

B-4 水田における灌漑水質が汚濁負荷流出特性に及ぼす影響

○李 衡峻¹・増田 貴則^{1*}・細井 由彦¹

¹鳥取大学大学院工学研究科（〒680-8552鳥取県鳥取市湖山町南4-101）

* E-mail: masuda@sse.tottori-u.ac.jp

1. はじめに

2005年に湖沼法が改正され、「長期ビジョンの策定」、「湖辺環境保護地区の指定制度」とともに「流出水対策地区の指定制度」が盛り込まれ、非特定汚染源からの流出負荷が注目されている。非特定汚染源の1つである農耕地、特に水田は水使用量が多く施肥も多いので、流出負荷も大きいと考えられる。水田からの汚濁負荷に関しては様々な研究が行われており、灌漑期の流出負荷が非灌漑期より大きいこと¹⁾、灌漑期の農業イベント中でも灌漑期全体の2~5割程度の粒子態汚濁負荷が代かき・田植え期に流出することが報告されている^{2)・3)}。一方、TPとCODの負荷がマイナス値を示し、水田が汚濁型ではなく浄化型として機能することもあると報告されている⁴⁾。水田は流域の状況によって、灌漑用水として河川水やため池の水、場合によっては灌漑排水を再び用水として使っている。灌漑排水は汚染が進んでいて多量の窒素やリンを含んでいると考えられる。水田の浄化機能を考えると、栄養塩類が含まれている排水を用水として使用することにより、流出負荷を減らせると考えられる。

本研究では、河川水を灌漑用水として使用する地区と、その地区からの排水を用水として使用する地区を対象として、灌漑期の晴天時実測調査を行い、灌漑水質が流出負荷に及ぼす影響を確認するとともに、農業イベント別の原単位としてまとめることを目的とした。

2. 研究方法

(1) 対象地域

鳥取県の東部にある湖山池の流域である六反田流域を選んで調査を行った。図-1に六反田流域と調査地点を示す。長柄川から取水した水は上流地点（以下、上流）を通過する。水田で使われた水は中流A地点（以下、A）と中流B地点（以下、B）を通過し、余分の水は中流C地点（以下、C）を通過する。その後、Aの水は右岸の水田で、BとCの水は左岸の水田で使われる。この水が

河川に還元されずそのまま下流地点（以下、下流）を通過するので、河川水を利用する地区（以下、河水利用区）と排水を再利用する対照区（以下、排水利用区）からの汚濁負荷、および流域全体からの汚濁負荷を把握できる。また、流域の土地利用を表-1に示す。家屋以外のポイント汚染源はなく、下水道が整備されているため調査への影響は無い。

表-1 六反田流域の土地利用度 (ha)

	森林	水田	畑	休耕地	合計
河水利用区	12.07	10.60	1.99	0.43	13.02
排水利用区	9.08	9.19	0.57	0.70	10.46
流域全体	21.13	19.78	2.56	1.13	44.60

(2) 調査方法

2008年4月から11月まで、週2回の頻度で43回の晴天時調査を行った。現場で流速、流水の断面積、水温、電気伝導度、TDS（総溶存物質）、塩分濃度、溶存酸素、pH、ORP、濁度を測り、採取した水は分析室に運び、上水試験方法によりSSとVSS（GF/F）、TN、DTN（溶存態全窒素）、NH₄-N、NO₃-N、TP、DTP（溶存態全リン）、PO₄-Pを測定した。PN（粒子態窒素）とPP（粒子態リン）は総量から溶存態を引き算して求めた。なお、雨による晴天時調査への影響が極力少なくな

