

I-1 粘土質水田の排水改良

田 淵 俊 雄*

1. 主な研究の流れ

1960年以降の「粘土質水田の排水改良」に関する主要な研究の略年表は表一のようになる¹⁾。60年代に水田農作業の機械化が進行し、水田におけるトラクタやコンバインの走行不良が最大の問題となった。そこで暗キョが排水改良の最高の手段として登場し、各地で施工された。しかし暗キョを施工しても、重機械を使うことのできない水田が日本海側の気象条件の悪い地域を中心に数多く生じた。

このような状況下で、山崎²⁾、丸山³⁾、田淵⁴⁾、長浜⁵⁾らの調査研究が進み、水田における排水の実態が次々と明らかになっていった。1967年の農業土木学会の水田排水に関するシンポジウム⁶⁾はその総括点ともいえるもので、熱のある活発な討論が交された。そこでは、欧米追従の暗キョ万能論に代って、キレツや埋戻し部の重要性や均平、落水期間など、従来かえりみられなかった要因が数多く指摘された。

山崎⁷⁾の「土壌物理」、「農地工学」および農業土木学会の「暗キョ排水委員会報告」⁹⁾はこれらの知見を総括したもので、これらは農林水産省の「暗キョ排水設計基準」¹⁰⁾へと活かされていった。その後、福島¹¹⁾のモミガラ詰め暗キョ機械や、高橋¹²⁾、富田¹³⁾らの畑地転換畑の

排水へと研究は進んでいった。

「土壌の物理性」誌上でも、この研究の流れは反映しており、初期の後藤¹⁴⁾、長崎¹⁵⁾、金須¹⁶⁾、国分¹⁷⁾らは機械走行能と土壌の物理性(沈下や硬度)との関係について報告している。丸田¹⁸⁾は水田の排水実態を、江崎、竹中¹⁹⁾は八郎瀧のヘドロの乾燥実態を報告し、根岸²⁰⁾は水田の透水性と排水不良の原因について全国的な調査をまとめて報告した。

2. 土壌物理との関連—浸透学と暗キョ—

水田排水ほど土壌物理との関連がドラマチックに現われたものはないであろう。初期、水田排水は地下浸透中心主義であった。それは「暗キョさえ入れれば排水は改良される」という暗キョ万能主義となった。暗キョを入れたり、排水路の間隔を狭く、または深くすれば水は水田から速やかに排水する、という考えである。暗キョ公式は浸透学が作り上げた高級な理論として遇されていた。

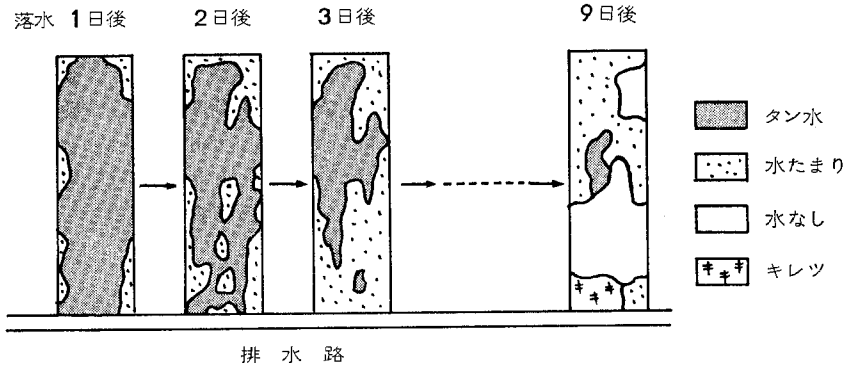
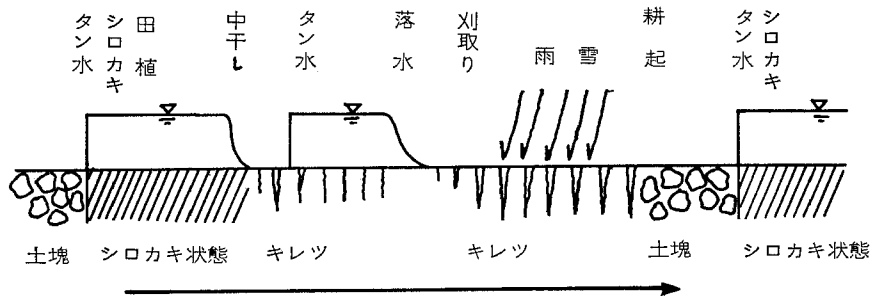
それが、多くの日本の研究者達による水田の排水実態調査により、そのもつ机上の理論的欠陥が露呈されていったのである。1967年の水田排水シンポジウムで、田淵は「作土層がシロカキ状態の粘土質の無暗キョ田の地下栽培は0である。暗キョ田でも栽培は少ない」と述べた。田淵ら⁴⁾はその研究を始める時、作土層が難透水性なのに何故暗キョが有効たりうるのか?という疑問を提起し、先入観を排して水田排水の実態調査を開始したのである。

その結果が上述した浸透否定であった。水田土壌の透

表一 粘土質水田の排水改良に関する研究略年表

年 代	流 れ	研 究 (土壌の物理性)
1960	〔機 械 化〕 ↓ 暗キョ万能 欧米公式	〔後 藤〕〔長 崎〕
1965	〔実 態 研 究〕 ↓ キレツ 埋戻し部 均平 落水期間	〔山崎ほか〕 〔田淵ほか〕〔丸 山〕 〔農士学会シンポ〕 〔長 浜〕 〔八郎瀧委〕 〔金 須〕〔国 分〕 〔丸 田〕
1970	〔日本方式確立〕 ↓ モミガラ	〔山崎：土壌物理〕 〔山崎：農地工学〕 〔高 橋〕
1975	〔畑 転〕	〔農士学会暗キョ報告〕 〔福 島〕〔富 田〕 〔江 崎, 竹 中〕 〔根 岸〕

* 茨城大学農学部

図一1 水田表面の排水状況のスケッチ⁴⁾

図二 作土層の形態の時期的変化

水係数のデータ、浸透能の測定、塗料による浸透追跡、暗キ_ヨ排水量の測定等、数多くの証拠が集められた。その中でも強力な証拠が「田面のスケッチ」であった(図一1)。これは水田表面の水の状況を落水開始日から連日水田の中を歩きまわってスケッチして、水田の排水実態を明らかにしたものである。このスケッチから判明したことは多くあるが、中でも重要なのは浸透の少ないことの証明であった。浸透が大きければ、田面の残留水はすぐに浸透によって消滅するであろう。しかし、田面の残留水は一週間、長ければ10日も消滅しなかったのである。残留水の減少速度は蒸発散量とほとんど同じであった。このことは浸透が0であることを意味している。暗キ_ヨのある水田でも同じような結果であった。作土層にキレツが入らない限り、浸透は大きくならなかったのである。

またこのスケッチは測定法としても大変ユニークなものであった。それは水田の表面を「面」としてとらえたからである。水田を調べる時、土壤物理でよく行うサンプリング方式はどうしても点になる。地耐力や浸透能試験も狭い面、どちらかといえば点である。このような点の測定によって面を判断する際には大きな障害がある。バラツキであり、その判定結果は精度の低いものにならざるをえない。また点で面が測定できるか、という本質的な問題も残される。それが、このスケッチ測定法では

見事に解決された。誰もが考えそうでいて、考えつかなかった方法である。著者らも正直な所、最初からこの方法を考えたのではない。水田内の数ヶ所に1m²程度の小区画を設け、その中でキレツを観察しようとしていた。しかし、広い水田の中に立った時、このような測定がいかに無力であるかを身にしみて感じたのである。その結果生れたのが全面スケッチ法である。

3. 水田の透水構造

数多くの実態研究から粘土質の水田の透水構造が判明していった。水田の作土層の透水係数がシロカキ状態では極めて小さいが、乾燥してキレツが入れば逆に透水係数は非常に大きくなること、そしてこのような極端な透水係数の変動—時間のファクターが水田では定期的起っていることである。

図二はこのような作土層の時期的変化を示したものであるが、これは水田の排水改良を行う場合欠くべからざる認識である。人為的に「タン水」と「落水」をくり返す水田は排水時期は通年でなく、トラクタやコンバインを使う時期に限定される(限定排水)。このような排水時期との関連で、作土層にキレツがあるかないかが重要である。またシロカキによって作土層は必ず難透水化し、元に戻るという「サイクル性」が大きな特徴である。このような作土層の乾湿が粘質土の膨張・収縮、キ

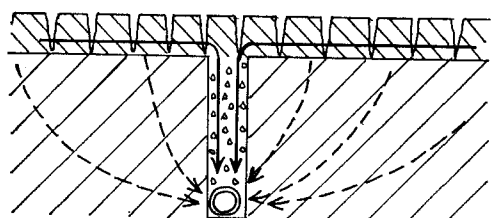


図-3 水田土層の透水構造

レツの生成・消滅、および地耐力や透水性の変化を呼び起すが、これらは土壌物理学の研究課題である。水田排水は土壌物理学者にとって格好の研究フィールドであった。

さらに土層断面の側から水田の透水構造を見ると、作土層、スキ床層および心土層、暗キヨ埋戻し部の3層に区分されることがわかった(図-3)。区分しない場合の浸透水の流線は点線のようになり、これは心土層の水が通過して暗キヨに到達する畑地の浸透としてよく画かれる図である。そして欧米の暗キヨ理論はこのような流線にもとづいて組み立てられている。

これに対して3区分の流線は実線のようになる。水は作土層のキレツを横流れし、暗キヨ埋戻し部を降下して暗キヨに到達する。粘質土の、しかもキレツのない心土層は水をほとんど通さない。これは前述した多くの研究者達によって明らかにされていった。

したがって、作土層のキレツと埋戻し部が重要な流路となり、それをいかに確保するかが排水の課題となる。作土層を乾燥してキレツを発生させることが先決となり、そのために地表排水を良くするための田面の均平や小排水溝、それに落水期間を十分に長くとることが必要であると指摘された。また埋戻し部の透水性を良くするためのモミガラ詰めや土壌改良剤も考案された。今やモミガラ詰めは当然のことのようにになっているが、以前には、埋戻し部の土を突き固めて不透水化してしまった施工例もあったという。

「土層を3区分し、その時期的変動も考慮した水田透水構造」の認識は、従来の単純な暗キヨ公式の否定である。こうして欧米の暗キヨ理論への盲目的追従から脱皮して、日本独自の水田暗キヨ理論が誕生したのである。今後はこの新しい理論に基づいた公式が生れてくるだろう。

4. 水田暗キヨ理論と欧米暗キヨ理論

上述したように我が国で生れた水田暗キヨ理論は欧米の畑地暗キヨ理論とは大きく異なったものになった。それは水田と畑地の本質的な違いに根ざしており、水田暗キヨ理論の方がずっときめ細かくなっている。

ところで、畑の方はこのきめ細かさは必要ないのだら

うか。暗キヨ公式で計算すれば良いというが、畑地の実態は十分に考慮されているだろうか。透水係数ひとつとっても、相当に大きなバラツキがある。また畑でも乾湿により透水係数の変動もあるであろう。暗キヨ埋戻し部のこともあるそれを公式の中にどう組みこむのか。また施工例や実地試験の活用もあまり強調されていないように思う。

著者の乏しい知見のためかもしれないが、欧米方式は機械的な暗キヨ公式偏重になっているような気がしてならないのである²⁰⁾。日本と欧米の2つの暗キヨ理論、今後どういふ変遷を辿るのか、非常に興味ある点である。

引用文献

- 1) 田淵俊雄：排水計画(ホ場排水)，農業土木史，農業土木学会，1040—1044 (1979)
- 2) 山崎不二夫ほか：粘土質の水田の暗キヨ排水における心土キ裂の役割，農土研32(3)，27—35 (1964)
山崎不二夫ほか：児島湾干拓地水田の心土の物理性，特にキ裂について，農土論集，16，1—8 (1966)
- 3) 丸山利輔：地下排水に関する研究 I, II, III，農土論集，16，9—19 および 17，28—33 (1966)
富士岡義一・丸山利輔：粘質土壌水田における暗キヨ排水に関する研究 I，農土論集，35，48—53 (1971)
- 4) 田淵俊雄ほか：粘土質の水田の排水に関する研究，I—VIII，農土論集 18 及 25，(1966—68)
- 5) 長浜謙吾ほか：暗キヨ排水機能に関する実証的研究 I—V，農土論集，21，23，26 (1967—68)
- 6) 農業土木学会土壌物理研究部会：水田の排水についてシンポジウム，農土誌，36(4)，25—50 (1968)
- 7) 山崎不二夫編：土壌物理，養賢堂，(1969)
山崎不二夫：農地工学(上)，東大出版会，(1971)
- 8) 八郎瀧干拓地耕地整備委員会：昭和42年度八郎瀧干拓地整備計画に関する報告，農土誌，36(9)，3—14 (1968)
- 9) 農業土木学会暗キヨ排水調査委員会：暗キヨ排水の計画，施工，管理についての報告，農土誌，41(9)，9—30 (1973)
- 10) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準(暗キヨ排水)，(1979)
- 11) 福島忠雄：モミガラ詰めモグラ暗キヨ施工機の試作，農土誌，42(4)，23—28 (1974)
- 12) 高橋 強ほか：転換畑の地下排水に関する研究，I，農土論集，42，1—7 (1972)
高橋 強：田畑輪換と排水，土壌の物理性，39，35—44 (1979)
- 13) 富田正彦：大区画水田転換畑における排水不良の実証的研究，農土論集，54，43—51 (1974)

- 14) 後藤定年：湿田土壌の物理性の特徴について，土壌の物理性，8，1—6 (1963)
- 15) 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，9，30—37 (1963)
- 16) 金須正幸：農業機械の走行可能性，土壌の物理性，14，10—14 (1966)
- 17) 国分欣一ほか：機械化作業と水田土壌の物理性に関する研究(1)，土壌の物理性，15，15—18 (1966)
- 18) 丸田 勇：粘土質の暗キョ施工田における排水，土壌の物理性，16，16—21 (1967)
- 19) 江崎 要：八郎瀉のホ場乾燥に関する研究 II, III, 農土論集，44，34—48 (1973)
- 江崎 要・竹中 肇：八郎瀉のヘドロ地盤の乾燥過程について，土壌の物理性，29，13—20 (1974)
- 20) 根岸久雄：重粘土水田の土層改良と用排水組織に関する研究，土壌の物理性，31，29—33 (1975)
- 21) 田淵俊雄：イタリア，オランダに学ぶ，農土誌，51(1)，86—89 (1983)

I—2 重粘土水田の土層改良

多 田 敦*

農業土木と土壌肥料分野の農地工学・土壌物理学に係わる研究者の共同研究「重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研究¹⁾」(1963～65年，農林水産省)が行われた。この成果は，重粘土地帯水田の土層改良の指針になり，後に暗渠排水の基準にとり入れられ，また汎用耕地化のための排水方式の主要手段と結びつく成果を生んだ。これは，農業土木と土壌肥料両分野の共同研究の必要性を示すものであり，担当者には土壌物理研究会の会員が多数含まれていた。今後も研究会の活動領域内での各分野の共同研究が重要であることを示す例として評価したい。また，この研究が突然できたのではなく，これまでの研究の流れの中で成果をあげたことも十分評価されねばならない。

1. 重粘土水田の土層改良の必要性

1960年代になると，農業の機械化を前提にした圃場整備事業が行われ，区画拡大，用排水路の分離と合理的な用排水操作，地耐力の増強，施工による過転圧・こね返し対策(適正浸透量の検討・付与)が求められ，土壌物理学分野でも農業土木，土壌肥料，農業機械を中心にこれら課題にかかわる研究に参画・寄与した。圃場整備のも

つ上記問題が最も顕著に現われるのが，粘質で透水性が低く，排水不良で，地耐力の不十分な重粘土水田であった。一方，この土壌は乾燥すれば硬くなり，碎土しにくい。したがって，一般土壌に対する対応が解決されるにつれて，残された問題としてみます研究の重点がここに移される状況にあった。

2. 当時土壌物理学が持っていた知見と手段

粘質な，微粒な土性をもつ土壌から何故に地下排水が可能なかが明らかになり，粘質土水田での排水及び地耐力上昇機構(地表排水や乾燥亀裂の役割，中干しの効果など)が解明されつつあった(I—1 田淵氏執筆の項)。また粘質土の暗渠が排水能力を発揮するのも土壌亀裂が接続するためであることも基本となる知見として当時知られたことである。排水に重要な役割をなす土壌亀裂そのものについては，その発生と分布などの研究は緒に付いたばかりであった。

土層改良の工学的手段の中心となった弾丸暗渠と心土破碎に関する研究の進展は次のとおりであった。弾丸暗渠は，水田の暗渠の代用として，また材料を用いないので低廉で簡易な暗渠として，施工法，耐久性などが調査報告されていた²⁾，施工機としての種々の弾丸形状の報告もあったが，土壌の透水性を改良する手段としての発想はなかった。

心土破碎に関しては，北海道などの畑地の重粘土で保水力を増大させるための有効間隙量を増大することを目的に，また土壌を膨軟にすることを目的として研究及び施工が行われていた³⁾。

土壌学分野との関連では，北海道開発局土木研究所では，畑の重粘土の生成論にもとづく分類とその土層改良の方法が報告された⁴⁾。これは土壌学者が改良を目的に重粘土をとり上げ，その土層改良への提言を土壌学の立場から行ったものとして，土壌学研究の活用法の1典型として重視できよう。

3. 重粘土水田の土層改良のねらいと展開

上述したように，低平な水田の排水を促進し，大型機械を導入できる地耐力を得るための土層改良が求められるが，その対策は地表排水や土壌に乾燥亀裂を発生させるほどの強度の中干しを行うことであり，圃場整備済みの圃場で水管理や栽培の方法によって土壌乾燥を行うことが研究のねらいの一つである。

一方，当時適正減水深とは何かが論議され，降下浸透の意義が確認されるに及び重粘土水田の浸透を増加するための土層改良の研究も，もう一方のねらいの一つと

* 筑波大学農林工学系

なった。すなわち、従来の用水節約を主体とする体系に対して、浸透過少土壌の水田の減水深を増加することによって収量をあげ、農作業時の地耐力をあげようとする研究である。これは1965年ごろ農業土木試験場が福島県農試と福島県安積疏水の洪積台地上の重粘土水田で若干の減水深を増加させ収量をあげることをねらいはじめた⁴⁾。はじめは中干しを強化したが、カオリン系重粘土のため土粒子は密に充てんされており、下層土へは乾燥亀裂が入らなかった。そこで心土破碎を行い、その水みちを集水渠へ接続するという方法をとった。同じころ長野県木島平の傾斜地水田では暗渠排水の吸水断面を大きくするため、モミガラを疎水材とする研究を開始しており⁵⁾ (農土試)、福島の集水渠にもこの考え方をを使用した。

低平地重粘土の排水にクラックの役割が重要であることは前の田淵の研究レビューのとおりで、八郎瀧干拓地の水田造成の研究でも明らかになっていたし (農業土木学会八郎瀧耕地整備委員会)、これに協力していた農業土木試の土地改良部のメンバーは実地における活用の知見を十分に持っていた。これらの流れは、後の土層改良法の主要な成果、組合せ暗渠排水組織に結びつく。本暗渠と弾丸暗渠の組合せ暗渠の発想は研究の中でまとまったものであるが、はじめは農土試根岸の発想によるものであったように記憶している。また農家の保有するトラクタの有効利用もねらいとした。

同じ重粘土でも台地上の重粘土と干拓地の重粘土の性質はかなり異なる。したがってその理化学的性質を明確にするとともに土壌分類との関連づけが望まれる。

土壌肥料の分野では、当時土壌分類は土壌類型により行っていた。したがって、重粘土はそれのどこかに位置づけられるものでなければならない。そもそも重粘土は農業利用上からみた分類であるから、土壌類型の考え方とは本質的に異なるので、その分類のどこに該当するかを検討する。またその分布及び面積も求めたい (農技研北陸農試担当)。一方、土壌生成の立場からみた重粘土そのものの分類も考えられ、北海道農試と九州農試ではそれぞれの地域の重粘土水田の分類を行うことになる。

心土破碎や暗渠排水、強度の中干しは土壌の物理性、化学性、特に土壌構造をどのように変革させるのか、亀裂はどのような水分で発生するのか (農事試他)、亀裂の発生を促進するための栽培方法として中干し後の無湛水栽培や間断灌漑はできないか (北陸農試)、やわらかい重粘土水田の心破の効果をあげるために弾丸暗渠機に翼をつけたり (農土試佐賀支場)、耕起場所を限定したり (不耕起作溝条播方式一佐賀県農試)、弾丸孔の耐久性を持たせるために、弾丸孔にモミガラを充てんする方

式を検討したり (農土試・宮城県農試)、モミガラの耐久性と稲作への影響など土壌や圃場への働きかけに関するさまざまな研究が展開された。

基礎的な研究としては、各地の重粘土の粘土鉱物の同定 (農研) と、粘土鉱物と地形からみた重粘土の分類 (九州農試) 等も行われた。

4. 共同研究の方法と研究項目

上に述べた背景のもとに、1968年に農林省農林水産技術会議は傘下の農業土木、土壌肥料分野の土壌あるいは土壌物理学に関連する研究者の共同研究である「重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する特別研究 (期間3年間)」を発足させた。全国の代表的重粘土地帯水田を、関係場所が課題と地域を分担し、関連研究を実施中の県農試 (北海道・秋田・宮城・山形・福島・千葉・長野・新潟・富山・愛知・佐賀・熊本・宮崎の14農試) とも密接な連絡をとりつつ研究を進め、全国的視野から重粘土地帯水田の排水・土層改良方式と合理的用排水組織について集大成・体系化することをめざした。現地検討会は43年の福島県安積 (台地上の重粘土水田)、44年佐賀県有明干拓地 (低平地重粘土水田)、45年北海道上川・空地地区に国県の研究者が集まり、活発な検討をすすめ、研究の集大成につとめた。

研究項目は、①地域・土質別重粘土の理化学的特性の解明、②水管理・栽培法による乾燥促進、透水性改良法、③施工による乾燥促進、透水性改良法、④重粘土水田の合理的用排水組織であり、①～③は農業土木試土地改良部・同佐賀支場、農技研化学部、農事試作業技術部が担当し、④は農土試と北海道農試農業物理部が担当した。供試した代表的重粘土地帯は、①北海道重粘土 (秩父別・永山)、②洪積重粘土 (福島県安積)、③表日本重粘土 (千葉県丸山、長野県上田)、④裏日本重粘土 (新潟県高田・西蒲原)、⑤干拓重粘土 (佐賀県東与賀・川副) であった。

