

第二章 平潟湾および金沢湾の底質調査結果

二宮 勝 幸

1. はじめに

近年、閉鎖性水域での富栄養化は大きな問題となっているが、強内湾性の平潟湾はむしろ過栄養状態であり、その底質は有機汚濁の影響も受けて強い還元状態を呈し、水質・底生物等と与える影響は無視できない。底質対策として、浚渫などが考えられるが、対策前後の現状把握および回復の確認を行うことは重要である。ここでは平潟湾、およびそれと東京湾を結ぶ経路にあたる金沢湾における底質の汚染分布と質的な違いを把握することを目的に調査したので、その結果を報告する。

2. 調査方法

2-1 調査地点および調査時期

平潟湾および金沢湾の調査地点を図1に示す。平潟湾については、昭和57年4月から昭和58年2

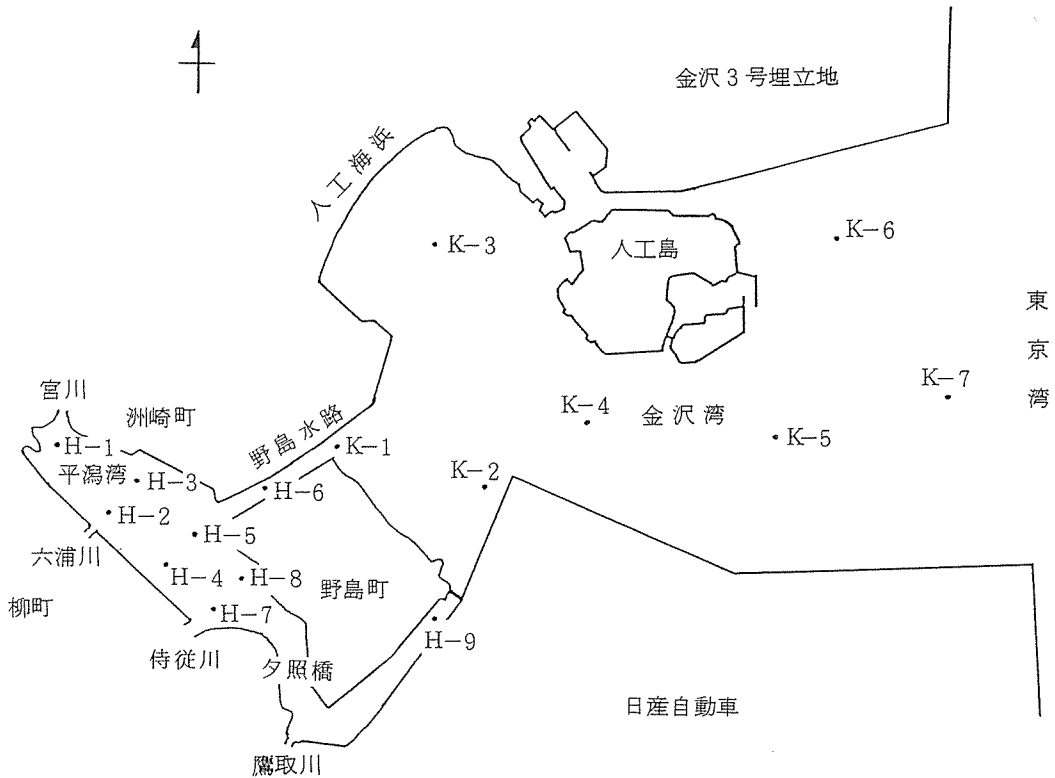


図-1 平潟湾および金沢湾の調査地点

にかけて毎月、8地点の底質をエックマンバース式採泥器を用いて採取し、船上で温度・pH・酸化還元電位を測定した。昭和57年7月29日と昭和58年1月20日の試料は、その他に強熱減量・全燐・抽出物質・油分についても分析を行った。但し、全炭素・全窒素は昭和57年8月27日と昭和58年2月28日の試料を用いて分析した。更に、補充調査として昭和59年7月30日と昭和60年3月29日にSt.H-1とSt.H-5の底質を採取し、硫化物と低級脂肪酸の分析を行った。

金沢湾については、昭和58年5月30日に7地点、そして同時に平潟湾内のSt.H-9の底質を採取し、分析を行った。なお、調査時期は平潟湾・金沢湾いずれも河水川の影響が最も大きい大潮の干潮時を選んだ。

2-2 分析方法

2-2-1 温度・pH・酸化還元電位 (Eh)

試料採取後、船上で携帯用測定器を用いて測定し、Ehについては標準水素電極電位に換算した。

2-2-2 強熱減量 (IL)

底質調査方法¹⁾に従って分析した。

2-2-3 全炭素 (T-C)・全窒素 (T-N)

風乾試料をさらに110°Cで2時間乾燥させ、それを柳本製C.H.Nコーダーを用いて測定した。濃度は乾泥単位とした。以下の項目も同様である。

2-2-4 全燐 (T-P)

底質調査方法と解説²⁾に従って分析した。

2-2-5 抽出物質

風乾試料20～100gを取り、酢酸エチルを用いて10時間ソックスレー抽出する。抽出液の大部分の溶媒を留去した後、窒素ガスで残りの溶媒を除去する。更に、70°Cの恒温器内に1時間保持してから抽出物質の重量を測定した。

底質調査方法と解説²⁾では抽出溶媒にn-ヘキサンを用いているが、より極性の高い溶媒を用いれば非極性の油分とともに極性を有する油分も抽出され易くなり、抽出効率が良くなるので酢酸エチルを用いた。また、一般に有機溶媒で底質を抽出すると、抽出物質中に硫黄の結晶が見られ、油分とともに硫黄も抽出される。²⁾³⁾⁴⁾それ故、酢酸エチルで抽出された物質は主として油分および硫黄の合計量であると考えられる。

2-2-6 全油分 (T-Oil)

油分の測定には核磁気共鳴装置を用いた。³⁾⁵⁾

(測定原理)

プロトン核磁気共鳴(¹H-NMR)において、炭素に結合したメチル基-CH₃、メチレン基-CH₂、メチン基-CHのプロトンは0.5～2.0 ppmにシグナルを持つ。従って、0.5～2.0 ppmの全てのシグナルの積分値(以下、 $\int \delta$ とする)と適当な内部標準(ここでは、ジオキサンを用い、その積分値は $\int \delta$ である)との相対的な評価によって、油分を構成するメチル基・メチレン基・メチン基のプロトンの合計量が定量できる。

(定量方法)

抽出物質を四塩化炭素で再溶解し、それにジオキサンが4 mg/mlになるように加え、更にテトラメチルシラン(TMS)を少量加える。その一定量をサンプル管に取り、日立製R-600形FT-NMR

装置でNMRスペクトルを測定する。得られたスペクトルから $\int_{3.3}^{3.9}$ に対する $\int_{0.9}^{2.0}$ の比を求め、B重油として定量した。

2-2-7 非極性および極性油分 (n-Oil, p-Oil)

油分性状の違いを調べるため、T-Oilを石油系の炭化水素などに由来するn-Oilと、油脂あるいはその分解物質である高級脂肪酸などに由来するp-Oilの2成分に分画した。

分画方法は、抽出物質を少量のn-ヘキサンで溶解し、それを130℃で10時間活性化したシリカゲル5gを用いてカラムクロマトグラフィーを行った。まず、n-ヘキサン100mlで溶出させ、その画分をn-Oilとし、次に酢酸エチル100mlで溶出した画分をp-Oilとした。定量方法は全油分と同様にNMRを用いた。

また、油分の性状を表わす指標として、n-Oilとp-Oilの和に対するn-Oilの百分率(以下、n-Oilの寄与率という)を計算によって求めた。

2-2-8 硫化物 (T-S)

衛生試験法⁶⁾に従って分析した。

2-2-9 低級脂肪酸

磷酸酸性にして水蒸気蒸留を行い、その留出液をガスクロマトグラフを用いて分析した。⁷⁾

3. 結果と考察

表-1に測定結果を、図2-1~14には平潟湾の温度・pH・Eh・IL・T-C・T-N・T-P・抽出物質・T-Oil・n-Oil・p-Oil・n-Oilの寄与率・T-S・酢酸の分布を、そして図3-1~12には金沢湾の温度・pH・Eh・IL・T-C・T-N・T-P・抽出物質・T-Oil・n-Oil・p-Oil・n-Oilの寄与率の分布を示す。以下、平潟湾と金沢湾について各項目別に汚染分布状況を、次に各項目間について検討した。

