

港湾技研資料

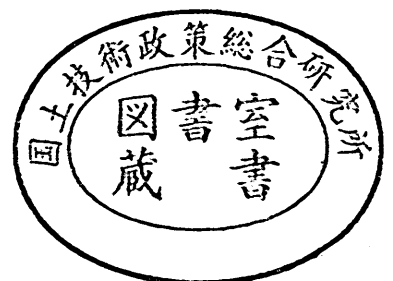
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 880 Dec. 1997

付着生物群集の着生に及ぼす
物理的環境条件の影響

浅井正
小笹博
村上和昭
男

運輸省港湾技術研究所



目 次

| | |
|--|----|
| 1. はじめに | 4 |
| 2. 調査地点および調査方法 | 4 |
| 2.1 調査対象地点 | 4 |
| 2.2 付着生物データの整理 | 4 |
| 2.3 構造物の物理的環境条件 | 5 |
| 3. 現地調査による検討 | 5 |
| 3.1 緩傾斜護岸の設置に対応した付着生物相（関西国際空港における調査） | 6 |
| 3.2 波浪条件の変化が付着生物相に与える効果（御前崎港における調査） | 7 |
| 3.3 内湾性の強い港湾における付着生物相の分布特性（横須賀港における調査） | 9 |
| 4. 付着生物と環境条件の関係 | 10 |
| 4.1 各付着生物の波浪条件に対する分布特性 | 10 |
| 4.2 付着生物量の相互関係 | 13 |
| 4.3 波浪条件と付着生物の出現量、種類数との関係 | 14 |
| 4.4 構造物の構造形式と付着生物の出現量の関係 | 15 |
| 4.5 多様度指数を用いた付着生物相の評価 | 16 |
| 5. 構造物に付着する生物の地域的な出現特性 | 18 |
| 5.1 各港湾における付着生物の出現特性 | 18 |
| 5.2 クラスタ分析結果にもとづく生物相の分類 | 21 |
| 6. おわりに | 25 |
| 謝 辞 | 26 |
| 参考文献 | 26 |

Effect of physical conditions onto accommodation of attached organisms

Tadashi ASAI*
Hiroaki OZASA**
Kazuo MURAKAMI***

Synopsis

Recently more careful environmental consideration is needed on the occasion of port and airport construction. Construction of port structures gives new physical environmental conditions onto ecosystem around port. However, relationship between marine ecosystem and marine conditions has never been investigated sufficiently. The authors collected the data on marine organisms and executed several field investigations.

The factors relating to the ecological environment of marine organisms (sessile animals, mobile animals and seaweed) on port structures are sunlight, water quality, current, wall properties of the port structures and waves, etc. The authors considered that both waves and structure type to be the most predominant, and analyzed the relationship between these two physical factors and the quantity and quality of marine organisms which prevailed.

Findings included the followings :

1. The standing crop of seaweed was maximum at a wave height of 2-3m, while the quantity of the attached animals was a maximum between 0.5-1m.
2. Clear correlation was seen between structure type and species; upright structures were dominated by attached animals, slope structures by seaweed.

Key words : Attached animal, Port and harbor structure, Seaweed, Wave Height

* Chief of Technological Development Division, Niigata Investigation and Design Office, The First District Port Construction Bureau (ex-Researcher of Environmental Assessment Laboratory, Marine Environment Division)

** Director, Marine Environment Division

Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport

Address : 3-1-1 Nagase, Yokosuka 239, Japan

Phone : +81-468-44-5015 Fax : -81-468-41-9812 E-mail : ozasa@cc.phri.go.jp

*** Director of the Special Research (Environmental Issues)

E-mail : murakami@cc.phri.go.jp

付着生物群集の着生に及ぼす物理的環境条件の影響

浅井 正 *
小笹 博 昭 **
村上 和 男 ***

要 旨

近年、港湾構造物の建設にあたって、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。しかし、建設される構造物の形式と周辺の生態系との関係についてはわからない点が多い。構造物の建設とは、生物にとって新しい物理的・化学的な環境条件が提供されることを意味している。したがって、これらの環境条件と生物の分布状況との関係を把握することにより、生息する生物に対する適切な条件を与える必要がある。本論文では、全国で行われた港湾構造物上の付着生物に関する現地観測結果を整理することにより、様々な環境条件の下にある生物の付着状況の検討を行った。この結果から、波浪条件、構造形式等と付着生物の出現状況の関係について定量的な検討を行った。

調査データの整理と並行して、関西国際空港、御前崎港、横須賀港において生物付着の状況について定量的な調査を行った。現地調査の結果について考察を加えるとともに、前述した調査データの整理より得られた検討結果の検証を行った。

また、我が国は南北に長く、気象・海象条件等の違いから港湾ごとに生息する生物の特徴が少しずつ異なっている。そこで、各港湾で得られた調査結果をもとに、付着生物分布による港湾の分類を試み、各港湾での付着生物群集の特性について検討した。

-
- * 第一港湾建設局新潟調査設計事務所技術開発課長
(前港湾技術研究所海洋環境部環境評価研究室研究官)
 - ** 港湾技術研究所海洋環境部長
〒239 横須賀市長瀬3-1-1
運輸省港湾技術研究所
Phone : 0468-44-5015 Fax : 0468-41-9812 E-mail : ozasa@cc.phri.go.jp
 - *** 港湾技術研究所特別研究官 (環境担当)
E-mail : murakami@cc.phri.go.jp

1. はじめに

近年、港湾構造物の建設にあたって、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を行っている。この実現のためには、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、構造物の建設にともなう周辺の生態系への効果についてはわからない点が多い。そこで、全国各地で実施された港湾構造物に対する付着生物の調査結果をもとに、検討を行うこととした。

港湾構造物による海中の地形の変化は、魚類などの生物の生活場所を与えたり、産卵、幼稚子の育成の場所となる。また、藻場の形成がみられる地点では、餌料供給の効果をもつ。このことから、構造物の設置は、海洋生物に対する蝸集効果をもつといわれている。このため、港湾構造物等の有用生物生産効果や漁礁効果に関する調査が行われている(たとえば、武内ら(1991a,1991b)、森田ら(1992)および谷野ら(1993)など)。また、水産土木研究部会(1976, 1977)は全国各地の漁港や港湾、護岸などの構造物に対して、有用水産生物の蝸集状況に関するアンケートを行っている。さらに、宇多ら(1993)は離岸堤を設置した場合に起こるであろう生物相の変化に対して定性的な予測を試みている。しかしながら、ほとんどの調査は1つの構造物を対象としたものが多く、生物出現の一般的傾向にまで言及したものはみられない。また、港湾構造物の形状や外力条件と生物の出現との関わりについて論じたものは非常に少ない。

そこで、全国各地の港湾・空港等で実施された構造物上の付着生物に関する現地観測結果を整理することにより、様々な環境条件の下にある生物の付着状況の分類を行った。この結果から、波浪、日照等の外力条件と付着生物の出現状況の関係について検討を行った。そして、構造物の形式による生物の付着状況の違いについて整理した。また、全国の港湾を付着生物相を指標として分類した。

2. 調査地点および調査方法

付着生物の着生状況を把握するために、関西国際空港、御前崎港、横須賀港の3地点における現地調査を実施す

るとともに、全国の既往の調査結果を収集した。ただし、既往の調査結果については調査地点によって整理方法が異なっているため、表記方法を統一して再集計を行った。これらの集計結果をもとに、調査地点の付着生物相と物理的環境条件を相互比較することにより、付着生物の出現に関する条件について検討を行った。

2.1 調査対象地点

既往の調査結果は、収集したものの中から付着生物の採集ポイント(座標等)が明記されており、かつ複数のポイントで採集が行われている場合には、採集地点別に生物調査結果が記載されているものを抽出した。この結果、図-2.1に示す全国14の港湾・空港等を検討対象として選定した。対象地点の波浪条件および構造形式を表-2.1に示す。ここで、堤前波高とは、1年確率の沖波波高を与えて波浪変形計算を行って得られた調査地点前面での有義波高の値である。

また、既往調査資料では不足している堤前波高1m付近と3m付近の地点でのデータ補充を目的として関西国際空港(大阪府)、御前崎港(静岡県)および横須賀港(神奈川県)の3地点で追加調査を行った。追加調査では、港内外の波浪条件と構造物形式が明らかで、かつ付着生物の多い港湾・空港等を調査対象に選び、生物出現状況の観察および生物の採集を行った。これらの調査結果にもとづいて、港湾構造物の堤前波高、構造形式と生物出現状況の関係をより詳細に検討した。

調査条件は、既往調査のものとともに表-2.1に示す。また、これらの調査結果の検討については、3. および4. に詳述する。

2.2 付着生物データの整理

追加調査を含む各調査の対象地点で得られたそれぞれの採集地点での生物データに対して、以下の手順で整理を行った。

- 1) 出現する生物を分類し、動物(付着動物)と植物(海藻)の2つのグループに分ける。
- 2) 各サンプルの優占種を以下の方法で決定する。
 - a) 動物群集か海藻群集かの判断を、各グループの湿重量を比較して行う。
 - b) 湿重量を判断の基準として、最も多く出現する種を優占種グループとする。
- 3) 多様性指数を、付着動物の個体数のデータを用いて計算する。
- 4) 生物の出現量(個体数および湿重量)は、コードラー

トの面積を用いて1m²あたりの値に換算して用いる。
 5) 水深別、季節別に調査結果がある場合には、これらのデータおよび各採集地点で算出した多様度指数をそれぞれ単純平均した値を代表値として用いる。

2.3 構造物の物理的環境条件

海藻や付着生物の存在を規定するものには、物理的な環境要因と生物の相互作用による要因がある。これらの例として、下記に示すようなものがあげられる。

物理的な環境要因：構造物の形式、その場所の波高、水質、地理的分布等

生物的な環境要因：塩分・温度・光・栄養塩等に対する耐性、着生の時期、相互作用（種類間の場所をめぐる競争）等

構造物の建設とは、生物にとって新しい物理的・化学的環境条件が提供されることを示している。したがって、これらの環境条件と生物の分布状況との関係を把握することにより、生息する生物の生育に対して適切な条件を与えることが重要となる。構造物に付着する生物の生息環境を規定する要因には光、水質、海水流動、および付着基質の状態等が考えられるが、最も大きな影響を与える要因として物理的な条件のうち波浪条件と構造形式があげられる。また、波浪条件と構造形式は、海水流動（港内の静穏度、海水交換量等）、水質、光（透明度、濁度、設置水深等）といった物理的・化学的条件を大きく支配するパラメタでもある。そこで、本研究では、場の変化による物理的な要因に着目することとして、構造物の堤前波高とその構造形式をその要因に選定した。

表-2.1に示す沖波波高は、原則として実測値（たとえば、永井ら、1993）より1年確率の有義波高を計算した値を用いた。確率波高の計算は合田(1978)の方法をもと

に行っている。確率波高の再現期間として1年を用いた理由は、付着生物は1年を単位としたライフサイクルをもっていることが多いことによる。1年に1回程度生じるイベント（この場合、高波浪）に対して生存した生物が定着していくと考えた。また、各調査地点ごとに、採集地点の構造物堤前波高を、この沖波諸元を用いて変形計算を実施することにより算出した。構造物の形式は、傾斜構造物（消波ブロック被覆型のものを含む）と直立構造物（矢板、ケーソン等）の2通りに大きく分類し、対面方位や採集地点の水深等の違いについても検討を加えた。

3. 現地調査による検討

構造物の設置にとまなう物理的環境条件の変化が付着生物相に与える効果について検討するために、現地調査を実施した。



図-2.1 調査対象とした港湾・空港等の位置図

表-2.1 調査対象の港湾・空港等の環境条件

| 都道府県および地点名 | 1年確率沖波 | | 堤前波高 (m) | 備 考 |
|---------------|----------------------|----------------------|-------------|-----------------------|
| | H _{1/3} (m) | T _{1/3} (s) | | |
| (太平洋側) | | | | |
| 神奈川県 横須賀港 | 1.0 | 5.0 | 0.4 - 1.0 | 直立護岸、傾斜護岸、石積み護岸 |
| 静岡県 御前崎港 | 3.7 | 13.9 | 0.8 - 4.0 | 直立ケーソン防波堤、消波ブロック被覆混成堤 |
| 愛知県 三河港 | 1.6 | 5.0 | 0.6 - 0.7 | 直立ケーソン防波堤 |
| 三重県 四日市港 | 1.0 | 4.5 | 0.4 - 0.8 | 直立ケーソン防波堤 |
| 大阪府 関西国際空港 | 2.5 | 11.4 | 0.5 - 2.4 | 縦傾斜護岸、鋼製セル護岸 |
| 山口県 安下庄港 | 2.0 | 4.9 | 0.3 - 0.8 | 消波ブロック離岸堤 |
| 山口県 日良居港 | 0.8 | 2.3 | 0.2 - 0.6 | 消波ブロック離岸堤 |
| 大分県 大分港 | 2.0 | 4.5 | 0.5 - 1.7 | 直立ケーソン防波堤、消波ブロック |
| (日本海側) | | | | |
| 秋田県 秋田港 | 6.0 | 10.4 | 0.6 - 4.5 | 直立ケーソン防波堤、離岸堤 |
| 新潟県 新潟西海岸 | 5.0 | 10.1 | 1.4 - 4.7 | 離岸堤、突堤、潜堤(消波ブロック) |
| 新潟県 柏崎港 | 6.3 | 11.2 | 1.4 - 3.4 | 直立ケーソン防波堤 |
| 石川県 七尾港 | 3.2 | 8.6 | 0.3 - 0.8 | 透過壁ブロック堤 |
| 福岡県 博多港 | — | — | 0.4 - 2.0 | 直立護岸、傾斜護岸、石積み護岸 |

3.1 緩傾斜護岸の設置に対応した付着生物相

(関西国際空港における調査)

(1) 調査の目的

図-3.1の平面図に示す関西国際空港の護岸の一部には、緩傾斜護岸が採用されている。対象地点の構造形式およびその概要を表-3.1に示す。このため、緩傾斜護岸部に付着する生物分布を、直立護岸部のものと比較することにより、緩傾斜護岸の効果を検証できるものと考えて現地調査を行った。

(2) 調査地点および調査方法

図-3.1の平面図に関西国際空港における調査地点(St.1, 2)を示す。緩傾斜護岸および直立護岸(鋼製セル式)の断面は、図-3.2に示すとおりである。

それぞれの調査地点における生物分布の比較を可能にするため、それぞれの護岸の法線と直角方向に交わる上下方向に測線をとり、トランセクト調査により付着生物および浮泥の被度を計数した。

