

水田の土壌構造発達のための新しい耕作法

とくに佐賀平野における水稲乾田直播栽培確立の基礎的土壌物理性の解明

誌名	佐賀県農業試験場研究報告 = Bulletin of the Saga Agricultural Experiment Station
ISSN	03888622
著者名	井手, 一浩
発行元	佐賀県農業試験場
巻/号	20号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-112
発行年月	1980年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



水田の土壤構造発達のための新しい耕作法—とくに佐賀平野における
水稲乾田直播栽培確立の基礎的土壤物理性の解明

井 手 一 浩

目 次

緒 言	1
第1章 水稲直播栽培の現状と問題点	3
1. 佐賀平野における水稲直播栽培とその問題点	3
(1) 佐賀県における水稲栽培様式の変化と現状	3
(2) 乾直水稲播種時期の気象条件—とくに降雨日数・降雨量と気温について	5
(3) 水稲乾直栽培上の問題点	5
2. 佐賀平野における水田土壌の特徴	7
(1) 佐賀平野における水田土壌の生成と地帯区分	7
(2) 主要な水田土壌区分	15
(3) 主要土壌断面形態と土壌の物理的性質	19
(4) 佐賀平野水田土壌の化学的性質	20
3. 摘 要	22
第2章 降雨による土膜の生成と土壌還元化が発芽・苗立ちにおよぼす影響	24
1. 降雨による土膜生成と固結化	24
(1) 土壌の種類と土塊の固結化	25
(2) 土壌の種類と土膜生成の様相	
2. 土膜の生成と土壌の還元化が水稲の発芽・苗立ちにおよぼす影響	38
(1) 降雨による土膜生成と発芽・発根の状態	38
(2) 土膜生成による種子圏土壌の還元化が発芽・発根におよぼす影響	45
3. 摘 要	48
第3章 耕起が土壤物理性と発芽・苗立ちにおよぼす影響	51
1. 耕起と降雨による土壤物理性の変化	51
(1) 圃場における降雨前後の孔隙・三相分布の変化	51
(2) 土壌の種類と耕起法が灌水後の土壤物理性におよぼす影響	53
2. 耕起法と発芽・苗立ちとの関係—耕起法と水分の多少が水稲の発芽・苗立ちに およぼす影響	54

3. 摘 要	59
第4章 浅層弾丸暗渠施工による土壤物理性（透水性と土壤構造）の改良	63
1. 耕起・代かきによる透水性の低下	63
(1) 耕起法が土壤透水性へおよぼす影響	63
(2) 地下水位低下条件下の耕起・代かきが透水性におよぼす影響	66
(3) 移植田と乾直田の降下浸透の相違	68
2. 弾丸暗渠による土壤構造の発達と透水性の改良	70
(1) 弾丸暗渠施工位置と亀裂生成	71
(2) 浅層弾丸暗渠施工に伴う亀裂・三層分布の変化	75
(3) 弾丸暗渠による透水性の改良	78
3. 摘 要	80
第5章 土壤物理性（透水性と構造）の改良が水稻生育におよぼす影響	82
1. 透水性の改良と発芽・苗立ち	82
2. 構造の発達と根系分布	83
(1) 構造の発達による根系分布と残根重	83
(2) 透水性付与と根系分布	87
(3) 新農法田と在来農法田における水稻根の分布	89
3. 摘 要	89
第6章 総合考察	91
1. 水稻直播栽培の現状と問題点	91
2. 降雨による土膜の生成と土壤還元化が発芽・苗立ちにおよぼす影響	93
3. 耕起法が土壤物理性と発芽・苗立ちにおよぼす影響	94
4. 浅層弾丸暗渠施工による土壤物理性（透水性と構造）の改良	96
5. 土壤物理性（透水性と構造）の改良が、水稻の生育におよぼす影響	97
あ と が き	99
文 献	102
要 約	110
SUMMARY	111

緒 言

最近の農業事情からみて、今日ほど我国農業の近代化が強く要請されているときはない。労働力不足の中で国際競争力を高め、農業経営を近代化するためには、土地生産性の増強をはかるとともに、極めて高い労働生産性をもたらす新技術の開発が必要である。

これに適した省力的で近代的な稲作技術は乾田直播（以下乾直と記す）栽培である。しかし乾直栽培は現在まで提唱され実施されたにもかかわらず、後記する障害のため全国的にもその栽培面積⁸²⁾は極めて少なく、我国水稻栽培総面積の約1.9%^{21,77.79)}で、52,129 ha（1975年）に過ぎず、ほとんど普及定着していない。

佐賀県的水稻乾直栽培状況^{79,95)}もほぼ同様で、その作付面積は全国で最も広く普及している岡山県に次ぐが、主として有明海西北岸の杵島平坦地区にみられるに過ぎない。他地区では農家の努力にもかかわらず種々の障害のため普及定着していない。

乾直栽培上の最大の技術的障害は耕起・播種後の降雨による発芽・苗立ちの不充分さにある。乾直水稻の播種時期は雨期のはじめにあたるが、この時期の雨^{74,75)}は我国をはじめアジア・モンスーン地帯の特徴でもある。古来アジア農業は梅雨時期の雨水を最大限に利用し、耕起代かきと畦塗りにより湛水し田植えによる稲作を発展させてきた。しかし雨に順応するだけの今までの技術では多労力農業から脱却できず、労働生産性の高い農業への進展は不可能である。永年この耕起・代かき・田植え方式で栽培管理されてきた佐賀平野水田は、透水性不良という物理的特徴をもたらし、乾直水稻にたいし播種後降雨による表面停滞水をまねき、表層の土膜生成とあいまって発芽・苗立ちの障害となってきた。もちろん乾直水稻にたいしてばかりでなく、水田裏作物にも排水と透水の不良による影響は甚大で、排水なしには裏作物の栽培も不可能である。

このように佐賀平野における乾直栽培確立のためには、なによりも透水性の付与を含めた水田土壌の物理性の改良が最も必要である。

我国の乾直栽培に関する既往の研究は多いが^{85,117)}、降雨に対処した土壌物理性の改良を乾直栽培体系に組入れたものはない。さらに降雨による土壌物理性の悪化を防止するため、降雨に対応できる方法も研究されていない。

本研究は水田土壌の各層位別の物理的性質の改良に重点をおき、耕起によっては避けがたい降雨による土壌構造の悪化をまねく点に着目し、降雨による土膜生成を防止するとともに、表層土と下層土の土壌構造の発達をもたらす方策の探究を目的とした。またこれらの土壌物理的要因が土壌中の水の動態、乾直水稻の発芽・苗立ちと根の生育におよぼす影響を解明し、土壌物理性の改良が水稻乾直栽培法確立の基礎となることを究明した。

第1章では佐賀平野水田における水稲乾直栽培上の第一の問題点が降雨による発芽・苗立ちの不良性にあることを指摘し、それが佐賀平野水田土壌の透水性不良に原因することを明らかにした。第2章では種子圏土壌の降雨による還元化が、発芽・苗立ちの不良化をまねく機作を究明し、第3章では耕起法の相違が土壌物理性や発芽・苗立ちにおよぼす影響を述べ、第4章では浅層弾丸暗渠施工による新方策が土壌物理性、とくに透水性と構造（亀裂）の発達に大きく寄与することを明らかにした。第5章ではその新土壌物理性改良法が生育に好影響をおよぼすことを実証した。さらにこの土壌物理性改良法を根幹とした、省力高生産性でしかも良質の米と麦の多収を目標とする栽培法（在来の実施してきた農法に対比して稲麦連続新農法と命名）を樹立したので、その原理と概要を簡単に紹介した。

第1章 水稲直播栽培の現状と問題点

水稲直播栽培は乾直と湛水直播（以下湛直と記す）に大別される。ともに育苗と田植作業を行わず、直接本田に種子を播くが、前者は乾田状態で、後者は代かき後湛水状態で播種するもので、この点が両者の最大の相違点である。

直播栽培の主目的の一つは生産性を高くすることである。したがって代かきを要する漏水田、または排水不可能の湿田や半湿田では湛直によらざるをえないが、これ以外の水田では代かき不用の省力化や機械導入の容易な乾直が有利である。

また暖地水田農業では夏作・冬作の連続二毛作栽培が可能である。このことは暖地水田農業の重要な特徴であると同時に、正常な農業経営形態でもある。それゆえ稲・麦連続栽培ができ、機械化一貫作業が可能な新農法の確立が要請される。今後、我国水田農業の近代化には、従来の多労力農業から脱却し、機械化し易い乾直栽培をとり入れ、透水性付与を阻害する代かき作業を廃し地力増強をはかりながら、良質多収をもたらす稲麦の連続栽培ができる一貫した農業技術を確立することが重要と考える。

以上の観点から乾直栽培を論ずるにあたり、佐賀県の水稲栽培の変遷と乾直栽培の現状や問題点を明らかにしておきたい。

1. 佐賀平野における水稲直播栽培とその問題点

(1) 佐賀県における水稲栽培様式の変化と現状

佐賀県の水田面積は戦後約58,000 haであったが、現在約54,000 haに減少している。(表1) 永い間水稲栽培様式は人力による移植であったが、1969年頃より田植機の導入後、急速に機械田植に変ってきた。1963年頃から直播栽培は県内各地の農家により試みられた。直播技術の発達は過渡期でもあり、多くの困難をともなったが、杵島平坦地区では乾直技術が比較的好く普及していった。さらに有明干拓における佐賀農試実験農場の実績によって、直播栽培はまとまった面積で実施され、1969年には1,000 haを越え、1973年には佐賀県水稲作付面積の12.6%にあたる5,780 haに達した。

現在までの水稲直播栽培の導入・普及の実態の地区別調査結果は表2のとおりである。これによると佐賀県の直播栽培は主に杵島平坦地区で実施され、定着初期の1969年には佐賀県直播水稲全面積の96%、1973年には90%、1974年でも82%と直播栽培面積の大部分を占めている。しかし1973年まで漸増してきた乾直面積が1974年から減少したが、この直接の原因は麦作が強く奨励・導入されたため、杵島平坦地区の乾直水田の一部が機械田植に変ったから

表1 佐賀県水田の水稻・麦類の作付面積と水稻栽培様式別面積の推移

年次	耕地面積田 ha	水稻作付面積 ha				4麦合計 子実用 作付面積 ha
		全面積	人力田植	機械田植	直播水稻	
1954	57,300	52,200	52,200			39,500
1955	57,400	54,400	54,400			36,650
1956	57,800	54,900	54,900			38,000
1957	57,800	55,000	55,000			34,050
1958	58,200	55,000	55,000			34,800
1959	58,100	55,000	55,000			35,000
1960	58,200	55,000	55,000			33,900
1961	58,500	55,100	55,100			32,800
1962	58,000	55,200	55,200			30,400
1963	58,400	55,300	55,300			29,500
1964	58,400	55,100	54,954		146	26,100
1965	58,200	54,900	54,732		168	24,100
1966	58,000	54,700	54,444		256	20,000
1967	57,500	54,500	54,098		402	19,300
1968	57,000	54,000	53,029		971	18,400
1969	56,600	53,600	51,200		2,400	19,300
1970	56,100	48,600	43,348	722	4,530	18,000
1971	55,100	44,600	35,648	4,826	4,126	17,000
1972	54,700	44,600	25,780	14,079	4,741	15,600
1973	54,200	45,800	25,943	20,163	5,780	7,600
1974	53,400	48,200	15,530	27,000	5,670	13,400

注 引用資料

1. 農林省農産園芸局農産課（1975）：直播稲作関係資料
2. 佐賀県農業水産部農産課（1964～1975）：水稻作付状況調査資料
3. 農林省農林経済局統計情報部（1974）：作物統計No.17農林統計協会（東京）

である。また従来の乾直栽培水田は地力減退のおそれがあること、これによる収量の停滞なども乾直水田面積減少の原因の一つである。

佐賀県の直播栽培様式は、湛直ではなく乾直が主体で、杵島平坦地区を中心に定着している点、大きな特徴といえよう。

表2 佐賀県水稲直播栽培面積中杵島平坦地区の占める割合

	1969		1970		1971		1972		1973		1974	
	面積 ha	割合 %	面積 ha	割合 %	面積 ha	割合 %	面積 ha	割合 %	面積 ha	割合 %	面積 ha	割合 %
杵島平坦地区	2305	96.0	3820	84.3	3390	82.2	9396	92.7	5167	89.9	4643	81.9
県下乾直面積合計	2400		4530		4126		4741		5780		5670	

注 引用資料

1. 佐賀県農業水産部農産課（1964～1975）

水稲作付状況調査資料

2. 農林省農林経済局統計情報部（1974）

作物統計No.17 農林統計協会（東京）P 190～196 P 254～263

(2) 乾直水稲播種時期の気象条件—とくに降雨日数、降水量と気温について—

佐賀県平坦部での水稲品種の乾直播種適期は気温・熟期・収量などの関係から5月中旬～6月中旬である。この時期の気象条件は佐賀気象台の記録^{74,75)}によると表3,4,5にしめすとおりである。すなわち気象台開設以来83年間の気象統計（1891～1974年）によれば、月別の総降雨日数は6月が最多で、7月と3月がこれに次ぎ、5月は9番目になる。総降水量は7月が最多、次いで6月、9月と5月がこれに次ぎ5月は4番目である。総降雨日数、降水量とも6月は極めて多く、降水量は5月も比較的多い。これらを乾直播種適期の5月15日～6月15日の1ヶ月間においてみると、降雨頻度は2.5日に1回、総降水量は199mmとなる。この播種適期中、前半の5月の17日間にくらべ後半の6月の15日間で、降雨頻度も高く降水量もはるかに多い。

平均気温は5月より6月にかけて上昇するが、5月15日～6月15日の播種適期の平均気温は約20℃である。

(3) 水稲乾直栽培上の問題点

播種適期中に降雨頻度と降雨量の多いことは、乾直栽培上の最大の問題点である。降雨時と降雨後数日間、水田の排水は一般に不良となるため、適正水分になるまで農作業はできない。したがって降雨頻度と降雨量が多いほど播種がおくれ、適期をのがす。次に播種後にも多くの問題^{22,24,37,38,39,83,85,117)}が指摘されている。第1には耕起・播種後の発芽・苗立ちの、降雨による土壌条件の変化による障害、第2は雑草防除の困難性である。その他冬作物収穫作業

表3 佐賀県における月別総降雨日数ならびに総降水量

— 83年間の平均(1891年~1974年) —

月	降雨日数 (日)	降水量 (mm)
1	13.7	65.4
2	12.6	66.2
3	14.1	108.8
4	13.3	177.9
5	12.4	181.1
6	15.9	309.2
7	14.6	327.1
8	12.4	180.1
9	13.0	187.6
10	9.3	90.0
11	10.5	74.5
12	12.7	54.1
合計	156.7	1822.0

注 引用資料

1. 西日本気象協会佐賀出張所(佐賀気象台内)
(1962): 佐賀県の気象(1891~1960の70年分)
西日本気象協会発行。53~244
2. 日本気象協会佐賀支部(1961~1973の13年分)
: 佐賀県気象月報。日本気象協会発行

表4 佐賀県における直播水稻播種適期間の総降雨日数ならびに総降水量

— 83年間の平均 —

期	間	降雨日数 (日)	降水量 (mm)
5月15日~	31日	6.1	85.9
6月1日~	15日	6.6	112.9
5月15日~	6月15日	12.7	198.8

注 引用資料 表3と同じ

表5 佐賀県における5月・6月および直播水稻播種適期間の平均気温ならびに積算温度

— 83年間の平均 —

	平均気温 (°C)	積算温度 (°C)
5月	18.8	581.2
6月	22.4	670.7
5月15日～ 30日	19.5	331.1
6月1日～ 15日	21.4	320.7
5月15日～6月15日	20.4	651.8

との競合、慣行水利との相違、堀の多い佐賀平坦地区における灌水後の水の横浸透による堀側畦畔の崩落、地力低下の懸念、鳥害などが指摘される。この中で本質的に重要なものは最初の二点、とりわけ降雨による発芽・苗立ちの障害^{37,38,83)}である。

佐賀平野水田における乾直の発芽・苗立ち状況の1963～70年の調査観察によれば、播種後の降雨による発芽・苗立ち不良の事例が多かった。これらの不良箇所を作土の土性別にみると埴埴土・壤土が最多、微砂質埴土・軽埴土がこれに次ぎ、重埴土は最少であった。地帯別にみると重埴土の杵島平坦地区水田では比較的良好であったが、相対的に土性の粗い佐賀平坦地区やその他の水田では極めて不良であった。

いずれにしてもこれらの現象は降雨の影響によるもので、一面からみると温暖多雨地帯水田の宿命とも考えられよう。

2. 佐賀平野における水田土壌の特徴

前述のように乾直栽培の定着には土壌条件が極めて密接に関連する。乾直不定着の原因は降雨により影響される土壌条件と考えられるので、その影響を回避できる条件の作成こそ急務である。よって佐賀平野水田土壌の生成過程とその性質を既往の成績^{23,52,96,97,98,99,100,105)}をもとに概括し、乾直と関連して土壌条件の特徴を明確にしておきたい。

(1) 佐賀平野における水田土壌の生成と地帯区分

主要な米作地帯をなす佐賀平野は、有明海北岸とその背後地、すなわち筑後川西岸一帯の佐賀・三養基平坦地区（以下一括して佐賀平坦地区と記す）および有明海西北岸とその背後地の杵島平坦地区とに二大別される。

佐賀平野の土壤は、図1の佐賀県地質図(53,111)、図2の佐賀平野干陸化過程図(105,115)や図3(52,96,97,98,99,100)、図4(81)の佐賀平野水田土壤図にしめすとおりである。

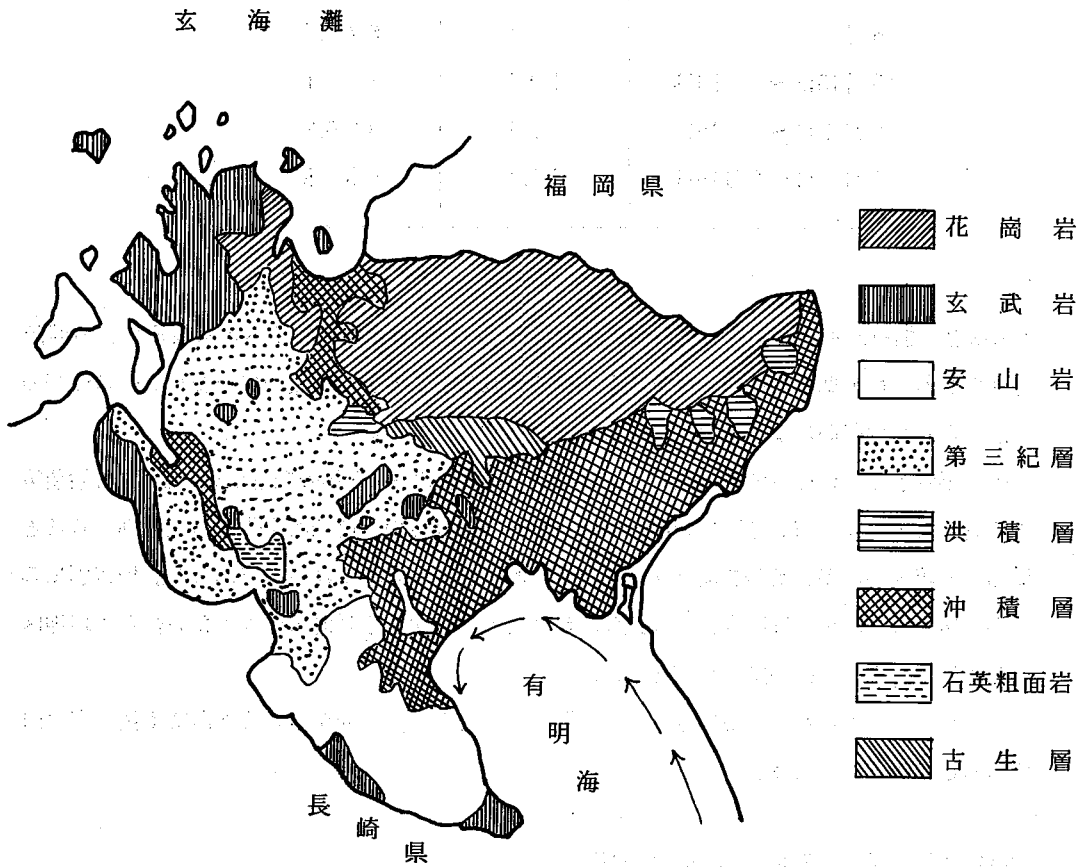


図1 佐賀県の地質と有明海海流

年代	年間	干陸面積 ka	年間平均 陸化面積ka	時代
年代不明	不明	30,000	—	自然陸化
800~1600	800	6,000	7.5	平安朝~戦国末期
1600~1870	270	5,928	22.0	江戸時代
1870~1910	40	924	23.1	明治時代
1910~1925	15	272	18.1	大正時代
1925~1945	20	885	44.4	昭和20年まで
1945~1964	19	975	51.3	" 39年まで
小計	1164	44,984	12.9	自然陸化を含まず
1964~現在	—	2,731	—	内 工事中1605, 計画中920.
合計	—	47,715	—	—

凡 例

地名 地名および和名抄郷名

△ 貝 塚

— 県 境

--- 海 岸 線

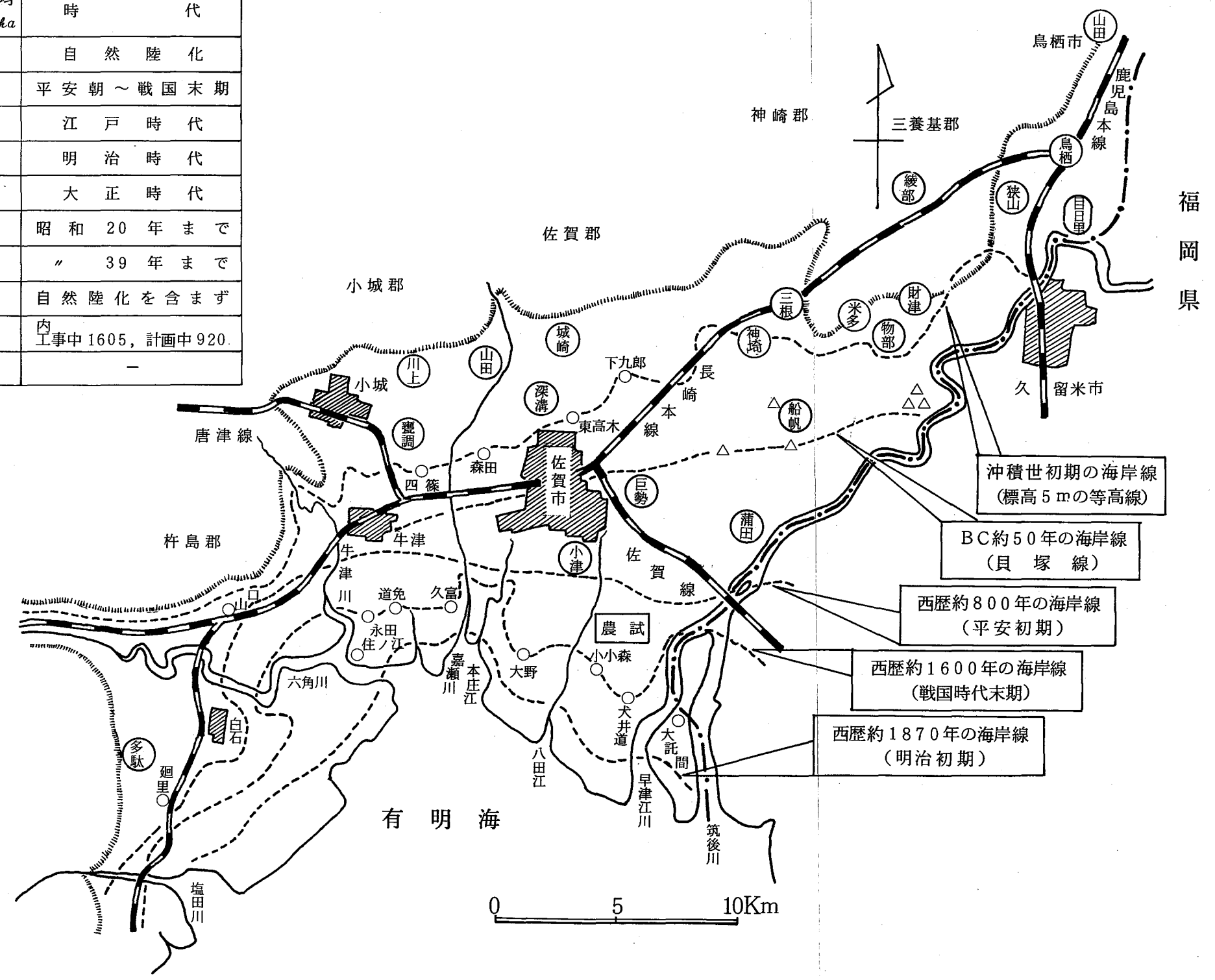


図2 佐賀平野の干陸化過程と海岸線の変遷

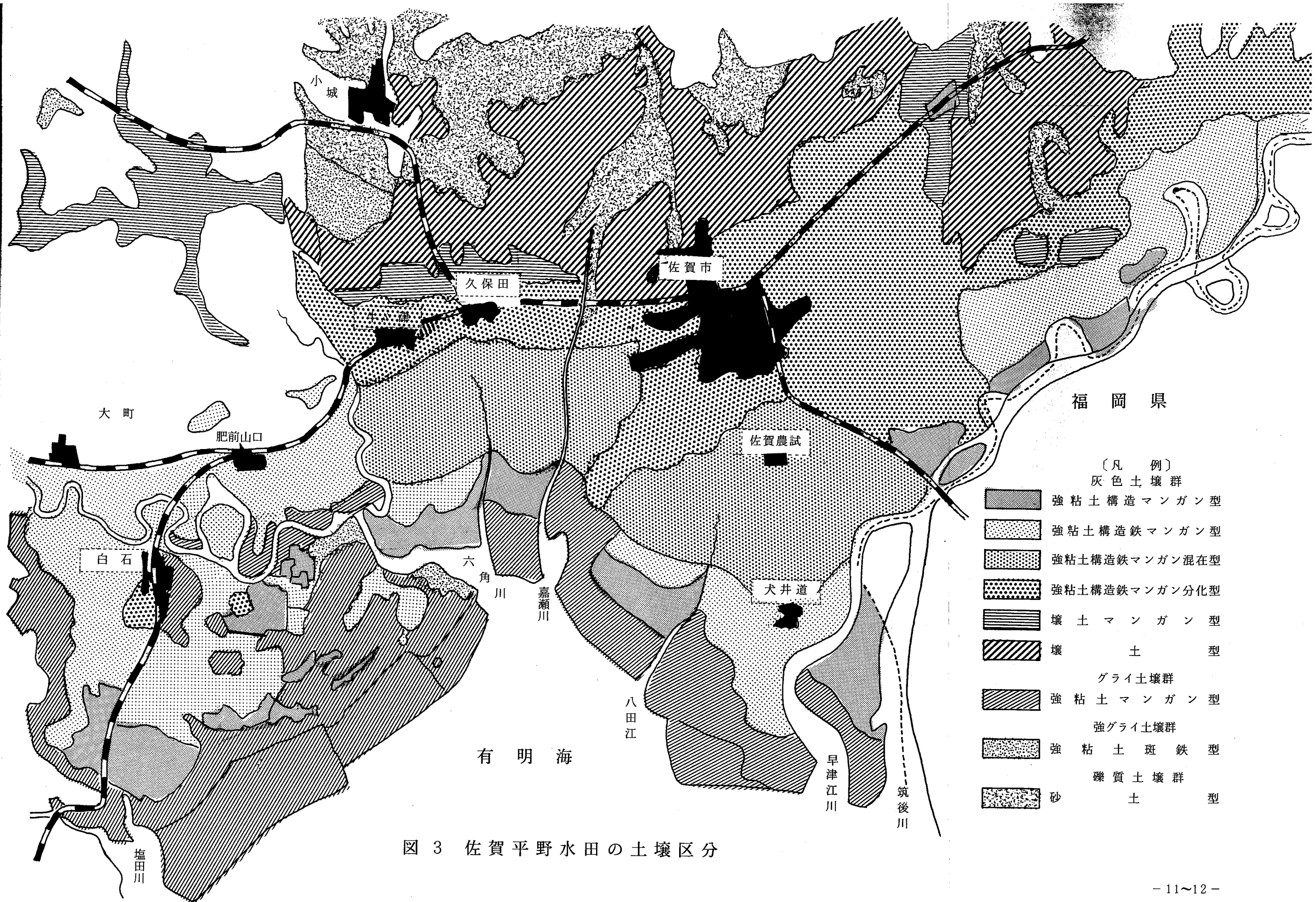


図 3 佐賀平野水田の土壤区分

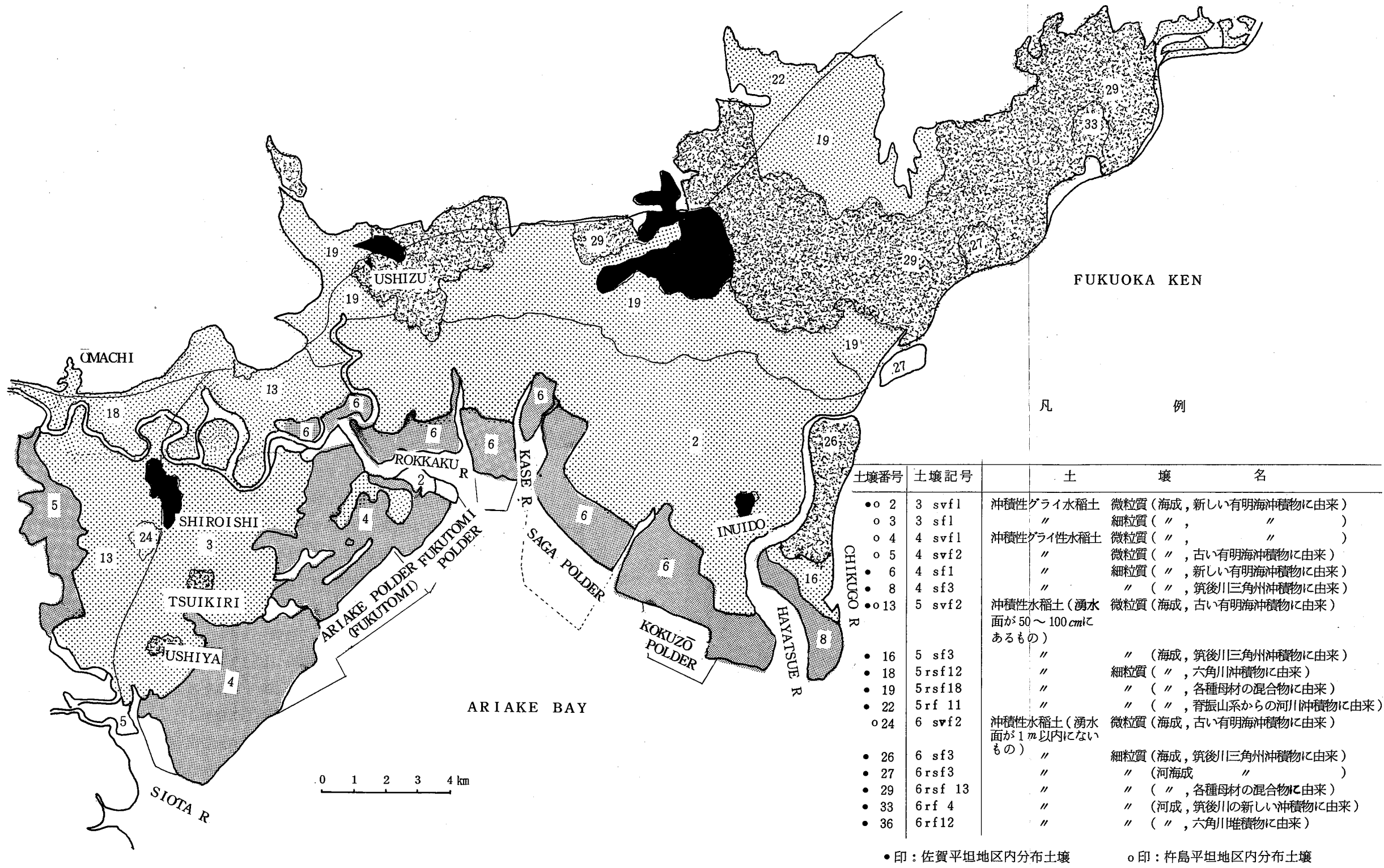


図4 有明海北岸佐賀平野重粘土水田地帯土壤図 (注 文献81より引用)

佐賀平坦地区の土壤は北部の河成と河海成沖積層の中粒質～細粒質土壤と、南部の有明海自然陸地および干拓による海成沖積層の細粒質～微粒質土壤よりなる。北部より南部へむかい壤質土壤から埴質土壤へと次第に移行し、作土も(L), 埴壤土(CL), 微砂質埴土(SiC), 軽埴土(LiC)の順に変化移行している。作土と作土下土壤の粘土は母材の多様化を反映し、カオリン鉱物, イライト, 14A°鉱物, モンモリロナイトなどからなる(4,5,6,8,45,46,48)。

他方杵島平坦地区では西方に安山岩よりなる標高の低い杵島山があり、河川がないため水田への影響はみられず、佐賀平野の干陸化過程図(図2)にしめすとおり、全地区ともほとんど有明海の自然陸化と人工干拓により形成された海成沖積微粒質土壤よりなり、全層を通じ重埴土(HC)で、作土でも50～60%またはそれ以上の粘土含量をもちモンモリロナイト鉱物を主とする。これは図1にしめすとおり、有明海の海流が時計の針の運動方向と反対方向^{53,111,115})に廻るため、筑後川やその他の河川より運積される比較的粗粒なものは有明海北岸佐賀平坦地区に沈積し、比較的微細な粒子が遠くまで浮遊し、有明海西北岸の杵島平坦地区に沈積するからである。したがって杵島平坦地区水田は微細粒子が多く重埴土となる。以上の理由で杵島平坦地区水田が佐賀平坦地区水田より、長期間にわたり微細粒子の堆積をうけ粘土含量も多い。

(2) 主要な水田土壤区分

佐賀平坦地区と杵島平坦地区の土壤を区分すれば次のとおりである。

施肥改善合理化の指針確立に関する調査研究での土壤分類方式(略して施肥改善方式による土壤分類と称す)^{96,97,98,99,100}によると11群51種の土壤類型中、佐賀平野で最も広い面積をもつものは灰色土壤群(当初は灰褐色土壤群)の61粘土質構造マンガ型と60強粘土構造型であるが、強粘土構造とマンガンの酸化沈積の両者を共有する土壤類型名がないので、この両者を合一した方が適切である。すなわち最も広い面積の埴質水田地帯は、すべてが強粘土で下層に構造が発達し鉄・マンガンの沈積物が多い。よって強粘土構造型を鉄・マンガンの酸化沈積物の配列により細分し、埴質水田土壤断面の特徴を活かして新分類案を提唱した。以後新分類法で土壤区分を行った。この分類法によると断面の溶脱・集積の状況、さらに土壤の生成過程が明らかになる。埴質水田の土性は微砂質埴土～重埴土で、下層は塊状と柱状構造がよく発達し、すべて強粘土構造の範囲にはいる。続いて鉄・マンガンの酸化沈積物の様相で区分し、土壤類型を水田土壤生成過程順にあげると次のとおりである。灰色土壤群の(1)強粘土構造マンガ型、(2)強粘土構造鉄・マンガ型〔作土直下に鉄の斑点が生成しかけたもので(1)の全部マンガ斑のものがさらに進んだもの、しかし(3)の未だ、鉄とマンガンの斑紋・結核が混在しない沈積様式〕、(3)強粘土構造鉄・マンガ混在型、(4)強粘土構造鉄・マンガ分化型の4種になる。つまり鉄・マンガ沈積物は、全部マンガ斑型→鉄・マンガ斑型→鉄・マンガ斑混在型→鉄・マンガ斑分化型に発達していく。

佐賀平坦地区水田の土壤類型を分布面積の広い順に列挙すると次のとおりである。

灰色土壤群

- ① 強粘土構造鉄・マンガン分化型(4)
- ② 強粘土構造鉄・マンガン混在型(3)
- ③ 壤土型(主として平坦北部)
- ④ 強粘土構造鉄・マンガン型(2)
- ⑤ 強粘土構造マンガン型(1)
- ⑥ 壤土マンガン型(平坦中部以北)

グライ土壤群(干拓地)

- ⑦ 強粘土マンガン型

杵島平坦地区水田はほとんど灰色土壤群の強粘土構造型に属し、鉄・マンガンの酸化沈積物に富む土壤類型である。分布面積の広い順に列挙すると次のとおりである。

グライ土壤群

- ① 強粘土マンガン型(干拓地, 杵島山麓部)

灰色土壤羅

- ② 強粘土構造鉄・マンガン型(2)(中央部)
- ③ 強粘土構造マンガン型(1)