3-1 平潟湾

3-1-1 温度

7月・1月いずれも、野島水路延長上の湾中心部から宮川および夕照橋方向に温度分布が生じていた。これは平潟湾と外湾を結ぶ唯一の通路である野島水路からの海水の影響が水路延長上の湾中心部で最も大きく、そこから遠ざかるに従って小さくなるためと考えられる。7月では湾中心部の方が高い値を示すが、1月ではその逆の傾向を示した。また、湾内での温度差は7月・1月ともに1.5℃であった。

底質表層の温度は底層水の温度に直接影響されることから、各地点での底質温度に対応した、換言すると底質温度の分布曲線に沿った底層水の流れが生じていると考えられる。そうすると、宮川からの流入水は洲崎町に沿って、鷹取川からは夕照橋を經過して野島町に沿って、そして

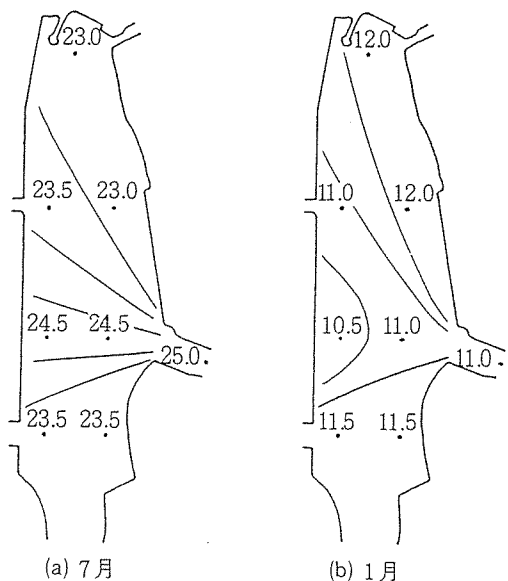


図2-1 温度(℃)

表-1 測定結果 (mg/gdry)

採取年月	地点	温度 (°C)	pH	Eh (mV)	IL (%)	T-C*	T-N*	T-P	抽出物質	T-Oil	n-Oil	P-Oil	n-Oilの 寄与率(%)
昭和57年7月	H-1	23.0	6.5	-240	10.8	—	—	—	5.52	2.83	1.16	1.08	52
"	H-2	23.5	7.2	-231	11.1	21.5	1.64	—	5.23	2.65	1.42	0.78	65
"	H-3	23.0	7.4	-270	13.4	34.9	2.87	—	6.76	2.87	1.64	0.57	74
"	H-4	24.5	7.4	-232	7.1	14.8	0.87	—	2.01	1.11	0.61	0.32	66
"	H-5	24.5	7.6	-232	11.0	23.8	2.64	—	3.12	1.40	0.75	0.44	63
"	H-6	25.0	7.8	+118	7.3	23.5	1.56	—	0.74	0.51	0.19	0.25	43
"	H-7	23.5	7.4	-251	7.0	20.5	1.41	—	2.04	0.98	0.45	0.34	57
"	H-8	23.5	7.3	-251	10.3	35.1	2.74	—	5.68	3.43	1.97	0.78	72
昭和58年1月	H-1	12.0	7.1	-249	10.0	35.6	2.96	2.56	7.30	2.27	1.03	0.98	53
"	H-2	11.0	7.6	-208	6.4	29.6	2.36	1.60	3.39	2.01	1.00	0.58	63
"	H-3	12.0	7.8	-259	11.6	30.6	2.63	2.52	8.38	2.64	1.54	0.77	67
"	H-4	10.5	7.7	-178	11.1	20.6	1.10	1.40	2.73	1.40	0.76	0.43	64
"	H-5	11.0	8.0	-208	11.0	66.8	8.31	2.46	3.21	1.48	0.81	0.51	61
"	H-6	11.0	8.0	-38	1.6	10.8	0.29	0.90	0.68	0.22	0.10	0.08	55
"	H-7	11.5	7.6	-239	10.1	15.0	0.68	2.26	6.65	3.00	1.75	0.80	69
"	H-8	11.5	7.6	-209	10.2	23.6	1.46	2.19	5.91	2.85	1.69	0.80	68
昭和58年5月	H-9	—	—	—	13.0	56.5	2.97	3.80	25.3	22.6	16.0	4.75	77
"	K-1	23.8	7.2	-120	8.4	16.6	0.97	1.50	2.06	0.72	0.24	0.35	41
"	K-2	21.4	7.8	-58	2.6	4.3	0.17	0.88	0.28	0.09	0.03	0.06	36
"	K-3	—	7.3	—	8.8	10.3	0.70	1.72	1.59	0.43	0.12	0.22	36
"	K-4	19.4	7.3	-116	6.2	10.6	0.69	1.44	0.79	0.41	0.14	0.18	43
"	K-5	21.5	7.4	+62	9.8	23.4	0.57	1.52	0.48	0.25	0.08	0.15	35
"	K-6	18.6	7.1	-45	10.2	12.9	0.97	1.98	1.49	0.50	0.16	0.26	39
"	K-7	19.1	7.3	-85	9.4	17.6	1.45	1.60	1.57	0.65	0.22	0.30	43
採取年月	地点	T-S	酢酸	プロピオン酸	n-酪酸	i-酪酸							
昭和59年7月	H-1	3.4	0.032	0.0022	0.00027	0.00018	* 平潟湾のT-C・T-Nについては、昭和57年8月と						
"	H-5	3.0	0.0069	0.00072	0.00016	0.00008	昭和58年2月に採取した試料を用いた。						
昭和60年3月	H-1	3.3	0.012	0.00034	0.00008	0.00007							
"	H-5	1.9	0.0064	0.00030	0.00006	—							

六浦川および侍従川からは直接野島水路に向っていることになる。一方、測定板を用いた湾内の海水流動調査⁸⁾によると、六浦川からの表層水は対岸の洲崎町方向に直進する結果が得られている。この点を除けば、底質温度から推定した底層水の流れと測定板を用いた海水流動調査結果とは一致した。

3-1-2 pH

7月・1月いずれも pH の高い湾口から放射状に勾配が生じていた。これは底質が pH 7 程度の河川水と pH 8 程度の海水の影響を受けるため、それらの影響の割合に対応して海水の影響を最も受け易い湾口から各河川方向へ放射状の勾配が生じたものと思われる。湾口を中心として pH の分布曲線へ垂線を引くと、その垂線の集合は温度の分布曲線とほとんど一致した。このように pH 分布から推定した底層水の流れは温度分布から推定した流れとも一致し、またそれは単純に地形から予測される流れにも合致していると思われる。

7月・1月の平均値は各々 7.3・7.7 で7月の方が若干低い値を示した。St.H-1は7月・1月ともに最小値をとり、特に7月では pH 6.5 と野島水路の St.H-6 より 1.3 も低い値を示した。しかも、同時に調査した下層水の pH は 7.7~8.0 の範囲にあり、St.H-1の下層水では 7.7 であったことから、その地点付近の底質は湾内でも特異な状態にあると思われる。

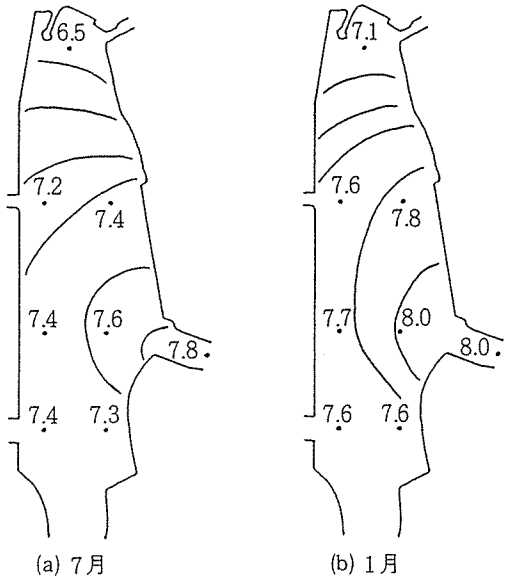


図 2-2 pH

3-1-3 Eh

洲崎町側に低く、柳町側に高い値を示し、温度分布に類似していた。St.H-6を除く湾内では、7月・1月ともにほとんどの地点で -200 mV 以下の値を示し、季節に寄らず強い還元状態にあるが、1月よりも7月の方が平均 23mV 低く若干還元状態が強かった。最大値は海水の影響の大きい St.H-6 にあり湾内より数 100mV も高く、最小値は St.H-3 で -250mV 以下の値を示した。