(3) 調査結果

図-3.3(a), (b)はそれぞれ緩傾斜護岸(St.1)および直立護岸(St.2)に付着した生物分布を示したものである。この緩傾斜護岸には水深6~7mのところ幅約15mの小段が設けられている。

図-3.3(a)に示されるように、小段より上部の斜面にワカメ、カジメ、シダモク、タマハハキモクといった大型褐藻類が分布している。この他にもフダラク、マクサ、ベニスナゴ、ススカケベニ等の紅藻が確認されているほか、フジツボが斜面に全体的に出現している。また、大型海藻類によって群落が形成されているため、この護岸の周辺にはさまざまな魚介類の蛸集がみられる。

小段より下の部分で藻類がみられないのは日照が届かないためと考えられる。また、関西国際空港の周辺はもととも波あたりが弱く、浮泥の堆積がみられることも小段の下部で付着生物量が少なくなっている原因の一つになっている。

また、直立護岸における生物分布を示す図-3.3(b)では水深の浅い部分で一部フダラクがみられるほかは全面的にムラサキガイに覆われている。全体に生物群落が単調になっている。

緩傾斜護岸および直立護岸における生物分布は構造形式の違いによって海藻類と付着動物の分布状況に差がみられ、4.4に後述するデータの傾向と一致している。また、緩傾斜護岸の調査地点(St.1)は関西国際空港の沖側に面しているが、陸側に面する直立護岸では内湾性が

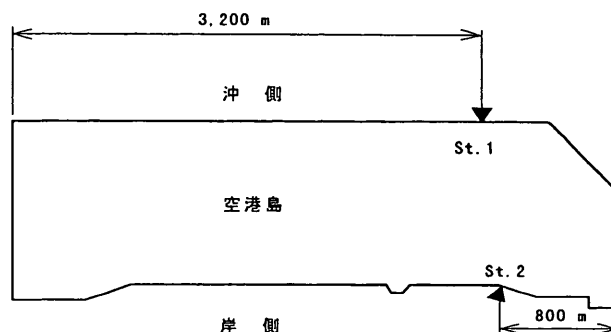
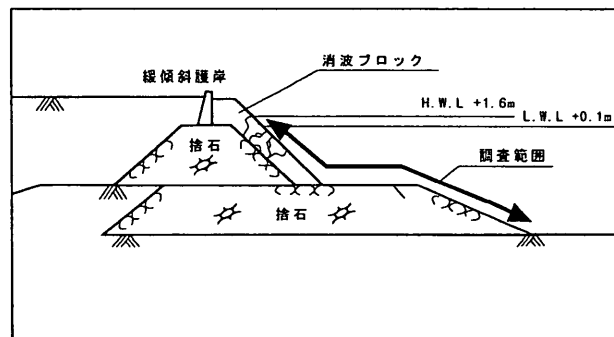
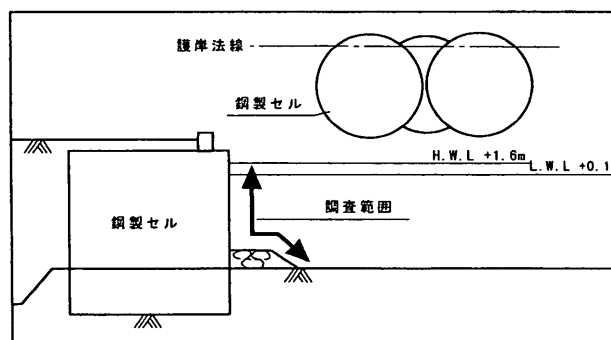


図-3.1 現地調査地点の位置図 (関西国際空港)



調査位置図 (護岸部分 St. 1)



調査位置図 (護岸部分 St. 2)

図-3.2 現地調査地点の断面図 (関西国際空港)

表-3.1 現地調査地点の概要 (関西国際空港)

| 地点名 | 構造形式 | 概要 |
|-------|-------------|--|
| St. 1 | 消波工被覆型緩傾斜護岸 | 緩傾斜護岸(水面付近に小型の消波ブロックを設置) 沖側にあり、北西方向に面する |
| St. 2 | 鋼製セル護岸 | 鉛直壁型護岸 遮蔽された側にあり、南東に面する |

強くなっている。このことも、直立護岸 (St.2) でイガイの付着量が多くなり、海藻群落が生形成された緩傾斜護岸と生物相の差がみられた要因であると考えられる。

3.2 波浪条件の変化が付着生物相に与える効果 (御前崎港における調査)

(1) 調査の目的

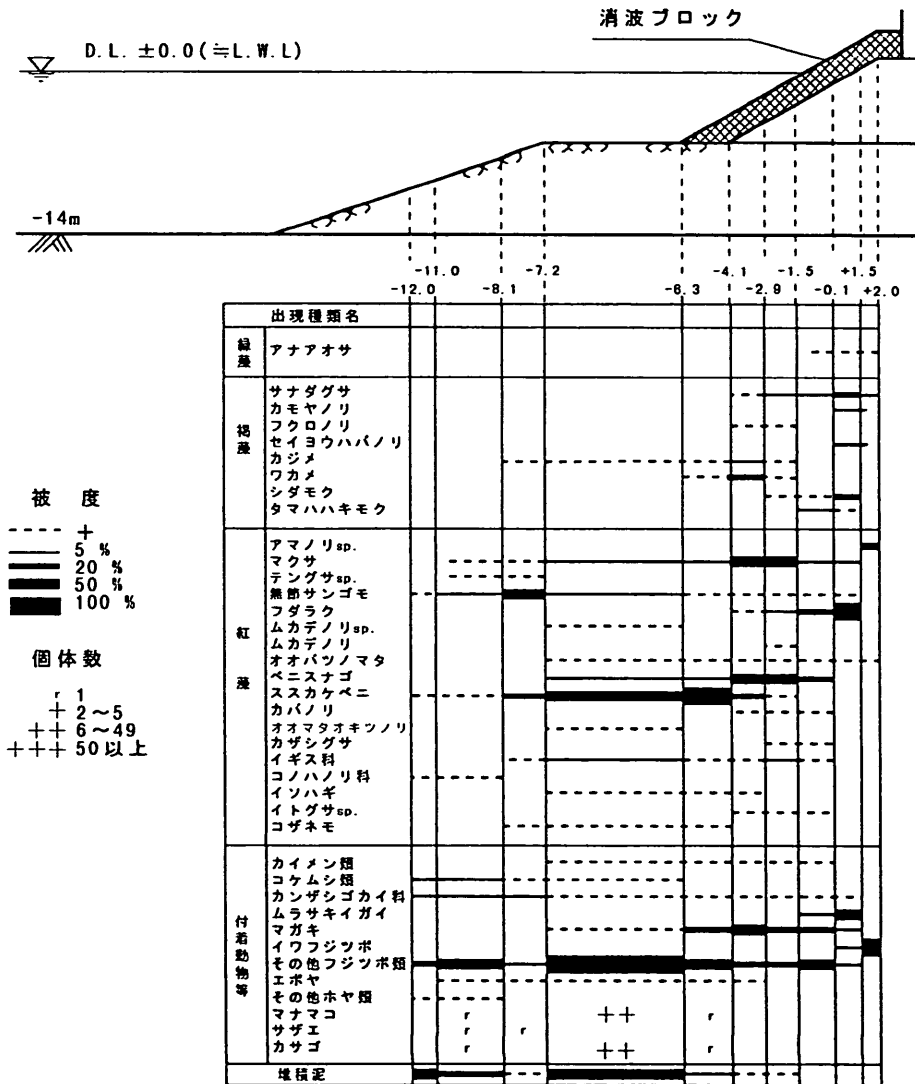
波浪条件の変化による付着生物の出現状況の変化を検討するために、比較的波浪条件の厳しい港を選び、防波堤の外側や内側、護岸部など、様々な波浪条件の地点を対象として現地調査を行った。

(2) 調査地点および調査方法

外海に面した港湾である静岡県御前崎港を調査対象と

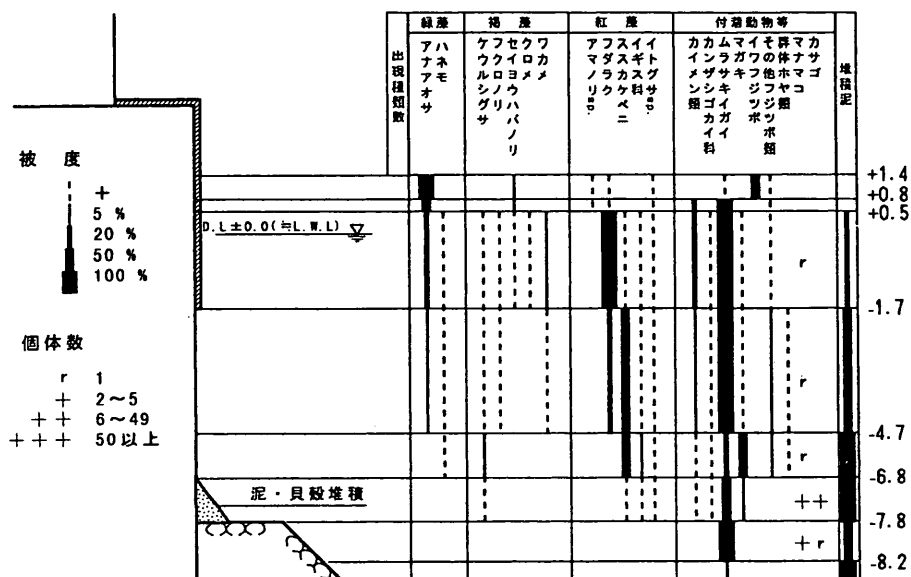
して選定した。図-3.4は、御前崎港の平面図を示している。図中の実線、点線で示すコンターは、1年確率有義波高の分布である。調査地点は図中の▲印に示す4点 (St.A~D) であり、それぞれ防波堤の内側と外側、港奥の地点および直立護岸部になるように選定した。各調査地点の構造断面図は図-3.5に示すとおりである。

この調査では各調査地点での生物の出現量を定量的に比較する必要があるため、ライントランセクトによる被度調査と並行して、坪刈りによる定量採集を実施した。定量採集を実施した水深は、朔望平均干潮位直下、堤体のマウンド直上部、およびその中心の3水深において、50×50cm枠内の付着生物を採集し、動物と植物別に種類ごとの個体数、湿重量を測定した。



(a) 緩傾斜護岸

図-3.3 関西国際空港における付着生物分布 (a)



(b) 鋼製セル護岸

図-3.3 関西国際空港における付着生物分布 (b)

(3) 調査結果

各調査地点における付着生物の付着状況を図-3.6に示す。また、各地点での、坪刈り調査の調査結果の値を表-3.2に示す。

堤前波高1mの直立護岸St.Aではカキやフジツボ類の付着動物が優占し、海藻は少量のワカメ類のみみられるだけであった。消波ブロック被覆による傾斜構造物のSt.C、Dでは同程度の波浪条件においてもホンダワラ類を主とする海藻が優占していた。なお、St.CはSW方向、St.DはNE方向に対面しているが、両者の海藻出現量はほぼ

同一で、傾斜構造物では対面方向に関わりなく海藻が付着することが確認された。

また、St.Bは傾斜構造物であるにも関わらず、付着動物の湿重量が多くなる結果が得られている。これは、少数であるが1個体の重量が非常に大きなイワガキ類が付着しているためであり、みかけ上、付着動物が優占する群集になっているようにみえるが、実際に付着した動物の個体数はわずかである。

御前崎港はもともと付着生物が豊富であるため、多様性指数は0.7以上と全体的に大きな値となった。その中でもSt.Cは多様性指数 $\lambda' = 0.93$ となり最も大きな値をとった。これに対し、最小値はSt.Dで計測され、 $\lambda' = 0.73$ であった。これはSt.Dが調査地点の中では一番港奥側に位置しているために、海水がもっとも停滞しているからと考えられる。

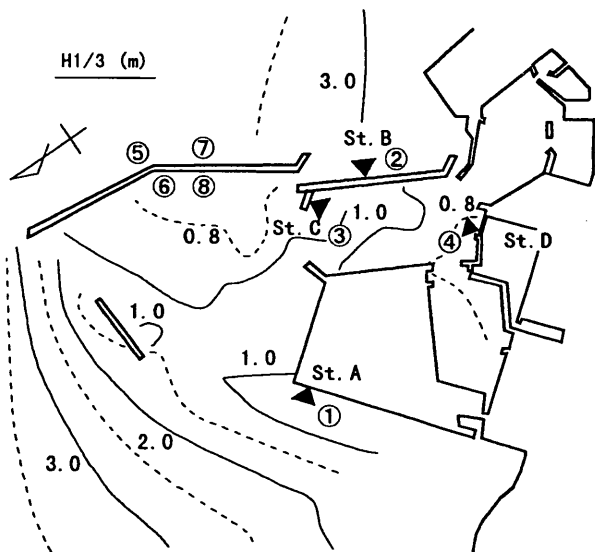
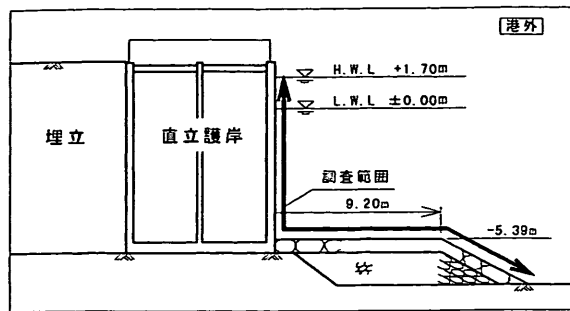


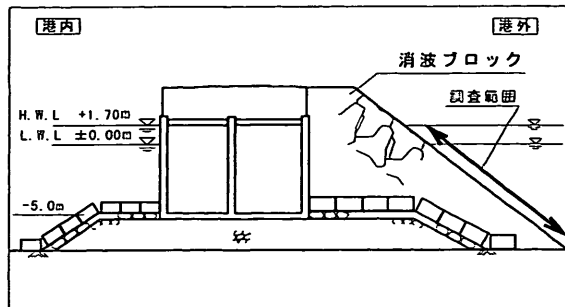
図-3.4 現地調査地点の概要 (御前崎港)

