

[特 集]

# 浚渫土砂を活用した人工干潟における窒素収支 —大阪湾阪南2区人工干潟現地実験場について—

矢持 進<sup>1</sup>・宮本 宏隆<sup>2</sup>・大西 徹<sup>3</sup><sup>1</sup> 正会員 農博 大阪市立大学大学院助教授 工学研究科都市系専攻 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)<sup>2</sup> 工修 日本道路公団静岡建設局静岡工事事務所<sup>3</sup> 吹田市役所水道部

富栄養な閉鎖性内湾である大阪湾東部域において阪南2区人工干潟の造成が計画されている。この人工干潟の造成に先立ち、試験的に建設された現地実験場において形態別の窒素収支を海藻や小型底生動物現存量との関係から検討した。その結果、造成後の時間経過が少ない2000年9月には、干潟域は周辺海域への溶存態総窒素、懸濁態窒素、総窒素の供給源として機能したが、藻類が濃密に増殖した2001年9月には窒素固定の場に変化していた。また、2001年10月の優占海藻による窒素固定量を試算すると2.51kg/dayとなり、干潟での溶存態窒素固定量の72%に相当した。このことから、造成後1-2年程度の人工干潟域で海藻が優占した場合、窒素循環に及ぼす海藻群落の影響の大きいことが示唆された。

*Key Words* : nitrogen budget, artificial tidal flat, dominant seaweed, Osaka Bay

## 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必要・不可欠となってきた。

富栄養な閉鎖性内湾である大阪湾では赤潮が頻発し、夏季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捉えられている。現実の大阪湾は餌料生物である植物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<sup>1)</sup>。ただ、夏季の湾奥海域が生物の生息しにくい海となることも事実で、海洋生物の一部は遅く環境に適応して生きているものの、この季節には海底に棲む底生動物の出現種類数や現存量が激減してしまう<sup>2)</sup>。これはある面において人間が利便性や経済水準の向上を求めて、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。大都市近郊の沿岸域は開発

によって天然の干潟や塩生湿地が消失し、市民が自由に自然と親しめる海辺が少なくなっている<sup>3)</sup>、干潟や塩生湿地は潜在的に生物生産機能や海水浄化機能に優れ、さらに干潟やその周辺の浅場は魚やエビ・カニ類の保育場としても重要であることがこれまでの研究で明らかになっている<sup>4)</sup>。ただ、干潟研究の多くは天然の干潟について実施されたものであり、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の人工水域を対象にした研究は比較的少ない<sup>5), 6)</sup>。

本研究では、生物生息空間や親水空間の創出を目的として大阪湾東部域の沖合約1kmに造成予定の阪南2区人工干潟に先立ち、当該海域に2000年5月に造成された現地実験場で底生動物相の変遷や優占藻類の分布量を調べるとともに、クロロフィルaと形態別窒素の収支をボックスモデルを用いて解析することによって造成初期の人工干潟における栄養物質の循環について検討した。

## 2. 調査海域

阪南2区人工干潟現地実験場（面積：8000m<sup>2</sup>、幅

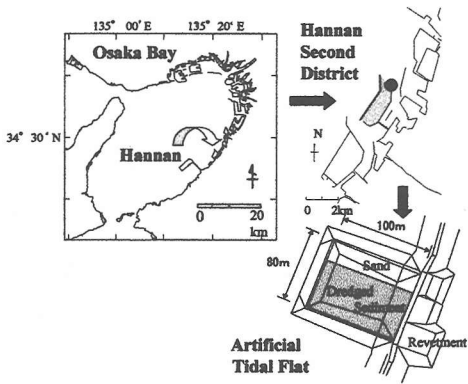


図-1 阪南2区人工干潟現地実験場 (●は阪南2区における人工干潟現地実験場の位置を示す)

80m × 岸沖方向の長さ100m) は干潟実験施設として2000年5月に大阪府港湾局により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ている。海底勾配は3/100から5/100で、干潟の1/4の領域(20m×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(図-1)。海岸から距離約1kmの沖合に造成されたため河川または地下水を通じての淡水や土砂の供給は少ないと考えられる。したがって、この人工干潟は河口干潟、前浜干潟、潟湖干潟のいずれにも対応しない。また干潟周辺海域の水深は8-9mで、造成当初の干潟域の底質の粒度組成については覆砂部4定点で泥分(粒径63 $\mu$ m未満)が2-25%、砂分(粒径63 $\mu$ mから2mm)が50-97%、浚渫土砂部12定点では泥分が1-71%、砂分が25-99%であった。なお、本来干潟とは潮汐により干出と水没を繰り返す平坦な勾配を持つ砂泥質の沿岸地形と定義されるが<sup>7)</sup>、本研究では水域の栄養物質収支と言う観点から、土留め堤と側壁で囲まれ、周辺水域と地盤高が明らかに異なる海浜の潮間帯部と浅海部を併せて干潟域として取り扱った。

### 3. 調査方法

#### (1) 観測

観測は2000年9月25-26日と2001年9月20-21日に実施した。2000年9月25-26日の干潮と満潮時の潮位は、25日11時10分(干潮):LWL(朔望平均干潮面)+0.49m, 17時43分(満潮):LWL+1.65m, 23時32分(干潮):LWL+0.98m, 26日5時18分(満潮):LWL+1.65m, 11時49分(干潮):LWL+0.40mであった。また、2001年9月20日8

