

クラスター分析を用いた港湾構造物に付着する生物群集の 地理的・物理的環境条件による分類

浅井 正* ・村上和男**・中瀬浩太***
綿貫 啓****・山本秀一*****

1. はじめに

港湾構造物の建設にあたり、周辺の生態系への配慮が望まれるようになってきている。運輸省港湾局（1994）でも、平成6年3月に発表した港湾環境政策の中で「エコポート」整備構想を打ち出し、「自然にとけ込み、生物にやさしい港」や「積極的に自然環境の再生、整備を図る港」等の実現に向けて努力している。このためには、港湾本来の機能を満足しつつ、生物の生息に適した条件を備えた港湾構造物のあり方を確立する必要がある。しかし、構造物の建設により生ずる周辺の生態系への効果についてはわからない点が多い。

このため、小笹ら（1994, 1995）は、全国の港湾において港湾構造物への付着生物調査結果を収集し、付着生物の着生条件に対して検討を行った。そして、望ましい生物分布が得られるときの波高や構造形式等の物理的環境条件について、多様性指数を用いた検討を行った。ただし、ここで得られた物理的環境条件は各港の条件を平均的にみたときの値を表しており、実際に適用する場合には港湾ごとに物理的環境条件に対する制約条件を考える必要がある。また、日本列島は南北に長く、各港湾の生物分布も気候等の地理的な特性によって変化するため、これを加味した検討を行う必要がある。そこで、全国の港湾を分布する付着生物相によって分類し、それぞれの特徴について検討することにした。生物相の分類にはクラスター分析を用いている。これらの生物相を性格付けている物理的環境要因についても考察し、各港湾における望ましい生態系を創造する上で一助となるようにした。

2. 調査地点および調査方法

(1) 調査地点

表一1に示す8地点を対象として港湾構造物に付着す

* 正会員	工修	運輸省第一港湾建設局	新潟調査設計事務所技術開発課(前運輸省港湾技術研究所 海洋環境部 環境評価研究室)
** 正会員	工修	運輸省港湾技術研究所	特別研究官(環境担当)
*** 正会員		五洋建設(株)	土木本部 第一技術部
**** 正会員	工修	(株)テトラ	応用水理研究所 第四研究室
*****	学修	(株)エコー	第二技術部 環境計画課

る生物量を調査した。全国の港湾における付着生物量の特徴を把握することを目的としているため、調査地点は、太平洋、日本海および瀬戸内海に面した港湾から選び、内湾性が強く水質が低下している港湾と外洋に面するため海水交換が良好な港湾がともに含まれるように設定した。対象とした港湾のうち付着生物量に関する既存資料を有している地点についてはこれを利用することとし、資料のない港湾については新たに現地調査を行った。ただし、北海道については水産有用種に限って調査を行っているため、今回の検討では、以前に用いた資料も検討対象から除外している。

1つの港湾で数ヶ所測点を選び生物調査を行っている場合には、局所的な環境条件の違いをみるために、それぞれの測点の調査結果について検討を加えた。また、1つの測点で数ヶ所の水深に対して調査結果が得られている場合には、各水深での調査結果を平均して測点の代表値とした。そして、水平的な分布特性による生物群集の変化について検討した。

表一1 調査対象地点

港 名	地域区分	海域区分	内湾性の強さ
新潟西海岸	北陸地方	日本海側	弱い
七尾港	北陸地方	日本海側	強い(能登湾)
横須賀港	関東地方	太平洋側	やや強い(東京湾)
御前崎港	東海地方	太平洋側	弱い
三河港	東海地方	太平洋側	強い(三河湾)
日良居港	中国地方	瀬戸内海	強い
安下床港	中国地方	瀬戸内海	強い
大分港	中国地方	瀬戸内海	強い
博多港	九州地方	日本海側	強い(博多湾)

