

#### 44) サンゴ増殖基盤に必要な機能と構造に関する考察

## サンゴ増殖基盤に必要な機能と構造 に関する考察

DISCUSSION ABOUT “FUNCTION AND STRUCTURE” FOR THE ARTIFICIAL  
BASE OF CORAL DISTRIBUTION

安藤亘<sup>1</sup>・渡邊浩二<sup>1</sup>・田村真弓<sup>2</sup>・三宅崇智<sup>3</sup>・北野倫生<sup>4</sup>・山本秀一<sup>5</sup>  
Wataru ANDO, Kouji WATANABE, Mayumi TAMURA, Takatomo MIYAKE, Michio KITANO  
and Hidekazu YAMAMOTO

<sup>1</sup>正会員 (社)水産土木建設技術センター(〒104-0045 東京都中央区築地2-14-5)

<sup>2</sup>(社)水産庁漁港漁場整備部整備課(〒100-8907 東京都千代田区霞が関1-2-1)

<sup>3</sup>正会員 修(工学) (株)エコー(〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

<sup>4</sup>博(工学) (株)エコー(〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

<sup>5</sup>正会員 博(生物資源工学) (株)エコー(〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

We considered the function and structure for the artificial base of coral distribution based on environment condition to have an influence both on recruit and growth of the coral. As the result, the structure to satisfy the function is as follows. It is the structure that the planula larva and the coral piece are easy to recruit, the structure with the stability to the surge, the structure that are easy to transplant juvenile coral, the structure with prevention of feeding damage. It should be consisted of lattice structure, measure type structure, stable structure and prevention of feeding damage structure. It is important that we must design it in consideration of the surrounding condition of the object sea area.

**Key Words:** coral, function and structure, artificial base, aquaculture structure, Okinotorishima

### 1. はじめに

サンゴ群集は亜熱帯から熱帯海域に分布し、サンゴの骨格が形成する複雑な立体構造等により、陸上の熱帯雨林に劣らず一次生産力が高く、生物の多様性が高いことから、漁場環境として重要な役割を果たしている。しかし、沿岸域の開発や地球温暖化等の影響でサンゴ群集の衰退が報告されており<sup>1)2)3)</sup>、水産業の立場からもサンゴ群集の増殖技術の開発が望まれている<sup>4)</sup>。

サンゴ群集の増殖技術としては、いくつかの事例が報告されているが、その一つとして海底に安定基盤を形成する方法が知られている<sup>5)6)</sup>。これらは港湾などの人工構造物に付加的にサンゴ群集が自然着生した事例<sup>7)</sup>やそれを促進する技術<sup>8)</sup>等である。水産的な視点からは、海底に安定基盤を設置して藻場を造成する技術は古くから検討されているが<sup>9)</sup>、サンゴ増殖に特化した基盤の開発事例は国内には無い。国外では、フロリダやインドネシアで、船舶の座礁やダイナマイト漁等で底質が不安定になり、サンゴ群集の加入・成長が減少した海底を安定化することを目的とした基盤整備の事例があるが<sup>10)11)</sup>、既存のコ

ンクリートブロック等を用いている。サンゴ増殖に特化した基盤としては、既存の地形を模した人工基盤が数例あるが<sup>12)13)</sup>、サンゴ増殖基盤に必要な機能と構造に関する研究事例は見あたらない。

そのような状況において、沖縄県の重要水産資源生物であるタカセガイ[和名:サラサバテイ、学名:*Tectus niloticus*]の中間育成を行うためのタカセガイ中間育成礁(以下、タカセガイ礁)の内部にサンゴが自然着生した事例が確認され、その機能と構造に関する仮説が提示された<sup>14)</sup>。その仮説は、タカセガイ礁の格子構造と桁型構造がサンゴ増殖基盤として①浮泥・漂砂の影響軽減機能、②サンゴ幼生や餌料のトラップ機能、③光量の維持機能、④海水交換維持機能、⑤波浪軽減機能、⑥食害生物の進入防止機能、⑦タカセガイによる競合生物(藻類)の除去機能を形成しているというものである。

