

河口干潟の平衡粒度分布の推定と底生動物の生息環境評価

Estimation of an Equilibrium Grain Size Distribution on River Mouth Tidal Flat
and a Habitat Assessment for Benthic Animals

藤田真人¹・中野 晋²・安芸浩資³・安井勝志⁴

Masato FUJITA, Susumu NAKANO, Hiroshi AKI and Masashi YASUI

The aims of this study are the development of methods to evaluate an equilibrium grain size distribution of sediment in a large river mouth and to apply it to a habitat assessment by the HSI model for a fiddler crab *Uca arcuata* which inhabits on a tidal flat. It was assumed that the sand particles which correspond to the critical shear stress under waves deposit and form a grain size distribution depending on the frequency of disturbance of waves in this model. The particle size distributions which estimated based on a wave statistical data well coincided with field survey data and approached wide areas of environment assessment.

1. はじめに

海と陸とが接する沿岸域は独特な生態系が作り出されており、干潟に生息する生物は底質と密接な関係がある。河口や前浜に広がる干潟生態系の管理を行う上で重要となるのは、地形変化の予測技術と対象となる生物の生息モデルを定量的に評価することが重要であるとされてきた。しかし、より精度の高い生物生息の定量的評価モデルと底質の粒度変化を予測する技術の確立は大きな課題となっている。

本研究は波浪の影響を受ける大河川河口干潟の平衡時の表層の粒度構成を評価する手法の確立と、著者ら(2006)が過去に提案した粒度組成の代表量と底面摩擦速度で評価可能なシオマネキの生息モデルへの応用と広域的な生息環境評価へのアプローチを目指したものである。徳島県にある吉野川河口を研究対象として、詳細な現地調査と波浪統計データに基づいた平面波浪解析を通して、洪水後に短期間で平衡状態に移移する粒度変化の特徴、平衡粒度構成の評価方法について検討した。

2. シオマネキの生息環境評価モデル

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。シオマネキの生息が顕著な場所における過去4年間分の粒度分布曲線を平均化したグラフを図-1に示す。この図のようにシオマネキの生息地の多くは50 μ m程度のシルトと

100 μ m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。

過去に著者らが提案したシオマネキのHSI(Habitat Suitability Index)のモデル式は式(1)である。このモデル式は吉野川河口部に生息するシオマネキの2002年から2005年間のデータと四国全域の他河川に生息するシオマネキの生息データを元に作成したものであり、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

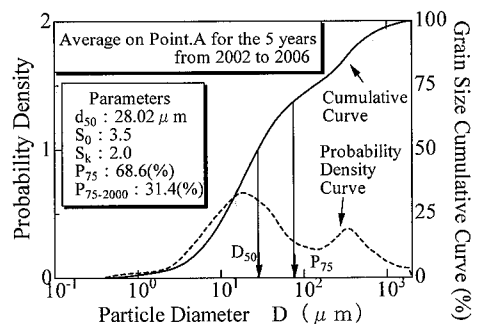


図-1 シオマネキ生息地の粒度分布の例

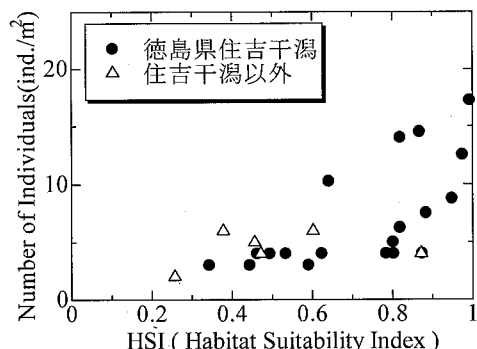


図-2 HSIモデルによるシオマネキ生息適性評価

1 正会員 修(工) 徳島大学助教環境防災研究センター
2 正会員 博(工) 徳島大学准教授環境防災研究センター
3 正会員 工修 ニタコンサルタント株式会社 環境部
4 正会員 修(工) 三洋ホームズ株式会社

たものである。このモデル式は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的指標だけで構成されているのが特徴であり、HSIと活動個体数密度の間の相関係数は0.653であった。

$$HSI = SI_{中央粒径}^{0.348} \times SI_{泥分率}^{0.145} \times SI_{偏歪度}^{0.469} \times SI_{摩擦速度}^{0.502} \dots (1)$$