表-3.2 御前崎港における坪刈り調査結果

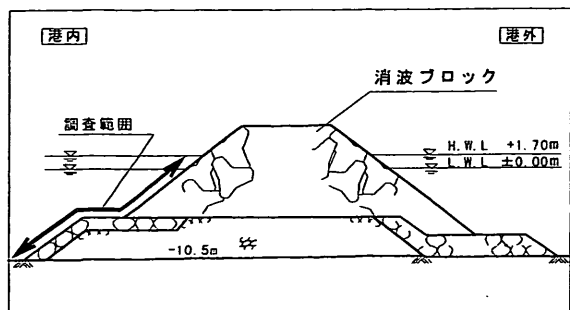
| 測点 | A | B | C | D |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| 構造形式 | 直立型 | 傾斜型 | 傾斜型 | 傾斜型 |
| 堤前波高 (m) | 1.0 | 2.8 | 0.9 | 0.8 |
| 対面方位 | NW | ESE | SW | NE |
| 海藻類 (g/m ²) | | | | |
| フクロリ | — | 42.4 | 317.2 | 265.5 |
| ワカメ | 16.8 | — | 1.2 | 80.0 |
| ホンダワラ類 | — | 383.6 | 995.2 | 903.6 |
| その他 | 137.6 | 406.4 | 63.6 | 204.0 |
| 合計 | 154.4 | 832.4 | 1377.2 | 1453.1 |
| 付着動物 (g/m ²) | | | | |
| イワガキ | 3258.8 | 1253.6 | 421.6 | — |
| フジツボ類 | 1948.8 | 4.0 | 1.6 | — |
| その他 | 3203.2 | 151.6 | 923.6 | 328.4 |
| 合計 | 8410.8 | 1409.2 | 1346.8 | 328.4 |
| 付着生物の合計 | 8565.2 | 2241.6 | 2724.0 | 1781.5 |
| 付着動物の多様性指数 | 0.88 | 0.87 | 0.93 | 0.73 |



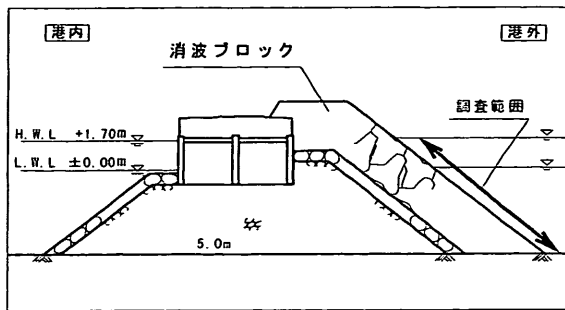
(a) St. A (直立護岸)



(b) St. B (消波ブロック被覆堤)



(c) St. C (消波ブロック傾斜堤)



(d) St. D (消波ブロック被覆堤)

図-3.5 調査地点の断面図 (御前崎港)

3.3 内湾性の強い港湾における付着生物相の分布特性 (横須賀港における調査)

(1) 調査の目的

関西国際空港および御前崎港は潮流や波あたりによって比較的海水の交換がよいため、付着生物が繁茂するためのポテンシャルの高い地点であるといえる。これらと異なる海象特性の箇所として内湾性が強い横須賀港において付着生物相について検討を行った。

(2) 調査地点および調査方法

横須賀港ではブロックによる人工磯 (=傾斜護岸) を

港内に整備し、その背後に親水性を目的とした階段式護岸が設けられている。調査地点は図-3.7に示すSt.AおよびBの2点であり、それぞれ傾斜護岸と直立護岸上の地点である。図-3.8は各調査地点の断面図を示している。

今回の調査では、ライトランセクトによる被度調査と並行して、坪刈りによる定量採集を実施した。定量採集を実施した水深は、朔望平均干潮位直下、堤体のマウ

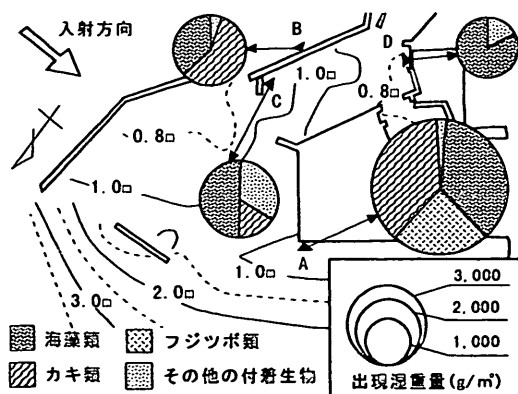
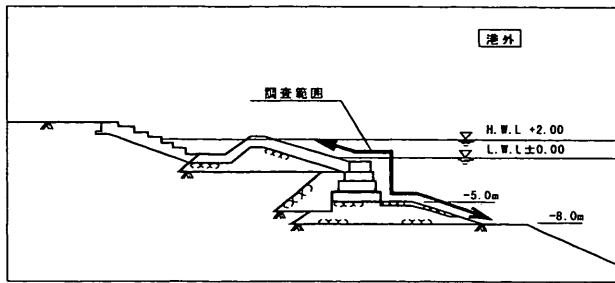


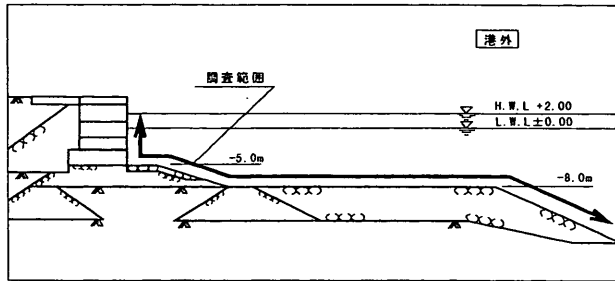
図-3.6 御前崎港における付着生物の付着状況



図-3.7 現地調査地点の位置図 (横須賀港)



(a) St. A (傾斜護岸)



(b) St. B (直立護岸)

図-3.8 現地調査地点の断面図

ンド直上部, およびその中点の3水深において, 50×50cm枠内の付着生物を採集し, 動物と植物別に種類ごとの個体数, 湿重量を測定した. また, 調査地点間に水質の差異があるかどうかを確認するために, 各調査地点の前面において水質の計測を行っている.

(3) 調査結果

表-3.3は, 各調査地点における坪刈り調査の分析結果を示している. St.Aでは人工磯による親水施設が水深1m程度の範囲までつくられており, その下の部分には消波ブロックおよび捨て石がおかれている. 人工磯の部分にはフシツナギなどの紅藻類がみられるが, これより深い水深の地点では海藻の付着は少なく, 代わって貝類が付着していた. St.Aの上層においては, 海藻について3.58kg/m²の値が得られている.

これに対して, St.Bでは付着動物の出現量が多く, 上層で9.17kg/m², 中層でも2.45kg/m²である. St.Bでは,

ムラサキイガイ類やイワフジツボ類の付着が顕著であり, カイメン類やマホヤも数多く付着していた. 海藻類の付着量は小さく, イギス科と思われる紅藻類の付着が若干みられた程度である.

St.AとSt.Bで優占する付着動物はフジツボ類や二枚貝, 多毛類であり, お互によく似ている. このため多様性指数を比較しても, 同一水深のもとでは上層においてSt.Aの方が大きくなり, 下層ではSt.Bの方が大きくなるが, 大きな違いはみられない. これは, 調査地点が接近しているため卵稚子の供給といった生物的なポテンシャルはほとんど変わらないためと考えられる. 構造形式の差異による両者の生物相の違いは海藻類の繁茂により判断する必要があるが, そのための指標としてこれまで定義されたものはなく, 海藻類の多様性の表現は今後の課題である.

図-3.9~3.11は水質調査(水温, 塩分およびDO)の結果を示している. それらは両地点で明確な差異がなく, 両地点での生物分布の差異は主に構造物の形式によるものであるといえる. 塩分は各地点で2.7~3.3%の範囲にあり, 淡水の影響がみられる. 水温はほぼ全層で9.5°Cであった. 本調査は春季(平成8年3月)に実施しており, 東京湾では混合の盛んな時期にあたるため, 躍層はみられなかった. DOは全層にわたり9.5~10.5 mg/lの範囲にあった.

4. 付着生物と環境条件の関係

表-2.1に示す港湾・空港の生物調査結果を用いて以下の解析を行った.

4.1 各付着生物の波浪条件に対する分布特性

図-4.1は, 付着動物と海藻類の上位出現種について堤前波高別に出現頻度を示したものである. ここで, 出現頻度とは, 調査地点の中で対象種が上位3位以内に出現していた地点数の全地点数に対する割合を計算し, %で表した値とする. また, それぞれの種類の付着生物につ

表-3.3 横須賀港における坪刈り調査結果

| 測点 構造形式 | A 傾斜護岸 | | | B 直立護岸 | | |
|-------------------------|-----------|-------|--------|-----------|---------|---------|
| | 上 | 中 | 下 | 上 | 中 | 下 |
| 海藻類 | | | | | | |
| 総種類数 | 6 | 4 | 4 | 1 | 1 | 2 |
| 湿重量(kg/m ²) | 3.58 | 0.02 | 1.8 | 0.01 | 0.001 | 0.14 |
| 優占種 | フシツナギ | ツノマタ | エツガサネ属 | ハイバウスリ属 | フタツガサネ属 | ヨツガサネ属 |
| 付着動物 | | | | | | |
| 総種類数 | 55 | 54 | 44 | 40 | 52 | 37 |
| 湿重量(kg/m ²) | 1.22 | 0.48 | 0.14 | 9.17 | 2.45 | 0.203 |
| 優占種 | ゴシダカカンガラ | レイシガイ | エホヤ | ムラサキイガイ | サンカクシツボ | ナミカシウガイ |
| 付着動物の多様性指数 | 0.92 | 0.65 | 0.68 | 0.86 | 0.92 | 0.79 |

いて優占して出現する堤前波高の範囲を図-4.2に示す。図中の×印は各調査地点の堤前波高の平均値を示し、実線の上下端はそれぞれ最大値と最小値を示している。これらの図から、以下の(1)、(2)に示す特性が指摘できる。

(1) 海藻類

海藻類のうち、ワカメ、アオサ類およびフダラク（ヒジリメン）の出現は、全範囲にわたってみられるが、その中でも、ワカメは波高3~4mの範囲で多くみられ、アオサ類は1~2mの範囲での出現頻度が高い。「ガラモ場」の構成種であるホンダワラ類は波高1~3mの範囲にのみ

単位：(°C)

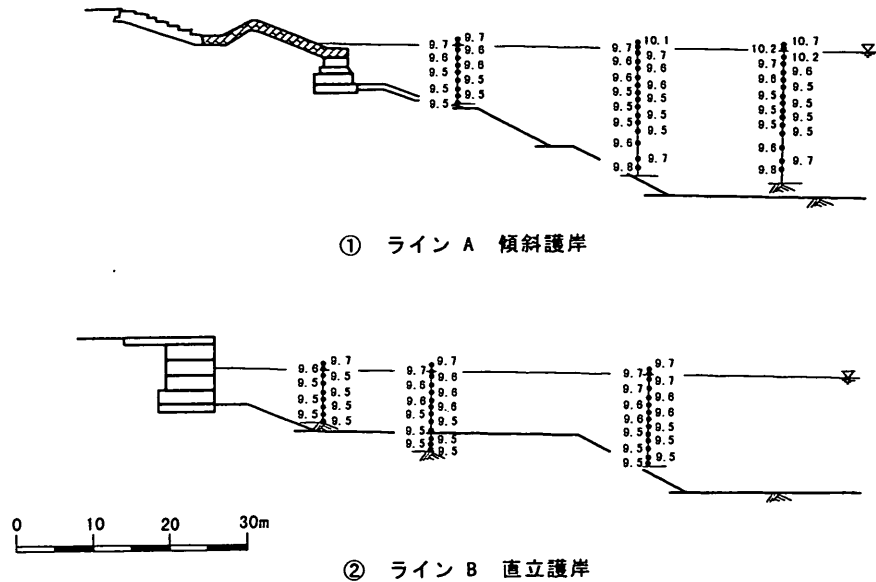


図-3.9 横須賀港における水質調査結果 (水温)

単位：(%)

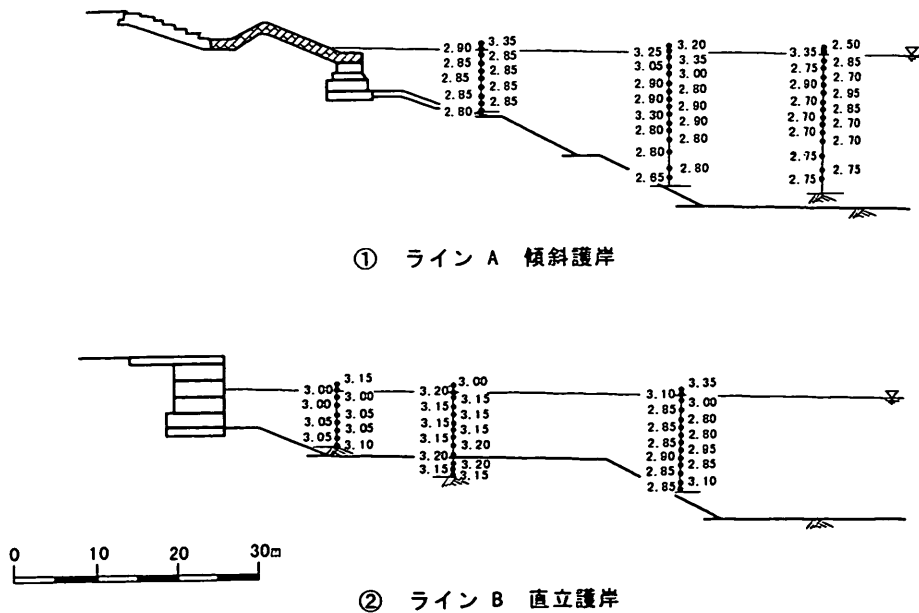


図-3.10 横須賀港における水質調査結果 (塩分濃度)

分布している。魚類の蝟集効果が強いとされている「アラメ場」, 「カジメ場」の構成種であるアラメ・カジメ類は全体の中での出現が少ないため、波浪との関係は明確ではなかったが、波高が5mを越える地点でも出現していることがわかる。今野(1985)によると、アラメ・カジメ類は、一般的にはホンダワラ類よりもより波浪の影響の強い場所に分布するとされている。

海藻類では、波高の増大によって生物相の中で出現頻

度の高い種が変化する傾向がみられる。構造物の堤前波高が1~3mの範囲ではホンダワラ類が多く出現し、それ以上ではワカメおよびフダラクが高頻度に出現する。アラメ・カジメ類の分布については明確ではないが、これよりもより波浪の影響の強い地点で分布すると考えられる。また、アオサ類は波高5m以内の全範囲に出現しているが、静穏な場所での出現頻度が高い。これらの傾向は、波浪によるせん断応力に対するそれぞれの海藻類の

単位: (mg/l)

