

浚渫砂を用いた干潟造成による 環境改善効果について

TIDAL FLAT CREATION THROUGH THE UTILIZATION OF DREDGED SAND AND ITS EFFECTIVENESS ON ENVIRONMENTAL REHABILITATION

西村大司¹・岡島正彦²・加藤英紀³・風間崇宏⁴
Daiji NISHIMURA, Masahiko OKAJIMA, Hideki KATO, Takahiro KAZAMA

¹国土交通省 中部地方整備局 三河港湾工事事務所 (現) 近畿地方整備局 港湾空港部
(〒441-8075 愛知県豊橋市神野ふ頭町1番地1)

²国土交通省 中部地方整備局 三河港湾工事事務所 衣浦港事務所 (現) 中部国際空港株式会社
(〒475-8031 愛知県半田市11号地2番地)

³正会員 財団法人 港湾空間高度化環境研究センター 環境研究部
(〒108-0022 東京都港区海岸三丁目26-4 パーク芝浦)

⁴国土環境株式会社 名古屋支店(〒455-0032 愛知県名古屋市港区入船1-7-15)

The Ministry of Land, Infrastructure and Transport and Aichi Prefecture are jointly involved in various environmental rehabilitation and creation projects inside Mikawa Bay. New tidal flats and shallow waters have been created and capping has been conducted through the utilization of high quality dredged sand arose from the development of Nakayama waterway. Results from the monitoring survey showed improvement in sediment quality and disappearance of oxygen depleted water column in the tidal flat of Mito district. Also diversity of bivalves and other benthic organisms have increased in the tidal flat area, suggesting an improvement of the habitat environment. Furthermore, analysis of the nitrogen cycle in the tidal flat suggested that suspension feeders such as bivalves have an important role in the water purification process of tidal flats. Therefore increase in bivalve abundance will likely result in the improvement of water purification ability of the tidal flat area

Key Words : dredged sand , created tidal flat , environmental rehabilitation and creation

1. はじめに

(1) 三河湾の環境

三河湾は、知多半島と渥美半島とに囲まれた面積約600km²の静穏な水域と豊かな環境を有しており、古くから海運、漁業及びレクリエーションの場として親しまれてきた。しかし、湾口部が狭く海水交換が悪いため、背後地域からの流入負荷が過度に蓄積しやすい典型的な閉鎖性水域となっている。このような水底質環境の悪化により赤潮の多発、貧酸素水塊の発生等が漁業をはじめとした海域利用に大きな影響を与えており、とりわけ底泥からの栄養塩類の溶出や溶存酸素の消費などが大きな環境悪化の要因となっている。

(2) 中山水道浚渫砂を用いた干潟造成

中山水道航路の整備により発生した良質な浚渫砂を有効活用した干潟・浅場造成、覆砂等の環境改善・創造事業が三河湾内の各地で国土交通省、愛知県により進められている。CODが50mg/g以上の底質

の有機汚濁が進行していた三河湾奥部の豊川河口部右岸(三河港御津地区)では1998年9月に試験工事として干潟(図-1)が造成された。御津地区では環境の改善・創造効果を明らかにすることを目的として、造成直後から現在まで約3年間にわたり水質、底質、底生生物等のモニタリング調査を実施している。

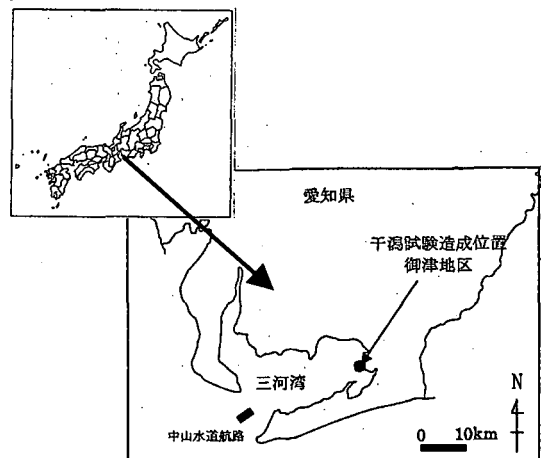


図-1 干潟試験造成位置

2. 調査方法

御津地区の干潟形状を図-2, 調査地点を図-3に示した。御津地区の造成干潟の形状は, 100m×45mの平面部をT.P.-1.239mまで嵩上げし, その三方に1:20, 1:30, 1:50の傾斜をつけたものであり, 造成区域の範囲は400m×120mである。