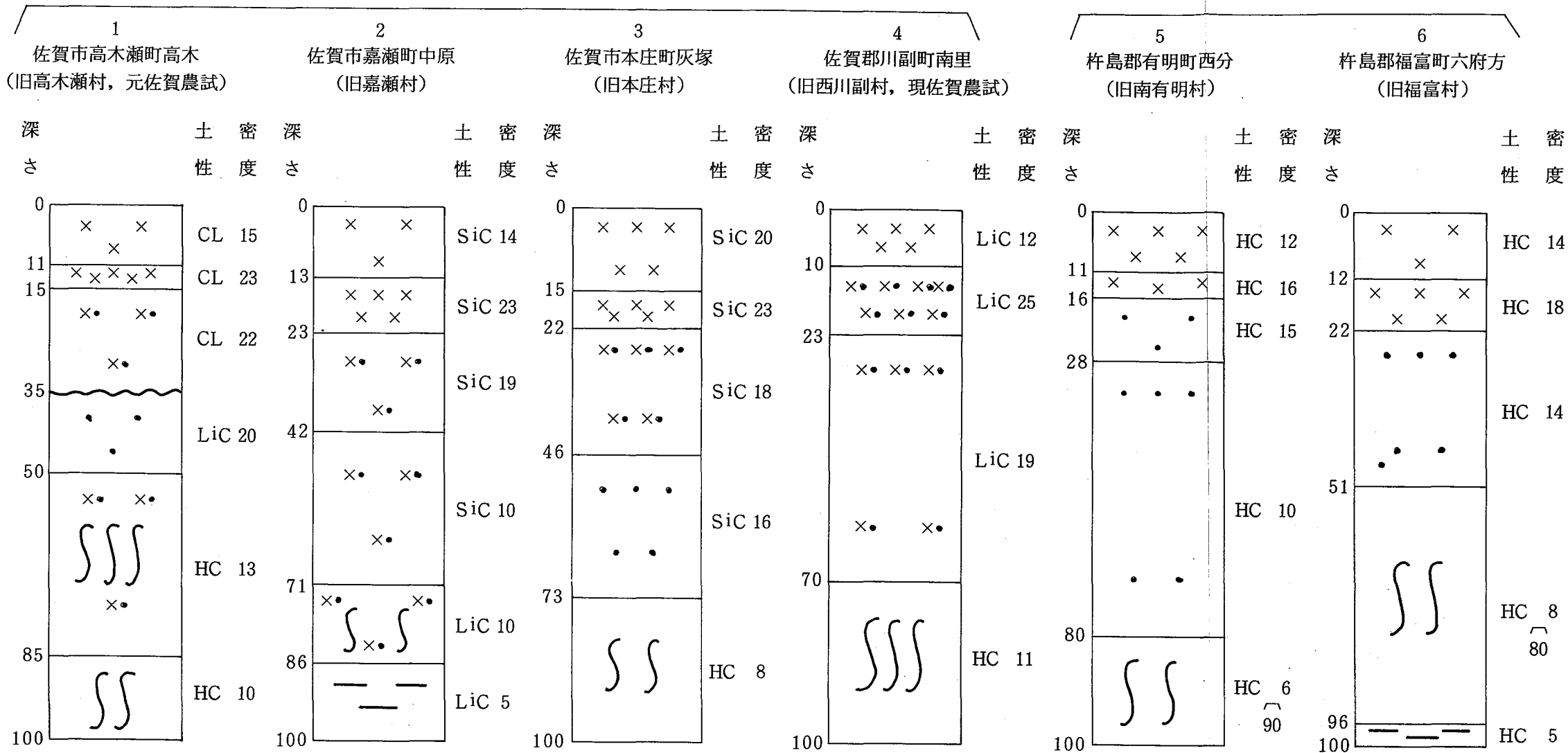
強グライ土壤群

- ④ 強粘土班鉄型(六角川沿岸旧干拓地)

灰色土壤群

- ⑤ 強粘土構造鉄・マンガン混在型(3)
- ⑥ 強粘土構造鉄・マンガン分化型(4)

一方菅野^{41,42,43,44,46)}の土壤分類によれば、有明海沿岸より背後地にかけて、生成的に比較的整然とグライ化の程度を異にした土壤が分布し、有明海浅海性堆積物の干陸化過程をつうじ水稻土は次のように分類されている^{41,42,43,44)}。すなわち最初に地下水型グライ水稻土(I型, II型)→中間型グライ性水稻土(III型)→表面水型グライ性水稻土(IV, V型)の順に分布し、地下水位の低下とともに鉄・マンガンの酸化沈積物が増加し、さらに鉄とマンガンの分化が進んでいく。なお海成沖積層より河海成・河成沖積層と年代が古くなるにしたがい、粘土含量が低下するとともに断面中の鉄・マンガンの溶脱が進む。すなわち佐賀平野水田は干拓



灰色土壌群 壤土型
および壤土マンガン型
表面水型グライ性
水稲土 Vd 型

灰色土壌群 強粘土
構造鉄・マンガン混在型
表面水型グライ性
水稲土 Vc 型

灰色土壌群 強粘土
構造鉄・マンガン型
表面水型グライ性
水稲土 Vb 型

灰色土壌群 強粘土
構造鉄・マンガン混在型
表面水型グライ性
水稲土 Vd 型

灰色土壌群 強粘土
構造鉄・マンガン型
表面水型グライ性
水稲土 Vb 型

灰色土壌群 強粘土
構造鉄・マンガン分化型
表面水型グライ性
水稲土 Vb 型

Apg / A12g / B1irmn / B2ir
/ B3irmn / B4ir / (G)

Apg / A12g
/ B1irmn ~ B3mnr / (G)

Apg / A12g / B1irmn
/ B2mn / (G)

Apg / A12g / B1irmn
/ B2ir / (G)

Apg / A12g / B1mn
/ B2mn / B3ir / (G)

Apg / A12ir / B1mn
/ B2ir / (G)

〔凡例〕

x x 鉄の斑紋含む
x x x 全 上 富む
x x x x 全 上 頗る 富む

. . . マンガンの斑紋又は結核含む
. . . . 全 上 富む
. 全 上 頗る 富む

SS 脈状斑
— グライ層
∩ 湧水面

図 5 佐賀平野水田の主要な土壌断面形態

地より背後地にかけてⅡ型：Apg (ApgG) - G, Ⅲ型：Apg (ApgG) - A12g (A12G) - Bg G-G, Ⅳ型：Apg - A12g - B1g - B2g G, Ⅴ型：Apg - A12g - B1g - B2g - Gの基本型どおりに土壤生成が進行している。

佐賀平坦地区に広く分布している土壤の主なものをあげると次のとおりである。すなわち表面水型グライ性水稻土であるVC型 (Apg - A12g - B1mnir - G), Vb型 (Apg - A12g - B1ir - B2mn - (G)), Va型 (Apg - A12g - B1mn - B2mn - (G)) が広く分布し、次いでVa型 (Apg - A12g - B1ir - B2ir - (G)) や表面水型グライ性水稻土のIVb型 (Apg - A12g - B1ir - B2mn - B3g G - G) とIVa型 (Apg - A12g - B1mn - B2g G - G) である。また本地区の有明海沿岸干拓地水田は、同じく中間型グライ性水稻土Ⅲ型 (Apg - A12g - BgG - G) が小面積存在している。

杵島平坦地区でも同じくVa型, Vb型次いでIVa型, IVb型の分布が広い面積を占め、次いでⅢ型が有明海と六角川河口沿岸や杵島山麓沿いに分布している。

以上、佐賀平野は佐賀・三養基平坦地区と杵島平坦地区からなっているが、この両者とも多くの土壤類型を有している。本報告で述べる多くの実験には、その代表的・特徴的なもの土壤を供試した。図5にあげている主要な水田土壤断面形態も、すべてこれらの代表をとったものである。

(3) 主要土壤断面形態と土壤の物理的性質

佐賀平坦地区北部～中部に分布する河成と河海成中・細粒質水田作土の土性は壤土～埴埴土である。佐賀平坦地区南部と杵島平坦地区の海成微粒質水田作土の土性は微砂質埴土～重埴土、下方にむかいさらに微粒になる。

すべての断面をつうじ、最も顕著な形態の特徴の一つは作土直下の鋤床層 (A12g層) の存在である。佐賀・杵島両平坦地区水田の代表的土壤断面形態を図5にあげる。いずれも鋤床層と比較的厚い酸化的集積層 (B1g層) の緻密な固い層がある。我国の水田は古くより作土を耕起し、代かき、湛水による田植作業を繰り返してきたので、必然的に鋤床層が発達した。この緊密ではば不透水性の鋤床層は湛水に便利な反面、植物生育に重要な土壤構造の発達には極めて不利である。瀧島らの実験結果¹¹⁰⁾からも水稻根の伸長を制限する土層であると考えられる。なお佐賀平野水田土壤断面の他の特徴の一つは酸化的B1g層の下部に柱状構造が顕著に発達していることである。干拓直後や基盤整備工事で切り土をした水田を除き、鋤床層の厚さは5～10 cm, 酸化的集積層の厚さは一定しないが20～35 cmである。この両層とも極めて緊密で山中式硬度計のち密度は通常鋤床層が20～25 mmで、全層中最大である。酸化的集積層がこれに次ぎ約15～22 mmである。なお作土・鋤床層の気相率はともに比較的低い⁸¹⁾。しかも通

常透水係数はApg層とB1g層が $n \times 10^{-5}$ cm/sec, A12g層が $n \times 10^{-6} \sim 10^{-7}$ cm/secのオーダーを示し、ほぼ不透水層^{81,102)}となっている。このことは下層に柱状構造が著しく発達していることと共に、水田土壌断面形態の中で最も大きな特徴の一つである。このような物理的特徴は構造の発達を阻害し透水性不良^{81,102)}の原因となるのみならず作物根群の伸長、生育を抑制^{72,110)}するものと考えられる。

(4) 佐賀平野水田土壌の化学的性質

佐賀平野水田土壌の化学的性質を本県施肥改善事業土壌調査成績^{96,97,98,99,100)}より総合的にまとめると表6のとおりである。この表では佐賀平坦地区北部の河成・河海成中・細粒質水田土壌と、同地区南部及び杵島平坦地区全域の海成微粒質水田土壌に別けてしめた。

九州における一般的な無機質水田土壌^{40,105)}と比較すると次のとおりである。中・細粒質作土の全窒素は0.14～0.24%, 全炭素は1.3～2.3%で無機質水田土壌としては普通程度である。また塩基置換容量は11～17 m.e./100g, 置換性塩基は5～12 m.e./100gと普通ないしやや多い。したがって塩基飽和度も47～65%と普通程度で、作物生産基盤としての土壌の化学的性質は九州の無機質水田土壌の中では中庸の部類に属する。

他方、微粒質作土の全窒素は0.15～0.25%, 全炭素は1.6～2.5%で無機質水田土壌としてはやや高い。塩基置換容量は20～28 m.e./100gと比較的大きく、とくに杵島平坦地区作土は24～40 m.e./100g, 平均約30 m.e./100gと極めて大きい。また置換性塩基含量も13～21 m.e./100gと多く中でも置換性石灰が最も多い。よって塩基飽和度も61～74%と高い値をしめしている。九州の他の無機質水田土壌中では良好の部類に属する。

有明海干拓地土壌と干陸化土壌を対象として多くの研究^{49,50,51,55,116)}がなされている。中でも佐賀干拓地土壌とその背後地の干陸化土壌の、年代別による置換性塩基類の変化について、松尾英俊ら^{58,59)}は干拓後年数が進むにつれ、置換性苦土・加里・ソーダは減少し、結果として塩基飽和度も年数とともに減少し、また有効態珪酸量も年数とともに急速に減少するが、反面、置換性石灰とアンモニア生成量は年数とともに増加することを報告している。菅野一郎ら⁴⁷⁾は本県白石地方の干拓地土壌の発達について、干拓後の年次を経るにしたがい水田作土での湛水、還元によって可溶性成分は土層断面から次第に溶脱されるが、作土中の有機炭素・全炭素・有効態窒素と置換性石灰はかえって増大することを明らかにした。これらの原因は灌漑水中の石灰による土壌中の置換性石灰の富化以外に、耕作による有機物の施用、作物残滓の集積や石灰類の施用など、集約稲作農業の結果としている^{47,58,59)}。

干拓後の年数の推移と土壌の化学的性質の変化には上記のような関係があり、本県では有明海沿岸地帯に分布する微粒質水田土壌の干拓年次が最も新しく粘土量も多い。その他の有効態

表6 佐賀平野水田土壤の化学的性質

	中 細 粒 質 土	微 粒 質 土
土 性	L ~ CL	SiC ~ HC
pH (H ₂ O)	49 ~ 56 (46 ~ 65)	48 ~ 60 (45 ~ 70)
置換酸度 (Y ₁)	08 ~ 36 (02 ~ 40)	15 ~ 42 (0.75 ~ 6.0)
全 窒 素 %	0.14 ~ 0.24 (0.10 ~ 0.39)	0.15 ~ 0.25 (0.1 ~ 0.2)
全 炭 素 %	13 ~ 23 (1.1 ~ 2.9)	1.6 ~ 2.5 (0.7 ~ 3.0)
C/N 比	6 ~ 10 (5 ~ 12)	8 ~ 13 (5 ~ 17)
乾土効果 ^{mg} /乾土100g	5 ~ 9 (3 ~ 10)	5 ~ 10 (4 ~ 17)
地温上昇効果 ^{mg} /100g	3 ~ 8 (1.2 ~ 8)	4 ~ 8 (1 ~ 12)
遊離酸化鉄%	1.0 ~ 1.9 (1 ~ 2)	1.2 ~ 1.9 (1 ~ 2)
易還元性マンガン P.P.m	18 ~ 75 (7 ~ 80)	130 ~ 490 (40 ~ 800)
塩基置換容量me/100g	11 ~ 17 (11 ~ 21)	20 ~ 28 (18 ~ 400)
置換性塩基 me/100g	5 ~ 12 (3 ~ 15)	13 ~ 21 (11 ~ 28)
塩基飽和度 %	47 ~ 65 (27 ~ 70)	61 ~ 74 (58 ~ 80)
置換性石灰 me/100g	5 ~ 8 (4 ~ 9)	9 ~ 16 (7 ~ 23)
“ 苦土 ”	0.9 ~ 1.6 (0.6 ~ 2.0)	2.3 ~ 5.9 (1 ~ 10)
“ 加里 ”	0.2 ~ 0.6 (0.15 ~ 0.90)	0.37 ~ 1.00 (0.2 ~ 2.3)
吸収係数窒素 ^{mg} /100g	170 ~ 300 (100 ~ 337)	320 ~ 470 (280 ~ 540)
“ 磷酸 ”	490 ~ 710 (300 ~ 900)	850 ~ 1200 (640 ~ 1400)

注1. この分析値は平均的分布巾を表わし () 内は最低と最高値を示す

2. 引用資料：佐賀農試 (1957.1960.1963.1964.1965) 施肥改善事業土壤調査報告 (1) ~ (5)

養分も比較的多く、作物生産基盤としての土壤の化学的性質は極めて良好な状態にあるといえる。

3. 摘 要

佐賀県における水稲栽培様式中、乾直栽培の変遷とその意義を明らかにし、栽培の現状を述べた。さらにその技術的問題点をより深く解明するため、背景をなす佐賀平野の降雨条件と主要水田の土壌区分、土壌断面や物理的・化学的性質を明らかにした。それらの結果を要約すれば次のとおりである。

- (1) 水稲栽培様式は永年移植方式であったが、1969年頃より機械田植（稚苗移植）が普及し、1974年には作付面積の約50%に達した。他方乾直栽培は杵島平坦地区が主体で、1964年頃より次第に増え1974年には約5,670haとなった。そ後は次第に漸減の傾向にある。
- (2) 水稲乾直栽培の気象的問題点として、播種期間内（5月15日～6月15日）の高い降雨頻度（2.5日に1回）と多量の降水量（199mm）が、播種作業を含む農作業を困難にするとともに、播種後の降雨による発芽・苗立ちの不良化の大きな原因の一つとなっている。
- (3) 乾直栽培が佐賀平坦地区で定着せず、杵島平坦地区に定着している原因の一つは、土壌条件と密接に関連すると考えられる。すなわち降雨による発芽・苗立ちの不良化は、土性によって異なり微粒質地帯ほど少ない。他地区土壌よりも微粒質である杵島平坦地区土壌は、モンモリロナイトを主とする重粘土（粘土含量>50%）よりなり、凝集力が強く、乾くと強く固結し、播種後の降雨にも影響されにくい。これが乾直水稲の発芽・苗立ちを良好にし、乾直の定着を促進したと推定された。
- (4) 佐賀平野は佐賀平坦地区と杵島平坦地区に二大別され、佐賀平坦地区水田は北部の河成・河海成沖積水田と南部の有明海沿岸の海成沖積水田よりなる。杵島平坦地区いわゆる白石平野水田は全地区が有明海による海成沖積水田からなる。後者は前者より粘土含量が多く、またグライ層の高い土壌区が多い。

施肥改善方式による土壌類型別に分布面積順にあげると、佐賀平坦地区では灰色土壌群の強粘土構造鉄・マンガン分化型(4)、強粘土構造鉄・マンガン混在型(3)、壤土型、強粘土構造鉄・マンガン型(2)、強粘土構造マンガン型(1)、灰色土壌群の壤土マンガン型、グライ土壌群の強粘土マンガン型となり、杵島平坦地区ではグライ土壌群の強粘土マンガン型、同じく強粘土構造鉄・マンガン型(2)、灰色土壌群の強粘土構造マンガン型(1)、強グライ土壌群の強粘土斑鉄型、灰色土壌群の強粘土構造鉄・マンガン混在型(3)、強粘土構造鉄・マンガン分化型(4)となっている。

次に菅野の水稲土の分類によると、佐賀平坦地区は表面水型グライ性水稲土（V型）が最も広い面積を占め、IV型がこれに次いでいる。主なものから順にあげると次のとおりである。

Vc型〔Apg - A12g - A1mnir - G〕, Vb型〔Apg - A12g - B1ir - B2mn -(G)〕, Va型〔Apg - A12g - B1mn - B2mn -(G)〕, Ve型〔Apg - A12g - B1ir - B2ir -(G)〕, IVb型〔Apg - A12g - B1ir - B2mn - B3gG - G〕, IVa型〔Apg - A12g - B1mn - B2gG - G〕。また有明海干拓地水田にはⅢ型〔Apg - A12g - Bg G - G〕小面積に分布している。杵島平坦地区では表面水型グライ性水稻土(V型), IV型とⅢ型の両土壌型が広く分布している。総体的にみて佐賀平坦地区よりグライ層が高い。主な土壌型から列举すると, Va型, Vb型, IVa型, IVb型である。

(5) 乾直水稻栽培の最大の問題点は、降雨後の発芽・苗立ちの不良性にある。

佐賀平野の水田は作土層(Apg層)直下に鋤床層(A12g層), さらにその直下に酸化的集積層(B1g層)をもち、この鋤床層は密度が最も高くまた透水性が極めて小さい。さらに酸化的集積層も鋤床層に次いで密度は高く、透水性は小さい。この両層が水田の浸透排水を不良にする最大の原因をなすのみならず、土壌構造の発達を阻害している。これらが発芽・苗立ち不良化の最大の原因となっている。

(6) 佐賀平野水田土壌の化学的性質を佐賀平坦地区北部の中・細粒質土壌と同地区南部および杵島平坦地区全域の微粒質土壌に別けて総括的にとりまとめた。九州における一般的な無機質水田土壌とくらべて、中・細粒質作土では、全窒素、全炭素の含有率は普通程度、塩基置換容量、置換性塩基は普通ないしやや多く、塩基飽和度も普通程度で作物生産基盤としての土壌の化学的性質は、九州の無機質水田土壌中では中庸の部類に属する。一方、微粒質作土では全窒素・全炭素はやや高く、塩基置換容量、置換性塩基含量は極めて大きく、塩基飽和度も高い値を示し、九州の無機質水田土壌中では良好な部類に属する。

有明海に由来する干陸化または干拓後の水田土壌の化学的性質の変化は、年数が進むにしたがい置換性の苦土、加里、ソーダ及び塩基飽和度、有効態珪酸は減少するが、反面置換性石灰及び有効態窒素、アンモニア生成量、全炭素はかえって増大することが明らかにされている。本県では有明海沿岸地帯に分布する微粒質水田土壌の干拓年次は最も新しく、粘土量も有効態養分も多く、化学的性質は極めて良好な状態にある。

第2章 降雨による土^膜の生成と土壌の還元が 発芽・苗立ちにおよぼす影響

播種後の降雨による発芽・苗立ちの不良については若干指摘(22,39,77,83)されているが、その原因はほとんど究明されていない。とくにその主原因が降雨の土壌への影響に起因するという指摘や研究は、外国における二、三の研究(11,17,18,20,60,88)以外みるべきものはない。すなわち雨滴の衝撃により耕起土壌表層に緊密な薄層、薄皮またはクラストが形成されること、その結果、作土の通気・通水が不良となり、植生に重要な土壌構造を悪変させることが報告されている。我国においても耕土の表層に及ぼす雨滴の作用に関する一、二の研究はあるが、もっぱら土壌侵蝕、農地保全の面から進められた研究であり、いずれも直接植生へ関連するものはない。よって本研究では降雨の影響による耕土表層の土塊の崩壊・分散や土膜の生成、それによって惹起される水田作土、とくに種子圏土壌の還元が作物の発芽・苗立ちに及ぼす影響を実験的にしらべた。さらに降雨の土壌表面に及ぼす影響による、苗立ち不良の実態とその機作について試験と調査(29)を行った。

1. 降雨による土膜生成と固結化

佐賀平原地の、最も新しい有明海沿岸の干拓地水田から北部地区の古い水田土壌まで、南北にわたり供試土壌を採取した。本県にはほとんど分布していない火山灰水田土壌は、熊本県の火山灰土壌を供試した。

供試水田土壌(作土)の採取場所は次のとおりである。

三日月土壌：佐賀県小城郡三日月町佐織の水田、佐賀平坦北部に位置し沖積世初期に干陸化¹¹⁵⁾河成沖積砂壤土。

高木瀬土壌：佐賀県佐賀市高木瀬町高木の前佐賀農試水田、佐賀平坦中部に位置し、約2,000年前の干陸化¹¹⁵⁾河海成沖積層埴壤土。

川副土壌：佐賀県佐賀郡川副町南里の現佐賀農試水田、佐賀平坦南部に位置し開田後約800年を経過^{105,115)}した海成沖積層微砂質埴土。

有明干拓土壌：佐賀県杵島郡有明干拓地水田、開田後約20年⁵⁵⁾を経過した海成沖積層重埴土。

川副干拓土壌：佐賀県佐賀郡川副町川副干拓地水田、開田後約15年¹⁰⁵⁾を経過した海成沖積層軽埴土。

免田土壌：熊本県球磨郡免田町岩崎下の水田、火山灰質水田の埴壤土。

(1) 土壌の種類と土塊の固結化

1) 実験方法

i) 供試土壌および耕起による土塊分布

供試水田土壌（作土）の性質は表7-1、2のとおりである。

表7-1 供試土壌の粒度と全窒素・全炭素（乾土）

土壌の種類	粗砂 %	細砂 %	砂合計 %	微砂 %	粘度 %	土性	全窒素 N%	全炭素 C%
No.1 三日月土壌	28.9	40.7	69.6	14.2	16.1	砂壤土 SL	0.15	1.69
No.2 高木瀬土壌	24.9	16.6	41.5	34.6	24.0	埴壤土 CL	0.11	1.20
No.3 川副土壌	0.1	12.1	12.2	45.0	42.8	微砂質埴土 SiC	0.20	1.60
No.4 有明干拓土壌	0.0	1.9	1.9	36.2	61.9	重埴土 HC	0.22	1.86
No.5 川副干拓土壌	0.3	19.8	20.1	40.9	39.6	重埴土 LiC	0.23	2.18
No.6 免田土壌	16.1	27.3	43.4	33.7	22.9	埴壤土 CL	0.55	5.92

表7-2 供試土壌の塩基類

単位 m, e / 100 g 乾土

	置換性塩基					全塩基	置換容量
	石灰	苦土	加里	曹達	石灰/曹達		
No.1 三日月土壌	4.6	1.4	0.3	0.1	46.0	6.4	10.9
No.2 高木瀬土壌	6.6	0.8	0.2	0.1	66.7	7.7	15.2
No.3 川副土壌	9.6	7.2	0.5	0.9	11.0	18.2	27.2
No.4 有明干拓土壌	5.5	19.6	4.2	8.2	0.7	37.5	42.0
No.5 川副干拓土壌	13.7	13.9	2.8	2.1	6.5	22.5	34.7
No.6 免田土壌	11.7	1.9	0.4	-	-	14.0	20.3

作土の土性がCLである高木瀬水田（前佐賀農試圃場）と同じくSiCである川副水田（現佐賀農試圃場）において、同一のトラクター（芝浦S17型）を使用し、ほぼ同様の条件下で同様な耕起作業を行った。

ii) 降雨による土塊の崩壊実験

人工降雨の再現には不十分であるが、日農10ℓ如露または同如露口（日本農工用品K. K. 製，神戸）を使用した。

① ポット試験 表7中、No.1～No.4の風乾土を2連づつa/2,000ポットに15kgづつ

充填し移植鏝で地表下 10 cm を耕起・碎土し、硝子室で約 1 週間自然状態で放置した。このポットに各々 3 ℓ の水を高さ 50 cm より、楕円型をなす 28 cm² の面積に 0.3 mm の孔が、452 個ある小判型如露口付き日農 10 ℓ 如露で 50 秒間灌水し、土塊の崩壊および土膜生成状況を観察した。

- ② 枠試験 場内水田の埋込みコンクリート枠（内径 1.4 × 1.45 m = 2 m²）に地点 No.S・1, 2, 3, 5 の現地水田から各層位別に地表下 1 m までの土壌を採取し運搬重填した。その後 3 年間移植水稻均一栽培をした後、水田枠内作土を三本鍬で耕起採土し、約 1 週間自然状態で放置した。その後施肥播種し、水 20 ℓ づつを 2 回、水道につないだ日農 10 ℓ 如露用扇型如露口（扇型の面積 28 cm² に直径 0.3 mm の孔が 324 個つき）を用い計 6 分間灌水し、同じく土塊の崩壊と土膜生成状況を観察した。

iii 土壌の固結力ならびに土塊の崩壊分散の度合の測定方法

- ① 土壌の固結力 土壌の種類毎にこれらの土塊を、例えば写真 I-1 のように篩別し、一定条件で風乾して、その固結力を山中式油圧式圧着装置（No. 11, 山村製作所）を用い、圧碎抵抗（徐々に圧力を増し、土塊が砕けた時の kg/cm²）として測定した。

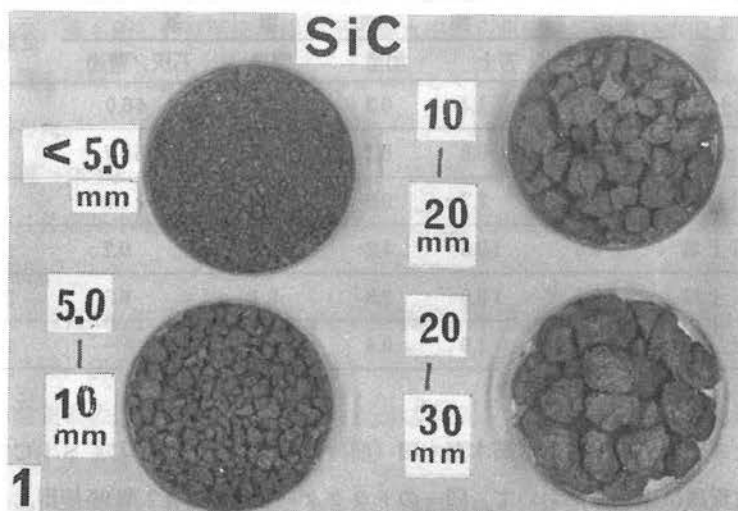
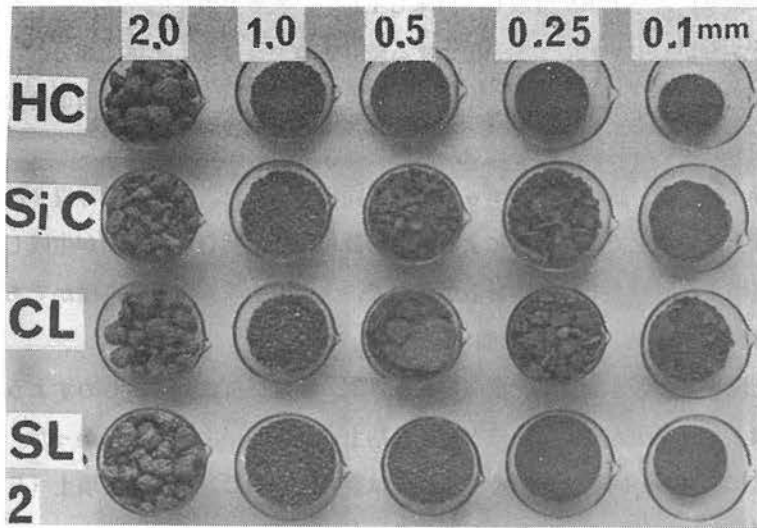


写真 I-1 土壌種類別の土塊の大きさ
耕起による土塊の大小（SiCのばあい）

- ② 土塊の崩壊分散の度合

団粒分析装置（大起理化工業）の篩を上より孔径 2, 1, 0.5, 0.25, 0.1 mm の順に重ね、ポ

ットより採取し一定の条件で風乾したばあいと、未風乾土のままのばあいの、径5mm以上の土塊をほぼ同数含む各土壌50gづつを最上部の篩に入れ、静水中で20時間浸漬し各篩上に土壌粒子を沈積させた。孔径を異にした篩上の土壌を、写真I-2のように仕分けて乾燥・秤量し崩壊分散の程度を調べた。この際供試風乾土塊の土壌水分は、SLが5.2%、CLは3.7%、SiCは3.2%、HCは4.4%、未風乾土塊はSLが25.5%、CLが21.0%、SiCが21.7%、HCが30.8%であった。



写真I-2 土壌種類別の土塊の大きさ
水中において崩壊分散した土塊の大小

1) 実験結果と考察

1) 土壌の種類と凝集力

同一のトラクターで耕起後、木枠に所定の径をもつ金網を張った篩を現場に持ちこみ、土性の異なる水田作土を篩別した結果は表8のとおりである。

表8 耕起による土塊の大きさ別分布

土壌の種類	土性	土塊の大きさ(%)			
		<10mm	12~20mm	20~30mm	30mm<
高木瀬土壌	CL	55.0	15.0	20.0	10.0
川副土壌	SiC	39.0	28.0	20.0	13.0

同程度の土壌水分条件下で一定の耕起作業後、壤質土壌（砂壤土、埴壤土など）と埴質土壌（微砂質埴土、重埴土など）とをくらべると、前者は比較的容易に小土塊に碎けるが、後者は碎土が困難で大きな土塊が残る。このことは粘土含量が高い土壌ほど凝集力が大きいことをあらわしている。

ii 土塊の固結力と分散性

① ポット試験 写真2に示すように比較的小土塊の多い砂壤土、埴壤土では降下水滴や降下水による崩壊分散が早く、土膜生成が明らかにみられた。McIntyre, D. S. は雨滴の衝撃により土壌が分散し（飛沫も生じ）、表層土膜を生成することを報告⁶⁰⁾している。しかし中～大の土塊を主とする微砂質埴土と重埴土では崩壊分散が比較的少なく、微砂質埴土では土膜生成が僅かにみられたに過ぎず、重埴土では崩壊分散のみが僅かに認められ土膜は生成されなかった。

② 砕試験 試験結果はポット試験と同様であった。すなわち写真2にしめすように砂壤土と埴壤土では降下水による崩壊分散が早く、明らかに土膜が生成した。しかし微砂質埴土と軽埴土では崩壊分散が僅かで、土膜の生成もまた極く僅かであった。

iii 降雨による土塊の崩壊

① 土塊の大きさと凝集力 土塊の大きさ別の圧碎抵抗は図6にしめすように、4種類の土壌とも土塊が大きくなるほど、また粘土含量が多い土壌ほど高かった。土塊が大きくなるにしたがい固結度が高くなる度合は重埴土（HC）＞微砂質埴土（SiC）＞埴壤土（CL）＝砂壤土（SL）の順であった。

② 土塊の崩壊分散の度合 風乾土の崩壊分散度合は図7にしめすようにCL＞SL＞SiC＞HCの順であった。崩壊分散度合が最小の土壌は、固結力が最大のHCであった。

未風乾土の崩壊分散の度合は図7-2に示すように、埴壤土＞砂壤土＝重埴土＞微砂質埴土の順であった。未風乾土の崩壊分散は風乾土にくらべ、浸水に際し各種土壌とも0.1～1.0mmの土粒子の分散は少ないが、＜0.1mm以下の微粒子の分散浸出は頗る多い。これは含水比の低下に伴う凝集力の増大¹⁵⁾が未だ十分に働いていないためと思われ、風乾土とは大きく異なる特徴であろう。

風乾した場合の重埴土の水田作土は、耕起後降雨にあっても極めて崩壊分散しにくい。しかし未風乾のばあいはいずれの土壌も同様であるが、とくに重埴土は他の種類の土壌にくらべ、微粒子の分散が比較的多いので、作土表層が泥状化されやすい。

これらの結果は水田作土が耕起後に降雨にあえば、未風乾が風乾の土壌より微粒子が分散しやすいこと、したがって一旦風乾された重埴土の水田作土は最も土膜ができにく

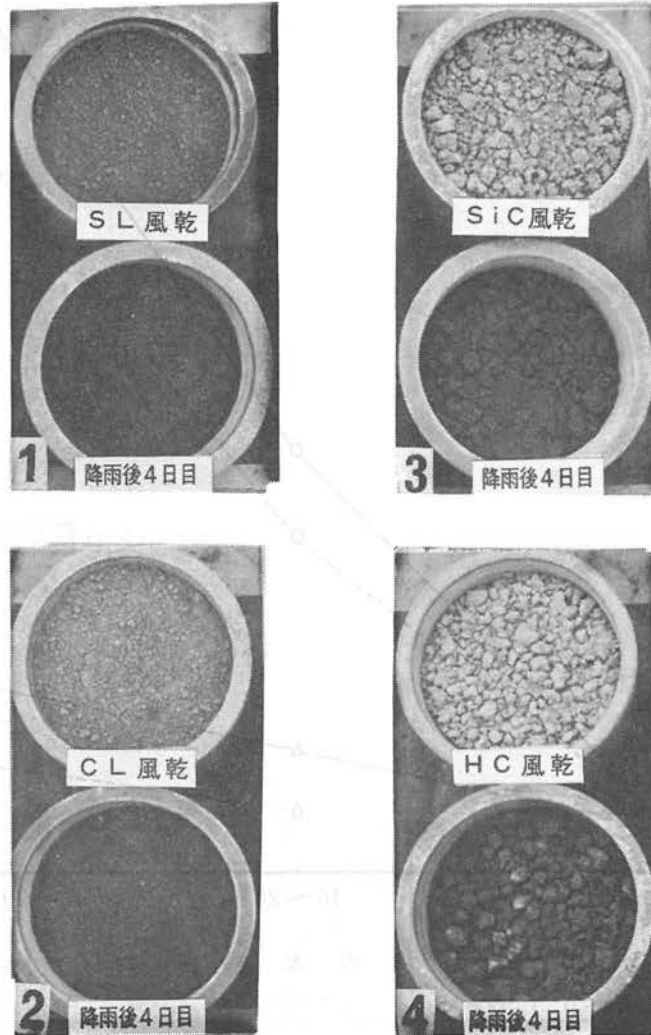


写真2 降雨による土膜生成状況(ポット)

1. SL 三日月土壌
2. CL 高木瀬土壌
3. SiC 川副土壌
4. HC 有明干拓土壌

各番号とも上段のポットは耕起碎土された風乾土壌

下段のポットはこれら土壌の降雨後4日目の状態

いが未風乾土の場合は比較的土膜ができやすい。また風乾、未風乾のいずれの場合でも壤質埴土が最も分散度合が大で土膜が生成され易い。以上のような諸現象は一般現地水田における観察や調査の結果とよく一致する。要するに、一旦風乾固結した重埴土は、

