

# 護岸の形態別における生物の分布と水質保全機能

木村賢史 安井朱美\* 秋山章男\*\*  
 (\* 埼玉工業大学 \*\* 非常勤研究員)

## 要 旨

東京都内湾の各種の緩傾斜型護岸について、その構造特性と付着生物の関係を調査した結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 緩傾斜型護岸の付着動物の出現種類数は、地点により垂直護岸の種類数を上回る場合と下回る場合があった。メイオベントスの種類数も付着動物と同様の傾向を示した。
- (2) 消波護岸や人工岩礁の付着動物の現存量は、単位面積当たりでは垂直護岸に劣るが、総表面積当たりでは1.3倍程度の現存量を示し、COD浄化能も2.4~3.6倍の値を示した。
- (3) 緩傾斜石積護岸の付着動物現存量やCOD浄化能は、約1.1倍の比表面積にもかかわらず、垂直護岸よりも劣っていた。ただし、海藻類の種類は最も多かった。
- (4) 多様な生物との共生を目指す今後の護岸整備に際しては、水域の生物相、護岸周辺環境、生息させるべき生物種を考慮し、形状・構造・材質を選択することが重要である。

キーワード：東京都内湾、緩傾斜護岸、付着動物、メイオベントス、付着藻類

## Distribution of Living Beings and Water Quality Protection Function in Each Form of Sea Walls

Kenji Kimura, Akemi Yasui\* and Akio Akiyama\*\*

\* Saitama institute of Technology, \*\* Associate Researcher

### Summary

Various gentle-slope-type sea walls in Tokyo Inner Bay were investigated regarding the relations between its structure and living beings. Following results were obtained:

- (1) The number of species of sessile animals in various sea walls exceeded and fell below depending on the locations compared with upright sea walls. The number of species of meiobenthos with various sea walls showed the same tendency as that of the sessile animals.
- (2) The biomass of the sessile animals per square meter surface area of the sea wall is lower compared with a upright sea wall. However, the biomass of point showed about 1.3 times that of the upright sea wall in a total surface area for each 1m width of a sea wall. As a result, COD purification ability indicated 2.4-3.6 times that of upright sea walls.
- (3) The biomass and COD purification ability of sessile animals in a gentle-slope-type masonry sea wall was lower compared with upright sea wall though presumed surface area was about 3.8 times. However the numbers of species of sea algae were the most numerous.

(4) In the maintenance of the sea wall which aimed at symbiosis with various living beings in the future, it is important to select its shape, structure and material of the sea wall while considering a biota of the waters, environmental condition around the sea wall and the target species necessary to inhabit for purpose of sea wall.

Keywords : Tokyo inner bay, gentle-slope-type sea wall, sessile animal, meiobenthos, sessile algae

1 はじめに

本研究は、都内湾域に整備された消波護岸、石積護岸等の各種護岸が有する物理化学特性とそこに生息する生物の生息実態や生物による浄化能との関係を明らかにし、多種多様な生物相の再生や高い浄化能を保持できる護岸の整備のあり方を検討することを目的に実施した。その結果、いくつかの知見を得たので報告する。

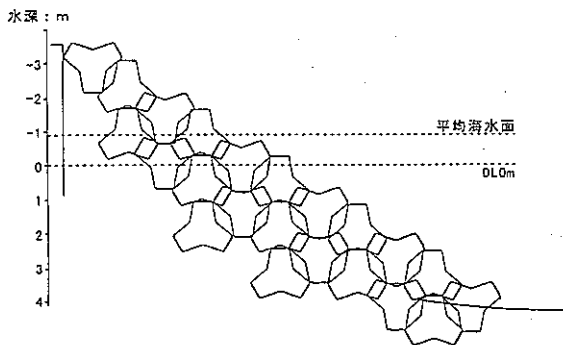
2 調査方法等

調査対象は、テトラポットで造成された消波護岸 (A 東)、人工岩礁 (A 南)、石積緩傾斜護岸、石積護岸の 4 か所である (図 1)。各護岸の調査地点は潮間帯、潮下帯の 2 地点とし、また地点の代表性を確認するために

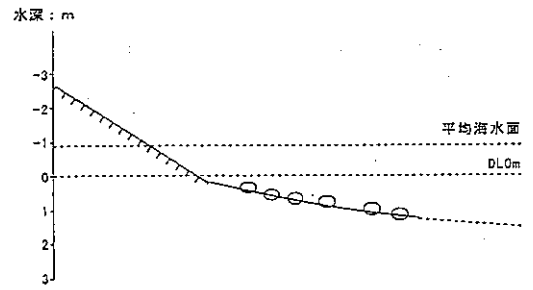
各調査地点の左右各 1 地点 (代表調査地点を中心にして左右 4 ~ 5 m 付近) を設けた。調査は、四季の変化をみるために 8、10、12、2 月の 4 回、代表性確認調査は年 1 回 (12 月) 実施した。

調査項目は、護岸の勾配、相対照度、推定総表面積 (垂直護岸の 1 m<sup>2</sup> 枠内の総表面に対する値をいう。以下同様) 形状、水質では水温、pH、DO、塩分、水深、また護岸表面の付着物中のクロロフィル a、フェオ色素、TOC、T-N、T-P、S-COD を分析した。生物では付着藻類 (細胞数、種類数)、海藻類 (種類数、湿重量)、メイオベントス (1 ~ 0.5mm と 0.5 ~ 32μm サイズの種類数、個体数、湿重量)、付着動物 (種類数、個体数、湿重量) である。水質の測定は YSI3800、底質は底質調