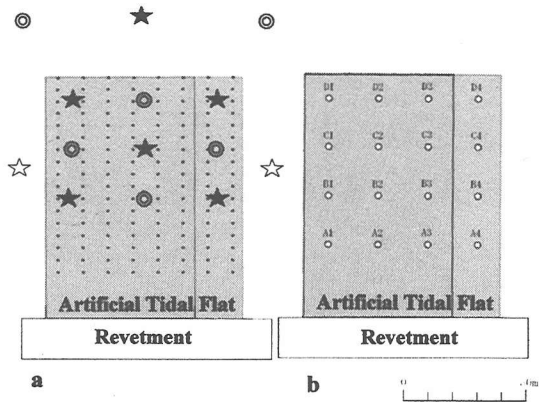


図-2 調査定点図 {a:海藻(●)と海水採取定点(★);2000年と2001年の両年に採水, ☆;2000年のみ採水, ◎;2001年のみ採水}, b:小型底生動物採取定点(○)}

時44分の満潮から翌日9時35分の満潮までの2潮汐間の各満潮と干潮時の潮位は、LWL+2.15m, LWL+1.13m, LWL+2.04m, LWL+0.99m, LWL+2.07mで、両調査日とも観測開始時と終了時の潮位に著しい違いがなかった。観測期間中の阪南港の風速については、2000年9月25日9時から26日12時までの毎正時の風速の平均値が1.9m/s, 2001年9月20日8時から21日10時までのそれが3.5m/sで、防波堤に近接する人工干潟現地実験場水域は静穏であった。試水は2000年9月が8定点、2001年9月は12定点(図-2a)で、各干潮・満潮ごとに計5回(2潮汐間)、5Lバンドン採水器を用いて海表面下1m層、同4m層、海底面上1m層のうちの1-2層において採取した。測定項目はクロロフィルa、アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)、硝酸+亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>-N)、溶存有機態窒素(DON)、懸濁態窒素(PN)である。このうち、クロロフィルaはクロロテック(アレック電子製ACL200-PDK型)を用いて海表面から海底まで0.5m間隔で計測した。また、採取した海水はワットマンGF/C濾紙(孔径約1.2 $\mu$ m)で濾過後、濾水と濾紙を氷冷して実験室に持ち帰り、分析に供した。一方、人工干潟現地実験場が造成されて1年以上経過すると、干潟浅海域にアオサ類(*Ulva peruviana*, *Ulva fasciata*, *Ulva* sp.)とオゴノリ(*Gracilaria vermiculophylla*)の濃密な分布が見られるようになった。そこで、2001年10月29-30日に干潟域の136定点で50cm×50cmの方形枠内の優占海藻を坪刈りし、その現存量を測定した。測定項目は湿重量・乾燥重量で、オゴノリについては藻体の窒素濃度を分析した。また、この時併せて干潟浅海域の6定点で海底堆積物を採取し、その表面2cm層についてクロロフィルa濃度を測定した。なお、*Ulva* sp.とした海藻

表-1 阪南2区人工干潟現地実験場内と周辺海域における満潮時と干潮時の窒素とクロロフィル a 濃度

Date	Constituent	Site	Tide				
			low	high	low	high	low
Sep. 25-26, 2000	DTN	inside	138	57	74	62	175
		outside	106	60	51	41	184
	PN	inside	90	109	88	125	109
		outside	99	113	105	144	120
Sep. 20-21, 2001	DTN	inside	4.6	7.9	6.6	8.5	5.8
		outside	6.7	10.0	7.9	8.1	7.0
	DTN	inside	353	309	370	280	307
		outside	299	322	296	266	263
PN	inside	40	34	42	24	27	
	outside	39	28	37	24	32	
Chl a	inside	2.3	2.3	3.1	2.4	2.5	
	outside	2.2	2.3	2.7	2.3	2.5	

は富栄養な内湾の砂泥底で大繁殖している不稔性のアオサで、オオバアオサと呼ばれている海藻に形態が類似していたが、分類学的な所属が明確でないため *Ulva* sp. とした。その他、アオサの窒素濃度は過去に大阪湾から採取したものについての分析値<sup>9)</sup>を用いた。

小型底生動物については、2000年9月25日と2001年9月20日に干潟内の16定点(図-2b)で港研式採泥器(採泥面積0.045m<sup>2</sup>)を用いて海底堆積物を採取し、1mm目の篩上に残存したものについて種類別の個体数と湿重量を測定した。

## (2) 分析

アンモニア態窒素はインドフェノール法、硝酸+亜硝酸態窒素は銅-カドミウム還元法<sup>9)</sup>、DONは加圧分解法<sup>10)</sup>によりそれぞれ分析した。また浮遊懸濁物やオゴノリの窒素濃度は105℃で乾燥後、CHNコーダ(柳本製作所製MT-6型)を用いて測定した。底質のクロロフィルa濃度については、湿重1gを10ml遠沈管に入れ、92%アセトンを加え、超音波処理後遠心分離し、アセトン抽出相について蛍光光度計(ターナーデザイン社製蛍光光度計10-AU型)を用いて測定した<sup>11)</sup>。

## (3) 物質収支の算定

阪南2区人工干潟現地実験場での溶存態総窒素(DTN)、懸濁態窒素(PN)、総窒素(TN)ならびにクロロフィルaの収支については、松川<sup>10)</sup>および青山・鈴木<sup>11)</sup>に準じて以下の式によって試算した。

$$\Delta(V \cdot C_V) = Q \cdot C_A + A_0 \cdot K \cdot T \cdot \Delta C / \Delta L + Q_c + P \quad (1)$$

