

# 浜崎海岸における人工リーフの環境調査 およびサンゴ分布特性に関する考察

安田 誠宏<sup>1</sup>・濱 明日香<sup>2</sup>・中西 敬<sup>3</sup>・松下 紘資<sup>4</sup>・長田 紀晃<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)  
E-mail: yasuda-t@kansai-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 株式会社ニュージェック 港湾・海岸グループ (〒531-0074 大阪府大阪市北区本庄東2-3-20)  
E-mail: hamask@newjec.co.jp

<sup>3</sup>正会員 徳島大学客員教授 環境防災研究センター (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)  
E-mail: naka24taka4@zeus.eonet.ne.jp

<sup>4</sup>正会員 日建工学株式会社 技術部 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-10-1 日土地西新宿ビル17F)  
E-mail: matsushita@nikken-kogaku.co.jp

<sup>5</sup>株式会社環境技建ウェブ代表取締役社長 (〒902-0064 沖縄県那覇市寄宮3-12-13)  
E-mail: n-nagata@e-lequio.co.jp

沿岸部では高潮・高波や津波に対する安全・安心確保のため、防波堤や護岸の新設、既設構造物の強靱化が図られてきた。これまで「防災」と「環境」は往々にして対立関係として位置づけられてきたが、今後の海岸保全事業においては共存関係にあることが望ましい。本研究では、沖縄県本部町浜崎海岸に整備された人工リーフに着目し、サンゴの生育状況が近接する構造物に比べて良好な要因を絞り込むことを目的に、水質およびサンゴ被度の調査を実施した。その結果、水温と塩分については、測線、潮汐による顕著な違いは得られなかったが、DO については、人工リーフに近い表層で高くなる傾向が得られた。サンゴの形態別被度を定量分析した結果、場所によって違いがあり、沖側・南側の被度が高いことがわかった。

**Key Words:** artificial reef, Hamasaki coast, coral coverage rate, coral distribution characteristics

## 1. はじめに

沖縄県のサンゴ礁は、オニヒトデの大量発生、白化現象、土砂の大量流出などにより、サンゴ被度が全般に低い状態（およそ10%未満）になっている<sup>1)</sup>。これに対して、沖縄県では2011年から「サンゴ礁保全再生事業」として大規模な植え付けが実施されてきた。2016年に開催された「沖縄県サンゴ礁保全再生事業成果発表シンポジウム」では、サンゴ保全再生事業の課題として、低予算でより簡易な方法による大規模化、それに伴う資金の確保と実施運営が挙げられている<sup>2)</sup>。

沿岸部では高潮・高波や津波に対する安全安心確保のため、防波堤や護岸の新設、既設構造物の強靱化が図られていくなか、これまでは「海岸人工構造物」と「環境」は往々にして対立関係として位置づけられてきたが、今後の事業においては共存関係、例えば防災のための事業にサンゴの増殖が組み込まれるような仕組みが望ましい。開発行為に対する免罪符的な環境行為ではなく、環境と防災が共存した海岸構造物を実現することは、サンゴ礁保全再生事業の課題とされる資金の確保と実施運営の仕組みの改善方法の一つとなり得るのではないかと考える。

著者らが、図-1に示す沖縄県国頭郡本部町浜崎海岸の人工リーフ（2007年竣工）において、2017年に実施したスノーケリング調査によって、人工リーフを構成するフレーム形状の中空ブロックにおけるサンゴの定着・生育状況が、隣接する被覆ブロック、消波ブロック、ケーソンに比べて格段に良いことが定性的に確認された。本調査研究は、人工構造物によって創出される環境の中からサンゴに望ましい環境要因（主に物理的特性）を明らかにし、他地域・他構造物への応用可能性、ならびに応用する場合の具体的な方法を検討し、環境と防災の両立の一助となることを目指すものである。今回の調査では、人工リーフにおけるサンゴの分布を定量的に把握し、周辺の人工構造物と比較して、当該人工リーフに良好な状態でサンゴが分布していることを調査、定量評価し、良好な状態で分布する要因を絞り込むことを目的とする。

