

# 下関市で建設中の人工島周辺における 底生動物群集の変化

—Excel 版 PACS による群集解析で  
見出された内側水域の停滞化傾向—

品 川 汐 夫

## Faunal change in the macro-benthos around an artificial island under construction in Shimonoseki

—A tendency toward stagnation in the area between the island and the city  
shoreline shown by community structure analysis with Excel VBA program.—

by  
Sekio Shinagawa

The faunal data of macro-benthos around the artificial island under construction was analyzed by use of new ordination and fuzzy cluster methods. The data was derived from the biannual environmental survey conducted by the City of Shimonoseki and the Japan Ministry of Land, Infrastructure and Transport, with data collected in summer and winter for 11 consecutive years since 1995. As a result, some station groups and species groups in both summer and winter were detected fairly clearly. A canonical correlation analysis was applied to the data in order to compare the individual number of each species group with bottom sediment properties, such as *Chemical Oxygen Demand*, *Ignition Loss*, *Nitrogen and Phosphorus Content*, and also *Grain Size Composition* obtained in the same survey. The analysis yielded a scatter diagram of the canonical factor scores of the bottom properties vs. species groups at each station. The diagram suggested a common factor working on both the benthic community and sediment properties. From factor loadings of variables, the fluidity or stagnancy of the bottom layer was inferred as the main factor. Moreover, the diagram indicated a tendency toward stagnation since the year 2000 in winter and 2002 in summer at stations between the island and the city shoreline. The construction of the road and bridge running to Shimonoseki city started in the year 2000, and the construction of the quay surrounding the island started in the year 2002, and the construction area extremely extended. Therefore, it was supposed that the tendency was caused by the construction of the island which cut off the surge and inflow current from the

offshore.

キーワード：人工島、海岸構造物、底生動物、群集解析、ファジイクラスター、正準相関分析

## 1. はじめに

下関市の日本海側沖合では、東アジアにおける情報と物流の拠点建設を目的として、1996年度より人工島建設が進められている。最終的に計画されている広さは147ha（そのうち62haが2009年度に完成し、一部の供用が開始される）と、神戸のポートアイランド（600ha）に比べると比較的小規模ながら、交通アクセスの利便性等、地域経済の活性化への期待は大きい<sup>1)</sup>。しかし、こうした自然環境の大規模な改変が、結果的に取り返しのつかない環境悪化をもたらした例は多い<sup>2)</sup>。その反省から、1999年度に環境アセスメント法が制定され、開発に当たっては環境影響評価を行い、その結果に基づいて地域生態系を保護することが義務づけられた。下関市においても、2002年度に環境基本条例が制定され、生態系保護の重要性が謳われている。したがって、人工島建設工事においても、生態系の保護に、細心の注意が必要である。

下関市港湾局と国土交通省九州地方整備局は、建設工事が始まる前年度の1995年7月から環境影響監視調査を開始し、現在なお継続中である。以下では、公表されている2005年度までの11年間にわたる夏期7月と冬期1月の調査データ<sup>3)</sup>を、新たに開発したExcelのVBAプログラムにより解析した結果を報告する。

この調査では、地形、水質、底質、底生動物、浮遊生物、遊泳生物、付着生物、その他、極めて多岐の項目が取り上げられているが、報告書<sup>3)</sup>を見る限り、詳細な解析が行われた形跡はなく、年々数値情報が累々と積み上げられているようである。

著者は先に、生物調査によって得られる膨大な種・個体数からなる群集データを、座標付け<sup>4)</sup>とファジイクラスタリング<sup>5)</sup>の手法により解析する新しい手法<sup>6-9)</sup>（以下品川の手法という）を開発し、様々な調査データに適用して、生物群集と環境要因の関係を明らかにする上で大きな効果を発揮してきた<sup>10-13)</sup>。

生物群集の個体数データは、不規則性、不均一性が著しく、通常の変数解析法では有意な結果を得難い。品川の手法は、こうしたデータのもつ困難さを、地点間の関係類似度行列と行列の固有値分解、さらにその結果のファジイクラスタリングによって処理する、一連の手法によって構成される。しかし、この一連の手法は各処で解析者の経験による判断を必要とするため、一般的には適用し難い欠点があった。例えば、座標付け空間の次元数、ファジイクラスタリングの地点群数、種群数の判断等である。著者は、これらの判断のために分割度、あいまい度などの指数を提唱してきたが、その後の経験によれば、可能性のある全ての次元数と群数の組み合わせについて試行計算を行ない、最終的に得られる環境変数と群集変数の対応関係の考

察から、最も情報の重複がなく、かつ説明可能な情報を含む結果を選択するのが最善であることが分かってきた。このためには、一連の計算手続きを多数回繰り返す必要がある。

そこで、この試行計算を自動的に行う Excel の VBA プログラムを開発した（以下、Excel 版 PACS という）。このプログラムでは、一連の計算手順を少ない手作業で実行出来る。また、Excel の機能を用いて結果の編集が容易である。その結果、解析に要する時間が大幅に短縮された。以下では、この Excel 版 PACS を用いた群集解析の計算手順を紹介し、それらを用いて下関市の人工島周辺の底生動物データを解析した結果、注目すべき底層環境の変化が見出されたことを報告する。

## 2. Excel 版 PACS による群集解析の手順

### 2・1 データ入力

各地点の種別個体数は、「入力データ」シートに、種（行）×地点（列）の形式で記入し、1 行目には地点名、1 列目には種名を入れておく。このような一組のデータセットは、任意の組数記入できる。こうして VBA のマクロプログラム PACS を実行するとメニューボックスが現れ、この中から一連の計算手順を選択して次々に実行する。メニューの中の全自動進行を選択すれば、全過程を自動的に進めることもできる。また、計算結果の出力番地は自動的に選択され、Excel のシート上に記録されるので、途中で Excel を中断しても継続が可能である。

### 2・2 関係類似度行列の計算

メニューボックスで「類似度計算…2」を選択すると 5 種類の類似度が表示される。ここで、品川の関係類似度 Rsn を選択すると、Rsn 行列が「C0work」シートに出力される。

### 2・3 行列の固有値分解と地点の座標付け

続いて「地点の座標付け…3」を選択すると、上で出力されている関係類似度行列の固有値分解を行い、固有値の大きい順に指定した数の固有値と各固有値に対応する固有ベクトル、要因ベクトルが出力される。この要因ベクトルが各地点の座標となる。同時に、固有値とその累積分布のグラフが作成され、さらに指定した 2 軸平面ごとに地点座標付け結果の散布図が作成される。また、座標付け結果から、指定した次元数の距離を使って各 2 地点間の距離行列を計算し、群平均法による樹形図<sup>4)</sup>も作成される。これらの累積分布図、散布図、樹形図を視察して、後述する地点のファジイクラスタリングの際の次元数、地点と種の群数の候補を決める。

## 2・4 主要種の選択と座標付け

群集解析は、一般に各地点における種・個体数組成を論じる立場と各種の出現地点の重なりを論じる立場の両面から行なわれる<sup>14-15)</sup>。品川の手法も同様であるが、他と異なるのは、地点の座標付けに基づいて種を座標付けすることである。それは、散発的出現種が多いデータでは、種の分布重複度の信頼性が地点間の類似度に比べて低いからである。「たとえば、出現地点が重ならない希少種2種は、出現重複度に基づく座標付けでは遠距離に布置されるが、この2種の出現した地点の類似性が高ければ、その類似性に応じて近距離に布置されるべきである。」<sup>13)</sup>このことによって、希少種であっても地点の座標付けに用いることは出来るが、ごく小数地点だけで出現している種は、偶然性を排除するために除くほうが安全である。そこでメニューボックスで「種の座標付け…4」を選択すると、種の出現地点数と出現個体数の下限をAND、ORで結ぶダイアログが現れ、条件に合致する種が自動的に選択され、出力される。以下ではこれを主要種という。続いて先に出力した固有ベクトルを読み込み、主要種のデータベクトルを単位ベクトルに変換後、固有空間に射影して各主要種の座標ベクトルを計算し、出力する。その結果から、地点の場合と同様に散布図と樹形図が自動作成される。

## 2・5 地点のファジイクラスタリング

メニューボックスで「地点のファジイクラスタリング…5」を選択すると、地点の座標ベクトル（要因ベクトル）を読み込み、指定した次元数、地点群数を条件としてファジイクラスタリングを行なう。その際、次元数、地点群数ともに、可能性のある数を何々から何々までという形で入力すれば、その間の全ての次元数と地点群数の組み合わせが計算される。その結果、1) 各地点の地点群への所属率、2) 後に、地点群別、かつ所属率順のグラフを作成するための地点順序表、3) 各地点群別に所属率が0.3以上の地点、4) 地点群の重複度と重心座標、5) 主要種の個体数を用いて計算された地点群のあいまい度、等が各組み合わせについて出力される。

