

## 側条施肥による水田排水の水質改善と水稻の肥効増進

高見 有一\*・伊藤 淳次\*\*・山根 忠昭\*\*\*

Improvement of the Quality of Drained Water from  
Paddy Field and the Growth of Rice Plant  
by Side-Dressing

Yuichi TAKAMI\* , Junji ITO\*\* and Tadaaki YAMANE\*\*\*

### 目 次

緒 言	25	1. 試験方法	35
I 現地水田試験	26	2. 試験結果	35
1. 供試圃場の特徴と試験方法	26	1) 水収支	35
2. 試験結果	28	2) 用水と降水の水質	36
1) 水収支	28	3) 地表排水と浸透水の水質	36
2) 用水と降水の水質	29	4) 窒素とリンの時期別流入と流出	39
3) 田面水への窒素とリンの溶出	29	5) 窒素とリンの流出入量	41
4) 地表排水と浸透水の水質	30	6) 水稻の生育, 収量と窒素吸収	42
5) 窒素とリンの時期別流入と流出	31	IV 考 察	43
6) 窒素, リン, CODの流出入量	33	V 摘 要	47
7) 水稻の生育と収量	34	引用文献	47
I ライシメータ試験	35	Summary	49

### I 緒 言

湖沼・河川の水質汚濁は全国的にも大きな社会問題となっている。島根県も宍道湖・中海の富栄養化を防止するために、1983年12月に「宍道湖・中海水質管理計画」を策定し、汚濁物質の発生源別に負荷量の削減目標を定めた。その中で湖沼の富栄養化の原因の一つとして、水田からの水質汚濁成分すなわち肥料成分である窒素、リンの流出もあげられ、その防止対策が迫られた。

肥料成分の水田からの流出防止対策を確立するため

には、まず流出機構の解明が重要である。これまでに琵琶湖<sup>(1),(9),(30)</sup>、霞ヶ浦<sup>(7),(31),(32)</sup>、諏訪湖<sup>(2)</sup>等の湖沼の流域を中心に、他にもかなりの調査事例<sup>(12),(29),(32)</sup>が報告されている。また、その防止対策としては、これまでに全層施肥<sup>(4),(5),(12),(20),(25)</sup>、元肥減肥<sup>(26)</sup>、土中施肥（側条施肥）<sup>(2),(8),(25),(36)</sup>、緩効性肥料（被覆肥料）の施用<sup>(4),(9),(12),(20)</sup>、循環かんがい<sup>(6)</sup>等の効果の大きいことが報告されている。

水田からの水質汚濁成分の流出に影響を及ぼす要因としては、かんがい水と降水の水質と量、施肥法、土壌条件等があり、いずれも地域特性が強いと考えられる。しかし、島根県では流出実態とその防止対策の、いずれについても調査・研究がほとんど行われていな

かった。したがって、本報告では現地水田とライシメータで水質汚濁成分の流出実態を調査すると同時に、流出防止効果が最も期待されている側条施肥法の、窒素、リンの流出削減実態と水稻の生育・収量に及ぼす影響について検討した。また、側条施肥の施肥位置と被覆肥料施用についても若干の検討を行った。

本試験は、県単独事業「宍道湖・中海の水質保全に係る農業排水水質改善対策事業」の一環として行ったものであり、島根県農蚕園芸課、松江・安来・仁多・木次・掛合・出雲の各農業改良普及所、経済連、田植機メーカー、担当農家のご協力の下に実施した。現地試験における測定機器の管理、採水、各種調査には、当時環境保全科主任研究員田村明長氏、同野田 滋氏にご協力いただいた。また、当時環境保全科長沢田真之輔氏には本稿の取りまとめに当たり有益なご助言をいただいた。これらの関係機関、各位に対して深く感謝の意を表する。

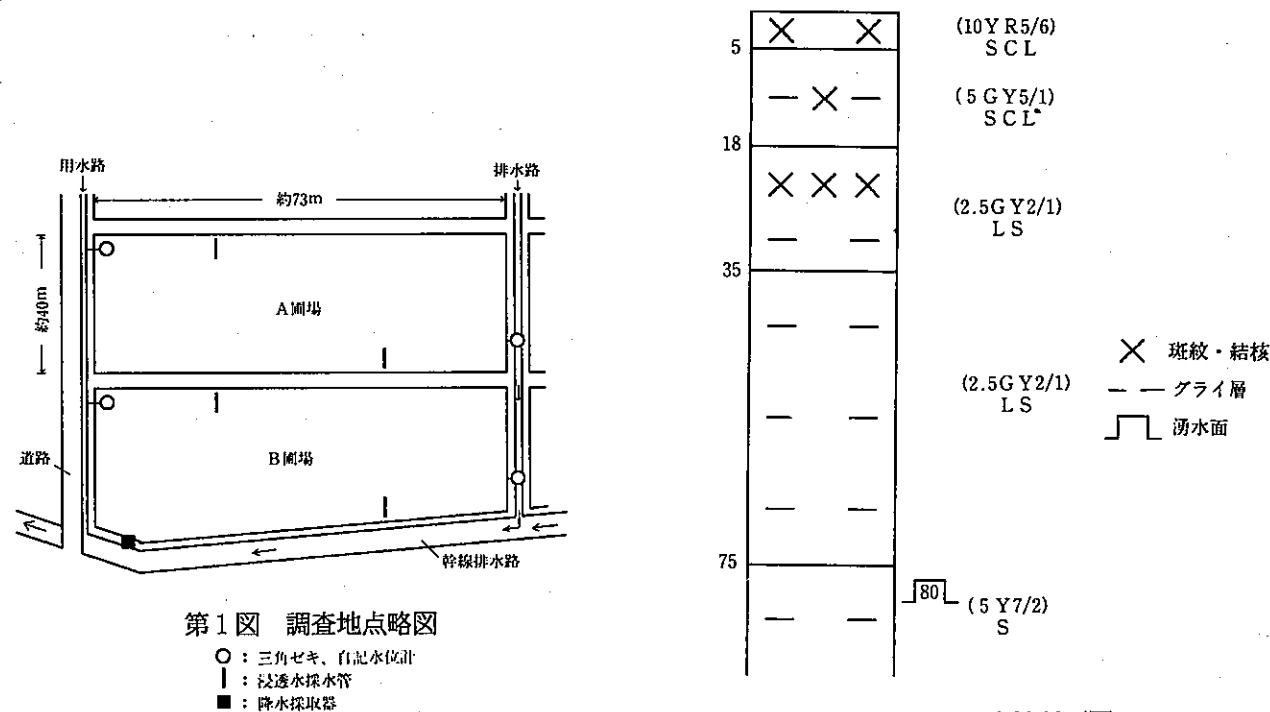
II 現地水田試験

1. 供試圃場の特徴と試験方法

1) 試験田の立地条件と土壌条件

調査圃場は斐伊川下流左岸の出雲市上島町にあり、1982年度の圃場整備事業により区画整理と18cmの山土客土が行われている。用水は斐伊川から取水し、排水は再び斐伊川に戻り宍道湖へ流入する。試験田の区画、用排水路、道路、調査機器の位置などは第1図に示した。区画の大きさはA圃場が29a、B圃場が31aで、1984年はB圃場を慣行施肥区（以下慣行区）、A圃場を側条施肥区（以下側条区）、1985年はその逆の配置とした。

土壌断面の柱状図を第2図に、土壌の理化学性を第1表に示した。本土壌は中粗粒強グライ土（琴浜統）に分類される。土壌断面調査時（1984年10月）の湧水面は田面下80cmと低い位置にあった。かんがい期間は



第1表 土壌の理化学性

層位	pH (H <sub>2</sub> O)	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me/100g)	リン酸吸収係数	土性
1 (0~18cm)	6.3	0.53	0.068	11.5	647	SCL
2 (18~35cm)	5.8	0.95	0.084	6.1	692	LS

排水路の末端をせき止めて水面を田面下40cm程度に上昇させ、浸透を小さく抑えてあった。

2) 栽培管理と施肥

供試品種はコシヒカリで、稚苗(2.2葉)を機械移植した。各年次の耕種概要を第2表に、施肥設計を第3表に示した。慣行区の基肥は耕起後、入水前に施用した。側条区の基肥は施肥田植機により苗横2cm、深さ5cmの位置に条状に施用した。1984年はもみから豚ふん堆肥17kg/aと転炉滓20kg/aを、1985年はもみから豚ふん堆肥33kg/aと稲わら35kg/aをいずれも耕起の約1か月前に施用した。基肥として、1984年は両区とも塩加リン安(12-18-14)を施用し、1985年は慣行区では塩加リン安(12-18-14)と重焼リンを、側条区では粒状化成肥料(8-24-8)を施用した。追肥は、1984年の出穂10日前の穂肥に有機入り化成(12-4-12)を施用したが、それ以外の追肥にはNK化成(16-0-20)を施用した。

3) 水収支の測定

用水量と地表排水量は、水口部と水尻部にそれぞれ

直角三角ゼキと自記水位計を設置して連続測定した。降水量は、試験田横に塩化ビニール製降水採取器(開口部32cm×43cm、円筒ろ紙でろ過後に貯留)を設置して測定した。蒸発散量は、6月中旬までは蒸発計蒸発量に対する蒸発散量比率<sup>1)</sup>、以後は地方別蒸発散量の実測値<sup>2)</sup>から求めた。浸透水量は、かんがい期間全体の流入量(用水量と降水量の合量)から地表排水量と蒸発散量を差し引いて推定した。これをかんがい日数で除し、1日当たりの浸透水量とした。

4) 採水

地表排水は水質の変化の激しいことが予想されたため、施肥当日は自動採水器により1時間毎に、他の時期は3~5日毎に採水した。田面水は3~10日毎に、用水、降水、浸透水は5~10日毎に採水した。浸透水は第3図のように、地表下40cmの位置に下にビニールシートを敷いた直径10cm、長さ2mの有孔塩化ビニール製パイプを各区2ヶ所に埋設し、湧出した水を5~10日毎にビニール製のポンプで採水し等量を混合した。浸透水の採水管は耕起前に水田を掘り起こして埋設し、

第2表 耕種概要

(月/日)

年次	区名	基肥	代かき	落水	田植	追肥	穂肥	収穫		
1984	慣行	5/13	5/13	5/17	5/20	5/26	7/1	7/13	7/22	9/5
	側条	5/16	5/6	5/16	5/16	-	7/1	7/12	7/22	9/5
1985	慣行	5/4	5/6	5/10	5/12	5/23	7/2	7/14	7/25	9/9
	側条	5/13	5/5	5/12	5/13	6/1	-	7/14	7/26	9/9

注) 耕起は5月3日頃、中干しは6月下旬~7月上旬におこなった。

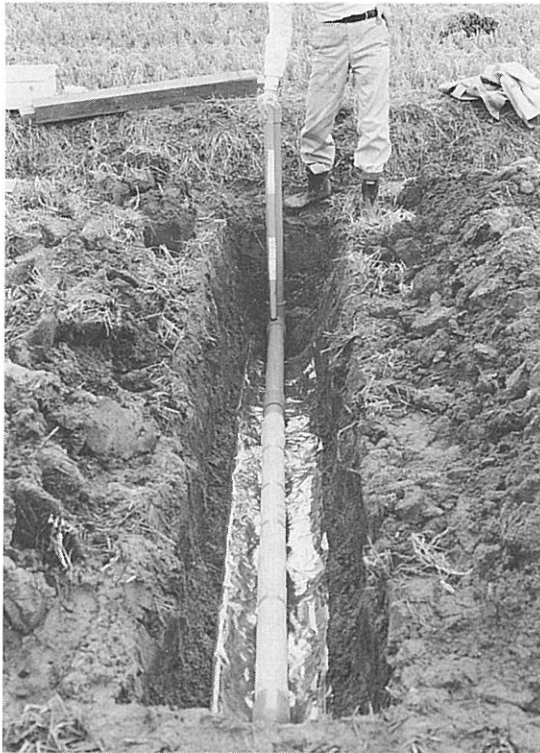
第3表 施肥設計

(kg/a)

施肥	1984年						1985年					
	慣行			側条			慣行			側条		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
基肥	0.40	0.60	0.46	0.40	0.61	0.47	0.41	1.10	0.48	0.24	0.72	0.24
追肥 ①	0.21	-	0.26	-	-	-	0.17	-	0.21	0.16	-	0.19
" ②	0.10	-	0.13	0.11	-	0.14	0.11	-	0.14	-	-	-
穂肥 ①	0.21	-	0.26	0.22	-	0.28	0.22	-	0.28	0.23	-	0.29
" ②	0.19	0.06	0.19	0.21	0.07	0.21	0.22	-	0.28	0.23	-	0.29
合計	1.10	0.66	1.30	0.94	0.68	1.09	1.13	1.10	1.38	0.86	0.72	1.01

土壌を層位順に埋め戻し、自然に沈下させた。

### 5) 水質分析



第3図 浸透水採水管の埋設状況

懸濁物質 (SS) は検水を孔径  $1 \mu\text{m}$  のメンブランフィルターでろ過し、フィルター上の物質を  $90^\circ\text{C}$  で1時間乾燥後秤量して求めた。ろ液はPH, 電気伝導率 (EC), アンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), 硝酸態窒素 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 無機態リン ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) などの分析に供した。ケルダール分解窒素 ( $\text{Kj-N}$ ), 全リン (T-P), 化学的酸素要求量 (COD) はろ過せずに分析した。 $\text{NH}_4\text{-N}$  はインドフェノール法<sup>22)</sup>で、 $\text{NO}_3\text{-N}$  はイオンクロマトグラフを用いて分析した。有機態窒素 (Org-N) は  $\text{Kj-N}$  と  $\text{NH}_4\text{-N}$  の差, 全窒素 (T-N) は  $\text{Kj-N}$  と  $\text{NO}_3\text{-N}$  の含量とした。 $\text{PO}_4\text{-P}$  はモリブデンブルー法<sup>22)</sup>, T-P は硝酸-過塩素酸灰化後, モリブデンブルー法<sup>22)</sup> で分析した。COD は過マンガン酸カリウム法<sup>23)</sup> ( $100^\circ\text{C}$ , 30分) で分析した。

