

# 水質汚濁による被害田の改良に関する研究

## 第1報 中丸川流域とその他2, 3の窒素汚濁水かんがい水田の実態調査

平山 力・吉原 貢

本報は、窒素汚濁水の水田かんがいによって被害の発生した被害田の実態をあきらかにすることをねらって行った現地調査結果である。調査対象地区は、勝田市中丸川流域の被害田とその他2, 3の被害田である。その結果、窒素汚濁水をかんがいた被害田では、あきらかに倒伏など水稻被害の発生していることが認められた。水稻被害のみられた圃場のかんがい水質は、かんがい期間中の全窒素濃度で5 ppm以上あった。また被害田で2カ年間調査した結果では、倒伏・登熟歩合の低下などで、窒素減肥の条件でも玄米収量では10%の減収となった。被害田の汚染程度は水口部に顕著にみられ、これらのことは、水稻の生育・収量および跡地土壌の理化学性に反映された。

被害土壌の化学性ではとくに過剰の窒素成分に問題がみられた。また、中丸川の底質中のT-N含量は高く、これらの内容のほとんどが有機態Nで占められていることがあきらかとなった。さらにこれらの底質の水田流入が被害田水口部の土壌悪化に結びつく懸念のあることを知った。

また、中丸川流域の水田について水稻倒伏と30℃のインキュベーション試験によるNH<sub>4</sub>-N生成量との関係をみると、乾土100gあたり25mg以上のところでは水稻の倒伏被害が著しかった。

### I 緒 言

県内の主要河川および農業用水路の水質は年々悪化の傾向にあり、これらの傾向は都市周辺部を流下する河川で目立っている<sup>1)</sup>。このような汚濁水の水田かんがいによる水稻生育被害の訴えは年々増加の傾向にあり、これらに対する適切な対応策の確立が望まれている。

これまで、都市排水や農村排水などによる汚濁水のかんがいが、水稻の生育収量と土壌の理化学性におよぼす影響について調査した報告はかなり多い。これらの調査結果<sup>2), 3), 4), 5)</sup>によれば、汚濁の発生源と考えられる各種排水とその放出源が広域なため、水質の内容は複雑なものとなっているが、これらの汚濁水の水田かんがいに際して、水稻の生育収量にとってもっとも影響をおよぼし、かつ問題となるのは汚濁水中に含まれている窒素成分であるといわれている。

そこで、汚濁水をかんがいた被害水田に対する今後の対策をあきらかにするためには、まずその手順として、実際に被害の発生している水田の実態説明が重要である。

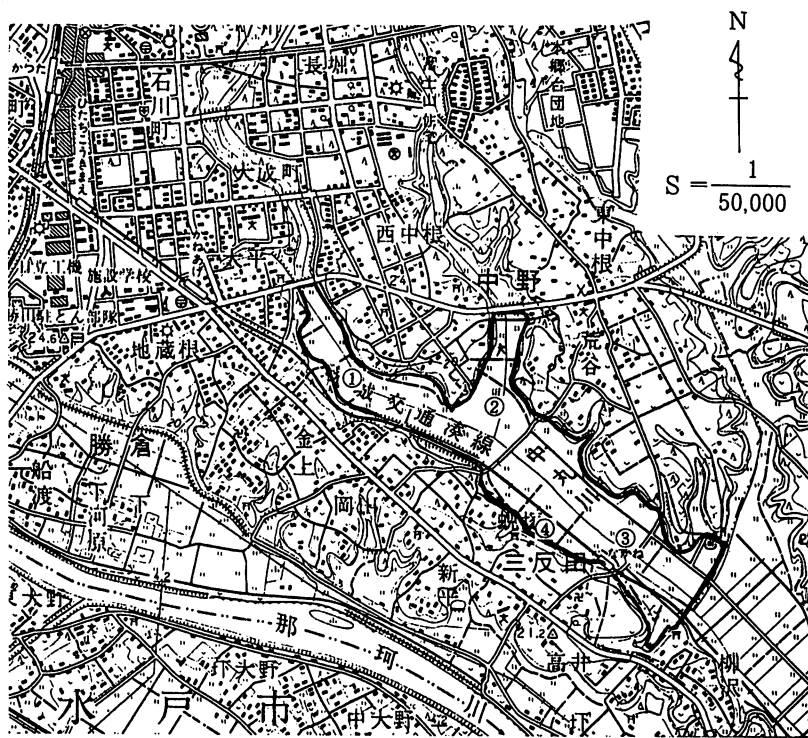
このような立場からここでは調査の対象地区を都市排水の影響をうけた窒素汚濁水かんがい水田にしぼり、既述の調査結果からもかんがい水質の汚濁が目立ち、しかも現に水稻の生育被害の大きい勝田市中丸川流域水田を中心に、現地の実態調査を行った。またこれと同時に土壌条件の異なる他の2, 3の汚濁水かんがい被害田についても若干の観察を行ったので、本報ではこれらも含めその結果について報告する。

### II 調査方法

#### 1 調査地区の概要

##### 1) 中丸川流域

調査の対象地区として選定した中丸川流域の位置は第1図に示した。すなわち、その流域は那珂台地に端を発し、那珂町から勝田市を経て那珂湊市に至る全長15km流域面積1,050haを有する南北の方向に発達した谷津田である。谷津田の中央を流れる中丸川は、上流および中流部において勝田市の住宅団地内を貫流し、下流部では



① 水質調査地点

第1図 調査地区の位置図

支流大川および本郷川と合流し、さらに那珂川と合流して太平洋に注いでいる。用水系は、流域内の台地縁部水田の一部には台地湧水による地下水かんがい田もみられるが、ほとんどの水田は中丸川からの用水に依存している。本調査ではこれらの流域の中でもとくに被害発生の多い勝田市に位置する水田 208 ha の範囲内としたが、土壌条件はこれまでの土壌調査の結果では大部分黒泥土壌群（井川統，黒泥土壌粘土型）に包含される。また当該地区で水稻被害、主として倒伏などがみられるようになった時期は昭和 43 年頃からといわれる<sup>6)</sup>。

2) その他の地区

汚濁水のかんがいによって、水稻の過繁茂、倒伏など現地で被害のみられた一筆水田を対象に土壌型別に基づきの5つの地区を選定した。すなわち(1)岩崎地区（灰色土壌，都市排水かんがい，大宮町・岩崎用水），(2)見川地区（黒色土壌，都市排水かんがい，水戸市・桜川）(3)木田余地区（強グライ土壌，都市排水かんがい，土浦市ため池用水）(4)竹原地区（グライ土壌，畜産排水，美野里町，園部川）(5)沢辺地区（灰色土壌，畜産排水，新治村・沢辺

川）である。

2 調査項目と方法

1) 中丸川流域被害田の現地調査

現地調査の手順として、まず(1)中丸川流域の水稻倒伏被害の現状は握を行った。つぎにこのような被害をもたらした(2)中丸川かんがい水の水質分析を行い、さらに中丸川の水を実際にかんがいでいる(3)汚染田の水稻生育収量(4)作物体の窒素吸収，(5)跡地土壌の化学性など一連の調査を実施した。

2) その他の地区の現地調査

実際に水稻被害の発生した水田の一筆圃場内で、被害程度と水稻収量ならびに跡地土壌の化学性の追跡を、木口部，中央部さらに土壌型別に行った。

3) 水口部からの距離と汚濁状況

調査対象地区内から典型的な被害田をとりあげ、水口部からの距離と水稻生育，跡地土壌の窒素含量などについて検討した。

4) 土壌窒素の動向と2価鉄の推移

まず，(1)現地水田圃場において，時期別に土壌 Eh<sub>6</sub>と

NH<sub>4</sub>-Nの推移を追跡し、さらに(2)室内のインキュベーション試験によりこれを確認した。つぎに汚濁水のかんがいと同時に流入した汚濁物質が窒素の給源としての役割をはたしているかどうかをみるため、(3)被害田土壌を対象に有機態窒素の分画をStewartの方法<sup>7)</sup>に準じて行った。

