

みんなくりポジトリ

国立民族学博物館 学術情報リポジトリ National Museum of Ethnology

環境保全の国際性と総合性： 沖縄における造礁サンゴ移植活動の課題

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2011-05-30 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 鹿熊, 信一郎 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15021/00000999

第13章 沖縄における造礁サンゴ移植活動の課題

鹿熊信一郎

沖縄県八重山農林水産振興センター

サンゴの移植が必要かどうかは意見が分かれている。筆者は、増殖が見込めるとともに普及啓発の効果が大きいと、サンゴの移植は必要と考える。ただし、移植は全体的なサンゴ礁保全策の一つの手段に過ぎない。陸域対策を含めた統合沿岸管理、再生のスケール、移植のコスト、産学官の連携などにも考慮が必要である。技術的には、レキ・漂砂の対策、移植場所の選定、種苗の固定方法、移植後の管理等が課題である。サンゴの幼生を利用する有性生殖法は、ドナー群体を傷つけることなく有望だが、技術開発段階であり課題も多い。サンゴ養殖には観賞用と移植用の需要があるが、沖縄では、移植用の種苗を確保するため、海面養殖を振興するべきと考える。原則採取禁止であるサンゴの特別採捕許可にも、密漁の防止、ドナーサンゴの保護、流通段階での管理など課題が多いが、移植用種苗を確保するため、許可の運用を柔軟にする必要がある。

- | | |
|----------------|--------------|
| 1. はじめに | 5. サンゴ養殖の課題 |
| 2. サンゴ移植の理念的課題 | 6. 特別採捕許可の課題 |
| 3. サンゴ移植の技術的課題 | 7. おわりに |
| 4. 有性生殖法の課題 | |

キーワード：サンゴ移植，普及啓発，有性生殖法，サンゴ養殖，特別採捕許可

1. はじめに

様々な攪乱要因により沖縄の造礁サンゴ（以下、サンゴ）は減少した。沖縄島のサンゴの被度（海底面で生きているサンゴの割合）は、1972年では過半数の調査点で50%以上だったが、2004年には80調査点のうち74点で9%以下だった（小笠原ほか2004）。このため、多くの産学官のチームによりサンゴ礁再生技術の開発が進められている。この技術には大別して2種類の方法がある。天然海域からサンゴ断片を採取し、移植先に水中バンド等で固定する「無性生殖を利用する方法」と、卵や幼生を何らかの方法で採取し、人工の基盤に付着させる「有性生殖を利用する方法」である。

沖縄各地で様々な手法によりサンゴの移植が実施されているが、サンゴの移植が必要かどうか、あるいはその優先順位については、関係者のなかでも意見が分かれている。筆者は、サンゴの移植は必要であり、優先順位も比較的高いと考える。サンゴの増殖が見込める段階まで技術は進んでいるとともに、最終目標のサンゴ礁生態系再生に最も必要な「普及啓発」の効果が大きいと判断するからである。

「さんご」と呼ばれる刺胞動物は、分類学的には六放サンゴと八放サンゴ、その他

に大きく分けられるが、本稿では骨格をもち浅い海で育つ造礁サンゴ、深い海で育つ宝石珊瑚、骨格をもたないソフトコーラルに分け、このうち造礁サンゴだけをとりあげる。サンゴ礁は、厳密には生物であるサンゴ等が造った「地形」をさすが、「サンゴ礁生態系」を意味することも多く、本稿でも両方の意味で用いる。

本稿は、日本サンゴ礁学会サンゴ礁保全委員会など各種委員会¹⁾での議論や、サンゴ移植に関するマニュアル類²⁾を参考に、筆者の考えを整理したものである。適正かつ効果的なサンゴ移植活動に資することを目的に、サンゴ移植の理念的課題、技術的課題、有性生殖法の課題、サンゴ養殖の課題、サンゴ特別採捕許可の課題を整理するとともに、その対策の私案を示す。

2. サンゴ移植の理念的課題

2.1 保全が先

サンゴの移植を実施する際は、あくまで「保全」が先で、人為的な移植活動は自然の再生力を助けるだけであり、全体的なサンゴ礁保全策の一つの手段に過ぎない点を認識する必要がある。

サンゴの移植がサンゴ礁生態系の保全にマイナスに働く可能性としては、遺伝的攪乱を起こす、ドナー群体を大きく傷つける、密漁を助長する等が考えられる。また、移植が免罪符となって乱開発を抑制できなくなる可能性、より重要な（痛みを伴う）保全行動へ向かうべき力をすり替えさせてしまう可能性もある。

2.2 攪乱要因と統合沿岸管理

サンゴ礁生態系の攪乱要因は様々で、人為的影響の強いものに、赤土・過剰栄養・化学物質の流入、埋立、サンゴの違法採取、漁業・養殖、過剰な観光利用などがある。自然的影響の強いものに、台風、大規模白化、オニヒトデ・貝類の食害、病気などがある³⁾。

サンゴ礁生態系の保全は、サンゴ移植やオニヒトデ駆除のような能動的（アクティブ）活動よりも、基本的には人為的影響を改善する受動的（パッシブ）活動が重要である。また、重大な攪乱要因に陸域影響があるので、対策には海域だけでなく陸域も含めた「統合沿岸管理」が必要となる。白化現象には、グローバルな地球温暖化対策が必要であるが、地域で可能な対策（例えば、重要海域を特定しそこを重点的に守る等）もある。人為的攪乱要因への対策は、サンゴの抵抗力・回復力（レジリエンス）を高めるので、間接的に自然的攪乱要因への対策にもなる。

2.3 生物多様性保全と構造的生物

サンゴ移植の目的はサンゴ礁生態系の保全であって、サンゴの保全ではない。また、断片移植の場合は、許可を受け採取したサンゴ、あるいは成長・生残の良いサンゴ等、使用するサンゴ種の多様性は低くなると予想される。

しかし、サンゴ、海藻・海草、マングローブのような「構造的生物」が増えると、少数種の群落でも、その複雑な空間を住処にする多くの生物により種の多様性は増大する。また、サンゴの場合には、様々な生物が順に他の生物の生息場を提供する「棲み込み連鎖」の過程でも生物多様性は増大する（西平1996）。

現状は、数少ないサンゴ種の移植を成功させる「要素技術」の開発段階であるが、将来は、生物多様性、統合沿岸管理まで考慮した「システム技術」の開発に進まなければならない。

2.4 ゴール

サンゴの移植活動・事業では明確なゴールを定める必要がある。最終ゴールは、種構成を含め、荒廃する前のサンゴ礁生態系の状態に戻すことだろうが、これは短期には現実的でない。また、ダイビングポイントのアンカーブロックや防波堤構造物など、元はサンゴがなかった場所への移植も考えられる。さらに、港湾工事などで死亡することが確実なサンゴ群集を別の海域に移築することもある。

