

2 順応的管理の実際

本章では、海辺の自然再生において重要な場となっている「干潟・海浜・浅場」、「藻場」、および「サンゴ礁」について、それぞれの場の再生を行う場合の順応的管理の実際について解説する。

2.1 干潟・海浜・浅場

(1) 具体的な行動計画・事業実施方針の設定（レベル2）

干潟・海浜・浅場の再生に対する行動計画・事業実施方針の設定に当たっては、これらの生息場が既に形成されている場合（保全、再生）であるのか、あるいは、新たに生息場を形成するような場合（創出）であるのかを明確にする必要がある。

取組み方針の検討に際しては、これらの生息場を構成する主な底質は砂・泥質であるため、外力による影響を受けやすい。基盤・基質の移動、安定性については特に留意し、対象とする指標生物と環境因子との関係を十分に把握したうえで方策を講じることが重要である。

〔解説〕

干潟・海浜（磯浜、砂浜も含む）・浅場（覆砂も含む）の保全、再生、創出における行動計画・事業実施の主な方策は、表2.1.1に示すような実施メニューが考えられる。

干潟・海浜・浅場の再生などにおける順応的な考え方は、図2.1.1に示すような手順となり、生息場が既に形成されている場合（保全、再生）であるのか、あるいは、新たに生息場を形成するような場合（創出）であるのかを明確にしたうえで、目標の設定、対象・指標生物の状況と立地環境を把握し、保全、再生、創出における行動計画・事業実施の各種対応策を講じる。

特に、基盤・基質の移動・安定性については留意し、対象とする指標生物と外力条件などの環境因子との関係を十分に把握したうえで方策を講じることが重要である。

表 2.1.1 行動計画・事業実施の主な方策メニュー

カテゴリー 生息場	既に形成されている生息場		新たに形成する生息場
	保全（保存・防御）	再生（復元・改善・修復）	創出（改変・創出）
干潟	<ul style="list-style-type: none"> 立入制限（保護区設定） 環境保全対策（ゴミの回収など） 	<ul style="list-style-type: none"> 耕耘、覆砂 作れい、濡筋・地盤高の改良（切土、盛土など） 微地形の形成（クリーク、タイドプールなど） 生物の移植（アサリ、アマモなど） 	<ul style="list-style-type: none"> 干潟の造成
海浜	<ul style="list-style-type: none"> 立入制限（四輪駆動車の乗り入れ禁止など） 環境保全対策（ゴミの回収など） 	<ul style="list-style-type: none"> 飛砂対策（防砂柵、植栽など） 砂の補給（サンドバイパスなど） 保全施設の設置（ヘッドランドなど） 	<ul style="list-style-type: none"> 海浜、ビーチの造成
浅場（覆砂）	<ul style="list-style-type: none"> 投錨、操業規制 	<ul style="list-style-type: none"> 砂の再投入、再散布 	<ul style="list-style-type: none"> 砂の投入、散布

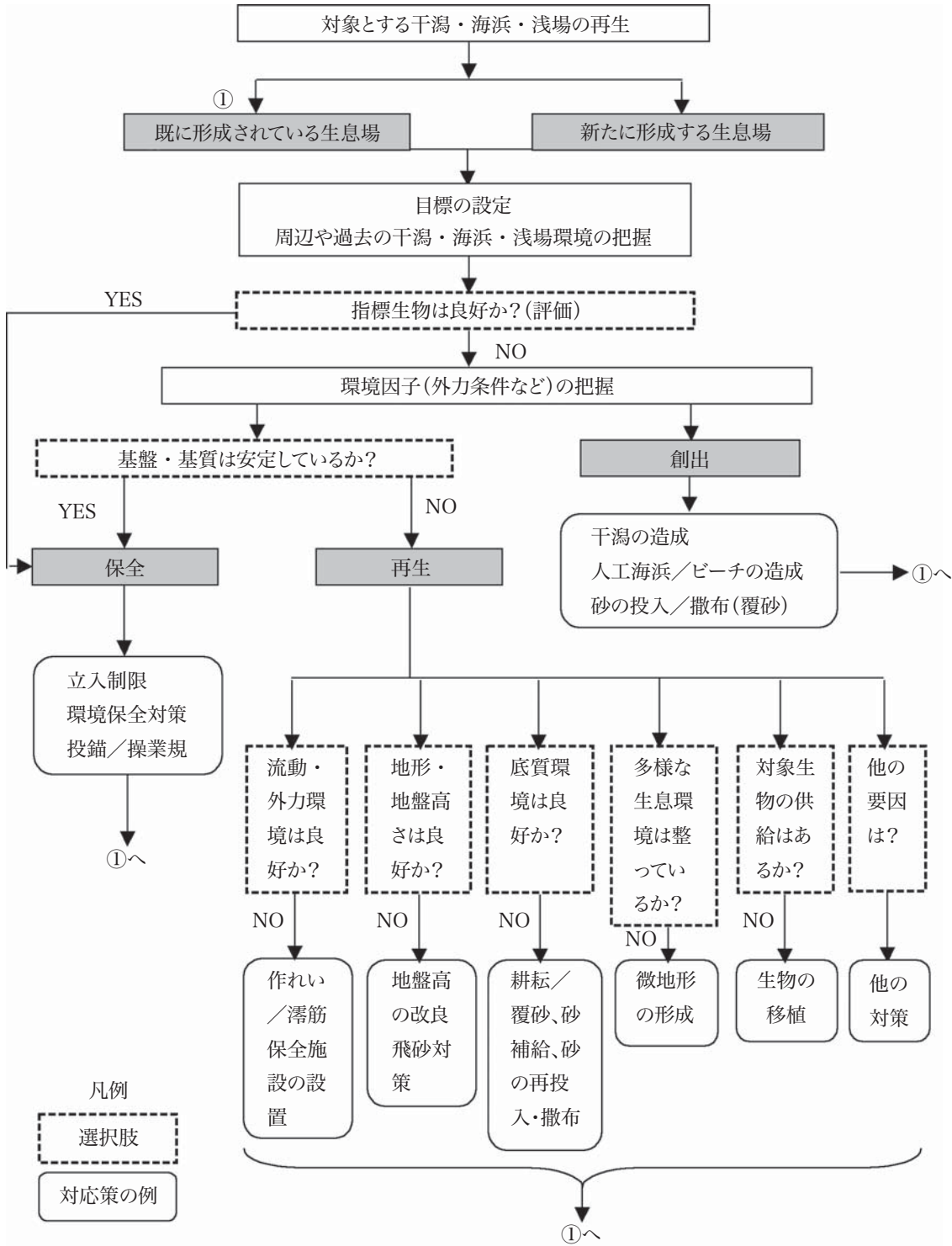


図 2.1.1 干潟・海浜・浅場の再生などの考え方

(2) 目標達成基準による管理（レベル3）

1) 目標達成基準の設定

① 指標項目

干潟・海浜・浅場の再生に関する目標達成基準の指標項目の選定にあたっては、「生物の生息状況」、および「維持管理すべき環境因子」の両側面から捉えることが必要である。

「生物の生息状況」としては、その場の生態系を示す鍵となる生物種・群集を選定することが重要である。例えば、上位性、典型性、特殊性の観点から注目種を選定することが重要である。また、機能面（水質浄化、親水性、生物生息、生物生産）を指標として取り扱うこともある。

「維持管理すべき環境因子」としては、海象、地形、底質、水質などから対象とする指標生物の重要な環境因子を選定する必要がある。

〔解説〕

生息場を特徴付ける生態系の特性を示す注目種は、上位性（生態系食物連鎖上の上位に位置する種）、典型性（地域の生態系の特徴を典型的に現わす種）、および特殊性（特殊な環境であることを示す指標となる種）の観点から抽出した種を選定する。干潟・海浜・浅場における注目種としては、表2.1.2に示すような例があげられる。

また、機能面としての水質浄化、親水性、生物生息、生物生産を指標として取り扱う場合には、これらの機能に関与する対象生物種を抽出し、その現存量から機能を評価する方法もある。また、親水性を取り扱う場合には、利用状況や利用者へのアンケート調査などにより機能を評価する場合もある。

表 2.1.2 干潟・海浜・浅場の特徴的な生態系における注目種の例

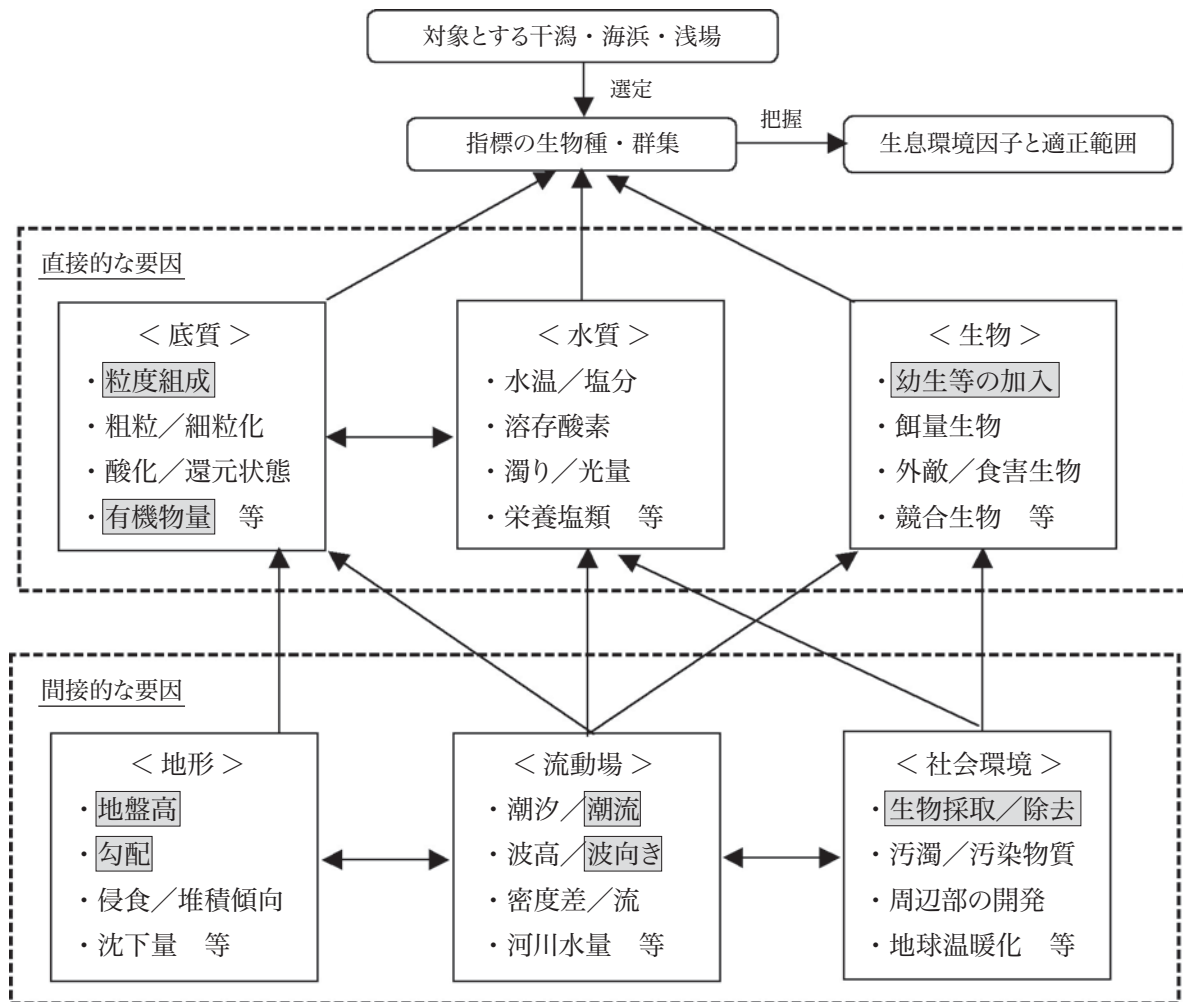
項目 生態系	上位性	典型性	特殊性
干潟	<ul style="list-style-type: none"> 干潟を採餌場とする鳥類（ハマシギ、キアシシギ等） 肉食性魚類（カレイ、エイ等） 	<ul style="list-style-type: none"> 定住する魚類（トビハゼ、マハゼ等） 稚魚期に干潟を生息場とする魚類（イシガレイ、アイナメ等） 広く分布し上位種の餌料となる底生動物（ヤマトオサガニ、アサリ、ウミミナナ、ゴカイ等） 干潟に形成される海草類（アマモ、コアマモ等） 植生群落（マングローブ、ヨシ原） 	<ul style="list-style-type: none"> 河口などの狭い範囲に偏在する生物（エドハゼ、ハゴロモハゼ等） レッドデータブック・リストなどに記載されている希少種（ハクセンシオマネキ、カブトガニ、トカゲハゼ等）
海浜 (磯浜、砂浜)	<ul style="list-style-type: none"> 魚食性の鳥類（コアシサシ等） 魚食性魚類（ヒラメ、カマス類等） 	<ul style="list-style-type: none"> 多く生息する底生動物（ハマグリ、ナミノコガイ等） 魚類（カレイ・ヒラメ類、キス類等） 植生群落（ハマユウ等） 	<ul style="list-style-type: none"> 海岸部の特殊な立地に生育する植物種・植物群落、海岸砂丘植生（ハマボウフウ、ハマニンニク、ハマナス、アイアシ群落、ウラギク等） 産卵場（ウミガメ等）
浅場(覆砂)	<ul style="list-style-type: none"> 魚食性の鳥類（スズガモ等） 	<ul style="list-style-type: none"> 内湾性の魚類（ハゼ類、ボラ類、カレイ類等） 	<ul style="list-style-type: none"> 希少種（ナメクジウオ等）

図2.1.2に示すように、指標として選定した生物種・群集の生存や生育・繁殖などに対しては、その生息環境の因子を抽出し、その適正範囲を可能な限り定量的に把握する必要がある。

そのうえで、指標生物に直接影響している要因と、その要因を支配している間接的な要因を整理する必要がある。例えば、直接的な要因としては、底質、水質、生物（餌量、食害、競合）などがあり、間接的な要因としては、流動場、地形、社会環境などの変化・変動がある。

対象とする干潟・海浜・浅場の再生においては、指標種・群集に応じ、かつ、立地環境から環境因子の重要性を十分に留意することが必要である。但し、必要以上に環境因子の項目数を増やすと、モニタリング調査や管理を継続的に実施していくうえでは、コストや労力面などにおいて得策でない。順応的な管理の考えのもとでは、直接的で支配的な要因や、今後の管理において制御が可能な因子に着目し、指標項目を適切に選定する必要がある。

なお、生物種によっては、科学的にもまだ十分な知見が得られていない場合もある。その際は、環境因子を想定し、仮説的に指標項目を選別し、適時、見直しながら進めていかなければならない場合がある。



凡例：^例例えば、管理上の制御可能な項目の例

←→：相互の関連性を示す、→：影響伝播の方向性を示す

図 2.1.2 維持管理すべき環境因子の選定の考え方

② 目標レベル

干潟・海浜・浅場の再生に関する目標達成基準の目標レベルの設定にあたっては、周辺海域で類似の環境条件を有する生息場を対照区に設定する場合と、周辺海域での対照区が存在しない際に、再生する対象場所における過去の状態を目標レベルに設定する場合がある。さらに、理想とする生息場を目標に設定する方法もある。

指標項目に対応した目標レベルは、可能な限り定量的に設定することが望ましい。また、生物指標以外にも管理する上で有効な環境因子に関する指標を設定することが望ましい。

〔解説〕

目標達成基準の目標レベルの設定事例¹⁾を表2.1.3に示す。ここでは、生物的特性と物理的特性の両面から全12項目の基準と目標値が設定されている。なお、科学的な視点のみならず社会的な合意形成を図る上でも目標レベルが設定されている。物理・工学的な項目については、ある程度の科学的な根拠により設定が可能であるが、生物や生息環境の項目、達成レベル・年次については、事業の進捗と社会的な価値を配慮しながらコンセンサスを得る必要がある。

表 2.1.3 目標設定の事例（ソノマ・ベイランズでの湿地環境修復事業¹⁾）

【生物的特性】	【物理的特性】
<p>①潮汐導入後5年以内に、各ユニットにおいて植生の形成が促進し確立する。</p> <p>②潮汐導入後20年以内に、潮汐の影響を受ける区域の少なくとも65%が沼地植生により覆われるようになる。</p> <p>③20年以内に、修復地を利用するシギ・チドリ類、カモ類及びその他の水鳥（3つのグループに分類して調査）が、参照地を利用する同様の鳥類の数と比べて著しく劣っていない状態となる。</p> <p>④20年以内に、河口域を生息場とする魚類が、修復地の感潮域を利用するようになり、その量が近傍の参照地と比べて著しく劣っていない状態となる。</p> <p>⑤20年以内に、カリフォルニア産オニクイナ（California Clapper Rail）のつがいの少なくとも3組について、同修復地内でその生活を担保（サポート）する。</p> <p>⑥20年以内に、塩湿地カヤネズミ（Salt Marsh Harvest Mouse）の生息適地を最低28エーカー（11ha）提供すること。</p>	<p>①各ユニットにおける浚渫材を盛土した場所の標高は、潮汐導入後の約1ヶ月後において2.9フィート（0.9m）NGVDを超えてはいけない。 （注：NGVD…1929年米国家水準原点）</p> <p>②メインユニットにおける潮汐導入に先立ち、浚渫材表層の化学物質濃度は、投入直後において地域水質既成委員会（RQQCB）の「湿地表層におけるスクリーニング調査の手引き」に設定された値、あるいはソノマ・ベイランズ事業用に同委員会で新たに設定された基準値を超えないものとする。</p> <p>③サンパブロ湾と湿地を隔てている土手の間の主要な水路（潮汐の影響を受ける）は、潮汐導入後1年以内には、自然の流れに従って安定した地形に落ち着く。</p> <p>④5年以内に、各ユニットの（堤防寄りの）主要水路における平均潮差は北部サンパブロ湾の平均潮差の90%に達する。</p> <p>⑤潮汐導入後10年以内に、半島の全長の少なくとも90%はその頂上の標高が4フィート（1.2m）NGVD以下となり、周辺の堤防から25フィート（7.5m）以上離れた半島群の頂上の標高は4.5フィート（1.4m）NGVD以下となる。</p> <p>⑥潮汐導入後20年以内に、事業区域内の水路の密度が、事業実施前の湾寄りの自然湿地のものと同等あるいはより高くなる。</p>

③ 目標達成年次

干潟・海浜・浅場の再生に関する目標達成基準の目標達成年次の設定にあたっては、指標項目とその目標レベルに応じて検討する必要がある。

特に、生物的な指標項目については、生物の再生産の観点から、また、物理・化学的な指標項目については、その場が受ける年・季節変動周期や、台風や洪水時などの一過性の変化を考慮することが重要である。さらに、周辺での開発事業計画などの社会環境の変化が予測される場合には、その変動過程と事後を配慮した設定が望ましい。

〔解説〕

各指標項目に対する目標達成年次の基本的な考え方と設定例を表2.1.4に示す。生物的な指標項目については、生物の再生産の観点から安定傾向が確認されるまでとし、物理・化学的な指標項目については、その場が受ける変動要因に応じて持続・安定性が確認される期間の設定が必要となる。また、目標達成年次を設定した具体事例は表2.1.3（前述）に示す。ただし、モニタリングの実施間隔については、指標項目に応じて効率・合理的に設定することが肝要（後述）である。

表 2.1.4 目標達成年次の設定例

指標項目	目標達成年次の考え方	設定例
植物（海浜性、海草）	単年生、多年生により設定（安定傾向が把握されるまで）	3年以上
干潟生物（ベントス）	一般に、日和見種*の場合は1～2年以内で再生回復する。主要生物は8ヶ月で定着するが、新規に造成した場合で周辺からの種の加入が遅い場合には、種類数は6年後でも増加傾向にある ²⁾ （安定傾向が把握されるまで）	既に生息場が形成されている場合は1～2年程度、新たに造成の場合は6年以上
鳥類／魚類	生活史（最少年＝産卵年次、最長年＝寿命）生息場との係り具合（産卵場、餌場、休息場など）から設定（安定傾向が把握されるまで）	3年以上
地形の安定性	1年後（低気圧や台風などの通過後、洪水出水の経過後）、その後は、安定性を確認する	1年後（イベント後）以後は3年程度ごと
水質／底質	季節変動を把握し、場の構造が把握された後は、持続性・安定性を確認する	1年以内（季節変動）以後は3年程度ごと
流況	潮汐や波浪の変動を把握し、場の構造が把握された後は、持続性・安定性を確認する	1年以内（潮汐や波浪の変動）以後は3年程度ごと
その他共通事項	異常気象や台風や洪水時などの一過性の変化の事後、社会環境の変化後（周辺での整備事業など）	適時設定

* 日和見種：サイズが小型であり、生活史が短く、次世代を多数産む種。

2) モニタリングの実施

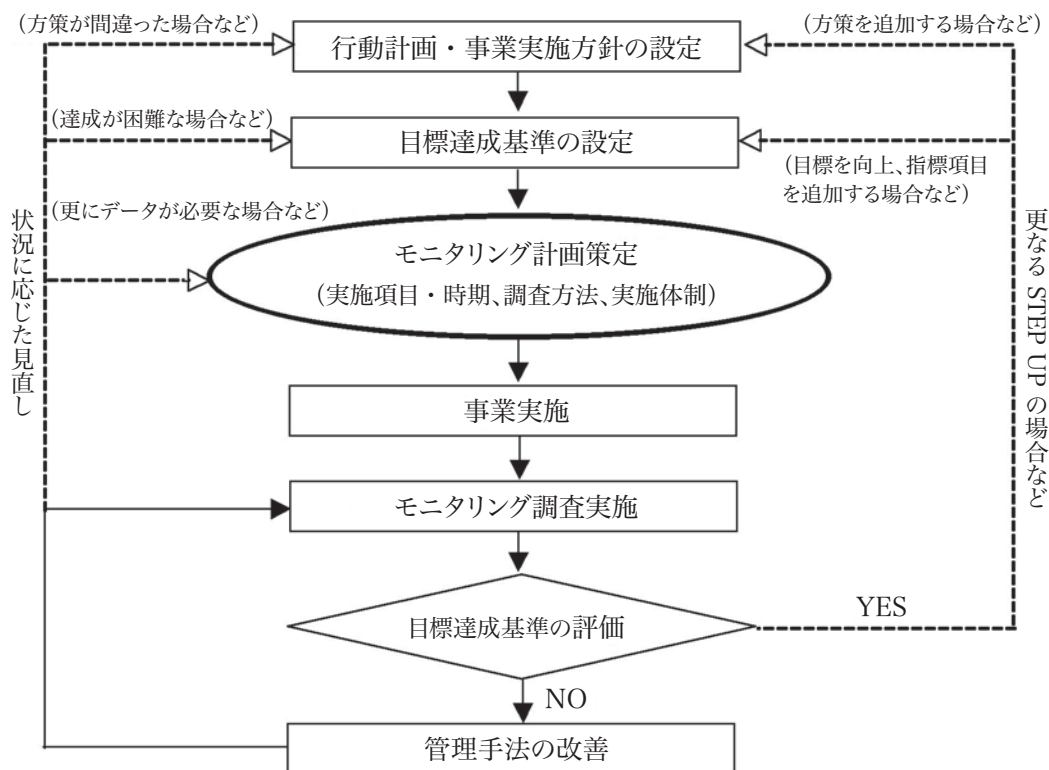
① モニタリング計画策定の考え方

干潟・海浜・浅場の再生に関するモニタリング計画策定の内容は、モニタリングの実施項目・手法、実施時期・期間、実施体制についておこなう。主な調査項目は、地形、底質、水質、生物相などがあり、各調査項目間の関連性が把握できるように調査範囲・地点・配置を設定する。また、経時変化に応じて各環境特性が把握できるように調査時期・頻度を設定し、安定傾向が把握できるような期間を設定する必要がある。

〔解説〕

モニタリング計画の策定にあたっては、行動計画・事業実施方針の設定と、目標達成基準の設定・評価（指標項目、目標レベル、目標達成年次）、および管理手法の改善の観点から検討する必要がある。そのため、モニタリング計画策定の内容は、モニタリングの実施項目・手法、実施時期・期間、あるいは実施体制についておこなう。モニタリング計画の策定は、図2.1.3に示すように、目標達成の評価と管理手法のレビューと改善に係る重要な位置付けとなる。

干潟・海浜・浅場の再生に関するモニタリングの主な調査項目は、地形（地盤高、勾配、沈下量、侵食・堆積の傾向）、底質（粒度組成、酸化・還元の状態、硬度・強度）、水質（水温・塩分、濁りや浮泥）、生物相（底生生物、藻類、塩性植物群落、魚介類、鳥類）、その他（景観）などがある。調査項目・位置・時期・頻度・期間・基本的な考え方と、標準的な調査手法を表2.1.5に示す。



凡例：破線は場合に応じて必要なフロー

図 2.1.3 順応的管理におけるモニタリング計画の策定

表 2.1.5 モニタリングの調査項目・位置・時期・頻度・期間・方法の基本的な考え方

モニタリング項目		調査位置	調査時期・頻度	調査期間	標準的な調査方法
地形	地盤高	干潟全域の傾向が把握できるような地点配置	造成直後は頻度を多くし、外力（強波浪）による変化が把握できるような定期的な時期、頻度を設定する。変化傾向が明らかになった後は、頻度を減らし、経年的な変化が把握できるような時期、頻度を設定する。	地形変化の安定傾向が確認されるまで	汀線測量 浅深測量
	勾配	代表的な断面の勾配が把握できるような地点配置			
	沈下量	地盤高の違いによる沈下量は把握できるような地点配置			沈下板の設置
	侵食・堆積傾向	侵食・堆積が生じる場所を面的に把握できるような地点配置			漂砂計の設置 セディメントトラップ 汀線測量／浅深測量
底質	粒度組成（粗粒・細粒化傾向）	干潟全域の傾向、及び地盤高の違いや侵食・堆積傾向との関連が把握できるような地点配置	造成直後は頻度を多くし、地形変化との関連が把握できるような定期的な時期、頻度を設定する。変化傾向が明らかになった後は、頻度を減らし、経年的な変化が把握できるような時期、頻度を設定する。	底質の安定傾向が確認されるまで	底質採取・粒度分析
	酸化・還元	干潟全域の傾向が把握できるような地点配置			酸化還元電位の測定
	硬度・強度				コーン貫入試験
水質	水温・塩分	干潟全域の傾向が把握できるような地点配置	季節的な水質変化が把握できるような時期、頻度を設定する。季節的な傾向が把握できた後は、頻度を減らし、経年的な変化が把握できるような時期、頻度を設定する。	水質変化の傾向が確認されるまで	水温塩分計
	濁り、浮泥				透明度板／濁度計 セディメントトラップ
生物相	底生動物（ベントス）	干潟全域の傾向、及び地形・底質との関連が把握できるような地点配置	季節的な生息状況が把握できるような時期、頻度を設定する。季節的な傾向が把握できた後は、頻度を減らし、経年的な変化が把握できるような時期、頻度を設定する。	生物相の安定傾向が確認されるまで	採集・分析 目視観察
	底生藻類	地形・底質との関連が把握できるような地点配置			採集・分析
	海草類	生育範囲が把握できるような地点配置			採集・分析 目視観察
	塩性植物群落				採集・分析 目視観察
	魚介類	干潮時に滞在する種類、満潮時に来遊する種類が把握できるような地点配置			採集・分析
	鳥類	干潟全域での生息状況が把握できるような地点配置			春の渡り期、秋の渡り期、越冬期の生息状況が把握できるような時期、頻度を設定する。季節的な傾向が把握できた後は、頻度を減らし、経年的な変化が把握できるような時期、頻度を設定する。	目視観察
その他（景観）	ゴミ・アオサ等の漂着・堆積状況	干潟全域での傾向が把握できるような範囲設定	大雨によるゴミ流出やアオサ大量発生後の状況が把握できるような時期、頻度を設定する。	継続的に実施する	目視観察

