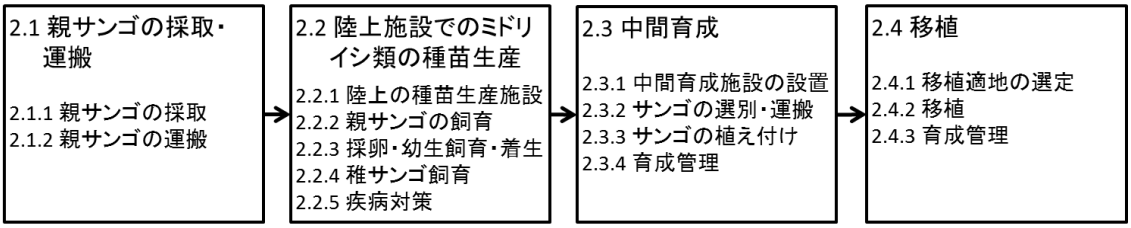
２．陸上施設での種苗生産によるサンゴ面的増殖技術

陸上施設での種苗生産は、海象条件に左右されず安定した種苗生産を行うことが可能である。

以下に、沖ノ鳥島での実証事例を基にして、種苗生産から移植までのサンゴ面的増殖技術の一連の作業について解説する。沖ノ鳥島におけるサンゴ面的増殖技術の作業フローは図Ⅱ.2-1 に示す通りである。



図Ⅱ.2-1　沖ノ鳥島におけるサンゴ面的増殖技術の作業フロー

２．１　親サンゴの採取・運搬

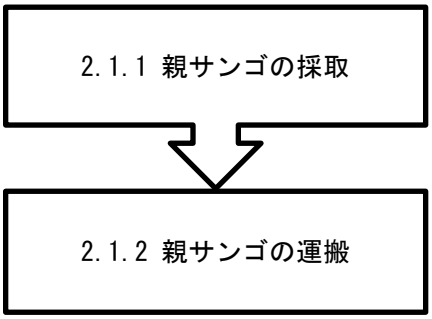
親サンゴの採取は事前に計画を立て、健康かつ産卵直前の親サンゴを、種苗生産に必要な群体数（できれば 6 群体以上）を決めて採取する。また、採取した親サンゴは、状態を確認しながら丁寧に大型船舶へ運び込み、光、水温、流れ等に留意した適切な飼育管理で、陸上の種苗生産施設まで運搬する。

【解説】

沖ノ鳥島は、孤立性、隔絶性の強い島であるため、その海域に生息するサンゴが沖縄本島沿岸等に生息するサンゴと遺伝的に異なる可能性があり、遺伝的攪乱に注意する必要がある。また、沖ノ鳥島の場合は、地理的な条件と厳しい波浪条件により、サンゴの管理が難しい。

これら 2 つの要因から、沖ノ鳥島においてサンゴ面的増殖を行う場合には、親サンゴを採取して沖縄本島等の沿岸まで運搬して、陸上の種苗生産施設で種苗生産を行い、できた種苗を沖ノ鳥島まで運搬して中間育成した上で移植する必要がある。親サンゴや種苗生産したサンゴの運搬には、沖縄本島等の沿岸と沖ノ鳥島の間の航行と作業員の寝食が可能な居住空間を確保できる性能があって、加えて礁内の作業用として小型船舶数隻とサンゴを運ぶための水槽が搭載可能な大型の作業船(以下、大型船舶）が必要となる。

親サンゴの採取・運搬のフローは、図Ⅱ.2-2 のとおりである。



図Ⅱ.2-2　親サンゴの採取・運搬

２．１．１　親サンゴの採取

親サンゴの採取は、採取時期や採取群体のサイズ、採取数を事前に計画し、採取対象の親サンゴにストレスを与えないよう丁寧に採取する。また、採取後は直ちに運搬せず、海域で一旦仮置きをして、採取によるストレスの緩和を図る。

【解説】

１）親サンゴの採取計画の策定

採取時期は、表Ⅰ.1-2（**第Ⅰ編 1.2 サンゴの生活史を参照**）を目安に、産卵期の直前を設定する。

採取する親サンゴを選ぶ際には、健康で成熟したサンゴであり、かつ運搬が容易なサイズでもある長径 30cm 程度を選ぶとよい。該当サイズのサンゴが無い場合は、より大きな群体の一部を採取することもある。サンゴの成熟状況は、群体の一部を切断し、ポリプ内に産卵直前のピンク色の卵を有しているかどうかで判断できる（図Ⅱ.2-3）。

図Ⅱ.2-3　サンゴの切断面
（ピンク色が産卵直前の卵）

採取群体数については、多くのミドリイシ属が雌雄同体で他家受精であるため、種類毎に少なくとも遺伝的に異なる（クローンではない）2 群体以上が必要である。ただし、群体のサイズ、健康状態等によっては、受精率が低くなる場合もあるため、群体数とあわせて親サンゴの状態にも注意が必要である。Iwao et al.（2014）は、水槽中に親サンゴが 6 群体あれば、受精率は 90%以上を概ね確保できると報告しており、沖ノ鳥島の事例では、対象種 3 種類（ウスエダミドリイシ、*Acropora globiceps*、*A.* sp. aff. *divaricata*）ごとに 6 群体以上の親サンゴを採取した。

２）親サンゴの探索

親サンゴの探索は、サンゴ分布調査を参考に対象種が分布するおおよその場所を想定し、その場所を基点にして探索を開始する。探索時には、船上に採取用の器具および運搬用の容器を携帯しておき、対象種を発見した場合は、発見場所の海底の状況の写真を撮影するとともに、GPS による位置出しを行い、成育状況について気づいた点を水中ノートに記録する。

３）親サンゴの採取

親サンゴに直接ストレスを与えないように、ハンマーとタガネを用いてサンゴの基部から採取する。ただし、骨格の折れやすい種類（*A.* sp. aff. *divaricata* 等）は、石切り用鋸を用いて基部を切断して採取する。採取作業時は、人体の熱の影響を低減するため、手袋を着用しサンゴに素手で触れることは避ける。親サンゴの採取道具および採取状況を図Ⅱ.2-4 に示すとおりである。

採取道具

ハンマー・タガネによる採取

石切り用鋸による採取

採取したサンゴ群体

図Ⅱ.2-4　親サンゴの採取状況

４）採取後の親サンゴの仮置き

採取した親サンゴは、効率的に作業を進めるため、また採取による損傷等の状態を確認するため、しばらくの間は採取場所の近傍に仮置きしておく。沖ノ鳥島の事例では、1～2日間仮置きしている。

仮置き場所は、荒天時でも波浪の影響が小さく、周辺にサンゴが分布する場所を選定する。このような場所がない場合には、波浪でサンゴ群体が移動・動揺しないように、平らな安定した基盤を用意し、基盤にサンゴを結束バンドやロープ等で固定する（図Ⅱ.2-5）。また、サンゴ群体をかじる魚やオニヒトデ等の食害動物、強い光の影響を回避するため、仮置き場所を食害防止ネットや遮光ネットで覆って保護をする。仮置き期間中は、粘液を出す頻度、触手の伸長状況や白化の有無を観察し、良好な状態のサンゴを運搬対象とする。なお、状態が悪いと判断されたサンゴは、水中エポキシ樹脂接着剤を使用して採取場所へ戻す。

図Ⅱ.2-5　親サンゴの仮置き

５）必要な資材・機材

表Ⅱ.2-1 に示す資材・機材を準備し、作業の規模に応じて必要な作業員を配置する。

表Ⅱ.2-1　親サンゴの採取に必要な資材・機材

項　目	資　材　・　機　材
探索・採取	小型船舶、潜水器材、水深計、水中時計、水温計、GPS、ハンマー、タガネ、石切り用鋸、水中カメラ、水中ノート、手袋など
仮置き	潜水器材、安定した基盤、結束バンド、ロープ、食害防止ネット、遮光ネット、水中エポキシ樹脂接着剤、手袋など

２．１．２　親サンゴの運搬

採取した親サンゴは、小型船舶で仮置き場から大型船舶まで運搬し船上水槽に入れて、陸上の種苗生産施設まで長距離運搬する。長距離運搬中は、光、水温、流れ等に留意した適切な飼育管理を行う。

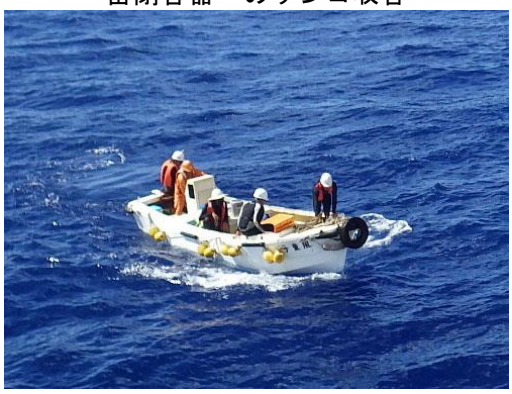
【解説】

１）仮置き場から大型船舶までの運搬

仮置き場において親サンゴの良好な状態を確認し、ビニール製の緩衝材で包み、親サンゴの寸法よりもひとまわり以上大きい蓋付きの密閉容器の中に入れ、海水に浸した状態で空気に曝さずに小型船舶まで運搬する。小型船舶に積込み後、容器を遮光ネットで覆い、適宜散水しながら大型船舶まで運搬する。

密閉容器へのサンゴ収容

潜水士による小型船舶までの運搬



小型船舶

運搬中の遮光（小型船舶）

図Ⅱ.2-6　親サンゴの船舶までの運搬

大型船舶上には、親サンゴ運搬用飼育水槽（図Ⅱ.2-7）を設置する。設置にあたっての主な留意点を以下に示す。

①水槽は、複数の親サンゴを間隔に余裕がある状態で収容でき、かつ水温変化をなるべく緩やかにするため水量を多く保持できる、適切な規模のものを使用する。沖ノ鳥島の事例では、水槽は１ｔ水槽（W845×L1565×H450mm）を使用し、水槽１槽につき長径30cm 程度の親サンゴを 6～8 群体収容した。