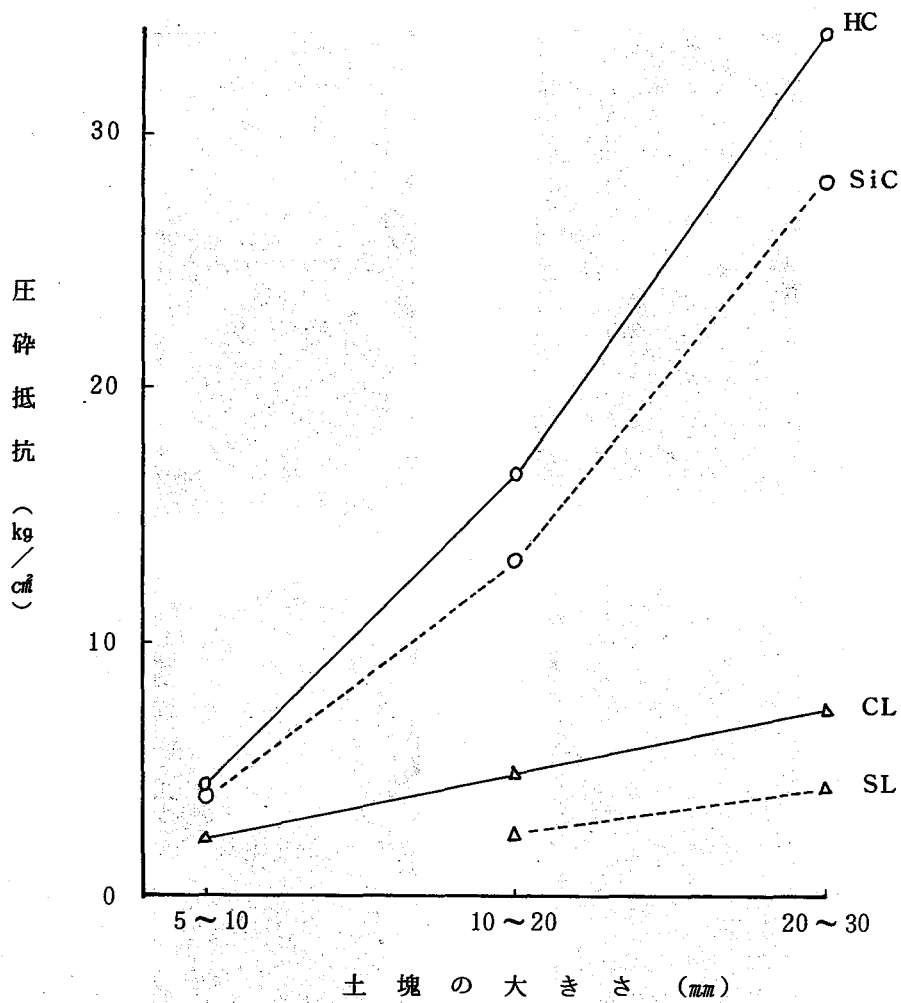


図6 土壤種類別土塊の圧砕抵抗の相違

崩壊分散しにくいので、土膜が形成され難いと考えられる。

(2) 土壤の種類と土膜生成の様相

土壤の種類別に実験的に土膜を生成させ、その形態や土壤粒子の動きを調査した。

1) 実験材料および試験方法

i 供試土壤

供試水田土壤（作土） 採取場所と粒径組成及び一般的性質は表7-1,2のとおりである。

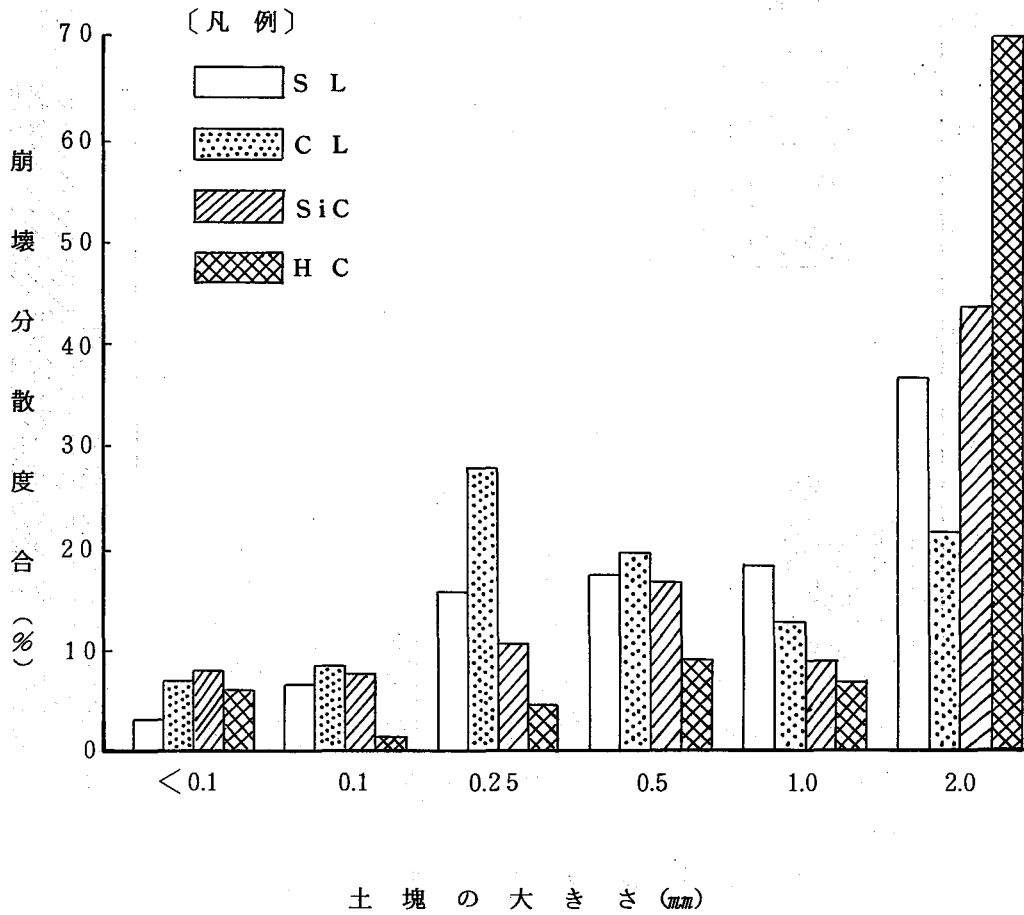


図 7-1 土壌の種類別土塊の崩壊分散 (風乾土)

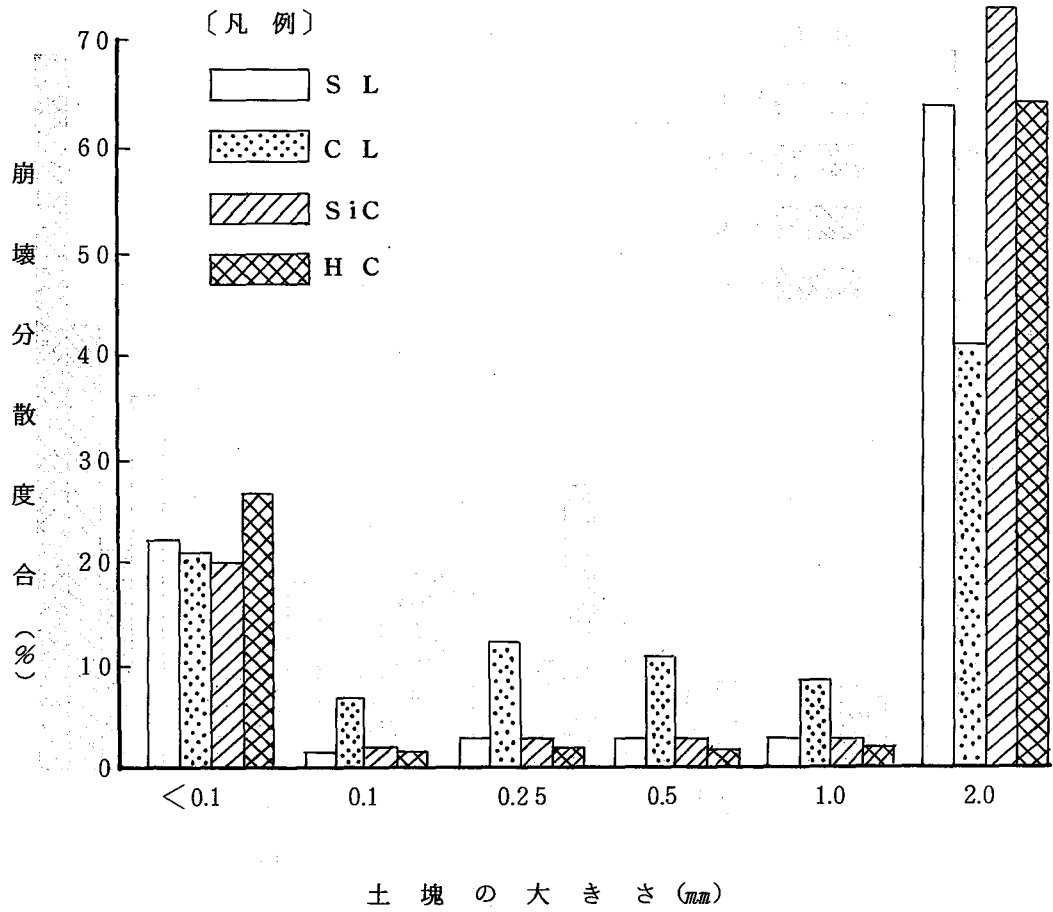


図7-2 土壌の種類別土塊の崩壊分散(未風乾土)

ii 実験方法

- ① 水田枠試験 前述のように現地水田より各層位別に土壌を採取し、農試内水田試験用コンクリート枠（ $2m^2$ ）に運搬充填した。その後3年間耕起・代かきによる移植水稻の均一栽培をした。この試験田で耕起碎土後、人工降雨法で土膜を生成させた。試験田の乾燥後この生成された土膜を含めて自然状態で、表層から2ℓ容の円筒で採土し、これを厚さ5mm間隔で20mmの深さまでピアノ線で切断し、表層より深さ別に分けた土壌の粒度をピペット法で定量した。
- ② 室内実験 No.1三日月土壌（SL）、No.2高木瀬土壌（CL）、No.3川副土壌（SiC）、No.5川副干拓土壌（LiC）、No.6火山灰水田土壌（CL）を供試した。各土壌の一定量をノイハウエル幼植物試験器に採り、30cmの高さより飽水するまで水滴を滴下した。しかし滴下による打撃は実際の雨滴による打撃よりはるかに弱いと考えられたので、さらに湛水後表層1cmの深さまで直径5mmの硝子棒を手に持ち、全面を万遍なくかるく垂直打撃操作を6分間加えた後2時間放置した。その後湛水された水を除去し、さらに数日間室内に放置した。風乾固結後植木鉢より土塊を取出し、形成された土膜の厚さを測定すると共に、土膜と土膜直下（土膜下厚さ20mmの範囲）の土壌の粒度をピペット法で定量した。

2) 試験結果と考察

i 土膜の様相

水田枠試験では写真3に示すように三日月、高木瀬の壤質土壌では土膜が比較的容易にはっきりと生成されたが、川副や川副干拓の埴質土壌では、その生成がやや困難であった。このことは前記したMcIntyre, D. S. の雨滴の衝撃により土壌表層が圧縮されクラストを形成したとする報告⁶⁰⁾と一致する。

ノイハウエル幼植物試験器では写真4に示すように、いずれの土壌も表層より土膜が形成された。土膜の厚さは三日月土壌が7~10mm、高木瀬土壌が5~6mm、川副土壌は3~5mm、川副干拓土壌は3~4mmとうすく、免田土壌は10~15mmと厚かった。乾風した土膜は固化して極めて硬く破壊されにくい、火山灰土壌では比較的もろかった。なお三日月土壌（SL）、高木瀬土壌（CL）では、形成された土膜と土膜下の土壌の区別がはっきりしていたが、川副土壌（SiC）と川副干拓土壌（LiC）では、その区別が比較的不明瞭であった。これは土壌自体の粘土含量が高いため、表層土膜に残る粘土含量と土膜下土壌の粘土含量の差が比較的僅少であり、要するに土膜と土膜下の土壌の粒径組成が近似しているからであろうと考える。免田土壌（CL）では土膜が形成され、土膜と土膜下土壌の区別が比較的はっきりしていた。

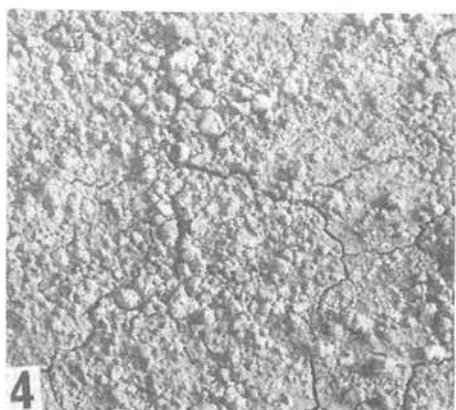
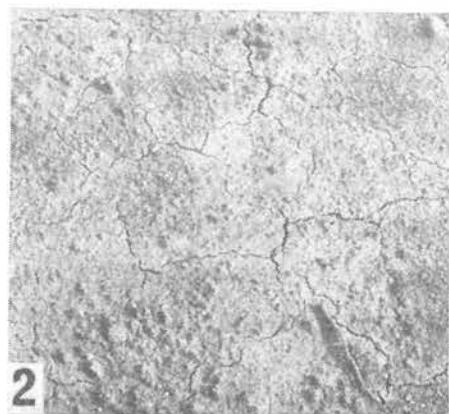
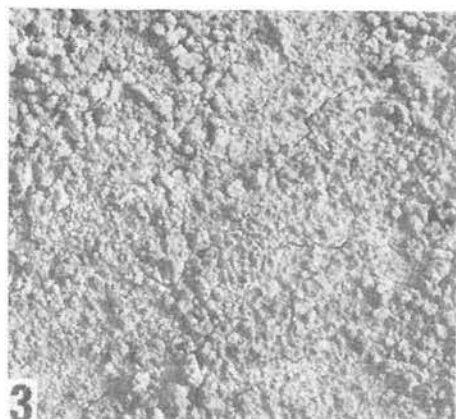
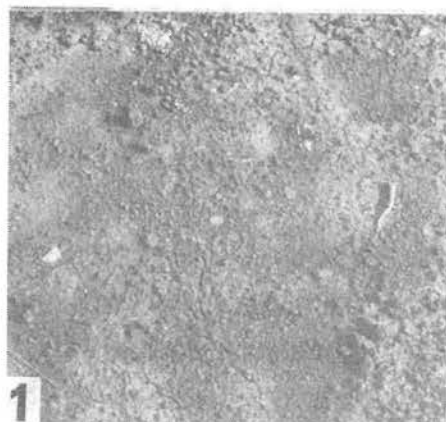


写真3 降雨による土膜生成状況（水田枠）

- | | | |
|----|-----|--------|
| 1. | S L | 三日月土壤 |
| 2. | C L | 高木瀬土壤 |
| 3. | SiC | 川副土壤 |
| 4. | LiC | 川副干拓土壤 |

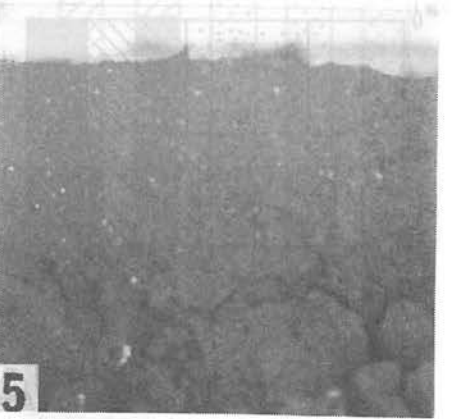
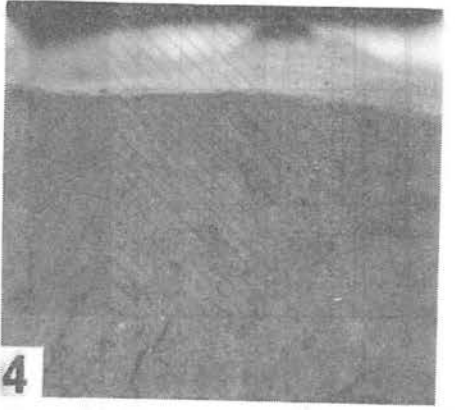
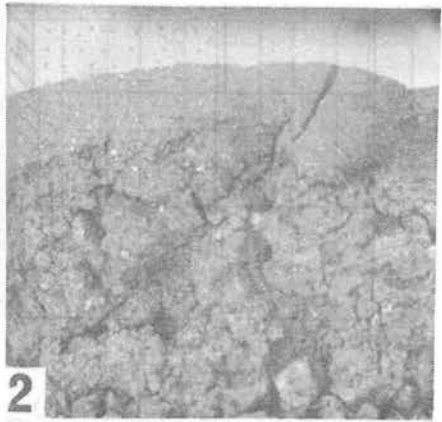
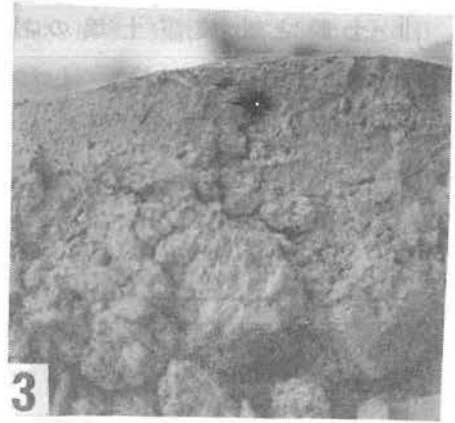
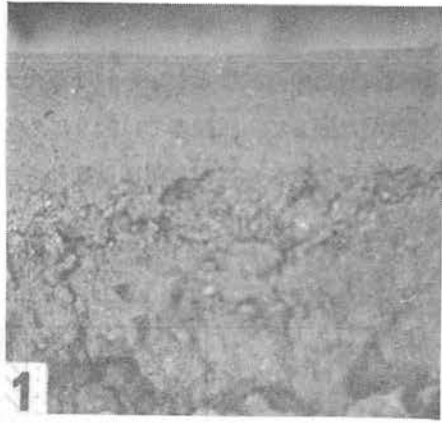


写真4 土壤種類別の土膜生成様相

- | | |
|-------------|---------------|
| 1. SL 三日月土壌 | 3. SiC 川副土壌 |
| 2. CL 高木瀬土壌 | 4. LiC 川副干拓土壌 |
| | 5. CL 免田土壌 |

ii 土膜と土膜下土壤の粒度

試験用コンクリート枠、ノイバウエル幼植物試験器の両試験とも、いわゆる人工降雨の影響を受けた表層土壤の粒度について、枠試験では図8に、試験器では図9にしめすように、土膜部分が土膜直下の部分にくらべ粘土と微砂の含量が高く、粗砂と細砂の含量は逆

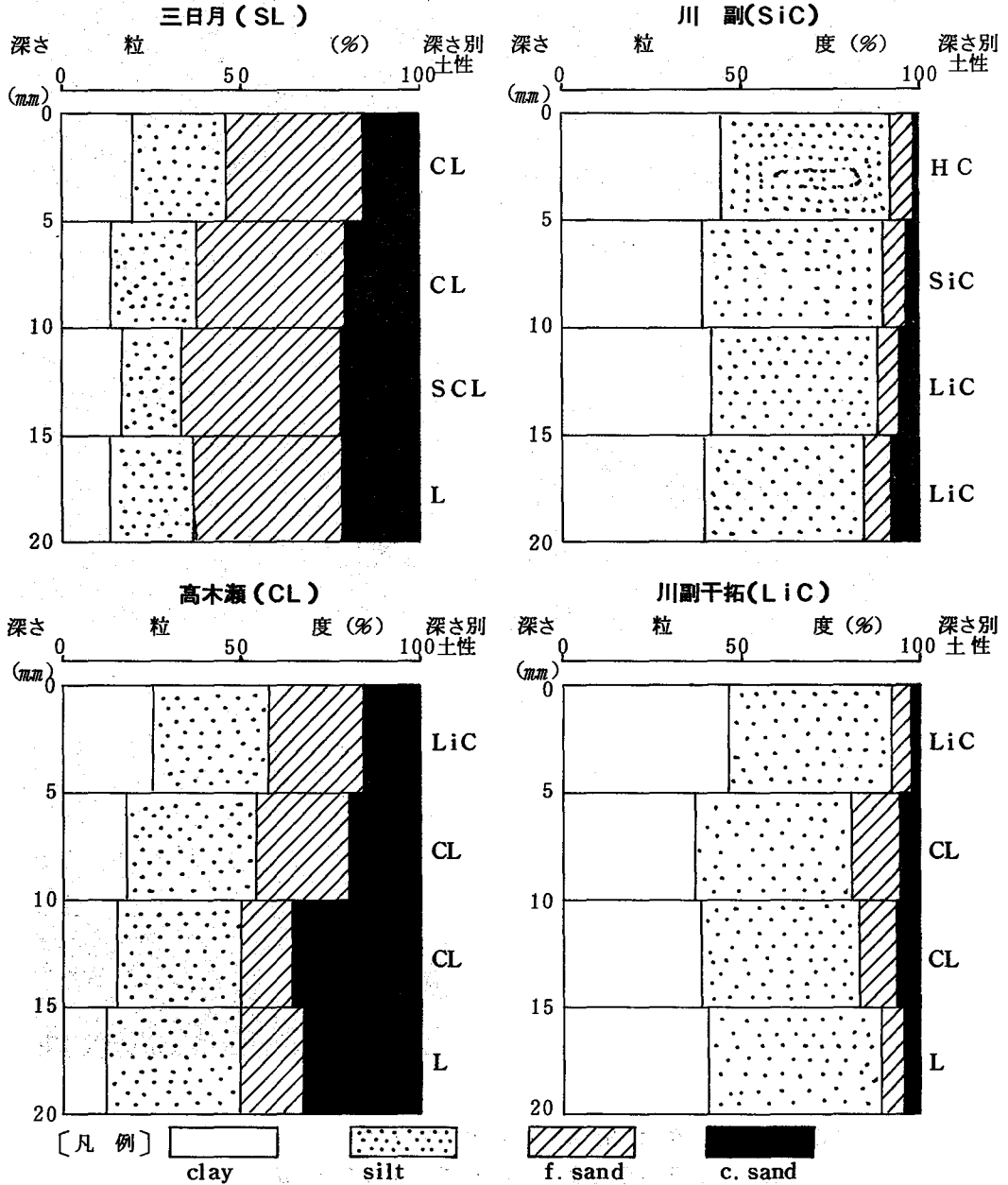


図8 土壌種類別の土膜および土膜下土壤の深さ別粒度 (水田枠実験)

に低かった。このように人工雨滴と人工雨水による崩壊・分散・打撃・攪拌などの作用を受けると、表層土壌では小粒子が上に大粒子が下に配置した。すなわちこのような粒子の再配位は図8、図9に明らかなようにSL・CLのばあいには顕著であるが、SiCとHCのばあいにはそれほどはっきりしない。なお火山灰土壌でも土膜は生成されるが、その凝集力は比較的弱い。

以上主として土性の相違により土膜生成の様相の異なること²⁸⁾を明らかにした。

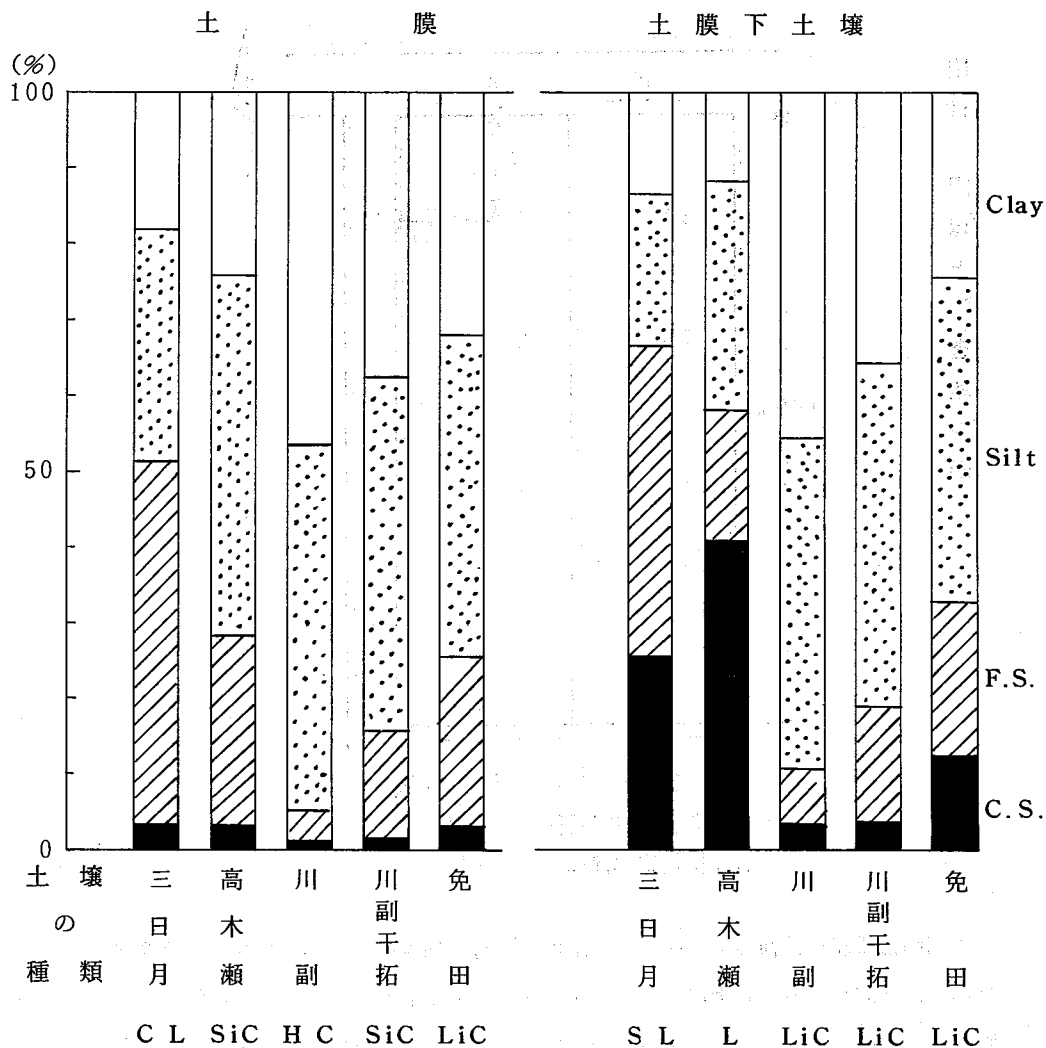


図9 土壌種類別の土膜および土膜下土壌の粒度変化(室内実験)

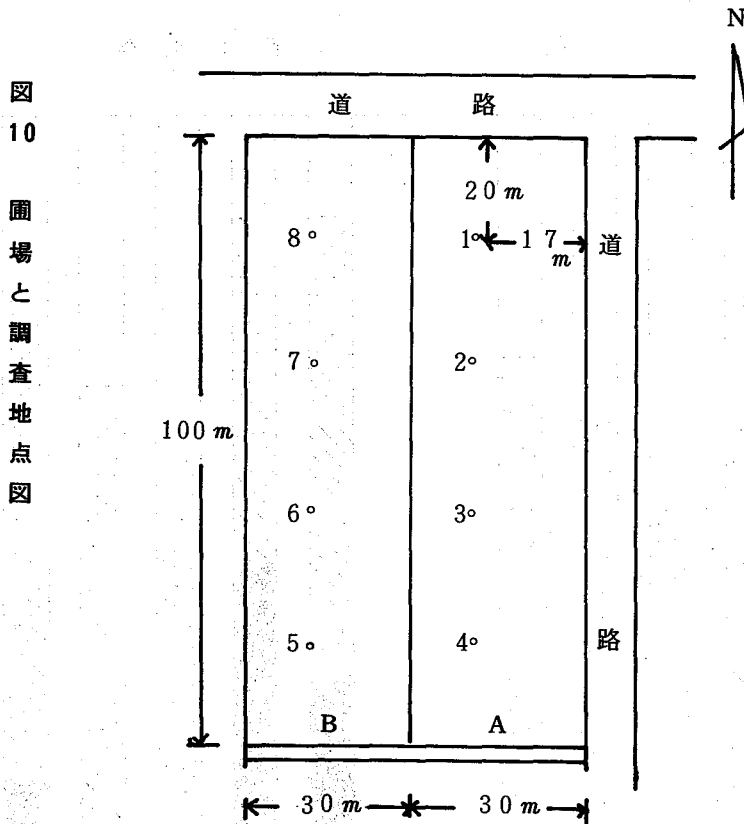
2. 土膜の生成と土壌の還元化が水稻の発芽・苗立ちにおよぼす影響

耕起・播種した水田土壌に対する降雨の影響と降雨により変化した土壌が種子の発芽・苗立ちにおよぼす影響の実態を究明するため次の調査・試験を実施した。

(1) 降雨による土膜生成と発芽・発根の状態

1) 調査方法

1965年佐賀農試（佐賀市高木瀬町）圃場において、図10のように面積60aの水田にA、B両圃場を設けた。



注 A：耕起後施肥播種（2工程）

B：耕起施肥播種（1工程）

A圃場は耕起後播種の2工程区、B圃場は耕起時播種の1工程区である。作業機としてA圃場では芝浦S17型、B圃場ではクボタL15型を使用した。乾直水稻の品種はホウヨク、施肥は高度化成硫加磷安16号を所定量均一に施用した。この両区について、耕起播種時の土壌状態を図10の8地点について耕起播種作業時直ちに調査するとともに、降雨後の発芽・苗立ちを調査した。

耕起播種作業時（5月25日）は晴天であったが、夜半から翌26日の夕方までに87mmの降雨があったこの降雨の最大強度は11.5mm/時で並雨⁵⁴⁾であった。なお以後調査完了時まで降雨がなかった。

2) 調査結果と考察

i 播種位置と耕起による土塊分布

調査各地点の性質は表9にしめすとおり、作土の水分含量は平均24%、深さ5~30cm部分の硬度計の読みは平均18と比較的高かった。作土の粒径組成は表10にしめしたが、土性は

表9 耕起後の土壤水分と密度

調査地点	測定深度 cm	土 性	水 分 密 度 ※	
			乾土%	mm
1	0~5	C L	32.4	10
	5~25	C L	20.4	15
	25~	L S	41.1	20
2	0~5	LiC	23.3	6
	5~20	C L	34.5	17
	20~	C L	35.8	17
3	0~7	C L	17.5	10
	7~23	L S	6.6	14
	23~	C L	36.5	21
4	0~5	C L	24.3	6
	5~20	C L	24.3	18
	20~	L S	18.7	20
5	0~10	LiC	21.0	8
	10~35	C L	28.4	17
	35~	L S	20.5	21
6	0~5	C L	21.5	9
	5~20	C L	23.4	20
	20~	L S	7.6	14
7	0~5	LiC	26.4	7
	5~20	C L	34.1	20
	20~	L S	11.2	10
8	0~5	C L	27.1	10
	5~28	C L	37.1	17
	28~	L S	29.3	18

注 ※ 密度は山中式硬度計で測定

表 10 作土の粒度と腐植含量

(乾土)

地点号	粗砂 2~ 0.2mm %	細砂 0.2~ 0.02mm %	微砂 0.02~ 0.002mm %	粘土 0.002mm> %	土性	腐植 %
1	17.3	26.2	31.8	24.7	C L	1.6
2	11.9	27.7	33.5	26.9	LiC	1.6
3	40.6	16.5	26.1	16.8	C L	1.3
4	29.1	15.8	32.6	22.5	C L	1.7
5	21.7	13.5	37.8	27.0	LiC	1.6
6	32.9	13.9	32.6	20.6	C L	1.3
7	16.4	17.5	38.5	27.6	LiC	1.4
8	17.4	15.2	43.5	23.9	C L	1.6

注 粒度はピペット法、腐植はチューリン法

表 11 施肥と播種の位置

試験区名	平均 施肥深度 cm	播種深度 (cm)	
		範囲	平均
2工程	2~3	1.5~4.0	2.74
1工程	6~7	1.0~9.0	3.63

CL~LiCで、粘度含量は平均24%、腐植含量は平均1.5%である。両工程別に20カ所の施肥播種部位の調査結果は表11にしめた。

耕起後の土塊の大きさ別分布割合は表12にしめすとおり、2工程のA圃場は1工程のB圃場に比べ、小~極小の土塊が多く、大~中の土塊が少なく、B圃場はこれと逆であった。なお総体的にみてB圃場はA圃場に比べ土膜が厚く、施肥・播種の位置が深かった。

表 12 作土耕起後の土塊の分布

土塊 の さ	A (2工程)				B (1工程)			
	採 取 地 点 番 号				採 取 地 点 番 号			
	1	2	3	4	5	6	7	8
大	3.24	1.24	0.57	0.61	2.54	2.94	1.84	3.44
中	2.49	1.59	1.92	1.49	2.52	2.61	2.34	2.49
小	1.51	0.98	1.09	0.99	1.34	1.00	1.42	0.99
極小	3.72	5.74	4.96	4.77	3.89	3.49	4.63	2.81
合 計	10.96	9.60	8.56	7.81	10.29	10.04	10.23	9.73
大	29.6	12.9	6.9	7.8	24.7	29.3	17.5	35.4
中	22.7	16.1	22.4	18.4	24.5	26.0	22.9	25.6
小	13.8	10.2	12.8	12.7	13.1	10.0	13.8	10.2
合 計	33.9	60.3	57.9	61.1	37.7	34.7	45.8	28.8

注 土塊の大きさは径の平均値により下記のとおりとした。

大 3.2 cm < 中 3.2 cm ~ 1.3 cm × 2 cm
 小 1.3 cm × 2 cm ~ 0.8 cm × 1 cm 極小 1 cm >

ii 降雨後の土膜生成と発芽・発根の実態

降雨後3日目(5月28日)における土膜の生成状況を図11と図12にしめした。両圃場とも作土の表層に土膜を生成し、その下部も大部分が土膜様状態の土壌となり、播種位置の上下はほとんど湿潤・滞水状態であった。土膜と土膜様状態の土壌の厚さはB圃場のばあいA圃場のそれよりも厚かった。

図12の1, 3にしめす土膜下の播種位置の周囲に空隙の多い土壌にかぎり、水稻種子が僅かに芽をきっているのがみられた。このばあいの孔隙量の調査結果例をあげると、小孔(径<1mm)30%, 中孔(径2~3mm)20%, 大孔(径>4mm)5%で、いわゆる空隙が多かった。

降雨後6日目(5月31日)の調査結果を図13にしめした。全般に表層の土膜は次第に固結化していることが観察された。なお土膜下の種子圏土壌の乾湿や還元状態と種子の発芽・発根状態との関係は次のとおりであった。

深さ約1cmの浅い播種位置(番号1)のばあい、土膜下の土壌が比較的粒団化し、幼芽

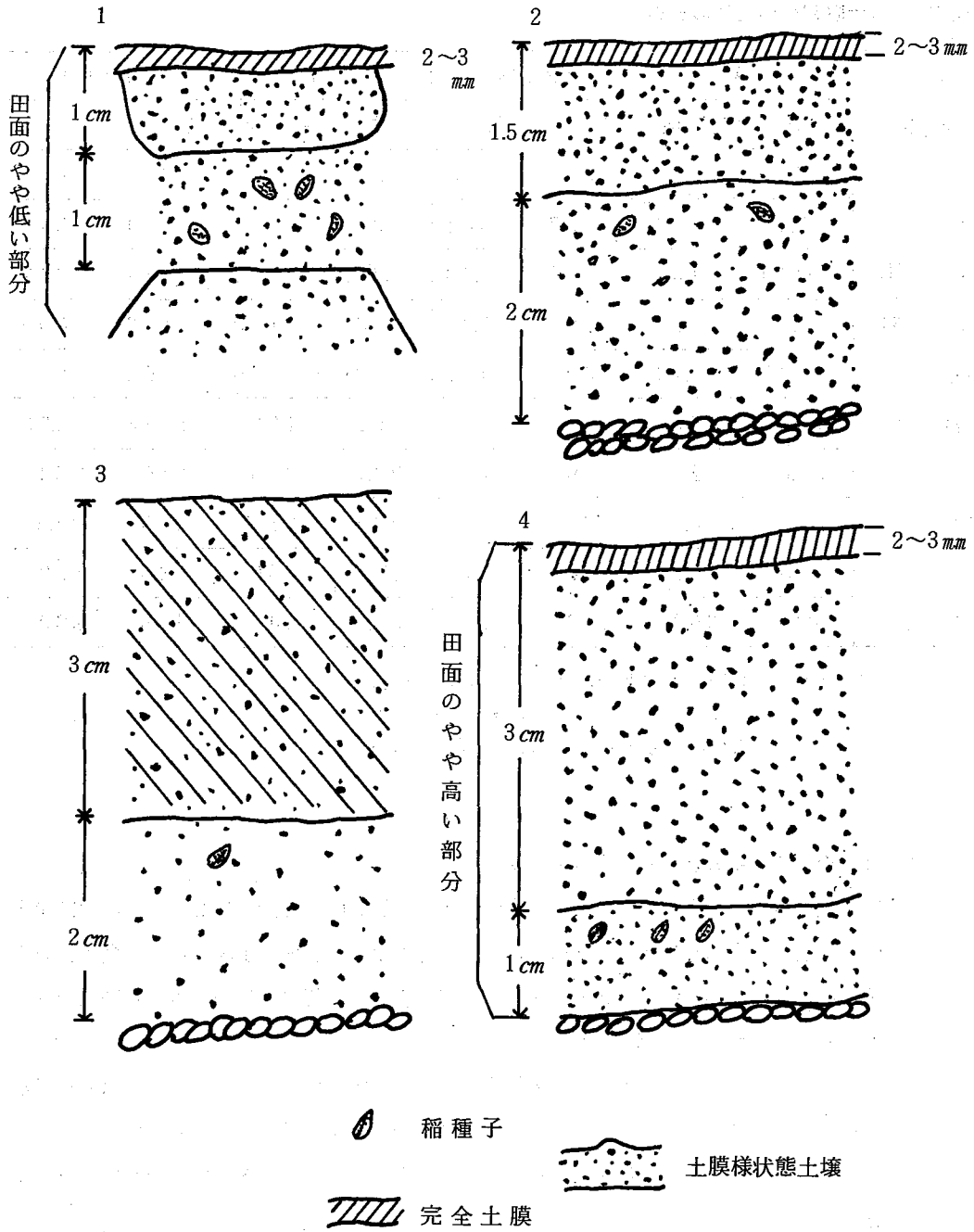
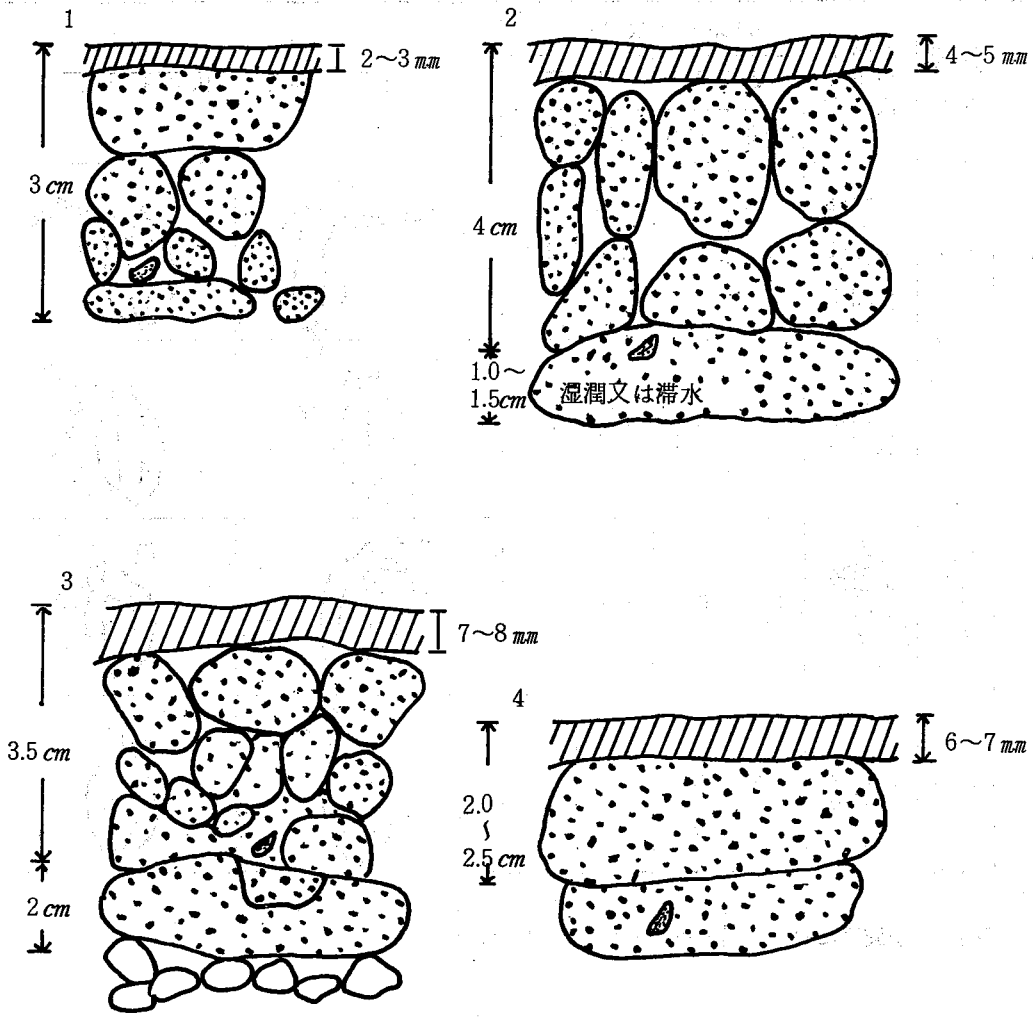


