特集2・閉鎖性海域の環境管理のあり方—大阪湾を例として—

大阪湾の環境と生物

矢持 進*

1. はじめに

大阪湾は赤潮が頻発し、海水の透明度も悪く、夏には北部海域で底層水の酸素飽和度が著しく低下することなどから、「海洋生物の営みに欠け、すでに死に絶えた海」といったイメージで誤って捉えられている。現実の大阪湾は餌料プランクトンが豊富なため生物生産が活発で、また約225種もの漁業生物が捕獲されている。ただ、夏季の湾奥海域が生き物の棲みにくい海となることも事実で、海洋生物の一部はなかなか遅く環境に適応して生きているものの、この季節には底生動物（ベントス）の出現種

類数や現存量が激減してしまう。これは人間が利便性や生活水準の向上を求め過ぎて、沿岸域を埋め立て、大量の有機物を海に流し込んだことによって、生態系に大きなひずみが生じてしまったことを物語っている。大都市近郊の沿岸は開発によって天然の干潟や砂浜が消失し、市民が自由に自然と親しめる海辺が少なくなっているが、干潟や砂浜は海水浄化の場としても知られており、さらに干潟周辺の浅海は魚介類の成育場や保育場としても重要である。

このようなことから、大阪湾では生態系工学的手法による沿岸環境の修復に関する社会的要請が強まると予想されるが、そのための施策や技術の基礎になるのが沿岸の物理・化学的環境と生物の動態に関する知識である。

ここでは流域に約1500万人の人口を抱え、半閉鎖性で富栄養な大阪湾の環境の現状と変遷に焦点を当て、流況・水質・底質・生物相などについて概説する。

2. 流れの構造

大阪湾の潮流の特徴を示したのが図-1である。この図は中潮期の明石海峡で最も東向きおよび西向きの流れが強い時の流況図であるが、明石海峡では

図-1 明石海峡東流最強時と西流最強時の流況（藤原ほか，1989）

図-2 大阪湾の恒流系（藤原ほか，1989）

*大阪市立大学, Susumu YAMOCHI

それぞれの潮時に2 m/秒近くの流れがあることがわかる。全般的に淡路島東岸や泉南沿岸海域で流れが強いのに対して、湾奥部では緩く、防波堤の内側や水路では10 cm/秒に満たない場合もある。このような海水が停滞する場所では、高い栄養塩濃度と相まって赤潮がよく発生する。潮の流れ（流向・流速）は上げ潮・下げ潮ならびに大潮・小潮などによって変化するが、1日よりも短周期の潮汐周期成分を除き、観測期間の平均的な流れ（恒流）を示したのが図-2である。大きく分けて、大阪湾には4つの恒流系があるが、最も強い影響を持つのが湾の中央部付近に存在する「沖の瀬環流」である。この環流は海表面から海底近くまでの全層に及び、大潮期に著しく発達して流速が最大40 cm/秒に達する。西宮沖環流も大阪湾の水質と深く関連する。この環流は水深5 m以浅のみに存在し、冬季には消滅する特徴があり、結果として淀川や大和川などからの汚濁水を湾奥部に留めておく作用があると考えられている（藤原ら, 1989）。なお、山根ら（1998）は大阪湾湾奥域の水循環に関して、その構造は河口域特有のエスチュアリー循環に支配されており、夏季における湾奥上層への海水供給は湾中央部下層水の進入とその後の湧昇の役割が重要と述べている。この湾奥域

でのエスチュアリー循環は当然のことながら以下に述べる栄養物質の分布や海洋生物の幼生などの輸送と着底にも大きく影響すると考えられる。

2. 水 質

海洋の基礎生産と密接に関連する溶存無機態窒素濃度（DIN）と溶存無機態リン濃度（DIP）について、大阪府沿岸の断面分布を図-3に示す。各図とも右側が湾奥部、左側が湾口部に当たる。表層では湾奥部で値が高く湾口部で低くなる傾向が見られ、また、夏季については下層でも高濃度水が出現している。これは上層の有機物が下層に沈降し、そこで分解されることによって無機態栄養塩が水中に回帰することと、底層水の貧酸素化や泥温上昇による海底泥からのリンやアンモニアの溶出に原因する。1972年から96年の間における溶存無機態栄養塩の経年変化に関しては（図-4）、季節による変動が大きく明瞭な傾向が見られないものの、リンについてはやや濃度が低下傾向かとも読みとれる。これは1974年から79年にかけて（78年を除く）、夏季の底層水のリン濃度が、底泥からの溶出などの影響を受けて湾平均値でも2～3 $\mu\text{g-at/l}$ と著しく高濃度であったのに対して、近年はこのような現象が見ら