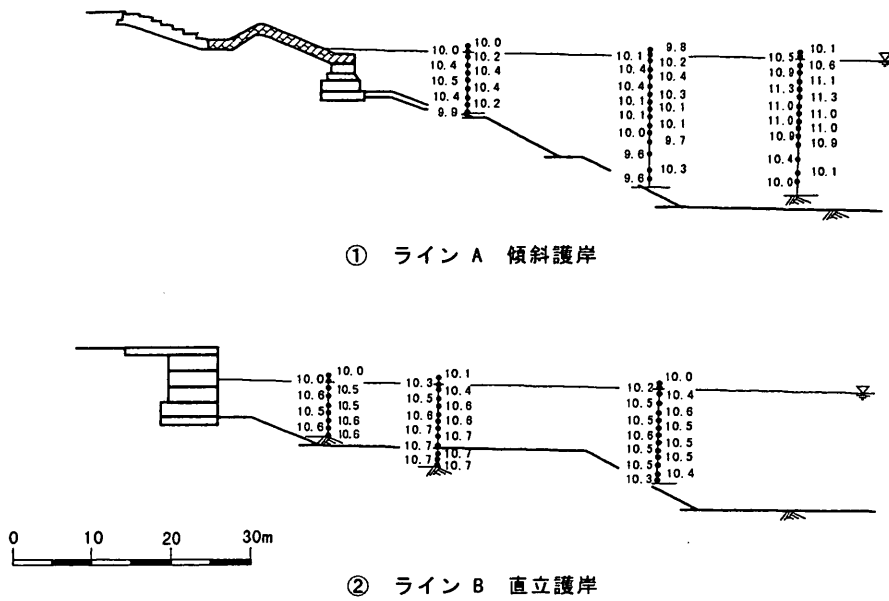


図-3.11 横須賀港における水質調査結果 (DO)

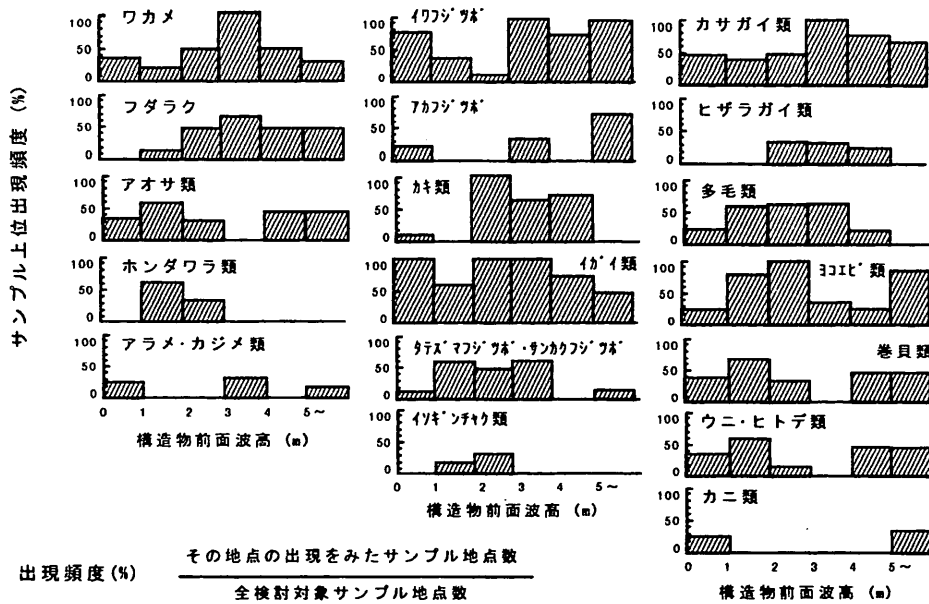


図-4.1 堤前波高を指標とした付着生物の出現頻度

基質への付着力の違いによるものと考えられる。アラム・カジメ類などの紅藻類については水深が比較的深く日照の到達量が小さいところでも生育できるので、波浪の影響をあまり受けないことが考えられる。ただし、アラム・カジメ類は水質のきれいなところを好むので、静穏で海水の停滞するような場所では生息しにくいと考えられる。

(2) 付着動物

付着動物については、付着状況の差異が波浪条件に対する耐性に影響するものと考えて、固着性のものと移動性のものに分けて検討を行った。

固着性の動物では、イガイ類（主にムラサキイガイ）およびイワフジツボが全範囲にわたって出現している。イワフジツボについてはとくに波高が3m以上に高頻度でみられる傾向があった。波高が1~4mの範囲では、これに代わってサンカクフジツボ・タテジマフジツボ（殻径1cm程度のフジツボ）の出現頻度が高くなる。また、イソギンチャク類が1~3m、カキ類が2~5mの波高範囲に分布する傾向がみられた。

移動性の動物では、多毛類（ゴカイ・イソメ等）、カサガイ類、ヨコエビ類（小型甲殻類）が全範囲にわたって出現している。その中でも、多毛類は波高1~4m、カサガイ類は3~4mに出現頻度のピークがみられる。波高が5m以上の地点でカニ類のような岩礁の隙間に生息する生物や、ウニ・ヒトデのような海底に生息する生物の出現頻度が高くなるが、ヨコエビ類などの遊泳性の生物の生息もみられる。これは藻場の形成によって、遊泳性の生物が待避する場所が確保されるためであるといえる。

動物の出現状況を整理すると、イガイ類とイワフジツボがすべての波浪状況において出現し、構造物上の代表

的な生物であるといえる。これらに波浪条件に応じて、各種の生物が加わると考えられる。波高が2~5mではマガキを中心とするカキ類が、また波高が1~4mではサンカクフジツボ・タテジマフジツボがイガイ類とイワフジツボの群集に加わる。

海藻および付着生物の波浪条件による出現種の変化傾向は、ほとんどの波浪条件でみられるサンカクフジツボ、ムラサキイガイを代表とするイガイ類を中心として、波の遮蔽程度に応じてホンダワラ類や各種フジツボ類が交代して出現するという、Hoshiai (1965) が自然岩礁の潮間帯において指摘する傾向に定性的に一致している。このことは、設置された構造物に付着する生物種の分布やすみ分けの特性は、自然岩礁のものと同様に一致しており、特異な生物構成にはならないことを示している。

4.2 付着生物量の相互関係

同じ地点に着生する付着生物はお互いに影響を及ぼしあっているものと考えられる。図-4.3に海藻類の出現量と付着動物の出現量との関係を示し、これらの相互関係について考察した。図中の黒塗りの点は固着性の動物に対する値を示し、白抜きの点は移動性の動物に対する値を示している。固着性の動物は海藻類の増加につれて減少する傾向がある。これは、固着性の動物と海藻類は同一の基質をめぐる競争をしているためであると考えられる。

これに対して、移動性の動物と海藻出現量の間には明確な傾向は認められない。移動性の動物は、海藻類の群落を給餌、生活および繁殖の場所として利用しており、また、固着性の動物についても生活場所として利用している。図-4.4に示すように海藻類と固着性の動物の出現

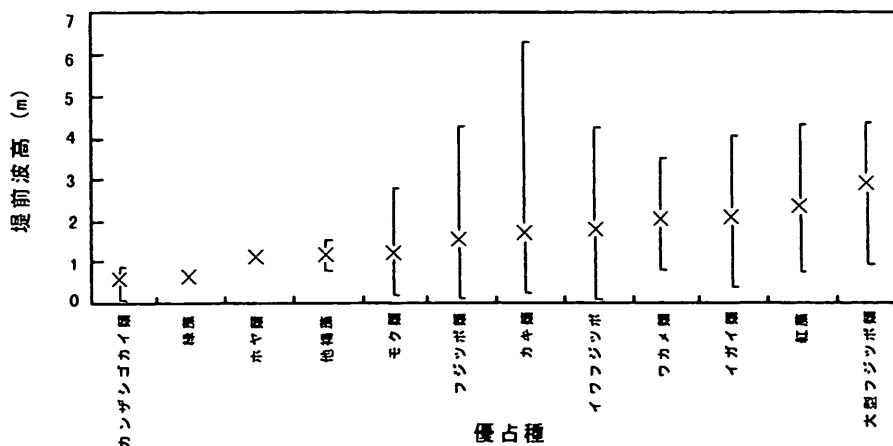


図-4.2 各付着生物が優占して出現する堤前波高の帯域

量を横軸にとって、移動性の動物の出現量をプロットし直したところ、横軸が約500g/m²以上の範囲において正の相関が認められた。このことは、移動性の動物は、藻場のような給餌、生活および繁殖に利用できる場を与えることにより、その増殖が期待できるものと考えられる。

4.3 波浪条件と付着生物の出現量、種類数との関係

付着した生物種の総数 (=総種類数) や出現した生物の量 (=出現量) が、波浪条件によってどのように変化するか検討した。

図-4.5(a), (b)は、各調査地点のサンプリングした地点での堤前波高に対する付着動物および海藻の (a) 総種類数と (b) 出現量の分布を示している。各プロットとその上下にのびる縦線は調査断面での生物量の平均値および最大と最小値の範囲を示している。ここで、出現量には、湿重量の値を用いて表している。

付着動物の出現状況はばらつきが大きい、波高の範囲が1.0~3.0mで種類数にピークがあり、波高が0.5~

1.0mで出現量にピークが現れており、堤前波高の増大とともに漸減傾向を示している。このため、波高が0.5m程度と小さい領域では、種類数が少なく湿重量が多くなり、少数の種による寡占状態が進んでいる。

海藻類の種類数および出現量のピークは、どちらも堤前波高2.0~3.0mの範囲であり、構造物の堤前波高が2~3mを境として動物の多い生物相と、海藻の多い生物相にわかれることがわかった。海藻は葉体表面より海水中の栄養分を吸収することから、波浪等の擾乱によりある程度の海水流動がある場所の方が生息に有利であると考えられる。また、波浪が大きいと、岩礁や海藻の表面などに付着するヨコエビ等の小型甲殻類が脱落させられてしまうことも考えられる。一方、波高が小さい場合には、海水の流動が小さく海藻の生息には不相当と考えられる。しかし、付着動物の多くは自ら水流を起こして海水を濾過するので、海水流動の少ない場所でも餌をとることができる、図-4.5に示す状況の背景になると考えられる。

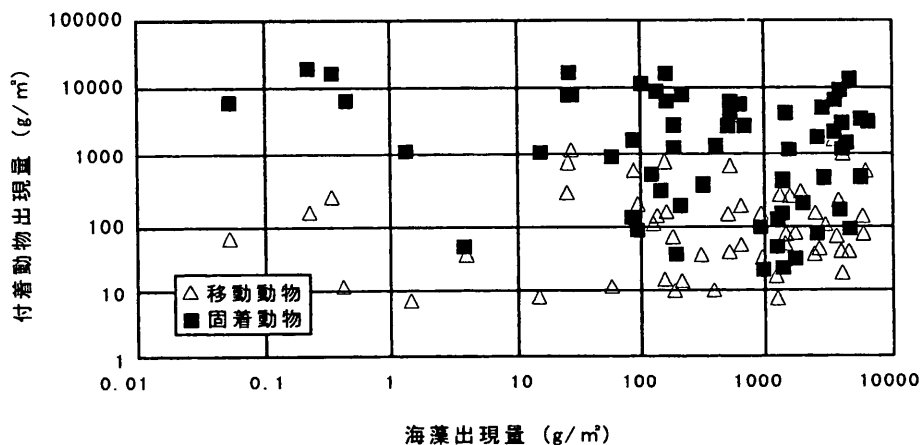


図-4.3 海藻類の出現量に対する付着動物の出現量の関係

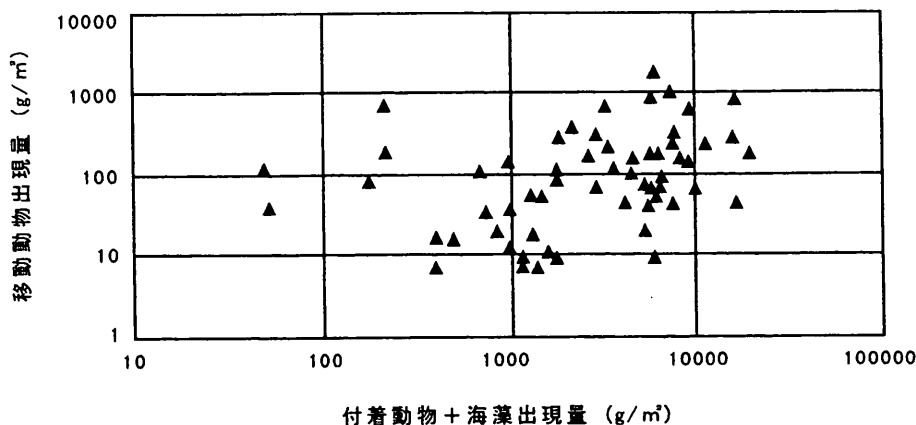


図-4.4 固着性の動物と海藻類の出現量に対する移動性の動物の出現量の関係

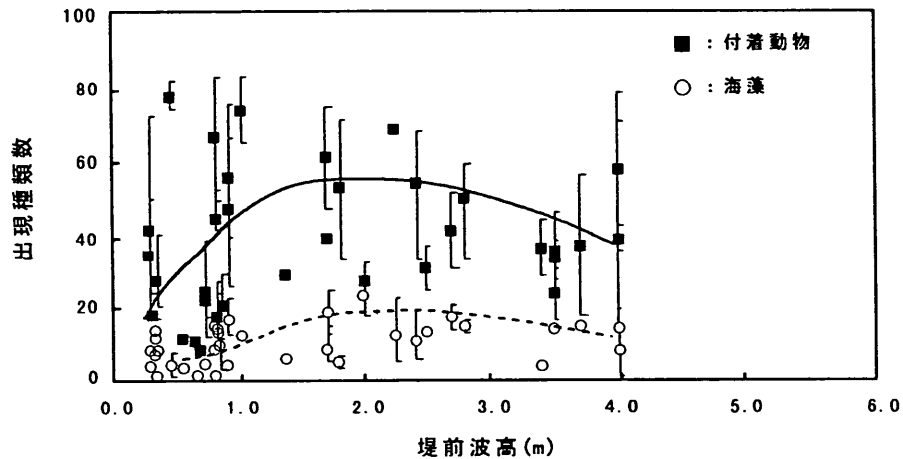
4.4 構造物の構造形式と付着生物の出現量の関係

図-4.6(a), (b)は、(a) 海藻類および (b) 付着動物について傾斜護岸および直立護岸での出現量を対面方位別に示したものである。

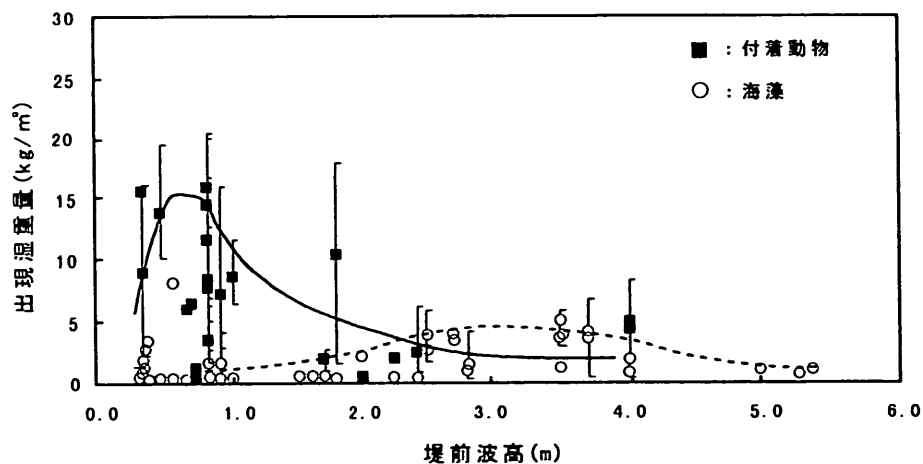
図-4.6(a)によると、直立護岸では対面方位がNW, N, NEとなる場合に海藻類の出現量が減少しているのに対して、傾斜護岸ではNW, NEの場合でも出現量があまり減少しない。これは、直立護岸ではNやNEに構造物が対面している場合には壁面への日照時間が少なくなり、海藻類の出現量が小さくなるためと考えられる。傾斜護岸では、対面方位がS~SW以外であっても構造物

