

大阪府港湾海域における付着生物の出現特性

矢持進¹・新開理絵²

大阪湾中北部沿岸域にある閉鎖的な港湾海域の、護岸近傍の水面付近に出現する付着生物の出現種数を、港湾閉鎖度や陸域からの淡水流入量ならびに窒素・リン負荷量との関係から検討し、生物相の貧困化要因について解析した。大阪府の都市近傍の港湾海域では、付着動物の種数について港湾閉鎖度、水面積あたりの淡水流入量や窒素・リン負荷が増大するに伴い減少する傾向が認められた。さらに付着動物の出現種数が減少する原因について特徴的なものとして、淡水の影響は強くないが港湾閉鎖度が大きく、かつ汚濁物質の水面積負荷が高いことによるケースと、多量の淡水流入に伴う塩分低下と汚濁物質の水面積負荷が大きいことによるケースに分けられた。

1. はじめに

大阪湾の中北部沿岸域では、産業発展を目的に過去に大規模な埋め立てや港湾整備が進み、浅海域がほとんど消失した。また、2004-2005 年夏季に大阪湾再生推進会議と協同して実施した大阪湾内 144 定点での広域一斉調査により、沿岸域の環境再生のためには港湾海域内の環境改善が不可欠であることが明らかとなった(矢持, 2005)。現在、大阪湾の港湾海域においては環境再生を目標として複数のプロジェクトが計画・進行中である。

本研究では、都市の海岸近傍の生態系再生を目標に、港湾域の水環境を(評価する指標として護岸付着生物を使用し、その出現状況を港湾形状、港湾への淡水流入、富栄養化関連物質の流入負荷などとの関連で解析することによって生物相の貧困化原因を検討した。

2. 解析方法

(1) 解析対象範囲

大阪府の港湾海域を①大阪港、②堺泉北港、③阪南港、④二色～関西国際空港連絡橋(以下空港連絡橋)、⑤空港連絡橋以南の 5 エリアに区分した(図-1)。また、複数の泊地から構成される堺泉北港と阪南港については、さらに泊地別に小エリアを設定した(図-2)。

(2) 港湾水面積、容積、平均水深の算出

大阪湾に直接面し、最も外側の港湾開口部以奥を現地スケールで 110 m メッシュに区分した後、それぞれのメッシュの水面積を測定し、それらを合計したものを各エリアおよび小エリアの港湾水面積とした。次に各メッシュの中心点における水深をそのメッシュの代表水深とし、それぞれのメッシュの水面積との積を合計したものを各港湾海域の容積とした。そして、容積を水面積で除したものをその港湾海域の平均水深とした。ただし、空港連

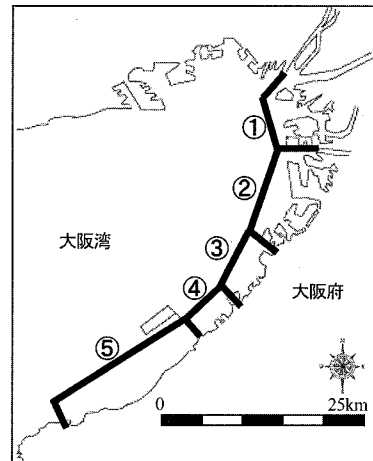


図-1 解析対象とした港湾エリア

①：大阪港，②：堺泉北港，③：阪南港，
④：二色～空港連絡橋，⑤：空港連絡橋以南

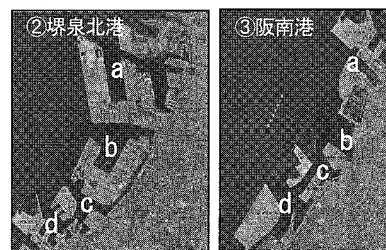


図-2 小エリア区分(堺泉北港：a；堺区，b；泉北区，c；大津泊地，d；大津南泊地，阪南港：a；大津川河口，b；木材コンビナート，c；阪南 1-2 区，d；阪南 3-6 区)