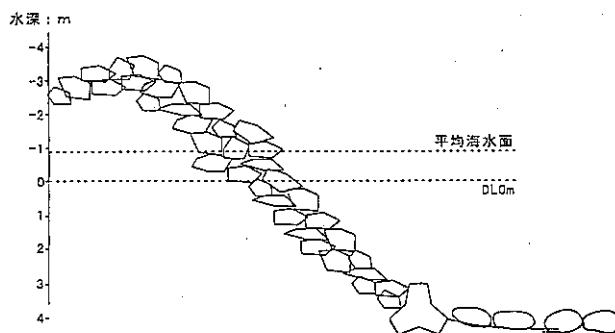
調査地点断面図  
St. A 東



調査地点断面図  
St. B



St. A 南



St. C

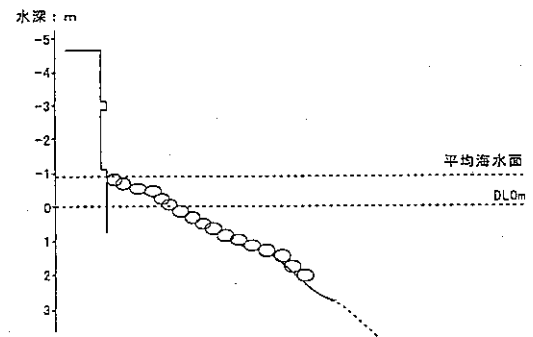


図 1 調査対象護岸

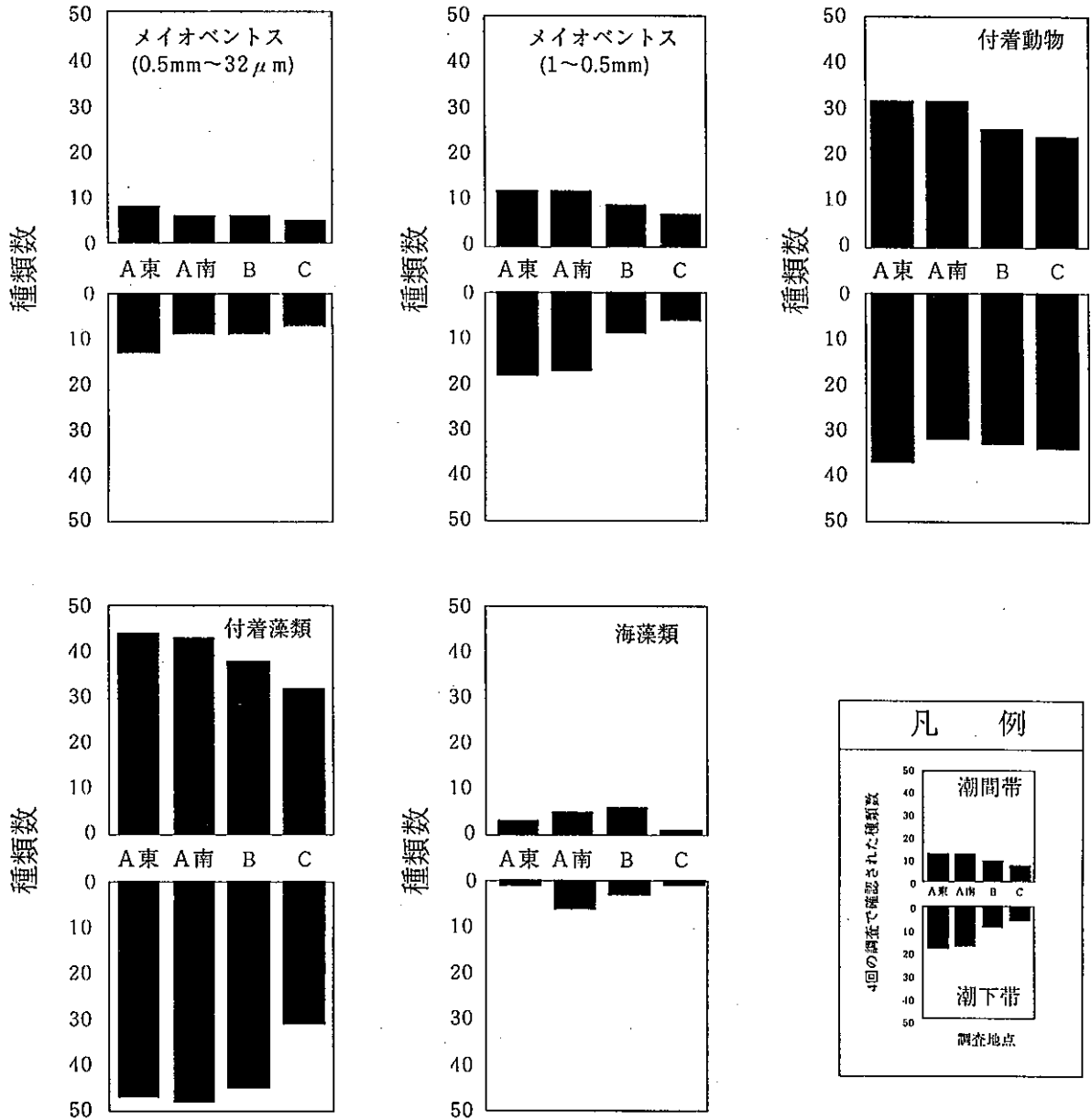


図2 4回(8, 10, 12, 2月)の調査で確認された生物の種類数

査法に準拠した。

### 3 結果

#### (1) 各護岸の物理化学特性

##### ア St. A東 (テトラポット消波護岸)

形状は図1に示すようにテトラポットが約60°勾配で投入されており、海底はヘドロ状の底質である。テトラポット1個の表面積は13.7m<sup>2</sup>であり、垂直護岸に対する推定総表面積は約4.1倍である。海水の塩分は四季を通じて27~32、DOは夏季に底層で2mg/l程度まで低下する。