### 6) 負荷量の算出

流入負荷は用水と降水, 流出負荷は地表排水と浸透水の各2項目とし, 負荷量は測定した水量にそれぞれ対応する濃度を乗じ, これを積算して求めた。一定期間の成分平均濃度は水量加重平均濃度とした。

なお, 水以外の負荷すなわち肥料, 収穫物, 脱窒および窒素固定などによる負荷は収支には含まれない。

### 7) 生育, 収量調査

水口, 中央, 水尻の3地点で, それぞれ生育は20株, 収量は  $4 \text{ m}^2$  について調査し, 平均した。

## 2. 試験結果

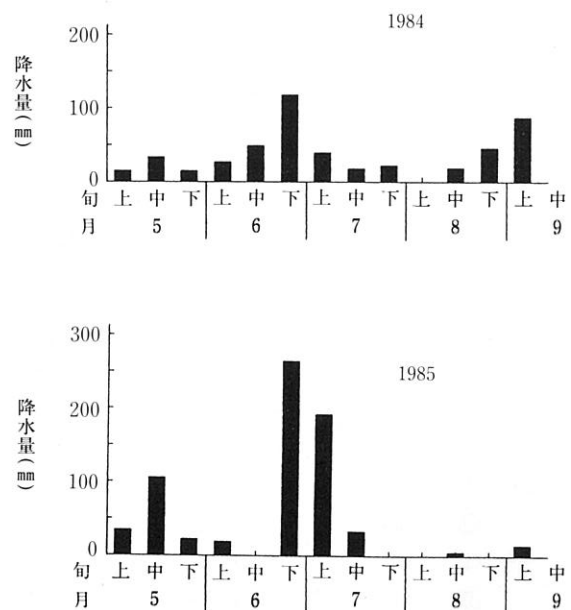
### 1) 水収支

旬別降水量を第4図に, かんがい期間の水収支を第4表に示した。

本試験では地域の慣行を尊重して, 水管理の全てを農家に委任した。この試験圃場は山土を客土する前は全層砂土であり, 透水性が過大であるという認識が農家にはあったと思われる。そのため, 1985年はかけ流しに近い水管理が行われ, 特に慣行区でその傾向が強くなり, このことが地表排水量にも大きく影響した。とりわけ6月下旬から7月中旬にかけての1か月間は中干しと梅雨も重なって旬当たり  $100 \sim 450 \text{ mm}$  という大きな排水量になった。他の時期の地表排水量はいずれも少なく, 代かきも浅水で行われたため田植前の強制落水時でも  $20 \sim 30 \text{ mm}$  程度であった。

浸透水量を算出する方法として, 当初は減水深 (田面水の降下量) から蒸発散量を差し引いて求めようとしたが, 30aもある水田においては精度の高い測定は困難であった。したがって, 浸透速度はかんがい期間をとおして一定とみなし, 差し引き計算により浸透水量を求めた結果, 1日当たり  $1 \text{ mm}$  程度と推定された。

両年とも収入では用水が降水を, 支出では地表排水が浸透水を量的に上回った。



第4図 旬別降水量

第4表 水収支 (mm)

区 分	1984		1985	
	慣 行	側 条	慣 行	側 条
用 水	590	639	963	760
降 水	492	492	695	695
収入計	1082	1132	1658	1455
地表排水	293	316	872	656
浸透水	144	148	132	145
蒸発散	645	667	654	654
支出計	1082	1131	1658	1455

注) 1984年は慣行区の入水が側条区より8日遅かったために、浸透水と蒸発散の量が少ない。

## 2) 用水と降水の水質

用水の平均水質を第5表に、降水の平均水質を第6表に示した。

用水は斐伊川から取水しており、各成分の年次的、時期的変動は小さかった。用水の $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度が降水と同程度か、それ以下であることは、用水路上流部で生活排水や農業排水が混入していないことを示している。

降水の水質は時期的変動が大きかったが、かんがい期間全体の平均値は1984年と1985年でほとんど差がなかった。窒素の形態としては、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が $\text{NO}_3\text{-N}$ より濃度が高く用水の傾向と異なった。T-N濃度は1985年はやや低かったが、用水と同程度かむしろ高めであった。T-P濃度は用水の約半分、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は用水と同程度であった。

## 3) 田面水への窒素とリンの溶出

分けつ盛期までの田面水中のT-N濃度の推移を第5図に、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の推移を第6図に示した。

### (1) 窒素

田面水の窒素濃度は、慣行区では1984年、'85年ともに基肥施用直後は高く、用水並みの濃度になるのに基肥施用後10日ないし2週間を要した。一方、側条区では両年ともに基肥施用直後でも濃度は低く、その後も溶出はみられなかった。追肥の影響は1984年に慣行区でみられたが、1985年は慣行区、側条区ともにわずかな濃度上昇にとどまった。この原因として、1985年は前年に比較して追肥の量がやや少なかったこともあるが、5月下旬から6月中旬にかけて降水量が少なく、用水も控えめに取水されたため田面水が浅水に保たれ、施肥窒素の土壤吸着が速やかに行われたことが主原因

第5表 用水の平均水質

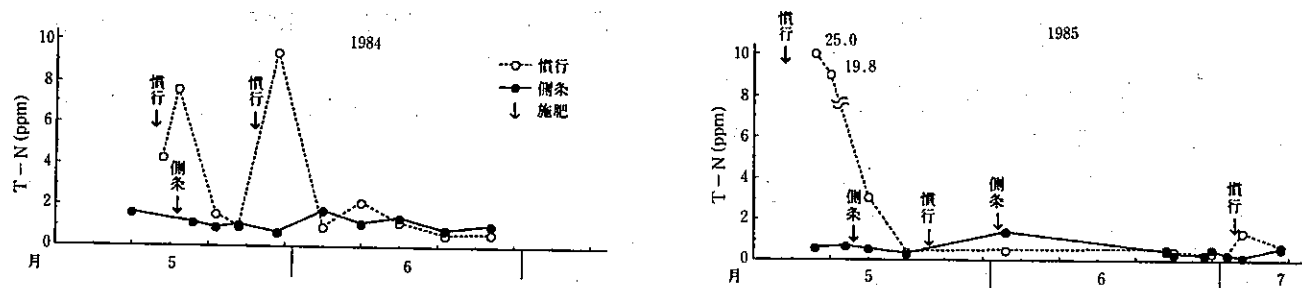
年 次	pH	EC (mS/cm)	SS	T-N	(ppm)				
					$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	T-P	$\text{PO}_4\text{-P}$	COD
1984	7.7	0.10	15	0.44	0.02	0.19	0.037	0.009	1.5
1985	7.8	0.10	6	0.45	0.06	0.21	0.042	0.008	-

注) 1984年は22回、1985年は16回の測定値を、T-NとT-Pは水量加重平均、その他の項目は単純平均した。

第6表 降水の平均水質

年 次	pH	EC (mS/cm)	T-N	(ppm)			
				$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	T-P	$\text{PO}_4\text{-P}$
1984	5.6	0.03	0.69	0.26	0.13	0.014	0.011
1985	5.9	0.03	0.40	0.25	0.11	0.021	0.009

注) 1984年は15回、1985年は10回の測定値を水量加重平均した。



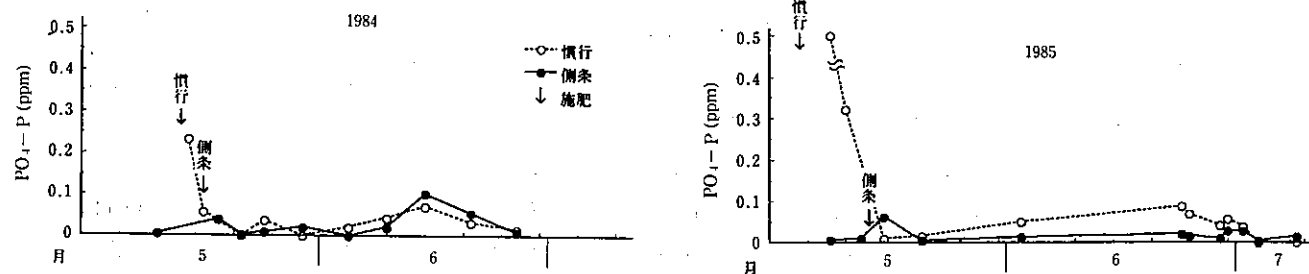
第5図 田面水中窒素濃度の推移

と考えられる。

(2) リン

慣行区のリン濃度は、基肥施用直後は両年ともに窒素と同様に高かったが、3~7日間で用水並みに低下した。このようにリンの濃度低下が速やかなのは、リンの土壌吸着速度が大きいことを反映しているといえよう。1985年に最高濃度が前年の約4倍になったのは、リン酸肥料の施肥量が前年の約2倍だったことが主な理由と思われる。側条区では両年ともに施肥田植機の覆土が完全でなかったためか、基肥施用直後に施用前より幾分濃度が上昇したが、すぐに用水のレベルに低下した。

1984年は両区とも6月中旬に0.1ppm程度にリン濃度が上昇した。翌年も、慣行区では6月上旬から下旬にかけてその前後よりやや高い0.1ppm近い濃度を示した。その後は両年とも中干しの影響によりリン濃度が低下した。リン酸肥料を追肥に施用していないにもかかわらず、6月中旬をピークとして一時的に田面水のリン濃度が高くなったのは、土壌の還元に伴って土壌リンが溶出してきたものと考えられる。



第6図 田面水中リン濃度の推移

4) 地表排水と浸透水の水質

地表排水と浸透水のかんがい期間全体の平均水質を第7表に示した。

(1) 地表排水

pHは慣行区と側条区に差がなく、EC、T-N、NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pは側条区が低かった。SSは、側条区が慣行区より高い数値を示した。NO<sub>3</sub>-Nは水田では脱窒により損失しやすく、更に土壌中におけるNH<sub>4</sub>-Nの硝化作用も制約されるため、両区とも全般に低い濃度で推移した。T-PとCODは年次により両区の傾向が異なり、一定の傾向はみられなかった。

(2) 浸透水

EC、T-N、NO<sub>3</sub>-Nは地表排水より濃度が高く、逆にT-P、PO<sub>4</sub>-Pは低い傾向を示した。側条区が慣行区より低かったのはEC、T-N、NH<sub>4</sub>-Nであった。NH<sub>4</sub>-Nは地表排水並みの濃度で側条区が慣行区より低かった。しかし、2年目は測定に不備な点があり表示しなかった。T-P、PO<sub>4</sub>-P、CODは地表排水のT-P、CODと同様A圃場で濃度が高く、処理の差は明確にできなかった。

第7表 地表排水と浸透水の平均水質

区分	年次	区名	pH	EC (mS/cm)	SS	(ppm)					
						T-N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	COD
地表排水	1984	慣行	6.8	0.09	13	0.96	0.72	0.03	0.091	0.030	4.6
		側条	6.8	0.07	26	0.61	0.05	0.13	0.144	0.025	6.0
	1985	慣行	6.9	0.09	7	1.20	0.88	0.01	0.182	0.065	5.7
		側条	6.8	0.06	11	0.73	0.30	0.00	0.084	0.015	4.6
浸透水	1984	慣行	6.5	0.86	-	1.31	0.57	0.06	0.035	0.000	5.3
		側条	6.2	0.14	-	0.73	0.03	0.14	0.066	0.039	5.5
	1985	慣行	6.2	0.68	-	3.41	-	0.20	0.091	0.033	21.1
		側条	6.4	0.40	-	1.02	-	0.07	0.018	0.002	7.8

注) 1. 全ての項目で測定値を水量加重平均した。  
2. 1985年のNH<sub>4</sub>-Nは測定に不備があり表示しなかった。

5) 窒素とリンの時期別流入と流出

(1) 窒素

窒素の旬別流出入量を第7図と第8図に示した。

流入量の時期的変動は年次によって傾向がやや異なった。1984年は6月下旬と8月中旬に多く、1985年は5月上、中旬、6月下旬、7月上旬に多かった。

流出量は、1984年の慣行区では5月中旬の基肥施用時が全流出量の38%で最も多く、次いで6月下旬から7月上旬にかけての梅雨期が28%であった。側条区では梅雨期が全流出量の60%で最も多く、基肥施用時の流出は5%にすぎなかった。

