

## 清水港の水質の変遷と折戸湾における細菌組成

鐘ヶ江 隆\*<sup>1</sup>・佐藤義夫\*<sup>2</sup>・小野信一\*<sup>3</sup>・加藤義久\*<sup>2</sup>・  
西村弥重\*<sup>2</sup>・成田尚史\*<sup>2</sup>・福江正治\*<sup>4</sup>・池田倫和\*<sup>5</sup>

### Change in water quality in Shimizu Port and bacteria composition in Orido Bay

Takashi KANEGAE, Yoshio SATO, Shin-ichi ONO, Yoshihisa KATO, Mitsugu NISHIMURA,  
Hisashi NARITA, Masaharu FUKUE and Michikazu IKEDA

#### Abstract

We observed water quality at 16 stations in Shimizu Port from 1986 to 2005. The observation was carried out 4 times a year, and the distributions of coliform bacteria and marine bacteria were discussed. Salinity, pH, DO, COD and T-N have increased since 1998, whereas transparency, SS and T-P have decreased. These may be dependent on the change in loading rate of these substances from the rivers and internal biological production in Shimizu Port. Bacteria were also observed at the mouth of Tomoe River and Orido Bay. The number of coliform bacteria was  $3.5 \times 10^5$  CFU/100ml at the mouth of the Tomoe River. This probably implies that the Tomoe River is polluted with bacteria, such as fecal coliform due to feces origin. The number of a general marine bacteria from the surface water in the inner part of Orido Bay was  $2.3 \sim 2.6 \times 10^5$  CFU/100ml. The dominant bacteria were *Vibrio-Aerogenes*. They are often found in eutrophicated sea area. Cellulose decomposing bacteria were also found in the sediments.

**keywords:** Organic pollution, Chemical oxygen demand, Suspended solid, Coliform bacteria, Marine bacteria

#### 序 論

駿河湾奥部に位置する清水港には、都市排水、工場排水などによって有機汚濁が進行している巴川や小河川が流入している。そのため、他の内湾と同様に、清水港内の水質は陸域から供給される多量の人為起源物質によって、1960年以降次第に悪化してきたことが指摘されている(岡部, 1971; 岡部・大森, 1975; 水島ほか, 1999)。このような沿岸域には、河川以外にも下水処理施設を通して人間活動に由来するさまざまな物質(有機物, 栄養塩, 重金属, 外因性内分泌攪乱物質など)が供給されている。また、沿岸部の多くは、人工構築物, 海岸の改造, 埋立等により海洋生物の繁殖地が破壊されており、その生態系がいたるとこ

ろで打撃を受けている(石川・杉本, 1995; 和田, 1996)。

沿岸海域に運び込まれる化学物質は、陸域から海洋へ溶存態あるいは懸濁態として供給されている。懸濁物質中には、有害物質(環境ホルモン, 重金属など)が高濃度で含有されていたり、あるいは吸着して存在することが報告されている(高田・柳, 2000)。懸濁粒子の一部は、懸濁性ろ過生物であるベントス(二枚貝, ゴカイ, イソメなど)、ホヤ類などの餌として利用されるため、それらを餌とする生物に有害物質が濃縮することになる。さらに、懸濁物質には多くの海洋性細菌類が付着している。これらの海洋細菌は生態ピラミッドの分解者として生態系の維持に重要な役割を演じている。

近年、O-157などの病原性大腸菌による食中毒事件が発生し、細菌学的調査の中で特に大腸菌群は公衆衛生上重要

2007年1月24日受理

\*1 東海大学海洋学研究科大学院生 (Graduate student, Tokai University)

\*2 東海大学海洋学部海洋科学科 (Department of Marine Science, School of Marine Science and Technology, Tokai University)

\*3 東海大学海洋学部水産学科 (Department of Fisheries, School of Marine Science and Technology, Tokai University)

\*4 東海大学海洋学部海洋建設工学科 (Department of Marine Civil Engineering, School of Marine Science and Technology, Tokai University)

\*5 静岡市役所市民環境局環境部環境保全課 (Shizuoka City Environment Department)

な指標とされている(芦立1988; 村瀬ほか1977)。これらの細菌は最終的には河口から湾内や沿岸海域に流入している。したがって、沿岸水域の環境評価および有効利用を図るためには、水質の変遷過程を把握することによって、環境悪化要因を明らかにすることが重要となる。

本研究では、清水港の水質特性を1986年から2005年までの20年間における観測結果に基づき明らかにするとともに、折戸湾奥部の貯木場及び巴川河口の細菌の分布を把握することを目的とした。

## 試料および分析方法

### 1. 試料採取方法

清水港における水質調査は、1986年～2005年の期間、東海大学所属北斗および南十字(約20トン)により Fig. 1

に示される16地点 (St. 1～St. 16) において春(5月)、夏(7月)、秋(9月)および冬(12月)の年4回行なった(静岡市の委託調査)。海水試料は表面水、2mおよび5m層からバケツおよびバンドン採水器により採取し、水温、塩分、溶存酸素量、COD、SSなどについて測定を行なった。また、清水港内の折戸湾は、渡辺(1969)によって区分けされたように、日の出埠頭付近(St. 3)から奥(St. 7)の水域とした。

細菌調査は、折戸湾奥部の貯木場跡の2地点(St. A, B)及び巴川河口(St. C)の計3地点で行った。観測は、2005年9月15日に Fig. 1 に示した貯木場跡の2地点において、表面水及び海底表面の泥を滅菌済みハイロート採水器及びエクマンバージ採泥器で採取した。試料は分析するまで4℃のアイスボックス内に保存した。また、巴川河口の試料は、表面水のみを滅菌済みハイロート採水器をも

