

# 大阪湾およびその周辺海域の干潟における窒素収支と動植物現存量

## Nitrogen Budgets and Standing Crops of the Benthic Organism at Tidal Flats in and near Osaka Bay

矢持 進<sup>1</sup>

Susumu YAMOCHI

Field investigations were conducted at two semi-natural and four artificial tidal flats in and near Osaka Bay to examine nitrogen budgets and standing crops of the benthic organism in high water temperature seasons of 2000 to 2006. The net exchange of nitrogen markedly changed from a source to a sink within 2 or 3 years of construction due to the massive reproduction of benthic organisms at the young artificial tidal flat. In contrast, nitrogen was trapped at a rate of ca.100 mgN/m<sup>2</sup>/day at the matured artificial tidal flat where dissolved inorganic nitrogen was temporally incorporated into the biomass and was exported in the form of dissolved organic nitrogen. The semi-natural tidal flat yielded a large quantity of bivalves and its nitrogen budget was well balanced compared to the artificial ones.

### 1. はじめに

水域環境の再生や親水空間の創出を目標に, 全国各地の海岸で人工干潟や人工塩性湿地の造成が行われている。干潟は水質浄化機能や生物保育機能に富むと言われており, 人為的に創出された干潟でもこれらの機能が創生されるとの報告がある (今村, 1998)。このような背景のもと, 近年, 海岸工学分野においても人工干潟の機能と構造に関する調査・研究が活発に行われるようになった (桑江ら, 2003; 国分ら, 2005)。しかしながら, 複数の干潟の水質浄化能と生物保育能を同じ研究チームが継続的かつ定量的に調査し, 経年的な変動と空間的な差異を比較・検討した事例は少ない。本研究は, 大阪湾およびその周辺海域に存在または造成された半自然干潟と人工干潟を対象に, 形態別の窒素収支と優占動植物相を調査し, そのデータの整理・解析を通じて人工干潟の造成において目指すべき方向性を考察することを目的とした。

### 2. 調査の方法

#### (1) 調査海域

2000 年から 2006 年の高水温期を中心に, 大阪市大阪南港野鳥園北池, 大阪南港野鳥園南池, 岸和田市阪南 2 区人工干潟現地実験場, 岸和田市阪南 2 区干潟創造実験場, 和歌山市和歌川河口干潟, ならびに和歌山県田辺市内之浦干潟の計 6 カ所で観測を実施した (表-1, 図-1)。

大阪南港野鳥園は 1983 年に造成された塩性湿地で, 大阪湾に面する湿地北西側は消波ブロックやコンクリートケーソンで囲まれているため, 波浪の影響が殆どなく潟湖的特徴を有している。この人工塩性湿地は北池・西池・南池から構成されるが, このうち北池 (面積約 4.0 ha) は, 1995 年に鋼管 6 本が敷設され, 湿地内に海水が

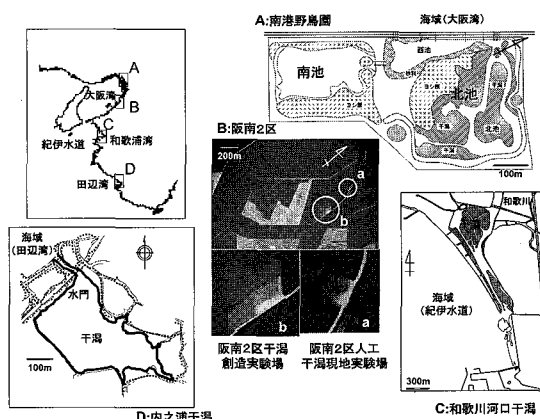


図-1 調査対象干潟

表-1 調査対象干潟の諸元

| 対象干潟            | 場 所     | 種 類          | 面積 (ha) | 造成年    |
|-----------------|---------|--------------|---------|--------|
| 大阪南港野鳥園北池       | 大阪市     | 人工塩性湿地 (潟湖型) | 4.0     | 1983 年 |
| 大阪南港野鳥園南池       | 大阪市     | 人工塩性湿地 (潟湖型) | 3.8     | 1983 年 |
| 阪南 2 区人工干潟現地実験場 | 大阪府岸和田市 | 人工干潟 (前浜型)   | 0.8     | 2000 年 |
| 阪南 2 区干潟創造実験場   | 大阪府岸和田市 | 人工干潟 (前浜型)   | 5.4     | 2004 年 |
| 和歌川河口干潟         | 和歌山市    | 半自然干潟 (河口型)  | 55      |        |
| 内之浦干潟           | 和歌山県田辺市 | 半自然干潟 (潟湖型)  | 5.6     |        |

