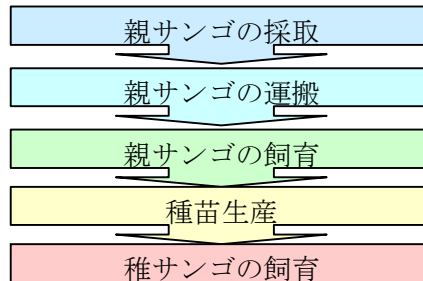


Ⅱ-4 サンゴの種苗生産

サンゴを増殖する手段として、有性生殖と無性生殖による増殖が行われる。沖ノ鳥島では有性生殖を利用して幼生を確保し、稚サンゴを飼育し、沖ノ鳥島まで運搬して移植する技術を開発した。

サンゴ種苗生産技術の手順を以下に示す。



Ⅱ-4-1 親サンゴの採取

1) 対象種の選定

沖ノ鳥島で優占しているサンゴは、ミドリイシ類、ハマサンゴ類、キクメイシ類、ハナヤサイサンゴ類等である。今回の事業で種苗生産の対象とした親サンゴは、比較的成長が速く種苗生産の実績もあるミドリイシ類の *A. tenuis*, *A. globiceps*, *A. sp.4* とした。*A. globiceps*, *A. sp.4* は沖ノ鳥島におけるミドリイシ類のサンゴの優占種である。*A. tenuis* は、阿嘉島臨海研究所で種苗生産実績があり、生態が比較的良く分かっている種である。他種のサンゴの種苗生産は今後の課題である。各種の写真と特徴を巻末資料に示す。

2) 親サンゴの採取

親サンゴは、産卵する群体でなければならないため、長径が 30cm 以上のものを選定した。産卵前の群体については、産卵確認調査でポリプ内に卵を有しているものを採取した。群体数は、有性生殖で受精させるためには複数群体が必要であり、表Ⅱ-4-1-1 に示す数量を平成 18 年 5 月、8 月、平成 19 年 5 月の 3 回に分けて採取した。採取方法は、サンゴに直接的なストレスを与えないように岩盤から採取した。採取した親サンゴは、しばらくは採取場所の近傍に仮置きして養生した。サンゴに触れる場合は、人体の熱の影響を低減するために素手で扱うことは避け、ゴム製の手袋等を着用した。

採取した親サンゴは 3 カ年の調査終了までに沖ノ鳥島まで運搬し、礁内に移植した。

表Ⅱ-4-1-1 採取した親サンゴの数量

種	採取数量
<i>Acropora tenuis</i> ウスエダミドリイシ	17
<i>A. globiceps</i> ミドリイシ属	15
<i>A. sp.4</i> ミドリイシ属の一種	13
合計	45



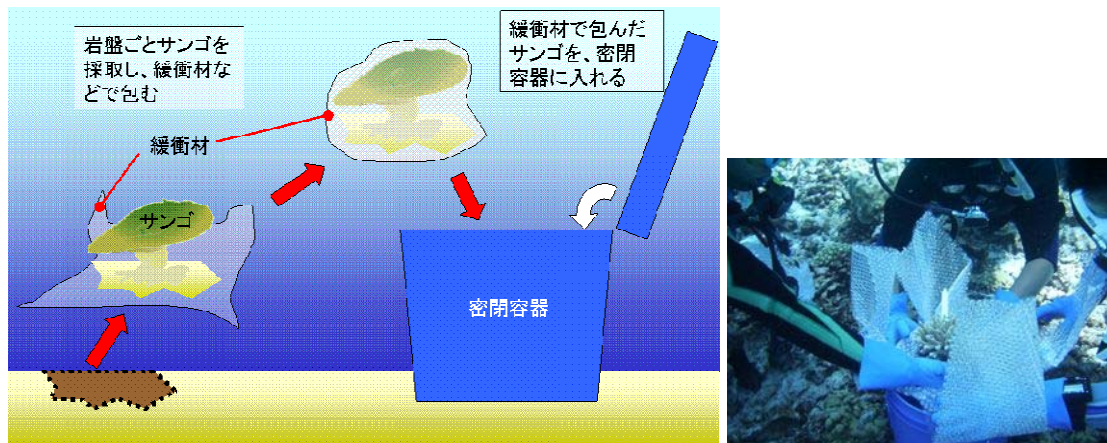
写真Ⅱ-4-1-1 親サンゴの採取状況

Ⅱ-4-2 親サンゴの運搬

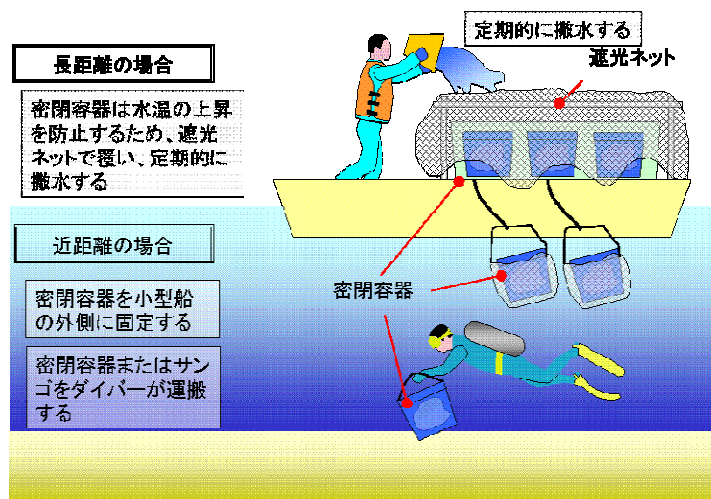
1) 礁内での運搬

親サンゴの接触・損傷の影響を緩和するため、ビニール製の緩衝剤などで包み、サンゴの寸法よりもひとまわり以上大きく太陽光を遮断する色や素材である蓋付き密閉容器内に入れ、空気に曝さず運搬した。サンゴは空気に触れると粘液を出す場合がある。容器を海水中から揚げて運搬する場合は、容器内の温度上昇を防ぐために遮光ネットで覆い、定期的に撒水した。また、運搬時間が長い場合は、定期的に蓋を開け水温確認と海水交換を行った。

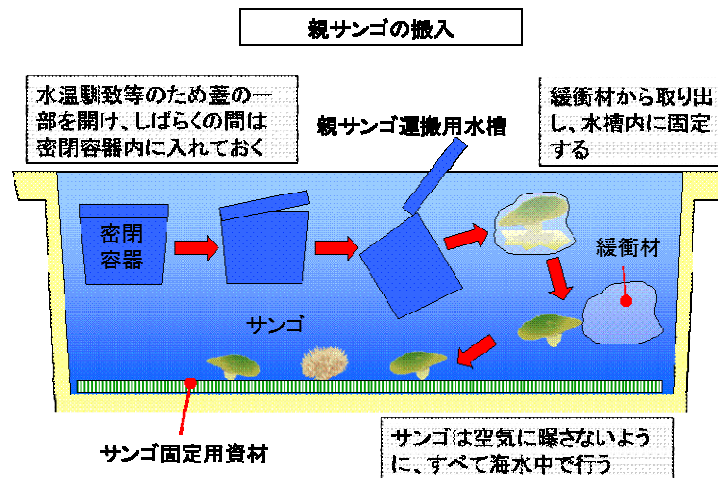
船上の飼育水槽に親サンゴを搬入する際は、飼育水槽と密閉容器内の水温に差がある場合には容器の蓋を一部分開け容器ごと飼育水槽に入れて水温馴致した。水温がほぼ一定になってから容器の蓋を開け、サンゴを取り出した。作業中は、サンゴを空気中に曝さないように注意し、ゴム手袋を着用した。



図Ⅱ-4-2-1 親サンゴの梱包模式図



図Ⅱ-4-2-2 親サンゴの運搬状況模式図



図Ⅱ-4-2-3 親サンゴの飼育水槽への搬入状況模式図

2) 沖ノ鳥島から沖縄県阿嘉島への運搬

(1) 飼育水槽の準備

沖ノ鳥島から阿嘉島までは図Ⅱ-1-1に示したように約1,100km離れており、500t程度の調査船で約2昼夜を要する。この間、調査船上の飼育水槽の水温、塩分、光量などは、可能な限り採取場所の環境と同じように調整した。船上水槽では、船舶の動揺による水槽内の海水流出防止のため水槽に蓋を取り付けた。

(2) サンゴの固定

水槽内でのサンゴの転倒を防止するため、水槽内に設置した固定用資材などに結束バンドでしっかりと固定した。水槽内に固定するサンゴの数量は水槽の水量を考慮して決定した。

(3) 光量

光量が大きくなるため、遮光ネット等を飼育水槽の上方に設置した。運搬日数が数日間であれば採取場所より低くても影響は小さい。

(4) 水温

一日の水温差が大きくなるないように、最高水温と最低水温を決めて管理した。水温を低下させる手段としては、遮光ネットで覆い撒水した。

(5) 水流環境

サンゴは、呼吸や触手による餌料の採取のためある程度の流れが必要であり、水槽内に流水ポンプ等を設置し良好な流動環境を形成した。流れによる攪拌効果により水温上昇の抑制効果もあった。

(6) 海水交換

移動中は、連続的に外海水を得ることが不可能なため定期的に停船して水槽の蓋を開け、サンゴの状態を観察しながら外海水をポンプで汲み上げて水槽内の海水を交換した。水槽内の水温と汲み上げ海水の水温差を計測し、急激に海水温を変化させないように注意した。海水交換の間隔は可能な限り頻繁に実施し、少なくとも4～6時間間隔で実施した。なお、船舶の揚水システムは殺菌用塩素が混入している場合があるため注意が必要である。