## 2. 調査内容

### (1) 調査にあたっての仮説

調査にあたって、周辺の人工構造物に比べて、当該人工リーフの中空立方体ブロックにサンゴが良好に生育す

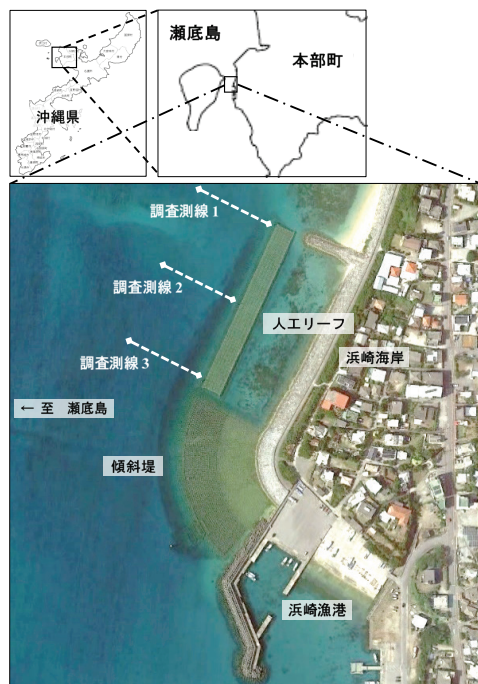


図-1 浜崎海岸人工リーフの位置，隣接する傾斜堤，および水質調査3測線(破線)

る要因として，以下の仮説を立て，調査内容を設定した。

- 1) 浮遊幼生の供給源が近くにあるとともに，人工リーフに漂着・着生しやすい流れが存在する。
- 2) ブロック設置時期が浮遊幼生の着生に望ましい時期であった。他の付着生物に阻害されことなく浮遊幼生が着生することができた。
- 3) 人工リーフによって，サンゴの生育に適した水深帯ならびに着生基盤の傾斜部が創出されている。
- 4) サンゴの生育に適した波当たり（攪乱）が創出され，サンゴの浮遊幼生が着生しやすく，懸濁物が堆積しにくい。
- 5) 中空ブロック内の海水の鉛直混合で表層水温の上昇が抑制され，サンゴが白化しにくい。

今回の調査研究では，1)をヒアリング並びに既存の潮流調査に基づき考察するものとし，3), 4), 5)を対象に現地調査を行った。なお，2)については詳細な工事工程が把握できなかったため，今後の課題とする。

## (2) 現地調査

現地調査は2018年9月9日に実施した。浜崎漁港に近接する渡久地港における調査日の天文潮<sup>2)</sup>(満潮6:30，干潮13:00，満潮19:22)を参照し，潮汐による違いを把握するため，調査時刻は10時(下げ潮時)，13時(干潮時，DL - 2.2cm)，16時(上げ潮時)とした。

### a) サンゴ分布状況調査

人工リーフおよび隣接する傾斜堤において，干潮時にスノーケリングによる目視観察ならびに写真撮影を行った。人工リーフおよび傾斜堤の断面構造と各ブロックの

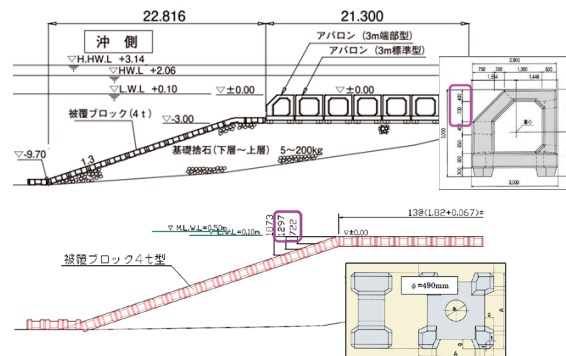


図-2 人工リーフ(上)および傾斜堤(下)の断面図とブロック形状

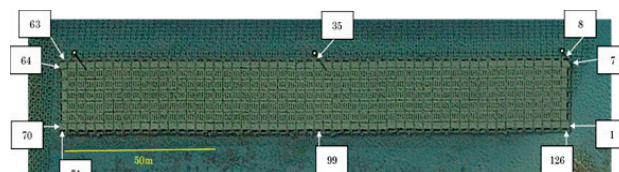


図-3 人工リーフ中空立方体ブロックのナンバリング

形状図を図-2に示す。図-3に示すように，人工リーフの北東端の被覆ブロックをNo.1とし，反時計回りにスノーケリングにより写真撮影をした。対象の中空立方体ブロックはフレーム形状のため，隣り合うブロックの傾斜フレーム部分を一つの画像単位とした。隣接する傾斜堤の平型被覆ブロックについては，傾斜フレーム部分と同じ水深帯 (DL±0～-1.1 m) を対象に水中撮影をした。

