

海岸保全施設による環境影響の 予測・評価について

THE ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF SHORE PROTECTION FACILITIES

蔣 勤¹・福濱方哉²・佐藤 隆³

Qin JIANG, Masaya FUKUHAMA and Takashi SATOU

¹正会員 工博 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

²正会員 工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

³農修 いであ(株) (〒154-8585 東京都世田谷区駒沢3-15-1)

This study deals with the environmental impact assessment of shore protection facilities on the coastal ecosystem. An integrated environmental impact evaluation model is constituted by combining the dynamic models for predicting changes in the physical environment, such as wave and current fields, with the SI (Suitability Index) models for describing the relationship between a specific species and its dominant impact factors. The model is used to evaluate the habitat environment for the selected representative species at Toban coast to investigate the environmental impact of the constructed coastal protection facilities. Consideration on the quantitative environmental impact assessment, such as the determination of dominant impact factors as well as evaluation time period and space domain, is also discussed. It is verified that the constituted model can give reasonable results if SI models are suitably developed

Key Words : Shore protection facilities, environmental impact assessment, coastal ecosystem, habitat environment, integrated evaluation model.

1. はじめに

「海岸環境の整備と保全」が海岸法の目的に追加されて既に7年も経っているが、実際の海岸事業においては、相変わらず防護のみに近い保全整備に止まっている例が見受けられる。これは海岸保全施設による環境影響の評価手法がまだ確立されていないのが主な原因と考えられる。

本研究では、兵庫県東播海岸をモデル海岸とし、まず、海岸保全施設による環境影響について、陸域及び海域での現地調査を行い、生物分布及び生息環境に関するデータを採取し、既往の環境調査データと併せて当該海岸における生物生息環境の現況を把握する。また、これらの環境調査データ及び生態系に関する知見を基に、評価対象とする代表生物を選定し、その生活史や生息特性を考慮し、生物の生息・生育に支配的な環境影響因子、及び生物生息環境とその支配的な環境影響因子との関係を表す SI (Suitability Index)モデルについて整理・検討を行う。そして、海岸保全施設の設置が生物の生息・生育環境に与える影響を統合的に予測・評価するモデルの構築を行い、アサリを用いたケーススタディにより

