

土壌水の吸引力 (p^F) の測定法

農技研 寺 沢 四 郎

I はじめに

土壌は化学組成を異にし種々の形と大きさからなる固体粒子と、各種の塩類を溶存する水(土壌溶液)および土壌空気との相系から構成されている。

土壌水の自由エネルギーの高低は、水の可動性を示す指標となるものであり、土壌中の移動速度あるいは作物根の吸水の難易などと密接な関係がある。自由エネルギーは水の基本的性質であるが、エネルギー概念だけで水の運動形態を解析することは一面的であり、他の諸条件(気象・立地条件・土壌断面の性格)を包含して実際の現象を解析する必要がある。

ところで、土壌水の自由エネルギーの高低は、土壌の保水力の強さを表わす指標となるものであるが、その保水力は負圧(Negative Pressure)・減圧力(Pressure deficiency)・水分張力(Water tension)・ p^F ・吸引力(Suction)などの諸量によつて表示されている。負圧・減圧力などは、不飽和土壌中に水が吸収される動因となるものである。しかし土壌の吸水は、固液二相系の湿潤粘土のように液気界面がなくても起りうる。これは固体表面の吸着力場と置換性カチオンの和水分作用によつて引き起される。粘土質の土壌では、この種の水分が界面に吸着され膨潤現象を起す。このような固体表面の水は、負圧ではなく、正圧(Positive pressure)を示し膨潤圧の要因となるのである。

それゆえ従来用いられてきた、負圧・減圧力・水分張力などの用語は全般的な水分保持機構を表現する術語としては、あまり適当でないように思われる。この理由のために、最近では、“Suction”なる術語が一般に通用される傾向にある。粘土含量の低い土壌の水分保持力は、大部分毛管力による Suction とみなされる。一方、重粘土の乾湿による容積変化は、毛管力と界面吸着力の2つの Suction の働きによるものである。

p^F は Suction の水柱高 h_{cm} の対数値であり、Suction の強さあるいは自由エネルギー(ポテンシヤン)のレベルを簡単に表示できる Unit である。

2. 土壌水の状態量と術語

土壌水の物理性に関連する術語は2つの系統に類別できる。

(a) 土壌中の水分状態に関連する術語

(b) 土壌中の水の運動に関連する術語

両者は相互に密接な関係にあるが、本文ではとくに(a)の術語の中で水の自由エネルギー状態

に関する諸量について概説する。

(1) 全ポテンシャル (Total Potential: Ψ)

土壌水のポテンシャルを評価する場合は、自由水(溶質を含まず化学的に H_2O だけの組成を有する純水: Pure water) のポテンシャルが基準となる。これに対し土壌水の性質は、それぞれの水分状態において種々の溶質を含有し、重力力場・外気圧・土壌粒子の吸着力場などの外力と平衡状態にある。

土壌水の全ポテンシャルは、等温条件下における自由水(純水)と土壌水(溶液)の間のポテンシャル差で示され、これは、偏微分的ギブス自由エネルギーあるいは化学ポテンシャルに相当するものである。すなわち“大気圧条件下のある基準の位置にある純水の水槽から、任意の位置にある土壌水まで微小水量を等温可逆的に移動させるに要する仕事”である。

全ポテンシャルは個々のポテンシャル成分の合成成分であり、実際の評価は個々の構成ポテンシャルをそれぞれ測定して求められる。各構成ポテンシャルはつぎの通りである。

(1.1) 浸透ポテンシャル (Osmotic potential: ϕ)

これは“定位置の純水の水槽から、土壌水と同一化学組成を有する任意の点の溶液まで、微小水量を等温可逆的に移動させるに要する仕事”である。

(1.2) 重力ポテンシャル (Gravitational potential: Z)

土壌水と同一化学組成を有する水槽から任意の点の高さにある同じ組成の水槽まで微小水量を等温可逆的に移動させるに要する仕事”である。すなわち位置のポテンシャルに相当する。

(1.3) 毛管ポテンシャル (Matric or Capillary potential: M)

“任意の点の土壌水と同一組成を有する溶液の水槽から、その任意の点の土壌水まで微小水量を等温可逆的に移動させるに要する仕事”である。

(1.4) 外気圧によるポテンシャル

これは土壌水のまわりの外気圧の変化に伴つて水の圧力分布が変化し、通常の大気圧下の水のポテンシャルとは異なつた状態をとる。例えば減圧あるいは加圧条件下の水分子の運動状態が、大気圧条件下とことなる。これは水のポテンシャル状態の差異によるものである。