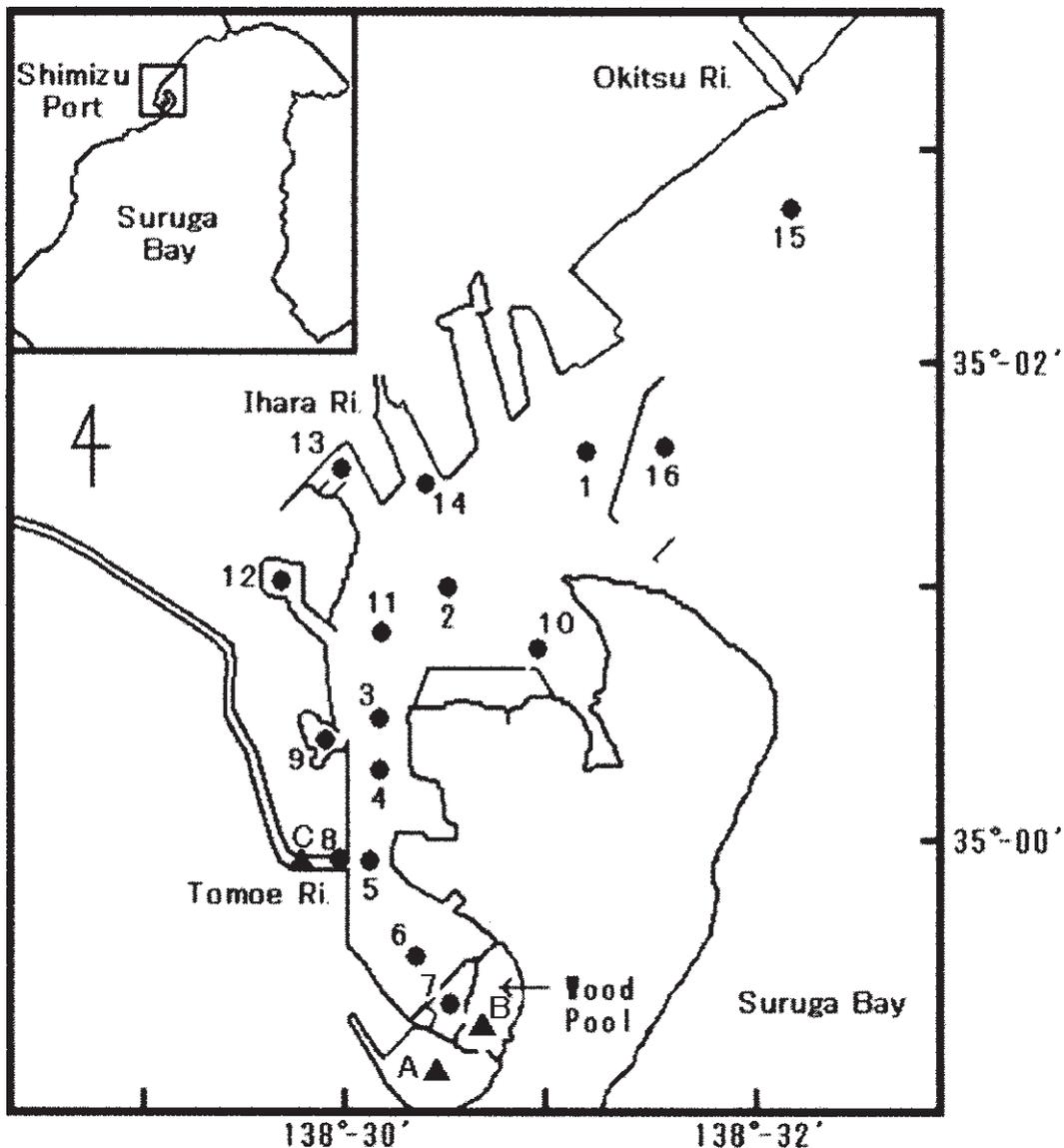


Fig. 1 Sampling stations in Shimizu Port and Tomoe River

ちいて採取した。

## 2. 水質の分析方法

水質項目である水温と透明度は、それぞれデジタル温度計 (ANRITSU HFT-40) および透明度板を用いて測定した。また、塩分、pH、溶存酸素量 (DO)、化学的酸素要求量 (COD) および懸濁物量 (SS) の測定は、それぞれサリノメータ (渡部計器社製, Model 601Mk1v)、pH 計 (Mettler 社製, Delta 340)、ウインクラ法、酸性過マンガン酸カリウム法およびグラスファイバーフィルタを用いた重量法により求めた。全リン (T-P) および全窒素 (T-N) は、それぞれ酸性およびアルカリ性下で過硫酸カリウム加圧分解後に比色法により定量した (Strickland and Parsons, 1972)。

## 3. 細菌培養法

一般海洋細菌数は Marine Agar 2216 (Difco) による混積平板法、大腸菌群数及び糞便由来大腸菌数はデスオキシコーレート培地と m-FC 寒天培地による混積平板法によって計数した。一般海洋細菌、大腸菌群および糞便由来大腸菌の培養温度はそれぞれ 20°C、37°C および 44.5°C とした。培養24時間～48時間後、生育したコロニー数を計数して各地点の 100ml 当たりの生菌数 (CFU) を算出した。セルロース分解細菌数は、セルロース分解細菌選択性ツアベック・ドックス氏培地により 20°C で培養し生育したコロニーを計数することにより求めた。なお、巴川河口の表面水中の一般細菌数は普通寒天による混積平板法により計数した。貯木場跡の各地点で採取した表面水及び泥表面試料から Marine Agar 2216 培地に生育した単独コロニーをそれぞれ10株ずつ選び、Cowan *et al.* (1974) の方法に従って、形態、グラム染色、運動性、カタラーゼ試験、オキシダーゼ試験、OF 試験、芽胞染色、TCBS 培地での生育などにより属レベルでの細菌の同定を行った。大腸菌群 (Coliform bacteria) については、インドール産生能、メチルレッド試験、VP 試験、クエン酸利用能による IMViC 試験により大腸菌 (*E. coli*) の存在を確認した。

## 清水港の概略

清水港は三保半島に囲まれ、港奥部には折戸湾をもつ天然の良港で、国の特定重要港湾に指定されている。清水港は湾入口に外防波堤があるため、港内水と港外水の交換があまりよくない。折戸湾と呼ばれる日の出埠頭より奥部は狭く、清水港への淡水供給量の 90% 以上を占める巴川が流入している。清水港の面積は約 1,270ha で、巴川、庵原川、波多川、蜷川、愛染川、中田川、大橋川および浜田川が流入している。特に、清水港の水質に影響を与えている巴川は、全長約 22km、流域面積 93km<sup>2</sup> の 2 級河川で、静岡市葵区麻機北部の山地を水源にもち、静岡市葵区東

部、清水区市街地を貫流して清水港に流入している。静岡市が毎年発行している「静岡市の環境」によれば、巴川の汚染の原因は家庭廃水が 8 割を占め、残りの 2 割が工場廃水に由来することが指摘されている。また、巴川流域における浸水被害を軽減するために 1999 年 5 月に大谷放水路が完成し、通水を開始した。巴川の流入量は約 10m<sup>3</sup>/s で、他の流入河川全てを合わせてもその 1/10 程度 (1.3 m<sup>3</sup>/s) である。巴川からの COD (5.7mg/L) および SS (6.1mg/L) の負荷量は、それぞれ 4,900Kg/day および 5,300Kg/day である。また、他の流入河川の COD と SS 負荷量の合計は巴川のそれの約 29% および 27% である。さらに、清水港には静岡市清水区の北部浄化センター (14,700m<sup>3</sup>/day; 1981 年供用開始)、静清浄化センター (21,000m<sup>3</sup>/day; 1997 年 6 月供用開始) および南部浄化センター (36,600m<sup>3</sup>/day; 1972 年供用開始) の処理水も流入している。この 3 処理場からの COD (約 9 mg/L) および SS (約 3 mg/L) 負荷量は、それぞれ 650Kg/day および 270Kg/day と見積もられる。したがって、清水港へ供給される COD および SS の負荷量は、それぞれ 5,550 Kg/day および 5,570Kg/day である。

折戸湾の奥部には、入口が狭い (約 20m) 貯木場が存在している。この貯木場は Fig. 1 から明らかなように、内部が広がっているために海水交換が悪いことが指摘されている (Sato *et al.*, 2006)。貯木場の面積は約 35ha で、水深が 4.7m 程度である。この貯木場は、1927 年に開設され 2005 年まで使用されてきた。貯木場へ流入している大橋川および浜田川の河川流量の平均は、それぞれ 0.25m<sup>3</sup>/s および 0.08m<sup>3</sup>/s と小さい。しかし、両河川からの COD および SS 負荷量は、それぞれ約 350Kg/day および 320 Kg/day と、貯木場の海水量に対する SS の寄与は、清水港 (平均水深 12m) に比較して約 5 倍大きい。水域内の流速は、約 5 cm/s 以下と小さいが、ときたま 10cm/s を越える強い流れが生じる場合も報告されている (沼田ほか, 1999; Sato *et al.*, 2006)。

## 結果および考察

### 1. 清水港の水質

清水港 (折戸湾を含む St. 1~St. 16) と折戸湾 (St. 3~St. 7) における水質の過去 20 年間の季節変動を Fig. 2 に示した。海洋環境における塩分の変動は、主に降水量と蒸発量のバランスによって支配されているが、沿岸域では陸水 (降水量) と海水の混合によって決定されている。清水港内における塩分 (Fig. 2-a) は、毎年春季から秋季にかけて低く、冬季に高い。特に、1986 年夏、1989 年秋、1994 年夏、1995 年夏、1996 年夏、1998 年秋および 2001 年秋における清水港の低塩分は、観測日数日前の台風に伴う大雨の影響による。また、清水港と折戸湾のそれを比較すると、後者が低いことが分かる。Fig. 2-b に海水の綺麗さの

