

湾奥における生物と共生する護岸の開発

DEVELOPMENT OF THE SEAWALL TO PROVIDE MARINE CREATURES WITH A HABITAT IN TOKYO BAY AREA

岡村知忠¹・田中ゆう子²・岩本裕之³・鈴木秀男²・中瀬浩太⁴

Tomotada OKAMURA, Yuko TANAKA, Hiroyuki IWAMOTO, Hideo SUZUKI and Kota NAKASE

¹工修 五洋建設(株) 環境研究所 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町 1534-1)

²東亜建設工業(株) 技術開発部 (〒102-8451 東京都千代田区四番町 5)

³五洋建設(株) 環境研究所 (329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町 1534-1)

⁴五洋建設(株) 環境事業部 (〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8)

Most of seawalls in Tokyo Bay Area are upright seawalls. These seawalls are severe for marine organisms to live because their environmental conditions are extreme in terms of eutrophication and oxygen depression in summer and fresh water inflow in rainy days as examples. In order to increase biodiversity, we placed two types of seawalls to provide marine creature with a habitat. One was placed in front of the upright seawall having three functions - tidal flat, tide pool and reef. The other was placed inside rubble mound seawall having small tidal flat. As the result, some of creatures, which do not live on normal seawall, lived on or in both of the seawall. It's found that changes of seawall's form can increase species of marine organisms.

Key Words: upright seawall, rubble mound seawall, tidal flat, tide pool, reef, biodiversity

1. はじめに

東京湾奥部において生物多様性を高めることは、都市部における水質浄化機能や親水・環境教育機能の観点から非常に重要である。しかし、湾奥部の水際は、利用可能な空間が限られているため、直立護岸のような形状の単純な護岸が多く、護岸に多様な生物相を出現させるという試みはまだ少ない¹⁾。

湾奥部の直立護岸のような形状の単純な護岸には、付着性の二枚貝を中心とする生物群集が確認されるが、出現する生物の種類は限られている。これは、淡水の流入、海域の富栄養化や夏季の貧酸素化といった湾奥における特殊な環境条件、および静穏な波浪といった物理条件に起因する²⁾。

本研究は、湾奥部の護岸の親水化、および生物多様性の維持という観点から、護岸構造に自然海岸の持つ微地形の要素を持たせ、多様な生物の生息が可能であるよう開発した「生物共生護岸」について、期待した効果が実際に得られたのかを、現地実験に

より確認することを目的としている。

生物共生護岸は、既存の直立護岸前面に「泥場」、 「磯場」、 「タイドプール」の微地形要素を取り込んだ構造、および既存の捨石護岸の根固め部分に規模の小さな干潟、「ミニ干潟」を組み込んだ構造の2種類の形式がある。これらの護岸を東京湾奥部に2000年12月に設置し、以降3ヶ月おきにモニタリング調査を実施している³⁾。このモニタリングで得られた結果、および生物共生護岸に形成された生物相について報告する。

2. 研究概要

(1) 調査地点

生物共生護岸は、2000年12月に東京都江東区の「あけぼの水門取付堤付近(St-1)」と「曙北運河砂潮橋付近(St-2)」の2地点に設置した。この海域は東京湾奥部にあって、COD8.0mg/l以下、DO2.0mg/l以上を環境基準として定められる「海域C類型」に属

