
巻 頭 言

地域農業に役立つための土壌物理

有 村 玄 洋*

現在県農試で携っている仕事を通じ土壌物理について感じていることを述べてみたい。

農業をめぐる諸情勢は年々厳しさを増しており、農業生産の基盤である土壌に対する環境状況は、近年の農業労働力減少、兼業の深化、農業経営の専一化等の諸変化に伴ない多様化の傾向を示している。

とくに、近年農業機械化による作土の浅層化、水田および畑地基盤整備に伴なういろいろなトラブルについて、県農試にいる者には、本来の土壌肥料面からの問題解決のみならず、農業土木面との接点におけるたとえば以下のような問題解決を迫られている。①水田基盤整備工事後の転換畑における下層圧密による透水性不良にもとづく転換作物の生育不良。②黒ボク土畑基盤整備において、多雨条件下のほ場整備に際して練り返しや圧密により生じた著しい透水性悪化に伴なう過湿畑における大根の横しま症や他作物の生育不良がみられる。また、排水条件が良好であっても耕起部分は過湿状態になり、降雨後数日経過しないと機械作業に支障を来す。この状況は数年経過しても改善されない状態である。③黒ボク土畑に対する家畜ふん尿多投によって土壌粒子の分散による目づまりと塩類集積及び大型機械走行による圧密に伴なう作物生育障害が次第に顕在化しつつある状態である。このことは作土および下層土における土壌構造と作物根の酸素要求量の大小、根の活性との関係や土壌養水分、土壌空気の動きと作物生育、作業性との関係に係わる問題をかかえていることを示している。

これらの問題解決には多年にわたる土壌物理関係研究成果および応用技術により対応しうる場面が多いと思われるが、立地条件、土壌条件、作物栽培条件などのちがいが、複合原因を究明し、総合判断をしなければならない場面が次第に増加の傾向を示している。したがって、このような問題に対し、土壌物理学を中心とした基礎的研究および他分野との学際領域に関する研究への取り組みが必要であり、さらに一層の発展を痛切に感ずる次第である。

現在行なわれている土壌の物理量の測定は多数の試料を測定するのにかなりの時間を要することは止むをえないことと思われるが、これらの物理量の基礎資料は土壌の化学性ととも面に表示する場合には欠くことのできないもので、十分に評価しうるものと思われる。また、前号で前田会長が述べておられるように、土づくりを含む作物生産に関する農地の物理性測定値にもとづく応用技術の適用事例が、各種農耕地の土壌条件に対する研究成果として多く蓄積されることを切望するものである。

*宮崎県総合農業試験場

粘性土における aggregate の大きさ分布に 及ぼす乾燥処理の影響

— SEM用の試料作成に関する基礎研究 (I) —

中村忠春*, 宮内定基*, 橋本静夫*

Influence of Drying on Aggregate Size Distribution of Cohesive Soils

— The fundamental studies on preparation of cohesive
soils for scanning electron microscopy (I) —

Tadaharu NKAMURA, Sadaki MIYAUCHI and Shizuo HASHIMOTO
Faculty of Agriculture, Ehime University

I はじめに

粘性土の理工学性に関する研究には、常に土壤構造の問題がつきまとう。この土壤構造を解明する手段には、外力に対する挙動や、状態変化に伴う理工学性の変化等から土壤構造を推察しモデル化する方法と、拡大鏡によって、土壤構造を直視し解明する方法がある。前者には、推論の域を脱し得ない欠点があり、後者では拡大鏡の性能と直視するための試料成形がネックとなる。

近年、拡大鏡の性能の点については、低倍率から高倍率の広範囲にわたって使用可能な上に、焦点深度が深くて立体的な像が見える走査電子顕微鏡 (SEM) の普及によって、相当以上に問題点が解決されてきた。そして、土壤構造の観察にもしばしば用いられるようになり¹⁻⁴⁾、その成果をあげつつある。しかし、透過電子顕微鏡に比較して試料成形が容易であるとはいえ、試料成形上の問題は現時点でも解決されておらず、各研究者が工夫をこらしつつ供試しているのが実情である。特に、土壤水の処理に関しては、50倍程度以下の低倍率では、土壤水を凍結させて川の状態の代わりに氷河の状態を観察することも可能であるが⁵⁾、高倍率では試料の乾燥が必須条件となり、それに伴う土壤構造の変化が問題となる。試料の乾燥には一般的な方法として、自然乾燥法、凍結乾燥法、臨界点乾燥法の3種があり、Bardenら⁶⁾や宮内ら⁷⁾は自然乾燥法、松尾ら⁸⁾やMesriら⁹⁾は凍結乾燥法を適用して観察している。手順がはん雑なためか、臨界点乾燥法を土壤構造の観察に適用した例は、著者らの知る範囲では見当たらない。これら乾燥法の基本的留意点をはじめとして、SEMに関する基本的事項については、櫻井¹⁰⁾が要領よくまとめているので本報では割愛

したい。

そこで、本報ではまず第一段階として、自然乾燥法、凍結乾燥法、臨界点乾燥法、さらには土壤構造の変化に対しては最も劣悪な方法と常識的に考えられる炉乾燥法を採用し、それらの乾燥処理が aggregate の大きさ分布に及ぼす影響を実験的に明らかにした結果について報告する。なお、本報告においては乾燥処理が aggregate の大きさ分布に及ぼす影響を、大きさの平均値と分布の均一性の両面から考察したい。その過程で、凍結乾燥法の具体的な手順の決定に必須な諸事項に関する予備実験結果についても触れたい。また、従来のSEMを用いた研究は、巨視的な理工学性を理解するための定性的な裏付け資料として写真を用いるケースが大半を占めている。本報では、SEM写真を用いて、定量的かつ普遍的に土壤構造を把握するために必要なサンプル数についても報告する。

II 供試土と実験方法

1. 供試土

供試土としては、三重県安濃町の野菜試験場内林地の非火山灰性黒ボク土 (30~50cm深さ)、朝倉ダムのコア用土に用いられた愛媛県朝倉村原野の粘質マサ土 (60~80cm深さ)、および本学附属農場から採土した水田表土 (10~30cm深さ) と水田心土 (50~80cm深さ) の計4種類を用いた。これらの供試土を生土の状態、土壤構造と水分の変化を最小限にするよう細心の注意を払いながら手で細かくほぐした、2~1mm粒径の aggregate を試料とした。供試土の基本的性質は表-1に示すとおりである。

* 愛媛大学農学部

表-1 供試土の物理性

供 試 土	G_s^{*1}	LL	PL	Sand	Silt	Clay	C_o^{*2}
黒ボク土	2.55	62.0%	46.0%	3.1%	6.2%	90.7%	9.4%
水田表土	2.61	41.4	29.2	43.5	46.2	10.3	2.4
水田心土	2.65	40.0	23.7	36.8	45.7	17.5	1.0
粘質マサ土	2.70	58.1	42.1	55.1	15.7	29.2	—

※1：真比重， ※2：有機物含有量

なお、凍結乾燥法に関する予備実験には、上述の粘質マサ土の外に、愛媛県玉川町の砂質マサ土 (G_s (真比重)=2.73, LL=31%, PL=25%), 佐賀県川副町の有明粘土 (G_s =2.56, LL=73%, PL=45%), 宮崎県東諸県郡塚原の赤赤ヤ (G_s =2.52, LL=245%, PL=167%) と黒ボク土 (G_s =2.42, LL=151%, PL=115%) の5種類を用いた。これらの供試土を生土の状態ですべて細かくほぐし、3/cm²の圧力で静的に締め固めて供試した。また、不攪乱土も一部用いた。

2. 乾燥処理

各乾燥法の手順の決定に際しては、それらの本質を失することなく、かつ比較的容易に準備できる機材を使用する、基本的な方法を心がけた。具体的な方法は下記のとおりである。

1) 炉乾燥法

試料を容量50ccの秤量瓶に1/3~1/2程度入れ、105℃に保った乾燥炉内で24時間乾燥した。

2) 自然乾燥法

試料をバット内に厚さ1cm程度に入れ、風通しの良い室内で、2時間に1回程度混ぜ合わせながら、含水比が減少しなくなるまで乾燥させた。所要日数は試料差があったが、2~3週間程度であった。

3) 凍結乾燥法

この方法は、試料をまず急速に凍結した後に、真空中で昇華速度を速めながら水分を取り除く方法である。したがって、実行に当っては冷却時間、真空度および凍結乾燥時間を知る必要があり、下記の予備実験を行った。

中心部に熱電対を埋め込んだ約1cm立方の試料を、液体窒素(沸点:-195.8℃)中に下半分だけ浸して冷却速度を調べた。その結果は図-1に示すとおりである。この図から以下のことがわかる。すなわち、低含水比の砂質マサ土を除けば、常温の約18℃から0~-5℃まで温度が低下する初期冷却に数秒から20数秒の時間を要するが、その後は急速に温度が低下する。また、試料別に見ると、粘質マサ土と有明粘土は高含水比の方が低含水比の試料に比して、より早く温度が低下する。これに対し、砂質マサ土では逆に高含水比の試料の方が遅く、低含水比状態では他の試料と比較しても著しく速い。粘質マサ土、

有明粘土とも、これらの水分状態では含水比の高低に拘わらず3相系の状態と考えられる。3相系で、かつこの程度の低水分状態での熱伝導の特性としては、どのような土壌においても水分の増加とともに熱伝導率は直線的に増加し、その増加傾向は粗粒土ほど大きいことが知られている⁸⁾。粘質マサ土と有明粘土の含水比の高低による冷却速度の差異はこの既往の研究成果と対応させることによって容易に理解できる。

次に、砂質マサ土については、含水比16%の場合には3相系であるのに対し、5%の場合には固・気相の2相系の状態と考えられ、両試料間の状態には本質的な違いが存在するため同レベルでは比較できない。2相系の熱伝導の特性は、間隙率の増加に伴って熱伝導率が指数関数的に減少することが知られている⁸⁾。これは、間隙率の増加に伴って熱の不導体である空気の量が増加することに主因があるものと考えられる。しかし、今回の実験では試料を液体窒素に直接浸しているため、土粒子間間

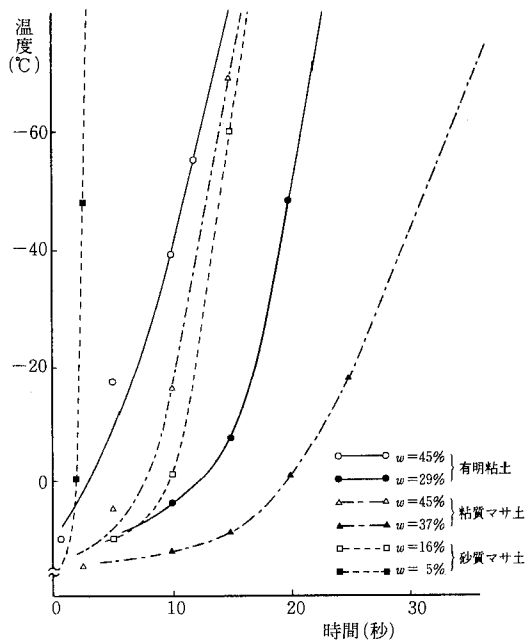


図-1 冷却温度と時間との関係

隙に液体窒素が浸入して、土粒子を直接冷却するために冷却速度が著しく速くなるものと考えられる。

土壌水は一般に塩分を溶解しているために、凍結温度は0℃以下となるが、本報では安全を見込んで-5℃と仮定した。そこで、-5℃まで冷却するに要する時間に着目すると、粘質マサ土の含水比37%の場合が最も遅くて22秒、最も速いのは砂質マサ土の含水比5%の2秒である。これは供試体の下半分だけを液体窒素に浸した場合の凍結時間である。しかし、実際のSEM用試料の作成時には、試料全体を液体窒素の中に完全に浸してしまうので、最も遅い粘質マサ土においても10秒程度で凍結し、20秒も冷却すれば-30~-60℃にまで低下するものと推察される。さらには、本実験で用いる試料は1~2mm粒径のaggregateと小容量のために、より一層、急速に冷却され、土壌水が凍結する際に非晶質のガラス状の氷となり、土壌構造にはほとんど悪影響を及ぼさないものとする。これらの結果から、本実験で採用する液体窒素中での冷却時間は20秒を採用することにした。

次にデシケータ内の真空度に関する実験結果を図-2に示す。実験は、排気量が50ℓ/minの真空ポンプ2台と、直径が22cmと12cmの大小2個のデシケータで4つの組み合わせをつくり、初期真空度を調べた。図から、平衡状態に達した後の真空度にはほとんど差が認められないが、減圧開始初期には差が認められ、当然のことながら直径12cmのデシケータで真空ポンプ2台の組み合わせが最も減圧効果の大きいことがわかる。この場合、運転開始後30秒で7mmHg、1分後に3mmHg、2分後には2mmHgまで減圧され、その後は真空ポンプの運転を1台に替えても2mmHgの状態を保った。

最後に、凍結乾燥時間に関する実験をpF1とpF2に水分調整した不攪乱状態の赤ホヤと黒ボク土（いずれも1cm立方程度の大きさ）で行なった結果を図-3に示す。図から、含水比と凍結乾燥時間とはベキ関係にあり、含水比の低下すなわち水分の昇華は、乾燥の初期に顕著で

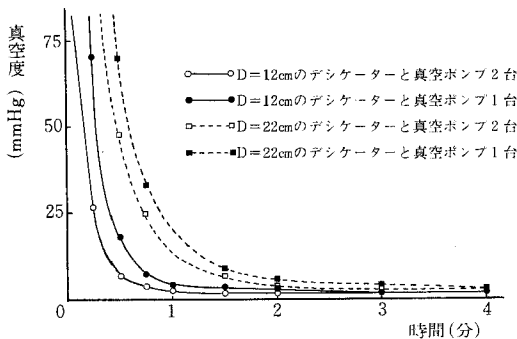


図-2 真空度と真空ポンプの吸引時間との関係

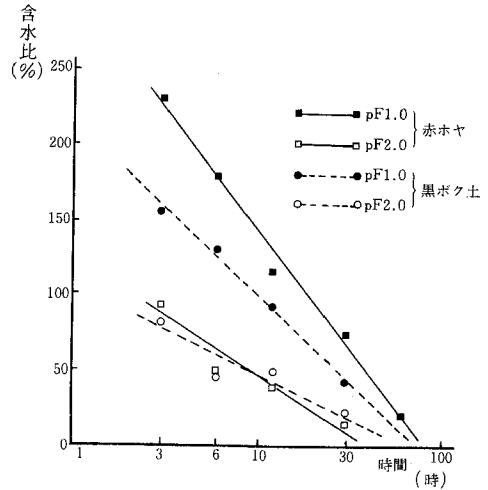


図-3 含水比と凍結乾燥時間との関係

(2mmHg, -10~-15℃)

あることがわかる。これは、水分の昇華が試料の表層から始まり、次第に内部に向かって進むためと考えられる。

次に、真空ポンプ運転開始後12時間、72時間経過後の各試料の含水比と含水比低下率を表-2に示す。表から、12時間後にはどの試料でも5~6割、72時間後では9割以上の土壌水が昇華していることがわかる。真空度3mmHgのまま120時間継続しても、含水比は赤ホヤが9%、黒ボクが12%であった。これは真空度3mmHg、-10℃の条件下で、デシケータ内の水蒸気圧と土の水分保持力が平衡を保っているためと考えられる。ちなみに、3mmHg、-10℃、相対湿度100%で平衡していると仮定すると、pF値は5.6となる。一般にpF5.5といわれている風乾含水比は、赤ホヤが13%、黒ボクが16%であることからみても、凍結乾燥で得られた乾燥状態は、SEM試料として十分であると考えられる。

以上の予備実験の結果から、下記の順序で凍結乾燥を行なった。まず、内側にトレーシングペーパーをはり付けた金網製の試料カゴに試料を入れ、それを糸でつるしながら液体窒素中に20秒間全浸して急速凍結した。その

表-2 12・72時間経過後の含水比と含水比低下率

経過時間	含水状	赤ホヤ		黒ボク土	
		pF1.0	pF2.0	pF1.0	pF2.0
乾燥前の含水比		286%	118%	187%	92%
12時間	含水比	116	47	92	38
	含水比低下率	59	68	51	49
72時間	含水比	9	9	12	12
	含水比低下率	97	92	94	87

後、あらかじめ重量比 1 : 5 の割合で食塩を加えた水で囲んで、-10~-15℃に冷却した直径12cmのデシケータ内に試料を速やかに入れ、真空ポンプ2台で2分間減圧し、その後は1台ずつ交互に8時間ずつ合計72時間運転し乾燥させた。なお、氷は外部からの熱を遮断するために発泡スチロールで囲み、12時間ごとに新しいものと交換した。

4) 臨界点乾燥法

この方法は臨界現象、すなわち臨界点における温度と圧力以上では気体の液化が発生しない現象を利用しつつ、気・液界面に働く表面張力をなくして乾燥させる方法である。操作が複雑ではあるが、現在、理論的には最も良好な方法とされている。

具体的な脱水操作は、植物試料に適用されている方法⁹⁾を参考にしながら以下の手順で行なった。まず試料をトレーシングペーパーに包み、それを表-3に示す順序でアルコールに浸して土壌水を脱水し、さらにはそれをアセトンに置換する。置換終了後、0℃に冷却した臨界点乾燥器の試料室に手早くセットし、液化炭酸を徐々に導入してアセトンを置換する。そして、20℃で30分間放置し、引き続き43℃で40分間放置して液化炭酸を気化する。その後、0.5 l/min 程度の速度で排気し乾燥させた。

以上で述べた4乾燥法で乾燥させた各試料の含水比を表-4に示す。この表から、いずれの試料も炉乾燥に次いで臨界点乾燥と凍結乾燥の含水比が高く、自然乾燥において最も高い含水比を示すことがわかる。

表-3 臨界点乾燥法における試料の処理方法

順序	処理液の濃度	処理時間
1	30%エチルアルコール	15分間
2	50% "	"
3	70% "	"
4	80% "	"
5	90% "	15分間を2回
6	90%エチルアルコールと90%アセトン等量混合液	"
7	95%アセトン	20分間を2回
8	特級 "	20分間を4回

表-4 乾燥方法別の最終含水比

乾燥方法	黒ボク土	水田表土	水田心土	粘質マサ土
炉乾燥	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
自然乾燥	4.6	7.8	8.5	8.0
凍結乾燥	3.6	1.2	6.8	1.6
臨界点乾燥	3.1	1.0	6.1	1.2

3. 検鏡と aggregate の大きさ測定

乾燥終了後、直ちに両面テープでSEM用試料台に、各試料・各乾燥法ごとに無作為に抽出した36粒づつの aggregate を固定し、イオンコートで試料表面に金を蒸着した。その後、SEM (日立-明石製・MSM-7C型) で、各 aggregate が視野に完全に入ってしまう50倍でそれぞれ撮影し、現像・焼付けを行なった。したがって、撮影した aggregate の数は576粒である。それらの写真上で、aggregate 部分をプラニメータで2回往復し平均することによって求めた面積を、各 aggregate の大きさとした。

III 実験結果と考察

1. 分布特性

乾燥前の aggregate の大きさ分布には、実験手順上、正規性が存在すると考えられる。そこで、まず乾燥処理に伴う分布特性の変化を乾燥方法別に調べてみる。図-4に代表例として水田表土の度数分布を示す。図から、乾燥方法によって度数分布の形状には差異があり、凍結乾燥の場合には正規性の存在がかなり高い精度で窺えるが、炉乾燥や自然乾燥の場合にはその存在の疑わしいことがわかる。他の試料においても乾燥方法によって度数分布の形状に差異があるので、正規性に関する χ^2 検定を

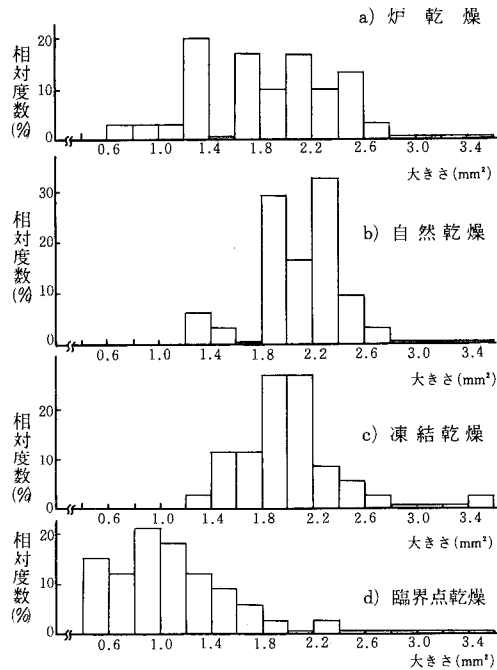


図-4 aggregate の大きさに関する度数分布 (水田表土)

表-5 正規性に関する χ^2 検定結果

乾燥方法	供 試 土	n	χ^2_0	χ^2_{α}		正規性(○:有)	
				$\alpha=0.05$	$\alpha=0.02$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.02$
炉 乾 燥	黒ボク土	34 個	16.0	14.1	16.6	×	○
	水田表土	30	7.8	14.1	16.6	○	○
	水田心土	35	16.8	14.1	16.6	×	×
	粘質マサ土	35	16.2	16.9	19.7	○	○
自 然 乾 燥	黒ボク土	36	24.0	9.5	11.7	×	×
	水田表土	31	11.0	9.5	11.7	×	○
	水田心土	35	8.1	12.6	15.0	○	○
	粘質マサ土	31	5.8	16.9	19.7	○	○
凍 結 乾 燥	黒ボク土	35	11.1	15.5	18.2	○	○
	水田表土	34	4.2	12.6	15.0	○	○
	水田心土	35	4.7	11.1	13.4	○	○
	粘質マサ土	35	11.0	12.6	15.0	○	○
臨 界 点 乾 燥	黒ボク土	27	22.8	12.6	15.0	×	×
	水田表土	33	10.8	12.6	15.0	○	○
	水田心土	35	8.1	11.1	13.4	○	○
	粘質マサ土	30	8.8	15.5	18.2	○	○

行ない、その結果を表-5にまとめて示す。サンプル数(n)が27~36の範囲に分布しているのは、一部で撮影に失敗したためである。

表-5から、危険率5%の場合には16例中11例に、また危険率2%の場合には16例中13例において正規性は棄却されることがわかる。いま、危険率5%の結果に着目すると、4試料すべてに正規性が認められるのは凍結乾燥のみであり、臨界点乾燥では3試料、自然乾燥と炉乾燥では2試料においてのみ正規性が認められる。続いて試料別に見ると、含有有機物に起因してaggregateの構造が最も発達していると推察される黒ボク土において、特徴的な結果を示していることがわかる。すなわち、正規性が認められるのは凍結乾燥の場合のみであり、他の方法においてはいずれも認められない。

χ^2 検定において、7~8割方の場合に正規性が棄却されることが判明したので、以下においてはaggregateの大きさ分布を正規分布と仮定して取扱うことにする。

2. 平均値・バラツキの大きさと必要サンプル数

表-6に各乾燥法ならびに試料別のサンプル数(n)、平均値(\bar{x})、標準偏差(S)、変動係数($C_v=S/\bar{x}$)、信頼度95%で平均値の区間推定を行なった結果をそれぞれ示す。また、危険率(α)と誤差率(ϵ)を変化させて計算した必要サンプル数(N)も併記している。但し()内の数字は、度数分布に正規性が存在しないため、参考データとして示している。

まず \bar{x} については、乾燥方法別に4試料の値を平均して比較してみると以下のごとくなる。すなわち、自然乾

燥が1.94、炉乾燥が1.92、凍結乾燥が1.78、臨界点乾燥が1.07mm²の順に小さくなっており、臨界点乾燥の値が他に比較して極端に小さくなっている。これは、土壤水をアルコールやアセトンで脱水し置換する操作中に、試験管内の溶液が濁ってくる観測から判断して、aggregate表層の弱結合の土粒子がはく離するためと考えられる。次に、はく離されてaggregateが縮小化される割合を100(臨界点乾燥法の \bar{x})/(他の3乾燥法の \bar{x} の平均値)で試料別に見ると、黒ボク土が55%、水田表土が54%、水田心土が55%、マサ土が63%となり、試料間の差異はほとんど認められないことがわかる。

また、凍結乾燥が臨界点乾燥ほどではないにしても、自然乾燥や炉乾燥に比較して小さな値を示している。これは、試料を液体窒素中で瞬間的に凍結する際に、aggregate表面の、ごく弱結合された土粒子がはく離している結果と考えられる。

これらの実験事実から、本報告で用いた1~2mm粒径程度のaggregateの大きさ分布(\bar{x})に関しては、乾燥収縮よりも表面に分布する土粒子のはく離の影響の方が大きいといえよう。

次に、各乾燥処理が個々のaggregateに及ぼす影響を均一性の面から検討してみる。

まずバラツキの程度を C_v で見ると。試料調整の時点で4試料とも1~2mm粒径に統一し、各々は正規分布していると考えられる。乾燥処理前における4試料の C_v は、必ずしも同一とは考えられない。したがって、ここでは各乾燥方法別における4試料の C_v の平均値に着目すると、

表-6 aggregate の大きさのバラツキと必要サンプル数

乾燥方法	供試土	n (個)	\bar{x} (mm ²)	S (mm ²)	C _v (%)	平均値の 信頼区間	N (個)		
							$\alpha, \epsilon=0.05$	0.10	0.15
炉乾燥	黒ボク土	34	1.73	0.55	31.8	±0.185	154	27	9
	水田表土	30	1.83	0.52	28.4	±0.186	123	22	7
	(水田心土)	35	2.03	(0.47)	(23.2)	(±0.156)	(84)	(15)	(5)
	粘質マサ土	35	2.07	0.61	29.5	±0.202	135	24	8
自然乾燥	(黒ボク土)	36	1.54	(0.36)	(23.4)	(±0.118)	(85)	(15)	(5)
	水田表土	31	2.09	0.32	15.3	±0.113	37	7	2
	水田心土	35	1.67	0.44	26.3	±0.146	104	18	6
	粘質マサ土	31	2.44	0.59	24.2	±0.208	91	16	5
凍結乾燥	黒ボク土	35	1.90	0.54	28.0	±0.179	123	22	7
	水田表土	34	2.01	0.40	19.9	±0.134	62	11	4
	水田心土	35	1.38	0.30	21.7	±0.099	71	12	4
	粘質マサ土	35	1.79	0.38	21.2	±0.126	70	12	4
臨界点乾燥	(黒ボク土)	27	0.95	(0.35)	(36.8)	(±0.132)	(206)	(36)	(12)
	水田表土	33	1.07	0.43	40.2	±0.147	251	44	15
	水田心土	35	0.93	0.60	64.5	±0.199	627	110	38
	粘質マサ土	30	1.32	0.55	41.7	±0.197	266	47	16

自然乾燥が22%, 凍結乾燥が23%, 炉乾燥が28%, 臨界点乾燥が64%の順で大きくなる。続いて, これらの度数分布がどの程度に非対称的であるかを4試料の非対称度 (S_k)の平均値で見ると臨界点乾燥が0.78, 凍結乾燥が0.68, 炉乾燥が0.55, 自然乾燥が-0.11であった。このことから, 炉乾燥や自然乾燥は右傾化(分布の上限が小さくなり, 下限が広がる。)の傾向を示すことがわかる。これらの事実は, 相対的に C_v が小さくて S_k の大きい凍結乾燥が, aggregate の大きさ分布のバラツキに関しては, その影響の小さいことを示している。一方, 臨界点乾燥では C_v , S_k とも大きい。これは, 先にも述べたごとく乾燥処理に伴って \bar{x} が小さくなる際に, すべての aggregate が均等に小さくならず, 2mm 径に近い大粒径のものも一部はそのまま残存するためと考えられる。

続いて, 各試料ごとの C_v の最大値と最小値の差に着目すると, 黒ボク土が13%, 粘質マサ土が21%, 水田表土が25%, 水田心土が43%となり, 黒ボク土では乾燥方法の違いによるバラツキの変化幅が狭いのに対し, 水田心土ではその3倍以上も大きいことがわかる。

統計的に必要なサンプル数については以下のことがわかる。すなわち, 危険率と誤差率を5%におさめるには, 炉乾燥では123~154個, 自然乾燥では37~104個, 凍結乾燥では62~123個, 臨界点乾燥では251~627個にも達する。そこで, 危険率と誤差率を10%にまであげると, それぞれ22~27個, 7~18個, 11~22個, 44~110個となり, 現実的なサンプル数となる。

3. aggregate の大きさの平均値に関する有意差

aggregate の大きさの平均値に関して, 各乾燥方法ならびに各試料ごとに有意水準5%で行なったF・t検定の結果を表-7に示す。但し, ()内は一方もしくは両方に正規性が存在しないため, 参考データに過ぎない。この表から, 各乾燥方法間における有意差の存在する割合を各試料について見ると炉乾燥~自然乾燥では2例中2例で100%, 炉乾燥~凍結乾燥では3例中1例で33%, 炉乾燥~臨界点乾燥では2例中2例で100%, 自然乾燥~凍結乾燥では3例中2例で67%, 自然乾燥~臨界点乾燥と凍結乾燥~臨界点乾燥では, 3例中3例で100%となり, 臨界点乾燥が関連する組み合わせでは, いずれの試料においても有意差の存在することがわかる。

次に, 各試料ごとに方法間の有意差の存在する割合を見ると, 黒ボク土では1例中0例で0%, 水田表土では6例中4例で67%, 水田心土では3例中3例で100%, 粘質マサ土では6例中6例で100%となる。これらの結果から, 水田心土や粘質マサ土のように地表面下50~60cm程度の所に存在し, 乾燥履歴を受けていない試料においては乾燥方法の違いを敏感に反映することがわかる。

VI まとめ

以上で述べた一連の実験結果から明らかにし得たことをまとめると, 以下のごとくなる。

(1) 本報で用いた aggregate の大きさ分布に関しては, 危険率5%の場合には約7割に, また危険率2%の場合には約8割に正規性が認められる。その内訳を乾燥方法別に

表-7 aggregateの大きさの平均値に関する有意差検定結果(○:有意差が存在)

(1) 黒ボク土

乾燥方法	炉乾燥	(自然乾燥)	凍結乾燥	(臨界点乾燥)
炉乾燥		(×)	×	(○)
(自然乾燥)			(○)	(○)
凍結乾燥				(○)
(臨界点乾燥)				

(2) 水田表土

乾燥方法	炉乾燥	自然乾燥	凍結乾燥	臨界点乾燥
炉乾燥		○	×	○
自然乾燥			×	○
凍結乾燥				○
臨界点乾燥				

(3) 水田心土

乾燥方法	炉乾燥	自然乾燥	凍結乾燥	臨界点乾燥
(炉乾燥)		(○)	(○)	(○)
自然乾燥			○	○
凍結乾燥				○
臨界点乾燥				

(4) 粘質マサ土

乾燥方法	炉乾燥	自然乾燥	凍結乾燥	臨界点乾燥
炉乾燥		○	○	○
自然乾燥			○	○
凍結乾燥				○
臨界点乾燥				

見ると、4試料すべてに正規性が存在するのは凍結乾燥法のみである。また、試料別に見ると、aggregateの構造が最も発達していると考えられる黒ボク土では、凍結乾燥の場合にのみ正規性が存在し、他の乾燥法の場合にはいずれも存在しない。

(2) aggregateの大きさの平均値は、試料の違いに拘わらず臨界点乾燥が他の方法に比較して小さくなり、その差はF-t検定の結果によると有意と判定される。また、試料別の各乾燥方法間の有意差に着目すると、水田心土や粘質マサ土のような、乾燥履歴を受けていないと考えられる試料においてのみ100%有意であった。

(3) バラツキに関しては、凍結乾燥法が他の乾燥方法と比較して相対的に C_v が小さく、 S_k が大きな値を示し、乾燥処理の影響が小さい。試料別に C_v の最大値と最小値の差に着目すると、黒ボク土が最小で13%であるのに対し、水田心土では43%にも達する。

(4) 統計的に必要なサンプル数は、乾燥方法や試料によって差はあるが、平均的に見ると危険率と誤差率を5%にすると、160個前後となる。危険率と誤差率を10%にすると30個前後となり、現実的な数となる。

(5) 以上で述べたaggregateの大きさ分布を総括的に見ると、凍結乾燥法においては、aggregate表面の土粒子のはく離がわずかに認められるものの、処理に伴う変

化の均一性の面では他の乾燥法よりもその影響が最も小さく、優れた乾燥法と結論づけられる。また、試料別に乾燥処理の影響を見ると、乾燥履歴を強く受けている水田表土ではその影響が小さい。

以上、本研究で明らかにし得た点についてまとめたが、臨界点乾燥法の土試料への適用の可否の問題を含め、SEM用試料としてはaggregateの大きさと同様に重要と考えられるaggregateの内部構造に及ぼす乾燥処理の影響に関しては次報で触れたい。

おわりに、本研究を進めるに当たり、熱電対の使用でご助力を頂いた本学の長谷場徹也教授、ならびにSEMの使用等に関し、貴重なご助言とご協力を頂いた、本学の宮武睦夫助教授と白石雅也助教授、および実験補助とデータ整理にご尽力下さった本学の学部専攻生であった大浦三徳君(現、エコー建設コンサルタント)、加藤修二君(現、香川県庁)、井内孝俊君(現、小野測器)、さらには長谷川千里嬢に深謝の意を表します。

なお、本研究の一部は昭和57年度(課題番号57560234)文部省科学研究費の補助を得て行なわれたものであることを附記する。

参 考 文 献

- 1) Barden, L. and Sides, G.: Sample Disturbance in the Investigation of Clay Structure, *Geotechnique*.

