

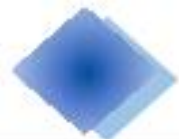
環境省サンゴ群集修復試験
令和3年度実施状況について

国際サンゴ礁研究・モニタリングセンター
(石垣自然保護官事務所)

事業概要

- 令和2年度に環境省サンゴ群集修復事業実施計画を策定
 - 令和3年度から修復試験を開始し、令和6年度まで、以下の3項目の試験を実施予定
1. 幼生供給拠点整備試験
 2. 攪乱要因対策試験
 3. 藻類除去試験

1. 幼生供給拠点整備試験の進捗状況



試験位置（幼生供給拠点）





作業実施状況_幼生収集①

幼生収集

1. 幼生収集装置の設置

- 乗船場所の浜で装置を組立てた。
- 設置場所まで曳航し、親サンゴを配置した架台直上に位置するように、浮力体(ピアフロート)のアンカー固定、装置本体ネットの設置、スカート部の設置を行った。



装置の組み立て状況



束ねたネットを展開

着床具の設置状況



装置底部の筒状穴に挿入



スカート頂部と固定

ホースの接続状況



装置本体

水面の設置状況

スカート部

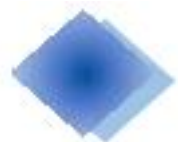
接続ホース

装置の設置状況(全景)



親サンゴ

スカート部の設置状況

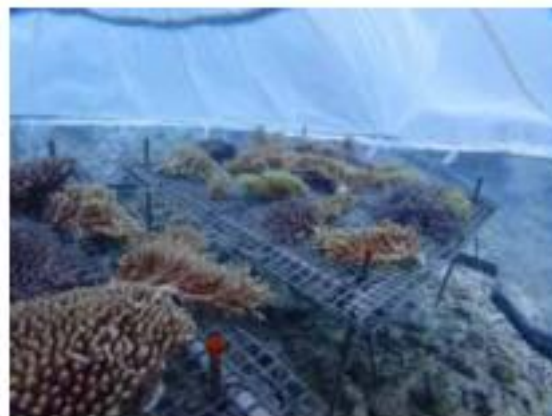


作業実施状況_幼生収集②

幼生収集

2. バンドル(卵・精子)の収集

- ウスエダミドリイシは、当日産卵する場合には、17:30～18:30頃にバンドルセッティングするため目視観察。
- 4/30にバンドルセッティングを確認。
- 日没直後(19:15～30頃)から産卵。ほとんどの群体で産卵が終えたことを確認後、スカート内部に滞留しているバンドルを空気で上方へ送る(接続ホース → 装置本体)。
- 装置底部からホースを引き抜き、筒状穴を閉塞した後、スカート部からもホースを取り外す。最後に、接続ホース、スカート部を撤去。



産卵直前の親サンゴ



バンドルセッティングの状況



産卵状況(水中)



産卵状況(水面)



作業実施状況_幼生収集③

幼生収集

3. 着床具の設置（収容）

- ・ 3日齢時幼生のサンプリングにより約115万個体の幼生の収集を確認。
- ・ 網袋にサンゴ砂製角筒型着床具50個を入れ、EVAフロートに結んだロープに8袋（層）吊り下げた。
- ・ 装置天井面のファスナーを開き、着床具入り網袋を吊り下げたEVAフロートを1セットずつ収容した（計18セット）。



幼生サンプリングの状況



着床具の網袋への収容状況



着床具入り網袋の吊り下げ状況（ロープ付EVAフロート取付け）



装置天井面から
着床具一式を投入



着床具の装置への収容状況 7

作業実施状況_育成

育成

育成施設(架台)の設置、着床具の設置

- 50個程度の着床具を回収し、稚サングの着生状況を検鏡した。計数の結果、各指標値は概ね計画通りであった。

着生維持率は100%

**着生密度は平均値0.9、中央値0.7個体/cm²
(着床具当り27~35個)**

- 仮置き2日後に着床具を幼生供給拠点整備試験箇所(7地点)まで船上水槽に収容して運搬した。
- 各地点では、育成施設(架台)を3台設置、架台上に着床具を1,000個/地点設置。