図-3
大阪府沿岸における冬季（a）と夏季（b）の溶存無機態窒素・リン・酸素飽和度の垂直分布（中嶋, 1997）

図－4 大阪湾での溶存無機態窒素 (a) とリン (b) 濃度の変遷 (大阪水試 (1989))
 実践：表層水，破線：底層水

図－5 夏季底層水の酸素濃度の推移

れないことに一因する。なお、1974年頃は大阪湾へのリンの流入負荷量が最大となった時期でもあり、栄養塩の海への流入→植物プランクトンの大增殖→海底近傍での有機物の分解→底層水の貧酸素化→リンの溶出という展開が読みとれるであろう。

海底泥からのリンの溶出や魚介類の生存に深く係わる底層水の溶存酸素は大阪湾ではどのような分布をするのだろうか？ 四季別の底層水の平均的な酸素飽和度の分布を調べてみると、冬季・春季・秋季は大阪湾の多くが70～100％近くの値を示し、夏季を除いて底層水の酸素が著しく欠乏することはなかった。しかし夏には、水深20 m以下の湾奥海域や東部海域の一部が酸欠状態となり、飽和度が30％（約1.5 ml O₂/l）以下に低下してしまう。この夏季の貧酸素は魚や貝にとってありがたくない現象であり、その影響は甚大と推察される。夏季に酸素濃度が最も低くなることから、1972年以降の8月上旬の底層水の酸素濃度を湾奥域・東部海域・西部

海域・湾口域にわけて、それぞれの経年変化を検討した（図－5）。湾西部域や湾口域では70年代前半から現在に至るまで夏季の酸素濃度に大きな変化が見られず3.5 ml O₂/l前後で推移していることがわかる。それに対して湾東部域や湾奥域は僅かに回復する傾向が見られるが、近年でもそれぞれ3 ml O₂/lと1 ml O₂/l前後で、特に湾奥域は貧酸素化がとて回復したとはいえない現状である。

3. 底 質

大阪湾の21定点で海底堆積物を採取し、細砂と泥の比率・強熱減量（IL）・全硫化物濃度（TS）・酸化還元電位（Eh）などを調べたので、その結果を図－6に示す。大阪湾はおおよそその右半分が粒径0.074 mm以下の細砂や泥で覆われていることがわかるであろう。この海域はほぼ水深が20～30 mより浅いところに対応し、淀川や大和川などから運ばれた懸濁物や内部生産された植物プランクトン起源の懸濁物は沈降・再懸濁などを繰り返しながらこの浅海域に堆積する。これに対して潮流が強い両海峡部周辺は岩・礫・小石・砂などからなり、粒径0.074 mm以下の海底堆積物の割合は10％以下に低下する。強熱減量・全硫化物濃度・酸化還元電位などの底質の有機汚濁指標についても粒度分布と深く関連する。粒径0.074 mm以下の海底堆積物が90％以上の割合を占める海域は強熱減量6％以上、全硫化物濃度0.2 mg S/g 乾泥以上、酸化還元電位－300 mV以下のところとはほぼ一致した。泥率組成と有機汚濁指

図-6
大阪湾海底堆積物の細砂・泥分率・強熱減量 (IL)・
全硫化物濃度 (T-S)・酸化還元電位 (Eh)