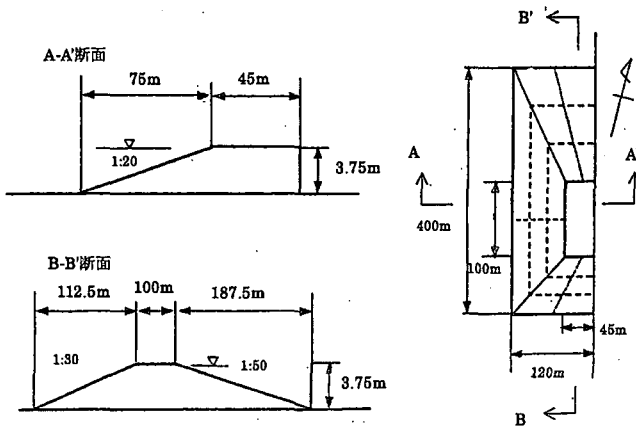


図-2 干潟形状

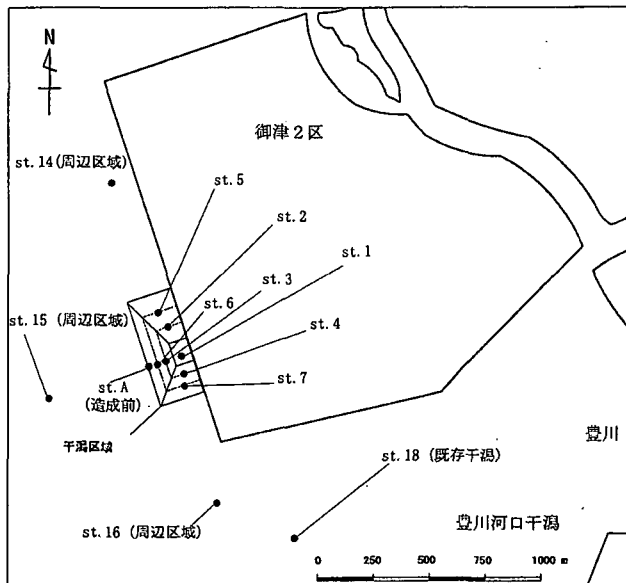


図-3 調査地点

本調査は干潟造成による効果として次の3点について, 各効果を確認するために現地調査を実施した。

(1) 底質改善

干潟区域における底泥の変化から, 底質改善効果の発現・持続性を確認した。

造成前の調査は干潟区域のst.Aにおいて愛知県水産試験場が実施したものである。1998年7月23日にスキューバ潜水により, 50mL遠沈管(内径27.3mm×高さ11.5cm)を用いて上層から5cmの底泥を採取し試料とした。

造成後の調査は干潟区域のst.6(水深約3m), 周辺区域のst.15(水深約5m)で1998年9月19日, 11月17日, 1999年2月6日, 5月14日, 8月9日, 11月4日, 2000年2月14日, 6月2日, 8月28日, 11月16日, 平成13年2月5日, 5月22日, 8月27日, 11月9日の計14回実施し

た。また, 既存干潟のst.18(水深約1m)では他区域における調査実施日のうち1999年5月14日, 8月9日, 11月4日, 2000年2月14日の4回を除く計10回実施した。スミス・マッキンタイヤー型採泥器(22.5cm×22.5cm)を用いて海底表層泥を3回以上採取し, 混合したものを分析試料とした。

分析項目は造成前が粒度組成, クロロフィルa, 有機炭素等, 造成後が粒度組成, 強熱減量, 含水率, T-N, T-P等であったが, この検討では底質の性状を代表すると考えられる項目である粒度組成と底質の有機汚濁の指標となる強熱減量について整理した。なお, 強熱減量については造成後の調査のみ実施している。

