

潟湖的地形を有した都市型塩性湿地造成における問題点と 解決に向けた提案

柳川 竜一*・矢持 進**・橋 美典***

大都市臨海域における低未利用地での干潟や湿地の造成は、都市型の自然再生として有効な利用方法と考えられる一方、このような浅海域では、高密度に生育するアオサの被害が報告されている。本論では、大阪湾湾奥域に造成された塩性湿地(南港野鳥園)での調査結果から底質の環境悪化や底生動物とアオサ繁茂との関連を検討し、底生生態系の修復・保全並びに付加価値の高い浅場造成に関して検討した。これより、底生動物及び藻類は生存に適したそれぞれの好適空間を有すること、アオサの濃密な繁茂は底質表層の貧酸素化及び底生生態系の劣化を引き起こすことが示唆された。野鳥園では環境保全のために、地盤高を D.L.+0.4~0.5 m 程度とするのが望ましいと考えられた。

1. はじめに

大阪湾ベイエリア開発推進機構(2003)によると、大阪湾ベイエリア地域における低未利用地は調査対象区域の約 35%に達し、特に臨海部での利用率が低いと報告されている。臨海域で数多く残存する低未利用地の有効利用と沿岸域の環境修復という観点から、これら地域における干潟や湿地の造成は、都市型の自然再生として有効な利用方法と考えられる。しかしながら、埋め立て地内に造成された大阪南港野鳥園北池では、アナアオサを主とするアオサの濃密な繁茂が景観を損なったり、底質環境を悪化させており、定期的に海藻の取り上げがなされている(アオサバイオマス研究会, 2003)。このようなことから、大阪南港野鳥園での生態学的な問題点を浮き彫りにし、新たな干潟・湿地の造成計画に際して維持管理が容易で費用対効果が高い設計条件を提示することは、工学的に意義が高いと考えられる。

本論ではアオサが繁茂する環境に注目し、底質の環境悪化や底生動物の生息空間との関連を検討するとともに、底生生態系の修復・保全並びに付加価値の高い浅場の造成に関して検討を行った。

2. 調査および実験手法

(1) 現地調査

2003 年 6 月 11 日の干潮前後、南港野鳥園北池(約 4.0 ha)の湿地部に配置した 45 地点を対象に、底質及び生物調査を行った(図-1)。底質については、アクリル製コアサンプラー(直径 10 cm)で表層から約 2 cm までの堆積物をできる限り乱さないように採取し、東亜電波工業製 RM-10P 型を用いて酸化還元電位(ORP)の測定をするとともに、JISZ8801 に基づき粒度組成を調べた。生物については、小型底生動物及び藻類の現存量を測定した。小型底生動物は、底質調査と同様に 2 回採泥した底質を

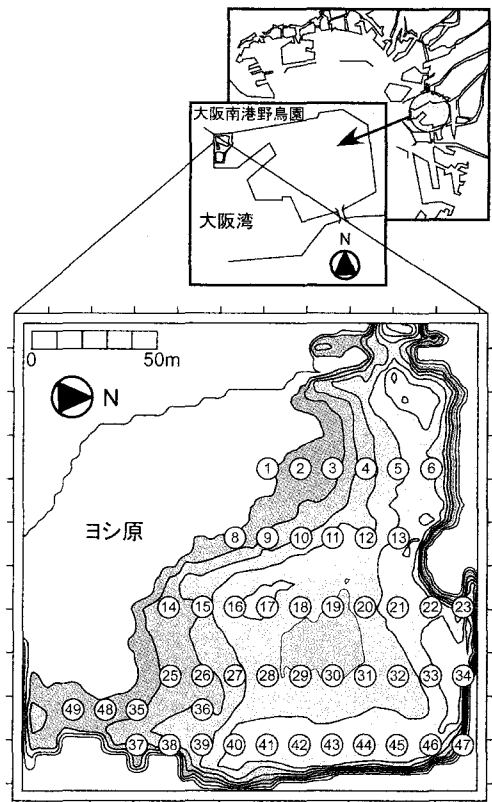


図-1 大阪南港野鳥園北池及び調査地点図

1 mm 目の篩に通し、その残渣を 10%ホルマリンで固定して持ち帰り、分類群別の個体数及び湿重量を測定した。海藻は、各定点において 0.5 m×0.5 m の方形枠内で採集された試料を類別化し、湿潤状態での現存量を測定した。底生微細藻類の現存量(底質 chl.-a 濃度)は、表層から 5 mm 層までの堆積物をアクリル製コアサンプラー(直径 1 cm)で採取し、アセトン抽出後、蛍光光度計(TURNER DESIGN 製, 10-AU 型)により測定し、単位

