

# 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

DEVELOPMENT OF THE CORAL REEF RESTORATION TECHNOLOGY BY THE MASS CULTURE, TRANSPORTATION AND SETTLEMENT OF CORAL LARVAE.

青田 徹<sup>1</sup> 綿貫 啓<sup>2</sup> 大森 信<sup>3</sup> 谷口洋基<sup>4</sup>

Toru AOTA, Akira WATANUKI, Makoto OMORI and Hiroki TANIGUCHI

1 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)

2 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)

3 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)

4 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)

In the first of a series of experiments on coral recruitment by *in situ* mass culture, transportation, and settlement of reef-building coral larvae in Okinawa, Japan, gametes and embryos from slick on the sea surface after mass spawning in early summer, 2002 were collected and cultured in eight floating culture ponds (2.0mL x 2.0mW x 1.0mD each) at Akajima until the planula larvae were competent to settle into the substratum. In May, about 2 million larvae were transported by boat to a seeding experimental station at Naha Port, a distance of 50 km east of Akajima. Similarly, in June additional 1.2 million larvae cultured in a 1-ton rearing tank were transported to the same seeding station. Divers then released the larvae over concrete blocks surrounded by a vinyl cloth with windows in a mesh screen or by a nylon mesh enclosure. The number of polyps settled on the concrete blocks was monitored 4, 7 and 9 months after seeding and compared with a control outside the mesh enclosures. The results exhibited an enhancement of coral larval recruitment and demonstrated the applicability of this restoration technology in the rehabilitation of coral reefs in defined areas where natural recruitment is limited.

**Key Words:** Coral, Mass culture, Restoration

## 1. はじめに

琉球列島を中心に分布するわが国のサンゴ礁は、地域的な陸上の開発による赤土汚染やオニヒトデの大発生により被害を受けている。また、平成10年に発生した異常高水温により造礁サンゴが白化し、世界各地で広範囲にサンゴ礁が衰退し危機的な状況にある。沖縄県でも白化による被害は水産業や観光業へも波紋を及ぼし、早急な回復が切望されている。

那覇港の防波堤の消波ブロックにはサンゴが着底し群落を成していた<sup>1)</sup>が、白化後はかなりの範囲で衰退した。那覇港周辺のサンゴ礁には約50km離れた慶良間列島から一斉産卵の結果発生したプラヌラ幼

生が加入すると考えられている<sup>2)</sup>。しかし、産卵後の海象の変化によって幼生の輸送ルートは変わるであろうし、地形的に幼生が海底の基盤に遭遇しにくい場所もあり、供給源からの幼生のみを頼れば、サンゴ礁の自然回復にはかなりの年月を要することが想定される。

一方、防波堤等の構造物を新たに建設する場合、生態系の改変を最小限に止める観点から、サンゴ礁と共生する港湾構造物が望まれている<sup>3)</sup>。構造物近傍にサンゴ群集が分布していれば自然加入が期待できるが、そうでない場合には幼生の加入がなかなか期待できない。この場合、従来から行われているサンゴ断片の移植や水槽等で幼生を着生させた基盤を実海域の構造物に装着する方法<sup>4)</sup>でサンゴを早期に

着生させることが可能であるが、大量に移植するにはかなりの労力を必要とすることが課題であり、効率的な方法の開発が望まれている。

海藻類の藻場造成では移植の方法の一つとして、成熟した母藻を採取し、ネットに入れてコンクリートブロックや捨石に取り付けるスポアバッグ法が用いられている<sup>5)</sup>。この方法では、ブロック上に海藻を一度に大量に付けることが可能である。そこで、著者らはサンゴの幼生は動物であるが、海藻の胞子と見立て、類似の方法でブロックに大量にサンゴの幼生を定着させることが可能だと考えた。さらに、サンゴは初夏の大潮時に一斉産卵し、大量に幼生が海域に供給されるが、大半が沖合に逸散したり、海浜に打ち上がって死んでしまい、生産に寄与する率はきわめて少ないと考えられている。

以上のことを考慮して、慶良間列島で産卵後に沖合を漂流している受精卵や幼生を回収し、中間育成した後、サンゴ礁が衰退している那覇港まで輸送し、コンクリートブロックに大量に加入させる実験を試みた。この方法は、サンゴの群落断片を移植用に採取することよりもサンゴ礁にダメージを与えない方法であり、また、遠距離の輸送はこれまで他に実施例を見ないものである。今回は2回の実験を行い、この方法の可能性が見出されたので報告する。

