

# 幼生の大量運搬による サンゴ礁回復技術の開発 (その2)

## DEVELOPMENT OF CORAL REEF RESTORATION TECHNOLOGY BY MASS CULTURE, TRANSPORTATION AND SETTLEMENT OF CORAL LARVAE (PART2)

綿貫 啓<sup>1</sup>・青田 徹<sup>2</sup>・柴田早苗<sup>3</sup>・谷口洋基<sup>4</sup>・大森 信<sup>5</sup>

Akira WATANUKI, Toru AOTA, Sanae SHIBATA, Hiroki TANIGUCHI and Makoto OMORI

<sup>1</sup>正会員 工修 株式会社テトラ テトラ総合技術研究所 (〒300-0006 茨城県土浦市東中貫町 2-7)

<sup>2</sup>株式会社テトラ テトラ総合技術研究所 (〒300-0006 茨城県土浦市東中貫町 2-7)

<sup>3</sup>理修 株式会社テトラ テトラ総合技術研究所 (〒300-0006 茨城県土浦市東中貫町 2-7)

<sup>4</sup>工修 阿嘉島臨海研究所 (〒901-3311 沖縄県島尻郡座間味村阿嘉 179)

<sup>5</sup>水産博 阿嘉島臨海研究所 (〒901-3311 沖縄県島尻郡座間味村阿嘉 179)

We conducted two sets of the experiments on coral recruitment by *in situ* mass culture, transportation, and release of reef-building coral larvae in Okinawa, Japan in 2002 and 2003. Gametes and embryos were collected from slick on the sea surface and cultured in floating culture ponds at Akajima until the larvae were competent to settle onto a substratum. About 2 and 4 million larvae were transported by boat to a seeding experimental station at Naha Port, a distance of 50 km east of Akajima in 2002 and 2003 respectively. Divers released the larvae over concrete blocks surrounded by nylon mesh enclosures. The number of polyps settling on the blocks was monitored regularly and compared with a control block outside the enclosures. In 2003, we investigated density of the larvae at each process and prepared hollowed concrete blocks to enhance larval recruitment. As the result, the number of polyps in 2003 increased 2 to 3 times of the 2002. Although it needs improvement, this restoration technology is considered to have reach a satisfactory condition.

**Key Words :** Coral, mass culture, restoration

### 1. はじめに

近年, 沖縄県を中心に分布する日本のサンゴ礁は, オニヒトデの大発生, 白化現象, 赤土流入などにより壊滅的な状態に陥っている。さらに, 平成10年には異常高水温の継続によって造礁サンゴが白化し, 沖縄県沿岸のみならず世界各地でもサンゴ礁が衰退した。サンゴ礁の生態系は, 漁場, 環境浄化, 防災など重要な機能を有しており<sup>1)</sup>, 大きな観光資源であることから, 再生に向けた対策が急務となっている。

サンゴ礁の修復手段としてサンゴの移植が行われることがある。サンゴの移植には大別して無性生殖と有性生殖を用いる方法がある。無性生殖を用いる方法ではサンゴ群体の一部(移植片)を移植先に運び, 接着剤等で基盤に固定し, その成長を期待するものである。

これは視覚的に効果が早く確認できるが, 入手可能な特定の種や群体から採った移植片では, 種の多様性が確保できず, 結果的に不自然なサンゴ群集が成立してしまう可能性がある。一方, 有性生殖を用いる方法は産卵したサンゴの卵や幼生を採取・育成し, 付着基盤に幼生を着底させる方法である。ミドリイシサンゴをはじめとした多くの造礁サンゴは毎年大量の受精卵そして幼生を生み出すにもかかわらず, 自然界ではほんのわずかししか着生・変態にまで達することがない<sup>2)</sup>。この方法は, 一斉産卵後の幼生の大部分が海岸に打ち上げられたり, 沖合に散逸してしまうため, 生産に寄与できるのが極少数であることに着目している。特定の種に限定するものでなく多様な種が対象となることと, 大量の種苗が生産でき, 幼生の有効利用を図れることから発展が期待されている。