②船舶の揺動による水槽内の海水流出を防止するため、水槽に透明な蓋を取り付ける。水槽と蓋の隙間に防水性のクッションテープを貼り、蓋をクリップ等で固定するなどして、水槽を密閉する。

③屋外に設置する場合は、強い光の影響や水温上昇を抑制するため、水槽を遮光ネットで覆う。運搬日数が数日間であれば、光量が採取場所より低くても問題はない。

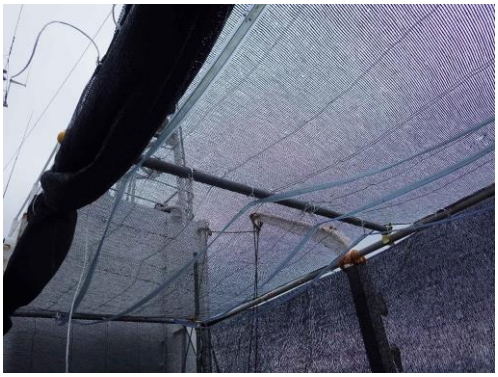
④屋外に設置する場合は、水槽内の水温上昇を抑制するため、散水ホースを取り付けて、雨天時以外は水槽に蓋をした状態で常時散水する。

⑤サンゴは呼吸等のために流れを必要とするため、水槽内に流水ポンプを設置する。

⑥海水を流入して水槽の換水ができるように、外海水を汲み上げる揚水ポンプおよびポンプ用のホースを準備する。

①船上水槽（全景）

②蓋・クリップ



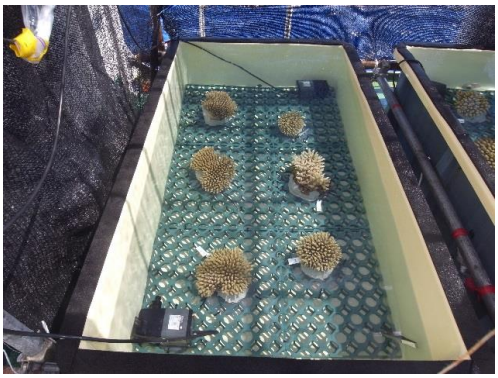
③遮光ネット・④散水ホース

⑤流水ポンプ

図Ⅱ.2-7　船上水槽の設備

上記の船上水槽に親サンゴを搬入する際は、事前に水槽に海水を満たしておく。収容時に密閉容器の蓋を一部分開け、容器ごと飼育水槽に入れて水温を馴致させる（図Ⅱ.2-8）。水槽と容器の水温に差がなくなったら容器から親サンゴを取り出し、転倒を防止するため水槽内に設置した固定用資材（プラスチック製）に親サンゴを固定する（図Ⅱ.2-9）。作業時は、人体の熱の影響を低減するため、手袋を着用するなどして親サンゴに素手で触れることは避ける。

図Ⅱ.2-8　水温馴致の状況



図Ⅱ.2-9　親サンゴ収容状況

２）長距離運搬中における親サンゴの飼育管理

沖ノ鳥島から沖縄本島等の沿岸域までの長距離運搬には数日を要するため、運搬中は親サンゴの飼育管理として表Ⅱ.2-2 に示す作業項目を実施し、作業の実施回数や時間、作業時の状況などを記録する。

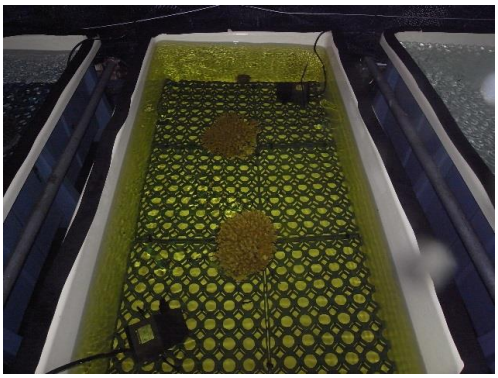
水槽内は、運搬元の海域の水温から次第に運搬先の海域の水温に合わせていくように、海水交換を行いながら水温を調整する。運搬中は連続的に清浄な外海水を得ることが難しいため、定期的に停船し、外海水を揚水ポンプで汲み上げて水槽の 1/3 量を目安に海水交換をする。ただし、急激に水槽内の水温を変化させないため、水槽内の水温と汲み上げ海水との水温差を計測して、1 回あたりの交換量や 1 日あたりの交換回数を調整する方がよい。沖ノ鳥島の事例では、海水交換は 1 日に 3 回以上行った。なお、船舶の揚水システムには、海水に殺菌用塩素を混入する場合があるので、その場合は、別途揚水ポンプを用意して清浄な外海水を汲み上げる必要がある。

海水交換時には、親サンゴの状態を確認・記録する。親サンゴに白化や粘液放出等の異常が確認された場合は、即座に海水流入を停止し、親サンゴの様子を注意深く観察する。一部の親サンゴに白化や粘液の放出等の異常が確認された場合は、それらを予備水槽に隔離し観察する。状態が改善しない場合には、疾病対策として水産用薬剤（ニフルスチレン酸ナトリウム）を投与し薬浴する（図Ⅱ.2-10）。観察時に底面や海水中に有機物等の堆積物が確認された場合は、スポイト等により個別に吸引排出を行う。

表Ⅱ.2-2　船上飼育の作業

項目	実施頻度	備　考
海水交換	3 回/日	1 回につき 1/3 の水量を換水
稚サンゴの観察	3 回/日	写真撮影を実施
水温確認	3 回/日	適宜実施
散　水	常時（24 時間）	雨天時は実施しない
水槽の掃除	換水時に適宜実施	有機物等が確認された場合

水産用薬剤



隔離した親サンゴの薬浴

図Ⅱ.2-10　水産用薬剤による親サンゴの薬浴

３）必要な資材・機材

表Ⅱ.2-3 に示す資材・機材を準備し、作業の規模に応じて必要な作業員を配置する。

表Ⅱ.2-3　親サンゴの運搬に必要な資材・機材

項　目	資　材　・　機　材
仮置き場から大型船舶までの運搬	小型船舶、潜水器材、手袋、密閉容器（直径 30cm 以上の蓋付きバケツ等）、緩衝材、遮光ネットなど
親サンゴの飼育管理	水槽、水槽用の透明蓋、クッションテープ（防水性）、蓋留め用クリップ、サンゴ固定用資材（水槽内の底敷き）、結束バンド、単管やぐら、遮光ネット、撒水ホース、揚水ポンプ、揚水ポンプ用ホース、流水ポンプ、水温計、野帳・筆記具、水産用薬剤（ニフルスチレン酸ナトリウム）、スポイト、手袋など

２．２　陸上施設でのミドリイシ類の種苗生産

他地域から持ち込んだ親サンゴは、水槽にて適切な飼育環境下で飼育する。これらの親サンゴが産卵した卵を用いて種苗生産を行うが、卵の受精は適切な精子密度と受精時間で行う必要がある。卵は産卵から約４日後に着生できる状態の浮遊幼生となるので、着生・変態を誘引するバクテリアや石灰藻が付着した着床具に幼生を着生させ、稚サンゴへと変態させる。稚サンゴは、水槽において適切な飼育環境下で飼育する。