ここで、 $V$  : 干潟域の体積、 $C_V$  : 干潟域内の体

積平均濃度、 $\Delta(V \cdot C_V)$  : 干潮と満潮の間の現存量の変化量、 $Q$  : 干潮と満潮の間の体積変化量、 $C_A$  : 干潟域と沖合域との境界断面の平均濃度、 $A_0$  : 干潟と沖合域の境界断面積、 $K$  : 水平拡散係数、 $T$  : 干潮と満潮間の時間、 $\Delta C / \Delta L$  : 干潟と沖合域との濃度変化率、 $A_0 \cdot K \cdot T \cdot \Delta C / \Delta L$  : 境界断面を通じての拡散による交換量、 $Q_c$  : 流入負荷量、 $P$  : 干潟域内での物質の生成・消失量である。なお、干潟の体積 $V$ と体積変化量 $Q$ は調査に併せて行った干潟の地盤高測量結果と大阪府港湾局による大阪府岸和田港での潮位観測結果から求めた。また水平拡散係数は、本海域と同じ閉鎖的な内湾浅海域である三河湾一色干潟縁辺部において松川<sup>10)</sup>が求めた $3.8 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{s}$ の値を使用した。さらに、河川や地下水を通じての流入負荷 $QC$ については、本人工干潟は距離約1kmの沖合にあり、近傍に大きな河川がないことから0として計算した。

## 4. 結果

### (1) ボックスモデルによる窒素とクロロフィルaの収支

2000年9月と2001年9月の溶存態総窒素、懸濁態窒素ならびにクロロフィルaの平均濃度を干潟実験場内と周辺海域に分けて表-1に示す。2000年9月は干潟実験場内に比べて周辺海域の方が懸濁態窒素やクロロフィルa濃度が高く、逆に溶存態総窒素は実験場内が周辺海域より高い傾向が認められた。満潮時と干潮時を比べると、実験場内の溶存態総窒素は干潮時に高く、逆に懸濁態窒素とクロロフィルaは満潮時に高い傾向が見られた。2001年9月については、

表-2 2001年10月29-30日の阪南2区人工干潟現地実験場内における地盤高別のアオサとオゴノリの現存量\*

Scientific name	Japanese name	Height from Low Water Level (m)					
		-4.0~-3.1	-3.0~-2.1	-2.0~-1.1	-1.0~-0.1	0~0.9	1.0~1.9
<i>Ulva</i> spp.**	Aosa	1006	834	1632	645	312	140
<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	Ogonori	801	737	179	49	0	0

\* 現存量の単位: g 湿重/m<sup>2</sup>

\*\* *Ulva* spp. : *Ulva perutusa* + *Ulva fasciata* + *Ulva* sp.

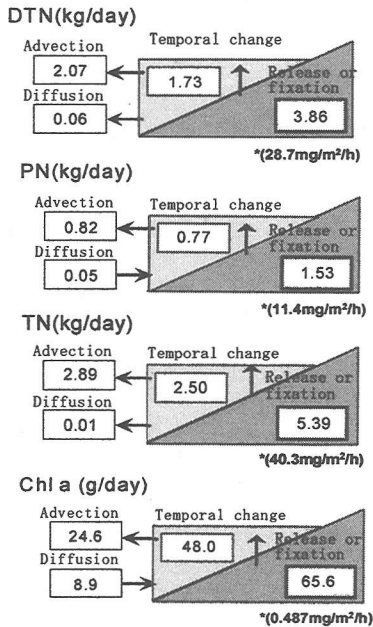


図-3 2000年9月25-26日の阪南2区人工干潟現地実験場における窒素とクロロフィル収支 (図中の括弧内の数値は単位面積・時間あたりの放り出または固定量を示す)

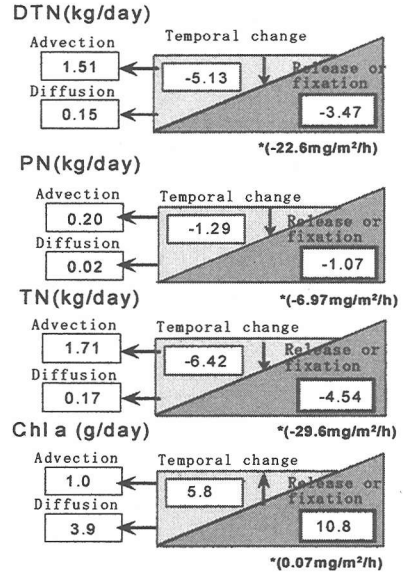


図-4 2001年9月20-21日の阪南2区人工干潟現地実験場における窒素とクロロフィル収支 (図中の括弧内の数値は単位面積・時間あたりの放り出または固定量を示す)

周辺海域と比較して実験場内の方が溶存態総窒素や懸濁態窒素の高い傾向があるものの、クロロフィルaは両海域でほとんど差が見られなかった。また、満潮時と干潮時の濃度については、実験場内の溶存態総窒素・懸濁態窒素濃度が満潮時よりも干潮時に高かった。一方、クロロフィルa濃度は干満による違いがほとんどなく値が低かった。

