

女川湾における細菌汚染の実態とその解析

東北大学 松本 順一郎
東北大学 大村 達夫

1) はじめに

水域の細菌汚染の指標細菌として、古から大腸菌群が用いられてきた。確かに、大腸菌群は指標細菌として、すぐれた面を多くもっている。しかし、海水中においては必ずしも適切であるとは言い難い。¹⁾ Hanes *et al.* 著者らの研究によれば、海水濃度が大腸菌群の生存に大きな影響をおよぼすため、河口や内湾などの海水濃度が変化する水域においては、指標細菌として疑問であり、同じ腸内細菌である腸球菌のほうがより指標として有利であると考えている。

そこで、著者らは、宮城県的女川湾を対象水域とし、月2回の頻度で一年間、湾内の大腸菌群数および腸球菌数の測定を行ない、湾内の細菌汚染の実態を調べるとともに、大腸菌群数と腸球菌数の関係も調べた。

同時に、他の水質指標である水温・透明度・pH・Cl・BOD・COD・溶存酸素の測定を行ない、各水質の分布様式を χ^2 検定を用いて検討した。次に、大腸菌群数・腸球菌数とこれらの水質との相関を調べた。

最後に、主成分分析により、大腸菌群および腸球菌の主成分中で示す役割についても検討を行なった。

細菌数の測定は、大腸菌群数がデスオキシコレート培地による平板法、腸球菌数はA C培地を用いたM P N法²⁾を用いた。

2) 女川湾の細菌汚染の実態

図-1)に女川湾の調査地点を示す。女川湾は、女川港から成り、水産加工業が発達している。その周辺の女川町には、約一万七千人が生活している。女川町には、下水処理場がないため、家庭排水等は処理を受けずに直接湾内へ放流されているものと考えられる。すなわち、人間生活に由来する細菌はその大部分がそのまま湾へ放流されていることになる。

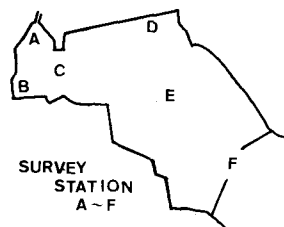


図-1 女川湾

図-2)~7)に各採水点での一年間を通じての大腸菌群数と腸球菌数の変化を示す。A点、B点、D点は排水口近くであり、大腸菌群数と腸球菌数とも高い値を示した。A点では年幾何平均の対数で、大腸菌群数が4.40、腸球菌数が3.88であり、大腸菌群数と腸球菌数の比は10:1であった。B点で、年幾何平均の対数は、大腸菌群数が4.45、腸球菌数3.27であり、A点と同様に、大腸菌群数と腸球菌数との比は、ほぼ10:1であった。

