

水田による生活排水の水質浄化

岩崎慎也・森聖二・関和孝博・大村裕顕

摘要：農業用水及び田面水の水質変化を生物的側面から解析を行うとともに、用水汚濁による水稲被害を軽減する方法および水田の持つ環境保持能について検討した。

1. 水田の窒素浄化には、脱窒作用および、水稲による窒素吸収が関与しており、水田はかんがい期に一日あたり0.13kg/haの窒素浄化能があると試算された。
2. 水田内にあぜなみシートを用い流路設定（迂回かんがい）をしたところ、水稲の被害を水口部の小面積に限定することができ、米の品質向上および倒伏による作業効率の悪化を防止できた。また、水路内の水稲の窒素浄化能は一日あたり0.54kg/haと試算され、浄化能率が著しく高まった。

キーワード：迂回かんがい、水稲、水質浄化、生活排水

Purification of Domestic Wastewater by Paddy field

Shinya IWASAKI, Seiji MORI, Takahiro SEKIWA, Hiroaki OMURA

Summary : Paddy fields near urban areas were investigated of the effects of irrigation water polluted by domestic wastewater on the yield and characteristics of purification.

1. It was concluded that the decontamination of nitrogen was contributed to denitrification and assimilation of rice, from nitrate nitrogen decrease and amount of assimilation of rice. The average removed load of T-N during irrigation period were calculated at 0.13kg/ha/day.

2. Detour irrigation (width=1m, length=40m) in paddy fields were useful to improve quality of rice. The average removed load of T-N during irrigation period in the small channel were calculated at 0.54kg/ha/day.

Key words: detour irrigation, rice, purification, domestic wastewater

I 緒言

日本の水利用量は、生活用水、工業用水、農業用水を合わせ年間約 $9.0 \times 10^{10} \text{m}^3$ であり、農業用水は $5.9 \times 10^{10} \text{m}^3$ で約65%を占めている¹⁾。栃木県においても総利用量約 $2.7 \times 10^9 \text{m}^3$ /年のうち、農業用水に84%の $2.3 \times 10^9 \text{m}^3$ が利用され、利水量の大部分を占めている²⁾。

我が国の水質汚濁は、1960年代は工業排水が主であったが、最近では生活排水によるものが主な要因となっている。関東においても同様であり、1965年には鉱工業によるものが76%と主たる要因であったが、1985年には生活排水によるものが83%となっている³⁾。これは、人口の増加、生活様式の高度化に排水処理施設の普及が追いつかず、未処理のまま生活雑排水が公共用水域に排出されていることによる。

本県においても、生活排水に起因する水質汚濁に対処するため、1985年に「栃木県家庭雑排水処理指導要領」を制定し、下水道整備、農業集落排水施設、合併処理浄化槽の普及を図っているが⁴⁾、県全域での浄化施設設置には至っていない。

栃木県の農業用水の水質汚濁状況は、1986～1993年に宮崎らが行った県内各地の農業用水の調査によれば、窒素成分で顕著で、全窒素(T-N)農業用水基準値 1mg/L を超える地点が80%を占め、平均濃度も 2.25mg/L であった。特に市街地下流域では、水質汚濁が著しい⁵⁾。1994～1997年に行った栃木県内の主要な農業用水路の調査でも、1994年 $T-N 2.32 \text{mg/L}$ (23地点平均)、1995年 $T-N 2.56 \text{mg/L}$ (25地点平均)、1996年 $T-N 2.68 \text{mg/L}$ (24地点平均)、1997年 $T-N 1.86 \text{mg/L}$ (23地点平均)であり、水質汚濁が依然として残っている⁶⁾。

水質は、流下中に微生物による脱窒、植物等による吸収等の自然の持つ浄化機能により浄化される。この自然の浄化機能に水田が大きな役割を担っていることが知られている^{7)～10)}。しかし、窒素循環を例とすると、かんがい期の水田では水稲への窒素吸収と脱窒がおこり、窒素除去能が非常に高い状況にあるとされるが、水田への過剰施肥による水質汚濁も指摘されており¹⁴⁾、水田が水質浄化に有効に働くかどうかは、水田への新たな窒素のインプットと窒素除去能の大小関係による²³⁾。このことから水田の環境許容の把握は重要である。

本報告では、農業用水の実態を把握し、汚濁水が水稲の生育に及ぼす影響を調査するとともに、水田の持つ水質浄化容量、浄化機作、水稲の生育障害軽減対策を検討した。

II 試験方法

1. 調査地区の概要

調査の対象とした水田は、西那須野町市街地の南東1kmの西那須野町下永田地区に位置する。調査地点の土壤は表層腐植質多湿黒ボク土(栓木沢統)である。

取水用水(那須疎水)は、西那須野町中心部を貫流し、生活雑排水により汚濁された用水である。1987～1990年の調査では、西那須野町市街地上流に位置する千本松地区は、 $T-N 0.31 \text{mg/L}$ であるが、市街地の下流に位置する下永田地区は $T-N 2.53 \text{mg/L}$ であった。電気伝導度(EC)、懸濁物質(SS)、化学的酸素要求量(COD)、全リン酸(T-P)についてもT-Nと同様の汚濁傾向である¹¹⁾。

調査水田は第1図に示す南北約28m東西約60mの水田である。本調査では、あぜなみシートを用い用水の流れを制御した。水路は、幅約1mで40mにわたり水田内に設定した。水路にも、水稲を移植した。水質、微生物数、生育、収量の調査地点を水口からA:10m、B:20m、C:40m、D:CおよびFの間地点(水口から約75m)、E:田中央部、F:水尻に設けた。1994、1995年はF地点を設けなかった。