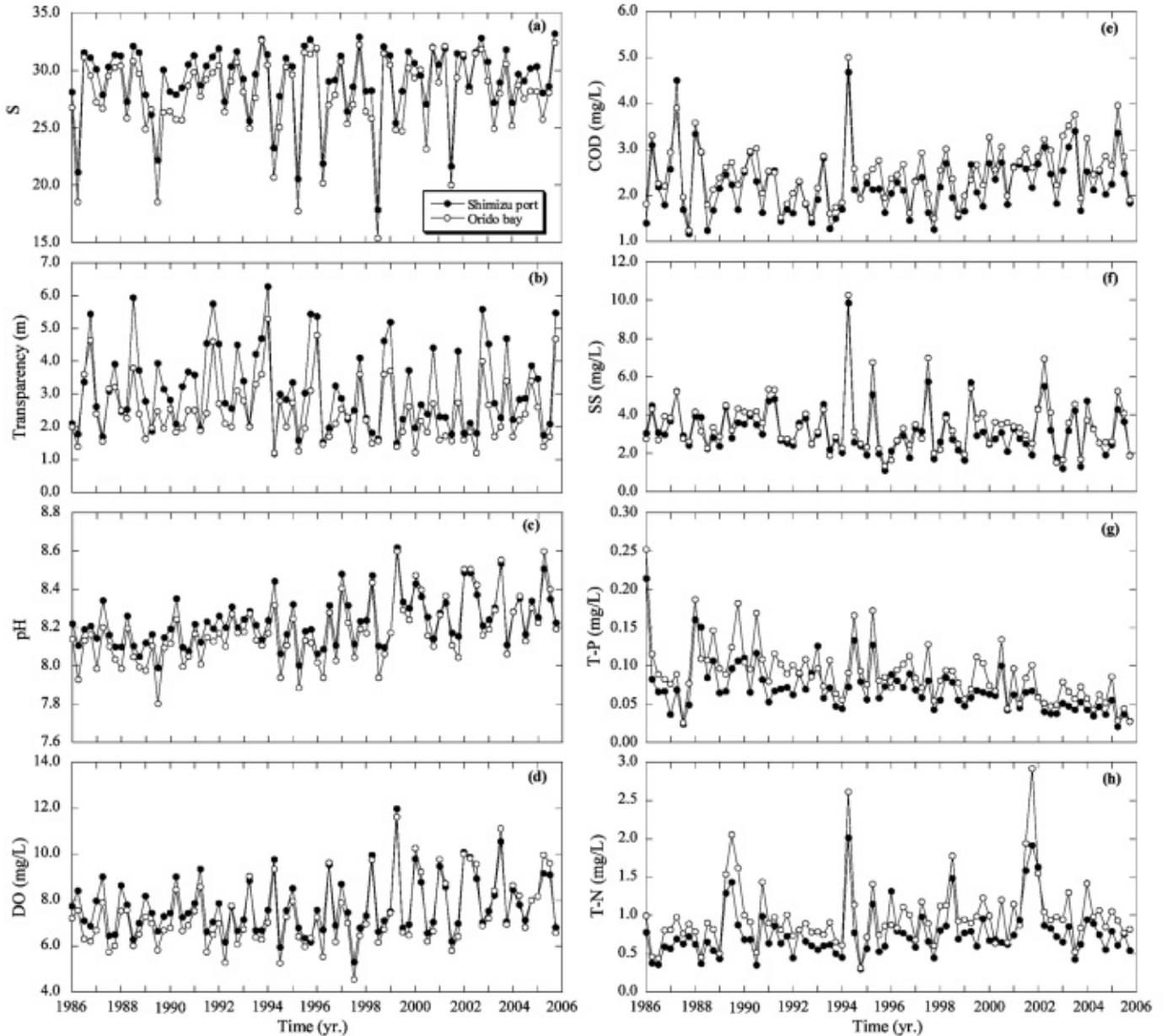


Fig. 2 Seasonal variations in temperature(a), salinity(b), pH(c), dissolved oxygen(d), chemical oxygen demand(e), suspended solid(f), total phosphorus(g) and total nitrogen(h) at Shimizu Port and Orido Bay.

みならず、植物プランクトンが光合成を行うことができる深さの情報も我々に与えてくれる透明度の季節変化を示した。清水港における各年の平均透明度は1.2~6.3mであり、夏季には1.2~2.8mと低いのにに対して冬季には2.8~6.3mと高くなる。特に、折戸湾における透明度は、1994年以降の春季から夏季により低くなっている。

海水のpHは、炭酸の解離平衡、植物プランクトンの光合成作用、有機物の分解などによって変化する。清水港および折戸湾 (Fig. 1の観測点3から7) におけるpH (Fig. 2-c) は、春季から夏季で高く、秋季から冬季にかけて低下する季節変化を繰り返している。両水域とも、冬季におけるpH値は、環境基準値上限 (8.3) 程度の8.05~8.34の範

囲に収まっているが、夏季には8.32~8.62と高い。また、気体-液体間のガス交換、光合成作用、有機物の分解によって変動する溶存酸素量 (Fig. 2-d) および有機物の指標としてのCOD値 (Fig. 2-e) もpH値の変動と同様な季節変化を示している。溶存酸素量は、冬季 (水温17°C、塩分30.7) には6.18~8.00mg/Lと酸素飽和度が76%~98%であるが、春季~夏季 (水温23°C、塩分30.7) には6.19~11.98mg/Lと過飽和状態 (8.2mg/L以上) になる場合がしばしば見出される。海水の濁り成分であるSS濃度は、清水港では1.1~5.7mg/Lであり、折戸湾では1.4~7.0mg/Lと後者が若干高い傾向を示した (Fig. 2-f)。清水港におけるSSの濃度は、pH、DOおよびCODと同様

に、冬季では1.1~3.6mg/Lであるが、夏季には2.7~5.7 mg/Lと高い傾向が見出される。

植物プランクトンの栄養素としての全リンと全窒素の経時変化を Fig. 2-g および Fig. 2-h に示した。ここで全リンおよび全窒素濃度とは、無機態および有機態を合わせた濃度である。全リン濃度の季節変化は明確でないが、年々その濃度が減少する傾向が見られる。また、全窒素の季節変化も明確でないが、1989年(夏)、1994年(夏)、1998年(秋)および2001年(秋、冬)に非常に高い濃度が見出された。清水港における高い全窒素濃度を示した時期の巴川河口(St. 8)表面水中の全窒素濃度は4.06~8.25mg/Lで、平均濃度が5.83mg/Lと他の時期よりもかなり高いことから、その起源が河川に関連することが分かる。

清水港および折戸湾における各化学成分の濃度は、季節変動が大きいことから、清水港の過去20年間の水質の変遷を経年変化として検討を行った。16地点の表面、2mおよび5m層の水質(水温、塩分、透明度、pH、DO、COD、SS、T-P および T-N)の各年における平均値を Table 1 に示した。清水港における各年毎の水温は、1986年から1993年では21°C以下であるが、1994年以降のそれは21°C以上と高い傾向が見られる。他の成分の経年変化を Fig. 3 に示した。図中の回帰式は、静清浄化センターが運転を開始する以前(1986年~1997年)と以後(1998年以降)にお