絡橋以南エリアは海岸線の形状がほぼ直線であり、大きな埋立地や護岸に囲まれた港湾海域が少ないため、この操作を行わなかった。

(3) 港湾閉鎖度の算出

湾入した半閉鎖性の沿岸海域は内湾と呼ばれ、その閉鎖性の程度を表す指標として、村上(1998)は閉鎖度指

数を提案している。この指標は湾内の水容積、湾開口部の断面積等の地形条件によってのみ規定されており、海水のタイダルブリズムに関連する潮位振幅等の流れの条件が考慮されていない問題点は残るが、海域の閉鎖度を簡易的に表す指標としては有効とされている。本研究ではこの指標を港湾海域に適用した (式 (1))。

$$e = \frac{\sqrt{S} h_1}{Wh_2} \dots \dots \dots (1)$$

ここで e は港湾閉鎖度指数、 S は港湾内の水面積 (m^2)、 h_1 は港湾内の平均水深 (m)、 W は開口部の幅 (m)、 h_2 は港湾開口部の平均水深 (m) をそれぞれ表す。

(4) 淡水流入量と窒素・リン負荷量の推定

各港湾エリアおよび小エリアにおいて、それぞれのエリアに流入する淡水量と流入水に含まれる全窒素、全リン濃度から富栄養化関連物質の負荷量を求め、水面積または容積あたりの淡水流入量と窒素・リン負荷量を算出した。

解析対象とした港湾海域に流入する河川ならびに下水処理施設名を表-1に示す。また、この表で堺泉北港、阪南港の括弧内の英字は流入する小エリアを表している。

表-1 各港湾エリアに流入する河川ならびに下水処理施設

大阪港	神崎川、淀川、正連寺川、安治川、尻無川、木津川
堺泉北港	大和川(a)、石津川(b)、王子川(c)、新川(d) 石津下水処理場(b)、高石処理場(c)
阪南港	大津川(a)、春木川(b)、津田川(d) 北部処理場(a)
二色～空港連絡橋	近木川、見出川、佐野川
空港連絡橋以南	田尻川、樫井川、大里川、男里川、茶屋川、番川、大川、東川 南部処理場

なお、大阪港エリアの淡水流入量、全窒素ならびに全リン負荷量は大阪湾再生行動計画資料 (2004)、大和川の河川流量、全窒素・全リン濃度は大和川河川事務所水質調査結果 (2005)、その他の各河川水の流量と全窒素・全リン濃度は大阪府公共用水域水質等データベース (2005)、下水処理施設からの放流水の流量、全窒素、全リン濃度は下水道統計行政編 (1999) をそれぞれ引用し、付着生物データと比較検討するため全データが揃う1999年のものを用いた。

(5) 付着生物相

1989年4月に行った大阪府域海岸線出現生物調査の結果を用いて、港湾ごとの付着生物の出現状況を比較した。この調査は大阪府の全海岸線沿いの524地点において、船上または陸上から護岸の水面付近に出現する付着動物および海藻類の出現種数を目視で観察したものである (大阪府水産試験場・近畿大学, 1989)。

各エリアの付着動物、海藻類の出現種数については各

観測地点の出現種数をエリアごとに平均して求めた。そして、この付着生物平均出現種数と、港湾閉鎖度指数、淡水流入量ならびに窒素・リン負荷量との関係を検討した。

3. 結 果

(1) 各港湾の水面積、容積、閉鎖度指数

各港湾エリアの形状的特性として、水面積、容積、港湾閉鎖度指数 e を表-2に示す。村上 (1998) は $e > 2$ を閉鎖性海域、 $e < 0.8$ を開放性海域、 $0.8 < e < 2$ を半閉鎖性海域と分類しており、この分類に準じると大阪港、堺泉北港は半閉鎖性、阪南港、二色～空港連絡橋エリアは開放性の港湾ということになる。しかし各港湾の小エリアについて見ると、堺泉北港の堺区と泉北区、阪南港の木材コンビナートは $e > 2$ の閉鎖性海域であり、特に堺泉北港の泉北区エリアは $e = 5.98$ と非常に閉鎖的であることがわかる。これに対して、阪南港の大津川河口エリアと阪南1-2区エリアは閉鎖度指数が0.75-0.81と閉鎖性が小さい。

表-2 各港湾エリアの水面積、容積、閉鎖度指数

港湾エリア	水面積 (m^2)	容積 (m^3)	港湾閉鎖 度指数
①大阪港	2.1×10^7	1.9×10^8	1.31
②堺泉北港			
a (堺区)	1.9×10^7	2.2×10^8	1.40
b (泉北区)	1.1×10^7	1.1×10^8	2.57
c (大津泊地)	4.1×10^6	6.5×10^7	5.98
d (大津南泊地)	2.4×10^6	2.4×10^7	1.75
d (大津南泊地)	1.7×10^6	1.8×10^7	1.66
③阪南港			
a (大津川河口)	5.6×10^6	4.6×10^7	0.67
b (木材コンビナート)	4.2×10^5	1.5×10^6	0.81
c (阪南1-2区)	1.1×10^6	1.1×10^7	2.77
d (阪南3-6区)	1.6×10^6	1.3×10^7	0.75
d (阪南3-6区)	2.5×10^6	2.0×10^7	1.54
④二色～空港連絡橋	2.1×10^6	1.2×10^7	0.51

