

霞ヶ浦周辺干拓地土壤の改良に関する研究

第4報 新しい干拓地に発生する水稻の生育障害と改良対策

平山 力. 小林 登\*. 石川昌男\*.

*Improvement of the Polder Soil on Neighbouring Areas  
of Lake Kasumigaura*

*Part IV. The Physiological Disturbance and its  
Countermeasure of Rice Culture on Newly Reclaimed  
Paddy Field*

*Chikara Hirayama, Noboru Kobayashi\**

*Masao Ishikawa\**

---

\* 現県教育普及課

## I 緒 言

新しく造成された干拓地水田で水稻の栽培を行なうと、その土壌の特異性から、塩、酸害など水稻の生育障害の発生を招くことは、すでに小林、米田ら多くの報告から事前に予想される。このような心配から、新規干拓地の水稻作付けにあたっては、作付け前に土壌調査を行ない、その結果から土壌の特徴を把握し、適切な土壌改良対策を施して未然に障害発生の防止に努める必要のあることは前報<sup>5)</sup>において述べた。しかし、不安定で変化の大きい干拓地土壌に作付けられた初年目の水稻には、期待に反し、かなりの障害が発生し、大打撃をうけた。このような背景から、これらの被害実態をあきらかにし、現状に即した改善策を確立することは、きわめて重要かつ急務と考えられ、現地ほ場中心に2～3調査試験を行なって検討した。

その結果、水稻障害の発生は初年目の栽培に多く、分布状況は第1報で予測したとおり、干拓地の地形と土壌条件におおむね符合した。そしてその問題の根源は、すべて当該地区の排水の良否にあり、改善策として暗きよ施工はもとより、石灰資材の投入、山土の客入さらに亜鉛の添加などもきわめて有効であることを確認した。以下、これらの結果についてのべる。

## II 水稻生育障害の実態

### 1. 調査方法

現地調査は、干拓後初年目の水稻栽培において、とくに障害の発生が顕著にみられた余郷入および延方干拓地で行なった。調査方法は現地の障害発生の様相を観察すると同時に、その分布状況さらに障害土壌および作物体の化学分析を行なった。分析法は土壌 pH, Eh, E・Cについて東亜電波製のメーターを用いて常法にしたがい、 $Cl^-$ はモル法、 $SO_4^{2-}$ はクロム酸バリウムによる比色法によった。また水稻被害の判定は既応の観察結果にもとずき、茎葉、根部の被害症状さらに土壌の分析結果から判別した。

### 2. 調査結果

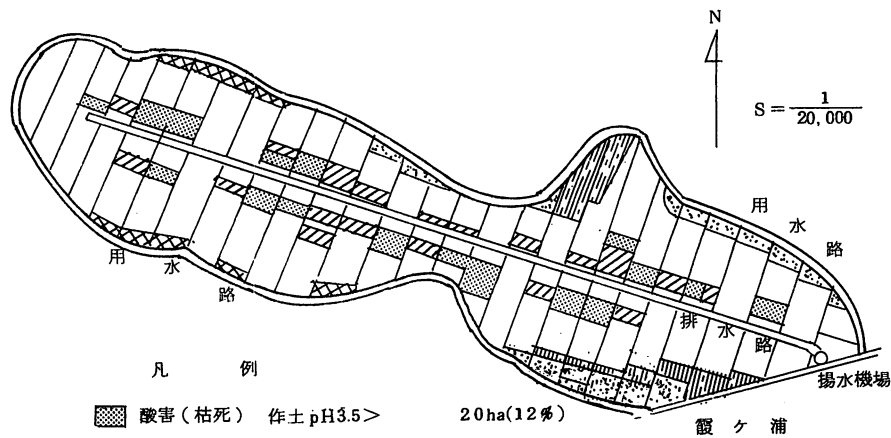
図-1は余郷入干拓地作付総面積160haを対象に、昭和43年7月11日に行なった結果であり、図-2は延方干拓地入植地64haを対象に、昭和42年5月30日に行なったものである。

延方の調査結果では、塩害の発生のみにとどまったが、余郷入では水稻被害の特徴から酸害、塩害、アルカリ害(亜鉛欠乏症)<sup>4)</sup>、還元害の4種類の発生が認められた。

#### 1) 障害水稻の特徴

##### (1) 酸 害

症状：余郷入現地で確認した酸害の特徴は、大部分茎葉の灰褐色化であり、この症状の著しい場合は枯死した。被害は植え付け後2～3日で葉身先端部が萎凋し、1週間でこれが灰黒褐色に変化し、葉身から茎部に症状が拡大し、20日後にはおおむね枯死した。根部には赤褐色の鉄錆の付着がみ

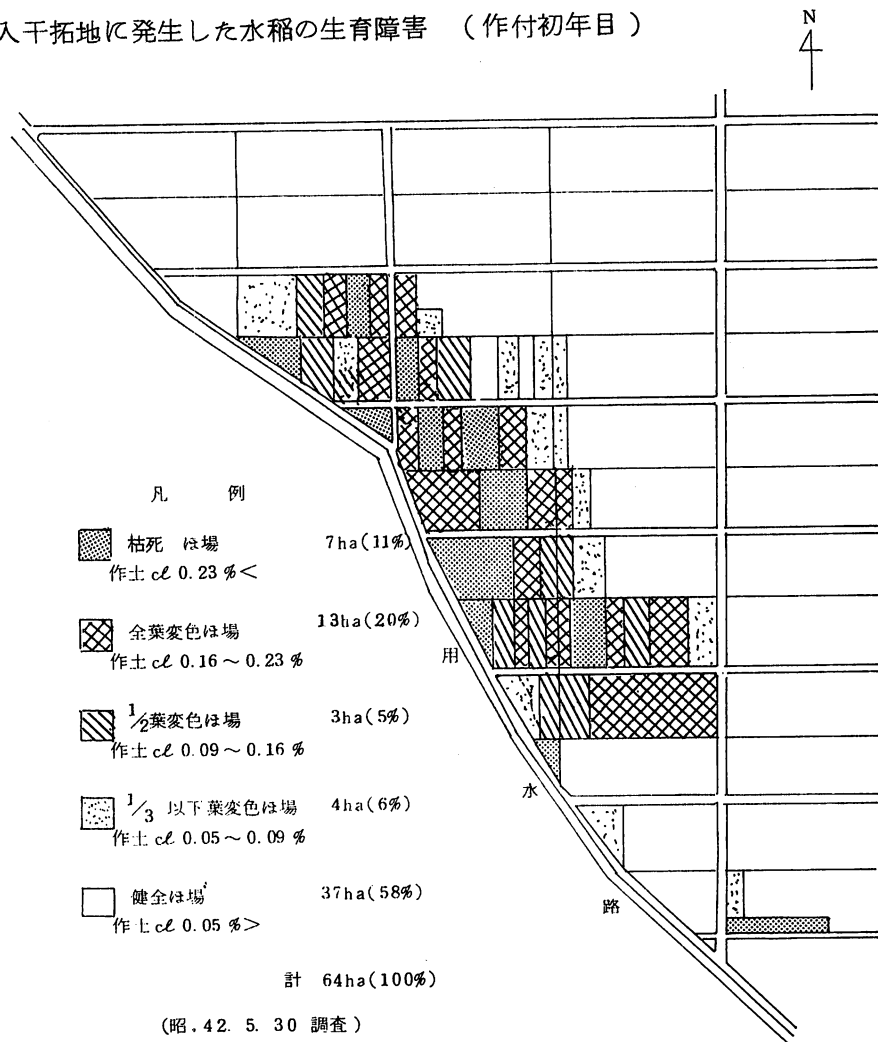


凡 例

	酸害(枯死) 作土 pH3.5>	20ha(12%)
	〃 (葉黒褐変) 作土 pH4.2~3.5	25ha(16%)
	塩 害 作土 cl 0.11~0.36%	6ha(4%)
	アルカリ害 作土 pH8.5~9.6	10ha(6%)
	還元害 作土 pH8.7~9.6	4ha(3%)
	健 全 作土 pH4.5~6.9	95ha(59%)
		計 160ha(100%)

(昭.43.7.11 調査)

図-1 余郷入干拓地に発生した水稻の生育障害 (作付初年目)



凡 例

	枯死 は場 作土 cl 0.23% <	7ha(11%)
	全葉変色は場 作土 cl 0.16~0.23%	13ha(20%)
	1/2葉変色は場 作土 cl 0.09~0.16%	3ha(5%)
	1/3以下葉変色は場 作土 cl 0.05~0.09%	4ha(6%)
	健全は場 作土 cl 0.05% >	37ha(58%)
		計 64ha(100%)

(昭.42.5.30 調査)

図-2 延方干拓入植地に発生した水稻の塩害(作付初年目)

られ、分けつはみられない。また、土壌条件によっては、植え付け初期には正常の生育をしめしながら、分けつ期以降に発生する場合もあった。

分布：酸害は主として余郷入干拓地で大発生したが、被害面積は枯死状態 20ha、枯死はしないが、すでに灰黒褐変状態を呈したほ場が 25ha で全体の28%に達した。障害の発生は主に干拓地中央部の粘土地帯で、とくに中央排水路周辺の排水良好なところ、あるいは排水路掘込みの際、掘り上げられたヘドロを上乘せ客入した部分に多く認められた。また被害調査と同時に分析した当該ほ場作土の土壌 pH は、枯死状態に至ったほ場でおおむね 3.5 以下、茎葉変色症状段階で pH 4.2~3.5 をしめし、いずれも強酸性であった。

## (2) 塩 害

症状：塩害をうけると水稻茎葉は黄白色化して枯死する。延方干拓地で確認した結果では、植え付け後 2~3 日で被害徴候がうかがわれ、1 週間で茎葉の黄白色化が目立った。さらに 2 週間経過するとおおむね枯死症状に至る場合が多かった。根部は黒く、根腐れが認められた。

分布：延方干拓入植地に発生した塩害は、西部用水路周辺の排水不良地に集中し、被害面積は 27ha で、入植地全体の 42% に達した。この中で完全に枯死したほ場、あるいは茎葉の大部分が黄白色化し、回復困難とみられたほ場が 20ha に達し、被害面積の  $\frac{2}{3}$  を占めた。

また、同時に採土し土壌分析を行なった結果では、さきの枯死ほ場作土の  $cl^-$  濃度はおおむね 0.23 % 以上であり、茎葉の大部分が黄白色化したほ場では、0.16~0.23 % の範囲であった。さらに  $cl^-$  0.16~0.05 % の範囲では茎葉  $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$  程度の変色状態が認められたが、0.05 % 以下のほ場には、ほとんど塩害の発生は認められなかった。

余郷入干拓地の塩害は、周辺砂土地帯と中央粘土地帯の境目の排水不良地に若干認められたが、同時に行なった土壌分析結果では、作土中  $cl^-$  濃度 0.11~0.36 % の範囲に発生していた。

## (3) アルカリ害(亜鉛欠乏症)

症状：アルカリ害は主に余郷入干拓地で認められたが、ここで観察したアルカリ害は田中、白鳥ら<sup>6) 4)7)</sup>のいう水稻の亜鉛欠乏症に類似する。すなわち、活着期の生育はおおむね順調であったが植え付け後約 20 日を経過すると、葉身中助部が脱色して黄白色化した。草丈は抑制されおい性化し、比較的古い葉の中助周辺の葉脈間には微細な褐色の斑点が生じた。

