

港湾環境に及ぼす直立壁面の付着性二枚貝の影響に関する考察

三好順也¹・上月康則²・倉田健悟³
村上仁士⁴・野田 巖⁵・岩村俊平⁶

港湾環境に影響を及ぼすといわれる直立型の海岸構造物壁面に付着する付着性二枚貝を中心とした物質循環を推定し、酸素消費の観点から港湾環境に対する影響評価を試みた。直立構造物には二枚貝類が優占し、懸濁物食生物が 36~96 % 占めていた。近傍の干潟や傾斜護岸には、それに加えて藻食生物や堆積物食生物が生息しており、直立構造物壁面には偏った生物群集が形成されていることがわかった。二枚貝類の懸濁物摂餌量を求めると、直立構造物幅 1 m あたり 2.18 gC/day の有機炭素を浄化していたが、それに伴う海底への有機物負荷量、水中での酸素消費量が大きく、物質循環に問題があることがわかった。

1. 緒 論

国土交通省は平成 17 年 3 月の交通政策審議会において、今後の港湾環境政策の基本的な方向について答申し、港湾行政のグリーン化を図っていくことを示した。ここでは、これまでの港湾環境施策の改善や自然再生事業の拡大など、港湾環境に対して積極的に取り組む姿勢を示している。自然再生事業では、人工干潟や人工藻場といった沿岸域の開発によって失われたものを取り戻すことを目標とした事業が取り扱われているが、船舶の泊地や貨物の移送といった港湾機能の必要性の高い区画に対しては、広域な面積を必要とするこのような事業の適用は容易ではない。しかしながら、海岸線の多くが直立型の護岸や防波堤(以下、直立構造物)に囲まれており、ここでは壁面に付着する二枚貝類が大量に脱落し、水底質に悪影響を及ぼすといった問題が生じている(矢持ら, 1995)。さらに著者らは二枚貝の排泄物による影響も指摘してきたが(三好ら, 2004)、直立構造物壁面に付着する二枚貝が港湾環境に及ぼす影響については、定量的に示されておらず不明瞭な点が多い。

本研究は直立壁を有する構造物に生息する付着生物が港湾環境に及ぼす影響を定量的に示すことを目的に行った。本研究の特徴は①壁面の付着生物群集を干潟、消波ブロックと比較し、それらの相違点を抽出した点、②次に付着性二枚貝を中心とした物質循環を推定した点、③酸素消費量から港湾環境に対する影響評価を試みた点にある。

2. 調査方法

(1) 調査地域

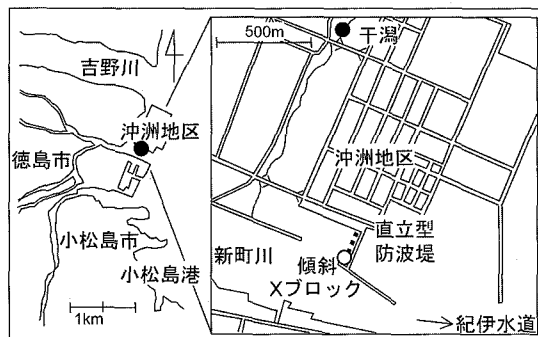
調査を行った徳島県小松島港沖洲地区は新町川と吉野川に囲まれた河口域に位置する(図-1)。大潮時には約 2 m の潮位差があり、水深は干潮時に約 4 m となる。また、比較的懸濁物濃度の高い閉鎖的な海域であり、夏季には透明度が著しく低下する。海底には生物の死骸やデトリタスが堆積しており、貧酸素化が生じている(倉田ら, 2004)。なお船舶の航跡波を除いて静穏な海域である。

(2) 一次生産量の測定

2003 年 1 月~2004 年 11 月まで約 3 ヶ月間隔で水柱の一次生産量の測定を行った。直立構造物から 20 m 前方の地点において水深 0.5, 1.5, 3.5 m の 3 水深に明暗瓶法に従って DO 瓶を垂下した。8~9 時間程度設置した後、実験室に持ち帰りウィンクラー法に準じ DO を測定し、一次生産量を算出した。