* 工修 株式会社中電シーティーアイ
** 正会員 農博 大阪市立大学教授 大学院工学研究科
*** 大阪市立大学大学院工学研究科

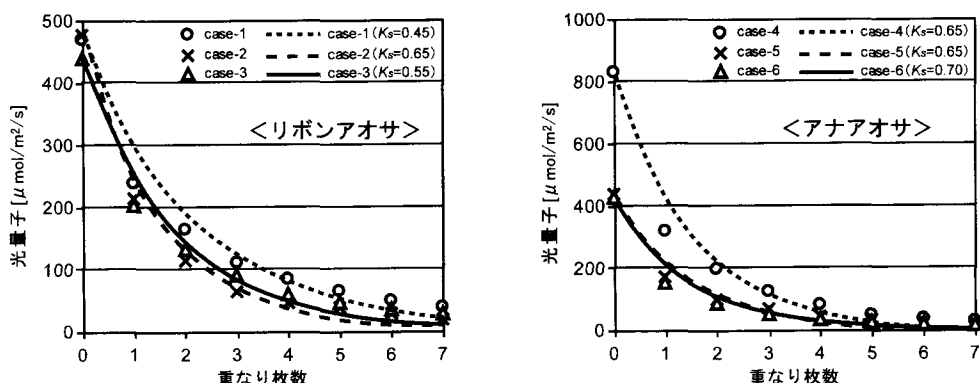


図-2 アオサの重なり程度に伴う透過光量の減少 (○, ×, △点) とその回帰線 (点線)

面積当たりに換算して算出した。地盤高は、2002 年度に測定した水準測量による資料を用いた。また、残差流の流速は、Nakata ら (1983) による 3 次元非定常流動モデルを野鳥園北池に適用して得た。なお、Sts. 1・2・8 は湿地の縁辺部にあたるため干出時にアオサが特異的に残存する地点、Sts. 22・23・48・49 は浮遊性のアオサが集積する地点、Sts. 40 はリボンアオサのみが繁茂する特異な地点であったため、解析から除外した。

(2) アオサによる光減衰実験

アオサが底質上を覆うことによる底質表層での光量子の減少を明らかにするために、現地実験を行った。対象海藻として、北池で採捕されたりボンアオサ (*Ulva fasciata* Delile) とアナアオサ (*Ulva pertusa* Kjellman) を用いた。採捕海藻は水面下で 0 枚～7 枚重ね合わせ、その底部に光量子計 (LICOR 製、LI-250 型) を設置し、藻体を透過する光量子を随時測定した。なお、海水の濁度による光量子の減衰効果を極力抑えるため、実験に用いたアオサの設置水深は水面下 5 cm～10 cm 程度とした。

3. 結果及び考察

(1) アオサの重なりによる透過光量子の変化

重なり枚数が 0 であるときの光量子は、太陽光度や天候によって変化するため、ケース毎に若干異なった。藻体を透過する光量子は、各ケースとも重なり枚数の増加に伴い指数関数的な減少傾向を示した。今回の実験によると、3～5 枚程度のアオサが湿地の底質上を覆った場合、底質表面に届く光量子は、アオサが覆っていない場合の 1 割程度に減衰することがわかった。また、底質表層へ到達する光量子は、アオサに依存する消散係数と、重なり程度を考慮することで、式 (1) で示す回帰式で予測することができた。

$$I = I_0 \exp(-k_s L) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 I はアオサ藻体を透過する光量子 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

s)、 I_0 は水面下 0 m における光量子 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)、 L はアオサ藻体の重なり枚数である。なお、本検討による海藻の消散係数 K_s は、リボンアオサで 0.45～0.65、アナアオサで 0.65～0.70 の値が得られた (図-2)。

(2) アナアオサの繁茂と底質・地盤高・流速・小型底生動物・藻類及び底生微細藻類との関連性

各調査地点において、0 g-wet/ m^2 ～3520 g-wet/ m^2 のアナアオサが採捕された。そして、アナアオサがより多く繁茂する海域は、底質の泥分率が高く、地盤高が低く、潮通しが悪く、底質の嫌気性が高い傾向にあることが明らかになった (図-3、図-4、図-5、図-6)。言い換えると、アナアオサは海域の静穏性が高い潮間帯～潮下帯を好んで生息することが示唆された。

