

1. 調査課題名

人工干潟・浅場の水質浄化機能定量化手法 の確立及び造成適地選定手法の開発

2. 実施機関名、部局名及び担当者名

| | | | |
|----------|---------|----------|------|
| 愛知県水産試験場 | 漁場環境研究部 | 漁場改善グループ | |
| 部長 | 土屋晴彦 | 班長 | 石田基雄 |
| 主任研究員 | 石田俊朗 | 主任 | 家田喜一 |
| | | 技師 | 武田和也 |

3. 調査実施年度

平成14年度～平成16年度

4. 緒言（まえがき）

干潟や浅場（以下 両者をまとめて干潟域と呼ぶ）は、生物生産、水質浄化、親水や環境教育、野鳥を始め多様な生物の生息場などの様々な機能を持つ。しかし、大規模な埋め立てにより干潟域の多くが喪失したため、これらの機能の一部を修復する目的で、人工干潟域が全国の沿岸域に造成されている。古くは1974年に、広島県佐伯郡廿日市町地御前地先において、有用魚介類の繁殖などを目的とした約7haの干潟域を造成している¹⁾。1978年以降は水産庁の主導により、生物生産機能、特にアサリ増殖場としての干潟域が、全国の漁場近くに造成されている（例えば、愛知県福江、宮城県松島湾、北海道尾岱沼、福岡県柳川・大川）²⁾。一方、国土交通省港湾局の主導により、親水や野鳥の保護・育成などを目的とした干潟域が、主に都市部の港湾域に造成されている（例えば、大阪南港野鳥園、金沢八景人工海浜、東京港野鳥公園、広島港五日市）³⁾。近年では、干潟域に生息する底生生物による水質浄化機能⁴⁾⁻⁸⁾が注目されるようになり、愛知県においては富栄養化により環境が悪化した三河湾の環境改善を目的に、1998年から2004年の間に合計39カ所、約620haの干潟域が造成された。このように、全国で人工干潟域が造成されているが、その効果についての評価は様々で⁹⁾⁻¹⁴⁾、それらのもつ水質浄化機能を定量的に評価する手法は確立されていない。また、造成予定地については、必ずしも水質浄化機能が最も効率的に発揮される場所を選定しているわけではない。

本事業では、愛知県水産試験場のこれまでの調査による既往知見をもとに、人工干潟域の水質浄化機能を適正に算出する手法を確立するとともに、より効果的な造成適地選定手法についても検討する。これらの手法の開発により、干潟域造成事業の費用対効果を明確に示すことができる。また、干潟域に対する知見がさらに深まり、その造成が水産資源の維持・増大のみならず、海域の浄化に役立っていることが広く一般に理解され、事業の効率的な推進に寄与する。

5. 調査方法

(1) 実験人工干潟を利用した水質浄化機能評価

愛知県水産試験場が有する水理実験水槽（以後平面水槽：図1）を活用し、実験人工干潟の底生生物群集及び平面水槽内に入出入りする海水の水質変動を正確に捉えることにより、水質浄化機能定量化手法の確立を目指した。平面水槽に干潟砂に類似した粒度組成の砂を敷き詰め、アサリ添加と不添加、高地盤と低地盤の組み合わせで4つの区を設定した（図2）。対照区及び試験区1は高地盤区（砂厚35cm）で、大潮干潮時には干出するが、試験区2及び試験区3は低地盤区（砂厚20cm）で、大潮干潮時にも干出ししない。また、試験区1及び試験区3には、それぞれアサリ稚貝（平均殻長18.3mm、平均個体重量1.1g）約5,000個体を移植した。平面水槽は天井がガラス窓で覆われており、日射、水温の制御は自然に任せた。潮汐の振幅については、海上保安庁水路部の予測潮位ファイルを38%に圧縮して用い、蒲郡市三谷町地先の潮汐を実時間で再現した。平面



図1 平面水槽

| | | | |
|--|--------------------------|--|--|
| | 対照区 標準地盤高 アサリなし | 試験区1 標準地盤高 アサリあり  (5,000尾) | |
| | 試験区2 標準-15cm アサリなし | 試験区3 標準-15cm アサリあり  (5,000尾) | |

図2 平面水槽における試験区の設定

水槽への流入水（潮汐発生水槽内の海水）と流出水（満潮時の干潟直上水）については、3日に1回程度採水を行い、ブラン・ルーベ社製オートアナライザー AACS-III及び島津製作所製 NC アナライザー SUMIGRAPH NC-900S を使用して、各態窒素濃度を測定した。また、底泥中の間隙水については、夏季に2回、1時間間隔で24時間連続での採水を実施して、同様に各態窒素濃度を測定した。更に、3ヶ月に1回程度、底生生物及び底泥の採集を行い、マクロベントス及びメイオベントス¹⁵⁾、底泥中の細菌数¹⁶⁾、有機炭素量及び有機窒素量¹⁷⁾、クロロフィル量¹⁸⁾の分析を行った。マクロベントス現存量は、鈴木ら¹⁹⁾の方法により食性を分類し、単位面積当たりの窒素量に換算した。