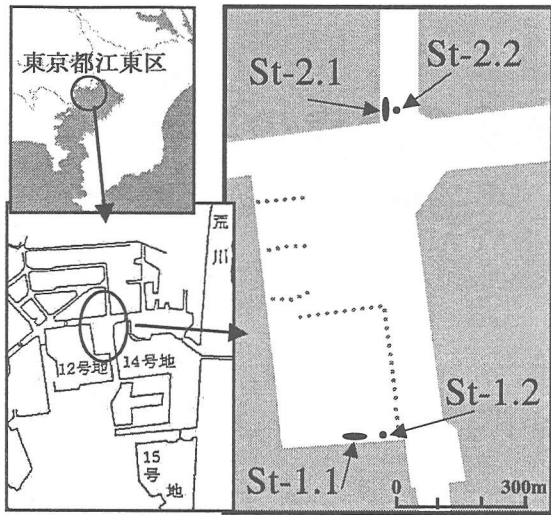


図-1 生物共生護岸設置，調査地点位置図

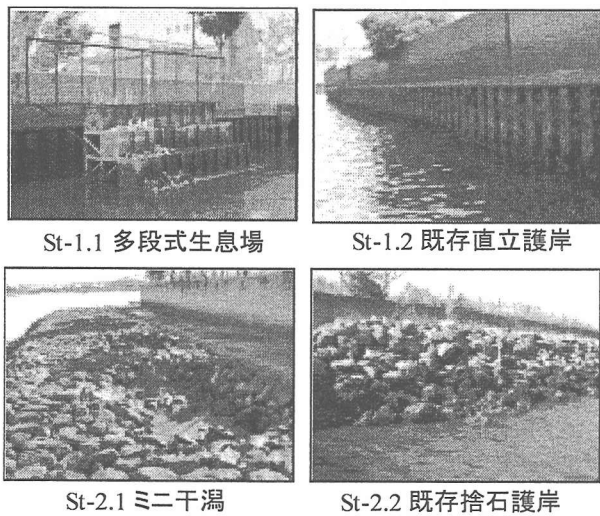


図-2 各調査地点周辺の景観

していおり，夏季に貧酸素化を引き起こすことが観測されている⁴⁾。生物共生護岸設置位置および調査地点位置図を図-1に示す。生物共生護岸は，既存の直立護岸の前面に設置した多段式生息場 (St-1.1) と既存の捨石護岸の背面に設置したミニ干潟 (St-2.1) の2タイプである。また，各共生護岸の近傍の既存の直立護岸 (St-1.2) と捨石護岸 (St-2.2) を比較対照地点とした。各調査地点周辺の景観を図-2に示す。

(2) 生物共生護岸の概要

a) 多段式生息場

多段式生息場は，階段状の鋼製枠に鋼製プランター (幅 2.0m×奥行 0.7m×深さ 0.6m) を固定した構造をしている。その断面図を図-3に示す。多段式生息場は，生物の帯状分布に対応するように複数の地盤高よりなる生物生息場を提供している。構造物の上端高さは AP+2.2m で，各段の上端高さはそれぞ

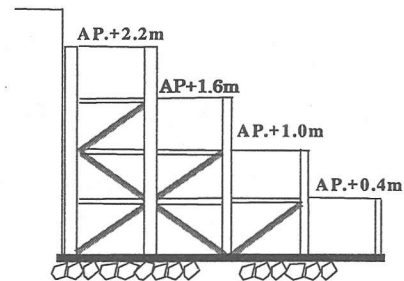


図-3 多段式生息場 (断面図)

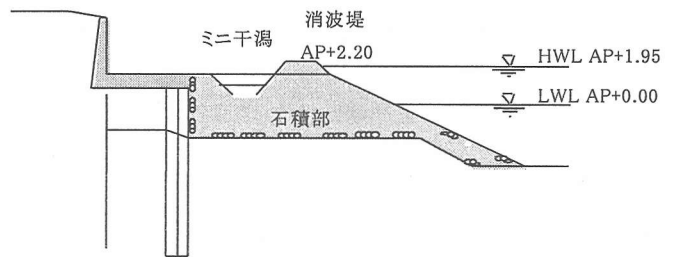


図-4 ミニ干潟 (断面図)

