有明海における「なぎさ線の回復」効果の予測手法に関する研究

Prediction Method on “Recovery of Shoreline” effect in Ariake Bay

増田龍哉¹・倉原義之介²・五十嵐 学³・五明美智男⁴・滝川 清⁵・森本剣太郎⁶

Tatsuya MASUDA, Yoshinosuke KURAHARA, Manabu IGARASHI, Michio GOMYO
Kiyoshi TAKIKAWA and Kentaro MORIMOTO

Tidal flats in Ariake Bay were reclaimed from pre-Edo era to the post-WWII food shortage period for the main purpose of increasing farmland. In the process, high banks were constructed to protect farmland existing around the supratidal zone (shoreline). This, however, has led to the loss of waterfront or coastlines, as well as the ecosystem innate to the tidal flats, including the habitat of benthos and saltwater plants. This is thought to be one of the factors of the environmental deterioration of Ariake Bay. In this study, the prediction method of the benthos species and the biomass when the shoreline was artificially recovered was examined.

1. はじめに

有明海は我国の干潟総面積の約40%に及ぶ広大な干潟が発達した大型閉鎖性内湾であるが、近年、貧酸素水塊の発生等の環境悪化に伴う諸現象が慢性化し、悪循環に陥っているものと懸念されている。その原因は地球温暖化や負荷の蓄積等様々な事象が考えられるが、沿岸域の開発や海岸線の人工化等による、本来水辺や海岸線に存在する潮上帯から潮下帯までの連続した地形の場所（以下なぎさ線）の減少も原因の一つとして挙げられる。特に、有明海の湾奥から熊本市南部を流れる緑川河口に至る有明海東海岸は、古くから干拓等が行なわれることでなぎさ線が消失しており、海岸堤防の前面には勾配のほとんど無い平坦な干潟が広がっているにすぎない。

なぎさ線は多種多様な生物の生息・生育の場として機能しており、そういった生物活動の下、食物連鎖を通じた物質循環がバランス良く効率的に行なわれることで高い浄化機能を有している。そういったことから、なぎさ線を回復することは、有明海の海域環境を再生する上で重要な役割を担うと考えられる。

著者らは、有明海の干潟海域環境を回復・保全するために、なぎさ線を人工的に造成し、干潟生態系が有している自己再生機能（浄化機能）を回復（復元）させる「なぎさ線の回復」という対策工法の現地実証試験を行

なっている（滝川ら、2006）。これまでに、生物多様性を復元する手法としての有効性は確認されているが（増田ら、2007、2008）、「なぎさ線の回復」を有明海の様々な場所で適用していく場合、事前にその効果や維持管理のタイミング等を予測・評価する必要がある。

本研究では、人工なぎさ線の創成による生息生物種および生物量の予測手法を考案・検証するとともに、その手法を用いて生物の生息基盤となる覆砂材の粒度組成や地盤高を変化させるといった構造の検討を行なった。

2. 「なぎさ線の回復」効果の予測モデル構築と検証

「なぎさ線の回復」のように、干潟や藻場、サンゴ礁等、過去に失われた自然を再生しようとする取り組みは活発化しており、島多ら（2005）や古川・Wallace（2006）等によって、予測・評価手法に関する検討も多くなされてきている。本研究では、「なぎさ線の回復」効果を事前に予測するために、倉原ら（2007）の手法を基に、有明海においてなぎさ線が残っている自然干潟を調査し、

図-1 調査対象地位置図

1 正会員	博(工)	熊本大学特任助教 大学院先導機構
2	修(工)	東亜建設工業(株)
3 正会員	修(工)	熊本大学研究員 沿岸域環境科学教育研究センター
4 フェロー	博(工)	熊本大学客員教授 沿岸域環境科学教育研究センター
5 フェロー	工博	熊本大学教授 沿岸域環境科学教育研究センター
6 正会員	博(工)	国土交通省国土技術政策総合研究所研究官 沿岸海洋研究部

その結果を用いて HSI (Habitat Suitability Index) を構築した。また、2005 年に造成された熊本港東なぎさ線のモニタリング結果により、その精度を検証した。調査を行った自然干潟、熊本港東なぎさ線の位置を図-1 に示し、以下に概要を示す。

(1) 自然干潟調査の概要

調査を行った自然干潟（以下、比較干潟）は、潮下帯から高潮帯まで地形を有する、熊本県熊本市の白川河口、宇土市の住吉および長崎県島原市の水無川河口の干潟を選定し、2008 年 9～10 月の大潮干潮時に調査を行った。

