

四国全域におけるシオマネキの生息環境評価

藤田真人¹・中野 晋²・寺澤直晃³

四国全域の 60 河川の河口干潟においてシオマネキ属の生息状況を調査した。それらのデータからシオマネキ属の HSI モデルを構築し、生息環境特性を検討した。その際、多変量解析を用いて、有効な環境因子の抽出とその影響度を評価した上で HSI モデルの構築を図った。過去に提案されたモデルは粒度代表量と数値解析を必要としていたため、より扱いやすい指標によりモデルを提案、比較を行った。この結果、シオマネキの生息には粒度組成の指標である中央粒径、泥分率および偏歪度、底質の移動特性を表す底面摩擦速度が重要であることが明らかとなり、吉野川河口干潟が四国の他河川に比べて、生息環境ポテンシャルが高いことが明らかとなった。

1. はじめに

四国には、準絶滅危惧種（環境省カテゴリー）であるシオマネキ属の生息が確認されている河口干潟が数多くある。特に吉野川の住吉干潟（徳島県）は西日本でも有数のシオマネキ属生息地として知られている。

著者の 1 人らは 1993 年以降、シオマネキ属の生息環境調査を吉野川にて継続しており、生息環境特性のモデル化を図るためのデータがある程度整っており、これまでも種の生息適性に関する評価手法である HSI (Habitat Suitability Index: 生息適性指数) モデルの構築を図っている（宇野ら, 2003a）。

このモデルでは細粒分または粗粒分の中央粒径、摩擦速度、植生度、河口閉塞度が環境評価項目として含まれているが、最近の調査で植生がほとんどない干潟でシオマネキが多く生息する場所が確認されたことや細粒分または粗粒分の中央粒径が一般には測定しにくい量であることなどの問題点がある。また、これまでに提案されている多くの HSI モデルでは環境因子の有意性や各因子の重要度が十分考慮されていないことが多い（たとえば日本環境アセスメント協会, 2005）。そこで、宇野ら（2003a）が提案している重み付き評価指標を用いてより簡便で利用しやすい HSI モデルの構築を図った。

これまで継続的に調査を行ってきた吉野川に加えて、四国内 60 河川でシオマネキおよびハクセンシオマネキの生息分布調査を行った。これらのデータを基に吉野川のデータを中心に作成した HSI モデルの普遍的適用性、シオマネキ生息状況から評価した各干潟の環境ポテンシャルについて検討した。

2. 四国におけるシオマネキ属の生息状況

四国全域の合計 60 河川（徳島県：16 河川，香川県：21 河川，愛媛県：15 河川，高知県：8 河川）の干潟において、2005 年 7 月から同年 10 月にかけてシオマネキ属（シオマネキおよびハクセンシオマネキ）の生息環境調査を行った。シオマネキ属の生息が確認された干潟で 1 m×1 m のコドラートを 3～6 程度設置し、その中で活動個体数を大，中，小のサイズ別，性別で計数するとともに、表層 1～2 mm の底質を採取し、地盤高度、植生の有無、水温などを測定した。採取した表層底質の粒度組成は COULTER LS-230（レーザー粒度分析装置）を使用して粒度分析を行い、地盤高度はノンプリズムレーザー距離計で、汀線からの高さとして測定した後、潮位補正を行った。なお、吉野川では高度を RTK-GPS にて測定した。

図-1 に四国でのシオマネキ属の生息状況を示す。シオマネキは徳島県と高知県で確認され、ハクセンシオマネキは四国 4 県に生息している。シオマネキの生息場所として、徳島県では吉野川・住吉干潟以外に瀬瀬川、勝