ここでSI泥分率は泥分率であり、表層砂泥の中に含まれる粒径が0.075 mm以下の底質の含有量(%)を表し、SI偏歪度は偏歪度であり、粒度組成の歪みの程度を表す指標である。図-2にHSI値とシオマネキの活動個体数密度の関係を示す。この結果、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となった。

3. 粒度分布推定へのアプローチ

(1) 台風直後の粒度分布変化

平成16年10月22日の台風10号による出水後、約2週間にわたり、吉野川河口2.4 km付近の干潟にて表層1 mm～2 mm程度の底質を採取し、粒度構成の確率密度分布の経日変化を計測した。図-3からは洪水直後のシルト質の底質が堆積することが確認され、平常時の擾乱の程度に応じて形成されている元の粒度構成に遷移することと、河川に近く植生のない閉鎖性が小である場では底質が元の粒度構成へ早く遷移し、護岸に近くヨシ原に囲まれた閉鎖性が大である場は遅いことが確認できる。このようにある程度の期間、土砂供給がない場合には洪

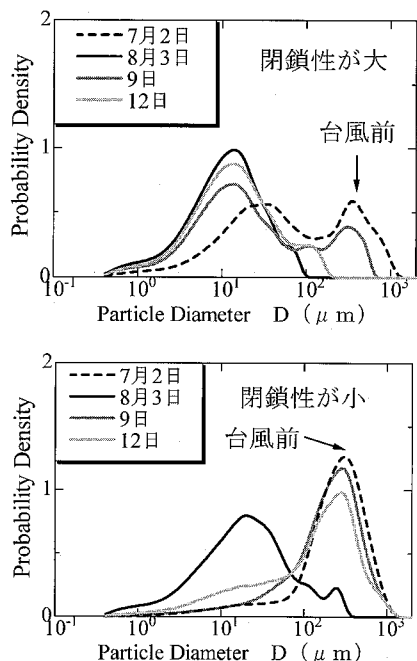


図-3 台風直後の粒度分布変化

水時に堆積した微細粒子は波浪で舞い上がった後、潮流によって流出し、波の擾乱に応じて表層粒度分布が決定されると考えられる。粒度構成は周辺の土砂供給源の影響を受けるが、最も重要なのはその場に作用する波や流れなどの外力の大きさと頻度である。外海からの波浪の影響が無視できない大河川の河口砂州では河川流や潮汐流以上に平常時の波浪が粒度分布の平衡状態を形成すると考えられる。

(2) 粒度分布の検討方法

大河川河口部の河口干潟に堆積している底質の粒度構成のメカニズムは未だ説明されておらず、河口部の環境影響評価を行う上で今後重要になる課題である。粒度分布のシミュレーションは上記で述べたように波の擾乱作用が大きく影響していると考えられる。過去の長期的な波の頻度分布に注目して粒度構成を検討する。宇野ら(2003)の研究によると、移動限界粒径と干潟に堆積した底質の細粒分中央粒径がほぼ一致することが確認されており、粒度特性を知る手がかりになると報告されている。

一般に土砂供給が少ない場合の底質表層の平衡的な粒度分布は移動限界粒径で近似され、一方で外力として波浪が卓越する場では移動限界粒径は波の最大摩擦速度に対応すると考えられる。波浪の影響による擾乱が発生することで移動限界粒径付近より小さな粒径の底質が巻き上げられ、小さな粒径の底質はフラッシュされる。そして、移動限界粒径付近の底質がその場付近に堆積し粒度構成を形成すると考えられる。その場の粒度構成は粒度構成に影響した期間の最大摩擦速度の頻度分布に対応することから、長期的な波浪のデータを用いて頻度分布を作成し、それに対応した底面摩擦速度の分布を用いて移動限界粒径の累積頻度を求める。

4. 吉野川河口の粒度分布の検討

(1) 吉野川河口部の波の特徴

吉野川河口部における、過去3年間分の小松島波浪観測所で観測された沖波のデータから作成した頻度分布図を示す。図-4は沖波有義波高を、図-5は沖波有義波周期の頻度分布を示している。河口部に進入してくる波の主波向は南東方向が卓越している。これらの図から、沖波より進入する波の沖波有義波高は0.2 m～0.4 m、沖波有義波周期は2秒～4秒の波によって構成されていることが分かる。

(2) 吉野川河口の平面波浪解析

吉野川河口の平面波浪解析は高山(1991)らと間瀬ら(1991)によって報告された波の回折効果を導入した多方向不規則波の波浪変形計算法を用いて吉野川河口の波高の分布を解析した。これは放物型波動方程式を基にし