【解説】

１）陸上施設でのサンゴ種苗生産の手順

サンゴの有性生殖には放卵放精型と幼生放出型（幼生保育型）がある。放卵放精を行うサンゴの陸上施設を用いた種苗生産の基本的な作業手順は以下のとおりである。

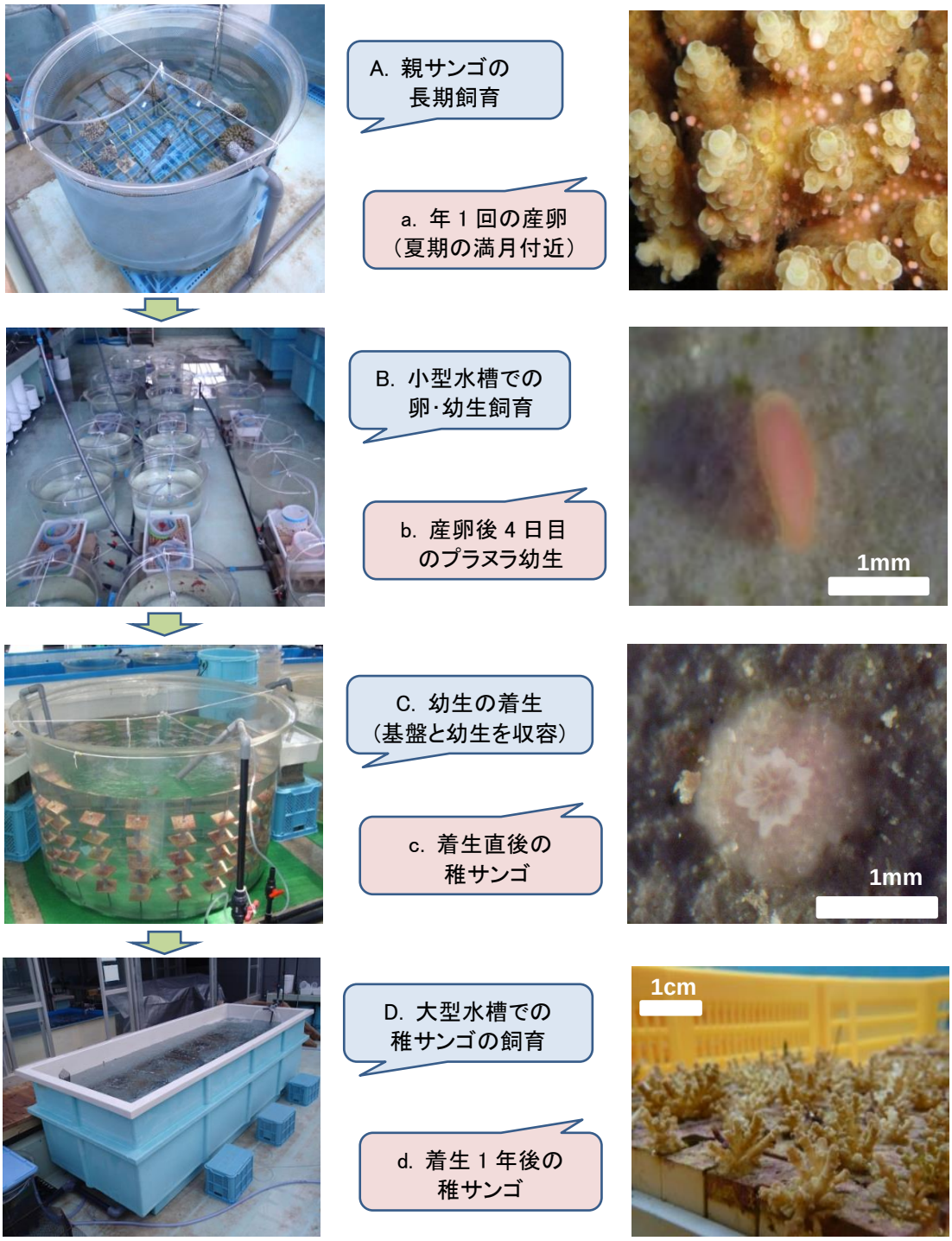
有性生殖により種苗を確保するためには、海域から採取した親サンゴを陸上の種苗生産施設で長期間飼育し、産卵させる必要がある（図Ⅱ.2-11、A）。種により産卵月は異なるが、親サンゴの産卵は、基本的には年に１回、夏期の満月付近において行われる（図Ⅱ.2-11、a）。ただし、海域では、各サンゴ群集が同調して産卵を行うことが一般的であるが、水槽内では、水槽間ならびに同じ水槽で飼育している群体間でも、産卵日が数日ずれるケースが多々見られる。

産卵された卵と精子を採集し、受精させた後、受精卵を小型水槽に収容し飼育を開始する（図Ⅱ.2-11、B）。受精卵は、約２日後に幼生となり約４日後には着生可能な幼生となる（図Ⅱ.2-11、b）。着生可能かどうかは、幼生が棒状となって、水槽の底面に垂直に引っ付こうとする行動を示すことにより判断できる。

幼生が着生可能な段階になったら、着床具を収容してある着生用水槽に幼生を入れて着生を行わせる（図Ⅱ.2-11、C）。着床具には、予め表面に着生誘引バクテリアを付着させるため、約１か月間海域に浸漬しておく必要がある。着生用水槽内の幼生は、収容後すぐに基盤へ付着し、徐々に変態し約２日後には稚サンゴとなる（図Ⅱ.2-11、c）（写真は着生３日後の稚サンゴ。骨格が形成され始めている）。着生期間は、基盤の状態により異なる。数か月間海域に浸漬し、多量の石灰藻やバクテリアが付着している着床具では、幼生は２日程度で着生を完了するが、２週間程度の浸漬で石灰藻やバクテリアが少ない場合には、着生完了まで１週間程度を要する場合がある。

着生完了後、稚サンゴの付いた着床具を大型水槽へ移し、適切な環境のもとで稚サンゴの飼育を行う（図Ⅱ.2-11、D）。稚サンゴ飼育期間中の生残率を高めるためには、後述のように、光の量、水温、水流などの水槽内の環境を適切な状態に保つ必要がある。水槽内では、約１年間稚サンゴを飼育し、約１歳齢の稚サンゴは直径約15㎜に成長する（図Ⅱ.2-8、d）。

ミドリイシ属サンゴはほとんどの種が放卵放精型であることから、上記の手法にて種苗生産ができる。また、ハナヤサイサンゴ等の幼生放出型のサンゴについては、放出された幼生はすでに着生能力を持っていることから、上記の着生用水槽に幼生を収容する段階以降の手順において種苗生産することができる。



図Ⅱ.2-11 有性生殖法によるサンゴ種苗生産の作業手順

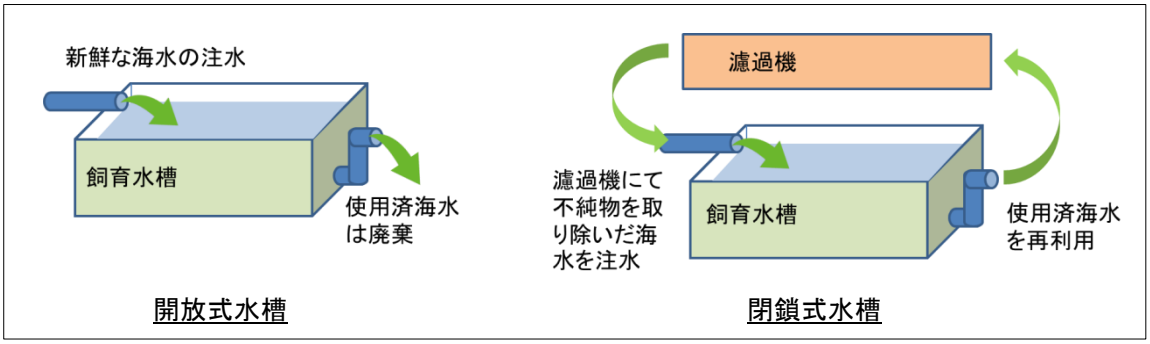
２）開放式および閉鎖式水槽について

開放式とは、常時海水を水槽内に注水し、飼育水を交換する方法である（図Ⅱ.2-12、A）。この方法では、清浄な海水が常時利用できるため水質の管理は比較的容易であり、また設備に係る費用は低い。しかし、多量の海水を必要とするため、施設の設置場所は、揚水が

容易である沿岸地域に限定される。水産有用種の種苗生産においては開放式水槽が多く用いられている。また、水族館では、沖縄の美ら海水族館がこの方式を用いている。

閉鎖式とは、水槽に入れた海水をろ過器等により浄化しながら使用する方式である（図Ⅱ.2-12、B）。海水の交換をまったく行わない方法を完全閉鎖式と呼ぶが、多くの場合、定期的に飼育水の一部を新しい海水に交換している。また、天然海水と人工海水を混ぜて使う場合も少なくない。海水浄化および循環のための設備と維持に経費がかかる。周辺に海がない都会や清浄な海水が近傍より汲み上げられない水族館の場合はこのタイプの水槽を用いている。

サンゴは、水質に非常に敏感な生物であるため、常に飼育海水を清浄な状態に保っておく必要がある。また、大量種苗生産を行う際には、設備の初期投資や維持費を低く抑えるとともに、これらの機材の管理の手間を少なくする必要がある。このため、サンゴの飼育や種苗生産には開放式の水槽を用いることが望ましい。



図Ⅱ.2-12 開放式および閉鎖式水槽の仕組み

２．２．１ 種苗生産施設

サンゴの種苗生産は、海水および光に関して適正な飼育環境条件を確保できる施設で行うとともに、必要な資材・機材ならびに適正な人員数を確保したうえで実施する必要がある。

【解説】

以下に種苗生産施設の設置条件を示す。

１）立地条件

サンゴの飼育には清浄で水温の日較差（日最高水温と日最低水温の差）が小さい海水を大量に要する。また、サンゴは共生褐虫藻が行う光合成より多くの栄養を得ている。このため、種苗生産施設は、水質汚染および一日の水温変動が少ない海域の沿岸地であり、かつ水槽に十分に光が入るような場所に設置することが望ましい。

さらに、サンゴの産卵日と時刻は光の影響を受ける可能性があるため、なるべく施設の周辺に人工的な光源（街灯や建物の照明など）がない方がよい。難しい場合には、遮光カーテン等で光を遮る工夫が必要である。

２）必要設備

(1) 取水設備

親および稚サンゴを開放式水槽にて飼育する場合、換水率を高め、飼育水槽の水温の日較差をより小さくすることにより生残率が向上する傾向がある**（適正な換水率については、第Ⅱ編 2.2.2 親サンゴの飼育 1）飼育条件および 2.2.4 稚サンゴ飼育 2)稚サンゴの飼育条件を参照）**。このため、取水設備（汲み上げポンプ、配管）の設計・設置にあたっては、適正な換水率と使用する水槽の容量、ならびに損失水頭（送水中における配管内での水圧の低下）から海水の汲み上げ量を計算し、十分な量の海水が確保できるように留意する。

なお、十分な換水を行えない場合は、チラー、地下浸透海水やヒーターを用いて水温の温度管理を行う方法がある。

(2) エアレーション設備

親・稚サンゴの飼育水槽の海水は、以下の目的のために適切に循環させる必要がある。水槽の海水を循環させるには、一般的にエアレーションやポンプを利用するが、前者のほうが効率的に淀みの少ない水流を作ることができる。

⑦　海水が淀むことにより悪性細菌が増えることを防ぐ
⑧　サンゴ自体に適切な水流を当て、不要物を取り除き、新陳代謝を促す
⑨　光の揺らぎをつくって水中照度を下げ、直射日光によるストレスを軽減する

(3) 建屋

卵および幼生の飼育は、風雨を防ぐことができ、また太陽光が直接入らない室内で行う必要がある。卵と幼生の飼育水槽の換水率は低いため、太陽光や風雨により水温が急激に変化しやすい。水温の変化が大きくなると、卵および幼生の生残率が低くなる傾向がある。

