

巻 頭 言

作物栽培のための土壌物理

久 保 田 徹*

Toru Kubota

近年海外研究技術協力の進展と共に、私達農業技術者が熱帯農業を体験する機会が多くなった。筆者もその一人であるが、土壌と水に恵まれて且つ作り易い水稻に馴染んだ日本人としては熱帯農業、とりわけきびしい熱帯畑作からは学ぶことが多い。様々な土壌とその上に営まれる農業を見て歩くと、畑作生産が深く土壌に関わっていることに気づく。ある土壌に栽培されている作物がその土壌の性質とよく適合しているのである。タイ国の一例を挙げるならば、灌水やマルチの試験で収量レスポンスの低いキャッサバは砂質の灰色ポドソル性土壌に、また水分ストレスと土壌高温に弱いトウモロコシは土層の深い、構造の比較的発達した埴質のグルムソルと赤褐色ラテライト性土壌に選択的に栽培されている。これらの組み合わせは、社会経済的要因もあるが、土壌の排水性、有効土層深、保水性、土性と土壌構造などの土壌の物理性が重要な位置を占め、それに対する作物の生理的要求が農民の試行錯誤を経て合理的に組み合わせられたものと思われる。熱帯土壌の生産力は作物の特性を無視して論ずることはむずかしく、土壌サイドだけの試験研究や土壌の評価は実際に役立たないことがある。

この土壌と作物の調和の原理は我国の集約農業において常に思い致すべきことと思う。最近、転換畑技術の研究において多くの畑作物を水田に栽培するようになり、作物個々の根の生理特性を明らかにすることがいかに重要であるか改めて考えさせられる。根の酸素要求量の高い大豆やマメ科作物は土壌構造に鋭敏で湿害を被り易い。一方酸素要求量の低いソルガムは、おそらくそのためにグライ層中にも伸長できるようである。酸分泌力の旺盛な大豆根は近傍土壌を溶かし、崩壊あるいは凝集させる。また重粘土のコンシステンシーを変化させるデータも報告されている。このような個々の作物の根がもつ性質、培地に対する要求と培地への働きかけの合目的性を明らかにすることによって始めて正しい土壌管理の方向が把握できると共に、作付体系、連作障害、土壌病害等の今日の問題に積極的に対処できると思うのである。最近海外で soil-root system のシンポジウムが活発に開催されるのも理由なしとしない。

植物は動くことができないから根域の物質移動が重要であることは言うまでもない。土壌構造、土壌溶液、水・ガス・熱の動き、粘土や微生物胞子のコロイド化学的挙動を扱う土壌物理の役割は大きく、研究の深化発展が望まれる。一方、一層農業生産に役立つために時には植物サイドからのアプローチも必要である。根の生理に関する見解が十分でない現在、酸素・炭酸ガス分圧、塩類濃度、温度、萎凋点等の種々の作物根に対する臨界点を明らかにすることはグローバルに役立つものと思われる。また根圏に焦点を当てた各種測定法の開発が望まれる。それから圃場から問題を抽出して取り組む姿勢が大事であり、若い研究者の方々には海外も含めて広く農業を見て頂きたい。

土壌物理研究会の発展のために、物理関係者ばかりでなく、専門を異にする人達の参加と発言を期待します。

(1983. 7. 4受理)

* 中国農業試験場

特 集

第 24 回 土壤物理研究会シンポジウム

「土壤環境の新しい現場計測」

土壤物理学は、1930年代に確立されて以後、土壤水の運動法則をはじめとして、土壤中での多くの物理的諸法則の発見に大きく寄与してきた。しかし、ここで得られた成果の多くは、比較的均質な実験室的スケールの土壤で得られたものであり、それらの成果をfieldの土壤に無批判に適用すると、失敗する場合が多い。fieldの土壤は実験室的スケールの土壤のように均質でなく、本来、不均質なものだからである。当然、fieldの土壤中で生起する諸現象を解明するためには、実験室的スケールの土壤に対するとは異なった測定手法・解析方法が要求される。しかし、残念ながら、まだその試みは緒についたに過ぎない。“fieldの科学”の確立は、土壤物理学の当面する重要な課題の1つである。近年、コンピューターの発達とともに、関連諸分野において多くの新しい測定手法の開発が認められる。現時点において、これらの諸成果のfield土壤への適用例を紹介することは、“fieldの科学”の発展にとって大きな意味をもつと確信している。

(岩田)

- 1 土壤の物理環境計測へのコンピューターの利用……………粕渕 辰昭 (農 技 研)
- 2 地形情報と土壤の物理性……………三浦 健志 (岡 山 大)
- 3 リモートセンシングによる農用地の基盤調査……………深山 一弥 (北海道農試)
- 4 カラー画像データシステムを用いた二、三の土壤物理性の判定……………谷脇 憲 (農研センター)
- 5 総合討論……………座長 河野 広 (農土試), 長野間 宏 (農研センター)

(1982. 11. 12 於 筑波大)

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

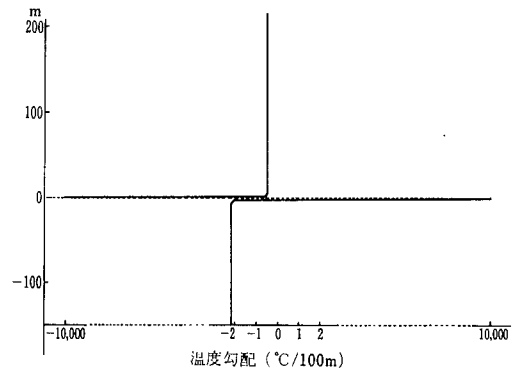
地球の陸地の表面を覆う粉体の薄い層——土壌では、太陽エネルギーを主たる駆動力とする物質とエネルギーのダイナミックな流れが生じている。物質としては土壌水や空気などがあり、エネルギーとしては熱が主たるものである。これらの流れは相互に影響しあいながら土壌の各々に対する透過能と土壌がおかれている諸条件とにより規制されている。

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。



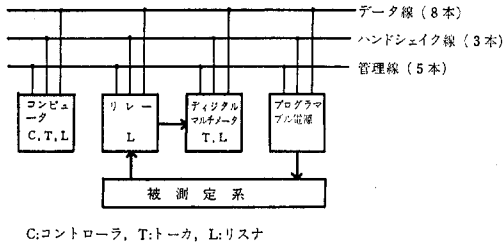
図—1 地表周辺の温度勾配の模式図

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

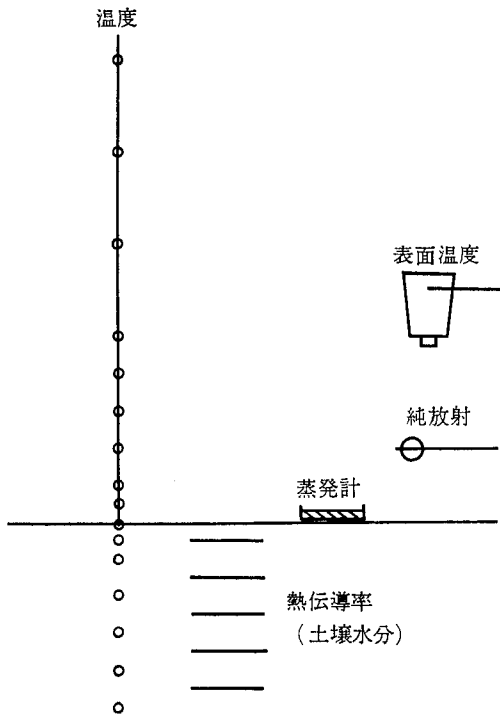


図-3 測定システム

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、前述の各高さに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

