

窒素施肥法及び 紙マルチ移植栽培が水田系外に排出される汚濁物質に及ぼす影響と評価

大塚 英一・山本 幸洋・金子 文宜・真行寺 孝

キーワード：水田、側条施肥、育苗箱全量施肥、紙マルチ移植栽培、除草剤

I 緒 言

水田は、用水中に含まれる窒素、リン、COD及びSSといった水質汚濁成分を水田系内に止め、水質を浄化する能力を持つ。例に挙げると、窒素は水田内を流下中に水稻等に吸収されたり、水田土壌中で脱窒菌の作用によりガス化され浄化されることが知られている(朴ら、1998；森川ら、1986)。一方、水田は多量の排水が生ずるため、施用された肥料や農薬が周辺の水系へ水質汚濁成分として流出し易い環境である(田淵ら、1985；丸、1991)。

このため、水質汚濁防止の観点から、水田において主要な肥料成分である窒素や農薬の流出を抑える栽培が求められている。

田面水中の水質汚濁成分は、代かき、追肥及び中耕除草作業時に高濃度になる。特に、代かき後12日間の全窒素の流出量は、年間の流出量に対して20%以上を占めた(金子ら、1999)。また、田面水中の除草剤成分は粒剤施用後の1～3日間で急速に濃度が高まり、概ね施用後14日間の流出が流出量全体の大半を占める(山本ら、1999、2005；山本、2001；石井ら、2004；長崎、2000；天野ら、2001)。これらのことから、千葉県では、稲作標準技術体系の中で窒素の流出対策としては代かき後12日間は田面水を排水しない落水停止措置を行うとし、除草剤の流出対策としてはベンチオカーブを例に施用後14日間は田面水を排水しないとしている(千葉県農林技術会議、2001)。

本研究を行った印旛沼水系では、下水道整備等の対策によって家庭や事業所からの全窒素及びCODの流出量は徐々に減少しつつある。しかし、市街地や農地などからの全窒素及びCOD量は横ばい傾向である。これまでの報告によれば、CODでは家庭雑排水や市街地からの降雨時の排水が、全窒素ではこれに加えて農地からの肥料成分の流亡が、河川の水質汚濁の主要因となっている(印旛沼流域水循環健全化会議、2007)。また、稲作においては、兼業農家の増加や他の農作業との重複から田植えを

急ぐあまり、代かき直後の濁水を落水したり、かんがい水を掛け流すといったことも散見される。

このような現状から、前述の落水停止措置に代わり、水田からの窒素肥料と農薬の流出をより積極的に抑制する技術を導入する必要があると考えられる。今回導入した技術は、側条施肥(尾崎、1990)または、育苗箱全量施肥(金木ら、2000)と紙マルチ移植栽培(小林ら、1995)である。本研究では水質汚濁成分の流出抑制が期待できるこれらの技術を組み合わせ、印旛沼周辺の現地水田においてその効果を評価したところ、顕著な抑制効果が認められたのでここに報告する。

本研究を実施するに当たり、櫻井博文代表理事を始めとする法人米本の皆様には、試験ほ場を提供していただいた上、栽培管理を担当していただいた。千葉県農業総合研究センター生産技術部水田作研究室在原克之博士、篠田正彦氏(現、当センター育種研究所)並びに櫻井富久氏(現、県農林水産部生産振興課)には、水質汚濁抑制に繋がる技術を栽培面から検証していただいた。また、同生産環境部環境機能研究室青柳森一元室長(現、当センター北総園芸研究所長)並びに同松丸恒夫元室長(現、当センター生産環境部長)には、試験の設計から取りまとめに至るまで懇切丁寧な御指導を賜った。ここに記して、深く感謝の意を表す。

