

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

土 壌 の 物 理 性

第16号

昭和42年3月

巻 頭 言.....	八 幡 敏 雄... 1
水田土壌の断面形態と生産性.....	岡 本 春 雄... 3
水田土壌の硬度と水稻生育.....	滝 嶋 康 夫...10
粘土質の暗キョ施工田における排水.....	丸 田 勇...16
透水と水稻の生育について.....	石 原 邦...22
水田作土の構造と水稻生育.....	出 井 嘉 光...27
深耕と水稻生育.....	山 沢 新 吾...33
総 説	
比表面の測定.....	須 藤 清 次...39
第8回土壌物理研究討論会総合討論要旨	
——土壌断面を中心にして——.....	43
アンケートについて.....	45

土 壌 物 理 研 究 会

東京都文京区弥生1の1の1 東京大学農業部農業地水学研究室内

土壌物理研究会会則

- 第1条 本会は土壌物理研究会と称する。
- 第2条 本会は土壌の物理性を中心とする試験研究の発展と農業技術への貢献を図ることを目的とする。
- 第3条 本会はその目的を達成するため次の事業を行なう。
- 1 研究発表会、討論会及び見学会などの開催
 - 2 土壌の物理性 (Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan 会誌という) 並びにその他の印刷物の発行
 - 3 内外の研究、技術の交流及び他の学会、諸団体との協力
 - 4 その他本会の目的を達成するため必要な事業
- 第4条 本会の会員は正会員及び賛助会員の2種とする。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。
- 正会員 年額 500円
- 賛助会員 1口年額 5,000円
- 第6条 本会に次の役員をおく。
- 会長1名、副会長1名、評議員、会計監事若干名及び幹事若干名。役員を選出は総会において行ないその任期は1年とする。但し再任をさまたげない。
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- 第8条 本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。
- 第9条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。
- 付 本会の事務局は当分の間下記におく
- (昭和42年4月以降)
- 東京都文京区弥生1の1の1
- 東京大学農学部農業地水学研究室内

「土壌の物理性」投稿規定

- (1) 投稿は本会会員に限る。ただし共著者の場合または編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
- (2) 原稿の採否は編集委員会が決定する。編集委員会は要すれば文章の加除修正を行なう。ただし内容についてはこれを著者に依頼することがある。
- (3) 投稿には400字詰横書きの原稿用紙を用い、用語、図表等は関係学術雑誌の規定にならって執筆すること。
- 枚数は16枚程度を一応の規準とする。
- (4) 投稿は以下に示す種別にしたがい、その内容は土壌の物理性に主体をおくものとする。
- 《報文》 他誌に未発表のものに限る。書き方は方法、結果、考察ならびに総括(摘要)の体裁をとり、引用文献を明らかにすること。
- 《論説・綜説》 土壌の物理性に主眼をおき、広い視野に立って記述したもの。
- 《資料》 既に発表した報文または発表予定の内容を各分野の参考資料となるよう書き改めたもの。
- 《解説》 物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介を含む。
- (5) 原稿には下記形式の送状をつける。報文のみ初刷りは著者校正とし、印刷ずみの原稿は返さない。

発送年月日		受付年月日	
種別		原稿枚数	
表題		図表数	図枚、表枚
著者名		写真数	葉
所属		別刷	30部+ 部

- (6) 別刷は30部を著者に贈呈する。それ以上希望する場合は実費を申し受ける。
- 付記：投稿及び会誌編集に関する通信は下記宛のこと
- 東京都文京区弥生1の1の1 東京大学農学部農業地水学研究室内土壌物理研究会編集委員会

巻頭言

土壌物理研究会に寄せる二つの期待

会長 八幡敏雄

あらためていうまでもないが、本会の目標は土壌物理の研究をさかんにし、それによって農業技術に貢献する（規約第2条）ところにある。会員各位もおそらくは皆その目的で参加しておられるに相違ないし、筆者のつもりもまた同じである。

だがしかし欲張りな筆者はこの研究会に実はもう一つの役割を期待し、それによって会員であることのメリットを二重に享受したいと願う者である。会に寄せるもう一つの願い、それは土壌の物理性が媒介してくれる広い横へのつながりである。

一体、わが国では応用科学の研究分野が、技術に関与する行政官庁のセクションによって系列化されている場合が大へんに多いのだが、農学の諸分野はとりわけ行政と深い関連をもつ産業であるだけ、それだけ多くその傾向が顕著だと云ってよい。

研究分野が強い行政力と結びついていることは、一面合理的であり、場合によっては頼もしいことだとさえ云えるかも知れないが、それが他面ではかえって研究それ自体を限定された視野にとじこめ、その創造性をきわめ、その研究分野に多かれ少かれ自家中毒の症状を起させている点は見逃すことができない。科学、技術に携わるものは、時に自らその囲いを乗り越え系列の外に出て新鮮な空気を吸い創造力を蘇らすように工夫しなくてははいけない。

とは云ってもこのことの実行は必ずしも容易ではない。なかだちとなるメディアもなしに慢然と横のつながりをまさぐってみても、労多くして効果はあまり上らないのが通例である。

さいわいなことに、土壌物理研究会には物理という一つのメディアムがある。一つの共通語。どの研究分野の専用語でもなく、どの研究分野でも使うことば。それがこの研究会にはあるのだ。エネルギー、

仕事、力、密度、流量、粘性、温度、熱量、伝導性、などなど。研究分野によって使いなれのようにいくばくの違いはあっても、いずれもわれわれにとっては改めて説明を要しない共通語である。

本会の機関誌「土壌の物理性」が、どうひいき目に見てもスマートとは云えないその外観にもかかわらず、その内容には意外に参考となるものが多く、また毎年ひらかれるシンポジウムにも他では味えぬ話のやりとりが聞けるということは、何と云ってもこれら共通語のおかげだとおもう。

会が目ざす第一の目標は冒頭に記述した通りであるが、そのような目的をかかげた会が、またまた縦の系列化の著しいところに発足したということについて、筆者は改めてその存在を大へん意味あるものように考えるのである。

昨秋の総会ではからずも筆者は今期の会長をお引受けすることになった。不敏もとよりその器ではないが、以上のような期待をいただきつつ、この会が多くの会員にとって一層、加入の甲斐があるものとなるよう精々努力をしてみたいと思う。会員諸氏のかかわらざるご援助を切にお願いする次第である。

(42. 3. 18)

水田土壌の断面形態と生産性

岡 本 春 夫*

水稲の生産性は気象の影響をうけることは当然であるが、水田土壌の性質に関係することも事実である。

特に水稲はその生育中における土壌の変化によって、養分吸収に影響し、ひいては生産性を左右することとなる。もっとも影響の大きいのは気象であるが、類似気象条件のもとでは、品種および施肥計画が同様であれば、ついで水稲の収量に関係の深いものは、土壌の性質であろう。

1. 断面形態による分類

そこで、水田の土壌を約1mの深さまで掘って、その断面の状態を次の条件によって調査し分類した。これが農林省の方針で実施した施肥改善事業による土壌調査である。

(1) 分類の基準となる断面の形態

泥炭、黒泥およびグライ層はその断面中にあらわれる位置、すなわち深さによって、それぞれ土壌を区別した。

1) 泥炭について

- i) 泥炭層の厚さ50cm以上のもの
- ii) 泥炭層の厚さ上部(50cmの深さ)に20cm以上あるもの
- iii) 泥炭層を有しているが、上記にぞくさないもの

2) 黒泥について

- i) 黒泥層の厚さ50cm以上のもの
- ii) 黒泥層の厚さ上部(50cmの深さ)に20cm以上あるもの
- iii) 黒泥層を有しているが、上記にぞくさないもの

3) グライ層について

- i) 全層グライ層のもの
- ii) 作土下からグライ層となるもの
- iii) 50cm以内より下部グライ層のもの
- iv) 50~80cm以下グライ層のもの

次に土色、酸化沈積物、土性、砂レキ層、構造、密度および作土の厚さなどを組合せて区分する。

4) 土色について 作土および作土下の色をマンセル

の標準色に照合してきめる。分類には黒色、褐色、黄褐色、灰褐色、灰色および青色に区分する。

5) 酸化沈積物について 作土の沈積物は「とむ」「含む」「あり」の三階級に、作土下の沈積物についてはその形状で、糸根状、膜状、層状、斑点状(結核を含む)マンガン斑などとし、さらに脈状および管状にわけた。

6) 土性について 作土については次の8種類に区分した。

S→砂土系, LS→壤質砂土系

SL→砂質壤土系, L, SiL→壤土系

SCL→砂質植壤土系, CL, Si, CL→植質壤土系

SC, LiC, SiC→植質土系, HC→重粘土系

作土下の土壌については次の4種類に区分した。

S, LS→粗粒質 SL, L, SiL→中粒質

SCL, CL, SiCL→細粒質 SC, LiC, SiC, HC→微粒質

7) 砂レキ層について 砂レキ層の出現する位置により次のように区分した。

- i) 30cm以内より砂レキ層となるもの
- ii) 30~60cm以下砂レキ層のもの
- iii) 60cm以下砂レキ層のもの

8) 構造について 構造については作土と作土下において調査し区分した。

- i) 作土の構造
 - a) 粒状, 小塊状
 - b) 無構造
- ii) 作土下50cm以内の構造
 - a) 粒状, 塊状, 盤, 柱状など
 - b) 無構造

9) 密度について これは山中式硬度計によって作土下50cm以内の層の示す最高密度の硬度(指示目盛)で次のように区分した。

- i) 25以上
- ii) 19~24
- iii) 11~18
- iv) 10以下

10) 作土の厚さについて 次のように区分した。

* 日本鋼管株式会社

- i) 10cm以下
- ii) 10~15cm
- iii) 15cm以上

(2) 土壌類型と土壌型

基準項目の1)~3)および7)によって分類したのが土壌類型であり次のとおりである。

- 1) 泥炭質土壌 (分類番号10)
- 2) 黒泥土壌 (// 20)
- 3) 強グライ土壌 (// 30)
- 4) グライ土壌 (// 40)
- 5) 灰色土壌 (// 50)
- 6) 灰褐色土壌 (// 60)
- 7) 黒色土壌 (// 70)
- 8) 黄褐色土壌 (// 80)
- 9) レキ層土壌 (// 90 a)
- 10) レキ質土壌 (// 90 b)

泥炭、黒泥、グライ層および砂レキ層の出現しない水田土壌はその土壌の色調によって灰色土壌から黄褐色土壌まで分類した。

さらに、土色、土性、酸化沈積物など、その他の基準要因により、それぞれの土壌類型に土壌型として、

- 1) 強粘土型
- 2) 粘土型
- 3) 壤土型
- 4) 砂土型

さらに、斑鉄、マンガンの集積、構造などで区分し、神奈川県の水田土壌を10種類の土壌類型と34種の土壌型に分類した。

2. 土壌区分と水稲収量

神奈川県内に分布する7土壌類型、25土壌型に対し53カ所の現地試験を実施した。

試験方法はできるだけ共通した方法とするため、種子および品種は県農試生産のものを供試し、施肥法は荒代施肥とした。その結果は表一1に示すとおりである。

これは土壌類型別、一部土壌型別にとりまとめたものであるが、土壌類型によって収量の傾向に特徴がある。強グライ土壌は収量が少なく、そのためもあってか変異係数は小さい。変異係数は排水のよくない黒泥土壌から排水の良くなる灰褐色土壌となるにしたがい小さくなる。

玄米収量の絶対量はグライ土壌、灰色土壌さらに酸化的な灰褐色土壌となるにしたがって、施肥量を増すことにより増加することが可能である。

土壌はその母材、堆積様式および生成過程などによ

表一1 土壌類型と水稲収量

土壌	事項 地点	玄米収量 (kg/a)				わら収量 (kg/a)			
		収量	同比	偏差	変異係数	収量	同比	偏差	変異係数
黒泥土壌	9	36.6	100	±5.62	15.3%	31.0	100	±16.10	20.0%
(21)粘土型	4	40.5		±4.12	10.2	88.0		±15.19	17.3
(22)壤土型	5	33.4		±4.75	14.2	75.4		±15.66	20.8
強グライ土壌	6	34.5	94	±3.74	10.8	68.1	84	±10.40	15.6
グライ土壌	8	39.8	109	±6.25	15.7	90.4	111	±14.95	16.5
(42)粘土型	5	42.2		±5.36	12.7	95.7		±10.43	10.9
灰色土壌	8	36.6	100	±4.97	13.6	87.6	108	±8.55	9.8
(52)壤土型	3	34.7				84.5			
灰褐色土壌	7	36.7	100	±3.27	8.9	74.7	97	±7.10	9.5
(62)壤土型	4	37.5		±2.88	7.7	70.8		±3.56	5.0
黒色土壌	3	36.7	100			79.3	98		
レキ質土壌	8	43.5	119	±4.92	11.3	95.5	110	±22.02	23.1

注 施肥量はa当りN0.5, P₂O₅ 0.45, K₂O 0.56kg

り、その性質を異にするので生産力にも差異を生ずる。特に水田土壌の生成はかん水、タン水および落水という特殊環境において行われるものであるから、畑土壌と異なり水の著しい影響を考えなくてはならない。

かん水、タン水および落水という操作も土壌によって異なるので、水田土壌の外的因子としての水、内的因子としての土壌微生物の働き、および物理化学的性質との関連が水田土壌の性質を規制するゆえ、類似した母材、同様な堆積様式である地域の土壌は、水との関連を主たる指標とした区分が生産力と密接な関係を有することになる。

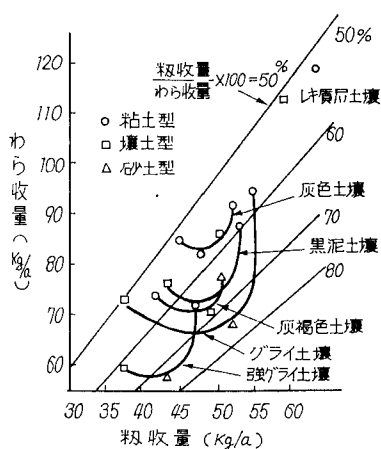
また、粒径組成が土壌型を決定する一要因であり、そしてその配列が土壌中の水の動き、成分の富化溶脱などに関係が深い。しかしこの粒径組成といえども土壌類型によって収量におよぼす影響に差異がある。

要するに、断面形態などで区分した土壌類型はその土壌独自の性格を有し、これが収量に影響するものであるから、この区分方法にさらにいくつかの要因を加えることによって、一層収量との関係を密接なものとする事ができる。

玄米収量を増す一方法として、登熟歩合をよくし、籾わら比を大きくすることが考えられる。この籾わら比は土壌類型によって異なるが、その傾向は類似している。図一1にその傾向を示す。

レキ層、レキ質土壌は他の土壌類型とはその成因および水稲の生育収量に関する要因を異にするので別に考えることにする。

この図一1に示すように、土壌類型群はそれぞれ左か



図一 土壤型と収量の動向 (収量とわら収量の相関)

ら右へ、そして上部へのカギ形の相似形でわら収量と収量の関係が表現されている。この左から右への横軸にそっての動き、すなわち、収量におよぼす影響は数多くの要因の集積の結果としてあらわれるものであるが、特に水稻生育中の土壤の酸化還元程度によることが多い。この結果は形態的には土色および沈積物の判定によるが、特に dipyriddyil による呈色反応の強さ、酸化還元により変化する鉄化合物の多少などに関係する。酸化沈積物の少ない場合には収量が減少する傾向がある。また incubation により Eh が低下する程、さらに Fe^{2+} の生成が早期に多くなるもの程、わら収量に対し収量が少ない。したがって、還元度の強い土壤は水稻の初期生育が悪く、有効茎歩合を低下し、収量に致命的な影響をあたえる。

たて軸にそっての動きはわら収量の増減を示すことになる。わら収量におよぼす影響は土壤における酸化、還元に関係する鉄化合物および有機物が比較的多いことで、タン水による Fe^{2+} の生成もそれ程急激ではなく、Nの供給も順調で茎葉の伸長が生育初期からよく、成熟期にまでおよび Fe^{2+} の存在も登熟期までつづき、わら収量が増加するものと思われる。粒徑組成もわら収量に影響し、砂質系の土壤型は他の土壤型に比してわら収量が少ない。これは Fe^{2+} の溶脱、生成の時期的変化などが関係するものである。

壤土型の土壤ではマンガンなど酸化沈積物の多い土壤が収量を大にする傾向にあり、作土の土性やマンガンおよび斑鉄の有無がいかなる種類の土壤においても同様な影響をあたえる。故に形態分類には土性、酸化沈積物が重要な要因となる。

黒泥土壌の場合は酸化沈積物および Fe^{2+} の生成の遅速などが、形態区分に加えられるべきであろう。

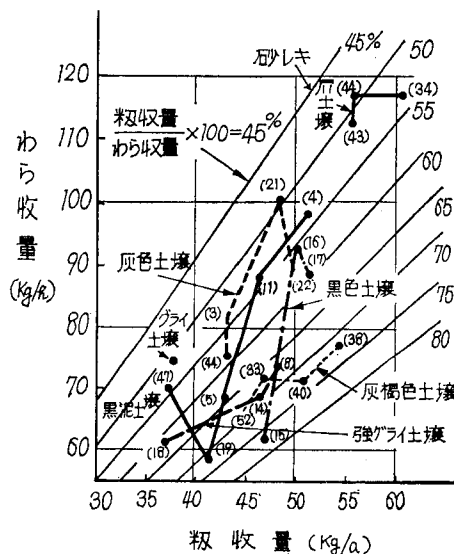
強グライ土壌およびグライ土壌群でも、同様な傾向が認められる。これらの場合、生育全期における Fe^{2+} の生成、特に生育後期における Fe^{2+} の存在が、わら収量の増加に影響しているようである。またわら収量はかん水、排水など水稻栽培中における水管理によって著しく影響をうける。その影響すなわち、変化は Fe^{2+} の生成に関係する酸化、還元、易分解性有機物の存在、酸化沈積物の種類および量などが問題となる。

黒泥土壌、灰色土壌および黒色土壌はこれらの影響を強くうけ、灰褐色土壌、レキ層土壌および強グライ土壌は比較的弱い。強グライ土壌は酸化還元の変化を与える外的条件が少なく、常に還元的であり、灰褐色土壌およびレキ層土壌とは趣を異にしている。

灰褐色土壌およびレキ層土壌は有機物が比較的に少なく、水稻生育期間以外は Fe^{2+} の存在が少ない。

玄米収量の増大を期待するためには穂数を確保し、さらにその稔実をよくすることである。このためには出穂期前後から登熟期における水稻の茎葉に含まれるNとCの均衡が重要である。すなわち登熟期における Fe^{2+} の生成量の過多および過少は、いずれも養分吸収に不均衡をもたらし、正常な登熟を妨げる結果となり、収量に影響をあたえる。

形態分類による土壤群を土壤型別に区分すると、わら



図二 壤土型間における収とわらの収量の動向 (土壤類型別比較 () 内の数字は試験地番号)

収量と収収量の関係において、ある特定の形の相似形を示すことになる。

さらに土壌類型によって生ずる収量差を検討するために、各土壌類型にぞくする壤土型の収およびわら収量の関係を示すと図-2 となる。

黒泥土壌の壤土型の試験地は5カ所あるが、収わら比が50~55%の間に3点、65から75%付近に2点となっている。

黒泥土壌の区分の主要因は黒泥層の出現位置と粒径組成であるが、水稻の収量との関係を明確にするためには、これらの条件のほかに、さらに酸化物など土壌中の酸化沈積物の種類と量、Ehの低下限界などを区分の要因として加えることにより、収量とより密接なものとすることができ、ここに示したようなばらつきを少なくすることが可能である。

強グライ土壌ではこれらの関係が、壤土斑鉄型という独立した土壌型となっていて、収量も壤土還元型に比してすぐれた結果を示している。

灰色土壌でも同じ傾向がある。

灰褐色土壌は全体として酸化型の土壌であるので、以上の土壌類型とはちがった条件によって玄米収量が変動しているものようで、玄米収量、わら収量ともに変異係数は小さい。

すなわち、黒泥土壌に属する壤土型においてみられるように、No.47は酸化還元の変化に対する緩衝作用が弱く、かん水によるEhの低下が速やかにあらわれ、その

程度も大きい。このため水稻の初期生育も悪く、穂数も少なく、玄米収量も少ない。No.4はこれとは反対の傾向を示している。

灰褐色土壌はわら収量および収収量ともに変異が少なく、 Fe^{2+} の生成の少ないものが倒伏の程度にもよるが、わら収量が少ない。

さらに粘土型について同様に、その傾向を吟味すると図-3に示すとおりである。

黒泥土壌は壤土型の場合と同様の傾向である。これは黒泥土壌で収量と最も関係の深いのは、粒径組成ではなく他の条件すなわち、排水の良否、酸化沈積物の量および腐植含量である。これに水稻生育中の Fe^{2+} の消長を加えなければならない。

強グライ土壌では Fe^{2+} の生成が水稻生育の後期まで続き、このため養分の吸収が不均衡となり、登熟を悪くしわら収量を増す結果となる。

グライ土壌ではグライ化の程度がわら収量に関係している。すなわち暗渠排水等によりやや排水がよくなり、乾田化しつつある水田が多いので、かん水による還元化の程度を知る必要がある。これは易分解性有機物および酸化物の種類、量に関係するので、これらを適確に知る必要がある。

灰色土壌はその生成過程よりして、鉄およびマンガン等の溶脱の程度を知ることが必要である壤土型は土壌を均一に変化せしめるが、粘土型はやや部分的である。特に構造の発達状況に関係が深い。このことから水稻栽培期間中の Fe^{2+} の生成、Ehの変化など部分的な動きをし根の養分吸収に影響する。その結果茎数、穂数、さらには収量にまで影響するようである。

これらのことから、形態区分による分類とあわせて、排水の良否、水稻栽培中における Fe^{2+} の消長、特に生育の初期、幼穂形成期および後期の生成状況、調査時における酸化沈積物の色相、明度、彩度および湿土と乾土の色調と変異度等を明確にすることにより、一層収量と関係づけることができる。

壤土型の平均収量による土壌類型別玄米収量の傾向は次のとおりである。

強グライ土壌 (27.2 kg/a) < グライ土壌 < 黒泥土壌 < 灰褐色土壌 (37.5 kg/a)

3. 土壌類型と窒素のレスポンス

土壌類型別に窒素の用量試験を2期にわけて実施した。第1期は昭和29~31年、第2期は昭和32~34年である。その結果を図-4および図-5に示す。

収量の絶対量では灰色土壌の壤土型が2期にわたって

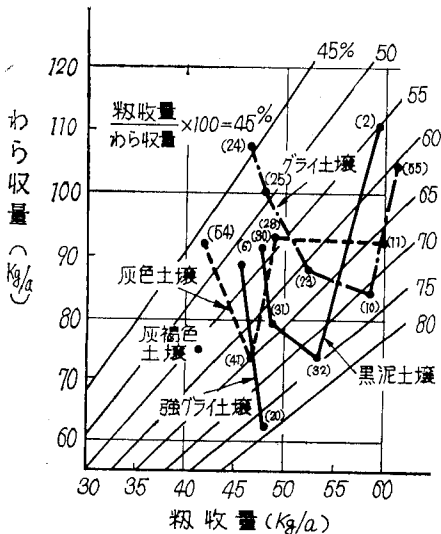
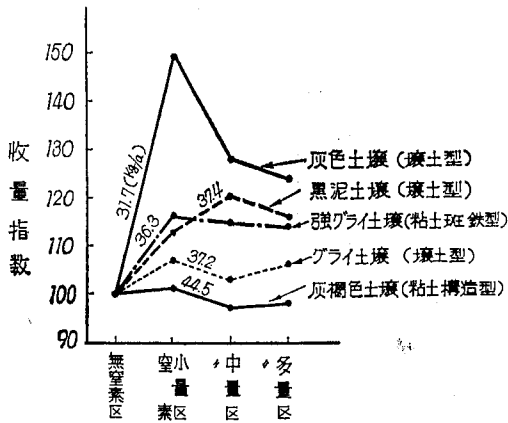
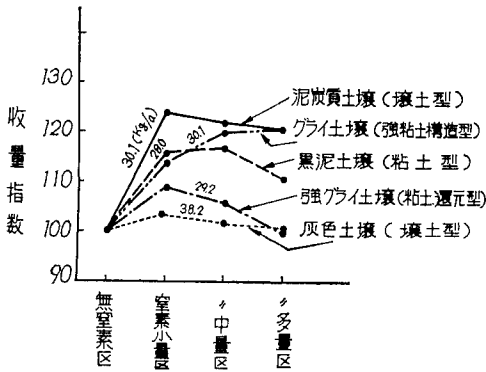


図-3 粘土型型間における収、わら収量の動向 (土壌類型別比較 () 内の数字は試験地番号)



図一四 土壌類型(土壌型)と窒素に対する応答性(その1)(無窒素区収量を100とした指数曲線, 数字は無窒素区のa当りの玄米収量)



図一五 土壌類型(土壌型)と窒素に対する応答性(その2)

最高を示した。第1期の灰色土壌の壤土型は老朽化水田に近い性質を有し、養分の溶脱をうけている。第2期の灰色土壌壤土型は生成状況よりしてグライ土壌に近い。無窒素区の収量は概して少なく、少量の窒素施用によって著しく効果を現わすが、窒素増施の効果は認められない。

泥炭質土壌も同様の傾向がある。

黒泥土壌では粘土型と壤土型の二つの型の土壌で試験をしたが、粘土型は窒素少量区の施用量を他の土壌型に比し少なくし、その影響を調査したが、その傾向は壤土型とよくにている。

強グライ土壌では粘土還元型と粘土斑鉄型とについて試験を行なったが、窒素に対するレスポンスは同様の傾向を示し、試験年次は異なるが還元性の土壌は概して収量が劣り、その差は30%にもおよんでいる。

グライ土壌では強粘土構造型と壤土型について行な

ったが、窒素に対するレスポンスは他の土壌型と異なり、施肥量を多くすることにより、収量をます傾向がある。

灰褐色土壌は窒素に対するレスポンスは最も小さいが収量は比較的高い。

このように土壌類型によって窒素に対するレスポンスに差異が認められる。さらにそれぞれの類型に属する土壌型によって絶対収量を異にしている。これはその土壌類型のマイナスの要因を、土壌型としての性質でおぎなうことが収量に関係し、減収を防ぎさらに増収へ導くものと思われる。

グライ土壌にぞくする土壌型のみが、窒素多量施用で収量をましている黒泥土壌は窒素多量で収量が減少する。その他の土壌類型は窒素中量施用で下向する傾向がある。もち論この傾向は土壌型により多少の差異がある。

要するに土壌類型とそれに属する土壌型がそれぞれ特徴をもっているので、これらのことが窒素に対するレスポンスに対して差異を生ぜしめていることがわかる。

4. 土壌類型と炭水化物/全窒素比の動向.