稚サングの着生状況



着床具の運搬状況



架台の設置状況



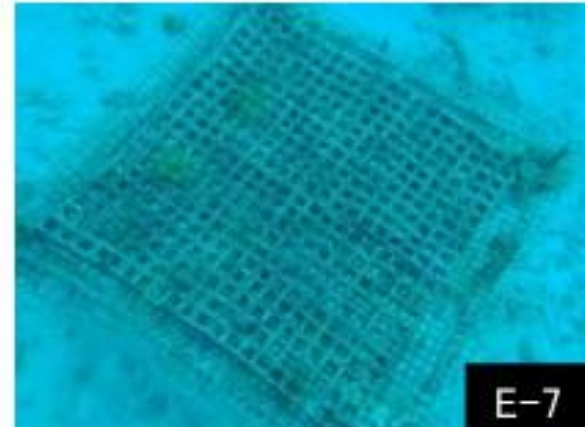
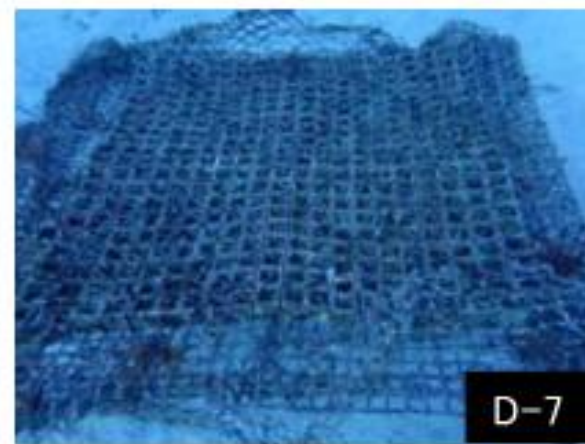
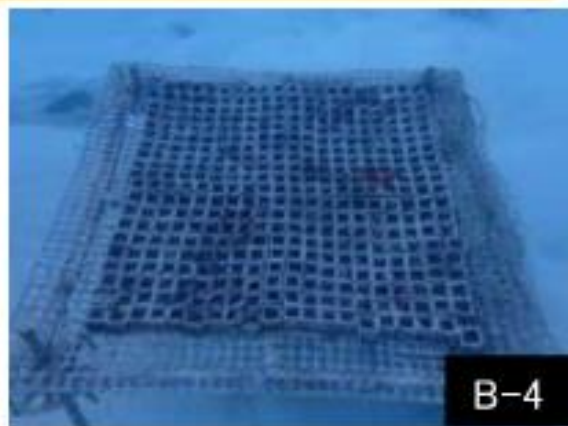
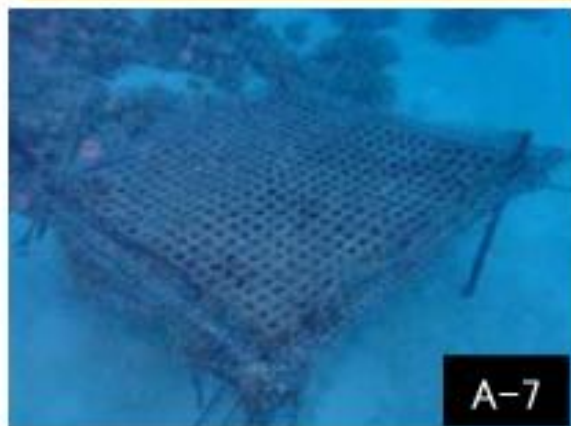
着床具の設置状況(左:近景、右:遠景)





作業実施状況

- 各地点の架台上における藻類等の付着生物の状況は、C-5を除き、大きな違いは見られなかった。海藻類、ホヤ類、海綿類が被度1%未満でわずかに付着している程度であった。
- C-5では、ウスユキウチワ類が著しく繁茂している架台もあり、被度30～50%で付着していた。

