

## 鹿島港周辺の底質と底生動物について

高橋 惇・石川 和 芳

### はじめに

茨城県では知事の「農工両全」<sup>1)</sup>の理念にもとずいて、鹿島臨海工業地帯の立地を推進し、港湾建設に着手した1961年以来、'74年現在、いまだ工事は続行中である。すでに2,020万m<sup>2</sup>にのぼる広大な県上には34企業の進出が予定され、うち28企業<sup>2)</sup>はすでに稼働している。鹿島港には現在10万吨級タンカーが出入りし、近い将来には20万吨級タンカーの出入港可能な拡張が行なわれている。

県は企業の誘致にあたって、すでに問題となった四日市、川崎、水島およびその他地域の公害を重視し、知事の間人優先の姿勢を貫き、地域住民の利益や地域環境を重視する立場にたって進出企業の公害防止に力を入れ、諸施設、設備を厳しくチェックしている。

鹿島港は茨城県中央部の大洗町から県南端の波崎町にいたる約7.2 Km海岸線のほぼ2/3南に位置し、その前面の鹿島灘は春季には黒潮の影響を強く受け、冬季には親潮の影響を受け、来遊する魚族資源も豊富で、まき網・そこびき網・ひき網・さし網・つりおよび貝桁網などによる盛んな漁業生産が行なわれている。とくに大洗町、鹿島町、波崎町などでは鹿島灘の漁業に大きく依存し、また砕波帯は全国でも数少ないチョウセンハマグリ *Meretrix lamarckii* DESHAYES の漁場として有名である。

このように鹿島港は水産上有用な場所に建設され、県が公害の発生に細心の注意をしていたにもかかわらず、その建設途上、土砂の沖捨による漁業支障

(1971)、埋立土砂の流出(1972)、企業のシアン排水(1971)、アルカリ類の排出(1973)などの不幸な問題も起きた。

以上のような状況のもとで、筆者らは漁場の環境を保全するための第1歩として急ぎ県内海域の現状に関する実態を調査する必要にせまられている。しかし短時間のうちに、県の全海域を詳細に調査することは困難なため、これを4区域(鹿島、那珂湊、日立、北茨城)に分け、順次1区域ずつ実状を明らかにする計画を樹立し、まず最初に県が大きな力を注いでいる鹿島地区において調査を実施した。

本調査に際して、筆者らは東海区水産研究所水質汚濁室長北森良之介博士に調査の方法、底生動物の種同定の方法、研究方法などの御指導賜わり、同資源部第1研究室長近藤恵一博士、同放射能部吉田勝彦技官、東京水産大学竹内正一技官には文献収集などで多大の御援助をいただいた。また試料採取面では、指導船「ときわ」の乗組員の方がたの手助けを受け、この助力によって本調査は無事本務を遂行できたといっても過言ではない。さらに本報告の作成にあたって、本場渡辺徹場長には原稿校閲の手数をわずらわせた。ここに記して深く感謝の意を表する。

### 材料と方法

底質分析に供した試料や底生動物試料は図・1に示した海域において、1972年12月14・15日、'73年2月27日、同4月25・26日、同8月20・21日、および同10月11・12日の合計6回、

「ときわ」で採取された。調査地点は図・1に示すように、鹿島港南防波堤基部を基点として北側へ2.5 Km間隔で5点、南側へ4点延22.5 Kmの汀線に合計10点、各点から海岸線に直角になるよう東北東へ線を延ばし、各線上に汀線から1, 2, 3, 5, 7.5, 10 Kmの位置を定線上の側点として1~6の

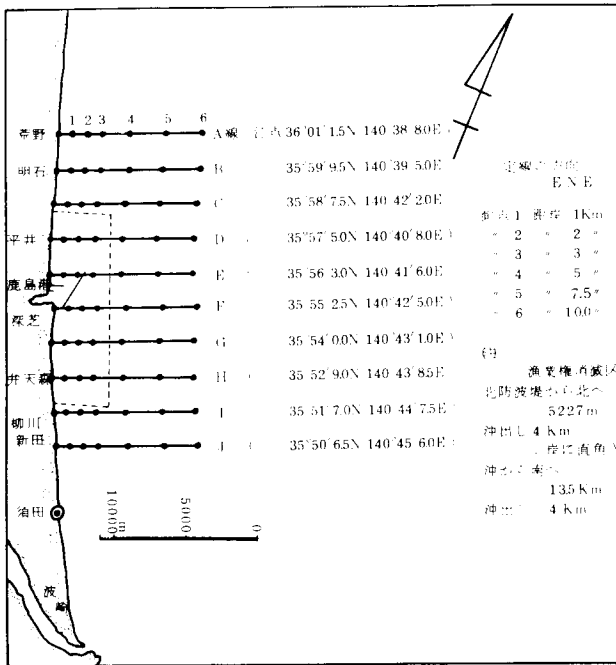


図1 調査海域図

番号を付し合計60点設定された(水路部第1097号(昭和35年1月30日)20万分の1海図使用)。定線は北側からアルファベット順でA~Jの記号を付して区分された。ただし測点E-1は、本調査期間中に埋立工事のため欠除せざるを得なくなり、また'73年2月27日以後には、'72年12月14・15日の結果により沖側の測点6は全定線で割愛し、測点数は合計49点とした。

底質、底生動物試料はスミスマツキンタイヤ型採泥器(1/10 m<sup>2</sup>)により、各測点において1回ずつ採取された。

ただしCOD、全硫化物、銅、総水銀の測定に供した試料は、定線A・C・E・F・H・Jの6線の測定1~5から採取することを目標とし、COD・

全硫化物は'72年12月14・15日に25地点、銅は'72年12月14・15日に25地点、'73年2月27日に25地点、同4月25・26日に30地点(B-3を加える)、および総水銀は'73年8月20・21日に24地点(J線を割愛)、同10月11・12日に29地点、それぞれ採取された。

調査項目、測定方法は下記のとおりである。

- 水深 産研SL-16型 200 KC 音響測深機
- 粒子組成 1) 乾式法 100~150 gの試料は15時間110°Cで乾燥された後メッシュ16, 32, 60, 115, 250の合計5ケの篩によって分別された。  
2) 流水法 メッシュ115の篩1つにより、乾燥試料は水に溶かされ篩の通過粒子量が調べられた(本文中の粒子組成は特別な注釈がないかぎり本法を用いた)。
- 強熱減量 30~50 gの試料は電気炉で800~900°C, 2時間強熱された。
- 酸化還元電位差 東亜電波K. K. 製電位差計RM-1型によって現場で測定され、その現場測定値が用いられた。
- COD 水質汚濁調査指針<sup>3)</sup>によった。
- 全硫化物 同上
- 重金属 1) 銅 0.25 mm径以下の粒分1 g前後を精秤後、湿式分解され原子吸光光度計で分析された。  
2) 総水銀 環境庁「土壌及び農作物等中の水銀等の分析法」<sup>4)</sup>によった。
- 底生動物 採泥後1 mm篩を使用し、篩に残ったものはすべてホルマリン(30~40%)で固定され、実験室に持ち帰って選別後計測された。

結果および考察

水深・底質・底生動物などの採集計測・分析記録は本報告とは別に、茨城県水試事業報告書<sup>5),6)</sup>に報告してあるので、ここでは省略する。

# 1 底質

## 1) 粒子組成の吟味

粒子組成の測定方法としては乾式法と流水法（微細砂百分率<sup>7)</sup>）とがある。乾式法は数多い試料を数個の篩を使用して短時間で処理できるのに反し、流水法は篩の数を乾式の場合と同じにした場合に時間や労力がかかり過ぎる。そこで、できれば1つの篩を使って底質の粒子分布を表示できるものが必要である。現在下里ら<sup>8)</sup>は115メッシュ篩1個を使用し流水法で行っており、その方法は簡便で数多い試料を短時間で処理するのに都合がよい。本法を採用するにあたって、115メッシュ篩で測定された結果が何を意味するのかの検討を加えた。

### (1) 乾式法と流水法との比較

1972年12月の採取試料を用い、115メッシュ通過量について乾式法と流水法とを比較した。

両者の関係は通過粒子率の少ない方から41%までの範囲ではほぼ直角座標の対角線上にならぶが、41%を超えると流水法による場合が乾式法による場合よりも常に11~24%高い通過率を示す(図・2)。

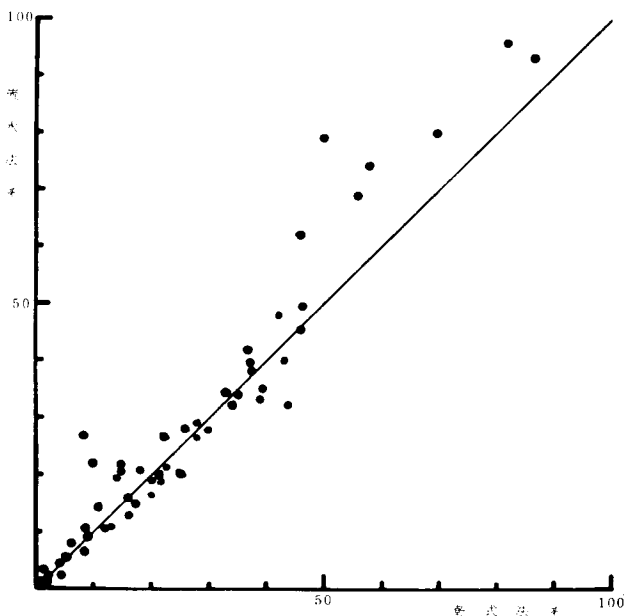


図2 流水法と乾式法の比較

この結果は、乾式法では粒子が個々に分離しないために篩を通過できず、流水法では粒子が個々に分離し通過することを意味している。

以上の結果から、底質の粒子組成測定法は115メッシュを使用する場合の通過粒子率が41%を越える海域では、流水法がより正確を期せるとみられるので、前述のように特別な場合以外は本法によった。

### (2) 粒子組成累積曲線と115メッシュ通過粒子量との関係

前項と同一標本を用いて乾式法測定値による累積曲線図を作ると、本海域の粒子組成は7つの代表型に分けられる(図・3)。その各々について中央粒径をみると、

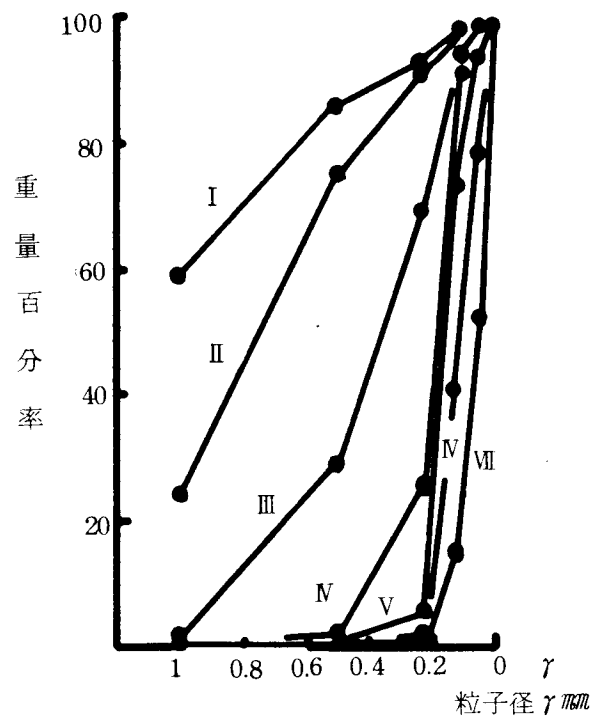


図3 粒子組成(乾式法)累積曲線代表型

I型の中央粒径は1.0mm以上

II型は0.61~0.75mm

III型は0.32~0.35mm

IV型は0.16~0.21mm

V型は0.12~0.17mm

VI型は0.09~0.12mm

VII型は0.05～0.07mm

であり、I型からVII型の順で中央粒径が細かい方へ移行し(図・4)，I型を除く全体の中央粒径平均値は0.16mmである。また、115通過粒子量(乾式法による)は

- I型：0.6 ～ 0.7 %
- II型：0.2 ～ 0.7 %
- III型：0.9 ～ 7.6 %
- IV型：3.9 ～ 19.4 %
- V型：7.6 ～ 47.0 %
- VI型：47.6 ～ 68.8 %
- VII型：80.1 ～ 82.9 %

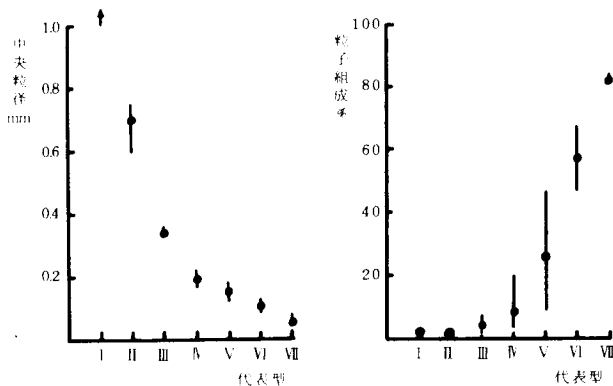


図4 中央粒径と代表型及び115メッシュ通過粒分(乾式法)と代表型

のように配列し、I型からVII型の順で、とくにIII型から通過粒子量は増大する(図・4)。

以上の結果から、115メッシュ(0.125mm)が本海域の粒子組成全体の中央粒径に近い値であり、通過粒子の多いほど細かい粒子組成を示すことなどが分かる。

なお図・4に用いた試料について肉眼的観察をすると、115メッシュ通過粒子量と砂の性状との関係は、

- 5%以下：小礫～荒砂
- 5～20%：荒砂(中砂混り)
- 20～50%：中砂(砂泥混り)
- 50～80%：砂泥(泥混り)