- 21, 3, 211~222(1971)
- 2) Yong, R.N. and Mckyes, E.: Yield and Failure of a Clay under Triaxial Stresses, *Proc. A. S. C. E.*, SM1, 159~176(1971)
- 3) 松尾新一郎, 嘉門雅史: 物理化学的見地からのいわゆるヘドロの工学的性質について, *土木論集*, **209**, 103~113(1973)
- 4) Mesri, G., Rokhsar, A. and Bohor, B.F.: Composition and Compressibility of Typical Samples of Mexico City Clay, *Geotechnique*, **25**, 3, 527~554(1975)
- 5) 中村忠春, 宮内定基: 土の構造と水分保有形態—シラス地帯における土の特性と水の動態(VI)—*農土論集*, **93**, 37~43(1981)
- 6) 宮内定基, 中村忠春, 酒井俊典: 粘性土における繰返し載荷に伴う pF 値の変化と土壤構造との関係, *農土論集*, **106**, 51~60(1983)
- 7) 櫻井雄二: 走査電子顕微鏡, *土壤の物理性*, **42**, 41~47(1980)
- 8) 八幡敏雄: 土壤の物理, 東京大学出版会, pp127~129(1975)
- 9) 白石雅也: SEM 用への植物器官の試料作製法, *細胞*, **11**, 4, 41~50(1979)
- (1985. 4. 19受理)

Summary

To check the change occurring in soil structure during preparation of specimens for scanning electron microscopy (SEM), four samples of field-moist cohesive soils (2-1 mm esd) were dried by four different methods. The effect of the drying was assessed in terms of particle size distribution found in the dried soils by measuring the size of particles under SEM. The soil samples consisted of one each of the following: so-called non-ash-derived kuroboku soil, weathered granite of clayey texture, and surface and subsurface soils from a paddy. The drying method consisted of air-drying at room temperature, oven-drying at 105°C, freeze-drying, and critical-point-drying.

Particle size distribution of dried samples varied both with type of soil and drying method. Statistical analyses of the results, however, showed the following:

- The freeze-drying method was the only one that gave normal particle size distribution for all soil types tested.
- With all soil samples, critical-point drying gave the smallest mean values of particle size significantly smaller than those obtained by the other drying methods.
- Freeze-drying gave the most consistent results and the largest asymmetry of particle size distribution.

The above results indicate that, among the four methods employed, freeze-drying has the least effect on the soil structure; therefore it is the most suitable means for drying soil samples for studies of microscopic soil structure.

粘性土における aggregate のキ裂発生に 及ぼす乾燥処理の影響

— SEM用の試料作成に関する基礎研究(Ⅱ) —

宮内定基*, 中村忠春*, 橋本静夫*

Influence of Drying on Appearance of Cracks in Aggregate of Cohesive Soils

— The fundamental studies on preparation of cohesive

soils for scanning electron microscopy (Ⅱ)—

Sadaki MIYAUCHI, Tadaharu NAKAMURA and Shizuo HASHIMOTO

Faculty of Agriculture, Ehime University

I はじめに

前報¹⁾ではSEM用の試料作成に必須な乾燥処理として、炉乾燥、自然乾燥、凍結乾燥、臨界点乾燥の4乾燥法を採用し、それらを土試料に適用する場合の具体的手順を示すと共に、それらが粘性土の aggregate の大きさ分布に及ぼす影響について報告した。

現実にSEMで粘性土の土壌構造を数100倍から1000倍程度の倍率で観察する場合には、構造の発達程度を土粒子レベルで観察することは困難であり、観察した感じが膨軟であるか緻密で剛であるかによるいわゆる質感の相違と、分布する間隙の数とその大きさの面から構造の発達程度を判断するのが一般的な方法である。

そこで、本報告で用いた4供試土が本来保有していると考えられる間隙数と間隙面積を、後述する方法で求め、その結果(凍結乾燥処理試料)を表-1に示す。表から黒ボク土と水田表土は間隙数、間隙面積とも他の2者よりも圧倒的に多く、かつ大きいことがわかる。さらに質感も他の2者が緻密で剛なのに対し、膨軟な質感であった。これらの事実より、今回用いた4供試土のうち、黒ボク土と水田表土は他の2者に比較して、土壌構造の発達した供試土といえる。

乾燥処理に伴ってキ裂が発生し発達すると、土壌構造の指標となる質感や間隙の分布が乱され、SEMで観察しても正確な構造を把握し得なくなる。すなわち、SEM用の試料作成に必須な乾燥処理は、キ裂の発生と発達が軽微で土壌構造を乱しにくい方法であることが必要である。

そこで、本報告では、これらの4乾燥法が粘性土の土壌構造に及ぼす影響を、aggregateに発生するキ裂の個数

表-1 1視野当たり間隙数と各間隙の平均面積(凍結乾燥)

供試土	間隙数	間隙面積
黒ボク土	65.3 (個)	1.84×10^{-5} (mm ²)
水田表土	61.9	1.99×10^{-5}
水田心土	30.1	1.36×10^{-5}
粘質マサ土	53.7	1.19×10^{-5}

と面積の面から考察する。その中で、乾燥処理に伴う土壌構造の変化程度が粘性土の種類によって異なる点や、SEM写真を用いて、定量的かつ普遍的に土壌構造を把握するのに必要なサンプル数についても触れたい。さらに、前報¹⁾の結果も含めて総括的に考察し、SEM用の試料成形に適した乾燥法を提案したい。

II 供試土と実験方法

供試土は前報¹⁾と同じく、三重県安濃町の非火山灰性黒ボク土、愛媛県朝倉村の粘質マサ土、および本学附属農場から採土した水田表土と水田心土の4種類である。これらの供試土を生土の状態、土壌構造と水分の変化を最小限にするよう細心の注意を払いながら手で細かくほぐした、2~1mm粒径の aggregate を試料とした。供試土の基本的性質は前報¹⁾に示したので省略する。

これらの aggregate を前報¹⁾で詳述した4乾燥法で処理した後、直ちに両面テープでSEM用試料台に、各試料・各乾燥法ごとに36粒づつ固定し、イオンコーターで試料表面に金を蒸着した。そして、それらの各 aggregate が50倍の倍率でSEM(日立-明石製・MSM-7C型)

* 愛媛大学農学部

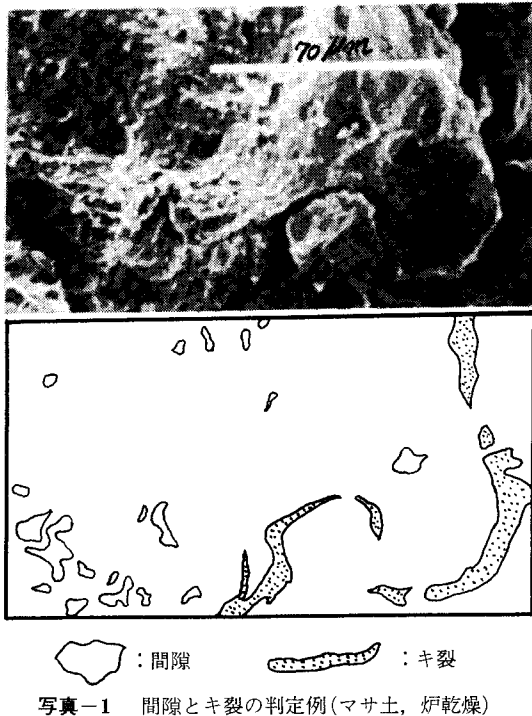


写真-1 間隙とキ裂の判定例 (マサ土, 炉乾燥)

の視野に完全に入ってしまう位置に固定した。その後キ裂測定用の視野を無作為に選定するために、倍率のみを500倍に上げて得られる視野を撮影し、現像・焼付けを行った。その一例の一部分を写真-1に示す。これらの写真上で、空隙部分の形状と周辺の質感とから乾燥処理に伴って発生したキ裂部分と各供試土が本来保有している空隙とを区別し判定した。すなわち、写真-1に示すごとく形が細長く、周辺がシャープな空隙を乾燥処理に伴って発生したキ裂とし、それ以外の空隙を、各供試土が本来保有している空隙とし、それらをmm方眼紙上にトレースした。その方眼数を数えることによって各キ裂の面積を算定すると同時に、各視野ごとのキ裂数を求めた。

III 実験結果

1. キ裂個数の分布について

1) 分布特性

本節では、各視野別に求めたキ裂個数の分布、すなわち視野によるキ裂発生数の違いに関する実験結果を示す。

図-1に黒ボク土の乾燥方法別の度数分布を示す。図から、乾燥方法によって度数分布の形状には差異があり、炉乾燥の場合にはかなり高い精度で正規性の存在が窺える。それに対し、凍結乾燥や臨界点乾燥の場合にはその存在の疑わしいことがわかる。他の試料においても乾燥

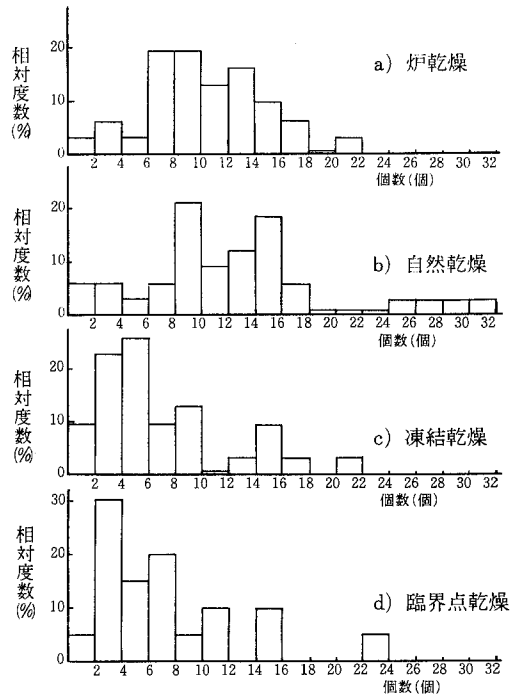


図-1 黒ボク土のキ裂個数に関する度数分布

方法によって度数分布の形状に差異が認められるので、正規性に関する χ^2 検定を行ない、その結果を表-2にまとめて示す。

表から、危険率5%の場合には16例中6例に、また危険率2%の場合には16例中9例において正規性は棄却されることがわかる。その内訳を乾燥方法別に見ると、炉乾燥と自然乾燥に正規性の存在が集中している。

同一供試土の各 aggregate における乾燥時のキ裂発生に対する抵抗力には差があり、おそらく抵抗力の分布には正規性が存在しているであろう。そのような aggregate に乾燥に伴う収縮力が作用すると、その力がある値以上になった時に抵抗力に反比例した数のキ裂が発生することになる。そして、それは恐らく正規分布するであろう。それに対し、収縮力がある値以下であると抵抗力がそれよりも小さい aggregate には比較的多数のキ裂が発生するであろうが、それ以外の aggregate にはほとんどキ裂が発生しないと考えられる。すなわち、上述の実験結果は、炉乾燥や自然乾燥が aggregate にとって抵抗力以上の収縮力を与える強烈な影響を及ぼす方法であることを示していると考えられる。

2) 平均値・バラツキの大きさと必要サンプル数

表-3に各乾燥法ならびに試料別のサンプル数(n), 平均値(\bar{x}), 標準偏差(S), 変動係数($C_v=S/\bar{x}$), 信頼度95%で平均値の区間推定を行なった結果をそれぞれ示す。

表-2 1 視野当たりのキ裂個数の分布に関する χ^2 検定結果

乾燥方法	供 試 土	n	χ^2_0	χ^2_α		正規性(○:有)	
				$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.02$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.02$
炉 乾 燥	黒ボク土	31 枚	4.5	15.5	18.2	○	○
	水田表土	28	6.7	12.6	15.0	○	○
	水田心土	33	2.8	12.6	15.0	○	○
	粘質マサ土	28	10.9	15.5	18.2	○	○
自然乾燥	黒ボク土	33	16.8	18.3	21.2	○	○
	水田表土	34	10.9	18.3	21.2	○	○
	水田心土	35	17.5	16.9	19.7	×	○
	粘質マサ土	31	16.5	15.5	18.2	×	○
凍結乾燥	黒ボク土	34	26.3	12.6	15.0	×	×
	水田表土	32	19.6	6.0	7.8	×	×
	水田心土	32	17.4	16.9	19.7	×	○
	粘質マサ土	34	23.8	15.5	18.2	×	×
臨界点乾燥	黒ボク土	20	20.2	11.1	13.4	×	×
	水田表土	33	31.6	9.5	11.7	×	×
	水田心土	31	74.1	6.0	7.8	×	×
	粘質マサ土	29	27.8	15.5	18.2	×	×

また、危険率(α)と誤差率(ϵ)を変化させて計算した必要サンプル数(N)も併記している。但し()内の数字は、度数分布に正規性が存在しないため、参考データとして示している。

まず、乾燥方法別の \bar{x} の平均値に着目すると、自然乾燥が10.5、炉乾燥が9.5、凍結乾燥が6.8、臨界点乾燥が6.1

個となっている。前報¹⁾で詳述したごとく、臨界点乾燥法においてはその処理中に、aggregateの表層部分がかなりはく離していることが考えられ、キ裂の発生に関しては、他の3乾燥方法とは異った部分(層)を観察している可能性が大きい。そこで、それを除外してみると、凍結乾燥において最もキ裂の発生個数の少ないことがわか

表-3 1 視野当たりのキ裂個数の平均値・バラツキと必要サンプル数

乾燥方法	供 試 土	n (枚)	\bar{x} (個)	S (個)	C_0 (%)	平均値の 信頼区間	N (枚)		
							$\alpha, \epsilon = 0.05$	0.10	0.15
炉 乾 燥	黒ボク土	31	9.6	4.4	45.8	±1.55	331	58	20
	水田表土	28	9.4	5.5	58.5	±2.04	524	92	32
	水田心土	33	9.3	4.4	47.3	±1.50	343	60	21
	粘質マサ土	28	9.6	5.5	57.3	±2.04	507	89	31
自然乾燥	黒ボク土	33	12.6	6.4	50.8	±2.18	402	71	25
	水田表土	34	11.2	6.2	55.4	±2.08	476	84	29
	水田心土	35	9.3	6.6	71.0	±2.19	773	136	47
	粘質マサ土	31	9.0	6.4	71.1	±2.25	782	137	47
凍結乾燥	(黒ボク土)	31	6.4	(5.9)	(92.2)	(±2.08)	(1341)	(235)	(81)
	(水田表土)	32	3.0	(2.7)	(90.0)	(±0.94)	(1238)	(217)	(75)
	(水田心土)	32	9.6	6.5	67.7	±2.25	691	121	42
	(粘質マサ土)	34	8.2	(6.7)	(81.7)	(±2.25)	(1031)	(181)	(62)
臨界点乾燥	(黒ボク土)	20	6.7	(6.0)	(89.6)	(±2.63)	(1269)	(223)	(77)
	(水田表土)	33	5.5	(5.0)	(90.9)	(±1.71)	(1259)	(221)	(76)
	(水田心土)	31	3.3	(6.7)	(203.0)	(±2.36)	(6321)	(1107)	(380)
	(粘質マサ土)	29	8.7	(6.7)	(77.0)	(±2.44)	(913)	(160)	(55)

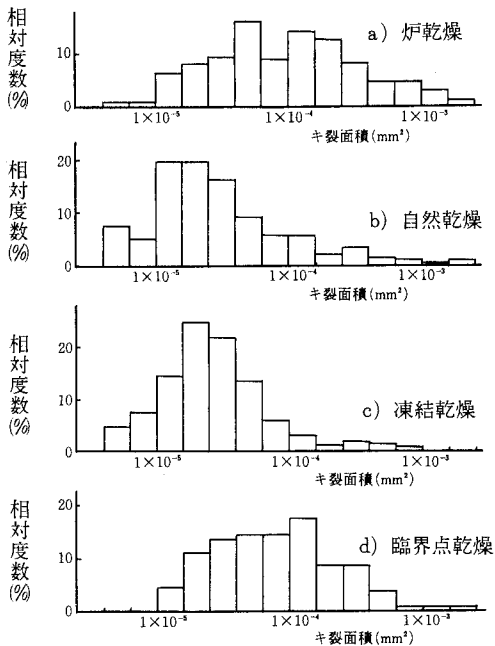


図-2 黒ボク土のキ裂面積に関する度数分布

る。続いて、試料別の凍結乾燥に対する炉乾燥や自然乾燥法のキ裂発生割合を見ると、水田表土が3.1~3.7倍で最も大きく、水田心土と粘質マサ土では1.0~1.2倍と小さく、黒ボク土は1.5~2.0倍でその中間的な値を示している。

このように、水田心土と粘質マサ土では有意な差を示さず、水田心土ではわずかながら凍結乾燥の方が大きい値さえ示している。これは前報¹⁾でも述べたごとく、これらの両試料は乾燥履歴を受けていないことに起因すると考えられる。すなわち、乾燥履歴を受けていない試料においては、乾燥処理に伴って発生するキ裂個数には乾燥方法の違いに拘わらず大差のないことを示しているものと考えられる。

次に、分布のパラッキや必要サンプル数に関しては、約半数にしか正規性が存在しないため統一的な考察ができず、また、平均値の有意差検定も統計学的意味を持たない。

いま、正規性の存在する場合について概観すると、 C_0 は46~71%とかなり大きな値を示し、 N も $\alpha \cdot \epsilon = 0.05$ で331~782枚、 $\alpha \cdot \epsilon = 0.10$ で58~137枚と多く、 $\alpha \cdot \epsilon = 0.15$ で初めて20~47枚と現実的なサンプル数になる。

2. キ裂面積の分布について

1) 分布特性

本節では、観察した各キ裂についての、1個ごとの面積に関する度数分布特性を示す。

表-4 キ裂面積の分布に関する χ^2 検定結果

乾燥方法	供試土	n	χ^2_0	χ^2_α		正規性(○:有)	
				$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.02$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.02$
炉乾燥	黒ボク土	297個	16.9	19.7	22.6	○	○
	水田表土	264	11.2	19.7	22.6	○	○
	水田心土	307	15.6	19.7	22.6	○	○
	粘質マサ土	270	14.8	21.0	24.1	○	○
自然乾燥	黒ボク土	410	4.9	16.9	19.7	○	○
	水田表土	362	8.5	19.7	22.6	○	○
	水田心土	319	10.9	18.3	21.2	○	○
	粘質マサ土	274	5.0	19.7	22.6	○	○
凍結乾燥	黒ボク土	189	63.8	21.0	24.1	×	×
	水田表土	94	19.2	21.0	24.1	○	○
	水田心土	302	18.7	18.3	21.2	×	○
	粘質マサ土	267	21.2	19.7	22.6	×	○
臨界点乾燥	黒ボク土	125	9.3	16.9	19.7	○	○
	水田表土	181	6.9	18.3	21.2	○	○
	水田心土	94	36.3	15.5	18.2	×	×
	粘質マサ土	242	23.4	15.5	18.2	×	×

図-2 に黒ボク土の乾燥方法別の度数分布を示す。但し、キ裂面積が3オーダーにわたって分布するため、横軸は対数で表示している。これらの図においても、キ裂個数の場合と同様に、度数分布の形状には乾燥処理によって差異が認められる。他の試料においても同様な現象が存在するため、正規性に関する χ^2 検定を行ない、その結果を表-4 にまとめて示す。

表から、危険率5%の場合には16例中11例に、また危険率2%の場合には16例中13例において正規性は棄却されることがわかる。その内訳を乾燥方法別に見ると、キ裂個数の場合と同様に炉乾燥と自然乾燥に正規性の存在が集中している。また、試料別に見ると、水田表土においてのみ、いずれの乾燥方法でも正規性が存在する特異な結果を示している。

炉乾燥と自然乾燥に正規性の存在が集中する理由は、前述のキ裂個数の場合と同じと考えられる。一方、水田表土においてはいずれの乾燥方法においても正規性が存在している。これは後でも述べるが、水田表土は乾燥履歴と共に応力履歴をも受けた状態で発達した土壤構造をもち、乾燥に伴う収縮力に対して比較的安定した状態を保ち、キ裂が著しく発達しないためと考えられる。

2) 平均値・バラツキの大きさと必要サンプル数

表-5 に表-3 の場合と同じく、 n, \bar{x}, S, C_v , 平均値の信頼区間、 N をそれぞれ示す。但し()内の数字は、度数分布に正規性が存在しないため、参考データとして示している。

まず \bar{x} について、乾燥方法別の平均値に着目すると、

炉乾燥が 1.79×10^{-4} 、臨界点乾燥が 1.57×10^{-4} 、自然乾燥が 0.89×10^{-4} 、凍結乾燥が $0.52 \times 10^{-4} \text{mm}^2$ の順に小さくなる。その中で、凍結乾燥は炉乾燥の約30%の値を示すに過ぎないことがわかる。続いて、試料別の凍結乾燥における \bar{x} に対する他の乾燥法の割合をみると、粘質マサ土が3.7~8.0倍で最も大きく、水田表土では1.3~1.7倍と小さく、黒ボク土と水田心土は1.5~6.1倍とその中間的な値を示している。

凍結乾燥におけるキ裂面積の \bar{x} と前報¹⁾のaggregate面積の \bar{x} に関する試料間の順位がほぼ一致し、水田心土や粘質マサ土ではaggregateの収縮が生じたためにキ裂面積の \bar{x} も小さくなったとも見えよう。しかしながら、そうであるならば他の乾燥法においても同様な関係が存在するはずであるが、それは認められない。従って、上述の実験結果は凍結乾燥ではキ裂が発生しても、大きくは発達しにくいことを示しているものと考えられる。

次にバラツキの程度を C_v で見よう。まず乾燥方法別の平均値に着目すると、臨界点乾燥が16.7、自然乾燥が15.3、炉乾燥が14.1、凍結乾燥が10.9%の順に小さくなっており、凍結乾燥が4乾燥方法で最もバラツキの小さいことがわかる。続いて、凍結乾燥における C_v に対する他の乾燥法の割合を試料別にみると、粘質マサ土が1.4~1.9倍で最も大きく、他の試料では1.1~1.5倍と小さいことがわかる。

統計学的に必要なサンプル数は、危険率と誤差率を5%におさめるには、炉乾燥では24~38個、自然乾燥では26~48個、凍結乾燥では14~22個、臨界点乾燥では42~

表-5 キ裂面積のバラツキと必要サンプル数

乾燥方法	供試土	n (個)	\bar{x} (10^{-4}mm^2)	S ($\times 10^{-5} \text{mm}^2$)	C_v (%)	平均値の 信頼区間 ($\times 10^{-4}$)	N (個)		
							$\alpha, \epsilon=0.05$	0.10	0.15
炉乾燥	黒ボク土	297	2.12	3.12	14.7	± 3.55	34	6	2
	水田表土	264	1.59	1.99	12.5	± 2.40	24	5	2
	水田心土	307	1.37	2.14	15.6	± 2.39	38	7	3
	粘質マサ土	270	2.07	2.84	13.7	± 3.39	29	5	2
自然乾燥	黒ボク土	410	0.85	1.47	17.3	± 1.42	47	9	3
	水田表土	362	1.27	1.71	13.5	± 1.76	28	5	2
	水田心土	319	0.50	0.65	12.9	± 0.71	26	5	2
	粘質マサ土	274	0.95	1.67	17.6	± 1.98	48	9	3
凍結乾燥	(黒ボク土)	189	0.53	(0.64)	(12.1)	(± 0.91)	(23)	(4)	(2)
	水田表土	94	0.96	1.12	11.7	± 2.26	22	4	2
	水田心土	302	0.33	0.38	11.6	± 0.43	21	4	2
	粘質マサ土	267	0.26	0.25	9.5	± 0.30	14	3	1
臨界点乾燥	黒ボク土	125	1.44	2.45	17.0	± 4.30	45	8	3
	水田表土	181	1.33	2.18	16.4	± 3.18	42	8	3
	(水田心土)	94	2.02	(3.56)	(17.6)	(± 7.20)	(48)	(9)	(3)
	(粘質マサ土)	242	1.49	(1.92)	(12.9)	(± 2.42)	(26)	(5)	(2)

表-6 キ裂面積の平均値に関する有意差検定結果 (○: 有意差が存在)

(1) 黒ボク土

乾燥方法	炉乾燥	自然乾燥	(凍結乾燥)	臨界点乾燥
炉乾燥		○	(○)	○
自然乾燥			(×)	○
(凍結乾燥)				(○)
臨界点乾燥				

(2) 水田表土

乾燥方法	炉乾燥	自然乾燥	凍結乾燥	臨界点乾燥
炉乾燥		×	○	×
自然乾燥			×	×
凍結乾燥				×
臨界点乾燥				

(3) 水田心土

乾燥方法	炉乾燥	自然乾燥	凍結乾燥	(臨界点乾燥)
炉乾燥		○	○	(×)
自然乾燥			○	(○)
凍結乾燥				(○)
(臨界点乾燥)				

(4) 粘質マサ土

乾燥方法	炉乾燥	自然乾燥	凍結乾燥	(臨界点乾燥)
炉乾燥		○	○	(○)
自然乾燥			○	(○)
凍結乾燥				(○)
(臨界点乾燥)				

45個であり、 C_0 の最も小さい凍結乾燥において N も最小となっている。危険率と誤差率を10%にまであげると、いずれの乾燥法においても10個以下と急減することがわかる。

3) キ裂面積の平均値 (\bar{x}) に関する有意差

キ裂面積の \bar{x} に関する有意差について、有意水準 5% で F・t 検定を行なった結果を表-6 に示す。但し、() 内は一方もしくは両方に正規性が存在しないため、参考データとして示している。この表から、各乾燥方法間における有意差の存在する割合を各試料について見ると、炉乾燥～自然乾燥では4例中3例で75%、炉乾燥～凍結乾燥では3例中3例で100%、炉乾燥～臨界点乾燥では2例中1例で50%、自然乾燥～凍結乾燥では3例中2例で67%、自然乾燥～臨界点乾燥では2例中1例で50%、凍結乾燥～臨界点乾燥では1例中0例で0%となり、炉乾燥～凍結乾燥の場合においてのみ100%有意、すなわちいずれの試料においても有意差の存在することが明らかである。

次に、試料別ごとに方法間の有意差の存在する割合を見ると、黒ボク土、水田心土、粘質マサ土ではいずれも3例中3例で100%であるのに対し、水田表土では6例中1例で17%にすぎないことがわかる。

VI 考察

前章で詳述した実験結果を総括し、前報¹⁾の結果も含

めながら、SEM用の試料作成に適した乾燥方法、すなわち土壌構造の変化が少ない乾燥方法について考察してみよう。

最初にキ裂個数や面積の度数分布に着目すると、正規性の存在が炉乾燥と自然乾燥に集中し、凍結乾燥や臨界点乾燥では少ない傾向が見られた。そこで、その内容を乾燥方法別に求めた非対称度 (S_u) の平均値で検討してみる。キ裂個数に関しては、炉乾燥が-0.08、自然乾燥が-0.15、凍結乾燥が-0.66、臨界点乾燥が-0.55であり、キ裂面積に関しては、炉乾燥が1.08、自然乾燥が1.16、凍結乾燥が0.99、臨界点乾燥が1.29であった。このように、凍結乾燥の場合は両者共、臨界点乾燥の場合にはキ裂個数に関する値が、炉乾燥や自然乾燥のそれよりも小さくなって、度数分布が右傾化する、すなわちキ裂個数や面積の上限が小さくなり、下限が広がる傾向のあることがわかる。特に、凍結乾燥は4乾燥法中でいずれの値も最小であり、キ裂が発生しにくく、かつ発達しにくい乾燥法であることを示している。

