

1996年から1998年にかけての県下主要利水地点における 農業用水の水質

松山 稔*・大塩哲視*・桑名健夫*・岸上光男**

要 約

県下の主要利水地点45カ所の水質を1996~1998年の3年間で調査した。採水は水稲のかんがい期間中に5回、非かんがい期間中に2回行った。

- 1 地域別には、10年前の調査と比べ東播地域の一部河川を除いて、全般に水質の改善傾向がみられたが、T-Nは増加傾向であった。時期別には、加古川水系では、かんがい期、特に代かき~活着期に、東播用水では非かんがい期に水質悪化傾向がみられた。
- 2 加古川水系では、採水地点の上流からの流下距離及び流域人口とSO₄、EC、Na、Cl、T-Nとの相関が高く、これらは人為的な影響の大きい項目と考えられた。
- 3 生物調査による水質の判定法では、生物調査による水質判定指数とT-N、Clとの高い負の相関関係が認められた。
- 4 紫外吸光光度法による水質の判定法では、260nmでの吸光度とCOD、210nmでの吸光度とNO₃-Nとの相関が高く、簡易測定に使用できる可能性が認められた。

Water Quality of Farm-Use Water at Main Irrigation Spots in Hyogo Prefecture From 1996 through 1998

Minoru MATSUYAMA, Tetsushi OSHIO, Takeo KUWANA and Mitsuo KISHIGAMI

Summary

Water quality of farm-use water at 45 main irrigation spots in Hyogo prefecture was investigated from 1996 through 1998. Samples of water were collected 5 times for the irrigation period of rice plants and 2 times for the non-irrigation period.

- (1) Generally, water quality is getting better than that of ten years ago, except for the east Harima area. But T-N has increased in all areas. In the Kakogawa river system, water quality is bad during the irrigation period, especially at transplanting time. In east Harima, water quality of farm ponds is bad in the non-irrigation period.
- (2) In the Kakogawa river system, the stream length of the river from the sampling point to the upper stream and the population in the catchment area are correlative with SO₄, EC, Na, Cl, T-N, which are very much affected by human activities.
- (3) The biological decision index of water quality has a negative correlation with T-N and Cl.
- (4) In spectrophotometry, absorbance of 260nm had a correlation with COD and absorbance of 210nm had a correlation with NO₃-N. So we can use these relationships for rapid water analysis.

キーワード：農業用水、水質、生物学的水質判定法、紫外吸光光度法

緒 言

農業用水は、ほ場への栄養塩類の天然供給源である一方、作物に対する窒素過剰や塩害、また土壌への重金属類の集積原因ともなり、その水質は農業生産環境における重要な要素の一つである。

農業用水の汚濁源としては、1960年代までは鉱山や工場等の排水が大きな比重を占めていたが、1970年の水質汚濁防止法の規制等により、一部河川では大幅に改善されてきている^{1,2)}。しかし現在では、農村地域の混住化や都市化の進展に伴う生活排水の増加による水質悪化のため、改善程度は横ばい傾向となっている³⁾。

1996年の兵庫県における公共用水域の水質測定結果²⁾から、全測定地点210地点の平均値を求めたところ全室

2000年8月30日受理

* 中央農業技術センター ** 現和田山土地改良事務所

素で2.3mg/l、全リンで0.219mg/lであった。また、最大値は全窒素で21mg/l、全リンで3.8mg/lであった。都市部河川の地点が過半数を占めるため高くなっており、まだまだ改善すべき水質である。

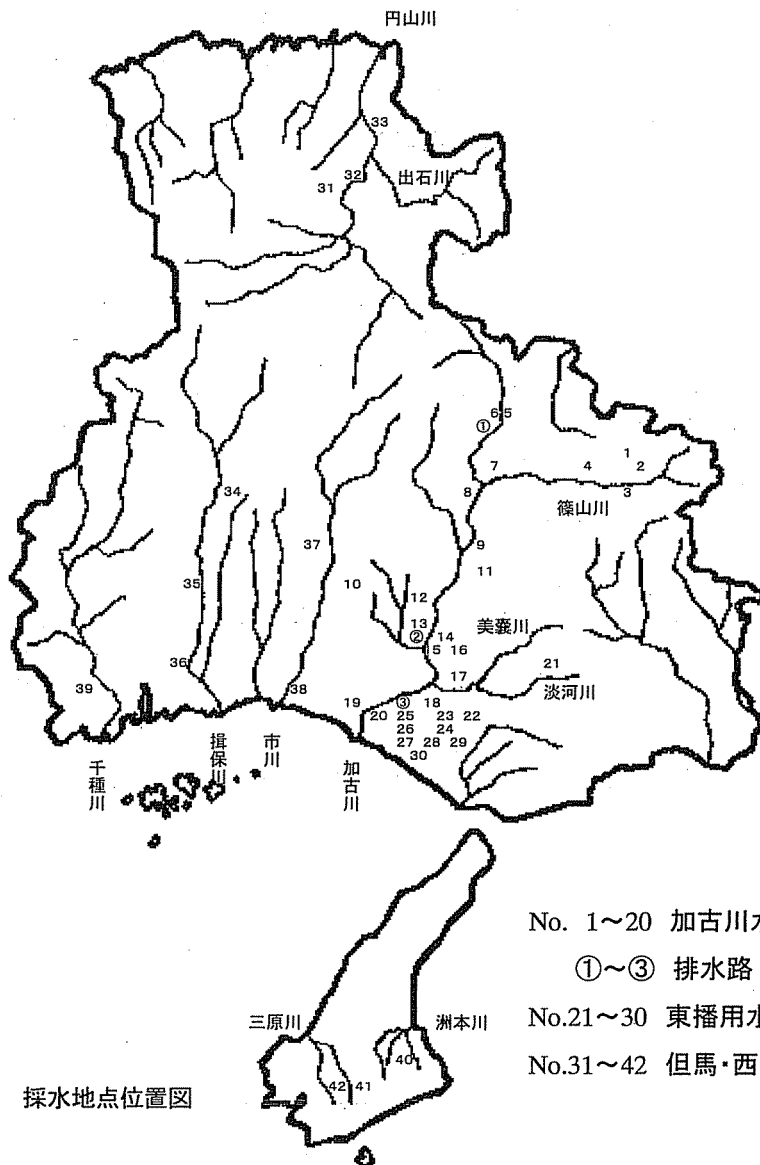
このような現状の中で、兵庫県における水質汚濁による農業被害の防止や農村環境の保全整備、環境への負荷の軽減並びに施肥の合理化等を推進するために、1996年から3年間にわたり、主要な利水地点を選定して、農業用水の実態調査を行った。本報では調査結果を地域別、時期別に検討し、さらに各調査項目間の関係から汚濁原因を考察した。また、生物学的水質判定法や紫外吸光度法による簡易な水質判定法を検討し、合わせて過去の調査結果との比較を行ったので報告する。なお、本調査研究の推進にあたり、兵庫県農林水産部農地整備課調査計画係及び各土地改良事務所の担当者の方々には、調査