の影になる時間があまり増加しないため、構造物に海藻類が多く付着するようになると考えられる。したがって、護岸の途中の日照が届く水深のところに小段をつくれれば、海藻の出現を促進すると考えられる。

直立護岸では付着動物の出現量が多く、平均して10000g/m²程度の動物の付着がみられる。これは、付着生物のうちカキ類やイガイ類は構造物壁面への付着力が強いため、鉛直壁上で優占して増殖しやすいためであると考えられる。また、直立の部分では前述したように、水深の深い部分では海藻類が優占できないため、それと競争する必要がないからと考えられる。



(a) 総種類数



(b) 湿重量

図-4.5 堤前波高と付着生物の着生との関係

4.5 多様度指数を用いた付着生物相の評価

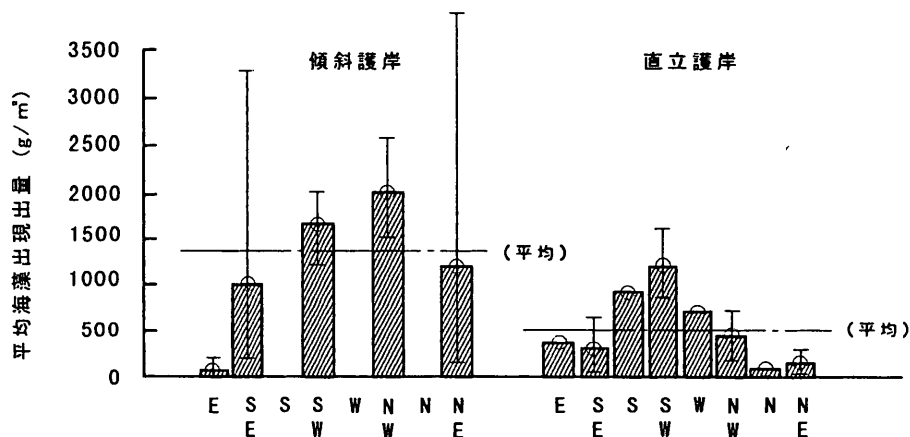
付着生物の生物相を全体にわたって評価する場合に、多様性の確保という概念がしばしば用いられる。多様性の確保とは広義的には、その場所に住む生物種を保全して地球全体での生物の多様性を損なわないようにすることを意味している。

ここでは調査地点で生息可能な生物がバランスよく生息している状態を保っていることが多様性の確保につながると考えることとした。このため、多様性が大きい状態を、群集を構成する生物の種類数が多く、個体数の分布が一様であることと定義して用いている。

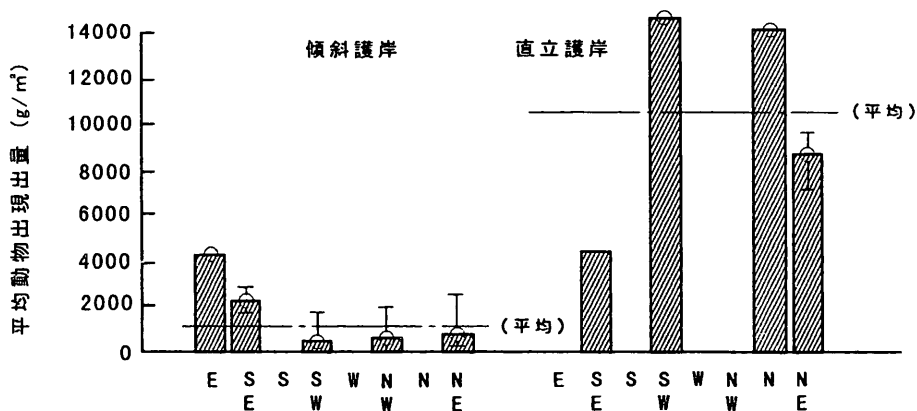
生物群集の多様性を定量的に表現する指標として多様度指数 (diversity index) という値が用いられる。

(1) 多様度指数を用いた多様性の表現方法

多様度指数とは、群集を構成する生物の種類数が多く、個体数の分布が一様であるほど大きくなるように定義した値である。定義の方法により、①種間遭遇確率を用いるもの (Simpsonの多様度指数(Simpson 1949)等)、②情報量を用いるもの (Shannon-Weaver関数(Shannon 1949)等)、および③群集構造の規則性 (等比級数則(元村 1932)、調和級数則(Fisher et al. 1943)、対数級数則(Fisher et al. 1943)、対数正規則(Preston 1948)等) から得られるものの3種類に大きく分類できる。このうち、Simpsonの多様度指数およびShannon-Weaver関数が一般的に用いられる指数である。ここでは、計算が比較的簡単でありサンプル数の影響を受けることが少ないSimpsonの多様度指数を用いて議論を進めていく。なお、



(a) 海藻類



(b) 付着動物

図-4.6 対面方位・構造形式と付着生物量の関係

解析を行う前に各多様度指数間の相関について検討し、その結果各多様度指数はお互いに高い相関をもち、とくにSimpsonの多様度指数とShannon-Weaver関数は高い相関を保っていることを確認した。

多様度指数の計算においては、Simpsonの単純度指数 λ を式(4.1)のように修正して得られる多様度指数 λ' を用いた。

$$\lambda' = 1 - \lambda \quad (4.1)$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

ここで、 i ：群集中の生物を種類毎に分けたときの i 番目に個体数の多い生物の種類番号、 S ：群集内に生息する生物の総種類数、 N ：群集内に生息する生物の総個体数、 n_i ： i 番目に多い種類の生物の個体数である。多様度指数 λ' は1に近いほど多様性が高い生物群集であることを示し、0に近いほど単調な生物群集であることを示す。

(2) 構造物の設置条件と付着生物相の関係

図-4.7は、各調査地点における堤前波高と付着動物の多様度指数との関係を示したものである。それぞれのプロットは各地点で調査が実施された期間内の測定結果の平均値を示し、縦線の両端は最大値と最小値を示している。なお、参考のために種類数および湿重量の変化傾向を同じ図中に示している。

図-4.7より、多様度指数は堤前波高が1.5~2.0mのところでピークをもち、その両側にくにつれて漸減することがわかる。これは、適度な波浪が入射する状態で、付

着生物相の多様性が最も大きくなることを表している。このとき、海水の交換が活発に行われ水質の向上や酸素の十分な供給が期待されるため、生物の生息条件としてもよい物理的・化学的環境が整っているためと考えられる。また、このことは適度に波浪が入射し、物理的な攪乱があった方が新しい生物の参入が起りやすく、生物の多様性が保たれやすいことを示すとも考えられる。種類数の変化傾向をみると、多様度指数の傾向とよく似ており、多様度指数の高い場合には参入する生物の種類数も多くなるのがわかる。

波高が大きな地点では、高波浪によるせん断応力が生物の生育に対する制限要因となる。このとき、ストレスに対する耐性種でない生物はその場所に参入しても定着しにくい。このため、湿重量は全体に小さくなっていると考えられる。多様度指数や種類数についても波高の増加とともに減少する傾向にあるが、減少の勾配は湿重量の変化傾向に比べてなだらかである。

これに対して、波高が小さく穏やかな地点で多様度指数が小さくなるのは、新規参入種が少なく、群集構造が少数の種によって寡占状態になっているものと考えられる。また、波の穏やかな海域では水質が劣化しやすいため、汚染指標種などが優占して増大する可能性も高い。そこで、湿重量の変化傾向をみると波高が0.5~1.0mのところピークとなり、多様度指数が小さいにも関わらず、生物量は大きな値を示している。これは優占種の存在を示すものと考えられる。

図-4.8は、全付着生物出現量と付着動物の多様度指数との関係について、生物群集の優占種 (=群集内でもっとも湿重量の多かった種類) ごとにプロットの形状を区別して示したものである。緑藻類・褐藻類が優占する付

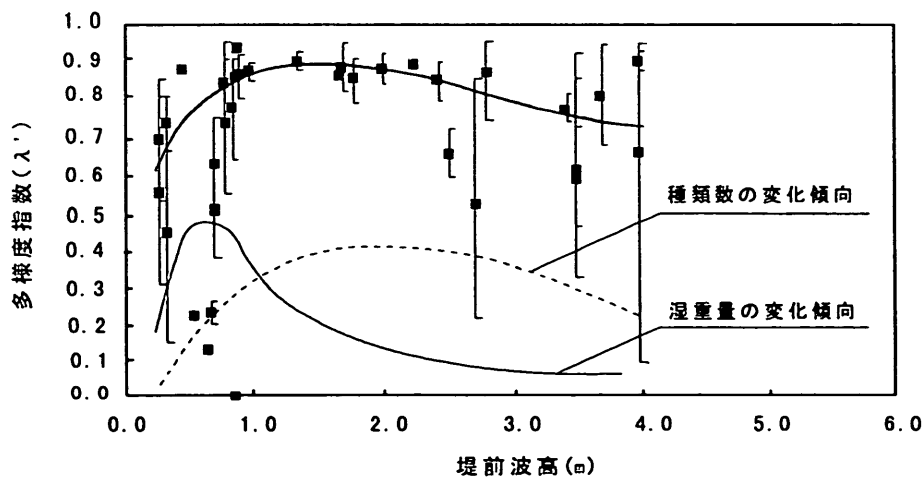


図-4.7 堤前波高と多様度指数の関係

着生物群落では、全体的な傾向として全付着生物の出現量が増加するにつれて多様性指数も増大し、出現量が5000g/m²以上の領域では多様性指数が0.9程度ではほぼ一定である。このように、緑藻類・褐藻類を主とする付着生物群落（藻場）では、群落が成長するとともに多様性指数が0.9ではほぼ一定になるまで増大する。

これに対して、図の右下のプロット群はこの傾向から大きくはずれている。出現量が8000~9000g/m²と非常に大きいにも関わらず、多様性指数が0.1~0.35の範囲と小さな値になる。このことは少数の種類の生物が大量に発生して優占している状態にあることを表している。このときの優占種をみると、カンザシゴカイやイガイのような水質の劣化に対する耐性を持った生物が優占種となっている。また、紅藻類は水が濁っている場所や比較的水深の深いところなど、日照条件があまりよくないところでも生育できる生物である。したがって、これらの生物の大量発生は、水質の劣化しやすい滞留域で起こったものと推測される。

この傾向は、図-4.7の波高が低い場合の多様性指数と湿重量の関係とも定性的に一致する。これらの結果から、多様性指数と湿重量を組み合わせる用いることにより、水質環境の指標とすることができる可能性があることが示される。

5. 構造物に付着する生物の地域的な出現特性

港湾構造物に付着する生物の出現状況は波浪条件に大きく影響されることがこれまでの検討結果から明らかになった。日本沿岸の一年間の波浪条件は港湾ごとにほぼ

安定した値をとり、それぞれの地域ごとに固有の特性をもっている。また、生物の生息条件を大きく左右する水温や海流などの条件も地域ごとにほぼ一定である。これらの事実は、波浪条件等を加味した地域分けを行うことにより、それぞれの地域で付着生物相のゾーニングを設定できる可能性があることを示している。

5.1 各港湾における付着生物の出現特性

ここでは、各港湾での付着生物相の出現特性を抽出し、それぞれの地域の特に対して比較検討を行う。そして、各地域の出現特性をまとめる上で必要な項目の選定のための検討を行う。

(1) 海藻類の地域的な出現特性

図-5.1は、各港湾における海藻のそれぞれの種類の出現量の割合を、門を用いて分類し、表したものである。図より、横須賀港、大分港では、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。これは、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。また、七尾港で緑藻の量が多くなっているのはアオサ類が多量に漂着するからである。アオサ類は、水質に由来するものだと考えられる。さらに、安下庄港、日良居港でも、緑藻の割合が比較的大きくなっている。

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(P)の出現量に対する緑藻類(C)の出現量の比）が増加する傾向（瀬川, 1956）と関係なく、全国的に内湾性の強い港では同じ傾向を示す。これに対して、新潟西海岸では、褐藻類・紅藻類の出現量が多くなっている。御前崎港で褐藻が多いのは、ホン

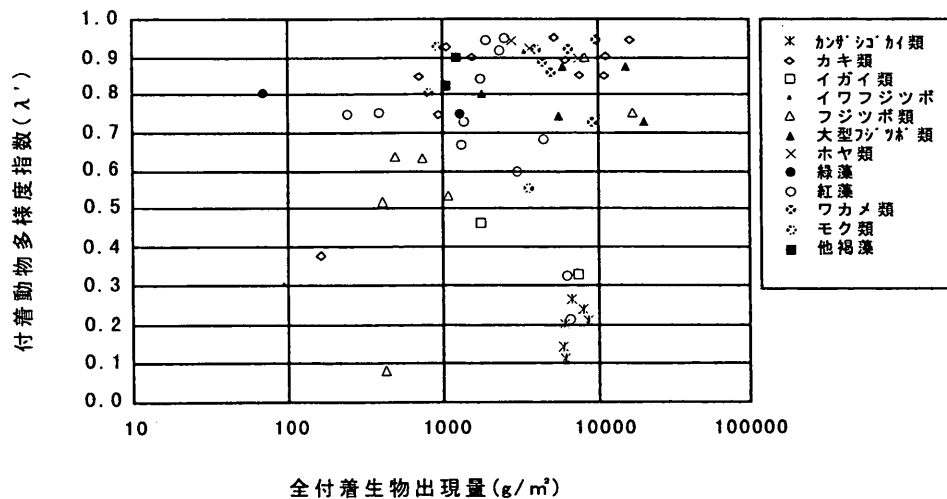


図-4.8 優占種を指標とした全付着生物出現量と付着動物多様性指数との関係

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る。

以上のように海藻類では南北間の気候による種類数の差は小さく、構造物の設置場所による内湾性の強さ、すなわち水質条件が出現状況に影響を与える傾向がある。ただし、このデータには北海道等の北の地域のデータが少ないため、これらのデータを合わせた更に詳細な検討を行う必要がある。

