

## 5. 沿岸域における自然共生・保全・再生の評価手法

### 5.1 砂浜海岸

日本列島は、亜熱帯から亜寒帯にわたる長大な海岸線を持っており、海岸線の種類も岩礁、サンゴ礁、干潟、砂浜と多様である。このうち岩礁は沿岸漁業の場として、サンゴ礁は生物多様性の宝庫として、干潟は大都市近くの水辺として、それぞれ生物学的な価値が広く認められ、数多くの環境調査および環境影響調査がおこなわれてきた。これらに比べて砂浜は、ウミガメ類やコアジサシの産卵場としては認識されているものの、生物の生息環境としてはあまり重視されてこなかった。

一方で砂浜は、高潮や高波、津波から住民を守るために海岸堤防や消波ブロック等の海岸保全施設が全国的に整備されてきた場であり、これによって多くの砂浜空間が失われてきた。また、海岸侵食の進行により、残されたわずかな砂浜さえも失われつつある。平成 11 年の海岸法改正によって、海岸環境の保全を積極的にはかっていくことも求められることとなったが、砂浜海岸は他の種類の海岸に比べて生息の実態が不明な生物が多く、自然共生・保全・再生の技術は未熟である。今後も引き続き全国で海岸事業が実施されていくことを考えれば、海岸事業などの人為改変が砂浜生態系に与える影響を分かりやすく評価・予測するための技術が必要である。

そこで本節では、海岸の中でも砂浜に焦点を絞って日本の砂浜で適用可能な生物生息環境の予測・評価手法を開発することを目的とした。

#### 5.1.1 砂浜海岸の生物の特徴の整理（平成 17 年度）<sup>1)</sup>

砂浜海岸の生物・生態系への影響評価を行うにあたっては、生息する生物の生態的特徴や分布状況、及びその生息・生育に必要な条件等を理解する必要がある。砂浜海岸は、陸地をつくる岩石が浸食等によって細かく砕かれ砂や礫となり、それらが波浪や沿岸流によって攪拌され、移動と堆積を繰り返してきたものである。そのため、砂浜海岸における地形は頻繁に形を変えることが特徴で、こうした地形の変動は岸沖方向（断面）で見た場合に特に明瞭に違いが現れる（須田、早川 2002；時岡ら 1972；栗原 1988）。そこで、海岸生物や生態系に関する既往の文献調査資料及び一般的な知見をもとに、砂浜海岸に生息する主な生物種とその生息形態、生息場所の特徴を整理し、砂浜生態系の模式図化を試みた（図-5.1）。この整理によって、砂浜海岸の生物生息環境について議論する際には、「砂丘」、「後浜」、「前浜」、「外浜」、「沖浜」の 5 種類の空間にわけて考える必要があることが明確に意識出来るようになった。

#### 5.1.2 既往の海岸環境調査結果の整理（平成 17 年度）<sup>1)</sup>

前項で作成した海岸の一般的な断面模式図の妥当性を確認するために、既往の海岸環境調査結果の整理をおこなった。

河川局が直轄で整備している東播海岸等 11 の海岸（図-5.2）のうちで、砂丘や後浜が比較的によく残っており、施設などができるだけ設置されていない地区を選定し、過去の調査結果をもとに具体的な生物種の生息状況を図-5.1 で提示した地形分類ごとに整理した。一例として表-5.1 に伊勢湾西南海岸における生物生息状況の整理例を示す。

整理の結果、ほとんどの海岸では堤防や護岸が設置されることで、砂丘までが残されている場所は少なく、5 種類まで空間を分類できた海岸は胆振海岸、石川海岸の 2 海岸に留まったが、いずれの海岸における調査結果もこの分類を用いた整理が可能であることが確認された。

#### 5.1.3 既往の海岸環境調査の課題

11 海岸における調査結果を横並びで比較した結果、次のような課題も明らかとなった。例えばアカウミガメについては、伊勢湾西南海岸、東播海岸、皆生海岸、高知海岸、石川海岸で確認されており、一般的に知られている産卵場と合致していたが、コアジサシやシロチドリなどの特に海岸で営巣する鳥類については、生息しているはずの海岸であっても調査結果に表われていない場合もあった。これは海岸によっては、調査時期や時間等が対象種の調査に適した設定となっていないことを意味する。行動に季

節性や日周性をもった海浜動物については網羅的な生物調査ではうまく調査できていないことがうかがえた。その他にも、海岸事業が海浜環境に及ぼした影響を把握しようとした場合に、従来の調査結果では以下の様な難点もあることがわかった。

- ・施設設置前の調査が少なく、生態系の変化を把握することは困難である。
- ・経年的・継続的な調査はほとんど行われておらず、施設設置後の変化についての情報が不足している。

これらについては、海岸域生物環境調査マニュアル（試行案）（建設省河川局防災・海岸課海岸室，財団法人リバーフロント整備センター 1995）などのマニュアル類にもとづく調査が、全国一律の基準で海岸の全体像を把握するには有効である反面、網羅的であるが故に継続性が低いことも一因と考えられた。調査の継続性を高めるには、対象種を絞りこんだスリムな調査方法の確立も必要であることがわかった。

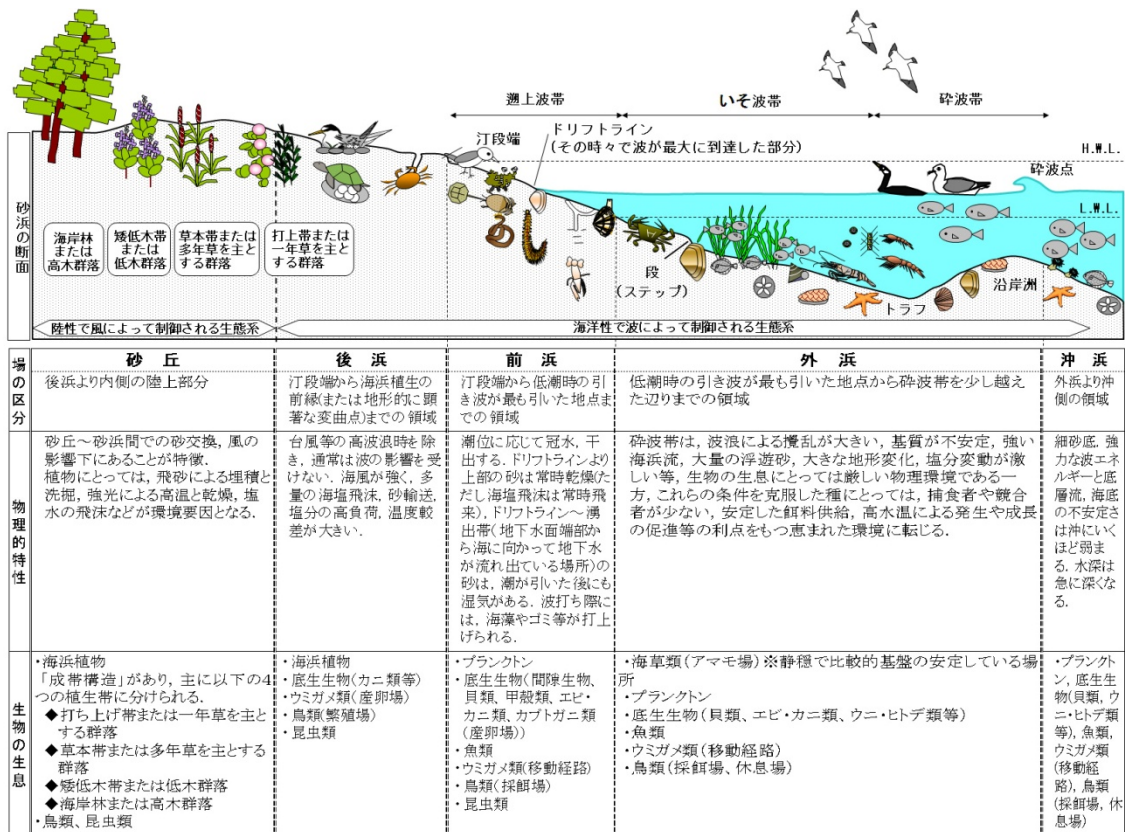


図-5.1 砂浜海岸における断面的の空間分類

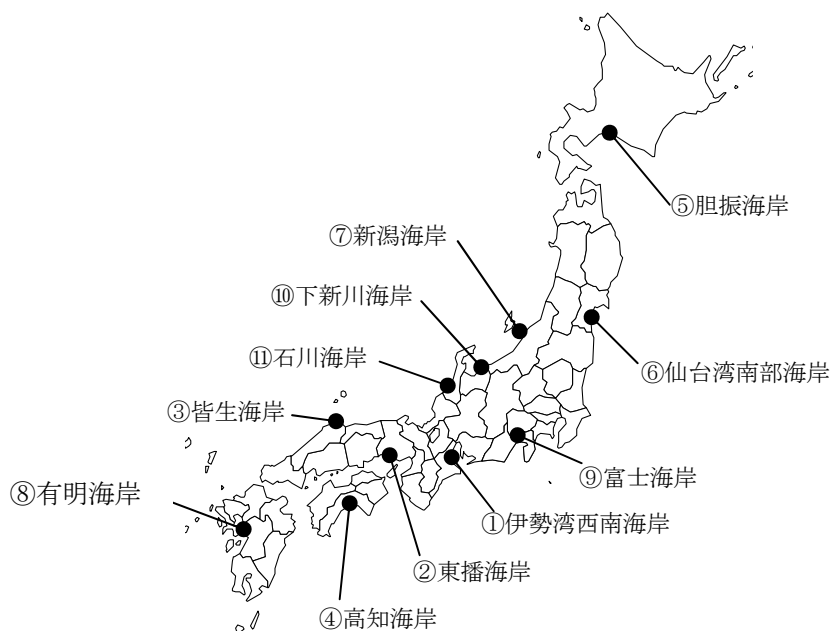


図-5.2 調査対象とした11海岸

表-5.1 伊勢湾西南海岸における主な生物分布

生物群	後浜	前浜	外浜
海浜植物	●ハマボウフウ ●アイアシ	—	—
海草類	—	—	※アマモ場
底生生物	○ヒメスナホリムシ ○Talorchestia sp.	○△バカガイ科 ○Glycera sp. ○ミズヒキゴカイ △マテガイ ○スゴカイイソメ ○ヒメスナホリムシ	○△バカガイ科 △マテガイ ○Glycera sp. ○Nephtys sp.
魚類	—	○△シロギス △カタクチイワシ ○ハゼ科 △シラウオ	○△シロギス △カタクチイワシ ○ハゼ科 △シラウオ
ウミガメ類	●アカウミガメ	—	—
鳥類	●シロチドリ ●ハヤブサ ●コアジサシ ●ミサゴ ●カラシラサギ	○ハマシギ ●シロチドリ ●コアジサシ	○カワウ ○セグロカモメ ●コアジサシ

