

人工磯の地形と付着動物の多様性および繁栄性に関する現地調査 Field Observation on the Relationship between Topography and Living Conditions of Marine Organisms in Man-made Rocky Coast

井上雅夫*・島田広昭*・桜井秀忠**・鉄川 精***

Masao Inoue, Hiroaki Shimada, Hidetada Sakurai, Tadashi Tetsukawa

Abstract

The purpose of this study is to clarify the best habitable conditions for marine organisms in man-made rocky coast. From this viewpoint, the field observations on plane and vertical distributions of marine organisms are carried out in man-made rocky coast facing Osaka Bay. In addition, the rate of seawater flow due to wave and current is surveyed by the plaster ball method at several points in the coast. The relationship between topography and living conditions of marine organisms in man-made rocky coast is discussed based on the results of these observations.

Keywords : man-made rocky coast, marine organism, diversity index

1. 緒言

近年、海岸環境に対する関心が一般にも高まり、海岸・港湾施設の建設に際しては、自然と共生できる機能をもったものが求められるようになってきた。その具体的な事例の一つに人工磯がある。著者らは92年以来、大阪湾に面した淡輪・箱作海岸の人工磯とその近傍にある天然磯において、付着動物に関する現地調査を定期的に行ってきた。その結果、天然磯における付着動物の多様性が人工磯のものよりも高いことを明らかにし、その大きな理由の一つとして地形の違いを挙げてきた¹⁾。

この研究の目的は、人工磯における付着動物の多様性や繁栄性と地形との関係を明らかにして、生物との共生を目指した人工磯に関する造成指針の確立に寄与しようとするものである。

2. 調査内容

現地調査では前述の人工磯における付着動物の平面および垂直分布を明らかにしようとした。そのため、まず、図-1に示すように人工磯の一部になっている突堤周辺に高さが等しい測点を11カ所設け、そこでの付着動物の種数、個体数を調べることによって付着動物の平面分布を求めた。特に測点Z6、Z7およびZ10においては、辺長が50cmの正方形ブロックを斜面に沿って設け、平面分布と同様の調査を行い、付着動物の垂直分布を求めた。なお、これらの分布は、測点ごとの付着動物に関する多様度指数、繁栄指数および均衡性指数を用いて示した。さらに、付着動物の生息限界高さを明らかにするため、11測点のすべてについて、もっとも高い位置に生息している付着動物の種とその高さを測定した。なお、垂直分布に関する調査は92年9月から97年1月までの間に23回、平面分布と生息

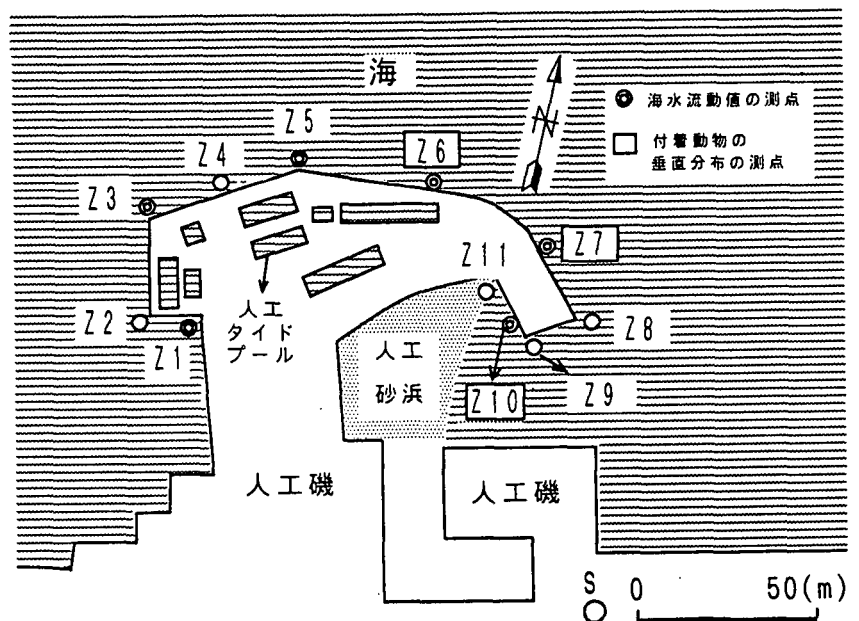


図-1 現地調査の測点

* 正会員 関西大学工学部土木工学科 (564-8680 吹田市山手町3-3-35)

