

干潟・浅場におけるマクロベントスの種多様性予測・評価手法の開発

島多義彦* ・ 西村 修** ・ 野村宗弘*** ・ 中村由行****
木村賢史***** ・ 市村 康***** ・ 袋 昭太*****

干潟・浅場の主要な生物であるマクロベントスの種多様性を種数で評価し、HSI モデルを使用して水域内のマクロベントスの過去の出現種データおよび底質等の環境因子に関するデータから、全種数に関する生息場適合度指数 (tHSI) および全種数を算出する手法を開発し、浜名湖松見ヶ浦における干潟・浅場の調査データをもとにその適用性の評価を行った。その結果、干潟・浅場に生息するマクロベントスを網 (Class) - 生息形態の生物群に分類し、それぞれの生物群の種数に関する HSI モデルを構築することにより、干潟造成等の事業実施前後の種数に関する効果の予測・評価が可能であることが示された。

1. はじめに

干潟・浅場の生物生息場としての機能修復や創出を行う際、計画・設計段階に事業実施後の環境修復機能を予測する必要がある。そのためには、事業実施後の底質や地形等の環境因子を予測し、変化する環境因子に対してマクロベントス等の生物の生息場としての適合性を定量的に示す手法の開発が、事業実施効果の事前予測ばかりでなく、事後のモニタリングによる事業評価とアダプティブマネジメントに役立つと考える。干潟・浅場の生物相や物質循環の中核をなすマクロベントスの生息場の適合性評価には、アサリ等の特定の生物を対象として HEP 等の手法を適用し、個体数や湿重量を対象とする評価手法が開発されつつある (新保ら, 2000, 2001; 島多ら, 2005)。一方、干潟・浅場の重要な機能である種多様性を場の環境条件から評価する手法については、生物種ごとに評価するのは、環境耐性の既往の研究データは限定され、全ての生物種または環境因子に対する出現種を評価するのは困難である。吉安ら (2001) により人工磯の付着動物を対象として水質および海水流動値に関する HSI モデルを構築し、生息場の適合性評価の研究が行われている。しかし、干潟・浅場では付着動物などの生息形態ばかりでなく、同一生息形態に分類されても二枚貝や多毛類等の生物種の分類は多様であり、それぞれ生息に影響する環境因子および耐性が異なる。

本研究では、干潟造成等の事業による種多様性に関する効果を定量評価する新しい手法を開発した。さらに、その手法を現地造成干潟に適用し、手法の適用性を検証

した。

2. 種多様性予測・評価手法の構築

考案した手法の実施手順を以下に示す。(図-1 参照)

(1) 生物種マトリクス表の作成

- 事業の事前調査を実施するか、または過去の調査記録等を使用し、事業対象となる水域に出現した全生物種リストを作成する。
- 生物種リストに基づいて、各生物種を生息形態に分類し、網-生息形態の該当生物群の種類数を算出して、種数に関するマトリクス表を作成する。マクロベントスの生息形態は、例えば、秋山・松田 (1974) が示したように、表在性 (地表面に生息)、内在性 (土壌中に生息)、付着性 (土壌や岩の表面に付着して生息)、下在性 (岩などの下の隠れて生息) の 4 つに分類する。

