

第四章 平潟湾の底生動物相とその分布・季節変化 (昭和57年度平潟湾底生生物調査報告)

桑 原 連*

1. はじめに

平潟湾は横浜市沿岸域の最南端、金沢区にある面積 32 ha の小湾で、外部の金沢湾とは狭い野島水路で連結し、東京湾の中でも地形的に最も入り組んだ内奥部に位置する特殊な存在である。金沢区はかつては天然の海浜景観に恵まれ、その風光明媚な自然条件により観光上の価値も大きかったが、度重なる埋立と宅地開発により景観のみならず海域の汚染も増大の一途をたどり、とくに最奥部の平潟湾においてそれが著しく、海産生物の生産や生態系の維持があやぶまれている。この問題を検討するためには生物相や分布生態など生物学上の基礎的知見が必要なことは言うまでもないが、平潟湾についてはこれまで海産生物の分布・季節的消長など生態学的解釈のための具体性ある記録に極めて乏しいのが現状である。生物相に関するこれまでの研究成果を見ると、底泥中の微細藻類・原生動物29種¹⁾、底生生物(ベントス)では昭和54年8月に7種および昭和55年2月に15種²⁾、魚類では昭和41~48年の観察による24種³⁾および昭和52年の25種⁴⁾などがそれぞれ報告されているが、何れも種名と出現時期の記録のみに留まっている。このような状況下で生物学的知見の充実を計り、かつ環境汚染と生物分布との関係を検討するためには底生生物(主としてマクロベントス)の分布調査が最も適切であると考えられた。とくに平潟湾内においても幾つかの小河川の流入があるところから、生物相と環境について地点間の詳細な差異を明らかにしておきたい意図があり、そのためにも定着性の強い底生生物を対象とする必要があった。底生生物調査の利点と特徴を概念的にまとめて見ると、凡そ以下のように述べることができる。

日本の一般的な内湾浅海域で、1/20 m² 程度を採泥する小型採泥器(エクマンバージ型、田村式、その他)で採集される生物の種類・数量の約30%は節足動物甲殻類のとくに端脚類(ヨコエビ類)、別の30%は環形動物の多毛類(ゴカイ類)、更に30%は貝類の主として二枚貝類によって構成されているのが大体の傾向である。したがって底生生物群集の性状、たとえば多様度などの解析を行うためには、少なくともこれらの主要な3群について種のレベルまでの分類・査定は必須条件となる。

海洋生物群集は生態学的に浮游生物(プランクトン)、底生生物(ベントス)、游泳生物(ネクトン、主に魚類)、あるいは海藻などに分けられるが、浮游生物や游泳生物は移動し易く、時間的にも変化が大きいので今回の目的には適切でない。一方、底生生物はその分布生態上の著しい特徴である定住性ゆえに、i) 水域の全体的特性を知る、ii) 水域を区分してそのそれぞれの特性を表わす、iii) 漁業上や、水質汚濁の伝播経路の検討に必要な任意地点の海洋学的構造を知る、などの場合に極めて有利となる。底質および底生生物相は、それが存在する地点の環境要因の累積的な特性を反映するものと

Faunistic studies in HIRAKATA Bay with the seasonal change of distribution

* Ren Kuwabara, 東京大学農学部水産学科

考えられる。従ってその調査結果が意味する具体的な内容として、 a) 底質の粒度組成は底表面の流動に左右され、その累積的効果を反映する、同時に底生生物の分布も粒度組成によって大ざっぱに決定される、 b) 底質中の有機物量 (COD, 強熱減量など) は水質の富栄養化・汚濁を反映し、底生生物の質・量のある程度支配する、 c) 底生生物の種類・分布密度・組成などは、出現地点の汚濁状況、外海性と内湾性の差異いわゆる閉鎖度または保護性、漁業資源上の重要区域 (云うまでもなく底生生物は魚類の重要な餌である)、生物相の豊富さと海流系に関する或は生物地理学的な位置付けなどを検討するための有意義な資料となる。以上のように、底生生物によって水域の生物環境を論ずるには底生生物のみでなく、その生息条件としての底質と両者の関連性を検討することが、他の生物群集以上に重要な意味を持つ。

平潟湾は横浜・横須賀地区の溺れ谷型海岸の一部に含まれる特徴ある小湾であり、同時に大都市に近接するため観光その他の目的で注目を集めやすく、日本の代表的な大型内湾である東京湾の中の存在として十分に稀少価値を有する。平潟湾の外湾である金沢湾を東京湾の二次湾とすれば、平潟湾は云わば三次湾となり、内湾度に関しても東京湾内で他に例を見ないほどの内奥部に位置する海域と云うことができる。しかし昭和42年の柳町地区埋立の完成により以前の水面面積の約1/2に減少し、水容積も凡そ1/2に減ったところへ周囲の宅地開発の影響で多量の生活排水が流入するようになった。このような閉鎖水域でも昭和10年代から始められた周辺海域の埋立がなければ、そこに流入する小河川の力や潮汐の干満によって、現在以上に自然の流れが存在し、底面との接触による水の浄化と外海への汚濁物の掃討力が大きかった筈であるが、図-1に見られるように今では湾形が細長い矩形のような人工の様相になってしまったために、その長辺に沿った直線的な流動が多少の物質の移動をもたらす以上に期待すべきところはない。平潟湾に流入する四つの小河川については、その流入水量は僅かであるが、湾内一帯の粘土・シルト質の堆積が予想外に多量であったことから次のような河川の有害作用が考えられる。すなわち、これらの堆積底泥は当然河川由来のものであるが、通常時の河川水の流量ではそれほどの泥の運搬はむずかしい。そこで降雨のあとに或る程度河川の流れが強められることによって、河川底質の掃討力が増大し、多くの泥が流下する。しかし平潟湾に入ったところで急に河幅が大きくなるような形状のため、河川の流れの勢いが弱まり泥が湾内で沈積するようになると思われる。平潟湾は野島橋下の水路によって外海と通じているが、湾自体がそこへ水を送る際のいわば沈澱池のような役割を負うことになるだろう。

平潟湾は水深が平均3 m程度であるため、底質がおよぼす影響を含めて水質を考慮する際に、東京湾のような代表的な内湾浅海と同一視することはできない。面積に対する水量があまりにも少ないからである。従って水質におよぼす底泥の作用は、相対的に強力なものとなる。湾内水の停滞が強いためにその影響は更に増加する筈である。河川から流入するところの汚濁物質、すなわち海の生産の側から見れば栄養塩と称せられるところの窒素・燐を中心とする物質は海水が好氣的条件下にある際に有機物から分解されて生ずるが、そのための酸素は水の表面を通して空気中から溶入するか、或は植物プランクトンが光合成により生産するかしか供給の道がない。夏の高温期には酸化の化学反応も速くなり、水も鉛直的に停滞するので海水の無酸素化現象がしばしば観察される。東京湾の湾奥部中央域では20年来、底層水の貧酸素層が0~40%の酸素飽和度を示す期間が夏期を中心に2ヶ月近く存続する長期化の傾向が定着しているが、同時に表層では栄養塩が豊富な上に酸素溶入や光条件も好適なため200%以上の過飽和状態が観測されている⁵⁾。ただし、この場合は水深が10 m以上のケースであるから底層の悪条件が表層に

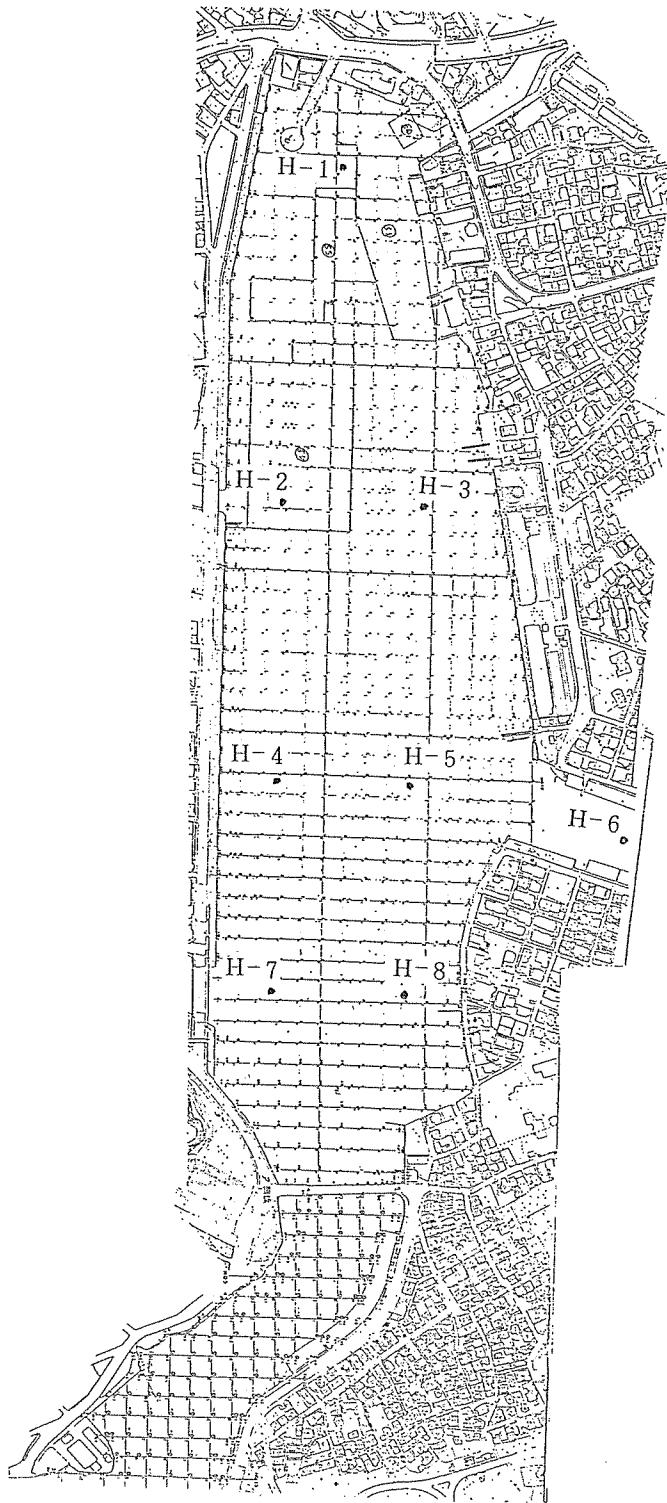


図-1 底生生物調査測点 (昭和57年4月~58年1月, St.H-1~8)