斑点は次第に葉脈に沿って発達し、すじ状となった。分けつ数は被害の軽重にかかわらず比較的多かった。軽微な症状は分けつ後期に回復したが、被害の著るしいものはそのまま経過し、枯死状態には至らないが、出穂せず収穫は皆無となった。

分布：本障害の発生は、主として周辺砂土地帯の表層より貝がらの集積の多い排水不良に目立った。被害面積約 10 ha で全作付面積の 6 % に相当したが、発生したほ場はほとんど収穫に期待はもてなかった。



発生ほ場の土壌分析結果では、作土の pH はおおむね 8.5~9.6 の範囲の強アルカリ性をしめしたが、 $Cl^-$  濃度はかなり低かった。

#### (4) 還元害

症状：活着期の生育は正常でであったが、分けっ期以降草丈、莖数が極端に抑制され、莖葉全体の黄白色化が目立った。枯死することは少ないが、分けっ数は少なく出穂しない。また葉に斑点の徴候はみられない。根部は黒く根腐れの程度が著しかった。

分布：余郷入干拓地の周辺砂土地帯の排水不良地に多く発生したが、発生ほ場には貝がらの集積は認められない。土色は表層 5G  $\frac{3}{4}$  の暗緑灰色を呈し、硫化水素の臭気が漂よう。本障害の被害面積は 4 ha で全体の 3% 程度であったが、収穫はほとんど皆無であった。土壌の分析結果では、作土の pH 8.7~9.6 の範囲で強アルカリ性を呈し、 $Eh_6$  値は極端に低かった。なお、本障害は締切り堤防から遠い余郷入湖奥周辺部に認められたのに対し、前述のアルカリ障害は、堤防に近い周辺部に認められた。

#### 2) 障害土壌の特徴

現地調査の際、同時に行なった障害土壌の分析結果をまとめてしめしたのが図一 3~6 である。

酸害土壌：前述のとおり、余郷入では土壌 pH 4.2 以下に酸害の発生がみられたが、さらにこれを土壌の  $Eh_6$  の測定結果からみると、+100~+300 mV の高い場合と -50~-100 mV の低い場合があった。 $Eh_6$  の高いほ場は、大部分中央排水路掘込みの際、浚渫されたほ場が該当し、かなり亀裂の発達があり、土壌の脱水酸化が進んでいた。

また、E・C 値は  $200\sim750 \ 10^{-5} \mu\text{v}/\text{cm}$ 、 $SO_4^{2-}$  含量は乾土 100g あたり 250~450mg の範囲であった。

塩害土壌：延方土壌では  $Cl^-$  0.05% 以上で塩害の徴候がみられ、 $Cl^-$  0.16% 以上のほ場で致命的な被害をうけた。E C 値は  $150\sim350 \ 10^{-5} \mu\text{v}/\text{cm}$ 、土壌 pH 7.5~9.0、 $Eh_6$  値は 0~+200 mV の範囲であった。

アルカリ害土壌：余郷入土壌で発生したアルカリ害は土壌 pH 8.5~9.6 の範囲に認められたことはさきに述べたが、さらにこれを  $Eh_6$  値でみると、+50~+250 mV の間で、EC は  $100\sim550 \ 10^{-5} \mu\text{v}/\text{cm}$ 、 $SO_4^{2-}$  含量 50~200 mg、 $Cl^-$  濃度については 0.13% 以下であった。

還元害土壌：土壌 pH 8.6~9.6 の範囲はアルカリ障害と大差はないが、前述したごとく土色において 5G  $\frac{3}{4}$  の暗緑色を呈することからうらがきされるように、 $Eh_6$  値では極端に低い値がみられ、-100 mV 前後をしめしたことが特徴的であった。また EC 値、 $Cl^-$  濃度は低いが  $SO_4^{2-}$  含量が乾土 100g あたり 200~300 mg の範囲にあり、酸害土壌に次ぐ濃度分布をしめした。

#### 3) 小 括

前述のとおり、霞ヶ浦周辺に分布する新しい干拓地に発生する水稻の生育障害は、おおむね酸害、塩害、アルカリ害（亜鉛欠乏症）、還元害の 4 つの種類に大別され、これらの発生分布は、第一報で予測したとおり、干拓地の地形、土壌の条件に大きく反映されていることを確認した。近年、利根下流、霞

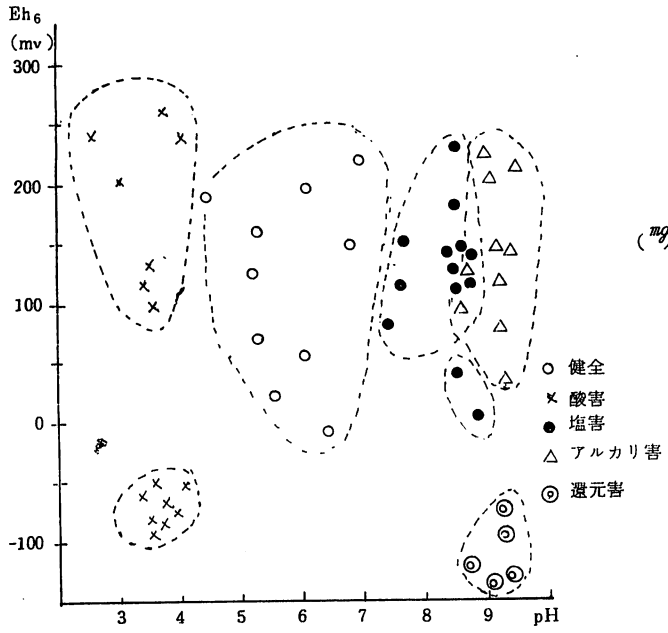


図-3 水稻障害と土壌の pH, Eh<sub>6</sub>

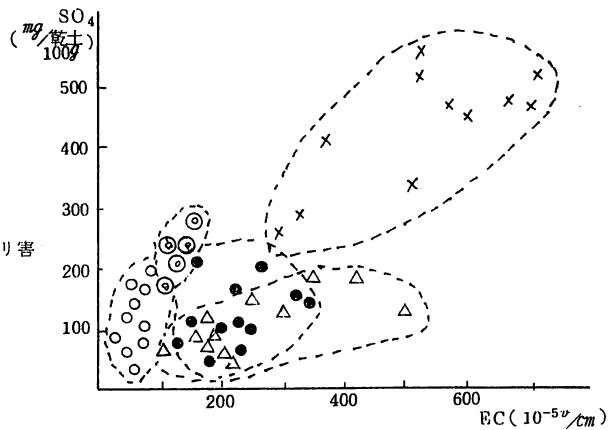


図-5 水稻障害と SO<sub>4</sub> と E.C

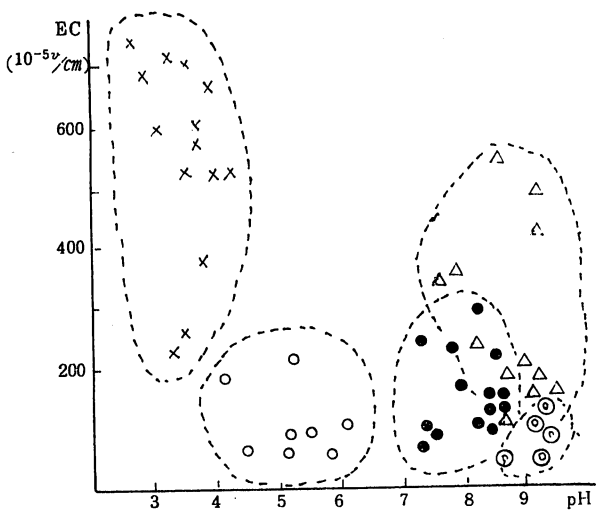


図-4 水稻障害と pH, EC

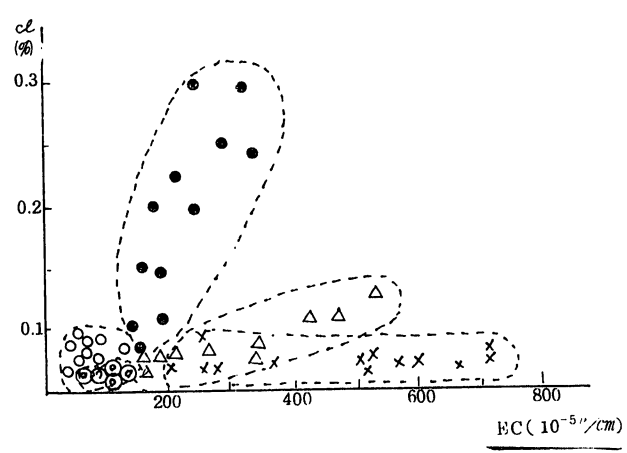


図-6 水稻障害と cl, EC

ヶ浦隣接水田においても、河底土、湖底土のサンドアップによってほ場整備が盛んに行なわれているが、これらの跡地水田においても、同様の被害の発生が確認されている。これら障害土壌の特徴は、さきの結果とおおなね符合する。このような現状からこれら障害の実態に即した改善対策を確立することは、きわめて重要であると考える。

### Ⅲ 改良対策

#### 1. 水稻の酸害対策

霞ヶ浦周辺干拓地に分布する土壌は、乾燥化するとおおむね強酸性を呈することはすでにのべた。<sup>5)</sup> 酸害土壌の特徴は、土壌中に多量に含有する硫化鉄(FeS<sub>2</sub>)が、酸化されて硫酸を生じ、これが土壌のpHを低下させ、強酸性化し、水稻生育をいちじるしく阻害する。そしてこれらの改善策としては、石灰投入による酸度改良あるいは、明暗きよの施工により乾田化をはかり、易容性の硫黄分を洗脱する方法が最良とされている。したがって、ここでは石灰資材投入による土壌改良および、暗きよの効果について、余郷入酸害田、利根下流サンドアップ跡地水田を供試して検討した。

##### 1) 酸害土壌のpHと水稻生育

まず、酸害土壌のpHと水稻生育との関係を検討するため、余郷入干拓酸害土壌(pH 2.5)を供試し、 $\frac{1}{5}$ 、000ポットを用い栽培試験を行なった。土壌は畑状態に乾燥したもの(水分65%)12Kgを充填し、pHの矯正は炭カル(アルカリ分47.7%)を用い、全層に混和した。水稻品種はコシヒカリ2連制で実施した。その結果を表-1にしめす。

表-1 干拓地土壌のpHと水稻生育

処理	項目 炭カル 施用量	g/pot						わら重	穂重	根重
		6/19			7/11					
		草丈	莖数	被害程度	草丈	莖数	被害程度			
		(cm)	(本)		(cm)	(本)				
pH 2.5 区	0	17.5	1.0	+	—	—	卍	—	—	—
" 3.5 区	7.0	21.6	1.4	+	—	—	卍	—	—	0.2
" 4.0 区	17.5	24.3	1.5	—	25.0	2.0	+	2.6	1.3	0.7
" 4.5 区	28.0	33.0	3.3	—	51.2	11.6	—	71.6	29.8	2.8
" 5.0 区	45.5	33.5	6.3	—	64.5	19.1	—	96.4	38.7	4.0
" 6.0 区	80.5	34.2	6.6	—	71.0	22.7	—	105.2	43.5	4.2
" 7.0 区	122.5	30.5	4.7	—	66.7	18.5	—	94.8	39.4	3.6
" 8.0 区	175.0	27.3	3.2	—	61.3	15.7	—	87.0	26.3	2.9