(2) 生物相の回復

底生生物相の変遷に着目し, その着底・成長状況から, 造成干潟における生物相の回復を確認した。

a) 底生生物調査

造成前の調査は(1)の底質調査と同様に愛知県水産試験場がst.Aで実施し, 後部に採取袋を取り付けた鉄製の筒(開口部, 横幅25cm×縦幅15cm, 筒長25cm)を用い, 面積0.125m²(50cm×25cm), 深さ15cmの底泥とともに採取した後, 1mmメッシュの篩でふるい, 残ったものを中性ホルマリンで10%になるように固定し, 分析試料とした。

造成後調査は(1)の調査と同時に実施し, スミス・マッキンタイヤー型採泥器(22.5cm×22.5cm)を用いて表層泥を3回採取(採泥面積: 0.15 m²)し, 造成前と同様な方法でホルマリンを用いて固定し, 分析試料とした。分析は, 種の同定, 個体数の計数, 湿重量の測定を行った。

b) 溶存酸素(DO)の連続観測とアサリの生存試験

溶存酸素(DO)の連続観測とアサリの生存試験は平成11年6月9日～8月9日の間に干潟区域のst.3, 周辺区域のst.15で実施された。DOの連続観測は多目的水質計(アレック電子(株)製AST-500型)を架台に取り付け, 海底上0.2m程度の層で行われた。なお, データは10分ごとに測定した。

アサリ生存試験は, アサリ飼育ゲージ(ステンレス製, 35cm×25cm×30cm, 目合10mm)に周辺海域で採取したアサリ100個体程度を3ゲージに分けて入れ, 15cm程度が泥中に埋まるように設置した。設置したゲージは, 週1回の調査時に船上に引き上げ, 船上にて生死貝数, 殻長, 重量等を追跡調査した。

(3) 造成干潟による水質浄化機能

干潟区域における窒素循環の解析を行うことにより, 水質浄化能力及び浄化の主体となる系を検討した。調査は水質調査, 底質調査, 生物調査からなり, 干潟生態系における物質循環の解明を目的とした調査を実施した。2000年6月2日に実施された。

a) 水質調査

干潟区域のst.3, 6, 周辺区域のst.15においてバンドーン採水器を用いて採水した。分析項目は

pH, SS, DO, COD(Mn), 塩分, T-N, T-P, TOC, POC, DOC, クロロフィルa, PON, DON, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, POP, DOP, PO₄-P, フェオ色素とした。

b) 底質調査

干潟区域のst.3において20cmφアクリルパイプを用いて、柱状に採泥した。その後、実験室に搬入、速やかに層切り（0~2, 2~10, 10~20, 20~30cmの4層）して深度別の試料とした。分析項目は全菌数、含水率、酸化還元電位、強熱減量、COD、硫化物、T-N, T-P, クロフィルa, 粒度組成、単位体積重量とした。

c) 間隙水調査

干潟区域のst.3において底質調査と同様に柱状採泥した泥中から間隙水を抽出し、深度別の試料とした。分析項目はT-N, DON, PON, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-Nとした。

d) 溶出速度

干潟区域のst.3及び周辺区域のst.15において20cmφアクリルパイプで底泥約30cmを直上水とともに柱状に採泥した。試料を実験室に搬入後、直上水を同海域のろ過水と入れ替え、現地調査の各採水時の水温とDOに設定して、恒温暗所に試験期間中試泥の巻き上がりのないように設置した。一定時間毎（実験開始時, 2, 4, 8, 12, 24時間後）に採水及び分析を行い、各項目の濃度の経時変化から溶出速度を算定した。分析項目はCOD, T-N, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-Nとした。また、実験終了後、底生生物の分析を行った。

e) 脱窒速度

調査はアセチレン阻害法により行った。調査の手順は以下に示すとおりである。

- ・アクリルパイプ（20cmφ×50cm）を用いて柱状に採泥を行い、海底土を30cm程度採取した。
- ・アクリルパイプの水をサイフォンを用いて抜き取り、シリンジで柱状に試料を採取した。
- ・抜き取った試料を3層（0~2cm, 2~4cm, 4~6cm）毎に試料ビンへ分取し、アルゴンガスで嫌気状態にした後、密栓した。
- ・各試料ビンに脱気処理したアセチレン飽和溶液を圧力バランスをとりながらシリンジを用いて注入し、激しく振とうした後、所定の温度に設定して恒温暗所に静置した。
- ・アセチレン飽和溶液注入後を実験開始時とし、一定時間毎（実験開始後, 0.5時間後, 1時間後, 1.5時間後, 2時間後）に分析を行った。その際、反応中の脱窒反応を止めるため、飽和の水酸化カルシウムを注入した。
- ・生成した亜酸化窒素（N₂O）をECD付きガスクロマトグラフを用いて測定した。