及ばないが、平潟湾では底質の悪化が直接的に表層に影響し、植物プランクトンにとって好ましい条件を多く望むことができない。底泥は固形有機物の沈積場所でもあるから濃厚な有機物に富んでおり、一方、底泥粒子間の海水は殆んど動かないので直ちに無酸素化して嫌氣的または還元状態になり易い。一般に、底泥の黒変は還元状態で発生する硫化水素が鉄その他の土質成分に含まれる金属と結びついた硫化金属の色によるものである。これらの還元性の底土は酸素を消費して酸化状態へ移ろうとするために、黒化している限りは全く無酸素の条件下にあることになる。通常、無酸素状態では多くの海産生物は生存できず、海産線虫類(Nematoda)を中心とするメイオセントス(0.5mmメッシュの篩を通過する微細な底生生物群)は殆んど死滅すると云われている⁶⁾。平潟湾の底泥の状態を見る限りそのような懸念はぬぐい切れないが、一つの利点は水深が浅いことである。このために冬期の風の強い時期には、風浪による表面水の攪乱が、かなりの酸素を底質中へ送り込むものと推測される。底泥の黒変は海水中に豊富に存在する硫酸イオンを還元して硫化水素を発生させる場所の硫酸塩還元菌の働きによるものだが、その活動条件は酸化還元電位で+100mV以下とされている⁷⁾。昭和57年度海産底生生物調査に際しての平潟湾底泥中の酸化還元電位測定結果は周年マイナス側の値を表わしており、常に硫酸塩還元菌の活動条件が具備していると見てよい。従って自然状態での酸素の溶入が底層に及んだとしても底泥中を酸化させるには至っていないことはあり得る事実と思われる。

底質環境因子の中で注目すべき重要な項目は、粒子の大きさ或は粒度組成である。通常、底表面に堆積している砂泥は多かれ少なかれ接触した水塊に由来するものであり、水の流動や攪乱が著しいほど粗い粒子のみ堆積し微細な粒子は懸濁状態に留まる。従って、最も粒子の細かいシルト・粘土質が堆積する水域は極めて停滞性が著しいと云うことができる。水が停滞すると水中の溶存有機物が底質粒子表面に付着するようになり、全体的に底質の有機物汚濁が進む。また同時に、一定量の砂泥を比較した場合、粒子が微細なものの方が単位体積あたりの総表面積が大になるため、有機物や微生物の付着量も大になる⁸⁾。よって、粒度組成が異るとそれに関連して他の化学成分も変わってくる。底質は以上のように接触する水の動きを反映すると共に、時間的に変動の大きい水質の分布に比べて、一地点の各環境因子の累積の変動を表わすため、底生生物の環境特性の比較検討に際しては水質より正確なデータを呈供するものと考えてよい。平潟湾の底質は大略的にはほぼ一様にシルト質であるが、金沢湾に通ずる野島水路のみ多少とも砂質が混じる(極細砂)傾向が見られる。この部分は平潟湾の中でも潮汐による海水交流が顕著で、湾内域に外海水の影響をもたらす唯一の通路となっている。

平潟湾の水質・底質については、本調査と同時に同一測点で横浜市公害研究所による調査および採水・採泥試料の化学分析が行われているので、それらのデータを用い底生動物群集の分布との関係を解析することにした。

2. 調査方法および試料

調査は昭和57年4月より58年4月まで、毎月1回、大潮の日を選んで、図一1に示した8測点について実施した。各調査測点の配置は原則的に格子状の構成に沿って設定し、同時に平潟湾内に流入する各小河川の水質の影響を反映するのに都合よく、それらの河口前面に位置するように計画した。また、外海水との交流が行われている唯一の部位である野島橋下の水路に関しては、同橋直下に1測点(St.H-6)を設け、それと一直線にSt.H-4およびSt.H-5を湾内に配置し、外海水流入の影響を検討しやすいようにした。

底質が殆んどシルト質であるところからエクマンバージ型採泥器を使用し、各測点について3回づつ採泥し、0.5 mm メッシュの金属製篩で篩別し、得られた試料を10%ホルマリン溶液で固定した。その際、採泥試料について定量的考察のため全重量を測定し、同時に携帯用 pH 計および酸化還元電位計により直接に pH と酸化還元電位を測定した。底泥の一部は冷凍保存し、粒度分析・化学分析などの試料とした。生物試料については種の査定と種類別の計数を行い、優占種・稀種・汚濁指標種・有用種などの出現状況、多様度指数などを調べ、分布特性を種々検討した。なお、本報告では年間12回採取した試料より、昭和57年4月20日、7月29日、10月26日、昭和58年1月20日採集の年4回分の試料について分析し、季節別の出現状況・分布を論ずる。

3. 結果および考察

3-1 出現種および種類数

昭和57年4月～58年1月の季節別4回、8測点の調査結果より各種類毎の分布密度を求め、表-1に一括して示した。分類上の群では扁形動物、腔腸動物、紐形動物、環形動物貧毛綱・多毛綱、節足動物甲殻綱コノハエビ目・端脚目・十脚目短尾亜目(カニ類)・長尾亜目(エビ類)、軟体動物腹足綱・斧足綱(二枚貝類)、棘皮動物海星綱、原索動物尾索綱の各群にわたり、全体で56種が同定された。この中には現時点で種の段階まで細別できず暫定的に綱などの動物群としてまとめられたものも一部含まれている。この結果は平潟湾の外海部、横浜沿岸域の調査⁹⁾における昭和48年8月の51種、昭和49年2月・4月の74種の記録に比べて少ないとは云えず、予想に反して多くの種類を産出したと云える。最も種類数の多かった動物群は多毛類で30種に及ぶ。一方、軟体動物が極めて少なく、汚濁指標種とされている数種の二枚貝類を主体に8種が得られたに過ぎない。甲殻類は合計12種であったが、その多くは端脚類でワレカラ類を含めて8種が記録された。

種類数において全体の半数以上を産した多毛類の中では、ゴカイ科の5種、スピオ科の8種などが多くの種類を含む群である。4回の調査を通じて優占種と見られるものは、ハナオカカギゴカイ、*Prionospio cirrifera*、イトゴカイ(キャピテラゴカイ)、および端脚類のウエノドロクダムシの4種である。その出現状況については後に述べる。その他に *Lumbrineris longifolia*、ミナミシロガネゴカイ、アカスジイソメ、ミズヒキゴカイなど沿岸海域の底生生物調査で普通に見出される種類も多くの測点で出現している。また部分的に大量発生の見られたものにホトトギスガイ、コノハエビなどがある。なお、分類学上留意すべき種類としては、*Lumbrineris* 属では *L. nipponica*(旧名 *L. brevicirra*) に代って *L. longifolia* が得られ、イトゴカイは瀬戸内海地方に多い *Capitella capitata japonica* でなく、*C. capitata* が出現している。著名な汚濁指標種であるヨツバネスピオ(旧名 *Prionospio pinnata*) も部分的に出現したがこれは現在 *Paraprionospio* 属に編入され4型が知られているものうち¹⁰⁾、水深10 m以浅の最内奥域に分布するA型に同定された。

種類数に関する各調査時期の全測点平均値および範囲、各測点の全調査時期の平均値および範囲を、生物分布量および環境諸項目などとともに表-2、表-3にそれぞれ一括して示した。調査時期の差異すなわち季節別に出現種類数を比較すると、全測点の平均値で9～15種程度が得られており、還元状態(貧酸素)の発達する夏期に最も少なく、冬期に最も多い結果となっているが、これは内湾・浅海域の一般的傾向である。最高値は各時期とも1測点22～27種でほぼ等しく、その多産域は野島橋下の St. H-6 とそれに近接する H-5 に限られ、何れも外海域との連絡部分つまり外海水の影響を最も強く受ける区域

表一 昭和57年度平潟湾底生生物分析結果 (数値は個体数/m²)