次に、各港湾エリアの流入負荷特性として、水面積あたりの淡水流入量、同じく窒素とリン負荷量を表-3に、容積あたりの淡水流入量、窒素とリンの負荷量を表-4に示す。水面積や容積の算出が不適当と考えられる空港連絡橋以南エリアについては流入負荷を求めなかった。また、阪南港の阪南1-2区エリアには淡水の直接流入がなかった。

両表から、水面積ならびに容積あたりの淡水流入量と窒素・リン負荷量は、淀川の影響を強く受ける大阪港において他の港湾エリアに比べ6-32倍大きいことがわかる。また、大和川や大津川の河口にあたる堺泉北港の堺区と阪南港の大津川河口エリアでもそれぞれ水面積ならびに容積あたりの淡水流入量や窒素・リン負荷量がやや大きくなった。さらに、堺泉北港泉北区エリアの面積あたりの淡水流入量は、堺エリアの66%であるが、窒素・

表-3 各港湾エリアにおける水面積あたりの淡水流入量と窒素・リン負荷量

港湾エリア	水面積あたりの淡水流入量 (m/day)	窒素の水面積負荷 (gN/m ² /day)	リンの水面積負荷 (gP/m ² /day)
①大阪港	1.1	3.81	4.0×10^{-1}
②堺泉北港	9.5×10^{-2}	0.65	6.6×10^{-2}
a (堺区)	1.1×10^{-1}	0.75	8.6×10^{-2}
b (泉北区)	7.3×10^{-2}	0.94	7.1×10^{-2}
c (大津泊地)	1.4×10^{-2}	0.12	1.5×10^{-2}
d (大津南泊地)	2.2×10^{-3}	0.01	1.4×10^{-3}
③阪南港	2.9×10^{-2}	0.12	1.1×10^{-2}
a (大津川河口)	2.9×10^{-1}	1.00	8.8×10^{-2}
b (木材コンビナート)	2.4×10^{-2}	0.12	1.2×10^{-2}
c (阪南1-2区)	0	0	0
d (阪南3-6区)	0.9×10^{-2}	0.05	5.1×10^{-3}
④二色～空港連絡橋	7.6×10^{-2}	0.23	3.3×10^{-2}

表-4 各港湾エリアにおける容積あたりの淡水流入量と窒素・リン負荷量

港湾エリア	容積あたりの淡水流入量 (/day)	窒素容積負荷 (gN/m ³ /day)	リン容積負荷 (gP/m ³ /day)
①大阪港	1.3×10^{-1}	4.2×10^{-1}	4.4×10^{-2}
②堺泉北港	8.2×10^{-3}	5.7×10^{-2}	5.8×10^{-3}
a (堺区)	1.3×10^{-2}	7.4×10^{-2}	8.5×10^{-3}
b (泉北区)	4.6×10^{-3}	5.9×10^{-2}	4.4×10^{-3}
c (大津泊地)	1.4×10^{-3}	1.2×10^{-2}	1.5×10^{-3}
d (大津南泊地)	2.1×10^{-4}	1.3×10^{-3}	1.4×10^{-4}
③阪南港	3.5×10^{-3}	1.4×10^{-2}	1.4×10^{-3}
a (大津川河口)	7.5×10^{-2}	2.7×10^{-1}	2.4×10^{-2}
b (木材コンビナート)	2.3×10^{-3}	1.1×10^{-2}	1.2×10^{-3}
c (阪南1-2区)	0	0	0
d (阪南3-6区)	1.2×10^{-3}	5.9×10^{-3}	6.4×10^{-4}
④二色～空港連絡橋	7.0×10^{-3}	4.0×10^{-2}	5.8×10^{-3}

リンの流入負荷量は堺区エリアとはほぼ同等ないしは堺区エリアを上回る数値となった(窒素:堺区; $0.75 \text{ g/m}^2/\text{day}$, 泉北区; $0.94 \text{ g/m}^2/\text{day}$, リン:堺区; $8.6 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2/\text{day}$, 泉北区; $7.1 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2/\text{day}$). ただ, 泉北区エリアは水深が大きいため容積当たりではこれらの数値がそれほど高くなかった. これに対して堺泉北港大津泊地, 同大津南泊地, 阪南港木材コンビナート, 阪南3-6区の窒素・リンの流入負荷は比較的小さかった.