ける各成分の年変動を明らかにするために求めた。1998年以前におけるpH(b)およびT-N(d)の回帰式から、これらの成分は年々増加傾向を示しているが、DO(b)、COD(c)、SS(c)およびT-P(d)は減少傾向を示した。塩分(a)および透明度(a)はほとんど変化が見られない。しかし、海水交換の悪い清水港における化学成分の濃度は、気象条件、人間活動などによって大きく左右されるため、年変動を明確に捉えられない(相関係数<0.5)。これらの化学成分の中でpH(b)およびT-P(d)は、それぞれ顕著な増加および減少が見出された(相関係数>0.7)。さらに、pHおよびDO(b)は1998年を境に、大きな増加が見いだされた。これらの成分とは対照的に、T-P濃度は、1986年から1997年の間では1年間あたり0.0019mg/Lの減少を示すが、1998年から2005年では0.0049mg/Lとその減少がさらに大きくなっている。T-Nに関して、1998年から2005年にかけての回帰式の傾きは大きい、年々その濃度が減少していることを明らかにするには、更に調査を継続することが必要である。

以上のように、清水港の水質の変遷を検討したが、明確な結論を得ることができなかった。そこで、水質基準の判定に用いられるCOD値を用いて、高度成長期と最近の結果を比較する。1965年6月および7月における清水港(折戸湾を含む)と折戸湾で測定された3層(0m、2mおよ

**Table 1** Annual mean of water quality parameters; Temperature, salinity, transparency, pH, dissolved oxygen, chemical oxygen demand, suspended solid, total phosphorus and total nitrogen observed from 1986 to 2005

Time	W. Temp. (°C)	Salinity	Tr. (m)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)
1986	19.4	27.97	3.2	8.18	7.54	2.12	3.4	0.108	0.528
1987	20.6	29.90	2.8	8.19	7.49	2.49	3.6	0.145	0.654
1988	19.0	30.55	3.7	8.13	7.44	2.30	3.2	0.126	0.549
1989	18.0	26.56	2.9	8.11	7.40	2.14	3.3	0.084	0.011
1990	18.9	28.76	3.0	8.18	7.80	2.35	3.5	0.094	0.680
1991	19.3	30.40	4.0	8.19	7.73	2.05	3.7	0.066	0.717
1992	20.1	30.29	3.6	8.24	7.12	1.79	3.1	0.078	0.633
1993	20.7	29.31	3.6	8.22	7.35	1.88	3.1	0.076	0.571
1994	22.5	28.37	3.3	8.23	7.71	2.61	4.2	0.083	0.889
1995	21.1	28.93	3.4	8.17	6.96	2.04	2.5	0.079	0.711
1996	21.1	28.00	3.0	8.14	7.69	1.98	2.4	0.083	0.897
1997	21.7	29.80	2.9	8.29	7.07	1.91	3.5	0.063	0.672
1998	21.2	26.58	2.6	8.23	7.75	2.10	2.9	0.069	0.965
1999	22.0	29.13	3.2	8.36	8.31	2.05	3.4	0.060	0.782
2000	22.1	29.83	2.9	8.30	8.05	2.40	2.6	0.067	0.659
2001	21.8	28.89	2.7	8.23	7.81	2.52	2.6	0.060	1.295
2002	23.2	31.05	2.8	8.39	8.99	2.51	3.7	0.044	1.016
2003	21.6	29.68	3.6	8.30	8.34	2.67	2.5	0.049	0.642
2004	22.9	29.04	3.0	8.29	7.85	2.30	3.1	0.040	0.786
2005	21.9	30.05	3.2	8.33	8.31	2.48	3.1	0.035	0.678

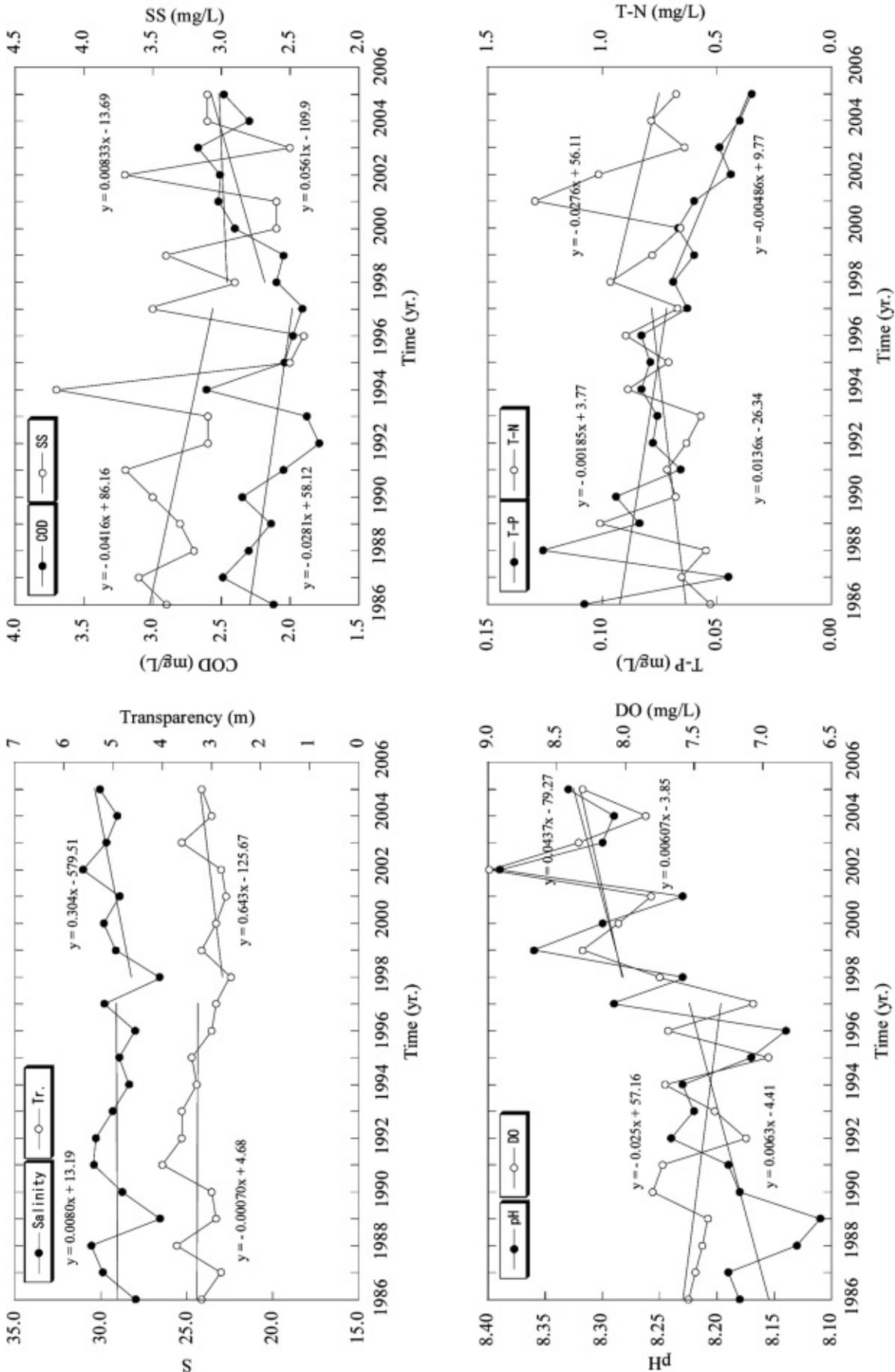


Fig. 3 Year-to-year variations in salinity (a), transparency (a), pH (b), dissolved oxygen (b), chemical oxygen demand (c), suspended solid (c), total phosphorus (d) and total nitrogen (d) at Shimizu Port.