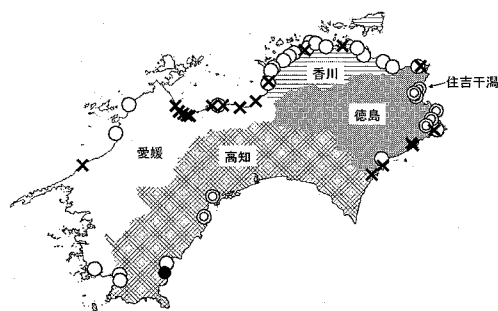


図-1 シオマネキ属の調査地点と生息状況
●印はシオマネキのみ、○印はハクセンシオマネキのみ、×印は両種の生息が確認された河川、×印は両種とも確認できなかった河川

1 学生会員 徳島大学大学院工学研究科建設工学専攻
2 正 会 員 博(工) 徳島大学大学院助教授ソシオテクノサイエンス研究
部エコシステムデザイン部門
3 共栄電業㈱

浦川, 福井川, 大渦海岸, 那賀川で生息し, 高知県では竹島川, 四万十川, 上ノ加江川, 押岡川で生息している。なお, 2005 年には底質調査などの環境情報収集を行っていないが, 高知市内の都市河川でもシオマネキの生息を確認している。2005 年の調査で新たにシオマネキが確認された河川は福井川 (徳島県) と上ノ加江川 (高知県) である。なお, 著者らの調査では確認できなかったが, 香川県内でもシオマネキの生息が報告されている (香川県, 2004)。

3. HSI モデルに用いる説明指標に対する基本方針

シオマネキ属の HSI モデルとしてはこれまでに宇野ら (2002, 2003a), 宇野・中野 (2003) によって提案されている他, 日本環境アセスメント協会 (2005) でも検討されている。

宇野ら (2002) の最初のモデルでは底生期を代表する説明指標として粒度代表量 (含泥率, 細粒分中央粒径あるいは粗粒分中央粒径), 高度, 冠水時最大摩擦速度を用い, 幼生期を代表する説明指標として幼生の 1 潮汐間移動距離, 生残率を用いている。ここで, 冠水時最大摩擦速度や幼生の 1 潮汐間移動距離および幼生の生残率は平面 2 次元浅水流計算から求めるものとなっている。次のモデル (宇野ら, 2003a) では粒度代表量 (細粒分中央粒径あるいは粗粒分中央粒径), 冠水時最大摩擦速度, 植生度, 河口閉塞度の 4 つの指標を多変量解析により, 重み付けを行ってモデルを作成している。最初のモデルで用いた幼生期の指標を省いて, 実用的なモデル化に努められているが, これでも平面 2 次元流れ解析は必須となっている。また, 河床変動や平均潮位の変動がシオマネキの生息環境に与える影響を把握する目的で高度と粒度を代表する粗粒分または細粒分の中央粒径の 2 つだけを指標とする実用的なモデルも提案しているが, 最適な HSI モデル提案までには至っていない。

一方, 日本環境アセスメント協会 (2005) ではハクセンシオマネキを対象として, 摂餌に関連する指標として強熱減量を加えて, 粒度代表量 (粗粒分の中央粒径), 高度の 3 種でモデルを作成している。

環境影響評価や環境モニタリングのために HSI モデルを作成する場合, 評価指標は種の特性を表現できることに加えて, 蓄積されたデータが活用できること, 調査が容易であること, 煩雑な解析が不要であることが重要である。さらに順応的管理を行う上では工学的に制御が可能な特性量であることも要求される。その意味では宇野らのモデルは平面 2 次元流れ解析が必要であるため, 実用性の点で問題があったほか, 粒度代表量も改善の余地がある。

図-2 は吉野川住吉干潟でシオマネキの活動個体数密

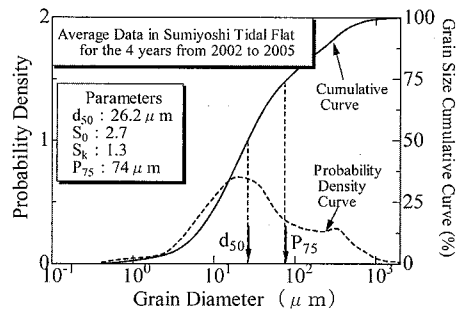


図-2 シオマネキ生息地の粒度分布の例
(吉野川住吉干潟)