各港湾および小エリアでの付着生物の平均出現種数と最大出現種数を表-5に示す. 大阪湾に直接的に面し, 開放的で半自然的海岸の多かった空港連絡橋以南では生物種が比較的多く出現したのに対し, 連絡橋以北の港湾域では付着動物と海藻類の平均出現種数がそれぞれ1.4-3.2種と0.6-1.1種に減少した. 最大出現種数で見ると, 空港連絡橋以南は以北よりも付着動物で5-9種, 海藻類で5-6種多いことがわかる. この空港連絡橋以北で付着動物や海藻の出現種数が大きく低下する傾向は2005年5月に実施した大阪湾中北部護岸生物目視観察結果(生態系工学研究会, 未発表)と大きくは変わらない.

表-5 海藻ならびに付着動物の平均出現種数と最大出現種数

港湾エリア	付着動物		海藻類	
	平均	最大	平均	最大
①大阪港	2.9	7	0.8	2
②堺泉北港	2.4	5	0.8	2
a (堺区)	2.3	4	0.7	2
b (泉北区)	1.4	4	0.9	2
c (大津泊地)	2.6	4	0.6	1
d (大津南泊地)	3.2	5	0.9	2
③阪南港	2.5	4	0.9	2
a (大津川河口)	2.0	5	0.9	1
b (木材コンビナート)	2.5	3	1.1	2
c (阪南1-2区)	2.5	4	0.9	2
d (阪南3-6区)	2.7	4	1.1	2
④二色～空港連絡橋	2.8	6	0.6	2
⑤空港連絡橋以南	4.1	12	2.1	7

4. 考 察

水面積当たりの淡水ならびに窒素・リン流入負荷量が他海域と大きく異なる大阪港エリアを除き, 関西国際空港連絡橋以北の各港湾エリアについて, 港湾閉鎖度指数, 淡水および窒素・リンの流入負荷量と付着生物の平均出現種数との関係を検討した.

海藻および付着動物の出現種数と港湾閉鎖度指数の関係を図-3に示す. 図から, 海藻類には出現種数と港湾閉鎖度との間に明瞭な関係が認められないことがわかる. また, 多くの港湾では付着動物の出現種数が2.0-3.2, 港湾閉鎖度指数も0.51-2.77の範囲を示したのに対して堺泉北港の泉北区エリアでは閉鎖度が5.98と大きく, 付着動物の平均出現種数が1.4種と他のエリアより小さくなった.

図-4に水面積あたりの淡水流入量と海藻・付着動物平均出現種数の関係を示す. 水面積あたりの淡水流入量が大きくなるにつれて付着動物の平均出現種数の減少する傾向が見られ, 特に大津川河口に位置し, かつ南大阪湾岸流域下水道北部処理場からの下水処理水が流入する阪南港大津川河口エリアでは淡水流入に伴う塩分の低下が著しく, 多種類の付着動物が出現できなくなったと推察された. また, 堺泉北港の泉北区エリアは水面積あたりの淡水流入量が 0.073 m/day とそれほど大きくないにもかかわらず付着動物の出現種数が少なかったが, これには前述の港湾閉鎖性が関与するものと考えられる.

図-5, 図-6にそれぞれ窒素, リンの水面積負荷と海藻・付着動物平均出現種数の関係を示す. 海藻は各エリアの出現種数に大きな差異がないため富栄養化関連物質との関係が見られなかった. 付着動物については, 窒素, リンともに水面積負荷が大きくなると付着動物の出現種数が減少する傾向が見られ, 特に窒素においてその関係が明瞭であった. 堺泉北港の泉北区エリア, 阪南港の大津川河口エリアでは窒素の水面積負荷はそれぞれ0.94