##### イ St. A南 (自然石の人工岩礁)

形状は図1に示すように1個1~2tの自然の岩が約30°の勾配で敷設され、海底にも200~300kg/個の小さな岩が敷きつめられているため、底泥はほとんど堆積しておらず好気的な環境となっている。垂直護岸に対する推定総表面積は約4.0倍である。海水の塩分は24~32、DOは夏季の底層でも4mg/l程度であり生物の生息には問題ない。

##### ウ St. B (緩傾斜石積護岸)

形状は図1に示すように石を敷きつめた表面が平坦な勾配約30°の緩傾斜石積護岸であり、海底には直径

20~30cmの転石が散在している。垂直護岸に対する推定総表面積は約1.1倍である。護岸直下の水深は浅く2~3m程度であるが、夏季にはDOが2mg/l付近まで低下する。塩分は20~29と隅田川の影響を受けて低い。

#### エ St. C (石積護岸)

形状は図1に示すように直径20~30cmの石が約30°の勾配で敷設されており、石の底面は底泥に埋もれている。護岸に連なる海底は泥質状で急速に水深を増す。夏季の底層のDOは1.5mg/l程度まで低下し生物の生息に影響を与えている。垂直護岸に対する推定総表面積は約3.8倍である。塩分はSt. C同様に隅田川の影響を受けて23~31と低くなる場合も見られる。

### (2) 生物の分布

#### ア 付着動物

付着動物の出現種類数をみると、テトラポットのA東が45種類と最も多く、次いでA南38種類、B35種類、C33種類と中央防波堤内側の東京港内の奥に向かうに従い種類数は低下していく傾向がみられた。潮間帯と潮下帯の(図2)比較では、全般的には潮下帯のほうが出現種類は多く、潮汐による干出の影響を受けず生息環境が安定していることに起因していると考えられる。

現存量(湿重量)では、平均でA東9.3kg/m<sup>2</sup>、A南7.3kg/m<sup>2</sup>、B3.7kg/m<sup>2</sup>、C4.1kg/m<sup>2</sup>であり、A東、A南が高い値を示しているが、この内訳をみると、A東・南はムラサキガイが優占し高い現存量を維持しているのに対して、B、Cはムラサキガイが激減しマガキや小型のコウロエンカワヒバリガイが優占しており、この違いが現存量に反映されている。このような優占種の変化は塩分が大きく影響していると考えられる。平均塩分濃度はA東30.9、A南29.6、B26.2、C27.7とAのほうがB、Cに比べて1.1~1.2倍高い。淡水の影響を強く受ける水域を好むコウロエンカワヒバリガイはBやCで優占することができるが、コウロエンカワヒバリガイより高い塩分濃度に生息するムラサキガイは優占することができないためである。

メイオベントスの種類数の出現状況は、付着動物と同様の傾向を示している。サイズが1~0.5mmのメイオベントスではA東、A南、B、Cの順に14、10、9、8種類、0.5~32μmのメイオベントスで21、20、14、8種類の順であった。メイオベントスも塩分濃度が高く、潮通しのよい水域を好むようである。潮間帯と潮下帯の比較

(図2)では、付着動物同様、潮下帯での出現種が全般的に多く、特にサイズ1~0.5mmのメイオベントスの場合、A東、A南でこの傾向が強い。これは、当サイズのメイオベントスは付着動物の幼生である場合が多く、その生息環境は付着動物と一致しているからである。また、季節的な変化をみると、0.5~32μmのメイオベントスは四季を通じて出現するのに対して、1~0.5mmサイズのメイオベントスは水温の低下する12月や2月に確認されない地点がみられるが、これは付着動物の産卵が行われないため幼生が発生しないことによる。

個体数の地点別・季節別変化をみると、1~0.5mmサイズのメイオベントスは水温の高い8月、10月には全ての地点で確認されるが、12、2月ではほとんど確認されなくなる。一方、0.5~32μmのメイオベントス(図3)は、A東、A南が多く、特に潮間帯ではB、Cは前者地点の6~10%に減少するが、潮下帯では58~88%程度であり、潮下帯では各地点0.5~32μmサイズのメイオベントスは安定している。メイオベントスも付着動物同様、水温の低下とともに個体数は減少し、A南の潮間帯では2月は8月の約7%まで減少しているが、中央防波堤内側のB、C地点の潮間帯では個体数は少ないものの、8月以降でピークを示しており、水温の影響がA東、A南と比べて小さいとみられる。なお、個体数の内訳をみると、一部を除きほとんどが線虫類である。

#### ウ 付着藻類

付着藻類の種類数は、A東とA南で54、Bで49、Cで37種類の順であり、A東とA南は出現種類数が同数であった。季節的な変化(図4)をみると、付着動物の傾向とは異なり、四季を通じて安定して生息しているが、2月にピークを示す地点もあり、水温の低下する冬季に繁殖が活発化する傾向がみられる。

細胞数は、A東、A南では2月にピークを示しているが、中央防波堤内側のB、Cでは8月にピークを示し、優占種の違いが考えられる。そこで、種の内訳をみると、B、Cの優占種は元来浮遊性である*Skeletonema costatum*で、本来の付着藻類とは異なる。この種を除外すると、次の優占種は*Navicula* spp. となり、A東、A南、Bは同じような細胞数を示した。一方、2月の優占種をみると、*Melosira nummuloides*, *Synedra tabulata* v. *faciculata*, *Synedra tabulata* v. *tabulata*, *Achanthes longipes*, *Navicula* spp., 微小鞭毛生物(20μm以下)