生物名	1982. IV-20								1982. VI-29							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Turbellaria</i> sp. ヒラムシ(渦虫類)					43	104									13	
<i>Acantharia</i> sp. イソギンチャク類					9	139							39	2915		
<i>Nematoda</i> spp. 線虫類						173										
<i>Eunoe nadoensis</i> McIntosh				26									39			
<i>Harmoltrae imbricata</i> (Linne) マダラウロコムシ					26	173							39	479		
<i>Eularia viridis</i> (Linnaeus) サミドリサンバ			13	13	17	259		39					13	130		
<i>Eteone longa</i> (Fabricius) ホノミサンバ																
<i>Phyllodoce japonica</i> IMAJIMA			13		9			9	26							
<i>Amphidromus setosus</i> Hesse					35	864										
<i>Ancistrosyllis hanaokai</i> Kitamori ハナオカカギゴカイ		376	13	1464	43	207	130	964				13	52	687	13	
<i>Platynereis bicanaliculata</i> (Baird) ツルヒザゴカイ						17						104	479	298	155	39
<i>Neanthes succinea</i> (Frey et Leuckart) アシナガゴカイ				39	35	69							13	39	13	
<i>Neanthes caudata</i> (Delle Chiaie)														13		
<i>Nectoneanthes latipoda</i> Paik				13		69							13	26		
<i>Nereis nichollsi</i> Kott																
<i>Nereis multignatha</i> IMAJIMA et Hartman					9											
<i>Eunice antennata</i> (Savigny)													13			
<i>Lumbrineris longifolia</i> IMAJIMA & Higuchi						35							13	65		
<i>Nephtys polybranchia</i> Southern ミナミノシロガネゴカイ																
<i>Dorvillea matsushimae</i> (Okuda et Yamada) アカスジイソナ				26	320	2763							65	648	13	
<i>Polydora ciliata</i> (Jounston)												13	920	363	26	
<i>Pseudopolydora kempii japonica</i> IMAJIMA & Hartman		26	117	13	9								194			
<i>Spiophanes bombyx</i> (Claparede) エラシスビホ																
<i>Prionospio cirrifera</i> Wren		78	39	6549	3679	190	130	4624					1813	91	78	
<i>Prionospio malmgreni</i> Claparede																
<i>Paraprionospio form A</i> (by Yokoyama and Tamai)																
<i>Cossura coasta</i> Kitamori																
<i>Notomastus latericeus</i> Sars													13			
<i>Cirriiformia tentaculata</i> (Montagu) ミズヒキゴカイ					52	415							26	402		
<i>Capitella capitata</i> Fabricius イトゴカイ		5194	3795	311	561	5976	1537	10155								
<i>Thelepus toyamaensis</i> Okuda トヤマフサゴカイ						35										
<i>Chone teres</i> Bush コウキケヤリ				52		52										
<i>Hydroidea norvegica</i> Gunnerus カサネカンザシ																
<i>Oligochaeta</i> spp. 貧毛類		13														39

生物名	1982. X-26								1983. I-20								
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
<i>Turbellaria</i> sp. ヒラムシ(綃虫類)		13			13	26								13	9	13	
<i>Actinotaria</i> sp. イソギンチャク類				104	52	13								26			
<i>Nematoda</i> spp. 線虫類																	
<i>Einoe nedoensis</i> McIntosh																	
<i>Harmolofroa imbricata</i> (Linne) マダラウロコムシ																	
<i>Ectaria viridis</i> (Linnaeus) サミドリサシバ				26		13		13		194	78	39		43	104	285	
<i>Ectone longa</i> (Fabricius) ホソミサシバ														35			
<i>Phylodoce japonica</i> Imajima																	
<i>Amphidromus setosus</i> Hesse				52													
<i>Ancistrosyllis hanaokai</i> Kitamori ハナオカガゴカイ	13	259	65	3575	984	130	389	661		1632	181	1023	881	26	712	479	
<i>Platynereis bicantaliculata</i> (Baird) ツルヒゲゴカイ														17			
<i>Neanthes succinea</i> (Frey et Leuckart) アシナガゴカイ		311		259	39	168	13		52				220	26	13	13	
<i>Neanthes canadica</i> (Delle Chiaje)						104							65	26			
<i>Nectoneanthes latipoda</i> Paik		13			65	26			26			13	26		13	78	
<i>Nereis nicholssi</i> Kott																	
<i>Nereis multigralia</i> Imajima et Hartman																	
<i>Eunicia antennata</i> (Savigny)																	
<i>Lumbrineris longifolia</i> Imajima & Higuchi				181	39	26	39						13	35	39		
<i>Nephtys polybranchia</i> Southern ミナシロガネゴカイ				389	233	104	13					142	622	39	39	13	
<i>Dorvillea matsushimaensis</i> (Okuda et Yamada) アカスジイソメ					104	104	13	142		440	142	13	117	43	440	155	
<i>Polydora ciliata</i> (Johnston)		531			130	26							337	674	52	39	
<i>Pseudopolydora kempji japonica</i> Imajima & Hartman		583													13	194	
<i>Spiophanes bombyx</i> (Claparede) エラナシスビオ																	
<i>Prionospio cirrifera</i> Wiren		311	5622	4171	5026	181	39	4041		3212	6308	6619	3562		1736	8316	
<i>Prionospio malmgreni</i> Claparede								52									
<i>Parapriospio form A</i> (by Yokoyama and Tamai)					13				26								
<i>Cassara coasta</i> Kitamori						13											
<i>Notomastus latericeus</i> Sars				130					26			39	13			13	
<i>Cirriformia tentaculata</i> (Montagu) ミズヒキゴカイ				233		13						13	78	17			
<i>Capitella capitata</i> Fabricius イトゴカイ	751									9016	3821	104	78	3187	5557	2487	
<i>Thelepus toyamaensis</i> Okuda トヤマワサゴカイ					155		155	1140									
<i>Chone leres</i> Busu コウキガヤリ																	
<i>Hydroidea norvegica</i> Gunnerus カサネカンザシ					531	91							194				
<i>Oligochaeta</i> spp. 蓑毛類				78		168							52	17	26	13	

表一 1 同 続 き

生物名	採集時期・調査 H—																
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
<i>Reticanassa festiva</i> (Powys) アラムシロガイ																	
<i>Crepidula onyx</i> SOWERBY シマメノウツネガイ																	
<i>Musculus senhousia</i> (Benson) ホトトギスガイ			13	35			9							13	104		
<i>Mytilus edulis</i> LINNAEUS ムラサキガイ			13	26										13	1762	39	
<i>Ruditapes philippinarum</i> (Adams et Reeve) アサリ														26			
<i>Raeta rostralis</i> (Reeve) チヨノハナガイ																13	
<i>Theora labrica</i> Gould シズクガイ																	
<i>Dosinorbis japonicus</i> (Reeve) カガミガイ																	
<i>Hemigrapsus penicillatus</i> (De Haan) ケフサイソガニ														26			
<i>Palaemon serrifer</i> (Stimpson) スジエビモドキ																	
<i>Crangon affinis</i> (De Haan) エビジャコ		13			78	1952	17										
<i>Nebata bipes</i> Fabricius コノハエビ			2785	6801	9	72228	26	855									
<i>Corophium uenoi</i> Stephensen ウエノドロクダムシ					596	225											
<i>Aora</i> sp.																	
<i>Jassa</i> sp. カマキリヨコエビ属																	
<i>Melita dentata</i> (Køefer) トゲメリタヨコエビ																	
<i>Caprella scaura</i> Templeton トゲワレカラ					60	604											
<i>C. scaura hamata</i> Utinomi セカギトゲワレカラ					181	35											
<i>C. giganteochir</i> Mayer テナガワレカラ					26												
<i>C. larvae</i>					181	725											
<i>Asterias amurensis</i> Lütken ヒトデ																	
<i>Corolla japonica</i> Herdman ドロボヤ																	
総個体数 / m ²	0	5700	6775	17333	6039	87135	1955	16696	0	0	0	0	5350	38965	82037	493	39
種類数	0	6	7	13	23	24	9	7	0	0	0	0	7	25	27	10	1
多様度指数 H' (Shannon Index)	0	0.5419	1.1920	1.5495	2.2435	1.1731	1.2714	1.4528	0	0	0	0	1.4581	1.4429	1.0807	2.7771	0

生物名	1982. X-26								1983. I-20							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Reticunassa festiva</i> (FOWYS) アラムシロガイ													13			
<i>Crepidula onyx</i> SOWERBY シマメノウツネガイ		3407		130	1826		13	65				26	6852			26
<i>Musculus senhousia</i> (BENSON) ホトトギスガイ				337	39	311						39	39	17		
<i>Mytilus edulis</i> LINNAEUS ムラサキガイ				155	13	52	26					65				13
<i>Ruditapes philippinarum</i> (ADAMS et REEVE) アサリ		104														
<i>Raeta rostralis</i> (REEVE) チヨノハサガイ																
<i>Theora lubrica</i> GOULD シズクガイ				13				13								13
<i>Dosinorbis japonicus</i> (REEVE) カガミガイ								13								
<i>Hemigrapsus penicillatus</i> (DE HAAN) ケフサイソノガニ		39				26						13	112			
<i>Palaemon serrifer</i> (STIMPSON) スジエビモドキ												13				
<i>Crangon affinis</i> (DE HAAN) エビジャコ				26	13	52							39	26		
<i>Nebalia bipes</i> FABRICIUS コノハエビ		3186		1140	246	168	65	272		3860	13	39		35	2525	2797
<i>Corophium uenoi</i> STEPHENSEN ウエノドロクダムシ		39			26					91	13				26	
<i>Aora</i> sp.		26		181	350	181				142		311	13	26		1153
<i>Jassa</i> sp. カマキリヨコエビ属																
<i>Melita dentata</i> (KRÖYER) トゲメリタヨコエビ																
<i>Caprella scaura</i> TEMPLETON トゲウレカラ																
<i>C. scaura hamata</i> UTIHOMI セカギトゲウレカラ																
<i>C. giganteochir</i> MAYER テナガウレカラ																
<i>C. larvae</i>																
<i>Asterias amurensis</i> LÜTKEN ヒトデ																
<i>Corella japonica</i> HERDMAN フロボヤ													26			
総個体数/㎡	764	8822	6620	11167	9910	1892	778	6425	350	18717	10556	8524	13331	4380	11865	16087
種類数	2	14	4	18	22	22	11	12	1	13	7	17	26	19	20	18
多様度指数 H' (SHANNON INDEX)	0.1243	2.4834	0.7139	2.6441	2.4639	3.9056	2.3564	1.7520	0	2.1857	1.2350	1.3082	2.1441	1.5643	2.3399	2.1925

表一2 平潟湾における各調査時期の底質環境および底生生物分布の概要 (全測点平均値および範囲)