「凡例」 ●：希少・貴重 ○：優占種 △：有用種 ※：その他特有な種 —：調査なし

### 5.1.4 代表生物の選定手法の検討(平成17年度)<sup>1)</sup>

砂浜海岸で実施された既往の生物調査結果の整理から、対象種を絞り込んだ調査の実施も必要であることがわかったため、本項ではまず、代表生物の具体的な選定方法について検討した。一般的な環境保全活動においては、代表生物(評価対象種)は種の希少性や地域の生態系の特性からみて選定されることが多いが、対象域の生物種や生態系の特性があらかじめ十分に把握されていることが前提であり、詳細な現況調査や生態系の特性分析が要求される難点がある。これに対して海岸事業は、波浪の低減など物理環境そのものを制御する目的で行われる場合が多く、環境変化の内容は施設の種類ごとに体系づけられ、それに伴う生物の応答も施設の種類に応じて整理することが可能である。すなわち、影響が及びそうな対象種を事前にある程度絞り込めることが期待される。この点に着目し、**図-5.3**に示す代表生物の選定手順(a)~(c)を提案した。

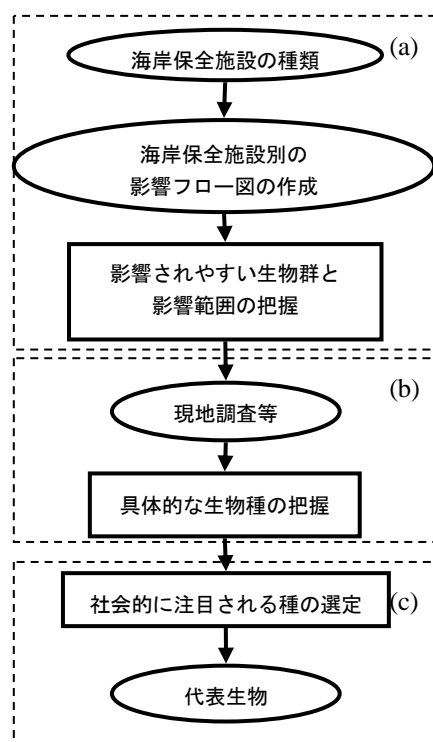


図-5.3 代表生物の選定手順

#### (a)海岸保全施設種別の影響フロー図に基づき、影響されやすい生物群と影響範囲を把握する。

これにより、事業によって生じる環境変化を想定し、どの範囲内でどのような生物群が影響されやすいかが概略的に把握される。本研究では既往知見をもとに海岸保全施設の種類ごとの影響フロー図を試作した(一例として、**表-5.2** および**図-5.4**)。この段階で扱う生物群とは、底生生物、海藻類・海草類、魚類、ウミガメ類、養殖ノリ、付着生物・岩礁性魚介類のレベルとした。

#### (b)現地調査等によって具体的な生息種を把握する。

(a)で抽出した影響されやすい生物群について、想定される影響範囲を中心に調査し、生息する生物やその生息状況を種レベルで具体的に把握する。

#### (c)社会的に注目される種を選定する。

(b)で把握した影響されやすい生物のうち、以下の3つの観点から社会的に注目される種を選定して代表生物とする。

- ・学術上または希少性の観点から重要な種
- ・地域で親しまれている種
- ・水産上の有用種

事業が生態系に及ぼす影響を地域住民や関係者にわかりやすく示すため、地域社会で注目されやすい種として、地域で親しまれている種、水産上の有用種も重視することとした。

本研究では、ここで提案した選定手順に従った代表生物選定の試行もおこなった。海岸保全施設ごと(離岸堤・人工リーフ、突堤・ヘッドランド、養浜、堤防・護岸)に試行をおこない、一例として離岸堤・人工リーフについて実施した結果を**表-5.3**に示した。

表-5.2 離岸堤・人工リーフの設置による影響事例

No.	生物群	変化の内容	場所	影響因子	事例
1	付着生物	基盤の出現による付着生物の出現	外浜 (構造物)	基盤出現	高知海岸 吉田浜海岸 駿河海岸 胆振海岸 下新川海岸
2	岩礁性魚介類	基盤の出現による岩礁性魚介類の出現	外浜 (構造物)	基盤出現	高知海岸 吉田浜海岸 駿河海岸 胆振海岸
3	底生生物 海藻類	砂地の海底の一部消失による底生生物、海藻類の消失	外浜 (構造物設置場所)	空間消失	—
4	底生生物	背後の砂の動きの減少による定位置やすさの向上	外浜 (構造物背後)	砂の動き	高知海岸 胆振海岸 下新川海岸
5	海草類	背後の砂の動きの減少による	外浜	砂の動き	興津海岸
6	底生生物	底質の変化による種組成の変化	外浜 (構造物周辺)	底質	高知海岸 胆振海岸
7	底生生物 魚類	渦流の発生による幼生、餌生物の集積	外浜 (構造物周辺)	流れ	高知海岸 吉田浜海岸 胆振海岸
8	ウミガメ類	障害物の出現による接岸阻害	外浜	経路	一ツ葉海岸
9	ウミガメ類	海浜流の変化による接岸阻害	外浜	流れ	一ツ葉海岸 蒲生田海岸
10	ウミガメ類	開口部の急勾配化による上	前浜～後浜	勾配	一ツ葉海岸
11	ウミガメ類	砂の堆積による産卵場の形	後浜	砂の堆積	蒲生田海岸

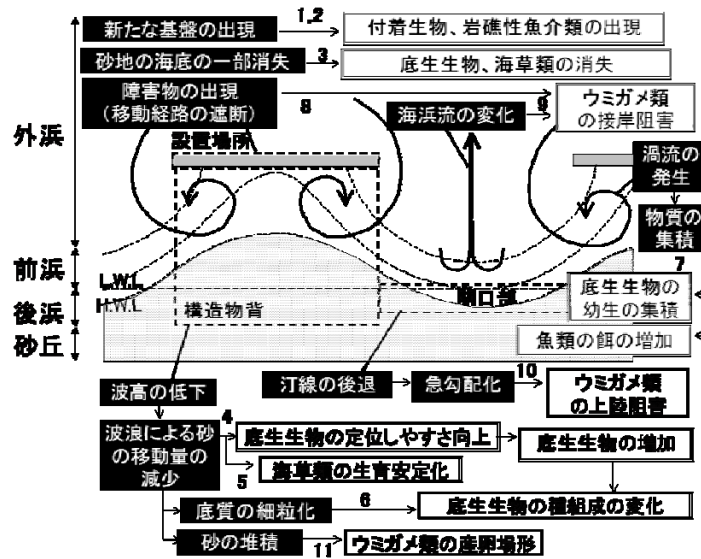


図-5.4 離岸堤・人工リーフの設置に伴う影響フローの平面模式図

表-5.3 代表生物の選定手順例（離岸堤・人工リーフ）

代表生物の選定手順	本報告書での代表生物の選定手順（例）		
	具体例（伊勢湾西南海岸，底生生物・海草類）		
海岸保全施設の種類の把握	伊勢湾西南海岸に離岸堤・人工リーフを設置する場合		
海岸保全施設別のインパクト・レスポンスフロの把握	生物群「底生生物・海草類」の変化の内容 図-5.4の3, 4, 5, 6, 7（表-5.2のNo.3, 4, 5, 6, 7）に該当。		
影響されやすい生物群と影響範囲の把握	生物群	影響範囲	影響の内容
	底生生物	設置場所（外浜）	設置による消失
		設置場所の背後（前浜，外浜）	砂の動きの減少，底質変化に種組成や生息密度の変化
		設置場所の周辺（外浜）	渦流の発生による幼生の集積
海草類	設置場所（外浜）	設置による消失	
	設置場所の背後（前浜，外浜）	砂の動きの減少による生育の安定向上	
現地調査等の実施	伊勢湾西南海岸の調査結果，表-5.1が該当。		
具体的な生息種の把握	表-5.1の調査結果より，影響範囲（前浜～外浜）に生息する底生生物は，バカガイ科，マテガイ， <i>Glycera</i> sp.（ゴカイ類），スゴカイイソメ，ミズヒキゴカイ，ヒメスナホリムシ， <i>Nephtys</i> sp.（ゴカイ類），アマモ（アマモ場）		
社会的に注目される種の選定	上記のうち，有用種としてマテガイ，地域で親しまれる種（環境学習や環境保全上配慮が求められる種）としてアマモが選定される。		
代表生物の選定	代表生物は，マテガイ，アマモとなる。		

### 5.1.5 海岸環境調査で注目すべき影響因子の検討（平成17年度）<sup>1)</sup>

前項で選定した代表生物について、海岸事業による影響を評価・予測するには、海浜生物の生息に直接、間接に作用する波浪、流れ、地形、底質、水質などの様々な環境因子の変化を予測する必要がある。しかし、実際に影響を評価するにあたっては、関連するそれらの因子を網羅的に予測するよりも、生物変化に直結する因子を選定し、予測対象とするほうが効果的である。

そこで本研究では、以下の2つの要件を満たすことを条件として、既出の影響フロー図（例えば図-5.4）を踏まえて海岸事業における支配的な影響因子を保全施設別に抽出した。

