

## 環境修復機能の高い人工干潟設計システム開発に関する研究

東北大学大学院工学研究科	西村 修
港湾空港技術研究所	中村由行
東海大学海洋学部水産学科	木村賢史
株式会社フジタ	島多義彦
日本ミクニヤ株式会社	市村 康

### 1. はじめに

干潟は、生物の生息機能や水質浄化機能といった環境修復機能を有しており、干潟の保全・再生・創造は、水環境改善に対する効果が期待されている。しかし、現状の問題点として、人工干潟を設計、施工していく上で何のためにつくるのか、人工干潟の機能は目標を達成しているかといった「人工干潟の環境修復機能の評価が不十分」、また、干潟が消失する、土壌有機物量が増加・減少するなど「人工干潟の造成方法が不十分」、さらにアオサが堆積して腐敗した場合や地形が変化した場合の対応「人工干潟の維持管理方法が不明確」などが挙げられる。

問題解決に向けて本研究では、現在、試行錯誤的、経験的に行われている人工干潟の設計に関して、環境修復機能（水質浄化機能、生物生息機能）の高い人工干潟を合理的に創出するための設計システムを開発することを目的とした。設計システムは、以下のモデルから構成される（図1）。

#### 干潟と周辺海域間の水理・水質学的有機物フローモデル

干潟における粒子状有機物の直上水・堆積物間での移動を評価するモデルを開発する。これによって生物生息や水質浄化機能に大きな影響を及ぼす干潟土壌環境（有機物含有率、粒度分布、透水係数等）を予測することが可能となり、これは人工干潟設計システムの中核をなす技術である。

#### 生息地適正評価モデル

干潟底生動物の生息環境を定量的に評価する手法として SI (Suitability Index) モデル、

HSI モデル (SI モデルの統合モデル) を参考にし、水質浄化、生育生息機能に最も大きな影響を与える干潟土壌環境を主な指標として主要底生動物（二枚貝類、多毛類、甲殻類）の生育生息量・種が評価可能なモデルに改良する。設計および施工で制御できる項目は、場の条件に応じて土質、地形および消波等の補助施設を設けることなどに限定され、それに応じた環境因子の選定と評価モデルが必要となる。

#### 水質浄化機能評価モデル

ここでは水質浄化を底生動物の年間生産量と呼吸量を足した有機物量と定義しており、主要な底生動物についての浄化原単位を算出する。さらに干潟堆積物における総生産/分解機能も考慮し、干潟の有する水質浄化機能を場の環境、干潟構造から評価可能なモデルを構築する。

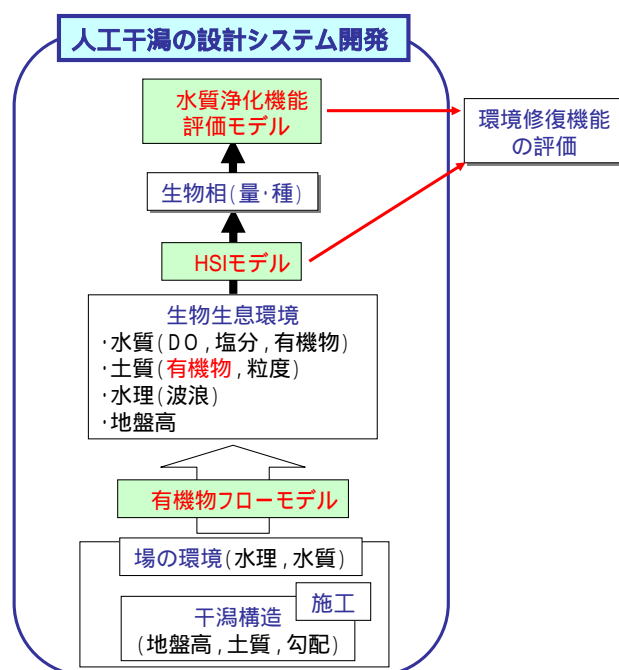


図1 研究フロー図

すなわち、干潟の構造および場の環境により人工干潟の土壌有機物量を予測し( ), 次に土壌有機物量に代表される生物生息環境条件を用いて出現する生物相(量・種)を推定する( )。最後に で推定された生物相に浄化原単位を考慮することにより人工干潟の水質浄化機能の評価を行う( )。