2. 分析方法

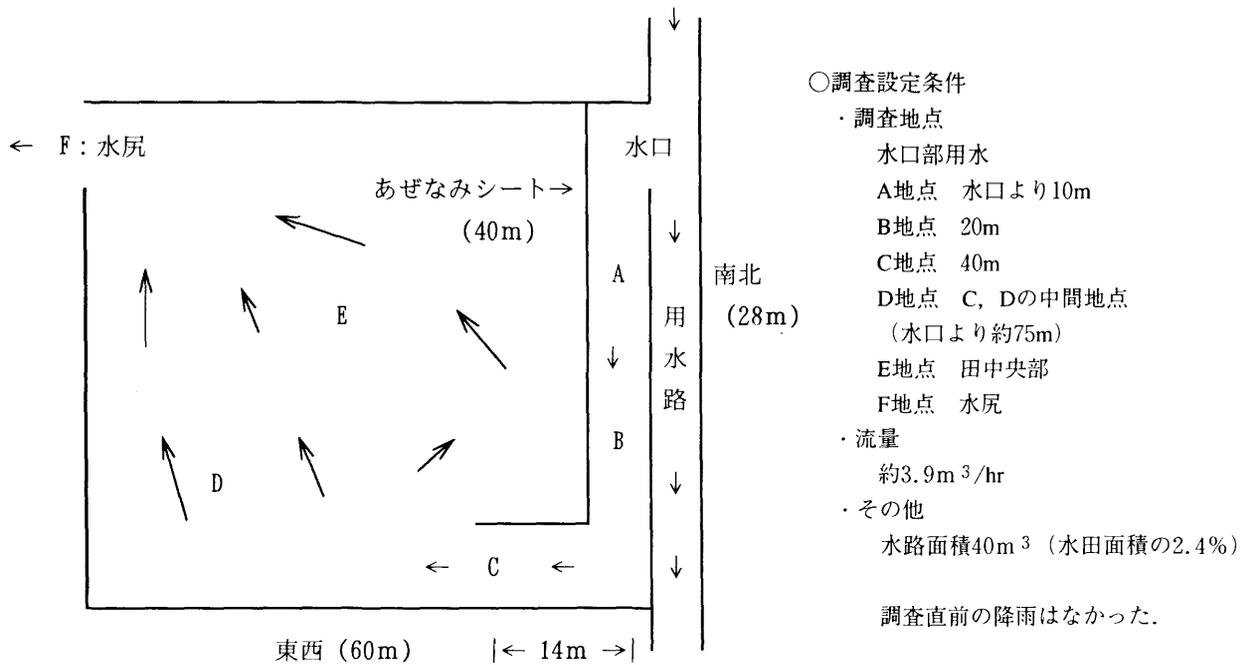
1994～1997年に西那須野町下永田地区の水田において、用水および田面水の水質調査、用水・田面水・土壤の微生物数調査、生育、収量調査を行った。

水質調査は、7月上旬から8月中旬のかんがい期に行った。調査項目は、農業用水基準が設定されているpH、COD、SS、T-N、ECの5項目およびアンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)、硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)、水温の計8項目とした。農業用水基準³⁾には、溶存酸素(DO)、ひ素(As)、亜鉛(Zn)、銅(Cu)も設定されているが、1987～1990年に行った同地区の水質調査¹¹⁾結果及び土壤環境基礎調査結果から問題にならないと考えられたため、調査を行わなかった。採水した試料は 4°C 以下で保存し、1週間以内にすべての水質項目を分析した。

微生物数調査は、用水、田面水、土壤、水稲に着生したものについて行った。微生物数調査は、試料採取後直ちに行った。

水質の分析方法は、主に日本工業規格工業排水試験法¹²⁾によった。pHはガラス電極法、ECは電気伝導度計、T-Nは紫外線吸光法、 $\text{NH}_4\text{-N}$ はインドフェノール法、 $\text{NO}_3\text{-N}$ はイオンクロマト法、CODは過マンガン酸カリウム滴定法、SSはガラス繊維濾紙法で行った。

微生物数調査は、土壤微生物実験法^{13) 21)}によった。



第1図 調査水田概略

細菌及び放線菌の培養は、アルブミン寒天培地、糸状菌はローズベンガル培地、藻類はChu1942培地で行った。

Ⅲ 結果及び考察

1. 用水および田面水の水質

農業用水の水質基準は、pHが6.0～7.5、CODが6mg/L以下、SSが100mg/L以下、T-Nが1mg/L以下、ECが300 μ S/cm以下である。

1994、1995年は、pHは調査地点間の一定の傾向はなく、6.7～7.7であった。ECは、僅かであるがE地点で減少した。T-Nは、1995年7月27日のD地点で減少が見られ、他地点は用水と同程度で推移した。NH₄-N、NO₃-Nは、A～D地点では7月27日のD地点を除き用水と同程度で推移し、E地点では減少した。CODは用水に比べ、E地点で増加した。SSが高い地点は、調査時に水深が浅く土泥が混入したことが原因である(第1表)。

1996年8月8日の調査は、前日より水量を調整、湛水状態に維持した。調査は10時30分より14時30分に計5回行った。全ての調査でT-N、NH₄-N、NO₃-Nの水口から水尻にかけての減少傾向が認められた。特にNO₃-Nで顕著であった。ECはE地点で減少し、pHは7.4～7.8で推移した。CODは14時30分のD点を除き、すべて基準値以内であった。SSは、0～3mg/Lであった(第2表)。

1996年8月15日の調査は前日より水量を調整し調査を行った。用水のT-Nが低く、すべて基準値内であった。用水と水尻部F地点を比較するとT-N及びNO₃-Nの減少

がみられた。EC、NH₄-N、pH、SSは、各地点で差がなかった。CODは水口から水尻にかけての増加傾向が認められた(第3表)。

1997年7月22日の水質調査は、数日前より湛水状態を保ち調査を行った。13時10分、14時10分の2回調査ともT-N、NH₄-N、NO₃-Nの水口から水尻にかけての減少傾向が認められた。pH、COD、SSは一定の傾向は見られなかった(第4表)。