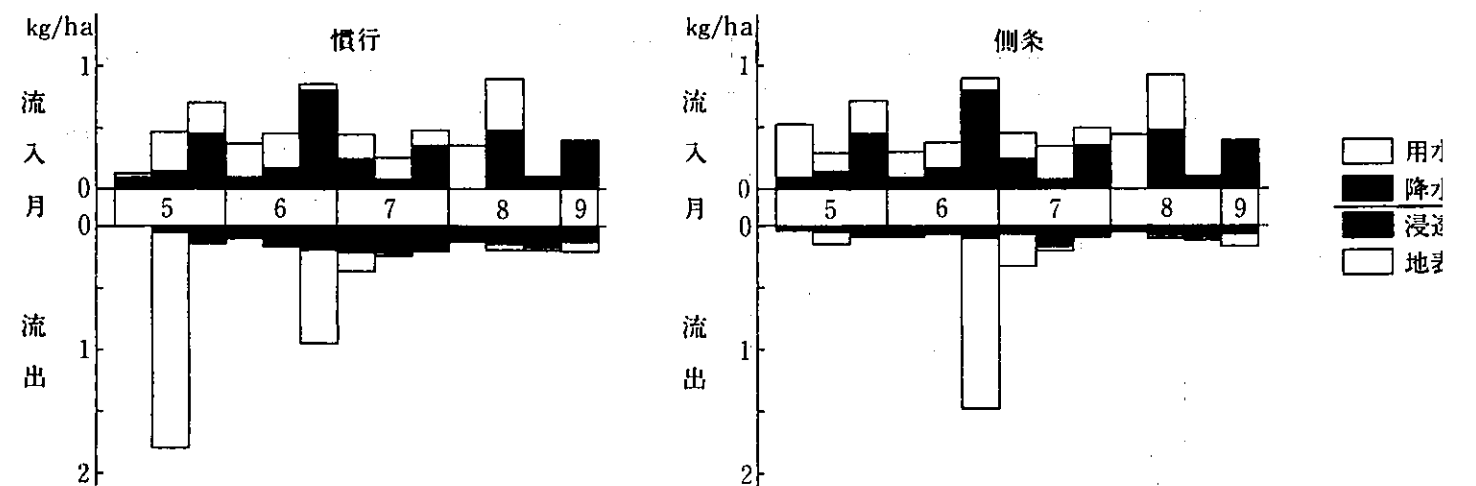
1985年は梅雨期の6月下旬から7月上旬にかけて450mm以上の降水量があり、地表排水量も7月13日までは

多かった。また、7月14日の穂肥施用によって翌日の地表排水の濃度が慣行区15ppm、側条区23ppmにまで上昇した。このときの排水量は10mm程度にすぎなかったが、流出負荷量はそれぞれ1.8、2.7kg/haと多くなった。したがって、両区ともこの1か月間の流出が最も多く、慣行区48%、側条区77%であった。基肥施用時の流出は慣行区36%、側条区7%であった。

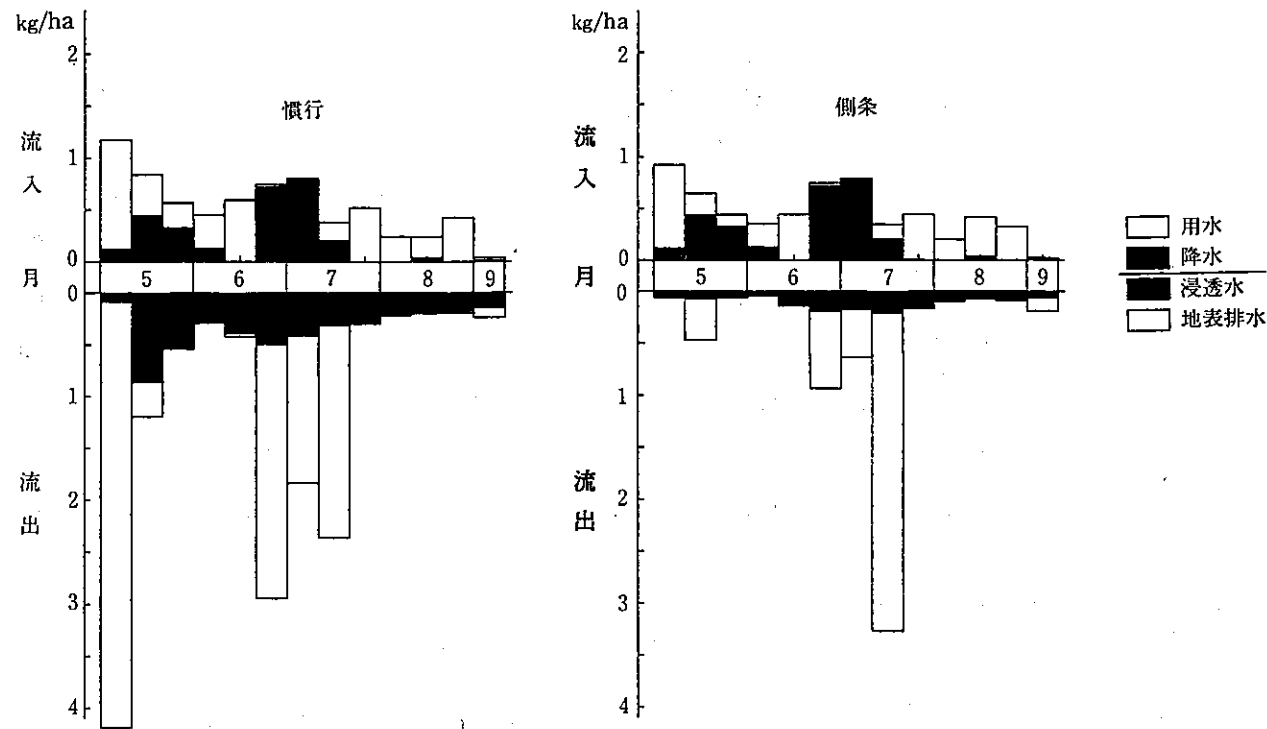
(2) リン

リンの旬別流出入量を第9図と第10図に示した。

流入量の時期的変動は窒素と同様に年次によって傾向が異なった。1985年は前年より水量が多く濃度も高くなったので、全期間をとおして流入負荷量は増加した。



第7図 窒素の旬別流出入量 (1984)

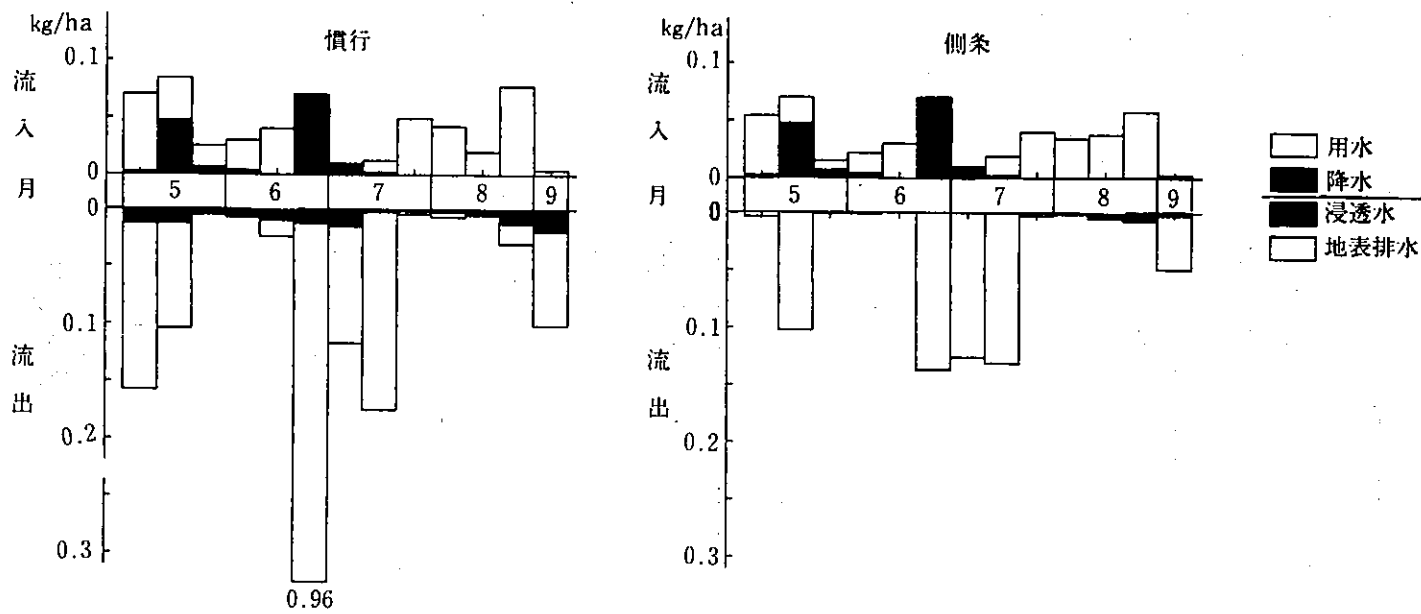


第8図 窒素の旬別流出入量 (1985)

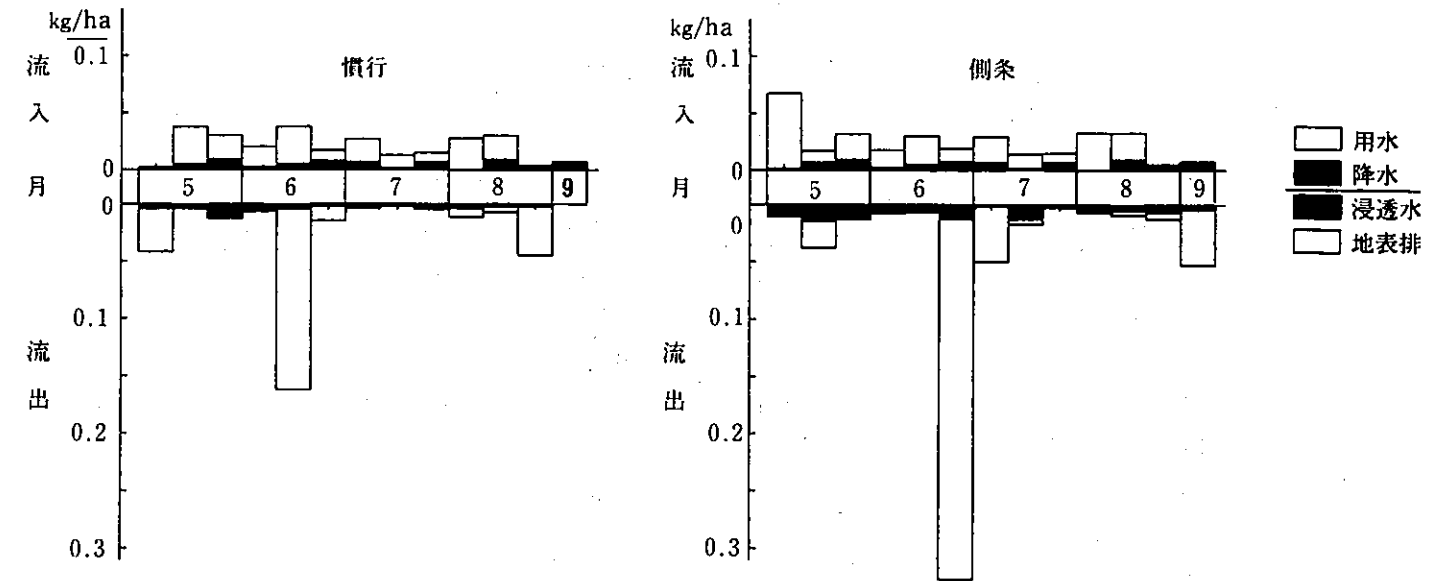
流出量は、両年ともに降水量が多く地表排水量の多い6月下旬が最も多かった。1985年は排水量の多い7月上旬、中旬、濃度の高い5月上旬、中旬、9月上旬にも流出量が多かった。9月上旬の地表排水のT-P濃度は0.2~0.4ppm、P<sub>O4</sub>-P濃度は0.1~0.3ppm、SS濃度は10~30ppm程度であり、いずれもそれまでより顕著に上昇していた。中干し後の湛水による溶出、落

水に伴う土壌粒子の流出などによりリン濃度が上昇したと考えられる。

慣行区における基肥施用時の流出は、1984年が全流出量の13%、1985年が15%で、梅雨期の流出はそれぞれ55%、74%であった。全流出量に占める流出割合は梅雨期が最も多く、次いで基肥施用時と収穫前で、窒素とやや傾向が異なった。



第9図 リンの旬別流出入量 (1984)



第10図 リンの旬別流出入量 (1984)

6) 窒素、リン、CODの流出入量

窒素、リン、CODの流出入量(負荷量)と流出削減率を第8表に示した。

降水による各成分の流入量と用水の水質は慣行区と側条区で同一であることから、両区の成分流入量の差は用水量に支配された。したがって1984年は側条区が、1985年は慣行区が多かった。一方、地表排水と浸透水は水量、水質ともに両区で異なるため、地表排水と浸透水のそれぞれについて負荷量を求め、その合量で各区の成分流出量の多少を評価しなければならない。

(1) 窒素

流入量は1984年は降水が、1985年は用水が多く、流出量は両年ともに浸透水よりも地表排水が多かった。

1984年の流出量は地表排水、浸透水ともに側条区がかなり少なく、側条区の慣行区に対する窒素の流出削減率は36%であった。差し引き排出量は両区ともマイナスであり、流入量より流出量が少ない浄化型の数値を示した。

1985年の流出量は、地表排水量が大幅に増加したこと、地表排水、浸透水ともに濃度が前年より上昇したことにより、流出負荷量は前年に比較して慣行区で3倍、側条区で2倍になった。側条区の窒素の流出削減率は58%で前年を上回ったが、差し引き排出量は両区ともにプラスとなり、前年とは逆に排出型となった。

(2) リン

流入量は両年とも用水が降水より明らかに多く、流出量は地表排水が浸透水より圧倒的に多かった。

1984年は、側条区の流出量が慣行区をかなり上回り流出削減はできなかった。

1985年は、前年に比べて慣行区の流出量が大きく増加したのに対し側条区の増加はわずかであり、リンの流出削減率は66%になった。しかし、この中には圃場の違いによる負荷量の増減があったことを当然考慮する必要がある。差し引き排出量は両区ともにプラスであり、排出型となった。