標項目との関係については、泥分の比率が上昇するにしたがって、堆積物の強熱減量・フェオフィチン濃度・有機リン・有機窒素・有機炭素濃度などがほぼ直線的に増加することが知られている。ただ、大阪湾では強熱減量が約9%，フェオフィチン濃度が約50 $\mu\text{g/g}$ 乾泥，有機リンが約0.2 mg/g 乾泥，有機窒素が約1.8 mg/g 乾泥，有機炭素が約14 mg/g 乾泥にそれぞれ達したのちは、泥率がほぼ100%と変わらないにも関わらず有機汚濁指標値が増加した。このことは、上記の有機汚濁物質濃度までは内部生産された植物プランクトン起源の微細有機物粒子の沈降・堆積量によってこれらの指標値が決定されることを示している。星加ら (1994) によると、大阪湾での懸濁粒子の年間堆積量は360 t で、その速度は湾奥部よりもむしろ湾中央部で高く、堆積物に移行する懸濁粒子の77%は洪水などのイベント発生時に供給されるとしている。また、平均的な堆積速度は1.6～25.5 $\text{g/m}^2 \cdot \text{日}$ で、年に1～2 cm の速度で海底に蓄積するとされているが、堆積速度を13 $\text{g/m}^2 \cdot \text{日}$ とし、堆積物のN・P含有量をそれぞれ3.0 mg N/g 乾泥と0.82 mg P/g 乾泥とすると、湾全域への沈降量はN 58 t/日 、P 15.8 t/日 と各々試算される。大阪湾へのNとPの流入負荷量は1987年時点でそれぞれ167 t/日 と17.9 t/日 と報告されており、この年について考えると、流入した窒素の35%，同じくリンの88%に相当する量が湾内に堆積したことになる。

3. 生物

水質・底質の分布やその季節的变化は当然のことながらそこに棲む生物に大きな影響を与える。植物プランクトンを「赤潮の原因生物」と言う聞こえが悪いが、一方では「海の牧草」と考えられ海洋生物の貴重な食糧源となっている。図-7に大阪湾に生息する植物プランクトンの種類数・細胞数およびこれらから導き出される多様度指数 (J' 指数 = $H'/\ln S$, ここで $H' = -\sum n_i/N \ln n_i/N$, N ; 総個体数, n_i ; i 番目の種類の個体数, S ; 種類数) の分布を示す。これらは1979～1991年の各季節ごとに大阪湾の20定点の表層で採取した海水1 ml 中に出現する植物プランクトンの細胞数を種類別に計数し求めたものである。図から、栄養に富む湾北部海域ほど多種類のプランクトンが分布し、総細胞数が多く、窒素やリンと同様に明瞭な北高南低型のパターンを示すことがわかる。また、湾奥域と南部域では種類数では約2倍、細胞数では21倍以上の差が見られる。このように、富栄養化が著しい湾奥域ほど植物プランクトンの種類と数が多い結果となったが、植物プランクトン群集の均衡性を示す相対多様度に関しては湾奥域が0.35～0.40であるのに対して、湾口域では0.62の値となった。これは、湾奥域ほど出現植物プランクトンが多く、赤潮が多発し、特定の種が偏って卓越することを示している。

生態学的に植物プランクトンの上位に位置するのが動物プランクトンである。城・宇野 (1993) によれば、湾全域の動物プランクトン現存量は乾燥重量で5月が2140 t 、8月が5290 t となり、夏の増加が著しい。この夏の高い現存量は主にゴカイの幼生、矢虫類、ミジンコ類、カイアシ類によって構成され、それらで全体の80～90%を占めたと報告されている。この現存量データを用いて生産量を算出してみると、動物プランクトンの1日・1 m^2 当たりの生産量は181 mg C/日 で、大阪湾全域では272 t C/日 の値となる。動物プランクトン (一次消費者) は植物プランクトン (基礎生産者) を摂食するが、動物プランクトン生産量/植物プランクトン生産量を植物および動物プランクトン間の生態効率 (ecological efficiency) と呼び、生態系での物質循環の良否を示す指標の一つとして使用されている。これについて、北部太平洋では0.10～0.35、カリフォルニア海流域で0.096、ペルー海流域で0.18、そして瀬戸内海

図－7 大阪湾での植物プランクトン種類数・細胞数・種多様度の分布（表層水）

で0.22などの値が知られており、これと比較して大阪湾の生態効率（0.09）はあまり高い値ではない。富栄養で植物プランクトンによる基礎生産が高い大阪湾では低次生態系での物質の循環が悪く、人間に喩えるとやや糖尿病的症状なのかも知れない。

表1 大阪湾の各海域におけるマクロベントスの生息状況

海域	海域面積 (km ²) (%)	冬 季		夏 季	
		生息密度 (g/m ²)	海域現存量 (ton)	生息密度 (g/m ²)	海域現存量 (ton)
湾奥沿岸域	567 38.3	1.9	1077	3.0	1701
北部域	75 5.1	22.1	1658	27.1	2033
南部沖合域	472 31.9	9.2	4342	5.1	2407
湾口域	206 13.9	15.3	3152	43.9	9403
明石海峡部	160 10.8	28.4	4544	47.2	7552
合計			14773		22736