(2) 調査方法

付着生物量の測定は掻き取り調査により行った。調査地点において、構造物の表面に50cm×50cmの方形枠を設置し、枠内の付着物を浮泥等とともにすべて掻き取った。付着物を1mmのふるいにかけ、その中に残った生物を付着動物と海藻に分別した後、さらに詳細な分類を行った。付着動物については種類毎の個体数と出現量、海藻類については種類毎の出現量の計測を行った。ここで、付着生物の出現量については湿重量を使うこととし、

1 m²あたりの値に直して表した。

3. 構造物に付着する生物の地域的な分布特性

(1) 海藻類の地域的な分布特性

図-1 は、各港湾における海藻類の出現量を、門毎の湿重量比を用いて整理したものである。図より、安下床港、日良居港では緑藻の割合が他に比して若干大きい。これに対して、秋田港、新潟西海岸では褐藻類・紅藻類の出現量が大きい。これは、自然海浜で一般に言われている南方の暖かい海に行くほど C/P (褐藻類の出現量に対する緑藻の出現量の比) の値が増加する傾向(瀬川, 1956)と定性的に一致する。この傾向は、北方の海では低温に強く比較的日照時間が少ない場所でも生育できる褐藻類が繁茂するようになるためと言われている。

ところが、横須賀港、四日市港、大分港では、この傾向と反して褐藻類・紅藻類の割合が大きく、とくに紅藻類の増大が著しい。また、七尾港では大量のアオサ類の漂着により緑藻類が多い分布になっている。このような現象は、これらの港では内湾性が強く、濁度などの水質の条件があまりよくないためであると考えられる。さらに、御前崎港で褐藻が多いのは、ホンダワラ類がよく繁茂してガラモ場を形成しているからであり、これは港内の水質が良いことを示している。

以上に述べたように、海藻類では、南北による種類毎の出現量の差は小さく、港湾の設置場所による内湾性

の強さ、すなわち水質条件が分布に大きく寄与するものと思われる。

(2) 付着動物の地域的な分布特性

図-2 は、各港湾における付着動物の出現量を、門毎の出現量の割合(湿重量比; %)を用いて整理したものである。個体数の割合を用いて整理した方が多種類の生物出現を確認できるが、個体重量の非常に小さな生物が多く含まれるようになった。生物分布の優占度はバイオマスで代表させる方が適当と考えられるので、バイオマスを直接表現する出現量を用いて議論を行うこととした。

出現量の図より、ほとんどの港湾で軟体動物と節足動物が優占しているのに対して、三河港で環形動物が多くなっている(68%)のは特徴的である。これは、カンザシゴカイ等の多毛類が大量に発生しているためである。七尾港(能登湾)、横須賀港(東京湾)、博多港(博多湾)、大分港(瀬戸内海)といった港湾でも、環形動物の発生が認められた。これらの港は三河港(三河湾)とともに内湾性が強く、水質の劣化が進行しやすい。環形動物はこのような内湾性の強い港で発生しやすいといえる。

また、横須賀港では、調査地点によっては海綿動物や腔腸動物(イソギンチャク等)の発生も認められるため、港口部等では水質が比較的良好であると推測される。

御前崎港や七尾港では原索動物の発生がみられ、湿重量比で御前崎港 28%、七尾港 18%を占めている。これはホヤ類が発生しているためであるが、両港でその特性は若干異なっている。七尾港では汚損生物としてよく知られているシロボヤが多いのに対して、御前崎港では多くの種類のホヤが生息している。しかし、御前崎港の港内にもシロボヤ類の発生がみられるところがある。同地点では浮泥の堆積も認められ、御前崎港の港内には内湾性が強い部分もあるといえる。

(3) 生息場所による付着動物の分布特性の違い

図-3 は、図-2 を付着動物の生活様式を用いて分類し直したものである。図の(a)はそれぞれ生活形態を固着性の動物の生活形態を示している。どの港湾でも固着性の動物が多く、湿重量比にして90%以上を示していたため、移動性および潜伏性の動物については(b)に分けて示すこととした。固着性の動物については、体表面の形質から硬殻型、軟殻型、無殻型の3つに分けて分類した。移動性、潜伏性の動物については主な生活場所から表在型、潜伏型、内在型の3つに分けて分類している。