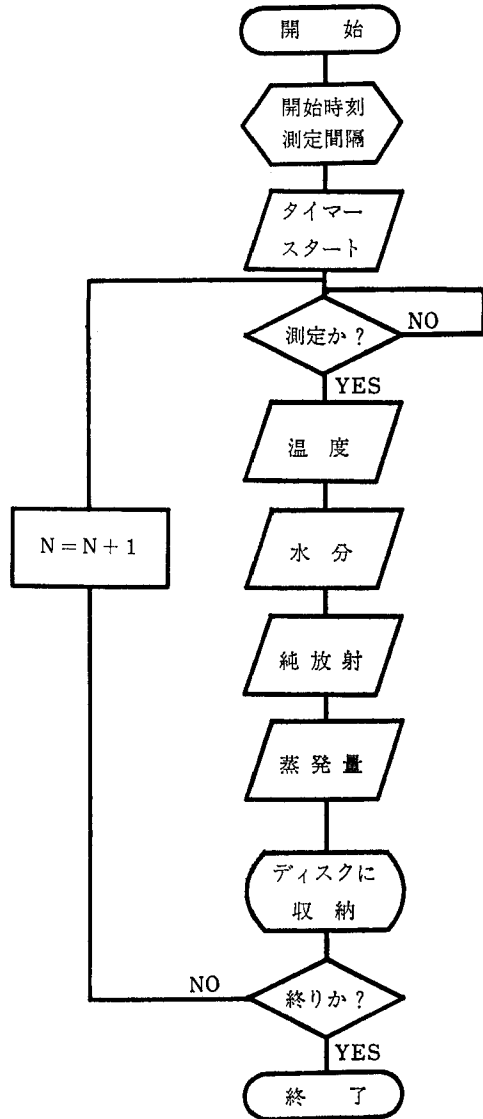


図-4 測定システムの流れ図

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

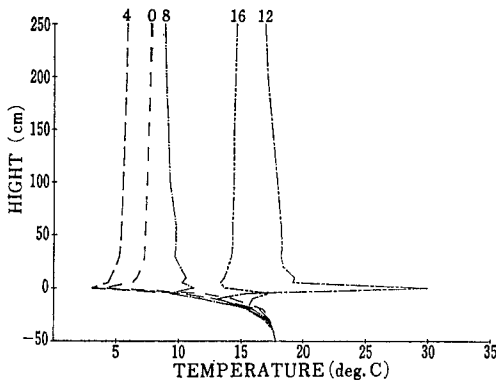
この測定によって得られたデータをディスクから直接プロッターで図化するプログラムを作成した。結果の例を図6~8に示す。図6は高さ別の温度分布を示す。こ

```

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



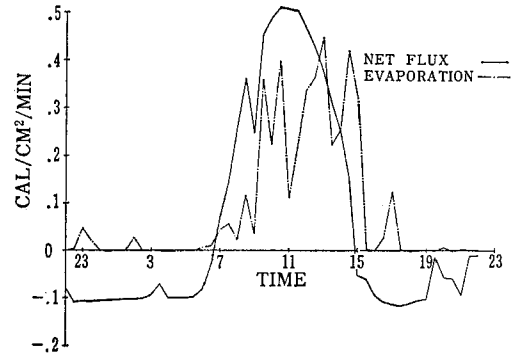
図—6 気温と地温の経時変化
(図中の数字は時刻を示す)

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。

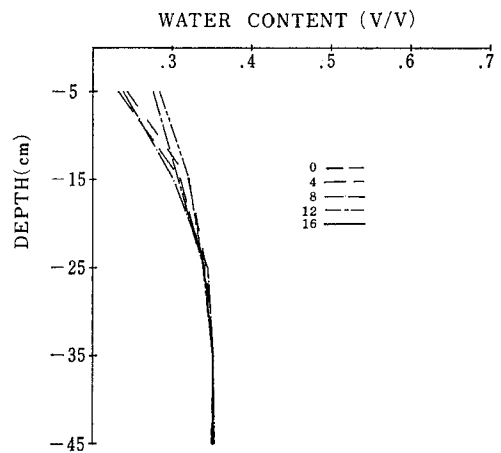
4. 問題点と今後の課題

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、今後には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，土壌は構造性をもち，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。

地形情報と土壌の物理性

三 浦 健 志*

Topographical information and soil physical conditions

Takeshi MIURA

Faculty of Agriculture, Okayama University

I はじめに

傾斜地では、地形が複雑なため、わずかに距離が隔たっても植生をはじめとする地表の状態に大きな差異がみられる。土壌水分量、粒径分布、土壌温度などの土壌環境もそれにたがわず、場所、斜面の部位などにより大きく異なることが確認されている。本論文では、このような傾斜地での土壌の諸環境の場所的差異が地形情報（主として地表面の曲率）と深い関係があることを、実測値をもとに、次の手順に従って明らかにする。データ等は奈良県五条市の山成り造成樹園地での観測結果を引用する。

◦斜面や斜面の部位による土壌環境の相違を概観する。

◦地表面の曲率という概念を導入して、尾根・谷といった定性的な地形表現の定量化を図る。

◦地形図から地表面の曲率およびその分布を計算する簡単な方法を示す。

◦日射量が土壌の水分環境に及ぼす影響をみる。

◦尾根と谷での土壌水分量の差異が傾斜地の熱収支構造を特徴づけていることを示す。

以上のようにして、傾斜地の土壌水分量と地表面の曲率との関係を中心に、地形情報と土壌の物理性との関係を論じる。

II 調査圃場の概況と土壌環境測定地点の配置

調査は、Fig.8 に示す奈良県五条市南部の椋辻畑地灌漑モデル圃場で、1976年から1979年にかけて行った。椋辻モデル圃場は、標高320~380m、傾斜5~35°、山成り工で造成され造成当初から30数年が経過している。植栽状況は、樹令5~35年生、平均樹高3.5mの柿が植えられている。谷部にはプラム、また幼木のところにはみょうがも合せて栽培されている。Fig.8中のNo.1~24、A~Dは土壌水分量をはじめとする土壌環境・土壌の物理性の測定地点である。

III 斜面や斜面の部位による土壌環境の差異

Fig.8のA、B、C、D地点をそれぞれ斜面上・中・下部、谷部と位置づけて土壌環境の測定が行われた。その測定結果を以下に示す。なお、調査地区の土壌は真比重が2.7前後、塑性図から中圧縮性無機質シルトであることが確認されている¹⁾。

1. 粒度組成

斜面の部位の異なる三地点（A、B、C地点）の土壌（開畑後20年経過）と開畑直後の土壌（原土）の粒径分布（赤江ら；1977）¹⁾にNo.6地点の土壌の粒径分布を加筆してFig.1に示す。斜面上部から中部、下部へと斜面を下るにつれて、粒径加積曲線は左へすなわち粒径が細かい方へよっている。これは、微細粒子の含有率が斜面を下るにつれ増加していることを示している。

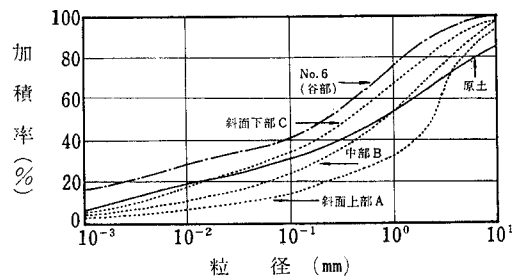


Fig. 1 粒径分布状況

2. 仮比重の鉛直分布

斜面の各部位における仮比重の深さ方向の変化をFig.2に示す（赤江ら；1977）¹⁾。表層は部位によらず、仮比重は小さく、間隙率が高いことを示している。谷部では下層まで仮比重が小さいのに対し、斜面上部・下部では深さが増すにつれ仮比重は大きくなっている。すなわち、間隙率の大きい（土壌構造がよく発達した）土壌の土層厚は、斜面上部・下部では薄い、谷部ではかなり厚くなっていることがわかる。

* 岡山大学農学部

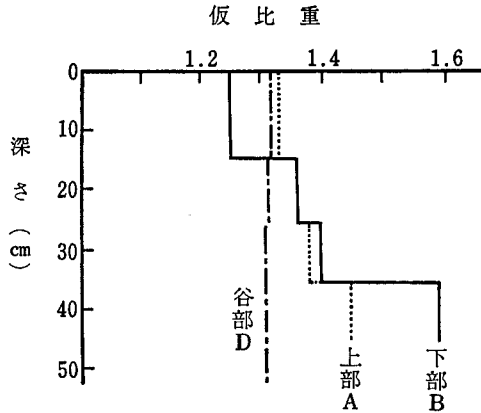


Fig. 2 仮比重の深さ方向の変化

3. 土壌水分張力の経日変化

テンシオメーターによって測定された 20 cm 深さでの pF の変化が Fig.3 に示されている (三野; 1978)²⁾。斜面上部では pF の変化幅が大きく、乾燥時には最高 pF 2.8 まで上っている。それに対して、同時期、斜面下部では pF は 2.4 程度しか上昇していない。このように斜面下部では上部に比べ、湿潤状態にあることがわかる。

4. 土壌水分プロフィールとその変化

土壌水分プロフィールを中性子水分計の計数値で表したものが Fig.4 である (三野; 1978)²⁾。計数値は土壌の体積含水率に比例すると考えられる。なお、使用された中性子水分計の水中の計数値は約 18000 cpm である。1977年 7月13日の水分プロフィールは右側の曲線で、7月18日のそれは左側の曲線で表されており、その間の斜線で示されている部分が7月13日から7月18日の5日間に減少した水分量を示している。これをみると、谷では表層のみで水分量が減少しているのに対して (表層消費型)、斜面上部では全層にわたって水分量の減少がみら

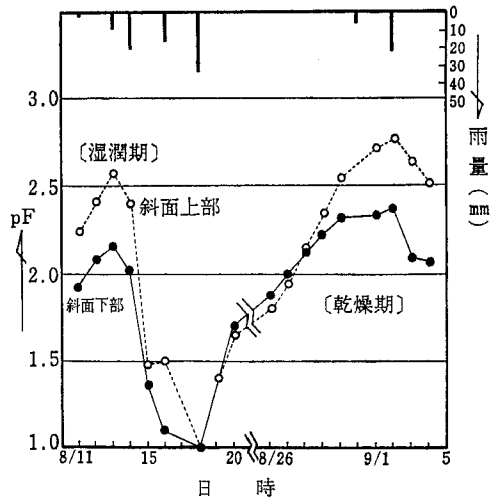


Fig. 3 土壌水分張力の pF の経日変化

れる (全層消費型)。また、水分量の勾配から推測すると、斜面上部ではさらに深層への水分移動が、谷部では深層から表層への水分移動の存在が予想される。

5. 地表面近傍の温度環境と日射量との関係

1978年11月6日の No.1~7 地点における 7:00~17:00 の平均地温 (2 cm 深さ)、平均気温 (50 cm, 150 cm 高さ) をその地点の受ける 1 日間の日射量に対してプロットしたのが Fig.5 である (三浦ら; 1980)³⁾。地表面近傍の温度環境は斜面により大きな差異があり、平均地温はその地点の日射量と指数曲線的関係を示し、平均気温は日射量と直線関係を示す⁴⁾。このように、日射量は地表面近傍の温度環境に大きな影響を及ぼしており、とくに傾斜地では日射量は場所により大きく異なるため、地表面近傍の温度環境を考える場合地表面の受ける日射の大小に注意を払う必要があるであろう。

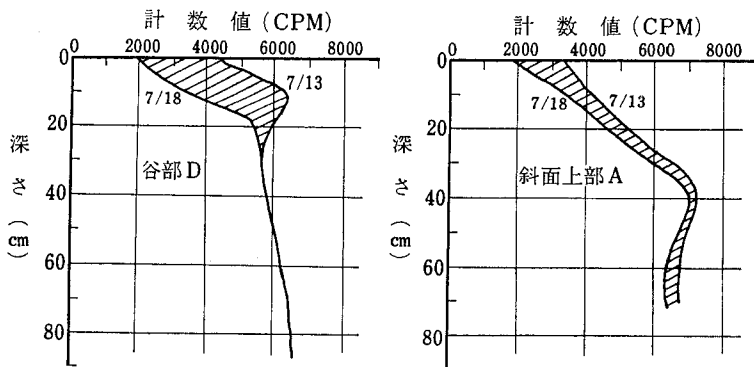


Fig. 4 土壌水分プロフィールとその変化

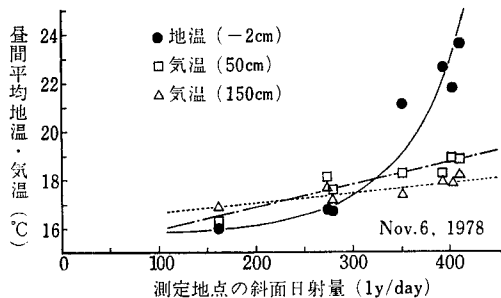


Fig. 5 昼間平均地温・気温と測定地点の斜面日射量との関係

IV 地表面の曲率による地形の定量化

以上を参考にして、表層の土壌環境・物理性をまとめると次のようになる。

粘土やシルトなどの微細土壌粒子が雨水の流出とともに斜面の上部から下部へ流亡し、斜面下部や谷部では微細粒子の含有率が高くなり、逆に上部ではレキ分が増加する。また間隙率の高い土層は上部で薄く谷部で厚くなる。それにともない、保水性は谷部で大きく斜面上部・尾根で小さくなる。このように谷部では受皿である土壌の保水性もよく、さらに重力により水分も（地表水、土壌水分とも）流入してくるのでなお一層湿潤となる。また、尾根や斜面上部ではこれと全く逆の傾向を示す。かくして傾斜地では尾根と谷といった両極の水分環境を示す地域に分化してゆくと考えられる。

以上の説明は尾根・谷で代表される斜面の部位による土壌環境・物理性の違いを定性的に述べたものである。一步進んで、傾斜地の様々な物理現象を定量的に明らかにするには、どこまでが尾根であり谷であるのか、またその程度をどの様に表現するのかといった地形に対する客観的な評価尺度が必要となってくる。

1. 地表面の曲率と水分・物質収支

地形に対する客観的な評価尺度を得るため、地表面の曲率という概念を導入すればよいと考える。ある地点の水分・物質収支は、上方からの流入量と下方への流出量の差として表される。上方からの流入量は上方斜面の勾配により、下方への流出量は下方斜面の勾配により表されるとすると、流出量の差である収支はその地点の地表面の勾配の変化率である曲率 ($\nabla^2 Z = \text{div}(\text{grad } Z)$, Z : 標高) に比例すると考えられる⁵⁾。この地表面の曲率と水分・物質収支の概念を示すと Fig.6 のようになる (MITSUNOら; 1980)⁵⁾。 $\nabla^2 Z < 0$ のところは地形が凸なところを、 $\nabla^2 Z > 0$ のところは凹なところを表し、 $\nabla^2 Z = 0$ は変曲点を表す。水分・物質収支からみると、 $\nabla^2 Z < 0$ のところは支出過多、 $\nabla^2 Z > 0$ のところは収入過多となる区域を表し、 $\nabla^2 Z$ の絶対値の大小によりその傾

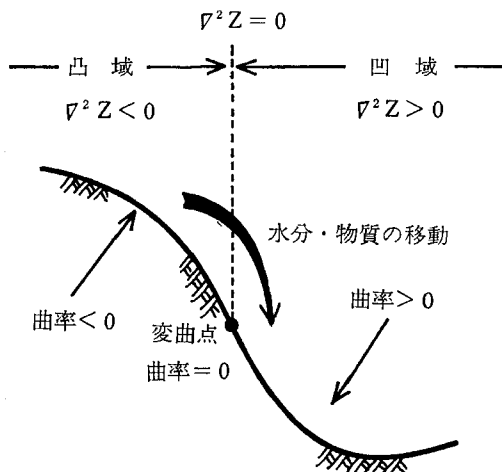


Fig. 6 地表面の曲率と水分・物質移動の概念図

向の程度を知ることができる。以上のことは実測値からも確認されている^{5), 6)}。

2. 地表面の曲率の求め方

地表面の曲率を表す $\nabla^2 Z$ は、Fig.7 のように地形図をメッシュに切ってその節点の標高から(1)式により計算することができる。

$$(\nabla^2 Z)_0 = (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 - 4Z_0) / (\Delta X)^2 \dots (1)$$

ただし、 $(\nabla^2 Z)_0 = 0$ 地点での標高のラプラシアン、 $Z_n : n$ 地点の標高、 ΔX : 格子間隔

3. 地表面の曲率分布の計算例

徑辻モデル圃場の地形図を格子間隔 20 m, 東西方向 22, 南北方向 25 の正方形メッシュに分割し、その節点の標高から前述の方法により、各節点の $\nabla^2 Z$ を計算した。Fig.8 は、その計算結果をもとに、 $\nabla^2 Z = -0.02, 0.02 \text{ m}^{-1}$ を表す曲線により地域を三分割した曲率区分図である。 $\nabla^2 Z < -0.02 \text{ m}^{-1}$ の区域は負の曲率が大きい凸域を、 $\nabla^2 Z > 0.02 \text{ m}^{-1}$ の区域は正の曲率が大きい凹域を、 $-0.02 < \nabla^2 Z < 0.02 \text{ m}^{-1}$ の区域は曲率が小さい凹凸の

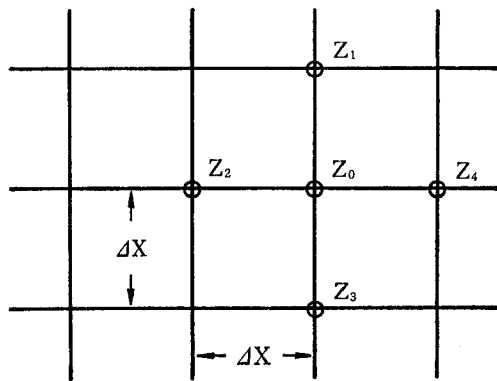


Fig. 7 標高のラプラシアン $\nabla^2 Z$ の近似法

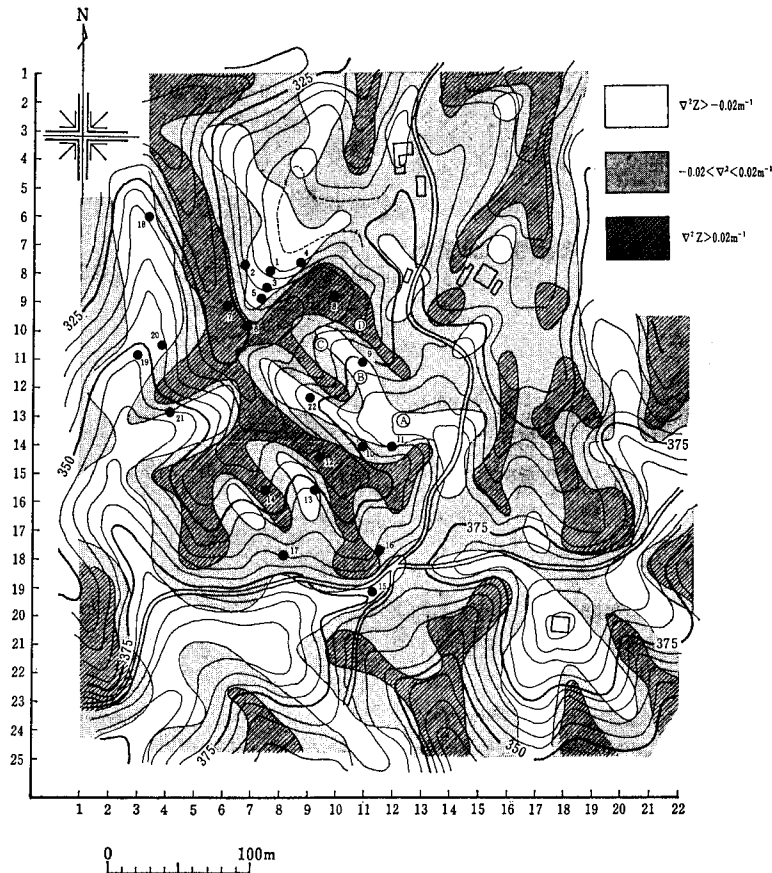


Fig. 8 観測点の配置と地表面の曲率分布 (五条樫辻モデル圃場)

中間域を表している。凸の程度の大きい区域は尾根すじ、斜面上部などと、凹の程度の大きい区域は谷や谷すじと表現されている区域とよく対応していることがわかる。このように、従来定性的に尾根、谷、斜面のどこそと表現されていたものが、地表面の曲率を導入することにより定量的かつ面的な地形表現が可能になることがわかる。

V 地表面の曲率と土壌水分量との関係

つぎに、観測圃場内20数地点の地表面の曲率とその地点の土壌水分量との関係を検討する。

土壌水分量は、100 cc サンプラーにより表層土 (約 2 ~ 7 cm 深さ) を採土し、炉乾法により求めた。1978年 11月10日の24地点の土壌水分量 (Wc: 体積含水率) と測定地点の地表面の曲率 ($\nabla^2 Z$) との関係を示すと Fig.9 のようになる。 $\nabla^2 Z$ の増加とともに体積含水率は増加しており、直線で近似すると回帰式は $Wc = 404 \cdot \nabla^2 Z + 36.1$ 、相関係数 $r = 0.892$ となり、非常によい直線関係があることがわかる。また、1979年 8月29日におけるほぼ同地点での体積含水率と $\nabla^2 Z$ の関係は $Wc = 268 \cdot$

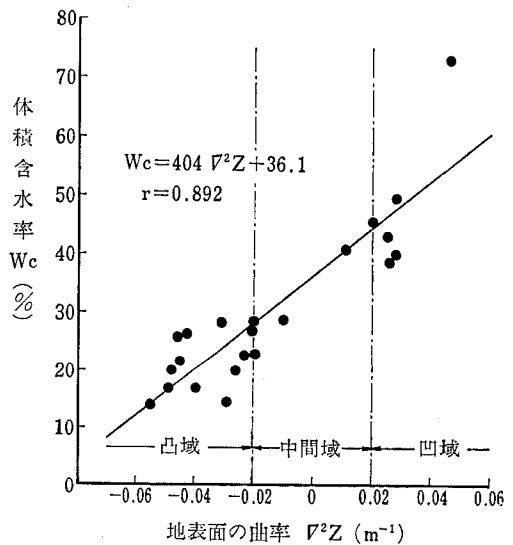


Fig. 9 地表面の曲率と土壌水分量との関係

$\nabla^2 Z + 35.0$, $r = 0.909$ となった。岡山大学農学部津高牧場での測定においても同様に比較的良好な直線関係をえ

ている⁶⁾。

以上の結果から、土壌水分量は地表面の曲率と相関が高く、地表面の曲率を計算することによりその地域のおおよその土壌水分量の分布が推定できることがわかる。すなわち、Fig.8の曲率区分図はこの地域の土壌水分量の分布を表現していると考えられる。

VI 地表面の曲率および日射量と土壌水分量との関係

1. 日射量と土壌水分量との関係

土壌水分量は、他の条件が一定とすると、インプットエネルギーであるその地点の受ける日射量と強い相関を示す。それゆえ、土壌水分量をその地点の斜面日射量に対してプロットすると、土壌水分量は日射量に対して負の相関をもつはずである。そこで、測定した土壌水分量をその地点の斜面日射量*に対してプロットすると Fig.10 のようになる(三浦ら; 1981)⁷⁾。プロットはかなりばらつき、土壌水分量は日射量のみ関数でないことが伺える。しかし、土壌水分量の測定地点が、Fig.8に示したように、曲率の程度により分割した三つの区域(凸域、中間域、凹域)のどこに位置するかで色分けすると、図のようにプロットはきれいに分類される。重力の斜面の傾斜方向分力による水の流入量と流出量が等しくなる $\nabla^2 Z = 0$ 付近の中間域では、土壌水分量は日射量の負の勾配をもつ1次関数として表される。そして、この中間域を示すプロットを貫く直線(図中の実線)の上部(土壌水分量が多い側)に凹域、下部に凸域を示すプロットがくる。このように、傾斜地の土壌水分量の場所的差異は、その地点の受ける日射量と地表面の曲率により明快に説明される。なお、土壌水分量と斜面日射量との関係を直線で近似すると、11月10日: $Wc = -0.0543 \cdot R_{day} + 43.1$

$R_{day} + 43.1$, $r = -0.452$, 8月29日: $Wc = -0.0842 \cdot R_{day} + 56.1$, $r = -0.388$ (R_{day} : 日射量, ly/day) となり Fig.10 中に破線で示してある。

同時刻の太陽高度は1979年8月29日(夏期)が1978年11月10日(秋期)に比べて高く**、その結果日射量のコントラストは夏期では弱く秋期では強く現れる^{8),9)}。そのため日射量は地域平均で11月10日が約240 ly/day, 8月29日が約310 ly/dayであるが、分布幅は11月10日には約50~400 ly/day とかなり幅があるのに対し、8月29日には約230~360 ly/day と分布幅は狭くなっている。また、測定日前10日間の先行降雨量は11月10日7.5 mm, 8月29日90.0 mm と後者がかなり多い。これらの結果が土壌水分量の分布状況に反映している。このように先行降雨は8月29日の方がかなり多いが、22地点の平均土壌水分量は、8月29日30.7%, 11月10日30.2% とほとんど同様な値を示している。これは地域平均日射量も8月29日の方がかなり多く、先行降雨の多い分を補い、結果として同じような平均土壌水分量を示したためであろう。土壌水分量の分散は、8月29日78.4, 11月10日199.8 と8月29日の方がかなり小さくなっている。これは、日射量分布が秋期にはかなりコントラストがつかのに対し、夏期には均一である⁸⁾ ためと考えられる。

2. 地表面の曲率および日射量と土壌水分量との重相関関係

以上より、土壌水分量の場所的差異は地表面の曲率とその地点の受ける日射量により説明できることが明らかになってきたが、つぎにどの程度説明できるかをみるために、1978年11月10日における、地表面の曲率および日射量と土壌水分量との重相関関係を調べた。なお、比較検討のため土壌水分量と地表面の曲率、土壌水分量と日射量との単相関関係(回帰式)を併記する。

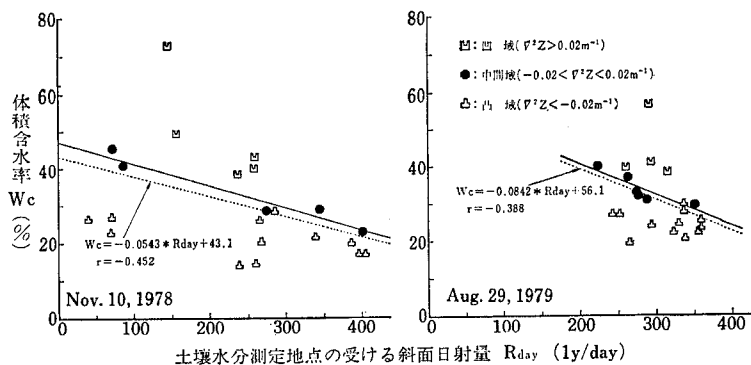


Fig. 10 土壌水分量と測定地点の受ける斜面日射量との関係

* 土壌水分量に影響を及ぼすものは測定日以前何日間かの積算日射量と考えられるが、ここでは、その時期の各地点の受ける日射の大小の定性的傾向を示す指標として、土壌水分量測定日の斜面日射量をとりあげ土壌水分量との関係を調べた。

** 赤緯は1978年11月10日: $-16^{\circ} 59'$, 1979年8月29日: $+9^{\circ} 39'$ である。

$$Wc = 379 \cdot \nabla^2 Z - 0.0187 \cdot R_{day} + 40.2$$

$$R = 0.904 \quad R^2 = 0.817$$

$$Wc = 404 \cdot \nabla^2 Z + 36.1$$

$$r = 0.892 \quad r^2 = 0.795$$

$$Wc = -0.0543 \cdot R_{day} + 43.1 \quad r = -0.452 \quad r^2 = 0.204$$

ただし、Wc：体積含水率(%)， $\nabla^2 Z$ ：標高のラプリアン(m⁻¹)， R_{day} ：各測定地点の受ける日射量(ly/day)，R，r：重，単相関係数

これらの結果をみると、土壌水分量の場所による差異は地表面の曲率単独でかなりの程度説明できることがわかる(r²=0.795)。さらに、説明変数に日射量を加えると寄与率はR²=0.817へと上昇する。傾斜地の日射量分布は、別報⁹⁾に示すように、主として地形と太陽との位置関係から計算により求めることができる。放射環境を一定とすれば、日射量分布は、地表面の曲率とともに、地形図の標高データ(地形情報)を解析して得られるものである。これらのことより、傾斜地の土壌水分量の分布は地形情報からかなり精度よく推定できるものと考えられる。

Ⅶ 傾斜地の熱収支構造

つぎに、水分環境において両極の性質を示す尾根と谷での熱配分をとおして、傾斜地の熱収支構造を検討する。

土壌水分量の少ない尾根(No.1)と多い谷(No.6)での熱収支法により求めた昼間の熱収支状況を示すとTable 1 のようになる(三浦ら；1981)⁷⁾。

純放射量を100としたときの潜熱伝達量は、11月10日尾根29，谷55，8月29日尾根53，谷62と尾根と谷では顕著な差があり、11月10日と8月29日との間にも大きな差がみられる。この差の原因は、土壌水分量に代表される地表の湿潤状態にあることは自明であろう。これらを参考にして、傾斜地の熱収支構造を降雨後の熱収支の変化として図にまとめるとFig.11 のようになる(三浦ら；1981)⁷⁾。図にも示したように、傾斜地の熱収支構造は、地表の湿潤状態の違いにより、尾根では顕熱伝達が、谷では潜熱伝達が重要な熱放出現となる大きな特徴

である。

傾斜地では、このように狭い地域内に熱収支状況が異なる地点が混在している。地表面での熱収支は地表の湿潤状態(土壌水分量)と地表面の受ける日射量により大きな影響を受けており、それゆえ傾斜地では、熱収支構造もまた地形情報により評価が可能であろう。

Ⅷ おわりに

傾斜地においては、土壌環境・物理性のなかでもとくに土壌水分量は、地形に応じてかなり差があること、その場所的差異を地表面の曲率により定量的に表現できること、さらに、地表面の曲率は地表の湿潤状態を介して地表面での日射エネルギーの配分にも大きな影響をもつことを示してきた。

このような傾斜地での土壌環境等の計測は、場所により種々の環境が大きく異なるので、計測地点の位置付けを確認してから行う必要があると思われる。その際、ここで示した地形図から得られる曲率区分図が大いに役立つと考えられる。リモートセンシングなど空中写真等に

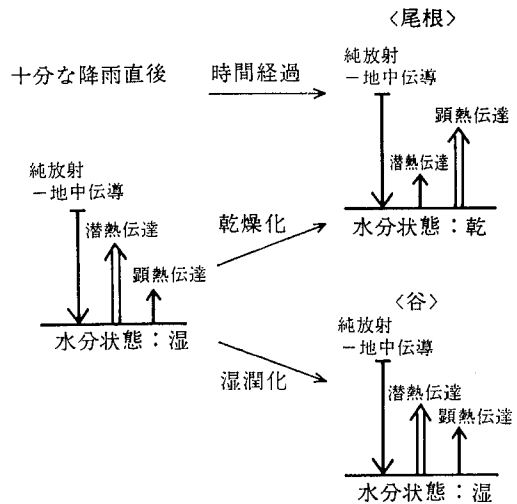


Fig. 11 傾斜地の熱収支構造 (降雨後の熱収支の変化)

Table 1 尾根と谷の熱収支の比較

		S (ly)	B (ly)	LE (ly)	F (ly)	β	Wc (%)	Epan (ly)	ET _{penman} (ly)	R _{day} (ly)
Nov. 10, 1978 (8:00—15:30)	尾 根	194.6	7.5	56.5	130.6	2.31	16.9	172.9	137.5	319.4
	谷	186.0	7.2	103.4	75.4	0.73	39.8	90.2	124.5	257.3
Aug. 29, 1979 (6:40—17:50)	尾 根	261.0	13.9	137.3	109.8	0.80	25.5	225.4	213.6	347.2
	谷	270.4	24.9	167.0	78.5	0.47	41.3	191.9	203.6	293.1

S：純放射量，B：地中伝導量，LE：潜熱伝達量，F：顕熱伝達量， β ：ポーエン比(=F/LE) Wc：体積含水率，E_{pan}：小型蒸発計蒸発量，ET_{penman}：ペンマンの蒸発散位，R_{day}：1日間の日射量

よる地形の解析においては、とくに対象が傾斜地の場合は、斜面の勾配、方位、標高に加えて、斜面の勾配の変化率である曲率を導入されんことを期待する。

本調査対象の圃場では地表面の曲率と土壌水分量との間に高い相関が認められたが、この手法をそのままより広い地域や異なった土性の混在する場所に適用するには様々な問題がある。

また、ここではふれなかった植生の影響、母材の差異などはもちろん土壌の諸環境に大きな影響を及ぼすものであり、今後検討しなければならない課題である。さらに、地形の凹凸状況をよりよく表現するためにメッシュ間隔の検討も必要となろう。

引用文献

- 1) 赤江剛夫, 三野 徹, 丸山利輔: 傾斜地の水文環境による土壌物理性の変化, 昭和52年度農業土木学会大会講演要旨集, pp. 220~221 (1977)
- 2) 三野 徹: 傾斜開畑地における熱・水配分構造と土壌の物理性, 土壌の物理性, 37, pp. 22~28 (1978)
- 3) 三浦健志, 四方田穆, 三野 徹, 丸山利輔: 傾斜地に形成される局地気象と農地開発 (IV) 一日射量分布と地温分布特性一, 昭和55年度農業土木学会大会講演要旨集, pp. 232~233 (1980)
- 4) 三浦健志, 三野 徹, 丸山利輔, 四方田穆: 日射量と地温・気温・計器蒸発量との関係—傾斜地における温度環境形成機構に関する研究 (II) 一, 農土論集, 89, pp. 1~6 (1980)
- 5) Mitsuno, T., D. Zaslavsky & T. Miura: Soil water distribution in mountainous area and irrigation planning, Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan, No. 42, pp. 2~8 (1980)
- 6) 三浦健志, 四方田穆, 岩田浩一郎: 傾斜地の土壌水分分布一日射量と地形の曲率からみた地域区分一, 昭和57年度日本農業気象学会大会講演要旨集, p 75 (1982)
- 7) 三浦健志, 三野 徹, 丸山利輔, 四方田穆: 傾斜地の熱収支構造—傾斜地における温度環境形成機構に関する研究 (III) 一, 農土論集, 95, pp. 1~10 (1981)
- 8) 三浦健志, 三野 徹, 丸山利輔, 四方田穆: 傾斜地の日射量分布計算法—傾斜地における温度環境形成機構に関する研究 (I) 一, 農土論集, 88, pp. 1~7 (1980)

質 疑 応 答

宮崎 (四国農試) 透水性は尾根や谷について違いがあるのか。この情報を農作物に応用する場合、作物にとって尾根がいいのか、谷がいいのかを評価する際にど

う役立つであろうか。