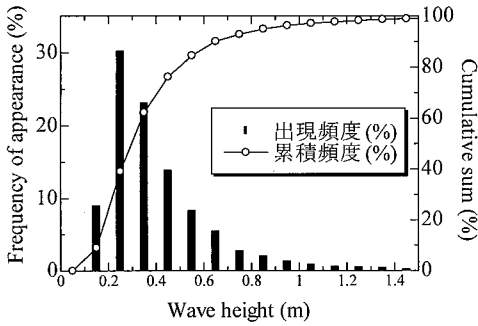


図-4 沖波有義波高の頻度分布

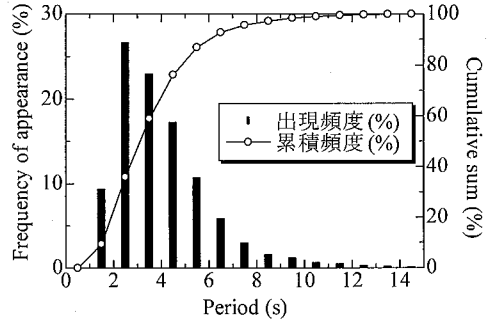


図-5 沖波有義波周期の頻度分布

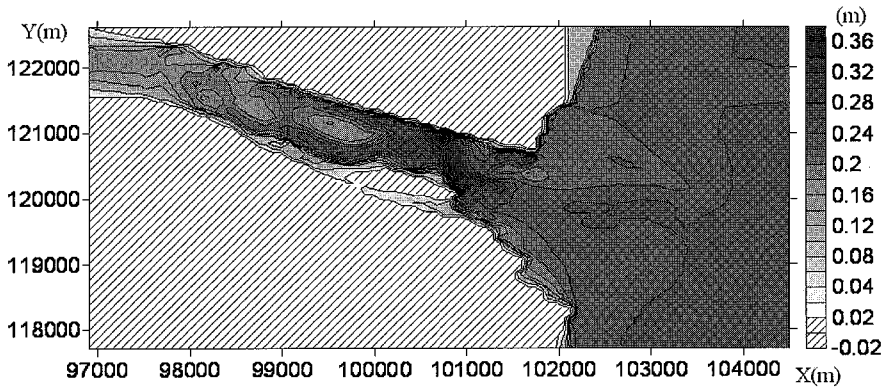


図-6 吉野川河口の波浪解析結果（波高分布）の一例

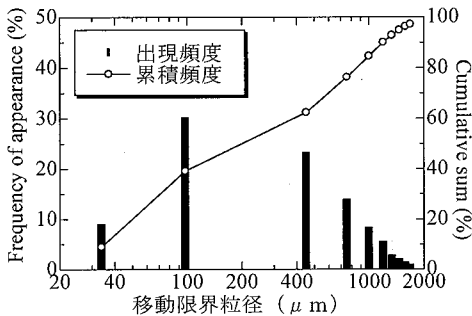


図-7 移動限界粒径の頻度分布図

て、エネルギー平衡方程式に回折項を陽な形で含むことで容易かつ安定する計算としている。

次に各計算条件を表-1 に示す。計算領域は 7 km×3.2 km を与え、メッシュ幅は 5 m とした。方向集中度パラメータは波の状態を表す指標であり、表中の数値は常時波浪状態であることを表している。

(3) 波浪解析の計算結果

頻度分布の最頻値である沖波有義波高を 0.25 m、沖波有義波周期を 4 秒とした時の平面波浪解析の結果を図-6 に示す。南東から進入した波が河口砂州のある辺りで収束するために、左岸側で波高が高い結果となった。

表-1 各計算条件

吉野川河口の波浪解析の計算条件		数 値
沖 波 主 波 向	度	135
メ ッ シ ュ 幅	$\delta x \times \delta y$	5 (m)
寸 法	$(x \times y)$	7000×3200(m)
メ ッ シ ュ 数	(i, j) 数	1400×640
方向集中度パラメータ	Smax	10

表-2 波浪解析の計算条件

ケース	波高(m)	累積頻度(%)	平均周期(s)
1	0.15	9.0	4.59
2	0.25	39.2	4.60
3	0.35	62.4	4.70
4	0.45	76.3	4.85
5	0.55	84.6	5.24
6	0.65	90.1	5.62
7	0.75	92.8	5.92
8	0.85	94.9	6.46
9	0.95	96.3	7.01
10	1.05	97.2	7.31