モデルを検証する。更に、環境影響評価に当たっての問題点や留意事項について検討を行う。

2. 東播海岸における生物生息環境

東播海岸は、兵庫県神戸市垂水区の東端にあたる境川河口から明石市を経て、加古郡播磨町本荘に至る延長約26kmの海岸である。古くから白砂青松の

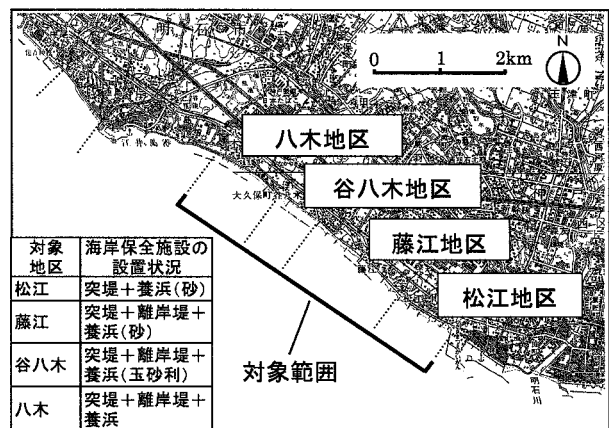


図-1 現地調査対象範囲

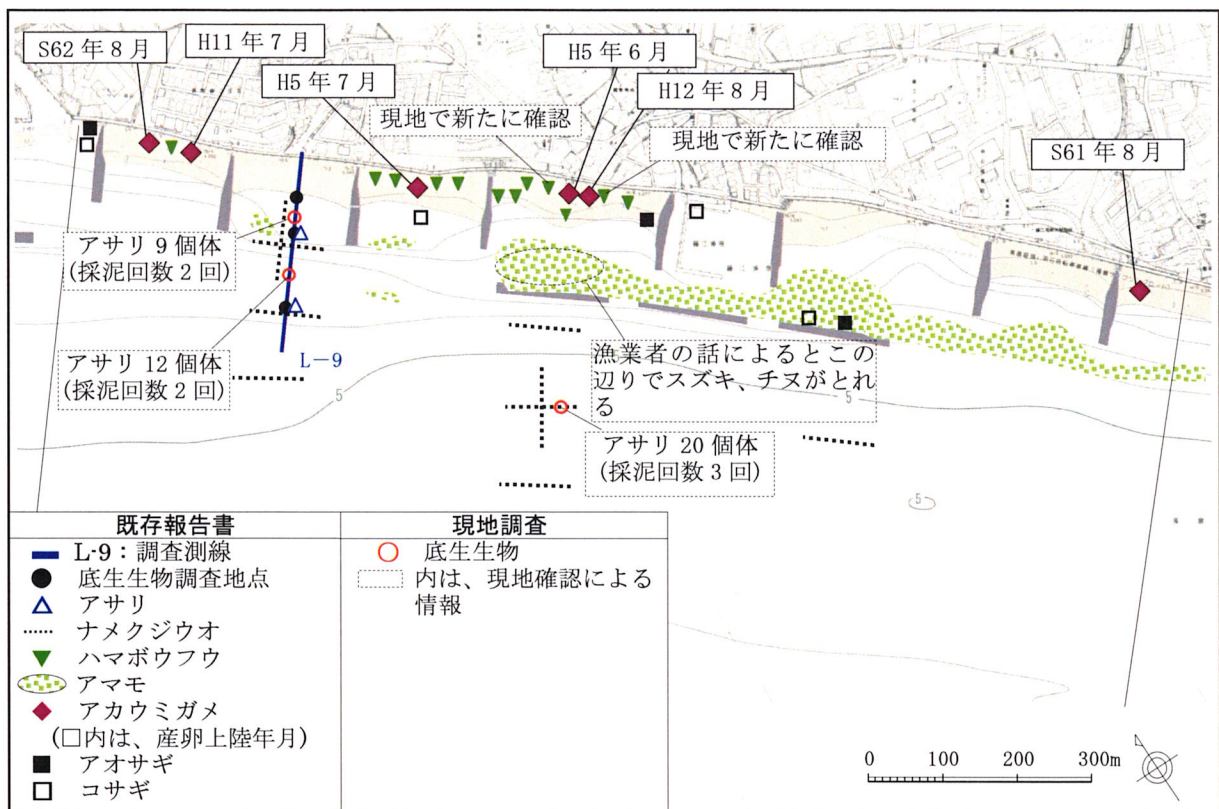


図-2 生物分布の状況（藤江地区）

続く美しい海岸と称えられており、侵食や高潮の対策として離岸堤、突堤及び養浜等の海岸保全施設が整備されている。当該海岸における生物生息環境の現状を把握するため、本研究では、図-1に示す海岸保全施設のタイプの異なる海岸区域（松江地区、藤江地区、谷八木地区及び八木地区）を調査対象の範囲とした。各区域において、次節で説明するケーススタディの評価対象とするアサリ、アマモ及びハマボウフウなど6種類の代表生物を中心に、陸域及び海域の現地調査を平成18年11月と平成18年12月の2回実施した。陸域調査では、目視観察や観測により、構造物の設置状況、海岸地形の形状（汀線の形状、後浜幅、前浜勾配、砂浜の底質等）及び生物の分布状況（海浜植物等）を調べた。海域調査では、採泥器や箱めがね及び手網を用いて、底質の状況及び生物の分布状況（底生生物、海草類、魚類等）について観測を行った。また、当該海岸の既存の環境調査データと併せて、施設の設置状況、海岸の地形・底質及び生物の分布等について整理し、海岸保全施設が設置されている各地区における生物分布及び環境条件に関する環境情報を得た。