実験人工干潟において得られたデータを底生生態系モデル（図3）に適用した。底生生態系モデルとは、浮遊系と底生系の相互作用を考慮できる物質循環モデルであり、底生系内は更に好気層と嫌気層に分けられている。基本モデルは、Baretta and Ruardij (1988)²⁰⁾ が設計したモデルの循環元素をCからNに置き換えたものである。我々は、これまでにも三河湾一色干潟における調査結果等を基礎データとして、モデルによる水質浄化機能等を推定してきたが、今回は実験人工干潟において得られた詳細なデータを、このモデルに適用することにより、さらなるモデルの改良を試みた。最初の観測値を初期値として計算を実施し、計算結果を以後の実測値で検証、両者が近づくようにパラメータの改良を行うとともに、干潟域における窒素収支を積算した。

(2) フィールド調査

実際の海域での水質浄化機能を把握するため、平成11年に蒲郡市西浦に造成された人工干潟域（12ha）の地盤高の異なる3定線において、3ヶ月に1回程度、底生生物、干潟直上水、沖合水及び底泥の採集を行った。定線は、地盤の高い方からそれぞれ、L.1(DL+0.5m)、L.2(DL-0.4m)、L.3(DL-1.6m)とした（図4）。底生生物については、マクロベントス及びメイオベントスの同定、個体数、湿重量を測定し¹⁵⁾、現存量として窒素量に換算した¹⁹⁾。干潟直上水、沖合水の試料からは、各態窒素量（ブラン・ルーベ社製オートアナライザー AACs-III及び島津製作所製 NC アナライザー SUMIGRAPH NC-900S を使用）、クロロフィル量¹⁸⁾の分析を行った。底泥試料からは、細菌数の計数¹⁶⁾、有機炭素量及び有機窒素量¹⁷⁾、クロロフィル量¹⁸⁾の分析を行った。また、同じ定線において、毎月1回、試験漁具による底生生物群集調査を行い、二枚貝等の生息量を把握した。

(3) PCOD除去速度測定実験

青山・鈴木(1997)²¹⁾ は天然干潟上の底生生物によるろ過速度の測定を行い、懸濁態有機窒素の除去速度を求め、それをPCOD（懸濁態COD）に換算して日最大処理水量などを求め、同等の処理機能を持つ下水道処理施設の建設費の算出を行っている(青山ら1996)²²⁾。しかし、懸濁態有機窒素からPCOD値への換算は他の観測結果を利用して行っているため精度が低い。PCODは急速に変化し保存が困難であるため、これまで底生生物によるPCOD除去量は直接測定されていなかったが、水質浄化能力を精度良く費用換算するにはPCODの除去速度の測定は不可欠である。そこで、三河湾の代表的な二枚貝（アサリ等）によるろ過速度とPCOD除去速度をチャンバー実験により測定した。蒲郡市三谷町地先の潮間帯において、アサリを20個体入れたチャンバーを設置し、継続的に採水してPON及びPCOD(COD-溶存態COD)を測定し、両者の相関を調査し係数を求めた。

