

野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究

第2報 田畑輪換圃場の暗渠排水

幸田 浩俊

中粗粒グライ土水田（冬季の地下水位40cm，CECは約10me）に4種類の暗渠を施工し，地下水位を50cmに保ち，野菜6種類を3年間栽培したのち水田に戻しイネを栽培し，暗渠の種類による収量のちがいや地下水位変化の差異，暗渠疎水材としての籾がらの耐久性，田畑輪換による土壤の理化学性の変化を調査した。

野菜の収量が安定して高く，イネも高収で施肥による制御が行ないやすい暗渠は，籾がら壁暗渠に籾がら充填トレンチ暗渠を4m間隔で直交させた組合わせ暗渠（第16図参照）であった。この暗渠区では，降雨後の地下水位上昇が少なく，暗渠側近部と中間部の地下水位差は10cm以内で，圃場容水量以下の粗孔隙は約7%あり，大型機械による作業効率も高まった。疎水材としての籾がらへの泥土の混入は，輪換畑では水田の約2倍，籾がらの腐敗は約3倍で，畑3年水田3年後には籾がらの透水性がかなり悪くなると予想できるので，下層土の構造が発達するまでは，田畑輪換が一巡するごとに籾がらの一部を入れかえる必要があると推測した。ロータリ2回耕の碎土率は，コンシステンシー指数1.0のときに最も高くなった。畑期間中の施肥によって塩基飽和度は高くなったが，石灰と苦土の含有量は排水性がよい区ほど少なく，水田に戻すとどの暗渠区でも作土層と下層土の塩基含有量の差が小さくなった。

目次

I 緒言	66	2) 輪換田1年後の暗渠の種類による地下水位低下の様相	78
II 材料と方法	66	4. 疎水材としての籾がらの耐久性	78
1. 試験圃場の概況	66	5. 田畑輪換による土壤の理化学性の変化	79
2. 暗渠の種類と施工法など	69	1) 輪換畑3年後の気相率と透水係数	79
3. 輪換畑期間の供試作物と耕種概要	70	2) 輪換畑期間における易耕性の向上	79
4. 輪換田期間の供試品種と耕種概要，試験区の構成	70	①耕盤の硬度変化 ②畑地化による土壤の液性限界，塑性限界の変化 ③碎土率	
5. 土壤の採取法と分析法	71	3) 田畑輪換による土壤断面の変化	81
III 結果	71	4) 暗渠の種類と土壤の化学性	82
1. 暗渠の種類と野菜類の生育・収量	71	IV 考察	83
①輪換畑初年目 ②輪換畑2年目 ③輪換畑3年目		1. 作物の生育・収量からみた田畑輪換圃場として望ましい暗渠	83
2. 暗渠の種類と基肥窒素施用量および追肥時期によるイネの生育・収量	73	2. 輪換畑の排水目標値（農士試験案）との対比	84
3. 暗渠の種類と地下水位低下の様相など	76	3. 土壤の物理性の変化	85
1) 暗渠の種類と輪換畑期間中の地下水位低下の様相および作土層の気相率	76	4. 土壤の化学性の変化	86

5. 輪換田イネの施肥法	86
6. 暗渠疎水材としての籾がらの耐久性	87
V 摘要	88
引用文献	89

I 緒言

水田では、長い間イネだけを栽培してきたため耕区ごとには排水できるようにという要求は弱く、排水路の堰上げによる用水補給が行なわれるなど用水が優先されるため、農区全体の排水が著しく悪くなっている。水田基盤整備は、従来、イネを対象作物として用・排水を整備することによって灌漑期における自由な水管理を可能にし、あわせて機械作業に必要な地耐力を強化することを目的としていた。しかし近年、区画が拡大されるに従って、水田でも迅速に排水できることが必要になってきた。

1970年以降、水田の乾田化を目的にした基盤整備^{9, 10, 13, 14, 16, 19, 20, 21, 31)}や、透水性の改善によるイネの良質多収栽培に関する一連の研究^{38, 40, 44, 45, 54, 55, 58, 59)}が行なわれた。それらの結果から、①水田で排水が不良になる原因は、イ 作土直下など比較的浅いところにグライ層が存在し、仮比重が小さく間隙率が高いにもかかわらず透水性が悪いというグライ層独特の性質により排水が悪くなる ロ 灰褐色土・灰色土・黄褐色土など地下水位が比較的低い水田では耕盤が緻密になり排水が悪くなる ハ 基盤整備施工時の大型機械の走行による土壌の圧密、繰返しによって排水が悪くなるの3つに類別できること ②排水を改良する方法には、水管理(中干しの徹底と間断灌漑や落水後の入水遮断)や栽培法(乾田直播や牧草類の栽培)によるものと、圃場への排水暗渠の造成などの工学的的方法によるものがあるが、後者の方が効果的であること ③重粘土・強グライ土などのような湿田では、本暗渠や弾丸暗渠を施工するときに暗渠まで達する“水みち”を人為的につくる必要があり、そのためには、イ 田面排水を完全に行ない地下水位が低下し圃場が最も乾燥する時期にバケツ型トレンチャやオーガー型トレンチャを用い、造成後の機械走行の影響を受けることのない程度の深さである0.5~0.8mに掘削し、

掘削断面がよく乾燥してから砂礫・軽石・籾がらなど透水性がよいものを疎水材として充填して埋め戻す ロ 補助暗渠施工深は機械走行による破壊と排水性を考慮して地表下25~35cm(B₁G層)とし、本暗渠と交叉連通させ ハ 弾丸暗渠は、渠孔周辺が酸化し膜状鉄が附着し水みちが形成されるような特殊な場合を除いて1~2作で渠孔が埋まるので毎年施工することが望ましく ニ 暗渠を正常に機能させるには、吐水口が排水路水面上に出ている必要があるなどのことが明らかにされた。

わが国の湿田面積は約90万haで、全水田面積の約30%を占めている。茨城県(7.7万ha)は、千葉県(7.5万ha)とともに新潟県の11万haにつづく全国第2位の湿田保有県で³⁰⁾、その多くが利根川下流域の県南部に分布している。これらの湿田は、地下水位が高い条件下で土壌の生成が行なわれたグライ土壌と泥炭土壌に類別されている。したがって、降雨の影響を受けやすく、一部の水田に湛水するとその影響は広範囲に及び、水田の周囲幅約60~90mにわたって地下水位は上昇し気相率は低くなる。こうした地帯で田畑輪換による水田高度利用を行なう場合、最も重要でかつ困難な問題が地下水位低下策を含めた圃場の排水改良対策である。それにはまず、隣接田からの水の侵入を遮断でき、地表水を迅速に排除できるとともに、対象とする畑作物が正常に生育できるところまで地下水位を下げられ、かつ水田に戻したときに容易に水を溜められる機能を持つ圃場をつくる必要がある。

そこで、上述の暗渠排水に関する研究成果をもとに、低湿地帯の田畑輪換圃場としてより安定した生産基盤を求めて、1976年から1979年まで4種類の暗渠排水方法について比較検討した。その結果、いくつかの知見を得ることができたので、ここに報告することにした。

II 材料と方法

1. 試験圃場の概況

この試験を行なった茨城農試竜ヶ崎試験地は、東経140度13分、北緯35度53分にあり、海跡湖である霞ヶ浦の南西約20kmに位置している。ここから茨城県鹿島、千葉県佐原に至る水田地帯は、江戸時代の中期から利根川

野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究

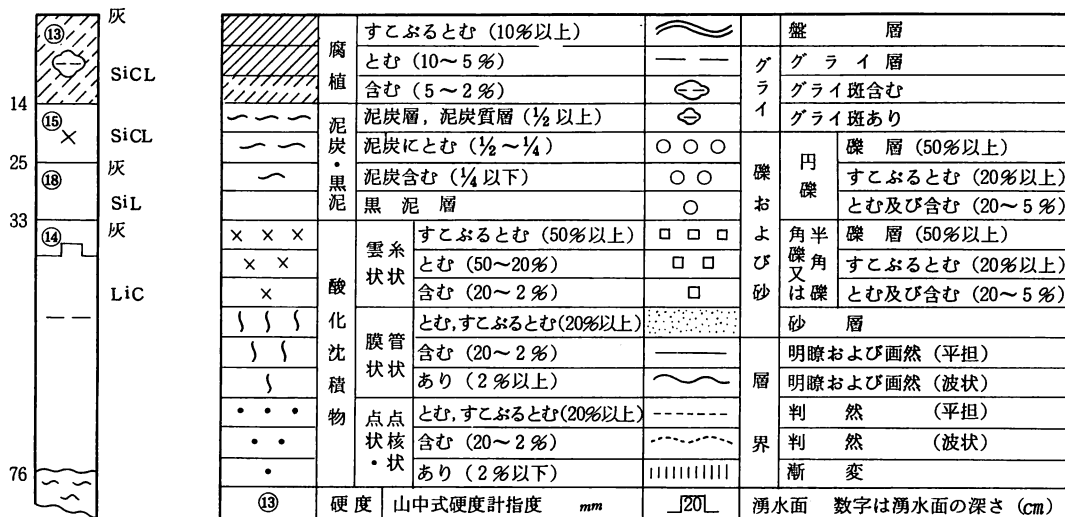
河床の堆積物上で水田耕作が始められたところで、田面標高は1 m前後、田面勾配は1万分の1以下という典型的低湿平坦地である。その土壌類型は利根川の運搬作用による堆積物の種類によって異なるが、中粗粒グライ土、泥炭土、黒泥土であり、また1955年(昭和30年)以前は、孟宗竹を田面にならべ膝を折ってその土に座り稲刈りをするほどの強湿田であったが、基盤整備に伴う用排水の完備と各地の排水機場の設置により徐々に地下水位が低下しはじめているものの、現在でも暗渠排水を行っていない水田の冬季の地下水位は、40cm前後にあらわれてくる。

試験開始時の土壌断面、圃場の概要と作付歴は第1、2図、第1表のとおりである。

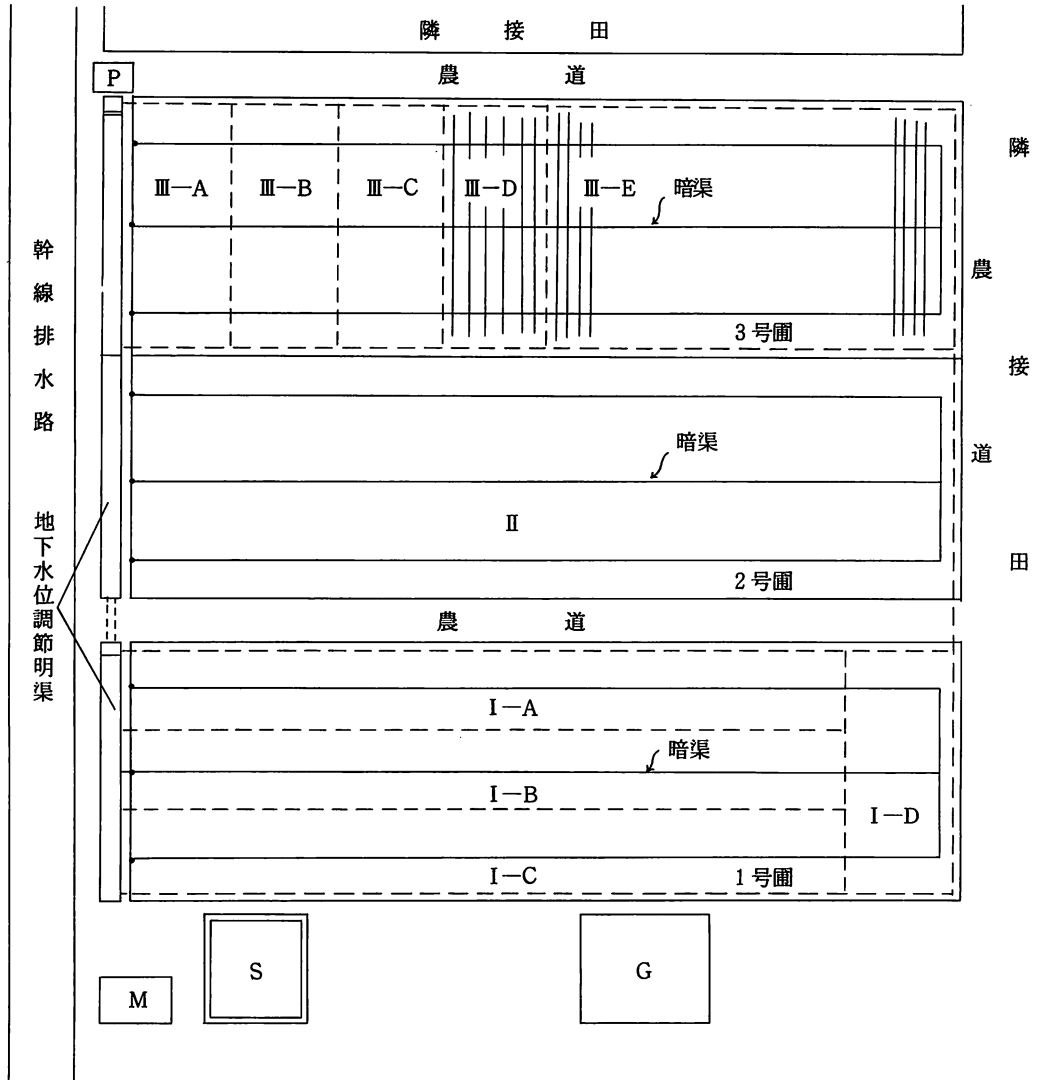
1972年に基盤整備が完了した試験地圃場の標高は0.3 m、圃場内には陸田や道路の跡が含まれているため、中粗粒質グライ土であるが、作土直下に砂の層があり、その出現位置や厚さは圃場の部位によってかなり異なっていた。そこで、この試験をはじめる前に、各圃場の砂層を検土杖で2 m間隔に調査した。その結果、1号圃は砂層の出現位置が浅く、圃場長辺方向6 mおきに砂層の厚い部分が帯状にならび、2号圃は砂層の出現位置はやや深くなるが帯状に厚薄がならぶ傾向は変わらず、3号圃では砂層は徐々に薄くなり、明渠から30 m以遠では消滅することが判明した。

この調査にもとずき、圃場試験にあたって、1、2号圃の地力による定誤差を消去するためのブロックは、圃場長辺方向に直角に6 mあるいは12 m巾を1単位としてとることとした。

柱状図凡例



第1図 試験開始時の土壌断面の柱状図



第2図 試験圃場の概要

M……堆肥舎 S……傾斜畑 - - - - 遮水壁
 G……育苗用温室 P……排水機場

暗渠の種類はI-A, I-B, I-C, I-D, IIは籾がら壁暗渠, III-Aは土管暗渠, III-Bは籾がら壁暗渠, III-Cは籾がら壁暗渠に籾がら充填トレンチ暗渠を4m間隔で直交させた組み合わせ暗渠, III-Dは2m間隔で組み合せた暗渠, III-Eは2m間隔で弾丸暗渠で直交させた組み合わせ暗渠。

野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究

第1表 圃場の作付歴

区画	1972年以前 (昭和47年)	1973 昭48	1974 昭49	1975 昭50	1976 昭51	1977 昭52	1978 昭53	1979 昭54	1980 昭55	
1号圃	I-A	水田	野菜	野菜	野菜	水田	水田	野菜	野菜	麦類～ダイズ
	I-B	水田	野菜	野菜	野菜	野菜	水田	野菜	野菜	麦類～ダイズ
	I-C	水田	野菜	野菜	野菜	野菜	野菜	野菜	麦類～ダイズ	麦類～ダイズ
	I-D	水田	野菜	野菜	野菜	野菜	野菜	野菜	野菜～水田	麦類～ダイズ
2号圃	II	水田	野菜	野菜	野菜	水田	水田	水田	野菜	麦類～ダイズ
3号圃	III-A	水田	野菜	ダイズ	水田	野菜	野菜	野菜	水田	麦類～ダイズ
	III-B	水田	ダイズ	ダイズ	水田	野菜	野菜	野菜	水田	麦類～ダイズ
	III-C	水田	ダイズ	ダイズ	水田	野菜	野菜	野菜	水田	水田
	III-D	水田	ダイズ	ダイズ	水田	野菜	野菜	野菜	水田	麦類～ダイズ
	III-E	水田	野菜	ダイズ	水田	野菜	野菜	野菜	水田	ダイズ

注) 野菜はその区画の大半が野菜類であることを示す 麦類～ダイズ、ダイズも同様である

2. 暗渠の種類と施工法など

1972年12月、圃場周囲に深さ80cmの遮水壁を埋め、バックホ掘削による松ソダ被覆土管暗渠(渠間9m)を施工した。この長辺95m、短辺26mの3号圃に、1973年と1974年はダイズを、1975年はイネを栽培したのち、つぎの4種類の暗渠を設け、吐水口は地下水位調節明渠に接続し、1976年から本試験に供試した。

① 松ソダ被覆土管暗渠; 暗渠の深さ1.0～0.8m、勾配500分の1、吸水管は直径10cmの土管、疎水材は松ソダと稲わらを用い土管の周囲約15cmの厚さ(地表面から85～65cm)で被覆、掘削はバックホを用いた。以後これを土管暗渠と呼ぶ。

② 芻がら壁土管暗渠; 上記土管暗渠の疎水材直上まで幅15cmの溝をトレンチャで掘り、芻がらを鎮圧しながら地表下25cmまでつめた。以後これを芻がら壁暗渠と呼ぶ。

③ 芻がら壁暗渠+芻がら充填トレンチ暗渠渠間4m、上記の芻がら壁暗渠に直交するように4m間隔で幅15cm深さ35cmの溝を掘り、ここに芻がらを10cmの厚さにつめた。以後これを組み合わせ暗渠4m区と呼ぶ。

④ 芻がら壁暗渠+芻がら充填トレンチ暗渠渠間2m; ②の芻がら壁暗渠に③の芻がら充填トレンチ暗渠を2m間隔で直交させた。以後これを組み合わせ暗渠2m区と呼ぶ。土管暗渠は1972年12月に、それ以外の暗渠は1976年3月に施工した。

1区画の面積は12m×26mの318㎡で、各区の境界には地表下65cmまで厚さ0.25mmのビニールフィルムを埋め込み、互に影響しあうことを防止した。また、地表水を排除するため各区画の短辺側に排水溝(深さ30cm)を設け、明渠に接続した。この明渠に水位検知管をとりつけ、水位が地表下50cmになると強制排水が開始され地表下70cmになると停止するように調整し、地下水位を制御した。

1つの試験区画のほぼ中央部で本暗渠から20cm離れたところ3か所(以後これを暗渠側近部と呼ぶ)と、本暗渠の中間部2か所(以後これを暗渠中間部と呼ぶ)(いずれも補助暗渠の中間部)に第1報で紹介した¹⁷⁾地下水位測定管を埋設し、降雨後の地下水位変化を測定した。

輪換畑の3年間は水閘を開放し、1979年4月からの輪換田期間は水閘を閉鎖し中干し期間中のみ開放した。

3. 輪換畑期間の供試作物と耕種概要

1976年から3年間の輪換畑期間中、上述の4種類の暗渠を持つ圃場に、地下水位が高くて正常に生育するサトイモ(1976年のみ栽培)、30cm以下の地下水位が適するレタス・キャベツ・ハクサイ・トマト、高地下水位

では収量が低下するブロッコリ・メロンを栽培した。作物結合はレタス-キャベツ、トマト-ハクサイ、メロン-ブロッコリとし、3年輪作にした。

各作物の耕種概要は、第2表のとおりである。

第2表 供試作物の耕種概要

供試作物	品 種 名	は種 (月日)	定植 (月日)	栽植様式 (cm)	施肥量 (kg/a)			収穫期 (月日)
					N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
サトイモ	セ レ ベ ス	5.4	—	90 × 45	2.5	1.5	2.5	11.4
レ タ ス	グレートレークス366	3.9	4.11	55 × 30	2.0	1.5	2.0	5.27 ~ 6.2
メ ロ ン	プリンスメロンFR	3.15	4.27	210 × 90	2.0	1.8	3.0	7.5 ~ 7.12
ト マ ト	{ 強力米寿 大型端光	3.4	4.18	180 × 40	2.0	2.0	2.0	6.21 ~ 8.18
キャベツ	ベ ス ト	8.9	9.13	60 × 40	2.5	2.0	2.5	11.24 ~ 12.4
ハクサイ	王 将	8.30	9.13	75 × 45	2.5	2.0	2.5	11.29
ブロッコリ	中生緑花耶菜	7.22	9.24	75 × 45	2.5	2.0	2.5	11.25 ~ 12.10

注) 毎作ごとに堆肥 200 kg/a、石灰10~20kg/aを施用 土壌改良のため、初年目によりんを15 kg/a施用
サトイモの栽培は初年のみ

4. 輪換田期間の供試品種と耕種概要、

試験区の構成

1979年4月5日にコシヒカリを1箱当たり180gの割合で播種した。代かきは4月23日と24日の2回行ない、4月26日に田植機で30cm×16cmに移植した。植付け本数は5本を基準にし3本以下の株は4月28日に補植した。中干しは6月9日から23日まで行なった。出穂期は7月29日から8月1日で、9月10日に収穫した。

試験区は分割区法²³⁾で配置した。その概要は、第3図のとおりである。すなわち、各試験区画を2分しプロック6m

クを2つ設け、暗渠の種類4水準で第1次分割し、基肥窒素施用量3水準(①0.3kg/a ②湿田慣行の0.5kg/a ③乾田慣行の0.7kg/a)で第2次分割し、追肥時期2水準(①減数分裂期-およそ出穂前15日-に0.4kg/aの窒素とカリを施用 ②幼穂形成期と穎花分化期-およそ出穂前20日と10日-に0.2kg/aずつ2回施用)で第3次分割した。なお第1次分割については無作為に配置することができなかった。また、基肥のP₂O₅とK₂Oはともに0.7kg/aを施用した。1区は6m×4mであった。

4 m	1-1-2	1-1-1	2-2-1	2-2-2	3-3-1	3-3-2	4-2-1	4-2-2
	1-2-2	1-2-1	2-1-2	2-1-1	3-2-2	3-2-1	4-3-2	4-3-2
	1-3-1	1-3-2	2-3-2	2-3-1	3-1-1	3-1-2	4-1-1	4-1-2
	1-2-1	1-2-2	2-3-1	2-3-2	3-1-1	3-1-2	4-3-2	4-3-1
	1-1-2	1-1-1	2-2-2	2-2-1	3-3-2	3-3-1	4-2-1	4-2-2
	1-3-2	1-3-1	2-1-1	2-1-2	3-2-1	3-2-2	4-1-2	4-1-1

1-1-2は第1次分割は第1水準の土管暗渠、第2次分割は第1水準の基肥N0.3kg/a、第3次分割は第2水準の追肥0.2kg/aずつ分施を意味する

III-A 土管暗渠 III-B 粗がら壁暗渠 III-C 組み合わせ暗渠4m区 III-D 組み合わせ暗渠2m区

第3図 輪換田における試験区の配置

5. 土壌の採取法と分析法

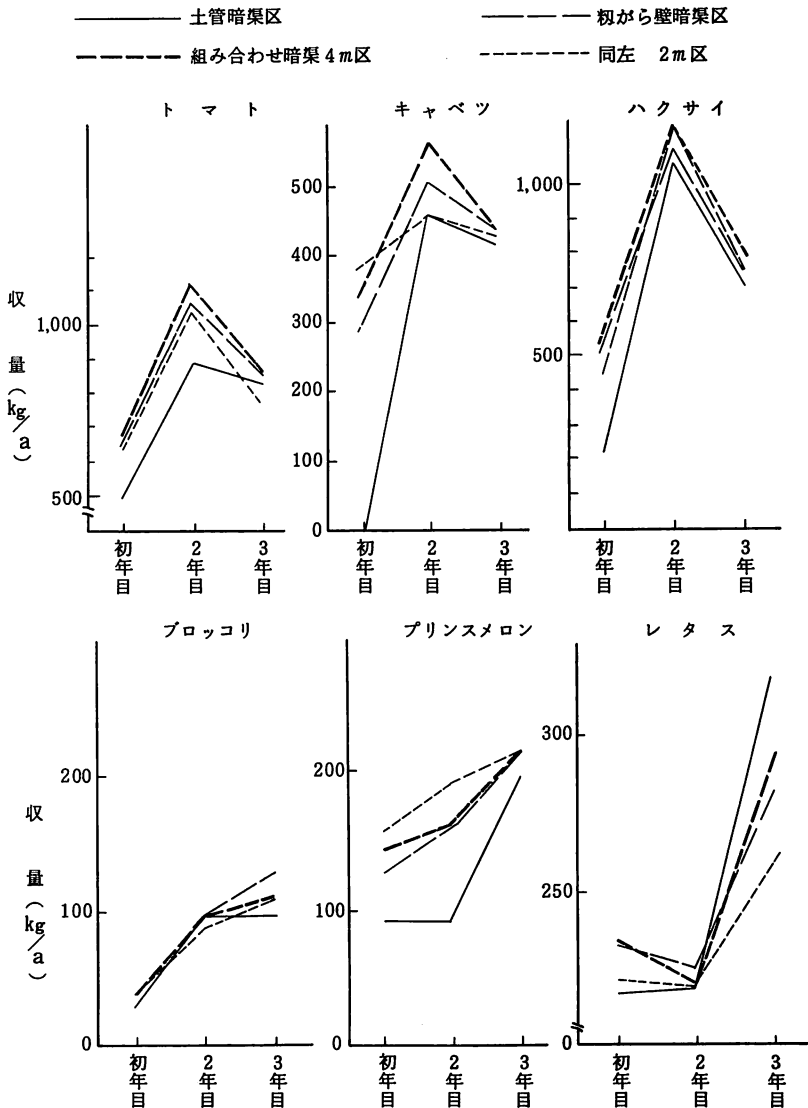
土壌は1試験区5カ所から採取し、よく混和したものを四分法で調整した。土壌3相は実容積測定装置DK-100型を用い常法¹⁾により、砕土率は2cm、4cm、8cm目の篩を用いて²⁾、飽和透水係数はDIK-II型を用いて³⁾、液性限界と塑性限界はJIS法⁴⁾により求めた。全炭素はチューリン法⁵⁾、全窒素はケルダール法-サルチル硫酸分解法⁶⁾、硝酸態窒素はイオンメーターHG

3型を用いたイオン電極法¹⁷⁾、CECは振とう浸出法¹⁷⁾、置換性カリは炎光光度分析¹⁷⁾、置換性石灰と苦土は原子吸光光度分析¹⁷⁾を用いた。

Ⅲ 結 果

1. 暗渠の種類と畑作物の生育・収量

1976年から1978年までの3か年における各作物の収量は、第4図のとおりである。



第4図 暗渠の種類と収量の変化

① 輪換畑初年目：トマト・メロンの収量は土管暗渠区で明らかに低かった。レタス・サトイモの収量は暗渠の種類による差が小さかった。サトイモの収量は、**粗がら壁暗渠区**； 139 kg/a 、**組み合わせ暗渠4 m区**； 136 kg/a 、**組み合わせ暗渠2 m区**； 135 kg/a 、**土管暗渠区**； 129 kg/a であった。1976年9月2日に128 mmという集中豪雨に遭遇した。そのときの様子は写真-1～3のとおりである。

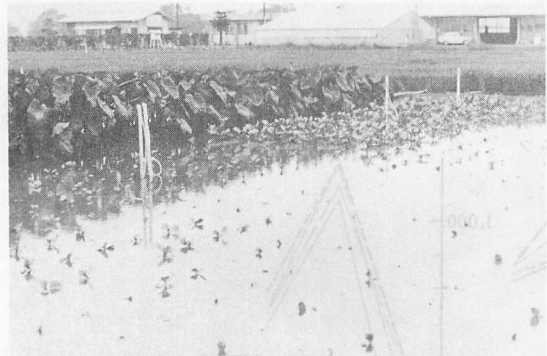


写真-1 土管暗渠区の浸水状況

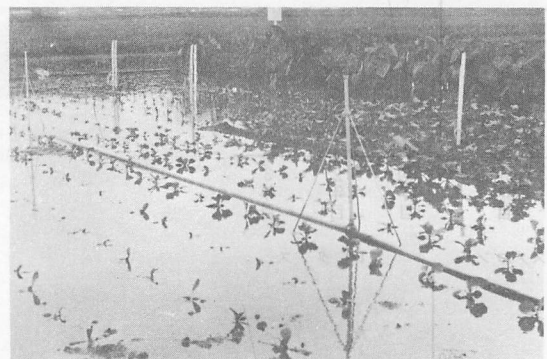


写真-2 組み合わせ暗渠4 m区の浸水状況

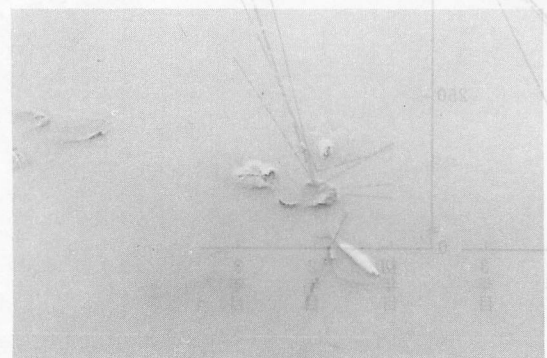


写真-3 ハクサイは水没し葉の表面には泥が付着していた

1か月後の回復程度は暗渠の種類によって明らかに異なり、土管暗渠区では著しく遅れ、キャベツは収穫皆無になった。ブロッコリは畦立て栽培したため土管暗渠区でも収穫できたが各暗渠区とも低収であった。ハクサイは冠水した3種類の野菜の中では最も回復が早かった。

② 輪換畑2年目：ブロッコリとレタスの収量は暗渠の種類による差が小さく、トマトは粗がら壁暗渠区とこれに補助暗渠を組み合わせた区で高収を示し、キャベツは組み合わせ暗渠4 m区で、ついで粗がら壁暗渠区で収量が高く、メロンは組み合わせ暗渠2 m区が最も高収で、ついで組み合わせ暗渠4 m区と粗がら壁暗渠区の順になった。ハクサイの収量差はわずかであったが、排水がよい暗渠区ほど高収であった。

③ 輪換畑3年目：1978年は5月から9月まで例年より雨量が少なく、中でも7月中旬から8月下旬までほとんど降雨がない異常干魃年であった。この干魃のため、トマトとレタスは組み合わせ暗渠2 m区が最も低収になった。ところがブロッコリとメロンは、このような干魃条件下でも土管暗渠区が最も低収であった。キャベツとハクサイでは、暗渠の種類による収量差が小さくなった。7月から8月下旬まで、普通畑ではほとんど収穫できないほどの干魃害を受けたが、輪換畑では安定した生産を続けることができた。

このように、気象条件の年変化と暗渠施工後の年数経過による透水性の変化などによって、供試作物の収量は大きく変化したため、各作物について最もよいと思われる暗渠を検出することができなかった。そこで各作物ごとに収量順位第1位の暗渠に4点、第2位に3点、以下順次点数を減じ第4位に1点の評点を与え、3年間の収量順位を合計した。その結果は第3表のとおりである。

土管暗渠区の評点が最も低く、粗がら壁暗渠とこれに補助暗渠を組み合わせた各区の評点は高かった。中でも組み合わせ暗渠4 m区の評点が最も高く、粗がら壁暗渠区と組み合わせ暗渠2 m区の評点がこれに続いた。組み合わせ暗渠4 m区は、作物の種類や試験年次による評点の変動が小さかった。

野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究

第3表 暗渠の種類と作物の収量順位評点

暗渠の種類	サトイモ	レタス	キャベツ	ハクサイ	トマト	メロン	ブロッコリ	評点 合計
	76年	76 77 78	76 77 78	76 77 78	76 77 78	76 77 78	76 77 78	
1土管暗渠	1	2 2 4	1 1 1	1 1 1	1 1 2	1 1 1	1 2 1	26
2もみから壁暗渠	2	4 3 2	2 3 4	3 2 2	3 3 3	2 3 4	2 2 4	53
3組み合わせ暗渠4m	2	4 4 3	3 4 4	2 4 3	4 4 4	3 3 4	2 2 3	62
4同 2m	2	2 2 1	4 1 2	4 4 4	3 2 1	4 4 4	2 1 2	49

注) 同水準の収量とみなせるときは同順位とした

2. 暗渠の種類と基肥窒素施用量および追肥時期によるイネの生育・収量

1979年の輪換田初年目の代かき後の田面の状態と田植え精度は、第4表のとおりである。

第4表 代かき後の田面の状態と田植精度

暗渠の種類	耕盤深 (cm)	さげふり 貫入 深(cm)	作業速度 (m/秒)	スリップ 率(%)	株間			植付深度			植付本数		
					平均(cm)	SD(cm)	CV(%)	平均(cm)	SD(cm)	CV(%)	平均(本)	SD(本)	CV(%)
土管暗渠	18.42	13.67	0.49	11.4	16.0	0.97	6.0	2.53	0.41	16.5	5.0	1.89	37.1
もみから壁暗渠	20.17	15.43	0.50	10.9	15.8	1.10	7.0	2.88	0.54	18.7	4.9	2.54	52.6
組み合わせ暗渠4m	20.65	16.08	0.47	7.2	15.7	1.28	8.2	2.72	0.50	18.3	3.8	1.81	48.8
同 2m	20.25	16.12	0.46	7.4	16.1	1.14	7.0	2.61	0.35	13.4	5.0	1.40	28.2

土管暗渠区輪換田は他の暗渠を施工した輪換田に比べ耕盤までの深さがやや浅く、さげふりの貫入深も浅かった。輪換田は連作田より作土層が厚く、植え代が軟らかいことを認めた。田植機の作業速度は暗渠の種類による差が認められず平均0.48m/秒であったが、もみから暗渠の