北池ではドロクダムシ科 (甲殻類) やイトゴカイ科 (多毛類)、ユスリカ科 (昆虫類) 等の小型底生動物が多く棲んでいることは柳川ら (2002) によって明らかになっている。そこで、アナアオサの現存量とこれら小型底生動物の現存量との関係を比較した。甲殻類はアナアオサの現存量が 1000 g-wet/ m^2 程度まで、多毛類ではアナアオサの現存量が 700 g-wet/ m^2 程度まで、地盤高の低下に伴い現存量が増加した。ただ、これより地盤高が低下すると、アナアオサの現存量が多くなりすぎるためか、甲殻類と多毛類の現存量が共に減少した (図-7、図-8)。一方、昆虫類の現存量は、アナアオサの現存量が増加すると共に次第に増加しており傾向が異なった (図-9)。北池に生息する昆虫類は、汚濁指標種である汽水性のユスリカ幼虫及びその成虫で占められており、甲殻類や多毛類とは生態学的な属性が異なると考えられる。また、スジアオノリはアオサに次いで多くの地点で生育しており、その現存量は、アナアオサの現存量が低い海域で高く、アナアオサの現存量が 1000 g-wet/ m^2 前後を超えると生育しないことが明らかになった (図-10)。堆積物上に生育する底生微細藻類の現存量は、アナアオサの現存