- (1) 事業に伴って変化し、生物の直接的な変化要因になりうること
- (2) 生物の生態や生息条件と密接に関連していること

結果の一例として、離岸堤・人工リーフについて抽出された環境因子を図-5.5、表-5.4に示した。

また、これら抽出された各環境因子についての調査・予測の方法と（一例として表-5.5）、調査・予測対象とする主な範囲の考え方を整理した（一例として図-5.6）。

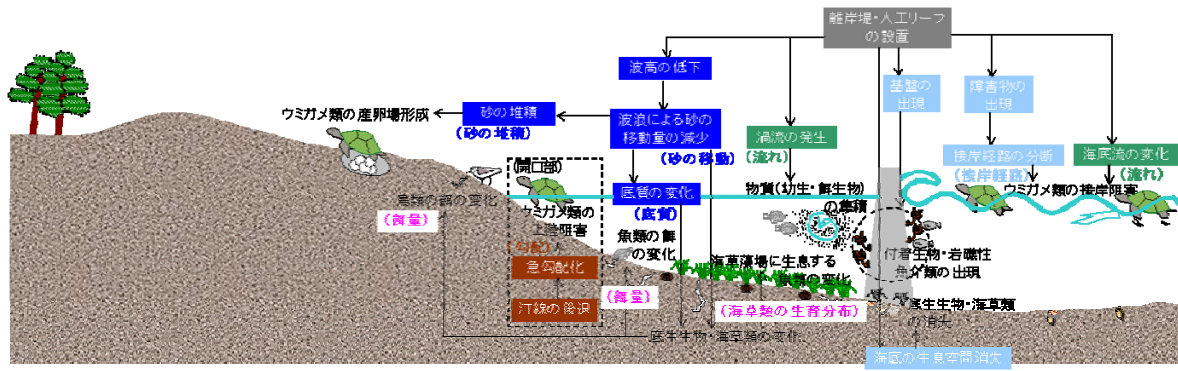


図-5.5 離岸堤・人工リーフの設置による影響フロー図と支配的な環境因子

表-5.4 離岸堤・人工リーフ周辺における支配的な環境影響因子

対象生物	支配的因子	事業による影響内容		生物の生態・生息条件との関係
		影響の内容	影響範囲	
底生生物	生息空間	設置による消失	設置場所	—
	砂の動き	砂の動きの減少、底質変化による種組成や生息密度の変化	設置場所の背後	砂の動きが少なくなると、砂中に定位して生活する種は生息しやすくなる。
	底質			適した底質は種ごとに異なるため、底質変化は種組成の変化要因になる。
流れ	渦流の発生による幼生の集積	設置場所の周辺	渦流が発生すると、幼生が滞留しやすくなる。	
海草類	生息空間	設置による消失	設置場所	—
	砂の動き	砂の動きの減少による生育の安定	設置場所の背後	砂の動きが少なくなると、根の露出等が生じにくくなり、生育が安定する。
鳥類	餌量(底生生物)	餌量(底生生物)の変化に伴う生息状況の変化	設置場所とその周辺	餌量が少なくなると、餌場としての価値が低下する。
魚類	流れ	渦流の発生による餌生物(プランクトン等)の集積	設置場所の周辺	渦流が発生すると、餌となるプランクトン等が集積されやすくなる。
	餌量(底生生物)	餌量(底生生物)の変化に伴う生息状況の変化	設置場所とその周辺	餌量が少なくなると、餌場としての価値が低下する。
魚類(藻場に生息する種)	海草類の分布	海草類の変化に伴う生息状況の変化	設置場所、設置場所の背後	海草類の分布が縮小したり密度が低下すると、隠れ場や餌場としての価値が低下する。
ウミガメ類	接岸経路	構造物の出現や海浜流の変化による接岸阻害	設置場所の沖から汀線付近(接岸・上陸経路)	構造物の出現は接岸経路の分断要因になる。
	流れ			離岸流等の発生により、接岸(遊泳)が阻害される。
	勾配	急勾配化による上陸阻害	開口部の汀線付近	這って上陸するため、汀線付近が急勾配化すると上陸しにくくなる。
	砂の堆積	砂の堆積による産卵場の形成	設置場所背後の後浜	これまで底質(粒径、砂厚)が適さず産卵できなかった場所に、砂の堆積が促進されると、新たな産卵場となる。

下線つき : 設置場所における物理的影響因子    囲み : 背後域における物理的影響因子  
囲み斜体 : 開口部における物理的影響因子    斜体 : 水中における物理的影響因子  
下線つき斜体 : 生物的影響因子

表-5.5 離岸堤・人工リーフ周辺における支配的な影響因子の調査・予測の方法

影響範囲	支配的因子	生物群	影響の内容	調査・予測の方法
設置場所	<u>生息空間</u>	底生生物 海草類	設置による消失	消失する空間における対象生物の生息状況を把握するため、 <u>消失空間における生息・生育密度と生息・生育範囲</u> を調査する。
設置場所の背後	<u>砂の動き</u>	底生生物	砂の動きの減少による種組成や生息密度の変化	背後域の生息・生育状況を調査するとともに、波高の低下に伴う砂の動きの減少について、 <u>シールズ数等</u> を用いて予測する。
		海草類	砂の動きの減少による生育の安定	
	<u>底質</u>	底生生物	底質変化による種組成や生息量の変化	背後域の生息状況を調査するとともに、底質の変化を予測する。 一般に、底質は波高の低下に伴って細粒化することから、 <u>波高の変化やそれに伴う底面摩擦速度、シールズ数等の変化</u> が指標になると考えられる。
設置場所の周辺	<u>流れ</u>	底生生物 魚類	渦流の発生による幼生、餌生物（プランクトン）の集積	設置場所周辺の流れの変化を予測する方法が考えられるが、どのような変化で幼生や餌生物が集積されるかは十分に明らかでないことから、技術的な課題がある。
設置場所とその周辺	<u>餌量(底生生物)</u>	魚類、鳥類	餌量(底生生物)の変化に伴う生息状況の変化	<u>主要な餌場の範囲</u> を把握し、設置場所が餌生物(底生生物)の影響範囲となっている場合は、 <u>餌(底生生物)の変化</u> を予測する。
設置場所、設置場所の背後	<u>海草類の分布</u>	魚類(藻場に生息する種)	海草類の変化に伴う生息状況の変化	対象生物の生息範囲において、 <u>対象生物と海草の生育被度等との関係</u> を把握するとともに、 <u>海草類の変化</u> を予測する。
設置場所の沖から汀線付近(接岸・上陸経路)	<u>接岸経路</u>	ウミガメ類	構造物の出現による接岸阻害	ウミガメ類の <u>接岸・上陸経路と施設設置場所との位置関係</u> を把握する。
	<u>流れ</u>	ウミガメ類	海浜流の変化による接岸阻害	<u>離岸流等の発生</u> を予測する。
開口部の汀線付近	<u>勾配</u>	ウミガメ類	急勾配化による上陸阻害	汀線付近の <u>地形変化</u> を予測する。
設置場所背後の後浜	<u>砂の堆積</u>	ウミガメ類	砂の堆積による産卵場の形成	砂の堆積を <u>地盤高、底質の変化(砂質化)、砂厚の増加等</u> を用いて予測する。

下線つき：設置場所における物理的影響因子とその調査・予測項目（太字）

囲み：背後域における物理的影響因子とその調査・予測項目（太字）

囲み斜体：開口部における物理的影響因子とその調査・予測項目（太字）

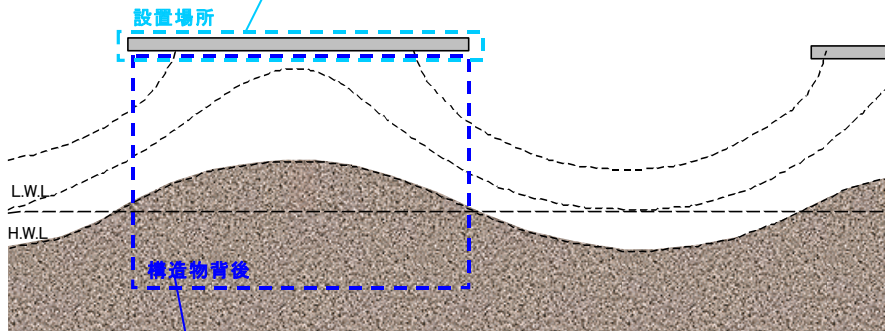
斜体：水中における物理的影響因子とその調査・予測項目（太字）

下線つき斜体：生物的な影響因子とその調査・予測項目（太字）



【底生生物・海草類】 支配的因子：生息空間、砂の動き、底質

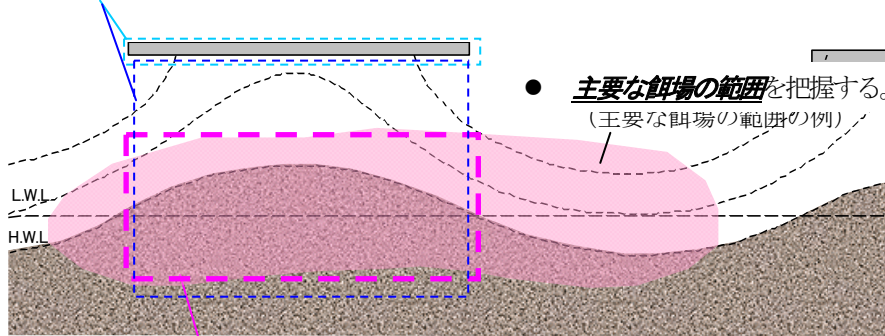
- 消失空間における生息・生育密度、生息・生育範囲を調査する。



- 対象生物の生息・生育状況（密度、範囲）を調査する。
- 波高の低下に伴う砂の動きの減少について、シールス数等を用いて予測する。
- 底質変化について、波高の変化やそれに伴う底面摩擦速度、シールス数等を用いて予測する。

【魚類・鳥類】 支配的因子：餌量（底生生物）

餌生物（底生生物）の影響範囲

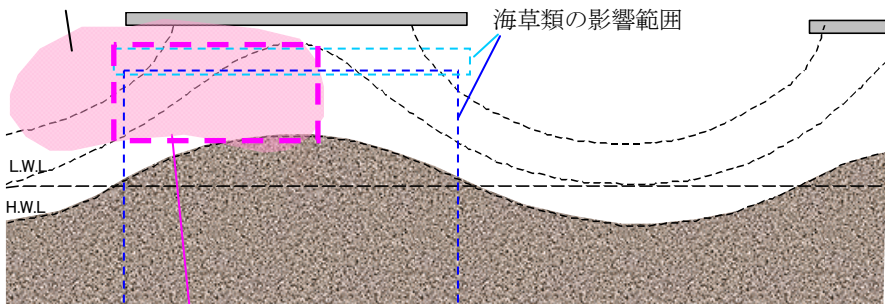


- 設置場所や餌生物（底生生物）の影響範囲が主要な餌場となっている場合は、餌（底生生物）の変化を予測する。

【魚類（藻場に生息する種）】 支配的因子：海草類の分布

- 対象生物の生息範囲において、対象生物と海草類の生育密度等との関係を把握する。

(対象生物の生息範囲の例)



- 対象生物の生息範囲における海草類の変化を予測する。

図-5.6 離岸堤・人工リーフによる影響の主な調査・予測対象範囲の考え方

### 5.1.6 環境影響の予測手法の検討（平成17年度）<sup>2)</sup>

現地調査により得られた環境因子および生物生息に関するデータをもとに、将来の変化を予測する際に利用可能な既往の手法についての文献調査をおこない、それぞれの特徴を整理した。

物理的な環境因子の変化については、変化の時空間スケールにあわせて表-5.6 のとおり整理された。その結果、波浪、地形、流況については比較的モデルの完成度が高いものの、底質については経験式を介在させる必要があり、汎用性の高いモデルはまだ開発されていないことが明らかとなった。また水質予測については、適用可能な時空間スケールが限定されるものの、拡散による物質の動きを予測する場合には汎用性が高いと判断される手法もあることがわかった。

