

2. サンゴの増殖計画

サンゴ礁を修復・再生するにあたっては、国土保全、環境・生態系保全、水産資源の増大等の目的に応じたデザイン思考を持った上で、効率的かつ実効性のある計画の立案が求められる。具体的には、サンゴの成育阻害要因を特定し、それらを除去・緩和する対策手法を検討することが重要である。ここでは、サンゴ増殖計画の基本的な考え方、サンゴの修復・再生に係わる計画、対策手法等について解説する。

2. 1 基本的な考え方

サンゴの増殖を計画する場合は、予定海域の自然環境の特性を理解するとともに、増殖目的に合ったサンゴ種を選び、生態的特徴を十分に踏まえた上で、計画を行う必要がある。特に、サンゴの成育阻害要因は、多くの要因が複雑に絡み合っていることが多いので、サンゴの増殖は順応的管理手法で進めることが望ましい。

【解説】

1) 順応的管理で進めるサンゴ礁の修復・再生

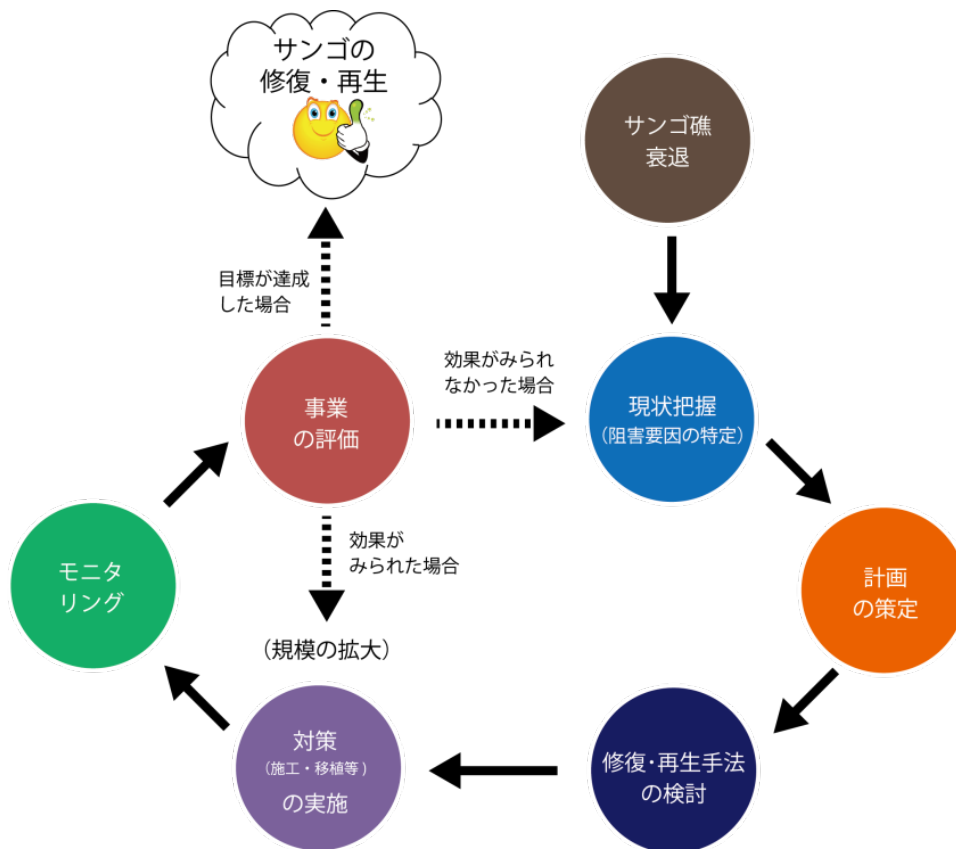


図 I.2-1 サンゴ礁再生におけるPDCAサイクル

サンゴは、環境変動に敏感な生物である。実施にあたっては、サンゴの生態的特徴を十分に踏まえるとともに、計画予定地の環境特性を把握した上で、サンゴの成育阻害要因を除去する必要がある。また、高水温によるサンゴの白化現象や赤土の流入等は予測が難し

いことから、海域の実情に応じた形で計画(Plan)－実施(Do)－検証・評価(Check)－改善(Action)の4段階を繰り返すことによって、業務を継続的に改善するPDCAサイクルによる検証・評価を行い、効率的な事業の展開を図る必要がある(図I.2-1)。

最初の計画段階では、現況を把握する調査を実施する。調査内容は、サンゴの種類や想定されるサンゴの成育阻害要因によって、内容の程度や重要度を考慮する。特に、サンゴの成育と環境との関係は、すぐに全体像が捉えにくいことがあるので、最初は最小限必要な調査項目や調査手法、労力・経費などを、総合的に判断して決定するとよい。その結果を受けて、関係機関との合意形成を得ながら、事業目標を設定するとともに、植込む種類と適地の選定、目標が達成できる最適なサンゴ礁の修復・再生技術の選定について検討する。なお、漁業者らが行うサンゴ礁の保全活動等とも連携し、サンゴ増殖が促進できるように留意する。

次の設計段階では、選定したサンゴ種の生態、自然条件、材料条件、施工条件、経済性等を考慮して、目的の機能が十分発揮できるよう具体的な再生手法を検討する。さらに、対策段階では、計画・設計の考え方を踏まえ、周囲の環境や現地の状況に配慮しながら対策を実施する。移植サンゴは、移植の方法によっては移植直後に生残率と成長率が低下するので、対策直後からモニタリングを開始し、サンゴの生残・成長に支障の少ない補修、改良を行う維持管理を実施する。定期的にモニタリング結果は評価し、問題が生じている場合は、問題を生み出している段階(計画・設計・対策)までフィードバックし、計画の見直しを図る。

2. 2 水産資源の増大を目的とするサンゴ礁の修復・再生の考え方

水産資源の増大を目的とするサンゴ礁の修復・再生を行う場合は、水産生物の生活史に対応した良好な生息環境空間を創出させる考え方に基づいて、計画を行う必要がある。

【解説】

サンゴ礁は、多種多様な生物の住み場や隠れ場、産卵場を提供する資源涵養の場として重要な場所であるが、サンゴ礁の荒廃により、漁場としての機能が低下している状況である(第I編1.6 サンゴ礁の漁場としての機能を参照)。漁場機能の低下した海域では、生態系全体の生産力の底上げを目指し、水産生物の動態、生活史に対応した良好な生息環境空間を創出する「水産環境整備」の考え方で漁場整備が推進されている。

