

下関市で建設中の人工島周辺海域における底生動物群集の変化について

Faunal Change of Macro-Benthos around the Artificial Island under Construction in Shimonoseki

品 川 汐 夫

下関短期大学紀要 第23号 別刷

(平成17年3月発行)

下関市で建設中の人工島周辺海域における底生動物群集の変化について

Faunal Change of Macro-Benthos around the Artificial Island under Construction in Shimonoseki

品川 汐夫

1. 緒言

下関市では、「地理的優位性と歴史的親近性」を活かした東アジアにおける総合的な物流と情報の交流拠点建設を目的として、1996（平成8）年5月から日本海側沖合に人工島の建設が始まった。2008（平成18）年には第1期工事の物流拠点（面積約62ha、外周約3km）が完成して一部の供用が開始され、その後交流拠点などの建設がはじまり、最終的には147haが埋め立てられる計画である¹⁾。地理的にみると「韓半島との近接性、国内陸上交通アクセスの利便性」など、他の港湾にない特性を備えており、神戸のポートアイランド（約600ha）等に比べると小規模ながら、「国際物流機能に特化」した港湾として地域経済の活性化に計り知れない効果をもたらすであろうと期待されている¹⁾。しかしその一方で、この海域は過去の調査から定着性および来遊性魚種幼未成魚の生育場として重要な役割を果たしていることが指摘されており²⁾、人工島の建設がそうした沿岸生態系にどのような影響を及ぼすか危惧されるところである。下関市の環境基本条例³⁾が附則の中で述べているように、「恵み豊かな環境は、自然を構成する様々な要素が、地球という大きな枠の中で密接に関わりあい、微妙な均衡のもとに保たれてきた。しかし、現代の社会経済活動は、資源やエネルギーを大量に消費して、環境への負荷を増大させ、その結果、地域的な環境問題を引き起こすだけでなく、地球全体の生物の生存基盤を脅かすようになってきている」。経済効果のみを求める沿岸域の開発がしばしば取り返しのつかない生態系の変化をもたらし、沿岸域の大きな「価値」を失わせてきたことは今日では広く知られている⁴⁾。したがって、事業の進行にあたっては、「沿岸環境の中核をなす環境要素」⁵⁾である生物群集の変化を、できるだけ速やかに検出し、その原因を究明して影響を軽減する努力を忘れてはならない。

下関市港湾局と国土交通省九州地方整備局は環境影響評価調査として、1995年7月から毎年、底生動物と底質、その他の調査を継続しており、膨大な資料が蓄積されている⁶⁾。しかし生物調査のデータは定量的な表現や評価が難しく、データから得られる情報が事業の環境への影響評価に十分活かされているとはいいい切れない。そこで以下では、座標づけとファジイクラスター解析の手法^{7, 8, 9)}を用いて、底生動物群集と底質の関連を解析し、埋立による環境の変化に

ついて考察した。

2. 材料と方法

2・1 調査海域の概要

調査海域は山口県下関市の日本海側に面した水深10~20mの緩やかな傾斜地にあるが、図1に示すように起伏に富んだ地形をしており、水深5m以浅の沿岸域には岩礁が分布する。この海域の西方には六連島があり、外航船舶が検疫のために錨泊するほか、バース待ち、潮待ちなどで多くの大小船舶が錨泊する。六連島の南側は関門水道西口に接し、瀬戸内海水が潮流として流入するとともに、西方からは対馬暖流の反流が恒流として差し込んでこの海域で混合する^{10, 11)}。その結果、この海域のプランクトン群集は瀬戸内海で普通に見られる沿岸性種と、暖水外洋種が共存し、また底生動物群集においても、シズクガイなどの内湾度の指標種とともにナメクジウオやイイジママカシゴカイ科などの外海性種が出現するなど、複雑な様相を呈している。こうした複雑な環境条件がこの海域における定置網その他の漁業生産を支えていることが指摘されている²⁾。図1に示すように調査地点M-1, M-4, M-5は施工区域の境界線上にあり、調査地点A-9は施工区域外の下関漁港と関門海峡に通じる水道の前面に位置し、泥分が堆積している¹⁰⁾。

2・2 調査方法の概要と調査地点

解析に用いたデータは、(株)九州環境管理協会によって1995年7月から2003年1月までの8年間にわたって行われた調査に基づくものである。この調査では、底質については、図1に示すM-1, M-4, M-5の3地点において、7月と1月の年2回、スミス・マッキンタイヤ型採泥器(1/20m²)を用いて1地点当たり3回採泥して1つのサンプルとし、泥中のCOD、硫化物、強熱減量、全窒素、全りん、クロロフィル、粒度組成および溶出の全窒素、全りんなどが測定された⁶⁾。また、底生動物については、地点M-1, M-4, M-5のほかA-9の4地点において、5月、7月、10月および翌年の1月の年4回、底質と同じ方法で1地点当たり3回採泥して、1mmの袋型ネットで篩ったのち、残った生物を10%のホルマリン海水で固定し、実験室において種の同定と個体数の計数が行われた。なお調査方法の詳細については報告書⁶⁾に記されている。

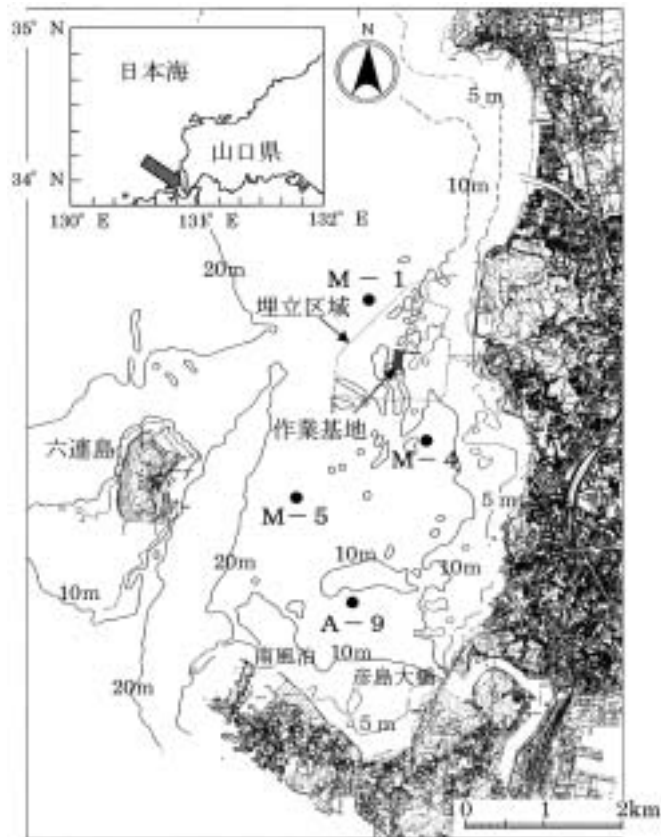


図1 人工島周辺の海底地形を示す等深線と調査地点
調査地点：M-1，M-4，M-5，A-9
(国土交通省九州地方整備局・下関市 (2004)⁶⁾ から一部変更して転載)

2・3 解析方法

2・3・1 群集組成と底質環境の解析法

夏期（7月）と冬期（1月）それぞれのデータについて、地点別、種別の1m² 当りに換算された個体数データを用いて、8年間の年度別各地点と出現種を品川の方法⁷⁾ により座標空間に布置し、ファジイc-means法¹²⁾ によるクラスター解析を行って地点群と種群を識別した。その結果得られた各種群への各種の所属率を用いて種群の個体数を集計し、その各地点群への分布と、種群を構成する種の組成から、地点群の特徴を明らかにした。また、各底質の測定項目についても地点群への分布特性を見出し、これらを総合して調査海域の環境要因を推察した。

2・3・2 経年変化の解析法

調査域内の群集構造の経年変化は、前述の方法で得られた地点群の分布と種群ごとの個体数の経年変化によって判断される。

経年変化が存在する場合、その変化の大きさを地点別に比較することは、変化の要因を推察する上で重要である。座標付けの原理⁷⁾から、総個体数量と種組成の類似した2地点は座標付け空間内の距離が小さく、相違する2地点間は大きく座標付けされる。したがって、各地点の群集組成変化の大きさは座標付け空間内における距離によって表現されると考え、この距離を用いて、地点別に変化前後の年グループ間の変化の大きさを次のようにして比較した。

まず座標付け空間内において比較する変化前と変化後の年グループを考え、変化前と変化後の各グループにおける第 k 番目の年の位置ベクトルをそれぞれ x_{1k} および x_{2k} とする。また、各年グループにおけるそれらの平均位置を \bar{x}_1 , \bar{x}_2 と表す。さらに、全年の平均位置ベクトルを \bar{x} とし、各年位置ベクトルの \bar{x} からの距離の二乗和 T を考える。すなわち、

$$T = \sum_{k=1}^m |x_{1k} - \bar{x}|^2 + \sum_{k=1}^n |x_{2k} - \bar{x}|^2$$

ただし、 m , n は、それぞれ変化前と変化後の年グループ内の地点数である。

ここで、変化前のグループについては、

$$\sum_{k=1}^m |x_{1k} - \bar{x}|^2 = \sum_{k=1}^m |x_{1k} - \bar{x}_1|^2 + m |\bar{x}_1 - \bar{x}|^2$$

と分解され、変化後についても同様であるから、 T は次のように分解される。

$$T = \sum_{k=1}^m |x_{1k} - \bar{x}_1|^2 + \sum_{k=1}^n |x_{2k} - \bar{x}_2|^2 + m |\bar{x}_1 - \bar{x}|^2 + n |\bar{x}_2 - \bar{x}|^2$$

ところが、

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}| = \frac{n|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{m+n}, \quad |\bar{x}_2 - \bar{x}| = \frac{m|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{m+n} \quad \text{であるから、}$$

$$T = \sum_{k=1}^m |x_{1k} - \bar{x}_1|^2 + \sum_{k=1}^n |x_{2k} - \bar{x}_2|^2 + \frac{mn}{m+n} |\bar{x}_1 - \bar{x}_2|^2 \quad \text{となる。}$$

上式右辺の第1項と2項の和は変化前と後それぞれのグループ内での変動の総和であり、第

3項は変化前後のグループ間平均変動に地点数の調和平均の $\frac{1}{2}$ を乗じたものを表す。すなわち、

$$\text{全変動} = \text{グループ内変動} + \text{グループ間変動}$$

が成り立つ。

そこで、このグループ間変動とグループ内変動の比によって地点ごとに変動の大きさを評価し、変化の要因を推察する手がかりとした。

3. 結果

3・1 解析データ

3・1・1 夏期

1995年から2002年までの7月に行われた調査で識別された種は環形動物138種、節足動物102種、軟体動物65種、棘皮動物13種、その他の動物25種の計343種であった。この中からその他の動物を除く主要4動物門318種を用いて解析した。その内訳の1地点当たり平均は、環形動物32種、節足動物14種、軟体動物9種、棘皮動物2種、その他の動物4種、総計61種であった。