## 2. 幼生輸送によるサンゴ礁回復技術の概要

慶良間列島(図-1)の造礁サンゴの多くは5~6月の大潮の満潮の頃に一斉産卵する。主な種はミドリイシ属であり、コモンサンゴ属も比較的多い。産卵の翌朝、受精卵は潮目などに集められて(スリックと呼ばれる)、海面は赤潮のような状態を呈するが、やがて拡散して目立たなくなる。プラヌラ幼生は数日後には岩盤等があれば着生しポリプに変態する。その後は無性生殖で増殖しながら1年で数mm~1cmくらいに成長する。

当技術(図-2)は、産卵翌朝に慶良間列島沖合のスリックから受精卵や幼生を採取し、幼生が着生探索行動を始めるまでの期間を中間育成する。これは受

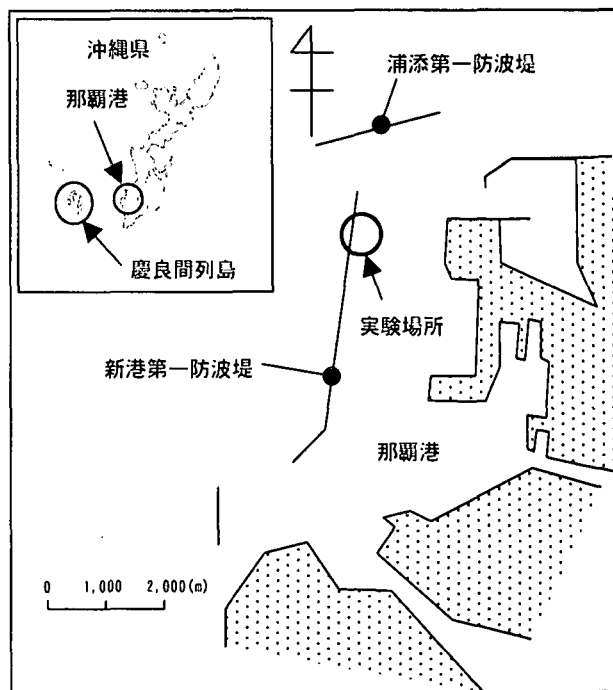


図-1 実験場所

精直後の胚の状態では運搬時の衝撃等によるへい死が予想されるからである。その後、漁船等で約50km離れた那覇港まで運搬し、港内に設置したコンクリートブロックの周辺にネット・シート等で海域を遮断した範囲(以下、圃場と呼ぶ)に、幼生を放流することで着生を期待するものである。幼生は数日で着生するので、その後ネット等を撤去する。

ブロック上に着生した幼生がポリプに変態した後、必要とされる場所にブロックごと移設する。ポリプが成長して群体になれば、それが核となって、やがて周辺にもサンゴが分布するものと期待される。