### 5) 土壌窒素と水稻倒伏

昭和51年9月に水稻の倒伏被害実態調査を行った中丸川流域の現地水田圃場を対象に、昭和53、54年9月土壌窒素含量との関連で、引続き調査を行った。

### 3 分析方法

水稻の生育収量調査および倒伏被害の診断は慣行法にもとずき、土壌の一般分析は常法<sup>7)</sup>にしたがった。水質分析はJISKO 102「工場排水試験法<sup>8)</sup>」によって行った。

## III 調査結果

### 1 中丸川流域被害田の実態

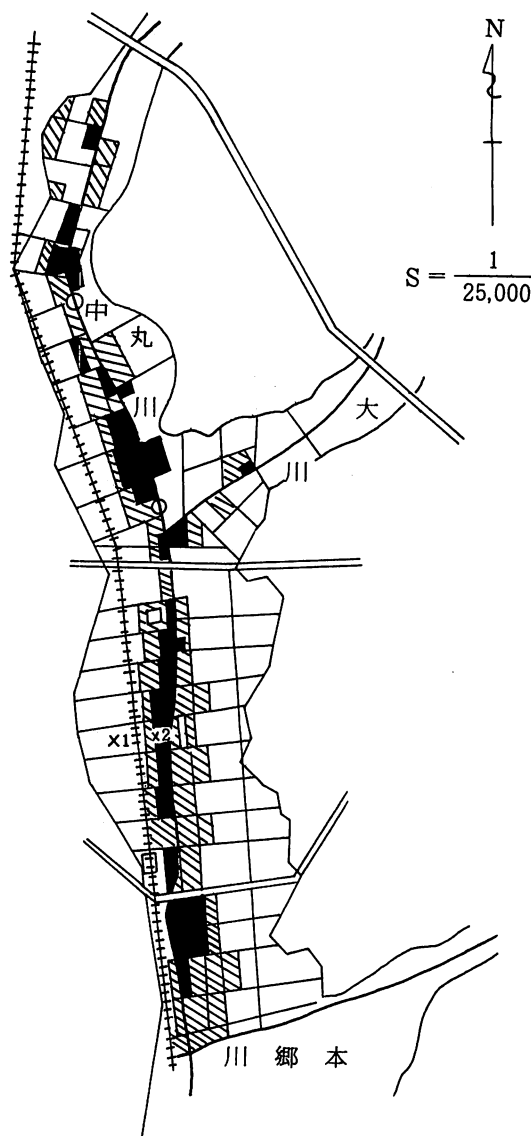
#### 1) 水稻の倒伏被害の現状

水稻の倒伏被害の認められた中丸川流域水田において、その実態をは握するため、昭和51年9月被害田の調査を行い、その結果を第2図に示した。調査の方法はとくに倒伏の程度とその範囲をあきらかにすることに重点をおき、水稻の倒伏程度の区分は、0.(無) 1.微、2.少(60°傾斜) 3.中(45°傾斜) 4.多(30°傾斜) 5.甚(全面倒伏)とし、実際の記載は無~微、少~中、多~甚と3段階にまとめて図示した。なお、1地点における観察は10株とした。

第2図よりまず水稻の倒伏被害の発生範囲を全般的にみると、被害は中丸川の流路に沿って発生している。またその様相は、中丸川の流路に近いところほど、全面倒伏などの被害が多くみられ、中丸川の流路から周辺台地に隔たるにつれて被害が少なくなっている。

被害の発生面積を前述した範囲でまとめると、全面倒伏など被害のもっとも大きい範囲が25haで全体の12%、中から小程度のものが48haで、23%となり、被害面積は合計73haで全体の約35%に達し、これらのほとんどが中丸川かんがい用水に依存している水田であった。第

から下流に向かって中丸川の流路に沿って被害の広く発生した範囲と狭い範囲がみられるが、広く発生したところ



凡 例		
設色	倒伏の程度	面積 (ha) (%)
■	甚, 全面倒伏 大 30° "	25(12)
▨	中 45° " 小 30° "	48(23)
□	微 無	135(65)
計		208(100)

○ 堰 × : 調査圃場 1. 非汚染田 2. 汚染田 (昭51.9.8調査)

第2図 中丸川流域水田に発生した水稻の倒伏被害

2 図より被害の分布状況を見ると、被害は上流の下流部には必ず揚水堰が存在している。さきに見た被害の様相は、その背景に堰止めによって溢流した汚濁水の水田流入による影響も懸念される。なお本調査結果では上流部の一部を除き、台地縁辺部の被害の発生はほとんど認められなかった。

2) 中丸川の水質

水稻の倒伏被害に結びついた中丸川の水質の実態をあきらかにするため、中丸川の上流、下流および支流の大川、さらに周辺台地から湧水する水質を含めて、昭和51～52年の2カ年間、5～8月のかんがい期間を中心に採水分析を行い、その平均値をまとめて第1表に示した。採水地点は第1図に記載したとおりである。

中丸川のT-N濃度についてみると、上流地点では平均8.7ppmであったが、下流では5.2ppmに低下している。流量の観測では上流に比べて下流で約2倍強になっている。下流における流量の増大は、流下過程で流量の豊富な支流大川の合流による影響が大きいと考えられるが、このことをT-N負荷量としてみると、あきらかに上流の値に比べて下流でその値は増大している。これに対して中丸川の支流大川のT-N濃度は平均4.8ppmで、T-

N負荷量でもみて中丸川上、下流地点の値をかなり下まわった。ここではT-N値の内容を、ケルダールN(NH<sub>4</sub>-N+有機態N)とNO<sub>3</sub>-Nの合量で示したが、一般の河川水質の結果でもおおむねケルダールNの値に比べてNO<sub>3</sub>-Nの値が高く、T-Nの大部分を占めている場合が多い。しかしながら、本調査結果では、とくに中丸川の上流地点において、T-N値の中でケルダールN 2.7ppmに対してNO<sub>3</sub>-N 6.0ppmを示し、ケルダールNが全体の約1/3を占めている点が注目された。また、これらのことは、上流部におけるSS値が平均193ppm、COD 8.2ppmと高いことからもうらがきされる。T-Pの値は上流で1.25ppm、下流で0.59ppmと下流で半減している。DO値は上流で極端に低く下流の値の約1/2となっており、EC値は支流大川でやや高かった。

水稻の生育収量に対する用水中のT-N濃度の許容限界<sup>2)</sup>は1ppm以下で影響なく、1～3ppmでやや過繁茂、3～5ppmで過繁茂ときには収量減、5～10ppmでは収量減となり10ppm以上の濃度では水稻収量は激減するという。中丸川のT-N濃度は下流を含めても5～10ppmの範囲であり、これらの結果によってもさきの倒伏被害に結び

第1表 中丸川の水質

調査地点	年次	流量 (cm <sup>3</sup> /sec)	pH	EC (mV/cm)	DO	COD	SS	T-N	ケルダールN	NO <sub>3</sub> -N	T-P	T-N負荷量(g/s)
中丸川上流①	51	0.48	6.5	0.358	2.9	9.0	166	8.5	2.0	6.5	1.30	4.08
	52	0.51	6.5	0.359	3.1	7.3	220	8.8	3.3	5.5	1.20	4.49
	平均	0.50	6.5	0.359	3.0	8.2	193	8.7	2.7	6.0	1.25	4.29
大川②	51	0.71	6.6	0.415	5.0	6.7	67	4.3	0.3	4.0	0.40	3.05
	52	0.80	6.5	0.420	5.1	7.2	70	5.2	0.5	4.7	0.52	4.16
	平均	0.76	6.6	0.418	5.1	7.0	69	4.8	0.4	4.4	0.46	3.61
中丸川下流③	51	1.22	6.7	0.405	5.8	8.4	92	4.6	1.0	3.6	0.55	5.61
	52	1.30	6.6	0.410	5.8	8.0	87	5.8	1.4	4.4	0.63	7.54
	平均	1.26	6.7	0.408	5.8	8.2	90	5.2	1.2	4.0	0.59	6.58
台地湧水④	51	0.002	6.5	0.253	9.9	1.9	11	2.2	0.1	2.0	0.02	0.004
	52	0.002	6.4	0.251	9.9	2.1	8	2.8	0.1	2.7	0.03	0.006
	平均	0.002	6.5	0.252	9.9	2.0	10	2.5	0.1	2.4	0.03	0.005