流入するようになった。この海水導入管の下端の地盤高は D.L.+0.15 m で, 大潮や中潮の干潮時には湿地の多くが干出する特徴がある。また, 南池 (面積約 3.8 ha) にも 2004 年 5 月にポリエチレン管 2 本が設置され, 海水の導入が行われたが, 管底の位置が D.L.+0.60 m と北池より高いため干潮時にも冠水する面積が比較的大きい。両池とも湿地造成材料として浚渫土が用いられ, 浚渫土の上に海砂が 40 cm の厚みで敷き詰められた。なお, 現在は海砂の上に細粒分の堆積が認められる。

岸和田市阪南2区人工干潟現地実験場（面積0.8ha）は2000年5月に阪南2区整備事業に伴う環境保全代償措置として埋め立て予定地内に試験的に造成された前浜型の人工干潟である。本干潟の養浜材としては近隣の港湾海域から採取した浚渫土が用いられており、干潟の面積の1/4には浚渫土の上に海砂が1mの厚みで敷き詰められた。干潟の周囲は捨て石からなる土留め堤と側壁ならびに石積み護岸で囲まれており、干潟勾配は3/100から5/100である。なお、本干潟は岸から約1kmの沖合に位置し、近隣からの河川流入の直接的影響はない。

阪南2区干潟創造実験場は上記の人工干潟現地実験場と同じ埋め立て地に2004年2月に創出された面積約5.4haの前浜型の人工干潟である。この干潟は沖合方向に160-270m、幅260mの長さがあり、岸側護岸から沖合80mには中仕切り堤が設置されている。中仕切り堤の沖側はDL-1.9mからDL-2.3mで常に冠水する浅海域であるのに対して中仕切り堤と岸側護岸の間は大潮干潮時には多くが干出する。養浜材には大阪湾北部港湾域の浚渫土砂が使われ、中仕切り堤より岸側の干潟域（面積2.1ha）の多くにおいて0.3-1.2mの厚さで覆砂が行われた。

和歌川河口干潟は面積が約75haで、干潟奥部の底質は泥質であるが残りには砂質を主成分とする半自然干潟である。本干潟近隣に存在する河川としては和田川・和歌川・津屋川があり、このうち和歌川河口部には河川水の水質悪化を防ぐため1979年に和歌川排水機場が建設され、干潟域の海水を0-12m<sup>3</sup>/secの流量で河川上流方向に転送している。また、津屋川の流量が極めて小さいことから、和歌川河口干潟に流入するのは主として和田川の一部と紀三井寺川からの河川水となる。干潟勾配は奥部で2/100-8/100、中部で0.2/100-7/100、外海との境界付近で0.3/100-12.5/100とされている。

干潟面積約5.6haの田辺湾内之浦干潟では、1994-1998年に親水公園化を目指して護岸のスロープ化・周辺歩道の拡張・河川改修などの土木工事が行われた。そのため、かつては入江であったものが堤防によって外海と分離され、現在は干潟北西部にある長さ4mの水門2箇所によって外海との海水交換が行われている。底質は砂泥または泥質であり、大潮干潮時には殆ど干潟全域が干出する。本潟湖的干潟には、3つの小河川が見られるが、降雨時を除き河川水流入量は極めて小さい。

なお、和歌川河口干潟や内之浦干潟の海底は人為的な変化が加えられていないものの、周囲は石積み護岸やコンクリート護岸で覆われているため本研究においては両干潟を半自然干潟と表現する。

