

波が造りし生態系：砂浜における生物の生息適地評価

渡邊国広* 諏訪義雄**

1. はじめに

「カメと人間、どっちが大事なんじゃ!!」。これは、ウミガメの研究をしてきた筆者が幾度となく浴びせられてきた言葉である。海岸堤防は背後地の防災のためには不可欠な施設だが、産卵に来たウミガメには邪魔でしかない(写真-1)。砂浜には他の環境では生息できない生物が多いうえ、ウミガメや仔稚魚のように一時的に利用する生物も多く、地域の生物多様性を維持するには、このような悪影響は極力避けなければならない。

しかし実際には、海岸における防護と環境はトレードオフ関係にあることが多い。複数の事業案を環境変化の予測結果とあわせて提示したうえで、地域住民と合意形成をはかっていくプロセスが重要になる。筆者はそのためのツールとして、誰にでも理解しやすい式で砂浜の環境変化を予測する手法の開発に取り組み始めたところである。

砂浜が他の場と最も異なる点は、波の存在であり、波浪に応じた生物分布を表現できることが予測精度向上の鍵となる。そこで、本稿ではまず、砂浜における生物分布の特徴を波による影響の視点から概説する。次に、開放性砂浜である宮城県仙台湾南部海岸で開発した、砕波帯を考慮した生物の生息適地評価モデルについて紹介する。



写真-1 徳島県蒲生田（かもだ）海岸におけるアカウミガメの足跡（堤防に沿って伸びる線が足跡）

2. 波浪に支配される砂浜の生物分布

2.1 海から陸へ向けての帯状分布

沖から押し寄せる波は、ある程度水深が浅くなった地点で砕波すると、段波状となって進行したのち、浜にうちあげる。こうした方向性をもった外力により、砂浜には陸から海へ向けての断面で顕著な環境の差異が形成され、生物分布は帯状となっている(図-1)。

このような分布は、浜幅30m程の狭い空間の中でも明瞭にあらわれるため、陸上部分については工事にあたって配慮されやすい。しかし、目に見えない海中部分については、シラス漁やハマグリ漁などの漁業活動が営まれている海域でない限り、注意が払われない場合が多い。本稿では以下、



写真-2 静穏な香川県直島琴反地（ごたんど）海岸



写真-3 開放性砂浜における調査（仙台湾南部海岸）

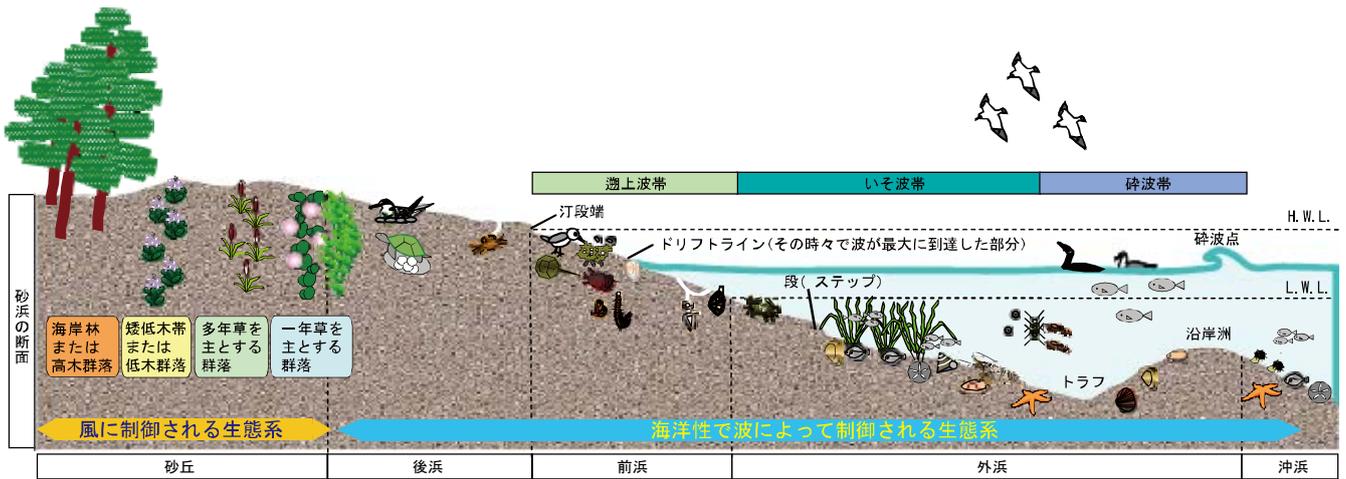


図-1 一般的な砂浜海岸の模式図

海中部分に絞って述べる。

2.2 砕波点を境界とした生物分布の違い

砂浜周辺の水深10m以浅における生物の分布状況は、湾や入り江の中に位置する比較的静穏な砂浜と、外洋からの波浪が直接入ってくる開放性の砂浜では様相が大きく異なる（写真-2,写真-3）。前者では、波浪はごく汀線際で砕ける程度であるため、海中の環境は沖から岸に向かってほぼ連続的に変化する。後者では、波が汀線から遠く離れたところで砕けることで、砕波点から汀線の間に