注)かんがい期間(5, 6, 7, 8月)の平均値で示す。  
ケルダールN : NH<sub>4</sub>-N + 有機態N。

ついた根拠がうかがい知れる。

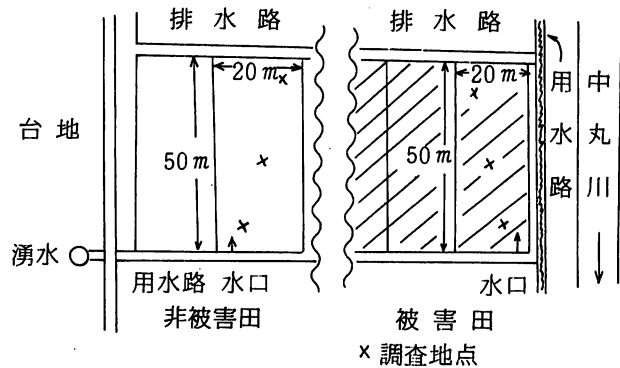
なお、中丸川の水質との比較対照として周辺台地から湧水する水質について分析したが、この結果ではT-P濃度が平均2.5ppm、T-P 0.03ppmと中丸川の水質に比べて極端に低い値を示し、DO値の9.9ppmにみられるように水質に問題は認められなかった。

3) 被害田の水稻生育収量

被害田における水稻生育収量について観察するため、中丸川流域水田の中で、とくに汚濁水のかんがい水を台地湧水に求め、これまでに被害発生のみられなかった圃場(非被害田)を選定した。両圃場とも耕作者は同一で第2図に示したとおり距離的にも近い。土壌は統区分の段階では両圃場に若干差異もみられたが土壌統群の段階ではいずれも黒泥土群に該当した。このような両圃場で栽培条件を同一にして、昭和51~52年の2カ年間水稻を栽培し調査検討を行った。兩年とも水稻品種はコシヒカリ(稚苗)を用い、窒素の施肥量は地区の慣行にしたがい、被害田では基肥aあたり0.2kg、追肥0、非被害田では基肥0.4kg、追肥0.3kgとした。落水は地区慣行のおおむね8月3~5日に行った。圃場の状態は第3図に示したとおり、一筆圃場の中でも調査地点を水0、中央、水尻部の3カ所とした。調査結果は第2・3表に示し

た。

まず第2表から被害田の水稻生育状況を非被害田との比較でみると、被害田における水稻の草丈、茎数の値は、すでに6月25~28日の分けつ期において非被害田の値を凌駕しており、7月20日前後幼穂形成期ではその差はさらに顕著になった。この傾向は収穫期も同様であり、非被害田の稈長が水口、中央、水尻部の平均で84cmであったのに対し、被害田では93cmであった。同様に一様の穂数についてみると、非被害田の平均23本に対し被害田では、38本と極端にその値は多い。被害田の水稻は2カ年とも倒伏したが、さきの稈長あるいは第5節間長の比



第3図 調査圃場位置図

第2表 水稻の生育状況

圃場	項目	分けつ期		幼穂形成期		収穫期			第5節間長 (cm)	葉色	倒伏状況	病虫害
		草丈 (cm)	茎数 (本)	草丈 (cm)	茎数 (本)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)				
非被害田	水口	32.4	16.1	78.7	23.6	83.8	17.5	23.3	7.6	7.5GY4/5(緑)	なし	なし
	中央	32.3	16.3	79.9	24.1	84.5	17.6	23.7	7.4	" (")	"	"
	水尻	32.3	17.0	80.1	24.0	84.1	17.5	22.6	7.8	" (")	"	"
	平均	32.3	16.5	79.6	23.9	84.1	17.5	23.2	7.6			
被害田	水口	45.1	23.6	87.1	35.4	95.4	18.4	43.5	9.2	5GY4/6(濃緑)	甚	葉、穂首イモ多発
	中央	44.2	21.6	84.1	33.7	93.7	18.1	37.2	8.9	" (")	大	" 一部発生
	水尻	43.7	20.2	82.6	30.7	90.5	18.1	32.8	8.7	7.5GY4/5(緑)	中・小	" "
	平均	44.3	21.8	84.6	33.3	93.2	18.2	37.8	8.9			

- 注) 1. 昭51.52の調査結果の平均値で示す。  
 2. 分けつ期(昭51.6/28, 昭52.6/25), 幼穂形成期(昭51.7/22, 昭52.7/20) 出穂期(昭51.8/8, 昭52.8/5), 収穫期(昭51.9/28, 昭52.9/25)  
 3. 品種, コシヒカリ  
 4. 葉色の観察は9月(昭51.9/4, 昭52.9/6)に標準葉色帳(農技研監修, 財団法人, 色彩研究所色票監修)によって行った。

第3表 水稻の収量

圃場	項目	わら重	左比	精もみ重	もみ/わら	玄米重	左比	屑米重	青米率	1,000	登熟歩合	検査査等級
		(kg/a)	(%)	(kg/a)		(kg/a)	(%)	(kg/a)	(%)	粒重(g)	(%)	
非被害田	水口	73.7		70.2	0.95	55.2		4.2	4.2	21.5	87.2	1
	中央	74.5		70.4	1.06	56.3		4.4	3.8	21.5	87.7	1
	水尻	75.0		70.9	1.06	55.6		4.3	4.3	21.6	88.0	1
	平均	75.5	100	70.5	1.02	55.7	100	4.3	4.1	21.5	87.6	
被害田	水口	91.6		63.8	1.43	47.2		6.8	12.6	20.8	72.6	2
	中央	86.0		66.3	1.30	50.9		5.2	11.0	21.3	77.0	2
	水尻	79.5		69.3	1.15	52.7		4.9	8.7	21.6	83.5	1
	平均	85.7	115	66.5	1.29	50.3	190	5.6	10.8	21.2	77.8	

注) 昭51, 52の調査結果の平均値で示す。

較においても被害田のその値は非被害田にまさり、倒伏し易い条件が満されていたといえよう。

収穫期に観察した汚染田の水稻葉色は葉色帳で5GY 4/6の濃緑色、非被害田ではほとんどが7.5GY 4/5の緑色を呈した。病害虫の発生は2カ年とも被害田で認められ、とくに水口部において葉イモチ、穂首イモチの発生が目立ち、さらに二化メイ虫の被害も観察された。一筆圃場内の水口、中央、水尻の部位別観察では、草丈、茎数の値は水口>中央>水尻の順であった。

つぎに第3表の収量を2年間の平均値でみると、わら重では非被害田の平均aあたり74.5kgに対し、被害田では平均85.7kgと15%の増収を示したが、玄米重ではむしろ非被害田の55.7kgに対し、50.3kgと10%の減収となった。また被害田では屑米、青米の増加が目立ち、登熟歩合では非被害田に比べて被害田で10%の低下がみられた。また被害田産米の検査結果では、2カ年とも米質はやや低下の傾向がうかがわれた。一筆圃場内の水口、中央、水尻との関係では、玄米収量はわら収量と反対に被害田では水尻>中央>水口の順で、この原因は過繁茂、倒伏とこれにともなう登熟歩合の低下であった。