## (2) 観測方法

干潟の窒素収支については、干潟内外における栄養物質濃度を2潮汐間調べ、ボックスモデルによって求める

表-2 大阪湾およびその周辺海域の干潟における窒素収支

| 対象干潟                | 調査年月日          | 窒素収支                    |              |              |      | 河川による<br>干潟面積当<br>たりの窒素<br>負荷 | 堆積物か<br>らの溶存<br>無機態窒素<br>の溶出 |
|---------------------|----------------|-------------------------|--------------|--------------|------|-------------------------------|------------------------------|
|                     |                | 溶存態窒素<br>無機態            | 懸濁態<br>有機態窒素 | 懸濁態<br>無機態窒素 | 総窒素  |                               |                              |
|                     |                | mgN/m <sup>2</sup> /day |              |              |      |                               |                              |
| 大阪南港<br>野島園北池       | 2002年3月13-14日  | -305                    | 145          | -104         | -264 | 流入河川<br>なし                    |                              |
|                     | 2002年7月31日     | -77                     | 39           | -61          | -99  |                               |                              |
|                     | -8月1日          |                         |              |              |      |                               |                              |
|                     | 2002年10月9-10日  | -120                    | 16           | -27          | -131 |                               |                              |
|                     | 2002年12月4-5日   | -126                    | 58           | 10           | -58  |                               |                              |
| 大阪南港<br>野島園南池       | 2006年10月31日    | -44                     | 84           | 1            | 41   | 流入河川<br>なし                    | 78                           |
|                     | -11月1日         |                         |              |              |      |                               |                              |
|                     | 2006年10月31日    | -59                     | 63           | -16          | -12  |                               |                              |
| 阪南2区<br>現地実験場       | 2000年9月25-26日  | 679 <sup>a</sup>        |              | 284          | 962  | 流入河川<br>なし                    | 98                           |
|                     | 2001年9月20-21日  | -565 <sup>a</sup>       |              | -170         | -735 |                               |                              |
|                     | 2002年9月3-4日    | 57 <sup>a</sup>         |              | -611         | -554 |                               |                              |
|                     | 2003年10月7-8日   | 347 <sup>a</sup>        |              | -153         | 194  |                               |                              |
|                     | 2006年9月21-22日  | -738 <sup>a</sup>       |              | 69           | -669 |                               |                              |
| 阪南2区<br>干潟創造<br>実験場 | 2004年9月15-16日  | 7                       | 371          | 280          | 658  | 流入河川<br>なし                    | 10                           |
|                     | 2005年9月21-22日  | -30                     | -497         | 425          | -103 |                               |                              |
|                     | 2006年9月21-22日  | 7                       | 245          | -364         | -112 |                               |                              |
| 和歌川<br>河口干潟         | 2003年7月30-31日  | 218                     | -103         | -52          | 63   | 1660                          | -                            |
|                     | 2004年7月16-17日  | -27                     | -36          | -105         | -168 |                               |                              |
|                     | 2004年10月28-29日 | -31                     | -78          | -189         | -298 |                               |                              |
| 内之浦干潟               | 2006年9月25-26日  | 15                      | 35           | -39          | 11   | 36                            | 50                           |

\* 正の値は干潟から外海域への排出、負の値は干潟でのトラップを示す

a: 溶存態窒素の収支、b: 堆積物表面と表面下5cmの濃度差および拡散係数から推算

方法（松川，1989），または導水管，石積み護岸，水門，ならびに干潟－外海境界部での海水流入・流出量と栄養物質濃度を1時間間隔で同じく2潮汐間にわたって測定することによって算出する方法（矢持ら，2003）を用いた。なお、和歌川河口干潟と内之浦干潟では毎正時の河川流量と河川水の窒素濃度から河川水による窒素負荷を求めた。また、大阪南港野島園北池と南池、阪南2区干潟創造実験場、和歌川河口干潟、ならびに内之浦干潟ではベンシックチャンバーまたはコアサンプル管により海底堆積物からの無機態窒素の溶出速度を測定した。

栄養物質動態に影響を及ぼす動植物については底生微細藻類、海藻ならびに小型底生動物の現存量を調べた。この場合、底生微細藻類現存量は干潟の海底堆積物を内径1.8cm、長さ約10cmのアクリルパイプを用いて採取したのち、その表面から0.5cm層までの堆積物試料についてクロロフィルa濃度を測定することによって求めた。海藻現存量は1片50cmの方形枠を用いて海藻を採集し、その湿重量から単位面積あたりの現存量を算出した。また、小型底生動物現存量は小型採泥器（採取面積0.0225m<sup>2</sup>）か港研式採泥器（採取面積0.045m<sup>2</sup>）で海底堆積物を採取した後1mm目の篩にかけ、残存した生物の湿重量を分類群別に測ることによって求めた。