当面は、任意に定めた対象海域の目標面積において、サンゴの目標被度^りを達成することがゴールとなる。ゴールの達成状況は移植サンゴの生残と成長を指標とするため、これをモニタリングする。次のゴールは移植群体が産卵を開始することである。

2.5 目標は原生状態ではない

「サンゴ礁生態系は、できるだけ人為的な影響を除き『原生』の状態をめざすべきだ」という考えもある。しかし、この考えは沖縄を含むアジア太平洋では適切ではないと考える。Pandolfi et al. (2003) は、「サンゴ礁破壊の主要原因は、白化やオニヒトデではなく漁業や汚染である。漁業を厳しく規制し pristine な原生状態（少なくとも1900年以前の状態）をめざすべき」と示唆している。だが、100年以上前の生活に戻るのには不可能であり、現在のアジア太平洋沿岸の人口密度で、サンゴ礁から人間活動を完全に除くことも不可能である。アジア太平洋では相当昔から原生のサンゴ礁はほとんどみられず、それでも近年までは持続的に近い状態で推移していたはずである。これが崩れてきたことが問題なので、人間活動を取り除くのではなく、サンゴ礁と人間が共存できる関わり方を模索していくべきだろう。

2.6 再生のスケールと普及啓発効果

サンゴ礁の破壊のスケールと移植のスケールを常に考慮する必要がある。現状のサンゴ断片移植は、面積が小規模で箱庭的である。これではサンゴ礁を再生しているとは言えない。しかし、沖縄の多くの場所で、地域の人々が草の根的に、何年も移植を実施すればそれなりの効果は期待できると考える。また、現在の沖縄島のようにサンゴ幼生の供給源が不足している地域では、移植したサンゴが産卵するまで育てば、ソース（供給源）とシンク（供給先）のネットワークを形成できることになる。

草の根サンゴ移植では、研究者・行政だけでなく、様々な人々が参加することになる。その最大のメリットは普及啓発効果だろう。サンゴ礁保全の普及啓発は、陸域からの汚染を含む人為的攪乱要因に対処する上で最も重要であると考えられる。

2.7 移植のコストと生態系サービス

サンゴ移植にはコストが伴うので、活動を持続させるにはコストとベネフィットを意識しておく必要がある。

ベネフィットはサンゴ礁の機能（生態系サービス）と関係している。サンゴ礁には様々な機能がある。沿岸漁業を支える機能、生物多様性を保存する機能、生物や砂浜による環境浄化機能、天然の防波堤としての防災機能、景観機能、教育サイト機能などである（土屋 2004）。沿岸漁業を支える機能として、まず、漁業対象生物の成体の生息場を提供することで漁場を形成する。産卵場、餌場、幼稚仔の保育場としても機能する。サンゴ礁がこのような「場」として優れているのは、サンゴ群集の複雑な構造が隠れ場を提供し、波や流れを緩和し、付着基盤を提供するためである。また、サンゴそのものが水産生物の餌料として利用されるとともに、サンゴが出す粘液も重要な栄養源となっている。

特に公共事業や民間企業による移植を進めるには、このようなサンゴ礁の機能と価値（利用価値・非利用価値）⁵⁾を普及し、世論や政治的意志を喚起する必要がある。大手民間企業の場合は、ベネフィットにはCSR（企業の社会的責任）も含まれる。小規模な移植実施者にとって、コストの考え方は若干異なる。公共事業で実施する場合は大きな費用となる移植作業や管理・モニタリングの人件費が、ボランティア活動によって不用となるかもしれない。今後、サンゴの種苗（断片）の価格をできるだけ下げることが課題となる。

2.8 ステークホルダーの連携

現在の沖縄のサンゴ礁は、行政・研究者・民間が協力して対処しなければ、再生どころか荒廃がくい止められない状態にある。「民間の金儲けがからむとサンゴ礁保全は失敗する」という意見もある。確かに、金儲けの目的が駆動力となり、サンゴ礁の

破壊につながる危険性はあるが、それよりも、経済概念を導入することで保全活動を持続的にする効果、および活動の参加者を拡大する効果のほうがはるかに大きいと考える。

また、重要なステークホルダーである漁業関係者と観光関係者との連携も進めなければならない。漁業者が主体となるサンゴ礁保全に関する新たな動き⁶⁾があり、活動のメニューにはサンゴの移植も含まれることになるはずである。沖縄県政は観光振興⁷⁾に力を入れているので、観光部門との連携は政治的意志の喚起、受益者の大幅な増加につながる。ダイビング客を活用する方法がいくつか始められている。

2.9 国際的な動向

現時点で、20以上の国においてサンゴの移植活動が実施されている。日本は、特に有性生殖法で先進的である。2004年に沖縄で開催された第10回国際サンゴ礁シンポジウムでは、最終日に「危機にある世界のサンゴ礁の保全と再生に関する沖縄宣言」(沖縄宣言)が決議された。この宣言には4つの鍵となる戦略があるが、第4の戦略は「サンゴ礁再生の新たな技術開発」である。

2.10 日本サンゴ礁学会のガイドライン

日本サンゴ礁学会は、2004年11月の大会で「造礁サンゴの移植に関してのガイドライン」を決議した。当時、サンゴ礁の再生をめざしてサンゴの移植活動が活発におこなわれるようになっていたが、明確な指針のない活動は、逆にサンゴ礁生態系に悪影響を与える恐れがあったからである。このため、学会のサンゴ礁保全委員会は、筆者を含む特別班でこの問題を協議し、ガイドラインの案を作成した。

このガイドラインでは、まず基本的見解として、研究者・行政・民間が連携する必要があること、移植先の環境が保全されなければ意味がないこと、沿岸域の乱開発を容認するものでないことを明示している。続いて、a. 遺伝的攪乱に最大限注意する、b. サンゴの密漁を助長させない、c. 親群体への影響を極力抑える、d. 特別採捕許可をとる、e. 調査と移植後の管理をおこなう、f. 単なる集客目的のイベントにしない、という6項目について指針を示している。

3. サンゴ移植の技術的課題

3.1 調査研究と順応的管理

サンゴ移植の歴史は浅く、技術はまだ確立されたわけではない。このため、効果的な移植に資する調査研究が必要である。また、移植活動の結果をモニタリングし、順応的に方法を改良していくべきである。

3.2 物理的修復

海外では、生物的な修復ではなく、座礁船による破壊部分を物理的に修復した事例がある。大規模白化で全滅した枝状サンゴの残骸が残る海域では、波や流れで死サンゴレキが動くため、サンゴ幼生の新規加入が望めない。沖縄でも将来、このような海域において、ブロック等を設置して移植サンゴの基盤とする事業や、サンゴレキを何らかの方法で固定する事業が始まるかもしれない。