直上部では車輪がやや沈下し、作業速度は遅くなった。暗渠中間部で測定した車輪のスリップ率は、補助暗渠を組み合わせさせた2つの区で小さくなった。

暗渠の種類などによるイネの生育のちがいを要因効果別にまとめた結果は、第5表のとおりである。

第5表 暗渠の種類と基肥窒素がコシヒカリの生育に及ぼす影響

要因	30日		40日		50日		60日		70日	
	草丈(cm)	茎数(本/m ²)	草丈	茎数	草丈	茎数	草丈	茎数	草丈	茎数
土管暗渠	19.6	210	29.0	503	44.9	710	62.1	700	71.7	576
もみから壁暗渠	20.3	249	29.4	577	44.9	728	62.9	680	72.1	560
組み合わせ暗渠4m	20.3	227	28.7	512	42.5	649	60.5	617	70.1	516
同 2m	20.3	199	29.0	481	43.1	622	60.3	588	69.6	488
A有意水準 (α=)	N.S	N.S	N.S	0.25	0.10	0.05	0.10	0.05	0.25	0.05
基肥N量 0.3kg/a	19.9	192	28.6	464	42.0	588	58.5	558	68.1	458
0.5	20.3	224	29.1	501	44.1	659	61.2	634	70.3	549
0.7	20.0	249	29.4	589	45.5	785	64.6	736	74.2	600
B有意水準 (α=)	N.S	0.25	N.S	0.01	0.05	0.01	0.01	0.05	0.01	0.05
A×B " (α=)	0.25	N.S	0.25	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S

組み合わせ暗渠2m区では、田植後40日から茎数増がおさえられ、50日以後になると茎数とともに草丈は低くなった。補助暗渠4m区では、50日以後茎数増がおさえられ草丈は低くなった。

基肥窒素を0.7kg/a施用したところでは、田植後30日には0.5kg/a、0.3kg/a施用区に比べ茎数がやや多くなり、40日以後になると、基肥窒素施用量の多い順に茎数は多く、草丈は高くなった。

輪換田の酸化還元電位(Eh₆)は、中干し前で332~357mV、中干し後で345~392mVであった。これは、連作田での中干し前と中干し後のEh₆が、暗渠無施工田で58mVと102mV、竹材暗渠施工田で98mVと139mV、陸田で138mVと239mVであったのに比べ著しく高かった。

田面水の減少をN型減水深測定框で測定した結果は、第6表のとおりである。

第6表 暗渠の種類による減水深の変化(mm/日)

暗渠の種類	田植直後		中干し前		中干し後		
	減水深	連作田対比	減水深	連作田対比	減水深	連作田対比	
輪換田	土管暗渠	8.6	1.04	10.1	1.04	15.5	1.12
	もみがら壁暗渠	11.9	1.43	14.0	1.44	19.8	1.42
	組み合わせ暗渠4m	12.6	1.52	15.8	1.63	21.7	1.56
	同 2m	14.8	1.78	18.9	1.95	25.8	1.86
連作田	もみがら	8.3		9.7		13.9	
	コルゲート管暗渠						

注) 各暗渠中間部2ヶ所の1週間平均値

土管暗渠区輪換田の田植直後の日減水深は10mm以下で、中干し前後ともに籾がら暗渠を施工した連作田よりやや大きい程度(1.04~1.12倍)の10~15mmであった。籾がら壁暗渠を施工したところの日減水深は、田植え直後から連作田より大きく、約1.4倍の12~20mmであった。組み合わせ暗渠4m区輪換田は、連作田の1.5~1.6倍にあたる13~22mmの日減水を持ち、組み合わせ暗渠2m区は連作田の約1.8~2.0倍の15~26mmであった。

収量調査の結果は、第7表のとおりである。

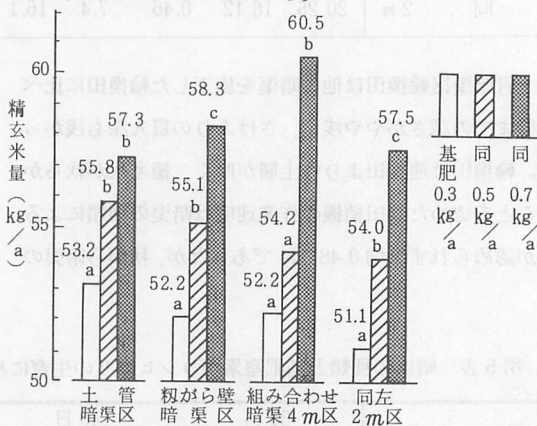
出穂期は、組み合わせ暗渠4m区と同2m区ではほぼ齊一であったが、土管暗渠区では基肥窒素施用量が多いところほど遅れた。

稈長は、組み合わせ暗渠4m区と同2m区でやや短く、また、同じ処理でも基肥窒素施用量が多いほど長くなった。穂長は、暗渠の種類によって差を生じなかったが、基肥窒素施用量が多いところほどやや長くなった。穂数は、組み合わせ暗渠2m区が最も多く、また基肥窒素施用量が多いところほど増加した。有効茎歩合も穂数の傾向に似ており、籾がら壁暗渠区で最も低く組み合わせ暗渠2m区で最も高くなり、同じ暗渠区内では基肥窒素施用量が多いところほど低下した。

わら重は、組み合わせ暗渠2m区でやや軽く、同じ暗渠でも基肥窒素施用量が少ないほど軽く、追肥0.4kg/a1回区で軽くなった。玄米生産効率をあらわす籾/わら比は、補助暗渠を組み合わせたところで高かった。1穂籾数は、組み合わせ暗渠2m区でやや少なくなった。

籾重、精玄米重、千粒重、登熟歩合には、処理要因間の交互作用が認められた。

暗渠の種類と基肥窒素施用量が精玄米重におよぼす影響は、第5図のとおりである。



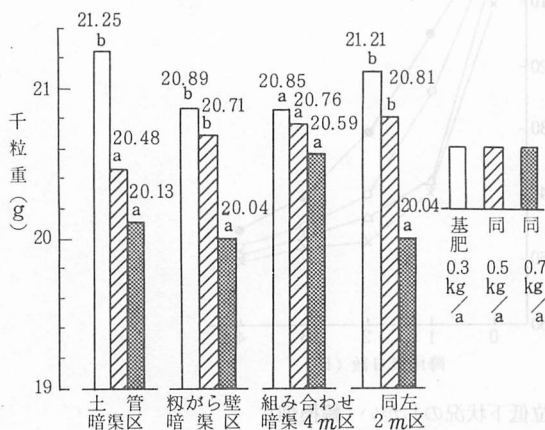
第5図 暗渠の種類と基肥窒素量が精玄米重におよぼす影響

どの暗渠でも基肥窒素施用量をふやすとともに増収したが、増収のしかたは暗渠の種類によって異なった。すなわち、基肥窒素施用量が0.3kg/aと0.5kg/a区では排水性がよい暗渠ほど減収する傾向を示したのに対し、0.7kg/aを施用すると、土管暗渠区より籾がら壁暗渠区で、さらに組み合わせ暗渠4m区で収量が高くなり、最も排水性がよい組み合わせ暗渠2m区ではやや収量が低くなった。

第7表 暗渠の種類・施肥法とコシヒカリの収量(要因効果)

要因	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	有効茎 歩合%	全重 kg/a	もみ重 kg/a	わら重 kg/a	精玄米 kg/a	千粒重 g	1穂 粒数	登熟 歩合
土管暗渠	90.6	18.3	450ab	63.0ab	155.6	69.1	86.5b	55.4	20.6	68.2	85.2
もみがら壁暗渠	89.1	18.0	417a	58.1a	155.3	69.3	86.0b	55.2	20.5	68.9	84.1
組み合わせ暗渠 4m	88.8	18.2	454ab	70.4b	154.0	70.1	83.9ab	55.6	20.7	70.3	86.7
同 2m	88.6	18.4	487b	78.3c	151.6	69.2	82.4a	54.2	20.7	67.7	84.5
A有意水準(α=)	0.25	N.S	0.05	0.05	0.25	N.S	0.05	N.S	N.S	0.10	N.S
基肥N量 0.3kg/a	85.9a	18.0	415a	71.0	136.5a	64.7a	71.8a	52.2a	21.1a	67.6	87.1a
0.5	88.3b	18.2	445b	67.2	154.6b	69.5b	85.1b	54.8b	20.7b	69.7	85.4b
0.7	93.5c	18.5	494c	64.3	171.3c	74.0c	97.3c	58.4c	20.2c	69.8	82.6c
B有意水準(α=)	0.01	0.25	0.01	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	N.S	0.01
A×B 交互作用(α=)	N.S	N.S	N.S	N.S	0.25	0.10	0.25	0.05	0.05	N.S	0.01
追肥N量 0.4kg/a	89.0	18.3	446	68.4	153.2	74.5	96.3	55.1	20.7	69.1	85.2
0.2+0.2	89.5	18.1	457	66.5	155.0	73.4	98.3	55.1	20.6	68.9	85.1
C有意水準(α=)	N.S	N.S	N.S	N.S	0.25	N.S	0.10	N.S	N.S	N.S	N.S
A×C 交互作用(α=)	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	0.25	0.25	N.S	N.S	N.S	N.S
B×C 交互作用(α=)	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	0.10
A×B×C 交互作用(α=)	0.25	N.S	N.S	N.S	N.S	0.01	N.S	0.01	N.S	N.S	0.05

追肥方法を含めてみると、排水性が最も劣る土管暗渠区では、いずれの基肥窒素施用量区ともに追肥を2回分施する効果は認められなかったが、わらがら壁暗渠区になると基肥窒素を0.5kg/a施用したところで、また、組み合わせ暗渠4m区では0.7kg/a施用したところで追肥を2回に分施したほうが高収になった。しかし、最も排水性がよい組み合わせ暗渠2m区では、基肥窒素を0.7kg/a施用しても追肥を2回分施した区のほうがやや高収であったが有意な差ではなくなった。

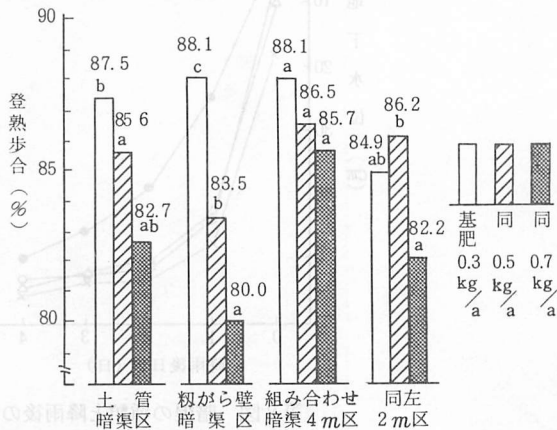


第6図 暗渠の種類と基肥窒素量が千粒重におよぼす影響

暗渠の種類と基肥窒素施用量が、千粒重と登熟歩合におよぼす影響は、第6, 7図のとおりである。

千粒重は、土管暗渠区において基肥窒素を0.5kg/aと0.7kg/a施用したところで低下したが、わらがら壁暗渠区では0.5kg/aでも0.3kg/aと同水準に千粒重が増加し、さらに組み合わせ暗渠4m区では0.7kg/aでも0.3kg/aと同水準まで重くなった。

登熟歩合は、土管暗渠区とわらがら壁暗渠区では、ともに基肥窒素施用量が増すにつれ低下した。組み合わせ暗



第7図 暗渠の種類と基肥窒素量が登熟歩合におよぼす影響

渠4m区ではこの差が縮まり、基肥窒素施用量による登熟歩合の低下はごくわずかなものになった。

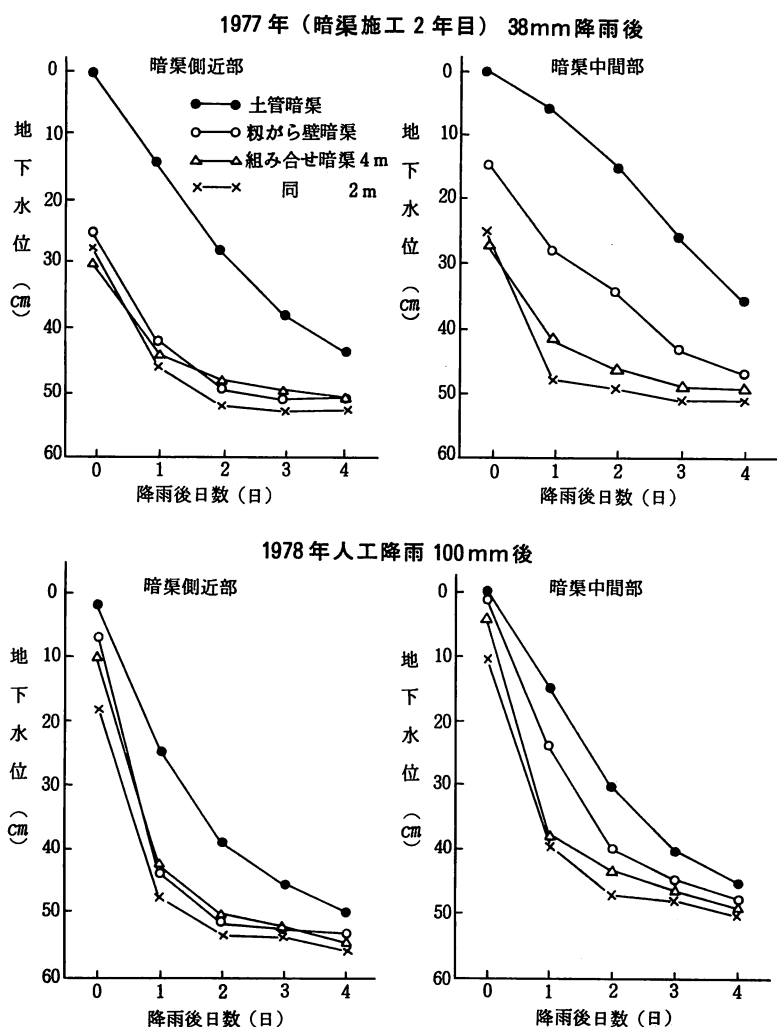
基肥窒素を0.7kg/a施用し、コシヒカリを栽培したときの収量の期待値は、①土管暗渠では55.0～59.5kg/a ②柵がら壁暗渠で56.1～60.6kg/a ③組み合わせ暗渠4m区で58.2～62.7kg/a ④組み合わせ暗渠2m区で55.3～59.8kg/aであった。最も収量が高かった③の

暗渠+基肥窒素0.7kg/a施用+追肥2回分施区の期待値は59.3～64.0kg/aであった。

3. 暗渠の種類と地下水位低下の様相など

1) 暗渠の種類と輪換畑期間中の地下水位低下の様相および作土層の気相率

輪換畑期間中の降雨後の地下水位低下状況は、第8図のとおりである。



第8図 暗渠の種類と降雨後の地下水位低下状況のちがい(輪換畑)

第8図上は、1977年の38mm降雨後の地下水位低下状況である。地下水位は、降雨後、土管暗渠区において地表面近くまで上昇し、籾がら壁暗渠中間部では地表下15cmまで上昇したが、側近部では25cmにとどまった。一方、これに補助暗渠を組みわせると、暗渠中間部でも地下水位は地表下25cm以下にとどまった。降雨1～2日後になると、籾がら壁暗渠およびこれに補助暗渠を組み合わせた3つの区の地下水位は、暗渠側近部で40～50cmに低下し、暗渠中間部でも補助暗渠を組み合わせた2つの区では側近部と同じところまで低下した。

降雨直後から24時間後の地下水位低下速度は、土管暗渠区の側近部と中間部の平均で10.0cm、籾がら壁暗渠区で15.5cm、補助暗渠4m区で15.0cm、同2m区で20.8cmであった。

翌1978年は空梅雨であったため、スプリンクラーで100mm/日(散水強度10mm/時)の人工降雨を与えたのち、地下水位の低下状況をみた(第8図下)。

各暗渠区とも、施工後年数を経過しているためと圃場が乾燥している状態での人工降雨であったため、前年より排水性がよく、ことに暗渠中間部の地下水位低下は側近部のそれに近くなった。

これら2つの事例における暗渠側近部と中間部の水位差は第8表のとおりである。

第8表 暗渠の種類による暗渠中間部と側近部の地下水位差

暗渠の種類	降雨後日数				
	当日	1日後	2日後	3日後	4日後
1977年38mm降雨後					
土管暗渠	cm	cm	cm	cm	cm
	0	9	13	12	8
籾がら壁暗渠	15	16	3	2	0
組み合わせ暗渠4m	3	2	0	0	0
同 2m	3	0	2	0	0
1978年100mm人工降雨後					
土管暗渠	2	10	9	8	7
籾がら壁暗渠	6	19	11	7	5
組み合わせ暗渠4m	6	4	7	6	5
同 2m	8	8	6	6	5

1977年の結果では、土管暗渠区においては、降雨後もまもなく飽水状態になり、まず暗渠側近部から地下水位が低下し、降雨2日後には中間部との水位差は13cmと大きく、降雨4日後でも8cmの差を示していた。籾がら壁暗渠区では、降雨直後の暗渠中間部の地下水位上昇が目立ち、降雨1日後までの水位差は15～16cmと大きかったが、4日後には差が少なくなり、圃場全体の地下水位がほぼ水平になった。組み合わせ暗渠4mおよび2m区では、暗渠側近部と中間部の水位差は最大3cmと極めて小さくなり、圃場全体の地下水位がほぼ水平に下降していることが判明した。

1978年の結果もほぼ同じ傾向で、籾がら壁暗渠区は降雨直後の暗渠側近部と中間部の水位差は大きいながらも小さくなったのに対し、補助暗渠を組み合わせた2つの区では、降雨直後から地下水位差が小さかった。

100mmの人工降雨後の作土層の気相率の変化は、第9表のとおりである。

第9表 人工降雨100mm後の作土の気相率の変化

暗渠の種類	人工降雨後日数	深さ5～10cm層		深さ15～20cm層	
		暗渠側近部	同 中間部	暗渠側近部	同 中間部
	1	9.3(%)	3.8(%)	5.0(%)	3.0(%)
土管暗渠	3	20.5	20.1	9.8	7.4
	5	23.1	24.6	16.6	10.5
籾がら壁暗渠	1	17.4	11.2	13.2	3.7
	3	25.8	20.8	13.9	9.7
	5	25.2	23.3	15.8	13.3
組み合わせ暗渠4m	1	19.5	11.9	13.5	7.3
	3	27.4	24.7	16.8	11.6
	5	27.6	23.9	16.8	14.3
同 2m	1	19.5	11.9	15.3	12.4
	3	27.1	25.1	16.5	13.5
	5	27.2	23.5	16.9	15.5

土管暗渠区では、降雨1日後の作土の気相率は他の暗渠区より低く、深さ5～10cm層で3.8～9.3%、15～20cm層で3.0～5.0%であった。籾がら壁暗渠区では、作土5～10cm層の気相率は、暗渠側近部・中間部ともに組み合わせ暗渠4mおよび2m区のそれと同程度であった。

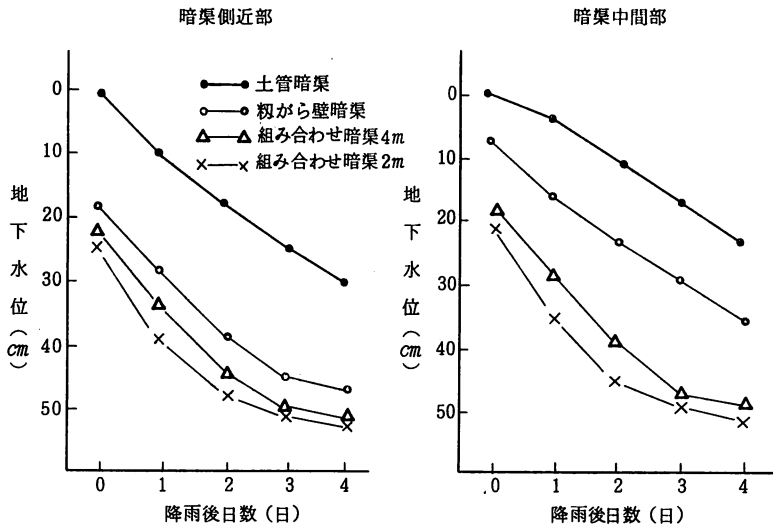
が、作土15~20cm層になると、暗渠中間部では土管暗渠区と同程度に低かった。野菜類の収量が安定して高かった組み合わせ暗渠4m区は、降雨1日後の作土15~20cm層の気相率が暗渠中間部でやや低いことを除いて、組み合わせ暗渠2m区とほぼ同様であった。組み合わせ暗渠4m区での降雨1日後の気相率は、5~10cm層で11.9~

19.5%、15~20cm層で7.3~13.5%であった。

2) 輪換田1年後の暗渠の種類による地下水位低下の様相

輪換田1年後(1981年春)の35mm降雨時の地下水位低下状況は、第9図のとおりである。

1981年(暗渠施工6年目)35mm降雨後



第9図 暗渠の種類と降雨後の地下水位低下状況(輪換田1年後)

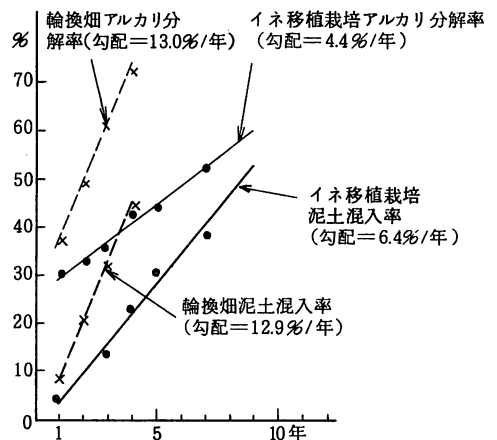
輪換畑期間のうち1977年の地下水位低下状況(第8図上)と比べると、同程度の降雨量であるにもかかわらず、各暗渠とも地下水位低下速度が遅くなり、とくに芻がら壁暗渠の中間部で鈍化していることが目立った。組み合わせ暗渠4m区と同2m区でも、降雨後24時間の地下水位低下速度は、暗渠側近部で輪換畑期間中の15~19cmに比べ遅くなったが、暗渠中間部と側近部の地下水位差は少なく、4m区で5cm、2m区で2cmであった。

このように、補助暗渠を組み合わせると、暗渠側近部と中間部の地下水位がほぼ均一に低下するという特性は輪換田1年経過後でも変らなかったが、排水能力はやや低下した。

4. 疎水材としての芻がらの耐久性

本試験を行なった圃場の芻がら壁暗渠の芻がらと、芻がら壁暗渠施工水田の芻がらを採取し、泥土混入率とア

ルカリ分解率[※]を求めた。芻がらは地表下40~50cm層から採取した。結果は第10図のとおりである。



第10図 芻がら暗渠施工後年数と芻がらへの泥土混入率、芻がらのアルカリ分解率

粃がらへの泥土混入率、粃がらのアルカリ分解率は、ともに暗渠施工後の年数を経るとともに直線的に高くなった。施工後1年では輪換畑での泥土混入率、アルカリ分解率は、ともに移植栽培を行なう水田よりやや高い程度であったが、施工後年数を経るにしたがって水田との差は大きくなった。輪換畑での泥土混入率は12.9%/年で

水田(6.4%/年)の約2倍、輪換畑でのアルカリ分解率は13.0%/年で水田(4.4%/年)の約3倍であった。

5. 田畑輪換による土壤の理化学性的変化

1) 輪換田3年後の気相率と透水係数

輪換畑3年後の、暗渠の種類と土壤の気相率および耕盤の透水係数は、第10表のとおりである。

第10表 暗渠の種類と土壤の物理性(輪換畑3年後)

暗渠の種類	採土層位	気相率(%)	孔隙率(%)	耕盤の飽和透水係数巾	平均(cm/秒)
土管暗渠区	5-10	22.2	58.9	3.5-1.0×10 ⁻⁵	2.8×10 ⁻⁵
	20-25	9.5	55.2		
粃がら壁暗渠区	5-10	24.0	58.3	12.6-5.5×10 ⁻⁵	9.1×10 ⁻⁵
	20-25	10.5	58.9		
組み合わせ暗渠4m区	5-10	27.5	59.6	3.1-1.6×10 ⁻⁴	2.3×10 ⁻⁴
	20-25	10.7	55.8		
同2m区	5-10	28.0	60.4	3.0-1.4×10 ⁻³	2.2×10 ⁻³
	20-25	10.3	54.8		

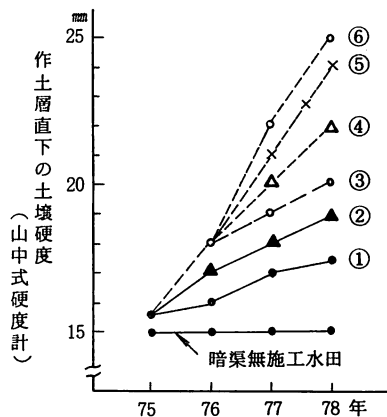
孔隙率は、どの暗渠区でもほぼ同じであったが、気相率は作土5~10cm層、20~25cm層ともに排水性がよい暗渠区ほど増加し、補助暗渠4m区と同2m区では土管暗渠区より2割以上増加した。耕盤の飽和透水係数は、試験開始当初(1976年3月)の2.5×10⁻⁵~7.6×10⁻⁶cm/秒に比べ、土管暗渠区ではやや大きくなった程度であるが、粃がら壁暗渠区では標本を採取した場所による変動巾がやや大きいものの平均して大きくなっており、さらに組み合わせ暗渠4m区では一層大きくなり、組み合わせ暗渠2m区では普通畑と同じ水準になった。

2) 輪換畑期間における易耕性の向上

① 耕盤の硬度変化

暗渠の種類と耕盤の土壤硬度は、第11図のとおりである。

暗渠無施工水田では山中式硬度15mmで経年変化はほと



第11図 暗渠の種類と作土層直下の土壤硬度の変化

- ① 土管暗渠連作田
- ② 粃がら暗渠連作田
- ③ 土管暗渠輪換田
- ④ 粃がら暗渠輪換田
- ⑤ 組み合わせ暗渠4m輪換畑
- ⑥ 同 2m輪換畑

※ 脚注

泥土混入率は次の式から求めた。

泥土混入率 = (採取した粃がらの乾燥重量 - 0.71mm篩に残留した粃がらの乾燥重量) ÷ (採取した粃がらの乾燥重量) × 100 (%)

また、アルカリ分解率は、採取した粃がらを0.71mm篩中で水洗乾燥後秤量(A)し、それをNaOH10%溶液中に24時間浸せし、ふたたび0.71mm篩中で水洗、残留した粃がらのAに対する乾燥重量比(%)で求めた。

んどみられなかったが、土管暗渠を施工すると徐々に硬くなり、施工6年後には17mmになった。粘土が壁暗渠に変えると水田でも施工初年目から硬くなり、3年後には19mmになった。

これらの暗渠施工田を畑地化すると、土管暗渠区では1年後に18mmに、3年後には更に硬く20mmになった。粘土が壁暗渠区ではこの傾向が一層顕著で、2年後には20

mmに、3年後には22mmになった。組み合わせ暗渠4m区および同2m区では2年後に21mmの硬度になり、3年後にはさらに硬くなった。

② 畑地化による土壌の液性限界、塑性限界の変化
地下水位が25cmと50cmのときの2回、作土のコンシステンシーを調査した。その結果は第11表のとおりである。

第11表 竜ヶ崎試験地圃場 (中粗粒質グライ土) のコンシステンシー指数

畑、田の別	地下水位 (cm)	採土層位 (cm)	液性限界 LL (%)	塑性限界 PL (%)	塑性指数	自然含水比 (%)	コンシステンシー指数 IC	IC=1.0の時の含水比 (%)
輪換畑	25	5~10	42.0	28.7	13.3	27.6	1.08	28.7
		15~20	46.7	30.3	16.4	31.2	0.95	30.3
	50	5~10	46.3	31.2	15.1	32.8	0.89	31.2
		15~20	49.9	31.2	18.7	34.6	0.82	31.2
連作田	50	5~10	75.0	40.5	34.5	53.1	0.63	40.5
		15~20	74.0	37.2	36.8	45.8	0.76	37.2

液性限界 (LL)・塑性限界 (PL) とともに、隣接した連作田より輪換畑のほうが小さい値を示した。また輪換畑では、地下水位による両特性値の差は少ないが、土層の浅いところ (5~10cm層) は深いところ (15~20cm層) よりLLの値だけが小さくなっていった。すなわち、水田より輪換畑の方が、深い土層より浅い土層の方が土壌の親水性がうすれ、乾きやすい性質を示すようになったといえよう。

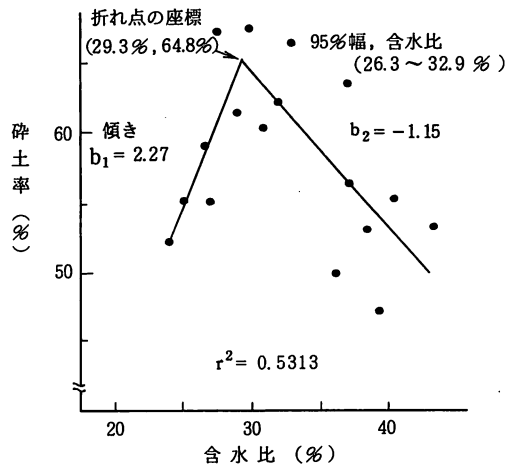
作土の自然含水比 (WL) が塑性限界に等しい場合、大型機械作業に伴う車輪のスリップは少なくなり走行が安定してくるが、このときのコンシステンシー指数 $IC = (LL - WL) / (LL - PL)$ は1.0であるので、 $IC = 1$ に該当する自然含水比を求めると、水田では約40%、輪換畑では約30%になった。

また、同じ圃場で地下水位と作土 (5~10cm層) の自然含水比を調査したところ、作土の自然含水比は地下水位の低下に伴いほぼ直線的に減少することが判明した。このときの関係は y (自然含水比) = $43.2 - 0.239x$ (地下水位cm) で、 $r = 0.895$ であった。そして、作土のICが1.0になる自然含水比は、地下水位が地表下約50cmの

ときに得られることも判明した。

③ 碎土率

輪換畑では、とくに初年目の場合、土壌は水分を多く含む粘土質の単粒構造土壌であるため、種子の発芽に適した碎土率を確保することはむずかしい。初年目の碎土率は土壌の含水比と関係が深いので、自然含水比と碎土率の関係をみた。結果は第12図のとおりである。



第12図 作土の自然含水比と碎土率

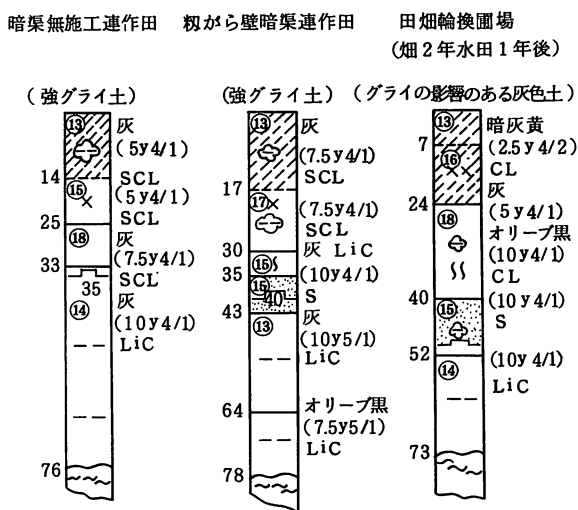
野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究

ロータリ2回耕の結果であるが、碎土率（2cm以下の土塊の占める割合）は自然含水比29.3%のときに最高になり、含水比がこれより低くても高くても急激に低くなり、このときのコンシステンシー指数は1.017であった。碎土率が最高になる自然含水比の95%信頼限界は、26.3～32.9%で、コンシステンシー指数は1.13～0.88であった。

また、輪換畑での碎土率は作付回数や作付時期とも関係があった。ロータリ1回耕の場合、第1作目が冬作でも夏作でも碎土率は低く、約36%であったが、第1作が秋播麦類のときは第2作目から、第1作が夏作のときは冬作を経過した第3作目の夏作以後、碎土率は高くなり約65～68%ではば一定になった。

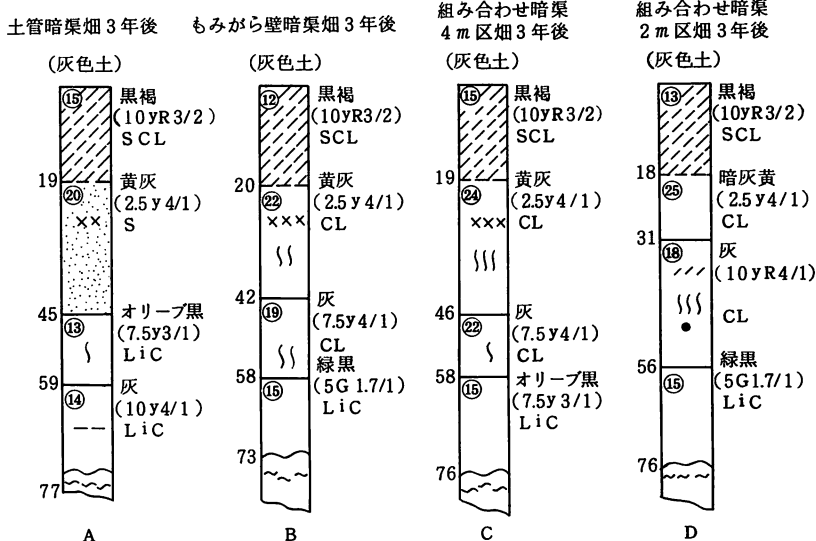
3) 田畑輪換による土壌断面の変化

暗渠排水を行ったり、地下水位をさげて畑地化したときの水田の土壌断面の変化は、第13、14図のとおりである。



第13図 暗渠施工および田畑輪換による土壌断面の変化

注) 柱状図の凡例は第1図参照のこと



第14図 暗渠の種類による輪換畑期間中の土壌断面の差異

暗渠無施工連作田では、作土層にも強いグライ斑があり、耕盤の形成が弱くグライ層は33cmから出現したが（第13図左）、畝がら壁暗渠を施工した連作田では、作土層はやや深くなりグライ斑は弱まり耕盤はやや硬くなった。また耕盤の下には管状の酸化沈積物がみられ、グ