広大な砕波帯・いそ波帯が形成されるため、砕波点を境に海中環境が不連続的となる（写真-3）。

平成21年の1～2月に仙台湾南部海岸で実施した調査では、水深6m以浅に着目した場合、砕波点に相当する水深1～2mを境界に出現状況に明瞭な違いが見られる傾向が、多くの生物種で共通していた。例えば、コクボフクロアミは2m以深ではほとんど採取されず、逆にキュウシュウナミノコは2m以深でないとは採取されていない（写真-4, 図-2）²⁾。一方で、波浪が比較的静穏な兵庫県東播海岸で平成19年12月に実施した調査では、分布境界となる水深は生物種間で一致しなかった（図-3）。

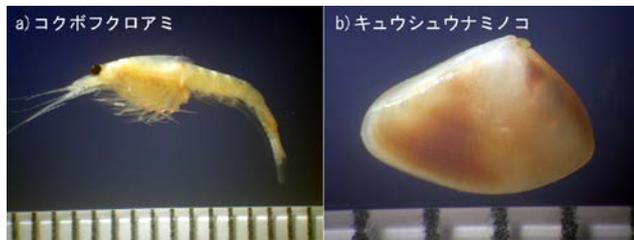


写真-4 コクボフクロアミとキュウシュウナミノコ

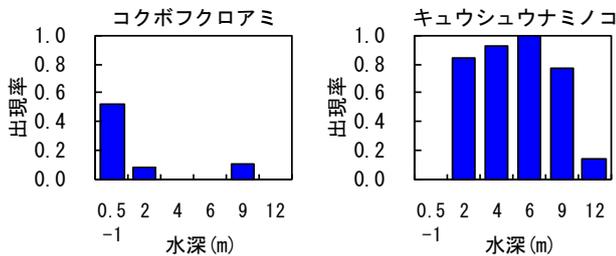


図-2 仙台湾南部海岸における水深別の生物出現率

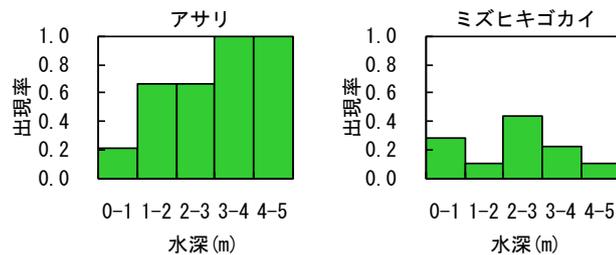


図-3 東播海岸における水深別の生物出現率

このように、砕波帯が形成される開放性砂浜では、個別の環境因子よりも砕波点との位置関係の方が制約となる。この傾向は、動き回る範囲が比較的狭い底生生物において特に顕著にあらわれる。

3. 砂浜海岸における生物生息適地評価

3.1 HEPによる生物生息適地評価

海岸保全事業が海浜生物に及ぼす影響を予測するには、注目生物にとってどのような場が適しているかを定量的に評価できる必要がある。

閉鎖性水域や内湾性の海岸においては生物生息適地評価手法としてHEP (Habitat Evaluation Procedure) がアサリやアマモなどを対象として既に利用されている。これは、底質の粒径や底面摩擦速度などの環境因子と各生物の生息数等の関係をもとに、生息地としての適性を総合的に評価する手法である。しかし、大規模な砕波帯が形成される開放性砂浜では、前述のように個別の環境

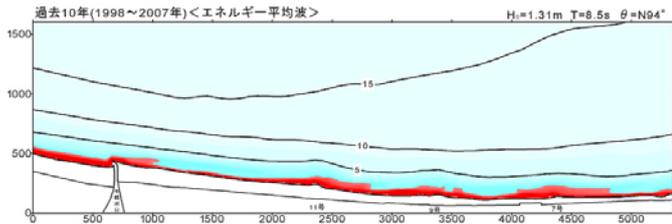


図-4 仙台湾南部海岸における碎波帯の抽出結果
(赤で示した範囲が碎波帯・いそ波帯)