表-5.6 物理的環境因子の変化予測手法

項目	予測内容	予測の時空間スケール			予測手法	変化の影響を受ける生物等
		時間スケール		空間スケール		
		期間	条件等			
波浪	砂浜幅と砂浜勾配の変化に伴う波の打ち上げ高変化	～数日	高波浪時	事業区域（主に構造物背後）	うちあげ高の予測式 改良仮想勾配法など （砂浜幅・砂浜勾配の変化は等深線位置から把握）	鳥類・海浜植物
	波浪の変化	設置時、地形変化に応じて	季節変化 高波浪時	事業区域	エネルギー平衡方程式 放物型波動方程式 ブシネスク方程式 緩勾配方程式	（主に地形変化・底質変化の計算条件に使用）
地形	汀線位置の変化	～数年	季節変化	周辺海域	汀線変化モデル 等深線変化モデル	鳥類、海浜植物、ウミガメ
	海浜地形（沖浜含む）	～数年	季節変化	事業区域（主に構造物周辺）	3次元地形変化モデル（長期予測モデル、3D-SHORE）	アマモ、カブトガニ、底生生物
	堆積侵食量の変化	～数日	高波浪時	事業区域（主に構造物周辺）	3次元地形変化モデル（長期予測モデル）	アマモ、付着生物
底質	粒度組成の変化	～数年	季節変化	事業区域（主に構造物周辺）	混合粒径の汀線変化モデル	アマモ、ウミガメ、底生生物
	底面せん断力・シールズ数の変化	～数日	高波浪時 平常時	事業区域（主に構造物周辺）	底面せん断力 シールズ数の算定	アマモ、カブトガニ、底生生物、魚類
流況	海浜流の変化	設置時	高波浪時 平常時	周辺海域	海浜流モデル（平面2次元モデル）	底生生物、付着生物
	潮流の変化	設置時	—	周辺海域	潮流モデル（多層モデル）	養殖ノリ、カブトガニ、底生生物、付着生物、魚類
水質	懸濁物質量の変化	～数年	高波浪時 平常時	周辺海域	移流拡散モデル（光量予測も必要）	アマモ、海藻

生物生息状況の変化の予測手法については、評価の目的、種を評価するか群集を評価するかで表-5.7のとおり整理した。これらの手法は、いずれも現場の知見の集積によってその使い勝手や信頼性・精度が変わってくるため、現状ではまだ汎用性が高い手法ではないが、HEP (Habitat Evaluation Procedures) は比較的広い範囲の評価目的や対象についてカバーしていること、閉鎖性水域や内湾性の海岸でアサリ (新保ら 2000) やアマモ (高山ら 2003) の評価に利用されており知見も多いことから、有望な評価手法と考えられた。

表-5.7 生物生息状況の変化の予測手法

評価の方法に求める要件	評価の目的	種を評価する方法 (評価内容)	生物群集を評価する方法 (評価内容)
現状や目標 (基準) に対する予測結果を定量的に比較することができる手法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現状 (施工前・目標) と施工後の予測を比較</li> <li>・定量評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・HEP (生息場の適性)</li> <li>・ニューラルネットワーク (生物量)</li> <li>・生活史モデル (生物量)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・HEP (生息場の適性)</li> <li>・土研モデル (種類数)</li> <li>・BEST (生物量)</li> <li>・IBI (生物多様性)</li> </ul>
環境変化の方向性を把握できる手法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工前と施工後の状況を比較</li> <li>・定性評価</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Tw (環境修復性)</li> <li>・アメーバ法 (生物量)</li> </ul>
生物相が異なる場合にも評価できる手法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・生物群集についての評価</li> <li>・新たな生息環境が創出される場合の評価</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・HEP (生息場の適性)</li> <li>・土研モデル (種類数)</li> <li>・BEST (生物量)</li> </ul>
評価結果に係わる要因 (原因) が追求できる方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・生息条件と生物の関係に基づく方法</li> <li>・生息条件で評価する方法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・HEP (生息場の適性)</li> <li>・ニューラルネットワーク (生物量)</li> <li>・生活史モデル (生物量)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・HEP (生息場の適性)</li> <li>・土研モデル (種類数)</li> </ul>

#### 5.1.7 HEPによる生息適地評価の試行 (平成18年度～平成19年度)<sup>3)</sup>

既存の現地調査手法や評価手法が抱える課題を把握するために、兵庫県東播海岸において現地調査を伴うケーススタディを実施した。生物生息状況の変化の予測手法には、表-5.7で整理されたもののうちHEPを採用することとした。

HEPは、環境要因と生息地としての適性の関係を示す適性指数SI (Suitability Index) のモデルを作成し、海岸に設定した各メッシュにおける各環境要因についてのSIを算出、加算することで、生息地としての適性を示すハビタット適性指数HSI (Habitat Suitability Index) をメッシュ毎に求めるもので、事業実施前後のHSIを比較することで、事業による環境影響を定量的に評価するものである。

ケーススタディでは、現地で確認されている生物の中からアサリ、アマモ、シロチドリ、ヒドリガモ、アミメハギ、シロギス、ハマボウフウ、ナメクジウオ、アカウミガメを加えた9種を評価対象種として選定した。2007年12月から2008年1月にかけて東播海岸の藤江地区で実施した現地調査結果をもとにこれらの種についてのSIモデルを作成し、現在の物理環境からHSIの分布を求め、実際の生物分布状況との整合性を検討した。ここではアマモについての検討結果について示す。

(1) 調査範囲

東播海岸の中でも、養浜材の性状が天然の海浜砂に比較的類似しており、かつ、離岸堤の有無による差異について近傍で比較可能な海岸として、藤江地区の離岸堤が設置されている区域と設置されていない区域が隣接する海岸を対象とした（図-5.7）。



図-5.7 調査対象範囲（東播海岸藤江地区）

(2) 支配環境因子の精査

本研究で既に整理した海岸保全施設ごとの影響フローおよび環境因子（図-5.4, 図-5.5）を踏まえて支配因子、実際のアマモの評価に用いる予測項目、予測時期等を表-5.8のとおり選定した。

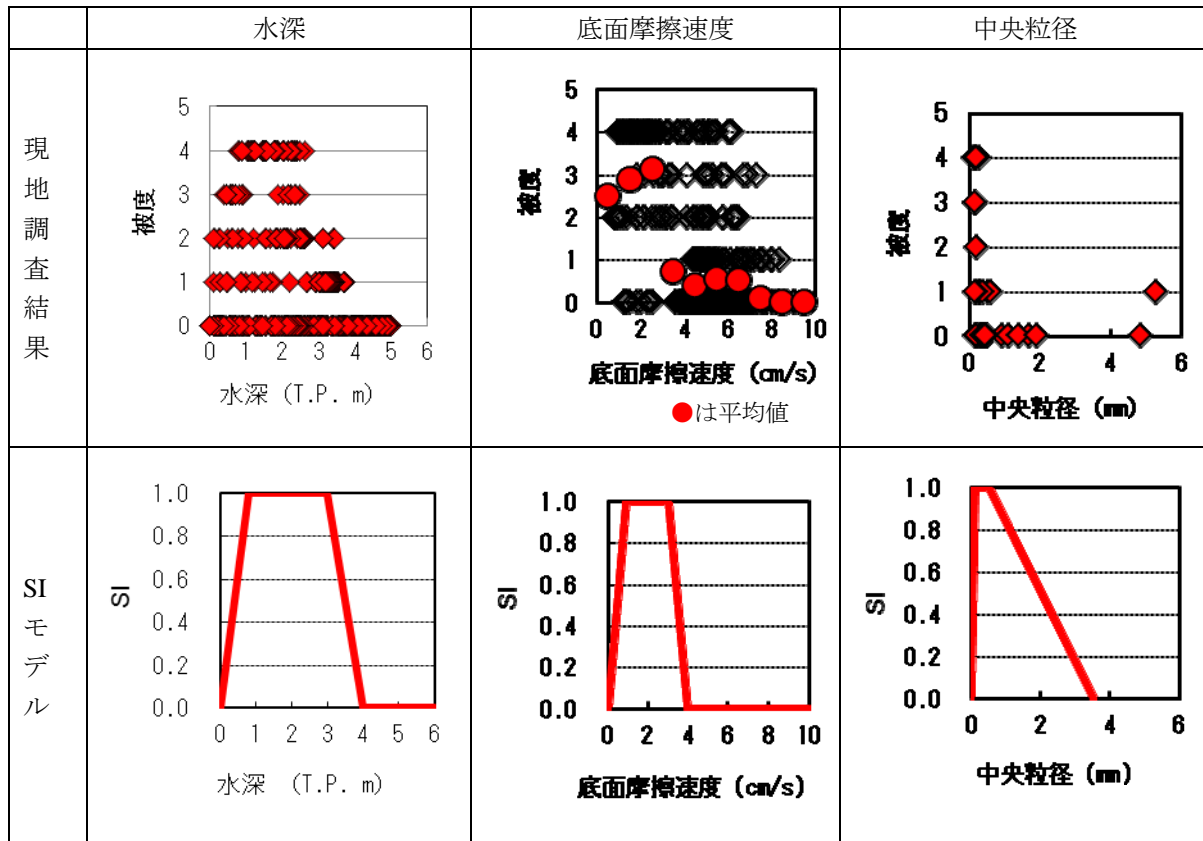
表-5.8 東播海岸のアマモに対する支配環境因子等の選定

支配因子の選定			
生息空間	水深	砂の動き	底質
養浜や構造物設置による海底の改変域では消失の影響を受けるが、今回はモデルによる現況の再現が目的なので選定しない。	施設の設置による地形変化は水中光量の変化につながることから選定する。	種子の落下後の埋没や根茎の発達のためには、適度な砂の動きと安定性が必要である一方、強い流れや波浪によって脱落・流出することから選定する。	種子の埋没や根茎の発達に関係すること、底質のまきあがりになどによって発生する細粒分が葉へ堆積することが生育を阻害する要因となることから選定する。
予測項目の選定			
水深	砂の動き	底質	
<ul style="list-style-type: none"> <li>光（海底日射量）： 予測するための定量的な現況データが十分でないため選定しない。</li> <li>地盤高（水深）： 乾燥および海底日射量に関連する指標として選定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>底面摩擦速度： アマモの減耗要因として高波浪等による脱落・流出があるので選定する。</li> <li>シールズ数： 精度良く算出するには、底質調査点を多く設定する必要があるため、選定しない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中央粒径： 細粒分のまきあがりの他にも、実生の定着等にも底質の組成が関係することから、中央粒径を指標とする。</li> </ul>	
予測時期の設定			
夏季～秋季（6～12月）： 種子の落下・発根期の脱落・流出が起こる時期			

(3) 生息適地指数 (SI モデル) の作成

アマモの分布を支配する環境因子の予測項目の中から水深、底面摩擦速度、中央粒径を選定し、アマモの被度との関係について現地調査結果を整理した (表-5.9 上段)。ここで底面摩擦速度については、暴浪時に影響が強いと考えられるので、波浪場の数値計算により 6~12 月に月 1 回発生する波について求めた値を使用している。こうして整理された結果をもとに、各環境因子と SI (生息適地指数) との関係を図式化した SI モデルを因子ごとに作成した (表-5.9 下段)。