このため、サンゴ礁域においては、対象とする水産生物の生活史とその活動空間の広がり、その中でサンゴ礁が担う機能(産卵場、稚魚の育成場、成魚の生息場、餌場)を把握した上で、上述したサンゴ増殖計画の基本的な考え方を加味して、計画を行うことが必要である。

水産有用種については、まだ報告は一部だが、いくつかの種が枝状サンゴ群集を重要な生息場として利用していることが知られている。例えば、ハタ類のうち漁獲量が常に上位にあるナミハタは、産卵群集を形成するなどの生態がよく調べられているが、成魚は枝状ミドリイシを主な住み場とし、幼魚期には枝状ミドリイシのうち特に洗瓶ブラシ状のミドリイシ群集を生育場としている(Nanami et al. 2013)。このため、長期にわたって回復しない枝状ミドリイシ群集の修復再生手法の確立は、水産資源の回復の観点から、特に緊

急性の高い課題とされている（鈴木ほか 2011）。

図 I.2-2 は、上記のハタの幼魚の保育場をイメージした水産環境整備である。

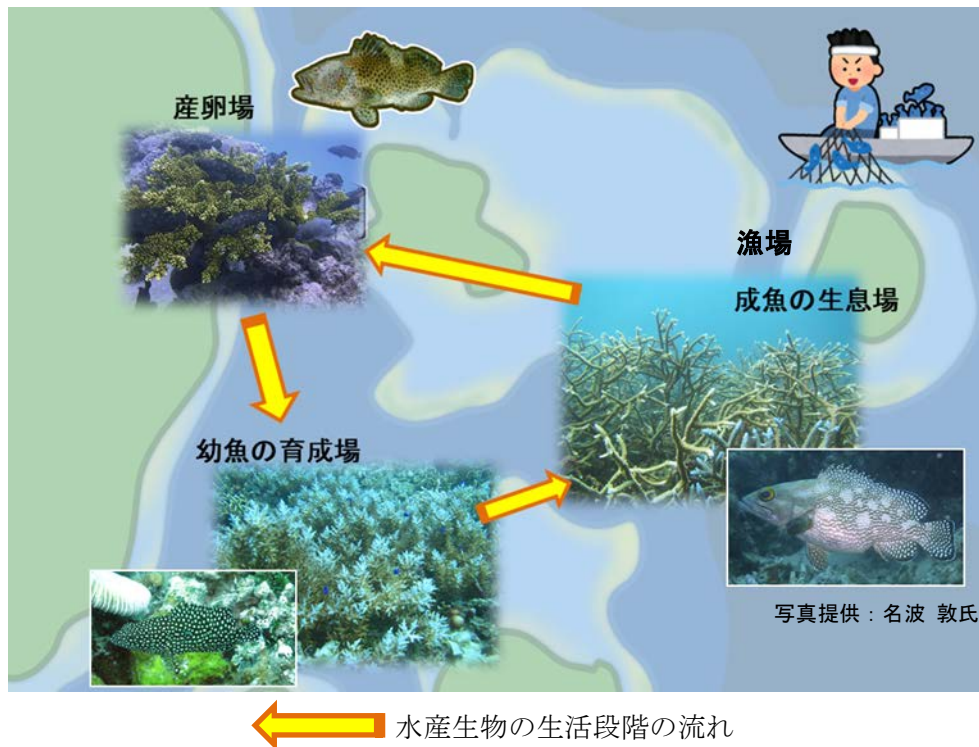


図 I.2-2 サンゴ礁海域における水産環境整備（イメージ）

2. 3 現況把握

現況把握では、予定海域におけるサンゴの生態や環境条件の正確な情報を得る調査を実施し、その結果を評価して事業の方針やサンゴ礁の修復・再生に役立てる。

【解説】

1) 基本的な考え方

予定海域におけるサンゴの成育状況・成育環境について、正確な情報を定量的に把握する必要がある。例えば、「この種のサンゴは、予定海域にどの程度成育しているのか」と言った基本的なものから、「この種は減っているのか、あるいは増えているのか」、「減っているなら、その原因は何か」などの情報は、事業を計画する際の根拠として重要である。特に、サンゴを移植する場合は、サンゴの成育阻害要因を特定しておく必要がある。このため、現況把握では、定量的なデータを取得するための調査を実施する。また、移植後に行うモニタリングでは、この現状把握の結果を用いて評価するので、継続的に調査・観測できる調査項目や調査手法を決めておくことが必要である。

調査項目は、サンゴの生態を把握する観察を主体とするものと波浪・流況や水温など物理化学的な環境観測を主体とするものに大別される。これらのうち表 I.2-1 に示す調査を基本とし、必要に応じて食害生物調査、幼生の新規加入調査、水質・底質調査などを組み合わせて実施する。また、人為的な影響のある海域では、陸域の利用状況、河口や排水口の位置なども考慮して調査項目を決定することが重要である。その他、調査には、多くの

時間と費用を要するため、調査項目の選定にあたっては次の点に留意し、調査の価値や有効性を考慮して決定する。

- サンゴ礁再生において必要な調査と優先度を明らかにする。
- 調べるのが技術的に可能かどうか、また、それに要する労力・費用、安全性などを検討する。
- 調査手法は、目的に適しており、期限内に効率的に実施できるかどうか検討する。
- その調査の精度をどの程度にすべきかどうかを判断する。
- 調査自身が、サンゴ礁の修復・再生の支障を来す内容になっていないかどうかを検討する。

表 I.2-1 現況把握の調査項目

調査項目	事前調査
サンゴ分布	○
水深（地形）	○
水 温	○
底 質	○
浮遊懸濁物質（水平透明度でも可）	○
波浪・流況	○
食害動物（ハヒツナギ・魚類等）	△
幼生の新規加入	△
栄養塩類等	△
砂礫の移動	△

凡例； ○ 必ず調査する △ 必要に応じて調査する

調査実施前には、漁業協同組合などへの調査の同意の取り付け、サンゴの採捕に対する特別採捕許可申請書および海上保安部への作業申請書等の提出や許可証の受理、調査時期の気象海象条件・近隣工事・漁期等を考慮したスケジュールの調整、作業船舶や機材の調達など準備する。これらの作業は煩雑で手間がかかるので、余裕をもった工程で計画を立てる必要がある。

2) 調査方法

(1) サンゴ分布調査

予定海域におけるサンゴの分布や成育状況（成育水深、種類、被度等）を把握する。調査範囲は、予定海域を中心として周辺環境因子が把握できるように数キロメートルオーダーの広域で設定すると望ましい。調査方法は、潜水目視観察、マンタ法、ROV 調査が一般的であるが、労力や日数を考慮するとリモートセンシングによる調査で代替することも可能である。リモートセンシングによる調査は、予め衛星写真や航空撮影、ドローン撮影で面的にサンゴの分布を把握し、それにスポット的にベルトトランセクト調査とコドラート調査等を組み合わせる方法である（図 I.2-3）。