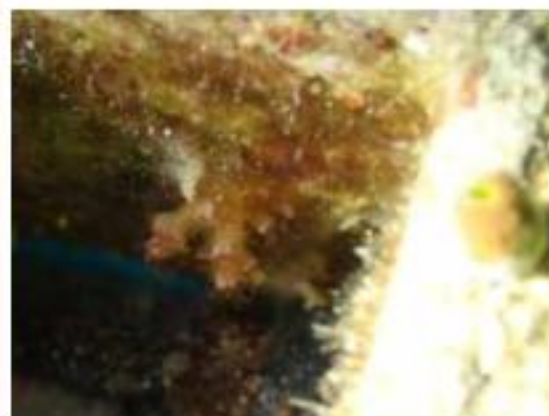




作業実施状況

稚サングのモニタリング

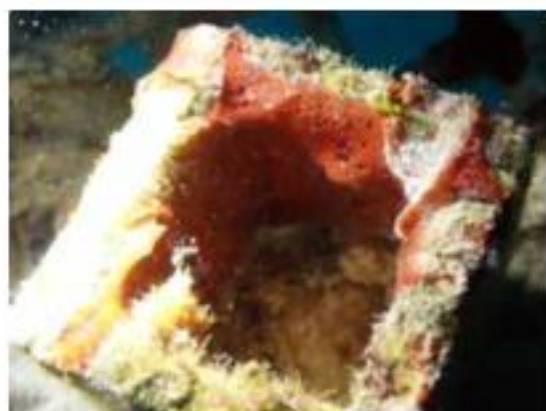
- 各地点で1割に相当する100個の着床具を対象とし、稚サングの着生状況を観察。架台上の配置数量と比例配分するようにサンプリング(400個配置なら40個)。さらに、個別の架台上でサンプリングの偏りが生じないように、面的に均等に選択。
- 補足データとして、生残に影響を及ぼすと考えられる被覆性の付着生物の概略的状况を着床具ごとに記録。また、各地点周辺および各架台において、付着生物の概略的な状況を観察。



生残状況(ウスエダミドリイシ)



生残状況(ミドリイシ属)



付着生物(海綿類)



付着生物(群体ホヤ類)



架台上の付着生物(ラン藻類) 4



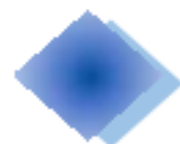
調査結果（着生状況）

第1位
第2位

※着生維持率：1群体以上が着生している着床具の割合

	A-7	B-4	C-5	D-7	E-7	F-6	G-6	平均
水深(D.L.m)	-7.0	-7.0	-10.3	-10.3	-10.5	-13.4	-8.1	
生残着生数 合計 (ミドリイシ属)	66	70	36	40	64	62	49	55.3
種苗生残数 合計 (ミドリイシ属 ≥1群体)	43	37	30	26	35	39	32	34.6
着生維持率 (ミドリイシ属)	43.0%	37.0%	30.0%	26.0%	35.0%	39.0%	32.0%	34.6%
ウスエダミドリイシ の割合予測	31%	34%	29%	29%	57%	48%	29%	37%
参考値)								
着生維持率 (ウスエダミドリイシ)	13.2%	12.6%	8.7%	7.4%	20.0%	18.6%	9.3%	12.8%

- ウスエダミドリイシを含むミドリイシ属の着生維持率は、A-7、F-6で40%程度と相対的に高かった。次いで、B-4、E-7、G-6が35%程度であり、C-5が30%、D-7が26%であった。
- ウスエダミドリイシと思われる割合から予測したウスエダミドリイシの着生維持率は、St.E、Fが20%程度と相対的に高く、次いでA-7、B-4が13%程度であった。C-5、D-7、G-6は10%未満と低かった。



