

清水港（折戸湾）における底生動物の分布構造と その環境因子との関係

木村賢史*1・岩田理恵*2・高木容子*2・山澤俊宏*2

Relationship of the Distribution of Macrobenthos with Environmental Factors in the Port of Shimizu (Orido Bay)

Kenshi KIMURA, Rie IWATA, Youko TAKAGI and Toshihiro YAMASAWA

Abstract

The Port of Shimizu is a narrow body of water extending far inland, with Orido Bay that is the site of marinas and log-storage facilities at its innermost point. This means the Port of Shimizu has strong characteristics of a closed body of water. Treated water from three treatment plants and the waters of the Tomoe River and two other rivers flow into the bay. The Tomoe River has a particularly strong impact on macrobenthos in the bay, because of the 60 to 80% load of COD, nitrogen, and phosphorus in its water. macrobenthos in the Port of Shimizu includes organic pollutant resistant species in its inner part, accurately reflecting the condition of the bay's bottom layer environment. On the other hand many species with low resistance to organic pollution are found near the mouth of the port. The relationship of macrobenthos with the bottom deposits is represented by peaks in the numbers of species and the population at less than 0.2mg/g sulfides and at ignition loss of about 6%. This trend is similar to that seen Tokyo Inner Bay and Osaka Bay. A comparison with macrobenthos and bottom sediment data obtained in 1968 suggests that the bottom layer environment in the Port of Shimizu has improved.

1. はじめに

清水港は駿河湾北西部に位置し、全国有数の国際貿易港として利用されている。

港内には駿河湾からの海水の流入・流出が見られ、陸からは主に巴川、庵原川、波多内川などの3つの河川が流入し、西側沿岸には石油精製工場、廃油処理場、東側沿岸には廃棄物処理場、軽金属工場、火力発電所（現在は停止）などがある。清水港奥部に位置する折戸湾には貯木用堤防が造られており、その内側の海面の多くの部分は貯木場として利用されている。また、本海域は戦後に入り、諸港湾施設の整備、拡張などが急速に進められている。

このように、本海域の海洋諸条件は人為的な諸活動によって変化しており、海洋生物の生息にも大きな影響を与えていると考えられる。

特に、底生動物は①多量に発生すること、②多種多様な

生物が含まれること、かつ③移動能力が乏しいことなどの特徴を有しているため、生息環境の状況がその生物相に反映されやすく、汚染の長期的かつ累積的な影響を現すことが多いことから環境の評価の1つの方法として活用される場合もある（Rakocinski, 2000; Cheggour, 1999; Yamanishi, 1997; 玉井, 1993; 菊池, 1982）。また、移動能力が小さく、かつ多量に発生するという特性は、自然の食物連鎖を活用した自然浄化機能の浄化主体として重要な役割を果たしている（Orlova, 2004; Kumagai, 1989）。

そこで、春季～秋季における折戸湾を含む清水港内での底生動物について、①港内の底生動物の分布構造、②港内の生息環境との関連、③過去のデータ比較による清水港内の環境変化の把握を目的に実施した。

2. 調査地点・方法等

過去のデータとの比較を容易にするために、1968年当時

2007年1月24日受理

*1 東海大学海洋学部海洋生物学科 (Department of Marine Ecology, School of Marine Science and Technology Tokai University)

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

の調査時と同様の区分で清水港海域全体を、清水港部、水道部、折戸湾部の3つに区別した。清水港部は日本軽金属の北端角と日の出埠頭を結ぶ線よりも北側、折戸湾部は弁天崎と巴川河口を結ぶ線よりも南側、水道部は清水港と折戸湾との間の水域である (Fig. 1)。本調査は2004年5月7日、5月27日の春季調査、8月26日の夏季調査、10月21日の秋季調査の計4回、それぞれ清水港11地点、折戸湾2地点、水道部3地点の合計16地点を各季節で調査した。

○清水港11地点 (・St. 5 ホーネン前 ・St. 7 江尻埠頭冷蔵庫団地前 ・St. 8 庵原川河口 ・St. 9 興津船だまり前 ・St. 10 興津第二埠頭前 ・St. 11 興津第二埠頭沖 ・St. 12 内海海水浴場沖 ・St. 16 廃棄物処理場沖 ・St. 17 外港防波堤前 ・St. 18 東燃前 St. 19 真崎灯台前)

○水道部3地点 (・St. 3 黒崎窯業前 ・St. 4 日本軽金前 ・St. 6 巴川河口)

○折戸湾2地点 (・St. 1 第二水面貯木場 ・St. 2 アイテック前)

調査は、調査船 (北斗・南十字) からスミスマッキンタイヤ採泥器 (採取面積 $30 \times 30 \text{ cm}$) で1地点3回採取し網目1mmの篩で底生動物を回収した。底生動物は種・個

体数・湿重量を把握した。環境因子として、底層水 (海底から1m上層) の水質 (水温・pH・DO・塩分・窒素・リンなど)、底質 (硫化物・強熱減量・粒度組成・泥温など) を測定した。水質はYSI3800, および底質では硫化物は検知管法, 他は底質調査方法 (環境庁水質保全局編) に準拠した。

3. 結 果

(1) 底生動物の季節別個体数・種数・現存量の全体的な変化

全地点における底生動物の平均個体数は春季3039 (個体/ 0.3 m^2), 夏季1747 (個体/ 0.3 m^2), 秋季1201 (個体/ 0.3 m^2), 同様に現存量 (湿重量) は春季173.9 (g/ 0.3 m^2), 夏季150.3 (g/ 0.3 m^2), 秋季68.2 (g/ 0.3 m^2) と春季をピークに夏季から秋季へと減少している。一般に底生動物の現存量は、夏から秋にかけて減少することから通常の季節変化を示しているといえる。

季節別の全種数では個体数や湿重量と同じ傾向を示し、春季129 (種/ 0.3 m^2), 夏季124 (種/ 0.3 m^2), 秋季119 (種/ 0.3 m^2) と秋季が最少となっているが、個体数や湿重

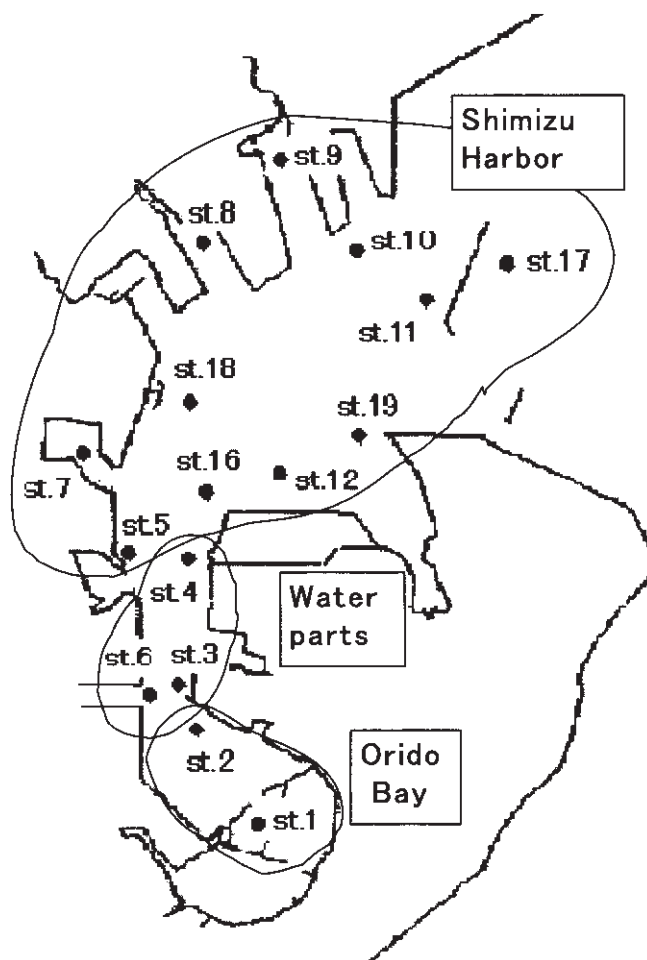


Fig. 1 Investigation points

量に比べて、その減少傾向は小さい。

圧倒的に少なく、ほぼ無生物域である。

(2) 地点別・季節別出現種数

地点別・季節別の出現種数（Fig. 2）の変化をみると、その特徴は、春季は湾奥部から湾口にかけて種数が増える傾向がみられるが、夏季や秋季になると全体的にばらつきが生じ、地点別の差は解消している。ただし、季節を通して、折戸湾に位置する St. 2、巴川河口直近の St. 6、廃棄物処分場護岸前の St. 12 は、出現種数が少なく多様な底生動物の生息に適した環境とはいえない状況を示している。特に、巴川河口の St. 6 は、他の地点と比べて種数が