表-5.9 東播海岸のアマモについて作成された SI モデル



(4) アマモの生息適地評価

作成した 3 因子についての SI モデルを幾何平均により統合することで、藤江地区におけるアマモの HSI モデルが完成するが、HSI モデルによって推定された生息適地の分布と実際のアマモの分布状況を示したものが図-5.8 である。生息適地指数 (HSI) の高い場所 (色の濃いグリッド) とアマモの被度が高い場所 (円の大きい場所) は概ね一致しており、良く再現できていることがわかる。実際には海岸事業等の実施後を想定して環境因子を変化させ、そのときの分布状況を現在と比較することになるが、本研究ではモデルによる現状再現性の確認までの実施とした。

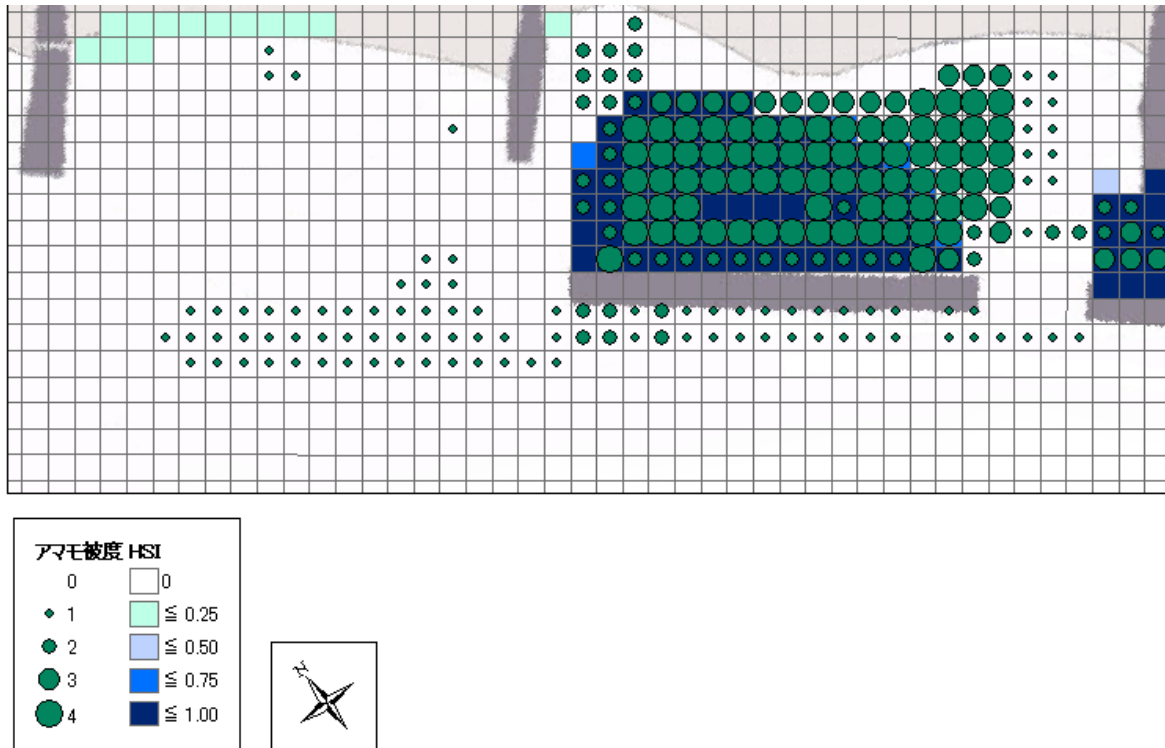


図-5.8 アマモの分布状況と HSI モデルにより求められた生息適地指数

(5) HEP による生息適地評価の課題

本研究でアマモについて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たが、アサリ以外の8種についてのケーススタディも踏まえて以下のような課題が浮き彫りとなった。

(a) 支配的因子を絞り込む際の考え方の整理

生息・生育の支配的因子に関して比較的多くの既往知見が認められる種は、予測項目として複数の指標を挙げることができるが、予測項目数の増加によって予測精度の向上が期待される反面、予測作業の煩雑化も懸念される。支配的因子を絞り込む場合の考え方が整理される必要がある。

(b) 生物と環境との関連性に関する情報の整備

予測の精度を高めるためには、対象生物の生活史段階ごとに支配的な因子が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を整備することが必要である。

(c) 不定期的な攪乱による影響の考慮

生物の分布は、高波浪による底質の擾乱や出水（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必要がある。

5.1.8 開放性砂浜における生物生息適地モデルの開発（平成20年度～平成22年度）<sup>4)</sup>

前項では、兵庫県東播海岸を対象に HEP による生物生息適地評価の試行をおこない、生態に関する知見が多い種については生息適地をモデルによって精度良く再現できることを確認できた。しかし、日本で海岸保全事業が必要とされる海岸の多くは、静穏な東播海岸とは異なり、外洋からの波浪が直接作用する開放性砂浜である。開放性砂浜では、強力な波浪条件のために碎波帯が形成されるという特徴があり、評価モデルの作成にあたってはこの点を新たに考慮せねばならない可能性がある。本研究の冒頭で整理した砂浜海岸の空間分類（図-5.1）で考えれば、東播海岸には「外浜」がほとんど存在しないため、「外浜」が存在する海岸における HEP の有効性を検討する必要がある。そこで、本項では開放性砂浜に

において生息生物の現地調査を実施し、生物分布に対する砕波帯の影響を確認した。次に、砕波帯の存在を HEP に組み込むことができるようにするため、数値計算に基づく砕波帯の抽出方法を提案し、その妥当性を検証した。最後に開放性砂浜を対象とした生物生息適地モデルを構築し、砕波帯を環境因子として組み込むことがモデルの再現性に与える影響を検証した。

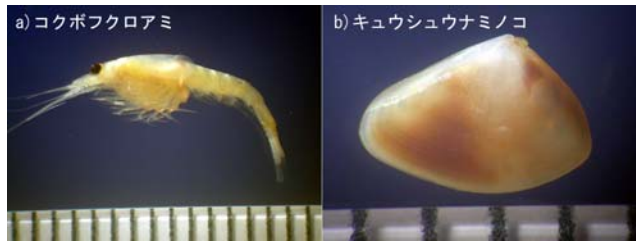


図-5.9 コクボフロアミとキュウシュウナミノコ

(1) 開放性砂浜における生物分布の特徴

2009年1月から2月にかけて仙台湾南部海岸で実施した現地調査では、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ガイは 2m以深でないと採取されなかった(図-5.9, 図-5.10)。平成 19 年 12 月に東播海岸で実施された調査では、分布境界となる水深が生物種間で一致していなかったことを考えると(図-5.11)、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っていることが推察された。またこの傾向は、動き回る範囲が比較的狭い底生生物において特にあらわれることも確認された。

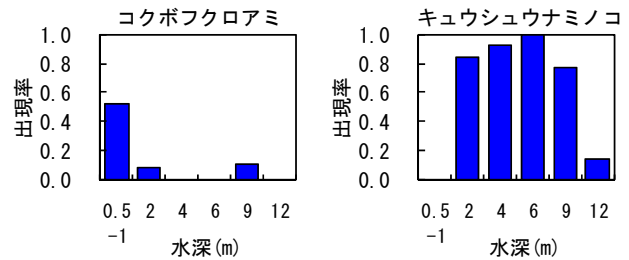


図-5.10 仙台湾南部海岸における水深別の生物出現率

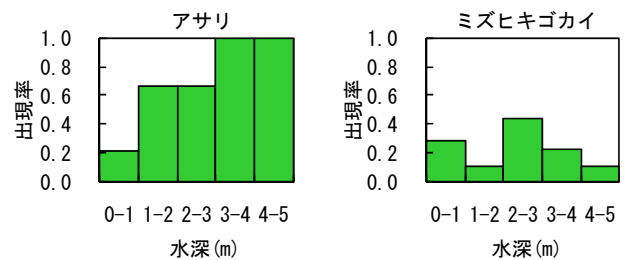


図-5.11 東播海岸における水深別の生物出現率

このことから、「外浜」が存在する開放性砂浜においては、砕波帯の存在を組み込むことが、評価モデルの精度向上に大きく寄与すると考えられた。

(2) 砕波帯位置のモデル化の検討

砕波帯を評価モデルに組み込むには、砕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砕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にした。

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 式 (5.1) と合田の砕波条件式 式 (5.2) をもとに砕波波高比( $H_{1/3}/H_b$ )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-5.12)。この砕波波高比  $H_{1/3}/H_b > 1$  となる範囲が砕波帯となる(図-5.12中の濃色部分)。

$$\frac{\partial}{\partial x}(SC_g \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial y}(SC_g \sin \theta) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left[ S \left( \frac{C_g}{C} \right) \left\{ \sin \theta \left( \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \cos \theta \left( \frac{\partial C}{\partial y} \right) \right\} \right] = -\varepsilon_b S \quad \text{式 (5.1)}$$

$$\frac{H_b}{L_0} = 0.17 \left[ 1 - \exp \left\{ -1.5 \frac{\pi h}{L_0} (1 + 15 \tan^{4/3} \theta) \right\} \right] \quad \text{式 (5.2)}$$

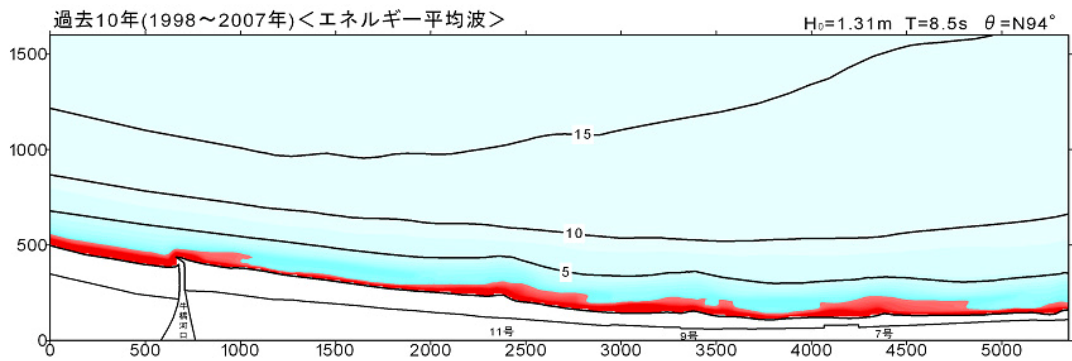


図-5.12 仙台湾南部海岸における碎波帯の抽出結果  
(濃色で示した範囲が碎波帯)

こうして抽出された碎波帯の位置を、計算とほぼ同じ潮位および波浪条件で撮影された1994年の空中写真と比較したところ、抽出された碎波位置は、空中写真では二次碎波の位置に相当することが確認された。これは現地ではサンドバーの地点で一次碎波が起きているのに対して、本計算で使用した地形にはそのような微地形が組み込まれていないことが原因と考えられた。そのため、海底地形条件の精度を高めることができれば、高波浪次や将来時における碎波帯の抽出は可能と考えられた。

