\dots\dots(7')$$

$$\bar{V}_l = \bar{V} - \bar{V}_s \dots\dots\dots(8')$$

となる。d は平均値をとった方がよいことになる。d はいままで得られた値の全部を平均して使う方がよいことになる。

真比重の変位係数は非常に小さく、固相容積液相容積とそれは大きくなっている。これは土壌の生成作用の一面を暗示していると考えられる。真比重は非常に永い歴史の中で作りあげられたもので、いくつかの作用で変位が小さくなった。またそのために耕耘など人為作用ではなかなか変りにくいので変位が小さくでる。一方固相容積は人為作用でいくつかの状態が作られるので、変位が大きくなる。すなわち変わりやすいと考えられる。

4 実容積測定にともなう誤差

測定にともなう誤差を検討しよう。

(1) 採土の際の誤差

まず第一に考えられるのは採土器の刃の口径のくろいによる誤差である。

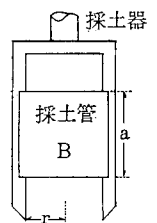
採土には採土器を使うが、これで試料をつくるとき、その容積を決定するのは、刃の口径 2r cm と採土器内の採土管の長さ a cm である。図1のB内の土柱の容積 v cm<sup>3</sup> は

$$v = \pi r^2 a \dots\dots\dots(9)$$

いま r に Δr, a に Δa の個有誤差があると容積 v の相対誤差は

$$\Delta v / v = \Delta a / a + 2 \Delta r / r \dots\dots\dots(10)$$

a の変位係数は18サンプルで0.33%程度であった。刃の口径の方は採土のくり返しで丸くなりくるってくる。刃の口径が1%くると容積では2%くるとなる。多数の試料平均では Δa/a は急速に0に集束する。



しかし  $\Delta r/r$  は偏りであって平均しても消えない。刃の口径が変わりにくい材質の開発と、刃の手入れが必要である。

次に考えられるのは土壌を切りとる際の誤差である。採土器を使って採土管に入った土壌を、管の上下端で切りとって一定容積の土壌試料を作る。この切りとりの際に誤差をとまなう。この誤差は砂を使って測定できる。砂を適当に湿らせて固まりやすくする。採土管の一端にふたをしてビニールテープで固定しその質量を秤る。管の他端から砂を充分につめる。管端の砂を採土用ナイフで切断して秤量する。さらに切断面に砂を盛りふたたび切断秤量する。このさい管内部の砂は変わらないとみなせるので、秤量のふれは砂の切りとりによる誤差である。これを50回くり返したとき、砂の質量の平均値は159.5 gr で  $\sigma$  (シグマ) は 0.414 gr 分布型は正規型であった。両端の切りとりでは  $\sigma$  は確率法則から  $\sqrt{0.414^2 \times 2} \text{ gr} = 0.585 \text{ gr}$  である。変位係数で 0.37% 程度である。多数を平均すれば急速に0に集束しほとんど問題にならない。

もう一つ考慮しなくてはならないのは、水分条件等のちがいによる土壌の物理性の変化である。同じ土壌でも水分条件がちがうと硬さもちがいが非常にちがう。今日たやすく採土できた土壌が次の日には硬くて採土しにくくなる場合もよくおこる。また固相容積もちがうようにみえる場合もある。このように同一土壌でも物理性のちがう場合の採土について、採土側の偏りについては、今後の研究にまきたい。

(2) 実容積測定時の誤差

まず考えられるのは、全重量を 0.1 gr まで、実容積を 0.1 ml までしか測定しないことによる誤差である。この0.1以下の切りすてによる誤差分散は確率法則によると、 $0.1^2/12$  したがって  $\sigma$  は 0.02 程度である。全重量を 126.0 gr 実容積を 65.0 ml 程度とすると、誤差変動係数は 0.023%, 0.044% で他の誤差に比べて問題にならない。したがって無視できる。次に考えられるのは、実容積の測定値が真の実容積を示しているかということである。

いま測定値が 65.0 ml とでたとき、これが真に測定の対象 65.0 ml であるかを疑ってかかる必要がある。いまつぎのような実験計画をたてる。同一圃場から20点の試料を採土し全重量  $W$  と実容積  $V$  を測定する。つぎに採土管のふたを開いて土壌を自然乾燥させる。その過程で毎日  $W$  と  $V$  を測定する。

(1)式と(2)式から

$$W - V = (d - 1)V_s \quad \dots\dots\dots(1)$$

なので、 $d$  と  $V_s$  が変わらないかぎり  $W - V$  は変わらないはずである。この  $W - V$  の値につき、試料のちがいと、水分によるちがいを2つの要因として二元分析をする。自然乾燥をさせて数日間、水分によるちがいは、有為ではない。したがってこの数日間の試料を使うと  $W - V$  のふれは、試料によるちがいと測定誤差の2つになる。この2つを分離できるように分散分析表を作ってみると松本盆地沖積土では表1のようになる。測定

