

生態系の変動を考慮した順応的管理 —物質収支からみて—

ADAPTIVE MANAGEMENT IN RELATION TO THE SUCCESSION
OF ECOSYSTEMS
□ FROM THE VIEWPOINT OF MATERIAL BUDGET □

矢持 進¹・柳川竜一²・平井 研³・藤原俊介⁴

Susumu YAMACHI, Ryouichi YANAGAWA, Ken HIRAI and Shunsuke FUJIWARA

¹正会員 農博 大阪市立大学大学院工学研究科 都市系専攻 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

²正会員 工博 株式会社中電シーティーアイ (〒450-0003 名古屋市中村区名駅南1-27-2)

³工修 総合科学株式会社 (〒540-0024 大阪市中央区南新町1-4-8)

⁴工修 国土環境株式会社 (〒550-0002 大阪市西区江戸堀3-2-23)

Nitrogen budgets and fauna of benthic organisms were examined at the pond of Osaka Nanko Bird Sanctuary, an artificial tidal flat of Hannan Second District and the natural tidal flat of Wakagawa estuary. These salt marsh and tidal flats, each locates at urban areas, are thought to be a typical ecosystem maintained by artificial environmental manipulation. The introduction of seawater to the salt marsh by sluice pipes and the conveyance of river water from inner tidal flat by pumps are effective methods to preserve the benthic ecosystems at Nanko Bird Sanctuary and Wakagawa Tidal Flat, respectively.

Key Words: Adaptive management, artificial salt marsh, tidal flat, material budget

1. はじめに

1992年6月の国連環境開発会議（地球サミット）を契機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的管理、さらには自然再生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に向けた施策や技術開発が重要な社会的課題となってきた。例えば、東京湾や大阪湾などでは、環境・防災・物流面から整合性のある海岸環境を創出する気運が高まっており、港湾海域を対象として自然再生のための重点エリアを設定し、環境改善技術の適正選択と適正配置（ベストコンビネーション）を検討する試みが始まっている。

ところで、我が国沿岸海域での主要な自然環境再生手法として干潟や藻場の造成、緩傾斜護岸の建設などがあげられる。ハード面における自然環境再生手法はこれらだけではないが、実験的なものを含め施工事例が多いのは事実である。これらについては、多額の資金を投入したのであるから、完成後は造成効果の検証などを含めフォローアップ調査が行われるべきものであるが、残念ながら一部を除いて十分な追跡的検討が取られていない。一方、干潟、藻場、緩傾斜護岸のうち、干潟研究については、その多くが天然の干潟について実施されており、自然共生型の都市再生を目標として創出された干潟や塩生湿地など、人工水域を対象にした研究は相対的に少ないのが現状である¹⁾。

筆者らは大阪湾およびその近傍海域を対象に、これまで干潟造成後における生態系の機能と構造の変遷に関する調査を色々な研究グループと共同で実施してきた。ここでは、得られている結果の中から、①若い人工干潟である大阪南2区人工干潟現地実験場、②大都市の港湾域に造成され、比較的成熟した塩性湿地である大阪南港野鳥園、そして③近畿圏最大の自然干潟であるが、都市化の影響を受けている和歌川河口干潟を取り上げ、それらにおける物質収支や底生生物相の推移を比較・検討することによって、本特別セッションのキーワード「順応的管理」について考えてみたい。

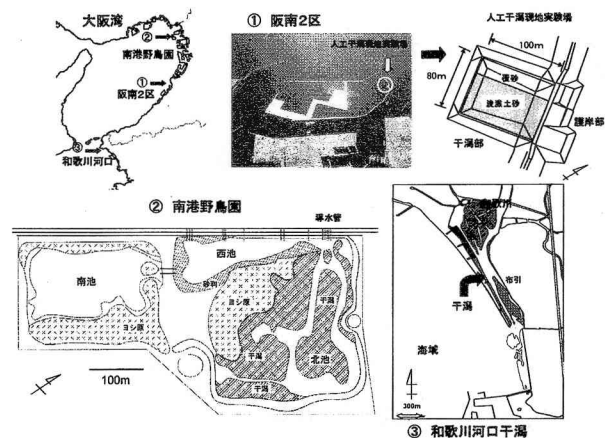


図 1 調査海域の概略図

2. 調査方法

(1) 対象干潟および湿地 (図 1)