項目	調査時期	1982. IV-20	1982. VI-29	1982. X-26	1983. I-20
強熱減量(%)		9.1 (5.2~12.3) (5月)	9.8 (7.0~13.4)	9.6 (11月) (6.4~12.0)	9.0 (1.6~11.6)
全炭素 (mg/g 乾泥)		38.8 (18.1~64.5) (5月)	24.9 (14.8~35.1)	21.3 (11月) (14.6~29.4)	23.6 (10.2~35.6)
全窒素 (mg/g 乾泥)		3.06 (0.83~5.55) (5月)	1.96 (0.87~2.87)	1.94 (11月) (1.30~2.49)	1.64 (0.29~2.96)
全リン (mg/g 乾泥)					1.99 (0.90~2.56)
種類数		11.1 (0-24)	8.8 (0-27)	13.1 (2-22)	15.1 (1-26)
分布密度 (個体/m ²)		17704.1 (0-87135)	15860.5 (0-82037)	5797.3 (764-11167)	10476.3 (350-18717)
多様度指数 H'		0-2.24	0-2.78	0.12-3.91	0-2.34
優占種		ウエノドロクダムシ イトゴカイ <i>Prionospio cirrifera</i> ハナオカカギゴカイ	ウエノドロクダムシ コノハエビ <i>Prionospio cirrifera</i>	<i>Prionospio cirrifera</i> ハナオカカギゴカイ ウエノドロクダムシ	<i>Prionospio cirrifera</i> イトゴカイ ホトトギスガイ ウエノドロクダムシ ハナオカカギゴカイ

表-3 平潟湾における各測点の底質環境および底生生物分布の概要 (全調査時期の平均値および範囲)

項目	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	H-6	H-7	H-8
調査測点								
水深 (m)	1.5	1.0	2.5	2.0	3.5	3.5	1.0	2.0
中央粒径 Md (mm)	0.066	0.052	0.068	0.059	0.061	0.076	0.072	0.057
およびPhi値	3.92	4.27	3.88	4.08	4.04	3.72	3.80	4.13
強熱減量 (%)	10.9	9.9	11.6	9.9	11.3	6.7	8.1	11.4
全炭素 (mg / g 乾泥)	42.0	27.6	31.3	21.9	23.5	28.6	17.5	30.8
全窒素 (mg / g 乾泥)	3.59	2.26	2.52	1.54	2.19	2.33	1.06	2.36
全 磷 (mg / g 乾泥)	2.56	1.60	2.52	1.40	2.46	0.90	2.26	2.19
種類数	0.8 (0 ~ 2)	8.3 (0 ~ 14)	4.5 (0 ~ 7)	13.8 (7 ~ 18)	24.0 (22 ~ 26)	23.0 (19 ~ 27)	12.5 (9 ~ 20)	9.5 (1 ~ 18)
分布密度 (個体 / m ²)	278.5 (0 ~ 350)	8309.8 (5350 ~ 18717)	5987.8 (6620 ~ 10556)	10593.5 (5350 ~ 17333)	17061.3 (6039 ~ 38965)	43861.0 (1892 ~ 87135)	3772.8 (493 ~ 11865)	9811.8 (39 ~ 16696)
多様度指数 H'	0 ~ 0.12	0 ~ 2.48	0 ~ 1.24	1.31 ~ 2.64	1.44 ~ 2.46	1.08 ~ 3.91	1.27 ~ 2.78	0 ~ 2.19
優占種	イトゴカイ ハナオカカ ギゴカイ	イトゴカイ Prionospio cirrifera ハナオカカギ ゴカイ	Prionospio cirrifera イトゴカイ	Prionospio cirrifera ハナオカカ ギゴカイ	Prionospio cirrifera ウエノドロク ダムシ コノハエビ	ウエノドロ クダムシ イトゴカイ コノハエビ	イトゴカイ ウエノドロ クダムシ	イトゴカイ Prionospio cirrifera ウエノドロ クダムシ

である。このことは表-3に示した各測点の全調査時期の平均値からも明らかである。一方、最も外海水の影響を受けにくい北側最奥部の St. H-1 では、4月の時点ですでに底生生物の出現は皆無であり、全調査時期の平均値でも0.8種となっている。底層の還元状態が最も発達する夏期には更に St. H-2 および H-3 を含めて、北側の約半分の区域で全く無生物状態に至った。表-2に見られる4月と7月の平均種類数もこれにより低減する結果となっている。10月、1月には最奥部の St. H-1 でもハナオカカギゴカイとイトゴカイの生産が回復するが、秋期以降の温度低下と冬期の風浪による酸素溶入の活発化が還元層の発達をおさえることがその原因であろう。なお、全調査時期の平均値を測点間で比較した表-3によれば、種類数の点で St. H-1 に次ぐ悪条件の地点は St. H-3, H-8 であり、対照的に最奥部に近い西側の St. H-2, H-7 は比較的条件のよいことが判る。この点は後述の底質分布の特徴ともよく一致している。

3-2 分布量, 多様度およびその環境要因との関係

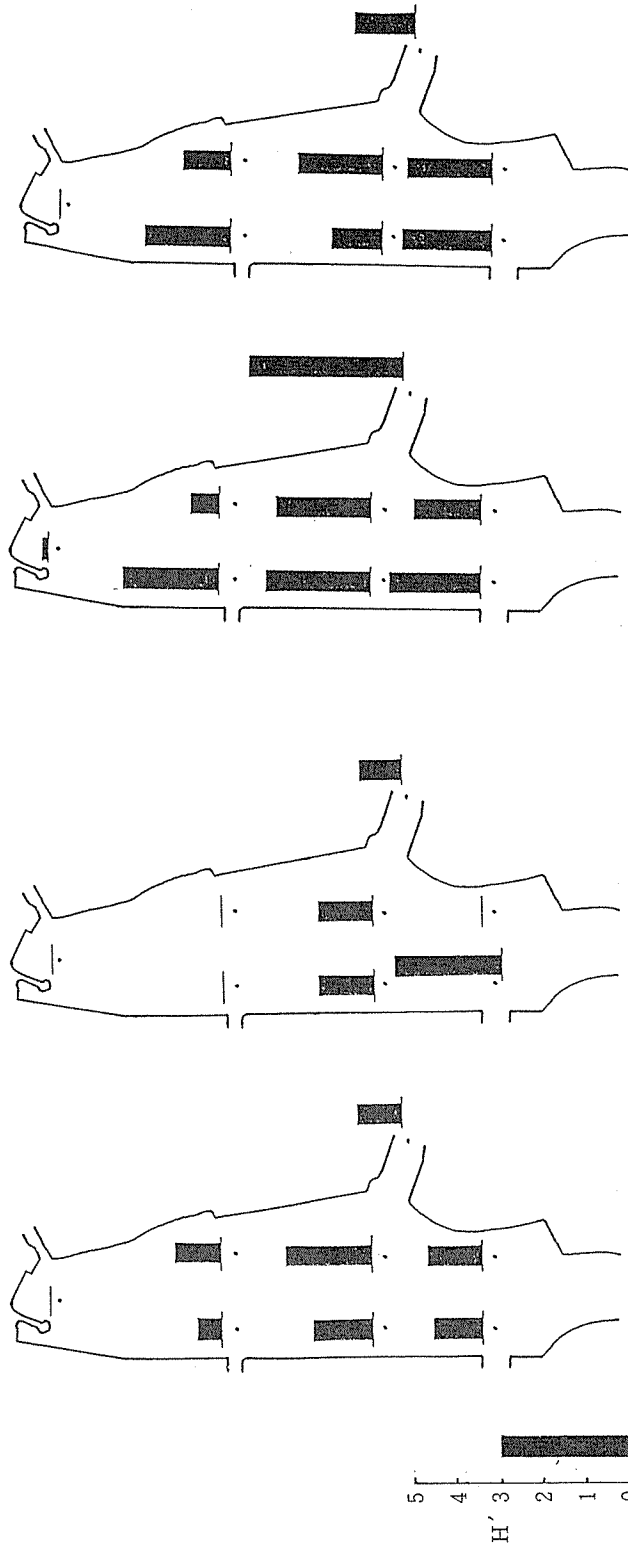
全生物分布密度は単位面積あたりの総個体数すなわち現存量として、各調査時期および各測点の平均値と範囲を表-2, 表-3に一括して示した。季節別には4月・7月に最も高く、それぞれ87135個体/m²および82037個体/m²の値が St. H-6 で得られている。しかしながら、この時期には無生物の測点も見られるために、平均値では4月に17704個体/m², 7月には1586個体/m²を示し、1月の10476個体/m²とあまり変わらない値となっている。10月はこれらの半分に近い5797個体/m²である。最高値に次ぐ高い値は7月の St. H-5 で38965個体/m², 4月に St. H-4・H-5 で17333および16696個体/m², 10月に St. H-4・H-5 で1万個体/m²前後, 1月に St. H-2・H-3・H-5・H-7・H-8 で10556 ~ 16087個体/m²の何れも1万個体/m²を越える高い値が得られている。内湾域のマクロベントス現存量は普通2000個体/m²程度, せいぜい数千個体/m²までであり, 1万個体/m²を越える例は汚濁水域でも注目値に値する結果である。分布密度の一般的な限界については、英国の泥質干潟の例からも10万個体/m²が凡その極限值と受け取られているようだが¹¹⁾, 今回の平潟湾の結果もほぼこれに近い極相的状态にあると云える。ただし特別な例として米国の干潟域の微小二枚貝を主体とする355,000個体/m²の記録¹²⁾も見られるが、このような例は日本では知られていない。表-3に示した各測点の全調査時期平均値では、野島水路内の St. H-6 で43861個体/m²の最高値が見られ、それと一直線上の位値にある St. H-5, H-4 がこれに次いで高い値となっている。これらの高い値はいずれも前記4種の優占種の卓越によるものだが、中でも St. H-6 の場合は70000個体/m²におよぶ端脚類のウエノドロクダムシの高密度が主因である。St. H-4・H-8 の場合は多毛類の *Prionospio cirrifera* が中心となり、分布密度平均値の低い北側最奥部の St. H-1・H-2, 南側の St. H-7・H-8 などでは何れも最汚濁域の大量発生種として著名なイトゴカイが主体となっている。