*玉井・永田（1978）のデータから城（1986）が試算したものを引用。

次に、大阪湾の藻場はどのような分布状況にあるのだろうか？ 過去の環境庁の調査によると、大阪湾の藻場は神戸沿岸域、淡路島沿岸域、大阪泉南沿岸海域の3カ所に大別され、多少藻場とは言い難いアオサ場を含めると474ha残っているとされている。ただ、1978年以降も沿岸域の開発によってかなりの藻場が消失し、大阪湾南部海域では泉佐野市から阪南市を中心に約40％が消滅した。一方、藻場の造成も積極的に行われており、関西国際空港島の護岸外周（11.2km）では、垂直護岸を除く浅場にカジメ・ワカメ・クロメ・シダモク・タマハハキモクなどを主体とする海藻が繁茂し、約20～22haにわたる藻場の形成が確認されている（養父ら、1999）。この面積は大阪湾の藻場面積の約5％に相当し、また湿重量にすると400～600tの量に達する。

海の底に棲む生物はベントス（Benthos）と呼ばれ、体のサイズや生息場所などから色々に区分されている。大阪湾のマクロベントス現存量は湿重量で約15000～23000tで、海域面積が40％近くを占める湾中央～湾奥の底生動物量は全体の7.5％程度にしか過ぎないのに対して、面積比率が約25％の両海峡部周辺で総現存量の52～73％を占めている（表1）。この結果は両海峡部の生物資源的な重要性を示すものであろう。

基礎生産者である植物プランクトン量が多いため、単位面積あたりの生物生産が活発な大阪湾である。図－8に1965年からの漁獲量の推移を示したが、大阪湾での著しく高い漁場生産力はプランクトン食である多獲性魚類の漁獲に起因し、貝類や海藻（養殖生産物を除く）は採捕量が減少したのちいまだに回復していないことが見てとれる。内湾に多いアサリなどの貝類生産が大阪湾で少ない原因としては、

図－8 大阪湾での類別漁獲量の推移（中国四国農政局統計情報部資料より作成）

農業や環境ホルモンの影響、水質汚濁の進行などとともに浅場面積が少ないことに関連するのかも知れない。運輸省第三港湾建設局(1996)の資料によれば、東京湾、伊勢湾、大阪湾の水深10m以浅の浅水面積は東京湾が360km²、伊勢湾が620km²、大阪湾が140km²で、海域面積に対する比率は東京湾と伊勢湾が約30%であるのに対して大阪湾は10%に過ぎない。一方、過度の富栄養化は内湾の底層水を貧酸素化することから底生魚介類にとって好ましいものではないとされている。城(1991)は1952年から82年の漁獲統計資料とリン負荷量の経年変化から、エビ・カニ類では負荷量が3 t/日、タコでは4 t/日、カレイやシャコ類では13~14 t/日の年に最も漁獲量が多かったと報告している。ある年の漁獲量は汚濁物質の流入負荷量だけでなく、水産資源の加入量や疾病などによる死亡の有無、ならびに産卵・成育場となる浅場面積の増減などに関連するため総合的な検討が必要ではあるが、一定量以上の汚濁負荷量は、特定の底生魚介類の生存環境の悪化を招く危険性は否定できない。

5. 渚の変化

昭和の初めは大阪港や堺港周辺に人工護岸が存在するだけで、大阪の中南部の海岸には白砂青松の砂浜や岩礁が見られたのに、1960年頃からの経済発展にともない海岸の様相が一変してしまった。1945年から1991年の間における大阪湾の埋め立て面積は85km²で、大阪湾の水域面積の6%近くが消失したことになり、近年でも神戸空港の272haを始めとして埋め立てが進行中である。埋め立ては浅場の消失や海岸線の人工化を加速した。1991年4月に徒歩や船などで調べてみると、大阪府の渚線の総延長は約260kmで、そのうち岩礁海岸や砂浜はそれぞれ2.3%と2.7%に過ぎなかった。また、全海岸線の70%近くを垂直護岸が占め(総延長約180km)、垂直護岸や消波ブロック護岸の波打ち際より少し下の層では、ムラサキガイが当時大量に繁殖し、この生物の現存量は大阪府海域だけで9600 tに達することがわかった。1万tタンカー約1隻分の貝が大阪府の垂直護岸や消波ブロック護岸などに分布していたわけであるが、このムラサキガイの現存量は大阪湾の全海底に分布する小型底生動物の1/4~1/5の量に相当した。この貝はもともと北方起源であったためか、水温が28~30℃を越え、干潮の時