5. 研究成果のまとめ¹⁾

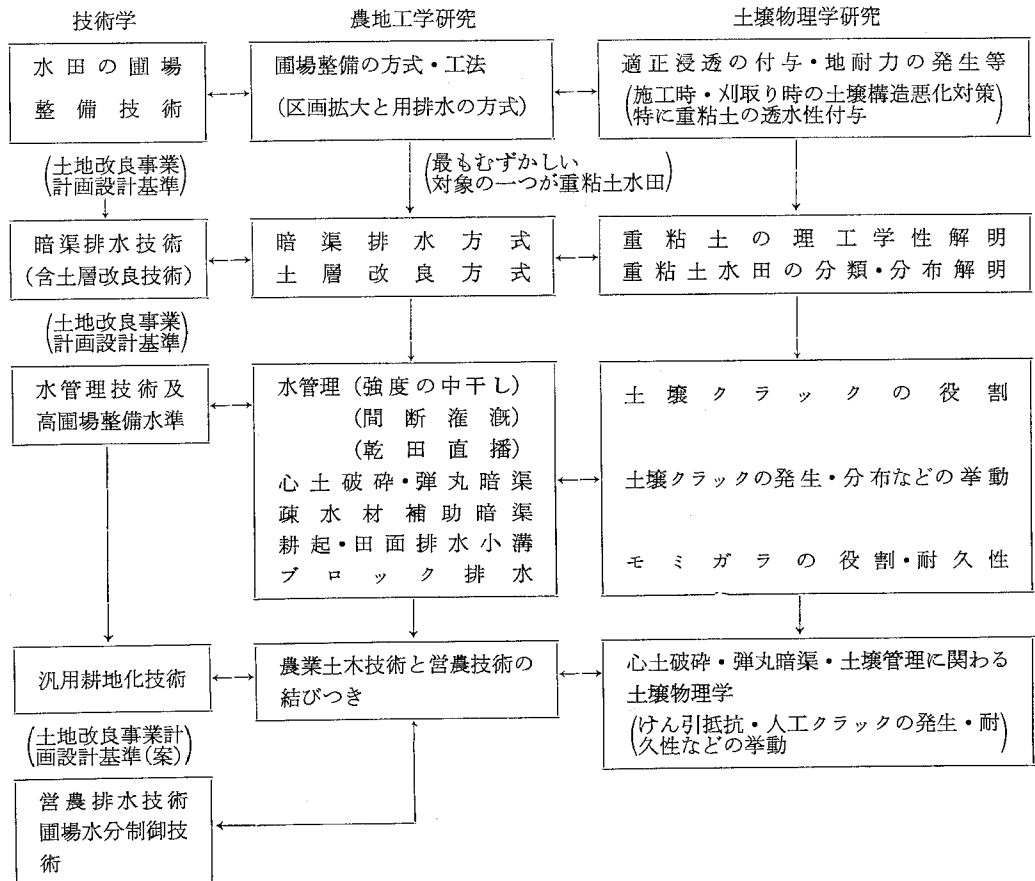
(a) 重粘土水田の定義と分布 重粘土は土壌生成に基づく土壌分類の名称ではないので、農業上以下の特徴をもつものとして定義した。主として粘土含量が多いため重粘な性質をもち、農耕上の種々な物理的障害などの発生する可能性のある土壌とし、おおむね HC, SiC, LiC, SC の土性をもつ土壌がこれに当ると考えた。ただし上記の土性でも腐植含有量の多い泥炭質、黒泥質の土壌及びアロフェンを主とする火山灰土壌などは粘りが弱いので重粘土とはしない。このように定義し、その分布をみると、53.7万 ha、全国水田の18.2%に当り、土壌類型の土壌群でみると強グライ、グライ、灰色 (沖積・洪積

層), 灰褐色, 黄褐色, 泥炭・黒泥土など広い範囲にわたっている。

(b) 重粘土の物理的・工学的・化学的性質とその変化地形・堆積様式・粘土鉱物によって3群に大別でき, それぞれ理工学性も特徴をもっている。群—I. 低地における沖積世堆積物, 相対的にモンモリロナイト優位の粘土鉱物組成をもつ。群—II. 低地における沖積世堆積物, 相対的に14 Å 鉱物・イライト・カオリン優位の粘土鉱物組成をもつ。群—III. 台地上の洪積世堆積物, 相対的に14 Å・イライト・カオリン優位の粘土鉱物組成をもつ。これらの各群のもつ土層改良を目的とした諸物理性(粒度や比表面積, カチオン置換容量, 構造をあらわす指標, 保水性, 力学性など)と化学的性質を整理した。その結果, 群—IIIは下層土の固相率がきわめて高く, 乾燥によっても保水性その他の物理性に大きな変化は期待できないので人為的に下層土を破碎し, 人工的水みちをつけ, 土壌を膨軟化することが改良のポイントであること, 群—Iの還元層位は間隙率は高いが和湿度の高い二価鉄が多いのでゼリー状の無構造をとりやすく, 透水性が悪い。また干拓地ではソーダが多くこの傾向を一層

助長する。土壌乾燥により亀裂を発生させ, 保水性を下げ, 二価鉄を不動化することが改良のポイントで, 還元層位の乾燥酸化がポイントとなる。この対策は栽培・水管理の改善のほか弾丸暗渠を含めた地下排水組織の完備がある。群—IIも群—Iと同じく土層改良の対象は還元層位であるが, 群—Iに比べてち密になり易いと予想される。水田の透水性をみると, 乾田系では透水性はよいが作土と鉄集積層を持つ下層土との水みちの連続性は悪い場合が多く, 排水促進のためには作土直下まで疎水材(モミガラ, 砂, 軽石など)を埋戻し, 耕盤表面を横流れした水を集水する必要がある。このような施工で下層土へ亀裂が広がることを期待し, また要すれば心土破碎・弾丸暗渠でこの作用を促進する。湿田系土壌では水みちをつくるための水管理(強度の中干し, 間断灌溉, 無湛水栽培など)を行うとともに心破・弾丸などの土層改良を行う。亀裂の発生は, 土粒子が親水性の湿田では低 pF (1.2~1.4) で発生し, 乾田直播田, 沖積土未耕地では高い pF 値 (1.6~1.9) であった。

(c) 重粘土水田の土層改良法 工学的改良法と水管理・栽培法による土壌乾燥促進によって透水性改良を行う



図一 重粘土水田の土層改良の研究の流れ

方法がある。ここでは前者を中心に成果をとりまとめる。①組合せ暗渠の考え方。地下水位が高いか、土壌の透水性が低くて土壌の乾燥が進まない場合には圃場排水暗渠を設ける。重粘土水田に設けられる暗渠は、重粘土層の透水性の特徴から、排除すべき地表残留水及び表層土内の亀裂中の水と水みち的な間隙で接続することが重要である。すなわち、重粘土水田の暗渠では、排水改良によって土壌の透水性の改良を期待するとともに、暗渠施工時においても可能な土壌透水性の改良をはかる。この場合の改良手段は、暗渠埋戻し部分等に工学的手段による水みちを作る。土壌の透水性が低く、多くの透水性改良部分を必要とする場合は2種の暗渠を併用して透水性改良部分の増大と工費の低廉化をはかる。組合せ暗渠は、1.0～0.6 m 深さに埋設され、十分厚く疎水材を埋戻した吸水管とこれに直交するより浅い簡易暗渠である弾丸暗渠やトレンチにモミガラを充填した暗渠等からできており、地表残留水や土中水はこの水みちの連続性によって排水される。深い暗渠は本暗渠と呼び、圃場の地下水位を下げ、水を圃場外へ排出する役割をなし、耐久的な構造とする。浅い暗渠は土壌の透水性が低い場合、乾燥亀裂や機械的に造成された水みち（弾丸暗渠、心土破砕など）によって地表残留水や粗間隙の排水を迅速化するもので、密にもおける。耐久性より安価・速効性を期待し、効果がなくなれば、農家の保有するトラクタでくり返し施工する。これを補助暗渠と呼ぶ。補助暗渠をくり返し施工する際に本暗渠との接続を容易にするため、本暗渠上の疎水材は作土の直下まで埋戻す。このほか水管理・栽培方法と組合せることも有効で、それらが土壌構造発達に及ぼす効果も研究された。

6. 研究成果の活用とその後の発展

組合せ暗渠の考え方は、土地改良事業計画設計基準において、難透水性土壌の暗渠排水方法として基準化され、実用化されている。一方、汎用耕地化の排水方式としても有効であり、適用されている。今後の技術的課題としては、土壌管理を考えたときの農業土木工事と営農作業との接点——営農排水、地下灌漑等へ結びつくことが考えられ、同じ排水、土壌管理でもその目的が、排水・土壌管理の精度の向上とともに、土壌（圃場）と水分を制御しつつ使用するためのメカニズムの解明へとすすんで行くものと展望したい。このためには単に技術面にとどまらず、排水現象の把握、スキ床の形成速度、クラックの分布表示など基本となる土壌物理現象の把握が求められる。

図—1 は重粘土水田の土層改良の研究の流れ、問題点

を整理したものである。

引用文献

- 1) 農林省農林水産技術会議編：重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研究，研究成果，56，1—228（1972）
- 2) 長崎 明：簡易掘砕機による水田のもぐら暗渠に関する研究，岩大農学部報告，6(7)，176—178(1962)
- 3) 北海道開発局：北海道北部の土壌，1—195，北海道開発局，(1967)
- 4) 多田 敦・中川昭一郎：透水過少水田の土層改良に関する研究，農土学会昭和42年度大会講演要旨，182—183（1967）
- 5) 古木敏也・多田 敦：傾斜地水田飯山中 部 地区 報告，農土学会農場整備モデル圃場企画委員会報告書，100—129（1970）

I—3 重粘土畑土壌の改良

小川 和 夫*

1. はじめに

重粘土とは堅密な、粘性の強い土壌を総称したものであり、実際の農耕上の見地からつくられた用語である。重粘土畑土壌は北海道北部を中心にした台地や丘陵地に広く分布し、東北地方、西南日本にも重粘土の範ちゅうに入る土壌が分布する。これらの重粘土には生成分類上の褐色森林土、疑似グライ土、赤黄色土、暗赤色土などが包括される。

これまでの多くの研究^{たとえは、1—6)}によって重粘土の物理的性質や水分環境などの基本的な諸特性が明らかにされている。大部分の重粘土は細粒質で粘土含量は30%以上、シルト含量は20%以上の粒径組成を示し、一般に固相率が高く、粗孔隙量は少なく、有効水分量も少ない。さらに、粘着性、可塑性が強く、硬度は水分量の減少によって著しく大きくなる。下層土の透水性は小さく、透水係数は 10^{-5} cm/sec 以下である場合が多く、典型的な重粘土である疑似グライ土の下層土 ($B_g \sim C_g$ 層) では $10^{-6} \sim 10^{-7}$ cm/sec で不透水性に近い値を示す。

以上のような物理性からみられるように、重粘土は通気・透水性が不良で、有効水分量に乏しく、乾燥期に固結した土塊や土膜をつくり、湿潤期には停滞水を生じやすいために、作物の生育は不良になりがちであり、農耕作業上に著しい支障をきたす。したがって、重粘土畑土

* 北海道農業試験場

壤地帯の農業開発は土地改良を主とした土地生産基盤の整備が前提となり、この土地改良に関する研究は排水、土層改良、易耕性改良、保水性改良を中心に進められてきた。

以下には、北海道に広く分布する重粘土畑土壌を対象に進められてきた土地改良に関する研究を中心に、達成された研究の成果とその意義、今後に残された問題点等について述べる。

2. 排水性の改良

重粘土では下層のち密な構造や難透水層の存在と台地上の重粘土にみられるような微地形要因による地表面流入水、浸透水によって、排水不良地を形成する場合が多く、暗きょ排水などによる排水改良が一般的に必要な。北海道の重粘土地帯で暗きょ排水事業が行われはじめたのは1950年頃であるが、当時の施工基準(渠深1m, 渠間12m程度)は経験的なものであり、技術的にも経済的にも多くの問題を残していた。暗きょ排水では吸水管を密に配置するのが効果的であるが、暗きょ施工には多額の経費がかかるために、吸水管暗きょと心土破碎あるいは弾丸暗きょとを組合せた排水方式の検討が北海道農試・重粘地研究室構内(紋別市小向)の疑似グライ土のは場で1957年から始められ、心土破碎・弾丸暗きょはともに経費が安く、暗きょ排水の補助工法として有効であることが認められ^{6),7),8)}、これらは代表的な補助工法として広く実施されている。補助排水工法としての心土破碎の施工法については北海道開発局による調査研究が行われ、施工能率、破碎状況などからみて、北海道の重粘土地帯ではチゼル数3連、間隔75cm、深さ40~60cmでは場の全面を破碎する工法がとられている。

暗きょ排水における吸水渠には土管、高分子系など各種の暗きょ管資材が使われ、また、これらの吸水管にはヨシ、砂、高分子系のフィルターなどの被覆材が用いられているが、これらの管・被覆材の排水機能を発揮するためには、資材の耐久性、施工性ととも資材の構造的・材質的特性と透水性、土性などの土の性質の適合を考慮して、資材を選定することの重要性が指摘されている⁹⁾。

排水施工によって浸透水が土層中を移動する経路については、下層土の柱状亀裂を経て過剰水は暗きょに達すること²⁾、およびその透水性はおよそ 10^{-8} cm/secであり^{2),10)}、また、柱状亀裂を経路とする粘土層の透水性は乾燥・湿潤による収縮・膨潤ヒステリシスの影響を受け、湿潤な春より乾燥する夏~秋期の透水性が高いことが認められた¹⁰⁾。

心土破碎の施工によって暗きょからの流出量は増大して排水性が改良されると同時に、高張力部分の含水量は

乾燥固結した土層を心土破碎した場合わずかに増加し⁴⁾、等高線施工の場合にはチゼル通過部周辺は多量の水分を含むこと¹¹⁾が認められている。しかし、心土破碎による下層土の重力水孔隙の増加量はわずか1~2容量%程度であり¹²⁾、また、毛管孔隙量の増加はとくにみられず、土壌水分は乾燥に傾き易い⁵⁾ことからみて、心土破碎による保水性の改良効果は僅少であると考えられる。重力水(貯留水)の増大にはむしろ深耕や心土耕によって重力水孔隙を増加させ、あるいは重力水孔隙の形態を変化させることが効果的であると考えられる。東海地方の赤黄色土では深耕・心土耕によって根群域の拡大と水分貯留性の増加、排水促進の効果が認められ¹³⁻¹⁶⁾、北海道の重粘土においても心土耕(下層耕起)の増収効果¹⁷⁾が報告されている。

心土破碎の効果とその持続性は、表層および破碎部の外力に対する構造要因が関係した抵抗性と、破碎部の通過水に対する耐水性に影響されるものと考えられ、土壌によっては心土破碎効果の持続性が小さいことが報告されている¹⁸⁾。心土破碎部の対象になる土層の土塊を水中に入れるとスレーキングや分散を起こして細粒化するものがみられ、分散は乾燥履歴に乏しいグライ台地土の灰色層(C_g層)、および凝灰質層で起こり¹⁹⁾、疑似グライ土の灰褐色層(B_g層)および灰色層(C_g層)、グライ台地土の灰色層(C_g層)、泥炭質グライ土のグライ層(C_g層)では、土塊を風乾するとスレーキングと分散をともに起こすことが認められた²⁰⁾。以上の結果から乾燥履歴を受けた層や分散しやすい層では心土破碎効果の持続性は低いと考えられる。心土破碎部への細断麦稈の充てん、家畜ふん尿スラリーの注入が破碎あとの維持に役立つことが報告されている²¹⁾。

重粘土の種類、地形などによる水分環境によって排水効果の発現の様相は異なり²²⁾、重粘土の中でも比較的に構造が良く、不透水層が深い褐色森林土では心土破碎のみで充分であり、湿潤土壌である疑似グライ土では暗きょ排水と心土破碎との併用を行い、凹地地形であるために過湿土壌であるグライ台地土では明・暗きょ・心土破碎等の施工に際して周辺部からの水の流入を阻止する必要があるなど、重粘土の種類・地形などによって排水改良工法を変える必要性が指摘されている²³⁾。

3. 易耕性の改良

重粘土は過湿時には地耐力の低下と付着性の増加がみられ、乾燥時には固結化して、ともに耕うん作業を困難にする。このような不良な易耕性は堅密で可塑性の高い下層土の混入によって助長される。

耕うん時の土壌水分は耕うん作業の難易と耕うんによってもたらされる土壌の物理性に影響する。疑似グライ

土の畑地で、ロータリー耕が比較的抵抗なく、かつ土壌のこね返しを生じることなく行われる土壌の水分範囲として、少水分側では不攪乱土壌での一軸圧縮試験における強度 $4\sim 5\text{ kg/cm}^2$ を示す土壌水分から、多水分側では塑性限界より多水分側の塑性流動をはじめる水分点をとることが適当と考えられ²⁴⁾、また、少水分側で碎土率が悪化する土壌強度の限界値として、切断強度（山中式）では 1 kg/cm^2 があげられている²⁵⁾。

疑似グライ土の畑地で融雪直後の多水分の状態から一軸圧縮試験での塑性流動水分点になる迄の日数は作土層のごく表層（ $0\sim 5\text{ cm}$ ）ではそれ以下の層にくらべて著しく短かく、ごく表層のみを碎土耕うんするいわゆる簡易耕が、碎土率の向上とエンバクの播種期のくり上げ、生育に有効なことを認めている²⁶⁾。

重粘土における過剰水の排水は作物の湿害回避の面からだけでなく、易耕性改良の面からも必要である。過剰水の排除は地耐力の指標となるせん断強度を高め⁴⁾、疑似グライ土について、融雪後作業可能土壌水分（深さ 10 cm 層で $pF\ 2.0$ ）に達するのに要する日数が暗きょ排水施工により $3\sim 5$ 日、心土破碎および砂客土併用により $5\sim 7$ 日短縮されることが認められている^{5, 27)}。

北海道の重粘土畑土壌に対し排水工法に併用して行う海砂の客土は通気・透水性の増大効果、土壌温度上昇効果とともに、可塑性、粘着性が低下して、碎土状態を著しく改善し、トラフィカビリティにも好影響を及ぼすことが認められている^{24, 27, 28)}。一方、この砂客土は有効水孔隙量を低下させるために、作土の保水性をやや減少させ、干ばつ年にはその被害を助長する²⁷⁾。有効水を保留し、かつ通気・透水性を改善する資材としてパーライト、軽石流堆積物、モミガラなどの施用効果が認められているが^{29, 30)}、このような保水の資材の易耕性に及ぼす影響の研究はなお不十分であり、また、これら資材の実用化には資源量、経済性などからの総合的な検討が必要である。高分子土壌改良剤についても硬さと易耕性改良のために検討され、その効果は認められているが、これらは効果の持続性、経済性の面で問題がある。

重粘土では踏圧による圧縮と練り返しが物理性を悪化させる要因になる。土壌の多水分時における踏圧で疑似グライ土の作土層の固相率は 50% 以上、粗孔隙量は数% 以下になり³¹⁾、 $pF\ 2.0$ よりも多水分状態での踏圧で、土壌は軟化しはじめて、練り返しの危険性が増すこと²⁴⁾、多雨型の冷害年に重粘土地帯で機械踏圧がみられ、テンサイの湿害が助長される実態³²⁾が報告されている。また、石灰施用は土粒子周囲のゆるい結合水を増加させるために、脱水過程で土粒子を結ぶ水膜が切れにくくなり、土壌の密着化が起りやすくなるものと考えられるが、石灰施用がコンシステンシーに及ぼす影響は重粘土

の種類によって異なることが報告されている³³⁾。

4. 水分管理

重粘土は湿害を受け易い反面、乾燥年には干害の被害を受け易い。これは容水量が比較的大きい表土の厚さが一般に薄く、下層土がち密で有効水分量が少ないためである。重粘土の水分保持特性については多くの調査研究があり、火山灰土などにくらべて有効水分保持量は著しく少ない^{1, 2, 14, 34)}。また、蒸発過程における土壌水分の動きが調査され、疑似グライ土では積算純蒸発量が 50 mm を超えると、 50 cm 付近の土層までの迅速有効水分は消費されて、表土の pF 値は 4 近くになること³⁵⁾、下層土の水分毛管伝導性は 0.5 mm/day を超えることはほとんどなく、毛管伝導による水分供給性はきわめて低いこと³⁶⁾が明らかにされている。

重粘土の水分供給性の増大に深耕、心土耕が有効であり、これには根の伸長、重力水（貯留水）の増加、下層土の毛管伝導性の改善が原因していると考えられる。しかし、これらの土壌改良による水分供給性の改善には限度があり、乾燥時の増収率は最大でも 20% 程度と思われる。畑地の水不足には、畑地かんがいでは最も効果が高く、東海地方などの集約的な畑作では有効な栽培技術となっている。北海道北部の重粘土草地で行われた試験では、著しい乾燥期（積算蒸発量 100 mm 以上）にはかんがいによる牧草の乾物増収率が 200% 近くに及ぶことが報告され、また、この試験では草地における牧草の根系、表面施肥等の特性と経済性の面から少量かんがい方式が有利であるとした³⁷⁾。畑作の安定性にかんがいは効果があるが、社会経済的事情や水管理などの技術的な面から、かんがい施設の導入に困難性を伴う場合が多く、現状では水不足による作物生産の安定性は解決されていない。

5. 今後の研究課題

重粘土の表土の構造は粒状～屑粒状の構造をもつが塊～角塊状構造もかなり発達している。また、下層土の構造は微細粒子から構成され、構造は塊状・角柱状・カベ状であり、粒団内孔隙は極めて少ない。排水性とともにも保水性を改善するためには表土、下層土を含めて、土壌の構造形成と安定化を図る土壌改良法の開発が必要であり、構造形成の機構に関する基礎研究が必要である。

易耕性に関しては、基礎的には土壌の力学的挙動を支配する機構について界面物理化学的側面から研究し、とくに、粒子の配列状態（構造）に対応した水膜変化と力学的挙動との関係を一層追究する必要がある。実用的には機械による作業能率や精度をあげるための土壌管理法が問題になる。土壌管理上の問題点として、表土扱いは

する心土耕など腐植層を維持するための耕起法の検討、腐植の維持、水食防止などの土壤保全と耕うんエネルギーの減少を狙った簡易耕適用の可能性の検討、耕うんエネルギーの少ない耕うん機の開発がある。また、易耕性に関連した土壤の力学性を適切に評価する方法は不十分である。耕うんの適期を土壤水分との関連で判断するための、ほ場における耕うんと土壤との反応をより直接的に示す簡便な測定法の開発が必要である。

