

用水および土壌条件が水田のリン収支に及ぼす影響

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	森, 保文 山口, 武則 細見, 正明
巻/号	60巻5号
掲載ページ	p. 418-425
発行年月	1989年10月

用水および土壌条件が水田のリン収支に及ぼす影響

ライシメーターによる多因子実験結果

森 保文*・山口武則**・細見正明*

キーワード 水田, リン収支, 灌漑水量, 灌漑水質, 土壌

1. はじめに

前報¹⁾において、灌漑水量、灌漑水窒素・リン濃度および土壌の前歴の4因子が水田窒素収支に与える影響を、要因分析を用いて解析し、時期によって各要因の効果が異なることを明らかにした。本報では窒素と並んで重要な水質項目であるリンについて²⁻⁶⁾、前報と同じ手法で分析する。

2. 実験方法

測定した水質項目がリンである以外は前報と同じ実験である。取り上げた因子は灌漑水量(F)、灌漑水窒素濃度(N)・リン濃度(P)および土壌の前歴(S)の四つであり、それぞれ第1表のように2水準を設定し、ライシメーター8基にランダムに割り付けた。

ライシメーター充てん土壌は茨城県結城郡千代川村宗道明治の休耕水田土壌(灰色低地土壌)である。前歴別の土壌成分分析結果を第2表に示す。

水稲は日本晴を用い、ほぼ茨城県南地方の慣行に従って栽培した(第3表)。基肥は化成肥料を全層施肥し、追肥はNK化成を表層施肥した。

灌漑水量、窒素濃度の設定は、以下の用水管理によった。水量20mmの場合は3日、水量10mmの場合は6日ごとに、表面水を入れ換え、表面水窒素・リン濃度が所定の濃度になるように薬液を散布した。

リン酸態リン($PO_4\text{-P}$)、全リン(T-P)はテクニコンオートアナライザーを用いて分析した。T-Pは細見ら⁷⁾の方法で分解したのち分析した。T-Pから $PO_4\text{-P}$ を除いたものを有機態リン(org-P)とした。

要因効果の分析において分散分析の基準となる誤差分散は、

$$V_e = (S_{FS} + S_{FN}) / 2$$

ここに

V_e : 誤差分散

S_{FS} : 水量と土壌の前歴の交互作用の平方和

S_{FN} : 水量と窒素濃度の交互作用の平方和

これは、水量と土壌の前歴の交互作用と水量と窒素濃度の交互作用を、誤差と考えたものである。

3. 実験結果

1) 水収支

水収支を第4表に示す。水収支からみて実験水田は湿田の性格が強い。

2) リン収支

18日ごとのリン収支を第1図に示す。降雨による収入と浸透による支出は無視できる量であったので、降雨と浸透による収支および収支が降雨と浸透のみであった非灌漑期の収支は示していない。

支出は経時的に大きく変化しているが、収入量がほぼ同量であっても時期によって支出が異なっており、支出の変化は収入の変化のみでは説明できない。また収入が多い試験区ほど支出が多い傾向にあるが、収入量も異なっても支出が各試験区でほぼ等しい時期があり、単純に収入量からのみでは支出量の大小は推定できない。

よって次節以降では、表面排出量および差し引き量(ここでは灌漑水による収入から表面排出による支出を引いたものでいわゆる浄化量にあたる)に与える各要因の影響を調べる。

なおリン浸透量は少なかったので以降の分析対象から除いた。ただし非灌漑期の支出は浸透のみであるのでリン浸透量について分析した。

3) 表面排出量に対する要因効果の時期別分析

6日ごとに要因分析を行ったところ、各要因の効果がほぼ一定である四つの時期に、灌漑期は分かれた。これを順にI~IV期とする。これに排水が浸透のみの非灌漑期を加えた五つの期について検討し、結果を第5表に示

* 国立公害研究所(305 つくば市小野川 16-2)

** 同上(現在、農業環境技術研究所 305 つくば市観音台 3-1-1)

1989年1月31日受理

日本土壌肥科学雑誌 第60巻 第5号 p.418~425 (1989)

第1表 水準の組合せの割付け

要因水準	試 験 区 名							
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
灌漑水量 (mm/day) : F	10	20	10	20	10	20	10	20
窒素濃度 (mg/l) : N	0	0	0	0	20	20	20	20
リン濃度 (mg/l) : P	0.0	0.0	2.0	2.0	0.0	0.0	2.0	2.0
土壌の前歴 : S	無肥	施肥	施肥	無肥	施肥	無肥	無肥	施肥
要因水準の略称	F ₁ N ₁ P ₁ S ₂	F ₂ N ₁ P ₁ S ₁	F ₁ N ₁ P ₂ S ₁	F ₂ N ₁ P ₂ S ₂	F ₁ N ₂ P ₁ S ₁	F ₂ N ₂ P ₁ S ₂	F ₁ N ₂ P ₂ S ₂	F ₂ N ₂ P ₂ S ₁