### (3) 碎波帯を考慮した生物生息適地モデルの構築

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、仙台湾南部海岸で採取されたバカガイとキュウシュウナミノコガイを対象に評価モデルを構築した。この2種は海底の表層に潜っているため水深0.5mから水深12mまでハンドマッキングタイアで採取することができ、本研究の調査結果の中でも漁法によるバイアスが少ないと考えられるため選定した。ここではバカガイについての評価モデルの構築結果を示す。

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(安藝ら2007)にならって、各環境因子の値と生息地指数(PSI)の関係を整理した(図-5.13)。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。



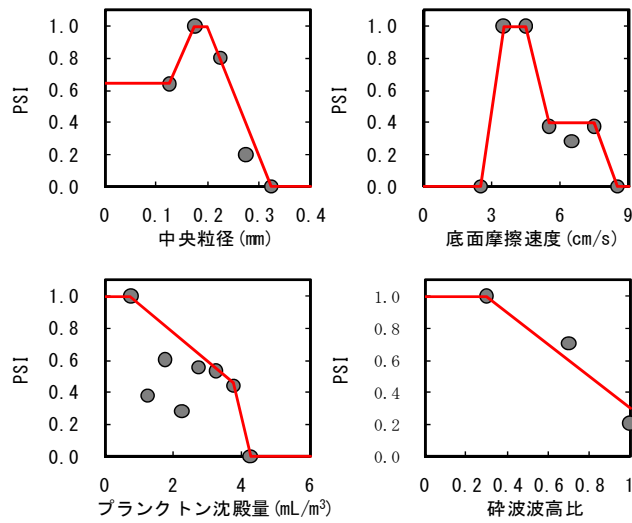


図-5.13 環境因子と生息適地指数 (PSI) の関係

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、砕波帯を考慮すればこの点が考慮される (図-5.14)。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-5.13) を乗じることで、総合的な生息適地評価 PHSI (HEP における HSI に相当) を得た。

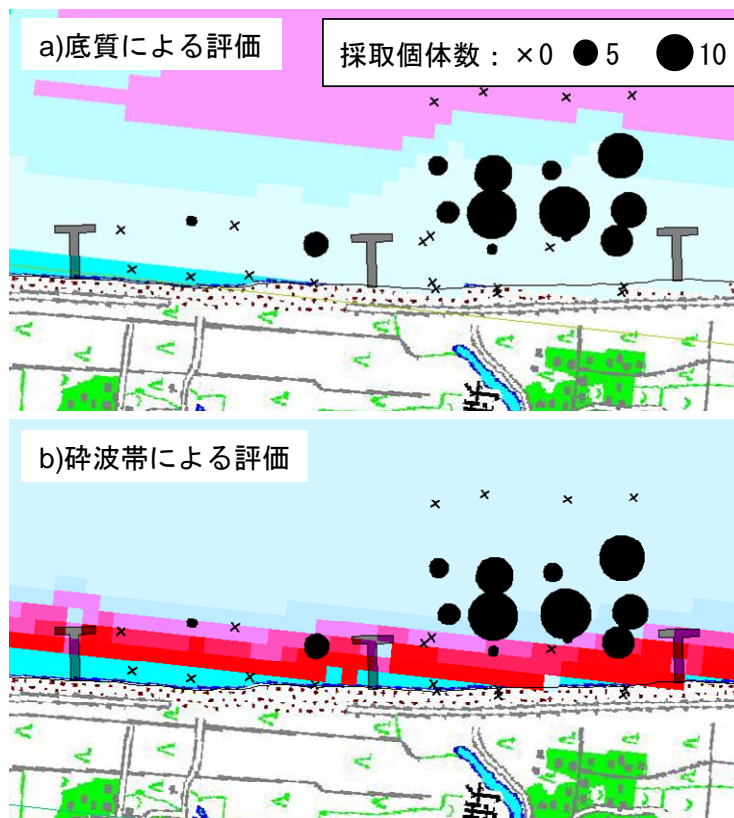


図-5.14 バカガイの採取個体数と生息適地の対応関係 (濃色部で適性が低い)

#### (4) 砕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-5.10 に示す 3 通り設定した。これを現地調査した計 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に対して現地調査時の出現率を求めたものが図-5.15 である。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。

砕波帯を考慮しない 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、底面摩擦速度の変わりに砕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。底面摩擦速度と砕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。

表-5.10 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	砕波波高比 (砕波帯)
Case1	○	○	○	
Case2	○	○	○	○
Case3	○	○		○

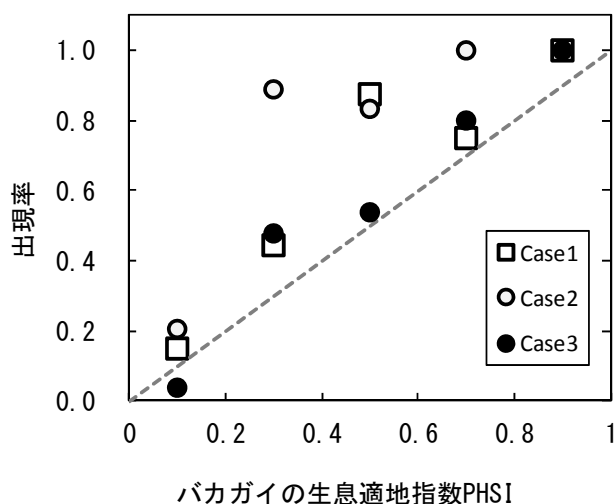


図-5.15 バカガイの PHSI と実際の出現率の関係

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、計算結果が現地の状況を正しく反映しているか検証が難しい。本結果によれば、単純な設定にも関わらず、砕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、砕波帯の形成が、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。

### 5.1.9 まとめ

本研究では、砂浜海岸を対象にこれまで実施されてきた環境調査結果を整理し、従来の網羅的な環境調査だけでは海岸事業による影響を十分に評価できない場合があることを指摘し、代表生物を選定したうえで実施する評価・予測方法を提案した。続いて既往の評価方法の特徴を整理することで、ハビタット評価手続き (HEP) が最も砂浜海岸における適用範囲の広さの点で最も有効であると判断し、砂浜海岸におけるハビタット評価モデルの試行をおこなった。本研究では砂浜海岸特有の評価方法として砕波帯の抽出方法と評価モデルへの組み込みを提案し、その有効性を確認することができた。作成した評価モデルは、環境因子についての既往地形の整理、因子間の相互作用や PHSI を算出するときの重み付け

方法など検討が十分でない部分も多いが、この点は今後事例を積み重ねていくことで改善されていくことが期待される。

本研究の検討結果および検討過程で得られた知見は、現在改訂作業中の河川砂防技術基準調査編で新設される海岸環境調査の節にも反映される予定である。

#### 参考文献

- 須田有輔，早川康博訳(原著者 A.C.Brown and A.McLachlan(1990))，『砂浜海岸の生態学』，東海大学出版会，2002.
- 時岡隆，原田英司，西村三郎，『海の生態学』，築地書館，1972.
- 栗原康，『河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー』，東海大学出版会，1988.
- 建設省河川局防災・海岸課海岸室，財団法人リバーフロント整備センター，『海岸域生物環境調査マニュアル(試行案)』，1995.
- 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適地評価モデル」，『海岸工学論文集』，第 47 巻，pp.1111-1115，2000.
- 高山百合子，上野成三，勝井秀博，林文慶，山木克則，田中昌宏，「江奈湾の藻場分布データに基づいたアマモの HIS モデル」，『海岸工学論文集』，第 50 巻，pp.1136-1140，2003.
- 安藝浩資，中野晋，内田紘臣，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.

#### 成果の公表

- 1) 蔣勤，福濱方哉，加藤史訓，「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.1111-1115，2006.
- 2) 目黒嗣樹，加藤史訓，福濱方哉，「生態系の概念にもとづくインパクト・レスポンスフローを活用した海岸環境調査の提案」，『海洋開発論文集』，第 21 巻，pp.235-240，2005.
- 3) 蔣勤，福濱方哉，佐藤隆，「海岸保全施設による環境影響の予測・評価について」，『海洋開発論文集』，第 23 巻，pp.639-644，2007.
- 4) 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，「砕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.

## 5.2 閉鎖性湾

閉鎖性内湾の環境保全、再生、創出のためには、様々なスケール・視点からの場の理解に基づく目標設定・評価が不可欠である。ここでは、東京湾を例として、その水循環や生態系など保全、再生、創出を目指す場合の環境データの取得について、流域圏、生態系ネットワーク、生き物の棲み処という視点から示す。

### 5.2.1 流域圏という視点

陸上に降った雨が、分水嶺から河川水や地下水として関東平野を流下し、東京湾に注ぎ込む。そうした水の流れを中心に考えることで、東京湾を取り囲む大きな流域圏という領域が定義される。流下する水は、その途中で林野から各種元素を享受するとともに、人に利用され、さらなる有機物や栄養塩を引き受ける。一部は下水道を通り処理された後、再び河川などを通して海域に流入する。そうした負荷が東京湾の循環や水質に影響を与えていることは容易に想像できる。

例えば、東京湾に流入する淡水の量を、陸への降雨によるもの、流域外から流入するもの、海域への降雨によるものを加えて求め、こうした流域圏からの影響を推定してみる。1920年から前後10年間の平均を行い、10年毎の平均淡水供給量として整理したものが図-5.16である。1960年代から1990年代にかけて、約100m<sup>3</sup>/sの流入量の増加がみられる。こうした淡水流入量の増加は、湾内のエスチュアリー循環を強化する等の影響を与え、結果として湾内の海水交換率に影響を与えている。塩分分布を元にした推計では、1947年から1974年の平均の滞留時間は、夏30日、冬90日であったが、2002年には、夏20日、冬40日と計算された。

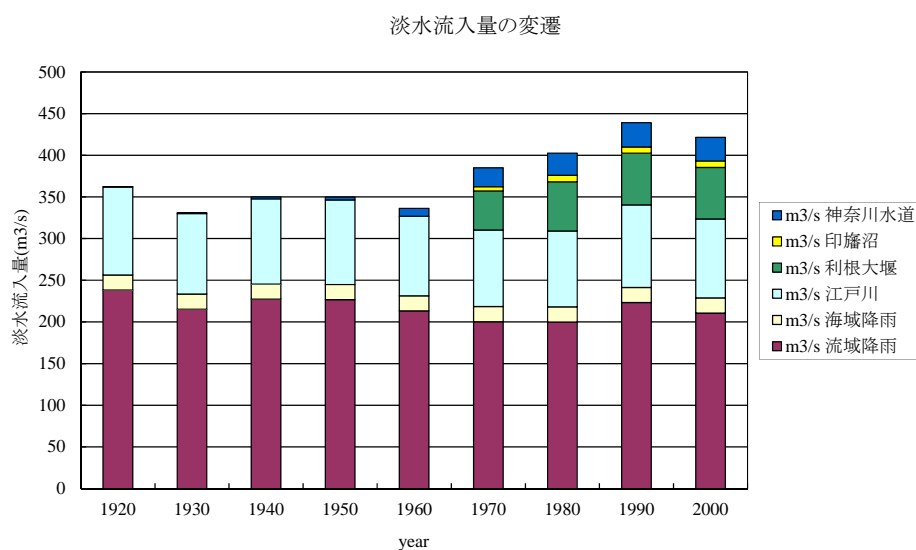


図-5.16 流域圏より東京湾に流入する淡水の量の変遷 (東京湾に流入する淡水の量を、陸への降雨によるもの、流域外から流入するもの、海域への降雨によるものを加え、1920年から前後10年間の平均を行い、10年毎の平均淡水供給量として整理した)