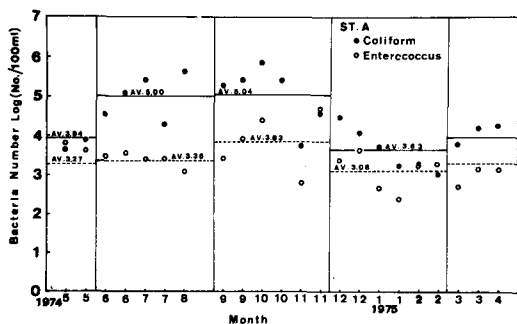


図-2 A点における細菌数の季節変化

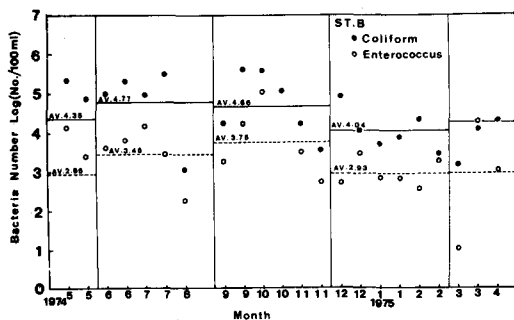


図-3 B点における細菌数の季節変化

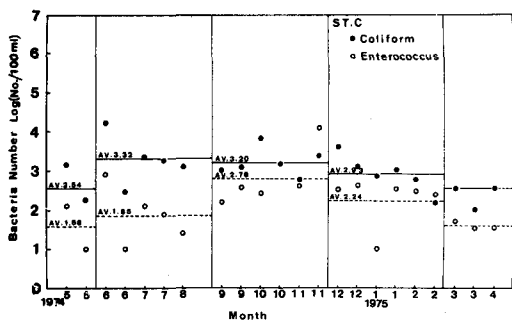


図-4 C点における細菌数の季節変化

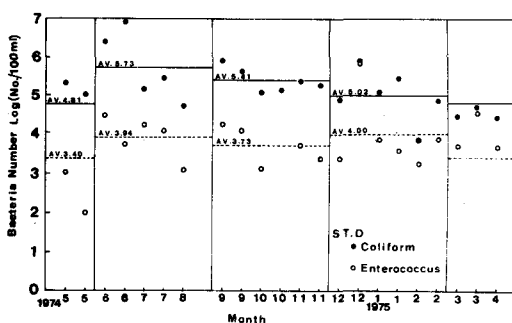


図-5 D点における細菌数の季節変化

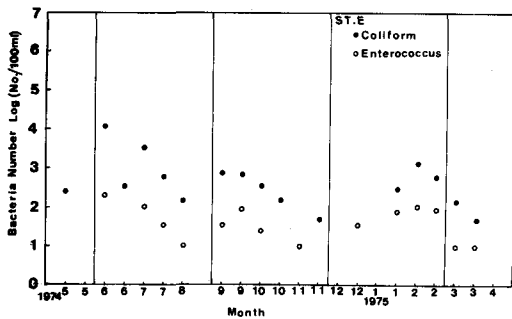


図-6 E点における細菌数の季節変化

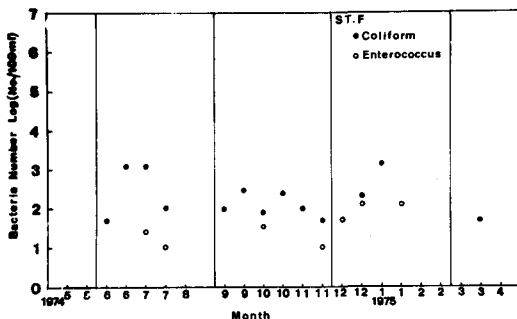


図-7 F点における細菌数の季節変化

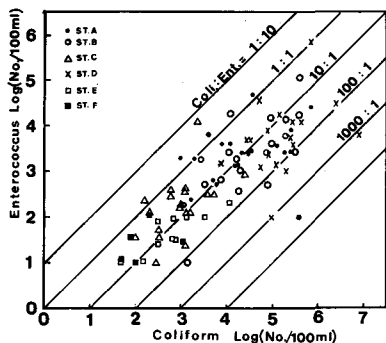


図-8 大腸菌群数と腸球菌の関係

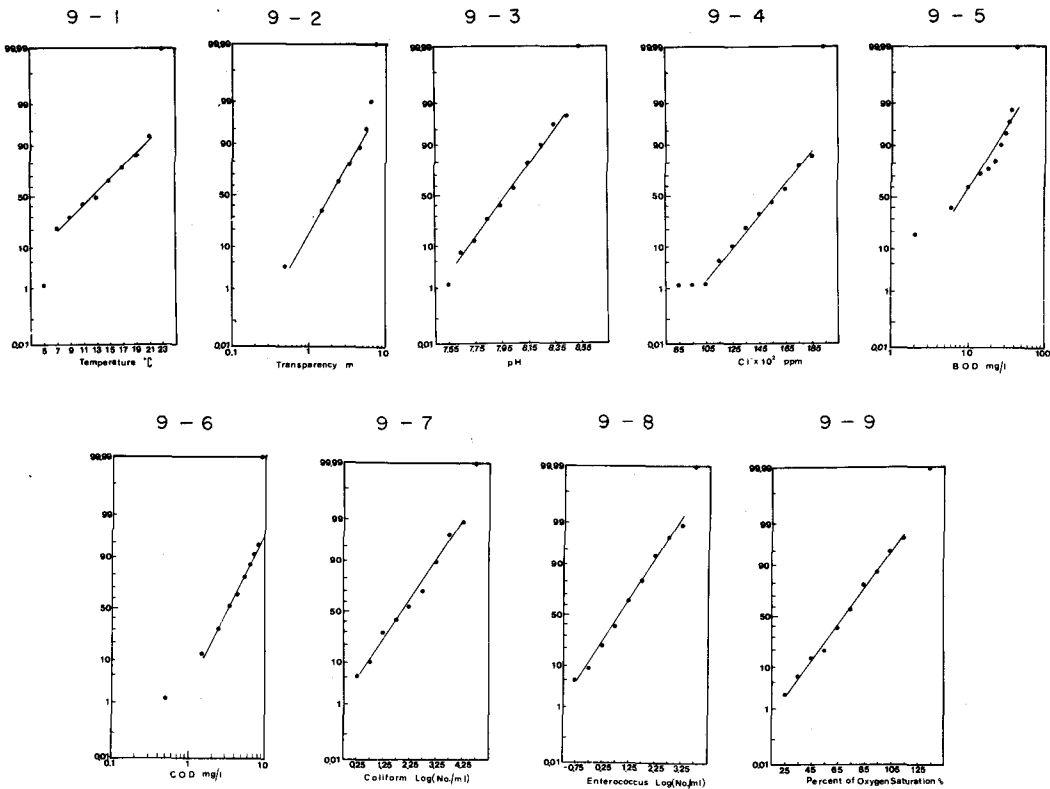
D点では、年幾何平均の対数が大腸菌群数で3.76であり、大腸菌群数と腸球菌数の比は80:1であった。D点は、A点、B点に比べると大腸菌群数と腸球菌数の比は大きくなった。一般にひとのふん便中の大腸菌群数と腸球菌数の比は10:1程度と考えられているから、A点、B点では、それに近い値が得られていることになる。しかし、D点では大腸菌群数の比率が大きくなったことは、大腸菌群が増殖した可能性を示すものかもしれない。図-(8)参照