### b) 水質調査

水質は3潮時に，多項目水質計 (AAQ-1183) を用いて，水温，塩分，濁度，溶存酸素 (DO) 他を，図-1に示す3測線において，リーフ端から沖方向に50 mまで10 mピッチで，海面から海底まで0.5 mピッチで測定した。また，各潮時に測線2の人工リーフ端から30 m地点の表層 (水深約1 m) において，バンドーン採水器を用いて採取した海水サンプルを分析した。

## 3. 環境調査

### (1) 瀬底島付近の潮流観測

浜崎海岸周辺の海象について観測されたデータとして，第十一管区海上保安本部<sup>3)</sup>が瀬底島付近で実施した潮流観測データがある。平成14年5月23日～6月13日の22日間に，潮流の流速および流向の観測が行われた。図-4に最大流況図 (測点を併記)，図-5に対象海岸に近い測点280668における潮流の流速時系列変化 (南北成分・東西成分)，図-6に流向別頻度をそれぞれ示す。流速時系列から，望時期 (25～28日) では1日2回の南北方向0.6 kn程度の流れ，それ以外の時期では東西方向0.6 kn程度の流れが顕著であった。潮流の流向は，南南西～西方向の流れが44.6%，北～東方向の流れが35.9%であった。さらに，最大流況図より，上げ潮流向は南西 (223°)，下げ潮流向

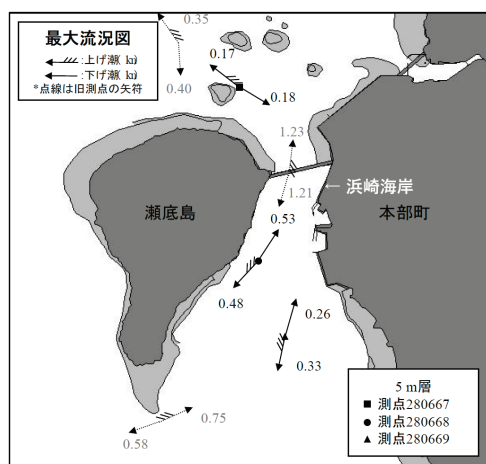


図-4 最大流況図<sup>3)</sup>(浜崎海岸位置を追記)

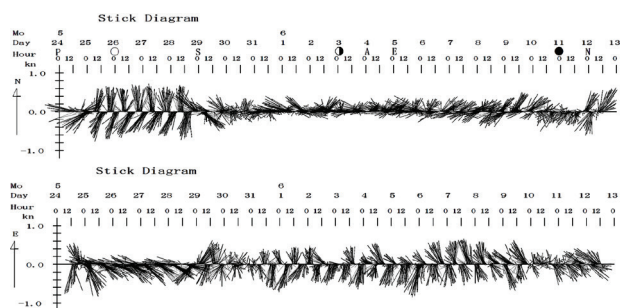


図-5 潮流の流速の時系列変化(上：南北成分，下：東西成分，測点 280668)<sup>3)</sup>

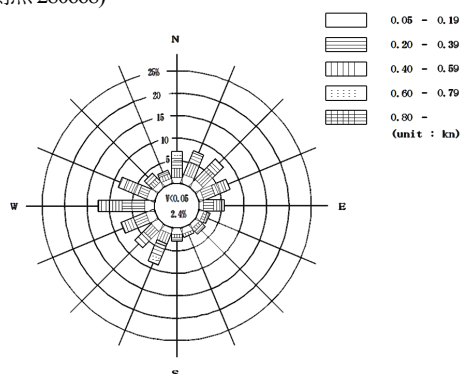
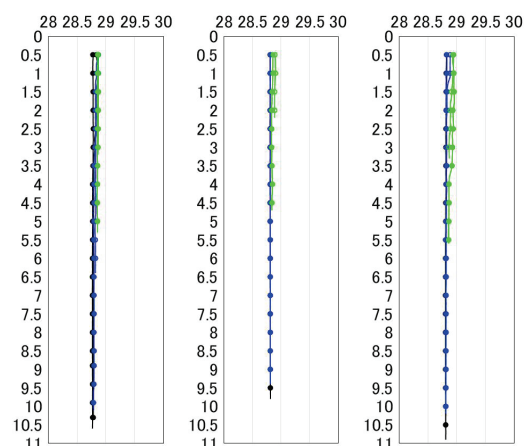