表-1 に自然干潟における調査内容、表-2 に調査地点数および地形調査範囲、図-2 に各比較干潟および東なぎさ線の地盤高、含泥率の範囲を示す。実施した調査は地形調査、底質調査（表層 5cm、分析項目：粒度組成、CODsed、硫化物、含水率、全窒素）および生物調査である。生物調査では、25cm×25cm のコドラート枠を用いて 2 回/地点採泥し、篩に残った生物を計測する定量調査のほか、移動性が高く捕獲が困難な生物の把握を目的に 5m×5m 区域の目視観測を行った。また、調査地点は、生物の生息範囲を明確にするため面的に設定し、各干潟で岸沖方向に縦 140～200m、横 30～50m の範囲を 10m 間隔で 60～70 地点調査した。

(2) 熊本港東なぎさ線の概要

東なぎさ線は 2005 年 10 月に熊本港東部の石積護岸前面に造成された人工なぎさ線である。造成前は、中央粒径が約 0.06mm の泥質干潟が広がっていた場所に、中央粒径で約 0.79mm の海砂を用いて造成された。横幅約 100m×中央部奥行約 100m、勾配約 1/30 で曲線形に設計されており、覆砂の流出を防ぐため、潮上帯付近に突堤が 2 本設置されているほか、潜堤は自然干潟との連続性を保持するために千鳥状に配置されている。また、中央部には生物の生息環境に多様性を持たせるための島堤が 3 つ設置されている（図-3）。この人工なぎさ線では、前に述べた比較干潟と同様の調査が、造成前から定期的に行われている。

(3) 予測モデルの構築と検証

比較干潟調査において確認された生物は 37 種である。このうち、出現頻度の高いヤマトオサガニ、チゴガニ、コメツキガニ、ハクセンシオマネキ、ヒメアシハラガニ、クチバガイ、テリザクラガイ、ソトオリガイの 8 種を評価種として HSI モデルの構築を行った。なお、移動性の高いカニ類 4 種は、定量調査では捕獲できない可能性が高いため目視観測の結果を用い、二枚貝 3 種は定量調査の結果を用いた。

干潟は干出と冠水を繰り返す、地圏、水圏、気圏が複雑に絡み合いその環境を構築している。このため、底生生物の生息に影響を与える環境要因は多岐に渡り、生息を決定

付ける因子については未だに解明されていない部分が多く存在する。しかしながら、一般的に干潟は底質の粒度組成によって大きく特徴付けられ、その中で地盤の高さに従って、岸沖方向へ帯状に異なった生物相が形成されることが一般的に知られている。そこで、人工なぎさ線の構造検討が目的であることも含め、できる限り単純にモデルの構築を行うことを目指して、多くの底生生物に共通して生息条件となる地盤高、含泥率、含水率、CODsed を環境要因として選定し、モデルの構築を行った。

図-4 にコメツキガニについて、各環境要因に対する生息個体の分布から構築した SI モデルを示す。コメツキガニは、比較的地盤の高い砂質の干潟に生息するのが知られている。このような既存の知見と過去の調査結果を踏まえて構築を行った。含泥率では 40% 程度までを適性域と判断し含泥率の SI モデルを決定した。また、CODsed や含水率に関しては、各干潟で生息個体数の多い範囲が概ね一致しているが、地盤高に関しては、白川・水無川

表-1 自然干潟調査内容

調査内容	調査項目
生物調査	定量調査、目視観測
底質調査	粒度組成、CODsed、硫化物、含水率、全窒素
地形調査	トランシットによる測量（10m メッシュ）

表-2 調査地点数および地形調査範囲

調査干潟	生物調査		底質調査	地形調査
	定量	目視		
白川河口	70 地点	270 区域	70 地点	140m×50m
水無川河口	54 地点	216 区域	54 地点	180m×30m
住吉	62 地点	246 区域	62 地点	205m×30m
東なぎさ線	154 地点	165 区域	48 地点	110m×130m

図-2 調査対象地の地盤高・含泥率範囲

図-3 熊本港東なぎさ線の概況

はT.P.+1.0m前後で最大の個体数が観測されているのに対して、住吉ではT.P.+2.0m前後で最大の個体数が観測されている。このような傾向は、チゴガニ、ハクセンシオマネキ等でも見られた。今回の調査では、平均潮位より上側の比較的地盤の高い地点を集中して調べているため、変化の範囲が狭いこともあるが、これらの底生生物が地盤高よりも底質の性状により強い影響を受けていることが考えられる。そこで、地盤高の適性範囲についてはデータから読み取れる適性範囲より大きくとることにした。なお、他の種についても同様に検討し、SIモデルを構築した。

SIの結合には「最も適正の低い環境要因が制限的に影響を与える」という考えから式(1)の限定要因法を用いた。

$$HSI = \min(SI_{\text{地盤高}}, SI_{\text{含泥率}}, SI_{\text{含水率}}, SI_{\text{CODsed}}) \dots\dots\dots (1)$$