また、A点、B点、D点においては季節的な変化が見られ、特にA点で著しい。すなわち、夏から秋にかけて大腸菌群数も腸球菌数も高く、冬と春に低い値を示している。

C点においては、年幾何平均の対数は大腸菌群数で8.00、腸球菌数は2.11であった。大腸菌群数と腸球菌数の比は約7:1であった。図-(8)参照 C点での大腸菌群数と腸球菌数は、年幾何平均でA点、B点での細菌数のそれぞれ25分の1、16分の1であり、大腸菌群・腸球菌とも減衰が大きく、大腸菌群のほうがより大きかった。このような減衰は潮汐による混合希釈やシルトなどの浮遊物への吸着による沈降現象^{6),7)}、ひいては、海水濃度や水温の影響^{1),2)}などが考えられる。E点、F点においては、夏と秋に細菌数が検出されたが、冬および春にはほとんど検出されなかった。

8) 水質の分布様式について

図-(9)に各水質の累積確率分布を示す。



この結果に χ^2 検定を適用し、その適合度を有意水準5%で調べた。表-(1) その結果より表-(2)の分布様式を得た。大腸菌群数と腸球菌数は透明度、BOD、CODとともに対数正規分布としてよいことがわかり、pH、Cl⁻、溶存酸素飽和度は正規分布と考えられる。しかし、水温だけは有意水準5%で正規分布として受容できなかったが擬似正規分布と考えた。以上より、大腸菌群と腸球菌を含めた人為的汚染指標と考えられる水質は対数正規分布をすることがわかった。対数正規分布をする水質項目に関しては、水質間の相関や主成分分析を行なう場合、データを対数変換して用いた。