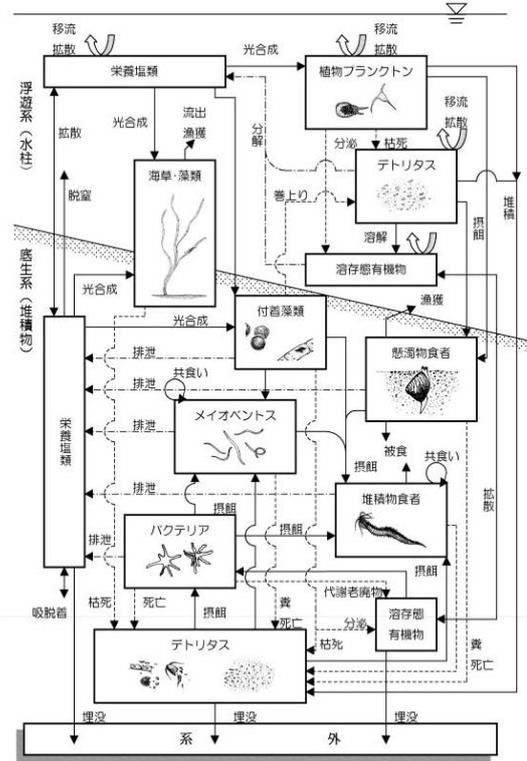


図3 底生生態系モデルの概念図

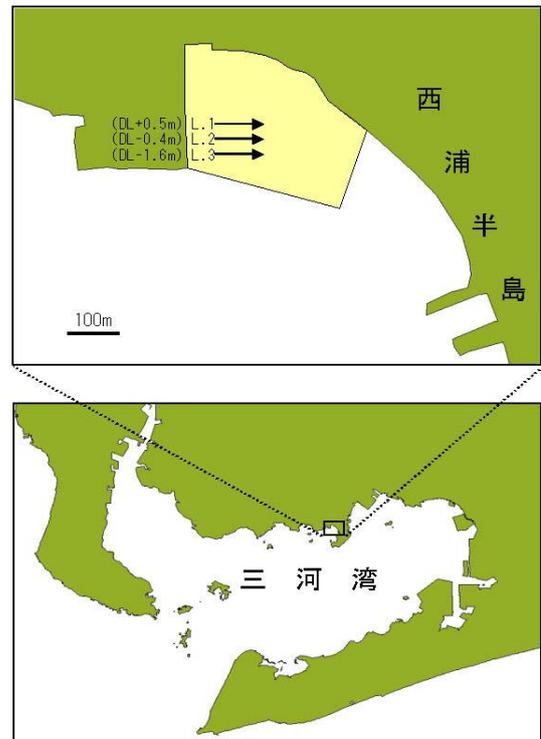


図4 西浦地区の人工干潟域における調査定線

(4)機能の経済評価

平面水槽のデータを元に改良した底生生態系モデルに、フィールド調査によって得られたデータを適用し、窒素循環の収支を計算した。計算されたPON除去能力（二次処理機能）を、PCOD除去速度測定実験により得られた係数を利用してPCOD除去能力に換算し、青山²²⁾、佐々木²³⁾の方法に従い、下水処理施設の建設費や維持管理費を計算することにより、経済評価を行った。なお、西浦造成地に流入する小川からの窒素負荷については、蒲郡市の平成15年度（9月期）における「し尿くみ取り台帳」より集計した、干潟後背地の排水区における住民数に、「流域別下水道整備総合計画調査指針と解説 平成11年版」による、し尿と雑排水の原単位（TNg/人・日）を掛けることから推定した。ただし、この地域では下水道が普及していないため、雑排水は全て造成地への負荷とした。また、し尿については、「浄化槽」の世帯（単独処理浄化槽、合併処理浄化槽を含む）では、全て造成地への負荷とし、「くみ取り」及び「自家処理」の世帯では、造成地への負荷は無いものとした。

(5)造成適地選定手法開発

干潟域の人工的造成には多くの技術的課題が残されており、地盤高、底勾配、地盤安定性といった土木工学的条件に加え、水質、底質等の生物の生息環境条件を考慮に入れた検討が進められている。これらの研究は、マクロベントスによる水質浄化機能を発現させるためにどのような水質、底質、地盤高が望ましいかという視点に立っているが、どこに造成するのが望ましいかという適地選定の条件については触れていない。適地としては、水質浄化機能の高い過食性マクロベントスの自然加入が期待できるかどうかという条件や、逆に、湾全体への効果的な浮遊幼生の供給が可能か、といった条件が重要である。そこで、幼生の漂流経路を数値シミュレーションによって適正に推測する手法の開発を試みた。河川流量、潮汐、風向風速、及びアサリ浮遊幼生の塩分選好性実験のデータを元に、レセプターモードモデル²⁴⁾を用いて、三河湾における浮遊幼生の漂流経路についての数値シミュレーションを行った。また、各漁場におけるアサリ漁獲量等から推定される資源量をもとに、各漁場へ供給される浮遊幼生の比率を決定し、三河湾におけるアサリ浮遊幼生の供給源マップを作成した。

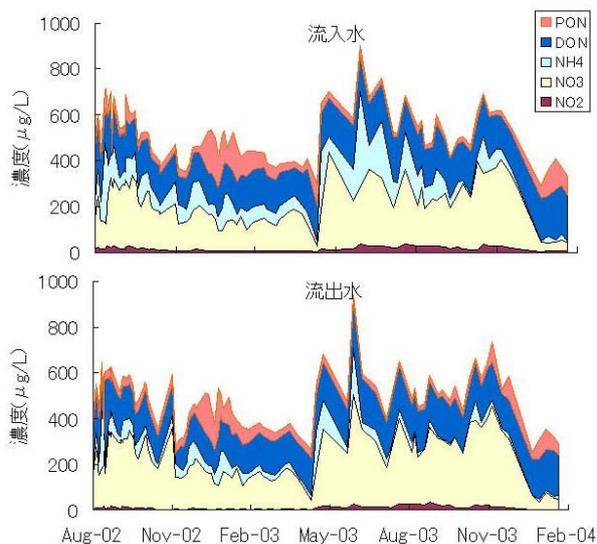


図 5-1 実験人工干潟への流入水と流出水の推移

6. 調査結果

(1)実験人工干潟を利用した水質浄化機能評価手法の確立

実験人工干潟において、水質、底質、底生生物等の詳細なデータが取得できた（図 5-1～図 5-3）。また、間隙水の24時間連続観測により、間隙水の水質は各試験区とも

潮汐に応じて大きく変動することが明らかとなった。これらのデータを元に、底生生態系モデルの改良を行った。細菌数、付着藻類量、間隙水濃度の再現性向上に主眼をおいて検討を行った結果、水質や底生生物量の観測値と計算値がかなり合うようになり、モデルの精度向上が図れた（図6）。

(2) フィールド調査

調査結果を図7-1～図7-6に示す。マクロベントス現存量は減少傾向にあり、特にアサリなどの二枚貝類の現存量が急減した。定線L.3付近において、底泥の有機炭素量、有機窒素量及びフェオ色素量が減少傾向にあった。