## 3. 結 果

### (1) 窒素収支

大阪湾およびその周辺海域に存在する6箇所の干潟の窒素収支を表-2に示す。大阪南港野島園北池での総窒素の収支については、2006年10月31日-11月1日の観測時を除き、北池は-58mg/m<sup>2</sup>/dayから-264mg/m<sup>2</sup>/dayの値を示し、窒素としては干潟内にトラッ

プされている状況が窺われた。形態別に見ると、有機態窒素は  $16 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  から  $145 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  の範囲内で大阪湾へ排出されていたのに対して無機態窒素は  $44 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  から  $305 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  (平均  $134 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ) の範囲で大阪湾から取り込んでいた。なお、懸濁態窒素には一定の傾向が見られなかった。結果的に北池は外海から無機態窒素を取り込み、それを有機態窒素に変換して排出し、総体としてみると窒素を干潟内にトラップする機能があることがわかった。このことと、堆積物から水中へ溶存態窒素が  $78 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  の速度で溶出していることを考えると、冠水時の干潟における溶存態窒素のトラップ速度は  $200 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  前後に達するのかも知れない。大阪南港野鳥園北池に隣接し、冠水面積は北池より広いが、海水導入が図られて2.5年しか経過していない南池でも窒素収支について同様の現象が見られた。すなわち、無機態窒素を取り込み、有機態窒素に形態を変化させて海域に放出するが、総窒素で見ると流入量より流出量が少なかった。堆積物からの溶存態窒素の溶出速度は北池と同程度の  $98 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  であった。基本的に大阪南港野鳥園北池と南池は窒素を干潟内にトラップする Sink タイプの干潟であると言える。

大阪南港野鳥園ほど富栄養化していない大阪岸和田阪南2区人工干潟現地実験場では、9月末から10月初めの晩夏に観測を行ったが、総窒素の収支は  $962 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  から  $-735 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  の間を大きく変動した。溶存態窒素、懸濁態窒素、ならびに総窒素を見た場合、値の絶対値は  $100 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  以上を示すことが多く、栄養バランスが安定せず、年によって干潟は窒素吸収の場になったり、外海への負荷源になったりすることがわかった。

阪南2区干潟創造実験場は阪南2区人工干潟現地実験場の6倍の面積を有している。この干潟において、同じ手法により3か年連続して収支を調べた。総窒素で見ると、造成初年は干潟外への  $658 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  の放出、2年目と3年目は約  $100 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  の干潟内でのトラップという結果が得られた。また、この干潟では窒素収支における溶存有機態窒素の寄与が大きかった。経年的な変化を阪南2区人工干潟現地実験場と比べると、造成初年は大幅な窒素の排出であったものが次第に窒素固定の場へと変化するという共通点が認められた。この造成初年における干潟から外海への窒素の排出については、浚渫土砂間隙水に含まれる窒素の水中への溶出に一因すると考えられる。なお、溶存態と懸濁態窒素それぞれの収支の変遷に関しては、3-6年経過しても一定の傾向が見られず、値は総じて大きいものの不安定であった。また、海底堆積物からの溶存態無機窒素の溶出速度は2005年9月が  $10 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、2006年9月が  $53 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  であった。