本研究は、以上のような背景のもとに、沖ノ鳥島におけるサンゴ増殖技術開発の一環として、宮古島、沖ノ鳥島、阿嘉島で現地実証実験を行い、サンゴ増殖基盤に必要な機能と構造に関する検討を行ったものである。沖ノ鳥島は北緯20.5度、東経138度に位置する日本最南端の島であり、サンゴの種苗生産技術

とサンゴ増殖に必要な基盤形成技術開発によるサンゴ増殖の取り組みが進められている<sup>15)</sup>。

## 2. 方法と結果

(1)宮古島に設置されているタカセガイ礁におけるサンゴ増殖効果の検証実験

宮古島ではタカセガイ礁56基(112桁)を池間大橋東方の浅瀬に設置して、1996年からタカセガイの中間育成事業が行われている。タカセガイ礁は鉄筋コンクリート製の桁型2連(外測:5.1×2.8×1.1 m, 内測:2.1×2.1×0.8 m, 重量:約26 t)で、桁内部にFRP製格子板(2.01×1.01×0.04 m, 目合:5×10 cm)が2枚/桁設置されている(図-1)。

このタカセガイ礁内にサンゴ群集が確認されたため<sup>14)</sup>、我々はサンゴ増殖基盤に必要な機能と構造について確認するために2007年2月から2009年2月まで検証実験を行った。2008年2月までの成果によりタカセガイ礁が有するサンゴ増殖基盤に必要な機能と構造に関する仮説の一部が確認された<sup>16)</sup>。2008年には継続的にタカセガイ礁内外の生物生育状況調査、稚サンゴの加入量調査、流況と水温調査を実施した。

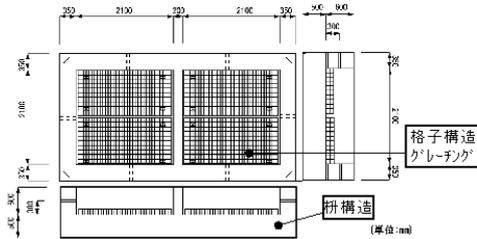


図-1 タカセガイ礁の構造

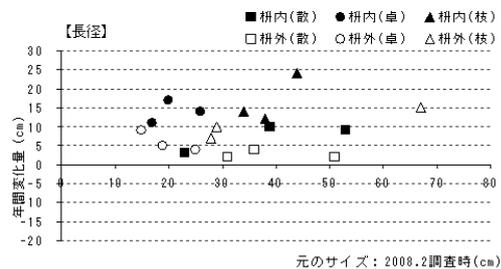
その結果、①浮泥・漂砂の影響軽減機能については4回のセディメントトラップ調査結果から桁内で浮泥の影響が少ないことが分かった。②サンゴ幼生や餌料のトラップ機能についてはタカセガイ礁の壁面の観察結果から、桁の内側で加入量が多いことが分かった(表-1)。③光量の維持機能については水深が浅いことから明確な違いは確認できなかった。④海水交換維持機能については、満潮時に適当な海水交換が図られていることが分かった。⑤波浪軽減機能は波浪の影響を受けやすい干潮時に桁内の流速が小さくなることで、サンゴ群体への直接的な波圧低減効果があると考えられる。⑥食害生物の進入防止機能としては、対象地区では桁内外でブダイなどの噛み跡は確認されなかったが、ウニ類の個体数が多い桁ではサンゴの被度が低かった。⑦タカセガイによる競合生物(藻類)の除去機能では、貝類の数とサンゴの被度に明確な関係は見られなかったが、藻類の多い桁ではサンゴの被度が低かった。

