

# 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

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\*\*\*\*\*

本研究では都市に近接する自然干潟について、夏季平水時の生物生産と窒素収支を検討した。和歌川河口干潟の窒素収支は溶存無機態窒素の排出が卓越したため、総窒素としては干潟外への排出となった。また、生物生産を窒素の固定と考えると、河川からの流入窒素の約 32% が生物により固定され、特にアオサ類や底生微細藻類などの基礎生産者の寄与が大きかった。一方、外海との海水交換により流入負荷量の 6% が、和歌川排水機場での取水により 60% が系外に排出されていた。これらのことから、当干潟は自然干潟であるものの、排水機場を通じて人為的に栄養物質が転送されることによって、干潟の環境が保全されていることが判明した。

## 1. はじめに

都市近傍の海域においては、陸域からの栄養物質の過剰な流入と開発にともなう海面埋め立て等により干潟や浅場が減少し、赤潮の発生や貧酸素水塊の出現等の環境問題が多発している。また、都市の海岸線の多くは人工的な垂直ケーソンや消波ブロック護岸に覆われ、市民が容易に水や生き物と触れあえる親水空間が激減してしまった。

2003 年 1 月に自然再生推進法が施行され、地域の多様な主体の参加により、過去に損なわれた森林、里山、河川、湿原、干潟、藻場などの自然環境を保全・再生し、場合によっては創出および維持管理することが求められている。本研究で対象とした和歌川河口域は、和歌山市市街地からの生活系排水の影響を強く受けるものの、近畿地方最大の干潟が残されており、生物生息、海水浄化、市民の憩いの場、さらには流域圏の物質循環などにおいて重要な役割を果たしていると考えられる。しかしながら、陸域からの流入負荷、干潟域での生物による栄養固定、外海との海水交換を通じての物質の系外排出など、和歌川河口生態系を物質循環という観点で捉え、解析した事例は極めて少ない。

本研究は、人間活動の影響を前提とした保全と管理が欠かせない和歌川河口干潟生態系において、栄養物質の収支や動態を明らかにすることによって、都市における人と干潟とのかかわり方を検討し、「都市型自然再生」の計画・立案に資することを目的とした。本論文において

は、和歌川河口干潟の地形および流動特性調査に合わせて、外海や河川を通じての窒素の流入・流出を測定するとともに、干潟生態系の生物生産や窒素固定機能などを精査したので報告する。

## 2. 調査方法

### (1) 和歌川河口干潟の特徴

和歌川河口に広がる干潟一帯(和歌の浦)は万葉の昔から多くの歌に詠まれ、和歌山の名の由来にも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、津屋川といった河川の河口が存在するが、和歌川河口から約 1.1 km 上流にある排水機場では、汚濁が著しい市内河川の水質浄化のため和歌川下流水を取水し、上流側(市堀川)に送水している。

調査定線および定点を図-1 に示す。なお、各定点の地盤高は Sts.1, 3, 5 が CDL±0 cm, Sts.2, 4, 6 が CDL+

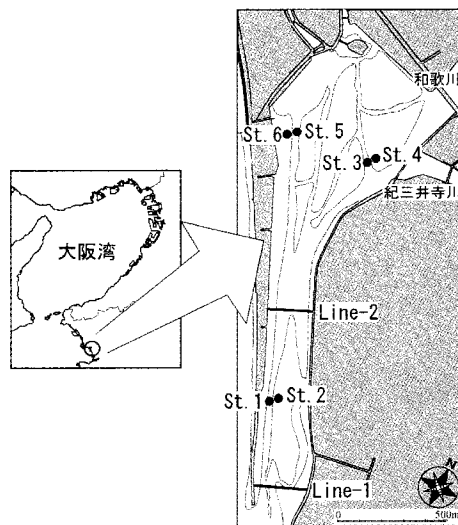


図-1 調査定線および定点位置図

|       |     |                              |
|-------|-----|------------------------------|
| * 正会員 | 農 博 | 大阪市立大学教授 大学院工学研究科都市系専攻       |
| **    |     | 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻前期博士課程    |
| ***   | 工 博 | 関西大学教授 大学院・工学部               |
| ****  | 工 修 | 総合科学株式会社                     |
| ***** | 農 博 | 株式会社日本海洋生物研究所                |
| ***** |     | 株式会社関西総合環境センター               |
| ***** | 正会員 | 博(工) 大阪市立大学助教授 大学院工学研究科都市系専攻 |
| ***** |     | 大阪市立大学事務局学術交流課技術支援係          |