** 学生員 関西大学大学院工学研究科土木工学専攻

*** 関西大学工学部教養生物学教室

限界高さに関する調査は97年6月から12月までの間に4回、それぞれ実施した。

人工磯の平面形状は複雑であり、場所によって波当たりがかなり異なっている。このような地形の違いによって生じる波当たりの強弱を定量化して表現するために、測点Z1, Z3, Z5, Z6, Z7およびZ10では石膏球法^{21, 22)}によって海水流動値を求めた。石膏球法による海水流動値とは、石膏球を海水中に2時間設置しておき、その間の減少重量から波当たりなどの強弱を、あらかじめ検定しておいた定常流の流速に換算したものである。なお、この測定は、97年10月3日と12月3日の2回だけ行った。そのほか、いずれの調査日においても、気象条件（天候、気温、湿度、風向、風速）を図-1に示した測点Sで、また、水質（水温、塩分濃度、pH、DOおよびCOD）を測点Z1, Z3, Z4, Z6, Z7およびZ10において、それぞれ測定した。

3. 調査結果とその考察

3. 1 海水流動値の測定結果

図-2には、石膏球法による海水流動値の測定結果を示した。(a)図は97年10月3日、(b)図は97年12月3日のものである。これによると、12月3日のZ7の海水流動値はきわめて大きい。これは、その他の測点のものは3〜4個の石膏球のデータから算出したものであるが、12月3日における測点Z7では波当たりが強く、測定中に石膏球が割れてしまい、わずか1個のデータから算出したためである。したがって、その信頼性は他のものに比べると低い。しかし、いずれの調査日の結果でも、突堤の沖側にある測点Z3, Z5, Z6およびZ7での海水流動値は、突堤の岸側の測点Z1やZ10でのものに比べると、かなり大きい。突堤の沖側と岸側にあるものの平均値を算出すると、10月3日の海水流動値の平均値は、突堤の沖側では約30cm/sであるのに対し、岸側では約10cm/sであった。同様に、12月3日のものは、前者が約50cm/sであり、後者は約5cm/sであった。すなわち、突堤の沖側にある測点での海水流動値は、突堤の岸側のものの約3〜10倍にもなる。

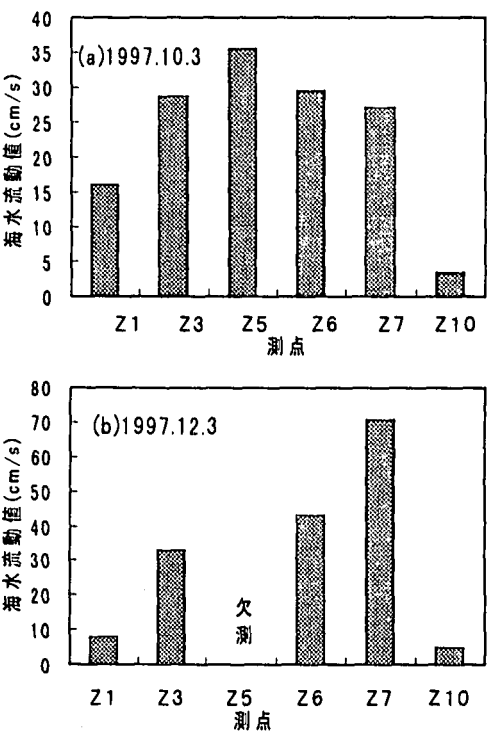


図-2 各測点における海水流動値

3. 2 付着動物の平面分布、特に海水流動値との関係

人工磯における付着動物の多様性、繁栄性および均衡性の量的尺度として、それぞれ式(1)、(2)および(3)で示されるMacArthurの多様度指数¹⁾、森下の繁栄指数²⁾およびPielouの均衡性指数³⁾を用いた。