80%以上：泥

である。

## 2) 底質の汚染進行の段階区分

### (1) 粒子組成と強熱減量

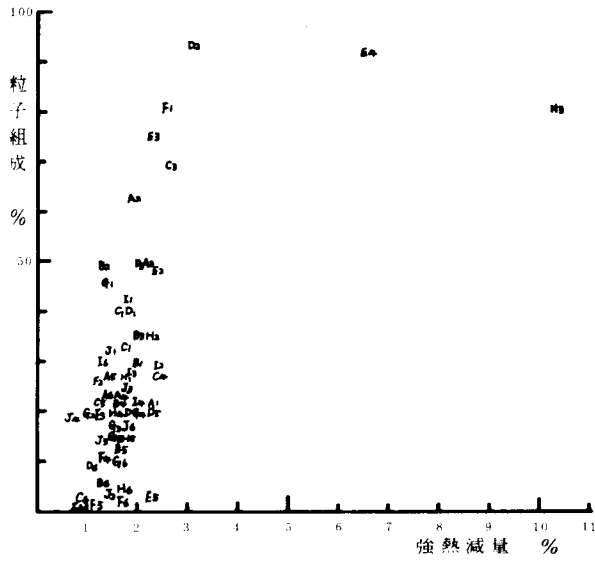
各調査の粒子組成と強熱減量との関係はつぎのとおりである(図・5)。

'72年12月の場合は粒子組成が2.0～92.8%，強熱減量が0.7～10.3%の範囲に現われ、そのなかで粒子組成がほぼ50%以下、強熱減量が0.7～2.4%に集中して出現している。両者の関係は粒子組成が粗い方から細かい方へ移るにしたがい、強熱減量が3%以下の範囲で漸増する傾向と、E-4，H-3のように粒子組成の細かい方で強熱減量がかけ離れて大きい場合とがみられる。

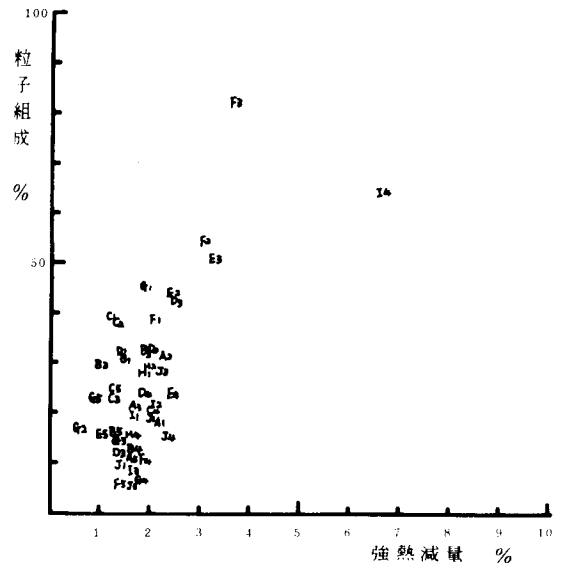
'73年2月は粒子組成が6.5～82.9%，強熱減量が0.9～8.2%の範囲に現われ、そのなかで粒子組成がほぼ45%以下、強熱減量が0.5～2.5%に集中して出現している。両者の関係は前調査結果とほぼ同じ傾向であり、強熱減量3.5%以下でみられる粒子組成との相関関係と、1-4のように、その関係から極度に離れたものがみられたが、粒子の細かい底質の出現が少なく、また強熱減量がやや大きい方へ広がっている点で前回とは違った現象が現われている。

'73年4月は粒子組成が8.2～68.3%，強熱減量が0.8～5.3%の範囲に現われ、そのなかで粒子組成のほとんどが62%以下、強熱減量が0.8～3.5%に集中している。両者の関係は前2回調査結果と同じ傾向であるが、粒子組成に70%以上の出現がみられない点でやや異なっている。

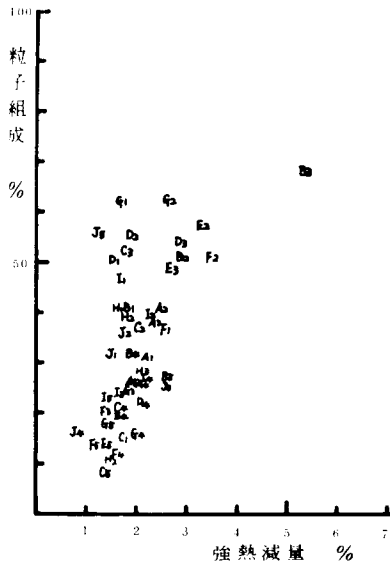
'73年6月は粒子組成が2.9～91.0%，強熱減量が0.6～25.7%の範囲に現われ、そのなかで粒子組成がほぼ51%以下、強熱減量が0.6～3.4%に集中して出現している。この調査でもD-4・(F-5)・A-4・F-5のように両者の相関関係から極端に離れたものが出現しているのが注目される。ただしD-4については、試料中の貝殻片による影響とみられる。またF-5で出現した強熱減量25.7%は、全調査期間のなかで最も大きな値であることも注目



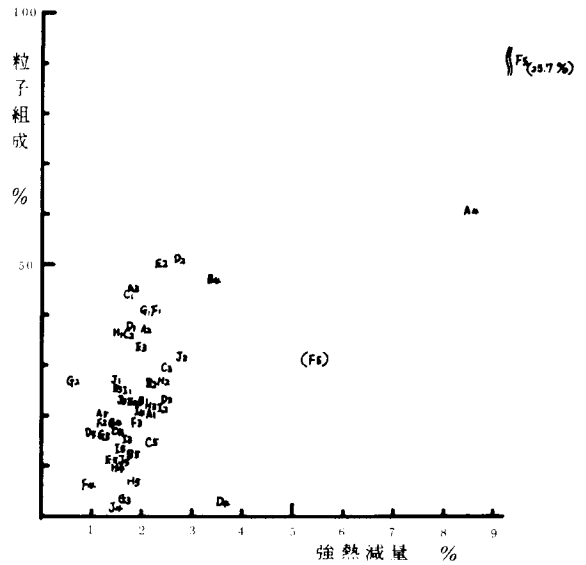
1972年12月14・15日



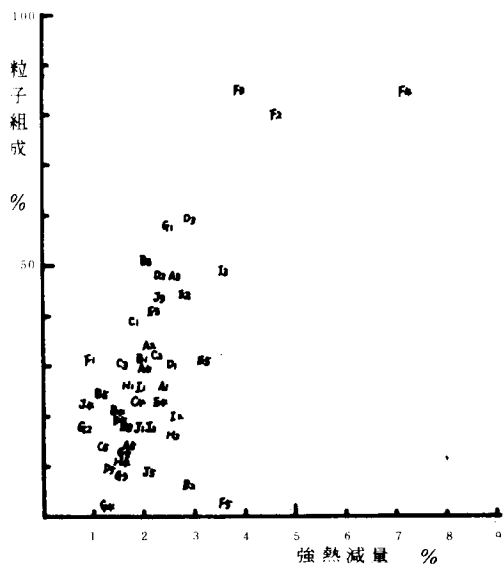
'73年2月27日



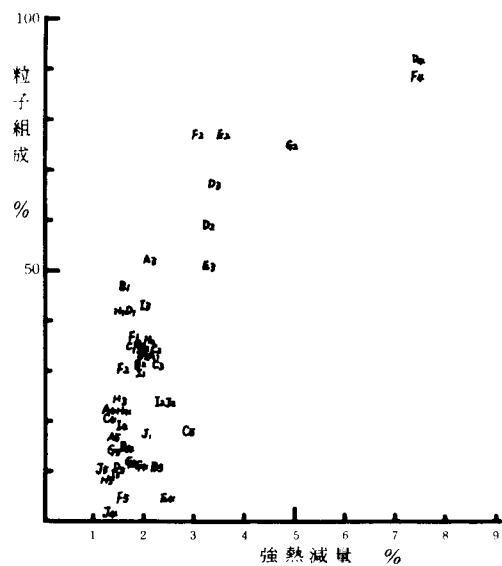
'73年4月25・26日



'73年6月25・26日



'73年8月20・21日



'73年10月11・12日

図5 粒子組成と強熱減量 (粒度組成は0.1 2.5  $\mu$ m以下の通過粒分)

される。この底質の外観は墨汁色、粘性のある腐蝕状の土塊で、強烈な硫化物臭をともっている。この土塊の粒子は細かいが、同時に採取された粒子は(F-5)で示したように粗いものである。

'73年8月は粒子組成が1.8~8.4.7%, 強熱減量が0.8~7.2%の範囲に現われ、そのなかで粒子組成がほぼ6.0%以下、強熱減量が0.8~3.6%に集中して現われるが、B-2・F-5の強熱減量が大きい値を示すのは、前回調査のD-4でも指摘したように、貝殻片の混入による影響が現われているものと考えられる。両者の関係は、F-4のように、両者の相関関係からかけ離れているもの、また全体として相関関係がみられる点では前4回の調査結果と同じであるが、全体の強熱減量分布のパターンは各調査結果のなかで最も大きい方へ広がっている。

'73年10月は粒子組成が1.6~9.2.2%, 強熱減量が1.3~7.4%の範囲に現われ、そのなかで粒子組成がほぼ4.3%以下、強熱減量が1.2~2.9%に集中している。両者の関係はE-4・G-2測点で貝殻片の混入による強熱減量への影響もみられるが、全体的には前5回の調査結果と同じ傾向である。また前記測点とD-4・F-4を除くすべての測点の強熱減量の出現値は、前回の調査結果より小さく、2・4・6月の結果と同じ程度である。なおこの点については、後で詳しく述べることにする。

以上の粒子組成と強熱減量との関係を総合すると、つぎのとおりである(図・6)。

まず6月の調査で現われたA-4点における粒子組成6.0.4%, 強熱減量8.5%を考慮して粒子組成6.0%点を通してX軸に平行な直線を引き、つぎにX軸上の強熱減量3.0%の点を通して全体の相関傾向にほぼ平行な傾斜する線分を引くと、粒子組成が1.6~9.2.8%, 強熱減量が0.6~4.9%の区域A・Bと、粒子組成が6.0.4~9.2.2%, 強熱減量が5.3~25.7%の区域Cとに区分され、この区分を通して前述したような粒子組成が粗い方から細かい方へ移るにしたがい強熱減量が漸増していく、いわゆる相関傾向と、そのような関係からはみ出したC

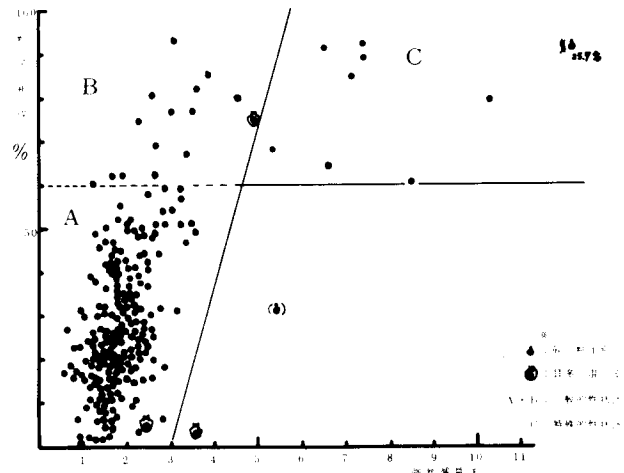


図6 粒子組成と強熱減量

区に属する点との区分が明瞭になる。

底質の粒子組成と強熱減量との関係は上記のA・B区域の関係が自然史的な堆積現象を示唆する一般的傾向であると考えられるので、A・B区域は本海域の一般的性状を示唆しているとみられ、反面C区域は特殊的性状を示唆しているとみられる。これら3区の性状をCODで表わすと、A・B区では約 $6 \text{ mg/g}$ ・乾泥以下、C区で $19 \sim 50 \text{ mg/g}$ 、また全硫化物値ではA・B区で約 $8 \text{ mg/g}$ 以下、C区で $6 \sim 17 \text{ mg/g}$ であって粒子組成と強熱減量との相関図にみたパターンの異相は、CODや全硫化物の理化学的指標か

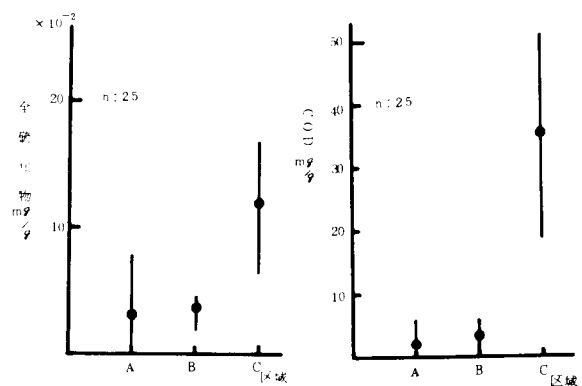


図7 区域別COD値及び全硫化物質

(1972年12月14・15試料)

らも証拠立てることができる(図・7)。ただB区域はC区域と同じ粒子組成の範囲にあるにもかかわらず一般的な性状を示すとみられる区域にあって、A区域に比べてやや不安定な要素をもつものと考えられる。

(2) 強熱減量と酸化還元電位差

強熱減量と酸化還元電位差との関係は、各調査結果を総合してみると、つぎのとおりである(図・8)。

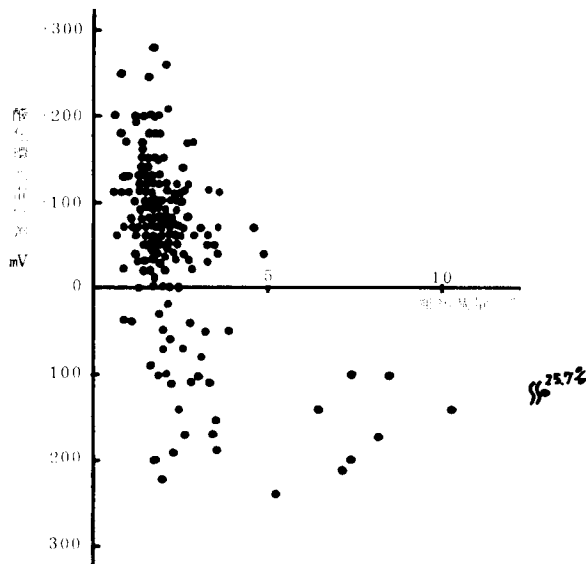


図8 強熱減量と酸化還元電位差(現場測定)