## 2. 研究方法

### 2.1 干潟と周辺海域間の水理・水質学的有機物フローモデル

本サブテーマでは、干潟の底質性状を決定する因子を把握することを目指し、干潟内で底質の異なるエリアを選定して水質、底質調査などを行い、直上水 - 堆積物間の物質(POC, SS)輸送量を算出するとともに底泥の性状と有機物動態の関係、物理的因子との関係について考察した。

現地調査は、蒲生干潟(宮城県仙台市)において2003年11月28日に実施した。蒲生干潟は潟湖タイプの干潟に分類され、底質は奥部に行くほど含泥率が高くなっており、本研究では底質の性状をもとに図2に示す3つのエリアに区分した。～の各測点において、自動採水器により1時間おき24時間の採水を行うと同時に、メモリー式の水位計を設置して各エリアの流出入量を算出した。また、との間地点に超音波ドップラー流向流速計(以後 ADCP)を設置し、流向・流速ならびに散乱強度を測定した。得られたデータを用いて単位時間あたりに水中から堆積物へ輸送される物質質量  $C_{Ti}$  (mg) を(1)式により算出した。なお、ADCP データによる解析は、散乱強度と SS 濃度に相関関係があることを利用するもので、ここでは SS 濃度への変換は行わず散乱強度データにより計算を行った。

$$C_{Ti} = \int Q_{i(t)} \times c_{i(t)} \times 10^3 dt - \int Q_{i(t-1)} \times c_{i(t-1)} \times 10^3 dt + \int (p-d) A_i h_{i(t)} dt - \int A_i h_{i(t)} \frac{dc_{i(t)}}{dt} dt \quad (1)$$

$p$ : 水中の生物による単位体積あたりの生産速度( $\text{mg}/\text{m}^3/\text{hr}$ ),  $d$ : 水中の生物による単位体積

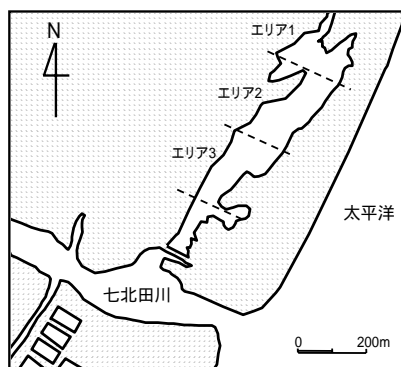


図2 調査地点(蒲生干潟)

あたりの分解速度( $\text{mg}/\text{m}^3/\text{hr}$ ),  $C_{i(t)}$ : 断面  $i$  における物質濃度( $\text{mg}/\text{l}$ ),  $Q_{i(t)}$ : 断面  $i$  における流量( $\text{m}^3/\text{hr}$ ),  $[p, d]$ 項: POCのみ

### 2.2 生息地適正評価モデル

国内の既存の底生動物および干潟に関する文献調査を実施するとともに、環境省が平成11年度から平成15年度までに実施した「自然を活用した水環境改善実証事業」で公表しているデータおよび平成15年度に実施した浜名湖内の人工干潟・自然干潟の調査データを整備し、環境因子と底生動物および環境因子相互の関係についてデータ解析を行った。

### 2.3 水質浄化機能評価モデル

干潟の水質浄化機能評価モデルを開発するためには、干潟に生息する底生動物自体が有する浄化原単位を求めることが基本となる。干潟生態系の有機物の流れを図3に示す。そこで、既に把握されているアサリ等の二枚貝類やゴカイ等の多毛類とともに、干潟上の岩場や礫の周辺に比較的多く生息する主要な底生動物である甲殻類のケフサイソガニ(*Hemigrapsus penicillatus*)とユビナガホンヤドカリ(*Pagurus dubius*), さらに礫等の表面に繁茂する付着藻類を摂餌する巻貝類のタマキビ(*Littorina brevicula*)について、室内実験により各個体のC, N, Pの浄化原単位を求めた。