作成したHSIモデルを、2008年の5月に行った東なぎさ線の調査結果を用いて、精度の検証を行った。図-5にコメツキガニ、ヤマトオサガニの2種について、環境要因から算出されたHSI値と調査で実際に確認された個体数の分布、およびその相関を示した。この結果より、実測で個体数が確認された範囲は、HSI値0.3以上の範囲内に概ね入り、一定の精度で評価を行えていることが示唆された。しかしながら、実際の生息範囲はHSIモデルによって適性と評価された範囲に比べて全体に少なく、個体数の面でも比較干潟と比べると少なかった。この理由としては、①東なぎさ線は造成後3年しかたっており、地形的にまだ安定していないため、生物の定着段階であることや、②東なぎさ線は覆砂をして造成されたため、

周辺地形に比べて勾配が急であり、波浪や潮汐の影響を強く受けていることから生物の生息が阻害されていること等が考えられる。実際、東なぎさ線の生物は種数・個体数ともに増加しており、今回予測されたが2008年5月の段階で定着していなかった場所に生物が確認され始めていることから、今後の調査結果を踏まえた検証が必要であると考えられる。同様に他の甲殻類に関しては、実測値と予測値が比較的一致した結果が得られた。一方で二枚貝では、HSIの予測に対して、実際の生息範囲が狭く相関も低い結果となった。この理由は、移動能力が高い甲殻類に比べ、二枚貝のそれは低く、生息適地を選択する際に不利となり、造成後の定着に時間がかかるためと考えられる。

以上のことを踏まえ、今回構築したモデルはある程度の精度で定着する生物生息を再現できると判断し、構造の検討を行なった。

図-4 コメツキガニのSIモデル

図-5 コメツキガニ・ヤマトオサガニのHSI値・実測値分布と相関

3. 人工なぎさ線の構造検討

前章で構築したHSIモデルにより、東なぎさ線の造成直後に実施した地形および底質粒度組成の調査結果を初期設計案（以下、初期案）として仮定し、初期案の環境に対して、生息場の適性を評価した。

(1) 環境要因の推定

生物の生息を支配する環境要因のうち、CODsedと含水率に関しては直接の設計ができない項目であるが、これらの2つの項目は周辺海域の水質、干出時間および底質の粒度組成に大きく依存するため、流入負荷が同程度の狭い範囲では地盤高と含泥率から推定することが可能であると考えられる。そこで、東なぎさ線の2008年5月の調査結果を基に重回帰分析を行い、式(2)、(3)の回帰式からCODsedと含水率を推定した。推定の精度を示す重相関係数はCODsedが0.86、含水率が0.93である。

$$CODsed = \text{含泥率} \times 0.247 + \text{地盤高} \times (-0.657) - 4.498 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{含水率} = \text{含泥率} \times 0.392 + \text{地盤高} \times (-5.148) + 9.438 \quad \dots\dots\dots (3)$$

(2) 初期案による生息生物予測

造成前後における評価種の種数分布を図-6に示す。これより、東なぎさ線を造成する前は、一様な泥質の干潟域にヤマトオサガニのみが生息するのに対して、東なぎさ線を造成することにより、多くの評価種の生息域が形成されることが予測された。しかし、2つの突堤に挟まれた地盤の高い範囲（東なぎさ線上部「y=0～40m」）には今回指標に用いた生物の生息がないと予測された。実際に、これまでに行われた東なぎさ線の経過調査を見ても、東なぎさ線上部では生物の生息が確認されていない。

東なぎさ線上部において、評価種は含水率に対する適性のみが低いことから、含水率がその生息を阻害している要因と考えられ、本試行における指標種の生息条件は、底質中の含水率に影響を受けていることが伺える。以上のことから、東なぎさ線上部は地盤が高く、かつ底質の粒径が大きく保水力がほとんどないため、底生生物の生息場に適さずに種の加入が妨げられていたと考えられる。

以上の結果を踏まえて、評価種のハビタットを東なぎさ線上部に広げることを目的に、次に示す2つの改良案を提案し、再評価を行った。

(3) 改良案の設定と生息生物予測

前述した理由から、「改良①：勾配を半分にし、干出時間を短くする.」、「改良②：造成に用いた海砂に含泥率100%の泥土を、海砂：泥土＝1：3の割合で混入させ、地盤の保水力増加を期待する.」という検討を行なった。