総合的に見て、桁内外の2008年2月から2009年2月までのサンゴの長径の変化量を比較すると、図-2に示すように桁内のサンゴの成長量は桁外と比較して大きく、桁型構造と格子構造がサンゴ増殖基盤に必要な機能を有していることが示された。

表-1 タカセガイ礁の桁内外壁面のサンゴ加入量(3つの桁の内外の壁面に加入した群体数)(平均群体数/m<sup>2</sup>)

	A	B	C
桁内	37±6.2	24±6.0	19±2.9
桁外	1±0.6	1±0.6	0±0.0

※)2009.2観察結果,n=4で平均と標準偏差を示す



元のサイズ:2008.2調査時(cm)

図-2 桁内外のサンゴサイズ(長径)年間変化量  
散:散房花状ミドリイシ類,卓:卓状ミドリイシ類,枝:枝状ミドリイシ類を示す。

(2)沖ノ鳥島におけるサンゴ増殖実験礁の設置とモニタリング調査

沖ノ鳥島に2006年5月と2007年5月に図-3に示すサンゴ増殖実験礁(以下、実験礁)各4基(計8基)を図-4に示す沖ノ鳥島礁内に設置した。実験礁はステンレス製のフレームとFRP製グレーチングで構成されている。基本構造は前述したタカセガイ礁の格子構造を参考にしている。大きさは1.0m×1.4m×1.0mで、海底面から0m,0.5m,1mの高さに棚がある。波浪条件の厳しい沖ノ鳥島においては、実験礁の安定性を確保するために一つの実験礁当たり8本のアンカーボルトを用いて底面の岩盤に固定した。これらの実験礁へのサンゴの自然加入の状況について、2008年5月にモニタリング調査を行った。

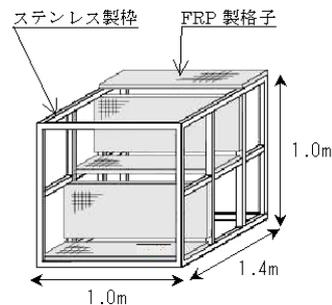


図-3 サンゴ増殖実験礁の構造

その結果、図-4に示すように沖ノ鳥島礁内では、場所によって加入の傾向が異なっており、西側ほど加入群体数が多いことが判明した。沖ノ鳥島は絶海の孤島であり、サンゴ群体の自然加入が少ないと考えられていたが<sup>17)</sup>、この結果は別途実施した加入量調査板を用いた調査結果<sup>18)</sup>や産卵期の流況が東から西への流れである結果<sup>19)</sup>と整合していた。また、サンゴの着生位置と海底面からの高さの関係については、西側では海底面から30cmまでの範囲には加入がみられない。さらに、実験礁のステンレス製フレームに着生したサンゴの長径と海底面からの高さとの関係を計測した結果(図-5)、2年間で長径が60mm以上に成長した群体は海底面から70cm以上の高さに分布している。これは、厳しい波浪条件に伴う海底面における漂流砂の影響によるものと推察され、着生位置の高さを対象海域の海象条件に合わせて調整することで、サンゴ増殖基盤に必要な機能を発現させることができることを示唆している。

また、サンゴ群体の着生位置は図-6に示すように、グレーティングによる格子構造の裏面、格子中に多く、表面への加入量が少ない。格子構造ではなく平面的な構造を採用した場合の比較実験を行っていないが、平面的な構造では表面部分の面積がサンゴ群体の加入にとって無駄になることが確認されたものと考えられる。

また、波浪条件が厳しい沖ノ鳥島では、波浪等により破損して海底を移動してきたと考えられるサンゴ断片が、実験礁の底面の格子にトラップされて固着・成長している事例も観察されている。このことは底面部の格子構造が無性生殖的な増殖促進に効果があることを示唆するものである。