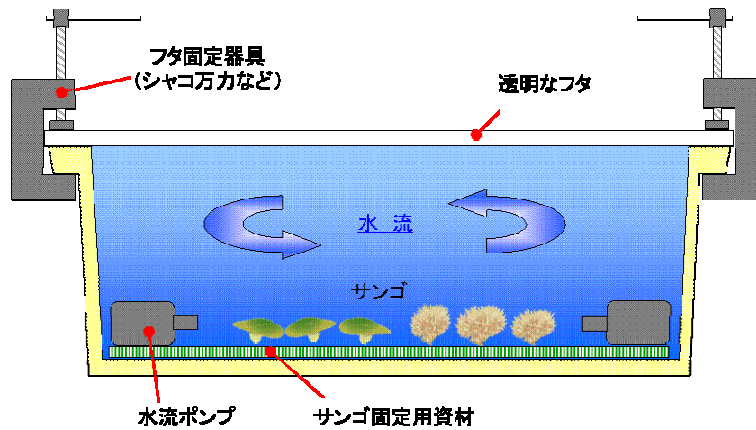


図 II-4-2-4 親サンゴの運搬用飼育水槽模式図

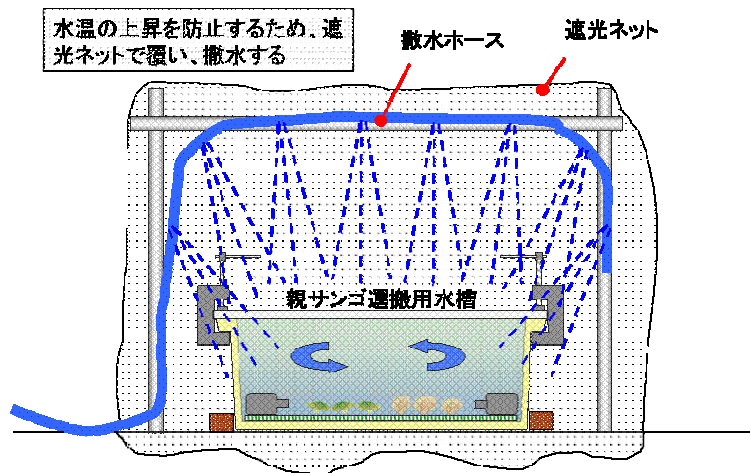


図 II-4-2-5 運搬用飼育水槽への霧水および遮光ネット設置模式図



写真 II-4-2-1 船上に設置した運搬用水槽

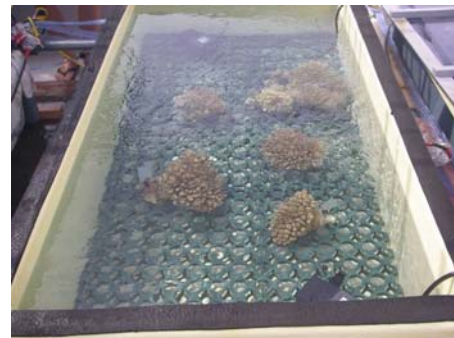


写真 II-4-2-2 運搬中のサンゴ

Ⅱ-4-3 親サンゴの飼育

沖ノ鳥島で採取した親サンゴを陸上水槽で長期飼育し、産卵させるための技術を開発するとともに、好適な飼育条件の把握を行った。

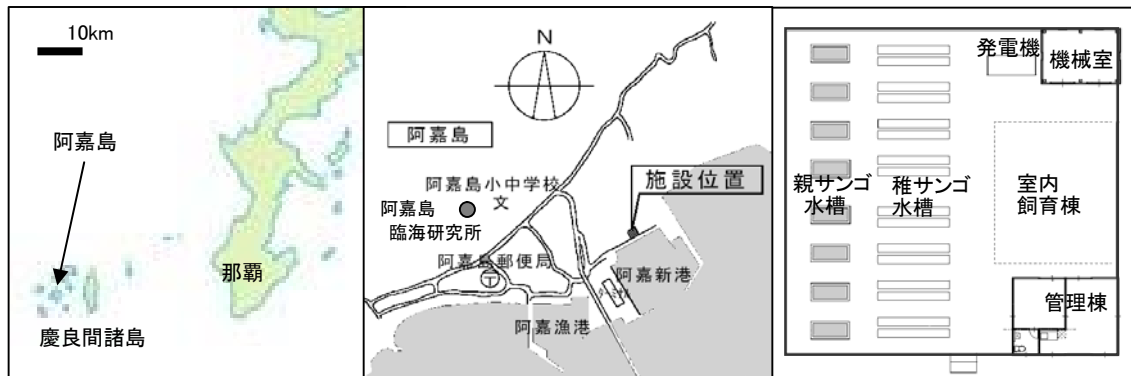
1) 飼育施設

サンゴの種苗生産施設として、沖縄県座間味村阿嘉島にサンゴ種苗生産センター(以下、種苗センター)を建設した。

阿嘉島には、サンゴ種苗生産の基礎技術を開発した阿嘉島臨海研究所が所在している。同研究所からの種苗生産に関する助言や技術指導が受けられることと、慶良間海域には比較的多くのサンゴが良好な状態で残っており、海水の状態が良好であることから、阿嘉島に種苗センターを設けた。

平成18年4月に建設工事が着工され、同年6月末に完成した。平成19年度には一部改修を行い、以下の施設が整った。

【敷地】	コンクリート土間、23×23m (529m ²)
【建物】	管理棟 (管理室および倉庫、40m ²)、 屋内飼育棟 (63m ²)、 機械室 (22m ²)
【主な設備】	取水ポンプ (水中ポンプ2台、揚水最大能力450ℓ/分/2台) 取水場所 (阿嘉新港地先、水深約5m) 貯水槽 (30トン、1基) ろ過機 (密閉式砂ろ過機、ろ過能力毎分450ℓ/台、2台) 海水冷却装置 (冷却能力3,360kcal/時間/台、4台) 親サンゴ飼育水槽 (2トンFRP製、L240×W100×D90cm、8面) 稚サンゴ飼育水槽 (1.4トンFRP製、L520×W75×D35cm、16面) エア・ブローア (吐出圧力8.8kpa、風量3m ³ /分/台、2台) 非常用発電機 (28KVA、1台)



図Ⅱ-4-3-1 種苗センターの位置および施設内配置



写真Ⅱ-4-3-1 種苗センター概観

2) 飼育環境

(1) 飼育水槽

本調査では、親サンゴの飼育に、屋外においては角型 2 トン FRP 水槽、屋内においては 1 トン円形ポリカーボネート透明水槽を用いた (写真Ⅱ-4-3-2)。角型 FRP 水槽は耐久性があるが、内部に陰の部分が多く作ってしまうため、サンゴを配置できる場所が限定された。一方、円形透明水槽では側面からも光が入るので、水槽内のほぼ全域にサンゴを配置することが可能であった。また、透明水槽での飼育のほうが、サンゴの基部 (岩盤に固着している部分) や枝の裏側まで十分な光が届くため、FRP 水槽内の群体と比べて、健康状態 (共肉の色および触手の伸び具合) が良い傾向がみられた。

すべての水槽 (親・稚サンゴ水槽とも) は開放式とし、海水は阿嘉漁港 (新港) 地先の水深約 5m より水中ポンプを用いて汲み上げた。

水槽内では藻類の繁茂を防ぐため藻食性の生物 (貝類、魚類) を収容した。また、サンゴ飼育に必須とされる水流は、強めのエアレーションにより発生させた。これらの条件下では、水槽の壁面が石灰藻 (無節サンゴモ) で覆われ、サンゴ飼育中に余計な藻類が繁茂するのを軽減できた。



写真Ⅱ-4-3-2 親サンゴ飼育に用いた水槽
(左 : 1 トンポリカーボネート製 ; 右 : 2 トン FRP 製)

【コラムⅡ-4-3-1】 開放式および閉鎖式水槽

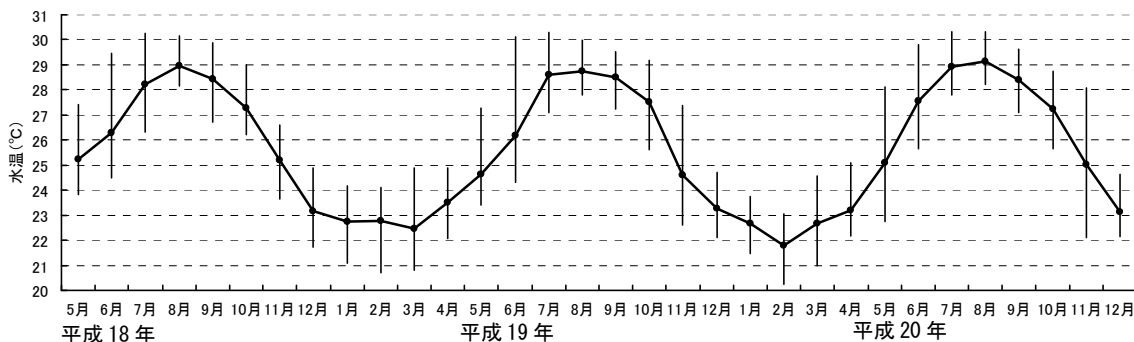
開放式とは、常時海水（淡水生物の場合は真水）を水槽内に注水し、飼育水を交換する方法である。設備に係る費用は低い。しかし、設置場所は、清浄な海水が常時利用できる沿岸地域に限定される。水族館では、沖縄の美ら海水族館がこの方式を用いている。また、水産有用種の種苗生産においても開放式水槽が多く用いられている。

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。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、大方の場合、定期的に飼育水の一部を新しい海水に交換する。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である。

(2) 水温

換水率は、基本的に0.5回転/時間に設定した。夏季に水温が30℃を上回った場合には、平成18年および平成20年は最高で1回転/時間にまで換水率を上げた。平成19年は、換水率は0.5回転/時間を保ち、開放式水槽の飼育海水をチラーにより冷却した（水槽より約10ℓ/分の量をポンプアップしチラーにより冷却した後、元の水槽へ戻した）。逆に冬季には、ビニールテントを用いた保温対策と水中ヒーター（1kw チタンヒーター）による加温を行ったが、加温を効率的に行うために、換水率を最低で0.25回転/時間まで下げた。

親サンゴ飼育海水の月平均水温を図Ⅱ-4-3-2に示す。月平均水温は、概ね22～29℃の範囲にあった。チラーを用いた場合と換水率を上げた場合の水温差は約0.3℃であった。ヒーターによる加温効果は最高で2℃程度であった。



図Ⅱ-4-3-2 親サンゴ飼育用水槽の水温変化
(垂直棒：月間最低・最高水温)

(3) 光量

飼育当初の平成18年5月～9月までは、水槽内の水温の上昇を防ぐために、80%遮光ネットを用いて光量を少なく保った。その結果、触手が伸びなくなったり、共肉の色が薄くなったりしサンゴが弱る傾向が見られ、へい死する群体もあった。このため平成18年9月以降は、水槽内の光量を徐々に増加させた。平成19年1月以降は、本調査においてサンゴを採取した海域（水深約4m）の光量（概ね1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、本調査の現地調査結果）に近づけた。水槽内の光量の調整はおもに遮光ネットおよび樹脂製ネット（タキロン製トリカルネット）を用いて行った。

親サンゴ水槽内の光量の改善後の遮光条件と光量子束密度を表Ⅱ-4-3-1に示す。光量子束密度は、晴天時の正午付近に、光量子データロガー（LI-COR、LI-1000）を用いて測定した。1つの水槽あたり1秒間隔で1分間の計測を3回繰り返し、その平均値を求めた。屋外のFRP水槽内の光量は、概ねサンゴ採取現場の値に近かった。サンゴの状態は1年を通して大きな変化は見られなかった。一方、屋内のポリカーボネート水槽においては、冬至のころに光量がかなり減少した。遮光物は、屋根材であるポリカーボネート波板のみであったが、目標の半分程度しか光量が得られなかった。この光量の減少に伴い、同水槽内のサンゴの共肉の茶褐色が濃くなる傾向が見られた。おそらく、十分な光合成を行うために共生藻が増加したのではないかと思われる。

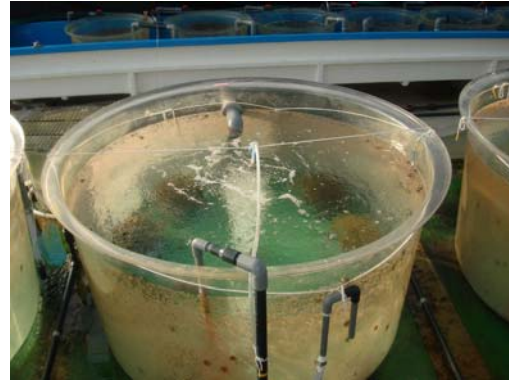
表Ⅱ-4-3-1 親サンゴ飼育用水槽内の光量子束密度

	2トン・FRP水槽 (サンゴ収容水深約50cm)		1トン・ポリカーボネート水槽 (サンゴ収容水深約60cm)	
	遮光条件	光量子量 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	遮光条件	光量子量 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
H20/3/25	遮光なし	1,399	ポリカ屋根板1枚	1,136
H20/4/19	遮光なし	1,566	ポリカ屋根板1枚	1,385
H20/5/16	トリカネット 目合25mm1枚	1,337	ポリカ屋根板1枚	1,553
H20/7/9	30%遮光ネット1枚	943	ポリカ屋根板1枚 +15%遮光ネット1枚	1,197
H20/8/18	30%遮光ネット1枚	989	ポリカ屋根板1枚 +15%遮光ネット1枚	1,175
H20/10/11	30%遮光ネット1枚	838	ポリカ屋根板1枚 +15%遮光ネット1枚	874
H20/12/27	遮光なし	929	ポリカ屋根板1枚	622