ライ層は低下した（第13図中）。一方、田畑輪換を行なうと、作土層はさらに深くなりグライ斑は作土直下層に低下移行した。グライ層は地表下50cmより下に低下するため、グライ土に分類されていた土壌は灰色土に分類されるようになった（第13図右）。

輪換畑3年後の暗渠の種類による土壌断面の差異は、第14図のとおりである。

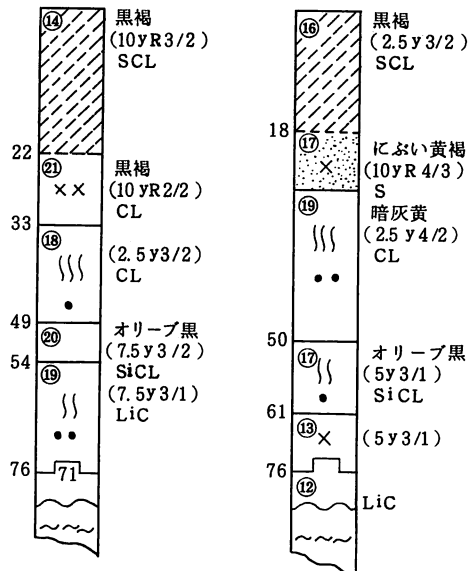
土性に乱れがあるが、酸化沈積物の出現位置や程度に相異があった。土管暗渠区では酸化沈積物が観察されたのは地表下20cm位からで浅く、グライ層は59cmに出現した(第14図A)。初がら壁暗渠区になると酸化物の沈積程度が増加し、管状酸化物や膜状酸化物の沈積も増加し、グライ層は80cm以内には出現しなかった(第14図B)。組み合わせ暗渠4m区では管状膜状酸化沈積物が急増し(第14図C)、最も排水のよい組み合わせ暗渠2m区では酸化沈積物の出現位置が低下し、わずかだが結核状沈積物も観察された(第14図D)。

組み合わせ暗渠4m区を水田に戻したあとの土壌断面は、第15図のとおりである。

水田期間を経過するに伴い、土色は暗灰色系に傾くが、輪換畑期間中に明瞭化した層位は失なわれず、輪換畑期間中にはほとんど見られなかった結核状の沈積物が増加した。第2層以下の層が細かく分化し、ことに地表下約50cm以内の下層土は、つやのある表面色を呈し、縦方向の細かい亀裂にそって剝離するようになった。

組み合わせ暗渠4m
輪換田1年後

同左2年後



第15図 輪換田期間中の土壌袋面の変化

(注) 柱状図の凡例は第1図参照のこと

暗渠の種類や田畑輪換による土壌の化学性の変化は、第12、13表のとおりである。

第12-1表 暗渠の種類による輪換畑期間中の土壌の化学性の変化
輪換畑初年目終了後 (1977年2月)

暗渠の種類	採土層位	pH		EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	置換性塩基 ($\text{mg}/100\text{g}$)			有効態 りん酸 ($\text{mg}/100\text{g}$)	乾土 効果 ($\text{mg}/100\text{g}$)	温度上 昇効果 ($\text{mg}/100\text{g}$)	窒素 ($\text{mg}/100\text{g}$)	
		H ₂ O	KCl		CaO	MgO	K ₂ O				NH ₃ -N	NO ₃ -N
土管暗渠	5~10	7.31	6.59	71.9	340	79	-	22	1.91	0.47	0.97	0.04
	20~25	7.50	6.67	-	142	28	-	12	1.82	Tr		
もみがら壁 暗渠	5~10	7.30	6.57	71.7	320	67	-	20	4.59	1.88	0.67	0.06
	20~25	7.53	6.65	-	127	26	-	11	3.83	1.16		
組み合わせ 暗渠4m	5~10	7.45	6.71	65.3	296	62	-	19	3.41	1.19	0.56	0.08
	20~25	7.78	6.80	-	128	23	-	9	2.71	0.65		
同 2 m	5~10	7.20	6.35	63.1	269	57	-	17	2.26	0.80	0.50	0.05
	20~25	7.78	6.78	-	132	19	-	8	2.00	0.76		

野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究

第12-2表 暗渠の種類による輪換畑期間の土壌の化学性の変化
輪換畑3年目終了後（1979年2月）

暗渠の種類	採土層位	pH		全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N	CEC (me)	置換性塩基 (mg/100g)			りん酸吸収係数	有効態りん酸 (mg/100g)	NO ₃ ⁻ -N (mg/100g)
		H ₂ O	KCl					CaO	MgO	K ₂ O			
土管暗渠	5~10	7.20	6.23	1.53	0.21	7.3	11.5	350	63	28	790	6.1	1.41
	25~30	6.63	5.57	1.30	0.19	6.8	10.6	268	57	16	760	2.2	0.73
もみがら壁暗渠	5~10	7.21	6.23	1.42	0.19	7.5	11.5	327	69	25	770	5.2	2.21
	25~30	7.12	5.98	1.13	0.15	7.5	9.7	299	63	12	770	1.0	0.75
組み合わせ暗渠 4m	5~10	7.12	6.16	1.39	0.19	7.3	10.6	321	66	29	707	5.9	2.12
	25~30	7.00	5.89	1.13	0.15	7.5	9.7	248	53	10	728	1.6	0.76
同 2m	5~10	7.18	6.20	1.32	0.18	7.3	10.2	296	57	24	634	5.6	1.78
	25~30	7.02	5.99	1.13	0.15	7.5	8.5	265	55	11	520	2.0	0.94

第13表 輪換田1年目の土壌の化学性（1979年11月）

暗渠の種類	採土層位	pH		全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N	置換性塩基 (mg/100g)			りん酸吸収係数	有効態りん酸 (mg/100g)
		H ₂ O	KCl				CaO	MgO	K ₂ O		
土管暗渠	5~10	6.48	-	1.58	0.20	7.9	202	52	29	479	10.9
	25~30	6.95	-	1.23	0.20	6.2	209	59	18	537	5.2
もみがら壁暗渠	5~10	6.69	-	1.70	0.21	8.1	202	50	23	518	12.3
	25~30	7.10	-	1.21	0.18	6.7	202	49	20	459	8.7
組み合わせ暗渠 4m	5~10	6.79	-	1.49	0.19	7.8	223	52	27	465	10.0
	25~30	7.03	-	1.20	0.14	8.6	200	56	23	460	12.0
同 2m	5~10	6.69	-	1.43	0.19	7.5	239	57	27	618	8.7
	25~30	7.20	-	1.21	0.17	7.1	239	64	22	638	9.7

注) 有効態りん酸は77年2月はトルオーグ法, 79年2月と11月はBray II法による

pHは、輪換畑初年目2作後、3年目6作後ともに、暗渠の種類による変化は小さかったが、輪換田1作後になるとやや低下した。石灰と苦土は、ともに輪換畑初年目2作後でも排水がよい暗渠を施工した区ほど減少する傾向を示し、輪換畑3年目6作後になると、作土直下層での含有量が初年目2作後の約2倍に増加した。輪換田1作後になると、作土5~10cm層の石灰は輪換畑3年目6作後の含有量より減少し、25~30cm層の含有量と同程度になった。苦土も作土5~10cm層ではやや減少した。カリは、輪換畑3年目6作後では、暗渠の種類による差は判然とはしなかったが、輪換田1作後になると、排水のよい暗渠区ほど作土直下層での含有量が増加した。

輪換畑3年目6作後の全炭素・全窒素は、ともに排水のよい暗渠区ほど漸減する傾向を示した。磷酸吸収係数

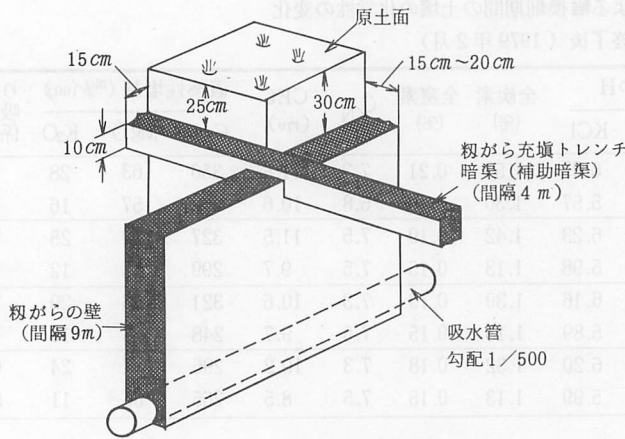
は、輪換畑3年目6作後では排水性がよい暗渠区ほど小さくなったが、輪換田1作後には逆に、排水の悪い暗渠区ほど変化が大きかった。

IV 考 察

1. 作物の生育・収量からみた田畑輪換圃場として望ましい暗渠

輪換畑の3年間に、集中豪雨(1976年9月)、多雨年(1977年)、異常干魃(1978年)に遭遇したが、供試した野菜類の収量が安定して高かったのは、第16図に示すような構造を持つ組み合わせ暗渠4m区であった。

この暗渠区は降雨後の地下水位上昇が少なく(40mm程度の降雨量では25cm以内に上昇しない)、降雨後の地下水位低下も速やかで(降雨1日後には40cm近くまで低下)



第16図 低湿地帯における田畑輪換圃場として望ましい暗渠の構造

大型機械による作業が容易になり、暗渠側近部と中間部の地下水位差も小さく、作土の気相率は高かった。

水閘を閉じて水田に戻した場合、輪換田土壌は連作田土壌よりはるかに酸化的に経過し、日減水深は連作田の1.4～1.8倍と大きくなるが、水稻栽培に適する日減水深の範囲におさまった。コシヒカリを栽培した場合、基肥窒素施用量を湿田慣行の4割増(乾田なみの施用量)にすると、穂数が増し倒伏もせず、千粒重や登熟歩合の低下がおさえられ、追肥を出穂前約20日(幼穂形成期)と約10日(穎花分化期)に分施することにより、出穂前

約15日に1回施用するよりも1穂粒数が増し、高い収量が得られた。

つまり、輪換畑として望ましい暗渠は輪換田としても望ましい暗渠であり、田畑輪換圃場にふさわしい暗渠は、稲がら壁暗渠に稲がら充填トレンチ暗渠を4m間隔で直交させた組み合わせ暗渠であるといえる。

2. 輪換畑の排水目標値(農土試案)との対比

農業土木試験場で示した畑転換圃場の排水目標値案⁷⁾と、本試験で用いた4種類の暗渠の排水性の実測値との比較を、第14表に示した。

第14表 農業土木試験場の示す“畑転換圃場の排水性目標値案”と本試験供試暗渠の排水性の実測値との比較

項目	案 農土試目標値	土管暗渠	稲がら壁暗渠	補助暗渠 4 m 区	補助暗渠 2 m 区
湛水消失速度	50～100 mm/日	いずれも 360 mm/日 ¹⁾			
地下水位	40～50 cm以下	いずれも 約 50 cm			
pH 1.5以下の粗孔隙量	5%以上	3.8 ²⁾ 3.0	11.2 3.7	11.9 7.3	11.9 12.4
透水係数	10 ⁻⁴ cm/秒	2.8 × 10 ⁻⁵	9.1 × 10 ⁻⁵	2.3 × 10 ⁻⁴	2.2 × 10 ⁻³
地下水位低下速度	20～30 cm/日	8	12	15	20
圃場全体の地下水の水位差	-	13 cm	19	7	8
約40mm降雨直後の地下水位(暗渠中間部)	-	0 cm	14	27	25

注) (1) 3.75kw排水ポンプによる90a圃場の圃場湛水排出能力の実測値

(2) 前項は作土5～10cm層, 後項は作土15～20cm層

農土試では地下水位の目標値を40～50cm以下と幅を持たせているが、低湿地では地下水位が40cmになると、夏播ニンジン・ホウレンソウ・ハナヤサイ・サツマイモ・

六条オオムギ・二条オオムギ・グレインソルガムなどのように、収量が低下したり品質が悪くなったりする畑作物も少なくない¹⁷⁾。

湛水（降雨）消失速度は、低湿地帯では強制排水ポンプの能力で決定するが、湛水に弱いアブラナ科の野菜やプリンスメロンのような匍匐性の野菜を安定して栽培するには、農土試の目標値はやや小さいようである。

粗孔隙の目標値は、 $pF 1.5$ 以下の粗孔隙が5%以上⁵⁷⁾とされている。第9表に示した降雨1日後の作土層の気相率は、ほぼ圃場容水量のそれを示していると思われるが、作土15~20cm層において農土試の目標値を達成したのは、組み合わせ暗渠の2つの区であった。

耕盤層において飽和透水係数の目標値を達成したのもまた、組み合わせ暗渠の2つの区であった。地下水位低下速度は水頭勾配と透水性によって決定されるため、降雨後日数によって変化する双曲線状になる。農土試の目標値は降雨後1日間の低下目標として十分に大きい値である。

農土試の目標値では、圃場全体の地下水面の水位差についてはふれていない。しかし、生産現場では同じ圃場内でも地下水位が高いところの生育が悪く、できむらを生じることがままある。したがって、排水路から離れるほど地下水位が高くなり、暗渠側近部と中間部では中間部のほうが地下水位が高いという現象を、できるだけ少なくすることが望ましい。野菜類を栽培できる圃場の基盤条件として、40mmの降雨後では地下水位差3cm以内、100mmの降雨後でも10cm以内におさえることが望ましいと思われる。

3. 土壌の物理性の変化

輪換畑のコンシステンシーは、暗渠の種類にかかわらず液性限界(LL)、塑性限界(PL)ともに連作田より小さくなり、塑性指数(LL-PL)も小さくなるなど土壌の親水性が薄れ、既往の研究結果^{18 29 46)}と一致した。こうした輪換畑のコンシステンシーの低下は、単純な水分減少作用によるものだけでなく、それに伴う酸化鉄の生成などの化学的変化^{41 42)}も補助因子として働いていると考えられる。また、 LL/PL 比は、コンシステンシーに含まれる諸性質と高い正の相関を示すことからみて^{26 41 42)}、本試験の連作田の LL/PL 比は1.85~1.99に比べ輪換畑のそれが1.48~1.60と小さくなっていることは、土壌の付着力・

固結力・剪断抵抗・圧碎強度なども小さくなっていることを示し、したがって、土壌の耕耘に必要なエネルギーも少なくなることを意味しているのであろう。

久津那らは、砂土乾田を用いてコンシステンシーと碎土率の関係を調査し、ロータリ1回耕、2回耕ともに4cm以下の碎土率は、液性限界以上の水分では急激に低下するがそれ以下ではほぼ一定になり、2回耕での2cm以下の碎土率は、より低い水分状態で最高になることを示した⁸⁾。

中粗粒グライ土を用いた本試験では、1回耕の場合、ロータリの回転数を増してもナタ爪は主に作土を切りとる作用をし土をたたく作用は小さいように見うけられたが、2回耕にすると1回耕で荒い土塊状になった土をたたく作用が強くなり、碎土率は上昇した。作土の含水比と碎土率の関係を折れ線モデル¹⁷⁾で解折したところ、久津那らの結果とは異なり、作土の自然含水比が塑性限界に達したときに碎土率が最も高くなり、これより水分が少ない半固態になると急激に低下し、水分が多いとゆるやかに低下することが判明した。

粘土含量が多いとPL、LLは上昇し、易耕性を示す水分域は狭くなることが知られ^{15 26 27 40)}、また理論的には塑性限界附近で外力に対して最も砕けやすくなると考えられる。したがって、低湿地帯の輪換畑では、榎谷らの結果²¹⁾と一致した本試験の結果が一般的であり、砂土のような可塑性や凝集力の小さい土壌では、より多水分域(PLからLLの間)で高い碎土率を示した可能性がある。

土壌の乾湿のくり返しによる収縮・膨潤や、禾本科牧草を栽培することによっても碎土率は向上するが¹⁵⁾、本試験でも冬作麦類の作付けと土壌の凍結・乾燥のくり返しは、碎土率の向上に大きな効果を発揮することが確認できた。

しかし、本試験では、乾田直播の研究¹¹⁾から得られた出芽苗立ちを安定させる必要条件、直径2cm以下の小土塊が作土全体の70%以上を占め、地表面には3cm以上の土塊が混じらないこと、を満たすことは困難であった。

供試圃場の作土のコンシステンシー指数(IC)が1.0になる自然含水比は、地下水位が地表下約50cmのときに

得られることから、地下水位を測定すれば、ロータリ2回耕の場合の碎土性の良否を推定することも可能であろう。

大型機械の作業走行を可能にする地耐力は、走行部の形状や作業内容によって異なるが、ホイール型トラクタによるプラウ耕を基準にすると、山中式硬度計で20mm以上の硬度(約 2.0 kg/cm^2)が必要だとされている。田畑輪換を行なうと、耕盤の形成がすすみ、土管暗渠区では施工2年目以後、耩がら壁暗渠区では施工初年目にして硬度20mm以上に達し、耕起作業が容易になり、作土層は水田時代の14cmに比べ18cm~24cmと厚くなった。

耕盤の硬度が23mm以上(洪積土壌では20mm以上)になると作物根の侵入が困難になり⁵³⁾、畑では減収につながるため深耕や心土破碎によって耕盤をこわす作業が行なわれるが、低湿地帯の輪換畑では、土壌硬度が25mmに達しても作土の厚さが約20cmあれば旱魃害をまねくこともなく、減収も認められなかった。

畑期間中に形成がすすんだ耕盤は、水田に戻しても消失することはなかったが、その硬度は小さくなった。

輪換田初年目の代かき作業のとき、耩がら暗渠の直上部をトラクタの車輪が走行すると、車輪が沈下しはじめ、ただちに対応しないと自力で脱出することができなくなる場合もあった。したがって、輪換田初年目の代かきでは、なるべく暗渠の直上部を走行しないようにする必要がある。

4. 土壌の化学性の変化

置換性カチオンの変化は、土壌のCECによって異なり、CECが小さい湿田輪換畑(5.4me)でピーマン・サトイモ・ハクサイ・キャベツなどの野菜類を栽培した結果によると、塩基飽和度(石灰・苦土・カリ)は極めて高くなり(156%)、畑期間中の置換性カチオンの減少は認められないが、CECが大きい湿田輪換畑(26~30me)では、カリを除いて石灰、苦土ともに排水性がよい暗渠を施工した圃場ほど減少し、また畑期間が長いほど減少する傾向が認められている(塩基飽和度は85~81%)^{14, 44)} 本試験では3年間に消石灰を 70 kg/a 、よう礬を 36 kg/a 施用した。石灰、苦土は、排水性がよい暗渠を

施工した圃場ほど減少する傾向を示したものの畑期間中に目立った減少は認められず、塩基飽和度は145~120%と極めて高くなるなど、CECの小さい湿田で調査した岩田らの結果¹²⁾と一致した。

水田土壌の乾土効果は、石灰施用によって増加するが⁸⁾、輪換畑での石灰施用は過度になると乾土効果を減少させる($r = -0.789$)²²⁾。これは石灰の全面散布によって作土層のpHが強アルカリ化し、この部分の有機態窒素が無機化するためと推察される。したがって石灰の施用は、畑作物に好影響を与える石灰飽和度以内にとどめるべきで、この点からみると本試験初年目の石灰施用量(消石灰で 30 kg/a)は、初年目にして石灰飽和度106~94%に達しており、やや多過ぎたといえる。

畑3年後の全炭素・全窒素は、多くの研究と同じように^{36, 48)}排水性がよい暗渠を施工した圃場ほど減少した。無肥料で作物を栽培しその収量で地力を判断するなら、全窒素や全炭素の減少は地力の低下につながるといえるが、水田に戻したときのイネの収量は連作田より高く、基肥窒素施用量を増すことによってさらに増収したことからみて、全窒素や全炭素が減少しても施肥によるイネの生育制御が行ないやすくなり、窒素施用量を増すことによって増収が可能となるような多収圃場に近くなったとみるべきであろう。

5. 輪換田イネの施肥法

冷涼地では地力窒素の発現が幼穂形成期以降になるため、基肥に重点をおいた施肥体系でも多収を実現しうるが^{36, 43)}、低湿地では排水を促進することにより基肥とともに追肥を重視して後期栄養を十分確保する方向に向かっている^{40, 54)}。一方、暖地では、地力窒素の発現が生育前半にかたよることとVegetative lag phaseがあるため、成長過多、過繁茂、倒伏をまねきやすく、これを防止するために基肥窒素の施用量を少なくし、深耕・水管理・稲わら施用などの技術を組み合わせることによって地力窒素の発現を遅らせ、追肥に重点をおくことで後期栄養を改善することが行なわれている^{35, 37, 39, 56)}。

輪換田では、畑期間中にすすんだ団粒形成、透水性改善、硫化水素の発生減少などによって地温が高い地方で

問題になる土壌還元の害作用が少なくなり、生育後期のイネの根が健全に保たれるため、後期栄養の状態を改善しやすい条件がつくれる。しかも、畑期間中に易分解性有機物は少なくなるため、基肥による茎数確保が容易になり、連作から解放されることとあいまって、イネは増収することが明らかにされている^{29, 45, 46, 50, 51, 52})。本試験の結果は、おおむねこの傾向と一致した。

イネの多収穫を実現する鍵の1つに、下降浸透がある。多くの多収穫田の解析結果から、望ましい日減水深は20~40mmとされ、とくにイネの生育後期に下降浸透能が大きくなると、蟻酸・酢酸・酪酸などの有害な有機酸などは根圏から除去されるため、根毛の形成は盛んになり、冠根の伸長はよくなり、養分の吸収や乾物重の増加は促進され、登熟歩合が高まることが確められている⁶⁰)。補助暗渠を組み合わせた2つの区の日減水深は、ともに適正な範囲にあったにもかかわらず、補助暗渠2m区のイネが4m区より低収であったのは、千粒重や登熟歩合が低下したためであった。稲体中の窒素濃度が生育後期に低くなると、根の酸化力がおとろえ根圏土壌は還元状態になり³³)、登熟歩合も低下する⁴⁷)。したがって、補助暗渠2m区では、基肥窒素施用量をさらに増し追肥も増し分施回数をふやすなど、排水性にみあう後期栄養の改善を行えば、さらに増収する可能性があるといえよう。

輪換田のイネの増収のためには、圃場の透水性改善や土壌の酸化状態に応じた基肥窒素の増施と追肥の分施・増施など、施肥体系の改善が必要で、関東地方の低湿地帯輪換田の早植え栽培では、基肥窒素施用量を増すことによって早期に茎数を確保し、これを土台にして中干しを行ない土壌中に空気を十分に入れてEhを高め、根の健全化を保ちながら追肥によって養分吸収と乾物重の増加を促進し、1穂粒数や千粒重を大きくし登熟歩合を向上させることが鍵であろう。

6. 暗渠疎水材としての籾がらの耐久性

泥が混入すると籾がらの透水性は悪くなり、泥土混入率35%で新鮮籾がらの約10分の1に、60%を超えると1千分の1から1万分の1になるため²⁸)、水田での籾がらの耐用年数は約10年と考えられている²⁵)。畑状態での籾

がらは、泥土の混入と腐敗のために3~4年で水田10年に相当するほど透水性が悪くなると予想できる。しかし、畑状態を続ける限り、埋め戻し部分の空隙が大きく、下層土の細かい亀裂も発達してゆくと推察できるので、圃場の排水性が急激に悪化することはないであろう。

しかし輪換田に戻すと、この空隙や亀裂に泥が流入することが原因とみられる排水性の悪化がおり、水田1年後の籾がら壁暗渠区の地下水位低下速度は、土管暗渠区輪換畑のそれに近ずいた。補助暗渠を組み合わせた区では、暗渠側近部と中間部の地下水位差が少ないという特性は失なわれないまでも、地下水位の低下速度は降雨1日後の暗渠側近部と中間部の平均で12cm弱になり、輪換畑期間中の15cm強に比べ約80%に低下した。

畑3年+水田3年後の籾がらの泥土混入率とアルカリ分解率は、それぞれ約42%と74%になる。したがって、圃場の排水性は悪くなり前述の目標値を下回るであろう。それ故、下層土の構造が発達するまでは、野菜類などのうち排水性がよい土を特に好む作物を栽培する場合には、田畑輪換が1巡するごとに籾がらの1部を入れかえるなり、籾がら充填トレンチ暗渠を施工しなおす必要が生じるであろう。

謝 辞

本研究を行なうにあたり、竜ヶ崎試験地主任酒井一氏と石岡地区農業改良普及所星野雅孝氏には、本試験の一部を分担していただいた。茨城県農業試験場竜ヶ崎試験地の作業員と臨時職員各位には、圃場作業と各種調査を手伝っていただいた。佐賀県農業試験場長井手一浩氏と農林水産省四国農業試験場土地基盤研究室長永石義隆氏には、貴重な助言をいただいた。また、茨城県農業試験場長石川昌男博士には、本報告の御校閲をいただいた。記して深甚の謝意を表するしだいである。

V 摘 要

(1) 中粗粒グライ土に、4種類の暗渠と水閘および地下水位調節明渠と強制排水ポンプを組み合わせた排湛水可能な水田を設け、低湿地帯における田畑輪換圃場として望ましい暗渠網の検討を1976年から1980年まで行な

った。

(2) 地下水位を地表下50cmに保ち、比較的耐湿性のあるサトイモ、中程度のレタス・キャベツ・ハクサイ・トマト、高地下水位には不向きなメロン・ブロッコリを3年間栽培し、その品質・収量などを検討した結果、籾がら壁暗渠(渠間9m)に籾がら充填トレンチ暗渠を4m間隔で組み合わせた暗渠区(組み合わせ暗渠4m区)で降雨量が多い年でも干魃の年でも収量が安定しており、各作物の収量も高いことが判明した。

(3) 水閘を閉じて水田にした場合、この暗渠区は16~22mm/日の日減水深を持ち、基肥窒素を $0.7\text{kg}/\text{a}$ 、追肥を幼穂形成期(出穂前約20日)と穎花分化期(同約10日)に $0.2\text{kg}/\text{a}$ ずつ分施すると、コシヒカリの穂は田面近くまで垂れさがるが稈基部の倒伏は認められず、 $61.7\text{kg}/\text{a}$ の収量をあげた。これは、基肥による茎数確保を土台に、1穂籾数の微増、千粒重の向上、登熟歩合の低下防止などによってもたらされたものであった。千粒重や登熟歩合は、一般に基肥窒素施用量が多いと低下するが、組み合わせ暗渠4m区ではこの低下が起きなかったなどのことから、イネの収量を増すためには、基肥窒素施用量を多くするとともに圃場の下降浸透能を大きくし、後期栄養を改善する追肥を重視する必要があるといえる。

(4) 田畑輪換圃場として望ましい組み合わせ暗渠4m区では、40mm程度の降雨直後でも暗渠中間部の水位は25cmより高くなることなく、2日後には40~50cmに低下する排水性を持つことを明らかにし、農業土木試験場の「畑輪換圃場の排水性目標値(案)」と比較し、野菜類を栽培する場合にはよりよい排水性を保証できる目標値をかかげた方がよいこと、および圃場全体の地下水位差を3~10cmに保つようにした方がよいこと、などを考察した。

(5) 疎水材としての籾がらへの泥土の混入率は、輪換畑で12.9%_年、水田(移植栽培)で6.4%_年、アルカリ分解率は輪換畑で13.0%_年、水田4.4%_年であり、水田に比べ輪換畑での籾がらの劣化は著しかった。しかし、畑期間中は、下層土の亀裂の発達や暗渠埋め戻し部分の空隙が大きいため、籾がらの劣化が圃場排水性の変化には

結びつかず、畑6年では排水性が実用栽培に不適なほど悪くなることはないが、水田に戻すとわずか1作で地下水位の低下速度は畑期間中の約80%に落ちた。輪換畑3年+輪換田3年後には、計算上、水田10年に相当する泥土が混入し、アルカリ分解率も水田10年を経過した籾がら以上に高くなるので、排水性のよい土を好む作物を栽培する場合には、下層土の構造が発達するまでは籾がらの一部を入れかえるなど、圃場の排水性改善策を構じる必要があるようである。

(6) 輪換畑の作土は、暗渠の種類にかかわらず土壌の乾燥により液性限界・塑性限界・塑性指数がともに小さくなり、水との親和性を失う傾向を示した。中粗粒グライトでロータリ2回耕を行なったときの砕土率(2cm以下の土塊の占める割合)と自然含水比との関係に折れ線モデルをあてはめて解析した結果、自然含水比29.3%(コンシステンシー指数1.017)で砕土率は最も高くなった。作土の自然含水比は地下水位と深い関係があり、地下水位を測定すれば砕土性の良否を推定することが可能であると思われた。また、冬作に麦類を栽培することによって、冬期の凍結-乾燥のくり返しと作物根の作用とにより、砕土率が急激に高まることを明らかにした。

(7) 圃場の排水性がよくなるにしたがい、酸化沈積物は下層に移行し、集積程度も大きくなった。畑地化すると耕盤の形成がすすみ易耕性は高くなり、作土は連作田に比べ約5~10cmも厚くなり、輪換田に戻すと、畑期間中には観察されなかった結核状沈積物の発達認められ、作土より下の層位が分化するなど、田畑輪換により土壤断面は著しく変化した。

(8) CECが約10meの土壤に輪換畑期間中の3年間で消石灰を $70\text{kg}/\text{a}$ 、よう磷を $36\text{kg}/\text{a}$ 施用した。排水性が良い暗渠を施工した圃場ほど、石灰・苦土は減少したが、畑期間中の石灰・苦土・カリの塩基飽和度は、水田より高くなった。全炭素・全窒素・CECは、排水性が良い圃場ほどわずかが減少する傾向を認めた。また、輪換田では、土壤の全炭素はやや増加し、全窒素は下層土で増加したため作土層と作土層直下の差が小さくなった。石灰は作土層で著しく減少し作土層直下でもやや減少し、

上層と下層の差が縮まった。苦土は作土層で減少し作土直下に蓄積する傾向があった。水田に戻すことにより有効態磷酸は富化された。

引用文献

- 1) 土壤物理性測定委員会, 1972, 土壤物理測定法, 養賢堂: P 1 - 24, P 42 - 47
- 2) 同誌: P 96 - 98
- 3) 同誌: P 177 - 182
- 4) 同誌: P 366 - 375
- 5) 土壤養分測定法委員会, 1972, 土壤肥沃度測定のための土壤養分分析法, 養賢堂: P 120 - 124
- 6) 同誌: P 171 - 178
- 7) 古木敏也・佐藤寛・根岸久雄, 1975, 低湿地における水田高度利用のための基盤整備方式-排水と土壤水分制御について-, 農土試技報, A11: 17 - 45
- 8) 原田登五郎, 1959, 水田土壤の有機態窒素の無機化とその機構に関する研究, 農技研報, B 9: 123 -199
- 9) 平岡正夫・木村洋二, 1976, 水田基盤整備に伴う土壤生産力の変動と改良に関する研究(第1報) 土壤類型別理化学性の経年推移, 岡山農試研報, 1: 34-46
- 10) ————, ————, 1976, ———— (第2報) 水稲収量の経年変化と生産力増強対策, 同誌: 47 - 52
- 11) 茨城県農業試験場, 1965, 昭和39年度大型および小型トラクタを基幹とした水稲乾田直播栽培機械化作業体系試験成績書: P 8 - 9, P 32, P 66
- 12) 岩田久史・沢田守男・榊原正典・深谷勝郎・加藤虎治, 1977, 低湿地帯における水田土地利用方式の再開発 第2報 畑地化に伴う土壤理化学性の変化, 愛知農総試研報, A 9: 125-130
- 13) 岩手県農業試験場, 1963, 湿田の乾田化に伴う生産技術解明に関する試験, 岩手農試研報, 5, 6: 1 - 55
- 14) 入沢周作・山根忠昭・松浦一人, 1959, 湿田の乾田化に関する研究-乾田における養分の溶脱, 中国農研, 16: 30 - 32
- 15) 金子淳一, 1977, 八郎潟干拓地へドロにおける機械化適応性の向上と耕地化過程に関する研究, 秋田農試研報, 22: 63 - 148
- 16) 国分欣一・増島博・根本清一・長野間宏, 1980, 圃場整備に伴う水田の排水及び土壤改良に関する研究, 農事試研報, 32: 93 - 135
- 17) 幸田浩俊, 1983, 低湿地帯の野菜類と普通作物による田畑輪換栽培に関する研究 第1報 地下水位が作物の生育・収量, 作土層の水分吸引圧・気相率および土壤養分の動態に及ぼす影響, 茨城農試研報, 22: 25-63
- 18) 久津那浩三・新村善男・上森晃, 1974, 耕耘碎土に関する研究 第1報 土壤物理性の碎土におよぼす影響, 土肥誌, 45: 37-41
- 19) ————, 1975, 水田の機械化と地力, 土肥誌, 46: 318 - 322
- 20) 丸山勇, 1973, 重粘土水田の暗渠排水の効果について, 圃場と土壤, 5(1): 28 - 32
- 21) 榎谷精治・下田英雄・上野正夫・小南力, 1981, 転換初年目における簡易暗渠の影響と耕耘碎土作業の効果, 山形農試研報, 15: 13 - 25
- 22) 南松雄・前田要, 1974, 水田転換畑の生産性向上に関する研究 第1報 水田の畑地化に伴う土壤理化学性の変化・北海道立農試集報, 29: 72 - 85
- 23) 三留三千男, 1960, 農業実験計画法, 朝倉書店: P 252 - 286
- 24) 永石義隆, 1974, 田畑輪換圃場整備-試験研究からみた私案-, 圃と土, 6(11): 22 - 25
- 25) ————, 1978, 暗渠素材としてのもみから利用とその効果, 農及園, 53: 781 - 786
- 26) 中野啓三, 1978, 低湿重粘土水田の畑転換に伴う土壤物理性の推移, 北陸農試報, 21: 63 - 94
- 27) 新村善男・上森晃・久津那浩三, 1974, 耕耘碎土に関する研究 第2報 圧砕強度の影響, 土肥誌, 45: 42 - 46
- 28) 農業土木試験場, 1979, 昭和53年度専門別総括検討会議資料: 25 - 26
- 29) 農林省農業改善局・山形県農業試験場, 1955, 田