(出典：海の自然再生ワーキンググループ（2003）海の自然再生ハンドブック第2巻・干潟編に追加・改変)

② モニタリングの実施方法

a モニタリング手法

干潟・海浜・浅場に関するモニタリングの主な調査項目は、目標とする干潟生物相と、これを支える生息環境である地形、底質、水質などである。

なお、各調査項目は、指標生物の生活史や生態的な特性、あるいは生息環境の変動特性を配慮し、調査の位置、時期、期間、手法などを設定する必要がある。

〔解説〕

干潟・海浜・浅場に関するモニタリングの主な調査項目は、目標とする干潟生物相と、これを支える生息環境である地形、底質、水質などである。なお、各調査項目は、指標生物の生活史や生態的な特性、あるいは生息環境の変動特性を配慮し、調査の位置、時期、期間、手法などを設定する必要がある。

モニタリングの実施間隔については、指標項目に応じて合理・効率的に設定することが肝要である。その事例として、ソノマ・ベイランズ湿地実証事業のモニタリングプログラム¹⁾を表2.1.6に示す。この例では、物理的特性である潮汐、流れ、水質や化学成分などについては、比較的、初期段階（0～1年目）に集中的に現象の把握をおこない、浚渫材の盛土標高、土砂堆積などの地形変化については、初期段階と、事業の進捗状況に応じた時期に、求める精度に応じた調査手法（固定測定棒、断面調査、写真測量など）を計画している。また、生物学的特性である植生や鳥類などについては、比較的頻繁に、かつ調査期間を長く（成功判定基準が満足されるまで）設定している。一方、貴重種については、ある程度の時間が経過した後に（5年目以降）、間隔を空けて（5年に1回）の調査を計画している。

このように、調査項目によって、モニタリングの期間、時期・頻度、調査手法などにメリハリを付けて計画がなされている。

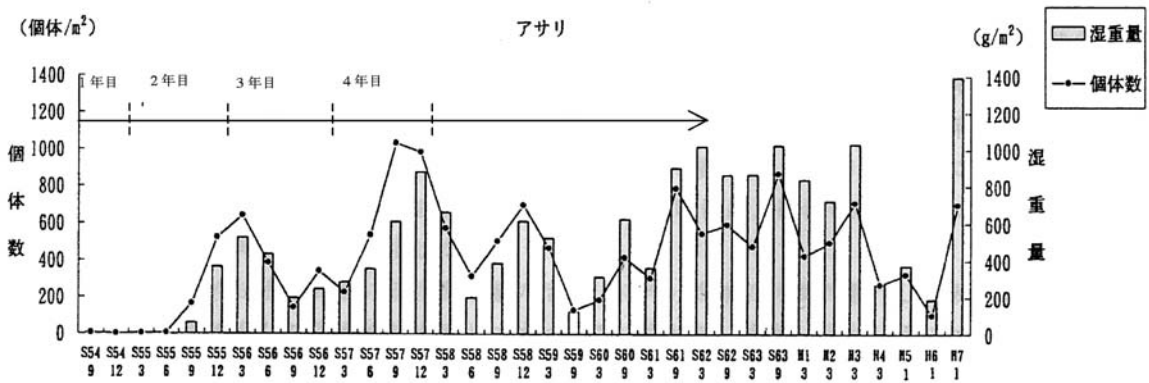
特に、指標生物に関しては、多種多様で複雑な要因を受けての結果として、現象が現れるため、可能な限り長期間のデータの取得と蓄積が望まれる。例えば、国内において10年間以上と比較的長期間にわたって、干潟生物の調査データが取得されているモニタリング事例（アサリ³⁾、底生生物⁴⁾、鳥類⁴⁾、アマモ場⁵⁾）を図2.1.4～図2.1.6に示す。このように、長期的な変動や推移があるので、事業の成果を評価するにあたっては、できるだけより長期的なモニタリングが必要となる。

表 2.1.6 事例；モニタリングプログラムの例¹⁾ (ソノマ・ベイランズでの湿地実証事業)

	No	モニタリングの 対象項目	調査方法	頻度・期間
物理的 特性	1	浚渫材の盛土標高	固定測棒の計測	・0年目：毎月（両ユニット）* ・1年目：毎月（メインユニット） （注：複数箇所有）
			断面調査	・0年目：パイロットユニット
			写真測量	・1年目：メインユニット （堤防撤去の約1ヶ月後）
	2	化学成分	室内分析	・0年目：メインユニット
	3	外海からの流れ	水路の断面調査	・0年目：堤防撤去前と堤防撤去の6ヶ月後、パイロット ユニット ・1～5年目：3月と9月、半年に1度両ユニット調査 ・6年目以降：春季1回調査を変動がなくなるまで続け、 変動がなくなった時点で5年に1回に切り替える
	4	潮汐	潮位	・0年目：堤防撤去の6ヶ月後 ・1～5年目：3月と9月、半年に1度両ユニット調査 ・6年目以降：春季1回
	5	半島頂上の標高	ライン測量	・5年目：予備（簡易）測量 ・10年目：詳細測量
	6	自然の流れを利用した土砂堆積	固定測棒の計測	・1年目：毎月 ・2～5年目：四季調査 ・6年目以降：年1回、夏季（著しい変化がない場合）
	断面調査		・1～10年目：夏季1回 ・11年目以降：2年に1回、夏季（著しい変化がない場合）	
	7	内水路の展開	航空写真によるマッピング	・1～10年目：夏季1回 ・11年目以降：2年に1回、夏季（著しい変化がない場合）
断面調査	・1～10年目：夏季1回 ・11年目以降：2年に1回、夏季（著しい変化がない場合）			
8	水質	塩分、水温、溶存酸素の現場測定	・0年目：2週に1回（パイロットユニット） ・1年目：2週に1回（メインユニット）	
生物的 特性	1	沼地植生の形成	現地調査	・0年目以降：半年～1年に1回（パイロットユニット） ・1年目以降：半年～1年に1回、航空測量で判別できる 程度に発達するまで
	2	沼地植生による グラウンドカバー	航空写真によるマッピング 植生断面調査	・1～10年目：夏季1回・11年目以降：2年に1回、夏季
	3	鳥類	・周辺の堤防上から植生の少 ない部分の観測を実施 ・堤防及び半島群に沿って植 生のある箇所に断面を設 定、観測実施 ・参照地における観測実施	・0～4年目：両ユニットにおいて年14回 ・3年以降：成功判定基準を満足するまで2年に1回。調 査回数は植生が確立するまで年14回、その後は年18回。
	4	魚類	曳網による捕獲と種のカウン ト（潮汐による環境修復が進 んでから）	・0年目：1～4月の毎月（パイロットユニット） ・1年目：1～4月の毎月（メインユニット）
			対象地及び参照地における水 路内の捕獲（網による）と種 のカウント	・3年目以降：3月と9月、成功達成基準を満足するまで 2年に1回。
	5	貴重種	適切な生息場のマッピング・ カリフォルニア産イリエイクイ ナに適した生息場調査・塩沼 地カヤネズミを対象としたラ イブトラップ調査	・5年目以降：5年に1回調査
6	底生動物の群集 形成	パイロットユニットにおける 堆積物調査（堆積物をふるい にかけた後種のカウント）	・0～4年目：半年に1回、3月と9月	

※) 両ユニット：パイロットユニットとメインユニットの2地区がある。

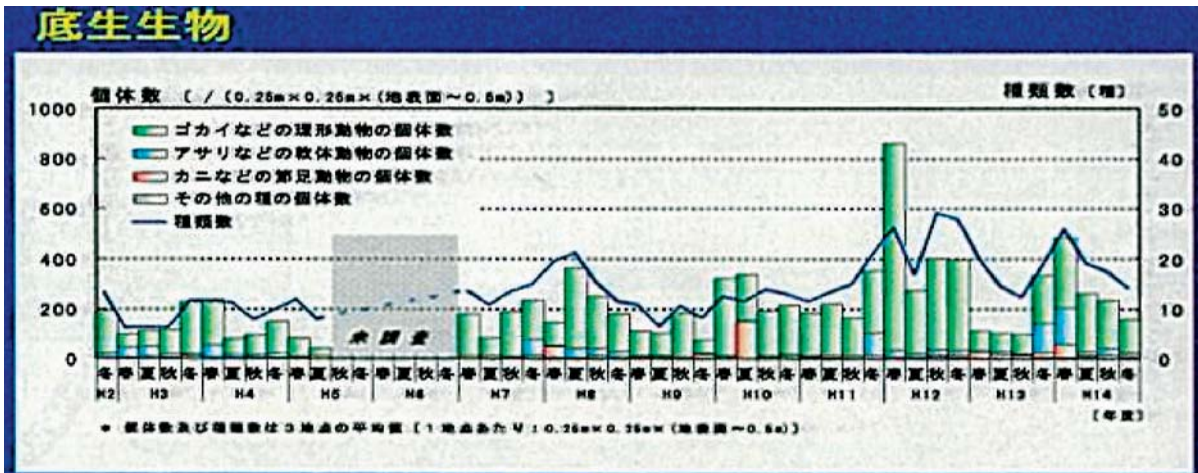
事例1；アサリの個体数と湿重量の経年変化；金沢八景海の公園（S54～H11：約21年間）



※養浜工事は昭和53年～54年にかけて実施

図 2.1.4 干潟造成後のアサリ生息状況³⁾

事例2；底生生物の種類数と個体数の経年変化；五日市人工干潟（H2～H14：約13年間）



事例3；鳥類の種類数と飛来数の経年変化；五日市人工干潟（H3～H14：約12年間）

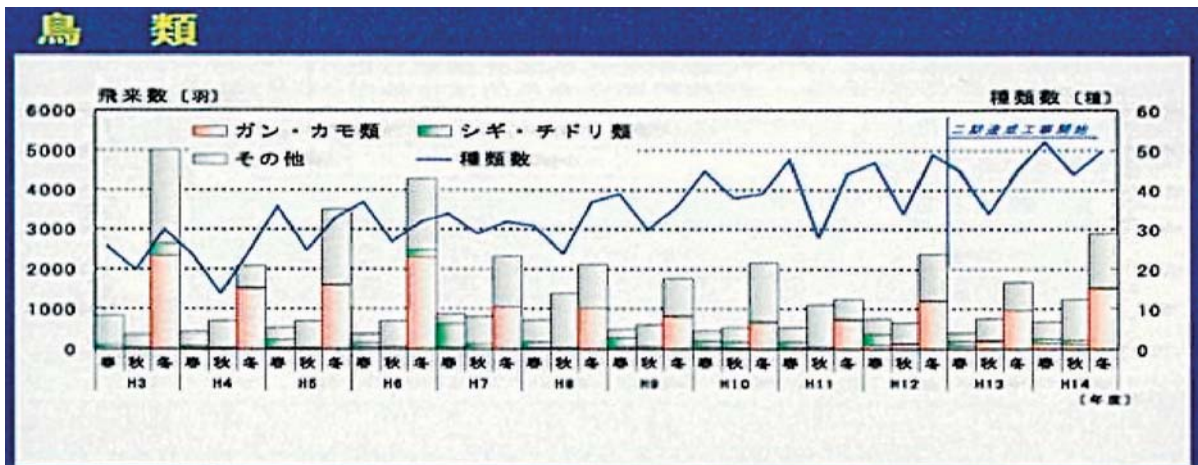


図 2.1.5 干潟造成前後の底生生物生息と鳥類飛来の状況⁴⁾

事例4；アマモ群落の分布における経年変化；百島地区人工干潟（H3～H14：約12年間）

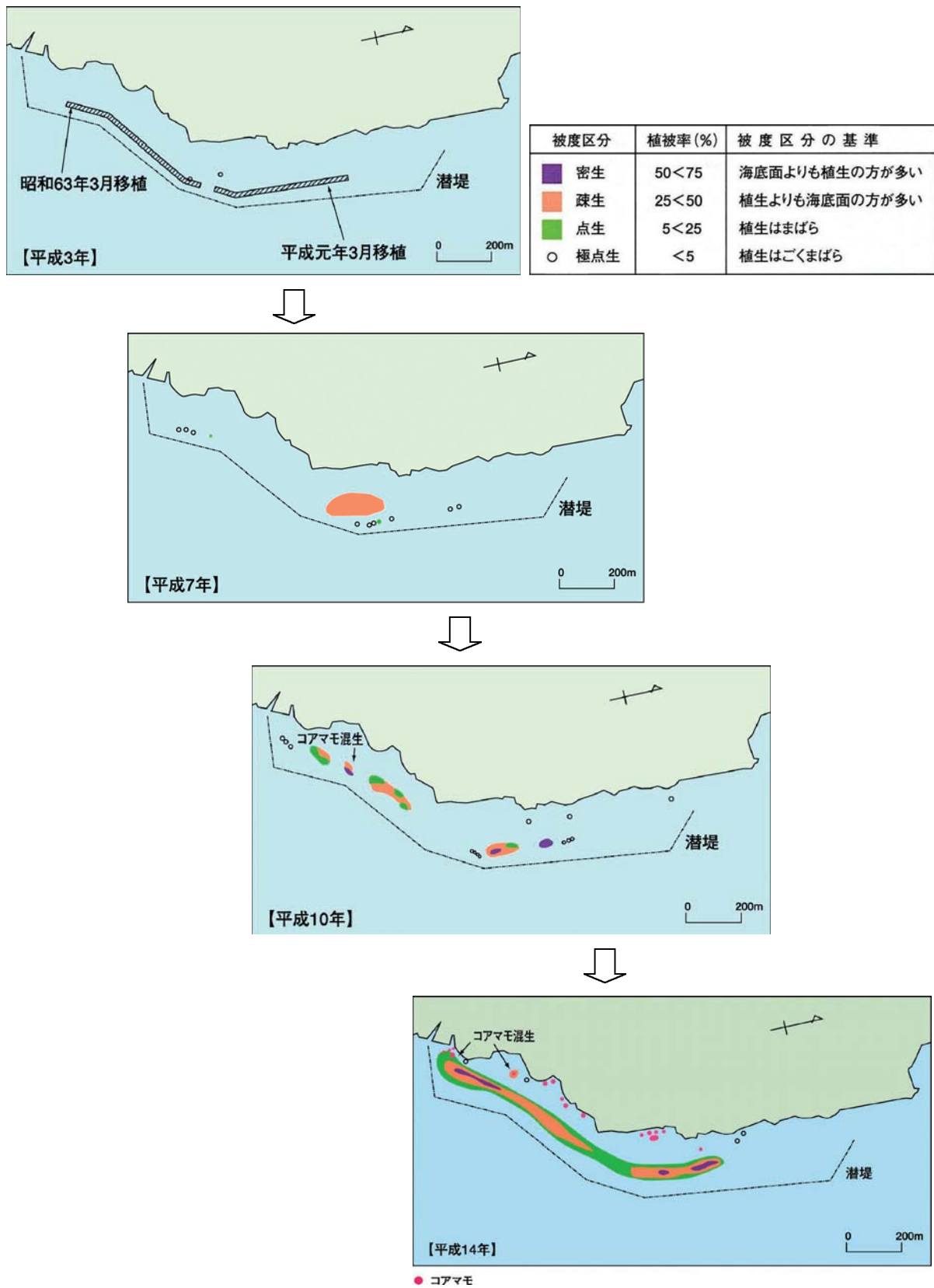
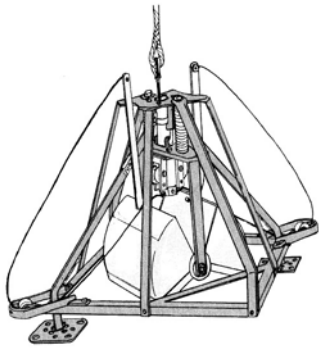


図 2.1.6 干潟造成後のアマモ群落の状況⁵⁾

主な調査手法として、底生生物、魚類、地形変化と底質強度の調査について以下に概説する。

底生生物（ベントス）調査⁶⁾



スミス・マッキンタイヤ型採泥器

図 2.1.7

干潟等のベントス調査は、調査目的と調査地特性に応じて組み立てる必要がある。一般には、定性的調査と定量的調査に分けて考えられる。

定性的調査では、最干潮時において基質環境（底質、微地形など）の異質性を考慮した観察歩行ルート⁷⁾（岸沖方向にジグザグ状のラインを設定）により、目視観察を中心に代表種、優先種、希少種などを観察する。

定量的な調査では、満潮時などに船上から採泥器（スミス・マッキンタイヤ型（図2.1.7）など）により底泥とともに生物を採取し、種、個体数、湿重量、を測定する。あるいは、干潮時に表面の巣穴の数などを測定する。特に、種類数、個体数・湿重量は、採泥方法、調査する空間（採取面積・体積）あるいは採取深度に比例するので、事前に底質内の生物の垂直分布特性などを把握し、要求される精度に応じて決定する必要がある。なお、一般的な目安としては、採取面積は0.04~0.1m²を採泥し、採取深度は最低でも20cm以上おこなひ、1地点で3回以上の採泥が望ましい。

魚類調査⁸⁾

魚類調査で使用する漁具の例を表2.1.7に示す。干潟上部（干出部）では人力で曳網できる砕波帯ネット（図2.1.8）、干潟下部及び潮下帯以深の周辺区域では表層の大型魚は刺網、底層の大型魚はビームトロール、表層の小型魚・稚仔魚は稚魚ネット、底層の小型魚・稚仔魚はソリネットによる採集方法がある。

表 2.1.7 使用漁具の一覧

調査地点	採取層	成魚対象	稚仔魚対象
干潟上部	-	-	砕波帯ネット (目合 0.5mm)
干潟中部 周辺海域	表層	刺網 (目合: 中 網 45 mm、外網 350mm 三枚)	稚魚ネット (目合 0.33mm)
	底層	ビームトロール (目合 18mm)	ソリネット (目合 1mm)

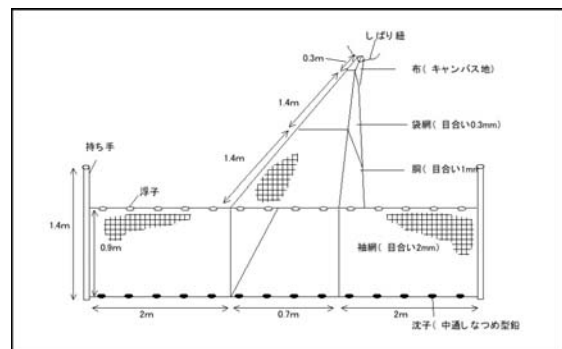


図 2.1.8 砕波帯ネット

地形変化と底質強度の調査⁹⁾

地形調査は、音響測深機等を用いて造成干潟全域において汀線及び深浅測量をおこなう。調査時期は、地形に変化を与えるような大きなインパクトが予測される台風期の後と冬季季節風期の後を基本とする。底質の強度特性を調べる方法としては、干出時間が限られる広い干潟内で効率的に測定が可能なポータブルコーン貫入試験器による方法がある。図2.1.9に測定結果例を示す。

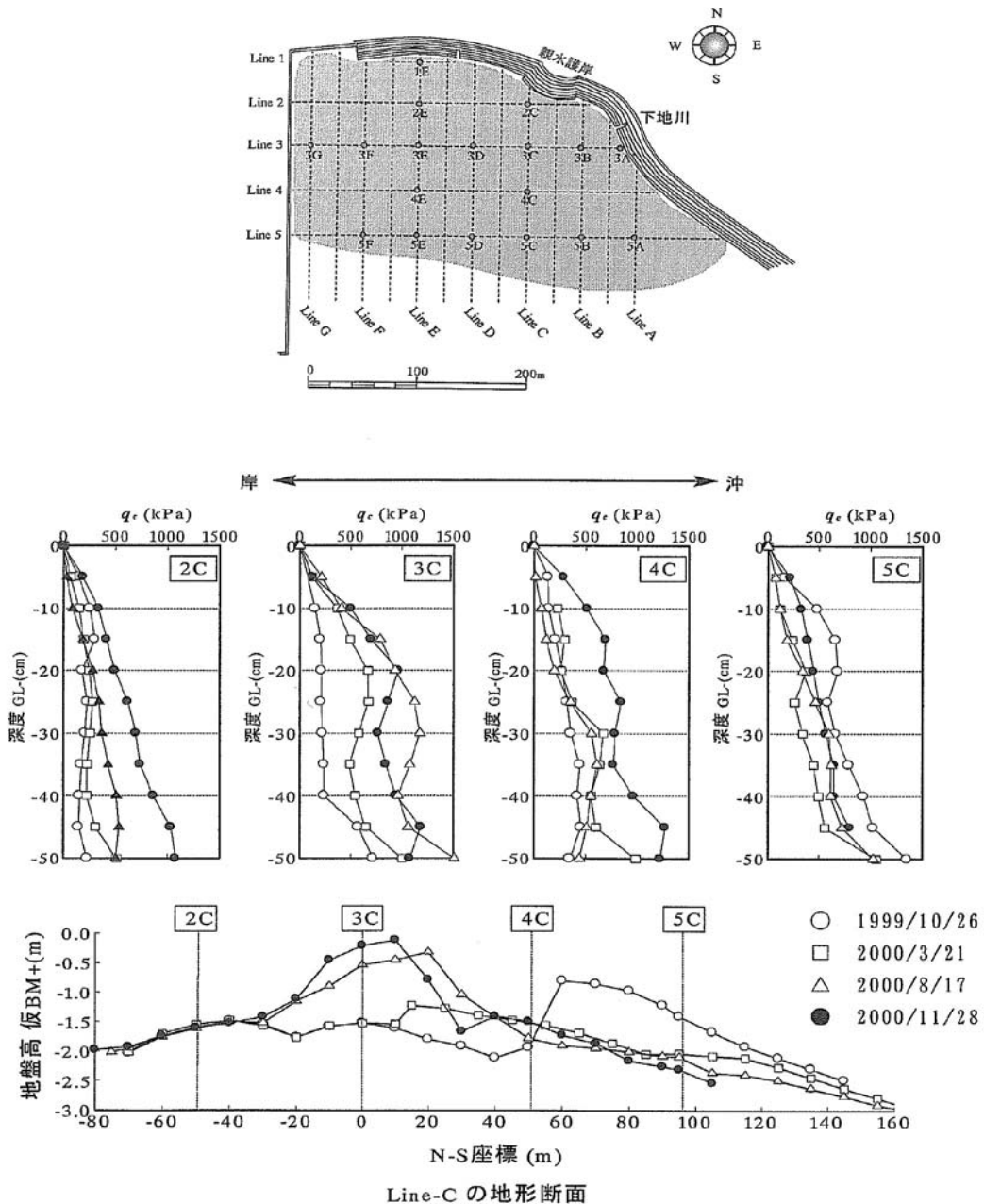


図 2.1.9 干潟における地形変化の様子とコーン貫入試験による抵抗値の変化

b モニタリング実施体制

専門的な手法（機材、規格）を要する調査項目については、専門家や研究機関が実施し、日常的あるいは定性的（目視観察など）な監視調査については、可能な限り地元のボランティアやNPO、環境教育（小・中学校の理科・生物部）などの協力体制のもとに実施することが望ましい。

〔解説〕

地形・水質・底質・生物等で専門的な知識や測定調査技術が必要なモニタリング項目については、民間の専門業者（調査・コンサルタント会社）や、研究機関（大学、公的研究所など）が実施し、環境保全などが計画通りに推移しているか否かの確認と評価を行う。

一方、陸上や水際の植物群落、渡り鳥、カニ類、釣りの対象となる魚類などの一般的に大型で視覚的に見分けやすい生物種については、地元のボランティア、NPO、教育機関、漁業者などの協力を得ながらモニタリングを進めることが望ましい。特に、日常的な環境監視や踏査、あるいは長期間にわたってモニタリングを行う必要がある場合には、このような多様な主体の参加により、多くの情報が得ることが期待される。その工夫としては、適切な指導者のもとで干潟等の観察会などを通じて、広く市民参加型のイベントとして継続的に実施することも考えられる。

例えば、中学校の生物部が30年間にわたって観察した海岸動物の出現種類数のモニタリングデータの事例¹⁰⁾を図2.1.10に示す。また、野鳥の会のメンバーによる23年間（1977年～2000年）にわたる冬季の鳥類（カモ類）のモニタリングデータの事例¹¹⁾を図2.1.11に示す。このように、地元のボランティアやNPO、環境教育などの協力体制によって、貴重なデータや情報を得ることができる。

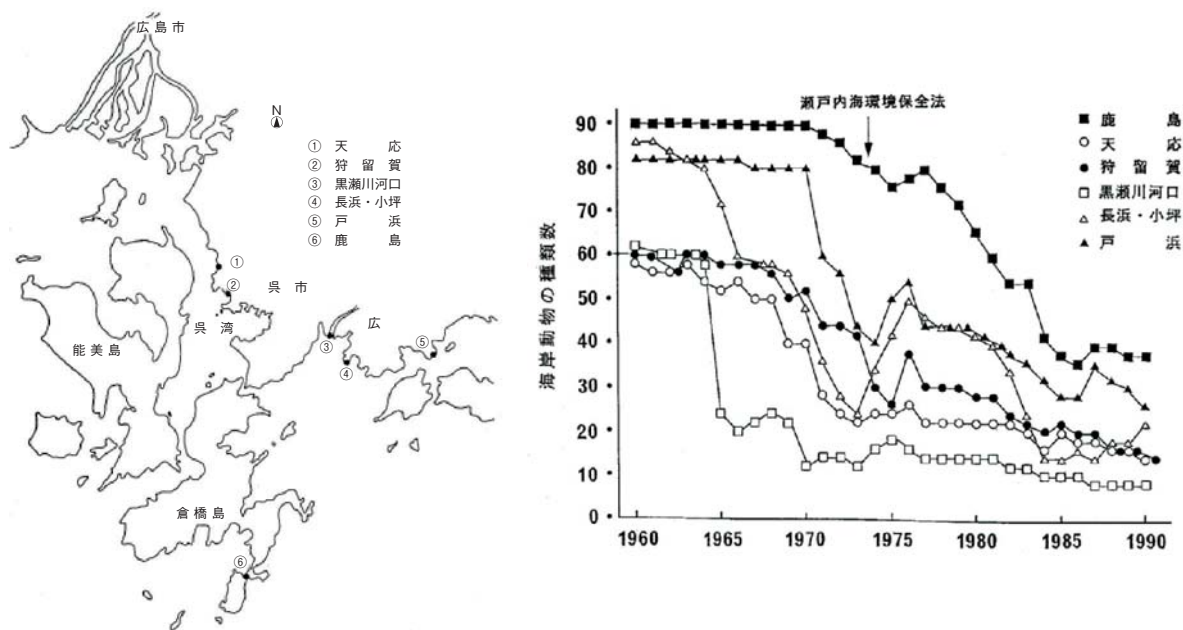
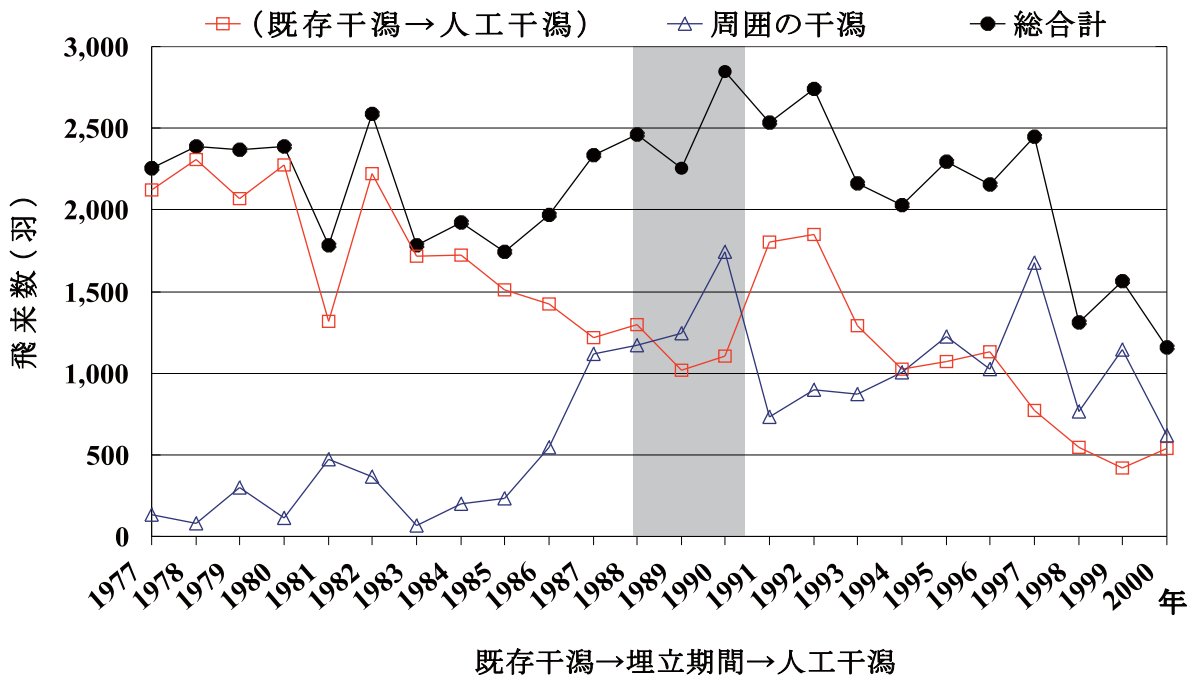