び5 m)中のCODの平均値は(岡部ほか, 1967)), それぞれ1.28mg/L および1.70mg/Lであった。ただし, これらの値はアルカリ法であるので, 岡部・坪田(1975)が報告した酸性法/アルカリ法の比(1.4~2.3)を用いて計算すると, 清水港の平均COD値は1.8 mg/L~2.9mg/Lで, 折戸湾が2.4mg/L~3.9mg/Lとなる。1986年~2005年における清水港の平均COD値は, 1965年に求められたその範囲以内に入る。したがって, 1965年以降における清水港のCOD値は, ほとんど変化していないことになるが, 清水港の概略で述べたように, 1965年以降には南部浄化センター, 北部浄化センターおよび静清浄化センターが供用開始され, 未処理の家庭排水や工場排水の多くが処理されている。事実, 岡部ほか(1967)が1965年12月に求めた巴川河口(St. 8)における表面水中のCOD値はアルカリ法で約9.5mg/L(酸性法に換算; 13~22mg/L)と非常に高いが, 南部浄化センターおよび静清浄化センターの供用開始に伴い2002年~2005年における同地点の表面水中のCOD値は約4 mg/Lまで低下している。このように, 浄

化施設の開設により河川の水質は改善されるが, 清水港におけるCOD値の年変化が見られにくい理由として, 巴川からの有機物の供給が減少しても, 過去に陸域から清水港へ供給された有機物や港内で生産された有機物が速やかに堆積・分解を繰り返すため, その効果が現れるには時間がある程度かかるものと推察される(浮田ほか, 1991; 松村ほか, 2002; 佐々木ほか, 2003)。

「生活環境の保全に関する環境基準」(海域)に清水港の1998年以降の水質結果を照らし合わせると, pH(7.8-8.3)およびDO(7.5mg/L以上)は類型Aに相当するが, COD(2 mg/L以下)は類型Bである。また, 清水港における過去20年間の平均全リン(0.053mg/L)および全窒素濃度(0.853mg/L)は, 赤潮の発生がある海域について制定されている「海洋植物プランクトンの増殖に関する基準」から類型IV(T-P, 0.05-0.09mg/L; T-N, 0.6-1mg/L)に相当する。

次に, 清水港および折戸湾における化学成分の変動要因について考える。沿岸域の水質汚濁は, 人間活動に伴い放

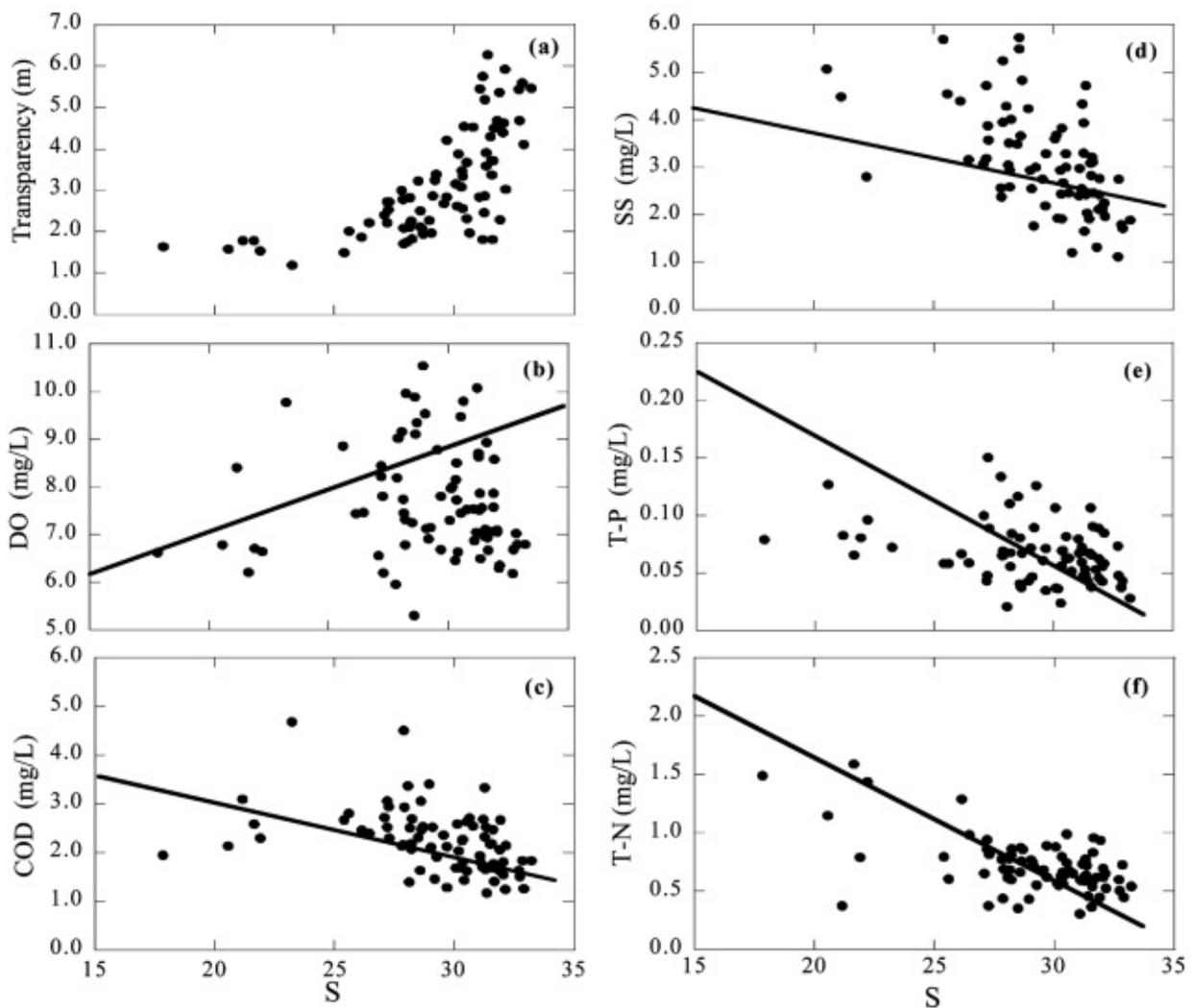


Fig. 4 Relationships between transparency(a), dissolved oxygen(b), chemical oxygen demand(c), suspended solid(d), total phosphorus(e) and total nitrogen(f) against salinity.

出される物質により生ずることから、清水港内における化学成分の起源を明らかにするため、各化学成分と塩分の関係を Fig. 4 に示した。図中のラインは、過去20年間の巴川の港橋における表面水および外洋域に近い St. 16（3層）における各化学成分の平均濃度を結んだ理論希釈ラインを示す（Table 2）。

透明度と塩分の関係を Fig. 4-a に示した。清水港および折戸湾における透明度は、塩分の増加に伴い指数関数的に増加することが分かる。すなわち、河川水（巴川）の供給量が多いほど港内の透明度が低い。すなわち、清水港内のよごれの原因が巴川にあることが分かる。また、清水港内の塩分が25以下になると透明度も2m以下になり、植物プランクトンが光合成できる深さも6m程度になるため、それ以深では海藻・海草が生育できないことになる。

溶存酸素量と塩分の関係を Fig. 4-b に示した。巴川の港橋における溶存酸素量は、約3.5mg/Lと酸素飽和度（9.4mg/L; 水温18°C, 塩分5）も40%以下と非常に低い。この河川水と清水港入口から港内へ流入する海水（溶存酸素量, 8.1mg/L）との単純混合であれば、図中の理論希釈ライン上にプロットされる。しかし、清水港内の溶存酸素量はラインから上下に大きく外れている。この理由については、後で議論をする。

