

護岸の生物生息場としての評価の試み

——形状による付着生物量・組成の比較——

田中ゆう子*・鈴木秀男**・中田英昭***

1. はじめに

沿岸海域における護岸等の造成が、生物の生息環境にどのような影響ないしは効果をもたらすかを定量的に評価した例はまだ少ない。また、その評価の際にどのような指標を選択し、あるいは判定基準を設定するのが大きな課題となっている。

横須賀港内の追浜埋立地では生物の生息場を確保するため、環境共生型護岸を造成した。その形状は、直立護岸部に凸凹のあるプレキャストコンクリート板（棚状タイプと穴あきタイプの2種）を取り付けたものと緩傾斜護岸を自然石で被覆したものに分けられる（図-1、図-2）。

本研究ではこれら共生型護岸の生物生息場としての機能を評価するための最初の試みとして、護岸に付着する生物の量と種類組成、多様性に着目して、護岸の形状に

よる効果の違いを定量的に比較検討した。一般に、護岸の付着生物に直接関わる環境条件には、護岸形状の他、水質、光、流れなどがあげられるが、本研究対象の護岸は、同じ埋立地の延長上にあり、比較的環境条件が似通っていると考えられたため、ここでは形状の違いに重点を置いて解析を行った。

2. 追浜環境共生型護岸の調査の概要

調査は平成7年8月の夏季調査から開始し、同年10月（秋季）、平成8年1月（冬季）および5月（春季）の計4回行った。同埋立地（図-3）の共生型護岸は平成4年から平成7年にかけて施工されているため、それぞれの施工時に対応する3ヶ所の護岸に調査点を設けた（図-4）。また、これらの護岸の機能を評価するための基準の一つとして、付近に位置して緩傾斜の形状を持つ猿島の磯を調査対象に加えた。共生型護岸3地点および猿

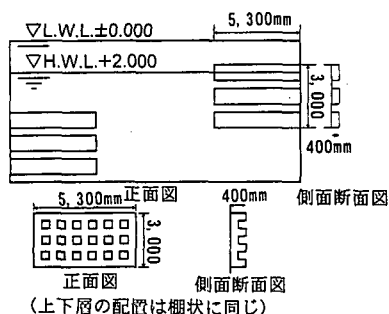


図-1 プレキャスト護岸；棚状（上）穴あき（下）

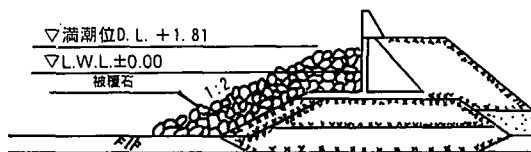


図-2 石積緩傾斜護岸

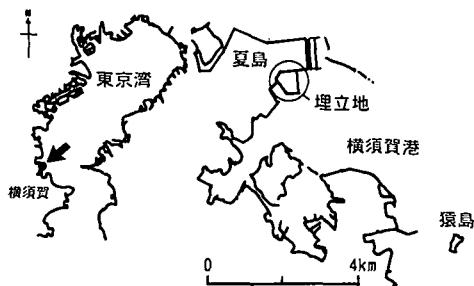


図-3 埋立地の位置

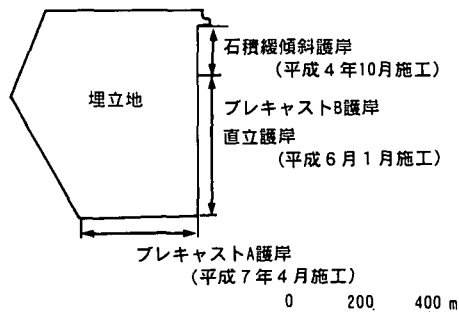


図-4 護岸の配置

* 東亜建設工業(株) 技術開発部 環境技術課
 ** 正会員 東亜建設工業(株) 技術開発部 環境技術課課長
 *** 農博 東京大学海洋研究所助教授 資源環境部門

島の1地点のD.L.-1mおよび-3mにおいて、付着動物および海藻の採取を実施し、両水深で得られた生物数量の平均値を算出して検討に用いた。なお、各生物の採取時に護岸前面の海域において水温、DO、SSなどを同時に測定し、各護岸並びに猿島の生物面以外の状況の把握に供した。