(3) 生物調査

直立構造物壁面において 2000 年 2 月~2003 年 2 月までは約 3 ヶ月間隔、2003 年 2 月~2005 年 2 月は約 6 ヶ月間隔で行った。また近傍の傾斜 X ブロックにおいて



破線：直立型防波堤、○：傾斜Xブロック、●：干潟

図-1 徳島県小松島港沖洲地区の観察地点

1 正 会 員 博(工) (独法)産業技術総合研究所
2 正 会 員 博(工) 徳島大学大学院「ソシオテクノサイエンス研究部」
助教授
3 正 会 員 博(理) 鳥根大学汽水域研究センター助教授
4 フェロー 工博 徳島大学大学院「ソシオテクノサイエンス研究部」
教授
5 正 会 員 国土交通省 四国地方整備局 高松港湾空港技術調
査事務所
6 正 会 員 修(工) 株式会社エコー 沿岸デザイン本部 沿岸環境部

も 2002 年 8 月に行った。生物採取にはスクレイパーを用いて D.L.+1.0~±0.0 m, ±0.0~-1.0 m の水深帯の生物を剥ぎ取り採取した。採取した生物について種の同定と個体数および湿重量の測定を行った。

(4) 脱落生物調査

2002 年 7 月から 2005 年 2 月まで約 1 ヶ月間隔で、直立海岸構造物前方の海底にプラスチックコンテナ (49×33×31 cm) を壁面に沿うように設置し、脱落生物を採取した。その後実験室内において 4 mm メッシュのふるいでふるった後、残存生物を分類し、種類毎にまとめて、湿重量を測定した。なお、殻が崩れているものが多く、個体数やその生死は正確に測定できなかった。

(5) 沈降物量およびその性状

2003 年 5 月から 2005 年 2 月まで約 1 ヶ月間隔で筒型のセジメントトラップ (口径: 82 mm, 高さ: 255 mm) を用いて、直立海岸構造物前方海底 (直立海岸構造物壁面から 50 cm) および港湾中央 (直立海岸構造物壁面から 20 m) で沈降物を約 24 時間捕集した。設置水深は巻き上がった底泥の混入を防止するため、D.L.-2 m に設置した。捕集した試料はサイフォンで上澄み液を除いた後、1500 rpm で遠心分離し乾燥重量を測定した。また、得られた試料の一部は乾燥させずに酸素消費速度の分析に供した。酸素消費速度は O₂ UPTESTER (TAITEC 製, 6C) を用いて測定した。また、乾燥後の試料について 1N 塩酸を用いて酸処理を行った後に、CN コーダ (ThermoFinnigan 製, NC Soil Analyzer) を用いて POC を測定した。

(6) 二枚貝の排泄物の性状

実験は 2004 年 5~12 月の計 6 回行った。ムラサキイガイおよびマガキを水深 D.L.±0.0~-1.0 m に 24~48 時間設置し、その後速やかに実験室に持ち帰った。持ち帰ったムラサキイガイおよびマガキは表面に付着した懸濁物などを取り除いた後に、0.45 μm メンブレンフィルター (Advantec) でろ過した海水を満した容器に 24 時間投入した。24 時間後に容器内に沈降した粒子を 1500 rpm で 10 分間遠心分離して採取し排泄物とした。試料は酸素消費速度、POC の分析に供した。分析方法は沈降物調査と同様である。

(7) 堆積物の性状

堆積物は、2003 年 11 月~2005 年 2 月の計 4 回、直立構造物前方海底および港湾中央においてシリンジを用いて採取し、表層から 0~5 mm を切り取り試料とした。採取した試料は検知管 (ガステック製, No.201L および No.201H) を用いて酸揮発性硫化物 (以下、AVS) の測定を行った。

