

土壌の物理環境計測へのコンピュータの利用

粕 渕 辰 昭*

Applications of computer system to measure dynamic changes
of soil physical environments
Tatsuaki KASUBUCHI

1. はじめに

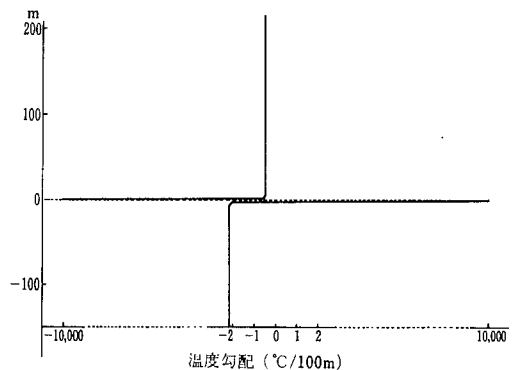
地球の陸地の表面を覆う粉体の薄い層——土壌では、太陽エネルギーを主たる駆動力とする物質とエネルギーのダイナミックな流れが生じている。物質としては土壌水や空気などがあり、エネルギーとしては熱が主たるものである。これらの流れは相互に影響しあいながら土壌の各々に対する透過能と土壌がおかれている諸条件とにより規制されている。

図1は、日中晴天時の地上から地下に至る温度勾配を模式的に示す。図から明らかなように土壌表面を最大とする温度勾配の分布が特徴的である。温度勾配の大小は当然それに比例する物質とエネルギーの流れが生じていることを示唆している。この流れは太陽の日周性、年周性をはじめ、降雨、風などのいわゆる気象と関連しつつ、同時に気象とは異なる独自の土壌の物理環境——いわゆる地象——を形成している。この環境下で地中生物や植物根の活動が営まれている。

時々刻々変化している土壌の物理環境の成立機構を明らかにし、それに基づきこの環境を制御するためには、まず変化している状態を計測し把握することが必要となる。しかしこれまで、それは技術的に困難であった。性質の異なる多種類の物理量（純放射量、気温、湿度、地温、土壌水分分布、蒸発量、風など）を経時的に計測しさらにそれらのデータ間の相互関係を検討するには多くの時間と経費を必要とするからである。このため、この種の実測は事例的なものたとえば24時間程度のものに限らざるを得なかった。³⁾

最近になり、コンピュータを用いた自動計測が可能となり、長期にわたる土壌の物理環境計測も始められている。^{4,5)}しかし、大型計算機を用いるこのようなシステムでは、どこでも容易に利用することはできない。そこで、小型の計算機（パソコン）を用いて、多種類のデータ収録および解析を行うことができれば、近い将来有効な方法となると考えられる。

この報告では、パソコンを用いた土壌の物理環境の自動計測・解析システムについて検討した結果について紹介する。なおこのシステムは、まだ検討を開始して間もないため未解決の部分も多く、現状における結果と問題点の指摘の範囲を出ないことを前もっておことわりし、御了解をいただくこととしたい。



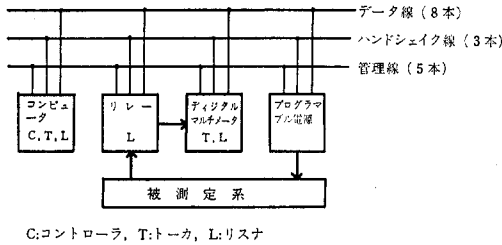
図—1 地表周辺の温度勾配の模式図

2. 計測用インターフェイス

コンピュータを用いて計測するためには、コンピュータと計測機器とを結ぶインターフェイス (Interface) が必要である。これには GPIB (General Purpose Interface Bus) を用いるのが便利である。これはもともと米国ヒューレット・パッカド社が提案したものであり別名 HPIB (Hewlett Packard Interface Bus) とも呼ばれている。またこの方式は1975年にアメリカ電気電子学会 (Institute of Electrical and Electronic Engineers) により標準インターフェイスバスとして認められているので、承認番号をとって、IEEE-488 バスとも呼ばれている。いずれも同じであるが、ここでは GPIB と記し、簡単に特徴を紹介する。

GPIB は図2に示すように16本の信号線から構成されている。¹⁾データは8本の線を用い8ビット単位 (ビット・パラレル、バイト・シリアル) で転送され、データ転

* 農業技術研究所



図—2 GPIB の構成例

送の制御はハンド・シェイク線と呼ばれる3本の線で行なわれる。残りの5本は管理線と呼ばれ、システム全体をコントロールするのに用いられる。実際にはこの16本を一本に束ねたバスラインとし、コネクタ1ヶで測定機やコンピュータに連結できる。