3-1-4 IL

湾内では 10% 前後の値を示し、洲崎町側に高く、柳町側に低い分布を示した。

3-1-5 T-C・T-N・T-P

T-C が異常に大きい St.H-9、および底質中にイガイの遺骸が多く含まれていた St.H-5 の 2 月の測定値を除くと、T-C・T-N および T-P はい

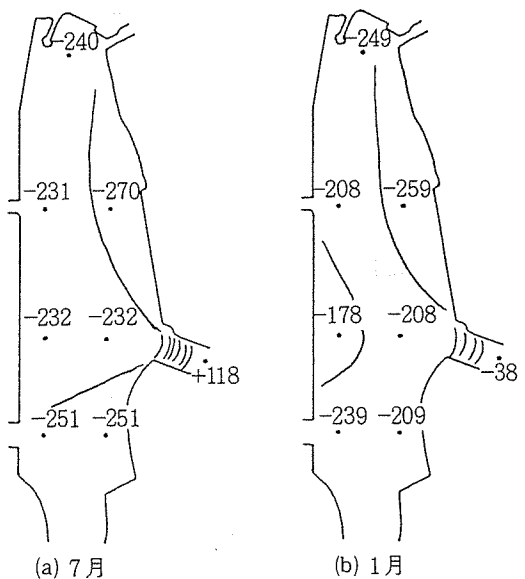


図 2-3 Eh (mV)

ずれも IL の分布に類似していた。但し、これらでは、St.H-1で最大値を示し、栄養塩類負荷が宮川河口で最も大きかった。T-C・T-N・T-Pの平均値は各々 24, 1.7, 2.0 mg/g を、そして名古屋港における調査結果⁹⁾では、各々 20, 1.5, 0.66 mg/g を示し、平潟湾は名古屋港水域よりも若干高い傾向にあるが T-P に関しては、3 倍近い差があった。このように平潟湾の T-P が高いのは、T-P が生活排水の影響の強い項目であることを反映しているためと考えられる。¹⁰⁾

また、横浜港・鶴見川河口における調査結果¹¹⁾からは、工場・船舶の影響が大きい横浜港よりも生活系負荷が大きい鶴見川河口の T-C・T-N (各々平均 20, 2.1 mg/g) に近い値を平潟湾で示していた。

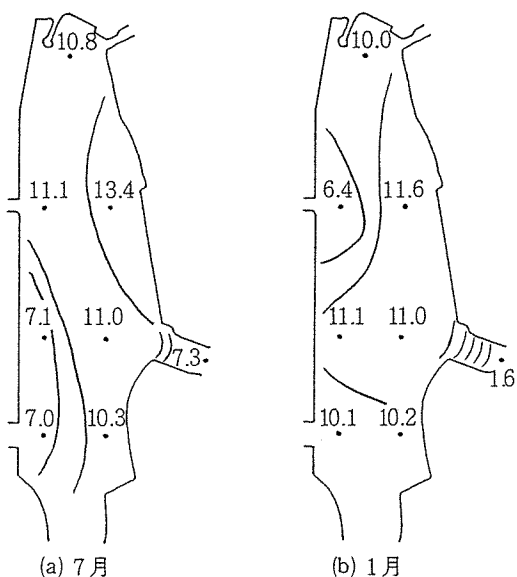


図 2-4 IL (%)

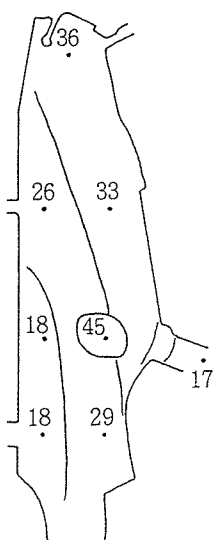


図 2-5 T-C (mg/g)
〔8月と2月の平均値〕

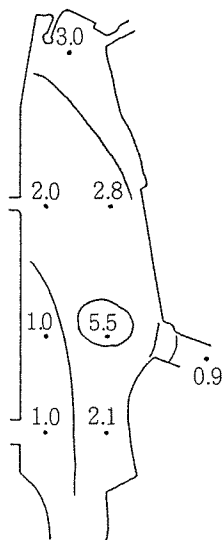


図 2-6 T-N (mg/g)
〔8月と2月の平均値〕

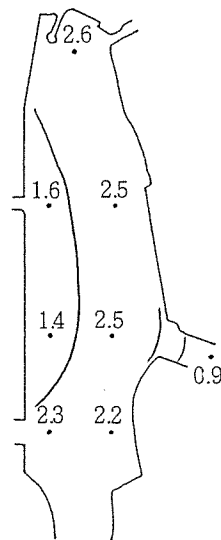


図 2-7 T-P (mg/g)

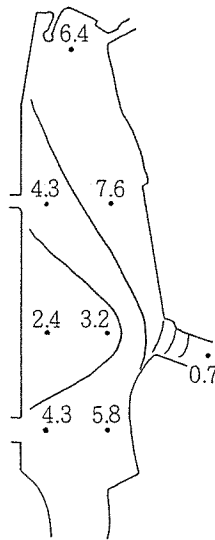


図 2-8 抽出物質 (mg/g)
〔7月と1月の平均値〕

3-1-6 抽出物質

湾内において、最小値を示す St.H-4 から洲崎町側および野島町側に向って濃度が高くなる分布を示した。これは温度分布と非常に類似しており、抽出物質と温度は密接に関係しているものと思われる。最大値は St.H-3 にあり、次に pH が最小値を示す St.H-1 で大きな値を示した。また、海水の直接的な影響を受け、比較的汚染の小さい St.H-6 を除いて、抽出物質は 2.4~7.6 mg/g の範囲にある。しかし St.H-9 では T-C と同様に抽出物質でも他地点と比較して大きな値 (25.3 mg/g) を示し、その付近の底質は油分あるいは硫黄などによって局所的な汚染を受けていると思われる。

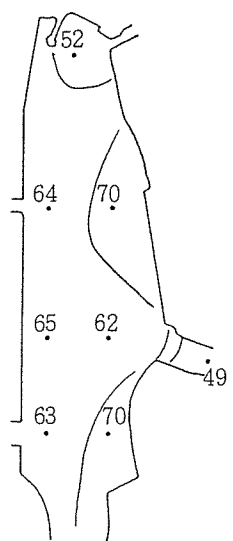
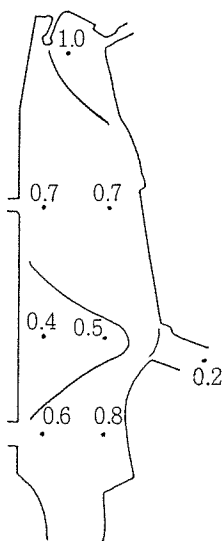
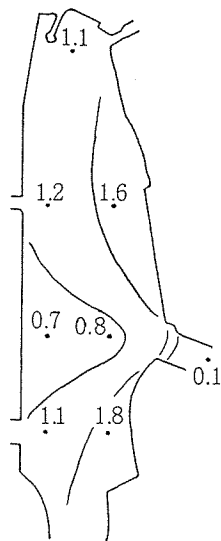
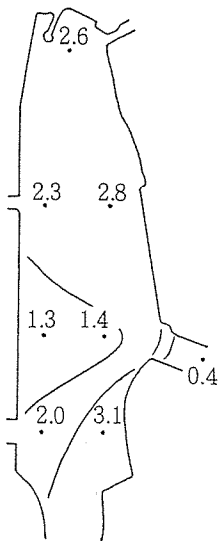


図2-9 T-Oil(mg/g) 図2-10 n-Oil(mg/g) 図2-11 p-Oil(mg/g) 図2-12 n-Oilの寄与率(%)
 【7月と1月の平均値】 【7月と1月の平均値】 【7月と1月の平均値】 【7月と1月の平均値】