図 2.1.10 呉市周辺の海岸における浅海動物の総種類数の経年変化



注) 既存干潟が埋立られ (1988年～1990年)、新たに人工干潟が造成 (1991年以降) された。

図 2.1.11 人工干潟周辺でのカモ類飛来数の経年変化

3) 管理手法のレビューと改善

① 管理手法のレビューと改善の必要性

指標項目が目標達成基準に満たない場合には、モニタリング調査結果や関連事例・資料などからその因果関係を整理し原因を解明する。これにより、管理上あるいは修復可能な改善方策を見出し、改善の必要性を科学的かつ利害関係者との合意形成のもとに判断する。

〔解説〕

インパクト・レスポンスフローを作成し、干潟造成後の現状の結果から管理手法をレビューし、物理的変化やその他の環境条件の変化に応じて、管理手法の改善の必要性を判断する。例えば、人工干潟での造成事例¹²⁾によるインパクト・レスポンスフローを図2.1.12示す。

目標達成基準の評価としては、複数の指標項目（生物種、環境因子）がある場合には、重要度の優劣や制御可能な因子に着目した管理手法の改善を行う。また、生態系として包括的に生息場を評価する手法としては、HEPやHGMなどの評価手法もある。

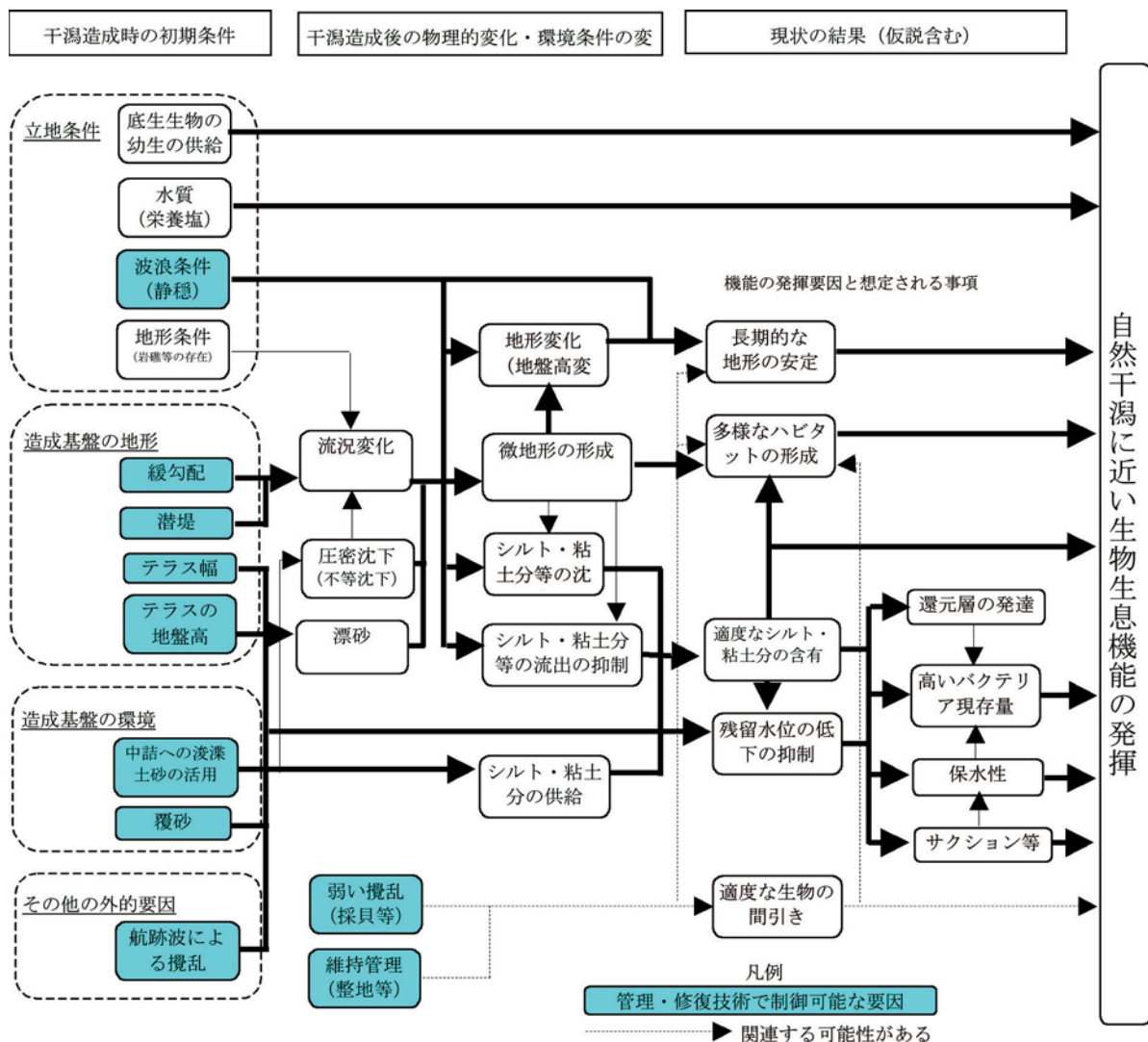


図 2.1.12 インパクト・レスポンスフロー（干潟造成の例）

② 管理手法改善のための対応策

管理手法改善のための対応策は、あらかじめ想定していた立地環境条件（波浪などの外力、水質、生物種の加入など）、造成基盤条件（地形、底質など）、その他の外的要因（海域利用状況など）について、モニタリング調査結果と照合し、対応策を選定する必要がある。

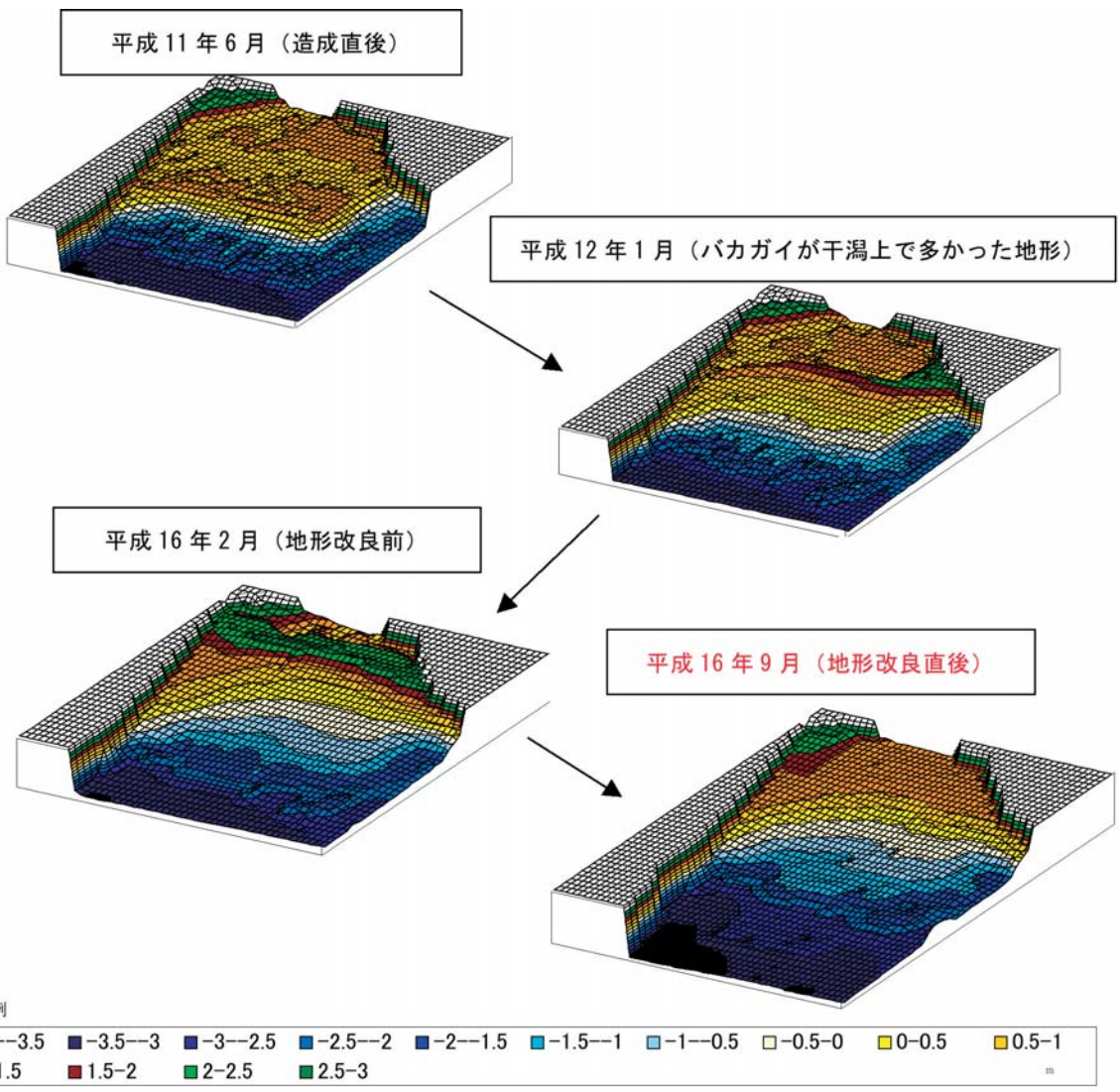
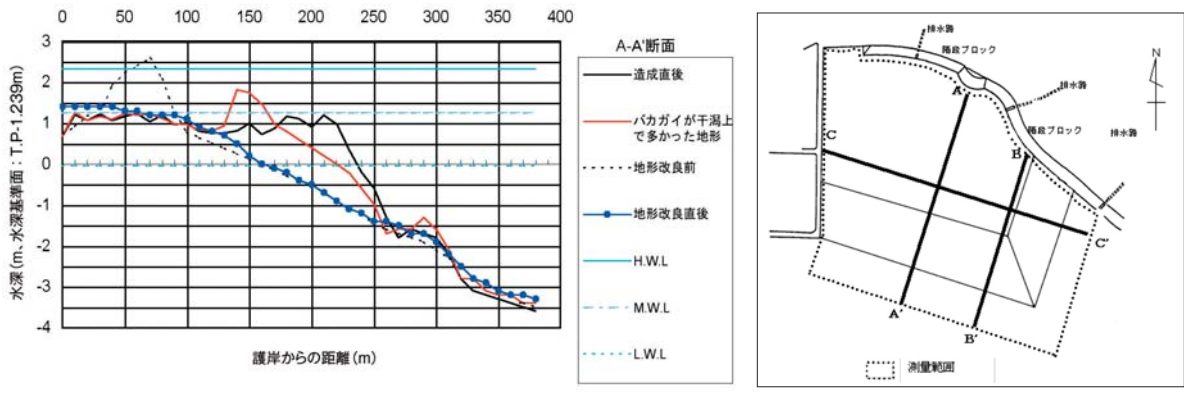
〔解説〕

干潟造成後の地盤沈下や波浪による干潟面積の減少と、鳥類飛来の減少などをふまえ、二期改良工事を実施している事例（五日市干潟）⁴⁾を図2.1.13示す。ここでは、波浪の影響を強く受ける部分では、捨石による防護対策をおこない、波浪の遮蔽効果と河川からの流出土砂の堆積効果などを目的に新たに盛土や島の造成をおこなっている。

造成後の台風などより経時的に干潟地形が変化したため、二枚貝類の生息が多かった時点の地形に再度、修復する工事を実施している事例（三河湾・西浦地区干潟）⁸⁾を図2.1.14示す。ここでは、設計波および地形安定勾配を見直し、切土と盛土による干潟地形の整形を施している。



図 2.1.13 五日市干潟での二期改良工事例



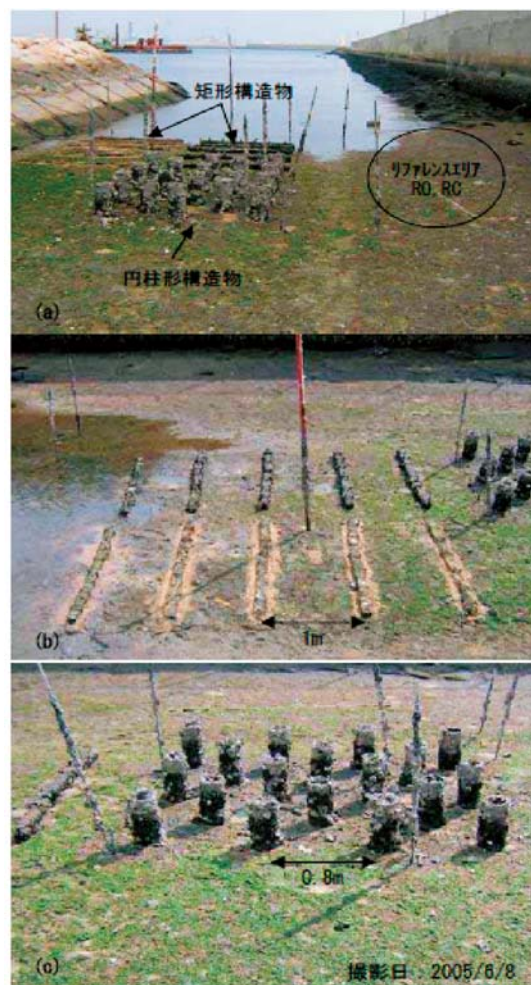
地形改良前後の干潟全体と断面の変化

図 2.1.14 三河湾・西浦での干潟地形の修復例

順応的管理手法について実験的に実施している干潟の造成事例¹³⁾を紹介する。ここでは、実験干潟の目標設定に応じた設計と施工を行い、造成当初から継続的に底生生物や底質のモニタリングを実施し、目標からのずれの原因を調査・検討して、その成果を造成干潟にフィードバックすることを試みている。その結果、夏季にホトトギスガイを中心としたイガイ類が、干潟上をマット状に覆うことが原因で、アサリの生息が不安定であった。そこで、ホトトギスガイが優占化する環境条件を整理し、マット化を抑制する管理手法の改善策を検討、評価し（表2.1.8）、渦や碎波などによる物理的攪乱を促進することを考え、干潟内に物理的攪乱を促進する構造物（写真2.1.1）を設置している。

表 2.1.8 ホトトギスガイのマット化の対策メニュー

メニュー	検討項目				総合評価
	他生物に与える影響		経済性		
① 干潟耕転	他生物の生息を阻害する。	×	比較的高価となる場合がある。	△	△
② 渦や乱れの発生を促進する構造物の設置	生息阻害を受ける生物種が現れるものと懸念される。	△	経済的である。	○	○
③ 碎波点の移動	生息阻害を受ける種が現れると懸念される。	△	比較的高価になると考えられる。	×	△



(a)：実験干潟全景、(b)：矩形構造物、(c)：円柱形構造物

写真 2.1.1 構造物の設置状況

参 考 文 献

- 1) San Francisco District USACE/California Coastal Conservancy (1996) : "Sonoma Baylands Wetland Demonstration Project Monitoring Plan"
- 2) 桑江朝比呂 (2005) : 造成された干潟生態系の発達過程と自律安定性、土木学会論文集、No.790/VII-35、25-34
- 3) 国土交通省港湾局監修 (2003) : 海の自然再生ハンドブック 第2巻干潟編
- 4) 広島県空港港湾局・港湾空港総室港湾企画室、広島県広島港湾振興局、「鳥たちの快適な生活空間を目指して－五日市地区人工干潟－」、パンフレットより
- 5) 中国地方整備局、「干潟・藻場への再生」パンフレットより
- 6) 風呂田利夫 (2003) : 干潟、地球環境調査計測事典、第3巻、沿岸域編、(株)フジ・テクノシステム発行、29-37
- 7) 菊地泰二 (2003) : 採取器具と方法、地球環境調査計測事典、第3巻、沿岸域編、(株)フジ・テクノシステム発行、591-604
- 8) 中田喜三郎・中村由行・鈴木武・石田基雄・田辺義夫・長谷川雅弘・長倉敏郎・大島巖・風間崇宏 (2005) : 浚渫土砂を活用した三河湾の干潟・浅場造成効果の検証、国土交通省中部地方建設局、三河港湾工事事務所、15-30
- 9) 桑江朝比呂・中村由行 (2005) : 浚渫土砂を活用した三河湾の干潟・浅場造成効果の検証、国土交通省中部地方建設局、三河港湾工事事務所、44-51
- 10) 藤岡義隆 (1990) : 呉市周辺海域の浅海動物の変遷、1990年度 教育研究全国集会資料
- 11) 広島県・野鳥の会 (2000) : 提供データからの作成
- 12) 中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所 (2005)、平成16年度 瀬戸内海海域環境技術検討調査報告書
- 13) 中村由行、村上晴通、細川真也 (2006) : 尼崎港に造成された人工干潟における順応的管理の適用性に関する研究、港湾空港技術研究所資料、No.1127

2.2 藻場

2.2.1 岩礁性藻場

(1) 具体的な行動計画・事業実施方針の設定（レベル2）

港湾整備に際して岩礁性藻場を保全・再生・創出するにあたっては、対象海域での現況を正確に把握し、目標とする藻場のあり方を検討し、そのうえで行動計画・事業実施方針を設定することが重要である。

具体的な行動計画・事業実施方針としては、保全の場合には現状の藻場を保護することであり、再生の場合には藻場形成の阻害要因を改善することであり、創出の場合には新たに藻場をつくることであり、それぞれの目標に応じて具体的な方策を設定する必要がある。

〔解説〕

岩礁性藻場は対象種の地理的分布、物理的環境条件、水質・底質等化学的条件、食害生物や競合種等の生物的条件によって、その存在が決定づけられる。そのため、港湾整備に際して岩礁性藻場を保全・再生・創出する行動計画・事業実施方針の設定にあたっては、対象海域での現況を正確に把握したうえで、目標とする藻場の保全・再生・創出の方策を適切に講ずることが重要である。

行動計画・事業実施方針を設定するための検討フローを図2.2.1に示す。保全の場合には、現在藻場が形成されているところを保護することが目的であり、主に対象種の生活史・生育環境を維持・改善することが行動計画・事業実施方針の基本となる。再生の場合には、藻場の構成要素またはその一部が何らかの要因により欠落して藻場が形成されていないところに藻場をつくることであり、藻場形成の阻害要因を改善することが行動計画・事業実施方針の基本となる。創出の場合には、現在藻場でないところに藻場をつくることが行動計画・事業実施方針の基本であり、藻場の創出のために造成場所・規模、構造形式、造成期間等の方策を検討する必要がある。なお、行動計画・事業実施方針を具体的に実行するためには、順応的管理に基づいた岩礁性藻場の再生の事業を具体的に実施し、さらに藻場の造成に関するモニタリング・評価・レビューを行うことが重要である。

行動計画・事業実施方針を設定するための現況の把握について、以下に要点を示す。

① 対象海域の海象条件、環境条件の把握とエコロジカル・ネットワークの導入

岩礁性藻場を保全・再生・創出するに際して、対象海域の海象条件、環境条件を調べ、造成場所・規模、構造形式、造成期間等の具体的な検討を行う。また、対象海域周辺の自然環境や藻場の形成状況等を確認し、エコロジカル・ネットワークの知見を導入して整備の空間計画に反映させることが重要である。

② 対象種の生活史、生育環境の把握

対象海域に生育可能な種を選び、その種の生活史、生育環境を調べて、それらの生育に必要な条件を造成計画に盛り込む必要がある。

③ 藻場のモニタリング・評価・レビュー

保全・再生・創出する藻場のモニタリングを行い、その結果を評価・レビューし、必要に応

じて事業の改善を行うことが重要である。この改善のための方策例としては、保護区の設定、光環境を向上させるための基盤高さの嵩上げ、新着生面を設けるための基質の投入・清掃、母藻の移植などがあり、状況に対応した適切な方策を実施することが必要である。

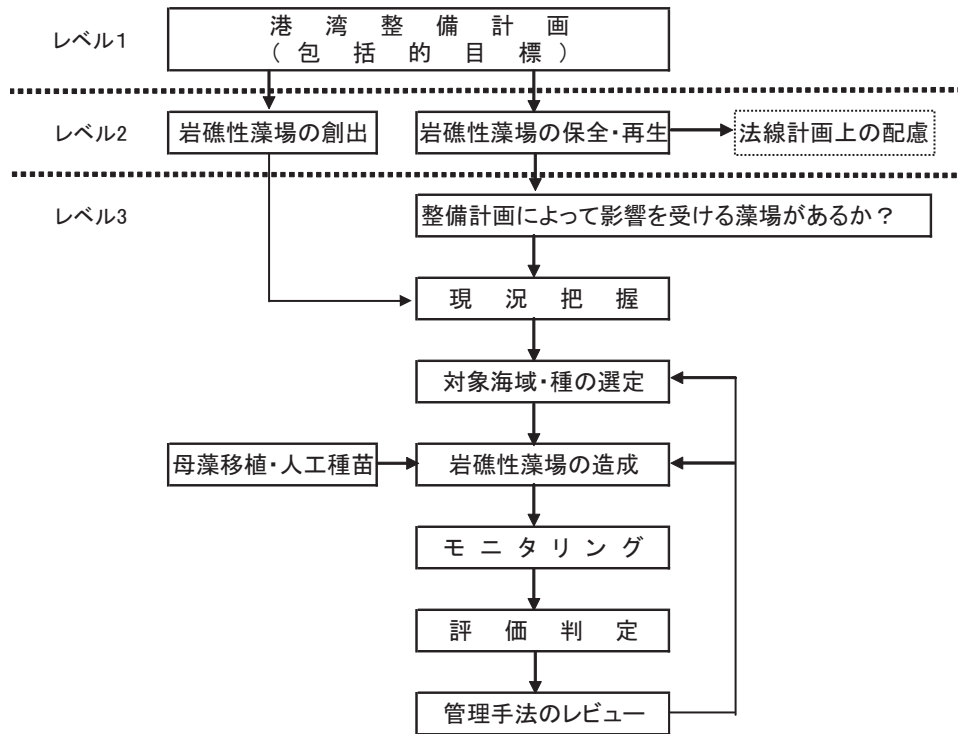


図 2.2.1 行動計画・事業実施方針設定のため検討フロー

(2) 目標達成基準による管理（レベル3）

1) 目標達成基準の設定

既存の岩礁性藻場の保全・再生および新たに形成する岩礁性藻場の創出については、周辺海域の自然環境や藻場の形成状況を確認し、また類似事例から必要な情報を入手して目標達成基準を設定することが重要である。

〔解説〕

岩礁性藻場を保全・再生・創出するためには、対象海域の藻場の成立要因を分析評価し、これに適合した生育基盤を整備する必要がある。このためには、周辺海域の自然環境や藻場の形成状況を確認し、類似事例から必要な情報を入手して、図2.2.2に示すように目標達成基準を設定することが重要である。目標達成基準は、指標項目、目標レベル、目標達成年次からなり、それぞれ具体的な目標内容を設定する必要がある。

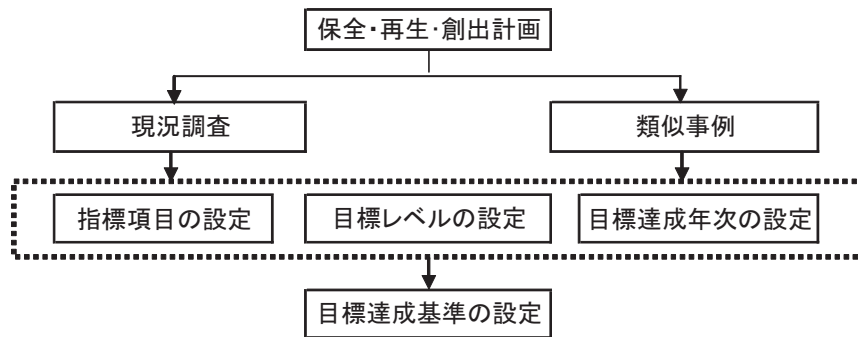


図 2.2.2 目標達成基準の設定フロー

① 指標項目

指標項目としては、藻場に生育する主要構成種の個体数、被度*、大きさがあげられる。また、海藻の成長に影響を及ぼす環境因子及び維持管理すべき環境因子についても、現況を把握することが岩礁性藻場の形成を評価するために有効であり、必要に応じて調査することが望ましい。

〔解説〕

岩礁性藻場に関する指標項目としては、藻場の生育基盤となる物理的・工学的な計画条件が満足していることを前提として、そこに生育する主要構成種の個体数、被度、大きさがあげられる。なお、計画条件が不十分な場合には、すみやかに不具合を改善することが必要である。

また、岩礁性藻場の機能を満足させるためには、造成した生育基盤に海藻類が生育しているだけでなく、多様な生物が生息でき、生態系にも配慮した環境にする必要がある。このため、藻場造成を計画するうえでは、対象海域の藻場の成立要因を評価し、これに適合した生育基盤を整備する必要があるため、藻場の分布を設計に適用できる定量的なデータを計画に盛り込むことが重要である。水質・底質、海藻分布（海藻自体の分布の変遷および消滅した場所の把握）については、藻場の変動要因を追求するためにも、過去から現在までの比較・検討が必要である。また、現地で磯焼け**が発生している場合には、藻場の拡大・縮小の経時変化や磯焼け発生時期および持続期間を明らかにすることが必要である。

自然条件に係わる環境因子（表2.2.1）について、目的に応じて既往資料の収集・整理・解析を行い、またモニタリングにおいてもこれら環境因子を必要に応じて調査することが有効である。これら環境因子の多くは、一般的に管理することは困難であるが、地盤高の調節による水中光量子***の制御や食害生物の除去などのように間接的に管理することが可能なものもある。モニタリングを行う中で優先する環境因子としては、海藻が生育する重要な要素である水温、塩分、