注) 供試土壌：余郷入干拓地酸害土壌  
被害程度：卍大，卍中，+軽，—なし

これによれば、水稻の生育は土壌 pH 4.0 以下であきらかに阻害され、とくに pH 2.5, 3.5 区では生育初期より被害が発生し、生育中期においてほとんどが枯死した。一方、各処理区の中で 5.0, 6.0 区は良好な生育をしめし、収量においてももつとも高かった。また、pH8.0区は全般的に生育の抑制は認められたが、結果的に pH 4.5区とほぼ同等の生育様相を呈した。

## 2) 石灰の施用方法

つぎに石灰資材の施用方法についての検討を、利根下流の脇川地区サンドアップ跡地酸害田において行なった。供試ほ場の土壌条件は表-2, 3 にしめしたとおり、サンドアップの深さ 23 cm, 表層より重粘で、作土の pH は水浸 3.5 の強酸性である。

表-2 土壌の断面形態

層位	層厚	土性	土色	腐植	斑鉄	ち密度	可塑性	粘着性	その他
I	0~14 <sup>cm</sup>	LiC	7.5GY $\frac{2}{1}$	あり	膜状と含む 糸根状含む	15 <sup>(mm)</sup>	強	強	サンドアップ
II	14~23	LiC	7.5GY $\frac{3}{1}$	含む	膜状含む 糸根状あり	18	強	強	
III	23~	LiC	5GY $\frac{2}{1}$	あり	なし	15	強	強	湧水面 55 cm

表-3 化学性

(乾土100gあたり)

層位	pH		全酸度	腐植 (%)	C.E.C (me)	置換性塩基 (mg)			石灰飽和度 (%)	有効態 SiO <sub>2</sub> (%)	可酸化性 S (%)
	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 処理				CaO	MgO	K <sub>2</sub> O			
I	3.5	3.4	179.3	2.4	10.6	90.6	53.5	42.6	30.6	26.1	248.0
II	5.1	4.8	36.5	5.3	26.7	344.6	187.6	32.3	46.0	33.7	176.0
III	5.7	5.5	17.0	2.5	22.7	277.7	156.3	26.3	43.5	21.5	105.0

注) 全酸度: 3.5Y<sub>1</sub> + 水溶性酸 8)  
可酸化性 S: 村上の方法による。

試験方法は表-4 にしめしたが、石灰資材は炭カルと珪カルを用い、処理方法は、現地の土壌分析結果にもとずき、可酸化性硫黄相当量区、全酸度相当量(中和曲線 4.0 補正相当量)区、中和曲線 pH 4.0, 4.5, 5.0 のそれぞれの処理区を設けた。資材は全層に撒布し、作土によく混和した。水稻品種はフジミノリ、1区12m<sup>2</sup> 2連制で慣行施肥量で実施した。

試験方法は表-5, 6 にしめした。

これよりまず資材施用後における各処理区の土壌 pH の推移についてみると、資材施用後 19 日経過した 4月10日の各処理区の値は、おおむね補正目標値を若干上まわる程度であった。その後 5月10日の植付け時、さらにその後の日数の経過にもなう土壌 pH の変化をみると、日数の経過にもなう、土壌 pH は上昇する傾向がみられた。このことは Eh<sub>6</sub> の推移からもうらざけられるとおり、土壌の還元化が促進された結果と思われる。

表-4 試験設計

(Kg/10a)

処理区	項目	石灰資材		肥料成分			
		炭カル	珪カル				
無石灰区		0	0				
可酸化性S相当区		570	—		N 元肥 10	追肥 4	分けつ期2 幼形期2
全酸度相当量(中曲4.0)区		690	—	各区共通	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> " 12	—	
中和曲線 pH4.0 相当珪カル区		—	850		K <sub>2</sub> O " 10	" 4	分けつ期2 幼形期2
" " 4.5 " 炭カル区		1,520	—				
" " 4.5 " 珪カル区		—	1,880				
" " 5.0 " 炭カル区		2,590	—		(塩加磷安1号) 14-14-14		(塩安, 塩加)

注) 炭カル(くみあい アルカリ分58%) 珪カル(アルカリ分47.7%) 作土混和

表-5 石灰施用後の土壌 pH, Eh<sub>6</sub> の推移

処理区	項目	施工前 施用 後												
		3/18		4/10		5/10		5/21		6/12		7/2		9/10
		pH	pH	pH	pH	Eh <sub>6</sub>	pH	Eh <sub>6</sub>	pH	Eh <sub>6</sub>	pH	Eh <sub>6</sub>	pH	
無石灰区		3.5	3.6	3.8	3.8	mv 366	3.9	mv 304	4.0	mv 265	3.9			
可酸化性S相当量区		3.5	4.0	4.1	4.3	340	4.4	303	4.5	260	4.3			
全酸度相当量区		3.5	4.4	5.0	5.1	341	5.3	287	4.9	257	4.6			
中和曲線 pH4.0 相当珪カル区		3.5	4.2	4.7	5.0	272	5.1	197	5.0	179	4.8			
" " 4.5 " 炭カル区		3.5	4.8	5.0	5.4	258	5.4	152	5.6	150	5.1			
" " 4.5 " 珪カル区		3.5	4.7	4.9	5.3	241	5.2	157	5.3	150	5.0			
" " 5.0 " 炭カル区		3.5	5.4	5.5	6.0	206	6.4	144	6.1	141	5.8			

表-6 石灰資材施用の効果

処理区	項目	生育(7/2)			収量(Kg/10a)			
		草丈 (cm)	茎数 本	被害程度	わら重	同 比 (%)	玄米重	同 比 (%)
無石灰区		60.8	9.0	卅	434	100	333	100
可酸化性S相当量区		71.4	12.8	+	664	153	547	165
全酸度相当量区		73.0	14.8	±	678	156	575	173
中和曲線 pH4.0 相当珪カル区		71.0	14.4	—	751	173	576	173
" " 4.5 " 炭カル区		74.8	17.5	—	784	180	566	170
" " 4.5 " 珪カル区		77.0	18.1	—	884	204	642	193
" " 5.0 " 炭カル区		79.0	20.2	—	845	195	665	200

注) 卅 甚大, + 軽, ± 微候あり, — なし, フジミノリ, 田植え 5/10, 刈取り 8/28

続いて水稻の栽培結果をみると、無石灰区は生育初期より障害の発生が認められ、生育全般をとおして草丈、茎数の抑制が目立ち、玄米収量では10アールあたり 333Kgの低収にとどまった。これに対

して各処理区についてみると、可酸化性硫黄相当量区、全酸度相当量区では、生育前半において軽微ではあるが障害の発生が観察された。しかし、中和曲線にもとずいた各処理区では障害の発生はほとんど認められず、玄米収量では、中和曲線 5.0 炭カル区で10アールあたり 665 Kg の高収が得られた。また、本試験の結果では珪カルも炭カルと同等の改良効果のあることがうかがわれた。

### 3) 石灰追施

表一7、8は水稻酸害に対する石灰追施の効果について検討した結果である。試験のねらいは、水稻生育半ばにして発生した酸害の防止対策の確立にあり、供試は場は、余郷入干拓酸害地水田で、作付初期に障害はみられず、最高分けつ期に至って酸害の発生した水田を対象とした。試験実施時の土壌 pHは3.8、pHの補正目標は5.0と6.0の2段階とし、石灰資材を炭カル、消石灰の2種類を用いた。石灰の施用方法は、株間全面撒布、直ちに作土攪拌混和した場合と、消石灰のみについて全面撒布後1日放置して混和した場合について試みた。1日放置の理由は、強アルカリを呈する消石灰の直接施用による根痛みを配慮したためである。なお試験実施時における水稻茎葉の状態は、葉の先端より約 $\frac{1}{3}$ 黒褐変した段階を対象とした。供試品種はコシヒカリ。試験結果によれば、無処理区に比べて石灰追施各区の水稻生育、収量はあきらかにまさっており、石灰追施の効果は判然とうかがわれた。また炭カル、消石灰いずれの資材も多施した場合に効果は大きかった。また、消石灰を施用して直ちに攪拌混和した場合と1日放置して混和した場合とを比べると、前者において、若干茎数の抑制される傾向がみられた。

表一7 試験設計

処理区	方法	資材施用量 (Kg/10a)	施用方法	施用時期
無処理区		0		
pH5.0 補正炭カル混和区		540	株間全面撒布 直ちに作土攪拌 混和	7月2日 (最高分けつ期)
" 6.0 " " " 区		1,130		
" 5.0 " 消石灰 " 区		380	株間全面撒布 後1日放置作土 混和	石灰撒布時の水稻障害程度 茎葉 $\frac{1}{3}$ 黒褐変の状態 土壌の pH3.8
" 6.0 " " " 区		770		
" 5.0 " " 放置 " 区		380		
" 6.0 " " " " 区		770		

表一8 石灰追施の効果

処理区	項目	(Kg/10a)									
		7/2			7/28			わら		玄米	
		草丈 (m)	茎数 (本)	被害程度	草丈 (m)	茎数 (本)	被害程度	重量	同比	重量	同比
無処理区		31.0	5.9	+	60.0	9.3	+	470	100	270	100
pH5.0 補正炭カル混和区		31.8	6.1	+	68.5	15.6	-	840	179	405	150
" 6.0 " " " 区		32.0	5.9	+	70.0	15.5	-	864	184	413	153
" 5.0 " 消石灰 " 区		30.8	6.0	+	77.5	14.7	-	760	162	412	153
" 6.0 " " " 区		31.3	6.1	+	81.0	14.9	-	792	169	428	159
" 5.0 " " 放置 " 区		31.0	6.2	+	78.0	15.0	-	820	174	430	159
" 6.0 " " " " 区		31.7	6.0	+	82.4	15.2	-	807	172	436	161

注) + 茎葉  $\frac{1}{2}$  黒褐色    + 茎葉  $\frac{1}{3}$  黒褐色    - 健全



#### 4) 持続効果

水稻酸害の改善対策として、石灰資材の施用効果の大きいことは、これまでの栽培試験結果からあきらかになったが、つぎにその持続効果について検討した。試験結果はつぎのとおりである。供試場所は余郷入干拓地酸害発生田を対象とし、その土壌条件は、表-9, 10, 11 にしめたとおりである。

表-9 土壌断面形態

層位	層厚	土性	土色	腐植	斑鉄	ち密度	可塑 粘	および 着性	その他
I	0~10	LiC	7.5Y3/1 (オリーブ黒色)	とむ	膜状 糸根状	12 mm	強		
II	10~23	HC	"	"	糸根状あり	10	"		cm
III	23~	HC	2.5YG2/1 (青灰色)	"	なし	5	"		湧水面60

表-10 粒径組成

層位	(%)				
	粗砂	細砂	砂合計	シルト	粘土
I	4.2	42.2	46.5	27.5	26.0
II	1.4	9.7	11.1	27.0	61.9
III	17.9	13.3	31.2	22.6	46.2