現在の農用地造成、基盤整備では経済性が先行し、腐植層の維持など土壤を保全する観点は軽視されがちである。土壤保全に関する土壌学、土質工学などの分野からの研究データが基盤整備事業に積極的に活用されるよう研究側と行政分野との一層の連携がのぞまれる。

引用文献

- 1) 野本亀雄：東海地方の畑地土壤に関する研究 第1報 東海地方の畑地土壤の理化学性について、東海近畿農試研報・栽培第二部, 2, 15—57 (1960)
- 2) 山崎不二夫・八幡敏雄・竹中肇・田淵俊雄：北海道小向の重粘土地の暗キヨ排水における心土キ裂の役割, 農土研, 30, 427—434 (1962)
- 3) 重粘地グループ：北海道北部の土壤, 北海道開発局 (1969)
- 4) 小川和夫：鈹質畑地土壤における地力要因の解析的研究, 東海近畿農試研報, 18, 192—352 (1969)
佐久間敏雄：重粘土壤地帯における土地改良の土壌学的意義, 北海道開発局土木試験所報告, 55, 1—147 (1971)
- 5) 塩崎尚郎・石井和夫・池 盛重：重粘性土壤に対する心土破碎の効果, 北農試農事試験調査資料, 129 (1971)
- 6) 岩間秀矩：疑似グライ土の水分環境と排水の特徴, ペドロジスト, 24, 144—156 (1980)
- 7) 北海道開発局農業水産部：昭和32—42年度重粘土地開発試験中間報告書 (1958—68)
- 8) 池 盛重・赤沢 伝・塩崎尚郎：重粘地における基盤整備に関する研究 (第1報) 心土破碎工による作物の生育収量, 土肥講要集, 14, 113 (1968)
- 9) 梅田安治：暗渠排水の資材, 農土誌, 49 (12), 29—33 (1981)
- 10) 岩間秀矩・小川和夫・渡辺治郎：暗渠流出測定からみた疑似グライ土の排水特性, 土肥講要集, 27, 220 (1981)
- 11) 千葉 豪：心土破碎の施工法と効果, 土壤の物理性, 30, 1—5 (1974)
- 12) 北海道開発局農業水産部：重粘土地開発試験報告書 (1963)
- 13) 横井 肇：鈹質畑地カンガイ栽培における土壤水分に関する研究, 東海近畿農試研報, 12, 1—26 (1965)
- 14) 小川和夫・森哲郎：土壤の物理的要因と作物の生育に関する研究 (第2報), 東海近畿農試研報, 19, 70—80 (1970)
- 15) 湯村義男・石原 暁：心土破碎および深耕が土壤水の動態と作物の生育に及ぼす影響(3), 東海近畿農試研報, 22, 84—96 (1971)
- 16) 高橋和司・河合伸二・上村亀記・今泉諒俊・松本 猛：鈹質土壤畑地における下層土の改良維持に関する研究, 愛知農試研報, A 6, 133—142 (1974)
- 17) 千葉 登：重粘地における心土耕の効果, 北農, 17, 233—235 (1951)
- 18) 林 成周・古畑 哲・福原道一：十勝地方の排水と土層改良, 31—68, 北海道開発局農林部 (1971)
- 19) 古畑 哲・岩間秀矩：重粘土層の耐水性, 土肥講要集, 22, 4 (1976)
- 20) 小川和夫：土壤団粒の安定性 (崩落率・分散率) の測定法, および安定性と土壤型との関連, 土壤の物理性, 43, 14—20 (1981)
- 21) 北海道立中央農試・滝川畜試：重粘畑地土壤における資材充填心土破碎の効果, 昭和51年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農務部 (1976)
- 22) Akazawa, T., T. Chiba, T. Sakuma and Y. Umeda: The efficient method for drainage on clayey lands—subsoil breaking on clayey upland—field in north Japan, 10 th I.C.I.D. Rept., 30, Q 34, 1, 416—437 (1978)
- 23) 北農試・重粘地研究室：昭和56年度試験研究成績書 24—32 (1980)
- 24) 岩間秀矩・石井和夫：重粘性土壤に対する砂客土の易耕性改善効果, 土壤の物理性, 30, 7—14 (1974)
- 25) 佐藤雄夫・湯村義男：耕耘の立場からみた重粘性土壤の物理性に関する研究, 東海近畿農試研報, 19, 127—149 (1970)
- 26) 小川和夫・渡辺治郎・岩間秀矩：重粘性畑地における簡易耕を含む耕起法の種類と易耕性, 土肥講要集, 28, 4 (1982)
- 27) 石井和夫・岩間秀矩：重粘性土壤に対する砂客土の効果 (第1報) 北海道農試研報, 119, 57—71 (1977)
- 28) 森 哲郎・深井 強：北海道における重粘性土壤の研究—重粘性土壤に対する砂客土の効果について, 北海道農試彙報, 74, 30—41 (1959)
- 29) 古畑 哲・岩間秀矩：重粘性土壤における各種資材の孔隙組成改良効果, 土壤の物理性, 42, 33—40 (1980)
- 30) 小林 茂・平井義孝：強粘質畑地土壤の物理性に及ぼ

すもみから資材施用の影響について、北海道立農試集報, 48, 10—19 (1982)

- 31) 北農試・重粘地研究室：昭和45年度試験成績書, 1—40 (1970)
- 32) 金森泰治郎：道北地方における機械化作業によるてん菜の生育障害について、てん菜研報, 補 9, 40—43 (1967)
- 33) 渡辺治郎・小川和夫：重粘性土壌の易耕性要因に及ぼす石灰施用の影響、北海道農試研報, 140, 23—31 (1984)
- 34) 木下 彰：土壌の水分特性と水管理、北海道農試研報, 1, 55—80 (1973)
- 35) 岩間秀矩・渡辺治郎・小川和夫：寒冷地域における重粘土草地の灌漑(I)、農土誌, 51(3), (1983)
- 36) 岩間秀矩：重粘性土壌における土壌水分と牧草の生育(第3報)、土肥講要集, 22, 109 (1976)
- 37) 岩間秀矩・渡辺治郎・小川和夫：寒冷地域における重粘土草地の灌漑(II)、農土誌, 51(6), 5—13 (1983)

I—4 樹園地の下層土

丹原 一 寛*

1. 研究の背景

1960年代の経済成長期は、基幹作目の選択的規模拡大を基調とした農政が推進され、とりわけわが国の果樹産業は食生活の多様化を目標に、飛躍的に進展した時代であった。

愛媛県は古くからの柑橘生産地であったが、こうした会社情勢は柑橘の本県農業にしめる地位を一層高める結果となった。そのなかで、栽培面積の拡大に伴って柑橘の生育にかかわる土壌要因の解明は、土壌適地の判定のみならず適切な土壌管理技術を策定する上でも重要な問題として強い関心が持たれ、土壌肥料分野における重要研究課題となった。

ところで、果樹のような樹木性作物は、草本性作物と違って地上部が大きく育ち、したがってそれに見合うだけの根群域が必要で、土壌は深いほどよいという意見があって、それを裏づけるような調査例も報告されていた^{1,2)}、しかし一方では果樹は根域が広く、土壌に対する適応性が広いと考えられてもいて、実際に農耕地としての条件に恵まれない浅土層の地域に、果樹園が開けている例も多く、まずこうしたところを明確にする必要があった。

折から、全国的な規模と組織で土壌調査事業が進められていた。一つは畑土壌を対象とした地力保全基本調査であり、他はこれより数年先行して実施されていた水田土壌対象の施肥改善事業であった。いずれも土壌生成論の知見に基づく土壌分級を基礎としたものであったが、土壌生産力を具体的に評価しようとした点で、地力保全調査の方が積極的な意義があった³⁾。この地力保全調査における生産力可能性土地分級では、土壌生産性に関連すると考えられる要因を13項かかげており、その中に“有効土層の厚さ”に関する項目があり、根群域に関する要因を取り扱ったものであった。この項目は、実施要領に示された定義や判定の基準に具体性に欠けたところがあって、実際に当ってはもっと概念規定を明確にする必要があった。こうした事情から柑橘園の土壌生産力要因の中ではとりわけ根群域に関する問題に関心が集中したが、調査への取り組みは、まずこうした問題の解明からはじめられた。

こうして実際の圃場における実態調査を通じて、帰納的手法を用いながら土壌生産力要因の解析調査がはじめられたのであるが、この前後から柑橘以外の果樹類や、桑や茶などについても同様な調査が試みられ、土壌生産力や土壌肥沃度と土壌物理的性質との相互の関係が広範に追求されることとなった。

2. 調査研究の成果

土層の深さに関する性質を明らかにするため、土壌断面の形態学的な観察調査、ち密度、粒径組成などが測定されたが、なかでも三相分布の測定が最も重視された。愛媛県下の196例の調査結果から、土壌三相と柑橘の生産性との関係について総括的検討を行ったところ⁴⁾、0—25 cmの土層では高収園と低収園の三相分布範囲に差は

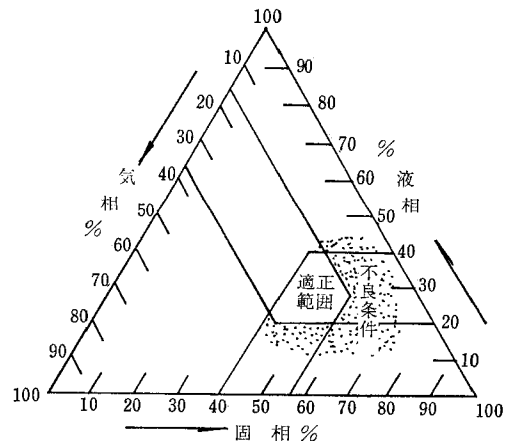


図 三相適正範囲と不良条件

* 愛媛県農業試験場

みとめられなかったが、25—50 cm の土層では、温州ミカン、夏柑、伊予柑など樹種や土壌母材の違いにかかわらず、三相分布範囲が高収園と低収園とで明らかに異なっていることがみとめられた。そこで高収園がしめす三相分布範囲を“土壌三相適正範囲”と呼ぶことを提唱したが、それは図にしめすように、固相40—57%、液相20—40%、気相15—37%の範囲である。

また低収園の三相分布は、固相、液相、気相のいずれがこの範囲を超え、図上では“適正範囲”の外側に分布するが、その分布位置によって不良条件の基礎的性格が異なり、土壌改良対策の基本的内容が示唆される。例えば“適正範囲”の下側に分布する土壌は基本的には水不足が不良の原因の砂質土で、かんがい対策を必要とし、右側に分布する不良土壌は固相の充填密度の過大に原因があって、基本的には心土破砕耕が必要であることを示す。また斜め右上に分布する土壌は、基本的には空気不足が原因の不良土で、強粘質土にその例が多い。しかしながら、高収園では極度に砂質な土壌を除いてほとんどの種類の土性を包含しているため、高収園と低収園との差が土性の相違を反映しているとみるのは不適當で、要は三相分布の適・不適によるとみるのが妥當である。このように土壌の種類や、良、不良の原因や、基礎的な対策内容まで、統一的に図示し得るといふ点で、三角座標を用いた三相分布の表示法は、すぐれた方法であるといえる。

次に土壌断面内の根群分布の観察から、断面下部の無根群域を、事実上の根群伸長制限土層とみて、その三相分布を三角座標上にあらわすと、根群域土層は固相40—57%、液相20—45%、気相10—37%の範囲に入り、制限土層は固相、液相、気相のいずれかがこの範囲の外側に位置することがわかった。このような結果は前述の“土壌三相適正範囲”ときわめて類似しており、固相率ではその範囲が一致し、気相については前者が15%を限界としているのに対し、根群域の方では10%を限界としている。液相については、気相とは逆に前者が40%、後者が45%をそれぞれの限界量としている。このことを気相に

ついて考えると、気相が10%以上あって根群の伸長に対しては適正であっても、高収園としての条件を満たすには15%以上の気相の存在が必要であることを意味するのであろう。このようにして、根群の伸長に対しても“三相適正範囲”と不良条件を明らかにすることができた。

ついで、根群域制限土層の深さと、温州ミカンの年平均収量との関係を求めたところ、調査地域によって若干の違いはあったが、いずれも相関係数 r で $0.6^{**} \sim 0.8^{***}$ の値を示し、この土層が地表下 50 cm 以内に存在する場合は、多くのものが低収園に属し、高収園では 70 cm 以上の深さがあることもみとめられた。ことにかんばつ時にはこの土層の存在位置は柑橘の品質の上にも大きい影響を及ぼしていることも明らかにされた。

3. 成果の評価

(1) 調査研究上の寄与

農林省が実施した果樹園土壌の生産力に関する特別研究⁵⁾ および古賀⁶⁾ の研究においても、下層土の物理性がミカンの生育や収量に重要な関係をもっていることを明らかにしている。また柑橘以外では千葉県の実成砂質土のブドウについて、根群域土層の三相適正範囲が検討された⁷⁾ ほか、クリ、ナンなどの落葉果樹や、桑、茶などの樹木性作物についても、表—1 に要約掲示したように根群伸長に好適な土層条件が明らかにされた⁸⁾。

レポート⁹⁾ は、その著書の中で“土壌は固相、液相、気相の三相からなるが、土壌肥沃度や土壌中に棲息する生物の生活条件に決定的な役割を果たしているのは、これら三相の量的関係であり、土壌物理の最も重要な課題はこの土壌三相の最良の関係をみつけ、根掘つけることである”と、三相の重要性を強調している。

上にのべた樹園地の下層土に関する調査研究は、三相の量的関係にとどまらず、粗孔隙量、有効容水量、透水係数など土壌の機能性にかかわる性質まで、定量的な意義が明らかにされ、こうした作物生育との相互関係の追求は樹木性作物以外の作物にも及んできている^{10,11)}。

こうした作物の生育と土壌物理的性質の直接的な関係

表—1 優良園の土壌条件

	ナ	シ	ク	リ	桑	茶
有効土層* (cm)	70 以上	70 以上	60 以上	60 以上	60 以上	50—100 以上
ち 密 度	24 以下	24 以下	20 以下	20 以下	18 以下	21 以下
透 水 係 数			$\times 10^{-3}$ (下限)			
下層の空気率 (%)	30 (好適)	30 (好適)	20 以上	20 以上	18 以上	20 以上
下層の粗孔隙率 (%)			10 以上	10 以上	7 以上	10 以上
固 相 率 (%)					36 — 50	55 以下

* または望ましい根域の深さ

の追求は、美園¹²⁾がすでにのべているように、作物の養分供給機能や保持機能などに加え、土壌肥沃度に関する知見を一層豊富にしている。

(2) 普及への寄与

柑橘園土壌の生産力調査では、内容が土壌改良対策に直接つながっているだけに、調査開始当初から普及の側でも大きい関心事であった。この事情は20年を経た現在でも変わりはなく、むしろ、自由化や過剰生産などのきびしい環境下での主産地形成をはかる上で一層重要性を増している。いまでは土壌三相分布の測定は、pHやECの測定とともに、現場の指導者層にとっては日常業務にまで定着してきた。

なお土壌肥沃度が量的に評価されるようになると、これまで観念の所産とみられ勝ちであった土壌分級図が、格段に実用上の価値を高めていることも注目してよく、これをもとに今後は土壌管理対策図の作成と実用化が試みられようとしている。

4. 今後の問題

土壌肥沃度と土壌物理的性質の直接的な相互関係は、今後も引き続いて追求すべき重要課題に違いないが、同時に新しい測定法の確立や簡易化も重要である。とはいえ、何をどう規定するか問題であるが、少なくとも樹園地における根群の広がりについて問題意識が持たれたとき、すでに“実容積法”が測定法として確立されていたことは注意してよい。また上述の“三相適正範囲”の設定は、三相分布の測定が可能な土層に限られており、風化過程にある岩盤層や礫土層などの生産力的意義の解析は、また別の方式を考える必要がある。

土壌三相分布や透水性などは、土壌構造の特性を反映した物理量であるが、これらは単に量的表示にとどまっておらず、土壌構造の特徴を的確にとらえるためには、土粒子と孔隙との相互関係や、孔隙の大きさ、連続性、分布状態などを明らかにする必要がある。こうした観点から一つの試みとして“土壌三相構造”の概念が提起され^{13,14)}、柑橘園の土壌生産性解明にも応用された¹⁵⁾。そのほか土壌構造の視覚的な形態観察による特性把握も試みられた¹⁶⁾。土壌の三相構造に関する研究は、その後十分な展開がみられないでいるが、これらは方法論の適否の検討も含めて、今後の課題であると考えている。

“土壌三相適正範囲”や有効土層の概念を明らかにすることによって、臨床的な土壌改良法については十分な対応が可能となってきている。しかしこのような土壌環境要因と、柑橘の生理生態との相互関係を具体的に明らかにするまではいたっていない。言い換えると土壌断面での有効土層と、柑橘の生産についての見掛けの相関が追求されたのにとどまっているが、今後の土壌管理の合

理化を推進する上でも、こうした点の解明が必要であろう。

引用文献

- 1) 高木陸夫・井田勝実・矢野綱之：温州みかん園土壌の理化学的性質と生産力との関係。土肥誌，34，177—180 (1963)
- 2) 高木陸夫・西村利幸・矢野綱之：母材を異にする温州みかん園の土壌の相異と生産力との関係。土肥誌，34，215—221 (1963)
- 3) 愛媛県：地力保全基本調査総合成績書。(1978)
- 4) 丹原一寛：愛媛県における柑橘園土壌の物理的性質に関する研究。愛媛農試研報 No. 9. 1—108 (1969)
- 5) 農林水産技術会議事務局：果樹園土壌生産力に関する研究。研究成果47 (1971)
- 6) 古賀 汎：温州ミカン園における下層土の物理性に関する研究。四国農誌報告，25，119—232 (1972)
- 7) 三好 洋：ぶどうの根群分布と海成砂壤土の物理性。土肥講要集，15，11 (1969)
- 8) 三好 洋・丹原一寛：土の物理性と土壌診断，99—112。日本イリゲーションクラブ (1977)
- 9) レポート。(松田 宏訳)：土壌物理 86 技術会議資料。54-海外。農林水産技術会議調査資料課 (1968)
- 10) 川村秋男・古賀 汎・山崎清功：土壌ち密度と畑作物の生育感応—とくに根菜類および牧草類について。四国農誌報告，23，53—105 (1971)
- 11) 森 哲郎・小川和夫：土壌空気と作物の生育，土壌の物理性，19，13—19 (1968)
- 12) 美園 繁：最近における土壌物理の研究(1)(2) 農業技術，23，(6)，1—6，(7)，1—5 (1968)
- 13) 美園 繁・川尻美智子：土壌の三相構造に関する研究—圃場状態における三相構造—農技研報，B18，49—128 (1967)
- 14) 美園 繁・川尻美智子：土壌の三相構造に関する研究—理論的研究とその実証—農技研報，B19，1—68 (1968)
- 15) 土壌物理性測定委員会：土壌物理測定法，34—42，養賢堂 (1972)
- 16) 丹原一寛：ミカン園における土壌構造の特性と根群の分布について。接写写真による土壌構造の観察，土肥誌，43，321—328 (1972)

I—5 畑 地 灌 漑

筑紫二郎*・長 智男**

1. 畑地灌漑に対する土壌物理学の寄与

1982年9月「土地改良事業計画設計基準 計画 畑地かんがい」¹⁾が制定された。これは、これまでの研究の実用化の集大成といえるもので、畑地灌漑事業を計画する上での技術的指針を示したものである。

畑地灌漑は、農業水文学、作物学、経営学等のいろいろな学問分野を包含した総合的な技術であるが、その中でも基礎となる用水計画に対しては、土壌物理学の研究が大きく貢献してきた。以下その歴史的過程について簡単に述べることにする。

第2次大戦前の畑地灌漑は、人力や風力を利用して小規模で行われていたため、まだ研究の対象とはならなかった。戦後、開拓、増産の必要上灌漑の事業が進むにつれて、灌漑用水量に関する知識が必要となり、研究をみるようになった。用水量に関する知識は、最初米国から来たものであり、その理論は乾燥地を対象としたものであった。わが国のように比較的降雨の多い湿潤地帯にその理論をそのまま適用するには無理があった。そこで、湿潤地に適合する用水量の算定法の確立が切望され、土壌物理研究が促進されるようになった。その場合における研究の課題は、主に用水量決定のための諸要素に関するものであった。

まず、圃場容水量の概念についてははっきりさせる必要があった。圃場容水量は、土層が重力にさからって保持しうる水分の上限を指すものであるが、その定義に関するいろいろな議論があった。例えば、「裸地状態でかつ土面蒸発が抑制されている条件の下で、植物の根が分布する深さに対応する土層から排水される水の量が、その時期の植物の蒸発散量以下になるときの水分状態」²⁾あるいは、「根群域に対して下層土から水分移行が開始されるとき水分状態」³⁾として再定義されている。しかし、わが国での畑地灌漑計画基準では便宜的に圃場容水量として、十分な給水後24時間目の土壌水分量(24時間容水量)がとられている。排水性のよい土壌では、24時間容水量はこれらの定義に示された量に近い値となる。

つぎに、有効水分の下限値は、米国の理論では永久しおれ点であった。畑地灌漑の目的は増産と品質向上を計ることであったから、作物にとって生育が阻害され始めるとき水分をとるべきだとする意見が出てきた。この

水分は、生長阻害水分点と呼ばれ⁴⁾、pF3に相当する⁵⁾ことが確かめられ、基準として採用されるに至っている。

土壌水分の消費量が各土層の深さでどのような割合になっているかを示したものが土壌水分消費型(SMEP)と呼ばれるものである。米国では、SMEPは作物、土性、根群域の深さに関係なく、根群域を4等分したときは、上層から順に40、30、20、10%の割合になる場合が多い⁶⁾。わが国では、根群域が浅いこと、細根が表層付近に集中していることから、必ずしもそのようにならず、作物、土性、生育期間の違いによって異なり、表層消費型と全層消費型の2つのタイプに分けられる⁷⁾ことが示された。計画に当っては、SMEPの実測が必要とされている。

以上のように、基準の用水量算定においては、随所に土壌物理研究の成果が要求されていることがわかる。

2. 用水量決定に対する問題点

上述のように、用水量決定に対して、土壌物理学は大きく貢献してきたが、それにもかかわらずいろいろな問題が生じてきている。そのうちのいくつかを挙げれば次のとおりである。

1) 制限土層の有効水分(24時間容水量—pF3の水分量)が無くなったときに次の灌漑をすることになっているが、これだと制限土層以外の土層にはかなり水分が残っていることになる。この辺の考えがどうかを昨今つめ直されている。

2) 1回の灌漑によって、TRAM(総迅速有効水分量)の空きを必ず一杯に満たす必要があるのかが問題になっている。少量を戻して空きをつくっておけば、有効雨量を多くすることができるという考えが出てきている。