以上述べたごとく全ポテンシャルは4つのポテンシャルから構成されているが、位置と外気圧のポテンシャルが等しいか、あるいはこれを無視できる条件下では、毛管ポテンシャルと浸透ポテンシャルが主要な成分となる。通常の土壌水の状態では、この両者が主に取扱われ、とくに毛管ポテンシャルが数多く測定されている。ポテンシャル概念は、ややもすれば量的な具体性に乏しく水の状態を理解し難いうらみがある。これを力の単位に換算した吸引力値で表示すればよりの確に水分状態を理解することができる。

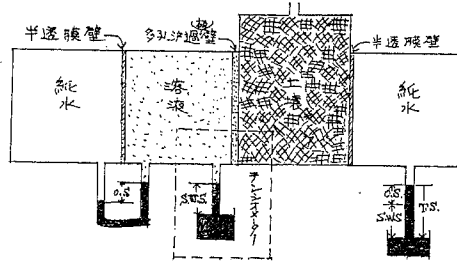


図 1 土壤水の浸透吸引力 (O.S.)、土壤水分吸引力 (S.W.S.)
および全吸引力 (T.S.) の相互関係

(2) 土壤水分吸引力 (Matric or soil water suction: S. W. S.)

この量は負圧・減圧力・水分張力などの用語でいわれてきたものである。土壤水と組成の等しい溶液が多孔質壁を通じて土壤水と接続させたときに、土壤水上の外気圧に比べて負圧を生ずる。図-1 この負圧は、含水量が減少するにつれて増大し吸引力値は高まる。この量は前述の毛管ポテンシャル (M) 値を圧力単位で表示したものに等しく、土壤構造と密接な関係にある。

(3) 浸透吸引力 (Osmotic suction: O. S.)

図 1 に示すごとく、純水の水槽と溶液 (土壤水と同一組成) の水槽を半透膜壁で接続させると、2 相間の平衡状態を維持するために負圧を生ずる。これは通称溶液の浸透圧に相当する。この量は、前述の浸透ポテンシャルを圧力単位で表わしたもので、溶質の存在により土壤水のポテンシャル (自由エネルギー) が低下することを示すものである。

(4) 全吸引力 (Total potential: T. S.)

純水の水槽と土壤水を半透膜壁で接続させたときに 2 相間に生ずる負圧である (図-1)。全吸引力は前項の土壤水分吸引力と浸透吸引力の合計値に等しく、従来は土壤水分応力 (Soil moisture stress) と名づけられていた。全吸引力は、重力ポテンシャルと外気圧ポテンシャルを無視した場合には、全ポテンシャル Ψ を圧力単位で表示した値に相当する。土壤水と平衡状態にある水蒸気分圧の測定 (蒸気圧法) によつて全吸引力を求めるこ

とができる。

術語・記号・単位・デイメンションなどは、1963年の国際土壌学会土壌物理用語委員会において検討され、最終的には表1のように統一決定がなされた。ポテンシャルと吸引力の単

表1 土壌中の水分状態を表わす諸量

| 術 語 | 記 号 | デイメンション | 単 位 |
|--|------------|-----------------|---|
| 全ポテンシャル Total potential | Ψ | L^2T^{-2} | $\text{erg}\cdot\text{gm}^{-1},$ $\text{joule}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| 浸透ポテンシャル Osmotic potential | O | " | " |
| 重力ポテンシャル Gravitational P. | Z | " | " |
| 毛管ポテンシャル Capillary or matric P. | M | " | " |
| 土壌水分吸引力 Soil water or matric Suction | (S. W. S.) | $ML^{-1}T^{-2}$ | $\text{dyne}\cdot\text{cm}^{-2}, \text{bar},$ $\text{cmH}_2\text{O}, \text{cmHg}.$ |
| 浸透吸引力 Osmotic suction | (O. S.) | " | " |
| 全吸引力 Total suction | (T. S.) | " | " |

註：吸引力の記号は、国際用語委員会はきめていないが術語の頭文字を記入した。

位はそれぞれ仕事と力のデイメンションに合致するように採択され、従来用いられて来た PF 表示は掲示されていない。PF 値による表示法は2・3の利点を持つているのであるが、とかくポテンシャルあるいは吸引力の各成分を混成したまま同一図表上に表示する場合が少なくない。これはPFの意義を正しく理解して用いるときは問題はないが、とかく土壌水の全ポテンシャルのindexと考えがちである。PF値を用いる場合には、毛管ポテンシャルあるいは全ポテンシャルなどの術語を明記して混乱を避けるように注意する必要がある。