那覇港の防波堤の消波ブロックにはサンゴ群集が

形成されていたが<sup>3)</sup>、平成10年の白化によって広範囲に衰退した。那覇港をはじめ沖縄本島西岸には約50km離れた慶良間列島から、幼生が供給されていることが、海水流動特性から指摘され<sup>4)</sup>、遺伝学的にも証明された<sup>5)</sup>。沖縄本島西岸のサンゴ礁の回復には幼生の供給源である慶良間列島のサンゴ礁の保全が望まれる。しかし、慶良間列島から輸送される幼生密度は近傍に天然のサンゴ礁が分布する場合に比べて低く、着生数が限られている上、群体の成長は地形や天候の影響を強く受けるので、サンゴ礁の修復にはかなりの時間が必要であると考えられる。そこで著者らは慶良間列島から沖縄本島へ幼生を大量に運搬し、付着基盤に大量加入させ、その付着基盤を核としてサンゴ礁の修復を早める技術開発に着手した。平成14年度には那覇港内の付着基盤へのサンゴ幼生の着底実験を実施した<sup>6)</sup>(以後、実験1と呼ぶ)。この実験で成果は得られたが、各工程における最適な幼生の密度の把握、幼生が着底しやすい基盤の開発等が課題となった。そこで、平成15年度には、これらの課題を解決する実験を行った(以後、実験2と呼ぶ)。本報では継続調査している実験1のモニタリング結果と平成15年度に行った実験2の結果について報告する。

## 2. 幼生輸送によるサンゴ礁回復技術の概要

沖縄地方では造礁サンゴの多くは5～6月の満月の大潮の夜に一斉産卵する。産卵直後から翌朝にかけて、卵や受精後の胚、幼生は潮目等を集められ(スリックと呼ばれる)、やがて拡散する。幼生は浮遊生活し、数日後に海底の岩盤等に着底後、ポリプへ変態する。

当技術は図-3に示すように、産卵後に産卵のあった海域や沖合のスリックから、卵や胚、幼生を採取する。そして幼生が沈降し、着底探索行動を始めるまでの期間を静穏海域に設置した中間育成施設で育成する。その後、船舶等で目的地まで運搬し、幼生の拡散を防止するために設置したネット内の付着基盤(図-2)上に幼生を放流する。幼生は数日で着底するので、着底を確認後にネットを撤去する。