3. 調査の結果

(1) プレキャスト板のタイプによる違い

施工時期の異なるプレキャストA、B護岸の付着動物の個体数を柵状および穴あきの2タイプで比較した(図-5)。両護岸とも夏季の個体数が最も多く、秋季にかけて減少する傾向がみられた。A護岸では柵状と穴あきの差がほとんど認められないのに対し、B護岸では夏季から秋季にかけて柵状タイプの方が穴あきタイプよりも約2倍多い付着が認められた。最も個体数の多かった夏季は、A、B護岸ともムラサキガイが優占種となり、A護岸で58~59%、B護岸で47~55%を占めた。A護岸の冬季から春季にかけてみられる増加もムラサキガイによるもので、全体の70~76%を占めた。

同様に種類数の季節変動をみると(図-6)、A護岸では種類数の平均値が柵状38種、穴あき29種、B護岸では柵状33種、穴あき30種であった。柵状タイプと穴あきタイプの差はとくにA護岸で顕著にみられ、年間を通して柵状タイプの方が種類数が多かった。ここでは図示しないが、多様度指数についても種類数とほぼ同様の変動傾向が認められた。

(2) 猿島との比較

次に、プレキャスト護岸および石積緩傾斜護岸と猿島の磯との比較を行った。個体数、種類数および多様度指数について比較した結果をそれぞれ図-7a~cに示した。なお、猿島と各護岸の対面方位を揃えるため比較に

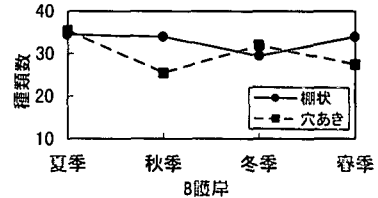
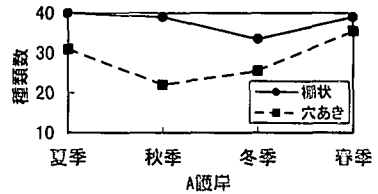


図-6 プレキャスト護岸の種類数変動

は、プレキャストのB護岸の柵状タイプを用いた。また、多様度指数はマッカーサーの次の式に基づいて算出した(伊藤, 1994)。

$$H' = -\sum N_i/N \log(N_i/N) \dots \dots \dots (1)$$

ここで N_i/N は総個体数に対する i 番目の種の数の割合を示している。式(1)では H' が大きいほど多様性が高く、各生物種の個体数が同じときに H' は最大となる。

個体数は各護岸とも夏季が最も多く、プレキャスト護岸が最も大きい値を示した。各護岸とも夏季から秋季にかけて減少し、プレキャスト護岸と直立護岸、猿島と石積緩傾斜護岸がそれぞれ近い値で変動した。冬季の直立護岸ではムラサキガイの付着により他よりも高い値となっている。

全体に種類数や多様度指数が大きい値を示したのは猿島で、石積護岸がそれに次いでおり、プレキャスト護岸と直立護岸では相対的に小さい値が得られた。各護岸の多様度指数の猿島に対する比率の平均値は、石積護岸が0.91、プレキャスト護岸が0.69、直立護岸が0.66となり、石積護岸とプレキャスト護岸・直立護岸の間に大きな違いが認められた。

(3) 食性類型組成の違い

上述のような多様度指数の違いがどのような生物相互の量的関係に起因しているのかをアメーバ法(Brink et al., 1991)にならって解析してみた。すなわち、石積緩傾斜護岸とプレキャスト護岸の付着生物組成を海藻(ムカデノリ、スギノリなど)、藻食者(フトコロガイなど)、堆積物食者(カンザシゴカイなど)、懸濁物食者(イガイやフジツボなど)、腐食雑食者(ヨコエビ、クモガニなど)、肉食者(ヒトデやレイシガイなど)の6つに類別し、それぞれの個体数の猿島のそれに対する相対的比率を猿島における個体数を1として図-8のようにクロックダイアグラムで表示した。なお、肉食者は冬季には猿島に出

