

酪農地帯を流れる河川水質の汚濁評価*1

大村 邦男*2 黒川 春一*3

道内の標準的な酪農地帯をモデルに、河川水質の総合的な変動を解析すると共に藻類を用いた富栄養化度の評価を行った。①調査河川の水質に影響をもたらす負荷源としては、草地、畑地、林地及び酪農関連施設、放牧が考えられた。②河川水質は、水温と DO、SS と COD・T P、EC と Cl・ALK・Mg、 PO_4 -P と K 等で高い相関関係が認められた。③調査河川の水質変化は、懸濁態成分、塩類濃度、季節変化、人為的な汚濁によるとみられる 4 つの因子に大別され、主成分分析による寄与率は各々 35%、29%、13%、9% であった。④第 4 因子は、早春の融雪期及び降雨後に畜産施設や放牧地周辺で高まる傾向がみられ、その成分内容から酪農関連排水に基づく汚濁を表しているものと考えられた。⑤各地点から採取した河川水を用いて藻類生産潜在力を検討したところ、畜舎周辺や放牧地で富栄養化の進行が認められ、統計解析による結果を裏付けた。また、当地域を流れる河川の富栄養化がリンによる制限を受けていることがわかった。

I 緒 言

閉鎖系水域において富栄養化をもたらす原因となる栄養塩類の発生源の一つとして、農業地域から流出する肥料成分が注目されている^{1),2)}。

農業関連排水は工場排水や生活排水とは異なり、その発生源が面的な広がりを持つうえに、栄養塩類の流出過程が複雑である。そのため、ここから流出する栄養塩類の量的な把握は難しく、富栄養化との関連性についても不明な点が多い。

この様な中で、農業地域周辺で漁業を営む関係者からは、当該排水に対して厳しい指摘がなされており^{3),4)}、農業サイドとしてもこの問題についての対応が迫られている。現実には、道内における内海や河口周辺の沿海域では、富栄養化に関連するとみられる現象が発生しており⁵⁾、農地や畜産施

設からの栄養塩類の流出がこれらの現象に関与していることが予想された。特に、畜産経営に伴って発生する排水は大量の栄養塩類を含んでおり、その取り扱い次第では、周辺水域の水質に重大な影響をもたらすことも考えられる。

以上の背景を踏まえて、本試験では北海道の代表的な農業経営形態の一つである酪農地帯をモデルに、営農が河川水質に及ぼす影響を総合的に評価しようとした。すなわち、前報で⁶⁾当調査地域の河川水質の成分及び濃度変化を明らかにしたのに続いて、本報告では河川水質の変動を量的に把握するための解析と、藻類を用いた汚濁評価を試みた。

II 調査地域の概況と水質汚濁要因

水質調査に先立って、地域の土地利用および営農概況について調査し、酪農経営を中心にした水質汚濁要因を抽出した。

調査地域は全域が同じ土壌統(駒里統⁷⁾)に属しており、土壌条件はほぼ均一とみなされる。地形および土壌の代表的な断面とその化学性については別報⁸⁾に示したとおりである。このうち河川の水質に影響を及ぼすとみられる地域の面積は 202.2 ha で、その土地利用は、牧草地 42% (内放

1990年8月26日受理

*1 酪農地帯における肥料成分の流出と水質保全 (第3報)、本報の一部は、1986年度日本土壌肥料学会で発表した。

*2 北海道立中央農業試験場(現、北海道立北農農業試験場)、098-57 枝幸郡浜頓別町

*3 同上(現、電気化学工業株式会社、石灰窯普及会、060 札幌市中央区)

牧地 13%), 飼料作物を含めた畑地 31%, 林地・原野等 27%で占められていた (図-1)。

地域内には酪農家および畑作農家が点在し、各農家はほぼ当地域内で営農活動を行っている。酪農家の乳牛飼養規模は20~50頭で、地域全体では成牛換算で200頭の乳牛が飼われている。畜舎および糞尿処理施設は、経営規模の大きいA, B, C牧場でほぼ完備しており、堆肥盤や尿溜め等の貯留槽も飼養規模に見合ったものであった。これに対して、やや小規模なD, E牧場では堆肥盤が不備で、尿汚水は敷藁等に吸水させ糞と混合して堆肥化を図っているが、その一部は吸水されないまま流出していた。各農家における糞尿は固液分離されており、糞は堆肥としてほぼ完全に畑地に還元され、尿は大部分が草地で利用されていた。

これらの経営内容を基に、水質汚濁要因を整理し、模式化したのが図-2である。

河川の水質に直接影響をもたらす要因としては、第一に、下流に位置する酪農家の糞尿処理施設、パドックが挙げられ、第二に、上流域周辺で行われている放牧による影響が考えられた。また、第三には、間接的な汚濁要因で、畑地や草地に対する施肥や糞尿の施用及び河川近傍における堆