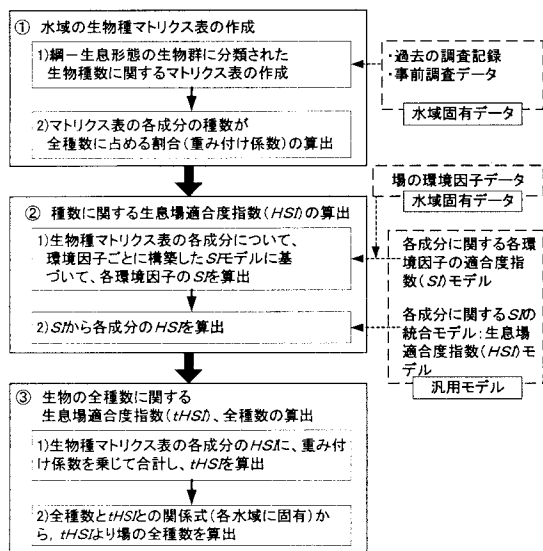


図-1 種多様性予測・評価手法の実施手順

* 正会員	(株)フジタ 環境研究部 主任研究員
** 正会員	工博 東北大学教授大学院工学研究科土木工学専攻
*** 正会員	工博 東北大学助手大学院工学研究科土木工学専攻
**** 正会員	工博 (独法)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 沿岸環境領域長
***** 正会員	工博 東海大学教授海洋学部水産学科
***** 正会員	工博 日本ミクニヤ(株)東京支店 環境部長
*****	理修 (株)フジタ 環境研究部

c) 生物種マトリクス表の各生物群の種数が全種数に占める割合を算出し、これを重み付け係数とする。

(2) 種数に関する生息場適合度指数 (*tHSI*) の算出
本研究では、米国で開発事業による野生動物への影響評価を標準化するために開発され、米国等の環境アセスメントで広く使用されている HEP (生息場評価手続き, (The US Fish & Wildlife Service, 2005参照)) の手法を参考にし、HSI モデルを構築して評価する手法とした。

a) 干潟造成等の事業実施前の事前調査データをもとに、事業計画区域内の地点別に環境因子を次の様な4つの種類に分類し、データ整理する。

- ・底質：中央粒径、シルト・粘土含有率、砂含有率、礫含有率、強熱減量、COD_{sed}、酸化還元電位
- ・地形：干出時間または標高 (水深)、勾配
- ・水理：シールズ数、底面摩擦速度
- ・水質：実用塩分、溶存酸素濃度、水温

b) 生物種マトリクス表の各生物群の種数について構築した各環境因子の SI モデルにより、SI を算出する。

c) 場の生物種マトリクス表の各成分の *HSI* を次式により算出する。4種類に分類した環境因子の *SI* 最小値を使用した理由は、分類した4種類の環境因子の項目 (例えば底質であれば、中央粒径、シルト含有率等) はそれぞれ相関性が考えられ、生物種によっては影響する項目が中央粒径である場合やシルト・粘土含有率である場合など異なること、および最小値を用いることにより安全側に評価できると考えられたためである。

$$HSI = \text{底質の } SI \text{ 最小値} \times \text{地形の } SI \text{ 最小値} \\ \times \text{水理の } SI \text{ 最小値} \times \text{水質の } SI \text{ 最小値} \cdots (1)$$

d) *HSI* と重み付け係数を各成分どうしで乗じ、集計して全種数に対する生息場の適合度を0~1の指標 (*tHSI*) で評価する。

(3) 種多様性改善効果の予測・評価

a) 場の *tHSI* に面積を乗じて、水域全体の種数に対する価値を定量的に評価する。例えば、干潟造成等の水域の環境修復事業の事業実施前と実施後の種数増加効果を評価する場合、次式により *HU* を算出し、水域全体の改善効果を評価する。

$$\text{場 (} i \text{ 地点) の種数に関する価値 (} HU_i \text{)} \\ = tHSI_i \times i \text{ 地点の面積} \cdots (2)$$

$$\text{水域全体 (地点数: } 1 \sim n \text{) の種数に関する価値 (} tHU \text{)} \\ = \sum_{i=1}^n HU_i \cdots (3)$$

b) *tHSI* は全種数と相関性を有し、その関係式に *tHSI* を入力し、各地点の全種数を算出する。

計算結果より得られた値を次のような評価に適用する。

- ・ *tHSI* (出現生物種の全種数に関する場の適合度指数)：事業実施前後の場の全種数に関する適合性を0~1の指標で予測・評価する。
- ・ *tHU* (出現生物種数に関する水域全体の価値)：事業実施前後の水域の全種数に対する改善効果の予測・評価に適用する。
- ・ 場の全種数：事業実施後の全種数を予測値する。