窒素とクロロフィルa収支の計算結果を図-3, 4に示す。なお、現地実験場の冠水面積は、2000年は5600m<sup>2</sup> (70m x 80m)としたが、2001年になると地盤の圧密沈下や沿岸漂砂などにより汀線が岸側に移動したため6400m<sup>2</sup> (80m x 80m)に変化した。図からクロロフィルaは2000年9月・2001年9月とも65.6g/dayと10.8g/dayの生成であったことがわかる。一方、窒素については2000年9月の溶存態総窒素、懸濁態窒素、総窒素はそれぞれ3.86kg/day, 1.53kg/day, 5.39kg/dayの生成、一方2001年9月は3.47 kg/day,

1.07kg/day, 4.54kg/dayの消失となった。このように、2000年9月と2001年9月の窒素収支に明らかな違いが認められた。

## (2) 優占海藻の現存量

2001年10月の干潟実験場の優占海藻であるアオサ類とオゴノリの現存量を地盤高別に整理して表-2に示す。アオサ類は朔望平均干潮位+2mから-4m全ての範囲に出現し、特に-1.1m以深での現存量が834-1632gwt/m<sup>2</sup>と多かった。これに対してオゴノリは朔望平均干潮位以浅には出現せず、-4mまでは地盤高が低下するにしたがい現存量が増加した。アオサ類とオゴノリの分布域を比較すると、アオサ類の方が浅所でも出現可能なことがわかる。また、浚渫土砂域と覆砂域での両種の平均現存量は、アオサ類が浚渫土砂の冠水域で805gwt/m<sup>2</sup>, 覆砂域のそれで774gwt/m<sup>2</sup>, またオゴノリは浚渫土砂冠水域で428g

表-3 小型底生動物の出現状況\*

Date	No. of species /0.045m <sup>2</sup>	No. of individuals n/m <sup>2</sup>	Wet weight				Predominant organisms and its number of individuals n/m <sup>2</sup>
			Total g/m <sup>2</sup>	Polychaeta g/m <sup>2</sup>	Crustacea g/m <sup>2</sup>	Mollusca g/m <sup>2</sup>	
Sep. 2000	1.9	810	8.5	8.5	tr.	—	<i>Neanthes succinea</i> : 586 (Asinagokai)** <i>Paraprionospio</i> sp. Type A:120 (Yotubanesupio Type A) <i>Cirriformia tentaculata</i> : 21 (Mizuhikigokai)
Sep. 2001	7.3	4117	313	22.6	14.0	272	<i>Musculus senhausia</i> : 1064 (Hototogisugai) <i>Paraprionospio</i> sp. Type A : 972 (Yotubanesupio Type A) <i>Neanthes succinea</i> : 835 (Asinagokai)

\* 各々の数値は16定点の平均値で示されている

\*\* 標準和名

表-4 愛知県一色干潟と阪南2区人工干潟現地実験場の窒素およびクロロフィルa収支の比較

Location	Date	mg/m <sup>2</sup> /h			
		DTN	PN	TN	Chl. a
Issiki tidal flat <sup>1)</sup>	June 1994	3.34	-4.2	-0.86	-0.65
	October 1994	31	8.8	39.8	1.24
Artificial tidal flat of the Hannan Second District	September 2000	28.7	11.4	36.7	0.47
	September 2001	-22.6	-7.0	-29.6	0.07

\* 負の数値は水中からの物質の消失を、正の数値は水中での生成を示す

1) 青山・鈴木 (1996)から引用

wet/m<sup>2</sup>, 覆砂冠水域で179gwet/m<sup>2</sup>となり、浚渫土砂域での生息量が多かった。これらの結果、2001年10月の干潟実験場内に分布するアオサ類とオゴノリの総湿重量はそれぞれ5422kgと2464kgと試算された。なお、海藻現存量調査時に干潟域の6定点で採取した底質のクロロフィルa濃度は10月29日が0.16-1.86 μg/g wet, 同じく10月30日が0.24-1.42 μg/g wetであった。

### (3) 小型底生動物の現存量

2000年9月と2001年9月の小型底生動物の出現状況を表-3に示す。16定点の平均値で表した出現種類数、個体数、総湿重量はそれぞれ2000年9月が1.9種/0.045m<sup>2</sup>, 810個体/m<sup>2</sup>, 8.5g/m<sup>2</sup>であり、2001年9月は7.3種/0.045m<sup>2</sup>, 4117個体/m<sup>2</sup>, 313g/m<sup>2</sup>であった。また、2000年9月は定点A1, C2, D1 (図-2b)は無生物であり、また他の定点の出現生物の殆どが小型多毛類によって占められていたのに対して、2001年9月は小型多毛類湿重量が22.6g/m<sup>2</sup>, 小型甲殻類湿重量が14.0g/m<sup>2</sup>, そして二枚貝湿重量が272g/m<sup>2</sup>に増加した。このように2001年9月は重量的に軟体動物が卓越したが、これはホトトギスガイ (198.5g/m<sup>2</sup>) やアサリ (73.8g/m<sup>2</sup>) などの二枚貝の出現に起因した。

結果として2001年9月は二枚貝の発現に特徴があった。なお、個体数から見ると、懸濁物食者のホトトギスガイ (1064個体/m<sup>2</sup>) とヨツバネスピオA型 (972個体/m<sup>2</sup>), そして表層堆積物食者のアシナガゴカイ (835個体/m<sup>2</sup>) が優占した。