3. 調査結果および考察

(1) 直立構造物壁面における生物群集

潮間帯と潮間帯下部に位置する D.L.+1.0~±0.0 m と D.L.±0.0~-1.0 m では、ほとんどの調査において二枚貝類が優占しており、その割合は平均で 65% 程度を占めていた (図-2)。また D.L.+1.0~±0.0 m の全現存量の変化は 2002 年 11 月では 615 wet g/m², 2004 年 2 月には 6,240 wet g/m² と約 10 倍もの差があった。この水深帯での全現存量の変化は、二枚貝類の現存量の増減によって生じているものであり、他の動物の消長はほとんど影響していなかった。このような傾向は洞海湾 (梶原・山田, 1997) や東京湾 (梶原, 1994) でも確認されており、閉鎖性海域における直立海岸構造物上の生物群集の一般的な傾向であると思われる。なお二枚貝の中でも優占種はマガキで、次いでコケゴロモガキ、ムラサキイガイであった。このように大きな変化を示す付着性二枚貝の生息に及ぼす環境要因について、古瀬・風呂田 (1985) は、東京湾の調査から塩分をあげている。しかし、マガキの生息可能な塩分は 11~32 psu (日本水産資源保護協会, 1981), ムラサキイガイは 14~33 psu (日本水産資源保護協会, 1983) と広塩性の二枚貝である。本港湾での塩分の変動は 14~32 psu とこれらの範囲内にあり、塩分の変動のみで死亡、脱落したことを説明することは難しい。

次に 8 月の直立構造物壁面と環境の異なる傾斜 X ブロックや干潟に生息する生物群集を比較した (図-3)。なお、干潟の生物データは図-1 に示す地点において徳島県 (2001) が 1999 年 8 月に行ったものを用いた。直立構造物壁面に優占していた生物の大部分が懸濁物食生

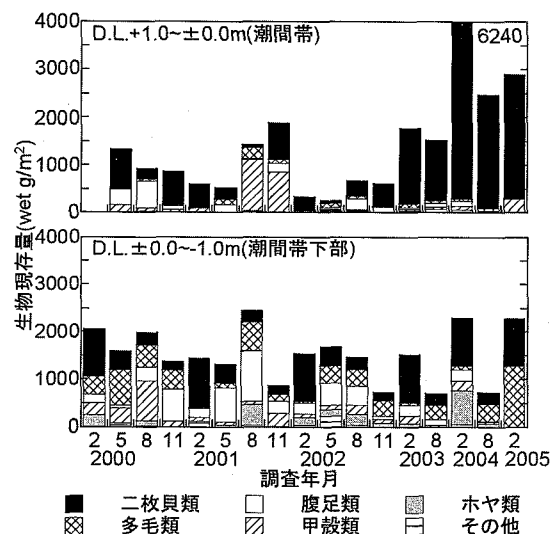


図-2 直立構造物壁面の付着生物群集の季節変化

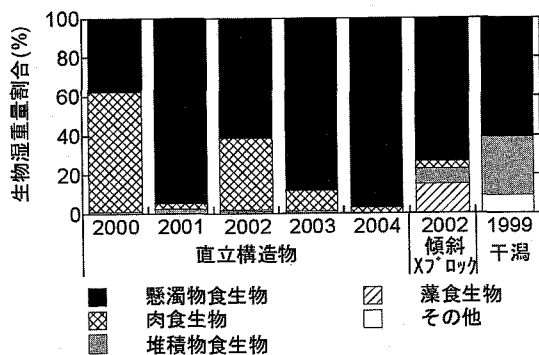


図-3 夏季における直立構造物、傾斜Xブロックおよび干潟に生息する潮間帯 (D.L.+1.0~±0.0m) 生物群集の食性別生物湿重量割合

物であり、全湿重量の36~96%を占めていた。これに対して傾斜Xブロックでは、懸濁物食生物が多いものの、付着性二枚貝の間に堆積した泥内には堆積物食生物のドロクダムシの一種や藻食生物の巻貝類も多く確認された。干潟では、埋性性二枚貝などの懸濁物食生物の他に、スピオ科の一種やコメツキガニなどの堆積物食生物が優占していた。これらのことから、直立構造物は傾斜を持たない構造や単調で硬い基質であるために、その壁面には付着性の懸濁物生物の優占する生物群集が形成されていることがわかった。