三浦 透水性は測定していないが、この土地は頁岩のような母岩がへき開しながら風化し、微細粒子分が雨とともに流下して、図示 (Fig.1) したような斜面部位により異なった粒径分布ができたと考えられる。この粒径加積曲線から透水性は尾根の方が大きく谷の方が小さいことが想像される。曲率分布図からは、地表の水分状態を知ることができる。五条のカキ園ではカキは湿気を嫌うため、谷の方ではプラムなどになっておりカキが少ない。Fig.8の曲率分布図では、 $\nabla^2 Z > 0.02 \text{ m}^{-1}$ である凹地域がプラムなどの多い場所と一致している。このように水分状態を介して、乾燥や湿潤に対する強弱から作物の適地判定に応用できよう。また灌漑を行う場合、乾燥傾向の強い区域に多く散水するなどの強弱をつけた灌漑により節水が図られよう。

須藤 (茨城大) 傾斜と含水比の相関は検討しているか。

三浦 やっていない。同じ傾斜でもその場所が谷であるのか尾根であるのかで水分量が異なる。さらに水分収支に影響を及ぼすものは斜面の傾斜ではなくその変化率と考えられるので土壌水分量の場所による差異を曲率でとらえようとした。

岩佐 (農技研) 標高との関係をどう考えるか。同じような谷でも標高に差があると、雲の流れなどの影響で土壌水分量に違いがでるのではないか。谷密度の大きい場合と小さい場合は同じように考えていいのか。

三浦 標高が何百mも変われば土壌も変わるであろう。曲率で説明できるためには土性が均一でなければいけない。農地造成地を対象とし、ある区域内での土壌水分の多少を問題にしたので、標高については検討していない。ある与えられた地形の中での土壌水分分布を検討しているので、広い地域全体での検討は行っていない。

寺沢 (農技研) 国土保全の関係で地すべりや崩壊、エロージョンと曲率の相関は有効であると考えるか。

三浦 土粒子の流れとして、崩壊、エロージョンを考えれば水分と同様に取り扱えるのではないかと考えている。私の少ない経験では、牧場での表層の崩壊は曲率が負から正への変換点で発生することが多い。

木下 (土壌協会) 地形と土壌の性質の関係は、簡単ではないのではないかと。地形が原因で諸性質の異なる土壌ができて、水分などが違ってくる。ここでは土壌の水分状態を曲率でみるといいと言うが、その間に土の性質を定量的に把握しその関係をみる必要がある。したがって、次の段階としては土の性質をコンピュータするようなことをやられるとよからう。

三浦 今後の参考にさせていただく。

リモートセンシングによる農用地の基盤調査

深山 一 弥*

Survey technique of agricultural infrastructure
using remote sensing

Kazuya MIYAMA

Hokkaido National Agricultural Experiment Station

I はじめに

農地は水と土と太陽の恵みにより、生命活動の原動力である食糧を我々に提供してくれる。人々は豊かな食糧生産をめざして、常に農地を見守り、農地に働きかけ、また農地の改良や創造を行ってきた。すなわち、広大な農地・農作物の迅速かつ正確な実態把握（監視）と、それに基づく適切な対処（農業労働の投下や農地の改良）こそ農業生産活動の基本といえよう。農地の迅速かつ正確な実態把握、ここにリモートセンシングという新しい情報収集技術を導入する意義があると考えられる。このような視点から、筆者は農業分野でのリモートセンシング技術の利用・応用研究¹⁾を実施している。本報告では、農用地基盤の構成要素である農地の“土”、“水”、“植物”の実態把握を目的としたリモートセンシング技術について、筆者の研究事例を中心に報告する。本報告が土壌物理をはじめとする専門分野各位の研究進展に何がしかの参考になれば幸いである。また各位の御批判、御指導をお願いする次第である。

II リモートセンシングとは

Remote sensing は“隔測”、“遠隔探査”などの訳語が当てられているが、通常は原語がそのまま用いられる。一般的なリモートセンシングの定義は次のようにいわれている。

“リモートセンシングとは、航空機や人工衛星などのプラットフォームに搭載されたリモートセンサを用いて、地表の対象物から反射又は放射される電磁波を収集し、それらのデータを用いて対象物や現象に関する情報を得る技術である²⁾。”

リモートセンシングは航空機から撮影された空中写真データとその利用方法を想定すればわかりやすい。しかし、それは単なる写真測量技術を意味するものではなく、可視域をはじめ赤外領域、マイクロ波領域などに及

ぶ広範な電磁波領域の分光情報（マルチスペクトルなデータ）を利用した、より広い認識行為である。可視域のみでは取得不可能な多くの有益な情報がリモートセンシングデータに含まれている。たとえば赤外カラー写真やマルチスペクトルスキャナ（MSS）データなどが持つ赤外領域のデータは、単に地上の物体の幾何学的な位置関係ばかりでなく、植物活性度や地上の熱環境など、物体の性質や状態に関するさまざまな情報を我々に提供してくれる。リモートセンシングデータは、多様性、広域・同時性、迅速性、経時記録性にすぐれたデータといえよう。主なリモートセンサとその利用波長帯を Table 1 に示した。

我々の利用できるリモートセンシングデータは、アナログ画像データとデジタル画像データに大別できる。一般の空中写真や赤外カラー写真などはカメラを用いてフィルム上にデータが記録されたアナログ画像データであり、空間的な分解能にすぐれたデータとして写真測量や目視による写真判読、また光学的なアナログ解析に利用される。一方、MSS データなどはデジタル画像データである。これはセンサが地上を順次スキャンしながら得られたデータであり、1画素（1スキャンラインに数百から数千個の画素が並ぶ）ごとのマルチスペクトルなデジタルデータの集合である。MSS データはセンサの機能上、写真映像データに比較し解像度は劣るが、記録波長域の広いことが特徴の一つである。磁気テープなどに記録されたデジタル画像データは、コンピュータによるデジタル画像処理・解析に使用されるのが一般的である。また解析や視覚的表現などの都合上、デジタルからアナログへ、またアナログからデジタルへの画像変換もよく行なわれる。

III 人工衛星からのリモートセンシング

衛星リモートセンシングは、NASA（アメリカ航空宇宙局）の打ち上げた地球資源探査衛星 LANDSAT が有

* 北海道農業試験場

Table 1 Remote-sensors and spectral range.

Type		Sensors		Spectral range (μm)
Passive	Photographic systems	Camera	Panchromatic film	0.4 ~ 0.7
			Color film	0.4 ~ 0.7
			Infrared film	0.7 ~ 0.9
			Infrared color film	0.5 ~ 0.9
	Multiband camera		0.4 ~ 0.9	
	Scanner systems	Infrared scanner		3 ~ 14
Multispectral scanner (MSS)		0.3 ~ 14		
LANDSAT MSS		0.5 ~ 1.1		
LANDSAT TM		0.45 ~ 12.5		
Microwave radiometer		0.5cm ~ 30cm		
Active	Radar systems	Radar		0.8cm ~ 100cm
		Side-looking radar (SLAR)		0.8cm ~ 100cm

名である。その第1号は1972年に、最近では第4号が1982年7月に打ち上げられ、全世界に貴重なデータを提供している。LANDSAT 4号は地上約700 kmの軌道上から全世界の陸域・水域を観測している。地表観測幅は約185 km、回帰日数は16日（16日周期で同一地域を同一時刻に観測する）であり、MSS及びTM（セマティックマップ）というセンサを搭載³⁾している。これらのセンサはそれぞれ82 m、30 mという地上分解能を持ち、可視から赤外領域にわたるマルチスペクトルなデジタル画像データを送信してくる。

農業分野でのLANDSATデータ利用としては、アメリカの実施したLACIE (Large Area Crop Inventory Experiment) 計画が有名である。これは世界各地の穀物収量予測にLANDSATデータを利用したものであり、その成果の一例としてFig.1に示すようなソ連の小麦収量予測の結果⁴⁾が発表されている。同図に示すようにおどろくべき精度の収量予測が可能であり、このような調査結果がアメリカの食糧戦略上、また世界の農業生産計画などにおいて重要な意味を持つことはいままでのない。

IV リモートセンシングデータの解析例

リモートセンシングデータの解析は、その目的によってさまざまな方法がある。ここでは主に分光情報の利用を中心に、デジタル画像データ (LANDSAT MSS データ、航空機 MSS データ、赤外カラー空中写真のデジタル化データ) を用いた解析例について紹介する。

1. 航空機 MSS データを用いた土壌含水比分布の判読
土壌含水比は農地の排水性や作物生育などの指標として重要である。この農地での土壌含水比分布の判読に航空機 MSS データの利用を試みた⁵⁾。使用したデータは

1980年6月28日に高度約1600 m (地上分解能4 m) から観測したものである。

対象区域は石狩平野泥炭地水田地帯 (空知郡北村) に位置する約1 km四方のエリアであり、圃場整備施工中の場所である。そのため完全な裸地状態であり、しかも土壌表面が湿潤な部分 (切盛均平作業中や地下水湧出部など) や比較的乾燥した部分 (均平作業完了部) が存在し、土壌含水比判読のテストサイトとして好条件の場所であった。なお表面土壌は過去の客土工事による粘質土 (泥炭まじりの植壊土など) であり、一部の圃場は新規の客土が施工中であった。

MSS データの観測時間に合わせて表面土壌 (表層~3 cm) のサンプリングを行い、含水比を測定した。この含水比実測データと、土壌サンプリング位置の MSS データとの相関をみたものが Fig. 2, 3 である。SI, TZ は MSS データの比演算値であり、筆者らの研究成果^{6), 7)}に基づく土壌の特徴抽出のための比演算手法である。な

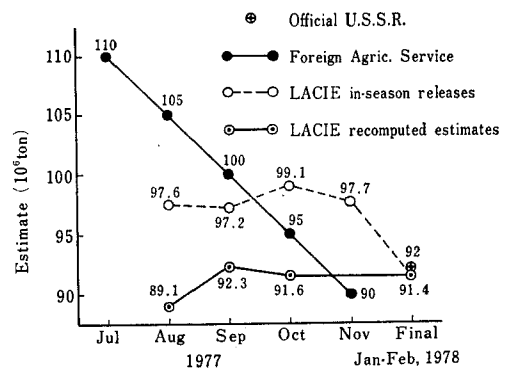


Fig. 1 Estimating wheat production in U.S.S.R. (by LACIE project)⁴⁾

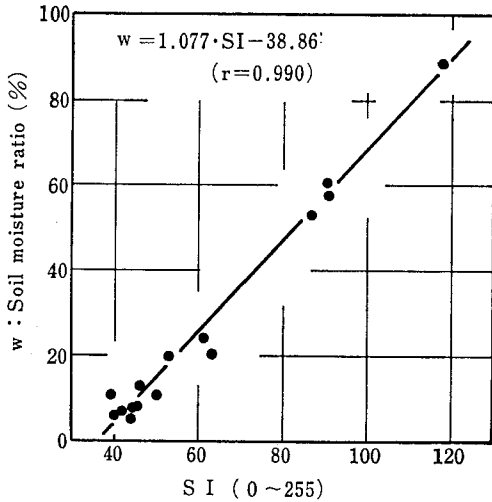


Fig. 2 Correlation between soil moisture ratio and SI.

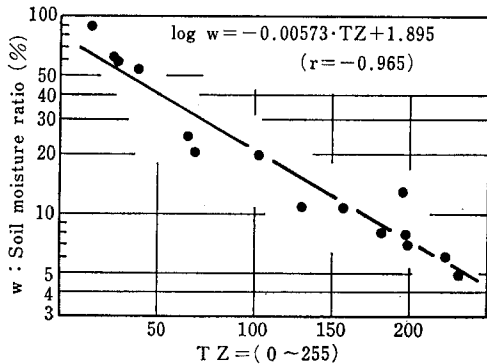


Fig. 3 Correlation between soil moisture ratio and TZ.

お SI, TZ の計算値は 0~255 の 8 ビットデータに変換して使用した。

$$SI = (PIR - ch. 9) / (ch. 7 - PR) \quad \dots\dots(1)$$

$$TZ = ch. 5 + ch. 7 + ch. 8 + ch. 9 \quad \dots\dots(2)$$

- ch. 5: MSS のチャンネル 5 (550~600 nm) の CCT 値
- ch. 7: MSS のチャンネル 7 (650~690 nm) の CCT 値
- ch. 8: MSS のチャンネル 8 (700~790 nm) の CCT 値
- ch. 9: MSS のチャンネル 9 (800~890nm) の CCT 値
- PIR: 植物被覆 100% の場所の ch. 9 の CCT 値
- PR: 植物被覆 100% の場所の ch. 7 の CCT 値

SI, TZ は土壌含水比と高い相関があり、含水比分布の判読に有効であることが明らかである。SI を用いた対象区域の土壌含水比分布判読例を Photo 1 に、その部分拡大図を Fig. 4 に示した。

2. 農業地帯の土地被覆・土地利用の判読

石狩平野ではおよそ30~50%の水田が転換畑利用されている(転換率は市町村により異なる)。主な転換作物

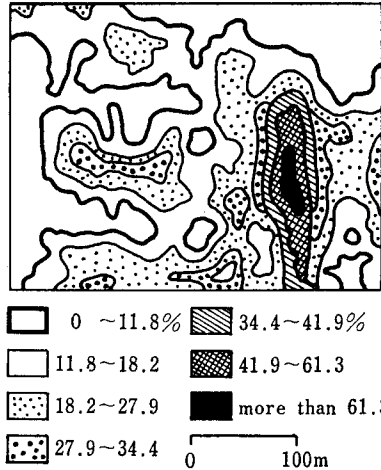


Fig. 4 Distribution map of soil moisture ratio.

は麦、豆、飼料作物、野菜などである。水田と畑利用の混在した複雑な土地利用形態の出現は、土壌物理性や排水機能の改善、また水田地帯の土地利用のあり方など新しい問題を提起していることは周知の通りである。このような水田地帯における土地利用の実態把握や、作物の生育状況の調査、圃場の土地生産力評価や比較などにリモートセンシングデータが有効に利用できると考えられる。

(1) 赤外カラー空中写真デジタル化データを用いた土地被覆分類

Photo 2 は赤外カラー空中写真(1982年7月10日撮影、空知郡北村~若見沢市)のデジタル化データを用いた土地被覆分類の結果である。この画像は約 1 km x 1.3 km の範囲を示している。この一帯はすべて水田圃場であるが、水稻のほか畑作物の麦、大豆・小豆、玉ネギ、ビートが見られ、転換畑の面積やその集団化の状況が判読できる。さらに麦圃場の状況をみると、①ほとんど全面が麦に判別されている圃場(全面が赤)、②麦と裸地に判別されている圃場(赤と白のまだら)、③麦と草に判別されている圃場(赤と青緑のまだら)の3種に大別できる。これは麦の生育状況の差や雑草の混入が原因であることが現地調査から確認されており、麦圃場の土地生産力の大小や栽培管理の良否を示している。なお Photo 2 は 1 画素(地上分解能)が約 1.25 m である。

(2) LANDSAT データを用いた土地利用分類

Photo 3 は LANDSAT MSS データ(LANDSAT 2号 1980.9.19、札幌)を用いた石狩平野主要部の土地利用分類結果⁸⁾である。Photo 3 は約 50 km x 60 km の広大なエリアである。平野部の土地利用として水田利用(赤)と畑・草地利用(黄)の混在状態や、市街地の状況(画像左下の白色部が札幌市)が容易に判読でき、広域にわた

る土地利用形態の調査やその変化の解析などに有効である。

LANDSAT MSS データは地上分解能が約 80 m であるため、これ以下の面積単位の土地被覆・土地利用の判別には適さない。しかし Photo 2 に示したように、石狩平野水田地帯はその大部分が 30 m×100 m から 50 m×200 m という大圃場区画であり、しかも数筆以上の転換畑集団化が一般的である。それ故、石狩平野における農地の土地被覆・土地利用の判読に、LANDSAT MSS データはかなりの精度で使用できよう。このことは Photo 3 に示した土地利用分類の平均判別効率（トレーニングフィールド内^{注1)}）が 96.7% であったこと、また地上調査データとの照合の結果などからも明らかであった。

(3) 分類に用いた判別解析法

Photo 2, 3 に示した土地被覆や土地利用分類は、最尤法による“教師あり分類”を用いた。この分類法は、最初に地上調査等に基づき、分類クラスが既知であるフィールド（トレーニングフィールド）を解析画像内に選定する。次にこれらのフィールド内の画像統計量（平均値ベクトル、共分散行列など）を算出してコンピュータに入力し、この情報を教師としてコンピュータが判別計算を行うところから教師あり分類と呼ばれている。判別計算は次式による最尤法判別⁹⁾が一般的である。

$$g_i(\mathbf{X}) = \log_e p(w_i) - \frac{1}{2} \log_e |\Sigma_i| - \frac{1}{2} (\mathbf{X} - \mathbf{U}_i)^T \Sigma_i^{-1} (\mathbf{X} - \mathbf{U}_i) \dots \dots (3)$$

- \mathbf{X} : 分類しようとする画素の画像データベクトル
- \mathbf{U}_i : クラス i の平均値ベクトル
- Σ_i : クラス i の共分散行列
- $|\Sigma_i|$: Σ_i のデターミナント
- $p(w_i)$: クラス i の事前確率

すなわち式(3)を用いて各クラスの $g_i(\mathbf{X})$ を計算し、 \mathbf{X} は $g_i(\mathbf{X})$ の値の最大となるクラス i に分類する。この判別計算を1画素づつ実施することにより、解析画像全体の分類が行われる。なお $p(w_i)$ は未知であるため各クラスとも等しいと仮定し、この項を省略して計算する場合が多い。

3. 航空機 MSS データを用いた有珠山噴火降灰厚分布の判読

有珠山の大噴火（1977年8月7～14日）は周辺の農地に多大の被害をもたらした。このような農業災害の実態調査には、迅速性及び広域性という意味においてリモートセンシングが非常に有効な調査方法である。

Photo 4 は航空機 MSS データ（1977.8.30、地上分解能 9 m）の各コースの画像をつなぎ合わせたモザイク写真である。この写真は MSS の可視（550～600 nm）、近赤外（800～890 nm）、熱赤外（9.5～12 μm）の各チャネルデータをそれぞれ青、緑、赤で発色させたフォールスカラー合成画像であり、降灰地域は灰の熱赤外放射のため赤味を帯び、降灰のない所は植物体の近赤外反射により緑色に発色している。この写真から有珠山の北西及び南東方向へのびた降灰分布の概要を知ることができ、地上調査の目標地点選定などに非常に有益であった。

Photo 5 は洞爺湖北側の畑作地帯について、降灰厚 1～10 cm 弱の地域（約 5.5 km×9 km）の降灰厚分布を判読¹⁰⁾した例である。降灰厚さは MSS データの ch.10 - ch.7^{注2)}の演算値と高い相関があることが地上調査から明らかとなり、この関係を用いて対象地域全体の降灰厚分布を判読したものが Photo 5 である。判読結果は地上調査による降灰厚さ分布とよく一致していることが確認された。

4. 航空機 MSS データを用いた水田水温分布の判読

温度測定にはサーマルスキャナや MSS の熱赤外チャネル（8～14 μm）のデータが使用される。黒体からの熱放射については Planck の公式や Stefan-Boltzmann の法則などがある。

Planck の公式

$$W_\lambda = (2\pi hc^2/\lambda^5) \cdot [\exp(ch/\lambda kT) - 1]^{-1} \dots \dots (4)$$

- W_λ : 分光放射強度 ($W \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)
- λ : 波長 (μm)
- T : 黒体の絶対温度 ($^{\circ}K$)
- h : プランクの定数 ($6.626 \times 10^{-34} W \cdot sec^2$)
- c : 光速 ($2.998 \times 10^{10} cm \cdot sec^{-1}$)
- k : ボルツマン定数 ($1.380 \times 10^{-23} W \cdot sec \cdot ^{\circ}K^{-1}$)

Stefan-Boltzmann の法則

$$W = (2\pi^5 k^4/15c^2 h^3) \cdot T^4 = \sigma T^4 \dots \dots (5)$$

- W : 放射強度 ($W \cdot cm^{-2}$)
- σ : シュテファン-ボルツマン定数 ($5.67 \times 10^{-12} W \cdot cm^{-2} \cdot ^{\circ}K^{-4}$)

これらの法則及び、センサの基準黒体の温度、熱赤外線の大気透過率補正、地上物体の放射率などが考慮され、熱赤外データの温度換算が行われる。

以上のような解析で得られた水田水温分布の判読例⁹⁾を Fig. 5 に示した。これは航空機 MSS の熱赤外チャネルデータ（9.5～12 μm, 1980.6.28, 空知郡北村）の解析例であり、水口付近の低温水部や水田各筆ごとに水温分布状況に違いがあることなどが判読できる。なお Fig. 5

注1) 地上調査により土地利用形態が確認されているフィールド。このフィールド内の画像情報を教師としてコンピュータに入力し、コンピュータをトレーニングすることにより分類計算を行う（次節参照）。

注2) ch. 10 は 920～1,100 nm, ch. 7 は 650～690 nm のデータ値を示す。

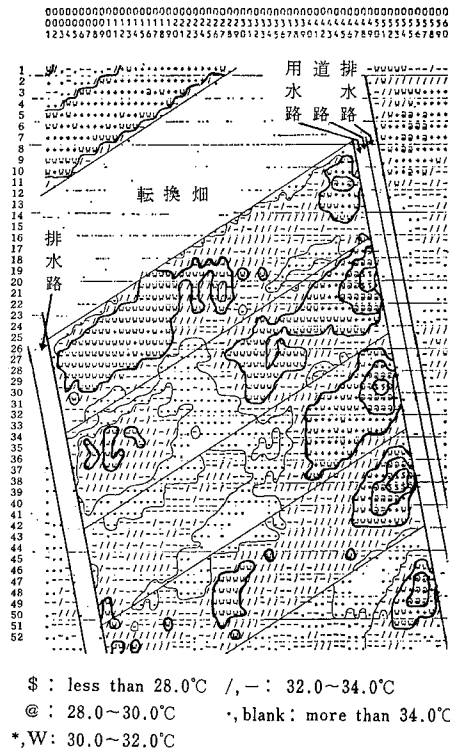


Fig. 5 Distribution map of water temperature in paddy fields. (Kitamura, 1980, 6, 28)

はラインプリンタによる出力のため1画素の縦横比が異なり、長方形区画(30m×190m)の水田が変形して出力されている。

地上の熱環境の測定は、水温分布をはじめ作物体温や土壌温度など、農用地基盤に関する有用な情報を提供してくれよう。今後、熱赤外領域のリモートセンシングは一層盛んになるものと思われる。

5. LANDSAT MSS データを用いた水稻冷害分布の解析

1980年は全国的な冷害にみまわれ、石狩平野水田地帯においても水稻作況指数が60~90という著しい被害であった。この水稻冷害分布の把握に LANDSAT MSS データを用いた解析例⁹⁾が Photo 6 である。使用した LANDSAT MSS データは1980年9月19日に観測されたものである。石狩平野での水稻収穫時期は10月上旬頃である。そのため、解析した LANDSAT データは水稻収穫予定の10~20日前のデータであり、冷害状況のほぼ確定した時期のデータである。

Photo 6 に示した収量値は式(6)に示した水稻収量の重回帰モデルから計算したものである。このモデルは農水省発表の市町村別水稻収量データと、LANDSAT MSS

データの各市町村エリア内での平均値データから導いたものである。

$$\text{収量 } Y (\text{kg}/10 \text{ a}) = 7673.5 - 61.4 \cdot \text{band } 5 + 67.2 \cdot \text{band } 6 - 62.4 \cdot \text{V.I.} \quad \dots(6)$$

(重相関係数 $R=0.91^{**}$)

band 5 : MSS のバンド 5 (600~700 nm) の CCT 値
 band 6 : MSS のバンド 6 (700~800 nm) の CCT 値
 V.I. : 植生指数 (式 7 による)

説明変数として用いた V.I. は、植物の特徴抽出に有効¹¹⁾とされている比演算手法であり、次式による。

$$\text{V.I.} = (\text{band } 6 - \text{band } 5) / (\text{band } 6 + \text{band } 5) \quad \dots(7)$$

(但し V.I. 値は -1~+1 の値を 0~255 に換算した。)

式(6)に示す重回帰モデルを、Photo 3 に示した土地利用分類で抽出された水田ピクセル(画素)すべてに適用した。そして計算された各水田ピクセルの収量値を、4段階のカラーズライスで表示したものが Photo 6 である。水田ピクセル以外はすべて黒で発色させてある。この写真によれば、1980年冷害の特徴であった寒冷な偏東風の風道¹²⁾に沿った被害の地域性や、同一地域内でも被害程度に大きな差があったことなどが判読できる。さらにこの収量分布解析データから、Fig 6 に示すような各市町村の被害度別水田面積分布の情報なども抽出可能であり、土地改良等の冷害対策の必要な面積や地域分布などの調査にも使用できる。

V おわりに

リモートセンシングは広域にわたる地上の状況や現象を、迅速かつ経済的に調査し記録する能力がある。また、今までの点や線の調査を面の調査へ広げる能力もある。このため日本国内での利用はもとより、海外技術協力などにおいても大いに有効な技術といえよう。

農業分野におけるリモートセンシング技術の利用・応用研究は、まだ基礎的な研究の段階である。本報告で紹介した事例も、農業土木的あるいは地域工学的な視点からの基礎的研究事例の一部である。今後の研究方向としては、第1にどのような情報がどのような解析法によって得られるかという基礎的研究の蓄積、第2に他の既存データや調査法と組み合わせ、リモートセンシングを中核とする新しい広域調査法の確立が考えられる。

さらに、リモートセンシング技術は“農業資源管理システム”の創造に重要な役割を果たすものと思われる。このシステムは総合的な情報収集・提供・利用システムであり、農地と国土を常に監視し、迅速かつ適切な施策や計画立案を可能とするであろう。リモートセンシング技術の中核に多くの専門分野が有機的に結合した高次元のシステムであるともいえる。このような技術開発目標