(4) 水流

海域において、サンゴは常に波による往復流や潮流などの流れに晒されている。海域の流速は、沖ノ鳥島では概ね10~20cm/secであり、沖縄県阿嘉島では3.96~7.87cm/secと報告されている（谷口 2001）。また、サンゴの枝状破片や小型群体を用いた実験により、強い流れは（20cm/sec）サンゴの白化を抑制するとともに、サンゴの成長を促進することが報告されている（Nakamura and Yamasaki 2005 ; Nakamura et al. 2005）。

本調査では、エアレーションにより水流を発生させた水槽内で親サンゴを飼育した。流速はエアの強さを変えることにより調節が可能である。飼育当初の平成18年5月~9月までは数cm/secの弱い水流をサンゴへ与えていたが、上述の既存情報を参考にし、平成18年9月以降は約10cm/secに水流を強めた（電磁流速計ケネックLP1100、LPT-200-09PSを用いて測定）。



写真Ⅱ-4-3-3 水槽の遮光状況(左)、エアレーションによる水流の発生(右)

(5) 競合生物の除去

藻類は水槽壁面や着床具等に繁茂し、サンゴに絡み付いて成長を妨げ、ひどい場合は群体を覆い、へい死させることがある。

本調査では、藻類駆除を目的として、貝類(タカセガイ稚貝(標準和名サラサバテイ)、殻幅4~30mm;カンギクガイ成貝、殻幅約20mm;ハナビラダカラ成貝、殻幅約20mm)および魚類幼魚(アミアイゴ、ハギ類、いずれも体長10cm程度)を水槽に収容した。貝類は、微細藻類(珪藻や他の藻類の幼体など)については有効であったが、成長して立体化した緑藻や紅藻、褐藻は摂食できなかった。貝類が駆除できない藻類については、アイゴが有効であった。ハギ類については、キイロハギ、サザナミハギ、コクテンサザナミハギ、ゴマハギを試したが、顕著な効果を発揮できる種は、今回の調査では見出せなかった。

貝類の収容数は、1トン水槽の場合、殻幅10~20mm程度の個体であれば200~500個体を目処としたが、藻類の繁茂状態や水槽内に収容するサンゴ数、またグレーチングなどの水槽内に設置する構造物の量によって個体数を調整した。アイゴは、通常、飼育海水1トンあたり1、2個体で藻類の駆除が可能であったが、大型海藻が繁茂した場合には、一時的に個体数を増やした。

季節の変わり目などに、貝類や魚類が摂餌できない珪藻、藍藻、褐藻が生える場合があった。これらは人手により駆除を行った。また、イソギンチャク類も水槽に増殖しやすい。親サンゴへの影響は少ないようであるが、有益な生物ではないので駆除を行った。駆除にはミゾレチョウチョウウオが有効であった。同種はサンゴのポリプ食であるとされているが、本調査では、サンゴに悪影響を与えているようには見えなかった。本調査における最低収容密度は2トン水槽に1個体であったが、この場合でも十分に駆除ができた。



写真Ⅱ-4-3-4 藻類・イソギンチャク駆除に用いた貝類および魚類
 (左):タカセガイ、ハナビラダカラ、カンギクガイ
 (中):アミアイゴ、(右):ミゾレチョウチョウウオ

3) 親サンゴの搬入、生残、成長

(1) 搬入および生残

沖ノ鳥島より種苗センターへ搬入したサンゴ群体数、生残群体数および沖ノ鳥島への再移植（戻し移植）数について、搬入回ごとに表Ⅱ-4-3-2～表Ⅱ-4-3-4にまとめた。

親サンゴの搬入は、平成18年5月と8月および平成19年5月の計3回行った。平成18年9月以降、前述のように水流と光量の飼育環境の改善により、搬入回を経るごとにサンゴの生残率は向上した。平成19年5月に搬入した親サンゴについては、群体のへい死や群体の部分的な壊死は発生しなかった。また、飼育環境の改善後は、サンゴ群体の活性（触手を伸ばす度合いや共肉の色）も良好になった。

本事業の最終年度に、生残していたすべての親サンゴを、平成20年5月と平成21年1月の2回に分けて沖ノ鳥島の礁池内に再移植した。

表Ⅱ-4-3-2 平成18年5月に搬入された親サンゴの生残状況

種	搬入群体数 H18/5/25	生残群体数 H20/4/22 (飼育日数698)	再移植群体数 H20/5/2 ^{*1}
<i>Acropora tenuis</i> ウスエダミドリイシ	3	1	1
<i>A. globiceps</i> ミドリイシ属	4	1	1
<i>A. sp.4</i> ミドリイシ属	7	1	1
計	14	3 (生残率21%)	3

*1 沖ノ鳥島海域へ再移植した日付

表Ⅱ-4-3-3 平成18年8月に搬入された親サンゴの生残状況

種	搬入群体数 H18/8/21	生残群体数 H20/4/22 (飼育日数610)	搬出群体数 H20/5/2 ^{*1}	生残群体数 H21/1/8 (飼育日数871)	再移植群体数 H21/1/19 ^{*1}
<i>Acropora tenuis</i> ウスエダミドリイシ	5	2	1	1	1
<i>A. globiceps</i> ミドリイシ属	6	5	0	3 ^{*2}	3
<i>A. sp.4</i> ミドリイシ属	6	6	1	1 ^{*2}	1
計	17	13 (生残率76%)	2	5	5

*1 沖ノ鳥島海域へ再移植した日付

*2 6群体のへい死は、平成20年7月の過酸化水素水を用いた産卵誘発の際に生じた

表Ⅱ-4-3-4 平成19年5月に搬入された親サンゴの生残状況

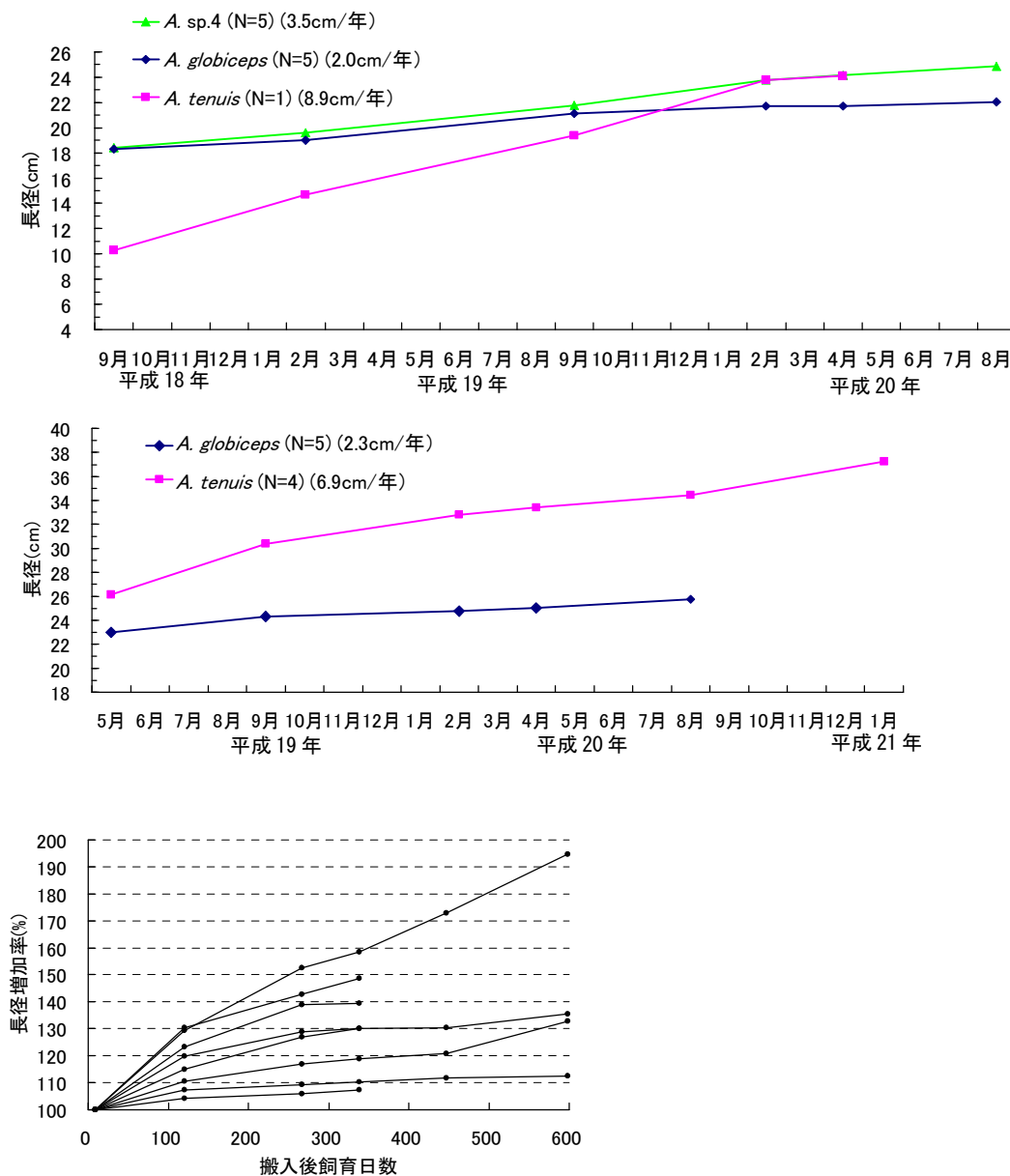
種	搬入群体数 H19/5/16	生残群体数 H20/4/22 (飼育日数342)	搬出群体数 H20/5/2 ^{*1}	生残群体数 H21/1/8 (飼育日数603)	再移植群体数 H21/1/19 ^{*1}
<i>Acropora tenuis</i> ウスエダミドリイシ	9	9	5	4	4
<i>A. globiceps</i> ミドリイシ属	5	5	0	5	5
計	14	14 (生残率100%)	5	9	9

*1 沖ノ鳥島海域へ再移植した日付

(2) 成長

親サンゴの成長状況を図Ⅱ-4-3-3に示す。成長量は、*A. tenuis*が6.9~8.9cm/年、*A. globiceps*が2.0~2.3cm/年、*A. sp.4*が3.5cm/年であった。*A. tenuis*の成長が最も良く、後者2種の成長速度は、*A. tenuis*の2~3分の1程度であった。若干、冬期において成長が鈍る傾向が見られるが顕著な差ではなかった。現地調査の結果から、*A. sp.4*の成長量は1.5~6.0cm/年と推定されていることから、水槽内のサンゴは順調に成長していると思われる。