3. 土壌水の Suction と水分特性の関係

土壌中の空気が大気圧下にあるとき、不飽和土壌の間隙に形成される液気界面の水の圧力P、は次式で与えられる。水と固体の接触角を0と仮定する。

$$P = -2\sigma/r = -\rho gh \quad \text{dyne/cm}^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

σ : 表面張力 , r : 液気界面の曲率半径 , ρ : 水の密度

g : 重力の加速度 , h : 水柱高 cm

Pは負の値をとるが、不飽和土壌を取扱う場合には負の値を用いることを避け、 $\rho gh \text{ dyne/cm}^2$

の負圧・減圧力・水分張力・吸引力を有する水と表現するのである。この dyne/cm^2 の単位は広い吸引力範囲では、 ρgh の $h\text{cm}$ の水柱高あるいは圧力単位の Atmosphere ($h/1035$) 単位に比べて使用しにくい欠点がある。最近では吸引力の unit として bar (10^8dyne/cm^2) 単位が通用される傾向がみられる。bar 単位はほぼ 1 気圧 ($1 \text{bar} = 0.99$ 気圧) 相当し、millibar 単位 ($= 10^3 \text{dyne/cm}^2$) は水柱 1cm ($1 \text{mb} = h/1,022$) に非常に近い値をとるので、水頭換算が容易である。これらの単位は首尾一貫した方法で広い範囲の Suction を表示できる利点がある。

表 2 保水性を表わす諸単位間の関係

| 土壌水分状態 (水分恒数) | 吸 引 力 Suction | | 毛管ポテンシヤル M | p^F | 土壌孔隙の当量直径 | Suction の測定法 |
|---|--------------------------------------|---|-------------------------|----------|-----------------------------------|--|
| | 水柱高 $h\text{cm}$ or millibars | bars or atmospheres | ergs/g or ergs/cc | $\log h$ | 10^{-4}cm or μ | |
| 1 cm の Suction (ほぼ飽和水分) | 1 | 0.001 | -9.8×10^2 | 0 | 1,500 | 土柱法 吸引板法 |
| 100 cm の Suction (圃場容水量) | 100 | 0.1 | -9.8×10^4 | 2.0 | 1.5 | 吸引板法 加圧板法 |
| 1 気圧の Suction (水分当量 1000g) | 1,000 | 1 | -9.8×10^5 | 3.0 | 1.5 | 遠心法 |
| 15 気圧の Suction (永久シオレ点) | 15,000 | 15 | -1.5×10^7 | 4.2 | 0.1 | 加圧膜法 |
| 相対蒸気圧 0.98 (吸湿係数) | 30,000 | 30 | -3.0×10^7 | 4.5 | 0.05 | 蒸気圧法: 3.3% H_2SO_4 (アメリカ) |
| 相対蒸気圧 0.94 (吸湿係数) | 100,000 | 100 | -1.0×10^8 | 5.0 | 0.015 | 蒸気圧法: 10% H_2SO_4 (ソ聯, 西欧) |
| Suction の 換算式 (20°C) | $h\text{cm}$ or $h/1022\text{mb}$ | $h/1022\text{bars}$ or $h/1035\text{atm}$ | $-980h$ | $\log h$ | $0.15/h$ ジェレン の式 | |

表 2 は水分状態を示す術語の単位のとおり方、換算式などをまとめて表に示したものである。

浸透・毛管・全ポテンシヤル(各吸引力も同様)はいずれも同一の単位で表示できる。通常吸引力値は水柱高 $h\text{cm}$ で測定される場合が多く、その他の測定法でも Suction の $h\text{cm}$ を算出する誘導式が容易に求まる。吸引力 $h\text{cm}$ をポテンシヤルに換算するには $-980h \text{erg/gm}$ p^F 値は $\log h$ で求まる。

従来の p^F 値は、毛管ポテンシヤル(あるいは土壌水分吸引力)の指標として用いられ、浸透ポテンシヤルには用いられなかつた。 p^F - 水分曲線の p^F 0 ~ 4.5 の範囲では毛管ポテン

シヤルが主要な成分とみなされ、蒸気圧法で測定される p^F 4.5 ~ 7.0 の範囲では全ポテンシヤル成分を示すことになる。圃場における水分変化の範囲内では、土壤水の運動は土壤水分吸引力が主要な動因と考えられ、浸透吸引力は無視されてきた傾向がある。しかし土壤物理学の発展と他の関連諸科学とくに植物学との結びつきが強まるにつれて、水のエネルギー概念は浸透吸引力を無視できない段階に到達しつつある。すなわち、従来ともすれば p^F は毛管ポテンシヤルの代名詞のように使われてきたのであるが、これをさらに発展させて浸透ポテンシヤルを含む全ポテンシヤル（全吸引力）の指標として認識されなければならない状態にあるといえよう。

