

吉野川河口干潟の底生生物を対象とした HSIモデル作成ガイドラインについて

The Guideline for formulation of the HSI model for benthic animals on a tidal flat in the Yoshino River

中野 晋¹・藤田真人²・安芸浩資³・花住陽一⁴

Susumu NAKANO, Masato FUJITA, Hiroshi AKI and Youichi HANAZUMI

This study aims to build up the HSI model to estimate habitat suitability correctly for 7 kinds of benthic animals on a tidal flat in the Yoshino River. We used two or three kinds of physical quantity of median particle diameter, mud content and bed elevation as an environmental influence factor of the object benthos and built up 4 kinds of the HSI model. We selected the most accurate model among 4 models in the reproduction precision of the activity population every animal. The integrated prediction accuracy of the selected HSI models for 7 kinds of benthos is high with 86.5% from 71.5%. Furthermore, we utilized these HSI models, and the habitation prediction map of the benthos was created.

1. はじめに

豊かな生態系が育まれている吉野川河口干潟に近接して東環状大橋（仮称）（図-1）が建設されている。徳島県では建設事業の環境への影響を定量的に評価し、順応的管理を行うことを目的として、2003年から東環状大橋（仮称）環境アドバイザー会議を設置し、地形や流れなどの物理環境、水質、底質などの化学環境、動植物の生物環境を把握する総合的環境モニタリング調査を継続している。科学的知見による順応的管理のためには、生物分布と物理的または化学的環境因子との関係付け、いわゆるモデル化が行われることが必要であり、その1つとして著者ら（たとえば藤田ら、2008）はシオマネキなどのスナガニ科のHSIモデルの検討を行ってきた。前報（藤田ら、2008）では粒度特性量を主要な説明変数としたHSIモデルを作成した。一方で、平衡粒度分布を波浪の出現確率を考慮して推定する手法を開発し、その結果とHSIモデルを結合して吉野川河口域体のスナガニ科の生息適性を評価している。

本研究では、徳島県が実施した2003年から2008年までの生物調査データを用い、その中で指標種として選定されている底生動物（シオマネキ：*Uca arcuata*、ハクセンシオマネキ：*Uca lactea*、コメツキガニ：*Scopimera globosa*、チゴガニ：*Ilyoplax pusilla*、ヤマトオサガニ：*Macrophthalmus japonicus*、フトヘナタリ：*Cerithidea rhizophorarum*、ヘナタリ：*Cerithidea cingulata*の計7種）

のHSIモデルを作成、その再現性を評価した。

HSIモデルは説明変数を適切に組み合わせることにより、広範囲な生物の生息適性を評価することができるため、多くの生物に適用されている。しかし、説明変数の合理的選択法が明確でないこと、説明因子自体の数値的予測が困難な場合には生物に対する事業影響評価や将来予測ができないなどまだまだ実用面での問題が残されている。そこで、本研究では説明変数の選択とHSIモデル作成について改めて整理し、環境影響評価に適したHSIモデルの作成ガイドラインの確立を目指している。

2. HSIモデルによる生息環境評価の流れ

(1) 説明変数の概要

モデルに用いる指標は生物の生活史に関係のある変数を抽出することが重要であるが、環境影響評価に用いるためには、調査の容易さ、工学的に予測可能であることも重要な要素である。これまでの研究から、底生動物の生息にはその場の粒度組成に加えて、これと密接に関わる潮流や波高などの外力因子も重要であることが示されている。これらの量は数値計算によって評価されること



図-1 東環状大橋（仮称）建設場所

1 正会員	博(工)	徳島大学 教授 環境防災研究センター
2 正会員	修(工)	ニタコンサルタント株式会社
3 正会員	博(工)	ニタコンサルタント株式会社
4 正会員	修(工)	ニタコンサルタント株式会社

が多いが、計算のモデルやパラメータに任意性があるため、計算結果を説明変数として用いる場合に信頼性が確保されていない場合がある。また生息場所が限定された希少種の生物分布を評価する場合には空間分解能を相当高める必要があり、計算コストが見合わなくなることも想定しておく必要がある。そこで本研究のHSIモデルに用いる指標は、調査の容易さ、予測可能性を考えて、粒度指標と地盤高のみとした。