しかし、*A. tenuis*各群体間において成長のばらつきが見られ、その差は顕著であった。群体によって求める生息環境が異なる可能性もある。



図Ⅱ-4-3-3 親サンゴの成長

(上)平成18年8月搬入分、(中)平成19年5月搬入分

搬入から飼育終了まで追跡調査が可能であった群体のみの長径を測定し成長量を求めた。Nは測定群体数、cm/年は年間成長量を示す。

(下)平成19年5月に搬入した各*A. tenuis*群体の長径増加率

4) 産卵

平成 19 年および平成 20 年におけるサンゴの産卵状況をそれぞれ表 II 4-3-5 および表 II 4-3-6 に示す。*A. tenuis* の産卵盛期は 5, 6 月、*A. globiceps* および *A. sp. 4* については 7, 8 月であった。平成 20 年は満月の時期が 2 週間ほど平成 19 年より早かったため、産卵盛期が前年より前の月にずれた。

A. tenuis は、平成 19 年 6 月 9 日(満月 8 日後)には 11 群体中 7 群体が、平成 20 年 5 月 28 日(満月 7 日後)には 5 群体中 5 群体が同日に同調して産卵を行った。平成 18 年 8 月に搬入した *A. globiceps* は、平成 19 年 7 月 12 日(満月 12 日後)に同調して産卵を行ったものの(5 群体中 4 群体)、翌年の産卵日は分散した。2007 年 5 月に搬入した *A. globiceps* およびすべての *A. sp. 4* については、いずれの年においても産卵に群体間の同調性が見られず、産卵日は分散した。また、単一群体が、異なる日に複数回にわたって産卵する傾向が見られた。ただし、同調して産卵を行わなかった *A. globiceps* および *A. sp. 4* でも、満月後 7~13 日に産卵量が多い傾向は見られた。

沖ノ鳥島においては、*A. globiceps* および *A. sp. 4* の一斉産卵が平成 19 年 7 月 6 日(満月 6 日後)に観察されている。また、阿嘉島周辺海域では、満月 3 日前~7 日後にほとんどのサンゴが産卵を行う。これらの情報と比較すると、本調査における水槽内での産卵は若干遅れ気味であった。

上述のように、*A. globiceps* および *A. sp. 4* は群体間における産卵日の同調性が低いため良好な受精卵を得ることが難しかった。このため、*A. globiceps* については平成 20 年 7 月、8 月に 8 群体を、*A. sp. 4* については 7 月に 4 群体を Hayashibara et al. (2004) に従い産卵誘発した。前者についてはまったく産卵しなかった。後者は誘発の翌日に 4 群体から約 8 万粒の産卵が見られたが、その後、群体の組織が腐り、へい死した。両種とも生殖巣は成熟していたことから、誘発に用いた過酸化水素水の濃度と処理時間が適切でなかった可能性が考えられた。

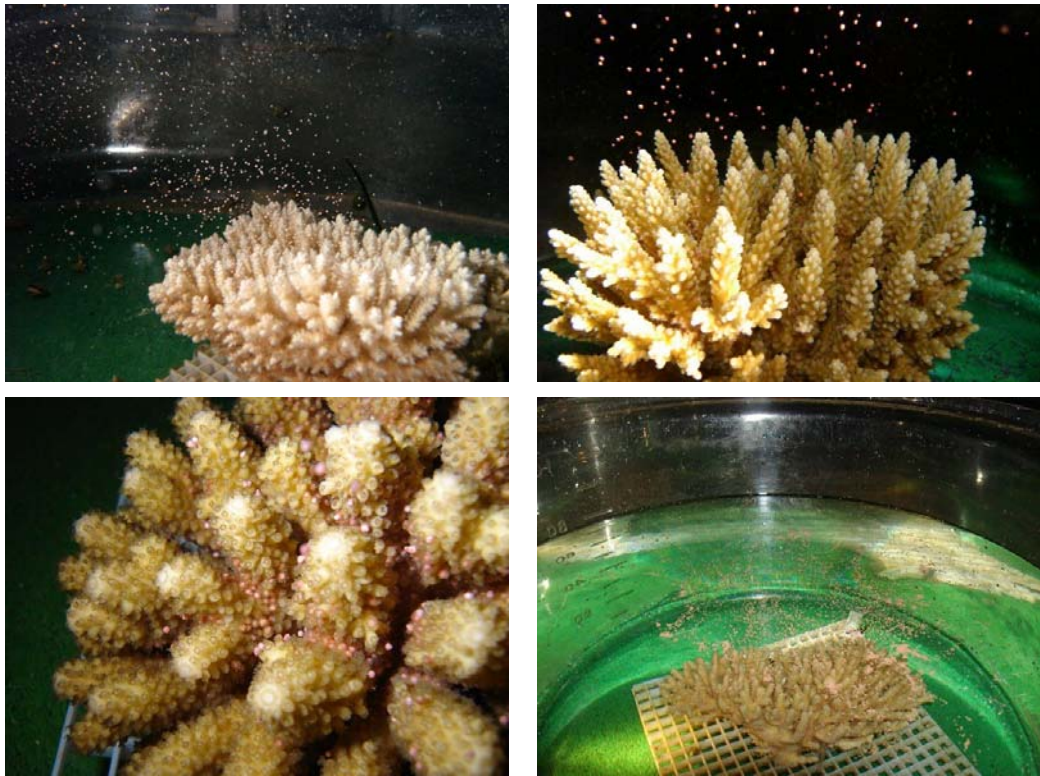
表 II-4-3-5 平成 19 年における産卵状況

種	群体数		産卵数 (粒)				
	飼育数	産卵数	5 月	6 月	7 月	8 月	合計
<i>A. tenuis</i>	11	8	2, 453	255, 289			257, 742
<i>A. globiceps</i>	10	10			7, 300*1	384, 057	391, 357
<i>A. sp. 4</i>	5	5			340, 294	90, 893	431, 187
							1, 080, 286

*1 7 月 12 日に同調産卵が行われたが、台風接近により、すべての卵の回収および計数ができなかったため、実際の産卵数より少なくなっている。

表 II-4-3-6 平成 20 年における産卵状況

種	群体数		産卵数 (粒)				
	飼育数	産卵数	5 月	6 月	7 月	8 月	合計
<i>A. tenuis</i>	5	5	541, 853	0	0	0	541, 853
<i>A. globiceps</i>	10	7	0	305, 897	22, 214	422	328, 533
<i>A. sp. 4</i>	5	5	0	95, 350	84, 842	112	180, 304
							1, 050, 690



写真Ⅱ-4-3-5 水槽内でのサンゴの産卵

(左上) *A. tenuis*、(右上) *A. sp.4*、

(左下) *A. globiceps*、(右下)産卵直後に水槽表面に浮遊するバンドル

5) まとめ

本調査における水槽内の月平均水温は、概ね 22~29℃の範囲にあった。海域における月平均水温は、沖ノ鳥島では 24~30℃（現地調査結果）、沖縄・阿嘉島では 21~29℃（岩尾 2006）である。本来は、飼育サンゴがもともと生息していた海域の水温を、水槽内においても再現するほうがサンゴに与えるストレスは少ないと推測される。しかしながら、今回のような遠隔地での飼育においては、採集地点と同じ水温条件を保つことが難しい。このような場合でも、サンゴは飼育地の水温環境に順応できる能力があることが今回の調査で明らかになった。

光量を生息海域と同様な状態にすることにより、水槽内でもサンゴの飼育が可能であることが分かった。光量の調整には、一般に遮光ネットが用いられるが、サンゴを収容する水深を変えることによっても光量の調整は可能である。また、光の揺らぎが、共生藻の強い光に対するストレスを軽減する（中村 2005）ので、今回は、エアレーションで光の揺らぎを発生させた。エアレーションは、水流を発生させるためにも利用できる。今後、光の量だけでなく、光の質についても調査が必要である。特に、紫外線による飼育サンゴへの影響も明らかにする必要があるだろう。水槽の水深は浅いため、飼育サンゴは野外のものと比較して、より多くの紫外線を浴びていると考えられる。紫外線は共生藻に影響し、サンゴの白化を引き起こす原因と考えられている（日高 2000）。

水流に関しては、10cm/sec ほどの流速で親サンゴ群体の飼育が可能であることが分かった。今回の調査では試験を行わなかったが、より強い水流や往復流によるサンゴへの影響

を調べることにより、より好適な飼育環境が把握できるであろう。

今回の調査では、水温、光、水量、藻類の繁茂を管理することで、サンゴを水槽内で飼育し、産卵まで行わせることができた。概ね適切な飼育環境条件を把握できたと考えられる。

6) 課題

最も重要な課題は、*A. globiceps* および *A. sp. 4* の産卵を群体間において同調させることである。また、各群体間の成長や産卵量のばらつきも改善する必要がある。これらの問題を解決するために、より好適な飼育環境の把握および飼育技術の開発が必要である。

Ⅱ-4-4 種苗生産

沖ノ鳥島産親サンゴが陸上水槽内で産卵した卵を用いて大量種苗生産を行った。本調査で用いた種苗生産方法は、阿嘉島臨海研究所で開発されたものである。同研究所から種苗生産に関して助言・指導を受けるとともに、種苗生産の過程において明らかとなった問題点について、本調査でも独自に技術改良を行った。

1) 種苗生産方法

平成19年および平成20年の5~8月に、沖ノ鳥島産ミドリイシ類のサンゴが種苗センターの水槽内で産卵し、その卵を用いて種苗生産を行った。

ポリプの口部にバンドルが認められた群体は、速やかに親サンゴ飼育水槽から100ℓ円形ポリカーボネート水槽に移し、その水槽の中で産卵を行わせた。2群体以上が同じ日に産卵した場合は、その日に放出されたすべての精子と卵を1つの容器に收容し受精させた。約1時間の媒精後、洗卵処理した受精卵を複数の30, 100, 500ℓの円形ポリカーボネート容器に分けて收容し飼育を開始した。なお、1群体しか産卵放精しなかった日の卵は受精できないため廃棄した(例えば、林原1995)。受精卵の收容密度は概ね100~300粒/ℓであった。換水は1日1回、飼育水槽の約3/4の海水を交換した。産卵の3~6日後、プラヌラ幼生が着底行動を示し、水槽の底に集まるようになった段階で、着底用水槽(500ℓ角型水槽等)に幼生を移した。着底用水槽には、幼生を收容する前に着床具として素焼き陶製基盤を水槽の底に敷き詰めた。平成19年には、主に格子状の基盤(縦横12cm、厚さ2.5cm、1.5×1.5cmの孔を縦横とも5列配置)を、平成20年にはタイル(縦横10cm、厚さ0.5cm、平板)を着床具として用いた。着床具は、事前に1~16ヶ月間海水に沈水して、石灰藻やバクテリアフィルムが付いたものを用いた。幼生を着床具入り水槽に收容した後は、毎日、水槽の約半分の海水を交換した。幼生が着底した着床具は、屋外の1.4トンFRP水槽(稚サンゴ水槽)へ移した。着底した幼体の計数とサイズの測定は、骨格が形成される着底後100時間以降に実施した。