a) 阪南2区人工干潟現地実験場

阪南2区人工干潟現地実験場 (面積: 8000 m^2 , 幅80m $\times$ 岸沖方向の長さ100m) は干潟実験施設として2000年5月に大阪湾東部の岸和田市地先海域に造成された。周囲は捨て石による土留め堤と側壁で囲まれ、内部には近隣の港湾海域で採取した浚渫土砂が投入された。海底勾配は3/100から5/100で、干潟の1/4の領域(20m $\times$ 100m)については浚渫土砂の上に海砂が層厚1mで覆土されている。干潟周辺海域の水深は8-9m, また造成当初の底質の粒度組成については覆砂部で泥分(粒径63 μm 未満)が2-25%, 砂分(粒径63 μm から2mm)が50-97%, 浚渫土砂部では泥分が1-71%, 砂分が25-99%であった。本干潟実験場は、陸域から距離約1kmの沖合に位置し、閉鎖性が強く、土砂供給が殆どなく、塩分が比較的高いという特徴を有している。

b) 大阪南港野鳥園湿地

大阪南港野鳥園湿地は、1983年に大阪南港の埋立て地内に「野鳥の楽園づくり」を目指して造成された塩生湿地で、北池(4.0ha)・西池(1.4ha)・南池(3.8ha)から構成される。北池と南池は、基礎地盤としての浚渫粘土の上に海砂を、西池は建設残土を約40cmの厚みで覆土し造成された。西池では造成当初から外海水が導入されたが、北池は1995年に、南池は2004年にそれぞれ海水導水管(管底地盤高: 北池 O. P. +0.7m; 南池 O. P. +1.0m)が石積み護岸部に敷設され、この導水管や石積み護岸の空隙を通じて海水交換が行われるなど、潟湖干潟の特徴を持っている。

c) 和歌川河口干潟

和歌川河口に広がる干潟一帯(和歌の浦)は和歌山の名の由来になった景勝の地として知られている。当干潟は和歌山市市街地に近接し、約75 haの面積を有する自然干潟である。またこの干潟には和歌川、紀三井寺川、津屋川といった中小河川の河口が存在するが、和歌川河口から約1.1km上流にある排水機場(1988年建設)では、汚濁が著しい市内河川の水質浄化を図るため和歌川河口水が取水され、上流側に転送されている。

(2) 調査項目

対象とした干潟および人工塩性湿地において地盤高、流況、水質、底質、海藻、小型底生動物などについて調査した。各項目の測定方法などに関しては、柳川¹⁾、矢持ら^{2), 3)}を参照されたい。

3. 結果と考察

(1) 阪南2区人工干潟現地実験場

図2に浚渫土砂区と覆砂区における地盤高の経年変化を示す。初期は干潟全域で地盤高が低下しており、浚渫

土砂部では護岸天端から20~40mの区間、同じく覆砂部では10~50mの区間で、特に大幅に低下していることがわかる。また、2000年6月から2001年6月の間の汀線付近での地盤高の低下は、覆砂区の方が浚渫土砂区に比べ大きかった。2年目以降の汀線付近の地盤高は造成後1年目に比べると安定してきているものの、その後もやや低下傾向にある。一方、浚渫土砂部の50~90m、覆砂部の60~90m区間では2001年6月以降やや上昇傾向が見られた。本人工干潟現地実験場は阪南2区造成予定地内にあるため閉鎖性が強く、波浪の影響は沖合域に比べ小さいと推察されるにもかかわらず、その地盤高は沈下や砂移動の影響により造成後に最大1.5mほど変化した。

