

サイクロメーターについて

金 木 亮 一*

Ryoichi KANEKI

Faculty of Agriculture, Shiga Prefectural Junior College

I はしがき

サイクロメーター（乾湿計）は、蒸気圧法を応用した土壌水分計で、土壌水と平衡している空気の相対蒸気圧を測定することにより、土壌水の化学ポテンシャルを測定することができるものである。

土壌水の化学ポテンシャルを測定する方法には、外力場と平衡させて求める方法（土柱法、遠心法、加圧膜法など）と、平衡している時の各部分の水分ポテンシャルが等しいことを利用する方法（吸引法、蒸気圧法、氷点降下法など）がある。このうち、蒸気圧法と氷点降下法は、溶質の浸透ポテンシャルを含むすべての化学ポテンシャルを測定していることから、土壌水の正しい化学ポテンシャル値を与える点で他の方法より優れている。

さらに、蒸気圧法は非破壊測定が可能であり、化学ポテンシャルの測定法の中では技術的にも精度的にも最高のものと言える測定法である。しかし、最大の欠点は温度変化の影響を大きく受けることである。1958年、Richards^らによって開発されたサイクロメーターは0.001°Cの温度調節が必要であった（Wet-Loop型）。その後、Rawlins^らやHsieh^によって改良が加えられ（Pelter型）、温度変化の影響が軽減されるようになって以来、欧米においてはこのサイクロメーターを用いた水分ポテンシャルの測定が盛んに行なわれている。

筆者は、根群域の内部での土壌水分ポテンシャルの分布を測定する目的でペルティエ型のサイクロメーターを使用したことがあるので⁴、以下にこの型のサイクロメーターに関して問題点をも含めて述べてみたい。

II 測定原理と測定装置

異種の金属の接点を通して電流が流れるとき、接触面で熱の発生または吸収がおこる。これをペルティエ効果という。ペルティエ型のサイクロメーターは、この効果を利用して熱電対に電流を流し、接点上に露を生じさせるのが特徴である。

一方、異種の金属を2ヶ所で接合して閉回路をつく

り、二つの接合点の温度が異なるように保つと、回路に電流が流れる。これをゼーベック効果という。したがって、露の生じる湿接点の他に乾接点を設けておけば、露の蒸発によって湿接点の温度が低下し、乾接点との間に温度差が生じることになり、ゼーベック効果によってペルティエ効果と逆方向の電流が発生する。その際、タイミングパルスで各々の効果が交互に作用するように調節してやれば、湿点を露点に保ったまま起電力を測定することができる。これより、土壌水と平衡した空気の相対蒸気圧が得られる。

可逆等温過程では、単位体積中の相対蒸気圧と水分ポテンシャルとの関係は次式で与えられる。

$$\psi = \frac{RT}{V} \ln \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

ψ ：水分ポテンシャル (bar) R ：気体定数

T ：絶対温度 V ：水のモル体積

P/P_0 ：相対蒸気圧

起電力は、一般に、乾湿点間の温度差に比例する。したがって、湿点周辺の相対蒸気圧および水分ポテンシャルとは反比例することになる。ここで用いている熱電対はクロム-コンスタンタン線で、理論的には20°Cにおいて1 bar 当り 0.75 μ V の出力が得られることになっている。

装置には、 μ V 計とサイクロメーター4本から成る市販品（米国 WESCOR 社製）を用いた（図1）。サイクロメーターは土壌に挿入するタイプの他に採土する型のものもあるが、ここでは前者に限って説明することにする。