42 cm である。また Sts.1, 2, Sts.5, 6 付近の底質は砂質, Sts.3, 4 付近はカキ礁があり, 砂泥質となっている。

## (2) 調査内容

2003 年 7 月 30 日から 31 日にかけての 2 潮汐間, 和歌川河口干潟を横断する 2 測線 (Lines 1, 2) において, 1 時間間隔で採水を行った。採水はバンドン型採水器を用い, 水位が 1 m より高い時は海表面下 50 cm と海底上 50 cm の 2 層を, 水位が 1 m 以下の時は半水深を採水した。採取海水は直ちにワットマン GF/C 濾紙 (孔径約 1.2  $\mu$ m) で濾過後, 濾液と濾紙を保冷して実験室に持ち帰り, 窒素 (DIN, DON, PN, TN) および浮游懸濁物質 (SS) 濃度を測定した。そして, 同時刻に曳航型 ADCP を用いて計測した流速と断面通過流量 (重松ら, 2004) から窒素収支を求めた。干潟での調査と同時に和歌川, 和田川, 紀三井寺川, 津屋川の各地点において河川断面の計測と流量ならびに TN の測定を行い, 干潟に流入する河川由来の窒素量を求めた。さらに, 干潟生態系の主要構成者として底生微細藻類, 海藻, メイオベントス, マクロベントスに着目し, 2003 年 5~11 月 (主として 7 月 30~31 日) に現存量調査を行った。このうち底生微細藻類は, Sts.1~6 の各地点でアクリルパイプを用いて, 堆積物表面から 0.5 cm 下方までの層, 表面下 0.5~1 cm 層, 1~2 cm 層, 2~3 cm 層, 3~4 cm 層, 4~5 cm 層を採取した。採取した 6 層の底生微細藻類現存量を明らかにするためクロロフィル a とフェオフィチンの分析を行った。また, 2003 年 11 月には Sts.1, 2 の堆積物試料を用いて, 底生微細藻類の光合成速度の測定を試みた。海藻については, 和歌川河口干潟内 100ヶ所においてコドラート (50 cm  $\times$  50 cm) 法により海藻の種類別湿重量を測定した。メイオベントスについては, 2003 年 5 月から 11 月まで 2ヶ月に 1 回, Sts.1~6 において直径 5 cm のアクリルコアを用い, 堆積物の表面から 5 cm までを採取した。なお, 採取試料を篩にかけ, 1.0 mm を通過し, 32  $\mu$ m の篩に残った動物をメイオベントスとして扱った。マクロベントスについては, 2003 年 7 月 30 日に Sts.3, 4, 5, 6 のそれぞれ 25cm 四方 (0.0625  $m^2$ ) を, 表面から深さ 20cm まで採取し, 1mm 目の篩に残った動物について査定・計

表-1 調査期間中の潮位

| 年月日             | 時刻    | 潮位 (TP: cm) | 満潮・干潮 |
|-----------------|-------|-------------|-------|
| 2003 年 7 月 30 日 | 6:21  | 87          | 満潮    |
|                 | 13:00 | -85         | 干潮    |
|                 | 19:50 | 96          | 満潮    |
| 2003 年 7 月 31 日 | 1:23  | 2           | 干潮    |
|                 | 7:05  | 90          | 満潮    |

数した。脱窒速度は同じく 7 月 30 日に Sts.1~6 において KK 式採泥器 (採泥面積 0.002  $m^2$ ) により堆積物表面から 10cm 程度を取り, 実験室においてアセチレン阻害法により測定した。表-1 に調査期間中の潮位を示した。

