

有性生殖によるサンゴ増殖とサンゴの面的保全技術

○山本秀一・田村圭一・岡田 亘 (株エコー),
 完山暢・中村良太 ((一社) 水産土木建設技術センター),
 小松俊晶・米澤泰雄 (国際航業株),
 鈴木 豪 ((国法) 水産研究・教育機構 水産技術研究所),
 不動雅之・井上真仁 (水産庁)

1. はじめに

サンゴの中でも骨格を形成し褐虫藻を体内に共生させるものが造礁サンゴと呼ばれる。また、造礁サンゴや有孔虫等の石灰質によって作られた地形がサンゴ礁である。サンゴ礁は多様な機能を有しており、水産生物の生産の場としての機能、美しい景観による観光資源としての機能、天然の防波堤としての防災機能や教育学習の場としての機能等を有している。

環境や人間の活動に重要な役割を果たすサンゴ礁であるが、近年は高水温による白化現象やオニヒトデに代表される食害生物による食害、陸上開発による赤土の流入等によって、サンゴ群集の衰退が深刻化している。日本最大のサンゴ礁である沖縄県石垣市の石西礁湖では2016年夏に起きた大規模な白化現象により「全体が死滅したサンゴ群集」の割合が70%に達し¹⁾、サンゴ礁の衰退に伴う沿岸資源の漁獲量の減少が危惧されている。サンゴが大規模に衰退した翌年には産卵可能な親サンゴが少なくなるため、サンゴの卵や幼生の供給が減少し、サンゴ礁の再生が遅れる。

このような状況の中、サンゴ礁の保全・回復に向けた活動が広がりを見せている。その多くは天然のサンゴ群集を断片化して海域に移植する方法である。サンゴは群集から折れた破片が海底に再固着して成長することが可能である。この性質を利用した方法が無性生殖によるサンゴ増殖手法である。無性生殖によるサンゴ増殖はドナーとなるサンゴを傷つけるだけでなく、クローンで遺伝的多様性が低いため次世代の受精率が低く、中長期的な再生産力が有性生殖に比べて下回ることが懸念されている²⁾。

水産庁は、平成19年(2007年)度より「厳しい環境条件下におけるサンゴ増殖技術開発実証委託事業」をスタートし、サンゴの増殖に向けた技術開発を開始した。対象海域は沖ノ鳥島海域および沖縄県石垣島周辺海域とした。本事業におけるサンゴ増殖手法は前述の無性生殖によるサンゴ増殖手法に対し、有性生殖によるサンゴ増殖手法としている点が大きな特徴である。造礁サンゴの生活史

を図-1に示す。水産庁事業において実施した有性生殖によるサンゴ増殖手法の最大のメリットは、親サンゴを傷つけることなく遺伝的に多様なサンゴを大規模に種苗生産できる点である。有性生殖によるサンゴ増殖手法には高度な技術を要することから、水産庁事業において技術開発を進めた。平成21年度までの技術開発成果をとりまとめた平成21年度版³⁾を、平成22~29年度の成果をもとに大幅に改訂して「改訂有性生殖によるサンゴ増殖の手引き(水産庁漁港漁場整備部、平成31年3月)」(以下、手引き)として公開した⁴⁾。手引きは水産庁ホームページ内の下のURLよりダウンロードが可能である。

https://www.jfa.maff.go.jp/j/seibi/sango_tebiki.html

ここでは、手引きの概要を説明する。なお、水産庁事業では世界的に多くの知見が得られているミドリイシ類(特にウスエダミドリイシ)を主な対象として技術開発を行った。



図-1 造礁サンゴの生活史(有性生殖)

2. 手引きの構成

手引きは、総論、サンゴ面的増殖技術、参考資料の3編で構成されている。

第I編は、サンゴやサンゴ礁の特性や機能とサンゴ礁を取り巻く現状に加え、サンゴの増殖計画のフローとその主要項目の概論について解説されている。

第II編は、第1章でサンゴ面的増殖技術の基本的な考え方を「種苗生産」「中間育成」「移植」の流れに沿って解説した後、第2章では陸上施設での種苗生産によるサン

ゴ面的増殖技術について、第3章では海上で種苗生産を完結できる「幼生収集装置」を用いた面的増殖技術について解説されている。

第III編では、水産庁が事業の中で開発したモニタリング手法、技術を解説した3つの技術ノートに加え、前編までに記載された幼生収集装置の特徴・材料・費用の詳細、サンゴ礁での現地調査において必要となる関係機関への諸手続きについて紹介されている。