地点の設定について全面的な協力を賜った。記して厚く謝意を表します。

材料及び方法

1 採水地点

主要利水地点として、かんがい受益面積100ha以上の農業用排水路について、県下に45カ所(用水42カ所、排水3カ所)の調査地点を設定し、1996年から3年間かけて調査した。図1に調査地点の位置を示した。採水地点の用水については、原則として取水地点直下流、排水については河川等に放流直前の地点とした。なお図中の東播用水は、東播用水事業に係る用水を示し、加古川の支流である淡河川・山田川を水源としており、調査地点は加古川流域の下流部に位置し混住化が進展している地域である。



- No. 1~20 加古川水系(1996年調査)
- ①~③ 排水路
- No.21~30 東播用水(1997年調査)
- No.31~42 但馬・西播・淡路(1998年調査)

図1 採水地点位置図

2 採水方法

5月から12月にかけて1地点につき、水稲かんがい期間中に5回、非かんがい期間中に2回、採水した。かんがい期間中の採水時期は、水稲の生育時期にあわせて、代かき～活着期、分けつ期、幼穂形成期、穂ばらみ～出穂期、登熟期に各1回採水した。用水を直接ポリエチレン容器に2リットル取り、直ちにクーラーに収納し、実験室に持ち帰ったものを検水とした。溶存酸素については、排水路の試料のみ専用の溶存酸素ビンを用いて、採水直後に酸素を定着させて密栓し、水を満たしたふた付き容器にビンを沈めた状態でクーラーに収納した。

なお、降雨及び採水時刻との関係で水質が大きく変動する可能性があるため、調査日には雨天時を避け、また同一地点では、ほぼ同じ時間帯に採水を行い、できるだけ平常時の水質が得られるよう配慮した。

3 分析測定項目と前処理法

pH, RpH, 電気伝導度 (EC), 溶存酸素 (DO), 酸化還元電位 (ORP), 濁度, 懸濁物質 (SS) (排水路試料のみ), 化学的酸素要求量 (COD), 溶存態の化学的酸素要求量 (COD (F)) (1997～1998年のみ), 全窒素 (T-N), 硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$), アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$), 全リン (T-P), 溶存態リン (S-P), カリウム (K), ナトリウム (Na), カルシウム (Ca), マグネシウム (Mg), 塩素イオン (Cl), 硫酸イオン (SO_4), pH4.8アルカリ度 (1998年のみ) の各成分を定量した (以下括弧内の略号で示す)。なお、流量についても水路の水が流れているか滞留しているかの状況を把握し、水質測定結果を考察するために測定した。また、排水路試料の、生物化学的酸素要求量 (BOD) については、他機関に分析を委託した。pH, RpH, EC, DO, ORP, SS, COD, T-N, T-P, pH4.8アルカリ度については、懸濁物質を分離せずに、検水をそのまま用い、採水当日か遅くとも翌日中に前処理または測定した。 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, S-P, COD (F), K, Na, Ca, Mg, Cl, SO_4 については、No. 5 C のろ紙でろ過し、5℃で保管後、2週間以内に分析に供した (COD (F) のみ採水翌日中に測定)。

4 試験方法

(1) 水質分析方法

分析は、工場排水試験法JIS, K0102³⁾ または常法⁹⁾ によった。すなわち、pH, RpH はガラス電極法, EC, ORP は各メーター, DO はウインクラージ化ナトリウム変法 (排水のみ) または溶存酸素計による測定, COD, COD (F) は100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量の測定法, T-N はデバルダ合金硫酸分解後水蒸気蒸留法¹⁰⁾, $\text{NH}_4\text{-N}$ はインドフェノールブ

ルー比色法, T-P は硝酸過塩素酸分解後 S-P とともにモリブデンブルー比色法, K 及び Na は炎光光度法, Ca 及び Mg は原子吸光光度法, pH4.8アルカリ度は滴定法によりそれぞれの項目を測定した。流量については、流量によって求めた水路断面と採水時の水深から流積を求め、現場測定した流速を掛けて算出した。

(2) 生物学的水質判定法¹⁰⁾

1997年に加古川水系の主要利水地点のうち河川5地点と用排水路5地点の合計10地点を調査地点とした。河川では、浅瀬の石の下に生息する生物の種類数、用排水路では水路内に生息する生物の種類数の調査を採水調査時に年7回実施した。測定値の種類数は、調査7回での延べ数とし、水質分析も同時に行った。

(3) 紫外吸光光度法による水質判定法

有機物含量や $\text{NO}_3\text{-N}$ と紫外吸光度との相関が高いことが明らかにされているため^{2) 5)}, 1998年に但馬、西播、淡路の12地点において、採水全試料について波長200～400nmの紫外吸光スペクトルを測定し、COD, $\text{NO}_3\text{-N}$ との相関を調査した。

結 果

全採水地点別の水質分析結果の平均値を表1に示した。農業用水基準を超える地点は平均値でみて、T-N (基準: 1mg/l以下) で25地点 (56%), pH (基準: 6.0～7.5) で19地点 (42%), COD (基準: 6mg/l以下) で8地点 (18%), EC (基準: 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下) で1地点 (2%) あった。全42地点の用水については、一部市街化地域で汚濁程度の高い地点もあったが、全般的に汚濁程度は低い状況であった。排水については、調査カ所数が加古川水系の3カ所のみと少なく詳細な検討はできないが、COD, T-N, T-P 等がやや高い値を示したものの、周辺用水との差は小さかった。排水のみで調査したSS, BODともそれぞれ農業用水基準 (100mg/l以下)、環境基準 (8mg/l以下) 値内であった。

また、各地域別及び時期別に各分析項目の基本統計量を算出し、表2に示した。時期別にみると、加古川水系では、かんがい期、特に代かき～活着期にEC, COD, T-N, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, T-P, Na, Cl, SO_4 , SSが高くなる傾向がみられた。対して東播用水では、T-P, S-P 以外は全て非かんがい期に水質悪化傾向がみられ、特にEC, COD, $\text{NH}_4\text{-N}$, Cl, SO_4 でその傾向が強かった。但馬・西播・淡路地域では、時期別の変動は少なかった。

加古川水系における調査項目間の単相関係数を表3に示した。相関の高い項目として、0.1%水準で有意なものは、pHとEC, COD, ECとCOD, T-P, S-P, K, Na,