- 畑輪換に関する試験. 第1報 水田及畑の交互転換に伴う水田の地力変化について
- 30) 農林省農政局・土壤保全調査事業全国協議会. 1972. 土壤的にみた適地適作図
- 31) 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
- 32) 小田切弘一・松下利定・長谷川徹・中村伴蔵. 1962. 火山灰土壌における田畑輪換に関する研究 第1報 輪換畑における作付様式の差異が水稻の生育・収量並びに地力に及ぼす影響. 長野農試研究集報. 5:154-
- 33) 岡島秀夫. 1958. 水稻根群の窒素と培地の還元について. 土肥誌. 29:175-180
- 34) 大滝雅・白倉浩一. 1976. 新潟県における粘土質水田高度利用に関する研究. 第2報 簡易暗渠による排水効果が導入畑作物の生育収量に及ぼす影響. 新潟農試研報. 25:43-51
- 35) 大山信雄・坂井弘・小林弘美・川崎勇・その他2名. 1972. 中国地域の高位収穫田における多収要因の解析. 中国農試報. E7:49-91
- 36) 小沢一雄. 1981. 低湿重粘土水田の排水管理が土壌の肥沃性と水稻の生育性に及ぼす影響. 福島農試研報. 20:59-82
- 37) 佐近剛・宮地勝正・河本泰. 1977. 水稻に対する後期の窒素栄養確立に関する研究. 広島農試研報. 38:89-122
- 38) 佐賀県農業試験場. 1975. 水田利用近代化に関する試験
- 39) 坂井弘・河本泰・大山信雄. 1968. 暖地水稻の多収施肥法に関する研究 第2報 早期中干し栽培法について. 中国農試報. E2:145-189
- 40) 佐々木信夫・千葉満男・平野裕・米沢確・その他9名. 1955. 水田利用の近代化に関する研究. 岩手農試研報. 19
- 41) 佐藤雄夫・湯村義男. 1975. 畑土壌のコンシステンシーに関する研究 第1報 コンシステンシーの包括的検討. 東近農試研報. 28:1-23
- 42) ————・————— 1975. —————
- 第2報 コンシステンシーに対する理化学的諸性質の影響. 同誌. 28:24-31
- 43) 関矢信一郎・本谷耕一. 1968. 水田土壌中の窒素の行動に関する研究—とくに有機物との関係について. 東北農試研報. 36:1-25
- 44) 白倉治一・大滝雅・太刀川洋一. 1974. 新潟県における粘土質水田高度利用に関する研究 第1報 簡易暗渠による排水効果が転換畑土壌の理化学性変化に及ぼす影響. 新潟農試研報. 23:50-67
- 45) ————・築井仁・大滝雅. 1977. —————
- 第3報 簡易暗渠による排水効果が還元田の土壌の理化学性及び植生の変化に及ぼす影響. 同誌. 26:11-27
- 46) 城下強・石居企救男・高橋和夫・金子淳一. 1960. 田畑輪換に関する土壤肥料学的研究. 関東東山農試研報. 16:50-96
- 47) ————・—————・金子淳一・北島知. 1962. 施肥効果の増進による水稻の高位生産に関する研究. 農事試研報. 1:47~108
- 48) 菅野義忠・立谷寿雄. 1972. 浜通り低湿地帯における地下水位管理と肥培法に関する試験 第1報 暗渠施工法及び排水時期について. 福島農試研報. 11:21-26
- 49) 菅谷義忠・川島嘉内. 1974. —————
- 第2報 暗渠施工が土壌に及ぼす影響. 同誌. 13:57-62
- 50) 高橋浩之・波沢梅治郎・飯田克実. 1956. 田畑輪換栽培に関する研究 第3報 輪換水田期間に於ける水稻の生育並びに収量. 関東東山農試研報. 9:1-53
- 51) ————・————— 1963. —————
- 第4報 田畑輪換栽培における土壌の理化学性の変化と各作物の生育・収量について. 同誌. 16:1-14
- 52) ————・—————・林田多賀夫. 1963. —————
- 第6報 施肥の差が田畑輪換の水稻に及ぼす影響(ポット試験). 同誌. 16:26-49
- 53) 滝島康夫. 1967. 水田土壌の硬度と水稻の生育. 土壌の物理性. 16:10-15
- 54) 東海林覚・吉田昭・樋口福男・斉藤昭四郎・その他

野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究

- 2名. 1972. 庄内平野における水稲の収量停滞性打破に関する土壤肥料学的研究—地下排水を基盤とした多収性の追求. 山形農試研報. 6 : 42 - 112
- 55) 内田文雄・川田登. 1972. 黒泥土壤における弾丸暗渠の効果について. 栃木農試研報. 16 : 53 - 61
- 56) 和田学. 1981. 暖地水稲のVegetative Lag Phaseに関する作物学的研究—とくに窒素吸収パターンとの関連. 九農試報. 21(2) : 113 - 250
- 57) 渡辺春朗・松本直治・三好洋. 1974. 転換畑の土壤物理性と地下水位が根群分布に及ぼす影響. 千葉農試研報. 14 : 87 - 93
- 58) 渡辺和夫・上野正夫・東海林覚・斉藤昭四郎・その他4名. 1974. 水田高度利用促進のための基盤改善に関する研究. 山形農試研報. 8 : 11 - 28
- 59) 山口豊・小原勝蔵・宮下陽里・菅沼健二・その他3名. 1978. 黄かっ色粘土型水田における簡易排水の機械化に関する研究. 第3報 暗渠施工作業の体系化. 愛知農総試研報. A10 : 82 - 93
- 60) 山根一郎編. 1982. 水田土壤学. 農文協 : P 95 - 100

茨城県農用地における重金属元素（カドミウム，亜鉛，銅，鉛およびヒ素）の天然賦存量

津田 公男・平山 力・石川 実・石川 昌男
吉原 貢・酒井 一

*ヒ素は金属元素ではないが、本報告ではヒ素も重金属類として扱った。

県内農用地の重金属類元素の天然賦存量を推定するため、濃度の分布型や変異幅を統計的方法によって検討した。その結果、いずれの元素も試料の種類によって正規分布、対数正規分布および両者の複合型のいずれかに属することを明らかにし、天然賦存量とその範囲を統計的管理下で推定した。また、天然賦存量の変化におよぼす外的要因についても検討を加えた。

I 緒 言

1971年から8カ年にわたって全国一斉に土壤汚染防止対策概況調査が実施された。本調査は農用地におけるカドミウム（Cd）、亜鉛（Zn）、銅（Cu）、鉛（Pb）およびヒ素（As）汚染の実態を明らかにすることを目的としているが、調査地点の大部分が非汚染地であるため、これら元素の天然賦存量の調査という側面をもっている。現在までにばう大な重金属類の調査が行われ、汚染地の実態とともに天然賦存量についても多くの知見が得られている。^{3.21~24)}概況調査は対象元素が限られているとはいえ、調査規模（密度）および方法（定点観測）の点で過去に比類のない高精度の天然賦存量の調査といえよう。

概況調査では土壤中の重金属類の定量に浸出法が採用されているため、元素の絶対濃度を知るといよりは土壤-作物関連での可給濃度をとらえようとするものであり、この点は過去の多くの天然賦存量調査とは異なっている。また、農用地においては作物が栽培されるので、天然賦存量といっても人為的影響を強く受けている。とくに概況調査では作土を試料としているため、土壤固有の濃度が大きく変化していることが考えられ、未耕地における深層土のそれとは内容を異にする。

本県で上記5元素を天然賦存量の観点で調査したのは概況調査が最初である。当農試では1979年まで調査を継続し、その間若干の補足調査も実施した。概況調査の全

地点において土壤汚染防止法に基づく指定要件（Cd:玄米中1 ppm, Cu:土壤中125 ppm, As:土壤中15 ppm）未満の濃度であり、かつ汚染源の存在ならびに作物の生育阻害も確認されなかった。したがって、法令上も実際的にも調査地点はすべて非汚染地であり、得られた分析値は天然賦存量を示しているものと考えられる。なお、上記5元素は公害関連物質として扱われているが、ZnとCuは植物の必須元素でもあり、天然賦存量の濃度水準ではむしろ微量元素とみなすべきであろう。いくつかの作物においてZnとCuの欠乏事例が知られており、²⁰⁾過不足の場合に営農上問題になることが考えられる。

すでに概況調査の年次別集計が¹⁸⁾公表され、各元素の平均濃度についてはほぼ明らかにされている。天然賦存量の推定にはサンプリング法が重要であり、これらを²⁹⁾チェックするには濃度分布の分布型を検討する必要があるといわれている。本報告は松尾が提唱した「土壤サンプリングの理論」¹⁰⁾を概況調査結果に適用し、県内における重金属類の天然賦存量とその分布型および変異幅を明らかにしようとするものである。また、天然賦存量の変化に関与する要因についても若干の検討を加えた。

II 方 法

概況調査の調査および分析方法は次のとおり。補足調査については結果の項に記載する。

1. 調査方法

1) 調査地点

調査初年目に1/20万の土壤図をもとに方眼法によって水田は約1,000haに1点, 畑は約2,000haに1点の比率で地点の位置を選定し, 調査時に現地の立地条件を考慮して調査は場を決定し, 以後は同一地点について定点観測を実施した。定点数は当初水田90点, 畑45点であったが, 地目の変更や地点の移動により最終的には水田92点, 畑47(普通畑41, 樹園4, 桑園2)点となった。調査地点の選定方法ならびに定点の範囲(92市町村中77市町村が該当)から, 得られた結果は県内全農用地をカバーする天然賦存量と考えられる。

2) 試料の採取

1971~73年には全定点を調査対象にしたが, それ以降1979年までは毎年全定点の1/3について順次調査した。1/3調査の際には年次によって調査地点が地域的に偏らないように全定点を3ブロックに区分した。試料は土壤(作土), 農作物(可食部)および水田にあってはかんがい水であり, 前2者はは場のほぼ中央部1カ所から, かんがい水は用水路または用水取水口で採取した。農作物は収穫期に立毛中のもの, かんがい水はかんがい期間に採取することを原則とした。土壤の採取に際しては株下と株間をとくに区別しなかった。

3) 調査項目

土壤, 作物体およびかんがい水のCd, Zn, Cu, PbおよびAsを分析対象とした。土壤およびかんがい水ではpHも測定した。Ca, Zn, CuおよびpHは1971年から, PbおよびAsは1972年から調査した。ただし, 土壤のAsは1975年に分析法が変更(それまでの三混酸分解法からN-塩酸浸出法に変る)になったため, 本報告では1974年以前の結果は省略してある。

2. 分析方法

1) 土壤^{4,19)}

風乾細土についてCd, ZnおよびCuは0.1N-塩酸浸出(土壤, 浸出液量比1:5), PbはpH4.5のN-酢酸アンモニウム浸出(同1:10), AsはN-塩酸浸出(同1:5)後, 前4元素は直接吸入原子吸光法, Asは

還元気化比色法または還元気化原子吸光法によって測定した。結果は乾土当りのppm(W/W)で表示した。

2) 作物体^{4,19)}

農作物可食部の風乾物または新鮮物を細粉して三混酸分解し, 分解液についてCdおよびPbはメチルインブチルケトン抽出による原子吸光法, Zn, CuおよびAsは土壤と同様に測定した。結果は風乾物または新鮮物当りのppm(W/W)で表示した。

3) かんがい水^{4,7)}

硝酸・過塩素酸で濃縮分解後, 分解液についてCd, Zn, CuおよびPbはメチルインブチルケトン抽出による原子吸光法, Asは作物体と同様に測定した。結果はppb(W/V)で表示した。

III 結 果

土壤, 作物体およびかんがい水別に概況調査と補足調査をとりまとめた。概況調査における重金属類の総分析点数は第1表に示したように7,550点であり, 一地点当りの分析回(年)数は土壤Cd, ZnおよびCuの4.8から土壤Asの1.6まで変化している。土壤Asの分析回数が少ないのは前述のように1974年以前の結果を除外したためである。地点, 試料および元素当りの平均分析回数は約4である。

第1表 分析点数

(点)

地目	地点数	試料	特性値					
			pH	Ca	Zn	Cu	Pb	As
水田	92	土 壤	455	455	455	455	365	151
		水 稻	450	450	450	359	359	
		かんがい水	407	407	407	407	335	335
畑	47	土 壤	223	223	223	223	178	73
		畑 作物	158	158	158	158	158	158

1. 土 壤

1) 概況調査

(1) 分布型

概況調査は地目, 地点, 調査年次をサンプリング上の

茨城県農用地における重金属類元素（カドミウム、亜鉛、銅、鉛およびヒ素）の天然賦存量

要因としている。本調査を重金属類による汚染の実態と汚染の経時変化をは握するものと規定すれば、地点および年次別のサンプルは単独第Ⅰ次サンプル群となり、重金属類濃度の地点間、年次間の差の検定あるいは法令上の基準値との比較などが解析上の主目的になる。一方、地点および年次別のサンプルをランダムなくり返しの第Ⅱ次サンプル群とみなせば、想定した母集団における重金属類濃度の分布型、平均値および変動幅などを求めることが目的になる。前述のように調査地点はすべて非汚染地に位置し、本調査は重金属類の汚染実態調査というよりは天然賦存量の調査とみなされるから、本報告では後者の立場で解析を進める。調査計画の段階では第Ⅰ次サンプルと考えられる場合でも解析の段階でランダムサンプリングの仮定が成立すれば、第Ⅱ次サンプルとして扱ってもよいといわれる。

要因分析における構造模型からみると、地点は母数、年次もまた母数と考えられる。ただ、本調査のサンプリングでは年次は対応が完備していないので、地点は対応

のある変量、年次は地点内の単なるくり返しである対応のない変量と考えて、地点ごとに年次別の結果を平均化した。地点ごとのデータについて真数と対数変換値の各種統計量を求めて第2表に示した。平均値 (\bar{x}) はいずれの元素も算術平均よりも幾何平均で幾分小さい値を示した。標準偏差 (S) は対数変換値の逆対数をとると Zn および Cu では真数のほうが大きく、Cd、Pb および As ではその逆であった。歪度 (G_1) および尖度 (G_2) はいずれの元素も対数変換値でその値が小さかった。 G_1 は分布の形が左右対称であれば 0、高濃度側にひずんでいれば正值、低濃度側にひずんでいれば負値となるから、水田の Cd 以外の元素はデータを対数化することによって左傾非対称分布が対称分布に近づいた。水田の Cd では対数変換によってむしろ低濃度側にひずみが大きくなった。 G_2 は正規分布では 3、とがりの大きい分布では 3 以上に、とがりの小さい偏平型では 3 以下になるから、水田の Pb 以外は対数変換によって正規分布のとがりに近似した。水田の Pb では対数化によってむしろ偏平型に変

第2表 作土の特性値の各種統計量

地目 (地点数)	特性値	\bar{x}		S		G_1		G_2		X_0^2		$H\sigma$
		算術	幾何	x	log x	x	log x	x	log x	x	log x	
水田 (92)	pH (KCl)	4.79		0.33		0.0		3.0		0.5		
	Cd	0.39	0.37	0.13	0.16	0.3	-0.7	3.5	3.1	4.6	8.3	7.3
	Zn	10.56	9.61	6.24	0.17	4.6	1.2	32.2	6.2	30.3	17.7	7.4
	Cu	7.41	5.85	6.44	0.30	4.0	-0.2	25.1	4.2	24.9	3.1	8.2
	Pb	2.97	2.56	1.65	0.24	0.9	0.0	3.1	2.3	29.5	0.7	7.9
	As	1.35	0.98	1.20	0.35	2.3	0.1	10.1	2.4	17.8	3.4	8.4
畑 (47)	pH (KCl)	5.11		0.50		0.3		3.0		2.1		
	Cd	0.37	0.33	0.18	0.19	2.4	-0.2	12.1	4.6	14.3	0.4	7.6
	Zn	11.36	8.96	11.56	0.26	3.4	1.3	14.4	5.4	33.6	5.0	8.0
	Cu	2.48	1.56	3.43	0.39	3.4	0.5	14.7	3.4	23.9	0.8	8.6
	Pb	1.83	1.47	1.63	0.27	3.2	0.2	14.2	5.4	15.4	11.2	8.1
	As	0.64	0.30	0.91	0.55	2.2	0.2	7.8	2.1	8.9	1.9	9.1

注) \bar{x} と S (除 log x) の元素濃度の単位は ppm, $H\sigma$ の単位は bit

化した。

カイ二乗値 (χ^2) は正規分布との適合度を5分割法^{10,11)}で求めたもので、この値が小さいほど正規分布型に近い。 χ^2 が5.99および9.21以上でそれぞれ危険率5%, 1%で正規分布型という帰無仮設が棄却される。水田のCdを除いていずれの元素も対数変換によって χ^2 が低下したが、それでも水田のZnおよび畑のPbでは1%水準で正規分布型の仮定が否定された。水田のCdでは対数化によって χ^2 が大きくなり、真数のほうが正規分布に近い形状であった。pHは真数についてだけ計算したが、水田、畑とも G_1 , G_2 および χ^2 が正規分布型に近い値を示した。これはpH自体が一種の対数変換値であるためと考えられる。

G_1 , G_2 および χ^2 の値から、水田および畑のpHと水田のCdは正規分布型、これ以外の元素は対数正規分布型あるいは対数正規分布型に近い分布型に適合することがうかがわれた。本邦水田作土中の重金属濃度はバナジウムを除いて対数正規分布することが報告され、上の結果とほぼ一致した。真数あるいは対数変換値において正規性が確認されたことにより、水田または畑という母集団の安定性とサンプリングのランダム性が保障されたものと考えられる。したがって、地点別のサンプル群は第II次サンプル群とみなされ、平均値や変異幅を求めることに意味がある。地目別のpHおよび重金属類の天然賦存量の平均値 (\bar{x}) および範囲 ($\bar{x} \pm S$) は以下のように推定される。

水田

pH (KCl) : 4.79, 4.46 ~ 5.12
 Cd (ppm) : 0.39, 0.27 ~ 0.52
 Zn (ppm) : 9.61, 6.46 ~ 14.3
 Cu (ppm) : 5.85, .93 ~ 11.7
 Pb (ppm) : 2.56, 1.47 ~ 4.47
 As (ppm) : 0.98, 0.44 ~ 2.19

畑

pH (KCl) : 5.11, 4.62 ~ 5.61
 Cd (ppm) : 0.33, 0.21 ~ 0.52
 Zn (ppm) : 8.96, 4.90 ~ 16.4

Cu (ppm) : 1.56, 0.63 ~ 3.83

Pb (ppm) : 1.47, 0.78 ~ 2.76

As (ppm) : 0.30, 0.08 ~ 1.05

なお、水田と畑を合せて農用地として上記の計算も試みた。頻度分布の分布型をみるとpHを除いて真数よりも対数変換値がいずれの元素も G_1 , G_2 および χ^2 が正規分布に近い値を示した(表略)。地目を層別要因とするには地点数の関係で問題はありますが、結果的にはいずれの元素でも対数正規分布型が推定された。水田、畑という異なる母集団においてそれぞれの分布型が違っても両者を併合すると対数正規分布型に近似するということは注目値する。次に地目別の平均値と分散を比較した。対数変換地のZn, CuおよびAsとpHは5%以下の危険率で畑が水田よりも分散が大きく、Cdは真数の場合に有意差が認められ、Pbは真数、対数変換値とも有意差が認められなかった。平均値は分散に有意差のある元素についてはWelch法によるt検定を行ったが、対数変換値のCu, PbおよびAsは水田が畑よりも大きく、pHはその逆であった ($\alpha = 0.01$)。CdおよびZnは真数、対数変換値とも有意差が認められなかった。

第2表にはひずみ指数 ($H\sigma$)も示した。 $H\sigma$ は松尾が考案したもので対数変換値の標準偏差の関数であり、エントロピー(無秩序性)の尺度を表わす。この値は系が自然的に安定なほど大きくなり、特性値ごとに一定値に近づく。いっぽう、人為の影響を受けて統計的に管理された系はこの値が小さくなり、一定値に収集する。局部的に系が乱されると $H\sigma$ は増大する。第2表において水田よりも畑でいずれの元素も $H\sigma$ がやや大きいことが、このことは元素分布の均一性という面からみて、畑よりも水田のほうが強く人間に管理され、平均化していることがうかがわれる。 $H\sigma$ はサンプリング精度の尺度でもある。本邦水田作土中の重金属濃度の $H\sigma$ を計算するとZn²⁹⁾ 7.4, Cu 8.2, Pb 8.6となり、これら3元素については全日本と本県の水田作土のサンプリング精度がほぼ同等であった。

(2) 土壌群別天然賦存量

土壌の母材の種類や土壌タイプによって重金属類の天

茨城県農用地における重金属類元素（カドミウム，亜鉛，銅，鉛およびヒ素）の天然賦存量

然賦存量に差異が認められる。ここでは地目，土壤群を層別要因として2段サンプリングの概念を適用して土壤群別に対数変換値の範囲（ $\bar{x} \pm S$ ）を求めて第3表に示した。一般に χ^2 はnが少ないほど小さい値をとる。土壤群別の地点数は必ずしも多くなく，いずれの元素においても真数，対数変換値の χ^2 が10以下となり（表略），

分布型を特定するのは困難なので，ここでは対数変換値について範囲を求めた。いずれの元素も土壤群による濃度差はわずかであったが，火山灰を母材とする土壤群がこれ以外の土壤群よりもややCd濃度が高く，Cu濃度の低い傾向が認められた。また，樹園のZnの変異の大きいことがうかがわれた。

第3表 土壤群別作土の元素濃度の範井

(ppm)

地目	土壤群	地点数	Cd	Zn	Cu	Pb	As
水田	多湿黒ボク土	31	0.29 ~ 0.57	6.8 ~ 14.1	1.8 ~ 7.6	1.5 ~ 3.6	0.3 ~ 1.2
	黒ボクグライ土	4	0.38 ~ 0.62	7.9 ~ 15.7	2.5 ~ 6.7	3.4 ~ 4.1	0.3 ~ 1.6
	灰色低地土	25	0.28 ~ 0.52	6.7 ~ 15.1	5.0 ~ 13.9	1.9 ~ 5.9	0.6 ~ 2.6
	グライ土	25	0.20 ~ 0.46	5.4 ~ 14.3	3.8 ~ 12.3	1.1 ~ 4.2	0.8 ~ 2.7
	黒泥土	4	0.28 ~ 0.41	8.5 ~ 9.9	4.2 ~ 8.5	1.4 ~ 2.0	0.2 ~ 3.5
	泥炭土	3	0.36 ~ 0.45	8.5 ~ 11.4	3.8 ~ 9.9	1.4 ~ 5.2	0.8 ~ 2.0
普通畑	黒ボク土	26	0.28 ~ 0.44	5.1 ~ 13.8	0.6 ~ 2.5	1.0 ~ 2.1	0.1 ~ 0.5
	多湿黒ボク土	8	0.27 ~ 0.62	7.0 ~ 14.1	0.6 ~ 1.9	1.0 ~ 2.3	0.1 ~ 1.2
	赤色土	2	0.46	18.2	8.4	1.3	4.3
	褐色低地土	5	0.12 ~ 0.35	4.1 ~ 11.3	1.2 ~ 5.0	0.5 ~ 1.5	0.5 ~ 2.8
樹園	黒ボク土	4	0.24 ~ 0.52	5.0 ~ 46.2	1.2 ~ 14.9	1.5 ~ 7.2	0.1 ~ 2.1
桑園	黒ボク土	1	0.26	5.0	0.9	1.6	0.4
	赤色土	1	0.10	5.0	1.9	0.7	0.0

24)

渋谷は全国53カ所の水田作土のCd濃度を土壤群別に整理して腐植質火山灰土壤がこれ以外の土壤よりも高濃度であることを認めている。これは過塩素酸分解によるCd全量の比較であるが，0.1N-塩酸浸出のCd濃度においても上記のようにほぼ一致した傾向が認められた。火山灰を母材とする土壤群のCu濃度が低いのは，腐植質火山灰土壤では腐植とCuがキレート結合するためにCu全量に対する0.1N-塩酸浸出Cuの比率が低いという特性によるものと思われる。樹園は普通畑に比較して^{20, 24)}一般に重金属類濃度は高いが，本調査の樹園4地点はリンゴ，ナシ，クリおよびブドウ園各1点であり，栽培果樹が一種類でないためにZnの変異が大きくなったものと推定される。

(3) 真数と対数変換値の χ^2 の関係

5分割法による χ^2 は下記の式で求められる。

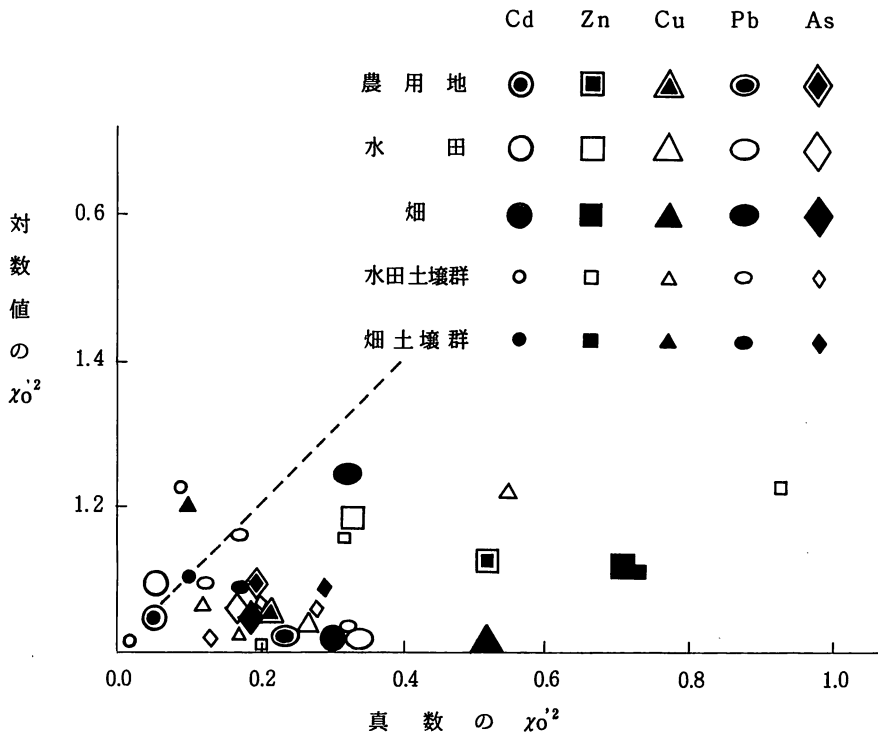
$$\chi^2 = \sum_{i=1}^5 (n_i - NP_i)^2 / NP_i$$

ここで， n_i はi区の頻度数（ $N = \sum n_i$ ）， P_i はi区に入る理論的確率， NP_i は理論的頻度数を表わす。正規分布においては P_i はそれぞれ一定値をとるから，標準偏差が相等しく頻度数が n_i と $m \cdot n_i$ の2つの頻度分布では後者の χ^2 は前者のm倍となる。したがって，Nの異なる頻度分布の χ^2 の比較においてはNを一定にする必要がある。ここでは $\chi^2 = \chi^2 / N$ として真数と対数変換値の χ^2 の関係を求め第1図に示した。 X^2 は相対度数のカイ二乗値に相当する。

第1図には第2表の水田と畑，両者を合せた農用地ならびに第3表において地点数が25以上の土壤群（水田-多湿黒ボク土，灰色低地土，グライ土，畑-黒ボク土）

の χ_0^2 を図示した。各点はX-Y軸に沿って分布し(1:1)の按分線より上側に分布するのは真数の χ_0^2 が約0.2以下の場合に限られる。按分線を境界に上側は正規分布型、下側は対数正規分布型に近似するものと考えられるが、真数の χ_0^2 が0.2以上で按分線の下側の領域-対数正規分布、真数の χ_0^2 が0.2以下で対数変換値のそれが0.2以上の領域-正規分布型、真数と対数変換値の χ_0^2 がともに0.2以下の領域-正規、対数正規分布の複合型、これ以外の領域-分布型不明、の4領域に細分すると一層理解しやすい。例えばCdでは水田の2土壌群は正規分布型、畑は対数正規分布型、これ以外の集団は複合型と判定される。いずれの元素も農用地→地目→土壌群と母集団を層別しても一定の領域に集中するという方向性は認められなかった。なお、真数の χ_0^2 が0.2以上で按分線の上側の領域(分布型不明)には1点も存在

せず、土壌成分濃度は正規分布、対数正規分布および両者の複合型のいずれかの分布型をとることが推定された。本邦水田作土中の重金属濃度を上記のように区分するとバナジウムは複合型、残りの5元素は対数正規分布型の領域に配分された。また、東南アジア水田作土中の理化学成分30項目について同様の試みを行ったところ、正規分布、対数正規分布および複合型のいずれかの領域に分布し、分布型不明の領域には1項目も配置されなかった。したがって、真数の χ_0^2 の0.2と(1:1)按分線による分布型の推定方法には普遍性があるものと考えられる。なお、複合型は實際上正規分布型または対数正規分布型のいずれかを想定することになるが、一様分布型でもこの領域に配分されることもあるので、複合型の場合にはG₁およびG₂などによって分布型を総合的に判定する必要がある。



第1図 作土の元素濃度の真数と対数値の χ_0^2 の関係

1(4) 土壌の特性値間の相関

水田，畑を合せた農用地として特性値間の相関係数を求め第4表に示した。第1図に示したように農用地としてはCdは混合型，これ以外の元素は対数正規分布型と考えられるので，5元素とも対数変換して相関係数を計算した。pHは真数を用いた。単相関係数はCd-PbおよびCd-As以外はすべて有意であり，土壌の6特性値は相互に関連した値をとることがうかがわれた。ただ，多くの特性値が高度に関連している場合には，着目した

2つの特性値以外の特性値の影響を除いた偏相関係数のほうが真の関係を示しているものと考えられる。単相関と偏相関係数を比較すると，符号が変化した組はpH-Zn, Zn-Asであり，pH-Pb, Cd-Zn, Cu-PbおよびPb-AsおよびPb-Asは前者では有意であったが，後者では有意でなく，Cd-Pbでは逆の関係に変化した。単相関よりも偏相関で有意な組数は減少したが，それでもすべての特性値が他の1つ以上の特性値と相関関係が認められた。

第4表 農用地作土の特性値間の相関係数と偏相関係数

特性値	pH (KCl)	Cd	Zn	Cu	Pb	As
pH (KCl)		0.02	0.25 **	-0.48 **	-0.15	0.58 **
Cd	0.24 **		-0.01	-0.39 **	0.35 **	0.12
Zn	-0.21 *	-0.33 **		0.66 **	0.48 **	-0.23 **
Cu	-0.33 **	-0.50 **	0.82 **		0.02	0.59 **
Pb	-0.20 *	0.01	0.67 **	0.53 **		0.07
As	0.28 **	-0.16	0.38 **	0.53 **	0.26 **	

注) (1) 左下は相関係数，右上は偏相関係数
 (2) **, *は1%, 5%水準有意

(5) 地点間と地点内分散の比較

(1)~(4)においては調査年次別のサンプルを地点内のくり返しとみなして平均化して用いたが，年次別の特性値の変異についても明らかにしておく必要がある。第5表には農用地として地点間分散(Vb)，年次間つまり地点内分散(Vw)，分散比(Fo)，限界($3 \times \sqrt{Vw}$)および変異係数(CV)を示してある。年次間の変異が正規分布するものと仮定し，ここでは真数を用いて計算した。pHを含めていずれの元素もVbがVwよりも大きく，Foはすべて1%水準で有意であった。 $3 \times \sqrt{Vw}$ はX管理図における管理限界に相当し，年次間の分析値のバラツキが正規分布型であれば，地点内における各年次の分析値が $\bar{x} \pm 3 \times \sqrt{Vw}$ の範囲内に危険率1%で収束する。例えば，ある地点における何年かのCdの平均値が0.40 ppmとすると，新たな分析値が0.13 ppm 以下または0.67 ppm 以上に変化した場合には何か特定の原因があ

ったものと考えられる。CVはCu, ZnおよびPbが50%以上で，次いでAs, Cdの順に低下してpHが最小であった。CVは地点内の相対的変異の大小を示し，この値の大きい元素ほど実質的な年次間のバラツキが大きい。

年次間の変異はVwで示されているが，これは第Ⅱ次サンプリングと第Ⅲ次サンプリングにともなう誤差が¹⁰⁾一次結合したものと考えられる。前者には文字通りの年次による地点の濃度変化とは場内における濃度のバラツキが含まれ，後者には縮分誤差，サンプリング誤差および分析誤差などが含まれる。本調査ではいずれの誤差要因がVwに最も大きく影響しているかは特定されないが，一般的に第Ⅱ次サンプリング誤差が第Ⅲ次サンプリング誤差より大きいこと，後の補足調査においても同様な結果であったこと，PbおよびAsはCuやZnに比較して分析の再現精度は悪いのにCVはむしろ小さかったこと，ほとんどのサンプルは同一人が分析し，分析毎に前年の