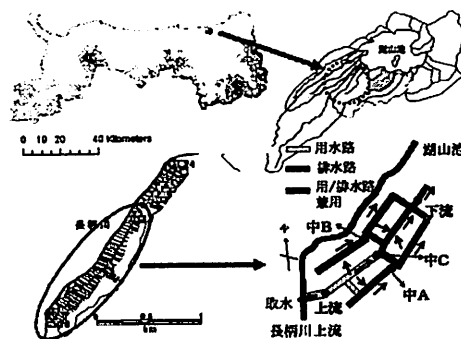


図-1 六反田流域と採水地点

るように、晴天時調査の日程を調整し観測を行った。

3. 結果および考察

(1) 正味負荷の変動

流域の各地点で水質調査を行い、中流3箇所の負荷量合計から上流負荷量を引いたものを河水利用区の正味負荷量、下流負荷量から中流負荷量を引いたものを排水利用区の正味負荷量とし、その変動を図-2に示す。

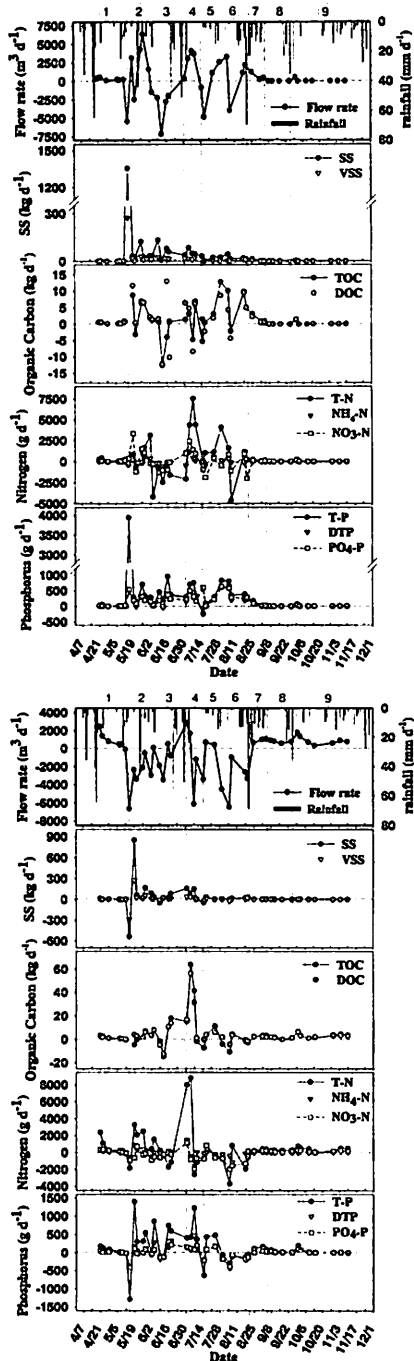
正味流量の変動を見ると、水田に水を入れる代かき・田植え、通常灌漑、間断灌漑期にマイナス値を見せる反面、水田から排水が行われる中干し前半、落水期にプラス値を示している。SS正味負荷は河水利用区と排水利用区ともに、正味流量がマイナスになっているにも拘らず代かき・田植え期に流出量が最も多かった。SS正味負荷のピークの際、VSS負荷の割合が約3割であることと、TOC正味負荷はあまり流出しないことから、無機物である水田の土砂流出が多いと思われる。窒素の正味負荷は河水利用区と排水利用区ともに、中干し前半期に流出量が多く、間断灌漑期にマイナス負荷を見せた。中干し期については、水田を乾燥させるため表面と暗渠から排水される水が原因と考えられる。間断灌漑期に窒素負荷がマイナスになることは、脱窒や硝化による吸収、浸透水量の増加が考えられるが、本研究では調べていない。しかし、図-3に示したように、間断灌漑期の中流地点に比べ下流の溶存態窒素濃度が減少する傾向、すなわち、排水利用区内での減少傾向が確認できた。数日間水田に溜まっていた水が排水されることを考えると、この時期に水田において水中の窒素が何らかの作用によって浄化された可能性が示唆される。

リンの正味負荷は代かき・田植え期にピークを見せている。河水利用区と排水利用区とでピークの日が違うことは、流域の上流の方から灌漑を行う水使用に関係する。窒素と同様に、中干し前半期に水田排水の影響で、リンの流出も増加している。間断灌漑期のリンの正味負荷は、河水利用区はプラスで汚濁型、排水利用区はマイナスで浄化型になっていることが分かる。しかし、図-3に示したように、間断灌漑期のリン濃度は減る傾向が見えなく、上流より下流の濃度が高かった。このことから、排水利用区のリン負荷は流量の減少によると思われる。