* 被度：群落を定量的に測定する方法の一つで、各種類の植物の地上部が地表を被覆する度合。調査区面積に対する植物が垂直投影面積の割合で示され、一般に百分率被度あるいは被度階級（例：Braun-Blanquetの階級は、1：10%以下、2：10～25%、3：25～50%、4：50～75%、5：75%以上）で表される。

** 磯焼け：季節的消長以外の原因による藻場の衰退・藻場の消失およびその持続過程を指している。磯焼けの原因は、水温や塩分の変化、海況の変異、貧栄養、石灰藻の異常繁茂のほか、海藻を餌とするウニやアイゴ等の摂食など様々あるが、これらが複合して磯焼けが生じることもある。

*** 水中光量子：単位面積、単位時間当たりのエネルギー量を示す光の量（ $\mu E/m^2/秒$ ）。

水中光量子、食害生物*を調べることが望ましい。

表 2.2.1 自然条件環境因子調査項目¹⁾

分類	必要な項目
地形条件	地形図（海岸地形図・海底地形図・海図）
海象条件	波浪（出現状況）・潮流・潮位・航跡波
気象条件	日射量・日照時間・風況・降水量
底質条件	基質形状（岩・礫・砂泥など）・粒径・粒度組成・含水比
水質条件	有機物・栄養塩・水温・塩分・DO・光の減衰（濁度・透明度）・水中光量子
河川条件	流量・流速・水位・河口地形・淡水流入状況（塩分分布など）
地盤条件	土質条件
藻場の条件	分布範囲および分布密度（季節変化を含む）・生活史（各ステージの時期） ・タネ（遊走子・卵・種子）の供給
生物的条件	ベントス ^{**} ・食害（競合）生物

※：ベントスには底生生物と海藻草類の表面に分布する葉上生物を含む

② 目標レベル

目標レベルに関しては、保全の場合には現況以上を目標レベルとし、再生・創出の場合には周辺の自然環境や藻場の形成状況を確認して、その海域で優占する海藻種およびその被度・大きさ等と同程度の生育状況为目标とする。

〔解説〕

目標レベルに関しては、保全の場合には現況の藻場の生育状況为目标レベルとし、再生・創出の場合には周辺の自然環境や藻場の形成状況を確認して、その海域で優占する海藻種およびその被度・大きさ等と同程度の生育状況为目标レベルとする。例えば、図2.2.3に示すように現存する藻場の現況調査から目標レベルを設定するには、主要構成種の分布図を作成し、この結果をもとに優占種であるアカモクを対象種とし、被度を50%、大きさ1m以上の生育状況为目标レベルと設定することが考えられる。なお、周辺海域に海藻の生育が見られない海域では、既存の文献や報告書などを参考に対象海域における海藻の被度、成長量等の繁茂を想定して、目標レベルを設定することも考えられる。水温、塩分、水中光量子に関する目標レベルは、既往の文献や生育条件が不明の場合は近傍藻場の調査から対象海藻の生育条件を選定して目標レベルを設定する。食害生物については、近傍の良好な藻場で確認できる食害生物の密度程度以下为目标レベルとする。

* 食害生物：食物連鎖の下位のある生物を捕食する生物。人工種苗などを放流すると、それを餌とする生物によって捕食減耗することが多い。また、コンブ類などの海藻はウニ類、貝類の餌として重要であるが、それらの動物が多いと被捕食によって磯焼け現象が生ずることがある。

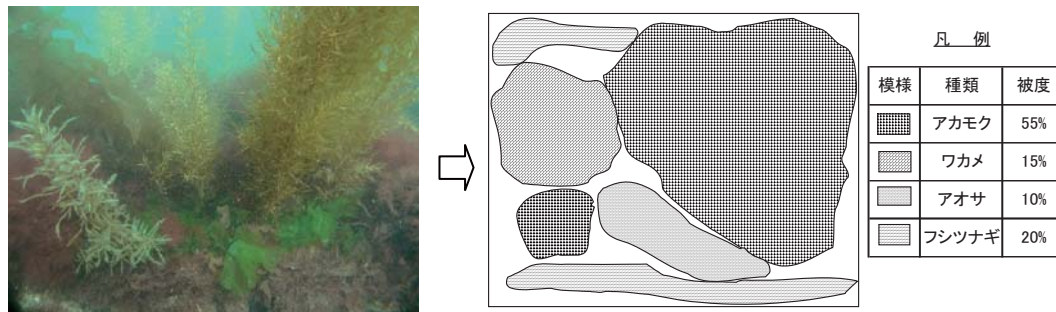


図 2.2.3 周辺海域の現況調査による海藻分布とその被度

③ 目標達成年次

目標達成年次は、周辺海域からの種・遊走子*等の供給の有無や対象種の違いによって異なり、基本的には造成場所での再生産が確認される年次であるが、環境変動を考慮して3～6年間を目安とする。しかしながら、周辺海域に藻場がなく、種・遊走子等の供給がない場合は、母藻移植や人工種苗などの対策手段・規模等に加え、環境条件により目標達成年次は変動しやすいが、人為的な手法を用いて必要量の種・遊走子等の供給を行い、同じように3～6年間を目標達成年次を目安とする。

〔解説〕

目標達成年次は、周辺海域の環境条件を始め、周辺に海藻が分布して種・遊走子等の供給があるかないか、また対象種の違いによっても異なる。種・遊走子等の供給がある場合には、基本的には造成場所での再生産が確認される年次とするが、環境変動を考慮して3～6年間を目安とする。しかしながら、周辺海域に藻場がなく、種・遊走子等の供給がない場合には、母藻移植や人工種苗などの人為的な手法が必要であり、対象面積に対する移植密度・規模の割合により目標達成年次は変動する。この場合、人為的な手法を用いて必要量の種・遊走子等の供給を行い、同じように3～6年間を目標達成年次を目安とする。なお、定期的なモニタリング調査による監視を継続することが好ましい。

愛媛県伊方町では、天然藻場から100～200m離れた場所に藻場造成を実施したところ、図2.2.4に示すように約3～4年でクロメ場が形成されたことがモニタリングにより確認されている²⁾。これに対して、近くに天然藻場がない関西国際空港島護岸の事例³⁾では、藻場造成のために設置した種苗付藻礁ブロック（海藻繁茂面積 $36\text{m}^2 = 4\text{m}^2/\text{基} \times 9\text{基}$ ）からの藻場の広がりを調査している（図2.2.5）。カジメの藻場の拡大速度は、流速の速い護岸（AW）ではカジメの被度が50%以上の範囲は500m/年で拡大しているが、流速の遅い護岸（AS）では被度5%以上の範囲は200m/年、50%以上の範囲は65m/年となっていた。クロメの藻場の拡大速度では、カジメの藻場に比べて遅く、被度50%以上の範囲はなく、5%以上の範囲は110m/年となっていた。このように藻場の形成は、周辺の天然藻場の有無をはじめ、海藻の種類や対象海域の流況等の影響を受けやすいため、目標達成年次の設定にはこれら環境条件に留意する必要がある。

* 遊走子：鞭毛をもって中を運動する無性の胞子の一種。水中を遊泳したのち適当な基質に達すると、鞭毛を失って発芽し配偶体となる。海中林を形成するコンブ目の海藻にみられる。

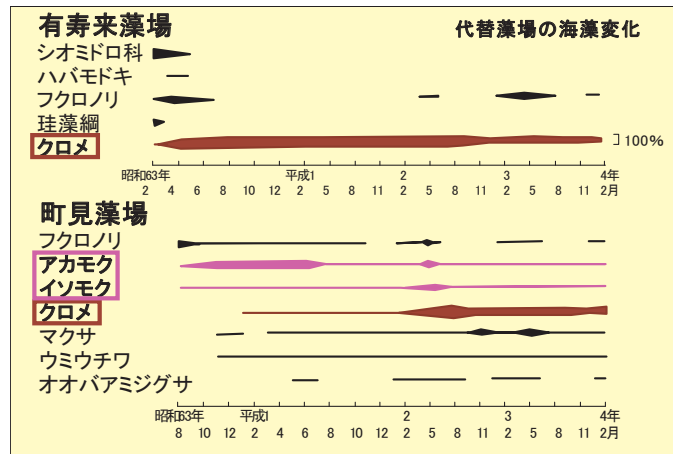


図 2.2.4 伊方マウンドでの海藻類の変化

(図説：マウンド上のモニタリングポイントでの海藻の被度の変化を示している。)

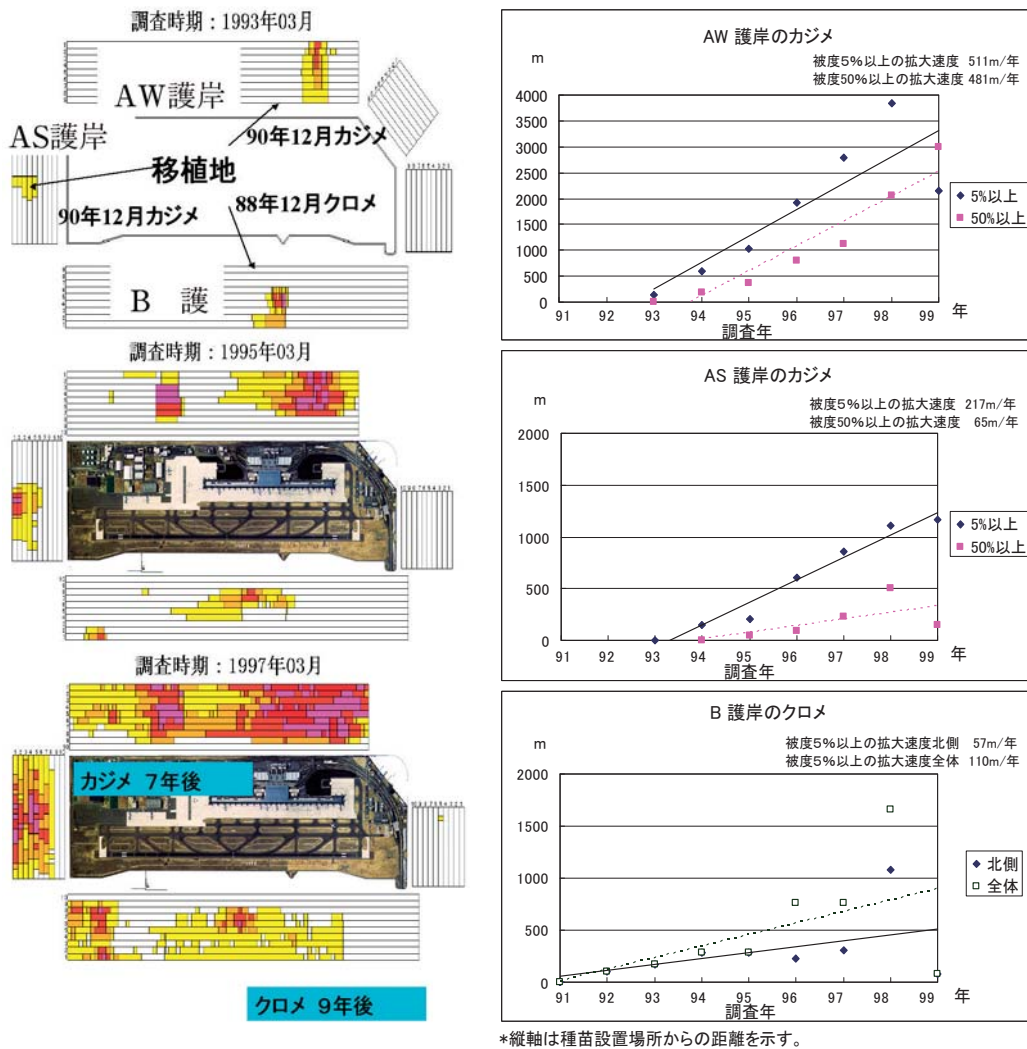


図 2.2.5 関西空港護岸での藻場の拡大速度 (図説：藻礁ブロックなどを用いた種苗移植場所から、徐々にカジメやクロメが分布域を拡大させていく様子を示している。)

2) モニタリングの実施

① モニタリング計画策定の考え方

モニタリングは、形成される藻場を継続的に調査し、目標とする藻場の成立状況を総合的に評価することが目的であり、藻場機能の改善、時には目標の見直しなど藻場造成の順応的管理に反映させるために重要である。モニタリングは、造成した藻場の物理・化学的環境条件および生態系の特性に関する調査が必要である。

〔解説〕

保全・再生・創出する岩礁性藻場は、目標どおりの藻場が形成されることを前提に計画するが、自然環境の条件によって目標とは異なった状態に変化することもある。モニタリングは、形成される藻場を継続的に調べ、目標とする藻場の成立状況を総合的に評価することが目的である。このモニタリングの評価をもとに、藻場の機能を高めるための改善、時には目標の見直しなど藻場の順応的管理に反映させるため、保全・再生・創出した藻場の物理・化学的環境条件を含む生態系の特性に関するモニタリング調査が必要である。

一般的に藻場造成では、移植等による初期入植から数年間をかけて、基盤の植物相が遷移して安定な藻場が形成される。藻場が安定状態に達するまでの期間は明確ではないが、造成場所での魚類やウニ類などの食害、および夏の高水温や日照の減少などが影響して、繁殖や成長が制限される場合もある。こうした観点から、モニタリング調査やその結果をフィードバックさせるための順応的管理計画を検討する必要がある。

モニタリングは、指標項目となる対象種の生育状況やその他の生物の生育・生息状況等を調査し、かつ場の環境を評価するために地形の安定性・水質・底質・波浪・光などの条件を調べる。モニタリングの結果については、対象種の生育状況が目標達成基準を満足しているか、また場づくりが計画基準に適合しているかなどを中心に分析評価し、必要に応じて計画の見直しに反映させる。モニタリングの期間は、対象種の繁茂と藻場分布の拡大、藻場生態系の機能等が安定するまでの最低数年間の時間スケールで考えることが望ましい。例えば、多年生のカジメ等の寿命が5～6年であることから、モニタリングには複数年の調査期間が求められる。

対象種の生育状況が悪い場合や、藻場群落の拡散速度が予想より遅い場合、競合生物*や食害動物などによる被害が出ている場合などは、計画を変更しての再移植、競合生物の除去、食害動物の防除などの措置を講じる必要もある。

② モニタリングの実施方法

a. モニタリングの実施体制

モニタリングは、基本的に専門家による定点での定期的な詳細調査を実施することが望ましい。なお、海藻の生育や被度などを日常的に観察する程度のモニタリングは、地元のボランティアやNPOの協力を得て実施することも考えられる。

* 競合生物：異種の個体が同一の食物や空間などを要求して、競争し合う生物。着生基質の確保を巡って競合するフジツボとイガイや海藻類、あるいは同一の餌であるコンブ類を巡って競合するアワビとウニなどがある。

〔解説〕

モニタリングの実施体制は、藻場の適正な評価を行い、かつその結果を必要に応じて事業計画に反映させるために、専門家による定期的な海藻の調査や水質などの環境調査を行うことが望ましい。また、異常な気象・海象の後や季節の変わり目などに藻場の観察を実施し、藻場の顕著な変動などを迅速に把握するための管理手法としては、地元のボランティアやNPOの協力が得られる体制を保有することは有効である。

b. モニタリング手法

モニタリングでは、藻場が形成されない要因の究明やその対策を検討するため、藻場造成水域での環境条件、食害・競合による被害、磯焼けに関するモニタリング調査も実施する必要がある。

〔解説〕

モニタリング調査は、造成した岩礁性藻場で海藻が十分生育し、完全に藻場が形成されるまで、全体的な海藻類の生育・生長状況や藻場形成後の機能を把握するため、定期的実施する。造成した岩礁性藻場では、その形成課程において水域環境条件の悪化、植食動物・競合生物による被害、岩礁性藻場での磯焼け等の要因によって、藻場が十分形成されない場合もある。したがって、モニタリングでは、藻場が形成されない要因を究明し、その対策を検討するため、藻場造成水域での環境条件、食害・競合による被害、磯焼けに関するモニタリング調査も実施する必要がある。

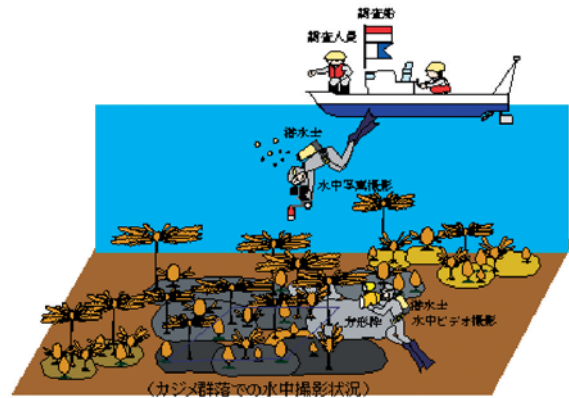
モニタリングの調査¹⁾としては、表2.2.2に示すように生育状況、生長状況、藻場機能、植食動物・競合動物、水域環境条件、磯焼け関連の調査がある。なお、調査に関する詳細に関しては、「海の自然再生ハンドブック－その計画・技術・実践－第3巻藻場編」を参照していただきたい。

表 2.2.2 モニタリングの調査内容

生育状況	ダイバーによる潜水目視で生育面積と被度の確認、再生産した海藻草類の生育状況を観察し、スケッチ等記録し定量的に観察する。
生長状況	生長状況調査は、造成した藻場での海藻草類の発芽から成体までの生長過程や株数、葉長の変化を調査し、造成した藻場が順調に維持されているかを検討するために実施する。
藻場機能	藻場機能調査は、造成した藻場に生息する魚介類の種や個体数を調査し、藻場が生物に与える効果や機能を把握するために実施する。
植食動物・競合生物	植食動物・競合生物調査は、造成した藻場に生育した海藻草類を摂餌する動物や魚類による食害及び競合して生育する海藻や付着生物を調査し、その実態を把握するために実施する。
水域環境条件	水域環境条件調査は、造成した藻場での物理・化学的環境条件の調査を実施し藻場内での水域環境を把握し、生育した海藻草類と環境条件との関連を検討するために実施する。
磯焼け関連	磯焼け調査は、造成したコンブ場や海中林藻場で磯焼けの要因となる調査を実施し、その対策を検討するために実施する。



防波堤での海藻生育状況調査



海中林藻場での水中写真・ビデオ撮影状況

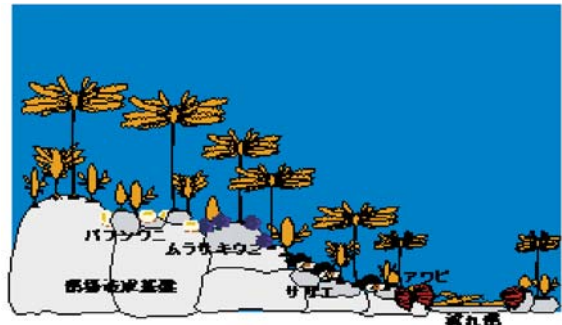
図 2.2.6 造成した岩礁性藻場での全体的な生育状況調査例¹⁾



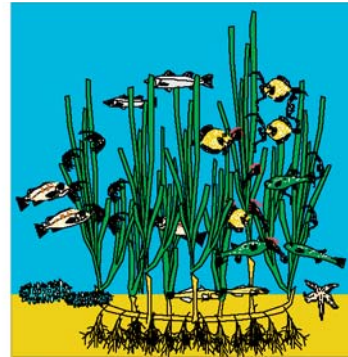
図 2.2.7 アカモクの母藻投入手法と生長状況調査例¹⁾



(魚類の生息・保育・餌場)

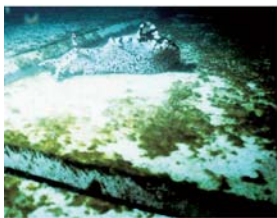


(アワビ、サザエ、ウニ類の餌場)



(アマモ場での藻場の機能・役割)

図 2.2.8 藻場の機能調査例¹⁾



(植食動物による食害状況)



(競合生物による藻場形成の阻害状況)



写真 2.2.1 造成した藻場での植食動物と競合生物の調査例¹⁾

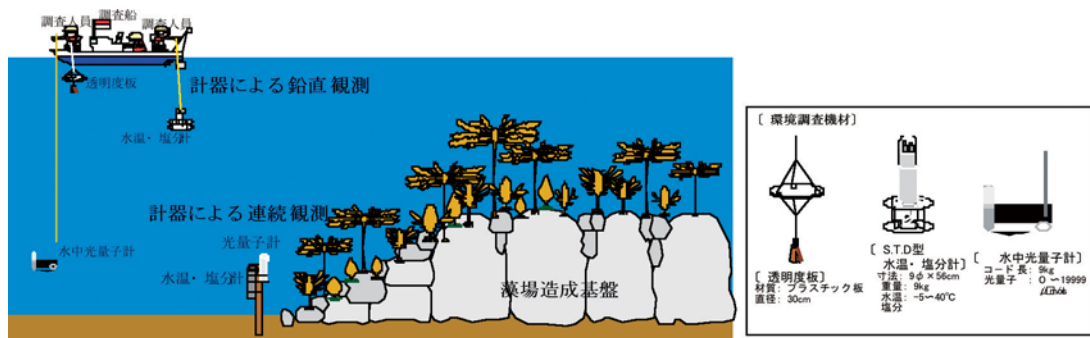


図 2.2.9 造成した藻場での物理的環境条件調査例¹⁾



(ウニの食害を受けたコンブ場)



(アイゴの食害を受けた海中林藻場)

写真 2.2.2 コンブ場と海中林藻場の磯焼け状況調査例¹⁾

3) 管理手法のレビューと改善

① 管理手法のレビューと改善の必要性の判断

指標項目が目標レベルを満足していない場合には、モニタリング調査結果および関連資料をもとに原因を究明し、管理手法をレビューして改善方法の提案を行う必要がある。

〔解説〕

継続的なモニタリングにより藻場の形成状況を確認し、目標とする藻場の成立状況を総合的に評価する。その結果、目標とした指標項目が目標レベルを満足している場合は、事業が初期の目的を達成したことで終了となる。しかし、環境変動等により生態系の状況が変化する可能性が考えられる場合は、継続してモニタリングを実施することが望ましい。

一方、指標項目が目標レベルを満足していない場合は、モニタリング結果および関連する資料等をもとに原因を究明し、管理手法をレビューして改善方法の提案を行う必要がある。

② 管理手法改善のための対応策

藻場の管理手法改善のための対応策としては、行動計画・事業実施方針の見直しからごみや競合海藻の除去まで種々の管理手法があり、藻場の成立状況の総合的な評価に応じて管理手法の改善を考える必要がある。

〔解説〕

管理手法については、図2.2.10に示すように状況に応じて適切な管理手法を選択して、改善を検討することが有効である。管理手法の改善には、大別すると大規模管理手法、中規模管理手法、小規模管理手法があり、これら段階別の管理手法の例を表2.2.3に示す。

大規模管理手法は、希な手法として位置づけられ、モニタリングおよび環境調査から事業成立が困難で、行動計画・事業実施方針までもどって事業内容を再検討する。中規模管理手法は、自然条件、環境条件などにより目標と異なる種類の藻場が形成されるあるいは傾向にある場合や藻場の形成が遅いため達成期間を変えるなどの目標達成基準の見直しを検討する。小規模管理手法は、行動計画・実施方針や目標達成基準の見直しを行うことなく、事業実施の中で藻場マウンドの嵩上げ、ごみ、競合海藻の除去、保護区の設定などを行う。

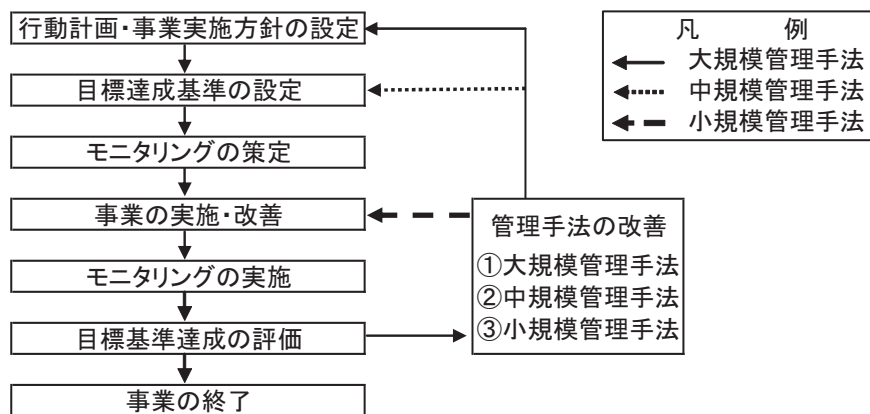


図 2.2.10 管理手法の改善

表 2.2.3 段階別管理手法の例

①大規模管理手法	潜堤*、防波堤などによる波浪制御の整備
②中規模管理手法	海底地盤高の水深調節による生育基盤の整備
	大型基盤の投入による生育基盤の整備
③小規模管理手法	移植、種の散布による種の供給
	基盤の追加投入による生育基盤の改善
	食害生物、競合生物の駆除
	禁漁・保護区等の設定

参 考 文 献

- 1) 海の自然再生ワーキンググループ：海の自然再生ハンドブックーその計画・技術・実践ー第3巻藻場編,2003.
- 2) 宇都宮猛、大林政文、吉田幸夫（1995）：伊方発電所3号機代替藻場モニタリング、電力土木257、pp.58-63.
- 3) 養父恒夫、林利加、二宮早由子、帯津直彦（2000）：空港島緩傾斜護岸の藻場造成、関西空港関連 環境保全技術論文集、pp.123-133.