種類数と分布密度の数値を用いて、生物相の豊富さを表わす多様度指数(H')をSHANNONの式^{註1)}により各測点について求めた結果を表-1に記し、各調査時期および各測点の平均値と範囲は表-2・

註1)

$$\text{多様度指数 } H' = \sum_i \frac{n_i}{N} \log \frac{n_i}{N}$$

ただし $n_i = i$ 種の個体数, $N =$ 全個体数



1983. 1月

1982. 10月

1982. 7月

1982. 4月

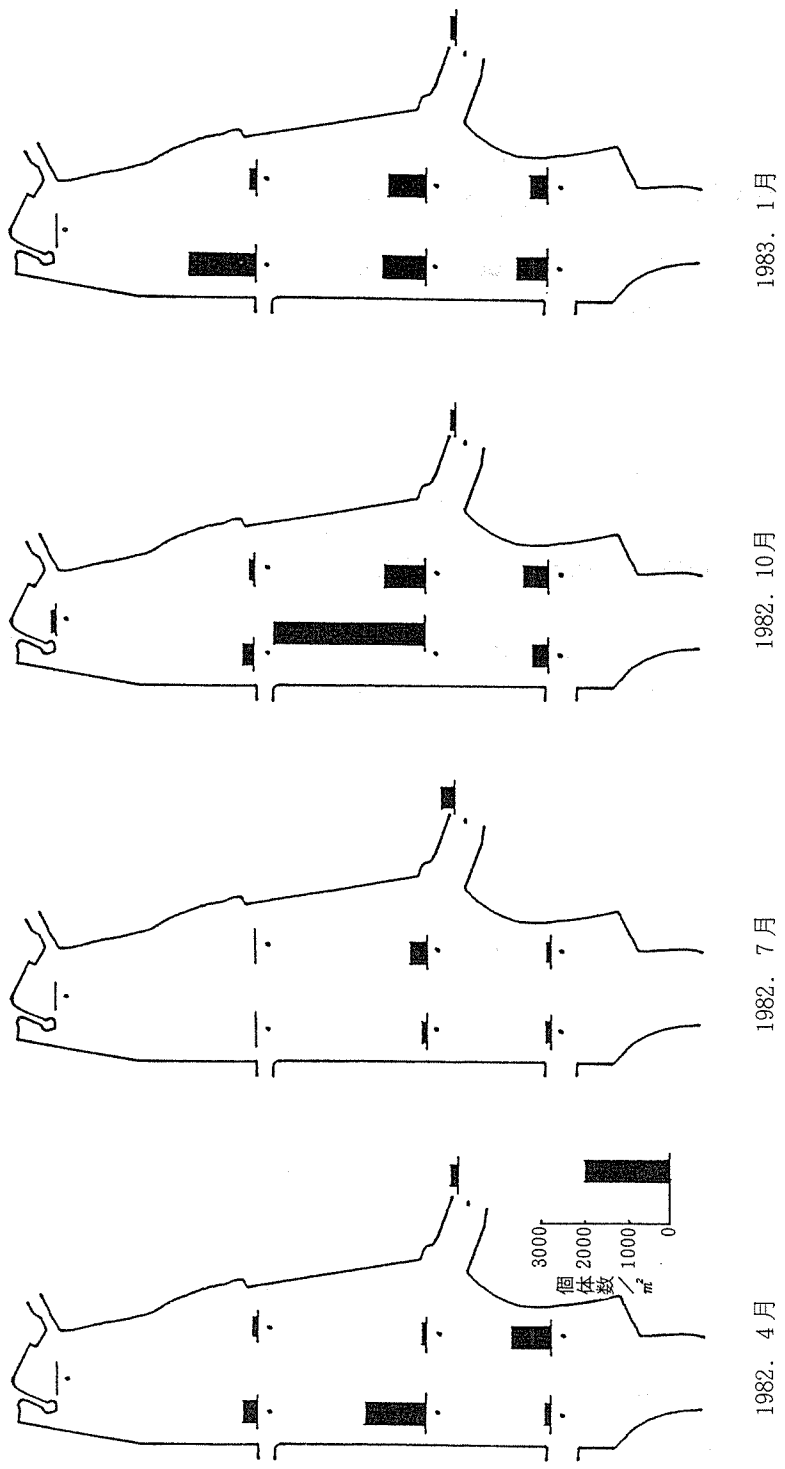
図一2 多様度指数 H' の季節別分布

表-3に併せて示した。全体を通じてH'は0~3.9056の範囲にあり、各測点の値は各調査時期毎に図-2に比較して示した。湾の北側に無生物域の出現する4月、7月にはH'も全体的に低値であるが、10月、1月は対照的に総じて高い値となり、とくに10月には野島水路内のSt.H-6で全調査を通じての最高値が得られている。またこの時期の様相からも明らかなように、外海水の通路となる野島水路側とは反対の西側湾岸に沿ったSt.H-2、H-4、H-7で高くなる傾向が強い。すなわち外海水の影響は野島水路から湾内へ向けて扇状に拡がって西側湾岸に及び、東側のSt.H-3・H-8はむしろ外れる傾向がある。このことは本調査と同時に行われた二宮¹³⁾による底質調査の結果とも一致している。

生物分布量・多様度などに見られる分布特性と環境要因との関係については底質各項目を中心に検討したが、それらの数値は平均値と範囲で表-2、表-3に併せて示した。調査時期別では底質の全炭素・全窒素が4月に他の時期の約1.5~2倍近く高い点が目立つが、分布量・多様度指数など生物側の数値はこれに対応する特徴を表わしていない。一方、表-3の各測点の全調査時期平均値を見ると、最北端のSt.H-1で全炭素、全素、全磷が明らかに高く、夏期の還元層の発達に原因する生物の種類数、分布量、多様度の低値と対応している。すなわち、これら高濃度の有機物量で表わされる汚濁の増加が還元層の発達・無酸素化の進行をうながし生物の分布を制約している点は明らかに認められる。また西側湾岸に沿ったSt.H-2、H-4、H-7ではこれに並ぶ東側湾岸のSt.H-3、H-8などに比べて各項目が低値を示す傾向が見られ、比較的汚濁が少なく野島水路から湾内に拡がる外海水の影響を強く受けているように思われる。

3-3 主要種の分布状況

全調査時期・全測点を通じて優占種と見られるものは前述のようにハナオカカギゴカイ、*Prionospio cirrifera*、イトゴカイ、ウエノドロクダムシの4種であるが、その季節別分布状況は図-3~6のようになる。ハナオカカギゴカイは4月にはSt.H-4・H-8などに多く、高温期を代表する7月には恐らくは還元層の発達におさえられて野島水路近くのSt.H-5・H-6に僅かながら高い値が見られる程度であるが、10月にはSt.H-4・H-5を中心に分布密度が高まり、1月には北端のSt.H-1を除く全域にやや平均して分布するようになる。*Prionospio cirrifera*では7月から10月にかけての分布の推移から、年間の分布の中心が湾内中央域にあり、また周年を通じて外海との連絡部分のSt.H-6で低値を示すことから湾奥性の分布の種類と見なすことができる。汚濁指標種として著名なイトゴカイは4月と1月に共通して北側のSt.H-2・H-3、南側のSt.H-7・H-8、および連絡部分のSt.H-6で高い値を示し、分布の中心が二分されているように思われる。7月・10月は全域で出現しないか又は出現しても極めて低値であったが、他種に比較すると北端部のSt.H-1における値が高いことから、周知の事実^{14~16)}のように最も汚濁に強い種類と考えられる。端脚類のウエノドロクダムシは4月・7月に外海との連絡部St.H-6で7万個体/m²の極めて高い値の分布密度を示した以外は、これに近接するSt.H-4、H-5で比較的高い値が得られたのみで、概して外海水の影響の強い部分にのみ分布する傾向が認められる。以上の結果からこれら4種類の優占種の分布の中心と高密度域の範囲を概括的に表わすと図-7のようになる。すなわち、重複部分の少ないことから4種は互いに棲み分けており、或は発生・増殖の中心が異なるものと推測される。中でもイトゴカイは、一般に生物死滅区域に隣接する重汚染域に分布し、汚濁の進行により生物相が単純化するにつれて分布密度の高まる所謂“割り込み型”の種類¹⁷⁾とされているが、平潟湾の場合も北側の無生物域に近接するSt.H-2・H-3と、外海水の影響の強い生物相の豊富な