1997年8月5日の水質調査は、落水による水田の脱窒能の変化を見るため、前日に落水、調査の1時間前に急速に入水し、調査20分前に水量を通常状態とし調査を行った。12時00分、13時00分の2回調査ともT-N、NO₃-Nの濃度が、水尻部のF地点で低く、用水の浄化傾向が認められた。特にNO₃-Nの濃度の減少が著しかった。12時00分の調査では、E、F地点でのSSが非常に高いが、これは入水から1時間では水田内の水位が十分でなかったため、サンプリング時に土が混入したことによる。ECもE及びF地点で激減した。(第5表)

1997年8月5日の調査は、前日に落水し水田の還元状態を打破しているため、脱窒による水質浄化は期待できないと思われたが、湛水時と同等のNO₃-N浄化能が認められた。

土壌の最大含水量に対して水分含有量が60%を超えると脱窒が顕著に起き、それ以下では少ないとの報告がある^{23) 24)}。本調査は前日からの落水であったため、土壌の最大含水量に対して水分含有量が60%以上に維持さ

第1表 1994, 1995年の用水及び田面水の水質

採水 月日	地 点	pH	EC mS/cm	T-N mg/L	NH ₄ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	COD mg/L	SS mg/L	水温 ℃	備考
1994年 7/27	用水	7.2	241	1.76	0.37	0.75	6.8	15	24.0	通常湛水状態
	田面水A	7.3	405	2.69	0.60	0.87	11.7	83	24.0	
	B	7.4	369	1.88	0.48	0.82	7.5	27	25.0	
	C	7.4	387	2.27	0.55	0.85	7.3	24	26.0	
	D	7.4	403	2.50	0.58	0.81	10.9	6	26.0	
	E	7.7	189	2.06	0.38	n.d	19.6	28	33.0	
1994年 8/18	用水	7.2	281	3.81	0.96	1.79	5.8	2	22.4	通常湛水状態
	田面水A	7.2	281	4.03	0.90	1.75	5.7	1	22.4	
	B	7.2	271	3.75	0.96	1.70	5.4	1	22.5	
	C	7.2	260	3.70	0.89	1.68	5.3	0	22.5	
	D	7.3	256	3.80	0.93	1.67	5.6	1	24.5	
	E	7.2	209	4.37	0.44	1.44	9.6	13	30.3	
1995年 7/27	用水	6.7	206	3.27	0.52	2.83	3.5	4	20.0	通常湛水状態
	田面水A	7.2	243	4.57	0.60	3.98	4.1	8	20.5	
	B	7.1	192	3.76	0.44	3.30	3.4	3	21.0	
	C	7.1	197	3.03	0.44	1.98	3.5	2	22.5	
	D	7.1	170	1.52	0.16	0.81	4.9	15	23.0	
	E	6.8	154	2.57	0.11	0.13	5.4	20	27.0	

れていたと考えられ、このことが湛水時と同等のNO₃-N浄化能としてあらわれたと思われる。

1997年8月19日は、数日前より湛水状態を保ち調査を行った。10時20分、11時20分の2回調査ともT-N、NH₄-N、NO₃-Nの水口から水尻にかけての減少傾向が認められ、用水の水田内での浄化が確認された。ECについても水口から水尻にかけての減少傾向が見られた。pH、CODには一定の傾向は見られなかった（第5表）。

計16回の調査を行った結果、基準値を満たしていたのは、pH：75%、EC：75%、T-N：12.5%、COD：81.3%、SS：100%であった。pH、EC、CODは、基準値を超えていたものも水稲の生育に大きな影響を及ぼす値ではなかった。他の調査項目に比べ、T-Nは基準適合割合が低かった。

窒素過剰は過繁茂、倒伏、登熟不良、不稔初増加、米質の悪化の原因となる。本調査水田においても水口部で同様の被害がでており、本水田の被害の主要因は窒素汚濁と考えられる。

生活排水の水稲への影響についての多数の調査結果

7) ~9) 14) ~18) から、農業用水の水質分級が策定されており、それによればT-N2mg/Lあたりから水稲の影響があらわれ、T-N4mg/L以上では耐肥性の品種の採用、減肥、節水、中干し等の対策が必要とされている。1994~1997年の平均T-Nは、2.23mg/Lであり、水稲への影響があらわれ始める濃度であった（第6表）。

CODについては水稲の生育・収量に悪影響を与える濃度でなければ水田による浄化は期待できないことが明らかにされている^{14) ~16)}。CODは上記報告と同様、基準値の6mg/L程度では浄化は確認されなかった。

本調査のT-Nの浄化はNO₃-Nの消失が主なものであった。田面水中の硝酸態窒素は、重窒素を用いた実験により水田面を流下するうちに大部分が脱窒により消失することが確認されており^{10) 20)}、本水田でも脱窒による浄化と考えられる。

本調査では、1680m²(16.8a)の水田を流下するうちに約1.2mg/LのT-Nが消失しており、本水田の窒素の水質浄化割合は58.7%であった。水稲栽培では、作期中に約110m³/aのかんがい水が水田内を流れることから²⁶⁾、

