

重み付き評価指標を用いた 稀少種シオマネキ生息地適性評価手法

HABITAT EVALUATION MODEL FOR GENUS *Uca*
BY USING OF WEIGHTED EVALUATION ITEMS

宇野 宏司¹・中野 晋²・古川 忠司³

Kouji UNO, Susumu NAKANO and Tadashi FURUKAWA

¹学生会員 修(工) 徳島大学大学院 工学研究科博士後期課程(〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

²正会員 博(工) 徳島大学助教授 工学部建設工学科(〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

³学生会員 徳島大学 工学部建設工学科(〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

In this paper, results of analysis on habitat suitability of genus *Uca* which is selected as a *near - threatened specie* in Japan were presented. Study sites were tidal flats around SHIKOKU Island in Japan. In this study, first, based on the results both of field observations and numerical simulations, data of mud property, characteristics of larvae stage, vegetation and topography feature were collected. Secondary, using multivariate analysis, evaluated items were chosen and were given weighing factor respectively. Thirdly, SI (Suitability Index) curves for each evaluated item were plotted with considering the results of field observations and numerical simulations. Finally, HSI (Habitat Suitability Index) was calculated by multiplying each SI curves score and the HSI value among the tidal flats was compared. Main results are as follows: 1) Considering not only species themselves but also surrounding topography is important. 2) Multivariate analysis is effective to select evaluated items. 3) The limited HSI score of *Uca arcuata* is 0.6 and that of *Uca lactea* is 0.4.

Key words: *Uca arcuata*, *Uca lactea*, HSI analysis, multivariate analysis

1. はじめに

近年, 小中学生に対する環境教育の普及や地元ボランティアの地道な活動によって, 干潟生態系の重要性が幅広い世代にわたって認識されるようになり, 全国各地の干潟ではその保全にむけて様々な努力がなされている。戦後急速に失われたとされるこの空間に対し, 少なくとも現存する干潟がそのまま保全されることがのぞましいが, 利便性, 防災上の観点から, 人為的に手を加えざるをえないケースも依然として残されている。また, 地球温暖化による海面上昇の影響をうけて, 沿岸域の干潟が急速に失われる可能性も指摘されている。このため, 干潟の諸機能を定量的に評価し, 何らかのインパクトが与えられた場合でも, 以前と同等あるいはそれ以上の機能を補償・創造する技術の開発が急務となっている。

我が国で提案された干潟の生物生息環境の定量的評価としては, 米国で開発された生息地適性評価手法(HEP: Habitat Evaluation procedure)のなかのHSI指数(Habitat Suitability Index: 生物生息環境適合度指数)を

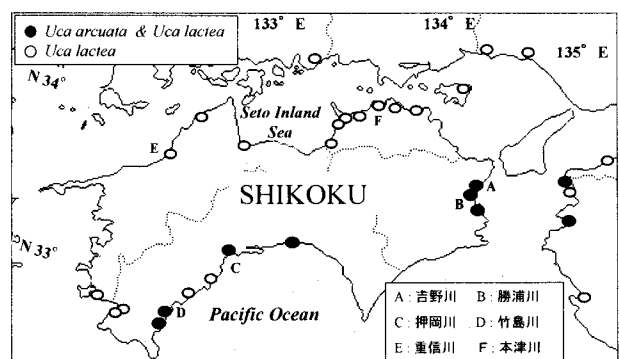
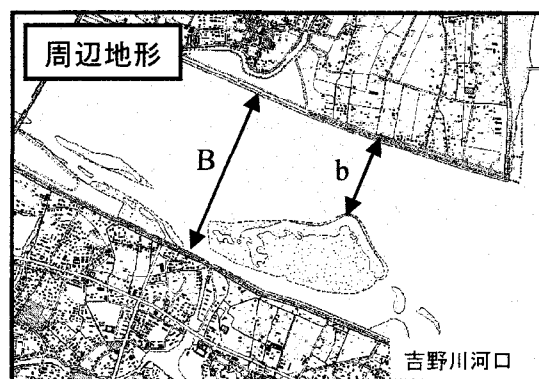


図-1 四国周辺の *Uca* 属生息分布状況
(2002年9月現在)