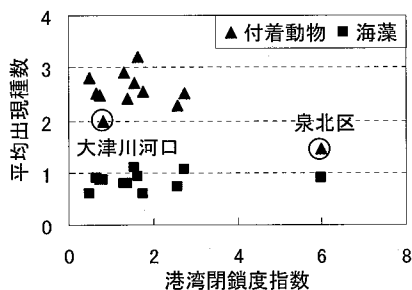


図-3 港湾閉鎖度指数と海藻・附着動物平均出現種数の関係

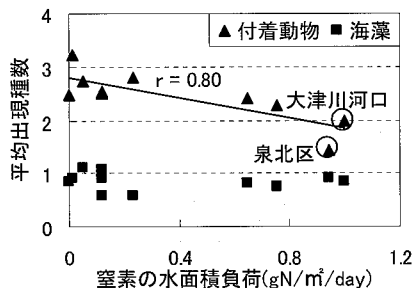


図-5 珪素の水面積負荷と海藻・附着動物平均出現種数の関係

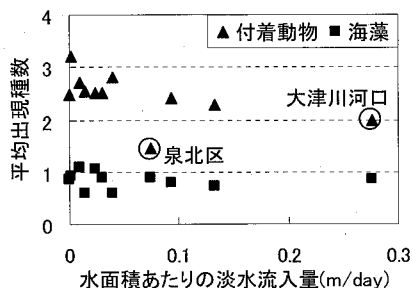


図-4 水面積あたりの淡水流入量と海藻・附着動物平均出現種数の関係

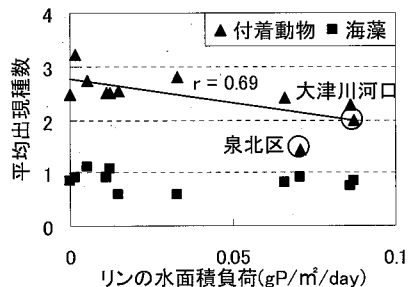


図-6 リンの水面積負荷と海藻・附着動物平均出現種数の関係

gN/m²/day, 1.00 gN/m²/day, リンの水面積負荷は 0.071 gP/m²/day, 0.088 gP/m²/day と高く, 附着動物の出現種数が小さかった。

図-7, 図-8, 図-9 に容積あたりの淡水流入量, 珪素・リン負荷と海藻・附着動物の平均出現種数の関係を示す。阪南港の大津川河口エリアにおいて容積あたりの淡水流入量が 0.075/day と著しく大きくなったが, このエリアは河口に位置し水深が浅いため, 容積が他の港湾海域に比べて小さく, 容積あたりの淡水流入量が大きくなったと考えられる。結果として, 容積あたりの淡水流入量と海藻・附着動物の出現種数には明瞭な関係が認められなかった。

容積あたりの珪素, リン負荷と海藻・附着動物の平均出現種数との関係については, 栄養物質の負荷が大きくなるほど附着動物の平均出現種数が減少する傾向が見られたが, 相関関係は水面積あたりのそれに比べ弱かった。これには, ①今回の附着動物出現種数の観察は護岸の水表面付近を対象に行われた。②河川や下水処理場から負荷される富栄養化関連物質の動態は密度の軽い淡水の挙動に支配されており, 淡水は水表面近くに分布する, などの理由が考えられ, 港湾海域において護岸の水表面付近の生物相を淡水や栄養物質の流入負荷との関連で検討する場合は, 容積よりも面積あたりで解析する方が良いと考えられた。なお, 堺泉北港の泉北エリアは他の港湾エリアと比べ水深が大きいことから, 回帰直線から外れた

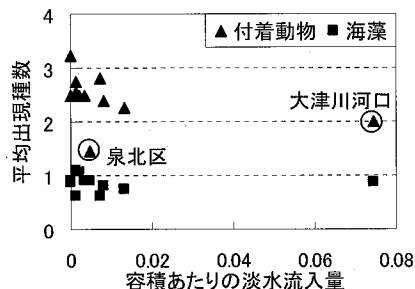


図-7 容積あたりの淡水流入量と海藻・附着動物平均出現種数の関係

値となった。

以上の結果から, 富栄養大阪湾中北部の港湾海域では閉鎖度, 淡水流入量, 珪素・リン負荷量の大きい港湾ほど附着動物の平均出現種数が小さくなることがわかった。この場合, 容積よりも水面積あたりの負荷量, リンよりも珪素の方が附着動物の出現状況との対応関係が良いことが示唆された。また, 特徴的な水域としては堺泉北港の泉北エリアと阪南港の大津川河口エリアをあげることができる。前者は面積あたりの淡水流入量が多くなく, さらに栄養物質負荷量が大きいことから, 比較的高濃度の珪素・リンを含む淡水が流入し, これに加えて閉鎖性が著しく強いことため附着動物相が貧困になったと推察された。

