

海岸堤防前面における 地形変動と生物生息の予測に関する一考察

ONE CONSIDERATION CONCERNING ABOUT TOPOGRAPHY CHANGE AND HABITAT IN FRONT OF COASTAL EMBANKMENT IN ARIAKE SEA

黒木淳博¹・森本剣太郎²・増田龍哉³・滝川 清⁴

Atsuhiro KUROGI, Kentaro MORIMOTO, Tatsuya MASUDA and Kiyoshi TAKIKAWA

¹正会員 工修 株式会社国土技術コンサルタンツ (〒890-0008 鹿児島市伊敷二丁目14番10号)

²正会員 博(工) 熊本大学 沿岸域環境科学教育研究センター (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

³正会員 熊本大学 沿岸域環境科学教育研究センター (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

⁴フェロー 工博 熊本大学 沿岸域環境科学教育研究センター (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

The natural coastline has been almost replaced by the concrete construct on such as coastal embankment for the land reclamation and disaster prevention in Ariake Sea. The natural habitat for benthos and salt plant had been getting loss; and then the environmental deterioration becoming advanced in Ariake Sea. Agricultural Administration Office promoted the harmony with disaster prevention and environment using embankment and jetty in Tamana Yokoshima coast. In this study, firstly searched the volume of sediment movement at the jetty area by the river and tidal flow and confirm the stability performance in sediment, which the benthos could be alive. And then, modeling the Habitat Suitability Index by using the topography, bottom quality and benthos calculate the habitat environment in the feature.

Key Words : Ariake sea, tidal flat, topography change, habitat suitable index, embankment

1. はじめに

日本を代表する大型閉鎖性内湾である有明海沿岸では、江戸時代以前から農地の拡大を主目的とした干拓が行われ、近年では高潮災害などから内地を防護するためにコンクリート製の護岸が建設されている。しかし、このような海岸線の人工化は干潟を消失させ、自然の持つ浄化機能を衰退させることから、有明海の環境悪化の一つの要因として上げられている。また、1999年に海岸法の改正と共に、地域を護る安全な海岸の整備ばかりでなく、自然と共生する海岸の保全と整備、多様な利用ニーズに対応した海岸の実現など、防護・環境・利用の調和のとれた海岸保全の取り組みの必要性が高まっている。

図-1に示す熊本県玉名市の南西に位置する玉名横島海岸において、高潮や波浪、有明海特有の干満差と軟弱な地盤のため、地盤沈下や老朽化が進んだ堤防の整備にあたり、防護だけではなく海岸の利用や環境にも配慮した海岸の造成を目的とした試験事業が行なわれている。事業内容は、堤防前面において盛砂や突堤を施すことで、従来堤防が有している防護機能に加えて、生物生息機能や親水機能を有する新しい海岸保全施設の整備技術の開発である。

そこで本研究では、生物生息場が創生されるかを

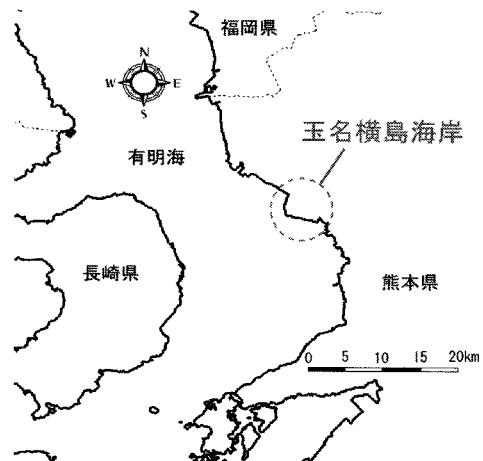


図-1 玉名横島海岸の位置

確認するため、まず、堤防前面の土砂収支の推定を行い生物生息の基質となるべく突堤部に流入する土砂量を算出した。次に、地形、底質、生物データを用いて生物生息モデル(HSI)を作成し、将来の生物生息状況の推定を行い、生物生息場の創生について検証し考察を述べる。