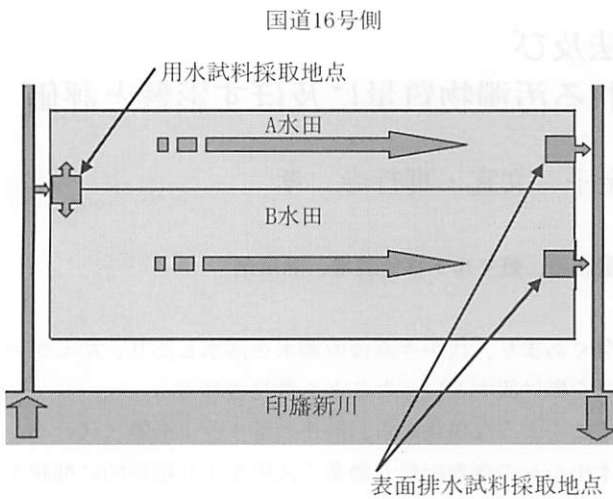
II 試験方法

系外流出防止型水田における施肥窒素と除草剤の流出抑制効果は、2000年の試験では用排水量を把握し、水田系外に流出した窒素と除草剤の濃度と流出量を測定して評価した。2001年の試験では、施肥窒素の流出量が集中する代かき直後と、除草剤の流出量が集中する施用直後の排水中の濃度を測定して評価した。

1. 試験ほ場の概要

試験ほ場は、千葉県八千代市米本地区の水田2筆(以下、A水田及びB水田)とした。面積は、A水田が18a、B水田が34aである。土壌は、中粗粒強グライ土(芝井統)である。A水田とB水田の用水は、両水田の境に設置した用水升1個から供給される。

受理日2007年10月5日



第1図 調査ほ場の概要

排水は、それぞれの水田の水尻に設置された排水升から排出される(第1図)。

2. 側条施肥と紙マルチ移植栽培を組み合わせた系外流出防止型水田の評価(試験1)

(1) 試験区の構成

試験期間は、2000年4月25日から9月4日とした。試験区として、側条・紙マルチ区と慣行区を設けた。側条・紙マルチ区は、側条施肥と紙マルチ移植栽培を組み合わせた系外流出防止型としB水田へ配置した。慣行区は、全面全層施肥と除草剤散布を組み合わせた栽培体系としA水田へ配置した。窒素施肥量は、側条・紙マルチ区では基肥2.4kg/10a(ジシアン有機入りハイペースト444号)と穂肥0.9kg/10a(NK化成C-6号)、慣行区では基肥3.0kg/10a(マップ化成)と穂肥1.9kg/10a(NK化成C-6号)とした。慣行区の除草剤は、ペンスルフロンメチル0.51%・ベンチオカーブ15%・メフェナセット3%含有粒剤(ウルフエース1kg粒剤)とし、1kg/10aを散布した(第1表)。

(2) 耕種概要

供試品種は、「コシヒカリ」とした。両区への入水日は4月25日とした。

第1表 各試験区における窒素施肥量及び雑草防除

試験年度	試験区		施肥量(Kg/10a)		雑草防除
	ほ場	区名	基肥	穂肥	
2000	B区	側条・紙マルチ区	2.4	0.9	紙マルチ
	A区	慣行区	3.0	1.9	除草剤1kg/10a
2001	A区	箱全量・紙マルチ区	3.8	—	紙マルチ
	B区	慣行区	2.9	—	除草剤1kg/10a

- 注1) 側条施肥区の供試肥料はペースト肥料とした。
 2) 育苗箱全量施肥区の供試肥料は被覆尿素とした。
 3) 除草剤は製剤1kg中にペンスルフロンメチル0.51%・ベンチオカーブ15%・メフェナセット3%を含有する。

側条・紙マルチ区では5月3日に代かきし、同日、基肥を側条施用しながら紙マルチ田植機で移植した。慣行区では4月30日に荒代かきし、5月3日に基肥を施用して代かきし、5月5日に移植した。5月9日に、慣行区へ除草剤を散布した。両区とも、7月12日に穂肥を施用し、9月4日に収穫した。

