

圃場における水分張力の自動測定

粕 瀧 辰 昭*
長 谷 川 周 一**

Automated method for the measurement of soil water potential in fields.

Tatsuaki KASUBUCHI* and Shuichi HASEGAWA**

*Hokkaido National Agricultural Experiment Station,

**National Research Institute of Agricultural Engineering

1. はじめに

圃場における時々刻々変化するエネルギーと物質の状態を知るためには、性質の異なる多くの物理量を経時的に計測する必要がある。土壤水分ポテンシャル（水分張力）は土壤の水分状態、移動方向、駆動力の大きさを知るための不可欠の測定項目の一つである。圃場における土壤水分張力はテンシオメータで測定される。よく知られているように、この方法による測定領域は実用上、水分張力が 500 cm H₂O (0.05 MPa または pF 2.7) 以下と狭いが、植物は大部分がこの領域で活動し、かつ比較的湿潤なわが国では圃場がこの水分領域にある期間が長いことから、有効な方法として利用されてきている。水分ポテンシャルを含む多種類の測定項目を測定し、データ処理を容易にするためには、コンピュータを用いる自動計測法が最も適している。このため、テンシオメータによる圃場の水分張力をパソコンを用いて自動計測する方法を検討した。

2. 自動計測法

水分張力を電氣的に測定するために、圧力センサーを用いる必要がある^{1,2)}。しかし、圧力センサーには温度依存性の大きいものがあること、出力が経年変化すること、センサーが高価であることなどの問題点がある。これらの欠点を補うために、圧力センサー一つで多点測定ができるロータリ式フルードスイッチを利用することにした。使用したフルードスイッチは、一つの圧力センサーに対して12点の入力が切り替えられる。このうちの2点を用いて圧力既知の試料を測定することにより、セン

サーのキャリブレーションを行い、残りの10点で実際の土壤水分張力を測定する方法について検討した。さらに、遠距離にあるセンサー系を遠隔操作し、計測・演算・記録を行うことにした。

システム全体の概念図を Fig. 1 に示す。コンピュータからの指示に基づいてテンシオメータと圧力センサーとをフルードスイッチを介して連続させ、圧力の電氣的出力を A/D 変換しコンピュータに取り込むものである。以下、各部分について説明する。

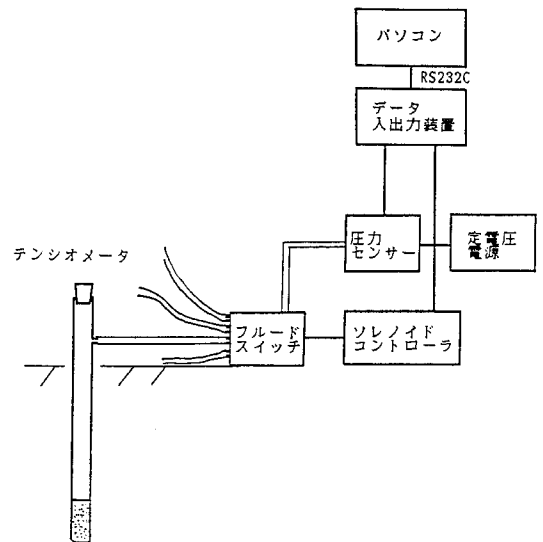


Fig. 1 装置の概要
Schematic drawing of the system for measuring soil water suction.

*北海道農業試験場

**農業土木試験場

1) ポーラスカップ

ポーラスカップについては、Fig. 2 のように市販のものを一部改良して用いた。改良した点は、カップに接続した硬質塩ビパイプの上端より約10cmの位置に、直径2mmのステンレスパイプを外側が下向きになるように斜めに取り付けただことである。このパイプに細いビニールチューブを差し込み、圧力を伝達させるようにした。ステンレスパイプの取り付け位置の設定は、テンシオメータ内に発生するガスを排除するのを容易にし（この点については別項で述べる）、カップから発生するガスをビニールチューブに入らないようにするためである。また、比較的細いビニールチューブを用いたのは、圧力測定に圧力センサーを用いるため水の移動がほとんど生じず、圧力の伝達だけができればよいからである。

