

# 噴流式水流発生装置による港湾域での 生物生息環境の改善

矢持 進\* ・岡本庄市\*\* ・山下貴幸\*\*\*  
久保佳洋\*\*\*\* ・小田一紀\*\*\*\*\*

## 1. まえがき

1992年6月の国連環境開発会議(地球サミット)をはじめとした地球環境問題の顕在化や,沿岸域の環境保全と総合管理に対する社会的ニーズの高まりに伴い,「劣化した沿岸環境の修復」のための技術開発が必要・不可欠となってきた。このような中,閉鎖性富栄養海域である大阪湾北部海域の水路や泊地では,冬季から春季にかけて小型のエビ・カニ類など海洋生物が多種・多数分布するものの,夏季には底層水の貧酸素化によって底生動物が死滅し,生物相が著しく貧困になることが環境保全上の大きな問題として残っている(有山ら,1997)。

そこで本研究では,夏季の酸素濃度の上昇による生物生息環境の改善を目標として,大阪湾堺泉北港の最奥部に位置し,富栄養化が著しく進んだ堺出島漁港(水域面積79635m<sup>2</sup>・最深部の水深約4m)において,水流発生装置を設置する前年と設置2年目夏季の水温・塩分・酸素飽和度,底質,マクロベントス相(小型底生動物相)ならびにメガベントス相(大型底生動物相)などを調査し,その動態を比較することによってこの装置による環境修復効果を検討した。

## 2. 調査の方法

### 2.1 装 置

ポンプ浮体・ホース・水流発生機などから構成される三菱重工製水流発生装置(MJS-100型)を1998年5月13日に堺出島漁港の水深約4.0mの点に設置した(図-1, 2)。水流発生機は長さ2m内径60cmの整流筒と噴流ポンプならびに駆動水管などから成り,この装置による日導水量は42000m<sup>3</sup>とされている。設置に当たっては,整流筒の中心部が海底上0.8mに位置するよう工夫し,またホース長を20mとすることで送水負荷を低減した。なお,装置から10m離れた点の水深2.5m層における潮止まり時の流速は5.3cm/secであった。

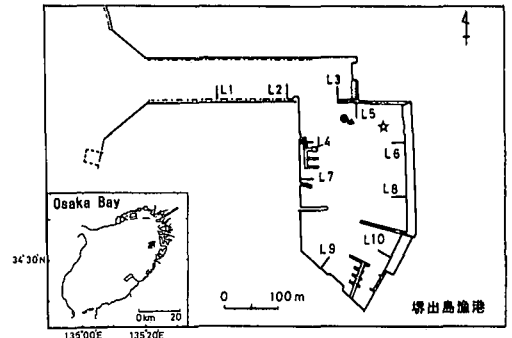


図-1 堺出島漁港 (●:水流発生装置設置点, ☆:水質・底質・マクロベントス測定点, L1-L10:メガベントス採取定線)

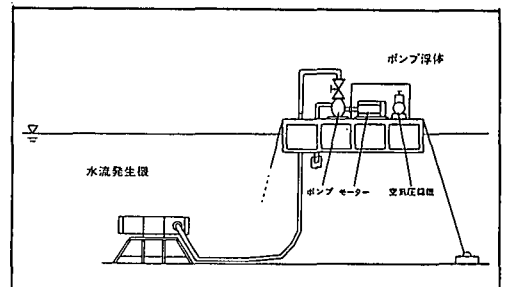


図-2 水流発生装置の概要

### 2.2 観 測

水流発生装置から約70m離れた観測点で,1996年6-9月と1998年7-8月に海底上0.5m層の水温・塩分・酸素飽和度を1時間間隔で連続測定した。観測機器としては1996年の水温と塩分は環境計測システム社製記録式水温塩分計(DSTR)を,同じく1998年はアレック電子製超小型メモリー計測器MDS-CT型をそれぞれ用いた。酸素については両年もアレック電子製メモリーDOメータSDM-100型を用いて観測した。また,この期間毎週1回観測機器の保守・点検を行うとともに,観測点の水温・塩分と酸素飽和度の垂直分布をそれぞれアレック電子製STD計AST-1000S型と長島商事製DOメータND-10型を用いて計測した。さらに1996年6-9月と1998年6-8月に観測定点で月1回KK式コーサンプ