最後に玄米収量を決定づけるものは茎葉中に造成された炭水化物が靱に順調に転流することであり、茎葉中に多量の炭水化物が造成されることである。

水田土壌の類型区分はこれら養分吸収、造成移動に対しても意味があり、水稻の生育収量に関係するものである。

石塚、田中両氏によれば幼穂形成期までは炭水化物の蓄積はほとんど行われぬが、それ以後茎葉中に主として澱粉の形で貯蔵されてくる、しかしその量は多くない。開花以後この澱粉は分解して、その時期に同化される炭水化物と共に主として非還元糖の形で穂に移動し、その結果穂に多量の澱粉が合成されてくるものである。

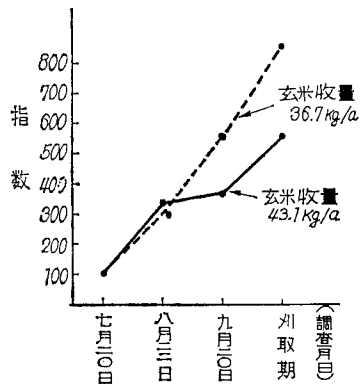
子実中に貯蔵される澱粉はその大部分が開花期以後に同化されたものであるとしている。しかしてこの水稻茎葉における全窒素含有率は幼穂形成期を最高として漸次減少し、澱粉合成の最盛期である開花期には収穫期の窒素含量を僅かに上廻る程度で、ほとんど窒素含有率は最低に近い状態となるが量的には開花期から収穫期まではほとんど大差がない。

したがって炭水化物/全窒素比はおもに、この期間の炭水化物の合成量の多少と、その穂への移動の良否によって変化する筈である。それ故に窒素の吸収量が最高となるのは開花期附近で、それ以後の増加は少ない。この期を転移点として炭水化物の同化が急激に行なわれ、穂を形成していくものである。

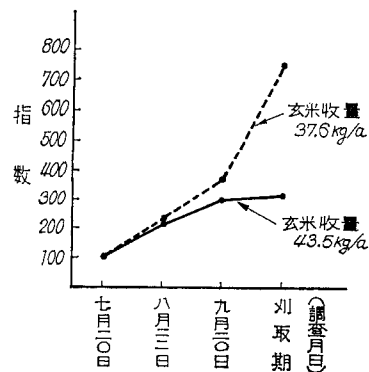
開花期以前に茎葉に蓄積した蛋白態の窒素はその後加水分解によって可溶性蛋白となり穂に移行する、また開花期以後に吸収された窒素も少なくともamideないし、amino 態となることが必要である、この合成に必要なenergyは炭水化物の消費を促がすであろう。

したがって茎葉に貯蔵された澱粉の分解によって生成される還元糖および非還元糖のすべてが穂の形成に役立つとは考えられない。そのために乳熟期、登熟期において茎葉中に窒素特に可溶性蛋白が過多となり、貯蔵炭水化物が不十分となり、さらに茎葉の熟色が不良となって、玄米収量の増大が困難となるであろう。この現象は9月、10月の気象の悪い関東において特に著しい。

黒泥土壌、強グライ土壌およびグライ土壌は易分解性有機物を含み、作土下においても窒素補給の場となることが多い。この意味からするとレキ層およびレキ質土壌は乳熟期ないし登熟期における窒素の過剰補給の場がなく貯蔵澱粉の蓄積移動がよく行なわれて玄米収量の増加が期待できる。もち論この場合根の伸長や根圏の状態が



図一六 黒泥土壌における炭水化物/全窒素比の時期別指数曲線



図一七 灰褐色土壌における炭水化物/全窒素比の時期別指数曲線

養分吸収に適する環境であることが必要である。

したがって茎葉中の炭素と窒素の比が大きいためにこのことについて土壌類型との関係を図一六、図一八、図一九に示す。

すなわち、炭水化物/全窒素比の傾向をみると、黒泥土壌では全体として直線的に上昇傾向を示し、収量の安定して高いレキ質土壌では上昇傾向はゆるやかである。さらに同じ土壌類型にぞく

する土壌型でも、収量の高いものは指数曲線の上昇傾向がゆるやかである。

このことについて次のように考えることができる。

Fe²⁺等還元物質の生成が多く、還元の著しい土壌型では、分けつ盛期(7

月20日頃)の茎葉中の窒素含量が高く(3.1%前後)その後窒素の吸収も高く終始する傾向があるが、炭水化物は反対に少なく、炭水化物/全窒素比が小さい。

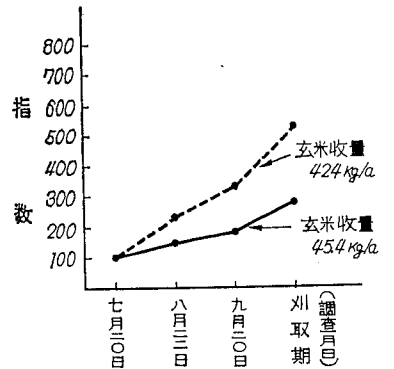
適度の還元状態にあり、Fe²⁺の生成もあまり多くない土壌型では、分けつ盛期の窒素含量は中程度(2.4%)前後で、その後の窒素吸収も順調に進み、炭水化物の生成が多く、炭水化物/全窒素比が大きい。

これらのことから収量の多い土壌型は炭水化物/全窒素比が概して大きく、しかもその増加傾向は収量の異なる土壌型に比して常に低い指数曲線を示している。

そして、出穂期以後の窒素の吸収と豊富な供給に原因するものは、i) 作土のNH₄の生成がこの時期まで続く場合 ii) 根系が作土を主体として生育している場合、iii) 下層に窒素の供給源が多い場合等である。このような窒素の豊富な供給とさらに光合成の不良は相対的に窒素の含有量を高くする。また、反対に光合成物質の移動が悪く停滞するために、炭水化物/全窒素比の大きい原因となることもある。

この時期になって温度の高過ぎが Fe²⁺の生成を助長したり、盛夏期の土壌還元でいためられた根が枯死することなどが原因で、水分の吸収が不良となるため炭水化物の生成はもち論、養分の補給が悪く、高収穫を期待し得ない状態となる。

窒素の供給の場として下層土壌が問題となるから、下層の状態を断面調査によって知る必要がある。易溶性有機物の豊富否、タン水後の二価鉄の生成、水の移動滲透に関係する土性構造の発達など配列の状況等を適確につかむことができれば、それらを加味して分類された土壌区、すなわち水田土壌の断面形態は収量につながる筈である。出穂期以後成熟期までの窒素過剰は炭水化物の増



図一八 レキ質土壌における炭水化物/全窒素比の時期別指数曲線

加を抑制し、穂部への転流を減少する傾向がある。

5. 二価鉄の生成と水稻収量

水田土壌は稲の生育期間中に大きな変化をする。それは第1層(作土)および第2層の土色、酸化沈積物の消失と再現である。現地ですべてを判断するには $\alpha-\alpha'$ Dipyridyl による Fe^{2+} の反応をみるのが最もよい。このことはまた酸化還元電位と相関が高い。

Fe^{2+} の生成は母材など生成学的差異によって異なる。特に易分解性有機物の存在は二価鉄の生成を多くし、有機物の少ない土壌型は少ない。 Fe^{2+} の生成は根の養分吸収および根腐れ現象に関係し、水稻の生育に影響するものである。しかし、この Fe^{2+} の調査はかかる意味において、その属する土壌類型および土壌型の特徴となり得るであろう。

土壌類型別に排水のよいものから配列すると次のようになる。

(a) 灰褐色土壌>灰色土壌>グライ土壌>強グライ土壌

さらに Fe^{2+} の生成量の多いものから配列すると

(b) 強グライ土壌>グライ土壌>灰色土壌>灰褐色土壌

すなわち、(a) の順序と (b) の順序とは反対であり、言い換えれば排水は灰褐色土壌において最もよいが、 Fe^{2+} の生成量は最も少ない。

水田土壌を形態によって区分した土壌類型は明かに水田土壌の動的変化にまで関係するものである。

二価鉄の生成は水稻の生育時期により異なるが、9月下旬(登熟期)における Fe^{2+} の含量と収、わらの比の関係を示すと次のとおりである。

すなわち、9月中、下旬の登熟期間中に土壌中に多量

の Fe^{2+} が存在することは、水稻根の枯死が多くなるか、或は生存していても Fe^{2+} イオンの吸収を増し、これが維管束の中で酸化をうけるが、他の成分と結合して、養分および水分の吸収もしくは体内の移行を妨げることが考えられ、炭水化物の造成に悪影響をもたらす、窒素の過剰吸収の様相を示し、わらの生産量の割合に、収の収量が増加し得ない原因となっているものと思われる。

これらのことから二価鉄の多量の存在は水稻の養分吸収に不均衡をあたえることがわかる。

しかし稲は鉄の要求度が高く鉄欠乏をおこしやすい傾向にあり、高城氏によると有機物の極めて少ない合成土壌を用い、タン水状態で稲を栽培すると、鉄のクロロシスを起すことがわかる。これは可溶性鉄の不足が原因であるという。

したがって二価鉄の多量の存在は Eh の低下との関係もあり、水稻の生育を不良にする。さらに鉄の不足は鉄欠乏をおこし、これまた順調な生育を期待することはできない。

そこで二価鉄の適量の存在が必要となる。この量は条件によって異なるが、著者の研究からは大体、乾土 100 g 当り、100~300mg の辺が適量のようなのである。

以上5項目にわたって述べたことは、ある条件のもとに存在する水田土壌を、その断面形態によって分類すると、土壌類型および土壌型はそれぞれ特徴を有し、生産力と密接な関係のあることがわかる。さらに水稻生育中の土壌の変化を加えることにより、より変異係数の少ない収量群とすることができ、収わら比の傾向も、また類似したものとするのが可能である。

収量のばらつきを示す理由にはいくつかのことが考えられるが、そのひとつに Eh, Fe^{2+} の動きのあることをみのがすわけにはいかない特に初期生育期、幼穂形成期から減数分裂期、それに出穂期から登熟期の過程において、Eh の低下は水稻の生産性に重大な影響をもっている。

分類した土壌類型および土壌型についてはさらにその欠点を軽減、除去することにとつて、水稻増産の端緒をつくる必要があると、可能となる。

したがって、水田土壌の形態分類は水田経営合理化への基礎的判断の資料であり、同時に増収対策樹立への道でもある。

表一 2 Fe^{2+} の含量と収わら比

土 壤 類型事項	9月下旬 の Fe^{2+} 量	収量(kg/a)		収/わら ×100	N施用量 (kg/a)
		収	わら		
グライ土壌、粘土型	86.4	35.5	68.2	52.0	0.56
黒泥土壌、粘土型	77.4	42.5	61.5	69.1	0.49
灰褐色土壌、粘土構造型	52.7	45.2	67.8	66.6	0.56
レキ層土壌、斑鉄盤層型	171	60.0	69.0	87.4	0.56
レキ質土壌、砂土盤層型	420	58.2	63.9	91.0	0.60

注 Fe^{2+} の量は乾土 100 g 当り

水田土壤の硬度と水稻生育

滝 嶋 康 夫

はじめに

水稻の生育基盤として、水田土壤の適性を「土の硬さ」の面からながめると、水田の造成、区画拡大やその後の機械作業には「硬い」ことが要求されるが、水稻生育そのものに対しては「軟い」ことが必要とされる。つまり土質学、土壤化学や作物生理の面から、土壤適性を総合的に判定しなければならない。たとえば、「水田区画拡大の難易」自体は土質学上の立場から主として評価されるが、これに続いて「水稻生産の障害」⁴⁸⁾⁵⁰⁾を除去、改善するための対策を確立することが望まれる。このことは基盤整備工事を例にとれば、事前に土壤の層位的な把握に基づいた工事設計の重要性を指摘すると同時に、事後の農作業効率の向上、生産力増強について土壤肥料分野における新たな研究の視角を提供しつつあるといえよう。筆者がここに「土壤の硬さ」をとりあげた目的は、もっぱら水稻の根系発達への阻害因子として水稻生産への影響を明らかにすることで、土壤の生産力や生産性的意義の一部に止まるにすぎない。この研究のねらいは次のようなものであった。

1) 圧縮による土壤のち密化状況を土壤類型と関連して調査する。

2) 「土壤の硬さ」の限界を測定数値を用いて明らかにする。

3) またこの影響を土壤生成に基づく自然土層と人工的な機械耕うんによるち密層とについて比較する。

4) 得られた成績に基づいて、ち密層と水田土壤の機械化適性の関係を検討する。

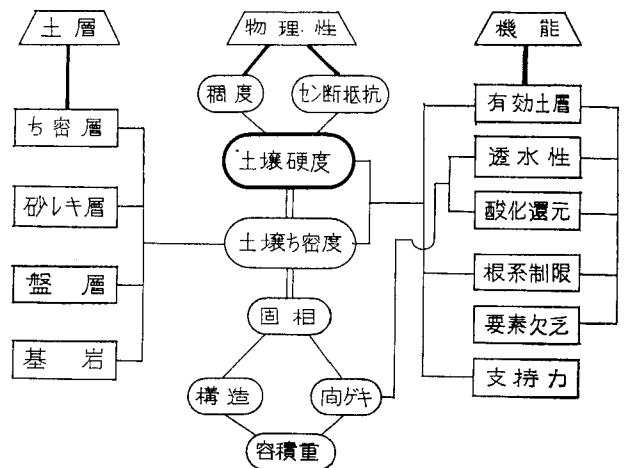
以下「土壤の硬さ」を土壤硬度として表わすことにするが、これはわが国の土壤調査で土層のち密度を表わす指標として用いられ、かつ多くの現地データが集積されている山中式土壤硬度計¹⁰⁾により計測される数値である。

そこでまず、土壤硬度が他の物理的諸元および土壤の諸性質と、どのような関係にあるかを考えておく必要がある。図一はこれらの関

係を模式化したものである。まず、山中は土壤硬度を土壤ち密度(soil compactability)の指標としたが、これは氏の理想土壤の研究⁴⁹⁾に示す如く、土壤粒子の配列の粗密が「土壤の硬さ」に直接的な関係をもつと考えたからである。土壤ち密度は、土壤の立体的構成要素として土壤に特異的である構造、間ゲキと相関する固相割合と同意義的な表現であると考えられ、また土壤の容積重とも密接な関係をもつとみなされよう。

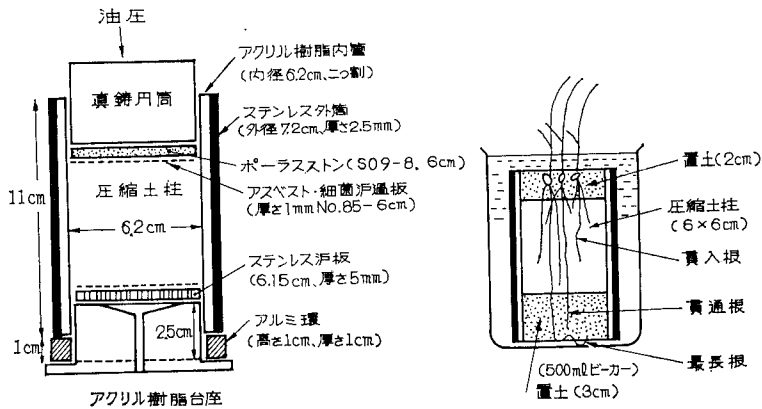
また土質力学の立場からみると「土壤の硬さ」は稠度(consistency)やせん断抵抗(shear resistance)によって代表される。前者の数値は ATTERBERG 限界(液性、塑性、収縮限界など)により、後者は3軸圧縮試験の強度等によって求められる。これらの数値と土壤硬度の示す数値との関係を土質力学的に明らかにすることは、本研究の直接のねらいではないが、土壤硬度計の原理的な問題としてその解明が求められよう。

さて、図式から知られるように、土壤ち密度は根系発達への直接的な制限因子としてみた場合に、いわゆるち密層のほか、密に堆積した砂レキ層、土壤粒子が粘土、鉄、アルミ、石灰などで半固結した硬盤層、あるいは基岩そのものが対象としてあげられる。そしてこれらの制限土層が作物生育におよぼす機能的な面としては、それ自身根系発達の場合となり得ない(根系制限)、また有効



図一 土壤硬度を中心とした物理性と機能

* 農業技術研究所



図一 2 土柱調製容器 (左) と根系実験状況 (右)

な土層量を制限することによって養分吸収に直接的な影響を与える。これらの制限層は多くの場合透水性を低下させるから土壌の還元化を助長し、酸素供給を制限して間接的に根系の発達、吸収機能を妨害するとみられる。このような作物に対する機能阻害とは別に、機械作業における土壌支持力 (bearing power) の増大に対して有利な存在であることはすでに指摘したとおりである。

ところで、土壌硬度の直接的意義としての根系発達に対する限界域をどのように考えたらよいであろうか。畑土壌生産力に関する研究協議会²⁰⁾では、土壌調査における根系観察と硬度の関係から指標硬度29以上(層厚 10 cm 以上)のち密層を根の伸長を許さぬものとして、有効土層から除いている。この限界値がそのまま現在も土壌の生産力的評価(生産力可能性分級)に利用されていることは、土壌調査の計測化とその応用の好例といえるべきであろう。しかしながら、硬度29という数値はまさにいかなる根も伸長できない条件であるように思われる。一つには有効土層の定義がかなりきびしい限界をとっているためであるが、土壌断面の観察によればさらに弱い硬度範囲にわたって根系発達に種々の差異が認められている。本研究は土壌の種類、性質とくに土性、水分との関係において土壌硬度の影響をどのように区分すべきかに重点をおいた。「大型機械化に伴う水田土壌盤整備の総合的研究」の一環として行ったもので、当然水稻を対象作物としたが、一般畑作物、牧草、果樹などについての比較研究も今後必要であろう。

1. 圧縮による土壌硬度の増大

供試土壌は水田土壌分類¹⁹⁾で泥炭、黒泥、グライ、灰色、灰褐色、黒色および黄褐色土壌にわたり、その中で

土性の差がつくように採取した。後の根系実験に供試することも考えて、図一 2 (左) に示す容器で圧縮実験を行った。このような core の作り方には色々の型があり³⁾⁴⁾⁵⁾ また硬度測定にも針型²⁸⁾、コーン型³⁾³⁹⁾ やシリンダー型³⁾³⁹⁾ を圧入する方法がある。とくに BARLEY ら³⁾ の小型計器による自動記録法は将来この種の実験に参考となる。

土壌の圧縮特性については、土質力学的な測定法があるわけであるが、ここでは土壌硬度と容

積重の増大に焦点を合わせてみた。硬度測定には同じく山中氏が試作された 2kg バネの硬度計が、このような小容積の供試体には好都合であった。この硬度計は従来の 8 kg バネに比して、コーンの長さ、底辺の径が 2 分の 1 で、圧入したとき指標目盛 (20mm まで) も丁度 2 分の 1 に出るから、測定値を 2 倍すれば正規の 8 kg バネによる測定値に換算できる。

図一 3 は沖積土壌を圧縮した例を示したもので、土壌硬度は圧縮圧力に伴ってほぼ一様に増大して指標目盛で 28—30 に集中するが、容積重は泥炭、黒泥土壌が小さく、全体として土壌類型毎に異なる。容積重のほか、土壌毎に真比重が違うので 3 相分布の割合もまた区々に変化する。このことは土壌硬度が土壌間の特性に関係なくち密性を表示できるという利点を示している。ところで、土壌硬度は水分状態と密接な関係があるので、どのような条件下で最も硬くなるかを調べてみた。その結果、土壌の最大硬度は実固めの試験において最大乾燥密度を示す含水比より大きい水分状態で圧縮して得られる。この水分状態は水が多少しぼり出される半湿状態に相当した。つまり圧密状態が起る条件といえることができる。次に、根系実験のために調整された土柱をタン水状態にすると、その硬度は 20—80% も低下する。このもどりはとくに膨潤性の土壌を除いてタン水による水分増加によるものである。一般に圧縮時の硬度が低いほど大きい。また砂質土壌はタン水による硬度の低下が大きい。

2. 土壌硬度と根系の発達

このもどった硬度の状態では、土柱の上に置土をし、これに水稻の発芽種子をまいて、根が土柱の中へどのように伸びるかを実験した(図一 2 (右)参照)。この結果を同

じく沖積土壌について例示したのが図-4である。そのほか、粗砂混入、土塊の大きさの影響、さらに人工土柱に対する自然土柱での成績比較を行った結果をまとめると、次のようになった。

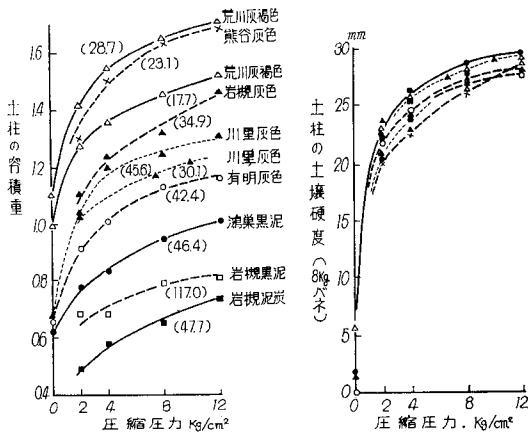


図-3 土壌の圧縮による容積重および硬度の増大 (左図の()内は圧縮直前の土壌含水比を示す)

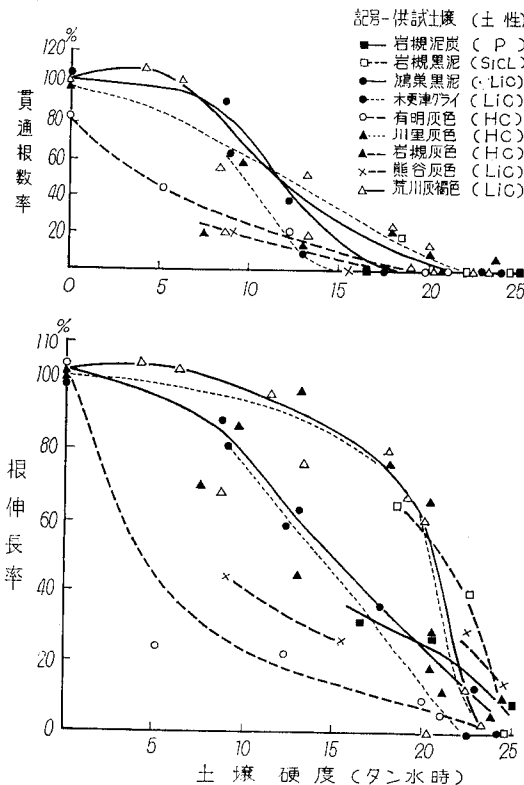


図-4 土壌硬度と幼植物根系の発達—沖積堆積物—

1. 圧縮土柱における根系の発達と土壌硬度

1) 根の土柱への貫入および伸長は土壌硬度と密接な関係がみとめられる。根の生育阻害の始まる硬度は大別して沖積土壌で10—15、洪積土壌で5—10、またほとんど根の生育の停止する硬度は前者で23前後、後者で20前後であった。砂質土壌およびタン水下で土壌還元の著しい土壌ではより低い硬度において阻害があらわれた。

2) 粗砂の混入は根の伸長をより強く阻害したが、25%のレキの混合はほとんど影響を与えない。

3) 沖積粘土質土壌の土塊が大きいときは(5—20 mm)、根伸長に対する阻害が大きかった。

2. 圧縮土柱における根系の発達と土壌物理性

土壌硬度以外の物理性、すなわち容積重および3相分布との関係は次のとおりである。

1) 土壌の種類により圧縮土柱の容積重は著しく異なるので、根生育の阻害に対する限界値は区々であることが認められた。

2) 圧縮土柱の固相率、したがって間ゲキ率も土壌の特性を反映しているので、根生育に対し一定値が認められない。

3) 気相率はかなり小さいが、還元化の著しい土壌を除いて酸素の供給制限による阻害的影響は弱いものと考察された。

4) 液相率は40—60%と大きい、有効水分域(pF 2~4)からみて、とくに強圧縮の試料ではある程度の悪影響の関与が推定された。

3. 自然土柱における根系の発達と土壌硬度

各種土壌の自然土柱を打ち込み法により金属筒に採取し、上記と同じ根系実験を行った結果は次のとおりである。

1) 根生育と土壌硬度との関係については前記圧縮土柱と同様の傾向がある。

2) 土壌構造ないし割れ目の発達した試料では、一般に圧縮土柱よりも阻害的影響の弱いことが認められる。

以上の結論として、根系の発達に土壌硬度が直接的な制限因子であることが明らかにされたといえよう³⁾¹²⁾¹⁸⁾³⁹⁾⁴⁰⁾⁴²⁾⁴⁴⁾⁴⁵⁾⁵¹⁾。従来の研究はほとんど畑作物の根系問題に集中されており、土壌の気相条件⁴⁾⁸⁾¹²⁾²⁵⁾⁴⁶⁾、有効水分-pF⁴¹⁾、土壌構造⁷⁾¹⁰⁾⁴⁶⁾などの影響が議論されている。これらについては別の機会に述べてみたい。要するに、タン水土壤中において水稲根が伸長できるための物理的条件としては次の2点があげられる。

1) 土壌中に根の太さ(直径)より大きい径をもち、しかも連続した空間(間ゲキ)があること¹⁾¹⁷⁾⁴⁵⁾。

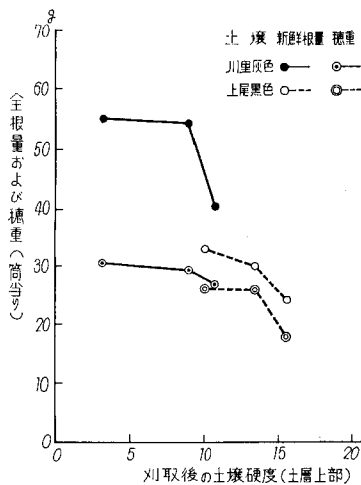
2) この空間がより狭いか、またはほとんどない時

は、土壤粒子の集合が疎であるか、摩擦抵抗が小さく根の伸長圧（膨圧）がこれより大きいこと。

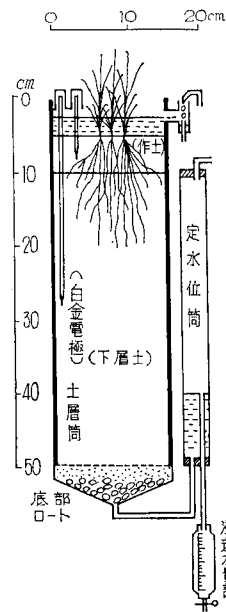
1)には下層土でよくみられるように、土壤の構造面、割れ目、根孔などに沿って根が伸びる現象も含まれる。2)の根の伸長圧とはどの位であろうか。沖積の粘土質土壤だと、根は土塊を貫いて伸びられるが、砂質土壤や火山灰土壤ではもっぱら間ゲキを求めて伸びることが観察される。火山灰土壤の場合は土壤粒子がローム層のようにち密なアグリゲートを形成していることのほかに²⁹⁾、土壤自体の不良化学性の影響があるようである。強還元を起す有機質の湿土土壤の場合も同じである³⁰⁾。いずれにせよ、毛管間ゲキが主体を占めている水田土壤中で径0.1~1.0mmの水生根が伸びるためには能動的に進路を開拓しなければならない。この問題については畑作物を用いた TARLORら³⁸⁾³⁹⁾、ほか数研究者²⁾⁸⁾¹¹⁾²⁶⁾の模型実験の結果が引用される。ここに BARLEY²⁾らの実験を紹介すれば次のとおりである。すなわち容器として三軸の test cell を使い、ガラス玉の層中にトウモロコシの根端を入れて、全体を透析膜でおおい、外から圧力を加える。この方法で根の伸長圧を求めると、根の伸びられない限界からして 5 kg/cm²程度と考えられた。この test cell は通気と水分補給に周到な注意がはらわれたことはいうまでもない。氏ははいわゆる根圧は 10kg/cm²を出ることはあるまいとした。筆者らの得た限界の硬度 23 は、丁度 10kg/cm²の抵抗値にあたるので、水生根もほぼこの辺が伸長力の最大値とみてよからう。

3. 土壤硬度と水稻の生育、収量

土壤のち密化による根系の発達障害は、実際的水稻生



図一六 人工土層の硬度と全根量および根重 (1965)



図一五 土層実験装置の内容

育や収量にどの程度影響するであろうか。この関係を知るため、突固め法により圧縮した人工土層および現地水田に金属筒を打込み採取した自然土層²⁷⁾を用い、土層実験を行った。この実験は径16.5cm、高さ50cmの塩化ビニール製の土層筒を6個ずつセットして、給排水装置、浸透水量計をつけ水稻を移植栽培するものである。図一五はこの装置を模式的に示したもので、人工土層の成績の一部を例示したのが図一六である。自然土層は泥炭から黄褐色土壤まで用いた。得られた成績は次のように要約される。