4) 作物体の窒素吸収

両圃場の各地点から収穫期に採取した作物体について分析を行い、N含有率と吸収量を求め、その結果を第4表に示した。これより各圃場のもみ、わらのT-N含有率を平均値でみると、非被害田に比べて被害田で全般

第4表 水稻のN吸収量(収穫期)

圃場	項目	N含有率(%)		N吸収量(kg/10a)		合計	吸収Nの移行率(%)
		もみ	わら	もみ	わら		
		もみ	わら	もみ	わら	もみ	
非被害田	水口	1.30	0.60	9.1	4.4	13.5	67
	中央	1.34	0.61	9.4	4.5	13.7	68
	水尻	1.32	0.61	9.4	4.6	14.0	67
	平均	1.32	0.61	9.3	4.5	13.7	67
被害田	水口	1.90	1.07	12.1	9.8	21.9	55
	中央	1.80	0.98	11.9	8.4	20.3	59
	水尻	1.62	0.74	11.2	5.9	17.1	65
	平均	1.77	0.93	11.7	8.0	19.8	60

注) 昭51, 52の平均値で示す。供試品種: コシヒカリ

的に高い値であった。N吸収量においても含有率と同様被害田が高かったが、もみへの吸収Nの移行率は全般的に非被害田に比べて被害田で低かった。また、各圃場の水口、中央、水尻部との関連をみると、非被害田ではこれらの間には大差はなかったが、被害田ではさきの生育収量と同様その差はあきらかであった。すなわち、N含有率のもみ、わらとも水口部で高く、水尻部で低い傾向を示し、N吸収量においてもほぼ同様であった。このように被害田に生育した水稻体の体内N濃度は高く維持され、そしてとくに水口部に生育した水稻体にこの傾向が強いことを知ったが、このような窒素の過剰吸収が、前述の生育収量面に反映されたものと思われる。

第5表 土壌の化学性

(乾土 100g あたり)

圃場	項目	pH	T-N	T-C	C/N	NH <sub>4</sub> -N 生成量 (30°C) (mg)	NH <sub>4</sub> -N T-N (%)	Fe (III) (mg)	有効態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (トルオ-グ) (mg)	CaO (mg)	K <sub>2</sub> O (mg)	Na <sub>2</sub> O (mg)
		(H <sub>2</sub> O)	(%)	(%)								
非被害田	水口	6.1	0.39	7.26	18.6	15.7	4.0	310	12.2	275	20	18
	中央	6.1	0.41	7.11	17.3	15.2	3.7	307	12.3	237	18	18
	水尻	6.0	0.38	7.15	18.8	16.5	4.3	313	11.8	260	11	14
	平均	6.1	0.39	7.17	18.2	15.8	4.0	310	12.1	257	16	17
被害田	水口	6.2	0.75	9.16	12.2	34.7	4.6	426	26.9	342	30	32
	中央	6.0	0.70	7.53	10.8	21.5	3.4	371	21.7	336	26	25
	水尻	6.1	0.60	7.26	11.3	18.5	2.9	315	16.7	300	26	27
	平均	6.1	0.68	7.98	11.4	24.9	3.6	370	21.8	326	27	28

注 昭 51, 52 の平均値で示す。

5) 土壌の理化学性

刈取り後の水田土壌についてはとくに作土を中心に化学分析を行い、土壌の化学的特徴を知ると同時に、被害田土壌を用いて水中沈定容積の測定を行い、その結果を第5, 6表に示した。

まず被害田作土の化学性を平均値でみると、各成分とも非被害田に比べてその含量は全般的に高かった。中でもT-N, T-C, NH<sub>4</sub>-N生成量, そして有効態P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量が高く、さらに、水口、中央、水尻の関係では水口部で極端に高いことが特徴的であった。一方、水中沈定容積の測定結果では、非被害田土壌に比べ被害田の土壌の分散が目立ち、汚濁水のかんがい土壌のコロイド粒子の変化にかなり影響をおよぼしていることがう

第6表 被害田土壌の水中沈定容積 (未風乾土)

圃場	項目	1 日 目		10 日 目		(A/B)
		ml/cm <sup>3</sup> (A)	土 壌 の 分散状態	ml/cm <sup>3</sup> (B)	土 壌 の 分散状態	
非被害田	水口	1.58	+	1.56	-	1.01
	中央	1.55	+	1.53	-	1.01
	水尻	1.55	+	1.54	-	1.00
被害田	水口	1.70	++	1.55	++	1.10
	中央	1.68	++	1.57	+	1.07
	水尻	1.65	++	1.58	+	1.04

注) 土壌の分散状態: ++著しい, +中, +僅か  
-ぎょう集

かがわれた。

2 その他の地区の実態

窒素汚濁水のかんがいが、水稻の生育収量ならびに跡地土壌の化学性におよぼす影響を、土壌条件にして検討し、その結果を第7, 8表に示した。生育収量の調査は昭和51年9月、跡地土壌の採取は10月にそれぞれ作土を対象に行った。調査位置は一筆圃場内の水口、中央部の2カ所である。なお対象圃場は前述したとおり、現地からの被害の訴えのあったところを対象に土壌型を配慮し選定したが、肥培管理は地区の慣行であり、栽培された水稻品種も日本晴、大空、コシヒカリと地区により異なった。なお、各地区のかんがい水中のT-N濃度はかんがい期5-8月の平均値でみると、灰色土壌(岩崎)5.8ppm, 黒色土壌(見川)9.3ppm, グライ土壌(竹原)5.4ppm, 強グライ土壌(木田余)6.2ppm, 灰色土壌(沢辺)6.5ppmであった。

これらの地区の水稻の生育収量は第7表に示したが、稈長、穂長、穂数はいずれの土壌においても中央部に比べて水口部でまさり、収穫期の葉色も水口部以外のところに比べて水口部は濃緑色であった。また玄米収量は全般的に圃場中央部に比べて水口部で減収した。とくにイモチ病の発生した沢辺や見川地区においては、いずれも水口部は中央部に比べて14%の減収となり、水口部の全面倒伏を招いた木田余の水田では、水口部で9%の減収

第7表 水稻の生育・収量

項目 土壤別	調査 地点	収 穫 期				一穂あたり			玄米収量		品種	倒伏・ 病虫害
		稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本)	葉色	着粒数 (粒)	不稔 粒数 (粒)	歩合 (%)	重量 (kg/a)	比 (%)		
灰色土壤 (岩崎)	水口	91.2	20.4	29.5	濃緑	110.7	17.1	85.1	48.3	97	日本晴	一部倒伏
	中央	65.8	18.5	23.8	緑	95.0	11.4	88.0	49.6	100		
黒色土壤 (見川)	水口	73.4	17.3	26.6	濃緑	108.5	9.7	91.1	40.5	86	大空	イモチ発生
	中央	72.2	15.4	19.6	緑	83.6	2.7	96.8	47.0	100		
グライ土壤 (竹原)	水口	85.6	18.6	23.4	濃緑	127.3	13.9	89.1	48.0	98	"	
	中央	79.6	17.6	19.9	黄緑	99.5	8.9	91.1	49.1	100		
強グライ土壤 (木田余)	水口	114.1	20.3	35.3	濃緑	141.1	30.3	78.5	40.3	91	コシヒカリ	全面倒伏
	中央	77.8	20.0	20.1	淡緑	122.7	16.3	86.7	42.0	100		
灰色土壤 (沢辺)	水口	82.5	18.7	33.5	濃緑	103.7	21.9	78.7	41.4	86	"	イモチ発生
	中央	70.5	18.0	19.0	淡緑	91.6	4.5	95.1	48.2	100		

注) 昭51.9.4～10調査(葉色の観察も同時に行った)

第8表 土壤分析結果

(乾土100gあたり)