\* 正会員 農博 大阪市立大学助教授 工学部環境都市工学科  
 \*\* 国際航業(株)海洋エンジニアリング部  
 \*\*\* 工修 三菱重工業(株)長崎造船所  
 \*\*\*\* 大阪府環境農林水産部水産課  
 \*\*\*\*\* 正会員 工博 大阪市立大学教授 工学部環境都市工学科

ラーと港研式採泥器を用いて海底堆積物を採取し、それぞれ底質とマクロベントスの測定に供した。なお、硫化物濃度・全有機炭素濃度・全窒素濃度の測定には海底堆積物の表面から1 cm 層までの試料を用い、硫化物は荒川(1980)に、全有機炭素と全窒素濃度は小椋(1986)に準じて分析した。また、マクロベントスは1 mm 目の篩上に残存した動物について種類別の個体数を測定した。メガベントスについては図-1に示した漁港内の10定線(L1-L10)で1996年は6-8月に7回、1998年は同期間に6回、幅10 cmの滑走板付き小型曳き網(開口部:間口;50 cm, 高さ;15 cm, 網:目合い;0.7-1.5 cm, 長さ;2 m)を約0.7 m/secの速度で1定線当たり70 m 曳網することによって採取し、種類別の個体数を測定した。

### 3. 結 果

#### 3.1 水温・塩分・酸素飽和度の変動

観測地点の海底から0.5 m 上層における水温と塩分の6時間移動平均値の推移を図-3と4に示す。1996年6-9月の水温については、6月上旬の18°C台から8月上旬の28°Cまで日数の経過に伴い上昇し、その後26-28°C前後で推移した後、9月に入ると次第に低下する傾向が見られた。塩分は梅雨期にあたる6月下旬から7月下旬に大きく変動したものの、8月7日以降はほぼ30 psu以上で推移し、9月は概ね30-32 psuの範囲であった。1998年7月1日から8月17日の水温の6時間移動平均値は23-29°C, 同塩分は25.0-31.1 psuの範囲を変動し、1996年に比べて7月の水温変化が小さかった。両年とも水温が増加すると塩分が低下し、逆に水温が低下すると塩分が上昇するという負の対応関係が見られた。

同じく海底上0.5 m 層の酸素飽和度の推移を図-5と6に示す。水流発生装置を設置していない1996年は7月中旬以降に値が著しく低下し、7月下旬から9月中旬の多くにおいて下層が無酸素に近い状況となった。この期間中の平均酸素飽和度は、6月が20%, 7月が10%, 8月が3%, 9月が14%であった。これに対して、水流発生装置を設置した1998年夏季は、強い貧酸素化が継続して発現することは少なく、一旦貧酸素化してもしばらくすると飽和度の回復が認められた。底層水の平均酸素飽和度は7月が18%, 8月が16%で、1996年に比べ1998年は7月が8%, 8月が13%それぞれ上回っていた(8月1-17日の値と比較)。1996年に比べ1998年における貧酸素水の厚みの減少が週1回の鉛直分布の測定時に見られ(図-7)、1996年8月などは海底上0.5-2.5 m 層までの酸素飽和度が10%以下となったのに対して、1998年は飽和度10%以下の貧酸素水が確認されたのは8月上旬の海底付近のみであった。

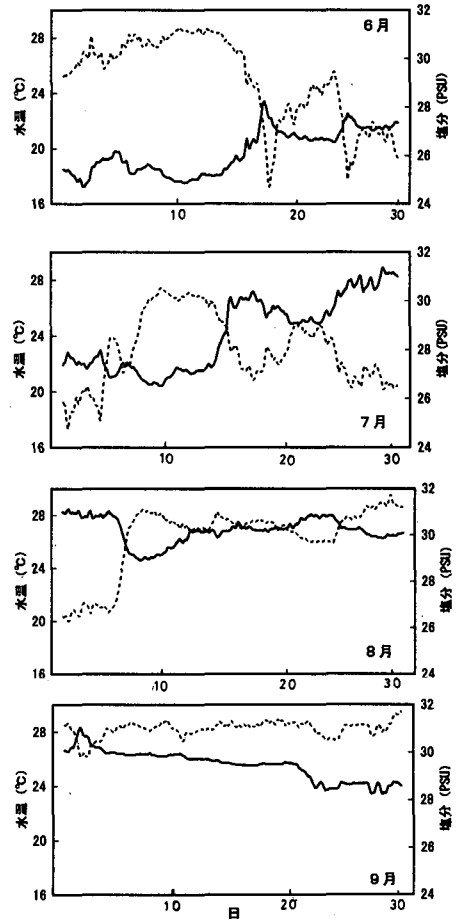


図-3 1996年6-9月の水温と塩分の推移  
(海底+0.5 m 層, 実線:水温, 破線:塩分)