## 3. 調査結果

### (1) 河川からの流入負荷

干潟への流入水量, 負荷量は, 和歌川, 和田川, 紀三井寺川, 津屋川の各調査地点での水量・負荷量の合計と和田川下流の中央処理場からの放流量, 負荷量を加えて求めた。その結果, 2003 年 7 月 30~31 日の河川からの流入水量は 45.3  $\times 10^4 m^3$  であり, 流入水量と河川水の窒素濃度より, 同期間における河川からの窒素負荷量は 921 kgN/day と推定された。

### (2) 海水交換に伴う窒素の流入と流出

Line-1, Line-2, 紀三井寺川河口における形態別窒素濃度の時間変動を図-2 に示す。干潟内の観測点である Line-1, Line-2 では, 干潮時に溶存無機態窒素 (DIN) 濃度が高くなったが, 溶存有機態窒素 (DON) 濃度と懸濁態窒素 (PN) 濃度は潮位変動に関わらず比較的一定の値を示した。一方, 紀三井寺川河口の定点では, 干潮時に溶存無機および有機態窒素濃度, 懸濁態窒素濃度ともに高くなった。Line-1, Line-2 についてアンモニア態窒素 ( $NH_4$ -N) は検出限界以下  $\sim 0.19$  mg/l, 硝酸+亜硝酸態窒素 ( $NO_3 + NO_2$ -N) は検出限界以下  $\sim 0.27$  mg/l, DIN は 0.001  $\sim 0.46$  mg/l, DON は 0.10  $\sim 0.28$  mg/l, 溶存態総窒素 (DTN) は 0.13  $\sim 0.68$  mg/l, PN は 0.03  $\sim 0.15$  mg/l, 総窒素 (TN) は 0.20  $\sim 0.75$  mg/l の濃度範囲であった。また, Line-1 と Line-2 では各形態の窒素濃度とその変動傾向が類似していた。河川と干潟域を比較したところ, 河川のほうで全体的に濃度が高く,