調査結果（付着生物の状況）

架台上の付着生物等	A-7	B-4	C-5	D-7	E-7	F-6	G-6
優占種 上位第1位	海藻類	海藻類	海藻類	ホヤ類	海藻類	海藻類	海藻類
優占種 上位第2位			ホヤ類	サンゴ藻	海綿類		
優占種 上位第3位			海綿類		ホヤ類		
上位第1位の総被度	r	r	30～50%	r	10%	r	r
SPSS	5b	5a	5b	5a	6	5a	5a

 : 被覆割合第1位
 : 被覆割合第2位

平均被覆割合[%] (着床具あたり)	A-7	B-4	C-5	D-7	E-7	F-6	G-6	平均
ホヤ類	2.1	1.4	4.2	5.2	1.7	5.0	5.8	3.6
海綿類	8.2	11.0	12.7	4.0	12.2	5.5	8.0	8.8
貝類	10.0	9.6	3.7	5.2	5.0	7.7	6.7	6.8
被覆海藻	15.7	19.6	7.5	16.5	10.0	14.3	9.9	13.3
その他	2.7	2.5	3.9	7.6	4.7	2.1	9.2	4.7
合計	38.6	44.1	31.8	38.3	33.5	34.6	39.5	37.2

※ その他は、苔虫類、サンゴモ、ウズマキゴカイ類など

- 架台上の付着生物は、海藻類が主体で、C-5以外は顕著な付着状況は確認されなかった。
- 着床具あたりの被覆性の付着生物では、海藻類が10～20%程度が多かった。次いで、海綿類や貝類が地点によっては10%程度で付着していた。

2. 攪乱要因対策試験の進捗状況

①遮光ネットによる遮光試験

●既往事例(水産庁)



中層ブイを用いた設置

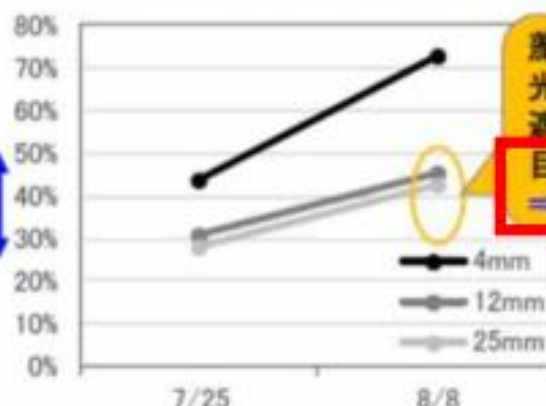


塩ビ製枠を用いた設置

陸上試験で得られた
白化の軽減が期待され
る遮光率の範囲

ロープと金具
で架台に固定

遮光ネット目合いと遮光率の関係



藻類等の付着による遮光率の上昇を踏まえて、遮光率50%程度になる目合いは？
⇒ 12mm～25mm

※ 遮光率は2地点の平均値を示す。

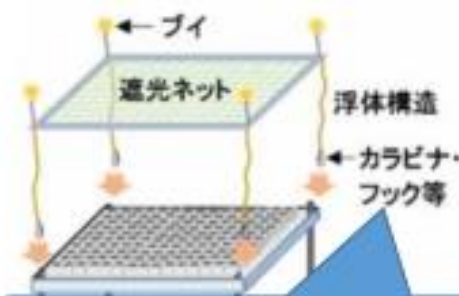
図-V.1.1.9 遮光ネット目合いと遮光率の関係

出典) 水産庁, 平成30年度 厳しい環境条件下におけるサンゴ礁の面的保全・回復技術開発実証事業 報告書, V. 移植サンゴの育成阻害要因対策手法の開発・実証, pp. V-1-1～V-1-9.