に強い日差しを受けさらに体温が上昇すると死亡し、大量の個体が海底に脱落する。これをムラサキガイによる二次汚濁と呼ぶが、現に大阪湾のある垂直護岸では、7月から9月にかけて個体数が1/14~1/17に、重量が1/2~1/4にそれぞれ減少してしまうことを1989~91年にかけての調査で確認した。そして、この貝が繁殖した大阪湾北部海域の垂直護岸の近傍では、夏季に海底近くの海水が貧酸素化する。このような状況で、上から大量の二枚貝が落ちて分解し、さらに貧酸素化が進むとしたら、そこに棲む底生生物にとっては死活問題であるに違いない。富栄養化した内湾の垂直護岸には環境保全上このような問題があり、港湾機能上必要な箇所を除いて垂直護岸はできるだけ別の護岸構造にしたほうがよいと考えられる。

6. 生物から見た望ましい大阪湾の水環境

大阪湾堺泉北港では、「人と生物が共存する健全で豊かな港湾」の形成を目標に約10haの人工干潟と浅場の造成が計画されている。このほか、大阪港や阪南港などでも浅場や人工干潟の造成計画がある。大阪湾北部域周辺では冬季から春季に大型底生動物が増加し、マコガレイ・ガザミの小型個体やサルエビなどが大量に漁獲されるものの、夏季には底層水の貧酸素化のため生物相が著しく貧困になる。大阪湾において、底生魚介類の生存にとって最も問題なのは酸素濃度と考えられるので、底生魚介類が浅海域で健全に生息するために必要な酸素濃度を検討してみた。湾奥海域の代表的な底生魚介類6種の20~25℃における24時間後の半数致死酸素飽和度(24h-LC₅₀)を表2に示す。表からこれらの半数致死酸素飽和度は、ヨシエビ稚仔が7~12%(0.35-0.60 ml O₂/ℓ)以下、ガザミ小型個体が9~13%(0.44-0.65 ml O₂/ℓ)、クルマエビ稚仔が14~21%(0.70-1.05 ml O₂/ℓ)、サルエビが16~19%(0.87-1.03 ml O₂/ℓ)、マハゼが18~21%(0.90-1.06 ml O₂/ℓ)、マコガレイ未成魚が23~26%(1.2-1.3 ml O₂/ℓ)であることがわかる。実験温度が異なるため厳密な比較は無理であるが、この結果はマコガレイがヨシエビ・ガザミ・クルマエビ・マハゼなどよりも貧酸素に弱く、夏季にマコガレイが健全に生存する酸素濃度のもとでは他の多くの水産動物も生存可能であることを示している。マコガレイ未成魚についてもう少し詳しく述べると、酸素飽和度30%

表2 大阪湾湾奥域の代表的底生魚介類6種の貧酸素耐性

生物名	体長・全長・ 甲幅 (mm)	水温 (℃)	半数致死酸素濃度 濃度 ($\text{ml O}_2/\ell$)	飽和度 (%)
ヨシエビ	25-40 ¹⁾	25 ± 1	< 0.35-0.60	< 7-12
クルマエビ	27-50 ¹⁾	25 ± 1	0.70-1.05	14-21
サルエビ	55-69 ¹⁾	20 ± 1	0.87-1.03	16-19
ガザミ	47-68 ³⁾	25 ± 1	0.44-0.65	9-13
マハゼ	80-139 ²⁾	25 ± 1	0.90-1.06	18-21
マコガレイ	45-72 ²⁾	22.4-24.3	1.2-1.3	23-26