れ AP+1.6, 1.0, 0.4m である。

AP+1.6m以下の各段には，浚渫土を充填した「泥場」，φ300mm 程度の礫を充填した「磯場」，何も入れないプランターの「タイドプール」の3要素を設置した。充填した浚渫土は，東京港内で浚渫されたもので，浚渫後 10 年以上陸上に放置され，乾燥していた (シルト分以下=76~93%，強熱減量=8.4~12.0%)。また，AP+2.2mの段にはヨシを植栽した。

b) ミニ干潟

ミニ干潟は，既存の直立護岸 (コンクリート擁壁護岸) 前面の根固め部分を掘削して，吸い出し防止用の不織布を敷いた上に，前述の浚渫土を充填した構造で，面積 3.8m²の干潟を6面 (3地盤高×2ヶ所) 配置した。ミニ干潟の断面図を図-4に示す。ミニ干潟の干潟部分の天端高は AP+1.5, 1.0, 0.5m である。

(3) モニタリング調査

生物の加入・生息状況および底質の変化状況を把握するため，設置後3ヶ月おきにモニタリングをおこなっている。今まで，2001年5月から2002年11月まで，計7回の現地調査を実施した。

a) 生物目視調査

多段式生息場 (St-1.1) の各要素とミニ干潟 (St-2.1) 内において，目視された生物の種類と個体数を記録した。比較地点として，既存の直立護岸 (St-1.2) および捨石護岸 (St-2.2) では，汀線から AP+0.0m まで汀線直角方向に測線を設定し，50cm 幅の目視観察で確認された生物の種類別個体数を記録した。

b) 底生生物調査

底生生物調査は、多段式生息場の「泥場」およびミニ干潟において、エクマンバージ採泥器(15cm×15cm×10cm)により底質を採泥し、1mmメッシュのふるいでふるい分けた後、残存生物の種類別個体数および湿重量を分析した。

c) 底質分析

多段式生息場の「泥場」およびミニ干潟において、底質を採取し、粒度組成、強熱減量、硫化物量を分析した。

d) 水質測定

モニタリング時の水質状況を把握するため、St-1.1とSt-2.1の近傍地点の海面下50cmと海底下50cmにおいて、水質測定機器(HORIBA社製、U-21)により、水温、塩分濃度、DOを測定した。

e) 波浪測定

海域の波浪特性を把握するため、平成13年8月21日から31日まで、多段式生息場(St.1-1)の前面海域に波高計(WAVE HUNTER)を設置し、10日間の波高の連続観測を実施した。

3. 調査結果

(1) 実験海域の環境

実験海域のSt.1.1の近傍地点におけるDO、塩分濃度の調査結果を図-5に示す。ここで、「観測」は東京都環境局による公共用水域調査の「曙水門(曙運河)」地点における速報結果⁵⁾を、「実験時」は、本研究における測定結果を示している。これより、この海域は夏季において底層DOが環境基準値の2mg/lをしばしば下回ることがわかる。また、底層と表層との塩分濃度差が10‰以上出ることがあり、塩分躍層が形成されている。

調査地点は、湾奥に位置するため、通常の波浪は静穏であるが、不定期に船舶が航行する場合に航跡波が作用する。図-6に波浪調査結果を示す。多段式生息場の前面海域において、観測期間中の最大有義波高は0.44m、周期は1.8secであった。0.25m以