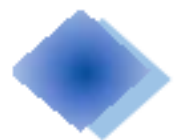
https://www.jfa.maff.go.jp/j/seibi/attach/pdf/sango_houkoku_h30-26.pdf

ネット目合い: 12 ~ 25mm ➡ 17mm程度を使用

構造: 中層ブイ式と塩ビ枠式の混合タイプを使用



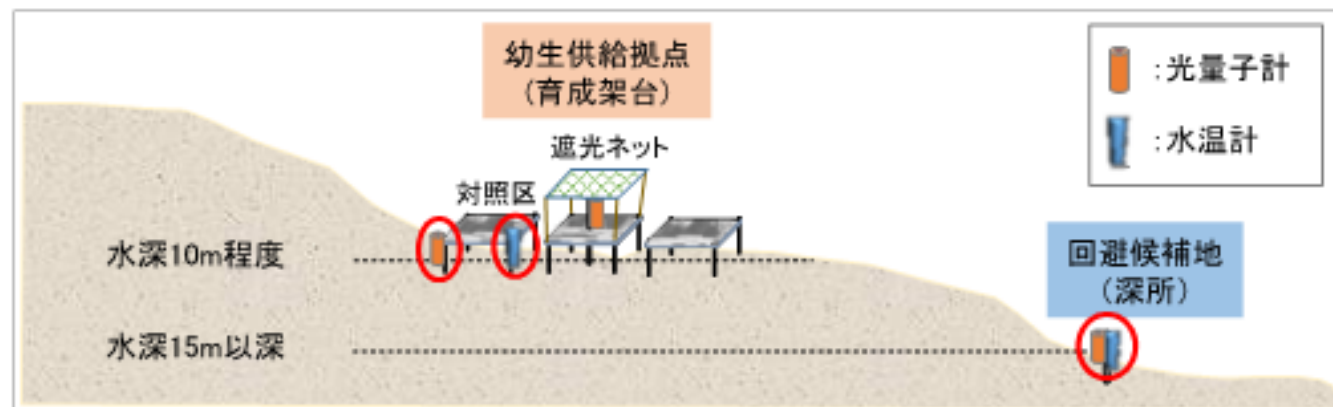
簡易取り付け可能な治具



②異常高水温回避場所の選定

【試験内容】

- ・供給拠点はD.L. 水深（-7.0 ～ -13.4m）であるため、回避場所候補地としては主に水深15m以深とする。ただし、F-6は幼生供給拠点の水深（満潮時）は15m程度であることから、候補地は水深20m程度の箇所とする。
- ・供給拠点では、①遮光試験における対照区（遮光ネットを設置していない架台）に設置した測器の観測値を用いる。



＜当初計画からの変更点＞ 観測機器の変更（水温計の機種）

当初： 海域環境調査で使用されることの多いOnset社製（HOB0シリーズ）の水温計を想定

変更理由： 白化現象の軽減効果を評価するにあたって、0.5～1℃程度の違いが重要と考えられるため、使用する水温計は高精度のものが望ましい。

- ➡ 精度±0.01℃を確保できるJFEアドバンテック社製の水温計（DEFI2-T）を採用
- ※ Onset社製ウォーターテンププロV2は、精度±0.2℃で比較的に機差が大きい



【結果】①遮光ネットによる遮光試験

遮光率の変化 設置時～回収時

※赤字は100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ を下回る値

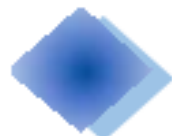
		設置時			回収時(センサー清掃後)			遮光率の 変化割合
地点	水深 (D.L.m)	光量子($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)		遮光率	光量子($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)		遮光率	
		対照区	遮光区		対照区	遮光区		
A-7	-7.0	345.9	245.9	29%	290.5	167.1	42%	1.5
B-4	-7.0	255.1	184.4	27%	98.8	71.1	28%	1.0
C-5	-10.3	215.8	145.2	33%	252.7	79.4	69%	2.1
D-7	-10.3	306.0	207.9	33%	326.9	248.7	24%	0.7
E-7	-10.5	291.1	192.3	34%	280.6	207.0	26%	0.8
F-6	-13.4	184.4	131.9	29%	276.5	173.5	37%	1.3
G-6	-8.1	337.3	252.5	25%	392.8	243.2	38%	1.5