前述のように、強熱減量は0.6~25.7%に分布しているのに対応して、酸化還元電位差は $\ominus$ 240~ $\oplus$ 280 mVの範囲に出現しているが、とくに注目すべきことは電位差計に $\oplus$ 値を記録した地点が全測点数の83.7%出現したのに対して、 $\ominus$ 値を記録した場合が39回(全体の13.2%)あったこと、さらに強熱減量が約5.0%以上の地点では電位差がすべて $\ominus$ 側に分布し、 $\ominus$ 100~ $\ominus$ 240 mVを示していることである。

すなわち、前者の39回の $\ominus$ 値は底質が還元状態にあることを示唆するものであり、本海域の底質に電位差で表わせるような汚染状態を示す箇所があることを示している。とくに後者の場合は強熱減量と

の間に相関があるという形でとらえられている点で注目する必要がある。すなわち、強熱減量5%以下がA・B区域に、5%以上がC区域に該当し、両区域の境界は強熱減量が5%付近にあるとみられる。

以上の諸結果を総合するため、筆者らはここで一つの前堤をおいて本文をすすめることにする。まず強熱減量5%以上については、C区域を表わすものであるが、この区域のCOD、全硫化物、および電位差などがA・B区域と明らかに相違するので「汚染区域」と仮称し、つぎに5%以下については電位差がC区域と同程度のもを「強影響区域」、0~ $\ominus$ 99 mVを「弱影響区域」、 $\oplus$ 側すべてを「正常区域」とよぶことにする(図・9)。

これら底質の4つの区分は底質が「正常」 $\rightleftharpoons$ 「弱影響」 $\rightleftharpoons$ 「強影響」 $\rightleftharpoons$ 「汚染」など、現象が或る特定の段階へ達した後、性質を変えて次の段階へ移行していく過程を示唆するものであり、筆者らは前記粒子組成、強熱減量、および酸化還元電位差などを指標として、自然的な堆積過程、人為的な底質悪化過程などの複合現象を内包する「汚染進行段階」の存在を表わし得るものと考える。

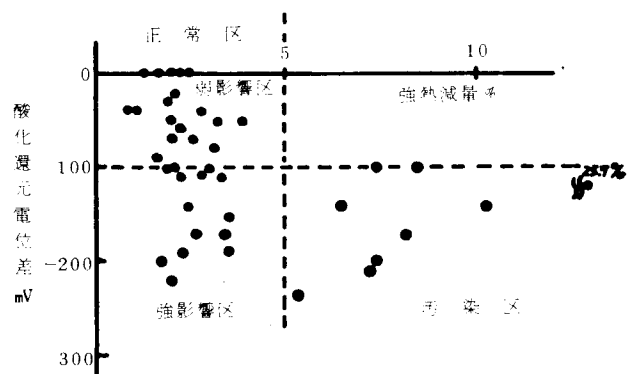


図9 底質段階の区分

3) 汚染進行段階の経時的変化

底質の汚染進行段階の段階別出現頻度は、全期間を通じて「正常」が67~97%、「弱影響」が0~21%、「強影響」が0~8%、および「汚染」が2~4%である。

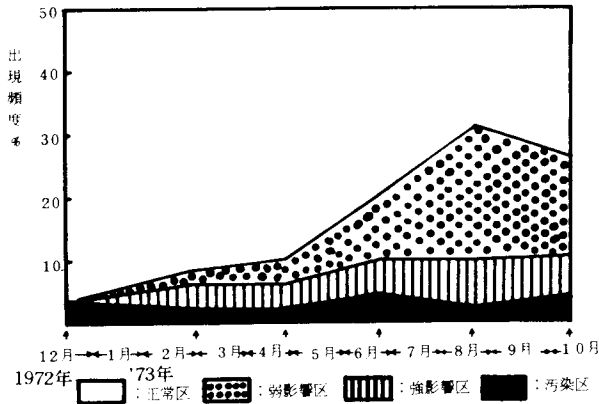


図 10 底質の各段階の経時的変化

各段階の出現経過はつぎのとおりである(図・10)。

「正常」は'72年12月(97%)の冬季に多く現われ、'73年8月(69%)の夏季には減少している。この現象に反し「弱影響」・「強影響」は'72年12月には出現がいずれも0、'73年6月には急激に増加(10%、6%)し、同8月には最高(21%、8%)となる。また「汚染」は全期間を通じて少ない(3~4%)ながらも、つねに出現している。

以上の現象は底質が冬季より夏季に悪化する状態を示している。これは梅雨期以後の有機物流入量の増大、温度上昇にともなう腐敗細菌活動の活発化などが想定され、同時に夏季は比較的波浪が静穏になるために海底が攪乱されることも少なくなり、さらに水塊構造も成層状態になって鉛直混合が起りにくいなどの諸条件が重なり合うためであろう。

4) 水深・粒子組成・汚染進行段階分布

自然環境のなかで汚染が進行していく様子を観察する前に、本海域の水深<sup>※1</sup> 粒子組成などの分布をつぎに示す(図・11)。各々の分布図が調査時期ごとに相違するが、船位のずれによるわずかの誤差はまぬがれない。

沿岸における水深分布についてみると、距離1Kmが7~16m、2Kmが12~23m、3Kmが18~28m、5Kmが21~32m、7.5Kmが23~38m、および10Kmが30~36mである。等深線は海岸線にはほぼ平行であるとみられるが、'72年12月の鹿島港

沖、'73年6月における荒野から明石沖にかけての5~7.5Km一带、8月における柳川新田沖5~7.5Km、および10月の鹿島港から柳川新田沖にかけての5~7.5Kmなどで、等深線の入り込みや凹地があるのがみられたことから、本海域の海底地形は一般に考えられているほど単純でゆるやかな傾斜を保持する地形ではないとみられる。

粒子組成は距岸1Kmではほとんど中砂[本文(1)-(2)参照]、2.3Kmの定点では中砂のところが主体で、一部砂泥、泥、荒砂のところもある。5~7.5Kmでは荒砂主体で、ほかに中砂、小礫、泥であり、10Kmではほとんど小礫まじりの荒砂である。

砂泥、泥は鹿島港沖2.3Kmで全調査時点ごとに見られ、その他では'72年12月に、荒野から平井沖2~3Km、弁天森沖3Kmの各点で、'73年2月に柳川新田沖5Kmで、4月には明石から平井沖1~3Km、深芝から弁天森沖1~2Kmの各点、6月の深芝沖7.5Kmの点、8月の明石・平井沖3Km、深芝沖5Kmの2点、および10月の荒野沖3Km、鹿島港、深芝沖5Kmの各点などでみられ、帯状・飛石状の分布が想定される。一方荒砂は主に本海域の深部に分布しているが、鹿島港の南側海域では広範囲に浅部まで及んでいるのが特徴的である。

以上の環境のなかで汚染の進行は段階がすすむ(「弱影響」以上)にしたがい、ごく浅部よりも距岸3~5Km(水深21~32m)の泥、砂泥質から主に現われる。この現象は汚染物質が泥や砂泥のような微細砂粒子と共に、波動や潮流などの影響を受けて水深20~30mの特定海域へ沈積する傾向があることを示唆するもので、遠浅の砂浜域の底質調査を実施する上ではとくに注目すべき現象であろう。したがって汚染進行段階別にみて「正常」段階であっても泥、砂泥が現われている地点では汚染段階を進行させる基盤があるものとみられ、すでに汚染段階のすすんだものの出現がみられることと併せて注

※1 1973年2月の水深図は資料紛失のため欠除した。



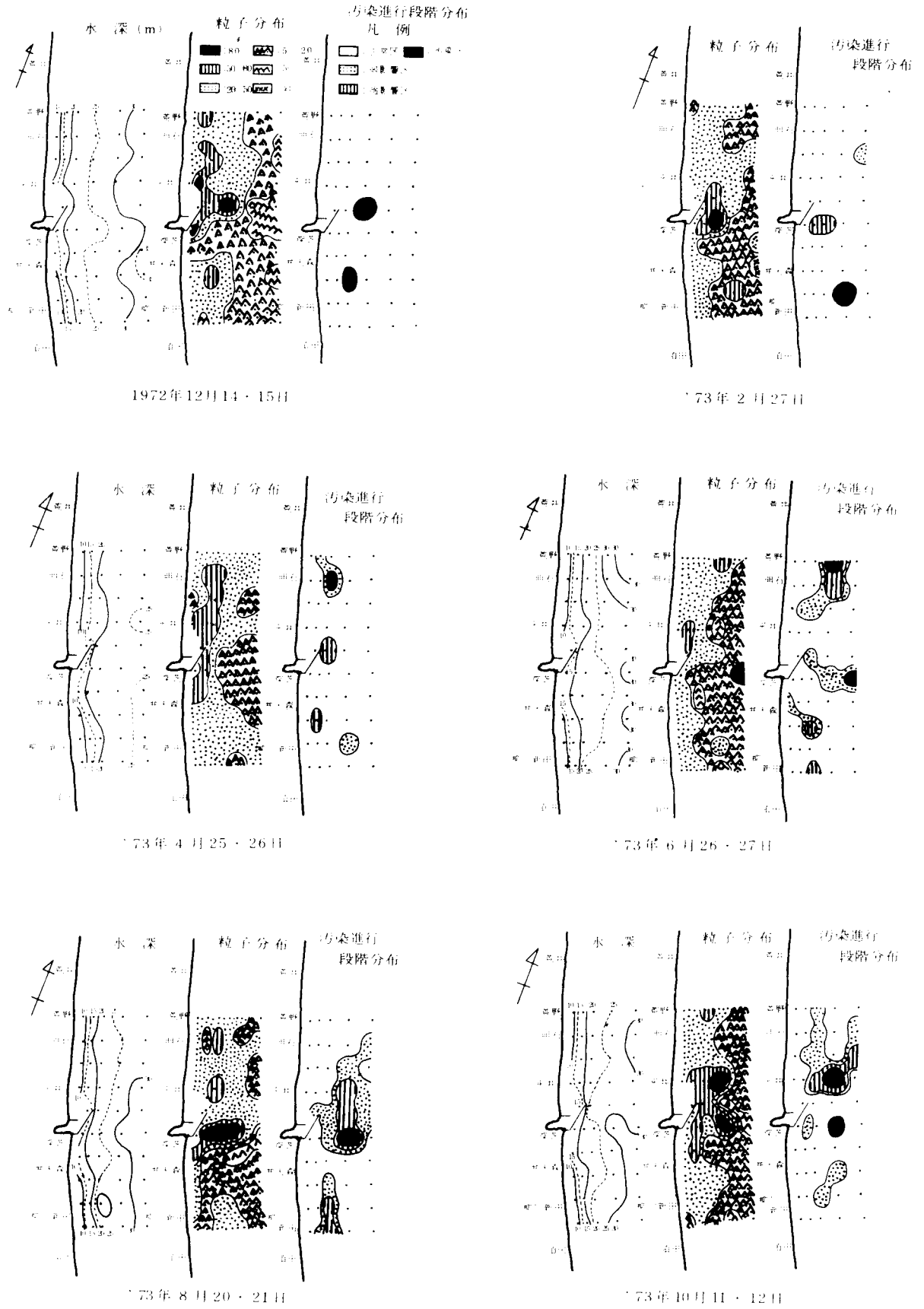


图 11 水深·粒子組成·污染段階分布

目すべき事象である。

汚染進行段階別の分布域は各調査時において、その位置や範囲が変化している。さきに考慮した船位

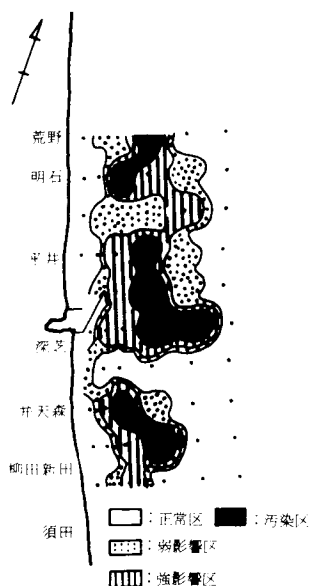


図12 累積汚染進行段階図  
(1972年12月14・15日から'73年  
10月11・12日までの各6回分の資料)

決定上の誤差に起因する部分があるにしても、これら変化の主因は汚染物質の移動、汚染の進行によると考えられるもう一つの見方がある。

すなわち、汚染進行段階累積分布図(図・12)を検討すると、(1) 汚染進行段階のすすんだものは鹿島港前面から北側海域にかけて広範囲にみられるのに反し、(2) 全般的に南側海域の粒子組成は粗いこと、また(3) 本海域の漂砂は北向きの流れ成分を多く示す<sup>9)10)11)</sup>こと、(4) 細かい粒子組成から汚染現象が出現しやすいことなどがその主なものであり、これらが汚染物質の移動と汚染の進行を示唆するものと考えられる。

本海域の底質汚染は冬季を最低とし、夏季へ向い順次段階がすすみ、夏季を過ぎると減少する(図・10)。汚染の進行期には分布域は広がり、減少期には分布域も縮小する。したがって今後汚染負荷量の

増大にともなって、こうした年周期的な一定傾向の伸縮現象を反復しながら汚染段階の進行と分布域の拡大が起る可能性を否定することができない。

前述のように「汚染」段階は、各調査地点でつねに全定点の2~3%の比率でしか出現せず、「弱影響」・「強影響」段階の増大する夏季においてもその傾向はほとんど変わらない(図・10)。このことは汚染の進行が(1)「正常」→「弱影響」→「強影響」→「汚染」へ発展していく過程と、(2)ある汚染源を中心として、その影響が順次周辺海域へ及んでいく場合の二つの道筋のうち、後者の道筋による諸現象が発現しているものと考えられる。つまり総じて言えば、本海域の汚染は徐々に進行しているとは言えるものの「汚染」段階の範疇に入るような底質域が極端に増加するとは認められない。ただ本調査時期以前に「汚染」段階を出現させるような要因があったことは充分考えられる。