今回波高計を設置していないため、実測と比較はしていないが、河口の左岸部分で波が荒くなることが経験的に分かっている。今後この点について実測値と比較し精度を検討する必要がある。

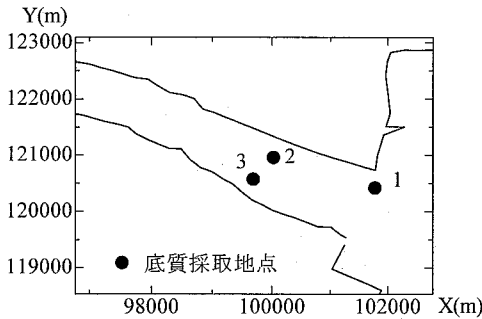


図-8 吉野川河口部の底質採取地点

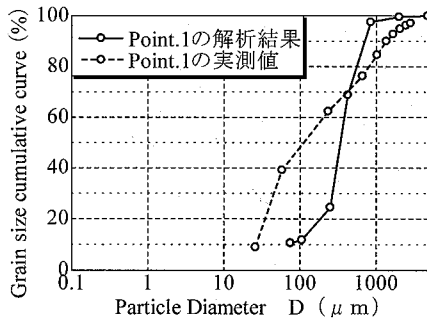


図-9 Point.1の解析値と実測値

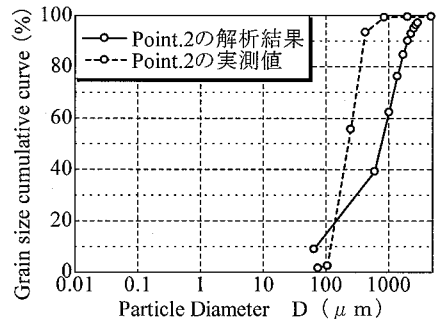


図-10 Point.2の解析値と実測値

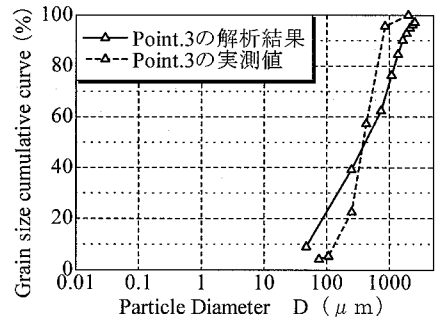


図-11 Point.3の解析値と実測値

表-3 解析値と実測値の各データ

観測点		中央粒径(μm)	ふるい分け係数	偏歪度	砂分率(%)
Point.1	解析値	140.44	3.80	1.36	100.0
	実測値	350.51	1.43	1.06	89.4
Point.2	解析値	795.05	1.96	0.74	100.0
	実測値	234.81	1.43	1.03	98.4
Point.3	解析値	472.89	2.61	0.72	100.0
	実測値	388.29	1.54	1.08	95.8

(4) 粒度分布のシミュレーション

4.(2)で述べたように波の擾乱作用によって巻き上がる底質について波の長期的なデータから河口付近の粒度分布シミュレーションを行う。

本研究では著者ら(2007)が提案している波浪統計データから粒度分布を推測する方法を用いた。図-4と図-5の波浪観測データから頻度の高い順から10種類の波高・周期の計算条件に対して、同様の平面波浪解析を実施した。波高と水深から微小振幅理論で水粒子の水平成分を求め、摩擦係数からその場の底面に及ぼす最大摩擦速度の分布を求めた。表-2に計算条件となる波高の累積頻度と平均周期を示し、図-7にこの方法による移動限界粒径の出現頻度と累積頻度を示している。なお、底面摩擦速度を求めるための摩擦係数については、式(2)のJonssonの抵抗則を用いた。

$$\frac{1}{4\sqrt{f_w}} + \log\left(\frac{1}{4\sqrt{f_w}}\right) = -0.08 + \log\left(\frac{a_b}{k_s}\right) \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 k_s は底部における粗度高さ、 a_b は境界層外縁における波の水粒子の軌道振幅である。

求めた摩擦係数と水粒子の軌道運動方程式の水平成分により、底面摩擦速度を算出し、岩垣式を用いて移動限界粒径を計算した。

(5) 粒度分布の解析結果

図-8に示した吉野川河口のある場所における、粒度分布の解析結果と実測値の比較の結果を図-9から図-11に、各代表値を表-3に示す。この結果から比較的良好な結果が得られた。また、波浪解析は複雑な地形をしている場では再現が乏しいため、右岸の河口砂州付近の粒度分布の再現が異なる結果を得た。しかし、他の地点でもそれなりに良好な結果は得ることができている。