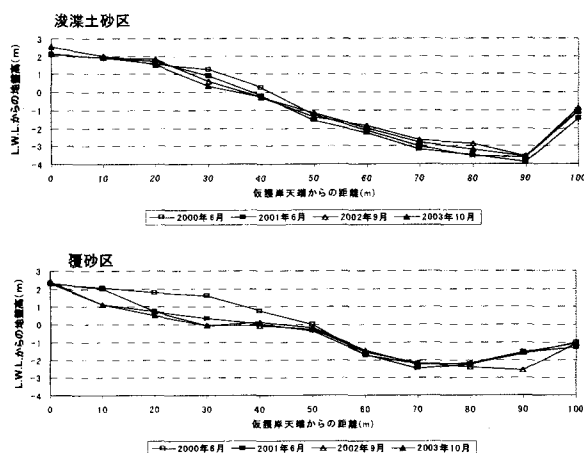


図 2 人工干潟現地実験場での地盤高の変化

このような状況での底生動物相の推移を見たのが図3と図4である。図から干潟全域で確認された小型底生動物の種類数は、地盤高の変動があるにもかかわらず造成後約2年間にわたって着実に増加し、2年目以後は45種程度で安定していることがわかる。また、個体数については造成から1年経過した時点で10⁴個体/m²近くに達し、その後は変動しながら大きく増減することはなかった。この場合、浚渫土砂区の小型底生動物個体数は覆砂区のそれをやや下回るものの、浚渫土砂区においても動物の増殖が見られ、海砂の採取が制限される現在、底生動物の生息基盤として浚渫土砂の有効利用を考えなければならぬと言える。その他、個体数からみた優占動物に関し造成後しばらくは多毛類であったが、次第に貝類(ホトトギスガイ)に推移する傾向が特に覆砂区において認められた。このように、若い人工干潟では造成後地形変化が起こるが、生物はそれに順応して増殖した。そこで、次に地形や生物相の変化が生態系の機能に影響を及ぼしたかどうかを検討した。

図5は晩夏の窒素収支をボックスモデルから検討したもので、代表例として2001年9月について示した。造成後2年目の2001年の人工干潟では移流や拡散によって窒素が干潟外に流出し、また沈降・堆積、海藻や底生動物の取り込みなどによって溶存態窒素と懸濁態窒素が水中から消失し、結果として総窒素は約30mgN/m²/hの速度でトラップされたことがわかる。造成当初からの窒素の生

成・消失を優占生物との関係で示したのが表1と表2である。造成後の経過時間が短い2000年9月は、干潟全体で溶存態総窒素が3.8 kg/day、懸濁態窒素も1.6 kg/dayの生成、あわせて総窒素として5.4 kg/dayの生成という結果となった。人工干潟域での海藻類の繁茂が顕

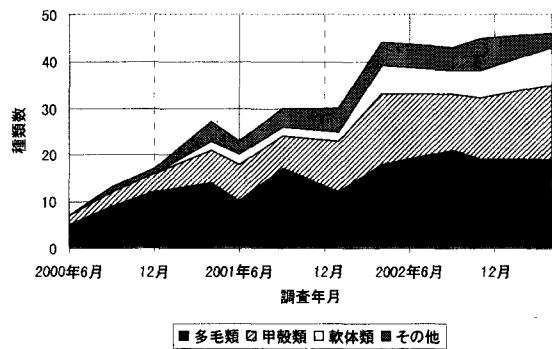


図 3 干潟部全域での小型底生動物種類数の推移

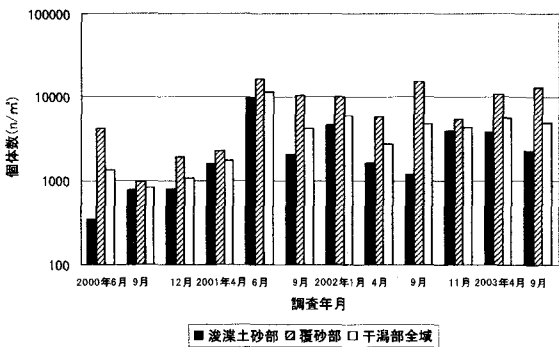


図 4 小型底生動物個体数の推移

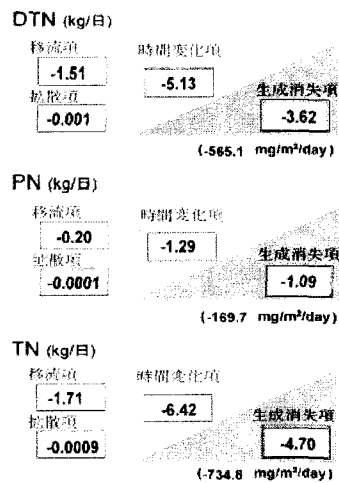


図 5 2001 年 9 月の形態別窒素の収支
(生成消失項の負の値は干潟域での消失を、移流・拡散項のそれは干潟外への流出・拡散を示す)