ベルトトランセクト調査とコドラート調査では、種類、被度、食跡（魚類等にかじられ

た跡)等について把握する。



ベルトトランセクト調査

予定海域のサンゴの分布を代表する場所に100mのロープを引いて、そのロープに沿って一定の区間ごとに、水深、底質、サンゴ、海藻などの分布状況を目視で観察し記録する。



コドラート調査

一辺が50cm、1.0m、5.0mなどの方形枠(コドラート)を用いて、サンゴの被度・群体数・サイズ・白化の状況等を目視で観察し記録する。また、その場所は、その後のモニタリングでも予定海域を代表する地点として、経年変化を把握する際に用いる。

図 I.2-3 潜水によるサンゴ分布調査

(2) 環境調査

環境調査では、サンゴの成育、幼生の着底に影響を及ぼす、水温、赤土流入、浮遊懸濁物質(水平透明度でも可)、波浪・流況などを、広域、かつ長期間にわたって観測し、予定海域の環境特性を把握する(図 I.2-4)。調査計画の立案に当たっては、サンゴ群集の成育阻害要因を想定し、その要因を特定できる内容とする。また、浮遊懸濁物質の評価に当たっては、季節や天候によって変動することに留意する。

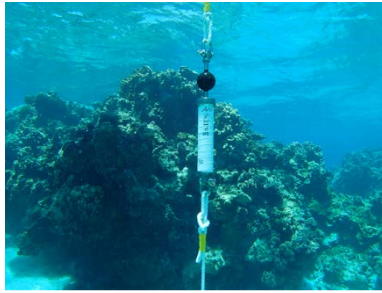
環境要因は、観測位置や時間により常に変化し、阻害要因が生じる時期・期間が想定しにくく、長期観測は多大な経費がかかるため、既存の観測データを用いた数値計算による検討が実施されることがある。ただし、予定海域が波浪観測地点から離れていたり、地形が複雑であったりする場合は、現地観測を実施することが望ましい。また、観測結果は、地形に大きく左右されるので、同じ特性を示す範囲内毎に代表的な観測地点を何点か設定することが望ましい。調査時期は、流況調査では、例えば、幼生の浮遊状況を把握する場合には選定したサンゴの産卵時期を、砂や砂礫の移動状況を把握する場合には、大きな外力が発生する台風時期等を選定するとよい。ただし、流速計等の流出に注意する。1回の観測期間は、目的・予算等によって異なるが、通常、波浪は30日以上、流況は15日以上連続して観測する。水温は年間を連続観測することが望ましい。

また、赤土流入状況を把握する底質調査は、比較的安定している底質中の赤土濃度(SPSS)を季節ごと測定することが望ましい。沖縄県のホームページでは、梅雨が明けた後、赤土等の堆積量が最も多くなる傾向がある。



波高計

海底に設置して波高を観測する。



電磁流速計

海中に設置して流れを観測する。表層から海底まで複数設置すれば、水深別の流れを把握することができる。



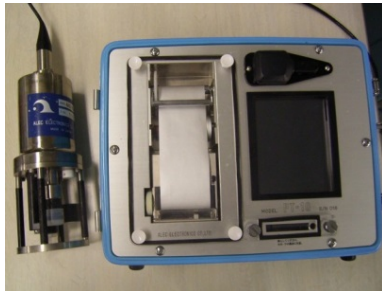
漂流桿

海面に浮かべて表層の流況を時系列で把握する。産卵期のスリックの移動経路を把握する際に用いる。



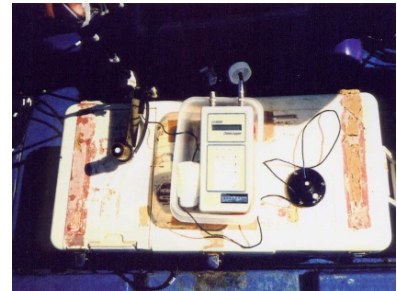
メモリー式水温計

海底に設置して水温を観測する。1年以上観測することができる。



多項目水質計

水深別に水温、塩分、濁度等を観測することができる。



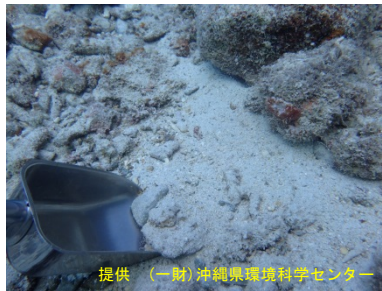
光量子計

褐虫藻の光合成に必要な光量子を観測する。照度計でもよい。



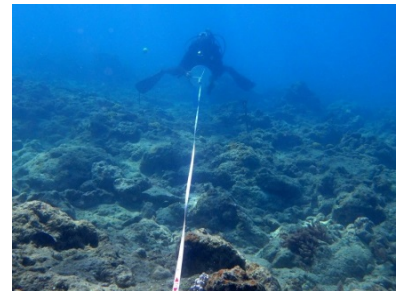
サンゴ幼生加入板

10 cm 四方のスレート板を海底に設置して、サンゴ幼生の加入状況を把握する。様々な設置方法がある。



SPSS (底質中の懸濁物質含量)

底質を採取し、簡易測定法により底質 1 m³あたりの赤土堆積量を計測する。詳しい調査方法は、沖縄県(2017b)を参照。



水平透明度

比較的透明度のよいサンゴ礁の礁原(または礁池)において、透明度を計測するセッキ板を海底に対して垂直にして、水平方向の透明度を測定する。

図 I. 2-4 環境調査の主な観測機器

(3) ハビタットマップ

ハビタットマップとは、サンゴの分布図に加えて、環境的にサンゴが成育できる可能性のある場所を記述した地図のことである。サンゴ分布調査と環境調査の結果を踏まえ、調査海域における成育阻害要因の特定、移植先の選定等は、ハビタットマップを用いて検討される。

【コラム】サンゴ礁のリモートセンシング

サンゴ礁の分布等については、従来、マンタ法やスポット潜水による目視観察で行われてきたが、近年では人工衛星や航空機、ドローンを活用したリモートセンシングによる観測が行われるようになってきた。特に、リモートセンシング技術は、一度に広範囲を対象として観測できること、人工衛星においては定期的な観測が可能であること、遠距離島などのアクセスの不便な海域のデータが比較的容易に得られるため、サンゴ礁海域のモニタリングに有効な手段である（灘岡ほか 2004）。