注) Photo 6 の画面右下から平野部を通過し、左上の石狩湾へ吹き抜ける。

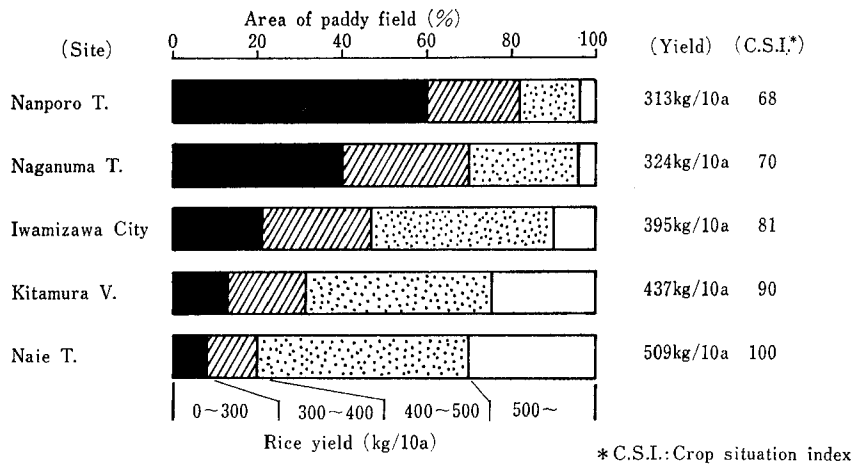


Fig. 6 Percentage of paddy field area in proportion to rice yield.
(by LANDSAT MSS data, 1980. 9. 19)

のもとに、リモートセンシングに関する研究やその有効利用に、多方面の専門分野の人々が参加されることをお願いする次第である。

最後に、本報告の発表に際し並々ならぬ御援助をいただいた筑波大学農林工学系多田敦助教授をはじめ、土壌物理研究会シンポジウム運営委員各位に感謝の意を表するものである。またリモートセンシングデータの解析に際し多大の御指導・御協力を得た千葉大学工学部江森康文教授、安田嘉純助教授に厚く感謝するものである。なお使用した LANDSAT データは宇宙開発事業団地球観測センターデータ提供室から提供を受けたものであり、航空機 MSS データは日本造船振興財団日本国土海洋総合学術診断プロジェクトに参加して得られたデータである。関係各位に厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 1) 深山一弥, 高畑 滋, 福原道一 (1981) : 農業分野におけるリモートセンシング情報利用技術に関する調査, 北海道農試研究資料, 20, p.15~79.
- 2) 日本リモートセンシング研究会 (1977) : リモートセンシングノート, 技報堂, 東京, p.2.
- 3) 長 幸平 (1982) : ランドサット-D ミッションの概要, RESTEC, 9, p.16~27.
- 4) R. Bryan Erb, Robert E. Tokerud and Robert B. MacDonald (1978) : The outlook for satellite remote sensing for crop inventory, Proceeding of plenary session, The LACIE Symposium, NASA, p.125~131.
- 5) 深山一弥 (1981) : 航空機 MSS による水田地帯のリモートセンシング, 日本国土海洋総合学術診断昭和55年度技術報告集, 日本造船振興財団, p.181~194.

- 6) 福原道一, 深山一弥, 林 成周, 塩崎尚郎 (1980) : 農用地の調査, 昭和54年度ランドサット等人工衛星データ利用実証総合研究, 科学技術庁, p.12~16.
- 7) Fukuhara M., Hayashi S., Yasuda Y., Emori Y. and Iizaka J. (1980) : Soil moisture analysis for soil mapping, Proc. of Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data, p.1~10, Purdue Univ.
- 8) 深山一弥, 佐藤 博, 安田嘉純, 江森康文 (1983) : 農用地調査へのリモートセンシング技術の適用性に関する研究, 農業土木学会論文集, 105, p.27~35.
- 9) Philip H. Swain, Shirley M. Davis (1978) : Remote Sensing; The Quantitative Approach, McGRAW-HILL, p.152~158.
- 10) 深山一弥, 高畑 滋, 福原道一, 斉藤元也, 林成周 (1978) : リモートセンシングによる有珠山噴火農地被害調査に関する研究, 北海道農試研究報告, 123, p.127~146.
- 11) 江森康文, 安田嘉純, 林 成周, 福原道一 (1979) : 畑地のリモートセンシングにおける計測と画像処理システムに関する研究, 農林水産業特別試験研究費補助金による研究報告書, 千葉大学工学部, p.97~109.

質疑応答

中野 (東京大) 地面, 水面とも深さはどの位のところまでの情報をとり出しているのか。

深山 センサーで得られる情報は土壌表面の分光反射のみである。可視領域, 近赤外領域である限りは表面である。マイクロ波等では 10 cm ぐらいの深さまでの情報が得られるであろう。しかし圃場整備前の河川や水路の跡などの旧河川や構造物の跡は, 工事完了後も土壌表面が微妙に変化しており, 我々の経験でも赤外カラー写

真で読み取ることができた。目ではわからない場合でも、近赤外領域などの波長を選べば微妙な工事の跡や隠れた構造物・遺跡などの発見が可能な場合がある。これはあくまでも表面情報を使ってその下にあるものを類推することである。土壌の状態や熱環境などが表面からどのように変化していくのかという粕渕氏の報告のような知識も活用して解析を行えば、表面下の情報についてかなりのことがわかるであろう。

八田(熱研) 土壌水分が10%ぐらいということについては、写真から判定したのか、他の方法なのか。つまり写真から直接なのか、何かインタープリットするものが必要なのか。

深山 上からのデータ、すなわちリモートセンシングデータは航空機マルチスペクトルスキャナー(MSS)でとったデジタルデータで1ピクセルが4mのものである。下、すなわち地上では位置を決め含水比をサンプル調査でとっている。上と下のデータを同一場所のものについて対応させ相関をとっている。この相関モデルを使って、上のMSSのCCT値を含水比に計算し直して画像として出したのがPhoto 1またはFig. 4である。

八田 MSSによるデータ収集及びデジタル画像解析装置は金額的にいくらぐらいか。

深山 航空機M, S, Sを持つ会社はわが国では2~3社しかなく、かなり費用がかかると思う。ただし、赤外カラー写真はほとんどの航測会社で撮影が可能であり、それをB, G, R三色に分解して、デジタルデータに直して解析することができる。この場合、データの収集コストは普通のカラー写真撮影よりいくらかかかる程度(1.5倍くらい)である。画像解析装置の価格は、その能力により非常に幅があるが、2千万円程度出せば基本的なシステム構成は可能である。

宇都宮(公害研) LARSYS (Laboratory for Application of Remotesensing System) はよく知らないが、どのような手法でソ連の穀物収量予測をしているのか。十勝平野の土壌水分は降雨後何日目に調査しているのか、また水分はどの方法でだしたのか。土地利用の判別は航空機、ランドサットにせよどのようにして行うのか。土壌水分の推定に際し、道路などのように推定できない場合どう処理しているのか。

深山 LARSYSは農業を目的とした汎用解析プログラムである。LACIE計画では、作付面積をランドサットから得、これにこれまでの土地生産力のデータやその年の気象データなどを重ね合わせ再計算し、この地域ではこのぐらい収量が上がると推定しこれをソ連全土に適用して収量予測を行っている。ランドサットデータと収量との関係は、全米各地でモデルサイトを設け検討している。土壌水分の判読は、十勝平野でなく石狩平野で行ったものであり、1週間から10日間晴天の続いた状態である。しかし、地表面は、ブルドーザによる均平作業などのためにかなり攪乱されている。水分は重量含水比で出している。ただし、複数の土壌型が存在する場合は、重量含水比との相関は悪く、福原氏(北海道農業試験場畑作部)のデータでは容積含水比の方が土壌の違いをこえて高い相関が得られるという報告がある。土地利用の判別は教師あり分類(Supervised classification)という手法を用いた。道路は砂利道かまたは土道であるので一諸にしている。分離の方法としては、はじめに水田、道路、裸地などに分類しておいて、裸地の部分だけを含水比モデルにあてはめ、含水比分布を表示するなどのやり方がある。先程の水稲冷害分布では、水田だけを抽出して重回帰モデルを適用し、収量別に色表示した例である。

カラー画像データシステムを用いた二・三の 土壌物理性の判定

谷 脇 憲*

Measurement of some soil condition using the colour frame data system

Ken TANIWAKI

Agricultural Research Center

はじめに

今日の日本の農業においては、稲作に関する農作業の機械化一貫作業体系は一応完成していると言ってよい。しかし、重量機械の走行による鎮圧土層の形成、また、これら機械の走行安定性のために深耕を行なわないといったような作物の生育上には好ましからざる状態が生起している。これらの機械化技術の普及とその栽培上の影響の問題は、精確に研究された例は少ない。

農業研究センターにおいては、これらの機械作業の、土壌や作物栽培上の問題への影響や、農作業上の問題の要因の解析、さらに新たな農作業機械開発のためのテストプラントとして、装置化された圃場と、その上で各種の農作業のために用いられるガントリー（門型クレーンの一種、図-1）を試作し、これらの研究に用いている。

ガントリーは用排水設備の整った4枚の圃場（50×10 m）を管理している。今回はこの圃場で、耕うん砕土作業の自動化及び播種作業管理のために、このガントリー

のカラー画像データシステムを利用して、土壌水分と砕土率の測定を行なった例を報告する。

1. 測定装置

(1) 測定装置の概要

ガントリーを含む計測処理装置及び制御装置の全システム図を図-2に示す。

中央のホストコンピュータは2 M byteの主記憶容量、16 M byteの仮想記憶容量をもち、外部記憶媒体として、システム用680 M byte、ユーザ用に80 M byteの取り外し可能な、磁気ディスク装置と、システムのバックアップや、プログラムの移送用に9トラックの磁

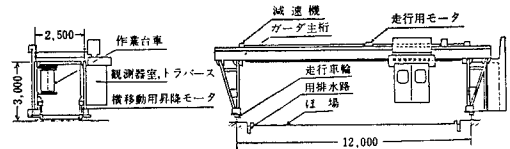


図-1 ガントリーの概要図

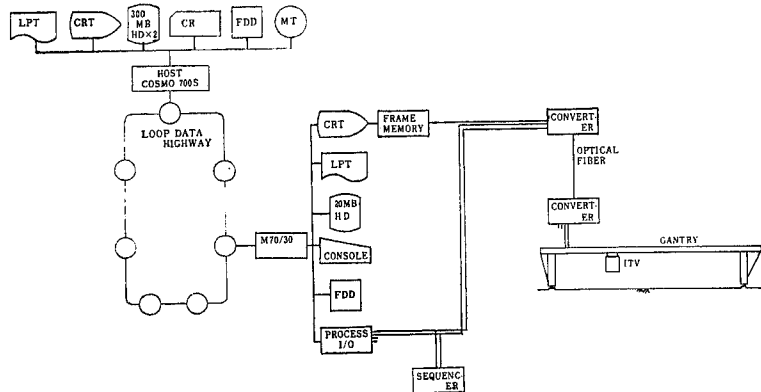


図-2 ガントリーを含む計測処理システムの構成

* 農業研究センター

気テープ装置を備えた中位メインフレームである。ガントリーの計測制御用のミニコンピュータ（以下ミニコン）は、他の5台のミニコンとともに、高速のデータハイウェイを通して、このホストコンピュータに接続されている。これにより、カードリーダーやラインプリンタ等のハードウェア資源の共有とともにプログラムやデータ等のソフトウェア資源も共有できる。

以上のシステムを背景にガントリーには各種の計測装置を取りつけることができるとともに、これらの計測結果から得られるパラメータによってフィードバック制御することが可能である。また、このようなミニコンによる自動運転の他に、シーケンサによる半自動運転、手動運転も可能である。また、作物や土の状態をとらえるためにテレビカメラを1台備えており、4枚の圃場の任意の位置の上方からのカラー画像をとり出すことが可能である。

(2) 画像のとり込みとその校正

画像は撮影管を用いたテレビカメラによってとり込んでいる。得られたビデオ信号は、高速でAD変換され、512×512ピクセル（画素）のフレームメモリ（画像記憶装置）上に蓄えられる。1ピクセルはRGB（赤緑青）それぞれ4bit、計12bitの分解能を持つ。このフレームメモリ上の画像データは、プログラム制御によってミニコンの固定ディスクにとり込まれる。ミニコンの主記憶空間は、256Kbyteでユーザには44Kbyteしか開放されていないため、1画面（512Kbyte）全てを実メモリ上で処理することはできない。このため固定ディスク上に一時保存している。ミニコンの固定ディスク上の画像データは、データハイウェイを通してホストコンピュータに送られ80Mbyteの個人用のディスクバックに保存される。この中に約160枚分の画像を保存することができる。

以上のようにとり込まれた画像データから色を測定する。色の測定は歴史的にも論争が多いが、CIE（国際照明委員会）では参照色に対する比色測定法をとっている¹⁾。ここでは全天からの自然光に対して、マンセルの標準色票のうち、白色と5R4/14の赤色をカメラに見せ、その時の絞りの調整によってRGBの色度座標を校正した。本来は色温度補正をすべきところではあるが、カメラにこの校正装置がないこと、自然光のものである程度の再現性が確保できたことにより、色温度補正は行わなかった。ただ明度を計算する上で、フレームメモリのビット幅が4bitと小さいため16階調の明度レベルしか得られず、校正に手間どった。カメラが撮影管を用いているため、視野に極端に明るいところが現われると、視野内の他の点にも影響が及ぶといったクロストークが大きくなり、正確な測定ができなくなるため、こ

れらは測定対象から除いた。最近普及してきている固体素子カメラ（CCDもしくはMOSカメラ）等を用いればこの問題は少なくなる。

2. 土壌状態の計測

以上のような装置を用い、画像データからいくつかの土壌の状態の観測を行なった。

(1) 土壌水分の計測

耕うんと砕土作業は、実際には天候や労働時間などによって制約を受けるが、土壌がこわれやすいときに行なうことが必要である。

土壌の力学的な強さは履歴的な条件を除けば土壌水分に大きく依存し、土によっても異なるが塑性限界付近にこわれやすい点がある。

このような土壌水分以外の時に耕うんや砕土作業を行なうと、土をねり返したり、土がガチガチの状態の時は砕土できなかつたりして能率が悪くなる。

この耕うん砕土適期の判定に土壌の表面色の変化から推定した土壌水分を用いた。

まず、前記の方法でとり込んだ土壌表面の画像を用い、度数の多い主要な30色を算出し、赤(R)、緑(G)、青(B)の比率の計算を行なった。そして次に、この30色の度数で重みをつけた平均の輝度を計算した。こうして土壌水分の異なる同じ圃場の土について測定した例を表-1に示す。

表記の水分は炉乾法で得られたものである。ここに示した度数は画面内の160×200ピクセルの領域内でのその色の数を示す。この表では主要な3色のみを挙げてある。こうしてみると土の色はrgb色度座標では水分が変わってもあまり大きな変化はなく、輝度に大きな変化が見られることが分る。この様子をグラフで表わすと、色度座標では図-3のようになる。

土の色については近接しており、ワラが離れているようすが分る。次に図-4に水分と輝度の相関を示す。

水分の増加に従って輝度が小さくなる傾向が分る。

実際の圃場での測定では、雑草やワラなどの土以外のものやそのかけなどがあって生の画像データから計算すると大きな誤差となる。

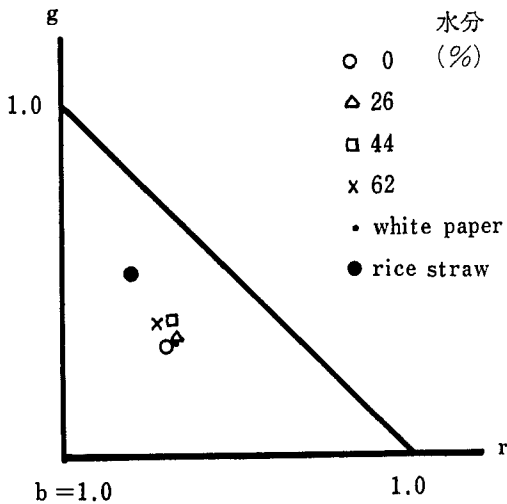
ここでは、土の示す色度座標からかけ離れているものは、論理的なフィルタをかけて除いている。ただ、土以外のものが表面を覆う割合が50%以上になると、クロストークが過大となるので、トラバースを動かして測定点を変更して測定しなおした。

こうして得られる土の状態についての指標は人間の目で見た感覚に近いものである。

ただ、この測定では水稻作後の水田で、表面に若干のひび割れ等の起伏はあるものの、ほぼ平らな状態の土の

表一1 土壤水分の違いによる RGB の度数

水分 Wb (%)	R	G	B	度数	輝度	r	g	b
0	13	15	13	8176	0.902	0.325	0.325	0.350
	13	13	13	7653				
	14	15	14	3734				
26	7	6	6	4855	0.438	0.331	0.355	0.314
	7	6	7	3544				
	7	7	7	2035				
44	6	6	6	4116	0.426	0.328	0.344	0.328
	7	6	6	3010				
	7	7	7	2833				
62	5	4	4	9384	0.278	0.275	0.381	0.345
	5	5	4	5658				
	4	4	2	5012				
白紙	15	15	15	31360	1.000	0.333	0.333	0.333



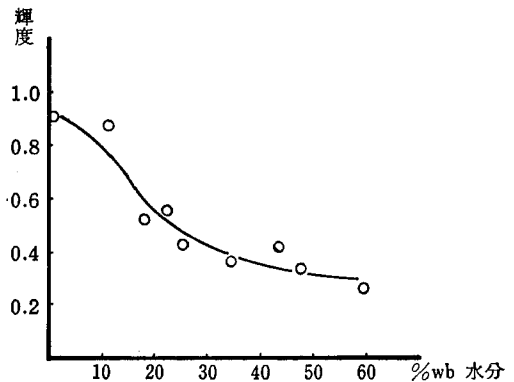
図一3 色度座標上の土壌の色

場合に有効であり、畑土壌のように団粒や粒子状の土の集まったものについては困難が多い。

(2) 碎土率の測定

耕うん碎土した後の土の碎土状態は、作物の発芽・苗立といった初期生育に大きな影響を与える。碎土状態が良くない場合には、ロータリをもう一度かけるとか、ドライブハローで細かくするなどして好適な播種床にする必要がある。こういう播種床の状態の適否を判別して作業を決定するために画像データを用いて碎土率の測定を行なった。碎土率の測定には白黒の画像データを用い、これを2次元フーリエ変換²⁾して得られるスペクトル密度の高周波成分と低周波成分の比によって求めた。

この2次元フーリエ変換は、作物の形状認識等のため



図一4 輝度の変化

に用いているもので、ロータリによる碎土後の圃場のよりに土壌の表面が方向性を持たない(等方性)場合には一次元のフーリエ変換でよい。計算機上でのフーリエ変換のアルゴリズムは、離散型の有限フーリエ変換であり、サンプルの点数が 2^n (n は整数)であれば高速フーリエ変換法³⁾(FFT)が使えるので、画像は 256×256 の領域を用いた。このFFTを用いて碎土率を導き出した過程を次に示す。

まず、光が斜めから土塊に当たる場合を考える(図一5)。一連の土塊の表面には明るい所と暗い所ができ、これを映す撮像管には輝度レベルの波ができる。この輝度レベルの波の位置についての周波数を空間周波数といい、光源の角度が変わっても空間周波数は変わらない。この波の空間周波数についてのフーリエ変換によって級数展開を行えば、低周波から高周波にかけてのスペクトル分布が得られる。画像の1ピクセルの大きさを a mm とする

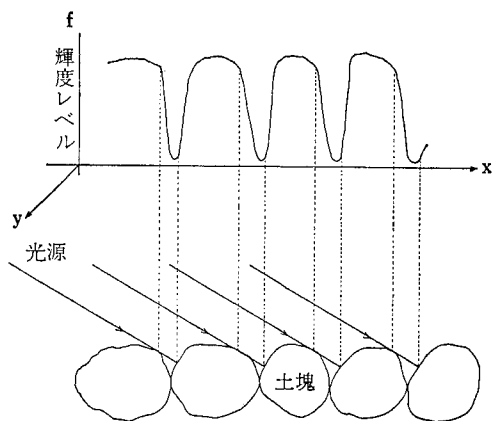


図-5 輝度の波の模式図

と、空間周波数が $10/a$ 以上のものの全体に対する比率によって、10 mm 以下の碎土率が決定される。

以上は一次元の級数展開によって碎土率を得る方法で、2次元FFTでは、得られたフーリエ変換値に次の範囲をマスクして計算した。

$$\begin{cases} 0 < u \leq 16.7 & \text{かつ} & 0 < v \leq 1 \\ 0 < v \leq 16.7 & \text{かつ} & 0 < u \leq 1 \end{cases}$$

ここで u は x 軸方向の、 v は y 軸方向の空間周波数であり、 $a=0.6$ mm より $10/0.6=16.7$ を得ている。

このようにして得られた碎土率と、従来のフルイを用いて測定して得られた碎土率を比較したものが表-2である。

表-2 フルイとの比較

	碎土率 (1 cm 以下の土塊の割合) %				
	1	2	3	4	5
フルイによるもの	90	78	65	56	44
画像を用いたもの	82	74	63	58	56

ここでは目の粗さが1 cmのフルイを用いた。この表を見ると番号2・3・4のものについてはある程度良い対応を示すが、1と5についてはかなりかけ離れた値を示している。これは1については土がサラサラの状態、表面の明暗が1ピクセル0.6 mmという画像システムの分解能よりも細かい土粒があるために、誤差が出るものと考えられる。また、5の土が粗い場合についてはフルイで測定する場合には一つの土塊となるものの、土塊の表面に凸凹があって、このため細かい土塊の成分が増えるために精度が悪くなると考えられる。

また、土塊が降雨後のように湿りすぎて小さな水たまりができるような状況では精度が悪化した。

以上のように碎土率の測定は、必ずしも満足のいくも

のではないが、従来の採土による方法に比べて簡便である。また、播種床に必要とされる碎土率は1 cm以下の土塊の割合が60%以上という従来の指標に従えば、この領域での測定で精度はそれほど悪化しないので実用上は大きな問題はないと思われる。

以上、ガントリーとそのカラー画像データシステムを用い、画像の色から土壌水分を、その表面のテクスチャから碎土率を求める方法を紹介した。このソフトウェアは6月と11月の耕うん碎土時に用いられ、作業判断の際の従来の人間の目を代替してきている。ただこのシステムは計算に多大の容量と時間を要する。簡便なカラーセンサや、BSO素子などを用いた画像処理法の実用化がなされれば、計算時間や容量の大幅な低減が可能であり、実用上の問題も少なくなるとと思われる。

引用文献

- 1) 池田光男 (1980) : 色彩工学の基礎, p.54~58, 朝倉書店.
- 2) William. K. Pratt (1978) : Digital Image Processing, p.235, John Wiley Sons, New York.
- 3) 三菱電気 (1977) : 数値計算サブルーチン・パッケージA, p.141~142.
- 4) 吉田健一, 小野公三, 西脇由和, 津野浩一 (1980) : 住友電気第117号, p.148~156.

質疑応答

川島 (農技研) 2次元フーリエ変換の意味とその解釈のしかたをもう少し詳しく説明してほしい。

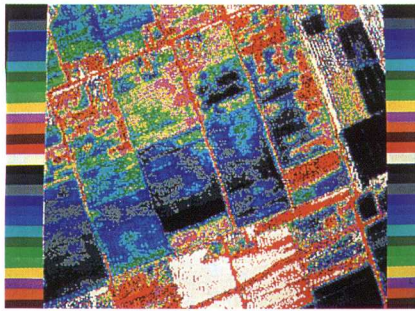
谷脇 今の場合、高周波成分を用いたが、本来は低周波成分を用いる。画像の特徴の抽出に使われる。

井上 (鳥取大) 真上から見る装置を用いて土壌水分を土壌の色で判定しようということだが、太陽光の影についてはどう対処して土壌水分の補正を行うのか。

谷脇 高周波成分を除いた後のデータで処理しようと考えている。変化が無いときの対応表と変化するときの輝度の分布からみたい。土壌水分は、碎土後より碎土前のものを知る必要がある。このとき、田面は一般に平坦で、表面はワラが有るぐらいで、ある程度平面と考えている。作物の影は明らかに暗い輝度が出るので除去できる。逆に、明るいものがあるとその周辺の土が暗くなるので、このノイズは問題である。

寺沢 (農技研) 関連したことであるが、土壌物理でマイクロストラクチャー (微細構造) を顕微鏡でみて写真とり一次鉱物やアグリゲートなどを判別しているが、その数量化に応用できるのではないかと。

長野間 (農研センター) 偏光顕微鏡でみたときの数とか面積などを画像処理できないか。



White	:	-----	2.1%
Red	:	2.1-----	7.5
Orange	:	7.5-----	8.5
Dark brown	:	8.5-----	10.7
Pink	:	10.7-----	11.8
Yellow	:	11.8-----	12.9
Light green	:	12.9-----	15.0
Green	:	15.0-----	16.1
Dark green	:	16.1-----	18.2
Light blue	:	18.2-----	20.4
Blue	:	20.4-----	23.6
Dark blue	:	23.6-----	27.9
Purple	:	27.9-----	34.4
Gray	:	34.4-----	41.9
Dark gray	:	41.9-----	61.3
Black	:	61.3-----	

Photo. 1 Distribution map of soil moisture ratio using SI.
(by aircraft MSS data, 1980.6.28)

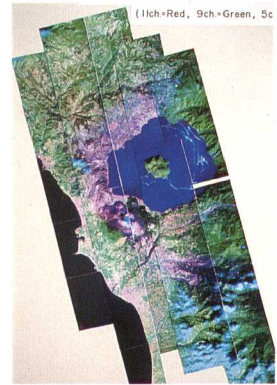


Photo. 4 False-color image around Mt. Usu.
(by aircraft MSS data, 1977.8.30)



Yellow	:	Rice
Red	:	Wheat
Pink	:	Beet
Sky blue	:	Bean
Dark blue	:	Onion
Yellow green	:	Grass
Blue	:	Water
Green	:	Tree
White	:	Strip ground
Black	:	others

Photo. 2 Land-cover classification in dry fields area
converted from paddy fields.
(by digital image data from aerial infrared-color film)

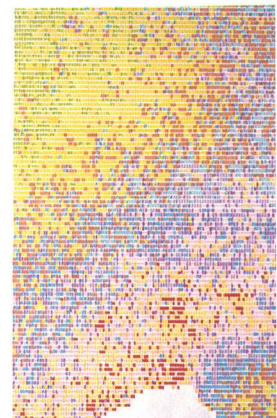
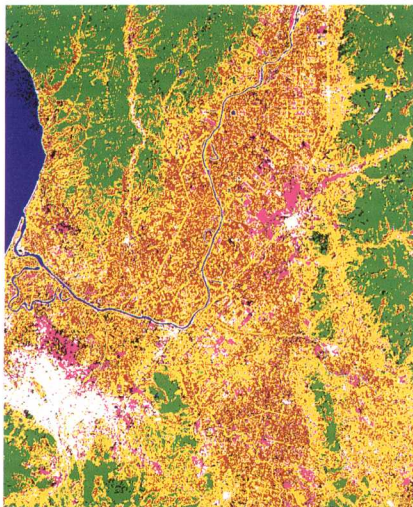
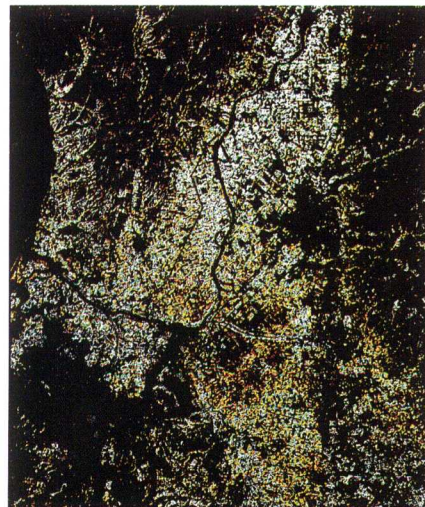


Photo. 5 Distribution map of ash-fall formed by
Mt. Usu eruption. (Mukodoya district,
by aircraft MSS data, 1977.8.30)



Red	:	Paddy fields	White	:	City or town