表1 窒素収支の推移

	2000年9月	2001年9月	2002年9月	2003年10月
DTN	3.8	-3.6	0.4	2.2
PN	1.6	-1.1	-3.9	-1.0
TN	5.4	-4.7	-3.6	1.2

単位: kg/day

表2 優占生物による窒素トラップ量の推移

	2000年9月	2001年9月	2002年9月	2003年10月
アオサ	—	4.4	2.4	1.7
オゴノリ	—	0.4	0.9	0.2
アサリ	—	0.7	6.7	3.7

単位: kg/day

著となった翌2001年は、総窒素として4.7 kg/dayの消失となり、このうち溶存態窒素が3.6 kg/day、懸濁態窒素が1.1 kg/dayの消失と、海藻による吸収の影響を受ける溶存態窒素の寄与が大きかった。また2002年9月と2003年10月は、それぞれ溶存態窒素が0.4 kg/dayと2.2 kg/dayの生成であるが、懸濁態窒素は3.9 kg/dayと1.0 kg/dayの消失で、結果として2002年9月は3.6 kg/dayの消失、2003年10月は1.2kg/dayの生成となった。懸濁態窒素について見れば、アサリを含めた懸濁物食性の貝類の増殖により消失となる傾向があった。

このように人工干潟の窒素収支は造成後の4年間で大きく変動し、人工干潟が海水浄化に寄与するかあるいは栄養物質の供給源になるかは優占生物の動態に強く影響されることが示唆された。なお、2001年7月に海水と浸漬土砂間隙水のアンモニア態窒素濃度を測定したところ、前者が平均0.68mg/lで後者が同7.1mg/lと、約10倍間隙水の濃度が海水より高かった。したがって、溶出した窒素が海藻に取り込まれることがほとんどなかった2000年9月は海底堆積物からの溶出に因って窒素生成という結果になったと考えられる。このように、造成後間もない若い人工干潟では地形および生態系の機能と構造が著しく変動することから、干潟生態系を時間経過の少ない段階で評価するのは誤評価の危険性が高いと言える。

(2) 大阪南港野鳥園湿地

対象とした北池、西池、南池の特徴を表3に示す。最も低い地盤高は西池で測定されたD.L. -0.22mで、この池は海水導水管があり常時冠水し、そのため塩分も28.5psuと他の池に比べて高い。北池は1995年に海水導水管が敷設され、西池に比べやや地盤高が高いため、現在、満潮時に冠水し干潮時には多くが干出する潮間帯面積の大きい池となっている。南池はその多くが常時冠水する汽水池（平均塩分17.2psu）で、2004年5月の海水導水管敷設工事までは海水交換が殆ど行われない状況であった。このように南港野鳥園湿地の各池は同じ時期に基本的な建設が終了したが、地盤高や海水導入状況が異なる。なお、以下では2003年までの調査結果について述べ、2004年5月の導水管設置による南池の環境改善効果については言及しない。

表4 に野鳥園湿地造成当時（1982-1983年）と2000-

表3 野鳥園各池の特徴

	北池	西池	南池
面積(ha)	4.0	1.4	3.8
地盤高(m)	D.L.+0.21	D.L.-0.22	D.L.+0.39
塩分(psu)	27.4±0.3	28.5±0.2	17.2±0.2
海水導入管の有無	有	有	無
干出・冠水状況	満潮時に冠水、干潮時には多くが干出	冠水	冠水

* 2001年3月13日の状況

表4 南港野鳥園湿地の底質と小型底生動物

	北池		西池		南池	
	1982-83年	2000-01年	1982-83年	2000-01年	1982-83年	2000-01年
含水率(%)	18.3	43.0	32.6	37.2	16.1	47.4
底質						
IL(%)	1.8	10.5	6.3	5.9	1.5	8.5
T-S(mg-dry/g)	ND	0.9	0.1	0.7	ND	1.4
個体数						
甲殻類	15200	9100	18400	11500	0	900
多毛類	0	1000	10600	1100	0	<100
ユスリカ類	8100	500	12700	200	5800	8300
総湿重量(g/m ²)	29	24	99	20	5	28