	Deg. of Freedom	χ^2
Temperature	9	26.95 > 16.92
Transparency	9	8.30 < 16.92
pH	10	6.09 < 18.31
Cl ⁻	9	5.81 < 16.92
BOD	14	16.20 < 23.70
COD	11	7.65 < 19.68
Coliform	9	10.70 < 16.92
Enterococcus	9	4.38 < 16.92
DO	11	10.65 < 19.68

Table - (1) Test of Goodness of Fit
Level of Significance (0.05)

Waterquality	Distribution
Temperature	L.N.D.
Transparency	L.N.D.
pH	N.D.
Cl ⁻	N.D.
BOD	L.N.D.
COD	L.N.D.
Coliform	L.N.D.
Enterococcus	L.N.D.
DO	N.D.

N.D.) Normal Distribution
L.N.D.) Logarithmic
Normal Distribution

Table - (2)
Waterquality Distribution

4) 水質の相関について

表-⑧に水質の相関行列を示す。E点、F点のデータは解析より省いた。表-⑧の右上半分は全部のデータ(77個)を用いて求めたものである。左下半分は各点ごとに、それぞれの水質が表-⑧のような分布をするものとして、有意水準5%で受容できないデータ(異常値)をのぞいて求めた相関行列である。(データ数は57個) これより、大腸菌群数と腸菌数との相関係数および2、8の相関係数をのぞくと、全てのデータより求めた相関係数は、絶対値において小さな値を示した。主成分分析が相関行列から出発することを考えると、水質の異常値の取捨により、主成分分析結果が相違することになる。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Temperature		-.341	-.110	-.370	-.260	-.175	.374	.115	-.207
2 Transparency	-.423		.191	.508	-.423	-.374	-.485	-.278	-.143
3 pH	-.246	.330		.487	-.413	-.448	-.538	-.505	.583
4 Cl ⁻	-.496	.536	.570		-.156	-.227	-.407	-.213	.195
5 BOD	-.254	-.390	-.431	-.160		.775	.540	.588	-.085
6 COD	-.200	-.372	-.400	-.248	.784		.518	.596	-.140
7 Coliform	.447	.534	-.641	-.538	.466	.456		.735	-.286
8 Enterococcus	.142	-.398	-.553	-.399	.608	.582	.718		-.400
9 DO	-.219	.012	.675	.317	-.177	-.176	-.391	-.435	

Table - (3) Correlation Matrix

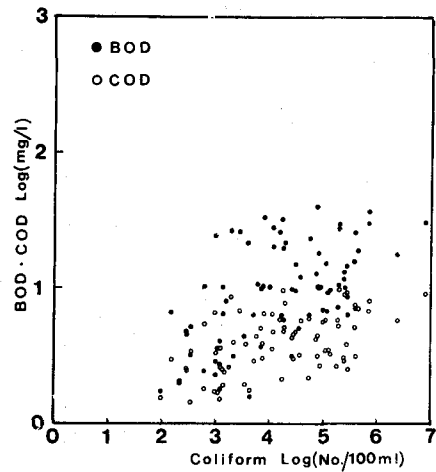


図-10 大腸菌群とBOD・CODとの関係

図-⑧に大腸菌群数と腸球菌数の関係、図-⑩に大腸菌群数とBOD・CODとの関係、図-⑪に腸球菌数とBOD・CODとの関係をそれぞれ示す。大腸菌群数と腸球菌数の相関は高く、相関係数は0.785である。

大腸菌群数は、水温・BOD・CODと正の相関を示し、BODとの相関係数は0.540、CODとは0.510であった。

それに反して、透明度・pH・Cl⁻・溶存酸素飽和度とは負の相関を示した。腸球菌数は、大腸菌群数と同様な相関を示し、BODとの相関係数は0.588、CODとは0.596であった。他の水質間での相関で、相関係数の大きいものは、BODとCODの0.775であった。