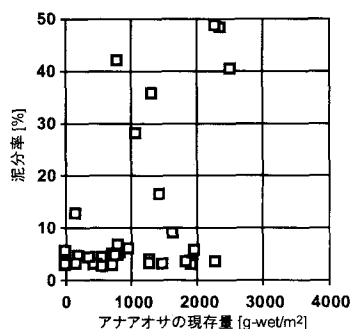


図-3 アナアオサの現存量と底質の泥分率

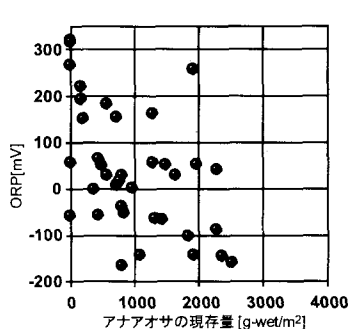


図-4 アナアオサの現存量と底質のORP

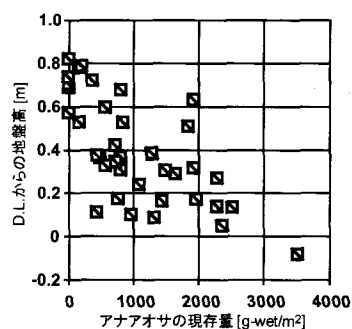


図-5 アナアオサの現存量と地盤高

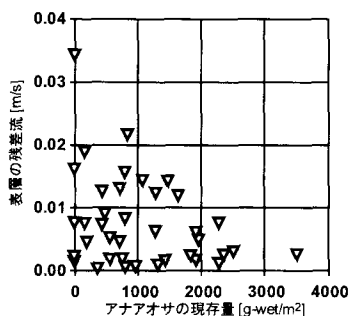


図-6 アナアオサの現存量と表層の残差流

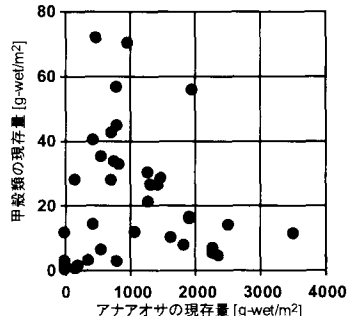


図-7 アナアオサの現存量と甲殻類の現存量

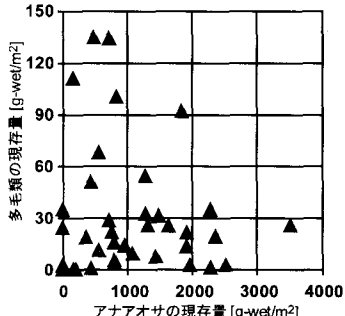


図-8 アナアオサの現存量と多毛類の現存量

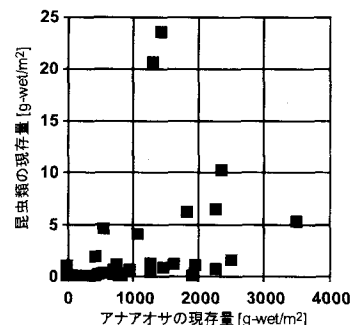


図-9 アナアオサの現存量と昆虫類の現存量

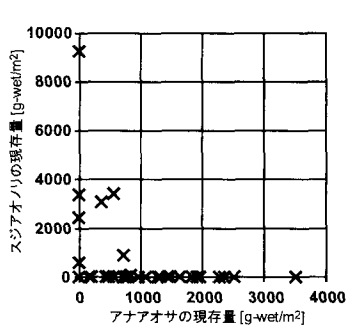


図-10 アナアオサの現存量とスジアオノリの現存量

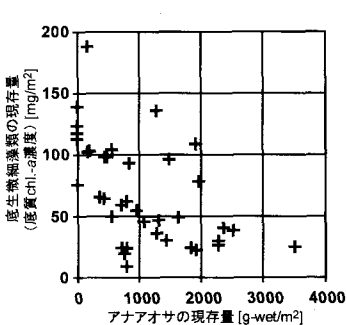
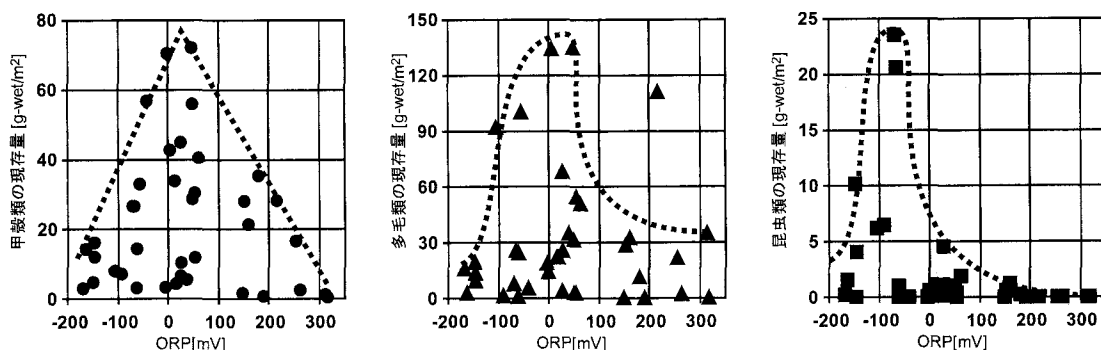


図-11 アナアオサの現存量と底質chl-a濃度

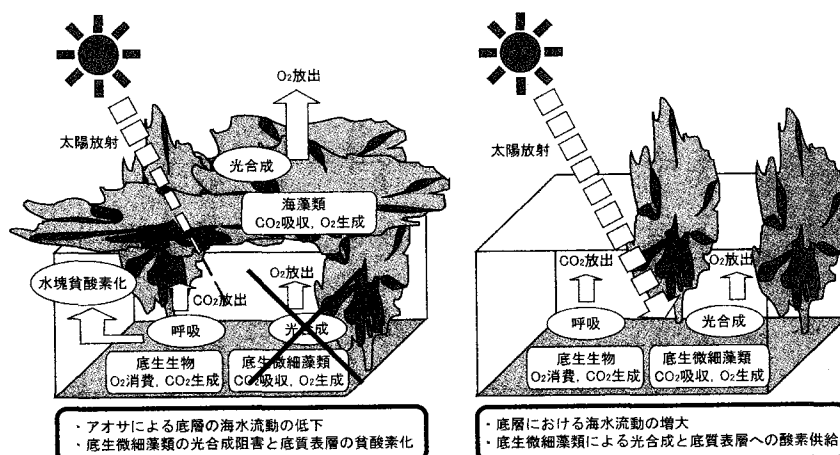
量が増加すると減少した(図-11)。これは、アナアオサが底生微細藻類よりも優先的に光に関する好適空間を占拠できることに一因すると考えられた。

甲殻類や多毛類の死亡に関与する因子として、底質の嫌気性が高まることに伴い発生する硫化水素の毒性が考えられる。また、地盤高が高い場合は干出する時間が長くなるため好気性が強いものの、潮間帯～潮下帯を主な生息場所とする生物にとって、乾燥のストレスは重要な因子になると推察される。そこで、底質の好気性・嫌気性の指標となる ORP と、群類別化した小型底生動物の現存量との関係について検討した(図-12)。その結果、甲殻類の現存量は、底質の ORP が 0 mV～50 mV を頂点と