(2) 二枚貝による懸濁物浄化能

直立構造物壁面に優占していたマガキとムラサキガイについて摂餌量を推定し、懸濁物の浄化能を検討した。これに用いた既報のパラメータを表-1に示す。なお、D.L.+1.0~±0.0mまでの冠水時間は、財団法人日本気象協会潮汐表の2004年8月に基づいて18時間とした。その結果、2004年8月の直立構造物壁面の幅1mあたりに付着するマガキ1,122個体(2,539 wet g)、ムラサキガイ234個体(44.7 wet g)の懸濁物摂餌量は2.18 gC/day、有機炭素固定量は0.64 gC/dayと推定された。アサリ1個体の平均有機炭素摂餌量は35.3 mgC/dayであり(磯野, 1998)、直立構造物壁面に付着する二枚貝類の摂餌量は、アサリ約62個体に相当していた。

(3) 付着性二枚貝による海底への有機物負荷

直立構造物の壁面から二枚貝が脱落すると、それが直接海底に堆積する。海底上に脱落した二枚貝は夏季には貧酸素化しているために肉食生物の餌資源とならずに、海底上で腐敗、分解を受ける。つまり脱落生物は海底への汚濁負荷源となっているといえる。図-4に示すように直立構造物壁面に付着する二枚貝は夏から秋にかけて脱落し、その値は2004年8月の調査では幅1mあたり0.09 gC/dayであった。また二枚貝の排泄物が含まれると考えられる直立構造物前方の沈降物のPOCは、港湾中央よりも高く(t-test, $P < 0.01$)、酸素消費速度も有意に大きかった(t-test, $P < 0.05$) (図-5)。さらに直立構造物前方の沈降物の有機物負荷量は、港湾中央のものに比較して、平均で約2.5倍大きかった(t-test, $P < 0.01$)。二枚貝の排泄物の量は上述したように懸濁物の浄化能に比例して大きくなり、浄化能の高い直立構造物壁面の二枚貝から排泄される有機物量はそれに伴って大きくなると考えられる。また二枚貝の排泄物はムラサキガイで平均70.3 mgC/dry g (最小値~最大値: 25.5~140.0)、マガキで66.0 mgC/dry g (最小値~最大値: 28.5~92.9)と港湾中央の沈降物(平均22.7 mgC/dry g)に比較して高く、直立構造物前方の沈降物は平均37.8 mgC/dry gとその中間に位置する。すなわち、直立構造物前方の沈降物は、壁面に付着する二枚貝の排泄物が含まれることによって、沈降物のPOC、酸素消費速度を引き上げ、海底を汚濁させるように作用

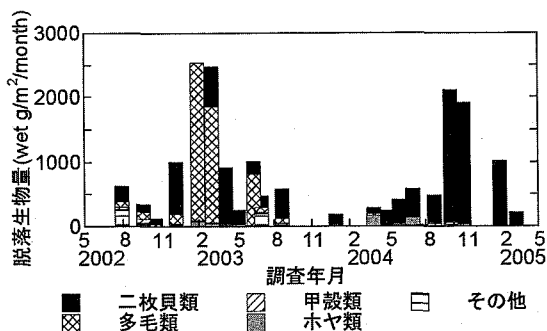


図-4 直立構造物海底の脱落生物量

表-1 ムラサキガイとマガキの摂餌量および同化率のパラメータ

項目	パラメータ
ムラサキガイ 摂餌量 (mgC/ind./day)	$86.4 \times (0.000496 \times L^{2.72})^{0.77} \times Rt \times POC$ (中村ら, 2003a) $Rt = 0.564 \times 10^{(0.0207 \times T)}$, ($5 \leq T \leq 25$), $Rt = 0.00326 \times T + 1.78$, ($25 < T \leq 30$) L = ムラサキガイ殻長 (mm), POC : 懸濁態有機物濃度 (mgC/l)
炭素同化率 (%)	39.6 (門谷ら, 1998)
マガキ (中村ら, 2003b) 摂餌量 (mgC/ind./day)	$0.32 \times (-5 + T) \times WW^{0.65} \times POC$ T = 水温 (°C), WW = マガキ軟体部湿重量 (wet g), POC : 懸濁態有機物濃度 (mgC/l)
炭素同化率 (%)	$\beta / (\beta + POC)$, $\beta = 0.2$ mgC/l