CODと塩分の関係を Fig. 4-c に示した。巴川のCOD値は、前に述べたように（清水港の概略）5.2mg/Lと高く、同河川が港内への有機物の大きな供給源となっている。しかし、塩分が25以上のCOD値はラインのかなり上に分布していることから、港内で有機物が生産されている

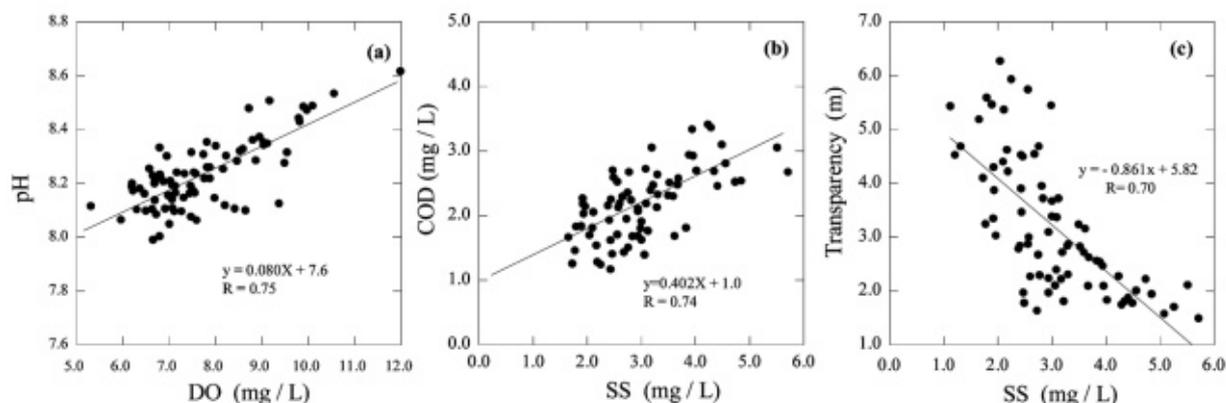
ことが考えられる。SS濃度もCODと同様に、巴川のその濃度が6.1mg/Lであるが、中・高塩分域のそれらの濃度はラインのかなり上に分布している。これらの分布と対照的に、全リン（Fig. 4-e）および全窒素（Fig. 4-f）と塩分の関係は、塩分が15から30の範囲でそれらのプロットがラインの下方に位置している。このことは、巴川から供給された全リンおよび全窒素が港内で消費されていることを示している。このように、CODとSSの港内での負荷と、全リンと全窒素の消費が生ずる要因として、植物プランクトンに関連した内部生産が大きく関与していることが推察される。また、清水港内の溶存酸素量が理論希釈ラインの上方と下方にプロットされる理由は、大きな内部生産に伴う生成・分解に起因した結果と考えられる。

植物プランクトンがこれらの現象に直接関係しているならば、海水中のpHと溶存酸素量に反映されていることが考えられる。Fig. 5にpHと溶存酸素量(a)、CODとSS(b)および透明度とSSの関係(c)を示した。このようなpHと溶存酸素量の間における強い関係は、港内における内部生産によって生じるため、港内のCOD値とSS濃度の間にも関係が見出されたと考えることができる。また、透明度とSSの関係から、清水港内のSS濃度が減少することにより透明度が増加することがわかる。

以上のことから、清水港内におけるCOD値が1965年以降ほとんど変わらない要因として、以下のことが考えられる。巴川を經由し清水港へ流入するCOD負荷量は、流量が同程度であれば1965年に比較してかなり減少しているが、水温の上昇、堆積物からの栄養塩の再生などにより港

**Table 2** The water quality variables at the mouth of Tomoe River and the oceanic environmental station, St. 16.

Station	Salinity	D.O. (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)
Tomoe river	5.86	3.41	5.74	6.14	0.43	4.39
St. 16	31.93	8.11	1.76	2.35	0.03	0.38



**Fig. 5** Relationships between pH and dissolved oxygen(a), chemical oxygen demand and suspended solid(b) and transparency and suspended solid(c).

内の内部生産が増加した結果と推察される。また、港内のSS量を減少させることによって、COD値が低下し、透明度が増加することが理解できる。したがって、清水港における環境保全および修復を考える場合、清水港へ流入するCOD、SSおよび栄養塩の削減を図ると共に、港内におけるSSを取り除くことにより内部生産を低下させることが重要となる。さらに、沿岸域の水質環境を保全するためには公衆衛生上重要な指標である大腸菌群についても、検討する必要がある。

## 2. 折戸湾および巴川河口における細菌相

調査地点図 (Fig. 1) に示したように、折戸湾奥部にある貯木場跡 (1927年から2005年まで使用) は面積約74 ha、水深が約4.7m程度で、入り口が狭く内部が広がっているため海水の交換が悪い。またそばには下水処理場が併設されている。他に流量は少ないが、大橋川と浜田川が流入している海域である (沼田ほか, 1999)。

調査した貯木場跡の2地点 (St. A, St. B) の表面海水の Marine Agar 2216 培地に生育した一般海洋細菌数は、表面海水では  $2.3\sim 2.6 \times 10^5$  CFU/100ml であり、2地点間では大きな差は認められなかった (Fig. 6)。この細菌数は、一般的な湾内や沿岸の富栄養化が進んでいる海域で

見られる細菌数とほぼ一致している。陸水由来で公衆衛生上、消化器伝染病の指標となっている大腸菌群数では、 $4.3 \times 10^3 \sim 6.6 \times 10^3$  CFU/100ml であった。この大腸菌群数は、海域に適用されている環境基準の類型 A ( $1 \times 10^3$  CFU/100ml) 以上であるが、清水港に流入している巴川の河口 (St. C) での大腸菌群数  $3.5 \times 10^5$  CFU/100ml と比較すると約1/500の菌数であった (Fig. 6)。このことは、巴川から流入した河川水の多くは清水港中央部へ移動しており、折戸湾奥への流入量が少ないためと思われる。しかし、大腸菌群の中で糞便由来の指標である大腸菌 (*E. coli*) について、IMViC法で調べた結果、河川の流入部に近い St. A の表面水で大腸菌が検出された。これはこの海域が都市下水による汚染を受けていることを示唆していた (Fig. 7)。一方、巴川河口では、大腸菌群の約5.7%に当たる  $2.0 \times 10^4$  CFU/100ml の糞便由来大腸菌が検出された。したがって、巴川河口における大腸菌群の約5.7%を糞便由来大腸菌が占めていることになる (Fig. 6)。小川 (1973) は、巴川から清水港に流入した大腸菌群は港外に向かって減少傾向を示すが、すぐに死滅することはないと述べていることから、清水港内は大腸菌群などの細菌による汚染が継続していることを示している。これは折戸湾の将来的な有効利用に際して都市排水などに対する対策が