1) 人工土層では沖積灰色粘質土壤と火山灰黄褐色壤質

土壤を供試した。土壤硬度の増大に伴って土層中の根量が減少し、水稻の生育、収量も最高30%減少した。根系の発達障害の関係は圧縮土柱による成績とよく一致した。

2) 自然土層では泥炭土壤から、強グライ、灰色、黒色の各土壤を供試した。これらの土層をジャッキにより圧縮した結果、根量の減少と水稻の生育収量の減少がみられた。しかし人工土層実験の場合よりち密化の影響は弱く、減収率は20%を越えなかった。泥炭と灰色土壤の一部では、適度に圧縮された土層における生育がかえって良くなることが認められた。

3) その他、土壤の pH, Eh および NH₄-N, Fe²⁺の浸透状況を時期的に調査した。これらの理化学性が圧縮土層における水稻生育を主体的に悪化させる可能性は見出せなかった。

2)の適度な圧縮という表現はあいまいで、おそらく土壤粒子のち密化に伴う養分供給の改善と、酸素補給に適度な透水状態が重なる点が土壤毎に存在するものであろう。この点は今後の解明を期待したい。要するに土層実験の範囲では予期したほどの減収にはならなかったが¹⁴⁾¹⁵⁾、もともと根の伸長しにくいち密な下層土を用いたことと、したがって圧縮による土層悪化がそれほど大きく起らなかったためであろう。この実験でもし下層土だけでなく、作土の圧縮を加味すれば生育収量への影響はさらに大きくなったことであろう。

4. 生産力分級における土壌硬度の評価

耕地土壌の生産力的評価には可能性分級法 (capability classification) といわれる方法が採用されている²⁰⁾²¹⁾²²⁾。水田土壌についてはさらに農業構造改善適性分級法²¹⁾が提案されている。これは基準項目と呼ばれるところの土壌自体の生産力因子と環境因子を組合わせて評価する方法で、それぞれの項目の等級は必要に応じて要因項目といわれる細かい土壌の性質から判定される。土壌調査の密度や目的によって分級内容や手順に相異があるのは当然である³¹⁾³⁶⁾。

さて、今まで述べてきた土壌硬度の実験成績をもとにして、水田土壌の生産力可能性分級や適性分級への適用を検討する必要がある。たとえば、水田の区画拡大における表土処理の要否を判定するのに、不良下層土の混入や露出をどのようにとり扱うか³²⁾³³⁾³⁴⁾³⁵⁾、また水田土層の機械化適性では土層の透水性⁵⁾や支持力¹⁵⁾のほかにはち密度の評価をいかに加えるかなどの問題がある。ここには前に述べた「有効土層の深さ」(基準項目)について検討した結果について触れたい。その基準としてまず土壌硬度と根系発達の間接関係を整理してみよう。図-4に示したように成績の表示に用いたのは貫通根数率と根伸長率で、ともに根系発達の性格を表現する。前者は根数の増減を示すので「根量増加」の制限に、後者は根の伸長で

表-1 水田土層における土壌硬度の評価区分 (根系発達の制限因子として)

水分状態	硬度計(8Kgバネ)数値	土性区分	根量増加			根域拡大		
			1 容易	2 やや困難	3 困難	1 容易	2 やや困難	3 困難
湿	mm	強粘~精質	<11	12-19	>20	<17	18-22	>23
		壤質	<7	8-14	>15	<12	13-19	>20
		砂質	<5	6-9	>10	<7	8-14	>15
潤	Kg/cm ²	強粘~精質	<1.7	1.9-5.4	>6.3	<4.0	4.7-8.5	>10.0
		壤質	<0.8	1.0-2.6	>3.0	<1.9	2.2-5.4	>6.3
		砂質	<0.5	0.7-1.2	>1.4	<0.8	1.0-2.6	>3.0
乾	目盛	-	<22	23-25	>26	<23	24-27	>28
燥	Kg/cm ²	-	<8.5	10.0-14.0	>16.7	<10.0	11.8-20.1	>24.5

備考：土性区分の内容は次のごとくである。

区分(旧区分)	土性
強粘質(微)	SC, LiC, SiC, HC
粘質(細)	SCL, CL, SiCL
壤質(中)	SL, FSL, L, SiL
砂質(粗)	SL, S

注：次の場合は要因強度を1下げる。
 1) 土性が粗砂に富むSC, SCL, SLの場合
 2) レキ含量が40%(重量)を越える場合
 3) 火山灰土壌の場合
 土層の構造および間ケキの発達著しい場合は要因強度を1上げる。

きる土層の深さを示す意味から「根域拡大」の制限を表わすと考える。この方針でそれぞれ難易性を区分、評価したのが表-1である。この区分は、阻害率70%以下を容易、70~90%をやや困難、90%以上を困難とした。湿润時と乾燥時の硬度に分けたのは、土壌調査の際に排水の悪い湿田には前者を、乾田には後者を採用するように考えたからである。作付中と落水期における下層土の硬度変化はさして大きくないようであるが¹⁶⁾、表土からスキ床にかけての硬度変化はわずかな水分変化にも鋭敏であるから、いずれの区分を採るかは土層調査時の判定にまつべきであろう。同様の区分は水稻の生育、収量についてもおこなうことができる。

そこで有効土層の問題にもどる。有効土層とは根が物理的に貫入できる土層の意味で、土壌の生産力を表わす重要な因子である。この深さを従来単に基岩、盤層や硬度29以上のち密層までの距離で示したのであるが、この範囲における土壌の質的、量的内容には全く触れていない。物理性の評価を考へても砂レキ含量やち密度を加味するのが適当のように思われる³⁴⁾⁴⁹⁾。このような評価のしかたはむしろ「有効土量の多少」というべきもので、

表-2 「有効土量の多少」の分級法

要因項目について：

a. 基岩、盤層までの深さ

区分基準	深さ	要因強度
深い	>50 cm	1
やや深い	50-25	2
浅い	25-15	3
きわめて浅い	<15	4

(注) 極端なレキ層も含める

b. 下層土の最高ち密度

区分基準	湿润硬度	乾燥硬度	要因強度
中	<17mm	<23mm	1
大	18-22	24-27	2
極大	>23	>28	3

(注) 山中式土壌硬度計(8Kgバネ)の目盛で示す。

c. 下層土の最高砂レキ含量

区分基準	粗砂レキ含量の合計	要因強度
中	<50%	1
多	50-75	2
極多	>75	3

(注) 含量は重量割合を示す。

備考：下層土の中で厚さ10cm以上をわたる層を対象とする。

分級基準について：

等級	分級基準
I	有効土量が多く、根系発達が容易である
II	有効土量がやや少なく、根系が発達しにくい
III	有効土量がかなり少なく、根系がかなり発達しにくい
IV	有効土量がきわめて少なく、根系がきわめて発達しにくい

表一2がこの提案である。すなわち、三つの要因項目を組み合わせたもので、項目間の重要度を $a > b > c$ として、かなり細かい評価が可能となろう。

以上、各実験成績および検討内容については別に詳しく報告する予定である。

お わ り に

水田の土地基盤整備をいかに合理的におこなうかは、わが国ばかりでなく米を主食とする世界各国における共通の問題になりつつある。この問題は当面かんがいや区画などの土木工事の可能性から論ぜられる傾向が強い。しかし、すでに多くの事例から指摘されるように、造成後の水田は土壌の物理性や化学性において水稻生産に必ずしも好適でない場合が多い。本稿で述べた土壌硬度は主としてち密な下層土の根域への混入、露出、さらに機械圧に伴う土層のち密化という形でこの問題に関与している。もとより土壌硬度の生産力的意義の一局面を明らかにしたに止まるが、今後このような物理的阻害因子の研究を進めるに当たって参考となれば幸いである。

なお本研究を行うに際しては、前記総合研究に従事された各位から種々ご助言を戴き、また供試土壌の採取は農事試、各県農試のご厚意によった。ここに記して関係各位に深く感謝したい。

参 考 文 献

- 1) Barley, K. P. and Sedgley, R. H. : *The Australian Jour. Sci.*, **23**, 297 (1961)
- 2) Barley, K. P. : *Soil Sci.*, **96**, 175 (1963)
- 3) Barley, K. P., Farrell, D. A. and Greacen, E. L. : *The Australian Jour. Soil Research*, **3**, 69 (1965)
- 4) Baver, L. D. : *Soil Physics*, 3rd Ed., John Wiley & Sons (1956)
- 5) Bruce, R. R. : *Soil Sci. Soc. Amer., Proc.*, **19**, 253 (1955)
- 6) Dagg, M. and Hosegood, P. H. : *East African Agri. Forest. Jour., Special Issue*, 129, (1962)
- 7) Fehrenbacher, J. B. and Rust, R. H. : *Soil Sci.*, **82**, 369 (1956)
- 8) Flocker, W. J., Vomocil, J. A. and Howard, F. D. : *Soil Sci. Soc. Amer., Proc.*, **23**, 188 (1959)
- 9) Flocker, W. J., Timm, H. and Vomocil, J. A. : *Agron. Jour.*, **52**, 345 (1960)
- 10) Fountaine, E. R. : *Proc. Intern. Symp. on Soil Structure*, Ghent Belgium, May, 28 (1958)
- 11) Gill, W. R. and Miller, R. D. : *Soil Sci. Soc. Amer., Proc.*, **20**, 154 (1956)
- 12) Hanks, R. J. and Thorp, F. C. : *Soil Sci. Soc. Amer., Proc.* **20**, 307 (1956)
- 13) Jamison, V. C. and Domby, C. W. : *Soil Sci. Soc. Amer., Proc.* **20**, 307 (1956)
- 14) 木内知美 : 中国農試, 昭和38年度成績書(1963)
- 15) 国分欣一, 他 : 農事試作業技術部, 昭和40年度成績書(1966)
- 16) 久津那浩三, 他 : 富山農試, 農林省指定試験昭和40年度成績書(1966)
- 17) Lutz, J. F. : *Agronomy, A Ser. Monog.*, Vol. **II**, 42, Academic Press, N. Y. (1952)
- 18) 松尾憲一 : 農技研報, B14, 285 (1964)
- 19) 農技研化学部土壌第3科 : 水田土壌統設定(第1次案)および補遺(3) (1963~1966)
- 20) 農林水産技術会議事務局編 : 畑土壌生産力に関する研究(1962)
- 21) 農林水産技術会議事務局編 : 水田土壌適性分級法試案—農業構造改善のための—(1964)
- 22) 農林水産技術会議事務局 : 草地土壌の生産力に関する研究(1967)
- 23) 小野薫, 他共訳 : テルツァギ・ベック「土質力学」応用編, P346, 丸善(1955)
- 24) Phillips, R. E., Jensen, C. R. and Kirkham, Don : *Soil Sci.*, **89**, 2 (1960)
- 25) Phillips, R. E. and Kirkham, Don : *Agron. Jour.*, **54**, 29 (1962)
- 26) Raney, W. A., Edminster, T. W. and Allaway, W. H. : *Soil Sci. Soc. Amer., Proc.*, **19**, 423 (1955)
- 27) Scharpenseel, H. W. und Kerpen, W. : *Zeitsl. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk.*, **101**, 1 (1963)
- 28) Swanson, C. L. W. and Jacobson, H. G. M. : *Soil Sci. Soc. Amer., Proc.*, **20**, 161 (1956)
- 29) 滝嶋康夫・佐久間宏 : 土肥誌, **33**, 205 (1962)
- 30) 滝嶋康夫 : 農技研報, B13, 117 (1963)
- 31) 滝嶋康夫, 阿部和雄他 : 農技研土壌第2, 3科, 昭和40年度成績書(別冊) (1966)
- 32) 滝嶋康夫 : 土壌肥料分野における技術集録, P6 農林水産技術会議(1966)
- 33) 滝嶋康夫, 佐久間宏 : 土肥誌, **38** (1967) (印刷中)
- 34) 滝嶋康夫, 佐久間宏 : 土肥誌 **38** (1967) (印刷中)
- 35) 滝嶋康夫 : 土肥誌, **38** (1967) (印刷中)
- 36) Takijima, Y. : *Soil Sci. Plant Nutrition*, Tokyo, (投稿中)
- 37) 滝嶋康夫 : 土壌肥料分野における試験研究上の問題点, P41, 農業技術研究所編(1966)
- 38) Taylor, H. M. and Gardner H. R. : *Soil Sci. Soc. Amer., Proc.*, **24**, 79 (1960)
- 39) Taylor, H. M. and Gardner, H. R. : *Soil Sci.*, **96**, 153 (1963)
- 40) Taylor, H. M. and Burnett, E. : *Soil Sci.*, **98**, 174 (1964)
- 41) 寺沢四郎 : 農技研化学部昭和40年度成績書(1966)
- 42) Trowse, Jr., A. C. and Humbert, R. P. : *Soil Sci.*, **91**, 208 (1961)
- 43) 宇野要次・他 : 水田土壌の機械化適性実態調査成績, 農技研化学部, 土壌第2科(1965)
- 44) Veihmeyer, F. J. and Hendrickson, A. H. : *Soil Sci.*, **62**, 451 (1947)
- 45) Veihmeyer, F. J. and Hendrickson, A. H. : *Soil Sci.*, **65**, 487 (1948)
- 46) Vomocil, J. A. and Flocker, W. J. : *Soil Sci. Soc. Amer., Proc.* **30**, 7 (1965)
- 47) Wiersum, L. K. : *Plant and Soil*, **9**, 75 (1959)
- 48) 山中金次郎 : 農技研報, B6, 1 (1955)
- 49) 山中金次郎・松尾憲一・本村悟 : 御殿場市耕地土壌報告書(1961)
- 50) 横井肇 : 関西土肥協議会講演要旨, **27**, 1, (1966)
- 51) Zimmerman, R. P. and Kardos, L. T. : *Soil Sci.*, **91**, 280 (1961)

粘土質の暗キヨ施工田における排水

丸 田 勇*

1. は し が き

粘土質の暗キヨ施工田の土壤断面で顕著なことは、溝掘機による溝跡に大きな土塊と間ゲキが存在し、溝跡の内壁と土塊の表面に膜状斑鉄がみつめられたことである。このような人工的につくられた土壤構造は水の浸透に対して重要な役割を果しているのではないかと思われた。12月の降雪前の降雨の多い時期に、溝跡（暗キヨの直上部）と溝跡から5m離れた2地点において、直径30cm程度の穴を深さ20cm、30cm、50cmにそれぞれ掘り、タン水してその水位低下を測定した。その結果溝跡では三つの穴の水位低下がそれぞれ15cm、30cm、50cmであった。5mの地点では0cmであった。この水田は乾田直播4年目で作土下には多くの（暈）管状斑鉄がみつめられ、かなり透水性がよい水田だと云われていた。このような溝跡による暗キヨへの流出と、そのことが土壤ならびに地耐力にどのような影響を与えるかを知るため次のような調査を行った。

2. 調 査 方 法

以上の観察は非カンガイ期のことであり、カンガイ期のことについては不明である。したがって各時期を通じての排水の実態を観察しなければ前述の目的を果すことはできない。そこで次のような計画を立て調査を行った。

1. 調査時期：シロカキ後（Ⅰ）、中干し期（Ⅱ）、落水刈取（Ⅲ）、刈取後（Ⅳ）（図-1）

2. 調査地：新潟県農業試験場長岡ほ場内の水田2枚（図-2）いずれも移植で、品種は越路早生、栽植密度は18株/m²である。作業歴は表-1に示したようで、いずれも中干しを行った。土管暗キヨならびに弾丸暗キ

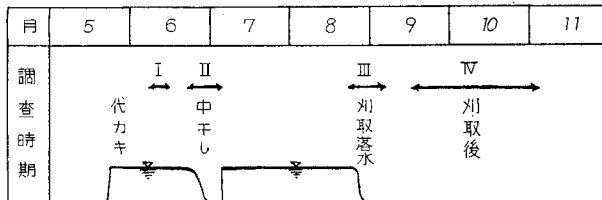


図-1 調査時期

* 新潟県農業試験場

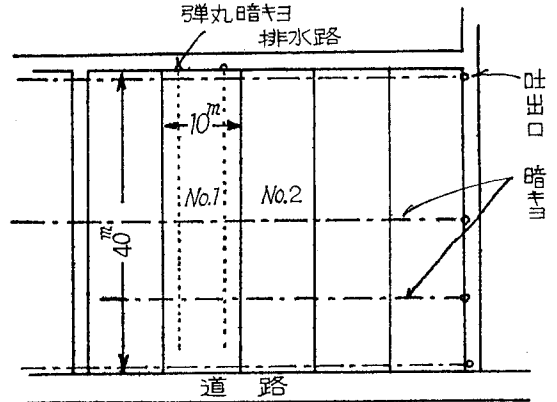


図-2 耕地の略図

表-1 水田の作業歴（1965）

耕起	かん水	シロカキ	田植	中干し	落水	刈取
月 日	月 日	月 日	月 日	月 日	月 日	月 日
5.10	5.12	5.14	5.25	6.25~7.5	8.25	9.7

表-2 土壤の粒経組成（%）

項目	粗砂	細砂	砂合計	シルト	粘土	土性	
	2~0.2 mm	0.2~0.02 mm		0.02~0.002 mm	<0.002 mm		
No. 1 水田	0~15 cm	0.7	23.3	24.0	39.2	36.8	LiC
	15~40	0.5	22.3	22.8	40.3	36.9	LiC
	40~50	1.3	24.5	25.8	37.3	36.9	LiC
	50~75	0.1	22.3	22.4	42.1	35.5	LiC
No. 2 水田	0~15	2.5	23.2	25.7	31.2	38.1	LiC
	15~45	1.5	20.1	21.6	42.5	35.9	LiC
	45~60	0.5	19.1	19.6	40.5	39.9	LiC

ヨの施工は開田2作目である。

3. 土壤とその断面

土性は表-2に示すようLiCである。作土には5~10cmの深さに粗大有機物の層が不規則にある。土壤断面は図-3に示すようである。

4. 調査項目

主な調査項目は次のとおりである。

(1) 水みち（塗料注入） ビニール水性塗料を用いて各時期に水みちの追跡を行った。

(2) 土壤の三相分布 内径5cm、内容積100cc薄肉円筒サンプラーを用いて、各時期に表層部分を採土し三相分布を測定した。

(3) 含水比 落水刈取以後の表層を時期的に採土し、

NO.1 水田

cm	暗キヨ直上		暗キヨから5m	
	土色	斑鉄	土色	斑鉄
0	濁黄々褐	1F}+4	濁黄々褐	1F}+3
20	濁黄々褐	1F}+2		
40			黄緑灰	七+1
60	黄緑灰	1F+3	暗 灰	なし
80	緑 灰	なし	緑 灰	なし

但し { 1F: 縦横の膜状斑鉄
 T: 曇管状斑鉄
 七: 管状斑鉄

2 土壤の
三相分布
とポット
テスト

土壤の三相分布は表-3に示すようである。

この表によれば両水田とも表層の上部(0~5cm)は下部(5cm以下)に比べて水分容積が大きく、固相容積が小さい傾向がみられた

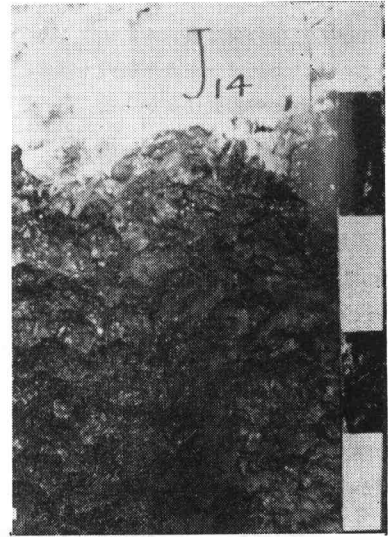


図-4 シロカキ時の塗料浸入 (No. 1)

NO.2 水田

cm	暗キヨ直上		暗キヨから5m	
	土色	斑鉄	土色	斑鉄
0	黄緑灰	1F}+2	黄緑灰	1F}+2
20	黄緑灰	なし	黄緑灰	七+1
40	黄緑灰	1F+2	黄緑灰	なし
60	黄緑灰	なし	暗 灰	なし
80	緑 灰	なし	緑 灰	なし

図-3 土壤断面 (1964.10)

程度で、水田による差異、また暗キヨの直上部であることのちがいは見受けられないようであった。いづれも泥状状態を呈しているものと思う。

ポットによる透水試験の結果、シロカキ土壤の透水係数は 10^{-6} cm/secのオーダーであった。

4. 調査結果 (中干し期)

1. 水みち (塗料注入)

8中干し期の後期(7月4日)に暗キヨ直上に塗料を注入したが、塗料の浸入はなかった(図-5)。

なお作土層を除いての塗料注入でも土中への塗料浸入はなかった(図-6)。

炉乾法で含水比を測定した。

(4) 地耐力 小型矩形板 (SR-II型)を用い含水比測定のプロ土地点で測定した。

(5) キ裂 中干し期にキ裂の出来たほ場について含水比、硬さ(矩形板による)、酸化還元電位、土壤の三相分布を測定した。

3. 調査結果 (シロカキ後)

1 水みち (塗料注入)

9月8日に暗キヨ上へ水性ビニール塗料を注入し、6月15日に塗料の浸入状況を観察した。

その結果、土中の塗料浸入はみとめられなかった(図-4)。

表-3 シロカキ後の土の三相分布

場所	項目	項目					
		水分容積 (cc)	固相容積 (cc)	空気容積 (cc)	間ゲキ率 (%)	飽和度 (%)	
No. 1 水田	暗キヨ直上	0~5	76	21	3	79	96
		15~20	63	34	4	67	95
		25~30	62	33	5	67	93
	暗キヨから20cm	0~5	74	23	2	76	97
		15~20	64	33	3	67	96
		25~30	56	40	4	60	93
No. 2 水田	暗キヨ直上	0~5	74	24	3	77	96
		15~20	66	30	4	70	94
		25~30	65	34	1	66	98
	暗キヨから20cm	0~5	77	21	3	80	98
		15~20	69	30	1	70	99
		25~30	64	33	3	67	95

(6月15日 100cc 採土)

2. 土壌の三相分布

土壌の三相分布は表-4 に示すようである。

この表によればシロカキ後の土壌の三相分布と中干し期のそれとの差異はなかった。

5. 調査結果（落水刈取期）

1. 水みち（塗料注入）

8月25日に落水、田面に水たまりがなくなったのはNo. 1の水田が26日、No. 2の水田が29日であった。その後7日間経過したらNo. 1の水田は全面に多くのキ裂がみとめられた。No. 2の水田は主に周辺にキ裂がみとめられる程度であった。そこでNo. 1水田にみられた幅15mm程度のキ裂に塗料を注入した。塗料は5~10cmの深さにある粗大有機物の層全体を着色した。また注入点から有機物の層を横流れして暗キヨ埋設溝に流れこん



図-5 中干し期の塗料浸入（No. 2）

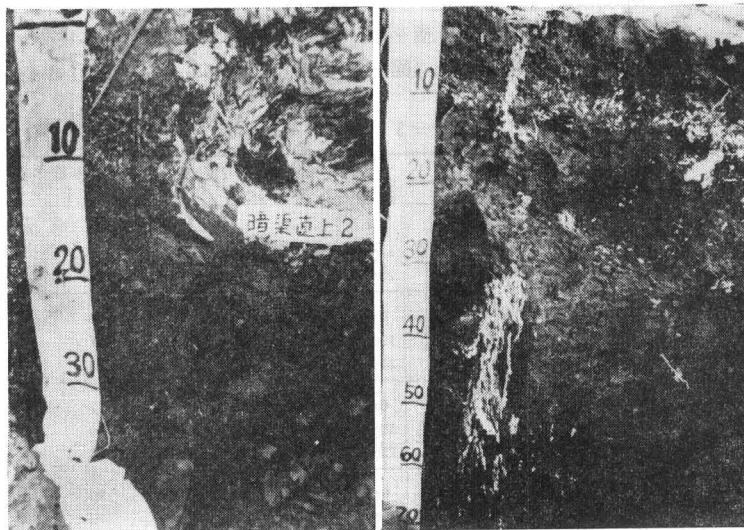


図-6 中干し期の塗料浸入—作土を除いた場合（No. 2）

図-7 落水刈取期の塗料浸入—垂直断面（No. 1）

表-4 中干し期の土の三相分布（No. 2水田）

場所	項目	水分容積	固相容積	空気容積	間ゲキ率	飽和度
		(cc)	(cc)	(cc)	(%)	(%)
暗キヨ直上	0~5 cm	71	24	5	76	94
	15~20	68	32	0	68	100
暗キヨから 20cm	0~5 cm	72	23	4	76	95
	15~20	68	26	6	74	92

(7月4日 100cc 採土)

だ。図-7は溝跡の垂直断面で、作土と溝跡の内壁の白色部分が浸入した塗料である。図-8はその水平断面である。

1. 土壌の三相分布

土壌の三相分布は表-5、表-6に示したようである。この表によればNo. 1、No. 2水田とも暗キヨの直上は、水分容積が減少し、固相容積と空気容積が増加した。しかしNo. 2水田の0~5cmのところでは落水以前と大差ない結果を示した。

暗キヨから5m地点は、No. 1水田が落水前に比べ水分容積の減少と空気容積の増加をみた、No. 2水田が落水前とほぼ同じ結果であった。

6. 調査結果（刈取期以後）

1. 水みち（塗料注入）

12月21日に落水刈取期の時と同じようにキ裂に塗料を注入した。その結果、塗料は5~10cmの層を横流れして暗キヨ掘削溝へ流れこんでいた(図-9)。

2. 土壌の三相分布

土壌の三相分布は図-10に示すようである。この図から非カンガイ期の表層(0~5cm)の三相分布は、No. 1水田の暗キヨ直上と5m地点、No. 2水田の暗キヨ直上の時期的変化をみると、それらのちがいは水分容積、固相容積、間ゲキ率にみられた。水分容積はNo. 1水田の暗キヨ直上がもっとも小さく、No. 2水田がもっとも大きかった。No. 1水田の5m地点はそれらの中間であった。固相容積は水分容積とは逆の結果であった。間ゲキ率は水分容積とほぼ同じ傾向を示した。そして以上3地点の差がもっとも大きかったのは9月であった。空気容積と飽和度は、暗キヨ直上において、前者がNo. 1水田において大きく、後者がNo. 2水田において

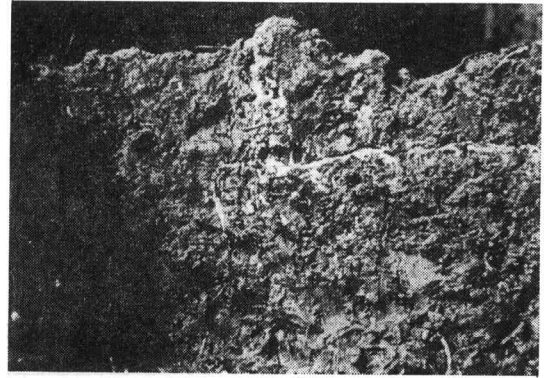
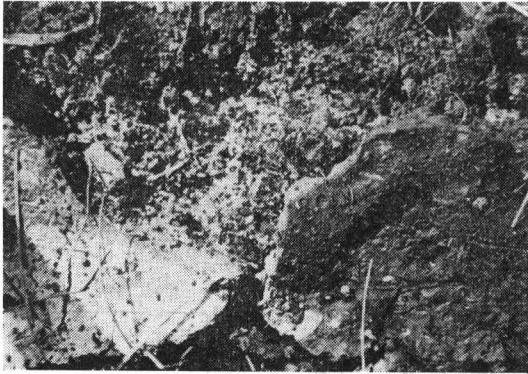
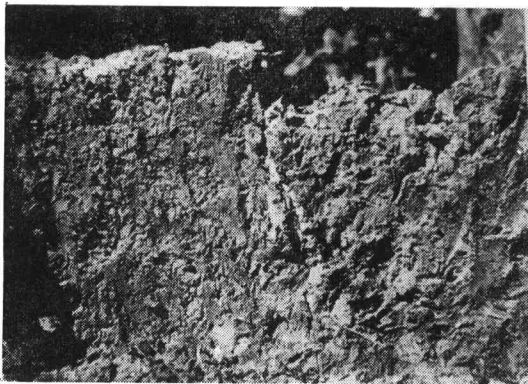