$$H' = - \sum (N_i / N) \log_2 (N_i / N) \cdots \cdots \cdots (1)$$

$$I' = - \sum (N_i / N) \log_2 (N_i / N) \cdot N_i \cdots \cdots \cdots (2)$$

$$J' = - \sum (N_i / N) \log_e (N_i / N) \cdot N_i \cdots \cdots \cdots (3)$$

ここに、Niはi番目の出現種の個体数、Nは総個体数、Sは種数である。

多様度指数H'は、その値が大きいほど多様性は高く、多種多様な生物が生息していることを示している。しかし、この多様度指数は、種数・個体数のいずれもが少数であっても、各種が均等に存在すれば大きく、また、逆に種数・個体数がともに多くても、非常に多くの個体数を有する優占種が存在すると小さくなる。したがって、多様度指数が小さいところでも、個体数がきわめて多く、生命の息吹きを感じる場合のあることが指摘されている⁵⁾。そこで、ここでは式(2)の繁栄指数I'を用いて、生命の息吹きを量的に表現した。この繁栄指数は、多様度指数と個体数の積であるため、優占種の存在によって多様度指数が小さいところでも、この指数は大きくなる可能性がある。また、付着動物の均衡性については、式(3)の均衡性指数を用いたが、この指数は、その上限が常に1であり、各種の個体数が均等化するほど1に近づき、少数の種による優占的な状態が強いと0に近づく。

図-3には、測点ごとに海水流動値と多様度指数、繁栄指数および均衡性指数を示した。(a)図は97年10月3日、(b)図は97年12月3日のものである。

まず、(a)図に示した10月3日の結果によると、多様度指数は海水流動値のもっとも小さい測点Z10で最小値を示し、ついで海水流動値のもっとも大きい測点Z5のものが小さい。このような傾向は(b)図に示した12月3日の測

