

相模湾沿岸域の水質に影響を及ぼす 河川系水の負荷について

古島 靖夫*・平野 敏行**・杉本 隆成*

Load of River Discharge Influencing on Water Quality in Sagami Coastal Region

Yasuo FURUSHIMA*, Toshiyuki HIRANO**
and Takashige SUGIMOTO*

Abstract

In the recent years, utilization and development for not only fisheries but also recreation in the coastal region of Sagami-Bay have attracted, although the water quality degradation has become noticeable. In order to clarify the characteristic of fluctuations in water quality of the coastal region and rivers, water quality data of Sagami Bay and the main eight rivers which run off the bay were examined by principal component analysis.

As the result, the rivers are classified into four types, viz. rivers whose variation of discharge influences on the coastal water quality, rivers whose variation of concentration of pollutant influences on the coastal water quality, rivers whose concentration decrease when discharge increases, and the others.

Principal component analysis of coastal region indicates that the characteristic of water quality fluctuation in Sagami bay is contrary to each other at the eastern and western part from Sagami river estuary.

Principal component analysis of the heads of load quantity and the coastal water quality reveals that, the fluctuation of river pollutant load (T-P) at Sagami river and the water quality of the most eastern part of Sagami bay, is similar. Since there are not large rivers inflow at the most eastern part of Sagami bay, the waters might be responded to Tokyo bay water. Therefore, the discharge of pollutant load from Tokyo Bay is important for water quality environment of Sagami Bay.

1. はじめに

近年、相模湾は、漁業だけではなくレクリエーション等の総合利用の場を目指し、ヨットハーバー等の建設がより活発に進行するなど、沿岸域の利用・開発が注目を集めている。それらの開発と利用人口の増加、および近年における神奈川県内の人口の増加に伴い、沿

岸域の水質環境の悪化が懸念され、河川からの物質負荷が、相模湾沿岸域の水質と湾内の表層水の形成に重要な役割を果たしていると考えられている(岩田, 1986)。そこで、今後、沿岸域の開発に伴い水質環境の悪化が懸念される沿岸域の環境基準を維持・達成していくうえで、河川系水の負荷に関する研究は極めて重要な課題である。

今までの研究から、相模川で流域下水道計画が実施された場合の予想される環境変化について、相模湾に流出する最大の河川である相模川が相模湾沿岸域の水質に多大な影響を及ぼすことが示唆されている(早川・平野, 1978; 早川, 1979)。さらに、河口域の環境

1994年6月16日受理

* 東京大学海洋研究所資源環境部門 Ocean Research Institute University of Tokyo, 1-15-1, Minamidai, Nakano-ku, Tokyo, 164, Japan.

** トキワ松学園女子短期大学 Tokiwamatsu Women's Collge, 1204, Kamoshida-cho, Midori-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 227, Japan

変化には塩水くさびの動態が中心的役割を演じており(早川, 1979), 酒匂川から湾内への富栄養化物質の負荷は, 相模川のそれに匹敵する(早川, 1985)。また, 斎藤ほか(1987)は, 河川の影響を強く受け, 富栄養化が地形的にも進行しやすいと考えられる江ノ島西部沿岸域では, 境川系水の影響が沿岸から約 1.7 km~2.7 km まで及ぶことを指摘している。

このように, 個々の河川における水質変動の検討は行われてきているが, 相模湾に流入する大小様々の河川からそれぞれ負荷された物質 (T-N, T-P, BOD など) が相模湾内の物質分布におよぼす影響に関して, 一括して取り扱った例はない。そこで, 本研究では, 相模湾内の水質諸因子の分布と, 湾内に流入する大小 8 河川からの物質負荷との関係を明らかにするために, これらの水質諸量の主成分分析を行い, 相模湾沿岸域と流入河川(河口)の水質環境, および河川からの物質負荷が沿岸域に及ぼす影響について検討した。なお, 解析を行なった河川は, 流域面積が上位を占める河川, および過去に家畜あるいは農業排水により河川の汚染化が生じ, 漁業者の間で深刻な問題とされた小規模河川を対象とした。

2. 資料および解析方法

本研究では, 相模川・酒匂川・境川・花水川・早川・引地川・中村川・森戸川の 8 河川(河口)における水

質資料として, (財)相模湾水産振興事業団の調査資料(水温, pH, T-N, T-P, SS, BOD)と神奈川県水質調査年表の河川資料(COD, 流量, 1日4回観測の平均値)を用いた。また, 早川における水質資料は, 神奈川県水質調査年表を用いた。ただし, 相模川の流量に関しては, 神奈川県企業庁より入手した寒川取水堰の下流放流量および, 寒川取水堰より下流で相模川と合流する目久尻川・小出川の流量を併せて用いた。また, 海域の水質資料として, 神奈川県水質調査年表の表層における資料(水温, 透明度, pH, COD, DO, T-P, T-N, 塩分)を用い, それぞれ 1980年4月~1988年3月の8年間について解析を行なった。それぞれの観測は月に1回行なわれ, Fig. 1 に沿岸域の観測地点 (St. 1~St. 20) と対象河川の位置を示す。