(2) 付着動物の地域的な出現特性

図-5.2(a),(b)は、各港湾における付着動物のそれぞれの種類の個体数および出現量の割合を、門を用いて分類し、表したものである。図より、湿重量のグラフでは軟体動物や節足動物の割合が非常に大きいものに対して、個体数では環形動物や海綿動物などの存在も確認できる。これは、軟体動物（二枚貝等）や節足動物（フジツボ、エビ、カニ等）では固い殻をもつものが多いため、個体あたりの重量が大きくなるためである。

湿重量比の図より、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り、港内の底質が泥質であり内湾性が強いことがわかる。シャミセンガイ等の触手動物がみられることから、同様な結果が示される。個体数の図では、七尾港、横須賀港、博多港、大分港といった港湾でも、環形動物の発生が認められる。これらの港は内湾性が強い港である。また、横須賀港では、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、比較的水質の良好な地点もあると考えられる。

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、御前崎港では外海性であるマボヤが多く、外海に面した防波堤の底層に生息している。しかし、御前崎港の中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るため、御前崎港の港内部にも内湾性が強い部分があるといえる。

(3) 生活様式により区分した付着動物の出現特性

図-5.3は、付着動物の出現量を付着動物の生活様式にしたがって分類し直したものである。図の(a)は生活形態を固着性、移動性および潜伏性に分けて示したものである。また、(b),(c)は、固着性の動物と移動性、潜伏性の動物をそれぞれさらに細かく分類して示したものである。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（主に基質の表面上で生活するもの）と、内生型（主に基質の中や基質間のすき間で生活するもの）に分けて分類している。

図の(a)より、どの港湾においても固着性の動物が多く、湿重量比にして90%以上を示すことがわかる。これは、構造物上は岩礁とよく似た基質になっていること、また調査地点が海岸線付近にあたるので海底とくらべて波当たりの影響が強いことがあげられる。

固着性の動物についてさらに詳しくみると、図の(b)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

海藻類の出現量の割合

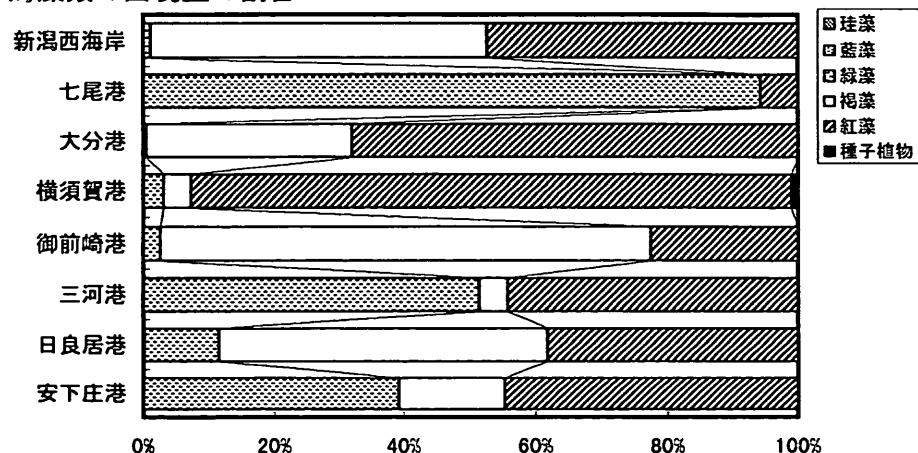


図-5.1 各調査地点における海藻類の出現状況

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。

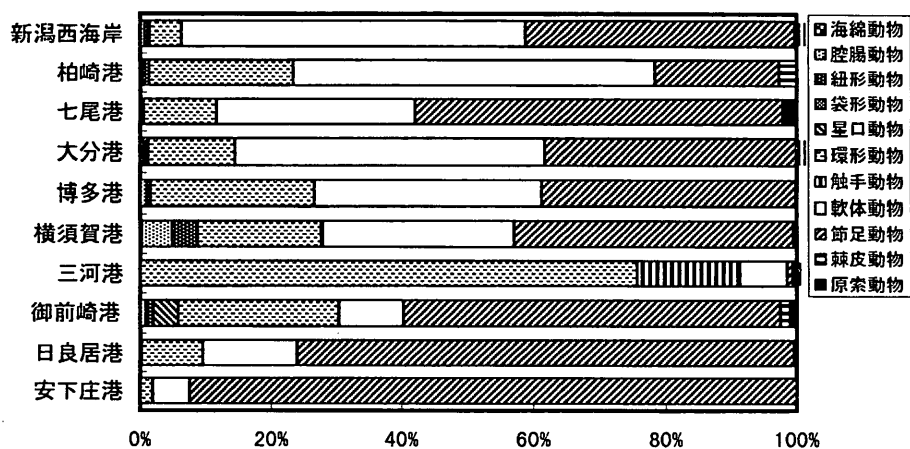
移動性、潜伏性の動物については、図の(c)に示すように、基質が岩盤やコンクリートからなる港湾では、新潟西海岸や御前崎港のように波当たりの強い地点において内生型の動物が増加する傾向がみられる。表在型の動物のうち固着性でないものは、波により基質表面に与えられるせん断力に耐えられないからと考えられる。博多港で内生型の動物が増加しているのは、港内に浮泥がたまり、基質が前の2港湾と異なっているためと考えられる。このため、博多港ではゴカイ等の多毛類が大量に発生している。

(4) 食性による付着動物の出現特性の違い

図-5.4(a)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。図よりどの地点でも懸濁物食性の動物が湿重量比で90%以上と多くなっている。そこで、図の(b)に懸濁物食者以外の動物を抽出して表示した。

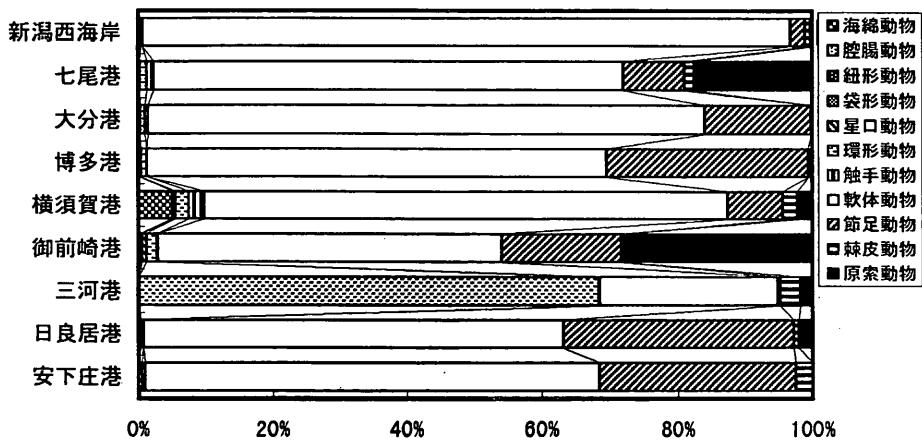
図より新潟西海岸では藻食性の動物が多く、横須賀港、日良居港、安下庄港の3地点では肉食性の動物が比較的多い。これは、新潟西海岸では藻場が形成されているため餌料の供給があること、および堤前波高の小さな港湾では付着動物が優占する生物群集になりやすいことによるものと考えられる。また、七尾港、三河港、博多港、新潟西海岸、御前崎港の5地点では、有機物食者の割合も40~60%と多い。ただし、新潟西海岸と御前崎港では、

付着動物の着生状況(個体数)



(a) 出現量

付着動物の着生状況(出現量)



(b) 個体数

図-5.2 各調査地点における付着動物の出現状況

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50g/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。

付着動物の種構成の特徴についても、内湾性の強さによる違いが最も大きく、場所の違いによる差異はあまり認められなかった。また、一般的に日本海側は太平洋側とくらべて生物相が貧弱であるといわれているが、今回の検討ではそのような傾向は認められなかった。

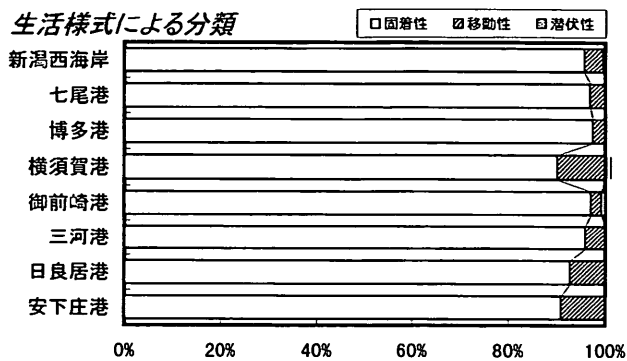


図-5.3 生活様式により区分した付着動物の出現状況 (a)

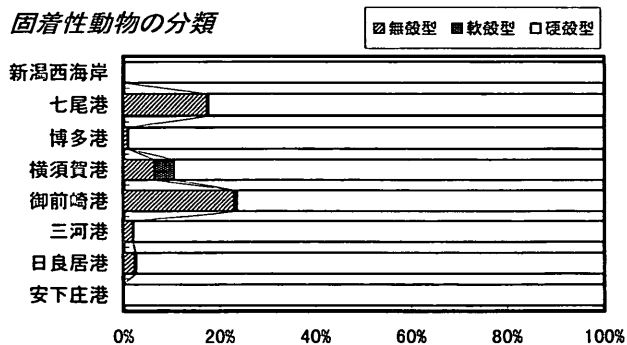


図-5.3 生活様式により区分した各調査地点での付着動物の出現状況 (b)

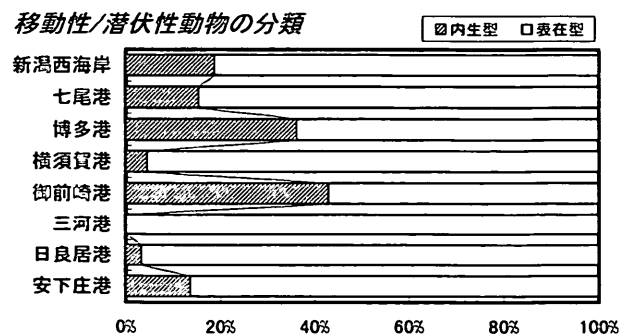


図-5.3 生活様式により区分した各調査地点での付着動物の出現状況 (c)

5.2 クラスタ分析結果にもとづく生物相の分類

前項の検討より、付着生物の分布特性は、港湾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。クラスタ分析と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、種類毎の湿重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。

(1) クラスタ分析の解析手法

クラスタ分析とは、複数の変数により特徴づけられる要素の母集団から、互いに性質の似かよったものを集める/性質の異なるものを分類して集落を作ることによって、母集団を分類する方法である。クラスタとは分類された1つ1つの集落を意味している。図-5.5は、クラスタ分析の概念図を示している。各データの特性値を用いて座標空間上に置いたときのデータ間の距離を非類

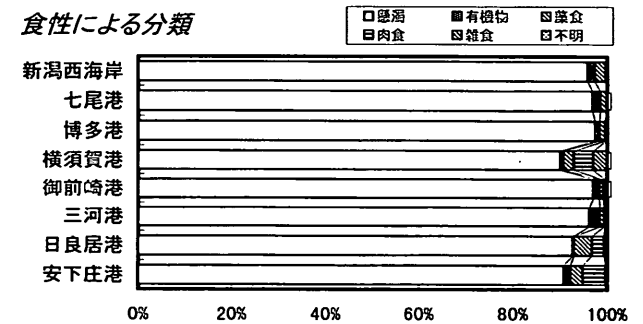


図-5.4 食性により区分した各調査地点での付着動物の出現状況 (a)

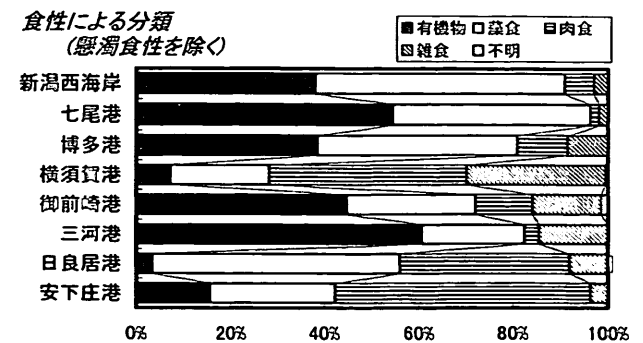


図-5.4 食性により区分した各調査地点での付着動物の出現状況 (b)

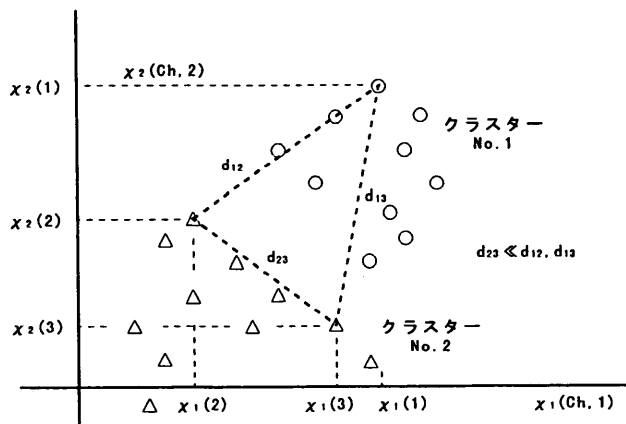


図-5.5 クラスタ分析による分類の概念図

似度といい、互いの非類似度の大きさを比較することにより要素間の類似度を議論する。

クラスタ分析は、各種類ごとの海藻の湿重量、付着動物の湿重量を変量に用いた場合についてそれぞれ実施した。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と付着動物の2つに分けてそれぞれ実施した方がよいと判断した。解析に用いた港湾は4.と同じであるが、港湾内の各調査地点での結果をそれぞれ単独のデータとして使用している。各調査地点の位置を図-5.6に示す。