第5表 農用地作土の地点間分散 (Vb) と地点内分散 (Vw) の比較

特性値	Vb	Vw	Fo	$3 \times \sqrt{Vw}$	CV (%)
pH (KC1)	0.635	0.100	6.4 **	0.95	7
Cd	0.058	0.008	6.9 **	0.27	24
Zn	375.	39.	9.6 **	18.7	58
Cu	117	17	6.9 **	12.4	71
Pb	11.2	2.1	5.3 **	4.35	56
As	0.774	0.172	4.3 **	1.24	42

注) (1) $Fo = Vb / Vw$ で、**は1%水準有意

(2) $CV = \sqrt{Vw} / \bar{x} \times 100$

サンプルを1点挿入して分析管理したこと、などから第II次サンプリング誤差が第III次サンプリング誤差よりも大きくVwに反映していることが推定される。

第II次サンプリング誤差を年次による濃度変化とは場内の濃度変化に分別することは本調査では不可能である。前者は作物栽培が主要因と考えられるが、水田作土中の重金属濃度が農業資材の施用によって変化しない例(Cd, Cu)と増加した例(Cd, Zn)が知られていて、²⁴⁾評価が難しい。さらにこの例では永年にわたる資材施用・無施用の影響を調べたもので、概況調査のように9年程度の期間で濃度変化をとらえることは実際上困難である。したがって、年次による濃度変化は通常の栽培管理を原因と考えるよりはほ場内に突発的に重金属含有物が投入されたり、汚染水および底質が流入したりした場合に影響を受けるものと考えられる。ほ場内における濃度のバラツキは、一筆水田作土において一般化学成分が方向性や局部性を示すことから類推すると無視し得ない要因である。本調査ではほ場のほぼ中央部から採土しているが、年次によって採土位置がズレたり、株間と株下を区別せずに採土していることがバラツキを大きくしているとも考えられる。以上から、重金属濃度の年次変化は第II次および第III次サンプリング誤差を含んでいるが、主要因は突発事故などの時間的変化とは場内の空間的変化の第II次サンプリング誤差と推定される。

2) 補足調査

(1) サンプリング誤差の比較

概況調査では重金属類天然賦存量の年次変化に占める第II次、第III次サンプリング誤差の割合は評価されなかった。ここではランダムに選んだ定点23(水田15, 畑8)点についてA'72年採土同年分析, B'73年採土同年分析およびC'72年採土'73年分析の3ケースの実験を行い、分析のバラツキを検討した。A-C, B-CおよびA-Bのバラツキはそれぞれ第III次サンプリング誤差(V_{III})、第II次サンプリング誤差(V_{II})、第II次+第III次サンプリング誤差(V_{II+III})に相当する。Cd, ZnおよびCuを対象に概況調査と同一方法によって分析し、それぞれ差の分散を求めて第6表に示した。なお、このような分析値の差は正規分布が仮定されるので、データの対数変換は行わず真数を用いた。3元素ともV_{III}よりもV_{II}が大きく、V_{II}とV_{II+III}はほぼ等しかった。また、分散比V_{II}/V_{III}はCu > Zn > Cdの順に低下し、第5表のCVの大きさの順序と一致した。このことから、概況調査における分析値の年次変化(第II次+第III次サンプリング誤差)の大部分は第II次サンプリング誤差に基づくものであり、この誤差が大きい元素ほどCVが高まることが推定された。

第6表 農用地作土の第II次(V_{II})、第III次(V_{III})サンプリング誤差の比

(n=23)

特性値	V _{III}	V _{II}	V _{II+III}
Cd	0.007	0.015	0.014
Zn	4.40	41.6	47.6
Cu	1.18	24.8	24.2

(2) 水田作土と底質中の重金属類濃度との関係

上記のように分析値の年次変化は大部分第II次サンプリング誤差と考えられ、これは一筆ほ場内の濃度のバラツキと時間的な濃度変化とから構成されている。第II次サンプリング誤差に関与する要因の1つとして水田では汚染水による重金属類の負荷が考えられる。かんがい水

の調査は概況調査で実施しているが、年1回の調査のためかんがい水が水田作土におよぼす影響を評価するのは難しい。用水路底質はかんがい水水質のある期間の負荷量と密接に関係すると思われるので、ここでは底質の調査によってかんがい水の影響を知ろうとした。

1977～79年の3カ年間概況調査の定点に対応する用水路より底質を採取し、概況調査と同一方法によりCd、ZnおよびCuは3カ年分、PbとAsは79年度分について分析した。ヒューム管およびパイプライン方式の用水においては水田水口部の表土（0～3cm）を底質とした。対数変換値について水田作土と底質中の元素濃度の平均値、両者の相関係数を求めて第7表に示した。Znだけが水田作土よりも底質で幾何平均が高く、Pb以外の4元素では両者の相関が有意であった。このことから、Znではかんがい水による水田への負荷が示唆された。後述のかんがい水の調査においても対象5元素中Zn濃度が最高であり、県内水田ではおおむねかんがい水からのZnの供給があるものと考えられる。一方、Cd、CuおよびAsでは作土と底質中の濃度が平衡状態にあるが、平均値からみて現時点でのかんがい水からの負荷はないものと考えられる。Pbについてはかんがい水の影響は全く考えられない。以上の結果から、水田における天然賦存量の年次変化のうちZnは時間的変化も含まれるが、残りの4元素では大部分が場内のバラツキに由来するものと推定される。

第7表 水田作土と底質の元素濃度の比較

元 素	地点数	幾 何 平 均 (ppm)		相 関 係 数
		水田作土	底 質	
Cd	86	0.35	0.29	0.47 **
Zn	86	9.1	16.3	0.44 **
Cu	86	5.1	5.0	0.64 **
Pb	27	2.4	2.0	0.30
As	27	0.46	0.33	0.46 *

** 1%, * 5% 水準有意

(3) 重金属類の全量と浸出濃度との関係

これまでですべて浸出濃度を対象に検討したものであるが、得られた結果が絶対濃度（全量）においても成り立つかどうかをみるために両濃度の関係を調べた。概況調査の定点からランダムに選んだ土壤サンプルについて硝酸・過塩素酸分解による全量（T）と概況調査と同一の浸出による浸出量（S）との濃度を対比して第8表に示した。サンプル数が少ないため、ここではカイ二乗検定を行わずに真数を用いた。

溶出率（S/T）はいずれの元素も火山灰を母材とする土壤（V）よりも沖積土壤（A）で高く、とくにCuでその差異が著しかった。V土壤でCuの溶出率が低いのは腐植とCuが酸不溶のキレート結合を形成するためと²⁸⁾考えられる。作土の元素間ではCdがほぼ80%と高く、残りの4元素は10～20%の範囲であった。TとSの相関はいずれの元素もA土壤では有意であったが、V土壤ではCdのみが有意となった。重金属汚染土壤ではTとSに高度の相関関係が認められ、溶出率の平均値はCdが67%、Zn、CuおよびPbが約40%、Asが16%という例がある。溶出率および相関関係において第8表と汚染土壤に差異があるが、これは元素の存在形態や土壤の違いに基づくものと考えられる。全量と浸出濃度との関係

第8表 農用地作土の全量(T)と浸出濃度(S)との関係

元素	土壤の種類	算術平均 (ppm)		S / T	相 関 係 数
		T	S		
Cd	V	0.41	0.30	0.75 ± 0.21	0.70 **
	A	0.28	0.26	0.87 ± 0.25	0.94 **
Zn	V	93.5	8.7	0.10 ± 0.04	0.01
	A	68.0	8.1	0.12 ± 0.04	0.80 *
Cu	V	61.7	2.7	0.05 ± 0.05	-0.46
	A	33.8	8.9	0.26 ± 0.10	0.98 **
Pb	V	16.3	2.3	0.15 ± 0.07	0.32
	A	12.7	2.6	0.20 ± 0.11	0.73 *
As	V	6.5	0.98	0.17 ± 0.20	0.21
	A	8.6	2.21	0.25 ± 0.08	0.77 *

注) (1) ** 1% 水準, * 5% 水準有意

(2) 火山灰土(V) n = 13, 沖積土(A) n = 9

は元素や土壌の種類および汚染の程度などで変化し、両者の交換性は限られた条件でのみ成立する。したがって、概況調査において得られた浸出濃度の分布型、元素間の相関関係および第Ⅱ次サンプリングの変異幅などを全量に外延して考察することは不適当であるといえよう。ただ、Cdだけは全量と浸出濃度の相関係数および溶出率が高いために両者の差異は小さいものと考えられる。

2. 農作物

1) 概況調査

(1) 天然賦存量

土壌の場合と同様に地点ごとに年次別的水稻玄米の分析値をまとめ、真数と対数変換値の各種統計量を求めて第9表に示した。歪度 (G_1)、尖度 (G_2) およびカイニ乗値 (χ^2) からCdおよびAsは対数正規分布型、Cu、ZnおよびPbは正規、対数正規分布の複合型と判定され

る。したがって、地点別のサンプル群はランダムな第Ⅱ次サンプル群とみなされ、平均値 (\bar{x}) と範囲 ($\bar{x} \pm S$) を求めると以下のとおり。Cd およびAsは対数変換値、残りの3元素は真数について計算した。

Cd (ppm): 0.036 ~ 0.157

Zn (ppm): 20.1 ~ 24.2

Cu (ppm): 1.81 ~ 3.12

Pb (ppm): 0.12 ~ 0.39

As (ppm): 0.042 ~ 0.155

ひずみ指数 ($H\sigma$) は第2表の水田作土と比較すると、Cdでは作土よりも水稻玄米が大きく、ZnおよびCuはその逆であり、PbおよびAsはほぼ同等であった。 $H\sigma$ の値が7以下では対数正規分布曲線のひずみが小さく正規分布型とみなせるから、ZnおよびCuはこの点からは正規型と判定される。

第9表 水稻玄米の各種統計量

元素	\bar{x}		S		G_1		G_2		χ^2		$H\sigma$
	算術	幾何	x	log x	x	log x	x	log x	x	log x	
Cd	0.097	0.075	0.073	0.319	1.6	-0.2	5.4	3.1	26.8	1.8	8.3
Zn	22.153	22.058	2.050	0.041	-0.2	-0.4	2.4	2.5	3.1	4.8	5.4
Cu	2.464	2.378	0.655	0.118	0.5	-0.3	3.2	2.9	0.5	0.7	6.9
Pb	0.254	0.221	0.134	0.244	1.4	-0.7	7.3	4.1	5.7	6.5	7.9
As	0.097	0.080	0.059	0.286	1.4	-0.7	6.1	4.0	9.5	3.3	8.2

注) (1) \bar{x} と S (除 log x) の単位は ppm, $H\sigma$ は bit
 (2) 玄米の水分率はすべて 10 ~ 14 % の範囲内

第10表には土壌群別的水稻玄米中の重金属濃度の範囲 ($\bar{x} \pm S$) を示した。土壌群別の地点数が少なく、 χ^2 はいずれも10以下となり(表略)、分布型を特定するこ

とが困難なので、表には対数変換値について範囲を記載した。なお、Zn、CuおよびPbでは対数変換値と真数との範囲の差異はわずかであり、両者は事実上一致して

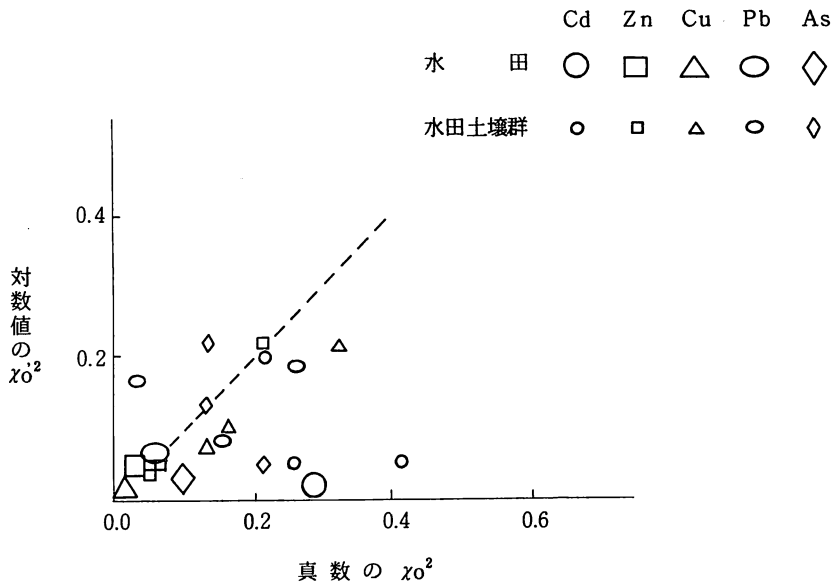
第10表 土壌群別水稻玄米の元素濃度の範囲

土 壌 群	地点数	Cd	Zn	Cu	Pb	As
多湿黒ボク土	31	0.03 ~ 0.17	20.6 ~ 24.3	1.66 ~ 2.89	0.12 ~ 0.44	0.03 ~ 0.19
黒ボクグライ土	4	0.09 ~ 0.16	20.0 ~ 22.0	1.68 ~ 2.40	0.18 ~ 0.42	0.04 ~ 0.10
灰色低地土	25	0.04 ~ 0.14	19.3 ~ 23.8	2.21 ~ 3.38	0.12 ~ 0.35	0.05 ~ 0.13
グライ土	25	0.04 ~ 0.18	21.3 ~ 24.8	1.75 ~ 3.24	0.15 ~ 0.39	0.05 ~ 0.13
黒泥土	4	0.02 ~ 0.07	18.1 ~ 24.6	2.01 ~ 2.67	0.11 ~ 0.33	0.07 ~ 0.20
泥炭土	3	0.06 ~ 0.09	19.0 ~ 20.7	1.73 ~ 2.84	0.12 ~ 0.26	0.03 ~ 0.26

いた。いずれの元素も土壌群による濃度差はほとんど認められなかったが、黒ボクグライ土が黒泥土、泥炭土よりも Cd 濃度が高い傾向を示した。ただ、上記 3 土壌群の地点数が少ないため断定には一考を要する。

土壌と同様に真数および対数変換値について χ^2 を地点数で除した χ^2 を求めて第 2 図に示した。同図には水田全体と多湿黒ボク土、灰色低地土およびグライ土の土

壌群別水稲玄米の χ^2 を示した。第 1 図と同様に分布型を区分すると、水田では Cd が対数正規分布型、残りの 4 元素は複合型に判定される。また、土壌群ではいずれの元素も対数正規分布型、複合型に配分され、特定の領域に集中する傾向は認められなかった。なお、土壌と異なり、正規分布型の領域には 1 点も存在しなかった。



第 2 図 水稲玄米元素濃度の真数と対数値の χ^2 の関係

第 11 表には畑作物可食部中の重金属類濃度の地点の平均値 (\bar{x}) と標準偏差 (S) を示した。地点数が少ないためここでは真数について計算した。上述のように地点数が少ない場合には真数と対数変換値の \bar{x} , S の差異が小さく、両者はほぼ同一と考えられる。作物の種類によって水分率が異なるため、作物間の元素濃度の比較は難しいが、Zn と Cu は作物の種類でかなり変化することがうかがわれる。

(2) 土壌 - 玄米中重金属類濃度の相関

土壌の特性値と水、陸稲玄米中重金属類濃度との相関係数を求めて第 12 表に示した。水稲では土壌 (除く pH)、玄米の特性値とも対数変換値を用い、陸稲では両者とも真数について計算した。第 2 表のように水田作土中の

Cd 濃度は正規分布型が仮定されるので、データの対数化には問題があるが、第 1 図では複合型と判定されており、真数と対数変換値に大差はないものと考えられ、土壌のほかの元素と統一を図るために対数化を行った。水稲玄米では第 10 表から Cd および As が対数正規分布型、残りの 3 元素が複合型とみなされ、対数化に問題はない。陸稲では地点数が少なく分布型を特定するのは困難なので真数を用いた。

水稲では 5 組に有意な相関関係が認められ、同一元素で土壌 - 玄米間に正の相関が存在したのは Cd だけであった。水稲玄米中の Cd 濃度は幼穂形成期あるいは出穂期における水管理状態 (酸化還元電位) に支配され、汚染地においては一般に土壌 - 玄米間に相関は認められて

第11表 畑作物可食部の元素濃度の平均値(\bar{x})と標準偏差(S)

作物	地点	Cd		Zn		Cu		Pb		As		水分率	
		\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S
陸 稲 **	12	0.09	0.05	24.6	5.3	3.74	1.07	0.11	0.15	0.02	0.03	12	1
オ オ ム ギ **	1	0.04		24.0		2.04		0.0		0.05		12	
トウモロコシ **	3	0.03	0.02	27.4	12.6	3.74	2.11	0.37	0.35	0.02	0.02	14	12
ダ イ ズ *	7	0.04	0.02	30.5	12.3	6.36	1.85	0.17	0.17	0.04	0.04	48	26
ア ズ キ *	2	0.03	0.01	21.0	2.1	5.00	0.12	0.00	0.00	0.06	0.03	32	4
ラッカセイ *	9	0.11	0.06	21.2	3.7	7.96	1.74	0.26	0.24	0.07	0.06	21	10
インゲン	1	0.01		5.95		2.74		0.2		0.01		77	
カンショ	13	0.02	0.01	2.15	0.55	1.66	0.61	0.10	0.09	0.01	0.01	71	3
サトイモ	3	0.02	0.01	2.68	1.18	1.36	0.34	0.33	0.42	0.01	0.01	82	6
バレイショ	2	0.05	0.07	2.69	2.04	1.03	0.94	0.50	0.42	0.01	0.01	73	1
ダイコン	1	0.04		3.51		0.29		0.1		0.00		93	
カ ブ	2	0.05	0.00	2.85	0.19	0.57	0.28	0.05	0.07	0.02	0.01	94	0
ネ ギ	4	0.04	0.04	3.62	0.89	0.62	0.16	0.28	0.31	0.01	0.01	93	1
ゴ ボ ウ	1	0.13		9.88		3.84		0.1		0.05		82	
ショウガ	1	0.02		3.35		0.53		0.1		0.05		96	
ハクサイ	4	0.03	0.02	3.85	1.59	0.37	0.13	0.34	0.33	0.02	0.03	93	3
キャベツ	1	0.15		9.61		0.59		0.5		0.01		88	
カリフラワー	1	0.02		5.02		0.49		0.0		0.00		93	
ニ ラ	2	0.02	0.03	7.90	0.70	1.85	0.49	0.35	0.21	0.03	0.02	92	0
ミ ツ バ	2	0.03	0.02	2.54	0.98	0.84	0.02	0.84	0.04	0.01	0.01	89	1
キュウリ	4	0.01	0.01	2.43	1.12	1.16	1.01	0.14	0.11	0.04	0.05	95	1
ウ リ	1	0.01		1.38		0.57		0.0		0.02		97	
ト マ ト	3	0.03	0.02	1.96	1.29	0.59	0.16	0.22	0.14	0.01	0.01	94	0
メ ロ ン	1	0.01		1.73		0.11		0.0		0.00		92	
ス イ カ	5	0.01	0.01	1.48	0.72	0.35	0.13	0.05	0.07	0.01	0.01	93	3
ナ ス	15	0.05	0.04	2.14	0.62	1.05	0.25	0.19	0.19	0.01	0.01	92	4
ビ ー マ ン	2	0.02	0.01	2.14	0.08	0.86	0.13	0.10	0.14	0.02	0.03	91	2
トウガラシ	1	0.04		3.25		1.83		0.0		0.05		79	
カボチャ	2	0.03	0.02	2.58	1.57	0.58	0.01	0.20	0.00	0.03	0.03	87	15
リンゴ	1	0.00		0.90		0.65		0.1		0.05		85	
ナ シ	1	0.02		2.43		0.74		0.2		0.00		90	
ク リ	1	0.01		4.96		4.45		0.2		0.01		63	
ブドウ	1	0.01		1.73		0.40		0.1		0.00		87	
カンピョウ	1	0.00		0.89		0.58		0.0		0.00		97	
ク ワ	2	0.03	0.01	5.25	3.75	2.31	0.37	0.65	0.07	0.05	0.02	54	26

注) (1) ** 風乾物, *は半風乾物, 無印は新鮮物当り。

(2) 元素濃度は ppm, 水分率は%単位

第12表 水稲および陸稲の玄米中元素濃度と土壌中特性値との相関

作物	特性値	土			壤		
		pH(KCl)	Cd	Zn	Cu	Pb	As
水稲 (n=12)	Cd	-0.09	0.22 *	0.16	0.14	0.24 *	0.12
	Zn	-0.02	-0.35 **	-0.03	0.07	-0.33 **	0.03
	Cu	0.02	0.02	0.04	0.14	-0.03	0.08
	Pb	0.00	0.03	0.16	-0.01	0.01	0.06
	As	0.00	0.20	0.19	0.21 *	0.12	0.19
水稲 (n=12)	Cd	-0.33	-0.18	-0.36	0.43	0.20	-0.21
	Zn	-0.78 **	-0.13	0.03	0.31	0.52	0.11
	Cu	-0.65 *	-0.59 *	-0.52	0.74 **	-0.17	-0.42
	Pb	-0.05	0.38	0.14	-0.47	0.00	0.30
	As	0.15	0.13	0.12	-0.36	-0.43	-0.17

** 1%, * 5%水準有意

2.8,25) いない。第12表の結果は非汚染田という違いはあるものの従来の知見とは異なっている。これは数年間の平均値を用いているため各地点の酸化還元状態が平均化されて収束し、酸化還元状態が同一水準において土壌-玄米間の相関をみていることに相当するために有意になったとも考えられる。しかし、有意とはいえ相関係数の絶対値が小さいこと、残りの4組の相関関係の解釈が困難であることなどを考慮すると、Cdの土壌-玄米間の相関関係は見かけ上のものである可能性が強い。

一方、陸稲では土壌 pH と玄米中 Zn, Cu 濃度間に負の相関が、土壌 Cu - 玄米 Cu 間に正の相関関係が認められた。Zn と Cu は植物の必須元素であり、土壌中の濃度が低い場合や高 pH 条件においてしばしば欠乏症が出現する。果樹、コンニャクなどの Zn 欠乏およびムギ類の Cu 欠乏が上記条件で惹起されることから類推すると、これら3組の相関については説明がつく。土壌 Cd - 玄米 Cu 間の負の関係は解釈が難しい。カンショおよびナスについても真数を用いて相関係数を求めた（表略）が、説明し得る関係は得られなかった。

(3) 水稲玄米中重金属類濃度の地点間、地点内分散の比較

土壌と同様に真数について水稲玄米中重金属類濃度の

地点間分散 (Vb), 地点内分散 (Vw), 分散比 (Fo), 限界 ($3 \times \sqrt{Vw}$) および変異係数 (CV) を求めて第13表に示した。畑作物については同一種類の地点数が少ないため省略した。Cd および Cu は Vw より Vb が大きく、Fo は 1% 水準で有意であった。Zn, Pb および As では Vw と Vb がほぼ同等であった。 $3 \times \sqrt{Vw}$ は地点内の変化、つまり年次間変化が正規分布型であれば年次別分析値の 99% 信頼幅に相当する。CV は As, Cd および Pb がほぼ 100% で、Zn および Cu が 20~30% であった。以上の結果から、CV が高い Cd, Pb, As のうち Cd は

第13表 水稲玄米の地点間分散 (Vb) と地点内分散 (Vw) の比較

元素	Vb	Vw	Fo	$3 \times \sqrt{Vw}$ (ppm)	CV (%)
Cd	0.025	0.009	2.6 **	0.28	101
Zn	20.2	22.5	0.9	14.2	21
Cu	2.10	0.60	3.5 **	2.3	32
Pb	0.07	0.06	1.2	0.7	94
As	0.012	0.013	0.9	0.34	119

注) (1) $Fo = Vb / Vw$ で、** は 1% 水準有意
 $CV = \sqrt{Vw} / \bar{x} \times 100$

Vbがさらに大きいこと、ZnとCuではCVは比較的低いがZnはVbとVwがほぼ等しいこと、などが特徴としてあげられている。

Vwは土壤の場合と同様に第Ⅱ次サンプリング誤差と第Ⅲ次サンプリング誤差が一次結合したものと考えられる。原子吸光分析におけるPbの検出感度が残りの4元素よりも低いことから、Pbでは第Ⅲ次サンプリング誤差がVwに占める割合は比較的高いことが考えられるが、残りの4元素では土壤と同様に第Ⅱ次サンプリング誤差が大部分を占めるものと推定される。第Ⅱ次サンプリング誤差は場内の空間的濃度の変化と気象など環境条件の違いにともなう時間的濃度変化から構成される。一筆水田における水稻もみ中の一般化学成分濃度は正規分布型を示し、わらからもみへの移行率の高いチッ素では変異係数は5%と低いが、その低いケイ酸ではほぼ16%と高いことが明らかにされている。この結果から、難移行性である重金属類は一般成分よりも場内の濃度変化が大きいことが予想される。第4表と第13表を比較すると、Cd、PbおよびAsは土壤中よりも玄米中のCVが大きく、ZnとCuではその逆であった。玄米中の重金属類元素のは場内における変動幅の基準をZnおよびCuのCV20~30%と仮定すれば、これよりもCVの高いCdおよびAsでは年次変化、Pbでは分析誤差が加わっているものと推定される。

(4) 気象要因と水稻玄米中CdおよびAs濃度との関係

水稻玄米中のCdおよびAs濃度は年次変化が大きく、気象などの環境条件に濃度が支配されていることが考えられる。ここでは年次別の玄米中の両元素濃度と7月の気象要因との関係について若干の検討を試みた。7月を検討対象としたのは本県の水稻はおおむねこの時期に幼穂形成期に当たり、これら元素の玄米へのとり込みが左右されるものと思われたからである。各地点の気象状態は不明なので、県内全域における平均的な対応関係をみるために玄米中CdおよびAs濃度は年次別の地点の幾何平均値を用い、気象要因としては7月の降水量と平均気温の県代表値を用いた。県内平坦地は降水量および気

270

温から7地域に気候区分されているので、水田の調査地点の存在しない鹿島南部地域を除いた6地域から大子、小瀬、日立、水戸、下妻および鹿特の各1カ所の測候所を選んで6カ所の平均値をもって県の代表値とした。なお、1974年以降は毎年全定点の $\frac{1}{3}$ 調査であったが、調査地点が地域的に偏在しないように配慮してあるため、各年次の調査地点数は1974年以降は $\frac{1}{3}$ に減少しても玄米中CdおよびAs濃度の幾何平均値は全県の平均値と考えられる。

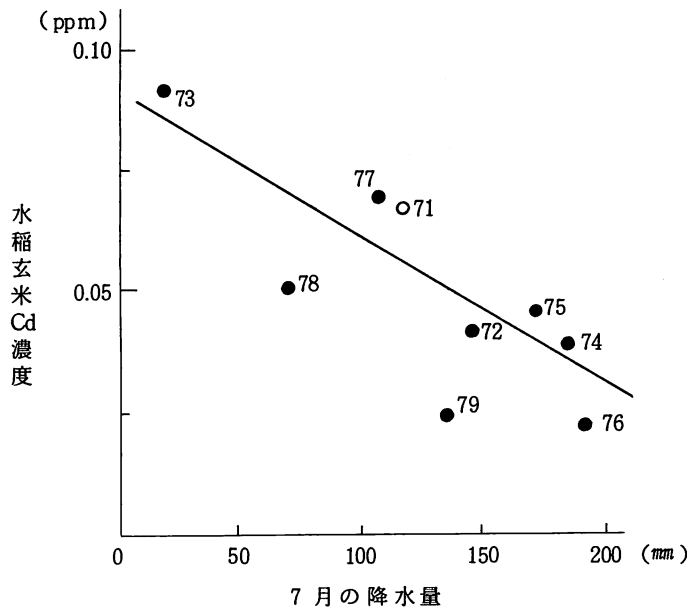
第14表に相関係数を示した。玄米中Cd濃度は降水量、平均気温とそれぞれ負、正の相関関係が認められた。降水量とCd濃度との関係は第3図のようにほぼ直線的であり、県内非汚染水田では玄米中Cd濃度が7月の降水量と密接に関連していることがうかがわれる。増井らは⁶⁾9月中の乾田日数と水稻玄米中Cd濃度とに高度な正の相関関係を認めている。汚染土では幼穂形成期前後の土壤の酸化還元状態に水稻玄米中Cd濃度が支配されることが知られている。^{20, 23, 24)}これらの知見から、7月の降水量は水稻の幼穂形成期における水田の乾湿状態に関係し、水田土壤が乾燥している期間が長いほど玄米中Cd濃度が高まるものと考えられる。玄米中Cd濃度と気温との関係に関する知見は皆無であり、第14表中の両者の正の相関については現時点では説明が難しい。

Asの添加試験によると水稻のAs吸収は湛水状態が細状態よりも大きい⁵⁾といわれているが、本調査では降水量と玄米中As濃度とに有意な相関は認められなかった。AsではCdと異なり土壤中As濃度の高低によって玄米中As濃度におよぼす土壤の乾湿状態の影響に差異が

第14表 年次別水稻玄米中のCdおよびAs濃度と7月の降水量、平均気温との関係

元素	年数	相 関 係 数	
		降水量	平均気温
Cd	9	-0.73 *	0.68 *
As	8	0.39	-0.66△

* 5%, △ 10%水準有意



第3図 年次別7月の降水量と水稲玄米Cd濃度との関係

注) 図中の数字は調査年次

あるように考えられた。玄米中As濃度が平均気温と負の相関関係を示したが、両者の関係を調査した報告は見当らない。ただ、Asはリン(P)と土壌および植物体中における挙動が類似しているため、Pの行動からある程度の類推は可能である。水稲のP吸収は低地温下で低下するが、生育後期の稲体中のP濃度はむしろ高まる¹⁷⁾といわれ、玄米中As濃度も気温が低いほど増大することが考えられる。

いずれにしても年次変化の大きい水稲玄米中のCdおよびAs濃度は気象条件に支配される面の強いことが明らかになった。したがって、これら元素の天然賦存量はサンプリング年次の気象状態などによって大きく変化するものと思われる。

2) 補足調査

(2) 水管理と水稲玄米中Cd濃度との関係

概況調査において水稲玄米中CdおよびAs濃度は7月の気象状態と関連することから、これら元素では第II次サンプリング誤差に占める年次変化の割合が高いもの

と考えられた。ただ、第14表は玄米および気象要因とも平均値を用いているため、個々の非汚染土壌における土壌の乾湿と玄米中元素濃度との関係については明らかではない。ここではCdを対象にポット試験によって水管

第15表 水管理と水稲玄米Cd濃度との関係
(ポット試験)

供試土	水管理	もみ重 g/ポット	玄米Cd 濃度ppm
多湿黒ボク土	全期湛水	68a	0.12a
	幼形期以降落水	42b	0.20ab
灰色低地土	全期落水	25c	0.28b
	全期湛水	73a	0.24
	幼形期以降落水	49b	0.30ns
	全期落水	34c	0.32

注) (1) アルファベット文字は5%水準の有意差を示す
(2) 供試土の0.1N-HCl Cd濃度は多湿黒ボク土 0.3 ppm, 灰色低地土 0.4 ppm
(3) 供試品種はコシヒカリ

理と玄米中濃度との関係を調べた。

第15表に示したように概況調査の2地点の水田作土を供試し、降雨遮断したアミ室において水稻を栽培した。 $\frac{1}{2,000}$ aポットに2株植えとし、2連制で実施した。かん水は場内の水道水(地下水)を用い、落水処理は強度に行つて畑状態程度の水分に維持した。結果にみられるように、もみ重は両土壌とも落水期間が長いほど低下した。玄米中Cd濃度は多湿黒ボク土では落水期間が長いほど高まったが、灰色低地土では増加傾向は認められるものの有意ではなかった。この結果から、非汚染土壌では土壌の種類によって土壌の乾湿が水稻玄米中Cd濃度におよぼす影響には差異があることが示唆された。ただ、本試験の落水処理は現地水田においては実現し得ないものであり、現地水田では乾湿にともなう玄米中Cd濃度の変化はわずかであろう。それでも第3図にみられるように玄米中Cd濃度の年次変化が認められるのは、土壌の乾湿に敏感に反応する地点が存在することならびに土壌の乾湿以外の要因、例えば第14表に示した平均気温な

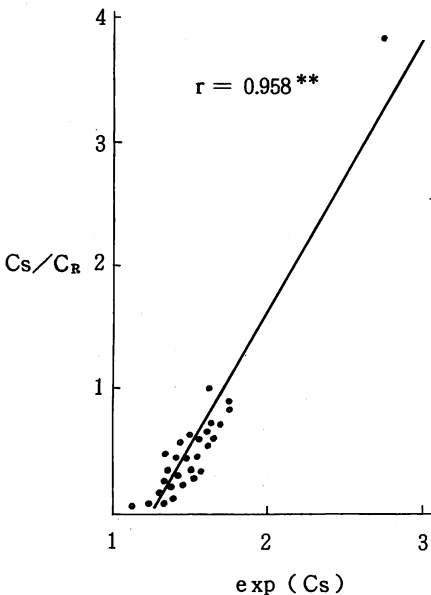
どが土壌の乾湿と交絡して影響を与えていることが考えられる。

(2) 落水状態における土壌中Cd濃度と玄米中Cd濃度との関係

上記のように土壌の乾湿状態で水稻玄米中Cd濃度が変化するため、土壌中Cd濃度とは相関が低いことが考えられる。そこで、ポット試験により水管理条件を一定に保った場合の土壌-玄米Cd濃度間の関係を調査した。供試土壌は1976年の概況調査地点の水田作土30点で、風乾後直径12.3cm、高さ15cmの底孔ポットに容量を一定にして充てんした。ポットをポリ製プール内に設置し、降雨遮断したアミ室において水稻を栽培し、出穂後7日目までは灌水状態を保ち、それ以降はプール内の水深を約2cmとしてポットを落水状態とした。かん水は場内の水道水を用いた。ポットは1株植えとし、2連制で実施した。結果は2連の平均値について検討した。