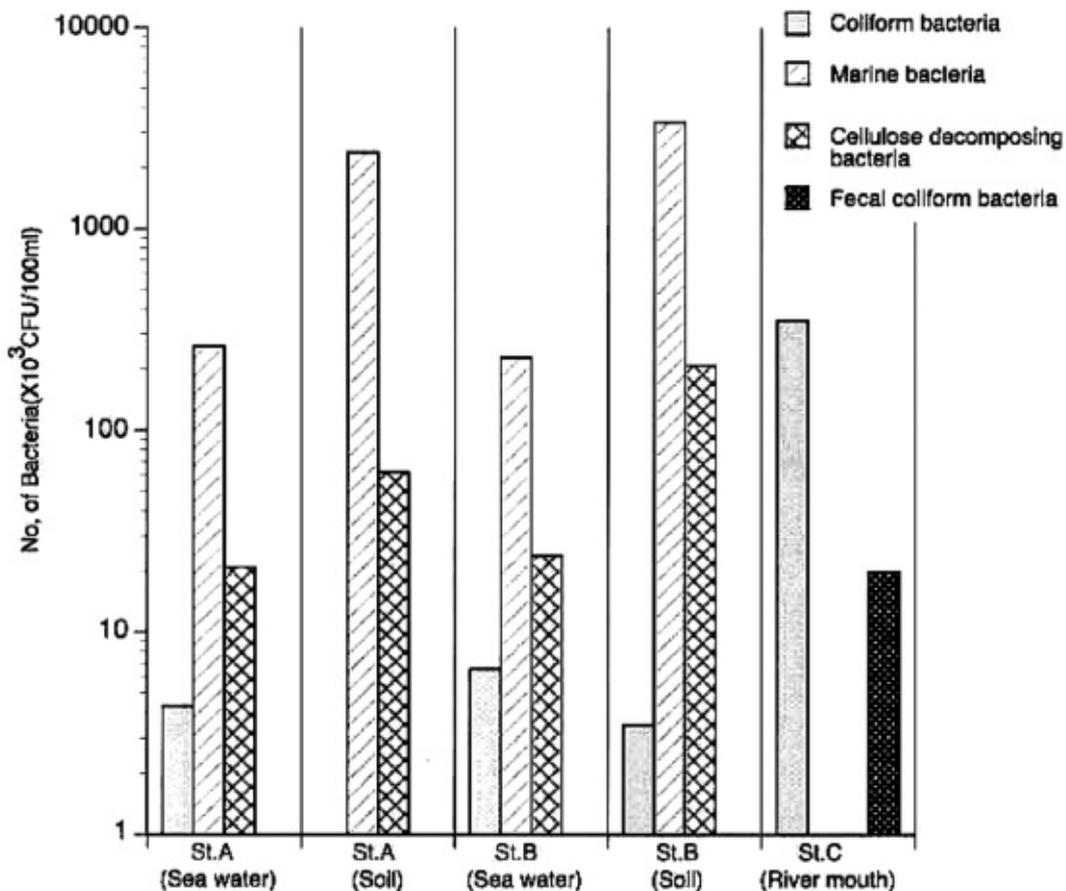


Fig. 6 Cell number of heterotrophic bacteria in sea water and soil samples from Orido Bay.

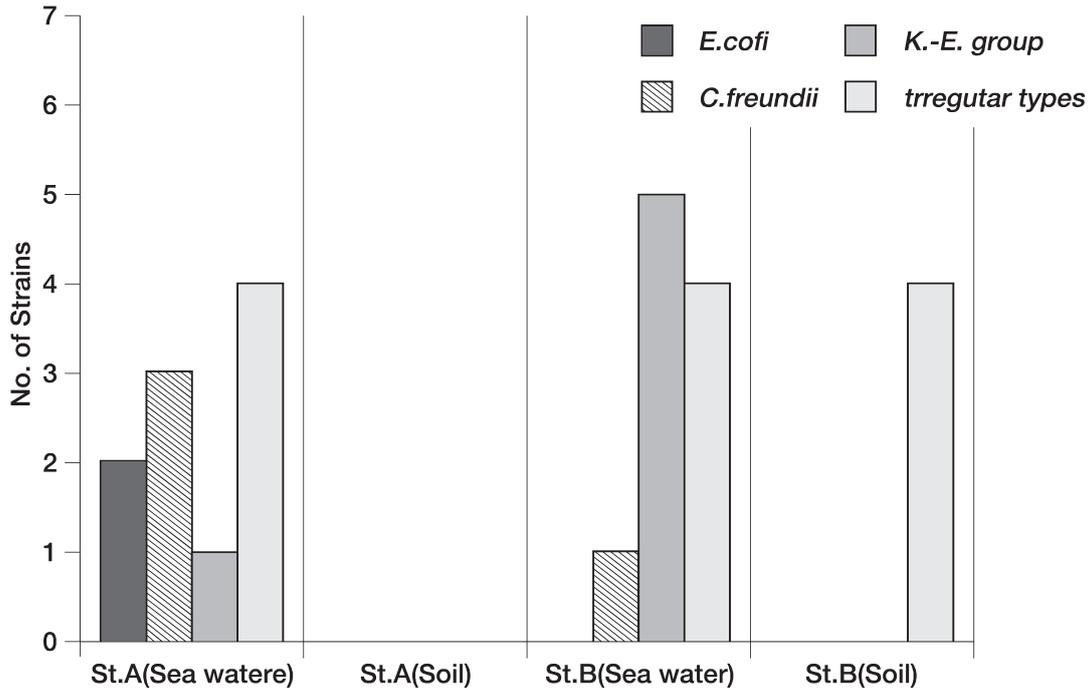


Fig. 7 Number of strains of coliform bacteria isolated from Orido Bay.

必要であることを示唆している。

泥表面の一般海洋細菌数は表面海水よりも10倍以上多く、 $2.4 \sim 3.4 \times 10^6$  CFU/100mlを示した。一般的に、河川や海底の泥表面は堆積した有機物等が豊富なため、細菌数は表面水よりはるかに多いとされている。調査地点の中で貯木場跡の中央部にあたる St. B の泥中のセルロース分解細菌数は  $2.5 \times 10^5$  CFU/100ml, St. A でも  $6.1 \times 10^4$  CFU/100mlであった。特に、St. B は高い菌数を示した (Fig. 6)。奥谷ほか (1971) は沿岸海域の泥中でのセルロ

ース分解細菌数が  $9.2 \times 10^3$  CFU/100mlであったと報告している。今回の結果はそれよりも数10倍多い菌数を示した。これは調査地点が長年貯木場として利用され、海底には多量の木材の破片等が堆積しており、それらを利用出来る細菌が検出されたと考えられる。

次に、分離培養した海洋細菌を同定した結果、表面海水ではグラム陰性菌の *Vibrio-Aerogenes* グループが優占していた (Fig. 8)。この細菌群はわが国の沿岸海域でも高率に検出されている (Simizu *et al.* 1971)。また、これら

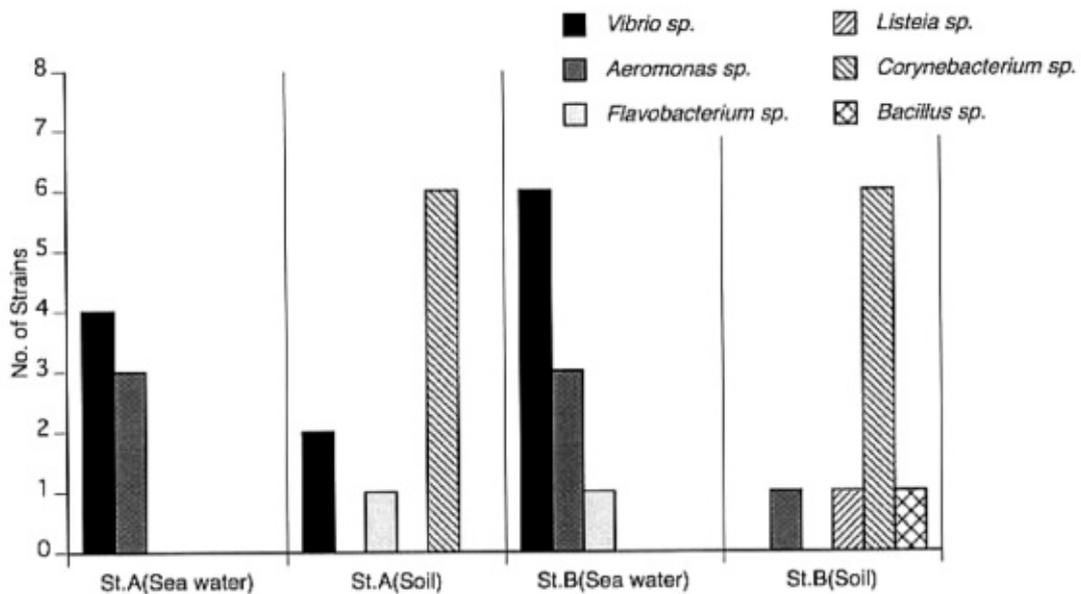


Fig. 8 Number of strains of marine bacteria isolated from Orido Bay.