### 5. 考察

本人工干潟現地実験場の晩夏における窒素の生成・消失量をボックスモデルから検討すると、造成初期の2000年9月の観測では溶存態総窒素や懸濁態窒素がともに3.9kg/dayと1.5kg/dayの生成となり、窒素が干潟域から排出されていることがわかった。しかし、2001年9月には溶存態総窒素と懸濁態窒素がそれぞれ3.5kg/dayと1.1kg/dayの消失に変化し、時間の経過に伴って人工干潟域が栄養固定の場になることが示唆された。2000年9月の干潟域が排出 (source) となったのは、現地実験場の完成から4ヶ月しか経過しておらず、水中窒素の固定に関与する底生動物や海藻類の現存量が十分でなかったことに一因すると考えられる。また、阪南2区人工干潟現

地実験場はその3/4の面積が浚渫土砂で造成されているため、底泥間隙水中に含まれる溶存態窒素が海水中に溶出したことにも原因する可能性がある。一方、2001年9月に溶存態総窒素や懸濁態窒素が消失(sink)となったのは、時間の経過にもなって小型底生動物が増加するとともに、海藻類が海底面表層を覆うようになり、海水中または浚渫土砂部から溶出した栄養塩を海藻が取り込んだことに一因するかと考えられる。現に、本干潟域における2001年10月のアオサ類とオゴノリの現存量は湿重5422kgと2464kgに達し、また、2001年9月の干潟域における二枚貝類の現存量は湿重1743kgに増加していた。さらに、2001年7月に本干潟実験場の潮上帯から潮下帯にかけての6定点で間隙水中の溶存態総窒素濃度を満潮時、干潮時ならびにその中間の時間帯に測定したところ、その多くは $\text{NH}_4\text{-N}$ によって占められ、平均濃度は $7.1\text{mg/l}$ と、海水( $681\text{ }\mu\text{g/l}$ )に比べて約10倍高濃度であった(矢持、未発表)。これらのことは底泥から海底直上水へのアンモニア態窒素の溶出が起こっていたこととそれを優占海藻が摂取していた可能性を推察させる。

今回の観測で得られた現地実験場での窒素の生成・消失量を単位面積および単位時間あたりに換算して、愛知県の代表的な天然干潟である一色干潟と比較した(表-4)。表から2000年9月の阪南2区人工干潟現地実験場での形態別の窒素収支は1994年10月の一色干潟のそれ<sup>13)</sup>と同様の傾向があり、値も近いことがわかる。一色干潟では1994年6月は総窒素で $0.86\text{ mgN/m}^2/\text{h}$ の消失であったものが、同年10月には $39.84\text{ mgN/m}^2/\text{h}$ の生成に変化しており、これについては1994年8月に大規模な苦潮が発生し、アサリなどのろ過食者が大量にへい死したためとされている。さらに、佐々木<sup>14)</sup>は同じ一色干潟で1984年7月は溶存態総窒素が $7.4\text{ mg/m}^2/\text{h}$ の消失であったのに対して1994年6月は $3.3\text{ mg/m}^2/\text{h}$ の生成となったことに関して、1984年6月に濃密に分布したアオサやアマモなどの植物が1994年6月には、それぞれ4%と9%程度に減少していたことに起因するであろうと報告している。

阪南2区人工干潟現地実験場でも溶存態総窒素が消失となった2001年9月に近い同年10月はアオサ類(*Ulva perutusa*, *Ulva fasciata*, *Ulva* sp.)とオゴノリがそれぞれ $797\text{ g wet/m}^2$  ( $3.3\text{ gN/m}^2$ )と $365\text{ g wet/m}^2$  ( $1.8\text{ gN/m}^2$ )の生息密度で分布した。アオサ類の野外における生長については、愛知県一色干潟のアオサで7%、またNorth Carolina州で行われた野外実験で、*Ulva* sp. が藻体湿重量ベースで約6.5%の日生長速度で増殖することが報告されている<sup>15, 16)</sup>。

仮に阪南2区人工干潟現地実験場のアオサ類を全てアナアオサとして、大阪湾産アナアオサの水分含量と窒素濃度(87.9%と $31\text{ mgN/g dry}$ )と日生長速度7%とから、本人工干潟現地実験場での1日あたりのアオサによる窒素固定量を試算すると $1.42\text{ kgN/day}$ となる。一方、オゴノリについてはロープにつけた藻体の最大比生長速度 $\mu_{\text{max}}$ が $0.07/\text{day}$ であったとされており<sup>17)</sup>、これと本実験場で採取・分析したオゴノリの水分含量と窒素濃度(84.8%と $40\text{ mgN/g dry}$ )とからその窒素固定量は $1.09\text{ kgN/day}$ と試算された。このアオサ類とオゴノリを合わせた1日の窒素固定量はボックスモデルから求めた溶存態総窒素の消失量( $3.47\text{ kgN/day}$ )の72%に相当した。最大生長速度あるいはそれに近い数値を使用しているため、海藻の窒素固定能をやや過大評価しているかも知れないものの、このことは造成後の時間経過が1-2年程度の人工干潟域において海藻が優占した場合、窒素循環に及ぼす海藻類の影響の大きいことを推察させる。一方、干潟域では底生微細藻類が窒素の循環に大きな役割を果たすことが知られており、夏季の東京湾盤洲干潟では微細藻類による生産( $\text{ca. } 8.0\text{ mgN/m}^2/\text{h}$ )の31%が海水から取り込まれたものであったことが報告されている<sup>18)</sup>。ただ、2001年10月に阪南2区人工干潟現地実験場の潮下帯から潮上帯にかけての6定点で堆積物を採取し、表面から2cm層までの混和試料のクロロフィルa濃度を測定したが、その平均値は $0.77 \pm 0.53\text{ }\mu\text{g/g wet}$ と低かった。この値は高松市春日川河口干潟<sup>19)</sup>や東京湾盤洲干潟のそれに比べて低いことから、この時期の本干潟域の窒素収支における底生微細藻類の役割は上記の自然干潟に比べると小さかったと推察される。