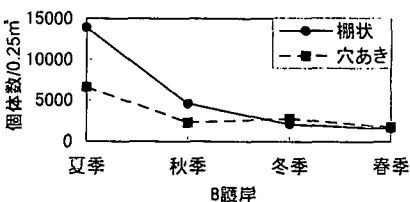
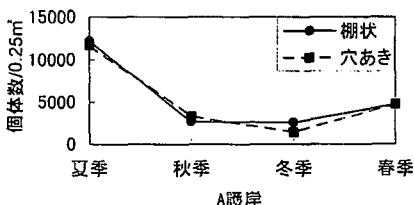
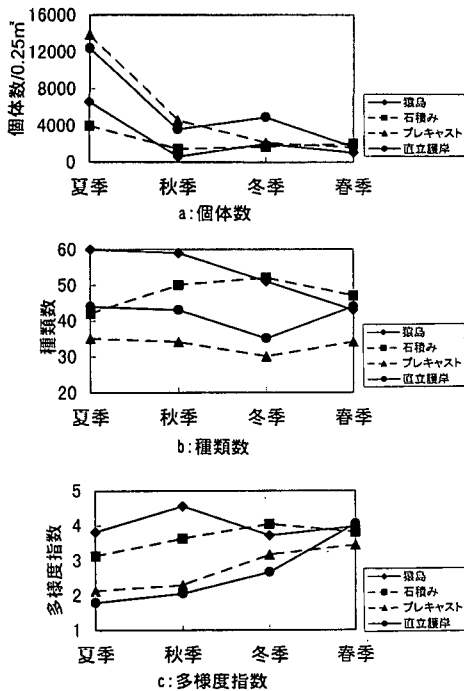


図-5 プレキャスト護岸の個体数変動



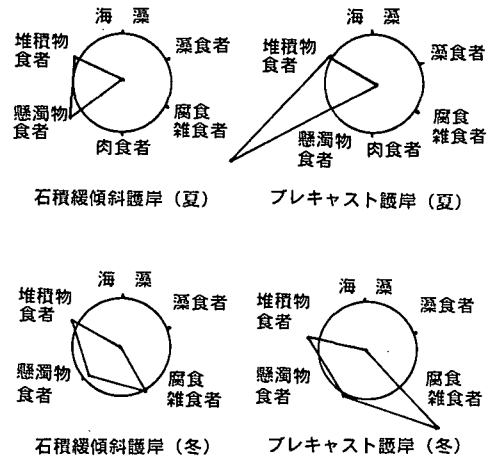
図一七 猿島との比較

現しなかったので検討から除いた。

その結果、石積護岸やプレキャスト護岸は夏季、冬季とも海藻がなく、猿島に比べて堆積物食者、懸濁物食者および腐食雑食者などの消費者に著しく偏っていることがよくわかる。また、石積護岸の方がプレキャスト護岸に比べ、偏りの幅が小さく、猿島により近いバランスが保たれており、それが多様度指数の高さに結びついているものと推察される。

(4) 海藻の役割

プレキャスト護岸や石積緩傾斜護岸では海藻やそれを餌とする藻食者がみられない点で猿島と大きくバランスを異にしていた。そこで、次にこのような生物組成のバランスの違いが生態系の種間の動的な関係にどのような形であらわれるのかについて予備的な検討を試みた。ただし、護岸の生物の生産速度など物質循環を律速するパラメータを調査した例はまだきわめて少なく、本調査でも測定していないため、(社)日本水産資源保護協会(1994)で報告されている人工護岸の窒素循環の検討例を参考にした。同報告では、千葉港市原市付近の直立護岸と石積護岸の窒素循環が調査されており、前者がプレキャスト護岸に、後者が猿島および石積緩傾斜護岸に対応するモデルケースと想定した上で追浜地先や猿島の生態系を構成する主要な生産者(海藻)、および消費者(肉食者、懸濁物食者、腐食雑食者、藻食者、堆積物食者)のそれぞれの現存量に対応する窒素の現存量とフラック

図一八 食性類型組成の猿島との比較
(アメーバ法の応用)