水田による生活排水の水質浄化

第2表 1996年の用水及び田面水の水質

採水 月日	地 点	pH	EC mS/cm	T-N mg/L	NH ₄ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	COD mg/L	SS mg/L	水温 ℃	備考
8/8	用水	7.6	279	1.78	0.59	1.06	2.9	0	21.3	通常湛水状態
10:30	田面水A	7.6	331	2.23	0.62	1.46	4.3	0	22.2	
	B	7.5	317	2.15	0.54	1.52	3.0	0	22.2	
	C	7.6	240	1.75	0.40	1.04	4.0	1	23.0	
	D	7.4	118	0.65	0.19	0.25	3.9	2	23.0	
	E	7.4	134	0.46	0.21	0.32	4.2	1	21.5	
	F	7.5	204	0.51	0.20	0.58	4.7	0	22.0	
8/8	用水	7.5	346	2.30	0.32	1.63	3.8	0	22.0	
11:30	田面水A	7.5	293	1.92	0.36	1.46	3.8	0	22.5	
	B	7.5	364	2.32	0.41	1.78	3.9	0	23.5	
	C	7.7	267	1.62	0.17	1.13	3.7	1	24.0	
	D	7.4	131	0.82	0.11	0.51	3.6	2	24.5	
	E	7.4	121	0.51	0.10	0.20	3.4	3	22.5	
	F	7.6	207	0.51	0.10	0.31	3.8	0	23.5	
8/8	用水	7.6	242	1.72	0.19	1.34	2.9	0	22.5	
12:40	田面水A	7.6	249	1.80	0.19	1.28	3.0	0	23.1	
	B	7.5	288	1.97	0.22	1.39	3.3	0	23.5	
	C	7.6	282	1.91	0.21	1.34	3.4	0	24.1	
	D	7.4	204	1.50	0.12	0.76	3.9	3	25.5	
	E	7.4	118	0.37	0.16	0.14	3.2	2	24.5	
	F	7.6	207	0.61	0.11	0.32	3.7	0	24.5	
8/8	用水	7.6	222	1.77	0.23	1.43	3.2	0	22.5	
13:30	田面水A	7.5	246	1.54	0.24	1.63	3.1	0	23.2	
	B	7.5	235	2.00	0.20	1.10	3.2	0	23.3	
	C	7.5	241	1.87	0.17	1.90	4.2	1	24.6	
	D	7.4	257	1.67	0.13	1.21	5.6	1	26.8	
	E	7.3	116	0.66	0.14	0.09	3.5	2	26.5	
	F	7.7	196	0.56	0.10	0.40	4.9	0	26.2	
8/8	用水	7.6	184	1.55	0.25	0.96	4.1	0	22.5	
14:30	田面水A	7.7	199	1.46	0.27	0.91	4.1	0	22.8	
	B	7.5	209	1.57	0.26	1.06	4.2	0	23.0	
	C	7.4	193	1.26	0.23	0.86	4.9	1	23.5	
	D	7.5	301	1.87	0.12	1.34	6.7	2	25.5	
	E	7.6	132	0.80	0.12	0.34	5.1	2	26.5	
	F	7.8	206	0.56	0.18	0.31	5.4	1	27.0	

第3表 1996年の用水及び田面水の水質

採水 月日	地 点	pH	EC mS/cm	T-N mg/L	NH ₄ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	COD mg/L	SS mg/L	水温 ℃	備考
8/15 13:00	用水	6.8	105	0.99	0.14	0.45	2.6	0	24.0	通常湛水状態
	田面水A	6.9	101	0.76	0.20	0.41	2.4	0	25.2	
	B	6.8	105	0.96	0.21	0.43	3.0	0	24.8	
	C	6.7	108	1.05	0.26	0.22	3.3	0	25.6	
	D	6.5	114	0.78	0.21	0.00	5.7	1	28.4	
	E	6.8	120	0.59	0.22	0.00	7.3	1	27.0	
	F	6.8	123	0.55	0.18	0.43	7.5	1	28.0	
8/15 14:00	用水	6.9	103	0.70	0.19	0.43	2.4	0	24.5	
	田面水A	6.9	99	0.81	0.26	0.40	2.6	0	24.5	
	B	6.8	109	0.72	0.25	0.37	2.8	0	24.7	
	C	6.9	108	0.74	0.25	0.38	3.1	0	26.0	
	D	6.6	114	0.73	0.29	0.24	5.0	1	28.5	
	E	6.8	113	1.07	0.28	0.00	6.8	5	28.0	
	F	6.8	120	0.56	0.19	0.00	7.8	1	28.0	

第4表 1997年の用水及び田面水の水質

採水 月日	地 点	pH	EC mS/cm	T-N mg/L	NH ₄ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	COD mg/L	SS mg/L	水温 ℃	備考
7/22 13:10	用水	7.3	304	3.03	0.34	2.49	5.4	7	23.0	通常湛水状態
	田面水A	7.3	305	3.12	0.33	2.57	6.0	7	23.0	
	B	7.3	307	3.27	0.30	2.59	4.2	3	23.0	
	C	7.3	271	2.68	0.28	2.39	10.3	3	24.0	
	D	7.3	301	3.11	0.43	2.65	4.8	9	26.0	
	E	7.3	142	0.96	0.09	0.46	6.8	30	29.0	
	F	7.1	211	1.56	0.08	0.85	0.5	8	28.0	
7/22 14:10	用水	7.3	208	2.00	0.16	1.46	4.0	5	23.0	
	田面水A	7.3	254	2.39	0.26	1.78	4.3	2	23.0	
	B	7.3	290	3.40	0.32	1.72	2.6	2	23.0	
	C	7.3	263	2.38	0.28	1.53	5.2	1	24.0	
	D	7.3	279	2.65	0.25	2.02	5.6	2	26.0	
	E	7.3	140	0.84	0.09	0.00	6.0	18	30.0	
	F	7.2	197	0.99	0.12	0.59	4.7	21	28.0	