窒素, リン濃度は, 灌漑に用いた井戸水 (平均 N 0.6, P 0.38 mg/l) への添加濃度である. 無肥は無施肥, 施肥は施肥を示す. 要因水準の略称の添え字 1, N, P の供給量が少なくなる水準; 添え字 2, N, P の供給量が多くなる水準である. ただし, 土壌前歴は添え字 1, 施肥, 添え字 2, 無肥である.

第2表 ライシメーター土壌の前歴別理化学性 (実験開始前)

土 壌	土性	pH	EC (μ S/cm)	CEC (meq)	T-C (%)	T-N (%)	P ₂ O ₅ * Na ₂ O* K ₂ O* CaO* (mg/100g 乾土)				P ₂ O ₅ 吸収係数 (mg/100g)
							P ₂ O ₅ *	Na ₂ O*	K ₂ O*	CaO*	
施肥区	CL	6.83	83.6	19	1.5	0.60	146	180	1096	5837	910
無施肥区	CL	6.83	32.3	14	1.3	0.47	136	122	1024	5558	866

* 全分析結果である.

す. また期別, 試験区別の表面排出量を第2図に示す.

(1) I期: 期間は5月15日~28日であり, 基肥施肥直後を含む.

要因効果では水量の効果が最も大きく, 次いでリン濃度と, 水量とリン濃度の相乗効果が大きであった.

第3表 栽培日誌 (1986)

月 日	日 誌 事 項
5月15日	基肥施肥(N 8 g/m ² , P ₂ O ₅ 18 g/m ² , K ₂ O 6 g/m ²) 入水, シロカキ
5月16日	田植え
7月21日	除草
8月20日	窒素 0 mg/l区に追肥(N 3 g/m ² , K ₂ O 4 g/m ²)
9月28日	入水止める
10月14日	刈取り

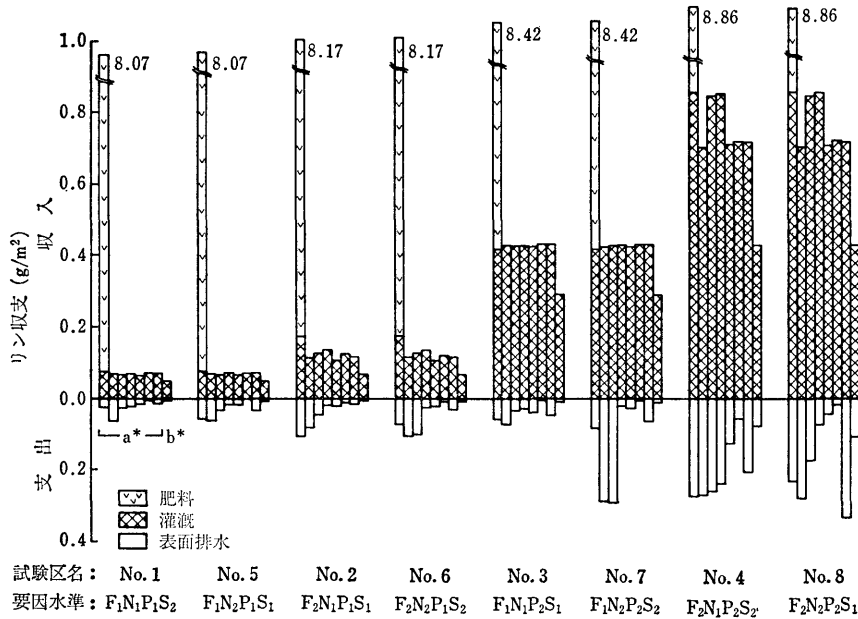
第2図をみると, リン 2.0 mg/l で水量 20mm の試験区の排出量が多い. またリン 2.0 mg/l であっても水量 10mm の試験区の排出量は, リン 0.0 mg/l で水量 20mm の試験区よりも小であった. これはリン濃度が高くても水量が少なければ排出量が少なくなることを示している.

