

# 市内排水路水質検査結果の解析（第1報）

## Water Quality Analysis of Ditches in Sapporo (I)

中島 純夫 小林 毅 浦嶋 幸雄  
佐藤 泰昌 市川 修三 高杉 信男

Sumio Nakajima, Takeshi Kobayashi, Yukio Urashima,  
Yasumasa Sato, Shyuzo Ichikawa and Nobuo Takasugi

昭和58年4月から行っている病原菌等サーベイランス事業の排水路水質の化学検査結果等について濃度相関マトリックス及びWQI (Water Quality Index) を用いて解析を行ったところ、サーベイランス事業の発端となった地点とは、濃度相関マトリックスでは3地点で、また、WQIの結果では汚濁の程度が同等かそれ以上の地点が15地点中7地点あることが判明し、これらの手法が排水路水質の解析を行ううえで有効であった。

### 1 緒言

当所水質検査係では、昭和58年4月から実施されている病原菌等サーベイランス事業の化学検査及び大腸菌群数の検査等を担当している。一方、排水路水質の汚濁状況を把握することは、生活雑排水による公共用水域の富栄養化が問題となっていることから、水質保全上からも重要である。

また、近年のマイクロコンピューター等の発達に伴い、公共用水域の水質解析手段として多変量解析等の統計的手法を用いることが容易になってきた。

排水路の水質を解析するうえで、多数の項目を総合的に評価することのできる多変量解析は、有効な手法となり得ると考えられる。吉見、岡らは、河川水質の汚濁度を総合的かつ端的に表示する方法として、主成分分析を応用した総合水質指標 (Water Quality Index, 以下WQI という) を用いている。<sup>1), 2)</sup>

われわれは、病原菌等サーベイランス事業で得た1年分計6回の検査結果について、WQIを求め、

さらに、検査項目の組合せの違いによるWQIの変化等について検討を加えた。

また、排水路地点間の水質の類似性を調べるための手法として、濃度相関マトリックスを用いたので、その結果を報告する。

### 2 方法

#### 2-1 調査地点

調査地点は市内の12排水路15地点である。

#### 2-2 検査項目

排水路水質の解析を行った項目は、生活環境項目としてpH, BOD, SS, DO, 大腸菌群数, COD, 生活雑排水等による汚濁を調べるための項目としてメチレンブルー活性物質, アンモニア性窒素, 亜硝酸性窒素, 硝酸性窒素, 塩素イオン, クロロフィルaの12項目に水温, 透視度を加えた計14項目である。

各項目の検査方法は、硝酸性窒素, 亜硝酸性窒素, 塩素イオン, クロロフィルaが上水試験法により、他の試験法はJIS K0102あるいは、環境

序告示によった。

### 2-3 正規性

各項目の原データ、平方根値、対数値について、歪度、尖度を求め、項目ごとに正規分布に近づくと思われる変換方式を決定した。

原データ中に定量下限値未満の値が含まれる場合には、定量下限値の5分の1で置き換え、透視度で30オーバーの値は100で置き換えた。

### 2-4 濃度相関マトリックス

1年分のデータを地点ごとに算術平均値を求め、この値から木羽らの方法によって濃度相関マトリックスを求めた<sup>3)</sup>。

マトリックス作成にあたり、符号判定基準Mの値は15とした。

### 2-5 主成分分析

2-3で決定した変換方式により、すべての項目による相関行列を求め、これにより主成分分析を行い、因子負荷量及び固有ベクトル等を得た。

### 2-6 WQI

主成分分析で得た第1主成分の因子負荷量の大きいものの中から適当に項目を組合せ、それぞれの組合せの項目で、さらに主成分分析を行い、固有ベクトルを得た。

WQIは、各項目の値を2-3での様式に従って変換し、下記の式で項目ごとに求めた値を加えることにより求め、さらに、地点ごとに平均値を求め、それぞれの地点のWQIとした。

$$\text{固有ベクトル} \times \frac{(\text{各項目データ}) - (\text{平均値})}{\text{標準偏差}}$$

なお、排水路水質の測定結果は、マイクロコンピュータのフロッピーディスクにファイル化されており、本解析に用いたプログラムは、主成分分析プログラム<sup>4)</sup>を除き、すべて自作である。

## 3 結果及び考察

### 3-1 正規性

原データ、平方根値、対数変換値につき、それぞれ歪度、尖度を求めたところ、対数変換によって、BOD、COD、SS、大腸菌群数等ほとんどの項目で、歪度、尖度が0に近づいた (Table 1)。