f) 生物調査

・植物プランクトン調査

干潟区域のst.3及び周辺区域のst.15でバンドン型採水器を用いて、試料を採取した。採取した試料はグルタルアルデヒドを用いて最終濃度が5%になるように固定し、分析室に搬入後、種の同定を行い、種類毎の細胞数を計数した。また、同定したサンプル

の沈殿量を記録した。

・動物プランクトン調査

干潟区域のst.3及び周辺区域のst.15で北原定量ネット（網地NXX13）を用いて、試料を採取した。海底上1mから海表面まで鉛直曳網した。採取した試料は、中性ホルマリンで最終濃度が10%になるように固定し、分析室へ搬入後、種の同定を行い、種類毎の個体数を計数した。また、同定したサンプルの沈殿量を記録した。

・底生生物（マクロベントス）調査

干潟区域のst.1~7, 周辺区域のst.14~16, 既存干潟のst.18において、スミス・マッキンタイヤー型採泥器（22.5cm×22.5cm）を用いて海底表層泥を3回採取し、1mm目の篩で洗い流し、篩上に残った物を同定用試料とした。試料については、種の同定、個体数の計数、湿重量の測定を行った。

・微小生物（メイオベントス）調査

干潟区域のst.3において10cmφアクリルパイプを用いて、底泥が攪乱しないように表面から深さ30cmまでの底泥を柱状に採泥した。採取泥は3層（0~10, 10~20, 20~30cm）に分割しサンプル管に移し、染色剤（ローズベンガル）を溶解させた中性ホルマリンで最終濃度が10%になるように固定し、分析室へ搬入した。試料は、1mm目の篩を通過、67μmのネットに残るものを対象とし、かきませ法によって選別した生物について、種の同定、種別の個体数を計数した。

3. 調査結果

(1) 底質改善

造成前からの底質の中央粒径の変化を図-4, 造成直後からの底質の強熱減量の変化を図-5に示す。

干潟造成前の造成予定区域は中央粒径が0.02mmであり、シルト・粘土分が多い底質であった。干潟造成は1998年9月に中央粒径0.16~0.30mmの細砂分が卓越した浚渫砂を用いて行われた。造成後は干潟区域の底質の中央粒径は0.16~0.17mmの範囲で推移しており、ほとんど変化はみられない。また、周辺区域の底質の中央粒径は4.2~10.3mmで推移しており、干潟区域に比べて変化が大きくなっているが、これはシルト・粘土分の季節的な増減によるものである。既存干潟では東海豪雨の影響と推測される2000年11月の0.08mmという結果を除けば0.34~0.59mmであり、周辺区域に比べて変化は小さい。

干潟造成後の干潟区域における底質の強熱減量は造成直後より0.9~1.6%と低かった。また、周辺区域に比べてやや低くなっている。なお、周辺区域や既存干潟では2000年11月に強熱減量が高くなっているが、これは底質の中央粒径の変化と同様に東海豪雨の影響によるものと推測される。