表-11 化学性

層位	(乾土 100gあたり)												
	pH(H <sub>2</sub> O)		全酸度	腐植 (%)	T-C (%)	T-N (%)	C.E.C (m.e)	置換性塩基(mg)			遊離酸化鉄 (%)	可酸化性 S <sup>4-</sup> (mg)	Cl <sup>-</sup> (%)
	生土	風乾土						CaO	MgO	K <sub>2</sub> O			
I	2.5	2.8	194	9.2	5.4	0.5	24.8	213	61	43	4.5	1,660	0.03
II	3.4	3.7	153	9.9	5.8	0.7	28.9	122	175	52	2.5	760	0.04
III	5.1	4.4	—	9.0	5.8	0.6	26.9	175	208	70	1.7	680	0.04

土性は作土でLiC, 2層以下HCの重粘性で、とくに2層目の粘土含量は62%と高い。土色は表層7.5Y3/1のオリーブ黒色、下層は2.5GY2/1の青灰色に続く強グライ土壌である。

土壌pHは作土生土で2.5、作土の可酸化性硫黄含量は乾土100gあたり1,660mgで極端に高く、腐植含量も全層9%でかなり高い。

試験方法は表-12にしめたとおり、無石灰区のほか炭カル0.7t区(補正目標pH5.0)、炭カル1.5t区(補正目標pH6.0)、炭カル3.0t区(補正目標pH7.0)の処理区を設け、1区1aで

慣行施肥量にもとずき水稻品種コシヒカリを供試して3カ年継続栽培試験を行なった。

表-12 試験設計

(Kg/10a)

処理区	補正目標 pH	炭カル施用量	肥料成分
無石灰区	—	0	N 元肥 10 追肥 0
炭カル 0.7t区	5.0	700	各区共通 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 10
〃 1.5t区	6.0	1,500	K <sub>2</sub> O 10
〃 3.0t区	7.0	3,000	塩加磷安 1号 (14-14-14)

注) 炭カル (アルカリ分 58%) 初年目作土混和。  
炭カル施用, 昭和 44 年 5 月 21 日

表-13 持続効果

項目 処理区	わら重			玄米重		
	1年目	2〃	3〃	1年目	2〃	3〃
無石灰区	0	0	110	0	0	42
炭カル 0.7t区	460	620	672	350	406	437
〃 1.5t区	660	736	820	393	447	584
〃 3.0t区	725	776	853	452	492	579

注) 調査: 昭和 44, 45, 46

試験結果は表-13 にしめた。

これによれば, 石灰の施用効果は初年目よりあきらかに認められ, その持続効果は施用3年目においてもあきらかに確認された。またこのことは跡地土壌の pH の変化 (図-7) によってもあきらかである。

#### 5) 暗きよの施工

持続効果を検討した前述のほ場に対して, 一作刈取後暗きよを施工し, 併せてその効果を検討した。暗きよの仕組みは図-8 にしめし

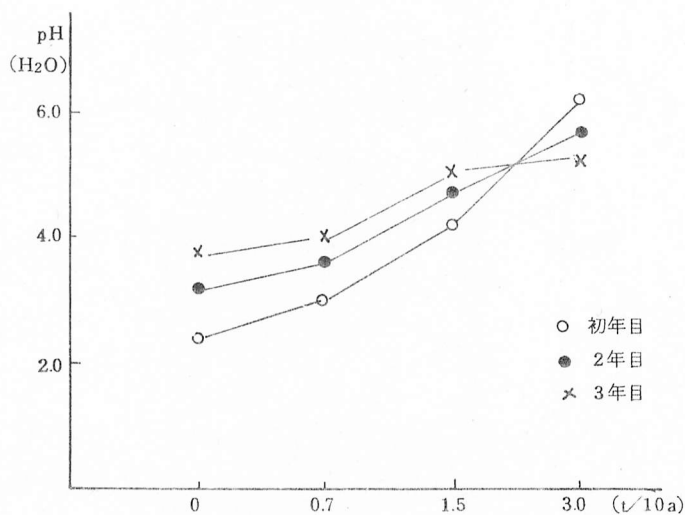


図-7 跡地土壌 pH

たとおり、巾30 cm、深さ70 cm下に内径7 cmの素焼土管を埋設し、その周囲をソダ、ヨシ稈、イネワラで囲んだものである。

調査場所は無石灰区、炭カル3.0t区を対象とし、水稻の生育および土壌分析調査を行なった。調査位置、試料の採取は図-9、10、にしめしたとおり、暗きよ直上部より側部に向って0、0.5、1.0、2.0、6.0 mの位置、土壌採取はそれぞれの位置から深さ10 cmごとに行なった。

(1) 水稻の生育

調査結果は表-14にしめした。これより暗きよ施工後作付けられた水稻の生育状況を初年目、3年目の比較でみると、その効果はあきらかに認められ、とくに無石灰区で目立った。すなわち、施工初年目に作付けられた無石灰区の水稲生育状況では、暗きよ直上部でかろうじて枯死を

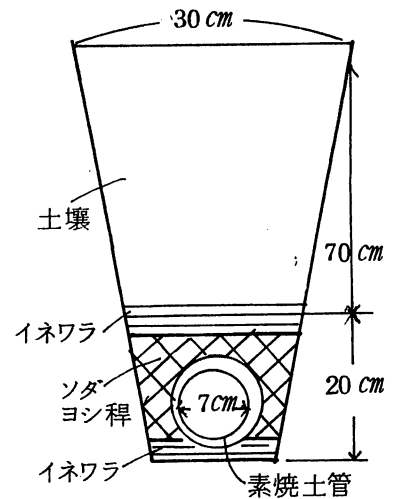


図-8 暗きよ断面図

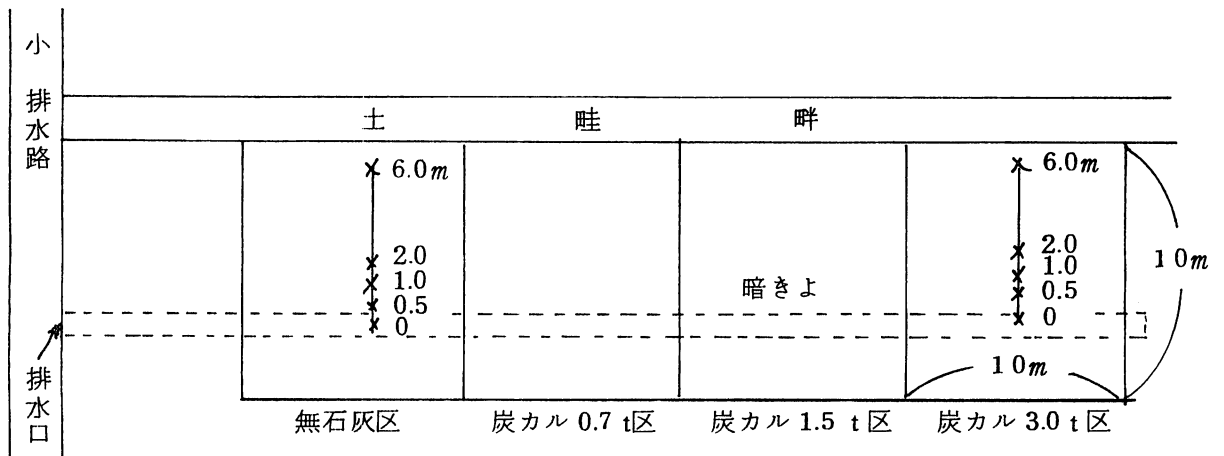


図-9 調査現場

まぬがれた程度であったが、施工3年目の生育状況をみると、きわめて良好となり、暗きよの施工位置から6 mの範囲で枯死障害はみられなかった。これに対して石灰3.0 t施用区は暗きよ施工初年目、3年目（石灰施用4年目）ともその効果はうかがわれたが、この場合はむしろ石灰施用による効果が顕著にみられ、これらの効果によって暗きよの効果が相殺された傾向さうかがわれた。

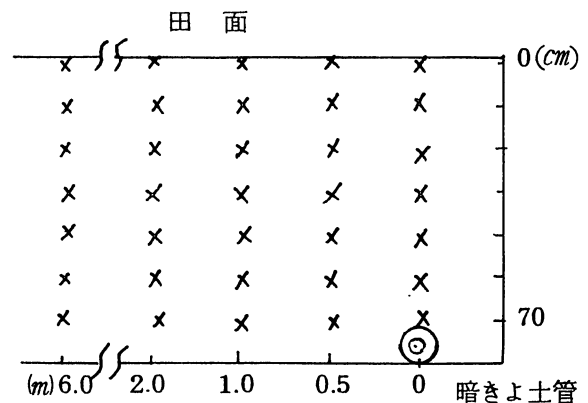


図-10 試料採取位置

表-14 酸害田の暗きよの効果

項目 調査位置	無石灰区				石灰 3.0t 施用区				
	草丈 (cm)	茎数 (本)	被害程度	乾物重 (g/株)	草丈 (cm)	茎数 (本)	被害程度	乾物重 (g/株)	
0 m	30.1	4.5	卅	7.0	89.0	18.0	—	25.0	
初年目	0.5	20.8	4.0	卅	6.5	89.3	20.0	—	25.0
1.0	—	—	—	枯死	—	91.5	18.5	—	23.2
2.0	—	—	—	〃	—	88.7	19.6	—	23.4
6.0	—	—	—	〃	—	87.4	19.0	—	24.5
0 m	77.6	18.0	—	27.0	114.0	23.1	—	29.0	
3年目	0.5	60.3	13.4	+	21.0	105.1	19.6	—	28.4
1.0	48.0	9.1	卅	10.4	102.1	18.0	—	28.0	
2.0	41.0	9.8	卅	7.8	102.0	18.0	—	27.5	
6.0	22.6	3.9	卅	5.4	97.4	17.6	—	25.0	

注) 調査月日 昭 45~47, 8月 卅甚大 卅中 +軽 —なし

(2) 土壤の化学性の変化

つぎに、水稻の生育の反映された暗きよの施工とそれにもなう土壤の化学成分の変化について検討した。この結果を表-15 にしめた。これによると、暗きよの施工にもなって、土壤の化学成分の変化が、きわめて大きいことがあきらかとなった。そしてこの傾向はいずれの成分においても暗きよ側部に比べて直上部で、また下層に比べて表層部で顕著であることが認められた。

2 水稻の塩害対策

前述したとおり、塩害の発生は周辺からの伏流水の影響の大きい排水不良地に多く認められ、このことは延方および余郷入でみた現地調査結果からも容易にうかがわれる。干拓地における塩害対策の基本は排水改良であり、このことにより除塩を促進することが、最も適切な改善対策と考えられる。

延方干拓入植地は、初年目の水稻栽培において全体の42%の面積が塩害の発生のため、大打撃をうけた。このような背景もあり、塩害の発生した現地は場を対象に水洗滌と暗きよの施工による除塩効果をねらって対策試験を行なった。

1) 暗きよの施工

供試は場の土壤条件は表-16, 17, 18, にしめたが、全層砂土で土色は表層 N1.5/1 の黒色, 2層以下 7.5GY3/1 の暗緑灰色を呈し、湧水面 20 cm の排水条件はきわめて悪い。一方、土壤の  $cl^-$  濃度は表層 0.32%, 下層 0.38% で表層に比べて下層で高く、土壤 pH は 8.6 の強アルカリ性を呈した。

試験方法は表-19 にしめたが、初年目は水洗滌による効果をねらって除塩区、非除塩区を設け、

表-15 土壤分析結果

(乾土100gあたり)