次に、小型底生動物による有機懸濁態窒素固定能を試算する。2001年9月の阪南2区人工干潟現地実験場における重量優占動物は、ホトギスガイとアサリで、軟体動物はこの2種しか出現しなかった。このほか、多毛類ではアシナガゴカイ、甲殻類ではドロクダムシが重量的に優占動物として出現した。これらのうち、ホトギスガイとアサリは懸濁物食者であり、アシナガゴカイとドロクダムシは表層堆積物食者であることが知られている<sup>20)</sup>。なお、ヨツバネスピオA型や*Pseudopolydora*属の懸濁物食性の多毛類も出現していたが、重量的には多くないことからここでは採取された多毛類の全てを表層堆積物食者と見なした。また、甲殻類についても出現生物は主にヨコエビ類であったことから同様に堆積物食者として取り扱った。懸濁物食者および表層堆積物食者の単位面積・単位時間当たりの窒素摂取量は次式から算出される。

$$Nfd = B \cdot (P/B) \cdot C / T / 365 \quad (2)$$

ここで、Nfd：摂餌による窒素摂取速度 (gN/m<sup>2</sup>/day), B：現存量(g/m<sup>2</sup>), P：生産量(g/m<sup>2</sup>), P/B：回転率, C：湿重量から窒素含量への変換係数 (Conversion factor), T：餌料転換効率 (増重量/摂餌量) である。

計算に当たっては、ホトトギスガイ、アシナガゴカイ、ドロクダムシの変換係数を実測値からそれぞれ0.0019, 0.023, 0.020とし、アサリについては0.0045<sup>21)</sup>を用いた。また、ホトトギスガイのP/B比は同じイガイ科の二枚貝である大阪湾産ムラサキガイの3.16<sup>22)</sup>を、アサリと堆積物食者については鈴木<sup>21)</sup>ならびに堀越・菊地<sup>23)</sup>に基づきそれぞれ2.5と3.0を用いた。さらに、アサリと堆積物食者の餌料転換効率には0.154<sup>2)</sup>を使用し、ホトトギスガイについては矢持ら<sup>26)</sup>が大阪湾のムラサキガイ個体群の成長から推定した0.26を用いた。

式(2)より2001年9月のホトトギスガイやアサリなどの懸濁物食者による窒素摂取速度は27.7mgN/m<sup>2</sup>/dayと試算された。ホトトギスガイやアサリの糞・偽糞排泄率を0.55<sup>21)</sup>とすると、12.5mgN/m<sup>2</sup>/dayが同化され、15.2mgN/m<sup>2</sup>/dayが体外に排出されることになる。一方、多毛類湿重量22.6g/m<sup>2</sup>と甲殻類湿重量14.0g/m<sup>2</sup>から、表層堆積物食者による摂餌速度は同じく式(2)から43.8mgN/m<sup>2</sup>/dayと試算される。表層堆積物食者は海底表層に堆積した有機物、懸濁物食者によって排泄された糞や偽糞などとともに堆積物表層に生息する付着微細藻類をも摂食すると考えられる。門谷<sup>26)</sup>は付着微細藻類の炭素/クロロフィルa比を調べ、その値を33.7と報告しており、この値と阪南2区人工干潟現地実験場の平均クロロフィルa濃度0.77μg/g wetから、付着藻類起源の炭素は25.9μgC/g wetと推定される。これをRedfield比(C:N=5.68:1, 重量比)を用いて付着藻類起源の窒素に変換すると4.56μgN/g wetとなる。一方、2001年6月に干潟域16定点で海底堆積物表層(0-2cm層)の窒素濃度を分析したところ、その平均値は275μgN/g wet(450μgN/g dry)であった。矢持ら<sup>27)</sup>は大阪湾の堺出島漁港で海底堆積物の全窒素濃度を6-9月にかけて調べ、その値は0.92-1.30mgN/g wet

(2.4-4.0mgN/g dry)の範囲を変動し、この期間は時期による著しい差がなかったとしていることから、阪南2区人工干潟現地実験場についても6月と9月の海底堆積物表層の窒素濃度に大きな差はなかったと推察される。ちなみに、2000年6月の阪南2区人工干潟現地実験場の海底堆積物表層の平均窒素濃度と標準偏差は340±410μgN/g dryで2001年6月(450±440μgN/g dry)と著しい違いはなかった。これ