3) SMEPは、測定によって1次元的に得られるが、草地のような密植作物は別として、根の吸収分布は3次元的である。また、土壌面蒸発量は、植生の陰の分布によって影響を受けることが知られている⁷⁾。これらの点によって、SMEPが適正に評価されない場合があり、注意を要する。

以上の問題の多くは、用水量算定のための要素が静的に得られたものであるのに反し、実際の現象は動的なものであるという矛盾に起因しているように思われる。土壌水分移動に関する知見を考慮したTRAM算定法を模索する必要がある⁸⁾。とくに、最近盛んなSPACの研究は^{9),10)}、土壌—植物—大気を連続した系としてとらえており、従来の個別的な系の取り扱いとは異なる。今後、この成果の畑地灌漑計画への導入が期待される。

* 鳥取大学農学部 ** 九州大学農学部

3. 畑地灌漑の多様化とそれに付随する 問題点

過去において、用水量の決定に土壌物理学は大きく貢献してきたが、その後の畑地灌漑の発展に対する土壌物理学の寄与は非常に少ないように感じられる。ここでは、畑地灌漑が多様化するにつれてどのような問題が生じてきたか、また問題解決のための土壌物理学の貢献の可能性を概説する。

(a) 灌漑の多目的利用

1950年頃からわが国に導入されたスプリンクラー灌漑は、現在では広く行きわたり、灌漑方式の主流となっている。スプリンクラー灌漑は、うね間灌漑とは異なり、地表に湛水させることなく散水する方法であるから、単に灌水するだけでなく、いろいろな目的で使用される。その代表的なものを挙げると、施肥、除草、病虫害防除等がある。

多目的利用のうちとくに気象災害防止の場合、一せいに長時間連続灌水するため、適用水量が補給用水量を大きく上回ることがある。補給灌漑では、作物にストレスがかからないような好適な水分条件になるように用水量が決定されているから、土壌にそれ以上の水分補給があると過剰灌漑となる。

一般に、過剰灌漑は作物にとってマイナスの面が多い。作物の収量は、灌水量がある量を越えても変わらない傾向があり、かえって過剰灌水は土壌空気減少によって根の活性を弱めることになる。また、成熟期には灌水によって品質が低下することもある。さらに、過剰灌漑による作物への影響は、砂丘地や火山灰地等の比較的保水性、保肥性の低いところで顕著である。過剰の灌水は、用水を無駄にするばかりでなく、養分の洗脱によって、地力の低下をきたすことになる¹¹⁾。

気象災害防止の場合の長時間散水によって生ずる湿害に対する一つの対策としては、スプリンクラーからの流量を小さくすると同時に、その割には散水距離が低下しないようにしてスプリンクラーの配置間隔を広く保ち、時間当りの散水深をできるだけ小さくすることが考えられるが、土壌物理学的面からは、過剰灌水の限界について考えていく必要がある。

(b) 灌漑の自動化

畑作の労働生産性を高めるため、畑地灌漑の自動化が行われるようになった。土壌水管理のための自動制御では、土壌水分の正確な情報が必要である。すなわち、その情報に基づいて、灌水制御のプログラムが組まれたり、土壌水分がある一定の範囲に保たれるように土壌水分検出器によるフィードバック機構で装置の始動・停止が行われたりする。

野外における土壌水分測定法には、テンションメータ法、中性子法、電気抵抗法等があり、土壌水分検出器としては、測定の精度と感度及び測定点をどこにとるかの点でまだ問題がある。

自動化用の土壌水分検出器として、根群域の深さまであるセラミックカップと動ヒズミ計を用いた装置が開発され、水の浸潤場の測定が可能で、負圧変化に対する時間的応答も良好であるという報告例¹²⁾がある。このような装置が、浸潤場だけでなく排水場においても測定可能なものに改良され、実用化されることが望まれる。

(c) 汚水の利用

各都市における下水処理場の発達と、農村における集落排水事業の発達に伴って、汚水が次第に増えつつある。このような汚水をそのまま河川や海洋に流せば、水の富栄養化や水質汚濁を招くことから、農地を利用して土壌に浸透させることによって浄化と水質保全、肥料・水資源の有効利用、地下水かん養を図ろうとする試みが行われてきた。

また、北海道のような酪農が盛んなところでは、家畜のふん尿を処理するため、灌漑散布して圃場に還元しようとするふん尿灌漑が行われている。さらに、バレイショでん粉工場からの廃液による河川水質の汚濁を回避する目的から、この廃液を用いた肥培灌漑も行われている。

これらの灌漑でとくに注意すべきことは、畑地の浄化能力と作物の吸収能力以上の灌漑をしないことである。過剰の灌漑は、地下水の汚染を招くことがあり、作物にとっても栄養の過多は他の養分の吸収の妨げとなることがある。例えば、NやKの過剰がCaの欠乏症を引き起こすことがよく知られている¹³⁾。

汚水灌漑において、灌水の結果、水分と物質がどのように変化し、挙動していくかを明らかにすることは、灌漑技術上絶対に必要なことである。土壌中の汚水の動態には、汚水物質の化学的反応、微生物による分解、微生物の繁殖等が複雑相互に関連し合っている。したがって、土壌及び物質の化学性、微生物の活性等を踏えて、土壌物理学的アプローチによってその機構を解明することが必要であろう。

また、ふん尿やでん粉廃水灌漑の場合、地表近くで目詰まりを起こし、それによってインテークレートが低下するようになり、傾斜地では表面流出が生じるようになる¹⁴⁾。このようなことも併せて、今後灌漑を適正に行うためには灌漑水の質と量について明確にしていかなければならない。

(d) 施設園芸

消費者の購売力が高まり、良質な野菜や季節はずれの高価な野菜が要求されるにつれて、またビニールハウス

の開発と相まって、施設園芸が盛んになってきた。それ故、施設園芸の最大の目的は、多灌水、多施肥を行うことによって収量をできるだけ多くする、いわば土地生産性を高めることである。ガラス室やビニールハウスにおける土壌の特徴は、露地と比較して一般に根群域が浅いことと、温度が高いため乾燥し易いことである。したがって、施設内での灌漑は乾燥地並みの考え方で行われる。灌水開始点は、一般に露地の場合よりも高い水分量にする必要があり、作物によって異なるが、pF 1.3~2.3位であるとされている。その理由は、塩分集積が起き易いこと、土層が浅く有効水分量が少ないこと、施設内作物はホストレスに弱いこと、施設内作物は多肥多灌水の傾向が見られることである。灌水点の水分量が高いことは、必然的に少量多数回灌漑となる。

このようなことから、施設内の灌漑法として地下灌漑や点滴灌漑¹⁵⁾等が考えられている。地下灌漑法には、毛管上昇によって根群域に水分を供給する方法^{16,17)}、土壌中に有孔管を埋設し加圧給水する方法¹⁸⁾、負圧差を利用して給水を調節したもの¹⁹⁾等があり実用化されつつある。これらの研究では、土壌水分分布が調べられているが、根がある場合や養分の移動についての検討がほとんどない。今後の課題である。なお、点滴灌漑については次項で述べる。

(e) 節水灌漑

工業用水、都市用水の急激な増加に伴って、同じ水系内における農業用水の新たな開発は次第に困難になってきており、また可能であっても条件が悪く、コストがかかるようになってきている。したがって、水源水量を小さくするために節水灌漑が注目されてきている。現在の畑地灌漑計画基準では、計画基準年における水需要量に基づいて水源水量を積算しているが、平年における使用水量はときによってはこの1/2を下回ることもあるといわれている。水源の開発が困難な地区では、圃場における有効雨量を増加させるような灌漑操作（土壌水分コントロール）、あるいは作付体系から休閑地や無灌水作物の存在による灌漑面積の減少などを考慮して必要水量の減少を計ることが述べられている。用水量を安全に十分に確保することが可能な場合は別として、地域によっては節水型の計画を必要とする場合が増加しているのである。

現行での用水量の算定の基準は、作物に対して好適な土壌水分になるように考えられている。しかし、作物は個々の種類によって耐旱性を異にし、たとえば干ばつ年においてもほとんど減収しない作物もある²⁰⁾。したがって、作物の耐旱性を考慮することによっていくらかの用水の節減が可能となる。その節減量を明らかにするには、別々の作物に対する有効水分の下限値を再検討する

とともに、干ばつ時における有効水分の消費及び水の動態について調べておく必要がある。

用水計画において、有効雨量の過少評価は、用水量を大きく見積もることになる。基準によると、有効雨量は（TRAM-降雨直前における有効水分量）を上限とし、5 mm/day を下限値としている。この下限値に関して再検討が行われ、下限値を5 mm/day とした場合の有効雨量は、下限値を設けない場合より15~20%程度減少することから、その量を無視することが疑問視されている²¹⁾。小雨でも土壌面や植物体に付着して蒸発散量を減少させることが可能であるため有効であるという考え方がその根拠になっている。蒸発散量が低下することは、SMEPの型や畑地の消費水量にも影響することになる。また、5 mm/day 以下の降雨でも、土中の水分を増加させるとの考えもあり、少雨の効果についての研究も今後必要であろう。

灌水量は、灌漑の仕方によっても異なることが示されてきた。すなわち、少量多数回灌漑は、多量少数回灌漑よりも総灌水量が節減されるという報告²²⁾がある。その理由として、降雨の有効利用度と土壌面蒸発量の点で差異が生じることが示されている。少量多数回灌漑の場合、灌漑対象土層深を小さくするため、その下層に貯留される降雨が有効に利用され、また少量灌水によって土層が比較的乾燥状態に置かれるため、土壌面からの蒸発が抑制されるとしている。

少量多数回灌漑の典型的なものが点滴灌漑である。点滴灌漑は、本来乾燥地を対象にして開発された技術であるが、部分灌漑であるため少量水を作物に均等にかけられること、塩水を用いても湿潤部の濃度を低く維持できること等の特長があるため、わが国においても施設内や砂丘地帯²³⁾において使用されてきた。最近、干ばつに対処するため南西諸島のサトウキビ栽培においても実用化されている。点滴灌漑に関する研究は諸外国において盛んであるが、わが国でも装置の普及につれて次第に研究の数も増している^{15,24,25,26,27)}。しかしながら、設計基準を見ても分るように、灌漑水量に対する具体性が欠けており、今後普及地域の土壌、気象を考慮したわが国独自の灌漑手法の開発が望まれる。

4. あとがき

畑地灌漑は、その時代の行政に左右され易い技術である。戦後40年弱を考えても、畑地灌漑の方法、目的は著しく変化してきた。そのような変化に伴って、土壌物理学が大なり小なり貢献してきたことは事実であろうが、逆に土壌物理学にしても畑地灌漑における諸問題によって刺激を受け、研究が発展してきたともいえよう。しかしながら、今日の畑地灌漑と土壌物理学をみてもみると、

応用と基礎という立場上の違いのためか、互いに疎遠な感じがする。畑地灌漑技術及び土壌物理学研究の発展を期するならば、相互の交流を深めることが良策だと信じる。

引用文献

- 1) 農水省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 計画 畑地かんがい，農業土木学会（1982）
- 2) 岩田進午：圃場容水量について，農土研，30，385—394（1963）
- 3) 竹中 肇：畑地水分，「土壌物理」山崎不二夫監修，285—304 養賢堂（1969）
- 4) 椎名乾治・小菅孝利：土壌水分張力のみの変動からカンガイ用水量を決定する方法，畑かん研集，9，26—29（1967）
- 5) 富士岡義一・西出 勤：畑地用水量の決定の合理化に関する研究（I）—有効土壌水分の下限界について—，農土研別冊，5，10—16（1963）
- 6) Schockly, D.R.: Capillary of soil to hold moisture, Agr. Eng., 36, 109—112（1955）
- 7) Nakano, Y., Cho, T. and Hillel, C.: Effect of transient, partial-area shading on evaporation from bare soil, Soil Sci., 135, 282—295（1983）
- 8) 田中 明：有効土層の水分動態と用水量，昭和59年度農土学会九州支部シンポジウム，22—30（1984）
- 9) 高見晋一：植物—水関係の環境的側面—SPACの水流れに対する数値モデル的アプローチ，土壌の物理性，36，27—33（1977）
- 10) 石田朋清・中野政詩：土壌—植物—大気系における土壌水分消費の動態，農土論集，92，26—34（1981）
- 11) 長井武雄：砂丘畑の地力維持と肥培管理，農業および園芸，56，1459—1463（1981）
- 12) 西出 勤・瀬戸隆一・高橋輝雄：動ヒズミ式土壌水分計の測定原理—土壌水分検出による畑地灌漑の自動化に関する研究（I）—，農土論集，50，9—14（1974）
- 13) 湯村義男：鈣質土壌の畑地かんがいと土壌管理，圃場と土壌，13，59—64（1981）
- 14) 岩間秀矩・渡辺治郎・小川和夫：寒冷地域における重粘土草地の灌漑（II）—とくに草地に対する少量灌水の意義について—，農土誌，51，485—493（1983）
- 15) 長 智男・山本太平・竹内芳親：トリクルかんがいの適用による砂丘地のハウスメロン栽培について，砂丘研究所報告，14，1—7（1975）
- 16) 中山敬一・羽生寿郎・山中捷一郎・猪野 誠：地中に埋設した給水溝からの水分移動—地下カンガイに関する研究—，農土論集，72，43—47（1977）
- 17) 友寄長重：毛管移動による地中給水施肥栽培の研究—山東菜の生育に及ぼす培地，肥料の種類の影響—農業および園芸，44，1585—1586（1969）
- 18) 大枝益賢・富士岡義一・桂山幸典：地下灌漑に関する研究（I），農土研，21，301—306（1954）
- 19) 加藤善二・手島三二：負圧差灌漑の原理と基礎的検討—地下灌漑に関する実験的研究（I）—，農土論集，101，46—54（1982）
- 20) 河野 広・山田 盾：畑作物の水分反応の実態，—畑地の水利用実態に関する研究（I）—，農土論集，109，1—7（1984）
- 21) 安養寺久男：畑地灌漑計画における有効雨量の問題点，農土誌，52，105—112（1984）
- 22) 矢部勝彦・三野 徹・丸山利輔・手島三二：シミュレーションによる用水計画の検討—少量多数回灌漑に関する基礎的研究—，農土論集，108，1—8（1983）
- 23) 長 智男：砂丘地における畑開発，「農業土木史」，1074—1076 農土学会（1979）
- 24) 長 智男・山本太平：砂丘地におけるトリクル灌漑の適用効率とかんがい効果について，砂丘研究所報告，12，20—28（1973）
- 25) Yamamoto, T. and Cho, T.: Soil moisture content distribution in main root zone and water application efficiency of crops —studies on trickle irrigation method in sand field (I)—, Trans. TSIDRE, 75, 33—40（1978）
- 26) 長 智男・山本太平：トリクル灌漑の研究—砂丘地における実用化—，畑地農業振興会（1977）
- 27) 駒村正治・狩俣貴清・米安 晟・竹中 肇：節水灌漑よりみた用水計画と灌漑効果に関する一考察，農土誌，51，937—943（1983）

I—6 干拓地土壌

（八郎瀧干拓地の事例から）

金子 淳 一*

1. 我が国における干拓地の土壌肥料的な研究の推移

我が国における干拓地土壌の研究は、戦前にはその場が少なく、朝鮮や台湾で行なわれていたが、1940年前後に有明干拓が始められてから、塩成干拓地の耕地化対策として研究がとりあげられた。しかし当時は、海水成分

* 秋田県農業試験場

の塩類集積の問題が主で、アルカリ土壌の化学性改良の報告が殆んどであった。一方、湖沼干拓は、霞ヶ浦で戦前(1938)¹⁴⁾から始められ、干陸後水稻への障害がみられ、その原因や不良土生成の機作、これらに影響を及ぼす各種要因の調査と共に、その対策についての試験も行なわれた。

その後、第二次大戦後の日本は、極端な食糧不足におかれ、大規模な開拓事業を推進、その一環として10万 haの干拓計画がたてられたものの、技術的・予算的な問題から事業は進展しなかった。こうした時代の背景のもとで、前述の霞ヶ浦干拓地の不良性や改良対策などの試験結果が報告⁹⁾され(1951)、本格的な干拓地土壌研究の導火線となった。そして、この頃から全国各地で干拓計画が相次いで起り、その干陸面積が広がると共に各種の生育障害がみられるようになり、その原因究明と対策についての調査研究が進められた。

即ち、徳弘(1951)⁴⁾、米田(1958~1964)^{5~10)}、久保田(1961)¹¹⁾らは、児島湾干拓地を素材にして、地形母材が極めて類似し、生成年代の異なる干拓地の層別化学性および物理性などの変動から、系統的な調査を進め、生成論的土壌分類を行い、さらに塩成干拓地の土壌管理上の諸問題を土壌の理化学性と作物生育との関連から論及し、その後三宅ら(1969)¹²⁾が引き続き無機成分の行動について研究を進めた。

細田(1952)¹³⁾、入沢(1961)¹⁴⁾、村上(1965)¹⁵⁾らは、中海、宍道湖の干拓地で、干陸後に強酸性化する実態から、酸性硫酸塩土壌として研究を進め、易酸化性硫黄に関する知見を明らかにし、その定量法を確立して、干拓地土壌研究の一方を開拓した。

九州農試(1961~1971)^{16~18)}では有明干拓地や不知火干拓地の分類と粘土鉱物のほか、物理性としてコンシステンシーや構造性にとりくみ、佐賀農試(1963~1970)^{19~22)}では有明干拓地の土壌改良による熟畑化の促進と栽培作物の安定生産技術の確立をはかった。

この他、琵琶湖では木村(1951)²³⁾、霞ヶ浦では平山ら(1969)^{24,25)}、邑知潟では西川ら(1969)²⁶⁾、利根川下流域では白鳥ら(1969)²⁷⁾が、土壌の化学性変化を主体にした研究を進めた。

このように干拓地に関する研究は、作物に対する塩害の回避のため過剰塩類の除去と、底土に集積した還元物質の酸化に伴う酸性障害対策に集中し、干拓地農業は、過剰塩類の洗脱と、石灰施用による酸性矯正など、土壌の化学性改良によって難なく推進されるものと考えられ、物理性に関する検討は副次的なものでしかなかった。

八郎潟干拓は1957年着工し、1966年干陸を終えたが、その大部分は過湿重粘な、いわゆるヘドロに覆われてお

り、1968年には入植者により、大型営農用機械を駆使して、直播栽培を定着させることが当初の目標であった。したがって、まずこのヘドロの軟弱地盤を、大型機械に適応性の高い土地基盤に変え、直播の苗立安定確保できる土壌条件を作ることが急務とされた。この二つに共通している問題点は、ヘドロという過湿重粘性からの脱却であるが、そのためにはまず基盤の排水・乾燥であり、さらに進めて、土壌の脱水・酸化をはかることが先決とされた。このためには、従来のような化学性の変化のみを追求するだけでは不十分で、八郎潟干拓地では、まず土壌の物理性変化と、その改善に重点をおくべきものと考え、全面干陸が終った1966年から、これに目を向けた研究調査を開始した。

当時は水田土壌に関する物理性に関する調査研究法は体系的にも手法的にもまだ充分なものではなく、計測器機の不備もあり、試行錯誤の繰り返しの中で研究を進めたものであるが、干拓地の代表として、八郎潟干拓地の過湿重粘土壌を対象として実施した調査研究の中から、物理性改善の成果を得たものを幾つかあげてみたい。

2. 八郎潟干拓地土壌の特性

八郎潟に流入する河川によって運ばれ、湖底に堆積した粘土は、周辺地質の影響を強くうけ、第三紀層の岩石に由来するモンモリロンを主体とした2:1型粘土鉱物の特性をもっている。このことは将来、理化学性の面ですぐれた特性のある耕地土壌となりうるが、反面、重粘性、保水性が大きく土壌水の排除が極めて困難なこと、軟弱性が大きい大型機械適応性が低いこと、微粒子粘土に基づく高CECが海水の影響をうけた過剰塩類の洗脱を遅らすことなど、土壌改善の進行を阻害する場面も多い。

ヘドロの大きな特徴は、粘土の性質ともからみ、その水分特性にみられる。即ち、現場含水比が著しく高く、その水分は吸着力が強いため容易に脱水され難い。このことは高pF下での含水比が高く、三相分布では液相が極めて大きく、現地容積重が極めて小さいこと、液性限界水分が高く、塑性指数の大きいことなどに特徴的に示されている。

干陸直後の1966~1968年に実施した全域(17,000 ha)にわたる土壌調査の結果から、土壌別の特徴と農耕適地化への問題点を明らかにしたが(表-1、八郎潟干拓地土壌調査法²⁸⁾による)、これからみると、自然放任のままでは、西南暖地に比し、耕地利用までは、三倍の年月が必要と推定され、その期間短縮の方策を探究するため、各種の現地調査やモデル実験、実証試験などを実施し、環境に応じたヘドロの乾燥過程を模式化し、入植に適した土壌条件の数値化をはかった。

表一 土壌統別示性分級式および耕地化対策 (1964)²²⁾

土壌統名	分布面積 (ha)	示性分級式				土性	乾燥の程度	現状における農耕地利用度	耕地化への制限要因			耕地化への主要対策
		排水の難易	深さ20cm以下での支配的土性	大型機械の導入の難易	深さ50cmまでの支配的土性				支持力強度	土壌酸性の程度	深さ30cmまでの反応	
富貴亀	7,965	IV 3 2 2	IV 2 3 3	II 1 2 1	強粘質	過湿	やや不適	重粘透水性小	過湿	重粘全層軟弱	弱	表面排水の徹底 明渠・暗渠増設 排水位低下
白山	4,355	IV 3 2 2	III 2 2 2	IV 3 2 1	強粘質	湿	やや適	重粘透水性小	過湿	重粘下層軟弱	中	明渠・暗渠増設 排水位低下
西山	263	IV 3 2 2	IV 2 3 2	II 2 2 1	粘質	過湿	やや不適	粘質透水性小	過湿	粘質全層軟弱	弱	表面排水の徹底 明渠・暗渠増設 排水位低下
鉄	325	III 2 2 2	III 2 2 2	IV 3 2 1	壤質	湿	やや適	透水性中	過湿	やや軟弱	強	排水位低下 暗渠の増設 石灰施用
琴浜	570	III 1 3 3	III 1 3 3	I 1 1 2	砂質	過湿	やや不適	過湿(地下水水位高 承水路よりの浸入水)	過湿	過湿による膨潤軟弱	弱	集水路設置・明渠増設 排水位低下・集水路設置・地力維持
片桐	198	II 1 2 3	II 1 2 2	III 2 2 2	砂質	湿	やや適	地下水水位高	過湿	—	やや強	暗渠による地下水水位低下 排水位低下 地力維持・石灰施用
竜北	40	II 1 2 3	II 1 2 2	II 2 1 2	砂礫質	過湿	不適	過湿(承水路よりの浸入水)	過湿	礫	弱	除礫 集水路設置・排水位低下 地力維持
八幡	823	II 1 2 2	II 1 2 2	III 2 2 2	砂質	湿	やや適	地下水水位高	過湿	—	やや強	暗渠による地下水水位低下 地力維持・石灰施用
大洲	38	III 1 3 3	II 1 2 2	IV 4 1 2	砂礫質	やや乾	不適	—	過湿	礫	極強	除礫 地力維持・石灰施用
豊中	858	II 1 2 3	II 1 2 2	IV 3 2 2	砂質	乾	やや適	—	過湿	—	極強	用水対策 地力維持・石灰施用