(3) COD

流入量は用水が降水より多く、流出量では地表排水が浸透水より多かった。

降水のCODは1984年に数回測定しごく微量であったため、以後は分析を省略した。したがって、ここでは降水のCODは1991年のデータで収支を計算した。また、1985年は用水のCODの測定を省略したので前年の数値を使用して計算した。

1984年の流出負荷量は側条区が慣行区を上回り、リンと同様流出削減はできなかった。

1985年は、慣行区の流出負荷量が側条区より多く、側条区のCODの流出削減率は47%になった。このように、リンと同様年次により傾向が異なり、流出削減効果の評価は困難であった。差し引き排出量は両区ともにプラスであり、排出型となった。

第8表 窒素, リン, CODの流出量と流出削減率 (kg/ha)

年次	区分	T-N		T-P		COD	
		慣行	側条	慣行	側条	慣行	側条
1984	用水	2.51	2.89	0.204	0.251	8.9	9.6
	降水*	3.40	3.40	0.069	0.069	3.2	3.2
	流入計	5.91	6.29	0.273	0.320	12.1	12.8
	地表排水	2.81	1.92	0.268	0.454	13.5	19.0
	浸透水	1.88	1.07	0.051	0.097	7.6	8.1
	流出計	4.69	2.99	0.319	0.551	21.1	27.1
	差し引き排出量** 流出削減率(%)***	-1.22 -	-3.30 36	0.046 -	0.231 -73	9.0 -	14.3 -28
1985	用水	4.29	3.33	0.406	0.320	14.4	11.4
	降水*	2.79	2.79	0.143	0.143	4.5	4.5
	流入計	7.08	6.13	0.549	0.463	18.9	15.9
	地表排水	10.50	4.82	1.582	0.548	49.7	30.2
	浸透水	4.50	1.48	0.120	0.026	27.9	11.3
	流出計	15.00	6.29	1.702	0.574	77.6	41.5
	差し引き排出量** 流出削減率(%)***	7.92 -	0.17 58	1.153 -	0.111 66	58.7 -	25.6 47

注) 1. \* 降水からのCOD流入量は1991年の同時期の濃度0.65ppmを用いて試算した。  
 2. \*\* 差し引き排出量 = 流出量 - 流入量  
 3. \*\*\* 流出削減率 = (慣行区流出量 - 側条区流出量) × 100 / 慣行区流出量

7) 水稻の生育と収量

水稻の生育, 収量および収量構成要素を第9表に示した。

1984年は, 側条区の初期生育は慣行区に比べて旺盛で, 最高分げつ期の茎数は慣行区よりも多かった。しかし, その後ちよう落傾向となり有効茎歩合は低く, 穂数もわずかに少なくなったが, 登熟歩合と千粒重がやや優れていたために収量はほぼ慣行区と同等となった。

1985年は, 水稻の茎数は前年と異なり側条区の方が初期から少なく, 最高分げつ期には慣行区と同程度の茎数となったが, 以後ちよう落傾向を示した。両区の有効茎歩合は前年より大きく低下し, 穂数減となった。特にこの傾向は側条区で著しく, 収量指数は93にとどまった。これは, 基肥を慣行区の4割減と抑え過ぎたことが主な原因であると考えられる。

第9表 水稻の生育, 収量および収量構成要素

年次	区名	最高分げつ期の茎数(本/㎡)	穂数(本/㎡)	有効茎歩合(%)	一穂初数	㎡当たり総初数(×100)	登熟歩合(%)	千粒重(g)	玄米重(kg/a)	同左比
1984	慣行	493	405	82.2	73.1	296	91.2	21.3	57.3	100
	側条	560	397	70.9	71.3	283	93.3	22.3	59.0	103
1985	慣行	542	364	67.2	72.3	263	94.3	22.6	56.2	100
	側条	546	336	58.3	74.1	249	93.2	22.4	52.1	93

III ライシメータ試験

1. 試験方法

1) 試験規模と供試土壌

場内に設置したライシメータ(第11図)を用い, 1986年に2連制で試験した。1区画の面積は9㎡(3m×3m), 土層の厚さは1mである。地表排水は, 田面から5cm, 2cm, 0cmに流出口を設け採水した。5cmの流出口で8月22日までの溢流水を採取し, それ以後は2cmの流出口より採取した。0cmの流出口は田植前の落水とその採水に用いた。浸透水の採水管はライシメータ底部に埋設してあり, 流出口は槽外のU字管で田面下40cmの位置に設けた。土壌は出雲市塩冶町の細粒グライトで, 表土は土性がL1C, CECが19.5me/100g, T-Cが1.96%, T-Nが0.18%である。1974年に現地土壌の層位にあわせて充てんし, 以後10年間水稻を栽培してきた。

2) 栽培, 施肥, 水管理

供試品種はコシヒカリで, 稚苗を22.2株/㎡(30cm×15cm)の栽植密度で手植えた。耕種概要を第10表に, 施肥設計を第11表に示した。慣行区と被覆区は耕起後基肥を全面に施用し, 即日入水, 代かきをし, 2日後に落水した。側条区は代かき翌日に田面水を完全に落水し, その翌日に株横3cmまたは5cmの位置に深さ3cmの溝を作り施肥した。稲わら60kg/aと石灰窒素1.9kg/aを秋に散布し, 春にすき込んだ。基肥とし

て, 慣行区は塩加リン安(12-18-14)と重焼リンを, 側条区は塩加リン安(10-30-10)を, 被覆区は被覆尿素入り複合100日型(14-14-14, 内アンモニア態N2%)を, 無窒素区は重焼リンを施用した。追肥は, 無窒素区では塩加を, その他の区ではNK化成(16-0-20)を施用した。用水は水道水を使用し, 浸透水量は1日約10mmとなるように調節した。なお, 中干しは土壌と壁面との間に隙間が生じるおそれがあるため行わなかった。

3) 水収支の測定

用水量は水道メータで測定した。降水量は現地試験と同様に降水採取器で測定した。浸透速度はU字管のコックで調節し, その量は受水槽の目盛りを読み取った。地表排水は1区だけ全量を塩化ビニール製パイプで受水槽に導き測定し, 差し引き法で蒸発散量を求めた。蒸発散量は全区同じものとして, 差し引き法により各試験区の地表排水量を求めた。

4) 採水

地表排水は流出口に分水器を設け, 排水量に応じて1/5~1/20程度が20l容のタンクに貯留されるようにし, 満水になるまでに採水した。排水量の多いときは1日に数回, 少ないときは5~10日毎に採水した。また浸透水はほぼ5日毎に, 降水は5~10日毎に, 用水は1か月毎に採水した。

5) 水質分析

T-Nは検水に水酸化ナトリウム・ペルオキシ二硫酸カリウムを添加し, オートクレーブで分解後, 銅・カドミウムカラム還元法<sup>20)</sup>により分析し, その他の項目は前述の方法で分析した。

6) 生育, 収量調査

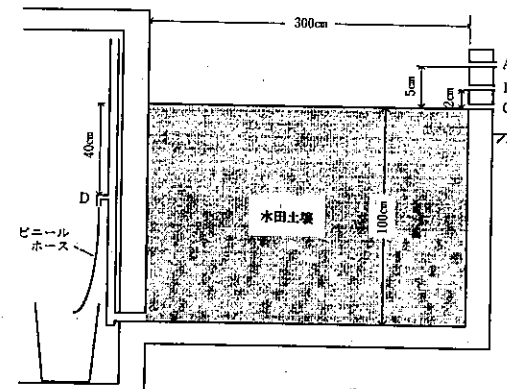
生育調査は1区20株で, 収量調査は1区6㎡で, いずれも区の中央部で行った。

2. 試験結果

1) 水収支

旬別降水量を第12図に, かんがい期間の水収支を第12表に示した。

降水量は3年間の試験で最も多く, 特に6月下旬からの1か月間は旬当たり200~300mmにもなった。用水量は, 現地試験と比較して浸透速度が大きくなったために多くなった。水収支の区間差は用水, 地表排水, 浸透水ともにごくわずかであった。地表排水量は6月下旬からの1か月間が最も多く, 全期間の60%程度が排出された。現地試験でこの期間に約80%の地表排水があったのに比べて少なかったのは, 中干しをしなかつ



第11図 ライシメータ断面略図

注) A: 溢流水流出口(8/22以前)  
 B: 溢流水 " (8/22以後)  
 C: 落水 " (田植前)  
 D: 浸透水 "

第10表 耕種概要 (月/日)

区名	基肥	代かき	落水	田植	種	肥	収穫
側条	5/8	5/6	5/7	5/9	7/18	8/2	9/16
その他	5/6	5/6	5/8	5/9	7/18	8/2	9/16

第11表 施肥設計 (kg/a)

区名	N				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *	K <sub>2</sub> O
	基肥	穂肥①	穂肥②	計		
慣行	0.30	0.20	0.20	0.70	0.70 (0.50)	0.85
側条 3 cm	0.24	0.20	0.20	0.64	0.72 (0.62)	0.74
側条 8 cm	0.24	0.20	0.20	0.64	0.72 (0.62)	0.74
被覆	0.56	0	0.14	0.70	0.56 (0.28)	0.74
無窒素	0	0	0	0	0.70 (0.32)	0.85

注) \* リン酸はいずれの区も基肥で施用した。( )内は水溶性リン酸を示す。

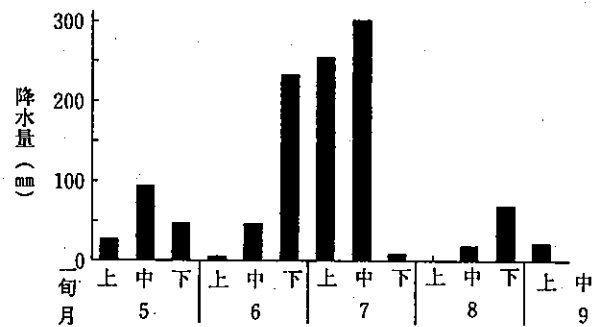
たためと思われる。浸透速度を10mm/日程度に調節したが、入水間もない5月上旬の浸透水量はわずかであった。また、9月には地表排水と蒸発散の合量を上回るだけの水の収入がなかったため、浸透水を採取できなかった。

収入では用水が降水を、支出では浸透水が地表排水を上回った。

2) 用水と降水の水質

用水と降水の平均水質を第13表に示した。

用水は水道水を使用したため水質の変動が小さく、T-N、T-Pともに現地試験の用水よりやや低い濃度であった。窒素は全てがNO<sub>3</sub>-Nで、NH<sub>4</sub>-Nと



第12図 旬別降水量 (1986)

Org-Nは検出されなかった。

降水の水質は時期的変動が大きく、平均値も過去2年とやや傾向が異なった。T-Nは1984年とほぼ同程度、T-Pは3年間で最も低い濃度であった。

3) 地表排水と浸透水の水質

(1) 窒素

地表排水中T-N濃度の推移を第13図に示した。

地表排水の窒素濃度は、いずれの区も基肥施用直後の5月上旬に最も高くなった。慣行区が最も高く、次いで被覆区で、側条区と無窒素区はやや低かった。その後5月中、下旬には濃度が低下したが、6月中旬に側条区を除いてやや高くなった。6月下旬以降は穂肥

第12表 水収支 (1986) (mm)

区分	慣行	側条3cm	側条8cm	被覆	無窒素
用水	1470	1505	1590	1516	1549
降水	1133	1133	1133	1133	1133
収入計	2603	2638	2723	2649	2682
地表排水	742	755	804	772	789
浸透水	1122	1101	1113	1114	1137
蒸発散	678	678	678	678	678
支出計	2542	2534	2595	2564	2604

施用の有無に関係なく、各区ともほとんど同じように降水並みの低濃度で推移した。この原因として、穂肥施用により一時的に田面水の窒素濃度が上昇しても、水位低下に伴って施肥窒素は土壤に吸着され、降水によって溢流する時の地表排水の窒素濃度は降水並みになったことが考えられる。また、この時期には水稻の上根が発達してきており、土壤表面近くの窒素吸収力が旺盛になったことも要因の一つと考えられる。

形態別の窒素濃度は5月末までしか測定しなかった。慣行区では基肥2日後の各形態の窒素濃度はいずれも高かったが、6日後にはNH<sub>4</sub>-Nが0.1ppm以下になった。2週間後にはNO<sub>3</sub>-Nも0.1ppm以下になり、T-NのほとんどをOrg-Nが占めた。

第14表に地表排水と浸透水の全期間の平均水質を示

少には無関係であった。浸透水に基肥の影響が表れなかったのは、採水位置までの土層の厚さが1mと厚く、短期間に施肥窒素が降下浸透しなかったためと考えられる。5月中旬以降は全ての区で濃度が低下し、その範囲は0.4~0.8ppmで、それぞれの区の濃度変化は少なかったが、区間差はある程度認められた。