固着性の生物の出現量が大きいのは、イガイやフジツボなど固い外殻をもつものが多いため個体重量が大きいこと、および海岸線付近に生息するので海底とくらべて波当たりの影響が強いため外殻が必要となることがあげられる。繁茂する生物は自然岩礁とほぼ同じであり、構造物上も岩礁とよく似た基質になっていること、

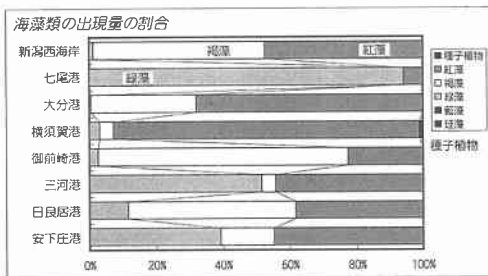


図-1 海藻類の出現量の割合

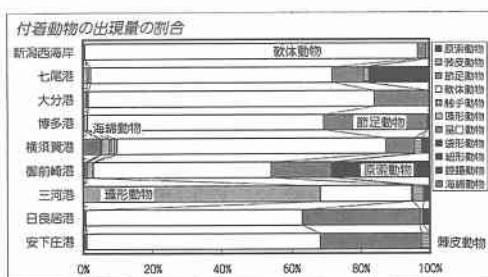
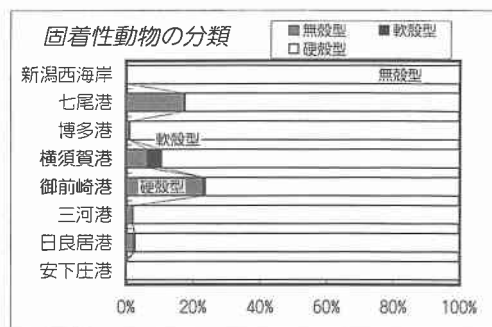
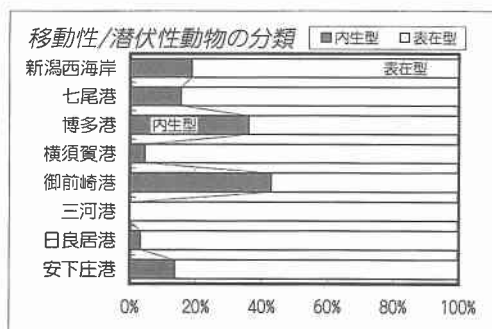


図-2 付着動物の出現量の割合



(a) 固着性動物の出現量



(b) 移動性・潜伏性動物の出現量

図-3 生活様式による付着動物量の分類

固着性の動物についてさらに詳しくみると、図の (a) より内湾性の強い港湾である七尾港、横須賀港では無殻性、軟殻性の動物の割合が20%程度まで増加している。御前崎港でも無殻性の動物が多いのは、ホヤ類がみられるためである。御前崎港で採集されたホヤはシロボヤなどの比較的水質きれいなところに生息するホヤである。

移動性、潜伏性の動物については、図の (b) に示すように新潟西海岸や御前崎港のように波当たりの強い港湾において内在型の動物が増加する傾向がみられる。博多港で内在性の動物が増加しているのは港内にゴカイ等の多毛類が大量に発生しているからであり、港内に浮泥がたまっていることが推測される。

(4) 食性による付着動物の分布特性の違い

図-4は付着動物をその食性によって分類して示したものである。どの地点でも懸濁物食性の動物が湿重量比で90%以上であったため、図に懸濁物食者以外の動物を抽出して表示した。

図より、新潟西海岸では藻食性の動物が多く、横須賀港、日良居港、安下庄港の3地点では肉食性の動物が比較的多い。これは、新潟西海岸では藻場が形成されているため餌料の供給があること、および堤前波高の小さな港湾では付着動物が優占する生物群集になりやすいこと