らのことから、2001年9月の人工干潟現地実験場の表層堆積物食者が摂食した有機物に関して付着藻類の寄与の少なかったことが示唆される。今、阪南2区人工干潟現地実験場の表層堆積物食者の排泄率を0.52とし<sup>26)</sup>、懸濁物食者の糞や偽糞起源のものはすべて堆積物食者に摂食されると仮定すると、表層堆積物食者による窒素の体内取り込み速度21.0mgN/m<sup>2</sup>/dayのうち懸濁物食者の糞や偽糞起源のものは7.3mgN/m<sup>2</sup>/dayと推定される。したがって、懸濁物食と表層堆積物食の底生動物による窒素固定量は計33.5mgN/m<sup>2</sup>/dayと、また懸濁物食者が直接および間接的に関与する窒素固定量は19.8mgN/m<sup>2</sup>/dayと各々試算される。この懸濁物食者経由の窒素固定量はボックスモデルによる1日あたりの干潟域での懸濁態窒素消失量167.3mgN/m<sup>2</sup>/dayの12%に相当し、この値は海藻類による溶存態窒素の固定(72%)に比べると小さい。干潟域のアオサは夏場に繁茂し、秋季は沖に流失するので、結果として赤潮発生や貧酸素など環境悪化が顕著な夏季に窒素などの栄養塩を一時的に固定し、生態系の劣化を抑制する効果があると指摘されている反面<sup>12)</sup>、人工ラグーン内などの浅海域の栄養収支は海藻の栄養塩固定や枯死した海藻の底泥デトリタスへの移行量に強く支配され、系外への人為的な除去がないと栄養物質の固定機能は年とともに低下すると報告されている<sup>29)</sup>。また、平衡状態に達したアメリカの塩生湿地では、①窒素の年間収支は平衡しており、そこでは硝酸塩が還元的なアンモニウム塩に変換されるが、溶存有機態窒素は殆ど利用されない。②若い湿地は、堆積物や海水の交換にもなって流入する浮游懸濁態窒素のトラップ機能を有するが、これは湿地の発達に伴って不明瞭になり、成熟した湿地では懸濁物を沿岸部に供給して生物生産に影響を与えるとされている<sup>30)</sup>。これらのことは、若い人工干潟である阪南2区人工干潟現地実験場が次第に栄養物質の固定能を失い、懸濁物のSourceとなる可能性を示唆している。

## 6. まとめ

2000年9月と2001年9月に阪南2区人工干潟現地実験場で小型底生動物相と、クロロフィルaおよび窒素の収支を明らかにするための調査を、また2001年10月には優占海藻の現存量に関する野外調査を行ったところ、以下のような知見が得られた。

(1) 阪南2区人工干潟現地実験場は造成後の時間経過が少なかったためか、2000年9月は干潟から周辺

海域への溶存態総窒素、懸濁態窒素、総窒素の供給源として機能したが（溶存態総窒素：3.86kg/day、懸濁態窒素：1.53kg/day、総窒素：5.39kg/day）、藻類の濃密な繁殖や底生動物の個体群密度の増加が認められた2001年9月には窒素固定の場に変化していた。

(2) 2001年10月の優占海藻の現存量から藻類による1日当たりの窒素固定量を試算すると2.51kg/dayとなり、この値は干潟における溶存態窒素固定量の72%に相当した。一方、懸濁物食者が関与する窒素固定量は、1日あたりの干潟域での懸濁態窒素消失量の12%に相当し、この値は海藻類による溶存態窒素固定量に比べると小さかった。これらのことから、時間経過が1-2年程度の造成初期の人工干潟域において海藻が優占した場合、窒素循環に及ぼす海藻群落の影響の大きいことが推察された。

**謝辞:**本研究を行うに際して大阪市立大学大学院工学研究科講師重松孝昌博士、同技術職員小池敏也氏、ならびに国際航業株式会社岡本庄市氏には種々の助言と協力を賜った。また、大阪市立大学工学部河海工学分野ならびに環境水域工学分野の院生・学生諸氏にも調査に際し協力を賜った。さらに、大阪府港湾局阪南港湾事務所には資料の提供などの便宜を賜った。ここに記して謝意を表する。なお、本研究は平成12年度および平成13年度文部科学省科学研究費（基盤研究(B)）により実施した。

## 参考文献

- 1) 林 凱夫：大阪湾の漁業生物，瀬戸内海，Vol.2・3，pp.94-98，1995.
- 2) 矢持 進，小田一紀，柳川竜一，山根和夫，田代孝行，荒瀬幾恵：大阪湾湾奥海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，第48巻，pp.1191-1195，2001.
- 3) 菊池泰二：干潟は，いま：総論，海洋と生物，Vol.22，No.4，pp.300-307，2000.
- 4) 倉田 博訳：干潟の実験生態学，生物研究社，2000.
- 5) 木村賢史，市村 康，坂巻隆史，西村 修，稲森悠平，木幡邦男，須藤隆一：人工干潟における水質浄化能に関する解析，海岸工学論文集，第49巻，pp.1306-1310，2002.
- 6) 柳川竜一，矢持 進，中谷恵美，小田一紀：大阪南港野島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.1281-1285，2002.
- 7) 細川恭史：干潟の創造・修復の技術と課題，水産工学，vol.34，pp.93-103，1997.