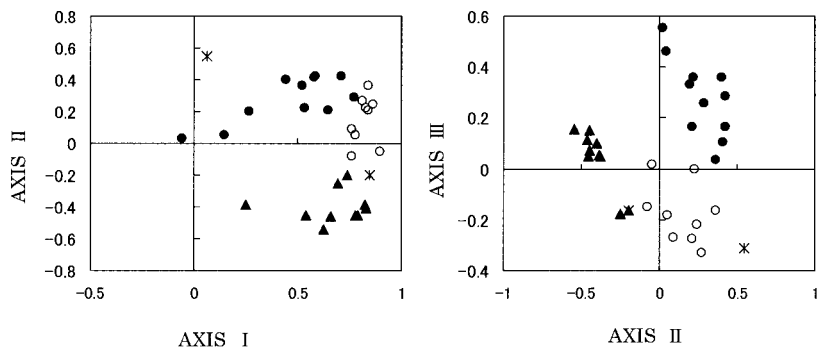
3・1・2 冬期

1996年から2003年までの1月に行われた調査で識別された種は環形動物123種、節足動物76種、軟体動物36種、棘皮動物13種、その他の動物21種の計269種であった。夏期に比べると、とくに節足動物と軟体動物で出現種類数の減少が著しい。この中からその他の動物を除く主要4動物門258種を用いて解析した。その内訳の1地点当たり平均は、環形動物24種、節足動物11種、軟体動物3種、棘皮動物1種、その他の動物3種、総計43種であった。

3・2 地点の座標付けとクラスタリング

まず夏期と冬期それぞれについて、年度別地点間関係類似度行列の固有値分解により年度別地点を座標付けし、座標付け空間内の距離を用いて、地点をA区、B区、C区の3群に区分するファジイクラスタリングを行った。図2に、夏期と冬期について第I～IIIの各2軸平面上に年度別各地点を一括して座標付けした結果を示す。図中、クラスタリングされた各区への所属率が0.5以上の地点をマークで示した。夏期の場合、第III軸成分までの固有値の累積率は62.0%で、第IV軸成分まで用いてもクラスタリング結果に大差を生じなかったため第III軸成分までを解析に用いた。しかし冬期については、固有値の累積率が低く、第IV軸成分まででようやく49.9%であった。しかし、第IV軸成分までと第V軸成分までではクラスタリング結果に大差

夏期 (7月)



冬期 (1月)

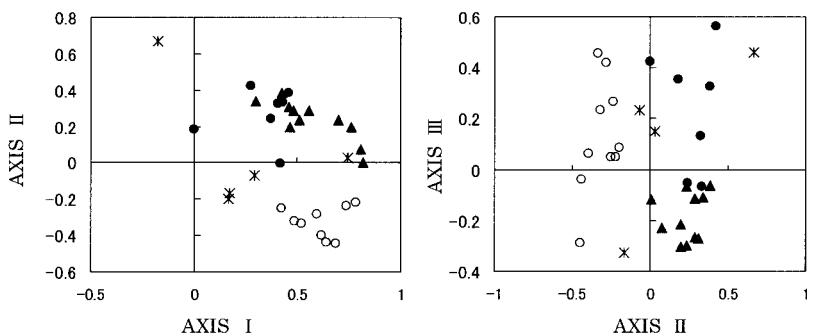


図2 夏期および冬期における年度別調査地点の座標付け結果
 図中のマークは、ファジイクラスタリングの結果、所属率が0.5以上の地点を次のように示す。ただし、所属率0.5未満の地点は*印で示した。
 ●：A区 ▲：B区 ○：C区

はみられなかったため、第IV軸成分までを解析に用いた。図から、夏期と冬期いずれもA、B、C区の3群が明瞭に識別できる。

これらの結果から、各年度別地点がA、B、C区に所属する度合い(所属率)を夏期と冬期について図3に示す。図3から、夏期の1999年までおよび冬期の2000年までは、A区はM-4やA-9など沿岸寄りの地点に、B区はM-1やM-5など沖側の地点に分布しているが、夏期の2000年と2001年にはそれまでB区の割合の大きかったM-1がA区に所属するようになり、さらに2002年にはC区へと変化した。また、2000年以降は全域的にC区の成分が拡大してB区の成分が縮小する傾向がみられる。冬期においても、2001年以降、C区の割合が拡大し、B区の割合は縮小している。このC区は、人工島建設が始まった1996年の夏期においても、地点M-1とM-4に広がっていることが注目される。

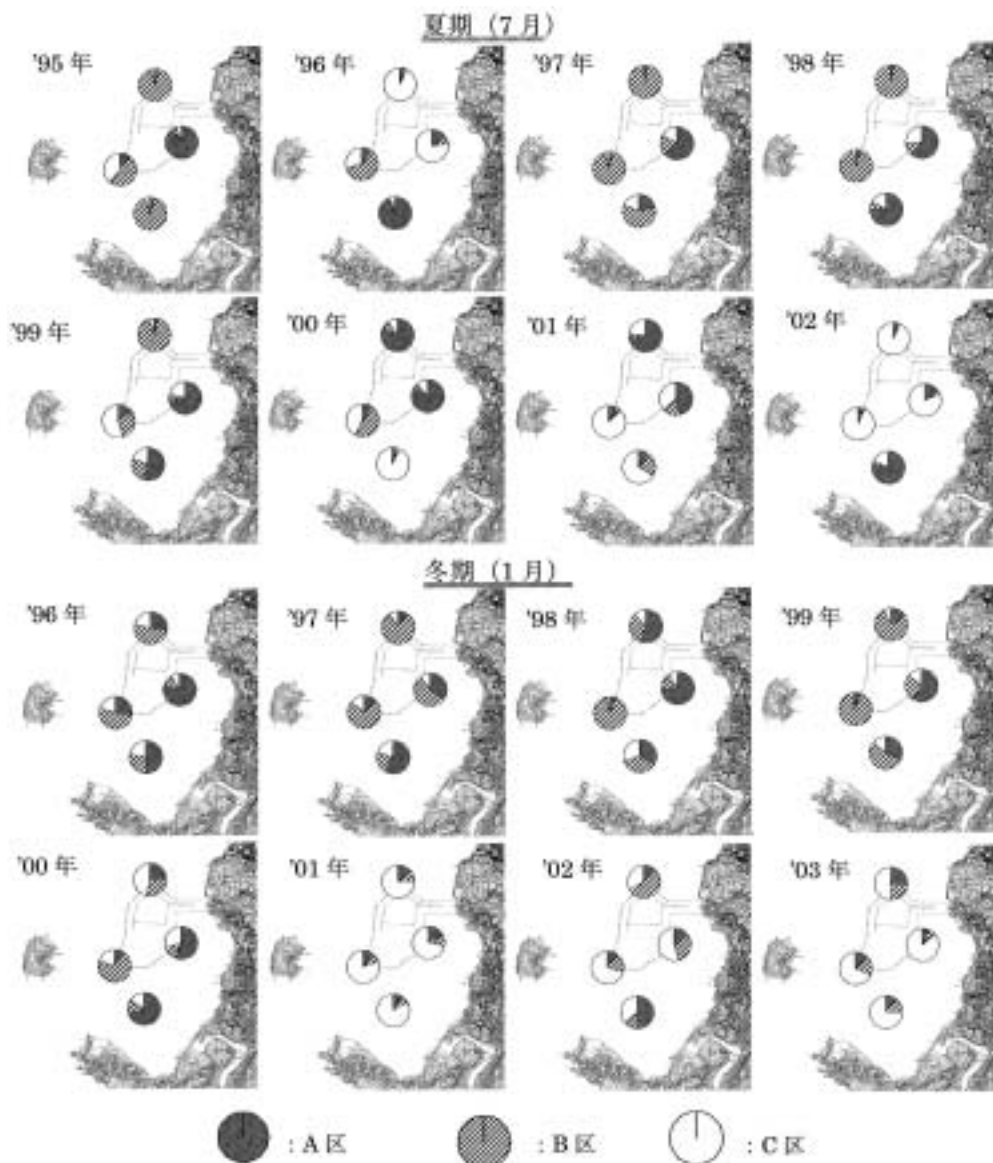


図3 夏期および冬期の地点のファジイクラスタリング結果
各地点がA区、B区、C区に所属する割合を示す。

3・3 出現種の座標付けとクラスタリング

夏期と冬期それぞれについて、調査期間の8年間を通じて単位面積当たり累計10個体以上かつ2地点以上で出現した種（夏期215種、冬期156種）を地点の場合と同様に第Ⅰ～Ⅲ軸（夏期）および第Ⅰ～Ⅳ軸（冬期）座標空間に布置してファジイクラスタリングを行い、夏期と冬期ともにSP-1～SP-4の4種群を識別した。これらの識別された種群のうち所属率が高い上位20種を夏期と冬期について表1に示した。

表1 出現種のファジイクラスタリング結果による、所属率上位20種
所属率は、各種の座標付け空間内での位置が、種群 SP-1、SP-2、SP-3、SP-4 の重心に一致する場合、1.0となる。

夏期 (7月)