3. 浜名湖松見ヶ浦調査データによる適用性の検証

本研究では、1999年7月に浜名湖松見ヶ浦沿岸に覆砂造成された、底質の異なる2種類の干潟 (人工干潟 A, B: 表-1 参照)、および対照区としての近傍自然干潟2カ所において、2003年度までの5年間実施されたマクロベントスおよび環境調査データ (環境省・静岡県, 2004) を使用し、手法の適用性を評価した。

表-1 干潟の土質・勾配

1999年8月2日調査

項目	調査地点		人工干潟 A		人工干潟 B		自然干潟 A		自然干潟 B	
	潮間帯	外浜	潮間帯	外浜	潮間帯	外浜	潮間帯	外浜	潮間帯	外浜
粒度	礫分 (%) 2~75 mm	0.0	4.6	0.0	6.3	76.8	11.0	11.6	25.7	
	砂分 (%) 75μm~2 mm	79.8	78.2	73.4	57.5	22.7	82.8	79.9	40.4	
	シルト・粘土分 (%) <75 μm	20.2	17.2	26.6	36.2	0.5	6.2	8.5	33.9	
	中央粒径 (mm)	0.2	0.2	0.2	0.1	4.4	0.2	1.1	1.1	
	均等係数 (D60/D10)	3.1	-	3.3	-	7.4	-	10.9	-	
地形	勾配 (%)	0.1~5.0	9.3~12.3	0.5~5.9	1.7~4.4		6.9	1.5~7.2	6.9	7.2~12.8
	() : 平均勾配	(2.0)	(10.9)	(2.1)	(2.9)					

(1) 調査区域の概要

調査区域は、浜名湖松見ヶ浦 (静岡県湖西市) 利木地区沿岸に位置し、沿岸方向300 m、護岸より沖合50 mの区域であった。この区域の護岸はコンクリート製垂直護岸であり、造成前の沿岸地形はほぼ同様に遠浅 (護岸から45 m 沖合までの平均勾配は2.6~7.6%, 平均値4.5%) であった。また、1999年2月~5月まで (干潟造成前) に底質 (2 mm 以下) を調査した結果、護岸より10 m 地点では COD_{sed} 8.6~12 mg/g、硫化物 0.53~0.67 mg/g、酸化還元電位 (ORP) -354~-171 mV であった。また、護岸より約40 m 地点では強熱減量16.6%, 有機炭素3.47 mg/g、硫化物1.46 mg/g であった。底質は有機物や硫化物を多く含有し、年間を通して強い嫌気状態であった。調査区域の気象、潮位および表層の実用塩分調査の結果、大潮差が79 cm で小さいこと、汽水域であるが、表層の実用塩分が年平均値27.2で高く、降雨の少ない時期では、海水と同等の塩分が続くなどの特徴がある。

(2) 調査方法

各干潟の潮間帯、外浜水深1 m 以下、外浜水深2~3 m について、年4回 (5月下旬~6月上旬, 7月下旬

～8月上旬, 10月下旬～11月上旬, 1月上旬)の頻度で2004年1月まで地表から20 cmのマクロベントスおよび底質(粒度, Eh, 強熱減量, COD_{sed}, C・N・P含有量), 標高, 水質(DO, pH, SS, TN, TP)を調査した。また, 表層の水温, 実用塩分, 気象データ(潮位, 風向・風速, 気温)を連続測定した。

(3) 種多様性改善効果の予測・評価

a) 生物種マトリックス表の作成

マクロベントス調査結果をもとに作成した, 調査期間の全出現種のマトリックス表を表-2に示す。表中の括弧内の数値は, 全種数(212種)に対する各成分の割合をパーセントで表す。

表-2 出現生物種マトリックス表

(単位: 種数, 括弧内: 全種数に占める割合)