(3) 調査項目

流出抑制の評価は、排水中の水質汚濁成分の濃度と流出量によって行った。

i 用排水量調査

用排水量は、用水升と排水升に設置した小水路流量計(RD-IV、三洋測器社製)を用いて測定した。A水田とB水田は用水枡を共用していることから、用水は単位面積当たり水量が均等となるよう両水田に振り分けられたものとした(第1図)。

ii 水質調査

用水の採取は毎月1回行った。排水の採取は、水尻の排水枡に自動採水装置(モデル900:12個の容量0.9Lガラスビンを収容、シグマ社製)を設置し、毎日1回正午に行った。なお、自動採水装置は、採取時刻に表面排水がないと採取できないため、代かき、移植及び除草剤散布直後は水尻から直接採取した(第1図)。

調査項目は、全窒素(以下、T-N)、有機態窒素(以下、Org-N)、アンモニア態窒素(以下、NH₄-N)、硝酸態窒素(以下、NO₃-N)、COD、濁度及び除草剤の主成分であるベンチオカーブとメフェナセットとした。なお、Org-Nは、T-NからNH₄-NとNO₃-Nを差し引いて求めた。水田から流出した窒素の指標としては主にT-Nを用い、施肥や土壌に由来する窒素の指標としてはNH₄-Nなどの形態別濃度を用いた。

各調査項目の分析は以下のとおりとした。T-Nは試料を過硫酸塩で加熱分解した後に比色法、NH₄-NとNO₃-Nはオートアナライザー法(TRAACS800、ブランルーベ社製)、CODは過マンガン酸カリウム法(DR-4000、ハック社製)によった。また、濁度は濁度吸光光度法(DR-4000、ハック社製)により測定し、国際基準であるNTUで表示した。ベンチオカーブとメフェナセットの分析は、酢酸エチルで抽出後GC-NPD法(HP6890、ヒューレット・パッカー社製、分離カラムDB-5MS)によった。

3. 育苗箱全量施肥と紙マルチ移植栽培を組み合わせた系外流出防止型水田の評価(試験2)

(1) 試験区の構成

試験期間は、2001年4月17日から9月6日とした。試験区の構成は、箱全量・紙マルチ区と慣行区とした。箱全量・紙マルチ区は、本田期間中の施肥窒素分をあらかじめ育苗箱内に施用し、移植苗と共に肥料が本田に持ち

込まれる育苗箱全量施肥と紙マルチ移植栽培を組合わせた系外流出防止型としA水田へ配置した。慣行区は全面全層施肥と除草剤散布を組合わせた栽培体系としB水田へ配置した。窒素施肥量は、箱全量・紙マルチ区では基肥3.8kg/10a（くみあい40被覆尿素LPコート100）、慣行区では基肥2.9kg/10a（くみあいケイ酸加里入り塩化燐安082）とした。慣行区の除草剤は、ベンスルフロンメチル0.51%・ベンチオカーブ15%・メフェナセット3%含有粒剤（ウルフエース1kg粒剤）とし、1kg/10aを散布した。

(2) 耕種概要

供試品種は、「コシヒカリ」とした。両区への入水日は、2001年4月17日とした。箱全量・紙マルチ区では5月1日に代かきし、5月2日に箱施用された肥料と共に苗を紙マルチ田植機で移植した。慣行区では5月1日に基肥を施用して代かきし、5月2日に移植した。5月9日に慣行区へ除草剤を散布した。収穫は両区とも9月6日に行った。

(3) 調査項目

流出抑制の評価は、排水中の水質汚濁成分の濃度で行った。

用水及び排水の採水は、試験1と同様に行った。調査項目は、T-N、COD、濁度及び除草剤（ベンチオカーブとメフェナセット）とした。各項目の分析は試験1と同様に行った。

III 結 果

1. 側条施肥と紙マルチ移植栽培を組み合わせた系外流出防止型水田の評価（試験1）

(1) 用排水量調査

2000年の試験期間における用水量は、両区とも4,110t/10a、排水量は、側条・紙マルチ区では2,247t/10a、慣行区では3,135t/10aであった（第2表）。