次に基肥の影響をみる. 第3図に基肥施肥後の表面水リン濃度の推移を示す. 基肥施肥1日後の表面水リン濃度は灌漑水リン濃度とほぼ等しく, 施肥リン成分の表面水への溶出量は少なかったと考えられる. 表面水リン濃度は灌漑水リン濃度にかかわらず経時的に減少しており, 2日目以降も施肥リン成分の表面水への溶出は少なかったと考えられ, 施肥リン成分の流出は直接には要因効果に影響を与えなかったと推定される.

第4表 水 収 支

(mm)

試験区名	灌 漑 期 (5.15~9.28)				非灌漑期 (9.29~1987.5.7)		要因水準
	流 入		流 出		流 入	流 出	
	灌 漑 水	降 水	表面排出	浸 透 水	降 水	浸 透 水	
No. 1	1380	578	1258	120	360	143	F ₁ N ₁ P ₁ S ₂
No. 2	2520	578	2530	48	360	117	F ₂ N ₁ P ₁ S ₁
No. 3	1380	578	1320	88	360	194	F ₁ N ₁ P ₂ S ₁
No. 4	2520	578	2434	114	360	212	F ₂ N ₁ P ₂ S ₂
No. 5	1380	578	1264	90	360	187	F ₁ N ₂ P ₁ S ₁
No. 6	2520	578	2330	112	360	188	F ₂ N ₂ P ₁ S ₂
No. 7	1380	578	1376	21	360	40	F ₁ N ₂ P ₂ S ₂
No. 8	2520	578	2300	129	360	179	F ₂ N ₂ P ₂ S ₁



第 1 図 リン収支の経時変化

* a は 5 月 15 日～9 月 19 日を 18 日ごとに分けた。
 b は 9 月 20 日～9 月 28 日である。

添 え 字: 水 準	1	2
F: 灌 漑 水 量 (mm/day)	10	20
N: 窒 素 濃 度 (mg/l)	0	20
P: リ ン 濃 度 (mg/l)	0.0	2.0
S: 土 壌 の 前 歴	施 肥	無 肥

第 5 表 リン表面排出量に対する各要因の効果

(Pg/m²)

排出 経路	期間 (月日)	要 因				最小有意差 l.s.d.	
		灌漑水量の 効果 ^a	灌漑水窒素濃 度の効果 ^b	灌漑水リン濃 度の効果 ^c	土壌の前歴の 効果 ^d		灌漑水量とリン 濃度の相乗効果
表面排出							
	I 期 (5.15~5.28)	0.082**	-0.004	0.048*	-0.006	0.043*	0.033
	II 期 (5.29~7. 9)	0.143	0.120	0.336	0.159	0.058	0.484
	III 期 (7.10~9. 1)	0.114	-0.075	0.124	0.068	0.099	0.300
	IV 期 (9. 2~9.28)	0.147*	0.056	0.181*	-0.038	0.148*	0.145
	全灌漑期 (5.15~9.28)	0.487	0.095	0.691*	0.183	0.347	0.569
浸 透							
	非灌漑期 (9.29~1987.5.7)	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.008

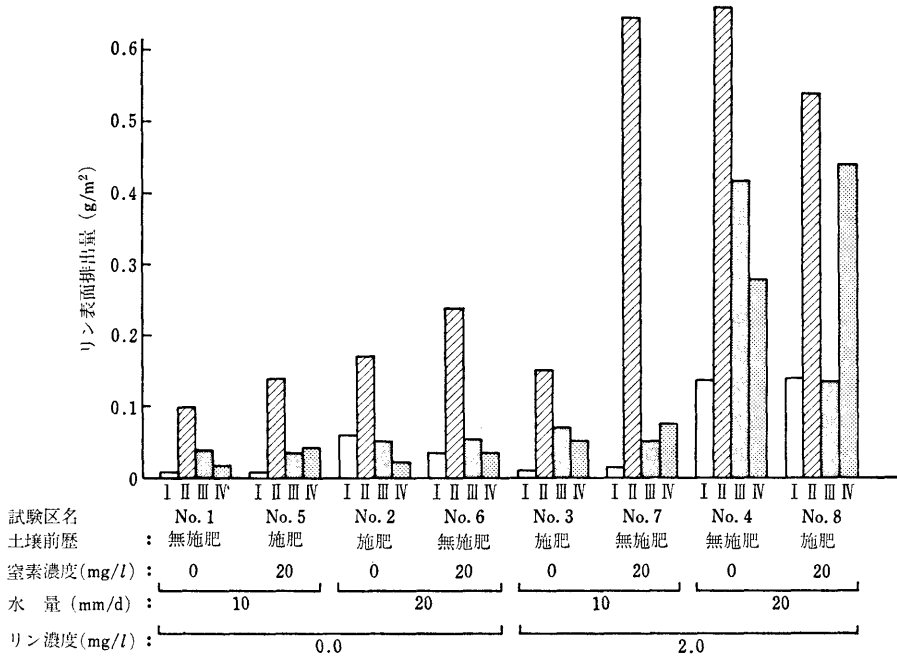
* 5% 有意. ** 1% 有意.