アサリや多毛類に適用した報告がある¹⁾²⁾³⁾。著者らも環境省のレッドリストで「準絶滅危惧種」に指定されているシオマネキ(十脚甲殻類スナガニ科シオマネキ属; genus *Uca*)を対象にした生息地適性評価ならびに本種の生息適性からみた干潟の存在価値について考察をお

表 - 1 主な *Uca* 属生息地と河川・潮汐・地形情報

河川名	徳島県		高知県		愛媛県	香川県
	吉野川	勝浦川	押岡川	竹島川	重信川	本津川
	A	B	C	D	E	F
緯度	34/04/43.4	34/02/13.3	33/24/22.7	32/56/14.9	33/48/13.9	34/20/49.5
経度	134/34/36.1	134/34/37.0	133/17/51.8	132/58/38.3	132/41/44.8	134/00/36.7
活動数(<i>Uca arcuata</i>)	6.8/m ²	5	1.9	3.5	0	0
活動数(<i>Uca lactea</i>)	12.3/m ²	15.3	1	1	13.5	30
<i>Uca</i> 属生息干潟面積概数(m ²)	30000	1200	40	800	40000	30000
河口からの距離(km)	2.0-2.8	1.8-2.3	1.4	2.5	0.8	0.4-0.8
河口低水路幅(m)	480	120	300	-	200	120
潮汐振幅(大潮時)	62.32cm	62.32	71.13	74.59	141.95	88.59
電気伝導度(mS/cm)	32.5	29.3	23.6	21.3	65.8	46.2
含水率(%)	10.4-40.5	13.1-38.9	17.5-38.8	22.7-33.4	13.9-38.1	14.6-30.0
含泥率(%)	2.5-90.4	3.3-67.3	7.7-46.8	39.0-56.5	5.6-46.1	1.5-16.7
河口の形態	砂州あり	砂嘴あり	湾奥	閉塞気味	閉塞気味	-----
周辺植生	ヨシ	ヨシ ハマサジ ハマツナ	ヨシ	ヨシ	ヨシ ハマサジ	ハマサジ フクド



粒度分布

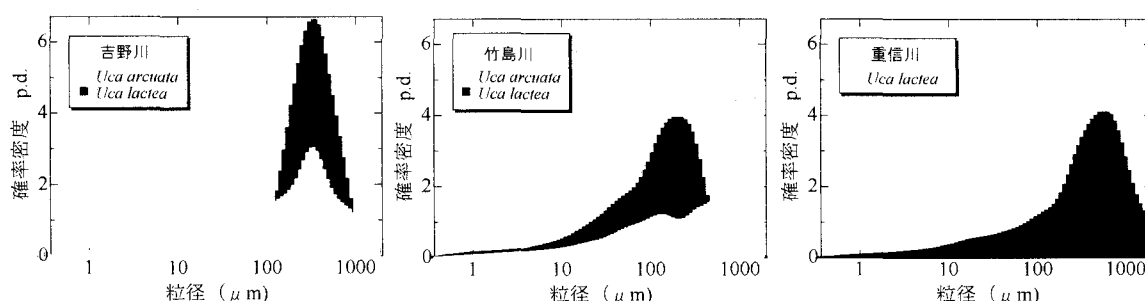


図-2 *Uca* 属生息地の地形・底質の特徴

こなってきた⁴⁵⁾。

しかし、従来の HSI モデルでは、評価指標の選択がモデル開発者の恣意によるところが大きく、その選択方法や指標間の重みについては十分に議論されていなかった。したがって評価指標の選択によっては適切でない結果を出す可能性もある。そこで、本研究では、四国周辺の河口干潟に生息するシオマネキを対象に ①現地調査により得られた生息分布・底質・植生・地形的特徴に関する知見、②HSI モデル構築のための評価指標とシオマネキ生活史との関係、③多変量解析を用いた HSI モデル評価指標の選択、重み付け方法と適用例、について報告する。

2. *Uca* 属生息地の底質・植生・地形の特徴

著者らは、シオマネキ属の生息環境特性を把握することを目的に、過去5年にわたり継続的な現地調査をおこなっている。以下、調査方法の概要と、これまでに得られた知見を記す。