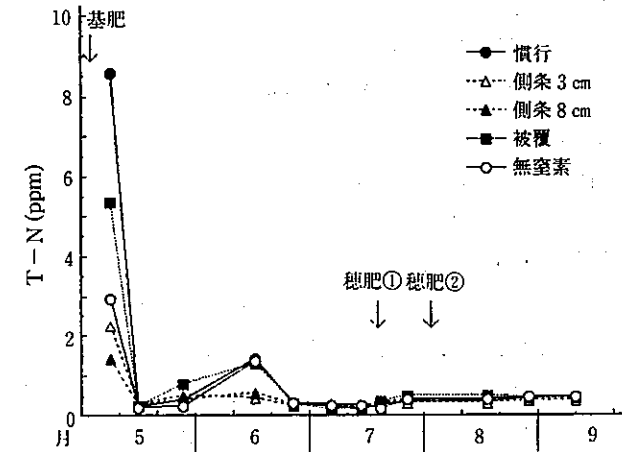
形態別窒素濃度は測定回数が不十分であったため表に示さなかったが、測定した範囲ではNO<sub>3</sub>-Nの割合は少なく、NH<sub>4</sub>-NとOrg-Nが多かった。かんがい用水や降水から流入したNO<sub>3</sub>-Nの一部は水稻に吸収されるが、脱窒によって消失するものが多いものと思われる。

浸透水の平均T-N濃度は慣行>被覆=側条3cm>側条8cm>無窒素の順であり、地表排水と同様、現地試験の濃度より低かった。

第13表 用水と降水の平均水質 (1986)

区分	PH	EC (mS/cm)	T-N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	T-P
			(ppm)			
用水*	7.1	0.10	0.37	0.00	0.37	0.023
降水	5.4	0.03	0.68	0.10	0.10	0.008

注) \* 用水は4回、降水は13回の測定値を水量加重平均した。



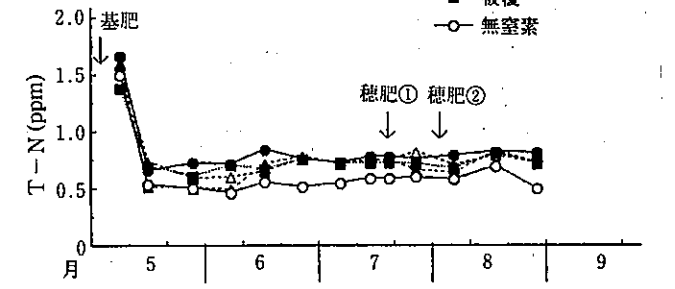
第13図 地表排水中窒素濃度の推移 (1986)

した。

地表排水の平均T-N濃度は慣行>被覆>無窒素=側条3cm=側条8cmの順であり、全体的に現地試験の濃度より低かった。

浸透水中T-N濃度の推移を第14図に示した。

浸透水の窒素濃度は、地表排水と同様、いずれの区も5月上旬に最も高い値を示したが、地表排水よりかなり低く、1.4~1.7ppmの狭い範囲にあり基肥量の多



第14図 浸透水中窒素濃度の推移 (1986)

(2) リン

地表排水中T-P濃度の推移を第15図に示した。

地表排水のリン濃度も窒素の場合と近似した推移の傾向を示した。すなわち、基肥直後の5月上旬が最も高く、次いで6月中旬と7月下旬から8月中旬にかけてが高かった。

5月上旬の平均濃度は、基肥に0.70kg/aのリン酸を全層施用した慣行区と無窒素区が1ppm以上、0.56



第14表 地表排水と浸透水の平均水質 (1986) (ppm)

区分	項目	慣行	側条 3 cm	側条 8 cm	被覆	無窒素
地表排水	T-N	0.66	0.39	0.38	0.51	0.40
	T-P	0.112	0.059	0.058	0.101	0.108
浸透水	T-N	0.77	0.72	0.67	0.72	0.59
	T-P	0.049	0.050	0.064	0.059	0.051

注) 全ての項目で測定値を水量加重平均した。

kg/aのリン酸を全層施用した被覆区が約0.9ppmであったのに対して、側条区は最も多い0.72kg/aを施用したにもかかわらず0.2ppm程度であった。その後リン濃度は速やかに低下したが、6月中旬には再び上昇した。6月下旬から7月中旬には降水量が多かったために濃度が低下し、降水量の少なかった7月下旬から8月中旬にかけて再び上昇した。8月22日以降は、地表排水の流出口を田面上部5cmから2cmに下げ、田面水が無くなったなら灌水するという水管理方法に切り替えた。そのため、田面水は頻繁に更新され、溢流水の濃度が低下したと思われる。

地表排水の平均T-P濃度は、慣行=無窒素>被覆>側条3cm=側条8cmの順であった。

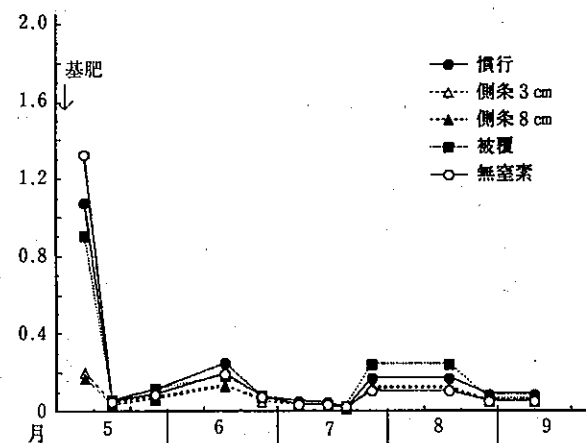
浸透水中T-P濃度の推移を第16図に示した。

浸透水のリン濃度は、初期から7月下旬までは概ね0.02~0.05ppmの範囲で推移し、8月上旬ないし中旬に上昇し、ほぼ0.1ppm程度に達した。各区間の濃度差ははっきりしなかった。

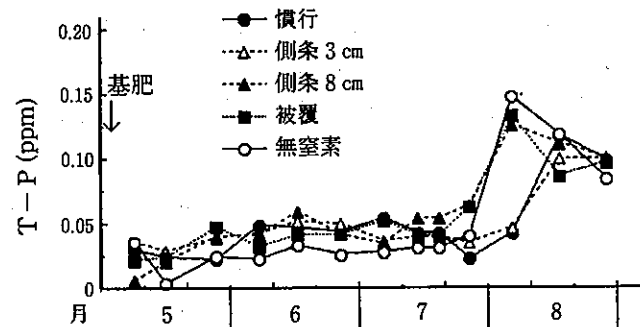
4) 窒素とリンの時期別流入と流出

(1) 窒素

窒素の旬別流出量(慣行区, 側条3cm区)を第17



第15図 地表排水中リン濃度の推移 (1986)



第16図 浸透水中リン濃度の推移 (1986)

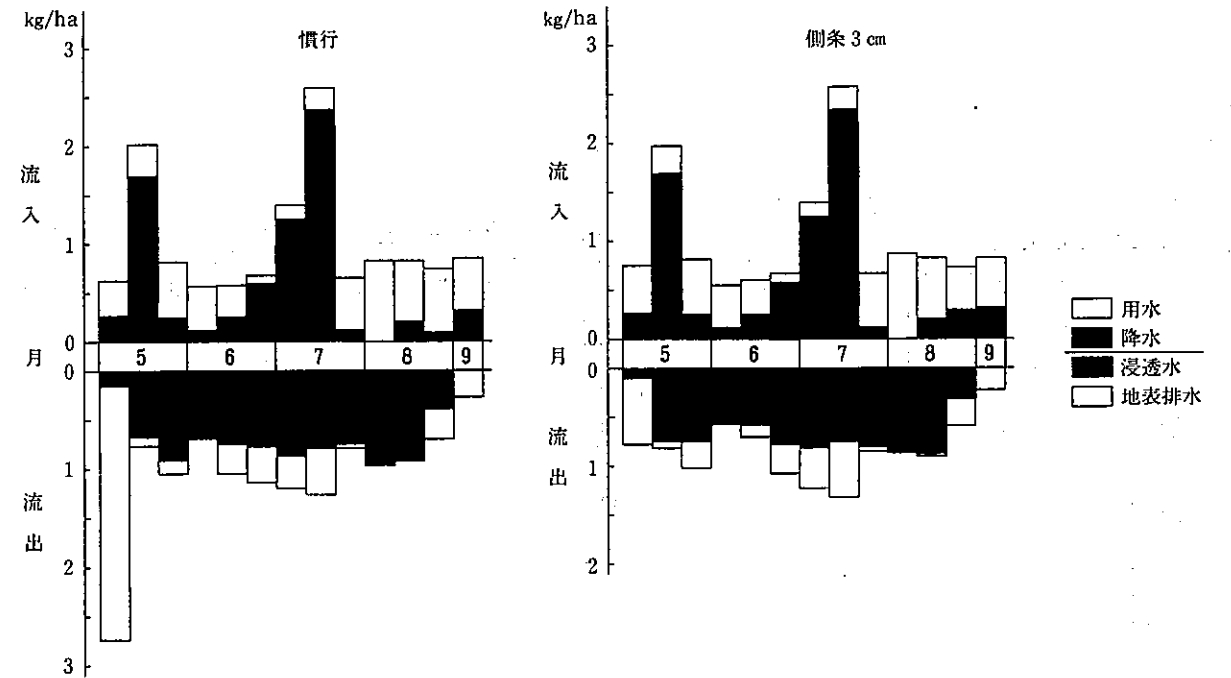
図に示した。

流入は7月中旬が最も多く、次いで5月中旬, 7月上旬の順であり、この時期はいずれも降水による流入が大部分を占めた。

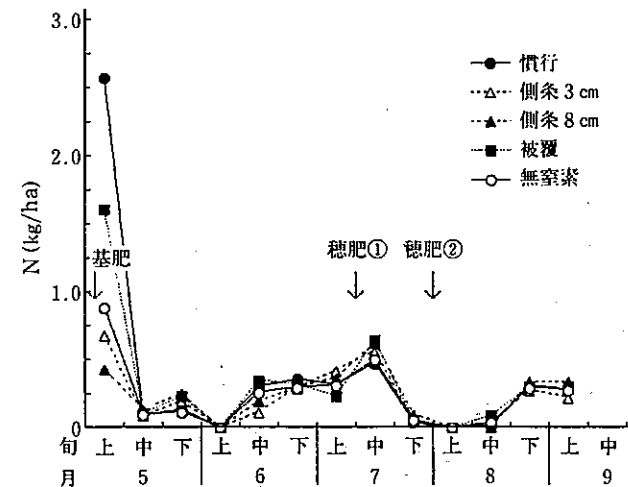
流出は、慣行区では基肥施用時の5月上旬の流出割合が全流出量の20%で最も多かった。これは同時期の現地試験の約1/2と少なく、その理由は、他の時期の浸透流出量が現地試験の場合より多いためである。

地表流出だけをみると、第18図に示すように慣行区では基肥施用時に全流出量の52%が流出した。6月中旬に地表流出量がやや多いのは、窒素濃度上昇によるものである。6月下旬から7月中旬にかけては降水量が多かったため、8月下旬から9月上旬にかけては地表排水の流出口を低くしたため、いずれも排水量が多くなり、濃度が低いにもかかわらず窒素の地表流出量が多くなった。区間差は5月上旬に認められ、側条区が慣行区の2割、被覆区が6割程度であったが他の時期は大差なかった。

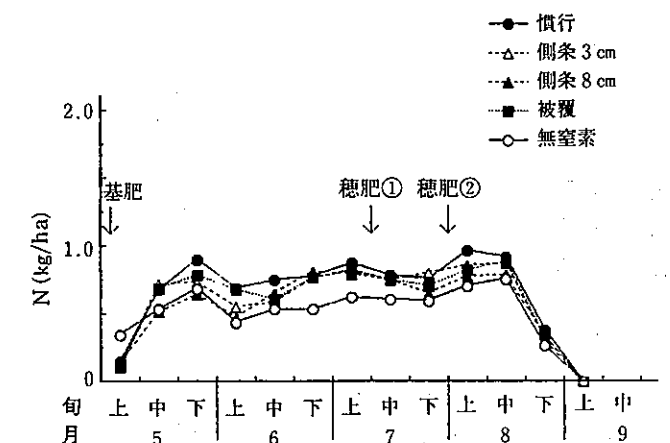
浸透流出量は、第19図に示すように水量の少ない5月上旬と8月下旬以降は各区ともごくわずかであった。5月中旬から8月中旬にかけては各区ともほとんど変化がなかった。慣行区の流出量が最も多く、無窒素区が最も少なく、他の区はその中間で推移した。



第17図 窒素の旬別流出量 (1986)



第18図 窒素の旬別地表流出量 (1986)



第19図 窒素の旬別浸透流出量 (1986)

(2) リン

リンの旬別流出量(慣行区, 側条3cm区)を第20図に示した。

流入量の時期的変動は、降水のリン濃度が低かったため窒素と比べて小さかった。

慣行区の流出量は、基肥施用時が全流出量の24%で最も多かった。

地表排水による流出は、第21図に示すように窒素と類似した変動パターンを示し、慣行区では基肥施用時の流出が全流出量の39%で最も多かった。6月中旬は濃度上昇のため、6月下旬から7月中旬間と8月下旬以降は排水量が多かったため、リンの地表流出量が多