この例は、東京湾という場を理解するうえで、東京湾がそれを取り巻く場と接する境界を通じた相互作用 (場との相互作用) と、そこで生活・活動する人間との相互作用 (人との相互作用) の2つを考えることの重要性が示されている。場との相互作用については、海陸の境界ばかりでなく、湾口を通じた外洋水の貫入や、大気との熱の供給・放射、底質からの溶出・蓄積などが考えられ、あらゆる境界から影響が伝播してくる状況を考慮に入れる必要があるということである。また、人との相互作用については、先の例で人から環境への影響が淡水流入量という視点から示されたが、その淡水に溶け込んだ栄養塩が人間の健康、自然環境に影響が出るレベルまで海域の環境を悪化させたために、流入負荷の規制がなされ、1980年代に窒素で日350tを越えていた負荷が2000年代には220tに減少したとの推算もなされている。これは、自然が人間の活動に影響を与えた例であり、人もまた、その活動を環境に規定されている面を持っているということである。

### 5.2.2 生態系ネットワークという視点

アサリ (*Ruditapes philippinarum*) は日本各地の干潟や浅場に生息する代表的な食用二枚貝であり、濾過食者としての高い海水浄化能力により、環境改善の面からも着目される種である。しかし、アサリの資源量は全国的にも、東京湾でも激減しており、その主な原因は、外来種との競合、乱獲、水質環境の変化、生息場の消失・劣化等とともに、アサリの浮遊幼生の行き来による生息場間のつながり（生態系ネットワーク）の欠落や分断も生態系の劣化の一因でないかと考えられている。

このように、生態系ネットワークは、生き物の量と多様性を確保するために重要な機構の一つと考えられている。その実態を把握するために東京湾におけるアサリ浮遊幼生による干潟間の連携や、海域における移流過程を実証する試みが行われた。2001年8月の結果から、孵化後間もないと考えられる殻長  $100\mu\text{m}$  以下の幼生は、盤洲、富津、三枚洲～羽田、横浜そして市原周辺の海域に多く分布し、自然の干潟や浅場だけではなく、港湾域もアサリ幼生の供給場所として機能していることが推定された（図-5.17）。

また、その後、同じ個体群と考えられる個体群の出現密度の水平分布を比較した結果、分布の中心は羽田～三枚洲および盤洲周辺の海域から、湾中央部に移っていることが明らかとなった。当該日の東京湾では、強い北風により引き起こされた湧昇フロントが湾中央部に観察されたことから、アサリ浮遊幼生の水平分布には物理的な収束機構が作用していることも示唆されている。こうした観測結果を数値計算で再現することにより、東京湾の各海域間のネットワークの強さを推定したところ、富津～木更津間の強い相互方向のネットワークと、東京～川崎～横浜を北から南につなぐ一方向のネットワークの存在が確認された（図-5.18）。

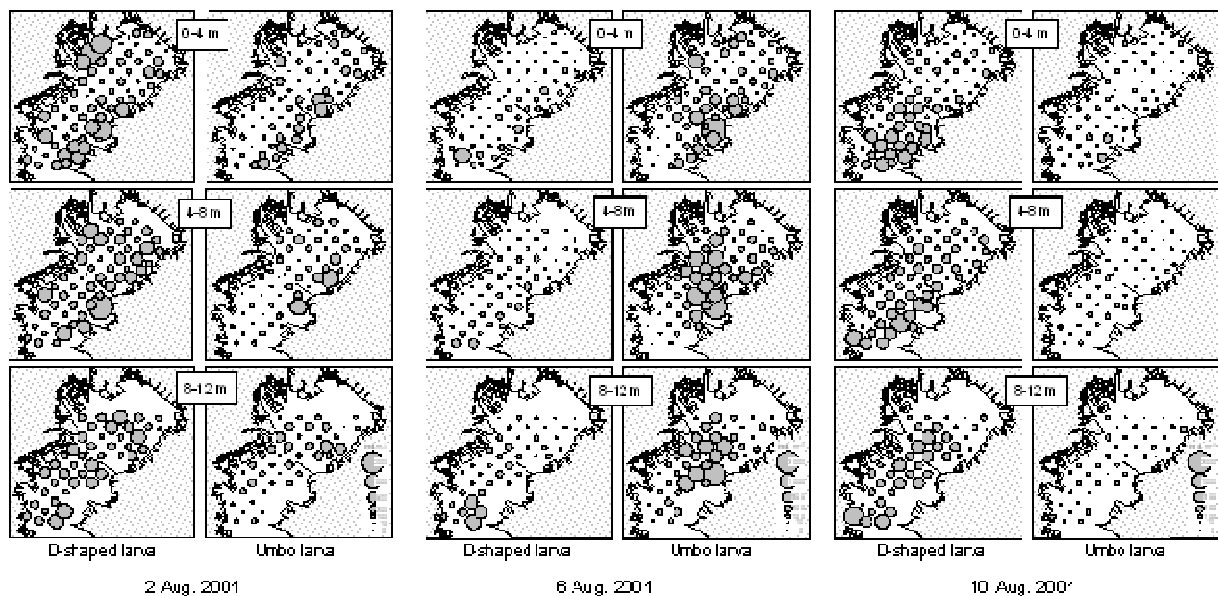


図-5.17 2001年8月に観測されたアサリ浮遊幼生の分布（上層・中層・下層，小型幼生・殻張期幼生）

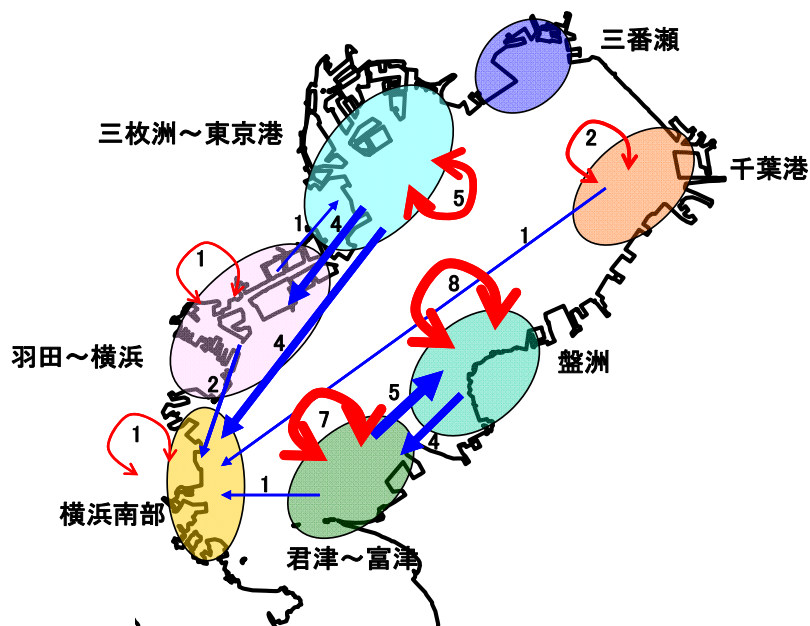


図-5.18 数値計算で推定されたアサリ浮遊幼生のネットワークの例（矢印の数値は、2001年8月の状況を再現した数値計算から推定された浮遊幼生の移流量の目安を表す）

相互方向のネットワークでは、ある生息地に異変が起こっても、もう一方からの供給により回復されるといふ、一種の回復力（resilience）が期待できる。一方、一方向（非可逆的）のネットワークでは、上流側の生息地に異変が起こるとその影響は下流側の生息地に及び、脆弱性を秘めたネットワークであると推定される。そこで、「東京湾の再生のための行動計画」においては、この一方向のネットワークしか持たない場や、ネットワークのつながりが弱いと判断された千葉-東京-横浜を結ぶ広い海域が重点領域として選択されている。これは、場の理解に対応した行動計画の設定がなされたひとつの例である。

こうした生態系ネットワークを通して海域の環境を把握することは、海域の環境を局所的・瞬間的な水質や物理環境だけで判断するだけでなく、周囲との連関や連続した時間の中で生物の中に蓄積される環境条件の情報を読み解くという意味をもつ。今後、場の理解の方向性のひとつとして着目されるべきであるし、その評価手法の開発は急務であると考えている。

### 5.2.3 生き物の棲み処という視点

環境を生物によって評価する試みとして、指標生物による海底環境区分6)や、7 都県市首脳会議環境問題対策委員会水質改善部会の提唱した「東京湾における底生生物等による底質評価方法」がある。後者については、東京湾における底質の環境評価区分を5段階に分け、底生生物の総出現種類数など4項目で評点をつけ、評点の合計で底質環境を評価する方法である。生物を指標とすることにより、場の特性が物理化学特性値としてだけでなく、感覚的に理解できることが利点である。

東京湾再生のための自然再生事業の適地選定に利用できる基礎的資料の作成を目的として、東京湾内湾域の14箇所の護岸において同一時期、同一手法で調査を行い、空間的な生物分布特性の解明を試みた調査結果を紹介する。なお、今回調査対象とした護岸は、外力条件を揃えるために全て直立護岸とし、港外もしくは港外に近い場所に位置する場所から選定した。2006年3月、9月に行った結果をまとめると、図-5.19に示すような付着生物の水平分布が得られている。種類数の分布は、3月、9月いずれも比較的水質が悪いG4~G6付近に極小値を持ち、付着動物については種類数の変動は見られなかった。付着植物については、9月は3月と比べて全体的に種類数が減少していた。これは、付着動物は、水質の長期的な空間的分布特性に大きく依存し、夏の貧酸素水塊や冬季風浪によるかく乱等に制限され、水質悪化・かく乱に強い生物が優先する等の棲み分けがされており、時間的な環境変動による変化が小さかったためと推察される（多様性が低いレベルでの安定）。一方、付着植物については、冬季の透明度の高い水質条件などにより3月に種類数を増大さ