土壌中Cd濃度と玄米中Cd濃度とは真数、対数変換値とも相関は有意でなく、またポットの玄米中Cd濃度と概況調査で得られた同一地点のそれとの対応関係も認められなかった。(表略)。したがって、土壌が低水分域ではば一定の水分状態にあっても個々の土壌のCd可給量が異なり、さらに土壌の水分状態以外の環境要因が玄米中Cd濃度を支配していることが示唆された。汚染土において玄米中Cd濃度を目的変数、土壌中の理化学成分を説明変数として重回帰分析すると土壌中のCd、Zn²⁴⁾濃度および塩基置換容量が有意な変数になったという例がある。本試験でも落水処理後の土壌の酸化還元電位を含めて土壌の化学成分7特性値について重回帰分析したが、有意な重相関係数は得られなかった(表略)。したがって、非汚染土では理化学成分が水稻のCd吸収に関与している可能性は少なく、むしろ土壌中におけるCd自体の存在形態が重要であるように思われる。ただし、現時点ではこれを立証する統一的な分析法は確立されていない。

前述のように現地汚染水田においても土壌中Cd濃度(C_s)と玄米中Cd濃度(C_R)とは相関関係が認められていない^{2,8,25)}。作土の粒度をそろえた場合に相関係数が



第4図 水管理が一定条件における土壌中Cd濃度exp(Cs)と水稻玄米中Cd濃度(C_R)との関係(ポット試験)

有意になった例もあるが、土壌の種類を統一しない場合には C_R/C_S 比と土壌中Cd, ZnまたはCu濃度とに双曲線的な関係が成立することが報告されている。本試験においても双曲線状の関係が認められた（図略）が、検討した11種の実験式の中では第4図に示すように C_S/C_R と $\exp C_S$ に最も高い相関係数が得られた。回帰式 $C_S/C_R = -3.04 + 2.38 \exp C_S$ から $C_R = C_S / (-3.04 + 2.38 \exp C_S)$ が導かれ、玄米中Cd濃度と土壌中のそれとが密接に結びついていることがうかがわれる。ただ、上式は C_S の増加とともに C_R が低下するという関係にあり、解釈上難点がある。汚染土、非汚染土を問わず C_R/C_S とに双曲線状の関係が認められる理由については土壌中のCdの存在形態とも併せて検討の余地があるろう。

3. かんがい水

かんがい水については補足調査を実施しなかったので、概況調査の結果のみ扱う。CdとAsは全サンプルにおいて検出限界以下の濃度であり、ここでは両元素を除いたZn, CuおよびPbの3元素について検討する。

(1) 天然賦存量

地点ごとに調査年次別の平均値を求め、これをもとに

各種統計量を計算して第16表に示した。3元素とも真数よりも対数変換値のカイニ乗値(X_0^2)が著しく小さく、調査地点の濃度は対数正規分布型と考えられる。カルシウムなどの一般成分においても同一地点のくり返しサンプリングでは濃度の頻度分布は正規分布型であるが、地点間のそれは対数正規分布型を示すといわれる。また、大気浮遊粒子中の各種元素も調査地点の濃度の頻度分布は対数正規分布型に近似する¹⁴⁾。したがって、ランダムに選んだ調査地点における流体中の成分濃度は一般に対数化によって正規分布に近づくものと推定された。pHは一種の対数変換値であるため、真数でも X_0^2 が小さかったものと考えられる。本県かんがい水中の幾何平均(\bar{x})と範囲($\bar{x} \pm S$)は下記のように推定される。

Zn(ppb) : 11.2, 4.6 ~ 27.1

Cu(ppb) : 3.4, 1.7 ~ 6.7

Pb(ppb) : 4.2, 1.5 ~ 11.9

Zn濃度がCuおよびPb濃度よりも高いのは、都市ゴミコンポストをはじめ都市下水および尿などの汚泥中のZnがこれ以外の元素よりも高濃度であることと関係するものと思われる。つまり、ゴミや各種の下水がかんがい水に多量とも流入していることがうかがえる。

第16表 かんがい水の特性値の各種統計量

特性値	\bar{x}		S		G ₁		G ₂		X ₀ ²		H σ
	算術	幾何	x	log x	x	log x	x	log x	x	log x	
pH	7.06		0.27		0.3		3.5		5.5		
Zn	16.2	11.2	19.7	0.38	6.2	-0.4	51.5	3.8	30.7	12.3	8.6
Cu	4.4	3.4	4.9	0.30	4.7	0.6	32.3	4.0	60.4	1.0	8.2
Pb	6.6	4.2	6.9	0.45	1.5	-0.1	5.7	1.8	30.5	7.5	8.8

注) \bar{x} とS(除log x)の元素濃度の単位はppb, H σ の単位はbit

ひずみ指数(H σ)は3元素とも水田作土の対応元素よりもやや大きかった。なお、PHを含めて対象元素間の相関係数も求めたが、すべて有意ではなかった(表略)。

(2) 地点間と地点内分散の比較

第17表に地点間分散(V_b), 地点内分散(V_w), 分散比(F₀), 限界($3 \times \sqrt{V_w}$)および変異係数(CV)を示

した。ここでも土壌および農作物と同様に真数について計算した。pH, ZnおよびCuはV_bがV_wよりも大きくF₀は5%水準で有意となったが、PbではV_bよりもV_wのほうが大きかった。 $3 \times \sqrt{V_w}$ の値は年次変化が正規分布であれば年次別分析値の99%信頼幅に相当するが、3元素ともCVが200%以上となり平均値に対する変異

幅がきわめて大きかった。FoとCVから、pHはCVが小さくてFoが大きいこと、ZnおよびCuはCVは大きいFoも大きいこと、PbはCVが大きくFoが小さいことなどが特徴として上げられる。

Vwは第Ⅱ次および第Ⅲ次サンプリング誤差の和と考えられるが、一般に河川の水質の変化はその集水域の負荷発生の周期に運動して日、週および年変化が認められるため、年次変化の大部分は第Ⅱ次サンプリング誤差に基づくものと推定される。ただ、Pbでは原子吸光計の検出感度が低いので、第Ⅲ次サンプリング誤差も無視し得ない。

第17表 かんがい水の地点間分散(Vb)と地点内分散(Vw)の比較

特性値	Vb	Vw	Fo	$3 \times \sqrt{Vw}$	CV (%)
pH	0.294	0.154	1.9 *	1.18	6
Zn	1,612	1,119	1.4 *	100.	201
Cu	102	74	1.4 *	26	204
Pb	177	318	0.6	53	264

注) (1) $Fo = Vb/Vw$ で、*は5%水準有意
 (2) $Ov = \sqrt{Vw}/\bar{x} \times 100$

IV 論 義

濃度分布の分布型は賦存量の実態やサンプリングのランダム性を知る上で重要な手がかりとなるが、さらに賦存量に対する外的要因の作用機作の推定にも役立つ。つまり、元素濃度が無数の諸因子と加法性または積法性の因果関係で結ばれているなら元素濃度の分布型は正規分布または対数正規分布となるから、分布型から外的要因の作用形態が推察される。ここでは簡単なモデルによって分布型の決定される様相を吟味する。

概況調査において作土、水稻玄米およびかんがい水中の元素濃度は調査地点をサンプリング上の要因とした場合、正規分布、対数正規分布または両者の複合型のいずれかの分布型に判定された。正規分布および対数正規分布は原始分布がどのような分布型であっても確率密度関数が存在すれば、一定区間の乱数がランダムにそれぞれ

加算、積算された場合の値の究極分布(エントロピーが最大)¹¹⁾といえる。したがって、概況調査における元素濃度の3分布型を同時に満足するモデルは加法のおよび積法的因子が共存するもので、両因子の変異区間の大小によって分布型が区別されるものと考えられる。

例えば土壤の元素濃度は下式のように表わされる。

$$X_{ij} = (X_{ij} + Y_{ij}) \times Z_{ij}$$

ただし、 $Y_{ij} = \sum_k y_{ijk}$ 、 $Z_{ij} = \prod_l z_{ijl}$ とする。ここで、Xとxは当該元素濃度を示し、YとyおよびZとzはそれぞれ加法の因子、積法的因子の影響程度を示す。添字i、j (>j'), kおよびlはそれぞれ調査地点、調査年次、加法の因子および積法的因子の識別記号である。すなわち、i地点におけるj年次の元素濃度 X_{ij} は、外的諸因子の作用の影響前の元素濃度 x_{ij}' と加法の因子の濃度変化 y_{ijk} の総和 Y_{ij} の和に積法的因子の濃度変化率 z_{ijl} の相乗 Z_{ij} を乗じたものとして表わせる。iまたはjに関してYが一定でZが有限区間の一樣乱数であれば、xがどのような分布型であれ究極的にはXはiまたはjに関して対数正規分布型となり、Zが一定でYが有限区間の一樣乱数の場合にはXの分布型は正規分布となる。YおよびZがiまたはjに関して同時に一樣乱数であれば、それぞれの区間幅に応じてXは正規分布、対数正規分布または複合型のいずれかに属しよう。

土壤の元素濃度に関係する要因は無数に考えられるが、加法の因子としては農業資材、大気およびかんがい水からの負荷、収穫物の持出しによる濃度低下などが主要であり、積法的因子としては元素の活性化や不活性化の速度といった反応速度が重要であろう。概況調査のようにXが浸出濃度の場合には積法的因子として土壤のpHおよび酸化還元電位による元素の不(可)溶化、またxが全量濃度とすれば積法的因子として土壤の特性(母材の種類、土性、腐植含量など)に基づく溶出率も含まれる。第2表に示したように調査地点別の元素濃度 X_i の頻度分布は水田のCdは正規分布型、これ以外は対数正規分布型であった。したがって、水田のCdでは Z_i よりも Y_i が、これ以外の元素では Y_i よりも Z_i のほうが元

素濃度に対する地点間の差異の大きいことが考えられる。具体的に $y_{i \cdot k}$ または $z_{i \cdot l}$ の大きさを評価するのは不可能であるが、 $Y_{i \cdot}$ と $Z_{i \cdot}$ との影響力の差異は上のように推定される。なお、 $Y_{i \cdot}$ は地点間に大差があるとは考えにくいので、 $X_{i \cdot}$ の分布型は主として $Z_{i \cdot}$ の地点間差異によって決定されるのであろう。概況調査では調査年次別の元素濃度 $X \cdot j$ の頻度分布の分布型については調査年数が少ないため検討していないが、正規分布型であろうと推定した。これは同一地点では $Z \cdot j$ よりも $Y \cdot j$ のほうが影響の程度が大きいと考えたからである。ただ、は場¹⁰内に元素濃度の方向性や局部性が存在することは $Z \cdot j$ に関係し、この場合には $X \cdot j$ が対数正規分布型をとる。

分布型の形成される様相を理解するため、簡単なモンテカルロ・シミュレーションを行った。 $x_{i \cdot}$ を 5, 10, 15, 20 および 25 の 5 段階とし、地点数を各 10 点とした一様分布（算術平均：15.00，幾何平均：13.81，真数の χ_o^2 ：2.25，対数変換値の χ_o^2 ：5.25）について $Y_{i \cdot}$ を 0.00～9.99， $Z_{i \cdot}$ を 0.500～0.999 の一様乱数を対応させて $X_{i \cdot}$ を求め、次に $X_{i \cdot}$ を $X_{i \cdot}$ に順次代入して $i = 50$ まで計算した。50 回の計算結果を算術平均すると対数正規分布型に近似していることが推察された（算術平均：15.18，幾何平均：13.52，真数の χ_o^2 ：12.67，対数変換値の χ_o^2 ：3.50）。この場合には対数正規分布となったが、 $Z_{i \cdot}$ の変異幅を狭くするにつれて複合型，正規分布型に移行することは十分考えられる。

水稲玄米の地点別濃度分布は Cd と As が対数正規分布型，残りの 3 元素が複合型と判定された。上式において X を玄米中元素濃度， X を土壌中元素濃度， Y ， Z をそれぞれ加法的，積極的因子とすれば，土壌と同様のモデルが得られる。添字も土壌と同一であるが，調査年次 j は X と X で等しいとする。 Y としては農業資材，大気およびかんがい水からの当該元素の負荷， Z として土壌の pH および酸化還元電位による元素の不（可）給化，気象および水稲の生理状態による吸収の変化などが考えられる。水稲玄米中の Cd および As 濃度 $X_{i \cdot}$ は第 14 表に示したように気象要因と関係しているため， $Z_{i \cdot}$ に対する依存度が高く対数正規分布型になったものと思われる。

一方，Zn，Cu および Pb では $Y_{i \cdot}$ と $Z_{i \cdot}$ が一定のバランスに保たれているために $X_{i \cdot}$ が複合型になっているのであろう。年次別の元素濃度 $X \cdot j$ については未検討であるが，玄米の Cd および As 濃度は気象などの環境要因と密接に関連するため $Z \cdot j$ の比重が大きく，対数正規分布型に近い分布型であることが予想される。

かんがい水の元素濃度 X も上のモデルで表わせる。 X を負荷源の当該元素濃度， Y を流達中の加法的変化（元素の流入，底質への沈殿など）， Z を積法的变化（希釈，拡散など）とし，添字は $j = j'$ 以外は土壌のモデルと同一とする。かんがい水中の Zn，Cu および Pb 濃度 $X_{i \cdot}$ はいずれも対数正規分布型であり， $Y_{i \cdot}$ よりも $Z_{i \cdot}$ のほうが地点間の変異幅が大きいものと考えられる。年次別の濃度 $X \cdot j$ についても同様な分布型が考えられる。かんがい水にこれら 3 元素は人為的污染源から発生する可能性が強く， X とともに Y が i または j に関してかなり大きく変化することが予想される。したがって，かんがい水では X の分布型が X および Y の分布型で決定される可能性も考えられる。

以上，簡単なモデルによって濃度分布型の決定される機構を考察した。結局，加法的因子が積法的因子よりも影響度合いが強い場合には正規分布型，その逆では対数正規分布型，両因子が平衡関係では複合型になる。ただ，かんがい水のように人為的影響が大きい場合や汚染の突発的発生のように諸因子の一様分布の仮定が崩れれば，上記の議論は成立しない。モデルは加法的，積法的因子とも有限区間の一様乱数であり，自然条件下における元素濃度の分布型についてのみ有効である。

V 摘 要

1) 1971～79年にわたって県内農耕地の作土，農作物可食部およびかんがい水中の Cd，Zn，Cu，Pb および As 濃度を調査した。水田 92 点，畑 47 点の実点はいずれも非汚染地であり，分析値は天然賦存量と考えられた。本調査と併行して室内実験，ポット試験および補完調査も実施した。本報告は天然賦存量の実態を明らかにするために，分布型，変異幅および外的要因について検討し

- た。
- 2) 土壌中元素濃度について地点の頻度分布を調べた。水田のCdは正規分布型、これ以外の元素はすべて対数正規分布型と判定された。分布型に基づいて水田のCd以外はデータを対数変換して平均値を求めると、水田／畑のCd, Zn, Cu, PbおよびAs濃度(ppm)はそれぞれ0.39/0.33, 9.61/8.96, 5.85/1.56, 2.56/1.47 および0.98/0.30であった。
 - 3) 土壌群別に元素濃度を比較したが、大差は認められなかった。ただ、火山灰を母材とする土壌群はCuが低く、樹園地では元素の変異幅が大きい傾向であった。地目別では畑が水田よりもZn, CuおよびPbの変異幅が大きく、平均値はCu, PbおよびAsで水田のほうが高かった。
 - 4) 分布型の適合度を検定するカイニ乗値について、地点数の異なるカイニ乗値を比較するために地点数で除すことを提案した。真数と対数変換値の新しいカイニ乗値から正規分布、対数正規分布および両者の複合型の領域を推定した。農用地→地目→土壌群と細分しても一定の領域に集中する傾向は認められなかった。
 - 5) 土壌中5元素間の相関係数を求めた。多くの対で有意であり、偏相関係数でもすべての元素が他の1つ以上の元素と有意であった。
 - 6) 土壌中元素濃度の地点間、地点内(年次間)分散を比較したところ、前者が後者よりもいずれの元素とも大きかった。地点内分散は第Ⅱ次、第Ⅲ次サンプリング誤差の和と考えられるが、室内実験では前者が後者よりもはるかに大きく、地点内分散は第Ⅱ次サンプリング誤差が主要であろうと推定した。第Ⅱ次サンプリング誤差に関連するのはほ場内の濃度のバラツキとかんがい水からの負荷(Znのみ)であろうと推定した。
 - 7) 本調査では土壌元素の測定に浸出法を採用しているため、若干のサンプルについて全量との関係を調べた。Cdでは両者の相関が高く、しかも浸出濃度/全量の比が0.8であったが、これ以外の元素では沖積土壌のみ相関が有意であり、比は0.05~0.3程度と低く、とくにCuでは沖積土よりも火山灰土で低かった。
 - 7) 水稲玄米中の元素濃度の頻度分布はCdとAsが対数正規分布型、残りの3元素は複合型であった。Cd, Zn, Cu, PbおよびAs濃度(ppm)の平均はそれぞれ0.075, 22.2, 2.46, 0.25, 0.080であった。水田の土壌群別に玄米中の元素濃度を比較したが、いずれの元素にも有意差は認められなかった。
 - 8) 畑作物可食部の元素濃度は作物の種類で水分率が異なるため作物間の比較は難しいが、ZnとCuは作物間の変異が大きい傾向を示した。
 - 9) 土壌中と玄米中元素濃度の相関をみると、水稲ではCdが土壌-玄米間に正の関係が認められた。陸稲では土壌pHと玄米中のZnおよびCu濃度に負の相関、土壌-玄米のCuに正の相関が認められた。
 - 10) 水稲玄米中元素濃度の地点間分散と地点内(年次間)分散を比較したところ、CdとCuでは前者が後者よりも大きかったが、残りの3元素ではほぼ同等であった。地点内分散の大部分はほ場内のバラツキによるものと考えられたが、CdおよびAsは調査年次の7月の気象と関係しているため、両元素では気象状態が地点間、内分散に関与している比重が大きいものと推定された。
 - 11) 水稲玄米中の年次別Cd濃度は調査年次の7月の気温とは正、降水量とは負の相関関係があり、As濃度は気温と負の相関が認められた。Cdが降水量と関係するところから、玄米中Cd濃度は土壌の乾湿と関係することが推定されたので、ポット試験によりこれを検討した。強度に落水処理を行うと落水期間が長いほど玄米中Cd濃度が高まること、落水条件が一定であっても土壌の種類により玄米中Cd濃度は一定でなく、玄米/土壌Cd濃度比と土壌中Cd濃度には双曲線状の関係が存在することが確認された。
 - 12) かんがい水中の元素濃度はCdとAsはすべて検出限界以下であった。地点の頻度分布はZn, Cu, Pbとも対数正規分布型に近似し、平均濃度(ppb)はそれぞれ11.2, 3.4および4.2であった。地点間の分散は地点内(年次間)分散よりもZnとCuでは大きかったが、Pbではむしろ後者のほうが大きかった。
 - 13) 濃度分布の分布型の決定される様相を知るために、

簡単なモデルに基づいて外的因子の影響度合について検討した。加法的因子が優勢であれば正規分布型，積法的因子が優勢であれば対数正規分布型，両因子がほぼ同等であれば複合型になることを推定した。

謝 辞

現地農家の方々には本調査の目的を理解されて試料提供に快よく応じられた。全農業改良普及所の所長を初め関係職員には地点選定と現地案内に協力を戴いた。試料採取には上野忠男主任研究員を初め旧化学部，環境部の同僚職員の手を労した。試料整理の際には現業，臨時職員に協力を願った。京都大学農学部松尾嘉郎助教授には原稿を通読して戴き統計学的なご教示を賜った。上記各位に対して深甚の謝意を表します。

文 献

- 1) 半谷高久 (1960) : 水質調査法, P 52~57, 丸善
- 2) 石川昌男ほか (1974) : 土壌の重金属汚染に関する調査研究 (第 1 報), 茨城農試研報, 15, 121 ~ 130
- 3) 環境庁土壌農業課編 (1973) : 土壌汚染, 白亜書房
- 4) 小山雄生・渋谷政夫 (1973) : 原子吸光法による土壌中ヒ素の定量法, 土肥誌, 44, 486 ~ 490
- 5) 小山雄生 (1975) : 土壌・作物系のヒ素 (As) の挙動, 同上, 46, 491 ~ 502
- 6) 増井正芳ほか (1971) : 水稻玄米のカドミウム汚染度と乾田日数との関係, 東京農試研報, 5, 1 ~ 5
- 7) 増島, 博・竹内 誠 (1972) : 河川中の重金属の定量法, 土肥要旨集 18, 120
- 8) 増島 博 (1972) : 農用地の土壌汚染の現状と対策, 農及園, 47, 8 ~ 12
- 9) 同 上 (1978) : 農業用水の汚濁に関する諸問題, 土肥誌, 49, 516 ~ 524
- 10) 松尾嘉郎 (1971) : 土壌分析におけるサンプリング 講談社
- 11) 同 上 (1973) : 農業技術者のためのサンプリング法 (2), 農及園, 48, 774 ~ 780
- 12) 同 上 (1973) : 同上 (3), 同上, 48, 909 ~ 914
- 13) 同 上 (1974) : 同上 (8), 同上, 49, 256 ~ 260
- 14) 真室哲雄, 溝畑 朗 (1978) : 日本各地の大気浮遊粒子状物質の多元素分析 (I), 大気汚染研究, 13, 357 ~ 364
- 15) 水野直治, 山上良明 (1972) : 玄米中のカドミウム含量予測に関する一考察, 土肥誌, 43, 383 ~ 387
- 16) 日本土壌肥料学会編 (1979) : 下水汚泥, P 187 ~ 207, 博友社
- 17) 農林省振興局研究部監修 (1967) : 土壌肥料全編, P. 851 ~ 853, 養賢堂
- 18) 農林省農蚕園芸局 (1972, 1973, 1974) : 昭和 46 年度, 昭和 47 年度, 昭和 48 年度土壌汚染防止対策調査成績, 土壌保全対策資料 (46, 47, 48)
- 19) 農林水産技術会議事務局 (1971) : 土壌および作物体中の重金属の測定法
- 20) 同 上 (1976) : 農用地土壌の特定有害物質による汚染の解析に関する研究, 研究成果, No.92
- 21) 坂井 弘監修 (1974) : 農業公害ハンドブック, P. 105 ~ 158, 他人書館
- 22) 渋谷政夫ほか (1975) : 環境汚染と農業, P. 137 ~ 170
- 23) 渋谷政夫・小山雄生・渡辺久男 (1978) : 重金属測定法, 博友社
- 24) 渋谷政夫編著 (1979) : 土壌汚染の機構と解析, 産業図書
- 25) 立谷寿雄・館川 洋・横木信介 (1972) : 福島県における農作物および土壌の重金属汚染の実態, 福島農試研報, 10, 1 ~ 32
- 26) 高橋英一・吉野 実・前田正男編 (1980) : 原色作物の要素欠乏過剰症, P. 164 ~ 179, 農山漁村文化協会
- 27) 津田公男 (1975) : 数値分類法による茨城県の気候区分, 茨城農試研報, 16, 109 ~ 113
- 28) 提・道雄・大平幸次・藤原彰夫 (1968) : 腐植質火

山灰土壌における銅欠乏について (第3報), 土肥誌,
39, 126 ~ 130

29) 若月利之・松尾嘉郎・久馬一剛 (1978) : 土壌中諸
元素の天然賦存量 (第1報), 同上, 49, 507 ~ 512

30) 柳沢宗男・高橋治助 (1959) : 作物の試料採取方法
に関する研究 (第1報), 同上, 30, 297 ~ 301

1981年の小貝川決壊による 農作物被害とその軽減対策

狩野幹夫・幸田浩俊・岡野博文・塩幡昭光

1981年の小貝川水害による水稻とダイズの被害を収量・品質の面から調査するとともに、被害軽減対策を検討した。

冠水による水稻の収量と品質低下は穂の発育段階や品種によって異なった。穂ばらみ期に冠水すると減収率は最も大きく約70%以上に達し、ついで出穂期、乳熟期、糊熟期の順になり、黄熟期以降になると約20%の減収にとどまった。大粒品種は小～中粒品種より死米や乳白米などが冠水によって増加した。食味は冠水日数が長くなると悪くなった。冠水によって籾や葉身に汚泥が付着し、光合成速度が低下したことが収量低下や品質悪化の原因であると推定した。穂ばらみ期から出穂期の間に冠水した場合は、不稔籾や白籾を生じるとともに穂いもちが多発生したが、冠水後の薬剤散布により無防除より約10～20%被害を軽減できた。乳熟期以後の冠水では穂いもちの発生は少ないが、“みご折れ症状”（124頁参照）があらわれた。

ダイズは、開花盛期後12～21日の間に冠水すると減収率が大きく、80%を超えた。立枯性病害に強い品種は、減収程度が小さかった。排水性の良い組み合わせ暗渠を施行した圃場や有機物を連用した圃場のダイズ、チウラムを含むベノミル剤で種子粉衣したダイズの減収率は小さかった。リドミル剤の冠水後散布は上子実重を増加させたが、大面積散布は避けるべきであると思われた。

目 次

I 緒 言	113
II 小貝川水害の概況	114
III 冠水と水稻の被害およびその軽減対策	116
1. 冠水と収量	116
2. 冠水と品質・食味	118
3. 冠水籾の発芽・生育	121
4. 冠水と病害	122
5. 冠水と気孔開度の低下	125
IV 冠水とダイズの収量	125
1. 調査圃場の概況と冠水状況	125
2. 調査結果	126
1) 冠水後の土壌の Eh の変化	126
2) 冠水後のダイズの生育	126
3) ダイズの収量	126
4) 後作への影響	129
V 考 察	129

1. 水稻の収量・品質および水害被害の軽減対策	129
2. ダイズの収量など	130

I 緒 言

茨城県南部の利根川下流域は、江戸時代中期から河床の堆積物上より水田耕作が始まったところで、田面標高1m前後、田面勾配約1万分の1という典型的低湿地帯である。利根川とその支流の治水事業が一応の元了をみるまでは水害の常発地帯であった。記録によれば、250年間に31回の洪水にみまわれ、稲作はそのつど壊滅的な被害を受けてきた。

1981年8月24日、台風15号によって利根川の支流小貝川の堤防が決壊し、竜ヶ崎ほか5市町村の農作物に被害が発生した。竜ヶ崎市大徳町にある茨城県農業試験場竜ヶ崎試験地の圃場も洪水の被害を受けた。

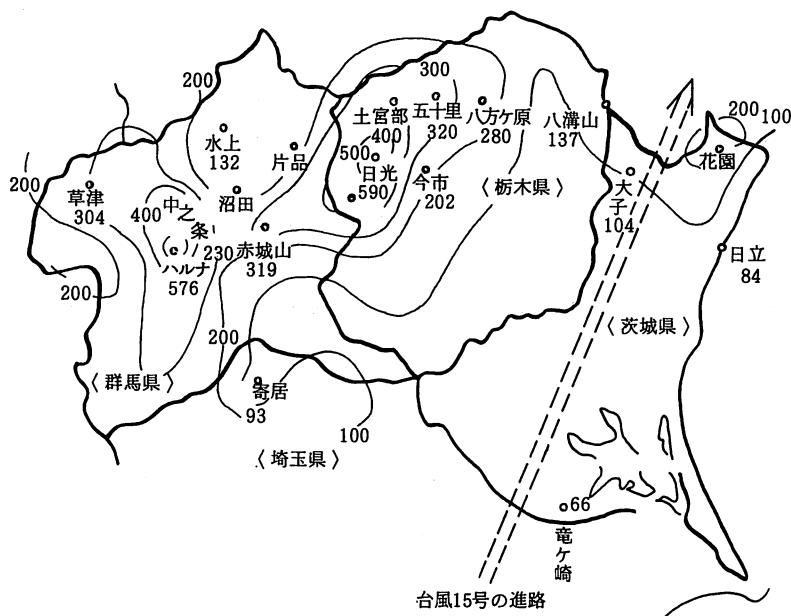
これまでも冠水と農作物の被害については少なから

ぬ研究が行なわれ、冠水の影響は作物の種類や生育時期、品種および冠水時間によって異なり、さらに水の清濁や水温によっても差異が著るしいことが明らかにされている。(1, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 19)しかし、冠水と収量、品質などや被害の軽減対策に関する調査や研究は例が少ない。また、過去の知見の多くは実験的に水害に類似した環境を作ることによって得られたものであるため、悪臭を発生し魚が浮きあがるほどの汚濁水が徐々におしよせ、徐々に退水する現実の洪水による被害とは異なる点があると思われる。そこで著者らは、被害を受けた農家の圃場と場内圃場で水稻とダイズの被害実態を調査すると

もに、その軽減対策試験を実施し、既往の知見と比較した。その結果を報告し今後の参考にしたい。

II 小貝川水害の概況

大型で並の勢力をもつ台風15号は、昭和56年8月23日4時過ぎに千葉県館山市附近に上陸し、時速70kmの早い速度で茨城県を南から北へ縦断した。台風の中心に近い本県は風が比較的弱く、雨は同22日の早朝から同23日の午前中まで降り続いた。23日の午後には天気が回復した。総雨量は県北山間部では200mmを越えたが、平地では40~80mm程度であった。



第1図 8月21日~8月23日までの総雨量

しかし、利根川上流の群馬県山岳部と、鬼怒川上流の栃木県山岳部で500mmを越える大雨があった。このため利根川は増水して小貝川に逆流し、24日午前2時頃に藤代町高須橋上流左岸の小貝川堤防が決壊し、竜ヶ崎市ほか5市町村にわたる広い地域が冠水した。冠水程度別地域は第2図に示したとおりである。

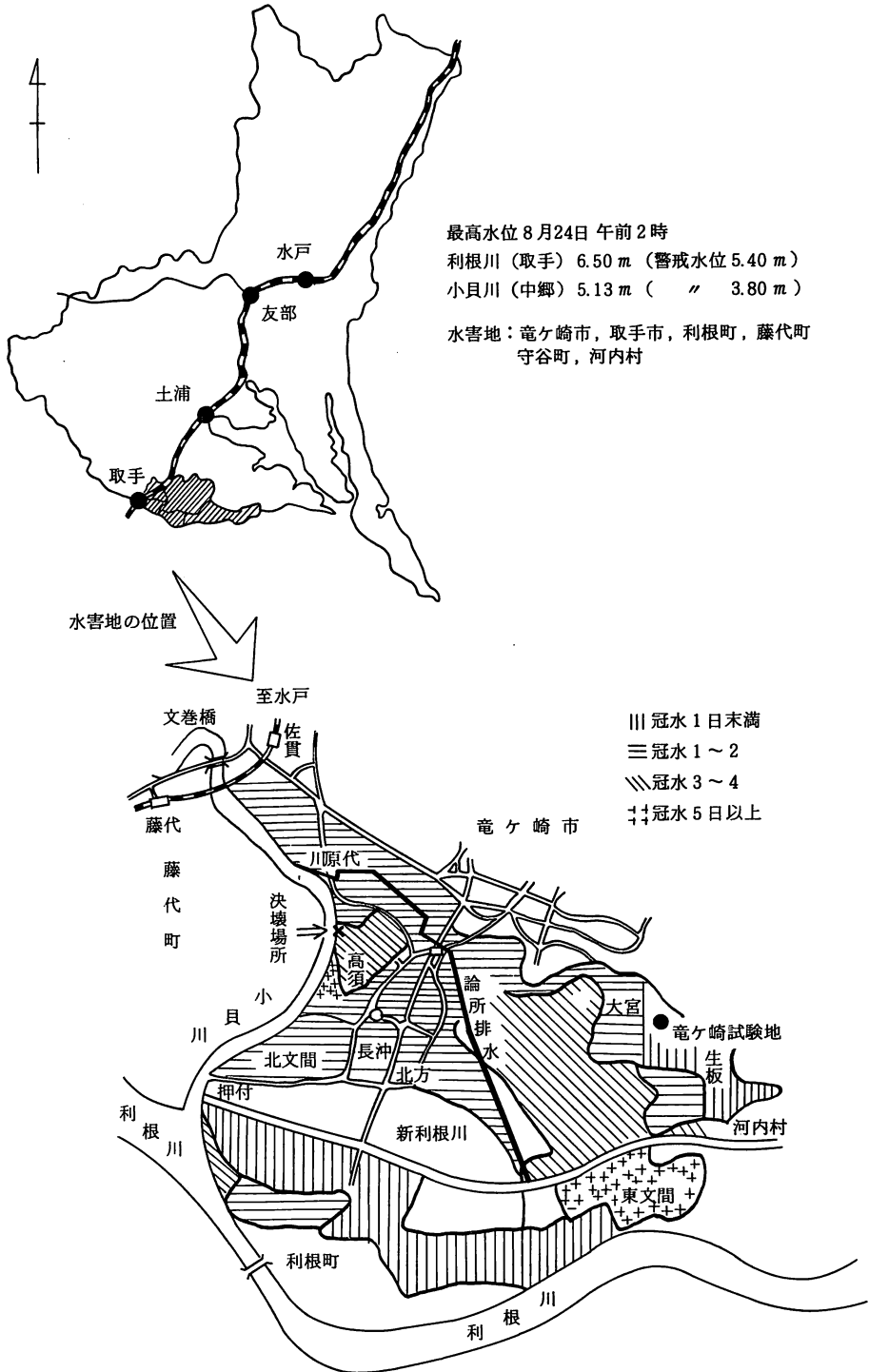
この洪水による水稻の冠水・浸水面積は2552ha、その他転作物の大豆・落花生の冠水・浸水面積は約93haであった。