写真Ⅱ-4-4-1 種苗生産の状況
(左上)採卵、(右上)洗卵、(左下)幼生飼育水槽、(右下)着底用水槽

2) 種苗生産結果

平成 19 年および平成 20 年における種苗生産結果を、それぞれ表 II-4-4-1 および表 II-4-4-2 に示す。

平成 19 年の種苗生産において、*A. tenuis* については、約 11 万個体の着底幼体を得ることができた。*A. globiceps* および *A. sp. 4* の着底幼体数については、それぞれ 755 個体、1,704 個体と生産数は少数であった。また、これらの 2 種は、発生中の胚および浮遊幼生に多くのへい死が見られた。さらに、*A. sp. 4* の幼生は、*A. tenuis* と同様に産卵後 5 日ほどで水槽底面には移動するものの、変態までの時間が長く、その期間に多くの幼生がへい死した。*A. globiceps* は着底行動が不明瞭で、産卵後 5 日を過ぎても多くの幼生が浮遊していた。その後、着底せずに徐々に幼生数が減耗した。また、約 3 週間浮遊した後に水中で変態してしまう幼生も多々見られた。このように、種によって幼生の着底および変態の状況はかなり異なっていた。今般の種苗生産では 3 種とも同じ種苗生産手法を用いたが、ミドリイシ類であっても種の違いにより、幼生の生残率および着底率が全く異なることが明らかになった。

平成 19 年において *A. globiceps* と *A. sp. 4* の幼生の生残率が低かった要因については、①受精させた卵と精子の相性が悪かった（遺伝的なのか不明）、②卵の成熟度が低い、あるいは卵質が悪かった、③飼育方法が適切ではなかったことが考えられた。また、これらの 2 種の着底率が低かった原因としては、本調査で用いた着床具に十分な着底・変態誘引を行う生物が少なかつた可能性も考えられた。サンゴ幼生の着底・変態を誘引する物質を持つ生物として、石灰藻 (Morse et al. 1996) およびバクテリアの 1 種 (Negri et al. 2001) が報告されている。

このため、平成 20 年の *A. globiceps* の種苗生産においては、着床具を改善するための試験を実施した（試験の詳細は次項目で示す）。これにより、大幅に着底率が向上した。

一方、*A. sp. 4* については、平成 20 年 7 月の産卵誘発により約 8.4 万粒の卵が得られたが、バンドル内に全く精子が存在していなかったため、受精させることができなかった。今回の調査では、精子が存在しなかった原因は分からなかった。

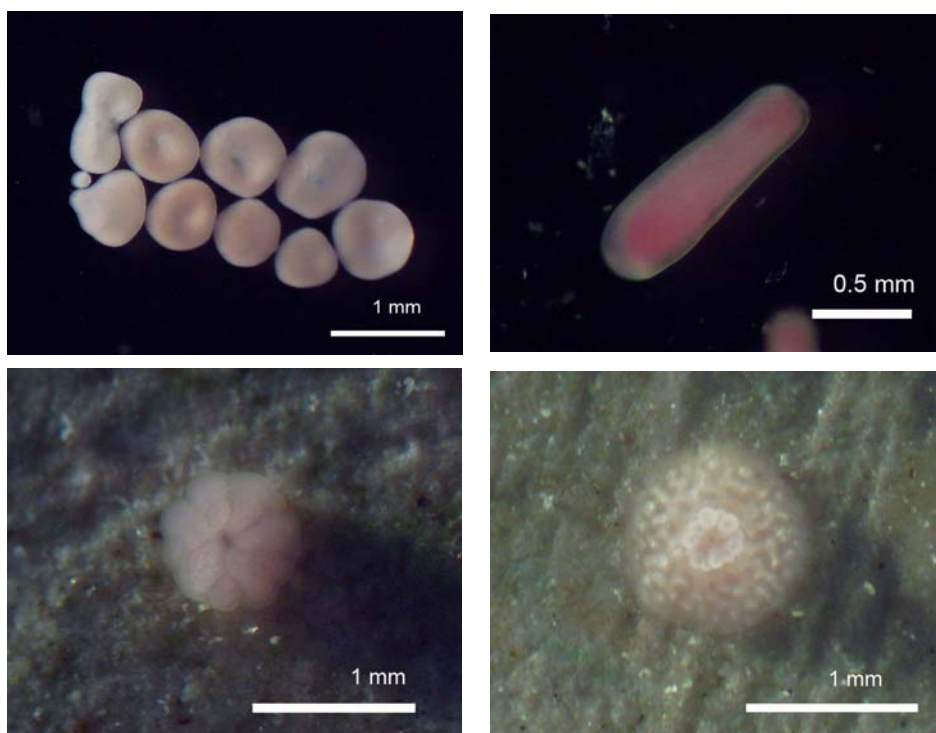
表 II-4-4-1 平成 19 年 種苗生産結果

	産卵数 (粒)	受精率 (%)	着底水槽内飼育			
			收容幼生		着底 幼体数	着底率 (%)
			個体数	密度*1		
<i>A. tenuis</i>	257,724	93~98	204,882	87~114	110,848	54.1
<i>A. globiceps</i> (7 月産卵)	ND	ND	ND	ND	100	ND
<i>A. globiceps</i> (8 月産卵)	391,357	58~96	33,883	15~33	655	1.9
<i>A. sp4</i>	431,187	31~73	74,492	27~83	1,704	2.3

*1 密度単位：個体数/l, ND は計測できなかったことを示す

表 II-4-4-2 平成 20 年 種苗生産結果

	産卵数 (粒)	受精率 (%)	着底水槽内飼育			
			收容幼生		着底 幼体数	着底率 (%)
			個体数	密度*1		
<i>A. tenuis</i>	541,853	100	32,358	10~22	17,720	54.8
<i>A. globiceps</i>	328,533	27~98	11,780	19~97	3,756	31.9
<i>A. sp4</i>	180,304	0	-	-	-	-



写真Ⅱ-4-4-2 受精から着底までの *A. tenuis*
 (左上) 胚、(右上) 5 日齢プラヌラ幼生、(左下) 着底直後の幼体
 (右下) 骨格が形成された 8 日齢の幼体(着底 3 日後)

3) 着床具の改良

石灰藻（無節サンゴモ）およびバクテリアの 1 種がミドリイシ類のサンゴの着底・変態を誘引する付着生物として報告されている。そこで、平成 20 年 6, 7 月に、種苗生産における石灰藻の実用性を確かめるため、事前処理方法の異なるいくつかの種類に着床具を用いて、着底率の比較を行った。用いた着床具のタイプは、A: 表面に石灰藻を培養した着床具、B: 水槽に 1 年間沈水した着床具、C: 海域に 1 年間沈水した着床具、D: 海域に 2 ヶ月間沈水した着床具であった。同一水槽内に、3 もしくは 4 タイプの着床具および幼生を収容し、着底後に各タイプの着床具に着底した幼体数を計数した。試験には *A. globiceps*（沖ノ鳥島産親サンゴ）および *A. humilis*（阿嘉島産親サンゴ）の幼生(3~7 日齢)を用いた。

目視観察では、石灰藻の付着量は、A、B、C、D の順で多かった。両種とも、石灰藻付きの着床具に着底が偏る傾向が見られた（図Ⅱ-4-4-1）。

今回の試験により、石灰藻付きの着床具を用いることにより、より効率的に種苗生産を行えることが分かった。今後、着床具上の石灰藻の量と着底率の関係について、詳しい試験が必要である。

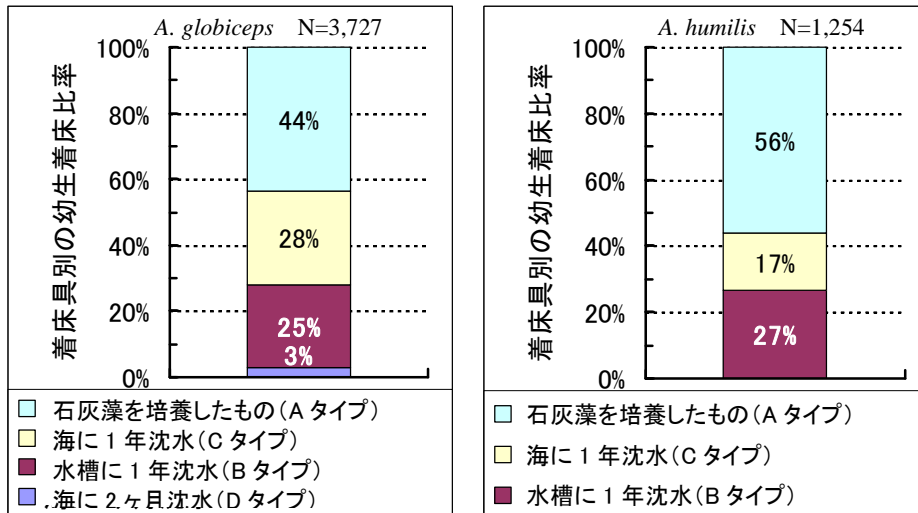


図 II-4-4-1 事前処理方法の異なる着床具別のプラヌラ幼生の着底比率 (*A. globiceps*: A~D の 4 種類、*A. humilis*: A~C の 3 種類の着床具を使用)

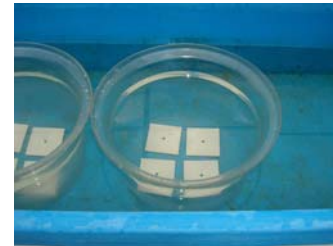
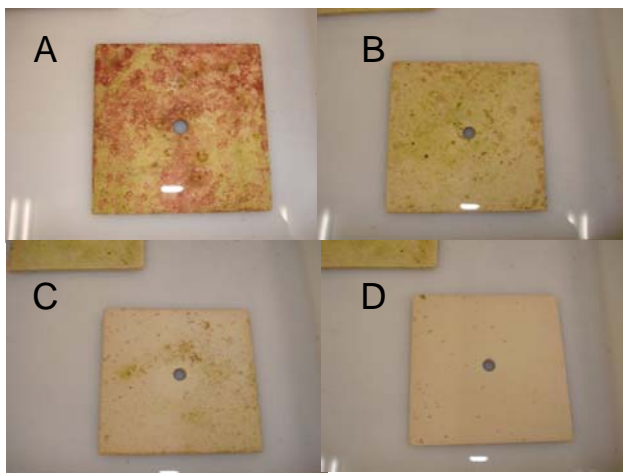


写真 II-4-4-3 事前処理の異なる着床具を用いた幼生着底試験の状況 (左)着床具 A~D (上)300L水槽に収容した着床具

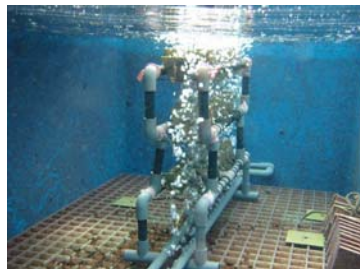


写真 II-4-4-4 着床具に石灰藻を培養する一例 (左)石灰藻培養に用いたタイル収容ホルダー (中央)水中に設置した状況、強エアレーションにより石灰藻の増殖を促進 (右)光量 $100 \sim 200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の場合、1ヶ月で表面に石灰藻が増殖し始める

4) まとめ

今回の種苗生産試験では、長期間水槽飼育した *A. tenuis* の親サンゴが産卵した卵を用いた場合でも、従来の幼生飼育および着底誘引方法で種苗生産が可能であることがわかった。しかし、*A. tenuis* 以外の種において効率的に種苗生産を行うためには、手法の改良を行う必要があることも明らかになった。

5) 今後の課題

A. tenuis だけではなく、他のミドリイシ類サンゴおよび他属のサンゴについても、安定した種苗生産が可能となるような技術を開発する必要がある。そのためには、特に *A. sp4* および *A. globiceps* について以下の課題を解決することが必要であると思われる。