試験期間中の用水量に対する排水量の割合は、側条・紙マルチ区で47.0%、慣行区で65.6%であり、側条・紙マルチ区は慣行区と比べて少なかった。用水は、両区とも5月が最も水量が多く試験期間における全用水量の44%を占めた。排水量が最も多かったのは7月で、試験期間における全用水量に対して側条・紙マルチ区が59%、慣行区が30%を占めた。これは7月7～8日の2日間に192mmの降雨があり、月間降水量も237mmと試験期間中最も多ったためである。排水量は、両区とも用水の供給が停止している9月を除き5月が最も少なかった。

表2 試験期間の月別用排水の水量(2000年)

月	降水量	用排水量			
		用水		表面排水	
		両区	慣行区	側条・紙マルチ区	
4	21	419	0	56	
	3	10	0	2	
5	126	1,806	482	130	
	19	44	15	6	
6	201	864	807	328	
	30	21	26	15	
7	237	483	931	1,317	
	35	12	30	59	
8	88	537	851	416	
	13	13	27	18	
9	0	0	63	0	
	0	0	2	0	
		673	4,110	3,135	2,247

注1) 最下段の数値は、合計値である。

注2) 各月の数値の単位は上段:t/10a、下段:%である。

(2) 用排水中の水質汚濁成分濃度

i T-N、COD及び濁度の最高と平均値

試験調査期間中の用水T-N濃度は、平均が3.0mg/L、最高値が4.2mg/Lであった（第3表、第4表）。また、COD濃度は、平均が6.6mg/L、最高値が7.8mg/Lであり、濁度は、平均が15NTU、最高値が23NTUであった。

側条・紙マルチ区における排水中のT-N、COD濃度及び濁度は、それぞれ慣行区と比べて平均が2.0mg/L、21.0mg/L、83NTU低く（第3表）、最高値が30.3mg/L、60.5mg/L、1,002NTU低かった（第4表）。

ii 試験期間中における各汚濁成分濃度の推移

排水中のNO₃-N濃度は、側条・紙マルチ区及び慣行区とも採水を開始した4月25日が最高値であった（第2図）。

荒代かきを行った4月30日の濁度は、最高値に次ぐ高い値であった（第3図）。両区のT-N、NH₄-N、Org-N濃度及び濁度は基肥施肥日（代かき日）の5月3日に最高値となった（第2図、第3図）。

窒素形態別にそれぞれの最高値を比較すると、いずれも慣行区と比べて側条施肥・紙マルチ区が低かった。NO₃-N濃度について見ると、5月4日～収穫日までは両区とも平均濃度0.8mg/Lと低く推移し、差は認められなかった（第2図）。T-N、Org-N、COD濃度は、ほぼ全調査期間をとおして慣行区と比べて側条・紙マルチ区で低く、特に生育調査を行った6月3日にその傾向が顕著であった（第2図、第3図）。

穂肥を施用した2日後の7月14日におけるT-N及びNH₄-N濃度は、側条・紙マルチ区が慣行区と比べて低かった（第2図）。

第3表 試験1における試験期間の月別用排水中の水質汚濁成分濃度

月	T-N濃度 (mg/L)			NH ₄ -N濃度 (mg/L)			NO ₃ -N濃度 (mg/L)		
	用水	表面排水		用水	表面排水		用水	表面排水	
	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区
4	4.1	—	6.1	0.4	—	0.5	1.8	—	1.8
5	3.4	10.7	5.9	0.2	5.4	0.7	1.2	1.0	0.4
6	2.1	2.2	0.3	0.3	0.2	0.2	1.9	0.6	0.6
7	2.5	2.0	0.7	0.1	0.2	0.1	1.9	1.0	1.0
8	2.8	2.1	2.6	0.0	0.0	0.0	2.3	0.9	1.0
9	—	1.6	—	—	0.1	—	—	1.0	—
平均値	3.0	3.4	1.4	0.2	1.2	0.3	1.8	0.9	1.0