SP-1	所属率	SP-2	所属率	SP-3	所属率	SP-4	所属率
<i>Poecilochaetus trilobatus</i>	0.912	<i>Aricidea jeffreysii</i>	0.922	キセウタ	0.952	<i>Processa</i> sp.	0.982
オウギゴカイ	0.895	<i>Lysilla</i> sp.	0.904	アケノサシバ	0.841	ケシトリガイ	0.938
スダレガイ	0.892	カニゴカイ	0.900	イトエラスピオ	0.785	<i>Eunice vittata</i>	0.897
<i>Schistomeringos</i> sp.	0.884	<i>Tiberia</i> sp.	0.896	メクラガニモドキ	0.756	アツシオガマガイ	0.876
ヤサンノテワレカラ	0.877	クダマキガイ科	0.888	<i>Paraonides</i> sp.	0.720	ナガコブシ	0.848
ナガタンザクゴカイ	0.858	ウズザクラ	0.841	<i>Amasena</i> sp.	0.702	<i>Aedicira</i> sp.	0.840
ケンサキスピオ	0.858	ヒメムツアシガニ	0.834	ニホンスナモグリ	0.666	ミサキスガメ	0.823
<i>Scolelepis</i> sp.	0.857	イカリナマコ科	0.826	<i>Anaitides</i> spp.	0.658	<i>Prionospio</i> sp.	0.810
エラナシスピオ	0.854	<i>Notomastus</i> sp.	0.823	<i>Glycera</i> sp.	0.650	エラホソツツムシ	0.760
<i>Onuphis</i> sp.	0.849	<i>Scolelepis geniculata</i>	0.818	<i>Nicolea</i> sp.	0.646	サンバツヨコエビ属	0.755
タイガードクダムシ	0.824	マルバガニ	0.814	<i>Amphisiphonostra</i> sp.	0.624	<i>Photis</i> sp.	0.745
<i>Amphiura aestuarii</i>	0.818	<i>Nephtys</i> sp.	0.809	コブシロガネゴカイ	0.617	<i>Thyone</i> sp.	0.745
<i>Papyriscala</i> sp.	0.810	<i>Capitella</i> sp.	0.804	<i>Amphicteis</i> sp.	0.604	フトヒゲソコエビ科	0.731
<i>Odotostomia</i> sp.	0.808	アシナガゴカイ	0.802	ミナシロガネゴカイ	0.588	<i>Glycera alba</i>	0.719
<i>Chone</i> sp.	0.804	<i>Terebellides horikosii</i>	0.801	<i>Poecilochaetus</i> sp.	0.560	メガネクモヒトデ	0.714
<i>Gynodiastylis</i> sp.	0.795	ボムタソコエビ	0.800	<i>Aricidea</i> sp.	0.546	<i>Megaluropus</i> sp.	0.702
<i>Eunice</i> sp.	0.788	<i>Cossura</i> sp.	0.787	Terebellinae	0.542	イトアシワレカラ	0.690
オキナガイ	0.780	ミンコチョウシヤクシ	0.770	<i>Euchone</i> sp.	0.538	<i>Ehlersia</i> sp.	0.690
<i>Sigambra</i> sp.	0.776	Polycirrinae	0.764	クシノハクモヒトデ	0.530	<i>Urothoe</i> sp.	0.690
<i>Typosyllis</i> sp.	0.767	ワレカラ科	0.760	ヒメカノアサリ	0.528	<i>Dimorphostylis</i> sp.	0.689

冬期 (1月)

SP-1	所属率	SP-2	所属率	SP-3	所属率	SP-4	所属率
<i>Podocerus</i> sp.	0.889	<i>Glycera alba</i>	0.885	<i>Photis</i> sp.	0.815	<i>Amphisiphonostra</i> sp.	0.919
<i>Sosane</i> sp.	0.824	エラナシスピオ	0.832	コノハシロガネゴカイ	0.761	マルスダレガイ科	0.805
ヨツバナスピオ(A型)	0.824	ナギサクマ属	0.777	オニテツボウエビ	0.757	<i>Polycirrus</i> sp.	0.786
<i>Scolelepis</i> sp.	0.747	ソコシラエビ	0.743	ダルマゴカイ	0.737	<i>Polydontes</i> sp.	0.761
トゲツノヤドカリ	0.714	<i>Gyptis</i> sp.	0.734	<i>Neanthes</i> sp.	0.636	ウミボタル	0.758
<i>Ophelia</i> sp.	0.602	ウズザクラ	0.710	ヨツバナスピオ(B型)	0.634	フタエラスピオ	0.747
<i>Goniadides</i> sp.	0.597	モモトスナホリムシ属	0.699	<i>Paraonis gracilis japonica</i>	0.611	<i>Protella</i> sp.	0.745
メガネクモヒトデ	0.578	<i>Poecilochaetus</i> sp.	0.687	<i>Aricidea</i> spp.	0.582	<i>Amphiura</i> sp.	0.744
<i>Perioculodes</i> sp.	0.574	モロテゴカイ	0.680	<i>Sthenelais</i> sp.	0.582	<i>Chaetozone</i> sp.	0.650
コマザクラ	0.569	クビナガスガメ	0.680	ツノメエビ	0.570	マナシピンノ	0.632
<i>Typosyllis</i> sp.	0.568	<i>Loimia</i> sp.	0.679	<i>Glycera</i> sp.	0.569	ニホンスナモグリ	0.624
Polycirrinae	0.557	イトカケギリ属	0.652	イトゴカイ科	0.547	チヨノハナガイ	0.607
<i>Paraonides lyra</i>	0.557	<i>Poecilochaetus</i> sp.	0.634	<i>Magelona</i> sp.	0.517	<i>Galathowenia oculata</i>	0.606
フンバクドリ科	0.555	コブスガメ	0.628	<i>Mediomastus</i> sp.	0.507	<i>Poecilochaetus trilobatus</i>	0.596
チマキゴカイ	0.549	<i>Amphiura aestuarii</i>	0.626	ナガコブシ	0.505	ツツオオフェリア	0.579
<i>Ehlersia cornuta</i>	0.536	<i>Aglaophamus</i> sp.	0.609	ヒゲナガスガメ	0.500	<i>Terebellides kobei</i>	0.541
トミオカカリアブセウデス	0.521	<i>Poecilochaetus elongatus</i>	0.581	<i>Ninoe</i> sp.	0.497	<i>Bodotria similis</i>	0.536
<i>Polygordius</i> sp.	0.517	ヒメムツアシガニ	0.579	<i>Scoloplos</i> sp.	0.489	メクラガニモドキ	0.530
ナガタンザクゴカイ	0.515	メテガイ属	0.577	シズクガイ	0.485	<i>Aricidea jeffreysii</i>	0.516
<i>Schistomeringos</i> sp.	0.509	トウヨウシロガネゴカイ	0.556	<i>Megaluropus</i> sp.	0.460	<i>Urothoe</i> sp.	0.511

この表のまず夏期についてみると、SP-1への所属率が0.5以上の種は47種で最も多く、その中には、砂泥質性多毛類のエラナシスピオや二枚貝類のスダレガイ、オキナガイのほか、タマエガイ、マダラチゴトリなどの二枚貝類、クダオソコエビ、ナギサクマ属などの甲殻類が多種含まれていた。したがって、夏期のSP-1は流動的な砂質を含む環境を示す構成といえる。SP-2への所属率0.5以上の種は36種あり、表中のイカリナマコ科や*Notomastus* sp., アシナガゴカイなどのほか、ヨツバナスピオ (B型)、エーレルシスピオ (*Prionospio ehlersi*)、シズクガイなど、泥質底に出現する種の所属率が高かった。SP-3への所属率0.5以上の種は25種と最も少なく、その構成種には共通した生息環境を見出し難い。SP-4への所属率0.5以上の種は35種で、表に示すように甲殻類が多いという点でSP-1に類似するが、多毛類がSP-1の半数以下と少ない。また、これらのほかに*Galathowenia oculata* (マナコチマキゴカイ¹³⁾と同種) やチマキゴカイ、

アシビキツバサゴカイなど、丈夫な膜質棲管を作る表層堆積物食性多毛類の所属率の高いことが特徴的であった。

つぎに冬期についてみると、SP-1に所属率0.5以上の種は20種で、この種構成は、1997年と1999年にM-4だけで1個体ずつ採集された有機汚染指標種のヨツバネスピオ（A型）は例外として、砂質底で出現するコマザクラやブンブクヤドリ科などの二枚貝類、トミオカカリアブセウデスやトゲツノヤドカリなどの甲殻類、さらにメガネクモヒトデなどの棘皮類が含まれており、多毛類でも、イイジマムカシゴカイ科の*Polygordius* sp.が含まれていることなどから、夏期のSP-1と同様に流動的な砂混じりの底質を示唆する構成といえる。冬期のSP-2に所属率0.5以上の種は26種で、クマ類や端脚類、等脚類、十脚類などの甲殻類が多く、かつエラナシスピオなど砂泥質性の種が含まれるが、マテガイ属や、表には示されていないがドロヨコエビなどの泥質性種も含まれており、さらに、モロテゴカイ (*Magelona japonica*)、*Aglaophamus* sp.、*Glycera alba*、トウヨウシロガネゴカイなど、比較的大型の埋在型多毛類も含まれている。これらのことから、冬期のSP-2は夏期のSP-2とは異なる多様な種の構成を呈し、適度な流れの存在する砂泥質環境を示唆する。冬期のSP-3に所属率0.5以上の種は16種と少ないが、その種の構成は多毛類が多く、かつダルマガカイ、ヨツバネスピオ（B型）、イトゴカイ科のほか、シズクガイの所属率も0.49と比較的高いことから、最も泥質性の種の構成を示し、夏期のSP-2に相当する種構成といえる。冬期のSP-4に所属率0.5以上の種は20種で、SP-2と同様に甲殻類を多く含むが、貝虫類の*Ampisiphonostira* sp.とウミボタル、多毛類の*Galathowenia oculata*とツツオフェリアなど、表層堆積物食性の小型種が含まれていることなど、夏期のSP-4と同様の特徴がみられる。しかし、泥質性二枚貝のチヨノハナガイが含まれていることは夏期と異なり注目される。そのほか、夏期の泥質性種群SP-2に含まれていたモロテゴカイが冬期は多様な構成であるSP-2に含まれていること、および夏期のSP-2に含まれていた*Notomastus* sp.が冬期はどの種群にも含まれていない（所属率0.4未満）ことなどが夏期とは異なり、これらの生息可能範囲が広がったことを示唆する。

3・4 優占20種の組成による年度群の特性

優占種の各区における特徴を把握するために、各種の単位面積当たり出現個体数を、出現地点の各区への所属率の二乗を重みとして区別に平均し、その上位20種を夏期と冬期について表2に示した。

夏期の場合、泥質性で富栄養を指標する二枚貝類のシズクガイが全区で上位を占め、この海域全体に泥分が堆積していることを示す。とくにこの種はB区で多く、上に述べたB区が停滞的な泥質底であるという指摘と一致する。一方、A区では砂泥質性のエラナシスピオが最上位を占め、端脚類などの甲殻類が多数出現すると同時に泥質性のシズクガイやチヨノハナガイも

表2 地点群A区, B区, C区の区別に平均した上位20種の単位面積当たり個体数 (/m²)
各種が出現した地点の, 地点群A区, B区, C区への所属率の二乗を重みとして地点当たりに平均した出現個体数を示す.