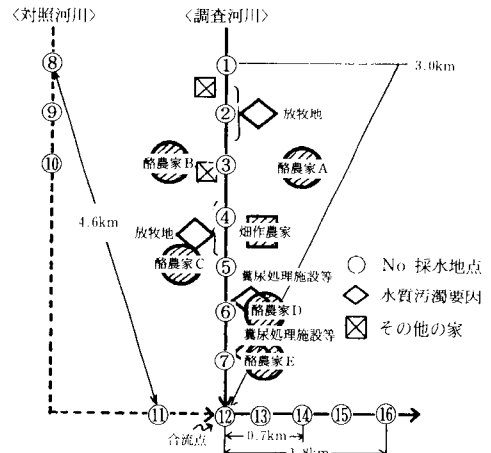


図-2 水質汚濁要因の模式図

きゅう肥の堆積による影響が予想された。

すなわち、酪農経営に関連した直接の汚濁源としては、上流では主に放牧による影響が、また、下流では畜舎周辺の排泄物管理が関与するものと考えられた。

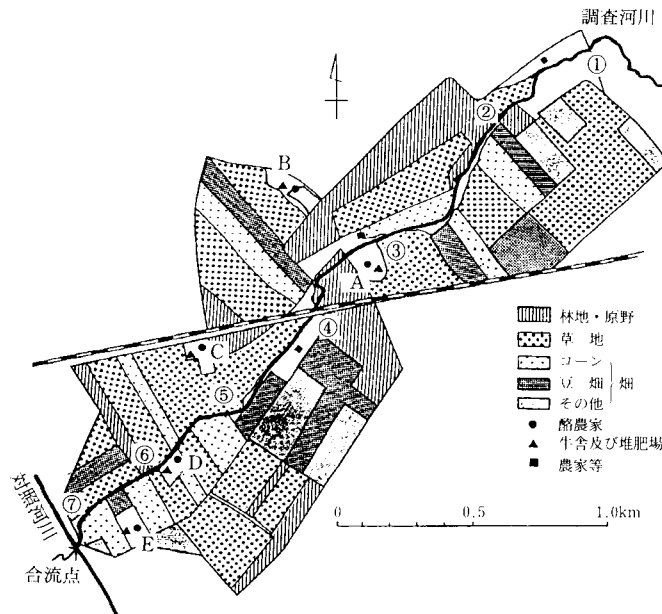


図-1 調査地域の土地利用図
(図中○印の番号は調査地点を表す)

III 試験方法

1) 統計処理による水質の変動解析

調査地点は、別報⁹⁾と同一地点である。また、河川の流量変化及び水質分析は別報と同じ方法⁹⁾で行った。採水は1984-1985年の4月から11月にかけて毎月1～4回、計27回行った。分析項目は、水温、pH、DO(溶存酸素)、SS(懸濁物質)、COD(化学的酸素要求量)、EC、T-N、NO₃-N、NH₄-N、T-P、PO₄-P、Cl、SO₄-S、ALK(アルカリ度、4.8 Bx)、K、Mgである。これらの分析結果を基に各成分間の相関係数を計算し、主成分分析による統計解析を試みた。なお、計算に当たっては市販のプログラム⁹⁾を使用した。

2) 藻類による水質の汚濁度評価

各地点ごとに採取した試水を用いて、熱分解法¹⁰⁾による藻類生産潜在力調査を行った。供試藻類は、道公害研、水質第3科から譲り受けた緑藻類2種(Scenedesmus byjuga, Chlorella pyrenoidosa)で、合成培地(C培地：ミカズキモ

培地¹¹⁾)によって植え継ぎ増殖させたものを供試した。培養は耐熱製キャップ付き試験管を用い、温度25±2℃、表面照度2,500～3,000 lux(白色蛍光灯使用)で行った。培養期間は予備試験の結果から藻類がほぼ最大増殖に達する25日間とし、増殖量は光電比色計による濁度(680 nmにおけるOD)を測定することによって評価した。

IV 試験結果

1) 統計解析による水質変動の評価

河川の水質調査に関する各成分値は表-1に示すとおりである。

河川の水質は各種成分の複雑な係わりの中で、流下に伴う変化を表しているものと考えられる。そのため、単一成分の平均的な値を比較しただけでは水質全体の変動を把握することはできない。そこで、互いに関連を持つ成分を集約し、汚濁要因を明らかにするために主成分分析による統計解析を試みた。

表1 調査河川の水質(1984.4-1985.11)

成分 項目	流量 (t/m)	水温 (℃)	pH	DO (ppm)	SS (ppm)	COD (ppm)	EC (mS/cm)	T-N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	NH ₄ -N (ppm)	T-P (ppm)	PO ₄ -P (ppm)	Cl (ppm)	ALK (m.e)	K (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)
平均値	11	11.5	7.0	9.4	24	6.6	0.08	0.72	0.34	0.03	0.06	0.01	6.2	0.45	1.9	6.8	2.2	1.6
最小値	2	0.9	6.6	7.1	1	1.6	0.04	0.07					3.6	0.10	0.7	2.8	0.6	0.7
最大値	72	30.3	7.4	12.4	292	19.8	0.12	4.47	1.04	0.43	0.51	0.30	8.0	0.67	6.3	9.2	5.3	2.5
標準偏差	12	6.7	0.1	1.1	40	3.8	0.02	0.51	0.22	0.05	0.07	0.03	0.8	0.12	0.7	1.4	0.8	0.4
変動係数	106	59	2	12	164	58	20	70	63	170	114	179	13	25	40	21	35	23