以上のように、造成干潟の底質の粒径は造成時より変化がない。また、底質中の有機物量は周辺区域等に比べてやや低い値を維持しており、干潟区域の底

質が清浄な状況にあることが確認されている。

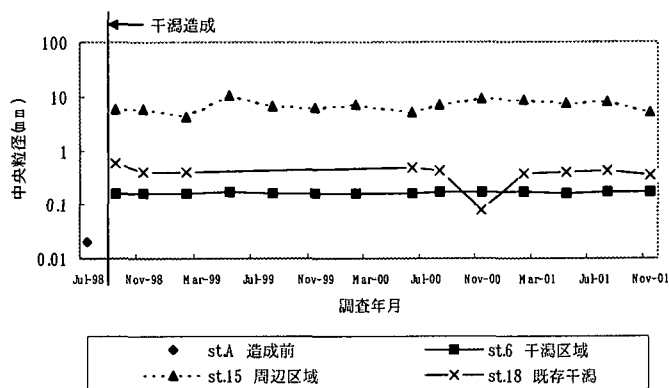


図-4 底質の中央粒径の変化

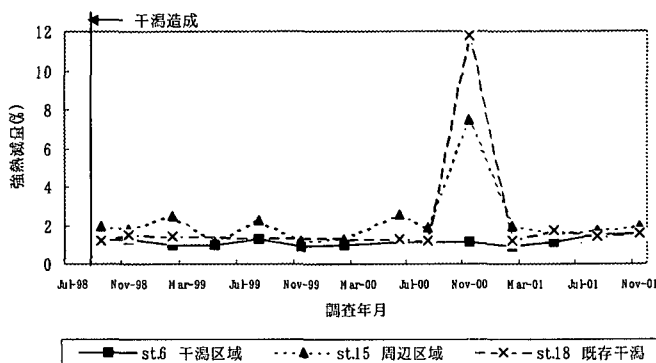


図-5 底質の強熱減量の変化

(2) 生物相の回復

三河湾は夏季に貧酸素水塊の影響が強い海域であり、海底に生息し移動力が小さい底生生物は貧酸素の影響を受けやすい生物である。そこで、1998年（造成前）から2001年までの夏季（7～8月）に出現した底生生物の種類数について比較し、図-6に示した。なお、比較は造成前調査を実施したst.Aと造成後調査でst.Aに最も近接した調査地点であるst.6を対象として行った。

夏季の底生生物の種類数は造成前のst.Aに比べて造成後のst.6で多くなっていた。特に、2001年8月には20種類と最も出現種類数が多くなっており、既存干潟に比べて2倍程度の出現種類数となっている。

夏季に出現したアサリの個体数について整理し図-7に示した。

造成前の干潟区域(st.A)では夏季にアサリが確認されていないが、造成後(st.6)は既存干潟に比べれば少ないもののアサリの生息が確認された。干潟区域ではアサリの他にバカガイやカガミガイといった二枚貝類の出現が確認されており、干潟区域における底生生物の出現種類数の増加は二枚貝類の加入によるものである。

造成後の干潟区域における底生生物の種類数及びアサリの個体数は造成前や周辺区域に比べて増加していた。ただし、アサリの個体数は既存干潟に比べれば少なく、その大きさはすべて10mm以下で小さかつ