①受精率の向上

受精率が極端に低い場合がある。得られる幼生数が少なくなるだけでなく、未受精卵は飼育中に腐り、他の卵や胚に悪影響を及ぼしていると考えられる。

②胚・幼生の浮遊期間中の生残率の向上

特に *A. globiceps* において、飼育中に胚が腐ったり、幼生が水面上に浮かんだまま浮遊せずにへい死したりするケースが多い。本種は、卵内や卵の周囲に多くの油脂を持っているように見られる。これが卵・幼生の腐敗やへい死に関係しているのかもしれない。

③着底率の向上

着底行動は示すものの、なかなか変態に至らないケースも多々見られた。着底誘引物質（石灰藻等）の量や着床具の素地や形状、着床具表面の状態（幼生が着底しやすいような凹凸の存在等）に改良の余地があるのかもしれない。また、着底誘引生物であると考えられる石灰藻のより効率的な培養方法を開発する必要もある。

④他の種および属のサンゴの種苗生産手法の開発

ミドリイシ類の今回対象とした3種以外の種や他属のサンゴについても、適切な種苗生産手法を開発が必要である。

Ⅱ-4-5 稚サンゴの中間育成

種苗生産した稚サンゴを陸上水槽において移植サイズまで飼育する技術を開発するとともに、好適な飼育条件の把握を行った。

1) 飼育水槽

稚サンゴ飼育には、開放式 1.4 トン FRP レースウェイ水槽（約 L500xW70xD40cm）を用いた（写真Ⅱ-4-5-1）。底に堆積するシルトやゴミが稚サンゴに付着するのを防ぐために、着床具は底から約 15cm 離れた状態で收容した（写真Ⅱ-4-5-2）。また、藻類の繁茂を防ぐために、親サンゴ飼育の場合と同様に、水槽内部に石灰藻を付着させた。



写真Ⅱ-4-5-1 稚サンゴ水槽

(左)夏季の状況、(右)冬季に保温のために用いたビニールテント



写真Ⅱ-4-5-2 着床具の水槽内での收容状況

(左)プラスチック製ネットによる底上げ、(右)ステンレス棒に串刺して吊り上げ

2) 飼育環境

(1) 水温

稚サンゴ飼育海水の月平均水温を図Ⅱ-4-5-1に示す。水槽内の水温は、阿嘉島周辺海域とほぼ同様であった。この様な飼育水温条件下において、概ね稚サンゴの飼育は可能であることが分かった。しかし、冬季に多くの群体がへい死する傾向も見られた。稚サンゴの低水温耐性に関して更なる試験が必要である。

本調査では換水率の基準を 0.5 回転/時間に設定していたが、夏季の日中に水温が 30°C を上回る場合は最高で 0.67 回転/時間にまで換水率を上げた。冬季には、換水率は 0.5 回

転/時間に保ち、ビニールテントを用いて保温対策を行った。ヒーターによる加温は基本的に行わなかった。

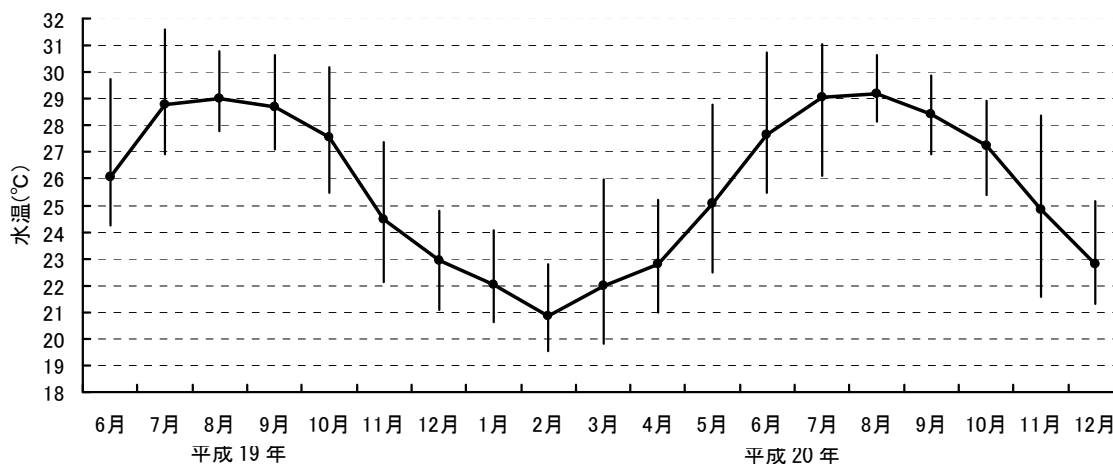


図 II-4-5-1 稚サンゴ飼育用水槽の水温変化
(垂直棒: 月間最低・最高水温)

(2) 光量

遮光は、年間を通じて 30%遮光ネット、もしくはビニール製テント (透過率: 約 80 %) を用いて行った。また、夏季の日中に水温が 30°C を超えるような場合には、目合 25mm のトリカルネットを用いて光量を抑えた。

稚サンゴ水槽における、遮光条件と光量子束密度のデータを表 II-4-5-1 に示す。測定方法は親サンゴ水槽の場合と同様であった。稚サンゴは親サンゴより強光度に弱いのではないかという懸念から (仮説であり実証はされていない)、稚サンゴ水槽内の光量を親サンゴ水槽より若干暗めに設定した。

一部の稚サンゴ飼育において、光量の調節方法に例外もあった。平成 18 年 5 月の沖ノ鳥島現地調査の際に調査船上で種苗生産され、同月に種苗センターへ持ち込まれた稚サンゴについては、飼育当初において 80%遮光ネットを用いて光量を抑えていた。平成 18 年 9 月に台風が襲来した際に、遮光ネットを一時的にはずしたことにより、一部の稚サンゴが白化しへい死した。急激な光量の変化がへい死原因と推定される。これ以降、80%遮光から徐々に遮光率を下げ、平成 19 年 1 月以降は上述の遮光方法とした。

表 II-4-5-1 稚サンゴ飼育用水槽内の光量子束密度

観察日	遮光条件	光量子量 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
H20/3/25	糸入り透明ビニールテント	1,059
H20/4/19	30%遮光ネット 1 枚	1,018
H20/5/16	30%遮光ネット 1 枚	1,102
H20/7/9	30%遮光ネット 1 枚	1,058
H20/8/18	30%遮光ネット 1 枚および 25mm トリカルネット 1 枚	790
H20/10/11	30%遮光ネット 1 枚および 25mm トリカルネット 1 枚	538
H20/12/27	糸入り透明ビニールテント	554

(3) 水流

稚サンゴ飼育においてもまた、親サンゴ水槽と同様にエアレーションにより水流を発生させた。ただし、着底当初は、幼体が強固に着床具へ固着していない可能性があるため、着底後約1週間は止水状態で飼育した。群体が親サンゴより小さいことから、流速は親サンゴより弱くし、5cm/秒として飼育した。

3) 競合生物の除去

着床具上に繁茂しサンゴと競合する藻類を駆除するための貝類は、稚サンゴを稚サンゴ水槽へ移動した時点で収容した。競合藻類およびイソギンチャク駆除のための魚類については、着底4ヵ月後に稚サンゴ捕食実験を実施し安全性を確かめた上で稚サンゴと一緒に飼育を開始した。用いた貝類および魚類の種およびサイズは親サンゴ飼育の場合と同様であった。

これらの貝類および魚類と一緒に水槽内で飼育することにより、競合藻類およびイソギンチャクの発生を効果的に防ぐことができた。この他、人手により定期的にブラシやピンセットを用いて飼育貝類および魚類が摂食しなかった競合藻類を除去し、稚サンゴの成育を阻害しないように管理的な飼育を実施した。

4) 稚サンゴ飼育結果

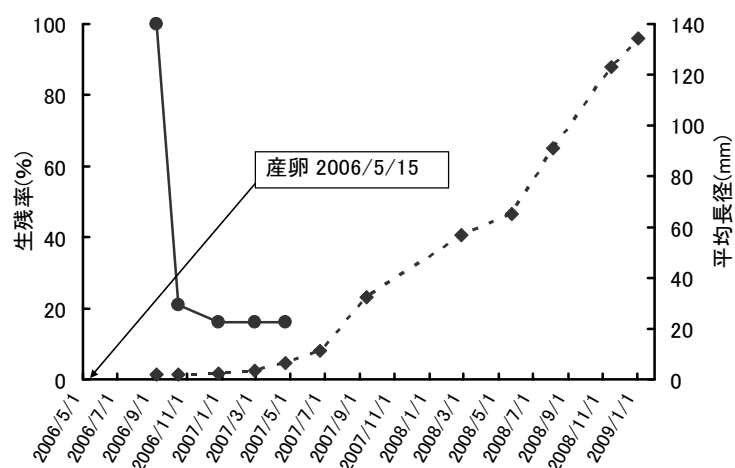
(1) 平成18年に生産した稚サンゴ

平成18年5月の沖ノ鳥島現地調査の際に、調査船上で種苗生産し、同月に種苗センターへ持ち込まれた稚サンゴの生残と成長を図II-4-5-2に示す。

産卵日は5月15日であったが、最初の稚サンゴ数の計数およびサイズ測定を実施したのは9月7日であった。このため、正確な着底幼体数は分からない。便宜的に9月7日の群体数を100%としてその後の生残率を求めた。

9月7日の時点では35群体が生残していたが、9月中旬の台風の際に遮光ネットを一時的にはずしたことにより、22群体の稚サンゴが白化しへい死した。急激な光量の変化が白化の原因と思われる。その後、若干の生残数の減少が見られたが、平成19年1月以降はへい死する群体は見られなかった。

成長は、若干冬季に遅くなる傾向が見られた。また、平成19年1月頃までの期間の成長は非常に遅い。遮光率の高いネットを用いていたため、十分な光が稚サンゴに当たらなかったことが原因と思われる。



図II-4-5-2 平成18年に生産した稚サンゴの生残と成長
実線:生残率、点線:平均長径

(2)平成19年に生産した稚サンゴ

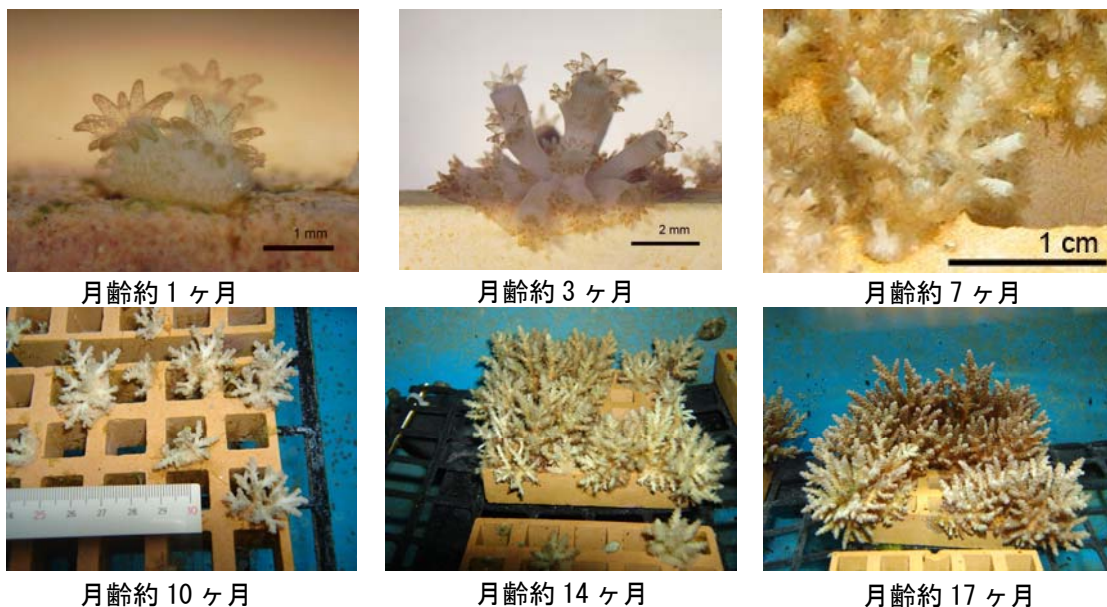
飼育した稚サンゴの生残および成長の結果を表Ⅱ-4-5-2 および図Ⅱ-3-5-3 に示す。