Yellow	:	Dry fields, Grass land	Blue	:	Water
Purple	:	Strip ground	Black	:	others
Green	:	Forest			

Photo. 3 Land-use classification in Ishikari plain.
(by LANDSAT MSS data, 1980.9.19)



Red	:	less than 350kg/10a
Yellow	:	350~400kg/10a
Green	:	400~450kg/10a
White	:	more than 450kg/10a

Photo. 6 Distribution map of rice yield in Ishikari plain.
(by LANDSAT MSS data, 1980.9.19)

谷脇 数をかぞえるのは容易だが、キャリブレーション上、どういふ写真を用いるかが問題である。たとえば、参照光が当たる色がかかっているとその色が反射光に入ってくる。その写真の見方がむずかしい。その後の入ってきたデータの処理は容易である。4096色の表現ができ、その全部をソーティングするプログラムをつくっており、それにかかる時間は5分間くらいである。

雨宮 (東京大) 画像処理装置は今いろいろなものが出ているが、ここでの 512×512 ピクセル (画素) のも

のが多いと思う。この装置は深さが4ビット16段階と思うが、この場合、たとえば土について (処理を) 行うとどの程度まで判別できるか、またはこの程度のもので十分かどうか教えてほしい。

谷脇 正直いって今の装置ではビット巾が少し足りない。画素数よりもビット巾を大きくした方がよい。それと共に、撮像管の特性が大きく効くため、オートレンジングを考えており、参照光に対して判断して絞りを決めるようにしたい。

総 合 討 論

座長 河野広（農土試）・長野間宏（農研センター）

座長 4人の演者よりスライド等を使って具体的な興味深い報告をいただいたが、総合討論にあたっては、①マイコンによる土壌物理計測手法 ②環境計測システム（面的立体的計測）の2点で行い、発表者相互間の討論も願いたい。

マイコンによる土壌物理計測手法

長野間（農研センター） 粕淵氏が用いたマイコンは16ビットのプロセッサを使っていると思う。国産のマイコンも多く発売されており GPIB インターフェイスも持っているようだが、Y社の製品では組み込まれているプログラムが便利なのだろうか。出来るだけ安くして便利に計測したいのが研究者の希望であろう。また、実験室からはなれた現場で計測することについてご意見を願いたい。

粕淵（農技研） 私の使っている YHP 9826 は16ビットで300万円くらいするが、GPIB のついた8ビットのものなら20万円くらいで買える。メモリーも30K バイトくらいもっている。私の今回は、20数K バイトしか使っていないので、ふつうの安いものでも十分使用出来る。

便利なのはスキナーを使って温度を測るとき、メーカー提供のソフトプログラムがついていて、熱電対のタイプとチャンネル番号を指定すれば温度が出てくるようになっている。しかし、内容はそうむずかしくなく、メーカーのプログラムは長いが、特定のもの測るには自作のごく短いものですむ。またプログラムもそう高くはないので、それをみながら若干修正して普通の計算機でも使えよう。また、どういうコマンドでどういう対応をするかは、測定機自身で決めてあり、その先の使いやすさがミソではあるが、この点はなくても困りはしない。

圃場での測定は、観測車を使って行いたいと考えているが、小型の発電機でも CPU は十分に動くとのことであり、電圧も周波数も大丈夫とのことである。

長谷川（農土試） 水分を測るとき、熱伝導率で量的に水分に変換するが、流れをおさえるときはポテンシャルを測る必要がある。熱電対で量的な水分を測るときは、センサーが小さいので短い間隔で測るが、ポテンシャルもそのレベルで測りたい。いいものがないだろうか。

粕淵 圧電センサーが売り出されているが、若干温度依存性があり、圧力を測っているのか温度を測っている

のかわからないということもあると聞いている。雨宮氏が詳しいのではないだろうか。

雨宮（東大農） ポテンシャルを測る手段はいくつかあるが、その中で連続して測れるものは、昔からあるテンシオメーターとか、サイクロメーターのようなものしかない。これらを工夫し、また長期使用に耐えるよう改良していくしかなさそう。人がついていないと機能回復しないという欠陥があり、それが解決されれば、テンシオメーターも、サイクロメーターもいい手段だ。そこでコンピューターに連続測定だけでなく、ダウンしたときの回復するロジックをもたせるようにできればよい。もちろん安定して誤差のないセンサーが出来ればよいのだが、多少悪くてもコンピューターの力を借りれば機能回復が出来よう。土壌環境計測は長期間であり、金と人手をかければ出来たが、CPU の力を借り、連続データが取れることを考えるなら、新しい時代も開けるのではないかと感じている。

座長 粕淵氏の話の中で、気象と地象、SPAC という話があったが、この点についての意見はどうでしょうか。

岩佐（農技研） 植物を扱っている立場からみて、地表の温度、水分変化の一番激しいところを植物は利用している。土壌だけのアプローチではなく、植物の方の流れとどうジョイントするかが重要であろう。

座長 三重のシンポジウムでは植物の生体情報の話もありましたが、他にはどうでしょうか。

須藤（茨大） 粕淵氏と谷脇氏が圃場レベルの仕事をしている。気象と地象について、気象は流れてくる空気の平均的な流れをとっているが、地象については平均化ができないから、どのようなモデルをつくるかが大切である。水についてはこれまでいろいろ議論してきたが熱については目をつぶっていた。地表の管理に際し、どのようなモデルを持っているのか。

粕淵 職場の土を扱う者で検討したことがある。裸地は扱いやすいが、植物が入った場合、根は土の中だが、葉はどうするかはむずかしい。太陽エネルギーが給源であり、植物を含めて対象とすべきであると考え。たとえば、熱帯のジャングルの土壌は非常にやせているが、生育はおう盛であり、養分の給源は植物の地上部にあり土に落ち分解し、すぐ吸収される。従って、土の肥沃度というより、植物を含めたトータルとして肥沃度（養分量）をとらえた方がよさそう。地球の界面科学というところがあるのではないだろうか。

谷脇（農研センター） 農業機械の分野で土を考える

と、土のごく表面が問題となる。土壌水分変化に伴い砕土されやすい状態のところがある。サンプルにした土は乾くと硬く、湿るとベトベトとなり時期を逸すると砕けなくなる。作物の初期生育に関係する砕土を考えるには表面 5~6 cm か 2~3 cm を対象として、今は仕事をしている。

環境計測システム

座長 このテーマは、衛星画像から飛行機の画像、地形情報、ガントリーなど、異なるスケールのものを含む。これらは土壌物理だけでなく土壌管理技術に接近するものとも考えられる。活発な議論を願いたい。

多田 (筑波大) いろいろなスケールの話が出ているが、各演者の頭に描くスケールについて広がり、深さ、高さはいかなるものか教えてほしい。

粕淵 上の方は空気だけでなく、植物の入ってくる層、下の方は温度変化のしない層 10 m くらいまで、縮めれば、水の流れる層 2 m くらいまで、広がりは一枚の圃場を考えたい。

三浦 (岡山大) 広がりは土性 (母材) が一様と考えられる範囲、農地開発を頭に描けば数 100 m~1 Km 程度まで、深さは重力により水が移動しない層までを考えている。

深山 (北海道農試) リモートセンシングでは地域計画、農村計画をたてるような、ある経済圏全体が対象のこともあり、又水田の圃区、耕区の土壌の物理性など圃場レベルのスケールを対象とする場合などさまざまである。スケールを考える場合、データの解像度すなわち地上での分解能も問題となる。航空機データの場合は飛行高度で異なるが実用的には 50 cm~1 m 以上である。現在のランドサットは一画素が 80 m だが今後 20 m くらいの解像度が期待されよう。

上下方向に関しては、私の場合は地表の分光反射状態を知り、それと地下の様子、また時間の流れとの関係など、いろいろなデータを重ね合わせて新情報を引き出すというような解析手法の開発が焦点になる。

谷脇 最近みた資料の中に、収穫農家が 40 万戸、1 農家が 25 ha を管理するという考えがあったが、現状では上限は季節労働者を入れても 10 ha である。ガントリーシステムは、それにベイする規模にしなければならず、25 ha 程度を考えている。深さは、水田利用再編対策の営農排水を考えるのが深さ 30 cm 程度であるので、耕うん土層の 10~30 cm を対象としている。

座長 深山さんに伺うが、ランドサットのデータを入力する方法、経費、データ解析の方法、農林計算センターの利用、MSS チャーターの経費を教えてください。

深山 ランドサットのデータの入手は日本、世界を問わず簡単である。現在は東京のリモートセンシング技術センター (RESTEC) に希望の月日、場所を申しこめば、検索システムが出来ており、購入手続をしてもらえる。費用は現在無償と有償の 2 システムがある。宇宙開発事業団で受信した日本国内のランドサットデータは利用プロジェクトがあり、これに加わってれば、年何シーンかは無償で提供される。有償の場合は、1 シーンの CCT テープが 8 万円であり、画像データは 1 枚 5 千円くらいである。航空機のデータは航測会社に発注する。経費はコース、フィルムコマ数や、高度にもよるが赤外カラー写真なら 100~150 万円である。航空機の MSS はまだ発注したことがない。造船振興財団の研究プロジェクトに参加すれば無償でやってもらえる。航測会社にたのむと赤外カラーの数倍の価格となろう。

画像解析は LARSYS など既存のソフトを使う場合は、CPU タイムに比例して費用がかかり、最低でも 50~60 万円位となろう。最近はミニコンをベースとした専用の画像解析システムの利用が盛んであり、経済的だといわれている。64 K バイト、16 ビットの CPU と周辺機器 (磁気テープ装置、カラーのディスプレイ等) をつけ、自分でソフトをつくれれば 1000 万円位でシステムは完成する。

このようなシステムを用いた経験では 900 ピクセル × 1000 ライン × 4 チャンネルの画像の判別分類で約 4 時間で終了した。

座長 リモセンに関する各分野での利用についてはいかがでしょうか。

袴田 (公害研) リモートセンシングでは自分と物体の間に大気や機械が入る。得られるデータも多く解析方法はそろっているが、対象物の調査はむずかしいのではないか。その対象物のグランドトゥルスデータのとり方の苦勞を聞かせてほしい。

深山 おっしゃるとおり、グランドトゥルスは苦勞が多い。私自身も地上の調査を重要視してデータ収集を実施している。たとえば、航空機が飛ぶ日はできるだけ多くの人を動員して、水温や土壌の調査を多点で行う。自動計測をとり入れるのも有効である。また北海道農試内 (約 1000 ha) では、収量等いろいろな他分野のデータもあるので、協力を得てやっている。

座長 個別質疑の中で木下さんから斜面上の凹凸だけでは単純すぎないかとの話がありました。何か補足の説明意見をお願いします。

三浦 木下さんのおっしゃる通りです。傾斜地をどのように扱えたかについてお話しします。傾斜地を歩くと尾根が乾き、谷が湿っており、また夜間には谷に冷気がたまっているのを肌で感じてきた。この地形による湿潤

状態の差異を地形の曲率により表現することを考えた。曲率は、土壌の物理性を介して土壌水分量に、また直接に土壌水分量に影響を及ぼすと考えられる。私は、私が原因と結果と考えている曲率と土壌水分量との関係をまず押さえることにした。今後、土層の厚さや土性などを扱っていききたい。測定してみると、粘質土が尾根に侵蝕されずに残っていたり、地形形成時の母岩が露出していたりかなり入り組んだ状況を示す。これらをどう扱うかも今後の課題である。

須藤 木下氏へ少々反論したい。土壌学の中で水田の水サイクルについていうと、養分は横移動していることも考えねばならない。しかし、土壌学は畑で生まれたものであり、畑では、タテ浸透を中心において土壌のプロファイルを作るのが根幹になっていると思う。しかし、水田では横方向のウェイトが高い。この視点がぬけていたのではないか。また地形の視点も同じで、日本のような複雑な地形での土地利用においては、横や斜めの移動があり、これまでの上下のプロファイルで考えてきた土壌学に、横方向の考えをとり入れるものとして、三浦氏の考え方はひとつのきっかけを与えていると思う。

有光 (林試) 林地の傾斜地の土を扱っている立場で、少々コメントしたい。土壌の生成要因として地形が影響しているのは当然と思う。ダイレクトにそれが影響していて、土壌水分や養分の環境が決ってくる。三浦氏のような解析のしかたもひとつの有力な手法である。我々の中にも地形の表現手法を検討している研究者もいる。曲率とは少々異なるが、凹地形凸地形平行斜面は地形図のコンターを見れば大体判別つく。ただ数量化できるのはけっこうだが、我々の方ではさらに、凸地形、平行斜面などの中を細くみる。細かなひだに応じて、微細な環境が異ってくる。凸地形でも粒径が異っている。そこでメッシュを細かく又は粗くして、このメッシュの粗さ又は細かさでどう表現が異なるか。また斜面の長さによる水供給の差もあるので、この点の表現も加味した表現を常日頃考えている。三浦さんの手法はある狭い地域での表現では有効であろう。その場合にも、地形の要因だけを比較するなら、他の条件は均一でなければいけない。たとえば母材量など、関東ロームでは尾根にはロームがのっており、谷は頁岩などということでは比較できない。他の条件が同一に出来る場所でしなければいけないだろう。

塩沢 (山形大) 凹凸、曲率の差による乾燥の度合の

要因として、三浦氏は土性、保水性、透水性の差と、水の移動の2点をあげていたが、風の当り方の違いなどは大きな要因とはならないのか。

三浦 傾斜地と平地の違いを2因子から説明したが、重力による水移動と日射量と共に、卓越風に対する露出度にも差があり、尾根は谷に比べて風が強くなる。この卓越風に対する露出度もまた曲率(凹凸)により評価できるものと考えられる。土壌水分量の分布は、降雨直後の重力による水移動(流出)の段階で大かたが形成されるものと考えており、次の段階の乾燥化の過程でいてくる風の影響は比較的小さいものと考えている。

私の場合はメッシュ間隔を10mだと計算が大変だし、大きくすると実際の地形状況が表現できないので20mとした。土壌水分量の測定は100ccの円筒で行ったもので、対応メッシュ間隔との関係がよくわからない点である。リモートセンシングでの環境計測における適正なメッシュ間隔について知りたい。

深山 何を対象に何を測るのがメッシュ間隔を決めるポイントである。たとえば斜面の問題でも数mオーダーの詳細な起伏が問題なのか、あるいは100mオーダーでもよいものか、また土壌の物理性がどのくらいの距離的なオーダーで変るものなのかなど、対象の状態や解析の目的をはっきりさせることが必要である。リモセンデータでは地上分解能がメッシュ間隔に相当しよう。農業分野で利用する場合の、衛星データの地上分解能は何メートルが必要かと問われることがあるが、マクロ的な情報を求めること、又、水田の短辺が30mであることなどを考えれば30m、あるいは20m以下でない日本の農地では使いづらい。

座長 座長として今回のシンポジウムを簡単にまとめておきたい。

横井会長の開会挨拶の中で、わが国の土壌物理研究が独自の道を拓いてゆく時代にさしかかっている、という話を聞いた。今回の「土壌環境計測」はその意味で土壌物理研究の一つの新しい方向づけをしたものと言える。

各講演者の発表内容も、単なるミクロな土壌物理ではなく、広い空間内の物や状態の分布を対象とし、多量のデータを迅速に処理、解析する手法を導入したものであり、今回のテーマに十分応えてくれたものと評価できよう。

会場からも活発な討論をいただき、実り多い集会であったことをお礼申し上げます。

低水分張力域における保水量の温度変化

中山 熙 之*

Change of moisture content with temperature in the zone of low moisture tension

Hiroyuki NAKAYAMA

I はじめに

土壌水分一定時の水分張力が温度によって変化する現象、あるいは逆に水分張力一定時の土壌水分量が温度変化をする現象の研究は、Moore¹⁾ (1940) によって開始された。その後 Gardner²⁾ (1955), Wilkinson and Klute³⁾ (1962) および Haridasan and Jensen⁴⁾ (1972) らの実験的研究により「土壌水分張力の温度変化は、水の表面張力の温度変化から予想されるよりも大きい」ことが確められた。Peck⁵⁾ (1960) および Chahal⁶⁾ (1964) は、その事実を土壌中の封入空気の影響で説明しようとしたが、封入空気の影響をできるだけ排除すべく努めた Haridasan ら⁴⁾ の実験においてもやはり計算値よりも大きな水分張力変化が認められた。今までのところこの現象を完全に説明する理論は確立されていない。

ところで彼らの対象とした水分領域は比較的高張力域である。しかし、転換畑において浅い地下水面とその直上の土壌水分の関係を扱うような場合には、水分張力が数十 cm 以下の領域における保水量の温度変化に関する情報が必要になることがある。表層土壌は一般に温度の日変化が大きいため、保水量の温度変化が大きければ表層土壌の水分が昼と夜とで異なることになる。表層土壌の水分の増減が、下層からの水の吸い上げまたは下層への水の排出という形で生じるものとすれば、保水量の温度変化の程度によっては、地下水位そのものが昼と夜とで変化する可能性がある。このような視点から二種の土壌について低張力域における保水量の温度変化を調査した。

II 調査方法

実験は農業土木試験場土壌実験棟恒温室において行った。同室の温度制御能力は 5~35°C の範囲で設定温度 ± 1.0°C となっているが、調節範囲の限界付近では制御精度が低くなるので実験には 8~33°C の間を用いた。試料は豊浦標準砂（以下標準砂という）及び農業土木試験場

構内畑圃場表土で関東ロームである。

保水量測定試料作製のため、内径 48.3 mm、外径 50.6 mm のシンウォールサンプラーを長さ約 5 cm に切断した円筒の一端に汙紙を巻いて針金で固定し、その中に風乾試料を詰めた。これを 60(760-700)mmHg で減圧脱気した水中に浸漬して飽和させ、一旦網目間隔 0.25 mm のフルイ上に一昼夜静置して「水締め」**を行い、沈下した分の試料を補充した。これを再び脱気水中に浸漬飽和して、図-1 のようなプリズム型吸引装置にセットし、蒸発を防ぐため全体をビニルシートで覆うとともに、装置の傍に湿った布を置きその一端をシートの際間より外に出して水に浸し、シート内の湿度が常に 100% を保つようにした。

温度の設定は 8, 20, 33°C の 3 段階、水分張力は 10, 30, 50 cm H₂O の 3 段階、試料数は各土壌とも 3 個である。実験は先ず 8°C において h=10 cm の張力を与え、1~2 日して土壌水分が平衡したとき試料重量を測定した。次いで水分張力 30 cm, 50 cm における測定を行い、50 cm の測定が終わった後試料を再び脱気水中に浸漬した。各温度において同様の操作を繰返し、最後に炉乾重

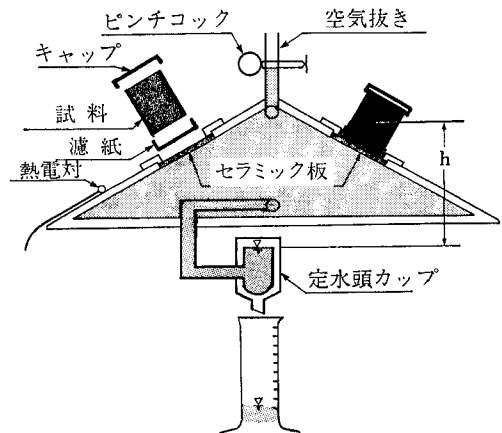


図-1 定水分張力吸引装置

* 農業土木試験場

** 飽和土壌から水を排出させると土壌が沈下して間隙率が減る。このようにして試料の密度を増す方法をここでは「水締め」と呼ぶ。

表-1 保水量測定試料の物理性

試料	粒度分布			真比重	乾燥密度 g/cm ³	間隙率 V _v	
	mm 2~0.02	mm 0.02~0.002	mm <0.002			m	Cv
豊浦標準砂	100%	0%	0%	2.64	1.534	41.9%	0.003
関東ローム	8	53	39	2.64	0.633	76.0	0.003

m : 3個試料の平均値 Cv : 変動係数

量を求めた。炉乾前の観察では何れの試料にも沈下は生じていず、水締め効果のあったことがわかった。温度分布の均一性をチェックするため吸引装置の2点の温度および室温を熱電対で測定した。なお、シンウォールサンプラーを用いたのは、吸引装置のセラミック板の直径が53.5mmで通常の100cc採土缶では濾紙を巻いたときの折重ね部分が邪魔になってセットできないためである。

III 結果と考察

保水量測定試料の物理性を表-1に、各温度における保水量を表-2に示す。データは、粒度分布を除いて、何れも3個の平均値である。また図-2に、8°Cの場合の水分張力hと体積水分率θの関係を示した。図-2によれば、両試料とも0 ≤ h ≤ 50cmの範囲では(h, θ)が直線上に並ぶようである。特に砂質試料ではh=40cm H₂O付近に変曲点をもつことが多いので測定間隔をもっと密にすれば(h, θ)が直線から外れる可能性もないとは言えないが本報告では一応関係が直線近似できるものとみなして考察を進めることにする。各温度におけるh~θの一次回帰式を求めると次のようになる。

θ = -0.098h + 41.6 (8°C)

標準砂 θ = -0.17h + 42.2 (20°C)

θ = -0.18h + 40.4 (33°C)

表-2 各温度における保水量 (体積水分率)

試料	温度	h=10cmH ₂ O		h=30cmH ₂ O		h=50cmH ₂ O	
		m	Cv	m	Cv	m	Cv
標準砂	8°C	40.4	0.013	39.0	0.014	36.5	0.011
	20	39.8	0.019	38.6	0.015	33.1	0.030
	33	38.4	0.009	35.6	0.015	31.4	0.039
関東ローム	8°C	67.2	0.015	63.0	0.042	57.9	0.045
	20	65.3	0.011	61.6	0.030	54.2	0.034
	33	63.5	0.006	58.2	0.037	51.2	0.027

h : 水分張力 m : 3個試料の平均値 Cv : 変動係数

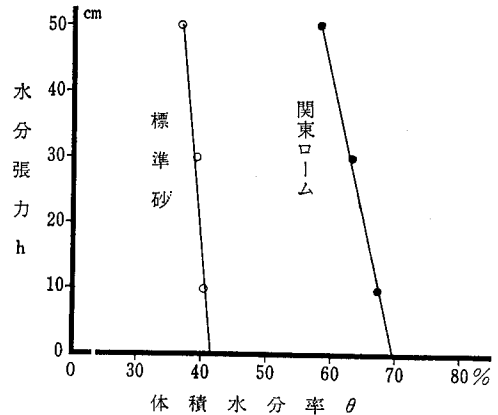


図-2 8°Cにおけるθ-h関係

θ = -0.23h + 69.7 (8°C)

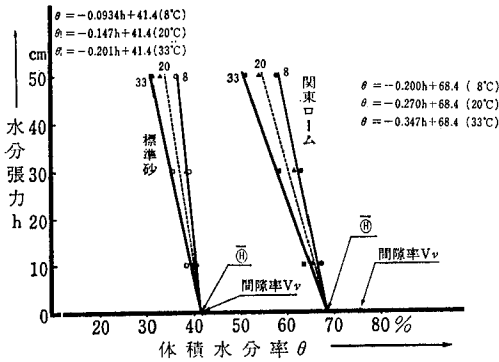
ローム θ = -0.28h + 68.7 (20°C)

θ = -0.31h + 66.9 (33°C)

これらの式において右辺第二項に示す回帰定数θ(図3参照)は、h=0における水分量の外挿推定値である。h=0とは試料中の水に外部から吸引力が作用していない状態であるから、h=0の水分量とは試料の保持しうる最大水分量に他ならない。したがってθは直線近似による推定最大保水量である。

標準砂について各温度におけるθの平均値θ̄を求める
 $\frac{41.6+42.2+40.4}{3} = 41.4\%$ (標準偏差0.748%, 変動係数0.018)となり、表-1における間隙率V_v=41.9%にはほぼ一致する。言い換えればθ̄は全ての空隙に水が満ちたときの水分量V_v、すなわち保水量の実際の最大値に等しい。推定最大保水量の平均値と現実の保水量の最大値が一致することは、標準砂に対する適用近似式が妥当であることを示すものといえよう。

また変動係数から分るようにθの温度変化は小さいので、実験条件の範囲内ならば最大保水量は温度に拘らず一定値θ̄を取るとみなしても差支えないであろう。そうすれば保水量の温度変化は基本的にh~θ直線の勾配の変化として表わすことができ、現象の把握が簡明になる。このような観点から各温度における直線の勾配を、



図一 3 平均推定最大保水量 $\bar{\theta}$ を通る回帰直線の温度変化

$h=0$ で $\bar{\theta}$ を通るといふ条件の下に、最小二乗法で求め図一 3 の左半分を示した。同図によれば、横軸に θ 、縦軸に h をとったとき、温度の上昇に連れて直線が次第に左側に倒れていく様子が伺える。

次に関東ロームについて $\bar{\theta}$ を計算すると $\frac{69.7+68.7+66.9}{3}=68.4\%$ (標準偏差 1.159%, 変動係数 0.017) となって表一 1 の間隙率 V_v (76.0%) よりも明らかに小さく、標準砂とは様子を異にする。つまり、直線近似式から推定される最大保水量は飽和水量に満たず、外部から何の吸引力も作用しない $h=0$ という条件下でも試料が不飽和であることになる。ここから関東ロームに対し次の疑問が生ずる。

i) $h=0$ における本当の水分量は $\theta=V_v$ (飽和水量) であり $\theta=\bar{\theta}$ という推定値は誤りであるのか、それとも