## 3. 実験方法

今回は、5月の一斉産卵と6月のそれ得られた幼生を対象に、2回の運搬および着生実験を行った。

### (1) 圃場施設の概要

那覇港新港第一防波堤(図-1)の港内側の水深4m

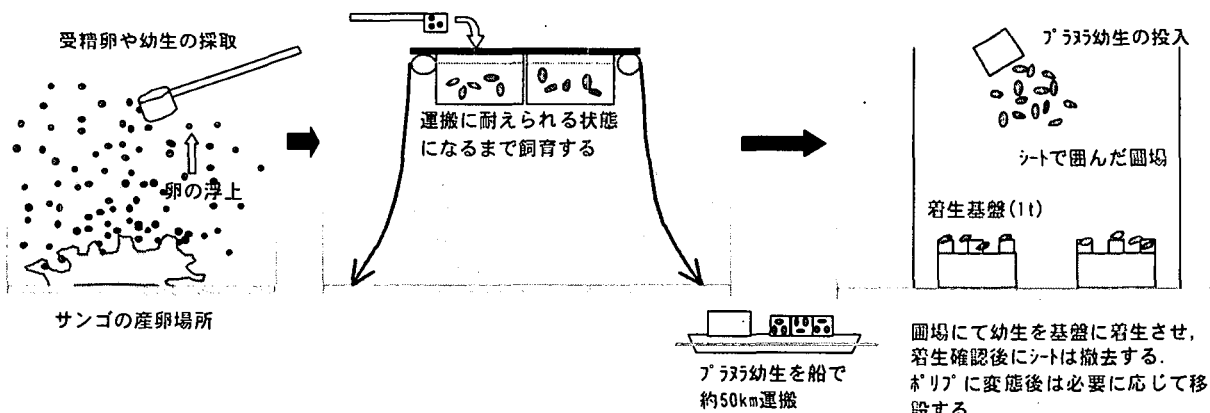


図-2 当技術の模式図

を選定して圃場とし、試験ブロック（1 t型エックスブロック，1.30×1.30×0.44m，写真-1）を3個設置した。なお，サンゴ幼生が下向き面に着生しやすいとされているが，この試験ブロックには下向き面がほとんど無いことから，ブロック天端面に小型のブロックを取り付け，下向き面を設定した。またブロックにはメモリ付き水温計 TidbiT を装着した。

圃場を設けた場所は，平成10年の異常高水温によるサンゴの白化現象までは多くのサンゴが群落を作っていた自謝加瀬と呼ばれる天然サンゴ礁である。現状では，ほとんどのサンゴが死滅しているが，環境としては，基本的にサンゴが育成できると考え，この位置を選定した。実験では水深2.5mにも圃場を設置したが，幼生運搬の直前にシートが破損していたので，実験対象は水深4mの圃場のみとした。

幼生の拡散を防止するため，単管で枠（約L5.5×B5.5×H6.0m）を組み，ブロック2個を囲むように枠を設置し，この枠に養鰻用の樹脂製シートを張って海域を区切った（写真-2）。ブロックには便宜的に番号を付け，圃場のシート内のブロックをブロック①，②とし，圃場外で同一の水深帯に対照区として設置したブロックを③とした。なお，潮汐による海水交換を阻害しないようシートの一部は目合い0.125mmのプランクトンネット生地にした。

## (2) 5月産卵時の実験

平成14年5月27日に慶良間列島阿嘉島周辺でミドリイシ属サンゴを主とするサンゴの一斉産卵が起こった。翌朝，阿嘉島北西沖に形成されたスリックから受精卵と幼生を採取し，直ちに阿嘉漁港内に設置した中間育成施設内で産卵後約36時間まで育成した。

中間育成施設は，座間味村漁業協同組合所有の生け簀用筏（L4.0m×B4.0m）2基を利用し，各筏にL2.0m×B2.0m×D1.0mの中間育成プールを4槽，合計8槽設置し，そのうち5槽を実験に使用した。プールの側面の内側は乾湿を繰り返すと，幼生の死骸等の粘着性有機物が付着し，生きている幼生も付着して死んでしまう。そこで，内側側面に沿って撒水ホースを配置し，水深1mから揚水した新鮮な海水を継続的にプール内側側面に撒水し，幼生の付着を抑制した。また，プール側面にL0.3×B0.15m，底にL0.3×B0.3mのネット製通水窓（目合い0.125mm）を取り付け，海水交換が可能で幼生が逸散しない施設とした（写真-3，図-3）。

幼生の多くは受精後4～5日で着生を始める。中間育成期間中，幼生密度の測定を育成開始後7時間，12時間，24時間の合計3回実施した。幼生は水面付近に分布するので，棒でよく攪拌して各水槽から約50mlの海水を10検体採水し，幼生の数を測定して幼生密度を算出した。