浸透吸引力は土壤水分吸引力のように含水量と一価の対応関係（Hysteresis effect を除き）にはなく、溶存塩類の土壤吸着あるいは溶脱集積などによつて容易に変動し易い。しかし、土壤-水-溶質系の研究が進むにつれて、浸透吸引力と土壤水の状態量との対応関係がさらに明確に位置づけられるであろう。

表 3 Suction と含水量の測定法 ※(S.W.S.)土壤水分吸引力, ※(T.S.)全吸引力

| 水分率 % | 100 → | | | | | | | | → 0 |
|-------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|--------------------|---------|
| Suction <i>h cm or mb.</i> | 1 | 10 | 10 ² | 10 ³ | 10 ⁴ | 10 ⁵ | 10 ⁶ | 10 ⁷ | |
| p^F | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| 水分の分類 | (4) | 重力水 | 毛管重力水 | 毛管水 | 膨潤水 | 吸湿水 | | | 化合水 |
| | (1) | 自由水 | | | 弱結合水 | | 強結合水 | | 化合水 |
| 水分恒数 | 最M 大・容H 水・量C | 圃場F 客C 含水量 | 水M 分・当E 量 | 初I 期W シオレP 点 | 永P 久W シオレP 点 | 最M 大・吸H 湿・度 | 風A 乾・D 土 | 乾O 土D (105%) | |
| 測定法 | 室内 | ← 土柱法 → (S.W.S.) | | ← 吸引法 → (S.W.S.) | ← 氷点降下法 → (T.S.) | ← 蒸気圧法 → (T.S.) ※ | | | |
| | 圃場 | ← テンシオメーター → | ← 電気抵抗法(ナイロン・グラスファイバー) → (石コウ) | ← 誘電率測定法 → | ← 熱伝導度測定法 → | ← 透気度測定法 → | ← 中性子法 → | ← 実容積測定法 → | ↑ 間接法 ↓ |
| | | | | ← 加压板法 → (S.W.S.) ※ | ← 加压膜法 → (S.W.S.) | ← 遠心法 → (S.W.S.) | | | |

表3は、土壌水の吸引力と土壌水の分類を対応させ、さらに土壌水分吸引力と全吸引力の測定法の計測範囲を対応させたものである。室内測定法のうち、蒸気圧法と氷点降下法はいずれも全ポテンシャル ψ を測定することができるが、その他の方法は毛管ポテンシャル M を測定する方法に属する。浸透ポテンシャル Π の測定は、それぞれの水分状態における土壌水を、Extractして、その水溶液の氷点降下度と電気伝導度値から間接的に吸引力を算出する方法が用いられる。圃場における土壌水分吸引力を直接測定するには、テンシオメーター法が最もすぐれ、間接的方法としては電気抵抗法、誘電率測定法などが広く使用されている。

4. 土壌水分吸引力の測定法

全有効水分範囲における土壌水分吸引力と含水量の関係（通称 pF - 水分曲線）を測定するには、土柱法・吸引板法・加圧板法・加圧膜法・遠心法などを組み合わせて測定する。各測定法の原理、装置の構造、測定操作などは研究報告、各専門書に詳述されているので、本文ではごく概要を説明することにとどめる。

(1) 土柱法 (Soil column method)

大気圧下の自由水中に土柱の下端を垂直に設置し、各土層の土壌水が平衡状態に達した時の

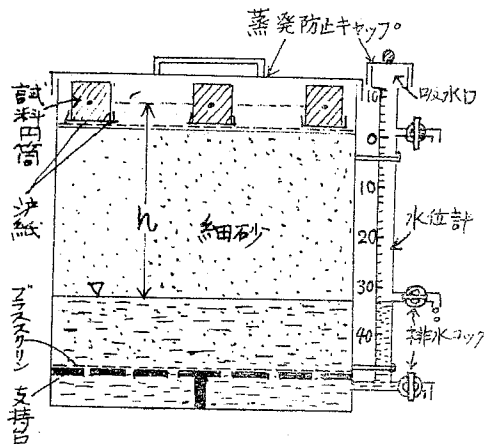


図2 砂柱法の装置

含水量を測定する。次式から吸引力・ポテンシャルを求める。

$$\left. \begin{aligned} (S.W.S) &= h \text{ cm H}_2\text{O} = h/1022 \text{ bar} \\ M &= -gh \text{ erg/g} , \quad p^F = \log h \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

h : 自由水面上の土壌の高さ

土柱法は吸引力の低い ($p^F \sim 1.5$) 水分状態の測定に適し、土壌構造の攪乱によつて含水量は著しく変化する。このため圃場状態のまま試料円筒に採土し、図2に示す砂柱法の装置によつて測定することが望ましい。