* 潜堤：潜堤とは、離岸堤の天端を平均水面以下に沈めた消波構造物で、海岸線と平行に設置され海岸の景観を損なうことなく、離岸堤と同様な侵食防止効果機能を有する。

2.2.2 砂泥性藻場

(1) 具体的な行動計画・事業実施方針の設定（レベル2）

砂泥性藻場（海草群落）再生における具体的な行動計画・事業実施方針の設定に際しては、事業段階および周辺の砂泥性藻場が成立する環境条件を考慮した検討を実施する必要がある。

〔解説〕

砂泥性藻場（ここでは、海草群落）は、我が国の九州以北においてはアマモ（まれにコアマモ）が、奄美諸島以南の南西諸島においては熱帯性海草類が対象となる。対象種の地理的分布範囲の中であって、それぞれの種の群落は、波浪・潮流・水深（光量）といった物理的環境条件、水質・底質といった化学的条件、食害動物や競合種といった生物的条件によってその存在が決定づけられている。

現状で群落のない場所、あるいは繁殖が不良である場所にこれらの群落を造成しようとすれば、現在の環境を変化させることが必要である。



写真 2.2.3 アマモ分布状況（岸側限界点付近、千葉県富津市）

アマモをはじめとする砂泥性藻場（海草群落）の保全や再生が各地の沿岸でクローズアップされ、各地で播種*や移植などの事例が報道されている。しかし、これらのモニタリング結果が公表されている事例は少ない。このことから、播種や移植後の経過は必ずしも安定していない状況が推察される。しかし、事前に適切な検討が行われている事例においては、事後の状況が良いため、モニタリング結果が公開されている事例もある。

港湾整備に際して、砂泥性藻場（海草群落）を造成あるいは再生する計画を立案する場合には、先ず現況を正確に把握した上で、適切な造成計画を作ることが重要である。

現状で十分な群落が発達していない場所は、現状の環境要因に何らかの問題があると考えら

* 播種：種をまくこと。海底に直接散布する方法、シート等にタネを仕込む方法、粘土等の補助材料と混合して海底に設置するなどの方法がある。

きである。近年市民団体によるアマモ移植などが盛んに行われているが、善意の参加者の努力が無駄にならないように、砂泥性藻場（海草群落）の保全・再生を実施する場合には、慎重に計画を立て、参加者等に対して期待される成果を十分に説明することが必要である。

環境省では砂泥性藻場（海草群落）の再生・保全に関わる基本的な考え方の流れを以下のように推奨している¹⁾。

① 対象区域の設定

事業者が想定している事業の実施区域と、この事業に伴って環境影響を把握することが必要な区域を対象区域とする。また、周辺の砂泥性藻場（海草群落）間およびその他の場（砂浜・干潟・岩礁）との関連も考慮する。

② 再生・保全場所の決定

どのような場所・環境を、どのように保全するかについては、専門家の助言により決定する。

③ 基本的視点

具体的措置を検討する上での基本的視点を以下の項目より設定する。

- ・事業特性：立地、配置、構造、規模、影響要因
- ・地域特性：生態系、生物相、漁業、船舶、人々による利用
- ・港湾環境基本計画や環境配慮指針などに示されている生態系の保全に関連する目標や指針
- ・環境アセスメントに寄せられた意見や予測結果

以上の現地の情報把握から目標および評価基準設定にいたる流れを図2.2.11に示す。

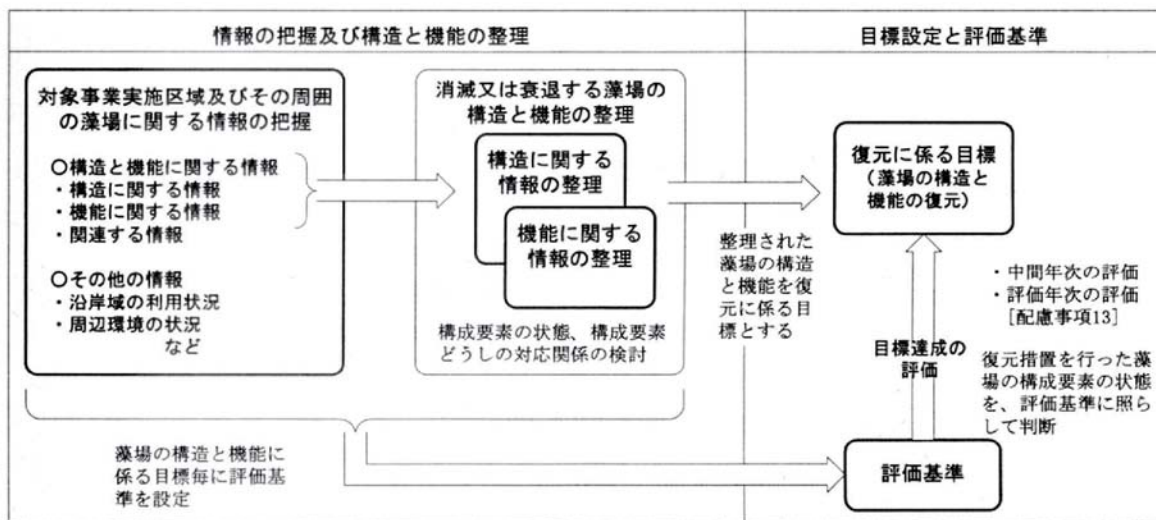


図 2.2.11 砂泥性藻場（海草群落）の復元に関する行動計画の考え方¹⁾

港湾整備計画によって、事前に対象区域および周辺に存在していた砂泥性藻場（海草群落）は、図2.2.12に示すインパクト・レスポンスフローによって影響（生育状況の変化）を受ける¹⁾。なお、港湾整備等自体は必ずしも海草の存在にとってマイナスに働くばかりではないこともある。

砂泥性藻場（海草群落）の影響変化は、港湾区域の埋立計画であれば、環境アセスメントを通じて明らかにされる。環境アセスメントの内容は公開されるので、この結果を活用して港湾整備

計画の中で実施可能な行動計画や方針を立案する。環境アセスメントが行われていない場合には、新たに港湾整備計画等による環境変化がどのように海草群落に影響するかについて、影響の因果関係を検討することになる。

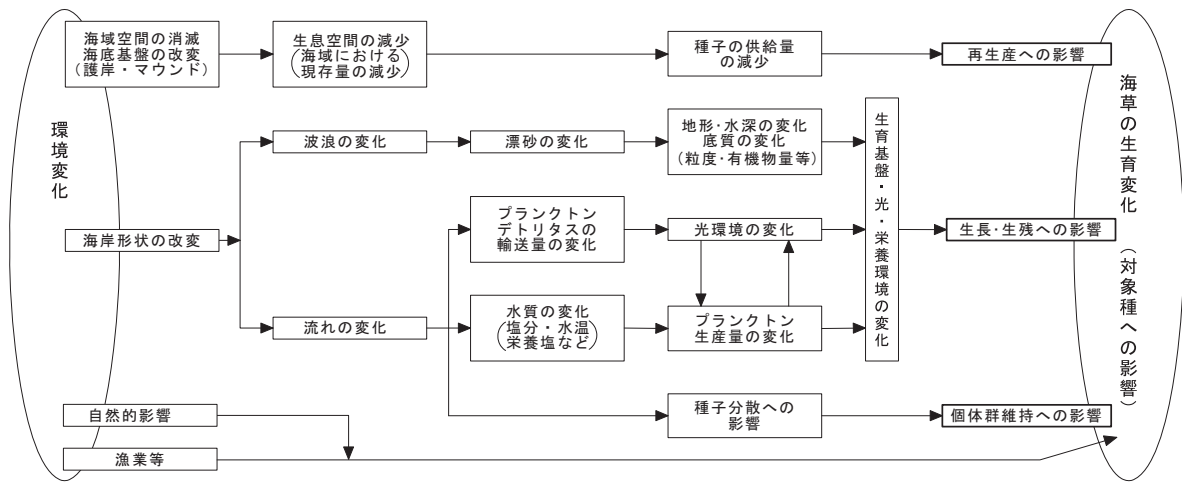


図 2.2.12 砂泥性藻場代表種アマモの生育変化に及ぼす影響フロー¹⁾より作成

港湾構造物・海岸構造物の存在は、必ずしも砂泥性藻場（海草群落）にマイナスに働くわけではない。例えば、海水浴場の砂浜防護を目的とした消波潜堤*を建設したところ、その背後域にアマモ場が拡大した事例もある²⁾。これは、構造物の設置により構造物背後域の外力条件がアマモ群落の成立に適したものに变化したためであると考えられる。

このように、構造物設置などによるインパクト・レスポンスフローは必ずしも負の場合ばかりではなく、図2.2.13に示すように、砂泥性藻場（海草群落）拡大にも効果がある場合もある。

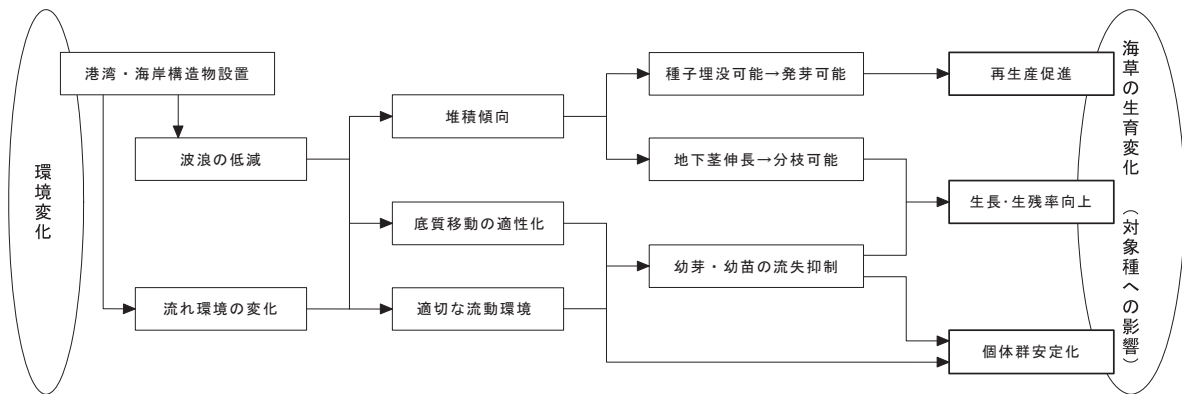


図 2.2.13 構造物の存在によるプラスのインパクト・レスポンスフロー

* 消波潜堤：海浜や護岸を防護するために、沖に設置する波浪制御構造物。常時は構造物自身が水中に没している。

砂泥性藻場（海草群落）の保全・再生の事業実施方針を設定する上での重要な検討項目は、以下のとおりである。

1) 環境に関する検討項目

① 対象場所の物理的条件

砂泥性藻場を構成する海草群落の分布は水深および外力による底質の安定性との関係が大きい。このため、砂泥性藻場（海草群落）を保全・再生しようとする場所の海底地形・水深、および対象とする場所に作用する波（船舶航跡波を含む）・流れ（海浜流・潮流）、さらにこれらの波や流れが作用したときの底質の安定性について、事前に十分な検討を行うことが望ましい。

多くの場合、事業実施の方針は、移植等の植物そのものを操作することに加えて、人為的改変が容易な水深の変更（浅場造成など）や波浪の制御（波浪制御構造物の配置など）を伴うことになることが予想される。このためには、過去の波浪・潮流のデータ解析、実測、およびシミュレーションが有効である。

② 水質条件

砂泥性藻場を構成する海草群落は植物であるので光合成を行う。このため海中に透過する光は重要である。したがって、透過する光量を阻害する要因については注意を払う必要がある。一方、海域の水質条件は人為的に改変することは難しいので、その海域の水質条件は、事業実施方針の検討に当たって、目標達成基準の設定を行う上での制約条件となる。

具体的には、海域における光の減衰係数（鉛直分布より推定）、海域の濁り（濁度・SS）・浮泥堆積状況を測定しておく必要がある。

なお、対象海域の濁りや浮泥堆積状況は対象海域に流入する河川によっても影響されるので、対象海域に影響を与える河川も検討範囲に加えることが望ましい。また、河川関係の既存の測定データも参考にすることが望ましい。

③ 群落の生物的特性³⁾

砂泥性藻場を構成する海草群落は、その場所に適応した分布状況や再生産のパターンを示している。特に海水流動や光による影響が大きいと考えられる。

砂泥性藻場（海草群落）の保全・再生を行う時には、周辺の同様な環境にある群落がどのような状況であるかを事前に把握しておくことが事業実施方針を立案する上で重要である。特に、その場所の分布が、自立的（群落からの種苗供給が期待できる）か、他律的（他所からの種子供給・株供給に頼る）であるかは、重要である。この状況をもとに、その場所における植物自体の操作（播種、株移植、永続的種苗供給など）を検討することになる。

④ その他

・漁業との関わり

砂泥性藻場（海草群落）が分布する場所は、一般に水産資源の豊富な場所である。ここは、しばしばアサリやナマコ等の漁獲が行われるが、漁法によっては、これらの行為は海草群落そのものを破壊する可能性があるため、調整が必要な場合がある。

また、砂泥性藻場（海草群落）の分布域と、各種海藻類（ノリ・モズク等）の養殖適地が競合する場合もある。これらの海域利用状況と、砂泥性藻場（海草群落）の保全・再生については、調整が必要な場合がある。

・生物との関わり

周辺の生物相と砂泥性藻場（海草群落）の間に競合関係がある場合もある。海底に多数

の孔をあけるアナジャコ*類や、群落を被覆するアオサ**などについても配慮する必要がある場合も考えられる。

2) 検討組織・体制

順応的管理手法を導入して具体的な行動計画・事業実施方針を設定する場合には、検討チームをつくり、情報公開と開かれた場での協議を経て、計画・目標を設定することが重要である。また、当初予期していなかった事態が発生した場合の対策の立案も検討チームが計画や目標設定と同様の手続きを経て行う。

検討チームには事業者・周辺住民・海域利用者、対象植物について十分な見識・経験のある学識経験者などが含まれている必要がある。例えば、神奈川県東京湾アマモ場再生会議では対象地区地先の金沢八景沿岸部周辺の市民・NPO、企業、大学・研究機関、小・中・高校、漁業・遊漁船組合など多様なセクターが協働して、検討及び作業のチームを作って活動をしている (<http://www.amamo.org/>)。

順応的管理を行う上では、検討チーム内では情報の共有を行い、定期的な協議の場を設定する。これらの検討チームの決定事項を事業者が尊重するというルールを作成することが望ましい。また、事業者は検討チームに対して十分な情報開示を行うことも重要である。

(2) 目標達成基準による管理（レベル3）

1) 目標達成基準の設定

① 指標項目

砂泥性藻場（海草群落）は、その環境に応じてどのように群落が維持されているかが異なる。したがって、対象植物の移植等を行った場合に、その場所の環境に適合した目標達成基準を設定しなくてはならない。また、目標達成基準は計測可能なものとする。

〔解説〕

順応的管理による砂泥性藻場（海草群落）の造成における指標項目は、群落の存在および存在する要因について、具体的に計測し表現できるものにするべきである。砂泥性藻場を形成する海草群落の場合、群落の存在、および被度や分布範囲が第一義的であり、漁獲量の増大や水質の改善は、群落が安定して存在した後に間接的かつ副次的に発現する項目である。

砂泥性藻場（海草群落）の存在を示す指標項目としては、前述の通り、第一にその群落がどの範囲に、どのくらい存在しているか（＝量）を挙げるべきである。その場に砂泥性藻場（海草群落）があるか、存在するならばどの範囲まであるか、という量や範囲を第一に把握しておく必要がある。

次に、どのような形態で存在しているか、すなわち群落の状態（＝質）が重要である。一般

* アナジャコ：ザリガニのような形状をした、海産甲殻類。海底に深い穴を掘って穴の中に水流を起こし、海中のプランクトンや有機物を吸い込み餌とする。エビよりもヤドカリに近い仲間。

** アオサ：緑藻類に属する鮮やかな緑色の海藻。潮間帯に普通に産する。富栄養域では大量に繁茂して、海浜を覆ってしまうこともある。

に、砂泥性藻場（海草群落）は環境条件が不適切である（濁りが大きい＝光量不足、水深が深い＝光量不足、底質の安定性が不適切である、海水流動が少ない、水質や水温が不適切である）と群落は季節的に規模を大きく変化させ、さらに、群落の形状も一面に分布している状況から、パッチ状（斑点状分布）あるいは1株単位の分布となる。反対に条件が良い場所では、海草は一面に分布し、周年分布していることが知られている。また、群落の健康状態としては、単位面積当たりの株数（密度）や平均草丈が挙げられる。健康に成長しているかどうかについては1株当たりの葉の形成数や、地下茎の節の数を計測する場合もある。また、次世代群落の形成を確認するためには花穂や果実の形成、実生株の発生を評価しておく必要がある。

これらの目標設定は、近傍の群落形成場所の状況と合わせて表2.2.4に示すような方法で現地調査を行い、海草に十分な見識のある専門家の助言を受けた上で、決定すべきものである。また、周辺状況調査結果や目標については明確にしておく必要がある。

表 2.2.4 指標項目の調査方法

指標項目	評価内容	潜水観察	リモートセンシング	音響探査	備考
群落の存在	分布の有無 分布範囲	△ [*]	○	○	[*] ：分布範囲が小規模なら潜水観察でも○である。
群落の状態	密度・草丈	○	○ ^{**}	○ ^{**}	^{**} ：目視観察によるキャリブレーション [*] が必要である。
	葉形成数	○			
	地下茎節数	○			
	花穂形成数	○			
	実生発芽数	○			

なお、自然環境の変動により群落状態や再生産の方法も変動するので、周辺に自生している群落の状況についても、水深・波浪状況等環境条件を調査して、ここに保全・再生地点と条件の類似した比較対照地点を設定し、比較対照地点としての調査を行う必要がある。特に、海草群落はその年の気象・海象などの自然環境に大きく依存することから、造成群落の状況が良好ではない場合の判断材料として、比較対照地点の評価が必要である。

群落の存在や状態を規定する環境因子としては、前述のように、濁り、水深（＝光）、底質の安定性、海水流動、水質や水温などが挙げられる。これらの環境因子の指標項目は、主に計測機器によって測定されるべきものである。砂泥性藻場（海草群落）の存在に関わる環境因子、およびこれに関わる指標項目と測定方法について表2.2.5に示す。

現在、砂泥性藻場（海草群落）を再生しようとするとき、波浪等の外力が明らかになれば、波浪分布や底質安定性を数値計算により評価して、対象海域のどの部分に海草が分布可能であるかを事前に検討することが、ある程度はできるようになっている。

人為的に物理的環境をコントロールして群落が存在できるようにした場合には、物理条件が当初設定した状況にあるかどうか、実際に測定しておかなくてはならない。砂泥性藻場（海草群落）が存在するために必要な物理条件のうち、波・流れによる底質移動等については明確になっ

* キャリブレーション：数値を補正すること。明確にわかっている尺度と、計測した値を比較する。

ているものもあり、数値計算（シミュレーション）によってその条件を評価することも出来る。したがって、これらの条件が満たされているかどうか予測計算を行うとともに、現地で実測を行い検証をしておくことが望ましい。

表 2.2.5 環境因子の調査方法⁴⁾より作成

環境因子	目標達成基準	計測方法	目標達成方法	
人為的に制御可能な因子	光条件	年平均光量が2.5E/m ² ・日以上	光量子計による連続観察 照度計による水深別減衰率計測	水深調整（＝浅くすること）により、光条件を改善する。
		水深が年平均透明度以浅	透明度板による計測	
	底質移動	水深変化量が3cm/日以内	鉄筋棒観察（海底に棒を差し込み、露出部の長さを測定する。） 砂面計による自動計測	構造物等による流況・波浪制御。 水深調整。 底質の粒径等の改善。
		高波浪時の底質移動状況がシートフロー状態 [*] にならない	波高計・流速計による実測値、又はシミュレーションによる波高・流速計算結果を用いシールズ数 ^{**} 等のパラメタを計算する。	
	底質	シルト以下成分：30%未満 細砂分以下：80～100% 底質COD：10mg/g以下	粒度分布（サンプリング）	覆砂、客土等により改善する。
改変困難	水温	-2～28℃（アマモ）	水温計	
	塩分	発芽時 4以上 生長時 17～34	塩分計による計測・採水分析	
	水質	COD 2.3mg/l以下	採水分析	

しかしながら、砂泥性藻場（海草群落）を再生しようとする場所の条件が必ずしも明確ではない場合や、その場所の群落の維持機構が明らかではない場合、さらには、対象種の分布が確認されていない場合（過去には確認されていた）には、現地において小規模な移植等の実験を行い、対象種がその場所で生育可能かどうか、再生するとすればどのような水深、場所を対象地とするべきかを評価することが望ましい。基本的には対象種が分布していない場所では、その要因を除去しない限りは砂泥性藻場（海草群落）を再生させることは困難である。現状で群落が形成されていない場所に、場所の改良を何もせずに移植あるいは播種しても、移植あるいは播種した個体が生存している数年間だけしか群落が形成されないことが多い。

* シートフロー状態：海底底質が波や流れによって移動する状態の一つ。底質の表層が層状になって移動する状態。砂蓮（リップルマーク）は形成されない。

** シールズ数：底面せん断力を底質の緒元（中央粒径、密度）で無次元化したパラメタ。漂砂の検討に用いられる。

② 目標レベル

目標レベルは保全・再生を行う場所と同等の環境であって、周辺の自然（あるいは人為的な）地形上に存在する群落の状態を目標とする。また、目標する群落を対照区として設定し、そこにモニタリング地点を設定する。

〔解説〕

砂泥性藻場（海草群落）の復元目標は、改変による擾乱を受ける以前に有していた藻場の無機物的および生物的な構造を、それに関連した藻場の機能とともに擾乱以前と同じ状態にまで回復させることとされており¹⁾、また、対象事業実施区域およびその周辺の藻場に関する情報を整理し、特に消滅又は衰退する群落の主要な構造と機能を可能な限り定量的に把握し、これを基に復元に関わる目標を設定するとある¹⁾。さらに、砂泥性藻場の復元に関わる目標は、その評価基準および評価年次が以下の事項を根拠に設定されているべきであるとしている¹⁾。

- 1) 対象事業実施および周囲の群落に関する情報
- 2) 開発行為に伴い消滅又は衰退する群落の構造と機能に関する情報
- 3) 目標の実現性とその根拠

1)、2)は現況の調査より明らかにされ、3)は類似事例により評価されると考えられる。

保全・再生の最終的な目標は、かつてその場所に存在していた群落の復元である。しかし、砂泥性藻場（海草群落）に対する影響は、開発行為等により変化した条件によるものだけでなく、海流の変化や温暖化などの地球規模の気象変化、陸域由来の汚濁物質負荷や懸濁物質による水質変化なども関わっていることに留意する必要がある。

港湾区域周辺において砂泥性藻場（海草群落）をとりまく周辺海域の環境まで改変することは困難であるため、目標レベルとしては、周辺海域に現存する海草群落のうち、生育状況が良好な場所を対照区として選定し、その場所の群落状態、群落維持機構を目標とすることが現実的である。このような目標設定を行った事例として、岡山県東備地区広域漁場整備事業⁵⁾があげられる。この事業では、アマモ場造成について技術検討委員会を組織し、造成目標を設定している。

この事業では最終的にはメンテナンスフリーの天然アマモ場に匹敵するアマモ場を形成することを目標とし、その目標や成否の判定については明確な根拠を設定している。これらの目標については、量的目標と質的目標を設定している。これらの内容を表2.2.6、表2.2.7に示す。

実際の事業において、海草群落の保全・再生についての目標は、ほとんどの場合、上記のように面積と密度で設定されている。この場合、面積×密度ではなく面積と密度がそれぞれに設定されている。例えば、「生育状況が（濃生）である群落を××ha」といった目標を設定している。群落の維持機構は、多くの場合はメンテナンスフリーである。これは、何らかの方策によって群落が再生産される状態を示しており、周辺からの種子の流入、自己群集からの種子供給、および栄養株による群落維持までの段階がある。

表 2.2.6 量的目標⁵⁾より作成

項目	考え方	備考
目標年次	種苗供給（播種）年次の10年後の春期	
判定場所	播種エリア	分布拡大状況で評価
調査項目	分布面積（㎡）	
方法	アマモ繁茂期に音響探査機により分布範囲を評価する。	

表 2.2.7 質的目標⁵⁾より作成

項目		考え方	備考	
目標年次	①	種苗供給（播種）年次の5年後の秋季		
	②	種苗供給（播種）年次の10年後の秋季		
場所	判定	①	播種区画内の調査地点	区間内の生育状況
		②	播種区画内及び区画間の調査地点	区域内の広がり状況
	比較対照	近隣の天然アマモ場		
調査項目		株密度（本／㎡）		
方法		モニタリング調査計画に基づき、アマモの衰退期において、潜水目視によって造成アマモ場と比較対照との生育状況を比較して評価する。		
目標設定		比較対照とする複数の天然アマモ場の平均株密度を水域毎にそれぞれ設定し、各水域のうち低い方の平均株密度の1／2を造成する [*] 。		

*：目標を天然群落株密度の1/2とした理由：造成当初は周辺天然アマモ場と比較すると株密度が若干低いので、評価時点において天然アマモ場の半分程度の株密度が維持されていれば、造成アマモ場としては成功したと判断することにした。

砂泥性藻場（海草群落）は群落が形成される水質的条件や物理的条件等の環境条件を満たしていない場所に、その条件を改善することなく播種や移植をしても、発芽・移植した株の寿命（アマモの場合概ね2～3年間程度）しか生存できない。そのような場所に群落を維持しようとするならば、毎年播種や移植をしなくてはならず、砂泥性藻場（海草群落）の再生事業に関わる関係者に、継続的な労力やコスト負担が生じる。

これらを踏まえて、砂泥性藻場（海草群落）再生における目標レベルを整理すると、以下のようになると思われる。

a. 存在させる

周囲の海域に砂泥性藻場が無い場合、保全・再生そのものが非常に困難である（特に濁りの多い場合は困難）。このような場所の場合、水深や物理的環境を改善する等の操作を行わない場合には、常に移植・播種を実施しなければならず、播種・移植しても群落の拡大は困難である。したがって、このような場合には、毎年播種や移植を実施して、群落を維持する考え方とする。

b. 維持・拡大させる

基本的には、その場所の環境条件に照らし合わせて、群落が存在できる条件にあるなら新た

に群落を再生して存在させることは可能である。周辺海域の、類似環境の場所（対照区）に群落が生息しているならば、その状態（被度、密度、群落の状況、繁殖形態）を再現することが目標となる。

ただし、再生する場所の環境条件が現状よりも改善される場合（例えば、水深が浅くなり、光条件が有利になる、波浪が制御され流れ環境や底質移動状況が海草群落にとって適切になる等）には、再生した群落が増大し、かつ現存する群落より活発な群落が期待できる場合がある。

c. 繁殖形態の目標

その場所の環境により、砂泥性藻場（海草群落）の状況や群落更新プロセスの目標を設定する。メンテナンスフリーで維持される群落をめざす場合が多いと考えられるが、その場合、以下のいずれかが到達目標となる。

- ・群落は繁茂・消滅を繰り返すが、自動的に更新する（移植・播種する必要がない）
- ・周年分布している状況（水質等の条件によって目標とはできないこともある）

いずれの目標を選択するかは、現地の類似の環境条件の場所（対照区）において、自然に存在している砂泥性藻場（海草群落）がどのような繁殖形態を示しているかで判断するべきである。

③ 目標達成年次

目標達成年次は5年程度を目安とするが、環境変動を考慮してその後も定期的なモニタリング調査による監視を継続することが望ましい。

〔解説〕

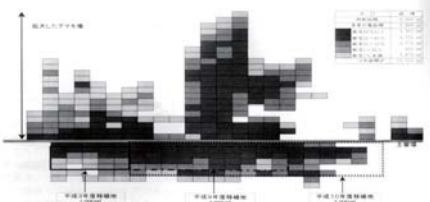
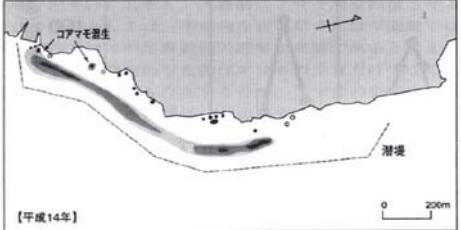
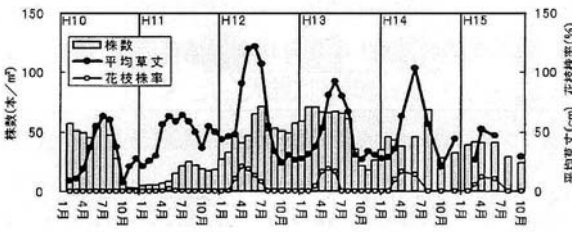
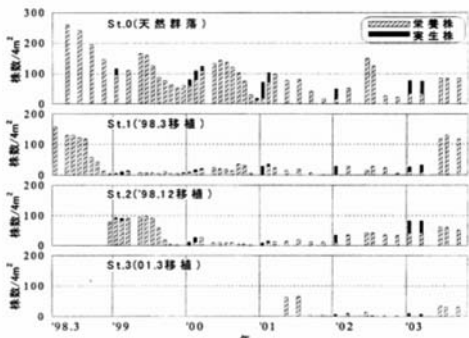
海草等を移植した事例はいくつか公開されているが、実際にその後の状況を追跡調査した結果が公開される事例は少ない。しかし、事前に十分な調査を行い、またモニタリングを行っている場合には、海草群落が維持されている事例もいくつか見られる。

過去に公開された海草群落の造成後のモニタリング結果で、群落が安定的に維持される事が確認されるに至った時間経過を表2.2.8に示す。

砂泥性藻場のモニタリングは通常は5年間は行われている。これは、海草類の寿命が概ね5年程度と言われているからである³⁾。なお、長期間のモニタリングを行う場合には3年から5年の間隔をおく場合もある³⁾。