そして，あいにく台風が接近してきたので，36時

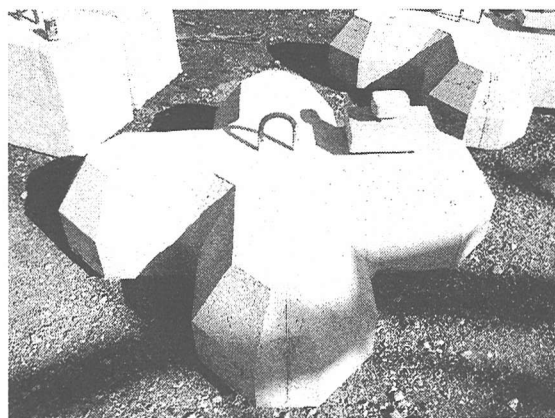


写真-1 試験ブロック

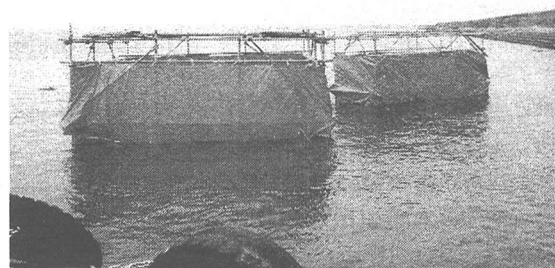


写真-2 那覇港に設置した圃場



写真-3 中間育成施設

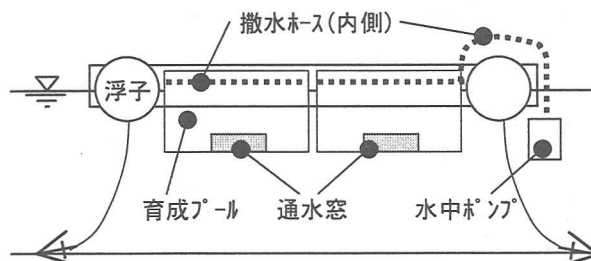


図-3 中間育成施設模式図

間後に幼生を 50 個の柔らかいポリエチレン製の 20 リットルコンテナに海水とともに入れて（幼生密度約 2,000 個/リットル），阿嘉島から那覇港まで船舶にて運搬し，圃場のシート内に幼生を放流した。

なお放流時には圃場のシートの一部が破損していたため，幼生の流出やシート内に入った魚類による幼生の捕食が懸念された。

### (3) 6月産卵時の実験

5月産卵時ではシートの破損や魚類の捕食が懸念されたので，6月にも同様な実験を行うこととした。

6月末の大潮時にもサンゴの産卵が確認されたが，5月の一斉産卵に比べると量的には非常に少なかった。そこで，海面上にスリックが形成されることはなかった。そこで，阿嘉島海岸からウスエダミドリイシサンゴ群体の一部を分割して採取し，屋内水槽で産卵を待ち，幼生を確保することとした。産卵は6月24日と26日の夜の2回みられたので，複数の分割群体から採取したバンドル（卵と精子が団子状にまとまった粒）をそれぞれ1つの水槽に集めて受精させた（写真-4）。

幼生数が少なかったため，屋外の間育成は実施せず，屋内水槽（容積 200 および 3,000 リットル）で産卵後 80（6月26日産卵）あるいは 128 時間（6月24日産卵）を中間育成して約 36 万個の幼生を得た。そして，6月30日に 16 個のポリエチレンコンテナ（前出）と 5 個の 10 リットルフタ付きトスロンバケツに海水と一緒に入れ（幼生密度約 1,000 個/リットル），前回と同様の方法で船舶にて運搬した。そして，前回使用した圃場内のブロック①を新たに目合い 0.4mm のネット（L2.0×B2.0×H1.2m）で覆い，その中に幼生を放流した。放流約 48 時間後にはネット内で遊泳している幼生が見られなくなったので着生したものと判断し，台風が接近していたこともあり，単管で組んだ枠，シートおよびネット等，ブロック以外はすべて撤去した。

## 4. 結果と考察

### (1) 水温測定結果

水温測定は，測定間隔 1 時間で平成 14 年 5 月 23 日から 12 月 19 日までの約 7 ヶ月間実施した。結果を図-4 に示す。測定期間で最高水温は 8 月 25 日 13:00 の 29.77℃であり，試験ブロック付近の水温は 30℃以下であった。

大規模な白化現象が発生した平成 10 年では，阿嘉島の阿嘉新港前の 8 月平均海水温が 30℃を越えていたが<sup>6)</sup>，今回はサンゴの成長に被害が出るような水温ではなかったと推察された。

### (2) 中間育成施設における幼生密度

5月産卵時の実験において，産卵後約 19 時間，24



写真-4 屋内水槽での受精状況

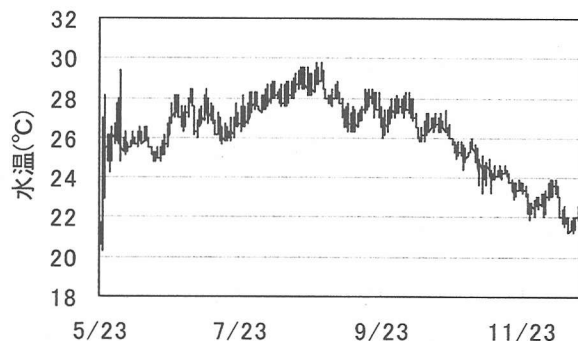


図-4 那覇港内水深 4m の水温測定結果 (平成 14 年)