2. 玉名横島海岸の概要と調査内容

(1) 玉名横島海岸の概要

玉名横島海岸は、図-2に示すように熊本県玉名市大開地先に位置する唐人川樋門より、横島干拓地前の堤防を経て、一級河川菊池川河口部に至る10.1kmの堤防で防護された海岸である。堤防の天端高は最大でT.P.+7.0mであり、堤防前面には消波ブロックと押さえ捨石が設置されている高潮防災堤防である。計画高潮位は、前面の堤防部（前面堤防）でT.P.+3.3m、菊池川河口に位置する堤防部（菊池川堤防）でT.P.+3.2mである。設計波浪は、前面堤防で波高3.15m、周期5.68s、菊池川堤防で波高2.64m、周期4.25sと設定されている。海岸前面海域の潮流は、北～北西方向と南東～南西方向の往復流が、平均大潮期の上げ潮・下げ潮最強時に10～30cm/sを示す流況にある。

2002～2005年に実施した盛砂試験の結果をもとに、海岸堤防前面に図中に示す連続した突堤を設置し、漂砂を突堤間に捕らえることにより、生物生息場を創生することを目的とした海岸保全事業が計画された。2006年には造成した5箇所の盛砂試験区を撤去し、2006～2007年に菊池川側の前面堤防に突堤群が造成され、2007～2008年にかけて唐人川側の前面堤防に突堤群が造成される予定となっている。また、海岸の将来像を把握する目的で、2006年に造成された突堤群の一部の区間だけ盛砂を行い「菊池試験区(2006)」とした。盛砂の形状としては、これまでの工法の良い部分を取り入れた形状とした。盛砂に使われた砂は天草市有明町大浦沖合から採取した砂で、中央粒径は0.40mmであった。試験区の追跡調査は盛砂試験と同様に地形、底質、生物調査を行った。

(2) 調査概要

玉名横島海岸では、地形調査、底質調査、生物調査が定期的実施されている。堤防前面海岸の地形変化を把握するため盛砂試験と同時に、図-2に示す海岸の前面にA～Gの7測線を設け、2003年より定期的に地形・底質調査を実施している。A、B測線は菊池川河口に、C、D、E、F測線は前面堤防の前面南西側に、G測線は唐人川の河口に位置している。調査方法は堤防のパラペット天端高を基準点とし、光波測距儀により測点間隔50mで地盤高を測定している。

底質の傾向と安定性を把握するため2003～2005年までの3年間、図-2のA-1～G-3までの22測点で底質調査を実施している。各測線ともに堤防から50mの測点は徒歩により試料を採取し、徒歩で採取が不可能な場所は、船上から直径10cmの鋼管製のドレッジ採泥器により採取している。採取した試料は粒度試験、土粒子密度試験を行っている。

3. 堤防前面海域の土砂収支

(1) 解析手法と領域

盛砂を行っていない突堤間に、将来、砂が堆積し生物生息場が創成されるかは不明である。そこで、突堤間に将来砂が堆積するのかを確かめるため、前面海岸の土砂の移動量を推算した。方法としては栗山^{1),2)}らが白川河口で行った土砂収支の方法を参考とした。土砂収支の式を以下に示す。