次に、キ裂個数や面積の \bar{x} に着目すると、キ裂個数に関しては、自然乾燥、炉乾燥、凍結乾燥、臨界点乾燥の順に少くなる。また、キ裂面積に関しては、凍結乾燥において著しく小さい値を示し、最大値を示す炉乾燥の約30%の値を示すに過ぎず、 C_0 も凍結乾燥において最小値を示す。これらの事実も、凍結乾燥が4乾燥法中ではキ裂が発生しにくく、その発達程度とそのバラツキも小さ

くて、優れた乾燥法であることを示すものである。

続いて、各乾燥方法間におけるキ裂面積の \bar{x} に関する有意差の存在する割合を各試料について見ると、炉乾燥～凍結乾燥の組み合わせの場合のみが有意水準 5% で 100% 有意であった。このことは、キ裂の発達最も顕著な炉乾燥と統計学的にも有意な差のある優れた乾燥法は凍結乾燥であることを示している。

以上で述べたごとく、4 乾燥法中では凍結乾燥法において最もキ裂が発生しにくく（水田心土のキ裂個数の \bar{x} を除いて）、かつその発達程度とキ裂面積のパラッキも最小であることより、凍結乾燥が aggregate の内部構造に及ぼす影響は最少と考えられる。一方、aggregate の大きさより求めた、土粒子のはく離等による表面構造に及ぼす影響については、前報¹⁾ で詳述したごとく、凍結時に aggregate 表面の土粒子のはく離がわずかに認められるものの、均一性の面では凍結乾燥が最も影響が少なかった。

上述の理由から、土壌構造の変化が少なく、一般的に最も優れた乾燥方法は凍結乾燥法であると結論づけられる。

臨界点乾燥法は前報¹⁾ で詳述したごとく、土壌水をアルコールやアセトンで脱水し置換する操作中に、aggregate 表面の弱結合の土粒子がはく離してしまう欠点がある。しかし、理論的には最も優れた乾燥法と考えられるので、耐水（液）性の土壌構造や、力学的な挙動に支配的な影響を及ぼすと考えられる、aggregate の骨格構造の観察用には適用し得る乾燥方法であろう。

自然乾燥法は後述するごとく、気乾程度の乾燥履歴を受けた試料に限定すれば適用し得る乾燥方法である。

炉乾燥は土壌構造に及ぼす影響が最も劣悪であるから、SEM 用の試料作成には不適な乾燥方法である。

以上では乾燥方法別に考察してきたが、以下では、試料別にキ裂の発生とその発達について考察したい。

キ裂個数に関して、凍結乾燥における各試料ごとの \bar{x} に対する炉乾燥や自然乾燥の \bar{x} の変化割合を見ると、水田表土が最大で、水田心土や粘質マサ土が小さく、黒ボク土はそれらの中間的な値であった。

一方、キ裂面積に関しては以下のごとく実験結果を要約できる。まず度数分布に着目すると、水田表土においてのみいずれの乾燥方法においても正規性が存在する。また、凍結乾燥の各試料別における \bar{x} に対する他の乾燥法の \bar{x} の変化割合を見ると、粘質マサ土が最大で水田表土が最小である。同じく C_v の変化割合は、粘質マサ土のみが特徴的に大きくなるのに対し、他の試料はほぼ類似した値であった。最後に、 \bar{x} の各乾燥方法間における有意差の存在する割合を見ると、水田表土においては 6 組み合わせ中、炉乾燥～凍結乾燥の場合にのみ有意であるのに対し、他の試料では 100% の場合に、すなわち、い

れの組み合わせにおいても有意差が存在した。

以上で要約した実験事実から、凍結乾燥以外の乾燥処理に伴うキ裂の発生とその発達は、試料の構造の発達度や乾燥履歴の有無等に影響されることがわかる。すなわち、aggregate の構造が未発達で、乾燥履歴を受けていない粘質マサ土では、凍結乾燥と他の乾燥法を比較した場合に発生するキ裂個数こそ大差ないが、キ裂面積には大きな差があり、凍結乾燥以外の場合には一度発生したキ裂は発達し、キ裂面積が著しく大きくなる。それに対し、aggregate の構造が発達し、乾燥履歴と共に応力履歴をも受けている水田表土では、凍結乾燥と他の乾燥法を比較した場合に、発生するキ裂個数は凍結乾燥以外の方が多く、その発達程度が低く、キ裂面積の差異は最も小さくなる。さらには、水田表土においては、炉乾燥～凍結乾燥の組み合わせでは、他の試料と同じくキ裂面積の \bar{x} の大きさに有意差が存在するが、炉乾燥～気乾燥、気乾燥～凍結乾燥等の組み合わせにおいては他の試料と異なり、有意差が存在しない。このことより、水田表土のような特性を有する粘性土の SEM 観察用の乾燥法としては、統計学的には自然乾燥法も適用可能なものと考えられる。

最後に、統計学的に必要なサンプル数を見定める。キ裂個数に関しては、 $\alpha \cdot \epsilon = 0.05$ で数百枚を要するが、キ裂面積に関しては、数十個の単位となり、中でも C_v の小さい凍結乾燥が最小で 14～22 個である。いま、aggregate の構造を 500 倍の間隙の面積分布で見ると、表-1 に示すごとく黒ボク土や水田心土では 1 視野当たり 60～70 個、水田心土や粘質マサ土では 30～50 個の間隙を観察できる。したがって、1 試料当たり 2～3 視野も観察すれば、十二分に精度の高い分布特性を知ることができよう。

V ま と め

以上で述べた一連の実験結果から明らかにし得たことをまとめると、以下のごとくなる。

(1) 乾燥処理に伴って発生するキ裂個数とキ裂面積に関する度数分布を乾燥方法別に見ると、危険率 5% では前者で約 4 割に、後者では約 7 割に、また危険率 2% では前者で約 6 割に、後者では約 8 割の場合に正規性が認められる。これらの正規性は炉乾燥と自然乾燥に集中する傾向がある。これらの度数分布を S_x の面から検討すると、凍結乾燥が最も右傾化した分布となる。続いて、試料別のキ裂面積に関する度数分布に着目すると、水田表土のみがいずれの乾燥方法においても正規性が存在し、特徴的現象を呈している。

(2) キ裂個数の \bar{x} を、乾燥方法別に見ると、自然乾燥、炉乾燥、凍結乾燥、臨界点乾燥の順に少くなる。前報¹⁾ で述べた理由により臨界点乾燥を除くと、凍結乾燥が

最小になる。試料別に凍結乾燥に対する他の乾燥法の \bar{x} の変化割合を見ると、水田表土が最大で、水田心土や粘質マサ土が小さくなる。

(3) キ裂面積の \bar{x} は、乾燥方法別に見ると凍結乾燥が極端に小さく、最大値を示す炉乾燥の約3割の値を示すに過ぎない。試料別に凍結乾燥に対する他の乾燥法の \bar{x} の変化割合を見ると、粘質マサ土が最大で水田表土が最小である。

(4) キ裂面積に関する C_v を乾燥方法別に見ると、凍結乾燥が最小となり、試料別に凍結乾燥に対する他の乾燥法の C_v の変化割合を見ると、粘質マサ土において著しく大きくなるのに対して、他は類似した値を示す。

(5) キ裂面積の \bar{x} に関する有意差を、試料別に見ると、水田表土では炉乾燥～凍結乾燥の組合せの場合にのみ有意であるのに対し、他の試料ではいずれの組合せにおいても有意と判定される。

(6) これらの結果から、乾燥処理に伴う土壌構造の変化が最も少ない乾燥方法は、凍結乾燥法であることが判明した。自然乾燥法と臨界点乾燥法は限定された条件下では適用可能と考えられるが一般的ではない。炉乾燥は土壌構造の変化に対しては最も劣悪な方法である。

(7) 土壌構造を500倍程度の倍率の間隙面積の分布から究明しようとする場合には、1試料当たり2～3視野

も観察すれば十分な精度で間隙の分布特性を知ることができる。

以上、各種乾燥処理が土壌構造に及ぼす影響を、50倍¹⁾と500倍の倍率で観察する場合については明らかにした。しかし、数千倍とか数万倍で観察する場合の土壌構造の変化に対しては全く未検討であり、今後の課題である。

おわりに、本研究を進めるに当たり、SEMの使用に対してご協力を頂いた本学の宮式陸夫助教授、および実験補助とデータ整理にご尽力下さった本学の学部専攻生であった池内省吾君(現、第一重工業)、井ノ口洋君(現、久保田建設)、加藤博明君(現、浅沼組)、二宮英治君(現、愛媛建材)、ならびに長谷川千里嬢に深謝の意を表します。

なお、本研究の一部は昭和57年度(課題番号57560234)文部省科学研究費の補助を得て行なわれたものであることを附記する。

参 考 文 献

- 1) 中村 忠春, 宮内定基, 橋本静夫: 粘性土における aggregate の大きさ分布に及ぼす乾燥処理の影響, SEM用の試料作成に関する基礎研究 (I) 土壌の物理性, 52, 2~9(1985)

(1985. 4. 19受理)

Summary

To understand the effect of drying on soil structure, field-moist, 1.0—2.0mm size separates from cohesive soils were dried by various methods, and the number of cracks produced within the micro-aggregates, together with the area covered by the cracks, was determined. On each of following cohesive soils were used: so-called non-ash-derived kuroboku soil, weathered granite of clayey texture, and surface and subsurface soils from a paddy. The drying methods employed were air-drying at room temperature, oven-drying at 105 °C, freeze-drying and critical-point-drying. The results were statistically analyzed and can be summarized as follows:

1. The number of cracks produced by drying decreased in the following order for all cohesive soils examined air-drying (10.5), oven-drying (9.5), freeze-drying (6.8), critical-point-drying (6.1).

The lowest value exhibited by critical-point-drying does not necessarily mean the least effect to soil structure; it was shown in a previous study that this separated particles from the outside of aggregates, causing a decrease in particle diameter.

2. Freeze-drying yielded the smallest average area covered by cracks.

The above results indicate that, of the four methods employed, freeze-drying has the least effect on soil structure; therefore it is the most suitable means for drying soil samples for studies of microscopic soil structure.

地下灌漑時の土層中の水移動

——重粘土転換畑における地下灌漑試験(第1報)——

松原利文*, 相川賢一郎*

山崎剛太郎**, 杉町信幸**

Water Movement in Soil Layers during Sub-irrigation

—— Sub-irrigation methods on heavy clayey paddy fields converted to upland fields (I) ——

Toshifumi MATSUBARA*, Kenichiro AIKAWA,
Gotaro YAMASAKI** and Nobuyuki SUGIMACHI**

*Saga Agricultural Experiment Station

**Saga Agricultural and Forestry Division

1. はじめに

佐賀平田地においては水稲・畑作物ともに栽培可能な汎用化水田の造成を目指した、圃場の基盤整備が排水強化を中心に行われている。このような水田に畑作物を導入する場合、恒久的な灌漑施設を圃場に設置することは難しく、必然的に掛流し的な畦間灌漑が行われているのが現状である。そこで、筆者らは排水改良を目的として施工された暗渠パイプを利用した地下灌漑の可能性を検討し、圃場施設の合理的活用を検討した。

この地下灌漑試験は構造改善局で実施された営農技術確立調査の一部をとりまとめたものである。なお、この調査は当場の他、福井県農試、兵庫県農試、香川県農試および茨城県農試でも実施された。

本報では重粘土転換畑における地下灌漑時の水分移動を解析し、地下灌漑の可能性と適地条件について検討した結果について報告する。

2. 試験圃場の概要

佐賀平田地は海成沖積層から成り、傾斜が $1/10,000$ と極めて平坦な重粘土帯で、灌・排水両面からの水管理技術の確立が要求される。このような地域では任意のブロックにおいて、ゲートとポンプを併用することによって比較的容易に水路水位の調節を行うことが可能で、水位を灌漑時には高水位、排水時には低水位にして、灌・排水の管理が行えるものと思われる。そこで、圃場の短辺

方向に水路水位の調節が可能な水路(以後、調節水路と略称する)を設け、貯水位を利用して暗渠パイプに灌漑水を送水し、地下灌漑を行うことにした。試験は佐賀県農業試験場の場内圃場で行い、試験圃場の平面図を図-1に、断面図を図-2に示した。

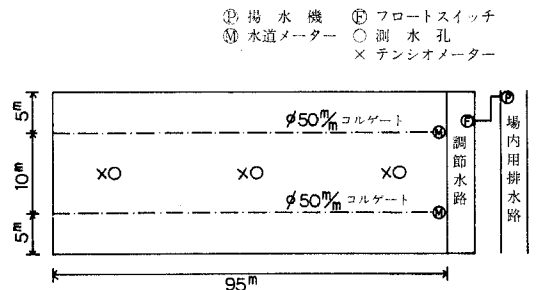


図-1 試験圃場平面図

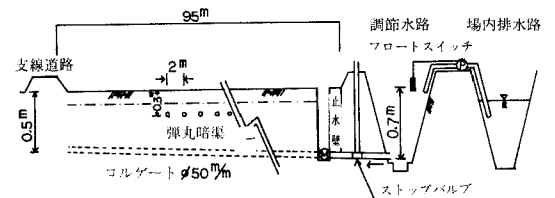


図-2 試験圃場断面図

* 佐賀県農業試験場

** 佐賀県農林部

表-1 三相分布および保水性

(59年6月)

深 さ	仮比重	三 相 分 布(%)			保 水 性(Vol%)			有効水分(mm) pF1.5~pF3.0
		固 相	液 相	気 相	pF1.5	pF3.0	pF4.2	
0 ~ 10 cm	1.14	43.9	45.5	10.6	49.8	44.0	37.1	5.8
10 ~ 20	1.12	42.8	50.8	6.4	55.4	50.0	41.2	5.4
20 ~ 30	1.06	40.8	55.0	4.2	58.6	53.4	43.1	5.2

調節水路水位は、ポンプとフロートスイッチによって任意の高さに維持できるようにした。また暗渠は佐賀県内の圃場整備事業で一般に施工されている形式を用いた。すなわち、暗渠パイプの口径は50mmで、間隔は10mとし、埋設深は道路側50cm、水路側70cmとした。また、下層土の改良を行うため、弾丸暗渠を2m間隔で、深さ30cmに施工した(佐賀県の平坦部では麦播種時に弾丸暗渠を施工する営農指導がなされている)。

試験圃場の土壌は細粒灰色低地土(佐賀統)で、海成沖積層の特徴を非常に良く表わした重粘で膨潤・収縮性に富んだ土壌である。試験圃場の土壌断面を図-3に三相分布および保水性を表-1に、また他の主な物理性を表-2に示した。図・表に示した測定値はいずれも大豆4作目の圃場から得られたもので、土層は酸化状態で推移しており、収縮亀裂が良く発達していた。土壌の透水は主に、この収縮亀裂に依存している。また、有効水分

表-2 試験圃場の主な物理性

(59年6月)

項 目	測 定 値
①現場透水系数：5~30cm	$K=2.25 \times 10^{-5}$ cm/sec
現場透水系数：30~50cm	$K=4.37 \times 10^{-6}$ cm/sec
②ベーシックインテグレート	IB=1.07mm/hr
③コンシステンシー：液性限界	70.2%
(深さ30cm)：塑性限界	31.0%
：収縮限界	17.3%
：体積変化率	91.0%

は0~10cm間5.8mm, 10~20cm間5.4mm, 20~30cm間5.2mmであった。

3. 地下水面上の土壌水分分布

地下水面上の土層内に起こる土壌水分分布は灌漑時の調節水路水位を決めるうえで、非常に重要な要因である。しかし、これは蒸発散量によっても変化するため、実測値だけでは解明できない。そこで、Gardner¹⁾は土壌断面において、ある水分張力(S)が発生する地下水面からの距離(Z)を(1)式で与えているので、これを数値解析し、蒸発散量が、(Z)におよぼす影響を検討した。

$$Z = f \frac{ds}{Q/K + 1} \dots\dots\dots (1)$$

- Z：地下水面からの距離
- S：水分張力
- Q：蒸発散量
- K：不飽和透水係数

1) 試験方法

(1)式を利用するには、試験圃場での地下水面上の土壌水分分布の実測値と(1)式の数値解析した結果とが一致することを検証する必要がある。また、(1)式の解析には不飽和透水係数(K)を求める必要がある。そこで、調節水路水位を田面から-30cmに維持し、人為的に地下水面を形成し土層内に起こる水移動を検討した。

境界は最下端を地下水面、最上端を地表面とし、蒸発散量(Q)が地表面から大気中へ移動するものとした。さらに、土層は均質的なものと仮定し3層に分割すると、土層内での水移動は図-4のように示される。図中の記号

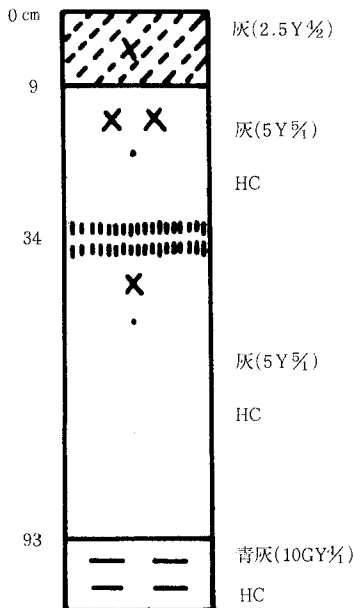


図-3 土壌断面図

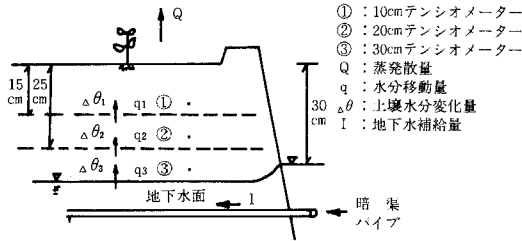


図-4 土層内の水分の移動

を用いると、水の移動は(2)~(5)式で表わされ、水の収支は(6)式で示される。

$$Q - \Delta\theta_1 = q_1 \dots (2), \quad q_1 - \Delta\theta_2 = q_2 \dots (3)$$

$$q_2 - \Delta\theta_3 = q_3 \dots (4), \quad q_3 = I \dots (5)$$

よって

$$Q = \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 + \Delta\theta_3 + I \dots (6)$$

試験は58年8月8日から23日までの16日間行い、地下灌概あるいは降雨によって土壌が十分に湿潤状態になったのち開始した。

各層の土壌水分はテンシオメーター（深さ10cm, 20cm, 30cm）で測定し、地下水位は測水孔で測定した。また、地下水補給量は自記水道メーターで測定した。なお、土壌水分と地下水位は暗渠間の中央部3ヶ所（調節水路水位から10m, 48m, 85m, の地点）で測定した。

2) 試験結果

I) 土層内の水収支

表-3 水収支諸元表

	蒸 発 量	地下 水 補 給 量	層別土壌水分変化量		
	(Q)	(I)	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\Delta\theta_3$
	mm	mm	mm	mm	mm
8月8日	3.1	2.8	+1.3	+0.1	-0.2
9	5.7	2.9	+2.7	±0	+0.4
10	5.6	2.9	-1.0	-0.2	-0.7
11	4.8	2.8	+0.8	+0.4	+0.7
12	5.6	2.6	+0.2	+0.2	±0
13	5.4	2.8	+0.2	+0.1	±0
14	5.4	3.6	+0.1	+0.2	±0
15	5.4	4.8	+0.1	+0.7	+0.4
16	3.8	5.0	+0.1	-0.1	-0.1
17	3.6	4.8	±0	+0.3	+0.3
18	2.9	4.7	+0.1	+0.1	+0.1
19	6.3	5.4	+0.1	+0.2	-0.2
20	5.8	5.4	+0.2	+0.3	+0.3
21	5.8	5.2	+0.2	+0.2	+0.3
22	4.8	5.9	+0.1	+0.1	-0.1
23	2.6	6.1	+0.1	+0.2	+0.4
計	76.6	67.7	5.3	2.8	1.6

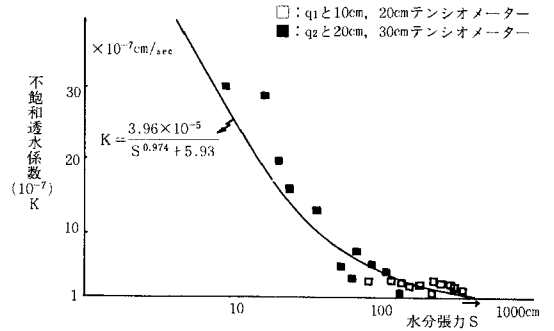


図-5 水分張力 S と不飽和透水係数 K との関係

蒸発散量(Q)は計器蒸発量と蒸発散比²⁾ によって求め、水分移動量(q)はテンシオメーターの読みと pF - 水分量曲線から求めた。水収支の各諸元の測定結果を表-3 に示した。日ごとの収支は圃場試験のため、バラツキは大きかったが、試験期間中の合計値では、蒸発散量(Q)=76.6 mm, 土壌水分変化量 ($\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 + \Delta\theta_3$) = 9.7mm, 地下水補給量67.7mmで、水収支はほぼ見合っていると考えることができる。

II) 不飽和透水係数

不飽和透水係数(K)はテンシオメーターの読み（水分張力）と、それに挟まれた境界での水分移動量(q)とから求めることができる³⁾。一方、不飽和透水係数(K)は水分張力(S)の関数として表わすことができる。結果を図-5 および(7)式に示した。

$$K = 3.96 \times 10^{-5} / (S^{0.974} + 5.93) \dots (7)$$

III) 実測値と数値解析値との検証

(1)式に(7)式を代入すると次式で示される。

$$Z = f \frac{3.96 \times 10^{-5}}{Q \cdot (S^{0.974} + 5.93) + 3.96 \times 10^{-5}} \dots (8)$$

(8)式において蒸発散量(Q)は試験期間中の平均日当り量 4.8mmとした。地下水面からの距離の実測値と(8)式による計算値を比較して図-6 に示した。両者は比較的良く一

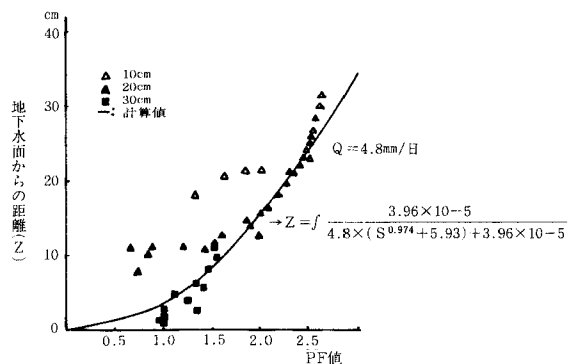


図-6 土壌水分張力(pF)に対する地下水面上の距離の関係

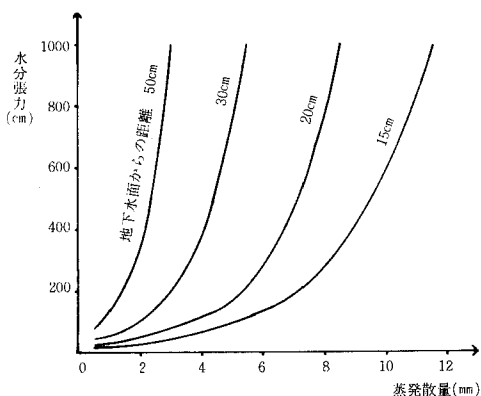


図-7 地下水面からの距離・蒸発散量と水分張力の関係

致しており、(8)式を用いて、蒸発散量(Q)が(Z)におよぼす影響を検討して良いものと思われる。

IV) 地下水面から任意の距離にある点の水分張力におよぼす蒸発散量の影響

(8)式を用いて、地下水面から任意の距離にある点(計算は地下水面から15cm, 20cm, 30cm, 50cmの距離にある点を想定して行った。)の水分張力が蒸発散量(Q)の増加に伴って、どのように変化するかを検討した。結果を図-7に示した。図から、地下水面上に発生する水分張力は蒸発散量の影響を受けることは明らかで、地下水面から30cm離れたところでは蒸発散量が4.5mmになると水分張力は生長阻害点(S=500cm, pF2.7)を超える。また、地下水面から20cmのところでは蒸発散量が3.5mmの時pF値は2.0で、蒸発散量が7.0mmになると生長阻害点を超える。このように重粘土転換畑では有効水分領域の不飽和透水係数が小さいため、蒸発散量が大きくなると、地下水面から水分を補供できる範囲は制限される。

4. 土層中における灌漑水の移動

調節水路の貯水位を利用して、地下灌漑を行う場合、水は正圧によって主に亀裂中を移動するものと思われる。

1) 試験方法

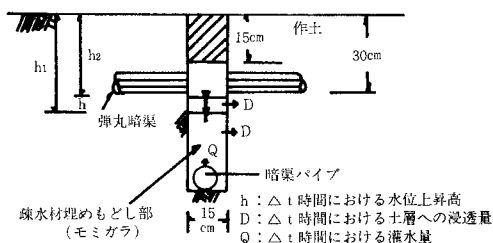


図-8 灌漑水の浸透状況

土層中における灌漑水の移動を検討するため、57年9月2~3日にかけて、調節水路水位を平均田面に維持し灌漑試験を行った。この時の灌漑水の土層への浸透状況を図-8に示した。すなわち、重粘土地帯では、疎水材埋めもどし部と土層とでは透水性に大きな差があり、暗渠パイプから流出した灌漑水は疎水材埋めもどし部をまず上昇し、その一部が亀裂あるいは弾丸暗渠等の透水性の良い部分から土層中へ移動するものと仮定する。そこで、灌水量と疎水材埋めもどし部の水位上昇高を測定すれば、灌水量と水位上昇に寄与した水量との差を土層中に浸透した量として求めることができる。よって浸透率を図中の記号を用いて、(9)式で表わし、埋めもどし部水位との関係を検討した。

$$\text{浸透率}(\%) = \frac{Q - H}{Q} \times 100 = \frac{P}{Q} \times 100 \dots\dots(9)$$

H ; 水位がh上昇した時の水の体積

H = h × 埋めもどし部の幅 × 水に置換される気相量
 なお、水位の上昇によって水に置換される気相量は次のとおりとした。

- 疎水材(モミガラ) 地表から15cm以深 68%
- 作土 地表から15cmまで 6.2%

また、埋めもどし部の水位は暗渠パイプ直上で5ヶ所(調節水路から5m, 27m, 49m, 71m, 93mの地点)で測定し、灌水量は水道メーターによった。測定時間は灌漑開始後2時間までは10分間ごと、2~7時間までは30分間ごと、以降は1時間ごとに24時間後まで測定した。

2) 試験結果

埋めもどし部水位の5点平均と浸透率との関係を図-9に示した。埋めもどし部水位が30cm以深において、浸透率は50%前後である。しかし、埋めもどし部水位が弾丸暗渠の施工され、かつ、亀裂が多く見られる30cm前後

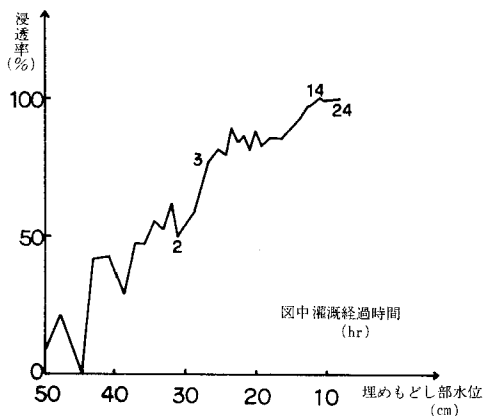


図-9 浸透率と埋めもどし部水位の関係

表-4 灌漑時の初期土壌水分条件と24時間灌水量

年 月 日	土壌水分(pF値)			地下水位	10a当り24時間灌水量(m ³)
	10cm	20cm	30cm		
56.8.7	2.44	2.32	1.93	57.5	24.5
56.9.14	2.38	2.25	2.13	56.0	25.6
57.9.2	2.72	2.48	2.22	53.7	26.2
57.9.7	2.75	2.53	2.09	55.5	27.6
57.10.12	2.82	2.71	2.64	72.4	31.8
58.7.25	1.85	1.34	1.14	54.4	21.6
58.8.1	1.82	1.03	0.93	29.2	18.1

になると、浸透率は80～90%に増加した。さらに埋めもどし部水位が作土層のあたり（15cm以浅）になると浸透率は100%に近くなり、灌漑水が作土中を拡がっていることがうかがえた。このように、浸透率は埋めもどし部の水位上昇と密接な関係があり、埋めもどし部水位が亀裂の発達した土層まで上昇すると、灌漑水が土層中へと急速に浸透していくことが明白となった。

5. 灌漑時の初期土壌水分条件と灌水量

地下灌漑においても灌漑時の初期土壌水分条件によって灌水量は違ってくるはずである⁴⁾。そこで、調節水路水位を平均田面位に維持し灌漑した場合の24時間灌水量と初期の土壌水分条件との関係を検討した。

表-4に灌漑時の土壌初期水分条件と24時間灌水量について示した。土壌水分条件は深さ10cm, 20cm, 30cmにおけるpF値と地下水位について示した。表-4からわかるように土壌が乾燥し、地下水位が低下した条件では灌水量が増加した。そこで、24時間灌水量と各条件とについて相関分析を行うと、それぞれの間に非常に有意な関係があった。よって、24時間灌水量をpF値の関数として示すために重回帰分析を行うと、(10)式で示された。

$$Q = 2.20 \times P_1 - 1.79 \times P_2 + 7.22 \times P_3 + 10.04 \dots (10)$$

Q : A区24時間灌水量(m³/10a)