実験は、水温20に維持された恒温水槽の中で各動物を飼育した。餌は、カニ、ヤドカリについては、干潟に通常見られるイソゴカイを

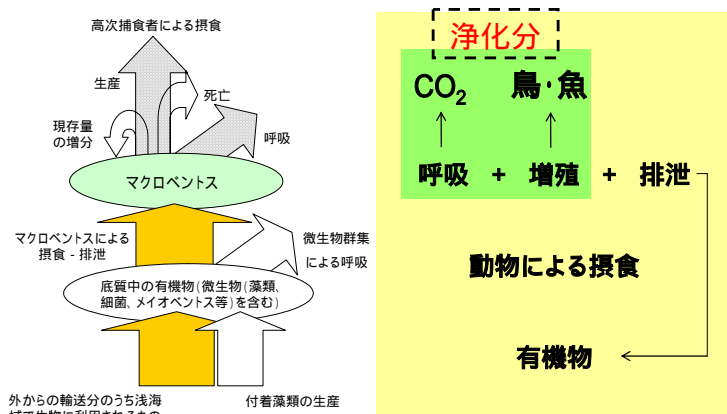


図 3 干潟生態系における有機物の流れ

毎日計測後与えた、藻食のタマキビについては、板海苔を水槽中の石に貼り付け餌として与えた。投餌後の残餌については、カニ、ヤドカリでは翌日、タマキビでは2日後に回収・計測し、新たな餌を投入した。

実験は約 30 日間を 1 スパンとし、1 週間毎に体重測定と水槽の水換え（約 2/3）を行い、実験は 1~2 回実施した。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 干潟と周辺海域間の水理・水質学的有機物フローモデル

1 日あたりの水中から堆積物への POC, SS の輸送量を図 4 に示す。エリア 1 ではわずかに水中から堆積物へ（図中：正の値）、エリア 2 では堆積物から水中へ、エリア 3 では水中から堆積物に輸送されていた。堆積物から水中への輸送は巻き上げであり、エリア 2 で大きくなったのは、堆積物の粒度と流速の関係から他のエリアよりも比較的巻き上げが生じやすい状態にあったためと考えられる。また、エリア 3 の堆

積物への輸送は、沈降ではなく、エリア 3 に多く生息するイソシジミの filter feeding に起因すると考えられた。エリア 1 について、水中から堆積物への輸送はそれほど小さくなく、同時に測定した底生微生物による分解量と合わせて考えると、堆積物の含泥率は低下することが分かった。しかし、エリア 1 の堆積物は高い含泥率を維持しており（エリア 1:70%, エリア 2:40%, エリア 3:2.8%）、出水時や季節、潮時などの条件において堆積物への輸送がある可能性が示された。

解析の結果、泥質干潟では流速が小さいにもかかわらず底泥から水中へ有機物が輸送される、すなわち巻き上げによる輸送が卓越することが、砂質干潟では流速は大きいものの水中から底泥の方に有機物が輸送される、すなわち沈降による輸送が卓越することが分かった。砂質干潟においては有機物が蓄積し、泥質干潟では有機物が減少する傾向は各干潟に共通した現象であり、有機物の直上水・底泥間の輸送量は流速よりも底泥の性状に起因することが明らかとなった。

次に ADCP データより測定された入り口部から奥部への流速と水中から堆積物への懸濁物質輸送量の関係を図 5 に示す。堆積物への輸送量が正の値で沈降、負の値で巻き上げとみなすと、上げ潮時の高い流速時に巻き上がっており、巻き上げに関して限界流速が存在することが分かる。また、上げ潮時の大きな沈降は、大きく巻き上げが起こった直後の流速低下時に生じ、次の下げ潮時に再び巻き上げが起こること

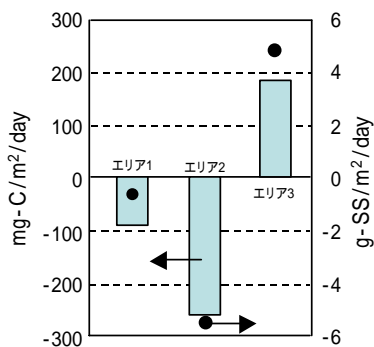


図 4 POC, SSの直上水から堆積物への輸送量

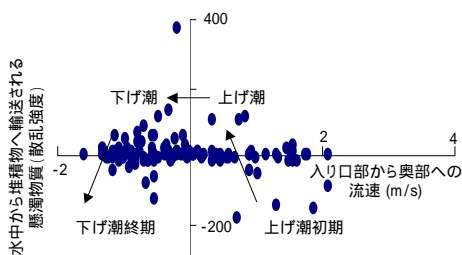


図 5 懸濁物質輸送量と流速の関係

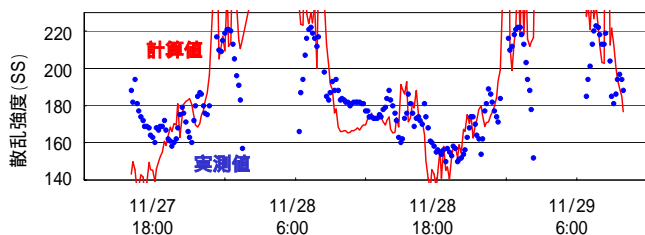


図 6 散乱強度 (SS) の時系列変化 (実測値及び計算値)