## 2・6 主要種のファジイクラスタリング

「主要種のクラスタリング…6」を選択すると、先に出力された主要種の座標を読み込んでファジイクラスタリングが行われる。その際、次元数と群数は、地点の場合と同様に入力された範囲内の全ての組み合わせについて計算され、各組み合わせについて次の結果が出力される。1) 各種の種群別所属率、2) 各種群間重複度行列と重心座標、3) 各種群別所属率が0.3以上の種の一覧とその各地点群への対応度指数、3) 種群と地点群の対応行列。

## 2・7 総合結果

ファジイクラスタリングは、クラスタリング結果の解釈でも様々なツールを提供する。

Excel 版 PACS にはメニューの「総合結果…7」にそれらが用意されている。

(1) 種群個体数の計算：各種の個体数を、各種群への所属率二乗の割合で種群に配分して合計し、種群の個体数とする。この値を、地点を地点群ごとにかつ所属率の高い順に並べて示せば、地点群の特徴を簡潔に示すことが出来る。Excel 版 PACS では、この地点の並べ替えと棒グラフの作成、地点群による棒の塗りつぶしパターンの変更等を自動的に行う。

さらに、種群の個体数は和の統計的性質から正規分布に近づくと考えられるので、正準相関分析など、正規分布を前提とした多変量解析法の適用を可能とし、定量的な解析への道を拓く。

(2) 地点群平均とその乱数による検定：各種群の個体数、底質、多様度などの地点別データを、地点の各群への所属率の二乗の割合で重み付けした平均値を計算する。これにより、所属のあいまいな地点がもたらす解釈の困難さを避けられる。また、この平均値を、乱数により地点をランダムに並び替えた平均値と標準偏差によって正規化すれば、その値は標準正規分布に近づくと考えられるので、絶対値が 1.96 以上であれば地点群による相違が有意と判定できる。

(3) 多様度の計算と地点群による相違の検定：動物群集では、種類数、個体数および諸種の多様度指数の地点群別相違から群集の特性を説明できる場合が多い。そこで多様度計算のメニューでは、種類数、個体数、シンプソン指数、Margaref 指数<sup>16)</sup>、などを各動物門別と全動物門について計算し、地点を各地点群の所属率順に並べ替えた棒グラフを作成して地点群間の比較をする。また、(2)と同様に乱数を用いて正規化すれば、地点群による相違の有意性を検定できる。

(4) 指標種指数 (IndVal) の計算：Dufrene and Legendre<sup>17)</sup>は、通常の地点クラスタリング結果から各地点群の指標種を見出す方法として、次のような IndVal1 と IndVal2 を提唱している<sup>17)</sup>。まず A、B、C、D を次のように定義する。A；当該地点群の中である種が出現している地点数の割合。B；当該地点群での地点当り平均個体数÷各地点群の平均個体数の合計。C；1-A。D；各地点群の平均個体数の最大値と各地点群の平均個体数との差を地点群について合計した値。これらを用いて、当該地点群での出現のし易さ IndVal1 を  $A \times B$ 、し難さ IndVal2 を  $C \times (\text{当該地点群の平均個体数と最大平均個体数との差}) \div D$  と定義する。

これらをファジイクラスターでも使用可能とするため、著者は上の A、B、C、D を次のように定義し直して IndVal1 と IndVal2 を同様に計算した。

A；当該地点群所属率二乗の出現地点だけの合計÷当該地点群所属率二乗の全地点合計。

B；所属率二乗を重みとした当該地点群での平均個体数÷各地点群の平均個体数の合計。

C；1-A。

D；各地点群の所属率二乗を重みとした平均個体数の最大値と各地点群の所属率二乗を重みとした平均個体数との差を地点群について合計した値。

また、(2)と同様に地点をランダムに並べ替えた平均と標準偏差により IndVal1 と IndVal2 を正規化すれば、当該地点群でその種が出現し易いか、し難いかの統計的有意性を判断できる。

## 2・8 正準相関分析

上で求めた種群の個体数データは、対数変換など適当な変換により正規分布に近づくと期待できるので、底質データと種群個体数間の正準相関分析を行なうことができる。これにより各種群と底質との相関関係が明らかになり、各種群を構成する種についての生態学的知見を併せて考察すれば、環境要因についての考察が可能となる。

## 3. 下関市の人工島建設に係る環境監視調査（底生動物）データの解析

1995年度から2005年度までの11年間に亘る7月と1月に、下関市と国土交通省九州地方整備局によって行なわれた人工島周辺における底生動物調査データを、上述の手法を用いて解析した。著者は先に、2003年度までのデータを用いた解析を行い<sup>13)</sup>、冬期に人工島内側の地点で停滞化傾向がみられることを指摘している。この報告は、それに続くものである。

### 3・1 調査水域と調査地点および調査方法



図1 人工島周辺の海底地形と調査地点

底生動物調査：M-1, M-4, M-5, A-9

底質調査：M-1, M-4, M-5

図は、国土交通省九州地方整備局の許可を得て、報告書<sup>3)</sup>から一部加工の上、転載した。

図1に示すように、人工島は下関市の日本海側の水深10~15mの傾斜地に建設中である。この海域は響灘に面して開放し、北西からは対馬暖流の反流が差し込む一方、南側は関門水道西口に接して瀬戸内海水が流入する。また、沿岸には都市下水で汚濁した河川水が流入する。そのため、この海域では夏期にシズクガイなどの汚染指標種が卓越する一方で外海性指標種のエラナシスピオも出現し、またナメクジウオなどの外海性貴重種も時に出現するなど、複雑な生物相を示している。図1に調査地点を示す。底生動物は、地点M-1、M-4、M-5、A-9の4地点においてスミス・マッキンタイヤ型採泥器(1/20m<sup>2</sup>)と1mmの袋形ネットを用いて1地点当たり3回採集され、10%ホルマリン海水で固定後、実験室において種の同定と個体数の計数が行なわ



れた。種の同定は、(株)九州環境管理協会の専門担当者が出来る限り種の段階まで行い、種が不明の場合は属名あるいは科名で記載された。底質については、図1の地点 M-1、M-4、M-5 の3地点において底生動物と同様の方法で採泥され、環水管第127号により泥中のCO<sub>2</sub>D、硫化物、強熱減量、全窒素(T-N)、全リン(T-P)が、海洋観測指針によりクロロフィルが、さらにJIS K 0102により溶出の全窒素および全リンが、またJIS A 1204により粒度組成が測定された。

### 3・2 夏期のデータの解析結果

夏期の11年間で識別された種は、環形動物145種、軟体動物76種、節足動物116種、棘皮動物15種、その他26種の計378種であった。このうち、その他の動物は種まで同定されていないものが多いので除き、4動物門352種を用いて解析を行った(2・1参照)。また種のクラスタリングでは、累計4地点以上で出現した160種を主要種(2・4参照)として選択した。