$$Q_{Ground} = \alpha Q_{River} \pm Q_{Tide} \pm Q_0 + \beta \quad (1)$$

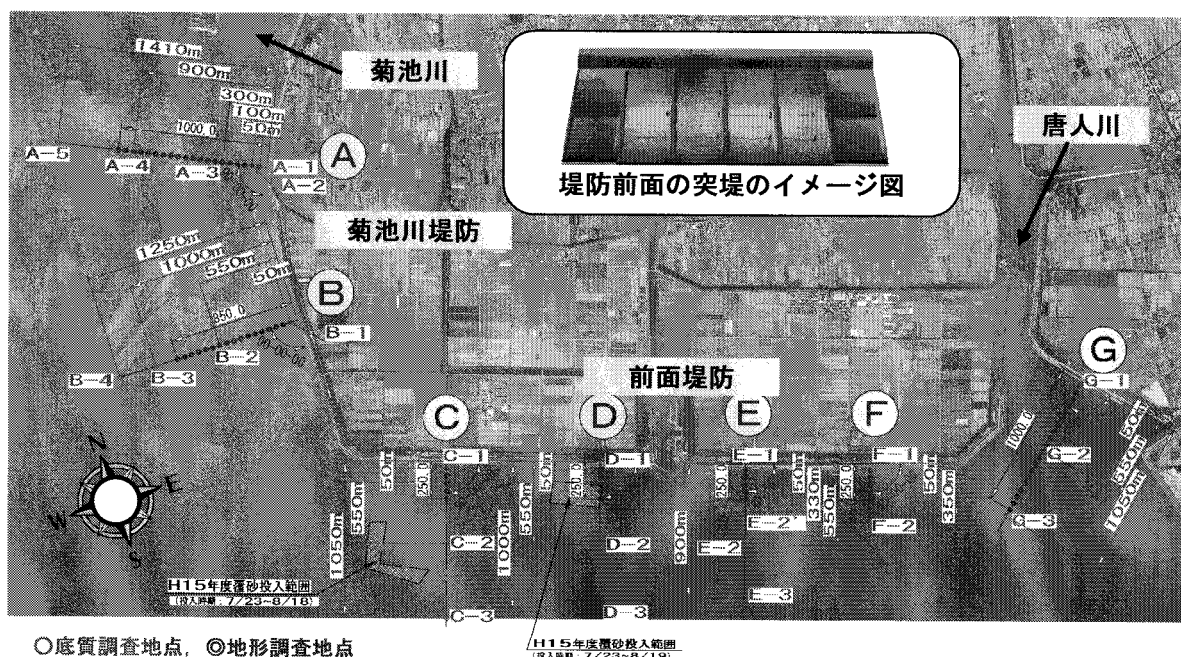


図-2 玉名横島海岸の概要と堤防前面海岸での調査位置

ここで、 Q_{Ground} は地形変化による土砂流出入量、 Q_{River} は菊池川からの流出土砂量、 Q_{Tide} は潮流による土砂流出入量、 Q_0 は河川・潮流以外の土砂流出入量、 α は河川からの解析領域に流れ込む量と河川からの流出量の比、 β は誤差である。栗山らが河川と沿岸漂砂を用いて土砂収支を行ったのに対して、本研究では沿岸漂砂の代わりに潮流を考慮することとした。土砂収支の解析領域を図-3に示す。解析領域は堤防より50～250m沖合で、沿岸方向はC～F測線で囲まれた領域である。

(2) 地形変化と土砂流入量 Q_{Ground}

海岸の地形変化による土砂流出入量については、前面海岸における地形測量の結果を用い、各年における地盤高の変化量より求めた。C 測線における地盤高の経年変化を図-4に示す。2007年9月においては堤防から50m地点で大きな堆積を示しているが、これは2006年からの突堤群の造成により測点上に突堤が造成されたためである。この影響を除去するため、2005～2007年の土砂量を除外し2002～2004年の2年間のデータを用いて年平均変動土砂量を算出した。2005～2007年を除いた年平均変動土砂量を図-5に示す。1年間でC-D間は400m³の侵食、D-E間は5700m³の堆積、E-F間は2900m³の侵食となり、 Q_{Ground} は2400 m³の堆積となり、解析領域に1年間で4mmの土砂が堆積する結果となった。

(3) 菊池川 Q_{River} と潮汐による土砂流入出量 Q_{Tide}

菊池川からの流出土砂量 Q_{River} は、L-Q式³⁾により求めた。

$$L = CQ^n \quad (2)$$

ここで、 L は負荷量であり水質濃度と流量の積で表され、 Q は河川流量、 C 、 n は定数である。流量は河口から10km上流の玉名観測所の流量年表(2001～2006)、 SS は河口から8km上流の高瀬観測所(2000～2007)において月に1回計測された平水時の値を用いた⁴⁾。最大流量のピークは7月(640m³/s)、平均流量のピークも7月(110m³/s)であった。SS濃度のピークは降雨の多い6月(18mg/l)であり、流量の多い7月(10mg/l)は急減し、8月にまた増加するという傾向が見られた。これに菊池川でのSS濃度と流量データから算出したL-Q式を式(3)に示す。

$$L = 18.4Q^{0.81} \quad (3)$$

この式の相関係数は0.69、重相関係数は0.48である。この式に、底質調査より得た土砂密度2.6g/cm³、2001～2006年の菊池川の平均流量を用いると、菊池川から流出する土砂は約4000m³/yearとなった。