手引き中核となる第II編「サンゴ面的増殖技術」の概要を以下に示す。

3. サンゴ面的増殖技術の概要

サンゴ面的増殖技術とは、有性生殖法によってサンゴ種苗を大量に生産し、これを中間育成して移植することで、面的に増殖する技術である。技術の概要を表-1に示す。

表-1 サンゴ面的増殖技術の概要

種苗生産	中間育成	移植
陸上施設の水槽内で生産	実海域の中間育成施設にて移植	選定した移植適地へ移植し、
実海域の幼生収集装置で生産	サイズまで育成	移植後には育成管理を実施

有性生殖による種苗生産は、サンゴの一斉産卵を利用して幼生を着床具に着生させて中間育成まで育てる技術で、表-1のとおり陸上の種苗生産施設を用いる方法と、実海域にて幼生収集装置を用いる方法に大別される。両方法とも、自然環境においては初期生残が非常に低いサンゴに適正な育成環境を与えることで初期減耗を抑え、大量の種苗を生産することが可能となる。また、2つの方法のうち海域の条件に適した方法を選択することが可能となる。幼生収集装置の詳細は後述するが、サンゴの卵や精子が通過できない程度の膜で作られた筒状の装置である。交配可能な同種の成熟サンゴ(以下、親サンゴ)を装置直下に配置することで、装置内へ卵と精子を効率的に収集し、高確率で受精させて大量のサンゴ幼生を収容・保持可能である。さらに、幼生を保持する装置内に着床基盤を配置することでサンゴ幼生が基盤に着生し、実海域でサンゴ種苗を生産できる。

中間育成の段階では、実海域に設置した中間育成施設において移植に適した大きさとなるまで種苗生産されたサンゴを育成する。中間育成施設は対象とするサンゴの育成に適した環境を確保できるよう、流況・形状・材質・光量・天端高等を考慮する必要がある。また、設置海域の環境に適した設計とすることも重要である。例えば、波浪等の影

響が激しい海域ではコンクリート製や鋼製等の安定した施設が必要となり、魚類やオニヒトデ等による食害が懸念される海域ではカゴ型の施設とする必要がある。



図-2 中間育成施設のイメージ

上：波浪等が激しい場合（コンクリート製）

下：食害の懸念がある場合（カゴ型）

移植の工程では、中間育成施設で適したサイズまで育成したサンゴを移植適地に植え付ける。移植適地を選定する際は、図-2に示すように水深・基質・水温・流況等がサンゴの成育に適した環境か、移植したサンゴが成長して親サンゴとなった際に再生産に有効か、等の条件から移植先を絞り込むことが重要である。また、移植後のモニタリングや、成長や生残を高めるための育成管理も重要である。

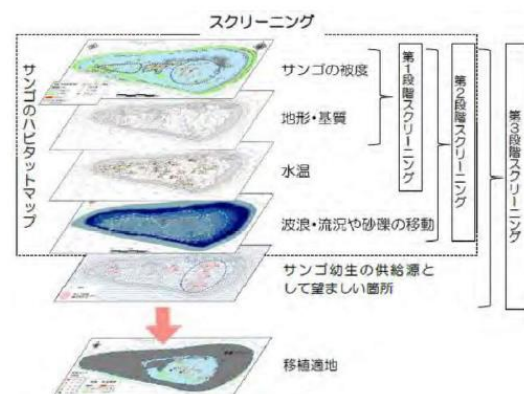


図-3 移植適地絞り込みの概念

4. 陸上施設での種苗生産によるサンゴ面的増殖技術

前述のようにサンゴ面的増殖技術は種苗生産の方法により2つに大別される。水産庁における事業では沖ノ鳥

島海域での実証を主としている。沖ノ鳥島は海況条件が厳しく、作業の可能な日数・回数が限られる。そのため、海況に制限され、10日間程度の現地滞在が必要となる幼生収集装置による種苗生産は適しておらず、陸上施設での種苗生産によるサンゴ面的増殖が採用されている。