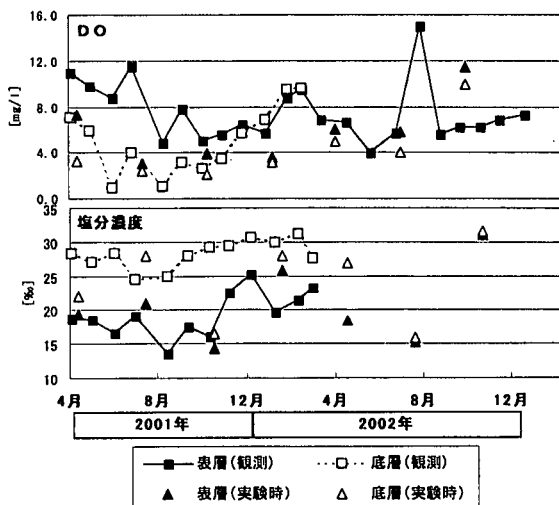


図-5 実験海域のDOと塩分濃度

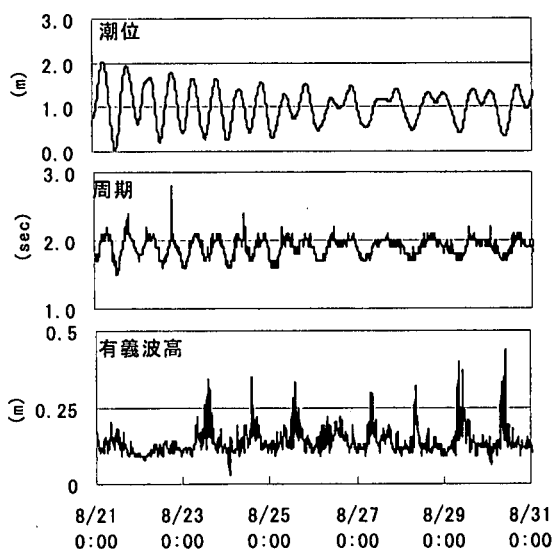


図-6 波浪調査結果

上の比較的高い波高は日中に出現しており、これらは船舶航跡波によるものと推定された。

(2) 調査結果

本研究では、既存護岸と生物共生護岸において目視調査および底生生物調査を継続的におこない、護岸周辺に生息する生物出現量を経時的に観察してい

表-1 各調査地点で確認された主要動物

地点	形状	地盤高	主要動物			
St-1.1	多段式生息場	磯場	AP+1.6m	タテマフシツボ	シロスシツボ	イワニ科
			AP+1.0m	コウエンカワヒバリガイ	タテマフシツボ	マカキ
			AP+0.4m	コウエンカワヒバリガイ	マカキ	ムラサキガイ
		タイドプール	AP+1.6m	タテマフシツボ	コウエンカワヒバリガイ	カンザシコカイ科
			AP+1.0m	コウエンカワヒバリガイ	ヨコエヒ類	ケフサイカニ
			AP+0.4m	コウエンカワヒバリガイ	ヨーロッパフシツボ	カンザシコカイ科
	泥場	AP+1.6m	コカイ類	チチュウカイイトリガニ	ケフサイカニ	
		AP+1.0m	コカイ類	マハセ	チヂブ	
		AP+0.4m	チヂブ	コカイ類	マハセ	
St-1.2	既存直立護岸		コウエンカワヒバリガイ	ヨーロッパフシツボ	ミドリガイ	
St-2.1	ミニ干潟	AP+1.5m	コカイ類	ケフサイカニ	ヨコエヒ類	
		AP+1.0m	ケフサイカニ	コカイ類	クベツケガニ	
		AP+0.5m	ハセ類	コカイ類	ケフサイカニ	
St-2.2	既存積石護岸		コウエンカワヒバリガイ	タテマフシツボ	シロスシツボ	

る。各調査地点で確認された主要動物を表-1 に示す。ここで主要動物は、前回³⁾の目視調査において出現回数および、出現個体数の多かったものを示した。

「磯場」と「タイドプール」では、既存の直立護岸や捨石護岸と同様、コウロエンカワヒバリガイやフジツボ類が多く見られた。コウロエンカワヒバリガイは、AP+0.4m から 1.6mにかけて分布していた。フジツボ類は、AP+1.6mにはタテジマフジツボが多く見られ、AP+1.0m以下にはヨーロッパフジツボが見られた。一方、「泥場」とミニ干潟では、AP+1.0m以上では、ゴカイ類やチチュウカイミドリガニ、ケフサイソガニが多く見られ、AP+1.0m以下では、ゴカイ類の他にハゼ類などが多く見られた。

① 多段式生息場

多段式生息場(St-1.1)と既存直立護岸(St-1.2)において、確認された生物をその分類と活動形式より、表-2 に示すように多毛類(移動性と固着性)、甲殻類(移動性と固着性)、二枚貝、藻類、魚類、その他の8項目に分類し、生物種類数の経時変化を整理した。生物グループ別出現状況の経時変化を図-7 に示す。ここに示す多段式生息場の種類数は、生息場の各要素における目視調査結果の合計である。