た。今後さらに追跡調査を実施し、自然干潟との相違の程度等を踏まえた上で、干潟造成の効果について検討する必要があると考える。

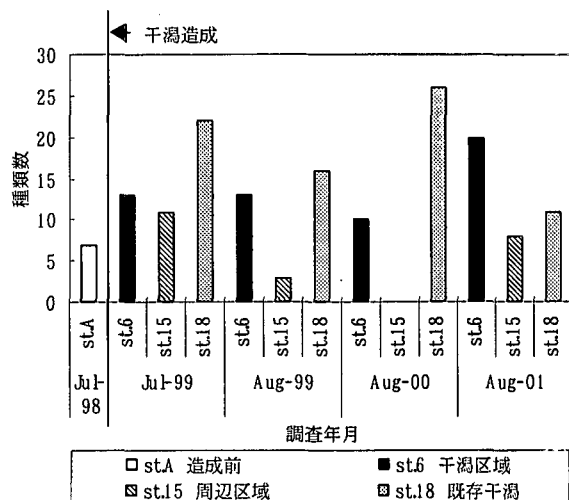


図-6 造成前後の夏季における底生生物種類数の変化

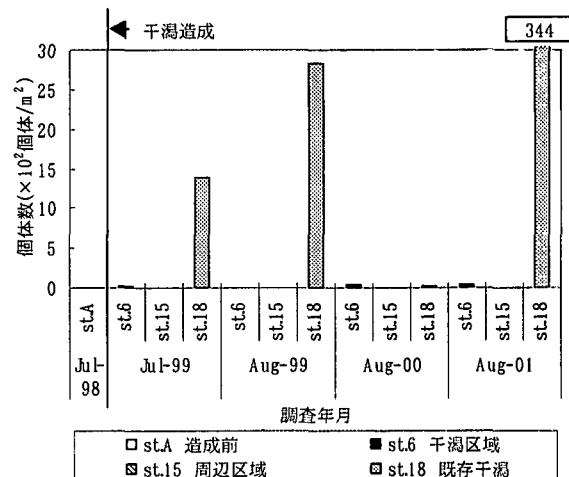
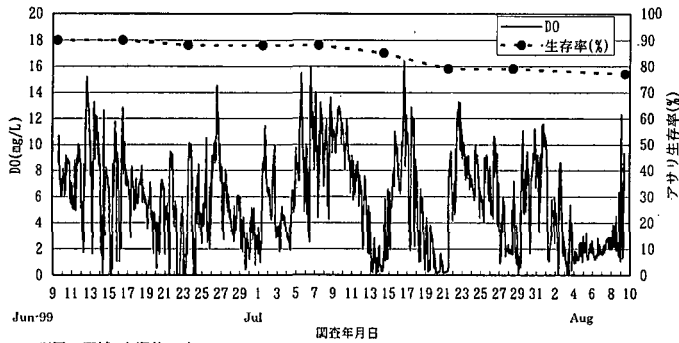


図-7 造成前後の夏季におけるアサリ出現個体数の変化

1999年7月から8月にかけて実施した溶存酸素量(DO)の連続測定結果とアサリの生存状況を図-8に示した。

周辺区域のst.15(水深約5m)は貧酸素水塊(DOが2mg/L以下)の発生とその長時間にわたる滞留が確認され、アサリ飼育ゲージ中の全個体の死滅が実験中2度あった。それに対し、干潟区域のst.6(水深約3m)では貧酸素水塊が確認されたものの、アサリ生残率は80%程度と著しい低下はみられない。これは周辺区域に比べて干潟区域では貧酸素水の滞留時間が短くなっているため、干潟区域のアサリが貧酸素に耐えられた結果と推測され、干潟造成による嵩上げがもたらした効果と考える。

st.6(干潟区域:水深約3m)



st.15(周辺区域:水深約5m)

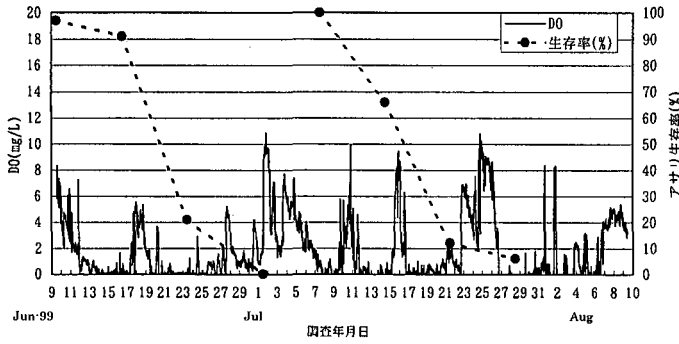


図-8 DO連続測定結果とアサリの生存状況

(3)造成干潟による水質浄化機能

干潟における浄化機能を把握するためには、そこの物質循環を解明する必要がある。

ここでは、既存の干潟生態系モデルを2000年6月2日の調査結果に適用することによって、干潟区域の窒素循環を算出し、造成干潟における自然浄化機能を定量化した。使用したモデルは、オランダの潮汐干潟Ems-Dollard Estuaryを対象としてBaretta and Ruardij¹⁾によって開発された生態系モデルをもとにした。循環物質を炭素から窒素に置き換え、千葉県の盤洲干潟の物質循環を解析することを目的として開発した干潟生態系モデル^{2),3),4)}を、三河湾の一色干潟に適用するために愛知県水産試験場が改良した生態系モデル⁵⁾を用いている。底生系生態系モデル概念図を図-9に示す。