スを算出してみた。生物量が増加する夏季の条件下で猿島とプレキャスト護岸について得られた結果を示したものが図一9a, bである。

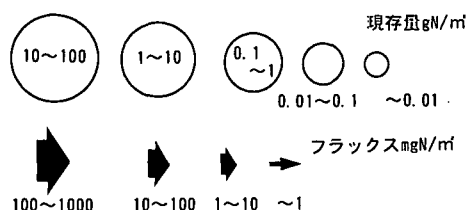
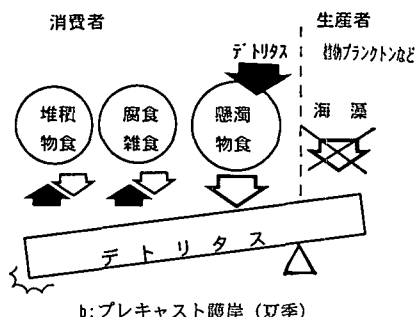
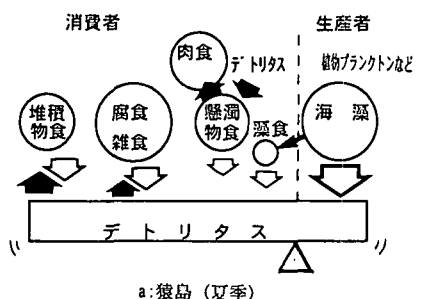
一般に、磯浜の食物連鎖にとってデトリタスの需要と供給のバランスはその生態系の成り立ちに大きく関わっている。ここでは植物プランクトンやバクテリアとのつながりなど不明な点が残されており、まだ、食物連鎖の全体を網羅できているわけではないが、猿島では周年海藻があるため、生産者と消費者の両者からデトリタスの供給がみられるのに対して、プレキャスト護岸では周年海藻がみられないため消費者とくに懸濁物食者からのデトリタス供給に依存する形になっていることが分かる。石積緩傾斜護岸には春季のみではあるが海藻が出現しており、この点でプレキャスト護岸よりもデトリタス供給への偏りは小さくなっているものと考えられる。

4. 護岸機能の評価について

(1) 護岸の形状による違い

プレキャスト護岸の2タイプでは、個体数や種類数で上回った棚状タイプの方が穴あきタイプよりも多様な生物の生息できる形状であると考えられる。その理由の一つには凸型の棚状の方が、凹型の穴あきよりも段差が海水中にとび出している点で形状が複雑であり、ムラサキイガイなどの独占が抑えられ、より多くの生物が侵入できる空間が確保されたことが考えられる。また、そうした傾向は設置後それほど時間を経過していないA護岸でよりはっきりしていることから、設置初期ほど形状による影響が大きいといえる。

猿島を基準とした場合、付着動物の多様性が最も高かったのは石積緩傾斜護岸であった。石積護岸は猿島に



図一9 護岸の生態系における種間の動的な関係を窒素循環の形で示した図

最も近い値で変動しており、プレキャスト護岸よりも多様な生物の生息場として機能し得ることが推測される。このことも前述同様、護岸形状が不規則で多様であるほど、生息する生物の多様性も高まることを示唆している。ただし、石積護岸がプレキャスト護岸よりも施工時期が古いことにも注意を要する。施工後の経過が長いほど優占種をめぐる捕食関係や空間の奪い合いなど生物種間の関係が複雑になる可能性もあり、この点についてはさらに継続的な多様性変化の追跡調査が必要である。

さらに猿島では周年、海藻がみられるためデトリタス供給が安定しているのに対し、まったく海藻が採取されなかったプレキャスト護岸では主にムラサキガイなど低次消費者によりデトリタスが供給されており、生物生産システムとしては相対的に不安定であると考えられる。石積護岸では猿島のように常に海藻が出現したわけではないが、春季に海藻からのデトリタス供給があった。そうした生物生産システムの相違が多様性の高さとも密接に関連しているものと推察される。このように食物連鎖の底辺を担う海藻は、藻場をつくり産卵場や餌場とし

ても機能が期待される他、リンや窒素など栄養塩を貯留する機能も持っており(相生, 1996)、生態系における生産や浄化機能の向上を図るためには、海藻など生産者の役割が重要である。

(2) 評価手法

護岸の生物生息場としての機能には、付着基盤やかくれ場の提供など、生息場形成に直接かかわるものから低次生物生産や水質浄化、さらには漁獲対象となるような資源生産までさまざまな側面がある。ここでは、そうした、機能を支える要素の中で最も基本的と考えられる生息生物種の多様性や生物種間の数量的なバランスに注目し、付近に位置する磯浜(猿島)の状況を将来の目標の一つに設定しながら相対的評価を試みた。