多段式生息場は、既存直立護岸に比べて、生物種類数が多く、かつ移動性の動物(移動性多毛類、移動性甲殻類と魚類)が多く見られた。

表-2 確認された生物の分類

分類		主な生物
多毛類	移動性	ゴカイ、ミズヒキゴカイ、イトゴカイ科 (<i>Capitella capitata</i> , <i>Notomastus sp.</i>) など
	固着性	カンザシゴカイ科など
甲殻類	移動性	ドロウダムシ、ヨコエビ類、ケフサイソガニ、チチュウカイミドリガニ、フナムシなど
	固着性	タテジマフジツボ、シロシジフジツボ、ヨーロッパフジツボなど
二枚貝		コウロエンカワヒバリガイ、ムラサキガイ、ミドリイガイ、マガキ、ホトギスガイ
藻類		建蓮類、藍藻類、緑藻類
魚類		マハゼ、チチフ、ボラ、ドロメ、トビハゼなど
その他		ユウレイボヤ、インギンチャク目など

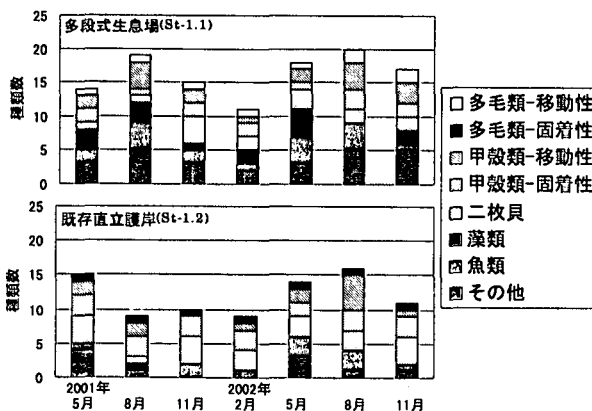


図-7 多段式生息場と既存直立護岸における生物種類数の経時変化

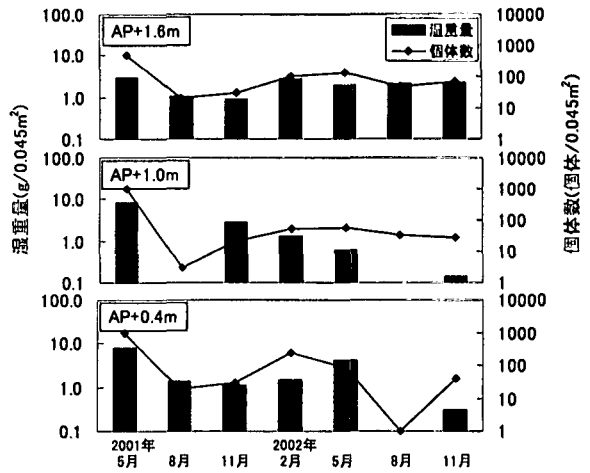


図-8 「泥場」の各地盤高における生物出現量(湿重量・個体数)の経時変化

また、「泥場」における底生生物は、図-8 に示すように、AP+1.0mとAP+0.4m地点において8月の出現量が顕著に減少する傾向が見られた。確認された種類は、イトゴカイ科 (*Capitella capitata* や *Notomastus sp.*) が多く、多毛類中心の生物相であった。

なお、多段式生息場の AP+2.2m地点では、2002年2月よりヨシを植栽する実験も実施している。ここでは、2002年11月現在でヨシの生育が確認されている。

② ミニ干潟

ミニ干潟 (St-2.1) と既存捨石護岸 (St-2.2) の目視調査で確認された生物を、表-2 に示した分類・活動様式別の生物種類数の経時変化として整理した。図-9 に示すように、ミニ干潟は、既存捨石護岸より多くの種類が出現し、かつ、チチュウカイミドリガニ、ケフサイソガニ、クロベンケイガニといった移動性甲殻類が多く見られている。魚類では、ピリンゴなどの生息の他、2002年2月15日の調査では環境省のレッドデータブックに「絶滅のおそれのある