項目 土壤別	土性	pH (H <sub>2</sub> O)	T-N (%)	T-C (%)	C/N	有効態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (トルオーグ) (mg)	CaO (mg)	K <sub>2</sub> O (mg)	Na <sub>2</sub> O (mg)	
灰色土壤 (岩崎)	水口	SiCL	6.2	0.40	4.62	8.7	10.0	280	13	10
	中央	"	5.9	0.32	4.20	7.6	8.5	290	10	11
黒色土壤 (見川)	水口	CL	5.7	0.45	4.47	10.1	16.7	150	10	16
	中央	"	5.9	0.30	3.81	7.9	14.5	130	4	7
グライ土壤 (竹原)	水口	HC	5.8	0.35	3.17	11.0	8.0	230	12	9
	中央	"	6.0	0.20	2.53	7.9	2.5	175	11	5
強グライ土壤 (木田余)	水口	SiC	6.7	0.50	4.74	10.5	16.0	220	18	12
	中央	"	6.5	0.21	3.15	6.7	5.5	68	7	10
灰色土壤 (沢辺)	水口	SL	6.6	0.27	2.50	10.8	24.0	78	40	36
	中央	"	5.9	0.20	1.96	10.2	10.7	55	19	21

注) 作土: 昭51.10採土・分析

をみた。一穂あたりの不稔粒数はいずれの地区も水口部で増大し、稔歩合の低下が目立った。

跡地土壤の化学性を第8表よりみると、土壤の各成分は、全般的に中央部に比べて水口部でその含量が高く、汚濁水のかんがい圃場の水口部の作土の化学性に大きく影響をおよぼしていることがうかがわれた。なかでも

新治村沢辺地区の水田水口部における作土のNa<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, 有効態P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量は他の地区に比べて極端に高いことが注目される。

### 3 水口部からの距離と汚濁状況

これまでみたいずれの地区の被害田も、水口部で水稻は過繁茂を呈し、土壤の化学成分、とくに窒素含量は高



く、汚濁の程度は著しかった。このようなことから、さらにこれらの傾向を土壌窒素との関連で精査するため、灰色土壌（沢辺）と黒泥土壌（中丸川流域）の両圃場を選び、水口部からの距離と水稻生育、土壌窒素含量との関係を追跡し、第4、5図に示した。その結果、生育

る影響が下層土までおよんでいることが示唆された。

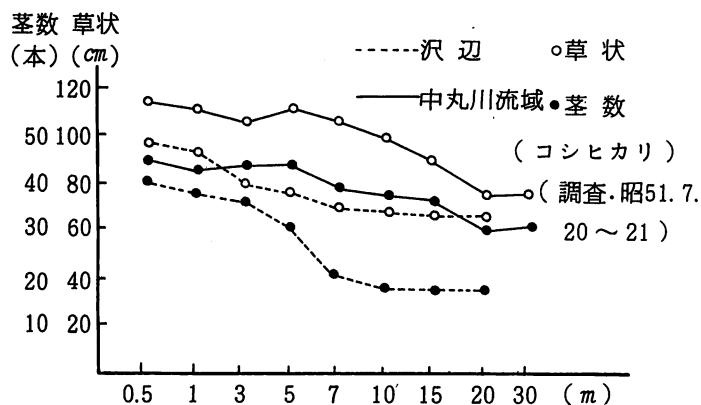
#### 4 土壌窒素の動向と2価鉄の推移

##### 1) 時期別の土壌 $Eh_6$ 、 $NH_4-N$ の推移

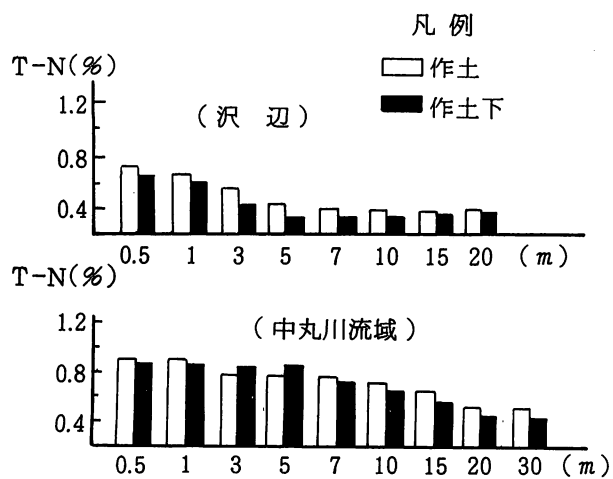
これまでの調査結果から被害田における水稻生育は土壌の窒素含量にかなり関連していることがうかがわれたので、これら関係をさらに追跡するため、中丸川流域の現地圃場において、時期別に土壌の  $Eh_6$  および2価鉄の推移について検討した。調査圃場は非被害田として台地湧水かんがい圃場3カ所、被害田として中丸川かんがい圃場5カ所を選んだ。調査対象田の栽培品種はコシヒカリ、 $Eh_6$  の測定および  $NH_4-N$  分析のための土壌採取は圃場の中央部とした。その結果を第6図、第9表に示した。

まず  $Eh_6$  の変化を時期的にみると、被害田の  $Eh_6$  の値は、5月の水稻作付後、生育が進むにつれて逐次低下し7月中へ下旬において最低となり、その後値は増大する。非被害田の値もほぼこれと同様の傾向をたどるが、全般的に値は高目に経過した。すなわち、被害田では5月で  $Eh_6$  の値が70 mVであったものが、7月中へ下旬に-60 mVまで低下し、その後9月に入ってから170 mVにまで上昇しているのに対し、非被害田では当初190 mVであったものが7月に-15 mVになり、9月ではほぼ被害田と大差なかった。

つぎに  $NH_4-N$  の変化をみると、非被害田の値は乾土100gあたり4.3~6.2mgの範囲で、終時的な較差は少なかったのに対し、被害田では9.2~16.0mgと非被害田土



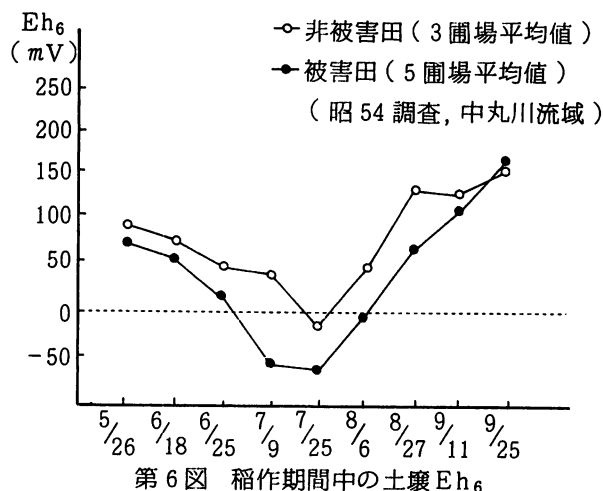
第4図 水口部からの距離と水稻生育



第5図 水口部からの距離と土壌窒素

面では中丸川流域被害圃場では水口部から中央部に向けて20mほどの範囲で極端な生育差がみられたが、沢辺圃場では水口部より7m程度であった。

土壌の窒素含量をみると、水稻の生育で7mまでの差のみみられた沢辺圃場では、水口部より3mまで作土、作土下の窒素含量が高かったが、5~7mの位置では、その傾向は作土のみにとどまった。これに対して中丸川流域の圃場では、水稻生育に差のみみられた水口部より20mの範囲でも、作土、作土下の土壌窒素含量は高く、とくに水口部より3~5mの範囲では、作土の含量に比べて作土下の濃度がうわまっており、汚濁水のかんがいによ



第6図 稲作期間中の土壌  $Eh_6$

第 9 表 稲作期間中の NH<sub>4</sub> -N の推移

( 乾土 mg / 100 g )