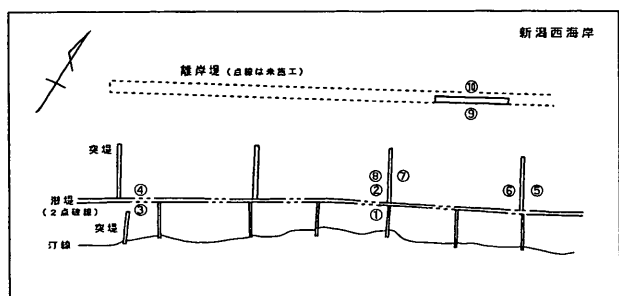


図-5.6(a) 調査地点 (新潟西海岸)

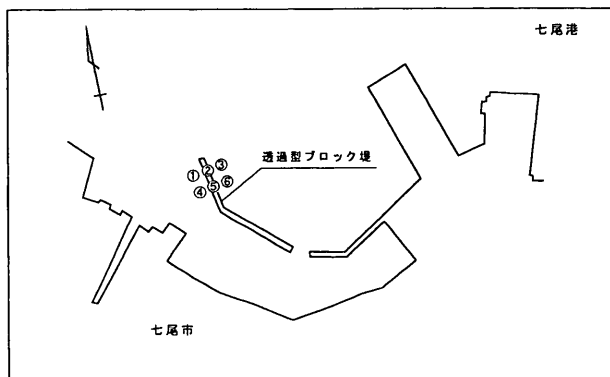


図-5.6(b) 調査地点 (七尾港)

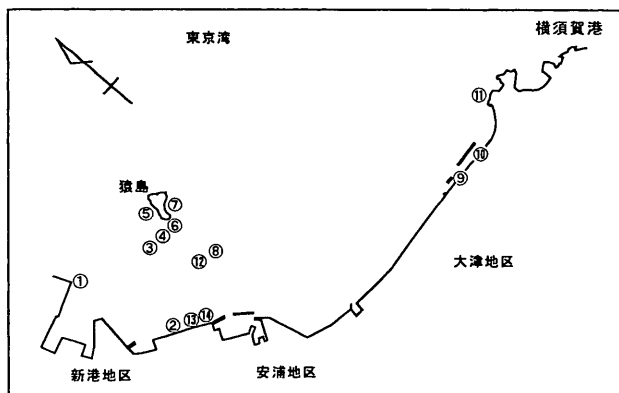


図-5.6(c) 調査地点 (横浜港)

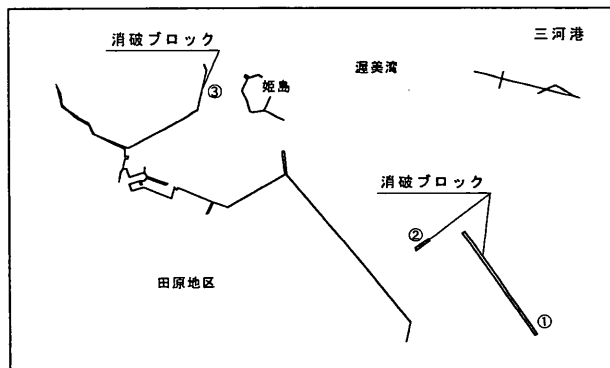


図-5.6(d) 調査地点 (三河港)

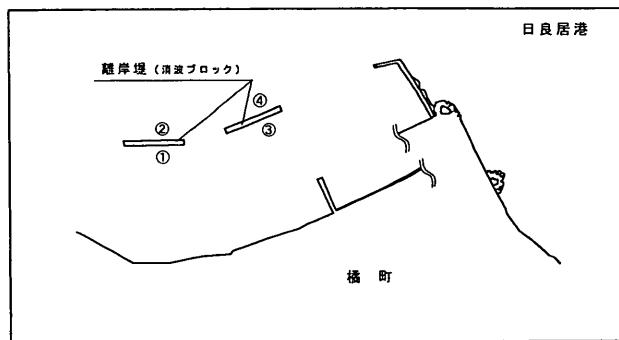


図-5.6(e) 調査地点 (日良居港)

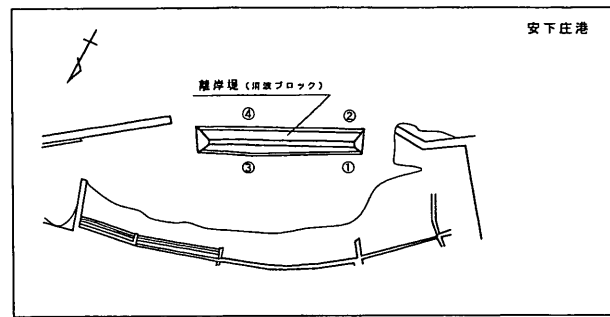


図-5.6(f) 調査地点 (安下庄港)

御前崎港については前掲の図-3.4 (①~⑧) を参照していただきたい。現地調査は港湾ごとに防波堤や離岸堤、護岸等の沖側および岸側の両地点で実施している。なお、横須賀港では沖側の海底や岩礁等、10地点以上で現地調査を実施している。各調査地点での海藻、付着動物の優占種を表-5.1に示す。

解析には、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、分類を実施した。デンドログラムの一例を図-5.7に示す。

(2) 解析結果および各クラスターの特徴

表-5.2(a)および(b)は、それぞれ海藻および付着動物に対するクラスター分析の結果をもとに各調査地点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

表-5.1 各調査地点で出現した優占種 (a)

| (a) 海藻 | | | | (a) 海藻 | | | | | | |
|--------|--------|---------|-------|---------|------|------|--------|---------|--------|--------|
| 港湾名 | 地点番号 | 優占種 | | | 港湾名 | 地点番号 | 優占種 | | | |
| | | 1位 | 2位 | 3位 | | | 1位 | 2位 | 3位 | |
| 新潟西海岸 | 1 | スキノ | ネハリモ | ツマタ | 御前崎港 | 1 | エウキワノワ | コモクサ | トサカキ属 | |
| | 2 | ウカメ | イトグサ属 | ヒジリメン | | 2 | エンドウモク | フシアナキ | ホシワラ属 | |
| | 3 | スキノ | ウカメ | アシダクサ | | 3 | タマハキモク | アサモク | フクロノ | |
| | 4 | モロイトグサ | ヒジリメン | オタノ | | 4 | エンドウモク | フクロノ | アサモク | |
| | 5 | ウカメ | ヒラムカデ | ヒジリメン | | 5 | カイノ | タンバノ | ホシワラ | |
| | 6 | ウカメ | スキノ | カイノ | | 6 | ホシワラ | アサモク | オタノ | |
| | 7 | ウカメ | ヒジリメン | カニクサ属 | | 7 | アサモク | ウカメ | カイノ | |
| | 8 | ウカメ | ヒジリメン | ヒジリメン | | 8 | ウカメ | タンバノ | カイノ | |
| | 9 | ウカメ | カイノ | オオキクソウ | | 四日市港 | 1 | ヨウガサネ | ケウルシグサ | --- |
| | 10 | ウカメ | オハクサ | カイノ | | | 2 | ヨウガサネ | ケウルシグサ | --- |
| 七尾港 | 1 | アサモク | シル | --- | 3 | | ケウルシグサ | ヨウガサネ | --- | |
| | 2 | アサモク | シル | --- | 三河港 | | 1 | なし(イノキ) | --- | --- |
| | 3 | アサモク | シル | --- | | | 2 | イノキ | --- | --- |
| | 4 | アサモク | シル | --- | | | 3 | シル | イノキ | ケウルシグサ |
| | 5 | アサモク | サンゴモ属 | シル | 日良居港 | | 1 | ジャバノ | アサモク | --- |
| | 6 | アサモク | オゴノ | シル | | | 2 | オゴノ | オオハモク | テウギ科 |
| 大分港 | 1 | ヒジキ | ヒジリメン | シロカク | | | 3 | ウミトラノ | アサモク | オゴノ |
| | 2 | マクサ | キトキ属 | カキウスバノ | | | 4 | アサモク | --- | --- |
| | 3 | アサモク | --- | --- | 安下庄港 | 1 | なし | --- | --- | |
| | 4 | マクサ | イトグサ属 | ウスリカニテ | | 2 | フシアナキ | アサモク | ウスバアノ | |
| | 5 | マクサ | ヨモク | フクリンアサシ | | 3 | アサモク | ジャバノ | --- | |
| 14 | ヨウガサネ属 | ハイウスバノ属 | --- | 4 | | アサモク | フクロノ | オゴノ | | |

(注意) () 付けで示された種類は、優占第1位の生物と比べて生物量が10%に満たないものであり、参考値として示している。

表-5.1 各調査地点で出現した優占種 (b)

| (b) 付着動物 | | | | (b) 付着動物 | | | | | |
|----------|------|-----------|-----------|-----------|--------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 港湾名 | 地点番号 | 優占種 | | | 港湾名 | 地点番号 | 優占種 | | |
| | | 1位 | 2位 | 3位 | | | 1位 | 2位 | 3位 |
| 新潟西海岸 | 1 | フナガヨコエ | ヒゲナガヨコエ科 | テウキヨコエ科 | 横須賀港 | 1 | イワシノ | サンカクアノ | ムラサキガイ |
| | 2 | カマキヨコエ | マルエワシノ | ムラサキガイ | | 2 | イノキ | ヒゲナガヨコエ科 | ヒゲナガヨコエ科 |
| | 3 | イワシノ | カマキヨコエ | モクスヨコエ科 | | 3 | ムラサキガイ | ミズヒキコ | チリハキ |
| | 4 | ムラサキガイ | カマキヨコエ | マルエワシノ | | 4 | ムラサキガイ | エゾカサネカンザシ | サンカクアノ |
| | 5 | ムラサキガイ | ムラサキガイ | シノ | | 5 | イワシノ | サンカクアノ | ホトキスガイ |
| | 6 | ムラサキガイ | カマキヨコエ | モクスヨコエ | | 6 | フナハニツカニ | ミズヒキコ | ホトキスガイ |
| | 7 | ムラサキガイ | モクスヨコエ | サンカクアノ | | 7 | フナハニツカニ | イワシノ | ホソヨコエ |
| | 8 | ムラサキガイ | カマキヨコエ | マルエワシノ | | 8 | エゾカサネカンザシ | イノキ | コシカクガ |
| | 9 | ワシノ | ムラサキガイ | テウキヨコエ | | 9 | ホトキスガイ | イワシノ | チリハキ |
| | 10 | ムラサキガイ | ムラサキガイ | ムラサキガイ | | 10 | エゾカサネカンザシ | ムラサキガイ | ミズヒキコ |
| 七尾港 | 1 | ムラサキガイ | ワシノ | ヨコエ | 11 | イワシノ | ミズヒキコ | ムラサキガイ | |
| | 2 | ワシノ | ムラサキガイ | ヨコエ | 12 | ヒゲナガヨコエ科 | サンカクアノ | ヒゲナガヨコエ科 | |
| | 3 | ムラサキガイ | ワシノ | ヨコエ | 13 | ホソヨコエ | カマキヨコエ | ヨコエ | |
| | 4 | ムラサキガイ | ワシノ | ヨコエ | 14 | ヒゲナガヨコエ科 | ムラサキガイ | ヨコエ | |
| | 5 | ワシノ | ムラサキガイ | ヨコエ | 御前崎港 | 1 | サンカクアノ | ホソヨコエ | オウキ |
| | 6 | ワシノ | ムラサキガイ | ヨコエ | | 2 | スナガキ | ホソヨコエ | ワシノ |
| 大分港 | 1 | イワシノ | ヒゲナガヨコエ科 | シノ | | 3 | ホソヨコエ | ウスバアノ | シノ |
| | 2 | イワシノ | ムラサキガイ | --- | | 4 | エゾカサネカンザシ | スナガキ | アサモク |
| | 3 | ムラサキガイ | ヒゲナガヨコエ科 | (イワシノ) | 5 | イワシノ | アサモク | エゾカサネカンザシ | |
| | 博多港 | 1 | ムラサキガイ | チリハキ | イワシノ | 6 | アサモク | イワシノ | エゾカサネカンザシ |
| | | 2 | イワシノ | エゾカサネカンザシ | カサネガイ科 | 7 | イワシノ | アサモク | エゾカサネカンザシ |
| 3 | | エゾカサネカンザシ | チリハキ | ムラサキガイ | 8 | イワシノ | アサモク | サンカクアノ | |
| 4 | | フサゲモクス | ムラサキガイ | チリハキ | 三河港 | 1 | エゾカサネカンザシ | (ムラサキガイ) | (ヨコエ) |
| 5 | | フサゲモクス | ムラサキガイ | チリハキ | | 2 | エゾカサネカンザシ | (ムラサキガイ) | (ヨコエ) |
| 6 | | イワシノ | ヒゲナガヨコエ科 | シノ | | 3 | エゾカサネカンザシ | チリハキ | (ムラサキガイ) |
| 7 | | ムラサキガイ | エゾカサネカンザシ | シノ | | 日良居港 | 1 | シノ | アサモク |
| 8 | | カサネガイ | カサネガイ | カサネガイ | 2 | | イワシノ | サンカクアノ | ヨコエ |
| 9 | | フサゲモクス | ムラサキガイ | チリハキ | 3 | | カサネガイ | イワシノ | ヒゲナガヨコエ科 |
| 10 | | ムラサキガイ | エゾカサネカンザシ | フサゲモクス | 4 | | サンカクアノ | チリハキ | チリハキ |
| 安下庄港 | 1 | カマキヨコエ | トウモロコシ | テウキヨコエ | 安下庄港 | 1 | カマキヨコエ | トウモロコシ | テウキヨコエ |
| | 2 | シノ | トウモロコシ | テウキヨコエ | | 2 | シノ | トウモロコシ | テウキヨコエ |
| | 3 | イワシノ | カマキヨコエ | ヒゲナガヨコエ | | 3 | イワシノ | カマキヨコエ | ヒゲナガヨコエ |

(注意) () 付けで示された種類は、優占第1位の生物と比べて生物量が10%に満たないものであり、参考値として示している。

える。図-5.8(a)および(b)に、それぞれ表-5.2(a)および(b)に対応するデンドログラムを示す。また、図-5.9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(1)(②, ⑤~⑩)の生物相が他の港湾と比べて非類似度(図-5.8の縦軸の値)が大きくなっている。これは、新潟西海岸(1)の生物相が他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(1)が、他の地点と物理環境の点から異なるところは、日本海に面していること、およびその中でもとくに外海に面した離岸堤の沖側の測点であるため堤前波高が大きいことがあげられる。