図-8 落水刈取期の塗料浸入一平面 (1) 表面 0 cm

(2) 深さ 15cm の水平断面



(3) 深さ 23cm の水平断面

高い結果を得た。

3. 表層(0~5cm)の含水比変化

含水比の時期的変化は表-7に示したようである。

この表によれば No. 1 水田は暗キヨ直上が70~80%、

5 m地点が80~100%であるのに対して、No. 2 水田の暗キヨ直上は120%以上であった。

4. 地耐力(小型矩形板による)

小型矩形板の沈下量の時期的変化は表-8に示すようである。

1.2kg/cm²荷重載荷による沈下量は、No.1 水田の暗キヨ直上が7 cm以下、5 m地点が10~13 cmに対して、No. 2 水田は20~40cmであった。

以上のような地耐力(小型矩形板による)と含水比の水田において、10月30日にファガソン35馬力のトラクタの導入テストを行った。その結果、No. 1 水田では耕起(ローターベータ耕)作業が可能であったが、No. 2 水田では困難であった。なお翌春の5月12日にも同様のテストを行ったが、その結果はNo. 2 水田の降雪時まで地表残留水があった凹部のみ作業困難で他は容易であった。以上のテストは定性的なもので、ここに得られた地耐力

(小型矩形板による)をもって機械力導入の可否を判定することはできない。

7. 調査結果(キ裂について)

ここではキ裂発生の絶対条件を明らかにしようというのではなく、キ裂発生にはどのような土壌の因子が関係しているかを知る手がかりを得ることを目的に調査をした。

調査は図-11に示したような中干し期にできたキ裂について行った。No. 2 の水田において道路側から水田の中に向かってキ裂のあるところからないところと4地点を選び、酸化還元電位、含水比、地耐力(小型矩

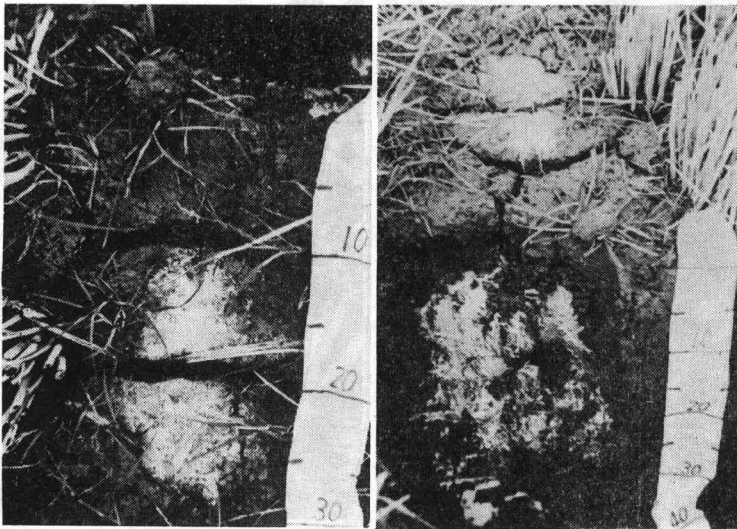


図-9 12月の塗料浸入 (1) 平面、 (2) 垂直断面

表一五 落水刈取期の土の三相分布 (No.1 水田)

項目		水分容積 (cc)	固相容積 (cc)	空気容積 (cc)	間ゲキ率 (%)	飽和度 (%)
暗キヨ直上	0~5 cm	59	23	18	77	77
	10~15	56	33	11	67	84
	20~25	40	45	15	55	72
暗キヨから5m	0~5 cm	68	23	9	77	89
	10~15	55	32	13	68	81
	20~25	51	41	8	59	86

(8月30日 100cc 採土)

表一六 落水刈取期の土の三相分布 (No.2 水田)

項目		水分容積 (cc)	固相容積 (cc)	空気容積 (cc)	間ゲキ率 (%)	飽和度 (%)
暗キヨ直上	0~5 cm	75	19	6	81	93
	10~15	46	34	20	66	70
	20~25	50	37	13	63	79
暗キヨから5m	0~5 cm	82	17	1	83	99
	10~15	75	21	5	80	94
	20~25	67	33	0	67	100

(8月30日 100cc 採土)

表一七 表面含水比の変化 (0~5 cm)

場所		月日	9.16	9.27	10.4	10.23	10.30
No.1 水田	暗キヨ直上	(%)	73	70	77	86	73
	暗キヨから5m		105	103	89	106	82
No.2 水田	暗キヨ直上		157	131	130	140	122

表一八 1.2 kg/cm² 荷重載荷による沈下量の変化

場所		月日	9.16	9.27	10.4	10.23	10.30
No.1 水田	暗キヨ直上	cm	7.0	3.0	1.5	2.5	0.2
	暗キヨから5m		13.0	10.0	13.0	13.0	10.0
No.2 水田	暗キヨ直上		40.0	19.5	20.0	22.0	24.0

形板による), 土壌の三相分布を測定した。

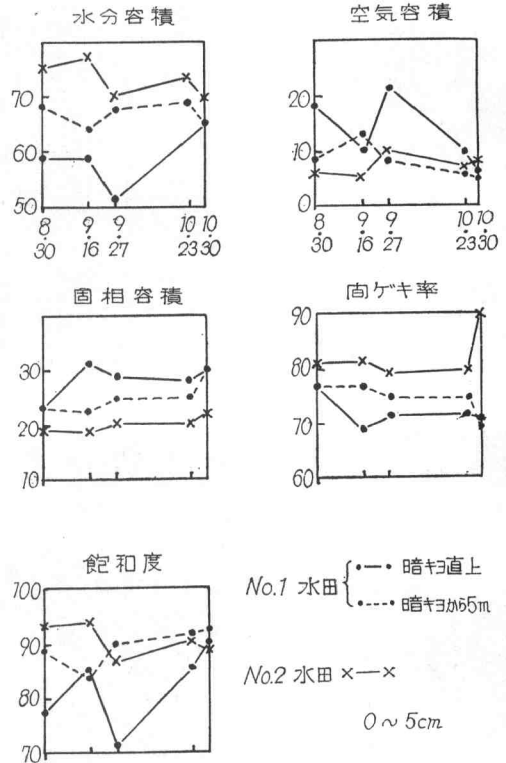
その結果, キ裂の発生は酸化還元電位が約150mv, 含水比が80%であった。そのときの 0.8kg/cm²荷重載荷による沈下量は約8 cmであった。

土壌の三相分布はキ裂のあるところはないところと比べ水分容積が小さく, 固相容積が大きいという結果であった。

8. 水稻の収量

水稻の収量は表一10に示すようである。

この表によれば落水刈取期からよく土壌が乾燥した No.1 水田が No.2 水田に比べ12%の増収であった。

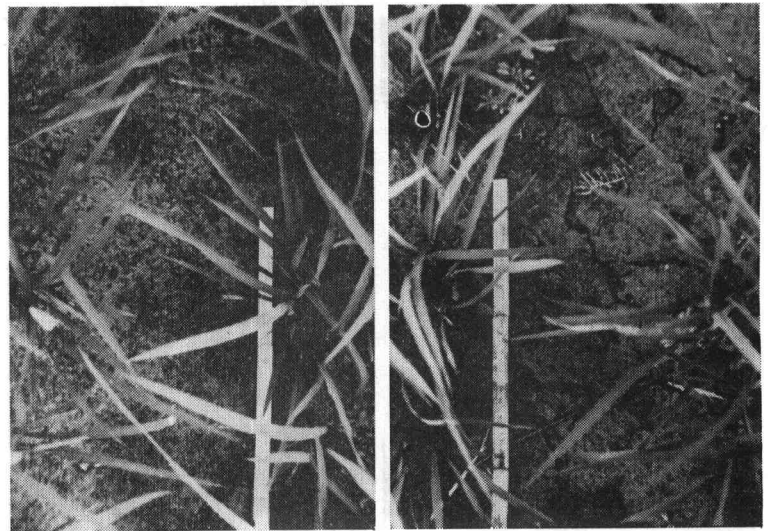


図一10 刈取後における表面の土の三相分布の変化

9. 考 察

1. シロカキ後から中干し期までの排水

塗料の浸入, 土壌の物理性, ポットテスト等の結果が



図一11 キ裂の状態(中干し期) (1) キ裂なし (2) キ裂あり

表一 9 キ裂の有無とEh, 含水比, 三相分布の関係 (中干し期)

キ裂の有無	Eh ₀ (mv)	含水比 (%)	0.8 kg/cm ² 荷重による下沈量 (cm)	水分容積 (cc)	固相容積 (cc)	空気容積 (cc)	開ゲキ率 (%)	飽和度 (%)
+	161	62	4.0	55	34	11	66	83
+	152	60	5.0	55	33	12	67	82
±	153	80	8.5	59	28	13	72	82
-	42	84	9.5	61	28	11	72	85
-	68	86	9.0	63	28	9	72	88

(No. 2 水田 0~5cm)

表一 10 水 稻 の 収 量

項目	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	精収量 (kg/a)	玄米重 (kg/a)	玄米千粒重 (gr)	収量比 (%)
No. 1 水田	92	20.2	326	62.2	51.0	20.6	100
No. 2 水田	87	20.6	293	54.5	44.7	25.5	88

表一 11 落水刈取期の無降雨継続回数 S. 31~40年 (10年間)

日 数	8. 23~9. 1 生		9. 2~9. 11 生		9. 9~9. 18 生	
	早	中	中	晩	晩	生
3日	5		6		3	
4	3		4		1	
5	2		1		1	
6	1		1		1	
7	1		1		0	
8	0		1		0	
9	0		1		0	
10	0		0		0	

ら判断すると、暗キヨによる地下流出は極めて困難で、この時期における地表水の排出の大部分は地表流出と蒸発散によってまかなわれるものと推測される。しかし厳密には土中の透水が全くないとは云えないが、実際の排水を考えるにほとんどないものと考えてよいのではないだろうか。

2. 落水刈取期の排水

この時期の塗料浸入は田面のキ裂を通して暗キヨへ流れ込んでいた。中干し期にはキ裂が発生しなかったからキ裂を通過して暗キヨへの流出はみられなかった。したがって表層のキ裂が重要な役割を演じている。落水刈取期において中干し期と同様に地表残留水の面積が大きければキ裂の発生にかなりの日数が必要で、この時の調査⁵⁾では全面にキ裂が生成したのは、地表残留水がなくなってから7日目であった。たまたま今回の調査では無降雨が7日間も続いたのであって、表一11に示したように、このようなことは極めてまれなことである。

地表残留水があった期間がNo. 1水田に比べ長かった(3日間)No. 2水田は土壌の物理性が落水前と大差ない結果であった。

このような水田での水みちはキ裂であると考えられる。田面にできたキ裂が暗キヨ掘削溝の埋戻し部分とながって始めて地表水の暗キヨへの流出が多量に行なわれるものと思われた。したがって作土の透水化が必要である。

3. 刈取期以後の排水

刈取後の土壌の三相分布、地耐力(小型矩形板による)含水比、トラクタテスト等から判断すると、刈取期に得られた土壌条件が2カ月後にも影響を及ぼしていた。

No. 2水田のように地表残留水が多くて刈取期にキ裂の発生が遅れ、十分な生成をみなかった水田は、その後の降雨の繰返しによって、田面は泥状態のまま降雪期を迎えた。このように秋の天候に恵まれない新潟県では落水時の天候に極力支配されないような田面の乾燥を促進させる手段がどうしても必要なものと思われた。

10. ま と め

カンガイ期の暗キヨによる排水は極めて困難であるが、実際の排水を考えるにシロカキ状態の作土層下では土中への透水はほとんどないものと思われる。しかし非カンガイ期の排水はキ裂を通過して行われるものと考えられる。即ち非カンガイ期における地表流出一田面の乾燥一キ裂の発生一暗キヨへの流出ということが考えられる。

No. 2水田のように降雨水の地表流出の段階を繰返しているようではトラクタの導入が困難である。秋には降雨日数の多い本県の場合はタン水落水の段階と共に降雨排水が容易に行なわれるということが平年時において機械力の導入を可能とする耕地条件だといえるのではないと思う。

なお水稲の生育収量を考えた排水は機械力導入のための排水とは観点を改めて検討されるべきではないかと思う。

終りに当って本研究のためにご指導、ご援助を賜った東大農学部八幡教授に厚く感謝致します。また本研究は「粘土質の水田の排水に関する研究」の中で行ったもので、御協力を戴いた田淵俊雄、中野政詩、住田章の各氏に衷心より感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 田淵: 粘土質の水田の排水に関する研究(1)
- 2) 田淵, 中野, 鈴木: 同上(2)
- 3) 田淵, 中野, 鈴木: 同上(3)
- 4) 田淵, 中野, 鈴木: 同上(4)
- 5) 田淵, 中野, 住田, 丸田: 同上(5)
- 6) 田淵, 中野, 住田, 丸田: 同上(6)
- 7) 丸田, 井利: 重粘土水田の暗キヨ施工が土壌断面型態に及ぼす影響

透水と水稻の生育について

石原 邦*

はじめに

水田土壌中をかんがい水が縦浸透——透水——する場合、従来、水稻栽培に対して、つぎのような効果があると考えられている。すなわち、利点として、土壌中に酸素が補給される；土壌中に発生する種々の有害物質を除去する；難点として、浸透過多の場合に顕著に認められるが、土壌中の養分が流亡する；水温の低い山間地帯の水田で冷水の害を助長する；ことなどである。このように、透水の効果には、利点・難点の両面があるが、ここでは、透水の無い、常時タン水されている——停タン水——土壌条件と透水のある土壌条件に生育した水稻を比較して、透水により生育が助長され、収量が増加する場合、水稻生育のいかなる点に差異を生ずるのかについて検討することにしたい。

透水性をもつ水田であれば、水田表面からかんがい水を排除——排水——することは容易であり、このような水田で、水稻の栽培が行われる場合には、栽培期間中の排水（註1）（中干し、間断かんがいなど）の行われるのが普通である。このように、実際栽培において、透水・排水の水管理が組合せられて行われることも関連して、従来、水稻の生育に対する透水と排水の効果は、必ずしも明確に区別して認識されていないように思う。したがって、水稻の生育について、停タン水状態と透水状態を比較する場合、透水の効果のなかに、しばしば排水の影響の含まれていることをお断りしておく。

1. 収量について

水稻生育に対する適正透水量について、岐阜県本巣郡の長良川、揖斐川の扇状地で調査された結果¹⁾をみると（図-1）、収量にある程度の変異があり、透水以外の因子の含まれることは当然予想されるが、最多収量を示す1日当り減水深は20~30mmであることが判る。減水深には、葉面蒸散と水面蒸発が含まれ、これらは環境条件、水稻の生育時期により異なるが、仮に1日当り10mmの減水深に相当するとすれば、適正透水量は1日当り10~20mmということになる。米作日本一となった農家（1951年から1961年までの10戸の農家）の水田の調査結果²⁾では、その大部分は20~30mmの減水深のある水田であ

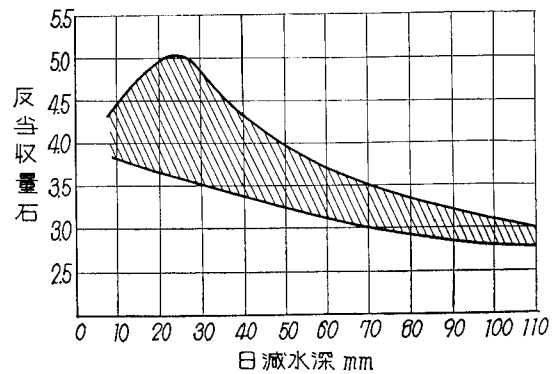


図-1 日減水深——反当収量（五十崎、1956）

り、これらの結果から、多収穫を上げる一つの条件として、減水深にして1日当り20~30mmの透水の必要性が推定される。

透水の効果を検討するために、ポット、ライシメーターを用いて、あるいは圃場で行った実験結果をみると、停タン水状態に比較して、透水により収量の増加した場合³⁾⁴⁾⁵⁾と増加の認められなかった場合⁶⁾⁷⁾とがある。前者の著しい例は、城下ら⁵⁾の結果（表-1）であって、対照田（停タン水状態）で10a当り600kgであるのに対し

表-1 水稻の収量と登熟歩合との関係
（城下ら、1962 より作成）

水田別	区 別	項 目			
		精玄米重 (kg/a)	全 収 数 (株当り)	精 収 数 (株当り)	登熟歩合※ (%)
対 照 田	500 ※※	51.14	1411	1049	74.7
	1000	51.63	1505	1049	69.7
	1500	60.05	1726	1144	66.2
	1500N	47.05	1716	924	53.8
排 水 田	500	48.10	1452	1150	79.5
	1000	59.18	1564	1285	82.2
	1500	62.61	1770	1392	78.8
	1500N	80.66	2110	1672	79.2

※ 精収・シイナの分別は比重1.06の塩水速による。

※※ 500, 1000, 1500はタイ肥の施用量を示し、それぞれ187.5, 375.0, 562.5 kg/aである。Nは元肥窒素施用量が他の3区に比べて5割増となっていることを示す。

註1) 排水の行われる場合、透水により地下へ排水される場合と、透水性に乏しい水田で、もっぱら、蒸散、蒸発などにより地表から排水される場合とがあるが、この両者を区別して、それぞれ水稻の生育に対して、どのような影響をもつかについては、充分検討されていないように思う。ここで排水という場合には、透水により地下へ排水される場合をいう。

* 東京農工大学農学部

て、排水田（透水、中干し、間断かんがいが組合されている）では806 kg という高い収量を得ている。透水の効果は、土壌条件、栽培条件により異なることは当然予想されるが、透水の効果の認められない場合について、その結果を検討してみると、停タン水、透水いずれの場合も、水稻の生育は必ずしも良好でなく、収量の比較的小さい場合（10 a 当り300～400 kg）であることが認められる。本谷⁹⁾は、東北地方の水田を調査した結果、10 a 当り600kgの収量は、施肥、土壌肥沃度によりかなり可能であるが、それ以上750kg 近い収量を得るには、土壌の透水性が問題となることを指摘している。結局、土壌条件、栽培条件が整い、比較的高い収量（たとえば、東北地方では10 a 当り600 kg）をあげている水田で、さらに多収穫を得ようとする場合に、透水という条件が必要となると考えられる。

2. 地上部の生育について

前述した城下⁹⁾の実験結果を中心として、停タン水の土壌条件（対照田）と透水のある土壌条件（中干しと間断かんがいが組合され、氏は排水田としている）に生育した水稻の地上部について比較することにする。

草丈、莖数には、他の実験結果⁹⁾と同様、対照田、排水田の間にほとんど差異はないが、乾物重の増加についてみると、幼穂形成期以後差異が認められ、生育のす

すむにつれて、著しくなる(図-2)。この場合、窒素の施肥量の多いものほど、その相違は顕著である。窒素、磷酸、加里の吸収についてみても、対照田（排水不良田）では幼穂形成期以降その吸収量はわずかとなり、出穂期以後はほとんど吸収が停止するのに対し、排水田では、成熟期まで継続して、かなりの量の吸収が行われている(図-3)。このようなことと関連あると思われるが、出穂期以後生葉数に差が認められ、透水のある場合により多くなるという結果も報告⁹⁾されている。

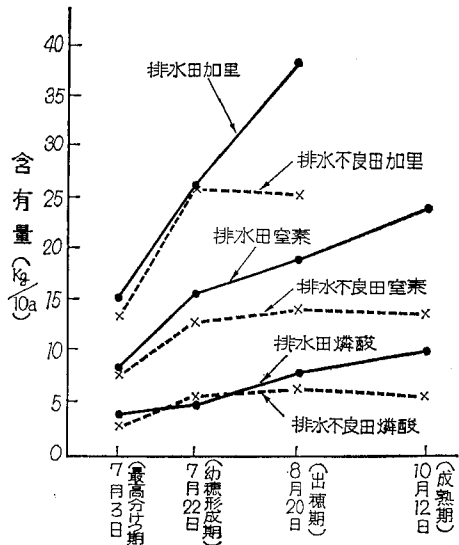


図-3 排水田と排水不良田における水稻の時期別養分含有量（城下，1961）

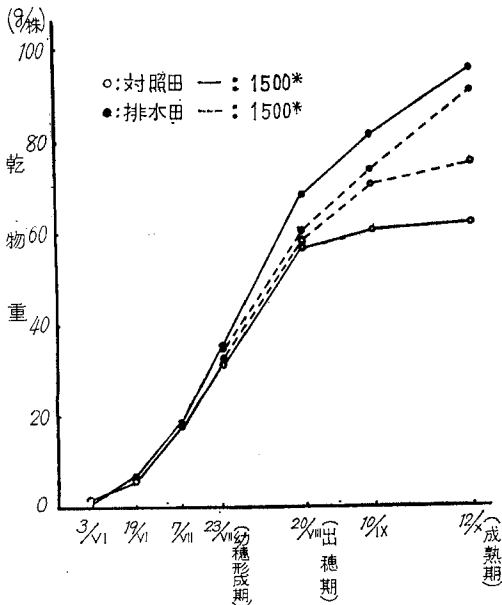


図-2 乾物重の増加傾向（城下ら，1962より作成）
（※は表-1 参照）

以上の結果から、対照田と排水田の水稻生育の差異は、生育後期に現われることが判る。収量を構成する要素は、生育のすすむにしたがって、穂数、一穂粒数、登熟歩合、千粒重の順に決定されるが、この場合、対照田と排水田を比較してみると、生育の後期に決定される登熟歩合に最も著しい相異が認められる（表-1）。すなわち、施肥量が増加すると、対照田、排水田ともに株当り穂数は多くなるが、それにとまって、両区間の収量に著しい差異を生じ、その主たる要因は、登熟歩合の違いにあるということである。一般に株当り穂数がある程度以上多くなると、穂数と登熟歩合との間に負の相関関係が存在するようになる¹⁰⁾が、対照田ではこの関係が明瞭であるのに対し、排水田では穂数が増加しても登熟歩合は低下せず、穂数の増加に比例して、収量も増加しているのである。他の結果をみても、透水により収量の増加する場合、登熟歩合の高まること、換言すれば穂数が増加しても登熟歩合の低下しないことが、その主たる要

因となっている例が多い¹⁴⁾。

以上の結果から、透水は、栄養生長に対しては著しい影響をおよぼさないが、生育後期に養分の吸収、乾物重の増加を促進し、収量構成要素のうち、とくに登熟歩合を高めるという効果をもつことが推定できる。

3. 根の生育について

水稻の根については、地上部に比較すると研究が少なく、透水のある水田と停タン水状態の水田に生育した場合、水稻の根系あるいは根の形態に異なる相異があらわれるかについては、ほとんど検討されていない。そこで、ここでは、著者ら¹¹⁾¹²⁾¹³⁾が、ポットを用いて、停タン水区と透水区に生育した根を比較した実験を中心として述べることにしたい。

まず冠根の伸長についてみると(表-2)、停タン水区に比較して透水区では、最大根長・平均根長ともに大であることが認められる。他の実験についてみても、透水により根が土壌中深く伸長するという結果が得られており¹⁴⁾、たとえば、収穫期に土壌を上中下の層に分けて、それぞれの土層に生育した根の乾物重を百分率で比較してみると、透水区では44:32:24であるのに対して、停タン水区では51:32:17となっており、前者で下層に发育する根の割合の多いことがわかる³⁾。

つぎに冠根から分枝する2次根についてである。2次根の発生は、土壌条件あるいは冠根の種類により、種々の様相を呈するが、一般的にいえば、冠根の単位長さ当りの2次根数は基部で少く、先端部に向うにしたがって

表-2 停タン水区と透水区に生育した冠根の長さの比較

土 壌	処 理 区	最大根長	平均根長
※ 東金湿田土壌	停タン水区	21 cm	17 cm※※※
	透水区	28	24
※※ 関東火山灰土壌	停タン水区	12	7.8
	透水区	21	9.2

※ 川田・石原¹³⁾(未発表)

※※ 三浦¹⁴⁾

※※※ 長い順に根を10本選び、その根長を平均する。

註2) この実験では、排水の影響を除外するために、停タン水区・透水区ともに、常時2cm以上の深さの水がタン水してあるようにした。なお透水量は1日当り25~30mmであった。

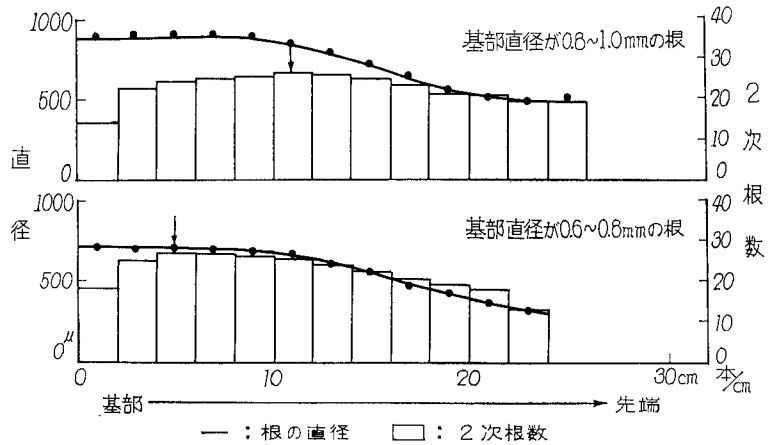


図-4 根の直径と単位長さ当りの2次根数との関係(川田, 芝山, 1966)

徐々に増加し、ある部分で最も数が多くなり、その後再び減少する(冠根の直径が小となるにしたがって)という傾向を示し、最大値は冠根1cm当り25本前後となると報告されている(図-4)¹⁵⁾。これを参考にして、停タン水区と透水区に生育した冠根の比較を行ってみると、2次根数の最も多くなる冠根部位が、停タン水区では基部に近いところにある、換言すれば、透水区では、より根端近くまで、多数の2次根の形成されることが判る(図-5)¹⁶⁾。

水稻冠根の表皮組織に形成される根毛について、つぎのような機能をもつことが推定されている。すなわち、① 根の表面積を著しく増大する¹⁷⁾; ② RNAが根毛

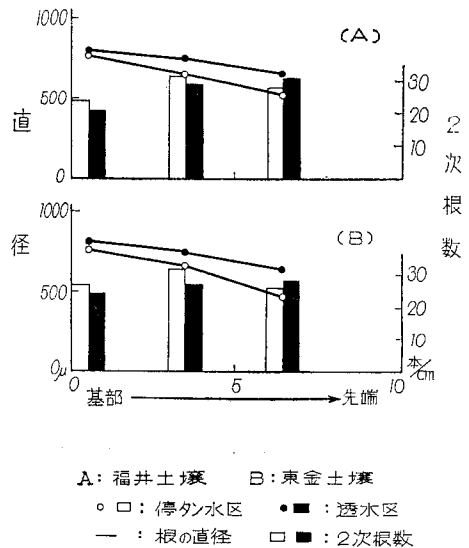
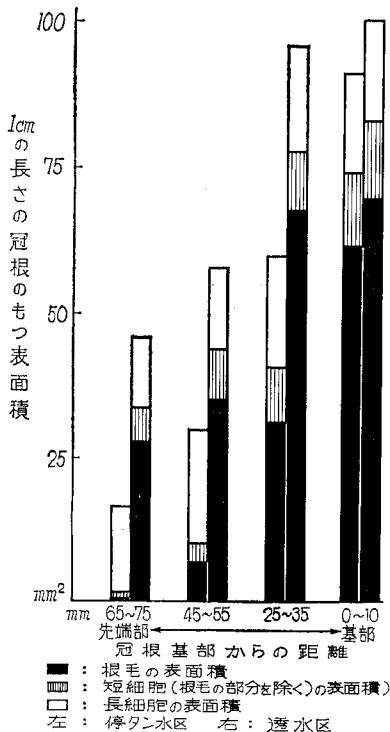


