

干潟における生物生息環境の定量的評価に関する研究

——多毛類を対象として——

新保裕美*・田中昌宏**・池谷 毅***・林 文慶****

1. はじめに

近年、干潟など沿岸域の浅場がそれ自体貴重な生態系であるばかりでなく、海域全体の生態系にとっても極めて重要な機能を有することが明らかとなってきた。このため、埋立て等の人為的な行為の影響の正確な予測や環境修復或いは新たな環境創造のために、干潟の生物生息環境を定量的に評価する手法の開発が必要となっている。著者らは干潟を具体的に造る技術の確立を最終目標に、まず干潟生態系の中位に位置するアサリを対象に、干潟の生息地としての適性を定量化するモデル（生息地適性評価モデル（以下 HEP モデル））の開発を行った（新保ら, 2000）。このモデルでは複数の支配的な環境因子毎に、生息限界や最適環境を定量的に評価するため、環境の現状評価や予測が可能であるばかりでなく、干潟の具体的な構造についての指針を与えることができる。したがって、このモデルを干潟の他の代表生物にも適用し、さらにそれらを総合化する評価手法を確立すれば、干潟生態系そのものの理解が進むだけでなく、干潟修復・創造技術の確立に繋がるものである。

そこで本研究では、アサリの次のターゲットとして多毛類を対象に、HEP モデルの開発を行った。多毛類は、干潟生態系の中位に位置し、かつ鳥類や魚類の餌であるため干潟生態系上位への鍵である。また、底質の有機物を食すること、および巣穴の形成により底質の酸化層の面積を増加する（バイオターベーション）（栗原, 1988）ことによって有機物の無機化が促進され、脱窒にも寄与するなど、水質浄化機能でも重要な生物である。本研究では、多毛類の環境因子と多毛類生息量の関係を明らかにするため、著者らが行った現地観測結果（新保ら, 1999）を中心に分析し、さらに他の干潟のデータについても合わせて検討を行った。そして、これらの検討結果に基づき、ゴカイを対象に HEP モデルを作成した。

2. HEP (Habitat Evaluation Procedures) の概要

HEP は、米国において開発事業の影響評価と計画に用いるために開発された対象地域の生物生息地としての適性を評価するための手法である。HEP は、最終的にひとつの数字 HU（生息地単位）で評価される。HU は、対象地域のユニット毎に対象生物の生息地としての適性 (HSI) を評価し、それに面積を乗じた値を合計して算出する。したがって、HSI と対象生物の生息量が線形な関係であれば、生息量を予測し、ミティゲーションに必要な代替面積を決定することができる。

HSI を評価する方法は、まず、生息に影響を及ぼす環境因子を洗い出し、各因子について生息環境の点数化 (SI モデルの作成) を行う。これを「生物の棲みやすさ指標 (SI)」と呼び、さらにこれらを総合化して一つの数値 HSI を求める。SI モデルは、科学的知見や現地観測結果に基づき作成する。

3. モデルの作成

多毛類の生息量と環境因子の関係に関する既往の知見は極めて少ない。そこで、これらの関係を明らかにするため、著者らが 1998 年～2000 年に神奈川県金沢八景海域で行った現地観測結果を中心に分析し、さらに、横浜市公害研究所が 1982 年～1984 年に同海域で行った観測データおよび古川ら (1999) が 1996 年～1998 年に千葉県三番瀬で行った観測データも合わせて検討を行った。

(1) 現地観測の概要

著者らが観測を行った海域は、図-1 に示す、天然干潟と人工干潟が隣接する海域である。観測は、1998 年～2000 年にかけて秋 (2 回)、冬、夏の計 4 回行い、計測点は図中に示す総数 38 点である（新保ら, 1999）。観測の結果、多毛類の総種類数は 102、その中から 900 個体/m²以上観測された種は表-1 に示す 12 種で、八景海域ではゴカイ類が優先種であった。観測された種のうち、渡り鳥の秋の渡り期および越冬期に潮間帯で生息数が最も多いのはコケゴカイであった。夏期には、釣り餌であるゴカイの生息数がコオニスピオに次いで多かった。また、有