^a 水量 20 mm 区と水量 10 mm 区のリン排出量の平均値の差.

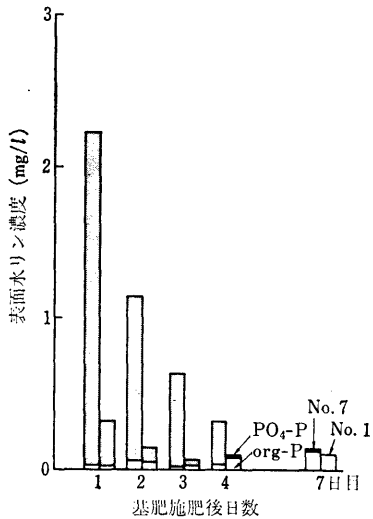
^b 窒素 20 mg/l 区と窒素 0 mg/l 区のリン排出量の平均値の差.

^c リン 2.0 mg/l 区とリン 0.0 mg/l 区のリン排出量の平均値の差.

^d 土壌の前歴無施肥区と施肥区のリン排出量の平均値の差.

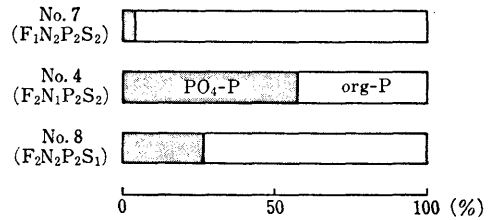


第2図 要因別のリン表面排出量



第3図 基肥施肥後のリン濃度推移
No.1 (F₁N₁P₁S₂), No.7 (F₁N₂P₂S₂),
5月16日～5月22日.

(2) II期：この時期は5月29日～7月9日である。要因分析によるとリン濃度の効果が最も大であり、次いで土壌前歴、水量、窒素濃度の効果が大きいがいずれも有意とはならなかった。第2図によるとリン2.0 mg/lで水量20mmの試験区の排出量が非常に大きい、水量10mmであるNo.7の排出量も非常に大きくなった。



第4図 II期の表面排出量におけるリンの形態

それ以外の試験区はほぼ等しい排出量であるが、窒素20 mg/l区のほうが排出量が多い傾向にあった。また各試験区とも他の時期に比べて1日当たりの表面排出量が多い傾向にあった。

この時期は表面水が茶色や緑色を呈することが多く観察され、表面水中での藻類などの生物の増殖が盛んであったことを示している。

第4図にNo.7(F₁N₂P₂S₂), No.4(F₂N₁P₂S₂), No.8(F₂N₂P₂S₁)の表面排水中のリンの形態別割合を示す。No.4に比べ、No.7, No.8はorg-Pの割合が多く、とくにNo.7は排出リンのほとんどがorg-Pであった。No.7とNo.8はともに窒素20 mg/l区であり、表面水中の窒素量がorg-P量に大きく影響したと考えられる。

また、この時期は土壌前歴が無施肥の場合に表面水中の窒素量が施肥区に比べ多くなる¹⁾から、No.7の表面水中窒素は他の試験区に比べ多かったと推定される。こ

のため No. 7 の表面水中に org-P がとくに多くなったと考えられる。窒素 20 mg/l で土壌前歴無施肥区の場合に排出量が大きくなることは、No. 6(F₂N₂P₁S₂) の排出量がリン 0.0 mg/l 区のみでとくに大であったことから裏付けられる。

org-P の割合が増加すると PO₄-P の割合は減少するから、PO₄-P の土壌吸着量やイネによる吸収量が減少して No. 7 の排出量が大きくなったと考えられるが、詳細は不明である。

以上からこの時期は、基本的には灌漑水リン濃度が高くても水量が多い場合にリン排出量が大きくなるが、表面水窒素濃度が高い場合にもリン排出量が大きくなった。

(3) III期：この時期は7月10日～9月1日である。要因効果でみると、水量とリン濃度の効果が大きであった。第2図によるとリン 2.0 mg/l で水量 20mm の試験区の排出量が大きであり、なかでも No. 4(F₂N₁P₂S₂) の排出量は大きであった。その他の試験区の排出量はほぼ等しかった。灌漑水リン濃度が高くても水量が小さければ、排出量が少なくなることを示している。