の細菌群は海域に生息する動植物と密接な関係があることが知られている。一方、泥表面からは、グラム陽性菌の *Corynebacterium* 属が優占種となっており、海水中と細菌相に違いが認められた。この細菌は、海域の底泥中からよく見出されるグラム陽性菌細菌としては最も広域に分布している。このように、折戸湾奥部の貯木場跡の細菌相は他の富栄養化した沿岸海域や湾内と比較しても特徴的な違いは認められなかった。しかし、巴川河口では  $2.0 \times 10^4$  CFU/100ml の糞便由来の大腸菌が検出された。これは折戸湾の将来的な有効利用に際して都市排水などに対する対策が必要であることを示唆している。また、この海域にセルロース分解細菌が多く存在していることは、この海域が長期間貯木場として使用されてきた結果である。また、この海底は重金属の汚染や嫌気化が進んでいる（豊田ほか、1981; Fukue *et al.*, 2006）。今回の細菌調査は、好気的条件下で培地に生育できる細菌を対象としており、この海域に存在するすべての細菌数を把握したわけではない。特に海底泥については嫌気性細菌を含めた細菌の把握がこの海域の細菌の実態を明らかにするために必要であると思われる。

## 謝 辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金（基盤研究 C 課題番号16510067、代表者 佐藤義夫、課題「沿岸海域における環境保全と修復技術に関する研究」）の援助を受けてまとめられた。清水港の水質調査は、旧清水市および静岡市からの委託調査（代表者：岡部史郎教授、豊田恵聖教授および佐藤義夫教授）として、海洋科学科の化学研究室に所属した多くの卒業生の方々に協力を得たのでここに謝意を表します。また、細菌学的調査を行うにあたり、ご協力いただいた本学大学院生の原 健介氏にお礼申し上げます。

## 参考文献

- 芦生徳厚 (1988): 水質環境基準項目としての大腸菌群の評価。用水と排水, **30**, 17-26.
- Cowan S. T. (1974): Manual for the Identification of Medical Bacteria, 2nd ed. Cambridge University Press, 335pp.
- Fukue, M., Y. Sato, K. Uehara, Y. Kato, and Y. Furukawa (2006): Contamination of sediments and proposed containment technique in a wood pool in Shimizu, Japan, *Journal of ASTM International*, Vol. 3, Issue 7, Page counts: 12.
- 石川公敏・杉本隆成 (1995): シンポジウム「沿岸海洋環境問題の新たな局面」のまとめ。沿岸海洋研究, **32**, 117-119.
- 松村 剛・石丸 隆・柳 哲雄 (2002): 東京湾における窒素とリンの収支。海の研究, **11**, 613-630.
- 松永勝彦 (1993): 森が消えれば海も死ぬ 陸と海を結ぶ生態学。講談社, 東京, 190pp.
- 水島雅文・松野 健・村上和男 (1999): シンポジウム「沿岸開発と環境保全の共存—その可能性と方法—」のまとめ。沿岸海洋研究, **36**, 111-113.
- 村瀬秀也・加藤邦夫・下川洪平 (1977): 河川水中の大腸菌群について。用水と排水, **19**, 45-52.
- 沼田哲始・宮田康人・豊田恵聖・佐藤義夫・小田 静 (1999): 製鋼スラグの底質改善への適用性 (第1報)。日本海水学会誌, **53**, 283-294.
- 岡部史郎 (1971): 静岡県清水港の水質について。工業用水, **158**, 198-202.
- 岡部史郎・大森 信 (1975): 海洋環境汚染に関連する地域別調査研究の現状と問題点。駿河湾・遠州灘, 日本海洋学会誌, 特集号, 256-264.
- 岡部史郎・豊田恵聖・村上孝文 (1967): 清水港内の海洋化学的研究。東海大学紀要海洋学部, **2**, 130-147.
- 小川数也 (1973): 沿岸海域における大腸菌群の分布, 日本海洋学会誌, Vol. 29, No. 5, 33-38.
- 奥谷康一・来田秀雄・木俣正夫 (1971): 沿岸海域の有機物分解活性と関与する微生物について, 昭和46年度日本水産学会会秋期大会講演集。
- 佐々木克之・程木義邦・村上哲生 (2003): 諫早湾調整池からの COD・全窒素・全リンの排出量および失われた浄化量の推定。海の研究, **12**, 573-591.
- Sato, Y., M. Fukue, K. Yasuda, K. Kita, S. Sawamoto, and Y. Miyata (2006): Seawater Quality, Suspended Solids, and Settling Particles in the Wood Pool area of Shimizu Port, Japan. *Journal of ASTM International*, 3, Issue 7., page counts: 13.
- Simizu U., K. shino, and E. Kaneko (1971): Bacterial flora of phyto-and zoo-plankton in the inshore water of Japan, *Can. J. Microbiol.*, **17**, 1157-1160.
- Strickland, J. D.H. and T. R. Parsons (1972): A practical handbook of seawater analysis 2nd Edition. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, **167**, 310pp.
- 高田秀重・柳 哲雄 (2000): シンポジウム「沿岸海域における環境ホルモンの動態」のまとめ。沿岸海洋研究, **37**, 83-84.
- 多賀信夫編 (1974): 海洋微生物学, 東京大学出版会, 東京, 230pp.
- 豊田恵聖・赤川郁夫・岡部史郎 (1981): 清水港および巴川における底泥の有機物質について。東海大学紀要海洋学部, **14**, 67-80.
- 浮田正夫・山原康次嗣・中西 弘 (1991): 大阪湾における流入負荷量の推移と内部生産。沿岸海洋研究ノート, **29**, 51-59.
- 和田 明 (1996): 開発と環境。沿岸海洋研究, **33**, 93-98.
- 渡辺信雄 (1969): 内湾への海水交流とこれに伴う湾内の塩素量の変化について (予報)。沿岸海洋研究ノート, **7**, 1-6.

## 要 約

清水港の環境悪化要因を明らかにするために、過去20年間にわたる水質および海洋性細菌の分布状況について検討を行った。

清水港における塩分、pH、DO、CODおよびT-N濃度の経年変化は、1998年以降に増加傾向を示したが、透明度、SSおよびT-P濃度は、減少傾向を示した。これらの変動要因は、河川を通して清水港へ運び込まれるそれらの負荷量の変動、港内における内部生産の変動などが考えられる。また、清水港に流入している巴川河口の大腸菌群数は $3.5 \times 10^5$  CFU/100mlであった。このことは、巴川が大腸菌などの糞便由来の細菌による汚染の影響を受けていること示している。折戸湾奥部の貯木場における表面海水中の一般海洋細菌数は $2.3 \sim 2.6 \times 10^5$  CFU/100mlであった。また細菌相は *Vibrio-Aerogenes* が優占しており、富栄養化の進んでいる沿岸海域と同様の傾向を示した。この海域の底泥には、セルロース分解細菌が多く存在していた。

キーワード：有機汚濁，COD，SS，大腸菌群，海洋細菌