図-5 根の直径と単位長さ当り2次根数との関係(川田, 石原, 未発表)

以外の表皮部分に比較して、根毛内に多量にしかも長期間にわたって存在することから、養分吸収に対して積極的な役割をもつ¹⁶⁾; ③ 2 価鉄を3 価鉄に酸化する力、あるいはパーオキシダーゼの存在から、根の表皮組織のうち、とくに著しい酸化力を有する¹⁷⁾; ことである。このように、根の生理的活性に対して重要な役割をもつ根毛の形成あるいは伸長を、透水区、停タン水区に生育した場合について比較してみると、透水区の根は、基部から先端部にわたって数多くの根毛が発生し、しかもその長さも大である。一方停タン水区のそれは、基部においては透水区の場合と同様多くの根毛が形成されるが、先端部へいくにしたがって、その発生は著しく減少し長さも小となることが認められた。この場合、両区の冠根の土壤に接触している表面積を計算すると、とくに根の先端部において著しい差異のあることがわかる(図-6)。この差異を生じた大きな要因は、根毛部分の表面積にあるのであって、前述した根毛の生理的機能を考慮すれば、透水区と停タン水区に生育した冠根には、生理的活性の点でさらに著しい相異のあることが推定される。

さらに、根毛内のRNAに着目して、透水区、停タン水区に生育した冠根の根毛の生理的寿命を比較してみると、停タン水区の根毛は、透水区のそれに比べて、より



図一6 1 cmの長さの冠根の表面積 (福井土壤) (川田, 石原, 1961 a)

早く生理的活性を失う、換言すれば、停タン水区では根の老熟化が早く進行するのに対して、透水区では、長期間根が生理的活性を保持しているということがわかった¹⁸⁾。前述した城下ら⁵⁾も、幼穂形成期に根の外部形態を観察し、排水田に生育した場合、より若く、生理的活性の高いと推定される根の割合が多いことを指摘している。従来、しばしば根の生理的活性を根の呼吸あるいはαナフチルアミンの酸化力で推定するという方法(注3)が用いられているが、この方法を用いて、透水区と停タン水区を比較すると、透水区に生育した場合に、根の生理的活性が高いという報告もなされている⁵⁾⁷⁾¹⁸⁾。

以上の結果、停タン水区に比較して、透水区に生育した場合、冠根の伸長が大で、2次根、根毛も冠根基部から先端部にわたって数多く形成される、換言すれば、根が土壤中深く発達し、その表面積を拡げているということであり、しかも、これらの根はその生理的活性をより長い期間保持していることが解る。

最後に、透水区と停タン水区に生育した根の間に、上述したような差異が生ずる要因についてふれておきたい。その要因の一つとして、透水区における水の浸透にともなって、土壤中に酸素が供給され、停タン水区に比較して土壤が酸化的になるということが考えられる。透水とともに排水が行われ、土壤表面と空気が直接接触する場合は、停タン水状態に比較して土壤の酸化還元電位の上昇することは衆知の事実であり、城下ら⁵⁾もこのことを認めている。しかし、著者らの実験の如く、土壤表面が常時タン水されている場合には、従来の結果をみると¹¹⁾¹⁹⁾²⁰⁾、停タン水・透水面の酸化還元電位の間には、著しい相異は認められず、この場合、土壤の酸化還元電位に関与する要因によって、根の発育が一次的に著しく支配を受けたとは考えられない。いま一つ要因として考えられることは、水の浸透にともなって、タン水下水土中に発生する種々の有害物質を排除するという事である。これらの物質としては従来の研究結果²⁰⁾²¹⁾²²⁾から、硫化水素、種々の有機酸などが推定されるが、そのうち、蟻酸、酢酸、酪酸について、冠根の根毛形成に対する影響を検討してみた(表-3)。その結果、これらの有機酸はいずれも現実の水田において発生の認められる程度の極めて低い濃度²⁰⁾²¹⁾で根毛形成に著しい影響をおよぼすことがわかった²³⁾。これら有機酸によって影響された表皮の様相を、停タン水区に生育した根のそれと比較してみると、とくに酢酸の場合にみられたものと極めてよく類似している。そして、土壤中に発生する有機酸の

註3) この方法には、検討の余地がある¹⁷⁾。

うち、酢酸が量的に最も多く、高位収穫の水田土壌においても一時的にはあるが、根毛の形成を抑制する程度の濃度の酢酸が存在することも報告されている²⁰⁾。これらの事実と透水により土壌中の有機酸の濃度が減少する²¹⁾²²⁾という事実を考え合わせると、根の生育に対する透水の効果は、土壌中に発生する有害物質の排除にあると推定してよいように思う。

むすび

以上述べてきたことから、やや大胆な推論を行うと、つぎのようにいうことができると思う。すなわち、停タン水状態に比較して、透水のある土壌条件に生育することにより、水稻の収量が増加する場合、透水は、主として土壌中に発生する有害物質を除去することにより（透水により、かんがい水が土壌表面から排除される場合には、土壌が酸化するというのも無視できないが）、水稻の根の発育を促進し、その生理的活性を高めることを通じて、地上部の生育とくに幼穂形成期以後の発育を助長し、登熟歩合を高めたということである。多収穫を得るためには、単位面積当りの穂数の多いことが前提条件であるが、その場合、登熟歩合をいかに高く保持するかが主要な問題と考えられる。登熟歩合と密接な関係をもつ条件として、光、気温、水稻の受光態勢など光合成に関連をもつ要因以外に、すでに述べたように、土壌環境とくに透水の有無をあげることができる。この点、さ

表一 冠根の伸長および表皮の形態形成に対する
硝酸、酢酸、酪酸の作用（川田・石原、
1961C）

処 理	4日間の根の伸長量	根毛の発生している細胞		根毛長	表皮細胞長
		全表皮細胞	全表皮細胞		
対 照	5.8cm	53.5%		199 μ	106 μ
硝酸 2.5 mmol	2.0	2.3		51	38
酢酸 2.5 mmol	5.3	10.4		18	122
酪酸 0.25 mmol	4.6	28.7		23	89

※ 根毛の発生している細胞と発生していない細胞の根の縦軸方向の長さの平均。

らに、排水の問題も考慮しつつ（註1参照）透水と水稻とくに根の生育との関係が明らかにされる必要があると考えられる。

引用文献

- 1) 五十崎恒 適正浸透量について 農上研24:311. 1956.
- 2) 農林省振興局農産課 米作日本一表彰受賞者の稲作技術 1951~1961.
- 3) 農林水産技術会議 稲作における土壌と水に関する研究 1961.
- 4) 林政衛他3名 湿田におけるかんがい水の地下浸透と水稻の登熟一穂孕期以後の浸透について 日作紀 29:43. 1960.
- 5) 城下強他3名 施肥効果の増進による水稻の高位生産に関する研究 農事試報 1:1. 1962.
- 6) 野島數馬・田中市郎 水田における透水が水稻生育におよぼす影響 第1報, 日作紀 29:341. 1961.
- 7) 上田博愛・大山一夫 タン水田における水稻の根の呼吸生理機構に関する研究 第3報・第4報 かんがい水の地下浸透が水稻の生育におよぼす影響 日作紀 26:249. 1958.
- 8) 本谷耕一 稲作多収の基礎条件 農文協 1966.
- 9) 城下強 米作日本一の肥培について カリシンプロシウム 1961.
- 10) 松島省三 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究 農技研報告 A5:1. 1957.
- 11) 川田信一郎・石原邦 透水の有無と水稻冠根における根毛形成との関係, 日作紀 29:345. 1961a.
- 12) —— 水稻冠根における根毛の生理的寿命の推定, RNAに着目した場合について 日作紀 30:334. 1962.
- 13) —— (未発表)
- 14) 三浦輝政 排水地と停タン水地との稲田における水稻の根の発育関係 日作紀 5:305. 1933.
- 15) 川田信一郎・芝山秀次郎 水稻冠根における2次根の分枝の様相 日作紀 35:59. 1966.
- 16) 川田信一郎・石原邦 水稻冠根の表皮におけるRNAの分布について 日作紀 29:387. 1961b.
- 17) 川田信一郎・石原邦 水稻の根における根毛の酸化力について 日作紀 33:168. 1964.
- 18) 山田登・太田保夫 水稻根の生理的活力に及ぼすかんがい水の浸透の影響 日作紀 29:404. 1961.
- 19) 内山修男他3名 水田の浸透性の意義について(第1報) 浸透速度とタン水田土壌のEhの関係 土肥誌 27:23. 1956.
- 20) 高井康雄 水田土壌の還元と微生物代謝(1~5) 農業技術 16:1. 51. 122. 162. 213. 1961.
- 21) 松平敬夫 緑肥の肥効増進に関する研究 第2報 有害物に関する研究 東大農肥料研 昭和24年研究実施報告 1949.
- 22) 三井進午他2名 作物の養分吸収に関する動的研究(第22報) 湿田土壌における有機酸の生成と水稻の生育について(その1) 土肥誌 30:345. 1959.
- 23) 川田信一郎・石原邦 水稻根の根毛形成に対する低級飽和脂肪酸の作用について 日作紀 30:27. 1961c.

水田作土の構造と水稻生育

出 井 嘉 光*

土壤構造は土壤中の水および空気の状態を規制することを通して作物生育と関係をもっている。通気性不良に由来する湿害や水分不足による干バツも土壤構造の不良性が一因となっており、土壤構造は地力の主要因の一つである。

わが国は諸外国にくらべて、土壤構造に関する研究がおくれているが、これは、気候的に多雨条件であり、経営的には集約農業であり、さらに水田中心の農業であったがために土壤構造が地力に占める比重がやや小さくなっていったためと考えられる。戦後、畑地農業が脚光を浴びるとともに、土壤構造に対する関心が高まってきたが、水田の構造に関しては、水稻がタン水条件下で栽培される関係上、畑作物にみられる如き、干バツや湿害と構造との関連で一義的に論ずることができず、その研究は寂々たるものであった。ただ、水田の乾田化や干拓地造成に際し、下層土の構造の発達が目され、また最近では、トラクタの走行性や直播水稻の苗立ちとの関係で、水田土壤の構造が重要視されてきている。

水稻は沼沢作物であるために還元条件の土壤中でもよく生育するとされていたが、しかし、この現象は水稻がタン水栽培への適応の姿であり、本質的には培地がある程度酸化的になっていることが好ましいことが明らかにされてきた。米作日本一農家では、水管理を通じて土壤培地の酸化的健全化をはかっていることはよく知られている。これらの事実と関連して、移植水稻の生育ひいては水稻の多収穫において水田土壤とくに作土の構造は如何なる意義をもっているかについては興味ある問題であるので、既応の研究を概観するとともに、わらわれの最近の研究を中心にして述べることにする。

1. 水田作土の構造の種類

水田作土の構造を体系づけて研究したのは青峰¹⁾である。青峰に

表一 水田耕土の構造の種類

亜 層 位	厚 さ	構 造
第 1	1 cm	泥 状
第 2	5 ~ 6 cm	単 粒 状 パ ン 状 団 粒 状 塊 状 管 状 泥 状
第 3	5 ~ 10 cm	弱 塊 状 泥 状

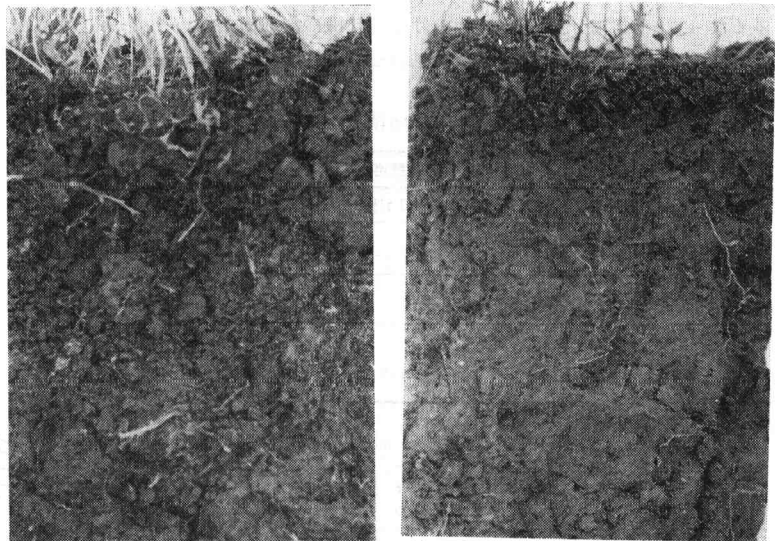
よれば、水田作土は畑地の作土と構造上著しく趣を異にしていることを明らかにした。すなわち水田作土は、通常、構造的に異なる3つの亜層に分化していること、さらに水田特有の構造すなわちパン状、管状、泥状構造が存在することを示し、これらの生成条件についてもふれている。それらの関係を表一に示した。

2. 栽培様式と土壤構造

作土の構造は栽培様式によって著しく影響をうけている。そこで各種の栽培様式や管理法によって構造が如何に変化しているかをみることにする。

(1) 有機質肥料の影響

水稻に対する有機質肥料の効果は、主に含有窒素の綫



写真一 肥料連用と作土の構造 (1)緑肥連用区 (左) (2)無肥料区 (右)

* 農林省農事試験場

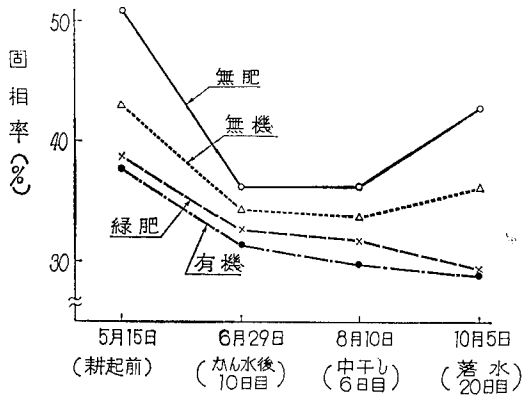


図-1 肥料連用と固相率の変化

効性と含有養分の多様性で論じられてきたが、構造に対する有機物施用の影響は実に顕著である。鴻巣の農事試において40年間にわたり、無機質肥料や有機質肥料連用水田の作土の構造は写真1に示したように明らかに異なっている³⁾。有機質肥料とくに緑肥の連用区では、作土は明らかに三つの亜層に分化し、第1亜層は細粒状に、第2亜層はよく発達した粒状構造をもっており、第3亜層は弱塊状を呈していた。これに反して、無肥料や無機質肥料連用区は亜層の分化が不明瞭であり、とくに第2亜層に粒状構造がみつめられがたい。かかる事実は青森農試の有機質肥料の連用試験⁴⁾においても認められている。このような構造の違いが、栽培期間中どのような状態にあるかを追跡した成績を図-1と表-2に示した。

泥状構造の作土は粒状のものに比べて固相率は終始大きく経過しており、また団粒含量は少なく、土塊部分が多くなっていた。ただ水田作土における塊状構造は畑地の場合のように大孔隙の増大に直接結びつかないことは

表-2 肥料連用と土壤団粒

区分	無肥料		無機連用		緑肥連用		有機連用	
	7月2日	8月26日	7月2日	8月26日	7月2日	8月26日	7月2日	8月26日
土塊部分 (>10mm)	31.8	32.6	27.6	13.9	10.2	8.3	12.8	9.7
団粒部分 (10~0.5mm)	15.5	11.6	18.3	16.0	22.8	15.3	23.1	17.1

表-3 乾田直播による土壤団粒の変化

場所	方法	粒径区分 (%)				
		mm >3.0	mm 3.0~1.0	mm 1.0~0.5	mm 0.5~0.25	mm 0.25~>
川里	直播	20.7	17.3	13.8	15.7	32.5
	移植	9.0	7.9	8.3	13.2	61.6
杉戸	直播	22.2	17.6	12.5	13.2	34.5
	移植	17.5	9.8	9.8	13.8	49.1

注意すべきであろう。

近年、農村の労働事情の変化から、生わらを水田に直接還元することが多くなっているが、生わらは堆肥よりも土壌をより粒状化する機能をもっており⁵⁾、この観点から生わら施用の効果を考える必要があるだろう。

(2) 乾田直播栽培と土壤構造

乾田直播の栽培法は移植のそれとは甚しく異なっており、耕起の時期や程度さらに代かきを行わないなど構造に影響する栽培技術に大きい相違がみられる。そこで乾田直播水田の作土の構造を調査してみた⁶⁾。移植水田は作土全体が泥状構造であり、亜層の分化にも乏しかったが、直播水田では多くの場合、粒状構造化が進んでいることが特徴であった。作土の団粒分析の成績を表-3に

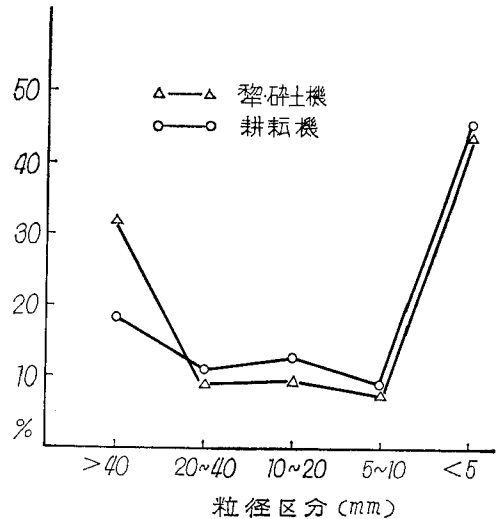


図-2 耕うん法と土塊分布

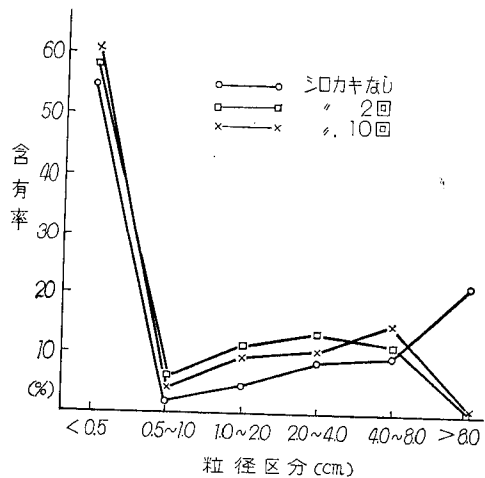


図-3 シロカキと土塊分布

示したが、直播田の作土は移植田のそれに比べて、0.5~0.05mmの団粒部分が多く、土塊および微細粒子が少ない傾向がみられた。このような構造変化を反映して、直播田の作土のEhは移植田よりも約100mV高く、根腐れの発生も少ないようであった。

(3) 耕うん法と構造

耕うんの精粗あるいはシロカキの有無や程度は土壤構造に影響を及ぼす。耕うん法と土壤変化および水稻生育の関係については泉⁹⁾によって詳細に研究されている。耕うん機はスキ砕土機の耕うんに比べて土壤は細砕される傾向がある。その結果、前者では土壤のEhは低く、窒素の無機化は多くなる特徴をもっていた。この傾向は簡易耕や不耕起栽培においてもみられる。

水田作土を泥状化する最大の要因はシロカキ作業である。シロカキは漏水の防止、田植を容易にすること、肥料の全層混和、雑草の抑制、田面の均平化など多様の意義があるが、土壤構造面からみると、塊状や粒状構造を泥状化する作業であり、その変化の状況を図-3に示したりシロカキの功罪は土壤や気象条件によって異なり、暖地の粘土質の水田では代かきを軽度にする方が水稻生育に対しよいようである。

耕うん法と関連して問題になるのは耕起の時期ひいては乾燥の程度である。表日本では秋耕は土壤の団粒化を助長し、作土の粒状化を促進する。図-4に乾燥による構造の変化を示したが、秋耕をすると、2cm以上の大土塊を減少させ団粒部分が明らかに増大した⁹⁾。埼玉県下で乾田直播田で秋耕が励行されているのも、かかる構造変化が発芽苗立に好結果をもたらすためである。

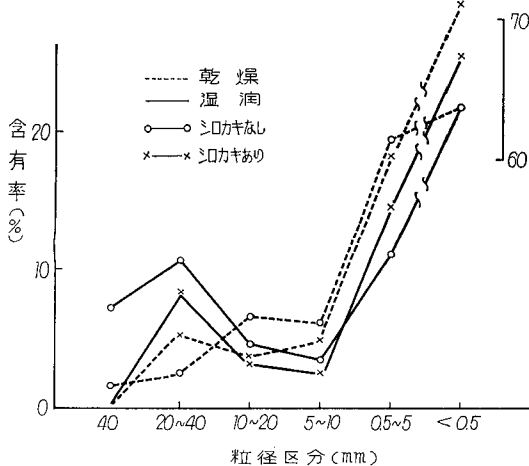


図-4 乾燥・シロカキと土粒分布

(4) 田畑輪換と土壤構造

田畑輪換によって水稻生育がよくなることはよく知られている。上郷⁹⁾は田畑輪換による土壤変化を詳細に研究し、田畑輪換によって土壤の団粒含量は明らかに増大し、水中沈定容積が低下すること、またこの傾向は畑期間の長いほど著しいことを明らかにした(表-4)。そしてこれらの変化が水稻生育を良くする一因をなしているとした。

表-4 田畑輪換による構造の変化

	耐水性団粒(%)								水中沈定容積(cc/10g)
	タン水前(S.26)				水稻収穫後				
	>20 mesh	20~50	50~150	<150	>20	20~50	50~150	<150	
連年水稻区	3.0	6.4	12.3	78.4	5.2	10.3	17.2	69.4	19.0
隔年輪換A区	5.4	9.6	13.6	71.5	8.6	11.6	17.5	62.4	18.2
〃B区	7.4	13.4	13.6	65.8	14.0	13.2	18.2	58.5	18.2
三年期輪換A区	12.6	8.3	12.2	67.1	12.4	11.2	16.4	60.2	17.4
〃B区	6.7	13.0	14.0	66.5	5.9	9.9	16.5	67.7	17.7

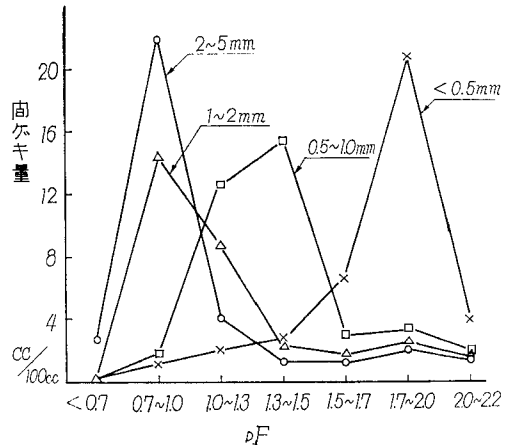


図-5 土粒の粒径と間ゲキ分布(前田未発表)

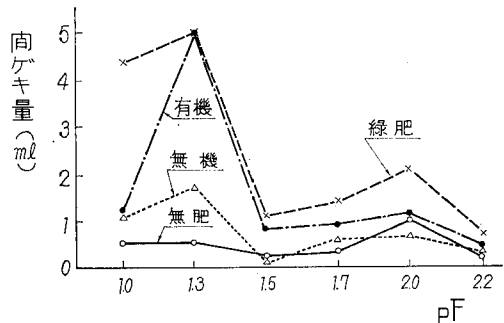


図-6 肥料連用土壤の間ゲキ分布

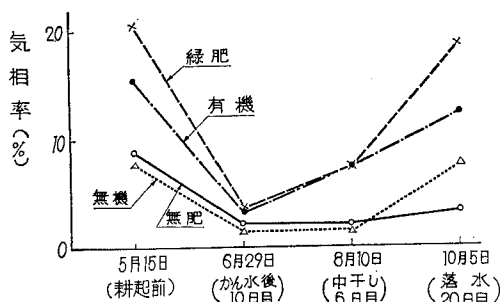


図-8 土壌構造と酸化還元性

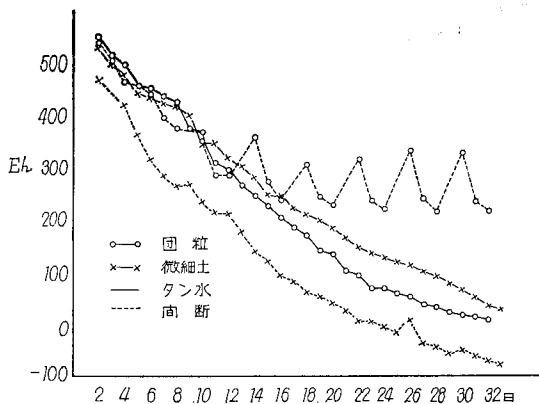


図-7 肥料連用土壌の気相率の変化

3. 構造と土壌の理化学性の関係

土壌の構造変化は、土粒子自体の特性と粒子間の間ゲキの特徴の両面を通して土壌の理化学的性質に影響を及ぼしている。

(1) 土壌構造と間ゲキ性

各種の粒径の土粒子からできた模型的な構造と孔ゲキ分布の関係を図-5に示した。粒径2~5mmのものはpF0.7~1.0の間ゲキに富んでいるが、粒径0.5mm以下のものではPF1.7~2.0の孔ゲキが多くなっている。壤構造を異にする現実の水田における間ゲキ変化をさきに述べた肥料連用土壌で調査した結果を図-6と図-7に示した。図-6から粒状化の発達した有機連用区ではpF1.0前後の間ゲキが多く、約10%に達している。これらの土壌の栽培期間中の気相変化を追跡した成績によると、粒状構造化したものは、一般に気相含量高く、とくに落水した際8%も空気が浸入していたが、泥状構造のものでは、2%前後の浸入量しかなかった。この事実、落水中干しの効果を考える場合重要な相違をもたらすものと思われる。

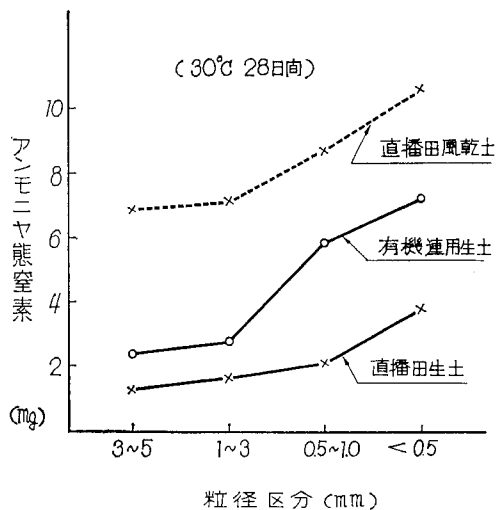


図-9 土粒の粒径と窒素の無機化

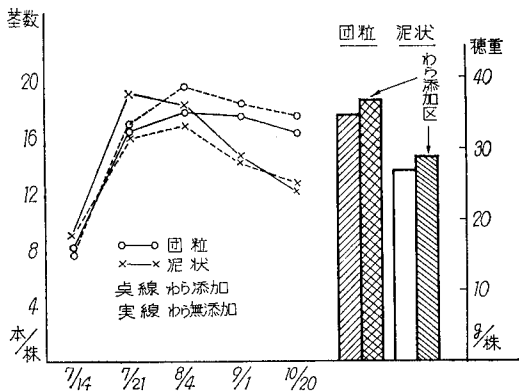
(2) 土壌構造と Eh 変化

土壌の構造の違いは土粒子内の有機物の分解速度と間ゲキ分布の差を通してEhに反映する。図-8は2~6mmの団粒土と2mm以下の微細土を渗透管につめ、タン水および間断かん水条件下でEhの変化を追跡した成績である。タン水条件下では粒径の違いによってEhには大きい差はみられない。しかしながら、4日間に1日落水した間断かん水条件下では、青峰ら²⁾が指摘したと同様に、団粒土でのEhは、落水とともに上昇し、約250mVを前後していた。一方、微細土では落水によるEhの上昇は全くみられず、むしろ内山⁹⁾が指摘しているように、排水をすることによって、Ehは低下する傾向が認められた。この事実は、構造の粒状化は土壌のEhを高める上の必要条件ではあるが、そのみによっては高まらず、落水そして空気の浸入が必要であることを示しているものと考えられる。