図 11 土膜生成状況

一耕起整地後施肥播種（2工程）A圃場一



 稻種子
  土膜

图 12 土膜生成状况

— 耕起施肥播種 (1 工程) B 圃場 —

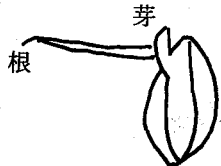
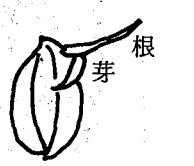






番号	播種深度	土膜下の土壌状態	発芽・発根の長さ				発芽・発根の状況模写図	
			幼芽		幼根			
			左図	右図	左図	右図		
1	1 cm	土膜はあるが下部は比較的粒団化	cm 0.3	cm 0.3	cm 1.3	cm 1.1		
2	2 cm	土膜下は酸化的	0.3	0.3	0.4	0.3		
3	2 cm 滞水部分	土膜下は湿潤 （明丹しをす 流出黄色呈）	0.4	0.3	0.2	0		
4	4 cm	土膜下はかなり湿潤	0.3	0.3	0	0		

図 13 土膜下における稲種子の発芽・発根の状況

は約 0.3 ~ 0.4 cm の伸びであったが、幼根は約 1.1 ~ 1.3 cm に伸長していた。深さ約 2 cm の播種位置（番号 2）では、土膜下の土壌は酸化的であったが、幼芽・幼根とも約 0.3 ~ 0.4 cm の伸びであった。しかし深さ約 2 cm の播種位置でも土膜下土壌が滞水または湿潤状態（番号 3）のばあい、幼芽が約 0.3 cm であっても、幼根は伸長していないか短かった。なお深さ約 4 cm の播種位置で、土膜下土壌がかなり湿潤な（番号 4）ばあい、幼芽は約 0.3 cm 伸長していたが発根はまったく認められなかった。

このように土膜下で比較的乾燥し、土壌の還元化の小さいばあい、幼芽も幼根も一応伸長する。しかし土膜下の土壌水分が過剰で、土壌還元化が進むほど幼芽や幼根の伸長度合が短い。なお還元化が大きいばあい、幼芽の伸長も極めておくれるが、発根はさらにおくれるかまったく発根しない。

iii 土膜の固結化と出芽

降雨後2週間目(6月8日)に表層の土膜は降雨直後よりやや厚くなり、また全体的に固結化する。すなわち土膜の厚さが2~3cmに達し、これらは極めて固くなる。したがって図14にしめすとおり、土中で発芽・成長してきた鞘葉は固い土膜を突破しえず、土膜にそって折れ曲り苗立ちが不可能になる。これら鞘葉は次第に黄白色~黄色化しついに枯死する。

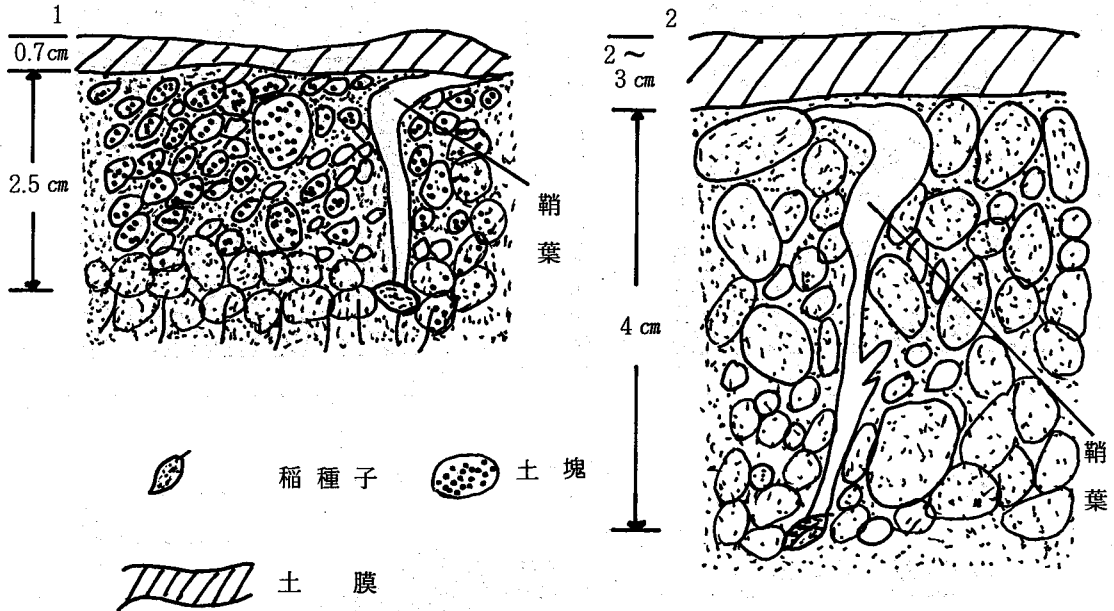


図14 降雨後の土膜の固結化と出芽不可能の状況

(2) 土膜生成による種子圏土壌の還元化が発芽・発根におよぼす影響

1) 調査方法

i 圃場試験 本章・本節(第2章・第2節)(1)の項と同じ

ii 室内実験 ノイパウエル幼植物試験器に一定量(風乾土 500g)の水田作土を入れ、稲種子を深さ約1cmにまき、加える水量を多は容水量の100%の飽和状態に、中はその80%、少はその60%とし還元化の度合を大、中、小となし、この度合が稲種子の発芽・苗立ちにおよぼす影響を調査した。

2) 調査結果と考察

圃場試験 降雨後2週間目(6月8日)とそれ以降の現場調査による。

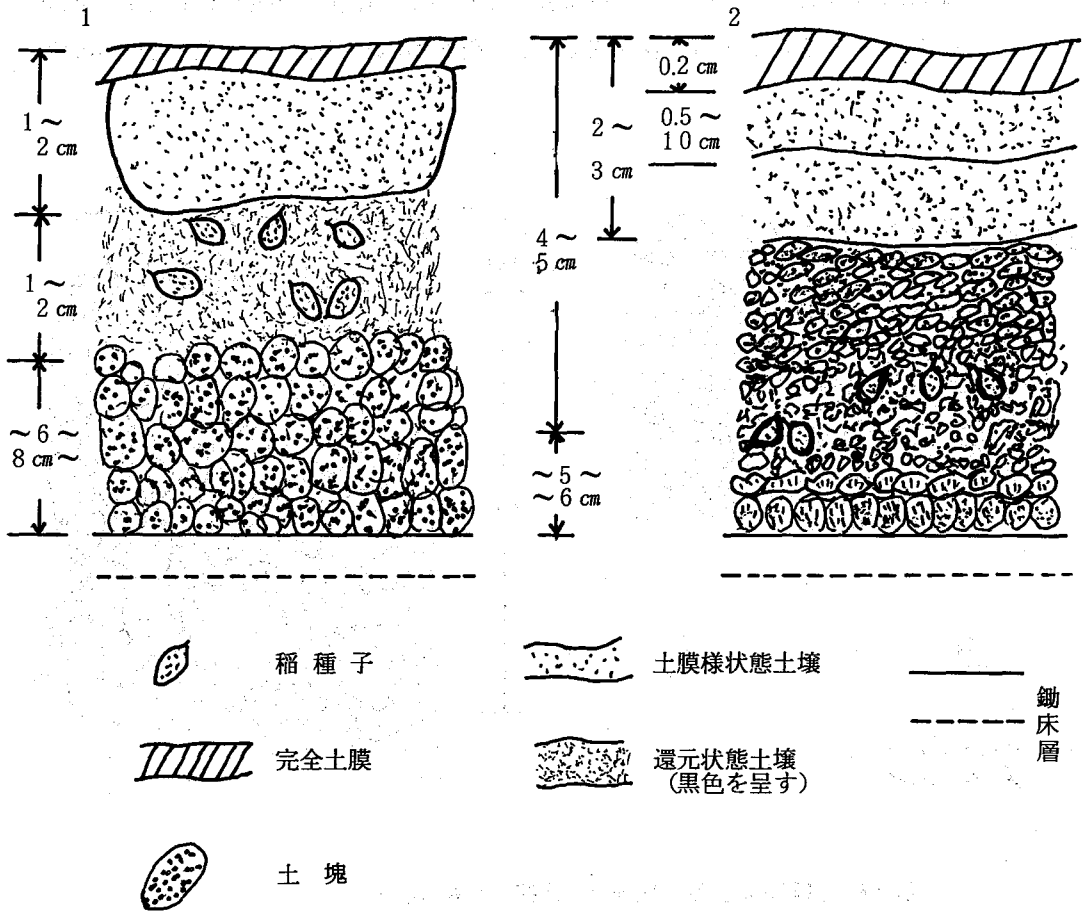


図 15 土膜の生成と種子圏土壌の還元化による出芽不可能の状況

図15にしめすように種子圏土壌の上部は土膜によって大気とのガス交換が遮断され、下部は不透水性の鋤床層により下層と遮断され、必然的に種子は上下両層に挟まれた土壌中に存在することになる。土膜直下の土膜様土壌とその直下の土壌も、換言すれば種子圏土壌の大部分も湿潤または滞水状態にある。このような土壌状態において、稲は発芽・苗立ちにあたって多量の酸素を必要(2,7,13,57,73,109)とするので、さらに酸素不足をきたすことになる。すなわち種子に近い部分の土壌から土色が青灰色から黒色に急速に変化した。この土色の黒色への変化は相当に濃く、種子圏土壌から還元化の進むことをしめしている。

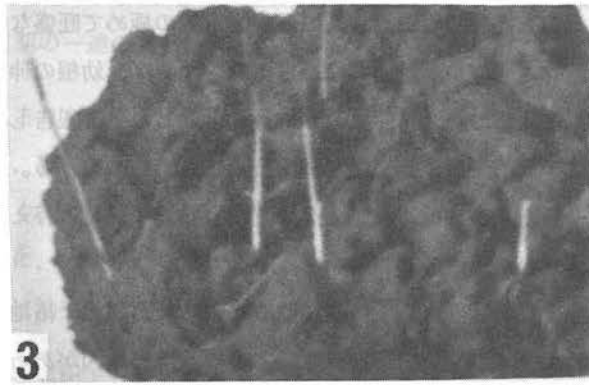
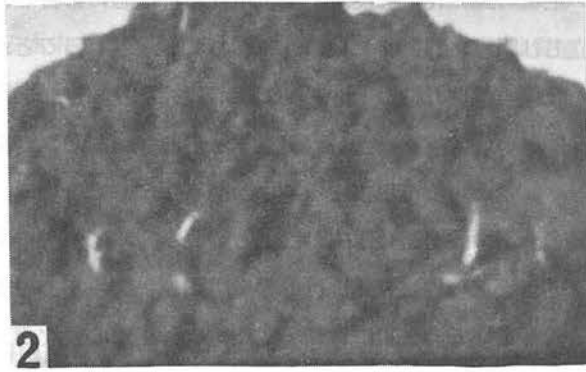
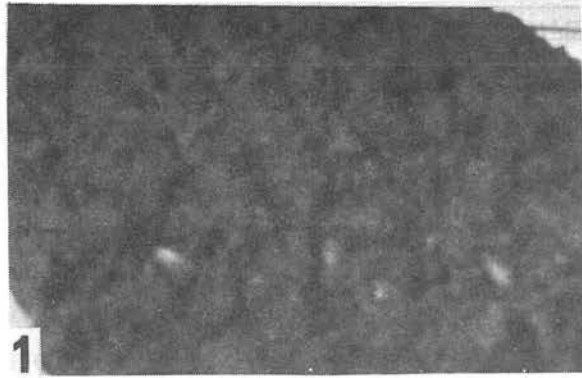


写真5 還元化の程度と発芽・苗立ち

1. 還元化 大
2. 還元化 中
3. 還元化 小

このため種子は酸素不足によって腐敗・枯死した²⁶⁾。

- ii 室内実験 含水量の100%の多水分はインキュベートによって土色が最も急速に青黒色に変化し、土色変化の範囲も広く、還元化が極めて大きかった。つづいて含水量の80%の中水分は、多湿状態にある土壤の黒色化への変化程度はやや遅く、範囲も比較的狭く、還元化は中程度であった。含水量の60%の少水分は、土色はほとんど黒色化せず、還元化は最小であった。写真5にしめすとおり、還元化の大きいばあい、全く発芽・発根せず、還元化中の土壤は出芽するも発芽勢が弱い。還元化小のばあい、発芽・苗立ちが最も良好で発芽勢も強い。

この実験によって、土壤の還元化の程度が発芽・苗立ちに敏感に影響し、還元化が進むほど種子の発芽・苗立ちは阻害され、またその逆であれば促進されることが明確にされた。

空气の供給を制限した環境条件下での発芽については古くより報告^{13,57,109)}があり、酸素の供給が不十分なばあい、佐々木^{13,57)}のいう異状型発芽をなし、とくに幼根の伸長を顕著に阻害することや、鞘葉が黄白色化することが明らかにされている。なお青峰²⁾は水稻種子幼根の伸長と土壤の酸化還元電位の高低との間に極めて密接な関係があることを認め、幼根の伸長速度が土壤の酸化還元電位の僅少な高低によって、鋭敏に影響を受ける事実は注目に値するとしている。さらに青峰・成田⁷⁾は土壤の酸化還元状態と種子の発芽との関係について、湛水状態の土壤に播種したばあい、籾の周辺に約1cmの還元された円形面が形成されることを認め、これは籾の酸素要求量の極めて旺盛なことをしめすものとしている。また酸化還元電位を高めるような処理をすれば、幼根の伸長が助長され、その逆のばあいは伸長が阻害され、排水すれば伸長が促進されると報告している。これら一連の報告と、本試験の調査・観察と実験の結果とはまったく一致する。すなわち、降雨により影響され変化した土壤が、乾直種子の発芽・苗立ちの不良化に与える機作を明らかにする²⁹⁾ことができたといえよう。

乾直水稻の発芽・苗立ちの問題に関し、岩崎勝直による「八郎潟干拓地の乾直栽培について」^{37,38)}の中で、発芽・苗立ちの不良は水分の多い土壤に原因があるという報告、さらに坪井八十路・高橋保夫・田上義也・森谷睦夫・荒井正雄・美園繁・川崎勇・武井昭らによる「直播稲作推進上の諸問題と対策」⁸³⁾の中で、乾直のばあい発芽・苗立ちの不良を重要な問題点の一つとしてとりあげていることは既述のとおりである。

3. 摘 要

土性を異にした佐賀平野の水田土壤を現地より採土・運搬し、試験用コンクリート枠には、深さ1mまで層位別に、ポットには作土のみを充填し、これらの耕起された水田土壤に人工降雨処

理を行い、土壤への降雨の影響を調査した。土壤ならびに発芽・苗立ちに対する耕起播種後の降雨の影響について、現場圃場と室内実験で精細な実験調査を行った。これらの結果を要約すれば次のとおりである。

- (1) 一定の耕起作業を行ったばあい、壤土は比較的小土塊を多く生じ、埴土はこの逆の傾向をしめした。すなわち後者の凝集力が大である。
- (2) 風乾土の固結力（圧砕抵抗での）は砂壤土（SL）＜埴壤土（CL）＜微砂質埴土（SiC）＜重埴土（HC）の順に粘土含量が多くなるほど大きくなる。又土塊が大きくなるほど圧砕抵抗は大きくなるが、その度合は重埴土＞微砂質埴土＞埴壤土＞砂壤土の順である。さらにこれらの風乾土の水中での崩壊分散度合は埴壤土＞砂壤土＞微砂質埴土＞重埴土の順に低くなる。最も崩壊分散度合の小さい土壤は最も固結力の大きい重埴土であった。なお未風乾土の崩壊分散度合は埴壤土＞砂壤土＝重埴土＞微砂質埴土の順であるが、未風乾土は風乾土にくらべ微細粒子（径0.1mm以下）の分散がとくに多かった。
- (3) 人工降雨による土膜生成実験によれば、砂壤土と埴壤土は容易に土膜を生成したが、微砂質埴土と重埴土は土膜を生成しがたかった。とくに重埴土ではほとんど土膜が生成されなかった。このように降雨に対する土性別による土膜生成の難易は、埴土質土壤（SiC・HC）が壤土質土壤（SL・CL）より、凝集力・固結力・圧砕抵抗が大で、降水への崩壊分散度合は小であるという、前期の一連の実験結果と一致する。
- (4) 表層に形成された土膜と土膜下の土壤との区別は土性により異なり、比較的粗粒質土壤では明確であるが、細粒質土壤では不明確であった。土膜はその直下部分にくらべて常に粘土と微砂の含量が多く、逆に粗砂と細砂の含量が少ない。すなわち表層土が雨滴・雨水の作用により、小粒子が上方に、大粒子が下方に集積し、土壤粒子の配置が変化したことをしめしている。この配置の程度は粘土含量の少ない土壤が、多い土壤にくらべて大きかった。
- (5) 大型トラクターにより耕起播種する大区画水田の、水稻乾直栽培における土壤と発芽・苗立ちにおよぼす降雨の影響について調査した。
耕起・施肥・播種の1工程のB圃場は、耕起後施肥・播種する2工程のA圃場にくらべ、大土塊が多く、施肥・播種の位置がやや深い傾向をしめした。A、B両圃場とも播種後の降雨（並雨）により表層に土膜を形成した。土膜と土膜様土壤の厚さは、B圃場のばあいがA圃場のそれよりも厚かった。
- (6) 厚さ5～20-30mmの土膜はその形成後に降雨がなければ次第に脱水され固化する。土膜下の

種子圈土壤は、水分が多く還元化が大きいほど、出芽や根の伸長が不良となった。このことはノイバウエル幼植物試験器による室内実験でも同様に認められた。

(7) 土膜が固化したばあいは、鞘葉は土膜を物理的に突破できず黄色化して枯死した。降雨・曇天が続き土膜が固化しなくても、作土は土膜により大気と空気の流通を遮断され、作土下はその直下の鋤床層により透水が妨げられ、湿潤・滞水し酸素不足となる。種子圈土壤は青灰色から黒色に変化し明らかに還元状態を呈し、酸素欠乏状態をまねき遂に種子は腐敗・枯死する。このことが降雨にあえば、在来の耕起乾直水稻の発芽・苗立ちが不良になる主原因である。

以上の試験結果は、重埴土の杵島平坦地区の水田では、耕起後、土壤を一旦風乾したあとは、降雨にあっても水稻の発芽・苗立ちがよく、耕起乾直栽培が安定しているのに対し、砂壤土～微砂質埴土の佐賀平坦地区やその他の地区では、発芽・苗立ちが不良なため栽培が不安定であることを裏付けている。

第3章 耕起が土壤物理性と発芽・苗立ちに

およぼす影響

第2章で降雨の影響により、耕起土壤表層の構造が破壊され土膜が生成されることを述べた。この現象が作土中の種子圈土壤の還元化を誘い、乾直水稻種子の発芽・苗立ちを不良にする主要原因になることを解明した。

しかし一般に、土壤は耕起により物理的に改良されるとみなされてきたが、前述のように土壤に与える降雨の影響は想像以上に大きい。すなわち耕起土壤が降雨を受けたばあい、果して耕起の物理的改良効果があるのか、既述のとおりMcintyre, D. S. の雨滴の衝撃によるクラスト形成の報告⁶⁰⁾のほか、Russell, E. J. は早くに、過湿、過乾のときの土壤の耕作、また降雨によっても土壤構造が破壊されてしまい、こわれた団粒から生じた微細粒子が土壤表面に集まって粘土被膜を形成する⁹⁰⁾ことを認めている。Baver, L. D. は裸地で降雨による打撃作用などで、地表に緊密な薄層が形成される報告を引用し、土壤が適当に保護されていないばあいはげしい降雨は、地表を急速に固めて孔隙を塞ぐ¹¹⁾と述べている、したがって降雨により土壤構造がどのように変化するか、さらに耕起法が異なる土壤に対する降雨の影響はどうか、また耕起法を異にしたばあい、降雨の影響を防ぐことができるか、などを明らかにするため圃場及びポット試験を実施した。

1 耕起と降雨による土壤物理性の変化

(1) 圃場における降雨前後の孔隙・三相分布の変化

耕起法を異にしたばあい、降雨による土壤孔隙や三相分布の変化および降雨前後の作土の状態を調べた。

1) 試験方法

試験場所と土壤類型は佐賀農試(旧佐賀市高木瀬町高木、元佐賀農試)場内圃場南端水田で、ここは第1章2の(2)で述べたとおり、灰色土壤群の強粘土構造鉄・マンガ分化型(4)に属する。

耕起法として、夏耕起と冬耕起ならびに耕起と不耕起に大別し、夏耕起・冬不耕起(2)区は1965年6月14日にロータリー式動力耕耘機で耕起し、冬期は不耕起であった。夏不耕起・冬耕起(3)区は1964年11月24日にロータリー式動力耕耘機で耕起畦立てし、1965年夏は畦立てのまま乾直水稻を栽培した。不耕起(1)区は1963年から連続不耕起、また夏冬耕起(4)区は前記と同じ方法と時期に夏冬年2回耕起し栽培を続けた。

夏耕起区は耕起後、柴田式人力播種機で、夏不耕起区はポンチ式穴播機で6月14日に播種、

鎮圧整地した。

調査期間の1965年6月14~21日には、18日18時40分より20日16時05分まで降雨があり、この3日間の日降雨量⁹⁴⁾は18日：1.4 mm/日、19日：138.5 mm/日、20日：55.8 mm/日で、降雨強度はそれぞれ18日：0.7 mm/時、19日：18.8 mm/時、20日：15.1 mm/時であった。

採土は播種条間の作土から、採土用円筒（内径50mm、高さ51mm、容量100 cc）装着の採土器を用いて行い、三相分布は実容積測定装置（大起理化工業製）を用い常法⁶¹⁾により測定した。

2) 試験結果と考察

降雨前後における土壌の三相分布の変化を表13にしめた。

表13 降雨前後の土壌三相分布の変化

試験区名	採土期	三相分布 (%)			孔隙量%
		固相	液相	気相	
1. 夏冬不耕起	降雨前	39.0	37.5	23.5	61.0
	降雨後	38.4	42.9	18.7	61.6
2. 夏耕起 冬不耕起	降雨前	35.7	33.2	31.1	64.1
	降雨後	37.5	45.5	17.0	62.5
3. 夏不耕起 冬耕起	降雨前	35.9	22.9	41.2	64.1
	降雨後	36.1	45.5	18.4	63.9
4. 夏冬耕起	降雨前	36.1	26.1	37.8	63.9
	降雨後	37.7	42.7	19.6	62.3

降雨前（6月14日）は明らかに耕起区が不耕起区より固相・液相が少なく気相が多かったが、降雨後（6月21日）両者の三相分布にはほとんど差がなかった。すなわち、降雨前にくらべて、降雨後における耕起区の液相の増加は、不耕起区のそれより大であった。他方、降雨前の耕起区の気相は降雨後に顕著に減少し、不耕起区の気相とほとんど同じ値になった。

固相率は、不耕起区では降雨の前後にあまり差はないが、耕起区では不耕起区より雨滴や雨水による打撃・圧縮・攪拌・分散などの作用を著しく受け易いので、逆に固相率がやや増し、両区とも降雨後には近似した固相率をしめた。

なお本試験でも耕起土壌では土膜や土膜様土壌が形成され、前章と同様の結果を得たが、不耕起土壌では土膜が形成されなかった。

(2) 土壌の種類と耕起法が灌水後の土壌物理性におよぼす影響

土壌の種類と耕起法の相違が、灌水によって、土壌三相分布の変化、とくに容気量¹¹⁾にどのような影響を与えるかを知るため次の実験をした。

1) 試験方法

試験場所は佐賀農試(佐賀市高木瀬町高木, 前佐賀農試)場内で行い、供試土壌は次のとおりである。表7のNo.1 三日月土壌(SL), No.2 高木瀬土壌(CL), No.4 有明干拓土壌(HC)の水田作土を供試した。現地水田作土の風乾土を1ポット当り15kgあて $a/2000$ ポットに充填した。移植水稻による均一栽培を3カ年実施後次の処理を行った。

耕起区と不耕起区に分け、前者は収穫後の土壌を移植鋤で地表下15cmまで耕起し、後者は不耕起とした。

24時間 $a/2000$ ポットに灌水後、排水し、そのまま24時間放置後、表層0~5cmから100cc 採土円筒装着の採土器で採土し、実容積測定装置⁶¹⁾により三相分布を測定した。

2) 試験結果と考察

三相分布は表14に示すとおりである。各種土壌とも耕起区が不耕起区より液相率が高く、気相率は低く、容気量は耕起区より不耕起区が明らかに大きかった。このことから降雨後の水田土壌の乾燥速度は、耕起土壌より不耕起土壌で速いことがわかる。

連続降雨、あるいは灌水したばあいは、1回だけ降雨に遭遇したばあい以上の強い影響を受けるものと思われる。

表 14 耕起法による土壌三相分布の変化

土 壌 の 種 類	処 理 方 法	三 相 分 布 (%)		
		固 相	液 相	気 相
有 明 干 拓 土 壌 (HC)	耕 起 区	29.9	53.4	16.7
	不 耕 起 区	30.3	44.9	24.8
高 木 瀬 土 壌 (CL)	耕 起 区	39.0	45.4	15.6
	不 耕 起 区	36.4	42.7	20.9
三 日 月 土 壌 (SL)	耕 起 区	41.3	46.2	12.5
	不 耕 起 区	42.4	38.3	19.3

すなわち物理性の改善を重要な目的の一つとして、多大のエネルギーを費す耕起碎土作業は、上記の条件下における降雨や灌水では、予想に反しその効果が極めて少ないか、ほとん

どないことが明らかになった。一方、畑地土壌では、土壌耕起の効果は、除草以外に認められないことをE. W. Russell and E. J. Russell^{89,90}が述べている。

2. 耕起と発芽・苗立ちとの関係

—耕起と水分の多少が水稻の発芽・苗立ちにおよぼす影響—

乾直水稻栽培上の最大の問題点は、その発芽・苗立ちの安定化にあり、とくに播種後降雨による過湿のための発芽・苗立ちの不良化は、暖地多雨地帯の重要な問題となっている。よって、土膜生成の条件はなしで、ただ耕起の相違と土壌水分の多少が乾直種子の発芽・苗立ちにどのような影響をおよぼすかを知るため次の試験を行った。

(1) 試験方法

試験場所は佐賀農試(佐賀市高木瀬町高木・前佐賀農試)場内の硝子室と網室である。供試土壌として表7のNo.1三日月土壌(SL)とNo.4有明干拓土壌(HC)の水田作土を15kgあて、4連の $a/2000$ ポットに充填し、1964年に移植水稻を栽培し、冬作を行わず、翌1965年夏精選した稲種子を粒間の距離2cm、間隔3cmとして50粒づつ $a/2000$ ポットに播種した。

粒径 $10mm$ の土壌粒子を粒径小、同じく粒径 $10\sim 20mm$ の土壌粒子を粒径大とし、これらの土壌粒子を種子上に2cmの厚さに覆土した。播種期は、1965年6月11日、肥料は硫加磷安16号を $a/2000$ ポット当りN 0.5g, P_2O_5 1.0g, K_2O 1.0g施用した。

両種類の土壌を用いての試験構成は、耕起播種時の粒径大覆土区と粒径小覆土区、ならびに耕起法を異にする耕起区と耕起後鎮圧区及び不耕起区を設け、これらの各試験区をさらに土壌水分の多と少の系列に分けた。

耕起区は地表下15cmまでの深さを移植鋤で耕起し、できるだけ碎土した。耕起後鎮圧区は耕起区と同様の方法で耕起し、播種覆土後、直径約10cmの木製棒を用いて土壌を鎮圧した。

不耕起区では移植水稻刈り取り後の均平な土壌に深さ約2cmの小い穴をあけ、ここに播種し覆土した。

土壌水分の多少は次のように調節した。すなわち多水分区は最大容水量とした。つまりポットの排水口にゴム栓をはめ、土膜ができないよう如露で除々に灌水し、灌水後ゴム栓を抜き灌水を排除後再びゴム栓をし水分を保持した。少水分区は土壌水分をこの最大容水量の70~80%になるように、定期的にポット全体を秤量し不足した水分量を補給しながら所定の水分を保持した。

(2) 試験結果と考察

図16と17に示すとおり、多水分区より少水分区が出芽率や発芽勢が明らかに良好であったが、図18と図19に示すとおり、耕起播種後鎮圧すれば、少水分区の出芽率・発芽勢は多水分

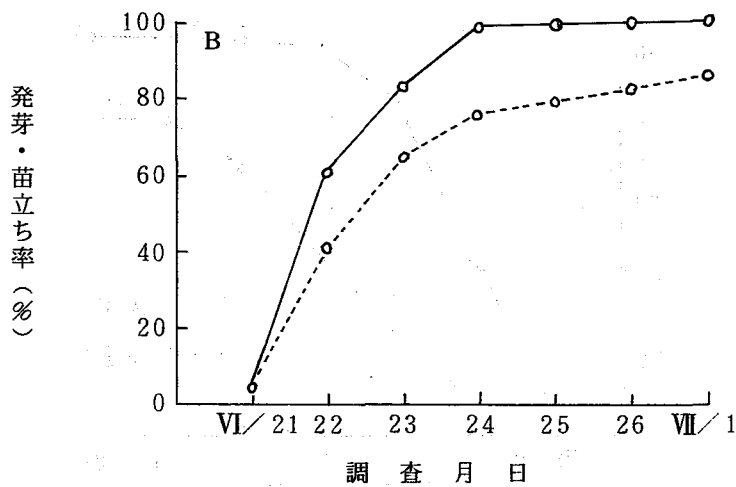
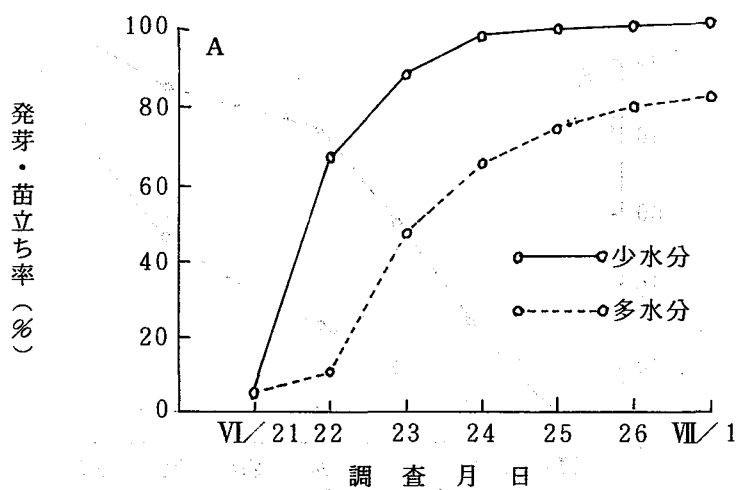


図 16 耕起播種時の覆土粒径の大小と土壤水分の多少が乾直水稻の発芽・苗立ちにおよぼす影響

注 Aは粒径大覆土, Bは粒径小覆土
供試土壤は三日月土壤

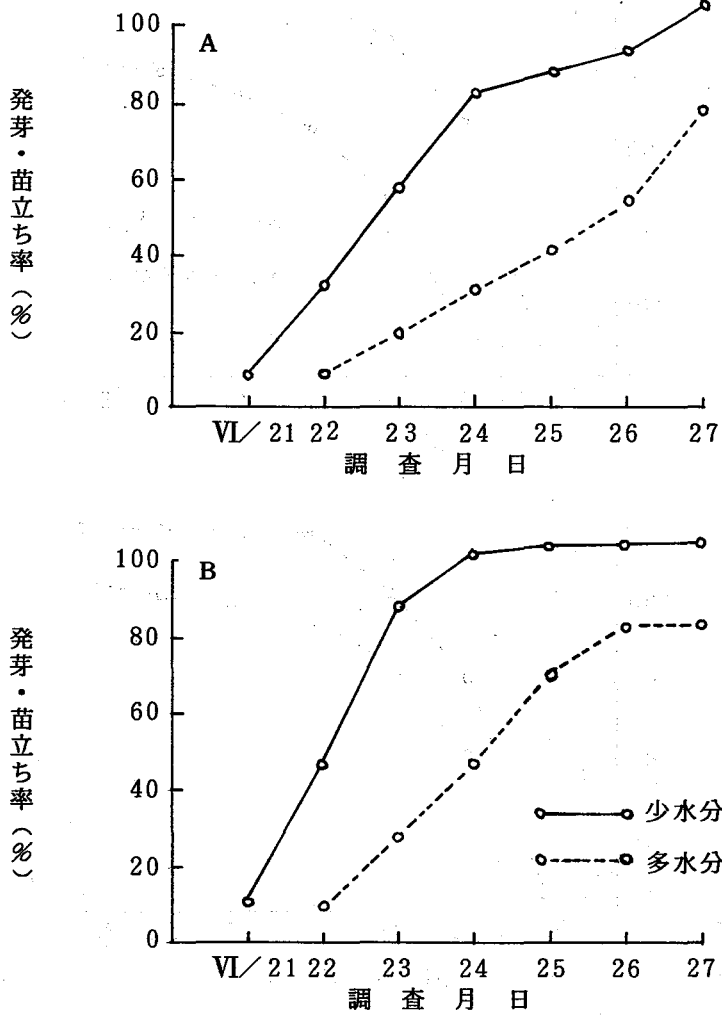


図 17 耕起播種時の覆土粒径の大小と土壤水分の多少が乾直水稻の発芽・苗立ちにおよぼす影響

注 Aは粒径大覆土，Bは粒径小覆土
供試土壤は有明干拓土壤

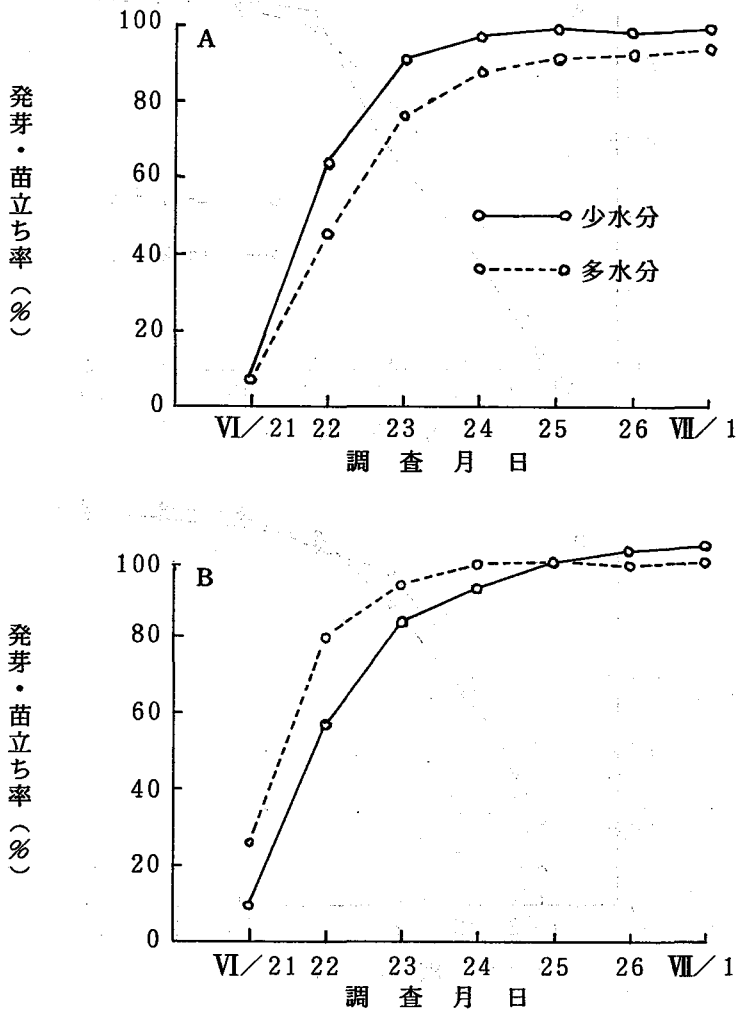


図 18 耕起と水分の多少が乾直水稻の発芽・苗立ちにおよぼす影響

注 Aは耕起後鎮圧, Bは不耕起
供試土壌は三日月土壌

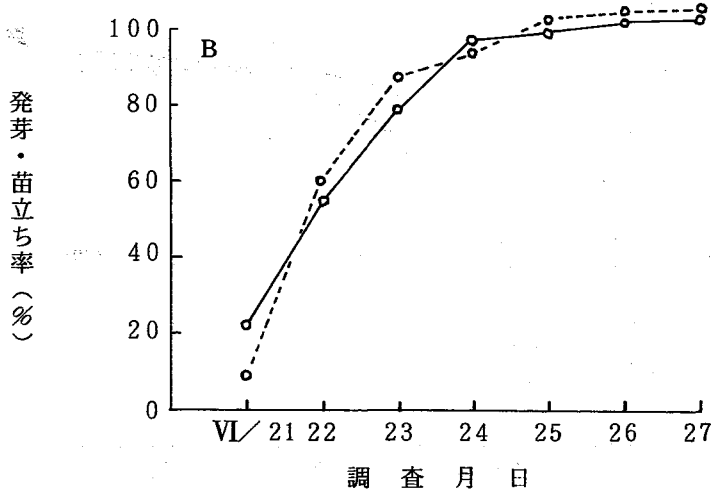
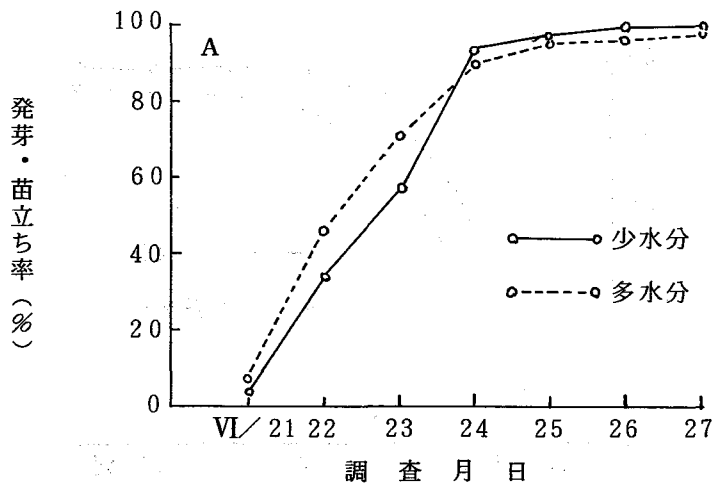