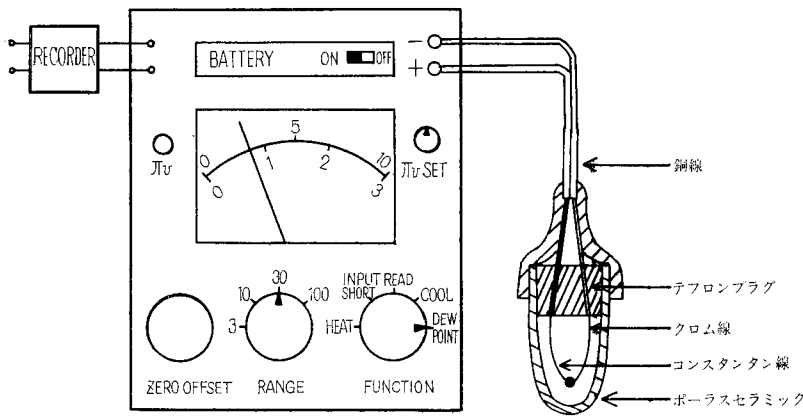
熱電対部分は、土壌に挿入しやすく、かつ急激な温度変化による影響を緩和するようセラミックでおおわれている。乾接点は μ V計の中に設けられている。 μ V計の測定レンジは4段切替で、フルスケール3, 10, 30, 100 μ Vになっている。ノイズは0.15 μ VでこれはほぼpF2.3の時の出力に相当する。

測定に先立ち、各々のサイクロメーターに固有の冷却係数（ π_v ）を求めておく必要がある。まず、

①スイッチを [INPUT SHORT] にする。

②コンスタンタン線を⊕側に、クロム線を⊖側に結線

* 滋賀県立短期大学農業部

図-1 μV 計とサイクロメーター

し、 μV 計の電源を入れる。

- ④サイクロメーターを大気中に放置して平衡させた後、スイッチを [READ] に切替え、レンジを $30\mu\text{V}$ にして指針を 0 に合わせる。
- ⑤スイッチを [COOL] にして熱電対の接点を濡らしてやると指針がゆっくり振れてくるので、 $20\mu\text{V}$ 程度になった時、スイッチを [DEW POINT] に入れたとともに、 $[\pi_v \text{ SET}]$ ツマミを回して指針が左右に振れないよう調節する。
- ⑥ $[\pi_v]$ ボタンを押し、フルスケール $100\mu\text{V}$ のスケールで指針の読みを読む。これが冷却係数 (π_v) である。

この係数は、湿点を正しく露点に保つためのタイミングパルスの間隔を決定するためのものである。なお、この値はサイクロメーターに結露する限界値でもあり、これ以上温度差が大きくなると結露しなくなる。したがって、この値は水分ポテンシャルの測定限界でもある。例えば π_v が $50\mu\text{V}$ の場合

$$50(\mu\text{V}) / -0.75(\mu\text{V}/\text{bar}) = -67(\text{bar})$$

より、 -67 bar ($\text{pF} 4.8$) が測定下限界となる。ちなみに、ここで用いたサイクロメーターは $52 \sim 54\mu\text{V}$ であった。

次に測定方法であるが、サイクロメーターを土壌中に埋設して平衡させた後

- ①スイッチを [INPUT SHORT] にしてサイクロメーターを結線し、電源を入れる。
- ② $[\pi_v]$ ボタンを押しつつ $[\pi_v \text{ SET}]$ ツマミで指針を冷却係数に合わせる。
- ③サイクロメーターの接点上にあらかじめ露があると安定した出力を得にくいので、測定に先立って、2～3秒間スイッチを [HEAT] に入れて接点上の露

を蒸発させる。

- ④適当なレンジを選び、スイッチを [READ] にして指針を 0 点に合致させる (0 調整は気長にやる必要があり 5 分位の時間が必要である)。
- ⑤スイッチを [COOL] にして接点上に露を発生させる。(2～3秒間)
- ⑥スイッチを [DEW POINT] に切替え、指

針が安定したところでその値を読み、 $0.75\mu\text{V}/\text{bar}$ で割ってやれば、水分ポテンシャルの値が得られる。指針が安定する時間は水分ポテンシャルの大小によって異なるが、約 5 分程で安定するようである。なお、筆者は 1 分以上同一の値を示せば安定というふうに判定している。