着底したポリプが成長して群体になれば、数年後に

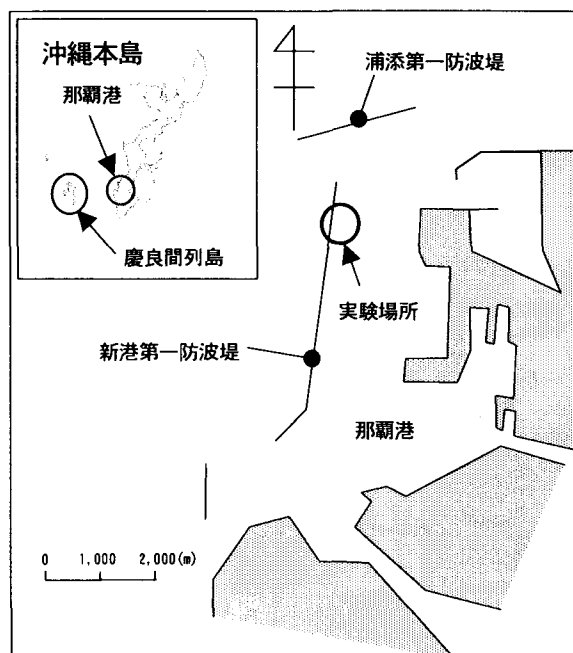


図-1 実験場所

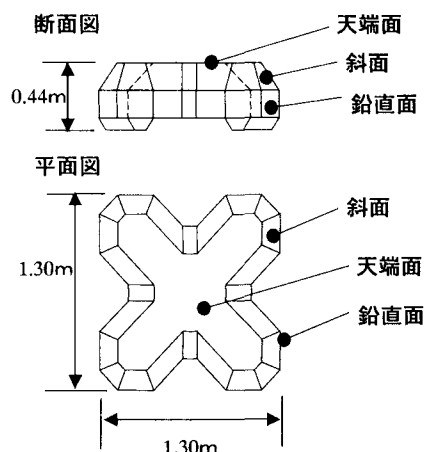


図-2 付着基盤(1t型エクスポック)と各部位の名称

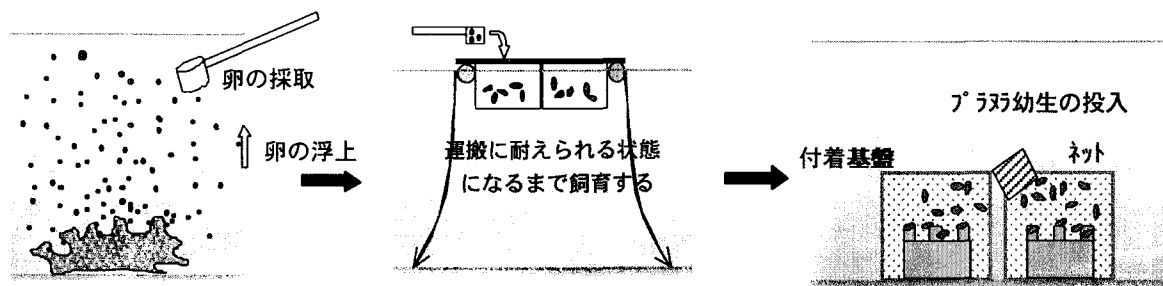


図-3 卵の採取から放流までの模式図

親群体となって周辺にもサンゴが分布し、群集が形成されていくことが期待される。

### 3. 施設の概要と実験方法

#### (1) 中間育成施設の概要

中間育成施設(図-4)は、座間味村漁業協同組合所有の阿嘉漁港内の生け簀用筏(L4.0m×B4.0m)を2基利用し、各筏にL2.0m×B2.0m×D1.0mの塩化ビニル製の中間育成プールを4槽、合計8槽を設置した。プール側面の内側は乾湿を繰り返すと、幼生由来の粘着性有機物によって、生きている幼生が付着後へい死するので、内側側面に沿って散水ホースを配置し、海水を継続的に散水することで付着を防止した。また、プール側面にL0.3m×B0.15m、底にL0.3m×B0.3mのネット製通水窓(目合0.125mm)を取り付け、海水交換を促した。

#### (2) 実験1

実験1は平成14年6月に阿嘉島から、産卵後80時間あるいは128時間中間育成して得た約36万個体を、幼生密度2,000個/リットルで20リットル用ポリエチレン製コンテナに入れ、船舶にて運搬した。那覇港新港第一防波堤の港内側(図-1)の水深約4mに設置した付着基盤(1t型エックスブロック、図-3)1基を目合0.4mmのネットで囲み、幼生を放流した。放流から48時間後に、着生を確認してネットを撤去した<sup>6)</sup>。その後、全8回のモニタリングを実施し、着生数の推移、着生部位を調べた。なお、付着基盤にはメモリ付き水温計TidbiTを設置し、水温の測定を行った。

#### (3) 実験2

実験2では平成15年6月13日22:00頃に阿嘉漁港内で産卵が見られ、漁港内で得られた幼生を中間育成プールで約3.5日間育成した。各プール内での飼育可能な幼生密度を調べるため、経時的に幼生密度、生残率を測定した。

その後、幼生密度を実験1の2倍にあたる4,000個/リットルでポリエチレン製コンテナに入れた。これを自動車に乗せてフェリーで那覇港まで輸送後、小型船舶で実験場所まで運搬した。実験1の付着基盤の設置場所は浮泥の堆積が多かったため、実験2では海底に浮泥の堆積が少ない同防波堤港内側の水深約4mを選定した。付着基盤(写真-1)は実験1と同様なブロックとし5基設置した。幼生の着底促進を目的に、ブロック表面には、大(直径30mm、深さ10mm)、小(直径10mm、深さ5mm)の円形くぼみの面を設けた。また、天端面にも表面に同様の円形くぼみをつけたモルタル製プレート(写真-1, L190mm×B130mm×H40mm)を取り付けた。これらを個々にネット(L2m×B2m×H1m、目合0.225mm)で囲んだ(写真-2)。ネット内へ放流する最適な幼生密