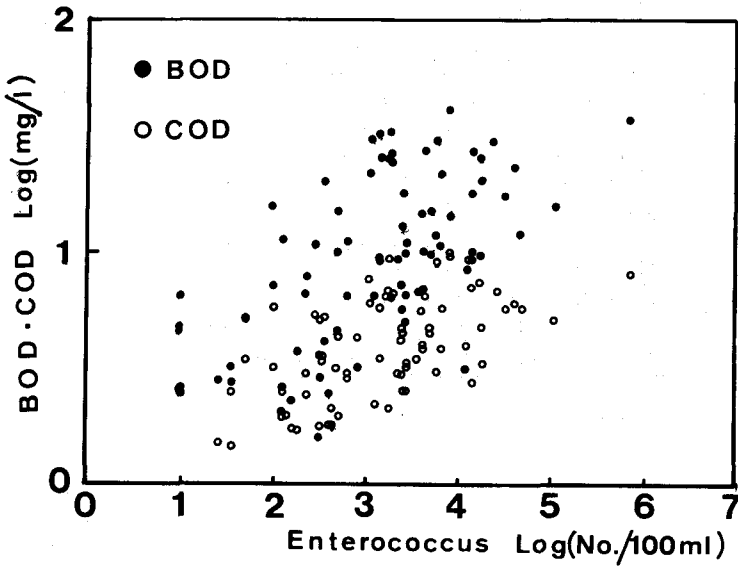


図-11 腸球菌とBOD・CODとの関係

5) 主成分分析とその考察

主成分分析は、種々な水質をそれぞれ一つの変量と考え、変量間の相関や、その変量によって作られる新しい変量として主成分を抽出することにより、水域の汚染度を総合的に判断するのに用いられる手法である。近年、河川や湖沼の水質にこの手法が適用され多くの研究成果が発表されている^{8),9)}。表-(4)に、相関行列より求めた固有値と累積寄与率を示す。(A)欄は、すべてのデータより求めた値であり、(B)欄は、異常値を含めない場合のデータより求めた値である。両者とも、第4主成分までで変動の86%を表わすことができる。しかし、異常値を含めない場合には、第1主成分の寄与率が大きくなり、第1主成分でより大きな変動を表わすことができる。

これより以下の結果と考察は異常値を含めたすべてのデータから求められたものについて行なう。表-(5)に因子負荷量を示す。因子負荷量は、各水質と各主成分との相関を示すもので、それぞれの主成分の物理的な意味を明確にすることができる。第1主成分は、大腸菌群数および腸球菌数と顕著な負の相関を示し、BOD、CODとも高い負の相関を示した。また、PHとは正の高い相関を示した。したがって、第1主成分は人為的汚染の総合汚染指標と考えられる。すなわち、第1主成分の得点が、小さいほど人為的な汚染が進んでいることを示すことになる。

第2主成分は、水温と高い相関を示し、気候因子と考えられる。第3主成分は、透明度と溶存酸素飽和度と高い相関を示し、第4主成分はCl⁻と若干の相関を示しているけれども、両者ともはっきりとした意味づけはできない。

Principal Component	(A)		(B)	
	E-Value	C.C.R.	E-Value	C.C.R.
1	3.913	43	4.241	47
2	1.683	62	1.810	67
3	1.384	77	1.179	80
4	0.771	86	0.537	86
5	0.349	90	0.361	90
6	0.288	93	0.285	93
7	0.270	96	0.268	96
8	0.194	98	0.170	98
9	0.148	100	0.149	100

E-Value : Eigen Value

C.C.R. : Cumulative Contribution Ratio(%)

Table - (4) E-Value and C.C.R.