No. 4 の排出量がとくに大きくなったのは、II期で表面水に PO₄-P が多かったために、PO₄-P に対する土壌吸着能をII期でかなり低下させたためと思われるが、詳細は不明である。

(4) IV期：この時期は9月2日～28日である。要因効果でみると、灌漑水リン濃度の効果が最も大きであり、次いで灌漑水量と、灌漑水量とリン濃度の相乗効果が大き

きく、いずれも有意であった。第2図によると、リン 2.0 mg/l で水量 20mm, リン 2.0 mg/l で水量 10mm, リン 0.0 mg/l の試験区の順に排出量が大きであった。リン 0.0 mg/l の試験区内では水量による差は認められなかった。リン濃度と水量がそれぞれ排出量に影響したことを示している。

(5) 全灌漑期：要因分析によると灌漑水リン濃度の効果が最も大きであり、次いで灌漑水量の効果が大きかった。全灌漑期を通してみると、リン排出量にはリン濃度が最も影響し、次いで水量が影響した。

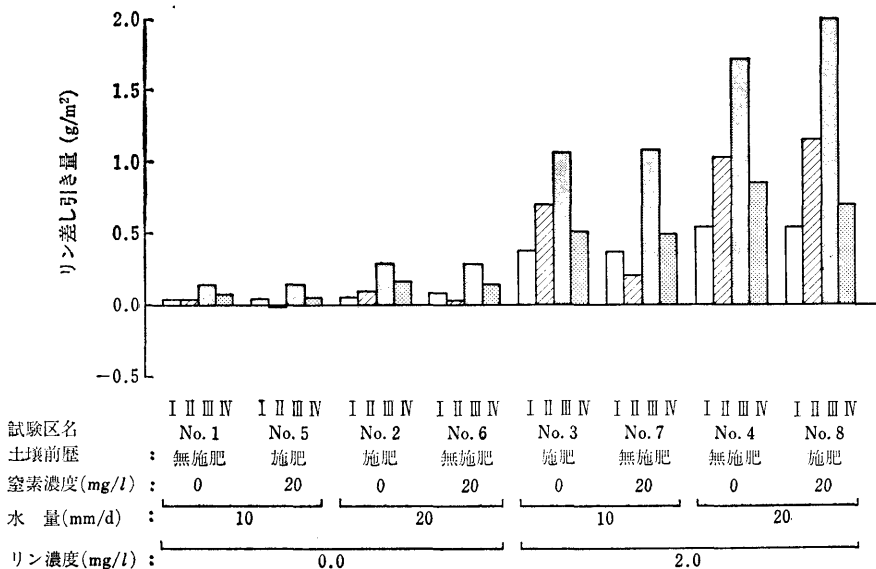
(6) 非灌漑期の浸透量：非灌漑期の水の支出は浸透のみであったが、要因分析によると、非灌漑期のリン浸透量には、いずれの要因効果も認められなかった。

4) 差し引き量に対する要因効果の時期別分析

第5図に前節で用いたのと同じ時期別の差し引き量(灌漑水による供給量－表面排出量)を示す。また要因分析結果を第6表に示す。

(1) I期：要因分析によると灌漑水リン濃度の効果が非常に大きく、次いで灌漑水量と、灌漑水量とリン濃度の相乗効果が大きであり、いずれも有意であった。第5図をみると、リン 2.0 mg/l 区はリン 0.0 mg/l 区に比べ非常に差し引き量が大きであり、リン 2.0 mg/l 区のみでは水量 20mm 区の差し引き量が大きかった。リン 0.0 mg/l 区のみでも水量 20mm 区の差し引き量が多い傾向にあった。

この時期の差し引き量はまずリン濃度で決まり、次い



第5図 要因別のリン差し引き量

第6表 リン差し引き量に対する各要因の効果

(P g/m²)

期間 (月日)	要		因			最小有意差 l.s.d.
	灌漑水量の 効果 ^a	灌漑水窒素濃 度の効果 ^b	灌漑水リン濃 度の効果 ^c	土壌の前歴の 効果 ^d	灌漑水量とリン 濃度の相乗効果	
I期 (5.15~5.28)	0.101**	0.006	0.407**	0.006	0.072*	0.036
II期 (5.29~7.9)	0.344	-0.121	0.733*	-0.160	0.295	0.489
III期 (7.10~9.1)	0.465*	0.073	1.257**	-0.067	0.322*	0.293
IV期 (9.2~9.28)	0.184*	-0.056	0.539**	0.038	0.092	0.145
全灌漑期 (5.15~9.28)	1.086*	-0.104	3.293**	-0.189	0.786*	0.544

* 5%有意, ** 1%有意.