潮流による土砂量の移動を算出するため、有明海全域の潮流計算を行い、実測のSS値と掛け合わせることで潮流による土砂の移動量を算出した。対象領域は図-6に示す有明海全体で、この領域を500mに区切った162×102メッシュである。潮流計算は柿木ら⁵⁾を参考とし、基礎式は連続の式とN-S方程式を解いた2次元潮流計算である。解析領域の大潮時、小潮時の潮流を1潮汐分推算し、その1潮汐分の残差流速を求めた。玉名横島海岸周辺の大潮時と小潮時の1潮汐分の残差流速ベクトルを図-7に示す。玉名横島海岸周辺の残差流は小潮時に菊池川近傍で西へと流動する影響が見られたものの大きな違いは見られなかった。潮流計算の結果より、図-3の解析領域における土砂の移動量 Q_{Tide} を算出した。算出式を式(4)に示す。

$$Q_{tide} = \sum \frac{V_n A_n SS_n}{\rho_n} \quad (4)$$

解析領域の沖側の面をL断面とし、 V は残差の潮流速、 A は断面積、 SS はSS濃度、 ρ は土粒子密度を示している。断面積は平均潮位から地盤高を引いた平均水深と測線長との積である。各断面のSS濃度は、末次らが白川河口域で水質調査を行い作成した濁度とSSの変換式、式(5)を用いた⁶⁾。ただし、 T_b は濁度である。

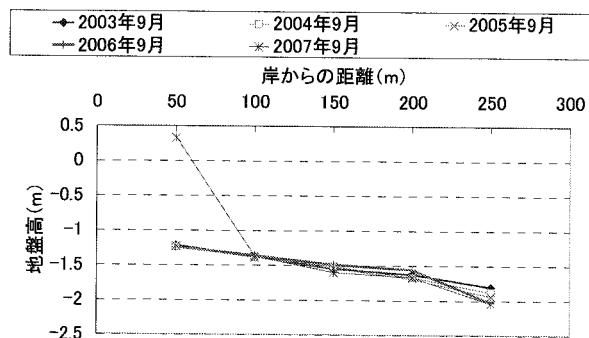


図-4 C測線の経年変動

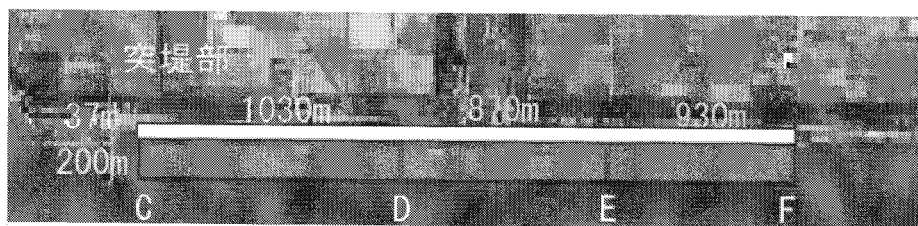


図-3 土砂収支の解析領域

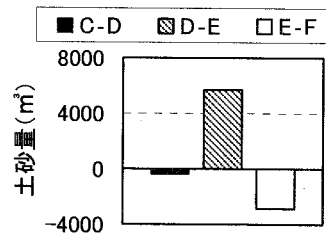


図-5 年平均土砂流出入量

$$SS = 1.17T_b \quad (5)$$

式(4)に代入して、大潮時、中潮時、小潮時の潮流による土砂量を算出した。中潮時の計算方法は大潮と小潮の流速、SS濃度の平均が流れると仮定した。さらに、1年間に大潮4日、中潮6日、小潮4日のセットが26回あるとして、1年あたりの各断面での土砂の移動量を求めた。