(1) 調査方法

吉野川、勝浦川においては *Uca* 属活動期 (3 月 - 10 月) の大潮の干潮時に 1m 四方の定点コドラート (17 点)、その他の河川においては活動がピークを迎える 7 月末から 8 月中旬にかけて年 1~2 回、*Uca* 属の生息が

確認された地点にコドラートを設け、活動個体数調査をおこなった。調査項目は、1m 四方のコドラート内の種別、サイズ別、雌雄別の活動個体数・巣穴数・気温・土温・電気伝導度・生息位置 (緯度・経度)・汀線からの高度である。また、コドラート内の表層の底質を採集し、含泥率、含水率、粒径 2000μm 以下の粒度分布を求めた。粒度分析はレーザー粒度分析による。得られた分布型をもとに、底質の粗粒分及び細粒分が対数正規分布に従うものとして干潟底質の相対頻度を算出し、細粒分および粗粒分の中央粒径を求めた。

(2) シオマネキ生息地の底質・植生・地形

図 - 1 に 2002 年 9 月までに著者らによって確認された四国周辺のシオマネキ (*Uca arcuata*) ならびにハクセンシオマネキ (*Uca lactea*) の生息分布状況を示す。また、表 - 1 に主な *Uca* 属生息地と河川・潮汐・地形・植生情報を示す。本種は四国周辺の河口干潟で生息が確認されているが、なかでも吉野川河口にひろがる泥質干潟ならびに砂州は、有明海沿岸、宮崎県本城川河口について我が国 3 番目の規模を誇る *Uca* 属生息地となっている。種別にみるとシオマネキは生息分布が紀伊水道から太平洋側に限られているのに対し、ハクセンシオマネキは四国周辺、特に瀬戸内海地方の多くの河口干潟で多数の生息が確認されている。

底質の粒度分布についても両種の間で違いがみられる。

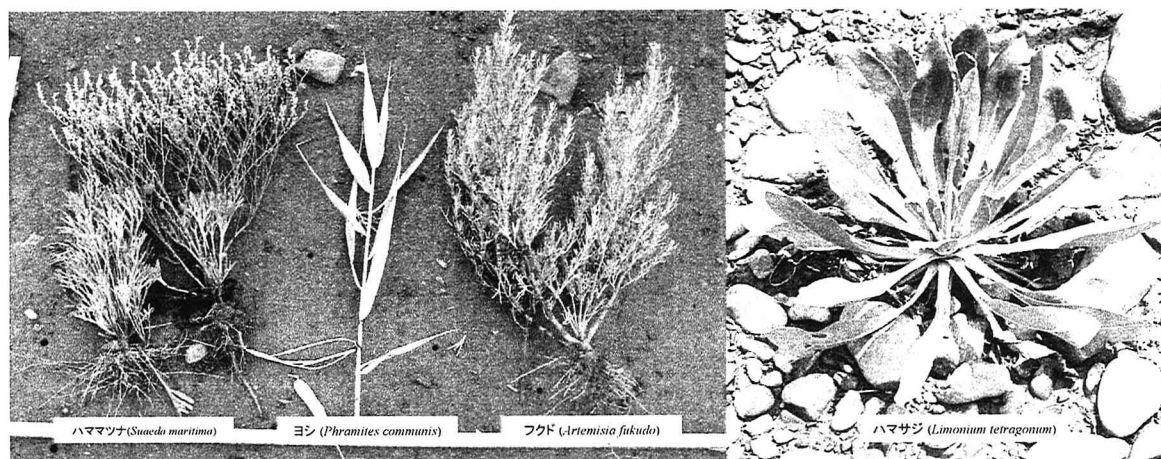


写真-1 *Uca* 属生息地の植生

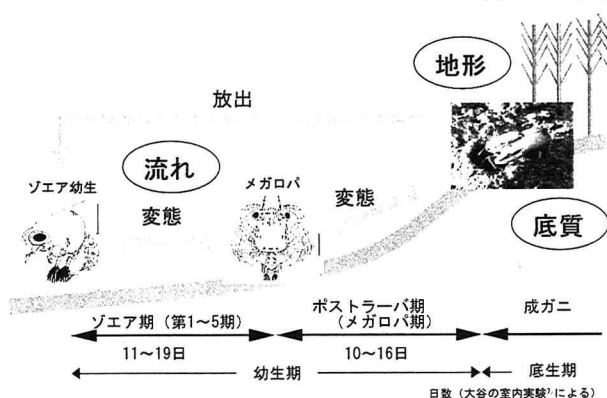


図-3 *Uca* 属の生活史

一般にシオマネキは、粒径分布のピークが数 $10\mu\text{m}$ 付近と数 $100\mu\text{m}$ 付近の両方にある泥質に生息しているようである。これに対しハクセンシオマネキは、粒径が数 $100\mu\text{m}$ 前後の限られた範囲に集中する砂質に生息している（図-2）。