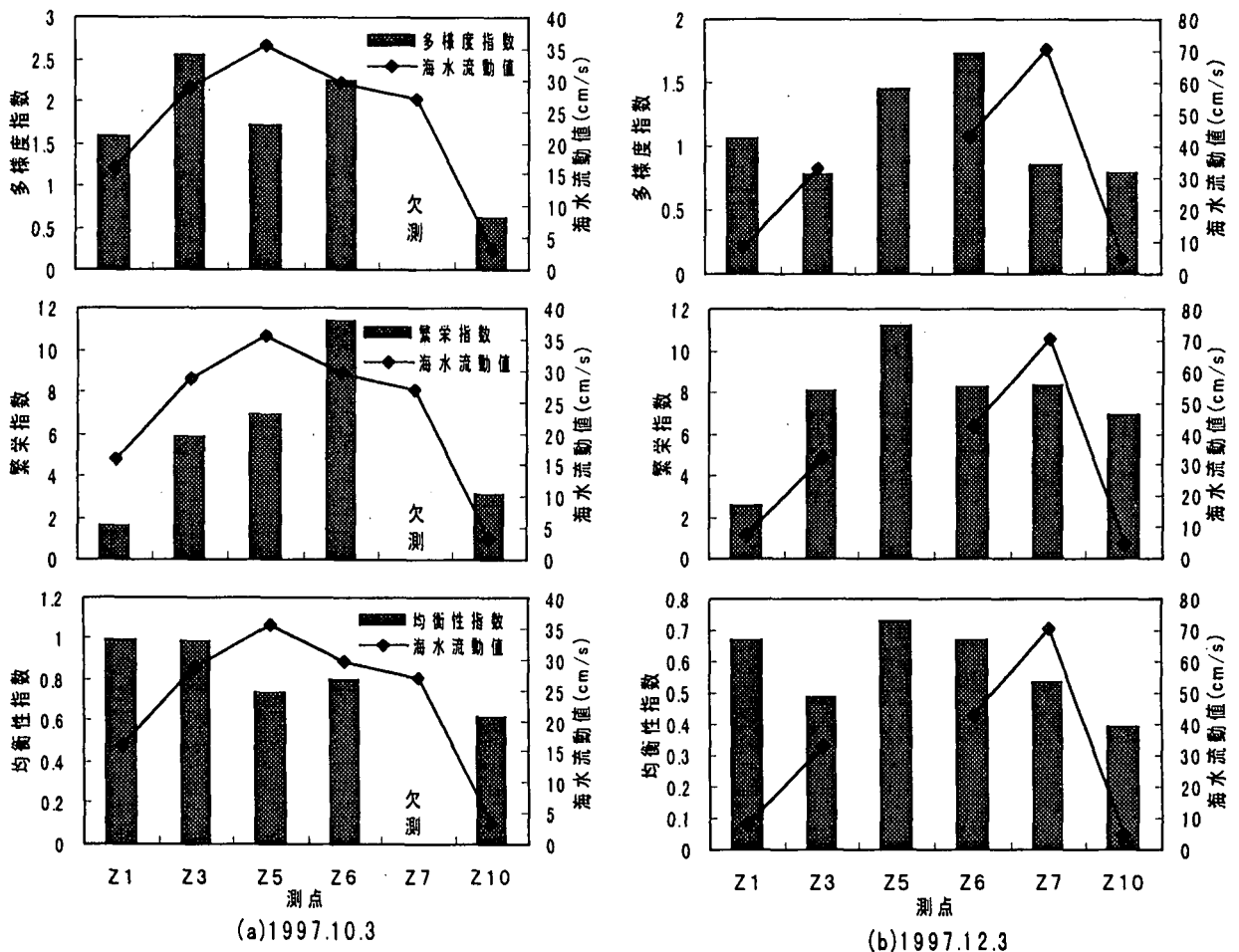


図-3 測点ごとの海水流動値と多様度指数、繁栄指数および均衡性指数

点Z7とZ10のものについてもみられる。つぎに繁栄性については、いずれの調査日においても、突堤の沖側にあつて海水流動値の大きい測点Z3、Z5およびZ6での繁栄指数は大きく、突堤の岸側にあつて海水流動値の小さい測点Z1とZ10のものは小さい。さらに、均衡性指数についても、海水流動値のもっとも小さい測点Z10でのものがもっとも小さい。これらのことから、多様度指数と均衡性指数については、海水流動が大きすぎても小さすぎてもその値は小さくなるが、繁栄指数については、海水流動値が大きいと、その値も大きくなるような傾向がみられる。

さらに、10月3日において、ほぼ同じ海水流動値を示した測点Z3とZ6に着目すると、多様度指数と均衡性指数については、測点Z3でのものが測点Z6のものよりも大きい。しかし、繁栄指数については、逆に、測点Z6でのものが測点Z3のものよりも大きい。このように、測点Z3とZ6の海水流動値はほぼ同じであるにもかかわらず、これら2測点における動物の生息状況は異なっている。その理由として、これらの測点の地形の違いが考えられる。すなわち、人工磯の法線形状において、測点Z3はその隅角部に位置しているのに対して、測点Z6は直線部に位置している。このため、測点Z3では多種多様な動物が均等に生息しているのに対し、測点Z6では付着動物の種は少ないが総個体数が多い結果になったものと考えられる。

図-4の(a)、(b)および(c)には、それぞれ無次元海水流動値と多様度指数、繁栄指数および均衡性指数との関係を示した。なお、無次元海水流動値とは、それぞれの調査日における各測点の海水