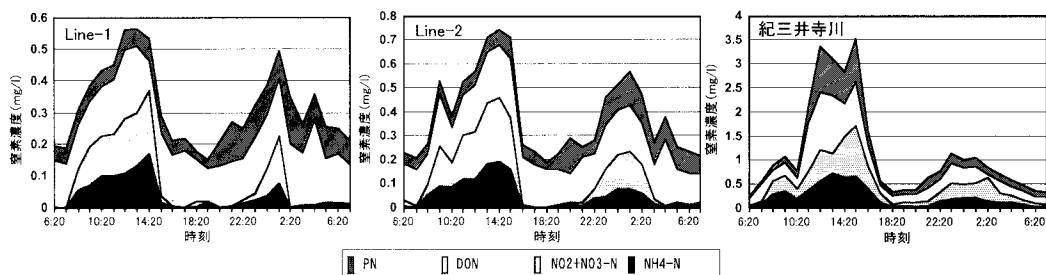


図-2 形態別窒素濃度の時間変動

また河川は無機態窒素の濃度が高く、干潟域は有機態の濃度が高い傾向にあった。

Line-1とLine-2における2潮汐間のSSと窒素の収支を表-2に示す。DINは流出量に対して流入量が小さく、結果として干潟が外海に対する無機態窒素の供給源になっていると考えられた。この原因として無機態窒素濃度の高い河川水が干潟に流入した影響と、干潟奥部の泥底域での溶出の可能性が考えられる。なお、DONは干潟内で固定されていた。Line-1の結果を当干潟全体での収支とすると、当干潟のDON固定能力は93.6 mgN/m<sup>2</sup>/dayとなった。さらに、SSとPNはLine-2において収支が明らかにマイナスとなっており、このラインより奥部で多く固定されることが示唆された。干潟奥部にはカキ礁が存在し、また砂泥底域にはアサリやオキシジミなどが分布する。これらのことは懸濁態の物質が主としてLine-2より奥部（北側）において沈降あるいは二枚貝類の濾過作用などにより捕捉されていることを推察させる。ところで、当干潟での海水交換量の観測から2潮汐間に約25×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>の外海水が干潟域に流入したことがわかっている（重松ら，2004）。それにも係わらず干潟全体で見た総窒素の収支は55 kgの外海域への排出となった（表-2）。これは干潟でDON、PNの固定が行われるものの、河川由来のDINが干潟域に排出され、DIN濃度の高くなった干潟水が下げ潮時に干潟・海域境界から流出したことによると考えられる。一方、和歌川河口から約1.1 km上流の和歌川排水機場では川を堰き止め、下流水を取水して上流に転送することが行われている。調査当日の取水量は82.4×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>/dayに達し、この時の和歌川河川水の窒素濃度から、ポンプ取水による人為的な窒素転送量は553 kg/dayと推定された。

### （3）生物による窒素の固定

#### a) 底生微細藻類

期間および全点平均したクロロフィルa濃度の鉛直分布を図-3に示す。クロロフィルaは堆積物表層に近いほど濃度が高く、全体の約51%が表面から1 cm層までに偏することが明らかになった。また、フェオフィチンについては1 cm層までに約43%が存在していた。0～0.5 cm層の調査結果を地点別に比較すると、St.6では群落組成そのものが他の調査地点と異なり、St.5では群落組成の季節変動が他とは異なっていた。さらに、St.4においてはクロロフィルaよりフェオフィチンの値が高くなる特徴があった。このような各地点の特徴と、底質および間隙水の栄養塩濃度との間には明瞭な対応関係が見られなかった。なお、2003年7月30～31日に実施したマクロベントス調査から、St.4では軟体動物門の現存量が他の地点より多いことが明らかになっており、さらにこの地点周辺は中洲のカキ礁である。したがってSt.4

表-2 干潟—海域境界におけるSSと窒素収支

|        |    | 単位: kg |       |       |       |       |
|--------|----|--------|-------|-------|-------|-------|
|        |    | SS     | DIN   | DON   | PN    | TN    |
| Line-1 | 流入 | 8056   | 28.1  | 288.6 | 101.6 | 417.3 |
|        | 流出 | 8215   | 156.8 | 218.4 | 98.2  | 472.4 |
|        | 収支 | 159    | 128.7 | -70.2 | -3.4  | 55.2  |
| Line-2 | 流入 | 6939   | 66.5  | 225.7 | 84.4  | 376.3 |
|        | 流出 | 5994   | 186.3 | 168.9 | 55.8  | 396.5 |
|        | 収支 | -945   | 119.9 | -56.8 | -28.5 | 20.3  |

・収支の正の値は干潟外への排出、負の値は干潟内での固定を示す

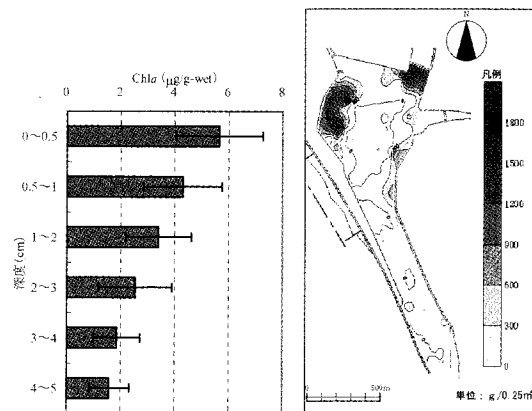


図-3 底質 chl a 濃度の鉛直分布  
(図中の横棒は標準偏差)