* 正会員 鹿島技術研究所

** 正会員 工博 鹿島技術研究所水域環境グループ長

*** 正会員 工博 鹿島技術研究所構造・海洋グループ長

**** 正会員 工博 鹿島技術研究所

確にする必要があるものと考えられる。

さらに、図-3より、ヨツパネスピオ A 型の生息量は季節変動が大きく、冬季に最も多いことがわかる。また、観測期間中に個体数が最も多かった沖中央の点において、1998 年 2 月には 8627 個体/m²観測されたが、前年 2 月には 467 個体/m²しか観測されなかったことなどから、年変動も大きいことがわかる。

図-4 に、金沢八景海域における 10 月 (1998 年, 2000 年の平均値) および 1999 年 2 月の、コケゴカイの個体数の空間分布を示す。これを平面的にみると、海の公園では干潟中央部よりも南側の防波堤近くや北端に突き出した半島などの背後で、野島海岸でも干潟中央部よりも北側の防波堤近くで個体数が多いことがわかる。また、ポケットビーチである八景島の西浜でも個体数が多い。アサリについては、半島や構造物の背後など水平渦が発生する場所で幼生の底着量が増大する (全国沿岸漁業振興開発協会, 1997) との知見があるが、コケゴカイについてもこれと同様な傾向があるものと考えられる。鉛直的にみると、特に潮間帯で個体数が多く、わずかであるが水深 5 m でも生息していた。

図-5 に、三番瀬におけるコケゴカイ個体数の空間分布を示す。これより、個体数は季節変動が大きく、特に夏季の、浦安側護岸の背後の 1 点で生息密度が高いのがわかる。古川ら (1999) は潮流計算の結果からこの場所は渦領域であることを指摘している。また、浦安側護岸背後の点において、1997 年 2 月には 800 個体/m²観測されたが、翌年 2 月には、67 個体/m²しか観測されなかったことなどから、年変動も大きいことがわかる。

以上、ゴカイ、ヨツパネスピオ A 型、コケゴカイの分布を示し、生息環境を考察した。これらの分布を比較すると、多毛類は、種によって生息する場所、すなわち生息環境が明らかに異なることがわかる。これは、多毛類の生息環境を評価する際には、種毎に評価する必要があることを示している。また、多毛類は、季節変動および年変動が極めて大きいことがわかった。したがって、評価の際にはこの点を留意する必要がある。

(2) ゴカイの HEP モデル作成

ゴカイ、ヨツパネスピオ A 型、コケゴカイのうち、まずゴカイについて HEP モデルを開発した。最初に、ゴカイの生息に影響を与えられ環境因子として、空間分布から重要な因子と考えられた底質や干出時間を含む複数の因子 (表-2 参照) を選択し、各環境因子について SI モデルを作成した。次に、これらの環境因子をパラメーターとする HSI モデルを作成した。なお、塩分については、木村ら (1997) によれば、東京湾内浅場の調査の結果、ゴカイは塩分濃度 10~15 の条件で高い現存量が認められたとあるが、金沢八景海域では図-6 に示す

表-2 ゴカイ HSI モデルのパラメーター (環境因子)

活動	環境因子
摂餌	強熱減量
摂餌	クロロフィル量+フェオフィチン量 (C・F 量)
巣造り	通過質量百分率 50% 粒径 (D_{50})
巣造り	通過質量百分率 10% 粒径 (D_{10})
巣造り	泥分率
摂餌, 巣造り, 活動	干出時間
巣造り	波の底面摩擦速度 (u_*)
活動, 成長	水温

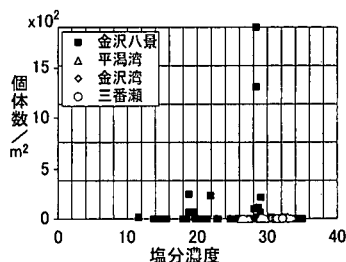


図-6 塩分とゴカイ個体数の関係

ように塩分約 28 で個体数が多く、傾向が異なっていた。そこで、塩分はゴカイの生息に影響を与えるものと考えられるものの、今回は HSI モデルのパラメーターに加えないことにした。また、底質の還元性はゴカイの生息にあまり影響しない (森下 (1981)) との知見から、酸化還元電位もモデルパラメーターに加えないことにした。

a) 各環境因子とゴカイ個体数の関係

図-7~14 に、各環境因子とゴカイ個体数の関係および SI 曲線を示す。横軸に各環境因子、右縦軸に個体数/m²、左縦軸に SI を示している。なお、この図には、著者らが行った金沢八景海域でのデータ (金沢八景■), 横浜市が行った同海域でのデータ (平潟湾△, 金沢湾◇), および三番瀬のデータ (三番瀬○) の記号を変えて表示している。