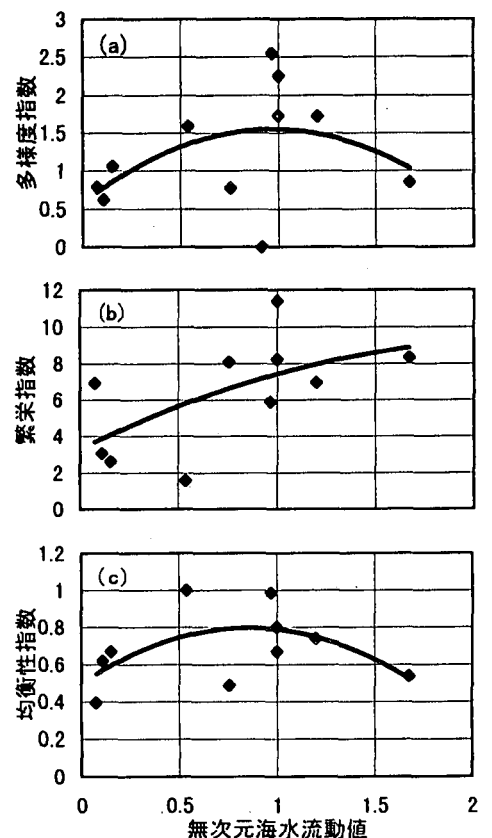


図-4 無次元海水流動値と多様度指数、繁栄指数および均衡性指数との関係

表-1 主な付着動物の分類

科	類	記号 (図-5)
ツタノハガイ科	マツバガイ ヨメガサガイ	■
ニシキウスガイ科	イシダタミ コシダカガンガラ	□
アウキガイ科	イボニシ	▨
ヒザラガイ科	ヒザラガイ	■
ユキノガサガイ科	アオガイ ウノアシ コガモガイ	□
コウダカカラマツ科	カラマツガイ	▨
タマキヒガイ科	タマキヒガイ	▨

流動値を、Z6におけるもので除して無次元化したものである。まず、(a)および(c)図に示した多様度指数と均衡性指数については、無次元海水流動値が1で最大値を示す傾向がみられる。一方、(b)図に示した繁栄指数は、無次元海水流動値が大きいほど大きくなるようである。このように、いずれの指数も海水流動値に関係するが、図-3についても述べたように、多様度指数と均衡性指数は、ある海水流動値で最大値を示すのに対し、繁栄指数は、海水流動値の増大とともに大きくなるような傾向がみられる。

つぎに、各測点において確認された付着動物をみてみよう。まず、各測点で確認された付着動物を表-1に示すように分類した。図-5(a)、(b)および(c)には、それぞれ97年8月21日、10月3日および12月3日における付着動物の個体数の割合を示した。これらによると、いずれの季節についても、突堤の沖側で海水流動値の大きい測点Z5～Z7においては、ツタノハガイ科のものが多く生息し、その割合は、ほとんど約60%以上であり、特に12月の測点Z7では、すべてツタノハガイ科のもので占められている。一方、突堤の岸側で海水流動値の小さい測点Z1、Z9、Z10およびZ11では、ニシキウスガイ科のものが多く生息している。

図-6には、各測点における動物の個体数の割合とそこにおける無次元海水流動値との関係を示した。これによると、無次元海水流動値の1.0を中心として、0.5から1.5までの範囲に多種多様な付着動物が均等に生息している。また、海水流動値の非常に大きい、無次元海水流動値が1.5以上のところでは、ツタノハガイ科に属するものだけが生息している。これは、つぎの理由によるものと思われる。すなわち、ツタノハガイ科の代表的なものは、マツバガイやヨメガサガイであり、これらはいずれも笠貝で強い付着性を持っている。そのため、海水流動値の大きい突堤の沖側においても生息することができる。一方、海水流動値が極端に小さい無次元海水流動値が0.5以下のところでは、ニシキウスガイ科に属するものが多く生

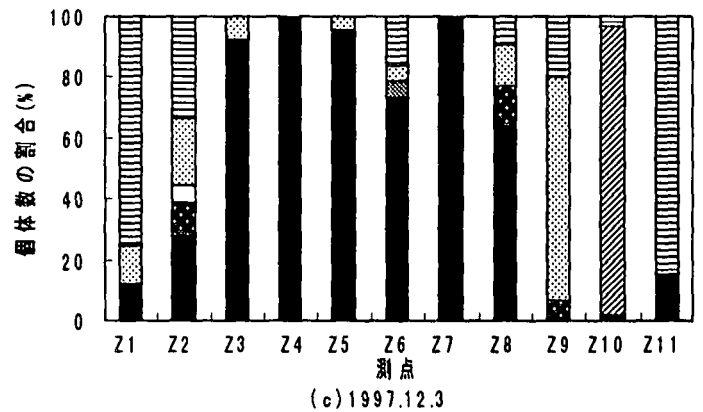
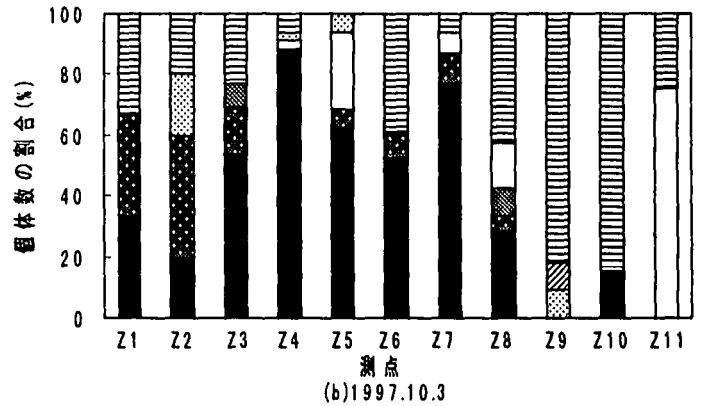
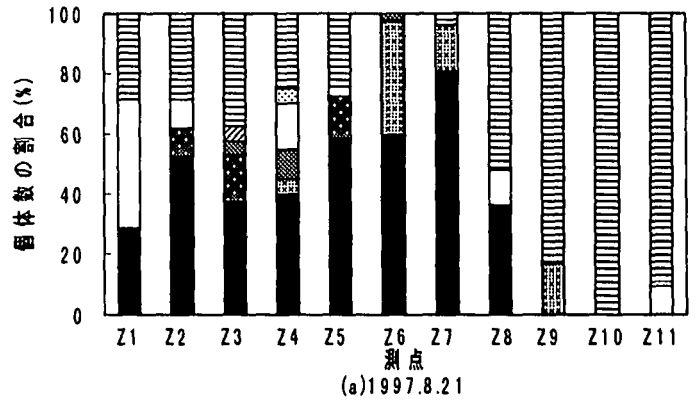