和歌川河口干潟は和田川などからの汚濁水の流入によ

表-3 大阪湾およびその周辺海域の干潟における藻類と小型底生動物現存量

| 対象干潟                  | 調査年月日          | 海藻現存量<br>g wet/m <sup>2</sup> | 底生微細藻類現存量<br>mg chl a/m <sup>2</sup> | 小型底生動物現存量<br>g wet/m <sup>2</sup> |
|-----------------------|----------------|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 大阪南港<br>野鳥園北池         | 2000年9月13日     |                               |                                      | 0-18(5.1)                         |
|                       | 2002年10月9日     | 0-5200(2628)                  | 29.7-256(100)                        |                                   |
|                       | 2005年10月18日    | 55-1545(433)                  | 17-417(72)                           |                                   |
|                       | 2006年6月14日     | 800-5720(2572)                |                                      | 26-141(68)                        |
|                       | 2006年7月26日     | 380-4880(1780)                | 37-698(194)                          |                                   |
|                       | 2006年8月23日     | 0-4140(1765)                  | 24-620(143)                          |                                   |
| 大阪南港<br>野鳥園南池         | 2006年11月1日     | 480-8060(2289)                | 17-239(120)                          |                                   |
|                       | 2005年10月18日    | 85-6500(2275)                 | 21-401(128)                          |                                   |
|                       | 2006年6月14日     | 200-9680(3599)                |                                      | 53-132(92)                        |
|                       | 2006年7月26日     | 0-4980(1529)                  | 16-233(91)                           |                                   |
|                       | 2006年8月23日     | 0-2640(690)                   | 57-448(172)                          |                                   |
|                       | 2006年11月1日     | 200-5160(1979)                | 33-401(131)                          |                                   |
| 阪南2区<br>人工干潟<br>現地実験場 | 2001年9月20日     |                               |                                      | 0-1833(313)                       |
|                       | 2001年10月29日    | 0-10420(1160)                 | 1.6-18.1(7.1)                        |                                   |
|                       | 2002年9月4日      | 0-9560(1261)                  |                                      | 0-4727(441)                       |
|                       | 2003年9月24日     | 0-1260(502)                   | 0.03-166(39)                         | 0-5760(930)                       |
| 阪南2区<br>干潟創造<br>実験場   | 2003年10月7-8日   |                               | 7.8-11.6(9.7)                        |                                   |
|                       | 2004年9月16-17日  | 0-2520(858) <sup>a</sup>      |                                      | 0-637(195)                        |
|                       | 2005年9月21-22日  | 40-4200(1729) <sup>a</sup>    |                                      |                                   |
|                       | 2006年9月21-22日  | 0-4360(1498) <sup>a</sup>     | 1.6-10.7(4.4)                        | 0-91(30)                          |
| 和歌川                   | 2003年7月30-31日  | 0-6400(257)                   |                                      | 95-1435(914)                      |
| 河口干潟                  | 2004年7月15-17日  | 0-4000(58)                    | 13.1-83.5(46)                        | 354-4858(1949)                    |
|                       | 2004年10月28-29日 | 0-1880(5)                     | 15.9-116(53)                         | 150-5718(1894)                    |
| 内之浦干潟                 | 2006年9月25-26日  |                               | 28.9-45.3(36)                        |                                   |

\*:括弧内は平均値

a:DL+1.49 m から DL-0.50 m の地盤高の海域の値

り、夏季に干潟  $1 \text{ m}^2$  当たり1日  $1200-1600 \text{ mg}$  の窒素負荷があることがわかった。本河口干潟では懸濁態窒素と溶存有機態窒素の収支が3回の調査とも負の値を示し(懸濁態窒素:  $-52 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  から  $-189 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、溶存有機態窒素:  $-36 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  から  $-103 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ )、流入水中の有機懸濁物質や溶存有機物質が干潟内に残留している間に海水中から消失していることが示唆された。和歌川河口干潟では、干潟と外海境界部での総窒素の収支は3回の観測のうち負の値が2回得られ、見かけ上干潟内で窒素がトラップされているという結果となった。なお、正の値を示した2003年7月も  $63 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  と、収支は比較的均衡がとれていた。本河口干潟の底質の多くは砂質であるためか、堆積物からの溶存態無機窒素の溶出は少ないと考えられた( $3-4 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ )。

潟湖的特性を有する半自然干潟である田辺湾内の浦干潟は、底質の細粒成分が多いためか堆積物からの無機態窒素の溶出速度が  $50 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  と、和歌川河口干潟の13-17倍、南港野鳥園や阪南2区干潟創造実験場のそれと同じオーダーであった。また、本干潟の周辺地域には大規模な汚濁負荷源がないため、河川による干潟面積当たりの窒素負荷は和歌川河口干潟の  $1/34$  から  $1/46$  であった。この干潟の窒素収支については、溶存態無機窒素と溶存態有機窒素がそれぞれ  $15 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  と  $35 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  の外海への排出、懸濁態窒素が  $39 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  の干潟での吸収となり、結果的に総窒素としては  $11 \text{ mg/m}^2/\text{day}$  の放出となった。面積  $56000 \text{ m}^2$  の内の浦干潟では、1日に家庭排水などにより約  $2000 \text{ g}$ 、海底堆積物から約  $2800 \text{ g}$  の窒素負荷があり、その約  $7/8$  は干潟内でのトラップか脱窒などによる系外転送が行われ、