(3) 地点別・季節別の個体数の大きさと動物門別個体数比率の分布

地域別特性を把握するために季節別に底生動物全体の個体数の大きさと軟体動物、環形動物、節足動物、棘皮動物、その他の分類群別個体数の組成比率（Fig. 3）を求めた。その結果、清水港全域では環形動物が 60%～100% と個体数の大部分を占めていることがわかる。一般的に底質の有機汚染が進行すると、環形動物の比率が高くなる傾向がみられることから清水港・折戸湾の底質は、有機汚染が

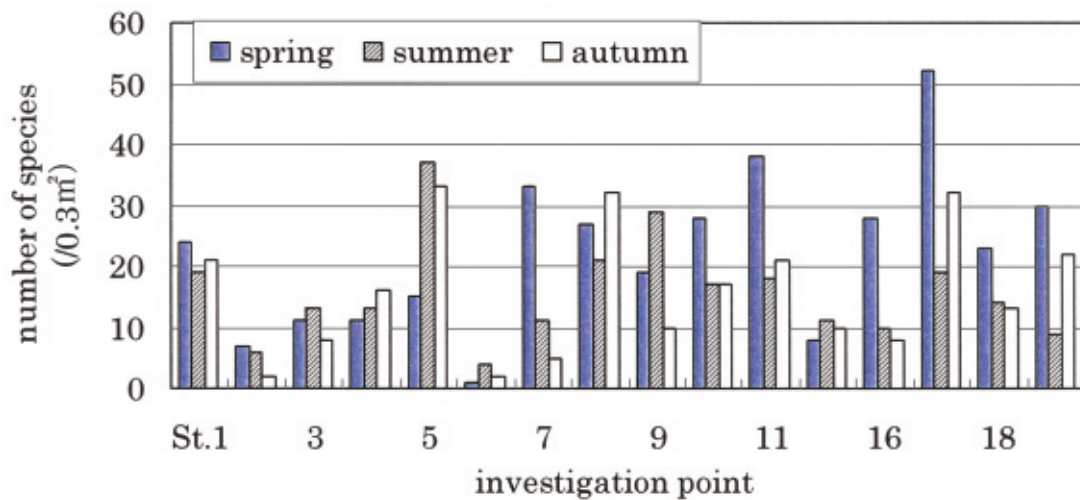


Fig. 2 Changes in number of species of macrobenthos by season and investigation points

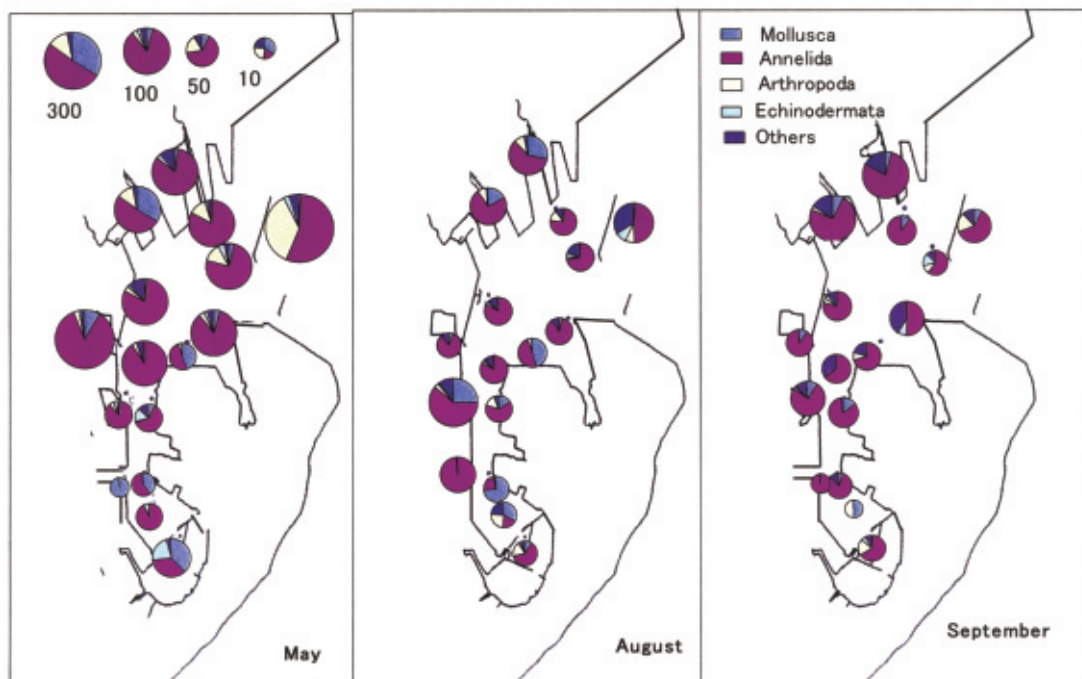


Fig. 3 Distribution of population and numeric composition ratio of macrobenthos by season and investigation points

進んでいると考えられる。また、湾口部と湾奥部には節足動物が出現しているが、湾奥部の節足動物は主にウンボソコエビ等の泥質で比較的有機汚染に強い種が占めている一方、湾口部に向うに伴い底層環境が酸化的で砂泥質の水域に生息することの多いエンコウガニやスナガニ、テッポウエビの仲間等の十脚目がそのほとんどを占めており、湾奥

部から湾口部にかけて底層環境が改善されていることが生物相から推測される。このことは、強熱減量 (Fig. 4) や硫化物 (Fig. 5), 粒度組成 (Fig. 6) の分布からも推測される。個体数については、清水港奥部 (折戸湾) で少ない傾向がみられた。また、現存量の地点別変化 (Fig. 7) をみると、夏季にピークを示す地点 (8 地点) が多いが、現