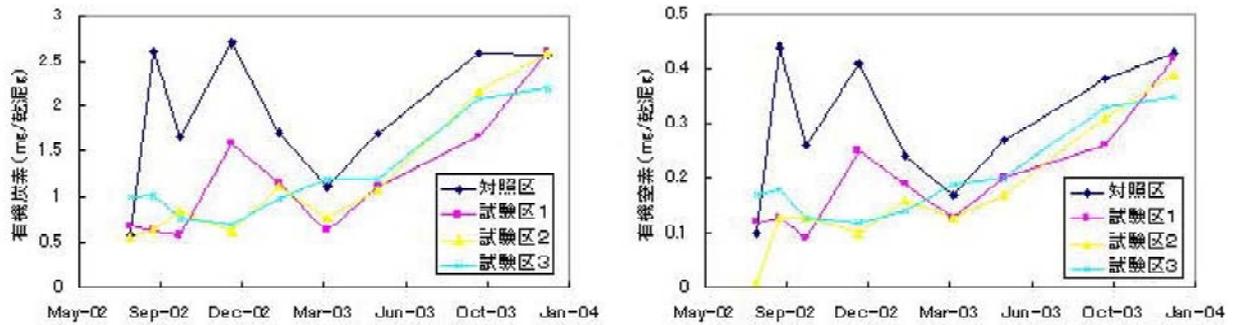


図 5-2 実験人工干潟における底泥の有機炭素量および有機窒素量の推移

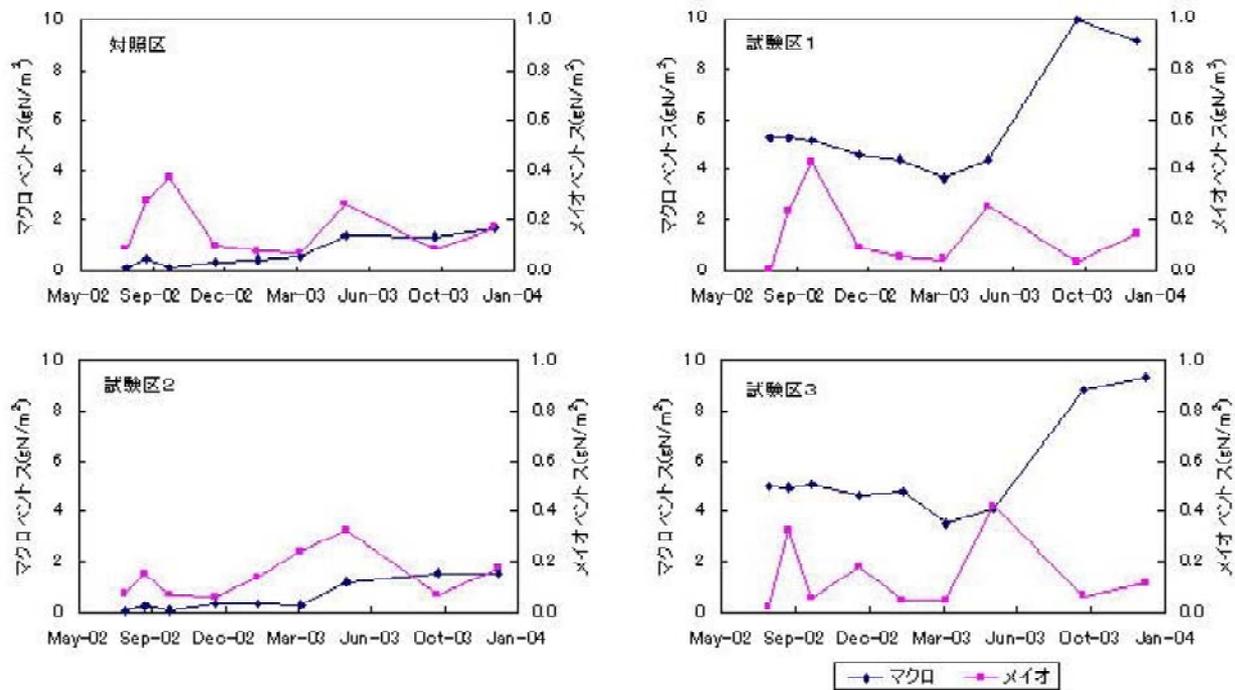
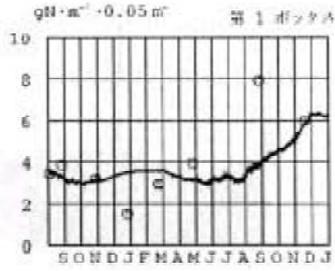
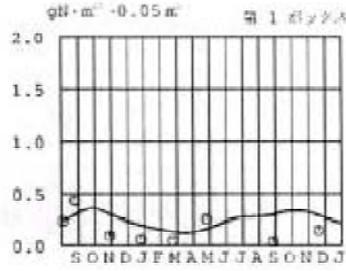