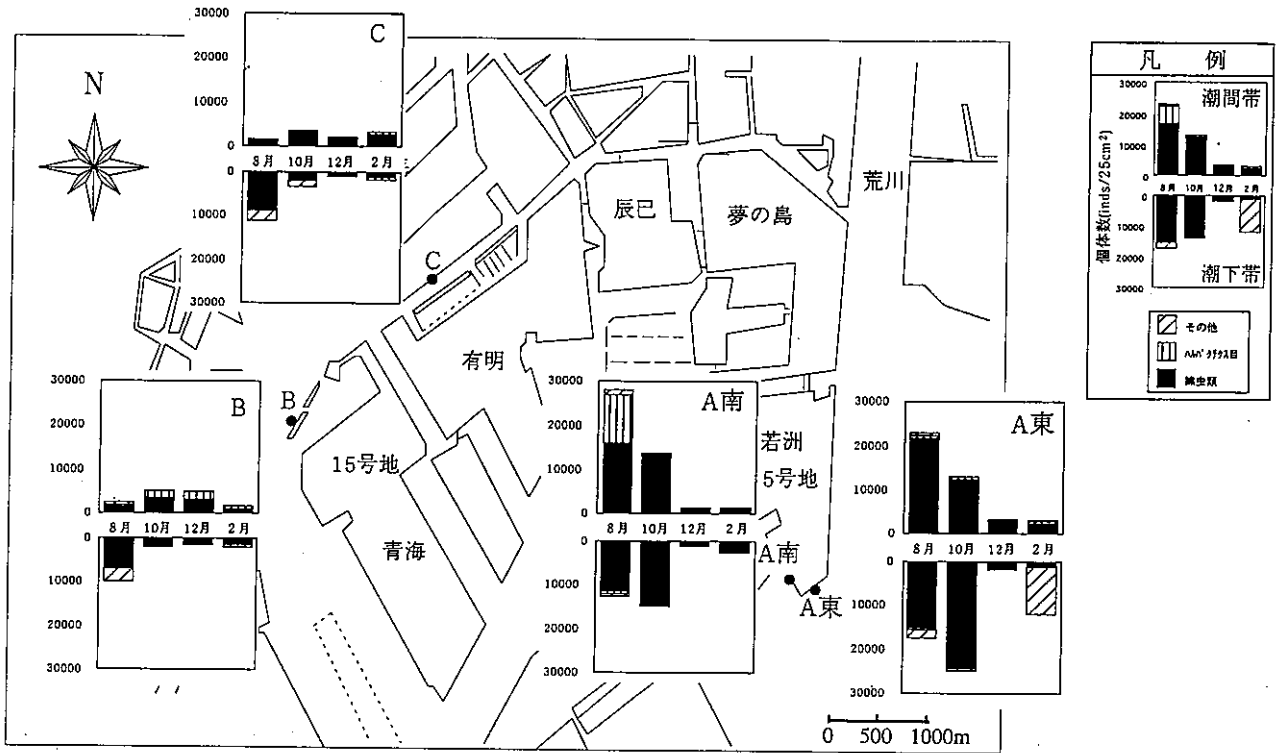


図3 メイオベントス (0.5mm~32µm サイズ) の個体数

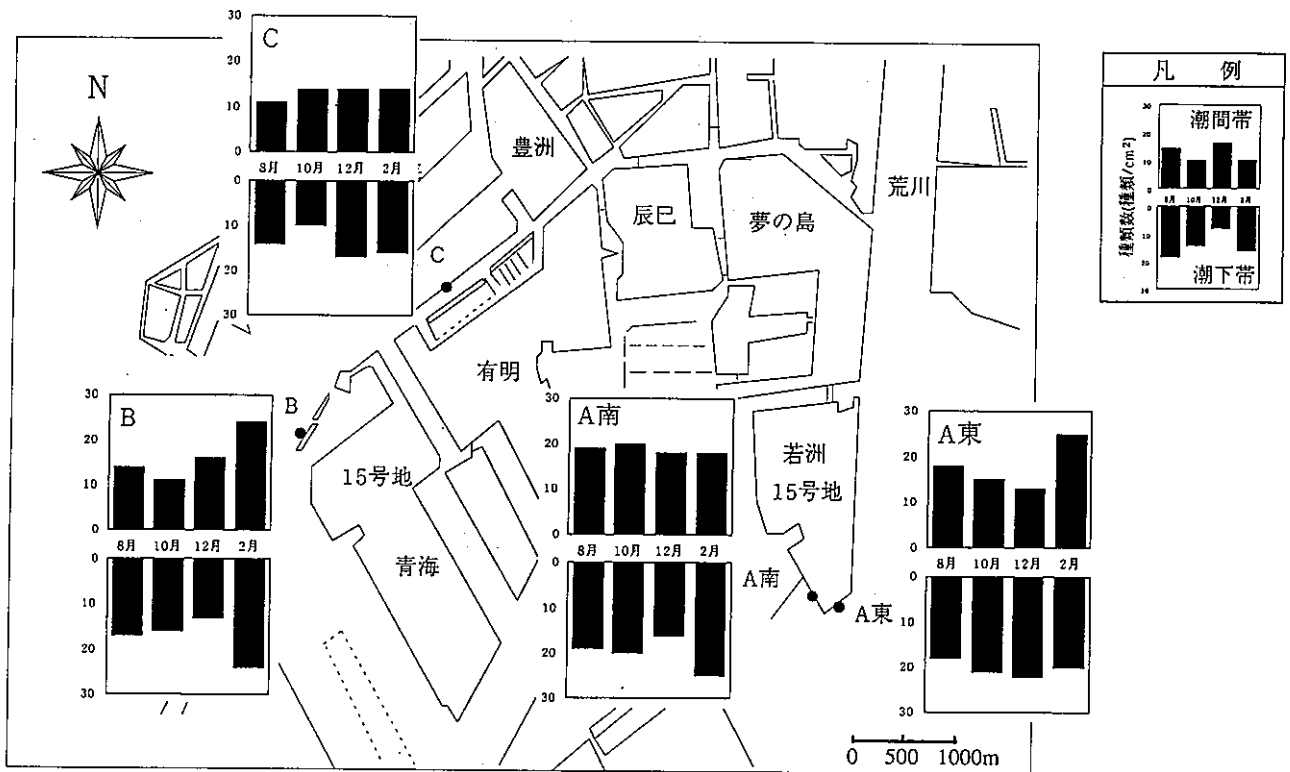


図4 付着藻類の種類数

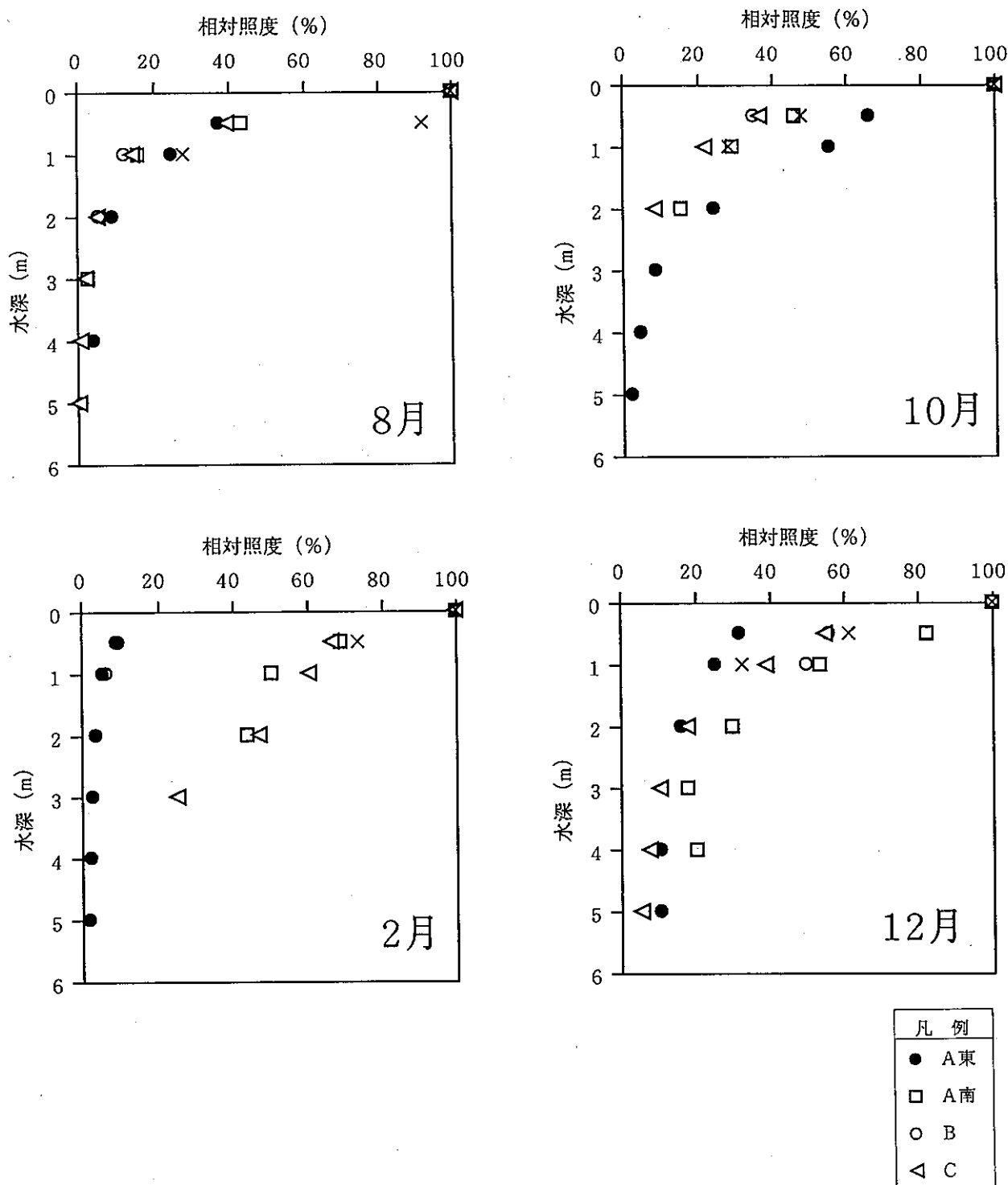


図5 各護岸の相対照度と水深との関係

であり、これが特にA東に多量に出現していた。

エ 海藻類

海藻類 (図2) は少なく、A東で4種、A南とBで7種、Cで2種であった。出現は水温の低下する12月以降に集中しており、海藻の成長時期と一致している。現存量でみると、A東はアオノリ属、アマノリ属、A南はイ