3-1-7 Oil類

T-Oilは抽出物質とほぼ同様な濃度分布を示すが、最大値はSt.H-3ではなく、夕照橋側のSt.H-8にあった。同じ手法を用いて調査が行われた大阪湾⁵⁾において、T-Oilは南部沿岸域で0.1~0.5 mg/g、北部の大河川河口域では37 mg/gと異常に大きな値を示す地点を除くと、1.3~6.5 mg/gの範囲の値を示した。平潟湾内のT-Oilはほとんどその範囲内の値を示し、平潟湾は大阪湾の南部沿岸域より北部の河口域に似た汚染状態にあった。一方、St.H-9のT-Oilは22.6 mg/gと抽出物質の大半を占め、他地点のT-Oilが抽出物質の半分程度の値を示すのとかかなり差異が生じていた。このことからSt.H-9では、油によって局所的な汚染を受けていたと考えられる。

n-OilはT-Oilに比べ、宮川河口のSt.H-1の値が他地点よりも相対的に低く、逆にp-OilではSt.H-1で最大値を示した。これはSt.H-1の油分性状が他地点と異なっているためと思われる。油分性状の違いを表わすn-Oilの寄与率において、最小値は野島水路のSt.H-6で49%を、次にSt.H-1が52%を示した。このようにSt.H-1とSt.H-6はn-Oilの寄与率が50%前後の近い値を示すのに、その2地点の汚染の程度は、例えばT-Oilで各々2.6、0.4 mg/gとかかなり異なっていた。このことは、3-3-4 n-Oilの寄与率と抽出物質の項で詳しく述べたい。

また、平潟湾の7月と1月のn-Oilの寄与率の平均値は各々61、55%で、鶴見川河口の59%とほぼ同じ値を示し、油分性状は両地域で類似していた。

3-1-8 T-S

T-Sは1.9~3.4 mg/gの値を示し、名古屋港⁹⁾の平均値0.79 mg/gと比較して高かった。T-SがSt.H-5よりSt.H-1で高いのは、湾内でもSt.H-1は負荷量の大きい宮川の影響が大きく、硫酸還元菌の働きが大きいためであり、また、1月より7月に高いT-Sを示すのは、温度の影響により硫酸還元菌の働きが強くなるためと思われる。

T-Sが高い水域では1日間のDO消費量はT-Sによる酸素消費を測定している可能性が大きいことから¹⁰⁾平潟湾では底質の直上水はかなり低い溶存酸素濃度を示すものと考えられる。

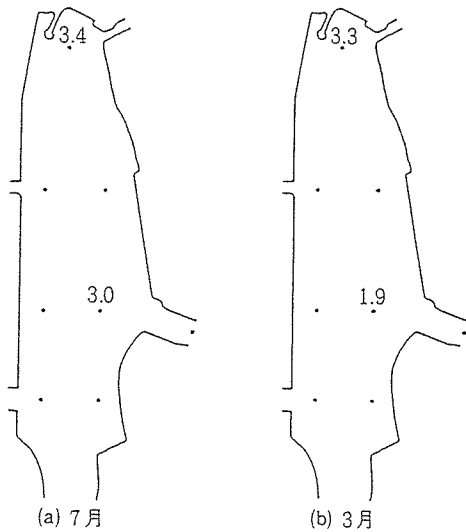


図 2 - 13 T-S (mg/g)

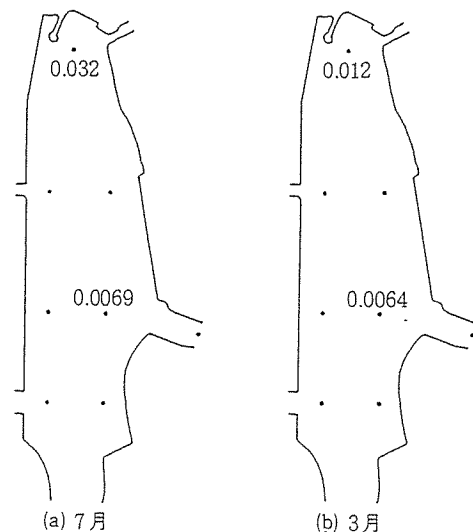


図 2 - 14 酢酸 (mg/g)

3 - 1 - 9 低級脂肪酸

ここでは低級脂肪酸の中で比較的高濃度に検出されている酢酸について検討した。

酢酸は St.H-1の方が St.H-5より2倍以上、そして St.H-1で7月は3月の3倍近い値を示し、T-Sで示された傾向がより顕著に表われていた。

一般に底質中の脂肪酸は嫌気性細菌が沈積有機物を嫌気的に発酵して生成され、微生物活動が著しい場合には生物活性を阻害する程 pH が低下すると言われている。¹²⁾パルプ工場排水拡散域である広島県広湾海底泥中の水溶性有機酸調査結果¹³⁾によると、酢酸は沿岸から沖合に向かって 13.72か 0.11 mg/10g wetに減少すると報告している。含水率を50%と仮定すると 2.7 から 0.022 mg/g dry となり、平潟湾における最大値 0.032 mg/gと比較しても著しく高い。廃水の質的な違いがあり、平潟湾と広湾を単純に比較できないが、広湾で酢酸が 13.72 mg/10g wetの地点のpHは6.6を示し、7月のSt.H-1のpH 6.5と同様に低い値であった。そして、今回同時に行なわれた底生生物調査結果から、St.H-1だけが無生物域であったことを含めて、そこでは湾内の他地点より微生物活動が顕著で、脂肪酸類が生成され、そのためにpHの低下が引き起されているものと思われる。

3 - 2 金沢湾

3 - 2 - 1 温度

平潟湾の出口にあたる湾奥の St.K-1で最大値を示し、St.K-2・St.K-5の金沢湾南部で高く、北部で低い温度分布を示した。平潟湾での考察と同様に、底質温度に対応した底層水の流れるもの仮定すると、金沢湾において平潟湾からの水の流れるは金沢湾南部に沿って東京湾へほぼ直進していると考えられる。

3 - 2 - 2 pH

野島沖の St.H-2で最大値 7.8 を、そして温度

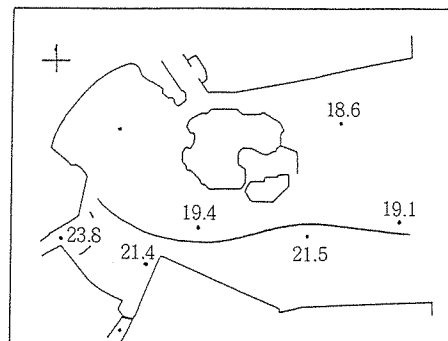


図 3 - 1 温度 (°C)

分布の場合程明確ではないが、南部で高く、北部で低い傾向を示し、やはり温度分布から推定される底層水の流れが生じているものと推察した。なお、温度・pHともに金沢湾では平潟湾の場合程明確に底層の流れを反映していないのは、湾口が大きく海水の影響が湾全体に及んでおり、しかも平潟湾より水深が大きい平潟湾からの河川水の影響が緩和されているためと思われる。

3-2-3 Eh

平潟湾の影響が大きい St.K-1 で最小値を、また金沢湾の中でも粒度が大きい St.K-5 で最大値を示した。金沢湾での平均値は -51mV を示し、還元状態にはあるが、平潟湾のそれより 150mV も高かった。

3-2-4 IL

北部で、そして湾奥よりもむしろ湾口で高い値を示した。最小値は他地点よりもかなり低い 2.6% を St.K-2 で示した。これはその底質だけが砂質で、その他はシルト質であるためと考えられる。金沢湾における IL の平均値は 7.9% で平潟湾の 7 月・1 月の平均値 $9.8\cdot 9.0\%$ より若干低く、金沢湾は平潟湾より汚染の程度が小さい傾向を示した。

3-2-5 T-C・T-N・T-P

T-P の最大値は St.K-6 にあり、その分布は IL と類似しているのに対して、T-C では St.K-5 で、そして T-N では St.K-7 で最大値を示し、各々様子が異なっていた。T-C が St.K-5 で高いのは、そこには貝の破片が多いため他地点よりも無機質に由来する炭素が多く含まれている量だけ T-C が高くなったものと思われる。そこで、図 3-5 から St.K-5 を除いてみると、T-C と T-N は互いに類似し、T-P のように北部に高い分布とは異なる傾向を示した。しかも、T-C・T-N では平潟湾の方が $2\sim 3$ 倍も高い値を示すのに対して、T-P では 1.3 倍とほとんど差がなく、T-C および T-N と、T-P とは異なった汚染状態、

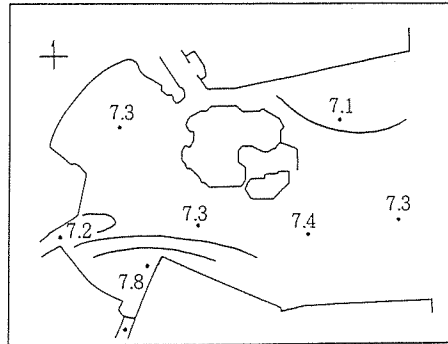


図 3-2 pH

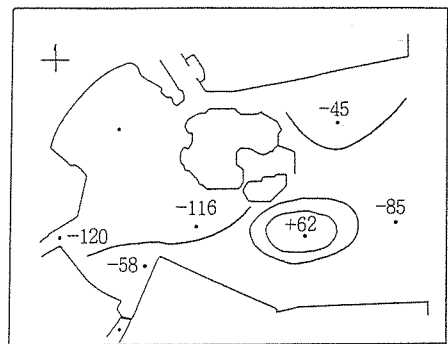


図 3-3 Eh (mV)