これらの図からわかるように、各環境因子について、ゴカイの生息範囲とゴカイの個体数が最大であった地点の条件は、表-3 のとおりであった。

b) SI モデルの作成指針と SI モデル

SI は、各環境因子について生物の棲み易さを数値化した指標であり、0.0~1.0 の数字で表す。生息不可能な条件は 0.0、最適な生息条件は 1.0 とする。

SI モデルの作成方法を、図-7 に示すゴカイの強熱減量の SI モデルを例に説明する。まず、各観測点における強熱減量とゴカイ個体数をプロットする。個体数が最大である地点の強熱減量 2.8% が最適な強熱減量であるとして SI を 1.0 とし、ゴカイが生息していない強熱減量の SI を 0.0 とする。さらにこの SI 曲線に一般性をもたせるため、既往の知見 (表-4 参照) を勘案して、最適な範囲や制限となる境界線を修正する。この例においては、

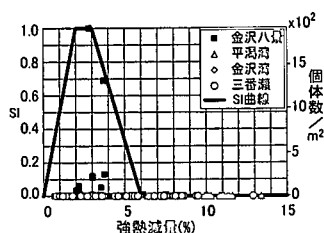


図-7 強熱減量の SI

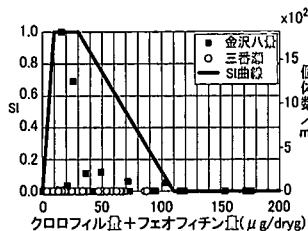


図-8 C・F量の SI

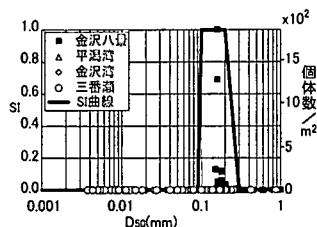
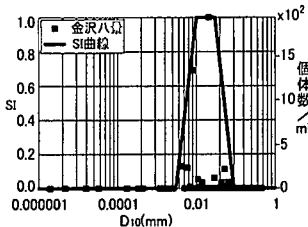
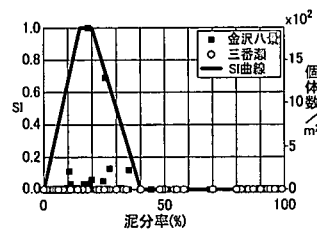
図-9 D_{50} の SI図-10 D_{10} の SI

図-11 泥分率の SI

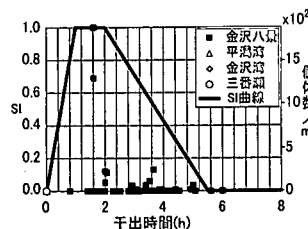


図-12 干出時間の SI

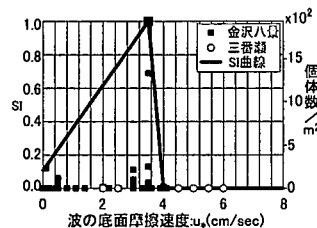
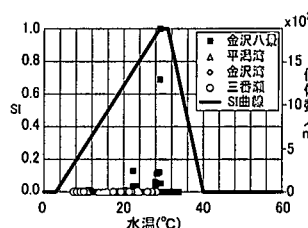
図-13 u_* の SI

図-14 水温の SI

表-3 ゴカイの生息条件 (観測データによる)

環境因子	生息範囲	最適条件
強熱減量	2.1~3.8%	2.8%
C・F量	16~103 $\mu\text{g}/\text{dry} \cdot \text{g}$	16 $\mu\text{g}/\text{dry} \cdot \text{g}$
D_{50}	0.15~0.29 mm	0.16 mm
D_{10}	0.0042~0.050 mm	0.021 mm
泥分率	10~36%	18%
干出時間	1.6~5.0 時間	1.6 時間
u_*	0.5~3.5 cm/s	3.5 cm/s
水温	11~30°C	29°C

大坪ら (1995) の 2~3% で高い現存量であったとの知見を勘案し、2~3% で $SI=1.0$ とした。一方、有機物はゴカイの餌であるため、餌がなければ生きられないことから、強熱減量 0.0 の SI を 0.0 とし、 SI 曲線は、それら