今回の調査結果を含めた環境調査データより、本研究の対象区域では、底生生物（アサリ、アカニシ等の貝類、カニ類、ゴカイ類など）、海草・海藻類（アマモ）、魚類（アミメハギ、ウミタナゴ等）、鳥類（アオサギ、ウミネコ等）、海浜植物（ハマモト、ハマボウフウ等）、ウミガメ類（アカウミガ

メ）等数十種の生物が生息していることが確認された。図-2は藤江地区において本調査と既往調査によって得られた生物分布の一例を示す。

3. 評価対象生物及び生物生息環境と環境影響因子との関連性

(1) 代表的生物

生物・生態系への環境影響評価において、評価対象とする代表生物の選定は、人間活動による影響を受けやすい種、生態系の中で重要な役割を果たす種、対象地域の生態的環境を代表する種、社会的に関心・経済価値のある種、またSIモデルが開発されている種や評価モデルに活用するためのデータの取得が容易な種、等の条件を考慮して決定することが提案されている²⁾。

東播海岸においては、海岸保全施設によるインパクト・レスポンス関係及び生物種の特長（希少・貴重種、優占種、有用種、砂質に生息する種、藻場に生息する種等）に基づき、海岸保全施設の環境影響評価における典型性や代表性等を考慮し、底生生物では、アサリとナメクジウオ、海草・海藻類ではアマモ、魚類ではヒラメ、鳥類ではアオサギとコサギ、海浜植物では、ハマボウフウ、ウミガメ類では、アカウミガメを代表生物として選定することができる。

(2) 支配的な環境影響因子

海岸域に生息している生物は、波浪や流れなど様々な環境因子から直接的または間接的に作用を受けている。選定した代表生物について、その生息・生育に最も「支配的な影響因子」を選別することは、効率的に環境影響を予測・評価することに繋がる。

海岸事業による支配的な影響因子の選定については、まず、保全施設の特徴及びインパクト・レスポンス関係により、各生物グループ（底生生物、海草・海藻類、鳥類、魚類、海浜植物及びウミガメ類）の特性に応じて、生物生息に最も影響する因子のうち、保全施設の設置により各生物グループに共通した影響因子を抽出する。それを基本として、対象とする生物種に応じて、その生活史や生態特性を踏まえて、生物のライフサイクルの中でその存続に影響の大きい因子を支配的な環境影響因子として抽出する²⁾。

東播海岸においてアサリ等選定した代表生物に対して、生物分布や生活史等を整理し、海岸保全施設によるインパクト・レスポンス関係に基づき、生物の生息特性及び支配的な環境影響因子を抽出した。表-1は既往の知見に基づくアサリに対する検討結果を示す。海岸事業（離岸堤、突堤及び養浜）におけるアサリの生息に支配的な影響因子は、①生息空間、②地盤高、③砂の動き、④底質、⑤砂の堆積、⑥流れと判定した。

(3) 生物生息環境と環境影響因子との SI モデル

代表生物の生息環境（生息場の適性）とその支配的な環境影響因子との関連性を定式化することは、海岸事業が及ぼす生物生息環境への影響を定量的に予測・評価するにあたっての鍵である。

東播海岸における各代表生物に対して、既往の生態知見に基づき、生物生息環境と支配的な環境影響因子との関連性について、生物適正指標を SI モデルの様式で整理・作成、または傾向性を示す定性的な検討を行った。アサリに関する検討結果を例として上記の表に示す。

4. 統合的な環境予測・評価モデルの構築

(1) モデルの構成

本研究では、簡便且つ実用可能な手法の開発を目的として、海岸保全施設による物理的な環境変化と生物的な環境変化の内容・範囲・程度等を統合的に予測・評価するモデルの構築を試みた。