3.3 レキ・漂砂の問題

前項で述べたように、着生後のサンゴが減耗する要因として、死んだ枝状サンゴのレキ、あるいはより大きいレキが荒天時に海底を動くことが問題となっている。インドネシアでは、爆弾漁で破壊されたサンゴレキがサンゴ幼生の新規加入を妨げている (Fox et al. 2003; 2005)。このため、サンゴ礁の再生には、石をパイル状に積み上げる方法が最も安価で効率的だとしている。

亜熱帯総合研究所が平成 16～17 年度に北谷、読谷、瀬底、渡嘉敷で実施した実証試験 (亜熱帯総合研究所 2006)、石西礁湖、沖ノ島、宮古島北東海域でも、レキの悪影響が確認されている。このため、サンゴ礁再生、特に稚サンゴの育成には、レキの動きや漂砂を考慮し移植場所を選定するとともに、これを物理的にブロックするか、着生基質を海底からある程度上に設置する等の工夫が必要とされる。

3.4 移植場所

移植場所の選定は重要である。草の根的に移植する場合は、移植実施者の再生させたい場所が選ばれることになる。石西礁湖自然再生事業では、移植場所として幼生の自然加入が少ない場所、赤土の流入など陸域影響の少ない場所、高水温になりにくい場所が選定された。

移植場所を MPA (海洋保護区) に設定する方法も考えられる。この際、サンゴ等の幼生のソースとシンクの関係を考え、MPA のネットワークを構築することを意識する。このためには流れと幼生の生態に関する情報が必要である。例えば、対象のサンゴが放卵放精型か幼生保育型かにより、幼生の分散距離は異なる。

3.5 移植する環境と同じ環境のドナーを使う

水深、流れ、波あたり、濁り等によって移植サンゴの生残・成長は大きく異なる。断片移植の場合、断片を採るドナーサンゴの海域環境は、できるだけ移植海域の環境に近いものであるべきである。有性生殖法の場合も、幼生を得る海域が移植海域と異なる場合は同様である。

また、スリック (サンゴの受精卵や幼生が海面で集まり帯状になったもの) を集め

る方法を含め、移植できるサイズまで人間の保護下の環境で育ったサンゴが、より厳しい環境で生き残れるかどうかは注意しなければならない。

3.6 高温耐性のある種苗

移植したサンゴが高水温による白化で死亡する（最悪の場合、全滅する）ことも十分考えられる。この可能性を移植実施者に明確に理解してもらうとともに、高温耐性をもつ可能性のあるサンゴ⁸⁾ 種苗の使用や、移植海域のサンゴのストレスを減らし、レジリエンスを高める等の対策が必要である。

3.7 移植するサンゴの種

移植するサンゴの種は、海域の元の状態で多かった種が基本となるが、現状では種苗が手に入りやすい種、移植しやすい種、生残率が高い種、成長が速い種などを選択せざるを得ないと考えられる。有性生殖法では、その海域の特性に応じた多様性のある種が利用できる。

サンゴは他の生物に生息場を提供するとともに、共生する褐虫藻の光合成に必要な光を求めて、サンゴ同士で、あるいは他の生物と激しい競争をおこなっている。サンゴ礁生態系は、この共生と競争の微妙なバランスの上に成り立っている。遠隔地から移入種を導入することには細心の注意が必要であり、移植海域からできるだけ近い海域のドナー・親サンゴを利用するべきである。移植サンゴをどの程度の距離まで移動してよいかは、サンゴの種・流れ・移植先の状況などにより異なるため難しい問題であり、現在、検討が始まったばかりである。

3.8 移植サイズ

断片移植の場合は、サンゴ断片は大きい方が生残の可能性は高くなる。しかし、断片の数、ドナーへの負担、移植前の養成期間とのバランスの問題である。有性生殖法の場合は、通常は着生後1年以上たち数cmに成長したサンゴを使うことになる。

3.9 種苗の輸送

移植後の生残を高めるには、サンゴ断片や着床具に付いたサンゴの輸送にも気を遣う必要がある。できるだけ短時間におこなう、海水に浸かった状態で運ぶ、直接手で触れない、等である。

3.10 海域での固定方法

移植サンゴの固定方法には様々なものがある。断片を直接海底に固定するには、水中ポンドや伸縮性素材（西平2006）を使う方法などがある。有性生殖法では、幼生を

着生させた基質をドリル、水中ボンド、釘などを使って固定する。断片移植でも、いったんサンゴ断片を素焼きピンやボルト等の人工基質に固着させ、それを海底に固定する方法がある。

どのような方法を使うにせよ、サンゴが自分でしっかりと固着できるよう、断片が容易に動かないこと、軟体部が基盤に接触することが重要である（西平 2006）。

3.11 移植後の管理

移植後の管理は重要である。海藻類の除去、オニヒトデ・シロレイシガイダマシ等の食害生物の駆除などである。移植後しばらくは目の粗い籠や網を被せて、食害魚類から守る対策も必要かもしれない。

3.12 モニタリング

移植後のモニタリングも重要である。主に生残率と成長を調べることになるが、死亡した場合はその原因も記録する。頻度と期間は使える資源（人・金・物）にもよるが、研究者の意見や各種のマニュアルを参考にする。移植をおこなわなかった場所にコントロール点を設定し、移植の効果を比較することも必要である。モニタリングの結果は、次のステップや順応的管理、他地区への重要な情報となる。

4. 有性生殖法の課題

有性生殖法によるサンゴ礁再生技術は、無性生殖法に比べて、断片を採取するドナー群体を傷つけることがなく、また、多様性のある種苗が使えるため、いくつかの方法が開発中である。このうち、セラミック着床具の方法、硬質ネットを使う方法、タカセガイ育成礁を利用する方法を考察する。これらの方法の機能には、複雑な物理的・生物的要因が関与しているはずである。実際にどの要因が最もサンゴの生残に効いているかはよくわかっていないが、これまで得られた知見から考察する。

4.1 セラミック着床具の方法

日本における有性生殖法として、2008年現在、これが最も進んでいる技術と考えられる。環境省は、石西礁湖自然再生事業の一環として、この方法によりサンゴの移植事業を実施している（環境省 2007; 藤原・山田 2007）。

セラミック着床具のサンゴ育成に影響する構造は、コマ状構造と連結構造である。図1に示したように、物理的機能として新着生面・着生空間（隙間）・裏面の提供、流れの緩和（渦流の発生）、漂砂・レキ・浮泥の防御があり、生物的機能として食害魚類、幼生をグレイジングする（囓り取る）ウニ類、サンゴの競合生物である海藻の