No.	門	綱	表在性	内在性	付着性	下在性	計
1	刺胞動物		0(0.0%)	0(0.0%)	2(0.9%)	0(0.0%)	2(0.9%)
2	扁形動物		1(0.5%)	0(0.0%)	0(0.0%)	1(0.5%)	2(0.9%)
3	紐形動物		0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	1(0.5%)	1(0.5%)
4	線形動物		1(0.5%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	1(0.5%)
5	触手動物		0(0.0%)	0(0.0%)	1(0.5%)	0(0.0%)	1(0.5%)
6	環形動物	多毛	0(0.0%)	65(30.7%)	6(2.8%)	1(0.5%)	72(34.0%)
7	軟体動物	多板	3(1.4%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	3(1.4%)
8		腹足	42(19.8%)	0(0.0%)	1(0.5%)	0(0.0%)	43(20.3%)
9		二枚貝	0(0.0%)	28(13.2%)	7(3.3%)	0(0.0%)	35(16.5%)
10		顎脚	0(0.0%)	1(0.5%)	5(2.4%)	0(0.0%)	6(2.8%)
11		軟甲	5(2.4%)	24(11.3%)	0(0.0%)	12(5.7%)	41(19.3%)
12	脊索動物	ホヤ	0(0.0%)	0(0.0%)	5(2.4%)	0(0.0%)	5(2.4%)
	計		52(24.5%)	118(55.7%)	27(12.7%)	15(7.1%)	212(100.0%)

b) 生物種数の地点別 SI の算出

本研究では, 全種数に対する割合の多かった内在性多毛綱(アシナガゴカイ等), 付着性多毛綱(カンザシゴカイ等), 表在性腹足綱(ウミミナ等), 内在性二枚貝綱(アサリ等), 付着性二枚貝綱(マガキ, ホトトギスガイ等), 表在性軟甲綱(ユビナガホンヤドカリ等), 内在性軟甲綱(ヤマトオサガニ等), 下在性軟甲綱(ケフサイソガニ等)の8成分について各環境因子に関するSIを算出した。

SI算出のためのSIモデルの構築は, 調査データを使用し, 調査結果をプロットしてそれらの点を包絡するような曲線を描き, マクロベントスの種数が最大となる各環境因子のSIを1.0とし, 種数が0となる環境因子のSIを0として設定した。

なお, 環境因子のうち, 水理の環境因子(シールズ数, 底面摩擦速度)は, 台風等のイベント的な影響および潮位の変動による水深への影響を考慮して, 生物調査した日を含む過去15日間の潮位および風向・風速の測定値からSMB法を用いて10分間隔で計算し最大値を適用した。また, 水質の環境因子のうち実用塩分および水温は生物調査した日の平均値を適用した。例として, 二枚貝綱—内在性の種数に関する中央粒径(底質因子), 干出時間(地形因子), シールズ数(水理因子), 実用塩分(水質

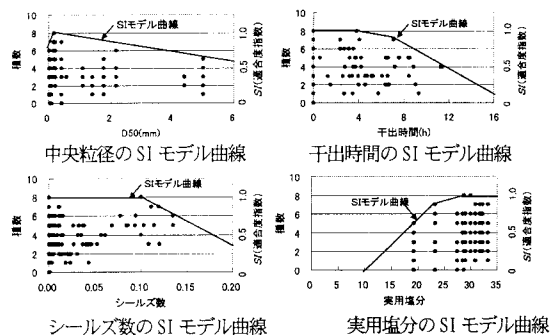


図-2 二枚貝綱—内在性のSIモデル曲線構築例(調査データより)