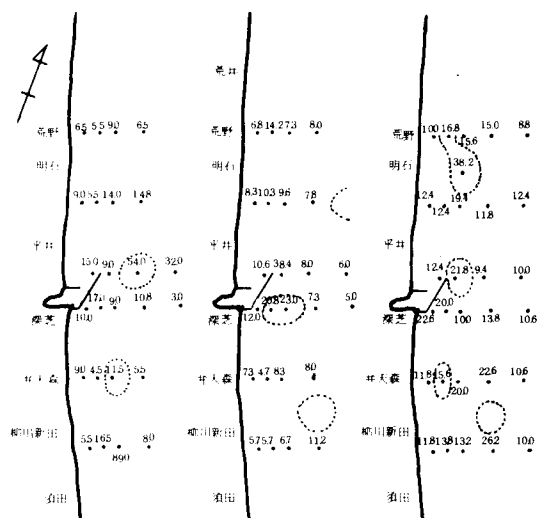
#### 5) 重金属(Cu・T-Hg)と汚染進行段階

本海域の底質中の銅・総水銀と汚染進行段階との関係はつぎのとおりである。

##### (1) 銅

底質中の銅は'72年12月に3.0~89.0 $\mu\text{g/g}$ 、'73年2月に5.0~38.0 $\mu\text{g/g}$ 、および4月に8.8~38.0 $\mu\text{g/g}$ が検出され、それぞれ全測点で現われている。これらを距岸別にみると、1Kmでは5.5~22.6 $\mu\text{g/g}$ 、2Kmでは4.5~20.0 $\mu\text{g/g}$ 、3Kmでは7.3~89.0 $\mu\text{g/g}$ 、5Kmでは5.5~54.0 $\mu\text{g/g}$ 、および7.5Kmでは3.0~54.0 $\mu\text{g/g}$ であり、総体的に距岸2~5Kmにやや高い傾向が現われている。また全調査を通じて、鹿島港から深芝にかけてやや高めの値(20.8~54.0 $\mu\text{g/g}$ )が現われており、その他では12月の柳川新田沖3Km地点で89.0 $\mu\text{g/g}$ 、4月の明石沖3Km点で38.2 $\mu\text{g/g}$ 、弁天森沖3~5Km地点で20.0~22.6 $\mu\text{g/g}$ 、柳川新田沖5Km地点で26.2 $\mu\text{g/g}$ などの値が検出された(図・13)。

銅の検出量と汚染進行段階との関係は、12月に「正常」とされる海域では4.5~89.0 $\mu\text{g/g}$ 、「汚染」とされる海域では11.5~54.0 $\mu\text{g/g}$ 、2月は



1972年12月14・15日 1973年2月27日 1973年4月25・26日

図13 Cuの分布  
単位  $\mu\text{g}/\text{g}$

凡例 (---) 「弱影響」段階以上の汚染進行段階分布

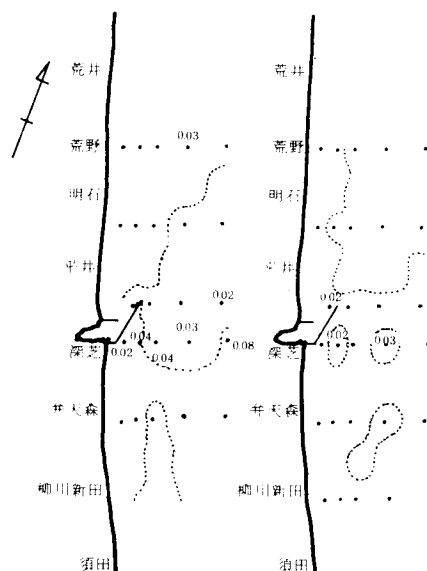
「正常」で  $4.7 \sim 38.4 \mu\text{g}/\text{g}$  , 「強影響」で  $20.8 \sim 23.0 \mu\text{g}/\text{g}$  , および4月は「正常」で  $8.8 \sim 22.6 \mu\text{g}/\text{g}$  , 「弱影響」で  $16.8 \mu\text{g}/\text{g}$  , 「強影響」で  $15.6 \sim 21.8 \mu\text{g}/\text{g}$  , 「汚染」で  $38.2 \mu\text{g}/\text{g}$  などである。全般的にみると銅の検出量は「正常」から段階の進行にしたがい高くなる傾向にあるが、「正常」のなかからも高い値が現われていることからみて、かならずしも汚染進行段階と比例しているとはいえない(図・13)。

以上の結果から銅についてみると、「正常」段階に分布する値が自然的要因とすれば、鹿島から深芝沖のやや高い値は自然のレベルか、それより少し高い程度である。しかしこの値が人為的要因によっているとすれば、「正常」段階のレベルを上昇させていることになる。したがって軽視はできないにせよ本調査段階では検討が難しく、将来の調査で汚染進行段階をとおして比較していくことが必要であろう。

(2) 総水銀

底質中の総水銀は'73年8月に17地点で不検出であったが、7地点で微量ながら検出された。すなわち、荒野沖5Kmの地点で  $0.035 \mu\text{g}/\text{g}$  , 鹿島港沖

7.5 Kmの地点で  $0.026 \mu\text{g}/\text{g}$  , 深芝沖1~5 Kmの5地点で  $0.026 \sim 0.081 \mu\text{g}/\text{g}$  であった。また10月には26地点で不検出であったが、3地点で検出され、鹿島港沖2 Kmの地点で  $0.020 \mu\text{g}/\text{g}$  , 深芝沖2 Km・5 Kmの2地点でそれぞれ  $0.020 \mu\text{g}/\text{g}$ ・ $0.036 \mu\text{g}/\text{g}$  であった。(図・14)。



1973年8月20・21日 1973年10月11・12日

図14 T-Hgの分布

(単位:  $\mu\text{g}/\text{g}$  , 数値の記入していない測点はすべて測定限界以下( $0.001 \mu\text{g}/\text{g}$ 以下)である。)

凡例 (---) 「弱影響」段階以上の汚染進行段階分布

これらを汚染進行段階との関係でみると、8月には「正常」で  $\text{ND}^{\ast 2} \sim 0.043 \mu\text{g}/\text{g}$  , 「弱影響」では  $\text{ND} \sim 0.045 \mu\text{g}/\text{g}$  , 「強影響」では  $\text{ND}$  , 「汚染」では  $0.032 \mu\text{g}/\text{g}$  , 10月には「正常」で  $0.020 \mu\text{g}/\text{g}$  , 「弱影響」で  $\text{ND} \sim 0.020 \mu\text{g}/\text{g}$  , 「強影響」で  $\text{ND}$  , 「汚染」で  $0.036 \mu\text{g}/\text{g}$  などである。

すなわち、総水銀検出地点の位置や値の高低は汚染進行段階とはかかわりなく現われているが、鹿島港の前面とその南側にあたる深芝など、地理的に隣接した地点でまとまって微量ながら検出されていることに注目する必要がある。これが天然分布とす

※ 2 ND: 測定限界以下 ( $0.001 \mu\text{g}/\text{g}$ 以下) である。

れば、他の「正常」を含む数多くの地点で検出されてもよいはずである。限られた地点から局所的に検出されたことに人為的な因果関係の疑いもないわけではない。

ただ、8月に検出された5地点では10月に不検出となり、逆に8月不検出にもかかわらず10月に検出されたのは1地点で、両月とも検出されたのは深芝沖の2地点だけであること、また鹿島港から離れた荒野沖の1点からも検出されていることなど、総水銀検出・不検出にかかわる因果関係をすべて無理なく説明できる段階ではない。

したがって今後は、検出量や検知地点の動きばかりでなく、汚染進行段階をとおして総水銀値の変動状況を把握すること、さらにその海水中における挙動との関連の研究などをすすめることが重要な研究課題の一つであると考え。

## 2 底生動物

### 1) 指標生物の吟味

本海域から採集された底生動物は環形動物約50種、軟体動物約20種、節足動物約30種、棘皮動物約6種、腔腸動物約5種、その他紐形、袋形、星口、および扁形動物などであり、なかでも多毛類に属する種の数が圧倒的に多く、ついで甲殻類、二枚貝類の順であった。また局所であるが、単一種で出現頻度の高かったのはチヨノハナガイ *Raeta (Raetellops) rostralis* (REEVE) である。

底生動物を環境の指標として利用するためには、採集頻度が高く生息水域も広い種であるとともに、適応性が狭い種であることが必要<sup>7)</sup>である。また底生動物に指標性を求めることは、環境汚染を知る手がかりをこれに託す一方で、漁業上重要な水産生物と底生動物との種間関係、底生動物間との関係などをおして水産生物の発育に必要な餌料面への影響を追求することである。したがって、これらの諸関係をおして、汚染が水産生物にどのように影響するか道の筋とよりどころをみつけだすことであると考え。

以上の基本的な考え方にたつて、筆者らは主に底生動物の分布から環境の指標性の吟味を行なった。

### (1) 多毛類

表・1 多毛類の出現状況

種	底質の性状	一般的性状		
	汚染	強影響	弱影響	正常
<i>Aphroditidae</i>	0.4%	2.8	0.6	0.7
<i>Anartides maculata</i>	0	2.5	4.5	0.2
<i>Phyllodoce sp.</i>	0	1.1	0.3	0.7
<i>Nephtys caeca</i>	1.3	0.5	0.6	0.9
<i>Nephtys polybranchia</i>	2.3	2.0	1.2	0.6
<i>Nereis sp.</i>	2.7	1.7	0.3	0.2
<i>Goniada sp.</i>	6.4	4.1	9.4	6.0
<i>Glycera sp.</i>	0.4	0.7	0.3	1.6
<i>Polydora sp.</i>	1.3	2.5	3.8	0.2
<i>Spio sp.</i>	2.7	1.6	0	4.2
<i>Spiophanes sp.</i>	1.8	1.7	17.5	47.4
<i>Prionospio pinnata</i>	33.7	19.4	11.0	2.4
<i>Prionospio sp.</i>	9.7	5.5	17.8	7.4
<i>Magelona sp.</i>	4.6	1.3	1.6	1.1
<i>Scoloplos sp.</i>	0.9	0.4	0	0.4
<i>Capitellidae</i>	4.6	5.8	2.5	0.5
<i>Owenia fusiiformis</i>	0.4	11.3	3.8	5.4
<i>Ampharete sp.</i>	2.3	6.7	8.7	1.3
<i>Terebellides sp. -A</i>	5.5	9.8	5.8	1.7
<i>Terebellides sp. -B</i>	6.4	8.6	1.6	3.2
計(個体数)	216	670	308	1,679

資料: 1973年 6月26・27日

8月20・21日

10月11・12日

出現率: 種個体数/総個体数×100

掲載種: 各位置 50個体以上、または、出現回数 50%以上。

底質環境の汚染進行段階区分にもとずいて、多毛類の種別出現率を比較検討した。

すなわち、「弱影響」以上の段階にある底質からはヨツバナスピオ *Prionospio pinnata EHLERS* が最も多く出現し、これについて *Prionospio sp.*、チマキゴカイ *Owenia fusiformis DELLE CHIAJE*, *Ampharate sp.*, および *Terebellides sp.* (二種) などであった (表・1)。

ヨツバナスピオについては宮地ら<sup>12)</sup> および北森<sup>7)</sup> が報じているように、海域の汚染度の指標性をもつものとされ、本海域でも「正常」以外の汚染進行段階にある底質からの出現が多く、汚染の指標種として有力とみられる。

(2) 軟体動物

表・2 貝類の出現状況

種	底質の性状	一般的性状		
	汚染	強影響	弱影響	正常
ミゾガイ <i>Siligua sp.</i>	0%	0	0	0.1
チゴホカガイ <i>Mactra sp.</i>	0	0	0	1.6
ヒメバカガイ <i>Mactra sp.</i>	0	0	0	47.1
チヨノハナガイ <i>Raeta (Raetellops) rostralis</i>	91.4	97.8	98.0	49.9
ニツコウガイ科	7.8	1.2	1.7	0.6
キセワタガイ <i>Philine sp.</i>	0.7	0.4	0.2	0.3
計 (個体数)	141	1,134	470	8,409

資料：1973年 4月25・26日  
 6月26・27日  
 8月20・21日  
 10月11・12日  
 出現率：種個体数 / 総個体数 × 100  
 掲載種：出現の多い上位6位

多毛類と同方法で軟体類の種別出現率をみると、チヨノハナガイは「汚染」から91.4%、「強影響」から97.8%、「弱影響」から98.0%、「正常」か

ら49.9%出現しており、いずれの段階にも現われているとはいえ、とくに「弱影響」以上の段階で極端な優占種になっている (表・2)。

本種については宮地ら<sup>13)</sup>が富栄養強内湾性の種として報じているが、上述のことから考えて本海域のような外海でも軟体動物のなかの汚染指標種として有力とみられる。

(3) 甲殻類

表・3 甲殻類の出現状況

種	底質の性状	一般的性状		
	汚染	強影響	弱影響	正常
スガメソコエビ科 <i>Ampeliscaidae</i>	52.1%	42.2	27.2	22.5
ホソハサミソコエビ <i>Pontocrates sp.</i>	0	0.9	10.5	9.9
ヒサシヨコエビ <i>Harpinia sp.</i>	0	0	0.5	4.6
ヒサシヨコエビ <i>sp. - A</i>	0	3.4	7.2	9.7
ヨコエビ類	17.3	30.3	22.7	10.6
ヒラコブシ <i>Philyra syndactyla</i>	4.3	2.9	4.4	5.0
計 (個体数)	23	201	180	985

資料：1973年 6月26・27日  
 8月20・21日  
 10月11・12日  
 出現率：種個体数 / 総個体数 × 100  
 掲載種：出現の多い上位6位

前2法と同様に甲殻表についてみると、スガメソコエビ科 *Ampeliscaidae*が「汚染」から76.9%、「強影響」から34.9%、「弱影響」から23.4%、「正常」から21.0%などで、各段階から多く現われ、これについてヨコエビ類 (種不明2~4種)、ホソハサミソコエビ類 *Pontocrates sp.*、ヒサシヨコエビ *sp. - A*<sup>※3</sup>、ヒラコブシ *Philyra Syndactyla ORTMANN*などの順である (表・3)。