水田による生活排水の水質浄化

第5表 1997年の用水及び田面水の水質

採水 月日	地 点	pH	EC mS/cm	T-N mg/L	NH ₄ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	COD mg/L	SS mg/L	水温 ℃	備考
8/5 12:00	用水	6.8	379	3.82	0.23	2.92	6.3	8	24.0	前日に落水し、 調査開始1時間前 に入水。調査20 分前に通常流入 水量に調整。
	田面水A	6.9	417	4.31	0.28	3.26	6.5	6	24.0	
	B	6.9	430	4.54	0.32	4.26	6.1	5	24.0	
	C	6.9	426	4.63	0.31	3.45	9.0	25	24.2	
	D	6.6	444	6.29	0.32	3.81	17.2	71	24.5	
	E	6.4	44	3.12	0.13	0.02	20.8	355	26.0	
8/5 13:00	用水	6.9	308	3.59	0.23	2.78	6.8	8	24.0	
	田面水A	6.9	364	5.22	0.25	3.03	8.8	12	24.0	
	B	6.9	341	3.75	0.18	2.78	8.6	7	24.2	
	C	6.9	350	3.74	0.20	2.62	8.7	16	24.5	
	D	7.0	356	4.00	0.22	2.70	12.6	11	25.5	
	E	6.3	42	1.14	0.09	0.06	13.7	42	26.5	
8/19 10:20	用水	7.2	146	1.56	0.11	1.14	3.8	4	22.5	通常湛水状態
	田面水A	6.9	147	1.72	0.11	0.94	10.8	54	24.0	
	B	6.9	146	1.72	0.01	0.96	7.8	30	24.0	
	C	7.1	132	1.57	0.10	1.08	4.1	5	24.0	
	D	6.9	127	1.05	0.00	0.42	6.4	33	24.0	
	E	6.6	103	1.17	0.03	0.00	9.4	69	24.0	
8/19 11:20	用水	7.1	207	1.96	0.06	1.17	4.7	5	23.0	
	田面水A	7.1	235	2.09	0.08	1.15	9.2	146	24.0	
	B	7.1	189	2.42	0.02	1.15	10.2	67	24.5	
	C	6.9	149	1.99	0.00	1.09	6.7	31	24.5	
	D	6.9	118	1.21	0.00	0.42	4.9	13	25.0	
	E	6.6	99	1.12	0.02	0.00	8.7	41	25.0	
	F	6.5	101	0.71	0.00	0.10	7.9	56	24.0	

第6表 1994～1997年の用水及び田面水の平均水質

地 点	pH	EC mS/cm	T-N mg/L	NH ₄ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	COD mg/L	SS mg/L	水温 ℃
用水	7.2	235	2.23	0.31	1.54	4.3	4	22.8
田面水A	7.2	261	2.54	0.35	1.68	5.7	20	23.3
B	7.2	260	2.51	0.32	1.68	5.0	9	23.5
C	7.2	243	2.26	0.30	1.47	5.4	7	24.2
D	7.1	231	2.13	0.25	1.23	6.7	11	25.4
E	7.1	124	1.37	0.16	0.20	8.3	40	26.7

第7表 1996, 1997年の用水及び田面水の平均水質

地 点	pH	EC mS/cm	T-N mg/L	NH ₄ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	COD mg/L	SS mg/L	水温 ℃
用水	7.2	233	2.06	0.23	1.48	4.1	3	23.0
田面水A	7.2	249	2.26	0.27	1.56	5.3	17	23.5
B	7.2	256	2.37	0.25	1.62	4.8	9	23.7
C	7.2	233	2.09	0.22	1.46	5.4	7	24.3
D	7.1	220	2.03	0.18	1.26	6.6	12	25.6
E	7.0	110	0.99	0.13	0.13	7.6	44	25.9
F	7.1	151	0.85	0.11	0.31	6.8	38	25.7

かんがい期には、 $1.2\text{g}/\text{m}^3 \times 110\text{m}^3/\text{a} = 132\text{g}/\text{a} = 13.2\text{kg}/\text{ha}$ の浄化が期待できることになる。かんがい日数を6月～9月の100日とすると $0.13\text{kg}/\text{ha}/\text{day}$ の窒素除去能がある(第7表)。

国松らは、水稻栽培期間中のNH₄-NとNO₃-Nの除去速度は窒素の形態と濃度によって異なり、それぞれ $0.78 \sim 0.85\text{kg}/\text{ha}/\text{day}$ と $0.99 \sim 1.92\text{kg}/\text{ha}/\text{day}$ であるとしている⁸⁾。小川・酒井はNO₃-N濃度0, 5, 10, 30mg/Lのかんがい用水を用いて、水田の窒素浄化機能と水稻生育に及ぼす影響を調査し、水田の窒素除去量は負荷量の増加に伴い高くなり、 $0.5 \sim 3.73\text{kg}/\text{ha}/\text{day}$ であるとしている⁹⁾。また、脱窒量は水田の水管理によって異なり、 $0.34 \sim 0.55\text{kg}/\text{ha}/\text{day}$ であるとの報告もある²⁶⁾。

本調査の窒素除去能の試算結果は、他の報告に比べ低い値である。本試験では水田内に流路設定しているが、設置面積は水田面積の2.4%にすぎないことから、田全体の水質浄化速度への影響は小さいと考えられる。主な要因は大区画の水田のため、水の流れが均一に流れず、

一部で水流の停滞が発生し、調査水田全面の水質浄化機能が十分に発揮されなかったためと考えられる。事実、第7表の平均水質結果でも、水流が停滞しているE地点では、水尻のF地点と同程度の水質浄化となった。このことが単位面積あたりの水質浄化能が小さく評価された原因と思われる。

2. 調査水田の水稻生育収量

水稻生育収量の調査結果を第8表に示す。

1994年は水口付近のA地点では葉色が濃く、稈長及び穂長が長く穂数及びわら重は多かった。精玄米重は他の地点に比べ激減した。A地点でのわらの窒素吸収率は高かった。草丈は出穂期に調査したところ、地点による差は僅かであった。収穫時、倒伏は見られなかった。1995～1997年も1994年と同様の傾向であった。

水口部分は、田中心部に比べ流入する水の温度が低いことから一般には生育が悪く草丈が低くなるが、本水田では水稻の草丈及びわら重は水口に近いほど高かった。これは、用水の窒素が高いことによると考えられる。栽