【C-5】ラン藻類の付着、浮泥堆積が多い



【F-6】ラン藻類が局所的に付着



【結果】①遮光ネットによる遮光試験

遮光率の変化 設置時～回収時

※赤字は100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ を下回る値

		設置時			回収時(センサー清掃後)			遮光率の 変化割合
地点	水深 (D.L.m)	光量子(μmol/m ² /s)		遮光率	光量子(μmol/m ² /s)		遮光率	
		対照区	遮光区		対照区	遮光区		
A-7	-7.0	345.9	245.9	29%	290.5	167.1	42%	1.5
B-4	-7.0	255.1	184.4	27%	98.8	71.1	28%	1.0
C-5	-10.3	215.8	145.2	33%	252.7	79.4	69%	2.1
D-7	-10.3	306.0	207.9	33%	326.9	248.7	24%	0.7
E-7	-10.5	291.1	192.3	34%	280.6	207.0	26%	0.8
F-6	-13.4	184.4	131.9	29%	276.5	173.5	37%	1.3
G-6	-8.1	337.3	252.5	25%	392.8	243.2	38%	1.5

- ・ ネット設置1ヶ月後の遮光率は、C-5では藻類付着の影響で倍増し、A-7・G-6では1.5倍に増加した。その他の地点では設置時からの変化は0.7～1.3倍と小さかった。

※ 回収時は、センサー清掃後に10分間程度観測したデータのため、設置時と比べると誤差が大きい。

- ・ ネット設置2週間後に接近した台風の攪乱でそれまでに付着した藻類等が払拭され、変化が小さかった可能性がある。



【結果】①遮光ネットによる遮光試験

ネットの流失の有無(回収時:8/11、12)



＜安価・簡易設置タイプ＞



＜高耐久性タイプ＞



- ・ ネット設置期間中に「強い」勢力の台風6号(960hPa前後)が、7/23に石垣島に最接近したものの、いずれの地点でも流失は確認されなかった。
- ・ 台風の経路や勢力によるものの、今回と同規模の台風であれば、安価・簡易設置タイプでも十分に耐久性があることが確認された。



【結果】②異常高水温回避場所の選定

- 条件①(面積)、②(底質)、③(水深)は全ての回避候補地で満たされた。
- 条件④(距離)は、E-7では、幼生供給拠点より約 20 mの地点に好適な場所があった。
- 他の地点は近傍に好適な深場がなく、0.5 ～1.7 km程度離れた地点を回避場所とした。