表1 農業用排水路の採水地点別水質調査結果

用水路		地点 番号	採水地点概要	流下距離 (km)	人口 (人)	pH	RpH	DO (mg/L)	ORP (mV)	EC (μ S/cm)	COD (mg/L)	COD(F) (mg/L)	T-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	S-P (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	アルカリ度 (me/L)
Na 1	加古川上流(畑川上流)	1.6	1	7.0	-	-	-	62	2.0	-	0.7	0.32	0.07	0.028	0.018	0.6	4.1	5.8	1.9	5.4	4.4	-		
Na 2	加古川上流(篠山川上流)	40.6	4448	6.9	-	-	-	103	2.3	-	1.0	0.59	0.11	0.054	0.029	1.8	6.4	9.9	2.5	8.5	9.2	-		
Na 3	加古川上流(篠山川下流)	53.2	8896	7.0	-	-	-	125	3.1	-	1.0	0.54	0.18	0.065	0.032	2.1	9.7	10.3	2.8	14.6	9.6	-		
Na 4	加古川上流(篠山川下流)	74.4	22241	7.0	-	-	-	143	3.8	-	1.4	0.67	0.33	0.164	0.047	2.8	10.1	11.5	3.0	15.3	10.3	-		
Na 5	加古川上流	45.6	21224	6.5	-	-	-	108	0.5	-	1.5	1.43	0.06	0.054	0.018	1.4	7.5	10.7	2.5	9.5	9.8	-		
Na 6	加古川上流(葛野川下流)	4.6	13595	6.5	-	-	-	89	1.3	-	1.5	1.33	0.08	0.048	0.027	1.4	6.3	8.6	2.1	7.9	8.3	-		
Na 7	加古川上流(篠山川下流)	128.2	45942	7.8	-	-	-	131	3.0	-	1.2	0.74	0.15	0.071	0.035	2.2	8.2	12.2	2.4	10.9	8.9	-		
Na 8	加古川中流	214.2	81255	6.7	-	-	-	122	2.3	-	1.4	1.19	0.05	0.081	0.029	2.0	11.4	10.2	2.0	12.8	13.5	-		
Na 9	加古川中流	231.2	89299	7.0	-	-	-	151	2.5	-	1.3	1.03	0.07	0.082	0.029	2.3	15.3	10.6	2.0	16.5	18.5	-		
Na10	ため池(加西市)	0.1	1	8.0	-	-	-	143	6.1	-	0.8	0.13	0.27	0.035	0.010	1.6	8.2	12.6	3.5	10.7	11.9	-		
Na11	ため池(社町)	0.1	1	6.5	-	-	-	42	2.4	-	0.3	0.11	0.11	0.017	0.007	1.0	5.0	2.9	0.5	4.7	6.1	-		
Na12	加古川中流	365.2	185532	7.6	-	-	-	219	3.1	-	1.2	0.94	0.08	0.081	0.041	2.6	28.3	12.0	2.0	16.7	40.5	-		
Na13	加古川中流	369.2	195211	7.7	-	-	-	331	6.8	-	1.9	0.91	0.28	0.350	0.193	25.6	39.3	12.0	2.9	25.5	28.1	-		
Na14	加古川下流(東条川下流)	54.6	16310	7.4	-	-	-	185	4.0	-	0.9	0.50	0.08	0.083	0.028	3.2	14.1	16.4	2.1	25.0	13.9	-		
Na15	加古川下流	428.0	200050	7.5	-	-	-	264	3.9	-	0.9	0.58	0.08	0.128	0.039	4.2	17.1	24.9	2.4	30.8	34.6	-		
Na16	ため池(小野市)	0.5	1	7.0	-	-	-	110	3.1	-	0.6	0.42	0.13	0.031	0.007	2.3	7.6	10.3	1.7	8.9	14.9	-		
Na17	加古川下流(美藪川下流)	76.4	49089	7.9	-	-	-	239	8.8	-	1.8	0.73	0.17	0.309	0.128	4.6	20.6	20.9	3.5	21.5	21.2	-		
Na18	加古川下流(美藪川下流)	86.4	88522	7.9	-	-	-	247	8.5	-	1.8	0.62	0.18	0.384	0.116	4.8	20.5	21.1	3.5	21.9	21.1	-		
Na19	加古川下流	579.8	412615	8.0	-	-	-	227	4.2	-	1.7	0.97	0.21	0.103	0.058	3.8	21.1	16.1	2.5	22.4	28.8	-		
Na20	加古川下流	583.8	425781	7.3	-	-	-	235	4.8	-	2.0	1.19	0.16	0.140	0.093	4.3	20.5	17.6	3.0	23.2	24.7	-		
Na21	淡河川上流	-	-	7.9	7.2	7.8	213	294	4.9	4.6	2.1	1.40	0.23	0.116	0.047	5.5	30.0	21.9	3.4	46.0	20.6	-		
Na22	ため池(神戸市)	-	-	7.5	7.0	7.6	244	90	2.4	2.3	0.9	0.56	0.04	0.136	0.024	2.1	7.5	8.3	1.5	8.3	7.6	-		
Na23	淡河川下流	-	-	8.2	7.1	7.7	223	97	6.6	4.1	1.7	0.43	0.05	0.246	0.033	2.4	7.7	8.0	1.4	9.2	8.8	-		
Na24	ため池(神戸市)	-	-	7.7	7.2	6.5	222	165	4.9	4.0	1.1	0.54	0.06	0.097	0.028	3.3	13.3	13.3	2.2	17.7	12.7	-		
Na25	ため池(稲美町)	-	-	8.2	7.4	9.2	194	172	4.9	4.0	0.9	0.39	0.02	0.156	0.055	3.7	12.1	16.0	2.4	13.6	14.7	-		
Na26	ため池(稲美町)	-	-	9.6	7.1	7.9	171	198	12.7	8.8	1.6	0.32	0.14	0.340	0.138	5.8	13.0	16.7	2.0	16.2	17.8	-		
Na27	ため池(稲美町)	-	-	8.3	7.2	9.1	196	159	4.5	3.6	0.9	0.39	0.04	0.422	0.036	2.8	11.9	14.4	2.0	12.7	13.0	-		
Na28	ため池(稲美町)	-	-	9.1	7.6	7.1	181	198	10.3	7.7	1.1	0.00	0.12	0.121	0.025	6.7	10.3	20.6	3.0	14.3	24.3	-		
Na29	ため池(神戸市)	-	-	8.3	7.4	9.3	199	160	4.1	3.3	1.0	0.62	0.03	0.100	0.039	3.0	11.9	14.1	2.1	14.0	13.1	-		
Na30	ため池(神戸市)	-	-	9.6	7.3	11.9	143	153	3.7	2.8	0.7	0.26	0.04	0.063	0.020	2.3	12.2	14.4	1.8	12.6	12.5	-		
Na31	円山川中流(稲葉川下流)	-	-	7.0	7.2	8.8	213	106	1.8	1.2	1.2	0.94	0.05	0.077	0.025	1.2	8.0	8.9	3.0	9.4	7.2	0.589		
Na32	円山川中流	-	-	7.1	7.4	7.6	215	109	1.8	1.2	1.1	0.71	0.05	0.057	0.029	1.3	7.2	10.0	3.4	7.5	8.0	0.680		
Na33	円山川中流(出石川下流)	-	-	6.7	7.3	7.5	186	87	1.9	1.4	0.9	0.44	0.05	0.075	0.019	1.3	7.5	6.8	2.2	8.8	4.8	0.493		
Na34	揖保川上流	-	-	7.3	7.4	9.0	208	54	1.5	1.2	0.7	0.37	0.02	0.018	0.005	0.6	3.7	6.5	1.0	3.5	3.7	0.344		
Na35	揖保川中流	-	-	7.5	7.5	9.2	206	70	1.8	1.4	0.9	0.55	0.03	0.115	0.063	0.9	5.1	8.6	1.2	4.8	5.0	0.405		
Na36	揖保川下流	-	-	7.7	7.7	8.7	189	138	3.3	2.5	1.5	0.82	0.11	0.153	0.104	2.1	9.7	14.5	2.2	12.0	9.6	0.681		
Na37	市川上流	-	-	7.2	7.5	9.1	224	68	1.4	1.0	0.8	0.55	0.03	0.025	0.010	1.0	4.4	9.1	1.0	4.1	9.2	0.318		
Na38	市川下流	-	-	7.5	7.6	9.5	197	184	3.3	2.4	1.5	1.00	0.05	0.074	0.026	2.2	16.9	17.6	1.8	11.4	41.0	0.501		
Na39	千種川下流	-	-	7.2	7.8	8.2	209	107	2.3	1.7	1.0	0.64	0.03	0.049	0.024	1.4	6.2	12.9	2.2	5.9	8.0	0.661		
Na40	ため池(洲本市)	-	-	6.9	7.4	7.4	238	85	1.9	1.7	1.0	0.62	0.04	0.007	0.002	0.9	8.9	7.1	1.4	9.9	10.3	0.272		
Na41	ため池(三原町)	-	-	7.9	7.4	8.5	190	98	3.1	2.6	1.3	0.80	0.05	0.066	0.032	0.9	9.4	8.6	1.7	10.0	11.6	0.327		
Na42	ため池(南淡町)	-	-	7.4	7.5	8.4	213	113	2.5	2.3	0.9	0.45	0.05	0.007	0.001	1.0	11.1	9.8	1.9	11.3	14.2	0.393		
排水路		地点 番号	採水地点概要	流下距離 (km)	人口 (人)	pH	RpH	DO (mg/L)	SS (mg/L)	EC (μ S/cm)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	S-P (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	アルカリ度 (me/L)
排Na1	加古川上流(篠山川)	-	-	6.9	-	9.7	8	115	5.8	3.5	1.9	1.30	0.07	0.105	0.059	3.7	7.3	10.9	2.1	10.7	10.1	-		
排Na2	加古川中流(万願寺川)	-	-	8.8	-	13.1	15	224	4.8	2.7	1.4	0.79	0.12	0.253	0.094	5.1	23.3	11.5	2.1	17.8	33.5	-		
排Na3	加古川下流(草谷川)	-	-	7.4	-	8.8	28	279	8.2	4.5	2.0	0.96	0.25	0.288	0.133	6.5	20.0	23.3	4.2	24.7	24.1	-		