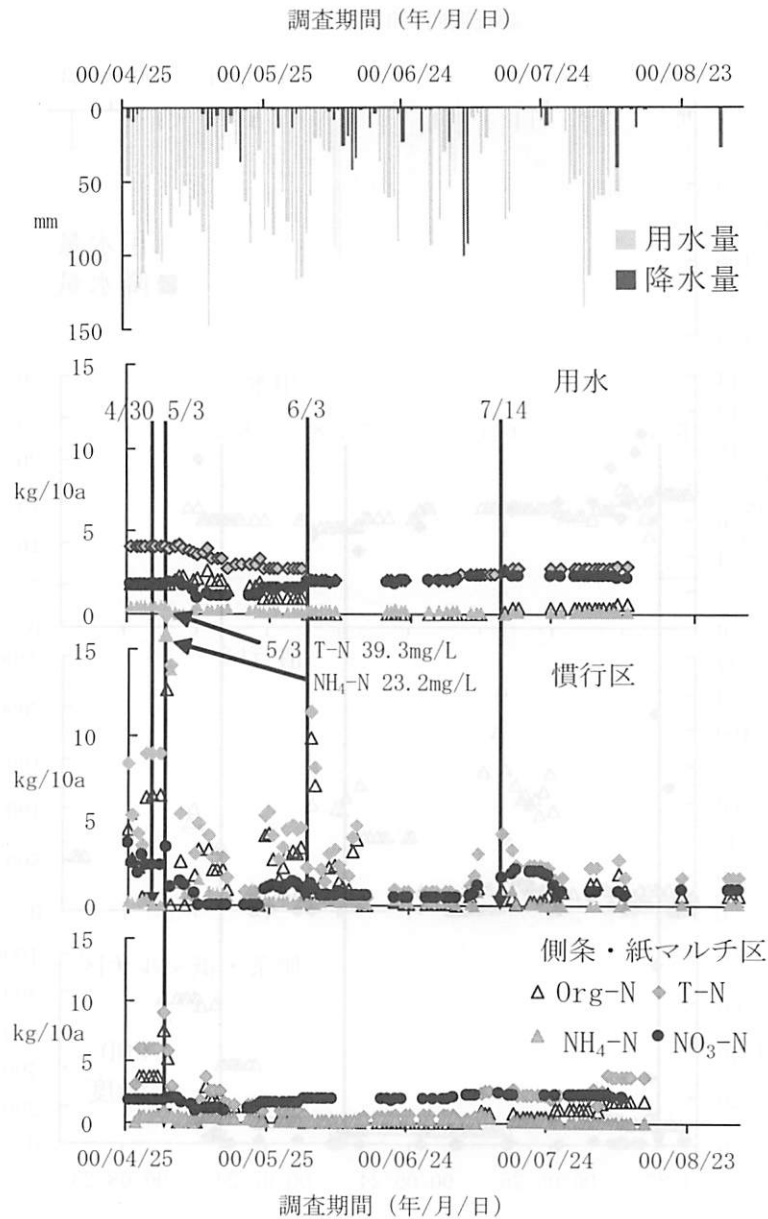
月	Org-N濃度 (mg/L)			COD濃度 (mg/L)			濁度		
	用水	表面排水		用水	表面排水		用水	表面排水	
	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区
4	1.8	3.8	2.8	7.4	—	8.5	—	212	19
5	1.7	2.6	1.7	6.7	21.9	11.2	17	251	139
6	0.1	1.9	0.0	6.5	25.1	5.9	13	97	3
7	0.2	0.5	0.5	6.0	47.0	7.4	10	9	8
8	0.4	1.1	1.6	6.1	33.6	34.7	20	79	59
9	—	0.6	—	—	29.5	—	—	—	—
平均値	0.8	1.7	1.3	6.6	33.5	12.5	15	129	46