分析項目	試料採取位置	無石灰区						石灰3.0t施用区					
		暗きよ直上部 → 暗きよ側部					平均	暗きよ直上部 → 暗きよ側部					平均
		0 m	0.5	1.0	2.0	6.0		0 m	0.5	1.0	2.0	6.0	
水分 (%)	0~10	60.5	61.5	61.3	62.5	64.5	63.8	61.3	60.8	64.5	66.2	68.5	64.3
	10~20	60.0	62.2	61.8	67.0	68.8	66.7	61.7	61.8	64.0	66.0	66.0	63.9
	20~30	60.2	63.3	67.0	67.2	69.0	65.3	61.5	62.4	65.0	66.6	69.5	65.0
	30~40	61.7	65.0	67.5	68.8	68.2	66.2	61.5	63.6	65.0	64.5	70.0	64.9
	40~50	62.5	65.2	67.7	68.2	68.0	66.3	63.5	63.8	65.3	66.8	66.7	65.2
	50~60	66.3	66.4	67.4	68.2	68.3	67.3	64.7	66.0	66.3	67.0	69.0	66.6
	60~70	66.8	66.7	67.6	69.0	69.2	67.9	64.5	66.6	66.8	69.1	69.0	67.2
	平均	62.6	64.3	65.8	67.3	68.0		62.7	63.6	65.3	66.6	68.4	
pH (H <sub>2</sub> O)	0~10	3.8	2.7	2.6	3.4	3.8	3.3	4.5	4.7	4.7	6.6	7.7	5.6
	10~20	3.7	3.5	3.5	3.4	3.6	3.5	4.3	5.2	5.7	7.8	8.1	6.2
	20~30	3.4	3.8	4.1	4.2	4.9	4.1	4.8	5.2	6.6	7.4	8.3	6.5
	30~40	3.6	4.1	5.6	5.5	5.8	4.9	5.0	5.6	5.8	7.1	7.1	6.1
	40~50	4.1	5.0	6.3	5.7	5.7	5.4	6.1	6.0	6.2	6.8	7.2	6.5
	50~60	4.5	5.0	5.7	6.6	6.8	5.7	5.7	5.0	7.2	7.2	7.7	6.6
	60~70	5.4	5.5	5.8	7.1	7.0	6.2	6.0	5.0	7.6	7.6	7.4	6.7
	平均	4.1	4.2	4.8	5.1	5.4		5.2	5.2	6.3	7.2	7.6	
SO <sub>4</sub> (mg)	0~10	545	685	670	605	520	605	180	189	180	142	152	169
	10~20	530	550	590	650	480	560	185	197	132	117	141	154
	20~30	470	531	480	385	410	455	180	201	105	79	75	128
	30~40	403	507	430	280	214	367	134	174	140	56	50	111
	40~50	301	280	250	170	80	216	114	69	72	40	41	67
	50~60	164	170	153	69	69	125	74	48	46	47	45	52
	60~70	160	165	150	78	44	119	56	40	40	47	43	45
	平均	368	413	389	320	260		132	131	102	75	78	
CaO (mg)	0~10	115	112	121	150	200	140	337	382	350	380	345	359
	10~20	100	124	140	124	124	122	337	375	350	700	763	505
	20~30	173	200	215	243	247	216	380	410	550	657	678	535
	30~40	220	171	173	180	180	185	385	435	400	523	550	459

(乾土100gあたり)

分析項目	試料採取位置	無石灰区					平均	石灰3.0t施用区					平均
		暗きよ直上部 → 暗きよ側部						暗きよ直上部 → 暗きよ側部					
		0 m	0.5	1.0	2.0	6.0		0 m	0.5	1.0	2.0	6.0	
CaO (mg)	40~50	283	185	223	237	257	237	400	480	210	320	220	326
	50~60	280	200	200	237	237	231	208	378	230	280	295	278
	60~70	250	270	247	283	280	266	234	287	252	287	277	267
	平均	203	180	188	208	218		326	392	349	450	447	

N <sub>2</sub> O (mg)	0~10	38	54	62	50	66	54	16	3	96	80	52	49
	10~20	40	102	114	54	83	79	33	21	64	92	104	63
	20~30	72	130	156	150	130	128	11	16	93	90	66	55
	30~40	148	160	166	200	118	158	tr	3	100	144	200	89
	40~50	170	146	170	210	300	199	tr	1	140	172	250	113
	50~60	174	298	235	200	240	229	3	tr	183	160	320	133
	60~70	197	224	200	250	372	249	42	21	246	244	448	200
	平均	120	159	158	159	187		15	9	128	140	206	

Fe(III) (mg)	0~10	380	440	475	520	580	479	530	476	517	540	590	531
	10~20	421	480	515	507	524	489	516	490	530	570	576	536
	20~30	470	556	610	670	650	591	490	570	690	685	740	635
	30~40	590	592	660	693	740	655	620	690	714	730	770	705
	40~50	650	680	780	816	812	748	670	732	820	860	860	788
	50~60	790	786	830	850	870	825	712	790	870	884	890	829
	60~70	813	860	859	870	876	856	830	880	870	875	880	867
	平均	588	628	678	704	722		624	661	716	735	758	

遊離 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0~10	3.6	4.8	4.5	4.4	3.5	4.2	3.2	3.6	3.0	3.3	3.1	3.2
	10~20	3.8	3.7	3.3	3.3	3.0	3.4	3.3	3.0	2.7	1.6	1.6	2.4
	20~30	2.1	2.4	2.1	2.1	1.7	2.0	1.9	1.0	0.8	0.8	0.9	1.1
	30~40	1.8	1.2	1.5	1.5	1.2	1.3	1.0	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6
	40~50	0.9	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
	50~60	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	60~70	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3
	平均	1.8	1.9	1.8	1.6	1.5		1.5	1.3	1.2	1.0	1.0	

注) 暗きよ施工3年目, 石灰施用4年目のほ場を調査対象とした。



表-16 土壤の断面形態

層位	層厚	土性	土色	粗密	その他
I	0~19 (cm)	LS	N1.5/1 (黒色)	8 (mm)	
II	19~32	S	7.5GY3/1 (暗緑灰色)	—	貝がら層
III	32~	LS	" "	25	湧水面 20cm

表-17 粒径組成

層位	粗砂	細砂	砂合計	シルト	粘土 (%)
I	2.6	86.0	88.6	7.7	3.7
II	2.6	92.5	95.1	1.9	3.0
III	1.7	85.4	87.1	6.5	6.4

表-18 化学性

(乾土 100g あたり)

層位	pH		Y <sub>1</sub>	置換性塩基 (mg)				C.E.C (me)	cl <sup>-</sup> (%)	可酸化性 S(mg)
	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 処理		CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O			
I	8.6	2.9	32.2	485	57	56	180	3.9	0.32	269
II	8.6	2.8	16.3	576	19	—	151	—	0.23	336
III	8.7	2.8	1.6	394	20	86	241	3.9	0.38	302

それぞれに珪カル施用、無施用区を設けた。引続き初年目水稻刈取後、同一試験ほ場に暗きよを施工し、その効果について検討を加えた。供試品種はフジミノリ、施肥量は慣行にしたがい2連制で実施した。暗きよの施工は巾 30 cm、深さ 50 cm に素焼土管を埋没した。

表-19 試験設計

初年目 暗きよ無施工田		2年目 暗きよ施工田	
(非除塩区)	(珪カル無施用区)	(暗きよ側部)	(珪カル無施用区)
除塩区	珪カル 200Kg/10a 施用区	暗きよ上部	珪カル 200Kg/10a 施用区
施肥量, 元肥 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O		施肥量, 元肥 N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O	
(Kg/100) 10, 10, 10		(Kg/10a) 10, 10, 10	
追肥 活着期 2, 分けつ期 2		追肥 活着期 2, 分けつ期 2, 幼形期 2	

試験結果は表-20 にしめしたが、水洗滌による効果をねらった初年目の結果では、その効果は生育初期にとどまり、分けつ後期になって枯死し期待する効果は得られなかった。

つぎに暗きよの効果をねらった2年目の栽培結果についてみると、暗きよの効果はきわめて顕著に認められ、初年目収穫皆無であったほ場で2年目は玄米収量で10aあたり730Kgの多収を得た。なお、本試験結果では初年目、2年目とも珪カル施用の効果は判然としなかった。

水洗滌による除塩効果は図-11 にしめした。洗滌法は湛水作土耕起攪拌後落水し、この操作をくり返した。耕起攪拌は中型トラクターを用いた。その結果、3回洗滌により、作土の cl<sup>-</sup>濃度 0.32% が 0.1% 程度に低下したが、続いて行なった4回目では下層からの塩分の上昇によりそれ以下の除塩は望めなかった。

表-20 水稻の生育, 収量

(Kg/10a)

初年目, 暗きよ無施工田				2年目, 暗きよ施工田										
処理区	6/27		7/12		処理区	6/11		7/3		おら		玄米		
	草丈 (cm)	茎数 (本)	草丈 (cm)	茎数 (本)		草丈 (cm)	茎数 (本)	草丈 (cm)	茎数 (本)	重量 (%)	比	重量 (%)	比	
非除塩	無珪カル区	枯死	—	—	暗きよ側部	無珪カル区	42.2	6.8	71.5	20.9	905	98	720	101
	珪カル区	"	—	—		珪カル区	42.1	6.5	71.2	21.3	895	97	707	97
除塩	無珪カル区	31.5	7.7	枯死	暗きよ上部	無珪カル区	43.5	7.6	70.9	22.5	925	100	730	100
	珪カル区	30.9	7.0	"		珪カル区	43.0	7.5	71.3	21.5	925	100	721	101

図-12 は、試験ほ場における作土の  $cl^-$  濃度の変動と経時的にみたものであるが、これによると、初年目の除塩区は、非除塩区に比べて、頭初はあきらかに濃度の低下がみられたが、その後上昇し、2ヶ月経過後は非除塩区の濃度と同等のレベルに達した。この結果は初年目の水稻栽培結果とよく符合した。そして刈取り後の暗きよの施工により、作土の除塩は急速に促進され、2年目の水稻作付け段階に至っては、ほとんど0.05%以下に低下し、塩害発生の心配はまったくなくなった。