表 1 にはリモートセンシングにより取得できる代表的な情報を示す。また、表 2 にはリモートセンシングによる観測に係る概算費用を示す。

表 1 リモートセンシング技術を用いた情報の把握

情報取得手法		リモートセンシング			(参考) 現地観測		
		空中写真撮影	航空レーザ測量	人工衛星	潜水目視	海底面探査	深浅測量
取得情報の内容		可視・近赤外線画像	地形、水深	可視・近赤外線画像、熱赤外線画像	サンゴ被度分布、種構成等	海底地形・基質	水深
物理環境	基質（底質）	△	×	△	△	○	△
	水深	△	○	×	△	×	○
	海域地形	△	○	△	△	△	○
	表層水温	×	×	○	△	×	×
生物	サンゴ被度分布	△	×	△	○	×	×
	サンゴ種構成	×	×	×	○	×	×
	その他生物	△ (藻場分布等)	×	△ (藻場分布等)	○	×	×

注) 表中記号の凡例 ○：詳細把握可能、△：概略把握可能、×：把握不可

表 2 リモートセンシング技術による概算費用比較

単位：百万円

手 法		取得する情報	0.1Km ²	1Km ²	5Km ²	10Km ²	100Km ²	備考
空中写真撮影	航空機	水深・海底地形、サンゴ被度分布	4.9	5.5	6.0	7.0	11	撮影高度 1000m 想定
	ドローン		1.5	2.6	5.5	15	69	撮影高度 100m 想定
航空レーザ測量		水深・海底地形	6.0	6.0	6.0	7.0	8.0	撮影高度 500m 想定
人工衛星		水深・海底地形、サンゴ被度分布	0.7	1.2	1.6	2.1	5.1	解像度 0.5m 高分解能衛星 想定
潜水目視		サンゴ被度分布	0.5	2.7	10	21	181	測線間隔 500m 想定
海底面探査		基質、海底地形	0.9	8.3	41	82	818	水深 5m、オーバーラップ 10% 想定
深浅測量	シングルビーム	水深	0.6	0.8	1.6	2.5	20	撮影高度 100m 想定
	マルチビーム		1.6	11	51	101	1,006	水深 5m、オーバーラップ 10% 想定

注1) 表中の概算費用は既往の一般的な調査実績をもとに算出しており、環境条件により変動する。

注2) 空中写真撮影並びに人工衛星の概算費用は、撮影した画像より水深・海底地形図の作成、サンゴ被度分布図を作成することを想定しており、現地調査による検証データの取得を含む。

注3) 上記費用は、直接費であり、諸経費等は含まれていない。

2. 4 計画の策定

現況把握の結果をもとに、サンゴ礁を修復・再生させる予定海域を評価し、事業目標を設定する。そして、サンゴの生態や生活史に留意しながら、サンゴ種と適地の選定、修復・再生手法や工程等の検討を行い、実効性のある計画を策定する。ただし、これらの計画立案には、漁業者や海域利用者の考えやニーズを踏まえた合意形成が必要である。

【解説】

1) 事業目標の設定

事業目標の設定では、現況把握の結果などから予定海域を評価し、予定海域のどこで、どのような方法でサンゴ礁の修復・再生が展開できるか、技術のみならず制度、予算などの制約を考慮し、総合的に判断して達成可能な目標を設定する必要がある。また、サンゴを取り巻く生態系は予測不能で変動を起こしやすく、安定したサンゴ群集を形成するにも数年を要するため、目標達成に掛かる必要年数も想定しておくことが望ましい。

2) 実施体制の構築

サンゴ礁の修復・再生を推進する実施主体・関係者は、地方公共団体、研究機関、漁業者・漁業協同組合、ダイビング業者、地域住民、企業等多岐にわたるため、基本方針の策定段階から関係者の考えやニーズを踏まえ、関係者等の参集範囲を適切に設定するとともに、全ての関係者が対策実施の必要性・意義等の問題意識を共有した上で実効性のある効率的な対策を実施する必要がある。そのためには、サンゴ礁再生の計画策定段階から、関係者等から構成される検討会等を組織し、情報の共有化と合意形成を図ることが望ましい。

合意形成にあたっては、長期的かつ広域的な目標と短期的な目標の共有化、施設整備と保全活動や維持管理のあり方について、様々な知恵や創意工夫が出やすいように進める必要がある。なお、合意形成の手法や技術については、確立されたものはないが、他の事業では、実情に合わせて専門家などを交えながら段階的に検討会やワークショップを開催して合意形成を図っている場合が多い（表 I.2-2、2-3）。

表 I.2-2 各機関の役割分担

県・市町村	漁業者・ダイビング業者
・事業の主催 ・財政支援 ・情報提供 ・ワークショップの開催・進行 ・核となるリーダー（漁業者）の育成	・サンゴ種苗の生産、飼育 ・モニタリング ・サンゴ礁の保全活動 ・ワークショップへの参加
研究者・試験研究組織等の専門家	地域住民・企業等
・サンゴ礁の現状等の情報提供 ・サンゴ礁の衰退防止、保全技術の研究開発 ・技術サポート ・ワークショップへの参加	・モニタリングの協力 ・サンゴ礁の保全活動の協力 ・ワークショップへの参加

表 I.2-3 サンゴに関する試験研究組織のサイト

日本サンゴ礁学会	http://www.jcrs.jp/
国立研究開発法人 水産研究・教育機構 西海区水産研究所	http://snf.fra.affrc.go.jp/
国際サンゴ礁研究・モニタリングセンター	https://www.env.go.jp/nature/nats/ntr/11/03.html
環境省 九州地方環境事務所 自然保護官事務所	http://kyushu.env.go.jp/list.html
琉球大学熱帯生物圏研究センター 瀬底研究施設	http://www.tbc.u-ryukyu.ac.jp/sesoko/home
沖縄県水産海洋技術センター	http://www.pref.okinawa.jp/fish/
阿嘉島臨海研究所	http://www.amsl.or.jp/
黒潮生物研究所	http://www.kuroshio.or.jp/

3) 対象種の選定

対象種の選定では、予定海域の環境因子、地形性状に対応して、優占するサンゴ種の中から選ぶことが望ましい。優占種とは、その海域の環境に現時点で適している種と考えられ、増殖ポテンシャルが高いと考えられる。ただし、優占するサンゴ種といっても、例えば、波の荒い場所に細い枝のミドリイシを選定し、波の穏やかなところに散房花状群体（コリンボース状群体）を選定しても成育がほとんど期待できないことから、局所的な環境因子、地形性状についても注意しながら選定する。