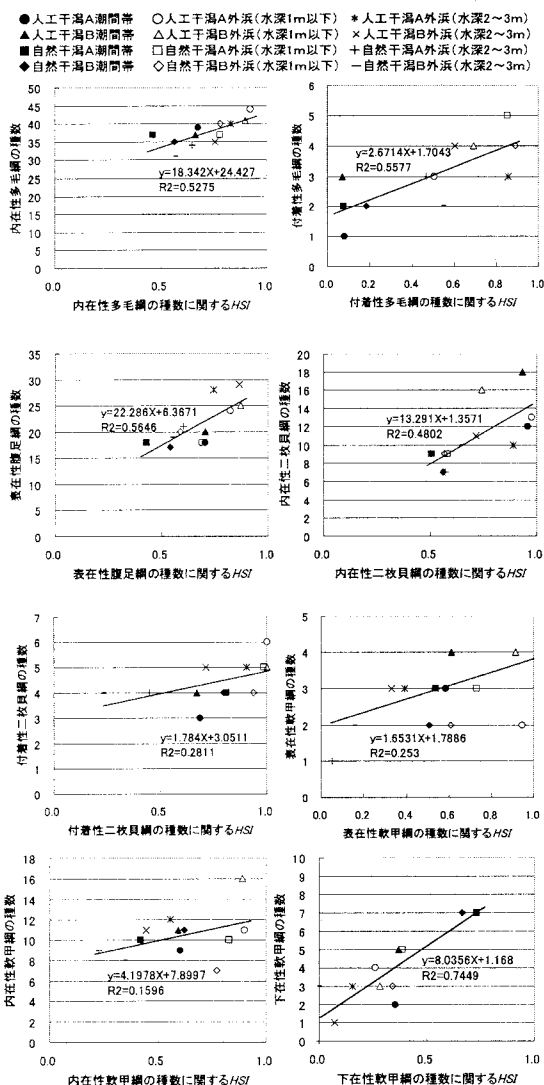


図-3 生物群別のHSIと出現種数との関係

因子) の SI モデル曲線を図-2 に示す。

c) 生物種数の地点別 HSI の算出

「式(1)」により、計画地点の生物種マトリクス表の各成分の HSI を算出した。計算に使用した環境因子データは、データの著しい変動を考慮して2000年5月～2003年1月までの3年間の調査結果の平均値を適用した。生物群(8種類)別の各調査地点の出現種数と HSI との関係を図-3 に示す。この結果、表-2 に示した出現生物種のマトリクス表の各生物群に対する調査地点別の HSI は、種数と相関性があることが確認された。

d) 全種数に対する生息場適合度指数(*t*HSI)の算出

地点別の生物群別 HSI の計算結果に、表-2 に示した網一生活形態別種数マトリクス表の各成分の種数が全種数に占める割合を重み付け係数として各成分に乘じ、集計し、*t*HSI を算出した。*t*HSI の計算結果および実際に1999年7月から2004年1月までに出現した出現種数との関係を図-4 に示す。この結果、全種数と予測モデルで算出した *t*HSI とは強い相関性が確認された。しかし、本手法では次のような理由により、各生物群の HSI および *t*HSI が小さく算出される場において、種数が過大評価されることが考えられる。

- ・網一生活形態の HSI モデル構築に使用した調査データのうち、内在性多毛綱、表在性腹足綱、内在性軟甲綱は、いずれの地点も確認され、極端に生物が見られない地点を選定していなかったこと。
- ・本手法では、地点別の出現種の累計を使用した。そのため、例えば春季から秋季には底質条件の悪化等の影響で出現せず、海底まで DO が上昇する冬季には条件の悪い(水深が深く底質 COD の高い)地点まで生物の生息範囲が拡大するような生物につい

ても、カウントすることになる。結果的に、いずれの調査地点においても出現種数が多くなり、HSI が低くても種数が多くなったこと。

- ・適用データの調査地点が比較的近く、地点間に差が出にくかったこと。このことは、特に移動性の高い生物群である表在性軟甲綱、内在性軟甲綱の種数と HSI の相関性が弱かったことなどから推察される。
- ・干潟造成後の生物遷移過程の出現種を全てカウントしたため、種数が多くなった可能性があること。

e) 全種数による評価

図-4 の全種数と *t*HSI との関係式に、地点別の *t*HSI を入力して全種数を算出する。種数の計算結果と調査データとの関係を図-5 に示す。水域内の各地点の全出現種数について、本手法により実際の調査結果と概ね一致する結果が得られることが確認された。