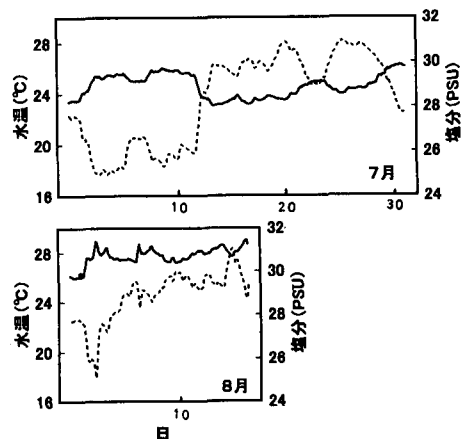


図-4 1998年7-8月の水温と塩分の推移  
(海底+0.5 m 層, 実線:水温, 破線:塩分)

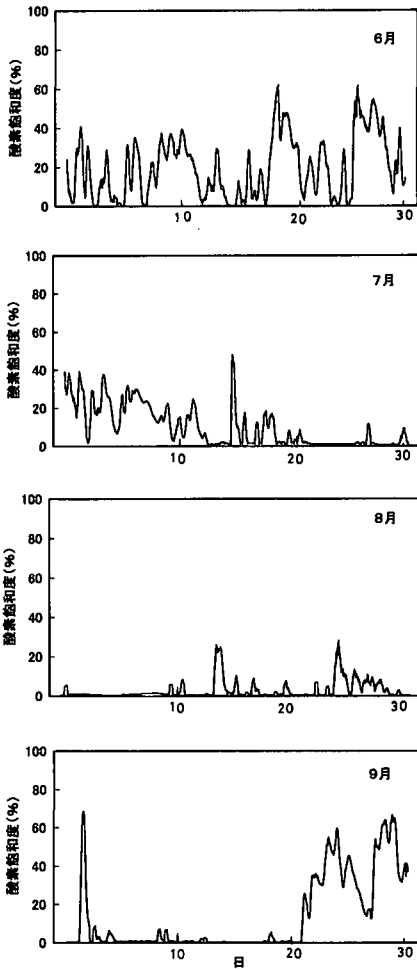


図-5 1996年6-9月の海底上0.5m層での酸素飽和度の推移

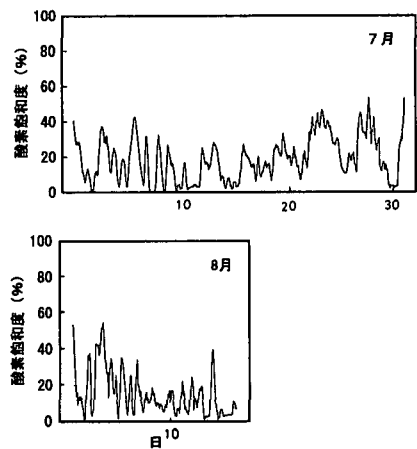


図-6 1998年7-8月の海底上0.5m層での酸素飽和度の推移

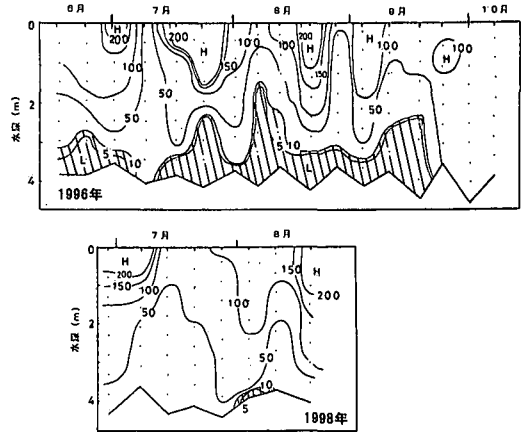


図-7 1996年6-9月と98年7-8月にかけての酸素飽和度の垂直分布の推移 (図中の斜線は10%以下の貧酸素水)