(2) 原単位推定

図-2のグラフから期間中の流出負荷を計算して、水田の面積を考慮して推定した原単位を汚濁物質の形態別に分けて表-2に示す。同じ農作業が行われていても、流量は河水利用区と排水利用区の間に違う傾向を見せている。代かき・田植えと中干し前半期の流量は2地区の傾向が違うので、流量変動が正確に把握できていない可能性がある。流域内の水の変動を把握するためには、より密な間

隔の流量調査が必要であると考えられる。水田の浄化機能を考えると、河川水を利用する河水利用区の正味負荷は排水利用区より大きいと予想される。SSの原単位は流量が違うにも関わらず、農業イベント別の負荷は2地



1,9 非灌漑期 2 代かき・田植え 3 通常灌漑 4 中干し前半
5 中干し後半 6 間断灌漑 7 落水 8 収穫

図-2 河水利用区(上図)と排水利用区(下図)の
正味負荷量変動

表-2 河水利用区と排水利用区のイベント別原単位

河水利用区									
農業イベント	day	Q	SS	T-N	PN	DN	T-P	PP	DP
kg/ha/event									
代かき・田植え	19	70	331.5	1.17	0.43	0.74	1.260	0.582	0.379
農薬散布	29	-130	155.0	-4.55	-4.84	0.10	0.984	0.408	0.587
中干し	29	55	93.9	0.76	2.10	4.50	0.902	-0.057	0.958
(中干し前半)	14	72	67.8	4.40	0.62	3.78	0.470	-0.084	0.554
(中干し後半)	15	-17	26.3	2.30	1.47	0.82	0.431	0.027	0.404
圃場灌漑	22	14	49.3	-0.34	-1.47	1.12	1.001	0.328	0.650
排水	14	33	11.8	0.23	0.01	0.22	0.183	0.054	0.126
収穫	22	2	0.3	0.03	0.01	0.02	0.007	0.003	0.003
灌漑調査	134	41	638.7	3.24	-3.57	6.82	4.333	1.818	2.716
排水利用区									
農業イベント	day	Q	SS	T-N	PN	DN	T-P	PP	DP
mm/event									
代かき・田植え	19	-110	250.0	2.63	1.56	1.07	0.631	0.596	0.035
農薬散布	29	-19	202.2	5.28	4.44	0.84	1.268	0.851	0.435
中干し	29	-72	102.5	2.82	3.52	-0.90	0.983	0.678	0.307
(中干し前半)	14	-48	63.8	2.74	2.83	0.11	0.506	0.347	0.159
(中干し後半)	15	-25	18.6	-0.12	0.89	-1.01	0.477	0.329	0.147
圃場灌漑	22	-149	34.1	-2.63	1.39	-4.04	-0.292	0.108	-0.400
排水	14	5	14.1	0.29	0.08	0.24	0.189	0.031	0.158
収穫	22	36	6.2	0.67	0.16	0.51	0.118	0.034	0.085
灌漑調査	134	-309	618.9	8.95	11.13	-2.29	2.916	2.295	0.920

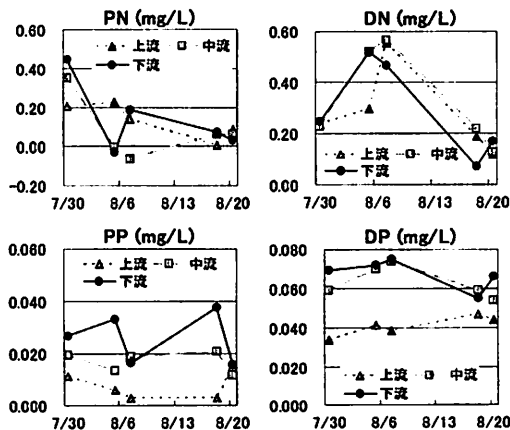


図-3 間断灌漑期の窒素とリンの濃度変化

区間に類似した値が出ている。水田からのSS正味負荷は灌漑水質と関係なく、類似な量で流出していることが確認できた。一方、窒素原単位は2地区において農業イベント別の流出量が違う上に、河水利用区より排水利用区の方が多かったため、灌漑水質が流出負荷に及ぼす影響は把握しにくかったが、河水利用区では溶存態窒素が、排水利用区では粒子態窒素の流出が多いことが分かった。