図-6 潮流の流向別頻度(測点 280668)<sup>3)</sup>

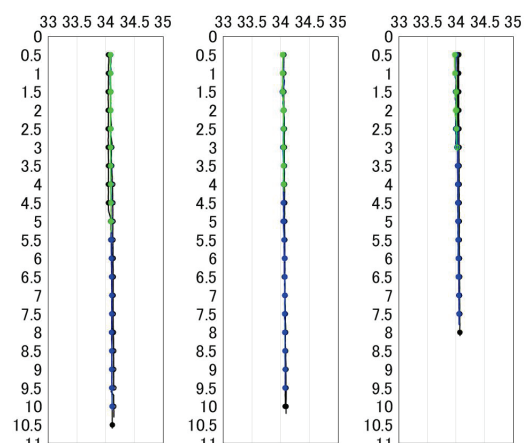
は北北東～北東(34°)で、瀬底島との間に0.5~1.2kmの速い潮流があることがわかった。以上より、浜崎海岸では沿岸方向の流れが強いと考えられる。また、各測点の流速および流向から、瀬底島の北側よりも南側において、海水交換が卓越していることが推察される。

## (2) 水質調査

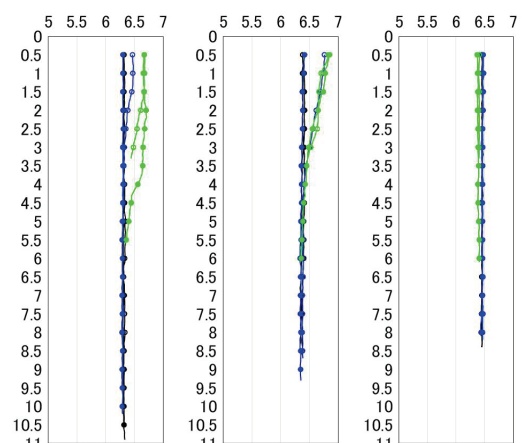
測定した水温・塩分・DOの代表例を図-7に示す。測線ごと3潮汐条件ごとに、鉛直方向0.5m間隔でプロットした。水温は、引き潮時・干潮時・上げ潮時の測線1～3における各調査点および各水深において28.5℃～29.0℃の値であった。塩分についても水温の傾向と同様な結果となり、潮汐条件、調査点の違いにかかわらず、ほぼすべての場所で34.0PSU前後の値を示した。成層は形成されず、均一な状態であると考えられる。また、



(a) 測線1における潮時別水温分布(°C)  
(左：下げ潮時，中：干潮時，右：上げ潮時)



(b) 下げ潮時における測線別塩分分布(PSU)  
(左：測線1，中：測線2，右：測線3)



(c) 上げ潮時における測線別DO分布(mg/L)  
(左：測線1，中：測線2，右：測線3)

図-7 水温・塩分・DOの鉛直分布(縦軸：水深(m)，○人工リーフ端，●10m，○20m，●30m，○40m，●50m)

DOについては、人工リーフに近い表層で高くなる傾向がみられ、上げ潮時にその傾向が強く表れた。すべて水産環境基準(6.0 mg/L)以上の値であったが、環境基準値(A類型で7.5 mg/L以上)以下の値を示した。

次に、水質分析の結果を表-1に示す。窒素については潮時による変動はほとんどなく、全窒素に占めるアンモ



表-1 水質分析結果

分析項目	単位	下げ潮 (Ebb Tide)	干潮 (Low Tide)	上げ潮 (Spring Tide)
全窒素 (TN)	mg/L	0.20	0.21	0.22
硝酸態窒素	mg/L	0.04未満	0.04未満	0.04未満
亜硝酸態窒素	mg/L	0.04未満	0.04未満	0.04未満
アンモニア態窒素	mg/L	0.11	0.07	0.10
全リン (TP)	mg/L	0.006	0.003未満	0.003未満
リン酸態リン	mg/L	0.003未満	0.003未満	0.003未満