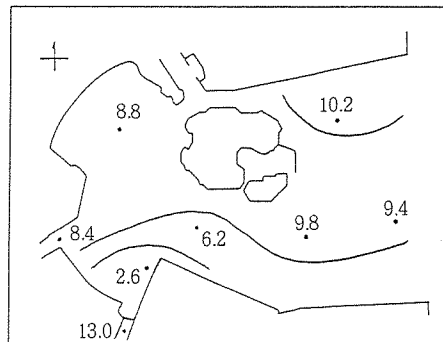


図 3-4 IL (%)

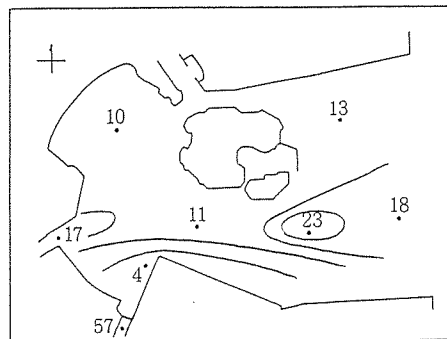


図 3-5 T-C (mg/g)

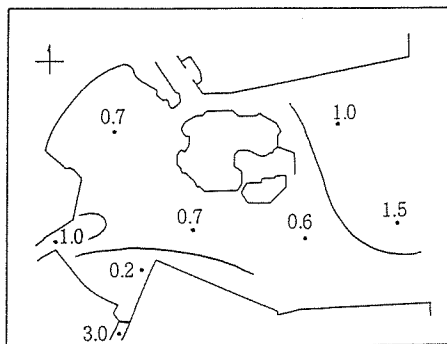


図 3-6 T-N (mg/g)

あるいは挙動をとるようであった。

3-2-6 抽出物質

平潟湾の影響を直接受ける湾奥の St.K-1 で最大値 2.1 mg/g を示し、それは St.H-6 の野島水路での値 0.68~0.74 mg/g より 3 倍程大きかった。平均値で比較すると金沢湾より平潟湾の方が 4 倍程大きく、T-C・T-N・T-P においてよりも両湾の差が大きく表われていた。

3-2-7 Oil類

T-Oil は湾奥の St.K-1 で最大値を、湾口の St.K-7 が次に大きな値を示した。それが逆になっていることを除けば、T-Oil の分布は T-C・T-N の分布に類似していた。平潟湾と比較すると、平潟湾の方が T-Oil は 4.5 倍大きかった。一方、n-Oil では 7.3 倍、p-Oil では 2.7 倍大きく、平潟湾は金沢湾より p-Oil に比べ n-Oil による汚染が進行しているものと思われる。n-Oil の寄与率では、St.K-1・St.K-4 そして St.K-5 を飛び超えて St.K-7 と、平潟湾出入口から東京湾へ向う直線上の値が、金沢湾内でも高く、しかも 41~43% とほぼ同じであった。これは n-Oil の寄与率が 58% と n-Oil の汚染の大きい平潟湾からの流入水が、温度と pH から推察したように上記の経路で流れているためと思われる。

3-3 各項目間の関係

表-2 に T-C・T-N を除いた各項目間の相関係数を調査時期および地域別に示す。対角線より上欄の上辺には平潟湾の 7 月、下辺にはその 1 月の

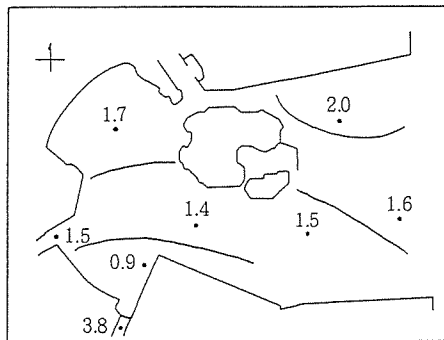


図 3-7 T-P (mg/g)

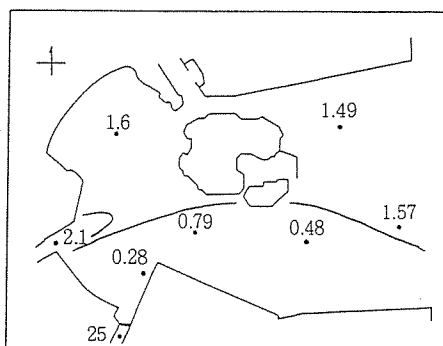


図 3-8 抽出物質 (mg/g)

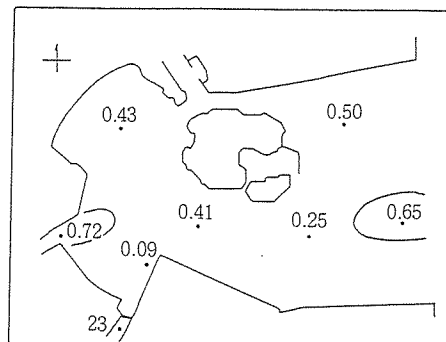


図 3-9 T-Oil (mg/g)

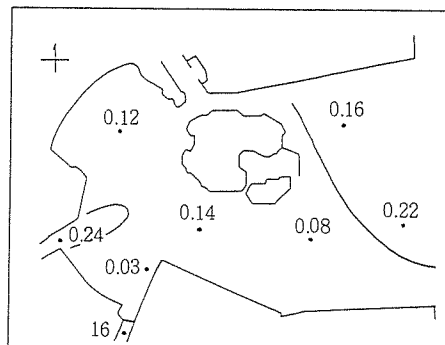


図 3-10 n-Oil (mg/g)

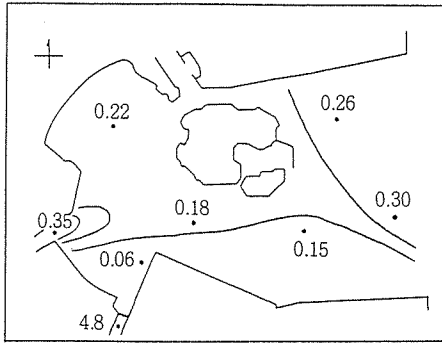


図 3 - 11 p-Oil (mg/g)

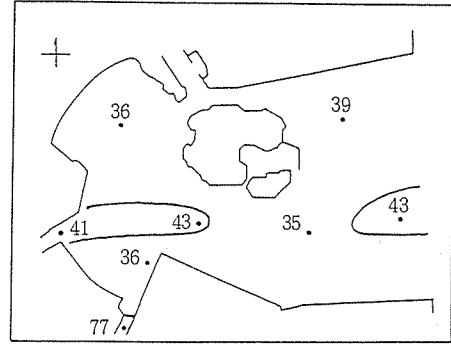


図 3 - 12 n-Oilの寄与率(%)

表 - 2 相関係数

7月の平潟湾
1月の平潟湾
金沢湾

	温度	pH	Eh	IL	抽出物質	T-Oil	n-Oil	p-Oil	T-P
温度		0.72	0.69	-0.60	-0.84	-0.79	-0.71	-0.74	—
pH	0.23		-0.51	-0.56	0.29	0.88	0.58	0.74	0.72
			0.49	-0.32	-0.57	-0.60	-0.40	-0.88	—
Eh	-0.01	0.20		0.54	-0.28	-0.57	-0.53	-0.72	0.39
				-0.45	-0.62	-0.57	-0.58	-0.45	—
IL	-0.20	-0.83	0.29		-0.85	-0.85	-0.80	-0.92	0.87
					0.89	0.77	0.76	0.60	—
抽出物質	-0.11	-0.76	-0.53	0.58		0.66	0.67	0.71	0.78
						0.96	0.93	0.79	—
T-Oil	0.01	-0.80	-0.54	0.61	0.93		0.88	0.92	0.84
							0.97	0.85	—
n-Oil	0.01	-0.76	-0.57	0.56	0.88	0.99		0.98	0.75
								0.98	0.93
p-Oil	0.09	-0.81	-0.46	0.66	0.94	0.99	0.98		—
									0.71
T-P	-0.43	-0.92	0.08	0.90	0.60	0.60	0.54	0.63	0.86