表2 水質成分値の相関関係

	水温	pH	DO	SS	COD	EC	T-N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	T-P	PO ₄ -P	Cl	SO ₄ -S	ALK	K	Mg
水温		0.293	0.693	-0.127	0.104	-0.025	-0.120	-0.291	-0.188	0.001	0.184	0.083	0.019	0.156	0.192	0.099
pH			0.042	0.115	0.108	0.046	0.217	0.283	0.125	-0.168	-0.091	-0.038	0.056	0.125	-0.140	0.102
DO				0.018	0.135	-0.271	-0.055	0.088	0.079	0.145	0.250	0.245	0.077	-0.424	-0.435	0.359
SS					0.869	0.130	0.849	0.325	0.249	0.858	0.261	0.063	0.323	-0.308	0.162	0.204
COD						-0.186	0.773	0.243	0.295	0.855	0.385	0.057	0.251	-0.339	0.300	0.247
EC							0.115	0.416	0.070	0.006	0.090	0.668	0.483	0.760	0.549	0.851
T-N								0.642	0.499	0.877	0.439	0.267	0.388	0.182	0.416	0.035
NO ₃ -N									0.451	0.358	0.154	0.461	0.570	-0.040	0.296	0.322
NH ₄ -N										0.473	0.582	0.116	0.116	0.300	0.317	0.011
T-P												0.683	0.205	0.299	-0.200	0.515
PO ₄ -P													0.193	0.077	0.016	0.684
Cl														0.504	0.415	0.579
SO ₄ -S															0.153	0.264
ALK																0.452
K																0.791
Mg																0.493

1%有意水準、 $r = 0.154$

表3 因子負荷量

項 目	因 子 負 荷 量				回 転 後 の 因 子 負 荷 量			
	第1主成分 Z ₁	第2主成分 Z ₂	第3主成分 Z ₃	第4主成分 Z ₄	第1因子 F ₁	第2因子 F ₂	第3因子 F ₃	第4因子 F ₄
水 温	0.056	0.248	0.899	0.028	-0.053	-0.049	0.932	0.010
DO	-0.275	-0.511	-0.700	0.066	-0.089	-0.321	-0.847	-0.048
SS	0.789	-0.383	-0.067	-0.425	0.972	-0.055	-0.080	0.022
COD	0.795	-0.412	0.181	-0.315	0.933	-0.176	0.145	0.108
EC	0.238	0.850	-0.324	-0.086	-0.033	0.941	-0.027	0.065
T-N	0.879	-0.205	-0.162	-0.190	0.879	0.118	-0.111	0.277
NH ₄ -N	0.564	0.168	-0.272	0.630	0.225	-0.030	-0.252	0.837
T-P	0.941	-0.248	0.038	-0.062	0.884	0.011	0.072	0.408
PO ₄ -P	0.719	0.052	0.173	0.573	0.306	0.077	0.254	0.845
Cl	0.417	0.610	-0.321	-0.129	0.211	0.776	-0.074	0.114
ALK	0.030	0.901	-0.006	-0.161	-0.237	0.833	0.260	-0.148
K	0.706	0.538	0.057	0.198	0.317	0.610	0.291	0.522
Mg	0.154	0.886	-0.186	-0.062	-0.126	0.905	0.105	0.038
固 有 値	4.577	3.757	1.713	1.144				
寄 与 率(%)	35.2	28.9	13.2	8.8				
累積寄与率(%)	35.2	64.1	77.3	86.1				

まず、成分相互の相関関係についてみたのが表-2である。多くの成分間に相関関係が認められたが、その中で高い有意性を示したのは、水温とDO、CODとSS・T-N・T-P、ECとCl・アルカリ度・Mg、T-NとNO₃-N、T-PとPO₄-P、PO₄-PとKであった。なかでも、SS、COD、T-N、T-P間では相互に高い相関を示し、当該成分間における関連性が認められた。

次に、これらの結果を基に主成分分析による統計解析を行った。解析に用いた項目は、標準偏差が小さかったpHと欠測値の多かったNO₃-Nを除く13成分で、水温、DO、SS、COD、EC、T-N、NH₄-N、T-P、PO₄-P、Cl、ALK、K、Mgである。

なお、解析に当たってSSは数値が正規分布に近づくように対数変換した値を用い、他の成分は分析値を直接入力した。その結果、固有値1以上の因子として4つの主成分が示され、その累積寄与率は86.1%と高く、集約度はほぼ満足できる条件にあった。