#### 3・2・1 関係類似度行列の固有値分解による夏期地点と種の座標付け結果

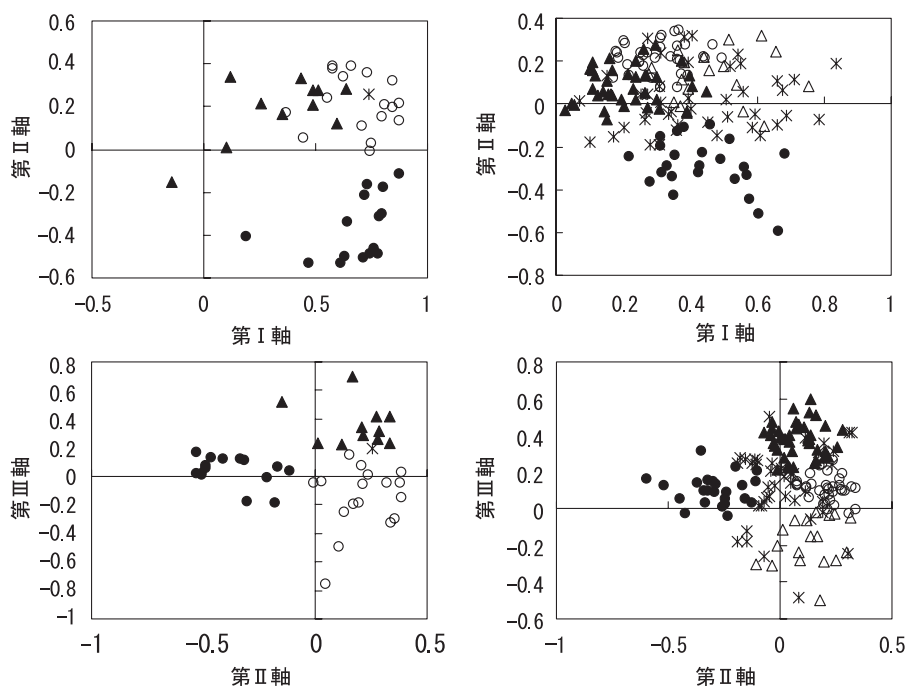


図2 夏期11年間累計44地点(左)と11年間で4地点以上出現した160種(右)の第I×II軸(上)および第II×III軸(下)平面への座標付け結果

図中のマークは、ファジィクラスタリングにより所属率0.5以上で識別された地点群と種群を下のよう示す。ただし、所属率が0.5未満の地点と種は\*とした。

地点群(左)：●, A区；▲, B区；○, C区

種群(右)：●, SP-1；▲, SP-2；○, SP-3；■, SP-4

夏期の累計 44 地点の種・個体数データから地点間関係類似度行列を計算して地点と種を座標付けした (2・2~2・4 参照)。第 I × II 軸平面および第 II × III 軸平面に地点と種を座標付けした結果を図 2 に示す。固有値は大きい順に 18.4、4.1、3.1、2.1 で、第 IV 軸成分までで累積率は 60% に達した。そこで、有意な成分としては第 III または IV 軸成分まで考えれば十分と考え、以下の解析では第 III 軸成分までと第 IV 軸成分までの場合の試行計算を行い、最終結果からいずれかを選択することにした (2・3 参照)。図 2 中のマークは、後述するファジィクラスタリングにおいて、III 軸成分まで用いて、地点は 3 群、種は 4 群に区分した場合の結果を示す。

### 3・2・2 夏期地点のファジィクラスタリング (2・5 参照)

図 2 左の座標付け結果について地点のファジィクラスタリングを行った。その際、座標付けの次元数は 3 次元および 4 次元とし、地点群数は 3 および 4 として、これらの 4 通りの組み合わせについて計算を行った。3 次元、3 地点群の場合の各地点の所属率を表 1 に示す。表中、地点名のあとの ( ) 内の数字は調査年度を示している。これによると、A 区には主として

表 1 夏期地点のファジィクラスタリング結果

| A区        | 所属率   | B区        | 所属率   | C区        | 所属率   |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| M-5 ('96) | 0.955 | M-4 ('95) | 0.954 | M-5 ('02) | 0.911 |
| M-1 ('95) | 0.950 | M-1 ('01) | 0.915 | M-1 ('02) | 0.866 |
| M-1 ('98) | 0.944 | M-1 ('00) | 0.911 | M-1 ('04) | 0.862 |
| M-1 ('97) | 0.943 | M-4 ('00) | 0.885 | M-4 ('02) | 0.855 |
| M-1 ('99) | 0.937 | M-1 ('03) | 0.885 | A-9 ('04) | 0.850 |
| M-5 ('97) | 0.936 | M-4 ('01) | 0.785 | M-5 ('04) | 0.830 |
| M-5 ('98) | 0.919 | A-9 ('96) | 0.726 | A-9 ('05) | 0.814 |
| M-5 ('00) | 0.911 | A-9 ('98) | 0.713 | M-5 ('01) | 0.735 |
| M-5 ('95) | 0.795 | M-4 ('97) | 0.665 | A-9 ('02) | 0.732 |
| A-9 ('95) | 0.791 | M-4 ('99) | 0.652 | M-1 ('96) | 0.720 |
| A-9 ('03) | 0.741 | A-9 ('99) | 0.539 | M-5 ('05) | 0.677 |
| A-9 ('01) | 0.700 | M-4 ('98) | 0.402 | M-4 ('03) | 0.674 |
| M-5 ('03) | 0.535 | M-1 ('05) | 0.305 | A-9 ('00) | 0.640 |
| A-9 ('97) | 0.534 |           |       | M-1 ('05) | 0.621 |
| M-5 ('99) | 0.514 |           |       | M-4 ('96) | 0.572 |
|           |       |           |       | M-4 ('04) | 0.564 |
|           |       |           |       | M-4 ('05) | 0.504 |
|           |       |           |       | M-4 ('98) | 0.480 |
|           |       |           |       | M-5 ('03) | 0.359 |
|           |       |           |       | M-5 ('99) | 0.346 |

2000 年度以前の地点 M-1 と M-5 が含まれている。すなわち、建設工事が始まって間もない時期の、比較的水深がある地点である。B 区は、2000 年度以降の地点 M-1 と 2000 年度以前の岸寄り地点 M-4 が主となっている。一方、C 区は、2000 年度以降の調査地点が大部分で、4 調査地点のいずれもが含まれている。すなわち、2000 年度以降に調査域全域に広がった地点群といえる。

### 3・2・3 夏期主要種のファジィクラスタリング (2・6 参照)

夏期の 11 年間で 4 地点以上出現した種 160 種についての座標付け結果 (図 2 右) についてファジィクラスタリングを行った。その際、次元数は地点の場合と同様に 3 および 4 とし、種群数は 4 および 5 とし、次元数と種群数のすべての組み合わせについて計算した。その結果、後述するように 3 次元、4 種群の場合が最も適当と考えられたので、3 次元、4 種群の結果、



果を表2に、所属率の高い20種を示す。これによると、SP-1には *Notomastus* sp.、エーレルシスピオ、ヨツバナスピオ(B型)、モロテゴカイ、チロリ、など大型の埋在型多毛類が多く、そのほかでも、有機汚染指標種とされるシズクガイの所属率が0.534と高く、明らかに停滞的な泥底環境を示す種群といえる。一方、SP-2には *Siphonoecetes* sp.、クビナガスガメ、*Gammaropsis* sp.、ナギサクマ属、ヤサシノテワレカラ、ニッポンスガメなどの小型甲殻類、ブンブクヤドリ科やオキナガイなどの砂底性の二枚貝類、多毛類では、*Amphicteis* sp.、チマキゴカイなど、流れを好む表層の堆積物食性種が特徴的である。SP-3にもSP-2と同様に甲殻類が多いが、ナガコブシ、ラスバンマメガニ、*Processa* sp.、ニホンスナモグ

表2 夏期主要種のファジイクラスタリング(2・6参照)

| SP-1                  | 所属率   | SP-2                             | 所属率   |
|-----------------------|-------|----------------------------------|-------|
| <i>Notomastus</i> sp. | 0.949 | <i>Amphicteis</i> sp.            | 0.946 |
| Polycirrinae          | 0.905 | <i>Siphonoecetes</i> sp.         | 0.924 |
| ハヤテシログネゴカイ            | 0.871 | ブンブクヤドリ科                         | 0.910 |
| フタエラスピオ               | 0.854 | クビナガスガメ                          | 0.899 |
| クダマキガイ科               | 0.821 | <i>Gammaropsis</i> sp.           | 0.896 |
| カニゴカイ                 | 0.807 | トウヨウシログネゴカイ                      | 0.884 |
| <i>Sthenelais</i> sp. | 0.805 | <i>Streblosoma</i> sp.           | 0.861 |
| モロテゴカイ                | 0.790 | ミナミシログネゴカイ                       | 0.838 |
| ミジンコチョウシャクシ           | 0.752 | ナギサクマ属                           | 0.832 |
| コノハシログネゴカイ            | 0.747 | <i>Polycirrus</i> sp.            | 0.820 |
| <i>Gyptis</i> sp.     | 0.747 | <i>Poecilochaetus trilobatus</i> | 0.814 |
| <i>Lysilla</i> sp.    | 0.677 | アケノサシバ                           | 0.810 |
| エーレルシスピオ              | 0.666 | オキナガイ                            | 0.789 |
| ヨツバナスピオ(B型)           | 0.662 | <i>Onuphis</i> sp.               | 0.782 |
| ナガサキキバガニ              | 0.637 | チマキゴカイ                           | 0.739 |
| クチクレツノガイ科             | 0.634 | Lysianassidae                    | 0.733 |
| アブセウデス科               | 0.610 | <i>Brada</i> sp.                 | 0.718 |
| マクスピオ                 | 0.605 | マダラチゴトリガイ                        | 0.715 |
| チロリ                   | 0.603 | ヤサシノテワレカラ                        | 0.712 |
| <i>Scoloplos</i> sp.  | 0.594 | ニッポンスガメ                          | 0.691 |