Uca 属生息地にみられる植生は、主にヨシ、ハママツナ、ハマサジ、フクドなどの塩生植物である(写真-1)。このうち、シオマネキの生息地点の周辺には必ずヨシ原が存在している。この理由として、鳥などの外敵からの逃避とヨシ自身による微細粒子のトラップがシオマネキの摂餌活動に好都合であることが考えられる。一方、ハクセンシオマネキの生息地点には、ヨシの他に、ハマサジ、ハママツナ、フクドなどがみられる。しかし、ハクセンシオマネキの場合、こうした植生が全く見られない河口砂州や中洲上でもまとまった個体群が確認されることがある。

Uca 属生息地にはいくつかの共通点が見られることから、空中写真や地形図を用いて *Uca* 属生息地を事前に予測したり、ミティゲーションの際に生息可能な候補地を選定することが可能である⁹⁾。シオマネキの生息地としては①河口から 3km 以内の汽水域内の干潟である、②上流からの土砂供給と水量が期待できる河川がある、③ヨシ原が存在する、④河口閉塞度（図-2 周辺地形図上での $(1 - b/B)$ ）が、0.4-0.7 程度であること、⑤生

息地への波の直接の侵入が遮断される地形（砂州や砂嘴）が形成されていることが必要条件である。一方のハクセンシオマネキは、条件①、②を満たせば生息の可能性があるが、ハマサジ等の植生があれば、より質の高い生息地となることが期待できる。

以上のことから、*Uca* 属の保全を考えるにあたっては、底質などの物理条件を考慮するだけでなく、水域も含めた生息地周辺の地形そのものの保全が重要であるといえる。特に絶滅が危惧されている稀少種においては、種の希少性もさることながら、生息地の地理的条件そのものが稀少性を帯びているため、こうした稀少空間全体を残していく努力が必要である。

3. *Uca* 属生息地適性評価モデルの評価指標

現地調査の結果から、*Uca* 属の生息に大きな影響を及ぼしている因子として、底質、陸域 - 水域の連続性、周辺地形などが重要であることが指摘された。本種のような干潟生態系を構成する生物の多くは、複数の生活ステージを有するため（図-3）、生活史を全うできる空間の保全が重要である。そこで、本研究では、幼生期、底生期、周辺地形のそれぞれで次のような評価指標をとりあげた。この評価指標の選択作業が、モデルの精度や信頼性に大きく関わってくるので、評価指標と対象種の生態的な意味づけを十分に検討する必要がある。

(1) 底質に関する評価指標

底質指標は、底生期の重要な環境因子で、人為的にも管理可能なものである。

a) 含水率・含泥率

含水率・含泥率は、いずれも土粒子の粒度構成を表す指標で、摂餌や造巣活動のパラメータとなる。小野⁸⁾や山口⁹⁾はカニの棲み分け状況を含泥率との関係より検討している。吉野川河口では、シオマネキの場合で含水率が 20-48%、含泥率が 10-90%、ハクセンシオマネキの場合で含泥率が 80%以下、含水率が 25-35%の底質に生息している。

表 - 2 *Uca* 属生息値適性評価のための評価指標

評価指標		<i>Uca</i> 属の生態との関係		評価指標	<i>Uca</i> 属の生態との関係
底 質	含水率	造巣・摂餌	幼生期 流れ	1 潮汐幼生移動距離	滞留効果
	含泥率			冠水時最大摩擦速度	微細粒子の堆積
	均等係数			生残率	干潟-周辺水域の連続性
	曲率係数	粒度分布特性	地形	植生度	底質の安定性・微細粒子の堆積
	細粒分割合	造巣・摂餌		高度	摂餌効率・活動時間
	細粒分中央粒径	摂餌環境		河口閉塞度	滞留効果・海水交換率
	粗粒分中央粒径	洪水・波浪の履歴			