注) T-N及びCOD濃度 (mg/L)は、日単位の表面排水量に濃度を乗じて物質量を算出し、その月間毎の和を月間用水量で除した値である。

第4表 試験1における試験期間の月別用排水中の水質汚濁成分最高濃度

月	T-N濃度 (mg/L)			NH ₄ -N濃度 (mg/L)			NO ₃ -N濃度 (mg/L)		
	用水	表面排水		用水	表面排水		用水	表面排水	
	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区
4	4.1	—	6.1	0.4	—	0.5	1.8	—	3.1
5	4.2	39.3	9.0	0.4	23.2	1.0	1.9	3.4	1.8
6	2.7	11.3	1.0	0.3	0.3	0.4	2.0	1.3	0.9
7	2.8	4.2	2.7	0.3	1.7	0.9	2.5	2.1	1.9
8	2.9	2.7	4.0	0.1	0.1	0.0	2.3	1.0	2.1
9	—	1.6	—	—	0.1	—	—	1.0	—
最高値	4.2	39.3	9.0	0.4	23.2	1.0	2.5	3.4	3.1

月	Org-N濃度 (mg/L)			COD濃度 (mg/L)			濁度		
	用水	表面排水		用水	表面排水		用水	表面排水	
	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区	両区	慣行区	側条・紙マルチ区
4	1.8	6.5	3.7	7.4	—	8.6	—	1228	19
5	2.6	12.6	7.6	7.8	76.0	12.2	23	1951	949
6	1.0	9.9	0.5	6.8	122.0	9.9	14	703	9
7	0.4	1.1	1.1	6.2	70.0	33.9	11	18	18
8	0.6	1.8	2.5	6.7	56.0	61.5	20	117	107
9	—	0.6	—	—	29.5	—	—	—	—
最高値	2.6	12.6	7.6	7.8	122.0	61.5	23	1951	949



第2図 試験1における表面排水中の形態別窒素成分濃度の推移

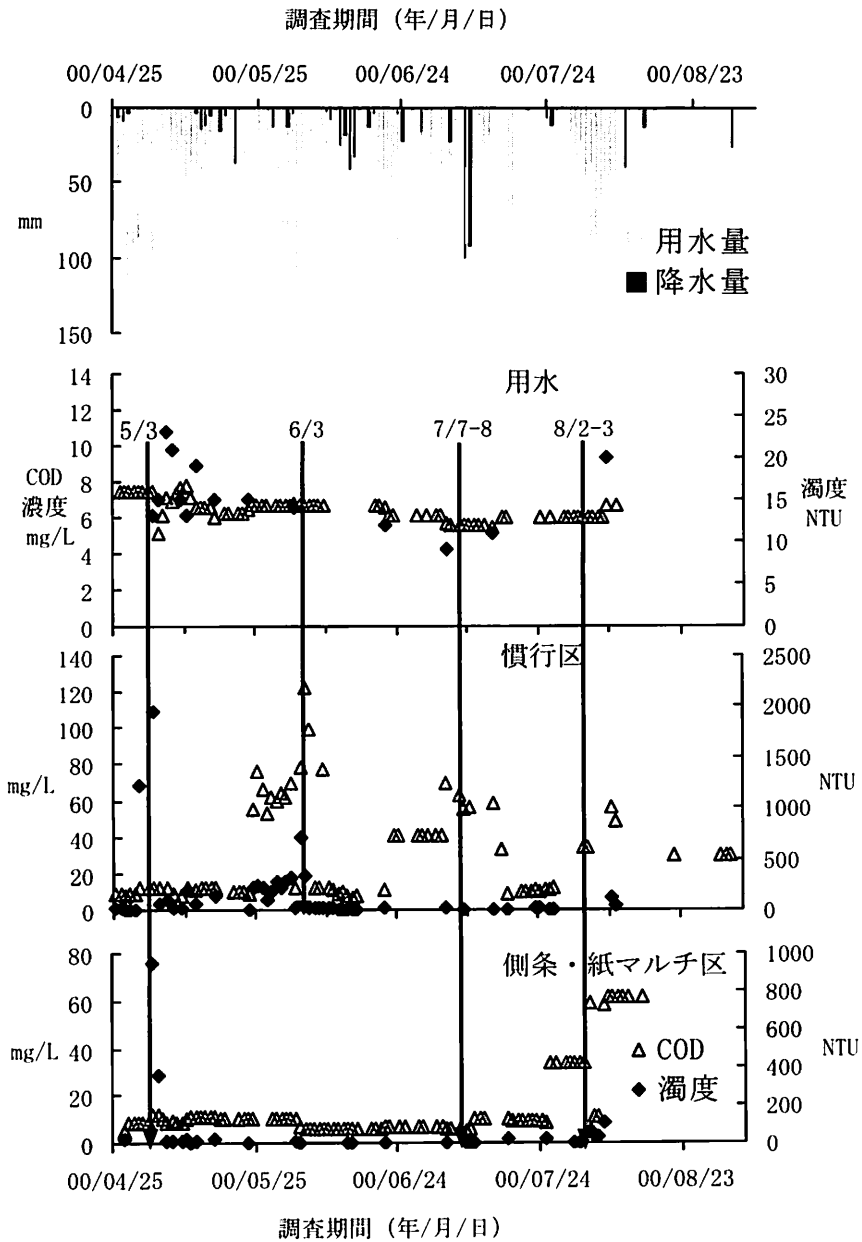
7月下旬から8月14日までのT-N、Org-N及びCOD濃度は、側条・紙マルチ区が慣行区と比べていずれも高かった(第2図、第3図)。