親・稚サンゴの飼育は屋外でも可能であるが、台風対策や作業のし易さから、屋内に水

槽を設置することが望ましい。サンゴ飼育には十分な光量の確保が必須であることから、建屋の屋根や壁はポリカーボネイトなどの透明な材質とする。簡易的な飼育施設として、ビニールハウスも利用可能である。

(4)飼育水槽

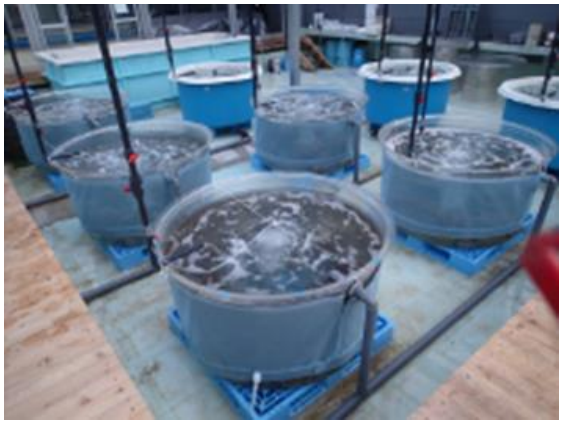
親･稚サンゴ飼育には、耐久性や使い勝手を考慮すると、ポリカーボネイト製円形水槽やFRP 水槽が適している。コンクリート製水槽も利用可能である。

水槽の容量が大きい方が生残率は良くなる傾向があるが、大きすぎると水槽管理の作業が行いにくくなり、また感染症が発生した場合に被害が大きくなるため、1～5 トン程度の容量の水槽が適している。

稚サンゴの種苗生産数や飼育期間によって施設の規模は異なるが、以下に 1 歳齢の稚サンゴを 2、3 万群体生産する能力を持つ施設の一例を示す（表Ⅱ.2-4、図Ⅱ.2-12）。

表Ⅱ.2-4　サンゴ種苗生産施設の一例

【所在地】	沖縄県島尻郡久米島町真謝 500-1 （沖縄県海洋深層水研究所内）
【敷地面積】	飼育施設 348m^2、ラボ兼倉庫 82m^2
【使用可能海水量】	表層水　年間 261,486 トン（取水口水深 15m）
【主な設備】	親サンゴ飼育水槽（1 トン円形 FRP 製、3 面）
	親サンゴ飼育水槽（1 トン円形ポリカーボネイト製、5 面）
	稚サンゴ飼育水槽（5 トン FRP 製、L400×W150×D100cm、5 面）
	稚サンゴ飼育水槽（3.5 トン FRP 製、L520×W160×D35cm、1 面）
	配水およびエアレーション用配管一式



屋内の親サンゴ飼育水槽群

屋内の稚サンゴ飼育水槽群

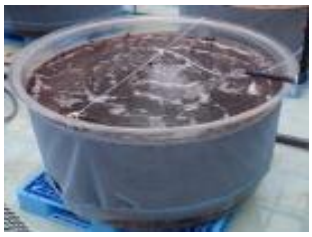
図Ⅱ.2-12　種苗生産施設内部

３）必要機材

種苗生産にて実施する A）親サンゴ飼育、B）採卵、幼生飼育、C）幼生の着生、D）稚サンゴの飼育の作業ごとに必要となる機材及び資材ならびに使用目的を表Ⅱ.2-5 に示す。

表Ⅱ.2-5　種苗生産用機材および資材一覧

機材、資材	使用目的
A）親サンゴ飼育	
円型水槽（ポリカーボネイトおよび FRP 製１トン等）	親サンゴ飼育水槽
エア・ストーン	水流の発生
遮光ネット	光量の調整
水中ヒーター	冬期の水温の調整


１トン円型ポリカーボネイト水槽

１トン円型 FRP 水槽

水中ヒーター

B）採卵、幼生飼育	
円型水槽（ポリカーボネイト製 30～100L）	卵･幼生の飼育水槽
掬い網（メッシュネット）（100 μm目合）	洗卵･換水時の卵・幼生の回収
プラスチック製カップ（200ml～5L）	卵･幼生の一時収容や運搬
ガラス器具（ピペット、ビーカー、スライドグラス等）	卵･幼生の観察や計数

ポリカーボネイト
円形水槽

掬い網（メッシュ ネット）100 μm目合

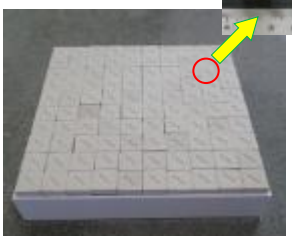
プラスチック
・カップ類

ガラス器具類
（ビーカー、時計皿、
ピペット、スライドグラス）

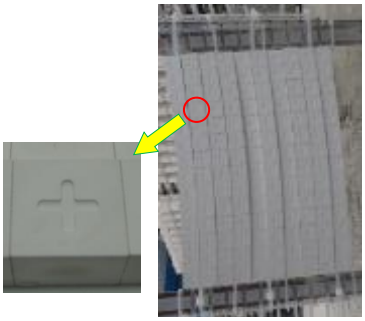
C）幼生の着生	
水槽（円型ポリカーボネイト製１トン、角型 500L 等）	幼生着生水槽
着床具（陶器製タイル、角柱等）	幼生を着生させる基盤
掬い網（メッシュネット）（100 μm目合）	換水時の幼生の回収
エア・ストーン	水流の発生
プラスチック製カップ（200ml～5L）	幼生の運搬や各水槽への分配

【様々な着床具】

陶器製角柱型
右上は個々にばらしたもの
サイズ1.5×1.5×3cm



プラスチック･キューブ型
左下は個々にばらしたもの
サイズ 1.5×1.5×1cm

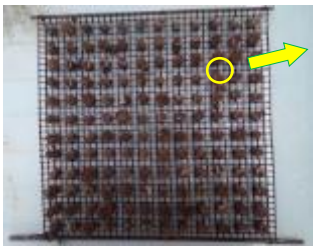


陶器製平板タイル型
素焼きのタイル
サイズ 10cm 角
厚さ 5mm

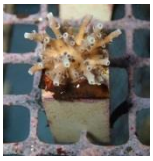
※角柱型およびキューブ型着床具は個々を分離できることから、水槽内ではまとめて収容することによりスペースを節約し、移植時はばらすことにより各サンゴの間隔を空けて植付けることができる。平板型着床具は、顕微鏡下で観察がしやすいので、各種の試験を行う際に便利である。

D) 稚サンゴの飼育	
水槽（FRP 製 5 トン等）	稚サンゴ飼育水槽
着床具収容具（着床具ホルダー）	水槽内で着床具を保持
遮光ネット	光量の調整

5トン FRP 製水槽



プラスチック・ネットを
加工した着床具ホルダー



着生から数か月間は、各着床具を密着させて飼育し、サンゴの成長に伴い、プラスチック・ネット製着床具ホルダーへ収容（水槽スペースの有効利用）

E) 共通品	
実体顕微鏡、生物顕微鏡	卵・精子・幼生・稚サンゴの観察
数取器	卵・精子・幼生・稚サンゴの計数
測定器（光量子、塩分、溶存酸素、pH、栄養塩類など）	水槽内環境の確認、水質の検査
水温計、水温ロガー	水温観察、記録

４）人員

作業段階ごとの必要人員数を確保する。1 歳齢の稚サンゴを 2、3 万個生産する場合は以下の人員が必要となる。

① 機材や計画等の準備（4、5 月）　研究員 1 名、　作業員 1 名
② 採卵～着生までの作業（6～8 月）　研究員 2, 3 名、　作業員 1 名
③ サンゴ飼育（9 月～翌年 5 月）　研究員 1 名、　作業員 1 名
④ 稚サンゴの搬出（6 月）　研究員 1 名、作業員 3, 4 名

２．２．２ 親サンゴの飼育

親サンゴの飼育において重要な環境要因は、水温、光、水流の状態である。長期間の飼育と毎年の産卵を可能とするため、過去の試験によって明らかとなった適切な飼育環境で親サンゴの飼育を行う。

【解説】

１）飼育条件

(1) 水温

飼育海水温が 30℃を超えると飼育中のサンゴが白化する場合があるので、この水温以下で飼育する必要がある。水槽内の月平均水温を沖ノ鳥島産サンゴについては 24～30℃、沖縄産サンゴでは 22～30℃とすることにより、サンゴを概ね健全に保ち、毎年産卵させることが可能である。サンゴの状態が悪いときは、夏期には冷却装置（チラー）や地下浸透海水、冬期には水中ヒーターを用いて、冷却・加温することで状態が改善される場合もある。

また、水温の日較差は1℃以内が好ましく、沖縄で1～5トン水槽を用いて飼育する場合、注水の海水温が一定であれば、12回転/日で水温の日較差を1℃以内にすることができる。

(2)光量

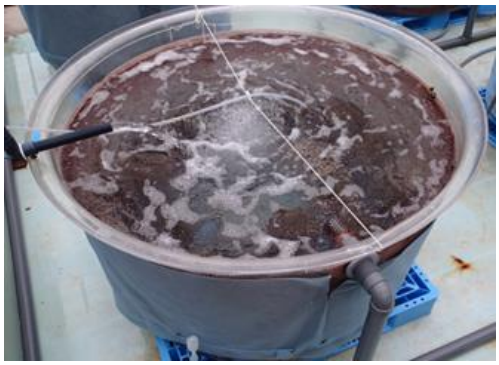
水槽内の光量は、冬期には空中光量の約1/3、夏期には約1/4となるように遮光ネットを用いて、晴天時の正午付近における光量子量が400～500 μ mol m^{-2} s^{-1}程度になるように調整する（図Ⅱ.2-13）。飼育サンゴに白化の傾向が見られた場合、光量を少なくすると改善する場合がある。