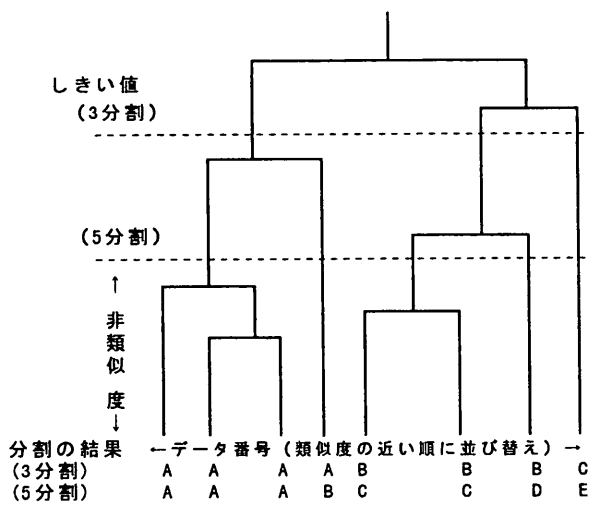


図-5.7 デンドログラム(樹形図)の一例

新潟西海岸(1)の優占種をみると、海藻類では、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。海面近くには海藻類の付着がほとんどみられない。付着動物分布に

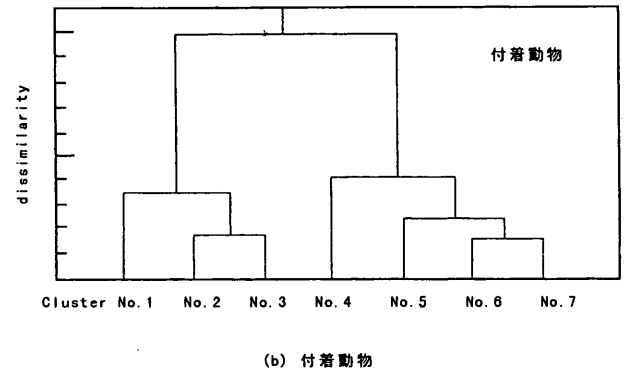
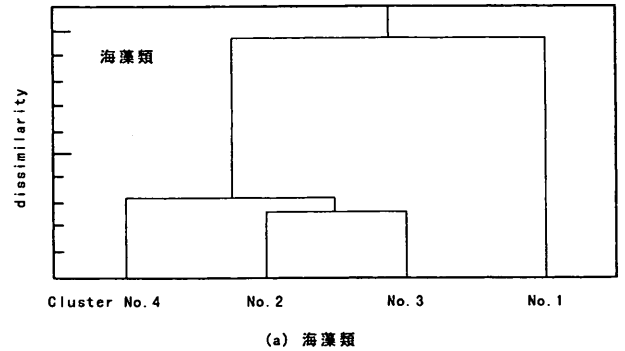


図-5.8 クラスタ分析により得られたデンドログラム

表-5.2 クラスタ分析による各調査地点のグループ分け

| (a) 海藻 | | | |
|--------|------------------------------|-------------------------|-----------|
| クラスター | 港名・調査地点番号 | 優占種 | 特徴 |
| No.1 | 新潟西海岸(1)(②, ⑤~⑩) | ワカメ, ヒジリメン | 高波浪, 日本海側 |
| No.2 | 横須賀港(③~⑭), 三河港(③), 大分港(①, ②) | ツノマタ, ハリガネ, モク類, ノリ | 内湾性やや強い |
| No.3 | 新潟西海岸(2)(①, ③) 御前崎港(③, ④, ⑧) | ワカメ, アラメ | 藻場の形成 |
| No.4 | 七尾港(①, ②~⑤) その他の港湾 | アナアオサ, ミル 緑藻類 (出現量が小さい) | 内湾性強い |

| (b) 付着動物 | | | |
|----------|--------------------------|---------------------------|-------------|
| クラスター | 港名・調査地点番号 | 優占種 | 特徴 |
| No.1 | 七尾港(①~⑥) | ムラサキガイ, 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)(④) | ムラサキガイ, フジツボ類, カンザシゴカイ類 | 内湾性 太平洋側 |
| No.3 | 安下庄港(④), 横須賀港(2)(①) | フジツボ類, ワレカラ類 | 内湾性, 太平洋側 |
| No.4 | 三河港(①~②), 横須賀港(3)(⑩) | カンザシゴカイ類 | 内湾性, 太平洋側 |
| No.5 | 大分港(③), 横須賀港(4)(②, ③, ⑧) | ムラサキガイ, カンザシゴカイ | 内湾性, 太平洋側 |
| No.6 | 新潟西海岸(④, ⑧), 博多港(⑩) | ムラサキガイ | 高波浪, 日本海側 |
| No.7 | 御前崎港ほか | 特定の占有種なし (多様性が高い) | その他の港湾 太平洋側 |

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。

新潟西海岸の調査結果では、海岸側の離岸堤の陸に向いた調査地点（新潟西海岸（2）①，③）が別のクラスター（No.2）に分類されている。この地点では優占種としてワカメの他にスギノリのような紅藻類の中でも比較的小型のものが増加しているが、これは離岸堤の海側と比べて波浪条件が穏やかであるためと考えられる。クラスターNo.2には御前崎港も分類されており、外洋性の調査地点の特徴であると思われるが、このクラスターには、横須賀港、三河港、大分港のような内湾性の強い港も含まれている。ただし、これらの港では内湾性が強くとも海藻類が繁茂できないほど水質の悪い地点ではなく、紅藻類が多く生息しているため、新潟港、御前崎港との差異がはっきりしていないのだと考えられる。

これに対して、付着動物を用いた分析結果では、内湾性の強い港に対して、その中でもクラスターの違いがあらわれる傾向にある。この理由として、大型の付着動物類は、イガイ類やフジツボ類、ゴカイ類等、内湾性の強い港湾において濁度や底質の状態によって棲み分けているものが多いためと考えられる。図-5.9より、クラスターNo.1（七尾港）、No.2（横須賀港（1））、No.3（横須賀港（2）、安下庄港）の3つのクラスターに含まれる3港が1つのグループをつくっている。

横須賀港は4つのクラスターに分かれているが、これは図-5.6(c)に示されるように調査地点が広範囲にわたるためである。①，②，⑬，⑭は港内の護岸壁面での調査結果である。これに対して、③～⑧，⑫は港外の岩礁，⑨～⑪は離岸堤周辺の海底面での調査結果である。⑩で

は底質が泥や砂となるために、三河港と同様にカンザシゴカイなどの多毛類が優占する。防波堤や岩礁部ではムラサキイガイやフジツボが繁殖しているが、内湾性が強くなるにともなって浮泥の堆積がみられるようになり、カンザシゴカイやワレカラ類・ヨコエビ類が増加する。このため、横須賀港内の各調査地点の内湾性の強さや基質の状態に応じて、安下庄港や三河港、大分港と同じクラスターに分類されてくるものと考えられる。

6. 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。得られた主要な結論は次のとおりである。

- (1) 堤前波高と付着動物の着生は強い関係があり、生物群集の形成に対して最適な堤前波高の値が存在することが明らかになった。付着動物の出現量は、波高0.5～1mで最大となるが、出現する総種類数は波高1.5～2mに最大値をもつ。多様度指数は波高1.5～2mで最大となり、総種類数に対する調査結果と同じ傾向を示す。
- (2) 堤前波高が小さく水質がよどんでいるところでは、付着動物の出現量が大きく、付着動物の多様度指数が小さい。これは、ムラサキイガイ、カンザシゴカイ、紅藻類等の生物による寡占が起きているためである。上記の生物が優占する場合は水質の悪いことが多く、他の生物と場をめぐり競争することが少ない。

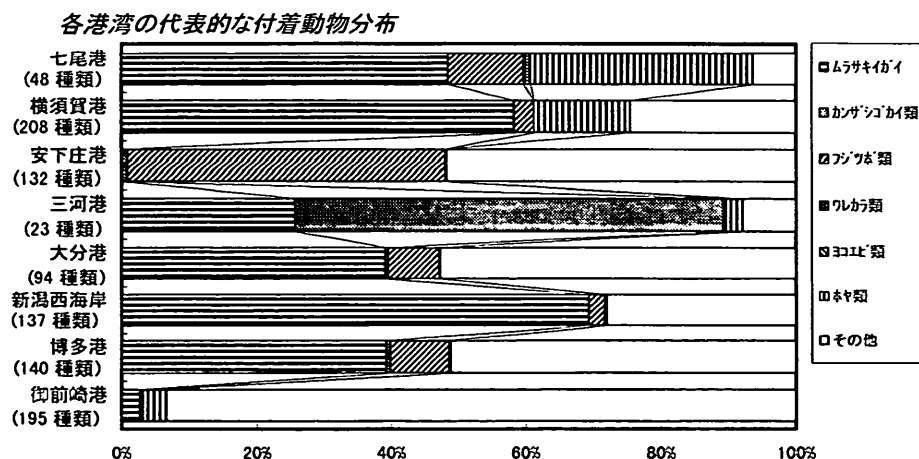


図-5.9 各港湾の代表的な付着生物の出現割合

- (3) 構造物の形式および対面方位と付着生物の関係について調べたところ、直立護岸では対面方位がN~NEのとき海藻類の出現量が小さくなる傾向が見られた。これに対して、傾斜護岸では対面方位の違いによる海藻類の出現量への影響が少ない。藻場の育成に対して日照の届く水深域に小段を設けてやることは効果的である
- (4) クラスタ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調査地点の分類を行ったところ、内湾性の強さによりいくつかのグループに分類された。

謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、鶴谷広一室長をはじめとする環境評価研究室の皆様には多大なご協力をいただいた。とくに西守男雄研究員には現地観測や図面の清書等において尽力を注いでいただいた。また、(株)五洋建設 中瀬浩太氏、(株)テトラ 綿貫 啓氏、(株)エコー 山本秀一氏には現地調査およびデータ解析においてご協力をいただくとともに、多くの助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

(1997年9月30日受付)

参考文献

- 運輸省港湾局編 (1994) : 環境と共生する港湾—エコポート—《新たな港湾環境政策》, 大蔵省印刷局, 87p.
- 宇多高明・伊藤弘之・小西正純 (1993) : 離岸堤の設置に伴う生態系変化の予測手法, 海洋開発論文集, Vol.9, pp.109-214.
- 宇多高明・松永博史 (1990) : 有脚式離岸堤の魚礁効果に関する現地調査, 海洋開発論文集, Vol.5, pp.31-35.
- 木下 泉・石川 浩 (1988) : 離岸堤と魚類, 月刊海洋科学, Vol.20, No.6, pp.377-382.
- 合田良實 (1978) : 港湾構造物の耐波設計, 鹿島出版会, pp.267-322.
- 今野敏徳 (1985) : ガラモ場・カジメ場の植生構造, 月刊海洋科学, Vol.17, No.1, pp.57-65.
- 佐藤善雄 (1976) : 堤防周辺における生物相の変化 (アワビ・植生の変化等), 水産土木, Vol.13, pp.3-8.
- 瀬川宗吉 (1956) : 原色日本海藻図鑑, 保育社.
- 莊司善博・田村政太郎・高橋豊喜 (1992) : 新潟西海岸における潜堤設置に伴う周辺生物相の変遷, 海岸工学論文集, Vol.39, pp.996-1000.
- 水産土木研究部会 (1976) : 各種海岸構造物における水産生物蝸集のことに對する各県のアンケート調査結果, 水産土木, Vol.13, No.1, pp.29-42.
- 水産土木研究部会 (1977) : 各種海岸構造物における水産生物蝸集のことに對する各県のアンケート調査結果 (2), 水産土木, Vol.13, No.2, pp.77-78.
- 武内智行・増田 亨 (1991a) : 松前港における水産生物分布状況調査, 海岸工学論文集, Vol.38, pp.921-925.
- 武内智行・吉本義憲・増田 亨 (1991b) : 防波堤周辺の水産生物分布状況調査-瀬棚港での調査例-, 開発土木研究所月報, No.463, pp.2-16.
- 永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井 正 (1973) : 全国港湾海洋波浪観測20ヶ年統計, 港湾技研資料, No.744, 247p.
- 中筋 孝 (1976) : 防波堤工事に伴う捨て石及び消波ブロックへのイセエビ蝸集効果について, 水産土木, Vol.13, No.1, pp.17.
- 伏見 浩 (1976) : 堤防堤周辺におけるイセエビ蝸集の実例, 水産土木, Vol.13, No.1, pp.9-16.
- 武藤昭光・外崎昭男 (1985) : 防波堤築造による魚礁効果について-御前崎港魚礁効果調査報告-, 港湾, 1985年5月号, pp.73-72.
- 元村 勲 (1932) : 群集の統計的取り扱いについて, 動物学雑誌, 44, pp.379-383.
- 森 政次・野田頭照美・荒井洋一 (1991) : 人工護岸の造成とその生物的效果について, 沿岸海洋研究ノート, Vol.29, No.1, pp.37-50.
- 森田 晋・田淵郁男・前原弘海・進 明男・児玉理彦・山本秀一 (1992) : サンゴの人工構造物への着生状況, 海岸工学論文集, Vol.39, pp.1001-1005.
- 森平倫生・笹島 博・久保省吾 (1979) : 多孔式の魚礁効果, 第26回海岸工学講演会論文集, pp.348-352.
- 谷野賢二・明田定光・佐藤 仁・大森康弘・富士 昭 (1993) : 防波堤の疑似岩礁効果について, 海岸工学論文集, Vol.40, pp.1151-1155.
- 山田有一・杉原拓郎 (1985) : 発電所港湾施設の生物生産に及ぼす影響について, 電力土木, No.199, pp.63-69.
- Fisher, R.A., S.S. Corbet and C.B. Williams (1943) : The

relation between the number of species and number of individuals in a random sample of an animal population, *Journal of Animal Ecology*, 12, pp.42-58.

Hoshiai, T. (1965) : Synecological study on intertidal communities VI. *Bull. Mat. Biol. Start. Asamushi*, Vol.12, No.2-3, pp.93-126.

Preston, F.W. (1948) : The commonness and rarity of species, *Ecology*, 29, pp.254-283.

Simpson, E.H. (1949) : Measurement of diversity, *Nature*, 688, 163.

Shannon, C.E. (1949) : The mathematical theory of communication, "The mathematical theory of communication", ed. by C.E.Shannon and W.Weaver, Univ. Illinois Press, pp.29-125.

港湾技研資料 No.880

1997・12

| | |
|--------|-----------------------------|
| 編集兼発行人 | 運輸省港湾技術研究所 |
| 発行所 | 運輸省港湾技術研究所 横須賀市長瀬3丁目1番1号 |
| 印刷所 | 横浜ハイテクプリンティング株式会社 |

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1997) by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所所長の文書による承認を得ずしてこれを行なってはならない。