まず, 各河川河口における水質諸量の変動の特性を検討するために, 河川河口の水温, pH, T-N, T-P, SS, BOD, COD, 流量および T-N, T-P, SS, BOD, COD の各負荷量を説明変数(全 13 変数)として, 各河川河口ごとに調査資料(1変数の最大データ数; 96)の主成分分析(田中・脇本, 1983)を行なった。この際, T-N, T-P, SS, BOD, COD の各濃度に河川流量を掛け合わせたものを各河川における「負荷量」と定義した。

次に, 相模湾沿岸域における各水質諸量ごとの変動の特性を検討するために, Fig. 1 に示した各観測点 (St. 1~St. 20) における同一項目の水質諸量を説明変

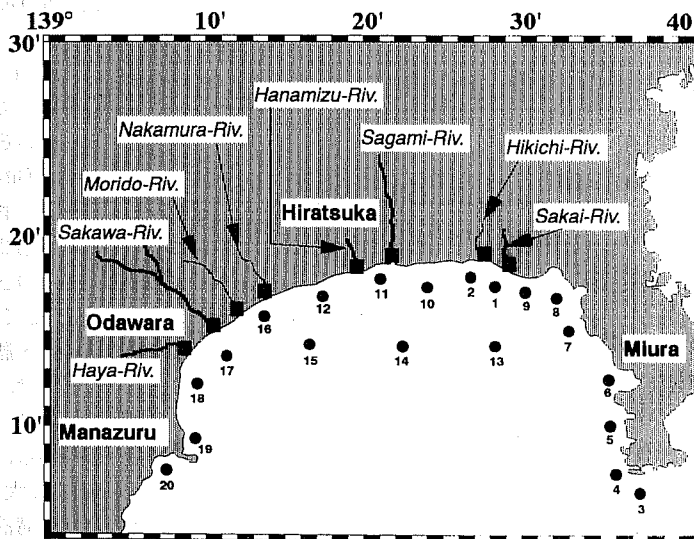


Fig. 1. Observational point in SAGAMI Bay.
(●; investigation point of coastal sea, ■; investigation point of river mouth.)

数(全 20 変数)として、水温、透明度、COD、T-N、T-P、塩分ごとに主成分分析を行った。

さらに、河川からの物質負荷と相模湾沿岸域の水質環境とを総合的に検討するために、流域面積が上位(100 km²以上)を占める 5 河川(相模川・酒匂川・境川・花水川・早川)と沿岸域の各観測点(St. 1~St. 20)における同一の負荷量項目を説明変数(全 25 変数)として、T-N、T-P、COD ごとに主成分分析を行った。

ただし、本研究で使用した水質資料は、海域と河川とで調査日時がそれぞれ各月の前半と後半に分れている。海域の調査日時の方が河川よりも先行しているため、沿岸域に対する河川からの物質負荷の影響を考える場合、同月の両水質資料をそのまま主成分分析してしまうと、河川からの物質負荷後の沿岸域の水質環境を検討することにはならない。そこで、この主成分分析では、河川負荷量に対する沿岸域の水質資料を 1 か月遅らせて計算を行うことにした。

3. 結 果

3-1. 各河川河口における水質諸量の変動特性

各河川河口の水質諸量の主成分分析から得られた、第 1 主成分、第 2 主成分の因子負荷量(以下、因子と記す)を Table 1(a), (b) に示す。

相模川と酒匂川では、流量と各負荷量とが第 1 主成分で重要な因子になっており、第 2 主成分として、水質項目のうちの T-N、T-P、BOD がこの両河川の重要な因子となっている。これらのことは、第 1 主成分では、流量と負荷量とが、第 2 主成分では T-N、T-P、BOD の各水質項目が応答した変動をしていることを意味し、両河川の水質諸量の変動特性が類似していることを示すものである。すなわち、相模川と酒匂川では河口付近の污水处理場により水質諸量の濃度が排水基準値に合うように処理されているであろうから、この両河川の相模湾沿岸域への負荷というものは、主に流量だけで決まると考えられる。

次に境川と引地川では、第 1 主成分に T-N、T-P、SS、BOD、COD の各水質項目と各負荷量の因子が高い値を示している。また、第 2 主成分では流量と水温が重要な因子となっている。第 1 主成分は、この両河川の水質項目の濃度変動と負荷量変動とが応答していることを表している。さらに、第 2 主成分には、水温変動と流量変動とが応答していることから、この主成分は季節変動を表していることが分かる。第 1、第 2 主成分を決めている因子が同一であることから、この両河

川の水質諸量の変動特性は類似しており、さらに、上記の相模川や酒匂川のそれとは、異なっている。水質項目の濃度変動と負荷量変動とが応答していることから、この両河川の相模湾沿岸域への汚濁物質の負荷というものは、主に水質諸量の濃度だけで規定されることを示す。したがってこの両河川は、都市域を流れていることから見て、都市排水などの影響が直接、負荷に反映される河川であると考えられる。