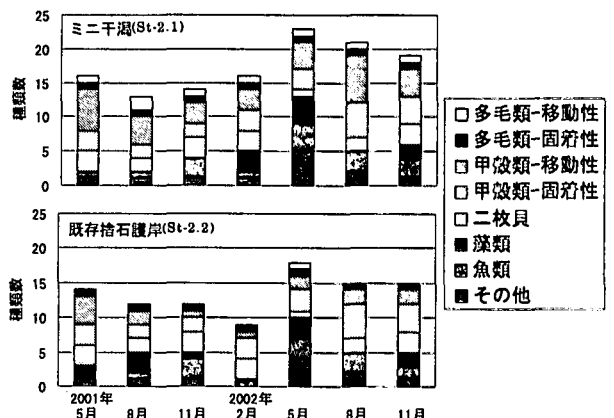


図-9 ミニ干潟と既存捨石護岸における生物種類数の経時変化

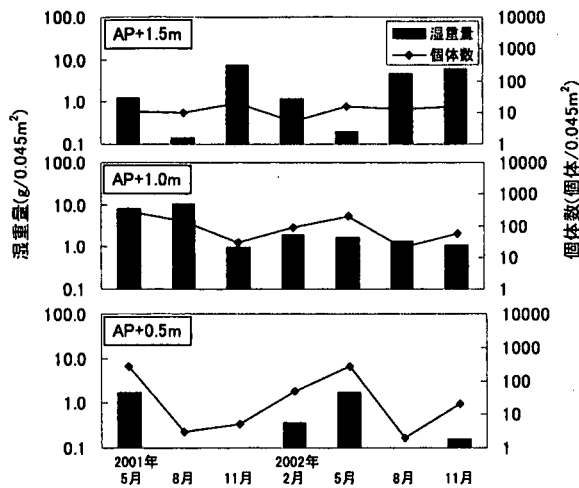


図-10 ミニ干潟の各地盤高における生物出現量(湿重量・個体数)の経時変化

地域個体群」として記載されているトビハゼも1個体確認された。

ミニ干潟における底生生物調査では、図-10に示すように、AP+0.5m地点において8月の出現量が顕著に減少する傾向が見られた。確認された種類では、イトゴカイ科 (*Capitella capitata* や *Notomastus sp.*) が多く、多段式生息場の「泥場」と同様、多毛類中心の生物相であった。

鳥類は、周辺海域にカモ、シギ、カモメ等の飛来が確認された。また、ミニ干潟内において鳥類の足跡が観察され、イソシギの採餌行動も観察された。

4. 考察

(1) 生物多様性

本実験において実施した底生生物調査(2001年5月~2002年11月)結果より、多段式生息場の「泥場」およびミニ干潟における生物群集の経時的な発達状況について、生物の多様性指数を指標として定量的に評価した。多様性指数は、Shannon-Weaverの方法⁶⁾(1)により算出した。