| SP-3                     | 所属率   | SP-4                      | 所属率   |
|--------------------------|-------|---------------------------|-------|
| ナガコブシ                    | 0.955 | ツノメエビ                     | 0.797 |
| <i>Eunice vittata</i>    | 0.945 | <i>Haploscoloplos</i> sp. | 0.730 |
| <i>Alpheus</i> sp.       | 0.879 | <i>Aedicira</i> sp.       | 0.728 |
| ヨツバナスピオ(C型)              | 0.874 | メクラガニモドキ                  | 0.690 |
| ラスバンマメガニ                 | 0.863 | <i>Ophiodromus</i> sp.    | 0.673 |
| <i>Processa</i> sp.      | 0.835 | ツツオオフエリア                  | 0.670 |
| <i>Kalliapseudes</i> sp. | 0.832 | <i>Magelona</i> sp.       | 0.648 |
| マテガイ属                    | 0.827 | <i>Prionospio</i> sp.     | 0.613 |
| <i>Eunice</i> sp.        | 0.770 | ダルマゴカイ                    | 0.604 |
| ヤマホトトギス                  | 0.748 | アツシオガマガイ                  | 0.589 |
| フトヒゲソコエビ科                | 0.730 | <i>Chaetozone</i> sp.     | 0.582 |
| <i>Paraonides lyra</i>   | 0.728 | <i>Mediomastus</i> sp.    | 0.554 |
| セマタコスエモノガイ               | 0.714 | ホトトギスガイ                   | 0.549 |
| <i>Eocuma</i> sp.        | 0.705 | <i>Genetyllis</i> sp.     | 0.549 |
| ニホンスナモグリ                 | 0.686 | <i>Glycera</i> sp.        | 0.528 |
| ソコシラエビ                   | 0.686 | <i>Ninoe</i> sp.          | 0.526 |
| メガネクモヒトデ                 | 0.684 | イトゴカイ科                    | 0.511 |
| ケシトリガイ                   | 0.677 | ホソナギサクマ                   | 0.502 |
| イトエラスピオ                  | 0.674 | <i>Terebellides kobei</i> | 0.487 |
| <i>Corophium</i> sp.     | 0.668 | スズエラナシスピオ                 | 0.486 |

リ、ソコシラエビなど、SP-2に比べると十脚類が多い。SP-4には、ダルマゴカイや *Mediomastus* sp.、イトゴカイ科など、SP-1と同様に泥底域に生息する多毛類とともに、やはり泥底域に生息するツノメエビやメクラガニモドキなどの十脚類、アツシオガマガイ、ホトトギスガイなどの二枚貝類が特徴的である。

## 3・2・4 夏期種群の分布と地点群の特徴（2・7の（1）参照）

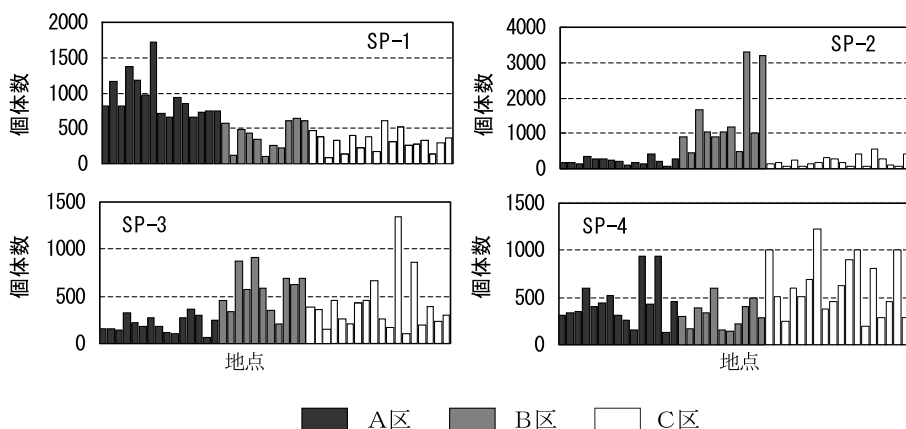


図3 夏期の種群の個体数と地点群の特徴

地点を地点群 A、B、C 区の順に、かつそれらへの所属率の高い順に並べて各種群の個体数（2・7の（1）参照）を示す。

上に述べた4種群の個体数を、2・7の（1）により計算し、一方地点を地点群別に、かつ所属率の大きい順に並べて図3に示す。これによると、SP-1は地点群A区に多数出現し、SP-2は地点群B区で多数出現している。このことと、先に述べた種群と地点群の特徴から、A区は安定な泥底環境で、工事が進行する以前の沖合地点M-1、A-9でみられた群集、B区は砂質を多く含む環境で、工事が進行する以前の沿岸近くの地点M-4および、工事の進行後、人工島外側の地点M-1でみられるようになった群集といえる。一方、SP-3はB区を中心にC区にかけて、SP-4はC区を中心にA区にかけて広く分布している。このような地点群と種群の特徴は、3次元、3地点群、4種群の場合が最も明瞭であったので、以下ではこの結果を採用した。

## 3・2・5 夏期底質の分布と地点群の特徴

図4には、地点群による顕著な相違がみられた底質、COD、強熱減量、T-N（全窒素）、粘土分、シルト分、砂分の分布を、図3と同じ地点順序にして示した。図から、地点群B区と他の区との相違が顕著で、B区は有機物含量と粘土分、シルト分が少なく、砂分の多いことが分かる。この相違は明瞭なので、2・7の（2）と（3）は省略した。指標種指数の計算（2・7の（4））は3・3・7で述べる。

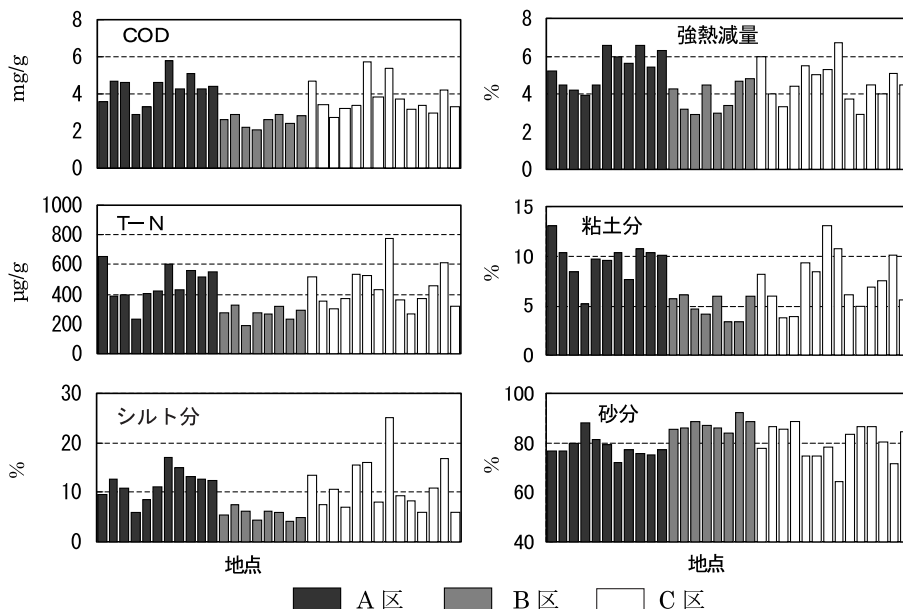


図4 夏期の底質分布と地点群の特徴  
横軸の地点の並びは図3と同じである。

### 3・2・6 夏期の種群個体数の経年変化

上に述べた各種群の地点別個体数を、年度別に並べて図5に示す。この図から、SP-1は工事開始後年々減少し、とくにそれはM-1で顕著である。またSP-2についても、M-4についてみると、やはり減少傾向が明らかである。一方、SP-3については、2000年度以降、M-1での増加傾向がみられ、SP-4については、2002年度以降、M-4とM-5で増加傾向が顕著である。