夏期 (7月)

A 区			B 区			C 区		
種 名	個体数	累積数	種 名	個体数	累積数	種 名	個体数	累積数
エラナシスピオ	325	325	シズクガイ	634	634	チヨノハナガイ	201	201
トミオカリアブセウデス	268	592	<i>Mediomastus</i> sp.	117	751	シズクガイ	149	350
コウキケヤリ	132	724	マクスピオ	116	867	<i>Mediomastus</i> sp.	110	460
シズクガイ	114	838	チヨノハナガイ	85	951	<i>Euclymeninae</i>	70	531
<i>Mediomastus</i> sp.	86	924	エーレルシスピオ	66	1,018	<i>Lumbrineris latreilli</i>	54	584
マクスピオ	64	988	<i>Scoloplos</i> sp.	48	1,066	ホソナギサクマ	51	635
チヨノハナガイ	62	1,051	<i>Notomastus</i> sp.	47	1,113	イトゴカイ科	49	684
<i>Glycinde</i> sp.	49	1,100	<i>Euclymeninae</i>	41	1,154	エラナシスピオ	35	719
<i>Paralacydonia paradoxa japonica</i>	42	1,141	イトゴカイ科	41	1,195	<i>Galathowenia oculata</i>	34	753
コブスガメ	41	1,182	<i>Lumbrineris latreilli</i>	36	1,231	サクラガイ	34	787
フクロスガメ	40	1,222	エラナシスピオ	32	1,263	<i>Paralacydonia paradoxa japonica</i>	31	818
ニッポンスガメ	36	1,258	トミオカリアブセウデス	30	1,293	エーレルシスピオ	25	842
<i>Euclymeninae</i>	35	1,293	モロテゴカイ	29	1,322	<i>Glycinde</i> sp.	24	866
ヒゲナガスガメ	33	1,326	チロリ	27	1,348	<i>Terebellides kobei</i>	21	888
テナガワレカラ	32	1,358	<i>Glycinde</i> sp.	26	1,375	トミオカリアブセウデス	21	908
タイガストロクダシ	31	1,389	<i>Paralacydonia paradoxa japonica</i>	25	1,400	コウキケヤリ	20	929
<i>Laonome</i> sp.	30	1,419	ミジンコチヨウシヤクシ	23	1,423	マクスピオ	19	948
<i>Scoloplos</i> sp.	27	1,446	コブスガメ	21	1,444	<i>Tharyx</i> sp.	19	967
<i>Asabellides</i> sp.	27	1,473	ドロヨコエビ	21	1,465	サンバツコエビ属	18	985
ホソナギサクマ	27	1,499	ホソナギサクマ	17	1,482	<i>Scoloplos</i> sp.	17	1,002
総 個 体 数	2,480		総 個 体 数	2,001		総 個 体 数	1,554	

冬期 (1月)

A 区			B 区			C 区		
種 名	個体数	累積数	種 名	個体数	累積数	種 名	個体数	累積数
マクスピオ	113	113	エーレルシスピオ	118	118	<i>Prionospio</i> sp.	122	122
トミオカリアブセウデス	74	187	マクスピオ	117	235	<i>Mediomastus</i> sp.	63	185
<i>Mediomastus</i> sp.	43	230	<i>Mediomastus</i> sp.	75	310	<i>Euclymeninae</i>	34	219
<i>Cyathura</i> sp.	42	272	<i>Lumbrineris latreilli</i>	41	351	ウミボタル	34	253
ウミボタル	33	305	<i>Haploscoloplos</i> sp.	38	388	<i>Scoloplos</i> sp.	31	284
モロテゴカイ	33	338	イトゴカイ科	35	423	<i>Paralacydonia paradoxa japonica</i>	29	313
エーレルシスピオ	23	361	<i>Scoloplos</i> sp.	32	455	<i>Haploscoloplos</i> sp.	28	341
<i>Scoloplos</i> sp.	20	381	チロリ	29	484	<i>Chaetozone</i> sp.	27	368
<i>Haploscoloplos</i> sp.	20	401	<i>Euclymeninae</i>	23	507	<i>Lumbrineris latreilli</i>	26	394
<i>Paralacydonia paradoxa japonica</i>	19	421	モロテゴカイ	22	529	エーレルシスピオ	25	419
<i>Euclymeninae</i>	19	440	<i>Paralacydonia paradoxa japonica</i>	16	545	<i>Cyathura</i> sp.	24	443
<i>Lumbrineris latreilli</i>	16	456	<i>Notomastus</i> sp.	14	559	<i>Urothoe</i> sp.	22	465
ドロヨコエビ	15	471	ウミボタル	14	573	イトゴカイ科	17	482
<i>Tharyx</i> sp.	14	485	ダルマゴカイ	13	586	<i>Galathowenia oculata</i>	16	498
コウキケヤリ	14	499	<i>Paraonis gracilis japonica</i>	12	597	ニホンスナモグリ	15	513
フクロスガメ	13	512	ドロヨコエビ	11	609	モロテゴカイ	15	528
ニホンスナモグリ	13	525	<i>Cyathura</i> sp.	11	619	<i>Terebellides kobei</i>	14	542
<i>Lysianassidae</i>	12	537	<i>Sthenelais</i> sp.	10	630	<i>Tharyx</i> sp.	14	557
<i>Prionospio</i> sp.	12	549	<i>Glycera</i> sp.	9	639	<i>Glycera</i> sp.	12	569
サクラガイ	11	560	ニホンスナモグリ	9	648	<i>Sthenelais</i> sp.	11	580
総 個 体 数	925		総 個 体 数	881		総 個 体 数	881	

出現するなど、複雑かつ広範な種の様相を呈し、総個体数は最も多い。B区に比べると流動的で、底生動物の豊富な環境といえよう。C区はB区に比べるとシズクガイが減少してチヨノハナガイが最上位を占め、ホソナギサクマや*Galathowenia oculata*などの小型種の個体数が多くなっている。また、総個体数はA区, B区の7~8割程度と少なく、上位種の優占度も低下している。一般に安定した環境ではその環境に適した種の優占度が高まると考えられるから、このことと総個体数が少ないことを併せて考えると、C区がやや不安定であることを示唆する。

冬期の場合、夏期に比べると、全区でシズクガイやチヨノハナガイなどの泥質性二枚貝類がみられなくなり、総個体数とともに上位5種の優占度が低下している。各区についてみると、A区とB区ではマクスピオ (*Prionospio paradisea*) が上位を占めるがC区にはみられない。A

区とB区の相違は、A区ではトミオカカリアプセウデス、*Cyathura* sp., ウミボタルなどの甲殻類が上位を占めているのに対し、B区ではエーレルシスピオ、チロリ、モロテゴカイなどの埋在型多毛類が上位を占めており、B区の底質がA区に比べて流動性の少ない泥質底であることを示唆する。C区の構成はB区よりA区に類似するが、マクスピオが上位になく、替わって *Prionospio* sp., *Paralacydonia paradoxa japonica*, *Galathowenia oculata*, *Terebellides kobei*などの小型種あるいは膜質棲管型の種が上位に上がっている。このように冬期の各区の種構成は夏期と異なるが、その特徴は夏期と同様である。

3・5 各種群の分布パターンと地点群の特性

夏期と冬期それぞれについて、各年度別地点における各種の単位面積当たり出現個体数を、クラスタリングされた4種群への所属率の二乗を重みとして各種群に配分して合計し、種群の個体数として図4に示した。図の横軸は、地点をA区、B区、C区の順に、かつ所属率の大きい順に並べている。

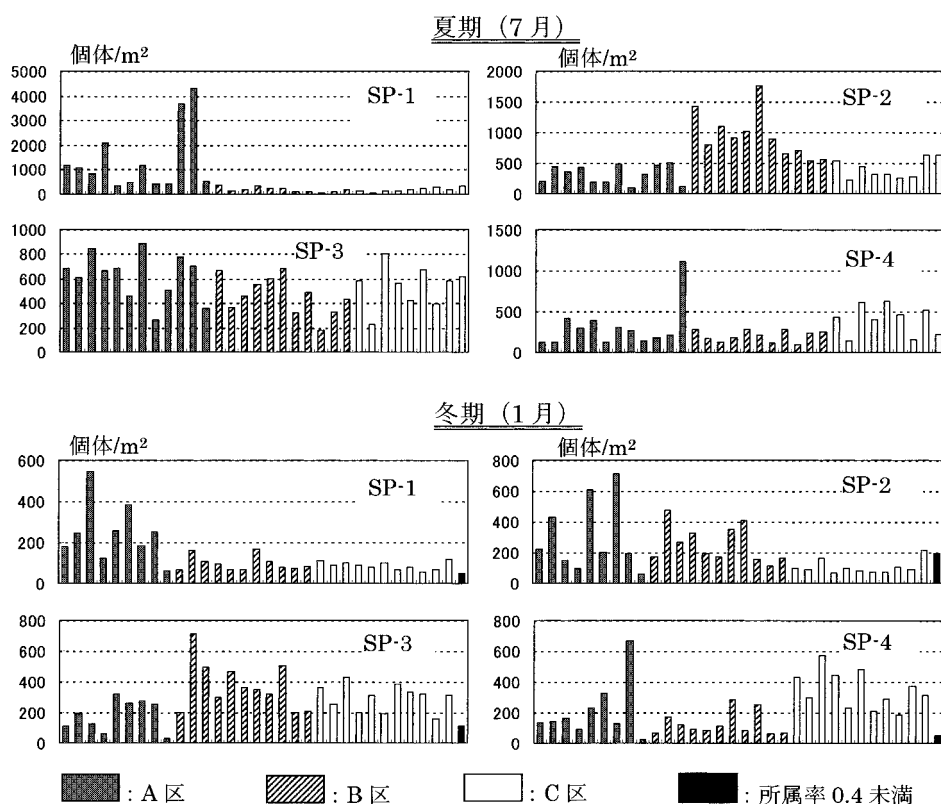


図4 夏期および冬期の調査の種群の単位面積当たり個体数と地点群の関係
横軸は全地点をA, B, C区の順に、かつ所属率の大きい順に並べている。

い順に並べて示した。ただし冬期の場合、いずれの区にも所属率0.4未満の地点、1997年のA-9は最後に並べた。

まず夏期の場合、種群SP-1はA区、SP-2はB区に多く出現し、SP-3とSP-4は全域に広く出現するが、SP-4はC区での割合が高いことなどが分かる。このことと上に述べた種群の構成から、A区は流動的な砂泥質環境、対照的にB区は停滞的な泥質環境、さらにC区は、丈夫な棲管を持たない埋在型の多毛類にはやや不適な環境と考えられる。

つぎに冬期の場合、種群SP-1はA区に、SP-2はA区とB区に広く出現し、さらにSP-3はB区を中心に、SP-4はC区で多数出現している。このことと上に述べた冬期の種群構成種の特徴から、A区とC区の環境の特徴は夏期と同様であるが、B区は泥質環境ではあるが適度な流れの影響もみられることが夏期とは異なる環境といえる。