なお、有性生殖法により種苗生産を行う場合には、種苗生産が可能な種を選定する必要がある。

4) 阻害要因の特定と実施候補地の絞り込み

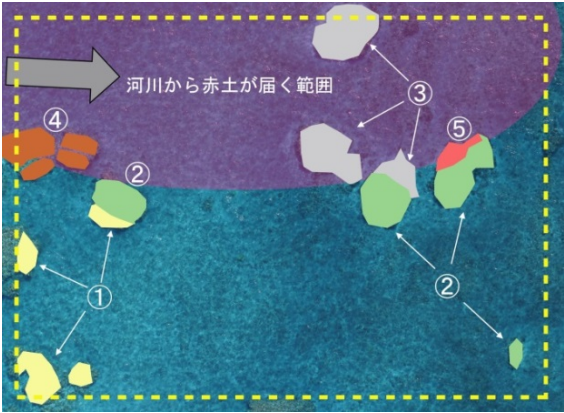
現状把握の調査結果を踏まえて、阻害要因を特定、あるいは推定する。

阻害要因が把握できた場合は、予定海域のサンゴのハビタットマップと阻害要因、地形性状等を考慮し、対象種が成育できる場所等を選定する。例えば、図 I.2-5に示す通り現況把握から予定海域の現状をゾーニングし、各ゾーニング箇所の阻害要因を特定するとともに、対応可能な修復・再生技術を検討し、効果的かつ実現性のある適地を絞り込む。

また、サンゴが健全な状態で存在する場所は、幼生の加入・成長のよい環境であると判断されることから、そのような場所は保護すべき場所と考える。一方、以前はサンゴが存在していたが、今は存在しない、またはサンゴは存在するが弱った状態にあるような場所は、その原因の対策が可能と判断できれば、対策を前提として適地とすることが可能である。しかし、現況の評価が難しい、または対策が難しい場所であれば、無理に適地と選定しない方がよい。

場所を絞り込む方法には、例えば、対象サンゴ種の断片移植の実験を行い、生残・成長の良い場所を判断して絞り込む方法、あるいはサンゴハビタットマップに、広域の物理環境（波浪・水質など）を把握する数値シミュレーション結果を重ね合わせ、例えば、①ノル(サンゴ礁内に孤立して存在する岩礁)は存在するが新規加入が少ない場所であること、②台風時でも砂の移動による影響が少ない場所であることを条件に絞り込む方法等が考えられる（第Ⅱ編2.4移植を参照）。

その後、絞込みによる対策の実施候補地に適した修復・再生手法を検討する（第Ⅰ編2.5 修復・再生技術の検討を参照）。

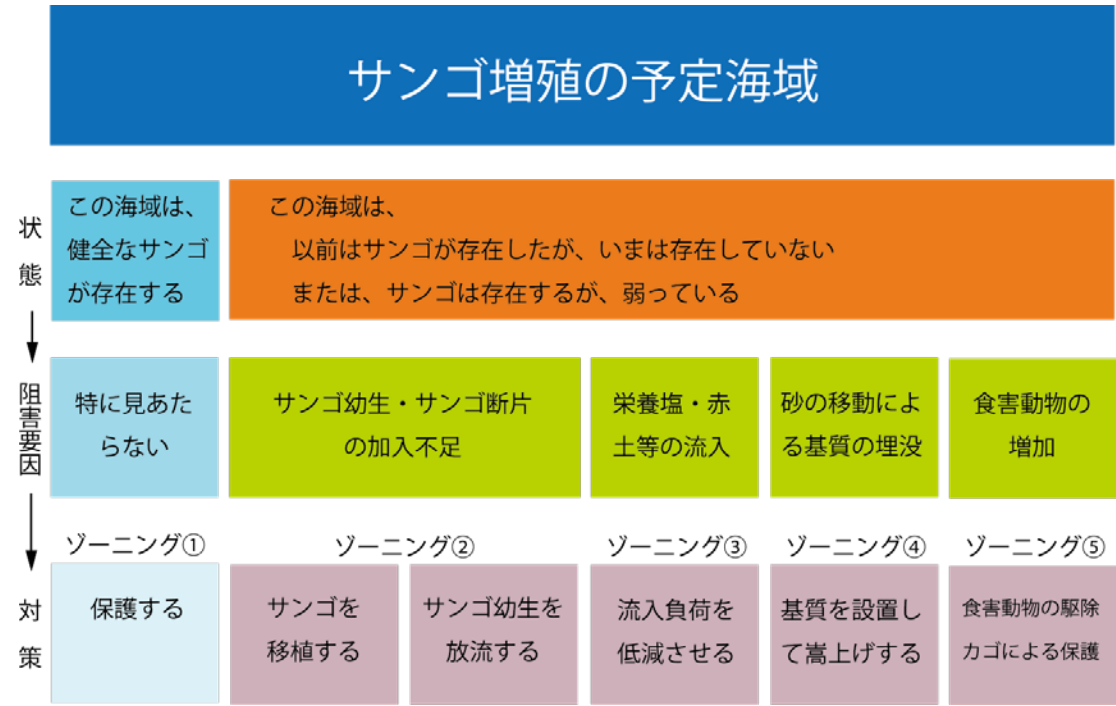


【例】
黄色点線枠の予定海域を現況把握した結果、次のようにゾーニングされた。

- ①健全なサンゴが存在するゾーン
- ②サンゴ幼生の加入が少ないゾーン
- ③赤土の影響のあるゾーン
- ④砂で基質が埋没しているゾーン
- ⑤食害動物の食害があるゾーン



サンゴハビタットマップと現状把握調査を踏まえ、次のフローに従って阻害要因、実施場所の絞り込みを行う。



図Ⅰ.2-5 阻害要因の特定と実施場所の絞り込みイメージ

2. 5 修復・再生技術の検討

現況把握の結果より絞り込まれた実施候補地に対して、阻害要因を除去または緩和できる技術を選定する。ただし、阻害要因が複数ある場合には各々の技術を組み合わせて、効果的に実施する。

【解説】

サンゴが成育できない現象には、サンゴが少なく幼生の新規加入が期待できない場合と対象とするサンゴの成育環境が不良になってしまった場合があり、その両方が起因している場合もある。この要因の一つには、温暖化に起因する水温上昇による大規模な白化現象や海水の酸性化による成育不良のようなグローバルな要因がある。大規模白化現象は気候変動に起因するグローバルな問題であり、ローカルな対策だけでは対応できない。このため、社会全体で二酸化炭素排出の削減に努めることが重要である。