ii) $h=0$ における保水量は実際に $\theta=\bar{\theta} (<V_v)$ であり、全間隙が満水されていないのが事実なのか。

筆者は試料の初期水分調整法からみて後者の可能性が強いと考える。関東ロームの場合、風乾試料を脱気水に浸漬する方法では一定量 v の微細間隙中の空気が水と置換しきれずに残存し、全間隙からその分を除いた $(V_v - v)$ 量の間隙だけが置換性間隙として水で満たされる。すなわち関東ロームにおける推定最大保水量の平均値 $\bar{\theta}$ は、標準砂のように全間隙中に満水した水量 V_v を示す ($\bar{\theta}=V_v$) のではなく、置換性間隙を満たした水量を表わす ($\bar{\theta}=V_v - v$)。

このように考えれば、関東ロームの $\bar{\theta}$ あるいは各温度における θ は、飽和水量よりも少ないけれども実際の最大水分量であることが説明できる。なお標準砂の場合に両者が一致したのは、たまたま標準砂の間隙が全て置換性間隙であり非置換性の微細間隙がなかったためであると理解される。

さて、変動係数から知れるように関東ロームの θ の温

度変化も小さいから実験条件の範囲内では一定値 $\bar{\theta}$ をとるとみなし、標準砂の場合と同様にして各温度における直線を求めた。その結果を図一 3 の右半分に示した。関東ロームの場合やはり温度の上昇に伴って直線が左方に傾いていく傾向が明らかである。これは次の二つのことを意味する。

- ① 土壌の同一水分張力における保水量は温度が上昇すればするほど減少する。
- ② 温度上昇が同じ場合、保水量の減少は水分張力が高くなるほど著しい。

なお、Haridasan⁴⁾ らは、圧力ヘッドがゼロ近くの水分量は低温時より高温時の方が多い旨を述べた。ゼロ近くの圧力ヘッドとは、彼らの示した Fig.2 からみて約 $-10 \text{ cm H}_2\text{O}$ のヘッドだと思われる。本報告における水分張力 $10 \text{ cm H}_2\text{O}$ の水分量も低温時の方が多く、彼らの結果と一致している。

今回の実験は目的を保水量の温度変化の測定に置いたため水分張力の温度変化は直接計測しなかった。一方、水分の少ない領域の研究では水分量を一定に保って pF 値の温度変化を追跡する方法が多く採用されている。データ解析の仕方が上記のままでは今回の結果と既往の成果との比較が困難なので、次のような間接的な方法により同一水分量における水分張力の温度変化を求めた。

先ず各温度において、 h を θ で表わす必要がある。今まで述べてきたことから $\theta-h$ 関係は $\theta=\bar{\theta}$ で $h=0$ を通る直線で近似できると考えられる。今、独立変数を θ 、従属変数を h とする直線の温度 T における勾配を最小二乗法によって a_T と定め、水分量 θ_i における水分張力を $h_T(\theta_i)$ とすれば直線は $h_T(\theta_i) - 0 = a_T(\theta_i - \bar{\theta})$ すなわち $h_T(\theta_i) = a_T(\theta_i - \bar{\theta})$ の形に書くことができる。同一水分量 θ_i における温度 T' の水分張力 $h_{T'}(\theta_i)$ も同様の形に書けば両者の比は

$$\frac{h_{T'}(\theta_i)}{h_T(\theta_i)} = \frac{a_{T'}(\theta_i - \bar{\theta})}{a_T(\theta_i - \bar{\theta})} = \frac{a_{T'}}{a_T}$$

となり、水分量 θ_i に拘りなく両温度における直線の勾配の比で表わされる。表一 3 に水分張力および表面張力に関する計算結果を示した。

8°C の場合と 33°C との場合を較べると、水の表面張力の減少率 0.05 に対し、標準砂の減少率は 0.54、関東ロームのそれは 0.42 で各々水の 10.8 倍及び 8.4 倍にも達する。これは Gardner²⁾ の砂壤土のデータ (水分 14.9%, 温度 20→40°C, 平均 pF 2.2 の場合) から計算した 10.9 倍及び Haridasan⁴⁾ らの Dubbs シルトロームのデータ (水分率 0.40 cm^3/cm^3 の場合) による 6.1 倍に近い値である。要約すれば

- ③ 一定水分量における土壌水分張力は水の表面張力と同じく温度の上昇に伴って低下するが、その低下

表-3 水の表面張力及び同一水分量における土水分張力の温度変化

温度及び比率	8°C	20°C	33°C	$\frac{h_8}{h_8}$ または $\frac{\delta_8}{\delta_8}$	$\frac{h_{20}}{h_8}$ または $\frac{\delta_{20}}{\delta_8}$	$\frac{h_{33}}{h_8}$ または $\frac{\delta_{33}}{\delta_8}$
標準砂の張力 h_T	$h_8 = -10,627 \times (\theta - 41,4)$	$h_{20} = -6,495 \times (\theta - 41,4)$	$h_{33} = -4,936 \times (\theta - 41,4)$	1.00	0.61	0.46
関東ロームの張力 h_T	$h_8 = -4,963 \times (\theta - 68,4)$	$h_{20} = -3,670 \times (\theta - 68,4)$	$h_{33} = -2,866 \times (\theta - 68,4)$	1.00	0.74	0.58
水の表面張力 σ_T	74.48 (dyn/cm)	72.75 (dyn/cm)	70.67 (dyn/cm)	1.00	0.97	0.95

率は水の表面張力の低下率よりもはるかに大きい。

以上、今まであまり知られていなかった飽和に近い多水分領域においても少水分領域と同様に保水状態の大きな温度変化のあることが判明した。この現象の原因を確定することは困難であるが、一つの要因としてはやはり Peck⁵⁾ や Chahal⁶⁾ の指摘した捕捉空気の影響が考えられよう。Chahal および Yong⁷⁾ の実験によれば、初期不飽和土壌において温度およびマトリックスアクションを一定に保ったときの水分量は、吸引法の方が加圧法よりも明らかに少ないが、これは吸引法の場合気泡体積が膨張するためであり、土壌水中に捕捉された気泡が一定張力値の水分量に影響を与え得ることを示すものである。

一方 Haridasan⁴⁾ らは、試料を CO₂ 置換法によって完全飽和し使用した水も脱気水であるから捕捉空気の影響は回避できたと考えている。しかし試料が測定過程で不飽和状態に置かれる限り土壌水と空気とは接触せざるを得ず、接触すれば空気は Henry の法則に従って土壌水中に溶解する。すなわち接触空気圧が高いほど、温度が低いほど、接触時間が長いほどそして水の単位質量当りの接触面積が大きいほど多量の空気が溶解する。Haridasan⁴⁾ らの実験は不飽和透水係数の測定に主眼があるため、「脱気水」が常に不飽和土壌中を流下しており、土壌の不飽和度を調節するため種々のレベルの気相圧力が土壌に与えられた。彼らの示した Fig.4 A によれば圧力ヘッドがゼロ近くの最大透水係数でも 6 cm/hr であり、カラムの高さが 10 cm であるとすれば水が流入しはじめてから流出し終えるまで 1.7 時間大気圧以上の空気と接触したことになる。ヘッドが -100 cm H₂O になると透水係数は 7×10^{-2} cm/hr、接触時間は 139 時間にも達する。このような条件下では、土中を流れる水は空気を溶解しており、水が土壌中を流動する過程で間隙径の急変部に気泡を発生する可能性が残ると筆者は考える。つまり、Haridasan⁴⁾ らの方法では気泡の影響を必ずしも完全除去したことにはならず、そのため圧力ヘッド-水分量関係に温度依存性が現れるものと思われる。

なお、以上の考察と関連して、関東ロームの最大保水量と温度の関係には検討の余地が残されている。関東ロ

ームの最大保水量は温度が上昇するほど減少する傾向がわずかにある。これを、低温で溶解していた空気が温度の上昇によって気泡として析出し、しかも温度の上昇に伴って空気体積が膨張したためだと解することも可能である。しかし、標準砂の場合には最大水分量と温度との関係は明白でなく、しかも両試料において最大水分量の変動係数は同程度に小さい。両試料を統一的に説明するため本報告では、 $h=0$ における水分量の温度変化は無視し得るという立場をとったが、 $h=0$ においてもかなりの不飽和間隙を有する土壌は別に扱うべきなのかも知れない。この問題は更にきめ細かな実験によって詰めて行く必要がある。

保水量の温度変化という現象は、原因の解明も重要であるが、その現象が惹起するかも知れない結果も重要である。浅い地下水位を持ち土壌表面付近まで多量の水を含む土壌の温度が日中上昇し、そのため表層土壌の保持し得る水分が減少し、保持しきれなくなった水分が下方に移動して地下水面直上層位の不飽和間隙を満たしたとする。その層位は飽和層位に、したがって地下水面以下の層位になったことになる。これは、表層土壌の温度上昇によって地下水位が上昇する可能性を表わしており、事実、屋外に置かれた土槽の地下水位が日中上昇して夜間に低下する事例⁸⁾ が報告されている。低張力域における保水量の温度変化が上述の程度に大きければ、土壌の不飽和透水性によっては、そのようなことも十分に起り得るであろう。この点に関する詳細な報告は追って発表の予定である。

IV 摘要

水柱表示 50 cm 以下の低水分張力域における保水量の温度変化を実験的に研究した。試料は豊浦標準砂と関東ロームで、結果は以下のようである。

- ① 土壌の同一水分張力値における保水量は、温度が上昇すればする程減少する。
- ② 温度上昇が同じ場合、保水量の減少は水分張力が高くなるほど著しい。
- ③ また、同一水分量における水分張力は水の表面張力と同じく温度の上昇につれて低下するが、水分張力の

低下率は水の表面張力の低下率よりも大きかった。

謝 辞

本研究の遂行に当って農業土木試験場農地整備部農地整備第三研究室の根岸久雄室長からは貴重な御助言を頂いた。同室研究員長谷川周一博士には実験条件の整備に関して御協力を頂いた。また関東ロームの粒度分析は茨城大学農学部学生佐藤泰一郎君の御協力に依った。記して感謝の意を表する次第である。

なお、本研究は農林水産省のプロジェクト研究「転換畑を主体とする高度畑作技術の確立に関する総合的研究」に参加した昭和54～56年度に担当した課題「地下水位の変動機構」の研究過程で得られた成果を含むものであり、データの一部は高性能水圧地温計測装置に記録させたものであることを附記する。

引 用 文 献

- 1) Moore, R. E. : The relation of soil temperature to soil moisture : pressure potential, retention, and infiltration rate. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 5, 61~64 (1940)
- 2) Gardner, R. : Relation of temperature to moisture tension of soil. *Soil Sci.*, 79, 257~265 (1955)
- 3) Wilkinson, G. E. and Klute, A. : The temperature effect on the equilibrium energy status of water held by porous media. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 26, 326~329 (1962)
- 4) Haridasan, M. and Jensen, R. D. : Effect of temperature on pressure head-water content relationship and conductivity of two soils. *Soil. Sci. Amer. Proc.*, 36, 703~708 (1972)
- 5) Peck, A. J. : Change of moisture tension with temperature and air pressure : theoretical. *Soil Sci.*, 89, 303~310 (1960)
- 6) Chahal, R. S. : Effect of temperature and trapped air on the energy status of water in porous media. *Soil Sci.*, 98, 107~112 (1964)
- 7) Chahal, R. S. and Yong, R. N. : Validity of the soil water characteristics determined with the pressurized apparatus. *Soil Sci.*, 99, 98~103 (1965)
- 8) 東近農試畑作部農業土木研究室 : III 下方からの補給水量。昭和47年度畑地における水利用の研究, 85~99 (1972)

(1983. 4. 15 受理)

Summary

Changes in soil moisture content with temperature were studied experimentally within a moisture tension range of less than 50 cm H₂O. The results obtained by using Toyoura standard sand and Kanto loam as samples were as follows.

1. For the same moisture tension, the soil moisture content preserved decreased with the increase of the temperature.
2. In the same range of temperature increase the decrease of moisture content under higher moisture tension conditions was more pronounced than that under lower moisture tension conditions.
3. For the same moisture content, the moisture tension as well as surface tension of water decreased when the temperature rose, but the rate of decrease per unit temperature of the former was more pronounced than that of the latter.

八郎瀉干拓地における田畑輪換と土壤理化学性の変化

三 浦 昌 司*

Effect of paddy-upland rotation on the physical and chemical characteristics
of soils of Hachirogata reclamation area

Shoji MIURA

Ongata Branch, Akita Agricultural Experiment Station

1. はじめに

昭和41年に干陸された八郎瀉干拓地では、昭和50年から1戸当り耕作面積15haで、水田8.6ha、畑6.4haの田畑複合経営が行われている。畑作物では秋播小麦が75%と最も多く、ついで大豆の7%である。秋田県における秋播小麦の作季は、9月下旬から翌年7月下旬までであるので、八郎瀉干拓地における栽培体系は、水稲と秋播小麦、それに大豆を加えた田畑輪換である。

干拓直後の八郎瀉干拓地土壤は、強グライ強粘質土壤が79.8%を占め、機械作業や作物生育に障害を与えていたが、年数の経過とともにいわゆるヘドロ土壤の耕地化が進みつつある²⁾³⁾⁵⁾。とくに田畑輪換が導入されてからの土壤および作物生育の変化が大きいので、土壤調査と栽培試験によってこの点を明らかにしようとした。

2. 入植圃場における田畑輪換と土壤理化学性の変化

土壤の性質が比較的均一で、かつ干拓地の中で最も長く作物栽培が行われている第1次入植地の中の田畑輪換圃場を対象に、土壤断面調査、地耐力測定、土壤分析を行った。

1) 調査方法

(1) 調査圃場

調査地点を図-1に、調査圃場の概要を表-1に示した。第1次入植地は干拓地西南部の南部排水機場北側にあり、H11圃場がやや粗粒質であるほかは大部分強粘質土壤よりなる。調査は昭和53年4月の春耕前に行った。なお調査前5日間に降雨はなかった。

(2) 調査方法

深さ60cmまでの土壤断面調査と地耐力測定(SR-II型土壤抵抗測定器、断面積6cm²使用、1地点3点測定)、ならびに第4層までの土壤理化学分析を行った。

分析法の概要は次の如くである。

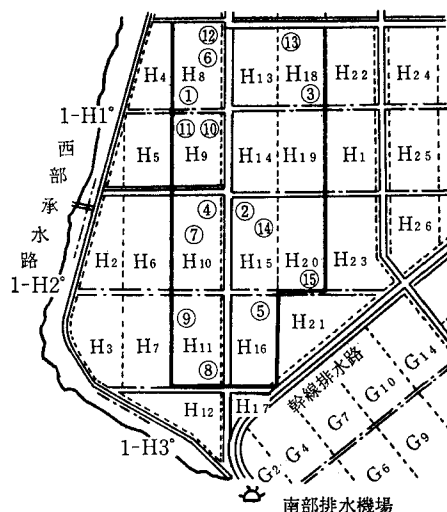


図-1 第1次入植圃場調査地点図

- ① 三相分布：100ml容実容積測定器使用。1層位2点測定。
- ② pH：湿土はH₂O-pH、乾土はKCl-pHを測定。
- ③ 水溶性成分：1：10水浸出液について測定。
- ④ 易酸化性硫黄：土壤に6%-H₂O₂を加え湯浴上で加熱分解後、BPPを指示薬とし、0.1N-NaOHで滴定(0.1N-NaOH 1ml=4.00mg SO₃)する簡易測定法⁷⁾。
- ⑤ 乾土効果、地温上昇効果：乾土を灌水状態とし、30℃で28日間インキュベート、生成したアンモニヤ態窒素を乾土効果とした。また40℃、28日間インキュベートで生成するアンモニヤ態窒素との差を地温上昇効果とした。
- ⑥ 置換容量：ショーレンバーガー法による測定。

なお測定値はいずれもそれぞれの調査区に含まれる調査圃場の平均値として示した。

2) 調査結果と考察

(1) 土壤断面調査

* 秋田県農業試験場大瀧支場

表一 1 調 査 圃 場

地 点 調査区	調 査 圃 場	年 次 別 栽 培 法										水田・⑤別 年 数
		43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
1. 水 稻 連 作 区	① H 8-5, ② H 15-11, ③ H 18-3											10
2. 畑 転 換 1 年 区	④ H 10-10, ⑤ H 16-11											9→①
3. " 2 年 区	⑥ H 8-10, ⑦ H 10-8			水	田							8→②
4. " 3 年 区	⑧ H 11-3, ⑨ H 11-7											7→③
5. " 7 年 区	⑩ H 9-5, ⑪ H 9-6					畑						3→⑦
6. 水 田 還 元 1 年 区	⑫ H 8-11, ⑬ H 18-8											7→②→1
7. " 2 年 区	⑭ H 15-8, ⑮ H 20-5											3→⑤→2

* 1 圃場(1,000m×600m)が12に区分されている。

全地点の土壌断面を図一2に示した。土色が10YR~7.5Yの土層を酸化色土層, 10Y~2.5GYの土層を還元色土層とすると, 水稲連作区の酸化色土層の厚さは17cmであるが, 畑転換1年区28cm, 同2年区36cmであって, 畑転換1年を経過する毎に酸化色土層は約10cmづつ厚くなっている。畑転換3年区は他区に比較して特に酸化色土層が厚いが, これは前にも述べたようにこの調査区がやや粗粒質のH11圃場にあるためと考えられる。

畑地を水田に還元した場合をみると, 水田還元1年区では畑期間が短かったこともあって酸化色土層は14cm, 33cmと薄い, 畑期間が長い水田還元2年区では30~50cmであって, 以前の強グライ土壌に戻らない場合もみられた。

ち密度は水稲連作圃場では最大11であって, 畑転換により第1層, 第2層では大となるが, 水田還元により小となる。斑紋も畑転換によって増加し水田還元で減少する場合が多かった。

(2) 地耐力

大円錐貫入抵抗値を図一3に示した。

水稲連作区は表層から下層までほぼ2kg/cm²であるが, 畑転換1年区では10~15cmの部分が約4kg/cm², 畑転換7年区では約4.5kg/cm²であって, 畑転換を続けることによってこの部分の貫入抵抗値が増大する。水田に還元した場合には, 還元1年区では5~15cmに4kg/cm²以上の層があるが, 還元2年区ではこれが消失し, 水稲連作区との差はなくなった。

(3) 三相分布

三相分布を図一4に示した。

第1層の固相率は水田区はいずれも20%以下であるが, 畑転換1年区では20%, 同2年区は25%であった。畑転換3年区, 同7年区では第2層の固相率も大きい, 第3層, 第4層は各区とも差がない。気相は表層で大きく畑転換によって増大するが, 畑期間の長かった水

田還元2年区では水田に還元しても表層の気相は大きい。

(4) 化学性

化学性を表一2, 表一3に示した。

pHは畑転換3年区をのぞき, ほぼ中性である。水溶性塩素, 易酸化性硫黄は下層ほど多く, 畑転換期間の長くなるにつれて減少する傾向がみられる。全炭素, 全窒素は畑転換3年区をのぞき, 水田区で高く畑転換区で低い傾向がある。乾土効果は水田区で大きい傾向があるが, 地温上昇効果は明らかでない。

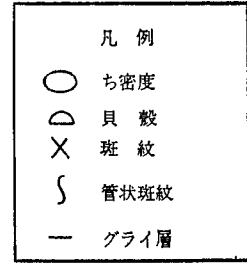
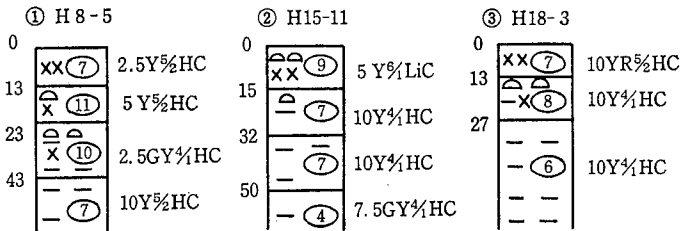
塩基置換容量は畑転換によって第1層で減少する傾向があるが, 第2層以下では明らかでない。置換性塩基ではカルシウムは表層に多く下層に少ないが, その他の塩基は下層ほど多い傾向がみられる。塩基飽和度は畑転換3年区と水田還元2年区の第1層, 第2層が低いほかは, いずれも90%以上と高い。

水溶性塩基では, カルシウムは水稲連作区や畑転換1年区, 水田還元1年区, 同2年区など, 水稲栽培の影響が強く残っている圃場では第2層が最も多く, 畑転換2年区, 同3年区, 同7年区では第3層が多かった。また同一調査区でみれば, カルシウム以外の水溶性塩基は下層ほど多い傾向がみられる。

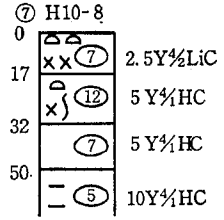
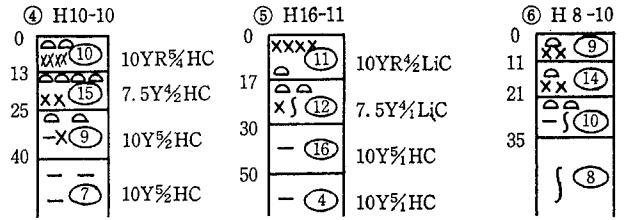
このように八郎瀧干拓地圃場の土壌断面は水稲連作の場合は作土直下から還元色土層が出現する強グライ土壌であるが, 畑転換によって酸化色土層が厚くなり, 土壌型はグライ土壌となる。そして水田に還元すると畑期間の短い場合には容易に以前の強グライ土壌に戻る。畑転換による固相率の増大が第2層まで進んだ場合は, これが地耐力の増大, あるいは構造, 亀裂の生成を促し, 透水性の向上に役立つものと思われる。

八郎瀧干拓地土壌中には易分解性有機物が多く含まれているが⁹⁾, 畑転換による全炭素, 全窒素の減少は土壌有機物の変化を伴っていると考えられる。干陸初期の八郎瀧干拓地土壌の低湿重粘性は次第に改善されつつある

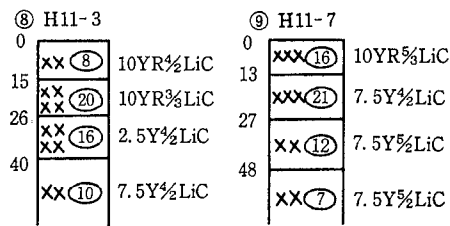
(1) 水稲連作区



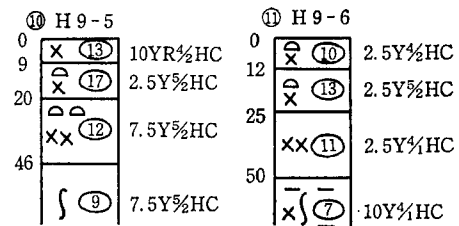
(2) 畑転換1年区



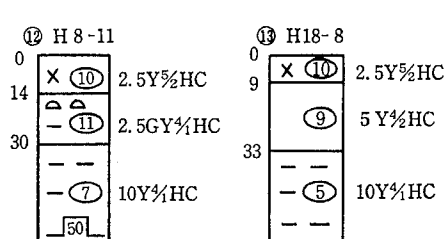
(4) 畑転換3年区



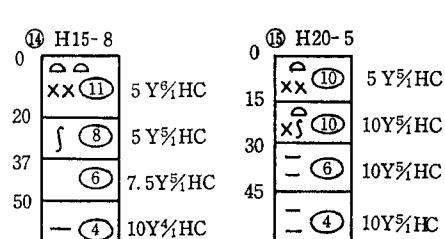
(5) 畑転換7年区



(6) 水田還元1年区



(7) 水田還元2年区



図—2 八郎瀉干拓地第1次入植圃場の土壌断面柱状図

が、土壌中には湖底土時代に蓄積した有機物や塩類がなお多量に含まれており、これが作物生育の不安定要因となっている。したがって田畑輪換によって土壌の乾燥を進めることは、有機物の分解を促進し、下層の透水性を向上させて塩類の溶脱を促進するなど、不安定要因を排除く効果があると考えられる。

3. 田畑輪換と水稲生産力の変化

八郎瀉干拓地土壌の理化学性は田畑輪換により大きく

変化する。そこでこれが水稲生育や窒素の地力に及ぼす影響を明らかにする目的で、昭和56年と57年に水稲連作圃場と畑作物跡水田還元圃場で水稲に対する窒素施用試験を行った。

1) 試験方法

(1) 試験圃場

- ① 連作水田：八郎瀉干拓地 A9-III-2N 圃場。昭和41年～52年畑状態放任。昭和53年以降水稲栽培。