図-6 造成前後における評価種の種数分布

図-7 構造の変化によるTHUの比較

図-7に初期案と改良案2つにより算出したTHU (Total Habitat Unit) 値、図-8にコメツキガニとチゴガニについてそれぞれの案のHSI値の分布を示す。なお、THUとは評価種のHSIにその環境を有する面積を乗じた、評価対象区域のHU (Habitat Unit) の総和である。図より、改良①では、初期の設計案と比較して、生物の生息が見られなかったなぎさ線上部にコメツキガニの生息域が広がり、同様に評価種全体でハビタットが増加したと考えられる。一方、改良②では、砂質を好むコメツキガニの生息域が泥質を好むチゴガニの生息域に置き換わったこと等により、コメツキガニのハビタットが減少し、チゴガニのハビタットが増加すると予測された。評価種全体では、ハビタットの減少する種が多いように見えるが、泥分が増加した場合には、新たに、アリアケガニやシオマネキといった地盤の高い泥質干潟に生息する種の加入が期待されるため、改良②の評価は十分でなく、評価種を増やした上で再評価を行なう必要がある。

以上の結果から、現状の様な砂質の状態で作成を行う場合には、勾配を緩くし、地盤を下げることで、全体の生息域を増やすことができると考えられる。ただし今回の検討では、単純に造成干潟の地盤高、底質粒度に代表される構造を変化させて造成効果を予測したが、構造を変化させる際には、東なぎさ線全体での保水量と周辺の潮流変化等周辺環境への影響も考慮に入れる必要がある。また、本研究では「質」と「空間」までの評価にとどまったが、本手法は「時間」まで含めた評価が可能である。構造の違いによる地形の安定性から、侵食による

図-8 コメツギガニ・チゴガニの構造変化によるHSI値の分布

時間的な生物生息環境の変化を含めた評価が行えると、更に意味のある評価につながると思われる。

4. おわりに

本研究では、有明海の干潟海域環境を回復・保全するために行なっている「なぎさ線の回復」という対策工法を有明海の様々な場所で適用していく際に、事前にその効果や維持管理のタイミング等を予測・評価する手法を考案・検証するとともに、その手法を用いて構造の検討を行なった。

今回構築したモデルにより、人工なぎさ線の構造を変化させた場合の生息生物種および生物量の予測が可能であることが示された。しかし、今回の研究のように単に手法（構造）の検討を行うだけでは、HEPを応用した真の狙いが達成できていない。また、底生生物の浄化能力等、客観的な干潟生物の重要性が明らかになることで、再生事業の価値が評価される。さらに、その評価の結果を公開し合意形成を得るためのシステムを作ることも重要であると考えられる。十分に検討を重ねて再生事業を行った場合でも、自然環境を完全に予測・評価することは難しい。実際の事業では、自然環境の不確実性を踏まえたうえで、事業後にもモニタリングや再生された環境の維持管理が順応的に行われていく必要がある。HEPを用いた評価は、このような順応的管理においてもその指針として有効に働くと考えられる。

今後は生物の定着時期や地形の侵食等の影響を考慮し、時間的な生物生息環境の変化や維持管理の必要性、地盤沈下や波浪等の外力による強度検証を含めた評価を行なっていく予定である。

謝辞：本研究は、文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型研究等の推進「有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験」の補助によるものであり記して謝意を表します。

参考文献

- 磯部雅彦（1998）：ミティゲーションの調査分析と沿岸域管理の枠組の提案，海岸工学論文集，第45巻，pp. 1236-1240.
- 倉原義之介・森本剣太郎・増田龍哉・鐘ヶ江潤也・古川恵太・滝川 清（2007）：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.
- 島多義彦・西村 修・野村宗弘・中村由行・木村賢史・市村康・袋 昭太（2005）：干潟・浅場におけるマクロベントスの種多様性予測・評価手法の開発，海岸工学論文集，第52巻，pp. 1166-1170.
- 滝川 清・増田龍哉・森本剣太郎・松本安弥・大久保貴仁（2006）：有明海における干潟海域環境の回復・維持に向けた対策工法の実証試験，海岸工学論文集，第53巻，pp. 1206-1210.
- 田中 章（2006）：HEP入門，朝倉書店，266p
- 古川恵太・Stephanie WALLACE（2006）：生息場適性指標（HSI）による沿岸域の総合的環境評価の試行，海洋開発論文集，Vol.22，pp.229-234.
- 増田龍哉・滝川 清・森本剣太郎・前田恭子・柏原裕彦・島田康光（2007）：有明海熊本港周辺における「なぎさ線の回復」現地試験による生態系構築過程に関する研究，海洋開発論文集，Vol.23，pp.525-530.
- 増田龍哉・滝川 清・森本剣太郎・畑田紀和・新井雅士（2008）：熊本港に造成された「なぎさ線」における生物生息環境の空間分布特性，海洋開発論文集，Vol.24，pp.717-722.