花水川と森戸川は、第 1 主成分で水温と流量および SS 負荷量、COD 負荷量の各因子が高い値を示している。この両河川の第 1 主成分は、水温変動と流量変動に応答があることから、季節変動を表しているのが分かる。一方、第 2 主成分の因子を見ると、花水川では BOD 負荷量の変動と BOD 濃度の変動とが応答しているのが分かる。これは、花水川の水質汚濁変動には BOD が主として左右することを示唆している。また、森戸川については明確な第 2 主成分が表れていない。しかし、Table 1(a)を再度見ると、水温と流量の因子は正の値で第 1 主成分を規定しているが、同時に水質諸量のうち T-N、T-P、BOD、COD の各因子は負の高い値で第 1 主成分を規定している。すなわち、これは、森戸川の河川規模が小さく、そして比較的郊外を流れている河川であることから、降雨などにより河川流量が増加するとそれに応答して水質諸量の濃度が減少する河川であることを示している。

中村川は、第 1 主成分で、T-N、T-P、SS、BOD の各負荷量と、T-N、T-P、SS、BOD の各水質項目の因子が高い値を示しており、第 2 主成分では、流量と COD 負荷量の因子が高い値を示している。これらの両主成分から見ると、中村川は、境川や引地川の水質諸量の変動特性にほぼ類似していると見られる。

早川は、第 1 主成分で各負荷量項目と流量・SS・COD の各水質項目の因子が相模川や酒匂川ほどではないが高い値を示している。一方、第 2 主成分の因子を見ると、T-N、T-P、BOD、COD の各水質項目の因子が正の値で、流量が負の値で応答している。したがって、早川は、第 1 主成分では相模川・酒匂川とほぼ同様の変動特性を示し、第 2 主成分では、森戸川の変動特性とほぼ類似していることが分かる。

以上の主成分分析の結果から、対象とした 8 河川を変動特性(変動の類似性)別に大きく分類してみると、相模川・酒匂川のように相模湾沿岸域への負荷に対して流量の増加・減少が左右する河川、境川・引地川・中村川のように相模湾沿岸域への負荷に対して水質諸

Table 1. Result of principal component analysis for Sagami-river, Sakawa-river, Sakai-river, Hayakawa-river, Hanamizu-river, Hikichi-river, Nakamura-river and Morido-river.

Riv. name	Heads of load quantity					Heads of water quantity					Eigen-value	Proportion			
	T-N	T-P	SS	BOD	COD	W.T.	pH	T-N	T-P	SS			BOD	COD	Riv. F.
Sagami	0.864	0.862	0.786	0.877	0.935	0.336	-0.324	-0.446	-0.472	-0.735	-0.320	-0.452	0.982	6.2	47.6
Sakawa	0.923	0.852	0.555	0.875	0.677	-0.001	-0.226	0.604	0.321	0.171	0.546	-0.199	0.750	4.6	35.1
Sakai	0.930	0.960	0.950	0.978	0.952	-0.269	-0.173	0.429	0.840	0.895	0.929	0.954	0.525	8.5	65.3
Hayakawa	0.640	0.903	0.877	0.800	0.961	0.374	-0.352	-0.260	0.212	0.809	0.001	0.618	0.629	5.4	41.3
Hanamizu	0.486	0.323	0.790	0.029	0.744	0.693	-0.145	-0.615	-0.391	0.381	-0.567	-0.284	0.949	4.0	30.8
Hikichi	0.817	0.927	0.882	0.975	0.944	-0.259	-0.669	0.566	0.757	0.935	0.922	0.932	0.482	8.4	64.6
Nakanura	0.853	0.902	0.811	0.808	0.459	-0.061	0.132	0.600	0.672	0.796	0.516	0.111	0.473	5.0	38.7
Morido	0.367	0.319	0.560	0.133	0.693	0.874	0.260	-0.771	-0.784	-0.213	-0.817	-0.744	0.958	5.3	40.6

(Riv. name; River name, W.T.; Water Temperature, Riv. F.; River Flow)

Riv. name	Heads of load quantity					Heads of water quantity					Eigen-value	Proportion			
	T-N	T-P	SS	BOD	COD	W.T.	pH	T-N	T-P	SS			BOD	COD	Riv. F.
Sagami	0.086	0.174	0.303	0.235	0.124	-0.432	-0.149	0.587	0.649	0.283	0.708	0.376	0.075	1.9	14.6
Sakawa	-0.221	-0.124	-0.134	0.262	-0.508	-0.489	-0.174	0.618	0.597	0.135	0.699	0.260	0.612	2.1	18.1
Sakai	0.058	0.090	0.206	0.117	0.190	0.787	-0.200	-0.805	-0.242	0.164	-0.233	-0.173	0.695	2.1	15.9
Hayakawa	-0.613	0.042	0.343	-0.096	0.048	-0.453	0.236	0.645	0.816	0.477	0.801	0.658	-0.735	3.7	28.4
Hanamizu	0.666	0.513	0.298	0.833	0.346	-0.376	-0.003	0.580	0.383	0.357	0.702	0.376	0.137	3.0	23.1
Hikichi	0.310	-0.094	0.311	0.128	0.270	0.757	0.071	-0.609	-0.457	0.143	-0.250	-0.182	0.784	2.2	16.8
Nakamura	0.210	0.107	0.103	0.165	0.639	0.333	0.034	-0.551	-0.375	0.058	-0.633	0.220	0.707	2.0	15.5
Morido	0.645	0.628	0.607	0.735	0.604	-0.213	0.089	0.355	0.264	0.602	0.379	0.453	0.194	3.1	23.8