3・6 動物門別種類数・個体数と地点群の特徴

夏期と冬期について、環形動物、節足動物、軟体動物の動物門別種類数と個体数を図5に示す。横軸の地点の並びは図4と同じである。

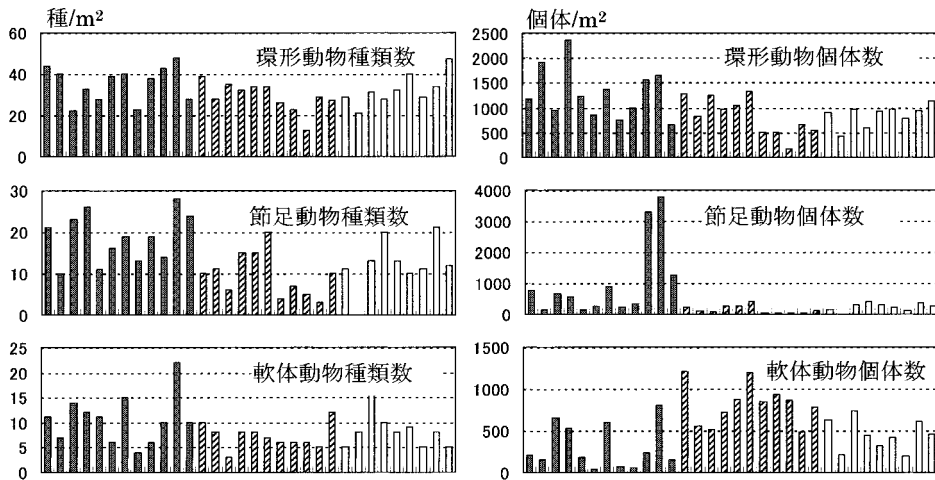
夏期の場合、A区は環形動物と節足動物の種類数、個体数ともに多く、豊富な底生動物相が形成されている。B区は軟体動物の個体数が多いが種類数は多くはない。これは、シズクガイが大量に出現したためであり、この水域の底質が停滞的環境であることを示す。一方C区は、どの動物門も多くはなく、多様な底生動物の棲息には適さない環境であることを示唆する。

冬期の場合、地点群による相違は夏期に比べると顕著ではないが、A区では節足動物と軟体動物の個体数が多い一方、B区では環形動物の個体数が多く、節足動物と軟体動物の種類数と個体数は少ない傾向が認められる。

3・7 底質の分布と地点群の特性

底質の各分析値についても、地点をA区、B区、C区の順にかつ所属率の高い順に並べて地点群による相違を調べた結果、夏期の場合には、地点群による明瞭な相違がみられたが、冬期については、地点群による相違はみられなかった。夏期の結果を図6に示す。ただし、クロロフィルについては1995年の測定結果はない。この図から、A区では有機物量を示す分析値が全て低いことが分かる。また、その粒度組成はシルト分や粘土分が少なく、砂分や礫分が多い。このことは、A区を特徴付ける種群SP-1が流動的な環境を示す種構成であったことと一致する。B区とC区を比較すると、B区のほうが有機物量を示す値が高く、粘土やシルト分も多い。このことは、B区を特徴付ける夏期の種群SP-2が停滞的な泥質底を示す種構成であったことと一致する。

夏期 (7月)



冬期 (1月)

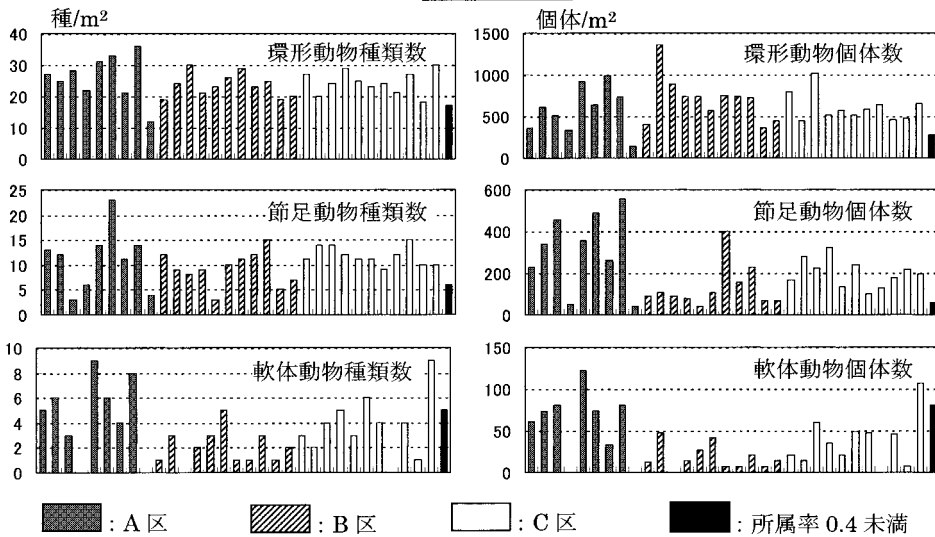


図5 夏期および冬期の調査の動物門別の単位面積当たり種類数および個体数と地点群の関係
横軸の地点の並びは図4と同じ。

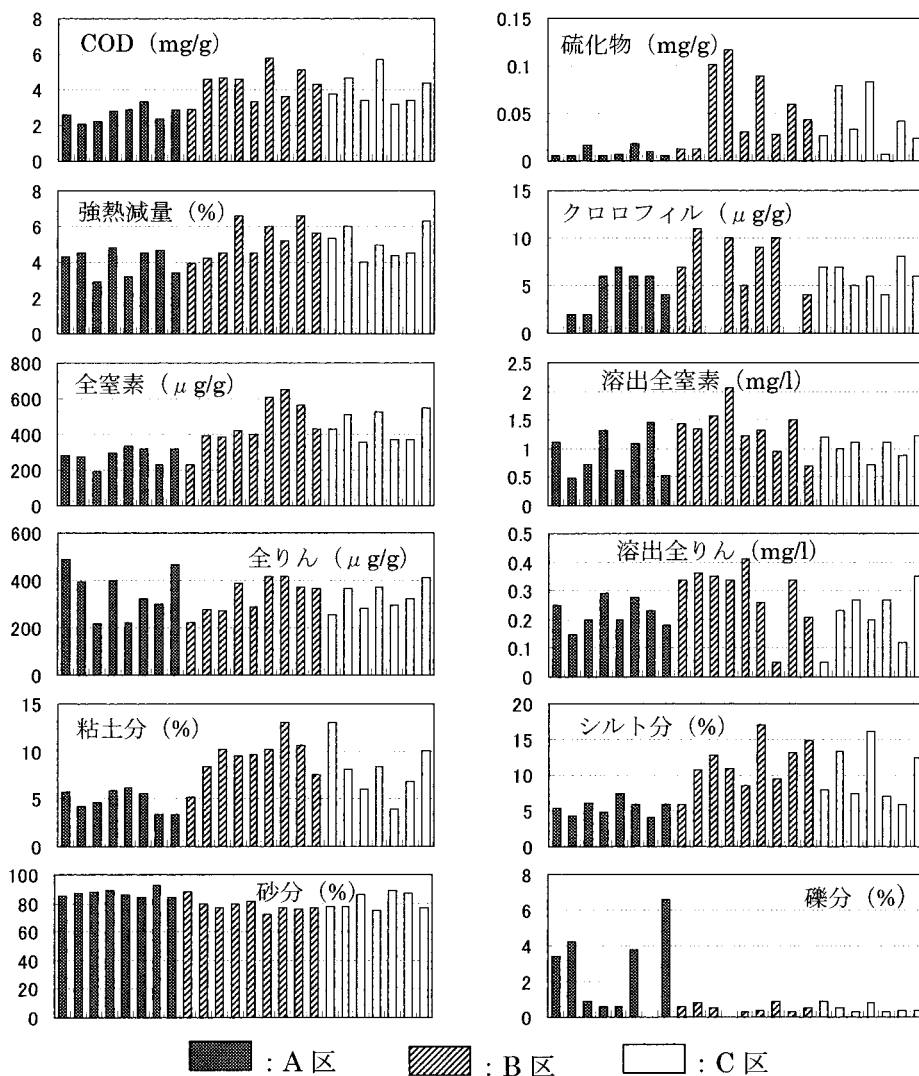


図6 夏期の調査の底質の分布と地点群の関係
横軸の地点の並びは図4と同じ。

3・8 経年変化

3・8・1 種群個体数の経年変化

夏期と冬期それぞれについて、上に述べた種群SP-1～SP-4の地点別個体数の経年変化を図7に示す。

夏期の場合、流動的な砂泥質とされたA区を特徴づける種群SP-1は年変動が大きいですが、地点M-4において減少傾向がみられる。一方、停滞的な泥質とされたB区を特徴づける種群SP-2

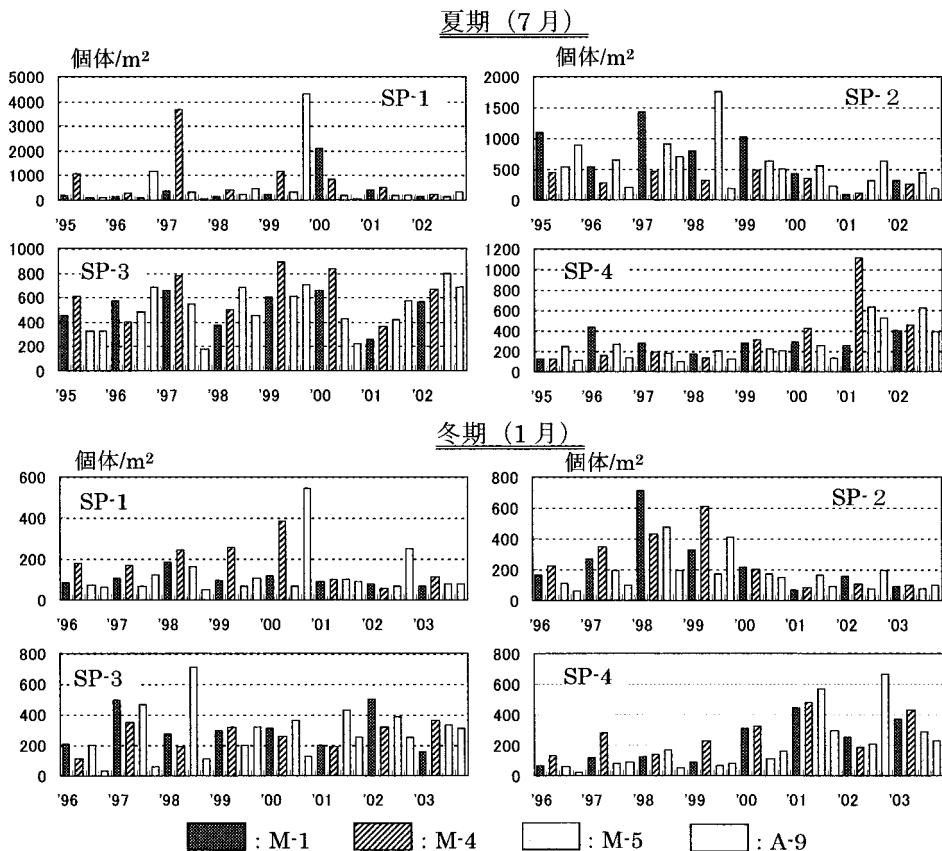


図7 夏期および冬期における種群の地点別単位面積当たり個体数の経年変化

は、A-9を除く全地点で減少傾向がみられ、とくに地点M-1で減少が著しい。地点区分との関係がみられなかった種群SP-3については、どの地点でも経年変化の傾向がみられないが、SP-4については、すべての地点で増加傾向がみられる。さらに、建設工事開始直後の1996年においては、地点M-4でSP-1が少なく、地点M-1ではSP-4が多数出現するなど、上に述べた2000年以降の変化との類似性がみられる。