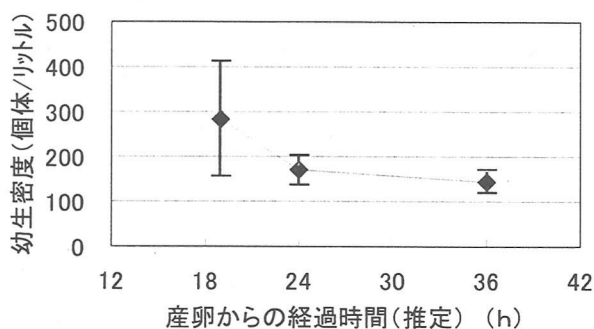


図-5 中間育成施設内の幼生密度の推移

時間，36 時間（いずれも推定値）に幼生密度を測定した。5 水槽の最大値，最小値および平均値を図-5 に示す。時間とともに密度は減少する傾向にあり，24 時間後は 19 時間後の約半分となったが，その後 36 時間後まではそれほど減少していない。5 月産卵時のスリックは小規模であり，採取した幼生は少なかったことから，中間育成の飼育密度は小さい。

因みに，Heyward et al<sup>7)</sup>は本実験と同様に海面に浮かせた中間育成用プールで，はじめ密度約 4,000 個/リットルであったサンゴ幼生を 150 時間後，約 400 個/リットルになるまで飼育している。

### (3) モニタリング調査

5 月産卵群幼生投入後の約 4 ヶ月，7 ヶ月，9 ヶ月後にモニタリングを実施し，ブロックの表面に着生しているサンゴ数を測定した。各ブロックの部位

別(図-6)の着生数の推移を図-7に示し、各モニタリング時のサンゴ着生状況を写真-5~7に示す。

5月と6月の2回の放流を行ったブロック①には全3回の調査を通じて約100個体がポリプに変態して順調に成長していた。5月飼育の幼生のみを放流したブロック②には3個体のみ着生し、自然着生の対照区のブロック③には着生が確認できなかった。ブロック②への着生数が少ないことから、やはりシートの破損による幼生の圃場外への逸散および破損部からの魚類の侵入による幼生の捕食があったことが想定される。シートは水面まで出す構造ではなく、波力をなるべく受けないように水面下とし、できるだけ容積を小さくすることが望ましいと言える。またブロック③への着生がないということは、この海域への天然のサンゴの加入が見られないということになる。波利井ら<sup>8)</sup>によれば、慶良間列島から漂流し沖縄本島に到達した時点の表層付近の幼生密度は4~69個体/m<sup>3</sup>であったと報告している。この程度の密度であれば幼生が加入して着生すると考えられるが、この海域は防波堤の陰にあり幼生の加入が制限されているのかも知れない。

着生部位では、天端面にはサンゴのポリプは確認できず、浮泥の少ない斜面部と鉛直面にのみ着生が確認できた。各ブロックの天端面には全調査を通じて浮泥が約5mm程度堆積し、藻類がわずかにマット状に着生していた。放流から4ヶ月後までの那覇で観測された平均風速を図-8に示す。台風の接近で平均風速が10m/sec以上の日が7月4日、14日、8月30日、9月5日の4日間あった。特に6月30日に幼生を運搬した直後の7月4日は、最大瞬間風速40.8m/sec(南南東の風)を記録した。このため港内が擾乱されて浮泥がまき上がったと考えられた。著者ら<sup>9)</sup>は水槽内でのサンゴ着生実験において、静水中では試験プレートの天端面に着生したサンゴ数が鉛直面や斜面部などに比べて多いことを確認しているが、今回の結果は異なるものとなった。今回の天端面に少なかった理由としては、サンゴのポリプは直径が1mm未満と小さく、5mm程度の厚さの浮泥堆積