図-4 アオサ属現存量の水平分布

のフェオフィチンの値が高いという現象については、底生微細藻類が軟体動物に摂取され、その排泄物の影響が現れた可能性が考えられる。

底生微細藻類による窒素固定については、底生微細藻類を含む底泥試料の光合成速度を明暗瓶法に準じて測定し、呼吸商を1として酸素量を炭素量に換算した。さらに、レッドフィールド比(C:N=5.68:1, 重量比)よりこの値を窒素量に換算し、底生微細藻類による1日の窒素固定量を算出した。その結果、1日当たりの炭素および窒素生産量はそれぞれ0.88 gC/m<sup>2</sup>/dayと0.16 gN/m<sup>2</sup>/dayと推定された。なお、単位面積当たりの現存量は炭素ベースで1.6 gC/m<sup>2</sup>、窒素ベースでは0.28 gN/m<sup>2</sup>となった。

#### b) 海藻

和歌川河口干潟で見られた海藻類は、アオサ属、アオリノリ類、イバラノリ、ムカデノリの4種類であった。最優占海藻はアオサ属で、この藻類は干潟奥部の泥底域で多い傾向が見られた。最もアオサ属が高密度であったのは和歌川河口部の6.4 kg 湿重/m<sup>2</sup>で、干潟の平均現存量としては257.3 g 湿重/m<sup>2</sup>となった（図-4）。干潟面積を75 haとすると干潟のアオサ属現存量(湿重量)は193 tonとなり、また、アナアオサの乾燥/湿重比を0.13、同乾燥重量あたりの窒素量を31.9 mgN/g 乾重（矢持ら，2003）、そして本干潟のアオサ属の多くがアナアオサとして、単位面積当たりのアオサ現存量を窒素ベースで求め

ると、 $1.07 \text{ gN/m}^2$  となり、干潟全域では約  $0.8 \text{ tonN}$  と試算された。この値とアナアオサの日間成長率  $0.16$  から、1日に固定される窒素量は  $0.17 \text{ gN/m}^2$  で、干潟全体では  $128 \text{ kg}$  と推察された。この値は、7月30日の河川から干潟域への TN 負荷量 ( $921 \text{ kg}$ ) の  $14\%$  に相当した。

#### c) メイオベントス

出現した生物群は線虫類、有孔虫類、繊毛虫類、ハルパクテス類(底生性カイアシ類)、介形虫類、クマムシ類、多毛類、二枚貝類、端脚類であった。その中でも線虫類、有孔虫類、繊毛虫類、ハルパクテス類が卓越して出現した。メイオベントスの分布密度は  $6.4 \times 10^5 \sim 7.1 \times 10^5$  個体/ $\text{m}^2$  の範囲にあった。単位面積当たりの窒素現存量は  $0.01 \sim 0.19 \text{ gN/m}^2$  で、9月に高く、11月に低かった(図-5)。メイオベントスの年平均現存量は  $0.065 \text{ gN/m}^2$  となり、この値と P/B 比、年間世代数などから年間生産量は  $0.59 \text{ gN/m}^2/\text{year}$  となった。したがって、和歌川河口干潟全体のメイオベントスによる年間生産量は  $442 \text{ kgN}$  と試算された。

#### d) マクロベントス

夏季の調査定点に出現したマクロベントスの種類数、個体数、湿重量はそれぞれ  $17 \sim 25$  種(総種類数  $44$  種)、 $1376 \sim 2720$  個体/ $\text{m}^2$  (平均個体数  $2024$  個体/ $\text{m}^2$ )、 $95 \sim 1435 \text{ g/m}^2$  (同平均湿重量  $914 \text{ g/m}^2$ ) であった。個体数からみた主な出現種は、Sts.3, 4では環形動物門のケンサキスピオ、Sts.5, 6では軟体動物門のウミミナ類、ホソウミナ、キサゴ類であった。湿重量では逆に St.3 で最も低い値を示し、この理由として St.3 で大型の軟体動物が少なかったことが考えられた。湿重量からみた主要種は、St.3 でホソウミナ、その他の調査点ではオキシジミ、カガミガイ、アサリ等の比較的大型の軟体動物であった。マクロベントス現存量から窒素固定量を試算するに当たっては、メイオベントスとほぼ同様の方法を用いた。なお、マクロベントスの平均的な P/B 比は、大型個体(平均湿重量  $1 \text{ g}$  以下、 $20 \text{ mg}$  以上)で  $1$ 、小型個体( $20 \text{ mg}$  未満)で  $3$  程度とされているため、比較的大型個体が多かった軟体動物門、節足動物門の P/B 比を  $1$ 、小型個体が多かった環形動物門の P/B 比を  $3$  とした。和歌川河口