P₁ : 深さ10cmでのpF値

P₂ : 深さ20cmでのpF値

P₃ : 深さ30cmでのpF値

(10)式から、深さ30cmでのpF値が灌水量と密接に関与していることがうかがわれ、地下灌漑では特に下層土の土壌水分条件の影響が大きいものと思われる。

6. 考 察

重粘土地帯では有効水分領域の不飽和透水係数が小さいため、蒸発散量の多い時期では地下水面から水分を補

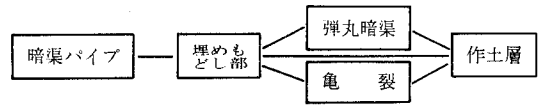


図-10 水移動の水経路

給できる範囲は制限される。また灌漑水を作土層まで圧送するためには、調節水路水位は少なくとも田面位まで維持する必要がある。また、暗渠パイプに流入した灌漑水は浸透率による検討から亀裂を正圧によって移動することが明らかになり、これを模式的に表すと、図-10に示されるようになる。

一方、中粗粒灰色低地土（清武統）で、地下灌漑を行ったところ、暗渠直上部は作土層まで湿润となったが、暗渠間部では作土層まで水分が到達しなかった⁵⁾。この理由として、圃場の土性がCL～Lで、深さ30cm付近の反比重は1.4とち密で、収縮性に乏しく、亀裂の発達が小さいためと考えられた。

これらのことから、地下灌漑に必要な圃場条件を整理すると、まず、地形勾配が小さく、圃場面段差がないことは勿論のこと、さらに、暗渠パイプ以深への浸透量が小さく、かつ、水ミチとなるような亀裂が弾丸暗渠（田面下30cm）付近より上層に多く発生するよう土壌条件が必要である。

そこで、佐賀県における地下灌漑の適地を地力保全基本調査結果から土壌統群別に整理すると表-5のようになる。すなわち、佐賀県内においては細粒灰色低地土を中心に、25,000ha（全水田面積53,000ha）で地下灌漑が可能なものと思われた。

7. まとめ

重粘土転換畑における地下灌漑時の水移動状況を把握し、既設の暗渠排水パイプを用いた地下灌漑の可能性と適地用件について検討した結果、以下のようなことが明らかになった。

- 1) 重粘土転換畑において、既設の暗渠パイプを利用した地下灌漑は十分に可能であった。
- 2) 地下灌漑時の水は弾丸暗渠を含めて亀裂中を主に移動することが明らかになった。
- 3) 重粘土地帯では地下水面からの不飽和上方流れ（毛管上昇）によって水分を補給できる範囲は制限され、調節水路水位を田面位あるいはそれ以上に維持し、作土層まで灌漑水を圧送する必要がある。
- 4) 水路の貯水位を利用した地下灌漑の適地条件は平坦で、かつ、灌漑水が下方へ浸透しないことが前提であ

表-5 佐賀県における地下灌漑可能地

土 壤 統 群 名	(ha) 可能面積	(ha) 不適面積	(ha) 計
灰色台地土	—	177	177
黄色土	—	4,160	4,160
褐色低地土	—	5,520	5,520
灰色低地土	18,969	12,437	31,406
細粒灰色低地土	18,283	—	—
灰色系		—	—
中粗粒灰色低地土		—	—
灰色系		5,049	—
礫質灰色低地土		—	—
灰色系		5,109	—
細粒灰色低地土		—	—
灰褐色系		686	—
中粗粒灰色低地土		—	—
灰褐色系		—	1,629
礫質灰色低地土	—	—	—
灰褐色系	—	650	—
グライ土	6,687	971	7,658
細粒強グライ土	364	—	—
中粗粒強グライ土	—	137	—
礫質強グライ土	—	386	—
細粒グライ土	6,323	—	—
中粗粒グライ土	—	448	—
暗赤色土	—	1,328	1,328
黒泥土	—	3,134	3,134
計	25,656 ^{ha}	27,727 ^{ha}	53,383 ^{ha}

条件が肝要である。したがって、重粘土地帯では亀裂を発達させる土壌管理を行う必要がある。

5) 佐賀県における、地下灌漑可能面積は細粒灰色低地土を中心におおよそ25,000ha(全水田面53,000ha)であることが推定される。

【謝 辞】

本試験を進めるに当って、九州農政局資源課の関係各位には多大なご配慮をいただいた。また、九州農試農地利用部農地整備研究室の原室長、安中技官から貴重なご意見をいただいた。さらに、元佐賀県農業試験場場長本村悟博士(現農業環境技術研究所)には、本論文の校閲と有益な助言を賜った。以上の各位に深謝いたします。

引用文献

- 1) Gardner, W.R.; Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table, *Soil Sci*, **85**, 228~232(1958)
- 2) 加藤一郎・鴨田福也・坂田公男・谷口利策; 大豆の蒸散量および蒸発散量について, 東海近畿農業試験場報告**19**, 24~54(1970)
- 3) 土壌物理性測定法委員会; 土壌物理測定法, 養賢堂 pp.192~194 (1972)
- 4) 中山敬一, 羽生寿郎, 山中捷一郎, 尾形光造; 地下カンガイに関する研究(V), 昭和53年度農業土木学会大会講演会, 農業土木学会 pp.122~123 (1978)
- 5) 佐賀県農業試験場; 昭和58年度灌排水機能兼備圃場における小麦・大豆を中心とした作付方式の体系化実証試験成績書 (1983)
- 6) 佐賀県農業試験場; 地力保全基本調査総合成績書 (1979)

り、水ミチとなるような土壌構造が発達するような土壌

(1985. 4. 6 受理)

Summary

In the flat Saga Plain, land consolidation accompanied by an under drainage system has been proceeding for the purpose of intensive utilization of paddy fields. In this report, water movement through the soil column is described to clarify the possibility of sub-irrigation practices using pipes for under drainage, in particular its adaptability to heavy clayey paddy fields converted to upland field. Irrigation was accomplished by regulating the water table of the irrigation canal basad on topographic characteristics of Saga Plain.

The results are summarized as follows:

- 1) During irrigation water moved up to the plowing layer mainly along cracks appearing in the soil column including the mole drain.
- 2) Since the upwards movement of irrigation water was limited in heavy clayey paddy fields, it was necessary to raise the water table of the irrigation canal to the surface of the field or higher.
- 3) The sub-irrigation method, using pipes set up for under drainage, was applicable to heavy clayey paddy fields with well-developed soil structure having many cracks. Accordingly, it was nece-

ssary to conduct soil management to develop such a soil structure in the lower part of the soil profile.

4) In Saga Prefecture, the sub-irrigation method was applied to heavy clayey paddy fields mainly belonging to Fine Gray Low-land Soils: This area estimated at about 25,000 ha of the total paddy field area of 53,000 ha.

調節水路式地下灌漑の適正な施設

— 重粘土転換畑における地下灌漑試験(第2報) —

松原利文*, 相川賢一郎*
山崎剛太郎**, 杉町信幸**

Practical Sub-irrigation Facilities by Regulating
Water Table of Irrigation Canal.

— Sub-irrigation methods on heavy clayey paddy fields converted to upland fields (II) —

Toshifumi MATSUBARA*, Kenichiro AIKAWA*, Gotaro YAMASAKI**
and Nobuyuki SUGIMACHI**

*Saga Agricultural Experiment Station

**Saga Agricultural and Forestry Division

1 はじめに

転換畑では恒久的な灌漑施設を圃場に設置することは難しいが、近年排水改良のため施工された既設の暗渠排水パイプを利用した地下灌漑の有効性について議論がなされている^{1) 2) 3)}筆者らは前報⁴⁾において、地下灌漑時の水移動について検討し、既設の暗渠パイプを利用した地下灌漑は、亀裂を含む土壌構造が発達した重粘土転換

畑に適用できることを明らかにした。そこで、本報では調節水路方式の地下灌漑を適用する場合に必要な灌漑施設の検討を中心に報告する。なお、本報は構造改善局で実施された営農技術確立調査の一部をとりまとめたものである。

2 試験方法

地下灌漑では水が亀裂中を移動し、作土層まで上昇し

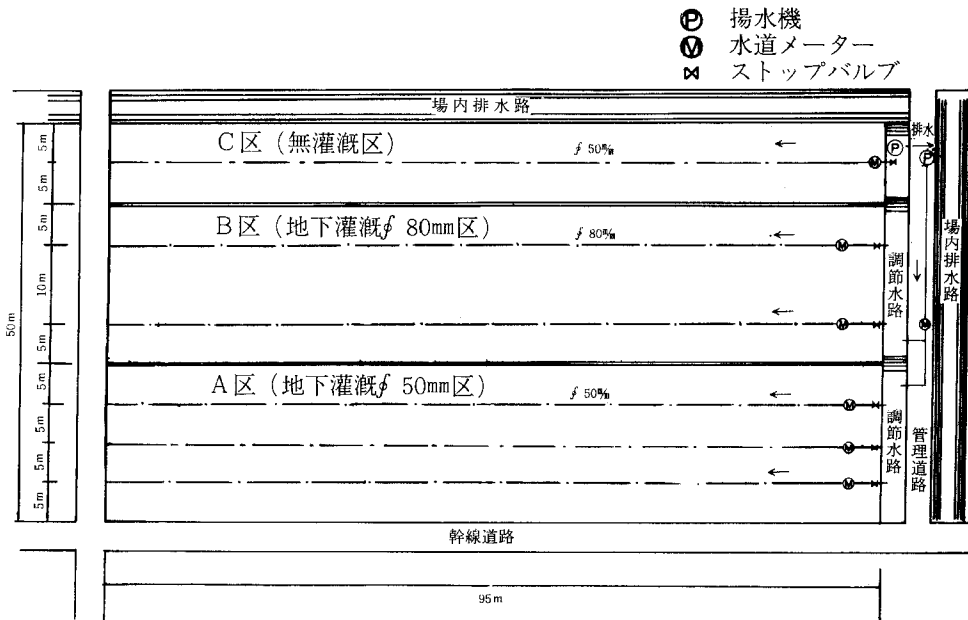


図-1 地下かんがい試験ほ場平面図

*佐賀県農業試験場

**佐賀県農林部

て来るため、所定の灌漑を行うにはある程度の時間が必要である。そこで、営農サイクルあるいは施設費等を考慮して、灌漑時間は12時間を目標にした。灌漑施設の規模は調節水路水位、暗渠口径あるいは暗渠間隔を変えて灌漑試験を行い、目標の灌漑時間を達成できるものを選定することにした。

試験圃場では大豆を作付しており、灌漑施設の検討に当っては播種期（発芽促進）に対応できることを念頭に置いた。

試験は佐賀県農業試験場の圃場で実施し、試験圃場の概要は前報⁴⁾で述べたとおりである。

(1) 試験区

試験圃場の平面図を図-1に、断面図を図-2に示した。地下灌漑は圃場の短辺方向に設置した調節水路の水位を利用して、暗渠パイプに灌漑水を送水して行った。なお、調節水路の水位はポンプとフロートスイッチとによって、任意の水位に維持できるように工夫した。

暗渠パイプは佐賀県の圃場整備事業で一般に普及されている普及口径50mm（A区）のもの、これと比較対象として大口径80mm（B区）のものを選定した。暗渠の間隔は、試験当初、A区(50mm)、B区(80mm)とも10m間隔としていたが、後述のようにA区では灌漑時間が長くなったため、中央部に1本追加し（図-2参照）3本とした。したがってA区（3本設置）の場合、各暗渠による支配面積が均等とは言えないが、灌水能力としては7m間隔（短辺長/暗渠本数=20m/3本≒7m）に匹敵するものと考えられる。

暗渠の埋設深は両区とも道路側50cm、水路側70cmで、下層土の改良のため、有材暗渠に直交させて、2m間隔で弾丸暗渠を施工した。なお、C区は大豆の灌漑効果を検討するために設けた無灌漑区である。

(2) 灌漑試験

灌漑試験時の調節水路水位は前報⁴⁾の結果から播種期を考慮して、「平均田面」と「平均田面+10cm」の2通りとした。灌漑試験の条件は調節水路水位、暗渠口径および暗渠間隔の組合せから、表-1に示した条件に整理される。

灌漑開始から経時的に灌水量、土壌水分の変化、地下

表-1 灌漑試験の条件一覧

区 分	試験条件 No.	調節水路水位	暗渠本数
A区 (φ50mm)	A-①	平均田面	2本(10m間隔)
	A-②	平均田面+10cm	2本(10m間隔)
	A-③	平均田面+10cm	3本(中央部に1本追加)
B区 (φ80mm)	B-①	平均田面	2本(10m間隔)
	B-②	平均田面+10cm	2本(10m間隔)

水位、圃場面の湿りの拡がりについて測定し、土壌中の水の拡がりあるいは灌漑必要時間などを検討した。観測計器の位置を図-3に示した。なおA区については暗渠3本の場合を示した。

灌水量：自記式の水道メーターによって測定した。A区ではφ40mm用、B区ではφ50mm用の水道メーターを用いた。

土壌水分および地下水位：土壌水分はテンシオメーターで測定し、地下水位は直径10cmの孔をオーガーで50cm程度掘削し測定した。測定は1時間ごとに行った。

圃場面の湿り：圃場では大豆が栽培されているため、畦間の湿りをもって圃場面の湿りの拡がりを測定した。湿り状況は次式のように湿り率として表示した。測定は圃場が湿り始めてから2時間ごとに行った。

$$\text{湿り率(\%)} = \frac{\text{湿潤となった畦間の延長}}{\text{畦間の延長}} \times 100 \dots (1)$$

3 試験結果

(1) 観測結果

試験時の初期土壌水分条件を表-2に示した。A-①、B-①とA-③の初期土壌水分条件はほぼ同じで、A-②、B-②はやや湿潤条件であった。

10a当り累加灌水量を図-4に、10cm深さのテンシオメーターの降下開始時間を表-3に、湿り率の経時的変化を図-5に示した。

灌水量を比較すると、大口径(80mm)が普及口径(50mm)に比べ2倍程度（B-①/A-①、B-②/A-②）、調節水路水位「平均田面+10cm」が「平均田面」に比べ1.2倍程度（A-②/A-①、B-②/B-①）、暗渠3本の場合

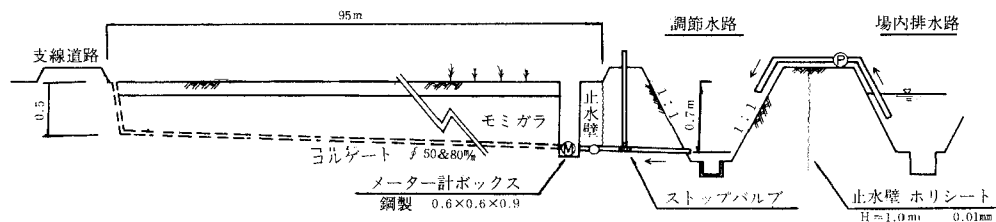


図-2 地下かんがい試験圃場断面図

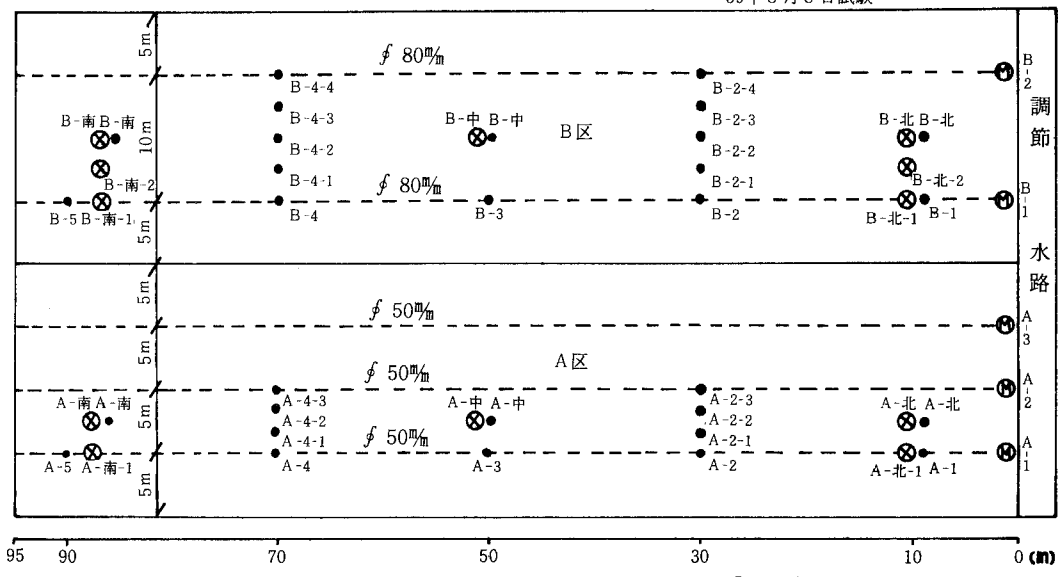
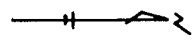


図-3 観測計器位置図

が2本に比べ1.5倍程度 (A-③/A-②) 多くなった。テンシオメーターの降下開始時間あるいは圃場面の湿り率も試験条件によって灌水の変化とほぼ同様の傾向を示した。なお、湿り率は「平均田面+10cm」の方が直線的に変化しており、不陸の影響を受けにくいものと思われる。

表-2 灌漑時の初期土壌水分条件(A区)

項目 試験条件No.	pF 値			地下水位 (cm)
	10cm	20cm	30cm	
A ①	2.72	2.48	2.22	53.7
B ①				
A ②	2.44	2.00	1.78	82.3
B ②				
A ③	2.67	2.44	2.22	50.9

注) 北・中・南の3点平均

表-3 テンシオメーター(深さ10cm)の降下開始時間

項目	No.	A-①	A-②	A-③	B-①	B-②
降下開始時間 (hr)		14	10	6	7	5
降下開始灌水量 (m ³ /10a)		19.0	16.2	15.8	22.2	20.8

注) 各測点の平均値(特異な値を除く)

(2) 灌漑必要時間

灌漑終了の時期の判定には種々論議もあるが、ここでは湿り率が60%程度になったとき、必要な水分が補給されたものとして、灌漑必要時間を検討した。湿り率は2時間ごとに測定したため、各試験条件によってやや差はあるが、湿り率が60%前後になるまでに要した時間と、その時の灌水量を表-4に示した。灌漑必要時間は大口径(80mm)の方が普及口径(50mm)に比べ約1/2 (B-①/A-

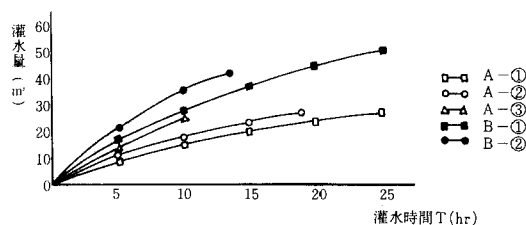


図-4 10a 当り累加灌水量

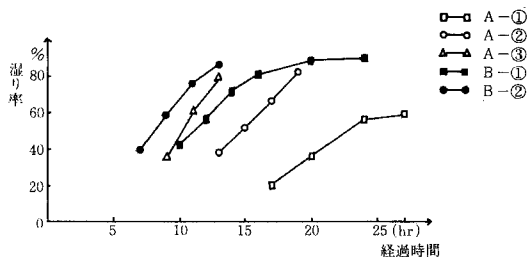


図-5 経過時間と湿り率の関係

表-4 灌漑必要時間の検討

試験条件No	項目	灌漑時間 (ha)	灌水量 (m ³ /10a)	湿り率 (%)
A - ①	①	24	26.2	57.0
A - ②	②	17	24.6	66.1
A - ③	③	11	27.3	62.3
B - ①	①	12	31.6	57.0
B - ②	②	9	32.6	59.3

注) 水道メーターの合計値を10a当りて表示

①、B-②/A-②)の時間であった。また、灌漑必要時間は調節水路水位を「平均田面」から「平均田面+10cm」にすると約70% (A-②/A-①, B-②/B-①)、暗渠本数を2本から3本にすると約65% (A-③/A-②)短縮された。このように、灌漑必要時間は調節水路水位が高く、暗渠口径が大きく、かつ暗渠本数が多いほど短縮することができた。なお、表-4においてB区の灌水量がA区に比較してやや多いのは灌漑区から無灌漑区の方へ水の移動が若干あったためと思われる。

以上の結果、前述の5条件の内、目標の灌漑必要時間12時間以内を達成したものはA-③とB-②の条件で、共に調節水路水位は「平均田面+10cm」であった。なお、暗渠口径ごとに、暗渠本数および灌漑必要時間はつぎのようになった。

暗渠口径50mm	3本(7m間隔に相当)	11時間
暗渠口径80mm	2本(10m間隔)	9時間

4 考察

灌漑時の初期土壌水分条件、灌漑の条件(調節水路水位、暗渠本数および口径)および灌水量との関係を考察するため、前報⁴⁾で示した、24時間灌水量を灌漑時の初期pF値(深さ10cm, 20cm, 30cm)の関数とし表わした式を用いる。なお、これは、今回の試験条件ではA-①に当る。

$$Q = 2.20 \times P_1 - 1.79 \times P_2 + 7.22 \times P_3 + 10.04 \dots (2)$$

Q : A区24時間灌水量(m³/10a)

P₁ : 深さ10cm pF値

P₂ : 深さ20cm pF値

P₃ : 深さ30cm pF値

A区(50mm)において、同程度の湿り(湿り率60%)を得るために必要な灌水量を表-4から、また(2)式によって求めた値を()で示すと、A-①26.2m³/10a (27.6m³/10a), A-②24.6m³/10a (24.7m³/10a), A-③27.3m³/10a (27.6m³/10a)のようになる。このように両者の値はほぼ一致しており、圃場面の湿りは灌漑条件に関係なく、灌水量によって決まることを明白にしている。一方、元来(2)式はA-①の条件下で土壌水分条件と24時間灌水量との関係を表わす式であったが、これまでの結果から(2)

式は圃場が60%程度湿るのに必要な灌水量を灌漑開始時のpF値から推定する式であるとも言える。この理由として、圃場が乾燥すると、亀裂が伸長し土壌の浸透能は増すが、土壌が湿るのに必要な灌水量も増加する。また逆に、圃場が湿潤であると亀裂の伸長が抑えられ、土壌の浸透能は減るが、土壌が湿るのに必要な灌水量も減少すると考えられる。したがって、圃場が一定量湿るのに必要な灌漑時間は土壌水分条件に大きく影響されることなく、ほぼ同一になるものと思われる。

つぎに、灌漑必要時間が12時間以内を目途にした暗渠施設は、調節水路水位「平均田面+10cm」の条件で、暗渠口径によって次のとおりであった。

暗渠口径50mm 3本(7m間隔に相当) 11時間

暗渠口径80mm 2本(10m間隔) 9時間

このように、暗渠パイプは大きい方が短時間で灌漑することができ、小口径で同程度の灌漑時間を得るためには暗渠間隔を狭くする必要がある。一方、地下灌漑は土壌中を水が浸透するため、水管理の精度は間隔が狭い方が良く、また暗渠パイプの資材費は50mmの方が80mmに比べ約1/2程度である。したがって両者を比較すると暗渠パイプ50mmで7m間隔の方が営農的にも望ましいものと思われる。

また、灌漑時間の短縮について、予備試験の段階で、送水圧を高め灌水量を増した場合、上流端より灌漑水が噴出した経験があり、土壌の浸透能を超えた灌水量では均一な湿りは得られない。よって、灌漑時間を短縮するには暗渠間隔を密にする方向で検討する必要がある。暗渠口径50mmの場合5m間隔にすると、これまでの経過から約8時間程度にはなるものと予想される。

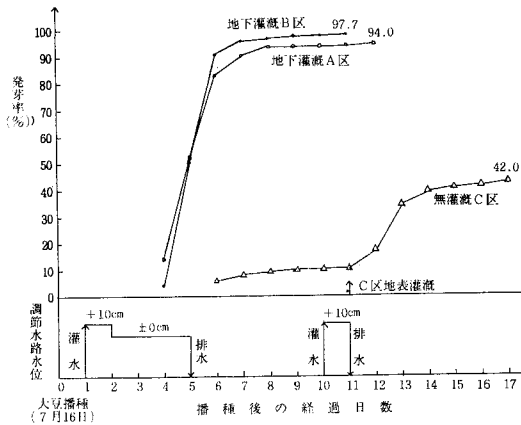
一方、大豆播種直後に地下灌漑を行ったところ、各年度(昭和56・57・59年)とも、地下灌漑区は無灌漑区に比べ発芽が極めて良かった。59年の試験結果を図-6に示した。しかし、58年に苗立本数(発芽量)を揃えて、生育期の灌漑効果を試験したところ、気象条件等もあり、両者に有意な差は生じなかった。

本試験では、供試作物に大豆を用いて播種期の発芽促進に対応できる地下灌漑施設に重点をおいて検討した。水管理は栽培作物によって当然異なり、それに対応した最善の施設を検討する必要もあるものと思われる。また、補水だけでなく、施肥・除塩等の多目的利用方法も含めた地下灌漑技術の確立が望まれる。

5 まとめ

重粘土転換畑において、調節水路方式の地下灌漑の効率よく、均一に行うのに必要な灌漑施設について検討した結果、知見が得られた。

1) 地下灌漑を現地圃場に適用する場合、必要な施設は水位を田面から10cm程度に維持できる水路構造と、暗



図一六 大豆播種後の経過日数と発芽率

渠口径が50mmなら、暗渠間隔は5～7m程度にする必要がある。

2) 灌漑必要時間は土壌水分条件に大きく影響を受けることなく、ほぼ同一ぐらいの時間が必要で、調節水路水位「平均田面+10cm」、暗渠口径50mm、暗渠間隔7mで11時間程度である。

3) 灌漑時間は暗渠間隔を狭くすることによって短縮できる可能性はあり、上記の条件下で暗渠間隔を5mに

すると、8時間前後になるものと予想される。しかし、地下灌漑は施設費の限度もあり、地表灌漑のように短時間で行うのは困難であろう。

4) 大豆播種期の地下灌漑は発芽促進に極めて有効であった。

〔謝辞〕

本試験を進めるに当って、九州農政局資源課の関係各位には多大なご配慮をいただいた。また、元佐賀県農業試験場場長本村悟博士（現農業環境技術研究所）には本論文の校閲と有益な助言を賜った。以上の各位に深謝いたします。

引用文献

- 1) 日本農業土木総合研究所；水田高度利用対策報告書，pp.142, (1979)
- 2) 汎用耕地化のための技術指針編集委員会；汎用耕地化のための技術指針，pp.103～114，農業土木学会，(1979)
- 3) 農林省構造改善局計画資源課；地下かんがい調査資料，(1978)
- 4) 松原利文他；地下灌漑時の土層中の水移動——重粘土転換畑における地下灌漑試験（第1報）52，18～24 土壌の物理性，(1985)

(1985. 4. 6 受理)

summary

In this report, a practical method of sub-irrigation by regulating the water table of the irrigation canal is discussed in relation to the upwards movement of water from drainage pipes.

In order to efficiently supply irrigation water to the plowing layer through drainage pipes by regulating the water table, the irrigation canal had to be built up to enable the water table to be kept about 10 cm higher than the surface of the field. Also the drainage pipes, 50 mm in diameter, were set at intervals of 5 to 7 m. However, subirrigation could not be accomplished in a short time. Usually, irrigation took more than 8 hours, depending on drainage pipe size.