第8表 水稻の生育収量および窒素吸収量

地点	生育				収量		窒素含有率		窒素吸収量		備考	
	草丈 cm	穂数 本/株	稈長 cm	穂長 cm	精玄米重 kg/a	わら重 kg/a	もみ %	わら %	もみ kg/a	わら kg/a		
1994年	A	87	41	93	21	27	171	1.1	1.39	0.60	2.38	草丈7/28調査
	B	84	29	90	19	72	152	1.3	0.91	1.17	1.38	9/1調査
	C	84	30	87	19	80	112	1.2	0.59	1.17	0.66	初星
	D	89	30	86	18	76	111	1.2	0.54	1.07	0.60	
	E	90	27	76	17	64	94	1.1	0.47	0.79	0.44	
1995年	A	79	30	95	21	23	134	1.5	1.50	0.60	2.01	草丈7/27調査
	B	81	28	90	20	70	100	1.3	0.90	0.80	0.90	9/11調査
	C	76	22	86	20	71	84	1.1	0.79	0.80	0.67	初星
	D	76	29	80	18	78	93	1.2	0.69	0.80	0.65	
	E	76	24	76	18	69	80	1.1	0.70	0.70	0.56	
1996年	A	116	17	90	18	12	100	1.1	1.65	0.40	1.65	9/11調査
	B	109	18	89	19	25	97	1.2	1.51	0.57	1.46	ひとめぼれ
	C	105	19	87	18	42	81	1.2	1.31	0.71	1.06	
	D	102	31	87	18	62	77	1.1	0.85	0.85	0.65	
	E	100	30	84	18	66	70	1.0	0.79	0.83	0.55	
1997年	A	112	34	87	20	43	109	1.4	0.74	0.94	0.80	9/10調査
	B	96	28	78	18	65	68	1.1	0.58	0.88	0.39	ひとめぼれ
	C	95	27	79	19	71	77	1.0	0.54	0.97	0.42	
	D	97	32	78	19	76	86	1.3	0.54	1.19	0.46	
	E	98	26	79	19	78	77	1.1	0.49	1.06	0.38	

培品種は1994, 1995年は初星, 1996, 1997年はひとめぼれである。両品種ともコシヒカリに比べ耐肥性が高く、短稈なため倒伏はなかったが、収穫時にも葉色が濃く、いわゆる青立ちの状態であった。窒素過剰時にはいもち被害がでやすいとされるが、本試験では観察されなかった。

水稻が吸収する窒素は、施肥窒素、土壌窒素、かんがい水窒素に分けると、最高分けつ期以前は、主に施肥窒素、土壌窒素が利用され、幼穂形成期以降はかんがい水窒素の利用率が高まるとされている¹⁷⁾。

本調査でも出穂初期では葉色は濃かったが、草丈に大きな差は認められなかった。しかし、灌漑水窒素の影響が高まる生育後期はかんがい窒素の影響が大きく、減収、稈の徒長、糊形質の悪化などの被害が現れた。

本調査では品質及び作業性の向上対策および水稻の窒素吸収による水質浄化を期待し、流入する用水をシートで遮り、水口部分から三条だけ(幅1m)に用水が流れるように制御した。その結果、水稻は水口付近で青立ちとなり、もみ及びわらに吸収された総窒素量は、年次変

動があるものの水口から近いほど多くなった。特にA及びB地点での窒素吸収量が多く、水稻が過繁茂となり、水稻による窒素の積極吸収による水質浄化が認められた。

1994~1997年の平均窒素吸収量から水稻の水質浄化能を試算する。E地点を通常時の水稻の窒素吸収量とし、各地点の窒素吸収量とE地点の窒素吸収量の差を水稻の窒素浄化能とすると、各点の水稻の窒素浄化能は、A地点:1020 g/a, B地点:560 g/a, C地点:280kg/aとなる(第9表)。

第9表 1994~1997年平均窒素吸収量

地点	もみ	わら	もみ+わら
	kg/a	kg/a	kg/a
A	0.64	1.71	2.35
B	0.86	1.03	1.89
C	0.91	0.70	1.61
D	0.98	0.59	1.57
E	0.85	0.48	1.33

A地点の窒素浄化能は、かんがい期を100日して試算すると、10.2 g/a/dayとなり、水稻単独で本水田の平

均浄化能 (1.3 g/a/day) の7.8倍と非常に高い浄化能を示した。40mの水路平均でも5.4 g/a/dayと平均浄化能の4.2倍であった。

水稲の窒素浄化総量への寄与率について試算する。水口からA地点までの窒素吸収量は $1020 \text{ g/a} \times 0.1 \text{ a} = 102 \text{ g}$ 、A地点からB地点は $560 \text{ g/a} \times 0.1/\text{a} = 56 \text{ g}$ 、B地点からC地点は $280 \text{ g/a} \times 0.2 \text{ a} = 56 \text{ a}$ である。長さ40m、幅1mの水路中の水稲の窒素吸収総量は214 gとなる。本調査水田の面積は16.8 a、本水田の水質浄化能は $1.2 \text{ g/m}^2 \times 110 \text{ m}^2 = 132 \text{ g/a}$ であることから、本水田の窒素浄化総量は $16.8 \text{ a} \times 132 \text{ g/a} = 2218 \text{ g}$ となる。つまり、水田面積の2.4%の水路で $214 \text{ g}/2218 \text{ g} \times 100 = 9.6\%$ の浄化が水稲単独でなされたことになる。

水田における窒素浄化は、脱窒が主因とされているが、本試験では幅1m長さ40mの水路中に移植した水稲の窒素除去能が水田全体の平均窒素浄化能を大きく上回っており、水稲の窒素積極吸収による窒素浄化も重要な役割を担っていると考えられる。

本試験では用水を流路制御することで、被害が直線状となり収穫作業の能率も向上した。被害面積も1996年を除き、水口から20mの地点までで留まっており20m²となった。本試験開始前の倒伏調査では、コシヒカリが定植されており、単純な比較はできないが、水口部より半径8mの扇状 (50m²) に倒伏被害がでていたことから、あぜなみシートの設置は、作業効率の向上、被害面積の軽減に有効であった。

今まで、水稲は汚濁水に被害を被るという観点からの解析例が多い。しかし、水稲が水を浄化するという観点にたてば、水稲の環境保全機能を積極的に評価しうる。用水汚濁が著しい場合、用水流路を制御し水稲の窒素吸収能を積極的に利用することにより、水稲への被害を全体として軽減することが可能である。