Table 1 Skewness and Kurtosis of Each Transformed Type

Item	Skewness			Kurtosis		
	X	$\sqrt{X}$	log(X)	X	$\sqrt{X}$	log(X)
Temp.	0.272	-0.402	-1.353	-0.935	-0.808	1.077
Trans.*	0.533	0.253	-0.345	-1.539	-1.490	-0.607
pH	0.968	0.895	0.648	1.332	1.316	1.193
DO	-0.066	-0.661	-2.064	-0.881	-0.274	6.678
BOD	2.971	1.865	0.041	8.378	3.216	-0.091
COD	2.381	1.351	-0.039	5.374	1.534	-0.286
SS	8.007	3.724	0.030	70.075	22.178	0.439
Coli.	6.918	2.622	-2.541	55.954	10.787	12.210
MBAS	1.945	1.273	-0.069	2.561	0.435	-1.051
NH <sub>4</sub> -N	2.567	1.227	0.195	7.849	0.803	-1.518
NO <sub>3</sub> -N	5.380	2.730	-1.408	30.626	10.690	3.959
NO <sub>2</sub> -N	6.048	2.589	-0.011	42.654	10.262	-0.797
Cl <sup>-</sup>	5.361	3.469	1.596	32.535	14.874	3.381
Chl.a**	8.072	3.850	0.587	70.568	21.638	-0.694

\* Degree of Transparency

\*\* Chlorophyll a

この結果から、変換により歪度、尖度にあまり差異のなかった水温、pH、DOは、原データを用い、他の項目データは、対数変換を行うこととした。

水温、pH、DO以外のデータを対数変換することにより得られた相関行列は、原データのみのもとのと比較し、ほとんどの項目間で相関係数が高くなった (Table 2)。

Table 2 Correlation Matrix between 14 Items (n=87)

a) Original Data

	Temp	Trans	pH	DO	BOD	COD	SS	Coli	MBAS	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	Cl <sup>-</sup>	Chl.a
Temp.	1.00	--	--	--	--	--	--	+	+	--	--	--	--	+
Trans.	-0.33	1.00	++	--	--	--	-	-	--	--	--	--	--	++
pH	-0.00	-0.15	1.00	+	+	++	+	-	--	--	--	--	--	++
DO	-0.45	0.49	0.22	1.00	--	--	--	-	--	--	--	--	--	+
BOD	0.19	-0.44	0.28	-0.38	1.00	++	--	-	++	--	--	--	--	++
COD	0.14	-0.53	0.35	-0.40	0.89	1.00	++	-	++	--	--	--	++	++
SS	-0.00	-0.31	0.30	-0.19	0.16	0.46	1.00	-	++	--	--	--	++	++
Coli.	0.26	-0.24	-0.13	-0.26	0.04	0.05	-0.00	1.00	+	+	--	--	--	+
MBAS	0.23	-0.48	0.14	-0.32	0.80	0.65	0.08	0.27	1.00	--	--	--	--	+
NH <sub>4</sub> -N	0.12	-0.40	-0.06	-0.25	0.07	0.17	0.14	0.30	0.19	1.00	--	--	--	+
NO <sub>3</sub> -N	0.01	-0.10	-0.15	-0.08	-0.08	-0.02	-0.08	0.04	-0.15	0.05	1.00	++	++	++
NO <sub>2</sub> -N	0.14	-0.19	-0.13	-0.21	0.06	0.17	0.03	0.13	-0.03	0.14	0.61	1.00	++	++
Cl <sup>-</sup>	0.02	-0.22	-0.16	-0.22	0.09	0.33	0.13	0.10	-0.09	0.07	0.43	0.49	1.00	++
Chl.a	0.27	-0.17	0.35	0.28	0.04	0.09	0.03	0.00	-0.00	0.05	-0.06	0.05	-0.01	1.00