(2) 吸引板法 (Suction plate method)

この方法に用いられる測定装置は年々改良されてきている。⁹⁾ この方法は、素焼板を境として接続する土壌水とある一定の吸引圧下の自由水と平衡状態にある含水量を測定する。

吸引力値は次式による。

$$(S.W.S.) = h/1022 \text{ bar}, \quad M = -hvg \text{ erg/g}, \quad p^F = \log h \dots\dots\dots (3)$$

この方法の有効測定範囲は、通常 $0 \sim 1/2 \text{ bar}$ の範囲であり、これは素焼板の孔径、透水性などで計測範囲が制限される。本法は土壌構造を乱さない状態で測定ができ、かつ脱水過程と吸水過程の測定が可能である。

(3) 加圧板法 (Pressure plate method)

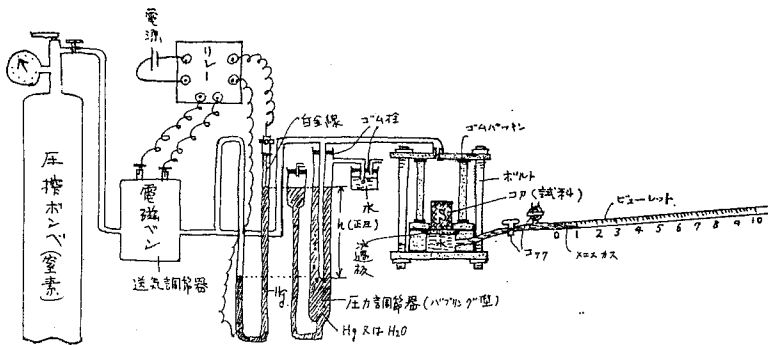


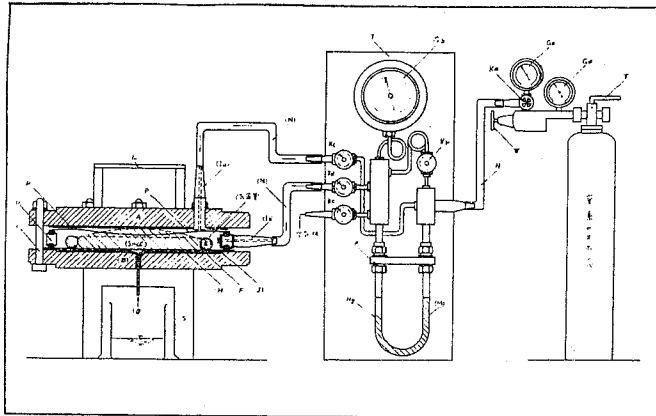
図3 加圧板装置の概要

この方法は吸引板法に類似しているが、吸引圧による脱水操作の代りに加圧条件下で脱水処理を行わせるものである。図3に示すごとく、加圧調節器をとり入れた加圧装置部分を通して

試料気密室に窒素ガスを送気し一定の圧力下で加圧脱水して平衡状態にある含水量を測定する。

(S. W. S.), M, pF の算出は(2)式と同様である。

(4) 加 圧 膜 法 (Pressure membrane method)



| | | | |
|---|------------|---|---------|
| A | 上 蓋 | L | 切 手 |
| B | 器 底 | M | 圧力調整バルブ |
| C | ボルト | N | 耐圧ゴム管 |
| D | 耐圧側管 | O | 排水口 |
| E | 試料ゴム輪 | P | 土圧ゴム隔膜 |
| F | 集水板 | Q | 集水ビーカー |
| G | 圧力ゲージ | R | Hgリザーバー |
| H | ステンレススクリーン | S | 支持脚 |
| I | 送気口 | T | 配圧板 |
| J | セロファン半透膜 | U | 送圧バルブ |
| K | ゴック | V | 活セン |

図 4 加 圧 膜 装 置

これは、L. A. Richards により工業された装置であり、通常1~15 bar の Suction range の測定ができる。図4に示すごとく、試料を入れた試料気密室を窒素ガスで加圧し、セロファン半透膜を通して脱水させる。High suctionでは土壤水の水膜の連結性が悪くなるから、1/2 bar の圧力をかけたゴム板で土壌を圧密し、半透膜と土壤水の接触を促進するように工業されている。この装置は、浸透吸引力を測定するときの供試液の Extractor としても広く用いられている。近時アメリカにおいては、全有効水分領域の吸引力の測定には、ほとんど加圧式の Pressure plate - pressure membrane method に依存しているといわれている。(S. W. S.), M, pF の換算式は(2)式と同様である。