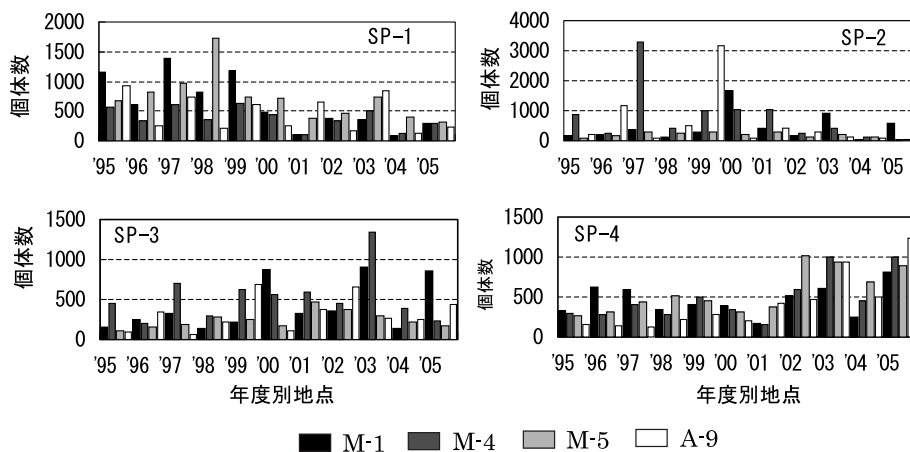


図5 夏期の種群の個体数の経年変化

3・2・7 夏期種群個体数と底質との正準相関分析

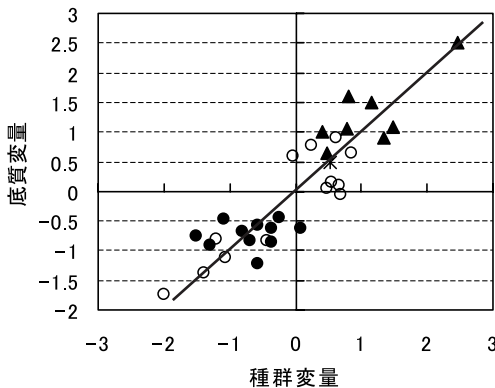


図6 夏期各地点の種群変量と底質変量の因子得点  
 図中のマークは、地点群を次のように示す。  
 ●, A区; ▲, B区; ○, C区  
 所属率が0.5未満の地点は米印とした。

表3 夏期各変数項目の因子負荷

|        | 変 量    | 因子負荷   |
|--------|--------|--------|
| 底<br>質 | COD    | -0.706 |
|        | 硫化物    | -0.610 |
|        | 強熱減量   | -0.785 |
|        | T-N    | -0.766 |
|        | T-P    | -0.112 |
|        | T-N溶   | -0.684 |
|        | T-P溶   | -0.395 |
|        | シルト分   | -0.732 |
|        | 砂分     | 0.774  |
|        | 礫分     | 0.583  |
| 粘土分    | -0.839 |        |
| 種<br>群 | SP-1   | -0.488 |
|        | SP-2   | 0.751  |
|        | SP-3   | 0.728  |
|        | SP-4   | -0.487 |
| 正準相関係数 |        | 0.900  |
| p値     |        | 0.033% |

上に述べた種群個体数の経年変化の要因を探るため、各種群の個体数と3地点で測定された底質項目との間の正準相関分析を行った。その際、欠測値のあるクロロフィルは除き、また、種群の個体数は1を加えて対数変換した値を用いた。その結果得られた各地点における種群項目の因子得点と底質項目の因子得点の散布図を図6に、また、各項目の因子負荷を表3に示す。

図6から、種群項目と底質項目から合成された変量は45度の直線上に並び、その正準相関係数は0.900で、カイ二乗検定の結果、p値は0.003%であった。

このことは、環境項目と種群項目の変動が、共通の環境要因に起因していることを示す。表3の各項目の因子負荷は、底質では、停滞的で有機物含量が多いことを示す項目は全て負の値で、逆に流動的であることを示す項目は正の値である。

このことから、共通要因とは、底層の流動性と考えられ、因子得点が正で大きいほど流動的で、逆に負で絶対値が大きいほど、停滞的といえる。図6中のマークは、図2と同様に地点群A、B、C区を示す。これから、地点群は流動的か停滞的かによって二分され、A区が最も停滞的で、B区は流動的、C区は停滞的地点と流動的地点が混在している。この共通要因の大きさは、図6中に引いた45度の直線に沿った原点からの距離によって測られる。各地点別にこの距離の経年変化を図7に示した。

この図から、各地点に特徴的な変化が見られる。まずM-1においては、2000年度以降、停滞的から流動的に大きく変化し、2002年度以降は3地点の中で最も流動的である。一方、

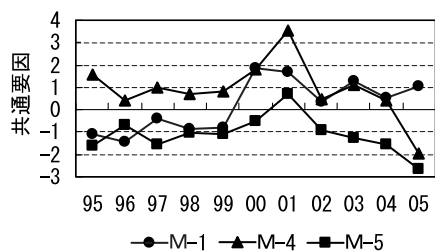


図7 夏期の地点別共通要因の経年変化

M-4 は 2001 年度までは最も流動的であったが、その後停滞化し始め、2005 年度には M-5 と同程度まで停滞化した。さらに地点 M-5 は、3 地点の中で最も停滞的といえるが、他の地点と同様に 1999 年度から 2001 年度にかけて一時流動化し、その後、年々停滞化が強まっている。

### 3・3 冬期データの解析結果

1995 年度から 2005 年度までの 1 月に行なわれた底生動物調査データを解析した。調査地点、調査方法等は夏期 7 月の場合と同じである。11 年間で識別された種は、環形動物 141 種、軟体動物 47 種、節足動物 89 種、棘皮動物 15 種で、4 動物門合計 292 種であった。この中には夏期と同様に複数種含むものも存在するが、全体として冬期の出現種数は夏期の 82% 程度で、とくに軟体動物は夏期の 62% と減少が大きい。この点について品川<sup>13)</sup> は、この水域が冬期に吹送距離の長い西北西の季節風を正面から受けることの影響を挙げている。

#### 3・3・1 関係類似度行列の固有値分解による冬期地点と種の座標付け結果

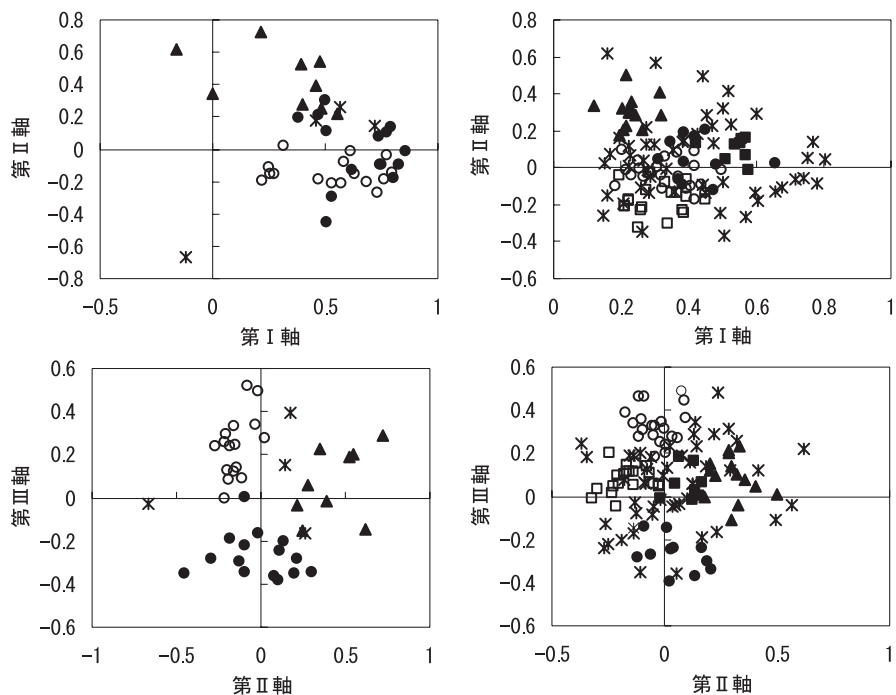


図8 冬期 11 年間累計 44 地点 (左) と 11 年間で 4 地点以上出現した 124 種 (右) の第 I × II 軸 (上) および第 II × III 軸 (下) 平面への座標付け結果

図中のマークは、ファジィクラスタリングにより所属率 0.5 以上で識別された地点群と種群を下のように示す。ただし、所属率が 0.5 未満の地点と種は \* とした。

地点群 (左) : ●, D 区; ▲, E 区; ○, F 区

種群 (右) : ●, SP-5; ▲, SP-6; ○, SP-7; ■, SP-8; □, SP-9

冬期1月のデータについても同様にして地点と種を座標付けした結果を図8に示す。

種は、11年間で4地点以上出現した124種を用いた。図中のマークは、後述するファジィクラスタリング結果から、地点群D~F区および種群SP-5~9に所属率0.5以上の地点と種を示す。