b) Transformed Data

	Temp	Trans	pH	DO	BOD	COD	SS	Coli	MBAS	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	Cl <sup>-</sup>	Chl.a
Temp.	1.00	--	--	--	+	+	+	+	--	--	--	--	--	++
Trans.	0.13	1.00	+	--	--	--	--	+	--	--	--	--	+	++
pH	-0.00	-0.11	1.00	+	--	--	--	--	--	--	--	--	--	++
DO	-0.45	-0.13	0.23	1.00	--	--	--	--	--	--	++	--	--	++
BOD	0.16	0.17	0.13	-0.43	1.00	++	++	++	++	++	-	+	++	+
COD	0.28	0.12	0.17	-0.52	0.89	1.00	++	++	++	++	-	++	++	++
SS	0.28	0.12	0.20	-0.49	0.66	0.73	1.00	++	++	++	-	++	++	++
Coli.	0.29	0.30	0.03	-0.35	0.55	0.51	0.48	1.00	++	++	++	++	++	++
MBAS	0.22	0.17	0.03	-0.37	0.80	0.66	0.54	0.68	1.00	++	+	++	++	++
NH <sub>4</sub> -N	0.16	0.17	-0.10	-0.51	0.49	0.58	0.46	0.51	0.41	1.00	++	++	++	++
NO <sub>3</sub> -N	-0.29	0.20	-0.14	0.40	-0.21	-0.26	-0.31	0.07	-0.16	-0.04	1.00	++	++	-
NO <sub>2</sub> -N	-0.03	0.14	-0.13	-0.12	0.30	0.35	0.20	0.37	0.25	0.50	0.41	1.00	++	++
Cl <sup>-</sup>	0.14	0.26	-0.18	-0.38	0.41	0.56	0.38	0.34	0.16	0.56	0.11	0.52	1.00	++
Chl.a	0.42	0.11	0.34	-0.01	0.24	0.33	0.44	0.05	0.15	0.06	-0.25	-0.08	0.02	1.00

++ --: Correlative to 5 percent Significant level

+ -: Correlative to 1 percent

3-2 濃度相関マトリックス

相関数の累積度数分布から求めた危険率10%のときの相関数は、0.28であり、これ以上の相関数を示した地点間では、10%の危険率で類似性があると判断される。

濃度相関マトリックスの値は、同一地点では1となり、数値が1に近いほど地点間の類似性が高いことを意味し、同一水系の地点間では途中に汚染源等がない限り、数値は高い値になり、また水系が異なる地点を比較する場合でも汚濁機構を推

定する手がかりとなる。

計算された濃度相関マトリックスでは、同一水系の地点12及び地点13の間で0.47と最も類似性が高くなっており、このことから濃度相関マトリックスの排水路水質への適用が有効であると思わ

れる。

さらに、地点12は地点3, 4, 6とも類似性が認められており、これらの地点間では各項目の数値の比が似ており、汚濁の機構も似ていることが示唆されている (Table 3)。

Table 3 Concentration Correlation Matrix

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1.0														
2	.39	1.0													
3	.10	.10	1.0												
4	.12	.12	.12	1.0											
5	.15	.17	.14	.16	1.0										
6	.13	.10	.14	.30	.23	1.0									
7	.21	.21	.09	.06	.17	.13	1.0								
8	.05	.07	.05	.09	.13	.07	.06	1.0							
9	.10	.10	.09	.31	.16	.19	.17	.19	1.0						
10	.06	.09	.13	.18	.15	.08	.05	.17	.18	1.0					
11	.20	.16	.13	.14	.15	.19	.20	.08	.17	.07	1.0				
12	.09	.24	.34	.30	.19	.28	.15	.14	.14	.19	.18	1.0			
13	.14	.29	.15	.26	.16	.15	.16	.09	.16	.18	.14	.47	1.0		
14	.27	.19	.12	.25	.20	.15	.30	.09	.17	.06	.21	.18	.29	1.0	
15	.19	.28	.09	.07	.07	.13	.14	.02	.04	.05	.17	.09	.15	.12	1.0

### 3-3 主成分分析

表2の水溫, pH, DO以外のデータを対数変換した値による相関行列から出発する主成分分析の結果では、第1主成分の寄与率は41.8%であり、COD, BOD, MBAS等の因子負荷量が大きく、DOの値が異付号で-0.64と大きいことから第1主成分の因子は、汚濁の大きさを表していると思われる。第2主成分は、亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素の因子負荷量が大きく、pH,あるいは、クロロフィルaの因子負荷量が大きいことから、窒素の硝化過程あるいは、藻類による消費の過程を表す因子と推定される。第3主成分はDOのみが特に高く、水溫の因子負荷量も比較的高いため、季節変化に関連のある因子と思われるが、硝酸性窒素も高くなっており、判断を困難にしている (Table 4)。