図-3に提案する環境影響評価モデルのフローを示す。海岸事業による環境影響の予測・評価の基本的な手順として、まず前述したように、施設の種類やそのインパクト・レスポンス関係により評価対象海域の代表生物を選定する。次に、選定された複数の代表生物に対して、各生物の生活史や生息環境因子を検討し、生物生息と支配的な環境影響因子との関係を定量的に示す生物予測モデルを作成する。そして、事業による支配的な環境影響因子（波高、流速、水深等）の変化を予測し、予測された環境因子

表-1 アサリの生息環境因子とSIモデル

影響因子	空間	時期	支配的因子とアサリの生息との関連性に関する知見(上段)及びSIモデルの例(下段)
① 生息空間	前浜・沖浜	周年	<p>海岸保全施設の設置場所では生息空間が消失する。SIモデルに該当する知見なし</p>
② 地盤高	前浜・沖浜	周年	<p>生息域の干出時間は1~5時間が多く、3~5時間の場所は成長が悪い(社)全国沿岸漁業振興開発協会、1997)。山口県・大海湾では、定着条件としては4.5時間以下、成長度からみれば3.5時間以下が好適(井上、1980)。</p> <p>[SIモデルの例]</p> <p>金沢八景海域では干出約4.3時間以下の地盤高で個体数が多い。井上(上記)の知見も踏まえ、3.5時間以下を最適(SI=1.0)、4.7時間でのSI=0.0とし、それらの間を線形に補間(新保ら、2000)。</p>
③ 砂の動き	前浜・沖浜	冬季	<p>千葉県三番瀬について全月で発生する程度の波の波高及び周期とアサリの分布を比較すると、アサリは波浪による底面摩擦速度が約1~6cm/sの範囲に生息し、個体数は約4cmで極大(千葉県土木部・企業庁、1998)。</p> <p>盤洲干潟での荒天時の波浪条件では、殻長20cm未満の個体数は、波浪による底面摩擦速度約3~4cmで極大(柿野ら、1991)。</p> <p>[SIモデルの例]</p> <p>三番瀬や盤洲干潟では個体数は、波による底面摩擦速度(U*)、各測点での風向毎のU*の最大値が約4cm/sのときに極大、それ以上もしくは以下では減少するため(柿野、1991)(千葉県土木部・企業庁、1998)、アサリの定位の境界はU*=4cm/s(新保ら、2000)。</p>
④ 底質	前浜・沖浜	周年	<p>山口県・大海湾では泥分率が30%以上で定着量が激減(井上、1980)。朝鮮半島の主な生息地約60ヶ所では、泥分率2~50%の範囲で生息(倉茂、1957)。</p> <p>[SIモデルの例]</p> <p>金沢八景海域では個体数は泥分率約20%で極大、泥分率増加に伴い減少。泥分率と生息量との関係も勘案し、泥分率0~30%でSI=1.0、泥分率50%でSI=0.0とし、その間は線形に補間(新保ら、2000)。</p>
	前浜・沖浜	周年	<p>中央粒径値Mdφ3以下に生息、最適は中央粒径値Mdφ2以下(社)全国沿岸漁業振興開発協会、1997)。生存実験では、死亡率は中央粒径0.25mmで0%、0.070mmで85%、0.062mmで45%(高橋ら、1986)。潜砂実験では中央粒径4.2mmで潜砂時間が長期化し、これより小さい粒径が必要である(高橋ら、1986)。</p> <p>[SIモデルの例]</p> <p>金沢八景海域では個体数は粒径0.25mmで極大、粒径が小さくなる程減少。飼育実験でも同様の傾向(高橋ら、1986)。生息の粒径下限は金沢八景海域(0.073mm)や飼育実験(0.062mm)の値を参考に0.05mm(粘土)でSI=0.0、粒径0.2~1.0mmでSI=1.0、潜砂時間が長く生息障害が生じる粒径4.2mmでSI=0.0とし、それらの間を線形に補間(新保ら、2000)。</p>
⑤ 砂の堆積	前浜・沖浜	周年	<p>土砂の堆積に対するアサリの抵抗は比較的弱く、10cm埋没で斃死するものがあり、15cm埋没では37~50%が斃死する(崔、1963)。</p> <p>SIモデルに該当する知見なし</p>
⑥ 流れ	前浜・沖浜	周年	<p>離岸堤・人工リーフ、突堤・ヘットランドの設置により渦流が発生し、幼生が供給されやすくなる。</p> <p>SIモデルに該当する知見なし</p>