また、強光の環境下でも、水中で光の揺らぎがあれば、サンゴ体内の共生褐虫藻の光合成の能力が低下しないことが報告されている（Nakamura and Yamasaki 2008）。飼育水槽の水面を波立たせて、サンゴに直射日光が当たり続けないようにすることが必要である。

図Ⅱ.2-13　親飼育水槽の遮光方法の一例
目合20mmのプラスチックで水槽の上面を覆って遮光。この方法で約30%の減光が可能である。水槽側面は、目合2mmのモジ網で囲い、直射日光の入射量を制限する。

(3)水流

エアレーションにより水流を発生させることで、水槽内の海水を万遍なく循環させる（図Ⅱ.2-14）。流速は10～20cm/秒程度が望ましい。また、水面を波立たせることで、強い光を和らげることができる。



図Ⅱ.2-14　親飼育水槽（1トン円型ポリカーボネイト水槽）における強エアレーション

２）競合生物対策

海藻の繁茂を防ぐため、藻食性の貝類（タカセガイ稚貝、カンギクガイ成貝、タカラガイ類成貝など）および藻食性魚類（アイゴ類、ハギ類など）を水槽に収容するとよい（図Ⅱ.2-15）。1トン水槽への収容数は、基本的に貝類は数百個体、魚類は1，2個体とするが、藻類の付着状況によって数を調整する。これらの貝類や魚類が摂食できない藻類（藍藻、褐藻、緑藻など）や付着生物（ヘビガイ類、ゴカイ類、付着性二枚貝など）は、手作業で取り除く必要がある。イソギンチャク類の駆除には、ミゾレチョウチョウウオが有効である。

左から、タカセガイ、ハナビラダカラ、カンギクガイ　　アミアイゴ　　ミゾレチョウチョウウオ

図Ⅱ.2-15　藻類・イソギンチャク駆除に用いる貝類および魚類

３）水槽管理

水槽の底面に堆積する沈殿物は、水槽内の水質を悪化させたり、サンゴにも堆積し、サンゴの共肉を壊死させる場合がある。このため、上記の付着生物の除去に加えて、週 1 回程度、水槽の底掃除を行う必要がある。

屋外水槽の場合は、台風時に強風によってゴミや砂が水槽に多量に入り込むことがあるので、水槽を遮光ネットで強固に覆ったり、台風一過後直ちに底掃除を行ったりする必要がある。台風や大雨時に急激に塩分が低下したり、取水に多くの浮泥が混ざる場合は、海域の取水場所を変更することも検討したほうがよい。

２．２．３ 採卵・幼生飼育・着生

サンゴの受精には精子密度を 10^5～10^7/ml に保つことと、受精時間を長くする必要がある。また、卵割を始めた胚は壊れやすいため静穏な状態で飼育する。産卵後 4 日目には幼生は着生能力を有するため、この時期に着床具を水槽に入れて着生させる。幼生は 1 日か 2 日で着生して、稚サンゴに変態する。着床具には、着生を誘引するバクテリアや石灰藻を事前に付着させておくことが不可欠である。

【解説】

１）サンゴの生殖生態

多くのミドリイシ類は雌雄同体で他家受精なので、種苗生産には、サンゴ種ごとに、少なくとも遺伝的に異なる（クローンではない）2 群体以上から得られた卵と精子が必要である。少ない群体数を用いた場合でも高い受精率を得られることがあるが、確実に 100%に近い受精率を得、また、稚サンゴの遺伝的多様性を高めるためには、より多くの群体を用いたほうがよい。Iwao et al.（2014）は、6 群体以上から得た卵と精子を用いて受精させることにより、遺伝的多様性を高めて、95%以上の高い受精率が得られると報告している。

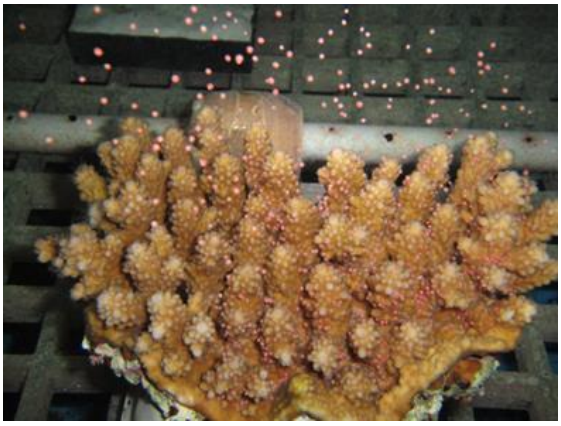
一般的にサンゴは、夏期(5 月中旬～8 月)の満月付近に産卵を行う(図Ⅱ.2-16、Ⅱ.2-17)。サンゴ種によって概ね産卵する月は決まっている。産卵日は、各海域（同様な環境を持つ一定海域）によって異なり、同一海域内では同調する傾向がある。しかし、産卵日を特定することは、現時点では難しい。なお、産卵誘発方法は Hayashibara et al.（2004）により開発されているが、親サンゴにダメージを与えるので、利用の際には注意が必要である。

産卵の時刻は、概ねサンゴ種ごとに決まっている（例えば、ウスエダミドリイシは 19:30

頃、ツツユビミドリイシは 22:00 頃）（林原 1995、Fukami et al. 2003）。産卵に要する時間は約 30 分間である。

サンゴは 1 つのポリプから複数の卵を産卵する。ハマサンゴ類やキクメイシ類のサンゴは、卵が分かれた状態で放出するが、ミドリイシ類の多くは、卵と精子をまとめた“バンドル”と呼ばれる塊にして放出する（図Ⅱ.2-18）。ミドリイシ類のバンドルには、10 粒程度の卵が含まれている（北田 2002）。産卵の 1～2 時間前に、ポリプの口の部分でバンドルが出かかった状態になり（バンドル・セットと呼ばれる）（図Ⅱ.2-19）、産卵間近であることが目視で容易に観察できる。

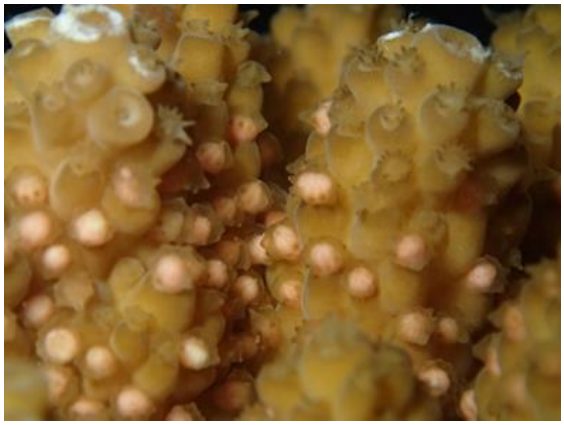
ミドリイシ類のサンゴの受精では、精子濃度が 1×10^5～1×10^7 個体/ml で受精率が高まる傾向があり、 1×10^6 個体/ml で最も高くなる（Nozawa et al. 2015）。卵を受精させる時には、精子濃度が低くならないように注意が必要である。精子数は、血球計算盤を用いて計数できる。



図Ⅱ.2-16　ツツユビミドリイシの産卵

図Ⅱ.2-17　産卵終了後のウスエダミドリイシ
水面にピンク色のバンドルが浮遊

図Ⅱ.2-18　ウスエダミドリイシのバンドル



図Ⅱ.2-19　*Acropora globiceps* のバンドルセット

２）事前準備

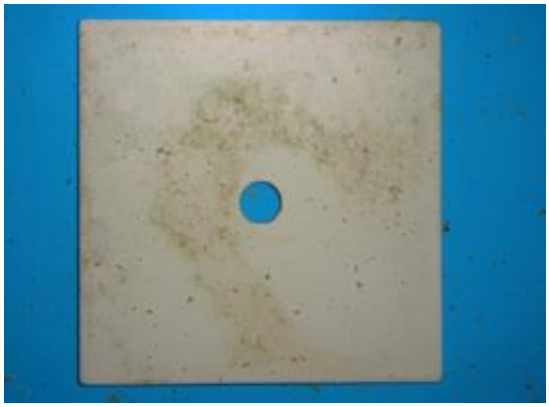
サンゴ幼生を着生させるためには基盤（以下、着床具）が必要である。着床具は、稚サンゴの飼育・移植方法や移植場所の環境や地形に適したものを選択する（表Ⅱ.2-5）。

サンゴの幼生は、石灰藻やバクテリアによって着生と変態を誘発されることが分かって

いる（Morse DE et al. 1988, Morse ANC et al. 1996, Negri et al. 2001, Tebben et al. 2015, 加藤ほか 2016）。着生・変態を誘引するバクテリアを付着させるため、着床具を海域の浅瀬に浸漬しておく（図Ⅱ.2-20、A）。より長期間着床具を浸漬したほうが幼生は短期間で着生・変態を行い、また着生率（着生個体数/収容幼生数）が高くなるが、付着生物が多くなり着床具の洗浄に手間がかかる。このため、着床具の浸漬期間は 1～2 か月が適切である。

浸漬する海域としては、着床具の表面への浮泥や砂の堆積が少ない、礫が堆積している場所や岩盤の上などが良い。着床具は、幼生を着生させる直前から数日前に海域から着床具を引き上げて、表面に付着した藻類やゴカイ等をブラシ等を用いて除去するが、あまり強くブラッシングするとバクテリアフィルムもこすり取られてしまうので、少し微細藻類が残る程度の状態にすることが望ましい（図Ⅱ.2-20、B）。