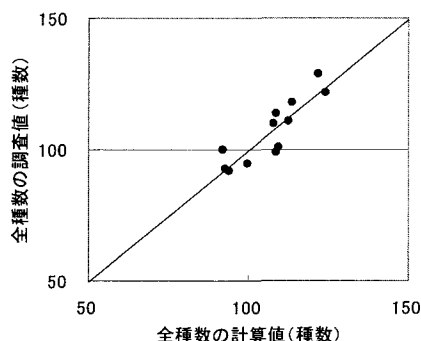


図-5 全種数の計算結果と調査データとの比較

(4) 水域の生物多様性予測・評価への適用

a) *t*HU による評価

調査区域内をメッシュで分割し、各メッシュにおける全種数の *t*HSI および *t*HU を前節までの要領で算出し、調査区域全体の評価を試みた。

浜名湖松見ヶ浦の調査区域の平面図を図-6 に示す。また、人工干潟造成前と造成後の *t*HSI および *t*HU の計算結果を図-7 に示す。

人工干潟造成前後の種数の改善効果は、各メッシュの

- 人工干潟A潮間帯
- 人工干潟A外浜(水深1m以下)
- *人工干潟A外浜(水深2～3m)
- ▲人工干潟B潮間帯
- △人工干潟B外浜(水深1m以下)
- ×人工干潟B外浜(水深2～3m)
- 自然干潟A潮間帯
- 自然干潟A外浜(水深1m以下)
- +自然干潟A外浜(水深2～3m)
- ◆自然干潟B潮間帯
- ◇自然干潟B外浜(水深1m以下)
- ～自然干潟B外浜(水深2～3m)

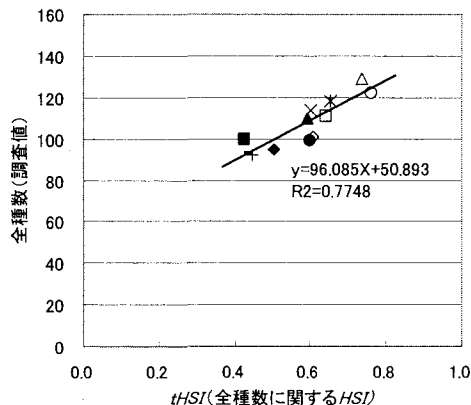


図-4 *t*HSI と全種数(調査データ) との関係

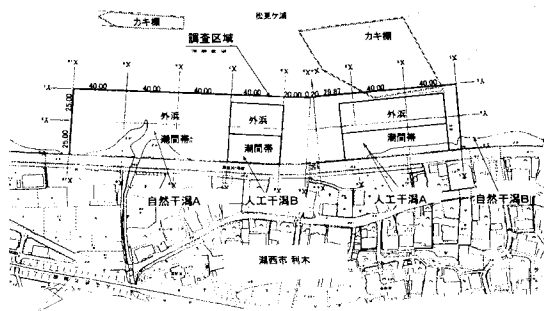
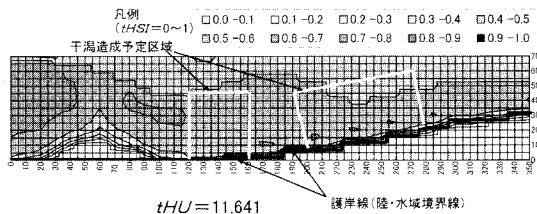


図-6 調査区域の平面図

人工干潟造成前



人工干潟造成後

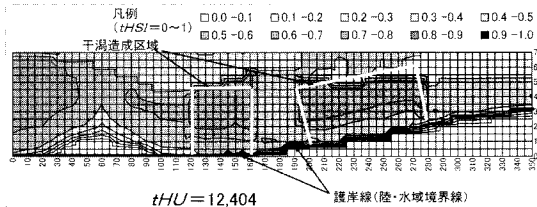
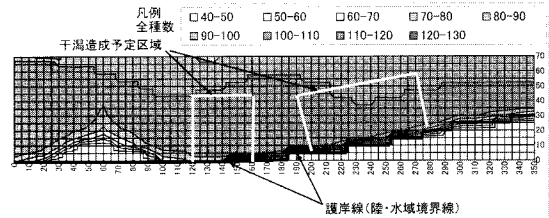