(3) 構造と窒素の無機化

土壌構造の変化と関連する土壌の化学性のうち最も重要なものは窒素の無機化であろう。土粒子の大小と土壌窒素の無機化の状態を図-9に示した。土壌の来歴や前処理の如何をとわず、土塊や団粒を細かくするほど窒素の無機化量は多くなり、とくに1mm以下になると急増するようである。この事実は泉⁶⁾、原田¹⁰⁾らの実験成績と同様な傾向である。この実験は一定期間内の無機化量をみたのであるが、無機化の時間的経過は、水稻の生育相などなら推測して、大粒子では後期になって小粒子を凌駕するものと思われるが、なお検討を要する問題である。

さらに粒状化は透水性を高めること、土壌内部で部分



図一〇 土壤構造と水稻の生育収量

的に高い Eh 部分が多くなることなどよりして、窒素の溶脱や脱窒を増大させることが推定される。それでこれらのマイナスの要素を施肥法などで補わねば、粒状化は水稻の生育に必ずしもプラスに働くもののみ考えることはできない。

4. 水稻生育と作土の構造

土壤構造と水稻生育の関係についての既述の研究には二つの流れがある。一つは、水田作土の構造は、畑作物と構造の関係と同様に、必ずしも水稻生育に対し好影響を及ぼすはずであるから、これらの関係を直接明らかにしようとする立場のものである。他の一つは、水稻の栽培管理作業のうちある作業が土壤構造に著しい変化を与えているので、この作業の研究の過程において構造と生育の関係のみてきたものである。

第一の観点からの研究には、1948年に藤原¹¹⁾らの研究があり、その後、川口¹²⁾、久保田⁹⁾、平野¹³⁾らも類似の観点から研究を展開した。これらの結果は、団粒土は泥状あるいは微粒土にくらべ、土壤 Eh は高く経過したにもかかわらず、収量的には予想に反して劣る場合が多かった。この理由として団粒土での窒素の動きがマイナスに作用していたことを推測している。クリリウムの出現によって刺ゲキされて開発された各種土壤改良剤に関する試験成績も大体同様の結果に終わった。われわれも水稻生育と構造の関係を研究してきたが⁹⁾、図 9 に示すように、粒状構造化は少肥条件や過度の排水を行なった場合には、泥状土よりも生育が悪い。しかし還元になり易い場合や多肥条件下では粒状構造が泥状よりも高収量をもたらした。また粒状構造は泥状構造に比べて、水稻の初期生育はやや劣るが秋優りな生育経過をたどるようである。

栽培作業との関連での研究には代かきの問題がある。

代かきは泥状構造化を促進する⁷⁾¹⁴⁾。かかる泥状化は寒冷地での透水性低下にともなう地温の上昇、砂質水田での漏水防止の上からは絶対必要であり、その効果も高い。しかしながら、暖地の肥沃な粘土質水田では代かきを軽くすることが水稻収量に対し好影響を与えている。耕うん法と水稻生育の関係について、泉⁹⁾は次のように結論している。土壤を細かく耕うんする耕うん機耕は然らざるスキ耕にくらべて土壤からの窒素の放出量は多くなるが、土壤の還元もまた促進される。その結果、耕うん機耕は低温の年や還元し難い土壤ではスキ耕にくらべて水稻の収量を高めるが、然らざる場合には逆の結果となる。

以上、土壤構造と水稻生育の関係の諸研究を概観したが、これらの研究結果から、作土の粒状化あるいは塊状化は泥状化にくらべて土壤有機物の分解の抑制や落水時の空気浸入量の増大によって、土壤の Eh を高め、根腐れを軽減することは明らかである。しかしながら、かかる根の健全化が必ずしも水稻の増収に直結するとは限らない。粒状化は土壤窒素の放出をおさえ、時には施用窒素の流亡を激化するなど、養分とくに窒素の面でマイナスに作用することが多い。それ故、粒状化にともなう Eh の上昇と窒素の供給を如何にして調和させるかが、粒状構造化を水稻多収に結びつける鍵となるものと考えられ、これを解決する方法として緩効性肥料の活用や窒素の新しい施肥配分などが有効なものと推測される。

乾田直播栽培における作土の構造と苗立ちの関係あるいは大型機械の走行性と構造の問題などについては別の機会に述べることにする。

5. む す び

水田作土の構造は泥状をもって代表されているが、詳細にみると、各種の構造の存在が認められ、これらは栽培管理様式の違いによって容易に変化していく。その結果、土壤の透水性、酸化還元電位、窒素の無機化などに影響を及ぼしている。作土の粒状化が乾田直播の苗立ちやトラクターの走行性などに好影響を与えることはよく知られているが、移植水稻の生育に対しプラスに作用することははっきりしてない。泥状構造が粒状化すると、落水操作を組合せることによって酸化還元電位は安易に高めうる可能性を内在しているが、一方、土壤窒素の無機化の抑制や溶脱の増大などの面でマイナスにも作用する。それでこの矛盾をうまく調和させていくことによるのみ粒状構造条件下の水稻の多収栽培が可能であり、これは今後の研究問題である。

参 考 文 献

- 1) 青峰重範：土壤肥料講座 2，朝倉書店，(1961)
- 2) 志賀洋郎：青峰重範：土肥誌 29，406 (1958)
- 3) 農事試験場環境部土壤肥料研究室：昭和40年度成績書(1966)
- 4) 農林省振興局・青森県農業試験場：水稻に対する有機物施用の効果に関する試験成績(第1報)，(1960)
- 5) 久保田収治：岡山農試臨時報告，59(1961)
- 6) 泉清一：農事試研報，1，(1962)
- 7) 山崎不二夫編：シロカキの研究，金原出版 (1959)
- 8) 農林省農業改良局・山形県農業試験場：田畑輪換に関する研究(第1報)(1955)
- 9) 内山修男・鬼鞍豊・高橋清一・吉田修三：土肥誌 27，23 (1956)
- 10) 原田登五郎・林竜三・近本明雄：土肥誌，35，21 (1964)
- 11) 藤原彰夫・前田信寿：土肥誌，19，113 (1948)
- 12) 川口桂三郎・喜田大三：土肥誌，27，229 (1956)
- 13) 平野俊・原楨紀・中野啓三・藤井兵夫：四国農試研報，4，45 (1958)
- 14) 坂上行雄・水沼豊：土肥誌，33，386(1962)

深耕と水稲生育

山 沢 新 吾*

はしがき

深耕**は水稲生育および増収に対し、生産力的な必要条件である。各種耕うん機械の使用によって、その目的を達成しなければならない。筆者は、水稲の生育収量に対する深耕の効果、耕法、耕うん機械、耕うん作業性能等につき農業機械の立場より考察検討し、討議の資料に供するものである。

1. 水稲高位生産と深耕の役割

水稲の増収をはかるには、耕地の排水、客土、有機物多用、深耕という一連の技術的施策が望まれる。目的とする増収をはかるには、まず、理想的な土壌を造成することである。その条件とは、壤土、埴壤土であり、かつ、心土層も良好であること、耕土層を含めた有効土層が厚く、水稲生育に適度の透水性を有すること、土壌中に多量の有機物と養分を蓄すること等である。このうち、深耕は水稲高位生産に寄与する水稲根環境改善の手段¹⁾であって、根系の活動範囲を拡大し、溶脱成分を還元し、養分豊度の維持増進等によって、根と茎葉の健全な生育を確保し、増収を期するものである。したがって、深耕方法や、濃厚肥料の適正施用、土壌透水性改善のための心土破碎、土壌の乾燥等により、さらに、生育期間中の健全な根の発達と維持をはかる管理等の総合的改善によって、初めて高位生産の目的を達することができる。

2. 地力の増進と耕深

水稲の環境要素のうち、土壌の要素としては、地力増強が多収の先決問題である。このためには、前述した理想的な土壌を造ることから出発しなければならない。一般に水稲の増収に対しては、地力依存が約 $\frac{2}{3}$ で、肥料その他の栽培技術依存が約 $\frac{1}{3}$ といわれている。深耕が水稲の生育に対し第一義的に効果である点は、養分の天然供給量の増大、順調な生育、肥料濃度の改善、保肥力の増大、根茎比の適正化等である。土層は耕土、硬盤、心土に分けられるが、多収を望む水田としては、硬盤の厚さ

6～9 cmを含めて、その部分まで耕土化し、耕土18cmあればほぼ適当である。

さらに、心土が深く肥沃なことも多収の要件であり、その深さは30cm以上が望ましいようである。富民協会が行った集団地多収獲競技会で1～10位の圃場の耕深は15～40cmで玄米反収750～1,000kgの成果をあげており、そのほとんどが耕土の深いところである。また、1949～1956年にわたり実施された朝日新聞社主催の米作日本一表彰会²⁾で各地の首位を得たものの出品田の耕深は20cmが最も多かった。また、この深さ程度は、多収穫において倒伏を防ぐことから適当のようである。このように、多収をあげた水田の調査をみると、いずれも耕土が深い。

耕土を重量的にみると³⁾、乾土で10a当り約1cmとみなされるので、耕深12cmを18cmにするには約60tonの耕土を増すことになり、量的にも決して少ないものではない。これらの土量を能率的に耕うんするためには、強馬力のトラクタや、深耕用耕うん機具の開発利用が注目される。

3 深耕による増収効果

深耕は増収の第1要件ではあるが、それとともに、施肥法、品種、栽培管理等が総合的に改良されることによって、はじめて能率の高い栽培技術が確立され、増収の期待が得られることになる。深耕に対しては、能率的な深耕可能の耕うん機械を使うか、または、深耕の耕法を行うとともに与えられた耕土の処理として、適正な代かき作業を行なうこと等、量、質の改善に注目しなければならない。

深耕多肥による収量試験について、全国農試の結果⁴⁾より深耕の効果を見ると、北関東、北陸以北では16.6～20cmが多く、それ以南では20cm以上において増収している。20cm耕は増収上からみて与えるべき耕深と考えてよからう。

また、鴻巣農試⁵⁾で行った9cm耕と30cm耕および熊本農試で行った9、15、21cm耕の収量結果においても、9cm耕に対し30cm耕が、湿潤土に対し風乾土が、また、増収の発現は15cm耕が2年目で高位収量を確保できる等適度の耕深が必要である。

佐賀県農林部が現地圃場について行った深耕試験⁶⁾で

* 東京教育大学農学部

** 耕土13cm以下を浅耕とし、それ以上を深耕とする。

は、土性によってその発現程度が異なるようで、粘土型では10~14cmが高く、壤土型では14~16cmが、砂土型では16cm以上の耕深が増収効果をあげ、これ以下または以上の事例は少ない。

以上の試験に照しても、水稻の増収を耕深から考えると、概括して耕深 18~21cm 程度が望ましく考えられる。これとともに、十分に土地条件を調べた上で決めるとともに、その後の作付体系や、肥培管理をも含めて検討しなければ増収の効果を期することはできない。

4. 耕深増加の耕法

深耕は土壌づくりの基となる作業であって、各種の耕うん機械の選択、使用によってその目的が達せられる。しかし、これらの耕法の違いによって、作業手段の性能の違い、耕土の構造や配列を変えることとなり、これにもとづく土壌の理化学的性状の変化が稲の生育や収量にまで影響を及ぼすものと考えられる。

耕深増加の耕法には、単独耕法として、反転耕、攪碎耕、混層耕(天地返し耕)、心土耕、復合耕法として、反転耕+心土耕、反転耕+混層耕、攪碎耕+心土耕等がある。

(1) 反転耕 すき、プラウによる水田耕起の方法で、土壌に対し耕起、反転、放てき等の作用を殆んど同時に行うものである。反転耕の効果は、雑草の発生を抑制し老朽化を防止することで、このため、すきやプラウの改良の重点が反転性能を向上することに注がれている。

(2) 攪碎耕 駆動型耕うん機、ロータベータ等による耕うん作業で耕起、砕土が同時に行なわれ、耕土は攪碎破砕される。一般に駆動耕うんでは、耕深の増加に伴って所要動力はほぼ直線的に増大する。この耕法による深耕の達成はおのずと限度があり、普通は耕土層の耕うんである。

(3) 混層耕 反転耕と同様な機種による耕法であるが、耕土、硬盤、心土の層にわたり深耕、反転を行う。混層耕は土層の吟味が必要で、一般に地表近くに不良土層が良好な土層と混在しているなど、理化学的な土層配列が悪い場合に行う耕法である。水田の場合あまり行なわれないが、一度に目的とする耕深に達するには、中、大型トラクタにて混層耕プラウをけん引して行う。

(4) 心土耕 心土犁、心土プラウ、Uドーザ型心土破砕機、振動式心土破砕機等により心土層を破砕、膨軟にして耕土層をあまり混合させない耕法である。心土耕は深耕の一方法であり、下層土が不良な性状の水田や重粘土、硬盤のある水田で積極的に行いうる深耕技術である。

(5) 反転耕と混層耕 一般に反転耕は耕土層の範囲で

あるが、乗用トラクタ用犁、深耕プラウ、混層耕プラウ等を用いれば、さらに、硬盤、心土層等を反転混層することができる。

(6) 反転耕と心土耕 後随型心土プラウ(犁)や側耕型心土プラウ(犁)等により行う耕法で、心土耕の行われる割合は耕深の約3割程度である。この耕法によれば、心土層が破砕され、膨軟になった心土の上に耕土が反転されるため、心土層も徐々に耕土化される。

(7) 攪碎耕と心土耕 ロータリ耕とUドーザ型心土破砕機、ロータリ耕と振動式心土破砕機等により耕土を細砕し、心土を粗砕し、土層断面の構造を土の配列の点で特長づけた耕法である。

5. 深耕と水田耕うん機械

けん引、駆動方式に分けて耕深と関連する特質事項を示すと表1となる。

(1) すき 単用犁はすき先およびすきへらが犁身の下部に固定し、れき土の反転方向が一方だけに限られるすきである。双用犁は犁体の転向によってすき先とすきへらとが同時に向きを変えて平面耕を行うのに適する。2段耕犁は単用犁、双用犁共に本犁の前方に副犁を取付け、1回掛けで耕土を上下2段に同時にすき起す作業をするものである。小型トラクタ用犁は2輪トラクタに連

表一1 深耕と水田用耕うん機械

I けん引型 耕うん 機械	1	(1) 単用犁…畦立耕、畦崩し耕、深耕に適する。 (2) 双用犁…平面耕、けん引抵抗少なく深耕しやすい。
	2	(3) 2段耕犁…耕深単用で15cm、双用で14cm。 (4) トラクタ用犁…耕深小型トラクタ用犁12.6~14.2cm、中大型トラクタ用犁20~30cm。 (5) トラクタ用心土破砕機付犁…往耕プラウ、すき、復耕心土破砕機耕土12cm、心土10cm。
	3	(1) ボトムプラウ…耕深15~18cm、中大型トラクタ20~30cm (2) 深耕プラウ…耕深30cm以上、16''~18''直装型プラウ (3) 混層耕プラウ…耕深50~90cm、20''以上の一連プラウ (4) 心土プラウ…30cm、心土耕の深さ5~15cm、15PSは作土15~20cm、心土3~5cm (5) ディスクプラウ…24''~26''で耕深15~24cm
	4	サブソイラー…心土耕用18~85PSで30~70cm Uドーザ型心土破砕機…心土耕用30cm程度
II 駆動型 耕うん 機械	1	ロータリ型…一般に耕深12cm程度、遅い速度で16cm、耕耘爪の回転半径16~19cm
	2	クランク型…ロータリ、クランク、スクリュウ型のうち深耕に適する。
	3	スクリュウ型…20cm程度まで、深耕用スクリュウ刃最大30cm
	4	テイラー型…浅耕、砕土目的用
	5	ロータベータ…20cm内外、硬くても15cm、10~70PSで12~18cm
	6	振動式心土破砕機…心土耕用耕深25~30cm、所要馬力15~20%軽減

結使用できる。各部の構造を改造したすきで、水田耕起用として省力深耕上実用価値が高い。しかし、それでも表一のごとく浅耕である。すきの比抵抗は耕深11~12cmが最小となる関係にあり、最もよい性能を発揮する。小型トラクタ用心土破砕器付犁は本犁に心土破砕刃を装着し、1行程ですき、プラウを2行程で心土破砕器を作用させる耕法で、表一のごとく小型トラクタで大型トラクタなみの深耕ができる。

(2) プラウ 撥土板プラウ プラウ耕において一度耕起したれき土が後戻りしないためには $\alpha=45^\circ$ (α :前のれき土の表面と耕起面の垂線とのなす角)程度がよいとされる。したがって、14' プラウの耕深は25cm程度が適当とされる。プラウの標準耕深は1枚のボットの刃幅の約60%である。深耕プラウ=一般に30cm以上深耕できるプラウをいう。構造は大きな撥土板、長い地側板、大きな前れき輪および円板コルタを備える特殊プラウである。心土プラウ=作土と心土とを混合しないで、別々に耕起し、膨軟にして土壤改良に用いられる。撥土板の下方に心土破砕刃が取付けてあり、耕起と同時に下層土に対する心土破砕耕が実施できる。その構造として、後随型、側溝型がある。表土耕と心土耕のけん引抵抗の割合は1:1で、心土比抵抗は植土0.9kg/cm²、植壤土0.6kg/cm²が標準である。混層耕プラウ=超深耕プラウに属し、刃幅に対する撥土板が比較的大きくかつ高い。20'以上の一連プラウが一般に使用される。ディスクプラウ=回転しながら土壤を切断、破砕、反転する円板、円板をフレームに取付けている支持腕(ブラケット)、円板に附着する土をかき落とす作用を行なうスクレーパがその主要部である。この円板に円板角、傾斜角を与え回転により土壤を切断、破砕、反転する機構のものである。

(2) サブソイラー(心土犁) 表土と心土との反転、混合をさせ、心土の部分のみを破砕し膨軟化して下層土の性状をよくする心土耕である。構造は破砕刃、支持刃、フレームからなっている。

(4) Uドーザ型心土破砕機⁷⁾ 小型トラクタのヒッチ部にU字型にブレード刃を取付け、鋭利なすき先により小馬力で表面下30cm程度に心土耕を行うものである。硬い土壤を耕うんする場合でも、20cm位の深耕はできる。なお、ロータリ耕と併用すると、車輪軸に働く無用の力を有効なけん引力として活用でき、しかも、土壤構造上から適切な状態を与えることができる。

(5) 駆動型耕うん機 ロータリ型=耕うん部は水平回転軸に10~20本位の耕うん爪を旋状または千鳥状に配列し、これを200~300r.p.mで回転させるもので、機

体の前進速度と爪軸の回転速度とによって、任意の土塊を切削破砕することができる。耕うん爪には普通爪、なた爪、巴爪等があり、現在なた爪の使用が最も多い。クランク型=水平のクランク軸に4~10本の連接棒とその先端に耕うん刃を装着し、支持棒によってその運動を拘束する機構である。スクリュウ型=機体の後部に2本または4本の垂直回転軸を有し、この軸の下方に旋刃をとりつけ各軸が一对づつそれぞれ内側に250~300r.p.mで回転するもので、機体の前進と共に土を切削攪拌するものである。

ティラー型 小型トラクタの走行車軸と耕うん砕土軸とを共用した1本の水平駆動軸に耕うん用ロータとして爪車、なたロータ、花型ロータ等を装着し、前進車輪の役目を兼ね、抵抗棒、馬鉄などの抵抗操作の調節によって耕深を加減するものである。

ロータベータ 乗用トラクタのPTOより動力をとり、トラクタに直装した大型ロータリである。普通180r.p.m前後の回転によって駆動する。使用後の地表面が比較的均平となり能率的であるので、わが国でもかなり広く使用されている。

振動式心土破砕機⁸⁾⁹⁾ 手塚、遠藤両氏が鴻巣農試において開発したもので、直柱ノミ先型心土犁を前後方向に振動させるため、偏心カムの回転駆動によって、そのけん引抵抗を軽減し、深耕性能の向上をはかるものである。適当な振動数、振巾により約20~40の車軸トルクの軽減ができるし、心土耕後ロータリ耕を行うと所要動力が15~20%軽減できる。

6 深耕からみた水田用耕うん機械の特性

(1) 駆動型耕うん機による攪碎耕 型式別に耕うん部と走行部とを分けて測定した耕深と所要動力との関係¹⁰⁾は図一のようにロータリ型は耕深が大きいほど所要動力の増加割合が大きい。スクリュウ型はロータリ型について大きい。クランク型は最小で、深耕性能はすぐれている。ロータリ型における耕うんピッチと所要動力との関係は、耕うん軸を高速回転する場合に所要動力は大きくなり、耕うん軸の回転は同一でも走行速度を増すと所要動力は大きくなる。したがって、同一馬力でも深耕を行うには、耕うん軸の回転数を低くし、走行速度を遅くすることである。耕うん体積と所要動力との関係¹⁰⁾は小型、大型トラクタを通じ、ある幅をもって大体直線的に増大する傾向を示す。畜力耕と比較した駆動型の碎土性能は高いが、反転が劣る。耕土全層にわたって直径1~2cmのややとがった土粒が分布し、その間隙はあまりよく練られない。特に下層ではその分布率の差がはなは

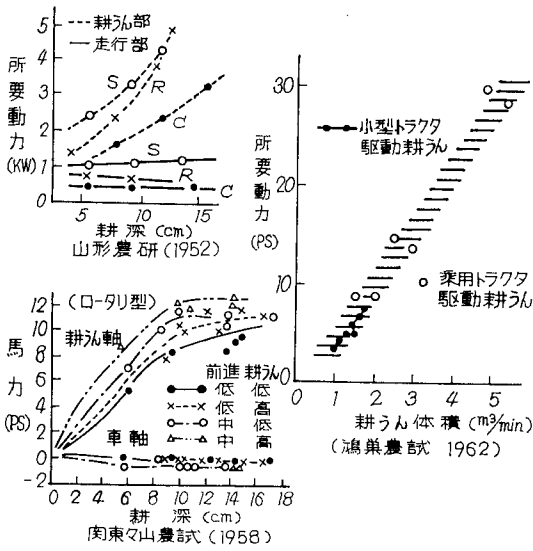


図-1 耕うん機軸の特性

だしく下層までも十分に砕土され土粒が細かしくなっている。耕起法による土壌構造の差異は水稲の生育に影響するところが大きい。その要因は、耕土層の酸化還元状態の差異で、耕うん機耕はシロカキ直後酸化状態にあるが、生育中期以後は還元状態となりその持続が長い。また、耕土層のNH₃-Hの分布と消長は、比較的上層に多く、下層に少ない。したがって、茎数、草丈は旺盛であるが、登熟に不足を生じ、生育が衰える傾向を示す。また、耕うん機耕は砕土性能がよく田面は比較的軟くなるため、深植となり分けつを阻害する。雑草の発生は反転不十分のため多く、透水性が高く漏水しやすい傾向を示す。

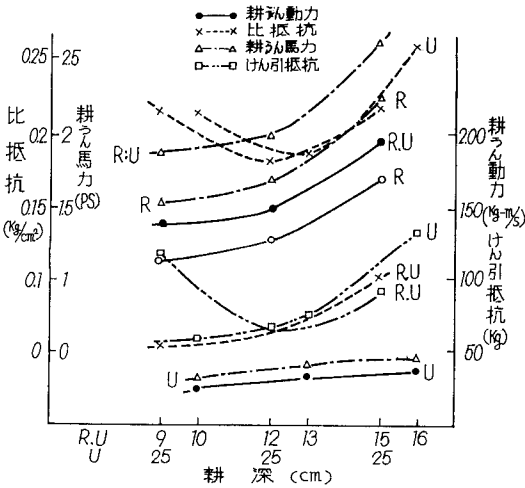


図-2 耕深と耕うん特性

(2) Uドーザ型心土破碎機とロータリ耕併用の耕うん特性 Uドーザ型心土破碎機とロータリ耕を併用すると車輪軸に働くロータリ耕うん時のマイナスのトルクと搭載機関の余裕馬力をけん引馬力として有効に利用して心土層をブレードで破碎し、同時に耕土層のロータリ耕うんにより省力深耕が可能となる。ロータリ耕(R)およびUドーザ耕(U)に対し、R、U耕の耕うん性能を示すと図-2となり、ロータリ耕深(DR)12cm付近から比抵抗は急増する。すなわち、R耕深が占める割合が増すにしたがって耕うん動力も増加する。軽壤土水田における適正耕深はDu=25cmの場合DR=12~13cmが適当と思われる。けん引力の点からみても適正な耕深は、Du=25~30cmの場合、DR=12~13cm、すなわち、全耕深の約半分をR耕とする場合が耕うん特性上合理的と推量される。またR耕とU耕併用におけるけん引馬力⁽¹⁾(DR=13cm)は18~20cm耕深において約0.3PSほど少ない特性が認められる。R、U耕の砕土性能は深耕を可能とすると同時にR耕がやや細くなる状態を呈し、砕土性からもR、U耕は適当な耕法と考えられる。

(3) 振動式心土破碎機の負荷性能⁽²⁾ 歩行用トラクタにおいてはクランク軸馬力はチゼル角20°において最小となり、チゼル巾の増加とともに増大する傾向を示す。また、チゼル角度と膨土断面積は10°, 20°は小さいが、30°, 40°は角度の増加とともに増す。乗用トラクタにおける耕深と軸馬力との関係は図-3のように、耕深の増加とともに車軸馬力は増加し、振動軸馬力も増加するが、耕深20cm程度より軽減する結果となる。支柱角度はいずれも20°の場合が軽減される。支柱角度0°の場合は耕深が増加するほどけん引抵抗の増加割合は大きくなる傾向にあり、比抵抗は支柱角度の影響が少なく、15cm程度の場合が大となる。このような特性を生かして、深

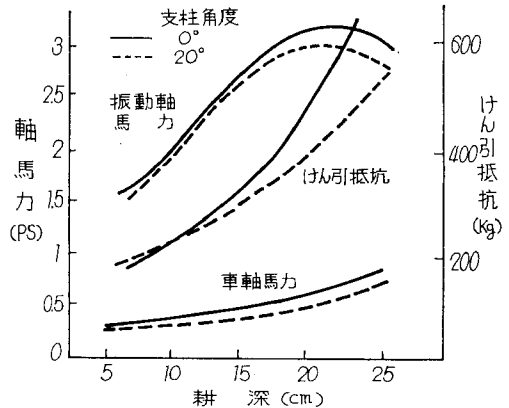


図-3 耕深と軸馬力、けん引抵抗(手塚、遠藤)

耕用心土耕として今後の開発普及が望まれる。

7 耕うん機械による耕うん作業

(1) 駆動型耕うん機による耕うん作業¹²⁾

タン水前耕うん、タン水後シロカキ法 耕起はゴム車輪または鉄車輪を装着して、ロータリ耕ではなた爪で大体耕深12cm程度に耕起する。耕深を増したり、土塊を細かくするには耕起2回以上行うこともあるが、耕うん回数を増すと一般に減収する。増収するのは耕深が深かったり、潜在Nの発現が多くなったり高まったりするためである。シロカキ回数を増すと深植になりやすく、土壌が還元になる。肥料は混合によって土壌に吸着される。また、漏水が少なくなる。これらの点を考慮して、どの程度にシロカキすべきかをそれぞれの水田の特性について決定すべきである。