礫の上に置いて浸漬した角柱型着床具



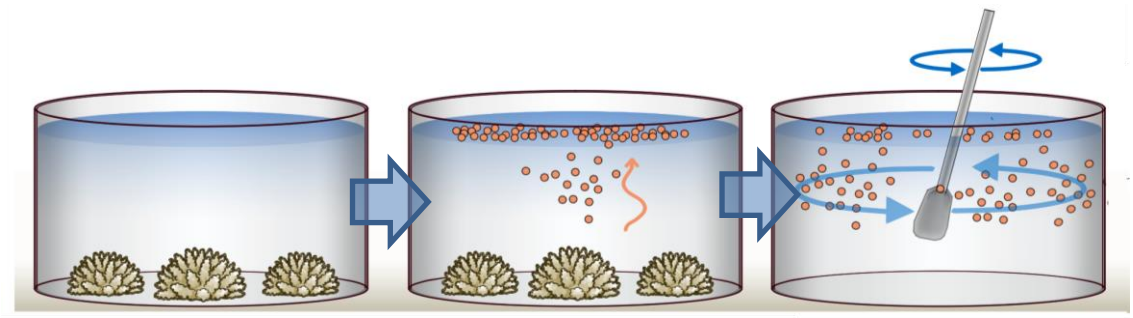
2 か月間の浸漬後、洗浄したタイル型着床具

図Ⅱ.2-20　着床具の海域への浸漬

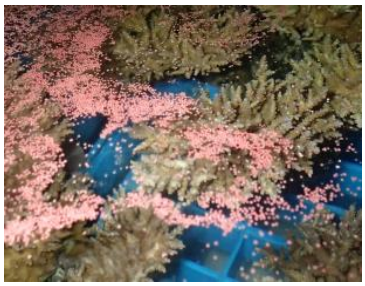
３）採卵から着生までの作業手順

(1)採卵および受精

ポリプの口部にバンドル・セットが認められた親サンゴ群体は、一つの水槽にまとめて収容し、産卵させる（図Ⅱ.2-21）。産卵後、親群体を水槽から取り出し、バンドルをピペットやヘラをつかって水中でばらして受精させる。この方法では、親サンゴの産卵数が少ない場合は、精子濃度が低くなってしまうことがあるので、水槽内の水量は多すぎないように注意する。受精時間は約 1 時間とする。



バンドル・セットした群体を水槽に収容



水槽内での産卵が行われバンドルが水面に浮上

産卵終了後、親群体を水槽から取り出し、海水を撹拌してバンドルを壊し、卵を受精させる

図Ⅱ.2-21　サンゴの採卵および受精の手順

(2)卵・幼生の飼育

受精後、受精卵を 100 μm目合の掬い網に入れて、清浄な海水で洗卵した後、100L ポリカーボネイト水槽等の飼育水槽へ収容する。

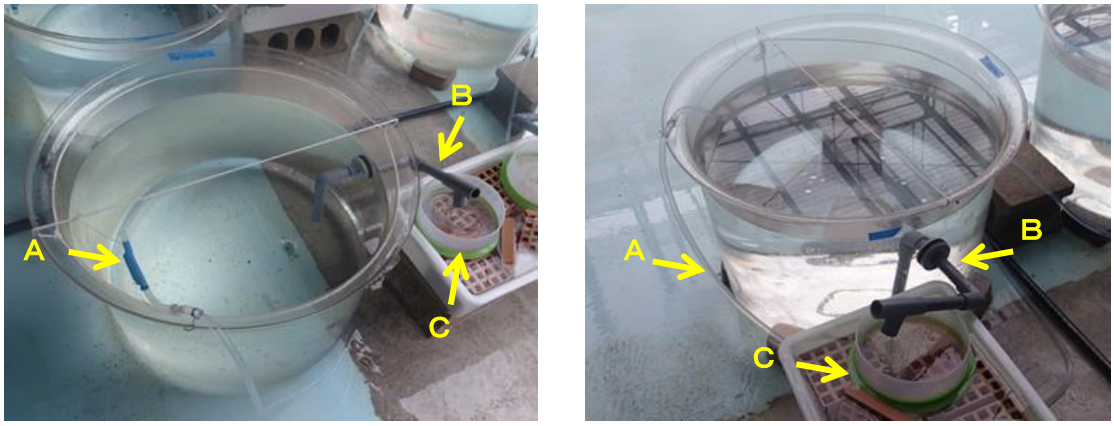
サンゴの卵は受精膜が形成されないため、卵割が始まるまで受精したかどうかは分からない。ミドリイシ属のウスエダミドリイシ、ツツユビミドリイシ、クシハダミドリイシ等では、受精後 2～3 時間で受精卵の卵割が始まる。卵割を始めた卵は細胞が分離してバラバラになりやすいため、上記の作業は卵割が始まるまでに終了しなければならない。飼育水槽に収容後は、なるべく振動などを与えないようにする。また、受精率の観察は、受精後 3 時間以降に行う。

卵は胚の時期を経て幼生へと発生するが、この期間の飼育には、開放式の水槽（換水率 4 回転/日程度）を用いることにより換水作業の手間が省ける（図Ⅱ.2-22）。卵や胚は水面に浮かんでいるので、水槽の底付近から排水することにより、水槽外に出る卵や胚の量はわずかである。しかし、産卵の翌日の夜くらいには幼生となり浮遊するため、夜間は止水し、昼間は排水口に設けた掬い網に出てきた幼生をカップで掬い上げて随時水槽へ戻す。100L ポリカーボネイト水槽を用いて開放式で飼育する場合、収容する受精卵数は 5 万粒程度を目途とする。これより多い卵を収容すると、水槽の壁面に胚が張り付いて斃死したり、胚同士が癒着してしまうケースが多くなる。幼生の飼育は、常温下で一般的には産卵後 4 日目まで行う。

水槽での幼生飼育について、服田ほか（2003）は、「小規模な実験研究の目的であればボウルを用いて飼育することが可能で、1 日 1 回以上の頻度で、ピペットを用いて幼生を新しいボウルに移すことで状態の良い幼生を維持することができる」とし、その際の幼生飼育密度は 2,000 個体/L 以下が望ましいとしている。一方、100L ポリカーボネイト水槽などのより大型の水槽を用いてかけ流し式で幼生飼育を行う場合、飼育海水を清浄な状態に

保つためには、幼生密度を 500 個体/L 以下にした方が良い。

簡易的な卵・幼生の飼育方法としては、止水状態の水槽で飼育し、1 日 1 回、掬い網を用いて換水する方法もある。



図Ⅱ.2-22　卵・幼生の開放式飼育水槽

A：ビニールチューブの給水管、B：塩ビ製排水口、C：目合 100 μmの掬い網

(3)着生

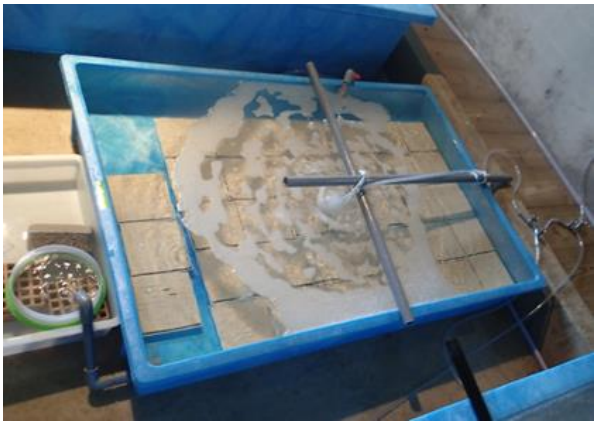
産卵後 4 日目には、幼生は、水槽の底面に垂直に立ったり、底面をホッピングしたりして着生場所を探す行動を示すようになるので、この時点で着床具への着生を行わせる。

着生水槽（1 トン・ポリカーボネイト水槽など）には予め着床具をセットしておき、そこへ幼生を収容する（図Ⅱ.2-23）。ただし、水温が高いと胚の発生や幼生の成長が早くなり、幼生の着生・変態の時期が早くなる場合もある。その際には、産卵後 3 日目の幼生を着生水槽に収容する。

幼生の着生率は、サンゴ種や着床具の状態により異なるが、概ね 50～60%である。また、着床具に幼生を 1 個体/cm^2以上の密度で着生させると大量斃死が発生する場合がある。適正着生密度と着床具上の着生可能面積、着床具数、着生率の乗算によって、水槽へ収容する幼生数を決める。着生の 1 日目は少なめに幼生を収容し、着生状況を観察しながら翌日以降に幼生を追加することで、適切な個体数を着床具に着生させることができる。

着生期間中は、概ね 1 回転/日の割合で換水を行う。換水方法は、開放式水槽で幼生を飼育する際に用いた方法と同様である。

タイル着床具を串刺しにして収容



角柱型着床具を底面に敷いて収容

基盤に着生し、幼生から
稚サンゴへ変態中の状態

変態が完了し、骨格を
形成し始めた稚サンゴ

図Ⅱ.2-23　着床具を収容した着生水槽および着生直後の稚サンゴ

２．２．４ 稚サンゴ飼育

十分に骨格を形成した稚サンゴを稚サンゴ飼育水槽に移す。飼育中は、好適な飼育環境を維持するとともに、水槽内に発生する藻類の繁茂を防ぐため、藻食性の生物を水槽で混養する。

【解説】

１）稚サンゴ飼育水槽への移動

稚サンゴが十分に骨格を形成した段階で（概ね着生開始の 4 日～1 週間後）、稚サンゴ飼育水槽に移して飼育を始める。

２）稚サンゴの飼育条件

(1) 水温

沖縄において、屋外水槽で稚サンゴを飼育すると、水温は夏期には約 30℃、冬期は約 20℃になるが、そのような環境下でも飼育は可能である。また、水温 30℃であっても、水温が一定であれば飼育できる。稚サンゴは急な水温の変化によって斃死することがあるので注意が必要である。例えば、台風の前後の数日間に 2℃以上水温が変動したり、1 日の最高最低の水温差が 1℃以上となるようなケースである。