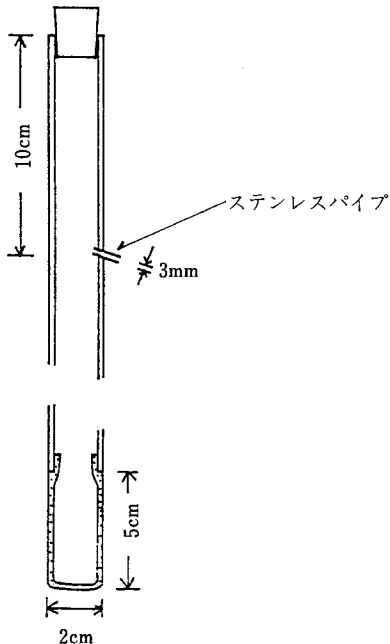


Fig. 2 ポーラスカップの概要
Porous cup with air pool at the top.

2) フルードスイッチ

写真にフルードスイッチを示した。このフルードスイッチは12本の流入口と1本の出口をもち、12本の流入口のうちの1本のみが出口とつながり、残りは密閉状態となる。この切り替えは、接点信号で駆動するロータリソレノイドで行う。1)でも述べたが、圧力センサーを用いるため水銀マノメータのように圧力変化に伴う水の出入りが無いので、系全体の応答は早い。しかし、どの程度の応答速度があるかについては、測定のためのプロ

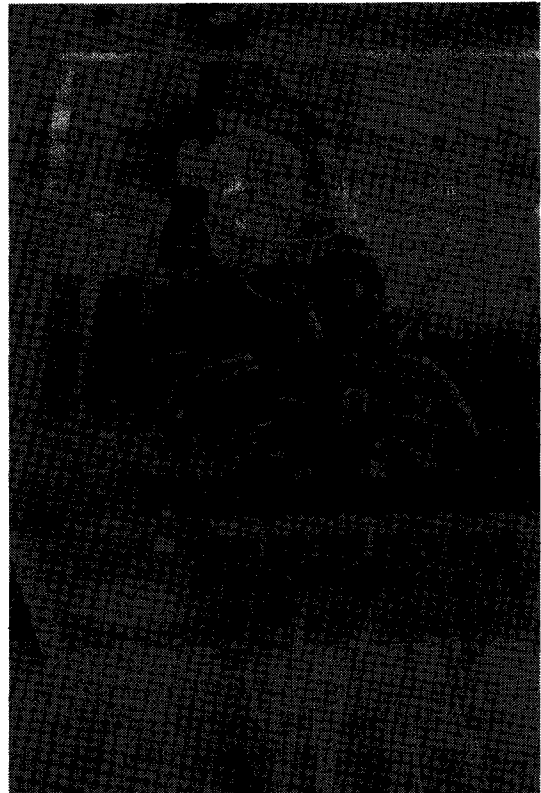


Photo. 1 フルードスイッチと圧力センサーの取付け現況
Photograph of the fluid switch and pressure sensor.

グラムを組む前に確認しておく必要がある。

フルードスイッチとこれの駆動装置は次の製品を用いた。

- ① フルードスイッチ：W1260, 1P-12T (303SS)
 - ② ロータリソレノイド：WS5-12
 - ③ ソレノイドコントローラ：CTLR2/S2-S6
- (①～③とも、SCANIVALVE社製)

フルードスイッチのコントローラには、リセットと1ステップずつ歩進するための2つの外部接点用端子が附属している。いずれも on-off 信号でよい。この端子にコンピュータ制御のリレーを接続することにより遠距離からの駆動が可能となる。誤動作を避けるために、接点間にコンデンサを入れておく。

3) 圧力センサー

圧力センサーはトヨタ TD4000-03 を用いた。測定範囲は0～300 cm H₂O である。実験室内で測定した圧力と出力との関係を Fig. 3 に示した。直線性は測定可能範囲内で非常に良いことがわかる。圧力センサーへの平衡

電圧は12Vのスイッチング電源を用いた。このセンサーの出力は電流(4~20 mm A)のため、温度依存性の小さい金属皮膜抵抗(40Ω)で電圧に変換して読み取るようにした。

4) 基準圧の設定

圧力センサーの温度依存性や出力の経年変化による誤差を避けるために、12本のうち2本を基準圧測定に用い、キャリブレーションを毎回行うことにした。基準圧測定は大気圧(基準圧)と-50 mm H₂Oの2点である。Fig. 3から明らかなように測定可能範囲内での直線性がよいためこの2点で十分チェックが可能である。Fig. 4に基準圧設定の原理を示した。実際の圃場では、フルードスイッチの設置位置の近くに基準圧の水柱に対応する深さの穴を掘って負圧用(-50~100 cm H₂O)のパイプを埋設する。