丘陵地形内水田の地下水位とその変動について

上 本 哲*

Studies on the Ground Water Level and its Fluctuation in Paddy Fields
at the Hilly District

Satoshi UEMOTO

Hiroshima Prefectural Agricul Experiment Station

1 まえがき

中国地域はときに中国中山間地域の別称で表現されるように、地形がきわめて複雑である。このため、水田は集水型地形内に分布するものが多く、これらの水田は周囲（地区外）からの地下水、地表水の供給の多少により、乾田、湿田に区分されることになる。とくに、丘陵地形内に分布する谷地田では周囲地形の排水路となり、排水不良地が多い。小幅の比較的広い谷底平野にあっても、周縁部は地区外からの土壌水分の流入、浸透による排水不良地が分布する。また、低地中央部の水田も上位隣接田の土壌水分の影響を受け、平地水田の土壌水分の動態とはかなり異なっている。しかしながら、丘陵地形内

に分布する水田の土壌水分の動態は複雑である。このため、排水対策を策定するに当たってもその効果を予測しえない場合が多い。

今回、主として丘陵地形内に分布する数地区の土壌水分の動態を、地形、土壌及び地下水位の変動から検討したので報告する。

2 調査地区の概要

調査地区のうち、尾引、泉水、寺町、信貞、上井田、三方寺及び五反田の7地区は「三良坂」図幅（2万5千分の1）内に及び沼田東地区は「三原」図幅（同縮尺）内に分布する。調査地区は独立した団地か、広い地域の一部を調査地区とした。

表-1 調査地区の概要

調査地区名 (年次)	地区面積 (ha)	地 形		地区内に分布する主な土壌統群
		地区内(調査地点)	地区外	
寺 町 (昭55)	3	谷底地	山 地	細粒灰色低地土、灰色系。細粒強グライ土。細粒グライ土。
三 方 寺 (昭56)	3	谷頭、谷底地	山 地	細粒灰色台地土。細粒黄色土、斑紋あり。細粒灰色低地土、灰褐色系。細粒強グライ土。
五 反 田 (昭56)	5	谷底平野	山 地 丘 陵	細粒灰色台地土。細粒灰色低地土、灰褐色系。礫質灰色低地土、灰褐色系。細粒強グライ土。
泉 水 (昭54)	3	丘陵斜面、谷底地 河岸段丘	丘 陵 沖 積 地	細粒グライ台地土。細粒黄色土、斑紋あり。細粒灰色低地土、灰色系。細粒強グライ土。
上 井 田 (昭55)	35	谷底地、谷底平野 丘陵斜面	山 地 丘 陵	細粒黄色土、斑紋あり。細粒・中粗粒灰色低地土、灰色系。細粒強グライ土。
尾 引 (昭54)	72	丘陵斜面、谷底平野、 氾濫平野	丘 陵 氾濫平野	淡色黒ボク土。細粒黄色土、斑紋あり。細粒灰色低地土、灰褐色系。細粒強グライ土。
信 貞 (昭55)	40	谷底地、氾濫平野	山 地 氾濫平野	細粒・中粗粒・礫質灰色低地土、灰色系。細粒強グライ土。細粒グライ土。
沼 田 東 (昭58)	290	谷底地、氾濫平野	山 地 氾濫平野	細粒・中粗粒灰色低地土、灰色系。細粒・中粗粒強グライ土。細粒・中粗粒グライ土。

* 広島県立農業試験場土壌肥料部

表-2 地区別降水量

地区名	(mm)	
	年間	5月~10月
寺町	1,529	1,035
三万寺	1,454	979
五反田	1,448	977
泉水	1,538	1,039
上井田	1,492	1,019
尾引	1,561	1,056
信貞	1,535	1,034
沼田東	1,268	887

注) 広島県メッシュ気候図 による

調査地区の面積, 地形, 主な土壌統群¹⁾ など概要は表-1のとおりである。

調査地区の年降水量については, 広島県メッシュ気候図²⁾より平均降水量を求め表-2に示した。

寺町, 三万寺, 泉水, 尾引及び沼田東地区は周囲を山地, 丘陵, 台地または河川により囲まれた, 独立した団地であり, 五反田, 上井田, 信貞地区は広い地域の一部である。

3 調査方法

「三良坂」図幅内にある調査地区, 寺町, 三万寺, 五反田, 泉水, 上井田, 尾引及び信貞地区は昭和54年度から56年度にかけて行われた特別研究「土壌管理指針策定のための精密土壌図の作成, 利用法の開発」³⁾での調査結果から, また, 沼田東地区は土壌保全調査事業の一環として昭和58年~59年度に行った⁴⁾調査結果から検討したものである。

水稲立毛期間(かんがい期)および収穫後(非かんがい期)に亘って水田の地下水位を調べた。

地下水位の測定は, 土層100 cmまでに測水管を埋設して行った。測水管を埋設した圃場の土壌断面調査, 土壌の物理性を測定した。地表水の動態は田面の排水状況を溜水の有無, 水田雑草の生育状況から判別する観察調査を落水期に行った。同様に作土, 2層の含水比を1~3回にわたって測定した。調査方法及び測定方法はいずれも土壌保全対策事業⁵⁾による方法に準拠した。

各地区ごとの土壌水分の動態は資料^{6) 7)}にとりまとめられているので, ここでは, 9地区, 87調査地点の地下水位とその変動を, 微地形を単位に考察する。

4 微地形と地下水位の変動

1) 山地, 丘陵斜面における地下水位とその変動

(1) 頂上部及び急斜面における地下水位とその変動

泉水地区, 地点26は台地下部急斜面(自然傾斜10°)に位置する。昭和54年7月17日, 8月8日, 8月22日, 9

月20日, 10月9日及び10月24日の計6回にわたって地下水位を測定したが, 土層100 cm内に地下水は認められなかった。土壌は細粒黄色土, 斑紋ありに分類される。土性は強粘質(LiC)で, 構造の発達は弱いなど滞水層をもたない。

尾引地区, 地点1は丘陵頂上部付近の緩斜面(自然傾斜1°)に位置する。地下水位を昭和54年の8月3日, 9月7日, 10月11日及び11月14日の計4回測定したが, 深さ100 cm以内には地下水位は認められなかった。地形的にみて, 地区外からの土壌水分の流入や滞水が認められない。土壌は淡水黒ボク土に分類され, 土層25~60 cmの部位に吉備土(キビ土)といわれる火山性土(土性SL)が存在し, この層の透水係数は, 垂直方向 2.8×10^{-2} cm/s, 水平方向 1.8×10^{-2} cm/sで共にきわめて大きいことなどからも地下水位の存在は考えられない。同, 地点2は丘陵頂上付近の斜面(5°)に位置するが, 同様に地下水位は認められなかった。土壌は細粒黄色土, 斑紋ありに分類される。土性は強粘質で透水性はきわめて小さい, 構造の発達も悪く, 粗孔隙も2%以下である。

泉水地区の地点5は台地の斜面下部に位置し, 自然傾斜3°内外である。地下水位とその変動をみると, かんが以上の3地点は地形的にみて, 地区外, 上位隣接田からの土壌水分の流入, 浸透がみられないこと, 土壌断面形態からも地下水の存在は認められない。

(2) 斜面下部及び緩斜面における地下水位とその変動

山地, 丘陵及び台地の斜面にあつて, 地下水の認められる地点として, 泉水地区の地点5, 上井田地区の地点4, 尾引地区の地点3, 4がある。これらの地点の地下水位とその変動は表-3のとおりである。

い期5~16cm, 非かんがい期25~54cmである。土壌は細粒グライ台地土に分類される。土性は強粘質で2層以下に弱い柱状構造をもつ。かんがい期に高地下水位を示すのは上位隣接田からの土壌水分の流入, 浸透が考えられ, 非かんがい期の地下水位は台地水田地帯からの土壌水分の流入, 浸透が考えられる。

上井田地区の地点4は丘陵下部斜面(自然傾斜4°)に

表-3 斜面下部, 緩斜面地点の地下水位

地点	月/日	%			
		5	16	25	54
泉水-5	地下水位	5	16	25	54
			12	(25)	(54)
上井田-4	地下水位	0	0	0	(18)
					(11)
尾引-3	地下水位	74	9	(17)	(5)
		24	26	(59)	(48)

注) 地下水位は地表からの深さ(cm), ()内数値は非かんがい期を示す。

位置する。上位に隣接田はなく、地区外は雑木林となっている。地下水位はかんがい期0cmで、ときに田面水より高い値を示した。非かんがい期でも11~18cmと高い。土壌は細粒黄色土、斑紋ありに分類される。土性は強粘質で、透水係数は2層の垂直方向が 10^{-6} cm/s、水平方向が 10^{-6} cm/s、3層がそれぞれ 10^{-7} cm/sと小さい。構造の発達も弱く土層内の水の動きはきわめて小さいといえる。土壌断面形態からは地下水は存在しないと考えられる。落水期においても田面は多湿状態で土壌水の縦浸透は小さいことから、停滞水の存在が推測される。

尾引地区の地点3, 4は丘陵地の下部緩斜面に位置(自然傾斜 $1\sim 2^\circ$)する。土壌はいずれも細粒黄色土、斑紋ありに分類される。土性は強粘質で、構造の発達も弱い。2層の透水係数は、垂直方向 10^{-4} cm/s、水平方向 10^{-6} cm/sで、3層はそれぞれ、 10^{-6} 、 10^{-7} cm/sときわめて小さい。しかし、地下水位は地点3ではかんがい期に9~74cm、非かんがい期に5~17cmを示し、上位に位置する地点4では24~26cm、48~59cmと高く、変動も大きい。しかし、両地点ともに、土壌断面形態からは地下水の存在は考えられないことから、伏流水が流入したと推定される。しかし、このような地形に分布する土壌は断面形態によっては地区外の土壌水分の流入、浸透により、グライ台地土、灰色台地土を生成することが考えられる。

2) 谷地田, 谷底平野における地下水位とその変動

(1) 谷頭部, 谷側面の地下水位とその変動

地形からみて、谷頭部, 谷側面に位置する地点として、寺町地区, 地点1, 4, 三万寺地区, 地点1, 2, 沼田東地区, 地点11, 17及び21がある。

これらの地点の地下水位とその変動は表-4のとおりである。

寺町地区(図-1)の地点1は巾80m程の狭い谷頭部にあり、両側の地形は山林で雑木林となっている。地下水位はかんがい期15~20cm、非かんがい期23~24cmと高く推移する。土壌は細粒強グライ土に分類されるが、土層38cm以下にLSの砂層が20cmの厚さで存在する。2, 3層の土性はCLで、透水係数は垂直方向, 水平方向ともに $10^{-6}\sim 10^{-7}$ cm/sと小さい。このことから、実際の地下水位は少なくとも砂層LS層の部位以下にあり、被圧地下水が測水管内に上昇したものと考えられる。地点4は谷側面の斜面に位置する、上位隣接田はなく雑木林に接している。地下水位はかんがい期20~48cm、非かんがい期43~57cmである。土壌は細粒灰色低地土、灰色系である。谷側面からも土壌水分の流入、浸透が認められる。

三万寺地区は2つの谷頭部をもつ狭少な谷地田であるが、地点1, 2はそれぞれの谷頭部に位置する(図-2)。地点1には上位隣接田は2筆程度しかなく、自然傾斜 3° で雑木林へ続いている。地下水位はかんがい期0cmと高く、非かんがい期も5~21cmと高く推移する。土壌は細粒強グ

表-4 谷頭部, 谷側面の地下水位

	月/日	%		%	
		1/4	3/4	1/5	3/5
寺町-1	月/日	1715	20	(23)	(24)
	地下水位	2120	48	(57)	(43)
三万寺-1	月/日	0	0	(3)	(2)
	地下水位	0	2	(6)	(0)
沼田東-11	月/日	1849	36	(48)	(61)
	地下水位	7676	72	(70)	(80)
-17	月/日	6047	71	(70)	(79)
	地下水位	6047	71	(70)	(80)

注) 地下水位は地表からの深さ(cm), ()内数値は非かんがい期を示す。

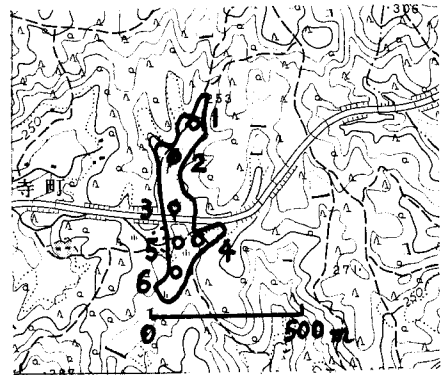


図-1 寺町地区の地形 (2万5千分の1地形図より引用)

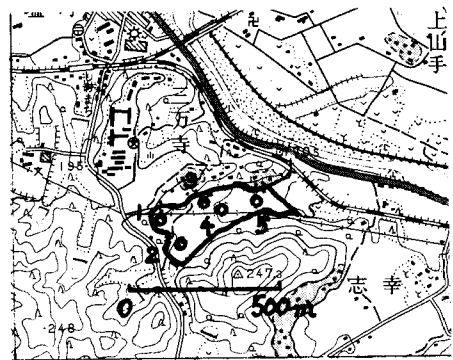


図-2 三万寺地区の地形 (2万5千分の1地形図より引用)

ライ土に分類される。地点2は上位に10筆程の隣接田を有し、その上は雑木林となっている。標高は地点1より低い、本流の谷頭部に相当する。地下水位はかんがい期

0~2cm, 非かんがい期0~6cmと高く推移する。土壤は細粒強グライ土である。地点1, 2共に地区外からの土壤水分の流入, 浸透が認められる。

沼田東地区の地点11は規模の小さい, 奥行き浅い谷の谷頭部に位置する。地区外は山地であるが水源かん養林としての機能は小さい。数筆の上位隣接田をもっている。地下水位はかんがい期18~49cmと変動が大きい。非かんがい期には48~61cmを示す。土壤は中粗粒強グライ土であるが, 土壤の透水性そのものは大きい。地点17は別の谷の側面に位置する。地下水位はかんがい期72~76cmと低く, 非かんがい期には土層100cmまでには認められない。土壤は中粗粒灰色低地土, 灰色系であるが, 谷底部は中粗粒強グライ土であり, 地区外からの地下水はかなり低い部にあり, 谷底地へと流入, 浸透していると考えられる。地点21も規模の小さい谷の谷頭部に位置する。数筆の上位隣接田をもち, 自然傾斜3°内外である。かんがい期47~71cm, 非かんがい期70~80cmと地下水位は低い。土壤は中粗粒灰色低地土, 灰色系で谷底部の中粗粒強グライ土と接している。これらの地点の2層の透水係数は 10^{-4} cm/sと比較的大きい。

(2) 谷地田, 谷底平野の中央低地の地下水位とその変動

谷巾の狭い谷地田の中央低地に位置する地点として, 寺町地区の地点2, 3, 5, 6, 三万寺地区の地点3, 4, 5, 五反田地区の地点2, 泉水地区の地点19, 上井田地区の地点2, 5, 信貞地区の地点1, 沼田東地区の地点1, 25などがある。これらの地点の地下水位とその変動は表-5のとおりである。

寺町地区の地点2, 3, 5, 6は狭い谷の低地に位置する。地点2の地下水位はかんがい期39~42cm, 非かんがい期53~55cmで推移する。土壤は細粒強グライ土に分類されるが, 土層35cm以下にLSの砂層を有する。地点3は地点2の下流に位置する。地下水位はかんがい期13~35cm, 非かんがい期27~35cmである。土壤は中粗粒グライ土に分類される。土層64cm以下砂層LSである。さらに, 下流の支谷との出会い部にある地点5の地下水位はかんがい期26~79cm, 非かんがい期80~81cmである。土壤は細粒強グライ土に分類される。この地点の低地下水位は谷川近くに測水管を埋設したためであり, 谷川が地下水位低下に寄与しているといえる。谷尻部の地点6の地下水位はかんがい期14~28cm, 非かんがい期27~33cmと高く推移する。土壤は細粒灰色低地土, 灰色系である。土層46~62cmの部位には管状斑がみられることから, 高地下水位の原因として地下水位の上昇も考えられるが, むしろ, 被圧状態の水の湧水によるものと考えられる。

三万寺地区の地点3, 4, 5はいずれも狭い谷の低地に位置する。最上位の地点3の地下水位はかんがい期6~30cm, 非かんがい期5~26cmである。地点4はそれ

表-5 谷底部における地下水位

		月/日	¼	¼	½	¾	⅞
寺町	2		39	42	50	(55)	(53)
	3		17	13	35	(35)	(27)
	5		26	76	79	(81)	(80)
	6		14	16	28	(33)	(27)
		月/日	¼	¼	½	¾	⅞
三万寺	3		0	30	(26)	(13)	(5)
	4		0	27	(59)	(64)	(25)
	5		100	0	(11)	(29)	(4)
		月/日	¼	¼	½	¾	⅞
五反田	1		0	0	(15)	(23)	(13)
	2		0	3	(18)	(25)	(10)
	3		100	72	(100)	(100)	(100)
	4		31	30	(60)	(61)	(55)
	5		7	25	(48)	(55)	(48)
7		0	0	(20)	(25)	(15)	
		月/日	¼	¼	½	¾	⅞
泉	水19		30	28	32	(90)	(92)
		月/日	¼	¼	½	¾	⅞
上井田	1		7	1	0	(27)	(25)
	2		33	31	8	(65)	(22)
	3		2	6	34	(25)	(63)
	5		0	0	0	(8)	(15)
	6		11	12	18	(22)	(14)
	7		6	3	5	(33)	(14)
	信貞	1		28	17	21	(38)
		月/日	¼	¼	½	¾	⅞
沼田東	1		83	37	33	(41)	(62)
	25		9	14	14	(11)	(22)

注) 地下水位は地表からの深さcm, ()内数値は非かんがい期を示す。

ぞれ, 19~27cm, 25~64cm, 最下位の地点5は0cm, 4~29cmを示す。土壤はいずれも細粒強グライ土である。かんがい期の地下水位は下位地点で高く, 上位隣接田からの土壤水分の流入の影響と考えられる。三万寺地区にあっては地点2, 3, 4, 5とほぼ直線上に自然傾斜2~4°で並んでいるが, 非かんがい期の地下水位は2>3>5>4の順に高くなっており, わずかな傾斜の違いが地下水位の高低を左右している。

五反田地区(図-3)の地点2は支谷の中央低地に位置する。地下水位はかんがい期0~3cm, 非かんがい期10~25cmと高い。土壤は細粒強グライ土である。地区外からの土壤水分の流入, 浸透によると考えられる。

泉水地区(図-4)の地点19は, かんがい期には28~32

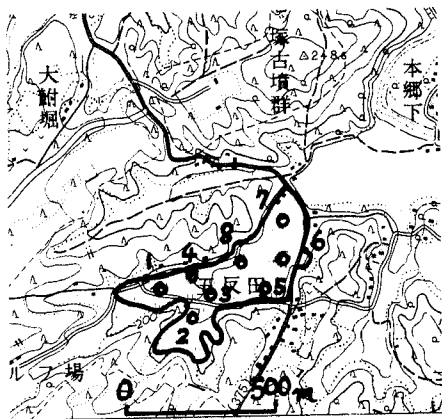


図-3 五反田地区の地形
(2万5千分の1地形図より引用)

cmと高いが、非かんがい期には90~92cmと低い、極端な地下水水位を示す。土壌は細粒灰色低地土、灰色系である。かんがい期には台地斜面部からの土壌水分の影響を受けて高地下水水位を示すもので真の地下水水位とは考えられない。

上井田地区の地点2は支谷の低地部に位置する。地下水水位はかんがい期8~33cm、非かんがい期に22~65cmと変動が大きい。土壌は細粒強グライ土である。別の支谷低地部の地点5はかんがい期0cm、非かんがい期8~15cmと高く、変動も小さい。土壌は細粒強グライ土である。この地下水水位の違いは地区外からの土壌水分の供給量の違いと考えられる。

信貞地区の地点1は支谷の谷尻部に位置する。地下水水位はかんがい期17~28cm、非かんがい期28~38cmである。土壌は細粒強グライ土に分類される。非かんがい期の高地下水水位は下位地点の高地下水水位と関係があると考えら

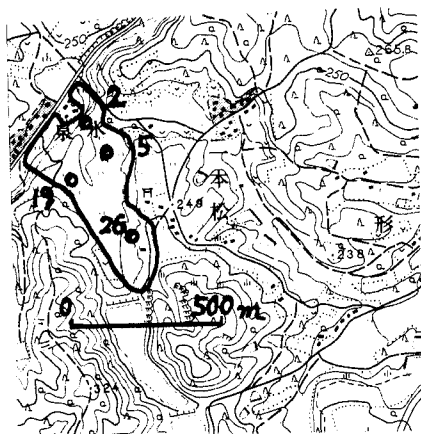


図-4 泉水地区の地形
(2万5千分の1地形図より引用)

れる。

沼田東地区の地点1は支谷の低地部に位置する。地下水水位はかんがい期33~83cm、非かんがい期41~100cmと変動が大きい。土壌は中粗粒グライ土であり、中粗粒強グライ土と接する。土壌の透水係数は大きく、降雨、地区外からの土壌水分の影響を受けやすい。地点25も支谷の低地部に位置するが、地下水水位はかんがい期9~14cm、非かんがい期11~22cmと高く推移する。土壌は細粒強グライ土である。

つぎに、比較的広い谷底平野のほぼ中央部に位置するものとして、五反田地区の地点1, 3, 4, 5, 7, 上井田地区の地点1, 3, 6, 7がある。

五反田地区の地点1は谷中央低地部(上流)に位置する。地下水水位はかんがい期0cm、非かんがい期13~23cmと高い。土壌は細粒灰色低地土、灰褐色で本来、高地下水水位の認められない土壌である。地点1の上位には数百mの水田が存在し、自然傾斜も2°前後であることから、被圧地下水による高地下水水位と考えられる。この地点より、50m下位、河川近くに埋設した地点3の地下水水位はかんがい期72~100cm、非かんがい期には認められなかった。しかし、地点3と反対側の谷側面に近い低地部の地点4では、かんがい期30~31cm、非かんがい期55~61cmの地下水水位を示した。土壌は細粒強グライ土に分類される。さらに下流の谷の中央低地部に位置する地点7の地下水水位は、かんがい期0cm、非かんがい期15~25cmを示した。土壌は細粒強グライ土に分類される。地点6は地点3と同様に礫質灰色低地土に分類されるが、地点3は地区外の境界に河川があり、地区外(側面)からの土壌水分の流入、浸透を遮断しているのに対し、地点は山際低地部に位置し、中央低地部とは河川で遮断されている。この地点5の地下水水位はかんがい期7~25cm、非かんがい期48~55cmと地区外からの土壌水分の流入、浸透がみられる。

上井田地区(図-5)の地点1は盆地状地形の低地部(やや周縁部に近い)に位置する。地下水水位はかんがい期0~7cm、非かんがい期25~27cmと高く推移する。土壌は細粒強グライ土に分類される。地点3は本流の底辺部に位置する。地下水水位はかんがい期2~34cm、非かんがい期25~63cmと両期間ともに変動が大きい。上位隣接田からの多量の土壌水分の流入、浸透があるものの、数m近くを小河川が(上位)走っていることから、ときに低地下水水位を示すものと考えられる。地点6, 7はさらに下位低地部に位置するが、地点6の地下水水位はかんがい期11~18cm、非かんがい期14~22cmと高く、変動も大きい。地点7もそれぞれ、3~6cm, 14~33cmと高い。しかし、地点6が細粒灰色低地土、灰色系に、地点7が中粗粒灰色低地土灰色系に分類されることから、真の地下水水位とは考えられない。いずれも地区の谷尻部に位置することから、被

圧状態の水の湧水によると考えられる。

以上、谷地田、谷底平野の低地部に位置する各地点の地下水位には、かなりの変動が認められた。また、土壤分類や土壤断面形態と地下水位との間には必ずしも関係が認められない場合も多い。地区内の地下水位の高低は、地区外からの土壤水分の流入、浸透量に左右されると共に地区内では、きわめてわずかな土地の高低、土壤の透水性の大小、河川、排水溝の有無などが複雑に関与しているといえる。

3) 氾濫平野における地下水位とその変動

(1) 山際低地部の地下水位とその変動

地形的には氾濫平野に分類される場合でも、地区内の水田の土壤水分の変動は、氾濫平野の規模、土壤分類、地区外の地形等により異なるといえる。地区内にあっては、山際低地部では地区外からの土壤水分の流入、浸透が乾湿に大きく影響する。これらの地点として、尾引地区の地点6、9、11、12、信貞地区の地点5、8、沼田東地区の地点6、7、12、20、22、24などがある。これらの地点の地下水位は表-6に示す。

尾引地区(図-6)の地点6、11、12は山際低地部、地点9は丘陵下部低地部に位置する。地点6の地下水位はかんがい期12~59cm、非かんがい期48~78cmと変動が大きい。地点11は17~50cm、26~50cmとほぼ同様である。地点には0cm、9~30cmと高く推移する。また、地点9はかんがい期39~41cm、非かんがい期72~89cmと低く、山地からの土壤水分の流入、浸透が多く、丘陵地からは少ない。土壤は地点6が細粒灰色低地土、灰褐色系、他は細粒強グライ土である。

表-6 山際低地部(氾濫平野)の地下水位

月/日	⅓	⅔	⅓	⅔	⅓	⅔
- 6	59	12	(78)	(48)		
尾 引- 6	41	39	(89)	(72)		
- 9	50	17	(50)	(26)		
-11	0	0	(30)	(9)		
12 月/日	⅓	⅔	⅓	⅔	⅓	⅔
信 貞- 5	3	0	0	(18)	(21)	
- 8	79	68	87	(93)	(90)	
月/日	⅓	⅔	⅓	⅔	⅓	⅔
- 6	41	5	59	(76)	(86)	(80)
- 7	27	19	9	(36)	(79)	(69)
沼田東-12	40	33	33	(76)	(100)	(66)
-20	3	+ 5	+ 5	(6)	(41)	(36)
-22	+13	+ 3	1	(1)	(41)	(31)
-24	64	75	68	(71)	(90)	(100)

注) 地下水位は地表からの深さcm, () 内数値は非かんがい期を示す。

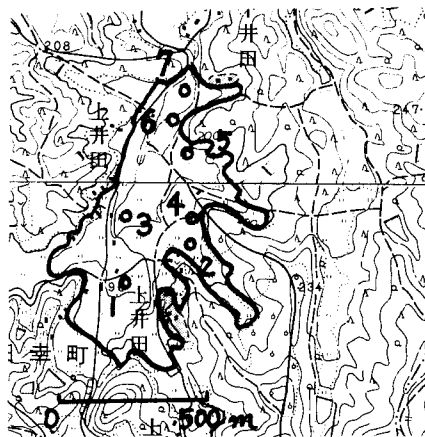


図-5 上井田地区の地形
(2万5千分の1地形図より引用)

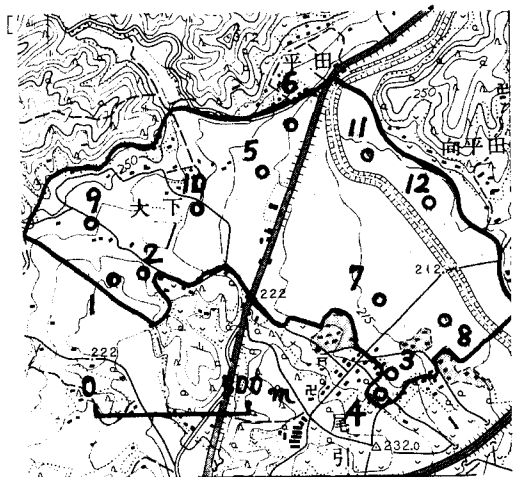


図-6 尾引地区の地形
(2万5千分の1地形図より引用)

信貞地区の地点5、8はともに山際低地部で、背後の山地は水源かん養林としての機能を有している。地点5の地下水位はかんがい期0~3cm、非かんがい期18~21cmと高いが、地点8では68~87cm、90~93cmと低い。この違いは両地点のきわめてわずかな標高の違いによるもので、地点8は低地部よりやや高い部位にあることと、もう一つは山地との間に排水溝が設置されていることによる。土壤はいずれも細粒グライ土に分類される。

沼田東地区は沼田川の氾濫平野であるが、地区外との境界は山地であることから、山際部は高地下水位を示す地点がみられる。地点20、22の地下水位はかんがい期に+5~3cm、13~1cm、非かんがい期6~41cm、+1~41cmを示す。非かんがい期の変動の大きさは地区外から

の土壤水分の供給の違いを示す。土壤はともに細粒強グライ土である。地点6, 7は, かんがい期5~59cm, 927cmと高いものの, 非かんがい期には76~86cm, 36~79cmと低下する。地点6は細粒強グライ土, 地点7は中粗粒強グライ土である。さらに, 地点24はかんがい期64~75cm, 非かんがい期71~100cmと地下水位は低い。土壤は細粒グライ土である。

山際低地部に位置する各地点の地下水位は一般に高いものの, 地区外の背後の地形からの土壤水分の流入, 浸透する量は異なり, また, 地区外との境界に排水渠としての機能をもつ排水路, 河川等が存在する場合, 地下水位の低下がある程度期待できる(信貞-8)。

(2) 低地中央部付近の地下水位とその変動

氾濫平野のほぼ中央部に位置するものに, 泉水地区の地点2, 尾引地区の地点5, 7, 8, 信貞地区の地点2, 3, 4, 7, 沼田東地区の2, 3, 4, 5, 8, 9, 13, 14, 15, 16, 19及び23がある。これらの地点の地下水位は表-7に示す。

泉水地区の地点2は小規模の氾濫平野の河川近くに位

表-7 低地中央部の地下水位

泉水	月/日	%	%	%	%	%
	- 2	47	37	43	65(70)	66
尾 引	月/日	%	%	%	%	%
	- 5	41		4	(71)	(51)
	- 7	0		0	(75)	(38)
	- 8	0		12	(79)	(67)
信 貞	月/日	%	%	%	%	%
	- 2	0	0	0	(15)	(10)
	- 3	0	0	0	(10)	(10)
	- 4	91	71	85	(98)	(89)
	- 7	75	73	100	(100)	(99)
沼田東	月/日	%	%	%	%	%
	- 2	73	84	82	(100)	(100)
	- 3	38	48	46	(51)	(59)
	- 4	37	55	47	(54)	(74)
	- 5	13	17	19	(23)	(51)
	- 8	10	7	20	(39)	(84)
	- 9	+10	1	0	(9)	(9)
	-13	51	82	64	(55)	(64)
	-14	3	6	5	(8)	(39)
	-15	40	67	49	(32)	(35)
	-16	32	38	22	(51)	(77)
	-19	4	8	19	(14)	(67)
	-23	59	20	30	(65)	(79)

注) 地下水位は地表面からの深さcm, ()内数値は非かんがい期を示す。

置する。地下水位はかんがい期37~65cm, 非かんがい期66~70cmである。土壤は細粒強グライ土である。

尾引地区の地点5は低地中央部より, やや山地側に寄った段丘状地形にある。かんがい期4~41cm, 非かんがい期51~71cmである。土壤は細粒灰色低地土, 灰褐色に分類される。地点7, 8は共に低地中央部より, やや丘陵側に寄った低地にある。かんがい期0~12cmと高いが非かんがいには地点7は38~75cm, 地点8は67~79cmと低下する。土壤は地点5と同様である。これらの地点は自然傾斜2~3°の勾配にあり, かんがい期には上位隣接田からの土壤水分の流入, 浸透の影響を受けやすいと考えられる。

信貞地区(図-7)の地点2は, かんがい期0cm, 非かんがい期0~15cmと終始高地下水位を示し, かんがい期には田面より高くなる現象も認められた。さらに, 下位の地点3の地下水位は, かんがい期0cm, 非かんがい期も0cmときわめて高い。土壤は地点2が細粒灰色低地土, 灰色系, 地点3が細粒強グライ土である。地点2は自然傾斜2~3°で支谷の出会い部に位置することから, 地下水位は存在するものの, 本来は低い位置にあると考えられるものの, 土中水圧により高地下水位が観察されたといえる。地点3は土壤断面形態から考えても, 高地下水位が認められる。しかし, 土層36~57cmの部位の土性がLSの砂層で, 本来の地下水位は, この部位付近ではないかと考えられる。さらに, 下位の美波羅川沿いに位置する地点4はかんがい期71~91cm, 非かんがい期89~90cmと低い地下水位を示す。地点7も同様な位置にあるが, 地下水位は73~100cm, 99~100cmとさらに低い。両地点ともに中粗粒灰色低地土, 灰色系に分類される。

沼田東地区は規模の大きい氾濫平野とはいえ, 沼田川や地区内を流れる天井川の水位は高く, また, 地区外との境界は山地であることから, 地区外からの土壤水分の流入が考えられる地区である(図-8)。地区中央部に位置する地点のうち, 沼田川沿いの地点として, 2, 3, 5, 8がある。地点2の標高が4.2m, 地点8が1.7mと2.5mの標高差がある。最上位の地点2のかんがい期の地下水位は73~84mと低く, 地点3が38~46cm, 地点5が13~19cm, 最下位の地点8が7~20cmで, 標高と逆の関係がみられる。非かんがい期では, 地点2では100cm以内に地下水はみられない。地点3が51~59cm, 地点5が23~51cm, 地点8が39~84cmを示し, 地点8をのぞいて, かんがい期と同様な傾向がみられる。土壤は地点2が中粗粒灰色低地土, 灰色系, 地点3, 5, 8が中粗粒グライ土である。地点4(中粗粒強グライ土)はやや中央部寄りの地点であるが, 地下水位はかんがい期37~55cm, 非かんがい期54~74cmである。地点9(細粒強グライ土, 標高1.4m), 地点13(細粒強グライ土, 標高1.2m), 地点14(細粒強グライ土, 標高1.7m), 地点15(中粗粒グライ土, 標高1.9),