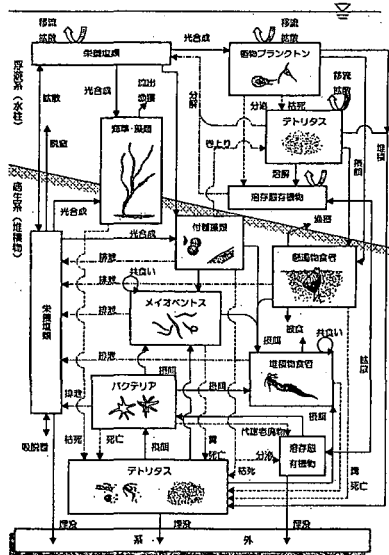


図-9 底生系生態系モデル概念図

干潟生態系モデルへの適用結果から各系間のやりとりを中心とした主な窒素循環を抜き出したものを図-10に示す。

この図において、浮遊系は白抜き、底生系は網がけをした部分で表現し、矢印は窒素の流れを表している。また、干潟区域と周辺区域は点線で区切り、図の下の部分にその範囲を表示した。周辺区域と干潟区域の間の窒素のやりとりは、浮遊系のみを考え、周辺区域から干潟区域へ流入する窒素量(図中、流入→)と干潟区域から周辺区域へ流出する窒素量(図中、流出←)をそれぞれ有機態窒素と無機態窒素について示した。この流入と流出の窒素量の差が干潟区域での窒素の消失・生成として取り扱われる。具体的には、流入量より流出量が少なければ、それは干潟区域で窒素が消失したことを意味し、干潟区域が浄化能力を有していると考えられる。逆に流出量が流入量より多くなれば、それは干潟区域で窒素が生成され周辺海域に対して窒素を供給していることを意味する。水中と底質の間の矢印は、下向きの物理的沈降、ゴカイ・二枚貝類(主に二枚貝類)による取り込み、付着藻類の生産のうち水中から栄養塩を取り込む量、上向きの溶出、懸濁物食者の糞の巻き上がりと付着藻類の巻き上がり(「巻き上がり」)をそれぞれ表している。底生系から系外への矢印は、懸濁物食者の漁獲、魚類・鳥類等高次捕食者による堆積物食者の被食(「高次被食」)、30cm以深への埋積、脱窒をそれぞれ表している。また、参考のために、各系内の物質間の主な窒素のやりとりについて、点線矢印と名称を記した。

干潟生態系モデルへの適用結果から周辺区域と干潟区域の水中の窒素のやりとりを求めると、周辺区域から干潟区域へ流入する有機態窒素は1347.5 mgN/m²/day、無機態窒素は667.3 mgN/m²/day、干潟区域から周辺区域へ流出する有機態窒素は1185.1 mgN/m²/day、無機態窒素は693.8 mgN/m²/dayという結果であった。この流入及び流出する窒素量を差し引きすると、干潟区域上で有機態窒素162.4mgN/m²/dayが消失し、無機態窒素26.5mgN/m²/dayが生成されることになる。したがって、干潟区域の浄化能力は干潟上で消失した有機態窒素から干潟区域上で生成され周辺海域に流出する無機態窒素を差し引きしたものと捉えると、135.9mgN/m²/dayとなる。

干潟区域における主な窒素循環は、ゴカイ・二枚貝類(主に懸濁物食者である二枚貝類)のろ過による262.6mgN/m²/dayの懸濁態有機物の取り込みである。ただし、その約6割(167.1mgN/m²/day)は溶出と巻き上がりにより、再び水中へ回帰している。無機態窒素は、干潟区域で26.5mgN/m²/day生成されることとなるが、窒素のやりとりをみると、底質からの栄養塩の溶出は84.8mgN/m²/dayの約3割にまで減少している。この差分は主に水中の植物プランクトンによる基礎生産に利用されている。