図-5 各測点における付着動物の個体数の割合

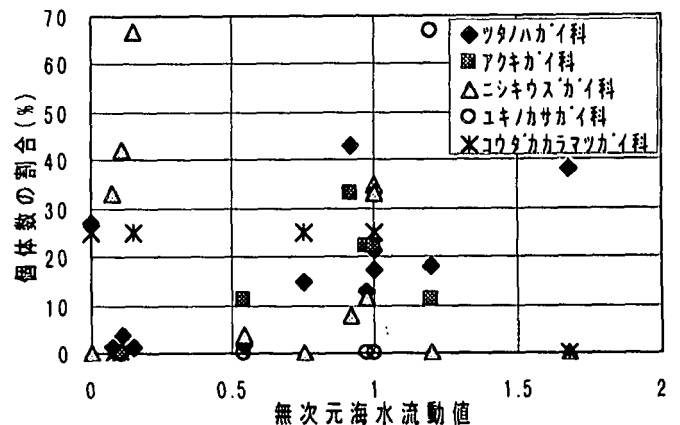


図-6 無次元海水流動値と付着動物の個体数の割合との関係

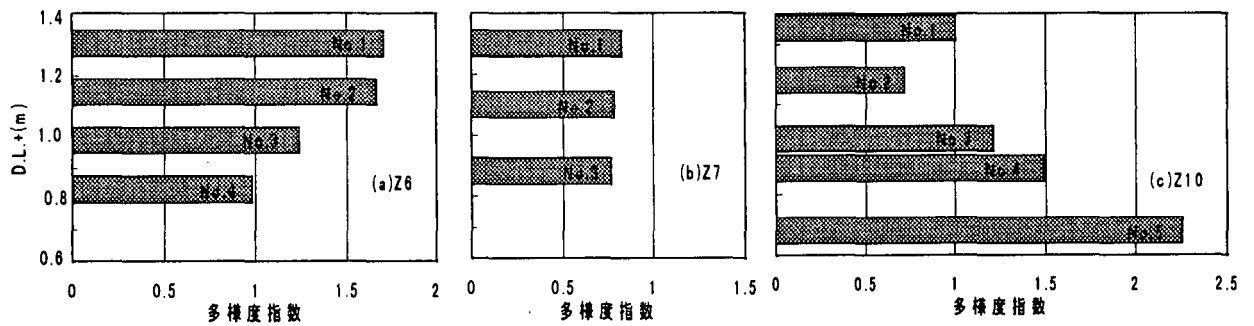


図-7 多様度指数の垂直分布

息している。このニシキウスガイ科に分類されるものは、コシダカガンガラやイシタミガイであり、これらは巻き貝で波当たりに対して弱く、海水流動値の小さい突堤の岸側に多く生息する。このように、海水流動値が極端に大きかったり小さい場所では、優占種が存在するため、そこでの多様性は低くなる。また、ツタノハガイ科やニシキウスガイ科のものの生息状況が、多種多様な付着動物が生息できる環境かどうかを判定するための一つの目安になるものとも考えられる。