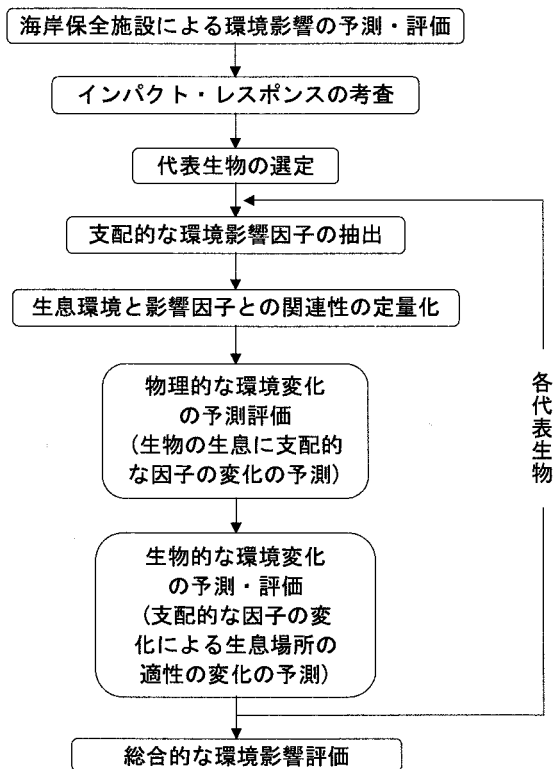


図-3 予測・評価モデルフロー

の状態を生物予測モデルにあてはめ、海岸保全施設による生物への影響を定量的に予測・評価とするものである。

また、海岸施設の設置による周辺海域の物理的な環境変化（波浪場、海浜流場、水質及び海底地形の変化等による支配的な環境因子の変化）は、波浪変形モデル、流況モデル、水質モデル及び地形変化モデルなど既存の数値予測モデルを用いて定量的に予測する。一方、物理環境変化に伴う生物の生息環境変化について、対象生物の生息・生育に支配的な環境因子と生物との関係を表す生物予測モデルは、HEP (Habitat Evaluation Procedure) のSIモデルを適用することとする。支配的因子の変化による生物への影響は、支配的な環境因子の現況及び将来の状況による生物の生息・生育環境の変化の大きさより予測・評価を行う。

(2) 予測・評価の基本事項

対象生物の生息・生育環境への影響を予測・評価するにあたっては、前述の支配的環境影響因子の他、予測項目、予測時期、予測対象とする空間範囲、及び物理環境変化の予測における外力条件等の設定が必要であり、その基本的な考え方を以下に示す。

a) 予測項目の選定

代表生物種ごとに支配的な環境影響因子の抽出を行ったが、「生息空間」や「砂の動き」など概念的な表現で表す場合が多く、モデルを用いて予測・評価する際に、これらの支配的因子の変化を指標とする予測項目を検討する必要がある。予測項目の選定

条件としては、生息環境因子の変動や場所による違いを示すことができること、生物の生態との係わりについてSIグラフが作成できるような定量的な知見が既往資料等から得られることが必要である。

例えば、東播海岸におけるアサリの環境影響評価において、その支配的な環境影響因子として、「地盤高」、「砂の動き」及び「流れ」と選定した場合、予測項目としては、それぞれ「干出時間」、「底面摩擦速度」及び「海浜流の流速」が考えられる。

b) 予測時期の設定

海岸事業による生物生息環境への影響は、生物が場を利用する目的や利用する生活史段階によって異なるため、影響を把握しやすい確かな時期を予測対象にする必要がある。代表生物の予測時期については、生活史段階で最も脆弱な時期（生物量の消費率が高い時期）や生態特性から見て海岸域への依存性が高い時期を検討し、予測時期を設定する必要があると考えられる。