一方、埋立による浅場の喪失、サンゴの着生基盤の不足、サンゴ礫の移動によるサンゴの損傷、赤土・高栄養塩・農薬の流出、波高の変化、食害、他種との競合、病気、藻食性魚類の乱獲、過剰な養殖や観光などのローカルな阻害要因については、地域的な対策の実施により、サンゴの回復力を高めることは可能である。特に、浅場の喪失、赤土や高栄養塩・農薬等の流出においては、他の事業や陸域に関連する要因であることから、関係する行政との連携が重要である。また、藻食性魚類の乱獲においては、海洋保護区（MPA）や禁漁期の設定、漁獲体長制限など水産資源管理の徹底が必要で、過剰な養殖に対しては、環境負荷の少ない養殖を推進する等、制度的な対策が必要である。その他の要因については、技術的に制御可能なものがある。修復・再生技術を図 I.2-6 に示す。

サンゴ礁修復・再生	阻害要因	修復・再生技術
・サンゴを増やす	・親サンゴの減少 ・幼生の加入不足	・種苗生産 ・移植 ・幼生収集・放流
・環境を改善する	・基質不足 ・サンゴ礫・砂の移動	・サンゴ増殖礁の設置 ・基質の管理 ・食害・競合動物の駆除 ・食害動物からの保護
	・食害・競合生物	
	・赤土流入 ・栄養塩、農薬等の流入	・流入負荷の低減
	・魚類の乱獲 ・過剰な養殖・観光	・海洋保護区（MPA）等の水産資源管理
	・病気 ・海水温の上昇	・グローバルな視点からの技術開発が必要である

注）修復・再生技術の列の赤字は施設整備（ハード）、青字は保全活動（ソフト対策）を示す。

図 I.2-6 主なサンゴの阻害要因とサンゴ礁の修復・再生技術

サンゴ礁の修復・再生技術には、サンゴの生産力を補強する手法（生物的手法）と環境を改善する手法（工学的手法）に大別され、また、人工構造物を設置するような施設整備とオニヒトデ駆除のような人手で対策を行う保全活動にも分かれる。この中には、すでに実績のある技術もあれば、水温上昇や病気に対する対策など今後の技術開発を期待するものもある。表Ⅰ-2-4にこれまでに実績のある技術を整理して示す。サンゴの阻害要因が複合する場合は、両者の技術を組合せて対策を行う必要がある。例えば、サンゴ幼生が着底できる基質が少なく、かつ幼生の供給が少ない場合には、サンゴ増殖礁の設置とサンゴの移植を行うこととなる。

表Ⅰ.2-4 サンゴの修復・再生技術の概要

対策技術	概 要	特徴・留意点
サンゴを増やす	直接移植	・断片化する際に、親群体にストレスを与えないように注意する。 ・天然の親群体を利用する場合は、関係自治体の許可が必要である。沖縄県では不可。
	中間育成を伴う無性生殖法による移植	・サンゴ種苗を実海域で育成するための中間育成施設が必要である。 ・種の多様性が低下する。 ・いずれの種類でも断片化（種苗）が可能である。 ・断片は大きい方が運搬や植込みの影響を受けにくい。 ・労力、経費は直接移植より大きくなるが、有性生殖法より経費を低く抑えられる。
	浮遊幼生の自然着生	・種の多様性が確保できる。 ・実績として着生率が低く、着生後の成長もあまりよくない。
	幼生の大量生産と放流	・海況によって、スリック（卵・幼生の帯状集合体）を採集できないことがある。 ・採集した幼生が着底行動を起こすまで、水槽や生け簀等で飼育する必要がある。
	中間育成を伴う有性生殖法による移植	・数万単位の種苗を生産することが可能である。 ・親サンゴを傷つけない。 ・遺伝的多様性が確保できる。 ・種苗生産の高い技術と労力等が必要である。 ・サンゴ種苗を実海域で育成するための中間育成施設が必要である。
環境を改善する	基盤の設置	・サンゴの育成に適した機能を有する必要がある。 ・波、流れ等の作用に対して構造上安全である必要がある。
	浮泥の払拭	・海底面からの巻上がり高さは、現地で確認する必要がある。 ・堆積物が溜まりにくい格子状の基質は、海藻が繁茂しやすいので、定期的に除去する必要がある。
	食害対策	・定期的に食害動物の除去作業が必要である。 ・除去後の処分に費用がかかる。
	競合種対策	・定期的に競合種の除去作業が必要である。
	赤土等の流入対策	・関係機関と連携して流入負荷の低減策を行う必要がある。 ・必要性に対する理解、啓蒙活動が必要である。
	魚類の乱獲・過剰な養殖対策	・有効な保護区域の設定が必要である。 ・環境負荷の少ない養殖の推進。
	過剰な観光対策	・保護区域や利用ゾーンの設定が必要である。 ・共有係留ブイの設置が必要である。 ・サンゴの勉強会や海岸清掃の実施を通じた啓蒙活動が必要である。

注) 中間育成施設とは、移植サイズまで稚サンゴを中間的に育成するための施設。
サンゴ増殖礁とは、サンゴを育成する施設であり、育成後の移植を前提としないもの。

2. 6 対策の実施

対策を実施するにあたっては、環境の変化に注意し、計画の意図に沿って柔軟に対応する。また、阻害要因が複数ある場合には対策技術を組み合わせて実施する。

【解説】

1) 保全活動について

表 I. 2-4 に示す修復・再生技術の内、保全活動の実施方法や必要な資材、留意点については、「サンゴ礁保全活動の手引き」（水産庁 2015a）を参照する。

2) 施設整備について

(1) 中間育成施設の設計と施工について

有性生殖法により作られた種苗やサンゴから採取した断片を移植サイズになるまで育成管理するための中間育成施設（第Ⅱ編 1. 1. 2 中間育成を参照）の施工については、中間育成の方法に応じて「第Ⅱ編 2. 3. 1 中間育成施設の設置」または、「第Ⅱ編 3. 2. 1 中間育成施設の設置」を参照する。

(2) サンゴ増殖礁の設計と施工について

サンゴを移植する基盤がない場合は、サンゴ増殖礁を設置する。設計にあたっては、「漁港・漁場の施設の設計の手引（水産庁 2015b）第 16 編第 2 章着底基質 2. 2 藻場礁」を参照することができる。