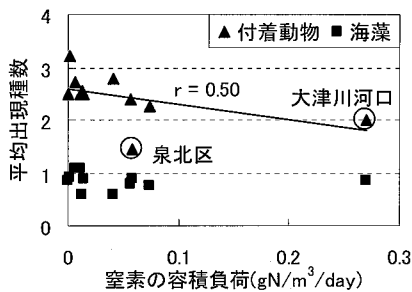


図-8 窒素の容積負荷と付着生物平均出現種数の関係

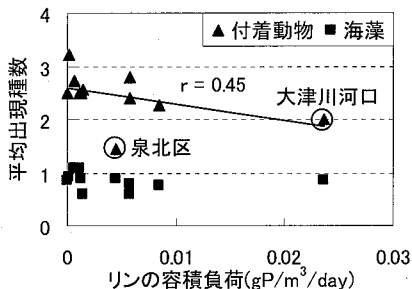


図-9 リンの容積負荷と付着生物平均出現種数の関係

一方、後者の大津川河口エリアについては、閉鎖度は大きくないが、河口に位置することに一因して面積あたりの淡水流入量と窒素・リン負荷量が大きく、塩分の低下と海水汚濁によって付着動物が生息しづらくなつたと考えられた。河口域では塩分変動が激しく、付着動物は体液の塩類濃度維持のための浸透圧調節で大きな生理的ストレスを受けやすい。そのため、汚濁がなくても河口域では一般的に出現種数の減少することが知られている(マクラスキー, 1999)。なお、大阪府港湾域で海上から目視観察できる海藻類については、その平均出現種数と港湾閉鎖度指数、淡水流入量、窒素・リンの水面積負荷などとの間に明瞭な関係が認められなかった。このことは、大阪湾に直接面する当時の中北部の護岸前面では、塩分変動、海水汚濁による透過光の減衰、微細な沈降粒子の堆積による胞子の発芽阻害、動物との種間競争など

のため、特定海藻の大量増殖は起こるものの、多様な種の定着・生長が許されない状況にあったことを示すのかも知れない。

5. ま と め

都市近郊の富栄養な内湾において、港湾内の護岸水面付近に生息する付着動物平均出現種数の著しい減少を、港湾閉鎖度、淡水流入量ならびに窒素・リン負荷量などの面から解析したところ、①付着動物の平均出現種数は、総じて港湾閉鎖度、水面積あたりの淡水流入量と窒素・リン負荷量の増大に伴って低下する、②この場合、汚濁物質濃度の比較的高い河川水または下水処理水が流入し、港湾閉鎖度が大きいことによって付着動物相が貧困になる、③港湾閉鎖度は大きくないが、河川水または下水処理水の流入に伴う汚濁物質濃度の上昇や塩分の低下による生理的ストレスの増大に起因して付着動物の出現種数が減少するケースのあることがわかった。

最後に、筆者の一人が当時、現地調査を企画し、これに関与したとはいえ、解析のための資料提供を快諾して頂いた大阪府立水産試験場に謝意を表します。

参 考 文 献

- 大阪府環境情報センター：大阪府公共用水域水質等データベース、http://www.epcc.pref.osakajp/center_etc/water/data_base/index.html, 2005.
- 大阪府水産試験場・近畿大学(1999)：渚の環境構造とその役割に関する調査研究報告書, pp. 1-144.
- 大阪湾再生推進会議(2004)：大阪湾再生行動計画の実施による将来の水質の見通し, 大阪湾再生行動計画参考資料 2, 7p.
- 日本下水道協会(2001)：平成 11 年度版下水道統計(行政編), 日本下水道協会, pp. 798-799, pp. 1634-1635.
- 村上和男(1998)：閉鎖性内湾の海水交換, 水圏の環境, 東京電機大学出版局, pp. 297-302.
- 大和川河川事務所 YK-net：ホームページ, <http://www.yamato.moc.go.jp/yknet/index.html>, 2005.
- 矢持 進(2005)：港湾海域の貧酸素水塊－大阪湾沿岸一斉水質調査結果(2004年8月2日)－, 瀬戸内海, No.42, pp. 31-36.
- D.C. マクラスキー(1999)：エスチャリーの生態学, 生物研究社, pp. 26-42.