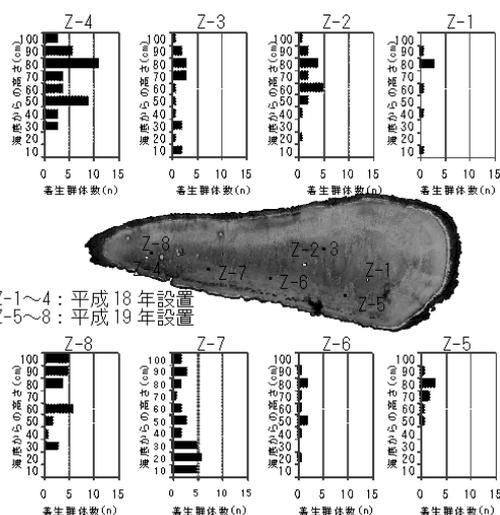


図-4 サンゴ増殖実験礁の設置位置とサンゴ加入量

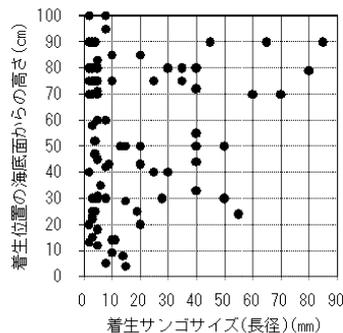


図-5 サンゴの着生高さと同径の関係

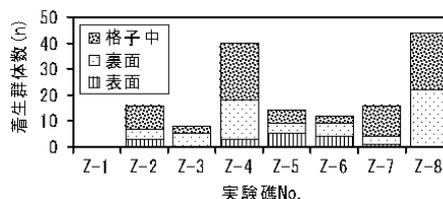


図-6 サンゴ群体の着生位置

(3)阿嘉島におけるサンゴ増殖基盤プロトタイプの設定とモニタリング調査

以上のモニタリング結果を受けて、桁構造と格子構造からなるサンゴ増殖基盤のプロトタイプ(図-7:以下、プロトタイプ礁)を考案した。プロトタイプ礁は、鉄筋コンクリート製の台座(2.4×2.4×0.5m、重量:約6 t)の上にFRP製格子板(1.2×1.2×0.5m)をステンレスフレームで固定し、さらにその上にもFRP製格子板(0.8×0.8×0.5m)を同様に固定したものである。漂流砂や浮泥堆積の影響を避けるため、台座は0.3mの高さに嵩上げし、コンクリートブロック中央部には0.5×0.5mの大きさの空隙を設けた。プロトタイプ礁は4基製作し、2基には枠構造の効果を検証するために高さ0.5mの木製外枠を固定した。

プロトタイプ礁4基は、2008年2月に沖縄県の阿嘉島阿嘉漁港地先水深D.L.-3.8mの平坦な海底に設置した。

2008年4月には阿嘉島臨海研究所および阿嘉島種苗生産センターで採卵・飼育した3種(*Acropora tenuis*, *A. humilis*, *A. formosa*)の0年齢から3年齢の阿嘉島産稚サンゴをプロトタイプ礁に移植し、生残・成長の状況をモニタリング調査することで機能の評価を行った。移植に際しては食害対策の必要性を確認するために、一部のサンゴ群体には食害防止カゴ(網目状のビニールコーティングした針金製のカゴ)を取り付けた(写真-1)。また、加入量を把握するために4月に加入量調査板を設置した。モニタリング調査は2008年の5月、7月の2回実施し、サンゴの生残・成長状態を潜水目視観察した。



生できないため<sup>10)</sup>、底質の安定化が必要である。  
 波浪・流速：サンゴ群体の成長は適度な波浪環境下では速く、大きな波浪環境下では遅いため<sup>22)</sup>、波浪条件の厳しい環境下では波浪制御が必要である。タカセガイ礁では干潮時における柵内での波浪制御効果が確認されている。

堆積物：堆積物が多い環境下ではサンゴ幼生の加入量が少ないため<sup>23)</sup>、浮泥や漂砂の影響軽減が必要である。タカセガイ礁では礁内で浮泥の堆積が少ないことが確認されている。