* 1982-83年の数値については横山ら⁴⁾から作成

表5 2002年の野鳥園北池における形態別の窒素収支

	3月	7月	10月	12月
溶存無機態窒素	-305	-77	-120	-126
溶存有機態窒素	145	39	16	58
懸濁態窒素	-104	-61	-27	10
総窒素	-263	-99	-131	-58

単位: mg/m²/day, 冠水面積は平均水位から算出

負の値は湿地での消失(固定)を, 正の値は生成(排出)を示す

2001年調査時の底質および小型底生動物個体数を比較して示す。なお、湿地造成時のデータについては横山ら⁴⁾の図表から推算した。淀川河口に近接し、大都市の影響を強く受ける南港野鳥園湿地のうち北池と南池で、時間経過とともに底質の含水率が増加（細粒化）し、有機汚濁指標についても強熱減量が約6倍に、全硫化物濃度が検出できずから0.9-1.4mgS/g 乾泥に増加した。主要な小型底生動物にも変化が見られ、北池ではユスリカが減少し、多毛類が出現するようになった。西池では多毛類とユスリカの個体数が減り、南池ではユスリカの卓越は変わらないが、ヨコエビやワレカラなどの小型甲殻類が認められるようになった。湿重量で表した現存量は西池で低下したものの、他の池では造成当時と同水準または増加している状況が読み取れる。このように底質の泥分が上昇し、還元性物質または有機物濃度が増すなど富栄養化が進行したが、生物量には壊滅的な打撃が見取れない。特に北池は1995年以降の塩水化の影響もあるが、冠水と干出を繰り返し、空気または導入海水の酸素とふれるため汚濁指標種のユスリカ幼虫の出現が抑制され、小型甲殻類や多毛類中心の生物相に変化した。南池についても底質劣化に伴い2005年5月に環境改善を目的として海水導入管の設置が実施された。以上のように野鳥園湿地ではこれまで、環境悪化が顕在化すると外海水の導入という順応的対策が取られていた。

鋼管による外海水の導入が図られてから7年経過した2002年における北池の窒素収支を形態別に表5に示す。表中の負の値は、2潮汐間における湿地での固定（消失）を、正の値は湿地での生成（排出）を意味する。溶存無機態窒素と懸濁態窒素はほとんどが流入量＞流出量で、湿地で固定される傾向が強いのに対して、溶存有機

態窒素は鋼管を通じて大阪湾に排出される特徴があった。また、総窒素(TN)については流入量が流出量の約1.1倍あり、北池が溶存無機態窒素や懸濁態窒素を溶存有機態窒素に変換しながらも、総窒素としては固定の場として機能していることが判明した。このうち、溶存無機態窒素の固定には大量に分布するアオサや底生微細藻類が、また懸濁態窒素の固定には底生動物の摂食が深く関与していると考えられる。これらのことは、北池は生態系のカタストロフィーを起こすことなく、隣接海域への窒素負荷の低減に寄与していることを示唆するものであり、これには、①底質の有機物濃度が高いものの水深が小さく、干出と冠水を繰り返し、好氣的分解や脱窒機能に優れる②シギ・チドリなどの野鳥が群生しており、鳥を通じての系外除去が大きい、③ボランティアの参画によるアオサ除去とモニタリングの効果などが関与していると考えられる。この2002年の北池の窒素固定能(138mg/m²/day)は東京湾の三番瀬(約100 mg/m²/day)と同程度であり、河口域に近く、富栄養な湾岸域の埋立地に造成された人工湿地であっても自然海浜と同程度の水質浄化機能を維持できると考えられた。