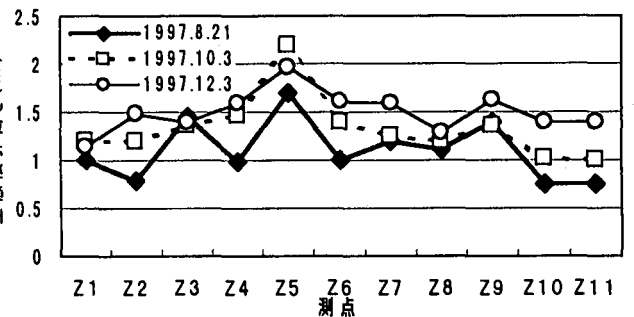


図-8 各測点における付着動物の生息限界高さ

3. 3 付着動物の垂直分布

図-7 (a)、(b)および(c)には、それぞれ測点Z6、Z7およびZ10における多様度指数の垂直分布を示した。縦軸は、人工磯の斜面に設けた辺長が50cmの正方形ブロックの潮位基準面からの高さであり、図中のNo. は、最上端に設置したものをNo. 1として、そこから斜面に沿って下方に番号を付した。なお、最下端のブロックがほぼ干潮汀線である。また、ここでの多様度指数には、97年8月21日、10月3日および12月3日における調査結果の平均値を用いた。これによると、突堤の沖側の測点Z6とZ7の多様度指数は、高さの高いところでは大きな値を示し、低いところでは小さい。一方、突堤の岸側の測点Z10における多様度指数は、測点Z6とZ7のものとは逆に、その値は低いところのものほど大きい。この理由としては、前述した付着動物の平面分布の結果と同様のことが考えられる。すなわち、海水流動値の大きい測点Z6とZ7においては、干潮汀線に近いところでは波当たりが強いいため、そこで生息できる動物はツタノハガイ科に属するものに限定され、多様度指数が小さくなる。一方、海水流動値が小さい測点Z10においては、干潮汀線付近でしか湿潤状態が保たれないため、付着動物の多様性は干潮汀線付近ほど高くなるものと考えられる。

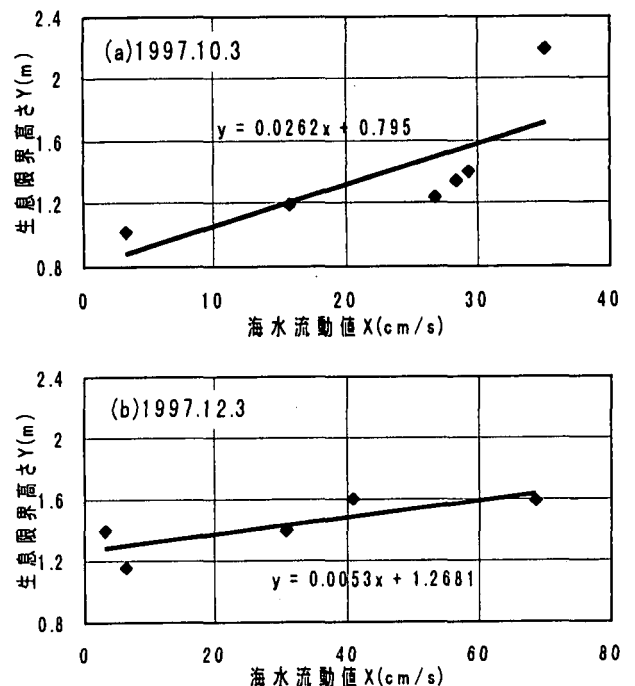


図-9 生息限界高さと海水流動値との関係

図-8には、97年8月21日、10月3日および12月3日の各測点における付着動物の生息限界高さを示した。これによると、突堤の沖側にある測点Z3からZ8までの生息限界高さのD.L.上の平均値は、8月21日は約1.2m、10月3日は約1.5m、12月3日は約1.6mである。一方、突堤の岸側にある測点Z1、Z2、Z9、Z10およびZ11のものは、それぞれ、約1.0m、約1.2m、約1.4mであった。すなわち、いずれの調査日においても、突堤の沖側での生息限界高さは、突堤の岸側に比べて約0.2m高いことがわかる。また、季節的には、夏季から冬季にかけて高くなる。これは、夏季の海水流動値の平均値が約22cm/sであるのに対し、冬季のものは約32cm/sであり、波の打ち上げなどによって、