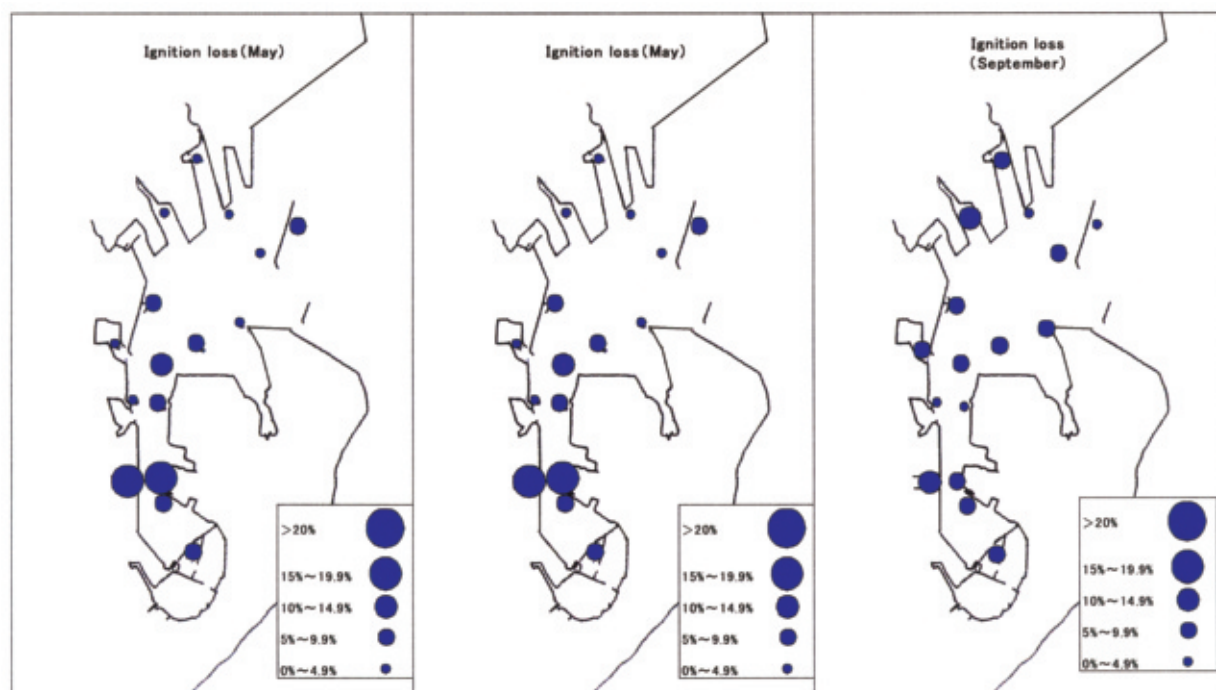


Fig. 4 Distribution of ignition loss in sediment

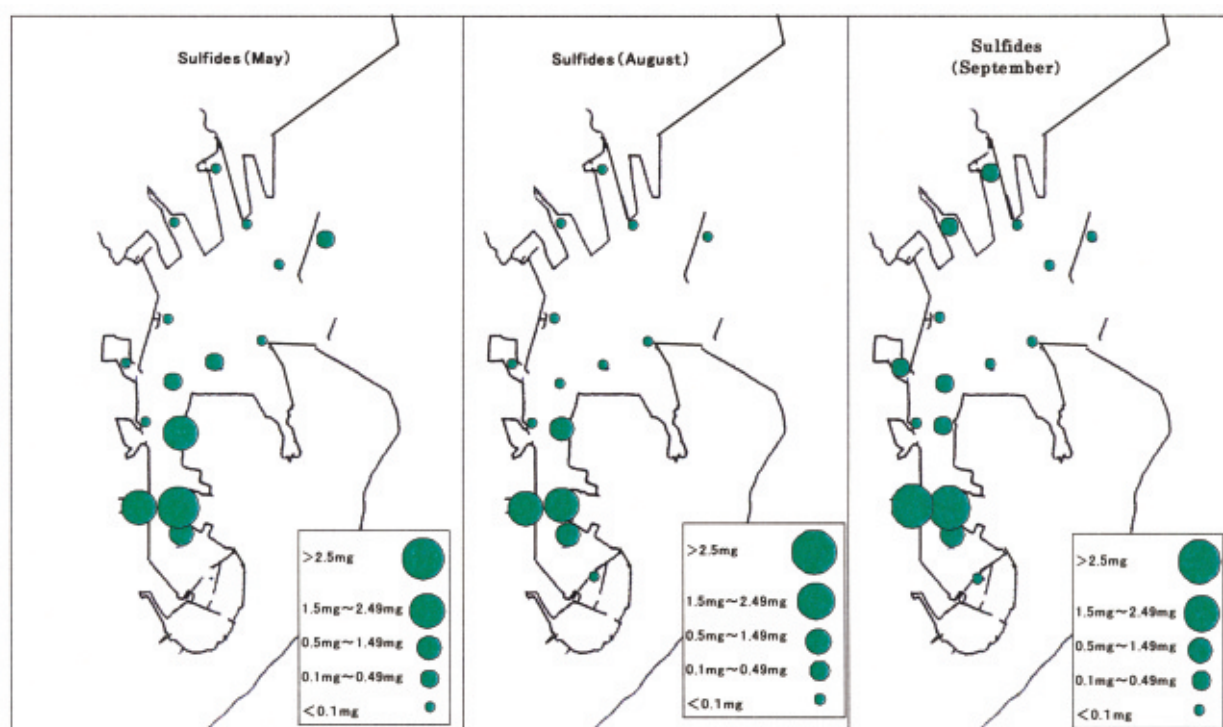


Fig. 5 Distribution of sulfides in sediment

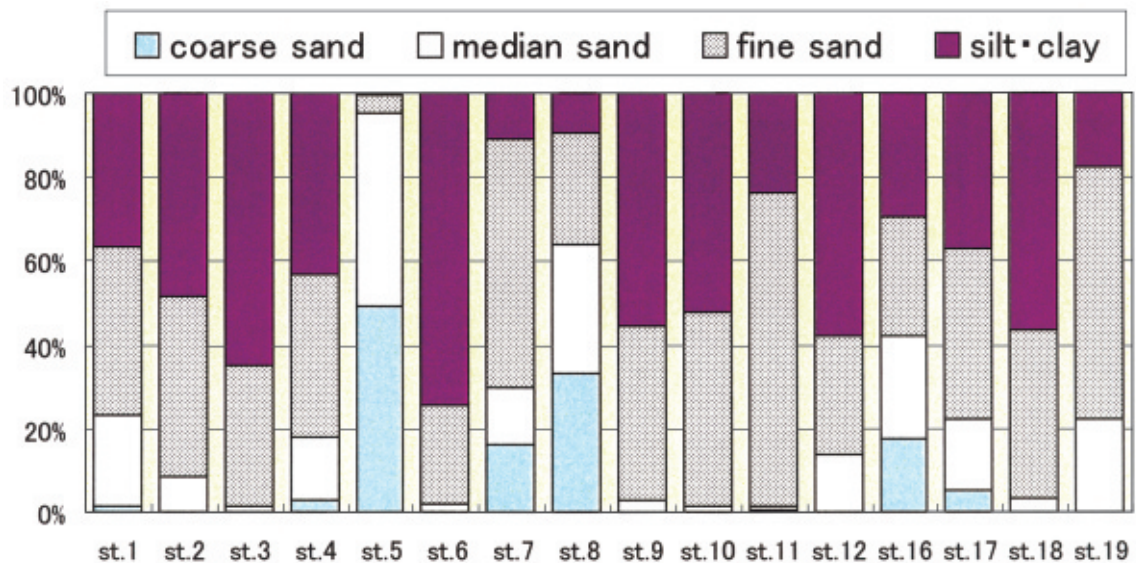


Fig. 6 Grain size composition in sediment by investigation

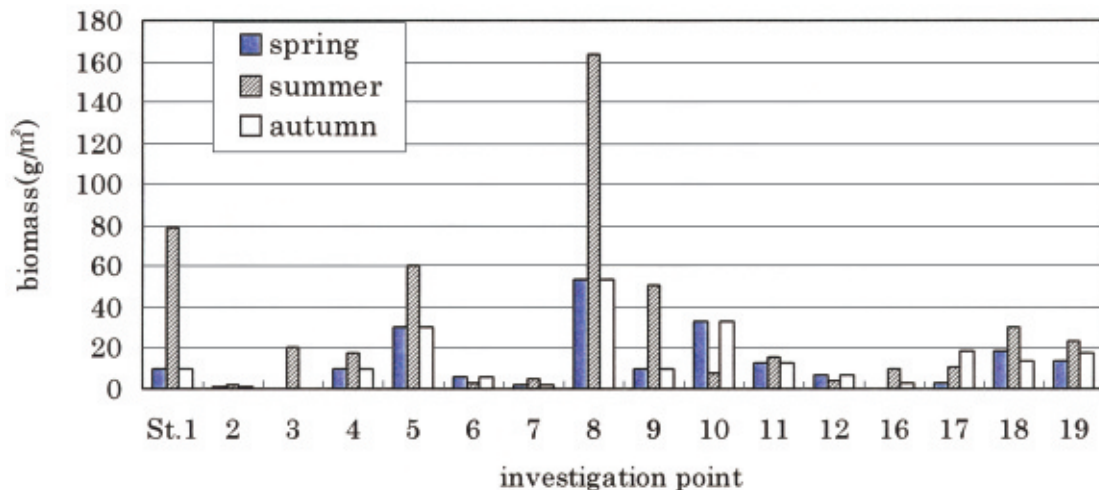


Fig. 7 Comparison with biomass of macrobenthos by season and investigation points

存量が大きいという理由で底層環境も良好とは判断できない。比較的底層環境が良好な St. 17 のように現存量は小さいが、種数は最大を示しており、現存量大イコール種数大（底層環境が良好）とはならない。その原因は、① 1 個体当たりの重量が種によって大きく異なること、また、② 夏季に現存量が最大を示す St. 8 のように有機汚染に強い二枚貝のホトトギスガイやイヨスダレ、サルボウガイ、多毛類のゴカイやフサゴカイだけで現存量の 59% を占める地点などもあり、多様な底生動物の生息を可能にするような底層環境を保持しているとはいえないからである。

(4) 底層環境の現況

清水港（折戸湾）の DO の季節変化を平均値でみると、春季 8.0mg/l → 夏季 6.0mg/l → 秋季 3.6mg/l の順で低下しており、秋季には 3mg/l 未満になるなど水温の上昇