3.2 底質とマクロベントス相の変化

表-1に観測点で採取した海底堆積物(0-1cm層)の遊離硫化物・全硫化物・全有機炭素・全窒素濃度を、表-2に同じくマクロベントスの出現状況を示す。遊離硫化物は1996年6-9月がND-0.16 mg/g乾泥, 1998年6-8月が0.26-0.30 mg/g乾泥, 全硫化物は1996年6-9月が0.84-2.7 mg/g乾泥, 1998年6-8月が1.2-1.9 mg/g乾泥, 全有機炭素は1996年6-9月が21-34 mg/g乾泥, 同98年6-8月が22-33 mg/g乾泥, そして全窒素は1996年6-9月が2.4-4.0 mg/g乾泥, 1998年6-8月が1.9-2.6 mg/g乾泥の範囲を示した。一方, マクロベントスについては, 1996年が定点で全く採集されず, 1998年についても6月に環形動物門多毛綱カザリゴカイ科とケヤリ科の一種が1個体/0.1m<sup>2</sup>と5個体/0.1m<sup>2</sup>, 7月には同スピオ科の一種が5個体/0.1m<sup>2</sup>の個体群密度でそれぞれ出現したに過ぎなかった。

3.3 メガベントス相の変化

メガベントスに関しては表-3に示したように, 1996年に比べ水流発生装置を設置した1998年において生物相の回復が見られた。即ち, 出現種類数は1996年が0-

表-1 海底堆積物の硫化物・全有機炭素・全窒素濃度

調査年月日	遊離硫化物	全硫化物	全有機炭素	全窒素
	(mg/g乾泥)			
1996年6月10日	ND	0.84	21	2.7
7月8日	0.04	1.9	34	3.8
8月12日	0.16	1.7	33	4.0
9月10日	0.13	2.7	21	2.4
1998年6月29日	0.30	1.2	33	2.6
7月24日	0.28	1.8	25	2.0
8月7日	0.26	1.9	22	1.9

表-2 マクロベントス出現状況

調査年月日	種類数 (/0.1 m <sup>2</sup> )	個体数 (n/0.1 m <sup>2</sup> )	優 占 種
1996年6月10日	無生物		—
7月8日	無生物		—
8月12日	無生物		—
9月10日	無生物		—
1998年6月29日	2	6	カザリゴカイ科の1種と ケヤリ科の1種
7月24日	1	5	スピオ科の1種
8月7日	無生物		—

表-3 メガベントスの出現状況

調査年月日	種類数 (/35 m <sup>2</sup> )	個体数 (n/35 m <sup>2</sup> )	優 占 種
1996年6月3日	3	4	アカニシ
6月17日	1	1	イトマキヒトデ
7月1日	7	7	イシガニ・ケフサイソガニ
7月15日	0	0	—
7月29日	1	1	ケフサイソガニ
8月12日	1	1	ケフサイソガニ
8月26日	1	1	イソガニ
1998年6月12日	12	132	チチュウカイミドリガニ・ マハゼ・ケフサイソガニ
6月29日	13	144	チチュウカイミドリガニ・ マハゼ・ケフサイソガニ
7月10日	12	132	チチュウカイミドリガニ・ マハゼ・ケフサイソガニ
7月24日	15	80	マハゼ・チチュウカイミドリ ガニ・ケフサイソガニ
8月7日	15	77	チチュウカイミドリガニ・ マハゼ・ケフサイソガニ
8月24日	17	89	チチュウカイミドリガニ・ マハゼ・ケフサイソガニ

7種であったものが1998年は12-17種に、平均出現個体数は1996年が2.1個体/35m<sup>2</sup>であったのに対し、1998年は109個体/35m<sup>2</sup>にそれぞれ増加した。個体数の増加に寄与した動物は主としてマハゼ (*Acanthogobius flavimanus*) とチチュウカイミドリガニ (*Carcinus mediterraneus*) であり、また有用水産動物であるマコガレイ (*Pleuronectes yokohamae*) の未成魚やヨシエビ (*Metapenaeus ensis*) とガザミ (*Portunus trituberculatus*) の小型個体が1998年には捕獲された。なお、1998年7月13日に漁業者によって港内で捕獲されたマコガレイ24尾は、平均全長と標準偏差が89.1±10.7mmの小型個体であった。

#### 4. 考 察

今村 (1998) は望ましい沿岸域環境を創造するための要素技術を整理し、全20種類の技術に分類されると述べており、この中には曝気やエアレーションなどによる酸素供給施設も当然含まれている。一般に、富栄養な港湾域周辺において夏季の海底近傍に出現する貧酸素 (無酸