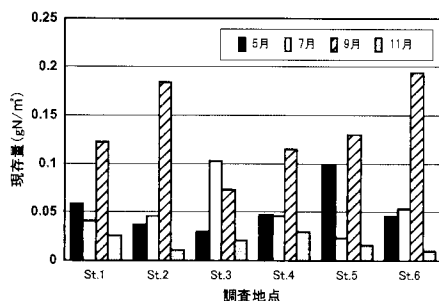


図-5 メイオベントスの現存量(窒素ベース)

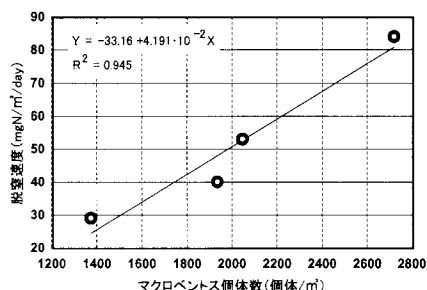


図-6 脱窒速度とマクロベントス個体数の関係

干潟における単位面積あたりのマクロベントス平均湿重量から窒素としての現存量と年間生産量を求めた結果、それぞれ  $5.6 \text{ gN/m}^2$ 、 $5.8 \text{ gN/m}^2/\text{year}$  となり、1日当たりの窒素固定量は  $0.016 \text{ gN/m}^2/\text{day}$  となった。同様に炭素としての現存量は  $21.5 \text{ gC/m}^2$ 、年間生産量は  $22.2 \text{ gC/m}^2$  となり、1日当たりの炭素固定量については  $0.062 \text{ gC/m}^2/\text{day}$  となった。

#### e) 脱窒

夏季の和歌川河口干潟における脱窒速度は、 $11 \sim 84 \text{ mgN/m}^2/\text{day}$  であった。定点別には St.3 で最も高く、St.2 で最も低かった。今回得られた1日あたりの脱窒量の定点平均値  $43 \text{ mgN/m}^2/\text{day}$  を和歌川河口干潟面積に乗じると、脱窒量は  $32.3 \text{ kg/day}$  と試算された。この値は7月30日の河川からの窒素負荷量  $0.9 \text{ ton}$  の  $3.6\%$  にしか相当しない。ただ、Sts.3~6の脱窒速度についてマクロベントス現存量との関連で検討すると、個体数の多い地点ほど脱窒速度の高い傾向が見られ(図-6)、マクロベントスの棲管やパイオターベーションが脱窒速度に影響している可能性が示唆された。菊地・栗原(1988)によると、ゴカイ類は直接デトリタスを摂食することにより大量に有機物質を消費するが、脱窒作用にも大きく貢献するとしている。例えば、ゴカイ類は1個体当たり  $10 \sim 400 \text{ ml/h}$  の換水能力があり、さらには酸化層と還元層の境界において脱窒反応が強化されることから、巣穴の表面積が大きいほど脱窒作用が促進されるとしている。また滝川(2002)は、干潟に生息する底生動物は巣穴を形成して生物攪乱を行うことで  $10 \sim 20\%$  ほど脱窒を促進するとしている。今回得られた、脱窒速度とマクロベントス個体数の関係は上記の記述と定性的には対応している。

## 4. 結 論

表-3に和歌川河口干潟生態系における各生物群の現存量と生産速度を整理した。なお、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

表-3 栄養階層別底生生物群の現存量と生産速度

|         | 現存量                     |                         | 生産または固定速度                       |                                 |
|---------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|         | 炭素<br>gC/m <sup>2</sup> | 窒素<br>gN/m <sup>2</sup> | 炭素<br>gC/m <sup>2</sup><br>/day | 窒素<br>gN/m <sup>2</sup><br>/day |
| 底生微細藻類  | 1.61                    | 0.28                    | 0.88                            | 0.16                            |
| 海藻（アサオ） | 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                           |