とともに底層環境が貧酸素化していることがわかる。底質の有機汚染の指標でもある強熱減量の値を地点別（Fig. 4）にみると、季節によっても変化するが、湾奥に向かうに伴い高まる傾向が見られ、特に巴川河口域周辺の値がおおきい。一方、清水埠頭入口の St. 5 はいずれの季節も低い値を示している。

また、生物に悪影響を及ぼす硫化物の値（Fig. 5）を見ると、強熱減量の分布と同様に St. 6 の巴川河口域周辺を中心に水道部と折戸湾に位置する St. 2, 3, 4, 6 では 0.29-3.02mg/g と高く、生物にとっては極めて厳しい環境にあるのに対して、清水埠頭入口の St. 5 では 0.01～0.03mg/g と低く酸化的な状況にあることがわかる。

底質の粒度組成（5 月、Fig. 6）では、清水港（折戸湾）内は頻りに浚渫を行っている船舶停泊護岸付近や航路を除いて、粒径の非常に小さいシルト・粘土分が 40～70

%を占め、ヘドロ状の底質で占められていることがわかる。特に、St. 6の巴川河口ではシルト・粘土分が70%以上を占めておりヘドロ状の底質であることがわかる。粒径の非常に小さいシルト・粘土分($\phi 0.075\text{mm}$ 未満)の含有量が高いと、単位容積あたりの表面積が大きくなるため、微生物などの生物膜も繁殖しやすく有機物の蓄積も進み、有機汚染が高まる傾向がみられる。このことは、有機汚染の指標である底質の強熱減量や硫化物量、シルト・粘土分との関係 (Fig. 8) が、正の相関を示していることからわかる。

4. 考 察

(1) 底生動物による底層環境の評価

a) 季節別・地点別多様度指数による評価

多様度指数 H' (Shannon-Weaver) とは、富栄養化が著しく有機汚濁が進行する過程では、環境悪化に対する耐

忍性の強い種が優占し個体密度が増加するため群集としては単調化し、指数は小さくなることから、生息環境の現況を理解するうえで役立つといわれている。生物間の種の個体数のばらつきが均等でバランスがよいと環境が良く、指数値が高まるというものであるが、種数の多少とは、必ずしも相関しない場合があるなど、多様性指数のみでの評価には注意を要する (Ellingsen, 2001; Warwick, 2002)。そこで、清水港・折戸湾の多様度指数と種数の相関 (Fig. 9) を求めたところ、正の相関がみられ、種数が増えると多様度指数も概ね高まっている。本水域では、多様度指数の高低がほぼ種数の多少にもつながっており、種数の多少からでも環境の状況を推定することができる。各地点の多様度指数 (Fig. 10) をみると、全シーズン St. 6の巴川河口が圧倒的に低く、多様な底生動物の生息を許さない底層環境である一方、湾口部の St. 17と10, 11と St. 5の多様度指数はいずれの季節も高い値を示し、多様な底生動物の生息を可能にする良好な底層環境という結果となっており、種数や個体数の分布と同様の傾向を示している。

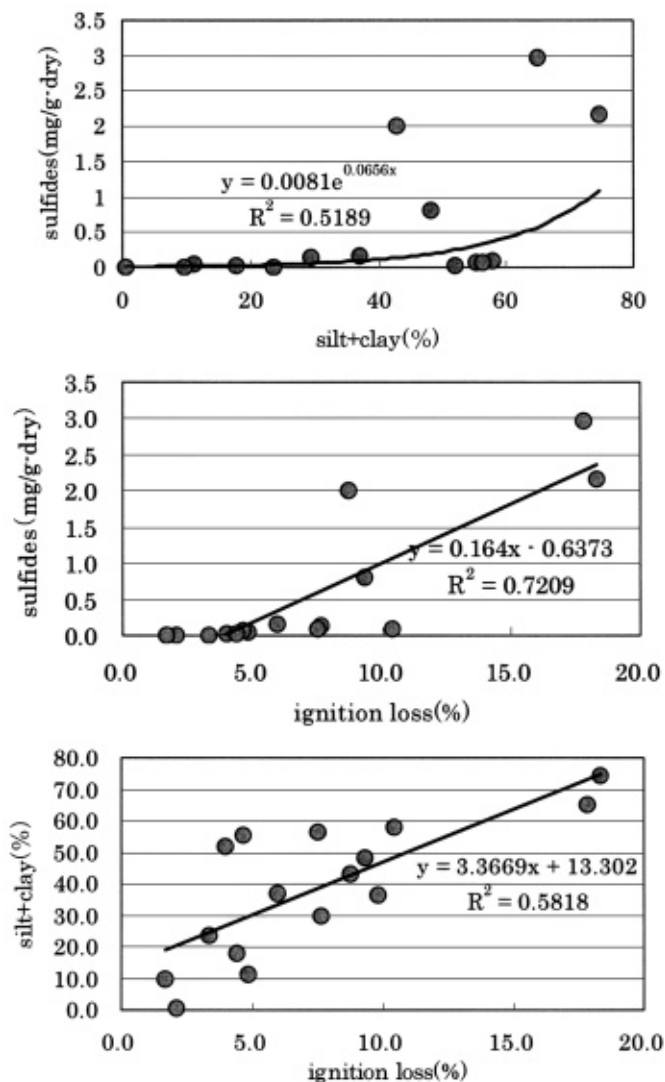


Fig. 8 Correlation of sedimentary quality factors

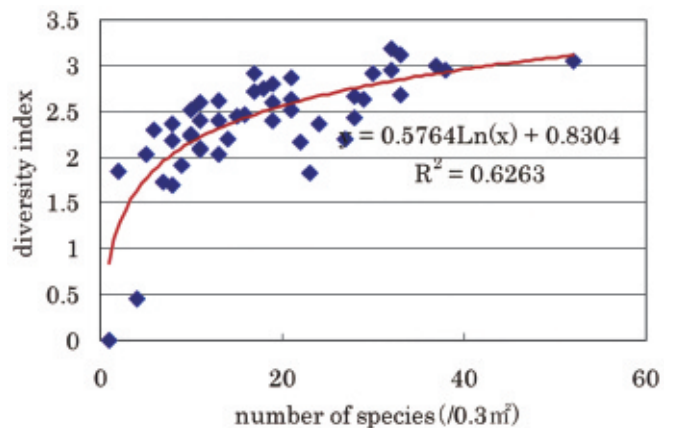


Fig. 9 Relationship between number of species and diversity index of macrobenthos

b) 環境指標種による評価

内湾性の種でかつ有機汚濁の指標種 (熊谷, 2003; Rakocinski C F, 2000; Yamanishi R, 1997; 玉井, 1993; さぬ岐田, 1981) と考えられる二枚貝のホトギスガイ *Musculista japonica* やシズクガイ *Theora fragilis*, イヨスダレ *Paphia undulate*, 多毛類のギボシイソメ *Lumbrineris japonica* は、有機汚染の進んでいる底質に好んで生息し優占する傾向がみられ、その出現状況 (Fig. 11) は底質の強熱減量 (Fig. 4) や硫化物 (Fig. 5), 粒度組成 (5月, Fig. 6) の分布と概ね一致する。しかし、指標種の評価は、指標種が生息できないほどに悪化した底層環境では評価できない。その点で多様度指数の傾向と必ずしも一致するとは限らない。