トグサ属、アマノリ属、アオノリ属、Bはアマノリ属、アオサ属、Cはハネモ属で占められていた。

4 考察

(1) 相対照度と生物との関係

各地点の水深別・四季別の相対照度 (図5) の減衰傾

向をみると、8月はプランクトンの繁殖時期でもあり、水深0.5mで40%に減、1mで20%に減、2mで10%未満まで減少しているが、10、12、2月と水温の低下とともに透明度も増すため減衰割合は緩和され、2月ではA東を除くと、水深3mでも約30%の減衰に止まっている。ただし、この値は観測時の一瞬の値であるため当時の相対照度を正確に表しているとは断定できない。このような前提で相対照度と生物量との関係(図6)をみると、付着動物(現存量)、付着藻類(細胞数)、メイオベントス(個体数)いずれもほとんど関係はみられない。次に、相対照度とクロロフィルaとの関係(図7)をみると、DLのクロロフィルaは相対照度の減衰とともに減少していく傾向が多少みられる。細胞数では関係がみられず、クロロフィルaでみられるのは全ての細胞に細胞質が密に詰まっているとは限らないことに起因する。

いずれにしても、生物量は複数の環境要因が積算された結果であり、瞬時のデータと相関しないのは当然とも言える。

付着藻類をShannon-Weaverの多様性指数(H')<sup>1)</sup>でみると、図8に示すように中央防波堤外側に位置するA東とA南では、潮間帯よりも潮下帯のほうが多様性が高

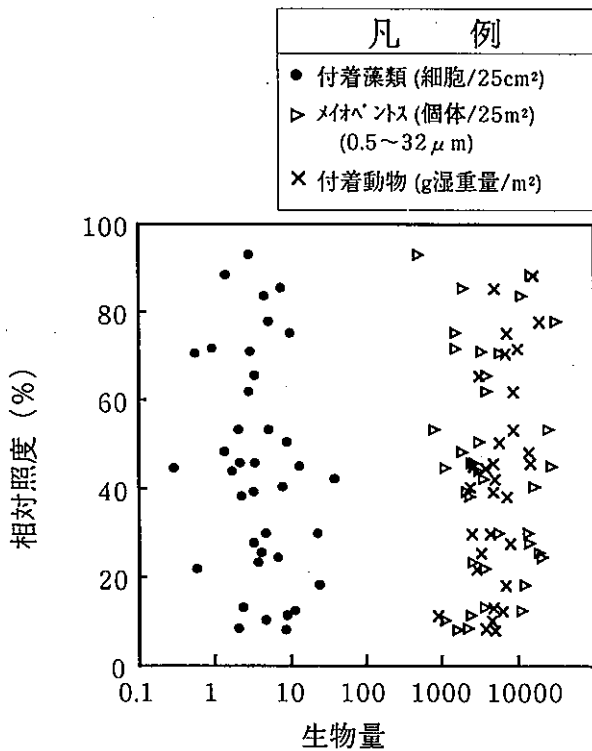


図6 生物量と相対照度の関係

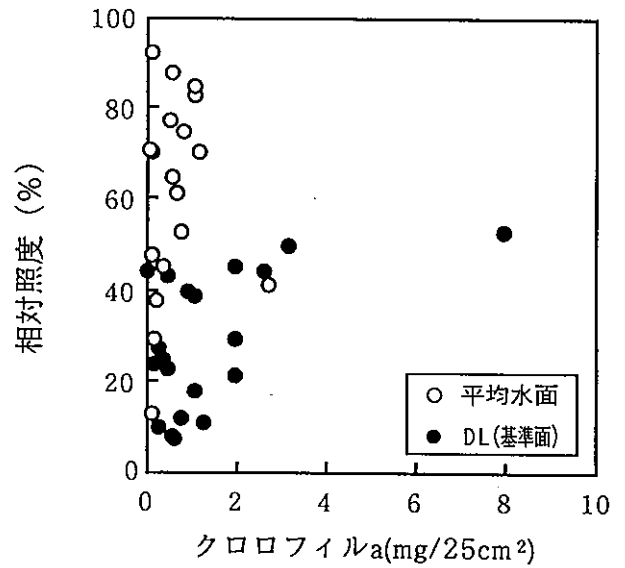


図7 クロロフィルaと相対照度の関係

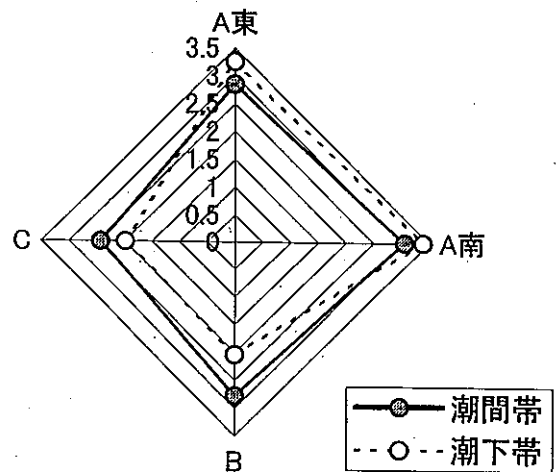


図8 各護岸の潮間帯・潮下帯別付着藻類の多様度指数の変化

いが、中央防波堤内側のB、Cでは逆に潮間帯のほうが高い多様性を示している。この違いは護岸の形状、材質というよりは、塩分濃度の違い(A東、A南はB、Cより塩分が1.1~1.2倍高い)による出現生物相の違いが反映されたものと考えられる。

$$\text{多様性指数}(H') = -\sum ni / N \log_e (ni / N)$$

(ni : i番目の種の個体数、N : 総個体数)