度が高い地点の 4 年間 (2002~2005 年) 平均の粒度分布曲線である。この図のようにシオマネキの生息地の多くは 50 μm 程度のシルトと 100 μm 以上の細砂にピークを持つような 2 峰性を示すことが多い。こうしたことから宇野らのモデルでは細粒分, 粗粒分的最頻粒径に相当する細粒分中央粒径や粗粒分中央粒径を粒度代表量として用いている。しかし, これらの量は通常の粒度分析では測定しにくいものであり, データの蓄積の点, 調査の容易性の点で問題があり, これに代わる粒度代表量を検討する必要がある。

本論文ではこれまでの調査との継続性を考慮するとともに宇野らのモデルで問題とされた粒度代表量や数値解析を必要とする指標の見直しを行うことを基本的な方針としている。

4. 冠水時最大摩擦速度の評価方法の改善

冠水時最大摩擦速度はシオマネキ生息場の擾乱の程度を表す量である。これは表層に堆積する底質粒径と関係するだけでなく, 表層付近の物質循環に密接に関わっており, 付着藻類分布や新規加入個体の定着などとも関係していると思われる。これには河川流量, 潮汐流, 波浪などの外力と地盤高度, 植生分布, 干潟の斜面勾配, 河口の遮蔽度などの地形の影響を受ける。本研究では平面 2 次元流れ解析をしないで評価するために, 宇野ら (2003b) が干潟底質の移動現象の検討に用いた簡易的な手法を用いた。以下に宇野らの手法を簡単に述べる。

図-3 のような斜面勾配 I の一様な勾配をもつ干潟を考える。この干潟に潮汐振幅 a , 角周波数 σ の潮汐が入退潮を繰り返す時, $x=0$ の断面を通過する流体の平均流速は

$$U = \frac{1}{I_w - I} \frac{d\eta}{dt} \quad (1)$$

で与えられる。ここに, 水面勾配は I_w , 水位変動 η は

$$\eta = -a \cos \sigma t \dots\dots\dots (2)$$

である。水面勾配がエネルギー勾配で近似できるとし、マニング式を用いると、平均流速 U は次の3次方程式で表される。この式で入潮時は $U > 0$ 、退潮時は $U < 0$ の条件を満たす流速を求め、さらにマニング式から各時刻の摩擦速度を算出することができる。

$$\frac{n^2 U^2 |U|}{(h + \eta)^{4/3}} - IU - a \sigma \sin \sigma t = 0 \dots\dots\dots (3)$$

図-4 にこのようにして算出した摩擦速度の時間変化の計算例を示す。計算結果からわかるように摩擦速度は冠水直後と干出直前に最大となる。一方、満潮時には 0 cm/s となるが、実際には風による擾乱や流れの乱れなどによって、摩擦速度は 0 にならない。また同じ斜面勾配の干潟でも高度によって最大摩擦速度は異なる。この式では各地点での潮汐振幅、高度、干潟の平均的な斜面勾配がわかるだけで、概略の最大摩擦速度を簡便に評価することが可能である。

5. 多変量解析導入による HSI モデルの作成

(1) 統計的処理による評価項目の重み付け方法

本研究により採取された様々なデータと、計測された個体数の相関を多変量解析によって求める。

さて、従来の HSI モデルを作成する過程の中で SI (Suitability Index: 適性指数) モデルは各指標が 0.0 と 1.0 の間をとるように基準化されているが、指標間の重みを考慮できないため、この点が問題視されてきた。そこで、重み係数 W_j を用いて、HSI を次式で表現した。

$$HSI = \sum_{j=1}^m (SI)_j^{w_j} \dots\dots\dots (4)$$

式 (4) の両辺の対数を取り、これを展開すると

$$\log(HSI) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot \log(SI)_j \dots\dots\dots (5)$$