(Riv. name; River name, W.T.; Water Temperature, Riv. F.; River Flow)

量の濃度の増加・減少が影響する河川、また、森戸川のように、流量が増加すると水質諸量の濃度が減少する河川、そして、花水川や早川のように前述したタイプに類似しないか、あるいは、前述した2タイプの変動特性を持つ河川、の4タイプにグループ分けすることができる。

この4タイプの河川のうち、どの河川がもっとも相模湾沿岸域の水質環境に影響を及ぼしているのかを判断することは非常に重要な課題である。そこで、次に河川の水質変動の特性だけでなく、相模湾沿岸域における水質諸量の変動特性についても検討した。

3-2. 相模湾沿岸域における水質諸量の変動特性

相模湾沿岸域における水質諸量（水温、透明度、塩分、COD、T-N、T-P）の主成分分析の結果を、Table 2(a)～(f)に示す。

水温について見ると、第1主成分の因子が全ての観測点で、0.9以上の値を示しており、寄与率も98.2%になっている。このことから、第1主成分だけで沿岸域の表層水温の変動傾向の類似性が説明できると考えられる。すなわち、全観測点で表層水温の変動が応答していることから見て、この第1主成分における水温変動は、季節変動を表していると言える。

透明度も、水温と同様、第1主成分の因子が全観測点で高い値（ ≥ 0.7 ）を示し、寄与率も73.1%になっている。したがって、透明度の第1主成分も季節変動を表す。第2主成分を見ると、St. 1～St. 9とSt. 13のように因子が正の値で応答している観測点群と、St. 10～St. 12とSt. 14～St. 20のように因子が負の値で応答している観測点群とに分けられる。これらの観測点群をFig. 1で見ると、ほぼ相模川の河口域を中心に東部沿岸域と西部沿岸域に分けられる。すなわち、相模湾東部沿岸域と西部沿岸域で透明度の変動が応答していることを意味する。

塩分の第1主成分は、各々の観測点で因子が高い値を示していることから、これは季節変動を表していると言える。しかし、境川と引地川の河口域にあるSt. 1では因子の値が小さく、必ずしも季節変動が卓越しているとは言えない。すなわち、St. 1付近の変動特性は、塩分の季節変動では説明が付けられない別の要因が存在することを示唆している。

CODについて見てみると、第1主成分はSt. 1以外は因子が ≥ 0.7 であるから、これは季節変動を表す主成分である。第2主成分を見ると、St. 9を除くと、相模川河口域を中心とした東部沿岸域と西部沿岸域で、

CODの変動が逆（正と負）に応答しているのが分かる。

T-Nでは、境川、引地川、相模川の河口域に位置するSt. 1とSt. 11を除き、第1主成分の因子の値が高く、季節変動が卓越していることが分かる。第2主成分を見ると、St. 2以西では因子が正、St. 1以東では負となり、T-Nの変動も東部沿岸域と西部沿岸域で逆に応答していることを表す。

T-Pの第1主成分は、Table 2(a)～(e)に示した水質諸量の第1主成分の因子の値よりやや小さいが、これも他の水質諸量と同様に季節変動が卓越していると考えられる。河口域に近いSt. 1とSt. 11では因子が小さく、他の海域とは異なるT-Pの変動特性を持つことが分かる。第2主成分を見ると、St. 1以東では因子が負で、St. 2以西では因子が正で応答している。このことから、T-Pの変動も東部沿岸域と西部沿岸域で相反する変動をしているのが分かる。

以上の結果をまとめると、沿岸域の水質諸量の主成分分析で得られた変動特性のうち第1主成分は、主にそれらの季節変動を表している。そして第2主成分は、水質諸量（透明度、COD、T-N、T-P）の変動特性が、相模川河口域を中心とした湾東部沿岸域と湾西部沿岸域で相反して応答していることを示している。さらに、境川および相模川河口域に近いSt. 1、St. 11付近の沿岸域では、水質諸量の変動特性が他の海域とは異なることが解析結果より分かった。これは、確率的手法を用いた相模湾の水質調査地点の集約化方法で検討された結果（吉見、1992）とほぼ一致する。

相模湾東部沿岸域と湾西部沿岸域において、水質諸量の変動特性が相反して応答するという原因が、河川からの物質負荷による影響であるかどうかを調べるために、河川物質負荷量と沿岸域の水質諸量との変動特性について次に同様の解析方法を用いて検討した。

3-3. 河川物質負荷量と沿岸域の水質諸量との変動特性

河川から沿岸域へのCOD、T-N、T-Pの負荷量と、沿岸域のCOD、T-N、T-P濃度の変動との関連性を主成分分析によって検討し、その結果をTable 3(a)～(c)に示す。

CODの第1主成分（Table 3(a)）を見ると、St. 2～St. 20の因子が0.8以上の値を示している。これは、3-2における解析結果と同様にSt. 1を除く沿岸域のCODの季節変動を表す主成分である。第2主成分を見ると、相模川、境川、花水川およびSt. 1～St. 10、St. 13の因子が負の値になっており、酒匂川、早川およびSt.