HSIモデルに用いる説明変数の合理的選択のために宇野ら(2003)は重回帰分析を用いて因子間に重み付けを行う手法を提案している。この研究でも、重回帰分析を用いたものも含めて表-1で示した4ケースの方法で変数選択を行い、その中から最も再現性の高いモデルを対象種のHSIモデルとして選定した。なお表-2で示すように3変数の相関係数は低く多重共線性は発生していない。

(2) HSIモデルの作成

HSIモデルを作成するためには「調査地点ごとの活動個体数と各年の最大活動個体数の比」である個々のSIの値をもとに、図-2～4の実線で示す包絡線(SI曲線)を作成する。各年によって個体数にばらつきが発生するため、SIは「各年の調査によって得られた個体数密度/各年の最大活動個体数密度(0<SI≤1.0)」として、個体数の多い年、少ない年の調査年による差を補正している。シオマネキについてのCase.1～4のHSIモデル式は以下の式(1)～(4)となる。

$$HSI = SI_{\text{含泥率}} \times SI_{\text{地盤高}} \quad \text{..... (1)}$$

$$HSI = SI_{\text{含泥率}}^{0.275} \times SI_{\text{地盤高}}^{0.238} \quad \text{..... (2)}$$

$$HSI = SI_{\text{中央粒径}} \times SI_{\text{含泥率}} \times SI_{\text{地盤高}} \quad \text{..... (3)}$$

$$HSI = SI_{\text{中央粒径}}^{0.254} \times SI_{\text{含泥率}}^{0.342} \times SI_{\text{地盤高}}^{0.167} \quad \text{..... (4)}$$

なお、SIの下付き添字(含泥率、地盤高、中央粒径)は採用した説明変数の種類を表している。各変数は図のSI曲線から得られる潜在的に生息可能な最大値を示しており、地盤高の場合を例にすると、DLM=1.5mの場合 $SI_{\text{地盤高}}=1.0$ である。式(2)及び(4)の説明変数の重み

表-1 モデル検討ケース

モデルの項目	含泥率・地盤高	中央粒径・含泥率・地盤高
HSIモデル	Case.1	Case.3
HSIモデル(重み付け)	Case.2	Case.4

表-2 各説明変数間の相関係数

	標高	含泥率	中央粒径
標高			
含泥率	0.07		
中央粒径	0.12	-0.27	

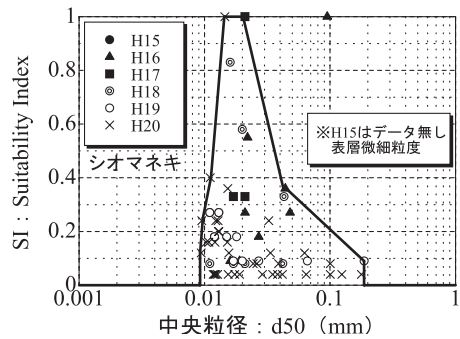


図-2 シオマネキの中央粒径のSIモデル

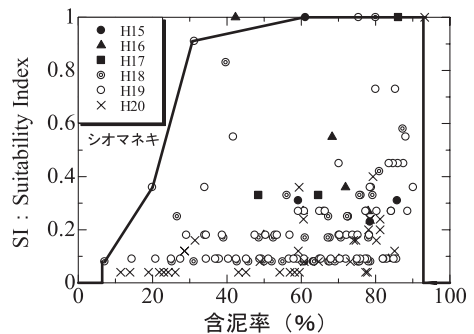


図-3 シオマネキの含泥率のSIモデル

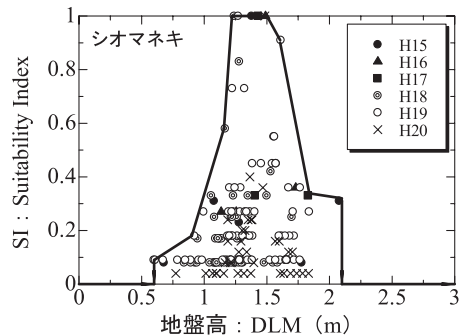


図-4 シオマネキの地盤高のSIモデル

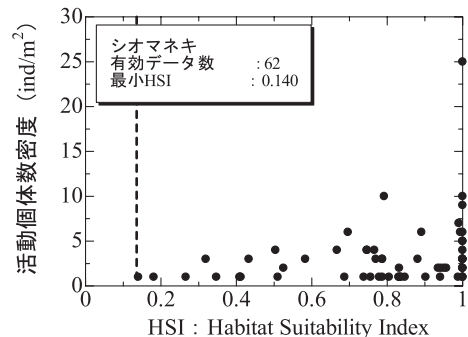


図-5 シオマネキのHSIモデル (Case.4)