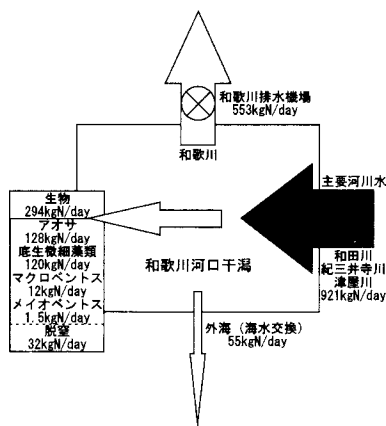


図-7 干潟での窒素収支

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  $21.5 \text{ gC/m}^2$  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こと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ことが示唆された。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を流量収支とともに整理してみると、流量収支では1日当たり河川から  $45.3 \times 10^4 \text{ m}^3$  流れ込み、和歌川排水機場で  $82.4 \times 10^4 \text{ m}^3$  取水され、これを補填するためか、外海から海水が  $25.5 \times 10^4 \text{ m}^3$  入ってくると試算された。この流量収支はオーガ的に比較的良好に合っている。また、窒素収支に関しては、河川から  $921 \text{ kg}$  負荷され、このうち  $55 \text{ kg}$ （流入負荷の6%）が海水交換を通じて外海に流れ出し、生物によって  $294 \text{ kg}$ （流入負荷の32%）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  $553 \text{ kg}$  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（図-7）。こ

れらのことは、和歌川河口干潟の流量収支や窒素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、和歌川河口干潟においては、外海との接点部が上流域に相当し、和歌川排水機場によって人為的に栄養物質が市内河川に転送されることによって和歌川河口干潟の環境が保全されている可能性が考えられた。これは、一面において、人間の管理により生態系が保全される里山に類似しており、和歌川河口干潟は「里干潟」と呼ぶことができるかも知れない。

## 5. おわりに

本研究により、夏季の和歌川河口干潟の生物生産と窒素収支に関して以下の知見が得られた。

- (1) 和歌川河口干潟での溶存無機態窒素濃度の変動は潮位変化に連動し、干潮時に高くなり満潮時に低くなる傾向があった。
- (2) Line-1での窒素収支において、全窒素は  $55 \text{ kg/day}$  の外海域への流出となり、本干潟は窒素の排出源となっていた。これは、下げ潮時に干潟へ流入した窒素濃度の高い河川水の一部が海水交換に伴って系外排出されることを示している。
- (3) 底生生物による窒素固定は流入負荷の32%を占めた。中でもアオサ類や底生微細藻類など基礎生産者の寄与が大きかった。
- (4) 調査期間中に河川から  $921 \text{ kgN}$  流入し、そのうち  $294 \text{ kgN}$ （流入負荷の32%）が生物群によって固定または系外除去され、 $55 \text{ kgN}$ （同6%）が海水交換により外海に排出され、 $553 \text{ kgN}$ （同60%）が和歌山排水機場の取水により干潟外へ転送されることが明らかになった。この結果は、和歌川河口干潟の窒素収支における和歌川排水機場の重要性を表している。

**謝辞：**本研究は、わかやま海域環境研究機構の委託研究として実施した。また、和歌山県建設部和歌川排水機場には海水の取水量に関して貴重なデータを提供して頂いた。ここに記して深謝いたします。

## 参 考 文 献

- 菊地永祐・栗原 康 (1988): 河口沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版会, pp. 65-77.
- 重松孝昌・井川 巧・田代孝行・和田安彦・藤原俊介・小池敏也・矢持 進 (2004): 都市に近接する自然干潟（和歌川河口干潟）の流動特性に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 1176-1180.
- 滝川 清 (2002): 一漁場環境を考える—有明海の海域環境特性, 日本水産資源保護協会月報10月号, pp. 1-6.
- 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.