GPIB を用いると以下のような長所がある。

- ① GPIB 規格のものは互換性がある。このため異ったメーカーの製品をとり混ぜて一つのシステムとして使用できる。(現在多くのメーカーから GPIB 仕様の計測機器が販売されている。)
- ② 接続が容易である。
- ③ 応答スピードが異なる機器の混用ができる。
- ④ データだけでなく機器の制御、相手の選択などの命令も送れる。
- ⑤ 一つのバスラインに15台までの機器が接続できる。(図2)

なお、データや命令に用いられる信号は、ASCII コードで TTL レベルに統一されている。

GPIB によるデータおよび命令のやりとりは合理的に整然と行なわれる。このやり方は、一つの委員会にたとえることができる。委員長がコンピュータでありコントローラ (Controller) と名付けられている。他の機器は委員に相当し、それぞれが固有の名前をもっている。実際にはこの名前は各機器に附属しているデジタルスイッチで決定される。データを出す機器すなわち発言できる機器は、システムでは1度に1台しか許されない。この機器をトーカー (Talker) という。データや命令を受けとる (聞く) のは複数が可能であり、リスナ (Listener) と名付けられている。トーカーおよびリスナの指定は委員長であるコントローラのみが行なうことができる。コントローラ自身もトーカーおよびリスナになることができる。

実際には、まずコントローラから全機器に待機命令を出したのちトーカーとリスナを指定する。次に指定されたトーカーとリスナとの間でハンドシェイク線により制御しながらデータの授受を行なう。以下これをくり返すこと

になる。この他、緊急時たとえば故障のときには優先して発言できるサービスリクエスト機能などもある。このようにして、スムーズにシステムが運営される。

このシステムの欠点としては、

- ① 機器を接続するバスラインが総計で 20 m 以内であること。
 - ② 応答が非同期のため、全体のスピードが、そのシステムの最も遅い機器に依存すること。
 - ③ 一般にやや高価であること。
- などである。

次に、実際にこれを用いて計測した一例について記す。

3. 計測例

GPIB システムを用いて、ライシメータおよびその周辺における気象および土壌の物理環境を計測した。

(1) 測定項目

土壌の物理環境要因として何を選び、どのように計測するかは最も重要な課題であるがここではとりあえず次の諸項目について測定することにした。*

気温：10点 (5, 10, 20, 30, 40, 60, 100, 150, 200, 250 cm), 地温：9点 (0, 0, 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50 cm), 表面温度：1点, 蒸発計：1点, 土壌の熱伝導率 (水分率)：5点 (5, 15, 25, 35, 45 cm), 純放射量：1点

これらを図3のように配置した。

(2) 測定方法

計測システムとして、YHP 3054 A を用いた。これは、リレーボックス、電圧および抵抗の計れるマルチメータおよびタイマーから構成される YHP-3497 A ユニットとコントローラとなるデスクトップコンピュータ YHP-9826 A とがセットになったものである。このほか熱伝導率計測用のヒータ電源として、プログラマブル電源 (YHP 6002 A) を用いた。このシステムは、リレーの開閉、電圧などの読みとり、タイマーの設定、供給電源電圧の設定などすべてコンピュータの指示により動作する。電圧は $5\frac{1}{2}$ 桁で $1\mu\text{V}$ まで、抵抗は、 $5\frac{1}{2}$ 桁で $1\text{m}\Omega$ まで測定可能である。このため、熱電対による温度測定が増巾なしに可能である。またオートレンジ機構により、レンジの異なる電圧が、順次、高精度で読みとれる。たとえば、放射温度計はフルスケール 10 V, 熱電対は mV オーダであるが、それぞれ自動的に最適のレンジに設定される。

今回の場合、3497 A のリレーボックスの端子に各センサーないし測定機の出力端子を結線することによりシステムを構成した。

* 1982. 11. 2~3, 農業技術研究所ライシメータにおいて測定

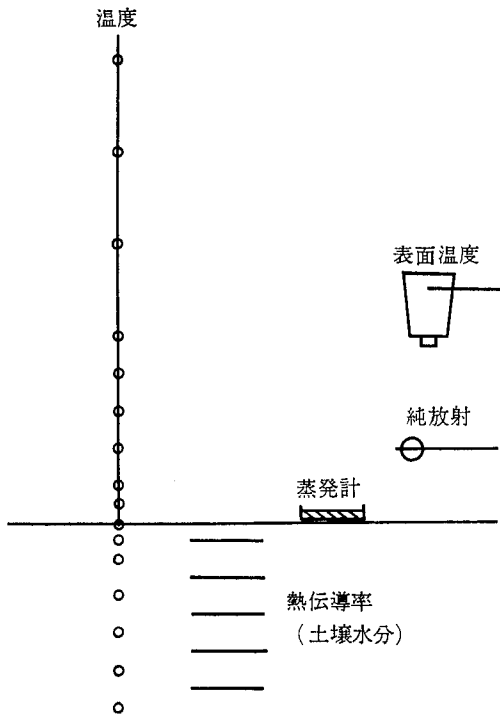


図-3 測定システム

測定項目に対応するセンサーについて次に簡単に記す。

気温は簡単な気温計を自作した。上端に小型の排気ファンをとりつけた塩ビパイプに、前述の各高さでアクリルの小さなパイプを垂直に取りつけた。このアクリル管の先端に熱電対を置き、吸い込んだ空気温度を測るようにした。アクリルパイプは断熱のため水道管用発泡スチロールで覆った。