個々の指標種についてみると、底層環境が好氣的で有機汚染の低い水域に生息し湾口指標種といわれるスガメソコ

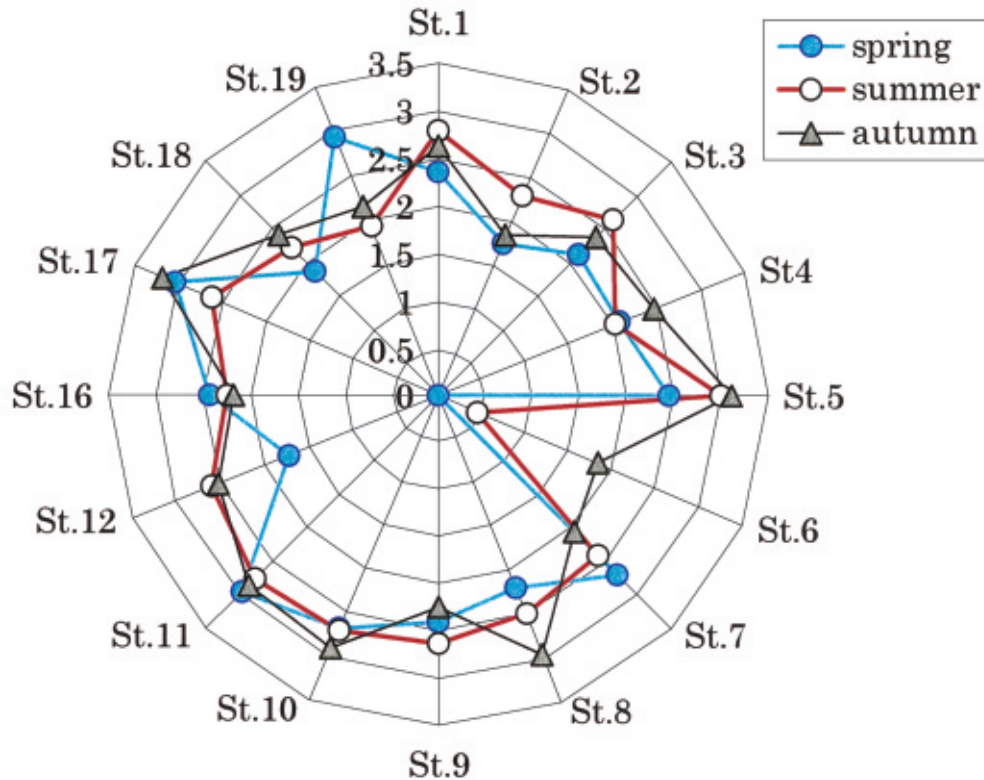


Fig. 10 Changes in diversity index of macrobenthos by season and investigation points

エビ科 Ampeliscidae の出現分布 (Fig. 11) では、春、夏、秋の順に湾口部に移動している。水温の上昇に伴う貧酸素化による湾奥部の環境悪化に従い、湾外海水が流入して底層環境が好氣的となっている湾口部へと徐々に移動していることがわかる。このことから、スガメソコエビ科は有機汚濁の進んでいる水域よりは、清浄な湾外海水が流入し比較的有機汚染の進んでいない良好な環境に生息するようである (Nikitik, 2003)。清水港（折戸湾）の底層環境をみても、底質硫化物 0.03-0.07mg/g、強熱減量 2.9-6.0% と有機汚染の低い環境に出現していることから推測できる。

シズクガイ、ホトトギスガイ、イヨスダレの分布 (Fig. 11) では、イヨスダレは有機汚染の進んでいる環境の夏季や秋季の湾奥部や埠頭奥部のみに出現し、有機汚染の低い湾口部では出現していないのに対して、シズクガイは、イヨスダレと同様に有機汚染の進んでいる湾奥部や内湾性の強い水域で水温が低く環境が安定している春季から底層の貧酸素化が進む夏季にかけて出現しているが、出現地点はイヨスダレよりも 2 倍も多く、イヨスダレに比べて環境への適用範囲は広い。ただし、イヨスダレ同様、有機汚染の少ない湾口部では出現していない。ホトトギスガイの分布では、イヨスダレやシズクガイとは異なり湾口部にも出現していることを考慮すると、イヨスダレやシズクガイは強い有機汚染指標種であるのに比べて、ホトトギスガイは有機汚染にやや弱い種と考えられる。具体的には、イヨスダレは底質硫化物 0.21-0.40mg/g、強熱減量 7.3-11.1%、

同様にシズクガイは 0.01-1.06mg/g、2.8-11.7%、ホトトギスガイで 0.04-0.47mg/g、5.1-7.7% に概ね出現しており、イヨスダレ>シズクガイ>ホトトギスガイの順に硫化物や強熱減量の高い（有機汚染の著しい）底質に生息している。イヨスダレは高濃度に有機汚染された底質に出現するのに対して、シズクガイやホトトギスガイは低濃度から高濃度に幅広く生息する傾向がみられ、上述の指標種の出現状況を裏付けている。

ギボシイソメは、ほぼ全域で出現が見られることから生息適用範囲が広い種であるが、有機汚染の進んだ底質には特に高密度に出現する傾向がみられる。そこで、平均出現個体数より高い地点を選出した結果、庵原川河口の St. 8 では春夏秋全てにおいて平均出現数を上回る個体数がみられ、ギボシイソメの生息に適した環境、すなわち、St. 8 は有機汚染の進んだ底層環境といえる。指標種の出現状況は、底質の現況と概ね符号するが、その適用はあくまでも指標種の生息を許す範囲での環境であることが必要であり、底層環境の評価には底層環境の物理・化学的因子を含めた総合的な評価が欠かせない。

(2) 底生動物と底層環境因子との関係

水環境では、底生動物の生息に影響を及ぼす一般的な環境因子として、水温や DO（溶存酸素濃度）、塩分、濁度、底質では泥温や粒度組成、底質の有機汚染の指標ともなる強熱減量や硫化物などを挙げるができる (Bonsdorff, 1982; weston, 1988; Daver, 1995; Yokohama, 2002)。勿論、水域によっては、有害な化学物質や微量金属による汚

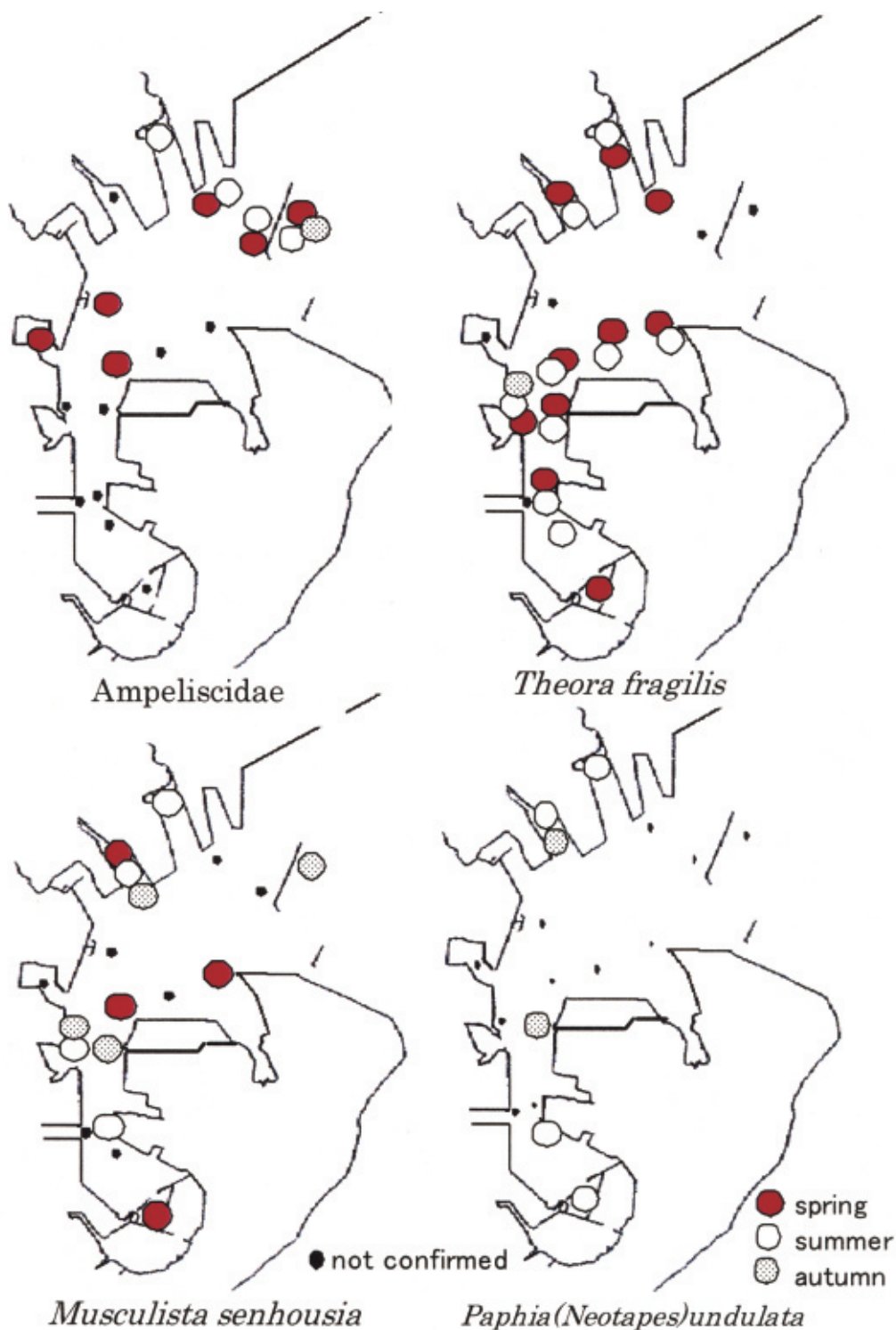


Fig. 11 Appearance Distribution of environmental indicator species

染が進み、生物に影響を与える場合もあるが、ここでは一般的な環境因子と底生動物との関係について考察する。環境因子の中で生物に最も重大な影響を及ぼす因子は DO である。DO が一定濃度以上存在するのであれば、たとえ底質が有機汚染されていても底生動物の生存は可能である。底生動物の生息という観点から本水域の DO 濃度をみると、底生動物が正常に生息できる DO 4mg/l 以上（日本水