図-7 tHSIによる人工干潟造成前(上図)と造成後(下図)の改善効果の比較

人工干潟造成前



人工干潟造成後

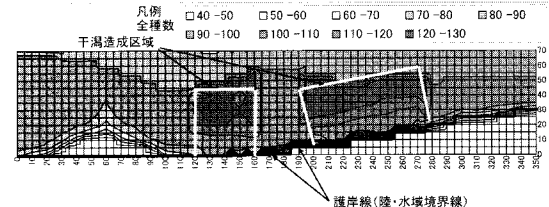


図-8 全種数による人工干潟造成前(上図)と造成後(下図)の改善効果の比較

tHSIとメッシュの面積を乗じて(「式(2)」参照)、実験区域全体の合計値tHU(「式(3)」参照)を比較して評価した。

本実施例では、1メッシュ25m²(5m×5m)であるため、各メッシュのtHSIに25m²を乗じてHUを算出した。また、各メッシュのHUを合計して、調査区域全体のHUの合計値(tHU)を算出した。計算結果より、本実施例では、tHUは人工干潟(潮間帯、外浜)造成前11,641から12,404に増加し、調査区域のtHUが増加し、種数に関して改善されたことが示された。

b) 全種数による評価

上記a)で算出したtHSIを図-4の全種数とtHSIとの関係式に入力し、各メッシュの全種数を算出した。計算結果を図-8に示す。tHSIから算出した全種数は、調査結果と概ね一致したことから、本手法により水域内の種数を予測できると考えられる。

4. ま と め

本研究では、干潟・浅場の生息環境条件に関するデータから、網および生息形態の異なるマクロベントスの全種数に対する生息場適合度指数(tHSI)、全種数を算出する手法を構築し、浜名湖松見ヶ浦における人工干潟および自然干潟の調査データを使用して、その適用性を検証した。その結果、以下の結論を得た。

(1) 種数に関する評価には、環境因子として底質(中央粒径、シルト・粘土含有率、砂含有率、礫含有率、強熱減量、COD_{sed}、酸化還元電位)、地形(主に干出時間)、水理(主に、シールズ数)、水質(実用塩分、溶存酸素濃度、水温)が重要であり、生物分類によって異なる。

(2) マクロベントスを網-生息形態に分類し、HSIモデルを構築することにより、水域内のマクロベントスの過去の出現種データおよび環境因子データから全種数に関する生息場適合度指数および全種数を算出することが可能である。その結果、干潟造成等の事業実施前後の種多様性に関する改善効果を定量的に予測・評価できる。

謝辞：本研究は、平成15年度国土交通省建設技術研究開発助成研究：研究課題「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(研究代表：西村 修)」の一環として実施したものであり、謝意を表す。

参 考 文 献

- 新保裕美・田中昌宏・池谷毅・越川義功(2000)：アサリを対象とした生物生息地適正評価モデル，海岸工学論文集，第47巻，pp. 1111-1115.
- 新保裕美・田中昌宏・池谷毅・林文慶(2001)：干潟における生物生息環境の定量評価に関する研究-多毛類を対象として-，海岸工学論文集，第48巻，pp. 1321-1325.
- 島多義彦・小林憲一・西村 修・野村宗弘・須藤隆一・木村賢史(2005)：浜名湖松見ヶ浦の干潟における底生動物の定着と環境因子に関する研究，第39回日本水環境学会年会講演集，pp. 109.
- 吉安勇介・橋中秀典・井上雅夫・島田広昭・端谷研治(2001)：HEPによる人工磯の付着動物に関する生息地適性評価，海岸工学論文集，第48巻，pp. 1316-1320.
- 秋山章男・松田道生：干潟の生物観察ハンドブック，東洋館出版社，pp. 38-53.
- The US Fish & Wildlife Service(オンライン)：Habitat Evaluation Procedures Handbook, <http://policy.fws.gov/ESMindex.html>, 参照2005-03-02.
- The US Fish & Wildlife Service(オンライン)：Habitat Suitability Index Models Series:<http://www.nwrc.usgs.gov/wdb/pub/hsi/hsiintro.htm>, 参照2005-03-02.
- 環境省・静岡県(2003)：平成15年度自然を活用した水環境改善実証事業評価検討調査事業報告書，pp. 66-68.