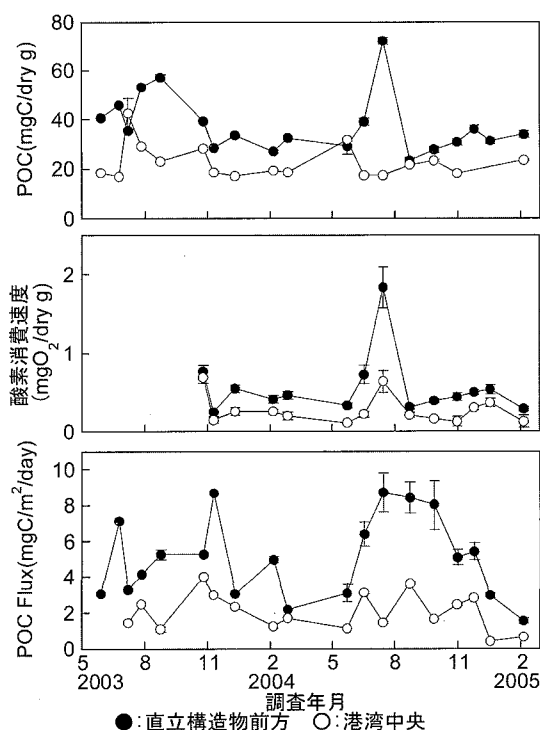


図-5 直立構造物前方および港湾中央における沈降物の POC, 酸素消費速度, POC Flux (mean $\pm$ SE)

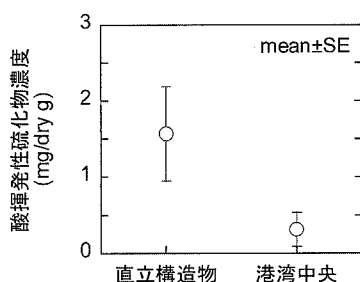


図-6 直立構造物前方海底および港湾中央海底の堆積物の酸揮発性硫化物濃度 (AVS)

表-2 夏季の魚類養殖場における POC Flux と AVS

漁場名	POC Flux (gC/m ² /day)	AVS (mg/dry g)
串本養殖漁場	0.70~1.55	<0.1
勝浦養殖漁場	2.37~5.34	0.4~0.8
つる島養殖漁場	4.78~10.41	0.4
たか島養殖漁場	1.27~3.25	0.5~0.6
堅田養殖漁場	4.26~8.48	1.2~2.7

するといえる。その結果、図-6 に示すように直立構造物前方海底の AVS は港湾中央のそれよりも高く (t-test, $P < 0.01$), 魚類養殖場 (加来・渡辺, 1981) に比較して (表-2), 同程度かそれ以上の値であり (平均 1.57 mg/dry g), 汚濁が進行していることがわかる。