※3 ヒサシヨコエビ SP. - A : *Paraphoxus SP. - A* および *Haustorius sp.* の2種を含む。

スガメソコエビ科のクビナガスガメ *Ampelisca brevicornis* は山本ら<sup>14)</sup>が仙台湾の甲殻類の重要種として報じているが、本海域でも同種を含む本科は甲殻類の総数の26.4%('73年6・8・10月)を占め広く分布するので、甲殻類の代表的な種とみても差支えなからう。しかし前述のように、本種が底質環境のある段階に局所的に出現するものではないので、ヨツバネスピオやチヨノハナガイのような汚染指標と同質の指標種とするのは適当ではないと考えられる。

(4) 棘皮動物

表・4 棘皮動物類の出現状況

種	底質の性状		特殊の性状		
	汚染	強影響	弱影響	正常	
ハスノハカシパン <i>Scaphechinus mirabilis</i>	0	0	11.1	67.1	
オカメブブク <i>Echinocardium cordatum</i>	0	63.6	88.8	28.7	
計 (個体数)	1	11	9	198	

資料：1973年 6月26・27日  
8月20・21日  
10月11・12日

出現率：種個体数 / 総個体数 × 100

掲載種：出現の多い上位2位

前方法と同様に棘皮動物の出現状況を見ると、ハスノハカシパン *Scaphechinus mirabilis* A・AGASSIZ が「弱影響」から11.1%、「正常」から67.1%などで「正常」段階からの出現が最も多く、これについてオカメブブク *Echinocardium cordatum* (PENNANT) が多い(表・4)。

ハスノハカシパンはオカメブブクに比べて、汚染進行段階のすすんでいないところに出現しているが、茨城水試<sup>15)16)</sup>によると、鹿島灘の水深4mから沖合2Km付近までの採集物中の50%以上を占めており、本調査でも棘皮動物中の出現率が61.1%で比較的に多く、棘皮動物のなかで優占種とみられる。また汚染進行段階のすすんでいないところでの出現率が高いことは、ヨツバネスピオ・チヨノハナガイとは逆に正常な環境の指標種としての側面を有するものとみられ、棘皮動物の環境指標種としてはオカメブブクよりも適種であると考えられる。

2) 標生物の分布

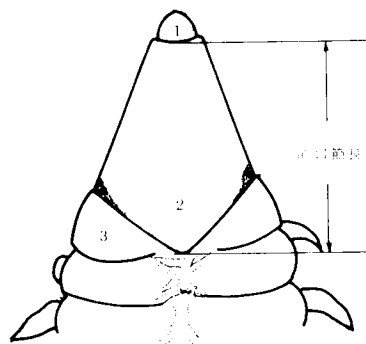
(1) ヨツバネスピオ

※4 本海域のヨツバネスピオの推定値を含む体長組成<sup>※4</sup>、およびその分布はつきのとおりである。

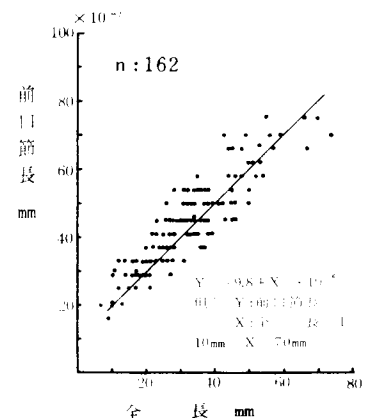
すなわち全体的にみると、体長範囲は5~70mm、モードが15~19mmおよび40~44mmの双峯型、平均体長が25mmであり、出現頻度は15~50mmの範囲に多い(図・15)。

※4 標本は30~40%ホルマリン固定のものを、選別後、70%アルコールで3ヶ月から1年の期間保存したものである。

体長の測定は前口葉末端から尾部末端までを全長とした。体の切れているものは前口節長(付図・1)と全長との相関図(付図・2)から  $X = 100Y - 9.8$  (ただし、Y:前口節長, X:全長,  $10\text{mm} < X < 70\text{mm}$ ) の関係式をあらわし、前口節長の計測値を式へ代入して全長を推定した。



付図-1 *Prionospio pinnata* EHLERS (腹面図)  
1.前口葉 2.前口節 3.囲口節



付図-2 *Prionospio pinnata* EHLERS の全長と前口節長

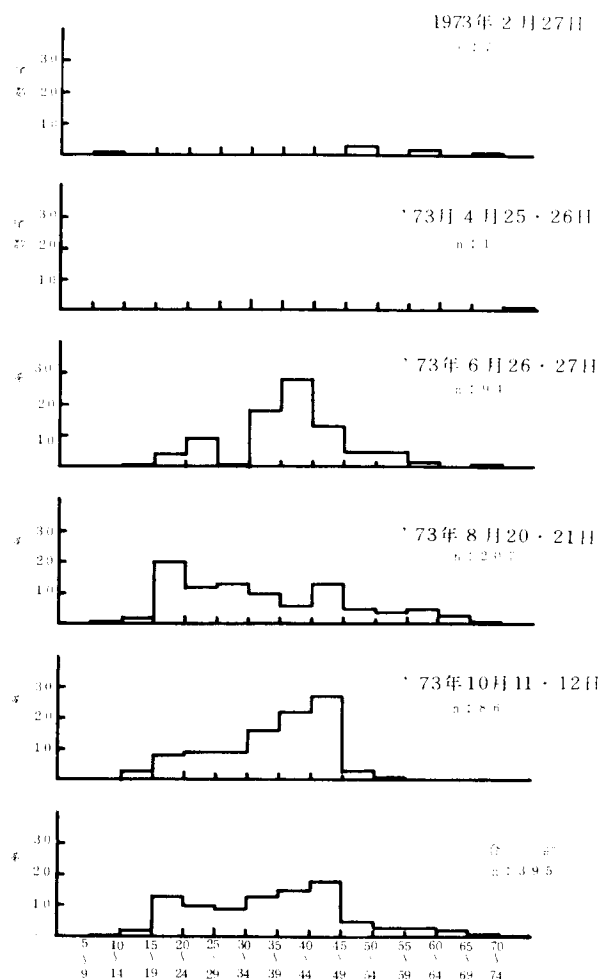


図-15 *Prionospio pinnata*  
EHLERSの体長組成

分布の経時的変化は'72年12月から'73年4月にかけて減少し、4月を最低としてその後増加し、8月には最高に達する。しかし8月後は再び減少の傾向にある(図・16)。

平均体長2.5mm以上を大型とし、それ以下を小型として分布密度を検討すると、12月の減少期には荒野～平井沖、鹿島港沖、深芝～弁天森沖、および柳川新田沖などの距岸2～10kmの範囲に低密度(1～10個体)で帯状、飛石状の大型群を主体とする分布がみられ、小型群は柳川新田沖の一部でみられたにとどまる。4月以降8月までの増加期には高密度(30個体以上)が荒野沖5km、平井沖5km、および柳川新田沖3kmなどで大型群の分布がみられ、

小型群は明石～平井沖、柳川新田沖、および弁天森沖など、大型群の周辺分布域でみられた。減少期へむかう10月には高密度分布がみられず、わずかに柳川新田沖3kmで大型群主体の中密度(10～30個体)の分布がみられ、小型群は深芝～弁天森沖の一部でみられたにすぎない(図・16)。






本種の分布と汚染進行段階別の水域区分とを対応させると、冬季から春季にかけての密度減少期には弁天森沖3km、柳川新田沖5km、および明石沖3kmなどで「弱影響」以上の海域との重なりがみられるが、総じてそれらの関係は明瞭ではない。しかし春季から夏季にかけての増大期には、荒野～明石沖5kmで高密度と「汚染」段階・中密度と「強影響」段階との重なり、平井～鹿島沖5・7.5kmで中・高密度と「強影響」段階の一致、および弁天森～柳川新田沖3kmで中・高密度と「強影響」段階の分布の重なりなどが認められたように、両者の密接な関係が明らかである。また秋季から冬季の減少期においても、荒野～平井沖2～7.5km、深芝沖2km、および弁天森～柳川新田沖3～5kmなどにみるように、ほぼ底質の汚染進行段階区分との関係があることが示されている(図・16)。

以上の結果、ヨツバナスピオは春から夏の棲息密度の増大期に、その中・高密度の分布域が汚染進行段階の「弱影響」段階以上、または「強影響」段階以上の環境汚染の指標になりうるものと考えられる。しかし、減少期がはじまる夏から秋にかけても、まだ低密度ながら「弱影響」段階以上の指標となりうるが、冬季を中心とした最低密度期にはその指標性を失うものといえる。

(2) チヨノハナガイ

本海域のチヨノハナガイの殻長組成および分布はつぎのとおりである。

まず殻長組成をみると、'72年12月には範囲7～17mm・モード10mm付近の単峯型、'73年2月には採集できなかったが、4月には範囲1～20mm・モード2, 4, 18mm付近の三峯型、6月には範

- 凡例  
 (大型)  
 : 1 ≤ n < 10  
 : 10 < n < 30  
 : 30 ≤ n  
 (小型)  
 : 1 ≤ n < 10  
 n : 個体数  
 「弱影響」段階  
 以上の汚染進行  
 段階分布

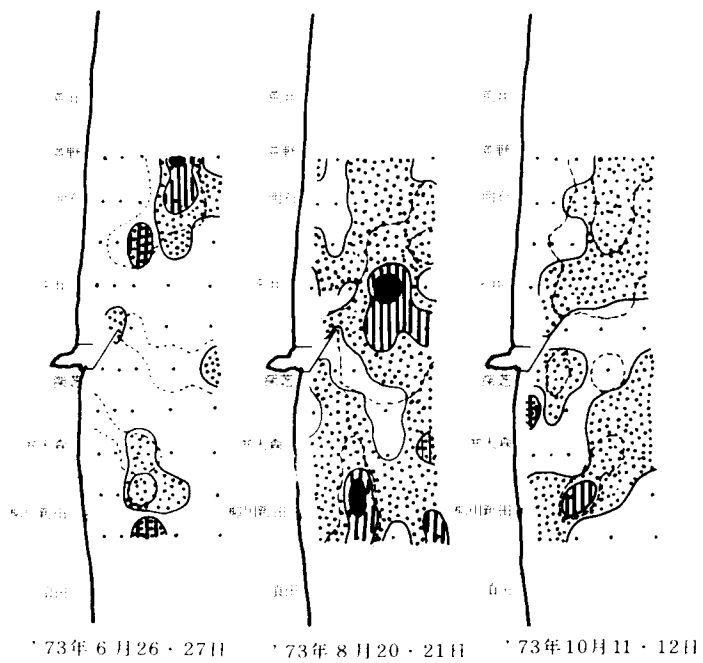
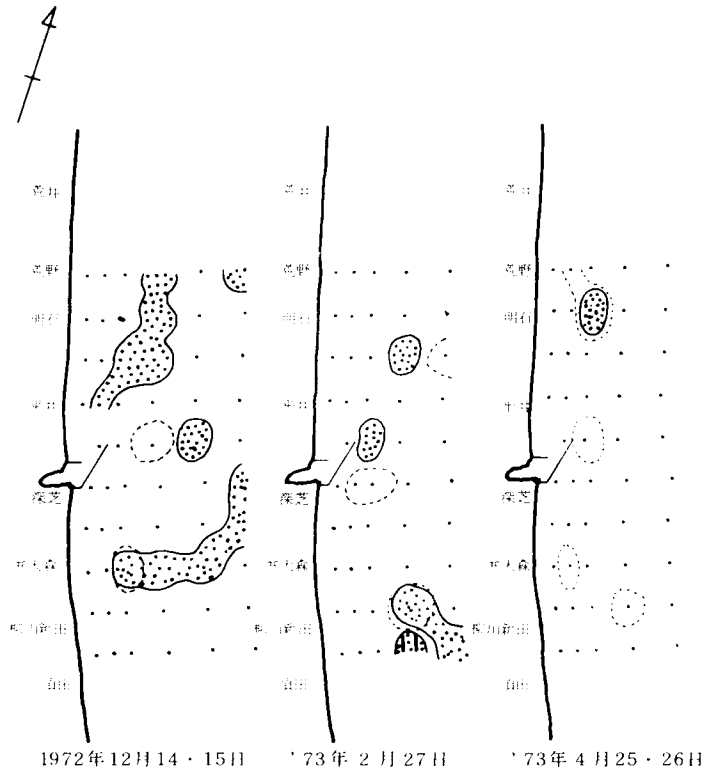


図-16 *Prionospio pinnata* EHLERS の分布



囲1~17mm・モード2, 4, 10, 14付近の4峯型の標本が出現した。さらに8月には範囲2~20mm・モード7, 13付近の双峯型がみられ, 10月には範囲9~22mm・モード14mmの単一組成が出現している(図・17)。

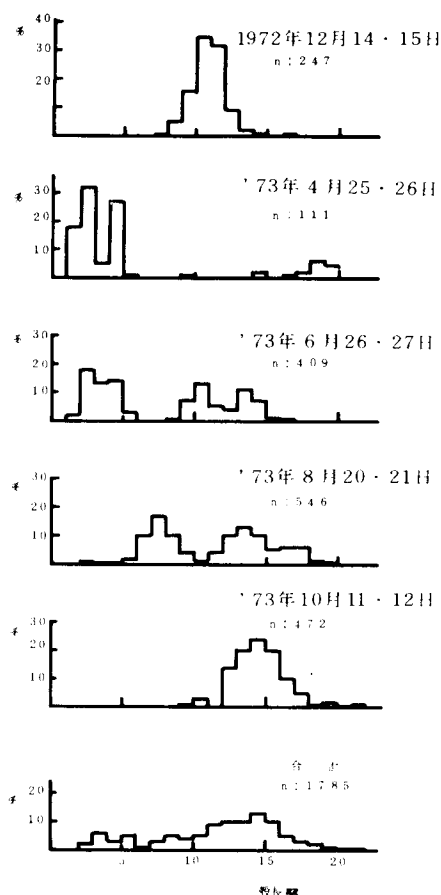


図-17 チヨノハナガイ殻長組成  
Raeta (Raetellops)  
rostralis (REEVE)