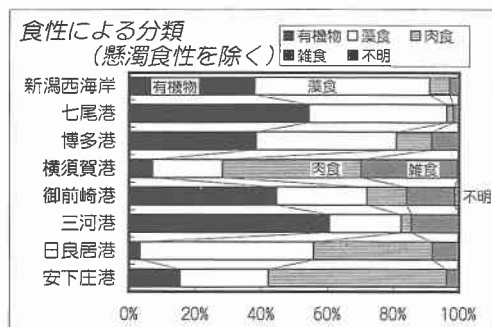


図-4 食性による付着動物量の分類

によるものと考えられる。また、七尾港、三河港、博多港、新潟西海岸、御前崎港の5地点では、有機物食者の割合も40~60%と多い。ただし、新潟西海岸と御前崎港では、懸濁物食者以外の動物の割合が小さいため、湿重量そのものは50 g/m²以下と小さな値である。有機物食者のほとんどがデトリタス食者であることから、新潟西海岸、御前崎港をのぞく3地点では周辺に浮泥の堆積があるものと考えられる。

4. クラスタ分析にもとづく付着生物の分類

(1) 生物群集構造の分類へのクラスタ分析の適用

3.より、付着生物の分布特性は、地域ごとに独特な特徴をもつことがわかった。これは、一般的に言われている緯度の違いから生じる差異だけではなく、内湾性の強さなどの環境条件も大きく影響している。

そこで、階層的クラスタ分析を用いて全国の港湾を付着生物の分布特性にもとづいて、分類することを試みた。クラスタ分析は多変量のデータ間で非類似度(dissimilarity)を計算し、その大きさを比較しながら整理することにより、各々のデータのグループ分けを行う手法である。そこで、種類毎の出現量を変数とした多変量解析を行うことにより、各々のデータの比較を行った。

各クラスタ内の付着生物の種類構成や湿重量比の特性について、クラスタに含まれる港湾の環境条件をもとに検討を加えた。この検討結果をもとに、付着生物を分類する上で着目すべき項目の抽出を行った。

(2) クラスタ分析の解析手法

階層型クラスタ分析を行うにあたり、変数として付着生物の種毎の出現量を使用した。多くの港において付着動物の出現量が海藻類と比べて1オーダー程度大きかったため、クラスタ分析は海藻類と付着動物類の2つに分けてそれぞれ実施した。両方の出現量を用いてクラスタ分析を実施した場合には、付着動物だけの場合とほぼ同じ結果が得られている。

解析にあたり、ユークリッド平方距離を非類似度とし

て用いることとし、各クラスター間の非類似度から最長距離法にもとづいてデンドログラム（樹形図）を作成し、各港湾の分類を行った。なお、このときの樹形図を作成したときのしきい値は、試行錯誤の結果から比類似度の最大値の10%に設定した。

（3）分析結果および各クラスターの特徴

表一2および表一3は、それぞれ付着動物および海藻類に対するクラスター分析の結果をもとに各港湾を類似度の近い順番に並び替えて示したものである。港湾名の横に示す生物種はそれぞれの調査地点での優占種を示しており、各クラスターを特徴づける生物種であるといえる。図一5および図一6に、それぞれ表一2、表一3に対応するデンドログラムを示す。また、図一7は付着動物について各クラスターの代表的な港湾における付着動物の出現量の割合を示したものである。

海藻類では、新潟西海岸（No.1）の生物相が他の港湾間と比べて非類似度が3倍程度大きくなっている。これは、日本海側の生物相は太平洋側と比べて大きく異なる特徴をもつためと考えられる。

新潟西海岸の優占種をみると、海藻類では海面近くには付着がほとんどみられず、水深の深いところでワカメが群落をつくり、その中にヒジリメン等の紅藻類が混じって生息している。付着動物分布についてもムラサキイガイが優占しており、その割合は他の地点と比べて非常に大きい。このことは、調査地点では波浪による外力