- 8) 矢持 進，小田一紀：閉鎖性内湾における環境予測と評価のための試み—関西国際空港地先海域における生物生産構造の特徴—，海と空，Vol.77，pp.53-58，2000.
- 9) 日本海洋学会：海洋観測指針，気象庁編，pp.192-199，1984.
- 10) 日本海洋学会：海洋環境調査法，恒星社厚生閣，pp.272-277，1979.
- 11) 日本海洋学会編：沿岸環境調査マニュアルII [水質・微生物篇]，恒星社厚生閣，pp.104-108，1990.
- 12) 松川康夫：内湾域における物質輸送機構と窒素，磷の収支と循環に関する研究，中央水産研究所研究報告，Vol.1，pp.1-74，1989.
- 13) 青山裕晃，鈴木輝明：干潟の水質浄化機能の定量的評価，愛知県水産試験場研究報告，Vol.3，pp.17-28，1996.
- 14) 佐々木克之：干潟の物質循環，沿岸海洋研究ノート，Vo.26，No.2，pp.172-190，1989.
- 15) Matukawa, Y. and Umebayashi, O.: Standing crop and growth rate of *Ulva pertusa* on an intertidal flat, *Nippon Suisan Gakkaishi*, Vol.53, pp.1167-1171, 1987.
- 16) Rosenberg, G. and Ramus, J.: Ecological growth strategies in the seaweeds *Gracilaria foliifera* (Rhodophyceae) and *Ulva* sp. (Chlorophyceae): The rate and timing of growth, *Botanica Marina*, Vol.24, pp.583-589, 1981.
- 17) Troell, M., Halling, C., Nilsson, A., Buschmann, A.H., Kautsky, N. and Kautsky, L.: Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output, *Aquaculture*, Vol.156, pp.45-61, 1997.
- 18) Kuwae, T.: Biogeochemical roles of benthic micro organisms in intertidal flats, Ph.D. Thesis, University of Kyoto, 2001.
- 19) 門谷 茂：沿岸浅海域における物質循環—潮下帯から河口干潟まで—，水環境学会誌，Vol.22，No.7，pp.533-538，1999.
- 20) 風呂田利夫：干潟底生動物の分布と摂食様式，「プランクトンと河口生態系」，月刊海洋，Vol.28，No.2，1996.
- 21) 鈴木輝明，青山裕晃，中尾 徹，今尾和正：マクロベントスによる水質浄化機能を指標とした底質基準試案—三河湾浅海部における事例研究—，水産海洋研究，Vo.64，No.2，pp.85-93，2000.
- 22) 有山啓之，睦谷一馬，日下部敬之，鍋島靖信，佐野



- 雅基, 矢持 進: ムラサキイガイの湿重量・個体数および生産量, 渚の環境構造とその役割に関する調査研究報告書, 大阪府立水産試験場・近畿大学, pp. 76-85, 1993.
- 23) 堀越増興, 菊池泰二: ベントスの生物生産, 海藻・ベントス, 元田 茂編, 東海大学出版会, pp. 241-270, 1976.
- 24) 木村賢史, 三好康彦, 嶋津暉之, 紺野良子, 赤澤豊, 大島奈緒子: 人工海浜(干潟)の浄化能について, 東京都環境科学研究所年報, pp. 89-101, 1992.
- 25) 矢持 進, 佐野雅基, 有山啓之: 垂直護岸におけるムラサキイガイの懸濁態窒素のトラップ機能について, 渚の環境構造とその役割に関する調査研究報告書, 大阪府立水産試験場・近畿大学, pp. 108-120, 1993.
- 26) 門谷 茂: 瀬戸内海の現状と干潟域における物質循環: 海洋と生物, Vol. 129, No. 4, pp. 323-331. 2000.
- 27) 矢持 進, 岡本庄市, 山下貴幸, 久保佳洋, 小田一紀: 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, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 1086-1090, 1999.
- 28) 栗原 康, 稲森悠平, 土屋 誠: 人工干潟の研究(1) - 汚泥捕食者としてのゴカイ (*Neanthes japonica*) の生態的特性 -, 下水道協会誌, Vol. 17, No. 191, 1980.
- 29) 大塚耕司, 中谷直樹, 宮地誠之, 藤原峰生, 中西敬, 吉村直孝, 沢田 守: りんくう公園人工環礁の水質浄化機能に関する研究(第3報) - 内海モデルを用いた数値シミュレーション -, 関西造船協会誌, Vol. 231, pp. 135-144, 1999.
- 30) Valiela I. and J.M. Teal: The nitrogen budget of a salt marsh ecosystem, *Nature*, Vol. 280, pp. 652-656, 1979.

(2003. 1. 6受付)

## NITROGEN BUDGET AT THE ARTIFICIAL TIDAL FLAT CONSTRUCTED WITH THE DREDGED SEDIMENT - ON THE EXPERIMENTAL TIDAL FLAT OF HANNAN SECOND DISTRICT IN OSAKA BAY -

Susumu YAMOCHI, Hirotaka MIYAMOTO and Toru ONISHI

Budgets of nitrogen and chlorophyll *a*, along with macrobenthic fauna were studied in September 2000 and September 2001 at the experimental tidal flat of Hannan Second District, Osaka Bay. The net exchange of nitrogen markedly changed between 2000 and 2001. In September 2000 only five months after its construction, particulate nitrogen, dissolved total nitrogen and total nitrogen were released from the artificial tidal flat to the adjacent waters at a rate of 1.53, 3.86 and 5.39 kgN/day, respectively. In contrast, it functioned as a site of sink for nitrogen in relation to the growth of seaweeds and benthic animals in September 2001. As a result, nitrogen uptake by the dominant species of seaweeds attained 2.51 kgN/day which accounted for 72% of the total nitrogen fixed at the artificial tidal flat within one day. This suggests that seaweeds play an important role in the circulation of nitrogenous nutrients at the early stage of the artificial tidal flat of Hannan Second District, Osaka Bay.