以上のような殻長組成の経時変化から本種の成長をみると, 4月および6月に出現した約2mmの稚貝は, 10月の殻長組成のなかで14mm級モード群より小さい殻長でまとまった群が現われていないことからみて, 5~7ヶ月経過して少なくとも約12mmの成長があるものとみられる。また, 12月の10mm級モード群の推移をみると, 5ヶ月後の4月には10~19mmの範囲のなかで18mm級モード群のは

かに該当する群がみられないので, 少なくとも5ヶ月で約8mmの成長が推察される。さらに本海域の最大殻長は21mmで, 4月の18mm級モード群が6月, 8月に出現していないことからみて, 12月の10mm級モード群は7ヶ月後の6月には生涯を終わったものと推察され, 10mmまでの成長を5~7ヶ月未満と推察したことを考え合せると, 本種の一生はほぼ1~1.5年とみられる。なお本種の産卵期は, 殻長2mmの稚貝が4月, 6月, および8月にまとまって出現したことからみて, 4~8月が主要な期間と考えられる(図17)。

つぎに4, 6月の殻長組成を参考に, 1~6mmを未成貝, 12, 8, 10月を参考に6~22mmを成貝とみてチヨノハナガイの分布をみると, 未成貝の分布域は4月と6月にみるように, 成貝に比べて広く, その密度は北寄りに高い。発育がすすんで6月, 8月になると, 分布範囲は岸寄りに縮小して密度も薄くなる。代って成貝が岸寄りで高密度となり, その状態が10月ごろまで継続し, 12月には成貝は鹿島港付近(距岸3km)に縮小している(図・18)。

本種と底質環境の汚染進行段階との関係は, 4月における未成貝の高密度が「汚染」段階と重なるほかは, 成貝も含めて「汚染」段階水域との分布の重なりは認められない。また「強影響」段階水域にしても, 6月における未成貝の高密度分布域および10月における成貝の高密度分布域とが重なるのみで, 他の大部分は両者との重なりがほとんどない。むしろ6月の未成貝の分布と「弱影響」段階水域とが重なり, また6月および8月の未成貝・成貝, 10月の成貝にみられるように, 「弱影響」段階と「正常」段階との境界付近での分布の重なりがあることに注目すべきと考える(図・18)。

つまり本種にヨツバネスピオ程度の指標性がみられるのは, 沈着後間もないと思われる殻長1~2mm程度の稚貝期だけであり, 本海域では北寄りに分布した時期である。一方成貝期は, それよりも汚染度の低い場所に出現する傾向を示し, 「弱影響」段階

凡例  
 [点状] :  $1 \leq n < 100$   
 [黒塗り] :  $100 \leq n$   
 n : 個体数  
 [点線] : 「弱影響」以上の汚染進行段階分布

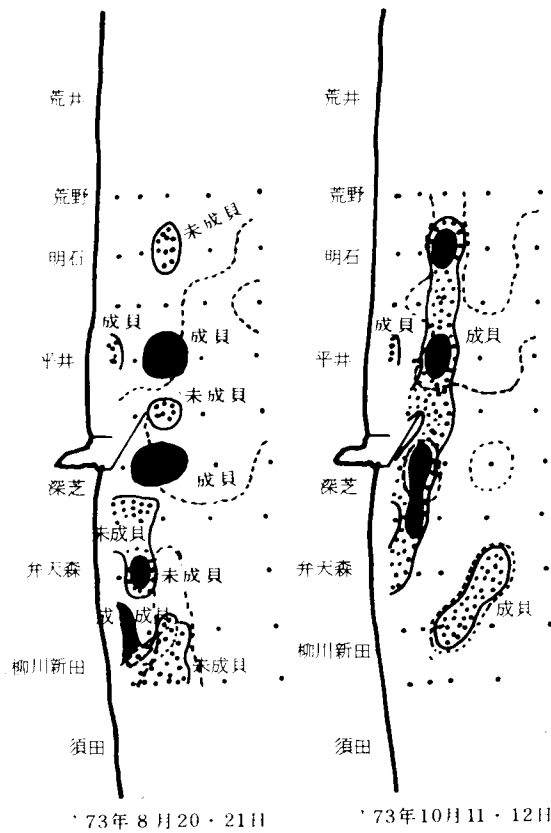
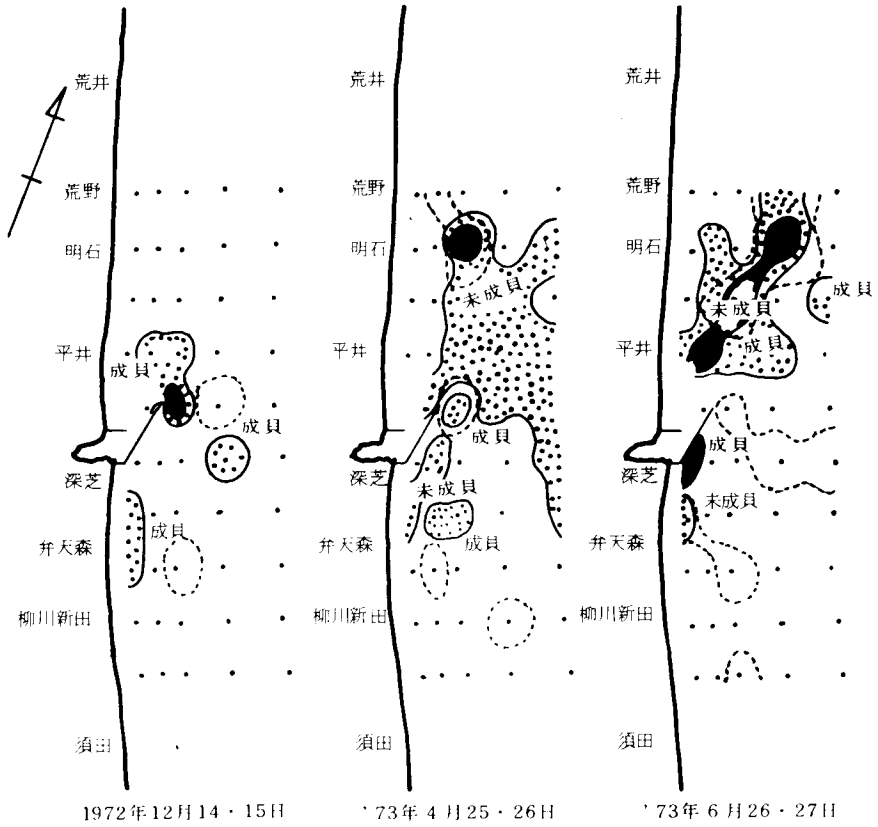


図-18 チヨノハナガイ *Raeta (Raetellops) rostralis* (REEVE) の分布

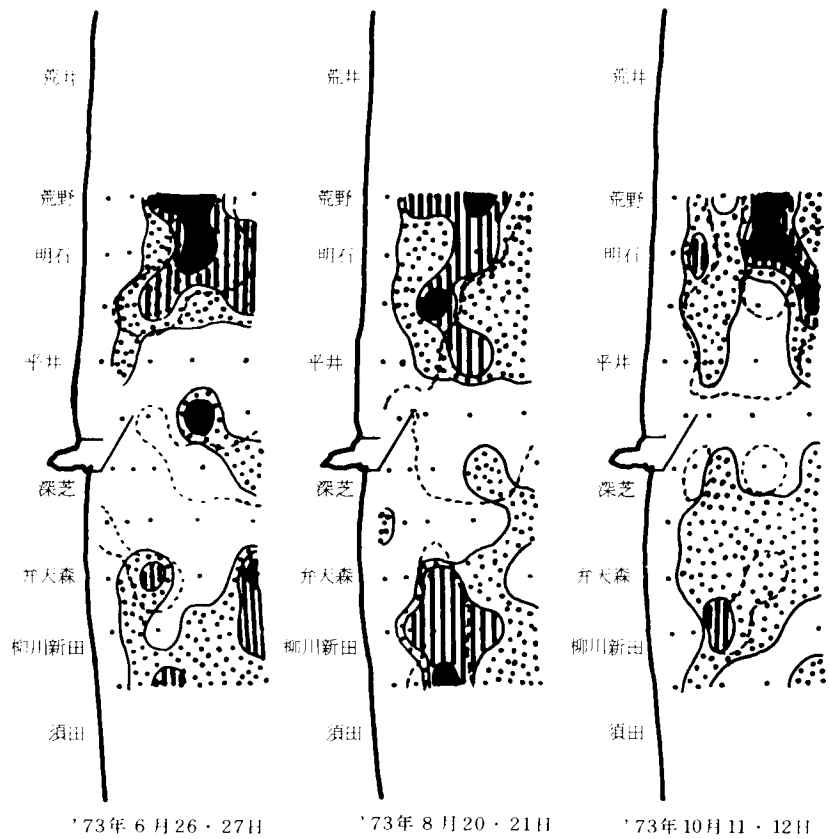
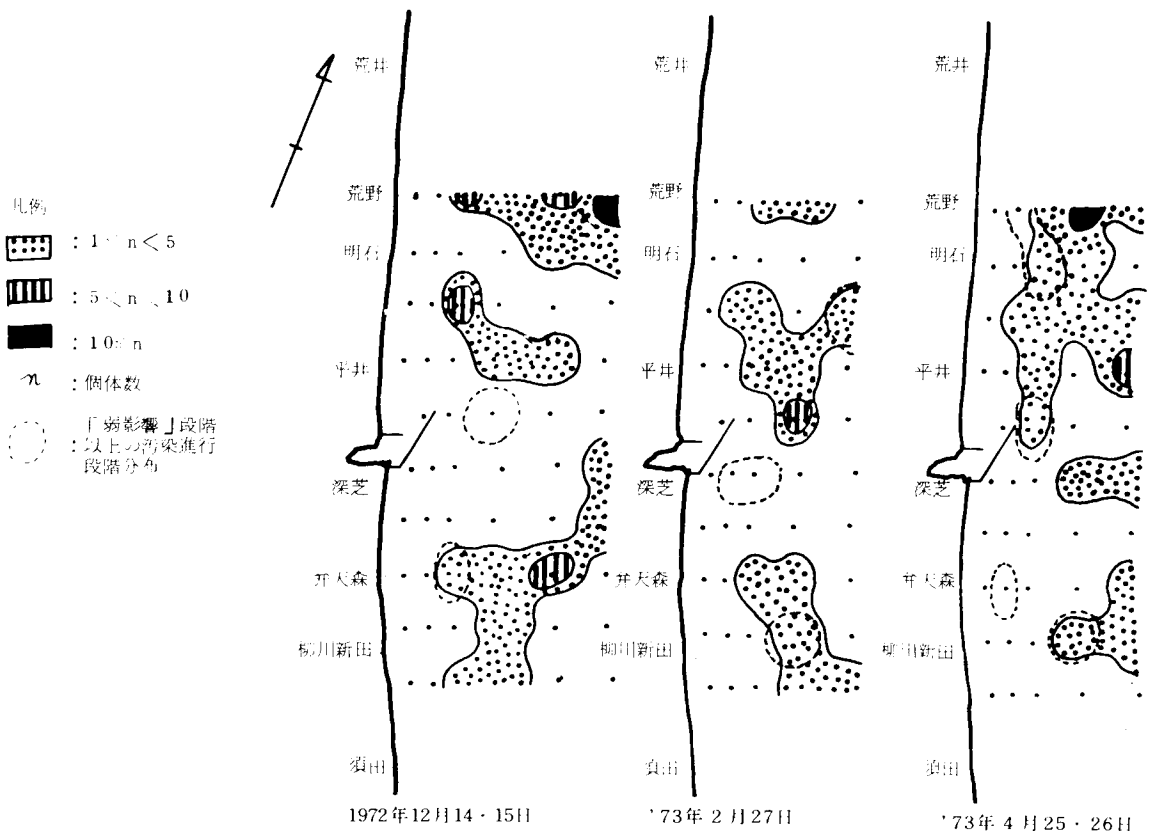


図-19 スガメソコエビ科 Ampeliscidae の分布

や「正常」段階でも、やや汚染の影響が及んでいるとみられる水域の指標になりうるものと考えられる。

(3) スガメソコエビ科

体長の測定は方法が未確立のため実施しなかった。時期による個体の出現率は'73年2月が最低で、その後次第に増加し8月には最高に達した後、減少の傾向を示している。

全調査を通してほぼ鹿島港をはさんで、南北に分かれながら距岸2～10 Kmの範囲に分布し、全般に北側に高密度域が現われている(図・19)。

本科と底質環境との関係は、10個体以上の高密度域が6月の荒野～明石沖3～5 Km, 8月の柳川新田沖3 Km, 10月の明石～平井沖7.5 Kmなどにおいて、「弱影響」段階以上の水域と重なるが、「正常」段階からの出現も多くみられるので、環境の指標性についての詳細な検討は今後の調査に待つ以外にない。

しかし鹿島港前面の近傍海域で、本科の分布が全く空白になっている部分については汚染進行段階との関係も定かではなく、今後の推移を注意して見守り続ける必要がある。

(4) ハスノハカシパン

本海域のハスノハカシパンの殻長組成および分布は、つぎのとおりである。なお殻長の測定部位は茨城水試<sup>15)16)</sup>によった。

まず殻長組成は、12月がモード40  $\mu\text{m}$  付近の単峯型(範囲40～60  $\mu\text{m}$ )、'73年2月も3  $\mu\text{m}$  にわずかな群がみられるが、ほぼ12月と同一の単峯型である。4月にはモード1  $\mu\text{m}$  以下と40  $\mu\text{m}$  付近との双峯型、6月がモード1  $\mu\text{m}$  付近と40  $\mu\text{m}$  付近との双峯型、8月にはモード1  $\mu\text{m}$  付近と50  $\mu\text{m}$  付近の双峯型であり、10月にはモードが1  $\mu\text{m}$  付近、20  $\mu\text{m}$  付近、40  $\mu\text{m}$  付近の3峯型がみられる。したがってこれらを全体的にみると、4  $\mu\text{m}$  未満の小型群、10～30  $\mu\text{m}$  の中型群、および30～70  $\mu\text{m}$  の大型群とに明確に分離することができる(図・20)。