### 3・3・2 冬期地点のファジィクラスタリング

上の座標付け結果を用いて

表4 冬期地点のファジィクラスタリング

| 冬期44地点のファジィクラスタリングを行なった。その際、座標付けの次元数とクラスター数は3~4の全ての組み合わせについて計算し、後述する種群個体数の分布や、正準相関分析結果から、最も情報の重複が少なく、かつ意味があると思われる結果の得られた、3次元3地点群が適当と考えた。地点群D、E、F区への所属率が0.3以上の各地点の所属率を表4に示す。 | D区        |       | E区        |       | F区        |       |
|---|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|   | 所属率       | 所属率   | 所属率       | 所属率   | 所属率       | 所属率   |
|   | M-5 ('03) | 0.921 | M-4 ('98) | 0.934 | A-9 ('04) | 0.957 |
|   | M-5 ('04) | 0.909 | M-1 ('97) | 0.888 | M-4 ('02) | 0.957 |
|   | M-5 ('05) | 0.897 | M-4 ('97) | 0.856 | M-1 ('03) | 0.909 |
|   | M-1 ('96) | 0.862 | M-4 ('95) | 0.796 | M-5 ('00) | 0.859 |
|   | M-5 ('96) | 0.823 | A-9 ('96) | 0.700 | A-9 ('02) | 0.776 |
|   | M-1 ('01) | 0.797 | A-9 ('99) | 0.674 | M-4 ('00) | 0.743 |
|   | M-5 ('99) | 0.788 | A-9 ('95) | 0.600 | A-9 ('05) | 0.715 |
|   | A-9 ('03) | 0.782 | A-9 ('98) | 0.507 | M-1 ('00) | 0.715 |
|   | M-5 ('97) | 0.736 | M-4 ('96) | 0.501 | A-9 ('00) | 0.700 |
|   | M-4 ('04) | 0.670 | M-4 ('99) | 0.408 | M-4 ('03) | 0.619 |
|   | M-4 ('05) | 0.565 | M-5 ('98) | 0.399 | M-1 ('04) | 0.614 |
|   | M-1 ('98) | 0.552 | M-5 ('95) | 0.364 | M-1 ('02) | 0.597 |
|   | M-5 ('01) | 0.545 | M-1 ('95) | 0.341 | A-9 ('01) | 0.595 |
|   | M-1 ('95) | 0.511 | M-1 ('98) | 0.318 | M-4 ('01) | 0.577 |
|   | M-5 ('95) | 0.501 |           |       | M-5 ('02) | 0.574 |
|   | M-5 ('98) | 0.465 |           |       | A-9 ('97) | 0.553 |
|   | A-9 ('98) | 0.361 |           |       | M-4 ('99) | 0.463 |
|   | M-5 ('02) | 0.330 |           |       | M-1 ('99) | 0.433 |
|   | M-4 ('01) | 0.327 |           |       | M-1 ('05) | 0.428 |
|   | M-4 ('96) | 0.322 |           |       | M-5 ('01) | 0.345 |
|   | M-1 ('05) | 0.315 |           |       |           |       |

### 3・3・3 冬期主要種のファジィクラスタリング

冬期に4地点以上で出現した124種をファジィクラスタリングした結果、SP-5~9への所属率の高い順に20種を表5に示す。SP-5はイカリナマコ科、*Neanthes* sp.、*Notomastus* sp.、エーレルシスピオなどの所属率が高く、最も泥底性の構成である。一方、SP-6にはLysianassidae、モバウミナナフシ属、トミオカカリアブセウデス、クビナガスガメなどの小型甲殻類や、ブンブクヤドリ科などの二枚貝類の所属率が高い。このことは、やや流動的な環境を示唆する。SP-7にも*Protella* sp.、ミサキスガメ、サンパツヨコエビ属などの端脚類の多いことはSP-6と同様であるが、ウミホタル、*Amphisiphonstra* sp.などの貝虫類、ツツオオフェリアや*Galathowenia oculata*など、海底の表層に生息する小型種が特徴的である。SP-8とSP-9は、いずれも泥底域で普通にみられる種構成で、一定の傾向は見出し難い。



表5 冬期主要種のファジイクラスタリング

| SP-5                         | 所属率   | SP-6                            | 所属率   | SP-7                        | 所属率   |
|------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| イカリナマコ科                      | 0.898 | トゲツノヤドカリ                        | 0.926 | <i>Protella</i> sp.         | 0.878 |
| <i>Neanthes</i> sp.          | 0.811 | <i>Streblosoma</i> sp.          | 0.906 | ウミホタル                       | 0.847 |
| ヒメムツアシガニ                     | 0.802 | イトカケギリ属                         | 0.869 | <i>Polydontes</i> sp.       | 0.812 |
| ダルマゴカイ                       | 0.717 | Lysianassidae                   | 0.865 | ナガサキキバガニ                    | 0.785 |
| ヒゲナガスガメ                      | 0.690 | ヒメカノコアサリ                        | 0.804 | ツツオオフェリア                    | 0.737 |
| <i>Aricidea</i> spp.         | 0.609 | ブンブクヤドリ科                        | 0.758 | <i>Schistomeringos</i> sp.  | 0.735 |
| カニゴカイ                        | 0.592 | モバウミナナフシ属                       | 0.741 | <i>Amphisiphonostra</i> sp. | 0.711 |
| <i>Notomastus</i> sp.        | 0.564 | <i>Leonnates</i> sp.            | 0.733 | <i>Chaetozone</i> sp.       | 0.686 |
| <i>Sthenolepis</i> sp.       | 0.543 | <i>Polydora</i> sp.             | 0.714 | ニホンスナモグリ                    | 0.663 |
| チロリ                          | 0.524 | ウズザクラ                           | 0.669 | <i>Amphiura</i> sp.         | 0.660 |
| エーレルシスピオ                     | 0.521 | トミオカカリアブセウデス                    | 0.611 | ヒシガタコブシ                     | 0.643 |
| イトゴカイ科                       | 0.498 | <i>Aonides</i> sp.              | 0.585 | <i>Urothoe</i> sp.          | 0.593 |
| ヨツバナスピオ(B型)                  | 0.462 | クビナガスガメ                         | 0.541 | ミサキスガメ                      | 0.561 |
| <i>Sthenelais</i> sp.        | 0.462 | <i>Poecilochaetus elongatus</i> | 0.505 | <i>Siphonocetes</i> sp.     | 0.559 |
| <i>Lumbrineris latreilli</i> | 0.437 | コウキケヤリ                          | 0.482 | <i>Bodotria similis</i>     | 0.553 |
| <i>Ninoe</i> sp.             | 0.433 | ミナミシログガネゴカイ                     | 0.480 | <i>Galathowenia oculata</i> | 0.551 |
| <i>Gyptis</i> sp.            | 0.432 | <i>Paraonides lyra</i>          | 0.450 | サンバツヨコエビ属                   | 0.538 |
| スズエラナシスピオ                    | 0.375 | Polycirrinae                    | 0.428 | メクラガニモドキ                    | 0.537 |
| シズクガイ                        | 0.341 | コブスガメ                           | 0.399 | <i>Sigalion</i> sp.         | 0.531 |
| <i>Ogyrides</i> sp.          | 0.324 | <i>Ophiodromus</i> sp.          | 0.389 | <i>Tharyx</i> sp.           | 0.530 |

| SP-8                                   | 所属率   | SP-9                      | 所属率   |
|--|-------|---------------------------|-------|
| オニテッポウエビ                               | 0.910 | マルハナシガイ                   | 0.931 |
| <i>Glycinde</i> sp.                    | 0.799 | ウメノハナガイ                   | 0.836 |
| ドロヨコエビ                                 | 0.772 | フトヒゲソコエビ科                 | 0.748 |
| モロテゴカイ                                 | 0.765 | <i>Pseudopolydora</i> sp. | 0.744 |
| マダラウロコムシ                               | 0.693 | ミツバナスピオ                   | 0.737 |
| ハナオカカギゴカイ                              | 0.625 | ケンサキスピオ                   | 0.726 |
| <i>Poecilochaetus</i> sp.              | 0.577 | フタエラスピオ                   | 0.716 |
| ツノメエビ                                  | 0.569 | <i>Podocerus</i> sp.      | 0.708 |
| サクラガイ                                  | 0.470 | <i>Terebellides kobei</i> | 0.708 |
| アシビキツバサゴカイ                             | 0.420 | スナクモヒトデ科                  | 0.691 |
| <i>Scotoplos</i> sp.                   | 0.415 | <i>Megaluropus</i> sp.    | 0.634 |
| Euclymeninae                           | 0.410 | チンチロフサゴカイ                 | 0.620 |
| ラスパンマメガニ                               | 0.403 | <i>Eocuma</i> sp.         | 0.611 |
| <i>Mediomastus</i> sp.                 | 0.392 | イトエラスピオ                   | 0.562 |
| <i>Paraonis gracilis japonica</i>      | 0.364 | <i>Drilonereis</i> sp.    | 0.556 |
| <i>Haploscoloplos</i> sp.              | 0.360 | <i>Alpheus</i> sp.        | 0.548 |
| <i>Paralacydonia paradoxa japonica</i> | 0.356 | <i>Photis</i> sp.         | 0.547 |
| コノハシログガネゴカイ                            | 0.343 | クシノハクモヒトデ                 | 0.517 |
| マルソシラエビ                                | 0.328 | キセワタ                      | 0.504 |
| <i>Glycera</i> sp.                     | 0.306 | <i>Magelona</i> sp.       | 0.504 |