水中日照量：光量はサンゴの成長に影響を及ぼす主要因である<sup>24)25)</sup>。種類によって適正な光量が異なるが、光量の維持が必要である。

競合生物：サンゴの競合生物として藻類があげられる。フロリダでは藻類食のガンガゼの減少がサンゴ群集衰退の原因と考えられている<sup>26)</sup>。ガンガゼやタカセガイのようにサンゴの競合生物である藻類を生物的に除去するシステムが必要である。タカセガイ礁でも藻類が多い場所ではサンゴの被度が低いことが確認されている。

捕食生物：サンゴを捕食する生物としては、オニヒトデやブダイ等が知られている<sup>27)</sup>。捕食生物の侵入防止が必要である。プロトタイプ礁では食害防止カゴの効果が確認されている。

サンゴの加入：サンゴの加入はブラヌラ幼生の加入とサンゴ断片の加入がある。ブラヌラ幼生やサンゴ断片の着生を促進するためにはそれらをトラップすることが必要である。タカセガイ礁の柵構造にはブラヌラ幼生をトラップする機能が確認されている。沖ノ鳥島の実験礁ではフレームや格子構造の側面、裏面、格子中に多くのサンゴ幼生がトラップされて成長していることが確認されている。サンゴ断片についても底面の格子構造にトラップされていることが確認されている。サンゴの自然加入が期待できない場所では、稚サンゴの移植<sup>28)</sup>や断片サンゴ移植<sup>29)</sup>や幼生放流<sup>30)</sup>が必要となるため、移植しやすい構造上の配慮も必要である。

(3) サンゴ増殖基盤に必要な機能と構造

サンゴ増殖基盤に必要な機能と構造について図

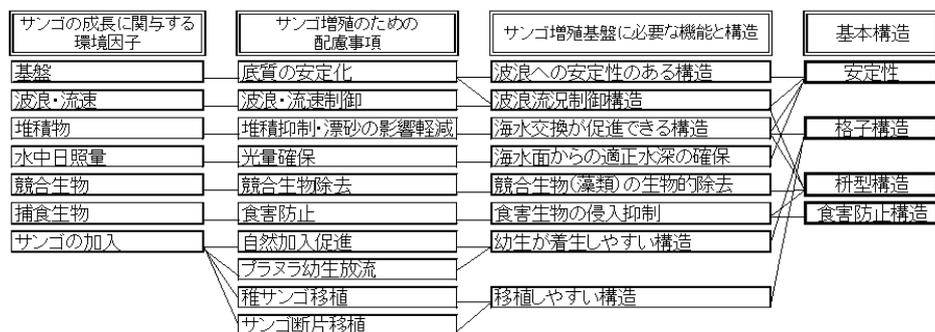


図-12 サンゴの加入・成長・生残に関与する環境因子とサンゴ増殖基盤に必要な機能と構造

-12 に示す。基本構造については、タカセガイ礁の機能と構造に関する仮説<sup>14)</sup>に示されている格子構造と柵型構造に加えて、安定性と食害防止構造を加えた。

格子構造は、サンゴ幼生やサンゴ断片のトラップに有効で浮泥が堆積しにくい構造としても有効である。稚サンゴ移植や断片サンゴを移植しやすい構造としても優れている。

柵型構造は、タカセガイ礁の事例のように浅い海域においては波浪制御や海水交換促進や食害生物の侵入抑制の面からは有効であるが、プロトタイプ礁の調査結果に見られるように、水深が深い海域ではその効果を得ることが出来ない。

サンゴ増殖基盤の安定性を確保するために流れによる水平力や滑動に対する設計が必要である<sup>32)</sup>。格子構造だけで安定性を確保する場合には沖ノ鳥島の実験礁のように、アンカーボルトによる固定が必要である。自重で安定させるためには、タカセガイ礁やプロトタイプ礁のようにコンクリート等による重量構造物を基盤として必要重量等を求める。その際に、サンゴ増殖基盤については十分な光量を得ることが出来る水深になるように設計する。サンゴ増殖基盤の下面は高波浪時の漂砂の影響が無い高さまで高上げする必要がある。