(5) 遠 心 法 (Centrifuging method)

この方法は操作が比較的簡単でしかも圃場の Suction range の測定ができることからわが国で広く使われている方法である。この方法による吸引力の誘導にはつきに述べる2つの理論的立場がある。⁵⁾

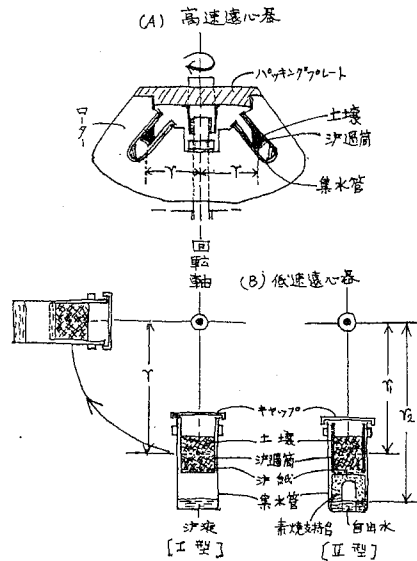


図 5 遠心法による脱水装置

(1) 現在広く用いられている方法は、" f なる遠心力を土壌水に働かせて、その遠心力と平衡状態にある残留水分の土壌水分吸引力値は $-f$ に相当する" とみなす立場で測定されている。この場合の毛管ポテンシャルと吸引力値は次式から求められる。

$$M = -fv = -r\omega^2 \text{er} \rho / \rho, \quad (\text{S. W. S.}) = \frac{r\omega^2}{g} / 1022 \text{ bar} \quad \} \dots\dots (4)$$

$$p^F = \log \left(\frac{r\omega^2}{g} \right) = \log \left\{ \frac{r}{g} \left(\frac{2\pi n}{60} \right)^2 \right\} = 2 \log n + \log r - 4.95$$

r : 回転半径 , ω : 角速度 ($= 2\pi n / 60$) , n : 回転数 $r. p. m.$
 π : 円周率 , g : 重力の加速度

図 5 に示した高速遠心器(A)と低速遠心器(B)の脱水装置 I 型を使用した場合は、(4)式から M 、(S. W. S.) の値を算出しなければならない。

(2) 一方の立場は、遠心力場をポテンシャル力場と考え、図 5 の低速遠心器(B)の脱水装置 II 型を用い、土壌水と集水管の中の自由水との間のポテンシャルの差を測定して吸引力を求める

方法である。集水管の自由水と供試土壌の水とを素焼の支持台を通して連結させ、所要の遠心力下で平衡状態にある土壌水を測定する。この時の (S. W. S.)、M は次式で表わされる。

$$M = -\frac{\omega^2}{2} (r_2^2 - r_1^2) \text{ erg/g}, \quad (\text{S. W. S.}) = \frac{\omega^2}{2g} (r_2^2 - r_1^2) 1022 \text{ }^{-1} \text{ bar}$$

$$p^F = \log \left\{ \frac{\omega^2}{2g} (r_2^2 - r_1^2) \right\} \quad (5)$$

r_1 : 自由水面の回転半径

r_2 : 土壌の平均回転半径

はじめてこの方法を提案したのは M. B. Russell と L. A. Richards であり、彼らはこの方法で測定した水分当量 (1000g の遠心力) はほぼ p^F 2.7 に相当することを認めた。しかし前記(1)の考え方に立てば、水分当量は 1000g すなわち水柱高 1000 cm に相当するから、 p^F 3 に対応することになる。この点は今後理論的にも実験的にも検討を要する問題である。

遠心法の測定上の注意は、遠心力の質量力による土粒子の圧縮が土壌構造を変化させ、Suction の高い微細孔隙の形成に伴つて保水量を増大することである。とくに、Low suction range では、遠心力によるこの種の影響が大きいから、約 p^F 2.5 以下の測定には注意を要する。

5. 浸透吸引力の側定法

土壌水の浸透吸引力は、試験状態における水分を加圧膜装置または遠心分離器で採集し、この供試液を測定にかける。含水量の少ない土壌では、圃場含水量程度まで一定量の蒸留水を添加し土壌水とよく拡散混合したのち、前記の方法で供試液を採集するとよい。