^a 水量 20 mm 区と水量 10 mm 区のリン差し引き量の平均値の差.^b 窒素 20 mg/l 区と窒素 0 mg/l 区のリン差し引き量の平均値の差.^c リン 2.0 mg/l 区とリン 0.0 mg/l 区のリン差し引き量の平均値の差.^d 土壌の前歴無施肥区と施肥区のリン差し引き量の平均値の差.

で水量に影響されたが、水量の効果はリン濃度に比べ小さかったことを示している。

(2) II期：要因分析によると灌漑水リン濃度の効果が最も大で有意であり、次いで灌漑水量の効果が大きかった。第5図によると、リン 2.0 mg/l 区のリン差し引き量はリン 0.0 mg/l 区に比べて大きく、とくに水量 20 mm 区で大であるが、No.7のリン差し引き量はリン 2.0 mg/l 区のなかで非常に小さい。リン 0.0 mg/l 区のなかでは水量 20 mm 区のリン差し引き量が大きい傾向があり、また窒素 20 mg/l 区のリン差し引き量が小さい傾向にあった。

No.7のリン差し引き量が小であったのは、3)の(2)で述べたように org-P が増加してリン排出量が増加したためと考えられる。

この時期のリン差し引き量はまずリン濃度で決まり、次いで水量に影響されたが、その効果はリン濃度に比べ小さく、また表面水窒素濃度が高いとリン差し引き量が小となったことを示している。

(3) III期：要因分析によると灌漑水リン濃度の効果が非常に大きく、次いで灌漑水量と、灌漑水量とリン濃度の相乗効果が大きかった。第5図をみると、リン 2.0 mg/l 区はリン 0.0 mg/l 区に比べ非常にリン差し引き量が大きかった。リン 2.0 mg/l 区のなかでは水量 20 mm 区のリン差し引き量が大きかった。リン 0.0 mg/l 区のなかでも水量 20 mm 区のリン差し引き量が大きかった。

この時期のリン差し引き量はリン濃度と水量に大きく影響されたことを示している。

(4) IV期：要因分析によると灌漑水リン濃度の効果が非常に大きく、次いで灌漑水量の効果が大きかった。第5図をみると、リン 2.0 mg/l 区はリン 0.0 mg/l 区に比べ非常にリン差し引き量が大きかった。

リン 2.0 mg/l 区のなかでは水量 20 mm 区のリン差し引き量がやや大きかった。リン 0.0 mg/l 区のなかでも水量 20 mm 区のリン差し引き量が大きかった。

この時期のリン差し引き量はリン濃度と水量に大きく影響されたが、水量の効果はリン濃度に比べ小さかったことを示している。

(5) 全灌漑期：要因分析によると灌漑水リン濃度の効果が非常に大きく、次いで灌漑水量と、灌漑水量とリン濃度の相乗効果が大きかった。いずれも有意であった。

灌漑期を通してみると、リン差し引き量はまずリン濃度で決まり、次いで水量に影響されたことを示している。

5) 収量に対する要因効果

収量に対する要因効果は、2要因間の交互作用を誤差として分散分析すると、灌漑水窒素濃度のみが有意であり、灌漑水リン濃度の効果は認められなかった¹⁾。灌漑水によるリン供給量は収量に影響しない結果となった。

6) 水稻の生育経過

草丈は8月下旬まで伸びた後一定値を保ち、分けつは6~7月までであった。出穂は8月中旬であった¹⁾。草丈の伸びが止まった時期とIV期は重なるが、その他の生育の変化は要因効果に基づく四つの期に対応しなかった。

値の小さかった水量と土壌前歴の交互作用およびリン濃度の効果を誤差として収穫時の分けつ数について分散分析すると、有意とはならなかったが、灌漑水窒素 20 mg/l 区と無施肥区の分けつ数が多い傾向にあった。