5) データの入出力

フルードスイッチの駆動と圧力センサーの出力の測定

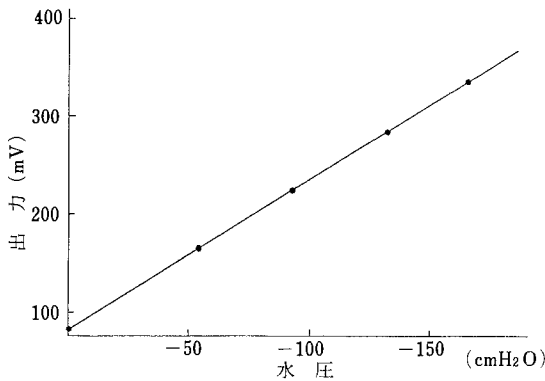


Fig. 3 圧力センサーの出力
Relation between water pressure and output of the pressure sensor.

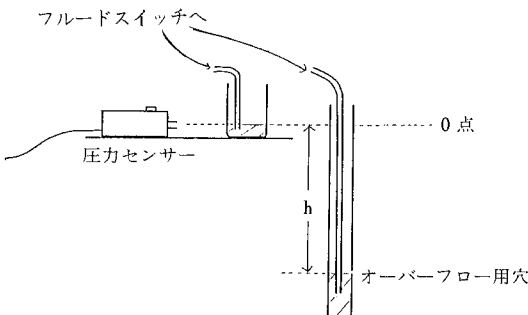


Fig. 4 基準圧の設定
Placement of fixed water levels at 0 and -h cm H₂O as references of water suctions.

とを自動化するためには、リレーの開閉と A/D 変換機能とを有し、パソコンで制御できるデータ入出力装置が必要である。これには RS232C インターフェイスを備えたグリーンキット88 (ESD 製)を用いた。RS232Cは通信用に開発されたインターフェイスであり、シリアル伝送方式である。計測用に開発されたパラレル伝送方式の GPIB インターフェイスに比べ、RS232Cはスピードが遅く、複数の装置を制御できないなどの制約が多いが、ほとんどのパソコンに標準装備されており、堅牢で長距離間通信などが容易に利用できる点に特長がある。パソコンは NEC の PC9801 を用いた。

3. 結 果

上記の装置を用いて実際の圃場で適用できるか検討を行った。

1) フルードスイッチの切り替えによる平衡時間

テンシオメータの圧力をフルードスイッチを介して圧力センサーで測定する場合、スイッチの切り替えに伴う圧力の安定化(平衡化)には若干の時間がかかることが予想される。このため、どの程度の時間を必要とするかを知るために、圃場で用いるポラスカップを水中に入れてスイッチ切り替えに伴う出力の変化を測定し、その変化の様子を調べた。Fig. 5より、時間にとまなう測定圧力の変動係数は小さくなり、圧力の大きさにかかわらず約20秒で変動係数が0.5%以下となることがわかる。

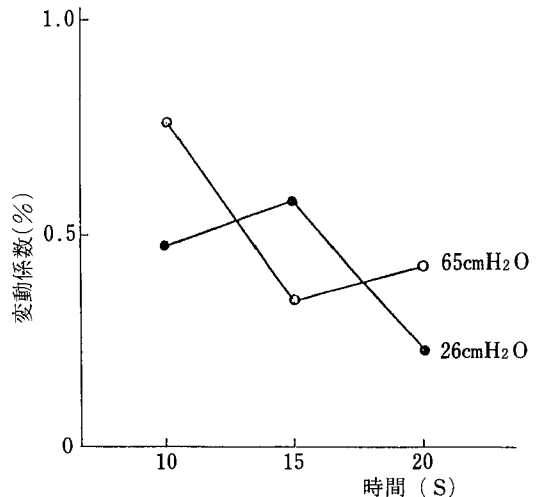


Fig. 5 フルードスイッチ切替えによる圧力の平衡時間に対する測定値の変動係数 (C.V.)
Coefficient of variance in measured values with time after connecting the pressure sensor with a cup through the fluid switch.