ニア態窒素の割合が比較的高いこと、リンについては無機態リンがほとんど存在しないこと、全リンが引き潮時に上昇傾向にあることがわかった。金城ら<sup>3)</sup>は、本部町瀬底海域の窒素濃度は0.2 mg/Lで、沖縄周辺の他の海域よりもやや高いと報告しており、同様な傾向を示したといえる。窒素が過剰な場合、藻類が繁茂しサンゴの生育の妨げになるとの見方があるが、ここでは無機態リンがほとんど存在しないため、藻類の生育が制限されているものと考えられる。そのため、海藻がサンゴの着生や生育を妨げることはあまりない環境だといえる。なお、DOが高いにも関わらず、全窒素に占めるアンモニア態窒素の割合が高い要因として、窒素の負荷源が近くに存在することが考えられる。

#### 4. 人工リーフにおけるサンゴ分布特性

##### (1) 過去の瀬底島付近のサンゴの変遷

琉球大学瀬底実験所では、1980年より瀬底島周辺における造礁サンゴの観察を記録している<sup>5)</sup>。van Woessikら<sup>6)</sup>は、1997年～2010年の14年間という長いスパンで、瀬底島南端におけるサンゴの変遷について調査、分析している。1998年と2001年に海水温の上昇現象があり、それに伴うサンゴの大規模白化が確認された。その後、回復し、2001年～2010年にかけて、硬質サンゴは3%から47%に増加し、軟質サンゴも10%増加した。群体密度は、1998年と2001年に環境ストレスを受けたが、2007年には1997年と同等の種の豊かさに戻った。ただ、サンゴの構成は大きく変わった。瀬底島周辺海域におけるミドリイシ属のサンゴ回復が良かったこと背景には、慶良間諸島のサンゴの幼生が流れ着いていることが要因の一つであると考えられている。2010年に最も台頭していたサンゴは、キクメイシ属と大規模なハマサンゴ属、ミドリイシ属であった。これらのサンゴの属性はそれぞれ異なっているが、熱に強く、成長が早い特徴を共通して持っている。

対象の人工リーフは2007年に竣工していることから、竣工後の瀬底島周辺の環境は、サンゴの浮遊幼生の着生にとって良好な状態であったと考えられる。

##### (2) サンゴ被度の分析

図-8に、2018年9月の調査時に撮影した中空ブロック傾斜フレーム部のサンゴの画像を選出して示す。浜崎海

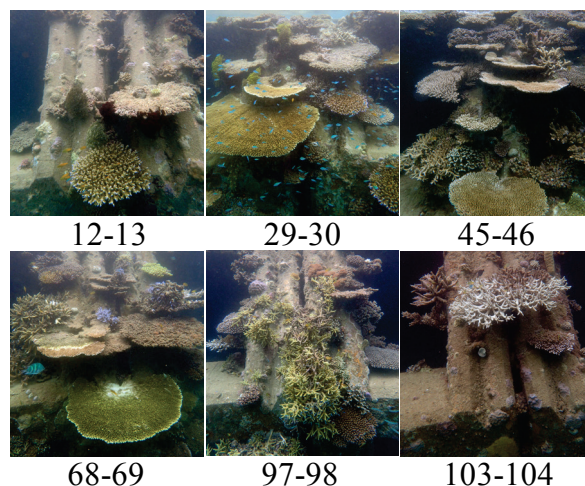


図-8 水中側方より写真撮影を行ったブロック傾斜部の画像  
(撮影日：2018年9月9日)

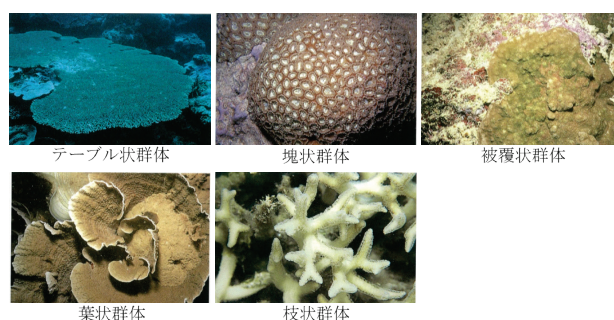


図-9 サンゴの形態別分類<sup>7)</sup>

岸の人工リーフに最も優位に生育していたサンゴの属性は、ミドリイシ属であった。その他に、ハマサンゴ属、キクメイシ属、コモンサンゴ属、スリバチサンゴ属が確認された。ミドリイシ属は、サンゴ礁の海中景観を形成する重要な役割を果たしていることが多い。