図 19 耕起法と水分の多少が乾直水稻の発芽・苗立ちにおよぼす影響

注 Aは耕起後鎮圧、Bは不耕起
供試土壤は有明干拓土壤

区にやや優るが、その差は少なくなった。さらに不耕起のばあい図18と図19にしめすとおり、多水分区と少水分区とも極めて良好でほとんど差がなかった。

上述のことは不耕起土壤が耕起による土壤構造の破壊がなく、また作土の含水比が耕起土壤より明らかに小さく、気相率は大で出芽には好適であることを示している。また耕起後鎮圧土壤は耕起土壤を、ある程度まで不耕起土壤へもどした中間的な性質をあらわすものと思われる。

なお乾直水稻の出芽率、発芽勢は両土壤とも少水分のばあい、図20にしめすとおり耕起・耕起後鎮圧・不耕起のいずれにおいても安定良好で大差がない。しかし両土壤とも多水分のばあい、図21にしめすとおり明らかに不耕起が最良で、次いで耕起鎮圧区・耕起区が最も劣る。その耕起区中でも覆土の粒径小にくらべ、粒径大のばあいには出芽がおくれ、出芽率が低下した。

耕起区土壤は、耕起後鎮圧区と不耕起区の土壤にくらべ、降雨により土膜を生成し易く、また水分を多く吸収し含水比が大となるため、還元になり易いと考えられる。このことが、耕起土壤において降雨により発芽・苗立ちが極めて悪化する原因となる。

また表層土が過乾（最大容水量の50%以下の水分状態）のばあい、耕起区土壤は耕起後鎮圧区や不耕起区の土壤にくらべ、発芽・苗成ちは極めて遅くなるとともに不良となる。この現象はポット試験・枠試験でも明らかであるし、またしばらく降雨のない気象条件下の乾直水田でも必ずみられる。耕起土壤は地表を耕起するため毛管現象による下層からの水分上昇を遮断するため、種子圏または根圏域への水分の供給が止まるのに反し、不耕起土壤では下層からの水分上昇を遮断しないので、耕起区は鎮圧区や不耕起区にくらべて発芽・苗成ちが不良になると考えられる。

以上の結果から地表の耕起は土壤水分の降雨による過多（最大容水量の80%以上）や土壤乾燥による過少（最大容水量の50%以下）のいずれのばあいにも、乾直水稻の発芽・苗成ちに良好な影響を与えない。これに反し、不耕起は耕起したばあいにくらべかえて良好な結果をもたらすものといえる。

3. 摘 要

耕起法の相違が降雨による土膜生成や発芽・苗成ちにおよぼす影響について、土壤物理性の変化と土壤水分の多少を中心に圃場とポットで試験を行い次の結果をえた。

- (1) 圃場試験において降雨前の耕起土壤の三相分布は不耕起土壤にくらべ、固相率・液相率が低く気相率が高く、かつ孔隙量が多い。しかし降雨後これらの値は、不耕起土壤の気相率や孔隙量の値に近づいた。すなわち降雨後の土壤物理性は耕起・不耕起の両土壤ともほとんど差がないことを圃場試験で明らかにした。また一般に耕起土壤は降雨により土膜を形成するが、不耕

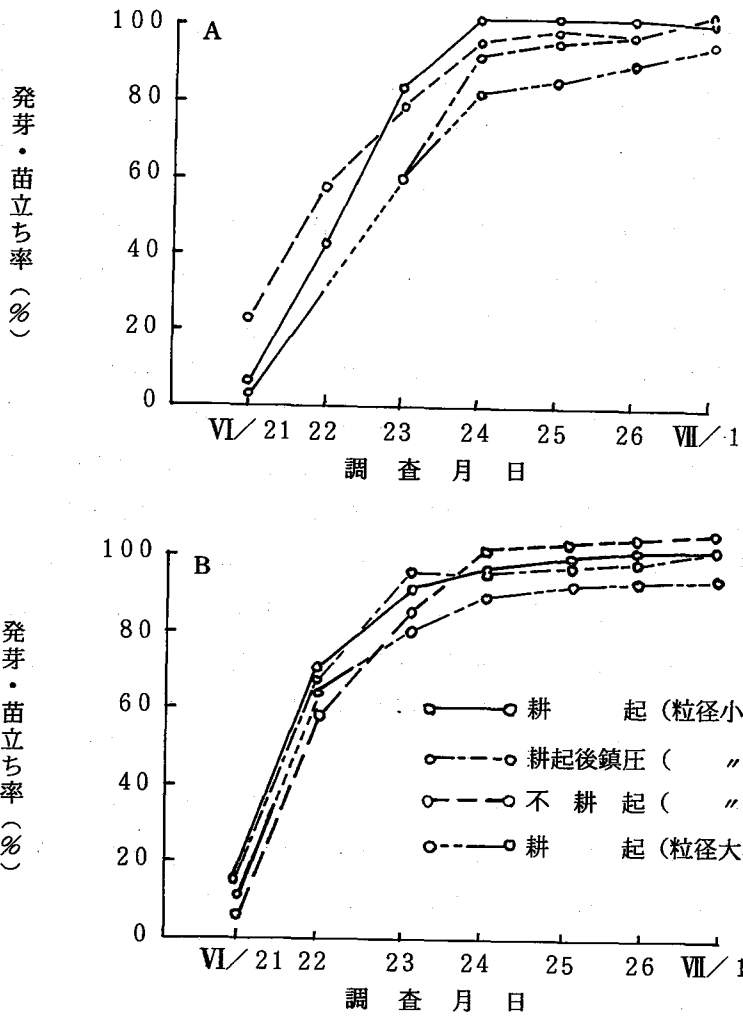


図 20 耕起法の相違と乾直水稻の発芽・苗立ち
(少水分のばあい)

注 A は有明干拓土壤、B は三日月土壤

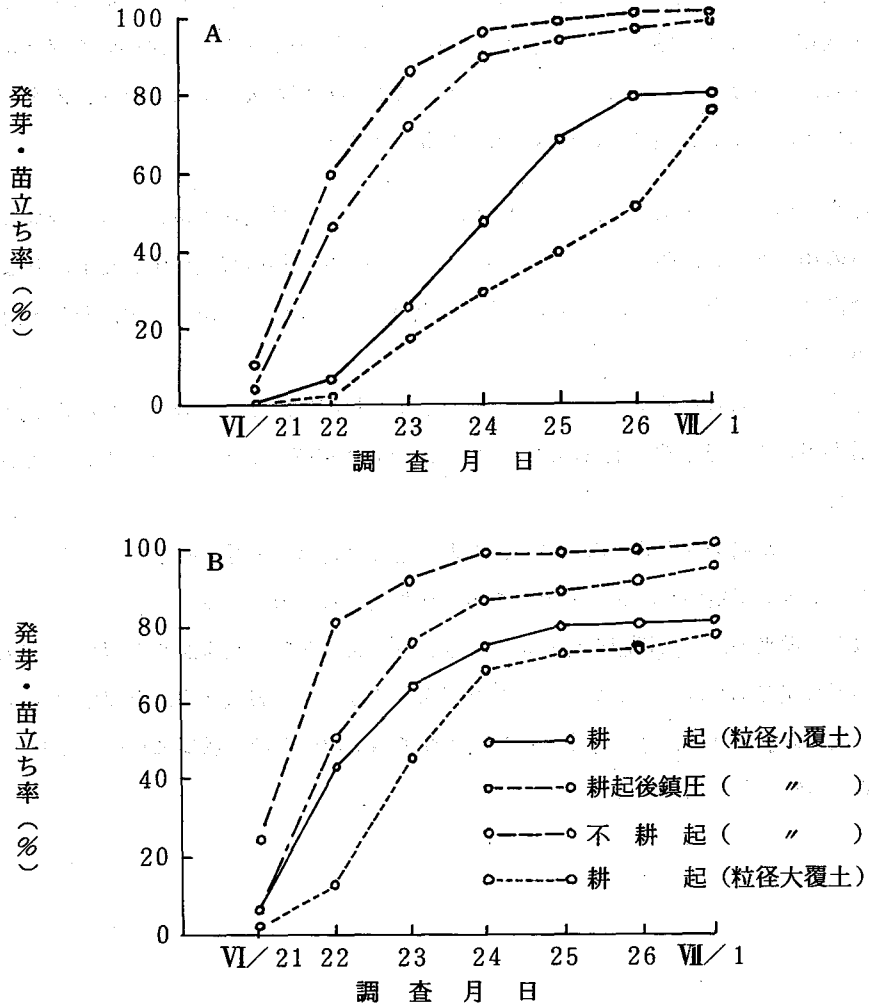


図 21 耕起法の相違と乾直水稻の発芽・苗立ち
(多水分のばあい)

注 A は有明干拓土壤, B は三日月土壤

起土壤は降雨後も土膜を形成しない。降雨はこのような影響を土壤に与えるので降雨回数が多いほど耕起土壤の物理性は悪化し、降雨による有利な点は認めえなかった。

(2) 耕起と不耕起の相違による各種土性別の土壤 (SL, CL, HC) の灌水後における三相分布の変化をポット試験でさらに精細にみると、いずれの土壤も耕起区の気相率は不耕起区よりも明らかに低かった。すなわち耕起により一度は気相率が大きくなったが、灌水によりかえって気相率は低下し、逆に不耕起区が高い気相率をしめした。

(3) 乾直水稻の発芽・苗立ちは、耕起土壤では多水分区 (最大容水量) より、少水分区 (最大容水量の70~80%) が明らかに良好であった。しかし耕起播種直後鎮圧した土壤では少水分区がやや良好であった。さらに不耕起土壤では土壤水分の多少にかかわらず、発芽・苗立ちは極めて良好である。

発芽・苗立ちは水分が少ないとき、耕起および耕起後鎮圧の有無にかかわらず良好であるが、水分が多いときは不耕起土壤が最も良好、次いで耕起鎮圧土壤であり、耕起土壤が最も不良であった。

なお水分が過少 (干魃) のばあい、地表耕起は毛管水分の種子圈土壤への上昇が遮断され、かえって水分不足のため発芽・苗立ちが遅延悪化するものである。

以上、従来のような耕起を行わず、深さ2~3cm (前作の刈株が残る程度) に極めて浅耕するか不耕起であれば、降雨があっても土壤構造をほとんど破壊せず、土膜は生成されず、かえって土壤の物理性は良好となる。そのため種子圈土壤は過湿・過乾にならず、発芽・苗立ちは極めて良好となる結果をえた。

第4章 浅層弾丸暗渠施工による土壤物理性 (透水性と土壤構造)の改良

本章では灌水前の慣行耕起と灌水後の慣行代かき作業が、土層の透水性をほとんど消失させると考え、佐賀平野水田土壤の不透水層(A12層とB1層)に透水性を附与し、土壤構造を発達させる方法を検討した。

1. 耕起・代かきによる透水性の低下

耕起土壤では、雨水と雨滴により土塊が崩壊分散し、ついには土膜を形成することはすでに第2章で述べたとおりである。一般に無灌水耕起水田で、降雨により分散した土壤粒子は、孔隙を塞ぎ土壤を緻密にする。土壤の分散粒子による孔隙の閉塞は2、3の土壤物理学者により確かめられている¹¹⁾。他方、灌水水田土壤は、代かきにより土壤団粒は破壊分散・単粒化される。このように分散した土壤粒子は、鋤床層と酸化的集積層の亀裂や孔隙を塞いで、不透水層を形成⁷⁸⁾する原因になる。水田に灌水または保水を維持することが、代かき本来の重要な目的¹¹⁴⁾の一つでもあったわけである。

一般に水田における水の減少を、1日当りの水位低下量であらわし、これを日減水深^{15,76)}という。減水深は水面蒸発量、葉面蒸発量と浸透量の和で、水田における水の消費量をあらわすために常用されているが、水田の透水性を知るためには浸透量を明らかにする必要がある。降下浸透量のデータはきわめて少ないので、耕起・代かきが透水性の低下におよぼす影響を、土壤の降下浸透速度の面から明らかにしようとした。

(1) 耕起法が土壤透水能へおよぼす影響

耕起法を異にしたばあい、収穫後の水田における透水能を調査し、再耕起の有無が跡地水田の透水能におよぼす影響を次の実験から検討した。

1) 供試土壤と実験法

実験圃場である佐賀農試圃場の土壤類型は灰色土壤群の強粘土構造鉄・マンガン型(2)に属し、作土の厚さは10~11cm、鋤床層の厚さは5~6cmである。この圃場に耕起法と栽培法の異なる3区画を設置した。すなわち浅層弾丸暗渠/不耕起乾直区、耕起乾直区、耕起/代かき移植区である。これらの試験区に収穫後インテグレートシリンダー(直径20cm、高さ35cmの鉄製の円筒)を20cmの深さに打込み自然状態の土壤試料を4連づつ採取した。これら3区画の各水田土壤の三相分布は表15にしめすとおりであるが、作土下の気相率が浅層弾丸暗渠・不耕起乾直区が最も高く、次いで耕起乾直区で、耕起代かき移植区が最も低いのが特徴的で

表15 供試土壌の三相分布

試験区名	層位 cm	試料の採取深 cm	三相分布 (Vol%)			孔隙量 Vol%
			固相	液相	気相	
浅層弾丸暗渠 不耕起乾直区	0~10	6	39.4	45.6	15.0	60.6
	10~21	15	41.3	39.5	19.2	58.7
	21~42	27	42.7	43.6	13.7	57.3
耕起乾直区	0~10	5	38.7	45.1	16.2	61.3
	10~20	15	47.5	42.1	10.4	52.5
	20~40	28	46.6	46.0	7.4	53.4
耕起・代かき 移植区	0~9	6	41.6	45.8	12.6	58.4
	9~20	15	47.2	44.4	8.4	52.8
	20~37	27	38.7	54.7	6.6	61.3

あった。その中の2連は自然状態で、他の2連は地表下5cmの深さに移植鋤で再耕起し、軽く鎮圧した。準備完了後各シリンダー毎に、50cmの高さより12ℓづつの水を、隋円形の28cm²の面積に径0.3mm孔が452個ある、小判型如露口付き日農10ℓ如露で灌水（人工降雨）し、透水能の指標として土層を通りシリンダー外への水の流出開始と完了の時間を測定した。

2) 実験結果と考察

- i 栽培法別透水能 栽培法別の透水能を図22、図23にしめした。これによれば流出開始・完了時間とも、浅層弾丸暗渠／不耕起乾直区が最小で、耕起乾直区がこれに次ぎ、耕起／代かき移植区が最大であった。これは耕起法の違いに由来する亀裂や孔隙の水ミチが、浅層弾丸暗渠／不耕起乾直区が最も多く、次いで耕起乾直区であり、耕起代かき移植区が最も少ないためと推察された。
- ii 再耕起の有無による透水能 耕起区が不耕起区にくらべ明らかに透水能が劣った。すなわち耕起乾直区と耕起／代かき移植区は浅層弾丸暗渠／不耕起乾直区にくらべ、流出完了時間がはるかに長かった。各区を再耕起すると無耕起にくらべ時間の経過とともに流出量が少なくなり、流出速度が低下した。中でも耕起／代かき移植区が最大で、流出完了時間が極めて長かった。このことは再耕起区では降雨により分散された土壌粒子が水ミチを塞ぐからであり、水ミチが少ない耕起法による栽培区の土壌がより大きい影響をうけ、流出時間が長くなるものと考えられる。このように耕起乾直区と耕起／代かき移植区は、浅層弾丸

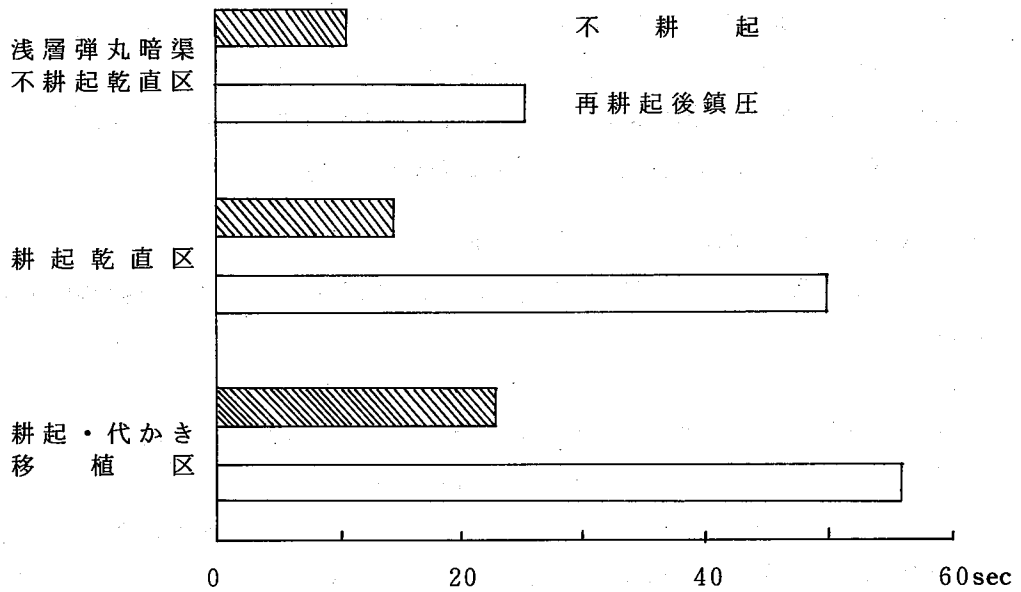


図 22 耕起処理別水田土壤の透水性
— 降雨後の流出開始時間 —

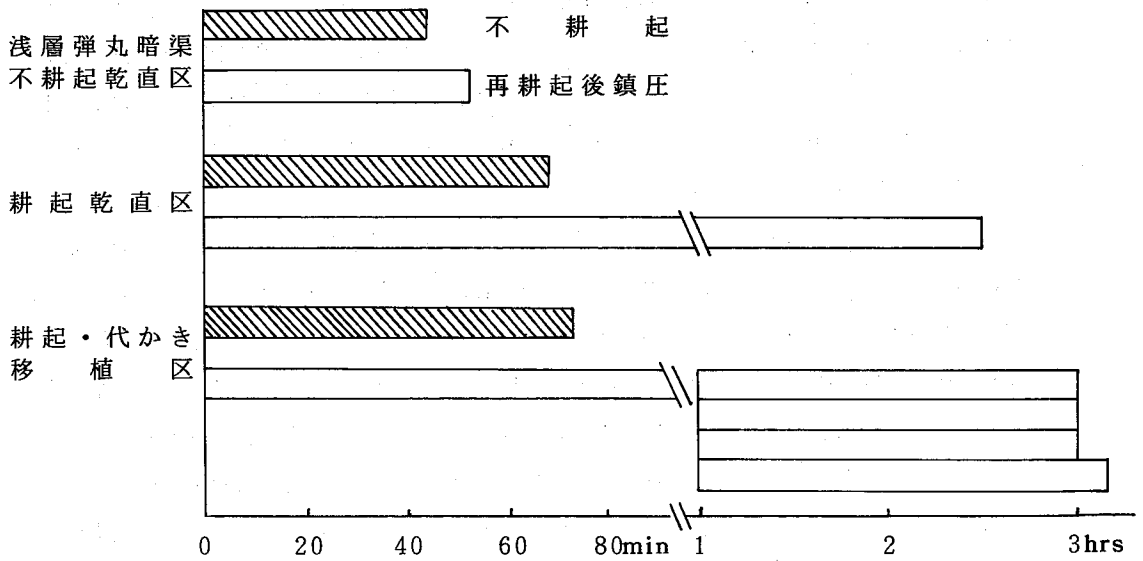


図 23 耕起処理別水田土壤の透水性
— 降雨後の流出完了時間 —

暗渠／不耕起乾直区にくらべ自然状態のままでも透水能が劣るが、さらに耕起すれば分散した土壌粒子が水の通路を塞ぎ、透水性をますます不良にすることが明らかにされた。人工降雨実験後の自然状態のままの土壌では土膜の生成はなかったが再耕起区はいずれも表層にわずかに土膜の生成が観察された。その様相は浅層弾丸暗渠／不耕起乾直跡区は2～3mm程度で、耕起乾直跡区と耕起／代かき移植跡区は4～6mmとやや厚かった。

(2) 地下水位低下条件下の耕起・代かきが透水性におよぼす影響

耕起・代かき移植区において、暗渠を埋設し、地下水位を規制することによる透水性付与の有無を確かめるため次の試験を行った。

1) 試験方法

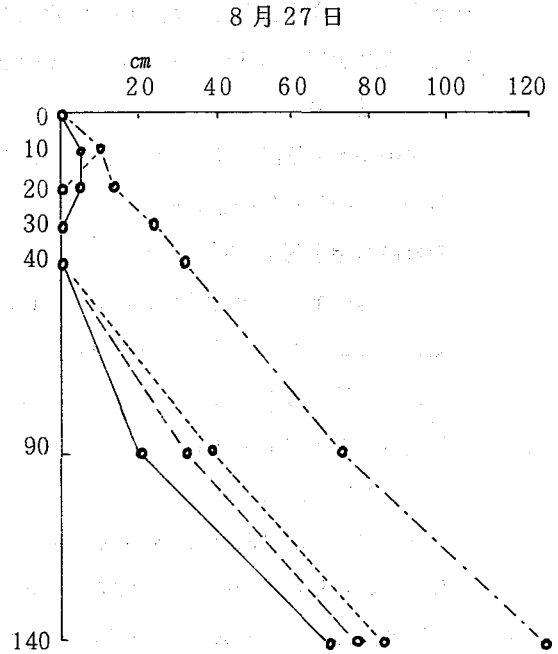
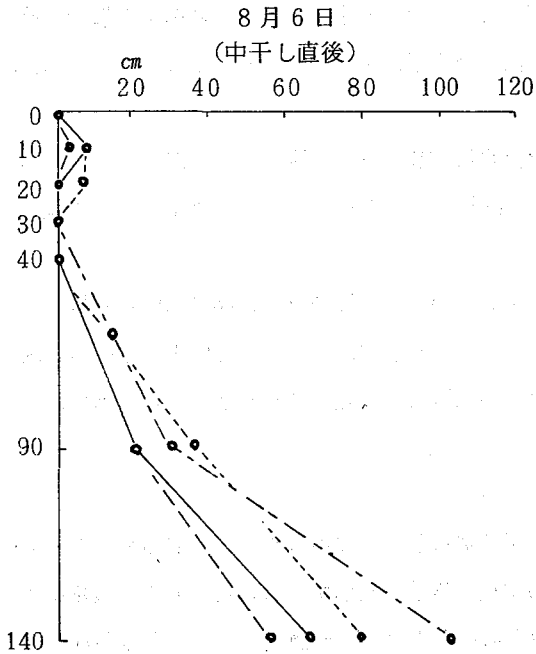
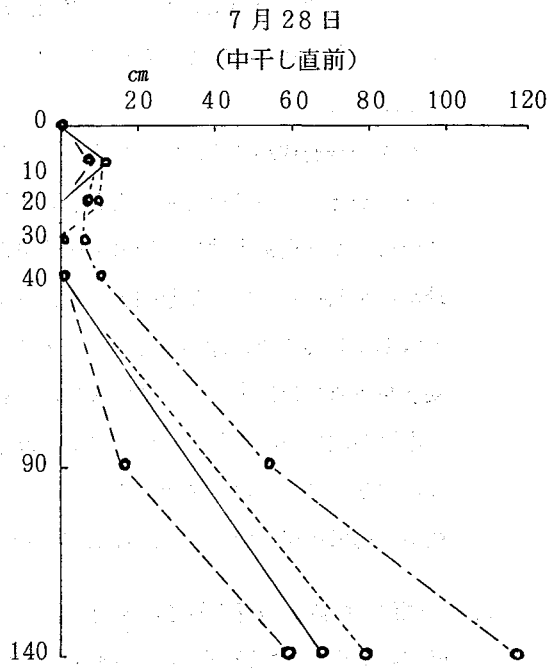
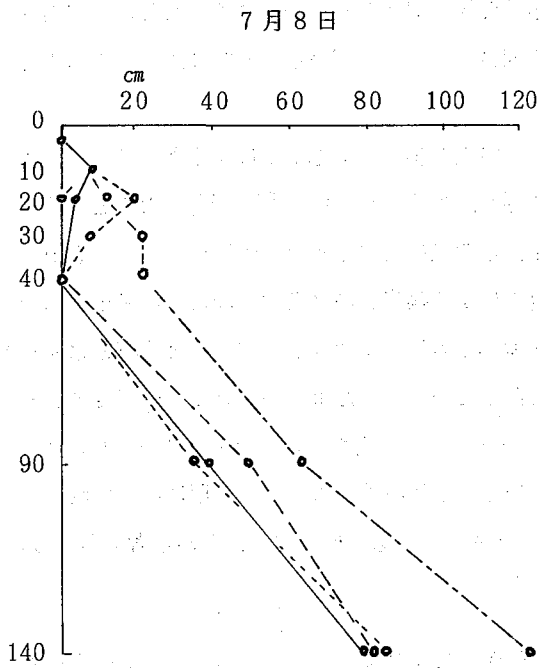
1967～68年に造成した佐賀農試（佐賀郡川副町南里）場内の地下水位調節試験区¹⁰²で実施した。この試験区は1968年夏作より移植水稻栽培を開始した。

1区2a（10×20m）の試験区短辺の両側に10×1×1.9m（深さ）の水位調節用コンクリート水槽を設け、暗渠は試験区长辺と平行に、3m間隔に3列ずつ地表下30、60、90cmの深さに堀削・埋設し両端を両水槽に連通させた。暗渠資材は内径55mmのスリット付き塩ビ管で、この管の周りに径5～10mmの砂を巻きスリットの目詰りを防止した。水槽にはフロートレススイッチを取り付けた揚水ポンプを設置し、水槽内水位を自動調節できるようにし、試験区内の地下水位を規制した。

上記のように造成した地下水位調節試験区（通称人工圃場と称す）で、水の動きをみるため1970年に土中水圧を測定^{16,71}した。このばあい、無暗渠の隣接普通移植区を標準対照区とした。土中水圧はストレイナーを切らない内径40mmの塩ビ管を1m間隔に、また地表下10、20、30、40、90、140cmの深さに埋設し、稲作期間中管内の水位を測定した。

2) 試験結果と考察

深さを異にした暗渠を埋設し、地下水位を規制した移植試験区における土中水圧分布を図24に示した。この図によると、灌水期間中いつでも、また地下水位とは関係なくどの区でも、田面下10cmまではその深さに等しい水圧を示した。しかし10～20cmまでは土中水圧が減少し、20～40cmでは負圧を生じた。深さ40cm以下では再び正圧に戻るとともに、この40cmを基点として、田面下10cmまでにしめた静水圧曲線にほぼ平行に近い土中水圧曲線をしめた。これらのことは田面下10cmまではもちろんのこと40cm以下も、深さと比例した水圧をしめし動水勾配は0に等しく、降下浸透がまったくないことをしめしている。さらに本測定結果から、この試験区の不透水層は田面下10～20cmの鋤床層（A12層）と酸化的集積層（B1層）で、これが田面水の降下浸透を妨げていることが認められた¹⁰²。



(凡例) ●-----● 地下水位 30 cm
 ●-----● " 60 cm

●-----● 地下水位 90 cm
 ●-----● 対照田

図 24 暗渠埋設移植水田の土中水圧分布

なお普通移植対照田の中干し直後は、静水圧曲線に対する平行がややくずれが、間もなく中干し前の状態に回復するので、中干しの前後ともほとんど静水圧曲線に近い土中水圧分布を示した。

在来の普通代かき移植田はいうまでもなく、暗渠を施設して地下水位を低下させても、耕起・代かきによってほとんど田面水の降下浸透が認められなくなる^{81,114})。このことは農林省が行った「重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研究」⁸¹)において、水田の透水性を悪化させている原因として、シロカキにより鋤床層の緻密化が助長され最小透水層をなしていることに起因していることや、山崎らが代犁(シロずき)による節水(浸透防止)機能を認めて報告¹¹⁴)していることとも符合している。また永石がシロカキの程度による透水性の減少を明らかにした実験結果の報告^{66,68})とも一致する。このように田面水の降下浸透がなくなるのは、耕起・代かきのため分散した土壌粒子によって、冬期に生成された亀裂や粗孔隙が充填密閉され、A 12 層と B 1 層とが不透水性となったためと考えられる。

(3) 移植田と乾直田の降下浸透の相違

既述のように、水田の降下浸透量は耕起・代かきにより極めて減少する。ここでは代かき移植田と代かきを行わない乾直田の減水深を測定し、また移植水稻と乾直水稻の蒸発散量を測定し、両測定値から代かきの有無による両栽培田の降下浸透量の相違を明らかにしようとした。

1) 試験方法

試験場所と施設は前項の(2)と同じく地下水位調節試験区(人工圃場)で、耕起代かき移植栽培と耕起乾直栽培を実施し、1973年稲作期間中にN型減水深枠⁷¹)を設置し、両試験区の日減水深を測定^{71,80})した。

他方場内水田の層位別の土壌を充填した1 m立方の有底鉄枠を自然状態の水田と同様の環境条件におくため、場内水田に埋めこんだ。これを移植水稻区、乾直水稻区と裸地区の3区にわけ、鉄枠は栓をして全区無透水とし3連づつ栽培し、日減水深を測定し両栽培水稻区の蒸発散量と蒸発量を測定算出した。

2) 試験結果と考察

図25によれば移植田は乾直田にくらべ減水深は明らかに少なかった。一方他面水と水稻茎葉からの日平均蒸発散量は図26のように移植水稻(稚苗・成苗両者のばあい)と乾直水稻の差異は極めて僅少であった。移植田と乾直田との減水深は、蒸発散量にほとんど差がないので、降下浸透量の差が主体とみられる。しかも図25と図26を比較すれば、移植田の減水深は移植田の蒸発散量とほぼ同等かやや多い。これに対して乾直田の減水深は移植田よりはるかに多い。したがって乾直田では明らかに降下浸透が認められるのに、移植田では降下浸透が

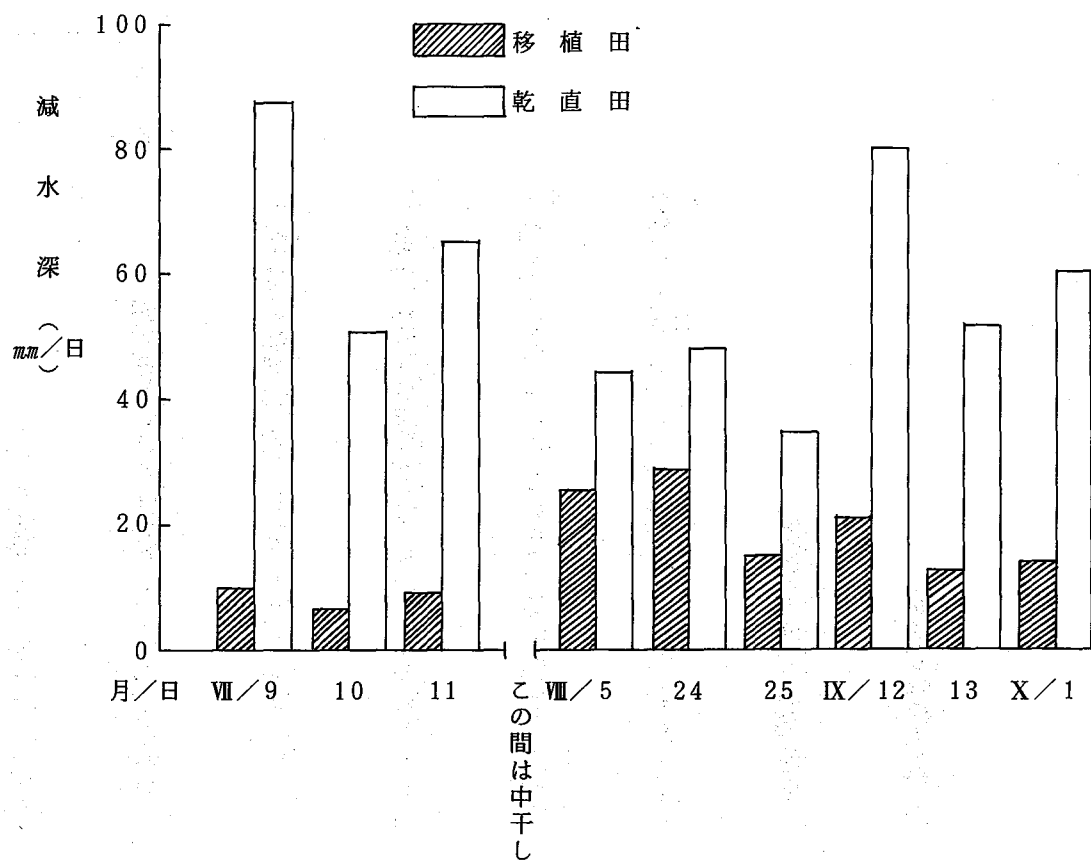


図 25 暗渠埋設水田の減水深

がほとんど認められない^{9,81)}。有村ら⁹⁾ならびに農林省による「重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研究」⁸¹⁾では、シロカキにより鋤床層が緻密となり、最小透水層をなしていること、あるいはシロカキされた耕土層自体が最小透水層となることもあると報告している。したがって前記(2)の項で明らかにしたように、移植田では代かきによって分散した土壌粒子が、亀裂や孔隙を充填閉塞し、不透水層化することを裏付けるものである。

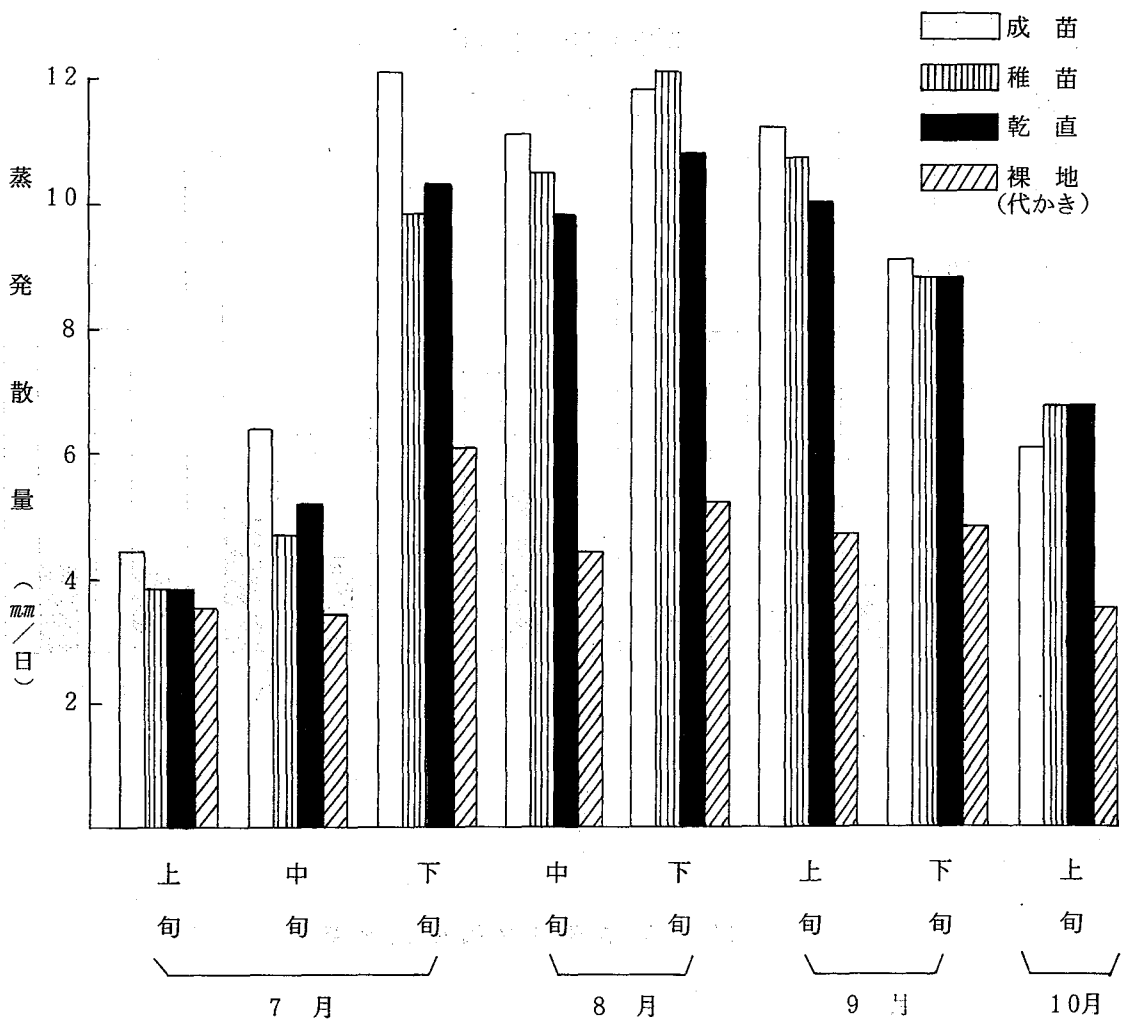


図 26 栽培法別水稻の蒸発散量

2. 弾丸暗渠による土壌構造の発達と透水性の改良

土層中の浸透水量は最小透水性をもつ層に支配され^{11,81)}、また積極的な排水は亀裂を生成し構造を発達させる¹¹⁾ことになる、と考えられる。したがって不透水性の鋤床層と酸化的集積層に亀裂を生成させ、透水能を与える方法として弾丸暗渠機を用いた。本来、弾丸暗渠は暗渠排水の一方法として発達してきたものである。長浜の暗渠排水技術史の研究^{62,63,64)}によれば、古代ローマ時代に農業上に利用された暗渠排水技術は、ローマ帝国滅亡とともに失われ中世には行われなかった。しかし17世紀にいたりイギリスで復活し⁶²⁾、さらに18世紀には同国で近代暗渠排