(4) 堆積する土砂量

以上より、求めた土砂量を式(1)に代入し $Q_0 + \beta$ を算出した。 α は潮汐計算の結果を参考に0.5とした。結果、解析領域内に河川と潮流以外の要因で約6900 m^3 の土砂が流入することとなり、図-8に示す土砂収支となった。仮に $Q_0 + \beta$ の50%が突堤部由来だとすると、突堤部では1年間に2cm程度の侵食となることになる。ただし、それぞれの方法で出された土砂量に関しても検討すべきところは多い。地形は、4つの測線と突堤部周辺の地形調査から求めた土砂の変動であるため、それぞれの測線間の地形を十分把握しているとは言い難い。河川からの流出は、表-1に示す菊池川と白川の比較を見ると、2つの河川の流路

延長は同じであり、流域面積は菊池川の方が広い⁷⁾。しかし、今回の菊池川より約4000 m^3 の土砂が流出するという結果は、栗山ら^{1),2)}による白川の流出土砂量約79000 m^3 と比較すると過少だと考えられる。ダムの有無によりこの差が生じたとも考えられるが、菊池川水系河川整備基本方針より竜門ダムに堆積している土砂量は1年間に約40000 m^3 であり、仮に白川と同じ土砂量が1年に流れるとした場合でも今回の算出結果と比べると非常に多い⁸⁾。過少評価に至った原因としては、菊池川からの流出土砂量の計算を平水時のSSを用いていることが考えられるが、九州管内の1級河川においてもSSは月に1度観測されているだけであり、SSより土砂量を算出するためには河川の土砂を対象とした調査が別途に必要だと考える。潮流は、有明海の1級河川の影響は考慮してあるものの、2級河川でデータが全くない唐人川の影響が考慮されておらず、暴浪時や季節影響、土砂量の算出についても考慮する必要がある。また、今回は河川と潮流についてはSSから土砂量を算出しているが、その組成については調査されていない。これらの問題点を克服しこのモデルが妥当だと言えるためには、河川や海岸の地形、底質、水質、流況の継続的な調査が必要になると考えられる。

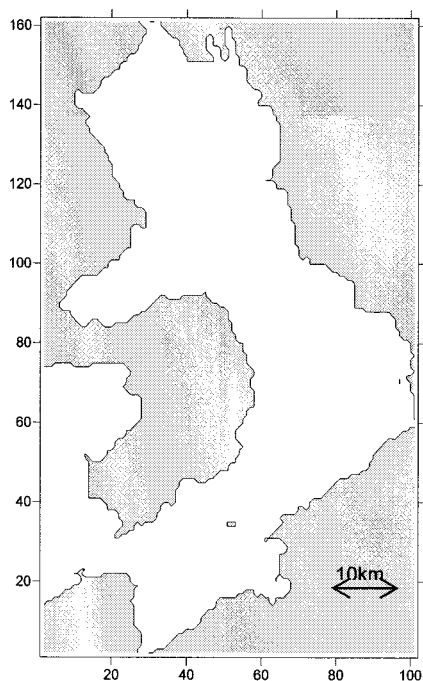


図-6 潮流計算の解析領域
(単位:メッシュ, 1メッシュ=500m)

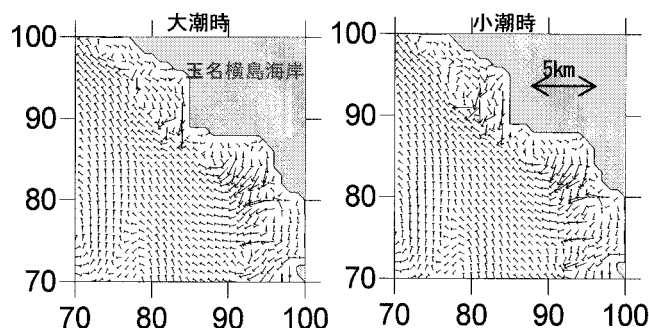


図-7 玉名横島海岸周辺の大潮時と小潮時の残差流速の分布

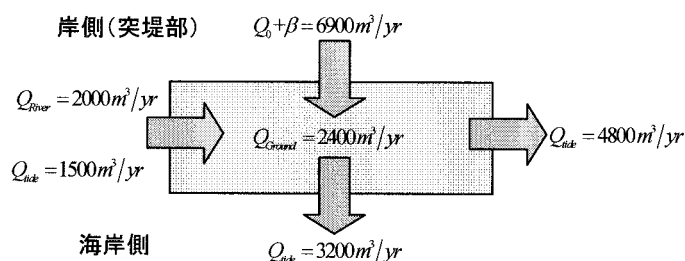


図-8 解析BOXにおける土砂収支
(Q_0 : 岸側(突堤部)から流入, β : その他の要因及び誤差量)