それでは、栄養物質の固定機能（浄化機能）が持続する人工塩性湿地をどのようにすれば創出できるののだら

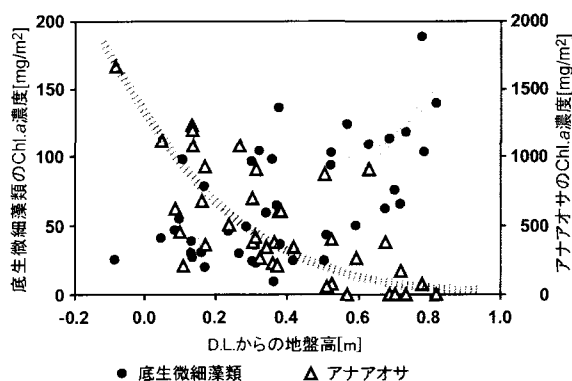


図6 地盤高とアオサおよび底生微細藻類現存量の関係

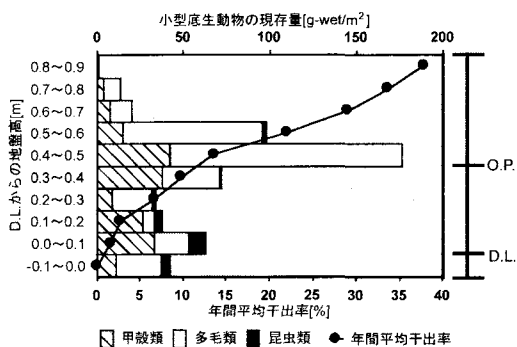


図7 地盤高または干出率と小型底生動物現存量の関係

うか？人間がコントロールできる環境要素には限界があり、ここでは水位や干出度（＝地盤高）を一つの尺度として藻類や小型底生動物量を検討した（図6と図7）．図6から野鳥園北池では地盤高が高くなるに伴いアオサの現存量が減少し、底生微細藻類が増加する傾向が認められ、大凡D.L.+0.7m以上ではアオサと同等または打ち勝って底生微細藻類の卓越することがわかる．また、地盤高と小型底生動物現存量との関係については、D.L.+0.8m以下で小型底生動物の現存量が増加し始め、D.L.+0.3mからD.L.+0.6mで現存量の極大値が見られた．一方、D.L.+0.2mより低い地盤高では汚濁指標生物であるユスリカの割合が増加するので望ましくないと考えられた．この北池ではアオサの過剰な繁殖も問題であり、この解決も考えなければならない．同じ基礎生産者ならば、アオサより底生微細藻類のほうが食物連鎖を通じての物質転送（ex. 付着珪藻→イソガニ→野鳥など）が円滑と考えられる．しかし地盤高を高くすると底生微細藻類が増加する反面、野鳥の餌でもある多毛類が減少する．一方、地盤高を低くするとアオサが底生微細藻類に打ち勝って優占し、グリーンタイドを形成してしまう．現時点では、アオサがやや増殖するもののアオサ被覆による堆積物表層の嫌気化が起こらないD.L.+0.4mからD.L.+0.5m（平均干出率約15%）前後が適切な地盤高かと推察されるが、他の環境要素との関係などを含め情報が不足している．

(3) 和歌川河口干潟

和歌川河口干潟の窒素収支を調べるに当たって想定した模式的な物質循環図を図8に示す．ここでは、干潟の栄養収支にかかわる主要な項目として、河川水の流入、干潟と海域境界での海水交換、底生藻類、小型底生動物、脱窒などを考えた．さらに、図9に示すように和歌川下流部には和歌川排水機場があり、ここでは下流（河口）からポンプアップした海水を上流側に転送しているため和歌川排水機場を考慮に入れた．

表6に2003年7月30-31日における流量収支を示す．河川を通じて大凡452000m³の流入があり（津屋川は水量が少ないため海水の流入）、また、干潟と海域境界から約245000m³の海水が干潟域に流入し、和歌川排水機場から824000m³の水が転送されるとの観測結果が得られた．各観測時の流向・流速に栄養物質濃度を乗じると流入・流出量が求まるが、干潟と海域境界では溶存無機態窒素は流出、溶存有機態窒素および懸濁態窒素は流入となり、総窒素としてLine2で見ると20kgの流出となった．このうち溶存無機態窒素の流出については、微生物による無機化や河川からの負荷により流出時の濃度が海水流入時より高くなったためと考えられる（表7）．一方、和歌川排水機場では平均窒素濃度が0.88mg/lの河口水が、上流に824000m³転送され、結果として723kgの窒素が干潟から消失したことになる．この期間の河川からの窒素の流入負荷量は（和田ら、私信）、和田川から608kg/day、紀三井寺川から316 kg/day、津屋川から-11 kg/dayで、