図 5-3 実験人工干潟における底生生物現存量の推移

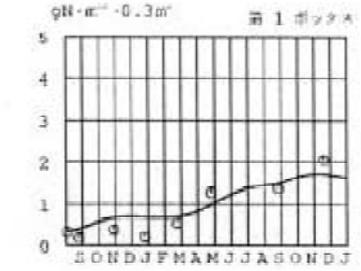
付着珪藻



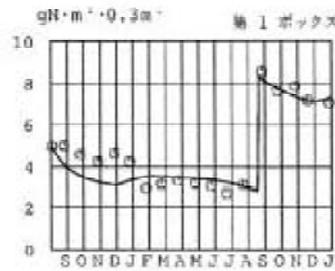
メイオバントス



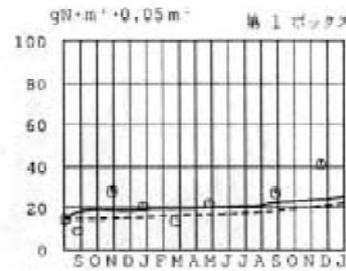
堆積物食者



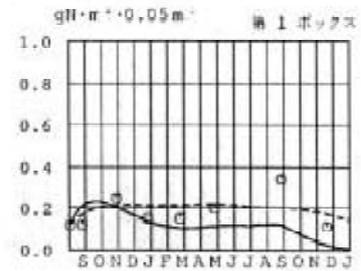
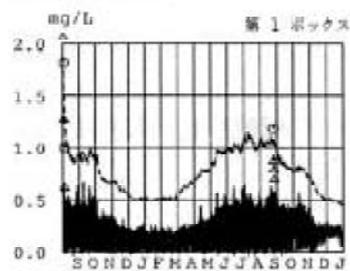
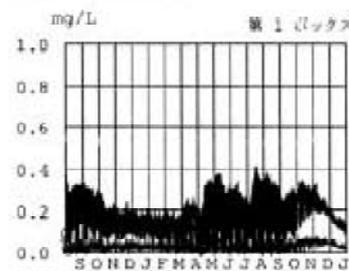
懸濁物食者



デトリタス



バクテリア

間隙水 NH₄-N間隙水 NO₃-N

間隙水 DON

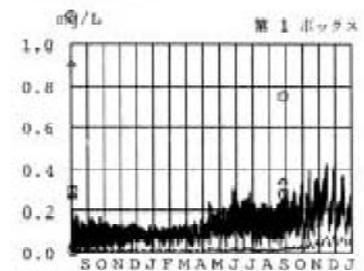


図 6 試験区 1 における実測値 (○) とモデルによる計算値 (曲線)

(3) PCOD除去速度測定実験

PCODとPONの直線回帰式の傾きより、 $PCOD/PON=4.82$ ($r=0.80$)と計算された。また、アサリ現存量あたりのろ水速度は $8.36L/gN/h$ 、アサリ現存量あたりのPCOD除去速度は $8.81mg/gN/h$ と計算された。