$$H'(S) = -\sum (n_i/N) \log_s(n_i/N) \quad (1)$$

ここに、

$H'(S)$: 多様性指数, n_i : 種別個体数, N : 総個体数, S : 総種類数

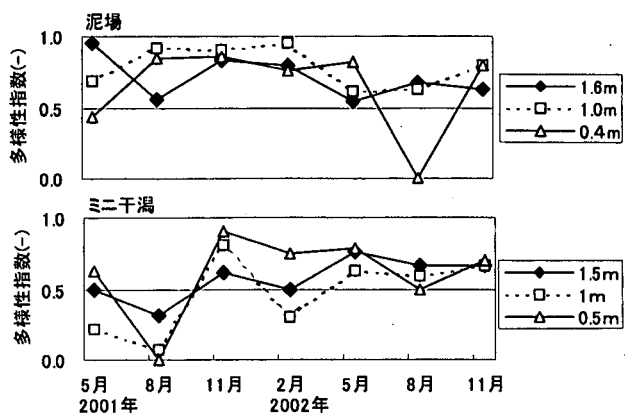


図-11 「泥場」とミニ干潟における地盤高毎の生物多様性の経時変化

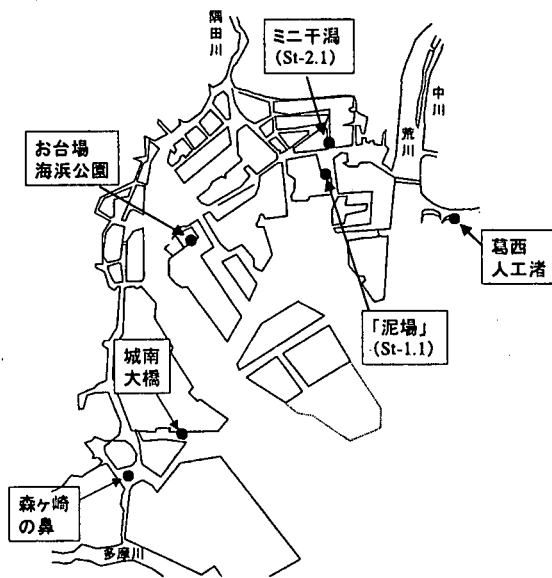


図-12 「泥場」、ミニ干潟および東京港内の既存干潟位置図

「泥場」とミニ干潟における地盤高毎の生物多様性の経時変化を図-11に示す。

「泥場」のAP+0.4mは2002年8月に、ミニ干潟のAP+0.5m、+1.0mは2001年8月において、多様性指数が急減した。その他の地盤高では、多様性の顕著な変化は確認されなかった。これは、地盤高の低い地点は、底質内での酸素消費と海水の低酸素濃度により、夏季に底質内の酸素欠乏が生じたため、生物生息が損なわれたと推察される。

干潟部分の生物多様性を他地点と比較するため、

表-3 東京港内の既存干潟の環境条件(東京都環境局の1999年4月調査結果⁴⁾より作成)

調査地点	底質条件		主要動物			確認種類数	個体数(個体/0.12m ²)	湿重量(g/0.12m ²)
	中央粒径(mm)	強熱減量(%)						
葛西人工渚	0.097	2.3	イトゴカイ科	<i>Phoronis sp.</i>	アサリ	9	97	1.78
お台場海浜公園	1.190	1.0	イトゴカイ科	ヤマトシオ	ラスパノマカニ	12	104	17.27
城南大橋	0.132	1.6	<i>Pseudopolydora sp.</i>	ヤマトシオ	<i>Phynchospio sp.</i>	9	142	1.68
森ヶ崎の鼻	0.150	2.3	イトゴカイ科	ゴカイ	<i>Pseudopolydora sp.</i>	15	450	16.31

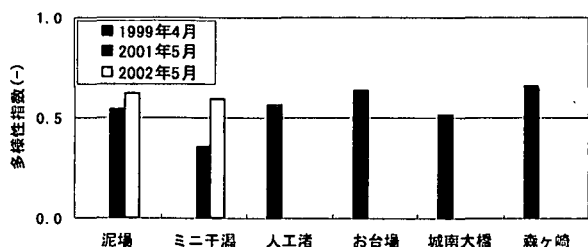


図-13 「泥場」、ミニ干潟および各既存干潟の生物多様性

東京港内の既存干潟(葛西人工渚, お台場海浜公園, 城南大橋, 森ヶ崎の鼻)と「泥場」およびミニ干潟の多様性指数を算出した。ここで, 東京港内の既存干潟については, 東京都が 1999 年 4 月におこなった調査結果⁴⁾を使用し, 「泥場」およびミニ干潟については, 2001 年 5 月と 2002 年 5 月のモニタリング結果を使用した。東京港内の既存干潟の概要を表-3 に, 位置を示した図を図-12 に, 生物多様性の算定結果を図-13 に示す。既存干潟における調査は, 「泥場」, ミニ干潟の調査と調査年度・時期, 水質等の条件が異なるため, 直接の比較は難しいが, ここではあえて比較を試みた。