Table 2. Result of principal component analysis for coastal region, (a) sea surface temperature, (b) transparency, (c) salinity, (d) chemical oxygen demand (COD), (e) total nitrogen (T-N), (f) total phosphorus (T-P).

(a) sea surface temperature			(b) transparency			(c) salinity		
St. Number	Factor 1	Factor 2	St. Number	Factor 1	Factor 2	St. Number	Factor 1	Factor 2
St. 1	0.983	-0.021	St. 1	0.733	0.079	St. 1	0.141	0.879
St. 2	0.994	-0.002	St. 2	0.911	0.037	St. 2	0.829	-0.084
St. 3	0.987	-0.015	St. 3	0.778	0.319	St. 3	0.905	0.067
St. 4	0.985	-0.008	St. 4	0.848	0.337	St. 4	0.924	-0.015
St. 5	0.987	-0.032	St. 5	0.876	0.338	St. 5	0.955	-0.059
St. 6	0.989	-0.024	St. 6	0.781	0.158	St. 6	0.893	-0.127
St. 7	0.995	-0.030	St. 7	0.866	0.356	St. 7	0.892	-0.035
St. 8	0.995	-0.020	St. 8	0.852	0.309	St. 8	0.967	-0.082
St. 9	0.993	-0.020	St. 9	0.887	0.233	St. 9	0.965	-0.061
St. 10	0.995	-0.021	St. 10	0.915	-0.086	St. 10	0.807	-0.144
St. 11	0.990	-0.020	St. 11	0.889	-0.161	St. 11	0.702	0.127
St. 12	0.993	-0.019	St. 12	0.844	-0.215	St. 12	0.915	-0.018
St. 13	0.916	0.401	St. 13	0.858	0.276	St. 13	0.944	0.012
St. 14	0.992	-0.020	St. 14	0.880	-0.160	St. 14	0.746	-0.124
St. 15	0.993	-0.017	St. 15	0.860	-0.211	St. 15	0.934	-0.028
St. 16	0.987	-0.024	St. 16	0.882	-0.325	St. 16	0.920	0.043
St. 17	0.991	-0.001	St. 17	0.870	-0.291	St. 17	0.518	0.437
St. 18	0.991	-0.025	St. 18	0.902	-0.275	St. 18	0.917	0.083
St. 19	0.992	-0.015	St. 19	0.852	-0.350	St. 19	0.908	0.045
St. 20	0.989	-0.374	St. 20	0.814	-0.304	St. 20	0.960	0.004
Eigen-value	19.486	0.169	Eigen-value	14.657	1.345	Eigen-value	14.756	1.071
Proportion	97.4	0.8	Proportion	73.3	6.7	Proportion	73.8	5.4

(d) chemical oxygen demand (COD)			(e) total nitrogen (T-N)			(f) total phosphorus (T-P)		
St. Number	Factor 1	Factor 2	St. Number	Factor 1	Factor 2	St. Number	Factor 1	Factor 2
St. 1	0.329	0.391	St. 1	0.108	0.004	St. 1	-0.133	0.135
St. 2	0.876	-0.092	St. 2	0.455	0.261	St. 2	0.466	-0.062
St. 3	0.743	0.400	St. 3	0.645	-0.474	St. 3	0.477	0.617
St. 4	0.767	0.379	St. 4	0.645	-0.505	St. 4	0.568	0.573
St. 5	0.772	0.411	St. 5	0.809	-0.157	St. 5	0.579	0.476
St. 6	0.817	0.159	St. 6	0.602	-0.337	St. 6	0.538	0.247
St. 7	0.831	0.280	St. 7	0.794	-0.198	St. 7	0.796	0.437
St. 8	0.851	0.205	St. 8	0.693	-0.243	St. 8	0.761	0.349
St. 9	0.903	-0.015	St. 9	0.768	-0.176	St. 9	0.754	0.233
St. 10	0.841	-0.021	St. 10	0.657	0.243	St. 10	0.452	-0.084
St. 11	0.840	-0.163	St. 11	0.274	0.528	St. 11	0.217	-0.402
St. 12	0.899	-0.249	St. 12	0.619	0.450	St. 12	0.512	-0.463
St. 13	0.871	0.051	St. 13	0.645	-0.099	St. 13	0.673	0.210
St. 14	0.842	-0.089	St. 14	0.601	0.374	St. 14	0.580	-0.248
St. 15	0.881	-0.105	St. 15	0.662	0.194	St. 15	0.711	-0.337
St. 16	0.880	-0.277	St. 16	0.600	0.291	St. 16	0.608	-0.674
St. 17	0.846	-0.164	St. 17	0.739	0.063	St. 17	0.553	-0.125
St. 18	0.848	-0.197	St. 18	0.763	0.052	St. 18	0.755	-0.383
St. 19	0.863	-0.218	St. 19	0.777	0.076	St. 19	0.614	-0.365
St. 20	0.778	-0.314	St. 20	0.648	0.173	St. 20	0.536	-0.326
Eigen-value	13.472	1.179	Eigen-value	8.385	1.669	Eigen-value	6.907	2.845
Proportion	67.4	5.9	Proportion	41.9	8.3	Proportion	34.5	14.2

Table 3. Result of principal component analysis for coastal region and river mouth (a) chemical oxygen demand (COD), (b) total nitrogen (T-N), (c) total phosphorus (T-P).