*A. tenuis*は、産卵後約200日目までは、生残率約82%、長径（平均）7.9mmと成育状態は良好であった。その後、平成20年1月に大量へい死が生じたため、群体数は大きく減耗したものの、第1回目移植直前の平成20年4月11日（産卵後307日目）の生残率は約59%と比較的高かった。これ以降の稚サンゴの減耗はわずかであった。大量へい死の原因は不明だが、要因のひとつとして、水温の急激な低下による成育状況の悪化を挙げることができるかもしれない。平成20年4月22日に、沖ノ鳥島への移植のために約63,000群体の稚サンゴ（平均長径13.1mm）を搬出した。平成21年1月8日には、2回目の移植のために約1,800群体（産卵後579日目）を搬出した。約200群体については第2回目搬出以降も水槽内で継続飼育している。

*A. sp. 4*は、産卵後約100日目では生残率約98%、長径3.5mmと成育状態は良好であった。産卵後約200日目には、サイズは大きくなっていったものの（長径7.1mm）、生残率は約42%に低下した。その後も生残率は低下し、1回目の搬出の平成20年4月までに約14%に、2回目の搬出の平成21年1月までに約6%に低下した。平成20年4月に約160群体、平成21年1月に26群体を沖ノ鳥島へ移植した。3群体のみ2回目移植以降も水槽内で継続飼育している。

*A. globiceps*は、産卵時期により成育状況は異なっていた。7月産卵の種苗については、産卵後約100日目では、生残率約94%、平均長径2.8mmと成育状態は良好であった。その後、急激に生残率が低下し始め、移植直前の平成21年1月3日における生残率は24%であった。

一方、8月産卵の種苗については、産卵後約65日目の生残率は約81%、平均長径は1.3mmと7月産卵の種苗よりも成育状況が悪かった。その後も稚サンゴの減耗が続き、移植直前の平成21年1月3日における生残率は約5%であった。7月産卵分より生残率が低い要因として、着底直後の水温低下や、産卵時期の遅れによる配偶子の質の不良等が考えられる。沖ノ鳥島への移植のため、平成21年1月に43群体を搬出し、残りの5群体を水槽内で継続している。



写真Ⅱ-4-5-3 稚サンゴの成長の状況

表Ⅱ-4-5-2 平成19年に生産した稚サンゴの生残と成長

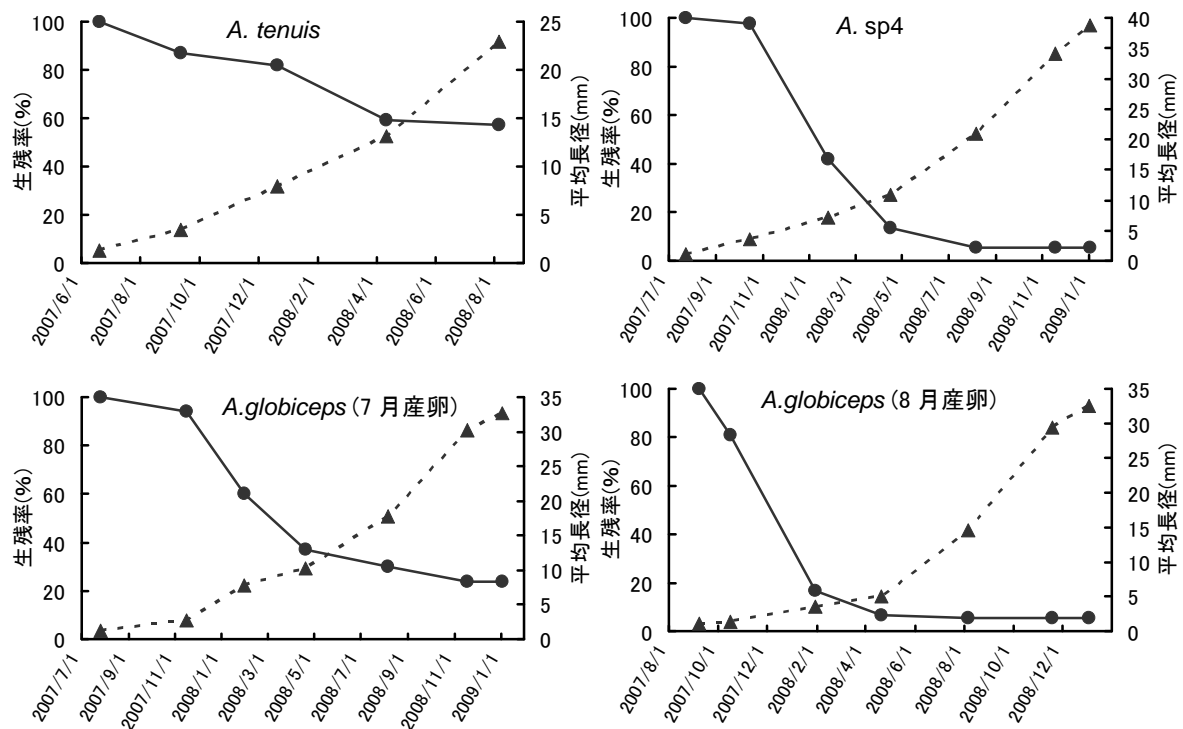
観察日	産卵後 日数*1	生残率*1 (%)	平均長径*1 (mm)	長径SD*1 (mm)	総生残数*1 (個体・群体)
<i>A. tenuis</i> (6月8, 9日産卵)					
H19/6/9	0	-	-	-	-
H19/6/20	11	100.0	1.3	0.11	110,848
H19/9/12	95	87.1	3.4	1.42	96,514
H19/12/21	195	81.9	7.9	3.09	90,781
H20/4/11	307	59.2	13.1	5.70	65,622
H20/8/6	424	57.1	22.9	9.36	[2,063] *2
H20/11/17	527	-	-	-*4	[2,063] *2, 3
H21/1/3	574	-	-	-*4	[2,063] *2, 3
<i>A. sp. 4</i> (7月10日産卵)					
H19/7/10	0	-	-		-
H19/7/23	13	100.0	1.1	0.14	1,704
H19/10/15	97	97.5	3.5	0.93	1,661
H20/1/25	199	41.7	7.1	2.24	771
H20/4/16	281	13.6	10.8	4.24	232
H20/8/6	393	5.6	21.0	7.05	[29] *2
H20/11/18	497	5.6	34.1	12.9	[29] *2
H21/1/3	543	5.6	38.7	14.7	[29] *2
<i>A. globiceps</i> (7月12日産卵)					
H19/7/12	0	-	-		-
H19/7/26	14	100.0	1.2	0.18	100
H19/11/16	96	94.0	2.8	0.85	94
H20/1/30	202	60.0	7.8	2.18	60
H20/4/20	283	37.0	10.2	2.71	37
H20/8/6	391	30.0	17.8	3.22	30
H20/11/18	495	24.0	30.2	7.55	24
H21/1/3	541	24.0	32.7	7.26	24
<i>A. globiceps</i> (8月12, 14日産卵)					
H19/8/12	0	-	-		-
H19/9/7	26	100.0	1.1	0.13	655
H19/10/16	65	80.8	1.3	0.24	529
H20/1/30	171	16.6	3.6	1.07	109
H20/4/20	252	6.6	5.1	1.77	43
H20/8/6	360	5.4	14.6	4.83	35
H20/11/18	464	5.3	29.4	5.78	35
H21/1/3	510	5.3	32.5	6.87	35

*1 生残率および群体サイズは、特定の群体を追跡調査して求めた。産卵後日数は、その特定の群体の日齢を示している。総生残数は、まず第1回目の観察でサンプル抽出により着底幼体の総個体数を求めた。次回の観察からは、その幼体総数に、特定の群体の追跡調査によって求められた生残率を乗算して得た。ただし、*A. globiceps* の7月産卵分の稚サンゴについては、当初から全数計数により生残率および総生残数を求めた。

*2 平成20年4月に沖ノ鳥島への移植のために大部分の稚サンゴを搬出した。[]内の数値は、搬出後に種苗センターに残された群体の推定数を示している。

*3 平成20年11月以降の観察においては、稚サンゴの成長に伴い着床具上に群体が密集するため生残群体数を計数することが不可能となった。しかし、同期間において全くへい死群体が見られなかったことから、平成20年8月時点の推定生残数からの減少はないと考えた。

*4 上記と同様な理由により、群体サイズの測定は平成20年11月以降できなかった。



図Ⅱ-3-5-3 平成19年に生産した稚サンゴの生残と成長
実線:生残率、点線:平均長径

(3) 平成20年に生産した稚サンゴ

飼育した稚サンゴの生残および成長の結果を表Ⅱ-4-5-3および図Ⅱ-3-5-4に示す。

*A. tenuis*および*A. globiceps*の両種とも、初期幼体の生残率が前年と比較して低くなっている。着底直後である6、7月の飼育海水の水温が、前年より急激に上昇したことが原因ではないかと疑われる。また、種苗生産に用いた着床具の違いによる影響があるかもしれない(平成19年は格子状着床具、平成20年はタイル着床具)。格子状着用具は穴の部分が陰になるが、タイルは平板であるため、サンゴ幼体に当たる光の量が多くなったと推測される。これが着底直後の幼体に悪影響を及ぼした可能性もある。一方、成長は平成20年のほうが良い。光量が多いことにより、成長が促進されたのかもしれない。

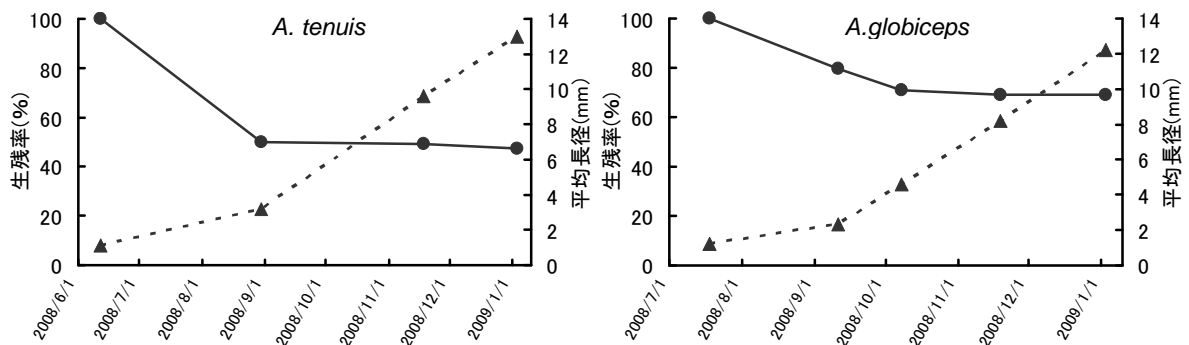
今後、高生残率および高成長率の両立を達成するためには、成長段階に従って微妙に光量調整を行う必要があるのかもしれない。