水技術（弾丸暗渠のはしり）が創始され⁶³、19世紀になり暗渠排水技術は飛躍的に進歩し、ヨーロッパ大陸へと広がった^{14,63}。近代暗渠排水方式が我国へ導入されたのは明治以降⁶⁴で、我国での弾丸暗渠機の歴史は比較的浅いが、この排水に関する農業土木的試験は多く実施されてきた^{65,67,69,106,107,108}。しかし土壌の構造や作物の生育に直結した営農的試験はほとんど行なわれていない。よって排水に最も効果のある施工位置、効果範囲、さらに弾丸暗渠の施工による土壌構造の発達について研究した。

(1) 弾丸暗渠施工位置と亀裂生成

1) 試験方法

試験場所は佐賀平坦地区水田で、供試田の土壌類型は施肥改善方式^{96,97,98,99,100}では灰色土壌群強粘土構造鉄・マンガン分化型(4)、菅野分類体系^{41,42,43,44}では表面水型グライ性水稻土Vb型に属する。

弾丸暗渠施工はモールドレイナー（弾丸部、径80～100mm）を装置したクローラ型トラクター（芝浦K.K. 35 ps）で行った。施工時期は1971年12月～1972年2月で、施工位置の深さは25, 30, 35, 40, 50, 60cm、暗渠間隔は2mとし、一部は5m間隔で行った。

弾丸暗渠施工位置別の亀裂生成状況を知るため白色塗料を流し込んだ。すなわち所定の位置に鉄製のN型減水深枠（大きさ50×50×高さ20cm、横穴はビニール布で塞ぐ）を少し埋込み接地し、この枠内に水溶性白色ビニール塗料原液（エマルジョン壁塗料、ビニレックス5000 M, 白, 日本ペイント製）の5倍希釈液を10ℓずつ流した。白色塗料が浸透完了する24時間経過後、枠を除き断面における白色塗料の分布状況を透明ビニールをあてスケッチした。

2) 試験結果と考察

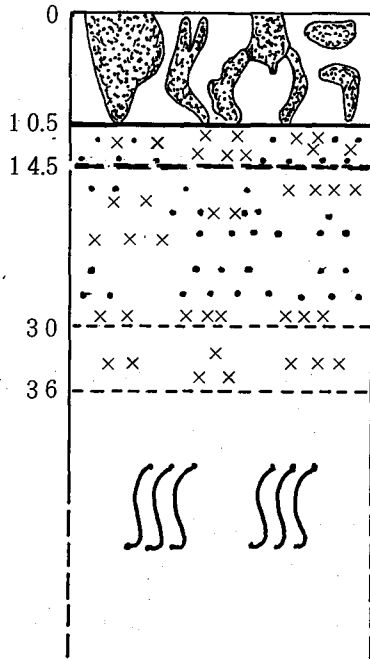
1 深度別亀裂生成状況

普通乾田のばあいは、図27のように深さ25～35cmのB₁層上半部に弾丸暗渠を通すことにより、緻密な酸化的集積層（B₁層）にはもちろん、直上の最も緊密な鋤床層（A₁₂層）にも亀裂の生成が認められた。すなわち深度を異にした弾丸暗渠施工によれば、図27-(1)・(2)のとおり施工位置は田面よりの深さ30cmに最も多くの亀裂を生成し、次いで深さ25cm、35cmの順に生成が良好であった。これらはいずれもB₁層の範囲内であった。弾丸暗渠施工深度がB₂層以下と深くなるにしたがい亀裂の生成が次第に減少し、僅かに生成する程度であった。

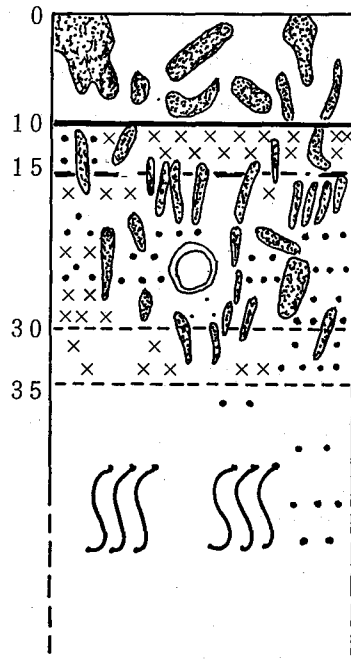
このように弾丸暗渠施工深度が35～40cmでは、まだ亀裂を生成するが、50～60cmと深くなるにしたがい急速に生成されなくなった。

以上のように水田土層への弾丸暗渠の施工深度によって亀裂生成の程度が異なること^{27,36}を明らかにした。

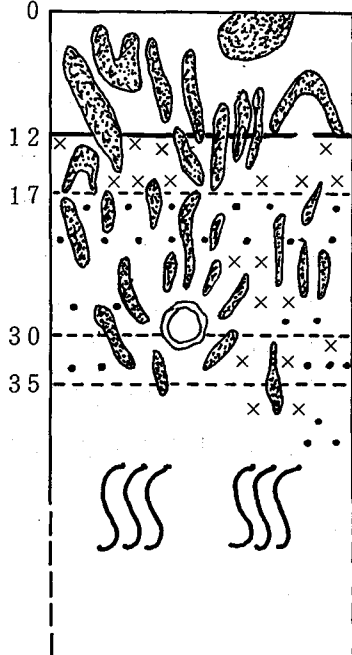
1. 弾丸暗渠施工なし



2. 弾丸暗渠位置 25 cm 施工



3. 弾丸暗渠位置 30 cm 施工



4. 弾丸暗渠位置 35 cm 施工

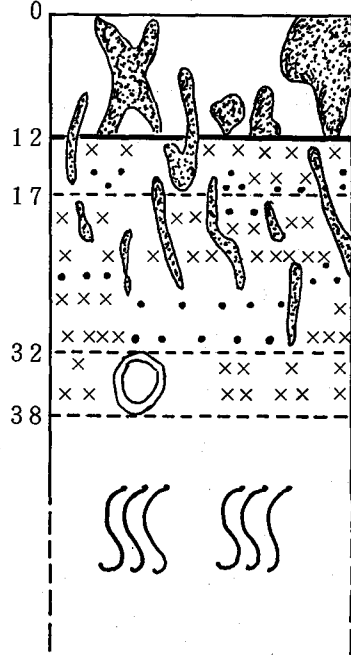
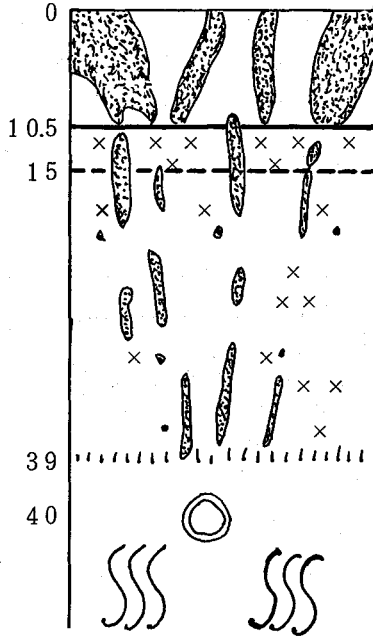
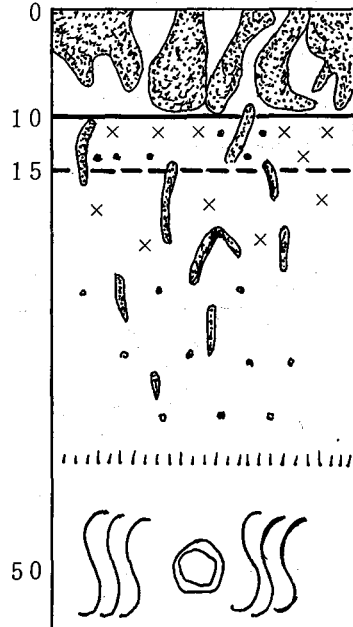


図 27-1 弾丸暗渠施工位置による土層の亀裂生成

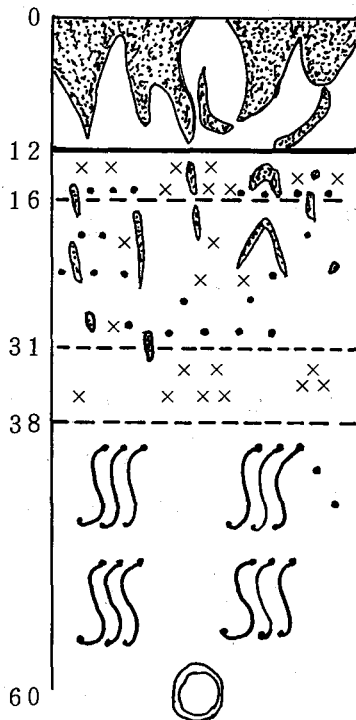
5. 弾丸暗渠位置 40 cm 施工



6. 弾丸暗渠位置 50 cm 施工



7. 弾丸暗渠位置 60 cm



〔凡 例〕


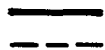
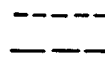




-  亀裂部分
(白色塗料浸入部位)
-  鋤床層 (A12g層)
-  旧鋤床層
-  弾丸暗渠位置
-  斑 鉄
-  マンガン斑紋結核
-  脈 状 斑

図 27-2 弾丸暗渠施工位置による土層の亀裂生成

ii 亀裂生成の範囲

地中における亀裂生成状況は土壤水分の多少、土壤の種類などにより若干の相違はあるが、本試験ならびに従来の試験結果^{23,33,34,35,36})を総合すると図28のとおりである。主に亀裂が生成する部分は弾丸暗渠施工位置(暗渠孔: D)と暗渠から垂直方向の地表部地点(弾丸暗渠支持板通過地点: C)から左右各々約0.7~1.0 mの両地点(A, B)とを結

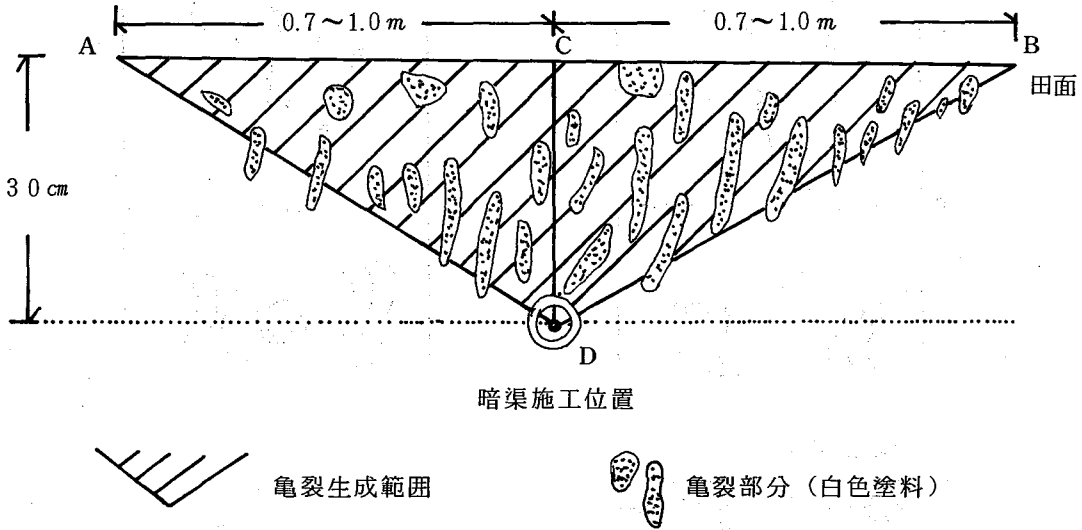


図 28 亀 裂 生 成 の 範 囲

ぶ二等辺三角形DABの範囲内である。したがって暗渠間隔2 mのばあい、人為的亀裂発生部分が左右各1 mであれば暗渠間の左右の両直角三角形の斜辺DA, DBより下層の部分には十分な亀裂は認められないが、作土上層は左右隣接の弾丸暗渠の亀裂発生部分とながる。

このように弾丸暗渠が地表下60 cmのように深すぎ、暗渠間隔の巾が5 mのように広すぎると、その中間にはほとんど亀裂が生じない。その理由は60 cmのように深いと、弾丸暗渠施行位置がB層下部またはそれ以下になるため、地下水の影響により水分含有量が多くなるB2層またはBG層などの軟弱土層に暗渠孔を施工したことになり、亀裂が生成さ

れない。さらに暗渠施工位置が深くなるほど、最も亀裂生成を必要とする不透水層のA12層、B1層から離れるため、これらになんらの影響も与えない。また亀裂生成の水平範囲は、施工位置の地表部地点から左右へ0.7～1.0 mの範囲であった。したがって左右合計2 m巾より広い施工では、その範囲外の間部分に亀裂は生成されない。

要するに弾丸暗渠施工による亀裂生成の範囲は、緊密なB1層への施工、すなわち深さ約30 cmの位置へ、また2 m以内の間隔で施工する浅層弾丸暗渠が最も効果的^{23,25,33,36}であることを究明した。

(2) 浅層弾丸暗渠施工に伴う亀裂と三相分布の変化

発芽・苗立ちを良好にし、根の生育を健全にするには、土壤に透水性を付与し^{31,35,36}、かつ構造を発達させるためには、適正な浅層弾丸暗渠の施工、また降雨による土膜の生成を防ぎ、降下浸透を助長する不耕起（または浅耕）が必要である。これらを組み合わせ稲・麦を同一方法で作耕条播する栽培様式を新農法^{23,31,36,93}と称し、これに対し耕起代かき移植する稲作と耕起畦立てによる麦作をくり返す慣行栽培様式を在来農法と称する。新農法の水田土壤の亀裂、三相分布の状態を在来農法の水田土壤と対比し、総合的に明らかにするため次の試験・調査を実施した。

1) 試験方法

試験場所は現佐賀農試内圃場（佐賀郡川副町南里）、供試水田の土壤類型は施肥改善方式によれば灰色土壌群の強粘土構造鉄・マンガン混在型(3)に属する。菅野の分類方式^{41,43,44}によると表面水型グライ性水稻土Vc型に属する。

永年、在来農法を行ってきた面積50 a（50×100 m）の水田を30 aと20 aに区分し、30 aは1969年度冬作より、20 aは1971年度冬作より、前記のとおり浅層弾丸暗渠を施工し、稲麦連続の新農法（浅層弾丸暗渠施工・不耕起乾直田）を開始した。なお近隣の在来農法水田30 aを対照田（耕起移植田）として設置した。1972年2月9日を中心に次の調査・測定を行った。白色塗料流入による亀裂調査の方法は既述のとおりである。三相分布は層位別に土壤を100 ml円筒3連で採取し、DIK 100型実容積測定装置（大起理化学工業K.K.）で測定した^{16,61}した。

2) 試験結果と考察

ⅰ 土層の亀裂状態 浅層弾丸暗渠によって生成した亀裂状態を図29にしめす。在来農法の移植対照水田では白色塗料の流入浸透が鋤床層上部でとどまり、この層以下には亀裂が生成されていない。一方新農法水田では、1作目で浅層弾丸暗渠施工位置の深さ約30 cmまで鋤床層、酸化的集積層を通して白色塗料が浸透し、亀裂が発達していた。新農法実施後3

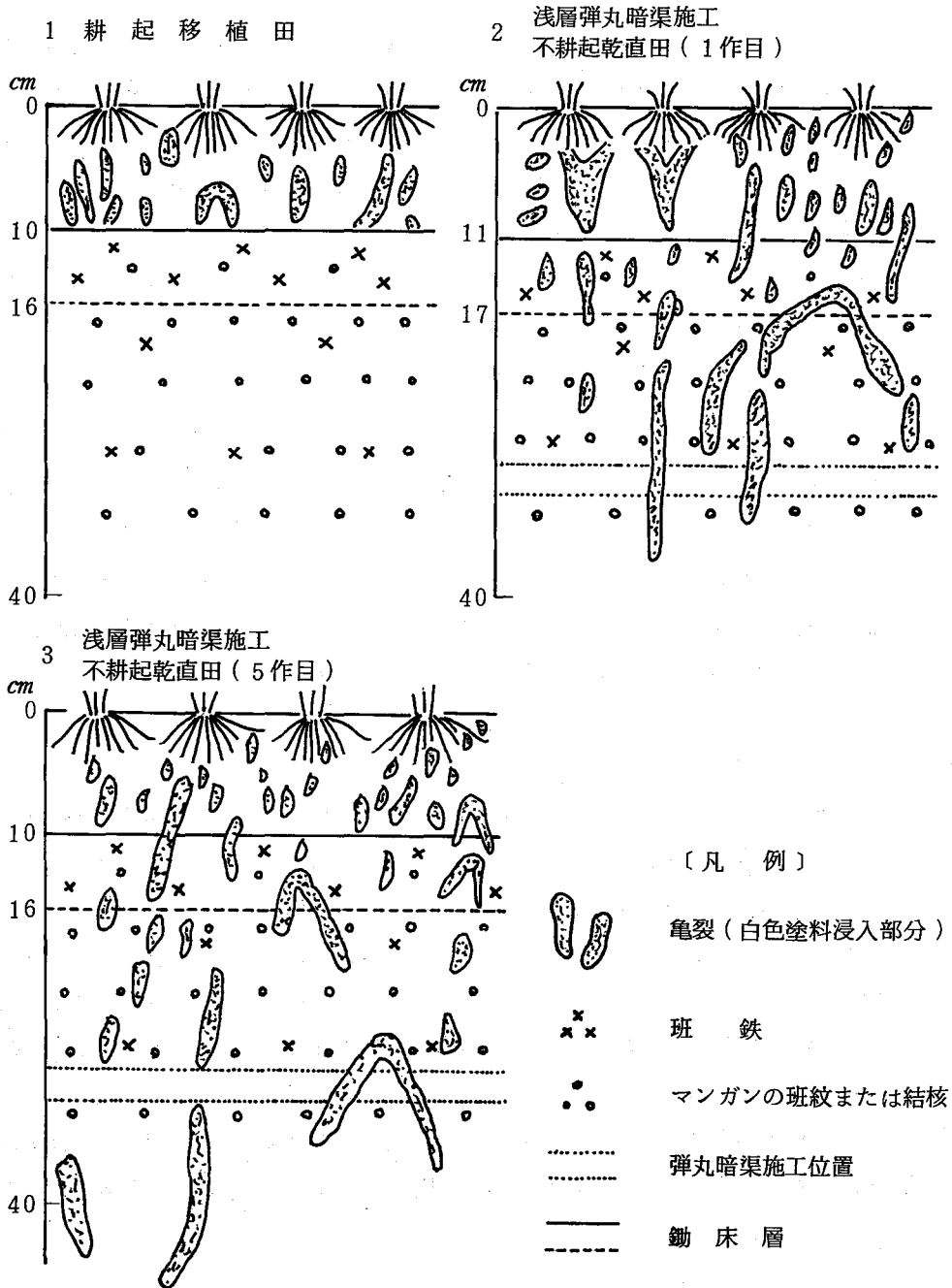


図 29 浅層弾丸暗渠施工による土層の亀裂生成状況

年目の水田では、5作目にもかかわらず白色塗料は暗渠施工深度30cmより深くまで浸透し、亀裂の分布は1作目とほぼ同じであった。これらのことは浅層弾丸暗渠施工・地表不耕起作溝条播方式を継続すれば、土壌構造（亀裂）が一層発達することを示唆している。

- ii 三相分布 水田土壌の栽培法別三相分布を図30にしめす。これによれば在来農法田の気相部分はApg層、A12g層、Blir層をつうじ極めて少ない。新農法田は地表不耕起にもかかわらず、亀裂が多く土壌構造も発達し、Apg層からA12g層、B1g層までの気相率が極めて大きかった。

なお収穫後冬から春にかけて、新農法田と在来農法田の土壌三相分布の調査結果を図31にしめた。降雨⁹²⁾により液相と気相間に若干の変動はあるが、総体的にみて新農法田が、在来農法田にくらべ、作土から30cmまでの層位の気相率はつねに高かった。

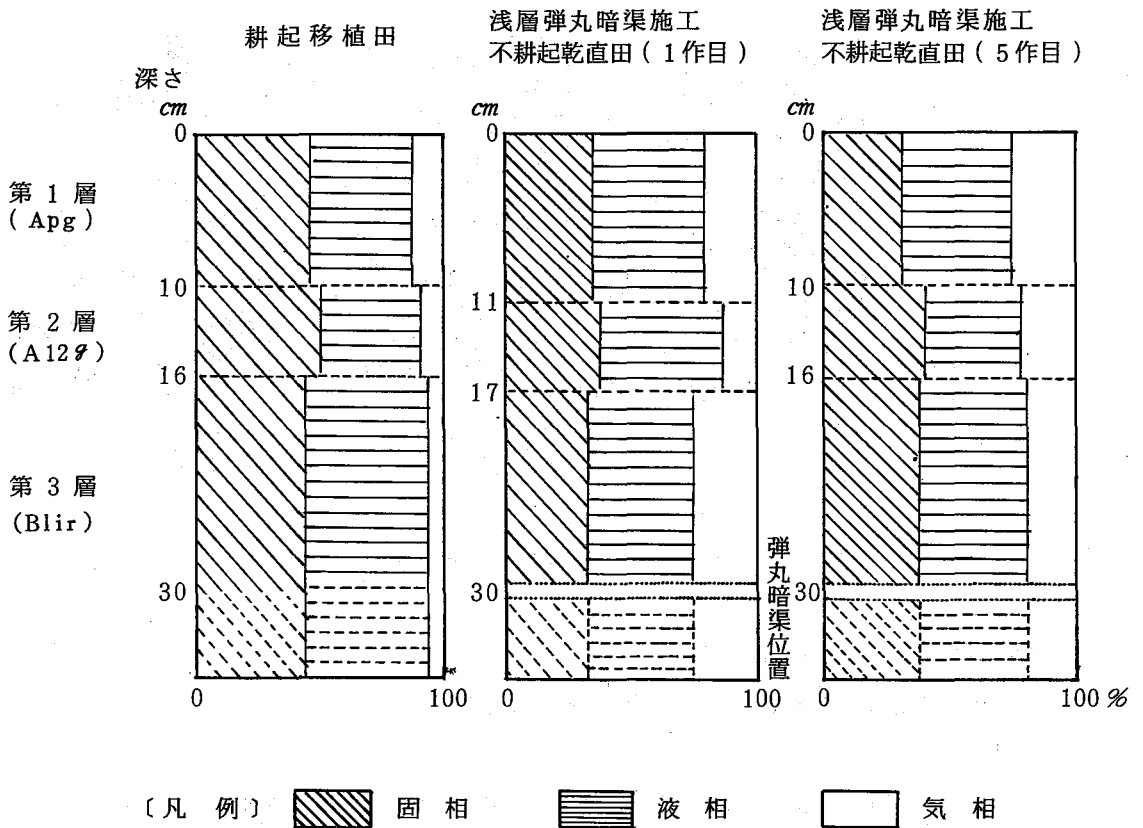


図 30 栽培法別水田土壌の三相分布

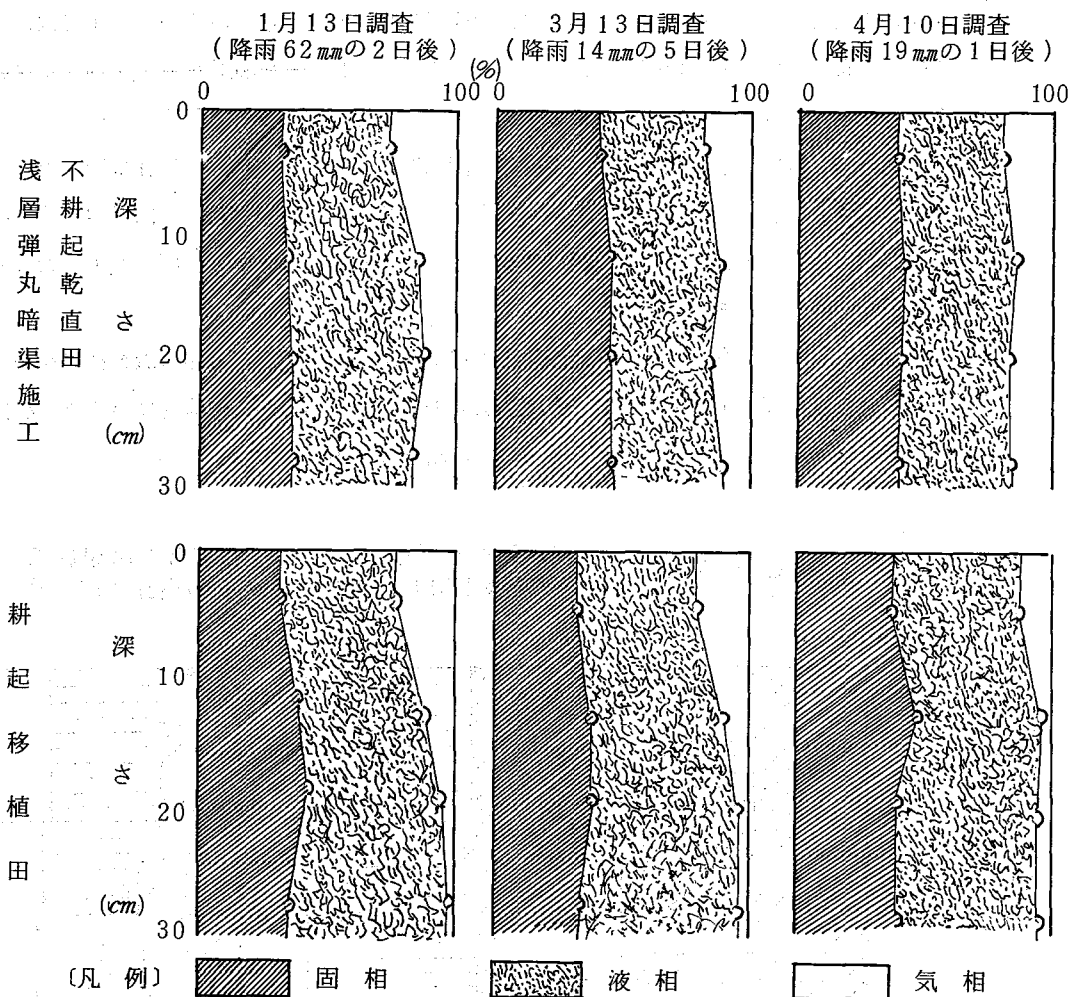


図31 冬作期間中の耕起法別土壌三相分布の変化

(3) 弾丸暗渠による透水性の改良

新農法田と在来農法田との現地透水量を比較した。

1) 試験方法

試験場所は佐賀農試内圃場(佐賀郡川副町南里)である。現地透水量はオーガーホール法(70, 71)で1972年2月10日に測定した。すなわちホールの深さを20cmと50cmとし、ホールに水を満し、その深さ別透水とそれに要する時間を測定し、透水係数をえた。

2) 試験結果と考察

表16-1, 2にしめすとおり、在来農法田は作土の浅い部分から極めて透水不良であるが、

表 16-1 栽培法別水田の透水性

(オーガーホール法, 深さ 20 cm)

浅層弾丸暗渠 不耕起乾直田 (5 作目)			耕起移植田		
土層の深さ cm	時間 sec	透水係数 cm/sec	土層の深さ cm	時間 sec	透水係数 cm/sec
0~2	183	1.2×10^{-3}	0~2	130	1.6×10^{-3}
2~4	540	4.7×10^{-4}	2~3	635	1.9×10^{-4}
			3~4	795	1.7×10^{-4}
4~6	1400	2.2×10^{-4}	4~5.5	4030	5.7×10^{-5}
6~7	1560	1.1×10^{-4}	-	-	-

表 16-2 栽培法別水田の透水性

(オーガーホール法, 深さ 50 cm)

浅層弾丸暗渠 不耕起乾直田 (5 作目)			耕起移植田		
土層の深さ cm	時間 sec	透水係数 cm/sec	土層の深さ cm	時間 sec	透水係数 cm/sec
0~2	55	5.1×10^{-4}	0~2	1120	1.2×10^{-5}
			1~2	710	2.0×10^{-5}
2~4	130	2.2×10^{-4}	2~3.2	4040	4.3×10^{-6}
4~6	295	1.0×10^{-4}	-	-	-
6~8	1135	2.7×10^{-5}	-	-	-
8~9.2	2140	8.9×10^{-6}	-	-	-

新農法田は浅層弾丸暗渠施工後 5 作目にもかかわらず、作土の深い部分まで在来農法田にくらべ透水係数がはるかに大であった。

以上のように、水田土層中の酸化的集積層 (B1g 層) への浅層弾丸暗渠施工は、著しく土壤構造を発達させ、同時の水の浸透や排水を良好にすることが明らかになった。

この不耕起に類似の農法 (10, 12, 91, 104, 112, 113) がイギリスをはじめ、アメリカ、オーストラリアなど欧米各国の畑地で Minimum tillage や Direct drilling といわれ、Zero

tillage やそれに近い方式での農法が確立普及している。また我国でも、主に岡山県で乾直の一部に水田の不耕起直播栽培 (19, 7, 85, 86, 87, 103) が行われている。これらも降雨による土壌の侵蝕や構造の破壊を防ぎ、ひいては土壌構造の発達をはかりながら作物を生産するという思想の根本は同様である。しかし「稲麦連続新農法」は前記のように土壌断面の Blir 層 (深さ約30cmの位置) へ浅層弾丸暗渠を施工し、積極的に土壌構造の発達をはかる新方策を基本としていて、降雨による土壌構造破壊の防止と降雨後の排水・乾燥を促進する Zero tillage 方式だけによる農法とは異なり、地表はごく浅耕か又は不耕起に、地中は浅層弾丸暗渠施工を組合わせて心土耕 (Subsoiling) (89) の効果と類似の効果も期待する方法を取入れた。とくに鋤床層を有する水田にたいしてはこの新農法の方式による下層土耕 (通称地中耕起) 的な方策を導入しなければ十分な効果は発揮できない。

3. 摘 要

佐賀平野埴質水田における土壌物理性、とくに透水性不良と土壌構造 (亀裂) の未発達状態を解明するとともに、その改良方策を究明した。

- (1) 耕起法と栽培法を異にしたばあい、浅層弾丸暗渠施工・不耕起乾直の水田の透水能が最も良好、次いで耕起乾直水田であり、耕起代かき移植水田が最も不良であった。さらに跡地土壌表層の再耕起区と不耕起区との透水性は、いずれも前者が後者よりも非常に不良であった。
- (2) 普通の移植水田はもちろんのこと、暗渠埋設移植水田でも田面下10cmまでと40cm以下は、ほぼ静水圧曲線と平行の土中水圧分布をしめした。すなわち、移植水田では暗渠により地下水位を低下させても耕起・代かきをすれば、ほとんど田面水の降下浸透は認められなかった。
- (3) 移植栽培田と耕起・乾直栽培田の減水深をくらべると、移植水田が乾直水田より減水深は非常に少なかった。両区水稻の蒸発散量はほとんど差異はないので、減水深の測定からも移植水田の降下浸透量は極めて少ないことが明らかになった。
- (4) 佐賀平野水田に透水性を附与し、土壌構造の発達をはかるには、緊密な層をなす酸化的集積層 (B1g層) に弾丸暗渠を施工することが最も効果的であることを明らかにした。すなわち田面下約30cmにおける浅層施工が最も多くの亀裂を生成し、その生成の範囲が最も広い。これより施工位置が深くなるにつれ亀裂の生成は少なく、生成範囲も狭くなり透水効果が減少する。この浅層施工による亀裂生成の範囲は弾丸暗渠施工位置を中心としてほぼ1.4~2.0mの中であった。

(5) 地中には浅層弾丸暗渠を施工し、地表は不耕起、または浅耕（前作物の刈り株がのこる程度の）乾直方式を採用する稲麦連続新農法田と従来の耕起代かき移植稲作、耕起・畦立て麦作の在来農法田の土壤構造発達程度をくらべると、土層の亀裂生成状態は新農法田が在来農法田にくらべてはるかに多く、気相率は作土（A_pg層）から鋤床層（A₁₂g層）、さらに酸化的集積層（B₁g層）の下層にまで増大した。また透水性も新農法田が在来農法田にくらべ、下層まで透水係数が大きくなった。以上、土壤構造の発達は新農法田が在来農法田よりはるかにすぐれていた。

なお欧米の Direct drilling と Minimum tillage を含む Zero tillage 方式や、我国の一部地域で実施されている水稻不耕起直播方式も知られているが、これらの農法にくらべてこの新農法は、土壤構造の発達を積極的に促進する浅層弾丸暗渠の施工という、新しい考え方をとり入れた点が異なるものである。

第5章 土壤物理性（透水性と構造）の改良が水稻生育におよぼす影響

上部酸化的集積層への浅層弾丸暗渠施工により、最も密度が大きく透水能が劣る鋤床層と、その直下の酸化的集積層に亀裂を生じ、土壤構造が発達し、透水性が良好になることは前章で明らかにした。本章ではこのような土壤物理性の改良が発芽・苗立ちや根の生育に、どのような好影響を与えるかを明らかにしようとした。

1. 透水性の改良と発芽・苗立ち

「浅層弾丸暗渠施工・地表不耕起作溝条播方式」^{31, 36, 93.}の稲・麦連続新農法による水稻乾直栽培田と、在来水稻の耕起乾直栽培田を造成し、この両者の発芽・苗立ちの状況と初期生育の状態を調査した。

(1) 試験方法

試験は現佐賀農試場内水田（佐賀郡川副町南里）で、新農法田には地表下30cm、間隔2mの浅層弾丸暗渠を施工し、地表は不耕起作溝条播とした。一方耕起乾直田はロータリーで耕起し碎土後条播した。なお両栽培田とも播種後軽く鎮圧した。供試品種はレイホウ（1970～71年）とツクシバレ（1972年）、1970～72年の施肥・播種は5月下旬（1970年5月25日、1971年5月21日、1972年5月29日）、施肥量は尿素硫加磷安484号を10アール当り成分量としてN 1.82 kg、P₂O₅ 2.34 kg、K₂O 1.82 kgとした。また播種量は10アール当り5 kgとし、4ヶ所の発芽・苗立ち調査箇所にも50粒ずつ播種した。

調査月日は施肥播種後2週間目（1970年6月8日、1971年6月5日、1972年6月12日）である。発芽・苗立ちは前記4ヶ所の調査箇所の平均苗立ち本数で、分けつ期の茎数は各年次とも7月上中旬における常法の生育調査による1㎡当りの平均本数でしめた。

播種後数日間無降雨のばあい、同量の水を数回一定面積内に小判型如露口付き日農10ℓ如露（日本農工用品K.K神戸）で散水した。

(2) 試験結果と考察

発芽・苗立ちと発芽勢は降雨条件によって異なるが、表17にしめすように新農法田が在来耕起乾直田より常に良好で、分けつ期の茎数も多かった。

1970年は播種後降雨がなく、1971年と1972年は播種後に降雨量が多かったが何れにしても新農法田が耕起乾直田より発芽・苗立ちが良好であった。土壤が過湿で発芽・苗立ちが

表 17 浅層弾丸暗渠施工、不耕起乾直田と耕起乾直田

における水稻の発芽・苗立ちと初期生育（茎数）

試験区名	事項 年次	発芽、苗立ち歩合（％）			茎数（本／㎡）		
		1970	1971	1972	1970	1971	1972
浅層弾丸暗渠施工 不耕起乾直田		84.2	77.6	76.2	584	536	583
耕起乾直田		68.6	66.6	66.4	540	523	502

不良になることについては既述のとおりであるが、他方、過乾燥のばあいも、全体的に新農法田が耕起乾直田より出芽日数・発芽勢ともはるかに早く良好であった。このことは、下層からの毛管上昇水分が耕起によって遮断される耕起田にひきかえ、不耕起田では下層からの毛管上昇水分の補給が続くためと考えられる。

降雨の有無、また過湿・過乾のいずれにしても、発芽・苗立ちは新農法乾直が在来の耕起乾直より明らかに良好であった。

2. 構造の発達と根系分布

土壌構造は土壌生産力の重要な因子としてあげられている(3, 11, 16, 89)。土壌構造の発達を科学的根拠としている新農法田と、耕起代かきによる在来農法水田と耕起乾直における根の分布状態を収穫後調査し、両者の差を明らかにしようとした。