(a) chemical oxygen demand (COD)				(b) total nitrogen (T-N)				(c) total phosphorus (T-P)			
Station Number	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Station Number	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Station Number	Factor 1	Factor 2	Factor 3
St. 1	0.449	-0.286	-0.138	St. 1	0.037	-0.140	0.219	St. 1	-0.109	-0.253	0.154
St. 2	0.872	-0.037	-0.231	St. 2	0.326	-0.423	0.315	St. 2	0.375	-0.018	-0.330
St. 3	0.838	-0.150	0.071	St. 3	0.781	0.160	-0.242	St. 3	0.637	-0.485	0.282
St. 4	0.853	-0.152	0.147	St. 4	0.724	0.077	-0.335	St. 4	0.710	-0.510	0.086
St. 5	0.819	-0.274	0.128	St. 5	0.813	-0.208	0.012	St. 5	0.505	-0.475	-0.098
St. 6	0.809	-0.212	-0.048	St. 6	0.613	-0.287	-0.186	St. 6	0.368	-0.222	-0.121
St. 7	0.889	-0.231	0.045	St. 7	0.825	-0.267	-0.136	St. 7	0.830	-0.300	-0.212
St. 8	0.865	-0.255	0.007	St. 8	0.688	-0.307	-0.173	St. 8	0.709	-0.387	-0.365
St. 9	0.920	-0.072	-0.150	St. 9	0.789	0.334	-0.199	St. 9	0.784	-0.105	-0.234
St. 10	0.924	-0.012	-0.107	St. 10	0.688	0.031	0.014	St. 10	0.550	-0.103	-0.057
St. 11	0.863	0.055	-0.078	St. 11	0.261	-0.056	0.713	St. 11	0.309	0.498	0.425
St. 12	0.907	0.162	-0.173	St. 12	0.586	-0.071	0.629	St. 12	0.449	0.579	0.323
St. 13	0.897	-0.090	-0.097	St. 13	0.734	-0.170	0.125	St. 13	0.659	-0.036	0.059
St. 14	0.896	0.016	0.045	St. 14	0.550	0.156	0.188	St. 14	0.494	0.128	-0.152
St. 15	0.894	0.108	-0.072	St. 15	0.673	-0.266	0.051	St. 15	0.670	0.268	-0.431
St. 16	0.871	0.289	-0.190	St. 16	0.564	0.332	0.323	St. 16	0.512	0.751	0.091
St. 17	0.865	0.224	-0.088	St. 17	0.824	0.232	0.014	St. 17	0.603	0.414	0.232
St. 18	0.887	0.120	-0.051	St. 18	0.796	-0.066	-0.175	St. 18	0.801	0.398	-0.029
St. 19	0.864	0.299	0.077	St. 19	0.777	-0.067	-0.018	St. 19	0.452	0.511	-0.109
St. 20	0.800	0.226	-0.154	St. 20	0.701	0.079	0.099	St. 20	0.277	0.521	-0.379
Sagami	0.506	-0.506	0.442	Sagami	0.714	0.241	-0.101	Sagami	0.514	-0.429	0.511
Sakawa	0.341	0.563	0.626	Sakawa	0.467	0.724	0.094	Sakawa	0.086	0.106	0.664
Sakai	-0.106	-0.307	0.323	Sakai	0.010	0.355	-0.291	Sakai	-0.371	-0.079	0.207
Hanamizu	0.388	-0.375	0.499	Hanamizu	0.620	0.146	-0.206	Hanamizu	0.351	0.148	0.574
Hayakawa	0.520	0.529	0.550	Hayakawa	0.564	0.571	0.121	Hayakawa	0.515	-0.384	0.461
Eigen-value	15.423	1.799	1.526	Eigen-value	10.393	2.000	1.706	Eigen-value	7.333	3.564	2.483
Proportion	61.7	7.2	6.1	Proportion	41.6	8.0	6.8	Proportion	29.3	14.3	9.9

11, St. 12, St. 14~St. 20 の因子が正の値で応答している。これらの観測点群を Fig. 1 で見ると、前者は花水川より東側、後者は西側にそれぞれ分かれる。すなわち、3-2 で示した COD 変動特性が、相模川河口域を中心とした湾東部沿岸域と湾西部沿岸域で相反しているという結果と、東西に位置する河川からの COD 負荷量変動とが応答していることを示す。第 3 主成分を見ると、各河川の因子が 0.3 以上になっている。これは、各河川の COD 負荷量の季節変動を表す主成分であると見られる。

T-N (Table 3(b)) について見ると、第 1 主成分で St. 3~St. 10, St. 12~St. 20 と相模川・花水川の因子がそれぞれ 0.5 以上の値を示している。これは、主に両河川の T-N 負荷量と沿岸域の T-N の季節変動を表す主成分であるのが分かる。第 2 主成分を見ると、酒匂川と早川の因子が 0.5 以上を示している。これは、酒匂川と早川の T-N 負荷量変動の傾向が類似することを表す。第 3 主成分を見ると、St. 11, St. 12 の因子が 0.6 以上の高い値になっている。これは、相模川河口域付近の両観測点の T-N 変動が応答することを示す。したがって、この両観測点は、第 1 主成分において重要な因子にならなかったことから季節変動以外の別な要因によって変動傾向が類似していると考えられる。