まず種類数や多様性指数を用い、生物種の多様性を数量的に評価しようとした。矢持ら(1995)は、人工護岸へのムラサキガイ等の付着量の多さが必ずしも生態学的な機能の良好さにはつながらないことを指摘しており、個体数に生物種組成などを加えた総合的な視点を持つことが重要と考えられる。しかしながら、特定の栄養段階の種類数や個体数が多いために多様性がみかけ上高くなる場合もあり、これらの指標だけでは生物相互の関係の多様さや健全性の程度を知ることは難しい。次に適用を試みたアメーバ法は生物組成を一定の基準のもとで可視化することにより多様性を支えている生物種間の数量的なバランスを容易に捉えることができる。サークルにプロットする項目の数や内容、数量的な基準の取り方、データの質などを十分に吟味する必要があるが、生息場の評価に幅広く応用できるであろう。さらに、ここでは現場のデータが十分でないため既往のモデルを利用した予備的な検討にとどめたが、これらの生物が生態系のダイナミクスの中でどのような役割を果たしているのかを捉える必要がある。そのため将来的には、護岸や磯場などの生態系変化の予測、制御に有効なシミュレーションモデルの開発が期待されるところである。今後継続的にデータを蓄積し、海藻をはじめとする生物相互の動的な関係を定量的に検証していくことが必要である。

なお、ここで護岸の機能評価の基準とした猿島の磯は、必ずしも護岸以前の現場の状況を示すものではなく、むしろ護岸とともに変化していく場の中で比較的成熟度の高い部分と考えることができる。既存のデータ不足や社会的背景の変化などにより施工以前を基準に設定することが困難な場合には、このような現実的なアプローチも有効であろう。

5. おわりに

新たに造成された護岸の生物生息場としての機能についてはここで示したように種類数や多様性指数、食性類

型組成などの指標を用いて、ある程度の評価を下すことができる。しかしながら、生物生産システムの安定性や持続性を見ていくには生物種（群）間の動的な関係の解析を導入することが必要である。

また、生物量・組成の変動実態に応じた調査体制を組むことは、評価に用いるデータの質を高めるためにも重要である。ここでは各季節別の定型的な調査データを解析に用いたが、付着生物の個体数の著しく異なる夏季と冬季を同じ形で評価することが適切かどうか検討の余地がある。個体数が大きく変化する夏季から秋季にはできれば経時的にもっと細かい間隔のデータを得ることも必要であろう。今後、調査を継続する中でこうした点をさらに改善していきたいと考えている。

なお、本研究の対象である環境共生型護岸は、護岸断面、地盤改良や工事費用等の検討が終了した後に要請があつて設計されたものである。当時、このような試みは事例がほとんどなく、計画・設計の知見は確立されていない状況にあつた。そこで、護岸の構造や費用にあまり負担がかからず、生物にプラスになると考えられたプレキャスト板と自然石による被覆が選ばれた。

本研究から、護岸本来の機能に少しの生物配慮を行うことにより、生物にプラスになることが部分的に明らかとなった。今後はさらに、継続的な調査により護岸と生物の協調性をより高めるための研究を進めていく予定で

ある。

参考文献

- 相生啓子 (1996): 藻場生態系—アマモ場を中心に、遺伝, 第 50 巻, pp. 24-29.
- 伊藤嘉昭 (1994): 生態学と社会, 東海大学出版会, pp. 24-28.
- 井上雅夫・鉄川 精・島田宏昭・柄谷友香 (1996): 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, 第 43 巻, pp. 1168-1170.
- 小倉紀雄 (1993): 東京湾, 恒星社厚生閣, 193 p.
- 小林四郎 (1995): 生物群集の多変量解析, 蒼樹書房, 194 p.
- 今野敏徳 (1978): 海藻群落の構造と遷移, 水産土木, 第 15 巻, pp. 49-51.
- 水産無脊椎動物研究所編 (1986): 海洋生物の付着機構, 恒星社厚生閣, 210 p.
- 中田喜三郎・畑 恭子 (1994): 沿岸干潟における浄化機能の評価, 水環境学会誌, 第 17 巻, pp. 18-29.
- 中田英昭 (1996): 沿岸生態系の機能・その持続的な利用に向けて, 海洋と生物, 第 18 巻, pp. 356-360.
- 日本水産資源保護協会編 (1994): 漁場保全機能定量化事業報告書, 250 p.
- 村上和男・小笹博昭・大内久夫・矢島道夫・浅井 正 (1995): コンクリート構造物に着生する付着生物に関する調査, 自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望に関するシンポジウム論文報告集, pp. 111-116.
- 矢持 進・有山啓之・日下部敬之・佐野雅基・鍋島靖信・睦谷一馬・唐沢恒夫 (1995): 人工護岸構造物の優占生物が大阪湾沿岸域の富栄養化に及ぼす影響 1. 垂直護岸でのムラサキガイの成長と脱落, 海の研究, 第 14 巻, pp. 9-18.
- 横山長之 (1993): 海洋環境シミュレーション, 白亜書房, 201 p.