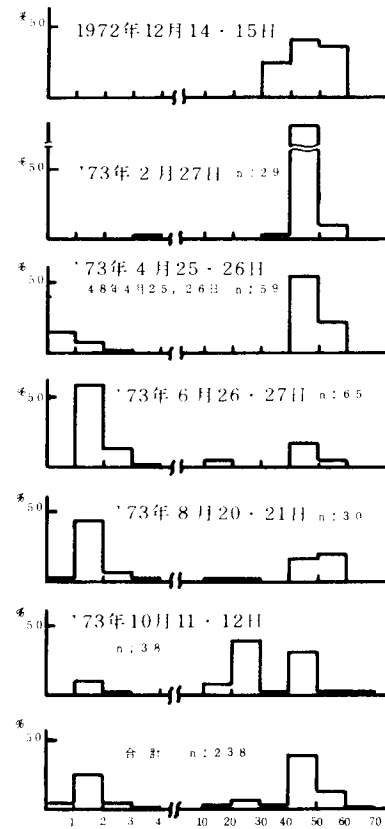


図-20 ハスノハカシパン *Scaphechinns mirabilis* A. AGASSIZ の殻長(長経)組成

まず小型群についてみると、この群は4月からまとまって現われ、その後10月まで認められる。組成のモードは4月から6月までの2ヶ月間に1  $\mu\text{m}$  程度大きい方へ移行し、その後10月まで変化がみられない。しかし4月以前の調査では、2月に小型のうちでもやや大きいものが一部現われており、また12月にも(殻長不明)現われていることはこの群の発生時期を定かにするうえで一層難しさがある。中型群は6月から10月に現われ、成長の跡が明瞭に認められるし、大型群は全調査期間出現し、組成のモードが8月に約10  $\mu\text{m}$  大きい方へ移っている以外は、全体として40  $\mu\text{m}$  付近にあって変らない。

以上から本種の産卵期は、10月下旬～12月<sup>16)</sup>とされているが、殻長2  $\mu\text{m}$  未満のものが4, 6, および8月に多く現われ、かつそれ以外の時期も少ないながら出現していて周年みられることから考えて、今後検討の必要があろう(図・20)。

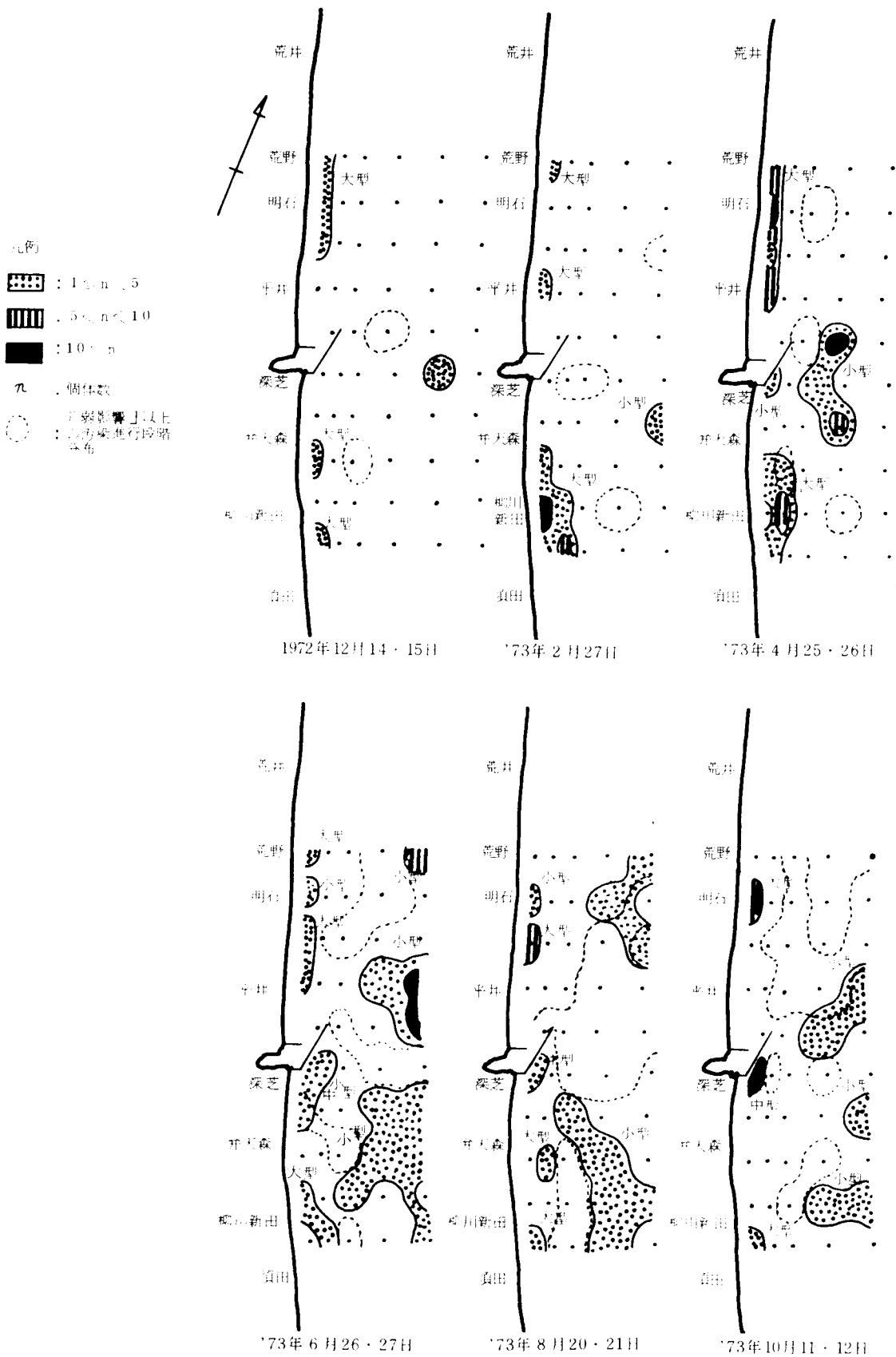


図-21 ハスノハカンパン *Scaphechinus mirabilis* A. AGASSIZ の分布

つぎに大・中・小3群の分布についてみると、小型群は中型群や大型群に比べて広く分布しており、4月には鹿島港～弁天森沖3～5Km、深芝沖1Kmなどでまとまった出現がみられ、また6月には荒野沖7.5Km、平井～鹿島港沖3～7.5Km、明石沖1Km、深芝～弁天森沖1～2Km、深芝～柳川新田沖3～7.5Kmなどで調査期間中最も広範囲に、かつ個体数も多くみられた。8月には明石沖1Km、荒野～平井沖5～7.5Km、深芝～柳川新田3～7.5Kmなど、分布域はやや縮少し、10月には平井～鹿島港沖5～7.5Km、柳川新田沖5～7.5Kmなど、さらに縮小した分布になっている。このような分布の縮小現象は12月および2月の状態からみて、10月以降引続き縮小していくものと考えられる(図・21)。

中型群の分布は6月から10月までの期間に、深芝沖1Kmでみられるが、その範囲は狭く出現個体数も少ない(図・21)。

大型群は全調査期間をとおして現われ、鹿島港周辺を除く距岸1～2Kmの範囲で、しかも陸岸にそって分布し、密度はかならずしも一定しないが、安定して出現することにこの大型群の特徴があるといえる(図・21)。

本種と底質の汚染進行段階との関係は、4月に大型群が一部「弱影響」段階の水域から、6月には小型群が一部「弱影響」段階域から出現しているが、本種は発育段階のいかんにかかわらず「正常」域を指向しているものと考えられ、環境汚染指標種のみならず前記3種とは異って、底質環境の「正常」段階を指標しうるものと考えられる。

## 論 議

### 1 底 質

底質に関する研究は古くから行なわれ、わが国では宮地ら<sup>17)</sup>の報告がある。また近年、各地で環境汚染が急速にすすむにしたがい多数の研究報告がみられる。本県でも鹿島港周辺の底質について、茨城県第二港湾建設局<sup>9) 10) 11) 20)</sup>などの報告がある。

海洋における底質環境の悪化は、人間の諸活動に

ともなう排水が海洋中で拡散する道程で、懸濁物質として物理的に沈降する場合と化学的な反応を起して負荷要因物質として沈降する場合の推積的な汚染であるのに対し、水質に現われる汚染指標は海況・気象条件などに影響されて間断なく変動しやすい不安定さがある。したがって底質から得られる指標は、汚染負荷物質の沈降的諸属性の実態に関する情報を提供し、負荷量の増大にともなって蓄積的傾向を示す特徴があるため、環境を調べるうえで有利である。

一般的に底質とは、鉍物組成・粒子組成・生物骸(貝殻などの石灰質・デトライタズ<sup>21)</sup>)・理化学的総合指標(強熱減量・COD・硫化物・酸化還元電位差)・重金属類・シアン・フェノール・農薬類・PCB・鉍油・界面活性剤・放射性核種などの複合要素の総称であろう。そして海域における底質環境の特性を表現するために、現在の豊富な諸要素に関する知識が、相関法や比較法の手法のなかで駆使されている。例えば、強熱減量とCOD値との値の相関、CODと硫化物との値の相関から底質を論じているように見受けられるが、その地域で「何が正常」で、「何が汚染」なのか、「汚染の進行はどの程度」か、また「汚染の原因は何」かななどの問題に対して、底質に内在する基本的な性質を見極めたうえで、諸現象の知見を統一的に認識して実体論的段階<sup>22)</sup>までひきあげて論議をすすめている研究は意外と少ない。

すでに水産海洋研究では、水塊・水系・海流など、海流の発展段階を体系的に整理する努力<sup>23)</sup>がなされ、水産生物研究でも発育段階・生活年周期<sup>24)</sup>など、対象の性質を見極め、かつ発展を予想しその運動を論じる努力がなされており、これらの手法は底質の研究においても例外ではなかろうと思われる。

筆者らは底質環境の汚染の実体にもとづいて、底質環境を一般的性状、特殊的性状に分け、一般的性状枠内で「正常」・「弱影響」・「強影響」の三段階に、特殊的性状内で「汚染」の一段階に区分し、自然界で進行する汚染現象が「正常」⇔「弱影響」⇔「強影響」⇔「汚染」などの四段階内で相互に移行する運動形態をとるものと考え、各段階内の諸現

付表 1 底質の汚染進行段階表

(鹿島港周辺の底質の表体)

段階	項目	自然環境										人為的				堆積物		底質	
		時期・分布・水深	動物・粒子組成	生物死骸	強熱減量	COD	全硫化物	標化還元電位差	銅	鉛	金	鉍	水銀	銅	鉛	金	鉍	水銀	
比較	正	<ul style="list-style-type: none"> <li>12月の出現頻度 97%</li> <li>2月 " 91</li> <li>4月 " 89</li> <li>6月 " 80</li> <li>8月 " 69</li> <li>10月 " 73</li> <li>水深 7~36m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>引礫~泥</li> <li>小礫・荒砂は沖側に</li> <li>砂は岸側に分布</li> <li>中砂の出現多い</li> <li>メッシュ、115通過率 1.5~9.28%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>貝殻</li> <li>1~大 貝</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.6~4.6%で出現</li> <li>1.8%付近の出現が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.2~6.6<sup>mg</sup>/g</li> <li>0.07~0.008<sup>mg</sup>/g</li> <li>0.003<sup>mg</sup>/g 付近の出現が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+10~+280mv</li> <li>+70~+130mv</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5.0~8.90 <math>\mu\text{g/g}</math> で出現</li> <li>1.1 <math>\mu\text{g/g}</math> 付近の出現が多い</li> <li>全銅内で出現</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ND~0.081 <math>\mu\text{g/g}</math> で出現</li> <li>出現率 13%</li> <li>測点A 4はほかはなれて分布</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.007~0.008<sup>mg</sup>/g</li> <li>0.003<sup>mg</sup>/g 付近の出現が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.2~6.6<sup>mg</sup>/g</li> <li>0.007~0.008<sup>mg</sup>/g</li> <li>0.003<sup>mg</sup>/g 付近の出現が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.007~0.008<sup>mg</sup>/g</li> <li>0.003<sup>mg</sup>/g 付近の出現が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.2~6.6<sup>mg</sup>/g</li> <li>0.007~0.008<sup>mg</sup>/g</li> <li>0.003<sup>mg</sup>/g 付近の出現が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.007~0.008<sup>mg</sup>/g</li> <li>0.003<sup>mg</sup>/g 付近の出現が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.007~0.008<sup>mg</sup>/g</li> <li>0.003<sup>mg</sup>/g 付近の出現が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.007~0.008<sup>mg</sup>/g</li> <li>0.003<sup>mg</sup>/g 付近の出現が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.007~0.008<sup>mg</sup>/g</li> <li>0.003<sup>mg</sup>/g 付近の出現が多い</li> </ul>		
	常	<ul style="list-style-type: none"> <li>12月 出現頻度 0%</li> <li>2月 " 2</li> <li>4月 " 4</li> <li>6月 " 10</li> <li>8月 " 21</li> <li>10月 " 16</li> <li>水深 16~32m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>荒砂~泥</li> <li>中砂の出現多い</li> <li>メッシュ、115通過率 11.2~84.7%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>貝殻</li> <li>中</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.9~2.5%で出現</li> <li>2.1%付近の出現が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.8<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.004<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0~90mv</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.68 <math>\mu\text{g/g}</math></li> <li>全測点で出現</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ND~0.045 <math>\mu\text{g/g}</math></li> <li>出現率 25%</li> <li>鹿島港前面海域の中砂~泥から出現の傾向</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.004<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.8<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.004<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.004<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.004<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.004<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.004<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.004<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	
特性	強	<ul style="list-style-type: none"> <li>12月 出現頻度 0%</li> <li>2月 " 4</li> <li>4月 " 4</li> <li>6月 " 6</li> <li>8月 " 8</li> <li>10月 " 6</li> <li>水深 21~35m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中砂~泥</li> <li>中砂の出現多い</li> <li>メッシュ、115の通過率 22.4~82.9%</li> <li>鹿島港前面海域にまるとまると出現する傾向</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>貝殻</li> <li>中</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.8~3.4%で出現</li> <li>2.7%付近の出現が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.2~6.2<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.002~0.008<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>100~200mv</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.56~2.30 <math>\mu\text{g/g}</math></li> <li>全測点で出現</li> <li>中砂~泥でやや高く出現する傾向</li> <li>鹿島港前面海域でやや高い傾向</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>出現なし</li> <li>NDのみ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.002~0.008<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.2~6.2<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.002~0.008<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.002~0.008<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.002~0.008<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.002~0.008<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.002~0.008<sup>mg</sup>/g</li> </ul>		
	弱	<ul style="list-style-type: none"> <li>12月 出現頻度 3%</li> <li>2月 " 2</li> <li>4月 " 2</li> <li>6月 " 4</li> <li>8月 " 2</li> <li>10月 " 4</li> <li>水深 22~32m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>砂泥~泥</li> <li>メッシュ、115の通過率 60.4~92.2%</li> <li>鹿島港前面海域に出</li> <li>現頻度多いが、地形の凹地からも出現する傾向</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>貝殻</li> <li>小</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5.3~23.7%で出現</li> <li>8.9%付近の出現が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.93~51.5<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.006~0.032<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>100~280mv</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>11.5~5.40 <math>\mu\text{g/g}</math></li> <li>全測点で出現</li> <li>砂泥~泥で、鹿島港前面海域でやや高い傾向</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.032~0.036 <math>\mu\text{g/g}</math></li> <li>出現率 100%</li> <li>鹿島港前面付近の砂泥~泥から出現の傾向</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.006~0.032<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.93~51.5<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.006~0.032<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.006~0.032<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.006~0.032<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.006~0.032<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.006~0.032<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.006~0.032<sup>mg</sup>/g</li> </ul>	
特殊	汚	<p>底質の汚染進行段階は粒子組成・強熱減量・標化還元電位差などを指標にして、一般的性状を示す底質を3段階に、特殊の性状を示す底質を1段階に区分した。これら4段階の意味は底質の変化過程を統一的にとらえようとしたものである。</p> <p>動物組成は加賀美ら<sup>25)</sup>によると、紫蘇磯石 40~50%、角石 30~40%、磯石 14~23%で、海苔の堆積物はほぼ鹿島港の供給によるところが大きく、さらに一部、利根川の供給を受けているものもみられる。</p>																	
	染	<p>重金屑の銅・鉛・水銀の試料採取は、もと体系的にすすべきであった。銅については自然のものかどうか不明であるが、今後この表体表をおして明らかにされるであろう。鉛・水銀については微量ながら人為的な結果と考えられる。</p> <p>以上、本表は前述したように、底質の悪化現象を運動の過程として統一的にとらえようとした仮説であり、継続的に検証の確証が行なわれ、訂正されるものと考えられる。</p>																	