Table 4 Factor Loadings and Eigen Values of Principal Component Analysis

Item	Component Loading		
	Z(1)	Z(2)	Z(3)
Temp.	-0.352	-0.423	0.400
Trans.	0.167	-0.133	0.038
pH	-0.509	0.651	0.104
DO	-0.640	0.013	0.638
BOD	0.863	-0.018	0.181
COD	0.912	-0.038	0.093
SS	0.833	-0.230	0.090
Coli.	0.699	0.225	0.114
MBAS	0.760	-0.011	0.141
NH <sub>4</sub> -N	0.703	0.365	-0.126
NO <sub>3</sub> -N	-0.257	0.680	0.418
NO <sub>2</sub> -N	0.406	0.694	0.218
Cl <sup>-</sup>	0.565	0.481	-0.128
Chl.a	0.333	-0.583	0.220
Eigen Value (%)	5.86 41.8	2.17 15.5	1.41 10.0

### 3-4 WQI

主成分分析で得られた因子負荷量が大きい項目を組み合わせて、WQIの差を調べた。

WQI算出時の重みとなる固有ベクトルは、それぞれの項目の組合せで再度主成分分析を行って求めた (Table 5, 6, 7)。

地点間あるいは項目の組合せの違いによるWQIの変化を視覚的に表すために Table 5, 6, 7のWQIをWQIが-3.0あるいは-4.0を基準としたヒストグラムとし、WQIに占める各項目の割合をも示した。ここで、WQI中で各項目の与える項の値が負であるものを含む地点では、各項の最小値が0となる様な定数を各項に加えることにより各項目の占める割合を図示した。従って、これにより

排水路汚濁に占める各項目の割合を視覚的にとらえることが可能となった (Fig. 1)。

4項目のみによるWQIの値は、項目の組合せの違いにもかかわらず顕著な差はなく、病原菌等サーベイランス事業の発端となった地点12と比較して、地点4, 8, 10では地点12よりもさらにWQIが大きく、地点12と同程度の地点も数地点あることがわかる。

また、地点8ではBODとともにMBASの占める割合が特に高く、特異的であるのは、採水地点上流のクリーニング工場排水の影響を強く受けているものと思われる。

WQI中で各項目の占める割合を比較すると地点12と地点4及び10は、いかなる項目の組合せに

Table 5 Results of WQI by 4 Items

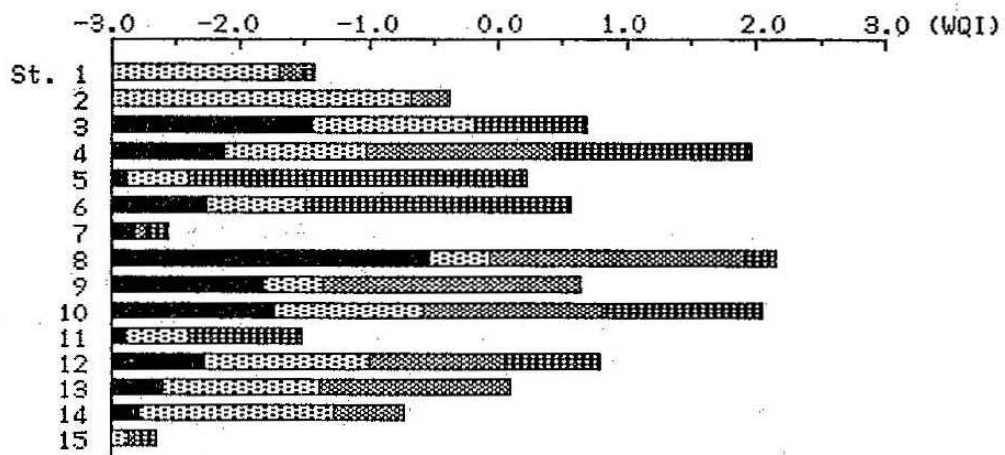
St.	BOD	Coli.	MBAS	NH <sub>4</sub> -N	WQI
1	-0.481	-0.067	-0.426	-0.450	-1.424
2	-0.184	0.138	0.126	-0.450	-0.370
3	0.332	0.258	-0.062	0.159	0.687
4	0.346	0.439	0.576	0.605	1.966
5	-0.051	0.003	-0.072	0.342	0.222
6	0.105	0.108	-0.079	0.428	0.562
7	-0.270	-1.165	-0.748	-0.372	-2.555
8	1.034	0.193	0.827	0.101	2.155
9	0.262	-0.011	0.569	-0.183	0.637
10	0.515	0.470	0.568	0.507	2.060
11	-0.557	-0.293	-0.641	-0.034	-1.525
12	0.150	0.265	0.221	0.150	0.786
13	-0.072	0.141	0.212	-0.178	0.103
14	-0.278	0.086	-0.185	-0.340	-0.717
15	-0.883	-0.512	-0.802	-0.450	-2.647