(1) 氷点降下法 (Freezing point depression method)

この測定法は物理化学実験書に詳細に記述されており、古くから分子量の測定に使用されてきている。L. A. Richards と R. B. Campbell は、⁶⁾土壌水の Extracts または土壌の氷点降下度を測定するために、Thermistor を利用して測定法を簡易化することに努めた。氷点降下度 ΔP から Nernst の式により吸引力、O. S. が求められる。

$$(O. S.) = 1203 \Delta P \text{ atms} \dots\dots\dots (6)$$

一般に土壌溶液の濃度は希薄であるから、氷点降下度はきわめて小さく誤差をまねくおそれがあり、かつまた比較的多量の供試液を必要とする難点がある。

(2) 電気伝導度法 (Electric conductivity method)

希薄溶液の浸透圧は Van't Hoff の式で与えられ溶質のモル数に比例して増大する。

$$PV = nRT \dots\dots\dots (7)$$

P : 浸透圧 , V : 溶質 1 モルを含む溶液の体積 , R : 気体常数に相当

T : 絶対温度 , n : 係数

いま $n/V = C$ とすれば, $P = RTC$ となる。土壤溶液は種々の溶質を含有するから一般式としては次式で表わされる。

$$P = RT \sum_i C_i \text{ ; atm} \dots\dots\dots (8)$$

上式は, 溶液の濃度 C_i を測定する電気伝導度値と浸透圧の間には, ある一定の相関関係を有することが考えられる。Campbell⁶⁾ らは土壤水の採集液の浸透圧 P と電気伝導度 E_c の間に次の実験式が認められることを報告している。

$$P = 0.36 E_c \text{ atm} \text{ (at } 25^\circ\text{c)} \dots\dots\dots (9)$$

溶液の浸透圧は温度により変化するから, 一定の温度条件にそろえる必要がある。浸透圧 P から浸透ポテンシャル, ψ , 浸透吸引力, $O.S.$, pF 値の換算は表 2 に示した通りである。

6. 全吸引力の測定法

加圧膜法の測定限界より乾燥した土壤では, 蒸気圧法による全吸引力の測定が最も適している。蒸気圧法にはデシケーターまたは水蒸気脱着測定装置などを用いる方法があるが, 前者は簡易測定法として一般に用いられている。この方法から Total suction, h_{cm} を求めるには, Kelvin の式を用いる。

$$h = -(RT/g) \ln(P/P_0) \dots\dots\dots (10)$$

R : 気体常数 T : 絶対温度 , g : 重力 P : 土壤水の水蒸気圧

P₀ : 容器中の水蒸気圧

P の値は ; 土粒子界面の吸着力, 微細孔隙の毛管力および土壤溶液の溶質などによつて影響される。Schofield は, Total suction h_{cm} を pF 値で表わす簡単な式を提案した。

$$pF = 4.04 + \log(2 - \log a) + \log T \dots\dots\dots (11)$$

a : 相対湿度 , T : 絶対温度

水分恒数として用いられる吸湿係数は, 既知の相対湿度の水蒸気を持つ空気から, 粒子表面に吸着される水量を表わすものである。換言すれば土壤の表面活性の指数とみなすことができる。Mitscherlich の吸湿係数は, 10% $H_2S O_4$ を使つて測定され, 25°c で 94.3% の相対湿度が得られ, $pF 5$ に相当する。Rode は,¹¹⁾ $pF 5$ における水分状態を最大吸湿度と名づけ, 最大吸湿度の値と 1μ 以下の粒子全量とはほぼ直線関係を示すことを認めている

7. テンシオメータ法 (Tensiometer method)

1935年以来、多くの研究者によつて、土壌水分吸引力が水分変化の関数として観測されてきた。この方法は室内測定はもとより、とくに圃場における Suction を直接測定できるすぐれた方法である。Tensiometer は水柱高約 850 cm 以下の水分状態における、Suction の測定に使用される。850 cm 以上の High suction では、濾気、溶存空気、Entrapped air などによつて測定に支障をきたす。

$$(S. W. S.) = \rho_m g h_m - \rho g h_w \text{ dynes/cm}^2 = h_m \rho_m / \rho - h_w \text{ cm H}_2\text{O} \dots\dots (12)$$

ρ_m : 水銀の密度 , ρ : 水の密度 , h_m : Hg 圧力差 cm

h_w : 蒸餾カップの中心とマンオメーターの Hg と水の接点との間の高さ cm

透水性の悪いカップを用いると、Suction が平衡するまでに長時間を要し Time-lag の原因となるから注意を要する。最近 Miller と Cronney³⁾ は、土壌水と Tensiometer Cup の間の水の交換がなくても、Suction をスムーズに測定できる改良型を工案し実用に供している。