地温は熱電対の先端を絶縁チューブでシールして用いた。

表面温度測定は、熱電対のほか、パーンズ社製の赤外線放射温度計を用いた。

純放射は、英弘精機製のフック型放射収支計を用いた。

蒸発量は、直径 20 cm、深さ 5 cm のシャーレに水を張り、このシャーレに直流型差動トランスの軸にフロートとしてピンポン球を直結した水位計を取りつけて測定した。1/10 mm 以上の精度が得られる。

土壌水分は、自作した熱伝導率測定用プローブ²⁾を各深さに埋設し熱伝導率を測定したのち、熱伝導率と水分率との関係から変換して求めた。

測定のためのプログラムのフローチャートを図4に示す。図から明らかなように、各項目を順次測定すること

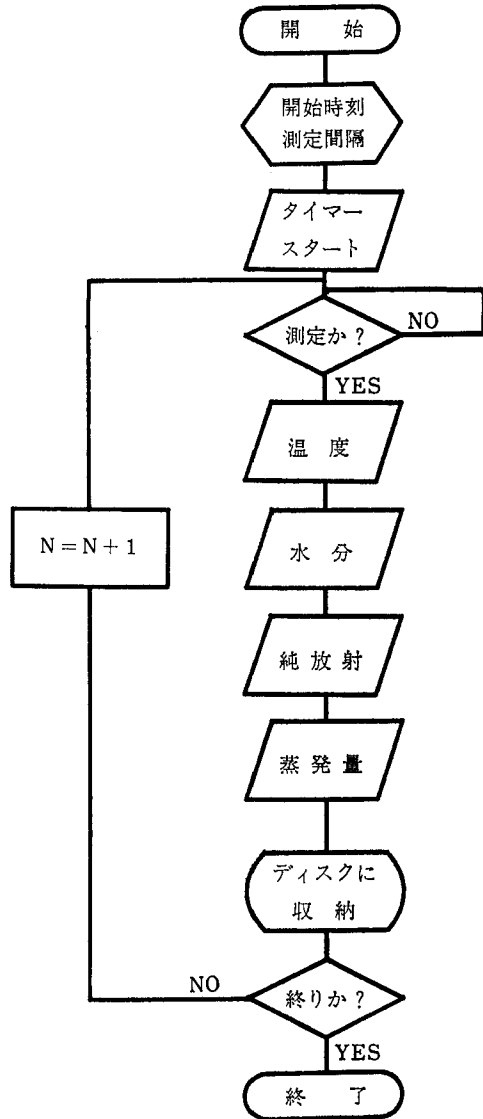


図-4 測定システムの流れ図

とし、1シリーズを30分とした。各シリーズの測定終了後、フロッピーディスクにデータを収納させた。

図5には図4の一部である蒸発計のデータの読みとりのプログラムを示す。文中の OUTPUT 文が計測機(3497 A, システムでは 709)への動作指令であり、ENTER 文が計測機からコントローラへのデータの転送を指示している。1秒おき(WAIT 1)に10回読みとりその平均値を記録するようにしている。1.82は、差動トランスの出力の長さへの変換定数である。

(3) 結果

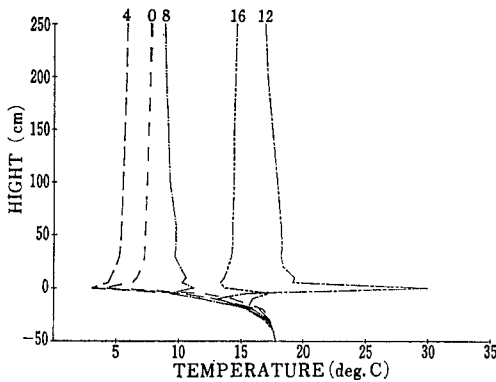
この測定によって得られたデータをディスクから直接プロッターで図化するプログラムを作成した。結果の例を図6~8に示す。図6は高さ別の温度分布を示す。こ

```

560 REM EVAPORATION
570 OUTPUT 709; "VCO VR5 VT1"
580 Ev=0.
590 OUTPUT 709; "AC 40"
600 FOR J=1 TO 10
610 ENTER 709; V
620 Ev=Ev+V
630 WAIT 1
640 NEXT J
650 Ev=Ev/18.2
660 PRINT Ev