水害地帯の品種はコシヒカリが全体の55.2%を占め、次いでトヨニシキの19.6%、大空が6.5%、アキヒカリが5.6%、その他が13.1%であった。

水害発生時における各品種の生育時期は第1表に示すとおりである。

早植栽培(以下早植と略す)の初屋・トヨニシキなどの早生品種は出穂後24~34日の時期のものが多く、コシヒカリなどの中生品種では出穂後13~16日の時期のものが多かった。

1981年の小貝川決壊による農作物被害とその軽減対策



第2図 冠水日数別地域区分

第1表 水害発生時における水稻品種の出穂後日数別の面積 (統計事務所) 面積単位: ha

品 種	出穂期後日数						面積率 (%)
	0~8	9~12	13~16	17~20	21~23	24~34	
アキヒカリ	-	-	-	-	-	513	
初 星	-	-	-	-	-	189	
トドロキワセ	-	-	-	-	-	96	
トヨニシキ	-	-	-	-	279	1,514	
キヨニシキ	-	-	-	-	13	73	
コシヒカリ	20	498	4,046	507	-	-	
大 空	-	475	119	-	-	-	
日 本 晴	10	48	3	-	-	-	
そ の 他	-	-	-	314	90	22	
も ち	-	73	229	16	-	-	
計	30	1,094	4,397	837	382	2,407	
面積率 (%)	0.3	11.9	48.2	9.1	4.2	26.3	

第2表 冠水日数の異なる調査場所とその生育概況

耕作者	住 所	冠水日数	生育概況				耕作者	住 所	冠水日数	生育概況			
			稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/株)	倒伏程度				稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/株)	倒伏程度
石山 良一	河内村長竿	0	93	19.2	23.1	0	松田 準	竜ヶ崎市沖花丸	3.0	97	17.4	32.0	3
石山 和雄	" "	0	93	18.3	26.1	0	関口佐太郎	" 佐沼	3.0	91	17.1	21.5	0
試験地	竜ヶ崎市大徳町	0	91	19.5	25.0	0	野村 豊	利根町加納新田	3.0	95	18.2	23.4	0
糸賀 千之	" 千秋	1.0	90	17.2	24.0	0	佐藤 栄一	竜ヶ崎市北方	3.0	96	17.7	20.6	0
高須 隆次	" 佐沼	1.0	93	19.2	27.1	0	佐藤 巖	利根町加納新田	4.0	80	18.3	23.0	0
小林 駿男	" 千秋	1.0	89	18.2	24.4	0	野村 豊	" "	4.0	90	19.2	25.6	3~4
飯島みさこ	" 紅葉内	1.0	87	16.8	19.2	0	石島 幸一	竜ヶ崎市北河原	4.0	93	19.1	21.6	3~4
菊地幸三郎	" 花丸	1.0	90	18.1	20.1	0	山崎 政雄	" 道仙田	4.0	88	17.9	20.0	0
糸賀 千之	" 千秋	2.0	96	17.2	24.8	0	関口 貞夫	" 佐沼	5.0	90	18.4	24.8	0
関口 貞夫	" 佐沼	2.0	84	18.4	24.5	0	関口美代治	" "	5.0	94	18.4	25.2	5
飯島 金吾	" 紅葉内	2.0	91	17.9	22.0	0	山崎 政雄	" 道仙田	5.0	89	16.2	30.0	0
菊地 重幸	" 花丸	2.0	87	17.1	25.0	0							

1) 収 量

作期および品種別の冠水日数と収量の関係は第3表・第3図に示すとおりである。

早植では早生のトヨニシキが初星に比べ減収率が少なかった。初星の減収は千粒重の低下と未熟粒・被害粒の増加によるものであった。中生のコシヒカリは冠水により直線的に減収し、減収率は4日間以上の冠水ではほぼ一定になった。晩生の日本晴はコシヒカリと同様の傾向を示した。

晩植栽培 (以下晩植と略す) では、穂ばらみ期に冠水すると、出穂期直後に冠水した場合より減収率が大きく、

III 冠水と水稻の被害およびその軽減対策

1. 冠水と収量

冠水が収量にどのように影響を及ぼすかについて作期

・品種および冠水日数の長短別について調査した。

調査は、冠水日数の異なる作期・品種から23ヶ所抽出し収量について実施した。調査場所は第2表に示すとおりである。

2日間冠水で約50%減収した。穂ばらみ期冠水は出穂直後の冠水より被害が大きかった。

2) 千粒重と粒厚分布

冠水が千粒重に及ぼす影響を明らかにするため、玄米を1.7mmの縦目篩で選別したのち千粒重を測定した。その結果は第4図に示すとおりである。

千粒重と冠水日数の関係は早植では初星・トヨニシキともに類似しており、3日間冠水では無冠水に比べそれぞれ3%・7%減少し、それ以上の冠水日数では漸減の傾向を示した。コシヒカリの千粒重は、冠水により直線的に減少し、2日間冠水では無冠水に比べ7.4%減とな

1981年の小貝川決壊による農作物被害とその軽減対策

り、6日間の冠水では19%減までになった。

晩植のコシヒカリ、大空およびトヨニシキでは、いずれも冠水日数が長くなるにともない千粒重が減少した。

なかでも大空の4日間の冠水は無冠水に比べ11%減となり、他の2品種より減少が大きかった。

玄米の粒厚分布は第5図に示すとおりである。

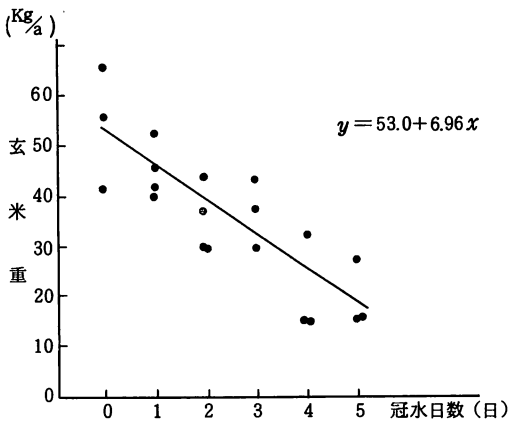
第3表 冠水日数と収量の関係

作 期	早 植 栽 培						晩 植 栽 培					
	早		生		中 生		中 晩 生		中 生		コシヒカリ	
熟 期	初 星		トヨニシキ		コシヒカリ		日 本 晴		穂ばらみ期冠水		出穂期冠水	
品 種	初 星		トヨニシキ		コシヒカリ		日 本 晴		コシヒカリ		コシヒカリ	
項 目	玄米重	同左比	玄米重	同左比	玄米重	同左比	玄米重	同左比	玄米重	同左比	玄米重	同左比
	kg/a	%	kg/a	%	kg/a	%	kg/a	%	kg/a	%	kg/a	%
無 冠 水	58.7	100	61.2	100	55.8	100	57.4	100	52.7	100	52.7	100
1 日 冠 水	-	-	-	-	45.0	81	48.2	84	36.6	69	-	-
1.5 日 冠 水	-	-	58.6	96	-	-	-	-	-	-	-	-
2 日 冠 水	-	-	-	-	38.5	69	-	-	15.9	30	31.2	59
3 日 冠 水	37.3	64	50.7	83	34.9	63	32.7	57	-	-	31.5	60
4 日 冠 水	-	-	-	-	20.2	36	20.9	35	14.1	27	-	-
5 日 冠 水	-	-	-	-	20.0	36	-	-	-	-	-	-

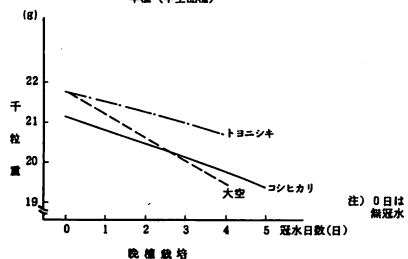
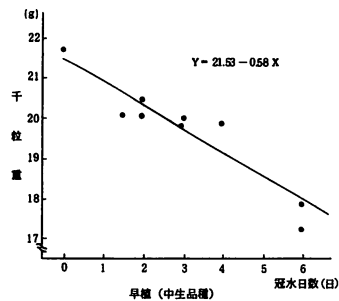
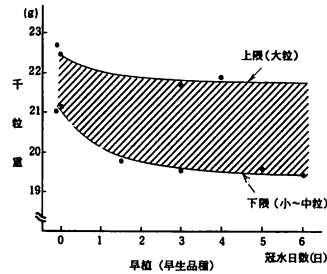
トヨニシキの粒厚分布は4日間冠水までは無冠水と大差なかったが、6日間冠水すると粒厚1.9mm以下が2倍以上に増加した。コシヒカリは2日間以上冠水になると上位粒厚が少なくなり、6日間冠水すると粒厚1.7mm以下が約45%に増加した。

3) 登熟歩合

冠水日数の違いが登熟歩合に及ぼす影響は第6図に示すとおりである。



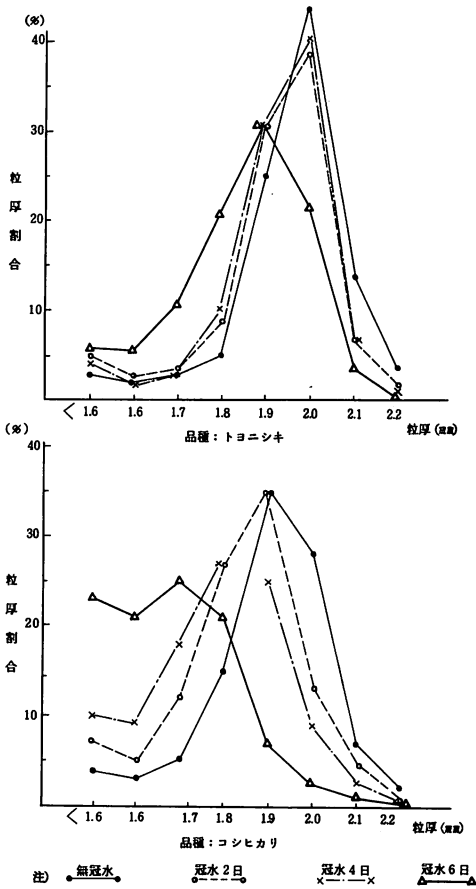
第3図 コシヒカリの冠水日数と収量との関係



第4図 冠水日数と千粒重の関係

早植の初星・トヨニシキでは、冠水日数が長くなって登熟歩合はあまり低下せず、6日間の冠水でも登熟歩合は70%程度(トヨニシキ)であった。コシヒカリでは、2日間の冠水によって登熟歩合は低下し、5日間以上冠水すると登熟歩合は50%以下に低下した。コシヒカリは初星・トヨニシキより登熟が劣った。

晩植の場合、冠水日数が2~4日間におよぶと不稔粒・白稈が生じ、穂いもちも発病し、コシヒカリ・大空およびトヨニシキは無冠水に比べ登熟歩合は低下した。

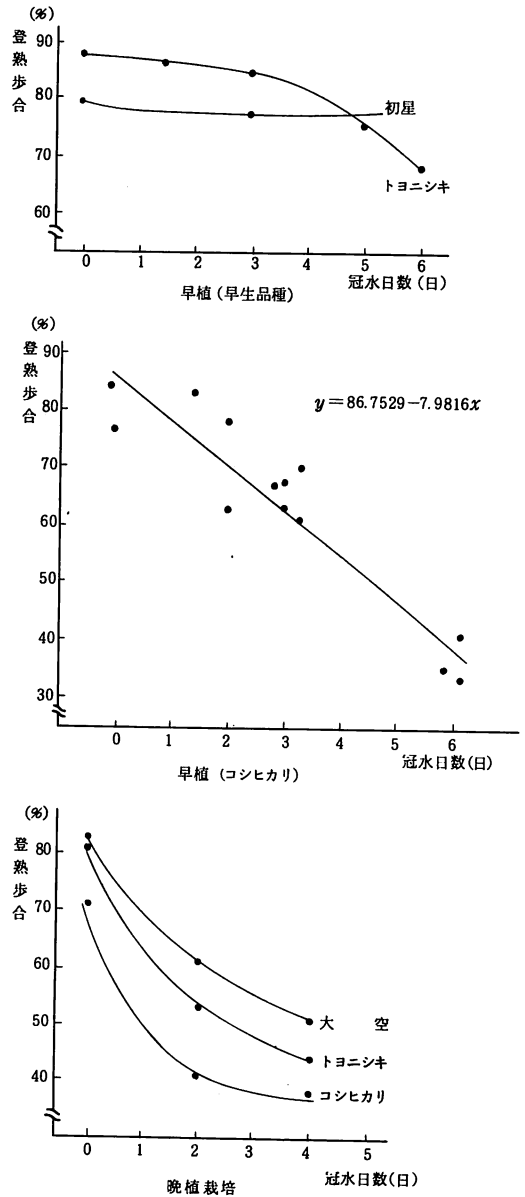


第5図 冠水日数と粒厚分布

2. 冠水と品質・食味

冠水が玄米の品質にどのように影響を及ぼすかについて、品種別・冠水日数の長短別に調査するとともに、薬剤による品質向上策について検討した。

1) 試験方法: 調査場所は冠水日数別に竜ヶ崎市大徳町(無冠水)・竜ヶ崎市千秋(2日冠水)・竜ヶ崎市北方(3日冠水)・利根町加納新田(4日冠水)の4ヶ所を選び、初星・トヨニシキおよびコシヒカリを供試した。



第6図 冠水日数と登熟歩合

1981年の小貝川決壊による農作物被害とその軽減対策

2) 試験結果

特に広域な被害がでた竜ヶ崎市と利根町の玄米検査等級比率は第4表にみられるように、昭和55年と比較すると、全品種とも下位等級や規格外が多かった。

冠水日数の長短と各品種の玄米品質との関係は第5表・第7図に示したとおりである。

冠水によって増加した主な米粒の劣化形質は、強勢穎花にでやすい心白粒・腹白粒および基白粒と、弱勢穎花に発生する乳白粒などであり、特に一般の心白粒・乳白粒（以下これらをI型とする）とは異なる心白II型および乳白II～III型が発生した。（心白II型は既存の心白粒とは逆に、玄米の中央内部が透明で周囲が白くみえる未

第4表 竜ヶ崎市・利根町における昭和56年産米の主要作付品種検査等級割合（茨城食糧事務所・取手支所）

地域	等級	アキヒカリ	ホウネンワセ	初	星	トドロキワセ	トヨニシキ	コシヒカリ	大	空	日本晴
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	
竜ヶ崎市	1	50.2	22.8	22.0	50.5(54.3)	59.4(71.8)	67.5(84.7)	72.4(81.1)	71.8(87.0)		
	2	33.4	77.2	50.9	28.9(45.5)	16.1(18.6)	6.8(14.9)	9.3(17.6)	15.0(11.8)		
	3	12.0	—	3.3	2.5(2.2)	11.9(9.6)	4.5(0.4)	3.7(1.3)	12.7(1.2)		
	規格外	4.5	—	23.7	18.1	—	12.5	—	21.2	—	0.5
	作付割合	11.1	0.2	1.7	0.7	—	29.3	—	37.9	—	1.3
利根町	1	50.9	66.7	30.7	72.6	—	64.7	—	63.1(94.3)	43.2(80.8)	27.2
	2	33.4	33.3	35.0	22.7	—	18.8	—	9.3(5.7)	14.2(19.2)	18.9
	3	13.9	—	23.6	1.7	—	10.6	—	8.0	—	53.9
	規格外	1.7	—	10.6	3.0	—	6.0	—	19.6	—	—
	作付割合	6.3	0.1	5.3	2.5	—	41.9	—	31.7	—	0.3

(注) ()内は昭和55年産の検査等級割合

第5表 冠水日数の差異と玄米品質との関係

品種	冠水日数	玄米								分析					検査等級
		乳白粒I型%	乳白粒II型%	乳白粒III型%	心白粒I型%	心白粒II型%	背白%	腹白%	基白%	死米%	米半死米%	胴割粒%	整粒歩合%	容積重g/l	
コシヒカリ	0	0.2	0	0	3.4	0.2	0	0	0	0.2	0.6	85.4	858	21.4	1 (3中)
	1.5	0.2	1.2	1.2	1.2	1.8	2.4	0	0.8	0	0	79.1	823	20.1	2 (4下)
	3.0	5.1	6.0	5.3	13.7	11.9	3.6	1.2	1.9	0.4	0	37.9	820	19.2	規外
	4.0	1.4	3.1	9.2	15.5	4.1	2.7	6.7	2.3	0	0	39.7	820	19.6	〃
初星	0	4.6	0	0	17.6	0	0.7	0.2	0.5	0	0	65.7	851	23.2	1 (3下)
	3.0	0.2	8.8	3.2	0.6	0	7.3	0	4.7	14.9	2.1	53.4	813	21.3	
トヨニシキ	0	0	0	0	1.0	0	0	0	0.2	0.8	4.4	87.4	858	21.2	1 (2中)
	1.5	2.7	1.0	2.0	1.4	2.7	1.4	0.2	3.1	0.4	4.0	76.5	826	20.5	3 (5中)
	3.0	0.6	2.1	1.1	1.1	3.4	3.2	4.5	1.3	0.6	0	70.8	803	21.0	2 (4中)

(注) ()内は旧検査等級

熟粒である。乳白Ⅱ～Ⅲ型は半死米に類似した性状を呈し、玄米の一部に不透明の光沢を有するものである。))

このような未熟粒および被害粒の発生を品種別にみると、コシヒカリでは心白Ⅰ～Ⅱ型および乳白Ⅰ～Ⅲ型などの未熟粒混入率が高いことによる品質低下が大きく、早生品種ではこれが少なかった。しかし、初星のような大粒品種はトヨニシキのような小～中粒品種に比べて乳白Ⅱ～Ⅲ型・死米および半死米が発生し品質の劣化をもたらした。また、容積重と整粒歩合が明らかに低下した。

成熟期にちかいアキヒカリおよびトヨニシキは一部で3日間以上冠水した圃場で穂発芽を生じ、品質を劣化させた。

検査等級はコシヒカリ・初星ともに3日間冠水で規格外になったが、トヨニシキはいずれも2～3等に格付けされた。

タチガレン500倍液, キタジンP粉剤, フジワン粒剤

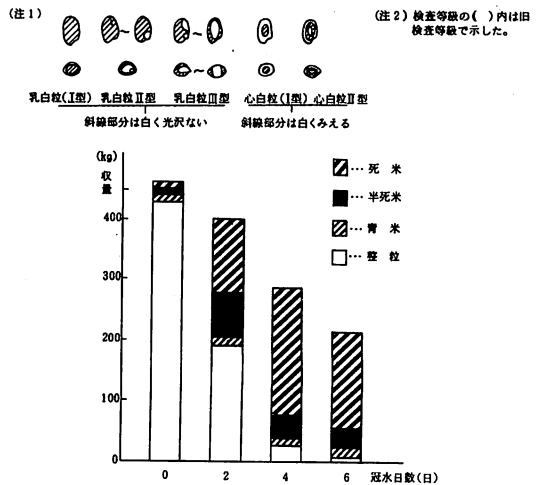
第6表 数種薬剤が品質におよぼす効果

冠水日数	品 種	試 験 区	登 熟 歩 合 %	容 積 重 g/l	検 査 等 級
1.5	コシヒカリ	尿 素 0.1 % 区	80.8	813	2 (4上)
		タチガレン500倍区	79.4	826	1 (3下)
		キタジンP粉剤区	77.9	823	2 (4上)
		フジワン粒剤区	86.3	820	2 (4下)
		無 処 理 区	88.9	813	2 (4下)
2.0	トヨニシキ	尿 素 0.1 % 区	80.7	830	2 (4中)
		タチガレン500倍区	79.0	833	2 (4上)
		キタジンP粉剤区	87.5	826	2 (4上)
		フジワン粒剤区	84.1	830	2 (4上)
		無 処 理 区	79.0	826	3 (5中)
3.0	トヨニシキ	尿 素 0.1 % 区	85.2	803	2 (4下)
		タチガレン500倍区	87.1	816	1 (3下)
		キタジンP粉剤区	84.5	816	2 (4中)
		フジワン粒剤区	84.2	816	1 (3中)
		無 処 理 区	82.5	803	2 (4中)

(注) 検査等級の()内は旧検査等級で示した。

冠水日数が短い(2日)場合は4剤とも効果があるようであり、3日以上と長い場合はタチガレン500倍液およびフジワン粒剤散布区は効果が認められ、容積重・検査等級も上位であった。

および尿素0.1%液を散布し、品質が向上するかどうかをみた結果は第6表に示すとおりである。



第7図 粒質別玄米重(統計事務所)

各品種の冠水日数ととう精歩合の関係は第7表に示すとおりである。

各品種とも無冠水の玄米のとう精歩合を基準にして比較した。コシヒカリおよびトヨニシキでは2日間冠水し

1981年の小貝川決壊による農作物被害とその軽減対策

第7表 各品種の冠水日数ととう精歩合の関係

冠水日数	0日	1.5日	3日	4日
品 種	%	%	%	%
コシヒカリ	92.2	91.7	88.6	85.2
初 星	91.1	—	84.8	—
トヨニシキ	92.6	91.3	90.0	—

た玄米のとう精歩合は無冠水のそれと大差なかった。3日間以上冠水したコシヒカリでは無冠水に比べ3.6%以上、初星では6.3%低下した。ところが、トヨニシキは2.6%の低下にとどまった。

極早生のアキヒカリと中生のコシヒカリについての食味試験結果は第8表に示すとおりである。

第8表 冠水日数の差異が食味におよぼす効果

試験区	外 観	香 り	味	硬 さ	粘 り	異 臭	総合評価
無 冠 水	0	0	0	0	0	0	0
冠 水 2 日	-0.769	-0.307	-0.833	+1.000	-0.214	-0.375	-0.812
冠 水 3 日	-0.846	-0.230	-0.416	-0.071	-0.357	-0.187	-0.625
冠 水 4 日	-1.076	-0.923	-1.168	-0.428	-0.205	-0.812	-0.812

品種：アキヒカリ パネル：農試職員17名

試験区	外 観	香 り	硬 さ	粘 り
無 冠 水	0	0	0	0
冠 水 2 日	-0.125	-0.905	-0.750	-0.125
冠 水 3 日	-0.555	-1.000	-0.500	-0.125
冠 水 4 日	-0.610	-1.250	-1.050	-0.215

品種：コシヒカリ パネル：農試職員10名

両品種の食味は冠水日数の増加にともなって低下するという共通した傾向がみられた。すなわち、炊飯米の外観は冠水日数が長いほど劣る傾向がみられ、4日間冠水すると特に劣った。また、コシヒカリ・アキヒカリともに無冠水の炊飯米に比べ硬く粘りはやや劣り、コシヒカリでは冷えた後の粘りが特に劣った。香りはコシヒカリで2日間冠水から劣り、アキヒカリは4日間冠水で劣った。

両品種とも2～3日間冠水では炊飯米に気になるほどの異臭はなかったが、4日間冠水では明らかに異臭が強くなった。

3. 冠水米の発芽・生育

冠水米が発芽および生育・収量にどのように影響を及ぼすか、について、品種・冠水日数別に調査した。

1) 試験方法：供試材料は2-1)に河内村万歳産

の大空を加え、シャレーの中にもろ紙床をつくり、粳100粒を供試し30℃の条件で発芽試験した。栽培試験は1982年4月15日に冠水米を常法によって播種し、竜ヶ崎試験地の水田を用い生育・収量などを標肥(N0.6kg/a)条件で検討した。

2) 試験結果

収穫4ヶ月後に冠水米を用いて発芽試験をした。その結果は第9表・第10表に示すとおりである。

冠水米は発芽が早く、しかも発芽率が良好であった。しかし、冠水米は発芽揃いおよび鞘葉の長さが不均一であり、鞘葉伸長に遅延がみられた。また、根数が揃いではなかった。

出穂後16日以上経過してから2～4日間の冠水にあったコシヒカリ・初星およびトヨニシキでは100%ちかい

第 9 表 冠水日数と発芽率の関係

品 種	冠水 日数	発 芽 率 (%)		鞘 葉 + 不 完 全 葉 cm	根長 cm	根数 本/ 匍
		播種後 2 日	播種後 5 日			
コシヒカリ	0	0	99	1.3	2.1	1.2
	3	4	99	1.7	3.9	1.3
	4	7	100	1.7	3.3	3.5
初 星	0	0	93	2.3	5.0	5.7
	3	2	99	1.1	1.4	1.0
トヨニシキ	0	5	94	2.2	4.8	5.4
	1.5	38	99	2.2	4.6	5.2
	3	71	100	2.1	4.7	7.0

(注) 置床月日は1982年1月21日

第 10 表 冠水種子による苗質

品 種	冠水 日数	第 1 葉 長	第 2 葉 長	草 丈 cm	葉 令 枚	地上部 乾物重 g/100本
		cm	cm			
コシヒカリ	0	3.9	2.0	13.9	2.1	1.3043
	1.5	4.0	1.3	12.9	2.0	1.159
	3.0	4.2	1.7	14.0	2.1	1.277
	4.0	3.7	2.3	13.4	2.2	1.196
初 星	0	3.4	1.9	11.9	2.1	1.243
	3	3.3	1.9	11.9	2.2	1.269
トヨニシキ	0	3.6	2.4	13.3	2.2	1.122
	1.5	3.8	1.0	12.4	2.0	1.220
	3.0	4.2	1.4	14.0	2.1	1.492

発芽率を示した。しかし、出穂8日後に2日間冠水した大空の発芽率は36%と著しく低下した。

コシヒカリの冠水匍から育てた苗は無冠水から育てた苗に比べ、やや乾物重が劣る傾向がみられ、初星・トヨ

ニシキでは正常苗と同等かやや良好であった。また、育苗期間中に病害は発生しなかった。

本田における生育・収量は第11表に示すとおりである。

第 11 表 冠水種子による本田での生育状況

品 種	冠水日数	出穂期 月・日	成熟期 月・日	稈 長	穂 長	穂 数 本/m ²	玄米重 kg/a	同左比 %
				cm	cm			
コシヒカリ	0	8.4	9.14	79	17.5	556	51.7	100
	1.5	8.5	9.15	82	16.2	533	46.2	89
	3.0	8.5	9.15	83	16.8	627	47.9	93
	4.0	8.5	9.15	81	17.3	524	47.9	93
初 星	0	7.27	9.27	69	16.9	522	50.8	100
	3.0	7.28	9.28	66	16.5	520	46.5	92
トヨニシキ	0	7.28	9.7	67	16.2	536	51.4	100
	1.5	7.29	9.8	66	15.5	542	51.2	100
	3.0	7.29	9.8	70	17.0	533	51.5	100

移植後の活着は良好で、その後の草丈・茎数および出穂期ならびに成熟期も無冠水匍から育てた苗と同等であった。しかし、収量はコシヒカリ・初星では冠水匍から育てた苗を移植した区で明らかに減収した。トヨニシキでは無冠水匍から育てた苗を移植した区と差がなかった。

冠水が水稻の病害にどのような影響を及ぼすかについて品種・作期および冠水日数別に調査するとともに、薬剤による防除対策について検討した。

1) 試験方法：品種・作期および冠水日数別に22ヶ所を抽出し、穂いもちおよびみぞ折れについて調査した。

4. 冠水と病害

1981年の小貝川決壊による農作物被害とその軽減対策

第12表 病害発生圃場の概要および冠水と病害の関係

No.	耕作者名	調査圃場	品 種	冠 水 日 数	田 植 月 日	冠水時期	9月10日			10月5日		
							首い もち 病穂 率%	重枝 梗い もち 病穂 率%	軽枝 梗い もち 病穂 率%	みご 折れ 穂率 %	穂い もち 病穂 率%	みご 折れ 穂率 %
1	宇田 勝利	竜ヶ崎市大座	アキヒカリ	2.0	5・1	黄 熟 期	0.3	0.3	1.0	2.6	-	-
2	"	"	コシヒカリ	2.0	5・1	"	0.4	0.2	2.2	0.6	-	-
3	"	"	"	3.0	5・1	黄～成熟期	0	0.2	1.7	0.6	-	-
4	佐藤 栄一	" 北方	"	3.0	5・5	糊 熟 期	0.3	0.3	2.5	1.0	-	-
5	"	"	初 星	1.5~2.0	5上旬	成 熟 期	0	0	0.6	0	-	-
6	木村 義男	" 高須町	アキヒカリ	4.0	5・7	乳～糊熟期	0.5	0.5	1.8	2.2	-	-
7	木村 博	" 高須下	トヨニシキ	6.0	5・15	糊～黄熟期	0	0	2.1	0.3	-	-
8	"	"	コシヒカリ	6.0	5・15	糊 熟 期	0	0.3	2.1	0.3	-	-
9	野村 豊	利根町加納新田	"	3.0	5上旬	黄 熟 期	0.2	0.4	2.6	0.	-	-
10	佐藤 徹	"	初 星	4.0	5上旬	"	0	0.4	0.8	56.3	-	-
11	野村 豊	"	コシヒカリ	4.0	5上旬	"	0.2	1.1	3.4	0.2	-	-
12	岡野 喜久夫	河内村万歳	"	2.0	5・25	糊 熟 期	0.2	0.6	3.9	0.	-	-
13	小林 駿男	竜ヶ崎市千秋	"	1.5	5・3	黄 熟 期	0	0.2	1.9	0.	-	-
14	"	"	トヨニシキ	1.5	5上旬	成 熟 期	0.3	0	0.8	1.0	-	-
15	大塚 格仁	" 佐沼	初 星	5.0	5・6	成 熟 期	0.2	0.5	0.7	0.5	-	-
16	石島 幸一	利根町大房永井	コシヒカリ	6.0	5・7	黄 熟 期	0.2	1.4	3.4	0.2	-	-
17	長塚 浩一	竜ヶ崎市佐沼	トヨニシキ	4.0	5・5	成 熟 期	0.2	0.8	2.8	0.4	-	-
18	高野 孫一	竜ヶ崎市北方	コシヒカリ	2.0	6・5	乳 熟 期	0	0	0.2	0	35.7	0
19	石島 幸一	" 佐沼	トヨニシキ	4.0	6・15	乳～糊熟期	0	0	0	0	11.6	0
20	"	"	大 空	4.0	6・15	乳 熟 期	0	-	-	-	14.1	0
21	竜ヶ崎試験地	竜ヶ崎市大徳町	アキヒカリ	0	5・6	成 熟 期	0.4	0.5	1.4	0	-	-
22	"	"	初 星	0	"	"	0	0	1.7	0	-	-
23	"	"	トヨニシキ	0	"	乳～糊熟期	0.2	2.9	1.3	0	-	-
24	"	"	コシヒカリ	0	"	黄～成熟期	0.7	0.2	2.2	0	-	-
25	"	"	コシヒカリ	0	6・20	乳 熟 期	-	-	-	-	6.8	0
26	"	"	トヨニシキ	0	"	"	-	-	-	-	0	0
27	"	"	大 空	0	"	"	-	-	-	-	0	0

結果は第12表に示すとおりである。

早植では退水後に穂いもちの発生が憂慮されたが、無冠水圃場の発生と大差なく、冠水による影響は認められなかった。しかし、晩植ではコシヒカりに激発し、いもち

病に強いとされている大空・トヨニシキでも発病穂率は11~14%程度認められた。

薬剤散布による穂いもち防除の効果については第13表に示すとおりである。

第13表 薬剤散布による病害防除の効果

調査場所	作期	品 種	冠 水 日 数	試 験 区	穂いもち発病穂率 (%)	みごおれ (%)
利根町加納新田	早 植	コシヒカリ	4	フジワン粒剤区	3.8	0.6
			4	クタジンP粉剤区	3.7	0.2
			4	タチガレン500倍区	3.3	0.5
			4	無 処 理 区	3.9	0.6
竜ヶ崎市佐沼	晩 植	コシヒカリ	3	クタジンP粉剤区	16.5	0
			3	無 処 理 区	35.7	0
竜ヶ崎市佐沼	晩 植	大 空	5	クタジンP粉剤区	0	0
			5	無 処 理 区	14.1	0.2
竜ヶ崎市佐沼	晩 植	トヨニシキ	4	クタジンP粉剤区	2.2	0
			4	無 処 理 区	11.6	0.4

早植のコシヒカリでは各処理間に差がなかったが、晩植のコシヒカリ・大空およびトヨニシキは薬剤防除によって著しく発病が抑えられた。

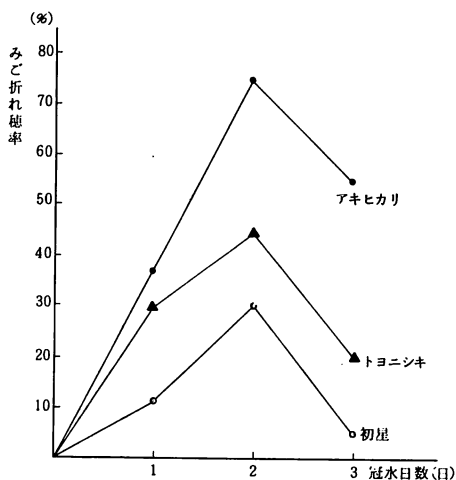
みご折れは早植水稻で2~4日間冠水したものに認められた。品種では初星、トヨニシキ、アキヒカリおよびコシヒカリで発生がみられた。主な発生地帯は、汚水の流れが激しかった水路近辺、および退水後に流木や雑多なゴミ等が集積したところで、いずれも局部的に発生した。

みご折れの再現を試みるためワグネルポットに栽培したアキヒカリ・初星およびトヨニシキを河川の濁水に1~3日間冠水状態で浸漬した。なお、3日間の平均水温は午後0時測定で29.8℃であった。その結果は第8図に示すとおりである。