地点16(中粗粒グライ土, 標高1.5m), 地点19(細粒グライ土, 標高2.0m)及び24(細粒グライ土, 標高1.8m)などの地下水位は差が大きい。地点9, 14, 19はかんがい期+10~19cmと高いが, 非かんがい期になると最高72cmまで低下する(地点9)。しかし, 地点によっては8cmまで上昇することもある。1.9m, 1.5mの地点15, 16では, 地下水位にかなりの違いがみられる。地点13, 23の地下水位は, かんがい期にそれぞれ51~82cm(最高16cm), 20~59cm, 非かんがい期, 35~68cm(最高11cm), 65~100cmときわめて変動が大きい。地点13は地区内で最も標高が低い(1.2m)部位にあるが, 必ずしも地下水位は高いとは限らない。本地区は海成沖積層の上部に河成沖積物が堆積した地区で, 下層の土性はLSの砂層となっており, 透水性はきわめて大きい。このため, 測定時の地下水位にはかなりの変動がみられる。すなわち, 降水量の多少, 潮の干満なども影響していると考えられる。

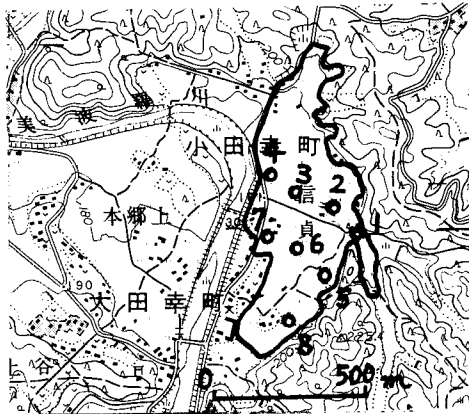


図-7 信貞地区の地形
(27万5千分の1地形図より引用)

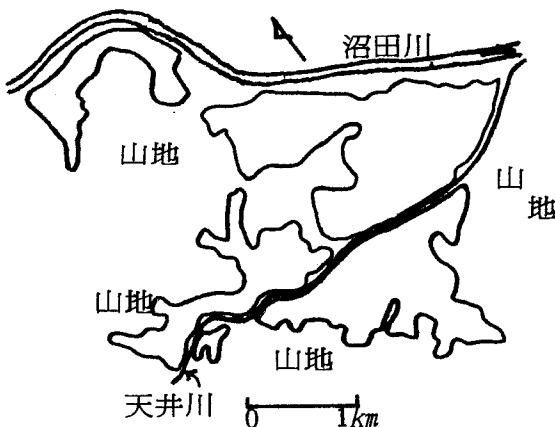


図-8 沼田東地区概要図

5 総合考察

以上の結果, 丘陵地形内, すなわち, 集水型地形内に分布する水田の地下水位とその変動は, 平坦地水田と異なり, きわめて複雑である。平坦地水田では土壤の透水性, 排水条件の良否が乾湿の違いとなって表われるが^{8, 12)}丘陵地形内の傾斜地水田では, 地区外や上位隣接田からの土壤水分の流入, 浸透する量と下位隣接田, 縦方向へ流出する土壤水分量の差し引き, すなわち, 水収支が水田の乾湿を支配する。この水収支に關与する要因の数は多く, その關与の程度は複雑で, 規則性を見出すことはきわめて困難といえる。しかしながら, 大きな要因としては, 地区外の地形的要因が水田の乾湿を左右するといえる。寺町, 三万寺地区は周囲地形が山地からなる幅の狭い, 規模の小さい谷地田であり, 周囲地形の集水域といえる。しかも, 山地は水源かん養林としての機能をもつことから, 地区内水田へ絶えず土壤水分を供給しつづけている。いわゆる閉鎖型地形(集水型地形¹³⁾)といえる。地区内水田は排水能をもつ大きな河川, 排水路をもたないうえに, 水田土壤は縦浸透の小さな強粘質土壤が多い。地区外から流入, 浸透した土壤水分は, 地区内を低地へと緩慢に移動することになり, 地区内の各地点の地下水位とその変動は, きわめてわずかな標高や土壤断面形態の違い, 排水路などの距離の違いで異なってくる。

比較的広い谷底平野内の水田の地下水位とその変動は規模の小さな支谷や, 周縁部では地区外からの土壤水分の流入, 浸透により谷地田と同様に地下水位は高い。中央低地部では上位隣接田を多く有することから, これらからの土壤水分の流入, 浸透により, 傾斜地水田では被圧地下水も加わって(ときに, 田面より測水管内の水位が高い場合もみられる。)地下水位はきわめて高い。とくにかんがい期は隣接田からの地表水も加わって, 土壤統群とは関係しない地下水位のパターンを示す。非かんがい期では, 地区外からの距離, 土壤断面形態, 透水性の大小及び, きわめてわずかな標高の違いなどが地下水位の高低を左右するといえる。

以上のことから, 地形は①閉鎖型(集水型)地形, ②中間型地形, ③開放型(散水型)地形に区別される。

つぎに, 地区内水田にあっては, 土壤の透水性をはじめとする排水条件が問題となる。また, 河川, 排水路, 排水渠などの存在も土地の乾湿に影響する。谷地田にあっては, 谷の中央部か, 片方の境界沿いに排水路(河川)が設けられているが, 地区外からの土壤水分の流入, 浸透など供給量の多い側に排水路を設けるべきである。このための調査は殆んど行われていないのが現状である。

丘陵地形内に分布する谷地田は沖積作用が弱く, 土性は周囲の地質により決定される場合が多い。広島県では中北部の谷地田は土性が強粘質~粘質のものが多く, 南部は中粗粒質, 礫質が多いが, 土地の乾湿と関連が認め

られる。

本報では、微地形の違いが地下水位とその変動に及ぼす影響を、いくつかの事例で紹介したが、殆んど規則性を見出すには至っていない。今後、さらに調査事例を積み重ねていくことが効率的排水対策法の確立につながるものと考えている。

6 摘 要

丘陵地形内水田の土壤水分の動態を地下水位とその変動から検討した。

(1) 丘陵頂部及びその急斜面に位置する水田には地下水位は認められなかったが、丘陵下部緩斜面、谷頭部及び谷側面などの傾斜地水田の地下水位は高く、地区外からの土壤水分の流入、浸透が認められた。

(2) ほとんどの谷地田では、周囲地形(地区外)からの土壤水分の流入、浸透により高地下水水位を示した。また、比較的規模の大きい谷底平野や氾濫平野も数本の支谷を有する場合が多く、これらの支谷の地下水位は高く、本流の谷底平野や氾濫平野へ土壤水分の供給源となっている。

(3) 谷底平野や氾濫平野においても、周囲を山地、丘陵地で囲まれた地形内に存在する場合には、周囲(地区外)からの土壤水分の流入、浸透により、山際部は高地下水水位を示す。この地区外からの土壤水分の供給量が地区内の土地の乾湿に大きな影響を与えているといえる。

(4) 傾斜地水田では、かんがい期間中は隣接田からの土壤水分の流入、浸透により、高地下水水位を示す地点が多く認められたが、これらの地下水位とその変動は土壤分類や土壤断面形態と関係が認められないものも多く、真の地下水位とは考えられない。しかし、このような状況下にある水田では、夏期の個別転作が困難であるといえる。

(5) かんがい期における地下水位とその変動は、地区内全域、すなわち、面的な土壤水分の動態を表わしていると考えられるが、非かんがい期の地下水位とその変動は、点的な土壤水分の動態を示唆するといえる。すなわち、非かんがい期には、その地点の土壤水分の供給の多少と、土壤の透水性、排水条件の良否が、土地の乾湿に大きな影響を及ぼすと考えられる。

(6) 中国中山間地帯にあっては、水田の土壤水分の動態を左右する最大の要因としては、地形条件といえる。このことから、地形をつぎの3つに区分した。①閉鎖型(集水型)地形、②中間型地形、③開放型(散水型)地形の3区分である。つぎに、地区内の土壤分類、分布状況、土壤条件、排水条件(河川、排水路、排水渠の有無、暗渠などの排水対策の実施状況)などにより土地の乾湿は左右されるといえる。このような観点から、より効率的

排水対策確立のための調査法を確立することが急務である。

本資料は、昭和54年度～56年度にかけて行われた特別研究「土壤管理指針策定のための精密土壤図の作成、利用法の開発」ならびに、昭和58年度に行った、土壤保全対策診断調査結果をもとに、とりまとめたものであり共同研究者に謝意を表します。

引用文献

- 1) 農林省農業技術研究所化学部土壤第3科：1977、土壤統の設定基準および土壤統一覧表(第2次案)
- 2) 広島県：1982・広島県メッシュ気候図(資料編)
- 3) 広島農試：1980～1981・特別研究成績書、土壤管理指針策定のための精密土壤図の作成、利用法の開発
- 4) 広島農試：1984、土壤保全対策診断調査成績書
- 5) 農林水産省農蚕園芸局農産課：1979、土壤環境基礎調査における土壤、水質及び作物体分析法
- 6) 上本 哲・若山 讓・佐近 剛・河本 泰：1982、丘陵地形内に分布する水田の土壤水分の動態について、広島農試報告45：13～34
- 7) 上本 哲・中沢征三郎・宮地勝正・谷本俊明・松浦謙吉：1984、平坦低地水田における地下水位とその変動について、広島農試報告48：23～34
- 8) 浜崎忠雄：1976、水成土壤における水の動態とその土壤生成的役割について—小櫃川流域の例—(第1報)、水位および水位変動と土壤との関係(その1)土肥誌47：432～439。
- 9) 浜崎忠雄：1976、水成土壤における水の動態とその土壤生成的役割について—小櫃川流域の例—(第2報)水位および水位変動と土壤との関係(その2)土肥誌47：524～530。
- 10) 浜崎忠雄：1976、水成土壤における水の動態とその土壤生成的役割について—小櫃川流域の例—(第3報)水位および水位変動と土壤との関係(その3)土肥誌47：555～562。
- 11) 浜崎忠雄：1979、水成土壤における水の動態とその土壤生成的役割について—小櫃川流域の例—(第4報)粘質水田土壤の地下水面上のグライ層と灰色土層の生成、土肥誌50：255～260。
- 12) 浜崎忠雄：1979、水成土壤における水の動態とその土壤生成的役割について—小櫃川流域の例—(第5報)砂質水田土壤の地下水面上のグライ層と灰色土層の生成、土肥誌50：494～498。
- 13) 地学団体研究会：1976、地形と土壤、東海大学出版会、110。

(1985. 10. 14受理)

地力増進法のねらいと土壌の物理性

三 輪 睿 太 郎*

Enactment of Soil Productivity Improvement Law and Physical Aspect of Soil

Eitaro MIWA

Division of Environmental Planning,

National Institute of Agro-environmental Sciences

第101回特別国会で地力増進法が成立し、昭和59年5月18日に公布された。同法は、①国による地力増進基本指針の策定、②都道府県における地力増進地域制度、③土壌改良資材の品質表示制度の三部からなるものである。立法の趣旨は昭和27年に制定された耕土培養法が土壌の化学的性質の改善のみを対象としており、物理的性質、生物学的性質を含む近年の多様な地力問題に対応できなくなったため、地力対策の新たな制度的枠組みを作ることであった。

筆者は当時農水省農畜園芸局に在職し同法の立法作業に携わったので、地力問題における土壌の物理性をどのようにとらえ、制度に反映させたかを紹介し、関係者の御理解の一助に供したい。

同法に関しては農水省農畜園芸局農産課監修による「地力増進法解説」(昭和60年地球社)が刊行されているので御関心の読者は御一読願うこととし、小文では紙数の都合もあり、制度そのものに関する記述は最小限に留めることにする。

1. 地力問題における土壌の物理性

近年の地力問題の一面は農業生産の近代化、効率化が進む過程で、経営の専門化、作目の多様化、品種の改良、農作業の機械化、化学資材の利用などが先行するのに対し、土壌の管理がそれに伴わないところから派生している。その中で土壌の物理性に関する問題も少なからず指摘されている。例えば堆きゅう肥の施用が減少し化学肥料にのみ依存することから土壌が固くなる、ロータリー耕による浅耕が一般的になり作土が浅くなっている等である。

このような、いわば今日的な地力問題は土壌学の立場からは早くから指摘されていたものであるが、近年、農業生産の跛行的な近代化が気象変動に弱い稲作、畑作における連作障害、土壌病害の多発等、様々な問題に反映しているところからジャーナリズムにもしばしば取り上

げられるようになった。しかし、効果的な地力対策に結びつけるためには、土壌の物理性に関しても、それがいかなる状況で農業生産に影響を及ぼしているかを正確に把握する必要がある。

筆者らはこれまでの土壌調査の結果の検討、都道府県からの事例報告等に基づいて現在の状況を次のように整理した。

(1) 土壌の基本的な性格からもたされる問題

ここでいう土壌の基本的な性格とは母材や堆積様式の影響を強く受けている土壌の性質であり、鉍質酸性土壌、肥沃度の低い火山灰土壌、重粘土壌等の固有の性質がその例である。我が国の農地土壌の基本的な性格は前記耕土培養法制定後7年を経た昭和34年に開始され54年に完了した最初の本格的な土壌調査である地力保全基本調査により初めて明らかにされた。

この調査は25haに1点の密度で全農地を対象として行われ、土壌の母材とその堆積様式及び断面の形態により統一的な土壌分類を行うとともに、表土の厚さ、有効土層の深さ、表土の礫含量、耕うんの難易、湛水透水性、酸化還元性、土地の乾湿、自然肥沃度、養分の豊否、障害性、災害性、傾斜、侵食等生産力と関係の深い事項について物理的計測や化学分析に基づく評価を行なった。これまでと全く定性的に扱われるか、あるいは養分供給力に偏って評価された「地力」であるが、この調査以降土壌の物理的性質、化学的性質及び生物学的性質に由来する農地の生産力として各々の性質の科学的計測に基づいて評価されることとなった。

調査の結果は約1,100枚の1/5万土壌図と各都道府県ごとの総合成績書として取りまとめられており、その内容は次のように概略される。

- (ア) 母材とその堆積様式及び断面の形態から農地土壌を分類すると320種類の土壌統に分類される。土壌統のうち似たものを集めると16の土壌群に分類される。
- (イ) 水田では灰色低地土、グライ土等の沖積土壌及び

* 農業環境技術研究所資源・生態管理科

火山灰、母材とする多湿黒ボク土が主要である。生産性を阻害する要因としては排水不良に起因する還元障害、粘着性や砕土性の悪さに起因する耕うんのしにくさなどがあるが、地力の水準の低い、いわゆる不良土壌は約4割を占める。

(ウ) 普通畑及び樹園地では黒ボク土、褐色森林土、褐色低地土、及び黄色土が主要であり、保肥力に劣り、塩基、養分含有量が低い等化学的性質が不良な土壌が多い。また粘土板等のち密層が存在し、通気性、透水性等の物理性が悪い土壌もあり、いわゆる不良土壌は約7割を占める。

この短い要約でも明らかなように、土壌の基本的性格の問題として物理性が重要な位置を占めている。また都道府県からの報告でも、褐色森林土(畑の16%、樹園地の37%)、赤色土、暗赤色土、黄色土(畑の6%、樹園地の19%)、グライ土(水田の31%)等、各地目で重要な土壌について排水、作業性等に関する問題が指摘されており、特に、水田の汎用化と高度利用、造成農地における生産性向上等、今後の日本農業の中心課題に関連して新しい技術的問題を生んでいる。

(2) 近年の農業事情の変化に伴い派生する問題

このタイプの問題を発生面積等で定量的に把握することは不可能であり、また都道府県からの事例報告にも精粗が著しいが、水田作土の浅層化が水稻根群域を制約し、稲作の収量停滞、不安定化の原因となっているとの指摘が多数あったほか基本的に物理性は良好なクロボク土が機械による踏圧により悪化し、侵食を発生している例、ニンジン等の根菜類の生育を阻害している例などが確認された。

局地的な問題も含まれようが、不適切な土壌管理により、かつてはなかった問題が各地で発生しつつある。

(3) 拡大が見込まれる問題

土壌の物理性は上記のように直接の影響を及ぼすだけではなく、土壌病害の発生・伝播等に深く関連することが示唆されている。今後の試験研究の進展に伴い、土壌の物理性が関与する生物学的事象等が多数発見され、物理性改善が更に重要な課題となることが見込まれる。

2. 営農技術による土壌の物理性の改善と地力増進基本指針

土壌の排水性の改良には排水路、施設等を整備し局地的な水文環境を根本的に変えなければならない場合が多い。このように土壌の物理性の改善には土地基盤そのものの整備を要するものが含まれるが、一方、そうした基盤の整備とは別に土壌の質としての物理性が営農との関連で重要性を増しているのは1で述べたとおりである。営農の中で土に働きかける耕うん、整地の作業は「晴耕雨読」の言葉でわかるように農作業の象徴でもあるが、農業機械の進歩と普及で土壌の性質に適合した技術の指

針があれば様々な手法を容易に利用できるようになってきた。農家みずからが土壌・土層改良用の機械を保有しなくても農協、機械銀行等の機械、オペレーターの助けを借りれば、深耕、心土耕、心土破碎、土層反転、暗渠施行等を相当の規模で実施することができる。

また土壌の物理性に土壌腐植が重要な関係を有し、その改善に堆肥等の有機質資材の施用による土壌腐植の確保が必要なことは論を待たない。しかし、土壌の種類によって腐植含量が異なり、有機質資材による腐植の確保にも難易が大きい。有機質資材の働きは物理性のみならず生物性、化学性を含む土壌の性質全般にかかわるものであるから、農業者は土壌条件からねらいを明確にして施用する必要がある。さらに有機質資材として、稲わら等の作物残渣またはその堆肥のように自給的なもののほか、樹皮、オガクズをはじめとする多種多様な廃棄物を原料とする販売品が利用されるようになった。近年の試験研究によって、これらの資材の効果が原料や発酵・腐熟程度により大きく異なることが明らかにされている。また、有機質資材のみならず土壌の団粒化を促進する合成高分子資材も販売されており、他に構造の安定化、保水性の付与をねらいとした合成資材も開発されつつある。これらの資材は速効性であるかわりに土壌や施用法によりその発現が著しく異なることが多い。

資材を利用した物理性の改善は利用者が土壌条件からの確かな改善目標を定め、適合する資材を正しく施用してはじめて効果的に行われるものである。

ここでは土壌の物理性を中心に述べたが、現今の地力問題は耕土培養法のように全国一律に画一的な手法を適用することでは解決が困難である。そこで地力増進法では農業者が土壌条件により適切な改善方策を選択できるように国が基本的な指針(地力増進基本指針)を策定・公表することとし、特に土壌の性質が不良な農地が広く分布する地域については都道府県が具体的な対策指針(地力増進対策指針)を策定、適切な助言・指導を伴って計画的かつ効果的な改善に結びつけることとしている。そして、こうした土壌の条件、改善目標の定め方、対策技術の選択に関する科学的な情報の公共部門による整備、農業者への提供の規定とあわせて資材の選択に関しては農業者がその特徴を正しく把握して効果的な利用ができるように土壌改良資材の品質に関する表示基準制度を設けている。

地力増進基本指針はすでに定められ、昭和59年11月20日に公表されている(資料参照)。この策定に当たっては農業研究センターを中心とした農水省の土壌学関係研究者により技術面での検討が行われており、最近、日本土壌肥料学会監修「土壌・水質・農業資材の保全」の中で詳細な解説が行われているので是非参照していただきたい。同指針では土壌の性質として土壌調査や診断によっ

て定量的に計測できる指標を選択し、各々の指標について改善の目標を計測値の範囲でもって示している。土壌の物理性の中には作物の生育環境の要素として、根に水と空気を供給するための透水性、保水性、通気性及び根の伸張を保證する土壌の物性、構造があるほか、農作業の効率性にかかわる要素として砕土性、排水性、地耐力を保證する土壌の物性、構造が含まれる。これらの性質は土性、ち密度(硬度)、容積重、三相分布、コンシステンシー等を土壌について計測することによって評価されることもあるし、湛水透水性、浸入能、透水係数、酸素拡散速度等、水や空気の流れを計測することによって評価されることもある。基本指針ではこれら種々の指標の中から、測定値が作物生育や作業効率性と関係において十分検討されており、手法や測定器具が全国的に普及しているものを選び指標としている。

水田に関しては作土の厚さ(深さ)、すき床層のち密度(硬度)、主要根群域の最大ち密度、及び湛水透水性が指標とされているほかその他の性質とも関連する総合的指標として腐植含有量が選ばれている。普通畑では作土の厚さ、主要根群域の最大ち密度、同粗孔隙量、同易有効水分保持能、及び腐植含有量が指標とされ、樹園地では主要根群域の厚さ、同最大ち密度、同粗孔隙量、易有効水分保持能、及び腐植含有量が指標とされている。

改善目標値の設定に関してはこれまでの土壌物理学の進歩を最大限に組み入れて実用的なものとするに検討の主力が注がれた。その際、土壌物理研究会により刊行された「土壌の物理性と植物生育」は座右の書として活用された。専門家による個別資料の収集と検討が多量の努力を伴って行われたことは言うまでもないが、同書には生育環境としての物理性の方の原型が示されており、検討の出発点となり、その後も不断に参照されるテキストともなった。門外漢の言わずがなではあるが、いかに奥行き深い学問分野であっても、その進歩段階に応じて応用場面と結びつけた知見の収集・整理が行われることの有用性をあらためて認識した次第である

さて、作物生育に理想的な土壌の性質を既応の知見から演繹的に抽出し、それをもって改善目標とするのはむしろ容易であろう。しかし、土壌の性質の中には、それが母材等の与件に支配され、その改善が著しく制約されることがある。その場合にはこのような現想的な改善目標はほとんど実用性をもたない。

基本指針の検討ではこの点が重視され、土壌調査における測定値等の子細な検討に基づき、土壌の種類に応じ

て現実的な目標値を設定することに力が注がれた。

改善目標値の範囲が広い、あるいは目標としては低過ぎるのではないかという印象を与えるかも知れないが、それは上記のような視点で全国をカバーする作業からもたらされた外見上の結果である。すなわち、各都道府県で地力増進地域が指定された場合を想定すると土壌の種類、立地、主要作目等の条件が特定され、そこで策定される地力増進対策指針ではシャープなかつ現実的な改善目標値が設定されることになる。しかし、このような地域指定が全国的に行われたとき設定される多数の改善目標値が納まる範囲を想定するとそれは巾の広いものとなるのである。

3. 地力増進法の運用と土壌物理学の成果への期待

地力増進法は極めて先進的かつ意欲的な法律である。地力増進の主体を農業者に置きつつも、農地の地力が持つ公共性に基づき、専門的な試験研究部門を有する国、都道府県が技術力を注いで信頼し得る知識・情報を整備提供する(土壌改良資材の表示基準も含めて)仕組がその骨子である。公共部門においても国が都道府県に責務を強制するのではなく、地域指定制度の運用は都道府県の自主性に委ねられている。

現在、北海道、千葉、大阪等で地力増進地域の指定が行われ、対策指針の策定が進められつつある。また、その他の各県においても地域指定の準備が積極的に進められつつあると聞く。この法律が成果を上げるためのキポイントには正確な対策指針が作られ、農業者に良く理解され、実行されることにある。策定にあたるのは都道府県農試の土壌肥料研究者であると思われるが、これまでの調査研究の成果を最大に活かしてすぐれた指針が作られることを痛切に願っている。指定された地域によっては土壌の物理性が主題となる場合もあろう。その場合には国が示した基本指針よりも物理性に重点を置いた指針が作られることは当然であり、地域の実態に合わせて独自の改善目標、改善方策が盛り込まれることもあり得よう。

また、すでに述べたように試験研究の進展に伴って新しい問題の発見、資材、対策技術の開発も見込まれる。このような成果は基本指針、対策指針、土壌物理改良資材の表示基準の改訂、充実をもたらすことができよう。国、都道府県を通じた土壌物理研究の進展を願い、その成果が、地力増進法の仕組に乗って全国的な土壌管理に活用されることを期待する。

(1985. 10. 21受理)

— 資 料 —

○地力増進基本指針の公表について

地力増進法（昭和59年法律第34号）第3条第1項の規定に基づき、
地力増進基本指針を次のとおり定めたので、同条第3項の規定に基づき、公表する。

昭和59年11月20日

農林水産大臣 佐藤守良

地力増進基本指針

I 基本的な土壤管理の方法

1 農地の土壤は農業生産の基礎であり、地力を増進していくことは農業の生産性を高め、農業経営の安定を図る上で極めて重要である。

しかしながら、我が国の農地の土壤は、母材の性質が不良であるため自然的な生産力が低いものが多い上に、温暖多雨な気候、急峻な地形等の影響で腐植の分解、塩基の流亡等が生じやすく、地力が低下しがちである。

したがって、我が国において地力を増進していくためには、農業者がその営農の中で意識的に土壤管理を行っていくことが必要不可欠であるが、その場合の土壤管理の方法は次のとおりである。

(1) 堆きゅう肥等の施用

腐植は土壤の主要な性質を良好に保つ上で極めて重要な役割を果たすが、腐植は徐々に消耗していくものであるため、年々の営農の中において堆きゅう肥等の施用により、これを補給していくことが必要である。

堆きゅう肥等の標準的な施用量は、稲わら堆肥の場合、水田では10アール当たり1.0～1.5トン、普通畑では10アール当たり1.5～3.0トンである。なお、樹園地についても、草生栽培や敷わらにより有機物の供給を図る必要がある。

(2) 的確な耕うんの実施

耕うんは作土の厚さを確保し、主要根群域のち密度、粗孔隙量等を改善する上で極めて重要な役割を果たすが、耕うんの深さ等によって土壤の性質の改善効果は著しく異なるので、年々の営農の中において的確な耕うんを実施することが必要である。

(3) 肥料の適正な施用の推進

化学肥料の過剰な施用は、土壤の酸性化、塩類の集積等土壤の化学的性質の悪化を招くことがあるため、適正な施肥に努めることが必要である。

2 近年、農業労働力の減少等農業を取り巻く諸情勢の変化に伴い、地力増進のための土壤管理が粗放化し、特に化学肥料への過度の依存による堆きゅう肥の施用量の減少、作業効率の重視による作土の浅層化等地力の低下が懸念される事態が生じている。

このような事態を回避し、地力増進のための土壤管理を実施していくためには、①耕種部門と畜産部門との連

携、耕種農家相互の協力による農作物残さ、家畜ふん尿等の有機物資源の組織的な堆肥化とその利用体制の整備
②機械の共同利用体制、作業受委託組織等の育成確保による的確な耕うんの効率化等を推進していくことが重要である。

II 土壤の性質の基本的な改善目標及び基本的な改善方策

以下に農地の利用形態別に土壤の性質の基本的な改善目標及び基本的な改善方策を示すが、個々の農地についてみれば、母材の性質等により当該改善目標の適用が困難な場合や農作物の収益性等の点で当該改善方策を採用できない場合もあり得るので、当該農地の土壤の性質等を十分に把握した上で、諸般の事情を踏まえて実現可能な改善目標を設定し、また営農上実施可能な改善方策を選択していくことが重要である。

また、特定の項目について急速に土壤の性質を改善しようとする場合には、当該目的に合致する土壤改良資材を施用することが有効であるが、主要根群域の最大ち密度、易有効水分保持能、可給態窒素含有量、腐植含有量等の土壤の主要な性質を総合的に改善する基本的な資材は堆肥であることに留意する必要がある。

第1 水田

1 基本的な改善目標(表-1)

2 基本的な改善方策

(1) 作土の厚さの改善

ロータリーで減速して耕うんする等により深耕に努める。特に必要があれば、深耕用のロータリー又はプラウを用いて耕うんする。

(2) すき床層のち密度の改善

ア ち密度が過大な場合には、心土破碎耕等により、すき床層を破碎する。

イ 排水不良のために地耐力の面からち密度が不足する場合には、ほ場内小排水溝、弾丸暗きよ等を設けることにより作土層の乾燥を図る。

(3) 主要根群域の最大ち密度の改善

心土破碎耕等によりち密層（鉄盤、粘土盤等）を破碎する。

(4) 灌水透水性の改善

ア 不透水層が存在するために、透水性が過小の場合には、心土破碎耕を行う。

イ 土壤が細粒質であるために周辺の地下水水位が

表-1 基本的な改善目標 (水田)

土 壤 の 種 類		
土 壤 の 性 質	灰色低地土, グライ土, 黄色土, 褐色低地土, 多湿黒ボク土, 泥炭土, 黒泥土, 灰色台地土, グライ台地土, 褐色森林土, 黒ボクグライ土, 黒ボク土	
作 土 の 厚 さ	15 cm 以上	
すき床層のち密度	山中式硬度で14~24mm	
主 要 根 群 域 の 最 大 ち 密 度	山中式硬度で24mm以下	
湛 水 透 水 性	日減水深で 20~30mm	
pH	6.0~6.5(石灰質土壌では6.0~8.0)	
陽イオン交換容量 (C E C)	乾土100 g 当たり 12meq (ミリグラム当量)以上 (ただし, 中粗粒質の土壌では 8 meq以上) 乾土100 g 当たり15meq以上	
塩基状態	塩基飽和度	カルシウム(石灰), マグネシウム(苦土)及びカリウム(加里)イオンが陽イオン交換容量の70~90%を飽和すること。 同左イオンが陽イオン交換容量の60~90%を飽和すること。
	塩基組成	カルシウム, マグネシウム及びカリウム含有量の当量比が(65~75) : (20~25) : (2~10)であること。
有効態りん酸含有量	乾土100 g 当たり P ₂ O ₅ として10mg以上	
有効態けい酸含有量	乾土100 g 当たり SiO ₂ として15mg以上	
可給態窒素含有量	乾土100 g 当たり N として 8~20mg	
腐植含有量	乾土100 g 当たり 2 g 以上	
遊離酸化鉄含有量	乾土100 g 当たり0.8 g 以上	