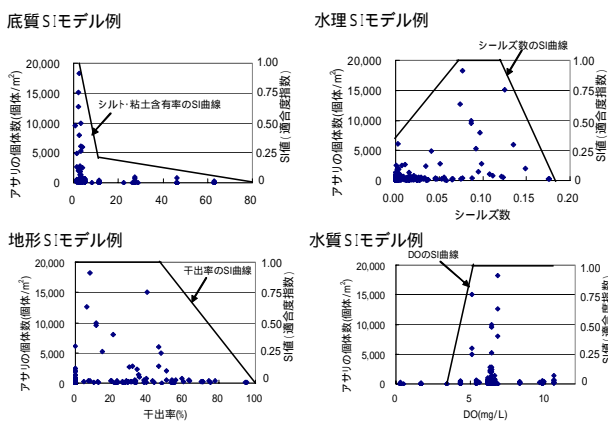


図 7 アサリ個体数の SI モデル

が推定された。さらに上げ潮と下げ潮に分けて収支をとると、上げ潮で-391、下げ潮で408を示し、上げ潮時に懸濁粒子が巻き上がり、干潟奥部に輸送されていることが明らかとなった。

また、ADCPにより測定された散乱強度(SS)の連続データについて、その場の水理環境(水位・流速)を入力して再現を試みた。ここで関係式は流速が増加すればSS成分が巻き上がり散乱強度が増加する傾向を、さらに水位が上昇すれば直上水のSS濃度が減少する傾向を表現した経験式である。図6に示すとおり、直上水のSS濃度がほぼ予測可能なことが分かった。この結果より、直上水-堆積物間における有機物(SS)のフラックス予測に展開していく予定である。

### 3.2 生息地適正評価モデル

文献調査および浜名湖の調査データに基づいたアサリの個体数に対する環境因子ごとのSIモデルの例を図7に示す。SIモデルは、各環境要因について生物生息場の適性を数値化したモデルであり、0.0~1.0の数値で示す。生息に不適な条件は0.0、最適な条件は1.0となる。ここでは、SIの最大値は、アサリの個体数の最大値が20,000個体/m<sup>2</sup>であったため、これをSI=1.0とした。例えばDOが低い環境ではアサリが生息出来ないなどの理由が存在し、底質(D<sub>50</sub>、シルト含有率、砂分、礫分、D<sub>10</sub>、水分、強熱減量、COD、TOC、ORP、硫化物量)、水理(シールズ数、底面摩擦速度)、地形(干潟勾配、地盤高、干出率)、水質(水温、塩分、DO)の各項目について、アサリの個体数には生息可能な条件があることが分かる。

次にSIモデルを統合し、HSIモデルの構築を試みた。その際、底質の環境因子は相互に影響しあっていること、水理学的な環境因子は底質の環境因子に大きく影響していること、地形および水質の環境因子は、場の立地条件や気候等の特性によって大きく影響を受けるが、項目によっては相互に影響するものがみられることなどが確認されたことから環境因子間の相関性を検討し、ここでは(2)式をアサリ個体数のHSIモデルとした。その他、HSIのモデル式で、相乗平均による計算方法も検討したが、生物の生息に重大な悪影響を及ぼす環境因子が1項目あった場合、他の環境因子に平均化されて、HSI値が大きめに出る可能性があり、環境因子の最小値の積で計算するほうが安全側に働くことが分かった。

$$\text{アサリ個体数 HSI} = (\text{底質 SI 最小値}) \times (\text{水理 SI 最小値}) \times (\text{地形 SI 最小値}) \times (\text{水質 SI 最小値}) \quad (2)$$

浜名湖内の干潟におけるアサリの個体数と湿重量について、HSIモデルによる計算結果を図8に示す。解析データは、浜名湖における人工干潟および自然干潟の調査データの2000年~2003年の3年間の調査データの平均値を使