Table 6 Results of WQI by 4 Items

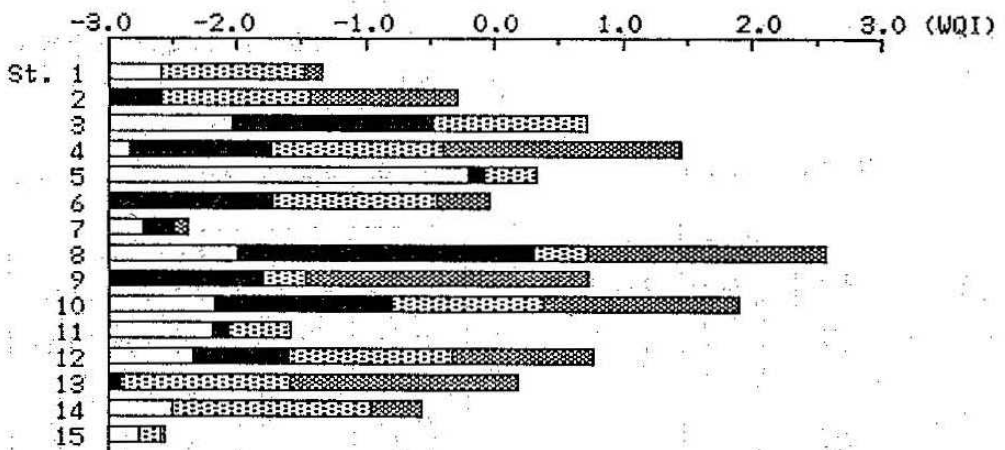
St.	DO	BOD	Coli.	MBAS	WQI
1	-0.333	-0.495	-0.066	-0.442	-1.336
2	-0.367	-0.190	0.137	0.131	-0.289
3	0.191	0.342	0.256	-0.065	0.724
4	0.056	0.357	0.436	0.599	1.448
5	0.452	-0.053	0.003	-0.074	0.328
6	-0.169	0.109	0.107	-0.082	-0.035
7	-0.163	-0.278	-1.154	-0.778	-2.375
8	0.469	1.065	0.191	0.859	2.584
9	-0.120	0.270	-0.011	0.591	0.730
10	0.323	0.531	0.466	0.590	1.910
11	-0.043	-0.574	-0.291	-0.666	-1.574
12	0.137	0.155	0.263	0.229	0.784
13	-0.092	-0.074	0.140	0.220	0.194
14	-0.164	-0.286	0.085	-0.192	-0.557
15	-0.299	-0.910	-0.508	-0.833	-2.550

Table 7 Results of WQI by 7 Items

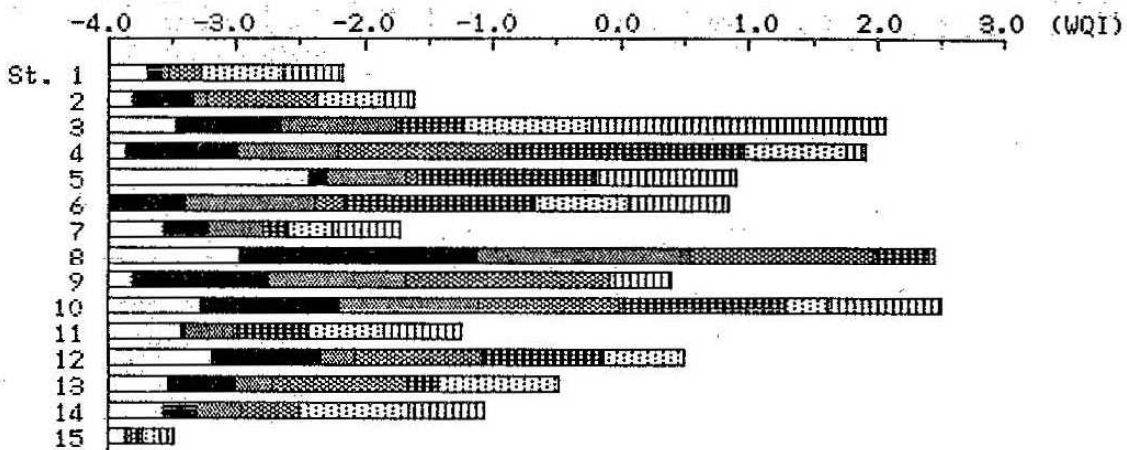
St.	DO	BOD	COD	MBAS	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	Cl <sup>-</sup>	WQI
1	-0.287	-0.390	-0.413	-0.315	-0.445	-0.124	-0.205	-2.179
2	-0.316	-0.150	-0.382	0.093	-0.445	-0.119	-0.299	-1.618
3	0.165	0.269	0.312	-0.046	0.157	0.352	0.851	2.060
4	0.048	0.281	0.255	0.427	0.598	0.256	0.052	1.917
5	0.390	-0.041	0.104	-0.053	0.338	-0.082	0.247	0.903
6	-0.146	0.086	0.244	-0.058	0.423	0.143	0.152	0.844
7	-0.140	-0.219	-0.154	-0.554	-0.368	-0.233	-0.063	-1.731
8	0.404	0.840	0.745	0.612	0.099	-0.114	-0.135	2.451
9	-0.103	0.212	0.224	0.421	-0.181	-0.181	-0.002	0.390
10	0.279	0.418	0.415	0.421	0.501	0.123	0.346	2.503
11	-0.037	-0.452	-0.189	-0.475	-0.034	-0.033	-0.019	-1.239
12	0.118	0.122	-0.027	0.163	0.149	0.070	-0.095	0.500
13	-0.079	-0.058	-0.161	0.157	-0.176	0.117	-0.276	-0.476
14	-0.142	-0.226	-0.181	-0.137	-0.336	0.036	-0.075	-1.061
15	-0.258	-0.717	-0.755	-0.593	-0.445	-0.312	-0.397	-3.477