施工については、周辺環境や施工方法、施工時期について配慮するとともに、計画・設計段階の工夫や意図を十分踏まえて施工することが必要である。施工方法は、魚礁や着定基質の据付工事と概ね同じである。ただし、設置する海域の水深が浅く、所々にノル（凸状の地形）が存在することが想定されるため、施工計画の立案は慎重に行う必要がある（第Ⅱ編 2. 3. 1 中間育成施設の設置を参照）。また、同時に移植を伴う場合は、移植時期とサンゴ増殖礁を据付ける時期を調整した工程管理が必要である。その他、各種の許可書（例えば、特別採補許可など）の準備、資機材の調達などが必要となることに留意する。

2. 7 育成管理

育成管理では、移植後のサンゴの成長状況や環境の変化をモニタリングしながら、問題が生じている場合には、その原因となる計画・設計・対策等にフィードバックし、問題を減らす対策を実施する。

【解説】

モニタリングは、ある程度の頻度で継続することが必要である。サンゴは成長し産卵可能な親となるまでには数年以上かかり、その間、環境が良好であるとは限らず、移植先等が海藻に覆われたり、サンゴ礫に埋没したりする恐れもある。このため、定期的なモニタリングによりサンゴの状態を把握しておくことが重要である。頻度については年に 1 回程度は実施し、得られた結果を経時的に比較するとともに、関係者間で共有して、設計や対策等の見直しに活用することが望ましい。

1) モニタリング

モニタリングでは、目標値の達成度を定量的に評価するため、対象の実態を正確に把握する必要がある。ただし、実態を正しく把握するには、移植等を行ったサンゴの生残数や被度だけではなく、それを取り巻く環境因子や周辺のサンゴについても把握しておく必要がある。また、実態を正確に把握するにしても実際には次に示す課題が存在するので、モニタリングの難しさ、特殊性を理解し、何度も同じ対象の観測を行うこと（モニタリングの長期化）、十分な調査能力をもつ調査員にモニタリングを行うこと、結果が統計学的に解析できるような対象の数（サンプル数）があることも重要である。

- サンゴの分布は空間的・時間的な変動が大きい。
- 実際に見える範囲が限られている（地理的制約、調査員の能力）。
- サンゴは個体識別が難しい。
- 調査ができる十分な能力をもつ人材の確保が必要である。
- 天然サンゴの採取（サンプリング）は規制されていることがある。

2) 育成管理

モニタリングの結果は、専門家のアドバイスを受けながら目標の達成度を評価することが望ましい。評価方法は、例えば、移植したサンゴの生残状況や成長を経時的に把握し、併せて、食害動物の生息、浮泥の堆積、魚類等の蠕集などの状況も考慮し、目標の達成度を総合的に評価する。

また、評価の結果は、「目標達成」と判断した場合、取組みを終了する。「目標未達成」でも、何らかの効果がみられる場合には、取組みを継続し、さらに目標に近づける。しかし、全く効果がみられなかった場合には、現状把握段階にフィードバックし、計画内容を見直す必要がある。なお、目標を達成したと判断できる場合でも、効果が長期に渡って持続するとは限らないので、年に1回程度はモニタリングを行うことが望ましい。

目標未達成のうち、効果がみられなかった場合の判断として、①サンゴが成育しなかった、②期待した被度が得られなかった、③評価判定の時期が早すぎたなどが挙げられる。このうち①と②の場合は、現状把握段階にフィードバックし、計画を見直す必要がある。取り組み方が間違っていない場合でも、適地の設定、移植の実施時期、対策等の実施回数、要因の複合化などの問題が後から見つかることがある。このような場合には、失敗の要因を一つずつ明らかにし、計画を再検討する。また、③の場合、サンゴの成長に数年を要するので、再度モニタリングを行う方がよい。この他、海水温の上昇、大型台風の来襲など、想定外の問題が起きていることが考えられるので、予定の成果がみられなかった場合には、専門家に相談することが望ましい。

また、モニタリング時には、サンゴの生残と成長を促すため、適宜、海藻などの付着物の除去、取り付けた食害防止ネットの交換や修繕、取り外しを行う（第Ⅱ編 2.3.4 育成管理、第Ⅱ編 2.4.3 育成管理を参照）。

引用文献

- 安藤 亘・渡邊浩二・田村真弓・三宅崇智・北野倫生・山本秀一 (2009) サンゴ増殖基盤に必要な機能と構造に関する考察. 海洋開発論文集, 25, 461-466
- Cesar H, Burke L, Soeda LP (2003) サンゴ礁の世界的な衰退による経済への影響. WWF ジャパン, 23p
- Fisher R, O'Leary RA, Low-Choy S, Mengersen K, Knowlton N, Brainard RE, Caley MJ (2015) Species richness on coral reefs and the pursuit of convergent global estimates. *Current Biology*, 25, 500-505
- 深見裕伸 (2013) キクメイシ科およびオオトゲサンゴ科の分類体系の改変の理由. 日本サンゴ礁学会誌, 15, 107-113
- 深見裕伸 (2016) 分類と系統 有藻性イシサンゴ類における分類体系改変の現状. 生物学, 67(4), 201-215
- 呉錫畢 (2008) 環境・経済と真の豊かさーテーゲー経済学序説ー. 日本経済評論社, 東京. 170p
- Harrison PL, Wallace CC (1990) Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian corals. In "Coral reef ecosystems" Ed by Dubinnsky Z, *Ecosystems of the World*, 25, Elsevier, 133-207
- 林原 毅 (1995) 慶良間列島阿嘉島周辺の造礁サンゴ類とその有性生殖に関する生態学的研究. 博士論文, 東京水産大学, 123p
- ホイタッカー RH (著)、宝月欣二(訳) (1979) 生態学概説. 培風館, 東京. 363p
- Hongo C, Kawamata H, Goto K (2012) Catastrophic impact of typhoon waves on coral communities in the Ryukyu Islands under global warming. *Journal of Geophysical Research*, 117, 1-14
- Hughes TP, Kerry JT, Álvarez-Noriega M, Álvarez-Romero JG, Anderson KD, Baird AH, Babcock RC, Beger M, Bellwood DR, Berkelmans R, Bridge TC, Butler IR, Byrne M, Cantin NE, Comeau S, Connolly SR, Cumming GS, Dalton SJ, Diaz-Pulido G, Eakin CM, Figueira WF, Gilmour JP, Harrison HB1, Heron SF, Hoey AS, Hobbs JA, Hoogenboom MO, Kennedy EV, Kuo CY, Lough JM, Lowe RJ, Liu G, McCulloch MT, Malcolm HA, McWilliam MJ, Pandolfi JM, Pears RJ, Pratchett MS, Schoepf V, Simpson T, Skirving WJ, Sommer B, Torda G, Wachenfeld DR, Willis BL, Wilson SK (2017) Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*, 543, 373-377
- 鹿熊信一郎 (2004) 4-4 漁業. 日本のサンゴ礁, 環境省, 122-126,
<https://www.env.go.jp/nature/biodic/coralreefs/reference/mokuji/0404j.pdf>
- 鹿熊信一郎 (2007) 東南アジアにおける破壊的漁業と養殖ーサンゴ礁保全とサンゴ礁漁業・養殖の両立をめざしてー. 地域漁業研究, 47(1), 137-160
- 環境省 (2010) サンゴ礁生態系保全行動計画, 豊かな地域社会を実現する健全な自然環境の継承を目指して. 22p,
<http://www.env.go.jp/nature/biodic/coralreefs/pdf/project/development/keikaku.pdf>