が大きいため、水面付近の生物付着に制限を受けていることを示している。これから、日本海側の港湾では冬季風浪によって生物相が特徴づけられていることがわかる。

また、付着動物の場合でも七尾港（No.1）、横須賀港（No.2,3）、安下床港（No.3）の3港が1つのグループをつくっている。七尾港では、カンザシゴカイ類の優占が認められる。その他にも、ワレカラ類やヨコエビ類等の節足動物の優占もみられる。海藻類は石灰藻類などがごくわずかに見られ、その中にアオサやミルが混在している。海藻類の出現量は、付着動物と比べて無視できるほど小さい。アオサ類は増殖速度は速いが他の海藻類との競争力が弱いいため、建設直後もしくは水質汚濁が非常に進み他の海藻類が生息できない場合に優占しやすい藻類である。したがって、内湾性が非常に強い港湾にみられる海藻の集落であるといえる。七尾湾では内湾性が強く、CODや濁度の増加とこれにともなう透明度の減少によって海藻類の育成に制限を受けているため、アオサ類が生息しているものと考えられる。

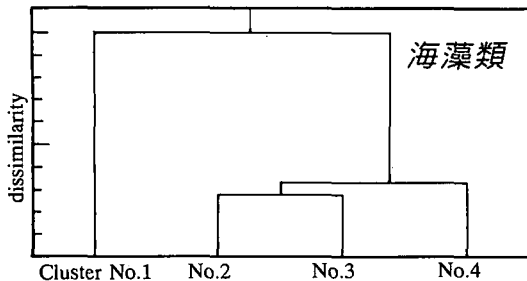
太平洋側の港湾においても、内湾性の強い横須賀港や四日市港では、カンザシゴカイ類が優占するという、七尾湾と同様の傾向が得られている。ただし、これらの港

表一3 付着動物の群集構造に対するクラスター分析結果

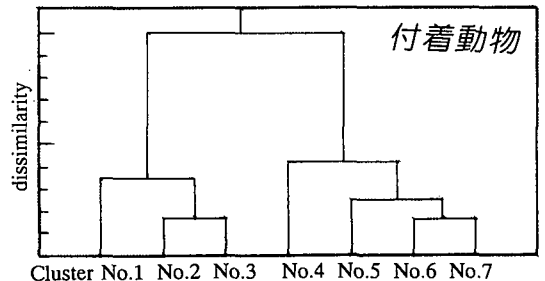
クラスター	港 名	優 占 種	特 徴
No.1	七尾港	ムラサキイガイ、フジツボ類、ホヤ類、ワレカラ類	内湾性、日本海側
No.2	横須賀港①	ムラサキイガイ、フジツボ類、カンザシゴカイ類	内湾性、太平洋側
No.3	安下床・横須賀港②	フジツボ類、ワレカラ類	内湾性、太平洋側
No.4	三河港・横須賀港③	カンザシゴカイ類	内湾性、太平洋側
No.5	大分港・横須賀港④	ムラサキイガイ、カンザシゴカイ	内湾性、太平洋側
No.6	新潟西海岸・博多港	ムラサキイガイ	高波浪、日本海側
No.7	御前崎港他	特定の優占種なし（多様性が高い）	その他の港湾、太平洋側

表一2 海藻類の群集構造に対するクラスター分析結果

クラスター	港 名	優 占 種	特 徴
No.1	新潟西海岸①	ワカメ、ヒジリメン	高波浪、日本海側
No.2	横須賀港、三河港、大分港	ツノマダ、ハリガネ、モク類、ノリ	内湾性やや強い
No.3	新潟西海岸②、御前崎港	ワカメ、アラメ	藻場の形成
No.4	七尾港	アナアオサ、ミル	内湾性強い
No.5	その他の港湾	緑藻類（出現量が小さい）	内湾性強い