注1) 流下距離: 採水地点から上流の支流を含む河川の距離を合計したもの、人口: 採水地点から上流域の人口の推定数

2) 下線は農業用水基準超過

表2 農業用排水路の地域別及び時期別の水質調査結果

地域区分	項目	pH	RpH	DO (ng/l)	ORP (mV)	EC (μS/cm)	COD (mg/l)	COD(F) (mg/l)	T-N (ng/l)	NO ₃ -N (ng/l)	NH ₄ -N (ng/l)	T-P (ng/l)	S-P (ng/l)	K (ng/l)	Na (ng/l)	Ca (ng/l)	Mg (ng/l)	Cl (ng/l)	SO ₄ (ng/l)	アルカリ度 (me/l)
加古川水系	平均値	7.3	-	-	-	164	3.8	-	1.3	0.75	0.14	0.115	0.049	3.7	14.1	12.8	2.4	15.6	16.9	-
	最大値	9.1	-	-	-	503	15.1	-	3.4	1.98	1.79	0.780	0.376	76.5	71.3	47.0	5.0	65.8	92.2	-
	最小値	6.0	-	-	-	37	0.1	-	0.1	0.00	0.00	0.006	0.006	0.5	3.8	2.0	0.4	4.5	3.8	-
	変動係数 (%)	9	-	-	-	60	71	-	71	58	155	114	112	199	84	50	36	66	81	-
	灌漑期平均値	7.3	-	-	-	176	4.2	-	1.3	0.75	0.14	0.123	0.053	3.2	14.1	13.5	2.5	16.5	18.1	-
	非灌漑期平均値	7.1	-	-	-	134	2.8	-	1.1	0.74	0.14	0.096	0.040	5.1	13.9	11.2	2.3	13.5	14.0	-
	代かき～活着期	7.3	-	-	-	220	5.4	-	1.6	0.91	0.40	0.131	0.048	4.3	20.3	16.8	3.1	24.8	26.6	-
東播用水	平均値	8.3	7.2	8	212	178	5.9	4.6	1.3	0.56	0.09	0.162	0.042	4.0	14.1	15.4	2.3	18.7	15.2	-
	最大値	10.7	9.1	13	302	479	19.8	10.2	3.6	2.51	0.58	0.680	0.261	8.0	55.9	31.3	4.7	79.5	30.4	-
	最小値	6.9	6.7	5	107	68	1.9	1.8	0.5	0.00	0.00	0.014	0.000	1.7	5.5	5.7	0.9	5.2	6.2	-
	変動係数 (%)	10	6	23	21	44	64	49	54	102	125	96	102	47	67	37	36	83	40	-
	灌漑期平均値	8.2	7.4	9.8	217	172	5.2	4.3	1.2	0.52	0.06	0.197	0.048	3.6	12.3	14.7	2.2	15.3	13.8	-
	非灌漑期平均値	8.5	6.9	6.3	201	188	7.5	5.5	1.6	0.66	0.15	0.102	0.036	4.9	17.3	16.8	2.6	25.1	18.3	-
	代かき～活着期	8.5	7.4	11.6	223	171	4.4	3.4	0.9	0.50	0.08	0.096	0.024	3.4	13.6	15.0	2.2	16.7	15.2	-
但馬路・た西め播池	平均値	7.3	7.5	8.5	207	102	2.2	1.7	1.1	0.66	0.05	0.060	0.028	1.2	8.1	10.0	1.9	8.2	11.0	0.472
	最大値	9.2	8.0	13.1	313	288	7.0	6.7	3.3	1.80	0.43	0.505	0.249	5.9	40.8	30.6	5.1	22.1	99.9	1.364
	最小値	6.2	6.5	4.4	14	41	0.9	0.3	0.4	0.19	0.00	0.000	0.000	0.5	0.5	0.8	2.9	3.3	0.216	
	変動係数 (%)	8	4	20	19	44	47	52	41	42	120	123	158	54	60	43	44	44	115	39
	灌漑期平均値	7.4	7.5	8.0	197	105	2.3	1.7	1.0	0.59	0.06	0.055	0.026	1.2	7.9	9.8	1.9	8.1	10.1	0.474
	非灌漑期平均値	7.0	7.6	9.9	233	93	2.0	1.7	1.2	0.83	0.03	0.074	0.034	1.4	8.8	10.7	2.1	8.5	13.5	0.468
	代かき～活着期	7.2	7.2	7.4	207	97	1.9	1.4	1.3	0.66	0.07	0.048	0.019	1.1	7.4	8.9	1.8	8.1	9.0	0.398
農業用水基準	6.0~7.5		5以上		300以下	6以下		1以下												
基準超過率 (%)	42		0		2	17		56												