- ② 秋播小麦跡水田：A9-III-1S 圃場。同上。昭和52～

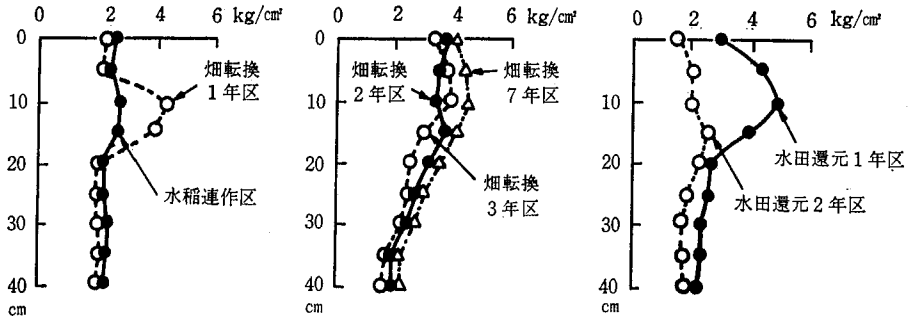


図-3 大円錐貫入抵抗

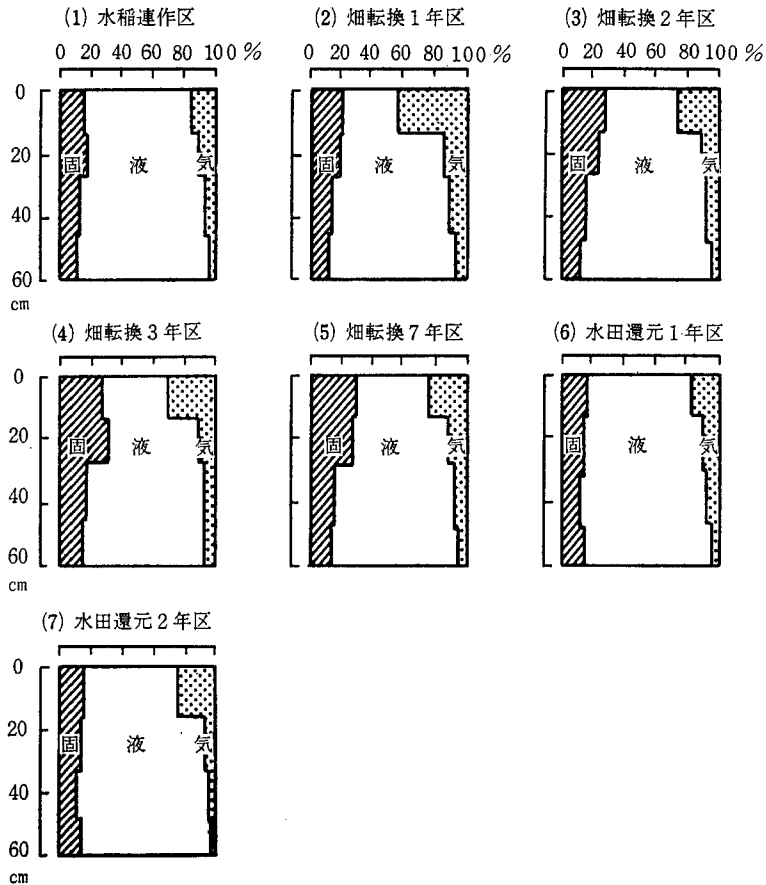


図-4 三相分布

54年秋播小麦。昭和55年以降水稲栽培。

③ 大豆跡水田：A9-III-1N 圃場。同上。昭和53～55年大豆栽培。昭和56年以降水稲栽培。

(2) 試験区の構成

試験区を表-4に示した。基肥窒素標準量は $4 \text{ kg}/10 \text{ a}$ であるが、昭和56年の大豆跡1年目水田では過繁茂による倒伏のおそれから、追肥施用区のみ基肥窒素を2分

の1の $2 \text{ kg}/10 \text{ a}$ とした。追肥の時期は2年次とも、活着期追肥：移植後7日目、幼穂形成期追肥：出穂25日前、減数分裂期追肥：出穂10日前とした。

(3) 測定項目

水稲の生育・収量調査のほか、各圃場の無肥料区と基肥区の土壌アンモニヤ態窒素、連作水田と大豆跡水田の地下5cm地温を測定した。

表—2 田畑輪換と土壌の化学性 (1)

項目 試験区 層位		pH		T-C %	T-N %	水溶性 Cl mg/100g	易酸化性 硫黄 SO ₃ %	乾土効果 mg/100g	地温上昇 効果 mg/100g
		H ₂ O	KCl						
水稲 連作区	1	7.48	6.98	2.99	0.29	18.5	0.03	14.4	4.1
	2	7.66	6.98			33.0	0.13	13.8	0.6
	3	8.04	6.88			131.4	0.53		
	4	8.11	6.40			195.9	0.64		
畑輪換 1年区	1	7.56	7.55	2.57	0.21	16.6	0.04	5.8	1.4
	2	7.49	7.50			55.3	0.12	9.1	1.0
	3	7.78	7.20			109.6	0.45		
	4	7.91	6.68			176.6	0.69		
畑輪換 2年区	1	7.55	7.25	2.46	0.22	12.0	0.06	9.0	4.5
	2	7.62	7.20			34.6	0.33	8.4	0.1
	3	7.67	7.60			87.0	0.49		
	4	8.00	6.70			175.9	0.57		
畑輪換 3年区	1	6.80	5.44	3.27	0.27	7.7	0.07	11.8	7.7
	2	4.88	3.73			7.3	0.10	14.6	3.9
	3	3.86	3.30			12.2	0.44		
	4	5.28	4.08			51.3	0.54		
畑輪換 7年区	1	7.43	7.13	2.48	0.22	7.8	0.09	2.3	2.1
	2	7.55	7.15			8.9	0.08	6.9	0.8
	3	6.65	5.98			32.2	0.47		
	4	7.40	6.10			91.4	0.41		
水田還元 1年区	1	7.55	7.15	2.61	0.21	16.3	0	4.7	3.1
	2	7.75	6.50			59.9	0.09	13.2	0.7
	3	7.85	6.45			155.8	0.81		
	4	7.85	6.23			175.8	0.76		
水田還元 2年区	1	7.50	6.55	3.24	0.33	20.6	0	16.2	4.8
	2	7.30	6.35			88.8	0.53	22.6	1.1
	3	7.55	6.88			187.3	0.66		
	4	7.85	7.33			182.0	0.42		

2) 試験結果と考察

(1) 水稲の生育・収量 (表—5)

試験1年目の昭和56年は冷害年で、とくに連作水田、秋播小麦跡2年目水田の生育が劣り、追肥を行った場合でもこれらの水田の穂数は400本/m²以下で、収量も500kg/10a以下であった。これに対し昭和56年の大豆跡1年目水田の生育は比較的良好で、追肥3回区の収量は600kg/10aをこえた。

昭和56年の収量を施肥法との関連で見ると、連作水田では追肥の効果が極めて大きい(対基肥区比、追肥2回区130、追肥3回区136)。秋播小麦跡2年目水田の収量は全体として連作水田よりやや多かったが、追肥2回区の収量は低かった。収量レベルの高かった大豆跡1年目水田

での追肥効果は小さく、追肥3回区は基肥区に比較し7%の増収にすぎなかった。これは追肥により穂数は増加したものの、登熟歩合が63%と極めて低かったためである。

昭和57年の生育は初期より旺盛で、各圃場とも追肥を2回以上施用した試験区の収量は前年より100kg/10a以上増加した。連作水田と秋播小麦跡3年目水田における追肥効果は類似しており、追肥2回区の収量はいずれも約600kg/10aで基肥区に比較し100kg近い増収となるが、追肥3回区での増収効果は小さい。これに対し大豆跡2年目水田の追肥区の収量は700kg/10aをこえ、また追肥3回区は2回区よりさらに5%の増収となった。

このように両年とも秋播小麦跡水田の収量は無肥料区

表-3 田畑輪換と土壌の化学性 (2)

調査区	項目 層位	塩基置換容量 me/ 100g	置換性塩基 me/100g					塩基飽和度 %	水溶性塩基 mg/100g			
			CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	合計		CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
水稲連作区	1	48.5	35.3	10.1	1.4	1.3	48.1	99.2	26.1	4.7	4.1	18.9
	2	45.0	32.2	16.3	1.7	1.3	51.5	114.4	51.2	21.7	8.3	82.2
	3	48.1	20.8	24.1	2.2	5.3	52.4	109.0	37.3	26.4	10.9	161.8
	4	48.9	16.1	25.5	2.3	7.8	51.7	105.7	16.8	16.6	9.8	170.0
畑転換1年区	1	42.1	30.6	9.7	1.1	1.1	42.5	101.0	35.0	5.2	3.5	23.1
	2	43.2	19.0	19.3	1.6	1.1	41.0	94.9	132.7	42.7	13.3	125.0
	3	46.1	18.8	24.6	1.9	3.5	48.8	105.9	28.0	31.8	12.7	153.3
	4	45.6	19.4	28.8	2.3	5.2	55.7	122.1	26.6	26.1	13.9	187.5
畑転換2年区	1	39.7	31.8	8.5	1.3	0.8	42.4	106.8	30.8	2.6	4.0	15.0
	2	40.9	27.0	12.1	1.1	0.9	41.1	100.5	53.9	6.0	7.5	69.3
	3	46.0	26.1	19.9	1.8	3.5	51.3	111.5	57.4	24.3	10.4	133.8
	4	41.6	14.9	23.1	2.2	6.2	46.4	111.5	16.8	24.3	10.6	171.3
畑転換3年区	1	41.5	23.2	10.0	1.1	0.5	34.8	83.9	9.2	1.5	2.8	8.3
	2	43.8	15.1	9.5	1.0	0.4	26.0	59.4	26.1	7.9	3.9	12.4
	3	44.6	8.6	10.8	1.3	0.6	21.3	47.8	68.5	26.3	9.4	28.5
	4	43.8	12.1	19.6	1.8	3.1	36.5	83.3	56.7	29.6	13.2	32.7
畑転換7年区	1	38.6	29.9	6.6	1.4	0.6	38.5	98.4	23.8	1.8	5.3	7.0
	2	45.2	32.4	7.3	1.2	0.6	41.5	91.8	28.7	2.5	3.5	14.5
	3	46.3	28.5	16.3	1.5	0.7	47.0	98.5	107.0	26.5	12.5	79.5
	4	49.3	18.9	26.1	2.0	3.7	50.7	102.8	39.9	15.6	12.8	149.0
水田還元1年区	1	40.2	30.3	9.9	1.2	0.9	42.3	105.2	33.6	7.1	4.5	20.1
	2	40.1	25.8	18.9	2.2	1.8	48.7	121.4	53.1	21.5	9.4	103.0
	3	44.5	16.8	25.0	2.1	5.6	49.5	111.2	22.4	26.0	10.4	165.5
	4	47.1	14.2	24.2	2.0	5.4	45.8	97.2	15.4	21.2	9.6	170.0
水田還元2年区	1	43.2	26.7	4.7	0.6	0.5	32.5	75.2	47.5	7.8	3.5	21.9
	2	44.6	19.2	12.7	1.3	1.0	34.2	76.7	83.9	47.3	4.6	110.3
	3	46.5	19.5	25.3	2.2	6.5	53.5	115.1	39.1	38.1	10.9	125.0
	4	44.8	17.6	27.3	3.6	7.8	56.3	125.7	23.4	34.4	10.9	166.5

では連作水田にまさるものの、窒素を施用した場合の収量差は小さい。大豆跡水田は兩年次、各試験区とも他区に比較して 100 kg 程度収量が高く、また追肥効果も大きく現れることが知られた。

(2) 土壌アンモニヤ態窒素の推移

連作水田と大豆跡水田の無肥料区と基肥区の土壌アンモニヤ態窒素の推移を図-5に示した。連作水田無肥料区は兩年とも移植直後は約 1.5 mg (乾土 100 g 当り) で推移するが、その後増加して 6 月中旬から下旬にかけて約 3 mg となり、7 月中旬には約 1 mg にまで低下した。連作水田基肥区は同無肥料区よりはほぼ 2 mg 高く推移していた。

秋播小麦跡水田は連作水田に比較して兩年とも 6 月上

旬の土壌アンモニヤ態窒素に差はないが、その後の低下は速かで、また無肥料区と基肥区との差は小さい傾向があった。

大豆跡水田では昭和56年は無肥料区でも初期より土壌アンモニヤ態窒素が多く、7 月中旬でも 4 mg と低下はみられない。さらに基肥区は無肥料区より 1~4 mg 多く推移していた。しかし昭和57年には無肥料区の土壌アンモニヤ態窒素は少なく、基肥区も連作水田との差は小さかった。

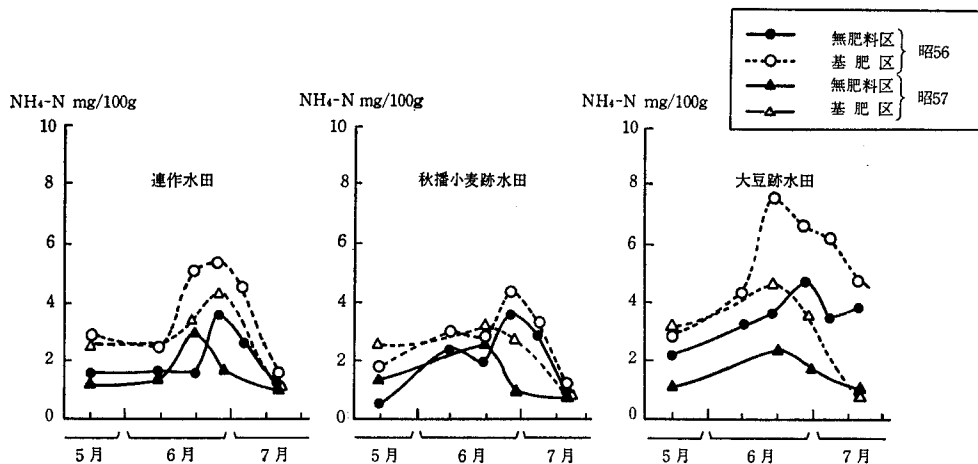
このように畑作物跡水田の土壌アンモニヤ態窒素は大豆跡1年目水田では連作水田より多いが、大豆跡2年目水田や秋播小麦跡水田では差がなかった。このことから大豆跡1年目水田での増収には土壌アンモニヤ態窒素の

表-4 窒素施用試験設計

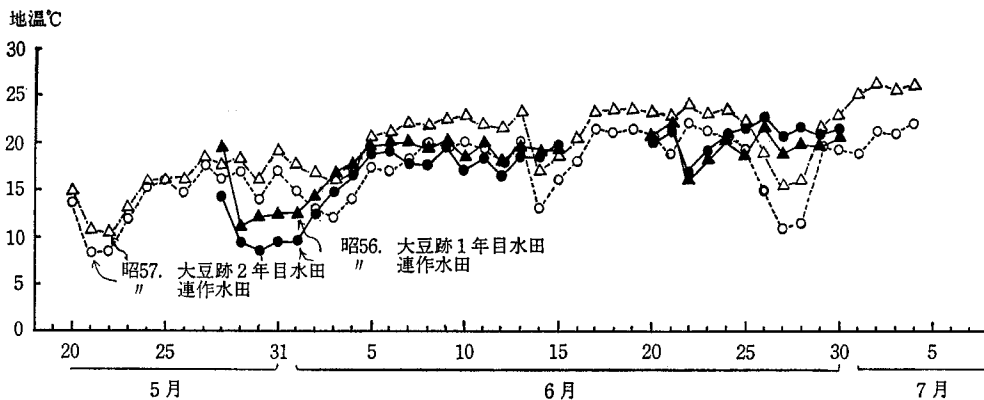
窒素施用量 kg/10a		基肥	追肥			窒素計	備考
			活着期	幼形期	減分期		
試験区							
連作水田	無肥料区	0	0	0	0	0	品種：トヨニシキ 施肥： 磷酸，加里は何れも7kg/ 10aを均一に施用した。 *大豆跡水田：追肥区の基肥 は，昭和56年2kg/10a,昭和 57年は4kg/10aとした。
	基肥区	4	0	0	0	4	
	追肥2回区	4	2	2	0	8	
	追肥3回区	4	2	2	2	10	
秋播小麦跡水田	無肥料区	0	0	0	0	0	
	基肥区	4	0	0	0	4	
	追肥2回区	4	2	2	0	8	
	追肥3回区	4	2	2	2	10	
大豆跡水田	無肥料区	0	0	0	0	0	
	基肥区	4	0	0	0	4	
	追肥2回区	2(4)*	2	2	0	6(8)*	
	追肥3回区	2(4)	2	2	2	8(10)	

表-5 生育と収量

調査項目		稈長 cm	穂数 本/m ²	玄米重 kg/10a	総粒数 10 ³ /m ²	登熟歩合 %	
							試験区
昭和56年	連作水田	無肥料区	64.0	272	292	17.0	86.6
		基肥区	71.0	308	345	18.5	91.3
		追肥2回区	77.6	380	447	28.6	85.8
		追肥3回区	80.3	369	468	25.0	89.9
	秋播小麦跡 2年目水田	無肥料区	73.9	286	355	21.1	86.6
		基肥区	75.4	314	414	23.9	90.9
		追肥2回区	72.8	341	409	22.6	89.0
		追肥3回区	80.1	370	480	30.0	88.6
	大豆跡1年目水田	無肥料区	89.1	352	446	27.0	80.7
		基肥区	92.1	394	590	37.4	79.2
		追肥2回区	89.4	409	587	36.9	79.7
		追肥3回区	88.6	445	634	45.3	63.0
昭和57年	連作水田	無肥料区	65.5	278	401	16.1	95.9
		基肥区	71.8	354	494	21.1	95.3
		追肥2回区	85.4	572	599	36.1	86.2
		追肥3回区	83.4	500	606	32.9	88.6
	秋播小麦跡 3年目水田	無肥料区	70.8	326	440	20.9	95.8
		基肥区	73.4	356	516	24.9	96.8
		追肥2回区	85.1	444	606	29.3	87.9
		追肥3回区	80.9	393	615	29.9	91.8
	大豆跡2年目水田	無肥料区	75.9	407	552	26.0	92.0
		基肥区	82.5	446	613	32.1	88.5
		追肥2回区	86.5	443	706	37.2	83.4
		追肥3回区	82.1	446	740	34.3	88.2



図—5 土壌アンモニア態窒素の推移



図—6 田畑輪換水田における地温 (-5cm) の推移

増加が関与していると考えられた。

(3) 地温の推移

図一六は連作水田と大豆跡水田について測定した地下5cmの地温(最高と最低の平均)の推移である。昭和56年の大豆跡1年目水田は連作水田に比較して、5月下旬では平均3.3°C、6月上旬では平均1.7°C高く、6月中旬以降差はない。昭和57年の大豆跡2年目水田は5月下旬1.4°C、6月上旬~下旬3°C、いずれも連作水田より高く推移している。

このように大豆跡水田の地温が高いのは、畑転換によって透水性が向上し、温度の高い田面水が下層に移動するためであり、土壌アンモニア態窒素が増加するのも、畑期間の乾燥と地温上昇によって土壌窒素の無機化が促進されるためと考えられる。上郷¹⁾は山形県における大豆、ばれいしょを用いた田畑輪換で、土壌の腐植化度が向上し、土壌の窒素供給量が増大することを認め、秋田県農試²⁾の畑作物跡水稲栽培試験では水稲の出来過ぎ防

止に留意する必要があるとしている。

八郎潟干拓地は干拓されてから約20年を経過したが、下層は依然として干拓直後の性質を有している。この改善に田畑輪換が有効であることについてこれまで述べてきたが、実際の場面ではそれぞれの圃場条件に適応した水稲、畑作物の栽培法に不明の点が多く、今後はこの点の検討が必要となっている。

4. 摘要

八郎潟干拓地で現在行われている田畑輪換が、土壌の理化学性や水稲生産力に及ぼす影響について検討した。

1) 第1次入植圃場の調査では、水稲連作圃場は強グライ土壌であるが畑転換を行うことによりグライ土壌に変化した。また畑転換により表層の固相率が增大し、地耐力が向上した。

2) 土壌理化学性では畑転換によって水溶性塩素、易酸性硫酸黄が減少した。乾土効果は水田区で大きかっ

た。水溶性カルシウムは水稲栽培の影響の強い圃場では第2層で多く、畑転換年数の長い圃場では第3層で多かった。

3) 水稲に対する窒素施用試験では大豆跡水田の収量が高かった。これは透水性向上による地温の上昇と、土壌アンモニア態窒素発現量の増加によると思われた。

以上から八郎潟干拓地における田畑輪換は、水稲連作では進みにくい低湿重粘土の理化学性改善を促進し、また水稲生産性を向上させる効果のあることが知られた。

引用文献

- 1) 秋田県農業試験場：秋田県農業試験場70年史(1967)
- 2) 秋田県農業試験場：八郎潟中央干拓地土壌説明書 (第1期調査) (1970)
- 3) 秋田県農業試験場：八郎潟中央干拓地第2期土壌調査成績書(1977)
- 4) 上郷千春：田畑輪換における土壌の変化と施肥法、農業および園芸, 36 (1961)
- 5) 金子淳一：八郎潟干拓地へドロにおける機械化適応性の向上と耕地化過程に関する研究, 秋田県農試研究報告, 22 (1977)
- 6) 三浦昌司・三浦日出夫・村井 隆：八郎潟干拓地土壌の微生物活性と粘土鉱物について, 秋田県農試研究報告, 23 (1980)
- 7) 村上英行：酸性硫酸塩土壌の特性と改良に関する研究 (1965) (1983. 5. 7 受理)

Summary

Soils of fields of the Hachirogata reclamation area are mostly clayey and contain large amounts of salts. The consistency is so hard that plant growth and farm operations can not be readily performed. Research was carried out to determine whether paddy-upland rotation management could improve the situation.

Based on soil surveys conducted in the area where cultivation was first initiated, it was shown that the thickness of the oxidized soil layer increased by 10 cm each year under upland conditions. It is estimated that adequate field conditions could be obtained after a minimum of three years of cultivation under upland conditions.

The yield of rice cultivated after wheat or soybeans often increased. The soil temperature after cultivation of soybeans in paddy fields was higher than when rice was continuously cultivated, and the level of soil inorganic nitrogen increased in such fields.

It is considered that the productivity of soils from the Hachirogata reclamation area could be enhanced by paddy-upland rotation management.

畑地の土壌硬度相について

寺 沢 四 郎*

On the soil hardness phase of the upland field

Shiro TERASAWA

1. はじめに

わが国の畑地は、農業機械による圧縮あるいは有機物の減耗によるち密化などで、耕盤層が浅層に形成され、作土層の厚さが次第に減少しているといわれる。そのため、有効土層が浅くなり、根圏層が狭められ作物生産にも影響が現われていると思われる。このような土壌のち密化によって、土壌断面の硬さが増し、土壌硬度相に変化が起きているものと考えられる。この資料は、代表的な畑地帯の土壌硬度相の実態を調査し、硬度相に及ぼす外部からのインパクトの要因の解析をおこなったものである。

2. 調査方法

1) 土壌硬度相の測定法

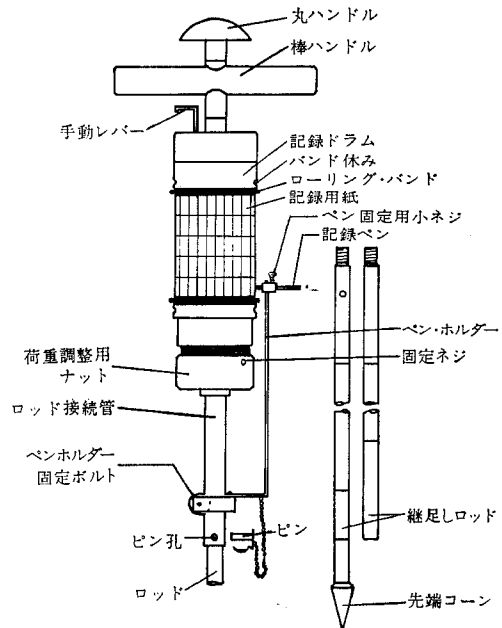
長崎が初めて土壌硬度相の概念を提起したのは、水田の地耐力の評価基準をうるためであった。¹⁾ 水田の地耐力を区分するためいくつかの代表的な土壌硬度相を類型化した。このさいの硬度測定にはコーンペネトロメータが使用され、測定した土層の深さは70 cmである。

畑地の場合の土壌硬度相の深さを、どの程度の深さにすればよいかはきわめて重要な問題である。一般の畑作物を対象とする根圏層を想定すれば深さ50 cm程度が妥当と思われる。しかし、有効土層を対象とした硬度相を考えるならばできるだけ深層にわたり測定を行なうのが望ましいが、各種の測定器の構造や測定の能率を考えると深さ50 cmがまず妥当な線のように考えられる。以下には、本調査に使用した貫入抵抗計についてのべる。

① SR-II型土壌抵抗測定器：この計器は、頂角30°、底面積2 cm²のコーンを押し込むときの力計が、容量50 kgのコイルバネを使った指示標で読みとる形式になっている。²⁾ 最初の力計の読みは、コーンの底面が地表を通過する時に読み、以後ロッドに刻まれた5 cm毎の刻線が地表を通過するごとに読みとる。したがって、この計器はコーンを押し込む人、抵抗値を読み取る人及び記

録する人が必要であり、測定に手間がかかる難点がある。これらの欠点をカバーするために、抵抗値が自記できるように改良が試みられている。

② 手動式自記貫入抵抗計（商品名、ソイルグラフ）：この抵抗計のコーン貫入の方法は普通のコーンペネトロメータと同じであるが、コーンを押し込む時の力計は、図一に示したように記録ドラムに巻きつけた記録紙に抵抗値を記録できるように設計されている。記録紙を巻きつけたドラムは、手動レバーを人さし指で引きあげると1コマづつ回転することができる。ロッド接続管に装着したロッドの先端のコーンが、所定の深さを通過するたびに手動レバーを引きあげ、固定した記録ペンでその時の抵抗値を記録紙に描かせる。この抵抗計の手動式という名称は、記録ドラムの回転を手動レバーを用いることからつけたものである。



図一 手動式自記貫入抵抗計（ソイルグラフ）

* 農業技術研究所

頂角 30°, 底面積 2 cm² のコーンをつけたロッドには、10 cm ごとに刻線がつけられているので、手動レバーを 10 cm ごとに動かして抵抗値が測定されている。したがって、この方法でも 10 cm ごとの不連続な硬度しか表現できないので、記録ドラムを連続的に回転させながら測定できる方法を検討した。

2) 調査ほ場

① 関東ローム地区；火山灰を母材とする畑地帯が広がる、神奈川、群馬、栃木、茨城などの各県の代表的な地点の土壌硬度を測定した。測定点は、1 ほ場区画内で 20ヶ所の貫入抵抗値 (qc) を測定し、これらの平均値をもってその地点の土壌硬度相を表示した。

② 黄色土地区；火山灰土壌と比較のために、愛知県豊橋市の畑作実験農場及び農家の畑地を対象に、黄色土の土壌硬度を測定した。測定点数は、1 区画又は 1 処理区について 10~15 点を測定し、これらの平均値をもって土壌硬度相を表示した。

③ 各ほ場の耕起法、肥培管理などの土地来歴は、聞き取り調査によった。

3. 結果と考察

1) 関東ローム地区の土壌硬度相

各地の畑地の土壌硬度相は、図-2、図-3 に示した。神奈川三浦畑地帯は年間を通じて西瓜、大根などの栽培が集約的におこなわれ、多肥栽培による連作障害や地力の低下などが問題になっている。

地力差、肥培管理の差の出る畑での土壌硬度相は図-2-1) に示した。地力の高い畑は多肥畑に比べて下層土

の硬度は概して低い。

土壌類型の異なる場合の土壌硬度相は、図-3-1(2) の畑であるが、黒色土と茶褐色土の間の差異は余り大きくないが、有機物の多い黒色土でやや下層土の硬度が低い傾向にある。

天地返しによる土壌硬度相の変化は、図-3-1(3) に示した。このほ場は腐植層の厚い畑であり、慣行区でも土壌硬度は腐植層まで低い状態にあるが、腐植の少ない下層土より急激に硬度が高まる。これに対し、深さ 1.5 m の天地返し畑では、表層 0~40 cm の範囲の硬度だけでなく深層にわたって 10 kg/cm² 以下の低い硬度を示す。

群馬県嬬恋村の畑地帯では、キャベツ、牧草栽培が盛んで、大型機械による深耕が進められており比較的土壌硬度は低い。図-3-1(1) はその 1 例である。

栃木県鶏頂山開拓の畑では、大根の栽培が大規模におこなわれ、大型機械による深耕も進められている。図-2-1(2) は、鶏頂山開拓地の代表的な土壌硬度相を示したものであり、作土層はきわめて膨軟であるが、20 cm 以下の下層では硬度が漸増する傾向が認められる。同様に、栃木県農試野菜畑の土壌硬度相は、鶏頂山開拓畑と類似の低い土壌硬度を示す。しかし、この野菜畑に隣接した大豆畑では、図-3-1(4) に示したように全層にわたり高い硬度を示す。この大豆畑では、耕起、施肥、播種、収穫に至るまで栽培期間中の農作業は、すべて大型機械を導入しており、土壌の踏圧が一層進んでいることが予想される。

茨城県農試ほ場の深耕の有無による土壌硬度相の変化を、図-2-1(3) に示した。普通耕区は深さ 20 cm に 10