3. 八郎瀧干拓地における成果の概要

(a) ヘドロにおける大型機械の走行と土壌条件：八郎瀧干拓地では、干陸三年目(1968)から入植作付が開始されることになり、大型機械の走行については、軟弱地盤での稼働性を向上させるために、どの程度の機械がどのような条件で適応性が高いかを検討した。

ヘドロ地盤では下層層軟弱で、走行装置により表層の酸化層が断ち切れれば、底なし沼にめり込んだ状態となり走行不可能となる。従って、機械側からの対応では

接地圧をできるだけ小さくするため作業能率を犠牲にしても補助走行装置が必要となり、土壌側からの対応は地耐力の向上となる。トラクターの自由走行には、表層15cmまでの平均地耐力(SR-II型円錐貫入抵抗値)2kg/cm²以上とされている²³⁾が、干陸当初のヘドロでは、それを望むことは無理であり、接地圧との関連で対処する方向で検討した結果、地耐力/接地圧比が8.0以上で安全な走行が可能であることがわかり、軟弱地盤での対応を両面から進めることができた。

(b) 乾燥履歴に伴うヘドロの構造変化：干陸後水

稲作付までの間に、土壌の脱水・酸化をどの程度まで進めるかは、その後の営農条件に大きな影響を及ぼす。即ち強還元型の条件にあるヘドロは、中途半端な排水・乾燥では、この条件からの脱却が難しく、稲作栽培上の問題点も多く残される。

1957年に湖底土を採取し、1966年まで10年間、畑状態に保った枠試験があり、その断面調査や物理性を測定した結果をみると、50 cm 程度まで酸化層となり、亀裂が縦横に走った構造をもち、密度・地耐力も著しく高まっていたが、同様に10ヶ年の水田条件下では、作土のみ酸化的であり、下層には斑紋の生成はみられるものの、グライ層の条件であり、物理性の調査結果にも大きな差がみられ(表-2)、湛水条件からの回避が、ヘドロの物理性改良の基本であることが認められ、この条件が当面の改良目標値として示された。

現地では条件の異なる土壌の断面調査をした結果からみると、斑鉄型の段階では、湛水によってもとの強還元型に逆行する場合も認められ、少なくとも、50 cm 以上の範囲が斑鉄構造型に達するまで、脱水・酸化をはかるのが、その後の土壌条件を安定的に維持でき、収量も向上することが認められ、このような条件になるには、停滞水のない畑状態で放置して、5年以上の年月が必要と認められた。

干陸当初の泥状を呈するヘドロは、乾かすと固結し、湛水すると浮泥状になり、既耕地のような膨軟性がみられない。しかし、このヘドロも湛水を継続させないように、乾燥と湿潤を反復すると、構造性をもった土塊になることをモデル実験で確かめた。この場合、粘土の多い時は収縮・膨潤の程度が大きくて細粒状に崩壊し、土性的にやや粗いと、大土塊の型で残るが、物理的な衝撃で容易に崩れやすい型となる。

以上の結果から、現地での放任期間中の停滞水排除の重要性を提言した。

(c) 排水工法と植生による土壌改良効果——現地実証試験から：HC が大部分である八郎瀉干拓地のヘドロ

は、透水性のとりにくい土壌であるため、当初暗渠施工をしたものの、その効果は殆んど認められなかった。そこで、どんな排水工法が適切なのかを検討するため、1 処理約 4 ha の実証圃を7 処理設けて調査した。施行は数種類の暗渠と明渠をとりあげ、単独または組合せ施工し、年次経過による土壌の物理性変化を中心に調査した。現場含水比、水中沈定容積、可塑性、三相分布、孔隙分布、pF 水分の変化、現地容積重、地耐力などである。その結果、暗渠の効果は認められなかったのに対し、明渠を縦横に施工し、表面停滞水の排除をスムーズにできる方式が、土壌の排水・乾燥に極めて有効であることが認められた。この結果当初の暗渠施工方式は改められ、入植までの放置期間は、ロータリートレンチャーによる大明渠(幅 128 cm、深さ 70 cm、15~30 m 間隔)と、リダー施工による小明渠(幅 55 cm、深さ 35 cm、5~10 m 間隔)の交差施工によって、表面停滞水を排除しながら、表層土層に亀裂構造の発達を促し、入植前に構造発達の深さに応じて、暗渠埋設する方式に改めることになったが、現地では、大明渠のみを 10~15 m 間隔に施工することによって、排水・乾燥は急速に進んだことを認めた。

八郎瀉干拓地では、干陸後、土壌からの脱水を促すために、一部に、ヨシを播種したが、その他、自然植生として干陸後一年もたつと、ヒエヤタゲなどの密生地が出現した。これらの土壌改善に及ぼす効果を調査するとともに、牧草などを作付けして、積極的に植生を利用した場合の改善効果も検討した。牧草は干陸直後では定着に問題もあったが、耐湿性の牧草は良好な生育を示し、3~5 年後の改善効果は、土壌の脱水・酸化を著しく促し、耐水性団粒の増加も顕著に認められた。この場合、根系発達の程度が下層への影響を大きく左右し、イタリアンライグラスでは、根系がマット状になり深くまで達しなかったが、リードカナリーグラスは根量も根長も大きく、改善効果が著しかった。ヨシの場合は、太い根が粗い密度で張り、乾燥が進むと共に地上部は劣化する

表-2 土 壤 の 理 学 性³⁷⁾

項目 土壌別	原土含水比 %	三相分布 %			全孔隙率 %	飽水度 %	空気度 %	現在容積重 g/100cc	最大含水量 %	水中沈定容積 cc/10g			付着力		透水係数 K ₂₀
		固相	液相	気相						湿潤土 (F)	風乾土 (A)	比 A/F	g/cm ²	含水比 %	
干陸直後	249	11.3	88.1	0.6	88.7	99.4	0.6	33.8	111.0	57	26	46	22.3	246	4.3 × 10 ⁻⁶
水田10作後	117	24.0	74.3	1.7	76.0	97.8	2.2	64.0	79.2	35	23	65	33.5	119	2.3 × 10 ⁻⁶
畑 10 作後	58	31.3	51.2	17.5	68.7	75.2	24.8	86.8	79.0	39	19	49	89.1	59	7.2 × 10 ⁻³

が、根は枯れた後も大きな孔隙として残り、暗渠的な役割を果たすと共に、その周辺に酸化被膜を形成している例が多くみられた。

以上の結果からみて、放任期間に排水工法をとる際、適当な作物、牧草などの栽培を併用することは、土壌の排水・乾燥を進めながら、その脱水・酸化の効果も相乗して、好適耕地条件への改善を一層早める役割を果たすものと言える。

4. むすび

八郎潟干拓地へドロの物理性変化に及ぼす要因を論じ

てきたが、干拓地農業を早く安定化させるためには、一にも二にも排水・乾燥であり、それをいかに早く脱水・酸化に結びつけるかがポイントになる。図-1に乾燥の方向をとった場合の理化学性の変化の過程と排水不良のままに残される問題を模式化して示した。また、表-3には土壌管理の相違による理化学性変化の程度を、表-4には干陸後の年次経過による物理性変化の過程をモデル的に数値化して示した。

現在、干陸後18年、入植作付後15年を経過した八郎潟干拓地では、1戸当15haの耕地で、大型機械化体系のもとで、田畑複合経営にとりくんでおり、水稲では594

表-3 土壌管理の相違と理化学性の変化³⁷⁾

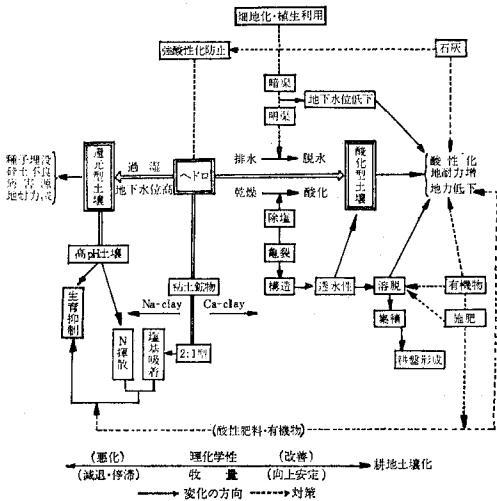
項目	土壌管理別			入植年次別		栽培様式別		牧草栽培の影響		現地植生の影響		畑状態 畑作物
	第1次	第2次	第3次	移植	乾直	無栽培	リードカ ナリーグ ラス栽培	た	たがらし			
作付時の土壌類型	強グライ	土壌還元型	強グライ 斑鉄型	強グライ	還元型	強グライ	還元型	(強グライ土壌 斑鉄構造型)	強グライ 還元型			
干陸後作付までの年数	3	4	5	1>	2	—	1>	(S41干陸)	(直後)			
水稲作付開始年次	S43	S44	S45	S41	S42	—	S41	—	—			S32
水稲作付回数(年数)	3	2	1	5	4	—	5	(S45調査)	10			
酸化層の厚さ(cm)	11.5	20.3	28.0	8.0	25.0	15.0	26.0	37.0	31.0			48.0
亀裂発達の深さ(cm)	25.0	35.0	38.3	32.0	45.0	52.0	60.0	60.0	43.0			48.0
斑紋含む層の厚さ(cm)	20.0	38.3	38.3	—	25.0	52.0	60.0	60.0	31.0			48.0
pH(H ₂ O)	7.5	4.9	6.6	7.4	7.7	7.6	7.8	4.6	4.4			7.6
T-C (%)	2.76	2.65	2.40	2.68	2.49	2.48	2.75	—	—			2.06
T-N (%)	0.34	0.31	0.29	0.34	0.34	0.26	0.26	—	—			0.21
Cl (mg%)	68.1	41.6	28.4	30.0	40.4	5.1	7.2	4.5	4.5			6.0
現地容積重(g/100cc)	68.7	67.4	78.9	50.3	66.7	57.1	61.5	59.6	62.5			87.0
三相分布 (%) ()は第3層	固相	20.7 (19.4)	26.2 (16.8)	31.9 (24.2)	18.6	25.0	25.0 (21.3)	25.0 (24.8)	26.0 (23.6)	17.4 (23.4)		31.3 (27.5)
	液相	63.2 (79.4)	65.4 (82.3)	61.0 (73.6)	78.7	70.6	58.0 (74.7)	49.8 (59.2)	37.3 (51.8)	38.4 (68.7)		51.2 (58.3)
	気相	9.8 (1.2)	8.4 (0.9)	7.3 (2.2)	2.7	4.4	16.0 (4.0)	25.2 (16.0)	36.7 (24.6)	44.2 (7.9)		17.5 (14.2)
可 そ 性 (%)	現場含水比	176.6	192.1	118.9	153.3	131.5	144.4	92.3	81.6	119.9		57.9
	液性限界	257.8	244.1	163.7	202.7	178.7	207.5	194.0	147.5	177.9		—
	塑性限界	54.8	52.7	41.3	40.5	42.6	66.7	66.1	58.4	94.0		—
	塑性指数	203.0	191.4	122.4	162.2	136.1	140.8	127.9	89.1	83.7		—
コンシステンシー指数	0.30	0.27	0.37	0.30	0.35	0.45	0.80	0.74	0.69		—	
水中沈定容積 (cc/10g)	新鮮土	74.0	62.1	49.7	52.5	38.5	64.4	41.5	57.2	54.0		38.5
	風乾土	28.8	27.2	23.2	22.8	23.4	26.1	24.6	—	—		19.0
地耐力	大円錐15cmまでの平均(kg/cm ²)	1.7	2.0	1.9	—	—	2.3	3.7	2.1	2.1		2.9
	矩形板1.6kg/cm ² 沈下深(cm)	7.2	6.2	5.8	—	—	1.0	0.3	13.0	10.0		0.8
S45年度 玄米収量(kg/a)	48.3	49.9	54.0	40.6	37.0	—	—	—	—	—		—

表—4 年次経過に伴う理化学性の変化⁸⁷⁾

年次経過		年次経過					
		第Ⅰ期 干陸直後	第Ⅱ期 2～3年後	第Ⅲ期 水田を経て 4～5年後	第Ⅳ期 畑を経て 4～5年後	水田 10年後	畑作10年後 (当面の目 標値)
三相分布%	固相	20>	25>	25	25<	24	31
	液相	80>	70	60>	60>	74	51
	気相	0	5<	15<	15	2	18
現地容積重 g/100cc		30>	30<	50>	60<	64	87
Cl mg%		800<	100<	50>	10>	2	6
地耐力* kg/cm ²		0.5>	1.0>	2.0>	2.0<	1.5	2.9
コンシステンシー指数		(-)	(-)	(-)(+)	+0.5<	—	—
酸化層の厚さ cm		0	5	10<	30<	10	48
土色**		4	3	3~4	2~1	3	1

* SR II 型大円錐貫入抵抗値 15 cm までの平均

** 4 (還元色) から 1 (酸化色) へ近づくほど赤味をます



図—1 ヘドロの乾湿に伴う理化学性に及ぼす影響 (模式図)⁸⁷⁾

kg/10 a (1983年・県平均 572 kg) の多収をあげ、麦作、大豆作、アムスメロンなど、転換作物も県内一を誇る産地となっている。もちろん、大型機械の稼働に不安も少なくなった現在は、生産性向上を旨とした研究調査が主体となり、物理性に関する調査は縮小されている。しかし、田畑輪換が導入されている現在、転換畑にしり、還元水田にしり、環境変化を伴う作付転換では、従来の観念からすれば土壌の物理的変化も大きいことは当然であり、それが転換した作物の生産安定化の足を引っぱっているとみられよう。このような点から、耕地の高度利用を考えると、田畑利用に当ても理化学性変化の大きくない条件を作ることがこれからの大きな課題になるものと思われる。

食糧が戦略物資となり、対外摩擦の原因となっている

昨今、将来は、水田でも畑でも自由に転換ができ、栽培作物を自由に選択できる基盤作りが最終の目標となろうが、そのためには、土壌の物理性の追究が益々重要なものになると思われる。

畑土壌で発達してきた土壌物理であり、近年は水田でも応用されてきているものの、両者の条件の橋渡しをする役割をもつものとして今後の発展を期待したい。

〔文 献〕

- 1) 小林 嵩：茨城県における湖沼の干拓地不良土並にその改良について (第 1 報) 干拓地土壌の反応について、日土肥誌, 12, 308—311 (1938)
- 2) 小林 嵩：湖沼干拓地土壌の改良、茨城農試臨時報告, 3 (1940)
- 3) 小林 嵩：湖沼の干拓地不良土壌の改良に関する研究、農林省農地局計画部資源課資料, 1—59 (1951)
- 4) 徳弘俊策・上杉郁夫：塩害地土壌の改良に関する研究 (第 1 報) 石灰の除塩に及ぼす影響について、日土肥誌, 21, 326—327 (1951)
- 5) 米田茂男・河内知道：干拓地土壌の物理的性質とその改良法に関する研究 (第 7 報) 重粘土の構造因子に及ぼす土壌管理の影響について、日土肥誌, 29, 399—402 (1958)
- 6) 米田茂男：同上 (第 8 報) 重粘土の緊硬度に及ぼす土壌管理の影響、日土肥誌, 29, 437—440 (1958)
- 7) 米田茂男・河内知道：同上 (第 9 報) 塩害干拓地土壌の生成過程に伴う土壌構造の変化について、日土肥誌, 30, 367—370 (1959)
- 8) 米田茂男：干拓地の土壌肥料に関する総説、日土肥誌, 28, (I) 416—420, (II) 455—459 (1958)
- 9) 米田茂男：干拓地土壌に関する研究、農林省岡山農

- 地事務局計画部資料 (1961)
- 10) 米田茂男: 本邦干拓地土壌の生成論的並に立地学的研究, 岡山大学農学部土肥教室報告, 8, 1—183 (1964)
 - 11) 久保田収治: 干拓地土壌の特性と干拓後における土壌型の変遷, 岡山農試臨時報告, 59, 1—300 (1961)
 - 12) 三宅靖人・米田茂男・河内知道: 干拓新田における無機化学成分の動向: 水稻の吸収量と溶脱量の比較, 日土肥講要, 15, 14 (1969)
 - 13) 細田克己・曾我 治: 海湖沼の底土に関する研究 (第1報・第2報) 中海底土について, 日土肥誌, 22, 342—343 (1952)
 - 14) 村上英行・入沢周作: 中海干拓地土壌に関する研究, 鳥根農試報告, 3, 1—57 (1961)
 - 15) 村上英行: 酸性硫酸塩土壌の特性と改良法に関する研究, 1—148 (1965)
 - 16) 増島 博・山下鏡一・山崎慎一: 不知火海干拓地土壌のコンシステンシー, 日土肥講要, 11, 46 (1961)
 - 17) 山崎慎一・鬼鞍 豊: 新干拓地土壌の脱塩過程, 九州農試彙報, 14, 331—343 (1969)
 - 18) 有村玄洋・鬼鞍 豊: 有明海北部および西部沿岸地域の埴質水田土壌の二・三の物理的性質と土壌微細形態的観察, 九州農試報告, 16(1), 63—183 (1971)
 - 19) 農林水産技術会議事務局・佐賀農試: 有明干拓地の熟田化と生産技術解明に関する試験, 指定試験 (土地改良地区), 6, (1963)
 - 20) 古賀 汎: 初期干拓地土壌に関する研究, 佐賀農試研究報告, 5, 1—53 (1964)
 - 21) 松尾憲一・城 一吉・小柳芳郎・木原唯幸・田中茂雄・池田一徹: 有明干拓地における開田年次を異にした水田土壌と水稻収量について, 佐賀農試研究報告, 8, 53—61 (1968)
 - 22) 吉野三男: 有明干拓平野地土壌の熟田化過程と水稻生産性の推移に関する調査研究, 佐賀農試研究報告, 10, 1—121 (1970)
 - 23) 木村三郎: 琵琶湖干拓地土壌とその特性について, 日土肥誌, 22, 154 (1951)
 - 24) 平山 力・吉原 貢・小林 登・石川昌男: 干拓地の改良に関する研究 (第1報) 干拓地における塩害調査, 日土肥講要, 15, 支29 (1969)
 - 25) 平山 力・吉原 貢・須田清隆・石川昌男: 同上 (第2報) 水稻の酸性障害対策について, 日土肥講要, 16, 89 (1970)
 - 26) 西川光一・西川庸一・大谷勇造・卜部義也: 邑知潟干拓地土壌に関する研究 (第1報) 干拓地の土壌変化について, 日土肥講要, 15, 支50 (1969)
 - 27) 白鳥孝治・三好 洋: 塩成干拓田における硫化物の集積過程, 日土肥講要, 15, 93 (1969)
 - 28) 八郎潟新農村建設事業団: 八郎潟干拓地土壌調査法, 1—26 (1966)
 - 29) 農林省農林水産技術会議事務局: 大型機械化に伴う水田土壌基盤整備に関する研究, 研究成果40, 33—55 (1969)
以下, 八郎潟干拓地に関する論文の主なものをあげておく。
 - 30) 木内知美・千葉 智・佐藤智男: 八郎潟湖底土壌に関する土壌調査並びに栽培試験成績書, 仙台農地事務局計画部資源課資料, 1—50 (1959)
 - 31) 金子淳一: 八郎潟干拓地土壌と機械作業の問題点, 農作業研究, 7, 15—23 (1969)
 - 32) 秋田農試: 八郎潟中央干拓地土壌説明書 (第一期土壌調査), 1—180 (1970)
 - 33) 農林水産技術会議・秋田農試: 八郎潟干拓地土壌の特性と耕地化過程に関する土壌学的研究, 指定試験 (土壌肥料) 19, 1—115 (1972)
 - 34) 金子淳一: 八郎潟干拓地土壌と農業, 東北の土壌と農業 (日土肥学会大会運営委) 273—280 (1973)
 - 35) 金子淳一: 八郎潟土壌の分類と物理性: 近代農業における土壌肥料の研究, 第4集, 27—36 (1973)
 - 36) 三浦昌司・島田孝之助・岸 達男: 八郎潟干拓地における水稻機械移植栽培に関する研究, 秋田農試研究報告, 20, 145—187 (1974)
 - 37) 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, 秋田農試研究報告, 22, 64—148 (1977)
 - 38) 秋田農試: 八郎潟中央干拓地第二期土壌調査成績書 (昭和41年～昭和49年), 1—220 (1977)
 - 39) 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, 秋田農試研究報告, 23, 33—92 (1980)
 - 40) 三浦昌司: 八郎潟干拓地土壌の理化学的的特性と作物生育に関する研究, 秋田農試研究報告, 26, 85—190 (1984)

I-7 土 壌 物 理 と 農 業 機 械

—主として残された問題について—

三 浦 恭 志 郎*

1. 緒 言

土と関わりを持つ農業機械といえば、当然第一に耕耘関係機器が連想されるが、実際にはかなり範囲が広い。まず、土と農業機械との関わり方の様相を類別するために、土そのものを、

- I) 生物 (主として作物) 生育の場としての土
- II) 作業の場としての土
- III) 材料としての土
- IV) 混在物としての土

に大別する。そして、それぞれの項目について、機械が関わっている様子を、作業名・機械名、あるいはより抽象的な性質の名称等を整理せぬままに例示すれば、表一 I のとおりである。

これらの中で、土壌物理と農業機械の仕様なり作用なりが具体的に論議され、整理されて来ているのは、I の中で一部の耕耘関係と、II 中の地耐力、走行性関係に局限されている、といっても過言ではない。そこで、本特集の趣旨からすれば、これらの項目についてレビューし、展望することが中心になるべきではあるが、最近の、いわゆる「土の見直し」の気運の中で、農業機械分野での特集、研究会等の企画が相次いで実施されたこともあるので、これらの特集等については以下の該当項目の所で紹介して参照をお願いすることに止め、本稿では、むしろ、残された問題ないしは理論的に未組織な事象に重点をおくこととしたい。なお、これらの問題は、学問体系に組込まれていないもの、と云うこと以上に、農業機械自身、あるいは農業機械を使用しての作業について、設計・試験・評価等の実際面で困っているものがほとんどであることを、念のため附言しておく。