	Principal Component								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperature	-.228	.852	.121	-.346	-.111	.018	.221	.022	.158
Transparency	.574	-.202	-.689	-.053	.284	.104	.179	.143	.087
pH	.742	-.107	.411	-.344	-.078	.315	-.124	.165	-.051
Cl ⁻	.558	-.505	-.203	-.533	-.195	-.231	.078	-.096	-.031
BOD	-.732	-.559	.162	.020	-.119	-.103	-.056	.231	.208
COD	-.751	-.483	.101	.062	-.117	.239	.327	-.068	-.086
Coliform	-.855	.132	.063	-.319	.223	-.140	.021	.176	-.209
Enterococcus	-.809	-.149	-.181	-.374	.176	.168	-.202	-.200	.103
DO	.427	-.252	.782	-.024	.320	-.096	.130	-.089	.081

Table - (5) Factor Loading Matrix

図-12は、調査地点ごとに第1主成分から第3主成分までの因子得点を時系列として図示した。これより、第1主成分は、A点、D点で一年間を通じてほとんど負の値を示しており、人為的汚染が相当進んでいるものと考えられる。C点はすべて正の値であり、A点、D点にくらべてはるかに人為的な汚染が少なく、B点はその中間の汚染状態を示している。第2主成分は、水温と高い相関を示しているためA～D点のすべてにおいてははっきりとした季節変化がみとめられる。

以上の主成分分析より、大腸菌群および腸球菌とも第1主成分と著しい相関を示し、第1主成分の主要な要素となっていることがわかった。

6) ま と め

○ 女川湾の大腸菌群数と腸球菌数の季節変化は、夏に大きく、冬に小さい傾向があった。両細菌の海水中的の減衰は大きく、大腸菌群のほうがやや大きいと考えられる。

○ 大腸菌群数と腸球菌数の確率分布は、対数正規分布をし、これは他の人為的汚染指標であるBOD・CODなどと同じ分布様式となった。

○ 大腸菌群数と腸球菌数の相関は高い。また、両細菌と水温・BOD・CODとは正の相関を示し、透明度、 pH ・ Cl^- ・溶存酸素飽和度とは負の相関を示した。

○ 主成分分析において、大腸菌群数と腸球菌数は、第1主成分と高い相関を示し、第1主成分の主要な要因である。また、第1主成分は、人為的汚染因子の総合指標と考えられる。

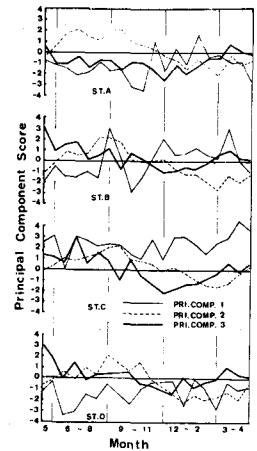


Fig. - (12) Principal Component Score

参 考 文 献

- 1) N. Bruce, Hanes and Robert Fragala : "Effect of Seawater Concentration on Survival of Indicator Bacteria" Jour. WPCF ; Vol. 39, No. 1, January, pp. 97~104 (1967)
- 2) 松本、大村 : " 海水中的のふん便性指標細菌に及ぼす海水濃度および温度の影響 " 下水協会誌, Vol. 13, No. 141, 1967/2.
- 3) 堀江 進 : "汚染指標細菌とその検査法" 水産学会誌, Vol. 35, No. 8, pp. 818~830 (1969)
- 4) 微生物学ハンドブック : p753, 技報室, 1957
- 5) 堀江 進 : " 人の糞便、食品、水における腸球菌の菌群ならびに菌型について " 水産学会誌, Vol. 26, No. 2, pp. 188~192 (1963)
- 6) 小川 数也 : " 海水中における大腸菌群の消長に影響を及ぼす諸要因 " Jour. of the Oceanographical Society of Japan, Vol. 30, pp. 54~60, 1974
- 7) 松本、大村 : " 土粒子への細菌の吸着について " 第 3 1 回土木学会年講, p585, 1976
- 8) 南部祥一他 : " 湖沼水質の評価方法に関する一考察 " 第 2 回環境問題シンポジウム講演集, pp61~66, 1974
- 9) 寺島 泰 : " 河川水質日変動特性の解析ならびに重回帰分析, Kalman filter による日変動の予測 - 淀川 下流部, 水質変動を対象として " 第 1 1 回衛生工学研究討論会論文集, pp. 130~135, 1975