したピラミッド型の分布を示すことが分かった。多毛類の現存量は、同様に底質の ORP が -50 mV～50 mV の範囲で最も多くなった。一方、昆虫類の現存量は、底質の ORP が -65 mV 程度で最も多く、この動物が生息する底質は、甲殻類や多毛類のそれより還元性が強かった。また、甲殻類や昆虫類の現存量は ORP が高い領域で減少傾向が顕著であったが、高い ORP は地盤高が高く底質が大気に晒されやすいことを示しており、これら動物群は乾燥のストレスを受けやすいことが示唆された。このように、底生動物には分類群別に検討してもそれぞれ好適な酸化還元電位が存在し、甲殻類・多毛類はやや酸化的な底質環境が、昆虫類はやや嫌気的な底質環境の



図一12 底質の ORP と小型底生動物（甲殻類，多毛類，昆虫類）の現存量



図一13 アオサの繁茂が底質と底生生物に及ぼす影響（左図：アオサの繁茂が濃密な場合，右図：アオサが繁茂しないもしくは繁茂が濃密でない場合）

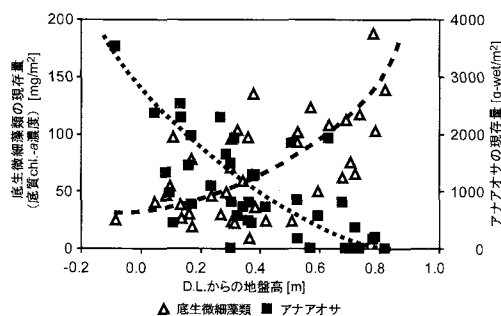
方が生存に適していることが明らかになった。

次に，アナアオサの繁茂が底質環境や底生生物に及ぼす影響を，模式的に図一13に示す。潮下帯～潮間帯に生育する海藻類は，一般的に植食性動物の餌料供給と生活空間の確保，栄養塩除去機能の他に，水域の静穏化を促進することが考えられる。大阪南港野鳥園北池では，春から夏に海藻や底生動物の現存量が多くなり，また個々の生物活性は高まる。そのため，生物生息にとって必要な酸素要求量は増大する。優占的に生育空間を確保できるアナアオサは，底質表面を覆うように繁茂し，アナアオサより下層の海水流動は，表層と比較して極端に制限される。また，アナアオサ藻体を透過して底質へと到達する光量子は極端に低下するため，底生微細藻類は光合成を行うに十分な光量を獲得することができず，底質の貧酸素化がより進行する。糸状の藻類であるスジアオノリやシオミドロ，オゴノリが繁茂している海域の底質が酸化的であったことを考慮すると，アナアオサが濃密に繁茂する底層の水塊は，アオサ藻体によりラップで包ま

れたような状態となり，溶存酸素濃度が高い表層の水塊と，貧酸素化した底層の水塊がアオサ藻体を挟んで形成される。そして，底質は嫌気化に伴い悪化し，移動能力が乏しい底生動物は生息が困難になると推察された。それに対して，アナアオサが繁茂していない，もしくは底質表面にまで十分に光が行き渡る程度でアナアオサが繁茂する場合は，底生微細藻類による酸素供給と海水流動の上昇が期待され，底生生態系が維持されるものと考えられた。

（3）物質循環に優れた塩性湿地造成についての検討

アオサは海水中に含まれる溶存無機態窒素(DIN)の取り込み能力に優れており，夏季の大阪南港野鳥園では，アオサの繁茂に伴い DIN が粒状態窒素(PN)の形態でストックされていると考えられている(矢持ら，2003)。しかしながら，アオサについては枯死・分解後，その栄養物質は再び北池内に回帰するため，一時的に溜め込むだけで北池における栄養物質の削減には役立たない。それに対し，底生微細藻類は周年にわたって小型のエビ類

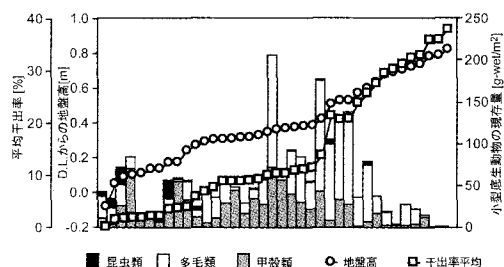


図—14 地盤高の推移に伴うアナアオサの現存量と底質chl.-a濃度の関係

やカニ類に代表される様々な底生動物に摂食され、さらにこれらの底生動物は、野鳥たちの餌となる。従って、夏季に蓄積した栄養物質を冬季にまとめて排出するアオサを繁茂させるよりも、高次栄養段階へ物質の流れが転送される底生微細藻類を積極的に繁茂させることにより、生態系を豊かにすることができると考えられる。