以下に、前記 4 項目に測定に関する項目を加えた計 5 項目について、順次記述する。

2. 生物(主として作物)生育の場としての土

この項目の標題では、地中・地表には作物以外の、有害、有益、中立の植物、小動物、微生物等が居ることを示す意味で生物という語を用いたが、主として考えるのは作物で、その作物の生育に好適な条件を機械的作用によって、しかもある程度以上の面積にわたって作り出す

表一1 土と機械・作業のかかわり合い

I) 生物生育の場としての土

1) 耕耘 (広義)

耕耘・碎土・整地・うね立て
代かき・水田移植
播種時溝切・覆土・鎮圧
マルチ・移植

2) 混和等

土改剤、肥料農薬等混和
残渣・有機物等すきこみ
スラリー注入
土壌消毒

3) 管理関係

中耕・培土
除草

4) 収穫関係

根葉等掘取

〔ポテトディガー
ごぼう用プラウ
トレンチャー
ピーナツディガー等

同上選別

れんこん収穫 (噴流式)

5) 基盤関係 (農営的)

営農排水

〔トレンチャー
弾丸暗渠機
溝切機

作畦機、あぜ塗り機

6) その他

培土用碎土機、土入れ機等
傾斜地用揚土機
抜根機、穴掘機
除石機、碎石機

II) 作業の場としての土

走行性、地耐力

人間の歩き難さ (抜足力)

III) 材料としての土

育苗培土

作畦、あぜ塗り (→I-5))

土壌脱臭

IV) 混在物としての土

穀類への混入・附着
根葉類等への附着

* 東北農業試験場

場合、平たく言えば圃場規模での、耕耘に係わる諸問題を考えることとする。ただし、営農排水に関わる事項は、一応検討の外におく。

さて、耕耘を広義に解釈するとき、耕起、碎土、整地、さらには有機物（系外から投入するものと残渣のものがある）、肥料・土改剤・農薬等の埋込み・混和などを含めて考えるのが一般であるが、土と機械のからみから云えば、播種機における溝切り・覆土・鎮圧、中耕ないし培土等も関連事項として挙げる事ができる。

このうち、土の理工学性と機械の関連が数多く、また深く研究されているのは耕起関係であることは前記した。プラウ曲面の解析・設計が農業機械学の出発点であったという歴史の長さもさることながら、特に1940年代以降の、土質力学、もっと基礎的には塑性学、相似則理論等の発達を背景に研究が深化したものと見られる。この分野での研究現状の把握には参考文献1)、2)が参照に便である。ただし、1)においては、ロータリ耕耘機構の記述は、日本の業績内容英訳の困難なことから手薄になっている。

ところで、この分野においても、理論面と実際面のギャップは必ずしも小さいとは云えない。その原因となっている事項にはいくつか考えられるが、そのうち主要なものとして次の各項を挙げる事ができる。

(1) 圃場の土は連続・一様な性状であることは稀で、特に有機物の埋込み・混和等を考える場合には不均一性が甚だしい。大局的には刈株の存在は無視し得ることも多かるうが、どの程度なら無視できるかの確認は行われていない。というのも、いわゆる耕土層の中の有機物等の分布状態の観測法・記述法自体がないので、その影響については究明はなお困難というのが実情である。一方、十分碎土、均平された播種床における播種用溝切機構の場合を典型的な例として挙げうる現象に、土が粉体に近い挙動を示すということがある。一般の耕耘理論では、場合によりれき（レキ：プラウや犁によって未耕土部分から切り取られる柱状ないし帯状の土）、切片、少なくとも土塊の形で取扱われることに比し、全く別の取扱いを必要とする事項である。

(2) プラウ耕にせよ、ロータリ耕（単なる土壌混和目的の場合を除いて）にせよ、土の切断が所要動力等に大きく関与している。一方、剪断抵抗の速度依存性との関連で考えるとき、この両機種で剪断抵抗を同一と見なし、とも悪いともいずれの保証もない、と云ってもよかるう。別に比較をする必要がないとしても、作業条件の一つとしての土壌条件を記載するかぎり、このことに関する検証が必要であろう。もちろん土壌により、また含水比によって剪断抵抗の速度依存性は大きく変化する

ことを考えれば簡単なことではないが、現場用の簡易な計測器による計測値から、速度依存性を考慮した抵抗が推定できる手法が欲しいものである。

(3) 耕耘器具への土の附着は、作業部そのもの、あるいはケーシングその他の補助部分のいずれに生じても、作業精度の劣化、所要動力の増大に結びつくため、実際面では種々工夫がなされている。火山灰土用のプラウ撥土板にナイロン系の樹脂板を張りつける等はその一例である。一方、鋼板等に対する土の附着現象の解明はあまり行われておらず、特に分子、イオン段階での究明は遅れている。このことは、土壌と水、あるいは接着化学等に見る発展段階に比しての事であるが、現象の究明がなければ、材料設計を含む積極的な手法はとり得ないという意味で重要な分野であると考えている。

3. 作業の場としての土

圃場内のみならず、畦畔・農道も作業の場として考えられるが、ここでは圃場内のみに限って述べることにする。

前述したように、地耐力、走行性、また踏圧関係で最も土壌の物理性と機械の係わり合いが論及されている分野がこれであり、文献1)、2)にも詳説されている。地耐力、走行性は、いわば如何に機械をスムーズに移動させ得るかの視点に立つものであり、一方踏圧関係は機械走行に伴う密層形成というマイナス要因の解明・解決の視点に立つものであるといえるが、これらについてはここでは触れずに、少し異なる視点から話を進めたい。

最近各方面で言及され、事業化されて来ている汎用化水田は、水田のときには漏水を十分に防止し、畑状態では十分排水された深い耕土層が欲しいという、ある意味ではかなり矛盾している、ないしは欲張った要求を実現しようというものである。汎用化水田が文字通り汎用化の形になるためには、土木面でも作物・栽培面でも、まだ多くの問題が解決されなければならないが、機械と土の係わり合いの面から見た大きな課題の一つは、輪換田とした場合の漏水防止対策、ないしは耕盤（機械支持面）形成技術を、いわゆる営農の手段の範囲内で確立することである。具体的手段は土壌によってちがうであろうが、闇雲に、と云って悪ければ、必要十分な条件が不明のままに車輛による踏圧を行い、また、代掻きを行う他ないという現状から脱却するためには、土壌物理と営農機械の両分野からこの問題に接近する必要があると痛感している。

4. 材料としての土

土は陶器、煉瓦その他の工業原料として、また土囊の形で重錘等として諸種の用途に供する場合の中味として

用いるが、ここでは、直接営農段階で何らかの材料について用いられる場合に限る。

まず、育苗の培地について見ると、ソイルブロックとしては成形性が問題であり、特に有機物等が混ぜられていることが多いこと、しかも、苗の生育時に要請される通気性、保水性が保証されなければならないことから、まさに土質力学的ではなく土壤物理的な取り扱いを要する項目である。しかし、苗の生育と培地、という視点から検討されるに止まり、これらと成形性を含めての土壤物理的な検討は見当らないようである。

ついで、畦畔造成機あるいはあぜ塗り機について考えて見る。あぜ塗りをを行う場合、土は程よい状態で水とこね合わされなければならないが、これが実際面では問題である。原理ないしは室内実験的にはほとんど問題ない事項ではあるが、現場的には不安定な作業となるのは、もともと条件が不整一・不安定な現場の土を対象に、液性限界より少し下の含水比を保持しつつ作業を進めなければならないこと、しかも、少なくとも現在、機械側には水分検知あるいは調節の機能を持たないこと、の2点に要約できよう。逆に言えば、作業対象の土の塑性状態が瞬時に求められる方法が得られない限り、機械側からの作業安定化の対応は困難といえよう。

5. 混在物としての土

混在物ないし夾雑物、あるいは、生産物への土の附着等をまとめて考えてみる。いずれの場合においても、土が混在・附着していないことが望ましいこととして扱われ、一部の根菜類で「土付き××」の形で表現されるものでも、土が附着していること自体が重要なのではなく、土が付いているほど新鮮であることを表現したいのにすぎない。

ところで、このような形の土について、物理性との関連で取扱われた研究例としては、ばれいしょ掘取機における選別機構において、掘取物を鉄板に当てたとき鉄板が発する音の差によって、ばれいしょと、混在土塊を自動的に選別する試みがある程度である。他は、穀粒への混在物はふるい分けによって、根菜等に附着している土は、とにかく洗浄することによって、それぞれ除去するのであるから、別に土の物理性を云々することなく作業を行うのが一般的である。しかし、特に根菜類の洗浄について見れば、洗浄の難易は少なくとも土性に大きく関係しており、しかも節水型の洗浄機が要望されている現状を併せて考えると、洗浄の視点から見た土の理工学性についても、検討がなされてもよいのではないかと考えられる。

6. 現場用測定機器について

最後に、機械作業において、実作業あるいは作業評価等の仕事をする際に要求される現場用の測定法について、一、二触れておく。

(1) 耕土層の断面固定法 有機物の混和状態等を評価する場合には、何らかの断面固定法が必要であるが、現在適当な手段がない。これは単に混和状態の評価そのものに限らず、2の(1)に記した様に、不均一、不連続な耕土層について、均一連続な土壌という前提が妥当であるか否かを検討する上でも不可欠な項目である。

(2) 土壌の力学的指標について 剪断抵抗を速度依存性を考慮したうえで簡単に測定する方法が欲しいことは前記した。この他にも、代掻土壌の状態をゴルフボールの落下によって判定する方法を考えようとか、模型的な機器によって実機の作用を類推する方法とかが提案されたり、試みられたりしている。一方では、ペネトロメータは耕耘関係でも、走行性関係でも広く用いられ、個別の力学的数値によるよりも現実との対応がつけ易いことが一般に認められている。これらを全体的に見ると、改めて云うまでもないが、剪断抵抗等の測定は現場的には困難が伴い、逆に土壤硬度等は剪断抵抗その他の力学的数値との関連がつけ難い。そして、簡便な計器による測定値から単一強度指標への換算はともかく、少なくとも測定のコメカニズムと、単一指標との相関程度は明らかならなければ、農機の模型系と実物系の比較、さらには動的なシミュレーションを行う場合などにおける現実面での基礎が固められないという意味で、この面の研究の進展が望まれる。

7. 後 記

以上、主として、今後研究の発展が期待される項目について述べてきた。本特集の方針であるレビューを行っていないことについては、編集者および読者諸氏のご寛恕を乞う次第であるが、一言だけこの面で附言しておく。例えば塑性学の発展やコンピュータの普及に伴って、走行性関係の研究等では解析的研究も進み、走行性の予測も行われてはいるものの、それでもなお、非常に幅の広い変動を示す土壌の特性に対しては十分対応するまでに至っていないと見られ、耕耘関係その他ではなおさら、解析的研究が実際の機器設計に結びつく段階に至っていないのが現状である。このことは、究極的には、研究目的に応じた土壌のモデル化が出来ていないからであって、逆に言えば、このようなモデル化ができなければ、シミュレーション等により機器仕様を決定する手法も用い得ない、ということでもある。本文では土と機器についての残された問題を主に取り上げたが、我々人間

には、このことについて有史以来の有効な経験・知識の蓄積も豊富にあるのであって、これらを更に加速・発展・体系化させるためにも、上記のモデル化は一つの重要な柱であると考えられる。

なお、農業機械化研究所では、1976～83年の間の和雑誌・報告等80種、外国誌15種を対象として、「土と関連する農業機械の文献要録」を、コンピュータ検索可能な形で昭和59年度中を目標に編集集中と聞く。読者諸氏と共に、完成を期待したい。

参考文献

- 1) Gill, W.R. and Berg, G.E.V.: Soil Dynamics in Tillage and Traction, Agriculture Handbook No. 316, USDA, (1968)
- 2) 特集「土と農業機械」(10篇), 農機誌, 42 (4), (1981)
- 3) 農業機械化研究所: 『機械利用から見た土壌の評価および土・機械系の問題点に関する調査』(土・機械系研究委員会資料 No. 1), (1984)

I-8 機械化と圃場整備

長野間 宏*

1. 農業機械化の進展と圃場整備

1961年に制定された農業基本法は「他産業との生産性の格差が是正されるように農業生産性が向上すること…を目途として」と、政策の目標を定めた。いわゆる、農業の近代化が目指すものは、生産性の向上と選択的規模拡大による総生産の増大であった。1967年に刊行された「圃場整備の進めかた¹⁾」には、「農業近代化の方向に即応した土地改良事業のありかたとはどういうことか。平たくいえば、農業機械化のための基盤をつくり、あわせて生産力の発展をはかるために土地条件を整備することである。」と記してある。戦後の土地改良事業の中心が食糧増産のための開拓から、機械化のための基盤づくりへと移行した。すなわち、1960年にそれまでの食糧増産対策事業が農業基盤整備事業へと名称を変えた。この事業の内容は、土地基盤の整備と経営近代化施設の導入を行うということであった。

さて、以上の農業近代化政策の下における農業の変化を示すデータとして、トラクタの普及台数の推移(図-1)、水田区画整理率の推移(図-2)、水稲作における10a 当たり労働時間の推移(図-3)を示した。歩行型ト

ラクタの普及は1960年頃から著しい。1962年頃からは、乗用トラクタの普及が始まった。区画整理がされた水田の割合は、1966年は30%であったが、1977年には全国では54%、北海道では91%となった。このうち、機械化農業における標準とされる30a区画以上の割合は全国では14%、北海道では56%に達した。区画整理された水田の割合が低い地域は四国で19%であった。次に、水稲作に要する10a当たりの労働時間の低下の程度は、1960年以降大きくなった。1960年に173 hr/10aを要した労働時間は、1977年には74 hr/10aと1/2.3に短縮された。機械化に伴い労働生産性が大きく伸びたと共に、水稲の全国平均反収は5年間の移動平均で示すと1960年の390 kg/10aから、1977年の473 kg/10aへと21%の上昇をした。以上のように、農業近代化政策の下で生産性は向上した。同時に農業就業人口の減少と、農家の階層化も進んだ。

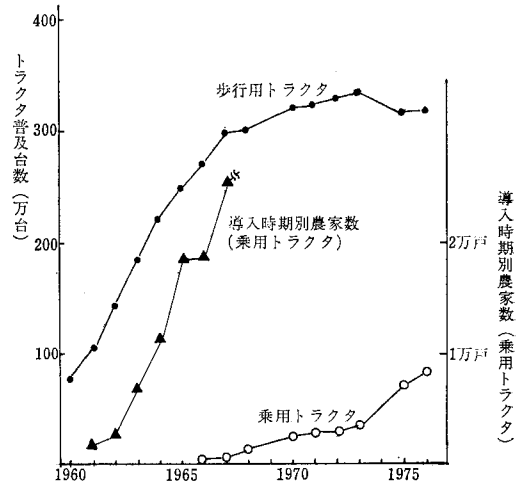


図-1 トラクタの普及台数の推移
注) ポケット農林水産統計から作成

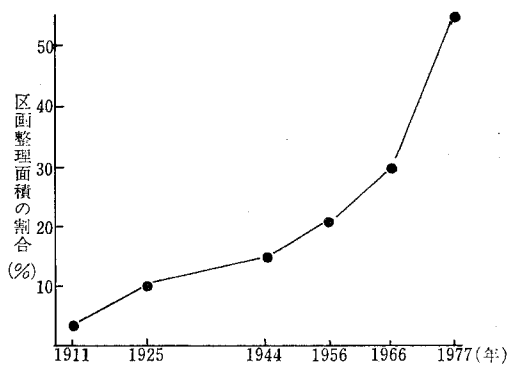


図-2 水田の区画整理面積の割合の推移
注) 日本農業基礎統計などから作成

* 農業研究センター

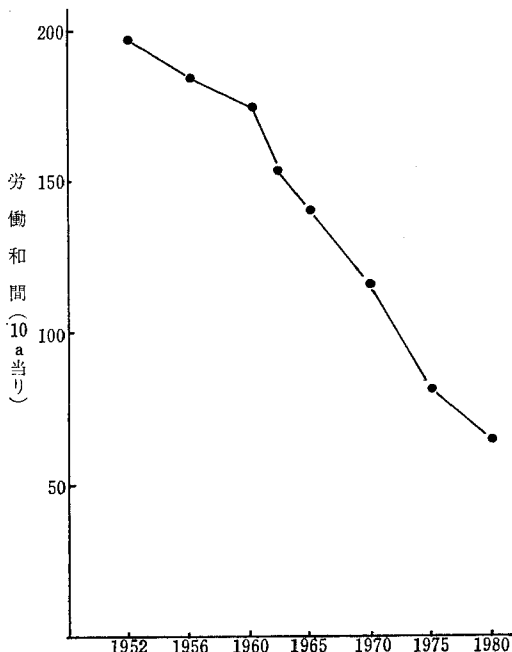


図-3 水稲作に要する労働時間の推移 (全国)

2. 農林省の特別研究「大型機械化に伴う水田土壌基盤整備に関する研究²⁾」

前の項に述べたような背景のもとで、農林省の研究機関において上記標題の研究が1966年から1969年までの4年間実施された。乗用トラクタを中心とする大型機械の導入に対応して、大型機械が走行し、作業することができる土壌条件を明らかにし、現場で用いることができる判定基準の作成と、適切な圃場整備工法の開発を行うのが研究の大きな目的であった。このため、土壌肥料、農業機械、農業土木の3つの研究分野が参加するプロジェクト研究として実施された。他方、農業土木学会においても、ほぼ時期を同じくして「農場整備モデルホ場企画委員会^{3,4)}」が設置され農林省農地局が設置した農場整備モデル圃場の調査を行って「大型機械化営農に適するホ場の形態基準(試案)」を作成した。

さて、この農林省のプロジェクト研究で実施された研究内容は大きく分けると次のようになる。

① トラクタ(30~40馬力クラスを対象にした)の走行および耕起等の作業が可能な土壌条件を明らかにするために、土壌の支持力等を示す測定方法の開発、この測定値を用いた走行性の基準及び土壌の物理的特性について、土壌を分級する基準の作成、並びに土壌の種類と土壌物理性の関係についての基礎的研究。

② 適切な基盤整備工法の開発と施工に伴う土壌物理性、生産力の変化に関する研究、及び表土処理等の基準

の作成。

以上の2つに大別して、それぞれについて実施された研究の要点について述べる。

3. 測定法の開発と走行性等の基準の作成及び関連する基礎的研究

1) 測定法の検討 農業機械の走行性、作業性に関する土壌の物理性の測定方法の検討では、土木工学の分野で用いられてきた測定方法を耕地土壌へ応用するという面が強かった。検討された測定法の主なものは、土壌抵抗、付着力、液性・塑性限界、せん断抵抗、圧密抵抗、土壌硬度に関するものであった。

このうち、トラクタの走行性の判定、及び圃場造成工事の際の管理検査における地盤強度の測定には、円錐貫入抵抗測定器が用いられた。特に、せん断抵抗、く形板沈下量も測定できるSR-II型土壌抵抗測定器⁵⁾(農業機械化研究所が開発)が広く用いられた。

次に、土壌の物理的特性を表示する測定方法として、土壌肥料分野で碎土性と関連させて用いられた圧碎抵抗、切断抵抗の測定法、作業機械への土壌の付着との関連で付着力測定法が工夫された。せん断抵抗、圧密抵抗の測定は、土木工学分野の測定法を水田土壌に適用して行われた。

さて、土壌は水分含量の変化に応じて固体から液体へと可塑性や粘性が変化するが、この状態変化と変形に対する抵抗の大きさなどをコンシステンシーと呼ぶ。土壌のコンシステンシーは水分含量により、いくつかの転移点を持って変化する。保水性を異にする土壌の間で、コンシステンシーに関連させて土壌の状態を比較しようとする時は、含水比よりはコンシステンシー指数(以下Icで表わす)で表現した方が良いとされ、研究成果の取りまとめにあたっては、Icと土壌の物理性の関係が数多く整理された。このIcを求めるためには、液性限界、塑性限界を測定するが、その際、JIS法に従い、供試土壌を風乾状態にすると測定値が低下することが多くの土壌で明らかにされた。特に液性限界の低下が大きく、湿田土壌であるグライ土壌及び強グライ土壌、腐植量の多い黒泥土壌、アロフェンを主要粘土鉱物とする火山灰土壌の下層土で顕著であった。また通常の栽培管理の下で乾燥履歴を受けている土壌または層位は変化の幅が小さかった。従って、コンシステンシー指数を用いて圃場における土壌の状態を示すために、湿潤土を用いて測定を行うことが提唱された。

2) 走行性判定等の基準 大型機械、特にトラクタの走行の難易については、走行部の沈下量から判断された。すなわち、沈下量の大きい水田でのけん引力は駆動力と走行抵抗の差であり、走行抵抗は沈下量と正の相関

表-1 トラクタ作業の走行可能性の基準²⁾

項目	作業不可範囲			作業可能範囲			作業容易範囲		
	自走	ロータリ耕	プラウ耕	自走	ロータリ耕	プラウ耕	自走	ロータリ耕	プラウ耕
(走行判定基準)									
円錐を用いる場合 貫入抵抗 (kg/cm ²)	2.5	2.5	4.0	2.5 ~5.0	2.5 ~5.0	4.0 ~6.5	5.0	5.0	6.5
く形板を用いる場合 沈下量 (cm)	9.5	10.5	3.0	9.5 ~4.5	10.5 ~6.0	3.0 ~0	4.5	6.0	0
湿潤土による場合 コンシステンシー指数	0.2	0.2	0.4	0.2 ~0.5	0.2 ~0.5	0.4 ~0.6	0.5	0.5	0.6

注) 円錐: 頂角 30°, 底断面積 2cm² を使用し, 0~15cm の平均値を示す。

がある。例えば、ホイール型の場合、沈下 5 cm 以内では滑り率 20% を越えず走行可能であったが、10 cm を越えると滑り率 40% となり走行不可能に近くなった。走行部沈下量を簡単に測定できる測定値から推定できれば、その測定値を用いて走行性の判定規準をつくることができる。測定値としては、く形板沈下量と円錐貫入抵抗が検討された。前者は走行部沈下量と正の相関があったが、加える力等により変動し易く、圃場における簡易な測定には向かないとされた。円錐貫入抵抗と走行部沈下量の間には負の相関があることが明らかにされた。沈下量を 5 cm 以下にするには円錐貫入抵抗は 2.5 kg/cm² 以上が必要とされた。以上のことから、円錐貫入抵抗 (円錐角 30°, 底面積 2 cm² を使用) を中心とした走行性の判定規準 (表-1) が作成された。この基準は現在も広く用いられている。