長い時間を経て物理的環境が変化すれば、当初海草群落の生育に不適当な場所でも、アマモが生育できるようになる場合もある。例えば、広島県尾道糸崎地区の人工干潟では、人工干潟上に移植したアマモについて、当初6年間連続して調査を行っていたが、これらは枯死してしまった。その後3年間調査を中断したが、人工干潟造成後10年経過した段階において、干潟や浅場の地形や水深、および底質の粒土組成などが、沈下や波浪による浸食によって変化し、アマモに適正な条件になったため、自然にアマモが加入して群落形成が確認された事例（表2.2.8参照）もある^{6,7)}。

表 2.2.8 瀬戸内海におけるアマモ移植モニタリング事例⁶⁾

内容	海草拡大状況
<p>1) 広島県似島地区 (人工干潟上に移植) 移植: 1991年より段階的に移植。 群落拡大確認: 2001年 (移植後2~9年) 当初移植面積 (5,000m²) の3倍以上に拡大していることを確認した。</p>	
<p>2) 広島県尾道糸崎港百島地区 (人工干潟上に移植) 移植: 1988年に移植するも消滅。 群落再確認: 2002年=14年後。沈下・侵食による地形変化や種子の自然漂着により群落が発生した。</p>	
<p>3) 香川県さぬき市津田地区 (離岸堤背後) 移植・播種: 2000年 離岸堤により波浪条件が緩和された場所に移植および播種を行った。以降毎年調査し、毎年群落を確認している。</p>	
<p>4) 広島県三原市 (底質とともに移植) 群落・底質ごと移植: 1998, 2001年 群落維持確認: 2001年 周年分布するアマモ群落を底質ごと移設。移植水深の変化 (CDL+0.5mからCDL-1.0m) により群落密度が低下し、栄養体繁殖主体から実生による有性生殖主体に変化した。</p>	

海草の種子による群落拡大は、地下茎による拡大に比べて速度が速い。しかし、地下茎による拡大が行われない場所では、自分の群落 (あるいは周囲) から種子の供給を受けるか、人為的行為によって維持されるという形になる。

これを参考にすれば 海草の代表であるアマモについて海草群落造成後の成果を確認する年次としては、以下のような期間のモニタリングを経ることが必要である。

○越夏できない群落: 種子の供給がある場合 (3~4年程度: 冬期の実生の確認が必要)
 移植・播種に頼る場合 (毎年存在の確認を行う)

○越夏できる群落 : 5年程度 (花穂、実生の確認が必要)³⁾

群落が維持できる状況になった以降も、仮に頻度を減らしてでも継続的にモニタリングすべきである。世代交代や群落の継続的存在を確認するためには、少なくとも10年間程度のモニタリングの継続が望ましい。また、台風・出水・異常気象等があった年やその翌年にも調査を追加するべきである。

環境省は図2.2.14に示すようなモニタリング期間の考え方を提案している¹⁾。復元時から目標年次の中間地点付近において、モニタリング結果を精査し、その方法で良かったかを検討し、もし問題があるならば修正を行うというものである。なお、熱帯性海草群落については、まだ我が国における研究例や技術蓄積が少ないので、今後の研究に期待したい。

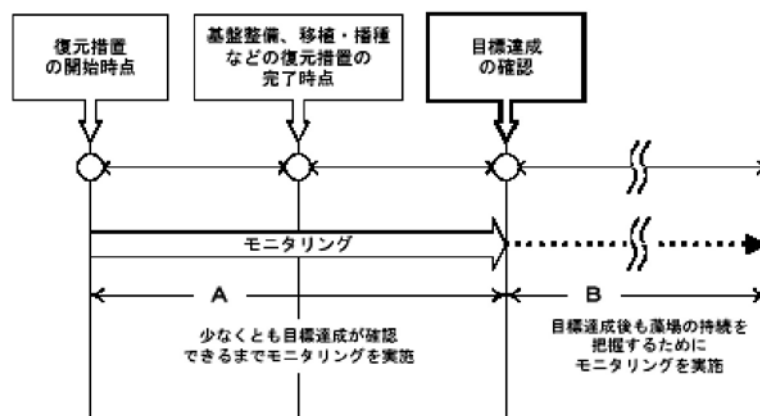


図 2.2.14 事業後のモニタリング継続の考え方¹⁾

2) モニタリングの実施

海草群落の保全・再生・利用計画実施後には、モニタリング調査を行い、その結果をもとに順応的な管理を適用する。事前に事業の目的を達成するために必要なモニタリング計画を策定する。

〔解説〕

① モニタリング計画策定の考え方

海草群落の復元に関わる計画に沿って、目標の達成までモニタリングを実施することが望まれる。また、その結果は、維持管理に用いられるべきである¹⁾。

モニタリング計画を策定する時には、群落の状態と環境条件を同時に調査するべきである。

a. 群落の状況

- ア) 群落の範囲・規模（分布範囲）
- イ) 群落の状態（被度・群度・草丈）
- ウ) 群落の維持メカニズム（夏を超えるかどうかで評価できる）
 - ・花枝をつけるか
 - ・実生は存在するか

b. 海草に害を及ぼす生物の分布

- ア) 食害生物
- イ) 競合生物の存在（アオサなど）

c. 環境条件

- ア) アマモ群落に影響を及ぼすと考えられる環境条件について評価する。

- ・光条件：濁り
 - ・水質条件：栄養塩・塩分（場合によっては農薬由来成分等の化学物質など）
- イ) 周辺の構造物や地形に変化が予想される場合には、物理的環境についても把握する必要がある。主要な物理的環境は以下の通りである。
- ・地形（海底地形・汀線地形）
 - ・波浪・潮流
- ウ) その他
- 海上交通や漁業活動が造成群落に大きく影響する場合がある。船舶の航行状況や漁業範囲なども調査対象に含めるべき場合もある。

② モニタリングの実施方法

a. モニタリング手法

モニタリングの主な調査項目は、海草の分布調査と底質移動や水質等の環境調査である。それぞれ、調査時期、頻度、期間、方法等を設定したうえで実施する。

〔解説〕

海草群落のモニタリングは、対象とする海草そのものと、周辺環境に大別される。

ア) 海草の分布に関する方法（規模、範囲、密度）

- ・リモートセンシング*
- ・音探（魚群探知機、ナローマルチビーム**、科学魚探など）
- ・ライントランセクト（経験を有する潜水士が実施）

特に、海草群落は広い範囲に分布し、特に、再生事例の多いアマモはLWL以下に分布するので、港湾の存在するような濁りの多い内湾では陸上や水上からの視覚によるモニタリングは困難である。これらの分布状況は、ほとんどの場合、潜水士によるライントランセクト、GPSを装備した音響探査機⁸⁾（図2.2.15に示す科学魚探やナローマルチビームなど）、あるいは写真2.2.4に示すような空中撮影⁹⁾で分布範囲を評価することになる。広範囲の調査の場合には、むしろ航空機による調査の方が経済的な場合もある。

一方、群落の状況を評価するには以下のような調査方法によらなければならない。

- ・枠取り***（都道府県水産部へ特別採捕許可申請が必要）
- ・被度、草丈（目視観察、ライントランセクト、コドラート内の観察）
- ・実生株、花穂数（目視観察、再生産の判定に必要である）
- ・葉の表面状態（群落や個体の健全性評価：葉表面の付着物など）

これらの実測による密度や草丈などの情報は、リモートセンシングや音探の結果のキャリブレーションに用いることが多い。

市民ボランティアに協力を依頼する場合には、事前に専門知識を有した担当者が、平

* リモートセンシング：航空機や衛星から、地表や海中の物体の状況を計測する方法。光や音波を用いる。

** ナローマルチビーム：起伏の多い海底地形を忠実に表現する、音響ビームの指向性の狭い測深機。音響ビームの投射角と斜距離から水深と横距離を求れることにより、一回の送信ごとに十数個の水深と横距離を得る。

*** 枠取り：正方形の枠（コドラート）を調査対象にあてがい、枠の内部に出現するサンプルを全て採取する方法。

易な方法を説明する必要がある。また、市民団体に調査実施を委託する場合には、調査メッシュや測定ラインを専門家の指導のもとに主催者が設定しておく必要がある。特に分布密度やコドラートサイズ（被度などを調査する場合に、調査する範囲を定める枠）については、観察方法を十分に協議して関係者間で共通認識を持っておくとともに、専門家による調査と比較できるようにしておく必要がある。

被度については、コドラート（方形枠）の大きさによって、同じ状況でも異なった表記が行われる場合があるので注意を要する。例えば50cm×50cmのコドラートでは、密生している場合でも、5m×5mのコドラートを設定すれば点生であると判断される場合もある。

被度の表記方法についても、いくつもの方法（r、+、1～5、点生、粗生、濃生、密生、あるいは被度%など）があるので、たとえば、図2.2.16に示すブロンブロンケによる被度・群度¹⁰⁾などを用いて表記方法や判断基準を統一しておくことが重要である。

現在では、デジタルカメラや画像解析などを用いることにより、主観に左右されずに被度を表すことも可能である。

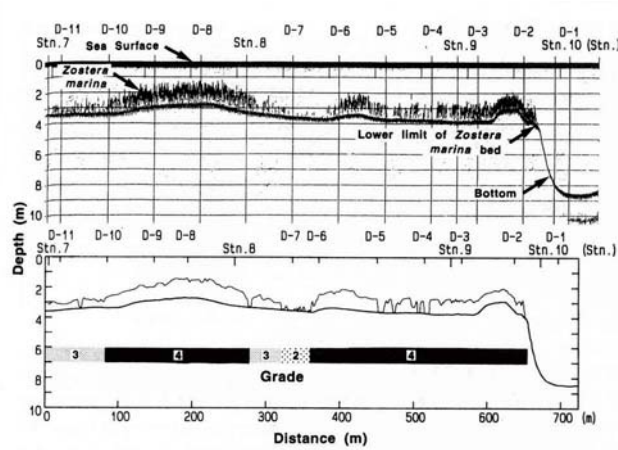
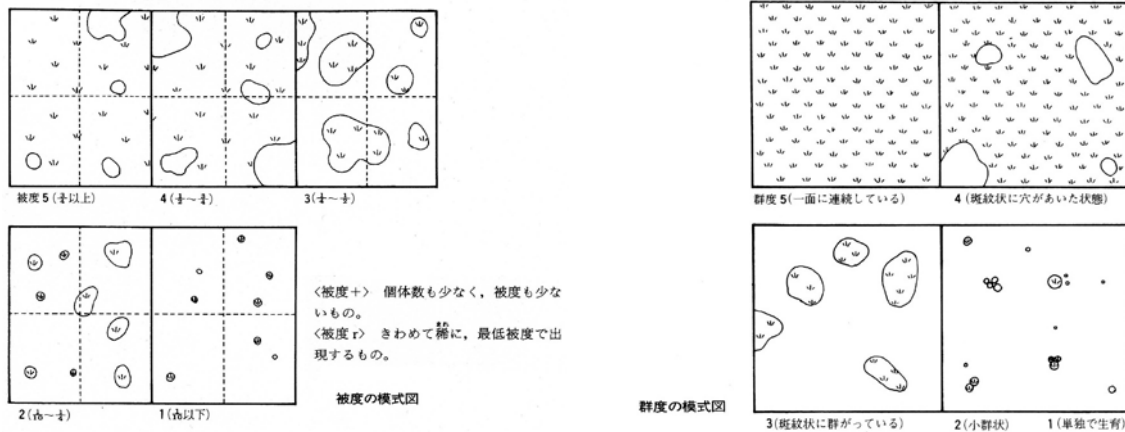


図 2.2.15 音探とGPSを併用したアマモ場モニタリング結果⁸⁾



写真 2.2.4 航空写真による移植アマモ場状況の観察例⁹⁾

図 2.2.16 ブロン-ブロンケによる被度・群度¹⁰⁾

注：調査を行う場合にはコドラート（調査メッシュ）のサイズを統一する必要がある。

イ) 周辺環境

海草群落のモニタリングを行う場合には、対象となる群落だけではなく、周辺の環境条件についても記録を残しておく必要がある。以下の調査は、造成場所および比較対照地点の両者で同時に行う。

- ・ 光量（光量あるいは照度の水深による減衰係数）
- ・ 濁度、もしくはSS
- ・ 水質（一般的水質）、地形変化量、流速、波高
- ・ （海上交通・漁獲状況）

これらの情報は、近傍で定期的調査が行われている場合には、併せて評価に用いるべきである。

b. モニタリング実施体制

海草群落のモニタリングは、基本的には専門家による定期的なモニタリング調査によることが望ましい。市民団体の協力については、年間数回程度のイベント*的観察が現実的である。

〔解説〕

海草の分布は、沿岸の広い範囲にわたる。この部分の群落は、基本的に大潮干潮時のみに歩いて調査することが可能である。このため、調査日程は限定されるし、経験の乏しい観察者や特殊な装置を保有しない観察者には、時間内に正確な調査を終えることが困難である。このように海草群落のモニタリングは専門知識・技能や特殊な装置をもちいるので、専門業者でないと対応できない（作業安全性の上からも問題がある）。したがって、日常的な観察については、通常海域で作業を行っている人々（研究機関、専門業者）が責任を持って請け負うべきである。

近年、マスコミ等で取り上げられることの多い、ボランティアダイバーなどによる調査や地元

* イベント：突発的に発生する気象・海象の急変現象。大きなエネルギーを持ち、地形や生物に大きな影響を与える。

教育機関や市民参加によるモニタリングは、イベント的に実施することは可能である。特に、潜水を伴わない調査については、大潮干潮時かつ昼間に潮が引くときにのみ実施可能であるが、実施できる日程に限られる。

なお、専門家以外の人々にモニタリングに協力してもらう場合には、事前にモニタリング方法について十分講習を行うことが不可欠である。例えば、海外で行われているSeagrass Watch (<http://www.worldseagrass.org/snsw.htm#seawatch>) では、地域のボランティアを募って海草の調査を行うに際しては、図2.2.17のような組織を作って運営している。ここでは、アマチュアの人々に観察方法を講習し、ここで得られたデータを集計する組織が運営されており、幅広い場所から多くのデータを集めている。

また、調査に参加するボランティアには、予め調査の意味や調査方法を講習しておき、有効なデータを取得するように努めている。前述のSeagrass Watchでは、一般市民のモニタリング参加者に向けた、わかりやすい調査マニュアルやデータシートを示しており、これによって世界各地の海草群落を共通の方法で調査することにしている。

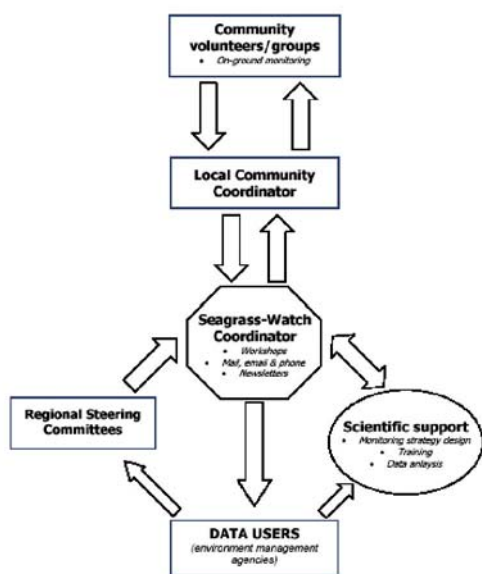


図 2.2.17 Seagrass Watchのモニタリング組織図

ジャングサウォッチ・初心者講習会

市民参加による海草藻場調査「ジャングサウォッチ」初めて参加する方対象の調査講習会を開催します。

「調査」は何か難しそうだけど、ジュゴンがくらす海の手草藻場の保全に協力したい！というあなたのご参加をお待ちしています。

2005年8月21日 [日] 11:00～16:00 (予定)

集合場所 名護市高福・松浜荘 (10:30受付開始)

対象 シュノーケリングができる方

参加費 100円 (保険代ほか)

定員 20名

事前申込みが必要です！申込み受付期間 8/8 [月] まで

<p>【持ち物】</p> <p>水筒・シュノーケリング用具 (フィン、マスク、シュノーケルほか)・ダイビングブーツ・ウェットスーツ・タオル・ウェイト・ (お持ちであれば・水中カメラ)・ 日焼け止め・水筒・昼食</p>	<p>【プログラム】</p> <p>①ジャングサウォッチとは (室内レクチャー)</p> <p>②実習Ⅰ：海草の見分け方</p> <p>③実習Ⅱ：海草7種探し</p> <p>④実習Ⅲ：調査入門</p> <p>⑤まとめ</p>
--	--

*雨天中止 *昼食を持ってきてください
*替替え等は松浜荘を利用します
*おそれいますが、用具・宿泊・移動手段は各自でご準備願います

【お申込み・お問合せ先】
日本自然保護協会 保護・研究部

図 2.2.18 日本自然保護協会による初心者向け海草調査講習会募集ちらし

このような動きは我が国においても(財)日本自然保護協会が沖縄本島の海草群落のモニタリングを行うために設立した「ジャングサウォッチ」でも取り入れられている(図 2.2.18)、(http://www.nacsj.or.jp/old_database/henoko/henoko-050726-chosa.html、ジャングサとは、ジャン=ジュゴンの食べる草という意味であり、沖縄地方において海草の総称を言う)。なお、取得されたデータは、集計して、参加者にもフィードバックするとともに、その後の調査研究や保全再生にも活用する仕組み作りが重要である。

ア) 調査時期、頻度、期間の設定

砂泥性藻場（海草群落）を構成する代表種であるアマモを例にとると、モニタリング調査は、以下のような調査頻度・期間で調査がなされていることが多い。

1) 時期

必須	繁茂期（6月頃）	衰退期（11～12月頃）
可能なら	発芽期（1～2月：場所により異なる）	実生株確認 結実期（6～7月：場所により異なる）
ベスト	周年（1～2ヶ月間隔で調査）	

2) 継続期間

最低限、その場所において再生が確認されるまでモニタリングを継続するべきである。今までの経験より5年間は継続するべきであると考えられる。

なお、その後も保全・再生した海草群落に何らかの変化が起こっていないかどうか、および群落の拡大（縮小）状況について、頻度を減少させても継続的に観察を行うことが望ましい。特に、台風等のイベントがあった翌年はモニタリングを行っておくことが望ましい。

3) 管理手法のレビューと改善

① 目標達成基準の評価方法

指標項目が目標レベルを満足しているかどうかで評価する。自然状態での群落の維持および拡大が、自然再生の目指すべき目標である。

〔解説〕

海草群落の保全・再生が目標達成しているかどうかは、モニタリング結果より量的・質的な面より評価する。

- ・量的評価：分布範囲・密度で評価
- ・質的评价：群落維持状況で評価（葉数、生殖方法）

海草群落を造成した場所が人為的に造成した場、たとえば人工干潟や覆砂による浅場である場合には、波浪や沈下によって地形が変化することもあるので、当初移植等が不調でも、長い期間の後にアマモが定着することもある。その逆に当初群落が発達していても、地形の変化によって群落の状況が悪くなる場合もある。

このため、砂泥性海藻場（海草群落）が分布する基質としての場所が、当初設定した環境因子からみた目標達成基準を満足しているかどうかを評価する。環境因子のチェックは、地形的要因（当初設定した地形（地盤高）が維持されているかどうか、単位期間当たりの地形変化量や底質の粒度組成が当初設定した条件の範囲内であるかどうか）で評価する。目標の達成が確認された後には、その状態を安定的に維持することが目的になる。

② 管理手法のレビューと改善の必要性の判断

指標項目が目標レベルを満足していない場合には、モニタリング調査結果および関連資料をもとに原因を推定し、管理手法をレビューして改善方法の提案を行う必要がある。

〔解説〕

アマモ移植後の群落定着の可否は、その場の環境に依存するので、周辺の状況をモニタリングにより評価して、必要な対策を行ってれば、群落の状況と将来の推移はある程度推定できる。

しかし港湾計画の進行や背後地の都市開発・農業活動、あるいは漁業活動によって物理的環境や化学的環境が変化する場合がある。このような原因により生育状況が思わしくない場合には、土木的方法によらない方法で状況を改善することは困難である。また、水質に起因する問題（残留農薬等・淡水の急激な流入など）は砂泥性藻場（海藻群落）を再生した場所だけの措置では解決しにくいことが多い。

- ・根本的改善
波浪制御・地盤高制御（再度、設計まで立ち返ることも考慮する）
- ・毎年種苗・種子の供給を行う
- ・アオサ等競合生物がたまる（流れ環境等が不適當であることが原因と考えられるが、対症的には除去して対応する）
- ・食害（網をかけるなどの対症療法で対応）

③ 管理手法改善のための対応策

当初の管理手法の効果が思わしくない場合には以下の対応策をとる³⁾。

- ・好転するのを待つ（様子を見る）
- ・行動を起こす（モニタリングデータに基づき、手法を変更する）
- ・目標達成基準を見直す（現状で、いかなる方法も改善の期待がもてない場合）

〔解説〕

造成した砂泥性藻場（海草群落）の状況が、目標を満足しない場合には、モニタリング結果を検討して、次の行動を考える。周辺海域や背後地の状況が造成した群落に影響を及ぼしている場合もあるので、造成あるいは再生した場所の状況と対照区の状況のモニタリング結果を検討チーム内で議論する。

気象・海象などの自然現象が原因と考えられる場合には、自然現象が改善するのを待つ（何もしない）という選択肢もある。なお、原因が一過性の攪乱と考えられる場合については、群落の損傷部分を、造成時と同様の方法にて補修する。

人為的要素としては、海域利用状況の変化が挙げられる。漁業形態や海上交通の状況によっては、造成した海草群落に大きな影響が加わることがある。例えば、制限速度を超えた速度で航行する船が発する航跡波などが、移植・播種した海底の安定に影響する。このような場合には、関係各所に法規の遵守を徹底させる。また、周辺で行われる漁業の漁法によっては、群落に大きく影響を与える場合がある。このような場合には漁法を調整する（大型ジョレン*、ウォーター

* ジョレン：鋤簾。鋼製の歯のついた枠をもつ網で、長い柄が取り付けられている。これを海中の砂の中に差し込み、貝類を捕獲する。

ジェット*などの使用規制) という対応も考えられる。

周辺環境に問題がない場合や、対照区にも問題がない場合には、再生・造成した群落に問題があると考えなくてはならない場合がある。その場合にもモニタリング結果より、どのようなことが群落維持の支障になっているかを、検討チームや学識経験者と協議する必要がある。その上で、表2.2.9に示す方法の変更を行う。なお、方法の変更は、基本的には造成方法と同様であり、大別すると以下の表のようになる¹⁾。

表 2.2.9 方法の変更¹⁾

方法	技術
生育基盤の整備	・基質基盤の整備（嵩上げ）、改良・流動制御工など
移植	・固定具を用いた種苗の移植など
播種	・種子の散布、着底基質に種子を固定するなど

管理手法の改善は以下の条件を満たす技術を選択すべきである。

- ・効果・影響が明らかにされていること
- ・移植・播種を行う場合には同一海域の株・種子を用いて、遺伝的攪乱を起こさないこと

群落を造成した場所の周辺の港湾において、構造や地形が改変された場合にも、群落に影響を与えることがある。このような変化は、常に外力条件の変化が伴うので、変化の傾向をシミュレーションにて予測したり、実測して、現状を把握する。また、外力変化の傾向を把握した後は、状況に応じて、以下のような対応を行う。

- ・波浪制御（突堤の設置、波浪制御構造物の配置）
- ・流況制御（導流施設の設置、滞留防止の孔を配置するなど）
- ・地盤高変更（光条件の改善：濁りが滞留する場合など）

なお、粘性土を投入して造成した地盤等においては、長期的に地盤が圧密により沈下したり、波浪により表層覆砂材と混合して、長期間経過後（10～15年後）に適切な状況になり、その後砂泥性藻場（海草群落）が定着する事例⁷⁾もあるので、地盤や地形と合わせた群落のモニタリングが必要である。さらに、周辺海域の環境変化が、保全・再生した群落に影響を及ぼす場合もある。

濁りのなどの水質に変化があった場合には、嵩上げのような物理的方法で対応できる。しかし栄養塩濃度や塩分濃度等の水質が変化してしまった場合や農薬・除草剤の流入に対しては、港湾区域のみの対応では処置できない。この場合には関連部局と十分協議して根本的対応を検討する。

また、「競合海藻」として、アオサやホンダワラが繁茂して、砂泥性藻場（海草群落）に支障を与える場合がある。これらの海藻が生育すると、海草を被覆して光を遮ることがある。このような場合には対症療法的には、競合海藻を人為的に除去する必要がある。

これらの「競合海藻」が他所から流入してくることもある。このような場合には波・流れなどの外力条件を再度チェックする必要がある。

* ウォータージェット：水中に高圧水を噴射して、砂の中にいる貝類やエビ類などを浮上させて根こそぎ捕獲する漁法。

参 考 文 献

- 1) 環境省 (2004) : 藻場の復元に関する配慮事項,p100.
(<http://www.env.go.jp/policy/assess/7-2guideline/file/7.pdf>)
- 2) 島谷 学・中瀬浩太・岩本裕之・中山哲巖・月舘真理雄・星野高士・内山雄介・灘岡和夫 (2002) : 興津海岸におけるアマモ分布条件について,海洋開発論文集,Vol.49,pp.1161-1165.
- 3) H.P.Calumpong、M.S.Fonseca (2001) : Chapter 22, Seagrass transplantation and other seagrass restoration methods,pp.425-443,Global Seagrass Research Methods,F.T.Short and R.G.Coles (編) ,Elsevier Science.
- 4) 海の自然再生ワーキンググループ (2003) : 海の自然再生ハンドブック 第3巻,pp54-57.
- 5) 東備地区広域漁場整備事業アマモ場造成技術検討会 (2006) : 東備地区広域漁場整備事業アマモ場造成技術検討会報告書 (案) ,P47.
- 6) 寺脇利信・島谷 学・森口朗彦 (2005) : 瀬戸内海におけるアマモ場造成の実践事例,水産工学,Vol.42,No.2,pp151-158.
- 7) 大山洋志 (2003) : 浚渫土を用いた干潟・藻場再生事業,土木施工,Vol.44,No.7,pp-38-43.
- 8) 小松輝久・立川賢一 (1997) : GPSと音響探測深機を用いたアマモ現存量推定の試み,月刊海洋科学,Vol.29,No.8,pp494-499.
- 9) 中瀬浩太・百瀬泰彦 (2002) : アマモの移植技術,電力土木,Vol.298,pp.66-69.
- 10) 中西 哲・大場達之・武田義明・服部 保 (1983) : 日本の植生図鑑< I >,保育社, pp168-186.