飼育中の水温が 30℃を超えると稚サンゴの生残率が下がる傾向があるので、そのような

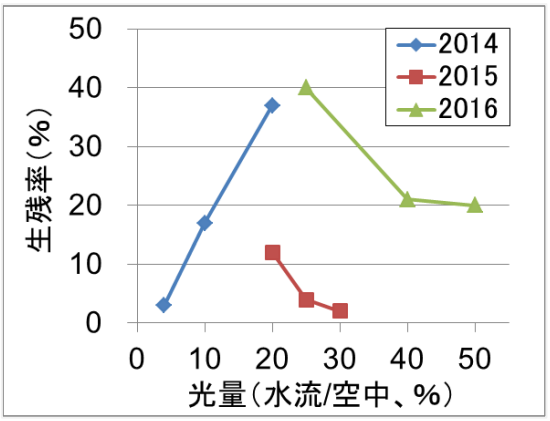
場合には、冷却装置等により海水の冷却を検討すべきである。また、沖ノ鳥島のような沖縄より低緯度海域に生息するサンゴの種苗生産を行う場合は、冬期に飼育海水を加温した方が、稚サンゴの生残率は良い傾向が見られた。沖ノ鳥島由来の稚サンゴの場合、現地の最低月平均水温である 24℃を下回らないように、投げ込み式の棒状チタンヒーターを用いて飼育海水を加温した。

(2) 光量

光量の調整は、親サンゴの場合と同様に、遮光ネットを用いて行う（図Ⅱ.2-24）。同じ遮光ネットを用いていても、季節よって日の傾きが異なることにより遮光率が変わってくるので、夏期は冬期より遮光率の高いネットを用いる必要がある。

2014 年から 2016 年にかけて実施した、光量と稚サンゴの生残率の関係についての試験結果を図Ⅱ.2-25 に示す。この試験結果から、稚サンゴ飼育水槽内の最適な光量は、空中の光量の約 20%であることが分かった。この条件下の水槽では、晴天の正午付近における光量子量は 300～400 μ mol m^{-2} s^{-1} 程度であった。

図Ⅱ.2-24　稚サンゴ飼育水槽の遮光状況（遮光率約 50%の防風ネット）

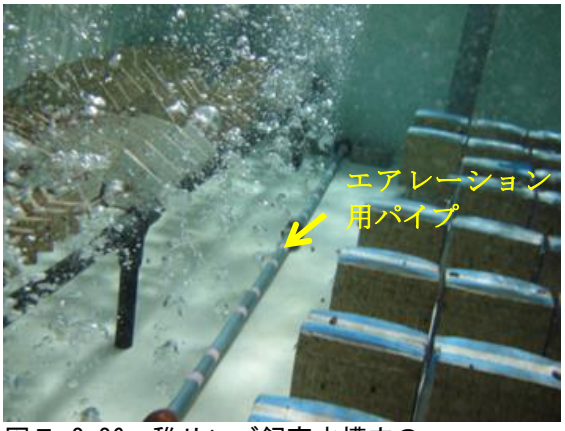


図Ⅱ.2-25　光量子量と着生後約 6 か月の稚サンゴ（ウスエダミドリイシ）の生残率の関係

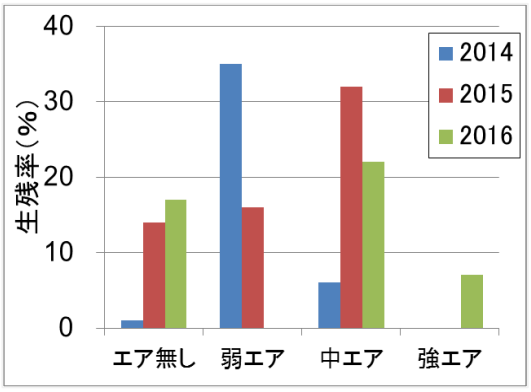
(3) 水流

水槽の底面に設置した小穴を設けた塩ビ管を通してエアレーションを行って水流を起こす（図Ⅱ.2-26）。

エアレーションの強弱と稚サンゴの生残率の関係は、2014 年から 2016 年にかけての試験で明らかにした。稚サンゴの生残率は、弱から中のエアレーションの時に生残率が高くなる傾向が見られた（図Ⅱ.2-27）。そのときの稚サンゴの周囲の流速は 3～5cm/秒程度であったことから、この程度の流速が適正であると考えられた。



図Ⅱ.2-26　稚サンゴ飼育水槽内の
エアレーションの状況



図Ⅱ.2-27　流速と着生後約 6 か月の
稚サンゴ（ウスエダミドリイシ）
の生残率の関係

(4) その他の飼育条件

飼育水槽の大きさについては、100L および 1.4、3.5 トンの水槽を用いて飼育試験を行ったところ、大容量の方が稚サンゴの生残がよい傾向が見られた。しかし、日常的な底掃除や稚サンゴの収容などの作業のやり易さ、また飼育海水を水槽内で淀みなく循環させることを考慮すると、1～5 トン程度の水槽容量が適切だと考えられる。特に 5 トン水槽は水温が安定し、作業がしやすいことから適正な大きさである。

３）競合生物対策

親サンゴの飼育の場合と同様に（第Ⅱ編 2.2.2 親サンゴの飼育 2）競合生物対策を参照）、海藻とイソギンチャクの駆除のため、藻食性の貝類（タカセガイ稚貝、カンギクガイ成貝、タカラガイ類成貝など）および藻食性魚類（アイゴ類、ハギ類など）、ならびにイソギンチャクを捕食するミゾレチョウチョウウオを水槽に収容する必要がある。5 トン水槽への収容数は、基本的に貝類は 1,000 個体程度、魚類は 1，2 個体とするが、藻類の付着状況によって数を調整する。これらの貝類や魚類が摂食できない藻類や付着生物は手作業で取り除く。上述の魚類と貝類は、稚サンゴに傷を与えたり、稚サンゴを捕食したりしないので、稚サンゴを大型水槽に移すと同時に一緒に収容しても問題はない。

４）水槽管理

これも親サンゴの場合と同様に、週 1 回程度、水槽の底面の掃除が必要である。

【コラム】稚サンゴの適正飼育環境試験における水流測定

稚サンゴの適正な飼育環境を把握するため、水流と生残率の関係について試験を実施した（第Ⅱ編 2.2.4 稚サンゴ飼育 2)稚サンゴの飼育条件(3)水流）。水流の強さは、エアレーションの強弱によって調整している。ここでは、上記試験において実施した水流測定結果の詳細を示す。

① 水槽内の流れの分布状況の把握 ： 試験で用いている 100L パンライト水槽内（図 1 上）では、生残率の良かった弱エアの場合、赤い矢印と破線で示すように、流速が変化しながら、水面でエアレーションと海水の供給方向の流れが見られ、着床具周辺の流向（主流向）は底面から水表面に向かう、弱く循環するような流れがみられた。同じく、実際に稚サンゴを飼育している 5 トン水槽内（図 1 下）の弱エアの条件では、流速が変化しながら水槽の水表面中央から側壁方向に向かい、着床具周辺の主流向は下向きとなるような、水槽の片側で循環するような流れがみられた。このことから、稚サンゴが着生している着床具周辺では、流向と流速は局所的に変化しており、乱れた流れが存在することが確認された。

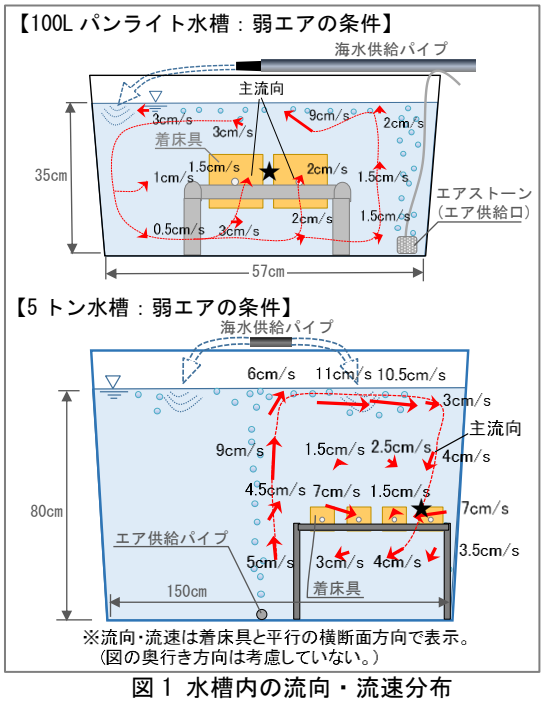


図 1 水槽内の流向・流速分布

② 着床具近傍の流速測定 ： 稚サンゴが着生している着床具に流れが当たる位置(図 1 の★印の位置)で x、y、z 方向平均流速の合成値を測定したところ、100L パンライト水槽で生残率の高かった弱エアの条件では 3cm/秒程度であった(表 1)。稚サンゴの大量種苗生産に用いている 5 トン水槽においても、エア量を変えて測定したところ 0.73～7.57cm/秒と測定された。現在 5 トン水槽では、弱エア(表 1 中の平均流速 5cm/s 程度)の条件で種苗生産を実施しており、比較的高い生残率となっている。

表 1 水槽内着床具近傍の平均流速測定結果

ケース		エア吐出量（ℓ/秒）	x,y,z 方向平均流速の合成値 $\overline{U}$(cm/秒)
パンライト 100L 水槽（試験水槽）	強エア	0.094	6.95
	弱エア	0.024	2.54
	エアなし		3.06
5 トン水槽（稚サンゴ飼育水槽）	強エア	3.57	7.57
	弱エア	1.29	5.32
	エアなし		0.73

※流速・流向の測定は、実験室用電磁流速計［JFE アドバンテック社製・ACM3-RS、流速分解能 0.1cm/秒、測定精度±0.5cm/秒 or ±2%］を用いた。