相関係数を、そして下欄には金沢湾の5月の相関係数を示した。以下、各項目間の関係について述べてみたい。

3-3-1 T-CとT-Nの関係

表-2には示していないが、T-CとT-Nの相関係数は平潟湾・金沢湾ともに0.9以上の値を示した。名古屋港の調査結果によると、重金属を含めた栄養塩類は相互に密接に関連しており、T-CとT-Nの相関係数は0.76であった。⁹⁾T-CとT-Nの関係をみるため、図4にそれを示す。図4から平潟湾・金沢湾を合わせてもT-CとT-Nは高い相関を示し、数点を除くとほぼ同一の直線上に分布していた。7月・1月のH-5はともにその分布直線より下側に、K-5とH-9は上側に片寄っていた。このことは前述したように、H-5はイガいの遺骸、K-5は貝の破片、そしてH-9は平潟湾内でも異常に多く含まれていたOilのために各々片寄りが生じたものと思われる。もし、H-9が湾内の一般的

な地域に比べ、T-Cによって局所的に汚染されたと仮定すると、図-29においてT-C軸と平行なH-9からの直線と分布直線との交点が汚染されていない場合のT-Cの値であると考えられる。その値は35 mg/gであり、実際の測定値56.5 mg/gからその値を引くと21.5 mg/gとなった。この値はT-Oilの測定値22.6 mg/gとほぼ等しく、しかもそのn-Oilの寄与率は77%と他地点と比較してかなり高い値を示した。これらのことから、H-9はT-Oil、主としてn-Oilによって局所的に汚染されていることが明らかとなった。

以後、抽出物質を主体として述べるので、抽出物質が25.3 mg/gと異常に高い値を示すH-9を除いて検討することにした。

3-3-2 抽出物質およびT-OilとEhの関係

表-2から、Ehは金沢湾および7月の平潟湾において抽出物質やOil類などとは小さな相関を示すが、1月の平潟湾ではそれらの相関係数は0.8以上の値を示し、相互関係があるものと思われた。前述したように抽出物質はT-OilとT-Sの合計量と考えられることから、抽出物質からT-Oilを差し引いた値(以下、T-S(C)とする)がT-Sと推定される。T-Sは補充調査の7月と3月の平均としてSt.H-1・St.H-5で各々3.4・2.5 mg/gの値を示し、T-S(C)では各々3.9・1.7 mg/gであった。調査時期の異なる試料を用いて比較していることを考慮すると、両者は概して近似しているものと思われる。

鶴見川の調査結果⁴⁾において、T-Oilと抽出物質の関係から抽出物質はT-Oilの約2.4倍であった。平潟湾および金沢湾におけるT-Oilと抽出物質の関係を図5に示す。図5から、分布直線より上側に位置し、他試料に比べ硫黄が多く含まれていると考えられる1月のSt.H-1とSt.H-3を除いて計算すると、抽出物質はT-Oilの約2.0倍となった。このことから、平潟湾・金沢湾においてT-S(C)はT-Oilとほぼ同量底質中に含まれているものと考えられる。

一方、金ら¹⁴⁾は、硫化水素濃度とEhは相関が高く、硫化水素濃度が2.4 mg/g以上でEhは-200 mV以下になると報告している。そこで、金らと同様に、EhとT-S(C)の関係を図6に示した。その相関係数は0.85となり、金らと同様な結果が得られた。

よって、平潟湾・金沢湾において、抽出物質は主としてT-SとT-Oilの合計量を表わし、し

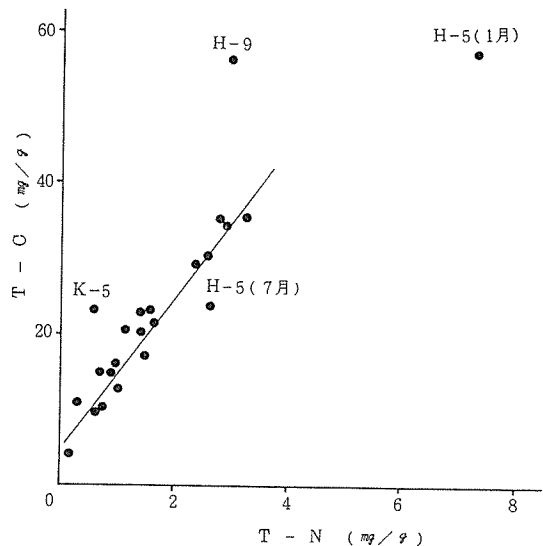


図4 T-NとT-Cの関係

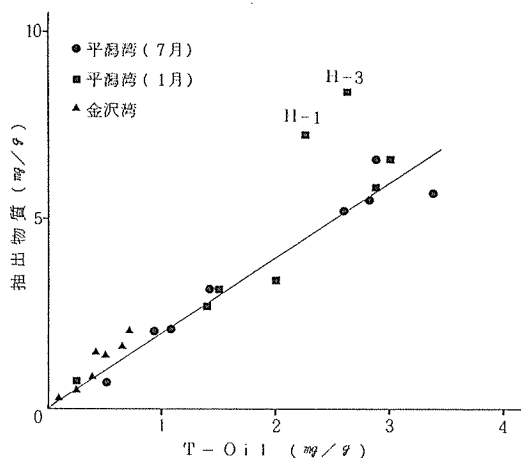


図5 T-Oilと抽出物質の関係

かも T-SはT-Oilと同量含まれていること、そして T-Sは酸化還元の状態を示す Eh に大きく関与していることが明らかとなった。

3-3-3 pHとp-Oilの関係

表-2 から、pHと他項目との相関係数は金沢湾では温度と Ehを除いて-0.76以下の値を示すが、平潟湾ではp-Oilのみが-0.88・-0.72と負の大きな値を示した。図7にpHとp-Oilの関係を示す。図7からp-Oilが大きい程、pHは小さくなる傾向を示した。3-1-9の低級脂肪酸の項で述べたように、底質中の脂肪酸は沈積有機物の中間代謝生成物であり、その量が多くなるとpHは低くなる。そして、p-Oilは揮発性の低級脂肪酸を除く高級脂肪酸の総量を表わしていると考え、pHはp-Oilの量に対応して変化することになる。その結果、pHとp-Oilの相関係数が負の大きな値を示したと思われる。また、その傾向は汚染の大きい平潟湾において顕著に表われていた。

3-3-4 n-Oilの寄与率と抽出物質の関係

3-3-2と3-3-3の結果をまとめると、抽出物質は主としてT-OilとT-Sの合計量であること、そしてT-Oil中のn-Oilは石油系による人為的な汚染の程度を、p-Oilは底質中の微生物活動の程度を、更にT-Sは還元状態の程度を表わしていることを確認した。これらのことから、底質の汚染状態を2次的に特性付けるためには、汚染の質と量を表わすn-Oilの寄与率と抽出物質の関係図(以下、特性図という)が有効であると考えられる。実際、鶴見川の調査⁴⁾でも、それは各測定点の底質の特性を良く表わしていた。図8に平潟湾・金沢湾における特性図を示す。図8では、平潟湾内のH・そして、平潟湾内でもHより汚染の程度が小さいH'・および金沢湾のKの3つのグループに類型化され、いずれのグループにも属していないのは4点あった。Hは平潟湾内でも抽出物質が大きく、次にH'、Kの順に小さい。また、H・H'