試料	時期	時期							
		5 / 26	6 / 18	6 / 25	7 / 9	7 / 25	8 / 6	8 / 27	9 / 11
非被害田	1	6.7	5.0	5.3	5.0	5.3	5.4	5.1	4.4
	2	5.8	4.1	4.6	4.4	4.7	5.0	4.5	4.0
	3	6.1	5.5	6.0	5.7	5.9	6.1	5.4	4.5
	平均	6.2	4.9	5.3	5.0	5.3	5.5	5.0	4.3
被害田	1	10.7	13.7	14.8	17.6	17.0	16.3	14.1	10.4
	2	11.0	12.8	13.0	15.4	15.7	14.9	12.8	9.5
	3	9.5	10.1	10.6	14.8	15.0	13.0	11.0	9.1
	4	9.5	10.9	12.4	15.7	16.0	14.7	11.8	8.7
	5	9.1	9.8	10.9	16.0	16.2	15.0	10.7	8.3
	平均	10.0	11.5	12.3	15.9	16.0	14.8	12.1	9.2

注) 非被害田は基肥 N で 4 kg, 追肥 2 kg ( 10 a あたり ) 3 圃場とも同じ, 被害田は 5 圃場とも無肥料, 作付品種 コシヒカリ, …… 聞取調査 ( 昭 54 調査, 中丸川流域 )

壤の約 2~3 倍の値となり, 時期的な較差もかなりみられた。すなわち, 値は当初小さく次第に増加し, 7月25 日でピークを示した。

2) 被害田土壌のインキュベーション試験

現地圃場での事実を室内で確認するため, 中丸川流域の被害田土壌のほか, 前述したその他の地区の被害田作土の試料も加え, 湛水条件で 30℃ 定温器中においては, 供試土としてさらに大沢地区 ( 友部町被害田, 都市排水, ため池用水, 泥炭質土壌 ) も追加した。試験方法は各被害田土壌を室内で風乾し, 0.5 mm 以下に篩別したものについて, 60 g を 200 ml 容広口パイレックスピんに充填し, 水を入れ密栓して保存した。分析法は Fe(II) を 0.2 % AlCl<sub>3</sub> 抽出の比色法で, NH<sub>4</sub> -N は蒸留法によって求めた。供試土のうち中丸川流域については被害田土壌と非被害田土壌はそれぞれの圃場の水口部のみから採土したが, その他については一筆圃場内で水口部と水尻部に分けて採土したものを供試した。結果は第 7 図に示した。

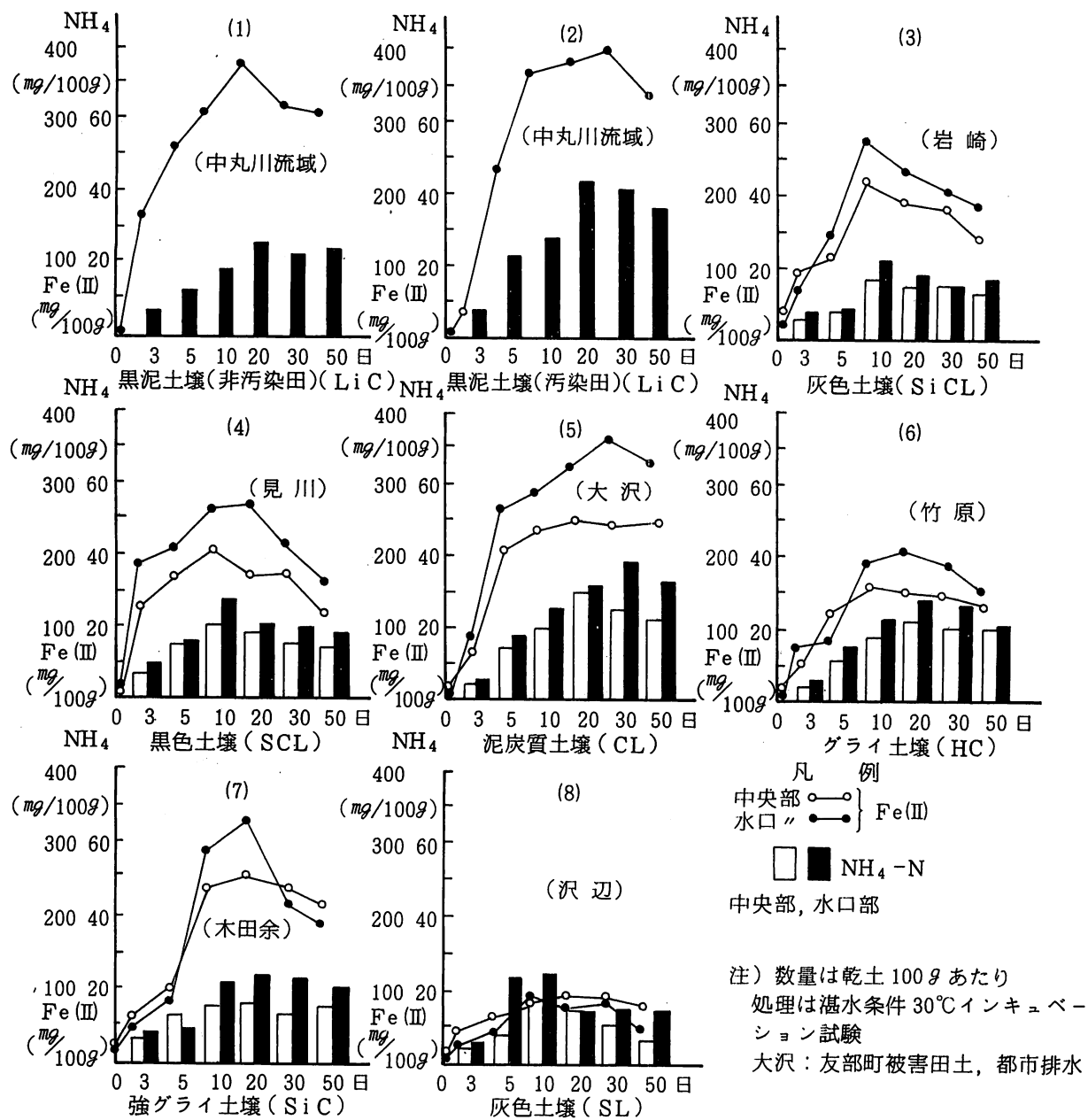
これによれば各土壌の NH<sub>4</sub> -N の生成量は, 終時的に増加したが, そのピークが比較的初期にみられるものと, 後期にみられるものの 2 つに大別された。前者は見川, 沢辺, 岩崎など比較的土壌が粗粒質で乾田タイプに該当するが, 後者は中丸川流域, 大沢, 竹原, 本田余など比較的土壌は粘質で概して湿田タイプにあてはまる。また

NH<sub>4</sub> -N の生成量は, 全般的に非被害土壌に対して被害土壌が, 中央部に比べて水口部が高い値で推移し, その傾向は前述した現地調査結果とほぼ一致した。とくに注目されたのは, 発現 N の値では中丸川流域および大沢土壌で最高 100 g あたり 40 mg 前後と全般的に高目の値で終過したのに対し, 岩崎や沢辺など灰色系統の土壌では, 最高 20 mg をややうまわる程度で, 土壌タイプの差もうかがわれた。Fe(II) の値も NH<sub>4</sub> -N の推移とほぼ同様の傾向であった。なお, 沢辺土壌の Fe(II) の値が常に低かったが, これは土性が SL ( 砂壤土 ) の粗粒質であったことが理由の一つにあげられよう。

以上のように, 被害土壌に対して非被害土壌が, また圃場内でも中央部に対して水口部で窒素含量の高くなった背景には, 汚濁水かんがいともなう河川底質の流入蓄積の影響が懸念される。そこでこれらの内容を追跡するため, 中丸川の底質と周辺の被害田および台地湧水かんがい圃場の非被害田表層土 ( 0~0.7 cm ) について, T-N 含量と NH<sub>4</sub> -N の生成量について分析した。なお, ここで採取した被害田, 非被害田表層土 ( 0~0.7 cm ) は前述第 2, 3 図にしめした調査圃場よりやや上流に位置し, 作土の土性は壤質でむしろ中粒であった。分析結果は第 10 表に示した。