以上、試験及び飼育水槽における着床具近傍の流速を明らかにしたが、水槽内の流れは一定ではなく、局所的に流向・流速が変化していた。別途、染料を用いた濁度計測の実験では、乱れた流れによって起こる拡散現象が確認され、水槽内の流れは（平均流速・流向で代表される）移流と、拡散に支配されていることがわかった。すなわち、適正な稚サンゴの飼育環境を把握するには、水槽内の乱れ（拡散状況）の度合いについて留意する必要があると考えられた。

２．２．５ 疾病対策

親サンゴが飼育中に病気に罹り斃死したり、組織の壊死により群体のサイズが小さくなってしまう場合がある。稚サンゴにおいては、病気により大量斃死が発生することもある。病気は細菌によるものである。より良い環境で飼育することにより、サンゴを健康な状態に保ち、病気を予防することが重要である。罹患した場合は、抗菌剤を用いて治療を行う。

【解説】

１）サンゴの疾病

(1)親サンゴの疾病

飼育中の親サンゴに、病気（RTN：Rapid tissue necrosis）が発生して、群体全体が斃死、あるいは部分的な罹患により親サンゴが産卵可能なサイズより小さくなってしまう場合がある（図Ⅱ.2-28）。

病原体は、サンゴの組織に常在する菌種（*Vibrio harveyi*、*V. coralliilyticus*、*Vibrio* sp. 新種、未発表）であると考えられている。サンゴが何らかのストレスを受け、体調が悪くなったときに、これらの細菌が病気を引き起こすのではないかと想定される（Luna et al. 2007）。

白い部分が疾病により組織が
壊死・消失した箇所

疾病部分の拡大写真
（組織の壊死と剥離が見られる）

図Ⅱ.2-28　RTNに罹患したサンゴの状況

(2)稚サンゴの疾病

稚サンゴの飼育期間中に、大量斃死が発生する場合がある。数日のうちに、一つの水槽内の稚サンゴがほぼ全滅してしまうケースもある。

罹患サンゴからの細菌の採集および感染実験から、*Thalassobius mediterraneus*が大量斃死を引き越す可能性があることが分かっている。また、本菌種は、健全な稚サンゴの組織内にも分布していることから、日和見感染を引き起こす病原体であるものと推察される。

稚サンゴの大量斃死は、着床具の一部で発生した斃死が、連鎖的に同一着床具上の近隣の稚サンゴへ広がり、その後、着床具全体や水槽の他の着床具へ広がっていく。このことからも、大量斃死には細菌が関与していることが疑われる。

２）疾病対策

(1) 予防

親・稚サンゴの両方の飼育において、病気を発症させないためには、飼育サンゴを健全な状態に保っておくことで重要である。このためには、「２．２．２親サンゴの飼育」で述べた飼育条件および水槽管理を適正に行い、飼育環境の好適な状態にする必要がある。また、水質の悪化や塩分の低下により、飼育サンゴが罹患する場合も考えられる。このため、上記の水槽管理に加え、定期的および大雨などの環境の急変時に、水質検査（塩分、リン、窒素等）を実施し、異変が見られた場合には、原因究明と適切な対処を行う。

(2) 治療

①親サンゴの治療

以下の薬剤において、病原体*Vibrio* sp. に対する感受性が認められている。

・ニフルスチレン酸ナトリウム
・アンピシリン
・オキソリン酸
・フロルフェニコール

これらの薬剤は水産生物用として市販されているが、その薬剤を用いて親サンゴを薬浴し、臨床試験を実施したところ、一部の罹患サンゴにおいて、治癒や斃死までの期間の延長が見られ、一定の効果は見られた。しかし、疾病が止まらず斃死する場合も多く、2016年の事例では、治癒率は約40％にとどまっている。より有効な薬剤の探索と処方が必要である。

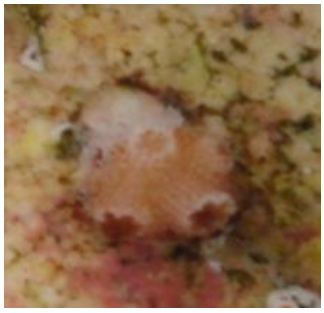
また、RTNは他の群体への感染が速いので、病気のサンゴを見つけたら、直ちに隔離する必要がある。

②稚サンゴの治療

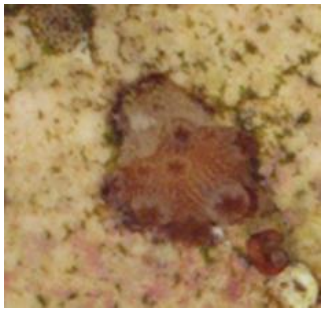
以下の薬剤において、病原体 *T. mediterraneus* に対する感受性が認められている。

・ニフルスチレン酸ナトリウム
・アンピシリン

親サンゴの場合と同様に、これらの水産生物用薬剤を用いて薬浴し、毒性試験および臨床試験を実施したところ、毒性は認められなかったものの、治癒率は40％と低かった（図Ⅱ.2-29）。また、5トン等の大型水槽で大量斃死が発生した場合、薬剤を水槽へ投入し、その後1～4時間止水として治療を行うが、斃死の進行を抑えることができるのは概ね半数のケースであった。また、治療後の再発も多々見られ、薬剤だけで完全に斃死を止めることは難しかった。飼育環境の改善等により、罹患による斃死の発生を防ぐことが先決であり、薬剤は緊急時等に補助的に使用すべきと思われる。



罹患直後の群体



薬浴後に治癒した群体
(左写真と同群体)

薬浴後に斃死した群体

図Ⅱ.2-29　罹患した稚サンゴの状態

【コラム】高温耐性共生褐虫藻のサンゴ種苗生産への活用の検討

サンゴは、海域の高水温が数週間続くと白化してしまい、群体の色が真っ白、あるいは淡いパステルカラーになる。白化とは、サンゴの体内に共生している褐虫藻が、高水温等のストレスによりサンゴの体内から抜け出してしまうか、体内で死んでしまい、本来褐虫藻の存在によって茶色がかった色をしているサンゴが白っぽくなってしまうことである。さらに、この高水温が長期間続くと、白化したサンゴが死んでしまうことがある。近年、熱帯・亜熱帯海域では、海域の高水温が頻繁に発生し、最近では、2015 年、2016 年と続けて世界各地のサンゴ礁海域でサンゴの大規模な白化が報告されている。オーストラリアのグレートバリア・リーフや沖縄の石西礁湖において、広い範囲でサンゴが白化によって斃死したことは記憶に新しい。

この様な状況の中、サンゴの高水温耐性に関して多くの研究が行われている。その中のいくつかの研究は、共生褐虫藻の高温耐性に着目している。褐虫藻は、現在 9 つの系統（クレード A～I）に分類されている。Hoegh-Guldberg et al.（2007）および Baker et al.（2008）は、サンゴ体内の共生褐虫藻のクレードの違いによって、サンゴ自体の高水温耐性に違いが生じることを示唆している。また、高温耐性があるとされているクレード D の褐虫藻を多く持つサンゴは、1～1.5℃高い高水温耐性を持っていたとの報告もある（Berkelmans and van Oppen 2006）。

そこで、クレード D の褐虫藻を利用して、高温耐性を持つ稚サンゴを種苗生産する技術を開発することを目的として、ウスエダミドリイシを用いていくつかの試験を実施し、以下の結果と考察が得られた（依藤ほか 2014, 2015, 2016, Yorifuji et al. 2017）。

①初期稚サンゴを水温 32℃で飼育したところ、5-6 ヶ月齢ではクレード D のみを持つ群体が増加した。

②1.5 歳齢まで 30℃で飼育したサンゴにおいても，同様の傾向が見られた。

③上記②のサンゴを常温もしくは 30℃で長期間飼育した試験では以下の結果が得られた。

・いずれの水温条件においても 2 歳齢以降のサンゴからはクレード C・D のみが見られ、1.5 歳齢頃まで見られていたクレード A が検出されなくなった。

・高水温下での飼育期間が長いものほどクレード D のみを保持する割合が増加した。

・さらに，高水温下での飼育期間が長いものは，常温下での飼育に移行した場合もクレード D を維持し続ける傾向が見られた。

閉鎖式水槽内でクレード D のみを与えた稚サンゴは高温耐性を持つことが知られている（Abrego et al. 2012, Yuyama et al. 2016）。今回の試験は開放式水槽で行われ、高水温時には自然の海水から稚サンゴが選択的にクレード D を取り込み高温耐性を持つことが明らかにできた。また、高水温時に成体のサンゴが白化した後に、他のクレードからクレード D に褐虫藻を入れ替えることにより高温耐性を持つのではないかという“白化適応仮説 adaptive bleaching hypothesis”と呼ばれている仮説がある（Buddemeier et al. 2004）。今回の試験では、稚サンゴにおいてこの仮説が成り立つことが証明された。

通常ミドリイシ属のサンゴにおいては、稚サンゴの時期には様々なクレードの褐虫藻を持ち、成体になるにつれて、ある特定タイプの褐虫藻だけを持つように変化していくことが知られている（波利井 2012）。沖縄近海のミドリイシ成体は通常クレード C 褐虫藻を持つが，今回の試験から、高水温によってより高水温耐性のあるクレード D に変化し，高水温曝露の期間が長いほど，成体においてもその変化が不可逆的になる可能性が考えられた。

今後は、これらの知見を基に、クレード D 褐虫藻を持つサンゴ種苗を効率的に生産する技術

の開発を進めるとともに、これらの種苗を海域へ移植した後も高温耐性を持ち続け、海域での高水温に耐えることができるのかどうかを検証していく必要がある。

一方、サンゴ群体自体の高温耐性とこれに関する遺伝子についての研究も行われている（例えば、Barshis et al. 2013, Dixon et al. 2015）。また、遺伝的に高温耐性を持つサンゴを生産し移植する試みもある（Mascarelli 2014, van Oppen et al. 2015）。