残り 1/8 にあたる約 600 g の窒素を田辺湾へ栄養として供給していることがわかった。

## (2) 藻類と小型底生動物現存量

表-3 に大阪湾およびその周辺海域の干潟における海藻、底生微細藻類、そして小型底生動物の現存量を示す。高水温期の南港野鳥園北池ではアナアオサが、南池では主としてジズモ属の 1 種が大量増殖し、各調査時の平均湿重量は、北池で 433-2628 gwt/m<sup>2</sup>、南池で 690-3599 gwt/m<sup>2</sup> に達した。また、両池では底生微細藻類も活発に増殖し、多くの定点で 100 mg chl a/m<sup>2</sup> を上回る値となった。小型底生動物については 2000 年 9 月と 2006 年 6 月に調査したが、現存量は 2000 年 9 月の北池で 0-18 gwt/m<sup>2</sup>、同じく 2006 年 6 月の北池で 26-141 gwt/m<sup>2</sup> となった。この時の個体数優占動物は 2000 年 9 月がドロクダムシ科、2006 年 6 月が多毛類イトゴカイ科の 1 種 (*Capitellidae* sp.) と端脚類ヨコエビ科 (*Corophium* spp.) であった。また、南池では 2006 年 6 月に多毛類イトゴカイ科または端脚類ヨコエビ科がそれぞれ優占し、53-132 gwt/m<sup>2</sup> の現存量を示した。

阪南 2 区人工干潟現地実験場では造成翌年からアオサ類の大量増殖が認められ、2001 年 10 月と 2002 年 9 月の現存量は最大で 1 m<sup>2</sup> あたり湿重 10 kg 前後に及んだ。このような場合、アオサ類が 4-5 枚重なって海底面上を覆い、水中光量の実地面で減衰は著しいと考えられた。底生微細藻類の増殖は南港野鳥園と比べて不活発で、平均現存量は 7.1-39 mg chl a/m<sup>2</sup> であった。

なお、底生微細藻類が 0.03 mg chl a/m<sup>2</sup> と、極めて低レベルであった定点が確認されたが、この地点は地盤高が高く、干出時間の長い場所であった。小型底生動物の平均現存量は 2001 年 9 月が 313 gwt/m<sup>2</sup> は、2002 年 9 月が 441 gwt/m<sup>2</sup>、2003 年 9 月が 930 gwt/m<sup>2</sup> と経年的に増加したが、これは 1 個体当たりの重量の小さい端脚類ドロクダムシ科からイガイ科の二枚貝ホトトギスガイに優占動物が変遷したことに一因する。

阪南 2 区干潟創造実験場の中仕切り堤より岸側の海域ではアオサ類の一種が繁茂し、2004 年、2005 年、2006 年の 9 月中下旬の平均海藻現存量は、それぞれ 858 gwt/m<sup>2</sup>、1729 gwt/m<sup>2</sup>、1498 gwt/m<sup>2</sup> となった。底生微細藻類の現存量は 2006 年 9 月 21-22 日に調べたが、1.6-10.7 mg chl a/m<sup>2</sup> の範囲を変化し、阪南 2 区人工干潟現地実験場と同程度で、南港野鳥園北池や南池に比べて小さかった。また、個体数に関する優占小型底生動物は 2004 年 9 月がホトトギスガイ、2006 年 9 月が多毛類の *Sigambra tentaculata* であった。

2003 年と 2004 年の和歌川河口干潟では、アナアオサの出現状況が大きく異なった。即ち、2003 年はアナアオサが比較的濃密に出現したのに対して、2004 年は分布域が限られており、2004 年の現存量は 2003 年に比べ、高分布域で 1/6、干潟全域で 1/5 に過ぎなかった。この