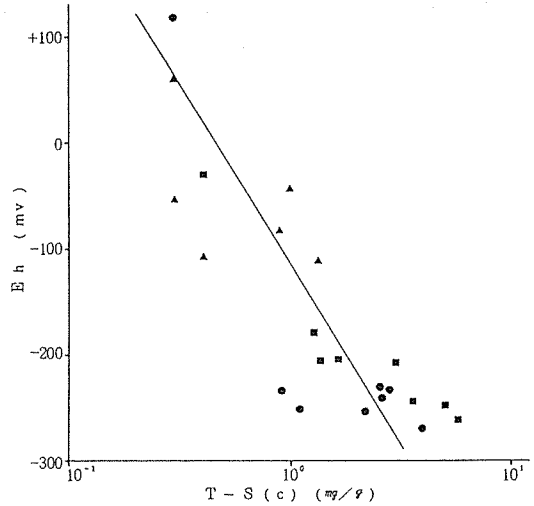


図6 T-S(C)とEhの関係

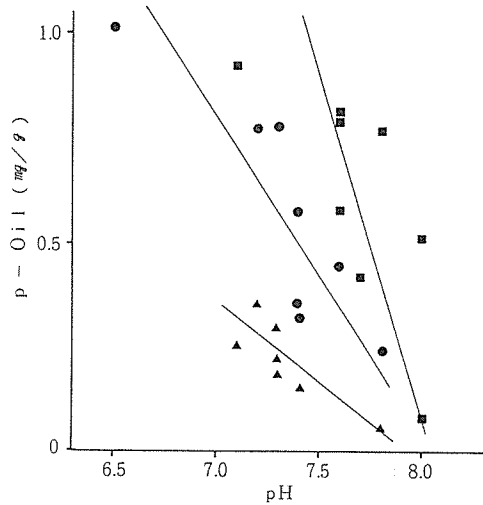


図7 pHとp-Oilの関係

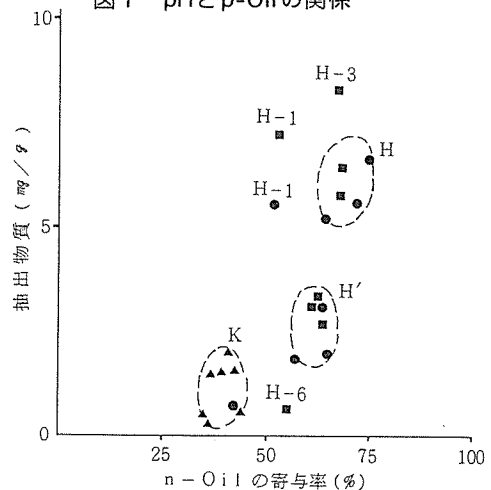


図8 n-Oilの寄与率と抽出物質の関係

・Kのn-Oilの寄与率は各々平均69・62・39%と、その値は抽出物質が小さいグループ程小さくなる傾向を示し、KはH・H'より20%以上も小さかった。これは、抽出物質が大きい程T-OilとT-Sが多くなり、しかもT-Oilの中でも人為的な汚染が主要因であるn-Oilの占める割合が大きくなること、そしてKでは逆にp-Oilの占める割合が大きいことを意味している。Kでは底生生物あるいはプランクトン等の生物に由来するp-Oilが多いためか、鶴見川の上流域に類似した特性を示した。⁴⁾

次に3つのグループのいずれにも属していない4点について検討を加えたい。その4点とは、抽出物質の大きい順に1月のH-3・1月のH-1・7月のH-1および1月のH-6である。1月のH-3はHの上に位置し、Hより抽出物質が大きい。それに対して、1月および7月のH-1はHの左、即ちn-Oilの寄与率が小さい方向に位置し、その値はHより17%も低い52%を示した。元来、H-1はHに属しているのに、St.H-1では微生物活動が顕著なため中間代謝生成物である脂肪酸が多くなり、その結果n-Oilの寄与率が小さくなったと考えられる。そして、抽出物質が5mg/g以上で、かつn-Oilの寄与率が55%以下の所では、生物が存在できない程微生物活動が著しいと推定することができる。

一方、1月のH-6はH-1とほぼ同じn-Oilの寄与率55%を示すが、抽出物質は0.68mg/gとかなり小さい。7月のH-6では、抽出物質はその1月とほぼ同じ0.74mg/gを、しかしn-Oilの寄与率は43%で12%低い値を示しており、7月のH-6はむしろKに属していた。昭和58年1月に護岸工事が行われており、その影響で水質に濁りが生じていたことを考慮すると、元来Kに属していた1月のH-6はn-Oilの寄与率の大きい平潟湾からの影響を受けて、Kより寄与率の大きい方に片寄りが生じたものと思われる。よって、平潟湾と金沢湾を結ぶ野島水路は、底質の状態から判断すると、平潟湾よりもむしろ金沢湾に属しているものと考えられる。

また、野島水路の出口に相当するK-1の抽出物質は、野島水路のH-6より1.3mg/g程大きかった。

3-3-5 温度と抽出物質の関係

表-2から、温度と他項目間の相関は、金沢湾では全て小さいが、平潟湾では金沢湾より高い。しかも、pH・Ehとは7月に正、1月に負の相関係数を示し、IL・抽出物質・Oil類はその逆の傾向を示した。それらの中でも抽出物質との相関は高く、温度と抽出物質は密接に関連しているものと思われる。温度と抽出物質の関係を図9に示す。図9から、金沢湾においてその相関係数が小さかったのは、平潟湾の水の影響を直接受けるK-1を含めて相関係数を求めたためと思われる。同一時期に平潟湾での温度を調べていないので、確認はできないが、図9から推定すると、平潟湾は金沢湾より温度が高く、温度分布においてK-1は平潟湾に属しているものと思われる。K-1を除いて金沢湾における相関係数を求めると、-0.90の負の高い相関を示し、

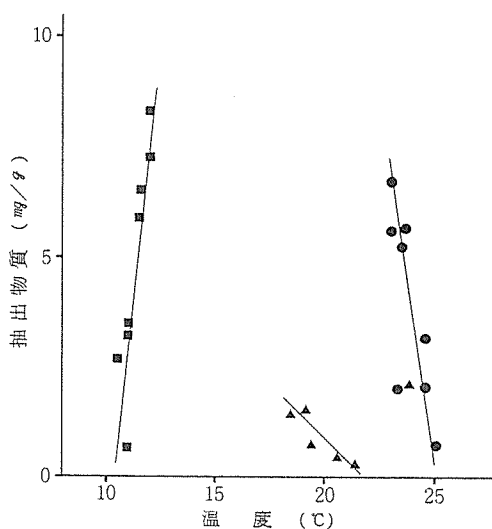


図9 温度と抽出物質の関係

温度と抽出物質は金沢湾においても平潟湾と同様に密接に関連していることが明らかとなった。

前述したように、底質の温度は底層水の動きを反映しており、平潟湾において各河川から野島水路に向う流れがあった。一般に栄養塩類とも相関の高い重金属は河口から沿岸沖へ規則的に減少すること、¹⁶⁾ 即ち河川からの負荷は河口域で堆積し易いことが知られている。これらのことと温度と抽出物質が密接に関連し、それらの分布状況が類似していたことから、平潟湾においても各河川の河口域で各々の負荷量に対応して汚染物質が堆積していると思われる。各河川の負荷量調査ではBODとして宮川で9.7g/sec、侍従川で5.4g/secを示し、宮川は侍従川より1.8倍負荷量が大きかった。¹⁷⁾ 抽出物質を底質中の堆積物とすると図2-8から宮川河口で6.4mg/g、侍従川河口で4.3mg/gを示し、宮川河口は侍従川河口より1.5倍大きく、T-Cでは宮川河口は侍従川河口より2倍大きかった。このように宮川と侍従川を比較してみると、各河川の負荷量に対応して汚染物質は各河口域に堆積していることが明らかとなった。

平潟湾において、温度と抽出物質の相関係数が7月では負、1月では正の値を示すのは、河川水と海水の温度が季節によって変化しており、7月では河川水は海水より低い温度を1月ではその逆を示す。そして底質はその影響を受けて、各河口からの距離に対応した濃度を表わしている抽出物質と同様な、しかし季節によって変化する温度分布を形成するためと考えられる。そうすると、1年を通して温度と抽出物質の相関係数を求めると、夏から冬に移る間に相関係数は負から正に、そして冬から夏に移る間では正から負に変わる時期が各々少なくとも1回存在することになる。そこで実際に毎月の相関係数を求めるために、次のように考えた。平潟湾底質の温度は毎月測定してあるので、その値を用い、粗い近似ではあるが、抽出物質の分布状況は1年を通してほとんど変化はないものと仮定して、7月と1月の平均値を各地点の抽出物質濃度として毎月の相関係数を求めた。