以上より、干潟区域における水質浄化能力は底生生物(主に懸濁物食者の二枚貝類)の取り込みによ

る作用が重要な役割を担っているものと考えられる。

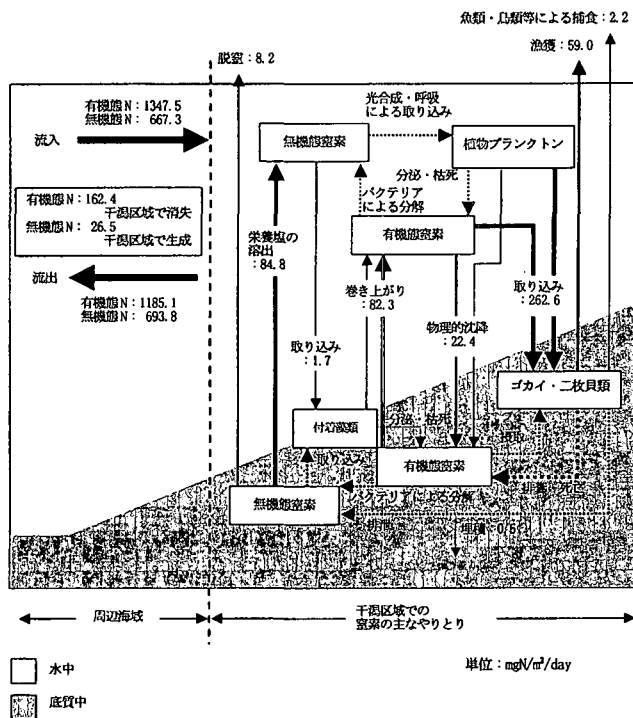


図-10 干潟区域における窒素循環

4. まとめ

(1)底質改善

造成干潟の底質の粒径は造成時より変化がない。底質中の有機物量は周辺区域等に比べてやや低い値を維持しており、干潟区域の底質が清浄な状況にあることが確認されている。

(2)生物相の回復

干潟区域では造成直後に増加した *Paraprionospio* sp. (A型)等のゴカイ類に加えて、アサリやバカガイ等の二枚貝類が加入し、底生生物の出現種類数が増加している。アサリの個体数は造成前や周辺区域に比べて増加していたが既存干潟に比べれば少なく、今後さらに追跡調査を実施し、その結果を踏まえた上で、干潟造成の効果について検討する必要がある。

(3)造成干潟による水質浄化機能

干潟区域における水質浄化能力は底生生物（主に懸濁物食者の二枚貝類）の取り込みによる作用が重要な役割を担っているものと考えられる。

中山水道航路の浚渫砂を用いて造成した三河港御津地区の干潟区域では、底質環境の改善と嵩上げによる貧酸素水塊の解消という効果が確認された。干潟区域では造成前に比べて二枚貝類を中心とした多くの種類の底生生物がみられており、干潟造成による環境改善効果が底生生物に良好な生息環境を提供しているものと推測される。さらに、干潟区域における窒素循環の検討結果から、二枚貝等の懸濁物食者

による取り込みが水質浄化能力の向上に大きな役割を果たすことが推測され、二枚貝類の増加によって干潟区域の水質浄化能力が向上していることが考えられる。

以上のように、三河湾では有機汚濁の進んだ水深約5mの海底に良質な細砂を用いて干潟を造成し、地盤を嵩上げすることによって、良質な水底質環境が創出されている。本検討結果で確認された環境改善効果は、今後の人工干潟造成において重要な情報となるものと考えられる。

謝辞

調査結果のとりまとめ、干潟造成効果の検討を行うにあたり、ご指導を頂いた三河湾水底質環境検討調査検討会（座長：東海大学 中田喜三郎教授）の方々に厚くお礼申し上げます。

また、本検討を進めるにあたり、愛知県水産試験場漁業環境研究部 鈴木輝明部長には造成前のデータを提供して頂くとともに、干潟生態系モデルを用いた検討に対し様々なアドバイスを頂きました。ここに、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Baretta, J. and P.Ruardij : Tidal Flat Estuaries. Simulation and Analysis of the Ems Estuary, Ecological studies 71, Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag, 353pp., 1988.
- 2) 日本水産資源保護協会 : 漁場保全機能定量化事業報告書 第II期とりまとめ, 250pp.,1994
- 3) Hata, K., I. Oshima and K. Nakata : Evaluation of the Nitrogen Cycle In a Tidal Flat. Estuarine and Coastal Modeling, American Soc. of Civil Eng. M.L.Spaulding and R.T.Cheng(ed.), 542-554pp.,1996
- 4) 畑 恭子, 大島 巖, 中田 喜三郎 : 底生生態系モデルを用いた海岸生態系の物質循環の評価. 海洋理工学会誌, 3(1), 31-50pp.,1997
- 5) 鈴木 輝明, 青山 裕晃, 畑 恭子 : 干潟生態系モデルによる窒素循環の定量化 -三河湾一色干潟における事例-, 海洋理工学会誌. 3(1),pp. 63-80. ,1997