冬期の場合も、A区を特徴づける種群SP-1は地点M-4において2000年以降の減少が顕著である。一方、夏期のSP-2とは異なりA区とB区に広く分布し、泥質性と砂質性の両要素がみられた多様な種群SP-2は、2000年以降、地点M-1とM-4において減少傾向が顕著である。また、夏期のSP-2に相当するとされた泥質性種群SP-3については、地点A-9においてやや増加傾向がみられる。一方SP-4については、夏期と同様に全地点で増加傾向がみられ、とくにM-1とM-4において顕著である。

3・8・2 種ごとの地点別個体数の経年変化

そこで、1999年～2000年を境に個体数の変化がみられる主な種、*Glycera* sp. を除くチロリ科（主な種はチロリ）の複数種合計、シロガネゴカイ科（主な種はミナミシロガネゴカイ）の複数種合計、*Mediomasutus* sp. を除くイトゴカイ科（主な種は*Notomasutus* sp.）の複数種合計、モロテゴカイ、エーレルシスピオ、マクスピオ、シズクガイ、クシノハクモヒトデ、チマキゴカイ科・カザリゴカイ科・アシビキツバサゴカイ（主な種は*Galathowenia oculata*）の複数種合計、*Terebellides kobei*, *Urothoe* sp., ウミボタル, チヨノハナガイ等の年度別地点別出現状況を図8と9に示した。*Glycera* sp. や*Mediomasutus* sp. を除いて示したのは、これらが広く出現し、他とは異なる出現傾向を示したからである。

夏期の場合、図に示すように減少傾向を示す種（図8）は、いずれも泥質中埋在型の種である一方、増加傾向を示す種（図9）は、表在型あるいは丈夫な膜質棲管を作る種である。

冬期の場合も夏期と同じ種で減少傾向がみられる。増加傾向を示す種も、棲管型多毛類のチマキゴカイ科（大部分は*Galathowenia oculata*）や*Terebellides kobei*, 表在型の*Urothoe* sp., ウミボタルなど、夏期と同様の特徴がみられる。しかし夏期と異なるのは、1999年以前には殆ど出現しなかった泥質性二枚貝類のチヨノハナガイやシズクガイが少数ではあるが出現するようになったことである。

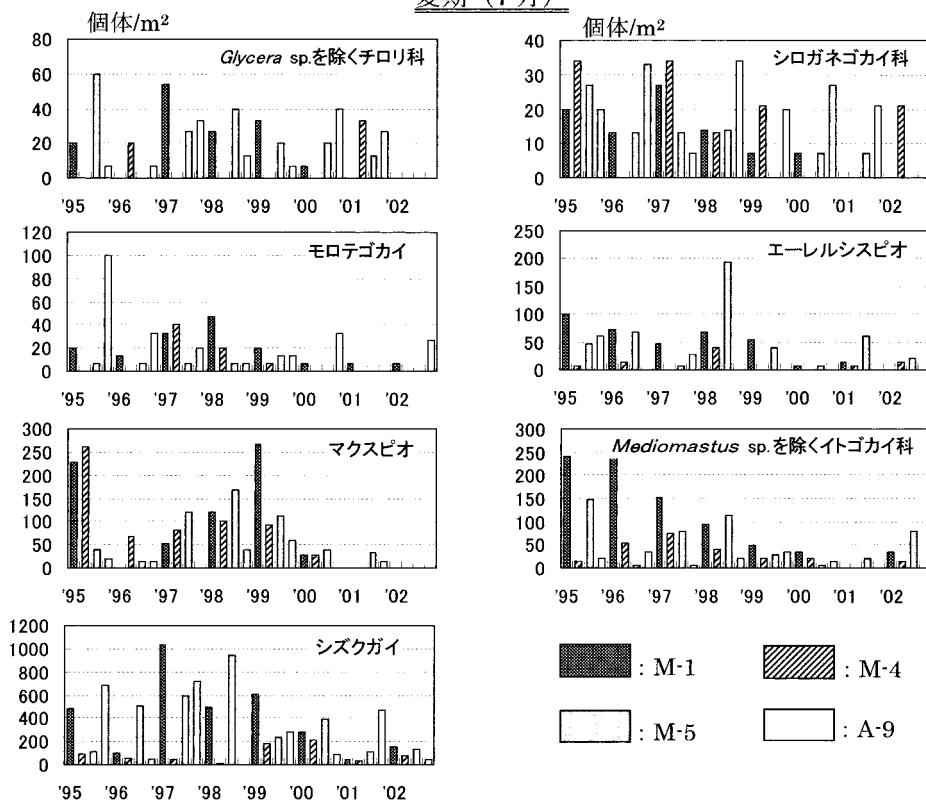
3・8・3 底質の経年変化

夏期および冬期の底質についてその経年変化を調べた結果、夏期と冬期ともにクロロフィル、溶出全窒素、および粒度組成の粘土成分について、減少傾向が認められ、また、夏期の溶出全りんと冬期のCODについてもやや減少傾向が認められた（図10）。ただし、クロロフィルについては、夏期の1995年と冬期の1996年の測定結果はない。夏期と冬期を比較すると、クロロフィルと溶出全窒素については冬期のほうがやや低い傾向がみられるが、粘土分についてはそのような傾向がない。また、夏期のほうが減少傾向は明らかであり、ほぼすべての地点で認められるが、冬期の地点M-4におけるクロロフィル、COD、および地点M-4とM-5の粘土分についてはそのような減少傾向はみられない。

3・8・4 地点による群集変化の大きさの比較

図3および図8、9にみられるように、夏期と冬期いずれもそれぞれ1999年、2000年を境として群集の変化が認められる。そこで、経年変化の解析法で述べた方法を用いて地点別にその変化の大きさを比較した。その場合、夏期については、変化前の年グループを1996年を除く1995、1997、1998年とし、変化後のグループを2000年、2001年、2002年とした。1996年を除いたのは、

夏期 (7月)



冬期 (1月)