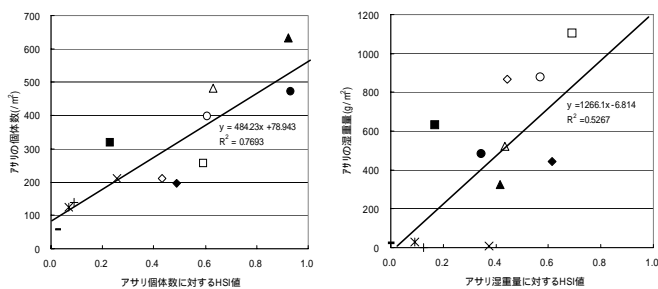


図 8 アサリの個体数及び湿重量HSIモデル

用した．HSI とアサリ個体数の決定係数は  $R^2=0.77$  と比較的高く，生物生息場が評価できるものと考えられる．

なお，腹足類ウミニナの個体数，湿重量に関する HSI モデルも開発し，シルト・粘土含有率等の粒度や波浪による影響（シールズ数）および地盤高がウミニナの生息に大きく影響し，細砂で造成した人工干潟では，ウミニナの生息場に不適しいことが分かった．また，生物種によっては個体数と湿重量の両方で評価し，地形の多様性を設計に配慮する必要があることが示唆された．

3.3 水質浄化機能評価モデル

単位質量あたりの同化量を比較すると，体の大きさが小さい個体ほど値が高く，体が大きくなるほど小さく低くなる傾向が見られた．これは成体に近くなるほど，摂取された餌は身の成長よりも生命維持のためのエネルギー消費に回される比率が高くなるため，浄化（同化）量が低下することを表している．図 9 に多毛類，

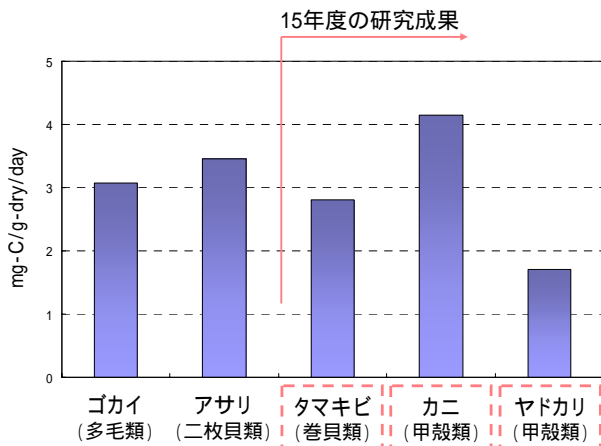


図 9 各底生動物の炭素浄化原単位

二枚貝類，巻貝類および甲殻類の浄化原単位を示す．カニは平均  $4.1(3.9-4.4)mg-C/g-dry/day$  とゴカイやアサリとほぼ同等の浄化能となった．一方，同じ甲殻類のヤドカリは，最も小さい値を示した．カニは他の種類も含め干潟に多数生息しており，原単位の大きさから干潟水質浄化能の評価時には考慮すべき底生動物であることが分かった．今後は，干潟や人工干潟等の現場調査を実施し，その結果を今回の浄化原単位を使用して浄化量を算定し，旧方法の浄化量と比較検討する予定である．

また，全国の干潟に生息する腹足類のウミニナも含めて主要な底生動物については，同様の手法で整理しておくことが重要である．その際，水温や脱皮の影響をみるためにも，季節を考慮した飼育実験を行う必要がある．

4. まとめ

東京湾（人工・自然干潟），浜名湖（人工・自然干潟），宮城県蒲生干潟・七北田川河口干潟を研究対象干潟として3つのモデル開発を行った．

潟湖干潟の現地観測により直上水の水理・水質環境を把握し，直上水から底泥に輸送される有機物収支解析を行った．その結果，泥質干潟では流速が小さいにもかかわらず底泥から水中へ有機物が輸送される，すなわち巻き上げによる輸送が卓越することが，砂質干潟では流速は大きいものの水中から底泥の方に有機物が輸送される，すなわち沈降による輸送が卓越することが分かった．

干潟底生動物（アサリ，ウミニナ）に関して，各環境因子との関係から SI モデルを作成し，底質 SI，水質 SI，地形 SI，水理 SI を用いて生物生息地のポテンシャルが評価出来る HSI モデルを構築した．

カニ，タマキビ，ヤドカリについて浄化原単位を室内実験により算出した．HSI モデルに浄化原単位を組み込むことで水質浄化機能評価モデルに発展させることが可能となる．