東播海岸におけるアサリについては、生活史段階で脆弱な時期、例えば、海浜流に対して浮遊幼生が着底する春期・秋期、また底面摩擦速度に対して波作用の大きい冬季を予測時期として設定できると考えられる。

c) 予測対象とする空間範囲の設定

海岸事業による生物への影響は、海域内で均等ではなく、代表生物ごとに影響を受けやすい海域範囲を的確に選定して予測・評価を行うことが重要である。影響を受けやすい海域は、生物の分布特性や事業の種類によって異なり、代表生物の生態特性やインパクト・レスポンスフローを踏まえて設定することが必要である。

具体的に、東播海岸におけるアサリについては、その生息を支配する因子が底質の動きやすさや底質粒径であり、これらの因子の状況は突堤近傍や離岸堤の背後、外浜で異なることから、前浜から沖浜までの海域を予測空間として設定すべきだと考えられる。

d) 外力条件の設定

物理環境変化の予測における外力条件の設定は、生物への影響の評価結果に直接影響を与え、慎重に検討する必要がある。外力条件を設定する際に、代表生物の生息に支配的な因子に影響が最も顕著になるタイミングを生態知見より見定め、その時の環境変動の強さに該当する外力の発生頻度や継続時間等を考慮して設定する。

例えば、アサリについては、底質の動きやすさがその生息の支配的な因子となり、冬季に強い波の影響で海底が激しく移動することによりアサリの幼稚貝の生存率が低下するが、作用する波の発生頻度や強さにより、アサリの受ける影響は異なると考えられる。東播海岸におけるアサリの影響を評価する場合は、冬季に月1回程度発生する波と冬季のエネルギー平均波を設定外力とすることが考えられる。

5. ケーススタディによる評価モデルの検証

東播海岸における海岸事業が生物生息環境に与える影響について、本研究で構築した予測・評価モデルを用いて、生活スタイルの異なるアサリやアマモ等6種類の代表生物への影響を予測・評価し、予測結果を現地における生物の生息・生育状況と対比させて、予測・評価モデルの検証を行った。以下アサリを例として評価結果を示す。

(1) 計算条件

評価対象範囲は、図-1に示す松江地区、藤江地区、谷八木地区及び八木地区を含む海域で、沿岸方向は約4,000m、岸沖方向は約7,500mの海域を設定した。

アサリの生息環境の予測は、水深、底面摩擦速度及び海浜流の流速を環境影響因子として評価を行った。水深は、アサリの乾燥耐性に対する予測項目であり、底面摩擦速度は冬季の稚貝の消耗に対する項目であり、海浜流の流速は浮遊幼生の着底域としての適性に対する予測項目である。

評価にあたっては、予測項目に関わる現地データ及び物理環境変化の予測結果を整理し、SIモデルに当てはめ、予測項目毎にSIを算出した後、各SIを相乗平均し、HSIを算出した。計算条件は表-2に示す。

表-2 計算条件

項目	条件			
海岸地形	現況海岸保全施設 (2006年11月施工済)			
海底地形	沿岸海の基本図デジタルデータ (J-BIRD) VW6383-3 明石海峡、深淺測量データ			
計算範囲	4,000m×7,500m			
計算格子	10m×10m			
潮位条件	平均潮位 (=D.L.+0.70m)			
波浪条件	波浪種別 (冬期)	波高	周期	波向
	月1回クラスの波浪	1.30m	5.0秒	SSW
	エネルギー平均波	0.34m	4.4秒	SSW
	周波数スペクトル	プレトシナイター・光易型 (周波数分割数: 5)		
	方向関数	光易型 (方向分割数: 30)		
離岸堤透過率	0.1とする (相対天端高2.0m以上)			
底質 (中央粒径)	松江地区	藤江地区	谷八木地区	八木地区
	0.11mm	0.37mm	0.46mm	0.49mm