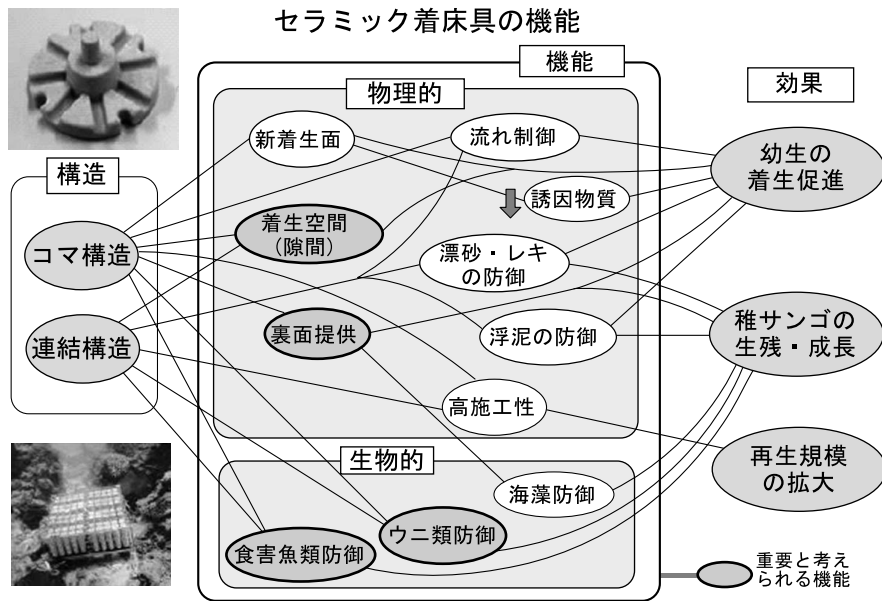


図1 セラミック着床具がサンゴを育成する構造・機能・効果

防御がある。これらがサンゴ幼生の着生促進，稚サンゴの生残・成長改善に役立つと考えられる。新着生面を提供することは，サンゴ幼生の誘因物質の付着にはマイナスに働く。

セラミック着床具の最大の特徴は，コマ状着床具の裏面に細かい溝が入っており，これを連結することで約1cmの隙間構造を作り出し，魚類・ウニ類の食害を防止していることである。

この方法は，事業規模の拡大を考慮し，施工を効率的におこなうための様々な工夫もある。一例を示すと，直径40mmのコマ状着床具12個を連結した柱10本をケースに収容する。このケース8個を57×57×35cmの専用架台に取り付ける（1架台に着床具960個となるが，最近は柱の密度を下げている）。小さな海底面に多数の着床具をセットできると同時に，ハンドリングが容易になる。約1.5年後に着床具をばらすと，コマの棒状部分には付着生物が付いておらず，同じ規格のドリルの穴に固定できる（岡本・藤原2006）。

4.2 硬質ネットを使う方法

山木ら（2007）は，数年前からこの方法を座間味で試験している。方法はシンプルで，まず1cmメッシュのポリプロピレンネットを海底から10cm上に張る。サンゴの一斉産卵の数ヶ月前に張り，サンゴ幼生の誘因物質が付着するようにする。すると，ネットの裏側にサンゴ幼生が多数着生するので，ネットをカットし岩盤に固定する。

この方法でサンゴ育成に影響する構造は、ネット構造とネットの高さである。物理的機能として裏面の提供、漂砂・レキ・浮泥の防御、十分な光環境があり、生物的機能として食害魚類・ウニ類の防御、誘因物質の付着があげられる。ネットを海中放置することは、海藻などの競合生物を増やす点ではマイナスに働く。

座間味漁業協同組合（漁協）のシャコガイ養殖用ネトロンネットに、多くのサンゴが付着していたため、硬質ネットにサンゴが着生することは以前より知られていた。基質の裏側に着生することも、セラミック着床具試験の初期の段階（2002年）でわかっていた。魚類の食害、ウニのグレイジング、マット状海藻や浮泥に覆われてしまうことを避けるためと考えられる。基質の裏側に着生したサンゴは、約1年後に光が十分あたる表側に伸びてくる。

座間味の硬質ネットの試験では、着生したのはショウガサンゴ類がほとんどだった。養殖用ネトロンネットにはハナヤサイサンゴ類が多く付いていた。しかし、着生するサンゴの種は、基質の材質ではなく設置場所に左右されると思われる。別の場所の試験ではミドリイシ類も着生した。

硬質ネットの方法も施工性は優れている。ネットを10cm四方程度にカットし、サンゴの付いている裏面をひっくり返して岩盤に釘などで固定すればよい。また、硬質ネットを使って稚サンゴを入手することができれば、ネットをカットし垂下する等、海面養殖の多様な種苗として利用できる可能性もある。

4.3 タカセガイ育成礁を利用する方法

4.3.1 特徴

この方法は、2003年頃に、宮古島北東海域に設置されたタカセガイ育成礁のなかで、サンゴが周囲の海域より高密度で生育していたことがきっかけとなっている。タカセガイがサンゴと競合する海藻を食べたことが、サンゴ生育の理由の一つと考えられた⁹⁾。

タカセガイ育成礁は、人工的に生産されたタカセガイ種苗を、外敵に襲われにくい大きさまで中間育成するための柵状コンクリート構造物（約5m×3m×1m、重量26トン）で、大潮干潮時には一部干上がる礁嶺に設置される。内部に、隠れ場を作るための格子状プラスチック構造物（グレーチング）を入れる。

タカセガイ育成礁のサンゴ育成機能に影響する構造としては、柵（プール）構造、格子構造、高さ（底上げ）がある。サンゴを増やす機能として想定されるものは、Omori et al. (2007) に詳しいが、物理的機能として波・流れの緩和（渦流の発生）、水深確保、漂砂・レキ・浮泥の防御、垂直面提供があり、生物的機能としては食害魚類¹⁰⁾・ウニ類の防御、タカセガイによる海藻防御がある。これらがサンゴ幼生の着生促進、稚サンゴ・サンゴ群集の生残・成長改善に役立つと考えられる。柵構造のため起こる夏場の高水温、海水交流の減少は、稚サンゴやサンゴ群集の生残・成長にはマ

イナスに働く。

2007年の宮古島北東部における調査では、タカセガイ育成礁の外で、60cm海底から上に上げた格子構造物に稚サンゴが多く着生した。この結果では、多くの機能のうち漂砂・レキの防御、食害魚類の防御、波・流れの緩和が最も効いたと考えられる。

4.3.2 稚サンゴ供給基地の機能

人工構造物の表面だけでサンゴを増殖することは、事業規模が大きくなった場合、効率が悪く現実的でない。このため、人工構造物で稚サンゴを増やし、これを別の場所に移植する方向も検討しなければならない。柵構造をもつ場合は、夏場に周囲より高水温となり白化しやすくなる恐れがあるため、この方向はさらに重要となる。