図一5 海藻類に対するクラスター分析結果（デンドログラム）



図一6 付着動物に対するクラスター分析結果（デンドログラム）

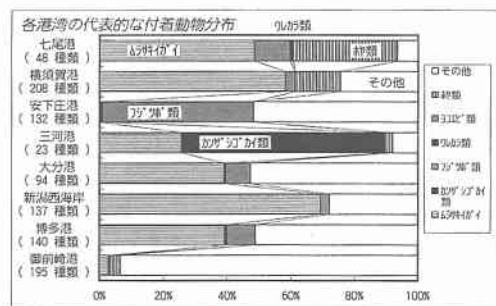


図-7 各港湾の代表的な生物分布

湾ではイガイ類やフジツボ類といった、生物の種類構成がより水質の汚濁が進行している地点におけるものとなっている。海藻類についてもツノマタ等の紅藻類が優占し、お互いによく似た群落を形成している。この場合でも、日本海側の内湾性の強い港湾と同様に、海藻類の湿重量は小さく、付着動物が優占する生物群集となっている。

太平洋側のその他の港湾では、いろいろな種類の付着生物が見られており、港湾ごとに独特な分布特性を示す。このため、各々の港湾がそれぞれ1つのクラスターを形成し、まとまった集落を形成しない。これは、外洋性の港湾では多様性の高い付着動物の群集が形成されているため、特有の優占種がみられないことによるものと考えられる。

その中で、御前崎港の付着動物の非類似度が他の港と比べて大きいのは、ワカメあるいはモク類が優占し、ガラモ場を形成しているためである。これは、外洋性の強い港湾に藻場が形成される場合には、形成される藻場によってその生物が特徴づけられることを示している。

地理的な特性は日本海側と太平洋側の生物相の違いが大きく現れた。これに対して、南北の緯度による生物相の違いは明瞭でなかった。ただし、今回の検討では北海道における調査結果が含まれていないため、今後これらのデータを追加した検討を行う必要がある。

5. おわりに

付着生物群集の特徴について、環境条件の影響を考慮して検討を行った。この結果、各港湾で形成される付着

生物群集を分類し、生物群集の形成を良好に行う上で、各港湾での留意すべき条件について抽出することができた。本研究で明らかになった知見を次に示す。

(1) クラスター分析結果にもとづいて付着生物の群集構造による各港湾の分類を行ったところ、日本海側の港湾と太平洋側の港湾の2つのグループに大きく分かれ、その中で内湾性の強さによりさらに2つのグループに分類された。

(2) 日本海側の港湾は、太平洋側の港湾と比べて明らかに非類似度が高い。日本海側の港湾は、外洋性の地点では堤前波高が大きく、生物付着に対する制限要因が大きいため、種構成が比較的単調になりやすいためである。

(3) 内湾域の港湾では、1～数種類の生物が優占して発生する。その優占種によってそれぞれの測定地点が特徴づけられている。優占種は、ムラサキイガイ、イワフジツボ(固着性硬殻)、カンザシゴカイ類、イソギンチャク(固着性軟殻)、といった固着性の付着動物がみられることが多い。

(4) 外洋性の港湾では比較的多様性の高い生物群集が形成されるので、各々の調査地点で群集構造が異なる。ただし、藻場が形成される場合には、その大型海藻の種類により、独特の種類構成となる。

本研究を実施するにあたり、現地調査の実施および既存資料の提供にあたって運輸省各港湾建設局の皆様には多大な協力をいただいた。横須賀市港湾部の皆様には現地調査およびデータの提供に関して様々な便宜をはかっていただいた。また、本研究をすすめるにあたって、港湾技術研究所海洋環境部長小笹博昭氏よりご指導をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 運輸省港湾局編(1994): 環境と共生する港湾—エコポーター—《新たな港湾環境政策》, 大蔵省印刷局, 87 p.
- 小笹博昭・室善一朗・中瀬浩太・綿貫 啓・山本秀一 (1994): 生物にやさしい港湾構造物の研究—波浪条件および港湾構造形式よりみた付着生物群集—, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 1016-1020.
- 小笹博昭・村上和男・浅井 正・中瀬浩太・綿貫 啓・山本秀一 (1995): 多様性指数を用いた波高・港湾構造形式別の付着生物群集の評価, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1216-1220.
- 瀬川宗吉 (1956): 原色日本海藻図鑑, 保育社.