表-1  $W - V$  の分散分析表  
(J 試料のちがい R(J) 誤差)

要因	変動	自由度	不偏分散
J	1105.7833	19	58.1991
R(J)	0.9065	60-19	0.02211

$$\sigma_{RJ} = 0.1487$$

による  $W - V$  の誤差の  $\sigma$  は 0.15 程度である。 $W$  は測定対象のそれに正確に対応するから 0.15 は  $V$  の測定値と測定対象のそれとのちがいがから生ずるものと解釈できる。川砂を熱乾してその  $V$  を測定したときでもこの程度のふれはでる。川砂の場合は測定器と対象の相互作用は無視できると考えてよい。したがって土壌の場合も川砂の測定と同程度に正確に  $V$  の値がでるものとみてよい。

(3) 固相容積、液相容積算出時の誤差

真比重  $d$  がわかっていると、全重量  $W$  gr 実容積  $V$  ml の測定から固相容積  $V_s$  ml 液相容積  $V_l$  ml は式(1)(2)から

$$V_s = (W - V) / (d - 1) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$V_l = V - V_s \quad \dots\dots\dots(3)$$

として算出できる。4 (2)でのべたように  $W V$  の精度は高く誤差の変動係数で 0.02% 0.1% (あるいはそれ以下)におさえることができる。しかし  $d$  の圃場の位置による変位係数は 1% 程度ある。したがって(2)(3)式で  $V_s V_l$  の精度をきめるのは  $d$  の変位係数である。

いま  $d$  の位置によるふれを  $\Delta d$  それによって引きおこされる  $V_s$  のふれを  $\Delta V_s$  とすると

$$\Delta V_s / V_s = \Delta d / (d - 1) \quad \dots\dots\dots(4)$$

これは

$$\sigma_{V_s} / V_s = \sigma_d / (d - 1) \quad \dots\dots\dots(5)$$

と書くこともできる。 $\sigma_{V_s}$  は  $d$  のふれ  $\sigma_d$  によって引きおこされる誤差標準偏差である。同じ土壌で  $d = 2.62$   $\sigma_d = 0.026$  なので  $\sigma_{V_s} / V_s = 0.016$  約 2% の誤差変動が入りこむこととなる。一方この土壌の  $V_s$  の測定対象の変位係数は 7% もある。そこで次の点をふまえておくことが必要である。

一つは圃場の  $V_s$  や  $V_l$  の代表値 (平均値) をだす場合である。このときは、同条件の試料を 10 点とか 20 点とかとり平均してだす。d のふれその他は、 $V_s$   $V_l$  の測定対象のふれより次元が小さいので、平均の操作によって急速に 0 に集束してしまう。 $V_s$   $V_l$  の測定対象のふれだけが問題となる。このふれのある土壌から代表値をある精度で得る手法には川尻<sup>7)</sup>のものがある。

次に個々の試料の測定値を問題とするときがある。このときは d のふれによる  $V_s$  の算出誤差は無視できない。 $V_s$  の値は(10)式のような変位係数 (松本盆地沖積土では 2%) をもつものとみなくてはならない。もちろんこの変位係数は大きいものではないが、より精度をあげたい場合には、各試料の乾土重  $W'$  を測定して

$$\left. \begin{array}{l} W - W' = V_l \\ V - V_l = V_s \end{array} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

(10)式から  $V_s$   $V_l$  を出す必要がある。

#### IV ま と め

実容積法そのものの誤差と測定対象のふれの主要点を

明らかにした。

測定側の誤差では

- (1) 採土器の刃の口径のくろいによって引き起こされる誤差。
  - (2) 測定対象の真比重がふれをもつために固相容積、液相容積を真比重を使って算出するときの誤差。
- の 2 つが大きいことがわかった。しかし実用的にはほとんど問題とならないこともわかった。むしろ非常に精度の高い測定法である。

#### 文 献

- 1) 美園繁, 土肥誌, **29**, 67 (1958)
- 2) 美園繁, 土肥誌, **33**, 49 (1962)
- 3) 柏木力, nonsampling error, 推計学の化学および生物学への応用, 第 3 集, 現場の推計学, 南江堂 (1959)
- 4) 美園繁, 土肥誌, **29**, 97 (1958)
- 5) 美園繁, 土肥誌, **33**, 53 (1962)
- 6) 木内一己, 美園繁, 中村正治, 土肥誌, **35**, 172 (1964)
- 7) 川尻美智子, 土肥誌, **37**, 401 (1966)