表-4 ゴカイに関する知見の参考内容

著者	参考内容
本多ら (1995)	・産卵期が晩秋から冬にかけて。 ・ひとつのコホートが相当長期間連続して観察され、サイズ組成が複雑、多年生多数回繁殖型。
森下 (1981)	・水温は、活動のピークが 30°C にあり、3~40°C の間で活動が可能。 ・溶存酸素量は 3 ppm (約 40%) 以上を要求。 ・還元状態が相当進行した黒色の底質にも生息可能。こんなときの底質の表面は酸素不足になっているが、ゴカイは、巣の内面を分泌する粘液で覆い、巣には水が常に流れる構造になっているため、底質の還元性にあまり影響されない。
大坪ら (1995)	・福岡市の今津干潟で調査した結果、有機物含有量約 2~3% で最大湿重量であり、それ以下では含有率が小さくなるに従い、湿重量も減少。
大村ら (1997)	・東京湾内浅場の調査の結果、ゴカイは、勾配 1/300 程度の穏やかな干潟で、 $DO_4 \sim 5 \text{ mg/l}$ 以上、塩分濃度 10~15、 $IL_2 \sim 3\%$ 、シルト粘土分 0.9~15% の条件で高い現存量が認められた。

の間を線形に補間した。なお、最適な強熱減量 3% でもゴカイが生息していない点もあるが、これらの点は、強熱減量以外の環境要因に制限されているものと考ええる。この点は HEP の重要な考え方の一つである。

図-8~図-13 に示す C・F 量、 D_{50} 、 D_{10} 、泥分率、干出時間および波の底面摩擦速度 (u_*) の SI モデルについては、ゴカイ生息量と各環境因子の関係に関する既往の知見がないため、現地観測データのみから SI 曲線を設定した。なお、波の u_* は、金沢八景海域においては、数値解析によって求めた各計測点における風向毎の u_* の内、最大値 (新保ら、2000) を用いた。三番瀬においては、年数回発生する程度の大波高時の u_* (千葉県、1998) の解析値を用いた。

図-14 に示す、水温の SI モデルについては、図-7 に示す強熱減量の SI モデルの作成方法で、森下 (1981) の知見を参考にして作成した。森下は、ゴカイは、活動のピークが水温 30°C にあり、3~40°C の間で活動が可能としている。活動のピークとゴカイ個体数のピークは概ね一致しているようである。そこで、 SI 曲線は、29~31°C が最適な水温であるとして SI を 1.0 とした。

c) HSI モデル

HSI は、各 SI によって評価された環境要因を総合化し、地域の生息地としての適性を数値化した指標であり、0.0~1.0 の数字で表す。

本モデルでは、底質間には相関関係があるため、底質 SI は、底質項目の SI の最小値とした。最終的に HSI は、底質、干出時間、波の u_* および水温の相乗効果があるものと考え、次式のようにこれら SI の積とした。

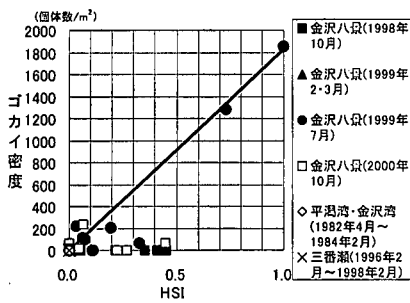


図-15 HSI とゴカイ密度の関係

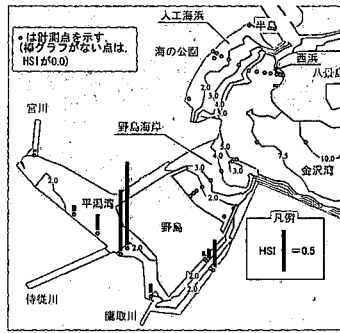


図-16 ゴカイの HSI の分布

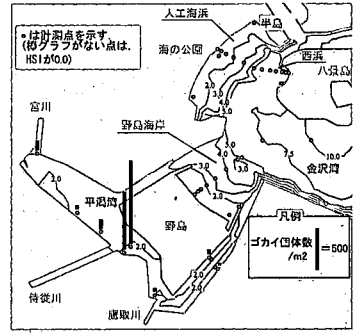


図-17 ゴカイの個体数/m²の分布

$$\text{HSI} = \text{底質 SI (強熱減量, } C \cdot F \text{ 量, } D_{50}, D_{10}, \text{ 泥分率 SI の最小値)} \times \text{干出時間 SI} \times u \cdot \text{SI} \times \text{水温 SI} \quad (1)$$

d) HSI モデルの金沢八景海域への適用

開発した HSI モデルを、金沢八景海域および三番瀬に適用した。図-15 に、HSI と実測個体数の関係を示す。これより、HSI とゴカイ個体数の線形性が高く、概ね適正に評価できているといえる。なお、三番瀬ではゴカイが観測されなかったが、本モデルの HSI も低い評価 (HSI=0.0) となった。