リンの流出負荷は排水利用区が少なかったが、農業イベント別に差異があった。形態別に見ると、河水利用区より排水利用区の溶存態リンの流出が期間全体的に少ないことが分かる。河水利用区の水田から流出された溶存態リンが排水利用区の水田で稲により吸収され、流出負荷が河水利用区より少ないと思われる。窒素と同様に、間断灌漑期に溶存態リンが大きく減ることが確認できた。

なお、間断灌漑期に排水利用区の溶存態窒素とリンの負荷がマイナス値を示しているが、その理由は明らかになっていない。排水利用区の溶存態窒素の流出が少ない理由は、稲穂がなる間断灌漑期に稲が活発に窒素を吸収する^{5)・6)}ことがあったかも知れないが、別の理由として他の浄化作用や流量の影響も有り得ると思われる。窒素については先に考察した通りであるが、リンについては図-3に示すとおり間断灌漑期に上・中・下流間の濃度の

減少は見られない。しかし、表-2のとおり河水利用区では正味流量の増加と多量のリン流出があった反面、排水利用区の正味流量は-149mmであり、排水利用区の水田において大量の水が消失すると共に溶存態リン負荷量が大きく減少している。汚濁物質を含んでいる水が水田に入った後、浸透や蒸発散により水の排水量が少なくなったことが、浄化効果として現れた可能性も考えられる。

4. まとめ

本研究では、灌漑水質が水田から流出する汚濁負荷に及ぼす影響を明らかにするため、河川水を利用する地区と、その地区から排水された水を再利用する対照区を選定して、農業イベント別の流出負荷を求め、原単位を推定した。その結果を以下にまとめる。

- 1) 水田から流出するSSの正味負荷は、用水の水質と関係なく流出量は類似である。
- 2) 窒素の正味負荷は、排水利用区が高く現れた。また、河水利用区からは溶存態窒素が、排水利用区からは粒子態窒素の流出が多かった。
- 3) リンの正味負荷は排水利用区が少なく、特に溶存態リンの減少が大きかった。
- 4) 排水利用区が河水利用区より、間断灌漑期に溶存態窒素・リンの減少が大きかった。

謝辞：本研究の一部は、(財)クリタ水・環境科学振興財団研究助成および(財)河川環境管理財団の河川整備基金助成を受けて行った。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 園田敬太郎，徳田裕二ら：灰色低地土水田群からの年間の栄養塩類流出量，近畿中国農業研究成果情報，vol.1997，pp.105~106，1997。
- 2) Hiroaki Somura, Ikuo Takeda, Yasushi Mori：Influence of puddling procedures on the quality of rice paddy drainage water, Agricultural Water Management 96, pp.1052~1058, 2009。
- 3) 李衡峻，増田貴則，細井由彦：農業小流域から流出する粒子態汚濁物質の流出特性と負荷量把握に関する研究，環境工学研究論文集，vol.45，pp.9~17，2008。
- 4) Ikuo Takeda, Akira Fukushima：Long-term changes in pollutant load outflows and purification function in a paddy field watershed using a circular irrigation system, Water Research 40, pp.569~578, 2006。
- 5) 深山政治：水田土壌の窒素無機化と施肥，博友社，pp.63~97，2003。
- 6) 斎藤 文次，杉沢 吉郎，高田 武：間断灌漑水稻の養分吸収と収量について，日本土壌肥科学会講演要旨集，(2)，pp.68, 1956。