沖ノ鳥島におけるサンゴ面的増殖技術の作業フローは、親サンゴの採取・運搬、陸上施設での種苗生産、中間育成、移植の4段階に分けられる。

沖ノ鳥島における親サンゴの採取・運搬の状況を図-4に示す。健康かつ産卵可能な親サンゴを採取し、状態を確認しながら丁寧に運搬する。採取するサンゴは受精率を高めるために6群体以上であることが望ましい。また、沖ノ鳥島から種苗生産施設までの親サンゴの運搬においては、光・水温・流速等に留意した適切な飼育管理を行う。



図-4 サンゴの採取と運搬時の船上水槽

陸上施設での種苗生産では、搬入された親サンゴを水槽内の適切な環境で飼育し、産卵によって放出されたバンドル(卵と精子が集合した塊)から得られた卵と精子を受精させ幼生とする。さらに幼生を着床具に着生させ、稚サンゴへと変態させうえて適切な飼育環境で飼育する。

また、陸上の種苗生産施設には、様々な立地条件や設備等が必要となる。まず、サンゴの飼育に適した水温・水質の海水が取得可能で、近隣にサンゴの産卵に影響を与える光源がない、等の立地条件があげられる。設備面等においては取水設備・エアレーション設備・建屋・水槽等の設備、サンゴ種苗を生産・飼育する技術を有する研究員・

作業員等の人員も必要となる。

中間育成と移植の段階では、陸上施設での種苗生産によるサンゴ面的増殖技術と幼生収集装置を用いた種苗生産によるサンゴ面的増殖技術に大きな違いはない。ただし、陸上施設で種苗生産を実施した沖ノ鳥島の事例では、中間育成施設を設置する沖ノ鳥島海域の海象条件が厳しいことからコンクリート製の中間育成施設を用いている。中間育成し、移植に適したサイズとなったサンゴを移植適地へと移植する。

5. 幼生収集装置を用いた種苗生産によるサンゴ面的増殖技術

本技術の作業フローは、幼生収集装置を用いた種苗生産、中間育成、移植の3段階に分けられる。

幼生収集装置は、卵・精子の収集、幼生の保持・育成、着床具への着生を1つの装置内で実施することが可能である。幼生収集装置の全景を図-5に示すとともに幼生収集装置による種苗生産のイメージを図-6に示す。

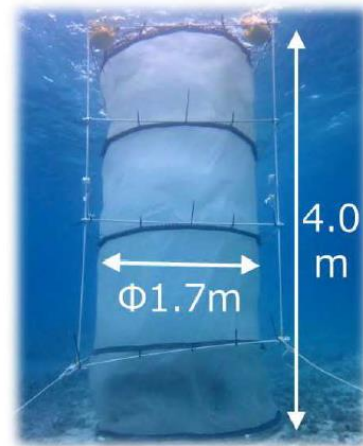


図-5 幼生収集装置の全景

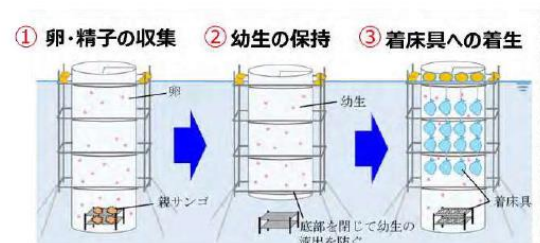


図-6 幼生収集装置による種苗生産のイメージ

幼生収集装置を設置する際には、設置に適した条件の場所を選定する。満潮時でも幼生収集装置が水没しないこと、装置の固定に鉄筋棒を打ち込むため砂礫底である

こと等が選定の条件となる。また、装置は折り畳み式となっているため、運搬・海中での展開がしやすいことも特徴の一つである。

海底に複数の親サンゴを配置した上で、幼生収集装置を設置すれば、産卵によって親サンゴから放出されたバンドルは浮力によって海面まで上昇し、弾けて卵と精子となり受精する。この際に自家受精はしないため、複数群体の親サンゴが必要である。受精卵はプラナラ幼生になると鉛直移動するため、幼生収集装置底部のファスナーを閉塞することで幼生を内部に保持することができる。

幼生は産卵後 4 日程度で着底機能を持つようになるため、このタイミングで着床具を幼生収集装置内に設置すると幼生が着床具に着生しサンゴ種苗が得られる。幼生収集装置には産卵から着床までに生じる流失や捕食等の初期減耗を飛躍的に低減する効果が確認されている⁵⁾。