せるものの、その後の水質変動（夏季の透明度低下や貧酸素水塊の襲来等）や、生活史による影響を受け、その生息範囲・種数が季節的に変動する状況にあると推察された。

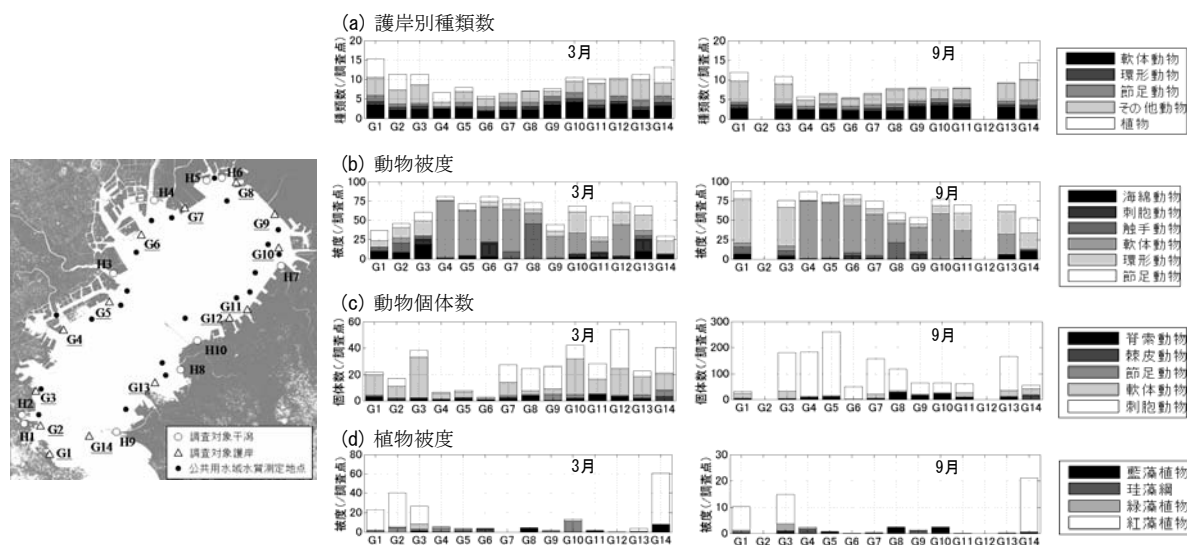


図-5.19 東京湾をとりまく護岸に付着する場所別、季節別の生物の状況

2006年3月、9月調査：(a) 付着生物種類数，(b) 付着動物の被度，(c) 付着動物の個体数，(d) 付着植物の被度

こうした結果を元に、「環境の空間的な分布特性は加入を支配し、時間的な変動特性は生き残りを支配している」と大胆な仮説を立てるとすれば、東京湾をマクロな視点で見たとき「動物・植物ともに、現在の東京湾の環境において加入・生息が可能である。しかし、動物は空間的な変動特性の影響を受け、低い多様性レベルで安定して存在し、植物は季節毎の環境変動・生活史に対応した増減を繰り返している。従って、局所的であっても、周年通して環境条件が満足される場を作ることが付着生物の多様性を高める方法として有効である」というような評価が考えられる。科学的な仮説立案としては乱暴な論理であるが、こうした評価を与えることで、行動計画への指針（どこで、どんな自然再生をすべきか）が得られるのである。土木工学的な自然再生・管理を進めるためには、こうした評価・理由付けが不可欠である。もちろん、こうした評価は事業の中で検証していかなければならないし、検証結果を真摯に受け止め柔軟に事業を実施・変更するシステムが必要である。事業手法として定着しつつある「順応的管理」は、まさに行動計画策定の根拠として採用された仮説を、継続的なモニタリングの中で、その真偽を確かめながら自然再生を進めていくという管理手法を手順化したものである。

生物についての知見を漏れなく明らかにすることは大変難しい。生き物の棲み処という視点で海域の環境を把握するためには、不確定要素・仮定が多く入っていることを理解すべきであり、それを明らかにする調査・研究の努力を怠ってはならない。それと同時に、得られた知識を汎用化・一般化した仮説に集約し、順応的管理で確認しながら場の理解と行動計画の実施を同時に進行させるやり方（順応的管理）への理解も求めたい。

#### 5.2.4 貧酸素水塊という視点

貧酸素水塊は閉鎖性内湾域において注目されている環境悪化の主要な指標である。しかし、これまでの調査では、空間的に沿岸近くや航路等のデータ、及び湾内多地点の鉛直分布データによる情報が不足しているため、東京湾全体の水際線や浅海域における局所的な循環メカニズムを含む包括的な貧酸素水塊の発生メカニズムの把握には至っていない。一斉調査では、時間的な変動は捉えられないものの、上述した既往の調査における欠点を補うように、鉛直プロファイルデータの取得、沿岸部、運河・航路部を含む調査地点の配置、重複を避けた調査地点の設定、調査地点数の増加、などに重点を置いた調査計画がたてられた。

この一斉調査のデータを用いて、東京湾の貧酸素水塊の空間分布特性を示すと共に、水際線や浅海域における貧酸素水塊の規模や空間特性を示す新たな指標を提案し、東京湾における包括的な貧酸素水塊の発生メカニズム解明への第一歩とすることを目的とする研究が行われた。なお、貧酸素水塊の定義として、柳は、生物への影響と海中での化学反応を考慮し、DO 濃度 3.6mg/L 以下、0.036mg/L 以上を貧酸素水塊と提案し、古谷は、底生生物の正常生息域下限を DO 濃度 3mg/L 以下とするなど、対象項目の違いより閾値が考えられるが、本論では貧酸素水塊を DO 濃度が 3mg/L 以下と定義し、以後の解析を行った。

第 1 回東京湾水質一斉調査は、全 46 機関・団体が参加し、調査地点数は海域において計 222 地点、陸域（主に河川域）において計 281 地点、合計 568 地点において実施された（図-5.20）。海域調査地点は、従来の公共用水域調査地点に新規の調査地点を加えて構成されており、また、陸域調査地点は公共用水域調査地点のみで構成された。



図-5.20 東京湾水質一斉調査全調査地点  
(海域:計 222 地点, 河川:計 281 地点, 合計 568 地点)

海域における新規の調査地点では、海面下 0.5m から海底上 1.0m まで鉛直方向に 1.0m 毎に、各水質項目の鉛直プロファイルデータが取得された。なお、公共用水域観測では、表層、中層および底層の最大で 3 層分の各水質項目データが観測された。個別のモニタリング機関における調査方法、調査期間、調査機器等についての詳細は、東京湾環境情報センターWEB サイトに登録されている。また、陸域における一次解析結果は、東京湾環境マップ Vol.3 に示されている。

観測結果のデータは、前出の東京湾環境情報センターWEB サイトから入手可能である。2008 年 7 月 2 日に観測が実施されたデータを、解析の対象とし、各観測項目における単位や観測水深に対する基準の統一など、データの標準化を行ったのち、データノイズやデータ異常値の除去を行い、同時データとして利用可能な計 119 地点分の観測データを整理した（図-5.21）。



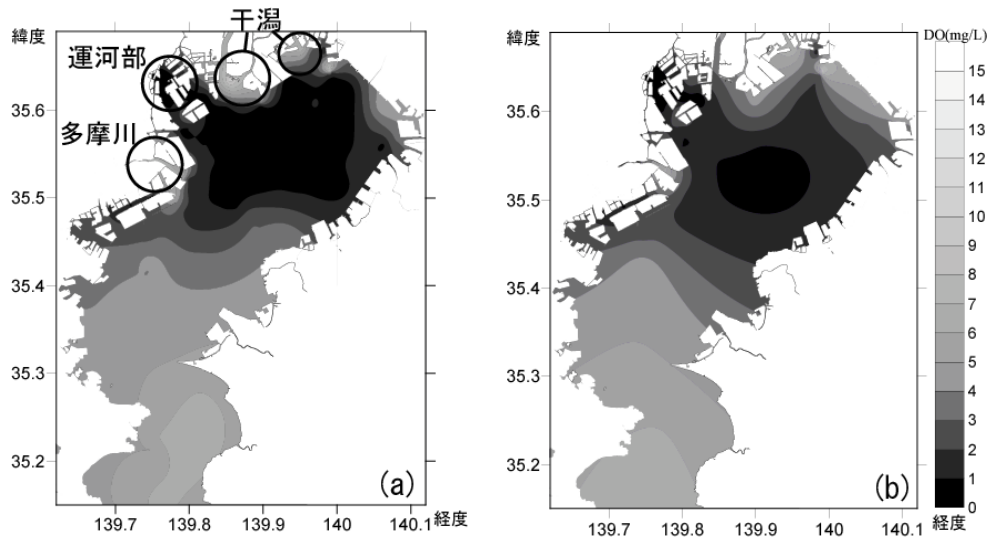


図-5.21 底層における DO の平面分布 (a)左図：水質一斉調査点での計 119 地点より作図，  
(b)右図：公共用水域調査での計 47 地点より作図

貧酸素化の進行の度合いを示す指標として、密度分布を参考に決定した海底から成層界面までの厚さと貧酸素水塊上端までの厚さの割合を示す  $C_h$  式 (5.3) を考案した。

$$C_h = \frac{Z_{DO3mg/L}}{Z_d} \quad \text{式 (5.3)}$$

ここで、 $Z_d$  は海底から成層界面までの厚さ、 $Z_{DO3mg/L}$  は海底から DO が 3mg/L となる厚さを示す。なお  $Z_d$  は、海底から水温と塩分より算出した密度の鉛直方向における最大変化点までの厚さとした。 $C_h$  を図示すると、貧酸素水塊の厚さに対する指標となっており、東京港を含む多摩川河口沖左岸側周辺を中心とする範囲において、貧酸素化の進行が進んでいたことが推察された (図-5.22)。

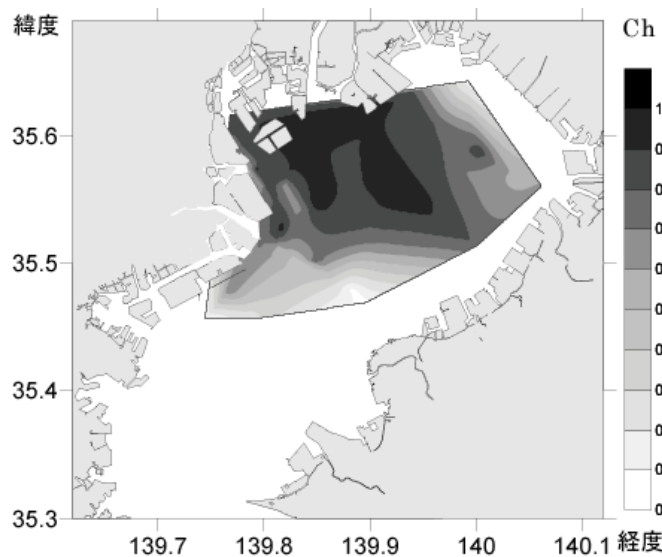


図-5.22 貧酸素化の進行の度合いを示す指標  $C_h$  の平面分布