- 注1 主要根群域は地表下30cmまでの土層とする。
 2 陽イオン交換容量は塩基置換容量と同義であり, 本表の数値はpH7における測定値である。
 3 有効態りん酸は, トルオーグ法による分析値である。
 4 有効態けい酸は, pH4.0の酢酸ナトリウム緩衝液により浸出されるけい酸量を乾土100 g 当りに換算したものである。
 5 可給態窒素は, 土壌を風乾後30℃の温度下, 洪水密閉状態で4週間培養した場合のアンモニア態窒素の生成量を乾土100 g 当りに換算したものである。
 6 腐植含有量は, 土壌中の炭素含有量に係数1.724を乗じて算出した推定値である。

低いにもかかわらず透水性が過小な場合には, ほ場内小排水溝, 弾丸暗きよ等を設けることにより土壌の乾燥を回るとともに, 堆肥等を施用することにより土壌の団粒化を促進する。

ウ 透水性が過大の場合には, 代かきを入念に行うとともに, 必要があればペントナイト等の粘土質の土壌改良資材を施用することにより粗孔隙の充てんを図る。

(5) pHの改善

酸性の土壌には, 酸性矯正に必要な量の石灰質肥料を施用する。

(6) 陽イオン交換容量の改善

堆肥, 腐植酸質資材等の有機質の土壌改良資材又はゼオライト等の陽イオン交換容量の高い資材を施用する。

(7) 塩基状態の改善

不足分に相当する石灰質肥料, 苦土肥料又は加里肥料を施用する。

(8) 有効態りん酸含有量の改善

不足分に相当するりん酸質肥料を施用する。
 この場合, りん酸質肥料としては効果の持続するく溶性りん酸を主体とするものを選び, 特に酸性の土壌の場合には, アルカリ性のものを施用するよう留意するもの

とする。

(9) 有効態けい酸含有量の改善

不足分に相当するけい酸質肥料を施用する。

(10) 可給態窒素含有量及び腐植含有量の改善

堆肥等を施用するか又はレンゲ等の緑肥作物を作付体系に導入する。

第2 普通畑

1 基本的な改善目標 (表-2)

2 基本的な改善方策

(1) 作土の厚さの確保

深耕用のロータリー又はプラウを用いて耕うんする。
 急激に作土を厚くすると, 新たに耕起される土層の性質によっては作物の生育不良等を生ずることがあるので, 必要に応じて堆肥等を施用する。

(2) 主要根群域の最大ち密度の改善

ア 厚いち密層が存在するために粗孔隙量が過小の場合には, 深耕を行う。

イ 土壌が細粒質であるために粗孔隙量が過小の場合には堆肥等を施用することにより土壌の団粒化を図る。

(3) 主要根群域の易有効水分保持能の改善

表-2 基本的な改善目標 (普通畑)

土 壤 の 性 質		土 壤 の 種 類		
褐色森林土, 褐色低地土, 黄色土, 灰色低地土, 灰色台地土, 泥炭土, 暗赤色土, 赤色土, グライ土		黒ボク土, 多湿黒ボク土		岩層土, 砂丘未熟土
作土の厚さ		25 cm 以上		
主要根群域の最大ち密度		山中式硬度で22mm以下		
主要根群域の粗孔隙量		粗孔隙の容量で10%以上		
主要根群域の易有効水分保持能		20mm/40cm 以上		
pH		6.0~6.5 (石灰質土壌では6.0~8.0)		
陽イオン交換容量 (CEC)		乾土100g 当たり12meq以上 (ただし, 中粗粒質の土壌では8 meq以上)	乾土100g 当たり15meq以上	乾土100g 当たり10meq以上
塩基状態	塩基飽和度	カルシウム, マグネシウム及びカリウムイオンが陽イオン交換容量の70~90%を飽和すること。	同左イオンが陽イオン交換容量の60~90%を飽和すること。	同左イオンが陽イオン交換容量の70~90%を飽和すること。
	塩基組成	カルシウム, マグネシウム及びカリウム含有量の当量比が(65~75):(20~25):(2~10)であること。		
有効態りん酸含有量		乾土100g 当たり P ₂ O ₅ として10mg以上		
可給態窒素含有量		乾土100g 当たり N として5mg以上		
腐植含有量		乾土100g 当たり3g以上	—	乾土100g 当たり2g以上
電気伝導度		0.2 mS (ミリジーメンズ) 以下		0.1mS 以下

注1 第1の表-1の注2, 3, 6を参照すること。

2 作土の厚さは根菜類等では30cm以上, 特にごぼう等では60cm以上確保する必要がある。

3 主要根群域は地表下40cmまでの土層とする。

4 粗孔隙は降水等が自重で透水することができる粗大な孔隙である。

5 易有効水分保持能は, 主要根群域の土壌が保持する易有効水分量 (pH1.8~2.7の水分量) を主要根群域の厚さ40cm当たりの高さで表わしたものである。

6 pHは, 作物により好適範囲が若干異なるので, 作物別の好適pHを表-3に例示する。

7 有効態りん酸含有量が乾土100g 当たり P₂O₅ として75mg (黒ボク土, 多湿黒ボク土では100mg) を超える場合, 更りにん酸質肥料を肥料を施用しても肥効が出ないことがあり, 作物の栽培上, 実益がないことがある。

8 可給態窒素は土壌を風乾後30℃の温度下, 畑状態で4週間培養した場合のアンモニア態窒素の生成量を乾土100g 当たりに換算したものである。

表-3 作物別の好適pH

作物名	好適範囲	作物名	好適範囲	作物名	好適範囲
小 麦	6.0~7.5	アルファルファ	6.0~8.0	キャベツ	6.0~7.0
大 麦	6.5~8.0	シロクロバ	6.0~7.2	ほうれんそう	6.0~7.5
大 豆	5.5~7.0	トールフェスク	5.0~6.0	たまねぎ	5.5~7.0
小 豆	6.0~6.5	イタリアンライグラス	6.0~6.5	なす	6.0~6.5
いんげん	5.5~6.7	オーチャードグラス	5.5~6.5	トマト	6.0~7.0
らっかせい	5.3~6.6	チモシー	5.5~7.0	きゅうり	5.5~7.0
えんどう	6.0~7.5	ソルゴー	5.5~7.0	かぼちゃ	5.5~6.5
とうもろこし	5.5~7.5	エン麦	5.5~7.0	いちご	5.0~6.5
そば	5.0~7.0	らい麦	5.5~7.0	すいか	5.5~6.5
かんしょ	5.5~7.0	だいこん	6.0~7.5	レタス	6.0~6.5
ばれいしょ	5.0~6.5	かぶ	5.5~6.5	カリフラワー	5.5~7.0
葉たばこ	5.5~7.5	にんじん	5.5~7.0	アスパラガス	6.0~8.0
てんさい	6.5~8.0	さといも	5.5~7.0		
アカクロバ	6.0~7.5	はくさい	6.0~6.5		

表-4 基本的な改善目標 (樹園地)

土 壤 の 性 質		土 壤 の 種 類		
褐色森林土, 黄色土, 褐色低地土, 赤色土, 灰色低地土, 灰色台地土, 暗赤色土		黒ボク土, 多湿黒ボク土		岩屑土, 砂丘未熟土
主要根群域の厚さ		60 cm 以上		
主要根群域の最大ち密度		山中式硬度で22mm以下		
主要根群域の粗孔隙量		粗孔隙の容量で10%以上		
主要根群域の易有効水分保持能		30mm/60cm 以上		
pH		6.0~6.5 (石灰質土壌では6.0~8.0)		
陽イオン交換容量 (C H C)		乾土100 g 当たり12meq以上 (ただし, 中粗粒質の土壌では8 meq以上)	乾土100 g 当たり15meq以上	乾土100 g 当たり10meq以上
塩基状態	塩基飽和度	カルシウム, マグネシウム及びバリウムイオンが陽イオン交換容量の70~90%を飽和すること。	同左イオンが陽イオン交換容量の60~90%を飽和すること。	同左イオンが陽イオン交換容量の70~90%を飽和すること。
	塩基組成	カルシウム, マグネシウム及びバリウム含有量の当量比が(65~75) : (20~25) : (2~10)であること。		
有効態りん酸含有量		乾土100 g 当り P ₂ O ₅ として10mg以上		
腐植含有量		乾土100 g 当たり3g 以上	—	乾土100 g 当たり2 g 以上

注1 第1の表-1の注2, 3, 6及び第2の表-2の注4, 5, 7を参照すること。
 2 pHは, 作物により好適範囲が若干異なるので, 作物別の好適pHを表-5に例示する。

表-5 作物別の好適pH

作物名	好適範囲
茶	4.5~6.5
桑	5.0~6.5
みかん	5.0~6.0
りんご	5.5~6.5
ぶどう	6.5~7.5
日本なし	6.0~7.0
もも	5.0~6.0
おうとう	5.0~6.0
かき	6.0~7.0
くり	5.0~6.0

粗孔隙量が過大であるために易有効水分保持能が過小の場合には, ベントナイト等の粘土質の土壌改良資材を施用することにより, 粗孔隙の充てんを図る。また, パーライト, 泥炭等保水性に富む土壌改良資材を施用する方法も有効である。

(4) 塩基状態の改善

塩基の含有量が不足する場合には, 不足分に相当する石灰質肥料, 苦土肥料又は加里肥料を施用する。

塩基の含有量が過剰な場合には, 混層耕等により塩基含有量の低い下層土と混合する。

(5) 電気伝導度の改善 (塩類濃度の低減)

ア 塩類の吸収力の強いイネ科の作物等のクリーニングクロップの栽培を行う。

イ 暗きょ排水等の排水施設が整備されている農地について, 急速に塩類濃度の低減を図ろうとする場合には, かん水処理により集積した塩類を洗い流す。

(6) pH, 陽イオン交換容量, 有効態りん酸含有量, 可給態窒素含有量及び腐植含有量の改善

第1の2と同じ。

第3 樹園地

1 基本的な改善目標(表-4)

2 基本的な改善方策

樹園地の場合, 植付後は, 植栽部分における直接的な土壌管理が困難であるので, 植付前と植付後に分けて改善方策を掲げる。

(1) 植付前の改善方策

ア 主要根群域の厚さの改善

植穴, 畝を中心に部分深耕を行う。

この場合, 効果を安定させるため, 堆肥, わら類, 樹皮等の有機質の土壌改良資材を投入する。

イ 主要根群域の易有効水分保持能の改善

耕うん時に堆肥, わら類等の有機質の土壌改良資材又はパーライト, 泥炭等の保水性に富む土壌改良資材を施用する。

ウ 腐植含有量の改善

耕うん時に堆肥, わら類等の有機質の土壌改良資材を施用する。

エ 主要根群域の最大ち密度及び粗孔隙量並びに塩基状態の改善

第2の2に同じ。

オ pH, 陽イオン交換容量及び有効態りん酸含有量の改善

第1の2に同じ。

(2) 植付後の改善方策

ア 主要根群域の厚さ, ち密度及び粗孔隙量並びに腐植含有量の改善

極力断根を避けながら樹間を掘削し, 堆肥, わら類, 樹皮等の有機質の土壤改良資材を施用する。

このほか, 主要根群域のち密度の改善については, ち密層を心土破砕耕で破砕し, また, 腐植含有量の改善については, 草生栽培又はわら類等による樹間の被覆若しくはすき込みを行う方法も有効である。

イ 主要根群域の易有効水分保持能の改善

わら類等による樹間の被覆とすき込みを行う。

ウ pH, 塩基状態及び有効態りん酸含有量の改善
極力断根を避けながら樹間を掘削し, 必要な肥料を施用する。

III その他地力の増進に関する重要事項

第1 水田高度利用に際しての留意事項

1 畑利用する場合の留意事項

(1) 畑利用する場合は, 作土の厚さを確保するため, 水田として利用する場合より耕深を深くするほうが望ましいが, 畑作物と水稲を輪作しようとする場合は, すき床層の機能を破壊しないように留意する。

(2) 周辺水田のかんがい期に地下水位が上昇して根群域が過湿状態になるのを防ぐため, ほ場内小排水溝, 弾丸暗きよ等を設けることにより排水対策を強化する。

(3) 畑利用する場合は, 水田として利用する場合より土壌の酸性化, 塩基の流亡, 有効態りん酸の減少及び有機物の分解が進行するため, 必要な肥料等の施用に留意する。

2 水稲作に復帰する場合の留意事項

(1) 畑利用した後は養分含有量等が著しく変化しているため, 適正量の肥料を施用するように留意する。

(7) 一般に漏水量が多くなるので, 代かきは特に入念に行い, 必要があればベントナイト等の粘土質の土壤改良資材を施用する。

第2 土壌侵食対策

土壌侵食を軽減する営農上の方策としては次に掲げるようなものがある。

1 水食対策

(1) 耕うん整地上の改善方策

ア 等高線に沿った畝立てを行う。

イ 侵食により生じた溝は速やかに修復する。

ウ 土壌の透水性の改善を図る。

(2) 斜面分割

地表面の流水速度を下げるため, 等高線に沿って帯状の水平面等を設ける。

(3) 植物等による地表面の被覆

多面期には場が裸地状態で放置されないようにするため, 栽培体系の改善, 農作物残さ等による被覆又は樹園地における草生栽培による地表面の被覆を行う。

2 風食対策

(1) 耕うん整地上の改善方策

ア 風に対して直角に畝立てを行い, 畝の間隔を狭くする。

イ 風食を生ずる時間の耕うんは極力避けるようにする。

(2) 植物等による地表面の被覆

第3 その他

地力の増進を図るに当たって, 廃棄物を土壌の性質を改善する資材として利用する場合又は廃棄物を利用して土壌の性質を改善する資材を製造する場合には廃棄物の処理及び清掃に関する法律の規定を遵守するとともに, 土壌汚染の防止その他の環境の保全について配慮するものとする。

縦暗渠による排水工法について

村 井 信 仁*

On the Drainage System by Vertical Under Drain

Nobuhito Murai

Hokkaido Central Agricultural Experimental Station

1 はじめに

北海道の冷害には、障害型と遅延型があり遅延型冷害の場合は、低温に加え、多くは降雨が続くことによる湿害を伴う。したがって、冷害を回避しようとするれば、その基本的課題は、如何に排水を効率的に行うかである。

暗渠排水事業が進展して、排水不良地は相当面積改善され、以前のような悲惨な冷害をみることは少なくなっており、暗渠排水事業を高く評価することができよう。

暗渠排水の効用は、排水性を良好にすることにより健全な作物の生育を促しているだけのものではない。寒地農業にあつては、適期作業が作物の生産性を大きく支配するといわれる。機械化作業体系が定着している現在においては、排水不良が続けば圃場作業は不可能になり、適期作業は望めない。排水性を良好にすることは、生産性の高い機械化作業体系を成立させるための必要条件である。

2 縦暗渠排水

1) 縦暗渠の発想

現在の暗渠排水事業が圃場のあらゆる条件に対応できているかといえば、必ずしもそういう形にはなっていない。重度の排水不良地に対しては、基盤整備も含め比較的綿密な計画で処置されているものの、畑作の一般圃場については不十分である。これは工事費に関係するからである。重度の排水不良地の場合は、工事費が高額であっても、生産性が飛躍的に高まれば、採算はとれる。これに対し、軽度の場合は元々あまり生産性は低くないので、同じ経費であつては、穴埋めすることにはならない。結局、投資する価値はないとして放置されているのが現実である。

畑作の一般圃場が排水不良で全く問題がないかといえば、時代の推移で情勢は変わりつつある。畜力時代には、局地的な排水不良は特段支障なく作業できたとしても、トラクタ時代には、埋没の危険性があり、完全に干上り、地耐力が付くまでは作業に入れない。そのことのために全

体の適期作業を逸する事態となる。豪雨が数日続き、圃場の凹部が幾つか池状を呈したとする。畜力時代はその部分だけの被害にとどまったものが、トラクタ時代には適期作業ができないままに、全体に被害を及ぼしてしまうのである。

局地といえども排水を良好にしなければならない情勢にあつて、重度の排水不良地と同じ工事費をかけるわけにはゆかないとすれば、ここに何か一工夫が要る。すなわち基盤を整備し、明渠を掘らずに局所排水が可能かどうかである。排水には明渠に排水させるだけでなく、地下に浸透させる考え方もある。ポウリング技術が発達しているのだから、地下に排水することは、現在においては比較的容易である。いわゆる縦暗渠の発想で局所排水を試みるのもこの場合は便法であろう。滞水中央部を地下に穿孔し、普通暗渠を連結することによって局所排水は可能である。

2) 縦暗渠が成立する立地条件

湿性型火山性土壌の圃場は、高台であっても局所滞水の被害を受けやすい。下層がグライ層で占められているからである。しかし、全く砂利層がないわけではなく、この砂利層に縦暗渠を到達させればよい。普通暗渠を介しての排水であれば、十分に濾過されているので、地下水を汚染することにはならない。案外、簡易工法で、局所滞水の問題を解決すると考えられた。

局所滞水は、湿性型火山性土や沖積土地帯にのみ発生するものではない。排水性の良好な乾性型火山性土地帯でもみられる。近年、農道が整備され、路床が高くなるとそれが堰堤となって滞水する例が多くみられる。降雨量の多い年には、この問題解決が強い要望となって提起されている。この場合は、全く滞水しなかった場所が滞水するので始末が悪い。排水路を設けようにも設ける方策がないのである。道路公害として提起されながらも解決のしようがないのが現実である。では縦暗渠法ではどうか。乾性型火山性土の場合は、砂利層が浅いので湿性型火山性土より工事はしやすいといえる。縦暗渠によって懸案の課題を解決できるとも考えられる。

* 北海道立中央農業試験場

3) 縦暗渠による水の効率的利用

縦暗渠法が成立するかしないかは、実験をしてみないと結論は得ない。穿孔することによって湧水するような場所は避けなければならないであろうし、地質調査を充分に行って条件設定を整備する必要がある。しかし、縦暗渠法は、単純な局部排水にとどまらず、水の涵養に役立つ可能性のあることを考慮すると、実験範囲を広めて実用性を検討する価値を認める。というのは、わが国は降雨量が多く、排水性を良好にするのが重点課題といながら、湿潤に苦しむ一方では、水不足にも苦しみ始めてきているからである。土地の開発が進展すると、水を涵養する場所が少なくなっているからである。河川改修がこれに拍車をかけている。例えば、十勝川の例で、かつては常時、舟を交通の便として使うことができたといわれる。降雨量は明治も昭和もほとんど同じであるのに、水を湛えていることは少ない。降雨があると水は一気に流れ去っているからである。水が貯められることがなければ、増水期と渇水期の区別が明らかになり、当然、ある時期には水不足を来してしまう。都市が発達して地下水に不足するのは、これは利用度が烈しいからである。郡部では利用することなく地下水位が下ってきて、家庭用水、農業用水に苦しむというのは問題である。開発を推進しながらも、水を涵養する手段を構ずる必要がある。水の涵養に幾分役立っていた防風林も、根菜類の作付けが進むと同時に機械の効率利用、土地の利用拡大の名目で伐採されつつある。どうすれば新しい仕組みで水を涵養できるか、縦暗渠は見方を変えれば、地下に水を涵養するといえないこともない。地下水となれば、流失にタイムラグを作ることができ、伏流水となって再利用することも可能であり、水の適正調整が農業生産の豊かさを保証するものであれば、真剣に対応してみる価値を認める。もちろん、地下水涵養の発想は、明渠にも適用されるべきである。ある個所で地下に浸透させることができれば、水を有効に利用することができ、かつ、膨大な明渠工事費を節減することも可能であろう。

河川に常に水を湛えることは、効率的な水利用を意味するものである。河川改修だけが文明というものではなく、水の豊かさを誇れるものではなくてはならない。また、水の豊かさは、自然の浄化を意味しているからであり、生活の根源として水を粗末に扱うことは許されない。縦暗渠の発想が水の利用に飛躍したが、縦暗渠法は多くの可能性を秘めて、今後の技術開発研究に期するところ大である。

2 縦暗渠の設計

現在、わが国で立暗渠、縦型暗渠などと呼ばれているものがあるが、これは排水を地下に誘導するものではなく、湧水対策に考案されたものである。湧水が地表に出

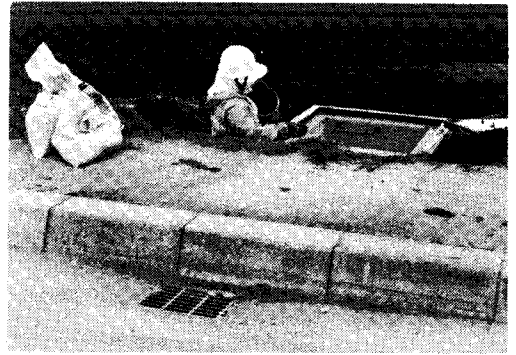


写真1 道路の排水浸透升工事

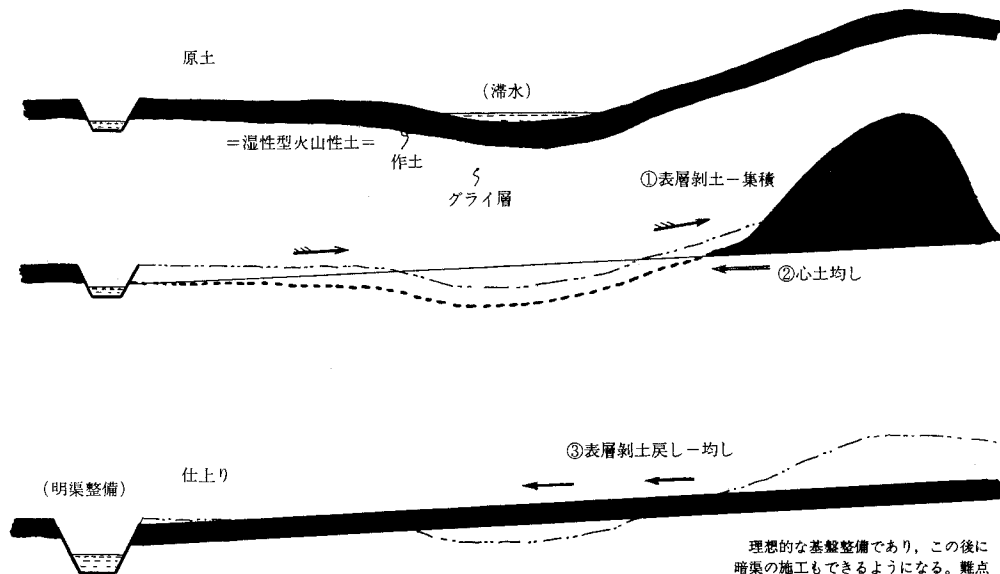
ると湿地と化すので、パイプを打ち込み、普通暗渠に接続して湧水を地表に出さず、集水して明渠に導いてしまうものである。いわゆる湧水暗渠であり、地下層暗渠である。これを立暗渠、縦型暗渠というべきかどうかは疑問の残るところであるが、慣用化している。

ここでいう縦暗渠は、作土内の余剰水を埋設パイプに集水、明渠に導いて排水する普通暗渠の横型に対して、排水管を地下に打ち込み、縦方向に排水しようとするものである。縦に排水することから敢えて縦暗渠とした。

そもその発想は、縦浸透という言葉からであり、舗装道路工事等の浸透升から出発したものである。写真1にみられるように、舗装道路の水は、流れに委せることはできない。下水道、河川等に導いて処理しなければならないものである。下水道も河川もなかった場合にはどうするかといえば、基準に従って浸透升を設け、地下に浸透させて他所に流出しないようにしている。

建築物の場合も同様である。大きな倉庫を建設したとすると、屋根の水を勝手に流すことはできない。屋根の面積に応じ浸透升を設けることになっている。余剰水を地下に浸透させることは、水の涵養でもあるとすれば、農地にも適用させるべきと当然考えられてくる。

これ迄の農地の排水事業は、基盤を整備し、暗渠を入れ、明渠を掘削して排水するものがほとんどであった。泥炭地のように極度の排水不良地でほとんど作物の作れなかった場所では、経費をかけても生産性が高まれば、充分採算のとれる内容である。新たに土地を購入する費用に比較すれば安価であるからである。しかし、一般圃についてはそれほど高額な事業費は計上できない。前述したように、既にある程度の生産性はあり、排水改良のメリットが泥炭地のようには発現しないからである。一方、大型機械化は進み、局所排水不良でもそこが干上らない内はトラクタを入れることはできず、適期作業が困難になる等の問題を惹起してきている。図-1のような層厚調整事業で、完全整備すればよいということは判



図一 層厚調整法による農地基盤整備

っていても、軽度の波状地、凹凸であれば、とてもそれだけの経費をかけることはできない。

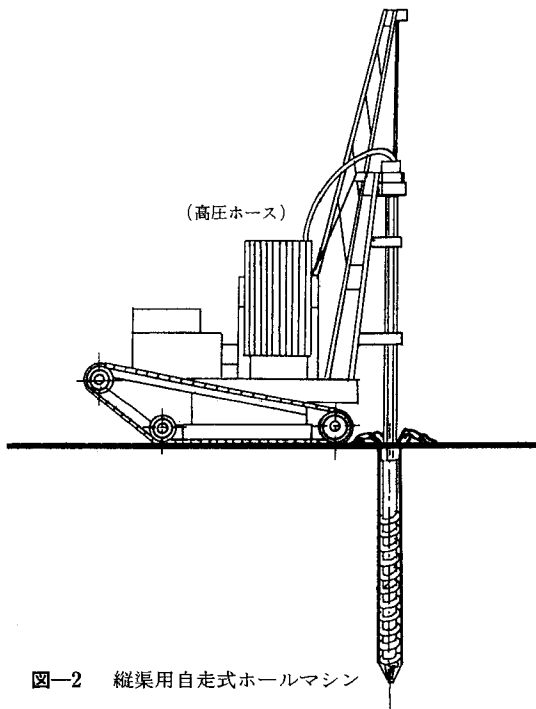
圃場の局所排水を安い事業費で行なうとすれば、浸透升を利用することになるが、この場合にも、道路や建築物のような経費をかけることはできない。簡易にということになれば、ポストホールマシンを用いて深く穿孔、地下の砂利層を浸透升にすればよいということになる。近年は電柱を建てるにも、スクリュオーガが用いられている。簡単に穿孔でき経費負担は少ない。大きなビルの建築にパイルを打ち込む時も、先にスクリュオーガで穿孔している。打ち込みの騒音公害を避けるためである。20mの穿孔も容易に行われる現状からすれば、移動型のポストホールマシンの開発に苦労するとは思えない。

浸透升になり得る砂利層は、地下何m位の処にあるかについては、場所によって異なり、今後の調査にまたねばならないが、井戸を掘削しているので、この時の砂利層の深さを調査すると、深い場合で約8mであった。10m穿孔で充分の深さと考えられる。乾性型火山性土の地帯は、一般に砂利層が浅いので、5m程度穿孔することによって目的を達しよう。

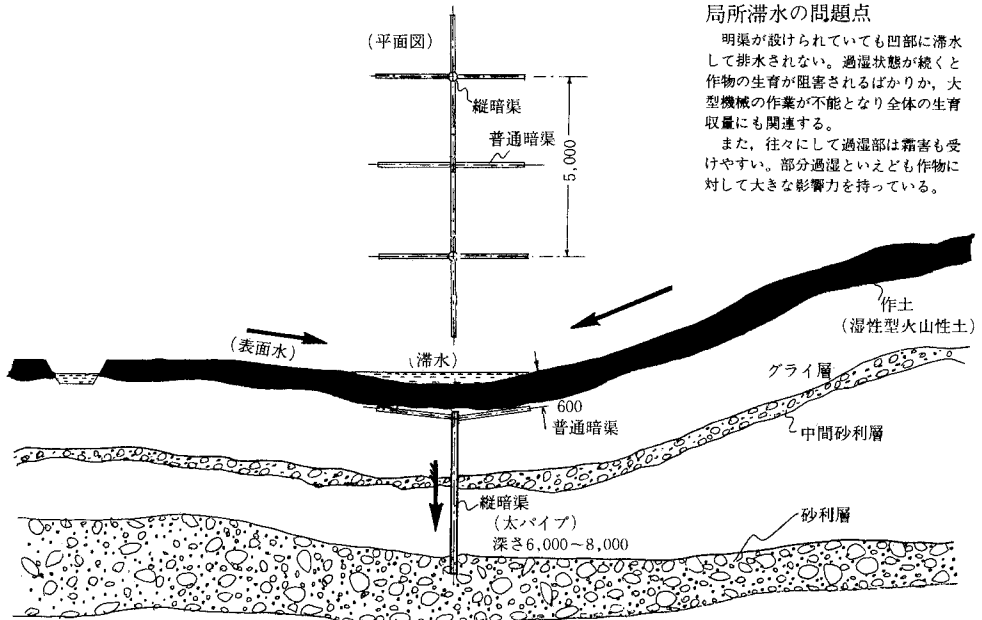
図一に現在使われているホールマシン例を示した。6m深の穿孔は可能である。軟弱路盤上に建物を建築する場合、地耐力を付けるためにパイルを打ち込むためにも利用されている。深さを増す場合には、若干の改良を加えることによって10mの穿孔も不可能ではない。

孔の大きさは200mmφで充分と考えている。縦暗渠のパイプ径を100~150mmφの設計にしているためである。パイプを用いずに砂利等を投入する構想もあるが、この

場合は300mmφ以上の穿孔を必要としよう。縦暗渠はパイプがよいか、砂利がよいかについてはこれからの研究にまたねばならない。経費的にはパイプの方が有利と考えられていても、疎水材を利用した補助暗渠の組合わせでは、排水効率面で砂利の縦暗渠が効果的とみられている。地形、地質、滞水の状態によって選定すべきともいえる。