「泥場」とミニ干潟共に, 多様性指数は 2001 年 5 月(設置後 6 ヶ月)に比べて, 2002 年 5 月(設置後 1 年 6 ヶ月)の方が高くなり, 生物相の多様性が増大していることがうかがわれた。また, 既存干潟の多様性指数が 0.5~0.6 であるのに対して, 「泥場」とミニ干潟は 2002 年 5 月に 0.5 以上を示した。これらのことから, 規模が小さくても干潟の構造を取り入れた「泥場」やミニ干潟を設置することにより, 約 1.5 年で東京港内の既存干潟に相当する多様性が得られる「場」を創出することが可能であることがわかった。

(2) 生物共生護岸の機能

各調査地点の目視観察では, 各生物共生護岸および既設護岸において, 地盤高に応じた生物相が形成されていることが確認された。AP+0.4m~1.6m には, コウロエンカワヒバリガイ等のろ過食性の付着動物が多く分布していたが, 夏季の調査時にはこれらの脱落が確認され, 貧酸素や高水温により死亡したと推察された。直立護岸において脱落した付着動物は, 死亡後の分解過程で酸素を消費する上, 栄養塩を放出し水質悪化を引き起こす要因となりうる⁷⁾。多段式生息場は, 潮間帯に複数の平場を有する構造を持つため, 直立護岸に比べて干出時に空気にさらされる表面積が大きくなる。このため, この部分が好気的な環境となり, 貧酸素による付着動物の死亡

や脱落を減らすことができる。さらに付着動物が脱落した場合でも, 他生物による捕食や好气的条件下での分解促進効果を持つと推察される。

「泥場」とミニ干潟で多く見られた多毛類は, 鳥類などの餌料である。調査時には, 鳥類の飛来や採餌が見られ, 人工構造物においても, 生物が生息できるように工夫することにより, 多様な生物生息が見られ, 環境教育の場としても有効となるということが確認された。

5. まとめ

本研究では, 東京湾奥部に自然海岸の持つ微地形の要素を持たせた 2 種類の生物共生型護岸を設置し, 生物相の拡大を試みた。その結果, 湾奥の環境条件が厳しい場所でも, 護岸の構造に小規模ながら工夫を加えることにより, 東京港内の既存干潟に相当する生物多様性が確保できる可能性があることがわかった。今後も引き続き調査を実施し, 生物の生息に適した護岸構造についてさらなる検討をおこなう予定である。最後に, 本実験にご協力していただいた東京都港湾局東京港建設事務所埋立海岸課, 埋立海岸建設課の方々に謝意を表す。

- 1) 柵瀬信夫 (2002), カニ護岸による環境修復と海洋環境教育, 日本沿岸域学会 第 15 回シンポジウム, pp.39-40.
- 2) 村上和男, 浅井正, 中瀬浩太, 綿貫啓, 山本秀一 (1997), 波高および水質条件よりみた港湾構造物の付着生物群集の評価, 海岸工学論文集, 44, pp.1126-1130.
- 3) 田中ゆう子, 檜山博昭, 鈴木秀男 (2002), 東京湾奥部における生物と共生する護岸の創出, 環境情報科学論文集, No.16, pp.149-152.
- 4) 東京都環境局 (2000), 平成 11 年度 水生生物調査結果報告書, 東京都環境局 環境評価部.
- 5) 東京都環境局 (2002), 公共用水域水質測定結果, <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/kansi/mizu/sokutei/suishitu.htm>.
- 6) 木元新作, 武田博清 (1989), 群集生態学入門, 共立出版(株).
- 7) 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), 人口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イガイの成長と脱落, 海の研究, Vol.4, No.1, pp.9-18.