産資源保護協会，2005）を秋季には下回るものの、生物の生息限界値といわれる 2 mg/l 以上の値を保持していることから厳しい環境になるものの、無生物域となる地点はみられない。ただし、調査は日中に実施しているため必ずしも通日の DO 濃度を反映しているとは言い難い。DO は海洋生物に不可欠の環境因子であり、本来であれば生物の質・量との相関が見られてもよいはずであるが、DO 濃度

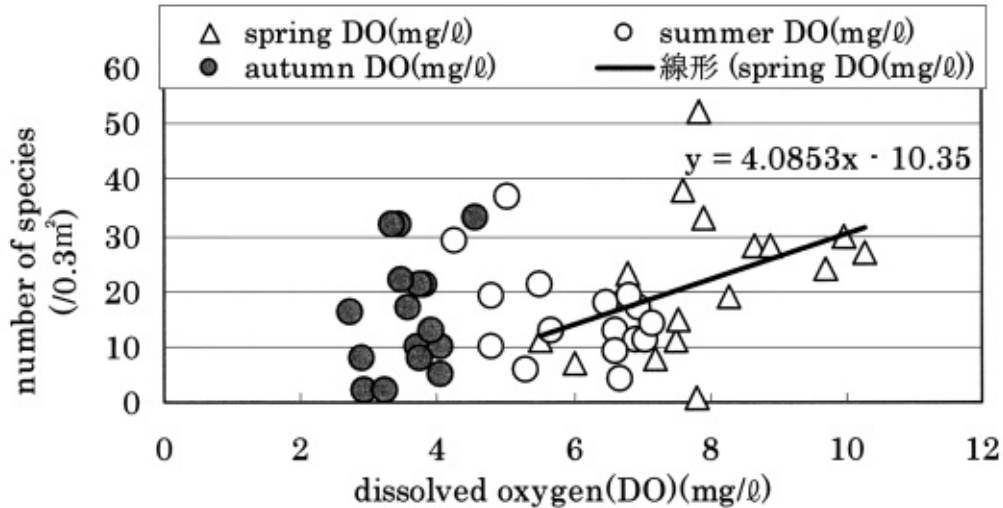


Fig. 12 Relationship between DO in bottom water and number of species of macrobenthos

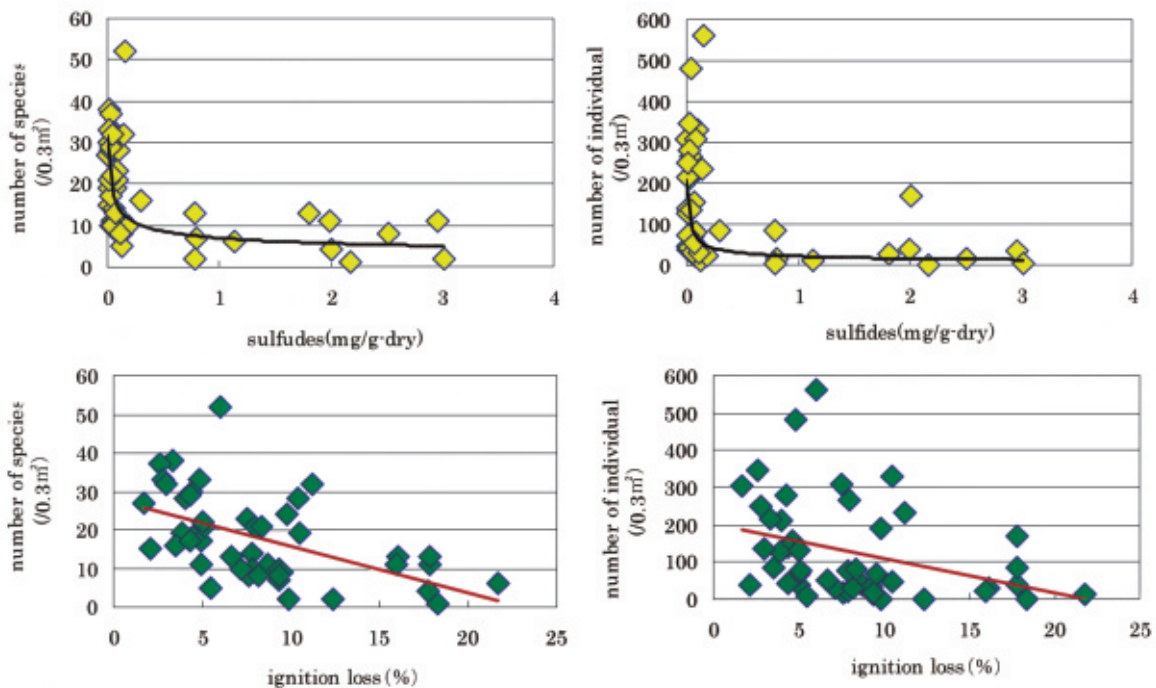


Fig. 13 Relationship between macrobenthos and chemical component in sediment

と種数 (Fig. 12)・個体数・湿重量の関係をみてもあまり相関がみられない。これは夜間の DO 値の影響が反映されていないことや潮汐により DO が変動を受けるなど、調査時の DO 濃度が必ずしもその時点の生物相へ反映されていないことによるものと考えられる (木村, 1997)。夜間は炭酸同化作用が停止し生物の呼吸活動のみが活発化するため、貧酸素化が生じ底生動物の生息にダメージを与えている事が推測される。

底生動物の種数・個体数と強熱減量・硫化物の関係 (Fig. 13) をみると、硫化物が 0.2mg/g 未満でピークを示すが、0.2-0.3mg/g を超えると種数や個体数は急激に減少し 2 mg/g を越えると種数は10種以下に、個体数や湿

重量はほとんど確認できない状況となる。硫化物は生物に対して極めて毒性が強いため水産用水基準では、海産生物が悪影響を受けない限界値として 0.2mg/g 未満と定めており、今回の結果はこの値とよく符合する。強熱減量との関係では、強熱減量値 6 % 付近にピークがみられ、それ以降は強熱減量が高まるとともに種数も個体数も減少する。10% 付近を超えるといずれも急激に減少し、種数10種以下になる傾向が見られる。すなわち、種数や個体数がピークを示す付近の値が底生動物にとって良好な環境条件といえる。東京都内湾 (木村, 2003) では、硫化物 0.2-0.3mg/g, 強熱減量 5-6%, 大阪湾 (水産資源保護協会, 1982) では硫化物 0.1-0.2mg/g 前後に種数のピークがみ

られ、この付近の値が多様な生物が共存できる最大公約数的環境条件と考えられる。

清水港には巴川、庵原川、波多打川と下水処理場（北部浄化センター、静清浄化センター、南部浄化センター）の処理水が流入し、底層環境に大きな影響を与えている。3河川と3下水処理場からの流入負荷量が清水港内に流入する全負荷量と仮定すると、巴川の占める割合（Fig. 14）は、CODで71.4%、全窒素で84.2%、全リンで62.2%と全流入負荷量の6-8割合を占める（静岡市2003; 下水道公社2001から算出）。庵原川では河口付近で北部浄化センターの処理水が流入しており、巴川河口のSt. 6や庵原川河口のSt. 8の底層環境の有機汚染が進んでいるのは当然