8. 測定法に関する 2・3 の問題点

各測定法は理論的あるいは実測上からみてなお未解決な問題が少なくない。ここで取あげた問題点は、特に測定結果の検討の際に当面解決しなければならない問題を述べる。

第1の点は、圃場における水分測定値を、吸引力値にキャリブレーションするとき、吸引力-水分曲線の脱水過程あるいは吸水過程のうち、いずれの曲線を適用すべきか、という問題である。吸引力-水分曲線は、いわゆる Hysteresis を示し、とくに Low suction range でこの影響が大きい。しかも Hysteresis curve の形態は、脱水または吸水過程の始まる Suction 値によつて複雑な曲線形態を示す。圃場における吸水過程は、土層内部における水の移動(湿潤土から乾燥領域への毛管伝導)に比べれば、降雨・かんがいでよる吸水過程は急速に進行する。土壌水の変化を時間的にみると脱水は吸水過程に比べて支配的に行なわれており、とくに作物の生育下では作物根による脱水過程がたえず促進されている。このよ
うな水分消費の立場からみれば、圃場の Calibration には脱水(乾燥)過程の吸引力-水分曲線を採用すべきであろう。

第2の点としては、室内測定値と圃場の吸引力値のズレの問題である。これは Tensiometer で測定された圃場の吸引力値が室内で測定(吸引法または遠心法)した吸引力値よりも一定含水量に対して低い値を示す事実である。この原因として考えられることは、作物の吸水に伴つて間隙内の水膜が切断され圧力伝達のできないリング状水の形成によつて、見かけ上

吸引力の低い水分状態を示すことが考えられる。その外に、作物根が表面張力を低下させる種の有機物質を分泌すること、圃場と室内の温度隔差、室内試験用の採土試料の土壌圧縮の影響、不十分な平衡状態下における測定値の変化などがその原因と考えられる。この種の測定値のズレは、土壌の物理性とくに土壌構造の発達程度がズレの大きさに影響することから考えると、間隙内の水の移動形態がこの原因のカギになりそうである。吸引力と含水量とは一価の対応関係を示さない事例として今後検討を要する問題である。

第3の問題点は、吸引力-水分曲線の不連続性すなわち飽和状態から絶乾状態の間の各測定法から得られた吸引力曲線がオーバーラップしない事例である。すでに各測定法の項で述べたごとく、蒸気圧法による吸引力の測定は全吸引力値であり、吸引法・遠心法などは土壌水分吸引力値を測定していることから考えると、前者と後者の曲線を同一曲線で表わすこと自体に内容上の問題を含んでいる。しかし同じ吸引力成分を測定している場合、例えば吸引板法と遠心法の場合には測定法の相違こそあれ甚だしい不連続曲線を生ずることは考えられないのである。遠心法の場合には理論的な問題はともかく、遠心力場における土壌構造の変形という重大な物理性の変化を伴っているのである。反面吸引板法は比較的現場の構造状態に近い吸引力の測定が可能であることから考えると、この両者の曲線のズレはある程度やむをえないであろう。問題は、それぞれの測定法の特長を十分把握し、その適用範囲をあやまらないよう留意する必要がある。

引用文献

- 1) Baver, L. D. : Soil physics, 3rd. Edi. Wiley, New York (1956)
- 2) Richards, L. A. & Wadleigh, C. H. : Soil physical Conditions and Plant growth, Chapter 3. Vol. II, Agronomy, Academic Press (1952)
- 3) Marshall, J. P. : Relations between Water and soil, 51~52 (1961)
- 4) 美国繁, 寺沢四郎, 木下彰, 須藤清次 : 農技研報, B 2 (1953)
- 5) 岩田進午 : 土肥誌, 32, 11, 52~58 (1961)
- 6) Richards, L. A. & Campbell, R. B. : Soil Sci, Soc. Amer. Proc. 13. 70 (1948)
- 7) Schofield, R. K. : Trans, 3rd. Inter. Cong. Soil Sci, Pt. II 37~48 (1935)
- 8) Russell, M. B. & Richards, L. A. : Soil Sci, Soc. Amer. Proc., 3. 65~69 (1939)
- 9) 石川武男, 徳永光一, 月館光三 : 土壌の物理性, 4, 1~10 (1961)
- 10) 寺沢四郎 : 農技研報, B 13 (1963)
- 11) A. A. Rode : 土壌と水 (山崎不二夫監訳) (1963)