計913 kg/dayの負荷があったことが知られている．
表9に和歌川河口干潟生態系における底生生物の現存量と生産速度を整理した．なお、生物生産は窒素や炭素のトラップと見なし、微生物による脱窒も併せて記載した．また、出現した海藻の多くはアオサ類であったので、アオサ類の現存量と生産速度を海藻のそれらとした．生

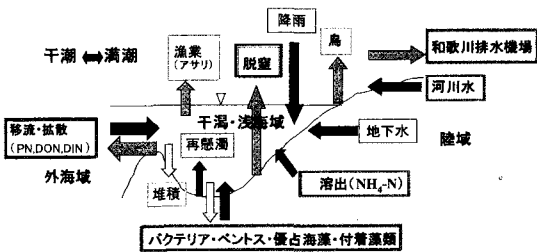


図8 和歌川河口域の窒素収支模式図

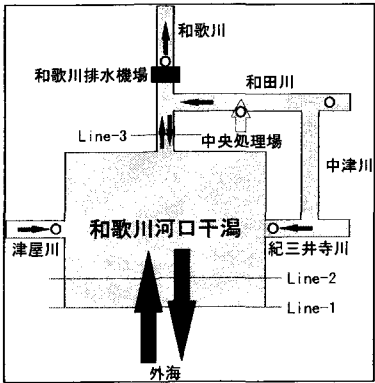


図9 和歌川河口域模式図

表6 2003年7月30-31日の流量収支

流量収支(m ³ /day)	
和田川	310740
紀三井寺川	143063
津屋川	-1627
外海水	245000
和歌川排水機場	-824000

- 1) 収支の正の値は干潟への流入、負の値は干潟からの流出を表す
2) 和田川の値には中央下水処理場と特定事業所から排水量を含む

表7 2003年7月30-31日の干潟・海域境界でのSSおよび窒素収支

		SS	DIN	DON	PN	TN
Line-1	流入	8055.8	28.1	288.6	101.6	417.3
	流出	8215.2	156.8	218.4	98.2	472.4
	収支	-159.4	-128.7	70.2	3.4	-55.2
Line-2	流入	6939.5	66.5	225.7	84.4	376.3
	流出	5994.5	186.3	168.9	55.8	396.5
	収支	945	-119.9	56.8	28.5	-20.3

※ 正の値は干潟への流入、負の値は干潟からの流出を表す
単位: kg/day

表8 2003年7月30-31日の和歌川排水機場における
SS および窒素転送量

		SS	DIN	DON	PN	TN
濃度	mg/l	12.3	0.43	0.31	0.13	0.88
転送量	kg	10112	352	261	103	723

表9 底生生物の現存量と生産速度

	現存量		トラップまたは除去速度	
	炭素 gC/m ²	窒素 gN/m ²	炭素 gC/m ² /day	窒素 gN/m ² /day
底生微細藻類	1.61	0.28	0.88	0.16
海藻(アオサ)	13.5	1.07	2.16	0.17
メイオベントス	0.26	0.07	0.007	0.002
マクロベントス	21.5	5.6	0.062	0.016
脱窒	—	—	—	0.043