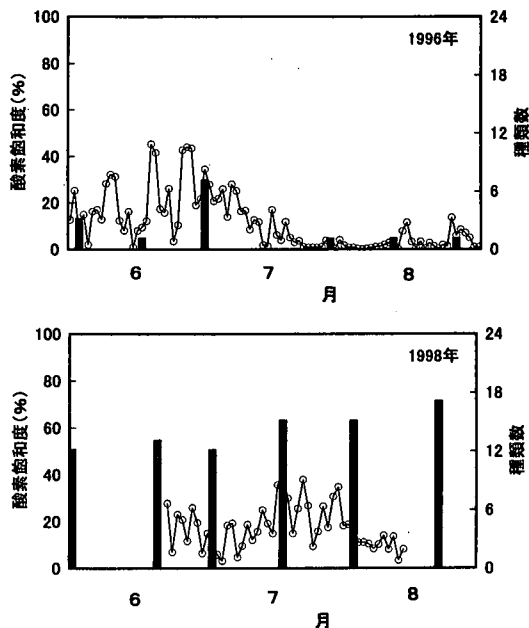


図-8 日平均酸素飽和度とメガベントスの出現種類数の推移 ■：種類数、○：酸素飽和度

素) 水塊を解消するための技術としては、海底面表層に堆積した有機物による酸素消費を覆砂や浚渫などによって抑制する方法(大和田, 1994; 村上ら, 1998), 護岸構造物を工夫し, 潮汐や波浪エネルギーを利用して港内の海水流動を促進する方法(山本ら, 1994; 小田ら, 1995), ポンプ循環や空気揚水筒を用いて水を強制的に混合し, 鉛直循環流を起こすことによって解消する方法(河合ら, 1990) に大別され, これらの一部については底生生物への改善効果が報告されている。

図-8に堺出島漁港における日平均酸素飽和度とメガベントスの出現種類数の推移を1996年と1998年の6-8月について示した。図からわかるように1996年は総じて生物相が貧困であるが、前日に日平均酸素飽和度が2%以下に低下した1996年7月15日から8月26日までの期間(飽和度が20%以下で推移)は、小型のケフサイソガニ (*Hemigrapsus penicillatus*) かイソガニ (*Hemigrapsus sanguineus*) が各1個体出現するかも知れないかのいずれかであった。さらにイトマキヒトデ (*Asterina pectinifera*) が1個体しか採集されなかった1996年6月17日は、その2日前に酸素飽和度が1%に低下していた。これに対して値の時間的変動が激しく(図-6), 1996年7-8月に比べ期間中の酸素飽和度の平均値が9.6%増加した1998年7-8月はメガベントスの出現種類数と個体数が大きく増加した。このことは見かけ上、堺出島漁港での底生生物の生息環境の改善に関して酸素が決定的な要因であることを推察させる。

通常、河川水が流入する夏季の大阪湾湾奥浅海域において底生生物の生存に強い影響を及ぼす主な水環境要素としては水温・塩分・酸素が挙げられるが、1996年と1998年7月1日-8月17日の堺出島漁港底層の水温と塩分範囲は、1996年の水温が20.4-29.1°C(平均値:25.0°C)、同塩分が24.6-31.2 psu(平均値:28.5 psu)、1998年は水温が23.1-29.6°C(平均値:25.7°C)、塩分が24.8-31.1 psu(平均値:28.5 psu)であり、この値と図-8から環境水の酸素濃度と高水温により上昇した生物の酸素要求量との関係が重要と考えられる。Yamochiら(1995)および矢持ら(1998)は大阪湾湾奥域の代表的底生魚介類6種の20-25°Cにおける貧酸素耐性を調べ、堺出島漁港に出現したマハゼ・マコガレイ・ガザミならびにヨシエビの24時間後の半数致死酸素飽和度(24h-LC50)をマハゼが18-21%(0.90-1.06 mlO<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>)、マコガレイ未成魚が23-26%(1.2-1.3 mlO<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>)、ガザミ小型個体が9-13%(0.44-0.65 mlO<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>)、ヨシエビ稚子が7-12%(0.35-0.60 mlO<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>)以下とそれぞれ報告している。このうちヨシエビとガザミは比較的貧酸素耐性に優れていると考えられるが(漁場環境容量策定委員会, 1989)、これら4種の半数致死酸素飽和度を水流発生装置設置後の夏季の観測点底層の日平均酸素飽和度と対比すると、ヨシエビを除く3種は生存に厳しい酸素濃度であったと推察される。観測定点点下層の酸素濃度が低いにもかかわらずこれらの生物が出現した点については、1)水流発生装置によって酸素飽和度が時間的に大きく変動したことから(図-6)、1日のうちの一定時間は生存可能な酸素濃度になったかも知れないこと、2)観測は港内の最深部近くで行っており、遊泳能力があるこれらの種は水温的に生存可能な範囲で酸素飽和度の高い浅所へ移動できること、3)定線における小型底曳き網の曳網は波打ち際(護岸)から沖合い35mまでのところで行われ、港内の浅所に一時的に移動または逃避した個体を採取した可能性があることなどが一因として考えられる。