(2) 予測結果及び検討

図-4は、SIモデルに基づくアサリの予測結果と現地でのアサリの生息確認状況との比較を示す。現地でのアサリの生息確認状況は、既往資料での確認状況を用いた。

検討対象とした4地区のうち松江地区と藤江地区の2地区においては、現地で確認されたアサリ生息

密度の傾向と予測結果が一致する傾向を示しており、水深、底面摩擦速度、海浜流を支配的因子としてそれらの状態を予測することによりアサリの分布状況が予測できるものと考えられた。

しかし、離岸堤が設置されている谷八木地区と八木地区の2地区では、両地区ともに現地では生息密度の少ない前浜が予測結果では生息に適した結果を示しているとともに、谷八木地区では離岸堤内側の外浜の予測結果と現地との分布状況との間で不整合が見られた。これは、支配的因子の中で特にアサリの生息に対しては影響が大きいと見られる底面摩擦速度の予測結果が現地の状況を反映していなかった可能性があるとともに、離岸堤の設置された2地区の検証データがいずれも離岸堤の端部に近い場所であり、離岸堤による環境変化をとらえにくい場所にあった可能性も考えられる。

そのため、アサリについては、今後、検証データを増やして予測結果との整合性を検討し、予測モデルの精度を向上させる必要があると考えられるが、予測条件や環境と生物との関係を示す生物予測モデルを改良することにより、予測精度は向上するものと考えられる。

6. 主要な結論と今後の課題

海岸事業が生物生息環境に与える影響を統合的に予測・評価する手法を検討するにあたり、HEPによる手法を基本としたモデルを構築し、兵庫県東播海岸をモデル海岸としたケーススタディを行い、予測結果と現地での生物分布状況を比較し、予測モデルの妥当性や精度の検証を行った。本研究で構築した予測モデルは、海岸保全施設による環境影響を統合的に予測・評価するモデルとして活用できるものと考えられるが、その手法を確立するにあたっては、今後下記のような課題が考えられる。

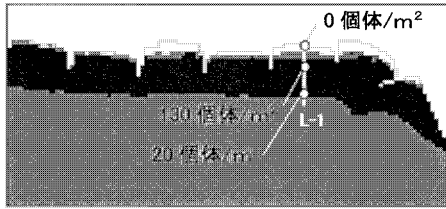
(1) 生物と環境との関連性に関する情報の整備

生物環境の予測・評価を行うにあたっては生物の生息特性や環境変化との関係に関する情報が必要であり、今後、海岸保全事業による影響評価を効率よく行い、精度を高めるためには、海岸域における生物種毎の生息特性や環境変化との関係に関する情報を整備していくことが重要と考えられる。特に、予測の精度を高めるには、対象生物の生活史段階ごとに支配的な因子が大きく影響する時期を明らかにするとともに、支配的因子の変化として具体的にどのような項目が指標になるかを明らかにし、それらの項目に関して時期を含めた情報の整備が重要と考えられる。

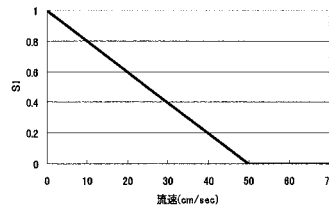
(2) 現地調査手法の確立

生物と環境との関連性に関する情報の整備にあたっては、情報を得るための的確な調査手法を確立する事が重要と考えられる。特に必要と考えられる

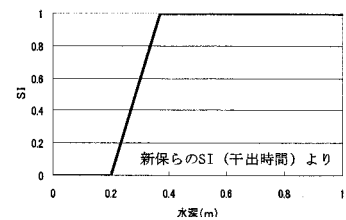
松江地区



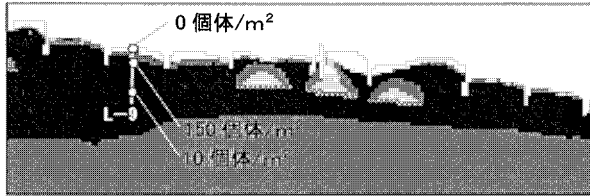
SIモデル(流速)