b) 細粒分中央粒径、粗粒分中央粒径

干潟底質の粒度分布は、洪水末期や平常時に堆積する細粒分と、洪水最盛期の高せん断応力状態で堆積する粗粒分が重合して堆積するため、複数のピークを持つことが多く、代表値の選択が難しい。著者らの提案する干潟の粒度分布式では、粒度の代表値を細粒分と粗粒分のそれぞれで算出できる点が、代表値を平均粒径のみとる場合に比べて優れている。吉野川河口では、シオマネキ生息地でそれぞれの平均値は20 μ m、600 μ m程度、ハクセン生息地で90 μ m、230 μ m程度である。

(2) 幼生分散および流れに関する評価指標

幼生期の評価指標としては、現地観測による直接の情報収集が困難であるので、数値シミュレーションによる浮遊幼生の分散現象から間接的に評価する。その際、対象幼生の基本的な生物情報（放出のタイミング、塩分選好性、運動特性）を室内実験等により把握しておくことが重要である。本研究ではFEM平面2次元浅水流計算で幼生分散および流れを検討した。計算条件等の詳細は文献⁵⁾を参照されたい。

a) 1 潮汐間幼生移動距離

Uca 属の幼生は放出後、親個体周辺の干潟に滞留する傾向があることから、1 潮汐間の幼生の移動距離は、周辺水域の滞留機能や海水交換性のパラメータとなる。ここでは大潮の満潮時に各河川の *Uca* 属生息地の中心から幼生の放出があったと仮定して、孵化直後の幼生の分散過程を Lagrange 的に追跡した。吉野川河口における 1 潮汐間の幼生平均移動距離は250m程度である。

b) 生残率

Uca 属の幼生は大潮の高潮時に放出されることが知られているが、特に放出直後は減耗率が大きく、生残率は種の存続上重要な影響を及ぼす。ここでは幼生の移動が河道内を離れて陸域に到達した場合に、打ち上げられて死亡したものとみなすことで1 潮汐間に干潟に打ち上げられる割合を算出した。吉野川河口での大潮満潮時に放出された幼生の生残率は約60%と算定された。

c) 冠水時最大摩擦速度

ここでは、冠水時最大摩擦速度を「干潟が冠水している時の局所水深 h とエネルギー勾配 I_e より計算さ

れる $u_* = \sqrt{gh|I_e|}$ の最大値」と定義する。エネルギー勾配 I_e は Manning 式に Manning 粗度係数、平面二次元浅水流計算で得られる局所平均流速、局所水位を与えて算出した。この指標は、微細粒子の輸送に関連が深いと考えられる。吉野川河口では、平均 2~3cm/s 程度の値が得られた。

(3) 地形に関する評価指標

前節でも述べたように *Uca* 属の保全を考えるにあたっては、底質などの物理条件を考慮するだけでなく、水域も含めた生息地周辺の地形そのものの保全が重要である。生息地および周辺の地理的条件を評価するために以下の指標を取り扱った。

a) 植生度

植生の存在は、微細粒子のトラップや底質の変動緩衝の効果があり、個体群の安定には欠かせない因子となっている。本研究では、次式に示す植生度 VEG_i を用いて、干潟 i の植生度の豊かさをあらわした。

$$VEG_i = \frac{n_i}{N_i} \quad (1)$$

ここに、 n_i : 干潟 i で植生の確認されたコドラート数、 N_i : 干潟 i でのコドラートの総数。吉野川河口の植生度は0.6程度である。

b) 高度

高度は、底質指標と同様に人為的にも創造・管理可能なパラメータとして重要である。この指標は干潟干出時刻や活動可能時間と関係があり、摂餌効率と密接な関係がある。シオマネキは潮間帯下部、ハクセンシオマネキはシオマネキよりも数10cm高いところに生息している。吉野川河口では、シオマネキ生息地の平均高度はT.P.+10cm程度、ハクセンシオマネキはT.P.+50cm程度である。

c) 河口閉塞度

河口閉塞度は、波浪の程度、幼生分散、汽水域の塩分環境等、*Uca* 属の生息に大きな影響を及ぼす。本研究では、河口閉塞度を次式で定義した。

$$C_i = 1 - \frac{b_i}{B_i} \quad (2)$$

ここに、 C_i : 河川 i の河口閉塞度、 b_i : 砂州部を除く水路幅、 B_i : 河道幅である。図-2に示される吉野川河口部の閉塞度は約0.45である。