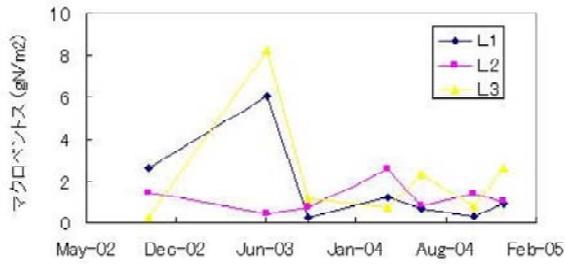


図 7-1 西浦の人工干潟域におけるマクロベントス現存量の推移

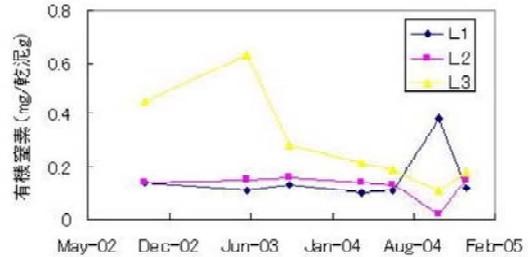


図 7-4 西浦の人工干潟域における底泥の有機窒素量の推移

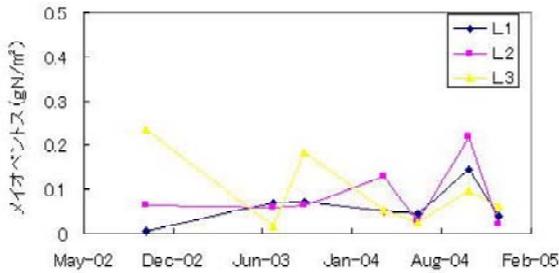


図 7-2 西浦の人工干潟域におけるメイオベントス現存量の推移

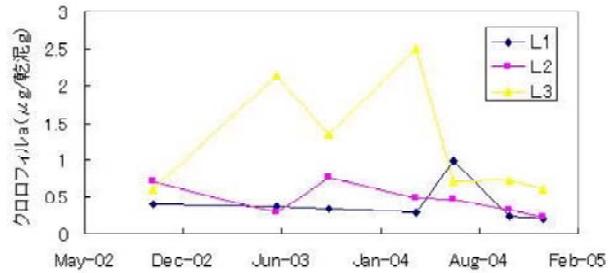


図 7-5 西浦の人工干潟域の底泥におけるクロロフィルa量の推移

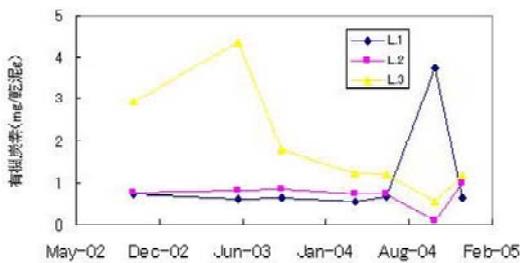


図 7-3 西浦の人工干潟域における底泥の有機炭素量の推移

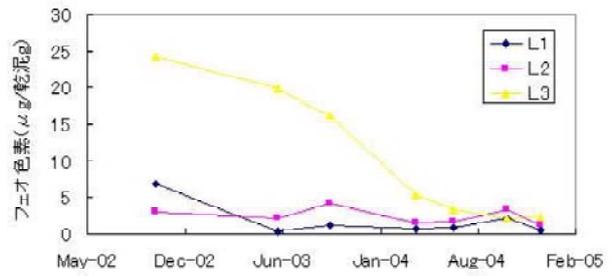


図 7-6 西浦の人工干潟域の底泥におけるフュオ色素量の推移

(4)機能の経済評価

改良された底生生態系モデルにフィールド調査の結果を適用した結果、この干潟域の持つ水質浄化機能の一つであるPON（懸濁態有機窒素）の除去能力は、季節的に大きく変化することが分かった（図8）。PON除去能力は、夏季、特に6月に最も高く、10-12月には逆に干潟域が負荷源となることが分かった。干潟域全体の経済的価値について試算を行った結果、2004年6月における水質浄化機能と

同等の機能を持つ下水処理施設の建設費及びその維持管理費は、それぞれ10.2億円、3,600万円/年と計算された。また、2004年の1年間について積分し、同様の計算を行うと、それぞれ4.2億円、1,900万円/年と計算された。

(5)造成適地選定手法開発

逆時間追跡による数値シミュレーションにより、一色干潟など湾内の主要なアサリ

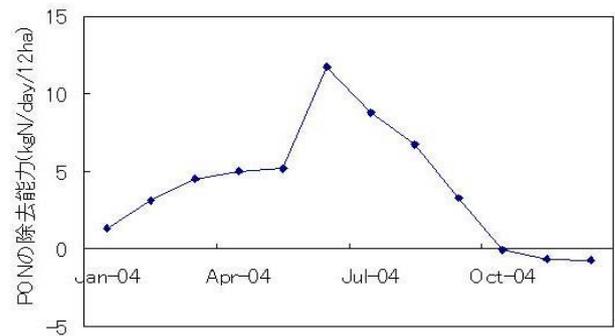


図 8 西浦の人工干潟域(12ha)におけるPON除去能力の推移

漁場へ供給されるアサリ浮遊幼生の供給源を追跡できるようになった。特に、浮遊幼生の塩分選好による鉛直分布モデルを適用することにより、精度が向上した。その結果、一色干潟域への主な供給源は、渥美半島の沿岸部一帯と汐川河口域であると予測された（図9）。豊川河口域への主な供給源は、田原市沿岸部と汐川河口域、豊川河口域であると予測された。福江湾への主な供給源は、福江湾から汐川河口域にかけての渥美半島沿岸一帯であると予測された。汐川河口域への主な供給源は、汐川河口域自体と田原市沿岸域であると予測された。矢作川河口域への主な供給源は、矢作川河口域や知多湾奥部一帯の沿岸、佐久島周辺であると予測された。これらの結果から推定される三河湾全体のアサリ浮遊幼生の供給源マップを図10に示す。全体としては、三河湾内の主要なアサリ漁場への浮遊幼生の供給源は、豊川河口域から渥美半島沿岸一帯及び矢作川河口域であると推測された。

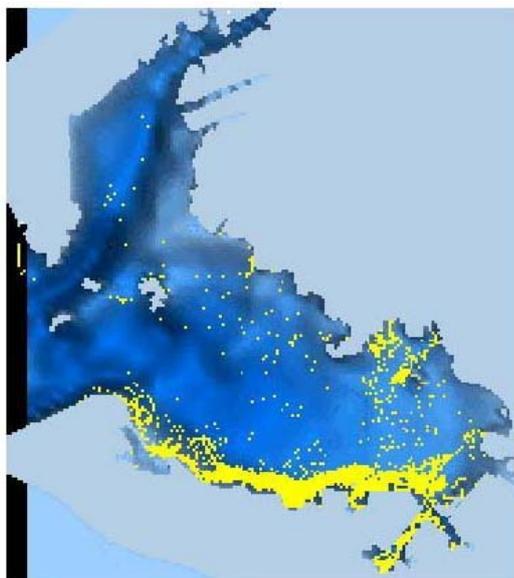


図9 一色干潟域へのアサリ幼生供給源の計算結果
(5月28日から5月14日における追跡結果)

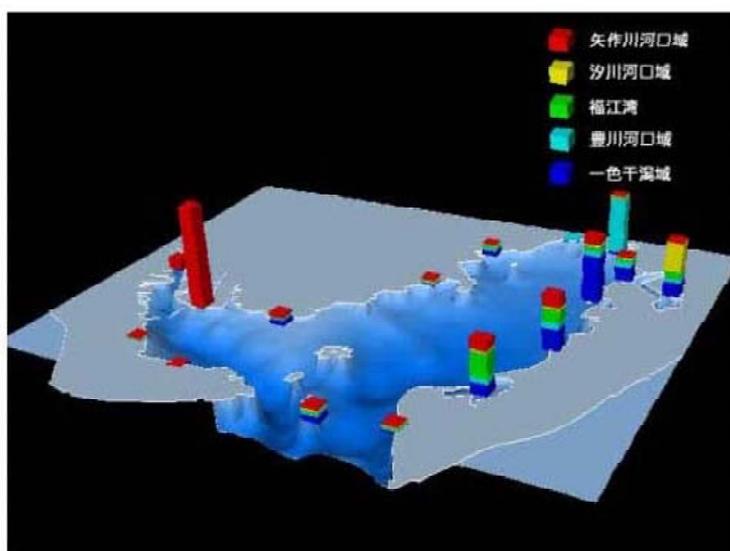


図10 三河湾におけるアサリ浮遊幼生の供給源マップ
(5月28日から5月14日における追跡結果)