また、表-3に示すように第1、第2主成分で多数の因子が高い負荷量を表したので、各因子の特長をより明らかにするためにバリマックス回転を行い、各因子負荷量を計算した。

主成分分析の結果、第1主成分はSSを始め

COD、T-N、T-Pの懸濁態成分を中心とした因子で、第2主成分はEC、Mg、ALK、Cl、Kの塩類濃度の変化を表す因子と考えられた。これら第1、第2主成分を合わせた累積寄与率は64.1%で、全体の情報の三分の二が両因子によって集約された。

また、第3主成分は水温でプラス、DOではマイナスの高い因子負荷量を示し、第4主成分はNH₄-N、PO₄-Pで高く、Kでもやや高い値を示しており、N、P等の溶存態成分の一部による水質汚濁を表す因子と考えられた。これら、第3、第4主成分による寄与率は各々13.2%、8.8%で、何れも第1、第2主成分の半分以下であった。

次に、バリマックス回転を行った後の各因子負荷量について属性別平均値を計算し、そのスコアの季節変動をみたのが図-3である。

第1因子は、融雪期および多雨期に高く渇水期に低い傾向がみられ、表面流去水に伴う懸濁態成分の変動を表す因子と解釈された。第2因子は、第1因子とは逆に水量の多いときには低い値を示し、水量増加に伴う希釈効果が認められた。この結果は、各種塩類の流出量が年間を通してほぼ一定であることを示唆するものであった。第3因子は、水温変化に関する情報が主体で、季節変化を表す指標と考えられた。第4因子は、第1因子の

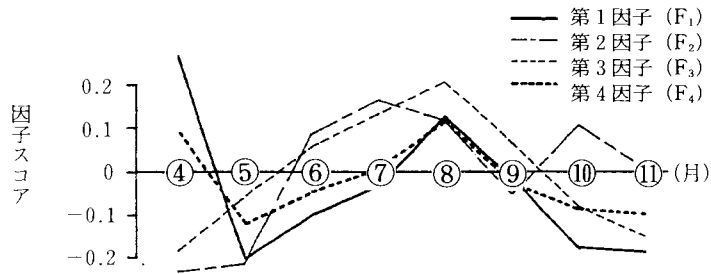
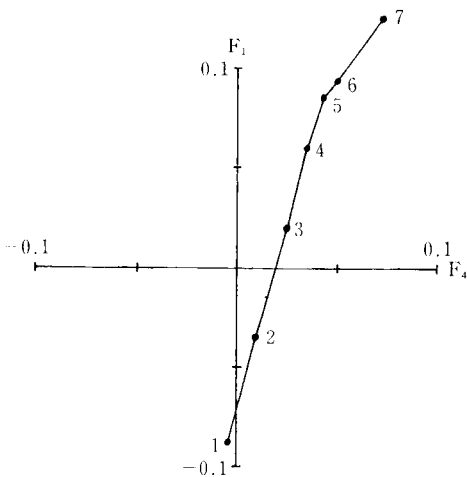


図-3 各因子スコアの季節変化

変化にほぼ並行しているが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ に関する情報が中心になっており、人為的な汚濁の指標¹²⁾になりうるものと推察された。

図-4 第1、第4因子スコアの流程変化
(図中の番号は地点を表す)

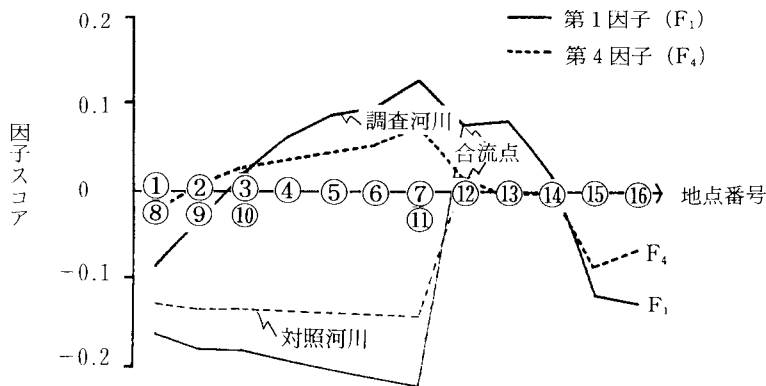
次に、四つの因子の中で営農との係わりが予想された第1因子と第4因子について、地点別変化を散布図に示した(図-4)。

両因子とも上流から下流に向かって増加する傾向にあるが、地点①から地点④では第1因子が、地点⑤から地点⑦にかけては第4因子の増加割合が高かった。

これらの地点間変動を解釈するために、流下過程における属性別平均値の推移を示したのが図-5である。

なお、調査河川に隣接してコンクリートブロックで改修された河川が流れているが、周辺の土地利用、畜産施設等の状況がほぼ同じであるにもかかわらず、表面流去水の流入がほとんどなく、調査河川とは対照的な傾向を示した。そこで、図-5には比較のために当改修河川(対照河川)の例を並記した。