攪碎耕の生育収量 小土塊が多くなることにより土壌中の有機態Nが早くNH₃-Nになり土壌が還元となる。そのため分けつ期幼穂形成期に生育が旺盛となるが、その時期以後土壌の還元による根の機能障害により生育がおとろえる傾向がある。攪碎耕で収量の多い場合は小土塊による生育の障害程度が軽く、穂数が多い場合である。

(2) うないがき法 (タン水後2~4回攪碎耕を行う方法)の生育、収量¹²⁾ 耕うん前の土壌がある程度細かく砕かれやすい状態でないと耕深が浅くなり耕うんのむらが生ずる。耕土内の土塊分布は反転耕と乾田攪碎耕との中間的な状態である。初期生育がやや旺盛であるが、幼穂形成期頃から生育がおとろえ、普通の耕うん機耕より穂数や穎花数が減少する傾向がある。

(3) ティラー型耕うん機による耕うん作業 すきによる反転耕法またはロータリ、ロータによる攪碎耕を行う。耕起は小馬力の場合は浅耕になりやすいが、馬力の大きいものは畜力犁耕と同じ程度の深さに耕起できる。砕土はかごロータ、花型ロータ、ロータリ等を取付けて行う。ティラー犁耕の収量をロータリ耕と畜力犁耕と比較すると表一2のようである。

(4) 乗用トラクタによる深耕作業¹²⁾¹³⁾ 普通はボトムプラウで行うが、耕深おむね20cm以上を耕起するためには、中、大型トラクタが必要である。反転効果は高いが砕土および均平に多くの労力がかかる。反転耕法による耕土上下層の有効成分を混和する効果が高く、水稻の増収に役立つ。深耕田の水稻は一般に初期生育がやや劣るが、中期以後の生育がまざる。したがって、穎花数が多くなり、増収するが、生育後期に登熟不良、病虫害、倒伏等による被害を受けることがあるので、土壌お

表一2 ティラー型耕うん機と他の耕法との収量比較

試験場所	区別	10a当玄米重(kg)	耕深(cm)
関東ヶ山農試 鴻巣水田 (1956)	ティラー犁耕	454	
	ロータリ耕	446	
	畜力犁耕	452	
同上2毛作田 (1957)	ティラー犁耕	452	
	ロータリ耕	456	
	畜力犁耕	428	
同上レンゲ跡地	ティラー犁耕	540	9.9
	ロータリ耕	570	13.4
	畜力犁耕 (2段耕)	570	16.4
岐阜農試	ティラー犁耕	461	15.5
	スクリュウ耕	498	16.4
	畜力犁耕	494	18.2

よび気象条件と肥培管理法をうまく組合せる必要がある。

(5) 心土耕法による深耕作業¹⁴⁾ 心土が破砕をくりかえすことによって次第に耕土化され、漸進的な深耕法として有効な方法である。耕深はトラクタの馬力と心土破砕装置などにより異なるが、15PS程度のトラクタでプラウと心土破砕犁とを同時にけん引する場合は、耕土層15~20cm、心土層3~5cm破砕することができる。また馬力の小さいトラクタでは耕起と心土破砕を分けて2行程で行うことがある。心土耕の効果は土壌の孔隙が増大し、透水性が良好となる。地温が上昇し、NH₄-Nの生成もさかんととなり、肥料の下層への移動により土壌の還元がさまたげられ、根の生理に良い影響を与える。生育的には、生育初期は茎数が少ないが、中期以後は心土層深く根が伸長し、生育は旺盛となり有効茎歩合が高く穂数も多く、吸収量がまさり増収となる。

8 乗用トラクタ用犁による耕うん整地、収量試験

乗用トラクタ用犁として、1区2連犁、2区2段耕犁3区2連心土犁および4区ロータリ型とを対比し、深耕、中高処理、砕土性、均平性、収量性等につき行った実験結果のうち収量性を述べると、2、3区は4区よりそれぞれ15%、11.5%の増収率を示した。この要因は、深耕による耕うん体積の増加が根群の伸長拡大をうながし、反転効果による地力増進およびシロカキ過程において刃車型砕土機を用いることにより、耕土層の上下層を分離攪碎することによって生じた良好な土塊配列等によるものと考えられる。すなわち、土壌構造の機能をはたすには深耕と共にシロカキ機による土壌構造の配列に注目し処理しなければならない。

9 耕うん、代かき土塊の大きさと生育収量

深耕とともに耕土層の物理的性状は収量に影響することが大きい。収量増加をはかるための土塊の大きさ決定につき行った実験結果¹⁰⁾を要約すると、耕土を二層に分け、上層代かき層を6cmとし、下層砕土層を12cmとし、下層の土塊の大きさ区分を、単粒、0.5cm以下、0.5~1cm、1~2cm、2~4cm、4~8cmとし、精粒重を求めると図-4となり、単粒区に比し、埴壤土は0.5~1cm土塊の増収率が25%、軽壤土は1~2cm土塊で28%を示し、土塊の構造性を吟味することにより増収することが認められる。なお、団粒状態と収量の結果からも上述の土塊がそれぞれ団粒量が多く、精粒重の多い関係が認められ、団粒構造が水稲の増収要因であることが明らかとなる。

したがって、深耕の量的増加と相まって耕土層の土壤処理を耕うん、砕土、シロカキの作業過程において十分吟味検討しつつ実施することが必要である。

結 び

深耕と水稲生育特に増収との関連を農業機械の立場より試験事例を含めて論説した。深耕の意義および増収効果を述べ、深耕の程度を18~21cmが適当であることを明らかにし、深耕対策として各種機械的手段と深耕法による耕うん作業およびシロカキ処理の程度につき論じた。

水稲の増収は深耕のみで解決するものではなく、深耕対策とそれに対応する各種の作業技術、栽培管理技術等と両々相まってはじめて深耕の効果を高次に発揮することができる。したがって、耕うん、砕土、シロカキ、均平を含めた土壤処理を終局的には水稲の生育環境としてのよい土壌作りとすることである。

参 考 文 献

- 1) 井出嘉光：稲作総合改善集約事業の研究資料(1)、農林省農政局、1966、86~87
- 2) 朝日新聞社：米作日本一表彰受賞者の稲作技術
- 3) 手塚右門：小型トラクタによる水田の上づくり 機械化農業、1561、17
- 4) 竜野得三、向井三雄：試験成績から見た水田深耕の効果、農業技術、10(3)、1955
- 4) 同上：水田深耕の効果に関する研究のとりまとめ、関東々山農試報、5、1954
- 5) 菅原友太：水田の技術と経営、1956、177
- 6) 松尾憲一：水稲の収量と土壤断面の二、三の性質との関連、土壤の物理性、15、1966、6
- 7) 山中勇、山沢新吾、湯沢昭太郎：ロータリ耕とBulldeeper耕とを組合せた耕うん方式について、農機学会講演要旨、1962、59
- 8) 手塚右門、遠藤俊三：振動式心土破砕機に関する研究(1~2)、農機誌、24(1~2)、1962、21~24、49~52
- 9) 同上：乗用トラクタ用振動式心土破砕機に関する試験、1961年試験成績、1962、農事試験場農機具部、31~40
- 10) 庄司英信：農学機械学概論、養賢堂、1964、183~184
- 11) 中馬 豊：Bulldeeperによる水田深耕に関する研究、農機誌、23(2)、1961、63~67
- 12) 泉清一：水稲の機械化栽培法、養賢堂、1963、20~23、35、36~38
- 13) 泉清一：水田農作業の理論と実際、農文協、1958、174~179
- 14) 常松栄、吉田富穂、松居勝広、池内義則：心土破砕機の利用拡張に関する研究(1~15)、農機誌、1962~1964、24(1)~26(1)
- 15) 山沢新吾：乗用刃車型代かき機の整地性能に関する研究、農機学会講演要旨、1963、24
- 16) 山沢新吾：代かき土塊の大きさと粒団の構造性に関する研究、農機誌22(1)、1960、11~16

土壌の比表面積と BET 法による測定

須藤 清 次

1. 土粒子の表面積・粒径

土壌中の活発なフラクシヨンの定量的表示は、普通は粘土分の重量%で行なわれている。ところで粘土分に求められる役割は、イオン吸着・コロイドとの相互作用・吸湿などの土粒子表面積と界面現象に関係するものであることはいうまでもない。

いま土壌が20%の粘土分を含むとすると、それがカオリナイトならば 100g の土壌につき表面積は約100m²にすぎないが、モンモリロナイトならば約 8,000m²にも達する。つまり表面積で較べると80倍も異なる内容が、重量%では同じ値になってしまう。したがって土壌の物理的指標としての比表面積の意義は、粘土の重量%表示に較べてはるかに大きい。

さらに粘土粒子の大きさの問題がある。粒径は多くの場合に比表面積と同義語であるが、次のような場合には独自の意味をもってくる。粒径は土粒子間の力学的性質すなわち分散・凝集の挙動を左右するファン・デル・ワールスの引力の大きさを決めるから、土壌構造や土壌の力学的性質を考えると重要な因子になる。また壁状構造 (massive) の土壌の含水量や水の流動の場をきめる間隙も粒径が反映されよう。粘土分の重量%表示では粒径は 0.002mm で区分されるだけでその内容は不明であるが、比表面積と粒径との関係はある条件の下で一義的にきまる。

このような比表面積の意義を考えるとしてもその測定法が面倒であるならば、粒度分析の代用はつとまらないといえる。しかし Jura・Harkins による表面エネルギーのカロリメトリー (浸漬熱法) または後述の BET法によるとしても、粒度分析の予措・沈降時間や乾燥秤量を考えるならば、比表面積測定がかならずしも面倒な方法とはいえない。

2. 粒子の幾何学的性質

単位重量当りの粒子の比表面積 S_w と粒径 d との関係は球モデルでは

$$S_w = (\pi d^2) / (1/6 \rho \pi d^3) = 6/\rho d \dots \dots \dots (1)$$

ρ : 土粒子の密度

ここで $\rho = 3$ とおいてもよいから、そのときは(1)式は

$$S_w = 2/d$$

したがって粒径と比表面積との対応は表-1 のようにまとめられる。一般に採用されている粒径区分の有効数字

表-1

粒 径 d	2 mm	0.2mm	0.02mm	2 μ	0.2 μ	0.02 μ
比表面積 S_w	10cm ² /g	100cm ² /g	0.1 m ² /g	1m ² /g	10m ² /g	100m ² /g

が2である理由は別にあるものと思うが、比表面積の区分にも好都合になっていることになる。

1個の球を n 個の等径球に分割すると粒径 dn は次のように徐々に縮小する。はじめの粒径を d_1 とすると、体積は一定だから $(\pi d_1^3)/6 = (n\pi dn^3)/6$ となり

$$dn/d_1 = n^{-1/3} \dots \dots \dots (2)$$

この分割の問題を比表面積の変化でみると、(1)、(2)式から

$$S_{wn}/S_{w1} = n^{1/3} \dots \dots \dots (3)$$

分割による粒径・比表面積の変化を示す(2)、(3)式は図-1 のようになる。

次に粒子の形状による特徴を考える。棒状粒子の場合はその細長比を n 、長さ方向に垂直な横断面の代表長さを d とする (図-2 (a))。そのとき細長比 n と比表面積

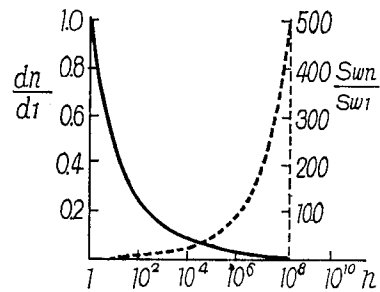


図-1 1個の粒子を n 個に分割したときの粒径 dn と比表面積 S_{wn} の元のそれとの比

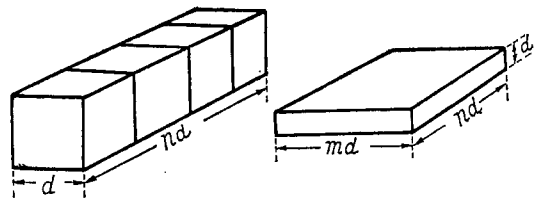


図-2 比表面積と形状

積 $Sw(n)$ との関係は次のようになる。

正立方体 $Sw_{(1)} = 6d^2/\rho d^3 = 6/\rho d \dots\dots\dots(1)$ 前出

細長比 n $Sw(n) = (4nd^2 + 2d^2)/(\rho nd^3)$
 $= (4 + \frac{2}{n})/\rho d$

$\therefore Sw(n)/Sw_{(1)} = (2 + \frac{1}{n})/3 \dots\dots\dots(4)$

これを表にすると次のようになる。

表-2

棒状粒子	細長比 n	1	2	4	10	∞
	$Sw(n)/Sw_{(1)}$	1	0.83	0.75	0.70	0.67

板状粒子の場合には 図-2 (b) のように短辺の長さを d , 2つの長辺の長さ md , nd とすると比表面積 $Sw(m, n)$ は

$Sw(m, n) = (2md^2 + 2nd^2 + 2mnd^2)/(\rho mnd^3)$
 $= (2 + \frac{2}{m} + \frac{2}{n})/\rho d$

$\therefore Sw(m, n)/Sw_{(1,1)} = (1 + \frac{1}{m} + \frac{1}{n})/3$

これを前と同様に表にすると、

表-3

板状粒子	長辺長比	m	1	4	4	10	10	∞
	短辺長比	n	1	2	4	4	10	∞
	$Sw(m, n)/Sw_{(1,1)}$	1	0.58	0.50	0.45	0.40	0.40	0.33

(4), (5)式による二つの表から明らかなように、代表径(最小辺長) d でつくる正立方体の比表面積($Sw_{(1)}$ または $Sw_{(1,1)}$)と比較すると、棒状粒子と板状粒子の比表面積は小さくはなるが限界値があり、極限の場合がそれぞれ $2/3(=0.67)$, $1/3(0.33)$ となる。このことから比表面積から粒子の最小辺長のオーダーが判ることになる。

3. 比表面積積定 (BET法)

土粒子の表面での N_2 や H_2O の蒸気の吸着は物理的吸着(相変化だけ)であってBETの多分子層等温吸着

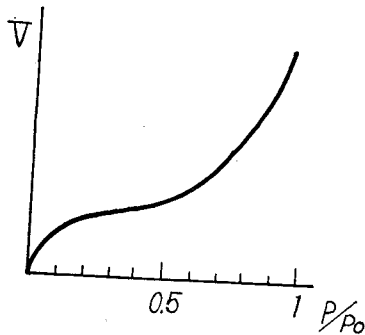


図-3 水蒸気の吸着

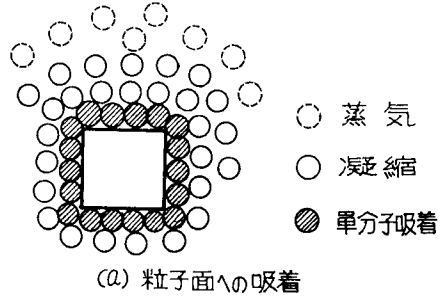


図-4 単分子層吸着 V_m の計算

式(Brunauer, Emmett, Teller, 1945)が適用される。多分子層吸着の過程は図-3のように考えられている。単分子層が吸着されるときは蒸気は凝固の潜熱を出し、第2層以上の吸着には凝縮の潜熱で各層とも等しいと考えると次のBET式が得られる。ここでは吸着相に水蒸気を使用する場合について進めるが、粘土の表面にたいして敏感な水では完全な物理吸着が進むといえないので、 N_2 の方が理想的であることはいうまでもない。

BET式 $V = \frac{V_m C P}{(P_0 - P) [1 + (C - 1) \frac{P}{P_0}]} \dots\dots(6)$

V : 相対湿度 P/P_0 のときの吸着量(ここでは重量表示)

V_m : 同条件での単分子吸着の総量

P_0 : 飽和蒸気圧, C : 単分子層の吸着熱と第層以上の吸着熱できまる定数,

(6)式で V_m, C は定数だから、(6)式を書きかえて

$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C - 1}{V_m C} \left(\frac{P}{P_0} \right) \dots\dots(6')$

とすると、右辺第1項および第2項の P/P_0 の係数は定数だから、(6')式は $P/V(P_0 - P)$ と P/P_0 とを座標にとれば直線になる(図-4)。

図-4で $K_1, K_2 (= \tan \theta)$, がきまるから

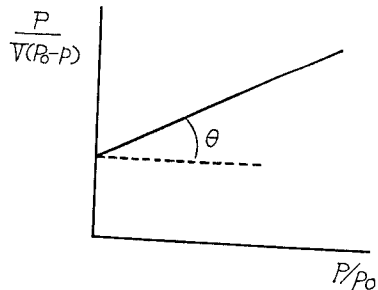


図-5 水の単分子の層間吸着

$$1/VmC = K_1, (C-1)/VmC = K_2 \dots\dots\dots(7)$$

この連立方程式を解くと $C = (K_1 + K_2)/K_1$ から Vm が得られる。

$$Vm = 1/(K_1 + K_2) \dots\dots\dots(8)$$

水1分子の平面への射影面積として 10.8 \AA^2 を採用すると、1gの水分子を平面に敷きつめたときの面積 Sg は

$$\begin{aligned} Sg &= 10.8 \text{ \AA}^2 \times (\text{アボガドロ数}) \div (\text{水の分子量}) \\ &= 10.8 \times 10^{-16} \text{ cm}^2 \times 6.02 \times 10^{23} \div 18g \\ &= 3.6 \times 10^7 \text{ cm}^2/g \end{aligned} \quad (9)$$

となる。したがって単分子層吸着が完了したときの土粒子のもつ水分量含水比 w で表わして、それから土粒子の比表面積 Stw を求めると次のようになる。

$$\begin{aligned} w &= Vm / (\text{試料の乾土重}) \times 100\% \\ \therefore Stw &= Sg \times (w/100) = 3.6 \times 10^7 (\text{cm}^2/g) w \times 10^{-2} \\ &= 3.6 \times 10^5 w \text{ cm}^2/g \\ &= 36w \text{ m}^2/g \end{aligned} \quad (10)$$

4. 水蒸気吸着の例

試料は白狐山土 (LiC, 14A 鉱物カオリン鉱物), 関東ローム (LiC, アロフェン), 八郎潟 (HC, モンモリロナイト) を用い次の値を得た。この実験で含水比測定誤差はカセットメーターでさまり、その大きさは試料

表—4

土 壤	B E T 法		一 点 法
	P/P_0	$Stw (\text{m}^2/g)$	$Stw (\text{m}^2/g)$
白 狐 山	0.26	32	31
関 東 ロ ー ム	0.59	110	77
八 郎 潟	0.35	66	36

P/P_0 : 変曲点の湿度, 一点法は $P/P_0 = 0.21$ の点の値

0.6mg のとき比表面積で $\pm 5 \text{ m}^2/g$ となる。表の値をみると白狐山を除いては変曲点の湿度が高過ぎて、単分子吸着とみることができない。また一点法の値も当然のことであるが白狐山以外はBET法とのずれが大きい。BET法が適用できない原因として、関東ロームでは土粒子の非結晶のためであり、八郎潟ヘドロでは結晶の破壊または水溶性塩の存在によると考えられる。これから水蒸気吸着へのBET法の適用にはいろいろな注意を必要とするといえる。

粘土鉱物による比表面積の標準的な値として Marshall の著書³⁾に引用されている Orchiston²⁾ の測定値を掲げる。わが国の土壌については竹中の測定値がある⁴⁾。これはBET式の経験を採用した一点法によるもので厳密な手続を経たものではないが、大略の値を示すものと

表—5

土 壤	$Stw (\text{m}^2/g)$	B E T	HJr
モ ン モ リ ロ ナ イ ト		454	501
イ ラ イ ト		86	82
カ オ リ ナ イ ト		6	10

水蒸気吸着による。
HJr は Harkins・Jura の相対法, (Orchiston, 1954).

表—6

土 壤	$Stw (\text{m}^2/g)$	生 土	風 乾	50°C ³⁾ 乾	105°C ³⁾ 乾
		宇 都 宮	アロフェン	300	314
東大構内	アロフェン	380	372	—	297
静大構内	14A 鉱物, カオリン	86	81	75	71
紋 別	加水ハロイサイト	77	71	—	59

(竹中, 1964)

いえる。

5. BET式適用上の問題点

(1) 単分子層吸着の完了点

単分子吸着の完了点は図—3の等温吸着曲線の変曲点または図—4と(8)式で与えられる。土壌の場合には多くの経験からその点は $0.17 < (P/P_0) < 0.25$ の値をとるが次のように一点法でもよいと考えられている²⁾。

$$P/P_0 \approx 0.21 \text{ } P/F \rightarrow \approx 6.3 \dots\dots\dots(11)$$

吸着量は吸湿過程と乾燥過程とで異なり、後者の方が大きい値となるのはいうまでもない。BET式適用上の複雑性を考えると、水蒸気吸着では 105°C 炉乾燥後の吸湿過程を採用するのが妥当と考える。したがって土粒子表面の性質が乾燥で変化し易いものは、この方法の適用上の限界がある。

(2) イオンの水和

粘土の吸着イオンにより結合水量が異なることはよく知られている。イオンに水和する水分子数については Rios・Vivaldi (1950) による次式が知られている。

$$(\text{水量}) \propto (\text{イオンの電荷}) / (\text{イオン半径})^2 \quad (12)$$

液相の H^+ はヒドロニウム・イオン H_3O^+ として水分子と結合している。それと対比して各イオンの相対的水和分子数は次のようになる (Renny)⁵⁾。

表—7

イオン	H^+	Li^+	Na^+	K^+	NH_4^+	Mg^{++}	Ca^{++}	Cl^-	Br^-
水分子数	1	12	8	4	4.4	14	10~12	4	2

、水のような極性分子の吸着はBET式の適用に問題が

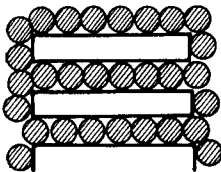
あるが、単分子層とそれ以上の層のグループとの吸着エネルギーの違いがあるという点からBET式の適用は可能といわれている⁹⁾。前表の水和は単分子吸着で行なわれ、 S_w の値は2倍になることがある⁷⁾。

現代の水に関する知見に基づいて単分子層吸着の pF を求めると $pF=7.37$ となり、また気液の境界のエネルギー差は RT (R : 気体定数) であるから $pF=6.15$ となりその層厚は 20~30 分子層と考えられている⁹⁾。これらの知見とBET式の内容とは今後の研究に待たなければならないが、BET式による比表面積が真値に近い値を与えうることは疑いない。

無極性の N_2 蒸気の吸着によるBET式の S_w はHJrの浸漬熱法とほとんど等しい値を与え、最も正確な S_w 測定法である。

(3) 層間侵入

モンモリロナイトのような膨張格子型のは、水蒸



気の単分子層吸着のレベルで層間に一層の吸着が行なわれる⁹⁾。このような場合は層間侵入のない N_2 の吸着との差引により、層の面積または全表面積が計算できる。

6. pF 測定

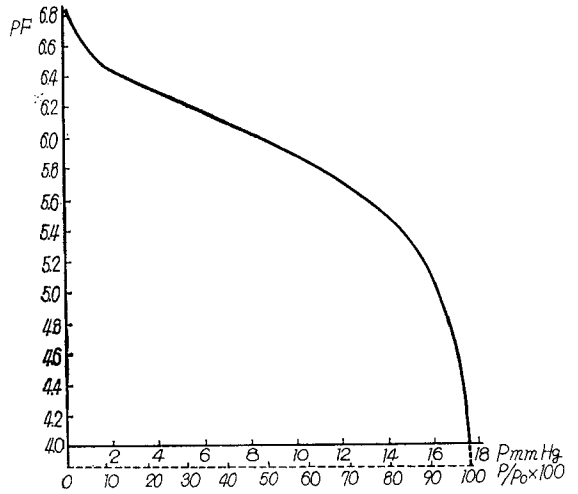
BET法の実験装置はそのまま高 pF 測定に適用できることはいうまでもない。高 pF 状態は水と土粒子との相互作用、土壌溶液の浸透圧および水の表面張力によりきまり⁹⁾、土壌の膨潤、収縮や亀裂・粘着などの研究に欠くことのできないものであろう。同一装置の用途を考えてここに pF 計算を付記する。

$$pF = \log(-\Delta\mu)$$

μ : 水の比ギブス自由エネルギー

$$\begin{aligned} \Delta\mu &= \int_{p_0}^p v dp \\ &= \int_{p_0}^p \frac{RT}{M} \cdot \frac{1}{P} dp \\ &= \frac{RT}{M\rho_w g} \cdot \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) \end{aligned}$$

M : 水の分子量
 ρ_w : 水の密度
 g : 重力加速度



図一6 pF と水蒸気圧との関係 ($20^\circ C$)

(水頭 cm)

これに常数を入れて計算すると次式が得られ

$$20^\circ C \text{ で } pF = 6.50 + \log\left(\log\frac{P}{P_0}\right) \dots\dots\dots(13)$$

図示すると図一6となる。

〔謝辞〕 比表面積測定の実験に協力を戴いた鈴木隆氏ならびに長祐弘氏に御礼を申上げる。

参 考 文 献

- 1) Marshall, T.J.: Relations between Water and Soil, Commonwealth Agr. Bureau, p. 7, 1959.
- 2) Orchiston, H.D.: Soil Sci, 76, 453~465, 1953.
- 3) Orchiston, H.D.: Ibid, 78, 463~480, 1954.
- 4) 多田敦ほか4名: 農土研, 別冊7, 14~21, 1963.
- 5) 田村幹雄: 物理化学, 下巻, 至文堂, p.445, 1958.
- 6) Keenan, A.G., Mooney, R.W., and Wood, L.A.: J. Phys. Coll. Chem. 55, 1462~1474, 1951.
- 7) Quirk, J.P.: Soil Sci. 80, 424~430, 1955.
- 8) 妹尾学: 農土論集, 14, 11~15, 1965.
- 9) Mooney, R.W., Keenan, A.G., and Wood, L.A.: J. Amer. Chem. Soc. 74, 1367~1371, 1952.