T-P (Table 3(c)) の第 1 主成分を見ると、沿岸域の St. 1, St. 2, St. 6, St. 11, St. 20 を除く各観測点と相模川、早川の因子が 0.5 以上の値を示している。これは T-N の場合 (Table 3(b)) と同様に、両河川の T-P 負荷量と沿岸域における T-P の季節変動を表す主成分である。第 2 主成分を見ると、St. 3~St. 4 における T-P の因子と、相模川の T-P 負荷量の因子が -0.4 以上で応答している。また、St. 11, St. 12, St. 16, St. 19, St. 20 の因子は、+0.4 以上になっている。この St. 3~St. 4 付近の三浦半島南部には、大きな河川の流入がないこと、また東京湾の水、すなわち東京湾系水の分布域が東京湾口から三浦半島沿岸域であること (岩田, 1979) から、東京湾系水の流入に伴う相模湾への T-P の負荷と、相模川の T-P 負荷量との変動傾向が類似していることを示していると考えられる。しかし、相模川の T-P 負荷量とその河口域である St. 11 の T-P 変動とは相反する傾向を示しており、河川からの物質負荷に対する沿岸域の応答を反映する結果にはなっていない。このことは、河川により負荷された T-P の沿岸域に及ぼす影響が、今回用いた 1 ヶ月スケールのデータによる変動より早いことを示しているのではないかと考え

られる。第 3 主成分を見ると、境川を除く各河川の因子が 0.5 以上の値になっている。これは、各河川の T-P 負荷量の季節変動を表す主成分であると見られる。

以上をまとめると、次のようになる。沿岸域の水質諸量と、河川の負荷量との主成分分析から得られた第 1 主成分は、主に沿岸域の水質諸量 (COD, T-N, T-P) の季節変動を表す。また、沿岸域の COD 変動と河川の COD 負荷量変動は、花水川を境にした東側と西側の河川および沿岸域で変動がそれぞれ応答する。各河川の負荷量変動の影響に伴う沿岸域の水質変動との明確な関連性は得られなかった。

4. 考 察

Table 1 の結果から、対象とした 8 河川を変動特性別に大きく分類してみると、相模川・酒匂川のように相模湾沿岸域への負荷に対して流量の増加・減少が左右する河川、境川・引地川・中村川のように相模湾沿岸域への負荷に対して水質諸量の濃度の増加・減少が影響する河川、また、森戸川のように、流量が増加すると水質諸量の濃度が減少する河川、そして、花水川・早川のように前述したタイプに類似しないか、あるいは、2 タイプに類似する河川、の 4 タイプにグループ分けすることができた。

これらの河川群のうち、特に、都市域を流れていて、沿岸域への負荷量に対し水質濃度の増減が直接影響すると見られる境川・引地川・中村川は、上流、中流域における高濃度の家庭排水などの影響が河口付近まで及ぶ河川 (都市型河川、早川・平野 (1978)) であると考えられるので、今後、これらの河川利用人口の増加に伴う汚染化、およびこれらの河川からの高濃度の汚染物質の沿岸域への負荷が懸念される。

一方、相模川・酒匂川流域には、工場や住宅などが多く存在するが、比較的、都市域から離れた所を流れていて、河口付近には下水処理場があるため水質が低レベルの濃度に維持されている (田園型河川、早川・平野 (1978))。また、流量は相模川が寒川取水堰、酒匂川は飯泉取水堰でそれぞれ管理されている。したがって、水質濃度が低レベルで安定し、取水堰による取水量が増加しなければ、両河川の汚染化は現状維持できると考えられる。

森戸川は、流量が増加すれば水質濃度が減少する (降雨等に伴う流量増加によって河川の水質濃度が希釈される、あるいは自然浄化力を持つ) 河川であり、さらに、河川規模も小さいことから、相模湾沿岸域の汚染

化に対する影響力は弱いと考えられる。

早川と花水川に関してであるが、この両河川は変動特性から考えて、先に示した都市型河川と田園型河川の両性質を持つ河川であると見られる。前者の早川は、対象とした河川の中でも最も西側の都市域から離れたところに位置し、その流域は主にホテルが建ち並ぶ観光地（箱根）になっている。したがって、早川から相模湾への負荷の影響は、ホテル等からの排水の増減、降雨等に伴う流量の増加が左右すると考えられる。後者の花水川において注目すべき点は、BOD濃度とBOD負荷量が応答しているところである。花水川と相模川のBOD負荷量の変動は、幾分減少傾向は見られるが、相模川の約10分の1の流域面積しか持たない花水川のそれが、相模川と同等あるいはそれ以上になっている（平野，1991）。したがって、花水川の負荷量が物質濃度によって規定されているなら、相模川より約10倍程度、汚染化が進んでいると考えられる。それゆえ、中規模河川ではあるが花水川の汚染化、相模湾沿岸域への物質負荷の影響が懸念される。また、実際の負荷量から、1970年代後半の相模湾へのCOD負荷量（矢沢，1979）と、今回の1980年代のそれとを比較してみると、僅かではあるが高い値を示している。特に境川のCOD負荷量は、相模川と同レベルか倍以上になっている。このように、相模川・酒匂川といった大規模河川より、境川をはじめとする中規模河川の汚染化、そして沿岸域への高濃度の負荷というものが目立つ。現在、毎月1回、河川河口、上中流域において水質等の調査が行われてきているが、河川の汚染状況を知るためにも重要である。さらに、モニタリングだけではなく、特に中小河川の汚染化に対する改善策等を考える必要もあるのではないかと考えられる。