のように置き換えることができる。この式 (7) は、左辺の $\log(HSI)$ を目的変数、右辺の W_j を偏回帰係数、 $\log(SI)_j$ を説明変数とする重回帰式とみなすことができる。そこで、左辺の目的変数には HSI 値に住吉干潟における4年間のデータのうち各年の最大活動個体数と、その他の干潟については、2005年に調査した各干潟における最大活動個体数を代入し、右辺の説明変数には、

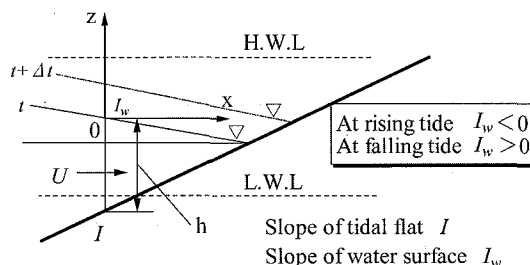


図-3 一様勾配干潟の模式図

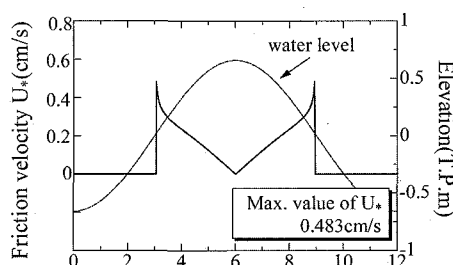


図-4 摩擦速度の時間変化の計算例

作成した SI モデルの SI 曲線について、各データの条件時における SI 曲線上の値を代入し、偏回帰係数に相当する重み係数 W_j の算定を行う。なお、SI 曲線は各環境条件のもとでの最大生息ポテンシャルを表すように最大生息個体数を包落するよう描いている。

(2) 多変量解析による評価項目の選択方法

HSI との相関の高い因子を選択するために、式 (5) を用いるが、このとき、1 齢未満とみられる小型個体は、新規加入時期に高密度に生息することがあり、中型以上の個体の生息数と明確に違いが見られる。そこで、活動実数を 25% として仮定し、HSI スコアに用いている。

環境因子には、中央粒径、ふるい分け係数、偏歪度、泥分率、地盤高度、冠水時底面摩擦速度の 6 種類を用いた。ここで、ふるい分け係数、偏歪度は式 (6)、(7) の通りである。

$$\text{ふるい分け係数: } S_0 = (d_{75}/d_{25})^{1/2} \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{偏歪度: } S_k = d_{25}/d_{75}/d_{50}^2 \dots\dots\dots (7)$$

この中から有効な環境因子を全数法、増加法 (F 値 2.0 以上の説明変数を選択)、減少法 (F 値 2.0 以下の説明変数を除去) を組み合わせて抽出した。

抽出された結果は表-1 のとおりで、重相関係数は 0.653 である。このときの偏回帰係数が SI 間の重みで

表-1 採用された評価指標

変数名	偏回帰係数	F 値	偏相関	単相関	判 定
中央粒径	0.348	1.283	0.246	0.427	○
泥分率	0.145	1.930	0.297	0.235	○
偏歪度	0.469	0.923	0.210	0.428	○
摩擦速度	0.502	6.455	0.494	0.347	○
定数項	0.935	174.339			

あるから、シオマネキについての HSI 評価式は式 (8) で表される。なお、各因子の SI 曲線は図-5 に示すとおりである。ここで、式 (8) の中央粒径に代えて、宇野ら (2003a) で用いられた細粒分中央粒径 (D_1) を説明変数に加えた時のモデルを構築したのが式 (9) である。この場合の重相関係数は 0.587 となっている。

$$HSI = SI_{D_1}^{0.348} \times SI_{\text{泥分率}}^{0.145} \times SI_{\text{偏歪度}}^{0.469} \times SI_{\text{摩擦速度}}^{0.502} \dots (8)$$

$$HSI = SI_{D_1}^{0.144} \times SI_{\text{偏歪度}}^{0.844} \times SI_{\text{摩擦速度}}^{0.419} \dots (9)$$