表-1 菊池川と白川の比較

	菊池川	白川
流路延長(km)	71	74
流域面積(km ²)	996	480
人口(万人)	21	76

4. 生物生息場の評価

(1) 生物の定着状況

盛砂試験区の生物変動の例として菊池試験区(2002)、唐人試験区(2003)の生物個体数の変化を図-9に示す。菊池試験区では、造成後1年間は生物種数5~6種、生物個体数100個体/㎡前後であったが、1年後には急激に増加し、種数15~25種、個体数1000個体/㎡前後まで増加し安定した。唐人試験区では、造成直後は生物種数1~2種、個体数20個体/㎡前後であったが、造成約1年後より増加し始め、2年後には生物種が5~6種、個体数120~140 個体/㎡まで増加している。

(2) 評価対象の選定

突堤間に将来砂が堆積した時に生物がどれだけ生息するかを予測するために、定量的な生態系評価手法である HSI(Habitat Suitability Index)⁹⁾を用いた。HSI による評価対象として生物生息場の造成効果が分かり易い1種の単体種、ある程度の種類ごとの門(グループ)、造成後の大まかな個体数の把握としての全種について検討を行うこととした。具体的に、継続的に調査で確認されているアサリを単体種、門(グループ)は節足動物全体の個体数を作成した。

(3) SI・HSI の作成

アサリのHSIについて幾つか提案^{10),11)}されているが、決定的なモデルは確立されていない。本研究で使用するSIは、中央粒径、泥分率、強熱減量、ORPと地盤高とし、2002~2005年に行われた盛砂試験の

生物調査結果から最適値を考慮して作成した。SIの結合方法としては、アサリに関する2つのモデル^{10),11)}を参考とし底質項目や地盤高を用い、既往研究^{12),13)}で実績の高い限定要因法で結合した。本来、HSIは、生物種それぞれに対し繁殖、餌食、致死、基質、活動などの生態史を十分考慮し、適切に結合する。しかし、産卵数が多く生育数が低い、さらに発育はより低いと考えられる干潟の生物については、説明変数のSIと結合は簡略したモデルで補うことができると思え、環境因子の中で最も支配する因子が任意生物の生息場を決定する限定要因法を適用した。

$$HSI = \text{Min}(\text{中央粒径SI, 泥分率SI, 強熱減量SI, ORP SI, 地盤高SI,}) \quad (6)$$

作成したHSIの決定係数は0.09と非常に低いものとなった。この原因として、従来のHSIはある程度環境が成熟し変動が少ない場所に適用されるものに対し、盛砂をしてからの月日が短く環境が依然として不安定であり、生物の着底と生長までに至っていないデータが含まれるからであると考えられる。図-9に示すとおり菊池(2002)、唐人(2003)試験区の生物個体数は造成1年後より増加しており、これらの生物調査結果を考慮して1年後以降のデータを用いてSI・HSIを作成し直した。作成し直したHSIを図-10に示す。決定係数は0.30と以前よりは上がったものの、一般的にHSIが目指す決定係数0.6~0.8には及ばない結果となった。この結果からアサリの生息に影響を与える別の環境因子の存在、調査箇所の増大、調査精度の強化などが必要と考えられる。