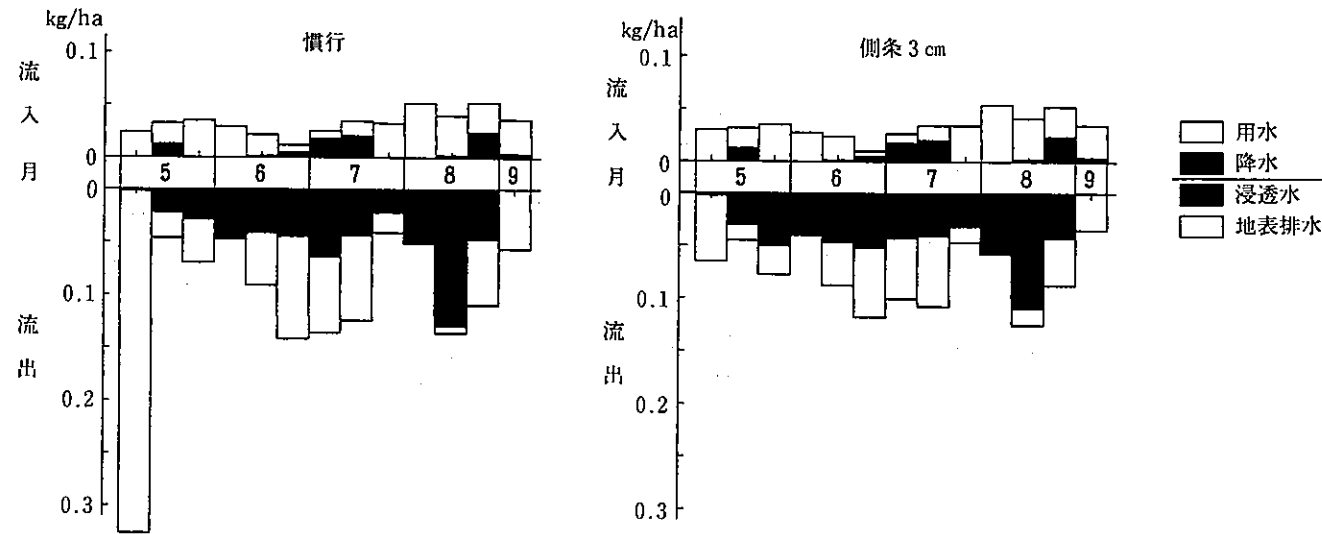
かった。側条区は基肥施用時の流出が慣行区の約2割と少なく、以後も慣行区よりわずかながら少なかった。被覆区は全期間を通じて慣行区とほとんど同じだった。

浸透水による流出量は、第22図に示すように5月上旬から下旬にかけて徐々に増加し、それ以後7月下旬までは変動が小さく、8月上旬、中旬に急上昇した。これは、この時期になって下層まで還元が進行したことを示唆するものであろう。

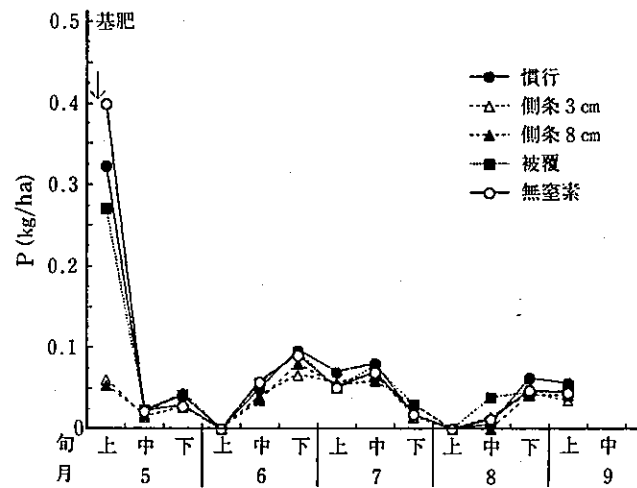
5) 窒素とリンの流出量

窒素とリンの流出量と流出削減率を第15表と第16表に示した。

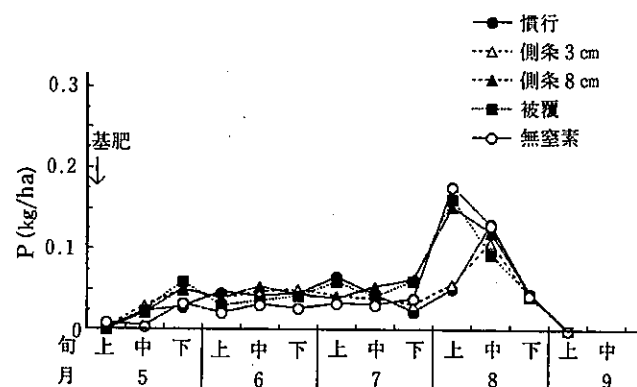
窒素、リンともに流入量の区間差はほとんどなかつ



第20図 リンの旬別流出量 (1986)



第21図 リンの旬別地表流出量 (1986)



第22図 リンの旬別浸透流出量 (1986)

た。流出量は水量の区間差が少なかったため、水質に強く影響された。

(1) 窒素

窒素の流出量は、地表排水が慣行>被覆>無窒素=側条 8 cm=側条 3 cm、浸透水が慣行>被覆=側条 3 cm>側条 8 cm>無窒素の順であり、流出合計は慣行>被覆>側条 3 cm=側条 8 cm>無窒素の順となった。差し引き排出量は流出合計と同じ順序で、慣行区以外は全て浄化型となった。無窒素区の流出量を差し引いた施肥排出量も流出合計と同じ順序で、施肥排出率は0.9~

5.4%とわずかであった。慣行区に対する窒素の流出削減率は、側条 8 cm区23%、側条 3 cm区20%、被覆区12%で、側条施肥した区ではかなり高い流出削減効果を示したが、被覆区はやや劣った。

側条施肥による削減率は現地試験の半分程度と少ないが、これは区間差の少ない浸透流出量の全流出量に占める割合が多いためである。実際の圃場では浸透水の全量が直接排水路に流出するわけではなく、暗きよの有無、排水路の構造、地形等によってその割合は異なる。一度浅層地下水あるいは地下水として河道に入った後に、河

第15表 窒素の流出量と流出削減率 (1986)

区分	(kg/ha)				
	慣行	側条 3 cm	側条 8 cm	被覆	無窒素
用水	5.44	5.57	5.88	5.61	5.73
降水	7.71	7.71	7.71	7.71	7.71
流入計	13.15	13.28	13.59	13.32	13.44
地表排水	4.93	2.94	3.08	3.94	3.18
浸透水	8.68	7.93	7.41	7.99	6.67
流出計	13.61	10.87	10.49	11.93	9.85
差し引き排出量*	0.46	-2.41	-3.10	-1.39	-3.59
施肥排出量**	3.76	1.02	0.64	2.08	-
施肥排出率(%)**	5.4	1.6	1.0	3.0	-
流出削減率(%)**	-	20	23	12	-
地表流出削減率(%)**	-	40	38	20	-

- 注) 1. \* 差し引き排出量 = 流出量 - 流入量  
 2. \*\* 施肥排出量 = 施肥区流出量 - 無窒素区流出量  
 3. \*\*\* 施肥排出率 = (施肥排出量 / 施肥量) × 100  
 4. \*\*\*\* 流出削減率 = (慣行区流出量 - 施肥区流出量(側条施肥区または被覆肥料区の流出量)) × 100 / 慣行区流出量

川や湖沼に流出するものもある。したがって、排水路や河川への影響が浸透水より明確な地表排水だけの流出削減率も算出した。これによると側条 3 cm区では40%、側条 8 cm区では38%となり、現地試験の地表流出削減率32~54%の範囲内になった。被覆区では20%で、浸透水を含めた流出削減率と同様、側条区よりかなり劣った。

(2) リン

リンの流出量は、地表排水が無窒素=慣行>被覆>側条 8 cm=側条 3 cm、浸透水が側条 8 cm>被覆>無窒素>慣行=側条 3 cmの順であり、側条施肥によるリンの流出削減効果は地表排水に限って認められた。流出合計は被覆=無窒素=慣行>側条 8 cm>側条 3 cmの順であった。差し引き排出量は流出合計と同じ順序で、全ての区が窒素とは逆に排出型となった。慣行区に対するリンの流出削減率は、側条 3 cm区が28%、側条 8 cm区が15%、地表流出削減率はそれぞれ46%と44%で、ともに流出削減効果が認められたが、被覆区ではリン

酸を被覆していないために効果は認められなかった。

6) 水稻の生育、収量と窒素吸収

水稻の生育、収量および収量構成要素を第17表と第18表に示した。

地力が高いため、無窒素区でも約60kg/a、慣行区では70kg/a近くの高い玄米収量となった。側条 3 cm区では初期から最も生育旺盛で、有効茎歩合も慣行区並みとなり、総穂数は慣行区を11%上回ったが、登熟歩合が悪く増収に結びつかなかった。側条 8 cm区と被覆区では、慣行区と側条 3 cm区に比べ前半の生育が抑制気味で、最高分けつ期の茎数は少なかったが後半にばん回した。側条 8 cm区では茎数が少なく推移したが有効茎歩合が高く、穂数は慣行区並みとなった。さらに一穂穂数も多く、しかも登熟歩合が側条 3 cm区より高かったため6%の増収となった。被覆区も茎数は少なかったが有効茎歩合は側条 8 cm区以上に高く、穂数と総穂数は最も多かった。登熟歩合と千粒重は側条 8

第16表 リンの流出量と流出削減率 (1986)

区 分	慣 行	(kg/ha)				
		側条 3 cm	側条 8 cm	被 覆	無 窒 素	
用 水	0.337	0.347	0.364	0.347	0.357	
降 水	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	
流 入 計	0.428	0.438	0.455	0.438	0.448	
地 表 排 水	0.830	0.445	0.463	0.783	0.849	
浸 透 水	0.550	0.546	0.716	0.662	0.584	
流 出 計	1.380	0.991	1.179	1.445	1.433	
差し引き排出量*	0.952	0.553	0.724	1.007	0.985	
流出削減率(%)**	-	28	15	-5	-	
地表流出削減率(%)	-	46	44	6	-	

注) 1. \* 差し引き排出量 = 流出量 - 流入量

2. \*\* 流出削減率

= (慣行区流出量 - 施肥区流出量 (側条施肥区または被覆肥料区の流出量)) × 100 / 慣行区流出量

第17表 水稻の生育 (1986)

区 名	茎 数				9/16			有効茎歩合 (%)
	6/9	6/19	6/26	7/2	稈 長	穂 長	穂 数	
慣 行	342	576	673	649	83.9	19.1	409	60.8
側条 3 cm	358	618	722	696	85.6	19.4	442	61.2
" 8 "	276	498	622	609	84.9	18.8	411	66.1
被 覆	267	489	624	622	92.7	18.3	453	72.6
無 窒 素	293	460	529	516	81.2	18.3	380	71.8

cm区に若干劣ったものの収量は同レベルとなった。

成熟期における水稻の窒素吸収と土壌残存を第19表に示した。

水稻の窒素濃度、窒素吸収量、施肥窒素の利用率ともに被覆>側条 8 cm>側条 3 cm>慣行の順であった。被覆区が最も利用率が高く、緩やかに放出された窒素が効果的に吸収されたと考えられる。

#### IV 考 察

近年、宍道湖・中海の水質汚濁が大きな社会問題となってきた。汚濁の原因としては、周辺の河川あるいは水路をとおして栄養塩(窒素、リン)が流入し、富栄養化が進んだことがあげられている。宍道湖・中海流域は人口が少なく、産業活動に占める農業の割合が

大きい。水質管理計画(1983年)の中に示された発生源別汚濁負荷量の全体に占める割合は、農業・畜産系でかなり高くなっている。

この計画の中で使用した窒素とリンの負荷量原単位は滋賀県の算出方法<sup>18)</sup>によって求めた。これはライシメータ調査で検討した算出方法で、現地の実態を正確に反映したものとはいえず、暫定的なものと考えべきであろう。また、水田からのこれらの成分の流出は、地域特性すなわちかんがい水の水質、降水量、施肥法、土壌条件等に支配されることが知られており、原単位はその地域で調査する必要がある。しかしながら、島根県におけるこの種の研究はほとんど行われておらず、わずかにライシメータ試験で浸透流出について検討した報告<sup>10),34),35)</sup>があるだけである。

島根県では従来から全層施肥、元肥減肥が、肥料成

第18表 水稻の収量および収量構成要素 (1986)

区 名	一 穂 初 数	m <sup>2</sup> 当 たり 総初数 (×100)	登 熟 歩 合 (%)	千 粒 重 (g)	玄 米 重 (kg/a)	同 左 比
慣 行	82.9	339	92.2	22.1	68.9	100
側条 3 cm	85.1	376	84.2	22.0	69.6	101
" 8 "	89.1	366	90.6	22.0	72.8	106
被 覆	89.2	404	84.8	21.3	72.8	106
無 窒 素	92.3	351	80.9	21.6	61.2	89

第19表 成熟期における水稻の窒素吸収と土壌残存 (1986)

区 名	水 稻 の 窒 素 濃 度 (%)		水 稻 の 窒 素 吸 収 量 (kg/a)			水 稻 の 窒 素 利 用 率 (%)	施 肥 窒 素 の 水 稻 吸 収 量 (kg/ha)	施 肥 窒 素 の 土 壌 残 存 お よ び 脱 窒 量* (kg/ha)
	初 数	わ ら	初 数	わ ら	計			
慣 行	0.95	0.55	0.82	0.40	1.22	27	19	47.2
側条 3 cm	0.99	0.58	0.86	0.44	1.30	42	27	36.0
" 8 "	0.96	0.58	0.87	0.44	1.31	44	28	35.4
被 覆	1.03	0.66	0.95	0.55	1.50	67	47	20.9
無 窒 素	0.92	0.47	0.70	0.33	1.03	-	-	-

注) \* 施肥窒素の土壌残存および脱窒量 = 施肥窒素量 - (施肥窒素の水稲吸収量 + 施肥排出量)