図一3 *Ancistrostylis hanaokai* (ハナオカカギゴカイ) の季節別分布

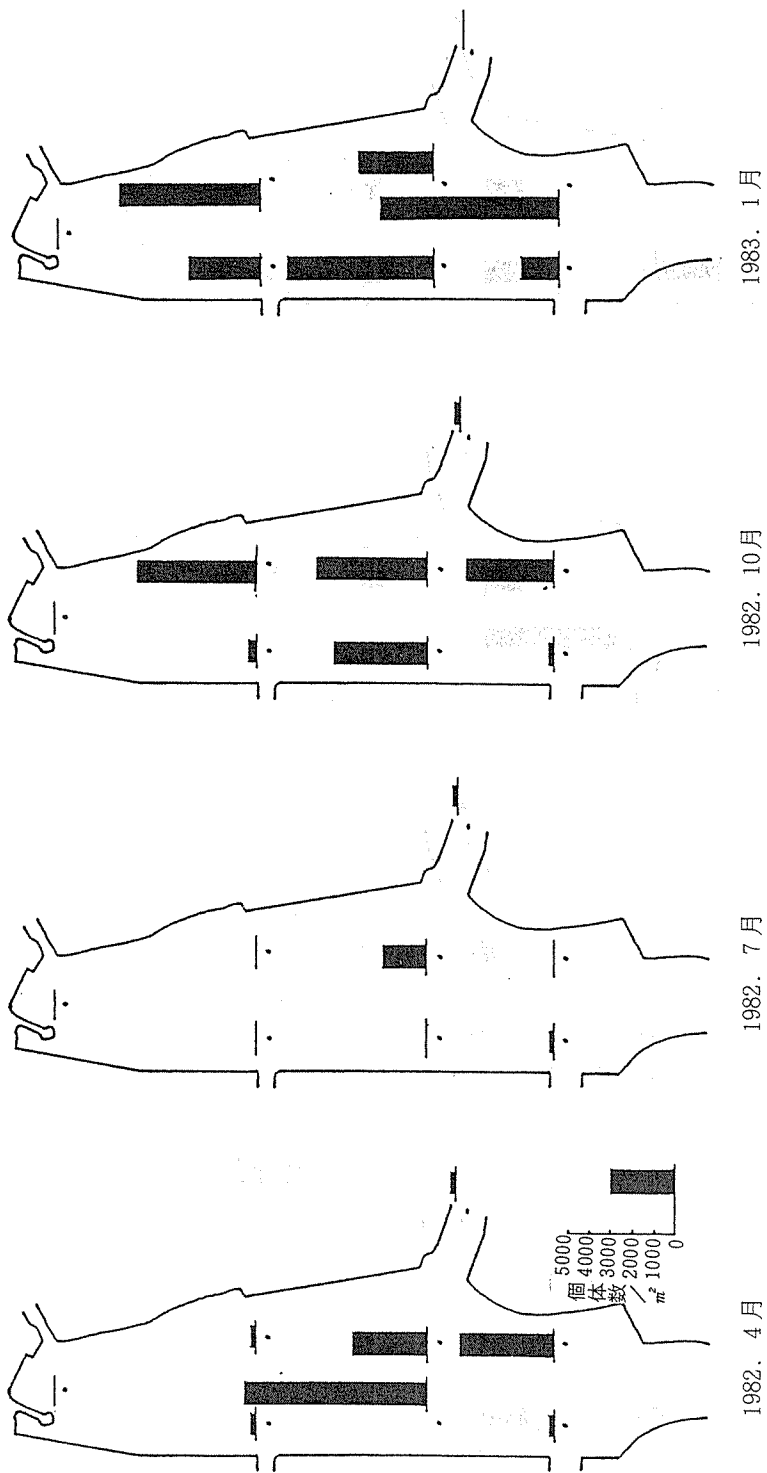


図-4 *Prionospio cirrifera* の季節別分布

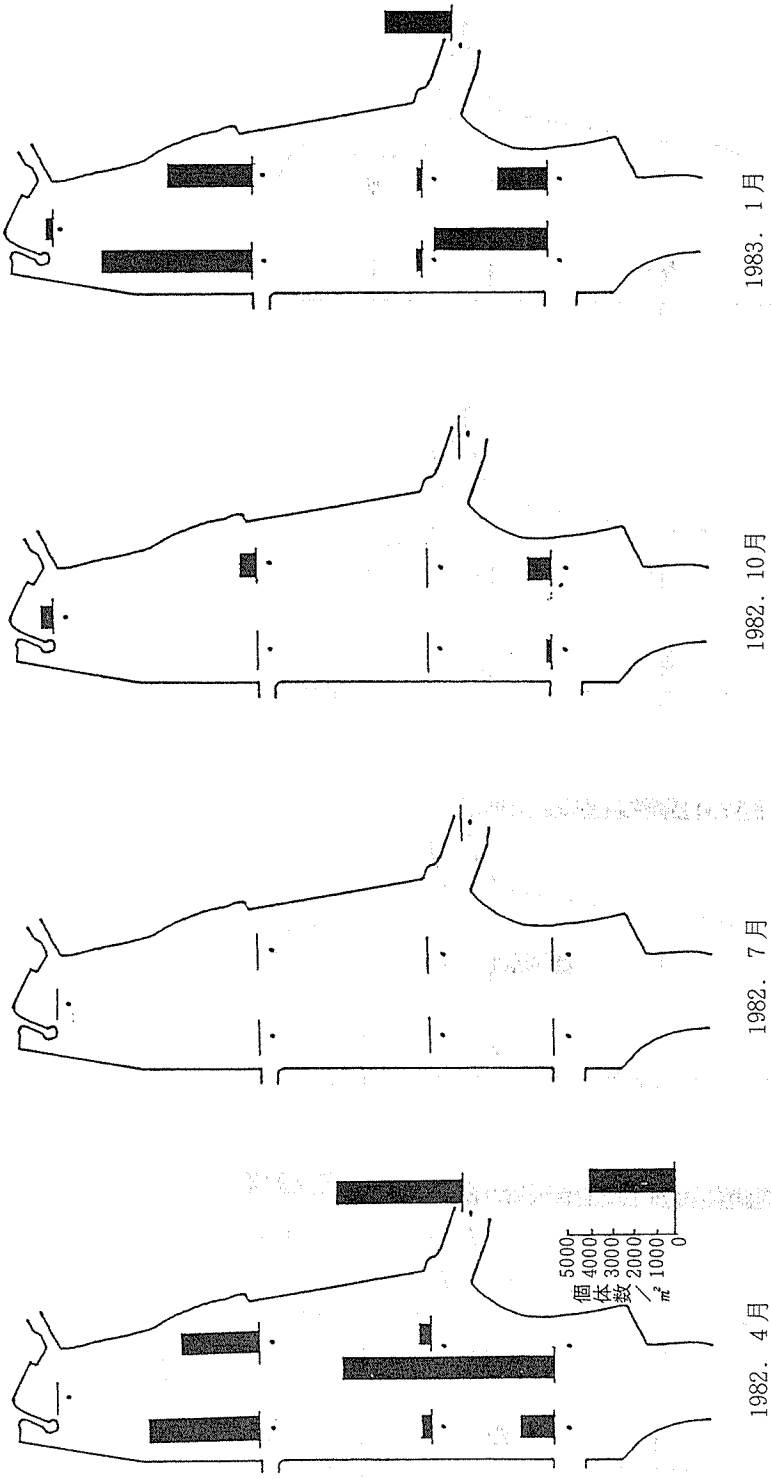
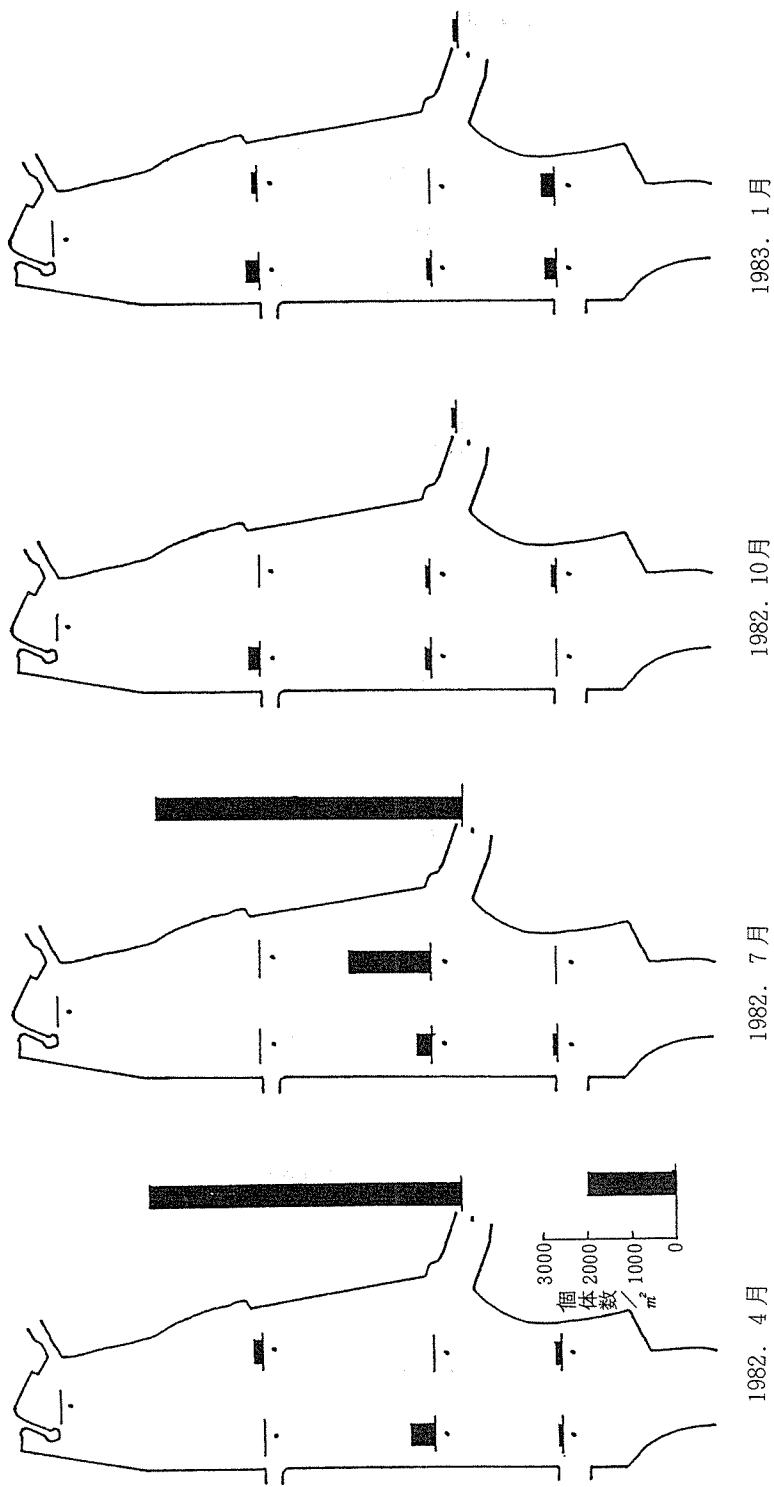