両因子とも対照河川では流下に伴う変化は小さく、調査河川では流下に伴う変化が大きかった。特に、地点①～③、地点⑥～⑦間の上昇は大きく、

図-5 因子スコア (F_1 , F_4) の流程変化

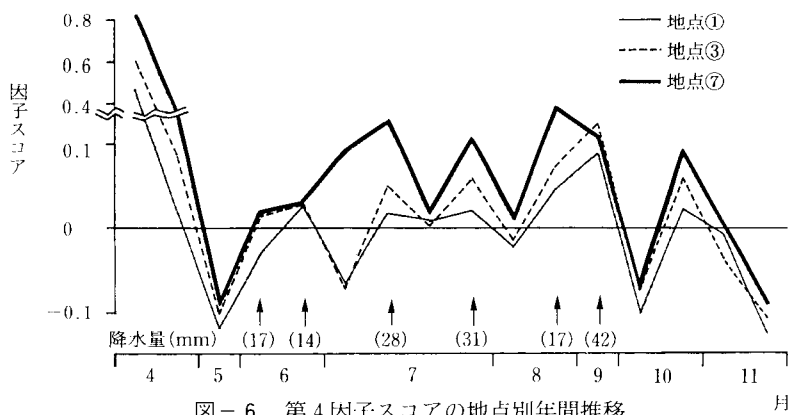


図-6 第4因子スコアの地点別年間推移

当該地点間における放牧および酪農施設との関連性が予想された。

第4因子は $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 等、N、Pの溶存態成分を表しており、これら成分の負荷源として施肥による影響が考えられた。しかし、施肥窒素の移動は大部分が硝酸態によるものであり、また、施肥リンは通常は表層土壌に固定されて移動しづらい状況にある。これに対して、畜舎およびその周辺から流出する汚水は窒素の大部分が $\text{NH}_4\text{-N}$ で、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の占める割合も高い。このことから、当因子は畜産関連施設の排水が主体になっているものと考えられた。

そこで、当因子についてその内容解析を進めるために、時期別に代表地点の変動をみた(図-6)。河川中流(地点③)では融雪期及び降雨時に高い値を示しており、当地点の上流域に広がる放牧地からの負荷が予想された。また、下流(地点⑦)では年間をとおして高い値を示すと共に中流との差が大きく、降雨時の変動も大きかった。これは、当地点の汚濁が恒常的な高い負荷源に起因することを表しており、畜舎周辺からの汚濁水の流入による影響が考えられた。

以上、調査河川の水質変化のうち最も大きい要因は懸濁態成分で、次いで塩類濃度の変化が挙げられた。そして、酪農経営に伴う排水に起因するとみられる汚濁は水質変化全体の約9%と推定された。

なお、調査河川と対照河川の合流点⑫より下流では、第1因子スコアの低下が著しく、懸濁態成分による水質変化は比較的短い距離で浄化される

ことを表した。

2) 藻類培養法による水質の汚濁評価

藻類を用いた富栄養化度の判定は、湖沼の水質等に広く適用されている。そこで、本試験でも河川水質の生物評価法として当法を試みた。

評価に当たって、藻類の増殖量は培養試験管のまま直接測定できる濁度法によって行った。濁度法は直接計数法やクロロフィル測定法¹⁰⁾に比べると精度は落ちるが、藻類の増殖量を評価するうえで簡便な方法として用いられている^{10), 13)}。

なお、富栄養化度の判定に先立って藻類の細胞数と濁度との関連について調べたところ、図-7の様な関係が認められた。この結果から、濁度法が藻類の増殖量を推定するうえで有効であることが確かめられた。

試水は河川の汚濁が著しかった早春の融雪期及び降雨直後のものを用い、各地点ごとにN、P各含量と藻類増殖に伴う濁度変化の関連性をみた(表-4)。

その結果、藻類の増殖量は、N、Pの濃度上昇に伴って増加し、特に、成分濃度が高かった下流で著しく、統計解析による結果と同様の傾向を表した。

次に、調査河川の藻類増殖制限物質を探索するため上述河川水にN 1 ppm、P 0.1 ppmを添加した試験を行った。また、尿汚水が河川に流入した場合を想定して尿汚水(N 5 ppm、P 0.03 ppm)を添加した処理を設けた(図-8)。