着生した稚サンゴを基盤ごと簡単に取り外し、周辺海域に移植することが可能な構造を組み込むとともに、取り外し・移植作業の施工性を十分考慮した工夫が必要である。

4.3.3 柵構造をもたない場合・タカセガイを使わない場合

タカセガイ育成礁の最大の特徴である柵構造物は、設置工事に多額の経費が必要となる。これをもたない場合、機能はどうなるだろうか？ 柵構造がなくなると、水深確保の機能が失われ、高水温・海水交流減の弊害がなくなることになる。水深確保については、着床具の設置水深をやや深めにすることで対処できる。

これ以外にも柵構造には様々な機能が考えられるが、重要な波・流れの緩和機能は格子構造により、漂砂・レキの防御機能は着床具を海底からやや高い位置に設置することでカバーできる可能性がある。食害魚類防御機能については、稚サンゴのうちは格子構造でカバーできるが、成長して格子の外に出てきたら食害を受ける可能性がある。

人工種苗生産されたタカセガイを利用することは、一般的なサンゴ礁再生活動・事業では現実的でない。したがって、タカセガイによる海藻防御機能は使えないことが多いと考えられる。この場合、格子構造により垂直面を提供することでマット状海藻を防御すること以外に、なんらかの海藻対策が必要になるだろう。

5. サンゴ養殖の課題

サンゴ養殖には移植用と観賞用の2種類の需要があるが、観賞用サンゴの養殖はサンゴ礁生態系に悪影響を及ぼす可能性がある。2004年にサンゴ養殖の漁業権の数が急増したため、種苗として天然サンゴを大量に採取してしまう危険性が表面化した。このため、サンゴ礁保全委員会はこの問題についても協議し、2004年末に「造礁サンゴ

の特別採捕許可についての要望」と「造礁サンゴの特別採捕許可にあたっての提案」を沖縄県に提示した。内容は多岐にわたるが、重要な点は、むやみに特別採捕許可を増やさないと、希少種を守ること、密漁を助長しないこと等である。

5.1 サンゴ養殖と流通の現状

5.1.1 インドネシア

最近、アメリカ、日本、ヨーロッパで観賞用サンゴの需要が高まっている。サンゴはCITES（絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約）の対象であるが、付属書Ⅱに載っているため、輸出国の許可があれば貿易は可能である。

2005年に、日本国内の観賞用サンゴ市場の状況を調査した。造礁サンゴは、熱帯魚、ソフトコーラル、イソギンチャク、シャコガイとともに熱帯魚店などで販売されていた。観賞用サンゴのマニアは、高価な水槽、ライト、クーラー、濾過層などを揃えており、サンゴも色の良いものは高価で流通していた（10～20cmのものが5千～1万円）。2005年には、日本国内で10～15万個の観賞用サンゴが流通したと考えられる（平良2006）。その多くはインドネシアからの輸入サンゴである。沖縄からの養殖サンゴの供給量は、調査時点では限られており、密漁サンゴも相当量流通しているとのことだった。

2006年に、インドネシア・バリ島における観賞用サンゴの流通・養殖の状況を調査した。インドネシア政府は、CITESに基づく輸出許可に枠を設け、輸出業者に配分していた。調査した輸出業者D社は、この枠のうち最大の15%を保有していた。観賞用天然サンゴは2001年、養殖サンゴは2003年から出荷を始めた。バリ島だけでなく、ジャカルタやスラウェシ島マカッサルなどに支所、集荷場、海面養殖場を多数保有していた。輸出するサンゴのうち約40%が日本向けだった。

バリ島南東の小さな島でD社の養殖場を調査した。水深の浅い礁池内に、縦1m横2mのテーブルを鉄筋で固定し、この上でサンゴを養殖していた。サンゴ断片をキノコ状セメント構造物に付け、これをテーブル上の金網にさし込んでいた。このようなテーブルが200基設置されていた。バリ島南部はサイクロンがほとんど来ないので、施設を破壊するような荒天はない。サンゴの養殖は通常5～6カ月おこなう。サンゴが減耗する一番の原因はブダイなど魚の食害であり、平均して80%の高い生残率が見込める。

テーブル上のサンゴは放置しておくとも海藻に被われてしまうので、定期的な掃除が必要となる。D社は島の漁業者18人にこの作業を依頼していた。漁業者には賃金を支払うのではなく、出荷サイズに育ったものを買取っていた。

2005年、沖縄でもA社が陸上施設で観賞用サンゴの養殖を開始した。沖縄からの観賞用サンゴの供給量が増えたらどうなるだろうか？ インドネシアから日本への天

然サンゴの出荷量は減るかもしれない。そうなればインドネシアのサンゴ礁保全に役立つだろう。

しかし、礁池内のサンゴ養殖は地域コミュニティの収入源となっており、これを奪うことになるかもしれない。2006年時点では、沖縄の陸上養殖による観賞用サンゴの供給量は限られており、D社は「将来、沖縄で海面養殖が増えても、サンゴの養殖には海藻掃除などの労働が必要とされるため、人件費の安いインドネシアは優位を保てる」と予想していた。

5.1.2 沖縄

2006年1月に沖縄の浦添市にあるA社を調査した。A社は観賞用サンゴ等を養殖・販売する会社で、平成15年度沖縄産学官共同研究推進事業で開発された技術をもとに、沖縄電力のベンチャー企業制度を利用して設立された。サンゴの成長と色を良くするためにメタルハイドライトを多数整備した室内飼育棟と、より大型で天然光を利用する飼育棟がある。海水ポンプ、クーラー等も整備されている。

技術の最大の特徴は地下海水を使用することである。地下海水は、周年水温がサンゴの生育に適した約25°Cで安定している。このため、夏は白化現象が起きず、冬は成長が速くなる利点がある。ただ、栄養塩濃度が高いので、この対策は必要である。サンゴと共生する褐虫藻は適度の栄養塩を必要とするが、サンゴは熱帯亜熱帯の貧栄養海域で生育するよう進化してきたので、過剰な栄養塩濃度では生育が悪くなる。また、栄養塩が多いと、サンゴと競合関係にある海藻が繁茂してしまう。海藻対策としては、海藻を食べる巻貝や小魚と一緒に飼育する方法が一般にとられる。

調査時点では、A社はシャコガイとソフトコーラルを本土に出荷していた。ヒメジャコ（外套膜がカラフルな最も小型のシャコガイ）は、8cm程度のものを1個600円で出荷していた。本土の小売店で販売される時は、5～6倍の値段になるとのことである。ソフトコーラルも値段の比は同様である。この他、ウミブドウ、マガキガイ、シラヒゲウニも出荷していた。2006年3月からはミドリイシ等も出荷する予定とのことだった。