は両辺の対数値を用いた重回帰係数により、一意的に決定される。生息が確認された地点の中で最も小さいHSIは順に0.056, 0.450, 0.001, 0.140であり、これ以下のHSIの場合はシオマネキの生息に適していないと判定される。

(3) 総合評価によるHSIモデルの選定

第二に、検討した4ケースのHSIモデルから最も有効なHSIモデルを選定する。

作成したHSIモデルに対象種が生息している、生息していないに関係なく、2008年度の生物調査結果の全データを適応させる。このときHSIモデルは対象種の生息場のデータに基づいて構築しているため、最小HSI以下には生息できないと評価される。すなわち、モデルの再現性を検討する上では、非生息場であるが最小HSI以上となり生息可能場として評価される場がモデルの精度を下げる原因となるため、「最小HSI ≤ HSI ≤ 1.0」の範囲で最も再現性の良い条件を検討する必要がある。そこで、その区間にしきい値（COP：Cut Off Point）を段階的に設定し、生息場、非生息場の両方を最も正しく評価できる時のしきい値を把握することで、HSIモデルの再現性を検討した。モデルの再現性の評価方法として、的中率と予測率、それらから求める総合評価によって定量的に評価した。評価方法については、図-6に示している。

まず「在的中率」とは、生息すると予測した（COP ≤ HSI ≤ 1.0）結果のうち、実際に生息していた場を正しく評価した割合、「不在的中率」とは、生息しないと予測した（最小HSI ≤ HSI < COP）結果のうち、実際に生息していない場を正しく評価した割合、「出現予測率」とは、実際に生息していた全ての場のうち、生息すると予測した（COP ≤ HSI ≤ 1.0）結果が占める割合、「非出現予測率」とは、実際に生息していない場のうち、生息しないと予測した（最小HSI ≤ HSI < COP）結果が占める割合のことを意味する。そして、在的中率と不在的中率より「総合的中率」を、出現予測率と非出現予測率より「総合予測率」を、これらから「総合評価」を求めた。

この手法により求めたシオマネキのCase.1のしきい値と総合評価の関係を図-7に示す。最も再現性が良い条件は、しきい値を0.4と設定した時の総合評価が80.6%となる。同様に各対象種の4ケースの総合評価を求め、再現性が最も良いHSIモデルを選定した。表-3に選定したケース、最小HSI、再現性が最も高い時のしきい値とその総合評価を示している。また各HSIモデル式を以下の式（5）～（11）に示す。

$$\text{シオマネキ} : HSI = SI_{\text{含泥率}} \times SI_{\text{地盤高}} \dots (5)$$

$$\text{ハクセンシオマネキ} : HSI = SI_{\text{含泥率}} \times SI_{\text{地盤高}} \dots (6)$$

$$\text{コメツキガニ} : HSI = SI_{\text{含泥率}}^{0.060} \times SI_{\text{地盤高}}^{0.176} \dots (7)$$

$$\text{チゴガニ} : HSI = SI_{\text{中央粒径}} \times SI_{\text{含泥率}} \times SI_{\text{地盤高}} \dots (8)$$