といえる。

(3) 過去との比較

1968年8月のベントス調査結果（Fig. 15）と比較（小坂, 1970; 小坂, 1971）すると、清水港、水道部、折戸湾いずれも36年前の1968年当時の現存量に比べて、2004年8月の本調査では現存量が増加している。清水港では1.9倍（環形動物は1/3に減少、軟体動物は2.3倍に増加、節足動物は8.4倍に増加）に増加し、水道部では4.6倍（環形動物は10倍に増加、軟体動物は2.2倍に増加、節足動物は3.6倍に増加）に増加、折戸湾では2.8倍（環形動物は4.3倍に増加、軟体動物は1.8倍に増加、節足動物は2.6倍に増加）に増加と、いずれの水域でも増加しており港内全般にわたって底層環境の改善が推測された。そこで、過去（小坂, 1970; 小坂, 1971）との底質を強熱減量の値で比較（Fig. 16）したところ、清水港の改善は僅かであるものの、2004年は全般的に低下しており、その傾向は水道部、折戸湾、清水港の順に低下し、底質の有機汚染が1968年当時に比べて改善していることがわかる。このことが底生動物の現存量の増加につながったと考えられる。また、有機汚染の指標種であるシズクガイの出現分布をみると、1968年には清水港の湾口付近でも出現していたが、2004年には確認できず、底層環境が改善されていることが示唆される。

5. まとめ

清水港の底生動物の実態とともに1968年のデータと比較検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 環境指標種であるスガメソコエビ科などの分布状況から、清水港の湾奥部から湾口部にかけて底層環境が改善されていると評価されたが、その傾向は底質の強熱減量や硫化物の分布とよく一致していた。
- ② 底生動物の種数や個体数を底質との関係でみると、硫化物0.2mg/g未満、強熱減量6%付近に原生動物のピークがみられた。このような条件は、東京都内湾や大阪湾でもみられ多様な生物が共存できる最大公約数的な環境条件と考えられる。
- ③ 清水港へのCOD、窒素、リンの流入汚濁負荷量を発生源別にみると、6-8割を巴川が占めていた。そのため、河口地先の海底の有機汚染が著しく、この付近の原生動物の出現種数は全調査地点のなかで最少であった。
- ④ 清水港の底層環境を36年前と比較すると、底生動物の現存量（軟体動物、節足動物）の増加、底質強熱減量の減少などから判断して、改善されていることが示唆された。

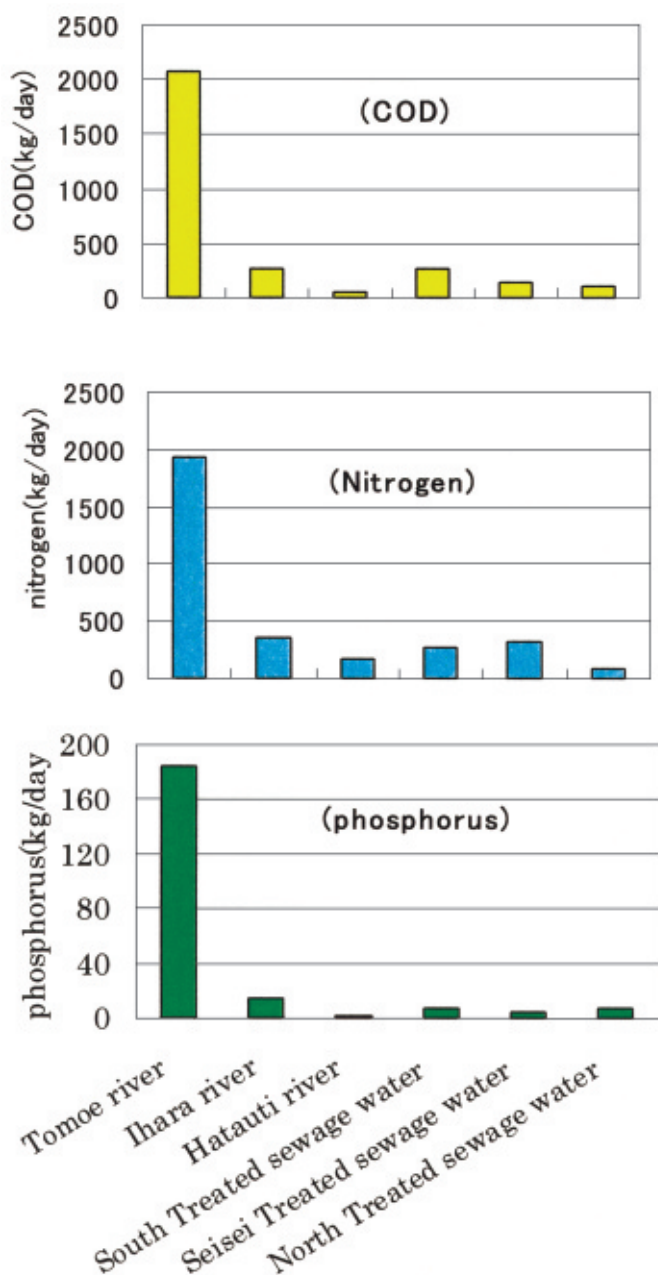


Fig. 14 Influx load of COD, nitrogen, phosphorus by pollution sources in Shimizu Harbor

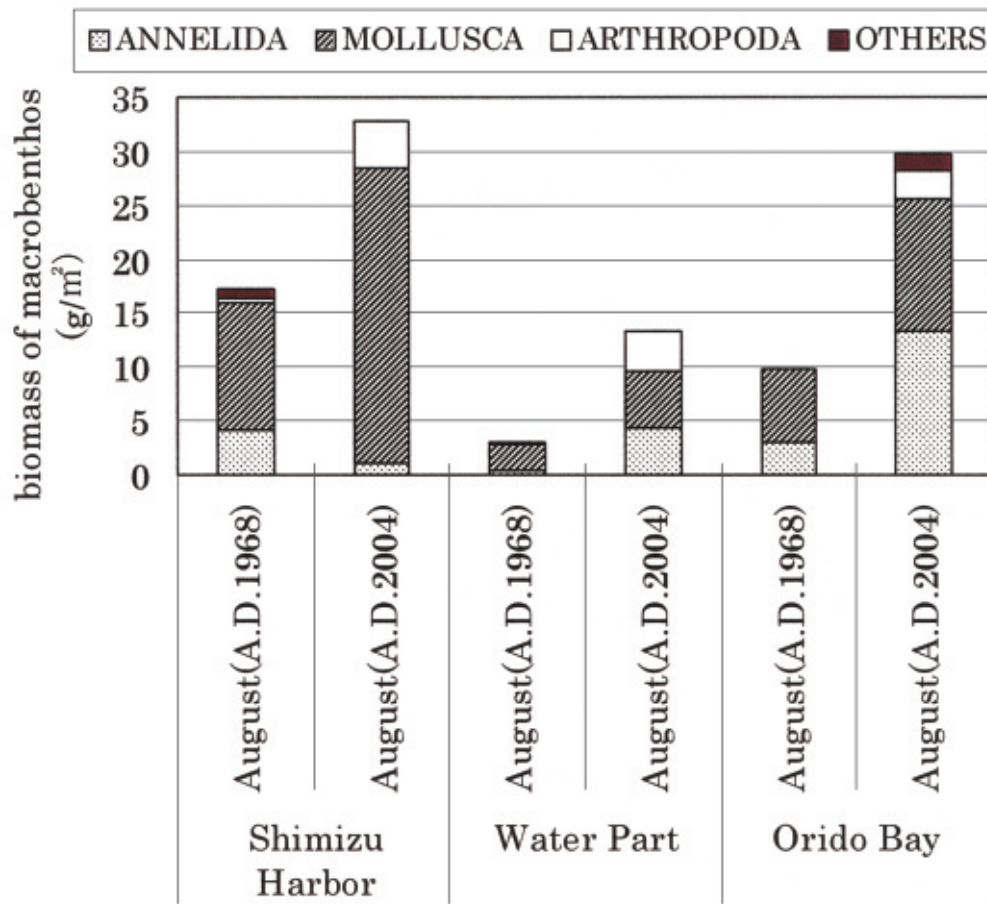


Fig. 15 Comparison of macrobenthic biomass byphylum in May (A. D. 1963 and A. D. 2004)