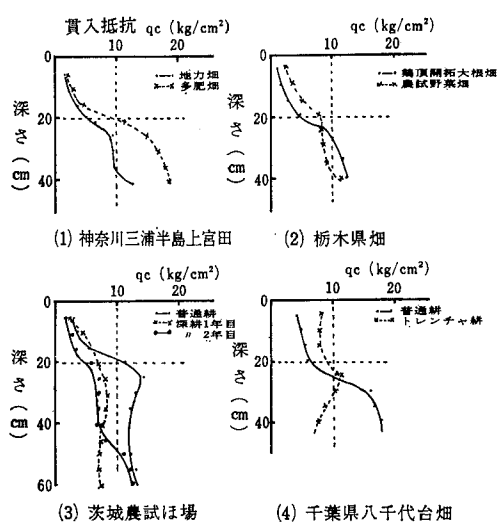


図-2 火山灰畑地の土壌硬度相 (SR-II型により測定)

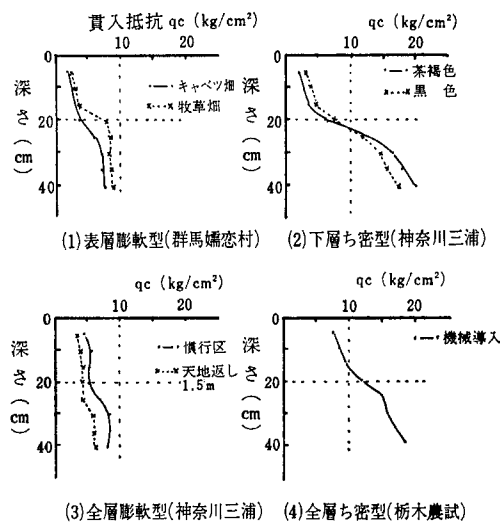


図-3 畑地の土壌硬度相の類型化

kg/cm² を越える硬い耕盤層があるのに対し、深耕畑では明らかに下層の硬度が低下していることを示している。

千葉県八千代台畑では、ゴボウなどの栽培が盛んなために、トレンチャで畦ごとに幅 20 cm 深さ 1 m の混層耕がおこなわれている。この種の混層耕により表土と硬い下層土の赤土が混合して膨軟な土層が深層に形成される。しかし、表層土の硬さをみると、トレンチャ耕区の方が普通耕区よりもやや高い硬度を示す。これは、腐植質の表土と構造未発達な硬い下層土が混合して、一定の硬さの土層を形成したことを示している。

以上述べたごとく、関東ローム地帯の土壤硬度相は、それぞれの畑地の栽培管理来歴を反映して、特有の硬度相を発現している。これらの土壤硬度相を代表的な型に区分してみると、図-3・図-4 に示したように、4つの型に分けられる。硬度相の中に示した qc 10 kg/cm² の点線は、作物根の貫入が困難になる限界硬度に相当し、山中式硬度指数で 23 mm に相当する。⁹⁾ 土層の深さ 20 cm の点線は根圏層の範囲を示す。

① 表層膨軟型：深さ 50 cm までの貫入抵抗 qc の分布曲線が、作土層の qc が 5 kg/cm² 以下、下層土で 10 kg/cm² 前後の硬度分布を示す。(図-3-1)

② 下層ち密型：深さ 20 cm までの qc の値が作土層では低く下層に向かうにつれて 10 kg/cm² を越える高い硬度に増大する型である。スキ床層から下層土に向かって qc は 20 kg/cm² にも及ぶ硬度相を示す。この型は大型機械耕うんをくり返す畑にみられる。(図-3-2)

③ 全層膨軟型：深さ 50 cm にわたって、5 kg/cm² 以下の qc を示す土層である。天地返し畑などに現われる。(図-3-3)

④ 全層ち密型：作土から下層土にわたって 5 kg/cm² 以上の、時には 10 kg/cm² 以上の硬度相を示す土層

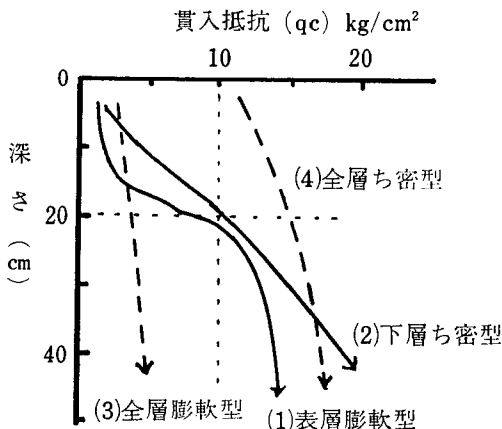


図-4 畑地の土壤硬度相の類型化

である。この型は農業機械の荷重と作土の有機物の減耗、塩分集積などによる土壤のち密化が原因と思われる。(図-3-4)

以上のように、関東ロームについて大きく4つのタイプに土壤硬度相を分類したのであるが、実際のは場では、それぞれのタイプの間中型、あるいは、混合型が現われ、必ずしも図-4 に示した典型的な型に分類できない場合もある。

2) 黄色土地帯の土壤硬度相

図-5 の結果は、愛知県豊橋市畑作実験農場から提供していただいた測定値をもとに土壤硬度相を作図したものである。黄色土地帯の土壤硬度は一般に高いので、耕起しない状態では作物根の生長が抑制されて、土壤肥沃度は著しく低下する。そこで、これらの硬い土層を膨軟にするために、種々の耕うんがなされ、土層改良対策がとられている。図-5 は、慣行の栽培様式をとった場合の硬度相に対して深耕(深さ 20 cm まで耕うん)、心土耕(深さ 30 cm 位まで耕起する)、深耕心土耕(前2者を結合した耕うん)、さらに各種の耕うんをしたあとに、有機無機改良資材を添加して土壤改良した場合の土壤硬度相を示してある。

耕起直後の土壤硬度相をみると、慣行区の作土 10 cm 以内の qc は 5 kg/cm² 程度であるが、深さ 10 cm 以下は、10 kg/cm² 以上の高い硬度を示す。深耕あるいは心土耕を施すと 0~30 cm の土層で、硬度は低下するが、

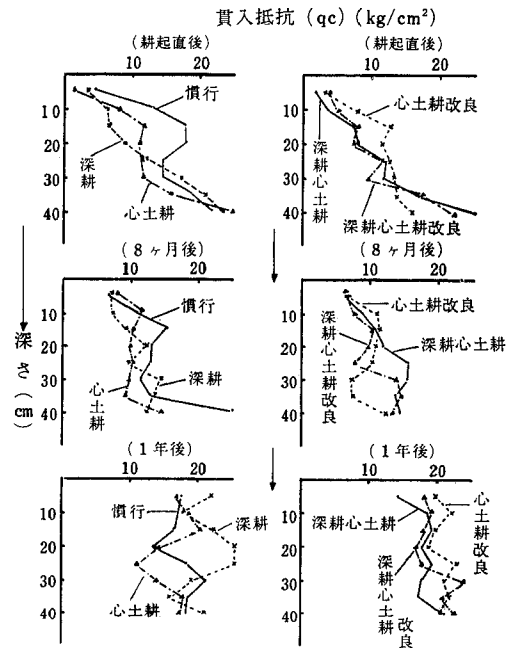


図-5 黄色土畑地の土壤硬度相(SR-II型により測定) (愛知県総農試実験農場資料により作図)

深さ 40 cm では慣行区と変わりはない。深耕などによる下層の硬度相の低下は比較的小さい。

深耕と心土耕を組み合わせた耕うんあるいはこれらの耕うんと同時に改良資材を投与した場合の硬度相は、ほぼ深耕、心土耕に類似している。すなわち、下層も密型の硬度相を呈する。

次に耕起 8 ヶ月後の硬度相をみると、表層と下層で 10 kg/cm² 前後の qc の値となり、とくに表土の硬さが次第に増加する傾向が認められる。

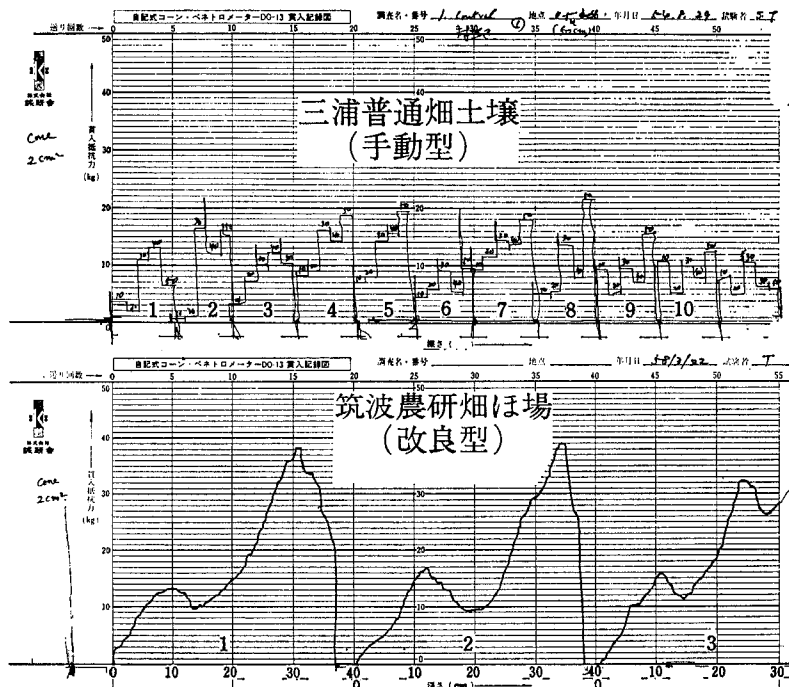
さらに、耕起後 1 年目では、深耕・心土耕区の qc の値が全層にわたって増大し、深耕区では慣行区よりも高い硬度を示すようになる。とくに、表土 10 cm の範囲では耕起法の違いはほとんど認められなくなる。しかし心土耕区では、深さ 20~30 cm の下層で qc が低く保たれている。深耕、心土耕及び改良区では全層が 20 kg/cm² 近い高い qc を示し、全層も密型硬度相を示す。

以上述べたごとく、黄色土における土壌硬度相の特徴は、深耕、心土耕などの耕うん処理を施しても、時間の経過とともに表層は膨軟型から密型に移行することである。耕起後 1 年目では全層も密型に移行し、再度耕起の必要性が認められる。このような硬度相の変化は、次のように考えられる。黄色土は耕起直後はち密な土層が大小様々の土塊に分画され、細かいものは疑似団粒の状態で細粒化される。しかし、時間の経過とともに、降雨によるスレーキング、乾湿に伴う膨潤収縮、及び凍結・融解による土塊の崩壊で細粒化が進み、土粒子の密充填

がおこる。さらにバラバラになった土粒子が相互に結合して粘着性のあるもの土壌に変化するものと推察される。黒ボク土の場合は、比較的微細なマイクロアグリゲートを多く含むので、土塊が崩壊しても個々の小さい団粒がそのまま残るので、極端な粘着性をもった、固結した硬い土層は形成されにくい。一方、黄色土の場合は、腐植含量が少なくもともと団粒のきわめて少ない土壌なので、単粒状土粒子が相互に固結し粘着性が高く乾くと堅硬度の高い土壌に転移することが推察される。したがって、耕起と同時に、土壌の団粒化を促す改良方法を考えないと、適正な土壌硬度相を維持することはきわめて困難である。

4. 土壌硬度相測定器の改良

土壌断面における土壌硬度は、層分化した土層で極端に軟くなったり、硬くなったりするので、これらの土層の貫入抵抗を連続的に記録することが望ましい。手動式自記貫入抵抗計は、ある深さごとの硬度が記録紙に描かれるので、連続的な硬さを表現できない欠点がある。そこで記録用紙を巻きつけた記録ドラムを、小型モーターを用いて連続回転させ、コーン貫入と同時に貫入抵抗値が描かれるように改良を試みた。この小型モーターを装着した抵抗計を電動式自記貫入抵抗計と呼ぶことにした。抵抗計の改良前後の土壌硬度の記録状態は写真 1 に示した通りである。これらの記録装置の改良によって、土壌硬度相が直接描かれ測定精度が向上しただけでな



写真—1 実測したチャート紙 (上段は手動式, 下段は電動式改良型の記録)

く、実測に必要な労力の軽減にも役立つことがわかった。入抵抗計を開発した。

5. まとめ

わが国の畑地の土壌硬度相の実態を調査し、つぎの結果を得た。

1) 関東ローム畑の土壌硬度相は4つのタイプに区分できる。すなわち、表層膨軟型、下層ち密型、全層膨軟型、全層ち密型の4種である。

2) 黄色土畑の土壌硬度相は全層ち密型と下層ち密型のものが多いが、深耕などの土層改良で一次的に表土が膨軟になっても、短期間に全層ち密型の硬度に戻り易い土壌である。

3) ほ場における正確な土壌硬度相を測定するために、コーン貫入抵抗を連続的に自記できる電動式自記貫

謝 辞

この調査研究にあたり、各県農業試験場の方々から多大の協力と有益な資料の提供をうけた。記して厚くお礼申し上げる。また農技研高橋義明氏には測定にあたり多大のご協力をうけた。深く謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 長崎 明：水田における大型機械の走行能と土壌硬度相について，土壌の物理性，No. 9，30～37 (1963)。
- 2) 土壌物理性測定委員会：土壌物理性測定法，養賢堂，313～318 (1982)。
- 3) 寺沢四郎：不飽和土壌の粘弾性に関する研究，農研報告，B 33，83～86 (1982)。

(1983. 4. 25受理)

土 粒 子

開発途上国の土壌生産力の低下と国際協力

上 野 義 視*

人口の急激な膨張、農産物の世界的な需要の動向、技術革新など、開発途上国の農業は好むと好まざるとに拘らず内的、外的インパクトを受け大きく変化しつつある。多くの熱帯諸国は、自国の生産では国内需要をまかなえず、乏しい外貨を使って不足分を輸入したり、それもできなくて飢餓に悩んでいる国が多い。食糧の確保と農産物の世界市場への供給は熱帯諸国の経済開発につながり、南北問題解決の鍵と云われ、さまざまな形で援助、協力が行われてきた。しかし、熱帯農業の変化に農業技術が追従できず、熱帯農地の荒廃はますます拡大されつつある。かつて森林を形成し、有機物を集積していた肥沃な土地も、焼畑によって自然の生態系が破壊され、農業生産と引き替えに土壌生産力が失われていく。地力再生産の伴わない農業では、生産は地力の消耗であり、農産物の輸出は地力の輸出である。

筆者は熱帯農業研究センターの在外研究員として3年半の間、畑作物生産安定のための雨水の有効利用と土壌侵食について、タイ国と共同研究する機会を与えられ、この間の経験を中心に土壌生産力の低下と技術協力について二、三述べてみたい。

タイ国の年間降水量は、一部を除き、1,100~1,500 mmである。雨の分布は、4月頃から降りをはじめ、南西モンスーンの通過する5~6月にやや多く、北東モンスーンが南下する9月を頂点とし、その後急速に減少する。降水量の約80%が5月から10月の間に集中し、この間に作物が栽培される。この間の降水量は蒸発散位にほぼ匹敵するもので水文的に極めてマージナルな地域である。一方、年降水量、雨季間の降雨分布、雨季の遅速などの変動が大きいため、天水依存地帯では、これらの変動は作物に対して収量だけでなく、作付方式にまで大きく影響する。“2年に1回の割で干ばつがある”と云われ、また“洪水に不作なし”と云われるのは降雨分布の変動の大きさと降雨量の不足を表わしている。水文的にマージナルな地域では降雨の分布と共に、土壌の保水性の大小が作物生産の決定的要因となる。保水性に優れ、安定した土壌構造をもつグルムゾル、レンジナ土壌地帯はトウモロコシとそれに続いてソルガムが栽培され、比較的安定した生産を続けている。これらの土壌より保水性の劣る褐色森林土、赤褐色ラテライト性土壌地帯ではトウモロコシに続いて生育期間の短いマングビーンや、

耐干性の強い棉の単作が行なわれているが、常に干ばつの危険にさらされている。以上の土壌はタイのコーンベルトの代表的な土壌であるが面積的に狭く、東北タイの殆んどと全国的に広く分布する灰色ポドゾル性土壌、赤黄色ポドゾル性土壌は、珪酸質鉱物を主とする砂岩の風化土で、数%の低活性粘土を含む考朽化した土壌である。人口圧が低く、畑生産物の需要の少なかった頃、畑作農民は焼畑農業を営んでおり、長年の経験から、土地の選択、耕作継続年数、一筆当りの面積など、彼等の営農の中にあつて、地力再生産のため能う限り注意を怠らず、安定した生産を維持していた。1960年代以降、畑生産物の国際商品としての需要の拡大と増加する人口圧吸収のために大開発が行われた。開発は地味の豊かな地帯から瘦薄な地帯に拡大され、面積的拡大が困難になるにつれて移動耕作から定着耕作へ、掘り棒から鋤、鋤、機械耕起へと大きく変ぼうしていった。開発後2~3年間、森林のとき蓄積されていた有機物が多く残存していたときは、ha当り4~5tのトウモロコシが収穫できたが、有機物の急速な分解は、その後数年で収量は半減し、耐干性で、瘦薄な土地でも生育するケナフ、キャッサバにおきかえられていった。土壌有機物の減少は、土壌構造を弱体化し、保水性、透水性、通気性を劣化させた。土壌の単粒化は雨によるクラストの形成と表面流水を増加し、干ばつの助長と作土層を流亡していった。日本では、土壌侵食発生の危険降雨強度は10分間当たり2~3mm以上と云われているが、スコールを主とするタイの雨は、降雨量の約80%がこの危険降雨強度を超える。僅か数%の傾斜地でさえ、植生が不十分であれば、降雨量の約50%が表面流去する。急傾斜地では僅か数年でA層が消失するとさえ云われている。土壌中への雨水の浸潤の減少と土壌侵食は土壌生産性を低下させ、作物生育の減退は土壌への有機物の供給、即ち圃場に残される作物残渣を少なくし、有機物収支が悪循環して農地の荒廃は加速される。現在タイ東北部に分布する約80万haの塩類土壌地帯の過半は、かつて森林を形成していたと云われている。開発によって土壌有機物が減少し、降雨の表面流去量が多くなるにつれて土壌中の塩類が上昇し、急速に荒廃した。

かつては畑であったと思われる荒れた台地が広く分布している、その殆んどが地表面が固く締った赤黄色ポド

*農業技術研究所

ゾル性土壌であり、砂の多い灰色ポドゾル性土壌である。貧しい農民は、この荒地にまばらに生える小灌木を、ところによってはその根まで引きぬいてたき木として利用している。地力を自然の植生によって回復するにはあまりにも消耗し切っている。表面流去水の増加とそれに伴う土壌侵食は、何年もかかって徐々に進行し、急速な生産性の低下をきたさないだけにかえってとり返しのつかない状態にまで陥る。

水文的にマージナルな熱帯の天水依存地帯の、すでに荒廃した土地、荒廃に向いつつある土地を、再び高い生産性の土壌に回復させるためには、土壌物理の研究に期待するところが極めて大きい。とりわけ、雨水を有効に利用するために、表面流去を抑え、蒸発損失を少なくするための表土の保全、透水性、通気性と保水性とのバランスを保つための良好な土壌構造の維持に関する研究と技術の確立が今ほど必要な時期はないであろう。

熱帯土壌研究の第一段階として、先ずペドロジストが活躍し、すでに多くの国において土壌分類とその分布図が作られている。また、それに伴って、土壌の化学性についての知見も多く集積されている。物理性に関しては、土壌調査に伴う粒径分布以外、データの集積は少なく、土壌の物理性と気象あるいは作物の生育と結びついた知見は極めてとぼしい。

タイ国のある土壌地帯では、雨季に、トウモロコシとソルガムを何年間も無肥料で高い生産性を維持しているところがある。見方を変えれば、降雨分布の不規則性が生産阻害の絶対的な要因でないことを意味し、土壌の水文系の改善によってかなりの生産が期待できることを示唆するものと考えられる。熱帯における耕地の物理性の劣化は温帯に比べて早く、多くの種類の土壌の特性の基礎研究とともに、動的な状態における基礎研究が行われなければならないし、それが単に土壌の学理を究めるだけでなく、それに基づく対策技術に適用されなければならない。

研究協力、共同研究、技術援助、技術協力の名のもとに、多くの研究者、技術者が行き来しているが、開発途上国の研究者、技術者に研究手法や技術を与えるのではなく、自らの力で研究、技術開発を行おうとする自助努力の育成が最も重要であると思う。科学に国境はないが、科学者の思考にはその国の歴史、文化が反映し、日本人の倫理感と相入れざるものがある。理解し合うため

には共に考え行動しなければならない。彼等が消化でき、彼等の国に適用できるものを選択できる機会を出来るだけ多く与えるべきであろう。

面積的拡大がますます困難になりつつある開発途上国の農業は、単位面積当りの生産量の増加に依存せざるを得ない状態にあり、今後投入エネルギー集約型に進まざるを得ないであろう。人口密度の高い点からみれば、欧米型よりも日本型農業に移行することが考えられ、日本農業の技術に期待するところが大きい。しかし、日本農業に比べて、開発途上国の農業はあまりにも貧しく、日本の農業技術の適用できる場は小さい。技術協力はその中に多かれ少なかれ研究協力の要素が含まれている。途上国の数々の制約の中にあつて、現地農業から問題点を摘出し、共に研究することが、彼等が自らの力で技術開発しようとする自助努力の育成に有効であることが漸次認識されるようになってきているといわれている。

農業研究、技術協力のあり方については、既に多くの人によって語られ、行なわれている。近代化への道をたどらざるを得ない開発途上国の農業において、先ず先進国の農業技術の導入を考えることは当然の帰結であろう。しかし、数十年、数百年にわたって、その地域の自然、社会環境に適合した伝統農業をもみなおさなければならぬ。農民が何げなく行っている農作業、栽培法を科学的な目で見詰めるとき、そこにすばらしい技術が開発されていることがある。そのような技術に科学的なメスを加え、改良した技術は自然の生態系の変化を最少限にし、営農の中に受け入れられるであろう。不幸なことに、開発途上国の研究者、技術者は近代化を急ぐあまり、先進国の技術に目を奪われ、また、伝統農法を軽視し、先進国の技術者も伝統農法の長所を見逃がし、経済性あるいは労働生産性の立場からの新技術の導入を考えようとする。そこにはそれなりの意義があり、成功もあるが多くの悲喜劇があることも事実である。

先にも述べたように、土壌生産力の低下する開発途上国において、今ほど土壌物理研究の重要な時はない。土壌物理学の深く広い知識、農業全般にわたる豊富な経験と判断力、広い領域にわたる科学的知識、現地研究者や住民にも親しまれる調和のとれた人格、貧困からの解放のために農民の立場にたつて考える土壌物理研究者の活動が今日ほど期待される時期はない。

(1983. 6. 9 受理)

会 務 報 告

(昭和57年11月27日～昭和58年5月31日)

昭和57, 58年度役員 (一部再掲)

会 長 岩田 進午 (農 土 試)
 副 会 長 久保田 徹 (中国農試)
 幹 事 村山 忠一 (農 土 試)
 (庶務) 足立一日出 (")
 (会計) 長谷川周一 (")
 (編集) 奥山 武彦 (")
 (") 井上 久義 (")

編集委員会

委 員 長 河野 広 (農 土 試)
 委 員 軽部重太郎 (茨 大)
 " 長谷川周一 (農 土 試)
 " 浜崎 忠雄 (農 技 研)
 " 藤縄 克之 (農 土 試)
 " 陽 捷行 (農 技 研)

会計監査委員 荒川 稔 (茨 大)

" 阿部 征雄 (筑 大)

評 議 員

〔北海道〕 小川和夫 (北農試), 佐久間敏雄 (北大)
 〔東 北〕 東山 勇 (山形大)
 〔関 東〕 岩田進午 (農土試), 粕渕辰昭 (農技研)
 多田 敦 (筑波大), 寺沢一郎 (農技研)
 中野政詩 (東大), 古畑 哲 (農技研),
 前田乾一 (農技研), 諸遊英行 (農研セ
 ンター)
 〔中 部〕 湯浅義男 (野菜試)
 〔近 畿〕 三野 徹 (京大)
 〔中四国〕 久保田徹 (中国農試)
 〔九 州〕 古賀 汎 (九州農試)

土壌物理研究会関連会議

1, 事務局, 編集委合同会議 (昭和58, 3, 19 午前
 (出席者) 岩田, 久保田, 村山, 浜崎, 軽部, 藤
 縄, 長谷川, 奥山, 足立

- 1) 25回シンポジウムの持ち方について
- 2) 会誌の大まかな方針について

2, 第1回編集委員会 (昭和58, 5, 2 於農土試)
 (出席者) 河野, 軽部, 長谷川, 浜崎, 藤縄, 陽,
 奥山 (幹事)

- 1) 会誌47号の構成について

3, 第2回編集委員会 (昭和58, 5, 16 於農土試)
 (出席者) 河野, 軽部, 長谷川, 浜崎, 藤縄, 奥
 山 (幹事)

- 1) 会誌47号の原稿の査読結果及び審査

会員の動向 (昭和57, 11, 27~58, 5, 31)

1. 会員数 (58, 5, 31現在)

地 区	会員数	地 区	会員数
正会員及び学生会員	705	京 都	13
北 海 道	75	大 阪	25
東 北	81	兵 庫	18
青 森	17	和 歌 山	1
岩 手	21	中国・四国	86
宮 城	11	鳥 取	20
秋 田	7	鳥 根	7
山 形	19	岡 山	7
福 島	6	広 島	12
関 東	240	山 口	9
茨 城	113	山 德	1
栃 木	7	香 川	13
群 馬	6	愛 媛	9
埼 玉	19	高 知	8
千 葉	11	九 州	75
東 京	50	福 岡	17
神 奈 川	15	佐 賀	11
山 梨	5	長 崎	5
新 潟	14	大 分	3
中 部	84	熊 本	6
静 岡	16	宮 崎	14
愛 知	19	鹿 児 島	17
三 重	15	沖 縄	2
岐 阜	7	海 外	4
長 野	13	賛助会員	4
富 山	7	購読会員	54
石 川	6		
福 井	1		
近 畿	60		
滋 賀	3		
奈 良	0	合 計	763

2. 新入会員

氏 名	会員種別	連 絡 先
富士田 恭 二	(学)	113 東京都文京区称生 1-1-1 東大農学部農業工学科
小 豆 沢 齐	(正)	693 出雲市芦波町2440鳥根農試
磯 島 義 一	(正)	515-22 三重県一志郡嬉野町川北 530 三重県農技センター
佐 藤 泰一郎	(学)	300-03 茨城県稲敷郡阿見町阿見 茨城大学農学部
芦 沢 潤一郎	(学)	409-21 山梨県南巨摩郡富沢町富士3068(自宅)

3. 退会者 (原則として46号をもって退会の者)
 梅津洋星 (鳥取), 森井健一 (三重), 横山偉和夫 (北海道), 吉良八郎 (兵庫), 安原一哉 (福岡), 内藤利貞 (東京), 中田昌卯 (東京), 田地野直哉 (香川), 佐々木次郎 (東京), 熊谷秀行 (北海道), 堀潤一 (北海道), 石上忠 (埼玉), 白石道夫 (千葉), 川村秋男 (高知), 中田禮嘉 (神奈川), 関谷宏三 (岩手), 上坂晶司 (北海道), 岡崎紘一郎 (北海道), 種田行男 (京都), 安保文夫 (栃木), 瀬川書店 (富山), 東大農学部土壌学研究室 (東京)

4. 住所変更

氏 名	(旧)	新しい連絡先
森正 克英	石 川	929-17 鹿島郡烏屋町黒氏ル部 84の2
佐藤 裕一	青 森	034 十和田市大字三本木字前谷地 北里大学獣医 畜産学部畜産土木工学科
黒部 隆	東 京	113 文京区本駒込2-28-34
南 信行	千 葉	270-11 我孫子市緑2-5-22 緑文化住宅201
白岩 隆己	東 京	252 藤沢市亀井野1866 日本大学農獣医学部農業工学科
岡橋 生幸	東 京	358 埼玉県入間市高倉5-4-14
横田 志朗	高 知	781-52 高知県香美郡野市町下井 1763 (自宅)
佐藤 雄夫	福 島	305 筑波郡谷田部町藤本2-1 果樹試
山崎不二夫	東 京	156 世田谷区上北沢3-19-6(自宅)
萩原 守	東 京	036 弘前市文京町 3 弘前大学農学部

角 博	東 京	847-01 唐津市枝去木石原3044-1 佐賀県畑作試験場
相馬 暁	北海道	041-12 亀田郡大野町本町680 北海道立南農試土壌肥料科
佐々木崇二	東 京	305 新治郡桜村並木4-903-303
服部 勲	福 島	969-63 福島県大沼郡会津高田町 大字旭三寄字壇の越甲1339
市村 匡史	東 京	194-01 町田市鶴川6-9-1-102
中山 照之	茨 城	305 筑波郡谷田部町観音台2-1-2 熱研センター
仲谷 紀男	"	"
山村 善洋	高 知	880 宮崎市船塚3丁目210 宮崎大学農学部
井上 久義	香 川	305 筑波郡谷田部町観音台2-1-2 農土試
内田 文雄	栃 木	329-11 栃木県河内郡河内町下岡 本3770-16 (所屬) 栃木農短大
鹿内 武次	青 森	037 青森県五所川原市大字吹畑字 藤巻24の1 北土地改良事務所
矢野 義治	北海道	茨城県新治郡桜村天久保4-1-1 国立科学博物館, 筑波実験植物園
徳永 美治	茨 城	305 茨城県筑波郡谷田部町観音台 3-1-1 農研センター
本村 悟	茨 城	840-23 佐賀県佐賀郡川副町南里 佐賀県農試
石原 暁	沖 縄	305 筑波郡谷田部町観音台3-1-1 農技研
上野 義視	茨 城	"
松崎 健	北海道	950-21 新潟市五十嵐二の町8050 新大農学部
山崎 慎一	北海道	305 筑波郡谷田部町観音台3-1-1 農技研

— 編 集 後 記 —

昭和33年春に発足した本研究会は、今年で25周年を迎え会誌も47号を数えることとなりました。この間、諸先輩の努力により編集形態は徐々に改善され、今日ではすっかり整えられた感があります。今期編集委員会もこの伝統を引続き充実させるべく、一致協力して微力を尽したい所存ですのでご支援のほどお願い致します。

本号は、昨年秋に筑波大で行われた第24回シンポジウムの特集号ですが、4人の講演者には主題の「環境計測」に沿ってわかり易い論文としてまとめていただきました。土壌物理研究において一つの新しい分野の礎となることでしょう。

本号には圃場試験に基づく報文2編と、測定機器の改良に関する資料1編も掲載いたしました。何れも貴重な研究成果であり、著者の皆様に厚くお礼申し上げます。土粒子欄には、自助努力の育成こそが海外協力の要点であるというホットな体験談をお寄せいただきました。併せてお礼申し上げます。

会誌の発行が遅れがちとなっています。次号からは所定の期日に発行できるよう、会員諸氏からの積極的かつ多彩な投稿をお待ちしております。

(河野 広)