- 環境省 (2015a) モニタリングサイト 1000.
<http://www.biodic.go.jp/moni1000/findings/reports/index.html#2464>
- 環境省 (2015b) 気候変動の影響への適応計画.
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/tekiou/siryol.pdf>
- 環境省 (2016) サンゴ礁生態系保全行動計画 2016-2020.
https://www.env.go.jp/nature/biodic/coralreefs/pamph/C-project2016-2020_L.pdf
- 環境省 (2017) サンゴ大規模白化緊急対策会議.
<http://www.env.go.jp/press/104002.html>
- Kayanne H (2017) Validation of degree heating weeks as a coral bleaching index in the northwestern Pacific. *Coral Reefs*, 36, 63-70
- 茅根 創・本郷宙軌・山野博哉 (2004) サンゴ礁の分布, 日本のサンゴ礁, 環境省, 15-21
- Kimble M (2002) Coral jewels.
<https://www.ourplanet.com/imgversn/142/kimble.html>
- 気象庁 (2017) 二酸化炭素濃度の経年変化.
http://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html
- Kleypas JA, Langdon C (2006) Coral reefs and changing seawater chemistry. In: Phinney JT, Hoegh-Guldberg O, Kleypas J, Skirving W, Strong A (eds) *Coral reefs and climate change: science and management*. AGU Monograph Series, Coastal and Estuarine Studies, 61, 73-110
- Liu G, Strong AE, Skirving WJ, Arzayus LF (2006) Overview of NOAA coral reef watch program's near-real-time satellite global coral bleaching monitoring activities. *Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium*, Okinawa, 1783-1793
- 目崎茂和 (1988) 石垣島・白保 サンゴの海. 高文研, 東京. 142p
- 本川達雄 (2008) サンゴとサンゴ礁のはなし. 中公新書, 東京. 273p
- 灘岡和夫・Enrico CP・山野博哉 (2004) サンゴ礁のリモートセンシング. 日本のサンゴ礁, 環境省, 95-106
- 内閣府沖縄総合事務局農林水産部 (2010) 沖縄農林水産統計年報. 平成 22 年 3 月,
<http://ogb.go.jp/nousui/statistics/nenpo/38jinenpo.pdf>
- 内閣府沖縄総合事務局農林水産部 (2017) 沖縄農林水産統計年報. 平成 29 年 3 月,
<https://www.ogb.go.jp/nousui/toukei/007573.html>
- Nanami A, Sato T, Takebe T, Teruya K, Soyono K (2013) Microhabitat association in white-streaked grouper *Epinephelus ongus*: importance of *Acropora* spp. *Marine Biology*, 160, 1511-1517
- 日本サンゴ礁学会 (編) (2011) サンゴ礁学. 東海大学出版会, 東京. 362p
- 西平守孝・Veron JEN (1995) 日本の造礁サンゴ類. 海游舎, 東京. 439p
- 沖縄県 (2013) 沖縄県赤土等流出防止対策基本画.
<http://www.pref.okinawa.lg.jp/site/kankyo/hozen/documents/01kihonkeikaku131213.pdf>

沖縄県 (2017a) 観光要覧.

<http://www.pref.okinawa.jp/site/bunka-sports/kankoseisaku/kikaku/report/youran/h28kankoyouran.html>

沖縄県 (2017b) SPSS の測定手順.

http://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/hozen/mizu_tsuchi/documents/spss-sokutei.pdf

大森 信・岩尾研二 (2014) 有性生殖を利用したサンゴ種苗生産と植え付けによるサンゴ礁修復のための技術手法. 熱帯海洋生態研究振興財団, 63p,

<http://www.amsl.or.jp/etc/japanese.pdf>

Orr JC, Fabry VJ, Aumont O, Bopp L, Doney SC, Feely RA, Gnanadesikan A, Gruber N, Ishida A, Joos F, Key RM, Lindsay K, Maier-Reimer E, Matear R, Monfray P, Mouchet A, Najjar RG, Plattner G, Rodgers KB, Sabine CL, Sarmiento JL, Schlitzer R, Slater RD, Totterdell IJ, Weirig M, Yamanaka Y, Yool A (2005) Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437, 681-686

佐野光彦 (1995) サンゴ礁魚類の多種共存にかかわる造礁サンゴの役割 サンゴ礁. 平凡社, 東京. 31p

Spalding MD, Ravilious S, Green EP (2001) *World Atlas of Coral Reefs*, University of California Press, Berkeley, 424p

水産庁 (2015a) サンゴ礁保全活動の手引き.

http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_hourei/pdf/sango_hozenkatudou_0.pdf

水産庁 (2015b) 漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015 年版. 全国漁港漁場協会, 東京. 863p

鈴木 豪・新垣誠司・下田 徹・名波 敦・山下 洋・甲斐清香・林原 毅・與世田兼三 (2011) 石西礁湖における枝状ミドリイシ群集の回復阻害要因の検討. *日本サンゴ礁学会誌* 13:29-41

諸喜田茂充 (編著) (1988) サンゴ礁海域の増養殖. 緑書房, 東京. 341p

谷口洋基 (2005) トゲスギミドリイシを使ったシロレイシガイダマシの誘引実験. *みどりいし* (16), 20-22

土屋 誠・藤田陽子 (2009) サンゴ礁のちむやみ. 東京大学出版会, 東京. 203p

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 (4) サンゴ礁編. 国土交通省港湾局, ぎょうせい, 東京. 103p

Yamamoto H, Sugiura N, Maekawa T (2002) Coral growth processes using multiple regression analysis and neural network model. *Eco-Engineering* 14(3), 3-11

Yamano H, Sugihara K, Nomura K (2011) Rapid poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures. *Geophysical Research Letters*, 38. L04601

山里 清 (1991) サンゴの生物学. 東京大学出版会, 東京. 150p

横地洋之 (2004) サンゴ食害生物. *日本のサンゴ礁*, 環境省, 51-57