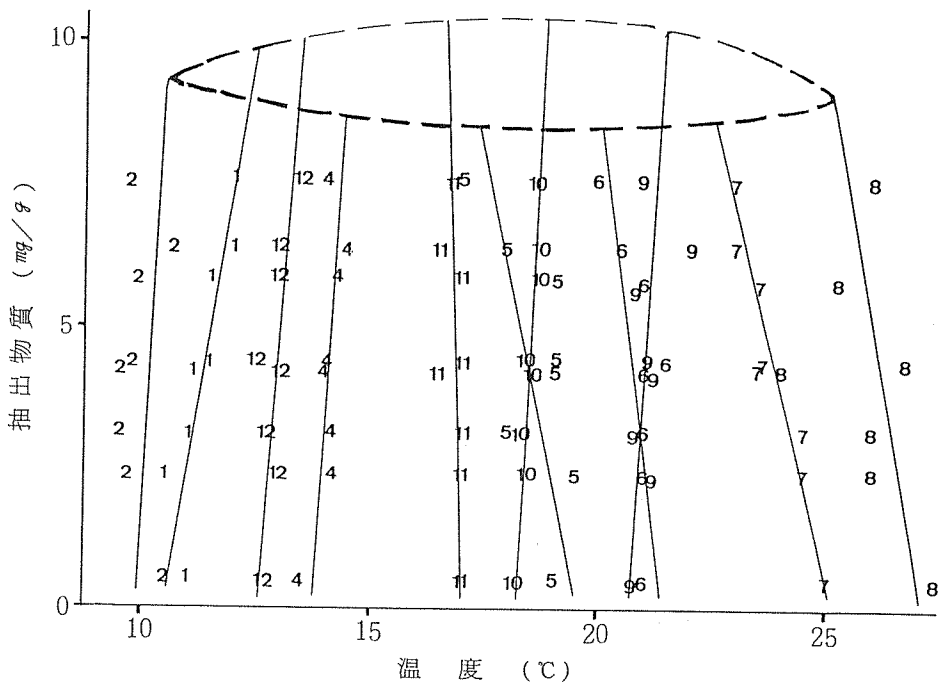


図10 月別の温度と抽出物質の関係

月別の温度と抽出物質の関係を図10に、温度と抽出物質の相関係数の経月度化を図11に示す。気象条件などが影響したためか、11月と2月の相関係数は各々 -0.28 ・ -0.05 と小さな値を示した。図11から11月と2月を除いてみると、相関係数の符号が正の月は4月および9月から1月までで、負の月は5月から8月までであった。よって、相関係数の符号が正から負に変わる時期は4月から5月、負から正に変わる時期は8月から9月にかけて存在することになる。

一方、富栄養化に伴い、植物性プランクトンが増殖することによってクロロフィルa濃度が増加する。公共用水域測定結果¹⁵⁾から平潟湾と金沢湾におけるクロロフィルaの経月変化を求め、それを図12に示す。図12から、平潟湾・金沢湾ともにクロロフィルaは4月から5月にかけて増加率が大きく、クロロフィルaが比較的大きな時期が8月まで続き、8月から9月にかけて減少率が大きくなり、以後クロロフィルaは小さくなった。これは、5月から8月までが停滞期、9月から4月までが循環期に相当することを意味している。そして、抽出物質と温度の相関係数の符号が負と正の期間は各々、クロロフィルaから求めた停滞期と循環期に相当する期間と一致した。一般に湖沼において、循環期・停滞期は垂直混合の有無によって区別されているが、平潟湾のような汽水域では底質温度の水平分布の勾配変化の関係からも循環期・停滞期に相当する期間を区別でき、富栄養化に伴うプランクトンの発生に参与していることが推察された。

4. ま と め

平潟湾および金沢湾の底質調査から、次の結果が得られた。

- (1) 干潮時において、底質の温度・pHは底層水の流れに影響されており、平潟湾では各河川から野島水路へ、そして金沢湾では野島水路から湾南部を直進して東京湾に流入していた。
- (2) 汚染分布は、生活系負荷の大きい大都市の河口域に相当する平潟湾では各河川の河口で大きく汚染され、野島水路に向って小さくなり、平潟湾より数倍きれいな金沢湾では南部より北部の方が汚染されていた。
- (3) 底質の特性図から、抽出物質が大きい程n-Oilの寄与率も大きくなる傾向があり、汚染状態を平

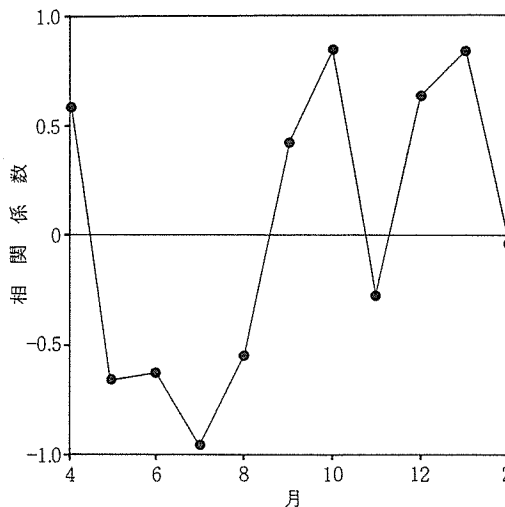


図11 温度と抽出物質の相関係数の経月変化

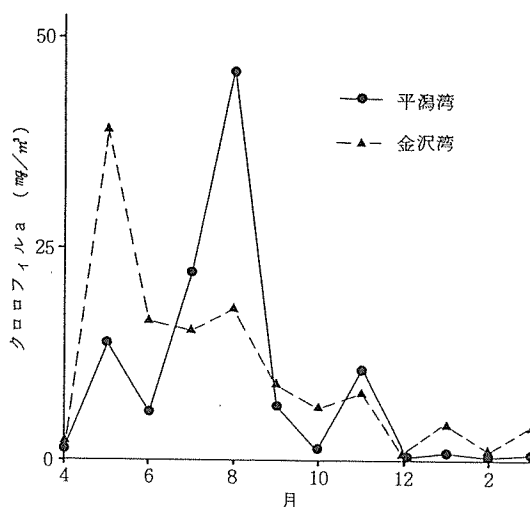


図12 平潟湾および金沢湾のクロロフィルaの経月変化

潟湾の2つと金沢湾に類型化できた。その中で、平潟湾の最奥に位置する野島と日産に挟まれた地点はT-Oilによって局所的な汚染を受けた地域であり、宮川河口は抽出物質が大きい割にn-Oilの寄与率が低く、しかも無生物域であることから微生物活動が顕著な地域であると思われる。

- (4) 平潟湾において、5～8月は停滞期、9月～4月は循環期に相当する期間であること、各河川の河口域の汚染物質は各河川の負荷量に対応していることが明らかとなった。

参 考 文 献

- 1) 環境庁水質保全局：底質調査方法，昭和50年度版。
- 2) 千葉県水質保全研究所：底質調査方法と解説，千葉県水質保全研究所資料，No.15(1979)。
- 3) 二宮勝幸：底質汚染指標，横浜市公害研究所報，7，81－88(1983)。
- 4) 二宮勝幸：油分による鶴見川の底質汚染，横浜市公害研究所報，8，119－126(1983)。
- 5) 柴田次郎，奥村為男，永井迪夫：底質中の油分の核磁気共鳴吸収による測定(淀川，大和川，大阪湾の概況)，大阪府公害監視センター調査室研究報告，4，113－116(1973)。
- 6) 日本薬学会編：衛生試験法注解，946－947(1980)。金原出版。
- 7) 池田勝洋：淀川水源における有機酸について，大阪市水道局水質試験所調査報告書，31，19－23(1979)。
- 8) 横浜市公害対策局：平潟湾水質汚濁調査報告，横浜市公害対策局公害資料，No.30，1－51(1971)。
- 9) 伊藤和男，小島節子，成瀬洋児：名古屋港水域の底質汚染，名古屋市公害研究所報，5，55－59(1976)。
- 10) 清水徹，伊達悦二，橋本敏子：呉，広湾の底泥汚染，広島県環境センター研究報告，1，44－54(1980)。
- 11) 二宮勝幸，白柳康夫，大場栄次，福島博，小市佳延：横浜市沿岸域底質中の油分と化学物質の関係，横浜市公害研究所報，9，151－160(1984)。
- 12) Patrick R. Dugan(鈴木静夫，鈴木潤三，多田史訳)：水質汚染の化学生態学，90－100(1975)，東京化学同人。
- 13) 山岡到保，谷本照己：ガスクロマトグラフ分析による広湾海底泥中の水溶性有機酸の分離・定量，日本農芸化学会誌，51(2)，127－128(1977)。
- 14) 金甲守：有機性排水における酸化還元電位の測定とその応用，関東学院大学大学院工学研究科卒業論文(1982)。
- 15) 神奈川県：神奈川県水質調査年表，昭和57年度。
- 16) 伊藤和男：河口から沿岸沖への底質中重金属の分布に見られる規則性に関する考察，名古屋市公害研究所報，10，45－50(1980)。
- 17) 福島悟：平潟湾流入河川の水質調査結果，平潟湾・金沢湾周辺水域環境調査報告書，横浜市公害研究所，57－66，(1986)。