圃場の水分張力の測定値としては $\pm 1 \text{ cm H}_2\text{O}$ 程度で十分であり、この変動係数はそれを十分満足している。以上の結果にもとづいてフルードスイッチ切り替え後、安定化のための時間として、30秒程度を取ることにした。

2) 測定のためのプログラミング

計測のための操作手順を Fig. 6 に示す。この流れ図に従いプログラムを作成した。

①で測定時間間隔を設定し（通常30～60分）、②フルードスイッチをスタート位置に戻し（ホームポジション）、③1)の結果から約30秒の待ち時間を取り、④圧力を測定し、コンピュータに読み込ませ、⑤フルードスイッチを次のステップに進ませる。⑥一連の測定が終了したら、キャリブレーションを行い圧力に変換し、⑦ディスクに記録し、次の測定まで待ちの状態にする。

プログラム言語は BASIC を用いた。

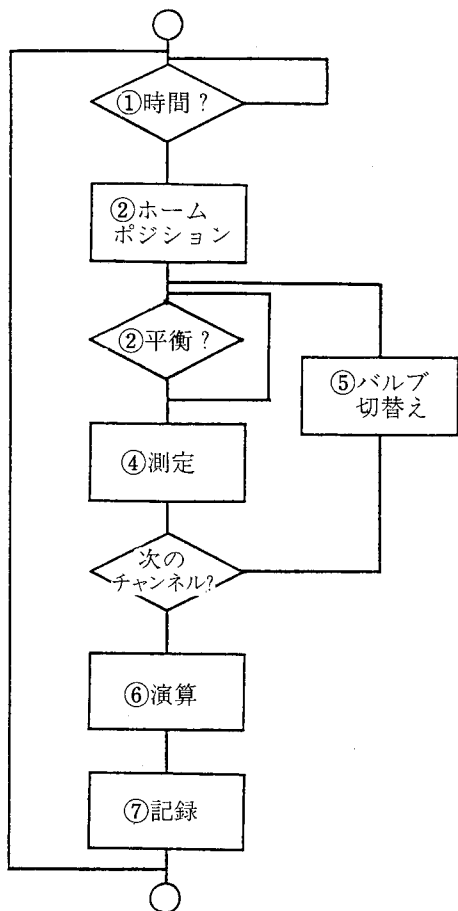


Fig. 6 測定の流れ
Flow chart of the measurement

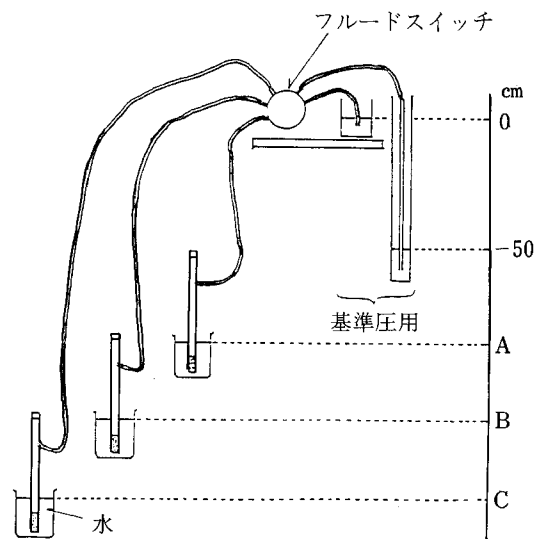


Fig. 7 測定システムの実験室内でのチェック概要（ポテンシャルの異なる位置(A,B,C…)にポーラスカップを設置する）

Laboratory test of a pressure measurement at different elevations A,B,C.

3) 実測例

実際に圃場で測定する前に、室内で Fig. 7 のようにして各種のポテンシャル状態を作り長時間安定的に作動することを確かめた。次にこの装置を圃場にセットして測定を行った。得られた結果を Fig. 8 に示した。図中の A 点でかん水を行った。A 点に到る各測定データから安定して測定されていることがわかる。気温の変化に伴う測定値の変動は見られない。A 点以降の平衡化の様子も連続的に観察することができる。