観賞用サンゴを固着させる基質として、かつ水質を維持するために、石灰藻など様々な微小生物が付着したライブロックとよばれる石も需要が高い。沖縄では海域から岩や石を採取することは禁じられているが、違法に採取されたものが流通している実態があるようだ。A社では、赤土や灰ガラスを焼いて作った人工ライブロックを、タンクにしばらく置いて生物を付着させ、これも出荷していた。

沖縄県水産課からは、養殖サンゴと密漁サンゴの区別が容易につくように、サンゴを識別番号の付いた基盤に着生させるよう指示がある。このため、独自に開発した基盤を用いていた。

現状では、漁業者・漁協が漁業権区域でサンゴを養殖し、これを観賞用として出荷

した実績は多くない。与那原・西原町地先にはサンゴ養殖の特定区画漁業権区域があり、観賞用サンゴを出荷した実績がある。南城市地先にも、2006年時点でサンゴ養殖の漁業権区域が2つあり、知念漁協は、この区域でのサンゴ養殖を計画していた。観賞用に出荷するのではなく、海域に移植することによって漁場を再生させるとともに、観光客にダイビングやスノーケリングでサンゴを見せるエコツーリズムで収入を得ることも考えていた¹¹⁾。

5.2 サンゴ海面養殖の課題

サンゴ養殖の是非についても意見が分かれているが、筆者は、サンゴの海面養殖は振興すべきだと考える。その理由は、漁業の基盤となるサンゴ礁の再生・修復、養殖振興、ブルーツーリズム¹²⁾ 振興の3点のメリットにより、漁村活性化に一石二鳥、三鳥の効果が期待できるからである。

観賞用サンゴは色が良くなければ売れないため、漁業者が海面養殖で育てた観賞用サンゴの需要が、今後、大きく伸びることは期待できないかもしれない¹³⁾。だが、無性生殖法によるサンゴ移植に必要なサンゴ断片（種苗）の需要は、今後増大すると考えられる。

現時点では、種苗のほとんどは試験的に特別採捕許可をとって天然海域から採取したのか、陸上タンクで養殖されたものであり、移植の規模は小さい。しかし、サンゴ移植活動は拡大する傾向にあり、増大する種苗の需要を海面養殖で満たす必要があると考える。観賞用サンゴを陸上タンクで育成する際は、特殊なライトを使って色をコントロールしているが、移植用なら色に気を遣う必要はない。また、観賞用需要の高い希少種にこだわる必要もない。

移植サンゴ種苗を養殖で供給する場合、成長速度が問題となる。特別採捕許可で採取した第一世代の親の成長分を切断し、これを移植に使うためである（つまり、クローンが増えていくことになる）。インドネシアのバリ島では、既に、一部の観賞用サンゴの種苗を海面で養殖したサンゴから入手する「回転状態」にある。

サンゴの移植を観光客のダイバーに実施させることで、エコツーリズム、ブルーツーリズムを振興することも可能と考えられる。移植サンゴ種苗の価格は、現状では安いもので1本500～1,000円、高いものは2,000円以上である。移植活動の規模が拡大した場合、これよりずっと安価にしないと活動は持続しないだろう。1,000円の場合、1回の移植活動で20人の観光客が1人10本ずつ移植すれば、種苗代は20万円になる。恩納村で活動を行っている「チーム美らサンゴ」¹⁴⁾のように、ダイバーが移植活動に参加する際、機材・船・種苗代を含めて1人1.5万円程度を支払うようにすれば、ツーリズムで収入を得ることも可能になる¹⁵⁾。

サンゴ海面養殖の問題点の一つは、養殖を隠れ蓑に、漁業権区域内で密漁したサン

ゴを保持する恐れがあることである。結果としてサンゴ密漁を助長し、沖縄のサンゴ礁を荒廃させてしまう危険がある。

6. 特別採捕許可の課題

沖縄では、サンゴの採取は沖縄県漁業調整規則で原則として禁止されている¹⁶⁾。だが、試験研究や養殖などの目的であれば、県知事から特別採捕許可（特採）を受けることでサンゴの採取は可能である。2003年11月に開かれたサンゴ礁保全委員会において、サンゴの移植・養殖に関連してサンゴの特採にいくつか問題点があることが指摘された。

6.1 規則の関連部分と実態

沖縄県漁業調整規則の関連部分は第33条第2項および第3項、第40条である。

第33条（略）

- 2 かめ類が放産した卵及び造礁さんご類（腔腸動物のうち石さんご目、ひどろさんご目、やぎ目、くださんご目をいう。）は、これを採捕してはならない。
- 3 前2項の規定に違反して採捕した水産動植物又はその製品は所持し、又は販売してはならない。

第40条

この規則のうち水産動植物の種類若しくは大きさ又は水産動植物の採捕の期間若しくは区域又は使用する漁具若しくは漁法についての制限又は禁止に関する規定は、試験研究、教育実習又は増養殖用の種苗（種卵を含む）の供給（自給を含む。）（以下本条において「試験研究等」という。）のための水産動植物の採捕について知事の許可を受けた者が行う当該試験研究等については、適用しない。

増養殖用の種苗採捕は特採の対象であり、2003年以前にも目立たない量の養殖用サンゴの特採は出されていた。当時、ツアーと関連させた移植活動が急に注目を集めたため、特採の問題が表面化した。また、2003年9月1日付で漁業権の一斉切替えがあり、サンゴ養殖の特定区画漁業権は19件免許された¹⁷⁾。

特採の申請書には、採捕する場所、種類、量の記載が義務づけられる。期間は許可から1年間以内である。2003年には、試験研究用を中心にサンゴの特採は22件出された。

6.2 2003年時点の問題点

- (1) 移植ツアーの拡大に伴う需要の拡大で採捕量が急増し、いき過ぎたサンゴの採捕がおこなわれる恐れがあった。

- (2) 移植ツアーでは、潜水技術の稚拙な参加者によるサンゴ破壊の恐れがあった。
- (3) 移植技術は開発途上にあり、方法により生残に大きな差があった。また、サンゴ種苗のドナーの死亡を招く恐れもあった。
- (4) 遠距離の種苗移動に伴う遺伝的攪乱が生じる恐れがあった。
- (5) 漁業調整規則では、制度上、サンゴの移植活動そのものは規制できない。
- (6) 養殖サンゴの流通が活発になった場合、違法採取が横行し、取締りが困難となる恐れがあった。
- (7) 沖縄島ではドナーが十分でない状況にあった。また、観賞用サンゴ養殖のための特採では、マニアに好まれる種（希少種？）に集中すると予想された。
- (8) 養殖が名ばかりとなり、採捕後短期間の蓄養で出荷する恐れがあった。
- (9) 流通段階で養殖物と違法採取したものの区別が困難と判断された。