収穫時の草丈に対する要因効果を分けつと同様に分析すると、灌漑水窒素濃度、水量および土壌前歴の効果が有意となった。

灌漑水窒素濃度と水量は窒素供給量に関係し、土壌前歴無施肥区では表面水窒素濃度が施肥区に比べて高い¹⁾ため、水稻に対する窒素供給量が多いほど、分けつ数や

草丈などの水稻生長量が多くなると考えられる。一方灌漑水によるリン供給量は水稻生長量には影響しない結果となった。

4. 考 察

まず時期によって要因効果が異なる原因について検討する。

表面水中のリンが水田中で減少する原因には、土壤による吸着とイネによる吸収が考えられる。

リン表面排出量は I 期に灌漑水量の影響を大きく受けた。これは水量が多い場合に表面水リン濃度の減少が小さくなったことを示している。I 期は田植え直後であり、イネによるリン吸収はわずかと考えられるから、土壤のリン吸着能が水量の影響を大きく受けたと考えられる。表面水リン濃度の推移からみて(第 3 図)、全層施肥された基肥リン成分のほぼすべてを土壤は吸着したと考えられる。そのために土壤の吸着能に余裕が少なくなり、リン供給の頻度が多い場合に土壤リン吸着能が低下したと推定されるが、詳細についてはさらに検討が必要である。

II 期では灌漑水リン濃度のリン表面排出量に対する効果が大きであったが、これは表面水中のリンの減少が I 期以上に小さかったことを示している。試験区では No. 7 の排出量がとくに大きかったことが灌漑水リン濃度の効果を大きくした。この時期の特徴の一つは org-P の表面排出量が多かったことで、org-P が多かったことは藻類などの増殖が盛んであったことを示している。No. 7 の試験区では表面排出量の 96%(0.62 g) が org-P であった(第 4 図)。藻類の増殖は $PO_4\text{-P}$ を減少させる^{3,6)}。 $PO_4\text{-P}$ と異なり、org-P は土壤への吸着やイネによる吸収に関与しないから、表面水中で org-P が増加すると、灌漑水量が少なく水田滞留時間が長い場合でも、表面水リン濃度は減少しない。そのため灌漑水リン濃度の効果が水量よりも大きくなったと推定される。この時期は条件によって増加する藻類などがリン表面排出量に影響したことを示している。

III 期では表面排出量にとくに大きな効果のある要因は認められなかった。このことは表面水中のリン濃度が、灌漑水リン濃度が高く、水量が多い場合でも、急速に減少したことを示している。その原因として、イネの生育の盛んな時期であり、イネによる吸収が盛んであったことと、II 期で表面水中において org-P の増加が多く $PO_4\text{-P}$ が少なかったために土壤吸着能に余裕ができ、III 期で土壤による吸着量が増えたことが推定される。後者については、II 期に $PO_4\text{-P}$ が表面水に多かった No. 4 の III

期におけるリン表面排出量が大きであったことから裏付けられるが、さらに検討が必要であろう。

IV 期では表面排出量に対する灌漑水リン濃度、灌漑水量および両者の相乗効果が大きであった。これはリン供給量が多いほど、リン表面排出量が多くなることを示している。III 期に比べ、表面水中リンを減少させる能力が小さくなったと考えられる。イネによるリン吸収が減少したためと推定されるが、今回の実験のみでは詳細は不明である。

以上から、時期によって表面排出量に与える各要因の効果が異なるのは、土壤による吸着量、イネによる吸収量、藻類の増殖量が時期によって変化するためであり、リン表面排出量をより正確に推定するには、これらで構成される水田表面水リン濃度の変化機構を解明する必要がある。

次に水田からのリン排出量および差し引き量と収量およびイネ生長量の関連をみる。要因分析によると収量には灌漑水窒素濃度が有意に影響したが、灌漑水リン濃度や水量が影響しなかった。水田からのリン排出量および差し引き量を、灌漑水量やリン濃度によって制御しても、収量の増減には影響ないという結果となった。分けつ数や草丈についても灌漑水リン濃度は影響しなかった。リンに関しては灌漑水に対する浄化能とイネ生長量に関係がない結果となった。

これは表面水中のリンがイネの生長の制限要素となっていないことを示している。一方イネによるリン吸収量はイネのリン濃度⁸⁾から $2\sim 3\text{ g/m}^2\cdot\text{年}$ と推定され、これは施肥量に比べれば少量だが、灌漑水による供給に対しては多量である。イネによるリン吸収については時期別の吸収量のほかに水田のどの部分から何に由来するリンを吸収するのかについても検討が必要であろう。