アオサは底生微細藻類に対して優占して生息空間を獲得することができるため、アオサの繁茂を抑制させる生理・生態的条件を検討する必要がある。Darley (1982)によると、一般的に潮上帯上部に分布する種は数日間の風乾状態からでも回復するが、潮間帯下部や潮下帯の種は2～3時間かそれ以下の乾燥でも死滅するとされている。例えば、野鳥園で採取したアナアオサの藻体を、表面の水滴を染み取った後に白色プラスチックトレイに載せ、晴天の下に晒したところ、藻体は30分もしないうちに乾燥した。その後再び海水へと浸したが、1日後には白く変色し、クロロフィル色素が抜けてしまった。また、トレイに水深1cm程度となるように海水を浸して、その後アナアオサを1週間程度放置したところ、目視で確認できるほど生長はしなかったが、色素が抜けてしまうこともなかった。矢持ら(未発表)は、大阪湾に生育するアナアオサの日間成長率を水深別で検討しているが、水面下2mでの成長率は、水面下1mでの成長率を上回る場合もあるとの結果が得られている。より浅い海域で生育するアオサほど水表面付近での流体運動の影響を受けるため、生長率は低くなるのかもしれない。図—14で示すように、地盤高の上昇はアナアオサの繁茂を抑制し、結果として底生微細藻類の増殖を活発にすることから、地盤高や干出時間の設定による乾燥のストレスが、アオサの生長・増殖を妨げる有効な手段であるといえよう。

次に、アナアオサの濃密な繁茂が抑制され、小型底生動物の現存量が最も多くなる環境が干潟・湿地生態系において物質循環に優れ、環境修復された場と捉え、これ



図—15 地盤高及び干出率の推移に伴う小型底生動物の現存量変化

らを満足する地盤高、干出率及び干出時間について最適な指標を検討した(図—15)。地盤高がD.L.+0.78m以上の海域では小型底生動物は乾燥によるストレスのためかほとんど生息しなかったが、D.L.+0.36m～0.53mにかけて現存量は平均116.9 g-wet/m²と、小型底生動物が多量に生息した。一方、それより低い地盤高では、小型底生動物の現存量は14.4 g-wet/m²～84.5 g-wet/m²の範囲を示したものの、汚濁指標種である昆虫類の割合が増大するため、環境修復の場としては望ましくないと考えられた。現存量が極大分布を示した地盤高において、2002年における平均干出率は10%～20%であり、時間になおすと1日あたり2.4時間～4.8時間に相当した。なお、その地盤高におけるアオサの現存量は平均978 g-wet/m²であったものの、底質のORPは平均40 mVと酸化的であったことから、底質表層の貧酸素化を引き起こすレベルではなかった。これらのことから、都市型塩性湿地を造成するにあたり、土木工学的に最も簡便な手法は地盤高の設定であり、野鳥園のような地理的・地形的環境を有する場ではD.L.+0.4m～0.5m程度が望ましいと考えられた。

参 考 文 献

- アオサバイオマス研究会(2003): 平成15年度アオサ活用に関する調査報告書, p. 84.
- 大阪湾ベイエリア開発推進機構 (2001): 大阪湾臨海部における低未利用地の動向調査, オーベイ, 第16号, pp. 15-16.
- 柳川竜一・矢持 進・中谷恵美・小田一紀 (2002): 大阪南港野鳥園湿地の環境特性と生物多様性を重視した浅場環境の造成条件, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1281-1285.
- 矢持 進・柳川竜一・橋 美典 (2003): 大阪南港野鳥園湿地における物質収支と水質浄化機能の評価, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 1241-1245.
- Darley, W. M. (1982): 藻類の生理生態学, 手塚泰彦・渡辺泰徳・渡辺真利代共訳, 培風館, 199 p.
- Nakata, K., F. Horiguchi, K. Taguchi and Y. Setoguchi (1983a): Three-dimensional tidal current simulation in Oppa Bay. Bull. Nat. Res. Inst. of Pollution and Resources, Vol. 12, No. 3, pp. 17-36.