### 3・3・4 冬期種群の分布と地点群の特徴

夏期の場合と同様にして、各種の各種群への所属率を用いて種群の個体数を計算し、結果を棒グラフで図9に示した。図から、SP-5、6、7は、それぞれD、E、F区で多く出現していることが分かる。また、SP-8には地点群による相違がなく、SP-9はF区とD区で多く、E区では少ない。このような特徴は3次元の3地点群5種群の場合が最も明瞭で妥当と考えられたので、以下ではこの結果を採用した。

底質の分布についても夏期の場合と同様に地点群の特徴を調べた結果、硫化物、強熱減量、粘土分、シルト分については、D区で最も高く、E区で最も低い傾向はみられたが、他の場合には区による相違が顕著でなかった。

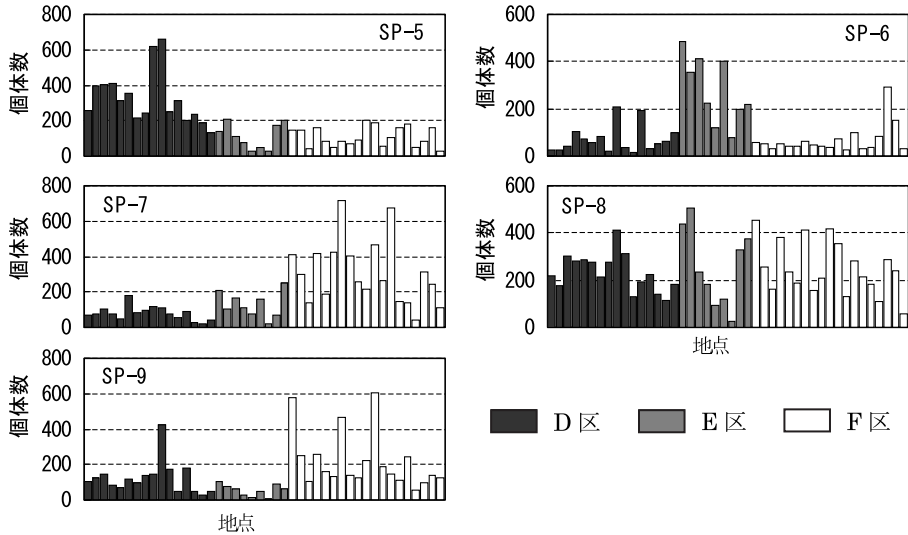


図9 冬期種群の個体数と地点群の特徴  
地点の並びは夏期の図5と同様

### 3・3・5 冬期種群個体数の経年変化

冬期の種群の地点別個体数の経年変化を図10に示す。これから分かるように、泥底性のSP-5は、工事開始後間もなくは地点M-1とM-5で多かったがその後地点M-1では減少し、2002年度以降は地点M-4とM-5で多くなった。一方、SP-6は地点M-4で多かったが、2000年度以降、激減している。またSP-7は、2000年度まで地点M-1において増加傾向がみられるが、その後増減を繰り返している。SP-8については、とくに経年的な変化傾向はみら

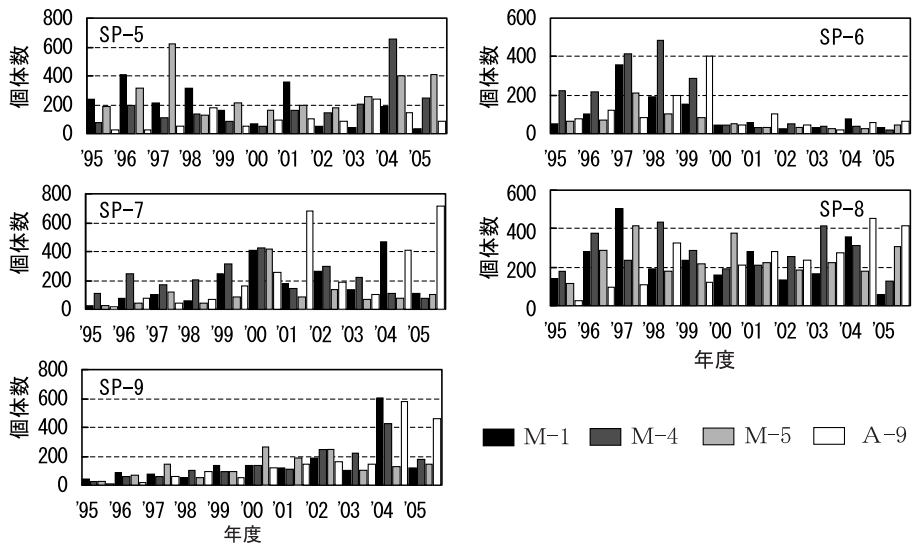


図10 冬期の種群の個体数の経年変化

れないが、SP-9については、2002年度以降、全地点で増加傾向がみられる。

### 3・3・6 冬期種群個体数と底質との正準相関分析

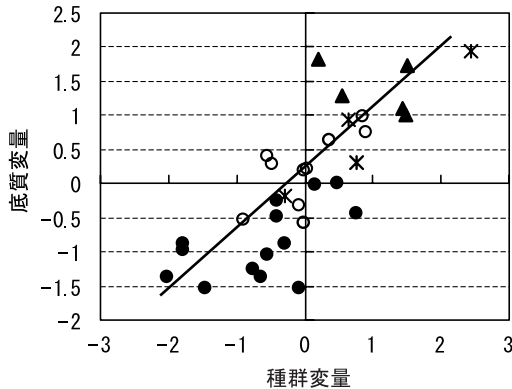


図11 冬期各地点の種群変量と底質変量の因子得点  
 図中のマークは、地点群を次のように示す。  
 ●, D区; ▲, E区; ○, F区  
 所属率が0.5未満の地点は\*とした。

表6 冬期各変数項目の因子負荷

| 変 量    | 因子負荷   |
|--------|--------|
| COD    | -0.361 |
| 硫化物    | -0.714 |
| 強熱減量   | -0.645 |
| T-N    | -0.650 |
| シルト分   | -0.635 |
| 砂分     | 0.379  |
| 礫分     | 0.523  |
| 粘土分    | -0.801 |
| 種 群    |        |
| SP-5   | -0.562 |
| SP-6   | 0.718  |
| SP-7   | 0.628  |
| 正準相関係数 | 0.791  |
| p値     | 2.38%  |

図11と表6には、夏期の場合と同様に、対数変換した種群個体数と底質との間で正準相関分析を行なった結果を示す。最初に底質と種群の全ての項目を用いて解析したが、カイ二乗検定の結果は有意ではなかった。そこで因子負荷の小さい項目を順次除いて解析した結果、表6に示す底質8項目と種群3項目を用いた場合にp値が2.38%の有意な結果が得られた。また、種群の数を4とした場合と5とした場合の計算も行なったが、5とした場合のほうがp値が僅かに低かった。そこで種群の数を5とした結果を示した。表6に示すように、各項目の因子負荷は、底質の有機物含量を示す項目では全て負で、また、泥底性とされた種群SP-5では負、他では正となっている。このことから、この解析で見出された共通要因は、夏期の場合と同様に、底層の流動性と考えられ、正準因子得点が高いほど流動的で、小さいほど停滞的と推察される。先に述べたように、図11に示す45度の直線に沿った原点からの距離を種群と底質に作用する共通要因の大きさと考え、その大きさの経年変化を地点別に図12に示す。これによると、地点M-1では、工事開始後底層が停滞的から流動的な方向へ変化した。また、地点M-4は、工事の初期は流動的であったが、2001年度頃から急激に停滞的となった。一方、地点M-5は3地点の中で最も停滞的であるが、工事開始後、M-1と同様にやや流動的な方向に変化した。しかし、

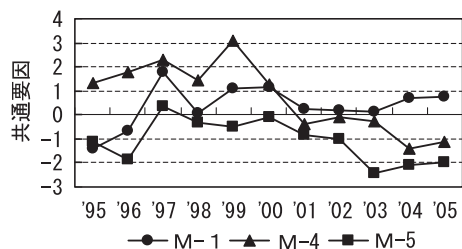


図12 冬期の地点別共通要因の経年変化

2000 年度頃から、再び停滞的方向へ変化している。

### 3・3・7 夏期と冬期地点群の指標種指数（2・7の(4)参照）

夏期の地点群 A、B、C 区と冬期の地点群 D、E、F について、Dufrene and Regendre の提唱する各地点群の指標種指数 IndVal 1 をファジイクラスターに拡張して適用した結果、夏期および冬期の各地点群の指標種と指標種指数の正規化値は、以下の通りとなった。