因子よりも碎波点との位置関係のほうが強い制約となるため、碎波帯の存在を考慮する必要がある。そこで、仙台湾南部海岸において、碎波帯を考慮した生物生息適地評価モデル²⁾の開発をおこなったので、以下にその内容を紹介する。

3.2 評価モデルへの碎波帯の組み込み

碎波帯を評価モデルに組み込むには、碎波帯位置の把握が必要だが、潮位や地形、来襲波浪によって刻々と変化する碎波帯の範囲を現地調査で定めるのは困難である。そこで、数値計算により波の定常状態における空間分布を得ることとした。

海岸の波浪場計算に一般的に使われているエネルギー平衡方程式と合田の碎波条件式をもとに碎波波高比($H_{1/3}/H_b$)という変数を新たに考案して評価モデルに組み込んだ(図-4)。この碎波波高比 $H_{1/3}/H_b > 1$ となる範囲が碎波帯・いそ波帯となる。

3.3 生息適地評価モデルの構築



写真-5 バカガイ(寿司ネタのアオヤギ)

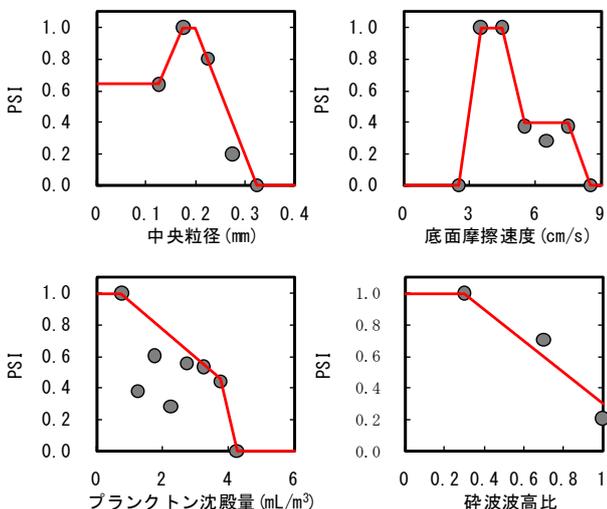


図-5 環境因子と生息適地指数 (PSI) の関係

碎波帯の組み込みが生息適地評価モデルの精度に与える影響を検証するため、仙台湾南部海岸におけるバカガイ(写真-5)のモデルを作成した。

まず、バカガイの生息に直接影響すると考えられる水深、水温・塩分、水質等の7因子から、現地調査結果等をもとに中央粒径、動物プランクトン量、底面摩擦速度、碎波波高比(碎波帯)の4因子を選定した。これらについて、HEPに確率的手法を導入した確率的HSIモデル³⁾にならって、各環境因子の値と生息適地指数(PSI^{*})の関係を整理した(図-5)。ここで、PSIとはHEPにおけるSIに相当するもので、対象生物の生息にとって最も適した条件のときに1.0となる。碎波帯については、碎波波高比が1以上となる碎波点より岸側は一律の環境と考え、全て同じPSIを与えた。

現地調査結果によれば、底質粒径だけではバカガイが水深2mより浅所で採取されないことを再現できないが、碎波帯を考慮すればこの点が考慮される(図-6)。このように生物の生息状況は、複数の環境因子による制約の組み合わせによって決まるので、各環境因子について作成したPSI曲線(図-5)を乗じることで、総合的な生息適地指数PHSI^{*}(HEPにおけるHSIに相当)を得る。

3.4 碎波帯考慮による効果の検証

本研究ではPHSIの算出に用いる環境因子の組合せを表-1に示す3通り設定した。これを現地調

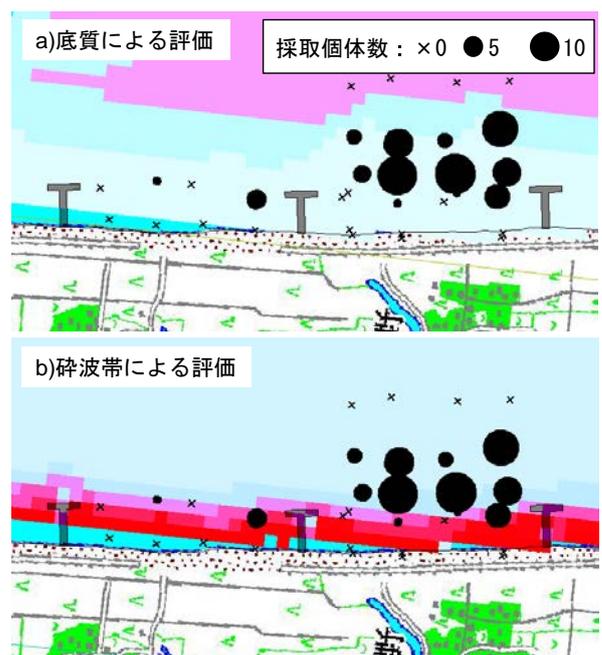


図-6 バカガイの採取個体数と生息適地の対応関係
(赤色部は適性が低い)