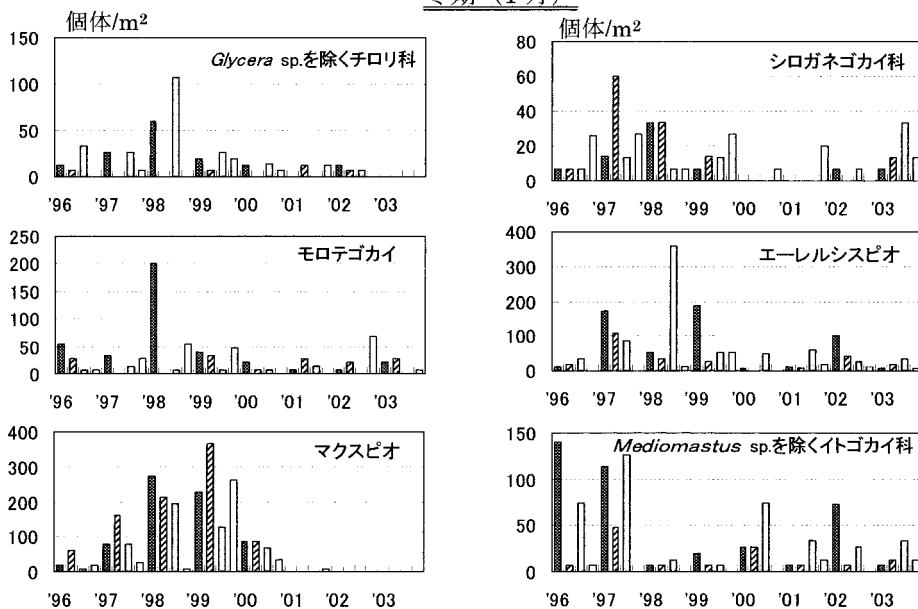


図8 夏期および冬期の調査において、減少傾向を示す種の単位面積当たり個体数の経年変化

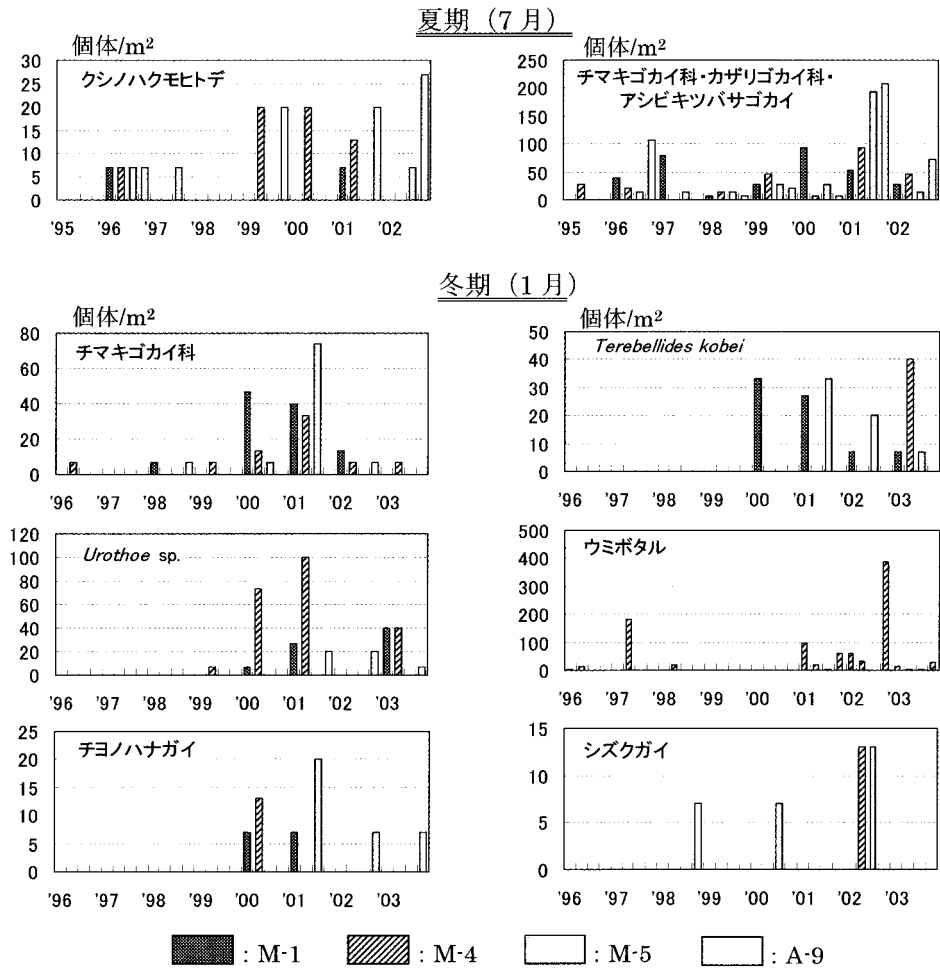


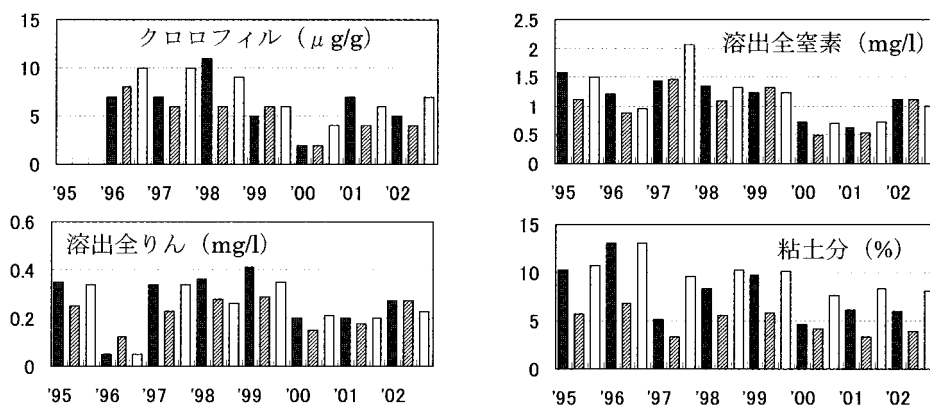
図9 夏期および冬期の調査において、増加傾向を示す種の単位面積当たり個体数の経年変化

この年において2002年と同様の変化がみられたからである。一方、冬期については、図3から、1996年から1999年までおよび2001年から2003年までをそれぞれ一つのグループと判断して計算した。結果を夏期と冬期について表3に示す。経年変化の解析法で述べたことから、グループ間とグループ内変動の比が大きいかほど群集の変化が大きいと判断される。

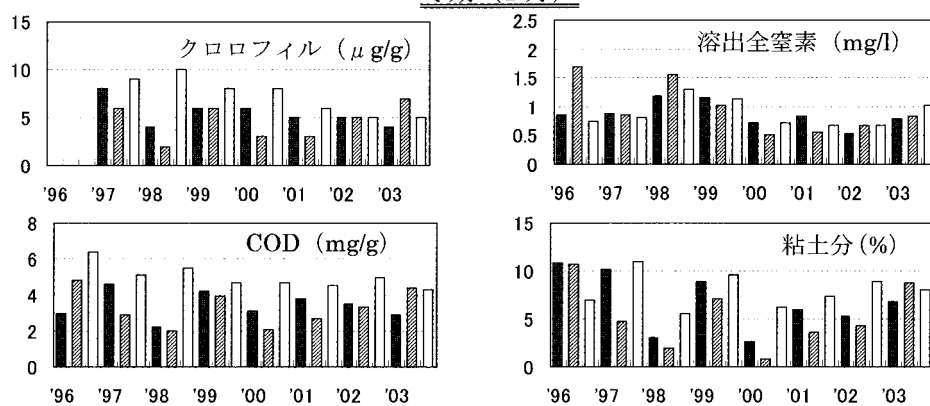
夏期の場合、変化はM-1>M-5>M-4>A-9の順に大きく、M-1とM-5が同年グループ内変動の2倍近い変化を示しているのに対し、M-4とA-9は同年グループ内の変動より小さい。

冬期の場合、M-4>M-5>M-1>A-9となり、夏期と同様にA-9において最小であったが、夏期と異なり、変化の最大は人工島より岸側の地点M-4でみられ、ついでM-5で大きく、M-1では小さかった。

夏期 (7月)



冬期 (1月)



■ : M-1 ▨ : M-4 □ : M-5

図10 夏期および冬の底質の経年変化

表3 1999年(夏期)および2000年(冬期)を境とする群集変化量の地点による比較
各地点の、座標付け空間内における位置の年グループ間変化量を地点別に比較した。
詳細は本文2・3・2を参照。

夏期 (7月)

	M-1	M-4	M-5	A-9
グループ内変動1('95,'97,'98)	0.014	0.253	0.139	0.622
グループ内変動2('00,'01,'02)	0.344	0.451	0.145	0.201
全変動	1.197	1.127	0.760	1.059
グループ間変動	0.839	0.424	0.477	0.235
グループ間/グループ内	2.340	0.602	1.682	0.286

冬期 (1月)

	M-1	M-4	M-5	A-9
グループ内変動1('96,'97,'98,'99)	0.534	0.179	0.293	1.563
グループ内変動2('01,'02,'03)	0.432	0.353	0.178	0.243
全変動	1.523	1.515	1.102	2.565
グループ間変動	0.557	0.983	0.630	0.760
グループ間/グループ内	0.577	1.848	1.336	0.421

4. 考察

4・1 調査海域における底生動物の群集構造と底質環境

建設工事が進められている人工島周辺海域は、夏期には全域でシズクガイやチヨノハナガイなどの泥質性二枚貝類が優占し、泥質底が広く形成されていることを示す。しかし夏期における環形動物の占める割合は種類数、個体数ともに50%程度と比較的低く⁶⁾、この海域の海水流動が良好であることを示す。調査地点が異なるので単純な比較はできないが、近辺海域で行われた1981年7月の調査報告²⁾においても動物門別出現状況は今回の結果とほぼ同じで同様のことが指摘されており、これはこの海域の特性といえる。さらにファジイクラスタリングによる解析結果では、その底生動物群集は夏期と冬期ともに大きくA、B、C区の3区に区分された。図3に示したようにA区は沿岸寄りに分布し、端脚類などの甲殻類や砂泥質性の二枚貝類が出現することから、多くの種にとって好適な流動的環境と考えられる。実際、ここでは多種多様な生物が出現している。例えば、1999年夏期には地点A-9で貴重種とされるナメクジウオが、また、翌年冬期の地点M-4ではイイジマムカシゴカイ科の一種が出現している。B区はやや沖側に分布し、A区とは対照的に甲殻類が少ない一方、夏期にはシズクガイの優占度が高く、停滞的な泥質環境といえる。ここでは、やや大型となる埋在型多毛類が出現する。一方C区は、建設工事が始まった1996年の夏期と工事が進行した2000年以降の夏期と冬期に広くみられるようになった群集で、埋在型の大型多毛類は少なく、表在型の種が多い。こうした群集区分と夏期の底質の特徴とはよく一致し、有機物量を示す分析項目は夏期のB区で高く、A区で低い。また、夏期のB区にはシルト分や粘土分が多く、A区では砂分や礫分が多い。C区の底質はA区とB区の間である。これらは、夏期の群集構造が、底質環境に依存して形成されたものであることを示す。冬期においては、群集区分と底質との間により一致は見られなかった。

4・2 群集構造の季節変化

冬期は夏期に比べて出現種類数、個体数ともに6割程度に低下するが、1地点当たり平均ではとくに軟体動物の減少が著しく、夏期に優占したシズクガイやチヨノハナガイなども出現しなくなる。また、地点間関係類似度行列の固有値の累積率が低下し、地点間の群集の相違が不明瞭になったことを示す。それに対応して、底質の地点群間相違も不明瞭となる。これは、この海域が冬期に西北西の季節風を正面から受けて風浪を発生し、それが強いときには1/3有義波高が3m以上に達するとされており¹⁰⁾、そのために底層が攪拌され、夏期の環境とは大きく異なるため、夏期に形成された泥質性群集が一時崩壊するためと推察される。シズクガイはライフサイクルが短く、環境変化とともに季節的に大きな個体数変動することで知られている

が⁵⁴⁾、貧酸素や硫化水素に対する耐性は弱く、内湾度の強い海域では夏期に個体数が減少するとされる¹⁵⁾。しかしこの海域では夏期にシズクガイの個体数が最大となり、その個体数は春期（5月）の数倍に達する⁶⁾。また、冬期に底質の悪化は認められないことなどから、本種の冬期における減少は季節風による底層の攪拌によるものと推察され、それが静穏となる春期から夏期には急速に回復し、群集の季節変化の主因になっていると推察される。しかしA区、B区、C区といった群集区分の特徴は冬期も夏期と変わらない。

4・3 底生動物群集構造の経年変化とその要因

この海域の底生動物の群集構造は、夏期と冬期いずれも2000年以降、B区の割合が縮小してC区の割合が拡大しており、埋在型の多毛類が減少して表在型あるいは小型の種が増加するという傾向を示す（表2）。これをクラスタリングされた種群別にみると、増加した種群SP-4の特徴は夏期と冬期で同様であるが、減少した種群については夏期と冬期で相違が見られる。まず夏期には、B区を中心に分布していた泥質性種群（夏期のSP-2）が減少し（図4、7）、それに対応して夏期における底質は有機物量を示す値が低下し、粒度組成では粘土成分の減少する傾向がみられた（図10）。一方冬期には、A区を中心に分布していた種群（SP-1）とA～B区に広く分布していた種群（冬期のSP-2）が減少し（図4、7）、底質にはあまり変化はみられなかった。しかし種別にみると、夏期に減少傾向がみられた埋在型の多毛類は冬期においても減少傾向がみられた。

ライフサイクルの長い大型種や丈夫な棲管を作らない埋在型種にとって安定した底質は不可欠な生存基盤と考えられるから、上述の変化が生じた理由として、底質の不安定化が考えられる。自然要因として考えられることに、1999年秋に高潮などの大きな被害をもたらした台風の襲来がある。しかし、この海域では毎年冬期に大きな底質の攪乱を受けて泥質性群集が一時崩壊し、それが夏期には回復していることを考えると、2003年1月まで続くこの変化を台風の影響とは考え難い。