注) 下線は農業用水基準超過または、変動係数が100%以上

表3 加古川水系における調査項目間の単相関係数

項目	流下距離	人口	pH	EC	COD	T-N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	T-P	S-P	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	流量
1 流下距離	1.000	0.966	0.395	0.686	0.176	0.517	0.429	0.092	0.245	0.360	0.364	0.681	0.467	0.140	0.674	0.793	0.552
2 人口	-	1.000	0.415	0.651	0.237	0.567	0.411	0.151	0.265	0.390	0.314	0.632	0.464	0.192	0.623	0.723	0.537
3 pH	-	-	1.000	0.715	0.778	0.328	-0.212	0.489	0.530	0.417	0.340	0.579	0.657	0.609	0.597	0.559	0.384
4 EC	-	-	-	1.000	0.715	0.641	0.217	0.367	0.771	0.711	0.689	0.915	0.775	0.562	0.914	0.831	0.391
5 COD	-	-	-	-	1.000	0.443	-0.239	0.577	0.833	0.721	0.472	0.591	0.647	0.686	0.591	0.405	0.136
6 T-N	-	-	-	-	-	1.000	0.723	0.293	0.688	0.616	0.454	0.621	0.471	0.632	0.512	0.408	0.264
7 NO ₃ -N	-	-	-	-	-	-	1.000	-0.247	0.126	0.110	0.133	0.287	0.110	0.126	0.173	0.253	0.255
8 NH ₄ -N	-	-	-	-	-	-	-	1.000	0.455	0.450	0.451	0.310	0.151	0.593	0.225	0.066	-0.159
9 T-P	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	0.872	0.659	0.713	0.592	0.619	0.631	0.431	0.094
10 S-P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	0.805	0.769	0.343	0.373	0.529	0.412	0.053
11 K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	0.781	0.175	0.274	0.497	0.407	-0.104
12 Na	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	0.483	0.356	0.750	0.831	0.491
13 Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	0.621	0.851	0.628	0.307
14 Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	0.456	0.219	-0.007
15 Cl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	0.754	0.376
16 SO ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	0.698
17 流量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000

注1) 流下距離：採水地点から上流の支流を含む河川の距離 (km) を合計したもの、人口：採水地点から上流域の人口の推定数
2) 下線は0.1%水準で有意の場合

表4 農業用排水路の生物調査結果 (加古川水系)

地点番号	調査地点概要	水質指標生物種類数 (延べ数)						合計	指数 a	指数 b
		A	B	C	D					
No.2	篠山川上流	19	8	6	1	34	53	38		
No.7	篠山川下流	9	5	13	2	29	38	6		
No.8	加古川中流 (用水路)	0	7	5	0	12	12	2		
No.12	加古川中流	9	6	6	0	21	30	18		
No.13B	加古川中流 (排水路:汚濁前)	0	1	6	4	11	11	-13		
No.13	加古川中流 (排水路:汚濁後)	1	1	5	0	7	8	-2		
No.13A	加古川中流 (排水路:汚濁後)	0	1	7	3	11	11	-12		
No.18	美濃川下流	5	1	10	1	17	22	-1		
No.19	加古川下流	6	7	6	1	20	26	11		
排No.2	万願寺川 (排水路)	1	1	3	1	6	6	-2		

注1) 水質指標生物種類数：生息を確認した生物種類のうち、環境庁、建設省、ベック-津田法などで水質の指標生物とされているものの延べ数 (調査7回)
A：きれいな水にすむ生物、B：少し汚れた水、C：汚れた水、D：大変汚れた水
2) 指数 a：生物学的な水質判定指数 a=A×2+B+C+Dとした
指数 b：生物学的な水質判定指数 b=A×2+B×1+C×(-1)+D×(-2)とした

表5 生物学的な水質判定指数と各分析項目間の単相関係数

項目	指数 a	指数 b	項目	指数 a	指数 b
pH	-0.436	-0.485	NH ₄ -N	-0.512	-0.440
RpH	-0.413	-0.333	T-P	-0.547	-0.472
DO	-0.242	-0.401	S-P	-0.523	-0.482
ORP	0.593	0.564	K	-0.488	-0.372
EC	-0.547	-0.381	Na	-0.592	-0.362
COD	-0.601	-0.535	Ca	0.120	-0.006
COD (F)	-0.592	-0.544	Mg	0.066	0.006
T-N	-0.743	-0.582	Cl	-0.643	-0.469
NO ₃ -N	-0.075	0.093	SO ₄	-0.265	-0.056

注) 下線は5%水準で有意の場合

Ca, Cl, SO₄, CODとT-P, S-P, Mg, T-NとNO₃-N, T-P, T-PとS-P, Na, S-PとK, Na, KとNa, NaとCl, SO₄, CaとCl, ClとSO₄, 流量とSO₄であった。また, 表には示さないが, 東播用水では, 0.1%水準で有意なものは, ECとNa, Ca, Cl, CODとCOD(F), COD(F)とK, T-PとCl, KとSO₄, NaとCl, CaとMg, SO₄, MgとSO₄であった。また, 但馬・西播・淡路地域では, ECとT-N, K, Na, Ca, CODとCOD(F), T-NとNO₃-N, T-PとS-P, KとCa, NaとCl, SO₄であった。

加古川水系における河川及び農業用排水路の生物調査結果を表4に示した。河川では, きれいな水にすむ生物(ナガレトビケラ類, カゲロウ類, ウズムシ類, カワゲラ類, ヘビトンボ類等)は上流地点で多く, 下流地点では少なかった。少し汚れた水にすむ生物(ヒラタドROMシ類, コオニヤンマ類, カワニナ類, スジエビ類), 汚れた水にすむ生物(タイコウチ類, ミズムシ類, ガムシ類, シジミ類, タニン類, モノアラガイ類, ヒル類, タンスイカイメン類), 大変汚れた水にすむ生物(サカマキガイ類, アメリカザリガニ類)の種類数は上流, 下流とも大きな差はなかった。用排水路では, きれいな水にすむ生物が極端に少なく, 貝類等の汚れた水にすむ生物が多かった。

紫外吸光度とCOD(F), NO₃-Nの関係を図2に示した。紫外吸光スペクトル測定の結果, 溶存態のCODであるCOD(F)と260nmの吸光度E260の間には, 相関係数0.828の高い正の相関があった。また, NO₃-NとE210の間にも相関係数0.828の高い正の相関があった。特にKNO₃を標準物質として紫外吸光度を測定したところ, NO₃-NとE210の間には, 5mg/lまで直線性が認められた(相関係数0.966)。

考 察

1 基本統計量

平均値では, pHの高い地点が多かったが, RpH(きれいな大気で十分通気後のpH)を測定するとpHが基準内に収まった。このことは, 用水中で藻類の光合成による水中の二酸化炭素の消費が引き起こしたpHの上昇であり, 化学物質が原因ではないと考えられる¹⁰⁾。また, T-Nで1mg/lの基準値を超える場合が多かったが, 最近では降水でもこれを超えることがあり, この基準値は現実的には厳しすぎると思われる。実際, 水稻に過繁茂等の影響が出てくるのは3mg/lを超えてからという試験結果も多く出されている⁹⁾。