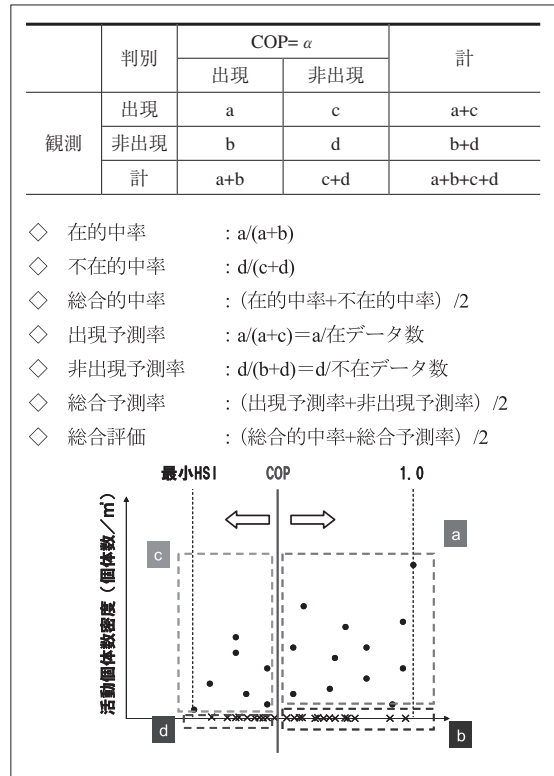


図-6 総合評価の検討方法

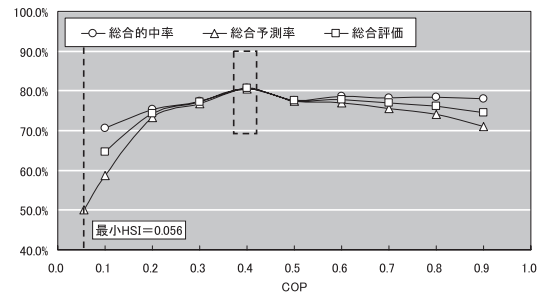


図-7 シオマネキのHSIモデルの総合評価結果

表-3 対象種のHSIモデルの選定結果と総合評価

対象種	選定したケース	最小HSI	COP	総合評価
シオマネキ	Case.1	0.056	0.4	80.6%
ハクセンシオマネキ	Case.1	0.9	0.9	71.5%
コメツキガニ	Case.2	0.359	1.0	86.0%
チゴガニ	Case.3	0.002	0.2	82.5%
ヤマトオサガニ	Case.4	0.177	0.7	83.3%
フトヘナタリ	Case.2	0.107	0.9	84.2%
ヘナタリ	Case.2	0.088	0.9	86.5%

$$\text{ヤマトオサガニ} : HSI = SI_{\text{中央粒径}}^{0.125} \times SI_{\text{含泥率}}^{0.417} \times SI_{\text{地盤高}}^{0.162} \dots (9)$$

$$\text{フトヘナタリ} : HSI = SI_{\text{含泥率}} \times SI_{\text{地盤高}} \dots (10)$$

$$\text{ヘナタリ} : HSI = SI_{\text{含泥率}}^{0.613} \times SI_{\text{地盤高}}^{0.233} \dots (11)$$

これらの結果、ハクセンシオマネキ、コメツキガニ、フトヘナタリ、ヘナタリのしきい値が0.9~1.0と高い結果を得た。このようにしきい値が高い理由として、図-8に示したコメツキガニのSIモデルを例にすると、含泥率が0~19%の範囲にデータが多く、SI=1.0のポテンシャルを有していると評価され、HSIモデルに適用した時に評価が高くなるためである。すなわち総合評価は高いがHSIモデルの定義である「質×空間」の質の差が表れない結果を得た。

図-9にシオマネキの総合評価を検討した結果のHSIモデルを示している。①最小HSI以下で活動個体数がある場合、②最小HSI以上で活動個体数が0個となる場合をはずれ：○、③HSIが最小HSI以上の時に活動個体数がある、④最小HSI以下で活動個体数が0個の場合を的中：●として表示した。

これらの手法により、従来のHSIモデルのように最小HSI以上が生息範囲とするのではなく、最も再現性の高いしきい値を設定することで、生息できる可能性の高い場所の特定を精度良く評価した。

(4) 生息分布図とHSI分布図の比較

第三に、選定したHSIモデルを使用し、GISを用いて平面的に図化、生息分布図とHSI分布図を比較する。検討した7種の底生動物のうち、シオマネキ、コメツキガニ、チゴガニの比較図を図-10~12に示す。シオマネキについては、HSIが高く評価された場所に多くのシオマネキが生息していることが再現できているが、コメツキガニに関しては生息している場所の再現は高いが、HSIに差を示さない結果となった。

3. まとめ

本研究は、徳島県の吉野川河口に生息している底生動物の順応的管理のための生息環境評価モデルを作成し、現状で問題点の多いHSIモデルについて改善し、実用的かつ適正な評価手法となるようなガイドラインの確立を目指したものである。