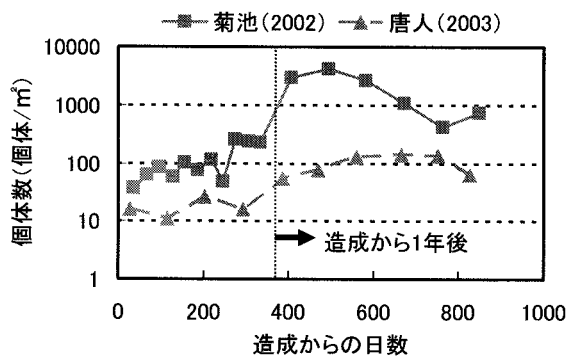


図-9 造成後からの生物個体数の変化

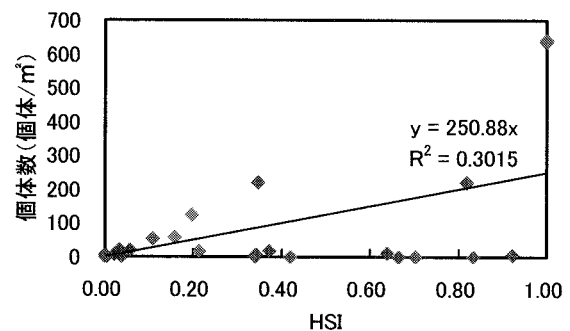


図-10 アサリのHSI

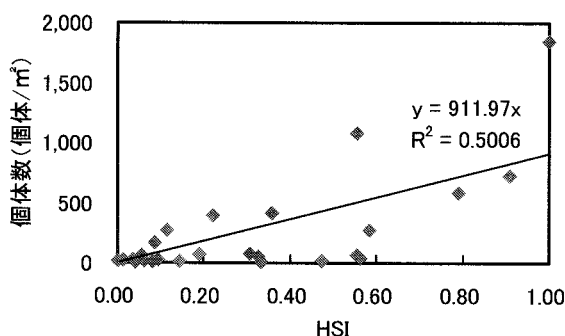


図-11 節足動物のHSI

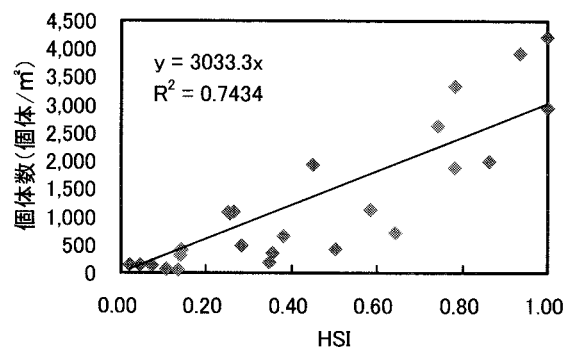


図-12 全個体数のHSI

節足動物全体の個体数のHSIを図-11に示す。データは1年以降のものを扱い、SI・HSIはアサリと同様に作成した。節足動物のHSIの決定係数は0.50となり、一般的な目安には及ばないもののアサリよりは精度の良いモデルとなった。カニなどの甲殻類は他の底生生物より移動範囲が大きいため定量調査では捕らえにくい場合が多く、HSIの精度を上げるためには上記をクリアにしていく必要がある。全個体数に対するHSIを図-12に示す。データは1年以降のものを扱い、SI・HSIはアサリと同様に作成した。全個体数に対するHSIの決定係数は0.74となり、一般的な決定係数の目安と同じ水準になった。

(4) 将来予測

作成したHSIの中から比較的決定係数のよい全個体数のHSIを用い、HSIより得られた回帰式に将来の底質項目のSI値を入れ、将来突堤間に砂が堆積した場合の生物個体数の推定を行った。前章で地形は堆積傾向にあることを示したが、底質の推定は難しい。そこで、砂が堆積していくうちにその場の底質は盛砂試験区とほぼ同様の底質であろうと仮定した。

全個体数のHSIにより推定すると956個体/m²出現する結果となった。押え捨石部は、捨石の粒径が大きく付着性の生物以外にとっては生息しにくい環境であるが、盛砂試験区と同様な砂が堆積した場合、アサリやコメツキガニ等の巣穴を掘って生息する生物の生息場も形成され、より多くの種類の生物が生息できる環境になると考えられる。また、2006年10月に菊池(2006)試験区の調査と同時期に、突堤部より20m沖合の自然干潟で行われた生物調査の結果の855個体/m²と比較すると、ほぼ同じ個体数が生息することとなった。このことより、押え捨石部に突堤を設置することで、突堤部においても多様な生物が生息する環境が創生されたと考えられる。しかし、実際には盛砂試験区に用いられた覆砂材と現地の砂とでは、粒径に隔たりがあるため予測と同様に生物が増加するかは疑問が残る。今後は突堤部や周辺の干潟を含めた底質、生物、地盤高などのモニタリングを行い、データを蓄積し、現状海岸に即した形へとHSIを改良する必要があると考えられる。