分の流出防止とは別に、肥料の効率的利用という面で技術指導されてきた。基肥は耕起前が理想であるが、本県では本試験の慣行区のように耕起→施肥→入水→代かきの作業順序が一般的であり、植代施肥、表層施肥よりは全層施肥に近く、肥料成分の流出は少ないと思われる。また、本県の施肥指針の窒素施肥配分は追肥に重点がおかれ、元肥の割合は全ての品種で4割程度と少なく、これ以上の元肥減肥はできにくい状況にある。したがって、水質汚濁成分の流出削減という面では側条施肥法が最も有効な手段と考えられた。

以上のことから、本試験では水田からの水質汚濁成分の流出実態を把握するとともに、側条施肥による流出削減効果と水稻の生育に及ぼす影響を、現地圃場で2年間検討した。また、翌年には現地圃場に近しい水管理のできるライシメータを用い、側条施肥と被覆肥料施用による肥料成分(N, P)の流出と水稻の生育、収量に及ぼす影響について試験した。

#### 1. 水質汚濁成分の流出実態

##### 1) 窒素

これまでの報告<sup>4),7),12),15),19),31),33)</sup>では、水田からの窒素

の流出は田植期から約1か月の期間に、基肥施用直後の落水や、降雨による溢流によって集中して起きている。他の時期の流出例としては、高村らが、追肥直後の大雨による溢流で、窒素の地表流出量が大きくなったことを報告<sup>31)</sup>しているが、他には基肥直後以外の大量流出例はみられない。

本試験でも基肥施用後約1か月の流出は多く、特に透水性不良な圃場で行った現地試験では、全流出量の約4割とかなりの割合になった。

一方、本試験では梅雨期の流出も多く、現地試験では初年目3割、2年目5割で、2年目は基肥直後の流出より多くなった。ライシメータ試験でも梅雨期の地表流出量は多かった。梅雨期の前半は、中干しを行うために水尻の地表排出口が開けてあるので、透水性の比較的良好な水田でも窒素が地表流出しやすくなる。また、1985年のように穂肥施用直後に梅雨末期の大雨で、窒素が大量に溢流することもある。

水田からの肥料成分の流出を防止するためには、高村ら<sup>31)</sup>、長谷川ら<sup>4)</sup>も指摘しているように、田面水の肥料成分濃度を高くしないこと、表面流出(強制落水、

溢流)を少なくすることが基本と考えられる。本試験の2年目は用水を多量に取水しがちであったうえに降水量も多かったため、地表排水量が多くなり窒素の流出量が大幅に増加した。水管理の重要性が本試験でも確認された。代かき用水は極力少なくし、強制落水をほとんどしなくてもよいようにする必要がある。また、溢流の機会を少なくするため、追肥も浅水で行うのが望ましい。

水田から排出される窒素やリンを評価する方法としては、(1)排出量(地表流出+浸透流出)、(2)施肥排出量(施肥区流出量-無施肥区流出量)、(3)降水負荷込みの差し引き排出量(排出量-用水からの流入量)、(4)差し引き排出量(排出量-用水、降水からの流入量)の4通りがある。高村ら<sup>30)</sup>は(4)の差し引き排出量を用いて、用水のきれいな場合はこの値がプラスになり、排出量が流入量を上回る排出型になりやすいことを示した。また、増島<sup>17)</sup>は利根川水系の水質調査で、汚濁程度の進んだ用水(T-N 2ppm以上)を取水している水田団地では、排水中窒素濃度が用水中窒素濃度より低くなることを認め、水田の水質浄化能を示していると考察した。伊藤<sup>11)</sup>は1978年までに行われた調査をとりまとめ、単位水田の窒素の差し引き排出量は大部分がプラスになっており、この場合、表面排出量に比べて浸透排出量が極端に少ないことを指摘している。

本試験では、用水として斐伊川の水と水道水を使用しており、T-N濃度は0.37~0.45ppmと極めて低く、3年間のうち2年は、既往の成果と同様排出型になった。このように、用水の水質汚濁の進んでいない本県のような場合は排出型となることが普通と考えられるが、現地試験の初年目のように用水管理を適正にすれば、浄化型となる可能性もあると考えられる。

## 2) リン

水田からのリンの排出は、窒素と同様に基肥施用直後の落水による割合が非常に大きい。このことは、ほとんどの報告で一致している。しかし、その後の地表流出、浸透流出量についてはさまざまな結果になっている。概して、リン酸吸収係数の大きい火山灰土壌や還元条件になりにくい乾田で水稲生育期のリンの排出は少ない傾向がある<sup>23, 30)</sup>。一方、古賀<sup>16)</sup>が佐賀県のクリーク水田で行った調査では、全リン酸濃度(T-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)が地表流出水0.8~4.6ppm、暗きょ流出水1.9~3.6ppmという高い値を示した。また、小林ら<sup>15)</sup>は水田群の排水中のT-Pがしばしば追肥期に顕著なピーク

をしめすことを認めた。長谷川ら<sup>11)</sup>の調査では、田面水中のT-P濃度が6月上旬に著しく高くなり、これは肥料の影響よりも藻類の繁殖と土壌の還元化による土壌リンの可溶化の影響が大きいとした。また、浸透水中のT-Pが全期を通じて徐々に上昇の傾向にあることも認めている。

本試験でも長谷川らと同様な傾向がみられ、現地試験の田面水とライシメータ試験の地表排水のリン濃度が6月中旬前後に高くなり、ライシメータ試験では浸透水の濃度が徐々に高まり8月中旬に最高となった。流出量としては、現地、ライシメータともに梅雨期が最も多く、次いで基肥施用直後と水稲収穫前の順になった。現地試験における流出はほとんどが地表排水によるものであった。一方、ライシメータ試験では、浸透水による流出割合が約4割を占め、8月中旬にはかなり多量の浸透流出がみられた。

本試験では、リンの排出量は年により圃場が違うため幅があったが、差し引き排出量は3年間を通じてプラスの値となり、いわゆる排出型となった。基肥施用後田面水中の濃度が低下し安定するのに、窒素が10日ないし2週間を要するのに対し、P-O<sub>4</sub>-Pは3日ないし1週間で0.05ppm以下になり、窒素よりも速やかに土壌に吸着された。しかしながら、水質汚濁成分の流出という観点からは、土壌粒子、藻類等を含めたT-Pの量で評価するので、代かき後、中干し時等に濁水が流出しないようにすることが必要である。

## 3) COD

水田からのCODの流出については、現地試験だけで検討した。CODに関する報告は極めて少ないが、長谷川ら<sup>11)</sup>は、差し引き排出量が単筆水田ではプラスに、水田群ではマイナスになったことを認めた。この理由として水田排水のCOD成分は有機物以外に還元性物質が含まれており、これは排水路などで容易に酸化されるため、水田群域からは負荷の発生がみられなくなるのではないかと推定した。本試験でもコンクリート製排水路の表面が赤くなったり、浸透水を保存中のポリ瓶の底に赤色沈殿が生成することが、しばしば観察された。これは水田の浸透排水に相当量のF e<sup>2+</sup>が溶出しており、排水路では容易にF e<sup>3+</sup>に酸化されることを示している。このときの排水のCOD値は排水路に流出直後と比べて低下しているため、水田群における差し引き排出量は単筆水田の場合よりも少ないと思われる。しかしながら、本地区では用水の汚濁が進んでいないため、このような排水路などでの酸化があ

るとしても、差し引き排出量がマイナスに転化するとは考えにくい。

## 2. 水質汚濁成分の流出削減

### 1) 窒素

側条施肥法は、従来の田植機に施肥機を装備し、田植えと同時に基肥が植え付け株の横3~4cm、深さ3~5cmの位置に条状に施肥できる。この方法は施肥する前に代かきを行うので、田植えに適した水深にするために強制落水しても肥料成分の流出は極めて少ない。また、肥料を土中へ局所的に施肥することから、田面水への溶出も少ないため、田植直後に大雨があって田面水が溢流しても問題とならない。このことはこれまでも報告<sup>23), 25), 30)</sup>されているが、いずれも田面水中の窒素あるいはリン濃度からの評価にとどまっていた。本試験では、これらの成分の流出量を実際に測定し流出削減率を算出した。

側条施肥した区では、基肥施用直後でも田面水あるいは地表排水の窒素濃度は低く、その後も溶出はみられずほとんど基肥の影響を受けなかった。しかし、分けつ期追肥、穂肥ともに表面に施用するため、大雨により溢流する可能性があるのは慣行施肥と同様である。

側条施肥を行った場合、NH<sub>4</sub>-Nの拡散移動は極めて緩慢であることが知られているが、局所的に肥料の濃厚な部分ができるため、土壌に吸着されずに水の移動に伴って下層に流下しやすくなることも考えられる。本試験では、側条施肥した区の窒素の浸透流出量は3年間をとって慣行区より少なかった。特に、現地試験では側条区の浸透流出量は慣行区の1/2~1/3であった。これは側条区の施肥量が少なかったことと、圃場の透水性が小さいことによるものであろう。一方、ライシメータ試験では土層が1mと厚いため、溶脱した窒素は根の活動領域より深いところにとどまり、排水管までに至っていない可能性も否定できない。

現地試験における側条区の窒素の流出削減率は、1984年が36%、1985年が58%で、ライシメータ試験のそれは、側条3cm区が20%、側条8cm区が23%であった。ライシメータ試験では区間差の少ない浸透流出量が、全流出量のかなりの部分を占めたため、現地試験の削減率より低かった。

中田ら<sup>20)</sup>は、ライシメータ試験で、施肥後の田面水のNH<sub>4</sub>-N濃度は、被覆肥料を施用した区が粒状の化成肥料を施用した区の1/3から1/4以下に低下したが、浸透水の濃度は差がないという結果を得ている。本試験でも、浸透水の窒素濃度は全般に差が小さく、被覆

区は慣行区よりやや低い側条区とほぼ同じであった。一方、地表排水の窒素濃度は、基肥施用当初から被覆区が側条区よりもやや高かった。被覆区は側条区より基肥量が多く、全窒素のうち約15%は速効性のNH<sub>4</sub>-Nであるため、深層施肥である側条区より窒素が田面に溶出しやすかったと思われる。

本試験では、水稲の窒素利用率という点で側条区に勝る被覆区が逆に水質改善効果では劣り、既往の研究に矛盾した結果となった。この理由として以下のことが考えられる。脱窒量の区間差が仮に少ないとすれば、第20表から土層全体の窒素残存量は被覆区が側条区より少なかったことになる。つまり、慣行区や側条区では施肥窒素が厚い土層の下部にまで溶脱し、その位置にとどまっているのに対して、被覆肥料は溶出が緩慢なため効率的に水稲に吸収され、下層への溶脱が少なかった可能性もある。したがって、暗きょが40~50cmの位置にある水田では被覆肥料施用が側条施肥より窒素の浸透流出は少なくなる場合もあると思われる。

### 2) リン

現地試験、ライシメータ試験ともに、側条施肥した区ではほとんど基肥の影響を受けなかった。年によって圃場を入れ替えた現地試験では側条施肥の効果のみられない年もあった。したがって、処理区間の土壌条件がほぼ同じとみられるライシメータ試験の結果について以下で考察する。

側条施肥した区の地表排水のT-P濃度は基肥施用直後でも非常に低く、一時的に上昇した6月中旬も他の区よりは低かった。地表流出量も、6月までは他の区より少なかったが7月以降は差が認められなかった。浸透流出量は0.55~0.72kg/haの範囲で、いずれも少なく、この程度の区間差は施肥法の違いによるものとは考えられなかった。一般に、施肥時以外のリンの流出は土壌のリン含量、リン酸の固定力、pH、透水性、土壌の酸化還元状態、水稲根のリン酸吸収力などに支配されるものと考えられる。

側条施肥によるリンの流出削減率は、浸透流出量の差が影響し、側条3cm区が28%、側条8cm区が15%と開きがあったが、地表流出だけによる流出削減率はそれぞれ46%と44%で差がなかった。

被覆区は尿素だけ被覆してあるので、当然のことながらリンの流出削減効果は認められなかった。

## 3. 水稲の生育と収量

本試験と並行して、宍道湖・中海流域にある6ヶ所の農業改良普及所を中心に、側条施肥の生育、収量に

対する影響について実証試験が行われた。品種、施肥深、施肥量が地区あるいは年によってまちまちであり、試験区ごとに圃場が異なる場合もあって、厳密な考察は困難であるが、側条施肥によって中山間～山間部では1割前後の増収となった。しかしながら、標高100m以下の平坦部では必ずしも増収に結びつかなかった。これにはいろいろな理由が考えられるが、側条施肥は苗のすぐ横に肥料を施用するため、平坦部では初期生育が促進されて過繁茂となり、中期にちょう落的傾向を示し収量が若干低下するという事例も多かった。

側条施肥法における改善点として、大山<sup>20)</sup>は基肥の節減、追肥の改善、緩効性肥料を利用した側条施肥法、肥料の種類(ペースト、粒状)を挙げている。西川<sup>20)</sup>は側条施肥法の初期生育促進傾向を調節するために隔条中央施肥について検討し、栄養生長期後半の栄養改善効果の大きいことを認め、その田植機の普及が期待されたが試作に留まっている。そこで中村ら<sup>20)</sup>は側条(3cm深)及び隔条の中央(15cm深)へ、同時に施肥可能なペースト二段施肥田植機(仮称)の検討を行い、側条施肥に比べて6%の増収効果を認めている。本試験でも、側条施肥法の省力技術としての特徴を生かすために、中間追肥の改善に頼らなくても高収量を得られるような施肥位置について検討した。