第8回土壌物理研究討論会総合討論要旨

司会：横井 肇（農技研）・中川昭一郎（農土試）・鈴木重義（農工大）

◇.....◇

一 土壌断面を中心として

.....◇

多田（農土試） 硬度と根の伸長との実験に関して、厚さについてはどうか。厚いものでは弱い硬度でも阻害されると思うが。

滝嶋（農技研） 初めの実験で 1～6 cm のコアを作ったが、1 cm 位では根が伸びず、5～6 cm の厚みを層としたが、この厚さが適当であるかどうかは疑問である。結果としては 25 cm 以上は根が伸びず 1 cm では実験不可である。6 cm の時は土壌が安定する。5 kg/cm² では根は伸びない。

石井（農事試） 水稻根の伸長と硬度との関係をみる場合の水稻の栽培法について具体的方法を。

滝嶋 全部幼植物の発芽した種子を使用、種子根から 5～6 本の成長の良い根を対象とした。なお、成育期間は、1～2 週間たったものとした。催芽状態でコアにのせた水すると硬度は低下するが、ここに示した硬度は最初に測定したもので示してある。

寺沢（農技研） 土壌硬度と根の生長との関係をみるときに、硬度変化に伴う構造、透水性の影響を加味する必要がある。特に土壌型態別の硬度を透水性、構造などと相互に関係させて追求する必要があると思われるが、この点の配慮は。

滝嶋 硬度と間ゲキとの関係を考えなければならないであろう。

須藤（山形大） 還元状態を Fe²⁺ の量で表わした理由を少しくわしくお聞きしたい。

岡本（日本鋼管） 形態分類は現地で判断する。Eh と二価鉄との相関は出ない故、今回はふれなかった。しかしポットの試験では出る。そして調査しやすい二価鉄を用い水稻の無い状態と水稻の栽培中との関係を考察した。

八幡（東大） 土壌硬度を横方向から測定することは根の関通性との関係を研究する上で問題にならないものか。

滝嶋 縦横両方向行ったが横からの方が上からよりも値が小さいと思われていたが殆ど違わず、この実験方法としては、水平にさすように設計されているが、実験の多くは、縦からさす方が多かった。上からさすとコアの目方が最初からかかるので、指標が小さく出る。この縦

横の誤差範囲は $\frac{1}{100}$ 以下である。

◇.....◇

二 透水性を中心として

.....◇

中野（東大） ある減水深の値で収量 max があらわれ、その後収量がへるが、これは単純に生長阻害物質と同時に有効物質が流去するからと考えてよいか。

石原（農工大） 有効物質が流されれば供給すればよいのであるが、それ以外の Factor があるであろう。

増島（農事試） 同一の暗渠施行によって透水性のよい水田、悪い水田の区別のできた原因は？ 施行前の履歴に基づくちがいでないか。

丸田（新潟農試） 施行上による違いではないであろう、履歴にもちがいはない。変化したという点は No. 1 には水がない時でも No. 2 には水があるので、全面キ裂が出来なかったためと思う。

宇野（農技研） No. 2 水田（暗渠の効果が管上のみで現われている水田）で、下層土のキ裂がその後に見られているか。

丸田 今年の春は暗渠の上にキ裂や膜状の沈積物がみえた。

宇野 暗渠の距離と深さは。

丸田 暗渠の距離は 10 m 間隔で深さは 80 cm である。

国分（農事試） 透水すると、よく根毛が発達すると思うが、温度との関係はどうか。

石原 温度に関しては、やっていない。ふつう、温度は根毛の長さに影響し、数には影響はない。

須藤 水田の透水について、ビニール水性塗料による浸透の追跡の出来る間ゲキの大きさはいくらか。また、そういう追跡法により水稻生育との関係をどう考えるか、次に根の機能を考えるときは、どのような浸透の状態と結びつけるのか。

丸田 あまり小さい間ゲキは追跡できない。現地で考える場合は 1～2 mm の大きい間ゲキの方がウエイトが高くなる。

◇.....◇

三 耕うんを中心として

.....◇

須藤 水田でスキ床のあるのは特徴的なことだが土壌構造および耕耘の面からスキ床の意味を聞きたい。

山沢 (教育大) 機械面より考えると大型トラクターの場合、スキ床は物理的条件において機能をもつスキ床も作土の一部と考えて深耕を考えるべきであり、深耕をすればスキ床層が下に移動してゆく。スキ床は大型トラクターの走行能と関連ある。層が薄いにかかわらず支持力は大きく、機械面で重要である。シロカキの目的は浸透防止が含まれている。シロカキは前年度の稲株の土の穴に単粒化された土壌を埋め込む作用がある。透水を抑制する機能はスキ床にもあると思う。スキ床の出来る理由は解らないが、畑の場合は有害(マイナス)になる。

美園 (農技研) 水田土壌の粒状化に、冬から春先の乾燥が重要な意味をもっているとのことだが、スキ床は乾燥を有利にする役目をしていないだろうか。水蒸気の形でか、液状では少ないかと思うが、スキ床の下から上って来る水の動きを防げて、乾燥を有利にしていると考えられないか。

出井 (農事試) スキ床の構造は乾期で割れ目があり、弱い盤状となる。

水稻生育の主体は作土であるが、スキ床の影響は透水性との関係から無視することは出来ない。

司会 今までに論ぜられたことで何かご質問は。

川島 硬度、透水条件下の根の生育、深耕と収量という報告と従来の作土の深さから考えて今後収量増加のための土壌環境としては15cm前後が問題であると考えてよいか。

滝嶋 結論的に耕土は深いほどよい、しかも根が十分に浸透出来る弱い硬度がよい。

八幡 浸透している土層のタン水がなくなって飽和水ゾーンが毛管膜をもちながら降下していく現象に名前をつける必要があるのではないか。

宇野 暗渠の管の上のみからの透水と、全面からの透水の差が水稻の生育にどのように差が出るか。

山中 (パシフィックコンサルタント) 水の葉面蒸発については根が表面水を引き下す事によって吸収される、従って作土の構造の合理化が生育上問題である。

美園 根の部分にだけ透水すればよいのであって、根は表面の水量を吸収する、つまり根が水を吸おうとすると表面水は自然と落ちていく。

司会 共通問題で透水、硬さと易耕性の問題が残された。今後これらの問題を各分野のかたがたで協力体勢を作って解決していくことが望ましいと思います。ではこの辺で。

土 粒 子

有明海沿岸の干拓地は、有明海の東岸で粒度が幅広く、北、西岸でこまかい。東岸では 2μ 以下の粒子量はほとんど15%以下であるのに、西岸では45%以上に達する。

最近、佐賀県の水稲生産の増大がいちじるしく、新佐賀段階の名で呼ばれている。佐賀県の水稲地帯の中心は粒度のこまかい有明海北岸の干拓地である。このような地帯で、品種の選定や施肥にはすでに集団化が進んでいるが、労力事情はやがてさらに深刻となろう。このような粒度のこまかい干拓地への大型機械の導入に際して問題となるのは粘着性である。

筆者の研究室で各種の水田土壌のステンレス板に対する付着力を測定したところ、付着力はもち論土壌の粒度と密接な関係があったが、さらに塩基置換容量(CEC)とかなり相関が高いことがわかった。CECは土粒子表面の属性であるから、粒度のこまかいものはCECも付着力も高くなるのは当然といえば当然であるが、粘土鉱

物の種類や interlayer Al の存在がこれに関係していると思われる。

土質工学では、地盤の支持力にモンモリロナイトの膨潤圧が影響したり、関東ロームの力学的特異性が問題になったりして、土中のモンモリロナイト、あるいはアロフェンの有無の調査が重要視されてきている。

土壌肥料の分野でも粘土鉱物の種類の土壌の物理性に及ぼす影響は古くからみとめられながらも、組織的研究は少ない。土工の領域では受注側と発注側というきわめて利害のはっきりした立場の間での評価のきびしさが技術者に要求されてきたのに反し、栽培面ではそのようなきびしさがなかった。これがこのような研究のおくれる一因でもあったと考えられる。

今後は畑も水田、省力化された栽培法における生産性の増大には、粘土鉱物の種類やその界面化学的性質と作業性との間を結びつける研究に力を注ぐ必要があるだろう。
(九州農試 鬼鞍豊)

アンケートについて

第8回のシンポジウムは昨年11月18日におこなわれ、おかげさまで盛会に終えることができました。

アンケートは出席者80名にお渡ししましたが、回収は15でいささか少なかった感じです。しかし、次のような活発な意見が出され、会の今後の運営の指針になることと思います。

1967. 3. 20.

編集幹事

土壌物理研究会第8回シンポジウムでおこなわれた アンケート要旨

研究会の事業について

1 シンポジウムと、会誌発行が現在の主たる事業です

が。

今までのでよい 11

更に次のことをするとよい

- 現地研究会
- 見学会や講演会を開く、
- 現地検討会をもつ。見ることによって意識が統一される。
- 自由投稿をふやし、会誌発行回数をふやす。現地検討会をやる。

その他なんでもお気づきの点をお書き下さい。

- シンポジウムの日を粘土学会の日などと連絡させて考える。
- 作物部門と共同シンポジウムを持つ。
- 会員の声のらんを充実せよ。

会誌について

1 発行回数は現在2回/年ですが

今までのでよい 12

その他・発行回数4回にして自由投稿をふやす。

2 原稿の枚数は現在16枚ですが

今までのでよい 6

- 25・16その他枚をこえてもよい、20枚
- 解説的なものを考えると25枚ぐらいのものがよい
- 弾力性をもたせる。
- 活版で多く入るから。
- 30枚、また論議するらんを増やす。

会誌の掲載原稿数および頁数は現在は6～9編で30～40頁程度ですが

今までのでよい 11

その他

• 8～12編がよい、会費の点から考えて、

• 10編がよい。

現在、土壌の物理性に関する内容のものを全て掲載していますが、

今のままでよい 7

次のような内容のものをのせてほしい。

- 物理性と化学性のように他の性質と関係づけたものをのせる。
- トピック的なものをのせる、相互情報の交換に役立つ。
- 不耕土と作物の生産について。現地では不耕栽培で多収成果が続々出ている。
- 他の分野、たとえば微生物からのものをのせる。
- 文献紹介らんをもうける、テーマだけでもよい。

原稿の種別は現在、報文、論説、綜説、資料、解説などですが、

今までのでよい。10

次のような種別のもものをのせてほしい

- 紹介などをのせてもらう。
- 内外の文献紹介をのせる。

装幀、印刷、などその他なんでもお気づきの点を下にお書き下さい。

- 体裁は変えない方がよい。
- 15号は裏表紙が空白になっているが、ここに本会に関係ある情報(学会、学界事業などの)をのせてもらいたい、
- 装幀を少し考える。したしみやすいものを考える。

シンポジウムについて

1 日数は現在1回/年ですが、

今までのでよい 13

2 日数は現在1日ですが

今までのでよい 9

その他

- 3年に1回は2日連続でやる
- 2日やる
- 少し忙がしすぎるが2日にする

3 時期は現在11月ですが

今までのでよい 10

• その他

- 但し、他の学会と続ける、ペドロジスト、土質工学、粘土

• 3月頃、11月は土壌の現地調査で多忙

4 講演数は現在6程度ですが

今までのでよい 12

5 テーマですが、

次のようなものをテーマにしたらい

- 土層改良 (透水性) (支持力) (多収穫) → 改良工法
 - 数値解析の問題を検討する
 - 土壌 耕起の作物生産的意義
 - 畑作物と物理性 (果樹園, 林地, 桑園を含む)
 - 土壌物理的観点からの水管理の問題, 土壌有機物の諸問題
 - 測定器具に関する諸問題・サンプリングの理論
 - 畑地の基盤整備, 作物生育, 施工
 - 圃場整備の方法と土壌物理
- 土壌3相をめぐる物理工学的諸問題

6 講演の時間ですが

今まででよい 7

その他

- 幅をもたせる
- 2日にして充分時間をかける。60分ぐらい

7 討論形式ですが

今まででよい 8

次のようなやり方がよい。

- あとで一括討論はまずい。1回毎に10~15分は討論すべきだ
 - 講演中に質問をゆるす, 論議もゆるす。
 - 講師以外の人でも関連研究で5分位話してもらうことも加える。
 - 学術発展だから個々の発表を重要視する。
- #### 8 その他なんでもお気付きの点をお書き下さい
- 評議員は会員全体選挙の方向に努力する
- その他, 研究会に関すること (例えば総会, 幹事会, 会計, 庶務, 編集, このアンケートなど) について御意見を お書き下さい。
- 作物関係の人への入会宣伝をする。
 - 評議員に30代の人を入れる。
 - 研究会規約 (会則) は会の充実に伴って評議員会の内規, 編集委員の性格を明らかにして, 運営の円滑化をはかる。

編集だより

日本人は米のめしが好きである。わが国における稲作の起源はBC1世紀頃北九州におこったといわれている。また、最近青森県二枚橋遺跡の調査で、もみ跡のついた土器片が出土し、2世紀頃すでにこの地で稲作が行われたと見られるに至った。九州に上陸した稲作が本州北端まで普及するのに300年はかからなかったことになる。

転じて現代、昨年の米作は史上4番目の豊作とか。全国で1274万トンの生産をあげ、さらに輸入は100万トンをごえようとしている。日本人の米への執念は2000年後の今なほ止むことを知らない。

この歴史的執念にこたえる今後の稲作研究は? 従来の水田土壌の研究は土壌の養分供給の点からはじめられ、塩入氏の酸化還元理論ができ上り、生産要因解析へのこの理論の適用を主とした土壌化学的方法論によるものであった。

水田における土壌物理の研究は畑にくらべ外国の研究にしがきされることが少ない理由もあって、化学的研究

の後ジンを拝してきたきらいがある。しかし今後わが国の稲作発展のためには、その基盤となる水田の立地、用水、労力の問題の研究が必須であり、これらの問題を取りあつかうことは、とりもおさず土壌物理の方法論をもって研究に参加することになる。

昨年11月に行われた第8回シンポジウム「水田の物理性と水稻生育」は、立地、水、耕うん、それぞれの立場から6人の講師の方にお話し願ったが、ここにその講演を特集した。いづれも今後の稲作研究の方向に示唆を与えられたものとして貴重な報告である。

本号への自由投稿は須藤氏の1編のみであった。本会のような横の連絡の団体では、会員はそれぞれ本来の学会に所属しており、そちらでの発表が主となり、原稿が集りにくいという事情がある。本会の投稿規定では、報文、論説、総説、資料、解説、土粒子といかなる原稿でも受け止める用意がある。コミュニケーションの場として気軽に会誌を利用されることを願う。 (増島 博)

会 務 報 告

(昭和41年10月1日～昭和42年3月31日)

(1) 在京評議員会

41年10月22日(土), 東京農業大学学生会館, 11.30～14.00時

〔出席〕: 吉良芳夫, 美園 繁, 田原虎次, 山中金次郎, 横井 肇, 八幡敏雄 各 評議員, 寺沢四郎, 小林正, 平沢一雄, 福桜盛一, 安富六郎, 中野政詩各幹事

a 会誌15号の編集の経過報告

b 第8回シンポジウムの準備について検討

(2) 評議員会

41年11月17日(木), 京香会館, 18.00～21.00時

〔出席〕: 吉良芳夫, 美園繁, 山中金次郎, 横井肇, 八幡敏雄, 国分欣一

a 第8回シンポジウムの準備について報告

b 総会議題について検討

c 役員改選について検討

(3) 第8回シンポジウム

41年11月18日(金), 東京農業大学講堂, 9.30～17.30時

水田の物理性と水稻生育を主題にして, 土壌断面を中心として岡本春夫(日本鋼管), 滝嶋康夫(農事試)両氏が, 透水を中心として丸田勇(新潟農試), 石原邦(農工大)両氏が, 耕うんを中心として出井嘉光(農事試), 山沢新吾(東教大)両氏が, それぞれ講演され, その後討議が行われた。

(4) 総 会

41年11月18日(金), 東京農業大学講堂, 12.00～13.00時

a 41年度活動報告

b 40年度決算報告(別記)

c 上記承認

d 会長改選

が約90名の出席のうちに行われた。

(注記イ)

昭和40年度会計報告

(昭和40年4月1日～昭和41年3月31日)

(総会承認)

収 入

前年度より繰越 213,630円

会 費 218,300円

賛助会費	120,000円
出版物売上(会誌討論会要旨)	41,450円
会誌広告料	90,000円
雑収入(展示費, 利子)	52,410円
合 計	735,790円

支 出

通 信 費(含会誌発送費)	42,701円
会誌製作費(第11号～第13号)	359,000円
謝 金	23,040円
文 具 費	2,185円
交 通 費	3,900円
会議費, 討論会費	67,670円
雑 費	1,200円
41年度へ繰越	236,094円
合 計	735,790円

(注記ロ)

会長には八幡敏雄(東大農)が選出された。評議員は任期未了にともない, 新幹事の任命は新会長に一任が了承された。

(5) 新幹事会

42年2月28日(火)東大農学部, 15.00～19.00時

〔出席〕: 国分欣一副会長, 増島博, 竹中肇, 土井淳多, 中野政詩, 岩田進午, 福桜盛一, 多田敦, 各新幹事, 寺沢四郎, 安富六郎各旧幹事

a 会務執行の方針について検討

b 会誌16号の編集

会 告

昭和41年11月18日付で会長及び幹事の任期終了につき会長は総会において, 幹事は会長任命において次のように決まった。

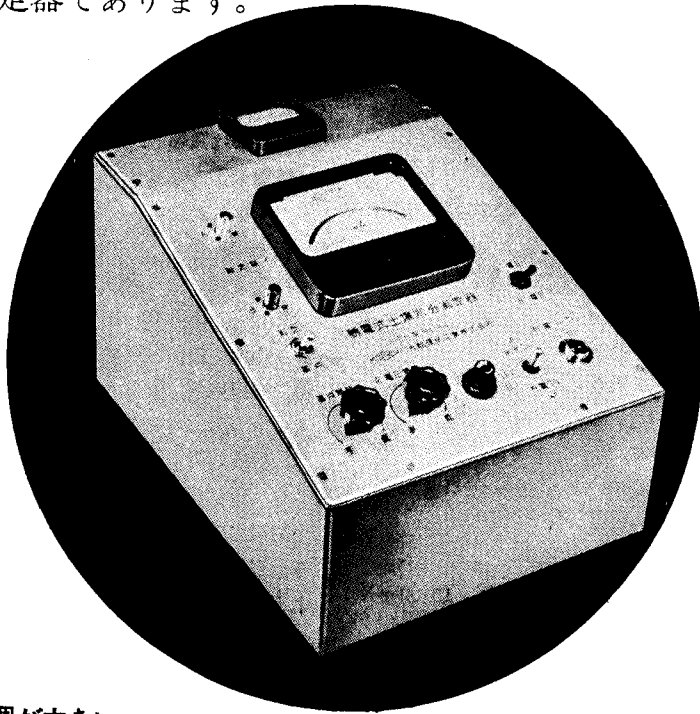
	旧	新
会 長	吉良 芳夫(農 大)	八幡 敏雄(東大農)
副 会 長	美園 繁(農技研)	国分 欣一(農事試)
幹 事 (庶務担当)	小林 正(農 大)	竹中 肇(東大農)
(会計担当)	平沢一雄(/)	中野政詩(/)
(編集担当)	寺沢四郎(農技研)	土井淳多(/)
(/)	福桜盛一(/)	福桜盛一(農技研)
(/)	安富六郎(東大農)	多田 敦(農土試)
(/)	中野政詩(/)	増島 博(農事試)
(シンポジウム編集担当)	—	岩田進午(農技研)

農業技術に革新をもたらす

DIK誘電式土壌水分測定器

PATENT. p. 386877

本器は、在来の電気抵抗式、もしくは抵抗値を含めた静電容量式の水分計と全く異なり高周波誘電率のみによる土壌水分測定器で在来の水分計では得られなかったいろいろの特長をもつ全く新しい土壌水分測定器であります。



特 徴

(1) 測定範囲が大きい

あらゆる土壌に対して、飽和～風乾に至る間の水分変化が的確に測定出来る。

(3) 即応的である

埋没した感体は、直接土壌の誘電率を測定するので、測定時の水分をそのまま表示し時間的な遅れは全然ない。

(2) 水分測定値が直線的である

μA で表示される水分測定値は、圃場状態の実用的範囲において殆んど直線である。

(4) 再現性がある

測定に当って、土壌には何の物理化学的変化も与えないで、連続的にくり返し測定ができ、同時にその再現性が充分に保証されている。



大起理化工業株式会社

東京都荒川区町屋2丁目16-2
TEL 東京 (802) 2 1 9 1 (代表)

自記マンノメーター

硝子ゲージ管の水柱又は水銀柱の高さを自動的に自記します。

主要製品

土壤溶液採取装置 (リチャード型)
精密自記蒸発計
簡易自記水位計
自記蒸発散位計
森式風向風速自画器
農業用微気象測定器各種
その他各種測定器設計製作

主な納入先

農業技術研究所・東海近畿農業試験場
関東東山農業試験場・九州農業試験場
各地農業試験場・各大学農学部

東京都世田ヶ谷区玉川用賀町1-22

合資会社 ウイジン工業社

代表社員 森 武保
技術士

電話 (70)0531

堆肥不足に

テンポロン[®]

タバコ・蔬菜の苗床の土作りに
果樹園の土壤を若返らせ、樹勢を快復させる地力の素

メモ

テンポロンの主成分は熟成堆肥の成分である
フミン酸カルシウムを85% (完熟堆肥の約20
倍の濃度) を含んでいます。
したがって最近の堆肥不足をおぎなうために
最も適した化学堆肥です。

代表製法特許 日本第240330号

(類似品に御注意下さい)

発売元



製造元



三菱商事株式会社

本社/東京・丸の内 電(211)0211(代表)

天北化学株式会社

本社/東京・神田 工場/北海道・幌延

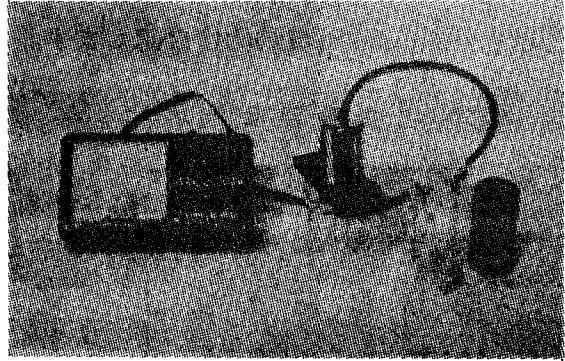
電話 東京 (252) 4304

計 酸 度 式 研 理

PHメーター

農産加工用、醸造用、
土壌調査用、酪農用、

簡 易 騒 音 計
疲 労 度 検 査 器
ル ク ス メ ー タ ー
各 種 科 学 計 器



携 帯 用 ケ ー ス 付 ￥ 25,000

理 研 科 学 測 定 器 研 究 所

東京都台東区東上野4の14の9

電話 (844) 4307・4925

農 林 省 登 録 腐 植 酸 肥 料

フ ミ ン 酸 肥 料 懇 話 会

会 員 メ ー カ ー (A B C 順)

アツミン

(ニトロフミン酸苦土珪酸塩)

フミゾール

(ニトロフミン酸アンモニウム塩)

エスコン

(ニトロフミン酸アンモニウム塩)

テルナイトアンモン

(ニトロフミン酸アンモニウム塩)

東 化 工 株 式 会 社

東京都中央区日本橋小網町2-14 (洋糖ビル)

北 海 道 炭 礦 汽 船 株 式 会 社

東京都中央区日本橋室町2-1 (三井三号館)

日 本 水 素 工 業 株 式 会 社

東京都千代田区有楽町1-10 (三信ビル)

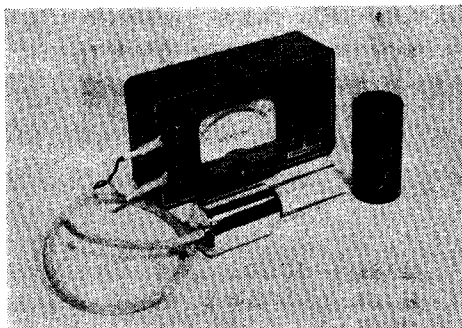
帝 石 テ ル ナ イ ト 工 業 株 式 会 社

東京都千代田区平河町1-2 (中政連ビル)

現場と研究室を30秒で結ぶ!!
理研式簡易水分計

- 応答性が良く、30秒で答が得られ再現性が優れている。
- 堅牢で実用的であるので誰でもどこでもいつでも計れる。

(携帯用皮ケース付) ¥27,000
(電極(6cm)付)



1. 電極には高度の冶金工業技術の粹を集め開発された特殊金属を使用していますので、分極作用の影響をほとんど受けません。(電極の長さは6~50cmまで用途に応じ各種有ります。)
2. メータースケールは含水比、水分率を同時に示すように設計されています。
3. 農林省農業技術研究所土壌物理研究室で、約5ヶ年にわたり各種の圃場試験が行われた結果、本器の性能の優秀さが確認されております。

製造元 理研科学測定器研究所

総発売元 大有商事株式会社

本社 東京都千代田区神田駿河台1の2 電話(292)7201~4
大阪事業所 電話(921)0625・6923 名古屋事業所 電話(94)0447

定評ある *marusan* の研究用遠心分離機



55R

土壤水分測定用遠心分離機

土壤水分測定用遠心分離機

55 R (PF値 3.3以上) 回転数: 16,500 R. P. M
遠心力: 26,400×G

90 A R (PF値 3.3以下) 回転数: 4,000 R. P. M
遠心力: 2,600×G

- 特長 ● 操作簡単
● モーターは弊社特製にて耐久力大
● 正確なPF値の測定

株式会社 佐久間製作所

本社・工場 東京都大田区南六郷3の16番地 電話(731)1257・3170 (732)0847
神田出張所 東京都千代田区神田多町1の9番地 電話(251)4917・6059
大阪アフターサービス出張所 大阪市北区鶴笠町13-2 神光ビル一階 電話(361)7763

TMI



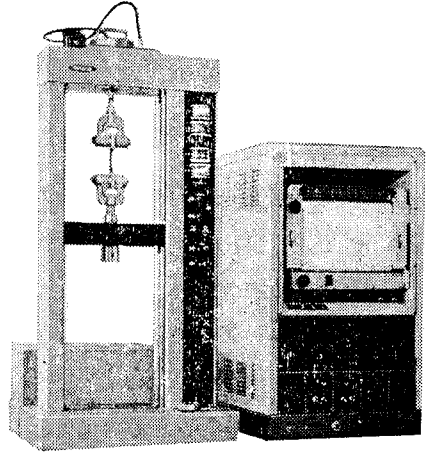
B-L-Hと技術提携成る

万能型引張試験機

TENSILON

UTM — 10000 kg 用
 UTM — 5000 kg 用
 UTM — 500 kg 用
 UTM — 5 kg 用
 UTM — 100 kg 用

本機は4grフルスケールより上記フルスケール迄測定可能です。



総代理店

安宅産業株式会社

本社 大阪市東区今橋5-14 大阪 231-8461
 東京支社 東京都千代田区大手町1-4 東京 201-6411



東洋測器株式会社

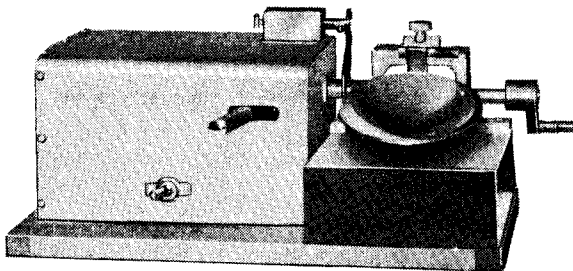
本社 東京都大田区調布嶺町1丁目104番地
 工場 電話 東京 (751) 5145番(代)

TEL 日吉工場 04461・5131
 大阪 361・4744
 名古屋 241・1825
 福岡 28・1891

丸東の土壤物理試験器

電動式液性限界測定装置 S O 2 B

本器はJ I S A 1205に準拠する液性限界試験を電動によって行なえるようにした装置です。人為的な落下速度の変動などの誤差を除去し、機械的な正確さで簡単に試験が行なえます。電動クラッチを切れば普通の手動装置としても使用できます。

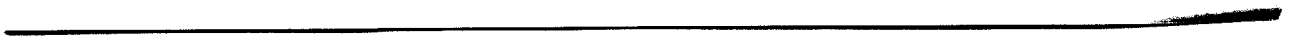


営業品目

土質試験機
 コンクリート・アスファルト試験機
 万能圧縮材料試験機

株式会社 丸東製作所

本社 東京都江東区深川白河町2の7 TEL 東京 (642) 5121(代表)
 京都出張所 京都市中京区壬生西土居の内町3の1 TEL 京都 (84) 7992
 北海道出張所 札幌市南十条西十三丁目970 TEL 札幌 (23) - 0409



土壤の物理性 第16号

(会 員 配 布)

1967年3月25日 発行

発 行 土 壤 物 理 研 究 会

東京都文京区弥生1の1の1

東京大学農学部農業地水学研究室内

電話東京(812) 2111 内線 4590

振替口座 東京 17,794