式 (8)、式 (9) のいずれも底質特性と表面の擾乱程度を表す底面摩擦速度という物理指標だけで構成されているのが特徴である。

さて、これら 2 つのモデル式によって各干潟の HSI 値を算出した。図-6 に HSI 値とシオマネキの活動個体数密度との関係を示す。この図から両者から算出される HSI は同様な値を与えることがわかる。また HSI 値の増加に伴い、最大活動個体数は増加する傾向が示されており、式 (8) などによりシオマネキの生息可能ポテンシャルが表現できていると考えられる。式 (9) では宇野らが用いた細粒分中央粒径に代わって中央粒径、泥分率、偏歪度といったより一般的な底質特性量を用いることで生息適性度が評価できると考えられる。

また HSI 値が 0.2 以下では生息が確認されていないため、シオマネキが生息可能な最低値が約 0.2 であることがわかる。さらに、徳島県吉野川の住吉干潟における HSI 値は他の干潟に比べて高得点であり、シオマネキにとって良好な環境ポテンシャルを有することが理解でき

表-2 各河川の HSI 値の比較(左: Eq. (8), 右: Eq. (9))

河川名	個体数 (ind./m ²)	HSI 値	HSI 値
園瀬川	6	0.38	0.42
勝浦川	5	0.46	0.53
福井川	4	0.47	0.55
那賀川	4	0.87	0.75
竹島川	6	0.60	0.52
押岡川	2	0.26	0.27

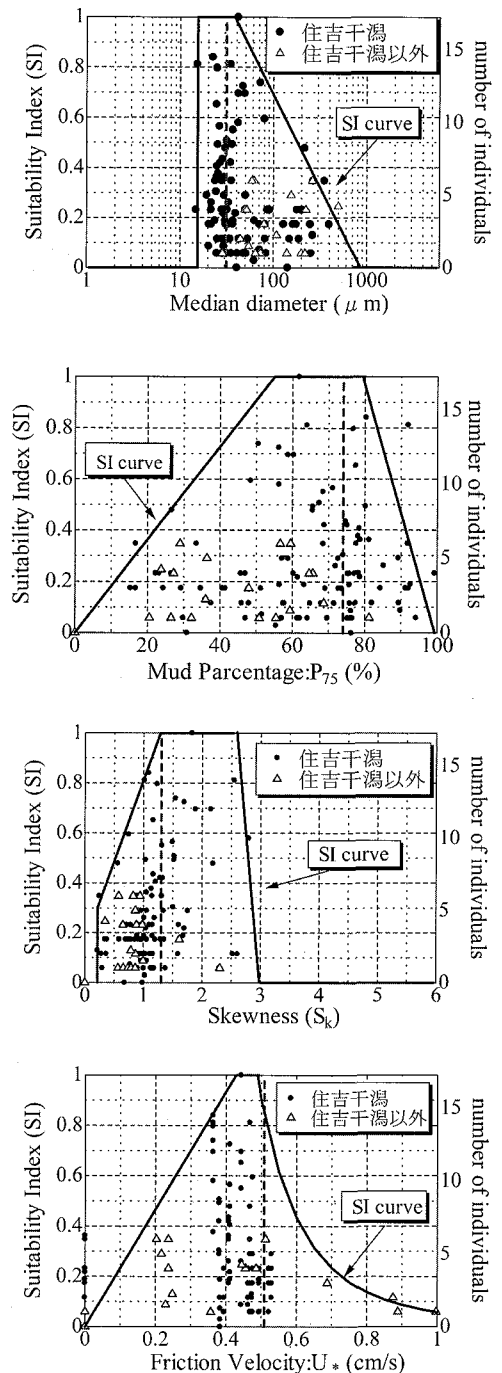


図-5 環境因子ごとの SI 曲線
上から、中央粒径、泥分率、偏歪度、摩擦速度

る。このモデルを使用して調査対象河川の干潟を計算した結果を表-2 に表す。徳島県で住吉干潟以外にシオマネキの生息密度が高い那賀川の河口干潟などでも HSI 値が高く評価されている。