## 5. 結 論

今回、噴流式水流発生装置(MJS-100型)を用いて環境の劣化が進んだ堺出島漁港において生物生息環境の改善を試みたところ、装置から70m離れた観測点の海底面上0.5m層の酸素飽和度が、装置を設置しない年に比べて上昇し、さらに貧酸素水の鉛直的な厚みも減少した。

また、観測点(最深部近傍)の底質やマクロベントス相には回復が見られないものの、港内10定線で調べたメガベントス相には装置によると考えられる改善効果が認められた。ただ、底質とマクロベントスには変化が見られないことから、港内最深部近傍の底質やマクロベントス相をも回復させ、生物生息環境を今以上に改善するには本装置の設置と覆砂や底質改良材の散布などの複合措置が望ましいと考えられる。本来、劣化した沿岸環境の修復は風・波・潮流などの自然エネルギーを用いて行われるべきであるが、富栄養な大阪湾の堺泉北港の内港である出島漁港のような場合、大幅な流入負荷量の削減や潮流・波浪による流動促進が当面期待できない現状で生態系の復元を図るには、次善の策として必要最低限の人工エネルギーを使った改善法を利活用しなければならないのかも知れない。

## 参 考 文 献

- 荒川 清 (1980): 底質調査法, 水質汚濁調査指針, 恒星社厚生閣, pp. 254-271.
- 有山啓之・矢持 進・佐野雅基 (1997): 大阪湾奥部における大型底生動物の動態について I, 甲殻類と魚類の種類数・個体数・湿重量の季節変化, 沿岸海洋研究, 第35巻, pp. 75-82.
- 今村 均 (1998): 望ましい沿岸域環境像のための環境創造技術からのアプローチ - 現状技術についての整理 -, テクノ・オーシャン'98, pp. 29-32.
- 大和田紘一 (1994): 石灰散布等による底質改善の試み, 沿岸海洋研究ノート, 第32巻, pp. 39-41.
- 小椋和子 (1986): 堆積物分析, 沿岸環境調査マニュアル, 恒星社厚生閣, pp. 57-59.
- 小田一紀・真栄平宣之・中西昭人・田中彬夫 (1995): 波浪によるパイプ式透過堤の海水導入特性, pp. 1116-1120.
- 河合 章・来田秀雄・前田広人 (1990): 小区画の汚染防除技術, 海面産殖と養殖場環境, 恒星社厚生閣, pp. 110-121.
- 漁場環境容量策定委員会 (1989): 漁場の適正溶存酸素濃度の検討, 漁場環境容量策定事業報告書(第1分冊), pp. 932-1003.
- 村上和男・細川恭史・高野誠紀 (1998): 三河湾の覆砂による底質改善効果に関する追跡調査, 沿岸海洋研究ノート, 第36巻, pp. 83-89.
- 山本 潤・武内智行・中山哲蔵 (1995): 漁港内の生物生息環境改善のための海水導入工, Ecoset 95, Proceedings volume II, p. 622-627.
- 矢持 進・有山啓之・佐野雅基 (1998): 大阪湾湾奥沿岸域の環境修復-堺泉北港干潟造成予定地周辺の水質・底質ならびに底生動物相とマコガレイの貧酸素に対する応答-, 海の研究, 第7巻, pp. 293-303.
- Yamochi S, H. Ariyama and M. Sano (1995): Occurrence and hypoxic tolerance of the juvenile *Metapenaeus ensis* at the mouth of the Yodo River, Osaka. Fish. Sci., Vol. 61, pp. 391-395.