3. 水田内の微生物数

土壤微生物には、細菌、放線菌、藻類、原生動物などが含まれ、これら微生物は土壤1gあたり0.1~1mgを占め、種類は少なく見積もっても1万種と推定されている。これらの土壤微生物は、光合成能を持つ藻類、硝酸化細菌などの一部を除き、植物等を分解して栄養を得ており、物質循環における分解者の役割を担っている。

有機物を好氣的に分解する細菌にはPseudomonas属等多くのものがある。有機物を嫌氣的に分解するものには、多くの発酵性細菌、硫酸還元菌などがありNO₃⁻を利用する脱窒菌もこれに含まれる。有機物を必要とせず化学反応によってエネルギーを獲得する菌の中には、アンモニア酸化菌 (Nitrosomonas)、亜硝酸酸化菌 (Nitrobacter)

などがある。

放線菌は菌糸状のグラム陽性細菌の1つである。糸状菌に近いStreptomyces属が主要であり、多くは好気性、有機栄養性でセルロース、キチンを分解するものもある。

糸状菌は藻菌類、子のう菌類、担子菌類、不完全菌類に分類されている。Penicillium属の種が多く、Fusarium, Mucor, Aspergillus属等がしばしば見出されている。菌数は一般に細菌より少ないが菌体が大きく、有機分解活性は細菌に匹敵する¹⁹⁾。

このような特徴を持つ微生物群は、従来より水質との関係が指摘されているが、これまで十分な調査が行われていない。

本報告では、水田内微生物数の把握を行い、その関連性について検討した。本調査では水田内の各点における土壤微生物数、用水・田面水中の微生物数・水稲に着生した微生物数を計数し、水質浄化と微生物数の量的相関について検討した。

第10表 土壤中の微生物数 (cfu/g)

年度 月日	地点	細菌 ×10 ⁶	放線菌 ×10 ⁵	糸状菌 ×10 ⁴
1994年 8月18日	A	15	8.9	4.4
	B	88	7.1	13.5
	C	19	4.0	3.4
	D	27	8.3	7.8
	E	17	12.6	6.9
1995年 8月17日	A	10	3.2	2.1
	B	18	9.4	2.8
	C	28	15	4.0
	D	33	16	3.0
	E	28	13	3.5
1996年 8月15日	A	45	44	7.7
	B	63	122	2.8
	C	90	36	7.2
	D	49	55	5.3
	E	26	21	5.3

土壤微生物数については、1994年はB地点の細菌・糸状菌数が他の地点に比べ多かった。C地点では放線菌・糸状菌が少なかった。1995年は、A地点で細菌・放線菌が少なかった。1996年は、B地点の糸状菌以外は、細菌・放線菌・糸状菌ともE地点に比べ多かった。地点間で一定の傾向は見られなかったが、注目すべき点として1996年は他の年度に比べ、微生物数が多いことが挙げられる。

第11表 用水・田面水中の微生物数 (cfu/ml)

年度 月日	地点	細菌 ×10 ⁵	放線菌 ×10 ³	糸状菌 ×10 ¹	藻類 ×10 ¹
	用水	8.9	0.3	3.3	4.0
1994年 7月28日	A	2.2	7.8	1.3	14
	B	9.9	1.0	1.8	92
	C	1.4	0.8	2.8	17
	D	1.8	0.8	1.0	160
	E	2.2	1.3	4.3	35
1994年 8月18日	用水	59	8.0	8.0	7.9
	A	42	30	5.3	13
	B	72	15	4.0	4.9
	C	39	18	15	3.3
	D	27	13	9.0	7.9
	E	9.0	5.0	40	3.0
1995年 7月27日	用水	26	98	1.5	1.4
	A	34	20	1.6	7.9
	B	56	50	4.4	7.9
	C	21	73	2.0	2.3
	D	8.3	45	2.2	24
	E	5	2	11	3.3
1996年 8月15日	用水	4.9	100	6.0	92
	A	3.2	30	23	28
	B	4.1	13	8.0	92
	C	8.8	130	58	160
	D	7.6	63	374	35
	E	5.3	47	557	3.0
	F	4.3	43	200	8.0

(第10表)

1996年の水質調査時には極度の水質汚濁は観察されなかったが、5月中旬から8月下旬にかけての渇水の影響から用水量及び汚濁程度の変動が大きかった。用水のみの調査であるが5月30日にT-N8.4mg/L、8月1日にT-N7.3mg/Lが観測されており、1994及び1995年よりも水質汚濁が著しかったと推察される。事実、1996年は他の年度に比べ、減収が著しい。

この結果は、水質汚濁が著しい場合、微生物数は増加し、微生物活動が高まることを示していると考えられる。他の年度と同等の収量である1996年E地点の微生物数は、ほぼ他の年度と同程度であるが、減収が大きい他の地点で微生物数が多いことも、この考えを支持している。

用水及び田面水については、1994年7月28日は放線菌及び藻類で用水に比べ顕著な増加が認められた。細菌に

第12表 稲着生の微生物数 (cfu/g)

年度 月日	地点	細菌 ×10 ⁸	放線菌 ×10 ⁵	糸状菌 ×10 ⁴	藻類 ×10 ²
1994年 8月18日	A	1	1.8	1	5.6
	B	2.2	5.1	17.1	4
	C	1.7	5.7	0.7	5.1
	D	8.6	13.1	19.6	3.8
	E	8.2	6	33.6	0.8
1995年 8月17日	A	2.4	25	4.3	45
	B	2.4	20	4.2	15
	C	2.1	7.7	4.4	28
	D	12	29	8.4	96
	E	47	41	8.7	68

第13表 稲着生の微生物数 (cfu/g)

年度 月日	地点	細菌 ×10 ⁸	放線菌 ×10 ⁷	糸状菌 ×10 ⁶	藻類 ×10 ⁵
1996年 8月15日	A	12	16	30.5	3.2
	B	57	47	5.7	2.7
	C	28	13	4.8	2.5
	D	38	31	31.8	2.3
	E	25	15	0.9	2.2