象をとおして変化していく過程を付表・1に示したような底質の汚染進行段階として、統一的に明らかにしようとしたものである。

以上の考え方にもとずき鹿島港周辺の底質環境をみると、すでに「汚染」段階と認められる地点が延測点数 295 点中 9 点、調査全期間を通じて毎回 2～3 点現われ、また汚染各段階の移行現象が季節的に起るなかで、分布域の伸縮現象や汚染負荷物質の移動を示唆する結果も得られている。

「汚染」段階と認められた底質は外観的に墨色粘土状（強熱減量 27%）や浮泥粘土状（強熱減量 9% 付近）であるが、前者の場合は「弱影響」→「強影響」の過程を経由せずに、出現したのと考えられ、海上投棄の疑いがある。また後者については、本現象が過去の調査結果<sup>18)19)</sup>では全くみられていなかったこと、しかも汚染進行段階のなかで「強影響」「汚染」の分布が鹿島港に近接することなどを考慮すると、鹿島港建設ならびに臨海工業地帯関連工場立地に伴うものであるとの疑いを否定できない。

前述のように、鹿島灘砂浜海域における「汚染」段階の底質は、碎波帯付近のごく沿岸よりも主に沖合 3～5 Km に現われる確率が高いから、砂浜海域への排水放出や外港建設などのための事前、事後調査設計はこの点を十分留意する必要がある。

「汚染」段階の地点から検出された重金属は、銅が  $11.5 \sim 54.0 \mu\text{g/g}$ 、総水銀が  $0.03 \mu\text{g/g}$  であったが、前者は日立沖<sup>26)</sup>の検出値より、後者は北茨城沖<sup>27)</sup>のそれよりもともに低い値で、本県海域としては特に高い値ではない。しかし鹿島港周辺では、「汚染」段階の地点だけでなく、ほとんど各段階から検出されており、それが自然の現象か人為的現象かは今後の調査との比較検討の中で明らかにしていく必要がある。とくに総水銀については、現在の各段階における検出値が将来における比較対照の原点になりうるものとして重要な意義をもつものとする。

## 2 底生動物

底生動物研究は、従来水産生物の餌料をになうも

のとして発展してきたが、わが国では宮地ら<sup>12)13)</sup>は環境指標に底生動物が利用できることを提唱し、近年では都市・工場排水による汚染が急速に進行したために、その環境判定の指標として利用されるようになった。北森<sup>7)</sup>は瀬戸内海やその他内湾における海域汚染の指標性として底生動物の編組成、特定生物の優占的な出現の仕方が利用できることを明らかにし、すでに多毛類ではヨツバネスピオ・他、貝類ではエドガワミズホマツボ *Stenothyra edogawae-nsis* (YOKOYAMA) 他、甲殻類ではコノハエビ *Nebalia bipes FABRICIUS* などを報告している。

生物と環境との関係は生物が環境と基本的に関係しながら、しかも種発展の歴史のなかで種独自の生活様式をかたちづくってきたものである<sup>24)</sup>。この観点から汚染指標種に関する研究の現状をみると、生物を生きたもの、生活しているものとしてとらえようとしているよりも、環境との関連で静的にとらえており、生物の生活までたちいった研究は意外に少ない。すなわち、生物が発育する各段階で環境とどのように対応しているかを把握するのであれば、これまでの汚染指標種に関する知見は一面的な域を出ないであろう。

本研究ではその第 1 段階として、本海域に優占的に出現する多毛類のヨツバネスピオ、貝類のチヨノハナガイ、棘皮動物のハスノハカシパン、および甲殻類のスガメソコエビ科を選び、それぞれの種の生活側面から底質環境の汚染進行段階における指標性の吟味を行なった。

まずヨツバネスピオは、分布密度の増大時期と減少時期の一時期に、汚染進行段階の「弱影響」段階以上、または「強影響」段階以上を指標し、各優占種のなかで最も汚染段階のすすんだ環境の指標種であることを示している。つぎにチヨノハナガイは、未成貝の一時期に「汚染」段階を、また発育がすすむにつれて「正常」、「弱影響」をそれぞれ指標している。ハスノハカシパンは、発育のいかんにかかわらず、しかも各指標種のなかで最も正常な環境を



指標している。一方スガメソコエビ科は、全般的に「正常」から「汚染」の各段階のいずれからも出現しており、指標性に乏しい。しかし本科は、鹿島港前面付近海域に限って分布が空白状態を示しているため、都市・工場排水の有機的汚染がすすむと底生動物相の変化がまず甲殻類に現われる<sup>28)</sup>ことからみて、それが何によるかは今後の注目すべき課題である。

「正常」段階を指向するとみられるハスノハカシパンの大型群が、鹿島港周辺で出現がみられない。本種は鹿島灘の浅部で一般的にみられる<sup>15) 16)</sup>ものであり、港湾に近接した周辺部に出現しないのは港湾建設途上の諸工事、ないし海岸構築物などによる影響でないかとの疑問がある。この現象に付随して、本種の分布帯の浅い方の部分に生活領域をもつチョウセンハマグリについても、福田<sup>29)</sup>が指摘しているような漁場荒廃現象が起っているものと考えられる。

## 要 約

わが国でも最大級の臨海工業地帯の立地が進行している鹿島港周辺海域について、漁場環境保全の立場から、開放型沿岸海洋における環境汚染の有無とその実態を明らかにするため、この海域に60の定点を設定し、1972年12月から1973年10月まで延6回の底質ならびに底生動物の採集調査を行ない、つぎの結果を得た。また漁場環境保全調査の在り方に触れ、若干の論議を行なった。

1. まず粒子組成の現場的な測定方法を吟味し、流水法によるのが至便でかつ精度の上でも信頼できることを明らかにし、本法による粒子組成の値と、強熱減量および酸化還元電位差、COD、全硫化物などの値によって、本海域の海底環境の質的区分を行なった。
2. その結果、本海域の底質は冬季「正常」段階にあるものが圧倒的に多いが、春から夏にかけて汚染負荷によると思われる「弱影響」ないし「強影響」段階に移行するところが増大し、秋季には再びこれらが減少する傾向を認めた。また「汚染

段階」に到達していると判定できる地点が季節にかかわらず、毎回2～3地点認められた。

以上の経時的な汚染現象の変化をとおして、「正常」⇔「弱影響」⇔「強影響」⇔「汚染」の運動が行なわれていると考えられたが、「汚染」段階の一部地点には「正常」→「汚染」と途中の2段階を経由しないで発現したと推定されるものを認めた。

3. 「汚染」段階の底質が本海域の距岸3～5 Km沖に帯状に分布していること、および「弱影響」以上の各段階の底質が鹿島港の北側海域に多く出現する傾向があることを認めた。

4. 銅、総水銀による底質汚染の有無については、とくに明確な判断を下せる資料は得られなかった。しかし総水銀が、鹿島港と深芝の前面にごく微量(0.032～0.041  $\mu\text{g/g}$ )ながら検出され、人為的汚染を検討する原点になると考えた。

5. 底質の汚染進行段階別の区分にもとづき、それぞれの段階別に底生動物の指標性を検討した結果、1) 多毛類ではヨツバネスピオが春から夏にかけての「汚染段階」ないし「強影響」段階の指標種として適切であることを確かめた。2) 二枚貝ではチョノハナガイが、未成貝の一部で「汚染」段階からの出現もあるが、未成貝・成貝のほとんどが「弱影響」段階ないし、それに近い「正常」域との境界域の指標種となるものとみられた。

3) スガメソコエビ科についてはかならずしも各「段階」との指標性を明確にできなかったが、鹿島港の前面域で分布の全く認められない部分があり、今後の注目すべき特徴であるとした。4) ハスノハカシパンはヨツバネスピオと対照的に「正常」段階の底質を指標するのに適切であることを認めた。

## 文 献

- 1) 岩上二郎：地域開発に想う，(1974)。
- 2) 茨城県：昭和48年度環境白書，(1973)。
- 3) 松江吉行編：水質汚濁調査指針，(1961)。

- 4) 環境庁：土壤及び農作物中の水銀等の分析法，（1973）。
- 5) 茨城水試：昭和47年度事報，（1974）。
- 6) " : 48 " ( " ) 。
- 7) 北森良之介：瀬戸内海とその近接水域の沿岸における底生動物群集の漁場学的研究，内水研研報，№21，（1963）。
- 8) 下里武治・原口明郎・池田文雄：東京湾口・相模湾沿岸の底質調査報告，神奈川水試資料，№219，（1974）。
- 9) 第二港湾建設局・港湾技術研究所・茨城県：鹿島工業港の自然条件について，（第二報）鹿島工業港計画資料調査編，№2，（1962）。
- 10) " : " (第三報)，" №3，（1963）。
- 11) " : " (第四報)，" №4，（1964）。
- 12) 宮地伝三郎・増井哲夫・波部忠重：内湾度と内湾の生物群衆型に就て，生理生態研究業績，3，（1944）。
- 13) 宮地伝三郎・増井哲夫：七尾湾の底棲群衆の研究，日海誌，2（1），（1942）。
- 14) 山本護太郎・北森良之介・西平守孝・宍戸勇・波部忠重：北方冷水海域における生物群集の生産に関する総合的研究，J・IBM・PM，（1971）。
- 15) 茨城水試：昭和44年度指定調査研究総合助成事業報告書 漁場改良造成研究，（1970）。
- 16) " : 昭和55年度 " ，（1971）。
- 17) 宮地伝三郎：大阪湾の底棲群衆の定量的研究 第1報，海と空，Vol. 18，5，（1938）。
- 18) 茨城県：昭和44年度全国漁場環境保全基礎調査（鹿島北部），（1970）。
- 19) " : 昭和45年度 " （鹿島南部），（1971）。
- 20) 第二港湾建設局・港湾技術研究所・茨城県：鹿島工業港の自然条件について，（1966）。
- 21) 西沢敏，海中懸濁物 デトライタスから共棲小宇宙まで（綜説）：日本プランクトン研究連絡会報，№13，（1966）。
- 22) 武谷三男編：自然科学概論，第Ⅱ巻，（1960）。
- 23) 藤井浄：環境研究のための水産海洋研究，漁業資源研究会議報，№13，（1972）。
- 24) 佐藤栄：日本の海洋，漁業生物研究の歴史的過程とその発展に関する研究 第2報，東北水研研報，№31，（1971）。
- 25) 加賀美英雄・奈須紀幸・斉藤登志雄：鹿島海岸の海浜砂の鉱物組成，鹿島港湾調査報告，鹿島郡神栖村付近海岸地質調査報告 第1報，31-35（1962）。
- 26) 茨城県：昭和46年度全国漁場環境保全基礎調査（日立地区），（1972）。
- 27) 茨城水試：北部海域漁場環境保全調査報告，プリント，（1974）。
- 28) 北森良之介：海洋生態学，9，山本護太郎編，東大出版会，東京，1973，175-185。
- 29) 福田英雄：鹿島灘産チョウセンハマグリの状態について，-1.分布を規定する諸要因について，本誌№20，（1976）。