(2) 付着動物の垂直護岸との比較

都内湾の垂直護岸<sup>2)</sup>の出現種類数と比べると、A東と近接した中央防波堤外側の垂直護岸(St. A)では通年

で38種、中央防波堤内側直下の垂直護岸 (St. B) で46種、Bと近接した垂直護岸 (St. C) で36種を確認しており、今回の調査と比べるとA東では垂直護岸に比べて種類数が多く、Bではほぼ同数であったが、垂直護岸の中央防波堤内側直下 (St. B) では48種と今回の護岸調査の最大種類数とほぼ同数を確認しており、垂直護岸でも立地条件によっては種類数が豊富になることを示している。垂直護岸が通年36~46種類であるのに対して、各種護岸の出現種類数も概ね同様の変動を示している。多様性指数 (H') でみると、図9に示すように種類数の変化と同様にA東とA南の多様性が高く、しかも潮下帯の多様性が高い傾向がみられるが、この変化は種類数の変化とよく一致している。垂直護岸 (3地点平均) との比較では、A東やA南では垂直護岸を上回る値を示しているがB、Cでは垂直護岸より小さく付着動物の多様性は低かった。

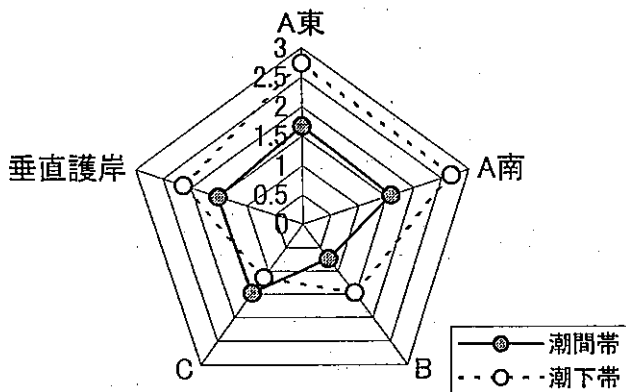


図9 各護岸の付着動物の潮間帯・潮下帯の多様性指数の変化

垂直護岸が比較的均質な環境であるのに対して、各種護岸は複雑な形状を呈しているため生物の生息環境も変化に富んでおり、多様性の保持に寄与していると考えられるが、付着動物の多様性に関しては、護岸周辺の環境要因が大きく影響していると推定された。

以上のことから、種の豊富さ・多様性の高さは護岸の形状とともに、それらを取り巻く外部要因 (水質、波、水温、pH、DO等) との相互影響のなかで決まってくるものであると考えられる。

1 m<sup>2</sup>当たりの現存量の比較では、垂直護岸のSt. A, B, Cで27.5kg, 22.5kg, 20.8kgと今回調査した各種護

岸の約3~7倍の値を示しており、垂直護岸は単位面積当たりでは優れた現存量を維持している。しかし、推定総表面積当たりで比較すると、A東38.1kg, A南29.2kg, B 4.1kg, C15.6kgと表面積の大きいA東やA南では垂直護岸を上回る現存量を保持していることがわかる。ただし、石積護岸でも石を平坦に組むBでは表面積を大きくすることができないため、保持される現存量は小さい。

(3) 浅瀬のメイオベントスとの比較

各種護岸のメイオベントスの種類数・個体数を都内湾の浅瀬のメイオベントス<sup>3)</sup>と比較した。種類数では、浅瀬の7月各地点で6~8種、全体で19種、2月5~7種、全体で19種に対して、各種護岸の8月各地点で14~33種、全体で33種、2月各地点で7~11種、全体で17種と、夏季の各種護岸は浅瀬に比べて各地点および全体の種類数はいずれも上回っているが、冬季はほぼ同数であり、水温の低下する冬季ではあまり変わらないことを示している。

個体数 (図10) では、夏季は浅瀬に比べてA東やA南では4.9~5.0倍と高い値を示しているが、中央防波堤内側のB, Cでは1.5~1.6倍と減少する。一方、冬季はA東で浅瀬の2.5倍の値を示しているが、その他の地点では浅瀬の64~87%に減少し、メイオベントスにとって冬季の護岸は浅瀬に比べて厳しい環境であることがわかる。しかしながら、1m<sup>2</sup>棒当たりの総表面積でみると、付着動物同様、浅瀬の現存量を大きく上回るが、石積護岸の

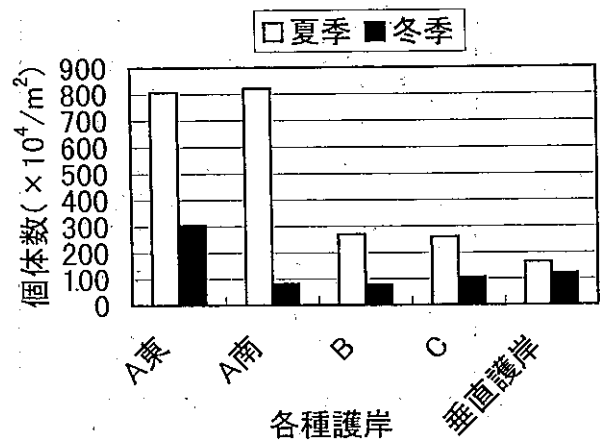


図10 護岸別・季節別のメイオベントスの個体数の変化



B地点では表面積が小さいため浅瀬の現存量を下回っている。

すなわち、緩傾斜型石積護岸のB地点では付着動物やメイオベントスの現存量は少ないが、海藻類の出現種類数は多く、A南と同じく7種を確認しており、生物相の多様性という点では優れているといえる<sup>4)</sup>。