これによると, 中丸川の底質の NH<sub>4</sub> -N 生成量は, 乾

水質汚濁による被害田の改良に関する研究



第 7 図 被害田土壌の Fe(II) の推移と NH<sub>4</sub>-N 生成量

第 10 表 中丸川底質と水田作土表層部 (0~0.7 cm) についての NH<sub>4</sub>-N 生成量 (mg/乾土 100g)

土 壤	NH <sub>4</sub> -N 生成量	T-N	
中丸川底質 (風乾処理)	52.7	840	注) 処理 30℃ 40日
” (生土 ”)	70.4	920	
被害田水口部表層土 (表層 0~0.7 cm)	44.2	670	湛水条件 インキュベーション
” 中央部表層土 (表層 ”)	14.7	320	
非被害田中央部表層土 (表層 0~0.7 cm)	6.3	180	実験

注) 被害田, 非被害田表層土は風乾処理

土 100 g あたり風乾処理土で 52.7 mg, 生土処理で 70.4 mg とあきらかに高かった。また被害田水口部表層土の値は, 被害田の中央部や台地湧水をかんがいている非被害田の値に比べてかなり高かった。このことは, 中丸川の底質の水田流入が, とくに圃場の水口部の土壤悪化に結びつく心配のあることを示唆している。

3) 底質中の有機態窒素の分画

汚濁水のかんが溝と同時に流入した河川底質が窒素の給源としての役割をはたしているかどうかをみるため, 中丸川の底質と被害田, 非被害田表層土 ( 0 ~ 0.7 cm ) を供試して, 有機態窒素の分画を行いその結果を第 11 表に示した。

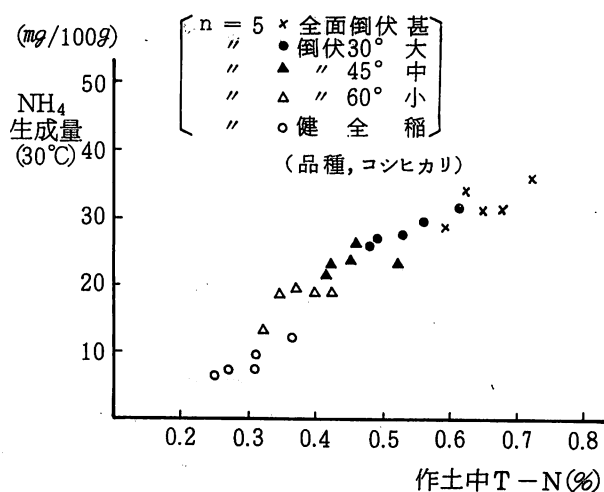
これによれば, いずれの試料も T-N の内容の大部分が酸可溶留出性 N ( アンモニア態 N, アミノ糖態 N ), 酸可溶非留出性 N ( アミノ酸態 N, ヒューミン態 N ), 酸不溶性 N ( 未同定の N ) の含量でしめされる有機態 N で占められており, T-N 含量の高いものほど有機態 N 含量も高かった。また有機態 N の中でも, 酸可溶留出性 N と酸不溶性 N は同程度の含量がみられたが, 酸可溶非留出性 N はいずれも前者に比べて 2 ~ 3 倍も高い値であった。また供試土間では中丸川底質, 被害田水口表層土の酸可溶留出性 N は乾土 100 g あたり 130 ~ 190 mg, 酸可溶非留出性 N 405 ~ 464 mg, 酸不溶性 N 114 ~ 185 mg であったのに対し, 非被害田表層部土壤の値はそれぞれ 40 mg, 110 mg, 40 mg の値であり, 中丸川および被害田水口表層土の有機態 N 含量は, 非被害土壤の値の約 3 ~ 4 倍であることを知った。

5 土壤窒素と水稻倒伏

窒素汚濁水の流入にともなって惹起される水稻被害で, もっとも大きいものは水稻の過繁茂とこれに起因する倒伏被害であろう。そしてこれらの被害は立毛する水田作土の窒素含量とかなりかかわりのあることは前述した。そこでこれらの関連性をさらに追跡するため, 中丸川流域を中心に, 昭和 53 ~ 54 年の 2 カ年間現地調査を行い, その結果を第 8 図に示した。

現地調査に際しての水稻倒伏の診断基準は第 2 図の凡例に準じて行い品種はコシヒカリを対象とした。

これより水稻倒伏と土壤中の NH<sub>4</sub>-N 生成量との関係を見ると, 水稻の倒伏程度が大から基であったところの T-N 含量は 0.40% 以上で, この場合の 30 °C インキュベーション試験による NH<sub>4</sub>-N 生成量は, 乾土 100 g あたり 25 mg 以上であった。また倒伏程度が中から小のところ



( 昭 54 , 9 , 11 調査 , 中丸川流域 )

第 8 図 水稻の倒伏程度と土壤中 NH<sub>4</sub>-N 生成量

第 11 表 中丸川底質中の有機態 N の分画

( 乾土 mg / 100 g )

試 料	項 目			酸可溶 留出性 N (a)	酸可溶 非留出 性 N (b)	酸不溶 性 N (c)	有機態 N a + b + c (d)	a / d (%)	b / d (%)	c / d (%)
	T - N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N							
中丸川底質	860	15.8	2.4	193.0	463.8	185.0	841.8	22.9	55.1	22.0
被害田水口表土 ( 0 ~ 0.7 cm )	653	12.7	1.6	120.0	404.7	114.0	638.7	18.8	63.4	17.8
非被害田表土 ( 0 ~ 0.7 cm )	195	3.9	tr	41.4	110.2	39.5	191.1	21.7	57.7	20.7

備考: 酸可溶留出性 N ( アンモニア態, アミノ糖態 N ), 酸可溶非留出性 ( アミノ酸態 N, ヒューミン態 N ), 酸不溶性 N ( 未同定の N )

のT-N含量は0.40%以下であり、NH<sub>4</sub>-N生成量は25mg以下であった。

#### Ⅳ 考 察

本調査では、とくに現在県内で水質汚濁による影響を受けている現地水田を対象に、今後これらの地区の対応策を考える場合の手がかりをうねらいで、現地調査を行い現地の実態をは握しようとした。このような立場からとくに、これまで現地からの被害の訴えの大きかった勝田市中丸川流域水田および、その他若干の被害田も含め、これらを対象とした現地の被害状況について調査し、さらに被害についての解析を行った。

##### 1 中丸川の水質と流域被害

前述のとおり中丸川流域は、上流域に勝田市街地を有し、市街地を經過して直ちに谷津田に変化し中、下流域は広汎な水田地帯となっている。しかし、中央を流下する中丸川の水質汚濁は、都市化の進展によって都市排水流入の影響を受け、急速に汚濁が進行し、昭和43年以降早くも水稲被害の兆候<sup>6)</sup>があったという。このような被害歴を持つ流域水田で昭和51年9月、水稲の倒伏被害について現地調査を行ったところ、調査対象面積全体の35%の範囲に被害の発生が認められ、その分布は主として用水源を中丸川に依存している圃場であった。そこで同時に調査した中丸川の水質内容をみると、地区の上・下流ともT-Nの値で5ppm以上をしめし、とくに市街地に近い上流部で8.7ppmと高い値であった。

昭和45年3月、農林省では農業用水基準を策定したが、その中で水稲に被害の発生しないかんがい水中の窒素濃度として、T-N 1ppm以下としている<sup>9)</sup>。また東京都<sup>2)</sup>ではT-Nが5~10ppmになると水稲収量に激減がみられるとし、愛知農試<sup>10)</sup>では、T-Nが5ppm以上になると水稲生育に大きな障害をきたすとしている。これらの事実からみても、さきの中丸川のT-N濃度は、あきらかに水稲被害に結びつく濃度である。また、中丸川の水質についてとくに注目されるのは、T-Nの中に占めるケルダールN(NH<sub>4</sub>-N+有機態N)の割合が多いことである。このことはとくに上流部が目立ち、その含量は全