図-16、図-17 に、金沢八景海域における HSI と実測した個体数の分布を示す。これより、HSI と個体数が良好に対応していることがわかる。また、ゴカイが生息している平潟湾内においても、かなり変動していることがわかる。したがって、アサリのみならずゴカイにおいても、生息場の再生や創造のためには、本モデルのような詳細な生息環境の評価を行った上で、環境因子を十分考慮して設計することが必要であると考えられる。

4. おわりに

本研究では、干潟生態系の中位に位置する多毛類の内、ゴカイ、ヨツバナスピオ A 型、コケゴカイを対象に、これらの空間的な分布を示し、これらの生息環境を考察した。さらに、ゴカイを対象に、HEP をベースにした生息地適性評価モデルの開発を行った。主要な結論は以下のとおりである。

(1) 観測海域において、ゴカイは、潮間帯の静穏な細砂域に生息していた。ヨツバナスピオ A 型は、特に水深 10 m 付近で生息量が多かった。コケゴカイは、潟領域での生息量が多かった。

(2) 多毛類は、季節変動・年変動が極めて大きい。したがって、評価の際はこの点に留意が必要である。

(3) ゴカイの生息地環境因子は、底質 (強熱減量、クロロフィル・フェオフィチン量、 D_{50} 、 D_{10} 、泥分率)、干出時間、波の底面摩擦速度および水温が重要である。

(4) ゴカイについて、以上の環境因子の SI モデルを作成し、各 SI の相互環境を考慮した HSI モデルを提案した。

(5) 提案したゴカイモデルは、金沢八景海域においてゴカイの生息量を評価できることを確認した。

現在、ゴカイ以外の多毛類についても HEP モデルの開発を進めている。今後、アサリをはじめとする多くの代表生物の評価を総合化する評価手法の確立に、これらの知見を役立てることができると考える。

参 考 文 献

- 大坪政美・高見昌二郎・村上進也・朝広和夫 (1995): 今津干潟土の物理・化学的性質と底生生物, 農業土木学会大会講演会講演要旨集, 1995, pp. 660-661.
- 木村賢史・山下浩二・秋山章男 (1997): 東京都内湾の浅場における生物の分布と水環境保全機能, 東京都環境科学研究所年報.
- 栗原 康 (1988): 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, p. 335.
- 新保裕美・田中昌宏・越川義功・棚瀬信夫・池谷 毅 (1999): 現地調査によるアサリ生息量と環境要因との関係の検討—神奈川県金沢湾・平潟湾を対象として—, 土木学会海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 1216-1220.
- 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性評価モデル, 土木学会海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 1111-1115.
- 玉井恭一 (1982): 大阪湾におけるスピオ科の多毛類 *Paraprinospio* sp. (A 型) 個体群の季節変動と成長, Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries, 48 巻 3 号, pp. 401-408.
- 千葉県土木部企業庁 (1998): 「市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る環境の現況について」(要約版), p. 336.
- 古川恵太・桑江朝比呂・細川恭史 (1999): 干潟環境調査—環境条件と生物分布—, 港湾技研資料, No. 947, p. 91.
- 細川恭史・堀江 毅 (1989): ヨツバナスピオの貧酸素耐性と内部海底における夏期無生物域の発生条件, 港湾技研資料, No. 643, p. 39.
- 本多 仁・千葉俊宏・伊藤綱子・片山知史・千田良雄・大森袖夫・大方昭弘 (1995): 河口汽水域における多毛類の分布様式, 日本水学会誌, 49 巻, 第 3 号.
- 森下郁子 (1981): 河口域の指標生物と生物学的な水質判定のための試案, 公害と対策, 17 巻 5 号, pp. 413-418.
- 横浜市公安局研究所 (1986): 平潟湾・金沢湾周辺水域環境調査報告書, 公害研資料 No. 68, 横浜市公安局, p. 149.