*土木用語解説: PSI、PHSI

査した計68測点について求め、採取結果と比較することで再現性を比較した。

算出されたPHSIを5階級に区分し、各階級に属した測点のうち、対象生物が採取された測点の割合を出現率として求めた(図-7)。この図では、PHSIと実際の出現率が正比例の関係(図中破線)に近いほど評価モデルとして再現性が高いことを意味する。

表-1 生息適地評価に用いた環境因子の組合せ

	中央粒径	プランクトン沈殿量	底面摩擦速度	碎波波高比(碎波帯)
Case1	○	○	○	
Case2	○	○	○	○
Case3	○	○		○

碎波帯を考慮しないCase1ではPHSIが低いか高いときには再現性が高いが、PHSIが0.5付近の測点では実際の出現率が0.9となり、モデルによる評価が過小となった。一方で、底面摩擦速度の代わりに碎波波高比を考慮したCase3ではPHSIが0.5のときの出現率も0.5に近くなり、PHSIの値全体にわたって実際の出現率と良い相関を見せるようになった。底面摩擦速度と碎波帯の双方を考慮したCase2ではPHSIによる評価が最も過小となったが、これは両因子が独立でないために効果が2重に反映されたことによると考えられた。

3.5 開放性砂浜における生息適地評価の活用

底面摩擦速度は内湾性のアサリやアマモでよく使われる因子であるが、陸側に近い水深0.5~1mは、数値計算でうまく計算できない場合が多い。また、現場で実測が難しいため、計算結果が現場の状況を正しく反映しているか検証が難しい。

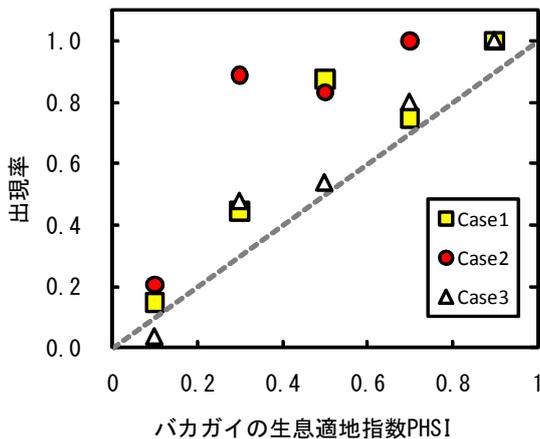


図-7 バカガイのPHSIと実際の出現率の関係

本結果によれば、単純な設定にも関わらず、碎波帯を組み込んだほうが高い再現性が得られた。このことは、碎波帯の形成が、開放性砂浜の生物分布を強く制約していることを示唆する。

4. まとめ

本稿では、仙台湾南部海岸における海浜生物採取調査結果をもとに、開放性砂浜では碎波帯の存在が生物分布の重要な制約要因となっていることを示した。次に、生物生息適地評価モデルで碎波帯を環境因子として組み込む手法を開発し、開放性砂浜では底面摩擦速度を扱うよりも簡便かつ再現性の向上に寄与することを示した。今後も精度向上や現場で使いやすくする工夫を続けていく予定である。現場の海岸で使用を検討している場合には積極的に協力するので是非、相談されたい。

謝 辞

本研究の現地調査実施にあたっては、国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所および山元漁協、亘理漁協、(株)建設環境研究所、三洋テクノマリン(株)から多大な協力を得た。ここに記して謝意を表す。なお本研究の一部は、科研費(2178089)の助成を受けておこなわれた。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局砂防部保全課海岸室 監修：自然共生型海岸づくりの進め方、全国海岸協会、pp.1~3、2003
- 2) 渡辺国広、諏訪義雄、岡田昭八、西村和一郎、武山直史、吉川勝志、立石賢吾：碎波帯を考慮した生物生息適地モデルの開発、海洋開発論文集、第26巻、pp.579~584、2010
- 3) 安藝浩資、中野晋、内田絃臣、岩瀬文人、御前洋：沿岸域の自然再生計画における順応的管理へのHSIモデルの適用性、海洋開発論文集、第23巻、pp.501~506、2007

渡辺国広*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室 研究官、博士(農学)
Dr.Kunihiro WATANABE

諏訪義雄**



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室長
Yoshio SUWA