(1) 構造の発達による根系分布と残根重

1) 試験方法

試験場所は前佐賀農試場内水田（旧佐賀市高木瀬町高木）で、ホウヨクを供試し、浅層弾丸暗渠・地表不耕起乾直（新農法乾直）、耕起乾直と耕起移植の3処理で実施した。

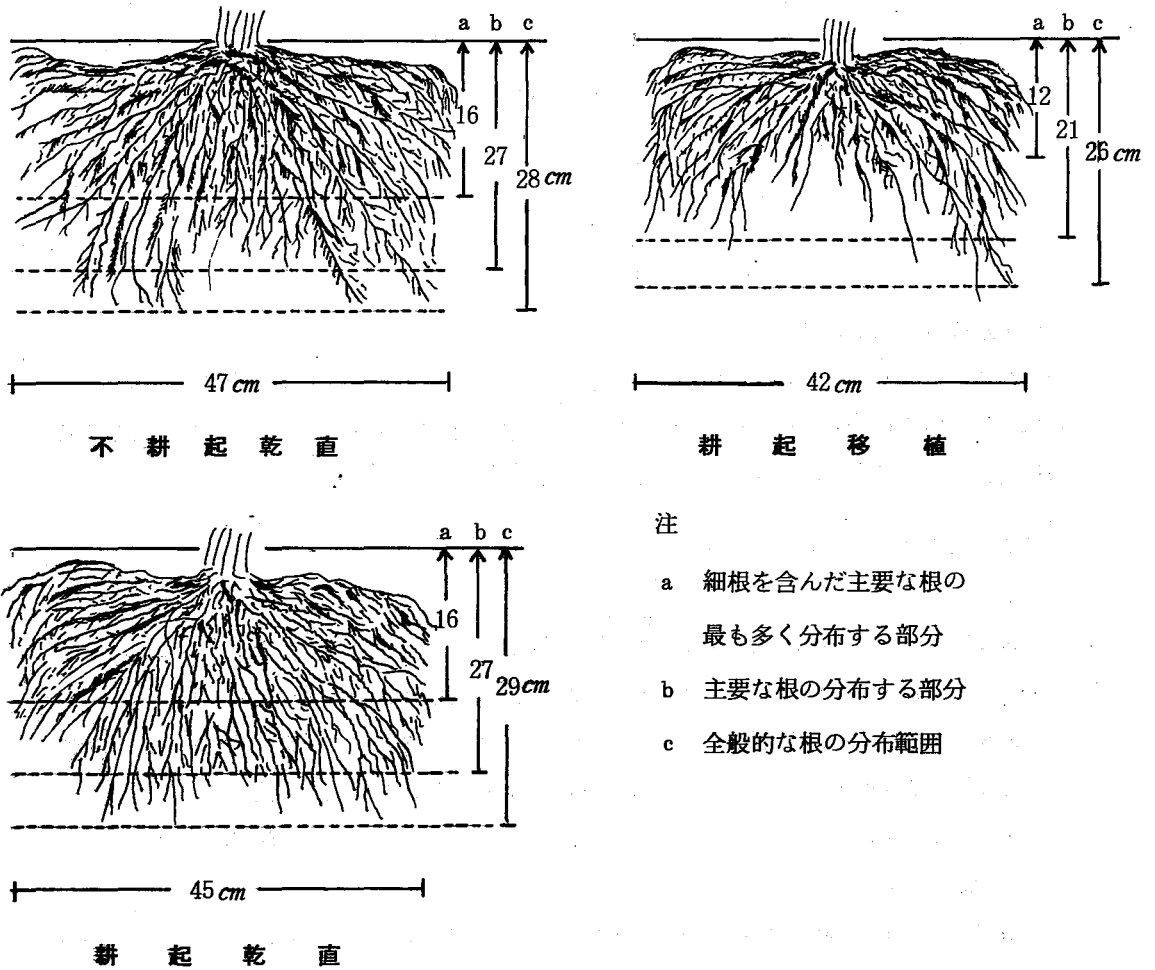
根系分布と根系の調査方法は次のとおりである。モノリス法¹⁾により稲株を中心に鉄製の打抜棒と切取板を一定方向に打込み分布根と共に採土し、金網上で水洗し、土壌を除去し土壌中での分布状態のままの根を金網上に採取した。金網上の根の分布状態をスケッチまたは写真撮影²⁹⁾をした。

根重は900cm²（30×30cm平方）の面積について、地表下0～11cmの作土層と11～30cmの鋤床層と酸化的集積層上部の土層をそれぞれ採取し、3日間水槽に浸漬し、土壌を水洗除去し根を集め風乾重を測定した。

酸化還元電位の測定は、各時期とも湛水状態下の水田で、中干し時だけは飽水状態下の水田作土の土壌を、1区各5ヶ所あて、作土の深さまで縦に一定量づつ移植鋤で採取し、空気にふれないように水に加えたまま直ちに実験室に運び、PH・Ehメーター（東亜電波製・東京）で測定した。

2) 試験結果と考察

1 水稻根の分布状態 根の分布状態は図32、写真6にしめすとおり、不耕起乾直にくらべ耕起乾直はやや劣り、耕起移植はさらに劣っていて、不耕起乾直は深さも巾も最も長く、かつ広く分布していた。



注

- a 細根を含んだ主要な根の最も多く分布する部分
- b 主要な根の分布する部分
- c 全般的な根の分布範囲

図 32 栽培法別の水稻根の分布

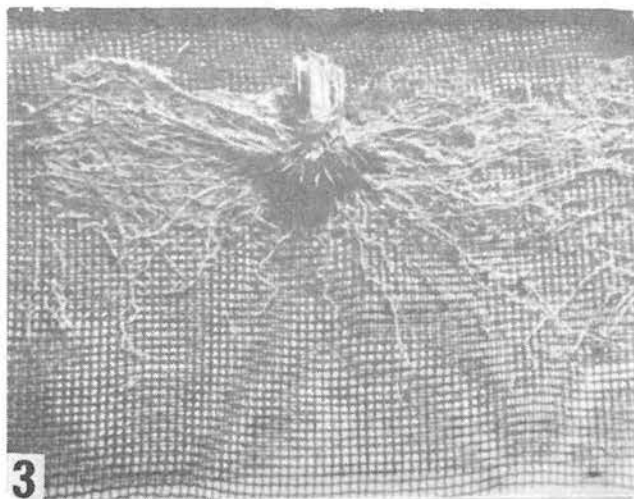
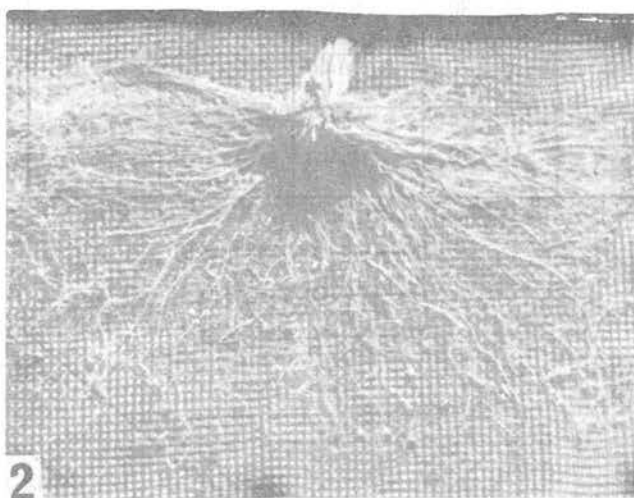
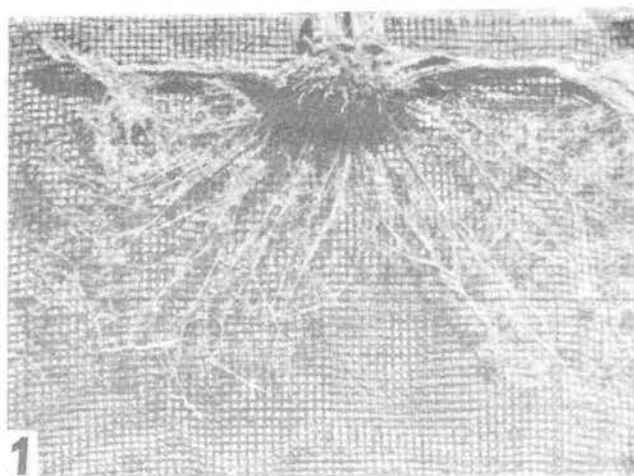


写真6 栽培法別の水稲根の分布
(場内水田)

1. 浅層弾丸暗渠施工・不耕起乾直区

2. 耕起乾直区

3. 耕起代かき移植区

ii 水稻根重 不耕起乾直と耕起移植の根重（風乾重）は表18にしめすように、前者がまさっていた。耕起移植水稻は両乾直水稻にくらべ、作土下までの分布が少なかった。地表下30cmまでの風乾根重は、土壌構造の発達した不耕起乾直が耕起移植にくらべ66%も大きく、これは耕起移植田の低透水性、また図33にしめすような低い酸化還元電位などにより、根の十分な生育が阻害されたためと考えられる。

表 18 栽培法別的水稻根重

試験区名	土 層 名	深 さ cm	根 重 (風 乾 物)		
			g / m ²	合 計 量 kg / 10 a	比 率
不 耕 起 乾 直 水 田	作 土 (Apg 層)	0 ~ 11	4 4 4	5 3 3	1 6 6
	鋤 床 層 (A 12g 層) 酸 化 的 集 積 層 (B 1g 層)	11 ~ 30	8 9		
	耕 起 移 植 水 田	作 土 (Apg 層)	0 ~ 11	2 6 7	3 2 3
	鋤 床 層 (A 12g 層) 酸 化 的 集 積 層 (B 1g 層)	11 ~ 30	5 6		

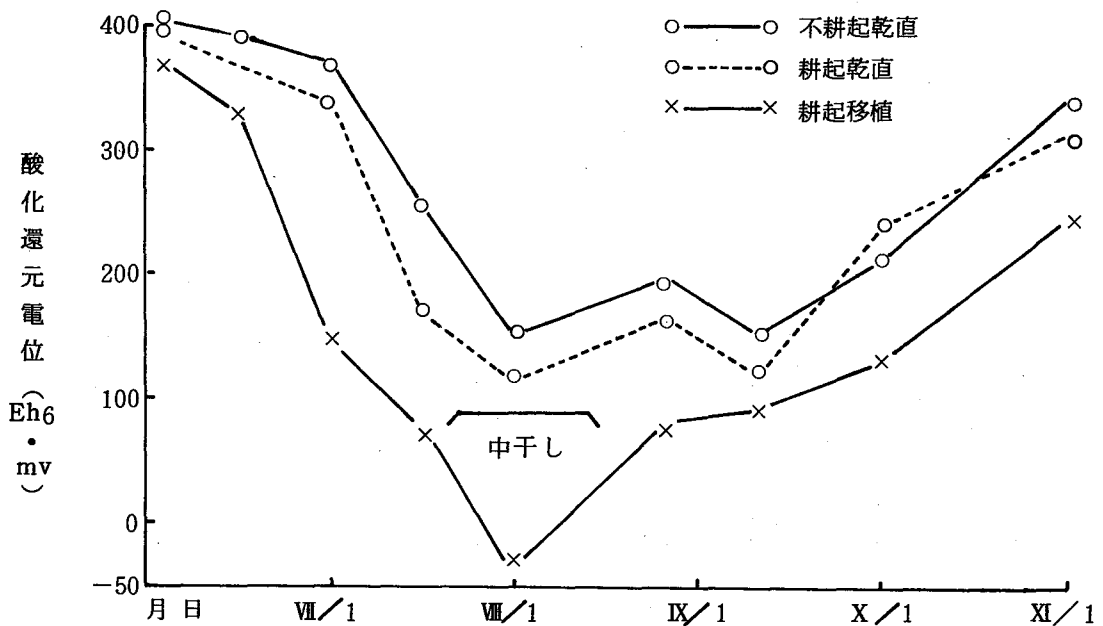


図 33 栽培法別水田作土の酸化還元電位 (Eh₆) の推移

以上のように新農法田が在来農法田より、水稻根の分布状態、根重ともはるかにすぐれていることを明らかにした(30, 56)。

(2) 透水性附与と根系分布

既述のように佐賀平野水田の大部分は埴土ないし重埴土で、移植水稻栽培期間の降下浸透はほとんどない。一方沖積土水田に透水性を与え水稻を栽培すれば稔実を良くして増収することが明らかにされている(80, 84)。重埴土水田でも透水性を与れば登熟を良好にし、千粒重を増大し、増収することは既報(32, 101, 102)のとおりである。この透水効果は移植水稻ではもちろんのこと、乾直水稻でも同様(101)であった。ここでは移植水稻の適正浸透水量と水稻根の分布状態との関係を述べる。

1) 試験方法

試験場所は現佐賀農試場内(佐賀郡川副町南里)水田で、試験枠の構造は図34のとおりである。図のような有底鉄枠(1×1×1m)に水田土壌の層位をそのままに充填し、1.8mmのピアノ線を用い8cm方眼に121個の小管孔を底部まで穿ち、枠内水面と調節用水槽内との水位差を調節して、10~40mm/日の透水を与えた。

試験区は透水性の差によって全期間無透水区、小透水区(中干し後10mm/日)、中透水区

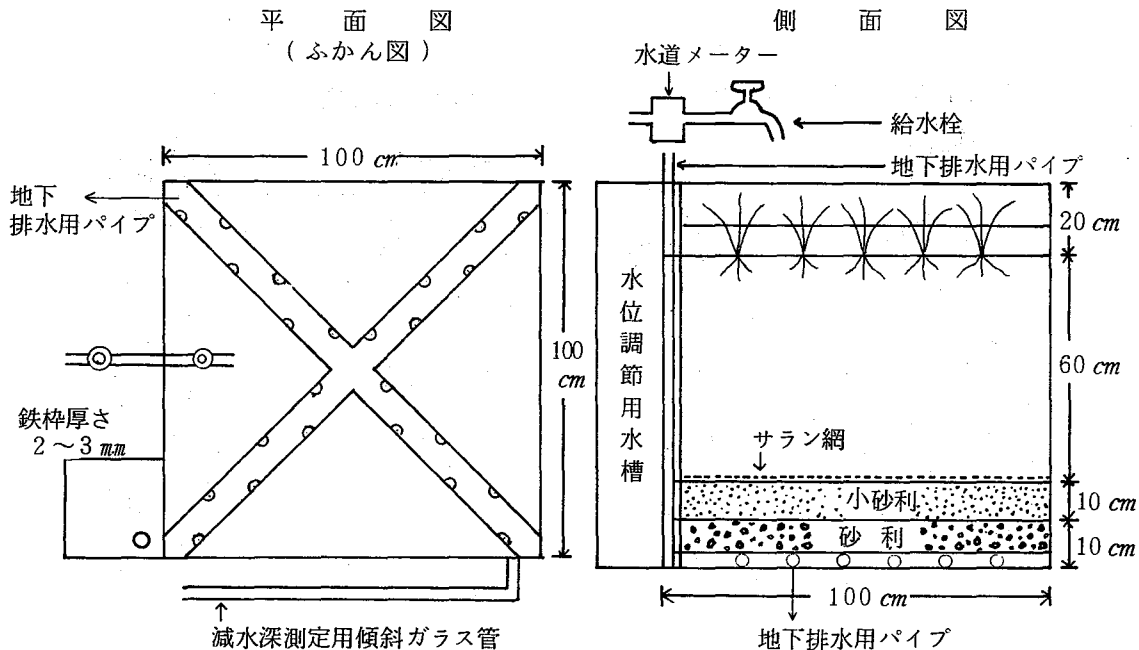
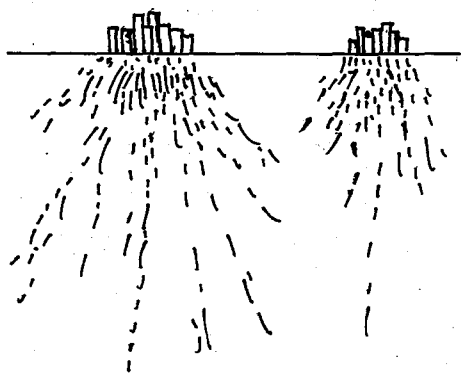


図 34 透水試験用鉄枠の構造

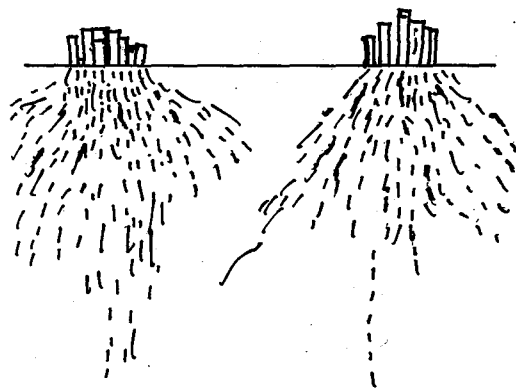
(中干し後 $20\text{mm}/\text{日}$)，多透水区(中干し後 $40\text{mm}/\text{日}$)の4区3連制とした。供試品種はレイホウ，栽植様式と栽植密度は $20\times 20\text{cm}$ と $25\text{株}/\text{m}^2$ で，施肥は佐賀県施肥基準に準じ全区共通とし，施肥量は m^2 当り $\text{N}14\text{g}$ ， $\text{P}_2\text{O}_5\ 9.9\text{g}$ ， $\text{K}_2\text{O}\ 12.1\text{g}$ を元肥・中間追肥・穂肥・実肥の4回に分施した。

調査方法は収穫後の水田で稲株に沿う塹壕追跡法¹⁾で根系分布状況を調査し，透明プラスチック板を断面にあて根系を写しとった。

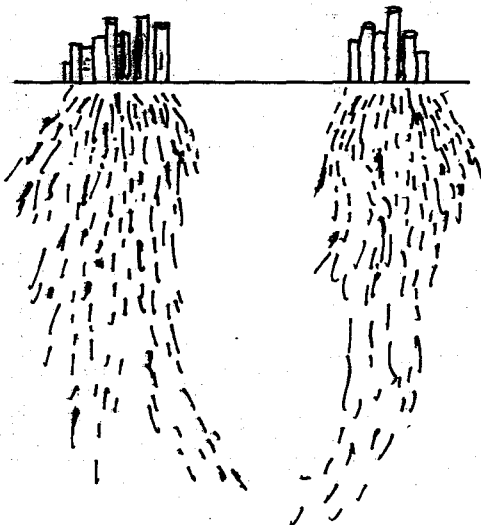
1 無透水区



2 降下浸透速度 $10\text{mm}/\text{日}$ 区



3 降下浸透速度 $20\text{mm}/\text{日}$ 区



4 降下浸透速度 $40\text{mm}/\text{日}$ 区

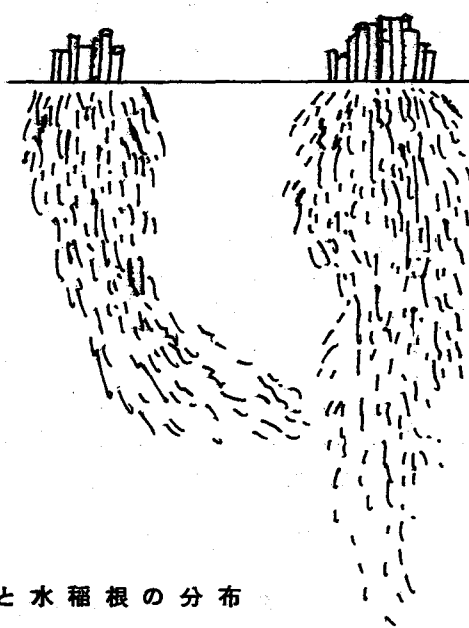


図 35 降下浸透速度と水稻根の分布

2) 試験結果

図35にしめすように無透水区の根は赤褐色で、他の透水区にくらべ細根は多いが、根の分布域や根重は少なかった。少、中、多透水区の根はみな淡褐色で、根の分布範囲は無透水区にくらべ透水量が大きくなるほど、広く深くなり、根量もあきらかに多くなった。

(3) 新農法田と在来農法田における水稻根の分布

新農法現地試験田と隣接の在来農法移植田との水稻根の分布状態を調査した。

1) 試験方法

試験場所は佐賀市蓮池町大橋の新農法現地試験地で、処理区は浅層弾丸暗渠施工・不耕起乾直田、浅層弾丸暗渠施工・浅耕乾直田と耕起・代かき移植田の3区、供試作物はツクシバレ・根は前期と同じくモノリス法¹⁾により1973年11月に採取調査した。

2) 試験結果と考察

新農法栽培試験開始後1年目の水田での根系分布状況をみると、不耕起乾直田と浅耕乾直田は強い還元状態を呈する隣接の耕起移植田に比較し、写真7のように、あきらかに深く、かつ横にも広く広域に分布していた。

以上土壌構造の発達は、土壌に透水性を付与するとともに、根の生育を極めて良好にし(25, 31, 56, 72)、水稻の千粒重の増大、登熟歩合の向上に寄与(32, 101)する。これは良質・多収の基礎²⁵⁾となる。

3. 摘要

水田に透水性と構造(亀裂)を発達させ、土壌物理性を改良することによる水稻の発芽・苗立ちや根の生育への影響を、圃場と枠試験で明らかにした結果は次のように要約される。

- (1) 発芽・苗立ち率と発芽勢とも新農法田が、在来の耕起乾直田より常に良好であった。分けつ期の莖数も新農法田が耕起乾直田より常に多かった。
- (2) 水稻根系が最も長く、巾広く、かつ多量に分布しているのは不耕起乾直水稻であり、次いで耕起乾直水稻、根系分布が最も未発達なのは耕起移植水稻であった。根重は不耕起乾直水稻にくらべ約66%多かった。
- (3) 無透水区にくらべ各透水区は透水量が多いほど根群が発達した。根色は無透水区が比較的濃い赤褐色なのに、透水区はいずれも淡褐色であった。透水量の多いほど根の生育は著しく良好で、水田の浸透水量と根群の生育伸長との間には極めて密接な関係がみとめられた。

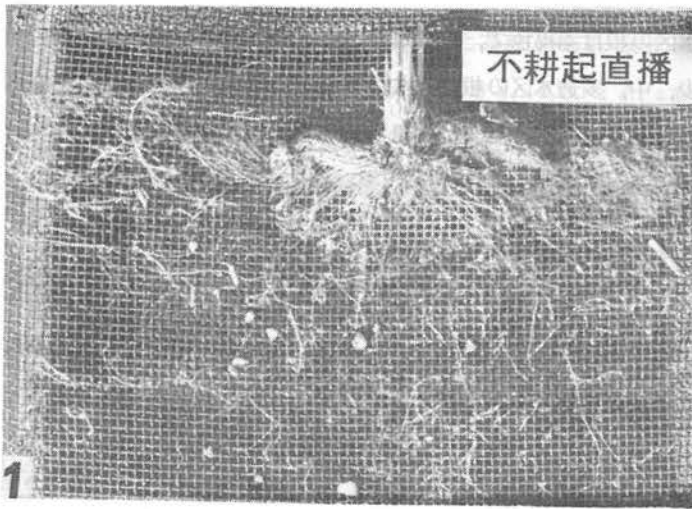
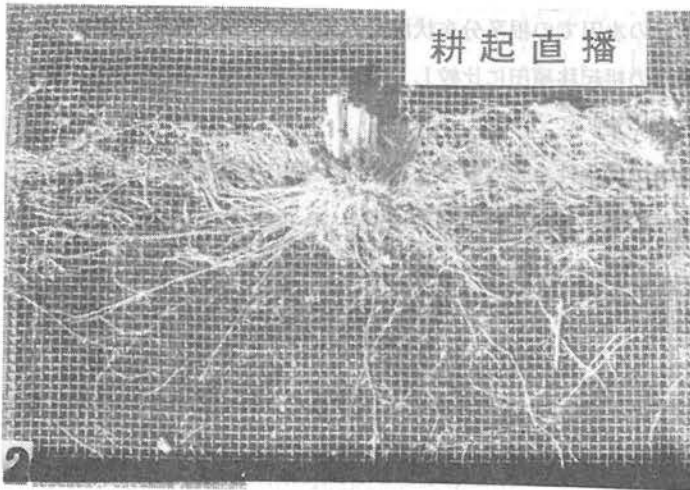
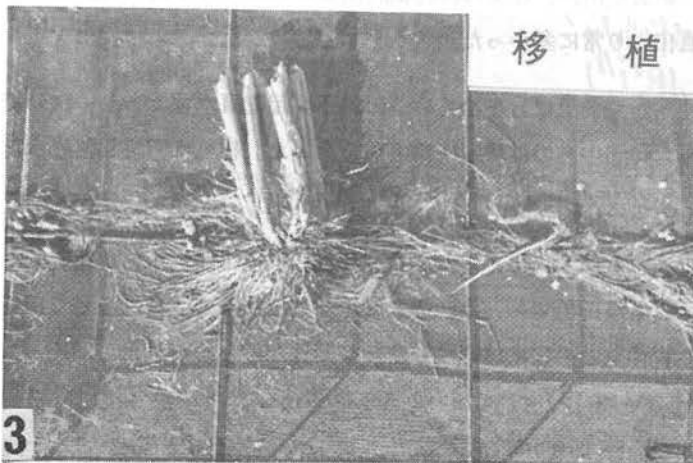


写真7 新農法田と在来農法田の水稻根の分布(現地水田)

1. 浅層彈丸暗渠施工
不耕起乾直田



2. 浅層彈丸暗渠施工
浅耕乾直田



3. 耕起代かき移植田

第 6 章 総合考察

乾直栽培の致命的な障害である播種期の降雨による発芽・苗立ち不良の機作を究明し、佐賀平野の水田土壌断面とそれら土壌の諸性質を調査把握し、その物理性の改良を基礎として乾直水稲栽培の障害を除去し、水稲生育を良好ならしめるために、主として水田への透水性の付与、土壌構造の発達を促進する研究を行い、これらの成果の上に本報告では省略しているが、稲わら・麦わら全量連続施用方法を確立し、有機物多投による地力増強方策も加えて新農法を樹立した。新農法の科学的基礎となった研究結果を総括し、乾直水稲安定栽培のための土壌物理性改良に関する具体的方策は次のように要約される。

1 水稲直播栽培の現状と問題点

(1) 佐賀県の水田面積は戦後漸減し、1973～74年現在で約53,000～54,000 haである。

1969年から田植機の導入により、1974年には稚苗移植を主とする栽培様式が主になったが、他方乾直は1963年頃より導入され、次第に増加し1973年には全作付面積の約12.6%に達し、その後約12%の水準を維持している。本県の直播栽培はほとんどが乾直で、杵島平坦地区（通称白石平野）に普及し、乾直栽培面積中の80～90%を占めている。

(2) 佐賀県の年平均降水量は1822 mm，降雨日数は155日、直播播種適期の5月15日～6月15日の降雨量は199 mm，降雨日数は12.7日，降雨頻度は2.5日に1回の割合である。この間の降雨量は梅雨期の6～7月に次いで多く、降雨頻度も高い。したがって在来農法にみられるように、稲作の準備や植付けと冬作物収穫という競合する両作業を、この期間に処理することは極めて難しい。このことが麦作作付面積減少をまねくとともに乾直栽培導入の困難な一因をなしている。

(3) 乾直栽培上の問題点として耕起播種後の降雨による発芽・苗立ちの不良性が最も致命的である。この現象は重埴土の杵島平坦地区では少なく、壤土～微砂質埴土の佐賀平坦地区に多く見られる。

(4) 乾直栽培上からみた佐賀平野水田土壌の概要と特徴は次のとおりである。

佐賀平野は河海成および海成沖積層よりなる佐賀・三養基平坦地区（以後一括して佐賀平坦地区と記す）と有明海の海成沖積層よりなる杵島平坦地区に二大別される。前者は中・細粒質および微粒質水田土壌から、後者の大半は微粒質水田土壌よりなる。

施肥改善方式によって分類した土壤類型を分布面積の広い順序でしめせば次のとおりである。

佐賀平坦地区

1. 灰色土壤群 : 強粘土構造鉄・マンガン分化型
2. 同 : 同 ・マンガン混在型
3. 同 : 62壤土型
4. 同 : 強粘土構造鉄・マンガン型
5. 同 : 強粘土構造 ・マンガン型
6. 同 : 63壤土マンガン型
7. グライ土壤群 : 41強粘土マンガン型

1. 杵島平坦地区

1. グライ土壤群 : 41強粘土マンガン型
2. 灰色土壤群 : 強粘土構造鉄・マンガン型
3. 灰色土壤群 : 強粘土構造マンガン型
4. 強グライ土壤群 : 31強粘土斑鉄型
5. 灰色土壤群 : 強粘土構造鉄・マンガン混在型
6. 同 : 同 ・マンガン分化型

菅野の水稲土の分類方式によれば次のとおりである。

佐賀平坦地区

表面水型グライ性水稲土 :

1. Vc型 [Apg-A12g-B1mnr-(G)]
2. Vb型 [Apg-A12g-B1ir-B2mn-(G)]
3. Va型 [Apg-A12g-B1mn-B2mn-(G)]
4. Ve型 [Apg-A12g-B1ir-B2ir-(G)]
5. IVb型 [Apg-A12g-B1ir-B2mn-B3gG-G]
6. IVa型 [Apg-A12g-B1mn-B2gG-G]

中間型グライ性水稲土(有明海沿岸干拓地):

7. III型 [Apg-A12g-BgG-G]

杵島平坦地区

表面水型グライ性水稻土:

1. IVa型〔Apg-A12g-B1mn-B2gG-(G)〕
2. Vb型〔Apg-A12g-B1ir-B2mn-(G)〕
3. Va型〔Apg-A12g-B1mn-B2mn-(G)〕
4. IVb型〔Apg-A12g-B1ir-B2mn-B3gG-G〕

中間型グライ性水稻土:

5. III型〔Apg-A12g-BgG-G〕

佐賀平坦、杵島平坦地区水田は、作土(Apg層)直下に鋤床層(A12g層)があり、さらにその直下に酸化的集積層(B1g層)をもち、A12g層は厚さ約5~6cm、B1g層は厚さ約20~30cmの緊密な層である。山中式硬度計の測定値によると、A12g層が20~25mm、B1g層が15~22mmをしめす。透水係数もApg層とB1g層が $n \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ のオーダー、A12g層は $n \times 10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ cm/sec}$ のオーダーでほとんど不透水性である。佐賀平野水田ではBg層中部以下は角塊状、角柱状構造が著しく発達している。したがってこのA12g層とB1g層の緊密な不透水層が、作土と下層土との間の通気、通水を遮断するのみならず、構造の発達を阻害し、根系の発達や生育をも抑制している。

佐賀平坦地区の河海成沖積水田作土の土性は壤土~埴壤土、全窒素は0.14~0.24%、全炭素は1.3~2.3%、九州の無機質水田土壌としては普通程度である。塩基置換容量は11~17m.e./100g、置換性塩基は5~12m.e./100gと普通ないしやや多い。塩基飽和度も47~65%で、化学的性質は中庸の部類にはいる。しかし佐賀平坦地区の海成沖積水田と杵島平坦地区の水田作土の土性は微砂質埴土~重埴土、全窒素は0.15~0.25%、全炭素は1.6~2.5%でやや高い。塩基置換容量は20~40m.e./100gにも達し、置換性塩基含量も13~21m.e./100gと富み、中でも置換性石灰は干拓当初は比較的少ないが次第に富化され塩基類中最も多く、塩基飽和度も60~74%と高い。その他の有効態養分状態も良好で化学的性質は極めて良い。

2. 降雨による土膜の生成と土壤還元化が発芽・苗立ちにおよぼす影響

(1) 乾直水稻栽培のため大型トラクターで耕起・施肥・播種した農試内(旧高木瀬町)大区画水田において、耕起・播種後87mmの降雨が土壤と発芽・苗立ちに次の影響をおよぼした。

降雨後、表層に土膜が形成され、播種位置の上下と周辺の土壤は大部分湿潤または滞水状態となった。土膜は日時の経過につれ厚くなり、2週目以降は約5mmから2~3cmにも達し、乾燥化につれ固結化した。したがって土中の鞘葉が土膜を突破することができず黄変し、苗立ち

不可能となり、また種子圏土壌が強還元状態となったため、発芽・発根が極めて不十分で遂に腐敗枯死した。このように乾直水稻種子の発芽・苗立ちの不良化が、降雨による土膜生成にもなう固結化と種子圏土壌の還元化であることを明確にした。

- (2) ポットと枠試験の人工降雨による土膜生成実験によれば、比較的小土塊が多い砂壤土と埴壤土では明らかに土膜が生成され、比較的中～大土塊が多い微砂質埴土、軽埴土では若干の土膜が生成され、重埴土は極く僅かに崩壊分散し、土膜はほとんど生成されなかった。

耕起砕土後篩別すると、粘土含量の多い土壌は大土塊が多く残り、小土塊が少なく、粘土含量の少ない土壌では逆であった。このことは粘土含量の多い土壌が凝集力の大きいことをあらわしている。圧砕抵抗は粒径が大きい土塊ほど、また粘土含量の高い土壌ほど大であった。

風乾土の崩壊分散の度合をしめす実験結果では、埴壤土>砂壤土>微砂質埴土>重埴土の順で、埴壤土が最も崩壊分散し易く、最も崩壊性の小さいのは重埴土であった。しかし未風乾土では、埴壤土>砂壤土≒重埴土>微砂質埴土の順であり、重埴土も微粒子の分散が比較的多いことを明らかにした。杵島平坦地区では冬期に耕起風乾しておけば、播種後降雨があっても崩壊分散せず、土膜が生成されにくく、発芽・苗立ちが安定し、当該地帯での乾直水稻栽培定着の技術的理由が立証された。

- (3) 土膜生成の模型実験によると、砂壤土と埴壤土では土膜と土膜下の土壌との区別が肉眼でも判然としているが、微砂質埴土と軽埴土では区別がはっきりしない。火山灰土壌は比較的判然としている。土膜土壌は土膜直下の土壌にくらべて、粘土と微砂が多く、粗砂と細砂は少ない。これに反し土膜直下部分の土壌は粘土と微砂が少なく、粗砂と細砂が多い。このように、水による崩壊・分散・打撃・攪拌などの作用を耕起土壌の表層に加えると、小粒子が上方に、大粒子が下方へと再配置し土膜を生成する。なお土膜と土膜下土壌との粒度の差は、砂壤土や埴壤土で極めて顕著であるが、微砂質埴土や重埴土では少なかった。

3. 耕起法が土壌物理性と発芽・苗立ちにおよぼす影響

耕起の有無、耕起法の相違が降雨による土壌水分の変化や発芽・苗立ちにおよぼす影響を、圃場とポットで調べた結果をえた。

- (1) 圃場において年間不耕起、夏作耕起・冬作不耕起、夏作不耕起・冬作耕起と夏作・冬作耕起各区において、年間不耕起土壌は耕起土壌にくらべ、降雨前の固相率、液相率が高く気相率は低かったが、降雨後は差がなかった。このことは不耕起土壌より耕起土壌の方が降雨による崩壊・分散・打撃・圧縮の作用を受け易く、そのうえ水分の吸収・保持が大きいためと考えられる。

要するに土壤を耕起しても降雨があれば、不耕起土壤と大差がない三相分布や孔隙率をしめすことをあらわしている。

- (2) 灌水による土壤三相分布の変化におよぼす耕起の有無の影響を知るため、土性を異にする水田土壤をポットに充填し、耕起区と不耕起区に分け、24時間灌水し、落水24時間後に三相分布を測定した。

各土壤とも耕起土壤より不耕起土壤の気相率が明らかに高く液相率は低かった。耕起土壤は不耕起土壤にくらべ灌水すれば、液相率が高く気相率は低くなり、前記(1)の項と同様の傾向をしめすが、耕起碎土後、降雨が続いたり、灌水すれば不耕起土壤よりもかえって多くの水分を含み、気相率は低下した。

土壤物理性の改善を重要な目的の一つとして、多大のエネルギーを消費して年間何回も実施する耕起作業（主としてロータリー耕）は、降雨によりその効果が極めて減殺されることが明らかになった。耕起土壤とくに裸地での耕起された土壤は、 $1 \sim 2 \text{ mm} / 10 \text{ min}$ 以上の降雨により容易に表層の土壤構造が破壊され易くなるが、これは多雨地帯ではしばしばみられる現象である。

- (3) 耕起・耕起後鎮圧、不耕起の三処理区について、水分の多少が乾直水稻種子の発芽・苗立ちにおよぼす影響につきポット試験を行った。

発芽・苗立ちは、耕起区について多水分区（最大容水量）よりも少水分区（最大容水量の70～80%）が明らかに良好であった。耕起後鎮圧区では少水分区が多水分区よりも良好であったが、その差は耕起区のばあいよりも小さかった。不耕起区では多水分区と少水分区の間にほとんど差がなく、両者とも発芽・苗立ちが最も良好であった。すなわち少水分区のばあい耕起法の相違に関係なく、いずれも発芽・苗立ちは良好であったが、多水分区のばあい不耕起区が最も良好、次いで耕起後鎮圧区、耕起区が最も不良であった。

これは降雨により耕起土壤は土膜を生成し易く、また水分を多く取り込み含水比が大きくなるが、一方不耕起土壤では逆の傾向をしめし、さらに透水性が大きく速やかに適正水分になるためと考えられる。耕起後鎮圧土壤はこれらの中間的な性質をしめた。

水分過少（干魃気味）のばあい、耕起土壤では下層よりの毛管水分上昇が遮断され、過乾燥になり発芽・苗立ちが不良となったが、不耕起土壤は毛管水分の上昇によりかえって苗立ちが良好となった。