慣行区の表面排水中におけるベンチオカーブとメフェナセットの濃度は、散布後3日にそれぞれ調査期間中の最高値となる $124\mu\text{g/L}$ 、 $39\mu\text{g/L}$ を示した。その後両薬剤の濃度は低下し、ベンチオカーブの濃度が環境基準値である $20\mu\text{g/L}$ 以下となったのは散布14日後であった(第4図)。

(3) 水質汚濁成分の流出量

慣行区と側条・紙マルチ区の試験期間中のT-N及びCOD流入量と流出量を見ると、水田外へのT-N流出量の最高値は慣行区で5月、側条・紙マルチ区で8月であった。同様にCOD流出量の最高値は慣行区で7月、側条・紙マルチ区で8月であった。(第5表)。

両区における用水による流入量と施肥量の合計であるT-N量は、ほぼ等しかった。一方、T-N流出量は、側条・紙マルチ区が $3.2\text{kg}/10\text{a}$ で慣行区の $10.7\text{kg}/10\text{a}$ より $7.5\text{kg}/10\text{a}$ 少なかった(第5図)。



第3図 試験1における表面排水中のCOD濃度、濁度の推移

排水中のCOD流出量は7月7～8日の多量降雨時と8月2日～3日の多量入水時に多かった。濁度は4月及び代かきと移植日の前後で高かった(第3図、第5表)。

慣行区から流出した除草剤成分量は、ベンチオカーブが15g/10a、メフエナセットが4.5g/10aであり、それぞれ散布成分量の10%と15%に相当した。

2. 育苗箱全量施肥と紙マルチ移植栽培を組み合わせた系外流出防止型水田の評価 (試験2)

(1) 用排水中の水質汚濁成分濃度

i T-N、COD及び濁度の最高値と平均濃度

試験調査期間中の用水T-N濃度は、平均が2.8mg/L、最高値が5.1mg/Lであった。また、COD濃度は、平均が6.5mg/L、最高値が11.3mg/Lであり、濁度は、平均が12NTU、最高値が22NTUであり、試験1とほぼ同等であった(データ省略)。

箱全量・紙マルチ区における排水中のT-N、COD濃度及び濁度は、それぞれ慣行区と比べて平均で1.3mg/L、1.1mg/L、78NTU低く、最高値で6.3mg/L、12.8mg/L、674NTU低かった(第6図)。