無冠水区は発病穂率0%に対し、冠水処理区はいずれ
 ※脚注 みご折れとは、穂首節間にかけてのいわゆる“みご”の部分に黄褐色に変色して壊死をおこし、穂の重さおよび風圧などの物理的要因によって折れる現象である。

みご折れが発生し、3品種とも2日間冠水で発病はピークに達した。

みご折れの変色した部位からは 菌類(*Phytophthora SP* *Pythium SP*) 37%, *Fusarium SP* 25.9% その他の菌 40.7%などが分離された。



第8図 冠水日数の違いによるみご折れの発生割合

5. 冠水と気孔開度の低下

冠水後の水稻の光合成速度の測定は、気孔開度と光合成速度が正比例する(2)ことを利用して、気孔開度の測定から光合成速度を推定した。

1) 試験方法：この調査方法は冠水2日間の河内村万歳と無冠水の竜ヶ崎試験地圃場に栽培されているトヨニシキおよび大空を供試し、それらの葉身裏面中央部の気孔開度を改良浸潤法(3)で測定した。気孔開度は上位3葉の合計値であらわし、4反復で実施した。

2) 試験結果

気孔開度の経時変化は第9図に示すとおりである。

トヨニシキおよび大空の冠水区は無冠水区に比べ上位3葉の気孔開度の合計値が低下し、さらに葉身の汚れの程度が大きいものほど気孔開度の低下も大きいことが認められた。

IV 冠水とダイズの収量

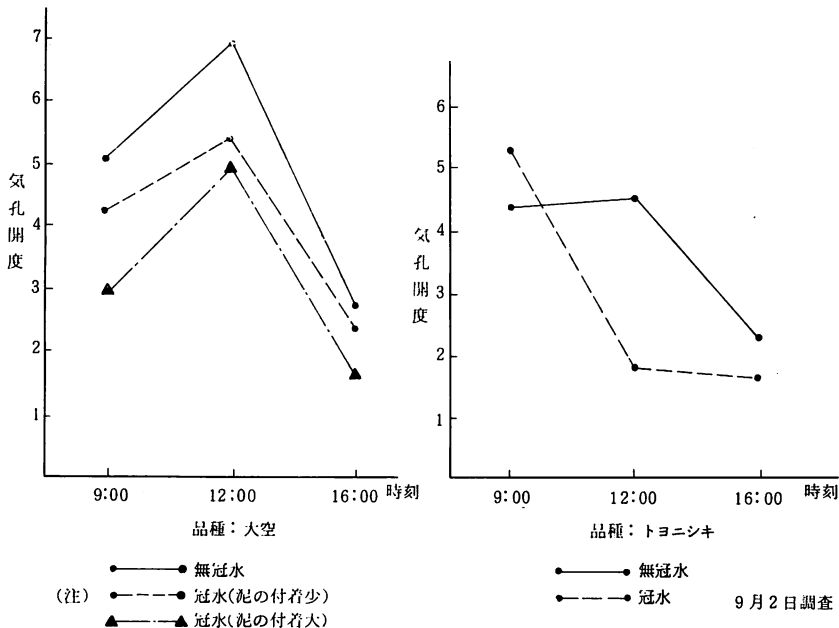
1. 調査圃場の概況と冠水状況

1981年8月現在、竜ヶ崎試験地では、麦類とダイズの連作による収量低下を田畑輪換によって軽減する技術をつ

くするために、地下水位を強制排水で地表下50cmに保った圃場3筆(1筆約30a)で、暗渠の種類を変えたり麦稈やダイズの茎葉を連用した区などを設けて、6月20日から25日の間にダイズを播種し、麦類・ダイズの連作による生育収量の変化や連作条件下での品種比較、立枯性病害の軽減対策、水田期間中の地力変化などを明らかにする試験を実施していた。

8月25日午後2時、試験地の北西および南西の隣接水田から汚濁水が流入しはじめ、毎分0.4m³の割合で排水し続けたにもかかわらず、3筆の圃場の水位は上昇し、同日午後4時にはダイズが水没、午後8時30分には最高水位田面上72cmに達した(以後水位は田面上を+、田面下を-と記述する)。26日午前2時に+63cm、午前6時に+55cmと徐々に低下した水位は、夜明けとともに本格化した排水作業によって急速にさがり、午前9時30分にはダイズの茎頂部が水面上に見えるまでになった(このとき+25cm)。午後4時30分には畦間に水が残る程度にまで退水し、午後6時にはほぼ圃場全体の表面排水が完了した。

この間の圃場浸水時間は約26時間30分、ダイズの冠水



第9図 冠水した水稻葉身の気孔開度の日変化

時間は約17時間30分であった。

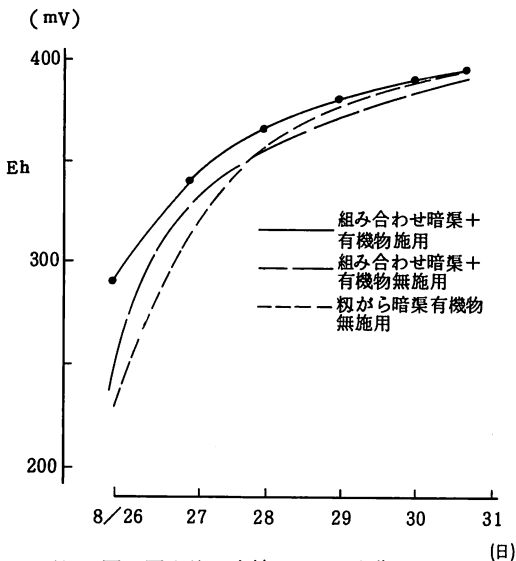
この圃場が洪水の最終到達点であったため、藻類が圃場内通路の土手に大量に付着したが、ダイズへの付着は微粒子状の泥とともに比較的少なかった。

その後の地下水位の低下は暗渠の種類によって異なり、本暗渠単用区(柵がら壁暗渠、間隔9mとした区)に比べ組み合わせ暗渠区(補助暗渠として柵がら充填トレンチ暗渠を4m間隔で本暗渠に直交させた区)では、暗渠中間部でも水位の低下が速やかで、28日午前10時には-40cmに、30日には-50cmにさがった。

2. 調査結果

1) 冠水後の土壌のEhの変化

水がひきはじめ、ダイズの畦の頂部が水面上にあらわれたときから24時間ごとに、作土のEhを測定した。その結果は第10図のとおりである。



第10図 冠水後の土壌のEhの変化
(午後2時測定 6地点の平均、水温は26.0~26.2℃、pHは6.0~6.2)

組み合わせ暗渠区は本暗渠単用区に比べ浸水2日後までEhがやや高く、これに麦稈やダイズ茎葉を連用したところでは、約4日後まで高い値で経過した。

有機物を連用した跡地でEhが高く経過する傾向は、輪換田でも観測された。すなわち、前作コムギ稈を施用したところは無施用に比べEhが17~70mV高いことを

認めた。

2) 冠水後のダイズの生育

水が引いた翌日の27日は、晴天で気温は34℃に上昇した。このため、葉が脱水白変する品種(東山122号)が出現した。

冠水3日後には、外見上異常を認めないが離層を形成した若莢は、全莢の約20~40%に達した。根部の黒変や硫化水素の臭気は認められなかった。

10日後にはこうした莢は全て褐変し、新たに黒緑色を帯びて生気を失った若莢が増加し、この2種類の異常莢は全莢の70~80%を占めるに至った。

14日後にはこうした若莢は全て褐変枯死し、成長している莢だけが残るようになったが、生存している莢のうち20~50%のものは胚の発育が止まり、直径1mm程度の褐変した痕跡を残すのみになっていた。また、ほとんどの品種で7~9節目の葉柄基部に花房様の突起を再分化したが、正常な開花には至らなかった。地際部では不定根が旺盛に発生した。葉が白変する株は増加のピークに達し、東山122号では全株の約50%、ミヤギオオゾロ・タマホマレでは約10%、エンレイでは約5%の株が白変した。革新1号、アイサ、シロタエ、東山80号、同117号、東北60号、同62号、同65号、同66号、同67号、同68号、同69号、同71号、同76号、フクユタカは白変葉を生じなかった。

葉柄の基部が褐変したり、分枝が枯れる株も発生しはじめた。

その後収穫まで通常の管理を続けた。

収穫期はフクユタカと東北71号を除く各品種で、例年より約2週間遅れた。2品種を除いた他の品種は落莢したため青立ち状態になり、根粒はくずれずに収穫時まで残存していた。

3) ダイズの収量

(1) 水をかぶった程度と収量

浸水の程度と収量は第14表のとおりである。

畦間に浸水(約10時間)した圃場の子実重は、全く浸水しなかった圃場よりわずかに低い。種子の予措法の違いや圃場の地力差、播種日がやや遅いことなど、を考

第14表 浸水の程度と収量

品種	調査区	播種日	開花期	成熟期	子実重(kg/a)			同左比率	主 茎		分枝数	m ² 当たり 節 数
					上子実	下子実	計		長(cm)	節 数		
エンレイ	浸水しなかった区	6/23	8/3	10/26	33.18	1.64	34.82	100	51.32	11.85	4.26	411
	畦間浸水区	6/25	8/5	10/13	31.41	1.70	33.11	95	62.30	12.90	3.30	—
	冠水区	6/22	8/3	—	3.36	1.69	5.05	15	62.06	13.70	4.01	417
ミヤギオ	畦間浸水区	6/25	8/8	10/18	30.10	0.72	30.82	100	79.90	14.30	3.20	—
	冠水区	6/22	8/6	—	8.12	5.49	13.61	44	66.96	14.81	3.23	363

慮に入れると、差は認められなかった。

(2) 圃場の排水性と収量

浸水程度がひどくなるに従って、エンレイ・ミヤギオ
オゾロともに主茎節数が増加した。

暗渠の種類や有機物の施用による収量のちがいは、第
15表のとおりである。

第15表 暗渠の種類や有機物の施用と収量

品種系統	平年 収量	もみがら壁暗渠(間隔9m)				同左+補助暗渠(間隔4m)				同左+同左 麦稈50kg/a 施用			
		子実重(kg/a)			平年 対比	子実重(kg/a)			平年 対比	子実重(kg/a)			平年 対比
		上子実	下子実	計		上子実	下子実	計		上子実	下子実	計	
東北60号	33	0.96	0.47	1.43	4.3	2.63	0.41	3.04	9.2	2.52	0.67	3.19	9.7
同62号	24	1.72	1.72	3.44	14.3	2.84	1.83	4.66	19.4	4.49	2.36	6.84	28.5
同65号	34	1.47	1.31	2.77	8.1	4.42	1.48	5.90	17.4	7.30	1.94	9.24	27.2
エンレイ	36	3.58	1.39	4.96	13.8	3.21	2.03	5.24	14.6	4.11	1.64	5.75	16.0
ミヤギオオゾロ	31	3.58	2.88	6.46	20.8	11.87	3.05	14.92	48.1	8.90	2.67	11.57	37.3
シロタエ	31	8.08	2.09	10.17	32.8	—	—	—	—	—	—	—	—
タマホマレ	34	1.68	3.44	5.12	15.1	3.21	2.03	5.24	15.4	5.33	1.28	6.61	19.4
東山122号	23	0.50	0.94	1.44	6.3	2.58	1.12	3.70	16.1	2.79	0.71	3.49	15.2
アイサ	28	1.62	1.35	2.97	10.6	4.09	1.44	5.53	19.8	4.77	0.36	5.13	18.3
フクユタカ	24	14.90	3.75	18.65	77.8	—	—	—	—	—	—	—	—

どの品種も本暗渠単用区より組み合わせ暗渠区の方が
高くなり、いくつかの品種では有機物を施用した跡地で
更に増収傾向を示した。

(3) 開花後の日数と減収率

上述した各品種について、過去数年間の収量の平均値
を平年値とし、これに対する減収率を求め、開花盛期後
水害にあうまでの日数と減収率の関係をみたのが、第11
図である。

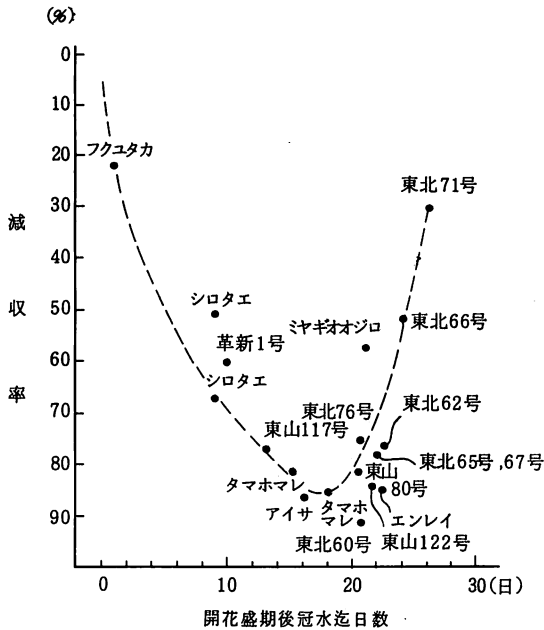
開花盛期直後に冠水すると20~30%減収した。日数が
たってから冠水すると減収率は大きくなり、開花盛期後
12日頃から21日頃までの間に冠水すると、70~80%も減

収した。それ以上日数を経たからの冠水では再び減収率
は小さくなった。

シロタエ・革新1号・ミヤギオオゾロは減収率が平均
的傾向より小さく、東北60号・エンレイ・東山122号は
逆に大きいようであった。

(4) チウラム剤による種子粉衣と収量

エンレイ・ナカセンナリ・納豆小粒の3品種について、
チウラムを含むベノミル剤で種子粉衣(粉衣薬量は種子
重量の3%)して播種したところと、無粉衣のまま播種
したところの差異を調査した。その結果は第16表に示す
とおりである。



第11図 冠水したダイズの開花盛期後日数と平年に対する減収率

主茎長・主茎節数・分枝数は品種固有の差を示したにとどまったが、健全株率(播種粒数に対する収穫した健全な株の割合)は3品種ともチウラム剤を粉衣して播種した区で高くなった。その結果、 m^2 当たり節数もチウラム剤の粉衣によって増加した。また、チウラム剤粉衣区は無粉衣区より冠水後の若莢の残存率が高かったが、これらが相乗しあって、3品種ともチウラム剤を粉衣して播種したところが高収になった。

(5) リドミル剤の冠水後散布と上子実収量

藻菌に対して効果を持つ、浸透性殺菌剤の、リドミル剤を冠水後3日目に散布した結果は、第17表のとおりである。

生育は各区とも同程度であったが、収量はチウラム剤の種子粉衣によって増加し、これにリドミル剤を $2g/m^2$ 以上散布すると更に若干増加した。

冠水したダイズは、完全粒であっても子実の表面にしみ状の汚斑を生じていた。この汚斑はリドミル剤の散布

第16表 チウラム剤種子粉衣の効果

試験区名	7/8 発芽率	健全 株率	主 茎		分枝数	m^2 当 り節数	子実重(kg/a)			
			長(cm)	節			上子実	下子実	計	
エンレイ	無処理	91.4 b	83.25	62.4 a	13.4 a	3.28 a	374 a	2.35 b	0.94 a	3.29 b
	チウラム剤粉衣	92.3 b	89.00	63.6 a	13.3 a	3.02 a	390 a	6.93 c	1.25 b	8.17 d
ナカセンナリ	無処理	81.6 a	79.00	73.9 c	15.2 b	4.12 b	428 a	2.22 ab	1.61 b	3.83 b
	チウラム剤粉衣	93.0 b	87.25	76.4 c	15.3 b	3.88 b	467 bc	6.47 c	2.60 c	9.07 d
納豆小粒	無処理	90.0 b	80.75	71.1 b	15.5 b	4.43 bc	464 b	0.98 a	0.65 a	1.63 a
	チウラム剤粉衣	92.8 b	86.00	70.9 b	15.5 b	4.82 c	525 c	5.01 c	1.45 b	6.46 c
有意水準	0.05	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

第17表 リドミル剤冠水後散布の効果

試験区名	7/8 発芽率	健全 株率	主 茎		分枝数	m^2 当 り節数	子実重(kg/a)		
			長(cm)	節			上子実	下子実	計
無 処 理	67.4	88.75	51.18	12.79	4.13	372	3.16	0.81	3.97
ベ T 3%粉衣	84.8	92.50	55.13	12.80	4.59	384	4.71	1.32	6.03
同上+リドミル剤 $2g/m^2$	76.1	93.75	51.55	12.69	3.98	362	7.33	2.08	9.41
同上+同 $4g/m^2$	78.7	88.75	53.58	13.22	4.30	375	5.78	2.50	8.28
同上+同 $6g/m^2$	82.6	92.50	53.46	12.85	3.98	375	4.88	2.20	7.07
同上+同 $8g/m^2$	89.1	91.25	53.18	12.82	4.01	371	5.99	2.53	8.52

量を増やすともなって減少し、 6 g/m^2 以上を散布すると、ほとんど消失した。

4) 後作への影響

ダイズの成熟が遅れたため、後作麦類の播種は例年より約10日遅くなった。このため麦類の収量はやや低下した。また、青立ち状のダイズを全て引き抜くことは不可能であったので、調査個所以外のダイズはすべてうない込んだ。うない込んだダイズの全窒素量は $1.3 \sim 1.5 \text{ kg/a}$ であった。コムギに対する窒素施用量(追肥を含む)が 1.1 kg/a を超えたところは倒伏した。

そのあとの1982年播のダイズは、藻菌によると思われる立枯れが多発し、苗立率が低下した。すなわち、麦稈などの有機物を施用したところでは85.3%であったのに対し、有機物を施用しないところでは56.4%であった。このため収量にも差が生じ、有機物を施用したところでは $30.6 \sim 20.7 \text{ kg/a}$ (平均 25.2 kg/a)であり、有機物を施用しないところでは $25.7 \sim 18.8 \text{ kg/a}$ (平均 21.6 kg/a)であった。

V 考 察

1. 水稻の収量・品質および水害による被害の軽減対策

1) これまでに行なわれた数多くの水害に関する調査や、実験手段による研究結果は、水稻の苗の時期から出穂期にかけてのものが多く^{8,9,11,12,17)} 登熟期の被害まで言及しているものは少ない。

たとえば山田は、水稻の呼吸作用と冠水抵抗性の差から呼吸作用が大きい時期は冠水抵抗性が小さく、体内でん粉含量が高くなってからは冠水抵抗性も高くなるという結果^{18,19)}と、水稻の生育ステージにもなる冠水抵抗力的変化、すなわち水稻の冠水抵抗力は田植直後は高く、それから日がたつにつれて低下し、移植後15~20日では小さくなるが、さらに生育が進むと再び抵抗力が増し、伸長期には最も強くなる。ところが穂ばらみ期・開花期になると栄養体は被害を受けにくい、幼穂や穂は抵抗力が低く、大きな被害を受けるという結果⁸⁾から、水稻の冠水抵抗性を呼吸作用と体内でん粉含量の消

長から統一的に説明した^{18,19)}。

本調査の結果も、穂ばらみ期の冠水は収量を著しく低下させ、ついで出穂期、乳熟期、糊熟期、黄熟期となりおおむねこれらの結果と一致した。

穂ばらみ期の花器は花粉母細胞分裂期にあっており、自然環境の変化に対し感受性の高いことが知られている。このような時期に冠水にあうと、花器は呼吸作用の阻害によって白稈および花粉障害による不受精粉を生じ、一穂穎花数の激減をまねく。また、千粒重も低下する。

出穂期、乳熟期および糊熟期は米粒に光合成産物の転流が妨げられ、登熟歩合・千粒重の低下により減収し、黄熟期以後は主に千粒重低下により減収する。

本調査では、中生品種は早生品種より冠水被害が大きいが、早生品種でも玄米肥大期に冠水にあえば被害が大きいたことが推定される。また、大粒品種はこの傾向が大きいと云えよう。

このため穂ばらみ期>出穂期 \geq 乳熟期 \geq 糊熟期>黄熟期の順に収量が低下したのである。

2) 穂の乾物重の増加は出穂後10~20日が著しく、なかでも2次枝梗のような弱勢穎花は、開花後17日ごろより急速に米粒が肥大することが知られている⁷⁾。

本調査でも出穂後13~16日に冠水したコシヒカリは著しい未熟粒の混入によって品質が低下し、出穂後24~34日に冠水したトヨニシキはこれが少なかった。また、乳白I~III型や心白II型がコシヒカリ・初星でみられたことは、登熟後期に米粒の周囲がまだ不透明な時期に玄米の内部的発達停止し、透明化に至らなかったことの証拠で、出穂後25日ごろの米粒は外形的に殆んど完成しているにもかかわらず、米粒周辺部の細胞にでん粉を貯蔵していく時期にあっていることを示している。

食味は玄米の劣化形質による外観の悪化と粘りの低下によっておきたようであり、これらの現象は倒伏によってひきおこされる未熟粒・被害粒の増加およびアミログラム特性値の最高粘度等の低下⁴⁾とよく類似していた。

3) 本調査では出穂16日以降に冠水した籾の発芽はおおむね良好で、出穂8日後に冠水した籾の発芽は著しく悪かった。

これは、胚の形成が受精後10~14日でほとんど形態的に終了し¹¹⁾、末次らでは完熟種実における形態と同様にまで発達する時期として開花後20~25日としている¹⁶⁾。このころ(始原生長点の分化期以降)は充分に発芽生長能力をそなえている^{11, 16)}という結果とほぼ一致した。

4) 出穂期前後の時期に冠水した水稻はいもち耐病性品種でも冠水による影響と思われる穂いもちの多発が認められた。したがって、穂ばらみ期から登熟初期にかけて冠水した水稻には薬剤による防除が必要だと思われる。

みご折れは穂首節間に機械的損傷を受けたあと、冠水中に浮遊した *Phytophthora SP*, *Pythium SP*, *Fusarium SP* による伝染が原因と思われる。この症状は浸水が穂首までくると罹病する可能性を示唆している。

5) 山田らは冠水中の水稻は光があたると光合成が正常な場合に比べ50%前後低下し、冠水時間が長くなるほど水中で行なわれる光合成が低下し、呼吸作用の方が大きくなる。しかも、呼吸量は主に幼穂および穂で極めて高いため、冠水の被害はこれらの部位に集中するとした¹⁹⁾。

本調査の結果では、冠水後の光合成も茎葉に付着した泥土等により抑制された。

これらのことから、冠水によって水稻の生理的な登熟機作が著しく低下し、収量・品質低下に大きな影響を与えたものと考えられる。

6) 以上より、冠水の被害を軽減するには、①冠水害が最も甚しい穂ばらみ期が水害の頻発期にかさならない栽培法が必要であり、茨城県南部の低湿地帯では8月下旬~9月上旬の増水期にできるだけ成熟状態となるような作期と早生~中生品種の栽培体系を採用すること。②冠水日数が少ないほど被害程度も小さいので排水につとめ、水深をできるだけ早く低下させ、葉身を水面上に出すような対策を構想すること。③穂ばらみ期から糊熟期までの水稻が冠水した場合は穂いもち防除を励行すること。④退水後は地上部と地下部の生理的バランスがくずれているため、かけ流し灌漑をしばらく続けるなど、水

稲が生活力を回復するような管理などが必要になろう。

2. ダイズの収量など

1) Eh6 が400 mV 程度でも長時間続くような条件下では、地温8~10℃のときは亜酸化鉄が発生し根に侵入し、地温が約15℃以上になると硫化水素が発生して根に侵入したのち鉄と結びついて硫化鉄になり、根の腐敗がはじまる。しかし、こうした湿害は作土の気相率が30%以上、またはEh6 が460~520 mV以上あれば回避できることが知られている²⁰⁾。

本調査を行なった水害は真夏におき、Ehは230~290 mVに低下した。しかし、抜き取って調査したときにダイズの根部に黒変や硫化水素の臭気は認められず、その後地際部に不定根が発生したが、ダイズは最後まで生育した。

これは、本圃場が過去9年間のうち6~7年間も畑利用してきた圃場であり硫化水素の発生が少なかったこと¹³⁾、湛水時間が26時間30分と短かったこと、および冠水前の作土の気相率が28~32%と高く、暗渠排水や少ない耕耘回数、確実な培土など冠水前の土壌管理がよく、土壌の孔隙量が多い状態になっていたこと、などによるものと推定できる。したがって、十分な暗渠排水を行っていない圃場はもとより、畑転換初年目の圃場でおきた湛水や、湛水時間がより長い水害では、硫化水素が発生し根ぐされが激しくなりダイズが全滅することも起ると思う。

2) 10^{-5} cm/秒程度の飽和透水係数を持つ圃場であればダイズは正常に生育し、それより透水係数が大きい圃場に栽培してもほとんど増収しない。しかし、本調査のように一刻も早い排水が要求される状況のもとでは、本暗渠単用区(飽和透水係数 9.1×10^{-5} cm/秒)より組み合わせ暗渠区 (2.3×10^{-4} cm/秒)の方が子実重は重くなった。暗渠中間部での地下水水位低下速度は、前者が15 cm/日、後者が約30 cm/日であり、作土の気相率の増加も後者の方が速やかであった。本調査の結果から、水害時のダイズの被害を軽くするためには、組み合わせ暗渠を施工することがより望ましい。

3) 従来の結果によると¹⁴⁾、冠水時間と収量などの関係は、「12時間程度の冠水では開花後15日の若莢期

で5%, 30日の成莢期で15%程度の減収が推定される」としている。

本調査の結果は、減収程度も減収率が高くなる時期も従来の結果とは大きく異なった。この違いは、清浄水の冠水か汚濁水の冠水か、同一品種を供試し開花後冠水までの日数を変えたのか、それとも多くの品種を供試し同じ日に冠水することによって開花後冠水までの日数の違いをみたのか、などの試験方法によって生じたものだけとは理解し難い。本調査では地上部の被害に比べ地下部の被害が軽微であったため、ダイズは青立ち状になり、脱粒時の損傷が少なくなかったが、地上部の被害に対し根腐れがバランスよく対応しているときは、ほぼ正常に近い成熟過程を歩み、減収程度は本調査より少ない場合も起りうると思う。

本調査で減収率が最も高くなった開花盛期後12~21日の間の期間は若莢の長幅が決定したあと胚の長幅が増加する期間の初期で、子葉が分化し子葉内に蛋白粒・脂肪粒ができはじめる極初期^{15, 16)}にあたる。したがって、この時期において水害による減収率が最も高くなっても不思議ではない。

また、減収率が平均的傾向より小さかったシロタエ・革新1号・ミヤギオオゾロは供試した品種群の中では立枯性病害に比較的強い抵抗性を持つ品種であった。これは、洪水によるダイズの被害が単に湿害によるだけでなく、白絹病（水稻の白絹病の病原菌と同じ）、立枯病（水稻の馬鹿苗病の病原菌と同じ）、茎疫病（水稻の綿疫病の病原菌と同じ）、根腐病、菌核病、株枯病などによって、より大きくなることを暗示している。

4) チウラムを含むベノミル剤を種子粉衣して播種すると苗立率は高まり、播種1か月後の生育は良く、収量も増加する。水害を受けた場合にも同剤の粉衣種子を播種したところで増収したことは、ダイズ幼苗期の健康保持の重要性を示唆しているといえる。

5) 洪水退水後のリドミル剤の散布は、ダイズの上子実収量を増加させた。しかし、藻菌類は薬剤によって変異を起こしやすい菌類の1つであるので、効果は認められるにしても、大面積散布は避けるべきである。

6) 以上のように洪水によるダイズの被害程度は、水害を受けたときの生育段階・冠湛水時間・畑転換後の経過年数・圃場の排水性・品種などによって異なるが、その程度はこれまでいわれているような軽いものではなく、約1日程度の湛冠水でも、70~80%も減収する場合があることが判明した。また、こうしたダイズは青立ち状になり、成熟期は著しく遅れるのみならず、収穫作業は極めて困難になり、後作麦類の播種期が例年より遅れるために減収するなどの後遺症を残すことになる。

したがって、水害を受けたなら、経営的にみてそのダイズ作の管理を続け収穫した方がよいか、放棄して後作の麦作以降に重点を移した方がよいかの判断を早めに行なうことが重要になる。大まかにみて減収率50%（子実重15kg/a）がこの境界になるであろう。

7) 汚濁水の水質が決壊地点からの距離や洪水の進行によってどう変るかとか、水質によって作物被害がどう変るかといった問題については、残念ながら調査できなかった。こうした問題も、洪水被害の本質にかかわるものと思われるので、もし今後水害を調査する機会があれば、明らかにすべきであろう。

謝 辞

本研究の遂行にあたって、終始協力をおしななかった吉原貢副場長、佐藤修、祝迫親志主任研究員、小林誠技師、および茨城農試の圃場作業をお手伝いくださった方々、貴重な資料を利用させていただいた関東農政局茨城統計事務所竜ヶ崎出張所、茨城食糧事務所取手支所および竜ヶ崎・取手地区各農業改良普及所、農林水産省農業技術研究所、同農研センターの各位および前場長飯田栄氏、御校閲を賜った場長石川昌男博士に心から感謝いたします。

引用文献

- 1) 星川清親(1975) イネの成長 pp 219~295 農文協
- 2) 石原 邦・佐合隆一・小倉忠治・牛島忠広・田崎忠良(1972) 水稻葉における気孔の開閉と環境条件との関係第4報 気孔開度と光合成速度との関係。日作紀。41: 93-101

- 3) ——・平沢 正・飯田 修・小倉忠治(1979)水稻葉身の小さい気孔開度の測定法. 日作紀. 48: 319-320
- 4) 岩田哲也・遠藤 勲・竹生新次郎・橋瓜 厚・武市義男(1965)稲の登熟条件のちがいによる米の性状の差異についての研究. 食研報. 19: 5~7
- 5) 関東農政局茨城統計事務所竜ヶ崎出張所(1982)小貝川堤防決壊による水稻被害: 5-16
- 6) 加藤一郎(1962)作物体系第4編豆類I大豆の生育 pp 40-42. 養賢堂
- 7) 木戸三夫・梁取昭三(1968)腹白, 基白, 心白状乳白, 乳白米の穂上における着粒位置と不透明部のかたちに関する研究. 日作紀. 37: 143-148
- 8) 近藤万太郎・岡村 保(1932)水温と稲の生育との関係第3報 水温が浸水稻の生育に及ぼす影響. 農学研究. 19: 1-105
- 9) ——・——(1932) —— 第5報 清水と濁水とが稲の生育に及ぼす差異. 同誌. 21: 59-64
- 10) 昆野昭晨(1976)グイズの子実生産機構の生理学的研究. 農技研報D 27: 139-295
- 11) 長崎県農業試験場(1958)長崎県における7.25 水害の水稻被害並に被害実態調査報告 長崎農試彙報 7: 1-56
- 12) 農業災害対策検討会記事(1958)昭和32年7月下旬長崎・熊本両県下の水害による水稻の被害と対策 農及園. 33: 1118-1124
- 13) 農林省農業改良局・山形県農業試験場(1955)田畑輪換に関する研究第1報 水田及畑の交互転換に伴う水田の地力変化について
- 14) 農林省統計調査部(1957)夏作減収推定尺度
- 15) 新編農業気象ハンドブック編集委員会(1974)新編農業気象ハンドブック. pp 569-576. 養賢堂
- 16) 末次 勲(1955)新品種における胚の發育に関する形態学的研究. 農技研報D 4: 23-52
- 17) 岡 正(1967)水稻の冠水被害とその対策. 農及園. 42: 907-910
- 18) 山田 登・太田保夫・長田明夫(1955)水稻の冠水抵抗性に関する研究. 日作紀. 23: 155-161
- 19) ——(1959)水稻の冠水抵抗性に関する生理的研究. 農技研報D 8: 1-110
- 20) 山崎 伝(1952)畑作物の湿害に関する土壌化学的並に植物生理学的研究. 農技研報. B1: 1-92

茨城県農業試験場研究報告 第 22 号

昭和 58 年 3 月 31 日発行

発行所 茨城県農業試験場
水戸市上国井町

印刷所 佐藤印刷株式会社
水戸市石川 4 丁目 4037

Bulletin of the Ibaraki Agricultural
Experiment Station

No. 22 1982

Contents

1. Reports on new Upland Rice Variety "Tsukubahatamochi" — Results of Breeding Experiment and Performance Test for Recommendable Variety—
..... Yoshiaki KOGA, Masatoshi ISHIHARA, Yoshiaki OKUTSU,
Ritsuo SUGA, Hiroo NEMOTO, Takashi KAWANO,
Kazuyuki IWASE, Tamotsu AKUTSU, Susumu KITAZAKI
and Yoshihiro NITSUMA

2. Epidemiological Study of Rice Stripe Disease in Ibaraki
Part I. Annual fluctuation of Rice Stripe Disease and Analysis of Outbreak
in 1977
..... Akira TAKAI and Riyutaro KOMORI

3. Studies on Cropping of Vegetables, Field Crops and Rice Plant in Case of
Rotation between Upland and Paddy field
Part I. Effect of ground Water level on the growth and yield of Plants, Soil
Water Sunction, Soil air Capacity and the Movement of Soil Nutrient
..... Hirotooshi KOHDA

4. Studies on Cropping of Vegetables, Field Crops and Rice plant in Case of
Rotation between Upland and Paddy field
Part II. Under drainage System Adapted to Alternatine Land use
..... Hirotooshi KOHDA

5. Natural Background of Heavy Metal Elements (Cadmium, Zinc, Copper, Lead
and Arsenic) in Agricuatural Fields in Ibaraki Prefecture
..... Kimio TSUDA, Chikara HIRAYAMA, Minoru ISHIKAWA,
Masao ISHIKAWA, and Mitugu YOSHIHARA

6. Survey of Crop Damage Suffered by a Flooding of Kokaigawa River in 1981
and Countermeasure to Reduce the Damage
..... Mikio KANO, Hirotooshi KOHDA, Hirobumi OKANO and
Akimitsu SHIOHATA