A 区：シズクガイ 4.9、エーレルシスピオ 4.2、ヨツバナスピオ（B 型）3.6、等。

B 区：ニッポンスガメ 5.1、トミオカカリアプセウデス 4.5、エラナシスピオ 4.5 等。

C 区：クツガタタケフシ 3.2、ホソナギサクマ 3.2、ダルマゴカイ 2.6、ホトトギスガイ 2.4 等。

D 区：ダルマゴカイ 4.5、*Lumbrineris latreilli* 4.5、シズクガイ 4.2、エーレルシスピオ 4.2 等。

E 区：コウキケヤリ 8.4、トミオカカリアプセウデス 6.6、ブンブクヤドリ科 4.2 等。

F 区：*Urothoe* sp. 6.6、メクラガニモドキ 4.1、ウミホタル 3.5、ツツオオフエリア 2.3 等。

この結果から、A 区と D 区は停滞的な環境で、B 区と E 区は流動的であることが裏付けられた。C 区と F 区は停滞的とも流動的ともいい難い。

## 4. 考察

### 4・1 人工島周辺底生動物群集の経年変化とその要因

著者は先の報告<sup>13)</sup>で、この調査水域の底生動物群集は、底層の流動性が主要因となり、夏期も冬期もおおよそ 3 区の群集が認められることを指摘した。また、人工島建設工事に伴い、本来停滞的な環境にあった沖合地点 M-1 の群集が流動的な組成に変化し、一方、流動的な環境にあった岸寄りの地点 M-4 の群集が、冬期にやや停滞的な組成に変化する兆候がみられることを報告している。今回、品川の手法による解析結果にさらに正準相関分析を適用することにより、この変化が一層明らかとなった。特に注目されるのは、夏期においては 2002 年度以降、冬期においては 2000 年度以降、人工島より内側の地点 M-4 と M-5 において、顕著な停滞化傾向がみられることである。先の報告でも指摘しているように、2000 年度は人工島と陸を結ぶ橋と橋への道路建設が始まり、また、2002 年度は人工島外周の護岸建設が始まり、建設工事が平面的に拡大した時期と一致する。したがって、こうした停滞化傾向は、人工島によって外海水の流入や波浪が遮断されたためではないかと推測される。特に冬期には季節風による波浪の遮断の影響は大きく、冬期の停滞化が夏期より早く生じたことが説明できる。一方、人工島外側の地点 M-1 においては、建設工事開始後、流動化傾向が続いている。これは、人工島による砕波や反射波、同期波の影響が考えられる。

#### 4・2 底生動物群集の解析方法について

以上のように、座標付けとファジィクラスター解析の手法は、調査地点と出現種の群を識別して群の特性から様々な情報を取り出せるだけでなく、一般的な多変量解析の適用が可能となる結果、定量的な環境影響評価に道を拓く。個別の種や、底質項目は、年々の不規則な変動が大きいため、単にそれらの時系列をみるだけでは、上に述べた変化傾向は見出せない。正準相関を考え、種群と底質項目の変動の中の共通変動成分を抜き出すことによって分かったことで、その信頼性は統計的検定によって保障されるので、単独項目のデータより信頼できるといえる。

#### 4・3 IndVal の有効性

Dufrene and Legendre<sup>17)</sup>が提唱する指標種指数 IndVal は各地点群の特性を考察する上で効果的であり、さらに、地点群の有意性を統計的に検定することが出来る、優れた方法であるが、これだけでは環境要因の推察には不十分である。

### 5. 結言

人工島が建設されることについて、環境への影響を懸念する考えは早くからあった。その理由の一つは、人工島によって外海と遮断される結果、内側水域が内湾化し、水質や底質が悪化するのではということであった。現実に博多湾では、人工島により湾内水と外海水の交換が悪くなり、湾奥の有機汚染の進行が問題となっている<sup>18)</sup>。下関市の人工島は外海に開かれた水域に建設されるため、そのような心配は不要とも思われたが、今回の解析結果では、やはり人工島の内側水域では、停滞化傾向が始まっていることが示された。

この水域は最初にも述べたように、瀬戸内海水や都市下水が流入し、底質は富栄養化しているにもかかわらず、対馬暖流の流入による水交換がよいため、生物相が豊富で、回遊性および定着性魚類の幼稚仔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いた<sup>19-21)</sup>。

今回見出された変化は、底質の変化から見る限りまだそれほど大きいものではない。しかし、底生動物相の変化を通してみられる環境の変化が、幼稚仔魚の生育場という生態系の一環に及ぼす影響については未知の部分が多く、やがてその変化が次の段階へ波及することも十分考えられる。こうした問題は、極めて学際的な問題を含んでいるので、今後は幅広い分野の研究者が協力して、積み上げられた環境監視調査データの詳細な解析と検討が望まれる。

## 6. 謝辞

本論文作成に当り、データと図、ならびに写真の提供をご快諾頂いた国土交通省九州地方整備局ならびに下関市港湾局の各位に対して、深甚なる謝意を表す。なお、本論文の一部は、平成 19 年度日本水産学会中国・四国支部大会において発表した。

## 文献

- 1) 国土交通省九州地方整備局・下関港湾事務所：「ひびくらくらんどー下関沖合人工島ガイダンス」, 下関市港湾局, 下関市, 2004.
- 2) 石川公敏：埋立による海域環境の変化, 月刊海洋, 33, 857-865 (2001).
- 3) 国土交通省九州地方整備局・下関市：底質, 底生生物, 「下関港（新港地区）港湾整備事業に係る環境監視調査報告書（平成 7～17 年度）」, 下関市, 1997～2007.
- 4) 小林四郎：生物群集の座標付け, 「生物群集の多変量解析」, 蒼樹書房, 東京, pp.115-147, 1995.
- 5) 宮本定明：「クラスター分析入門, ファジィクラスタリングの理論と応用」, 森北出版, 東京, 176pp., 1999.
- 6) 品川汐夫：底生動物相による海域環境解析の一方法, 日本ベントス研究会誌, 26, 49-65, (1984).
- 7) 品川汐夫：新座標づけ法による一次元群集構造の解析例, 下関女短大紀要, No.18, 1-20 (2000).
- 8) 品川汐夫・多部田 修：「数値実験の比較による Rsn 法の利点」, 日水誌, 64, 56-64 (1998) .
- 9) 品川汐夫：「ファジィクラスター解析を用いた生物群集解析法についての理論的考察」, 下関女短大紀要, No.17, 1-18 (1998) .
- 10) 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, *La mer*, 41, 1-14 (2003) .
- 11) Masanori Takahashi, Noritaka Mochioka, Sekio Shinagawa, Akihiko Yatsu, and Akinobu Nakazono : Distribution patterns of leptocephali in the Kuroshio Oyashio transition zone, *Fisheries Oceanography*, 巻号未定, 掲載予定.
- 12) 高橋正知：移行域における葉形仔魚の水平分布様式, 「黒潮親潮移行域における葉形仔魚の分類および分布特性に関する研究」(九州大学学位論文), 九州大学, 福岡市, pp.78-191, 2007.
- 13) 品川汐夫：下関市で建設中の人工島周辺における底生動物群集の変化について一座標付けとファジィクラスター解析を用いた群集データによる環境影響評価の手法一, 環境アセスメント学会誌, 4(2), 52-62 (2006) .
- 14) J.G. Field, K.R. Clarke, and R.M. Warwick : A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 8, 37-52 (1982) .
- 15) G.W. Hosie, T.G. Cochran, T. Pauly, K.L. Beaumont, S.W. Wright, and J.A. Kitchener : Zooplankton community structure of Prydz Bay, Antarctica, January-February 1993, *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, 10, 90-133 (1994) .
- 16) 木元新作・武田博清：群集パラメータと多様性指数, 「群集生態学入門」, 共立出版, 東京, pp.123-151, 1976.
- 17) M. Dufrene and P. Legendre: Species assemblages and indicator species-The need for a flexible asymmetrical approach-, *Ecological Monographs*, 67(3), 345-366 (1997).



## 下関市で建設中の人工島周辺における底生動物群集の変化

- 18) 安東 毅: 明らかになった「人工島」環境アセスメント影響予測の誤り！その埋立工事についての環境監視結果が示すもの, ふくおか市政研, 24, 1-4 (1997) .
- 19) 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, pp.1-70, 1983.
- 20) 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, 322pp., 1993.
- 21) 網尾 勝: 底生動物, 「下関市外海漁場総合診断に関する調査報告書 (昭和 58・59・60 年度)」, 下関市外海漁業共励会, 下関市, pp.25-70, 1986.