(4) 二枚貝を介した物質循環

これまで述べた二枚貝を介した物質移動を図-7 にま

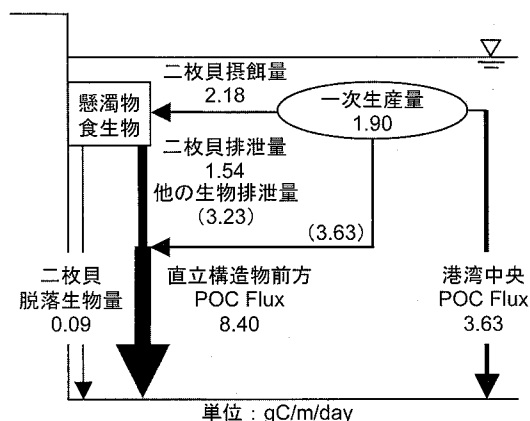


図-7 2004年8月における有機炭素の物質循環

とめた。2004 年 8 月には単位水柱あたりの一次生産量 1.90 gC/m²/day に対して直立構造物幅 1 m あたりの二枚貝の摂餌量は 2.18 gC/day と一次生産量と同程度であった。しかしながら、脱落した生物と排泄物を含めた二枚貝由来の有機炭素負荷量は、摂餌量の約 75 % に相当する 1.63 gC/day であった。またこれを含めた直立構造物の前方に負荷される全有機炭素量は港湾中央の値の約 2.3 倍であった。これは、直立構造物が設置されることによって、二枚貝類などが付着し、排泄、脱落することで海底への汚濁負荷を増大させることを意味している。さらにこれらの物質が消費する酸素消費量を求めた (図-8)。

沈降物の酸素消費量は、沈降物が海底に至るまでの沈降過程で酸素を消費することを考慮し、沈降物量に酸素消費速度と沈降時間を乗じて求めた。なお沈降時間は、水深を沈降速度 (= 沈降物量 / 懸濁物濃度) で除して求めた。脱落生物は、炭素 1 gC の分解に必要な酸素消費

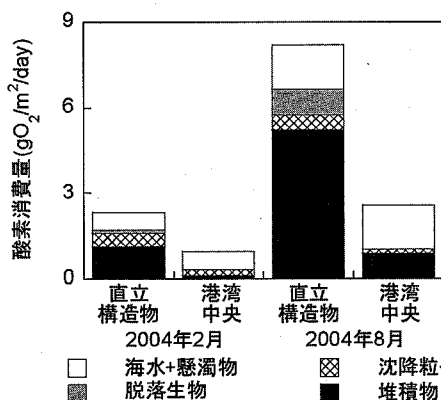


図-8 直立構造物前方海底および港湾中央における単位面積あたりの酸素消費量

量 3.47 gO_2 を 1 日あたりの脱落生物由来の有機炭素量に乗じて算出した。堆積物については沈降物量を新生堆積物量とみなし、堆積物の酸素消費速度を乗じて求めた。海水、懸濁物の酸素消費量は一次生産量調査時の暗瓶の呼吸量を用いた。その結果、2004 年 8 月では直立構造物前方で $8.20 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$ 消費され、この値は港湾中央の約 3.2 倍多く、直立構造物前方海底では有機物負荷が増大することでより多くの酸素が消費されていることがわかった。

(5) 港湾環境に及ぼす付着性二枚貝の影響

直立構造物前方での二枚貝の影響を港湾全体で評価するため、本港湾（構造物延長：723 m、水域面積：65,000 m^2 ）の水中での全酸素消費量に占める二枚貝由来のもの（沈降物、脱落生物）の寄与を推定した。なお、直立構造物前方の沈降物や脱落生物などの影響は直立構造物の前方 1 m までと仮定し、それ以外の水域は港湾中央の結果を用いた。その結果、港湾環境に及ぼす二枚貝由来の影響は約 3 % と評価された。

干潟においても二枚貝などの懸濁物食生物が生息しているが、その排泄物は直接海底に負荷されず、緩やかな傾斜を持つ底面上で堆積物食生物や微生物などの作用を受け、酸素の多い環境で十分に分解されつつ沈降していく。一方、直立構造物で囲まれた港湾では、大量の排泄物と脱落生物は速やかに海底に沈降、堆積し、他の生物の餌資源とならずに環境を悪化させるように作用していることから、系全体でみると「物質循環」の面に問題が生じていることがわかった。