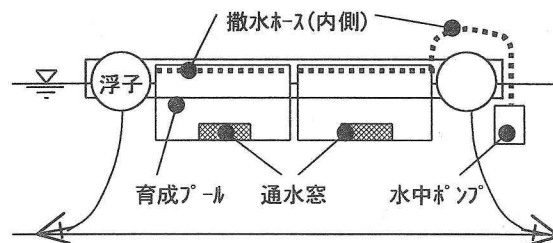


図-4 中間育成施設模式図

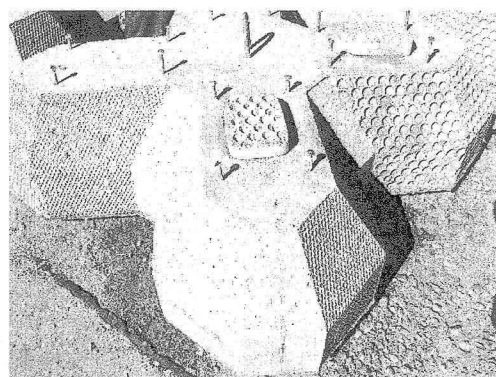


写真-1 実験2で用いた付着基盤(1t型)



写真-2 幼生拡散防止ネットの設置状況

表-1 実験2における各基盤の幼生の放流密度

| 付着基盤             | A      | B       | C       | D       | E |
|------------------|--------|---------|---------|---------|---|
| ネット内放流密度(個/リットル) | 68     | 136     | 272     | 544     | 0 |
| 底面1㎡当たり          | 60,000 | 120,000 | 240,000 | 480,000 | 0 |

(注) 放流密度は放流幼生数をネット内の容積で除した。底面1㎡当たりとは放流幼生数をネットの底面積で除した。

度を把握するため、放流する幼生密度は5通り設定し、それぞれを付着基盤A～Eとした(表-1)。Eは対照区である。その後、付着基盤のモニタリング調査を定期的に行い着生数、着生部位を調べた。

#### 4. 結果と考察

##### (1) 那覇港内の水温変動

水温は測定間隔1時間で、平成14年から平成16年2月24日まで測定した。日平均の推移を図-5に示す。測定期間中の最高水温は平成15年9月8日の31.0℃、最低気温は平成16年2月7日の18.8℃であった。平成14年に比べ平成15年は夏季の水温が高く推移した。平成15年は最高気温が30度を越し、さらに30℃以上の続く日が2週間ほど続いた。この年の8月には本島西岸の瀬底島で小規模な白化現象が見られたことが伝えられており、サンゴにとってやや厳しい生育環境であったと推察された。

##### (2) 中間育成施設における幼生密度

中間育成に適した幼生密度を把握するため、全8槽のうち、1槽(#1)では受精卵採取直後から4日後まで、6槽(#3～#8)で受精後1日から3日まで、幼生密度を測定した<sup>7)</sup>(図-6)。#1については、内径30mmのアクリルパイプを静かに水槽底まで入れ、その中に入った幼生を計測する方法とし、一度に9箇所幼生密度を計測し水槽全体に換算した。#1以外は幼生密度を均一にするため、測定時に水槽内を攪拌後、約50mlの海水を5回採水し、幼生密度を計測した。#3,4,7は産卵16時間(0.7日)後の幼生密度が比較的低いグループであり、#5,6,8は幼生密度が高いグループである。

初期密度を測定した#1では、産卵から0.7日後までの死亡率はかなり高く、生残率は8%のみで、84時間(3.5日)後には約7%(約100個/リットル)となった。その他の水槽では57時間(2.4日)後に140～275個/リットルとなり、平成14年度の36時間後の飼育密度140個/リットルより高い密度で飼育が可能であることが判明した。

##### (3) モニタリング調査の結果

実験1について基盤の各部位(図-2)ごとのサンゴ着生群体数の推移を図-7に示す。8ヵ月後までは約100群体が成長し、その後17群体に減少した。最大長径約40mmであった(写真-3)。着生が多い部位は斜面で、天端面には着生がなく、図示していないが隣接する対照区に着生は認められなかった。