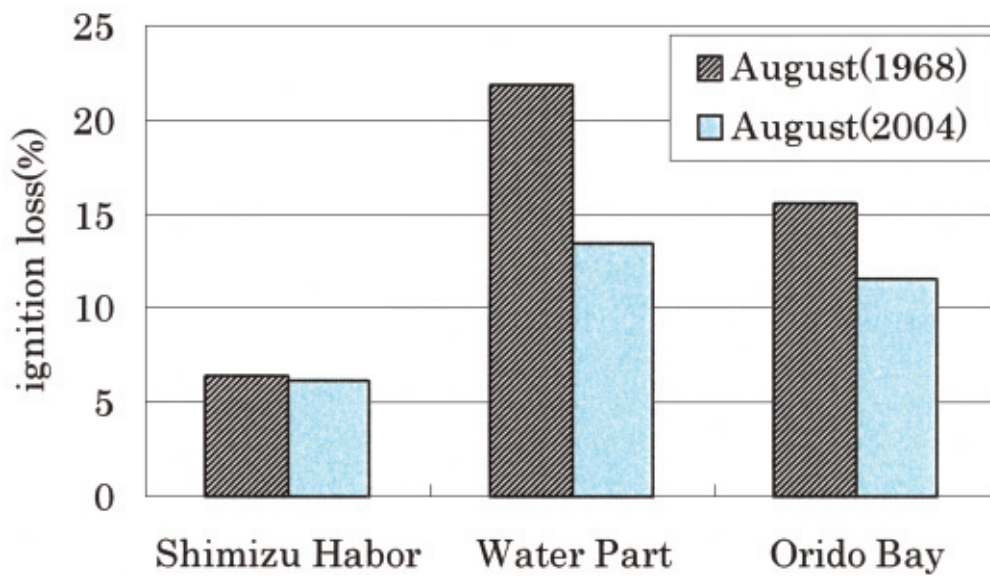


Fig. 16 Comparison of ignition loss in August (A. D. 1968 A. D. 2004)

謝 辞

調査に当たり多大なご協力を頂きました海洋科学科佐藤義夫教授，海洋建設工学科福江正治教授，水産学科小沼博隆教授，また過去のデータの活用等で大変お世話になりました小椋将弘先生，フィールド調査や参考資料等の収集でお世話になりました船舶運行課，東海アクアノーツ(株)，静岡市役所，静岡浄化センター，北部下水処理場の方々に心から感謝申し上げます。

参考文献

- Bonsdorff E, koivisto V (1982): The use of the log-normal distribution of individuals among species in monitoring zoobenthos in the Northern Baltic Archipelago, *Mar pollut bull*, Vol.13, No.9, 324-327.
- Cheggour M, Langston W J, Chafik A, Idrissi H, Texier H, Boumezzough A (1999): Phosphate industry discharge and their impact on metal contamination and intertidal macrobenthos: jorf Lasfar and Safi coastlines (MOROCCO), *Toxicol Environ. Chem.* Vol.70, No.1/2, 159-179.
- Dauer D M, Alden R W (1995): Long-Term Trends in the Macrobenthos and Water Quality of the Lower Chesapeake Bay (1985-1991), *Mar Pollut Bull*, Vol.30, No.12, 840-850.
- Ellingsen K E (2001): Biodiversity of a continental shelf soft-sediment macrobenthos community, *Mar Ecol Prog Ser*, Vol.218, 1-15.
- 小阪昌也，小椋将弘，大門 薫，宮下憲一 (1970): 清水港・折戸湾の底生生物群集の研究-I，夏季相，*東海大学海洋学部業績A*第52号，9-25.
- 小阪昌也，小椋将弘，有岡久利，福田照雄 (1971): 清水港・折戸湾の底生生物群集の研究-II，冬季相，*東海大学海洋学部業績A*第62号，51-61.
- 菊池泰二 (1982): 海域における富栄養化と底棲生物の指標性 (水産学シリーズ43，沿岸海域の富栄養化と生物指標，日本水産学会編)，84-100，恒星社厚生閣，東京。
- 環境庁水質保全局編 (1988): 底質調査方法と解説，*日本環境分析技術協会*。
- Kumagai K, Kugihara Y (1989): Study of sewage sludge treatment by meiobenthos, *Nitocra* sp. And macrobenthos, *Neanthes japonica* (Izuka), *Bull mar Bio Stn Asamushi Tohoku Univ.*, Vol.18, No.3, 103-108.
- 木村賢史，西村 修，川井利雄，稲森悠平，秋山章男，須藤隆一 (1997): 東京都内湾の底層水域環境と原生動物との関係，*水環境学会誌*，第20巻，第6号，411-418.
- 木村賢史，西村 修，木幡邦男，市村 康，稲森悠平，須藤

- 隆一 (2003): 干潟・内湾の底層環境と底生動物の出現との関係について，第2回海環境と生物および沿岸環境修復技術に関するシンポジウム，65-70，*海環境シンポジウム実行委員会*。
- 熊谷博史，山崎惟義，渡辺亮一，藤田健一 (2003): 博多湾におけるホトトギスガイが貧酸素水塊に与える影響，*環境工学研究論文集*，Vol.40，595-606.
- Nikitik C C S, Robinson A W (2003): patterns in benthic populations in the Milford Haven waterway following the 'Sea Empress' oil spill with special reference to amphipods, *Mar pollut Bull*, Vol.46, No.9, 1125-1142.
- Orlova M, Golubkov S, Kalinina I, Ignatieva N (2004): *Dreissena polymorpha* (Bivalvia: Dreissenidae) in the Neva Estuary (eastern gulf of Finland, Baltic Sea): Is it a biofilter or source for pollution, *Mar Pollut Bull*, Vol. 49, No.3, 196-205.
- Rakocinski C F, Heard R W, Waker W W (2000): Species - abundance - biomass responses by estuarine macrobenthos to sediment chemical contamination, *Aquat Ecosyst Stress Recovery*, Vol.7 No.3, 201-214.
- さぬ岐田訓，岡本弘子，人見宗男 (1981): はりまなだの原生動物相 I，内湾性指標種の季節変動について，*日本水産学会誌*，Vol.47，No.7，863-869.
- 水産資源保護協会 (1982): 大阪湾調査資料，*大阪府立水産試験場*。
- 静岡市 (2003): 静岡市の環境，平成15年版。
- 水産資源保護協会 (2005): 水産用水基準，2005年版。
- 玉井恭一 (1993): シズクガイの貧酸素耐性，*日本水産学会誌*，Vol.59，No.4，615-620.
- Weston D P (1988): Macrobenthos-sediment relationships on the continental shelf off Cape Hatteras, North Carolina, *Cont Shelf Res*, Vol.8, No.3, 267-286.
- Warwick R M, Clarke K R, Lewis R E, Somerfield P J, Ashman C M, Brown A R, Dowell B, Hart B, Shillabeer N (2002): Inter-annual changes in the biodiversity and community structure of the macrobenthos in Tees Bay and the Tees estuary, UK, associated with local and regional environmental events, *Mar Ecol Prog Ser*, Vol. 234, 1-13.
- Yamanishi R, Nabeshima Y, Wada K (1997): Distribution of Intertidal macrobenthos in 1993 around Hatakejima Island, Central Japan, compared with 1969 and 1983-84, *Benthos Res.*, Vol.52, No.2, 89-102.
- Yokoyama H (2002): Impact of fish and pearl farming on the benthic environments in Gokasho Bay: Evaluation from seasonal fluctuations of the macrobenthos, *Fish Sci*, Vol.68, No.2, 258-268.
- (財)静岡県下水道公社 (2001): 平成12年度水質運転管理年報。

要 旨

清水港は、細長く奥域のある形状をしており、最奥部は貯木場やマリーナとして活用されている折戸湾が位置している。そのため、清水港は閉鎖性の強い水域となっている。湾内には、3つの下水処理場からの処理水と巴川等3河川が流入している。特に、巴川は清水港に流入するCOD・窒素・リンの負荷量の6～8割を占めており、湾内の底生動物に大きな影響を与えている。清水港内の底生動物は、湾内の底層環境の状況をよく反映して有機汚染に強い種が港奥部に出現している一方、有機汚染に弱い種が港口部付近に多く出現するなどの傾向がみられた。底生動物と底質との関係では、硫化物0.2mg/g未満、強熱減量6%付近で種数や個体数のピークがみられた。この傾向は、東京都内湾や大阪湾でも同様であった。1968年当時の底生動物や底質のデータと比較した結果、清水港内の底層環境の改善が示唆された。