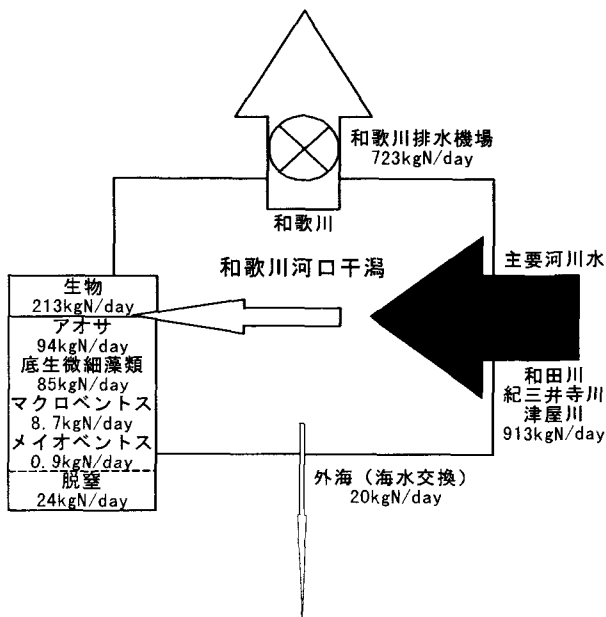


図10 2003年7月30-31日の和歌川河口干潟の窒素収支

物生産としては基礎生産者である底生微細藻類とアオサ類の値が大きく、両者を合わせると、 $3.0 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ と $0.33 \text{ gN/m}^2/\text{day}$ に達した。特に、アオサ類の値は大きく、炭素ベースで見た底生性藻類の1日あたりの生産量の71%はアオサ類が占めていた。ただ、底生微細藻類についても現存量の割には生産速度が大きい特徴が認められた。一方、マクロベントスは現存量が 21.5 gC/m^2 と大きい、生産速度は $0.062 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ と小さい。これはP/B法を用いて年1回の測定値から推定した方法論に一因すると考えられ、推定手法に改善の余地が残っている。また、メイオベントスは現存量、生産速度ともに他の生物群に比べて小さく、本干潟域については炭素および窒素循環に占めるこの生物群の役割はそれほど大きくないと推察された。

生物による生産を栄養物質の固定と考え、夏季の和歌川河口干潟における窒素収支(図10)をLine 2以奥について整理してみると、河川から913kg負荷され、このうち20kg(流入負荷の2%)が海水交換を通じて外海に流れ

出し、生物によって213kg(流入負荷の23%)固定されていることがわかった。一方、和歌川排水機場からは1日723kgもの窒素が取水により系外流出することが明らかになった。これらのことは、和歌川河口干潟の物質収支における和歌川排水機場の重要性を表している。すなわち、当初意図しなかったかも知れないが、和歌川排水機場は窒素負荷量の80%近くを干潟外に転送し、有機物濃度が高い和田川から干潟への窒素負荷を防ぐなど、干潟生態系の保全に貢献していると言える。また、大量の海水を取水し、市内河川に転送することによって和歌山市内河川の水質が向上したとされており、人為的な取水とその転送といった土木工学的な対策が河川から干潟への汚濁負荷の軽減と生態系の保全を両立させる有効な手段であることが明らかとなった。

4. あとがき

若い人工干潟や比較的成熟した人工塩性湿地、そして都市域に近い自然干潟それぞれは動的生態系であり、人間の関与(管理)がなければ劣化する存在と考えられる。すなわち、人工的に動的生態系を創出した後、持続させるにはモニタリングと的を射た定期的な補修が必要で、メンテナンスフリーは考えられない。今回紹介した南港野鳥園や和歌川河口干潟は、海水導入や汚濁物質の希釈・転送により生態系保全のための順応的関与を行った事例と考えられ、順応的管理に向けて一石を投じるものであろう。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻の重松孝昌助教授、小池敏也技術職員ならびに環境水域工学研究室の院生・学生諸氏には種々の御協力を賜った。また、本研究は大阪港開発技術協会、大阪府港湾局、和歌山海域環境研究機構のご支援のもとに実施できた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 柳川竜一(2005)：大都市河口域に位置する人工塩性湿地生態系の生物生息・水質浄化・物質循環機能に関する研究、大阪市立大学博士論文、140pp.
- 2) 矢持 進・平井 研・藤原俊介(2003)：富栄養浅海域における生態系の創出—人工干潟現地実験場での生物と窒素収支の変遷—、海岸工学論文集、第50巻、pp. 1246-1250.
- 3) 矢持 進・藤原俊介・和田安彦・平井 研・濱田のどか・金子健司・杉野伸義・重松孝昌・小池敏也(2004)：都市に近接する自然干潟(和歌川河口干潟)の生物生産と窒素収支、海岸工学論文集、第51巻、pp. 1021-1025.
- 4) 横山 寿・川合真一郎・小田国雄(1984)：大阪南港野鳥園における底生動物相、大阪市立環境科学研究所報告、第46号、pp. 239-244.