表-3 多変量解析による評価項目の選択 (シオマネキ)

全数法 重相関係数 0.7499						
変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	偏相関	単相関	判定
細分率割合	0.3227	0.2637	2.1716	0.2881	0.3061	○
細粒分粒径	-2.1517	-0.2900	2.4556	-0.3047	-0.3694	○
粗粒分粒径	0.2635	0.1915	1.0816	0.2077	0.2809	○
幼生移動量	0.0809	0.0958	0.6643	0.1168	0.0065	○
摩擦速度	0.4867	0.4196	11.0474	0.4325	0.4384	◎
生残率	-6.3809	-6.7601	5.0507	-0.3086	0.2743	×
植生度	18.6963	7.1080	4.9562	0.3059	0.0842	○
河口閉塞度	-9.0733	-5.8058	5.5023	-0.3207	-0.2539	○
高度	0.3934	0.6472	4.4782	0.2921	-0.0752	×
定数項	-4.4201		3.7922			

増加法 重相関係数 0.6277						
変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	偏相関	単相関	判定
摩擦速度	0.5317	0.4585	15.8357	0.4728	0.4384	◎
河口閉塞度	-0.4471	-0.2861	6.1658	-0.3175	-0.2539	○
定数項	0.5539		521.9987			

減少法 重相関係数 0.7257						
変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	偏相関	単相関	判定
摩擦速度	0.4720	0.4069	11.3213	0.4228	0.4384	◎
生残率	-6.8029	-7.2071	7.0480	-0.3455	0.2743	×
植生度	20.0856	7.6362	7.1945	0.3486	0.0842	◎
河口閉塞度	-9.6554	-6.1783	7.7619	-0.3604	-0.2539	◎
高度	0.3861	0.6353	4.8933	0.2933	-0.0752	×
定数項	-4.8315		50.8250			

採用された評価指標 重相関係数 0.7383						
変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	偏相関	単相関	判定
細粒分粒径	-0.2410	-0.1736	1.1417	-0.1509	-0.2447	○
摩擦速度	0.4878	0.4254	10.9423	0.4273	0.4236	◎
植生度	-0.1142	-0.0446	0.0584	0.0345	0.0837	○
河口閉塞度	-0.3639	-0.2348	2.4078	-0.2164	-0.2488	○
定数項	0.6291		2.9501			

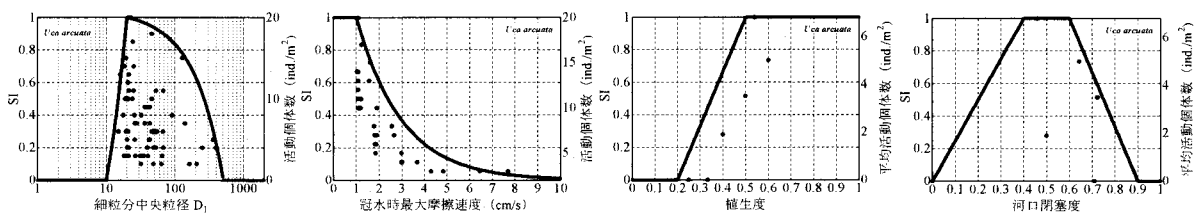


図-4 シオマネキの SI モデル

以上が本研究で取り扱う評価指標である。Uca 属の生態を取り扱う以上、塩分や栄養塩に関する指標についても検討する必要があるかもしれないが、ここでは「干潟の修復・創造技術の確立」ということに重きをおいて、人為的に創造・管理可能なもののみを評価指標として取り扱うことにする。

4. 重み付き評価指標を用いた HSI モデルの構築

Uca 属の生息地とその機能を評価するために HEP (Habitat Evaluation Procedure: 生物生息環境評価手順) のなかの HSI (Habitat Suitability Index: 生物生息環境適合度指数) による生息地適性評価を実施した。HSI を評価する手順は、まず、前節でとりあげた評価指標のうち Uca 属日最大活動個体数と相関の強いものを多変量解析により選択する。次に、選択された因子について生息環境の点数化をおこなう。点数化にあたっては、各因子ごとに最大活動個体数を与える SI (Suitability Index: 適性指数) モデルを作成する。これらを総合化して一つの数値 HSI を求める。