(4) 浄化能の試算

護岸の優占種であり、かつ現存量の90%以上を占めるムラサキイガイ、コウロエンカワヒバリガイ、マガキによるCOD浄化量を、1996年報<sup>2)</sup>で採用した試算方法で計算した結果を図11、12に示す。1㎡当たりのCOD浄化能は、概ねA東> A南>B>Cの順であり、季節別には活性の高まる夏季が最も大きく、A東やA南では水温の低下とともに減少する傾向がみられる。この値を垂直護岸のCOD浄化能(27g/㎡/日)<sup>2)</sup>と比較すると、最も大きいA東でも垂直護岸の87%程度であり、単位面積当たりでは垂直護岸は優れた浄化能を示している。ただし、総表面積当たりで比較すると、B、Cは垂直護岸の値を

下回るものの、A東やA南では垂直護岸の2.4~3.6倍の浄化能を示している。

以上のことから、護岸の種の多様性やCOD浄化能は、護岸の表面積の大きさとともに、その立地条件により大きく影響されることがわかった。したがって、今後、多様な生物との共存を目指した護岸の整備に際しては、護岸の利用目的とともに水域の生物相と護岸周辺的环境条件、生息させるべき目標生物種を考慮しながら護岸の形状・構造・材質を選ぶことが重要となる。

5 まとめ

緩傾斜型の各種護岸を調査した結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 付着動物やメイオベントスの出現種類数をみると、塩分濃度が高く、潮通しのよいテトラポットのA東が45種類と最も多く、次いでA南、B、Cと中央防波堤内側の東京港内の奥に向かうに従い種類数は低下し、また潮間帯より潮下帯で多く出現する傾向がみられた。この傾向は多様性指数の値とよく一致している。
- (2) 付着藻類や海藻類は、水温の低下する冬季に繁殖・成長する種が多く、細胞数や現存量も冬季にピークを示している。
- (3) 生物量は複数の環境要因が積算された結果であり、瞬時のデータとは相関しにくい。相対照度とクロロフィルaとの関係では、DLのクロロフィルaと若干相関がみられた。
- (4) 各種護岸の1㎡当たりの付着動物の現存量は垂直護岸に劣るが、総表面積当たりではA東やA南は垂直護岸の1.3倍程度の現存量を示しており、その結果、COD浄化能も2.4~3.6倍の値を示していた。
- (5) 総表面積の大きい護岸の有利性が示されたが、B地点については、垂直護岸に対して約1.1倍の推定表面積を有しているにもかかわらず、付着動物の現存量やCOD浄化能は垂直護岸に比べて劣っていた。ただし、海藻類の種類はA南とともにB地点で最も多く、緩傾斜石積護岸は海藻類の繁殖に適しているようである。

以上のことから、護岸の種の多様性や現存量、COD浄化能は、護岸の表面積の大きさとともに、その立地条件(塩分、波浪、水温、DO等)により大きく影響されることがわかった。

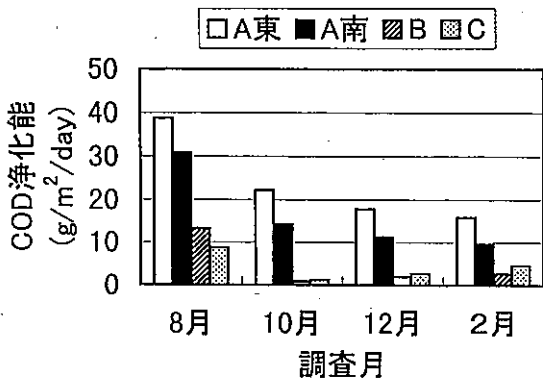


図11 護岸別・季節別の1㎡当たりのCOD浄化能の変化

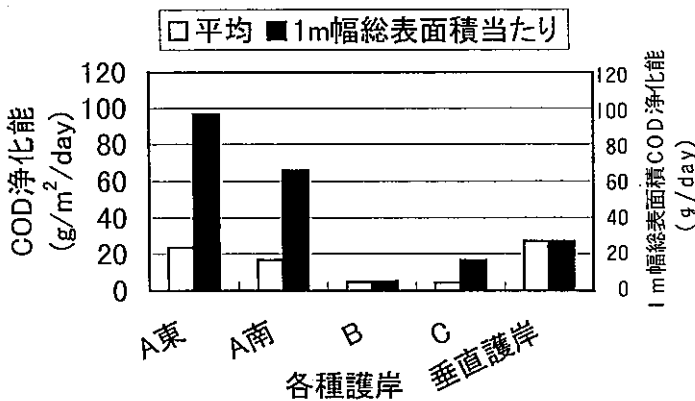


図12 各護岸の四季平均と単位総表面積当たりのCOD浄化量の変化

なお、調査を進めるに当たっては、港湾局開発部海上公園課のご協力を、また付着動物の調査・同定等では㈱日本海洋生物研究所の鋤崎俊二氏、渡辺 淳氏、辻 雅明氏にご協力とご助言を賜りました。また、東邦大学理学部大学院生大橋英隆氏には付着動物の同定等で大変お世話になりました。心から感謝申し上げます。

#### 引用文献

- 1) 木元新作：(1976) 動物群集研究法 I，共立出版，p192.
- 2) 木村賢史、奥富重幸：(1996) 東京都内湾における付着動物の分布と水質浄化機能，東京都環境科学研究所年報1996，pp143-152.
- 3) 木村賢史、山下浩二、秋山章男：(1997) 東京都内湾の浅場における生物の分布と水環境保全機能，東京都環境科学研究所年報1997，pp219-227.
- 4) 小笹博昭、村上和男ら：(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，pp1216-1220.