撮影した写真を画像解析し、サンゴの被度の分析を行った。サンゴ被度とは、サンゴが着生可能な海底面に占める生存サンゴの、上方からの投影面の被覆率(%)であり、サンゴ礁の状態を評価するための重要な指標である。本研究では、サンゴの上方からの投影面を観察することが困難なため、水中側方より写真撮影を行った画像を用い、各画像においてサンゴの占める割合(ピクセル)を被度とした。サンゴは同じ群集形状であっても複数の種から構成されていること、また、水中写真からのサンゴ属の同定は困難であることから、群集形態別に分類する方法を採った。サンゴの群集形態<sup>7)</sup>を、図-9に示すような、1)テーブル状、2)塊状、3)被覆状、4)葉状、5)枝状の5種類に分類し、形態別の被度を評価した。

図-10にサンゴの被度の平面分布を示す。ブロックNo. 8～63の沖側の方が、No. 71～126の岸側よりも被度が高い。さらに、No. 20～90の南西側の方が、北東側よりも被度が高い。次に、サンゴ形態別被度を図-11に示す。沖側および南側のNo. 8～70にかけて、テーブル状群体が

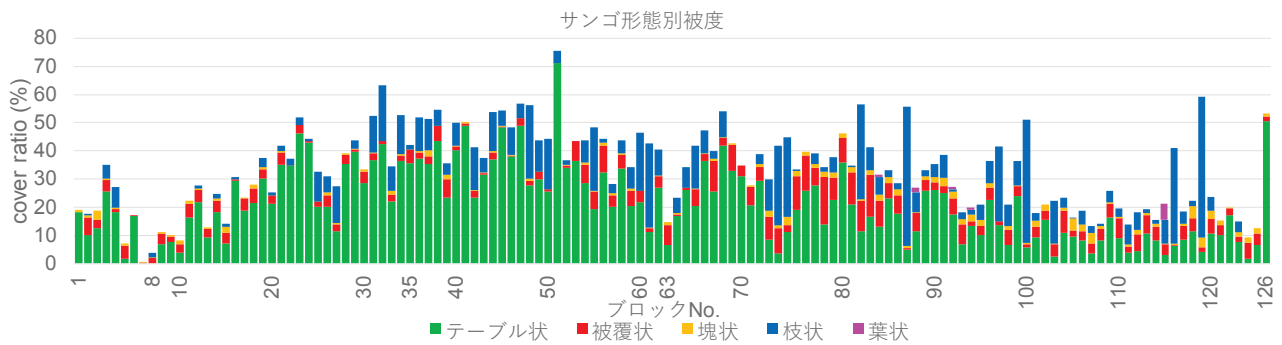


図-11 各ブロックの傾斜部分におけるサンゴ形態別被度

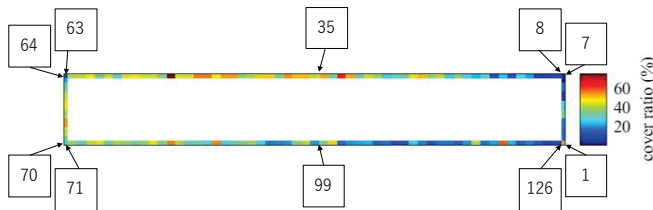


図-10 ブロック傾斜部分におけるサンゴの被度の平面分布

優占していた。岸側南側のNo. 71～86では被覆状が多い。岸側北側のNo. 87～120では、北になるにつれて全体の被度は低くなるが、枝状が多い箇所が散見される。

調査の結果、多くのサンゴが生育していることが定量的に示された。また、場所によって被度に違いがあることもわかった。この要因について考察する。まず、瀬底島との間に速い潮流が存在することから、瀬底島南端にある天然のサンゴ礁から浮遊幼生が供給されている可能性がある。そのため、沖側および南側の被度が高いと考えられる。次に、この中空ブロックの特徴として、ブロック内を沖向きに向かう定常流が顕著であり、波高が大きいほど流速は速いことがわかっている<sup>9)</sup>。波浪観測は実施できていないが、波向きは北東で、人工リーフに斜めに入射する様子が観察された。村上ら<sup>9)</sup>は、波当たりの激しい礁縁部にテーブル状が優占することを示している。対象人工リーフでも、沖側南側においてテーブル状が優占していることから、岸側よりも沖側の方が、北側よりも南側の方が波当たりは強いといえる。そのため、ブロック内の定常流も南側の方が強く、岸沖で適度な海水交換がなされていると考えられる。最後に、スノーケリングによる観察の結果、人工リーフ岸側北側と北辺は、流れが穏やかで、ブロック表面にシルトが堆積している様子が確認された。そのため、この区間はサンゴの被度が低いと考えられる。枝状サンゴは他の形状に比べて、土砂流入の影響を受けにくいとされており<sup>9)</sup>、この区間で被度が高い箇所が確認できることからいえる。