・土壌の物理的特性について分級する基準が土壌硬度、圧碎抵抗、透水係数、付着力、せん断抵抗、圧密抵抗について作成された。

3) 基礎的研究 本節で紹介するプロジェクト研究が実施される以前は、土壌の種類別に広く土壌の物理的特性を比較検討することはあまり行われなかったが、この研究が契機となって検討が進んだ。

走行部沈下量、滑り率と円錐貫入抵抗との相関関係については前述したが、さらに円錐貫入抵抗などの測定値とコンシステンシー指数との関係が検討された。1例を図-4 に示す。Ic と地耐力の関係からは、Ic 0.5~0.3 がトラクタ走行の可能限界とみることができた。

土壌間のコンシステンシーの違いには、粘土含量、含まれる粘土鉱物の種類、有機物含量が大きく関連する。土壌界面の特性という面からコンシステンシーの違いを検討した成果の1つを図-5 に示す。比表面積を水蒸気法で測定した値は、粘土表面の水に対する活性と密接に関係する面積を示すため塑性指数、付着力と高い相関関係を示した。ただし、アロフエンを主体とする火山灰土壌は特殊な表面構造があるため、他の土壌とは異なった

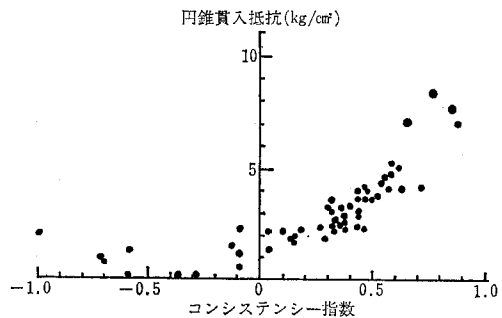


図-4 表層土(0~10cm)のコンシステンシー指数と SR-2 型小円錐による貫入抵抗との関係²⁾

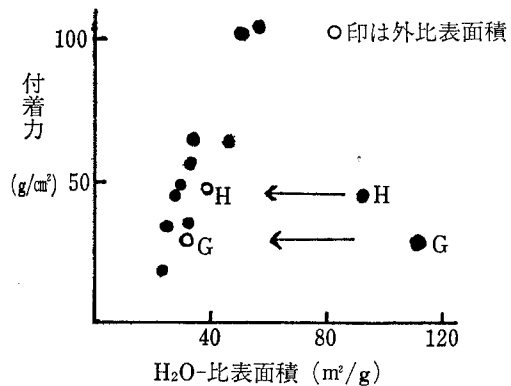


図-5 付着力と比表面積²⁾

動きとなるが、代わりに窒素ガスで測定した外比表面積を用いると○印のように補正することができた。

次に、支持力は土粒子(構造単位)間の結合力(ぎょう集力)と単位体積当りの結合力が働く接点の数の関係で決ると考えられた。そこで、支持力を強化する方策としては、黒泥土壌、泥炭土壌では前者を増すために客土が有効であり、グライ土壌では主に後者を増すために地表排水、暗渠排水等による乾燥促進が有効であると考えられた。

その他、水田土壌についての物理工学的分類が検討された。また、付着力、圧碎強度について各種土壌間の比較が行われ、粘土含量との相関関係が明らかにされた。圧密に関しては、酸化還元の影響が検討されて、強グライ土は乾燥により圧縮指数が低下することなどが明らかにされた。

4. 適切な基盤整備工法の検討及び 施工等に伴う土壌物理性の変化

整備工法に関する研究では次のような成果が示された。

施工圃場の地耐力等の検査には円錐貫入抵抗の測定が有効とされた。また、透水性の測定法が検討され、透水係数の測定法、白色塗料を用いた水みちの測定法、減水深測定法が工夫された。圃場整備における表土処理の要否の基準が、下層土の土性、砂礫含量、肥沃度等を要因として作成された。なお、整備工法に関する規準は、別に農地局、農業土木学会で設計基準として検討された。

次に、機械施工に伴う透水性の変化については、転圧、こね返し、土壌の移動により、構造的なキレツなどの水みちが破壊されるため、ほとんどの場合、透水性が低下することが明らかにされた。また、ブルドーザの走行により、表層 0~2 cm の位置に薄板状の構造が出来て、透水性が著しく低下することがみられた。特に盛土部は旧耕土層のねり返し等により透水性の低下が生じ易い。作業を行う場合は、過湿な条件を避けて Ic 0.5 以上の条件で走行することが望ましいとされた。また、締め固め含水比よりやや多い水分までは、含水比が多いほど透水係数が低下した。機械施工により低下した透水性の回復には数年を要し、その促進対策には、中干し、冬作の作付による土壌の乾燥、キレツ発生促進があげられた。

また、トラクタによるプラウ耕、ロータリ耕に伴う構造の悪化、透水性の低下の主な原因は、刃のすべったあと、及び車輪がすべった部分の構造破壊(粘閉現象)であることが示された。この場合も過湿状態では透水性の低下が大きく、例えば Ic 0.4 では 4.4×10^{-4} cm/sec から 7.1×10^{-6} cm/sec へ低下したが、Ic 0.8 以上では透水性は低下しなかった。

施工後の土壌構造の悪化が水稻生育に及ぼす影響を明らかにする目的で人工土層を用いて、圧密層及び砂礫層が水稻根の伸長に及ぼす影響が検討された。水稻の伸長の可否には、土壌硬度が指標となり、細粒土壌では23、粗粒土壌では20位が伸長の限界とされた。

5. プロジェクト研究の成果と 残された問題点

最初の項で述べたように、農業機械化により労働生産

性は向上した。この前提として、圃場整備があった。国営及び国が補助をして行われた圃場整備面積は、1965年から1975年の平均では4万4千haであった。これ以外にも各種の事業が行われており、それらの中で、作成された基準が生かされてきた。また、多様な土壌条件における調査例をもとに、適切な施工条件、及び施工後の圃場管理の重要性が示されたといえる。また、各種の測定法が検討された結果、これらを用いた土壌物理性の測定が広く行われるようになった。

強粘質土壌については、排水性、機械作業性の点から問題点が多く、引き続いて1968年から1970年まで実施された特別研究「重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研究⁹⁾」において検討が進められた。また、近年一層、水田利用の仕方が多面的になってきており、このため水田の圃場整備も汎用耕地として使いうるようなものが求められている。汎用耕地の条件については、ほぼ明らかにされてきた⁷⁾が、水田作、転換畑作のいずれにおいても、一層の多収が要求されており、耕深などについて再検討されつつあるので圃場整備に関連する新たな問題が生ずる可能性も考えられる。

引用文献

- 1) 農林省農地局、農政局監修：圃場整備の進め方、1-26 地球出版(1967)
- 2) 農林水産技術会議事務局：大型機械化に伴う水田土壌基盤整備に関する研究、研究成果40(1969)
- 3) 農業土木学会農場整備モデルホ場企画委員会水田部会：大型機械化営農に適するホ場の形態基準(試案)、農土誌、36、509-543(1968)
- 4) 農業土木学会農場整備モデルホ場企画委員会傾斜地水田部会：傾斜地水田のホ場整備についての報告、農土誌、40、373-406(1972)
- 5) 金須正幸：農業機械の走行可能性、土壌の物理性、14、10-14(1966)
- 6) 農林水産技術会議事務局：重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研究、研究成果56(1972)
- 7) 農業土木学会：汎用耕地化のための技術指針(1979)

I-9 岩大工法

徳永光一*

岩大(ガンダイ)工法とは1960年~64年に岩手山麓の火山灰地開田事業の中で研究開発された、漏水性地盤の浸透抑制を計る開田工法である。岩手大学のグループ(石川武男, 浪瀬信義, 月館光三, 馬場秀和, 佐藤裕一, 古賀 潔, それに筆者ら)により創出, 普及, 拡張された。地域農民から岩大工法と通称されている。研究当事者は「破砕転圧工法」と命名しているが, 後述するように通称の方がこの工法を全面的に表現している観がある。

岩手大学のキャンパスは, 啄木が「ふるさとの山に向ひて 言ふことなし……」と歌った岩手山を間近に望む位置にある。したがって60年から始ったこの山麓の国営開田事業に筆者らがまきこまれるのは地理的關係から当然の成り行きであった。しかし岩大工法の開発には地理的要因を超えるいくつかの条件も必要であった。

1. 工法の背景

60年代に始った我国の高度成長も当時の東北の地方経済にはまだ大きな影響を及ぼしていなかった。戦後の緊急開拓で岩手山麓に入植した開拓者達は, やせた乳牛の2~3頭を大黒柱にして, 畜舎よりも粗末な麦わらぶきの小屋に住んでいた。表土下に厚いスコリア層の分布する岩手山麓土層は常習かんばつ地帯であった。

本命の開田工事を一日千秋で待ち焦れながら, 出稼ぎの方途もない彼らは不毛の畑地で零細酪農に耐えていた。1960年, 開田の水源である岩洞ダム(岩手県玉山村)が完成し, その年から岩手山麓の開田工事も始った。翌年より開拓者にとっては待ちに待った田植が入植以来12年目にして始った。しかし, 開田地区内のほんの一部にしか用水が回らず, 大部分の苗は本田で立枯れとなった。激しい漏水田ばかりが造成されたためである。盛岡市内にある農林省の岩手山麓開拓建設事業所は農民のムシロ旗でとり囲まれた。幹線水路からの分水口を拡張し, 割当て取水量を増やせという要求であった。

しかし計画減水深 27 mm/日¹⁾で設計された各地区の取水量を変更するわけにはゆかない。限定された総水量は 2,500 ha の開田予定全地区に計画どおり配分しなければならない。第2年目以降最終7年目までの開田地区は, 初年度地区に勝るとも劣らぬ漏水性地盤の地域である。

種々の対策が検討された。その一つは開田後の経年的な減水深通減に依拠すれば, 一定の用水量で逐年的に灌漑面積を増大させうるから, その増大速度に合わせて開田工事を進める方策が考えられた。しかし通減により計画減水深まで低下しうるかどうか問題となった。傾斜地開発の通性として岩手山麓事業地区は小団地散在型で用水路が樹枝状に細分化されているため上記の“水延び開田方式”が大きな制約を受けることが明らかにされた²⁾。結局, 浸透抑制工法が第一義的重要課題となった。

浸透抑制工法としては, ベントナイト, 床締め, ビニール水田, 青刈ライ麦のスキ込み, プル代播きなどが検討され, その有力候補については試験も行われた³⁾。

だが実効ある方策は発見できず, 浸透抑制工法には独自の研究が必要となった。

(a) 一筆内の浸透分布の実態

1959年山崎ら⁴⁾は水田一区画内の局所に直径 13 cm ほどの円筒を垂直に打込み, その部分の降下浸透量を短時間に測定する新しい計器を案出した。筆者らもこれを使用し, 改良し⁵⁾ながら東北各地の火山灰地水田一筆内の浸透分布を多数測定した⁶⁾。

この調査により浸透抑制工法への貴重な手がかりが与えられることになった。すなわち一筆内降下浸透は切土地盤部ではその上に耕土があっても浸透が激しく, 盛土地盤直上部では少ないという傾向が, 測定した水田のほとんどに見られた。したがって, 水田地盤を全面盛土層とすれば浸透はかなり減少するはずである。そのため均平化した水平地盤のうち切土部分を一旦耕起破砕し, 盛土状態にしてから転圧すればよいという発想が生れた。

(b) 岩洞ダム用土の透水試験

切土地盤と盛土地盤すなわち自然構造土層とそれを掘削攪乱した盛土層の透水性が著しく異なる事例は上記した火山灰地水田の例に限らない。筆者は1957年に岩洞ダム用土の沖積砂礫層の透水性試験においても経験した。その詳細は別紙⁷⁾に記したが, この土層では自然構造土層を移動し盛土にすると透水係数は 1/100~1/10,000 へと減少した。この減少率は大きな幅をもつが, 盛土層はその盛土条件によって著しい透水性の変化を生ずるため 100 倍もの幅を生じたのである。この盛土条件とは主としてその土の水分含量であった。乾燥していれば盛土転圧しても透水係数は大きく, 十分な湿潤状況であれば小さくなる。この水分問題は切土地盤の破砕条件と共に破砕転圧工法確立の過程で重要な課題となった。

以上見て来たように浸透抑制工法へのアプローチは, 地理的に岩手山麓開田地帯を超える地域での水田浸透調査やフィルダム土質試験などの研究がベースとなった。

* 岩手大学農学部

そして、①自然構造土は著大な浸透性をもつこと、②盛土層は自然構造土に比べて透水性が小さいが、なお条件によってかなり大きな幅をもつこと、の認識が工法創出の土台となった。さらに農民達の切実な社会的状況は、後述するように手弁当での水田施工管理へと発展し、工事の成功や工法確立に大きな力となった。

2. 工法の確立

自然構造の切土部を耕起破碎し、転圧した後どこまで浸透を抑制できるか、27 mm/日 の減水深に到達できるか。岩手山麓の普通開田の実績は 100 mm/日 級の漏水田であり、これを計画値以下に納めることが現実の課題であった。この課題を解決し、重機一貫施工による開田工法としてまとめるには2つの側面について研究が必要となった。1つは破碎・転圧法にかかわる土壌物理的ないしは土質力学的研究であり、他の1つは重機の工程編成や施工管理にかかわる研究であった。この両面は互いに他の側面への配慮が必要であった。

(a) 破碎転圧法の原理

(i) 破碎の意義 自然構造の切土地盤はかなり粘質な土層であっても粗孔隙に富み、とくに火山灰土では肉眼で見える針孔状の孔隙が著しい。透水性が大きいものこの孔隙の発達によるものと思われるが、破碎によって自然構造がもつこの連続的粗孔隙が全く解消される点が、まずもって重要な意義であった。

つぎに、自然構造土は地盤として支持力も大きい。10~20 t級のブルドーザ履帯によって踏圧をかけても、地盤圧縮はほとんど生じない。粗孔隙も圧潰されない。多少の圧縮効果を生ずるのは表層から 5 cm 程度までである^{7,8)}。在来の普通床締めが十分な浸透抑制効果を持たないのもこのためであった。岩手山麓、青森、茨城、熊本などの火山灰地盤のコーン支持力は、いずれも 10 kg/cm² を越える大きさをもつことが調査された。しかし、これらの地盤は鋭敏比が 5~15 と高いことも判明したので、地盤の耕起破碎は転圧の段階で、鋭敏比の逆数だけ転圧砕土層の強度を低下させる効果がある。その結果、転圧効果があがり圧縮による塑性変形は砕土層底面まで及ぶことが明らかとなった⁹⁾。

(ii) 締め水分と透水係数 破碎土を転圧する段階で再度、連続的粗孔隙が発生すれば浸透抑制の実をあげえない。この点については締め時の土壌水分が大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。転圧仕事量が同一でも乾燥土を締め時の透水係数 k は、湿潤土のその数十倍から数千倍となる。この開きは転圧エネルギーが少いほど大となる。 k が最小になる湿潤状態は野外における自然含水比であり、 10^{-8} cm/s 級にまで低下するから、計画減水深まで浸透抑制することは十分可能との見

通しを得た⁷⁾。ベントナイト、PVA など浸透抑制剤も不要となった。含水比が減少し、塑性限界や最適含水比付近になると締め土の密度は増大するが、 k も急増する。火山灰土は自然含水比からの乾燥過程では不可逆的脱水を生ずるため最大密度×最小透水係数になるのだが、このため浸透抑制の施工管理は透水性を直接測定する必要を生じた。その方法として破碎転圧工法では“浸潤計”の開発が行われた。また、 k が最小値付近になるように転圧するには、塑性限界より湿潤側の自然含水比であることを確かめねばならない。そのため破碎転圧工法の現場では砕土を手のひらでローリングし、径 3 mm の“土ひも”が出来れば、塑性限界以上の水分と判定し、転圧工程の実施に移らせるという水分管理法を立案して施工管理に組み入れた。

締め時水分により k が大幅に変動する原因は何によるものであろうか。塑性限界(大略 pF 3.0) 付近を境として、それより乾燥側では締め土の構造単位が粒状となる。粗孔隙は粒子間空隙として砂の場合のように網目状に連続して透水性の良好な構造を示す。塑性限界より湿潤になると構造単位は mm 単位の直径をもつ大きな団塊となる。団塊はゲル状で飽水しているが、その水は難流動水である。したがって自由水の流動空隙としては団塊間の特大空隙となるが、団塊同志が接点で融合しているため空隙の連続性が不良となり、透水性は低下する。締め時の水分が増大するほど団塊の融合は進み、団塊間空隙は孤立状態となるため k は一層低下する⁹⁾。

(b) 破碎転圧法の工程編成

1960年、ムシロ旗で事業所を取囲んだ農民達の初年開田地区で最初の破碎転圧試験田が造成された。1週間過ぎても湛水の無くならない状況を見て農民達は矛をおさめた。開田工事への関心が高まり、筆者らとの話し合いが生れていった。漏水田に見合う水量を確保するより、水温、地温が高く施肥の長持ちする美田造成の方が遙かに有利であることを彼らは瞬時に見抜いたからである。

大型ロータリー耕耘機により地盤を 35 cm 耕起砕土した後、ブル履帯で砕土全面を 3 往復転圧すれば約 25 cm 厚の不透水層ができる。これにより日浸透量 10 mm 級の耕盤ができ上る。何の資材も必要としないので経費も低廉である。しかし、耕盤が確実に造成されても傾斜のきつい山麓では、それを支える盛土地盤が滑ったり事故は絶えなかった。畦も人力土羽で造るものが多く、粗弱で漏水が激しかった。したがって、破碎転圧の効果を実際に有効化するために、水田構造の総体にわたり重機作業の仕様を体系的に定める研究が必要となった。年々進む 200~300 ha の工事規模の中で 60年、62年、64年⁹⁾ と 3 次にわたる工法仕様書の改訂がなされ、64年のものが岩手山麓の定式工法となった。この工法の全作業体系

から見れば、破碎転圧工程はほんの一部にすぎず、基盤、畦、耕土の各工程さらには田区沿いの道・水路造成に至るまで試験に基づく施工仕様が定められていった。したがって、耕盤造成が不要な場合には破碎転圧工程を削除しても、なおこの工法の利用価値は残ると思われる。岩大工法と通称される所以であろう。

また、この工法仕様書は施工者に対する工程別の仕様解説と並んで、施工管理にあたる耕作農民に対して管理仕様が併記されている。例えば耕盤造成工程の前後には、前記した「土ひも作り試験」や「湿潤強度測定」などが定められている。その他ほとんどの工程に計測管理がきめられた。土地改良区ごとに組織され、施工管理の講習（講師は筆者らによる）を受けた農民達は手弁当で現場に出た。

当然のことながら、施工業者側からは厳しい工事だと苦情が出された。しかし、当時の国産ブルは故障が多く能率も悪かった。農地造成の施工法などはブル・オペレーターの経験と勘にまかされていた時代である。岩手山麓でも施工管理ぬきで、業者まかせの施工をした地区も一部に生じた。しかし、このような地区では過大浸透と共に、開田初年の田植から法面滑りが続出し、岩大工法によって再工事が行われたりした。施工を科学的に定式化することなしに克服できる土地条件ではなかった。

3. 工法の普及・拡張とその意義

こうして本工法は岩手山麓の開田と共に、その前期、60～64年に誕生したが、それ以降の時期は他地区への普及期となった。この普及は69年の開田禁止令で一頓挫を迎えるが、水田圃場整備やカドミウム汚染田更生の工法としてひき続き応用され、さらに現在では用水溜池工法として拡張されている。

(a) 普及期 65年前後には東北各県の漏水地盤地帯の開田工事に応用された。それらの地区には、非火山性土である石礫地帯なども含まれたが、破碎転圧の効果は顕著であった。また、茨城県下の関東ローム台地開田もこの頃に行われ地区平均減水深は岩手山麓と同じく10mm/日級が実現した。収量も600 kg/10aを越え、品質も2等米以上で、コンクール入賞農家が出る状況であった。熊本、宮崎の火山灰地帯でも開田試験が行われ成功し、普及が始った。印象深いのは青森県屏風山砂丘地帯の開田であった。30 mm/日級の試験田造成に成功したが、国営事業の方針転換で開田となり中絶したことであった。

工法誕生後、わずか5年で開田中止となり普及は抑制されたが、我国で水田造成が困難だとされた地域のほとんどにおいて、開田の可能性を実証した意義は大きいものがあつたと云えよう。

今後アジア途上国の水田造成に活用されるべきだと考える。

(b) 圃場整備 70年代に入り水田基盤整備が水田工事の中心をなしてきたが、我国水田の51%を占める傾斜地水田は漏水田が多い。圃場整備と云っても傾斜地の場合は基盤造成からやり直しであり、実質的には開田と同規模の施工内容となる。長野県塩尻市における八ヶ岳火山灰系の山間漏水田は石礫含量も高い困難な圃場整備であった。この工事に本工法が応用され、圃場整備工法としての拡充再編が図られた¹⁰⁾。

我国の水田整備は平坦地では75%が終了している。しかし傾斜地では38%が終ったにすぎない。ここでは、盛土法面の滑動破壊、大きな地盤浸透など岩手山麓で遭遇した課題と同一の問題を抱えている。

また、80年以来連年の冷害はとくに傾斜地で問題となる。標高の高い場合が多いからである。冷害対策の基本である田水温上昇や深水は浸透抑制が根本であり、大きい堅固な畦が必要である。これらのいずれもが岩大工法水田では叶えられる。10a区画で造成されたまま20年を経過した岩手山麓水田は、その後の転作、兼業化などのため荒廃が進んでいる。しかし、精農家は当初の水田を今日も守り、80年冷害においても600 kg/10aの収量を維持した。異常気象下の水稻作について、本工法が今一度見直さるべきだと思われる。

(c) カドミウム汚染田の更生 73年に茨城県七会村でカドミウム汚染田の更生工事が本工法によって行われた。依頼主はカドミ対策としては上乗せ客土を考え、その一部下層を岩大工法により浸透抑制層にしようとした。目的は工事後に切換える非汚染水源が僅少であり、工事前のザル田状態を脱却しなければならぬということであった。筆者らのグループとしては20～30 cmの客土では水稻根が耕盤を貫通し、汚染旧土に到達してカドミウムを吸収することを懸念した。そこで汚染旧土層を破碎転圧し、さらに依頼主の希望である客土層下半部も転圧耕盤とした。その詳細とてん末は別紙¹¹⁻¹³⁾にゆずるとして、客土層直下の汚染土層を破碎転圧することで、その還元土層化が実現された。水稻根は汚染土層まで貫入したが、カドミウムは不活性化されており、玄米中濃度は自然含量以下となった。中干しや非かんがい期も通じて周年完全な還元状態を維持できたことは、本工法の新しい可能性を引出した工事であったといえる。