最大値では, 極端に高い数値を示している地点があり, これらは, 何らかの汚濁源の直下にあると考えられる。最小値では, ほとんど0に近い値を示す場合もあった。

T-P, S-P, NH₄-Nでは, 変動係数が100%以上と大きく, 点源汚染により極端に高い濃度を示すことがあると考えられる。

時期別には, 加古川水系では, かんがい期, 特に代かき~活着期に水質悪化傾向がみられた。代かき~活着期は, 肉眼でも濁りが感じられるほどで, 田植え時の落水による影響が考えられる。また, 加古川の取水は70%が農業用水として利用されており, かんがい期の水質悪化傾向は, 農業活動の影響が大きいと推察される。

東播用水では, 非かんがい期に水質悪化傾向がみられた。これは, ため池を中心としており, 非かんがい期には流量が減少し, 生活排水の影響をより強く受けるためと考えられる。また, かんがい期では, 用水がため池に貯留されているため, 藻類による無機態窒素や, その他栄養塩類の吸収が起こることも, 水質悪化が抑えられる原因の一つとなろう。

但馬(円山川水系)・西播(市川, 揖保川, 千種川水

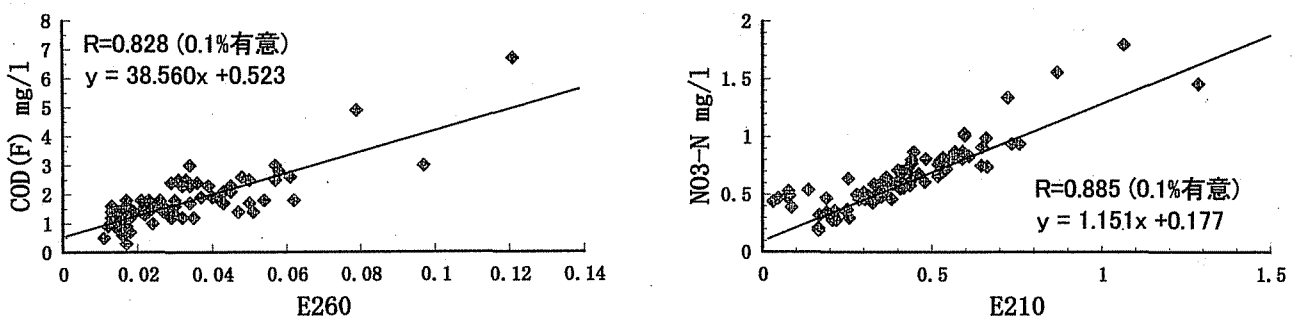


図2 紫外吸光度E260とCOD(F)の関係及びE210とNO₃-Nの関係

系)・淡路地域(ため池)で、時期別の変動が少なかったのは、全般に河川上流部の良好な水質の地点が多かったためと考えられる。

富栄養化に関わる T-N, T-P 濃度の県内分布をみると、T-N は以前の調査結果よりも全域で高くなっており、特に河川の下流域で高かった。また、T-P も河川の下流域で高く、地域的には東播用水や美濃川で高く、生活排水の影響を受けているものと思われた。

2 調査項目間の相関と汚濁原因

調査項目間の相関をみると、加古川水系で相関の高い項目が多かった。これは一つの汚濁原因に影響を受ける項目が重複化しているため、また、上流から下流まで一つの河川について調査点数を多数確保でき、かつ濃度差が大きかったため相関が高く現れたと考えられた。

また、相関の低い項目が多かった東播用水はため池を中心とした、似通った狭い地域であったこと、但馬・西播・淡路地域は、一つの河川での調査点数が少なく、濃度差も小さかったことが原因と思われた。

そこで、加古川水系において、採水地点から上流の支流を含む河川等の水路の距離を合計した値(以下流下距離という)と採水地点から上流の人口の推定数(以下流域人口という)を地図及び統計から求め、各分析項目との相関を求めた。その結果、流下距離及び流域人口と SO_4 , EC, Na, Cl, T-N との相関が高く、これらの項目は人為的な影響が大きい項目と考えられた。

人為的影響としては、生活系、工業系、農業系の負荷が考えられる。生活系では、窒素、リン、有機物等を始め各種塩類を含んでおり、相関の高かった T-N や Na, Cl (食塩) が高く、 SO_4 も含まれている。また、工業系では、加古川水系の上中流域に染色、パルプ工場が存在しており、これらはボウショウ (Na_2SO_4) を大量に使用するため、排水中の Na, SO_4 が高くなり、その影響を受けている可能性がある。

また、降水中にも SO_4 , NO_3-N , NH_4-N 等が含まれており、これらは、化石燃料の消費により人為的に排出された窒素酸化物や硫黄酸化物が変化したものと考えられており⁷⁾、都市部の降水に多く含まれる。

一方、自然系の負荷として、 SO_4 , Na, Cl については、海塩粒子の影響も原因の一つと考えられる。これらイオン類は風送塩として河川流域へ降下する量が下流ほど多くなる。また、降水中には各種イオン類が含まれており、環境庁の全国調査(1994年)によるとアニオン類は、Cl, SO_4 , NO_3-N の順に多く、カチオン類は、Na, NH_4-N , Ca, Mg, H の順に多く含まれていた。さらに SO_4 については、地質的に鉱山、温泉地帯等でも高くな

る。

次に、流下距離及び流域人口との相関が低い項目は、 NH_4-N , Mg であった。 NH_4-N はし尿排水に含まれており、人為的影響が大きいはずであるが、相関が低かった。このことは、採水地点と NH_4-N を含む排水の流入位置の近い地点があったために濃度がばらついた可能性が考えられる。また、 NH_4-N は変化しやすいため、流下するにつれて減少して、相関が低くなった可能性も考えられる。Mg は調査時期や採水地点に関わらず変動が少なく、これは地質の影響を強く受けており、人為的な影響は少ないと考えられた。

3 簡易な水質判定法の検討

水質を判定するには、前述のように多くの項目を分析する必要があり、短時間で分析しなければならない。また化学分析は多くの時間と試薬を要するものが多い。そこで化学分析を伴わないで、水質を判定できる生物学的水質判定法と紫外吸光度法による簡易分析の可能性を検討した。また、今回初めて硝酸態窒素の測定を行ったが、全窒素に対する硝酸態窒素の比に着目し、水質判定法への利用可能性についても考察した。

(1) 生物学的水質判定法

河川の水質をそこにすむ生物相によって評価する方法は、その地点の水質を過去の時点から、総合的、累積的に判断できる特徴がある。実施に当たっては、その種類数、個体数を調査する必要がある。しかし個体数については、季節変化を伴い、大きな変動を示すため、精度を上げるには必要調査回数が増え、簡易測定には不向きである¹⁹⁾。

また今回は、種の数だけで水質の良否を判断すると、きれいな水と汚れた水での差が少なく区別できないため、生物学的水質判定指数の定義を試みた。指数 a では、きれいな水にすむ生物の種類数に 2 倍の重みを付け、その他はそのままとして合計し、きれいな水であるほど指数が大きくなるようにした。指数 b では、きれいな水にすむ生物の種類数を 2 倍、少し汚れた水にすむ生物はそのまま、汚れた水にすむ生物を (-1) 倍、大変汚れた水にすむ生物を (-2) 倍して合計し、きれいな水は正の値、汚れた水は負の値を示すようにした。