沖ノ鳥島への移植のため、平成21年1月に約7,700群体の*A. tenuis*および約2,500群体の*A. globiceps*を沖ノ鳥島へ移植した。移植以降も、*A. tenuis*および*A. globiceps*の稚サンゴについてそれぞれ約500群体および約90群体を水槽内で継続飼育している。

表Ⅱ-4-5-3 平成20年に生産した稚サンゴの生残と成長

観察日	産卵後 日数*1	生残率*1 (%)	平均長径*1 (mm)	長径 SD*1 (mm)	総生残数*1 (個体・群体)
<i>A. tenuis</i> (5月28日産卵)					
H20/5/28	0	-	-	-	-
H20/06/12	15	100.0	1.1	0.18	17,720
H20/08/30	94	50.0	3.2	1.15	8,860
H20/11/18	174	49.1	9.6	2.99	8,452
H21/1/3	220	47.2	13.0	3.87	8,198
<i>A. globiseps</i> (6月26, 28日、7月1, 7, 8日産卵)					
H20/7/1	0	-	-	-	-
H20/7/18	17	100.0	1.2	0.19	3,756
H20/9/11	72	79.6	2.3	4.60	2,990
H20/10/8	99	70.9	4.6	2.45	2,661
H20/11/19	141	69.1	8.2	2.93	2,595
H21/1/3	186	69.0	12.2	3.00	2,591

*1 生残率および群体サイズは、特定の群体を追跡調査して求めた。産卵後日数は、その特定の群体の日齢を示している。総生残数は、まず第1回目の観察でサンプル抽出により着底幼体の総個体数を求めた。次回の観察からは、その幼体総数に、特定の群体の追跡調査によって求められた生残率を乗算して得た。



図Ⅱ-3-5-4 平成20年に生産した稚サンゴの生残と成長

実線:生残率、点線:平均長径

5) 光量試験結果

サンゴ幼体の飼育における適正な光条件を調べるために、異なる遮光状態の水槽で飼育試験を行った。試験には、本種苗センターで平成20年に種苗生産した *A. tenuis* および *A. globiseps* の幼体を用いた。サンゴ幼体が着生しているタイルは、水槽内に垂直にして設置した。光量子の測定結果を表Ⅱ-4-5-4に、飼育結果を表Ⅱ-4-5-5および表Ⅱ-4-5-6に示す。

表Ⅱ-4-5-4 試験期間における光量子束密度

観察日	光量子量 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)* ¹		
	30%遮光ネット1枚	50%遮光ネット1枚	30%遮光ネット2枚
H20/7/9	1,058	1,036	543
H20/8/18	977	864	508
H20/10/11	730	598	394
H20/12/27	718	554	329

*1 晴天時の正午付近において測定した。

表Ⅱ-4-5-5 *A. tenuis*における異なる遮光条件下での成長および生残

方法			最終結果		
遮光状態	用いた幼体		試験期間	生残率	平均長径増加率* ¹
	月齢	群体数			
50%遮光ネット1枚	2ヶ月齢	63	H20/7/23～	90.5%	965%
30%遮光ネット2枚		53	H21/1/3	94.0%	336%

*1 平均長径増加率＝試験終了時の平均長径/試験開始時の平均長径

表Ⅱ-4-5-6 *A. globiceps*における異なる遮光条件下での成長および生残

方法			最終結果		
遮光状態	用いた幼体		試験期間	生残率	平均長径増加率
	日齢	群体数			
30%遮光ネット1枚	17日齢	195	H20/7/17～	61.7%	756%
30%遮光ネット2枚		30	H21/1/3	50.0%	337%

*1 平均長径増加率＝試験終了時の平均長径/試験開始時の平均長径

両種とも、明るい環境下のほうが顕著に高い成長率を示した。暗い環境下より明るい環境下のほうが2.2～2.9倍成長率が高かった。

生残率に関しては、両種間において異なる結果となった。また、*A. globiceps*の結果は、平成19年および平成20年の種苗生産結果(平成20年に用いたタイル着床具は光が当たりやすいため生残率が低い)とも矛盾する。今後も更なる試験が必要である。

*A. tenuis*については、2ヶ月齢の幼体を用いたため、今後、着底初期の情報を収集するための試験も必要である。

6) 給餌および換水率試験結果

給餌の有無および換水率の違いによるサンゴ幼体の生残率および成長量の変化を調べた。試験には、本種苗センターで平成19年および平成20年に種苗生産した*A. tenuis*幼体を用いた。

試験区は、①給餌なし、換水率0.5回転/時間、②給餌あり、換水率0.5回転/時間、③給餌あり、換水率0.25回転/時間の3つを設けた。餌として市販の冷凍コペポダ(製造:関東プラント建設株式会社、原産地:北極圏)を用いた。餌は海水中で解凍した後、個体を潰さずに、概ね3日毎に飼育水槽内の濃度が約100個体/lとなるように与えた。ただし、約1ヶ月おきに1週間程度給餌を行わない期間があった。飼育海水の容量は80lであった。

給餌後の約2時間すべての水槽を止水とした。飼育結果を表Ⅱ-4-5-7 および表Ⅱ-4-5-8 に示す。

表Ⅱ-4-5-7 平成19年産 *A. tenuis* における給餌試験結果

方法				最終結果	
飼育条件	用いた幼体		試験期間	生残率 (%)	平均長径増加率*1
	月齢	群体数			
給餌なし、換水率 0.5 回転/時間	11 ヶ月齢	16	H20/7/23	100.0	233%
給餌あり、換水率 0.5 回転/時間		16	～	100.0	260%
給餌あり、換水率 0.25 回転/時間		16	H21/1/3	100.0	218%

*1 平均長径増加率＝試験終了時の平均長径/試験開始時の平均長径

表Ⅱ-4-5-8 平成20年産 *A. tenuis* における給餌試験結果

方法				最終結果	
飼育条件	用いた幼体		試験期間	生残率 (%)	平均長径増加率*1
	月齢	群体数			
給餌なし、換水率 0.5 回転/時間	2 ヶ月齢	58	H20/7/23	69.0	569%
給餌あり、換水率 0.5 回転/時間		41	～	70.7	822%
給餌あり、換水率 0.25 回転/時間		50	H21/1/3	70.0	583%

*1 平均長径増加率＝試験終了時の平均長径/試験開始時の平均長径

換水率 0.5 回転/時間の試験区の間で比較すると、平均長径増加率は、給餌なしの試験区より給餌ありの試験区のほうが、11 ヶ月齢幼体においては 1.1 倍、2 ヶ月例の幼体においては 1.4 倍高かった。給餌によって成長が促進されたと考える。給餌ありの試験区の間で比較すると、成長は換水率が高い試験区で良かった。この要因として、おもに海水の水質がより良好になることと、水温が気温の影響を受けにくくなり安定することの2つが考えられる。生残率に関しては、今回の試験で設定した給餌および換水率の条件下においては、顕著な違いは見られなかった。

今後、様々な換水率および給餌濃度の組み合わせを試験し、経済的に効率性が高く、また健全な種苗の育成できるような手法を見つける必要がある。

7) まとめ

2回の中間育成を通して、*A. tenuis* に関しては約半数の稚サンゴを移植サイズにまで飼育することができた。また、万単位の稚サンゴ生産ができた。このことから、概ね *A. tenuis* の稚サンゴに適した飼育環境を把握できたと思われる。しかしながら、*A. globiceps* および *A. sp. 4* については、十分な成果が残せていなく、今回の調査で設定した飼育環境がこれらの種に適していない可能性がある。

着床具に関しては、平成19年と平成20年で異なるタイプのものを用いた。格子状着床具は、格子の穴の中に藻が繁茂する場合があります。また着床具の表面と穴の中では届く光の量が異なるので、稚サンゴの成長速度にも影響を与えているように見えた。タイル型着床具は、藻類が生えにくく、また光も比較的均等に当たっていたようである。このため、種苗生産においてはタイル型のほうが扱いやすい。

8) 今後の課題

稚サンゴの生残率を向上し、より多くの群体を生産できるような飼育技術を開発する必要がある。そのためには、基礎的な試験を行い、減耗や成長に影響を及ぼす要因をより詳細に探ることが必要である。特に、以下の課題に関する試験が必要と思われる。

①生残率の向上

稚サンゴの中間育成期間中において、着底直後や水温低下時に急激に生残率が低下したり、あるいは長期にわたり徐々に群体がへい死したりするケースが見られた。要因としては、飼育環境（光、水温、水質等）が適切ではなかったことが考えられる。減耗要因の解明とより適切な飼育環境の把握が必要である。

②成長速度の向上

今回の試験では、給餌および光量、換水率の増加により成長が促進されることが分かった。今後、これらの成長に関連する個々の要因について、より適切な状態や量を探る必要がある。また、餌料については、冷凍コペポータダが高価であることから、安価で成長効率の高い餌料を探る必要がある。

③藻類の駆除方法の効率化

今回用いた貝類および魚類により、水槽内に生える藻類のほとんどを駆除することができたが、季節によっては珪藻類や藍藻類が繁茂する場合もあった。これらは人手により駆除を行ったが、今後これらの藻類の駆除に対しても有効な生物を発見する必要がある。

④他の種および属の稚サンゴの中間育成手法の開発

今回対象としたミドリイシ類3種以外の種や他属のサンゴについても、適切な中間育成手法の開発が必要である。

参考文献

- 岩尾研二(2006) ; 2001年から2005年の阿嘉島の海象, みどりいし, 17, pp. 34-37.
- 谷口洋基(2001) ; 阿嘉島周辺海域における時間平均流の測定, みどりいし, 12, pp. 18-20.
- 中村 崇(2005) ; 光強度の揺らぎがコユビミドリイシにおける光合成に及ぼす影響, 日本サンゴ礁学会第8回大会講演要旨集, p. 53.
- 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.
- 日高道雄(2000) ; 造礁サンゴの白化現象, 平成10年度造礁サンゴ群集の白化が海洋生態系に及ぼす影響とその保全に関する緊急調査報告書, 環境庁委託調査, 海中公園センター, pp. 1-7.
- Hayashibara T. et al. (2004) ; Induction and control of spawning in Okinawan staghorn corals, *Coral Reefs*, 23, pp. 406-409.
- Morse A. N. C. et al. (1996) ; Ancient chemosensory mechanism brings new life to Coral Reefs, *Biol. Bull.*, 191, pp. 149-154.
- Nakamura T. and Yamasaki H. (2005) ; Requirement of water-flow for sustainable growth of *Pocilloporid* corals during high temperature periods, *Mar. Pollut. Bull.*, 50 (10), pp. 1115-1120.
- Nakamura T. et al. (2005) ; Photoinhibition of photosynthesis is reduced by water flow in the reef-building coral *Acropora digitifera*, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 301, pp. 109-118.
- Negri A. P. et al. (2001) ; Metamorphosis of broadcast spawning corals in response to bacteria isolated from crustose algae, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 223, pp. 121-131.