実験2では放流5日後にネットを回収し、各付着基盤の12面に着底したポリプを計測した。この時点で基盤の天端面への着底は確認できず、計測値を斜面と鉛直面の面積に乗じると、ポリプ数はA;2,000、B;2,500、



図-5 水温測定結果(日平均の推移)

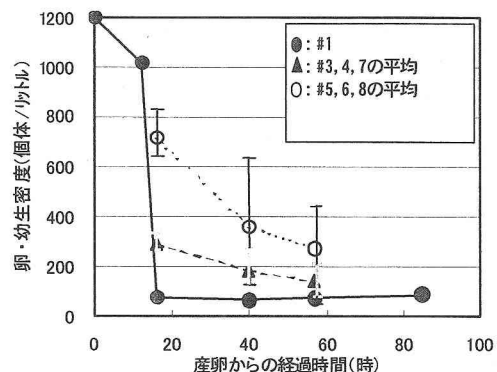


図-6 中間育成プール内における卵・幼生密度の推移

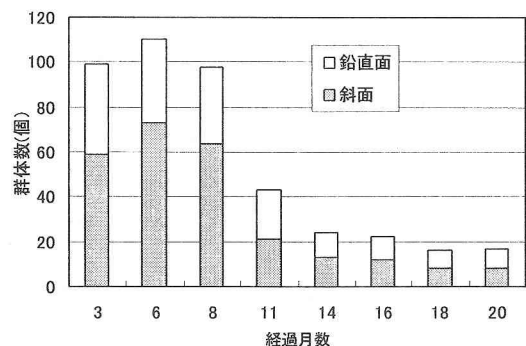


図-7 実験1 放流後の1t型ブロックへの着生数の推移

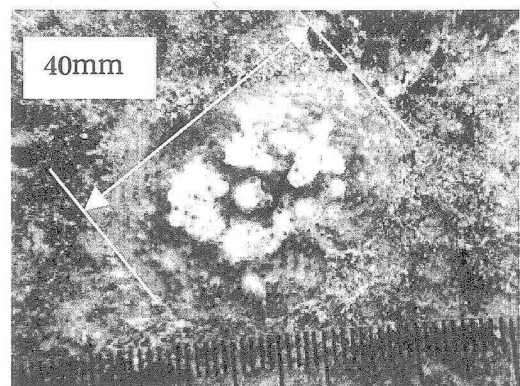


写真-3 実験1 着生したサンゴ(20ヵ月後)

C ; 4,000, D ; 5,300 となり、放流密度にほぼ比例して付着したものと推察された。また、無事に幼生が着底しポリプに変態できたことから、運搬時の幼生密度は4,000 個/リットルでも問題なく、実験1 の2 倍の量が運搬可能であることが判明した。

その後のサンゴ着生群体数の推移を付着基盤ごと(表-1)に整理し、着生部位別に図-8 に示す。これは群体数の全数測定の結果である。着生が多い部位は鉛直面で天端面には着生がなく、対照区は極めて少なかった。放流密度の差を比較すると、2ヶ月後のB, C, Dでは放流密度に比例するという放流直後の傾向と同じであるが、放流密度の低かったAでは着生数が多く、4ヶ月以降もAが多い傾向が続いている。各付着基盤の設置間隔は1～2m であり、物理的な環境勾配はほとんどないようにしているので、この原因は周辺に分布するウニ等の動物による食害が想定されるが明らかではない。いずれにしても、放流密度が60 個/リットルであっても十分な量の着生が期待できると判明した。

図-7, 8 で8ヶ月後のデータを比較すると、実験2 では実験1 の約2～3 倍の着生量となった。実験1 でネット内に放流した幼生の密度は約60 個/リットル、幼生数は約26 万個体であった。これは付着基盤を浮泥の堆積の少ない場所に設置したこと、サンゴの幼生の着底を期待して表面に凹凸を付けたことの効果であると考えられる。

天端面に設置した小プレート上の群体数は、付着基盤とは別にカウントし、1cm<sup>2</sup> 当たりの着生数を整理した(図-9)。付着基盤の天端面では幼生の加入が全く見られなかったが、小プレートの天端面には着生が見られ、表面の凹凸加工が加入を促進したと考えられる。ただし、小プレートにおいても、天端面より側面への着生が多かった。