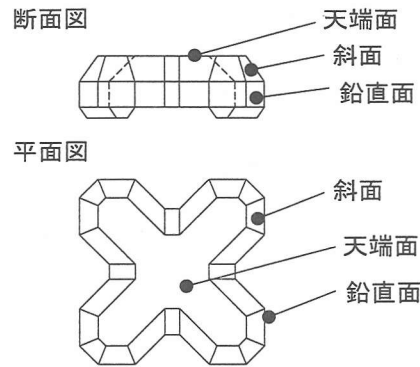


図-6 ブロックの部位の名称

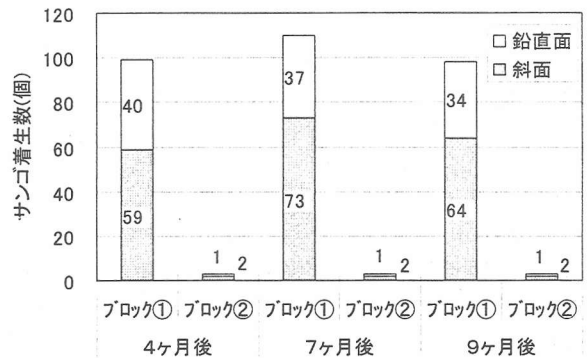


図-7 ブロックに着生したサンゴの群体数の推移

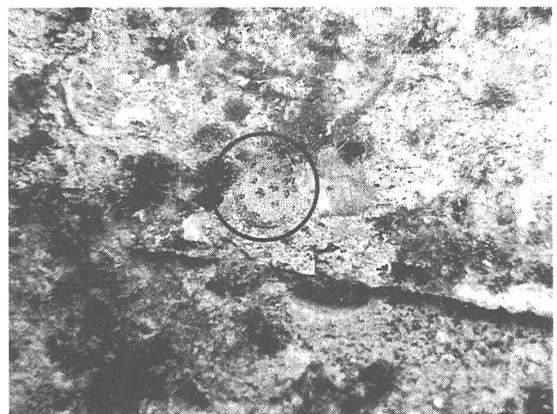


写真-5 着生してポリプに変態したサンゴ (4ヶ月後)

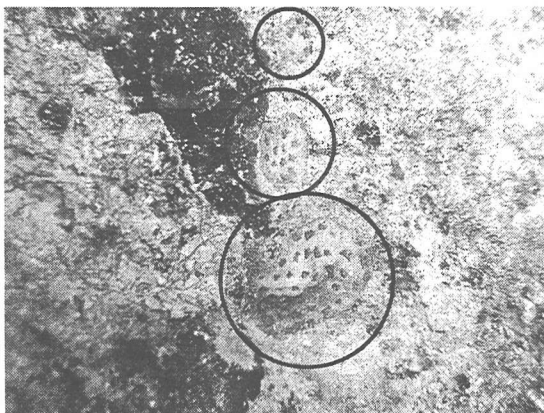


写真-6 同(7ヶ月後)

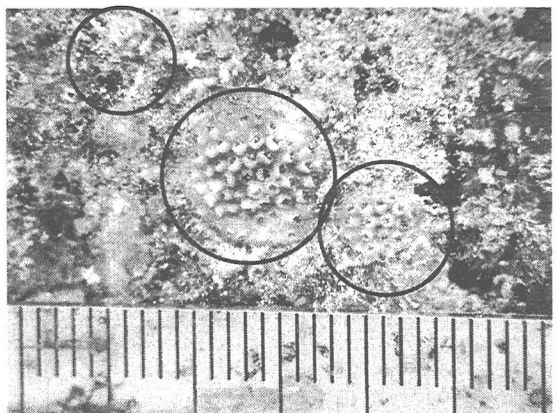


写真-7 同(9ヶ月後)

により埋没したことが考えられる。

なお、各ブロックには下向き面を観察するための小型ブロックを取り付けたが、今回の実験では下向き面にはサンゴの着生が観察されなかった。

#### (4) サンゴ礁回復の可能性の検討

サンゴの産卵の型には放卵放精型と幼生保育型があり、種によって産卵後の受精卵および幼生が着生可能となるまでの時間が異なる。

本研究では、第1回の幼生運搬では一斉産卵後に形成されたスリックから中間育成したミドリイシ属サンゴの幼生(複数種)を使用し、また第2回はウスエダミドリイシ1種を使用した。1種だけの幼生であれば、幼生の変態過程と流況から海底に着生する範囲を推察することが可能であるが、一斉産卵後のスリックには様々な種のサンゴが含まれており、幼生が着生する範囲は様々であると推察される。