(1) 多変量解析による評価項目の選択

前節でとりあげた評価指標のうち、Uca 属活動個体数と相関の強い因子を抽出するために、多変量解析をおこなった。種別の年間最大活動個体数で除して求めた無次元 Uca 属活動個体数を目的変数に、各評価項目の測定データを説明変数として、多変量解析をおこない各評価指標の重要度と説明変数としての有意性の検討をおこなう。このときの使用データは、活動の高い6~8月の調査データで、気象等の要因をできるだけ除くために、

各観測日ごとの最大活動個体数とその時の測定値を使用した。また、多変量解析は、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) でおこなった。得られた結果をもとに SI モデルで使用する変数を以下の基準で選択した。

【基準 1】単相関係数と偏相関係数の符号が異なる評価指標は多重共線性が高いので除去する。

【基準 2】増加法、減少法の両方で相関が高い (F 値が 8 以上) と判断される評価指標を優先的に採用する。

【基準 3】底質、流れ、地形に関する評価指標をそれぞれで少なくとも 1 つ以上採用する。

【基準 4】重相関係数が 0.70 以上とする。

シオマネキの場合について、評価指標の選択手順を具体的に説明する。まず、全数法、増加法、減少法のそれぞれで、各評価項目の偏回帰係数、標準回帰係数、目的関数 (活動個体数) に対する影響力の検定 (F 値)、目的関数と説明変数との単相関・偏相関を調べる。ここで

【基準 1】にあてはまる生残率、高度を説明変数として除去する。次に、増加法、減少法の結果から【基準 2】を満たす摩擦速度、植生度、河口閉塞度を説明変数として採用する。これだけでは、流れに関する評価指標が入っていないので、【基準 3】を満足するために、底質のなかでもっとも F 値の大きい細粒分粒径を採用する。

細粒分粒径、摩擦速度、植生度、河口閉塞度の 4 つの評価指標での重相関係数が 0.7383 と【基準 4】をクリアしているため、シオマネキの説明変数としてこれら 4 つの評価指標をとりあげる。ハクセンについても同様の手順で選択した。選択された評価指標について SI モデルを作成

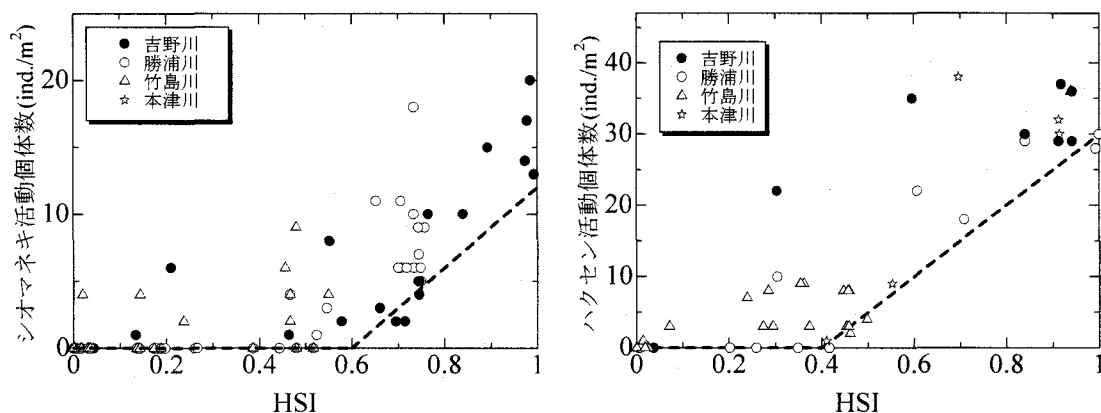


図-5 *Uca* 属活動個体数と HSI

する (図-4). SI モデルは最大活動個体数の包絡値を結ぶように作成している. これは SI モデルにより表現したいものは干潟での *Uca* 属生息数であり, これに年間の最大活動個体数が相当すると考えたためである. SI モデルの作成方法の詳細は文献⁹⁾を参照されたい.