図-5 *Capitella capitata* (イトゴカイ) の季節別分布



図一6 *Corophium uenoi* (ウエノドロクダムシ) の季節分布

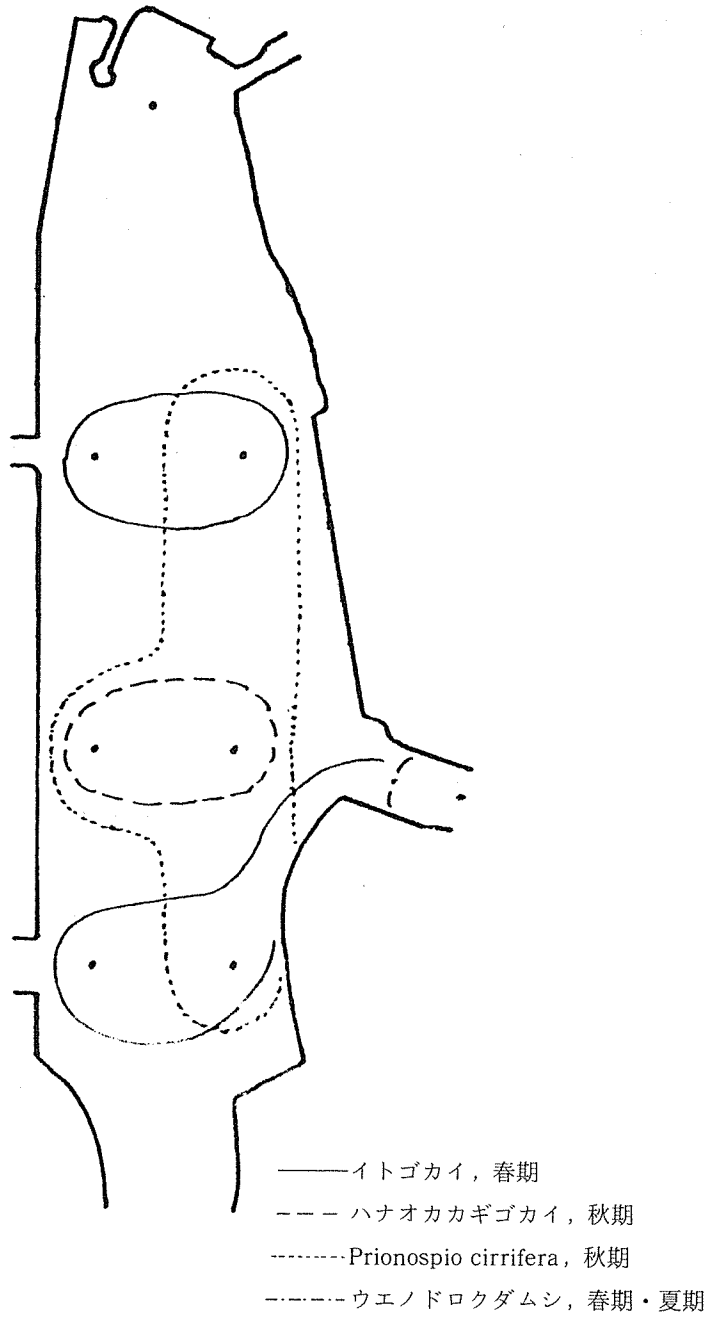


図-7. 主要群集の分布中心域

St.H-4・H-5・H-6を除くSt.H-7・H-8の汚濁域の分布の中心を持ち、全く同様の分布特性を示している。

上記の4種に次いで分布密度の高い準優占的な種類としては、多毛類のアカスジイソメ、*Polydora ciliata*、*Pseudopolydora kempji japonica*、カサネカンザシ、二枚貝のホトトギスガイ、ムラサキイガイ、甲殻類のコノハエビ、カマキリヨコエビ、ワレカラ属の各種などがあげられる。アカスジイソメもイトゴカイと同じ“割り込み型”の分布習性を持つと云われるが¹⁶⁾、本調査結果では各季節とも外海水の影響の強いSt.H-5・H-6に高密度で分布し、イトゴカイとは明らかに棲み分けている。*Polydora ciliata*と*Pseudopolydora kempji japonica*はSt.H-5～8にも比較的多いが、10月・1月には湾内奥のSt.H-2にもかなりの密度で分布し、同じ1月に多摩川感潮域で最上流部にまで分布が進出した事例¹⁸⁾と一致した傾向を示した。カサネカンザシ、ホトトギスガイ、ムラサキイガイは共にSt.H-5に多量に分布するが、この地点には泥質上に若干のロープ類その他の船舶廃棄物や礫などがあり、これらの付着型の生物にも適する条件下にあると考えられる。甲殻類のコノハエビとワレカラ類はSt.H-5にも多産するがSt.H-6にもかなり多く、前者は10月・1月にSt.H-2にも多く分布している。また1月にはカマキリヨコエビと共にSt.H-7・H-8にも高密度の分布が見られ、量的には偏在するが分布は広範囲に及んでいる。St.H-6におけるワレカラ類の多産はこの地点に多い小礫を基盤としてオゴノリ・アオサ等の海藻類が若干繁茂することによると思われる。

3-4 汚濁指標種の分布状況

分布生態上、有機汚濁の指標となる種類については、底生生物ではかなり多く知られており、多毛類、軟体類および一部の甲殻類を含めて20数種ある。^{14, 15, 17, 19-22)} その中で今回出現した種類は*Platynereis bicanaliculata* ツルヒゲゴカイ、*Neanthes succinea* アシナガゴカイ、*Nectoneanthes latipoda* ウチワゴカイ1種、*Lumbrineris longifolia* (= *L. brevicirra* ?)、*Dorvillea matsushimaensis* (= *Stauronereis rudorphi*) アカスジイソメ、*Prionospio cirrifera*、*Prionospio malmgreni*、*Paraprionospio* Form A (= *Prionospio pinnata*、ヨツバネスピオ)、*Cossura coasta*、*Notomastus latericeus* シダレイトゴカイ、*Cirriformia tentaculata* ミズヒキゴカイ、*Capitella capitata* イトゴカイ、*Musculus senhausia* ホトトギスガイ、*Ruditapes philippinarum* アサリ、*Raeta rostralis* チョノハナガイ、*Theora lubrica* シズクガイ、*Nebalia bipes* コノハエビの17種になり、これだけでも有機汚濁あるいは富栄養化水域の特徴は明白に現われていると云うことができる。なお、東京都内湾生物調査結果報告書²²⁾による最新の情報として、ハナオカカギゴカイ^{註2)}も有機物の多い区域の指標種とされており、今回の平潟湾の調査結果からも最内湾奥域に分布する富栄養化指標種と考えても差支えないが、別報の金沢湾調査報告²³⁾にも見られるように分布がかなり拡がり環境要因との関係が限定し難いので、ここでは未だ指標種としての提言をひかえておく。また*Neanthes japonica* ゴカイも主要な指標種で、昭和58年度金の沢湾調査において鷹取川河口前面の日産自動車側泥地に多量に分布することが判ったが、平潟湾調査

註2)

風呂田²⁴⁾の報告に見られる今島氏の査定したカギゴカイの1種 *Sigambra tentaculata* が *Ancistrosyllis* 属に等しくまた東京湾奥に分布するところから、平潟湾のハナオカカギゴカイも同種に一致する可能性があるが、今後検討することにする。

ではこの区域を取扱わなかったので省略する。以上の富栄養化指標種が出現したことのみでは富栄養化の程度やその分布傾向を述べることはできないので、特定種の群集組成上の比率を環境項目と結びつけて検討する試みが幾つか行われている。すなわち、村上ら²⁵⁾に始まるシズクガイ・チヨノハナガイ・ヨツバナスピオの個体数優占比率の分布と臨海工業地帯の位置との一致、北森²⁶⁾による種類数およびヨツバナスピオ編組比率と底泥の中央粒径(粒度)、全磷、全窒素、強熱減量などの関係を用いた群集の区分などである。そこで平潟湾の調査結果に関しても殆んど同様の解析を試み、種類数の他に *Prionospio cirrifera* の優占を考慮して *Prionospio* 属 + *Paraprionospio* 属の個体数編組比率、シズクガイ + チヨノハナガイ + *Prionospio*・*Paraprionospio* 属の個体数編組比率、湾内優占種から局在性のウエノドロクダムシを除いたハナオカカギゴカイ + *Prionospio* 属(*P. cirrifera*を含む)・*Paraprionospio* 属 + イトゴカイの個体数編組比率などを指標に用いた。これらに対する環境項目には、同時に湾内底泥の調査・分析を行った二宮¹³⁾の結果から中央粒径値、強熱減量、全炭素、全窒素、全磷、全油分、非極性油分、極性油分を取り上げ、生物指標のそれぞれとの関係を求めたが、何れの場合も充分な相関関係を得るには至らなかった。ただし、種類数と強熱減量および全磷との間には多少とも北森²⁶⁾が指摘したような群集の区分が見られたが、データ不足により北森の結果ほど明確な様相を示さなかった。次に、上記17種の指標種の出現と同時点で得られた底層水水質、底質のデータを整理して、全指標種につきそれらの分布する環境項目の範囲を求めた。この結果も総じて広い範囲にわたり、はっきりした種特性を表わすには至らなかったため、別報の金沢湾調査結果²³⁾と合一して範囲を示すことにした。したがってその結果は同報告中で述べる。