7. 考察

(1) 人工干潟・浅場の水質浄化機能定量化手法の確立

人工干潟のような小海域においてはボックスモデルによる評価は困難であるが、確立した底生生態系モデルでは評価が可能であった。底生生態系モデルにより人工干潟域におけるPONの収支を計算した結果、6月に最も高い除去能力を示した。三河湾の水質が最も悪化する夏期において、人工干潟域が最も高い水質浄化機能を発揮することは、湾内の水質悪化を緩和する作用があり、非常に効果的であると考えられた。

間隙水の水質、特に $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は潮汐に応じて大きく変動していたが、そのメカニズムについては不明である。一般に、沿岸域の堆積物表層においては、酸素濃度の変化に対応して窒素化合物の代謝経路が変化するため、 $\text{NO}_3\text{-N}$ や $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の極大値は、ごく表層の酸化層付近にあり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は下層にいくほど高くなることが知られている。²⁵⁾ 間隙水の動態については依然として不明な部分が多く、採水層を細かく区分して間隙水を採取しなければ、その動態を把握することは不可能であると考えられた。

特に、水層と堆積物層との境界層付近における動態が重要で、ここの水を鉛直方向にmm以下の空間分解能で採水する手法を考案する必要がある。

(2) フィールド調査

二枚貝類現存量の減少に伴い、ツメタガイの現存量が増加する傾向にあった。また、ツメタガイと同様、アサリの食害生物として知られるキセワタガイの出現量も変動は大きいものの増加する傾向が認められた。その他にも夏季にはガザミ類、冬季にはホシハジロなどの潜水性カモ類が多く見られ、これらの生物の捕食による二枚貝現存量の減少が示唆された。

また、干潟域造成に用いられた中山水道掘削砂は、中央粒径が0.16mmと細かく、粒がそろっているため、締め固まりやすい傾向にあった。また、造成からの時間の経過と共に、次第に砂は移動し、地盤高等の地形変化が起こってきた。これらのことにより二枚貝の生息に適した地盤の劣化や生息域の減少が生じてきた可能性がある。

今後は、造成した干潟域における捕食者の生息量を管理したり、底質環境や地形を維持して、人工干潟域を水質浄化の場や漁場として長期的に利用していくための手法を考える必要がある。

(3) PCOD除去速度測定実験

算出されたPCOD/PONは、青山らが計算した値4.86⁹⁾と近似しており、ほぼ妥当であると考えられるため、水質浄化機能の経済評価にはこの値を採用した。

算出されたアサリ現存量あたりのろ水速度からは、湿重量8g（殻長3cm程度）のアサリのろ水速度は0.30L/hと計算され、従来言われている値よりも低めの値が見積もられた。アサリのろ水速度は条件により大きく異なるため、今後アサリ等の二枚貝による水質浄化機能を算出する場合には、最小値～最大値のように、幅を持たせて表示することも検討する必要があると考えられた。

(4) 機能の経済評価

2004年6月における水質浄化機能と同等の機能を持つ下水処理施設の建設費及びその維持管理費は、それぞれ10.2億円、3,600万円/年と計算されたが、人工干潟域の面積(12ha)で割って1haあたりの費用を計算すると、それぞれ、8,500万円/ha、300万円/年/haとなる。一方、青山⁹⁾、佐々木¹⁰⁾の計算による一色干潟(1,000ha)の経済評価は、それぞれ540億円、5億円/年である。これは、1haあたりだと、それぞれ5,400万円/ha、50万円/年/haとなり、人工干潟域の経済的評価は、天然の干潟域に匹敵するものであった。しかし、人工干潟域のような小さな干潟域に相当する小規模な下水処理施設の建設というのは実状に合わず、処理水量に対応した計算式を使用する必要があるため、この評価では誤差が大きかった可能性がある。

(5) 造成適地選定手法の開発

干潟域造成を行うための適地選定が必要な場合に、流動シミュレーションモデルが利用できる可能性が示された。その時々気象・海象条件により漂流過程が大きく変化するが、今回の計算結果からは干潟造成の適地としては、渥美湾奥部海域が候補地となった。開発した適地選定手法については、河口域のような非常に浅い海域における流動場の計算精度、特に鉛直方向の解像度を今後検討し、結果の精度を評価する必要がある。