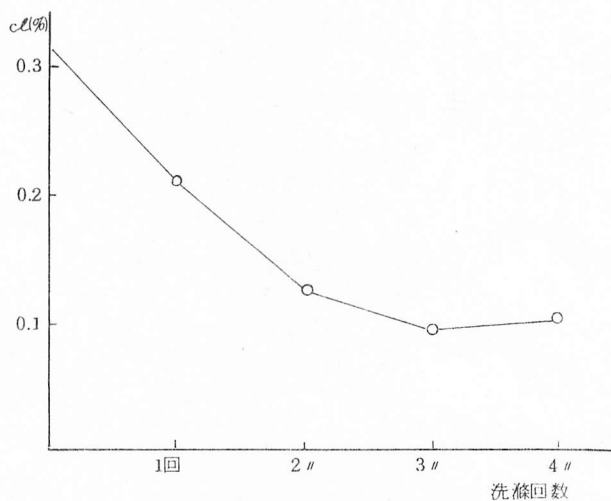


図-11 洗滌回数と作土の  $cl^-$  濃度

2) 暗きよ施工後の土壌および水稻収量の推移  
塩害に対する暗きよ

よ施工の効果が顕著にみられた延方干拓地において、その後の土壌および水稻収量の推移を追跡したのが、図-13、表-21, 22、である。

無暗きよ田は作付初年目より塩害の発生がみられなかったほ場であり、暗きよ施工田はさきくのべ

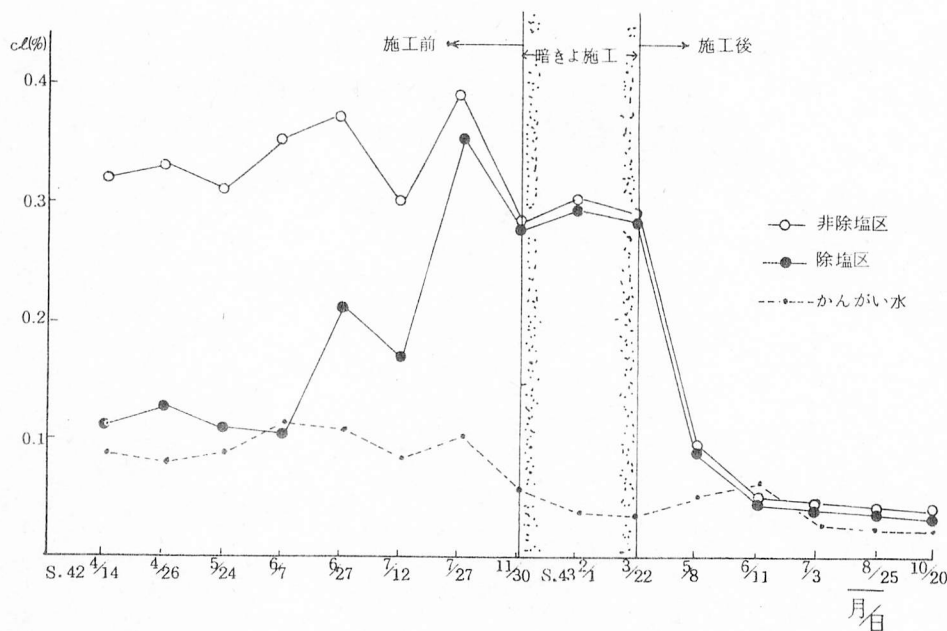
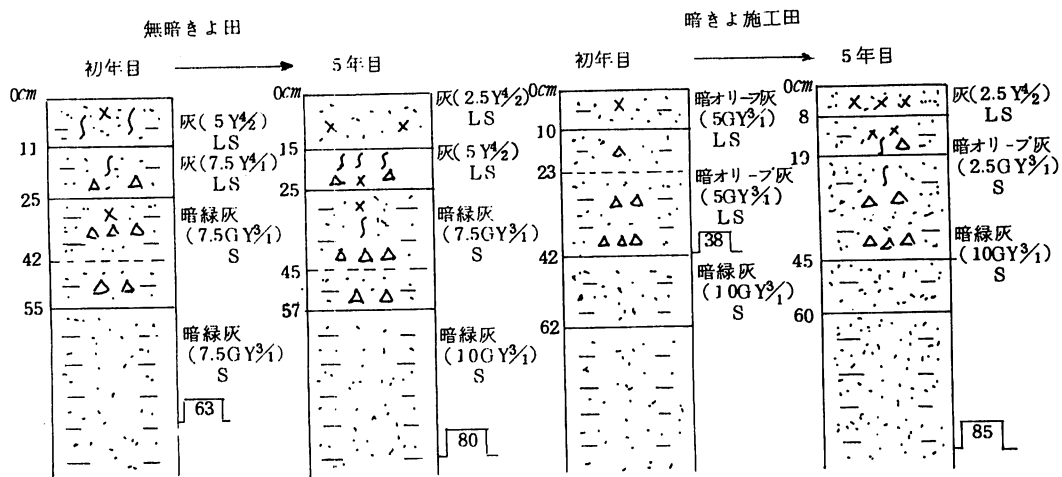


図-12 暗きよ施工前後の作土中  $cl^-$  濃度の変化



凡 例  
 } x 斑鉄      Δ 貝から      [ 63 ] 湧水面      - - グライ層  
 調査 初年目 S 42.9      5年目 S 46.9

図-13 土壤断面形態の変化

表-21 土壤の化学性の変化 (mg/乾土 100g)

ほ 場	年次	層位	層厚	pH(H <sub>2</sub> O)	cl <sup>-</sup>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	有効態 SiO <sub>2</sub>
無暗きよ田	初年目	1	0~11 (cm)	8.1	0.03 (%)	140.0	21.1	18.9	14.5
		2	11~25	8.1	0.03	323.0	20.2	48.1	18.5
		3	25~42	8.1	0.03	365.0	22.1	74.1	14.6
		4	42~	8.9	—	245.0	24.8	86.5	13.7
	5年目	1	0~15	6.2	0.01	157.9	28.8	19.1	11.4
		2	15~25	5.7	0.01	148.6	18.8	15.6	13.6
		3	25~45	5.6	0.01	148.5	19.6	17.9	19.0
		4	45~57	7.2	0.01	378.9	20.9	19.8	23.8
暗きよ施工田	初年目	1	0~10	8.6	0.30	485.0	57.1	65.6	32.9
		2	10~23	8.6	0.38	576.0	18.5	70.4	18.0
		3	23~42	8.7	0.30	394.0	20.2	86.0	21.4
	5年目	1	0~8	6.1	0.01	88.5	23.6	12.4	18.6
		2	8~19	6.5	0.01	180.3	23.5	11.0	14.0
		3	19~45	7.0	0.02	299.7	56.3	14.9	27.4

た塩害発生田である。

まず、無暗きよ田の土壤断面形態をみると、初年目より地下水位 63 cm と低下しており、土色も表層下 25cm まで灰色を呈し、斑鉄もみられた。5年目の状態も初年目と大差はみられなかった。

一方、暗きよ施工田についてみると初年目の地下水位は 38cm と高く、表層より強グライ色を呈し

ていたのに対し、5年目は地下水位85cmと低下し、表層は灰色に変化し、斑鉄の生成発達も顕著であった。

表一 22 水稻収量の推移

(Kg/10a)

ほ場	年次	稈長	穂長	穂数	わら重	同比	玄米重	同比
無暗きよ田	初年目(昭42)	81.5 (cm)	18.1 (cm)	16.8(本)	520.0	100 (%)	624.0	100 (%)
	2 "	82.5	18.6	19.2	516.0	99	683.0	109
	3 "	76.6	17.8	18.6	434.5	94	610.0	98
	4 "	83.9	18.7	20.3	497.5	96	623.5	100
	5 "	78.0	17.3	18.5	495.0	95	621.4	100
暗きよ施工田	初年目(昭42)	枯	死		0	—	0	—
	2 "	97.9	20.2	19.9	690.0	133	796.0	128
	3 "	80.5	19.2	21.2	425.3	87	642.0	102
	4 "	76.8	19.2	18.8	472.0	91	602.0	97
	5 "	79.2	18.1	18.0	470.0	90	610.6	98

注) 暗きよ施工昭 42.11~43.3 生育調査: 20株 水稻品種, フジミノリ

続いて土壌の化学性の変化についてみると、無暗きよ、暗きよいずれのほ場も、作土 pH は初年目 8.1~8.6 の強アルカリ性を呈したが、5年目では 6.1~6.2 となった。Cl<sup>-</sup> 濃度はいずれのほ場も 0.01% に低下し、その他の塩基類も初年目に比べて5年目でかなり低下している傾向がうかがわれた。

つぎに水稻収量の推移についてみると、無暗きよ田では5ケ年間、わら、玄米収量ともほぼ安定した傾向がみられたが、暗きよ施工田では、初年目の収穫皆無より2年目の大収穫となり、3年目以降わずかながら収量低下の傾向がうかがわれた。

### 3 水稻のアルカリ害対策

現地で確認したアルカリ害発生ほ場の土壌条件は、土壌 pH 8.5~9.6 強アルカリ性で、排水は悪く貝がらの集積が目立つ砂土地帯であった。これらの条件は白鳥らの<sup>4)</sup>いう発生条件とはほぼ一致した。

すでにこれらの障害については白鳥らの<sup>4)</sup>詳しい報告がある。そしてその改善策の中で、最良の方法は亜鉛の添加、山土の客入が有効であるとしている。このようなことから、現地発生ほ場を対象に、亜鉛添加および山土客土の効果確認を行なった。

#### 1) 亜鉛添加, 山土客土

試験場所は余郷入干拓地で初年目の水稻栽培では収穫皆無になったほ場である。土壌条件は表一 23, 24にしめしたとおり表層 25cm まで貝がらに富む砂土で、土色は全層 5G3/1 の暗緑灰色を呈する。地形的に中央部より一段高い位置にあるが、伏流水の影響で排水は悪い。土壌 pH は作土 9.4, 下層 9.7 の

強アルカリ性，全般的に石灰飽和度は高く， $cl^-$ 濃度は低い。また作土の0.1NH $cl$ 可溶Zn濃度は3.0ppmであった。

表-23 土壤の断面形態

層位	層厚	土性	土色	ち密度	湿り	貝から
I	0~9 <sup>(cm)</sup>	S	5G3/1 暗緑灰	測定不可	湿	富む
II	9~25	S	"	"	潤	貝から層
III	25~	S	"	9	"	なし

試験方法は表-25にしめたとおり，処理区は亜鉛添加，山土客土，酸害土壤客土，さらに亜鉛添加と山土客土を併用した総合改善区を設けた。水稻品種はトドロキワセ，1区0.025a，2連制，慣行施肥量で実施した。

表-24 化学性

(乾土100gあたり)

層位	pH(H <sub>2</sub> O)		置換性塩基 (mg)				C.E.C (me)	石灰飽和度 (%)	遊離酸化鉄 (%)	可給態 Zn (ppm)				
	生土	風乾土	T-C (%)	T-N (%)	CaO	MgO				K <sub>2</sub> O	0.1N HCl	酢安 (pH4.5)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	cl <sup>-</sup> (%)
I	9.4	7.5	0.7	0.07	249	15	23	3.6	247	0.13	3.0	1.4	408	0.02
II	9.7	8.9	0.4	0.02	348	47	42	3.3	379	0.15	—	—	364	0.05
III	9.7	9.1	0.3	0.01	111	73	83	5.7	194	0.20	—	—	164	0.08

表-25 試験設計

(10aあたり)

項目 処理区	改良資材			肥料成分		
	亜鉛	山土	酸害地土壤	N	元肥	追肥
無処理区	0(Kg)	0(t)	0(t)	N	元肥 10(Kg)	追肥 2 × 3回
亜鉛添加区	7	0	0	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	" 12	— 活着期 — 分けつ期 — 幼形期
山土客土区	0	17	10	各区共通 K <sub>2</sub> O	" 10	
酸害地土壤客土区	0	0	0	塩加磷安	塩安	
総合改善区	7	17	0	(14-14-14)		

注) 亜鉛: ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 30Kg (Zn……7Kg) 施用。  
山土: 土性 SCL C.E.C 22.5me, 0.1N-HCl 可溶 Zn 8.4 ppm。  
酸害地土壤: 土性 HC.C.E.C 24.8me, 0.1N-HCl 可溶 Zn 9.0 ppm。

その結果，初年目，2年目とも無処理区に対して処理区の効果は顕著に認められ，とくに亜鉛添加区ではほとんど障害の発生はみられなかった。

表-27は，生育時期別に採取した水稻茎葉の化学分析結果をしめしたものであるが，これによれば，障害の発生した無処理区のZn濃度は平均17ppmで，他の処理区に比べて極端に低いことがあきらかとなった。また，Fe, Mnについても，ほぼ同様の傾向であった。