木下らは、人工リーフの藻場造成においてカジメの天然藻場に異形ブロックを仮置きしてブロック上にカジメを着生させ、1年後に人工リーフに移設し、2年後のモニタリング調査では移設ブロックを中心にカジメが拡がりはじめたことを確認している<sup>10)</sup>。海藻類とサンゴでは生態が異なるが、ブロックにサンゴ幼生を着生させ、そのブロックを所要の海域に移設してサンゴ礁を復元する場合、現状ではまだ決定できないが、ある程度の間隔に配置して群体を成長させれば、やがて成熟したブロック上のサンゴが産卵することによって幼生が拡散して周囲に着生し、サンゴ礁が次第に復元されることが期待できる。

## 5. 結論

中間育成した幼生を、約50km運搬した後に人工基盤に着生させることが可能であることが判明した。これにより、沖に散逸したり陸に打ち上がって死滅し、資源加入に寄与できない幼生の効率的な利用の目処が立った。

今後の研究課題は、幼生の確実な確保、運搬時の幼生密度の最適化、幼生が着生しやすい表面加工を施したブロックの開発、魚類等による食害防止対策、最適な着生個体数の把握などとともに、着生したポリプの成長と生残率を高めることである。

謝辞：なお本研究は、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協力をいただいた。費用面では、競艇公益資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。

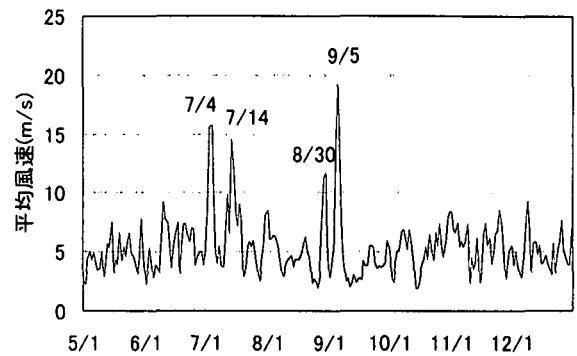


図-8 那覇の平均風速(平成14年)  
(気象庁ホームページの電子閲覧室データより作成)

## 参考文献

- 1) 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, 第45巻, pp1111-1115, 1998.
- 2) 灘岡和夫, 波利井佐紀, 三井順, 鈴木庸彦, 田村仁, Enrico Paringit, 松岡建志, 児島正一郎, 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, p14, 2002.
- 3) 石井正樹, 前幸地紀和, 大村誠, 山本秀一, 高橋由浩, 田村圭一: 平良港におけるサンゴ礁群集に配慮した環境修復技術, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.1301-1305, 2001.
- 4) 谷口洋基: 造礁サンゴの種苗生産に関する研究, 日本サンゴ礁学会5回大会講演要旨集, p19, 2002.
- 5) 徳田 廣, 川嶋昭二, 大野正夫, 小河久朗: X X I I. スポア・バッグ(成熟母藻袋)による移植効果, 図鑑 海藻の生態と藻礁, 緑書房, 198pp., 1991.
- 6) 谷口洋基, 岩尾研二: 白化から1年、阿嘉島マエノハマのサンゴ被度及び群体数の変化, みどりいし, No.11, pp22-23, 2000.
- 7) A. J. Heyward, L. D. Smith, M. Rees, S. N. Field: Enhancement of coral recruitment by in site mass culture of coral larvae, Mar. Ecol. Prog. Ser., Vol. 230, pp113-118, 2002.
- 8) 波利井佐紀, 灘岡和夫, 三井順, 田村仁, 窪田順次, 若木研水, 岩尾研二, 二瓶泰雄, 鹿熊信一郎: 沖縄本島西方海域におけるサンゴ幼生広域輸送についての現地調査-part2: サンゴ幼生挙動, 日本サンゴ礁学会4回大会講演要旨集, p23, 2001.
- 9) 青田 徹, 綿貫 啓, 岩尾研二, 大森 信: サンゴ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, p49, 2002.
- 10) 木下淳司, 石黒雄一, 山本貴一, 山本章太郎: 人工リーフへのカジメ海中林の造成~平成5年から現在までの経過~, 平成14年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp73-74, 2002.