図二 縦渠用自走式ホールマシン



局所滞水の問題点

明渠が設けられていても凹部に滞水して排水されない。過湿状態が続くと作物の生育が阻害されるばかりか、大型機械の作業が不能となり全体の生育収量にも関連する。

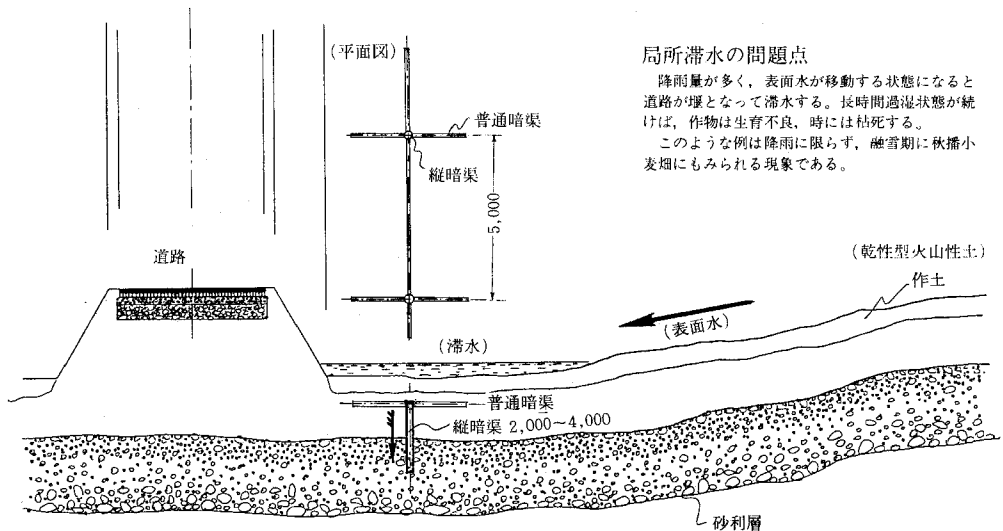
また、往々にして過湿部は霜害も受けやすい。部分過湿といえども作物に対して大きな影響力を持っている。

図-3 波状地(湿性型火山性土、沖積土)凹部水部の縦浸透排水法

図-3は縦暗渠の施工例である。滞水の中心部に5mの間隔で穿孔し、普通暗渠と連結する。迅速な排水を期そうとすれば、普通暗渠に疎水材を多く用いるなど工夫する。普通暗渠の深さは、600mm以上を必要とする。これは現在の大型機械化体系を前提にしてのことである。畑作においては踏圧の影響は、地下500mmに達する。数年毎にサブソイラで心土を破碎しなければならないので、暗渠が浅さければ、これを破損してしまうことになる。600

mm以上の深さにして排水性を良好にしようとするれば、前述のように疎水材を多く使うことであり、もみगराなど縦列に入っているものについては、心破作業に何等支障はなく、効率排水が可能となる。

図-4は道路が堰堤となって滞水する場合の縦暗渠排水施工例である。凹部滞水の施工にはほぼ準ずる。乾性型火山性土の場合、砂利層が浅いのが通例であり、縦暗渠をあまり深く穿孔する必要はない。普通暗渠も状況に



局所滞水の問題点

降雨量が多く、表面水が移動する状態になると道路が堰となって滞水する。長時間過湿状態が続けば、作物は生育不良、時には枯死する。

このような例は降雨に限らず、融雪期に秋播小麦畑にもみられる現象である。

図-4 路床下滞水部の縦浸透排水法

よっては間隔を疎にしても差し支えないと思われる。

地下水汚染の懸念については、前述の如く、暗渠を介した排水工法であるので心配はなく、普通暗渠に疎水材を多く用いたとしても、土壌を浸透、土壌を濾過材としての排水であり、地表水を直接地下に流し込んでいるものではない。暗渠排水の水が浄化されているものであることは知られており、この基本姿勢を崩していないので、問題を含むとは考えられない。

3 縦暗渠の現地試験

帯広市別府町は湿性型火山性土壌で占められている。グライ層が浅い場所では、例年湿害に苦しめられている。降雨があると滞水する場所を選び施工した。写真2は水圧式の穿孔機である。約6mで破り層に達し、写真3に

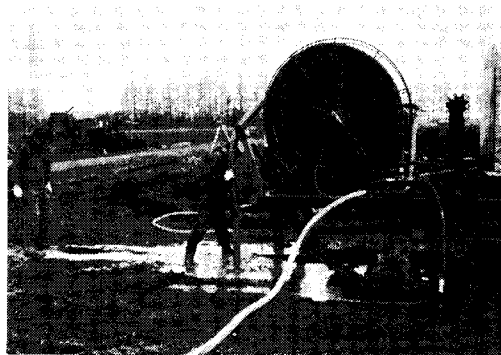


写真2 縦暗渠施工
—水圧式、注水しながら掘削—



写真3 縦暗渠と普通暗渠の接合
—縦暗渠周辺には木材チップスを充填した—

示されるように150mmφのコルゲートパイプを設置した。縦暗渠隙間にはチップスを充填してぐらつきを押えた。地上部まで突出しているが、これは観察のためである。通常は普通暗渠結合部の位置にとどまり、すべて埋設される。

58年は全道的な冷湿害年であった。寒冷地の基幹作物といわれるてん菜の減収が著しく、その対策が強く要望された。この機会を捉え、十勝支庁の協力を得て、59年5月に現地実施試験区を設定した。道立十勝農試の土壌肥料科と農業機械科が試験を担当している。残念ながら59年、60年は早魃年である。滞水するような降雨には恵まれず、効果を確認するには至っていない。ただし、60年の早春融雪期の状態を観察すると、例年、滞水が長期にわたるにも拘らず、滞水はみられず、全圃場ほぼ均一に乾燥し、作付期を迎えた。縦暗渠の効果と考えられている。また、融雪の初期に（土壌は凍結している）観察口をあけて、試みに融雪水を流し込んでみたが、縦暗渠から溢れることもなく地下に流れ続けた。地下の砂利層を浸透升にして排水する構想は、あまり的を外してはいないと確信するに至っている。

冷湿害年が連続することは少なく、試験の結論を得るには時間を要しよう。しかし、これまで、喉元過ぎれば熱さ忘れるで、冷湿害年に大騒ぎしたものが翌年になって好天に恵まれるとすべて忘れてしまうのが常である。数年して、また冷湿害に見舞れると騒ぎ出すことの繰返しである。これまで実質的な対応は何一つとして進展しない。冷湿害年から対応をせまられれば、即実行して、年数をおいても必ずやってくるであろう冷湿害年に備えるものでなければならない。施工してから2年経過しているが、準備はできているので、時がくれば内容をまとめることができる。新しい局所排水施工法として成果を期したい。

4 結語

機械化作業体系が進展して、局所の排水不良といえども安易に考えることのできない時代になってきた。道路等の排水処理浸透升方式を参考に縦暗渠方式と考案、現地に試験区を設けた。施工後、早魃年が続いているので、未だ結論を得ないが、湧水のない条件下では効果的であり、これを保証しつつある。

農業にとって水の調整は、重要な課題である。技術が高度化しているとみられても、盲点は幾つもあり、それらは既成概念にとらわれることなく、新しい発想で対応されるべきものである。地下水涵養を兼ねて地表水の排水などという、誇大妄想の誇りも免れないが、水を大切に考える考えからすれば、笑って見過すことのできないものである。歴史をみても水を大切にしたい国が農業国として君臨し、生活を安定させ、文化の栄えをみる。過

剰水に苦しむばかりに、水を粗末にしてもよいということにならない。わが国はこれだけ水に恵まれながらも、家庭用水、農業用水にさえ不足する現象が除々に見受けられている事実を冷静に判断すべきである。縦暗渠工法はほんの思い付きである。しかし、歴史の変化に伴う新られている。この事実を冷静に受けとめておくべきであ

る。縦暗渠工法はほんの思い付きである。しかし、歴史の変化に伴う新しい治水に1つの示唆を与えているように思える。発想の転換が新しい水管理の事業に役立つことを願っている。

(1985. 10. 12受理)

土壌物理学と農家技術の谷間

川 原 祥 司*

学問としての土壌物理学は、特に基礎的研究の面では、高レベルにあると思う。しかし、現場の農業技術、いわゆる農家技術に関しては、土壌化学に比べると極めて低いと言わざるを得ない。

農業技術のなかで、施肥技術は最も重要な技術の一つであることは、衆目の認める所で、各作物毎、地域別に全国で施肥基準が設定されている。この施肥基準は長い歳月をかけて、農業試験場を主体に農業の研究機関が作り上げたものだが、現場の農家の施肥は施肥基準が守られているとはいえない現状にある。この理由は、後で詳しく述べるが化学性のみ重視され、物理性の面が不十分であると考えられる。例えば、サーベヤーの人達の膨大な努力による詳細な土壌図が完成しているが、この成果は施肥基準にほとんど活用されていない、北海道の畑作の例を上げると、土壌は沖積土、洪積土、火山性土、泥炭土の4種で作られている。

土壌を細く分類する事に研究の主眼をおいたサーベヤーの思想と、土壌の種類を出来るだけ大きく包括しようとする土壌肥料プロパーの思想との相異の結果とも考えるが、最も大きな要因は、両部門をサポートする立場にある土壌物理部門の現場での応用面の研究が欠落していたためと思う。以上、感じている一端を述べたが次に農家が守れる施肥基準作成について考えてみたい。

施肥基準はもともと作物を栽培する際の施肥の目安であって、農家各自が自分の圃場に合せて自由に施肥すれば良い、との意見があり、この考え方が現在の主流であろう。しかし、基準は守るべきものであり、農家が守れるようなものにすべきと考える。世界の穀物の大生産地であるアメリカやソ連のウクライナ地方では施肥基準が守られていると聞く、これは、耕作期間の降水量が我国の2分の1以下であり、雨による養分の流亡が少ないことが守られる原因の一つと考えられる。

施肥技術とは作物の必要な養分を作物が必要な時期に必要な量を与える事で、作物吸収と流亡量の合計量が施肥の適量である。

作物を栽培する耕地は、言うまでも無く性質の異なる

土層が何層か重なって成立っている。作土が同じ沖積土でも下層は礫質から細粒質まで所により大きく異なる。火山性土にしても下層の厚さ、ローム層の出現位置など所により異なる。

実際の作物栽培を馬鈴薯を例に考えてみると、作土が同じであっても、下層が礫層か細粒質の透水の悪い土層かで生育、収量は異なり、特に降水量の多い年では大差となる。

現在の施肥基準は降雨による養分の流亡量に関する検討が不十分で、このことが農家が施肥基準を守らない最大の理由となっている。

具体的な研究方法としては、北海道の例を考えると、土壌図を活用して、現在施肥基準が示されている、沖積土、洪積土、火山性土、泥炭土の各土壌に分け、各々の土壌統毎に現地圃場の透水性と養分流亡の関係を明らかにし、その強度別に分類する。強度の分類の一例を示すと、流亡量が大きくて短期間で追肥するか、緩効性肥料を使わなければならないものを強度4、標肥の10%程度の増肥で良いものを強度3、標肥のものを強度2、標肥より10%程度減肥できるものを強度1とすると、この場合4×4の16に分類でき、土壌図を活用して施肥基準土壌図の作成ができる。農家は地図上から適正な施肥量を読み取れば良い事になる。以上述べた新しい施肥基準による農家への指導が行なわれると、収量、品質の極端なバラツキが解消され、また、極端な降雨があった場合の対策も可能となり、同時に施肥基準を守る農家も増加するものと確信する。

土壌物理の研究は、各土層の物理性を測定しても、ストレートに作物生育に結びつかず、作物を組入れた物理性の研究は困難な面が多い。土壌物理研究会の名簿を見ても、大学、国立研究機関で基礎的な面を研究する人の数に比べて、応用面を研究する地域農試の研究員の数が少ないと思う。

もっと応用面の研究を充実させる必要があると考える、それには、地域農試で土壌物理を研究する若い研究員の育成と研究出来る環境作りが大切である。

* 北海道立南農業試験場

筒井 迪夫著 緑と文明の構図

(東京大学出版会 昭和60年刊)
A 5版, 252 p p, 1,200円)

著者は林政学を専攻する研究者であるが、近年は「森林文化」あるいは「緑の文明」の唱導者として著名であり、本年4月に発足した「緑の文明学会」の副会長でもある。

本書は著者が折にふれ、主として林学、林業関係の雑誌、機関誌に発表してきた論説を編集して一本としたもので、4章に分け24の論説を取録している。四つの章はそれぞれ「緑の役割」、「緑をつくる理論」、「緑をつくる政策」、「これからの緑政策の方向」を主題として編まれている。

著者の立場が単なる自然保護論者のそれではないことは、林業という実業にかかわる研究者であることから明瞭であるが、ここでの所論には森林のもつ公益的機能の保全により大きい力点がおかれている。それはこれまでの「用材生産を柱に組み立てられてきた」わが国林政の明治以来の歩みに対する反省と、脱工業化段階に入りかけたわが国における森林機能への期待の変化とを背景としたものである。すなわち水と緑を保持し、人間の心身衛生環境を守る機能と、洪水を防ぎ国土の荒廃を防止して生活環境を保護する機能とが、木材生産機能と少なくとも同じ重要性を与えられねばならないという主張である。これが「伐る」と「伐らない」の2焦点林政といい、あるいは「物を作る林政と文化を創る林政との結合」といった表現でうたわれている。

今後の林業政策を扱った後半の議論の細部は、素人である評者には必ずしも十分当否を判断しがたいが、主要な主張は、上記した森林の公益的機能の大きさを前提とする限り、森林資源維持のための費用が、都市の住民までを含めて、その機能の受益者の全体で負担されるべきであるということであり、十分な説得力をもつ。

無い物ねだりになるかも知れないが、著者の所論の中で物足りなさを感じるのは、わが国の「森林文化」や「緑の文明」の確立を急務としながら、それが日本の外へは及んでいない点である。「国内の森林を整備し、充実することは、ひいて地球全体の緑を豊かにする第一歩である」というだけで果たしてよいのだろうか。たとえば、東南アジアの森林資源の今日の荒廃は、日本の林政や林業のあり方と全くかわりがないとはいえないであろう。極端な言い方をすれば、日本の緑が今日あるのは、東南アジアの緑を犠牲にしてのことではないのか。先づ魂より始めよということであるとは思いますが、危機的な状況にある熱帯圏の緑に、著者がいかなる思いで対しようとしているのかを知りたかった。

(久馬一剛)

北海道釧路支庁・根室支庁・根釧農業試験場：

釧路・根室管内における土層改良
のための土層類型区分

(昭和59年刊B 5判, 133pp.)

釧路支庁：釧路支庁管内土層断面写真集

(昭和59年刊 B 5判, 108pp.)

この二書は対をなして成立するもので、前者は土層類型区分の記載であり、後者は釧路支庁内の代表的209地点の土層断面のカラー写真である。

その内容は、①火山灰累層土の土層改良という農業土木事業のための大まかな土層分類(本書では土層類型区分)と②土層識別法および③土層類型区分ごとの土改良工法からなっている。

土層分類と農業土木工事との関係は、農業土木の側からみれば、ペドロジカル・エンジニアリングと呼ぶべき課題である。土壌学の側からは、農業土木はもっと土層分類を利用してもらいたいというところであろう。この問題の解決のための一つの通路として、土地改良の対象となる一定面積の地区を全体としてどう評価するかということがあるように思う。

その議論はさておいて、本書による土層分類と土層改良工法の原理は次の三点において、①粒径(粗粒土と細粒土の混合、軽石の除去)②保肥力(CECを高める細粒土の混合)③固定(燐酸吸収係数を中程度にするための混合と燐酸・石灰の投入)。これらを選択するに当り、「現在土層の特徴は、分析器機の開発により全分析をはじめ多くの分析値で表示されている。しかし、ここでは古くから用いられている粒径・保肥力・固定力の三つについて取り上げ、それを用いて土層区分の指標を行った。」という文章に対して、土壌学者は何というのだろうか。

かつて、重粘土の農業土木的改良が検討され、改良指針がつけられた。重粘土という土壌学用語はないのであるが、農業土木工事とともに使われてきた。本書による火山灰土の6種の類型区分も、重粘土問題の系列に入るものと思う。土層改良というエンジニアリングに沿って分類されたのである。

火山灰土や重粘土についてのこのような業績が積み重ねられて、土壌学と農業土木がまた一段とその間を縮めたものといえよう。そのいう意味においても、本書の意味を考えてみたい。

(須藤清次)

会 務 報 告

(昭和60年6月1日～昭和60年10月31日)

諸会議開催経過

1. 昭和59年度第1回評議員会(昭和60. 8. 22, 於明治大学)
 - [出席者] 前田, 相馬, 徳永, 石井, 河野, 田淵, 長谷川, 安富, 高橋, 矢野, 黒田(以上評議員), 長沢, 藤原, 矢沢(以上事務局)
 - 1) 役員(会計監査)の承認
 - 2) 新入会員の承認
 - 3) 第27回シンポジウムについて
 - 4) 事務報告
 - 5) その他
1. 事務局会議(昭和60. 9. 3, 於開発局土試)
 - [出席者] 斎藤, 相馬, 波多野
 - 1) 会誌52号について(編集, 査読)
 - 2) 第27回シンポジウムについて
3. 事務局会議(昭和60. 10. 1, 於北大)
 - [出席者] 相馬, 波多野, 藤原, 矢沢
 - 1) 第27回シンポジウムの運営について
 - 2) その他
4. 事務局会議(昭和60. 10. 16, 於北大)
 - [出席者] 相馬, 長沢, 波多野, 藤原, 矢沢
 - 1) 第27回シンポジウムの役割分担について
 - 2) その他
5. 昭和59年度第2回評議員会(昭和60. 10. 25, 於北大)
 - [出席者] 前田, 斎藤, 相馬, 馬場(徳永代理), 長谷川, 安富(以上評議員), 大垣, 岸(以上会計監査), 小川, 波多野, 長沢, 矢沢(以上事務局)
 - 1) 昭和59年度事業報告
 - 2) 昭和59年度会計報告 ~承認
 - 3) 昭和59年度会計監査報告
 - 4) 会誌編集関係報告
 - 5) 昭和60年度事業計画
 - 6) 昭和60年度予算案 ~承認
 - 7) 新入会員の承認(正会員7名, 購読会員1件)
 - 8) 選挙管理委員の選出
 - 委員長: 梅田安治(北大農)
 - 委員: 藤原幸彦(北大農)
 - 9) その他
6. 昭和60年度総会(昭和60. 10. 25, 於北大)
 - 1) 議長選出~安富六郎氏(炭大)
 - 2) 経過報告
 - 3) 編集委員会報告

- 4) 昭和59年度決算案, 昭和60年度予算案~可決
- 5) 昭和59年度会計監査報告~承認
- 6) 昭和60年度事業計画
- 7) その他

会員の動向

1. 会員数(昭和60年10月30日現在)

地 区	会員数	地 区	会員数
正会員及び学生会員	628	京 都	13
北 海 道	65	大 阪	21
東 北	75	兵 庫	14
青 森	17	和 歌 山	1
岩 手	20	中国・四国	78
宮 城	10	鳥 取	19
秋 田	6	島 根	8
山 形	19	岡 山	6
福 島	3	広 島	10
関 東	220	山 口	7
茨 城	109	徳 島	1
栃 木	8	香 川	12
群 馬	5	愛 媛	9
埼 玉	15	高 知	6
千 葉	12	九 州	67
東 京	42	福 岡	15
神 奈 川	12	佐 賀	12
山 梨	4	長 崎	4
新 潟	13	大 分	2
中 部	67	熊 本	4
静 岡	10	宮 崎	11
愛 知	15	鹿 児 島	15
三 重	14	沖 縄	4
岐 阜	7	海 外	3
長 野	8	賛助会員	3
富 山	6	購読会員	51
石 川	6		
福 井	1		
近 畿	53		
滋 賀	4		
奈 良	0	合 計	682名

2. 新入会員

氏 名	会 員 種 別	連 絡 先
畠中 哲哉	(正)	082 北海道河西郡芽室町新生 北農試畑作部
渡辺 治郎	(正)	099-61 北海道紋別市小向 北農試重粘地研究室
佐々木長市	(正)	982-02 仙台市旗立2-2-1 宮城県農業短大

氏 名	会 員 種 別	連 絡 先
甲 谷 潤	(正)	610-11 京都市西京区大原野西境谷町2-9-21-104
喜 名 景 秀	(正)	903 那覇市首里崎山町4-222 沖縄県農試
浜 田 浩 正	(学生)	060 札幌市北区北9条西9丁目 北大農学部農業工学科
浦 部 速 明	(正)	105 東京都港区新橋5-30-7 国土防災技術(株)設画設計部
加 藤 成 一	(学生)	700 岡山市津島中1-1-1 岡山大学農学部農地整備研究室
中 本 洋	(正)	082 北海道河西郡芽室町新生 北海道立十勝農試土壌肥料科
高 尾 英 男	(正)	060 札幌市中央区北3条西4丁目 札幌第1合同庁舎内北海道開発局 農業調査課

3. 退会者

宮沢 篤(宮城), 本田宏一(茨城), 伊佐 務(三重), 久納康一(大阪), 三幣正己(千葉), 工藤正義(北海道), 岩田久史(愛知), 鈴木 昂(秋田), 金田雄二(静岡)

4. 住所変更

氏 名	旧	新しい連絡先
平 島 利 昭	北海道	329-27 栃木県那須郡西那須野町千本松768 草地試験場
藤 原 幸 彦	"	060 札幌市北区北9条西9丁目 北大農学部
田 中 伸 幸	山 形	990 山形市沼木2の1
鬼 鞍 豊	茨 城	68 茨城県牛久町刈谷5-83-4
高 橋 義 明	茨 城	305 茨城県稲敷郡茎崎町池の台2 畜産試験場生理部
中 石 克 哉	東 京	300-03 茨城県稲敷郡阿見町阿見3998茨城大学農学部
宮 崎 毅	香 川	305 茨城県筑波郡谷田部町観音台2-1-2 農土試
前 田 乾 一	茨 城	833 福岡県筑後市和泉496 九州農試
村 山 忠 一	"	171 東京都豊島区西池袋5-21-15 農用地開発公団宿舍
横 井 肇	"	300-12 茨城県稲敷郡茎崎町森の里73-16
阿 部 和 雄	"	277 千葉県柏市逆井1079-40
志 賀 一 一	"	305 茨城県筑波郡谷田部町観音台3-1-1 農環研
千 葉 豪	神 奈 川	150 東京都渋谷区神宮前2-34
湯 村 義 男	三 重	176 東京都練馬区北町2-25-20
板 木 利 隆	神 奈 川	259-12 神奈川県平塚市寺田縄496 神奈川県農総研
河 村 精	静 岡	426 静岡県藤枝郡瀬戸新屋362-1 志太榛原農林事務所

氏 名	旧	新しい連絡先
中 島 田 誠	"	898 鹿児島県枕崎市別府14041 茶業試験場枕崎支場
永 井 喜 和	滋 賀	522 滋賀県彦根市小泉町732
小 豆 沢 齊	島 根	699-07 島根県大社町杵築西1668-2 島根県農試大社試験地
佐 々 木 恭 輔	山 口	747-13 山口県山口市大字大内矢田730-19
岩 川 孝	高 知	789-03 高知県長岡郡大豊町中村大王3523-7 高知県山間農業試験場
古 賀 汎	福 岡	818 福岡県筑紫野市大字吉木587 福岡県農総試
久 津 那 浩 三	北 海 道	437-16 静岡県小笠郡浜岡町池新田字白砂9186-1 静岡大学農学部附属乾燥地農業実験実習施設
古 畑 哲	茨 城	721 広島県福山市西深津町6-12-1 中国農試
山 内 豊 聡	福 岡	813 福岡県福岡市東区松香台2 九州神業大学工学部
三井金属パ ーライト(株) 営業部東京 支店 (賛助会員)	(会員 名変更)	336 埼玉県浦和市沼影1-30-20

会計報告

60年度総会において、59年度決算案、60年度予算案が可決されました。

昭和59年度会計決算

(昭和59年10月31日現在)

	項 目	予 算 額	決 算 額	増 減	備 考
収入の部	繰越金	1,978,693	1,978,693	0	
	一般会費	2,292,000	2,435,500	143,500	744件
	購読会費	252,000	174,250	△ 77,750	43機関
	賛助会費	45,000	75,000	30,000	3社5件
	出版物売上	150,000	222,650	72,650	バックナンバー
	雑収入	50,000	55,822	5,822	利息, 広告料
	合 計	4,767,693	4,941,915	174,222	
支出の部	会誌製作費	3,000,000	2,121,500	878,500	会誌50, 51号
	総会費	430,000	476,585	△ 46,585	26回シンポジウム 304,060 27回シンポジウム 172,525
	通信費	250,000	151,775	98,225	
	文具費	60,000	48,840	11,160	
	賃金	50,000	26,900	23,100	会誌等発送, 事務整理手伝
	交通費	50,000	8,540	41,460	
	会議費	40,000	46,700	△ 6,700	評議員会, 会計監査
	幹事手当	40,000	40,000	0	4件
	編集委員会費	150,000	47,090	102,910	
	予備費	697,693	0	697,693	
	次年度繰越金		1,973,985	△ 1,973,985	
	合 計	4,767,693	4,941,915	△ 174,222	

昭和60年度土壌物理研究会予算

	項 目	予 算	備 考
収入の部	繰越金	1,973,985	
	一般会費	2,190,500	3,500円×623人, 2,000円×5人
	購読会費	247,500	4,500円×55件 (51機関)
	賛助会費	45,000	15,000円×3社
	出版物売上	10,000	
	雑収入	33,015	利息, 広告料
	合 計	4,500,000	
支出の部	会誌製作費	2,400,000	会誌52, 53, 54号 (各800,000)
	総会費	450,000	27回シンポジウム経費, 28回シンポジウム準備金
	通信費	250,000	
	文具費	50,000	
	賃金	40,000	会誌発送, 事務整理手伝
	交通費	30,000	
	会議費	50,000	
	幹事手当	40,000	
	編集委員会費	100,000	
	選挙管理委員会費	250,000	会員名簿印刷, 発送, 評議員選挙
予備費	840,000	会誌1回製作可能	
	合 計	4,500,000	

— 編 集 後 記 —

この冬はことのほかの厳しい寒さで、例年にない豪雪に困惑されている会員諸氏も多いことと思います。北海道も同様ですが、とくに道東地方でかなりの積雪があり、この時期としては珍らしいことです。

さて、北海道で会誌編集を担当して2度目の発刊となる第52号を、お手許にお届けします。会員諸氏にはひとかたならぬご協力をいただきながら、発刊の遅れましたことをお詫びします。

北海道の農地基盤の特質として、火山灰土・重粘土・泥炭などの特殊土壌が広く分布している点があげられますが、忘れてならないものに気象条件がありましょう。このなかには、冬季の積雪寒冷の問題がありますが、積雪と寒冷の兼ね合いによっては地盤に対する問題点が異

なってきます。しかしいずれにしろ、春季の圃場面の状態や作業時間の面で、営農上の制約を受ける点では共通しています。

それはさておき、春先きに雪の合間から顔をのぞかせる黒土をみる愉びはひとしおです。これに象徴されるように、冬の長い北国の私達には、春の訪れを待ちわびる気持は人一倍大きなものがあります。

次号では、昭和60年10月25日、札幌にて開催されました第27回シンポジウム(「汎用農地の土壌物理的諸問題」)の内容を特集する予定でございます。ご期待下さい。

最後に、会誌の充実をはかるうえで、会員の皆様のなご一層のご協力とご支援をお願い申し上げます。

(長沢 徹明)

SPAD[®]

Soil & Plant Analyzer Development

貫入式土壌硬度計

DIK-5520(自動記録型)

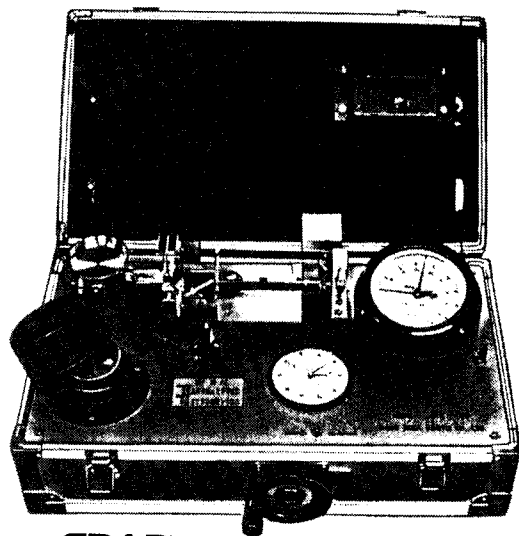
コーンを土にさし込むだけで、貫入抵抗が深さ毎に読み取れ、連続記録されます。

特長

- 穴を掘る必要がなく、記録部を手で回転させなくてもよい為、省力化できます。
- 同じ記録紙に重ねて測定できるので、土壌面における貫入抵抗の分布が確認できます。



SPAD 開発製品



SPAD 開発製品

土壌三相計

MII型 DIK-1100

RII型 DIK-1110

現場で簡単、迅速に土壌の三相分布が測定できます。

特長

- 試料の実容積をダイヤルゲージから直接読み取れます。
- 圧力を加える媒体がシリンダーなので、取り扱いが簡単です。

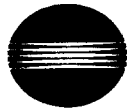
御用命を
お待ち申し上げます。



大起理化工業株式会社

〒116 東京都荒川区西尾久 7-60-3

TEL 03-810-2181(代表)



MINOLTA



豊かな収穫は
確かな育成管理から。

農村復興の父
二宮尊徳

農作物の育成は、
数値で管理する時代。

葉を傷めずに葉緑素をチェック。
追肥量のコントロールに役立ちます。

作物の葉を測定ヘッドに挿入し、ボタンを押すだけで含まれているクロロフィル(葉緑素)量を瞬時に測定。デジタルで表示します。これまでのように、作物を切りとって測定する必要もありません。得られたデータをもとに作物の栄養状態を知ることができ、追肥料のコントロールなどに活用できます。

栄養診断に役立つ
コンパクトな計測器
葉緑素計 **SPAD-501**

本器は、農林水産省農芸園芸局農産物の土壌・作物体分析機器開発事業(Soil & Plant Analyzer Development, 略称SPAD)による開発製品です。

作物や土壌の表面温度をチェック。
育成温度が管理できます。

-50℃~1000℃の幅広い温度域を、触れずに測定します。測定値は、フアインダー内にデジタルで表示されますから、測定する箇所を見ながら、同時に読みとれます。お茶や野菜、土壌などの温度管理に幅広くお役立てください。

待望の
非接触のデジタル
放射温度計 **IR-0510**

—姉妹品—
IR-630
(600℃~3000℃)
IR-308
(250℃~800℃)

お問い合わせ・ご用命は下記まで

ミノルタカメラ販売株式会社 産業特機部

〒104 東京都中央区銀座4丁目9番5号 TEL (03) 542-1269代

〒541 大阪市東区備後町2丁目45番地(日本精化ビル) TEL (06) 201-5851代