4. ま と め

底生動物の分布に関して、平潟湾として最も特徴ある傾向は、夏期の湾奥部の様相に見られるように分布密度の極めて高い測点の近接測点は無生物域であると云う事実で、底質環境も無酸素・還元化が著しく、生物にとって致命的な状況下にあることは明らかである。したがって特定種の異常な多産は、むしろ死と隣り合わせの状態であるかも知れない。なぜなら還元状態の進行がマクロベントスの増殖と同一の生態学的な条件を共有することはあり得ないからである。このような現象は PEARSON and ROSENBERG²⁷⁾によっても知られており、最も汚濁の著しい最も陸地寄りの区域ではマクロベントスが全く見出されないのに対し、隣接する重汚濁域では高密度で多毛類の *Capitella* 属(イトゴカイ類)の分布が見られると云う。また、それより沖側の移行区域ではウロコムシやサンバゴカイが出現し、最も沖側では *Nephros* 属(アカザエビ類)のような大型種が少数出現するようになる。このような生物相の推移と環境傾度との関連性は、平潟湾では St, H-1 の最湾奥部を起点とし、最外部の St, H-6 を結ぶ線上にあてはめて考えることができる。その様相は更にその外海部に相当する金沢湾を含めて検討する必要があり、別報の金沢湾調査結果において取扱うことにする。

底生動物の季節的变化と消長については、前述のように一部の優占種では明らかとなったが、回転率を見ると²⁸⁾、多毛類の世代は年間1~4回のもので多く、それに関連して分布密度や個体の大きさにも季節的な差異が生じてくる。多毛類の分布量・種類数は一般に夏期に少なく冬期に多いが、冬に向かって卵を持ち春先に幼生を放出して多量の若幼個体が春の早い時期に見られるものが多い。端脚類でも多くが年間に2世代以上を有する。今回の調査結果でも多くの種類で分布密度の季節的差異が顕著であったのに加えて、底質の還元化が著しい8月を中心とする高温期には著しく個体数を減ずるか或は全く

出現しない種類が大半を占めることから、種に個有の世代交代はかなり制約を受けているのではないかと思われる。

以上に述べた平潟湾の出現種と分布生態から、内湾浅海域の底生動物相としては有機汚濁の著しい極相的な状態にあると云えよう。この点を顕在化するために、仮りに底泥を浚渫したような同一地形で底質の富栄養化のみ低減した状況を想定して見ると、富栄養化要因の或る部分が沈降堆積する懸濁粒子成分であるところから、水中の懸濁態粒子の低減がはかれれば、粒度は多少粗になり、現況のシルト質から極細砂程度に変わるかも知れない。生物相については現況では種類・量ともに多毛類が多く（一部に偏在するウエノドロクダムシは別として）、甲殻類・軟体動物が少ないように思われるので、網尾²⁹⁾が節足動物（甲殻類）の個体数に対する軟体動物（貝類）および環形動物（主に多毛類）の比率を用いて指摘したように、貝類の主としてニッコウガイ科の各種類やエビジャコなど小型のエビ類が多産するような状況が、汚濁の少ない健全な様相であろうと推測される。浚渫前後の底生動物相を比較したニューヨーク州サフォークの礁湖の例³⁰⁾では、浚渫後シダレイトゴカイなど定在性の多毛類は一扫され、動作の素早いアシナガゴカイに加えてユウシオガイ近縁種の *Tellina* 属の二枚貝が分布するようになった。かつて著者が調査した瀬戸内海地方の5ヶ所の干潟域の生物相においても、比較的汚濁の少ない大海湾などでは他に比べて二枚貝類の種類が圧倒的に多い様相が見出されている³¹⁾。以上の事例から類推すると平潟湾の場合、種類数・量とも予想外に多く或る程度生物相の豊富な印象を受けたが、内容的には多毛類とくに汚濁指標種が優占する富栄養状態に偏在した様相を呈していると云える。

5. 謝 辞

平潟湾の底生動物調査依頼に関して、横浜市公害研究所に紹介の労をとっていただいた横浜市立大学教授の浅島誠先生に深謝する。

文 献

- 1) 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, 51p. (1971).
- 2) 入村精一・浜田裕一：平潟湾の底生生物相，249-254，横浜の川と海の生物（第3報），横浜市公害対策局公害資料，No.92, 291 p.(1981).
- 3) 野島 渉：金沢埋立と魚類を中心とした海の生態系（横浜市の環境評価の問題点），海面埋立と住民の生活（横浜市金沢埋立を考える），3，28-34，日本科学者会議神奈川支部，15 p. (1976).
- 4) 岩田明久・酒井敬一・細谷誠一：横浜市沿岸域における環境変化と魚類相，横浜市公害対策局公害資料，No.82, 245 p. (1979).
- 5) 海老原天生：東京湾の水質について，沿岸海洋研究ノート，25, 116-122, (1974).
- 6) REISE, K. and P. Ax: A meiofaunal "Thiobios" limited to the anaerobic sulfide system of marine sand does not exist, Mar. Biol., 24, 225-237, (1979).
- 7) WOOD, E. J. F.: Marine Microbial Ecology, Reinhold Publ. Corp., New York, 243 p. (1965).
- 8) BARNES, R. S. K.: Estuarine Biology, The Institute of Biology's Studies in Biology, No.49, Edward Arnold LTD., London, 76 p. (1974).
- 9) 横浜市公害対策局：横浜市内河川・海域の水質汚濁と生物，公害資料 No. 53, 168 p., pls. 7, (1974).

- 10) YOKOYAMA, H. and K. TAMAI: Four forms of the genus *Paraprionospio* (Polychaeta : Spionidae) from Japan, Publ. Seto Mar. Biol. Lab., 26(4/6), 303-317, (1981).
- 11) TUBBS, C. R. : Muddy foreshores, The Coastline, 5, 83-92, R. S. K. BARNES Ed., John Willey and Sons LTD., London, 356 p. (1977).
- 12) SANDERS, H. L., E. M. GOUDSMIT, E. L. MILL'S. and G. E. HAMPSON: A study of the intertidal fauna of Barnstable harbor, Massachusetts, Limnol. Oceanogr., 7, 63-79, (1962).
- 13) 二宮勝幸: 平潟湾および金沢湾底質調査結果, 横浜市公害研資料, 68, 39-55. (1986).
- 14) 北森良之介: 環境指標としての底生動物 (2), 環境指標を中心に, 環境と生物指標 2, 水界編, 第2編, 第7章, 265-273, 共立出版社, 310 p. (1975).
- 15) 菊地泰二: 海洋汚染とベントス, 環境科学としての海洋学, 3, 7・4, 352-375, 東京大学出版会, 384 p. (1979).
- 16) REISH, D. J. : Bristle Worms (Annelida : Polychaeta), Pollution Ecology of Estuarine Invertebrates, Ed. by C. W. HART, Jr. and S. L. H. FULLER, Chap. 3, 77-125, Academic Press, New York, 406 p. (1979).
- 17) 菊地泰二: 海底動物の世界, 中央公論社自然選書, 中央公論社, 201 p. (1981).
- 18) 桑原 連・秋本 泰: 多摩川感潮域および河口域の底生生物相, 大田区の水生生物 (大田区自然環境保全基礎調査報告書), 53-78. (1985).
- 19) 北森良之介: 海域における水質汚濁の生物学的判定, 水処理技術, 7(4), 1-7. (1966).
- 20) 北森良之介: 水質汚濁と底生動物, 東水研業績集 (さかな), 2, 51-56. (1968).
- 21) 今島 実: 日本産多毛類の分類と生態 (5), 2, ゴカイ科の分類, 4, 海洋と生物, 13(Vol.3, No.2), 130-133. (1981).
- 22) 東京都環境保全局水質保全部: 昭和57・58年度東京都内湾生物調査結果報告書, 環境保全局関係資料, 3-1-水32, 289 p. (1985).
- 23) 桑原 連: 金沢湾の底生動物相とその分布・季節変化 (昭和58年度金沢湾底生生物調査報告), 横浜市公害研資料, 68, 91-127. (1986).
- 24) 風呂田利夫: 東京湾の底生動物 (分布から見た汚濁海域での個体群維持機構に関する考察), 海洋と生物, 40 (Vol. 7, No.5), 346-352. (1985).
- 25) 村上彰男・宇野史郎・北森良之介: 環境と生物の変化, 瀬戸内海の海域生態と漁場, 第8章, 139-163, フジテクノシステム, 415 p. (1976).
- 26) 北森良之介: マクロベントス相の変化, 西条八束編, 内湾の環境科学 (三河湾・伊勢湾の研究を中心として), 下巻, 第3章, 93-115, 培風館, 152 p. (1984).
- 27) PEARSON, T. H. and R. ROSENBERG: Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of marine environment, Oceanography and Marine Biology, Annual Review, 16, 229-311. (1978).
- 28) 堀越増興・菊地泰二: ベントス, 海藻・ベントス, 第II編, 149-437, 海洋科学基礎講座, 5, 東海大学出版会, 451 p. (1976).
- 29) 網尾 勝: マクロベントスと水産生物, 高松市東部下水処理場放流水の水産業への影響に関する調査報告書, 2-3, 59-86, 高松市東部下水処理場放流水の水産業への影響に関する調査研究会, 214p. (1979).

- 30) KAPLAN, E, H, et al : Some factors affecting the colonization of a dredged channel, Marine Biology, 32, 193-204, (1975).
- 31) 桑原 連 : 干潟・浅海域の埋立てとその影響, 埋立計画の実施と環境影響調査, 2-3, 121-154, フジテクノシステム, 546 p. (1976).