6.3 水産課の対応

特採を所管する沖縄県農林水産部水産課は、前項の問題点のいくつかに対応する方針を内規として整理した。例えば、a. 養殖と移植を明確に区分し、移植は、種苗を養殖後に海域へ植える方法だけを認める（採捕後6カ月は移動を認めない）。b. 資源量の多い種に限定して特採を認める。c. 採取量は必要最小限とする。d. 養殖用の場合、同一申請者には同一種の特採は1回だけとする。e. 養殖では日付を書いた人工基質へのサンゴの付着を義務づける。f. 試験研究の場合、移植後のモニタリングを義務づける、等である。

6.4 現在の課題と対策

サンゴの海面養殖とこれに付随する特採の最大の問題点は、「養殖・特採が増えることでサンゴの密漁が増える可能性がある」ことである。養殖用サンゴの特採の条件を厳しくし、サンゴ養殖の拡大を抑制すれば、この問題の発生もある程度抑制できる。しかし、増大が予想されるサンゴ種苗の需要に対応しきれなくなるとともに、一方で区画漁業権を免許しながら、もう一方でその養殖の振興を制限する矛盾した施策となる恐れもある。

6.4.1 密漁・名目養殖を防止するには

漁業権区域内に密漁サンゴが持ち込まれるのを防止するには、特採によるサンゴのトレイサビリティを高める必要がある。識別可能基盤に固着させる方法は有効であると考えられるが、垂下式養殖での基盤や、より効率的・効果的な基盤の開発は必要である。

海面養殖したサンゴをドナーとして、成長部位を移植断片に使う場合は、写真管理

でトレイサビリティを担保する。具体的には、断片分割直前の基盤付きドナーの写真、分割した断片、分割後のドナーの写真を撮るようにする。

名目だけの養殖で、特採で採取したサンゴを移植用を使うことは、6カ月間の移動・販売禁止や同一サンゴの原則採取禁止で防止できると考えられる。

特採を受け採取・養殖され、その後、さらに別の業者が養殖することを目的に分割・販売された第二世代以降のサンゴの管理は難しい。そのサンゴの取得者を特採の条件でコントロールすることはできないので、海面養殖の場合は漁業権の条件で基盤固着を義務づける。陸上養殖の場合は、業者は限られるので、基盤固着の指導をおこなう、等で対処するしかないだろう。

6.4.2 逐次多回移植への対応

逐次多回移植とは、ある海域（比較的狭い範囲）に移植したサンゴが成長した後、その成長部分の一部を切断して次の移植用種苗に用いる方法である（西平 2007）。移植後、生残率の悪い場所も生じるはずであるが、そのような場所にこの方法で移植を繰り返すことにより、その海域のサンゴ群集・生態系を回復させることをねらう。

この方法は合理的であるとともに、草の根移植に使う種苗の入手が容易になるが、特採の内規にある「天然のサンゴを分割して直ちに移植する場合は許可しない」という規則に抵触する。現在は試験研究として実施しているため、この方法による移植も可能であるが、将来、沖縄各地の人達が草の根的に実施する場合は対策が必要となる。

問題は、サンゴ種苗が移植したサンゴの成長部位から分割したものか、それとも天然のサンゴから分割したものかの区別が難しいことである。この問題は、移植後のサンゴの状態を写真で管理し、逐次移植に用いるドナーサンゴを特定する方法で対処できると考える。具体的には、初回は養殖したサンゴ等を種苗として用い、その移植サンゴの追跡写真、断片を採る直前・直後のドナーサンゴの写真、そのドナーから分割したサンゴ断片の写真で量的な確認をとる方法である。この条件を満たすなら、逐次多回移植の特採は認めるべきだろう。

6.4.3 特殊なケースへの対応

定置網、タカセガイ育成礁などに付着したサンゴを掃除する場合、特採は不用だが、これを養殖などに利用する場合は特採が必要となる。そもそも失われるものなので、対応は、種や量の制限を除き、天然海域からの採取と同様でよいと思う。事前の状況調査や写真撮影は必要である。有性生殖法で、サンゴが着生した着床具やネット等を移植する際も、特採は必要である。

埋立、防波堤工事などで消滅するのが確実なサンゴ群集については、サンゴの消失を少しでも減らすため、近隣海域へ移築することがある。この場合、採取して直ちに

移築することになるが、例外として認めてよいと思う（種や量の制限は必要ない）。

台風等で破壊されたサンゴ断片を移植・養殖に利用することは、故意に破壊されたサンゴ断片との区別が困難なため、現状では内規で禁止している。だが、対応策もあると考える。例えば、通常の特採よりも条件を厳しくし、研究者の意見書や立ち会い、状況写真の添付を義務付ける方法、日本サンゴ礁学会の意見を求める方法などである。

6.4.4 サンゴ養殖場が近くにない場合

2008年の漁業権切替え計画によると、沖縄島北部では恩納村に1区域、宮古地域にも1区域だけの海面養殖漁業権が免許される予定である。サンゴの海面養殖場や陸上養殖施設が近くにない海域で移植を実施する場合、断片確保や遠距離移動の問題が生じる。この場合、次の対応策が考えられる。

- (1) 有性生殖法でサンゴ種苗を確保する。
- (2) 初回は研究者と共同で試験研究の特採をとり、以後は逐次多回移植をおこなう。
- (3) 定置網などの施設に付着したサンゴや台風で破壊されたサンゴ断片を利用する。

7. おわりに

今後、沖縄で効果的なサンゴ礁再生活動を実施するには、サンゴの移植を全体的なサンゴ礁保全策の一つとして明確に位置付けるとともに、有性生殖法を含めた技術開発を産学官の連携で進める必要がある。また、サンゴ移植に必要なサンゴ種苗を海面養殖により安価で安定的に提供していくとともに、関連した特別採捕許可の運用を適正かつ効率的におこなっていく必要があると考える。

注

- 1) 平成15～20年度の石西礁湖自然再生事業に関する専門委員会、平成18～20年度の沖ノ島サンゴ礁再生に関する専門委員会、(財)亜熱帯総合研究所が平成16～17年度に実施したサンゴ礁修復実証試験の委員会、沖縄県が平成19年度に開始したサンゴ移植マニュアル作成検討委員会など。
- 2) 既存のサンゴ移植のマニュアル類には、Edwards and Gomez (2007)、大森 (2003)、亜熱帯総合研究所 (2006)、藤原・大森 (2004)、大久保・大森 (2001)、Precht (2006)、山本ほか (2003)、環境省 (2007) 等がある。
- 3) 白化は地球温暖化が関係しており、オニヒトデの大発生や病気の蔓延も人間活動と関係している可能性がある。
- 4) 断片移植の場合は、移植によって増えるサンゴ被度が、(断片採取後の回復も考えた) ドナー群体の減少分よりも大きくなければ意味がない。
- 5) 慶良間のサンゴ礁の非利用価値は、CVM (仮想評価法) で228～254億円と評価された (呉