5. 最後に

本研究は、有明海干潟の防災堤防前面において地形変化と生物生息の2面から考察を行った。地形変化は、実測地形、河川流入、潮流を考慮し簡単な収支式により求めたが、最終的な収支量が適当であるとはいえない。もちろん、干潟地形の予測は、研究当初より困難であろうことは予見できたが、今後も研究を続け明らかにする予定である。また、HSIはHEP(Habitat Evaluation Procedure)の一部(質)であって、HEPの特徴である空間や時間について算出することができる。今後は、質的なHSIのみに留ま

らずHEPまで拡張したモデルを作成し、量的表現や将来の予測までの幅広い用途が期待できると考える。

また、本研究で使用したデータは、綿密な調査から得たものでなく、一般的な事業に対して行われているモニタリング調査の結果を流用しており、本研究で分析した手法・内容に対し、データ不足は否めない。しかし、昨今の順応的管理型を目指した事業が推進されるように、より積極的なモニタリングや事業へのフィードバックを目指す必要を痛感した。事業の包括的目標を大前提に据え置き、個別の設計基準に対し適切なモニタリングを実施し、得た結果に合わせて個別および総合的見地より判断するサイクルに期待したい。

謝辞：本稿をまとめるに当たり、数多くのデータ等を提供して戴きました農林水産省玉名横島海岸保全事務所に、ここに記し謝意を表わす。

参考文献

- 1) 栗山 善昭, 滝川清, 榎園光廣, 野村茂, 橋本孝治, 柴田貴徳: 熊本白河河口干潟における土砂収支の検討, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.556-560, 2003.
- 2) 港湾空港技術研究所: 熊本県白河河口干潟における土砂収支, 港湾空港技術研究所資料, No.1074, 2004.
- 3) 山本 浩一, 二村貴幸, 坂野章, 日下部隆昭, 末次忠司, 横山勝英: 濁土計による懸濁態栄養塩負荷推定に関する研究, 河川技術論文集, 第9巻, pp.515-520, 2003.
- 4) 国土交通省: 水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp/>
- 5) 柿木哲哉, 滝川 清, 山田文彦, 西山大輔: 熊本県沿岸海域における潮流場・拡散場への河川流入の影響, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.636-640, 2001.
- 6) 国土技術政策総合研究所: 沖積河川の河口域における土砂動態と地形・底質変化に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, No.32, 169p, 2002.
- 7) 国土交通省河川局: 菊池川水系河川整備基本方針土砂管理に関する資料(案), 14p, 2007.
- 8) 国土交通省九州地方整備局: 各河川に関する詳細資料, <http://www.qsr.mlit.go.jp/n-shiryo/kasen-graf/qsdm94.htm>
- 9) 田中 章: HEP入門, 朝倉書店, 257p, 2006.
- 10) 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正評価モデル, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.1111-1115, 2000.
- 11) 村上和男, 田中 章, 久喜伸晃, 林永悟, 明瀬一行, 宮本由朗, 市村 康: HSIモデルの構築と干潟の生物生息環境評価, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.1146-1150, 2005.
- 12) 倉原義之介, 森本剣太郎, 滝川 清, 増田龍哉: 人工潟湖干潟「野鳥の池」における生物生息環境の変遷とHEPモデルの導入, 海洋開発論文集, Vol23, pp.482-488, 2007.
- 13) 倉原義之介, 森本剣太郎, 増田龍哉, 鍾ヶ江潤也, 古川恵太, 滝川 清: 干潟環境再生に向けた生物生息環境評価モデルの活用に関する検討, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.1401-1405, 2007.