N添加の影響は若干みられるものの、各地点間の差は無添加の時とほとんど変わらなかった。こ

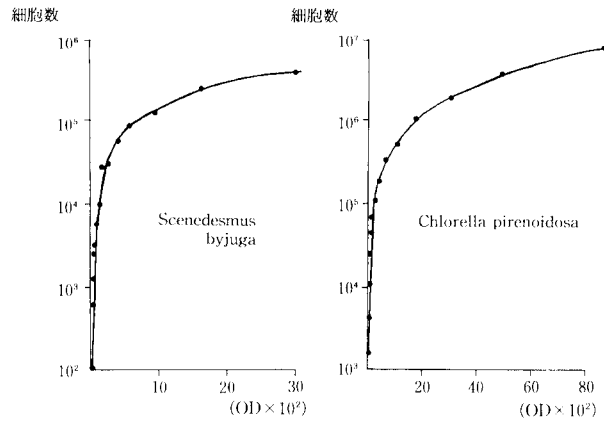


図-7 濁度 (OD 680 nm) と藻類の細胞数と関係

表4 供試河川水の水質及び藻類増殖量

項目 地点	河 川 水		藻 類 増 殖 量 (OD×10 ²)	
	窒素 (ppm)	リン (ppm)	Sc. byjuga	Chl. pyren.
1	1.18 (0.87-1.72)	0.091 (0.048-0.179)	1.75 (1.21-2.57)	2.60 (1.14-3.86)
3	1.61 (0.90-2.25)	0.227 (0.069-0.367)	1.91 (1.17-2.48)	3.04 (1.49-4.22)
4	1.83 (1.50-2.42)	0.242 (0.178-0.271)	1.96 (0.96-2.38)	2.76 (2.03-4.33)
5	1.99 (1.60-2.42)	0.273 (0.224-0.336)	2.20 (1.08-2.95)	3.47 (2.03-4.33)
7	2.42 (1.60-3.52)	0.336 (0.245-0.504)	2.15 (1.77-2.51)	3.94 (2.10-5.12)
10	0.80 (0.39-1.24)	0.169 (0.014-0.124)	1.78 (1.69-2.57)	1.87 (1.31-3.20)

上段の数字は平均値，下段は範囲を表す。

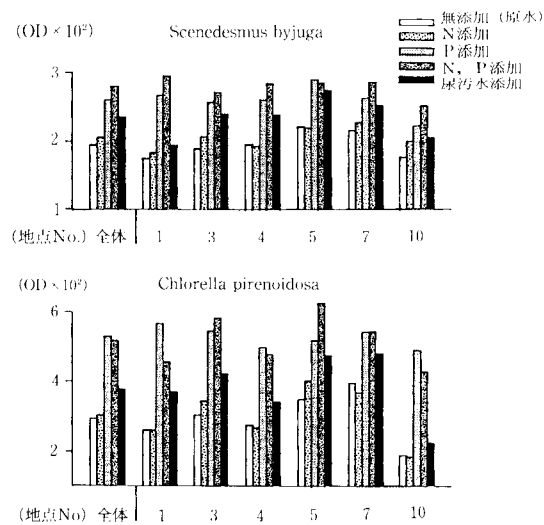


図-8 添加処理に伴う藻類増殖量の変化

れに対して、P添加による変化は著しく、添加によって地点間差が縮まる傾向がみられた。すなわち、当河川はN濃度が藻類増殖のための条件を充たしているのに対して、P濃度が低く、これが藻類増殖の制限因子になっていることを示した。

一方、尿汚水を添加した場合はN添加よりも明らかに藻類の増殖は大きかった。しかし、P添加に比べるとその値は低く、尿汚水だけではPが制限因子となり藻類の増殖をもたらすには十分な量でないことを示唆した。

以上、藻類を用いた栄養塩類の生物学的な評価においても流程変化が認められ、統計解析の結果とほぼ同様の結果が得られた。また、調査地域を流れる河川水質の富栄養化がPによって制限されているものと考えられた。

なお、当法による河川水質の汚濁評価の適用性は、さらに多くの試料について比較検討する必要があるものとする。

V 考 察

水系の自浄能力を越える栄養塩類が水域に流入した場合、閉鎖系水域に当該物質の集積がもたらされ、その結果水生生物が繁殖して種々の富栄養化現象が発現する。

農耕地では、作物生産の維持向上を図るために毎年肥料が施用されているが、その一部は表面流出水や地下浸透水と共に流出しており、これが富栄養化をもたらす栄養塩類の発生源の一つに挙げられている。また、農地から発生する汚濁が広範囲にわたる面汚染源であるのに対して、畜産施設等から発生する汚濁は当該施設を中心とした点汚染源の特徴がみられ、酪農経営に伴う汚濁は両者を合わせ持っている。農業系内から発生する水質汚濁に関しては、同じ地域で漁業を営んでいる水産関係者からの厳しい指摘がなされており¹⁴⁾、農業サイドとしても上述のような営農活動が周辺の水質に及ぼす影響を明らかにしておく必要がある。

このような状況の中にあって、農業系内から発生する汚濁源の負荷量は、施肥量や家畜飼養頭数を基にした原単位によって試算されてきたが¹⁵⁾、この方法では、河川への流達負荷量が過大に評価される恐れがある。そこで、本調査では農業地域を