1) 体長, 2) 全長, 3) 甲幅

($1.6 \text{ ml O}_2/\ell$) まではマコガレイの全数が生存したものの、飽和度25% ($1.3 \text{ ml O}_2/\ell$) では6尾中3尾が、また同19% ($0.98 \text{ ml O}_2/\ell$) では6尾全部が死亡した。また、酸素飽和度19~49% ($0.98\text{-}2.5 \text{ ml O}_2/\ell$) の貧酸素水での呼吸頻度は、飽和度が92~93%の時より1.5~1.6倍多くなった。このようにマコガレイでは、酸素飽和度が40~50% ($2.1\text{-}2.6 \text{ ml O}_2/\ell$) 以下に減少すると呼吸運動が活発になり、酸素補給の低下を補うために呼吸頻度の増加が認められた。したがって、大阪湾湾奥域の代表的な海洋生物であるマコガレイを使って大阪湾湾奥海域が保持すべき酸素条件を検討すると、夏季に1日以上の期間継続して飽和度が30% ($1.6 \text{ ml O}_2/\ell$) を下回ることがなく、月平均値としては50% ($2.6 \text{ ml O}_2/\ell$) 以上に保持することが望ましいと考えられる。一方、1999年に大阪湾湾奥域の大型底生動物相の変遷と底層水の酸素濃度との関連が詳しく調べられているが、これによると群集の多様性に変化が現れ始めるのは約 $3 \text{ ml O}_2/\ell$ であり、約 $2 \text{ ml O}_2/\ell$ で種類数と個体数の低下が顕著になり、さらに約 $1 \text{ ml O}_2/\ell$ で群集が壊滅的な打撃を受け、無生物あるいはそれに近い状況になることが明らかとなった(矢持ら、印刷中)。この現地観測の結果は富栄養化閉鎖性内湾において、夏季の底層水の酸素濃度として大型底生動物を保全するため、約 $3 \text{ ml O}_2/\ell$ の濃度が必要であることを示唆している。城(1986)は大阪湾への流入負荷量を1/2にし、海底からの溶出と底泥の酸素消費を何らかの方法で抑制すれば夏季の底層における貧酸素化がなくなるとした数値予測モデルを

活用して、望ましい大阪湾の環境について言及している。それによると、1/2の流入負荷に相当するリン負荷量は約9tであり、この流入負荷量は1960年前半のそれに対応している。また、1960年代前半の大阪湾湾奥海域の海水中の平均リン濃度は $0.7\text{-}0.8 \mu \text{ gat P}/\ell$ ($22\text{-}25 \mu \text{ gP}/\ell$) と推定され、基礎生産者である植物プランクトンのNP比(原子比で16:1)から海水中の窒素濃度を求めると約 $13 \mu \text{ gatN}/\ell$ ($182 \mu \text{ gN}/\ell$) となる。この窒素 $13 \mu \text{ gatN}/\ell$ 、リン $0.8 \mu \text{ gatP}/\ell$ は劣化した環境にある大阪湾湾奥部の改善目標値として参考にすべき値と考えられる。

参 考 文 献

- 1) 運輸省第3港湾建設局：大阪湾環境図説(1996)
- 2) 大阪府立水産試験場：平成8年度大阪府立水産試験場事業報告, p.1-18 (1998)
- 3) 城 久, 宇野史郎：大阪湾における動物プランクトンの現存量とそれから見積られる生産量。日本プランクトン学会報, 30, 41-51 (1983)
- 4) 城 久：大阪湾における富栄養化の構造と富栄養化が漁業生産に及ぼす影響について。大 wat 試研報, 7, 1-174 (1986)
- 5) 城 久：大阪湾の開発と海域環境の変遷。沿岸海洋研究ノート, 29, 3-12 (1991)
- 6) 玉井恭一, 永田樹三：大阪湾底生生物底質調査, 昭和52年度関西国際空港漁業環境影響調査報告(環境生物編), 日本水産資源保護協会, p.179-213 (1978)
- 7) 中嶋昌紀：大阪湾の成層構造と水質の変動。海と空, 73, 15-21 (1997)
- 8) 藤原建紀, 肥後竹彦, 高杉由夫：大阪湾の恒流と潮流・渦。海岸工学論文集, 36, 209-213 (1989)
- 9) 星加 章, 谷本照巳・三島康史：大阪湾における懸濁粒子の堆積過程。海の研究, 3, 419-425 (1994)
- 10) 山根伸之, 寺口貴康, 中辻啓二：大阪湾湾奥部のエスチュアリー循環と栄養塩収支, 海岸工学論文集, 45, 1061-1065 (1998)
- 11) 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：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イガイの成長と脱落。海の研究, 4, 1-10 (1995)
- 12) 矢持 進, 小田一紀, 柳川竜一, 山根和夫, 田代 孝行, 新瀬幾雄：大阪湾湾奥域の環境特性と大型底生動物群集の時系列変化。海岸工学論文集(印刷中)
- 13) 養父恒夫, 林 利加, 二宮早由子, 帯津直彦：空港島縁傾斜護岸の藻場造成。関西国際空港開港5周年記念国際シンポジウム関連ワークショップ講演要旨(1999)