表-26 水稻の生育, 収量

初年目		(10aあたり)									
項目 処理区	6/16				7/28		わら		玄米		
	草丈	茎数	被害株	被害率	草丈	茎数	重量	同比	重量	同比	
	(cm)	(本)	(株)	(%)	(cm)	(本)	(Kg)	(%)	(Kg)	(%)	
無処理区	33	8	47	94	42	19	383	100	175	100	
亜鉛添加区	41	9	0	0	83	16	777	202	470	269	
山土客土区	40	12	17	14	84	17	838	219	558	319	
酸害地土壌客土区	41	12	2	4	90	16	874	228	570	326	
総合改善区	39	15	0	0	96	23	890	232	676	387	

注) 被害株: 1区 50株中の被害株数

2年目		(10aあたり)									
項目 処理区	6/17				7/28		わら		玄米		
	草丈	茎数	被害株	被害率	草丈	茎数	重量	同比	重量	同比	
	(cm)	(本)	(株)	(%)	(cm)	(本)	(Kg)	(%)	(Kg)	(%)	
無処理区	36	8	36	72	70	13	270	100	129	100	
亜鉛添加区	44	12	0	0	86	15	425	158	313	243	
山土客土区	43	13	25	5	86	15	398	147	362	280	
酸害地土壌客土区	42	13	6	12	94	16	540	200	520	403	
総合改善区	44	21	0	0	102	21	637	236	554	430	

注) 被害株: 1区 50株中の被害株数

つぎに障害の発生が顕著に観察された分けつ期の土壌の pH,  $Eh_6$  の状態についてみると, 無処理区はあきらかに他の処理区に比べて pH は高く,  $Eh_6$  は低い傾向がみられた。

一方跡地土壌についてみると, 無処理区は各処理区に比べて石灰含量は極端に高く, 0.1N-HCl 可溶 Zn は, 反対に低いことが目立った。また, 無処理区に比べて山土および酸害土壌客土区の Zn 濃度が約 2 倍の値をしめしているが, これは土壌からの供給あるいは土壌 pH の低下にもとずいた結果と考えられる。

## 2) 亜鉛の苗代添加および苗浸漬

さきの現地試験の結果から, 亜鉛の添加効果が顕著であったので, 引続き同は場において, 亜鉛の施用方法について若干の検討を試みた。試験方法は表-30 にしめたとおり, 亜鉛の苗代添加と植付け時の苗浸漬を行なった。亜鉛は苗代に対して成分で 10a あたり 2 Kg を硫酸亜鉛で施用し, 苗浸漬は 1% 酸化亜鉛懸濁液を調整して用いた。

結果は表-31 にしめたが, いずれの処理区も無処理区に比べて障害の発生は観察されず, 顕著な効果が認められた。



表一27 水稻茎葉の分析結果 (乾物あたり)

処理区	採取月日	CaO (%)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)
無処理区	6/17	0.43	19	208	492
	7/28	0.24	17	195	442
	9/10	0.24	15	156	253
	平均	0.30	17	124	396
亜鉛添加区	6/17	0.35	121	191	402
	7/28	0.24	79	176	352
	9/10	0.30	64	123	195
	平均	0.30	88	163	316
山土客土区	6/17	0.35	55	254	533
	7/28	0.30	57	212	517
	9/10	0.28	43	125	440
	平均	0.31	52	197	497
酸害土客土区	6/17	0.32	71	188	568
	7/28	0.22	64	180	555
	9/10	0.21	60	171	480
	平均	0.25	65	180	534
総合改善区	6/17	0.30	120	205	730
	7/28	0.29	68	186	700
	9/10	0.27	71	170	560
	平均	0.29	86	187	663

(2年目)

表一28 障害発生時の土壌 pH, Eh<sub>6</sub>

項目 処理区	初年目 (6/16)		2年目 (6/17)	
	pH(H <sub>2</sub> O)	Eh <sub>6</sub> (mV)	pH(H <sub>2</sub> O)	Eh <sub>6</sub> (mV)
無処理区	9.2	150	9.1	160
亜鉛添加区	8.5	165	8.6	160
山土客土区	8.3	180	8.0	190
酸害地土客土区	6.8	220	7.3	240
総合改善区	8.2	180	7.9	205

#### 4 水稻の還元障害対策

余郷入干拓地で観察された還元障害は場は、比較的締切り堤防に遠い湖奥周辺部で、伏流水の影響の大きい砂質のアルカリ土壌であった。そして表層より強還元色を呈し、硫化水素の臭気が発生する条件であった。対策試験は暗きよの効果をねらって検討したが、その結果を表一32,33にしめた。これによれば、暗きよ施工前の水稻生育に比べて施工後の水稻生育はあきらかにまきり、その効果は顕著であった。また土壌の分析結果をみると、暗きよ施工にともなう土壌の変化は顕著であり、その特徴は土色、pH, Eh<sub>6</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の値から容易にうかがわれる。

#### 5 小 括

以上のべたように、霞ヶ浦周辺干拓地で観察した水稻生育障害にはおおむね4つの種類が認められ、それぞれの発生ほ場において、現地対策試験を行い、対策効果の確認を行なった。その結果、いずれの改善試験においても期待どおりの効果が認められ、所期の目的が達せられた。作付初年目塩害

の大発生で困惑した延方干拓地は、2年目の暗きよの施工で収穫皆無から10aあたり玄米収量730Kgの高位収量が得られ、その後の水稻栽培も安定の方向をたどっている。また初年目酸害の発生で大打撃をうけた余郷入干拓地は、2年目、石灰多投による土壌改良で、酸害の発生を防止

し、同時に暗きよの施工も行ない万全な対策を実施した。なお、2年目の作付けにあたって余郷入

表-29 跡地土壤の分析

(乾土 100gあたり)

項目 処理区	pH		置換性	可給態	Zn(ppm)	
	生土	風乾土	CaO(mg)	0.1N-HCl	酢安(pH4.5)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)
無処理区	8.7	8.4	412	5.3	1.4	382
亜鉛添加区	8.5	8.2	354	34.5	11.1	380
山土客土区	8.1	7.9	186	10.5	2.1	183
酸害地土壌客土区	7.6	7.4	192	11.4	2.7	172
総合改善区	8.0	7.8	178	30.5	18.8	137

注) HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> : (メチルレッドアルカリ度) 昭 46,11 採土分析

表-30 試験設計

(Kg/10aあたり)

項目 処理区	Zn 添加量		肥料成分
	硫酸亜鉛 ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	酸化亜鉛 (ZnO)	
無処理区	—	—	N 元肥 10
亜鉛本田添加区	2	—	各区共通 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> " 10
亜鉛苗代添加区	2	—	K <sub>2</sub> O " 10
亜鉛苗浸漬区	—	1%懸液	追肥 N2K9×3回 (活着期, 分けつ期, 幼形期)

注) 亜鉛本田添加は植付け時に施用

表-31 試験結果

項目 処理区	6/17	収量 (Kg/10a)				Zn分析結果(ppm)			跡地 土壌
	被害発生程度	ほ場 pH	わら	玄米	同比	茎葉(6/17)	玄米		
無処理区	甚大	8.8	270	129	100	18	9	5.3	
亜鉛本田添加区	なし	8.7	436	409	323	71	29	19.0	
亜鉛苗代添加区	なし	8.6	553	317	246	56	20	9.0	
亜鉛苗浸漬区	なし	8.7	421	267	208	36	17	8.5	

注) 跡地土壤 Zn 分析, 0.1N-HCl 乾土あたり表示した。

表-32 水稻還元障害に対する暗きよ効果

暗きよ無施工田 (初年目)					暗きよ施工田 (2年目)						
項目 被害程度	7/10			わら	玄米	項目 暗きよ 上側別	6/27			わら	玄米
	草丈 (cm)	茎数 (本)	葉色	重量	重量		草丈 (cm)	茎数 (本)	葉色	重量	重量
被害大	31.0	12.2	黄緑色	174	皆無	直上部	64.5	21.5	緑色	570	430
" 小	33.4	18.1	黄緑色 やや	380	134	側部	61.3	20.7	"	594	418

注) 調査ほ場: 余郷入干拓地 206 ほ場

調査期日: 昭 43~44

表-33 暗きよ施工前後の土壌の変化

暗きよ無施工田 (初年目)								暗きよ施工田 (2年目)						
項目 ほ場	土色	pH (H <sub>2</sub> O)	Eh <sub>6</sub> (mV)	E.C ( $\frac{10^{-5}}{cm}$ )	Cl <sup>-</sup> (%)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ( $\frac{mg}{100g}$ )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	項目 暗きよ 上測別	土色	pH (H <sub>2</sub> O)	Eh <sub>6</sub> (mV)	E.C ( $\frac{10^{-5}}{cm}$ )	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ( $\frac{mg}{100g}$ )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)
被害大	"	9.6	-140	145	0.06	280	520	直上部	"	7.2	130	215	220	170
" 小	"	8.7	-75	50	0.05	170	416	側部	"	7.7	85	130	204	259

注) 調査ほ場：余郷入干拓地 206 ほ場 調査期日：昭 43~44

害地約 40ha を対象に投入された炭カル量は合計 288t と記録されている。<sup>10)</sup>

一方アルカリ障害発生田は、農家の手で山土の客土がなされ、さらに暗きよの施工で、かなり改善された。また還元害の発生も暗きよの施工でかなり防止された。いずれにせよ、ここで実施した対策試験の結果は、そのまま現地に適応され、干拓地水稲障害の発生防止に大きく寄与したことを附記しておきたい。

#### IV 総合考察

霞ヶ浦周辺に分布する干拓地は、おおむね浸蝕谷を堤防で締切って造成した入江干拓地であり、干陸後の干拓地には、その地形および土壌の分布に規則性が認められる。すなわち干拓地周辺部には砂土地帯が分布し、中央部には粘土地帯が分布している。そして分布する土壌の分析調査の結果から、その後<sup>5)</sup>に予定される水稲栽培において、水稲の生育障害の発生する可能性を、あらかじめ推察できることは、すでに第一報において述べたとおりである。

##### 1 水稲障害の特徴

前述のとおり、造成まもない余郷入干拓地で行なった水稲被害調査結果によれば、酸害、塩害、アルカリ害(亜鉛欠乏症)、還元害の4種類の障害の発生が観察されそしてその分布は、あきらかに干拓地の地形と土壌の状態に反映していることを確認した。水稲生育障害の発生は、その土壌の性格をうらがきしていることはいうまでもない。

<sup>1)</sup> かって小林は霞ヶ浦周辺の浮島野田奈川、鰯川および甘田入干拓地の現地調査結果から、これらの干拓地に分布する土壌には、強酸性から強アルカリ性土壌まで、一様に存在し、これが種々の強さの反応を呈しながら分布していると報告している。余郷入における障害土壌の分析結果をみると、酸害の発生した土壌 pH で 2.5、アルカリ害の発生した土壌 pH で 9.6 とその値に極端な差異のあることを確認し、小林の報告と一致した。これらの事実からみても、干陸後間もない干拓地土壌の変化の大きいことがうらがきされよう。