この生物学的水質判定指数と各分析項目間の単相関係数を表 5 に示した。本指数と水質分析結果の平均値(7 回分)との単相関係数をみると、5%水準で有意な負の相関を示したのは、指数 a と T-N, Cl であった。この結果から指数 a は、水質判定の重要項目である T-N と高い相関を示したため、生物学的水質判定法として利用できる可能性が示唆された。

(2) 紫外吸光度法による水質判定法

有機物含量と紫外吸光度との相関が高いことが明らかにされているため²⁾、CODの簡易分析の可能性を検討した。CODの分析は、4種類の試薬と100℃30分間加熱後の滴定等、経費と手間を要する。しかし、本法は使用器具としては分光光度計のみで、試薬や前処理を必要とせず、瞬時に測定できる利点がある。

紫外吸光スペクトル測定の結果、吸収ピークはみられなかったが、溶存態のCODであるCOD(F)と260nmの吸光度E260との間には相関係数0.828の高い正の相関がみられた。また、E260との相関はCODよりもCOD(F)の方が高く、これはSSに由来するCODが多いと、分析精度が劣ることを示唆している。精度を上げるためには、ろ過した方がよいと思われた。今回の供試試料の場合、COD(F)の値は0.3~6.7mg/lであったが、この範囲では検量線の直線性がみられた。次に、210nmの吸光度E210とNO₃-Nとの相関も高いとされており³⁾、検討したところ、今回の試料でも相関係数0.885の高い正の相関があった。これらのことから、紫外吸光度測定により、COD(F)とNO₃-Nを同時に簡易分析できる可能性があると思われた。ただし、これらの利用に当たっては共存物質の影響等を調べて、適用条件を明確にし、さらに精度の高い検量線を作成する必要がある。

(3) 全窒素に対する硝酸態窒素の比

T-NとNO₃-Nは環境中で常に各種要因により様々な変化を受けていることから、その動態を把握するため、T-Nに対するNO₃-Nの比を検討した。ため池についてみると加古川水系では0.39、東播用水では0.40、淡路地域では0.58であった。また、河川水でみると、加古川水系ではその比が0.62、但馬地域では0.65、西播地域では0.69であった。さらにこの比とCODとの関係をため池及び河川について求め、図3に示した。

その結果ため池では、回帰式 $y = -9.026x + 8.312$ 、相関係数-0.821の高い負の相関がみられた。このことから、CODの発生源である藻類がNO₃-Nを吸収していることが推察された。淡路地域でNO₃-Nの比が大きくなったのは、採水地点が河川上流部のダムとなっているため栄養塩類が少なく、藻類の発生が抑えられて、CODが低くなったため、NO₃-Nが吸収されにくかったものと思われた。このことからため池では、CODとNO₃-Nを紫外吸光度法で簡易分析し、前記の回帰直線の関係式に当てはめれば、T-Nが計算できる可能性も考えられるが、さらに今後の検討を要する。

次に河川水についてみると、NO₃-N/T-NとCODとの相関係数は-0.674とため池よりも低くなり、藻類の影響以外の要因も大きいと思われた。NO₃-Nの発生源としては、農業における窒素施肥や家畜排泄物中の有機態窒素がNO₃-Nに変化し降雨により地表面流出したり、地下浸透して河川に流入する経路が大きいと考えられている。一方、河川には自浄作用があり、瀬における河岸の浸透層では、排水に含まれる全窒素負荷量の1/5が硝化作用を受けた事例が報告されている¹⁾。

これらのことから、加古川水系の河川でNO₃-N/T-Nが他地域よりも小さかった理由としては、生活排水からのT-Nとしての有機態窒素が自浄能力を超えて流入するため、あるいは、生活排水からの有機態窒素の流入量が農業系からのNO₃-N流入量よりも大きいことを示唆していると思われる。

1999年には、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素との含量が、人の健康の保護に関する環境基準に取り入れられた(基準値:10mg/l以下)。今後は、水質のチェック時に硝酸態窒素が必ず測定されることになる。T-Nとの比を監視することにより、河川等の自浄作用の大小や、農業系と生活系の窒素負荷の割合を判定する目安にできるもの

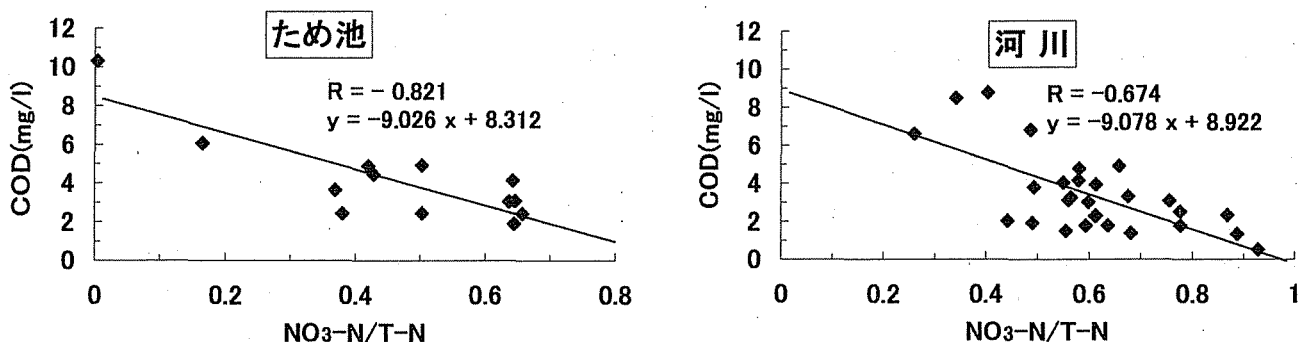


図3 ため池及び河川におけるNO₃-N/T-NとCODの関係

と思われる。

4 前回の水質調査結果との比較

前回、1986年から1988年にかけて、中央農業技術センターにおいて、同様の水質調査を県下主要利水地点66カ所について行っている⁸⁾。同一の分析地点での共通分析項目について結果を表6に比較して示した。全24カ所のうち、前回よりも3割以上数値が悪化していたのはECで2カ所(8%)、CODで8カ所(33%)、T-Nで21カ所(88%)であった。地域別にはECでは加古川下流部の東条川、美褒川、CODでは、加古川上流部の篠山川で悪化傾向がみられたが、全体的には改善傾向にあった。それに対してT-Nは大きく悪化傾向であった。農業用水基準超過カ所数は、pH、EC、CODでは前回に比べそれぞれ1カ所ずつ減少しているが、T-Nだけは逆に10カ所での増加がみられた。

この原因としては、まず、生活排水量の増加が考えられる。公共用水域へのT-N流入負荷の中で各種排水の占める割合をみると、滋賀県による琵琶湖の調査(1995年)では、生活系が25.6%、工業系が15.4%、農業系が11.3%、畜産系が4.1%、自然系が43.6%となっている。

年を追って負荷量は増加しており、農業系や工業系の占める割合が減少し、生活系の占める割合が増加する傾向にある。

また、県統計によると、前回調査始めの1986年から今回調査終了時の1998年にかけて当県人口は、168,053人増えており、1986年より3.2%増加している。人口増は、T-N発生負荷源の増加であり、当然T-N増加に結びつく。