対照区を除いた全付着基盤での着生部位を平滑面と凹凸加工を施した面で比較すると、凹凸面の着生数が多くなった。それぞれの付着基盤で大穴を施した面、小穴を施した面を1面ずつ選択し、くぼみ内部で幼生の着生数が多い部位を調べた。その結果、くぼみ内上部の縁辺部分に着生が多くみられた(図-11, 写真-4)。この理由として、浮泥の堆積を避けられること、サンゴ食の魚介類の食害から逃れられることなどが考えられた。

水槽内に各種の基盤を入れ、静水状態でサンゴの幼生を投入すると、天端面に多く着生するので<sup>8)</sup>、青田ら<sup>6)</sup>は実験1 において天端に群体着生数が少なかったのは浮泥が堆積して埋没したためと考えた。しかし、実験2 では幼生が着底しポリプに変態した直後の観察においても、付着基盤の天端上にはポリプが観察されなかった。従って、浮泥の影響ではなく、幼生の着底様式が影響するものと考えた。著者らは水槽内に那覇港内と同程度の振動流(周期2.9sec, 最大水粒子速度の

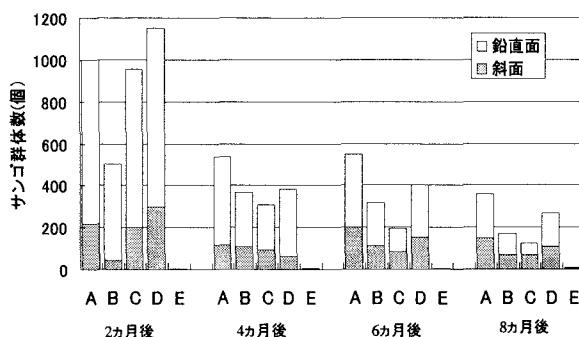


図-8 実験2 放流後の1トン型ブロックへの着生数の推移

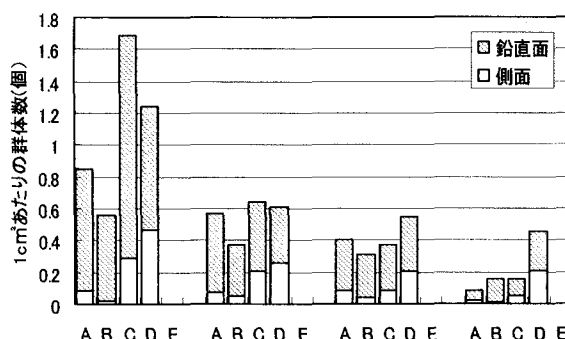


図-9 実験2 天端面の小プレートにおける着生数の推移

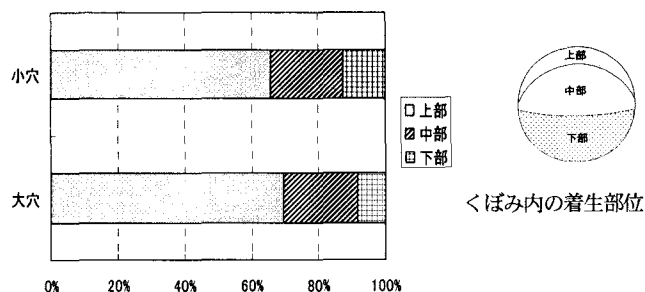


図-11 円形くぼみ内での着生部位の割合 (A～D 全ブロックにおいて任意の大, 小1面ずつの円形くぼみ内での着生の合計より作成)

振幅3.9cm/sec)を発生させた状態で同様のサンゴの着生実験を行った結果、静水状態とは異なり、ポリプの着生数は鉛直面と斜面の方が天端面より多かった<sup>9)</sup>。このことから、天端面に着生がないのは浮泥が堆積する以前に、流れが影響していることが示唆された。

## 5. 結論

- ①中間育成時のプール内では、幼生が運搬可能になる2.4日後で、幼生密度約140~275個/リットルでの飼育が可能であった。
- ②運搬時の幼生密度は4,000個/リットルでも問題がなかった。
- ③放流時の幼生密度は約60個/リットル、幼生数約24万個で十分な量である傾向が見られた。
- ④実験2では8ヵ月後で実験1の2~3倍の着生量が実現した。付着基盤につけた大小のくぼみの効果と考えられた。
- ⑤付着基盤への着生数が斜面や鉛直面で多かったのは、基盤面の流れが影響していることが示唆された。