徳島県では、2003年より東環状大橋（仮称）の建設工事が進んでおり、それに伴い実施された総合的環境モニタリング調査結果を利用し、モデル化を進めた。これまでの研究からは底生動物の生息には底面摩擦速度や波高などの外力因子が重要であることが示されたが、計算のモデルやパラメータに任意性があるために信頼性が確保できないことや、高精度な解析のために計算コストが見合わない、さらに事後調査実施ごとに解析が必要となることが示唆される。そのため、工学的に制御可能、調査が容易かつ今後の生物調査で得た結果から評価が容易に可能であることを考慮し、粒度指標と地盤高のみでモデル化を進めた。

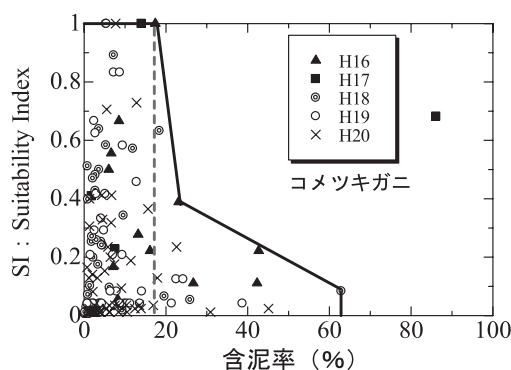


図-8 コメツキガニの含泥率のSIモデル

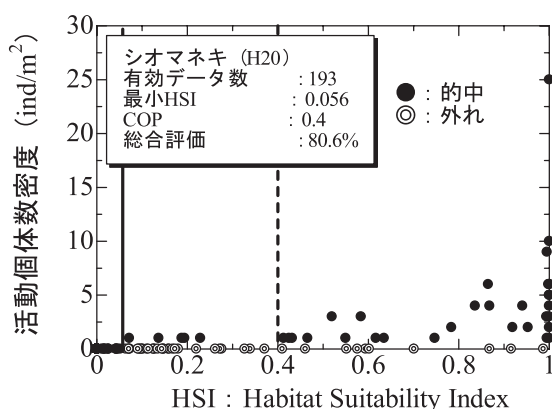


図-9 シオマネキのHSIモデル (平成20年)

モデルの作成手順として、第一に対象種の生息データのみでHSIモデルを作成することが重要である。このとき因子間の相関を考慮しつつ、複数のモデルを提案する。

第二に、複数のモデルの中から精度が最も良いHSIモデルを選定する。その方法として総合評価による各モデルの再現性の評価手法を提案した。モデルに生物が生息している（在）、生息していない（不在）に関わらず適応させ、最小HSI ≤ HSI ≤ 1.0の範囲で評価された結果に対して最も再現性の高いしきい値を総合評価から設定する。そして、提案した複数のHSIモデルを比較し、最も有効なモデルを選定する。

第三に、選定したHSIモデルのCOP ≤ HSI ≤ 1.0の範囲をGISによって平面的に図化し、生息分布図と比較する。

以上の流れによって評価した結果、容易に得られるデータのみで、ある程度再現性の高い総合評価を得ることができ、今後の生物調査に応用、東環状大橋（仮称）の影響を評価できる可能性がある。