- 2003)。非利用価値とは、景観や生態系などのもつ利用できない価値を意味する。漁業や観光で利用できる利用価値については、WWFが琉球諸島のサンゴ礁の利用価値を約2000億円と推計した(WWF 2003)。
- 6) 水産業・漁村の多面的機能を発揮するため、水産庁・全国漁業協同組合連合会などが進めている「環境・生態系保全活動支援事業」等。
 - 7) 入域観光客目標1,000万人にみられるように、マストゥーリズムとエコトゥーリズムのバランス、キャリングキャパシティー（環境容量）の定量化などの課題もある。
 - 8) 例えば、1998年以降の高水温に耐えたサンゴ、高温耐性があると言われているクレードの褐虫藻をもつサンゴ等。
 - 9) タイルに着生したサンゴとタカセガイ種苗をカゴに収容し、座間味海域に設置した実験では、サンゴの良好な生残と成長の結果が得られた。
 - 10) 干潮時に柵内にトラップされたサンゴ食の魚類は、その後、満潮時でも柵内に入りにくくなると言われる。
 - 11) 既に、一般人に移植サンゴのオーナーになってもらい、成長の様子などを観察させるオーナーシップ制度はスタートしている。
 - 12) 農村での観光であるグリーンツーリズムに対応した海・漁村での観光。
 - 13) マニアの需要は伸びなくても、ホテルや料理店での展示用リースの需要は伸びるという意見もある。
 - 14) 全日空や沖縄電力など、沖縄県内外の14企業のグループである。サンゴ移植は、企業の社会責任(CSR)の一環として実施している。移植サンゴの種苗は、恩納村漁協が陸上タンクで養殖したものを使用している。
 - 15) 沖縄のサンゴ礁を守るため、多くのダイバーがボランティアでオニヒトデ駆除作業に参加している。しかし、オニヒトデ駆除には危険が伴うし、オニヒトデの発生量は大きく変動する。
 - 16) 漁業に関する規則でサンゴを保護しているのは、サンゴ礁がサンゴ礁漁業の基盤であるという認識に基づいている。
 - 17) 現状では、断片移植に使用されるサンゴ種苗は陸上タンクで生産されたものが多いが、陸上での養殖には漁業権は必要ない。

文 献

- Edwards, A. and E. Gomez
2007 *Reef Restoration, Concepts & Guidelines, Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Programme.*
- Fox, E., J. S. Pet, R. Dahuri and R. L. Caldwell
2003 Recovery in Rubble Fields: Long-term Impacts of Blast Fishing. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 1024–1031.
- Fox, E., P. J. Mous, J. S. Pet, A. H. Muljad and R. L. Caldwell
2005 Experimental Assessment of Coral Reef Rehabilitation Following Blast Fishing. *Conservation Biology*, 19(1): 98–107.
- Omori, M., K. Kajiwara, H. Matsumoto, A. Watanuki and H. Kubo
2007 Why Corals Recruit Successfully in Top-snail Aquaculture Structure? *Galaxea*, JCRS, 8: 83–90.

- Pandolfi, J. M., R. H. Bradbury, E. Sala, T. P. Hughes, K. A. Bjorndal, R. C. Cooke, D. McArdle, L. MacClenachan, M. J. H. Newman, G. Paredes, R. R. Warner and J. B. C. Jackson
2003 Global Trajectories of the Long-Term Decline of Coral Reef Ecosystems. *Science* 301: 955–958.
- Precht, W. F. (ed.)
2006 Coral Restoration Handbook. CRC, Taylor & Francis.
- WWF
2003 *The Economics of Worldwide Coral Reef Degradation*.
- 亜熱帯総合研究所
2006 『平成 16・17 年度サンゴ礁修復実証試験研究事業報告書 (CD 版)』 沖縄。
- 大久保奈弥・大森信
2001 「世界の造礁サンゴの移植レビュー」『GALAXEA』3: 31–40, 日本サンゴ礁学会。
- 大森信編著
2003 『サンゴ礁修復に関する技術手法—現状と展望』 東京：環境省自然環境局。
- 小笠原啓・小澤宏之・長田智史
2004 「沖縄島周辺におけるサンゴ礁現況調査およびオニヒトデ大量発生予知への試み」『沖縄県環境科学センター報』5: 52–65。
- 岡本峰雄・藤原秀一
2006 「1-2 セラミック着床具を使った有性生殖法 (平成 17 年度)」『平成 16・17 年度サンゴ礁修復実証試験研究事業報告書 (CD 版)』 pp.40–49, 沖縄：亜熱帯総合研究所。
- 環境省九州地方環境事務所・那覇自然環境事務所
2007 『サンゴ幼生着床具を用いたサンゴ群集修復マニュアル』 沖縄。
- 呉錫畢
2003 『沿岸域の保全と利用に関する社会科学研究 慶良間諸島におけるサンゴ礁の生態系及び景観の価値評価』 沖縄：亜熱帯総合研究所。
- 平良栄康
2006 「5 観賞用サンゴ流通実態調査 1. 日本における観賞用サンゴの流通実態調査」『海洋関連産業ビジネス創出促進調査』 pp.49–57, 沖縄：(株)トロピカルテクノセンター・(財)亜熱帯総合研究所共同企業体。
- 土屋 誠
2004 「2. サンゴ礁の生態系機能と環境収容力」『太平洋島嶼地域における専門家会議—環境・保健・人材育成』 pp.32–34, 沖縄：亜熱帯総合研究所。
- 西平守孝
1996 『足場の生態学』 東京：平凡社。
2006 「伸縮性素材を用いたサンゴ片の新たな固定法」『名桜大学総合研究所紀要』9: 71–75。
2007 「サンゴ片移植によるサンゴ群集創出における逐次多回移植法」『日本サンゴ礁学会第 10 回大会講演要旨集』 p. 87。
- 藤原秀一・大森信
2004 「5-1 修復と再生の技術」『日本のサンゴ礁』 pp.142–151, 環境省・日本サンゴ礁学会。
- 藤原秀一・山田幸一郎
2007 「八重山群島石西礁湖におけるサンゴ礁再生プロジェクト」『Civil Engineering Consultant』 234: 46–49。

山本克則・宮城清・和山通年・大場英雄・日野林穰二

2007 「慶良間諸島における網状基盤を用いたサンゴ群集再生の試み」『日本サンゴ礁学会第10回大会講演要旨集』p.85。

山本秀一・高橋由浩・田村圭一

2003 『海の自然再生ハンドブック 第4巻サンゴ礁編』国土交通省港湾局。