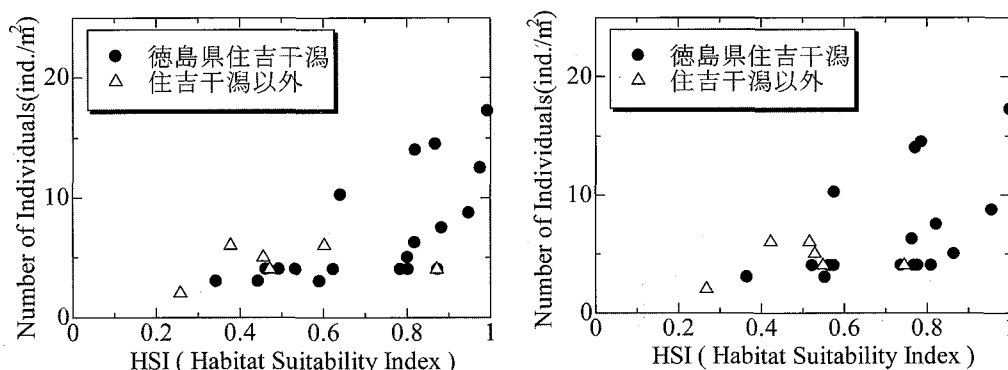


図-6 HSI モデルによるシオマネキ生息適性評価 (左:Eq.(8), 右:Eq.(9))

6. ま と め

本研究では、シオマネキの生態について、底質の粒度組成と、潮汐流によって移動する底質に作用する摩擦速度の関係に着目し、HSI (Habitat Suitability Index: 生息適性指数) モデルを用いて評価を行った。モデルの作成にあたり、シオマネキの生息が多い徳島県の吉野川にある住吉干潟だけでなく、他河川の干潟に生息するシオマネキも考慮することで、生息ポテンシャルを幅広く考慮した。そして、従来の HSI モデルにおける問題点であった因子間の重みを多変量解析により算出し、相関を検討した。宇野らのモデルでは特殊な粒度分析から得られる量や平面 2 次元流れ解析を用いて求める量が用いられていたため、一般的な粒度特性と簡便な方法により算出可能な摩擦速度を用いる方法について検討した。その結果、シオマネキの生息には造巣・摂食等と関係している中央粒径、泥分率と偏歪度、微細粒子の移動・堆積と関係している摩擦速度を用いることで宇野らの提案したモデルと同等の HSI モデルの構築が行われた。作成された HSI モデルを用いて、四国各地のシオマネキが生息する干潟の HSI 値を評価した結果、徳島県吉野川住

吉干潟は他の干潟に比べて、良好なシオマネキ生息環境ポテンシャルを有していることが明らかになった。

謝辞：本研究は科学研究費補助金（基盤研究（B）, 課題番号 17360236, 代表：中野晋）の補助を受けて実施された。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 宇野宏司・中野 晋・亘隆史(2002)：四国周辺の稀少種「シオマネキ」の生息適性地評価, 海洋開発論文集, Vol.18, pp. 185-190.
- 宇野宏司・中野 晋(2003)：干潟底生生物を対象とした物理応答モデルの構築とその試行, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 1066-1070.
- 宇野宏司・中野 晋・古川忠司(2003a)：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.
- 宇野宏司・中野 晋・古川忠司(2003b)：河口干潟および砂州の底質に及ぼす潮汐流の効果, 河川技術論文集, Vol. 9, pp. 281-286.
- 香川県(2004)：ハクセンシオマネキ保護管理マニュアル, 79p.
- 日本環境アセスメント協会(2005)：ハクセンシオマネキの HSI モデル, 自然環境影響評価技法研究会報告書, pp. 123-134.