- ⑦測定後、スイッチを [INPUT SHORT] に戻す。というのが一連の手順であり、1 回の測定に要する時間は 10～15 分程度である。

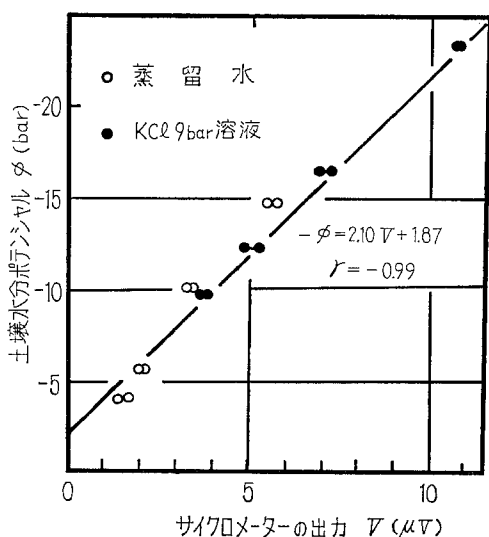
III 水分ポテンシャルの測定例

100 cc のサンプラー中に 3 cm の厚さに土壌 (ローム) を詰め、その中央部 (深さ 1.5 cm) にサイクロメーターを横向きに埋設し、蒸留水中に 24 時間以上浸して飽和させた。水分ポテンシャルは、脱水過程が連続的に測定できるよう遠心機で $\text{pF} 3.0, 3.5, 4.0, 4.2$ に相当する回転数で 1 時間脱水することによって与えた。遠心脱水後、サンプラーを密閉・静置して平衡させつつ出力を測定した。測定は温度の影響を受けないよう恒温室内 ($23 \pm 1^\circ\text{C}$) で行なった。平衡するまでに 50～100 時間を要した。一定の出力が得られたところでサンプラーを開け、土壌の中心部に穴をあけてベックマン温度計を挿入し、氷点降下度を測定して土壌水分ポテンシャル値のチェックを行なった。

次にサンプラーを KCl 溶液 (浸透圧 9 bar) 中に浸して飽和させ同様の実験を行なった。

各水分ポテンシャル (氷点降下法による実測値) に対するサイクロメーターの出力は図 2 のようであった。

これによれば、水分ポテンシャルとサイクロメーターの出力の間に直線関係があることが分る。即ち、土壌中に蒸留水を含む場合でも KCl 溶液を含む場合でも、水分ポテンシャルと出力はほぼ一致した対応を示してい



図—2 土壌水分ポテンシャルとサイクロメーター (No. 1) の出力

る。このことから、サイクロメーターが溶質の浸透ポテンシャルを含めたトータルポテンシャルに相当する出力を与えていることが分る。

一方、その対応の仕方は理論値とはかなり異なり、1 bar 当りの増加量は $0.75\mu V$ よりも少ない $0.5\mu V$ ほどになっている。この傾向は他のサイクロメーターに関しても同様であり、かつ、その対応の仕方に各々若干の相違がみられた。したがって、本来であれば、キャリブレーションは原理的に不要であるが、実際にはキャリブレーションをする必要があるであろう。その原因としては

熱電対をおおっているセラミックに問題があるように思われる。

余談になるが、遠心脱水による土壌の圧縮のためセラミックが破損するというアクシデントが起きた。したがって、キャリブレーションに当っては遠心機の使用は避けた方が無難であろう。

以上のように、キャリブレーションが不要であるという一つのメリットは無かったものの、土壌水分ポテンシャル、とりわけ溶質を含んだトータルポテンシャルを非破壊連続的にかつ短時間に測定できることから、大いに利用可能な器具であるように思われる。

参考文献

- 1) L. A. Richards, G. Ogata : Thermocouple for Vapor Pressure Measurement in Biological and Soil Systems at High Humidity, Science 128, 1089 ~1090 (1958)
- 2) S. L. Rawlins, F. N. Dalton : Psychrometric Measurement of Soil Water Potential without Precise Temperature Control, S. S. S. A. P. 31, 297 ~301 (1967)
- 3) J. J. C. Hsieh, F. P. Hungate : Temperature Compensated Peltier Psychrometer for Measuring Plant and Soil water Potentials, Soil Sci. 110, 253~257(1970)
- 4) 金木亮一 : サイクロメーターによる水分ポテンシャルの測定, 滋賀県立短期大学学術雑誌第17号, 42~46 (1976)