沿岸域の水質諸量の主成分分析結果（Table 2）から、第1主成分には水質諸量の季節変動が示された。これは、相模湾が開放型の湾で、外海水との海水交換がよいためであると考えられる。しかし、境川河口付近のSt. 1や相模川河口付近のSt. 11のような河川水の影響を受け易い地点では、他の海域と変動特性が異なり季節変動を示す主成分は現れなかった。また、この両観測点は、確率的手法を用いて通年、夏季、冬期毎に観測点の集約化を解析した結果においても同様に独立することが知られている（吉見，1992）。斎藤ほか（1987）は、境川系水の影響が、江ノ島付近の沿岸域から1.7 km～2.7 kmまでおよぶことを指摘しているが、沿岸域の水質諸量と河川負荷量の結果（Table 3）からは、

それを反映するような結果は得られなかった。これは、沿岸域と河川とで調査日時が離れていることが原因であると考えられるが、河川からの物質負荷変動の影響に伴う沿岸域の水質変動を考える場合には、毎月1回の調査よりも時間スケールの短い、数日ないしは1週間程度の間隔で、なおかつ、河川と沿岸域での観測日の時間のずれが少ない調査を行う必要があること示唆している。また、Table 2では、相模川を中心とした東部沿岸域と西部沿岸域で、水質諸量の変動特性が相反して応答していることが分かった。これは、相模湾内における左旋環流、沖合水、河川系水、東京湾系水の海水交換過程を通じて生じている現象と考えられるが、この変動のメカニズムを検討することは、相模湾沿岸域の水質環境を考えていくうえで重要な課題になる。

沿岸域の水質諸量と河川負荷量の結果（Table 3）から、第1主成分には沿岸域の水質諸量の主成分分析結果と同様に水質諸量の季節変動が示された。これは、河川からの物質負荷による沿岸域の水質変動よりも、水質諸量の季節変動の方が相模湾沿岸域では卓越していることを表している。また、三浦半島南部のT-Pの変動と相模川などの負荷量変動との間に応答が見られ、低塩分水である東京湾水の相模湾東部沿岸域への負荷と、相模湾へ流入する河川の負荷量との変動傾向が類似することが示唆された。このことは、今後、相模湾沿岸域の水質環境を検討していく場合、相模川・酒匂川などの河川からの負荷量のみならず、今まで十分に検討されてこなかった隣接する東京湾水の流入のメカニズム、それに伴う負荷量なども重要な要因として取り扱う必要があることを示している。

最後に、本研究は、主成分分析によって得られた変動特性から、相模湾沿岸域と流入河川の水質環境、および河川からの物質負荷が沿岸域に及ぼす影響について検討したものであり、相模湾沿岸域の水質環境を検討するという観点から見るとその一部にすぎない。しかし、今回、統計的に得られた結果は、今後、相模湾沿岸域の水質環境を海洋学的に検証していくうえで重要な仮説になり得ると考えられる。

5. 謝 辞

本研究をまとめにあたり、有益な御助言と御議論をいただいた、東京大学海洋研究所資源環境部門岸道郎助手、同部門木村伸吾助手に深謝申し上げる。さらに、貴重なデータを御提供下さった（財）相模湾水産振興

事業団平元貢氏，神奈川県企業庁村田耕道氏，原田勝雅氏に御礼申し上げる。なお，本研究で行なった主成分分析は，東京大学海洋研究所大型計算機（IBM）のSASを使用した。

参考文献

- 早川康博・平野敏行（1978）相模湾河口環境調査。水産海洋研究会報，32，92-100。
早川康博（1979）相模川河口および相模湾沿岸環境調査から。水産海洋研究会報，34，86-91。
早川康博（1985）河川水の水質（今年の調査結果）。水産海洋研究会報，47，48，105-110。
平野敏行（1991）相模の海と環境保全。水産海洋研究会報，55，115-120。

- 岩田静夫（1979）平均場からみた相模湾の海況。相模湾資源環境調査報告書 II，15-26。
岩田静夫（1986）相模湾の海況の短期変動に関する研究。神奈川県水産試験場論文集，第3集別刷。
斎藤和久・秋津孝夫・岡村和雄・平野浩二（1987）相模湾沿岸域における富栄養化の実態について。日本海洋学会秋季大会講演要旨集，226-227。
田中 豊・脇本和昌（1983）多変量統計解析法。現代数学社，京都，2-99。
矢沢敬三（1979）神奈川県沿岸海域に添加される陸上からの汚濁指標成分の動向について。相模湾資源環境調査報告書 II，49-57。
吉見 洋（1992）沿岸海域における水質調査地点の集約化方法。水環境学会誌，15，5，307-312。