要するに乾直水稻の発芽・苗立ちは過湿・過乾を問わず、不耕起土壤が耕起土壤よりはるかにすぐれていることが究明された。

4. 浅層弾丸暗渠施工による土壤物理性（透水性と構造）の改良

埴質水田では耕起・代かきを繰り返すことによって、土壤物理性（透水性と構造）が不良になる実態を把握し、その改良方策を探究した結果は次のとおりである。

- (1) 耕起法と栽培型の異なる水田土層を水稻収穫後、自然の状態のまま採土し、それぞれの透水能と、これら土層に対する再耕起の有無が透水性におよぼす影響を人工降雨により験知し、同一水量の流出所要時間を測定した。その結果、浅層弾丸暗渠施工地表不耕起乾直水田が最も透水能がまさり、次いで耕起乾直水田がよく、代かき移植水田が最も劣ることを明らかにした。またこれらの土壤の再耕起により、不耕起にくらべ流出所要時間の延長と透水能の著しい低下が明らかになった。その低下の度合は移植水田が最も大で、次いで耕起乾直水田、不耕起乾直水田が比較的小であった。
- (2) 耕起・代かきは鋤床層などの不透水層形成の原因となるばかりでなく、土壤粒子の粘閉現象をひきおこし、孔隙が塞がれ湛水され、ほとんど透水はみられなくなる。よって耕起・代かき水田でも暗渠を埋設して地下水位を規制することによって、透水性の付与を試みた。無暗渠の普通代かき移植水田を対照田として、地下水位規制のため暗渠移植水田における降下浸透（透水）の有無を、土中水圧の測定、暗渠管からの流出水の有無によって確めた。その結果によれば、暗渠を埋設し地下水位をいくら規制しても、耕起・代かきを実施すれば、耕起移植田と同様に、ほとんど田面水の降下浸透のないことが究明された。
- (3) 水稻の代かき移植栽培田と乾直栽培田の減水深をくらべると、前者が後者よりはるかに少なく、中干し直後を除いて前者の減水深量は蒸発散量と大差なく、代かき移植田の降下浸透量はほとんど無に近いことが明らかになった。
- (4) 佐賀平野微粒質と中・細粒質の水田にたいして、透水性を付与し土壤構造の発達をはかる最も効果的な方法は、鋤床層の直下、Bg層上部（B1g層）に弾丸暗渠を施工し、この両不透水層に多くの亀裂を生成することである。地表下平均30cmの浅層への施工が最も効果的で、これより施工位置が深くなると、亀裂の生成は少なくなり透水効果が減少する。この位置への浅層弾丸暗渠施工は亀裂生成の範囲が最も広く、土性や土壤水分条件により若干の差はあるが表層の弾丸支持板（ビーム）通過地点を中心に、左右各々0.7～1.0 mの点と下層30cmの弾丸暗渠施工位置を結んだほぼ二等辺三角形の範囲となる。
- (5) 地中への浅層弾丸暗渠の施工、降雨による作土の土膜生成の防止、稲種子の発芽・苗立ちの良好化を目的とする不耕起（または浅耕）、稲・麦とも同様の方法で栽培する新農法田と、耕

起・代かき・移植稲作，耕起畦立てによる麦作の在来農法田との両者の土壤構造発達程度を比較した。前者は後者にくらべ土層の亀裂生成ははるかに多く，作土下までの土壤の気相率，粗孔隙量と透水係数も常に大であった。このように土壤構造の発達は，新農法田が在来農法田よりはるかにすぐれていることが証明された。

5. 土壤物理性（透水性と構造）の改良が水稻の生育におよぼす影響

水田の土壤物理性の改良，とくに透水性の付与，構造の発達が乾直水稻の発芽・苗立ちや水稻根の発育に良好な影響を与えることを解明した。

- (1) 新農法田では土壤構造と透水性が極めてよく発達し，作土のみを耕起する従来の耕起乾直より，常に種子の発芽・苗立ちが良好であった。また耕起乾直田や移植田の在来農法田の水稻と比較しても，新農法田の根の発育は良好，その根系分布や残根重量も常に多かった。
- (2) 有底鉄杵移植水田において，無透水にくらべ，透水量（10～40mm/日）を多くするほど水稻根群の伸長発達が著しかった。
- (3) 現地の新農法田における乾直水稻は，隣接の在来農法田の移植水稻にくらべて，根の発育状況は総体的にみて良好であった。

以上のように本研究では佐賀平野水田における水稻乾直栽培の現状を述べるとともに，その第一の問題点が降雨による発芽・苗立ちの不良性にあることを指摘し，これが佐賀平野水田土壤の物理的特徴である透水性不良に起因することを明らかにした。すなわち耕起播種後の水田土壤は降雨により土塊が崩壊・分散し，表層に土膜を生成し，乾燥すれば固結する。作土と作土直下の不透水性の鋤床層との間の種子圏土壤は強い還元状態を呈し，発芽・苗立ちの不良化の一因となる機作を解明した。

したがってこの発芽・苗立ちを良好にする多くの手法を試み，中でも土膜生成を防止するために耕起法の改良が極めて有効であることを知った。すなわち普通の作土耕起にくらべ，耕起後徹底鎮圧，さらには極く浅耕ないしは不耕起が最も効果的であった。よって土膜生成を防止し，発芽・苗立ちを良好化する第一の方策を表層不耕起とした。これは耕起土壤の降雨による土壤構造の破壊をも防止する。降雨にあえば不耕起土壤と耕起土壤との土壤三相分布や孔隙率は大差なく，さらに降雨頻度が多いばあい，または灌水後では，前者の気相率がかえって大になり含水比は低くなった。逆に過乾燥のばあい，不耕起土壤が耕起土壤より毛管水分を有効に利用できた。このように，土壤水分の多小，降雨の有無にかかわらず，乾直水稻の発芽・苗立ちは耕起土壤におけるよりも不耕起土壤において常に良好なことが明らかになった。

降雨による湿潤・滞水を防止し・種子の発芽・苗立ちを良好化するための第二の方策として、水田より降雨水を急速に浸透排水するには、地表を不耕起しておくとともに、浅層弾丸暗渠施工が最も効果的であった。すなわち佐賀平野水田土壌断面の特徴から考え、鋤床層と上部酸化的集積層の両不透水層のうち、酸化的集積層（表層からの深さ約30cm）への弾丸暗渠の施工が最大の効果を与えた。しかもこの施工位置は浸透排水を行うのみでなく、亀裂の生成、気相率、粗孔隙量の増大、透水性の付与など、水田土壌の物理性を顕著に改良した。これら土壌物理性（透水性と構造）の改良法が水稲の生育、とくに発芽・苗立ちや根の発育に好影響をおよぼすことも立証した。さらにこの土壌物理性改良法（浅層弾丸暗渠施工）を科学的基礎として、土壌構造の破壊防止のため、代かきをしない乾直栽培を含め、作土表層を不耕起または浅耕する「浅層弾丸暗渠施工・地表不耕起（または浅耕）作溝条播方式による作物栽培法」を基幹とした「稲・麦連続新農法」を開発し確立した。

現在イギリスをはじめ、欧米各国で開発普及されているZero tillage（Minimum tillage and Direct drilling）の農法は、この稲・麦連続新農法に類似している。土壌構造の発達に基礎をおいて、省力・多収という根本の考え方は同様であるが、「稲麦連続新農法」は浅層弾丸暗渠を施工し、透水と内部排水をはかると同時に、積極的に土壌構造の発達を促すものである。この点が類似の農法とは大きく異なるものであり、新しい発想の具現化したものである。

このように土壌物理性を基礎として解明されたこれらの研究結果は、乾直水稲の安定栽培はもちろんのこと、構造の発達を含む地力増強をはかりながら、年間を通して実施できる稲・麦（麦とは畑作物の代表の意味で野菜類・雑穀類・飼料作物類も含む）連続新農法として体系化され、農業の近代化と発展に大きい意義をもつものといえよう。

あ と が き

この研究は昭和37年頃より48年頃までの、約十有余年間に佐賀農試において行ったものである。昭和36年より当農試が水稻乾直栽培試験をはじめたのは、農林省より全国的に水稻乾直の試験とその普及を唱導されたことにもとづくものであるが、丁度その頃当農試は「生わらの合理的施用法」と「後期追肥重点施肥法」の組合せによる暖地水稻（移植）の良質多収技術がほぼ完成に近づいた頃であった。間もなく昭和39年より始まった新佐賀段階米づくり運動の成果があがり、40年、41年を頂点とした県平均反収日本一の米づくり技術黄金時代を経ながら、当農試は埴壌土水田地帯の高木瀬町より、現在の重粘土水田地帯の川副町へ新築移転をしたものである。数年にわたる移転業務と移転にともなう圃場試験の中断、新圃場での土壌条件を均一にしてからの試験再開など、土壌を常に試験研究の対象や基本にする土壌肥料研究の分野は、試験遂行上とくに困難に遭遇したものである。しかし農試移転前の高木瀬時代から移転後の現在に至るまで、一時斜陽化して安楽死したと云われた麦類の試験も含めて、水稻の試験も一貫して、移植と乾直の両試験を必ず併行して実施してきたものである。なお佐賀農試は移転と同時に、農林省より特別総合助成「水田利用近代化試験」昭和44年～48年）の担当県の指定を受け、さらに引続き中核試験「温暖多雨地帯水田の基盤整備方策と稲麦連続新農法確立試験」（49～53年）を受け、この10年間、場内のプロジェクト体制による試験が鋭意続行されてきた。この本省指定の両大型試験は水田の土と水と空気を土台にしたもので、この一貫した中心の技術は水田への透水性付与であった。本研究の発想もこれら大型研究課題の目標である水田への透水性付与の考え方と一致し、ともに発展を遂げたものである。この研究報告は全国的にみて当時は未だ手薄であった土壌物理的な面を、しかも雨対応技術を中心に進めてきた主として基礎的な面の試験研究の成果の集録である。

ふりかえってみると我国農業は、第一次、第二次の米の生産調整、さらに現在の水田再編時代にはいり、全国的にみて土壌物理面への試験研究が一斉に強化されたものである。当農試ではその後農業土木部門との結接をはかりながら、この基礎理論をさらに発展させるとともに、これをふまえての「水田排水技術」、「排水、湛水調節技術」、「近代的基盤整備方策」、「稲麦連続新農法確立」などの試験研究に歩を進め、これらの新しい考え方にもとづいた完成された個々の技術については、そのつど普及につとめ成果をあげてきた。

水稻乾田直まき栽培は、農林省が全国的に過去3回唱導された歴史がある。生産性が高い栽培法とは充分判っていても、永い間行われてきた代かき移植栽培の農法を変えるのは、過去幾多の先人が苦勞したように困難な道である。しかしこの研究により原因と方策が究明できたので、条件整備がととのえば多雨地帯でも充分に実施できる技術段階に達したと考える。したがって、折角の大事

業である基盤整備や水田再編の対策は、水稻作は乾直栽培も実施できる方向で考慮されるべきであろう。しかも良質廉価な外国農産物との対応も、当然、考慮しなければならない。したがって代かきをしないで排水・湛水調節のできる近代的水田基盤整備を実施し、高生産性・高水準の稲・麦連続栽培の確立普及が極めて必要だと考える。その後場内圃場、現地実証試験も含めてこれら一連の試験を推進しているが、基礎的なデータの報告が遅きに失してはいけないと思い、ここに取纏めたものである。よってこの後近代的基盤整備方策や新農法確立試験などの応用的試験も引続いて報告する予定である。

なおここで付記しておきたいことは農業土木部門と営農部門の技術の結接の重要性についてである。農業土木部門の農地整備、土地改良などの技術と、営農部門の土壤物理の技術が、両部門間で最も近接しているものと思われる。この両部門間の中間に横たわる技術が両者とも遠慮して開発されていないような感じがする。両者が互いに己をとり戻し、互いに歩みよっていく必要がある。これらの考えはまた我国農業の進歩発展に多大の効果を与えるものと確信する。

なお本研究により明らかにされた原理、およびこれを応用した農法につき、昭和46年に佐賀県知事名で特許庁に申請し、同50年に特許庁長官より発明特許第797480号として確定認可された。一般に特許の審査には長年(3~4年)の歳月がかかるもので、専門家により過去、現在にわたりあらゆる面からの調査が行なわれる。これも同様の審査の期間を要した。

内容は水田土壤に透水性を付与するため、弾丸暗渠の適正施工位置とそれに伴う下層土耕的な働きによる、土壤構造の発達を主眼にした農法である。

この特許は公的機関名(佐賀県)で登録し、広く世に普及するのが目的で申請したことを銘記するものである。なお佐賀県で最初に創出された技術内容であることの証明になることは明らかである。この発明の正式な名称は「地中耕起・地表不耕起(又は浅耕)作溝条播方式による作物栽培法」である。簡潔な名称としては一名「稲麦連続新農法」と命名されている。

前記のように「新佐賀段階米づくり」生産技術の中心が、生わら施用、適正栽植密度、倒伏しない施肥法、間断灌漑の水管理などを含む「後期追肥重点施肥法」であったように、ここに報告した基礎的理論による透水性付与を軸とし、水田土壤構造の発達や近代的地力増強方策などを含めた「稲麦連続新農法」が、次に来る「新々佐賀段階米・麦づくり」の中核技術になり、高水準・高生産性の新しい農業技術時代の、創出と到来に役にたてば誠に幸と考える次第である。

謝 辞

この研究を行うにあたり、とくに前九州大学農学部長青峰重範教授、全農技術顧問故荻原種雄主管と佐賀農試喜多正次前場長（後の県農業水産部長、現在県信連基金協会専務理事）より有益なご指導、ご鞭撻をいただいた。また試験研究上の調査及び実験には農林省九州農業試験場環境第二部の菅野一郎前部長、同じく鬼鞍豊前土壤研究室長（後の土壤肥料研究管理官、現在農林省農業技術研究所化学部土壤第1科長、同じく農林省農業土木試験場佐賀支場第1研究室の岡晃室長、同じく主任研究官永石義隆氏（現在四国農試土地利用部土壤保全研究室長）、ならびに当時佐賀農試水近部の松尾憲一部長（現在佐賀農試場長）のご指導、ご援助をいただいた。同じく試験圃場の管理、調査及び実験データのとりまとめには、当時の土壤肥料研究室所属の徳安雅行、下村忠夫、井手勉の各研究員諸氏、田中勝彦、福井和己、幸山敏子の農業技術員や試験検査補助員の諸氏のご協力を得た。

さらに原稿執筆、図表作成にあたっては、九州農試環二部、菅野一郎前部長、同じく古賀汎土壤研究室長のご懇篤なご教導、ご協力を得た。

以上の方々に対して深甚なる謝意を表するものである。

文 献

- 1) 安間正虎・小田桂三郎(1963) 根系調査法 戸刈義次他編集, 作物試験法 139-155. 農業技術協会刊
- 2) 青峰重範(1942) 東北地方における苗代土壌について 東北大学農学研報, 3, 1-32.
- 3) 青峰重範(1961) 土壌構造 小西千賀三・高橋治助編, 土壌肥料講座2, 138-147. 朝倉書店(東京)
- 4) 青峰重範・東俊雄(1954) 溶脱軽微な水田土壌の粘土鉱物 九大農学芸雑誌, 14, 553-570.
- 5) Aomine, S. and T. Higashi (1956) Clay minerals of alluvial soils of the Chikugo River. J. Fac. Agr. Kyushu Univ. 10, 355-364.
- 6) 青峰重範・東俊雄・井ノ子昭夫(1954) 有明海泥土の粘土鉱物 九大農学芸雑誌, 14, 387-398.
- 7) 青峰重範・成田精一(1943) 土壌の酸化還元状態と水稻種子の発芽 農及園, 18, 185-188.
- 8) 青峰重範・和田光史(1954) 有明海沖積水田土壌の粘土鉱物 九大農学芸雑誌, 14, 377-386.
- 9) 有村玄洋・鬼鞍豊(1971) 有明海北部および西部沿岸地域の埴質水田土壌の二・三の物理的性質と土壌微細形態の観察 九州農試報告, 16, 63-183.
- 10) Baeumer, K. and W. A. P. Bakermans (1973) Zero-tillage. Advances in Agron., 25, 77-123.
- 11) Bayer, L.D. 著, 野口弥吉・福田仁志訳(1955) 土壌物理学 175-177, 274-280, 356-361, 371-373.
- 12) Cannell, R.Q. and J.R. Finney (1973) Effects of direct drilling and reduced cultivation on soil conditions for root growth. Outlook of Agriculture, 7, 184-189.
- 13) 檀上 勉(1951) 水稻の育苗 佐々木喬監修 綜合作物学食用作物編, 稲作の部, 179-180. 地球出版K. K. (東京)
- 14) ドイツ規格委員会, 長浜謙吾(1971) 暗渠排水の指針・ドイツ規格委員会(DNA) 内専門規格委員会水部会立案 1-41. ボイス販売有限公司・ベルリン15・ケルン
- 15) 土壌物理研究会編(1974) 土壌物理用語事典 142-161. 養賢堂

- 16) 土壤物理性測定法委員会編(1972) 土壤三相・土壤構造・土壤水分 土壤物理性測定法
1-15, 53-106, 107-254. 養賢堂
- 17) Duley, F.L. (1939) Surface factors affecting the rate of intake of
Water by soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 4, 60-64.
- 18) Ellison, W.D. (1944) Studies of raindrop erosion. Agr. Eng., 25, 121-
136, 181-182.
- 19) 不耕起直播研究班(1973) 水稻の麦跡不耕起機械化直播栽培技術体系の確立に関する研究
中国農試報告, D6, 1-105.
- 20) Hanks, R.J. and E.C. Thorp (1956) Seedling emergence of Wheat as
related to soil moisture content, bulk density, oxygen diffusion rate, and
strength. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 20, 307-310.
- 21) 姫田正美・上村幸正・千坂英雄・倉本 征・高屋武彦・長野間宏(1975) 関東内陸平坦
部における水稻乾田直播栽培の実態と展開方向 農事試研報, 23, 1-113.
- 22) 姫田正美・上村幸正・千坂英雄・倉本 征・高屋武彦・長野間宏(1976) 関東内陸平坦
部における水稻乾田直播栽培(2) 農業技術, 31, 64-68, 115-116.
- 23) Ide, K. (1974) A new cultivation practice for the development of soil structure
in paddy fields. Trans. 10th Int. Congr. Soil Sci., Moscow, 1974, 10, 288-291.
- 24) 井手一浩(1976) 九州北部の水稻直播技術の現状と発展方向 農及園, 51, 161-166.
- 25) 井手一浩(1976) 佐賀の水田における土壌と水 日本作物学会シンポジウム紀事第9集
わが国耕地における作物の生産力とその向上について-暖地水稻多収獲へのアプローチ
496-500. 日本作物学会
- 26) 井手一浩・徳安雅行・小林淳・下村忠夫(1971) 乾田直播水稻の発芽・苗立ちに関する
土壌肥料学的研究
(第1報)土壌条件と発芽・苗立ちについて, (第2報)発芽・苗立ちの良好化方策につ
いて 土肥誌講要, NO. 17, 145.
- 27) 井手一浩・徳安雅行・下村忠夫(1972) 乾田直播水稻の発芽・苗立ちに関する土壌肥料
学的研究
(第3報)土壌の種類による土膜生成の相違について, (第4報)暗渠排水方法と土壌構造
の変化に関する二・三の知見について 土肥誌講要, NO. 18, 1.
- 28) 井手一浩・徳安雅行・下村忠夫・井手勉(1974) 乾田直播水稻の発芽・苗立ちに関する
土壌肥料学的研究
(第5報)土壌の種類と土膜の形態について 土肥誌講要, NO. 20, 6.

- 29) 井手一浩・徳安雅行・小林淳・下村忠夫(1970) 乾田直播水稻の発芽機構解明に関する研究 佐賀農試研報, 11, 59-89.
- 30) 井手一浩・徳安雅行・下村忠夫・小林淳(1970) 不耕起栽培継続に関する研究 一稲・麦の連続不耕起栽培試験— 佐賀農試研報, 11, 91-109.
- 31) 井手一浩・徳安雅行・下村忠夫・井手勉(1972) 「不耕起作溝条播方式」による稲麦の連続極限省力栽培について 九農研, NO. 34, 18-20.
- 32) 井手一浩・徳安雅行・下村忠夫・井手勉(1972) 浸透水量の相違が移植水稻におよぼす影響に関する2, 3の知見 九農研. NO. 34, 125.
- 33) 井手一浩・徳安雅行・下村忠夫・井手勉(1973) 水田土壤構造富化に関する動的研究(第1報)水田への土壤構造富化方策(地中耕起の考え方)について 九農研, NO, 35, 134-135.
- 34) 井手一浩・徳安雅行・下村忠夫・井手勉・永石義隆(1973) 全上(第2報)栽培型の相違による土壤の三相分布について 九農研, NO. 35, 136.
- 35) 井手一浩・徳安雅行・下村忠夫・井手勉・永石義隆(1973) 全上(第3報)耕起の有無による透水量の相違について 九農研, NO. 35, 137.
- 36) 井手一浩・徳安雅行・下村忠夫・井手勉(1974) 新農法(地中耕起・地表不耕起作溝条播方式)実施水田の土壤物理的有利性について 九農研, NO. 36, 132-133.
- 37) 岩崎勝直(1972) 水稻直播栽培についての一見解 農業技術, 27, 66-67.
- 38) 岩崎勝直(1973) 八郎潟中央干拓地における水稻の直播栽培について(八郎潟中央干拓地における水稻の直播栽培の発芽・苗立ち不良の原因究明並びに今後における直播安定向上のために開発すべき課題の指摘) 1-107. 八郎潟新農村建設事業団
- 39) 泉清一・姫田正美(1964) 稲の直播栽培 12, 26-29. 農業図書K. K.
- 40) 菅野一郎(1956) 筑後平野水田土壤の特性 九農研, NO. 17, 16-21.
- 41) 菅野一郎(1957) 無機質水田土壤の基本的断面形態 土肥誌, 27, 393-396.
- 42) 菅野一郎(1961) 日本の主要土壤型の生成・分類学的研究II・赤黄色土 九州農試彙報, 7, 187-306.
- 43) Kanno, I. (1962) A new classification system of rice soils in Japan. Pedologist, 6, 2-10.
- 44) 菅野一郎(1969) イネ栽培下の土壤型 日本の土壤型—その生成・性質・研究法— 菅野一郎編, 第6版, 97-112. 農文協(東京)
- 45) 菅野一郎・本荘吉男・徳留昭一・桑野幸男(1957) 九州における水田土壤の粘土鉱物(第2報) 土肥誌, 28, 227-230.

- 46) 菅野一郎・本莊吉男・桑野幸男・有村玄洋・徳留昭一(1962) 有明海の浅海性堆積物の粘土鉱物 粘土化学の進歩, 227 - 238. 技報堂
- 47) Kanno, I., Y. Honjō, S. Arimura and S. Tokudome (1963) Genesis and charactersitics of rice soils developed on polder lands of the Shiroishi area Kyushu. Bull. Kyushu Agr. Exp. Sta., 2, 27 - 49.
- 48) 菅野一郎・本莊吉男・有村玄洋・徳留昭一(1965) 有明海の浅海成堆積物に由来するグライ性水稻土の粘土鉱物 粘土化学の進歩 5, 109 - 123. 技報堂
- 49) 川島祿郎・永田正直(1940) 九州における干拓地土壤の研究, (第1報)福岡県山門郡大和村永田農場 農化, 16, 411 - 416.
- 50) 川島祿郎・永田正直・陶山源太郎(1940) 全上, (第2報)佐賀県佐賀郡久保田村久保田搦 土肥誌, 14, 485 - 492.
- 51) 川島祿郎・永田正直・陶山源太郎(1940) 全上, (第3報)熊本県八代郡文政村北新地 土肥誌, 14, 547 - 554.
- 52) 経済企画庁総合開発局(1974) 土地分類図(土壤図) 佐賀県
- 53) 木下亀城・青山信雄・野田光雄・橋本勇・山崎達雄・種子田定勝・唐木田芳文ら(1954) 佐賀県の地質と地下資源, 全地質図 1 - 68. 佐賀県知事室開発課発行
- 54) 気象庁(1971) 地上気象観測法 1-151. 気象庁
- 55) 古賀汎(1964) 初期干拓地土壤に関する研究 佐賀農試研報, 5, 1 - 53.
- 56) 九州地域技術連絡会議・九州農試(1972) 重粘土地帯における水田作の機械化に関する研究-水田作部門-(昭和46年度総合助成試験事業による九州地域研究成果検討会)その2, 12 - 18.
- 57) 松尾大五郎(1950) 稲作(1)診断編 43 - 50, 養賢堂
- 58) Matsuo, H. (1965) on specialities in properties of rice soils with special reference to changes of chemical components in soils. Bull. Kyushu Agr. Exp. Sta., 11, 31 - 96.
- 59) 松尾英俊・後藤重義・桜井俊武・佐藤雄夫・井ノ子昭夫(1962) 佐賀干拓地土壤の年代による各種成分の変遷について 九州農試彙報, 7, 307 - 324.
- 60) McIntyre, D.S. (1958) Soil splash and the formation of surface crusts by raindrop impact. Soil Sci., 85, 261 - 266.
- 61) 美園繁(1958) 実容積法による土壤物理性の測定 土肥誌, 29, 67 - 70.
- 62) 長浜謙吾(1974) 暗渠排水技術史の研究, (第1報)古代の暗渠排水. 石川農業短大, 3, 1 - 7.

- 63) 長浜謙吾(1976) 同上, (第2報)イギリスにおける暗渠排水ならびにそのパイオニア, 石川農業短大研報, 5, 21-29.
- 64) 長浜謙吾(1976) 同上, (第3報)わが国における暗渠排水(上代~江戸時代) 石川農業短大研報, 6, 21-29.
- 65) 永石義隆(1968) 機械化水田におけるモグラ暗渠の耐用性について(1)-大型トラクターによる踏圧試験- 農土試報告, 6, 111-124.
- 66) 永石義隆(1970) 水稻の適正浸透量に関する調査研究(1) 農土試技報, E(佐賀支場) 6, 25-49.
- 67) 永石義隆・山下恒雄(1971) 重粘土干拓地水田の土層改良に関する調査研究(1) 農土試技報E8, 1-45.
- 68) 永石義隆(1977) 有明沖積地帯水田における土壌基盤の問題点 第49回農業土木学会九州支部講演会(シンポジウム), ホ場整備に伴う土壌及び土質に関する問題点, IV, 1-17.
- 69) 永石義隆・山下恒雄(1972) 万能型簡易暗渠施工機について 農土誌, 40, 107-112.
- 70) 長田昇(1969) 透水性 土壌物理, 山崎不二夫監修, 112-114. 養賢堂版
- 71) 中川昭一郎(1968) 水田用水量調査計画法 41-44, 47-51. 畑地農業振興会刊
- 72) 中島明(1977) 水稻根圏土壌の力学的な問題点 第49回農業土木学会九州支部講演会(シンポジウム), ホ場整備に伴う土壌及び土質に関する問題点, III, 1-23.
- 73) 中山包(1966) 発芽生理学 76-79. 内田老鶴圃新社(東京)
- 74) 日本気象協会佐賀支部(1961-1973の13カ年分) 佐賀県気象月報 日本気象協会
- 75) 西日本気象協会佐賀出張所(佐賀気象台内)(1962) 佐賀県の気象(1891-1960の70カ年分) 53-244. 西日本気象協会発行
- 76) 農業土木学会(1974) 農業土木標準用語事典 81-84. 明善印刷K-K.(東京)
- 77) 野々山芳夫・吉沢孝之(1976) 水稻の不耕起直播栽培に関する土壌肥料学的研究, (第4報)土壌窒素の発現様式の特徴 中国農試報告, E11, 7-52.
- 78) 農林省農土試佐賀支場・佐賀県中部農林事務所(1973) 海成沖積粘土水田地帯における圃場整備に関する調査研究 87-92.
- 79) 農林省農林経済局統計情報部(1974) 作物統計 NO, 17, 190-196, 254-263, 514. 農林統計協会(東京)
- 80) 農林省農林水産技術会議事務局(1962) 稲作における土壌と水に関する研究 共同研究事業, 27-32・56-58・61-64・74-77・87-89. 農林水産技術会議事務局
- 81) 農林省農林水産技術会議事務局(1972) 重粘土地帯水田の土層改良と用排水組織に関する研究 研究成果56, 30-45・105-114・212-228・同附図. 農林省農林水産技術

会議事務局発行

- 82) 農林省農蚕園芸局農産課(1975) 直播稲作関係資料(直播稲作推進全国協議会資料) 16-17.
- 83) 農林省農政局(1972) 直播栽培推進上の諸問題と対策, 直播稲作推進全国協議会資料II 10, 40-42, 52, 58, 64, 66, 76, 94,
- 84) 農林省農政局監修(1968) 稲作における水管理と土壤の改善 84-98, 110-130. 全国農業改良普及協会
- 85) 農林水産技術会議事務局編(1973) 農林水産研究文献解題, 水稻直播編, 1-165, 272-333.
- 86) 大森正・小野芳郎・川中弘二・坪井勇・(1970) 稲麦不耕起栽培における土壤肥料的的研究。(第1報)不耕起の継続が水稻の生育収量および土壤理化学性に及ぼす影響について 岡山農試臨報, 65, 1-18.
- 87) 大森正・川中弘二・坪井勇(1970) 同上。(第2報)不耕起継続多収田における土壤の実態と養分吸収について 岡山農試臨報, 65, 19-34.
- 88) レポート, 松田宏訳(1968) 土壤物理 86, 技術会議資料54-海外39-57. 農林水産技術会議調査資料課
- 89) Russell, E.W. and E.J. Russell 著, 藤原彰夫・大坪幸次・黒沢諦・堤道雄・小島邦彦 共訳(1956) 植物生育と土壤 467-498・699-705. 朝倉書店(東京)
- 90) Russell, E.J. 著, 高井康雄・西尾道徳訳(1971) 土壤の世界 205-209. 講談社発行(東京)
- 91) Ressel, R.S., R.Q. Cannell and M.J. Goss(1975) Effects of direct drilling on soil conditions and root growth. Outlook of Agriculture, 8, 227-232.
- 92) 佐賀地方气象台(1972) 佐賀県気象月報, 1月~4月号.
- 93) 佐賀県(1975) 特許第797480号 発明の名称, 地中耕起・地表不耕起作溝条播方式による作物栽培法 特許原簿登録, 特公昭50-10203. 発明者, 井手一浩, 特許庁
- 94) 佐賀气象台(1965) 普通気候観測日原簿
- 95) 佐賀県農林部農産課(1964~1975) 水稻作付状況調査資料
- 96) 佐賀農試(1957) 施肥改善事業土壤調査報告(1), 佐賀平坦東部及び南部地区, 水田土壤区分図・同説明書 1-25.
- 97) 佐賀農試(1960) 施肥改善事業土壤調査報告(2), 佐賀平坦西部及び北部地区・佐賀北部山麓地区, 水田土壤区分図・同説明書, 1-41.
- 98) 佐賀農試(1963) 施肥改善事業土壤調査報告(3), 三養基平坦三根・佐賀平坦神崎地区,

- 天山山麓小城・佐賀平坦牛津地区, 水田土壤区分図・同説明書, 1-46.
- 99) 佐賀農試(1964) 施肥改善事業土壤調査報告(4), 背振山麓・三養基平坦東部地区・天山山麓多久・佐賀北部山麓大和・背振山麓西部地区, 水田土壤区分図・同説明書, 1-49.
- 100) 佐賀農試(1965) 施肥改善事業土壤調査報告(5), 杵島平坦地区, 水田土壤区分図・同説明書, 1-29.
- 101) 佐賀農試(1975) 適正浸透水量決定試験-乾直水稻・移植水稻-, 昭和49年度夏作土壤肥料試験成績書 4-22.
- 102) 佐賀農試(1975) 水田利用近代化に関する試験・総合助成試験成果 5-6, 11-20, 28-33, 172-180.
- 103) 坂井弘・野々山芳夫・河本泰(1968) 水田不耕起栽培に関する土壤肥料的的研究(第1報)-水稻不耕起栽培の局所施設による多収化- 中国農試報告, E2, 193-227.
- 104) 佐々木邦男(1973) 農業機械の利用技術に関する研究, 第5報- Minimum Tillage, Till - plant System について 宮城農業短大, 学術報告, 二十周年記念号, 20, 47-50. 宮城農業短大
- 105) 1971年度日本土壤肥料学会大会運営委員会(1971) 九州の土壤と農業 28-36, 93-103.
- 106) 庄司英信・石川武男・長崎明・涌井学・佐野文彦(1957) もぐら暗キョに関する研究I, 秋田・佐賀県下における実態調査を中心として 農業土木研究, 25, 6-11.
- 107) 庄司英信・石川武男・長崎明・涌井学(1958) もぐら暗キョに関する研究II, 水田土壤条件とセン孔機のケン引抵抗とについて 農業土木研究, 26, 181-186.
- 108) 庄司英信・長崎明・石川武男・涌井学(1959) もぐら暗渠に関する研究III, 主として水田におけるキョ孔の耐用性について 農業土木研究, 27, 119-125.
- 109) 竹井邦彦(1941) 稲発芽種子の幼根における酸素要求量に就いて 農及園, 16, 675-676.
- 110) 瀧島康夫・佐久間宏(1969) 土壤の圧縮および硬度が水稻の根系発達ならびに生育および土壌影響に関する研究 農技研報告, B-21, 255-328.
- 111) 田中洋介(1974) 佐賀農業の現状と諸問題・AL・NO.124 川副地区農村基盤総合整備パイロット事業調査報告書・工藤寿郎・8-24. 社団法人, 全国農業構造改善協会農地整備計画委員会
- 112) Tomlinson, T. E. (1974) Soil structural aspects of direct drilling. Trans. 10th Int. Congr. Soil Sci., Moscow, 1, 203-213.
- 113) Triplett, G. B., Jr. and D. M. van Dolen, Jr. (1977-細川明訳) 耕転をしない

農業 サイエンス (Scientific American) 7, 80-86.

- 114) 山崎不二夫編 (1959) シロカキによる土壌の変化 シロカキの研究 107-118, 165-276. 金原出版KK (東京・京都)
- 115) 米倉二郎編 (1956) 海岸線の今と昔, (佐賀平野のばあい) 佐賀県の歴史, 地図編, 文画堂 (東京)
- 116) 吉野三男 (1970) 有明海干拓平野地土壌の熟田化過程と水稻生産性の推移に関する調査研究 佐賀農試研報, 10, 1-121.
- 117) 吉岡金市・和田一雄 (1972) 総合農政と直播経営—水稻直播経営による水田農業変革の理論と実績— 1-416. たたら書房 (米子)

水田の土壤構造発達のための新しい耕作法—とくに佐賀平野における水稲乾田直播栽培の基礎的土壤物理性の解明

佐賀県農業試験場 井手 一 浩

要 約

本研究は水田土壤の各層位の物理的性質の改良、まず耕起によっては避けがたい降雨による土壤構造の悪化とくに土膜生成の防止と、表層土と下層土の透水性、通気性の改良の方策探究を目的とした。また土壤物理性の改良を「水稲乾直栽培法確立の基礎とするため」に、これらの方策が土壤中の水の動態、乾直水稲の発芽・苗立ちと根の生育におよぼす影響を調べた。

第1章では佐賀平野水田における水稲乾直栽培上の第一の問題点が、降雨による発芽・苗立ち不良にあることを指摘し、それが佐賀平野水田土壤の透水性不良に原因することを推定した。第2章では種子圏土壤の雨水停滞による還元が、発芽・苗立ちに及ぼす影響を調べた。第3章では耕起法の相違が土壤の物理性や発芽・苗立ちに及ぼす影響を述べ、第4章では浅層弾丸暗渠施工が「亀裂の発達を通じて」土壤の物理性、とくに透水性の改善に寄与することを明らかにした。第5章ではこの土壤の物理性の改良が稲の発芽・苗立ちと根の伸長に好影響をおよぼすことを実証した。

なお土壤物理性の改良に基づく省力と良質米および良質麦の多収を目標として確立した「稲麦連続新農法」につき簡単に紹介した。

A NEW CULTIVATION PRACTICE FOR THE DEVELOPMENT OF SOIL STRUCTURE
IN PADDY FIELDS

With Special Reference to the Soil Physical Basis of
the Direct-sown Cultivation in the Saga Plain

Katsuhiro IDE

Saga Prefectural Agricultural Experiment Station

Summary

The object of this paper was to report a new cultivation practice concerning the amelioration of physical properties in the paddy soil horizons, especially the prevention of both the unavoidable structural destruction and the formation of earth crusts after rainfall under the traditional transplanting cultivation, and the increase in water and air permeabilities of the surface and subsurface soils. To establish a basis of the direct sown rice cultivation, the influences of the new cultivation practice on the water behavior in the soils and the germination, budding, and root development of the direct-sown rice plants were examined by field and laboratory experiments.

In Chapter 1, it was described that one of the fundamental problems for the well drained paddy soils under the direct sown cultivation in the Saga plain is the poor germination and budding after rainfall. The problem is caused by the poor drainage of the paddy soils characterized by the predominance of montmorillonitic clays of the marine origin and their high productivity. The influences of the reduced condition of the soils around seeds caused by the stagnation of rainwater on the germination and budding were described in Chapter 2. Chapter 3 dealt with the influences of the difference in plowing methods on the soil physical properties and the germination and budding.

In Chapter 4, it was described that mole drains set at a depth of 30 cm

have ameliorated the physical conditions, especially the water permeability of the surface and subsurface soils through the formation of fissures. In Chapter 5, it was described that some favorable influences for the germination, budding, and root development of rice plants have been brought out by the above-mentioned amelioration of soil physical conditions. Furthermore, a new successive cultivation method of rice and wheat aimed at labor-saving and a rich harvest of rice and wheat of good quality on the basis of the amelioration of soil physical properties was briefly described.

Summary

The purpose of this report was to describe the results of the investigation on the physical conditions of the soil and the effect of the amelioration of the soil physical conditions on the germination, budding, and root development of rice plants. The investigation was carried out in the experimental field of the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba, Japan. The results of the investigation are summarized as follows: (1) The physical conditions of the soil were improved by the formation of fissures in the surface and subsurface layers of the soil. (2) The water permeability of the soil was increased by the formation of fissures. (3) The germination, budding, and root development of rice plants were promoted by the amelioration of the soil physical conditions. (4) A new successive cultivation method of rice and wheat was proposed on the basis of the amelioration of soil physical properties.