そこで推測できることとして、人工島建設に伴う捨石投入による底質への衝撃、護岸・橋脚などの建設により生じた碎波や寄せ波と反射波の同期波の発生、埋立て土砂の飛散などが不安定要因として働いた可能性が指摘される。こうしたことが底質を揺り動かし、堆積物を再懸濁させることにより夏期の泥中有機物を減少させ、埋在型多毛類のシロガネゴカイ類、チロリ類、イトゴカイ類などを減少させ、膜質棲管を作るチマキゴカイ類やカザリゴカイ類、表在型の貝虫類や端脚類などを増加させたと推察される。

夏期における泥質性種群SP-2の減少は同じ理由で説明できるが、夏期・冬期ともにA区を特徴づけた種群SP-1の地点M-4における減少は説明できない。SP-1には流れを好む種が多い（表1）ことから、この理由として、人工島の護岸によりその近傍の流れの様子が変わったこ

と、例えば、外洋水が流入し難くなったことなどが推察される。また、冬期の種群SP-2がA区からB区に広く分布したことは、季節風による底層の攪拌が起こることにより説明できるが、これが地点M-1とM-4で経年的減少傾向を示したことは、人工島建設による底質の不安定化と流れの変化が重なった結果と推察される。すなわち、人工島建設は底質の不安定化とともに流れ場の変化をもたらし、それらが底生動物群集の種組成を変化させたと推察される。

この群集の変化の大きさを地点ごとに比較してみると(表3)、夏期においてはM-1で最大で、冬期においてはM-4で最大である。また、いずれもA-9では最小である。夏期において、人工島に近い地点で変化が大きく、夏冬ともに遠い地点では小さいことは、上に述べた建造物による底質の不安定化と矛盾しない。また、冬期において人工島より岸側の地点M-4で変化が大きく、M-1では小さくなったことは、地点M-4において種群SP-1が減少したことによると考えられ、これは、季節風による表層流が、人工島護岸により妨げられたためと推察される。僅かではあるが冬期にシズクガイやチヨノハナガイが出現するようになったこともこれから説明できる。

さらに群集構造に大きな変化のみられた時期を建設工事の進捗状況と比較してみると、1996年夏期にみられる変化は、この年の5月から11月までの工事で、それまでの海底が掘られ、捨石が投入された時期と一致し、2000年からの変化は、工事が埋立区域外周(図1)の護岸や、人工島と陸上を結ぶ橋脚の建設へと平面的に広がった時期、および、作業基地への埋め立て土砂の投入が始まった時期に一致する。なおこの埋め立て土砂は、近辺の海岸のマリーナにおける浚渫土砂で、シルト分の少ない砂質ということであった(下関市港湾局談)。これらのことは、底生動物群集の変化と人工島建設工事との関係を推察させるものである。

人工島の建設が周辺海域の環境に及ぼす影響として心配されたことは、この海域の流動場が停滞化して富栄養化が進行することであるとされている¹⁶⁾。しかしながら今回の解析結果からみると、夏期に見出された群集の変化はシズクガイなど泥質性種の減少という、富栄養化とは逆の現象であった。これは、有機汚濁という視点だけからみればむしろ好ましい底質環境となることを意味している。しかし、このような変化が、この海域の生物生産機構の中で果たしてきた有用魚種、幼・未成魚の生育場としての機能にどのような影響を及ぼすかについてはまだまだ未解明であり、今後、生態系保護の観点からさらに究明されるべき課題である。とりわけ大型の埋在型多毛類は有用海産魚種であるキス・カレイなど底生魚類の餌環境に大きな影響をもたらすため、その減少傾向は看過できない。

5. 結言

沿岸域には多種多様な生物が生息し、沿岸生態系における物質循環のプロセスに大きく関わっている。そのため、今日ますます深刻化しつつある地球環境問題を克服するために持続的な沿岸生態系保護と修復の必要性が叫ばれている¹⁷⁾。一方、沿岸域は各種産業の立地に適し、かつ海上輸送の拠点ともなることから、地域経済活性化のための開発対象ともなる。この環境保護と開発の矛盾を調整するために、1999年、環境影響評価制度（環境アセスメント法）が施行され、事業にあたっては環境影響評価を行い、地域生態系を保護することが義務づけられた。

この新しい法においては、影響評価の対象項目が拡大され、これまでの「目標クリア型」から「ベスト追求型」へ、さらに地域の特性に応じた手法の選択が求められている¹⁸⁾。これを実効あるものにするためには、「生物や生態系の反応をみながら順応的に¹⁸⁾」開発計画を進める必要がある。下関市と国土交通省が行っている人工島建設に係わる監視調査は新法の施行以前に認可されたものであるが、今後はこうした新法の精神に沿ったものとされるべきであろう。

しかし、海域の生態系の実態はいまだに不明な部分が多く、加えて生物調査のデータは化学分析値のように一定の値で判断することが難しいので、得られたデータの意味を解釈し、影響を評価することは容易ではない。

下関市と国土交通省による平成14年度の調査報告書⁶⁾は、1995年から2004年までの8年間の調査データを詳細に記載してはいるが、底質の経年変化について「各地点各項目とも大きな変化はみられません」と述べ、底生動物の調査結果についても「これまでA-9で多くみられていたシズクガイは、本年度の主な出現種にはなっていません」と記述するに留まっている。これに対してここでは、群集解析の手法によって群集組成の変化を検出し、それと並行する事業の進行と底質の変化に焦点を当てることが出来た。このことは、環境影響調査を「手続き的アセス¹⁹⁾」に終わらせないためには、適切な手法による群集解析が必要なことを示すものである。

座標づけとファジイクラスタリングを用いた手法は、群集組成の変化を検出し、それを環境変化と関連づけることに優れている²⁰⁾。ただし、こうした探索的解析は変化の因果関係までも立証するものではないから、今後はその原因を究明する努力が求められる。そのために、同時に行われている藻場調査、水質調査、その他の蓄積されているデータのより詳細な解析と、調査地点数を密にして、底生動物群集と底質の分布状況や、この海域の流れ場と底質環境の関係を明らかにするなど、調査方法の再構築も必要と考えられる。この海域が沿岸性魚種、幼・未成魚の生育場として果たしている役割の特殊性を考えれば、これは環境問題にとどまらず、下関市の重要な地域産業である水産業振興の視点からも、対策が求められるところである。

6. 謝辞

本研究を行うに際して、快くデータを提供していただき、さまざまご便宜を頂いた、(株)九州環境管理協会並びに下関市港湾局の関係者各位に対して厚く御礼申し上げる。さらに本論文作成に当たり、丁寧にご指導を頂いた環境アセスメント学会副会長 石川公敏氏、ご助言を頂いた元水産大学校教授 網尾 勝博士、長崎大学水産学部教授 玉置昭夫博士に謝意を表する。

文 献

- 1) 下関市港湾局：下関港の将来計画, http://www.shimonoseki-port.com/jp/index_m.htm, 2004.
- 2) 高井 徹・品川汐夫・松井敏夫・林 健一：資源生物, 下関市外海南部水域資源診断事業に関する調査報告(昭和56年度・昭和57年度), 下関市外海漁業共励会, 下関市, 1983, 1-70.
- 3) 下関市：下関市環境基本条例 附則, 条例第18号, 下関市, 2002, p.1.
- 4) 石川公敏：埋立による海域環境の変化, 月刊海洋, 33, 857-865 (2001).
- 5) 三村信男：わが国における沿岸環境評価研究の動向, 第2回ジョイントシンポジウム 沿岸環境の総合的評価と管理, 土木学会海岸工学委員会・日本海洋学会海洋環境問題委員会・日本水産工学会物質循環研究会・日本水産学会環境保全委員会, 東京, 2003, 7-11.
- 6) 国土交通省九州地方整備局・下関市：下関港(新港地区)港湾整備事業に係る環境監視調査(平成7年度~14年度)報告書, 下関市, 1997~2004.
- 7) 品川汐夫：ファジィクラスター解析を用いた新しい生物群集解析法, 博士学位請求論文, 長崎大学, 長崎市, 1998.
- 8) 品川汐夫・多部田修：マクロベントスの調査データによる対応分析法とRsn法の比較, 口水誌, 64, 418-426 (1998).
- 9) 品川汐夫・多部田修：数値実験の比較によるRsn法の利点, 口水誌, 64, 56-64 (1998).
- 10) 竹下貢二・武居 薫・松井敏夫・俵 悟・柿元 皓・島 秀典：海域の海洋環境, 下関市北浦沿岸海域環境調査 漁業振興対策検討報告書, 下関沿岸漁業振興調査計画検討委員会, 下関市, 1993, 65-172.
- 11) 俵 悟：下関市西部沿岸水域の流動について, 下関市沿岸の漁場診断に関する基礎調査-2 昭和54年度報告, 水産大学校調査研究班, 下関市, 1980, 1-40.
- 12) 宮本定明：クラスター分析入門, 初版, 森北出版, 東京, 1999, 176pp.
- 13) 今島 実：環形動物 多毛類II, 初版, 生物研究社, 東京, 2001, p. 505.
- 14) 玉井恭一：シズクガイの硫化水素耐性, 日本ベントス学会誌, 46, 41-48 (1994).
- 15) H. Imabayashi and S. Tsukada: A Population Ecology of the Small Bivalve *Theora lubrica* in Northern Bingo-Nada, 口水誌, 50, 1855-1862 (1984).
- 16) 豊かな海と環境を21世紀に伝える下関市民ネットワーク：下関港(新港地区)港湾整備事業の環境影響評価準備書に対する意見書, <http://www2.tip.ne.jp/~kondou00/ikensyo.htm>, 1994.
- 17) 風呂田利夫：生態学・環境問題から見た海岸修復の課題, 沿岸海洋研究, 39, 95-100 (2002).
- 18) 渡辺綱男：海域の環境アセスメント, ジョイントシンポジウム「これからの沿岸環境」資料集, 土木学会海岸工学委員会・日本海洋学会海洋環境問題委員会・日本水産工学会ミテイゲーション研究会・日本水産学会水産環境保全委員会, 東京, 2002, 2-4.
- 19) 石川公敏：沿岸の環境影響評価(EIA)への生態学的アプローチ, 資源と環境, 8, 31-47 (1999).
- 20) 橋詰和慶・品川汐夫：冬季日本海東部沖合における大型カイアシ類群集と水系の環境との関係, *Lamer*, 41, 1-14 (2003).