4. 結 論

本研究では、直立構造物に囲まれた港湾において壁面に付着する二枚貝が港湾環境に及ぼす影響について考察を行った。以下に得られた主要な結果を要約する。

- 1) 直立構造物壁面には懸濁物食生物の二枚貝類が優占していたが、近傍の傾斜 X ブロックや干潟では懸濁物食生物の他にも藻食生物や堆積物食生物などが優占しており、直立構造物壁面には偏った生物群集が形成されていた。
- 2) 直立構造物壁面幅 1 m あたりに付着する二枚貝類の懸濁物摂餌量は $2.18 \text{ gC}/\text{day}$ 、有機炭素固定量は $0.64 \text{ gC}/\text{day}$ と推定された。
- 3) 直立構造物前方海底では 2004 年 8 月に二枚貝類の脱落によって $0.09 \text{ gC}/\text{m}^2/\text{day}$ の有機物が負荷され、また二枚貝類の排泄物含んだ有機物負荷量は $8.49 \text{ gC}/\text{m}^2/\text{day}$ であった。その結果、直立構造物前方海底の AVS は $1.57 \text{ mg}/\text{dry g}$ と魚類養殖場に比較して、同程度かそれ以上であり、二枚貝由来の有機物は汚濁するように作用していることがわかった。

- 4) 直立構造物前方の水柱あたりの酸素消費量を測定、推測すると、2004 年 8 月の直立構造物前方では $8.20 \text{ gO}_2/\text{m}^2/\text{day}$ 消費されており、港湾中央に比較して約 3.2 倍大きく、直立構造物前方海底では有機物負荷が増大することでより多くの酸素が消費されていることがわかった。
- 5) 港湾全体の水中での全酸素消費量に占める二枚貝由来のもの（沈降物、脱落生物）の寄与を求めると約 3 % と評価された。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、徳島大学工学部建設工学科水口教授、国土交通省四国地方整備局小松島港湾空港工事事務所の皆様には多大な協力を頂いた。ここに記して心より感謝する。

参 考 文 献

- 磯野良介(1998)：東京湾盤洲干潟のアサリによる窒素摂取量の推定とその季節変動に係わる要因、水環境学会誌，第 21 巻，第 11 号，pp. 751-756。
- 加来靖弘・渡辺勇二郎(1981)：魚類養殖場における沈降と堆積、内湾沿岸域における沈降・堆積過程，pp. 107-125。
- 梶原葉子・山田真知子(1997)：洞海湾における付着動物の出現特性と富栄養度の判定、水環境学会誌，Vol.20, No.3, pp. 185-192。
- 梶原 武(1994)：横浜港における潮間帯付着生物の種類組成と現存量、付着生物研究，Vol.11, No.1, pp. 1-9。
- 倉田健悟・上月康則・村上仁士・水谷雅裕・森正次・北野倫生・岩村俊平(2004)：港湾における生態系の環境修復—徳島県小松島港で行われた実証実験を例に—、土木学会論文集，No. 755/Ⅶ-30, pp. 95-104。
- 古瀬浩史・風呂田利夫(1985)：東京湾奥部における潮間帯付着動物の分布生態、付着生物研究，Vol.5, No.2, pp. 1-6。
- 徳島県(2001)：徳島小松島港沖洲(外)地区整備事業に係る環境影響評価書，平成 13 年 12 月，pp. 238-315。
- 中村義治・金網紀久恵・磯野良介・三村信男(2003a)：我が国における主要貝類の生物量と生物機能の分布特性、海岸工学論文集，第 50 巻，pp. 1296-1300。
- 中村義治・奥出壮・寺澤知彦・関根幹男・三村信男(2003b)：CO₂ 固定量評価に係わる貝類代謝モデルの開発、海岸工学論文集，第 50 巻，pp. 1166-1170。
- 日本水産資源保護協会(1981)：水産生物生態資料，pp. 304-307。
- 日本水産資源保護協会(1983)：水産生物生態資料(続)，pp. 117-119。
- 三好順也・上月康則・森正次・亀田大悟・矢間北斗・倉田健悟・村上仁士(2004)：岸壁付帯式テラス型海岸構造物によるムラサキガイ由来の汚濁負荷削減効果、海洋開発論文集，Vol.20, pp. 1061-1066。
- 門谷茂・小濱剛・徳永保範・山田真知子(1998)：富栄養化した水域の生態学的環境修復—北九州市洞海湾を例として—濾過食性二枚貝の生態的特性を利用した海洋環境修復技術の開発、環境科学会誌，Vol.11, No.4, pp. 407-420。
- 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種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，Vol.4, No.1, pp. 9-18。