破碎転圧層は透水係数が小さく、限界負圧も数100cm級と高いため、大気にさらされるような乾燥さえなければ常時閉鎖状態を維持する。まして湛水下においては閉鎖浸透土層となり、塩入の“土層分化”理論によって還元化が進行するであろうことが筆者らのねらいであつた。

た。土地改良事業の中で水田の降下浸透理論を意識的に活用した事例の一つであろう。

(d) 破碎転圧池 かねがね破碎転圧水田を拡張し、用水溜池を造ることを念願していた筆者らのグループは、80年に2ヶ所、82年に1ヶ所溜池を造成した¹⁴⁾。これらは、池底地盤を破碎転圧して約60 cm厚の不透水層を造り、周辺はやはり地盤土をもって大型畦あるいは土堤をめぐらしたものである。3つの池はいずれも池底が地下水位より高く、漏水性地盤上に造られている。旧来の素掘池のように地下水以下まで掘下げて貯水するものではなく、地下水の揚水や上流からの引水を水源とするが、施工後の池底浸透損失は水面蒸発量以下という微小なものであった。工事費はゴム・シートより安い。宮城沖、日本海中部地震により竣工早々から震度IVの経験を受けたが、現在まで何の事故も生じていない。

今日農用ポンドは各種人工資材を用いて造成されているが、これを技術の進歩と云うべきであろうか。3つの破碎転圧池は、岩手大植物園池(水面積1,200 m², 最大水深1.2 m)、花巻市養鯉池(2.4 ha, 4.5 m)、久慈市保安林用水池(1,000 m², 1.5 m)である。いまだ土地改良事業での利用が行われていない。破碎転圧という土層改良技術を水源構造物に直結することは農業土木技術の自己完結へ一歩を進めることでもある。造成は安価に可能であるから、逼迫する水資源の活用上からも重要と思われる。

4. 今後の課題

(a) 畑地造成への応用 我国の食糧自給を考えると、水田を基幹としながらも畑地や草地の開発は基本的命題に含まねばならない。

畑地造成における最近の問題は、改良山成畑工などの結果生ずる土砂流失である。盛土地盤の滑動破壊も大きい災害であり、自然破壊の非難も浴びている。

水田の国土保全性については、ここで改めて論ずる必要はないが、畑地を如何に保全的に造成するかの視点より水田に学ぶことは重要であろう。

水田の保全性は降水流出に対する田面貯溜能と排水系の完備に依るところが大きい。田面湛水機能がそのまま保全性につながるということは水田にとって幸運なことではある。しかし、常時湛水を維持しながら傾斜地階段地形を保全し、風雪に堪えていることはやはり注目に値しよう。

そのような階段盛土の水田基盤造成技術の蓄積は階段畑工などに活用できよう。改良山成畑の場合も盛土高が10数m以下であれば、水田基盤造成法で対応できる。

また、水田の土畦と同じものを畑面や畑面末端の盛土法肩に設ければ、畑面流出を分割して導流し、ガリ発生

防止に大いに役立つであろう。通常の畑面承水路は溝として造られるが、1~2度の豪雨で土砂埋没し機能を失う。しかし、土畦は畑面上に突出するので導水断面が溝型の数倍となり、土砂を沈積させつつなお埋没し難い。

水田と畑で最も異なる点は、田面は水平で貯溜能をもつが、畑面は計画勾配を与えられるから降雨流出が流下する点である。この点は土砂流出対策上、畑造成独自の問題として解決しなければならない。水田の保全性の大きい理由が、その階段地形にあるとすれば、畑の保全性を考える上でも畑面地形について、有利な形態を追求する必要がある。例えば流出が集中し、ガリの発生しやすい凹面地形を排し、流出が広く分散する凸面地形の畑面造成計画を立てるといような課題である。現在の畑造成計画には、降水流出と畑面地形の関係についての検討がほとんどなされていないと思われる¹⁵⁾。

(b) 自然地盤の透水性 岩大工法確立の背景として、切土地盤の著大な透水性について記した。火山灰土の場合には多数の管状孔隙が見られる。直径2~3 mm級から1 mm以下まで大小あるが、自然構造土塊を両手で割って観察すると、孔の縦断面が部分的に数cmの長さに見え、連続性が良さそうである。岩大工法を実施した各地の火山灰地盤土に共通の孔隙特性であった。この孔が大きな透水性を決定していると考えて来たが、どのような連続性をもつのか? 破碎転圧土層の構造研究からすれば、粗大間隙は団塊間隙として存在するが、それは団塊の融合により随所で断絶され、連続性をもちえなかった。自然地盤の粗孔隙はなぜ連続性を形成しえたのか? 筆者にとっては長い間の疑問であった。

最近、筆者らは土壌用のX線造影剤(液体)を開発した。これを自然構造土に浸透させ、軟X線の透写により、火山灰土の毛管孔隙の連続的形態を撮影できるようにした^{16,17)}。現在までの知見を簡略に記し、今後の課題を示したい。調査土層は岩手山麓の牧草畑と普通畑であった。主として粗間隙のみを不飽和となるように水分調節してから、造影剤を浸入させた。得られたX線フィルム像は、耕起を行う普通畑表層を除き、植物根系の姿であった。4~5 cm角の不攪乱試料土断面を縦横に走り分枝し、屈折しながらも良好に連続した毛管孔隙の発達が著しかった。根群域深度の試料には写真と同一位置に孔径よりやせた老朽根などが発掘確認され、撮影された孔隙群は“根成”と判定できた。1 m以下の褐色ローム層も孔隙分布は根系影像に酷似する形態を示し、しかも一層密に分布し、連続性も極めて良好である。しかし、試料土を解剖しても根体は発見できず、空洞であった。したがって、根成であることの証明はなお時間を要すると思われるが、開発した軟X線透写法により、締固め土も含め孔隙分布や浸透の新たな研究が前進できそうであ

る。

引用文献

- 1) 東北農政局岩手山麓開拓建設事業所：岩手山麓事業誌，6—18，同事業所（1968）
- 2) 浪瀬信義・徳永光一：岩手山麓における開田工法の研究(I)，農土研，31(1)，22—29（1963）
- 3) 石川武男・徳永光一・月館光三：岩手山麓における開田工法の研究(II)，農土研，31(2)，80—87（1963）
- 4) 山崎不二夫他：水田の降下浸透量の新しい測定法，農土研，27(6)，1—6（1960）
- 5) 山崎不二夫他：浸透量迅速測定法の改良について，研究の資料と記録，12，3—8（1961）
- 6) 徳永光一：その頃，そして学位論文へ，畑地農業，256，2—12（1980）
- 7) 石川武男・徳永光一・月館光三：岩手山麓における開田工法の研究(III)，農土研31(5)，13—19（1964）
- 8) 山崎不二夫監修：土壌物理，248—260，養賢堂（1969）
- 9) 岩手大学農地造成研究会：岩手山麓開田工法の解説，1—12，農林省岩手山麓開拓建設事務所・岩手県農地林務部（1964）
- 10) 岩手大学農地造成研究会：傾斜地水田の圃場整備施工法について，1—93，農土学会東北支部（1980）
- 11) 徳永光一他：カドミウム汚染田の更生工法について，農土誌，43(10)，24—30（1975）
- 12) 徳永光一他：カドミウム汚染田の更生工法について(続)，農土誌，45(12)，23—31（1977）
- 13) 石幡 信・徳永光一：砂柱モデルにおける浸透型と溶存酸素分布の相関性について，農土論集（投稿中）
- 14) 竹中 肇他：農用地の開発整備と水利用，第7章，畑地農業振興会（出版準備中）
- 15) 竹中・徳永他：東北地方における農用地造成と畑地かんがいのための技術指針，畑地農業振興会（1983）
- 16) 徳永・成岡・深谷：軟X線による土壌間隙の立体投影像について，S 59 農土大会講演要旨集，318—319（1984）
- 17) 徳永・成岡・深谷：重液浸入法の開発とそれによる土壌間隙の軟X線透写像についての考察，農土論集，114（1984，印刷中）

I—10 土 壌 侵 食

前 田 乾 一*

1. はじめに

現在，土壌侵食は世界的な土壌悪化要因の一つとして，社会的側面から多くの問題提起がなされている。わが国においても，農業上における土壌侵食問題の重要性が認識され，研究の必要性が強調されてきたところである。しかしながら，この問題について，研究体制あるいは観測体制が組織的に応じてきたとは言い難く，研究成果の蓄積も少ないといつてよい。このことは，傾斜地の大部分を占める森林の植生が良好に保たれ，また傾斜地においても個々の農家レベルで保全対策がとられてきたため，過大な侵食量を招くにいたらず，潜在的な可能性としては認識されても，農業全般のなかの重点課題としてとりあげられなかったことに関係がある。しかし最近では耕地面積の拡大が傾斜地に及び，また既耕地においても大規模な圃場整備が行われるなど，受食性の高い土壌が露出する可能性が高まっており，加速的な土壌侵食が生じる懸念が指摘されている。

ここでは，ある程度組織的に実施された土壌侵食に関する研究成果について概略を紹介し，問題点を考えてみたい。

2. 地力変動観測調査

この調査研究は土壌保全調査事業の一環として，1959年から1973年にかけて全国の主要地点において，耕地の土壌侵食量とこれに影響する要因を明らかにすることを目的として行われた。全国的見地のもとに，水食13カ所，風食2カ所の観測施設が設置され，各県の農業試験場が調査研究を担当した。本研究で要因としてもっとも重点がおかれたものは，栽培・営農条件であり，各県とも作付体系，資材施用，耕起法等に関して各種の処理区が設定された。

この間の研究結果は「我が国の耕地における水蝕と風蝕——地力変動観測調査——」¹⁾としてとりまとめられた。以下に要点を列記する。

(a) 降雨および土壌の流出量については，10°以下の緩傾斜地の平均では，降雨の流出率は標準作付区で2.0%，裸地区で10.8%であり，また降雨100 mm相当の流出土量は標準区で10 a 当り9 kg，裸地区で199 kgであった。年間の流出土量は標準作付区で10 a 当り230

* 農業環境技術研究所

kgであった。このように、良好な土壌管理のもとでは侵食量は少ないことが実証された。

(b) 流出土の月別の発生分布は、標準作付区、裸地区とも6, 7, 8月に集中しており、この期間に年間の60~70%に達した。月別分布には降水量とともに作付の状況が影響している。

(c) 降水条件と侵食発生の関係では、緩傾斜の鉾質土壌裸地では10~20mmの積算降雨後3mm/30分程度の降雨で流出水が発生し、6mm/30分の降雨になって流出土が発生する。一方、火山灰土壌では15~20mmの積算降雨後2~3mm/10分程度のやや強い雨で流出水が発生し、4mm/10分の降雨となって流出土が伴うようになる。作付区では降雨強度が約2倍となった時点で流出土の発生がみられた。

(d) 土壌間比較では、火山灰土壌は鉾質土壌に比べて流出水、流出土ともに少ないが、流出水の単位量当りの流出土はむしろ多い。

(e) 周年裸地化された場合には、年雨量1,500mmでは2.8t/10aの侵食量となったが、植生による防止効果は高く、流出土は20分の1に低下した。牧草栽培の侵食防止効果は高いが、現実の草地では地形、規模、管理などの面で不利な要因が作用することもある。

(f) 営農対策としては、畦の方向、牧草帯等による区画の分割、深耕、マルチ、堆肥施用等の侵食防止効果が検討された。斜面上下方向の縦畦では、等高線方向の横畦に比べて、平均値として流出水が約2倍、流出土が約4倍に達したことから、横畦の侵食防止効果が高い点が明らかであった。しかし、傾斜、起伏等の条件によっては、横畦では畦の決壊による侵食増大の危険性も指摘された。区画の分割は流出土を46%とし、また、深耕は67%とする効果があった。敷わら等のマルチは流出土を35%まで、また堆肥の施用は63%まで低下させた。

(g) その他、作物の生育、収量をはじめ、土壌の物理性の変化、養分の流亡等についても詳細な検討が行われている。風食についても北海道、栃木の両県で研究が行われた。

3. 農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究

この研究は1973年度から1977年度にかけて、農林水産技術会議事務局のプロジェクト研究として、広範囲の分野の研究者が参加して行われたものである。この研究では、環境保全という視点から、侵食、崩壊に対する生態系の防止機能を具体的に示すことにより、農林業のもつ土地保全機能の評価を行うことが目的とされた。とりまとはめ第6集まで出版されたが、第3集中の耕草林地における土地保全機能の解明³⁾、第4集中の環境保全指標

の設定³⁾、第5集中の環境保全的土地利用技術と管理方式⁴⁾の各項に収められている。研究内容を大別して要約するとつぎのようである。

(a) 耕草林地における土地保全機能の解明

(i) 侵食に及ぼす林木の種類および伐採の影響等が測定された。ブナ天然林の測定例では侵食量はきわめて少なく、 19×10^{-3} t/年/haにすぎなかったが、伐採跡地ではこれよりも7倍の侵食量となった。林相による侵食の相違は林床植生密度等の要因が介在するものとみられた。伐採による侵食増加は、伐採後2年目まで顕著であり、3年目から急減する。この場合、搬路の土壌悪化による侵食増加が目立っており、大型機械を入れる場合の望ましい条件が提示された。表面侵食防止の面で落葉地被物の効果は大きく、これに関して降雨強度との関係が明らかにされた。

(ii) 人工草地の侵食状況の観察から、人工草地では斜面の中~下部にかけて溝状侵食が多発しており、これは家畜の蹄傷に起因することを明らかにした。造成前の湧水の流路は造成後も侵食溝となり、また道路からの排水も侵食溝をつくる原因となることを示し、造成計画段階での配慮が必要なが指摘された。

(iii) チャの栽植と土壌侵食に関しては、引き抜き抵抗等の根の条件、うね間の管理条件等について検討された。根部の土壌保持力は樹齢や根の深さとの関係が深く、茶園が成木化するにつれて侵食防止機能が高まることが示された。

(iv) 土壌の種類による受食性の程度を、浸潤能、分散能など各種の性質をもとに評価し、分類した。黒ボク土では腐植層が厚いほど受食性が小さいことをはじめ、土壌断面調査と傾斜の状況から土壌の耐食機能を推定できることを明らかにした。

(v) 土地利用方式と土壌侵食の関係では、傾斜ライシメーターによる収支測定から、降雨の地表流出率は7~52%の範囲にあるが、被覆度の高い植生ほど流出調節機能が高く、土壌流出量もこれに対応していることを明らかにした。降雨の地表流出量(Q)は降雨量(R)との間に $Q = CR^n$ の関係があり、相関が高い。地目、植生別の常数が定められた。

(b) 農林漁業における環境保全指標——土地保全に関する指標値の設定

(i) 水食発生の危険性を予測するための要因として、気象、地形、地質・母岩、土壌の各要因をとりあげ、水食に対する要因強度の基準値を設定した。基本土壌図の作図単位ごとに要因の強度を評価し、それらの組合せによって水食発生の危険性をI~IVの4段階に類別して図化する方法が検討され、縮尺別の予察図が作成された⁵⁾。

(ii) 林地の土地保全指標については、傾斜および地質

についてそれぞれ3区分した。傾斜要因では 20° 以下、 $20^\circ \sim 30^\circ$ 、 30° 以上に区分し、また地質について荒廃危険度によって分けた。その他、地形として谷密度について2区分を設けた。以上の区分によって1～3の評点を与えた。

(iii) 桑園について土地保全の立場から、傾斜 8° 以下、 $8^\circ \sim 15^\circ$ 、 15° 以上の3区分と、工法、栽植法、土壌管理の対比表をつくり、造成および土壌管理に対する指標が設定された。

(iv) 草地についても、傾斜と裸地率をくみ合せた評点、地質の評点などによる区分が試みられた。

(c) 環境保全的土地利用技術と管理方式
(省略)

4. 土壌侵食要因に関する一連の研究

土壌侵食に関連して農業土木関係では研究報告が多く、また昭和54年には農業土木学会に農地保全研究部会が設置されて、研究の相互連携を進めてゆく方針が定められており、今後の研究の発展が期待されている。従来行われてきた研究の総合的なレビューをここで行うことはできないが、アメリカで侵食予測に広く用いられる Universal Soil Loss Equation (USLE) に関連して、わが国における条件の特殊性を要因の算出基礎にどのように生かしてゆくべきかについて一連の研究が続けられているので、これらを主体にとりあげてみる。

USLE のわが国への適用にあたって、種田^{6,7)}は昭和24～27年に京都大学上賀茂試験地で得られた実測値から、USLE で用いられる EI_{60} にかわって、わが国のすべての気象台の気象台帳に記録されている最大60分降雨強度を用いた EI_{60} によって代替できることを明らかにした。これによって各地域の降雨係数 R を計算し、国内の R の分布図を示した。細山田⁹⁾の火山灰土壌を用いた実測においても、流出土量と R_{60} の相関は R_{60} の場合とほぼ同じであることが示されている。このような結果からみて、全国的に統一した基準として、最大60分降雨強度 I_{60} を使用することになれば、予測式の活用につながるものといえよう。

土壌係数については、標準試験区からの流出土量によって求められるが、また土壌の性質から判定するには粒径組成によるノモグラフが使用される。種田⁹⁾はさらに間げき率を要因としてつけ加え、 K 値の補正を行うことを提案している。その他、土壌の受食性には各種の表示法があるが、最近では徳留¹⁰⁾は分散率、粘土率、浸入度の3つの性質による表示が妥当であるとした。わが国特有の火山灰土壌は、土壌自体の性質として受食性が高い数値となるが、実際には水の浸透が良好で保水力も高いため、表面流出水が発生し難く、必ずしも侵食量は多

くない。土壌の粒径等のみでは判定し得ない面がある。内田¹¹⁾は下層土の透水性を要因として、侵食量増加率という考え方を提案しているが、このような方向での受食性の表示法はとくに今後の問題として提起できよう。

その他、傾斜・斜面長係数、作物係数、保全係数についても若干の修正法が種田によって提出されている。

わが国では標準試験区（アメリカの基準では斜面長22.1m、傾斜9/100の裸地）等による侵食量の実測データがきわめて少なく、以上のような補正または表示法についても限られたデータにもとづいているにすぎない。しかし、今後傾斜地の開発等が進むにつれ、また傾斜地における作物栽培様式の多様化につれて、問題の重要性が具体化してくるものと思われる。わが国固有の侵食予測法の確立が望まれるところである。

5. 土地改良事業計画設計基準 (計画 農地保全)¹²⁾

この基準は1979年7月に制定されたものである。1957年に制定された旧基準を、農業土木学会関係の専門家による検討をとおして改訂された。土壌侵食をめぐる従来の知見、研究成果をもとに、農地における土壌侵食（水食）の軽減のためにとるべき保全対策を、具体的技術として定めている。傾斜地における農地開発または大規模圃場整備が進められるにあたっては、この基準に従って施工されることになるので、その意味は大きい。この基準では本文の一項ごとに解説欄が設けられて、理解しやすく構成されている。従来の研究成果を現場での適用の面から集大成したものといえるし、また今後の研究もさらにこのような基準の完壁化を目標として進められる面が多いであろう。

内容は6章に分かれ、第1章総論、第2章調査、第3章計画、第4章計画に当たりの地域別留意事項、第5章効果及び評価、第6章維持管理となっている。このうちの計画樹立の基本的考え方について、第3章につきのように記されている。

1. 流域全体の土地保全の一環として、関連する他の事業と調和のとれた計画とする。
2. 地区における水食の原因を十分検討し、地域的特殊性を考慮した計画とする。
3. 水食防止対策としては、単に排水路等の整備にとどまらず、営農による水食防止を加味した合理的な計画とする。

この基本線に沿って、計画排水量の算出法および排水路、農道の施工法等の解説が行われている。なお、詳細は松田¹³⁾による解説がある。

6. おわりに

土壌侵食の研究は農業土木、土壌肥料、気象、作物等の各専門分野でこれまで行われてきたが、研究例は少なく、また組織的な研究としては上記事例にとどまっている。したがって侵食量の測定結果も少なく、要因ごとの解析を行うほどのデータの積み重ねがない。このことは、わが国では侵食が既存耕地の生産力にかかわる要因としての比重が相対的に小さく、研究需要が少なかったという背景によるものであろう。しかし環境保全的見地、国土資源の見地から、土壌侵食に関する研究の必要性が高まっていることは事実であり、研究サイドとしても実験室的な解析にとどまらず、わが国特有の立地条件、農業条件にもとづいた要因のとりあげ方が必要であろうと思われる。このような特殊条件として、急傾斜、短斜面などの地形条件、花コウ岩風化土等の高受食性土壌および侵食機構に問題を残している火山灰土壌などの土壌条件、野菜等の裸地化率の高い作物の栽培などの作物条件、機械化に関連した管理条件などがある。土壌侵食防止をとおした土壌の量の維持、保全のためには、これらの要因ごとに軽減策が講じられねばならない。そのためには、試験条件の設定をはじめきわめて困難な問題をのりこえて、現場に即した数値を求め、これを総合的に活用してゆくことが必要であろう。

なお、本論文では風食については割愛した。

引 用 文 献

- 1) 農林水産省農蚕園芸局農産課：わが国の耕地における水蝕と風蝕——地力変動観測調査，1—237 (1979)
- 2) 農林水産技術会議事務局：「農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究」試験成績書 (第3集)，1—116 (1979)
- 3) 農林水産技術会議事務局：同上 (第4集)，1—30，(1979)
- 4) 農林水産技術会議事務局：同上 (第5集)，283—342 (1979)
- 5) 本村 悟：水蝕発生予察図の作成，ペドロジスト，23，2—10 (1979)
- 6) 種田行男：わが国における流亡土量の予測，農地保全の研究，No. 1，11—20 (1980)
- 7) 種田行男：農地の侵食——その現状と保全対策——農及園，57，3—8 (1982)
- 8) 細山田健三：黒ボク土における流亡土量，農地保全の研究，No. 1，21—32 (1980)
- 9) 種田行男：農地の土壌侵食量の予測，農土論集，56，8—12 (1975)
- 10) 徳留昭一・氏家 勉・山崎清功：水食と土壌の物理性，土肥要旨集，28，6 (1982)
- 11) 内田勝利：土の侵食性と物理的性質，土壌の物理性，39，50—56 (1979)
- 12) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 (計画 農地保全)，1—59 (1979)
- 13) 松田 豊：計画基準「農地保全」について，農地保全の研究，No. 1，55—64 (1980)