この手法では広域的な波浪場を評価することにより、

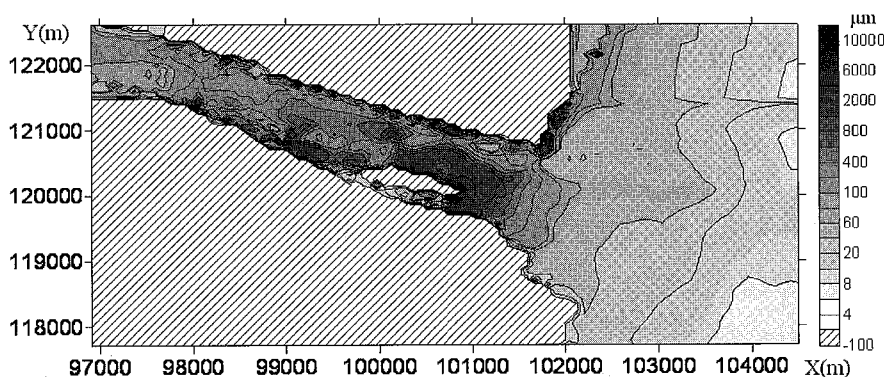


図-12 吉野川河口における解析した中央粒径の分布図

図-12 に示すように広域的な粒度分布特性を評価できる可能性がある。そして粒度分布によって生息状況が左右される底生動物について、広範囲の環境影響評価が可能になると考えられる。

5. ま と め

本研究は干潟河口の広範囲の環境影響評価を目指したものであり、生物の生息モデルの精度の向上と広範囲の生物の環境影響評価を提案した。従来の HSI モデルは因子間の重みを考慮していなかったために疑問視されてきたが、統計的処理を加考慮することで改善した。作成した HSI モデルは粒度指標と底面摩擦速度のみで評価可能であることから、広範囲の評価を行えるように粒度分布の構成メカニズムへアプローチした。

粒度構成は周辺の土砂供給源の影響を受けるが、最も重要なのはその場に作用する波や流れなどの外力の大きさとその頻度である。外海からの波浪の影響が無視できない大河川の河口砂州では河川流や潮汐流以上に平常時の波浪が粒度分布の平衡状態を形成する。そこで、本研究では粒度構成をその場の擾乱だけによって平衡的な粒度分布を評価する手法を提案した。したがって、短期間の粒度変化を表現するには適していない。しかし波浪統計データを用いて評価した所、多くの地点で測定された粒度分布と概ね一致する結果が得られた。また図-12 のように広域的な粒度分布特性を評価できる可能性がある。この技術が確立できれば、底質によって生息環境が大きく作用される底生動物の生息メカニズムについて、広範

囲の環境影響評価が可能になると考えられる。問題点として、信頼性を高めるために波高分布の解析値と実測値の比較をするという課題が残った。これらを改善するとともに、川の流れを考慮することでより精度の高い方法を検討する必要がある。

謝辞：本論文を構成するにあたり、間瀬 肇先生に波浪解析用のプログラムを提供して頂いたほか、徳島県県土整備部都市道路整備局には吉野川河口での粒度分布データを提供して頂いた。また、本研究の一部は科学研究費・基盤研究 (B) 課題番号 17360236 (代表：中野 晋) の補助を得た。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 高山知司・池田直太・平石哲也(1991)：砕波および反射を考慮した波浪変形計算，港湾技術研究所報告，Vol. 30, No. 1, pp. 21-67.
- 間瀬 肇・高山知司・国富将嗣(1999)：三島豊秋：波の回折を考慮した多方向不規則波の変形計算モデルに関する研究，土木学会論文集，No. 628, II -48, pp. 177-187.
- 宇野宏司・中野 晋・古川忠司(2003)：河口干潟および砂州の底質移動に及ぼす潮汐流の効果，河川技術論文集，Vol. 9, pp. 281-286.
- 藤田真人・中野 晋・寺澤直見(2006)：四国全域におけるシオマネキの生息環境評価，海岸工学論文集，第 53 巻，pp. 1126-1130.
- 藤田真人・中野 晋・黒崎ひろみ・安芸浩資(2007)：大河川河口干潟における平衡粒度分布の評価方法，海洋開発論文集，Vol. 23, 印刷中.