従来のHSIモデルは現状の評価は可能であるが将来予測に適用できない予測不可能なパラメータを用いていることや、説明変数間の相関を考慮していない、再現性の

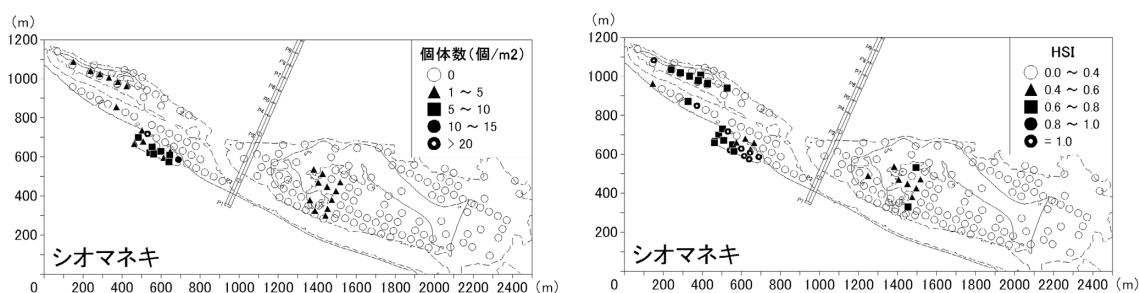


図-10 シオマネキの個体数分布図とHSI分布図（総合評価：80.6%）の比較

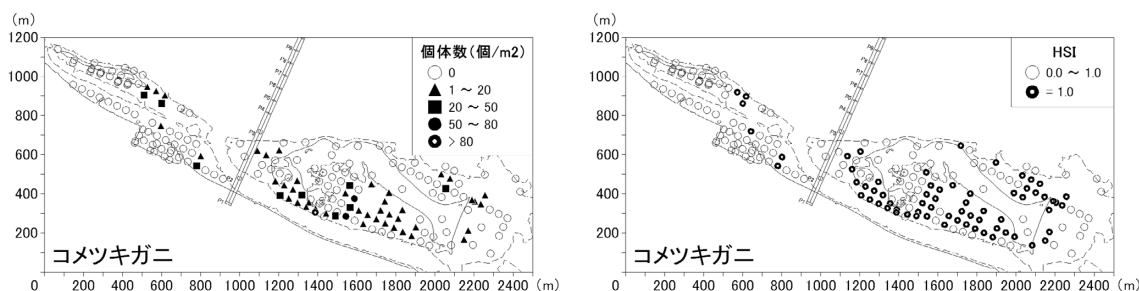


図-11 コメツギガニの個体数分布図とHSI分布図（総合評価：86.0%）の比較

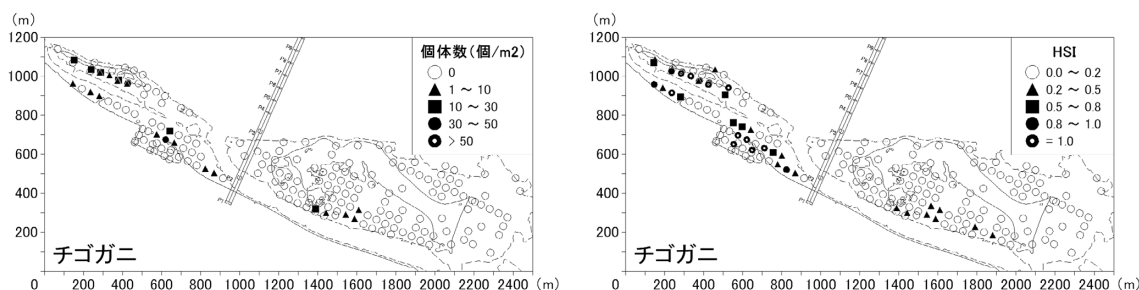


図-12 チゴガニの個体数分布図とHSI分布図（総合評価：82.5%）の比較

最も高いしきい値が設定されていない等の問題点があるが本研究のHSIモデルの作成手法ではそれらを改善した。しかし、粒度組成と地盤高のみで評価しているため、仮に護岸側と河川側で同じ高さ、粒度組成となった条件で同じ評価を得ることが問題となる。そのためモデルの精度向上が必要となる場合、潮流流や波浪等による擾乱作用等の新たな説明因子が必要となる可能性もある。

今後の課題として、作成したモデルを今後実施される生物調査結果に適応させ、クロスバリデーション等によってモデルの信頼性を確保しつつ、様々な干潟の環境影響評価へ応用可能なガイドラインの構築が必要となる。

謝辞：本研究は徳島県が2003年から2008年にかけて実施した「徳島東環状線東環状大橋（仮称）環境モニタリング調査」のデータを活用させていただいた。ここに記して関係各位に謝意を表する。

参 考 文 献

- 宇野宏司・中野 晋・古川忠司（2003）：重み付き評価指標を用いたシオマネキ生息地適性評価，水工学論文集，第47巻，pp.1075-1080。
 徳島県（2010）：東環状大橋（仮称）環境モニタリング調査平成20年度年報。
 藤田真人・中野 晋・山添美波・仙波真一（2008）：吉野川河口干潟のカニ類を対象とした生息環境評価モデルの検討，海岸工学論文集，第55巻，pp.1161-1165。