側条3cm区では初期生育が旺盛で、最高分けつ期の茎数は最も多く、有効茎歩合も慣行区並みであったため、穂数が多く、一穂数も慣行区に勝ったが、登熟歩合が悪く、収量指数は101にとどまった。これに対し、側条8cm区では前半の生育は抑制気味で、最高分けつ期の茎数は最も少なかったが、有効茎歩合が高かったため、穂数も慣行区並みとなり、一穂数も多くなった。しかも登熟歩合も高かったため、収量指数106という好結果が得られた。このように、苗横8cmに施肥する側条施肥法は、通常の側条施肥法の持つ排水の水質改善などの利点を全て備え、なおかつ、西南暖地の平坦部においてみられる水稻の生育中期のちょう落的傾向が回避できる方法と考えられた。

宍道湖・中海流域において、施肥田植機は機械移植水田の約1割に導入されている。現在ある施肥田植機を改良し、水平方向への施肥位置の変換範囲が拡大されれば、さらに広い地域でより適切な側条施肥法が導入されると思われる。平坦部で現行の機械を使用する場合には、可能な限り施肥位置を苗横、深さともに離し、基肥量を抑え、中間追肥で生育を調節する必要がある。

中村ら<sup>20)</sup>の試験では、被覆肥料の施用により通常の複合肥料に比べて10%以上増収し、窒素の利用効率も約1.3倍となった。本試験では、被覆区は施肥窒素の8割相当量を基肥として、「被覆尿素入り複合100日型」で施用し、残りの窒素を普通より遅い減数分裂期に1回穂肥として施用した。被覆区は側条8cm区と同様、前半は生育抑制気味で、茎数は少なく推移したが、有効茎歩合が高いため、穂数は多く、一穂数も多かったため、登熟歩合はやや低かったものの、側条8cm区と全く同じ高収量となった。このように、被覆肥料施用は肥料の種類、施用方法を検討すればより窒素流出量の削減、肥効増進及び省力の面で期待できる新しい技術になり得ると思われる。

以上のように、本試験では島根県内で初めて、水田からの水質汚濁成分の負荷原単位を実測した。そして、この結果が1989年に策定された水質保全計画に反映された。しかしながら、これはかんがい期だけのしかも単位水田(1区画の水田)の調査結果であり、現地圃場における浸透水量の算出方法及び採水方法、ライシメータにおける浸透水の採水位置などに問題もある。したがって、水収支の測定方法など技術的に困難な点も多いが、今後も水田群の調査、非かんがい期の調査を実施して原単位を修正していく必要がある。

また、本試験で側条施肥法が窒素とリンの流出削減に顕著な効果のあることを実証した。ただし、代かき後すぐに落水すると濁り水が流れ、土壌中のリンも流出する懸念があるので、2～3日以上放置してから落水するようにする。砂質の土壌では長時間放置すると土壌が締まり植えにくくなるので、浅水代かきを行い落水は最小限に止めることが望ましい。このことは、施肥後に代かきを行う慣行栽培で特に重要であるといえよう。また、追肥は浅水で行い速やかに土壌に吸着させ、溢流による流出がないようにすることが必要である。

側条施肥法は排水の水質改善の他に、減肥、省力化などのメリットがあるが、より広範に導入されるためには、現行のものより苗から離れた位置に施肥できる施肥田植機の開発が必要である。なお、ライシメータ試験で供試した土壌は地力が高いため、施肥位置を苗から離すことによって基肥の肥効が遅く現れた場合でも、穂数を確保することができたが、もっと地力の低い土壌でも同様な結果が得られるかを検討する必要がある。

## V 摘 要

側条施肥が水田からの水質汚濁成分の流出と、水稻の生育に及ぼす影響について、現地水田(2年間)とライシメータ(1年間)で、1984年から1986年までの3年間検討した。また、被覆肥料を施用した場合の窒素の流出と水稻の生育についても若干の検討を行った。

1. 窒素の流出量は、降水量、用水管理、土壌の透水性などに大きく左右され、時期的には基肥施用後1か月以内と梅雨期に多かった。

2. リンの流出は梅雨期が最も多く、次いで基肥施用時と水稻収穫前の落水期であった。

3. 流入量を差し引いた差し引き排出量は窒素が1.22～7.92kg/ha、リンが0.05～1.15kg/ha、CODが12.2～63.2kg/haで、1984年の窒素以外はいずれもプラスの値となり、いわゆる排出型となった。

4. 側条施肥法によって窒素は20～58%、リンは15～28%の流出量が削減されたが、CODの流出削減は確認できなかった。

5. 側条施肥法は、水稻の増収に結びつかない場合もあったが、施肥位置を通常の苗横3cmから8cmに離すことによって若干増収した。

6. 被覆肥料(「被覆尿素入り複合100日型」)を施用することによって、窒素の流出は多少抑制され収量も若干増加した。

7. 以上のように、側条施肥法は水稻の安定多収にはまだ検討すべき課題が残されているが、窒素とリンの流出削減には顕著な効果があることを実証した。

## 引用文献

- 1) 地下水ハンドブック編集委員会編(1979): 地下水ハンドブック. 建設産業調査会, p49.
- 2) 古畑和五郎(1979): 諏訪湖集水域農業生態系. 「環境科学」研究報告集B 8-R12-1; 31-51.
- 3) 長谷川清善・小林正幸・宮崎秀也・中田均(1978): 水田における施肥窒素の効率の利用率(第2報)圃場における施肥窒素の動向について. 滋賀農試研報20; 8-19.
- 4) 長谷川清善・小林正幸・宮崎秀也・中田均(1980): 農耕地における肥料成分の行動に関する研究(第7報)施肥, 水管理法が, 稲作期間水田からの肥料成分の流出に及ぼす影響. 滋賀農試研報22; 79-90.

- 5) 長谷川清善・小林正幸・中村 稔・中田 均(1981): 水田における施肥窒素の効率の利用率(第3報)重窒素標識硫酸による元肥の表層施肥と全層施肥の比較. 滋賀農試研報23; 23-29.
- 6) 長谷川清善・小林正幸・中村 稔・中田 均(1982): 水田における循環かんがいと水質汚濁成分の収支(第1報)富栄養化成分の流出と水稻の生育について. 滋賀農試研報24; 65-78.
- 7) 平山 力・酒井 一(1985): 水田からの肥料成分の流出とその対策(第1報)水田からの肥料成分の流出. 茨城農試研報25; 133-146.
- 8) 平山 力・酒井 一・間谷敏邦・岡野博文(1985): 水田からの肥料成分の流出とその対策(第2報)局所施肥による効果. 茨城農試研報25; 147-164.
- 9) 平山 力・仁平照男・小林 登(1985): 水田からの肥料成分の流出とその対策(第3報)肥料形態による効果. 茨城農試研報25; 165-171.
- 10) 入沢周作・山根忠昭(1957): 漏水速度の差異が土壌及び水稻に及ぼす影響について(第1報). 中国農業研究8; 11-17.
- 11) 伊藤 信(1981): 水質汚濁と水田の水浄化機能—窒素とリンを中心にして—. 農及園56; 1105-1110.
- 12) 伊藤敏彦・浅野峯男・井沢敏彦・豊田一郎・沖村逸夫・神田俊二(1978): 水田が河川等の富栄養化に及ぼす影響(第5報)水田団地における栄養塩類の収支. 愛知農総試研報A10; 171-177.
- 13) 環境庁環境法令研究会編(1991): 環境六法(平成3年版). 中央法規, p480.
- 14) 北村秀教・浅野峯男・豊田一郎・沖村逸夫・神田俊二(1978): 水田が河川等の富栄養化に及ぼす影響(第4報)単位水田における生育時期別窒素・リンの地上流入. 愛知農総試研報A10; 160-170.
- 15) 小林正幸・長谷川清善・宮崎秀也・西川吉和・中田 均(1980): 農耕地における肥料成分の行動に関する研究(第6報)びわ湖湖辺水田群(愛西土地改良区)における窒素とリンの流出について. 滋賀農試研報22; 72-78.
- 16) 古賀 汎(1979): クリーク水田地帯における水の循環と保全機能の解明. 「農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究」試験成績書(第3集); 150-156.
- 17) 増島 博(1979): 利根川水系農業生態系—農業生態系と水質との関係—. 「環境科学」研究報告集B 8-R12-1; 23-30.

- 18) 中田 均・川村戈十二・澤 重孝 (1976) : 農耕地における肥料成分の行動に関する研究 (第1報) 水田ライシメータにおける肥料成分の行動と収支. 滋賀農試研報18 ; 60-69.
- 19) 中田 均・長谷川清善・勝木依正・西川吉和・澤重孝 (1978) : 農耕地における肥料成分の行動に関する研究 (第3報) 水田地帯における肥料成分の行動調査の事例. 滋賀農試研報20 ; 20-31.
- 20) 中田 均・西沢良一 (1979) : 農耕地における肥料成分の行動に関する研究 (第5報) 肥料形態, 施肥位置と肥料成分の溶出. 滋賀農試研報21 ; 21-26.
- 21) 中村 稔・辻 藤吾・勝木依正・大西功男・鋒山和幸 (1989) : 水稻のペースト二段施肥田植機の利用. 滋賀農試研報30 ; 1-10.
- 22) 日本分析化学会北海道支部編 (1981) : 水の分析 (第3版). 化学同人, 504pp.
- 23) 日本工業規格 (1981) : 工場排水試験方法 J I S K 0 1 0 2. 日本規格協会, 236pp.
- 24) 西川吉和・島田安二・西沢良一・岡本将宏・大橋恭一・岡本一浩 (1986) : 水稻の隔条中央施肥法. 滋賀農試研報27 ; 17-26.
- 25) 西沢良一・中田 均・勝木依正 (1979) : 機械移植水稻の効率的施肥法に関する研究 (第1報) 深層元肥および深層追肥について. 滋賀農試研報21 ; 1-20.
- 26) 農業土木学会 (1979) : 農業土木ハンドブック. 丸善, p189.
- 27) 大山信雄 (1985) : 東北地方の水稻栽培における側条施肥法. 土肥誌56 : 343-346.
- 28) 滋賀県農業試験場・滋賀県蚕業指導所・滋賀県茶業指導所・大阪府農林技術センター (1985) : N・P流出削減実証と実用化技術の確立. 琵琶湖-淀川水系における農業排水の水質改善に関する研究 ; 24-45.
- 29) 田島英男・浅野峯男・豊田一郎・沖村逸夫・神田俊二 (1978) : 水田が河川等の富栄養化に及ぼす影響 (第3報) 単位水田における栄養塩類の収支とその年次変動. 愛知農総試研報A10 ; 150-159.
- 30) 武田育郎・國松孝男・小林慎太郎・丸山利輔 (1991) : 水田群からの汚濁負荷流出に関する研究 (II) 水系における水田群の汚濁物質の収支と流出負荷量. 農土論集153 ; 63-72.
- 31) 高村義親・田淵俊雄・鈴木誠治・張替 泰・上野忠男・久保田治夫 (1976) : 水田の物質収支に関する研究 (第1報) 霞ヶ浦流域の水田における窒素およびリンの動向と収支について. 土肥誌47 : 398-405.
- 32) 高村義親・田淵俊雄・張替 泰・大槻英明・鈴木誠治・久保田治夫 (1977) : 水田の物質収支に関する研究 (第2報) 新利根川流域の湿田における窒素およびリンの収支と排出について. 土肥誌48 : 431-436.
- 33) 高村義親・田淵俊雄・張替 泰・西村伸夫・大槻英明・久保田治夫・鈴木誠治・大崎和二 (1979) : 水田の物質収支に関する研究 (第3報) 霞ヶ浦流域の乾田における窒素およびリンの収支と排出について. 土肥誌50 : 211-216.
- 34) 山根忠昭 (1961) : 土壌中における養分の移動 (第1報) 稲作期間における窒素の移動について. 中国農業研究23 ; 31-33.
- 35) 山根忠昭・松浦一人 (1964) : 乾田直播栽培の施肥法に関する研究 (第2報) 基肥窒素の硝酸化成とカリの溶脱との関係. 中国農業研究31 ; 5-6.
- 36) 山下勝男・河合利雄・井上弥平・澤 重孝・北川浩 (1982) : 粒状肥料用施肥田植機の開発利用に関する研究 (第1報) 昭和56年度市販機の性能について. 滋賀農試研報24 ; 15-26.

### Summary

In a 0.3ha paddy field and a 9m<sup>2</sup> lysimeter, we had investigated the influences of side-dressing on the outflow of water pollution materials and the growth of rice plant during the irrigation periods for three years (1984-1986). In addition, the effects of applying coated fertilizer to the quality of water and the growth of rice plant were examined.

1. The outflow of N was influenced by rainfall, water control and water permeability of soil. It occurred mainly within about one month after basal application and in the rainy season.
2. The outflow of P in the rainy season was more than the one at the period of basal application and drainage of residual water before harvest.
3. The balanced loss (outflow - inflow) of water pollution materials ranged from -1.22 to 7.92 kg/ha for N, 0.05 to 1.15 kg/ha for P and 12.2 to 63.2 kg/ha for COD respectively.
4. The reduction ratio of outflow by side-dressing ranged from 20 to 58 % for N and 15 to 28 % for P. The outflow of COD was not remarkably influenced by side-dressing in this experiment.
5. Side-dressing applied at intervals of 8 cm was higher yield than 3 cm.
6. Application of coated fertilizer reduced the outflow of N a little and brought about high recovery rate of N and a little yield increase.
7. Side-dressing did not necessarily bring about high and stable yields. However, this method enabled to decrease the outflow of N and P remarkably.