冬季のほうが高いところまで、湿潤状態が保たれるためと考えられる。さらに、いずれの調査日においても、Z5の生息限界高さが最大値を示している。これは、全測点の海水流動値が測定できた図-2(a)の結果からもわかるように、Z5の海水流動値が、すべての測点で最大になるためであろう。

図-9には、生息限界高さと海水流動値との関係を直線近似して示した。(a)図は97年10月3日、(b)図は97年12月3日のものである。これらによると、いずれの調査日においても、海水流動値が大きいほど、生息限界高さも高くなる傾向が明瞭にみられる。これについては、前述したように、海水流動値の大きい場所では、波の打ち上げやその飛沫によって、高いところまで湿潤状態が保たれるため、高いところでも付着動物にとって生息しやすい環境になるものと考えられる。

4. 結 語

以上、生物との共生を目指した人工磯の造成指針を得るために、人工磯の付着動物相に及ぼす地形の影響を、特に海水流動の立場から考察してきた。これらの結果をまとめると、以下ようになる。

1) 人工磯の一部になっている突堤の沖側と岸側にある測点では、海水流動値は大きく異なり、突堤の沖側にある測点の海水流動値は岸側のものの約3~10倍にもなる。

2) 人工磯の各測点における付着動物の多様性、繁栄性および均衡性は、そこでの海水流動値に関係する。多様度指数と均衡性指数については、ある海水流動値で最大値を示すのに対し、繁栄指数は、海水流動値が大きいほど大きくなるような傾向がみられる。

3) 海水流動値が大きい測点では、強い付着性を有するツタノハガイ科に属するもの、それが小さい測点では付着性の弱いニシキウスガイ科に属するものがそれぞれ優占種になるため、そこでの多様度指数や均衡性指数は小さくなる。

4) 人工磯の平面形状において、隅角部になっているところでの多様度指数や均衡性指数は大きい、繁栄指数は小さい。一方、直線部では、これと逆の傾向を示す場合がある。

5) 海水流動値の大きい測点では、干潮汀線に近づくほど多様度指数は小さくなるのに対して、海水流動値の小さい測点では、まったく逆の傾向がみられる。また、付着動物の生息限界高さは海水流動値が大きいところほど高くなる。

最後に、本研究に際し種々のご協力をいただいた大阪府港湾局や公園課の関係各位、ならびに調査や資料整理に熱心に協力してくれた関西大学リサーチ・アシスタントの柄谷友香さんや関西大学大学院の端谷研治君をはじめとする関西大学海岸工学研究室の学生諸君に謝意を表する。なお、この研究には、近畿建設協会研究開発助成金や関西大学学術フロンティア・センターの研究費を使用した。ここに明記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 井上雅夫・鉄川 精・島田広昭・柄谷友香：生物との共生をめざした人工磯の地形とその造成素材について，海岸工学論文集，土木学会，第43巻，pp.1166-1170，1996.
- 2) 鍋島靖信・喜田和四郎：石膏ボールによる海水流動の測定法，水産増殖，第38巻，2号，pp.127-133，1990.
- 3) 鍋島靖信・喜田和四郎：浮き流しノリ漁場における海水流動量の測定，水産増殖，第39巻，2号，pp.161-166，1991.
- 4) 木元新作・武田博清：群集生態学入門，共立出版，p.198，1989.
- 5) 木元新作・武田博清：群集生態学入門，共立出版，pp.123-124，1989.
- 6) 木元新作・武田博清：群集生態学入門，共立出版，pp.126-129，1989.
- 7) 奥谷喬司：フィールド図鑑，貝類，東海大学出版会，p.11，1992.
- 8) 奥谷喬司：フィールド図鑑，貝類，東海大学出版会，p.19，1992.