SI モデルでは各指標が 0 と 1 の間をとるように基準化されているが, 従来のモデルでは指標間の重要度を考慮できない. そこで, HSI を

$$HSI = \prod_{j=1}^m (SI_j)^{w_j} \quad (3)$$

のように重み係数 w_j を用いて表すことにした. 式(3)の左辺の説明変数に各 SI の対数値を用い, 右辺の目的変数に全干潟を対象にした年間最大活動個体数で基準化された日最大活動個体数の対数値を用いて, 線形回帰分析を行い, 各 SI の重み w_j を計算した. 重みを考慮した HSI の計算式は以下になる.

$$\text{シオマネキ} \quad HSI = SI_{\text{細粒粒径}}^{2.397} \times SI_{\text{摩擦}}^{4.184} \times SI_{\text{植生}}^{1.0581} \times SI_{\text{開渠度}}^{1.181} \quad (4)$$

$$\text{ハクセン} \quad HSI = SI_{\text{細粒粒径}}^{7.513} \times SI_{\text{摩擦}}^{8.318} \times SI_{\text{植生}}^{1.190} \times SI_{\text{開渠度}}^{8.323} \quad (5)$$

シオマネキ, ハクセンシオマネキともに底面摩擦速度 SI の重みが大きく, この指標があらわす「微細粒子の堆積」の程度がシオマネキ属の生息環境に大きく影響していることが予想される.

図-5 に HSI とシオマネキの活動個体数との関係を示す. この図より, 生息限界 HSI はシオマネキで 0.6, ハクセンシオマネキで 0.4 程度であることがわかる. 本来, 代償面積を決定するためには HSI とシオマネキの活動個体数は線形の関係になる必要がある. しかし, 本モデルでは限られた評価指標で HSI を算出しているために, HSI がある程度の点数の範囲にも関わらず, シオマネキ属の活動個体数がゼロになることがある. 今後, モデルの精度向上にむけて, こうした地点についてより詳細に環境因子の分析をおこなう必要があると思われる.

5. まとめ

本研究では, 干潟生物の生息地適性評価手法として, 重みつき評価指標を取り入れた HSI モデルについて論じた. 評価指標の選択の際に統計的な取り扱い方をすることで, 開発者の恣意によらないより客観的なモデル構築の可能が示唆された. 今後は河床変動計算の結果等を考慮し, 河床動態が稀少生物の生息地に与える影響を考慮しうるモデルに発展させていきたいと考えている.

参考文献

- 1) 新保裕美, 田中昌宏, 池谷毅, 林文慶: 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 -, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp.1321-1325, 2001.
- 2) 新保裕美, 田中昌宏, 池谷毅, 越川義功: アサリを対象とした生物生息地適性評価モデル, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp.1111-1115, 2000.
- 3) 林文慶, 高山百合子, 田中昌宏, 上野成三, 新保裕美, 織田幸伸, 池谷毅, 勝井秀博: 沿岸域における複数生物の生息地評価 - 生態系連続性の配慮にむけて -, 水工学論文集, 第 46 巻, pp.1193-1198, 2002.
- 4) 宇野宏司, 中野晋: 四国地方における稀少種「シオマネキ」の生息環境特性, 地球環境シンポジウム講演論文集, vol.8, pp.99-104, 2000.
- 5) 宇野宏司, 中野晋: 四国周辺の干潟における稀少種「シオマネキ」生息地適性評価, 海洋開発論文集, vol.18, pp.185-190, 2002.
- 6) 清野聡子, 塩崎正孝, 宇多高明, 後藤隆, 黒木利幸, 中村由行: 空中写真による干潟の微地形判読と現地調査を組み合わせたカブトガニ生息地・産卵地調査法, 水工学論文集, 第 45 巻, pp.1021-1026, 2001.
- 7) 大谷拓也: シオマネキ幼生の飼育と観察, 水産増殖 Vol.37-4, pp.297-301, 1995.
- 8) 小野勇一: 干潟のカニの自然誌, 平凡社自然叢書 29, 271p., 1995.
- 9) 山口隆男: ハクセンシオマネキの生態 (I), CALNUS, NO.2, 1970.

(2002. 9. 30 受付)