```

図—5 蒸発計のプログラム



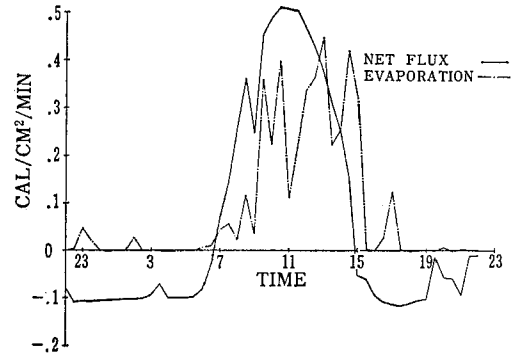
図—6 気温と地温の経時変化
(図中の数字は時刻を示す)

の図からも明らかなように土壌表面を最大振巾とする温度分布が明瞭である。地温の振巾は 40 cm 附近でなくなっている。図7は純放射量と蒸発計蒸発量との関係をみたものである。両者とも同一のスケールで示した。蒸発量は純放射との関係が大きいが若干のズレがみられること、純放射以外の要因もあることがうかがえる。水分(図8)は表層でやや変化しているが地中深くでは変化が少ない。この原因として、表層における変化が水分のみによるのか、あるいは温度依存性も含まれているか等については、今後の検討が必要とされる。

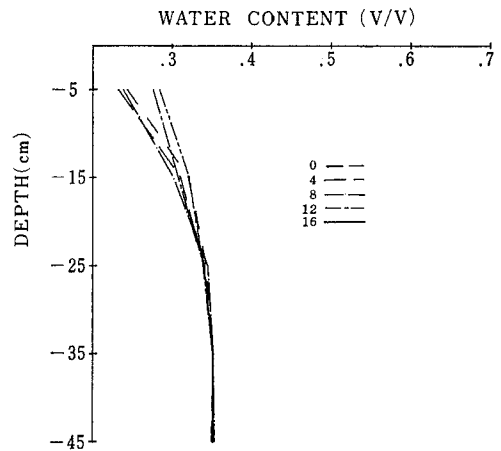
4. 問題点と今後の課題

従来のアナログ方式による多点データの読み取り記録、換算、演算、図化といったプロセスが、コンピュータを用いたシステムでは即時に行なうことができる。もちろん、図化だけでなく作表やデータ間の比較も容易である。かつて24時間計測した類似の測定データの処理に1ヶ月以上を要した経験のある筆者にとっては、今回の測定法に隔世の感さえおぼえた。とはいえ、これはあくまでテストケースであり、今後多くの検討すべき課題を残している。

たとえば、



図—7 純放射および蒸発計蒸発量の経時変化



図—8 土壌水分の経時変化
(図中の数字は時刻を示す)

- 1) 土壌の物理環境として何を、どこまで測るのかについて検討すること、
- 2) 気温や純放射量など比較的变化の速いデータの計測方法をどうするか、具体的には各項目を順次測定している間に变化した部分をどのようにカバーするか、
- 3) 土壌水分についても、さらに測定法上の検討が必要であること、
- 4) 土壌表層近傍の変化の激しい部分をどう取り扱うか、
- 5) 装置全体を安価にしかつ長期にわたって安定したデータをとるための工夫、などがある。

これらの課題を解決することにより、近い将来、気象観測に対応する土壌の物理環境——地象観測システムができあがるであろう。これにより、最初に述べたように、土壌中の変化に対応した測定とそれに基づく制御へとつながっていくことが期待される。

引用文献

- 1) 岡本勉夫：IEEE-488 標準デジタル・バスとその応用，インターフェイス No.38, 70~122 (1980)
- 2) Kasubuchi, T. : Twin transient-state cylindrical-probe method for the determination of the thermal conductivity of soil. Soil Sci. 124, 255-258 (1977)
- 3) 粕淵辰昭：地下水位一定条件下における土壌の水・熱収支，農土論集, 75, 20~25 (1978)
- 4) 佐倉保夫：水収支観測施設，筑波大学水理実験センター報告 1, 87~90 (1977)
- 5) 林 陽生：熱収支観測システム，同上, 84~87 (1977)

質疑応答

相馬（北海道大）：熱伝導率から水分量を推定する場合，熱伝導率の温度依存性が問題となる。地表近くの温度変化の激しいところでの補正は行なったか。

粕淵：今回は補正していない。しかし不飽和状態の土の熱伝導率は 10°C 変化することにより，2~3%変化するので，補正は必要と考えている。

岩佐（農技研）：地表近くの A 層では，土壌は構造物をもち，水の移動する形態は複雑であると考えられる。水蒸気体で移動する水は測定可能か。

粕淵：むつかしいが重要な問題である。蒸発は地表近くで起きており，表面の数ミリから数センチの範囲での水の流れを形態を含めて測定する必要がある。