a) BOD, Coli., MBAS, NH<sub>4</sub>-N



b) DO, BOD, Coli., MBAS



c) DO, BOD, COD, MBAS, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, Cl<sup>-</sup> (7 Items)

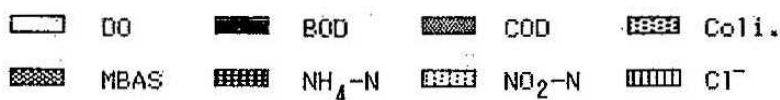


Fig 1 Comparison of wQI by Changing the Number and the Kind of Items

においても類似性があり、これらの地点間で汚濁の機構が類似していることが予想される。

WQI算出の際の項目数が7であるFig.1では、地点間によるWQIの差が大きくなっており、単に汚濁度を表わすのには適していると思われるが、各項目の寄与を推定するのは複雑であり、WQIの傾向も4項目のみによるものと大差ない。従って、WQIを求めるための項目数は、4項目で十分であると思われる。

以上のことから、主成分分析で得た第1主成分の因子負荷量が大きいものを数項目組み合わせることによって、WQIは安定度よく求めることが可能である。

#### 4 結 語

排水路水質の解析に濃度相関マトリックス及びWQIを用いたところ、以下のとおりであった。

- 1) 濃度相関マトリックスの結果から病原菌等サーベイランス事業の発端となった地点12と地点3, 4, 6で類似性があった。
- 2) 歪度、尖度により正規性のよくなる変換方式を調べ、水温、pH、DOは原データ、他の項目を対数変換し、得られた相関行列から出発する主成分分析を行い、汚濁の因子である第1主成分の

因子負荷量が大きい項目の組合せを変えてWQIを算出してもあまり差異はなく、WQIが汚濁の指標として安定度が大きく、排水路の汚濁の程度を知るうえで有効であった。

3) WQIによると地点12と同程度あるいはこれ以上の汚濁度の排水路の地点が15地点中7地点もあり、公共用水域の汚濁の面からもこれらの地点の水質の把握は重要であると思われる。

4) 1年間6回のみでのデータによる解析であり、対数変換値に対する下限有限値の決定等がされておらず、不十分な面もあるが、今後原データに検討を加えたうえで、排水路水質の解析に濃度相関マトリックスあるいはWQIを用いることは、大変有効であると思われる。

#### 5 文 献

- 1) 吉見 洋, 岡 敬一, 井口 潔, 関野廣子: 水質汚濁研究, 5, 193~200 (1982)
- 2) 岡 敬一, 吉見 洋, 井口 潔, 小森谷廣子: 水質汚濁研究, 6, 407~413 (1983)
- 3) 木羽敏泰, 寺田喜久雄, 本浄高治, 松本 健, 飴野 清: 分析化学, 24, 18~25 (1975)
- 4) 渡正 堯, 岸 学: “多変量解析プログラム集” p10-13~10-14 (1983) 工学図書