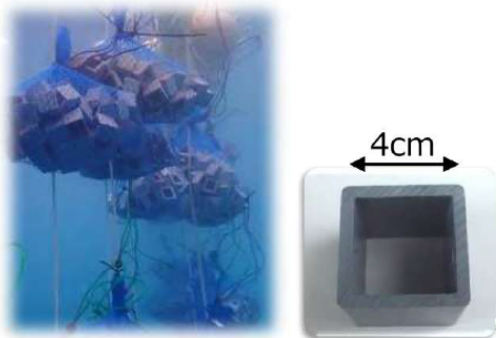


図-7 着床具の設置状況(左)と角筒型着床具(右)

幼生収集装置による種苗生産に適した着床具として角筒型着床具(図-7)を開発した。角筒型着床具は、通水性が高く浮泥が堆積しにくい、魚類の食害を軽減する、適度な光量環境を提供する等の機能を有しており、天然海域では著しく低いサンゴの初期生残を大きく向上させる⁶⁾。

中間育成と移植の工程は2つのサンゴ面的増殖技術で共通となるが、幼生収集装置により種苗生産を実施した場合は、種苗生産後に0歳齢時点でサンゴ種苗を中間育成施設で育成可能である点で大きく異なる。使用される中間育成施設は沖ノ鳥島の事例に比べて簡易な施設を用いる場合が多い。これは、幼生収集装置が設置可能な静穏な海域で実施されることが多いためである。

6. 今後の展望

直径 30cm 程度の中ドリイシ類のサンゴ群体は約 30 万個を産卵する⁷⁾。自然環境下では 30 万個のうち 1 群体以上が無事に親サンゴに成長できればサンゴ群集は衰退しないことになる。サンゴは卵や幼生や稚サンゴの生残率

がきわめて低い多産性の生物である。さらに、高水温に伴う白化等の大規模攪乱の影響で親サンゴの群体数が減少している。親サンゴが減少すると、生まれた卵が受精する機会も減少するため、サンゴ群集の衰退は加速される。

本手引きに示した技術は、人為的にサンゴの受精機会を増やし、移流拡散や魚類による捕食から卵や幼生を守るために陸上水槽や幼生収集装置や角筒型着床具を用いてサンゴの初期生残率を飛躍的に高める技術である。

さらに、このような有性生殖により生産した遺伝的多様性を有する種苗を育成し、サンゴの幼生供給基地⁸⁾が整備されることが期待される。多くの技術を総合的に活用することで、幼生供給基地から放出された卵や幼生の初期減耗を低減し、親サンゴにまで成長できる群体数を増やすことができれば、サンゴ群集の衰退を止めることができると考えられる。

水産庁では、これまでに開発された技術をさらに発展させるため、「厳しい環境条件下におけるサンゴ礁の面的保全・回復技術開発実証委託事業」を平成 30 年度より進めている。この事業では、より効率的・面的にサンゴ礁を保全・回復する技術の開発を目指している。サンゴ礁を保全・回復させるためには、サンゴ幼生の供給力を高め、加入したサンゴの生残を高める必要があることから、「サンゴ幼生を広範囲に効率的に供給・着底させる技術」と「高温耐性を持つサンゴを増殖・生産する技術」という 2 つのメインテーマに沿って技術開発を進めている。

参考文献

- 1) 環境省：西表石垣国立公園 石西礁湖のサンゴ白化現象の調査結果について, 2017.
<http://www.env.go.jp/press/103439.html>
- 2) 日本サンゴ礁学会サンゴ礁保全委員会, 造礁サンゴ移植の現状と課題, 日本サンゴ礁学会誌第 10 巻, 2008.
- 3) 水産庁漁港漁場整備部：有性生殖によるサンゴ増殖の手引き 平成 21 年 3 月, 2009.
https://www.jfa.maff.go.jp/j/gvoko_gvozyo/g_hourei/pdf/sub7931.pdf
- 4) 水産庁漁港漁場整備部：改訂有性生殖によるサンゴ増殖の手引き 平成 31 年 3 月, 2019.
https://www.jfa.maff.go.jp/j/seibi/sango_tebiki.html
- 5) 岡田亘ら：サンゴ幼生の収集・保持・着生装置の開発, 日本水産工学会学術講演会論文集, 31-34, 2016.
- 6) 山本秀一ら：サンゴ幼生供給基地によるサンゴ礁再生のための技術開発, 日本水産工学会学術講演会論文集, 108-110, 2017.
- 7) 大森信・岩尾研二：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, AMSL, 63p, 2014.