食害防止構造としては、食害防止カゴなどによりブダイ等の食害生物から防護する必要があるが、形状などについては今後の課題である。

4. 結論

サンゴ増殖基盤に求められる機能は、サンゴの加入・成長・生残に影響を及ぼす環境因子に対する配慮事項から、ブラヌラ幼生やサンゴ断片が加入しやすいこと、波浪への安定性のあること、稚サンゴが移植しやすいこと、食害生物の進入を抑制すること等である。基本構造としては格子構造、柵型構造、安定性および食害防止構造から構成されるもので、対象海域の海象条件を考慮して設計することが重要である。今後は、沖ノ鳥島等で実用化の事例を増やす計画である。

## 参考文献

- 1) 土屋誠: サンゴ礁からの警告 -最大規模の白化現象は何を意味するか-, *Galaxea JCRS*, Vol.1, pp.27-29, 1999.
- 2) Hoegh-Guldberg O.: Global climate change and the thermal tolerance of corals, *Galaxea JCRS*, Vol.2, pp.1-11, 2000.
- 3) Hoegh-Guldberg O., Mumby P. J., Hooten A. J., Steneck R. S., Greenfield P., Gomez E., Harvell C. D., Sale P. F., Edwards A. J., Caldeira K., Knowlton N., Eakin C. M., Iglesias-Prieto R., Muthiga N., Bradbury R. H., Dubi A. and Hatziolos M. E.: Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* 318, pp.1737-1742, 2007.
- 4) 三上信雄, 安藤亘, 石岡昇, 大隈篤, 山本秀一, 北野倫生: 沖ノ鳥島周辺海域における水産利活用の促進, *海洋開発論文集*, 第23巻, pp.925-930, 2007.
- 5) 海の自然再生ワーキンググループ: 海の自然再生ハンドブック, 第4巻サンゴ礁編, 国土交通省港湾局, ぎょうせい, 2003.
- 6) 大森信: サンゴ礁に関する技術手法-現状と展望-, 環境省自然環境局, 2003.
- 7) 森田晋, 田淵郁男, 前原弘海, 進明男, 児玉理彦, 山本秀一: サンゴの人工構造物への着生状況, *海岸工学論文集*, 第39巻, pp.1001-1005, 1992.
- 8) 三宅光一, 甲斐広文, 宮里高広, 国吉啓太, 山本秀一, 田村圭一, 岩村俊平: 人工構造物の表面加工によるサンゴ群集着生促進効果の評価, *海岸工学論文集*, 第53巻, pp.1108-1110, 2006.
- 9) 徳田廣, 川嶋昭二, 大野正夫, 小河久朗: 海藻の生態の藻礁, 緑書房, 1991.
- 10) Schmalh P. S., Donald R. D. and Sharon K. S.: Cooperative natural resource damage assessment and coral reef restoration at the container ship Houston grounding in the Florida Keys National Marine Sanctuary, *Coral Reef Restoration Handbook*, CRC Press, p.235-256, 2006.
- 11) Fox H. E.: Rapid coral growth on reef rehabilitation treatments in Komodo National Park, Indonesia. *Coral Reefs* 24(2): p.263, 2005.
- 12) Kaufman L. S.: If you build it, will they come? Toward a concrete basis for coral reef gardening, *Coral Reef Restoration Handbook*, CRC Press, pp.119-142, 2006.
- 13) Tallman J.: Aesthetic components of ecological restoration, *Coral Reef Restoration Handbook*, CRC Press, pp.193-203, 2006.