8. 摘要

- ・底生生態系モデルにより人工干潟域の水質浄化機能を定量的に評価する手法を確立し、数少ないデータでも人工干潟域の評価が可能だということが明らかとなった。
- ・この手法で西浦地区の人工干潟域を評価したところ、水質が悪化する夏期において最も高い水質浄化機能が発揮され、人工干潟の機能は効果的に作用することが明らかとなった。
- ・西浦地区の人工干潟域の持つ水質浄化機能を、下水処理施設の建設・維持管理費に換算して経済評価を行ったところ、天然の干潟域（一色干潟）に匹敵するものであった。
- ・間隙水の動態については不明な部分が多く、干潟域における物質循環を把握するためには、間隙水に関するデータの収集を重ね、その動態を解明していく必要がある。
- ・PCOD除去速度測定実験については、1回限りの調査であったので、条件を変えて複数回実施して、係数の妥当性について更に検討する必要がある。
- ・西浦地区の人工干潟域においては、次第に二枚貝等の現存量が低下する傾向にあり、捕食者などの生物学的要因と、底質や地形変化などの土木工学的要因が疑われた。
- ・今後は、長期にわたり水質浄化機能及び生物生産機能が働くように、造成した干潟域を維持管理していく手法を開発していく必要がある。
- ・アサリ浮遊幼生の湾全体への効果的な供給が可能な海域を、干潟域の造成適地の一つと考え、その海域を幼生の流動シミュレーションから特定する手法を開発した。
- ・開発した適地選定手法については、河口域のような非常に浅い海域における流動場の計算精度を、今後検討する必要がある。

9. 引用文献

- 1) 荒川好満・峠清隆、1977：広島県地御前人工干潟造成前後の生物相の変化、水産土木、**14**(1)、45-51
- 2) 増殖場造成計画指針編集委員会、1997：沿岸漁場整備開発事業 増殖場造成計画指針 ヒラメ・アサリ編、社団法人 全国沿岸漁業振興開発協会、東京、pp. 316
- 3) 国土交通省港湾局、2003：海の自然再生ハンドブック その計画・技術・実践 第2巻 干潟編、ぎょうせい、東京、pp. 138
- 4) 今村均・羽原浩史・福田和国、1993：ミチゲーション技術としての人工干潟の造成－生態系と生息環境の追跡調査－、海岸工学論文集、**40**、1111-1115
- 5) 今村均、1998：人工干潟造成の現状と課題、平野敏行監修、沿岸の環境圏、フジ・テクノシステム、東京、pp. 1112-1121
- 6) 西嶋渉・岡田光正、1999：干潟生態系の構造と機能、岡田光正・大沢雅彦・鈴木基之編、環境保全・創出のための生態工学、丸善、東京、169-179
- 7) 細川恭史、1999：干潟の水質浄化システムとその再生・造成の可能性、沿岸海洋研究、**36**(2)、137-144
- 8) 今尾和正・鈴木輝明・浮田達也・高倍昭洋、2003：底生生物の出現動向から見た人工干潟の効果調査、水産工学、**40**(1)、29-38

- 9) 細川恭史、2002：人工干潟・海浜の造成の可能性、沿岸海洋研究、**39**(2)、107-115
- 10) 木村賢史・三好康彦・嶋津暉之・赤沢豊、1991：人工海浜の浄化能力について(2)、東京都環境科学研究所年報、141-150
- 11) 青山裕晃・鈴木輝明、1997：干潟上におけるマクロベントス群衆による有機懸濁物除去速度の現場測定、水産海洋研究、**61**(3)、265-274
- 12) 木村賢史、1998：水質浄化場としての人工干潟（海浜）の設計、平野敏行監修、沿岸の環境圏、フジ・テクノシステム、東京、1122-1136
- 13) 青山裕晃・甲斐正信・鈴木輝明、2000：伊勢湾小鈴谷干潟の水質浄化機能、水産海洋研究、**64**(1)、1-9
- 14) 国土交通省港湾局、2003：海の自然再生ハンドブック その計画・技術・実践 第1巻 総論編、ぎょうせい、東京、107
- 15) 日本海洋学会、1986：沿岸環境調査マニュアル〔底質・生物篇〕、恒星社厚生閣、東京、266
- 16) 日本海洋学会、1990：沿岸環境調査マニュアルⅡ〔水質・微生物編〕、恒星社厚生閣、東京、pp. 379
- 17) 安井久二・中根徹、1996：海洋堆積物中の有機炭素・窒素分析のための酸処理方法について、*J. Adv. Mar. Sci. Tech. Soci.*、**2**、105-110
- 18) 日本海洋学会、1990：海洋観測指針、気象庁編、pp. 428
- 19) 鈴木輝明・青山裕晃・中尾徹・今尾和正、2000：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、**64**(2)、85-93
- 20) Baretta, J. and P. Ruardij, 1988: Tidal Flat Estuaries. Simulation and Analysis of the Ems Estuary. Ecological studies 71. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 353pp.
- 21) 青山裕晃・鈴木輝明、1997：干潟上におけるマクロベントス群集による有機懸濁物除去速度の現場測定、水産海洋研究、**61**(3)、265-274
- 22) 青山裕晃・今尾和正・鈴木輝明、1996：干潟域の水質浄化機能、月刊海洋「プランクトンと河口生態系」、**28**(3)、178-188
- 23) 佐々木克之、1998：内湾および干潟における物質循環と生物生産26 干潟・浅場の浄化機能の経済的評価、**115**、132-137
- 24) 鈴木輝明・市川哲也・桃井幹夫、2002：リセプターモードモデルを利用した干潟域に加入する二枚貝浮遊幼生の供給源予測に関する試み－三河湾における事例研究－、水産海洋研究、**66**(2)、88-101
- 25) 左山幹雄、2000：海底境界層における有機物の分解・無機化と栄養塩のフラックス、海底境界層における窒素循環の解析手法とその実際、産業環境管理協会、東京、51-103