以上、まだ改良点はあるが、中間育成した幼生を約50km運搬した後、付着基盤に着生させる技術がほぼ完成した。今後の研究課題は、着生したポリプの成長と生残率を高める環境条件を把握し、適地選定技術を整備していくことである。

**謝辞：**本研究は、内閣府沖縄総合事務局の実海域実験システムを利用し、事務局の関係者の深い理解のもとに実施できた。また、阿嘉島での中間育成では座間味村漁業協同組合に多大なるご協力をいただいた。なお、この研究は競艇公益交付金により日本財団の援助を受けて(財)シップ・アンド・オーシャン財団が行う技術開発基金による補助金を受けて実施したことを付記する。

## 参考文献

- 1) 土屋誠：サンゴ礁生態系の機能と劣化の諸相，沿岸環境関連学会連絡協議会第11回ジョイントシンポジウム講演要旨集，pp.45-46，2004。
- 2) 服田昌之・岩尾研二：サンゴ種苗生産技術の開発(1)，日本サンゴ礁学会第3回大会講演要旨集，pp.17，2000。
- 3) 吉見昌宏，与那覇健次，片岡真二，山本秀一，高橋由浩，田村圭一：サンゴの人工構造物への着生状況-3，海岸工学論文集，Vol.45，pp.1111-1115，1998。

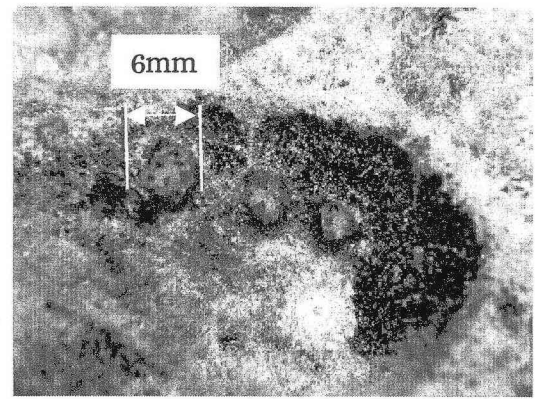


写真-4 実験2 くぼみ内の上部に着生したサンゴ(8ヵ月後)

- 4) 灘岡和夫，波利井佐紀，三井 順，鈴木庸孝，田村仁，Enrico Paringit，松岡建志，児玉正一郎，佐藤健治，藤井智史，酒井一彦：慶良間列島-沖縄本島西方海域におけるサンゴ幼生分散・供給過程に関する調査，日本サンゴ礁学会第5回大会講演要旨集，p.14，2002。
- 5) NISHIKAWA, A., KATOU, M., SAKAI, K. : Larval settlement rates and gene flow of broadcast spawning (*Acropora tenuis*) and planula-brooding (*Stylophora pistillata*) corals, Mar. Ecol. Prog. Ser., Vol.256, pp.87-97, 2003.
- 6) 青田 徹，綿貫 啓，大森 信，谷口洋基：プラヌラ幼生の大量運搬によるサンゴ礁回復技術の開発，海洋開発論文集，Vol.19，pp.379-384，2003。
- 7) 大森 信，青田 徹，綿貫 啓，柴田早苗，横川雅恵：生け簀によるサンゴ幼生の飼育：飼育中の生残率の変化と長距離輸送の可能性，日本サンゴ礁学会6回大会講演要旨集，p.25，2003。
- 8) 青田 徹，綿貫 啓，岩尾研二，大森 信：サンゴ幼生が着底しやすい人工基盤の開発，日本サンゴ礁学会5回大会講演要旨集，p.49，2002。
- 9) 柴田早苗，青田 徹，綿貫 啓，岩尾研二，大森 信：サンゴ幼生が着底しやすい人工基盤の開発 その2. 振動流環境における水槽実験の結果から，日本サンゴ礁学会6回大会講演要旨集，p.77，2003。