2.3 サンゴ礁

(1) 具体的な行動計画・事業実施方針の設定（レベル2）

サンゴ礁再生に関する具体的な行動計画・事業実施方針の設定に際しては、事業段階および周辺の環境条件を考慮した検討を実施する必要がある。

〔解説〕

港湾建設予定地にサンゴ礁が存在する沖縄総合事務局では、今後の港湾整備に際してサンゴ礁生態系を保全・再生・利用することによって港湾整備とサンゴ礁の共生を図ること等を基本的な方針としている¹⁾。港湾整備における環境保全のために、各種の自然再生技術を適用する際の考え方（案）を図2.3.1に示す。今までに形成されたサンゴ礁を保全・再生する場合には、人為的影響によって消滅またはダメージを受ける可能性が高いサンゴ礁に対して影響を回避あるいは低減する。回避、低減できない場合には代償措置として新たな場の創出の実施を目指す。また、海洋性レクリエーションや自然環境学習の場としての観点から、サンゴ礁の保全・再生に際しては利用という側面を重視する。具体的な行動計画・事業実施方針の設定に際しては、このような事業段階を勘案した検討を実施する必要がある。

なお、サンゴ礁海域における自然再生技術³⁾は、表2.3.1に示すように有性生殖*過程による増殖を期待した「サンゴの着生基質**の形成技術」と、無性生殖***過程による増殖を期待した「サンゴの直接的導入技術」およびサンゴ群集****の成長に適した環境条件を形成するための「環境の改善技術」に分類されている。対象とする場所が有するサンゴの成長に関する環境条件や、浮遊幼生*****の自然供給の有無などを考慮して、対応する技術の選定を行うなどの具体的な行動計画や事業実施方針を設定する。

対象とする場所が有するサンゴの成長に関する環境条件については、後述する環境因子とサンゴの成長との関係を考慮して検討する。浮遊幼生の供給に関しては、沖縄本島西部では、プラヌラ幼生は慶良間列島から沖縄本島西岸への東向きの流れに乗って産卵後4～5日で輸送されることが明らかとなり、慶良間列島が沖縄本島西岸へのプラヌラ幼生の重要な供給源の一つであることが示されている⁴⁾。また、那覇港内のプラヌラ幼生の移動・分散について数値シミュレーションを試みた結果では、港内で放出された幼生は岸沿いに南北に移動しながら北上し、浦添地区から牧港に到着する可能性が高いとしている⁵⁾。このようなエコロジカル・ネットワークについても行動計画や事業実施方針の検討の際に考慮する必要がある。

* 有性生殖：卵と精子など配偶子を用いて、子孫を生産すること。有性生殖によってできる子は、親と遺伝子組成が異なっている。

** 基質：生物が着生するための基盤。

*** 無性生殖：配偶子を用いずに子孫を増やすこと。無性生殖によってできる個体は、遺伝子組成が等しいクローンである。

**** サンゴ群集：サンゴ類が一つの場所に多数生息して形成する集まりで、サンゴ礁のさまざまな環境によって、群集を形成する主要な種の群体形が異なることが多く、異なる景観が作り出される。

***** 浮遊幼生、幼生、プラヌラ幼生：サンゴその他の刺胞動物の幼生で、プランクトン生活を送る。ほとんど有性生殖で作られ、分散の役割を果たす。

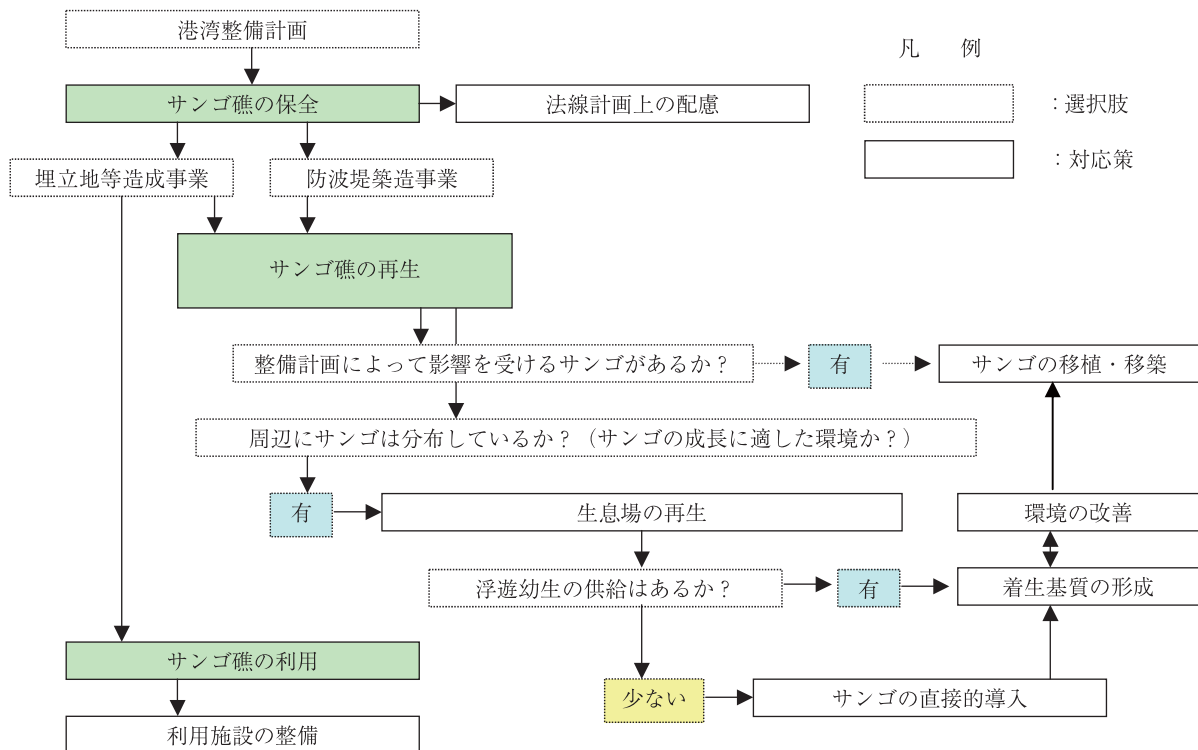


図 2.3.1 沖縄の港湾整備における環境保全の考え方（案）^{1) 2)}

- 沖縄総合事務局では港湾整備に際してサンゴ礁生態系を保全・再生（創出・復元・修復等）・利用することによって港湾整備とサンゴ礁の共生を図る。
- 港湾整備の計画においては、周辺のサンゴ礁の保全に配慮した法線計画の検討を行う。自然海岸の改変を伴う計画については特に注意する。
- 埋立計画等の事業化に際しては周辺のサンゴ礁の再生と利用に配慮する。
- 沖防波堤計画の事業化に際しては周辺のサンゴ礁の再生に配慮する。
- サンゴ礁の保全・再生・利用に関する技術は、従来の土木技術と比較して歴史が浅く、熟度が低いため、今後も技術開発を推進する。

表 2.3.1 サンゴ礁海域における自然再生技術³⁾

		手 法 内 容		
保全	法線計画上の配慮		埋立てや防波堤建設計画予定地にサンゴ礁が存在する場合に法線計画上の配慮を行い、保全を図る。	
再生	着生基質の形成	基質投入	安定基質の投入 海底が礫、砂地でサンゴが成育できない場所に、安定した基質（石材、ブロック等）を投入する。	
		浅場造成	深場への基質投入による浅場造成	水深が深く、サンゴが成育できない場合に、石材やブロック等で浅場を造成する。
			消波工法面の緩傾斜化	防波堤沖側の消波ブロックの法面勾配を緩傾斜にして浅場面積を増す。
			消波工の小段設置	防波堤沖側の消波ブロックの法面に小段を設けて浅場面積を増す。
			マウンドのかさ上げ	防波堤岸側のマウンドをかさ上げして浅場面積を増す。
			護岸の緩傾斜化	船舶が接岸しない護岸は、直立護岸としないで、緩傾斜とするか、または前面に浅場を造成する。
		表面加工	ブロックの凹凸加工	消波ブロック等の構造物の表面に凹凸加工を施し、サンゴ等の着生促進を図る。
			ケーソン直立壁の凹凸加工	防波堤の岸側の直立壁に突起や棚を設けて、サンゴ等の着生場所を確保する。
			基質表面の化学的処理	消波ブロック等の構造物にサンゴ等の着生促進物質を、塗布、添付する（研究開発段階）。
	環境の改善	物理環境の多様化	ケーソンの凹凸配置 ケーソンを凹凸に配置し、法線を複雑化することで積極的なサンゴ礁の再生を行う。	
		海水交換の促進	ケーソンの隙間配列	積極的に隙間を確保するようにケーソンを配置するか、防波堤の一部はケーソンを用いずに消波ブロック等で充填する。
			有孔ケーソン	孔開きケーソン等を用いることで、港内の海水交換を促進する。
	サンゴの直接的導入	幼生放流	サンゴの幼生を採取、育成、放流することにより、大量・確実な着生を図る。	
		幼サンゴの移植*	サンゴの幼体が着生した人工基質を構造物やサンゴの少ない天然礁に移植し、増殖を図る。	
		サンゴ片の移植	サンゴの破片を水中ボンド等で構造物やサンゴの少ない天然礁に移植し、増殖を図る。	
		サンゴ群集の移築**	サンゴ礁が埋立てや防波堤建設により消滅する場合に、サンゴ群集を移築する。	
利用	親水防波堤	防波堤を遊歩道として開放し、港や海の景観を楽しむ場所を提供する。		
	海中展望塔	海中から直接サンゴ等を観察できる施設を建設する。（海中展望塔、海中トンネル）		
	沖合海水浴場	防波堤の岸側や沖合の天然礁を利用して海水浴やダイビング等を行う。		
	自然観察施設	海の生物や野鳥等を観察する区域を設定し、観察施設（ネイチャーセンター）、生態系展示施設（水族館）、観察指導員（レンジャー）等を置く。		

* 移植：サンゴは破片で無性的に繁殖することができる。そのため、破片を基盤に固定することによって、サンゴを移植することができる。

** 移築：サンゴ群集の移築技術はサンゴ片の移植を応用したもので、海域の埋立て、防波堤建設、浚渫等の計画地にサンゴ礁が存在し、これらが消滅または大きなダメージを受ける恐れがある場合に、サンゴ群集を岩盤ごと採取・輸送・設置して活かす技術。

(2) 目標達成基準による管理（レベル3）

1) 目標達成基準

① 指標項目

既存のサンゴ礁の保全および新たに形成されたサンゴ礁については現況およびこれまでの変遷を考慮して目標達成基準を設定する。これから再生しようとするサンゴ礁については、周辺の自然地形に分布するサンゴ礁の現状およびこれまでの変遷を考慮して目標達成基準を設定する。

指標項目は、サンゴ群集の被度と主要構成種の状況とする。サンゴ群集の成長に影響を及ぼす環境因子についても把握に努め、人為的に改善が可能な環境因子については重要な指標項目とする。

〔解説〕

指標項目には、包括的目標が達成されたかどうかを判断するためのサンゴ群集の状況に関するものと、目標未達成時の要因解析や目標達成のために物理的な改善が必要かどうかを判断するための環境因子に関するものがある。

サンゴ群集に関する指標項目としては、被度、種類数、群体*数、群体の最大径等がある。那覇港における防波堤の異形ブロック**上に成育するサンゴの成長に関する水深別の被度、種類数、群体数、群体の最大径の経年変化を図2.3.2に示す。

被度、群体の最大径の経年変化と水深の関係をみると、消波ブロック上のサンゴは、水深D.L.-1mおよび-3mでは設置後9年目まで急速に成長し、その後横ばい傾向となる。-5m以深では緩やかに成長している。種類数、群体数の経年変化と水深の関係は、種類数・群体数ともに水深D.L.-1mで最も多く、種類数は7年目にピークがあり、群体数は6年目にピークがあってその後減少している。これは、サンゴの群体が成長するに従って、群体間の競争等により死亡する群体も現れ、種類数や群体数が減少することによると考えられる。

サンゴの属別の成育状況を図2.3.3に示す。ミドリイシ属は浅い水深帯（-1、-3m）で成長が速く、深い水深帯（-5、-7、-9、-12m）で遅い。ハマサンゴ属は深い水深帯（-12m）で緩やかに成長している。また、ハナヤサイサンゴ属の成長は緩やかで、水深の違いによる差は小さい。

なお、サンゴ礁生態系が有する機能として、生物生産機能、生物生息機能、浄化機能、景観形成・親水機能、防災機能、二酸化炭素の循環機能、教育・研究の場としての機能、資源供給機能等が知られている。これらの機能形成を事業の目的とする場合もあるため、これらの機能に関する指標項目を取り上げることも可能である。例えば、生物生息機能についてはサンゴ群集周辺に集まる魚介類の種類数やサンゴ群集内に分布する付着生物等を指標項目にする。

* 群体：共通の親個体から出芽によって形成されたポリプ*の集まりで、出芽後も離れることなく複数のポリプが共肉部で連絡してできている状態。

** ポリプ：生きているサンゴの基本単位で、個虫ともいう。イソギンチャク様の形態である。

** 異形ブロック、ブロック：防波堤、離岸堤、突堤の前面、海岸堤防の前面などの消波工あるいは根固工に用いられるコンクリートブロックの総称。

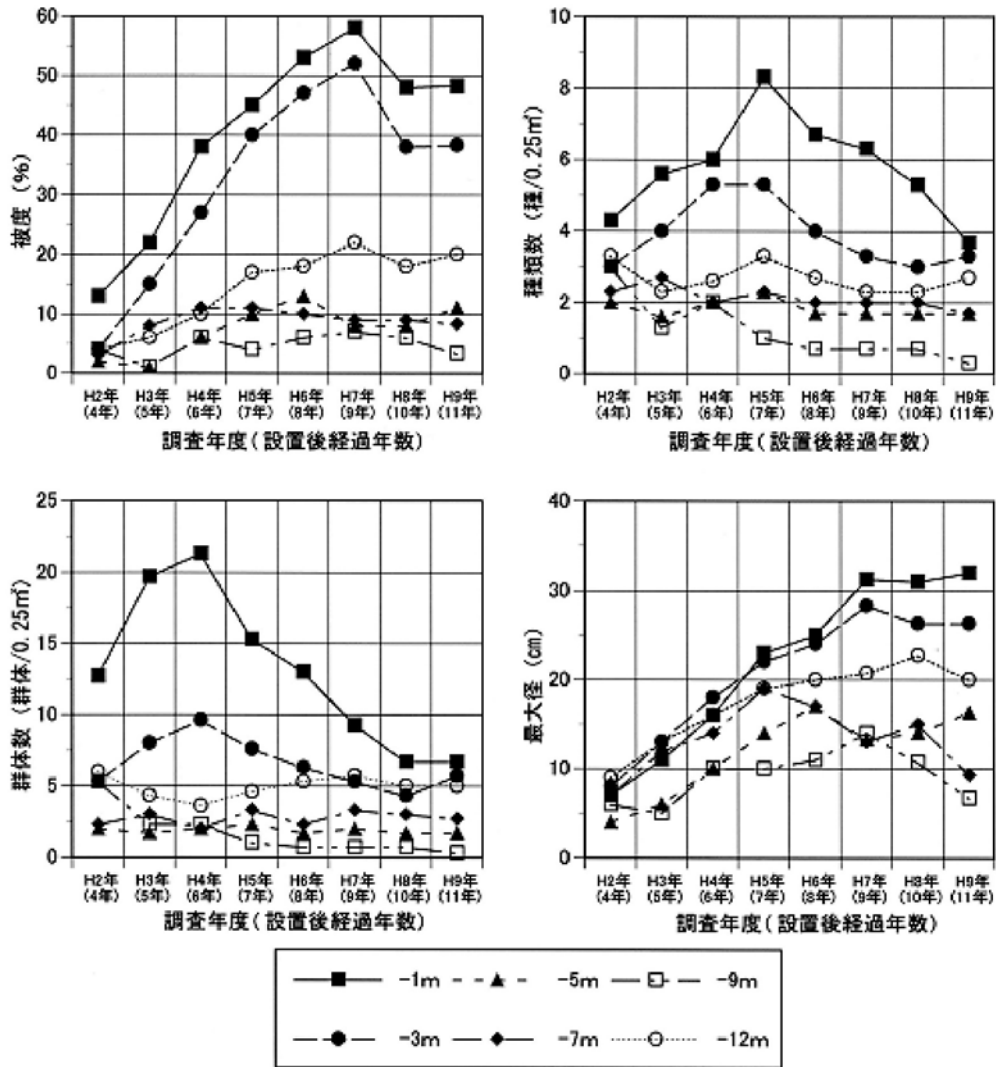


図 2.3.2 水深別サンゴの生育状況経年変化⁶⁾
 (水深はD.L.換算、那覇港ではD.L. 0 m ≡ M.W.L.- 1 m)

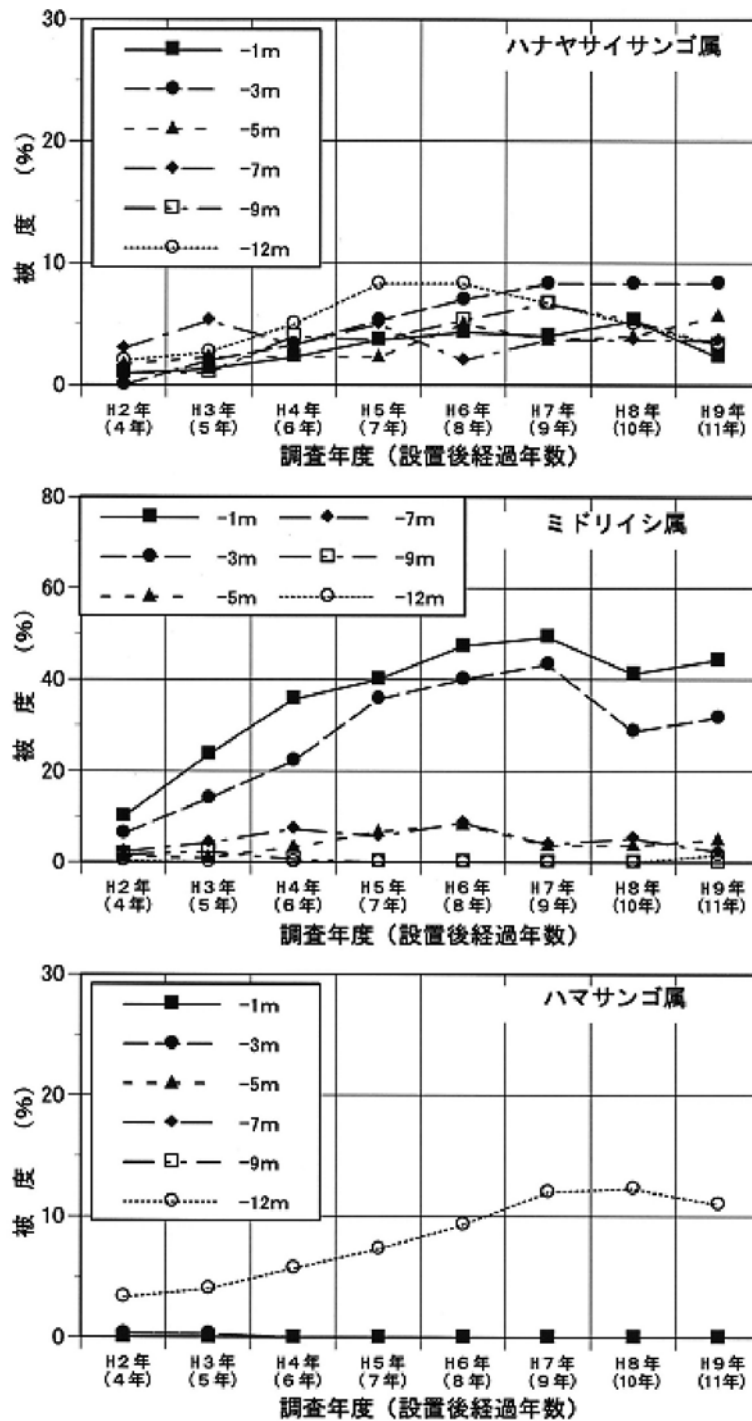


図 2.3.3 属別、水深別の被度経年変化⁶⁾
 (水深はD.L.換算、那覇港ではD.L. 0 m ≡ M.W.L.- 1 m)

また、サンゴの成長とそれに伴うサンゴ礁の形成に影響を及ぼす環境因子に関する項目として、物理・化学因子、地形・地質因子、生物因子、人間活動等がある（図2.3.4）。これらの環境因子がサンゴの成長とサンゴ礁の形成に関与している。

特に、造礁サンゴは動物プランクトン等を捕食する他、共生している褐虫藻が光合成によって生産した物質を得て成長している。褐虫藻が光合成を行うためには光が必要であることから、造礁サンゴの成長にとって光が重要な環境因子になっている。光の条件のほかに波浪、セディメンテーション、水温、塩分、栄養塩等が重要である。

これらの環境因子がサンゴ群集の指標項目の変化に影響を及ぼすため、順応的管理に際しては関連する環境因子の把握に努め、特に人為的な改変が可能な環境因子について把握することが望ましい。

なお、指標項目は目的に応じて管理可能な項目を対象として選定する。

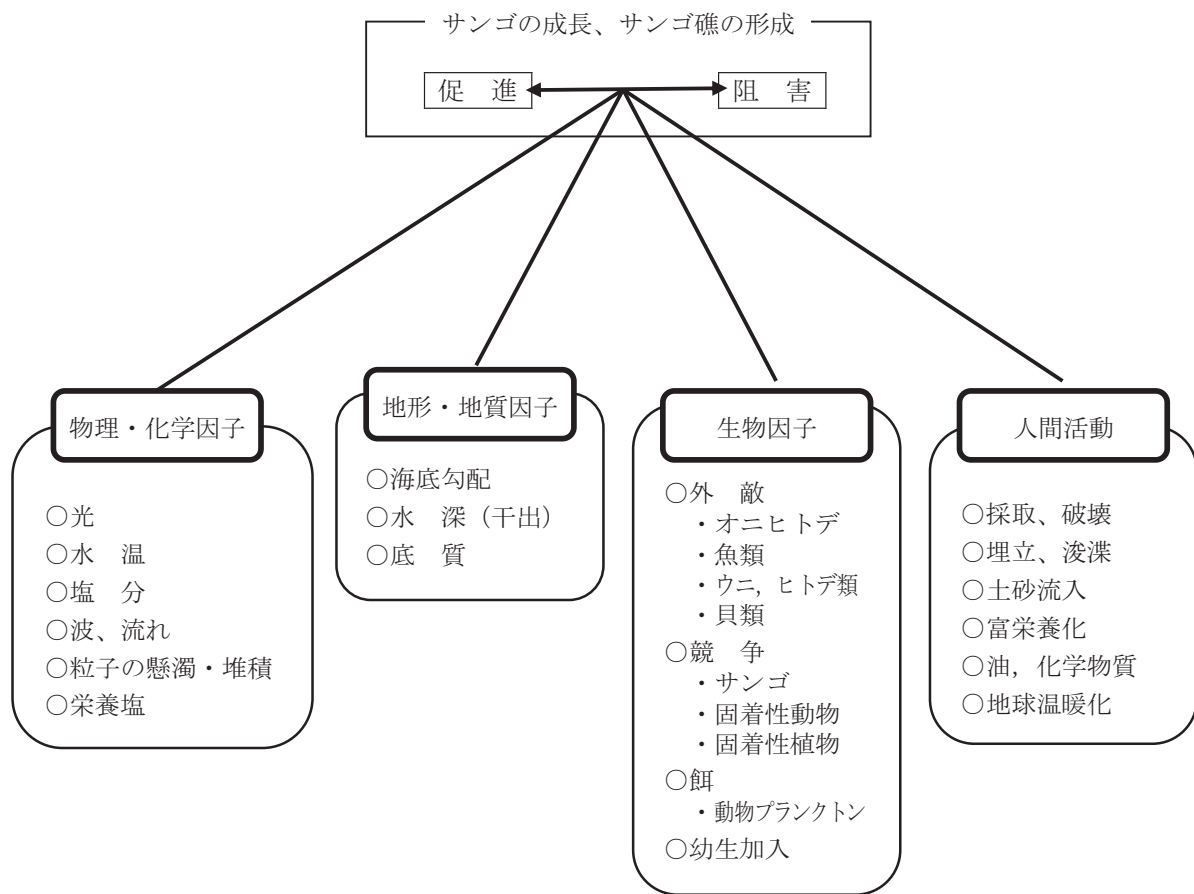


図 2.3.4 サンゴの成長、サンゴ礁の形成に影響を及ぼす環境因子³⁾

② 目標レベル

目標レベルの設定に際しては、周辺の自然地形上に目標とするサンゴ群集を想定し、その中に対照区としてのモニタリング地点を設定することが望ましい。

〔解説〕

サンゴ群集は地域や水深によって種組成や被度が異なるため、計画対象地域周辺の自然地形上のサンゴ群集に関する既往の調査結果や現地調査結果をもとに、目標とするサンゴ群集を想定し、対照区を設定する。目標レベルを設定する際の参考となる対照区は、比較主体と環境条件が同じであることを前提とし、同じ時期での他の場所の状況または、同じ場所での以前の状況を設定することができる。

既存のサンゴ礁の保全および新たに形成されたサンゴ礁については現況およびこれまでの変遷を考慮して目標レベルを設定する。これから再生しようとするサンゴ礁については、周辺の自然地形に分布するサンゴ礁の現状およびこれまでの変遷を考慮して目標レベルを設定する。

具体的な目標レベルとしては、対象とする区域に対照区に分布するサンゴ群集を確認することや、それらが成長していることを確認すること、過去の状況や近隣の状況と同等レベルのサンゴ群集が確認されその周辺に魚介類や付着生物の餌場・生息場・産卵場としての機能が確認されることなどがあげられる。

③ 目標達成年次

目標達成年次は6年間から8年間を目安として生物相の遷移が安定するまでの期間を考慮して設定する。

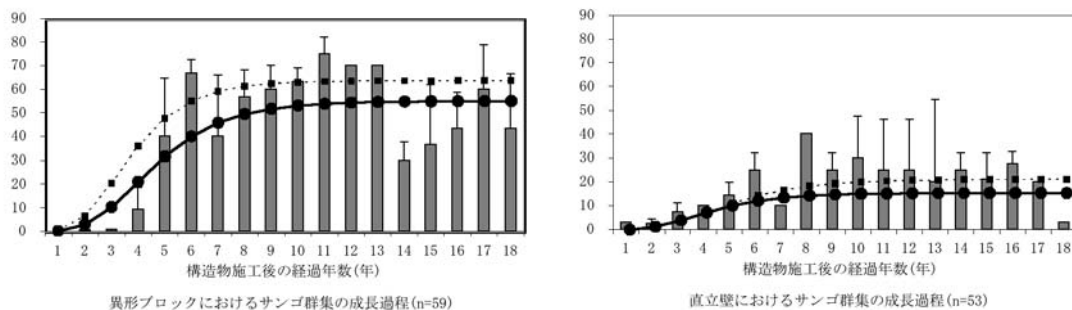
〔解説〕

那覇港内ではサンゴ群集の分布状況を把握するため1994年に防波堤等人工構造物上における157地区の同一水深帯においてサンゴ群集の被度分布調査が実施されている⁷⁾。人工構造物は施工した年が明らかなため、単年の調査でも構造物施工後の経過年数とサンゴ群集の被度の関係を成長過程として整理することができる。図2.3.5の調査が実施された防波堤には1年前から18年前までに施工された区間があり、経過年数ごとの区間におけるサンゴ群集の被度のデータが得られている。これらのデータをもとに人工構造物上におけるサンゴ群集の成長過程を解析した結果、サンゴ群集の成長過程はロジスティック曲線で近似され、6年目から8年目までの初期成長期とその後の安定成長期に分けられることが示されている。このことは図2.3.2に示した定点連続観測調査でもほぼ同様の傾向を示している。

このように、新しい構造物上でサンゴ群集の被度が一定レベルになるまでに那覇港では6年間以上を必要とする。また、種類数や群体数、群体の最大径等の指標項目は7年目以降も変動する。

したがって、目標達成年次は6年間から8年間を目安とするが、対象とする海域ごとに図2.3.5に示すような既設構造物調査を行い目標年次の設定を行うことが望ましい。

なお、設定された目標年次以降についても指標項目の値は変動することから、定期的なモニタリング調査は必要と考えられる。



注：棒グラフは実測値、実線は理論式から求めた平均成長曲線、破線は最適成長曲線（平均値＋標準偏差）

図 2.3.5 人工構造物上でのサンゴ群集の成長過程⁷⁾

2) モニタリングの実施

① モニタリング計画策定の考え方

今までに形成された場の保全、再生および新たな場の創出を計画した区域ではモニタリング調査を行い、その結果をもとに順応的な管理を適用する。したがって、事前に目的を達成するために必要なモニタリング計画を策定することが望ましい。