水稲障害に関する研究報告は数多い。これらをまとめてしめせばつぎのようである。

すなわち酸害は、かつて海水の影響をうけた土壤中に存在する多量の硫化物の酸化によって、生成される硫酸による強酸性化<sup>1)3)11)12)</sup>。塩害は海水に由来する中性塩類の過剰。アルカリ害は重碳酸塩、硫酸第二鉄などのアルカリ性物質に起因するか、貝がらの集積による石灰過剰。還元害は、土壤中に生成する硫化水素、硫化物、有機酸<sup>13)</sup>などの害によるものとされる。

<sup>1)</sup> 小林は、干拓地に発生した水稻茎葉の被害症状より、2種類に大別できるとした。

その一つは、茎葉が黄白色化して萎凋枯死するもの、他の一つは、葉の先端から灰黒褐色を呈し、次第に拡大して枯死するものである。前者は、主として食塩、重碳酸塩、硫化水素、硫酸第二鉄などアルカリ性物質に起因するとし、後者は、硫酸、硫酸第一鉄など酸性物質に起因するものとした。また最近、白鳥<sup>4)</sup>、田中<sup>6)</sup>らは、アルカリ障害の中に水稻の亜鉛欠乏症も含まれていることをあきらかにした。また、白鳥は干拓地に発生する水稻の生育障害は、それぞれの障害型を独立した形で存在するのではなく、ある種の相互関係をもちながら発生すると推定している。

筆者らの観察した障害はいずれもこれらの有害物質にもとづくものと考えられる。干拓地に発生する生育障害は複雑、多岐である。このような立場からみれば、その障害は決して単独で発生するものではなく、お互に関連性を持っているとみるべきであろう。いずれにしても、これらの障害の多発は、多水分条件下にある干陸初期の土壤であり、これらの条件の改善が水稻生育障害防止の基本であることはいうまでもない。

## 2 改良対策

酸害：現地でみた酸性障害の発生は、干拓地中央部に分布する粘土地帯で、とくに乾き易い土壤条件であった。被害の徴候は土壤 pH 4.2 以下から認められ 3.5 以下にあっては完全に枯死状態を呈した。さらに作付け直後は健全な生育を呈しながら、分けつ期以降において被害の発生する場合もあった。<sup>9)</sup> 村上の調査結果によれば、土壤 pH 4.5 あたりから被害が発生し、4.0 以下になるとさらに被害は著るしくなるという。いずれにしても酸害の直接的原因は、土壤 pH の低下にもとづくものであり、土壤 pH の矯正が基本である。現地試験の結果では、石灰施用の効果が顕著であり、暗きよの施工を併用すれば、さらにその効果の大きいことが認められた。

塩害：塩害の発生は排水不良地に多く認められ、延方では西部用水路周辺、余郷入では周辺砂土地帯と中央粘土地帯の境目であった。また延方では土壤中  $cl^-$  濃度 0.05% 以上のところに徴候がみられ、0.16% 以上では、枯死、あるいは枯死寸前の症状を呈した。一方余郷入では土壤中  $cl^-$  濃度 0.11% 以上のところに発生がみられた。この差異については種々検討の余地は残されるが、延方は砂土、余郷入は埴土である土性の差異も見のがすことはできない。

試験結果からもあきらかなように、延方塩害地は暗きよの施工で、あきらかに改善された。かんがい水洗滌法では、下層からの塩分の上昇で期待する目的は達せられず、結果的にその効果は少なかった。

アルカリ害（亜鉛欠乏症）：本障害の発生する土壤条件はアルカリ性で排水は悪く、とくに貝がらの集積の多い砂土地帯であった。現地試験の結果では、亜鉛の施用効果をもっとも高く、山土客土もこれにつく効果がみられた。また障害の発生した無処理区の水稲体の亜鉛分析結果では17ppmで、障害の認められなかった処理区の濃度に比べてかなり低かった。このような事実からみても、本障害はあきらかに<sup>4)</sup> <sup>6)</sup>白鳥、田中らのいう水稲の亜鉛欠乏症であると考えられる。改善策としての土壤への亜鉛の施与は、土壤汚染の点からみれば心配されよう。このような立場からすれば、山土の客土がもっとも適策と考えられる。

還元害：現地調査結果からみた障害は場の土壤条件は排水不良で、強アルカリ性を呈し、さらに $Eh_6$ 値は他の障害は場に比べてもっとも低く硫化水素の臭気を感じるところであった。これら障害発生<sup>4)</sup>の直接的原因は、これらの土壤条件と考えられる。したがって、その改善にあたっては明、暗きよの施工による排水改良が重要で、その期待は大きいと考えられる。

## V 要 約

霞ヶ浦周辺の新しい干拓地水田に発生する水稲の生育障害について、現地実態調査と改善対策試験を行ない、つぎのような結果を得た。

- 1 水稲の生育障害の発生は、新しく造成した干拓地水田の初年目の栽培に多く認められた。
- 2 発生した水稲生育障害の種類は、茎葉被害の特徴、土壤の状態からおおむね酸害、塩害、アルカリ害、還元害の4種類に大別され、ここで観察されたアルカリ害の症状は亜鉛欠乏症に類似した。
- 3 障害の発生分布状況は、干拓地の地形、土壤条件におおむね符合することが確認され、その主な原因は、ほ場の排水の良否に反映していることが示唆された。
- 4 改善対策としては、暗きよの施工はもとより、石灰資材の施用、山土の客入、亜鉛の添加も有効であることを確認した。

## 謝 辞

本調査試験は昭和42年から47年にわたって実施したものであり、これらを実施するにあたり種々ご協力いただいた農試前化学部技師中川悦男、村上昌秀、小山田勉、本田宏一、小川吉雄、津田公男各氏さらに県農地計画課、江戸崎土地改良事務所、江戸崎農業改良普及所の関係各位に対し、厚くお礼申し上げます。また本調査試験遂行上、種々親切な助言、ご指導をいただいた現在那珂地区農業改良普及所須田清隆課長、農試土壤肥料部石川実主任研究員に対し、深く感謝いたします。また現地案内、県外先進干拓地研修の際、種々親切な助言、ご指導をうけたまわった岡山大農学部下瀬昇博士、三宅清人助教授、岡山農試大森正部長、島根農試村上英行博士、山根忠之専門研究員、農研化学部矢沢文雄室長、茨大農学部永井恭三博士に対し、同時に本報告をまとめるにあたり種々ご助言、ご協力をいただいた農試小川敏雄場長、小野信一副場長さらに助言とご指導をうけたまわったうえ、本稿の

ご校閲をいただいた農試環境部吉原貢部長に対し、深く感謝いたします。

本研究の一部は日本土壌肥料学会において発表した。

#### 引用文献

- 1) 小林(1939): 干拓地不良土改善に関する研究, 茨農試臨時報告第3号
- 2) 米田(1958): 土肥誌 28, 455~459
- 3) 村上(1961): 中海干拓地土壌に関する研究, 島根試研報第3号
- 4) 白鳥(1972): 千葉農試特別報告第4号 1~48
- 5) 平山ら(1977): 霞ヶ浦周辺干拓地土壌の改良に関する研究(第1報)茨農試特別研報第3号
- 6) 田中, 下野他(1969): 土肥誌 40, 415~419
- 7) 白鳥, 鈴木, 三好(1969): 千葉農試研報 9, 73~81
- 8) 村上(1961): 土肥誌 32, 6, 276~279
- 9) 村上(1965): 京大学位論文
- 10) 余郷入土地改良区(1967): 余郷入干拓土壌対策実施計画書。
- 11) ZuuR. A. J(1952): Soil sci 74.75~89.
- 12) 米田, 川田(1954): 土肥誌 25.36~40.
- 13) 清水(1963): 東京農大学位論文, 1~121



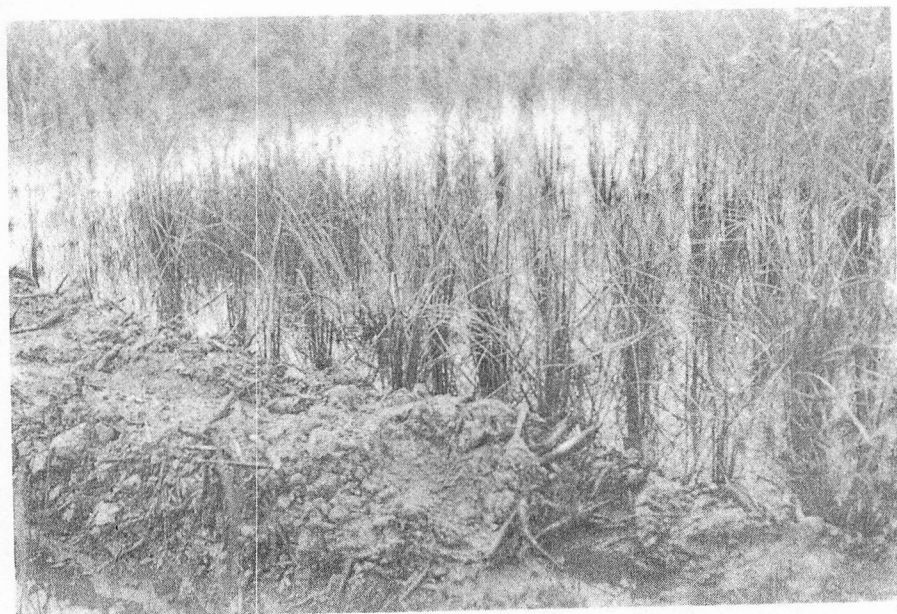


写真-1 水稻の酸害（余郷入干拓地）

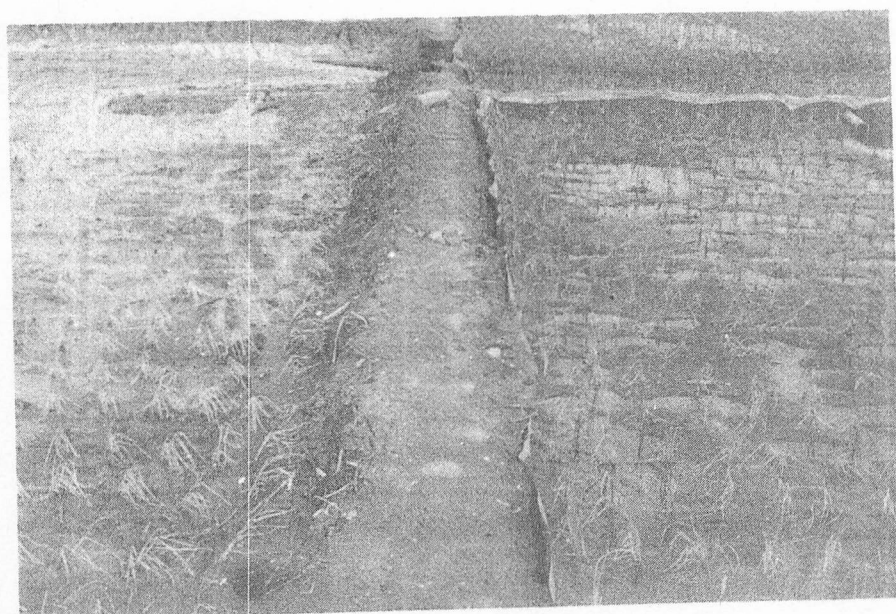


写真-2 水稻の塩害（延方干拓地）



写真-3 水稻のアルカリ害(亜鉛欠乏症)  
(余郷入干拓地)



写真-4 水稻の還元害(余郷入干拓地)