これらの結果は、本方法による水分張力の測定が有効なことを示している。

4) テンシオメータのガス抜き

テンシオメータの圧力を伝えるチューブ、ポーラスカップから気泡が析出すると正しく圧力を伝達できなくなる。このため測定装置内のガスを抜く作業は避けることができない。この作業に多くの労力を要することはこの装置を扱う誰もが経験することである。フルードスイッチを用いる場合にも当然この作業が必要となるが、従来より比較的容易に行うことができる。

すなわち、圧力センサーに連結したチューブをハンドポンプにつなぎ替え、フルードスイッチを駆動するためのプッシュ式のスイッチをフルードスイッチの近くに付加することにより、一人で数分以内に全部のガス抜きが

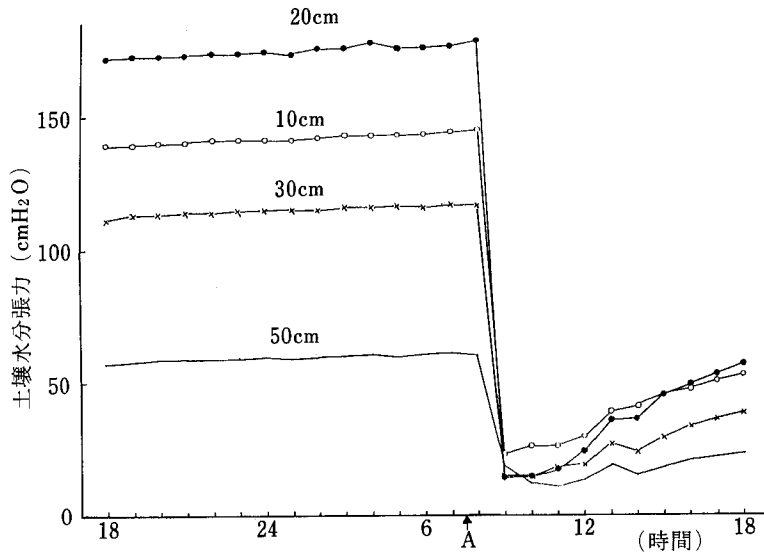


Fig. 8 屋外における土壌水分張力の測定例
Example of a measurement in the field using the system. Water was supplied at time A.

可能である。

ガス抜きの手順は以下のように行う。

- ① 圧力センサーへのチューブをハンドポンプにつなぎ替える。
- ② テンシオメータのゴム栓を抜く。
- ③ テンシオメータに水を補給する。(Fig. 2のテンシオメータのパイプの上端からステンレスパイプまでが、「水だめ」の役割をはたす。)
- ④ 手元スイッチでチャンネルを合わせる。
- ⑤ ハンドポンプで減圧し、水を通して気泡を抜く。
- ⑥ ハンドポンプの圧を大気圧に戻す。
- ⑦ テンシオメータに水を補給しゴム栓をする。
- ⑧ 上記の④—⑦を繰り返す。
- ⑨ 圧力センサーへのチューブをハンドポンプから元の位置に戻す。

5) 地下水位の測定

地下水位が比較的浅い位置にある場合は、地下水面近くにポーラスカップを埋設することにより容易に地下水位を知ることができる。この場合、測定できる地下水位は、圧力センサーの測定限界に依存する。すなわち、圧力センサーの測定領域が0から-300 cm H₂Oの場合には、3 m以内となる。ポーラスカップの埋設などから、2~3 mが限界と考えられる。

4. おわりに

フルードスイッチを用いたテンシオメータによる水分張力の自動測定法について検討した結果を報告した。装置の細部については、さらに改良すべき点もあるが、測定精度、計測の自動化、経済性などから本方法は十分実用可能であると判断された。

おわりに、フルードスイッチに関する情報を御提供頂いた北海道大学低温科学研究所、福田正巳氏に感謝します。

引用文献

- 1) Leslie Long, F (1984) : A field system for automatically measuring soil water potential, Soil Sci., 137, 227-230.
- 2) 西出 勤, 加藤善二 (1981) : 圧力変換型テンシオメータの問題点と現場水分測定法について, 土壌の物理性, 43, 21-28.

Summary

This paper describes a system enabling to measure automatically soil water suction in the field. The system is composed of a personal computer, an A/D converter, a pressure sensor, a fluid switch and porous cups. The fluid switch consists of one outlet tube for the sensor and twelve outlet tubes for the porous cups. Using two known pressures as references, soil water suctions were measured at ten depths and calculated easily within a few minutes by removing the drift of the pressure sensor.