原因に関しては、2004 年は日本列島への台風の接近や上陸が多く、これによる海底攪乱と干潟外への流出に起因すると考えられる。底生微細藻類現存量は南港野鳥園と阪南 2 区の両干潟のおおよそ中間の値を示した。小型底生動物現存量は極めて高く、アサリ、オキシジミなどの二枚貝やウミナナ科やイボキサゴなどが生息したため多くの地点で 1 kg wet/m<sup>2</sup> を上回る数値となった。和歌川河口干潟ではこのように貝類の増殖が活発であった。内之浦干潟の底生微細藻類現存量は 28.9 mg chl a/m<sup>2</sup> から 45.3 mg chl a/m<sup>2</sup> の範囲を変動し、その平均現存量 36 mg chl a/m<sup>2</sup> は和歌川河口干潟と同レベルであった。

## 4. 考 察

前浜型の若い人工干潟である阪南 2 区人工干潟現地実験場と同干潟創造実験場では、造成当初は外海に対する窒素供給の場であったものが窒素を取り込む場へと 2-3 年で移行する共通点が認められた。両干潟では共に主たる造成材料として近隣海域からの浚渫土砂が使用されたこと、造成翌年からアオサ類の一種などの海藻類の大量繁茂が認められるようになり、その後アサリやホトトギスガイなどの二枚貝が大量に増殖したことが知られている。このことから、当初は海底堆積物から溶出した窒素を捕捉するものが干潟上に存在せず、干潟外に流出していたが、海藻類の光合成や二枚貝の摂食活動によって外海から流入した窒素と堆積物から溶出した窒素が干潟内でトラップされるようになったと考えられる。実際、優占海藻の現存量と日間生長速度から 1 日当たりの藻類による溶存態窒素の取り込み量を、またアサリの現存量、個体重量、濾水速度などから小型底生動物による懸濁態窒素の摂取量を阪南 2 区人工干潟現地実験場についてそれぞれ試算してみると、その合計はボックスモデルによる干潟内での窒素消失量を上回った (矢持ら, 2003)。アサリの活動に関する潮汐依存性、糞・偽糞の再懸濁、代謝産物としての海藻の有機態窒素の排出などを無視しているため、これら底生動植物による取り込みを過大評価している面は否めないが、若い人工干潟の窒素収支については優占海藻や貝類など生物の関与が特に大きいであろう。一方、両人工干潟での底生微細藻類の生息は、同じ人工水域である南港野鳥園北池・南池、ならびに和歌川河口や内之浦などの半自然干潟に比べて貧弱であった。この原因として、風浪による底面攪乱に加えて阪南 2 区の干潟ではアオサ類が海底を数重に覆い被さるようにして繁殖したため、海底面上に分布する底生微細藻類は光制限の状況に追い込まれたためと推察される。ちなみに、風浪の影響を受けたものの過度にアオサ類が分布しなかった和歌川河口干潟では、阪南 2 区の両干潟より数倍、底生微細藻類現存量が多かった。

成熟した人工塩性湿地である南港野鳥園北池では外海から無機態窒素を吸収し、有機態窒素に変換して排出するものの、総窒素は干潟内にトラップされる傾向が強かった。この結果は、導水管の敷設などの順応的な管理が行われれば、人工的な塩性湿地であっても生態系機能が造成後に保持されることを示している。ところで、窒素が継続的にトラップされる干潟では、系外転送がなければいずれ窒素過多の状況に陥ってしまう。この点に関して、系外除去機能の一つとして、本人工塩性湿地で底質の脱窒速度を調べたところ、 $10\text{--}29\text{ mg/m}^2/\text{day}$  と特に高い値でなかった。一方、本湿地には年間数万羽のシギ、チドリが飛来し、底生動物を索餌することから、野鳥による系外転送の重要性が推察される。なお、本人工塩性湿地北池は干出するエリアと冠水するエリアが混在し、そのためかアナアオサが濃密に分布するにもかかわらず、底生微細藻類の出現量が多くなったと考えられる。底生微細藻類は堆積物食性の多毛類や甲殻類の主要な餌生物であるとともに、藻類が再懸濁することによって、懸濁物食の多毛類や軟体類の餌になるとも考えられる。これらの多毛類、甲殻類、軟体類は野鳥の主要餌料となることから、本人工塩性湿地は富栄養で底生微細藻類が多く、また人間の侵入を抑制していることを通じて、小型底生動物、野鳥などによる物質転送が円滑に進められているのではないかと推察される。