次に排出量と差し引き量の関連について検討する。排出量を減らすことと差し引き量を増加させることは本実験結果では矛盾することが多いが、しいて両者を満足させる要因組合せを上げると、I 期では水量を少なくしてリンが高濃度の水を灌漑すること、II 期では水量を少なくしてリンが高濃度で窒素濃度が低い水を灌漑し、なおかつ土壤前歴が施肥であること、III 期では水量を少なくしてリンが高濃度の水を灌漑すること、IV 期でも水量を少なくしてリンが高濃度の水を灌漑することになる。いずれの期でも排出量最小と差し引き量最大の条件は異なり、現実の流域水質管理において、望ましい水質と水質浄化効率を整合させるには、厳密な水田の管理が必要となろう。流域の条件によって水田の最適な管理法および水田利用法が異なることが予想される。

5. 要 約

本研究では、灌漑水量、灌漑水窒素・リン濃度、土壌の前歴の4因子が水田のリン収支に与える影響を、要因分析を用いて検討した。

1) 表面排出量の点からみると、灌漑期は要因効果のほぼ等しい4期に分けられ、それぞれ以下の要因が支配的であった。I期では水量、II期ではリン濃度、III期ではとくになく、IV期ではリン濃度と水量であった。非灌漑期には要因の効果はみられなかった。

2) 浄化量について同じく4期に分けると、それぞれ以下の要因が支配的であった。I期ではリン濃度、II期ではリン濃度、水量、III期ではリン濃度と水量、IV期ではリン濃度と水量であった。

3) 収量に対するリン濃度の効果は認められなかった。

4) 排出量減少と差し引き量増加の水田条件は多く矛盾した。

5) 期別に要因効果に変化する原因の解明には、水田

表面水リンの変化機構の解明が今後の課題である。

謝 辞 本研究にあたり、用水管理以外の試験区の管理および数種類の測定については川上農場の方々の協力を得ている。ここに記して深謝する。

文 献

- 1) 森 保文・山口武則：用水および土壌条件が水田の窒素収支に及ぼす影響，土肥誌，**60**，140～150 (1989)
- 2) 伊藤 信・増島 博：田面流水における窒素，リン濃度の変動と流速条件，同上，**51**，478～486 (1980)
- 3) 伊藤 信・増島 博：水稲栽培および裸地条件下における田面水中の無機態窒素とリンの濃度低下，同上，**55**，123～128 (1984)
- 4) 田淵俊雄・高村義親：集水域からの窒素・リンの流出，p.75～129，東京大学出版会，東京 (1985)
- 5) 国松孝男：農耕地からのN，P負荷(その2)，環境技術，**14**，195～202 (1985)
- 6) 三沢真一：水田における水質変化機構について，農土論集，**127**，69～78 (1987)
- 7) 細見正明・須藤隆一：懸濁物を含む試水中の窒素とリンの同時分解定量法，用水と廃水，**25**，675～680 (1983)
- 8) 谷田沢道彦：農用地からの栄養塩類の流出，愛知県環境部・富栄養化防止技術研究会報告，p.32～34 (1978)

Effects of Irrigation and Soil Condition on Phosphorus Balance in Paddy Field

Results of Factorial Experiment Using Lysimeter

Yasuhumi MORI, Takenori YAMAGUCHI* and Masaaki HOSOMI

(Natl. Inst. Environ. Stud., * present address, Natl. Inst. Agro-Environ. Sci.)

Fractional factorial experiment using 8 lysimeters was applied to compare the effects of four operational factors in rice culture on the phosphorus outflow and balance (input by irrigation-outflow). Four factors and two levels allocated to each factor are as follows: irrigation flow rate (10 and 20 mm/day), nitrogen concentration in irrigation water (+0 and +20 mg/l), phosphorus concentration (+0.0 and +2.0 mg/l), soil condition (fertilized in the past three years and not fertilized before). The lysimeters had little volume of percolated flow.

The irrigation period was divided into 4 sub-periods by their characteristics observed in the factorial effects on phosphorus outflow. Period I: high flow rate mainly had a positive effect. Period II: high P concentration increased outflow significantly. Period III: any factorial effects were not significant. Period IV: high P concentration and high flow rate increased the outflow. In the no-irrigation period, phosphorus outflow is free from all factorial effects.

From the viewpoint of effects on phosphorus balance (removal), Period I: high P concentration increased the balance. Period II: high P concentration had a positive effect. Period III and Period IV: high P concentration and high flow rate increased balance significantly.

No factors which control input of P made the crop increase significantly. The conditions which promote the balance contradicted the conditions for decreasing outflow in many periods.

Key words flow rate of irrigation, paddy field, phosphorus balance, soil condition, water quality

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., **60**, 418-425, 1989)