流れる小河川への流達負荷量をできるだけ実情に即したものとして捕えるように、統計解析及び藻類による評価法を試みた。

先ず総合的な統計解析の結果、調査地域を流れる河川の水質変化の中で第1に挙げられたのは、懸濁態成分を中心とする因子であった。当因子は汚濁の季節変化をよく表し、土壤水分が飽和状態にあるうに地表が凍結している融雪期に最も高く、降雨の多い時期にも同様の傾向を示した。また、自然河川と改修河川では水質変化の様相が異なり、河岸構造の違いによる影響が認められた。すなわち、自然河川では表面流出水が流入し易いため懸濁態成分の濃度が高く、水質変化が大きかった。これに対して、堤防が築かれている改修河川では当該成分の濃度が低く水質の変化も小さかった。なお、自然河川では河岸の植生が発達しているため、随所に停滞水域が形成されており、これらが懸濁態成分を捕捉、蓄積する役割を持っている等、自然浄化能の優れていることも指摘されている¹⁶⁾。一方、改修河川では自然環境による水質の浄化には多くを望まず、一度高濃度の汚濁がもたらされた場合には、その影響が広範囲に及ぶものと推察された。したがって、懸濁態成分による水質汚濁を抑制するためには、河川改修に当たって浄化機能が発揮できるような人工的な停滞水域を設けることが有効と思われる。

第2の因子としては各種塩類濃度が挙げられ、第1因子と同程度の比重を占めた。そして、ECで代表される溶存態の塩類濃度は、河川の流量に反比例した傾向にあり、塩類の流出量が年間を通してほぼ一定であることを示唆した。当調査地域においては肥料や家畜糞尿が作物生産のために使われているが、これらが河川に流入した場合には水質の季節推移にも変動をきたすものと考えられた。しかし、本調査の結果からはそのような傾向はみられず、標準的な施肥条件下では河川水質に及ぼす影響はあまり大きくないことを表した。

第3の因子は季節変化に関する情報がよく集約されており、水質変化全体の10%強を占めた。一般に、溶存酸素は生活排水や工場排水による恒常的な高濃度汚染が進行している水系で汚濁の指標として取り上げられている^{17), 18)}。しかし、当河川では季節変化を乱すような変化はみられず、標準的な管理条件では、溶存酸素に変化を来すよう

な極端な汚濁のないことを示した。

第4の因子は、溶存態窒素の中のアンモニア態窒素及びオルトリン酸によって代表される汚濁の指標で、酪農関連排水に伴う水質汚濁を考えるうえで最も注目すべき因子である。

その負荷量は、表面流出水が発生する時期に高く、図-6に示すように地点別にみると畜舎及び放牧地を中心に高い傾向がみられた。また、当因子の中で酪農関連排水に多く含まれるカリウムの負荷量も高く、当該因子が酪農関連排水と深い係わりのあることを裏付けた。

なお、アンモニア態窒素とオルトリン酸を中心にした汚濁が人為的なものであることは他でも認められており、生活排水やし尿汚染による汚濁の有効な指標とされている^{12),17)}。このほか当該成分の負荷源としては、降水と水田からの排水が考えられる。しかし、降水中の窒素はアンモニア態窒素の割合は高い¹⁹⁾ものの、溶存態リンやカリウムと関連し合って一つの因子を形成することはない。また、水田では施肥時期を中心にアンモニア態窒素、オルトリン酸の流出が発生するといわれている^{20),21)}、当調査地域に水田は存在しない。

以上の点を総合して考えると、当因子の大部分は酪農排水に基づく負荷量とみられ、標準的な酪農管理を行っている酪農地帯で当因子を構成する物質が河川の水質に及ぼす影響は水質変化全体の約9%と推定された。

次に、上述の結果を補足する意味で、藻類を用いた河川水質の総合的な評価を試みた。培養試験による水質の評価は、潜在的な富栄養化度を表しており^{10),22)}、窒素やリンだけではなく各種成分の総合的な影響を包含している。そのため、水系における栄養塩類の総合的な評価を行うための有効な手段として利用されている。

試験の結果、畜舎が河川の近傍に位置する地点や放牧地周辺で高い値を示しており、河川水の富栄養化度を判定するうえで有効な指標になるものと考えられた。

なお、尿汚水を添加した培養試験の結果から、当汚水だけではリンの濃度が低く、藻類の増殖が制限されていることがわかった。

すなわち、尿汚水の流入だけでは水域の富栄養化は進まず、これに表面流出水に伴うリンの負荷が加わった段階で富栄養化が加速されるものと推

察された。

以上、道内の標準的な酪農地帯を対象に、農地及び畜産施設から発生する汚濁要因とその量的な解析を行ってきた。その結果、畑地や草地に対して随時糞尿還元が行われている条件では、酪農関連排水に伴う河川への流達負荷量はそれほど大きくないものと思われた。

今後は、上述の結果を裏付けるため、当地域において負荷の発生から河川に至るまでの経過について総合的に検討し、窒素、リンを中心にした富栄養化関連物質の収支を把握する必要があるものとする。

謝辞：本稿を提出するにあたって、ご指導、ご校閲をいただいた環境資源部長、菊地晃二氏、生物工学部長、関谷長昭氏、天北農業試験場長、大崎玄佐雄氏に対し謝意を表する。また、本試験を行うに当たって御協力をいただいた環境保全科長、土居晃郎氏はじめ研究員諸氏に対し感謝する。