### (3) 隣接する傾斜堤の被覆ブロックとの比較

人工リーフに隣接するブロック傾斜堤について、人工

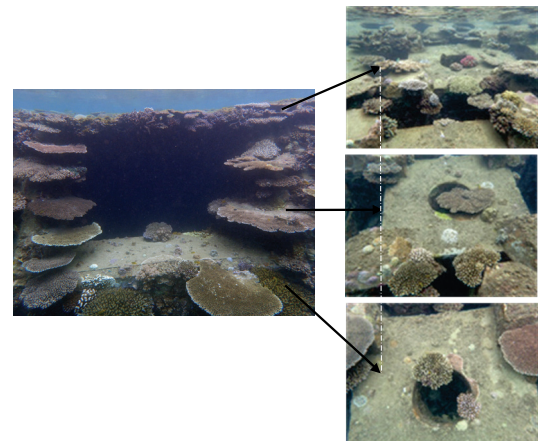


図-12 人工リーフ中空ブロックと隣接する傾斜堤被覆ブロックの同一水深帯におけるサンゴの分布状況

リーフの中空ブロックと傾斜堤の被覆ブロック表面におけるサンゴの分布状況を、同一水深帯で比較したものを図-12に示す。傾斜堤の法面勾配は1:3で、被覆ブロック表面の開口部は小さいことがわかる。一方で、人工リーフの中空ブロックは、開口部が大きく、フレームで構成されている特徴がある。図より、端部ブロックの傾斜フレーム部には、傾斜堤の被覆ブロックと比較して、高い密度で立体的にサンゴが分布していることがわかる。

傾斜によるサンゴの分布の被度の差異は、シルト等の粒子の除去のしやすさにあると考えられる。粒子がサンゴの上に堆積すると、その程度によって、埋まって代謝が阻害されて死亡することもある。繊毛と粘液を用いて堆積粒子を除去することもあり、この能力はサンゴの種や形状に依存している<sup>10)</sup>。森田ら<sup>11)</sup>により、サンゴの人工構造物への着生状況について、構造物の形状に関係性があることが報告されている。構造物が造られた初期段階では、傾度45°で被度が高く、14年以上経過した段階では傾度0°で高く、傾度90°で低い傾向を示している。これは、初期の段階では、傾度はサンゴの成長に大きな影響を及ぼさないものの、成長に伴い、傾度90°では基質そのもの（着床面が少ないことから自重を支えきれない）や上部で成長したサンゴに光を遮られることが、サンゴの成長を阻害するようになると考えられる。そのため、方形状の被覆ブロックよりも、中空ブロックの傾斜

フレーム部分に多く着生していると考えられる。

## 5. 結論

本研究で得られた主な結論について述べる。

- 1) 過去の観測結果から、潮流の流向は南南西～西方向の流れが 44.6%, 北～東方向の流れが 35.9%で、瀬底島との間に 0.5~1.2 km の速い潮流があることがわかった。
- 2) 水質調査の結果、水温と塩分については、測線、潮汐による違いはなく、成層も形成されず均一な状態であった。DO については、人工リーフに近い表層で高くなる傾向がみられ、満ち潮時にその傾向が強く表れた。
- 3) 浜崎海岸の人工リーフに最も優位して生育しているサンゴの属性は、ミドリイシ属であることがわかった。形態別で分析すると、テーブル状形態が優占していた。
- 4) サンゴの形態別被度を分析した結果、場所によって被度に違いがあり、沖側・南側の被度が高く、岸側・北側で低いことがわかった。
- 5) 沖側・南側の被度が高い要因として、瀬底島南端にある天然のサンゴ礁が浮遊幼生の供給源となっていること、南側の方が中空ブロック内の定常流が強く、岸沖で適度な海水交換がなされているために、シルトの堆積が少ないことが考えられた。
- 6) 隣接する傾斜堤の同一水深帯の被覆ブロックと比較して、人工リーフの中空ブロックの傾斜フレーム部分に、より多くのサンゴが着生していることがわかった。ブロックの傾斜の違いが、シルトの除去のしやすさに影響し、サンゴ被度に差が生じたと考えられた。