については用水に比べ田中心部での減少が認められた。糸状菌は増加した。1995年7月27日は細菌、放線菌のE地点での減少、糸状菌の増加が認められた。

D地点の藻類の増加も著しかった。1996年8月15日はE地点の糸状菌の増加、藻類の減少が顕著であった(第11表)。

年度間における一般傾向として細菌類のE地点の減少、糸状菌類のE地点での増加が観察されたが、調査年度によってばらつきが大きく判然としなかった。稲着生微生物については、年度間で一定の傾向は示さなかったが、1996年は1994、1995年に比べ著しく微生物数が増加している。このことは、水質汚濁に比例し、微生物数が増加した結果と考えられる(第11、12表)。

特に藻類は、著しい増加を示していることから、水質浄化との関連が強く示唆される。藻類は窒素の直接的な固定に関わっており、水面下の茎葉部に付着した藻類が窒素の固定に寄与していることが示唆された。

水田内の各地点の水質浄化程度と微生物数との一次的な関連性は、判然としなかった。微生物数は水田の様々な基礎的条件(水温、pH、直前の湛水状態等)による場所が大きく、流入する用水の水質は副要因として働いていると考えられる。

調査地点の浄化程度と微生物数の一時的関連性は見られなかったが、注目すべき結果として水質汚濁が著しかった1996年度の土壤微生物数及び稲着生微生物数の増加が挙げられる。

この結果は、水質汚濁が著しいときに細菌・放線菌・糸状菌数が増加し、汚濁物質分解活性が高まり、同時に藻類による積極的な窒素吸収が行われることを示唆している。

以上のことから、水田は高い水質浄化能を有し、その浄化には、水田微生物作用による脱窒、水稲による吸収、土壌や稲株に棲息する微生物が関与していると推定された。

今後、高い水質浄化機能を有する水田は、食料生産現場との視点のみならず、水環境の維持に役立つ環境資源的観点からの評価も必要である。

Ⅳ 謝 辞

本研究を行うにあたり、宮崎成生主任には分析法等ご指導いただいた。田中良張技術員には、用水、土壌等の分析に協力いただいた。現地試験地においては鈴木和雄氏には終始協力いただいた。ここに記して厚く感謝の意を表する。

Ⅴ 引用文献

1. 国土庁長官官房水資源部編 (1990) 日本の水資源: 26-27
2. 栃木県 (1998) 県勢白書:9
3. 関東農政局計画部資源課 (1986) 農業・農村と環境: 44, 134, 191
4. 栃木県生活環境部環境管理課 (1997) 平成9年度環境白書:53, 183
5. 宮崎成生、青木一郎、鈴木聡 (1994) 栃木県における農業用水の水質実態. 栃木農試研報42:35-44
6. 栃木農試環境保全部 (1994) (1995) (1996) (1997) 農業用水水質汚濁調査結果. 環境保全成績書
7. 日高伸 (1994) 都市近郊水田用排水の窒素動態と水資源の有効利用に関する研究. 日本土壤肥科学雑誌. 65:235-239
8. 国松孝男、中村久郎、金木亮一 (1980) 処理水の水田還元 (希釈液肥カンガイにおけるNH₄-NとNO₃-N濃度と水田のN収支). 農業土木学会誌48 (11):797-804
9. 小川吉雄、酒井一 (1985) 水田における窒素浄化機能の解明. 日本土壤肥科学雑誌56 (1):1-9
10. 朴 光来、日高伸、熊沢喜久雄 (1998) 埼玉県櫛引台地の湧水により灌漑されている水田表面の硝酸態窒素濃度およびδ¹⁵N値の変化. 日本土壤肥科学雑誌69 (3):287-292
11. 栃木農試環境保全部 (1987) (1989) (1990) 栃木農試環境保全成績書
12. 日本工業規格 (1986) 工場排水試験法
13. 土壤微生物研究会編 (1992) 新編土壤微生物実験法. 養賢堂. 東京
14. 環境保全型農業技術編 (1995) 農林水産研究文献題No. 21:28-48
15. 北原郁文、中嶋靖之、庄籠徹也 (1993) 生活排水で汚濁したかんがい水が水稲の収量及び品質に及ぼす影響福岡農総試研報. A-12:19-22
16. 土山健次郎、兼子明、松井幹夫 (1984) 農業用水水質汚濁に関する調査研究第3報生活排水汚濁が水稲に及ぼす影響. 福岡農総試研報A-3:93-98
17. 千葉県 (1990) 農林公害ハンドブック改訂版:85-109
18. 平山力、吉原貢 (1981) 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. 茨城農試研報. 21:91-105
19. 杉原進、新井重光 (1987) 汚染物質の土壌中における挙動と問題点 (1) 土壌中における有機物の分解と蓄積. 水環境学会誌10 (7):398-402
20. 長谷川清善、奥村茂夫、小林正幸、中村稔 (1985) 茶園・水田連鎖地形における富栄養化成分の行動. 滋賀農試研報26:34-41
21. 土壤微生物研究会編 (1975) 土壤微生物実験法. 養賢堂. 東京
22. 花木啓祐 (1995) 陸域-水系における窒素の変換. 水環境学会誌18 (8):16-21
23. 西尾隆 (1994) 耕地土壌の脱窒過程. 日本土壤肥科学雑誌65:463-471
24. 陽捷行、楊宗興 (1991) 土壤生態系のガス代謝と地球環境土壌からの亜酸化窒素発生. 日本土壤肥科学雑誌, 62, 654-661
25. 農林水産技術会議事務局・栃木農試編 (1991) 火山灰水田における効率的な水利用に関する試験:8-26
26. 山室成一 (1985) 強粘質半湿田と乾田化水田における施肥及び土壌無機化窒素の有機化, 脱窒及び水稲による吸収. 日本土壤肥科学雑誌56 (1):10-14