〔解説〕

今までに形成された場の保全、再生および新たな場の創出を計画した区域では、サンゴの成育分布状況や水質等の環境条件について専門家によるモニタリング調査を実施し、環境が計画通りに保全・再生・創出されているか否か等の確認を行い、必要に応じて対策の検討を行い以後の計画に反映させる。

また、海域の利用制限等、人の利用に対する制限と監視を行い、適切な管理を実施する必要がある。

モニタリング調査のための調査定点を設定する等、改めて事前調査が必要となる場合も考えられる。図2.3.6にモニタリング計画の全体フローを示すとともに、調査項目・位置・時期・頻度・期間・方法の基本的な考え方について表2.3.2に示す。

なお、生物相が安定した後も環境変動を考慮してその後も定期的なモニタリング調査による監視を継続することが望ましい。

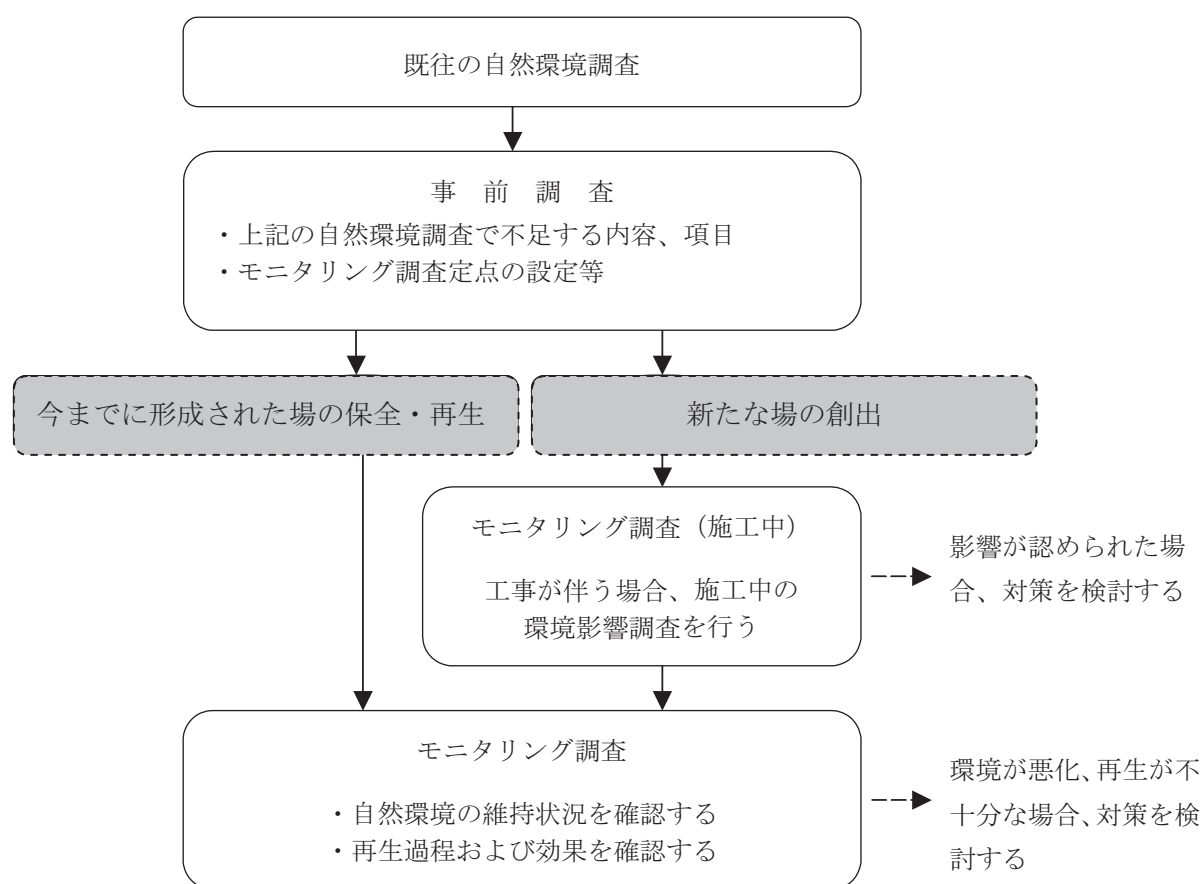


図 2.3.6 モニタリング計画のフロー

表 2.3.2 調査項目・位置・時期・頻度・期間・方法の基本的な考え方

モニタリング項目	調査位置	調査時期・頻度	調査期間	標準的な調査方法
サンゴ分布調査				
広域調査	対照区を含む対象範囲全域の天然礁や構造物上のサンゴの分布状況の概要が把握できる範囲	5年に1回程度	6年間程度を基本とし、その後も継続することが望ましい。	マンタ法
測線調査	環境勾配との関係を把握できるような測線配置	実施後1-2年は1年に数回とし、その後は1年に1回とする。調査時期は特定しない。		ベルトトランセクト法 (コドラート法)
測点調査	環境条件との関係を把握できるような測点配置			コドラート法
環境調査				
透明度	対照区を含む対象範囲全域の傾向が把握できるような地点配置	実施後1-2年は1年に数回とし、その後は1年に1回とする。調査時期は特定しない。	6年間程度を基本とし、その後も継続することが望ましい。	透明度板
水温・塩分				水温塩分計
光量子				光量子計
濁度				濁度計
COD				採水・分析
窒素				
リン				
浮泥					セディメントトラップ
生物相調査	測線調査と同じ範囲	実施後1-2年は1年に数回とし、その後は1年に1回とする。調査時期は特定しない。	6年間程度を基本とし、その後も継続することが望ましい。	ベルトトランセクト法
外敵生物調査	測線調査と同じ範囲	実施後1-2年は1年に数回とし、その後は1年に1回とする。調査時期は特定しない。	6年間程度を基本とし、その後も継続することが望ましい。	ベルトトランセクト法

② モニタリングの実施方法

a. モニタリング手法

主な調査項目は、「サンゴ等の分布調査」と「水質等の環境調査」である。それぞれ、調査時期、頻度、期間、方法等を設定したうえで実施することが望ましい。

〔解説〕

・調査項目

モニタリングの主な調査項目は、「サンゴ等の分布調査」と「水質等の環境調査」である。それぞれ、調査時期、頻度、期間、地点等を設定したうえで実施することが望ましい。

また、サンゴ以外の生物相やオニヒトデ等の外敵生物についてもモニタリングを行うが、これらの生物については、地元のボランティアやNPO等による日常の観察により得られる成果も有効と考えられる。

・調査時期、頻度、期間の設定

サンゴは長期間をかけて徐々に成長するために調査時期は特定しない。調査頻度は基本的に年1回とするが、再生手法を実施した場合、実施後1～2年は年数回とし、その後は年1回とする。調査期間は既に示したように6年程度を基本とするが、大規模な濁水の流入や高水温による白化*現象が対象とするサンゴ群集に影響を及ぼすことも考えられるため、その後も監視を継続することが望ましい。

・調査方法

サンゴ分布調査、水質等環境調査、生物相調査、外敵生物調査の調査方法について以下に概説する。

サンゴ分布調査（広域調査：マンタ法）

天然礁や構造物上におけるサンゴの分布状況の概要を把握するために、調査測線および天然礁や構造物の上や外縁に沿って観測者を調査船で曳航して、基質上の被度や底質状況等のデータを記録する。調査測線を設定する場合には、基本的に汀線に対して直角・平行方向に対象範囲の規模に応じて決定する。

曳航速度は、一定区間ごとにデータを得るために一定（1～1.5ノット程度）とし、一定間隔でデータを記録する（2分程度）。また、GPSの使用等により調査実施位置の確認を行う。

観察範囲は、海底の水深、海底地形、水中の透視度等の条件によって観察可能範囲が異なるため、対象海域の状況に応じて決定する。

観察は造礁サンゴ、ソフトコーラル、海藻、海草等の主要構成種ごと、および死サンゴを対象に行い、それぞれの被度を測定するとともに底質状況についても観察する。

被度は海底面に占める面積の割合であり、%もしくは被度階級で表わす。被度階級の設定は、対象海域の状況により設定する。

* 白化：高水温や低塩分などのストレスによって、サンゴから褐虫藻が抜け出してサンゴが白くなる現象。ストレスがなくなれば回復するが、白化が長期間続けば、サンゴは死亡する。

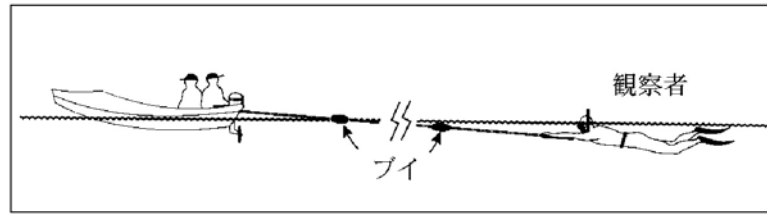


図 2.3.7 マンタ法による調査状況⁸⁾より作成

サンゴ分布調査（測線調査：ベルトトランセクト法）

マンタ法は広範囲を概略的に把握する調査方法であり、生物の種レベルでの同定は難しく、科・属レベルあるいは形状の確認となる。このため、さらに詳細なサンゴの分布状況等を把握するためにベルトトランセクト調査を実施する。

ベルトトランセクト法は、測線に沿って潜水移動しながら基質上の被度や底質状況を連続的に観察するものであり、種レベルの同定やサンプルの採取が可能のため、詳細な状況が把握できる。

調査範囲は、サンゴの分布状況や付着基質の状況等により規定される。

調査測線は、マンタ調査の結果を参考に、波当たりの条件や水深等の環境勾配が生じている方向に設定するか、汀線に直角または平行に設定する。測線を汀線に直角に設定する場合は環境勾配が生じている方向への調査、平行に設定する場合は同一環境内での調査となる。また、測線を格子状に設定する方法もある。測線数は調査範囲の規模等に応じて設定する。

観察は一定の幅をもって行い、一定間隔ごとのサンゴ・ソフトコーラル・海藻草類・底生生物・魚類等の種類、被度等とともに、底質状況等のデータを記録する。被度および底質の観察方法はマンタ法に準ずる。調査結果の記録の一例を表2.3.3に示す。

なお、近年、水中ビデオカメラで撮影した映像からデータを読み取る「ビデオトランセクト法」が提案されている。ビデオトランセクト法は、水中作業時間を短縮できる反面、映像の視野が狭い等の問題がある。



図 2.3.8 ベルトトランセクト法による調査状況⁸⁾より作成

表 2.3.3 ベルトトランセクト法による調査結果の記録の一例

調査日時 (20××年×月×日)、天候 (●)、調査責任者名および所属 (氏名:●●●●、所属:●●●●)									
測線名		L-1							
区分	科	基点からの距離	0~50	...	200 ~ 210	210 ~ 220	220 ~ 230	...	
		水深 D.L.(m)	+0.2	...	±0	-0.5	-0.8	...	
		地形区分	②	...	①	③	③	...	
		底質の概観	砂	...	岩盤	砂・礫	砂・礫	...	
イシサンゴ目	ハナヤサイサンゴ	ショウガサンゴ		...		R		...	
		ハナヤサイサンゴ属				R	R		
	ミドリイシ	コモンサンゴ属 (樹枝状)			R				
		ミドリイシ属 (樹枝状)			+	10	10		
	ハマサンゴ	ハマサンゴ属 (塊状)				R	R		
		ハマサンゴ属 (その他)				R	R		
	クサビライシ	クサビライシ属							
	キクメイシ	キクメイシ属			R	+			
カメノコキクメイシ									
イシサンゴ目以外	—	アナサンゴモドキ属			R	R			
総被度(%)			0	...	+	15	15	...	
種類数			0	...	4	10	7	...	
ソフトコーラル類	—	ソフトコーラル類		...	R	R	R	...	
総被度(%)			0	...	R	R	R	...	
種類数			0	...	1	1	2	...	
海藻類	アオサ	アオノリ属	R	...	R			...	
		アオサ属	R		R				
	ヒトエグサ	ヒトエグサ			+	R			
	ミル	サボテングサ属	R						
		...							
							
	イワノカワ	イワノカワ属			...	+	+		+
		無節サンゴモ類			...	10	5		20
...	...								
総被度(%)			5	...	45	40	45	...	
種類数			7	...	12	8	10	...	
海草類	トチカガミ	ウミヒルモ	10	...				...
		リュウキュウスガモ	15		R	5	5		
	ヒルムシロ	ベニアマモ	R		+	+	5		
		...							
総被度(%)			25	...	5	10	10	...	
種類数			3	...	3	2	2	...	
底生生物			...	...	...	...	...	...
魚類			...	...	...	...	...	...
白化の段階			0	...	1	1	1	...	
オニヒトデの個体数			0	...	5	3	2	...	

※地形区分； ①干出礁原、②タイドプール、③礁池、④礁嶺、⑤礁斜面、⑥海底 (砂地)

※被度の凡例； R； 1%未満、+； 1%以上5%未満

サンゴ分布調査 (測点調査：コドラート法)

一定面積内のサンゴの種類、被度、群体の大きさ等について観察する。定期的に調査することにより、サンゴ群体の新規加入、成長状況、回復状況等を把握する。測点数は、水深等の環境条件の異なる場所を対象地の規模等に応じて複数設定する。

コドラート全体の面積は、対象とする地区の生物相を代表できる範囲を対象とするが、対象とする基質の規模（消波ブロック、石材、天然礁）によっても異なる。一般的には1m×1m～数m×数m程度である。対象範囲内のサンゴ・ソフトコーラル・海藻草類・底生生物等について目視で種類、被度等について測定する。調査結果の記録の一例を表2.3.4に示す。写真を撮影する場合は、コドラートを0.5m×0.5mまたは1m×1mに区分する。

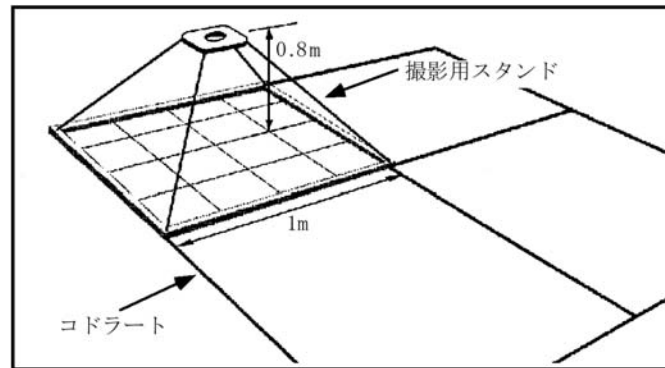


図 2.3.9 コドラート法における写真撮影状況⁸⁾より作成

表 2.3.4 コドラート法による調査結果の記録の一例

調査日時 (20××年×月×日)、 天候 (●)、調査責任者名および所属 (氏名：●●●●、所属：●●●●)											
		定点名			定点1			定点2			
		No.	1	2	3	1	2	3	...		
		基点からの距離 (m)	260			320			...		
		水深D.L. (m)	-2.0	-2.1	-1.8	+0.4	+0.6	+0.6	...		
		地形区分	③	③	③	④	④	④	...		
		底質の組成 (%)	岩盤			95	90	90	...		
			転石			5	5	5	...		
			礫			10	10	10	...		
			砂			85	90	90	...		
No.	区分	科									
サンゴ											
1	イシサンゴ目	ハナヤサイサンゴ	ヘラジカハナヤサイサンゴ					R	+	R	
2			ハナヤサイサンゴ属 (準塊状)					R			
3			トゲサンゴ属			R	R	R			
4			ショウガサンゴ				R	R			
5		ミドリイシ	コモンサンゴ属 (樹枝状)			+	+	+			
6			コモンサンゴ属 (葉状)			5	R	10			
7			ミドリイシ属 (卓状)						+	+	+
8			ミドリイシ属 (樹枝状)						10	5	30
...			
35	イシサンゴ目以外	-	アナサンゴモドキ属					R	R	R	
			総被度 (%)	15	10	25	30	20	50		
			種類数 (種類/m ²)	11	15	14	14	8	13		
			群体数 (群体/m ²)	20	22	28	18	8	15		
			最大径 (cm)	12	7.5	30	25	15	40		
			ソフトコーラル	...	...	...	...	...	...
			海藻草類	...	...	...	...	...	...
			底生生物	...	...	...	...	...	...
			浮泥の堆積状況			-		+	...		
			白化の段階	0	1	0	2	0	0		
			オニヒトデの個体数 (個体/m ²)	0	0	0	1	0	0		
			レイシガイダマシ類の個体数 (個体/m ²)	0	20	0	0	0	0		
			食痕		●		●		...		

※地形区分： ①干出礁原、②：タイドプール、③礁池、④礁嶺、⑤礁斜面、⑥海底 (砂地)

※被度の凡例： R；1%未満、+；1%以上5%未満

水質等環境調査

サンゴの分布状況調査と並行して水質等環境調査を定期的実施することにより、サンゴの分布状況と環境条件とを検討する。

調査項目としては、現地測定調査による透明度、水温、塩分、光量子、濁度等と、採水分析調査によるCOD、窒素、燐等があげられる。

また、浮泥等の濁りがサンゴに及ぼす影響を把握するためにはセディメントトラップを用いた調査を行う。

生物相調査

対象海域の生物相の概要を把握するために、ダイバーの潜水目視により、サンゴ以外の観察可能な動植物のリストアップおよび概略生息密度を記録する。

広い範囲を観察するために、主にベルトトランセクト法による調査を実施する。

外敵生物調査

外敵生物調査は、サンゴの食害生物の生息状況を把握するために、ダイバーによる潜水目視で主にサンゴを摂餌する生物の生息密度や摂餌状況を観察する。

サンゴの主な食害生物の中でもオニヒトデはサンゴに重大な被害を与える生物として、特に注意を要する。

b. モニタリング実施体制

サンゴ群集のモニタリングは、専門家による定期的なモニタリング調査に加えて、日常的な監視については地元のボランティアやNPOの協力を得ることが望ましい。

〔解説〕

サンゴ群集の成育分布状況や水質等の環境条件について専門家によるモニタリング調査を実施し、サンゴ群集とそれを取り巻く環境が計画通りに保全・再生されているか否か等の確認を行い、必要に応じて対策の検討を行い以後の計画に反映させる。

モニタリング調査は、標準的な方法と定性的に目視で行う方法を取り混ぜて実施することが望ましい。標準的な方法は専門機関が実施し、日常的な環境モニタリングや監視については、地元のボランティアやNPOの協力を得ることが重要であり、オニヒトデの大発生等の異変を早期に発見し、対策を実施することが可能となる。

例えば、世界的な規模でボランティアダイバーによるReef Checkが行われており (<http://www.reefcheck.org/>)、日本でもReef Check Japanによる活動が実施されて結果が公表されている (<http://hs.st41.arena.ne.jp/reefcheckjapan/>)。これらの情報を収集しつつ連携を深めることが望ましい。

3) 管理手法のレビューと改善

① 管理手法のレビューと改善の必要性

モニタリング結果をもとに、指標項目が目標レベルを満足しているかどうかについて評価する。指標項目が目標レベルを満足している場合には、その要因をとりまとめるとともにモニタリング調査頻度や内容の低減に関する提案を行う。指標項目が目標レベルを満足していない場合には、モニタリング調査結果および関連資料をもとに原因を推定し、管理手法をレビューして改善方法の提案を行う必要がある。

〔解説〕

対象地区におけるサンゴ群集の状況や環境因子等の指標項目の値を、対照区の指標項目の値と比較し、それぞれの指標項目が目標レベルを満足しているかどうかを評価する。

新しい構造物上でサンゴ群集の被度が一定レベルになるまでには図2.3.5に示したように6年間以上を必要とするため、時系列的な生物遷移過程を考慮して評価する必要がある。

指標項目が目標レベルを満足している場合には、その要因をとりまとめるとともにモニタリング調査頻度や内容の低減に関する提案を行う。

指標項目が目標レベルを満足していない場合には、モニタリング調査結果および関連資料をもとに原因を推定し、管理手法をレビューして、その程度と状況に応じてそのまま継続するか、改善するか、事業を中止するかを判断する。

そのまま継続する場合や改善する場合については、目標レベルの見直しについても検討する。

なお、モニタリング結果の評価に際して、オニヒトデの大量発生や高水温等に伴う白化のように、サンゴ群集が広域にわたる環境変動の影響を受けて大規模に衰退する場合がある。例えば、那覇港では1998年に高水温に伴う白化の影響でモニタリング中のサンゴが大規模に衰退した。指標項目が目標レベルを満足しているかどうかを評価する際には、このような大規模で広域にわたる環境変化に伴う影響についても情報を入手して判断することが望ましい。

また、目標達成後も定期的な監視を継続することが望ましい。

② 管理手法改善のための対応策

サンゴ群集の管理手法改善のための対応策を検討する際には、行動計画や事業実施方針と現地の環境条件との関係をモニタリング調査結果により確認することが望ましい。

〔解説〕

サンゴ群集の管理手法改善のための対応策を検討する際には、行動計画や事業実施方針が現地の環境条件に整合していたかどうかをモニタリング調査結果により確認してから行う。

想定される管理手法改善策として以下のような手法が想定される。

a. 土木的対応手法

表2.3.1に示したサンゴ礁海域における自然再生技術が対象地区の環境条件に適合していたものであったかどうかの検討を行い、具体的な土木的対応策を策定し実施する。

b. 生物的対応手法

例えば、行動計画設定時に想定外だったオニヒトデの発生によるサンゴの食害が確認された場合には、オニヒトデの駆除等の対策を実施する。

c. 利用管理手法

利用管理手法改善のための対応策の一例としてグレートバリアリーフにおける利用制限の事例を以下に示す。

サンゴ礁を含めた沿岸域管理体制のモデルとして、オーストラリアのグレートバリアリーフにおける「グレートバリアリーフ海洋公園局：Great Barrier Reef Marine Park Authority（以下、GBRMPA）」例があげられる。GBRMPAは「グレートバリアリーフ海中公園法（以下、海中公園法）」に基づいて設立された国の機関であり、地元のクイーンズランド州の協力を得て、グレートバリアリーフ海域全体のさまざまな利用活動、産業活動についてゾーニング（区域分け）を基本として管理している（表2.3.5）。

GBRMPAの沿岸域管理の基本であるグレートバリアリーフのゾーニングの目的は、海中公園法に基づくグレートバリアリーフの、①保護、②利用調整、③資源利用調整、④保全、⑤自然状態の維持保存である。

また、GBRMPAの組織には、公園管理、環境アセスメント、教育・情報、研究・モニタリング、水族館等の各部門がある。

表 2.3.5 グレートバリアリーフのゾーニングとそれぞれのゾーンで可能な行動^{9) 10)}

活動内容/区域区分	一般用区域	生息域保護区域	保護公園区域	緩衝区域	科学研究区域	国立公園区域	完全保護区域	河口保護区域
水産養殖	△	△	△ ¹	×	×	×	×	△
餌を用いた網による採集	○	○	○	×	×	×	×	○
ボート、ダイビング、写真撮影	○	○	○	○	○ ²	○	×	○
カニ漁	○	○	○ ³	×	×	×	×	○
水族館用の魚、サンゴ等の採取	△	△	△ ¹	×	×	×	×	×
なまこ、巻貝、えび等の採取	△	△	×	×	×	×	×	×
制限つき採集	○ ⁴	○ ⁴	○ ⁴	×	×	×	×	○
スノーケルによる銆突き	○	○	○ ¹	×	×	×	×	○
釣り	○ ⁵	○ ⁵	○ ⁶	×	×	×	×	○
餌を用いない網による採集	○	○	×	×	×	×	×	○
特定の影響調査以外の調査	△	△	△	△	△	△	△	△
指定航路以外での航行	○	△	△	△	△	△	×	△
観光旅行	△	△	△	△	△	△	×	△
海洋資源の伝統的な活用	○ ⁷	○ ⁷	○ ⁷	○ ⁷	○ ⁷	○ ⁷	×	○ ⁷
トロール漁	○	×	×	×	×	×	×	×
流し釣り	○ ⁵	○ ⁵	○ ⁵	○ ^{5,8}	×	×	×	○

○：活動が許されている。

△：活動には許可が必要。

×

注：

この活動ガイドは、グレートバリアリーフ海洋公園のゾーニング内でできる活動の概要を示す。

1. 規制は、保護公園区域における水産養殖、銆突き漁、水族館用の魚、砂浜生物、サンゴの採取に適用される。
2. パブリックアクセスのないOne Tree Island Reef と Australian Institute of Marine Scienceを除く。
3. 一人当たり4つの捕獲道具に制限する。
4. 手で取るか手で持てるサイズの道具で5種類以内に制限する。
5. 一人当たり竿は3本までで、釣り針の合計は6個までに制限する。
6. 一人当たり竿は1本までで、釣り針は1個までに制限する。商業用の釣り船からは1隻だけボートを出すことができる。
7. 活動を含む海の資源の伝統的な利用は別として、許可証または認定されたTraditional Use of Marine Resources Agreementが必要である。
8. 遠洋の種類だけに制限する。いくつかの緩衝区域では季節的に閉鎖する。
詳細はグレートバリアリーフ海洋公園ゾーニング計画・規則 (Great Barrier Reef Marine Park Plan and Regulations) に準拠する。

第Ⅱ編
2.3章

- 123 -

参 考 文 献

- 1) 花城盛三, 長嶺朝仁, 田邊俊郎, 山本秀一, 岩村俊平 (2004) : 沖縄の港湾整備における環境保全の考え方、日本サンゴ礁学会第7回大会講演要旨集、p.71.
- 2) 沖縄総合事務局開発建設部 (2004) サンゴ礁と共生する港湾整備、パンフレット、8 p.
- 3) 海の自然再生ワーキンググループ (2003) : 海の自然再生ハンドブック第4巻、103p.
- 4) 灘岡和夫, 波利井佐紀, 三井順, 田村仁, 花田岳, Enrico Parangit, 二瓶泰雄, 藤井智史, 佐藤健治, 松岡健志, 鹿熊信一郎, 池間建晴, 岩尾研二, 高橋孝昭 (2002) : 小型漂流ブイ観測および幼生定着実験によるリーフ間広域サンゴ幼生供給過程の解明. 海岸工学論文集, 49, pp.366-370.
- 5) 細川恭史 (1992) : 那覇港の水質とサンゴ礁保全に関する数値計算, 港湾技研資料, 739, 28p.
- 6) 岩上淳一・宮井真一郎・栗田一昭・尾崎幸男・山本秀一・高橋由浩 (1995) : サンゴの人工構造物への着生状況 - 2, 海岸工学論文集, 42, pp.1206-1210.
- 7) 山本秀一, 高橋由浩, 住田公資, 林輝幸, 杉浦則夫, 前川孝昭 (2002) : 人工構造物におけるサンゴ群集成長過程の解析. 海岸工学論文集, 49, pp.1186-1190.
- 8) English, S., Wilkinson, C. and Baker, V. (1997) Survey manual for tropical marine resources, Australian Institute of Marine Science, 390p.
- 9) 土屋 誠・屋比久壮実・植田正恵 (1999) : サンゴ礁は異常事態 - 保全のキーワードはバランス -, 沖縄マリン出版, 125p.
- 10) Queensland (2004) Marine Parks (Great Barrier Reef Coast) Zoning Plan 2004, Regulatory Impact Statement for SL 2004 No.240, 23p.
- 11) 西平守孝・Veron, J.E.N. (1995) : 日本の造礁サンゴ類, 海遊舎, 439p.