次に、この間、水田の転作面積は10,556ha増え、1986年より14.7%も増加している。水田面積も5,644ha減少しており水田が12.7%も他用途に転換されている。水田は水質浄化に寄与している場合もあり、畑作は水稲に比べ窒素リンの負荷量が約5倍多くなるとみられているため¹⁰⁾、転作面積の増加がT-Nの増加に影響している可能性も考えられる。

今回の調査で前回調査データと比較できた地点数は4割弱と少なかったが、T-N以外は全体的に農業用水の水質は改善されてきていると思われた。これは、産業排水の排水規制や生活排水処理対策の効果が徐々に出てきているものと考えられた。しかし、対策の間に合わない地域、特に都市近郊の農村地域では引き続き汚濁が進行す

表6 前回(1986~1988年)と今回(1996~1998年)の水質調査結果の比較

地点 番号	採水地点概要	pH			EC (μS/cm)			COD (mg/l)			T-N (mg/l)		
		前回	今回	増減%	前回	今回	増減%	前回	今回	増減%	前回	今回	増減%
No.1	加古川上流(畑川上流)	7.4	7.0	-6	63	65	3	1.0	2.0	100	0.1	0.7	614
No.2	加古川上流(篠山川上流)	7.2	7.0	-3	120	116	-3	1.4	2.4	71	0.2	1.0	386
No.4	加古川上流(篠山川下流)	7.2	7.1	-1	163	166	2	2.9	3.8	31	0.6	1.4	126
No.5	加古川上流	6.6	6.5	-1	135	108	-20	1.3	0.6	-54	0.4	1.5	286
No.7	加古川上流(篠山川下流)	7.5	8.1	8	139	149	7	3.5	3.5	0	1.0	1.3	30
No.8	加古川中流	7.2	6.7	-6	188	124	-34	3.1	2.5	-19	0.9	1.4	52
No.9	加古川中流	7.5	6.9	-8	191	163	-15	2.7	2.7	0	0.8	1.4	75
No.11	ため池(社町)	7.1	6.4	-10	43	42	-3	2.0	2.7	35	0.2	0.3	43
No.12	加古川中流	7.2	7.3	1	260	238	-8	3.9	3.4	-13	0.8	1.4	75
No.14	加古川下流(東条川下流)	7.5	7.3	-3	161	216	34	4.4	4.5	2	0.3	0.9	200
No.17	加古川下流(美褒川下流)	8.4	7.7	-8	181	256	41	5.1	10.6	108	0.6	2.0	233
No.19	加古川下流	7.7	8.2	6	228	248	9	5.6	4.9	-13	1.0	1.7	67
No.20	加古川下流	8.2	7.6	-7	204	256	25	3.4	5.3	56	0.6	1.9	217
No.24	ため池(神戸市)	8.9	7.7	-13	250	180	-28	9.1	5.7	-37	1.6	1.1	-31
No.31	円山川中流(稲葉川下流)	7.6	7.0	-8	150	106	-29	4.0	1.8	-55	1.2	1.2	0
No.32	円山川中流	7.3	7.1	-3	316	109	-66	6.3	1.8	-71	2.6	1.1	-58
No.33	円山川中流(出石川下流)	6.9	6.7	-3	119	87	-27	2.3	1.9	-17	0.4	0.9	125
No.34	揖保川上流	7.3	7.3	0	46	54	17	1.1	1.5	36	0.3	0.7	133
No.35	揖保川中流	7.7	7.5	-3	85	70	-18	2.9	1.8	-38	0.5	0.9	80
No.36	揖保川下流	7.3	7.7	5	137	138	1	3.8	3.3	-13	0.6	1.5	150
No.37	市川上流	7.5	7.2	-4	81	68	-16	1.3	1.4	8	0.4	0.8	100
No.39	千種川下流	7.0	7.2	3	104	107	3	1.7	2.3	35	0.4	1.0	150
No.40	ため池(洲本市)	7.5	6.9	-8	85	85	0	2.0	1.9	-5	0.2	1.0	400
No.42	ため池(南淡町)	7.6	7.4	-3	111	113	2	4.2	2.5	-40	0.3	0.9	200
平均	24地点	7.5	7.2	-3	148	136	-8	3.3	3.1	-5	0.7	1.2	74

注) 下線は農業用水基準超過

ると考えられる。各家庭でも生活排水に注意するよう啓蒙することが必要になると思われる。

また最近は逆に農業が環境に影響を与えている面にも注目が集まっており、環境負荷を軽減するために、作物の生育に見合った適期適量施肥、流亡の少ない肥効調節型肥料や側条施肥法の利用、濁水を流さない水管理等の取り組みが求められている。また、有機農業や土づくり対策として堆肥等有機物の需要が増えており、良質な堆肥づくりのため、畜産廃棄物及び食品リサイクルの活用や農業集落排水事業とも連携した取り組みがますます必要になると考えられる。

以上のことから、農業用水の水質を注意深く監視していくことは、ますます重要になると思われる。また、今後の課題としては、汚濁原因の推定方法と効率的な調査分析方法の確立、さらに総合的な水質管理指標の策定等が考えられる。

引用文献

- (1) 伴道一・福田裕毅・木村晴保(2000): 河岸浸透層における硝化細菌量と瀬の硝化能力: 農土誌68, 477-485
- (2) 半谷高久・小倉紀雄(1995): 第3版水質調査法(丸善), 272-274
- (3) 兵庫県生活文化部環境局(1997): 平成8年度公共用水域の水質等測定結果報告書, 172-215
- (4) JIS(1996): 工場排水試験法, K0102, 1320-1405
- (5) 環境庁水質保全局水質管理課・土壤農業課監修(1996): 土壤地下水汚染と対策(財)日本環境測定分析協会, 171-172
- (6) 建設省河川局監修(1998): 1996日本河川水質年鑑(山海堂), 25-41
- (7) 國松孝男・村岡浩爾(1989): 河川汚濁のモデル解析(技報堂出版), 24-34
- (8) 桑名健夫・直原毅・砂野正・清水克彦・大谷良逸(1990): 1986年から1988年にかけての県下主要利水地点における農業用水の水質: 兵庫中央農技研報(農業38, 109-116
- (9) 増島博・日高伸(1994): 農業用水に求められる水質: 農土誌62, 33-36
- (10) 日本分析化学会北海道支部(1994): 第4版水の分析(化学同人), 142-143
- (11) 小野信一(1983): ケルダール法による農業用水の全窒素の定量: 土肥誌54, 159-160
- (12) 農業土木学会(1998): 清らかな水のためのサイエンスー水質環境学ー(農業土木学会), 35-42
- (13) 小川剛(1985): 兵庫県内主要河川の底生動物相による水域環境の評価: 兵庫県公害研究所研究報告第17号, 59-65
- (14) 谷幸三(1995): 水生昆虫の観察ー安全できれいな水をめざしてー(トンボ出版), 16-40
- (15) 和田安彦(1990): ノンポイント汚染源のモデル解析(技報堂出版), 81-84