体の約1/3を占める。またSSやCODの値も高いことも目立った。

##### 2 汚染田の水稲生育収量

都市排水など窒素汚濁水のかんがいが、水稲の生育収量におよぼす影響についてはすでに多くの検討結果<sup>2) 3) 5) 11)</sup>があるが、要約すれば、汚濁かんがい水からの過剰窒素の供給と、流入蓄積した水田土壌からの過剰窒素供給により、作付された水稲は過繁茂倒伏、登熟不良などの障害発生またはイモチ病などの発生もあって、結果的に減収する場合が多いとされている。

中丸川流域あるいはその他の地区の調査結果によっても、おおむねさきの結果に符合している。中丸川流域の被害歴は約10年経過するが、2カ年間観察した被害田の玄米収量の確認では汚濁水のかんがいを考慮して窒素を減肥してもなお約10%の減収となっている。収穫期における作物体のN吸収量についてみても、被害田に栽培した水稲は、あきらかにNの過剰吸収による異常性が認められ、これらの傾向はとくに水口部で顕著であった。水口部における水稲生育・収量の特異性は、かんがい水中のT-N濃度、とくにその中の有機態Nの土壌蓄積の影響が、土壌を媒体として発生していると考えられる。被害田における水口部の水稲はおおむね倒伏したが、倒伏した主因は稈長および第5節間長の伸長によるものと思われるが、これらに参与している土壌Nの動向も注目される。中丸川や沢辺において水口部からの距離と水稲生育、土壌N含量との精査結果をみると、水稲生育の状況は土壌Nの状態と関連し、水口部からの距離によって様相はあきらかに変化している。このことは、汚濁水が水田にかんがいをされた際に、汚濁水中の汚濁物質が漸次沈んで、あるいは土壌吸着により希釈されていく現象が反映されていると考えられる。

##### 3 被害田土壌の窒素の動向

本調査結果では、汚濁水のかんがいによって水稲被害の発生した水田圃場の作土のT-N濃度は、被害田は非被害田に比べて高く、一筆圃場内では中央部に比べて水口部があきらかに高かった。また、生育時期別に調査した中丸川流域の被害田作土のNH<sub>4</sub>-N含有量も、非被害

田の値に比べて 2～3 倍の値であった。これらの事実は室内のインキュベーション試験によっても確認したが、このような事実の背景には、汚濁水の流れる河川の底質の水田流入による影響が懸念された。そこでこれらの検討を行った結果、底質中の N 含量は高く、しかも 30℃ インキュベート条件で生成される  $\text{NH}_4\text{-N}$  量も高いことがあきらかとなり、引続きこれらについて有機態 N の分画を行った。その結果、底質中の T-N の内容は大部分、有機態 N からなっており、中でもアミノ酸態 N、ヒューミン態 N で構成される酸可溶非留出性 N の含有割合の多いことがあきらかとなった。中丸川汚濁水は T-N 量が高く、SS、COD も高い。このことから、土壌に酸可溶非留出性の有機態 N として集積し易い条件にあったと考えられる。

徳永<sup>12)</sup>によれば、酸可溶非留出性 N は、有機態 N として土壌に集積され易く、しかも容易に無機化して  $\text{NH}_4\text{-N}$  となり、水稻に過剰吸収を与える危険性があるとしている。中丸川流域や、本調査でみた他の被害田についても、これらの事実があてはまるものと考えられる。

#### 4 土壌窒素と水稻被害

本調査では主として水稻の倒伏被害と作土の窒素含量との関連で検討した結果、作土の T-N 含量 0.40% 以上、また 30℃ によるインキュベーション試験による  $\text{NH}_4\text{-N}$  生成量が、乾土 100 g あたり 25 mg 以上のところで倒伏被害は大～甚であった。

しかしこのことは、土壌条件、かんがい水質さらに水稻品種、水管理などによる影響がかなり反映されることが予想され、これらの条件を変えてさらに検討する必要があるものと考えられる。

本調査を実施するにあたって、種々御協力をいただいた那珂地区農業改良普及所、勝田市三反田、耕作者、塙啓一氏、農試酒井一環境部長、上野忠男主任研究員、その他関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

#### V 摘 要

都市排水など、窒素汚濁水のかんがいにより被害をう

けた水田の実態をあきらかにするため、勝田市中丸川流域被害田とその他若干の被害田も含め、現地調査を行った。その結果を要約するとつぎのようである。

1. 中丸川流域において、昭和 51 年 9 月に行った水稻の倒伏被害の発生は、調査対象地区全体の約 40% となり、これらの分布は中丸川かんがい圃場に多かった。

2. 同時にみた中丸川の水質は、地区の上、下流とも T-N で 5 mg 以上であり SS、COD の値も高かった。この傾向は上流部で目立った。

3. 中丸川流域被害田で水稻の生育収量の観察を行ったところ、水稻の過繁茂倒伏、イモチ病の発生が目立ち、玄米収量では窒素減肥の条件でも 10% の減収となった。この傾向は一筆圃場内でも水口部で顕著であった。

4. 被害田の作物体内の窒素濃度は非被害田に比べて全般的に高かった。また、被害田作土の化学性の値は各成分とも、非被害田に比べて全般的に高かった。なかでも T-N、T-C、 $\text{NH}_4\text{-N}$  生成量そして有効態  $\text{P}_2\text{O}_5$  の含量の高いことが目立った。

5. 土壌条件別にみたその他の地区の被害田では、水稻の生育収量では水口部と中央部の差があきらかにみられ、いずれも水口部は中央部に比べて、玄米収量では減収した。また土壌 N の生成量においては、中央部に比べて水口部の値が高く、土壌のタイプ間の差もみられた。

6. 中丸川の底質中の T-N 含量は高く、さらにこれらの T-N の内容をみると、ほとんど有機態 N で占められていることがあきらかとなった。またこれらの底質の水田流入が、被害田水口部の土壌悪化に結びつく懸念のあることを知った。

7. 中丸川流域において、水稻の倒伏と 30℃ インキュベーション試験による  $\text{NH}_4\text{-N}$  生成量との関係を見ると、乾土 100 g あたり 25 mg 以上のところでは、水稻の倒伏被害は著しかった。

なお、本報の一部については、昭和 53 年 4 月日本土壌肥料学会において発表した。

#### 参 考 文 献

1) 上野ら ( 1975 ) : 茨城県下の農業用水調査, ( 第 1

水質汚濁による被害田の改良に関する研究

- 報)県内における農業用水水質の実態について。日本土壌肥料学会講演要旨集第22集。
- 2) 東京農試研報(1967):都市近郊における水稻汚水害に関する研究。
  - 3) 農林水産技術会議事務局(1974):水質汚濁が農作物被害に及ぼす影響の解析に関する研究。
  - 4) 伊達昇(1971):近代農業における土壌肥料の研究(第2集)日本土壌肥料学会編(養賢堂)P 33~40。
  - 5) 愛知農試(1965):水質汚濁調査成績書
  - 6) 勝田市(1971):勝田市内河川実態調査報告書。
  - 7) 養賢堂(1970):土壌養分分析法P 202。
  - 8) 日本規格協会(1971):工場排水試験法JIS KO 102。日本工業標準調査会審議。
  - 9) 環境庁水質規制課編(1973):水質汚濁上巻(公害と防止対策)P 85。
  - 10) 愛知農試(1972):水質汚濁
  - 11) 兵庫農試(1971):昭和46年度水質汚濁対策調査「基礎調査」成績書。
  - 12) 徳永美治(1969):<sup>15</sup>N追跡による施用有機物中のNの行動研究。重窒素利用についての理研シンポジウム。(講要集)