引用文献

- 1) 桜井善雄, “農地排水による河川及び地下水の汚染”, 農土誌, **43**, 14-20 (1975).
- 2) 米田茂男, “農地排水による肥料成分の排出機構”, 1-14, 農業及園芸, **55**(10) 57(4), (1980-82).
- 3) 小島貞男監修, “脱窒・脱磷技術と富栄養化対策”, アイピーシー, 1977, p. 19-14.
- 4) 松村 隆, “水質保全対策の推移, 富栄養化問題を中心に”, 公害と対策, **19**(8), 1-7 (1983).
- 5) 上野益三, “湖の富栄養化とそれに関する二, 三の問題”, 甲南女子大研究紀要, **3**, 113-131(1966).
- 6) 大村邦男, 黒川春一, “農業地帯を流れる小河川の水質変化”, 北海道立農試集報, **61**, 31-39(1990).
- 7) 北海道立中央農試, “地力保全基本調査成績書, 石狩南部地域”, 1966.
- 8) 日本工業標準調査会, “工場排水試験方法”, 日本規格協会 (1981).
- 9) 田中 豊, 垂水共之, 脇本和昌, “パソコン統計解析ハンドブック, II, 多変量解析編”, 共立出版, 1985, p. 160-165, p. 195-200.
- 10) 日本水質汚濁研究協会編, “湖沼環境調査指針”, 公害対策技術同友会, 1982, p. 193-199.
- 11) Ichimura, T. Proc. 7th. Internat. Seaweed Symp. 1971, p. 208-214.
- 12) 岡 敬一, 吉見 洋, 井口 潔, 小森谷廣子, “総

- 合水質指標による神奈川県内河川水質の解析”。水質汚濁研究会, **6**, 407-413 (1983).
- 13) 青井孝男, “富栄養化に関する研究, *Microsistis aeruginosa* の成長特性について”, 北海道公害防止研究所報, **9**, Dec. 62-67 (1982).
- 14) 八戸法昭, 横沢 誠, 赤坂千秋, “十勝川中流における窒素化合物の汚濁負荷量について”, 水質汚濁学会講演集, **16**, 172-173 (1982).
- 15) 農水省公害環境保全対策室, “農地排水を巡る最近の動き”, 執務参考資料, 1979.
- 16) 川島博之, 鈴木基之, “湖沼葦帯の自然浄化機能”, 水質汚濁学会講演集, **21**, 139-140 (1987).
- 17) 林 雄, 村岡一郎, 諏訪隆之, 石居企救男, “埼玉県河川の水質に及ぼす汚濁源と水質の変動調査”, 埼玉県農試研報, **37**, 61-100 (1981).
- 18) 井川 学, 中井真治, 田中正雄, “鶴見川の水質汚濁について”, 水質汚濁学会講演集, **20**, 206-207 (1986).
- 19) 田淵俊雄, “降水中の窒素とリン”, 水質汚濁研究, **8**, 18-22 (1985).
- 20) 鈴木誠治, 田淵俊雄, “農業地域小河川における流出負荷量の季節変動と年間総量について” 農土学論文集, **114**, 33-37 (1984).
- 21) 中田 均, 川村才十二, 澤 重孝, “農耕地における肥料成分の行動に関する研究, 1, 水田ライシメータにおける肥料成分の行動と収支”, 滋賀県農試研報, **18**, 60-69 (1976).
- 22) 笠 文彦, 北尾高嶺, 岩井重久, “藻類増殖試験法に関する基礎的研究”, 用水と廃水, **19**, 53-56 (1977).

Pollution Evaluation of River Water Quality Flowing through Dairy Farming Region

Kunio OHMURA*, Haruichi KUROKAWA*²

Summary

The effect of agricultural management on the water of peripheral rivers was evaluated on the model of a dairy farming region.

The results obtained were as follows.

1. Especially high correlation was confirmed between water temperature and DO as well as between SS and COD/T P, EC and Cl/ALK/Mg, PO₄-P and K among components in water.

2. As a result of analyzing principal components in the water of rivers, it was explained that the first main principal component showed particulated components and the second main principal component showed the concentrations of salts and the accumulated portion of both principal components showed 64%. Further, the proportions of the third and forth main principal components showing a seasonal change and an artificial pollution factor were respectively 13% and 9%.

3. The forth factor component showed a tendency to increase in the peripheries of stockbreeding facilities and a pasture at a snow melting period or after a rainfall and it was estimated that said component showed the effect due to dairy farming related waste water, judging from the content thereof.

4. As a result of evaluating the trophic states due to algae of the water samples of rivers collected by respective points, the results supporting the foregoing were obtained. Further, it was considered that phosphorus became the limiting nutrient of the trophic states of the investigated rivers.

* Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-13 Japan

*² Denki Kagaku Kogyo K. K. Chuo, Sapporo Hokkaido, 060 Japan