一方、和歌川河口干潟や内之浦干潟のような半自然干潟では総窒素の排出・吸収が若い人工干潟に比べて小さく、栄養物質出入りの均衡がとれている状況が見られた。特に和歌川河口干潟では河川による干潟面積あたりの窒素負荷が大きいにもかかわらず総窒素の収支が比較的均衡していた。この和歌川河口干潟では河口部に排水機場が建設されており、干潟奥部の海水を河川上流側に輸送することによって、河川由来の汚濁水が干潟の広域に拡散するのを防いでいる。2003年7月30-31日の調査によれば、1日に約 $8.2 \times 10^5\text{ m}^3$ の河口水を上流に転送し、結果として河川からの窒素負荷の80%近くが干潟に流入するのを抑制した。中規模都市において河川からの汚濁物質負荷量が増大する場合、水域の環境容量を考慮しつつ、このような対策も海域環境の保全に有効かと考えられる。また、このような汚濁負荷の人為的な管理によって、和歌川河口干潟では適度な底生微細藻類と二枚貝類の増殖が認められた。食物連鎖の起点であり、上位栄養階層への物質転送が円滑な底生微細藻類が適度な生物密度で増殖し、それが貝類現存量の増加に繋がるような干潟の創生が今後必要かと考えられる。

## 5. ま と め

2000年から2006年にかけて、大阪湾とその周辺海域

に存在する干潟で窒素収支と優占生物に関する野外調査を実施し、その結果を整理・検討したところ以下のような知見が得られた。

- (1) 前浜型の若い人工干潟である阪南2区の両干潟について、造成当初は周辺海域への窒素負荷源であったが、経年的に外海の窒素を取り込む場へと移行する傾向が窺われた。一方、成熟した潟湖的人工塩性湿地である大阪南港野鳥園では、溶存態無機窒素を取り込み、溶存態有機窒素として排出する特徴があるものの、北池では約 $100\text{ mg/m}^2/\text{day}$ の速度で窒素を干潟内にトラップしていた。
- (2) 和歌川河口干潟や内之浦干潟のような半自然干潟では総窒素の収支が若い人工干潟に比べて小さく、栄養物質収支の均衡がとれている状況が見られた。特に和歌川河口干潟では河川による干潟面積あたりの窒素負荷が大きいにもかかわらず総窒素の収支が比較的均衡しているが、これは河口部の排水機場によって下水処理水などの汚濁流入水が系外転送された効果が大きいと推察された。
- (3) 生物動態については、人工干潟で海藻類の繁殖が著しく、反対に小型底生動物現存量が半自然干潟より小さかった。後者については主として貝類現存量の差異に起因した。底生微細藻類は若い人工干潟で現存量が小さい傾向が認められた。

謝辞：本研究は、大阪市立大学工学部または大学院工学研究科に所属した柳川竜一氏、岡本庄市氏、宮本宏隆氏、田口敬祐氏、田口恵美氏、大西 徹氏、松久純世氏、平井 研氏、藤原俊介氏、橘 美典氏、那須陽平氏、小林愛実氏、前畑友香氏、清水広之氏、神保幸代氏らとともにに行った研究活動の成果を取り纏めたものである。また、阪南2区干潟創造実験場の小型底生動物データの一部は国交省国土技術政策総合研究所から提供を受けた。ここに記して深謝いたします。

## 参 考 文 献

- 今村 均(1998)：人工干潟造成の現状と課題，沿岸の環境圏，フジ・テクノシステム，pp. 1112-1121.
- 桑江朝比呂・河合尚男・赤石正廣・山口良永(2003)：三河湾の造成干潟および自然干潟に飛来する鳥類群集の観測とシギ・チドリ類が果たす役割，海岸工学論文集，第50巻，pp. 1256-1260.
- 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之(2005)：英虞湾における浚渫へドロを用いた大規模造成干潟の底質と底生動物の特性について，海岸工学論文集，第52巻，pp. 1196-2000.
- 松川康夫(1989)：内湾域における物質輸送機構と窒素・隣の収支と循環に関する研究，中央水産研究所報告，第1巻，pp. 1-74.
- 矢持 進・柳川竜一・橘 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能の評価，海岸工学論文集，第50巻，pp. 1241-1245.