以上より、サンゴ分布の差異を生じさせたのは、水質環境ではなく、ブロックの枠体の形状や傾斜、流速や波当たりなどの物理的要因と考えられる。今後は、流れ・波の物理場に注目して継続的に調査研究を進め、サンゴ

の増殖に望ましい環境条件の解明を進める予定である。

**謝辞：**琉球大学熱帯生物圏研究センターの波利井佐紀准教授には、サンゴの分布判断の際の指針、注意点などについてご助言をいただいた。株式会社総合水研究所には水質分析でご協力いただいた。ここに謝意を表する。本研究の一部は、関西大学若手研究者育成経費の研究助成を受け、その成果を公表するものである。

## 参考文献

- 1) 沖縄県環境部：サンゴ礁再生の道筋、沖縄県サンゴ礁保全再生事業成果発表シンポジウム、配布資料、2016。
- 2) 日本沿岸 736 港の潮汐表 [tide736.net](http://tide736.net), <http://tide736.net/okinawa/?page=1#Toguti> (2018 年 7 月 27 日参照)。
- 3) 第十一管区海上保安部：南西諸島瀬底島付近 潮流観測報告、平成 15 年 2 月、27p., 2003。
- 4) 金城孝一・比嘉榮三郎・大城洋平：沖縄県のサンゴ礁海域における栄養塩環境について、沖縄県衛生環境研究所報、第 40 号、pp.107-113, 2006。
- 5) 酒井一彦：瀬底島周辺における造礁サンゴ被度の変遷—25 年を振り返る—、みどりいし、No.17, pp.15-19, 2006。
- 6) van Woesik, R., K. Sakai, A. Ganase and Y. Loya: Revisiting the winners and the losers a decade after coral bleaching, MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES Mar Ecol Prog Ser, Vol.434, pp.67-76, 2011。
- 7) 西平守孝・J.E.N Veron：日本の造礁サンゴ類、海游舎、1995 年 2 月、439p., 1995。
- 8) 森 信人・伴登昭夫・小池敏也・遠藤 徹・中條壮太・角野昇八：中空ブロックを用いた人工リーフ内の流況特性について、海洋開発論文集、第 23 巻、pp.775-780, 2007。
- 9) 村上智一・鶴飼亮行・河野裕美・水谷 晃・下川信也・中瀬浩太・野口幸太・安田孝志：西表島網取湾の造礁サンゴの分布とその物理環境の関係、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、Vol.68, No.2, pp.I\_1133-I\_1138, 2012。
- 10) 山里 清：サンゴの生物学、150p., 東京大学出版、1991。
- 11) 森田 奢・田淵郁男・前原弘海・進 明夫・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。

(2019.3.13 受付)

## ENVIRONMENTAL SURVEY OF ARTIFICIAL REEF AND DISCUSSION ON CORAL DISTRIBUTION CHARACTERISTICS IN HAMASAKI COAST

Tomohiro YASUDA, Asuka HAMA, Takashi NAKANISHI,  
Hiroshi MATSUSHITA and Noriaki NAGATA

In the coastal area, new breakwaters and seawalls have been constructed and existing structures have been strengthened to ensure safety and security against storm surges, high waves, and tsunamis. Although "disaster prevention" and "environment preservation" have often been regarded as conflict relation, it is desirable for coastal protection projects to be coexistent in the future projects. This study focused on the artificial reef at Hamasaki coast in Motobu town, Okinawa Prefecture, and conducted water quality and coral distribution survey with the purpose of clarifying the factors why coral growth status are better than neighboring structures. As a result of water quality survey, there are little differences in water temperature and salinity between the survey lines and the tide conditions, but DO tended to be higher in the surface layer near the artificial reef. Moreover, the results of analyzing the cover rate according to the type of coral indicated that there is a difference depending on the section, and the cover rate of coral on the southern offshore side is higher than the other sections.