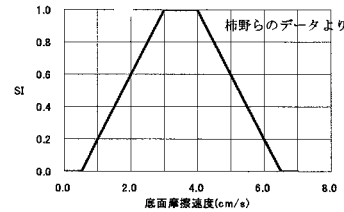
SIモデル(水深)



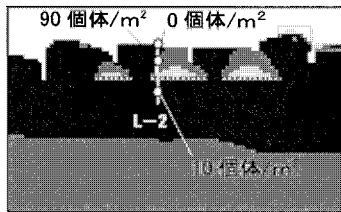
藤江地区



SIモデル(底面摩擦速度)



谷八木地区



八木地区

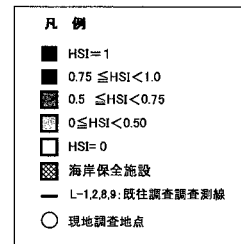
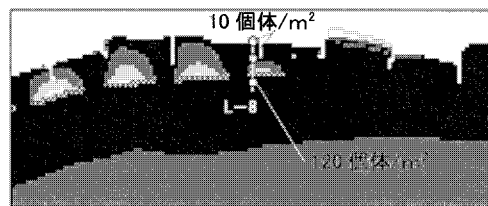


図-4 アサリの予測結果 (HSI) と現地確認状況

事項を以下に示す。

- ・ 底生生物は底質 (砂) の動きやすさを重要な影響因子とすることから、底質組成 (粒径) の分布状況を水深や海底地形と合わせて精度良く調査することが必要である。
- ・ 生物の分布や海岸域への依存性は季節的に変動するものであるから、代表生物とする種の生態に合わせ、海岸への依存性の高い時期に現況把握のための調査を実施する必要がある。
- ・ 生物の分布は、高波浪による底質の攪乱や出水 (濁水の流入) 等によって大きく変動するものである。従って、生物分布の調査は平常時のみではなく、攪乱後の状況も調査しておくことが必要である。

(3) 検証データの充実による予測モデルの精度向上

本研究では東播海岸をモデル海岸としたケーススタディを行い、予測モデルの検証を行ったが、東播海岸での現地検証データは、岸沖方向のライン上でのデータが主であったため、海岸保全施設による予測結果の検証が不十分であったと考えられる。そのため、今後、海岸域での生物分布状況について平面的な検証データを取得し、予測結果と対比させ、予測モデルの精度向上を図ることが必要と考えられる。

謝辞：本研究を実施するにあたって、国土交通省近畿地方整備局姫路河川国道事務所の方より東播海岸の調査資料を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 柿野純・中田喜三郎・西沢正・田口浩一 (1991) : 東京湾盤洲干潟におけるアサリの生息と波浪との関係, 水産工学, 28, 1, 51-55.
- 2) 蔣勤・福濱方哉・加藤史訓 (2006) : 砂浜海岸生態系の環境影響評価に関する基本的な検討, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1111-1115
- 3) 新保裕美・田中昌宏・池谷毅・越川義功(2000) : 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, 土木学会, P1111-1115.
- 4) (社)全国沿岸漁業振興開発協会(1997) : 沿岸漁場整備開発事業 増殖場造成計画指針ヒラメ・アサリ編 平成8年度版, 316pp
- 5) 井上泰(1980) : 山口・大海湾におけるアサリの生息状況と環境について. 水産土木, Vol.16, No.2, p.29-34
- 6) 千葉県土木部・企業庁(1998) : 「市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る環境の現況について」(要約版), p336.
- 7) 倉茂英次郎(1957) : アサリの生態研究, 特に環境要素について. 水産学集成, pp.611-655.
- 8) 高橋清孝・佐藤陽一・渡辺競(1986) : アサリの生存限界に関する実験的検討, 宮城県水産試験場研究報告. 11, pp44-58.
- 9) 崔相 (1963) : アサリの移動について. 水産増殖, 11(11).