- 14) Omori M., Kajiura K., Matsumoto H., Watanuki A. and Kubo H.: Why corals recruit successfully in top-shell snail aquaculture structures?, *Galaxea JCRS*, 8, pp.83-90, 2007.
- 15) 三上信雄, 安藤亘, 石岡昇, 中村良太, 河野大輔, 北野倫生: 沖ノ鳥島のサンゴの維持・拡大を目的とした種苗生産技術と増殖技術の開発, *海洋開発論文集*, 第23巻, pp.931-935, 2007.
- 16) 安藤亘, 石岡昇, 岩村俊平, 三宅崇智, 宮地健司: サンゴ増殖礁の開発を目的としたタカセガイ中間育成礁による検証実験, *海洋開発論文集*, 第24巻, pp.813-818, 2008.
- 17) 三上信雄, 安藤亘, 石岡昇, 中村良太, 河野大輔, 北野倫生: 沖ノ鳥島のサンゴの維持・拡大を目的とした種苗生産技術と増殖技術の開発, *海洋開発論文集*, 第23巻, pp.931-935, 2007.
- 18) 北野倫生, 三宅崇智, 山本秀一, 藤田孝康, 安藤亘, 石岡昇: 沖ノ鳥島のサンゴの広域分布と加入特性, *日本サンゴ礁学会講演要旨集*, p.91, 2007.
- 19) 高尾敏幸, 白木喜章, 柴木秀之, 安藤 亘, 三上信雄: 沖ノ鳥島の流動特性とサンゴの分布特性, *日本サンゴ礁学会講演要旨集*, p.76, 2007.
- 20) 灘岡和夫, 波利井佐紀, 池間建晴, Paringit, E., 三井順, 田村仁, 岩尾研二, 鹿熊信一郎: 沖縄・慶良間列島におけるサンゴ産卵とスリック動態に関する観測, *海岸工学論文集*, 第49巻, pp.1176-1180, 2002.
- 21) Yamamoto H., Sugiura N. and Maekawa T.: Coral growth processes using multiple regression analysis and neural network model, *Eco-Engineering*, 14(3), pp.3-11, 2002.
- 22) Adey W. H.: Coral reef morphogenesis, a multidimensional model, *Science*, 202, pp.831-837, 1978.
- 23) Babcock R. and Davies P.: Effects of sedimentation on settlement of *Acropora millepora*, *Coral Reefs*, p.9, 205-208, 1991.
- 24) Chappell J.: Coral morphology, diversity and reef growth, *Nature*, 288, pp.249-252, 1980.
- 25) Chalker B. E., Barnes D. J., Dunlap W. C. and Jokiel P. L.: Light and reef-building corals, *Interdisciplinary Science Reviews*, 13(3), pp.222-237, 1988.
- 26) Macintyre I, Glynn P. W. and Hinds F.: Evidence of the role of *Diadema antillarum* in the promotion of coral settlement and survivorship, *Coral Reefs* 24: p.273, 2005.
- 27) Sanchez J., Gil M., Chasqui L. and Alvarado E.: Grazing dynamics on a Caribbean reef-building coral, *Coral Reefs* 23: pp.578-583, 2004.
- 28) 北野倫生, 山本秀一, 渡邊浩二, 青田 徹, 田村真弓: 沖ノ鳥島産種サンゴ 6 万群体の移設, *日本サンゴ礁学会講演要旨集*, p.135, 2008.
- 29) 大久保奈弥, 大森信: 世界の造礁サンゴの移植レビュー, *Galaxea JCRS*, 3, pp.31-40, 2001.
- 30) 林原毅, 加藤雅也, 玉城泉也, 伏屋玲子, 清水弘文: 幼生放流によるサンゴ群集の修復技術, *みどりいし*, 18, pp.7-11, 2007.
- 31) 漁港・漁場の施設の設計の手引検討委員会, 水産庁監修: 漁港・漁場の施設の設計の手引, 社団法人全国漁港漁場協会, 2003.