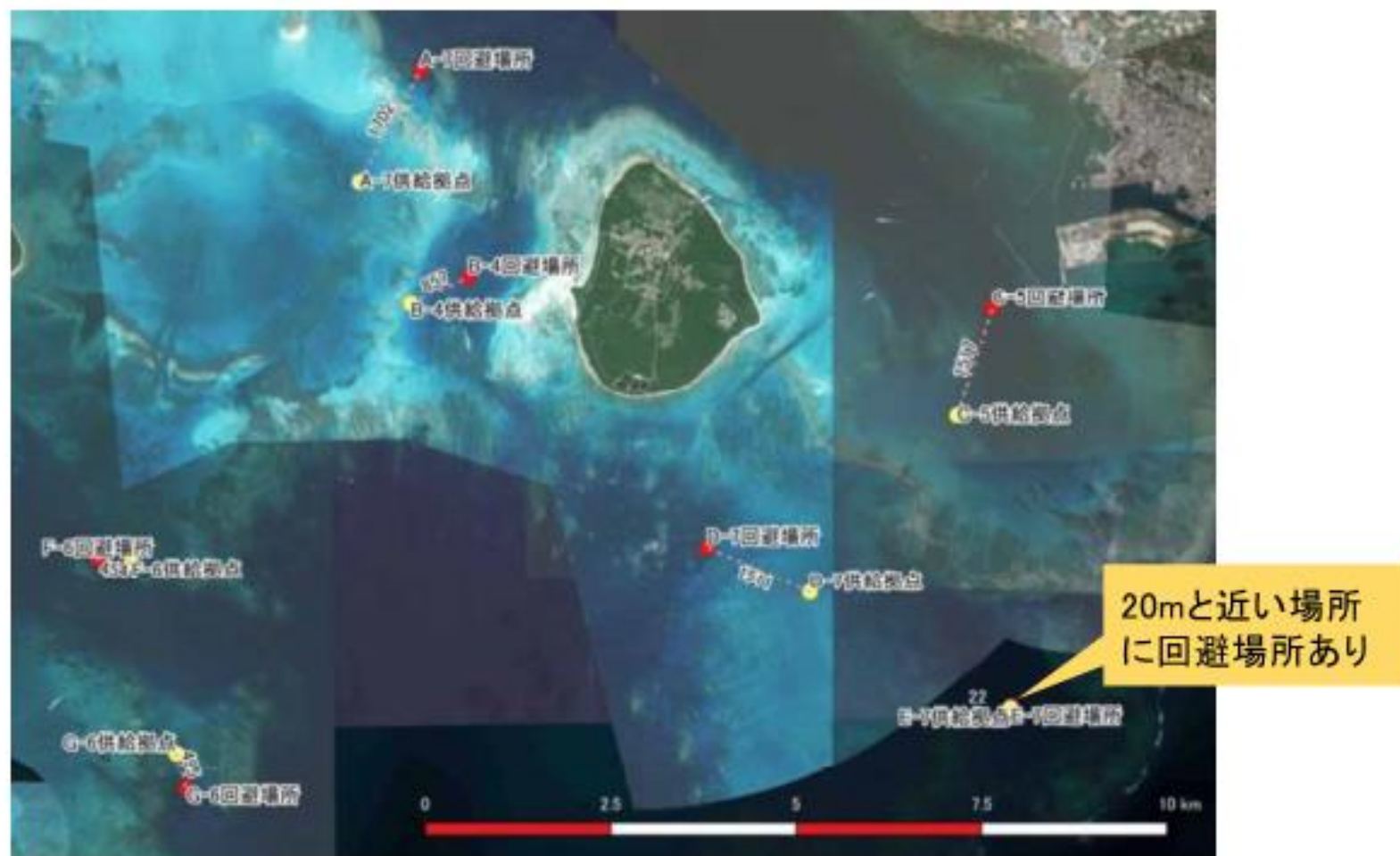
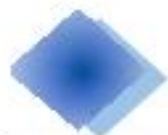


図. 幼生供給拠点および回避場所の位置. 数字は地点間の距離(m)を表す.



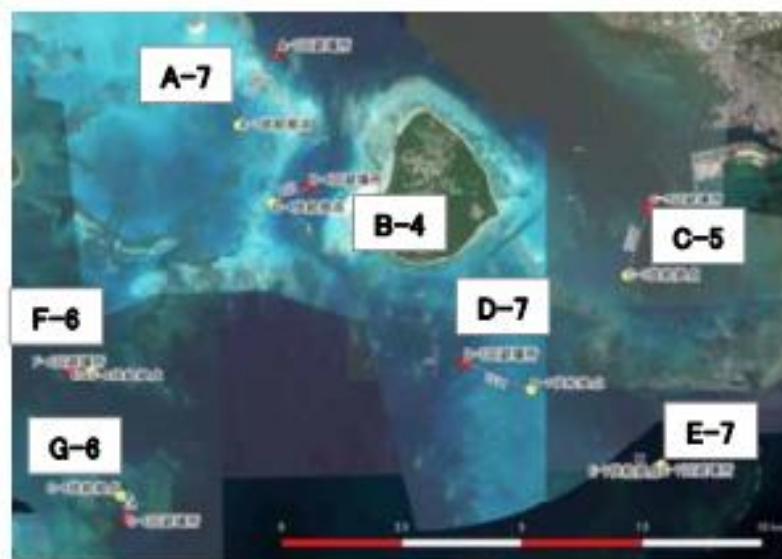
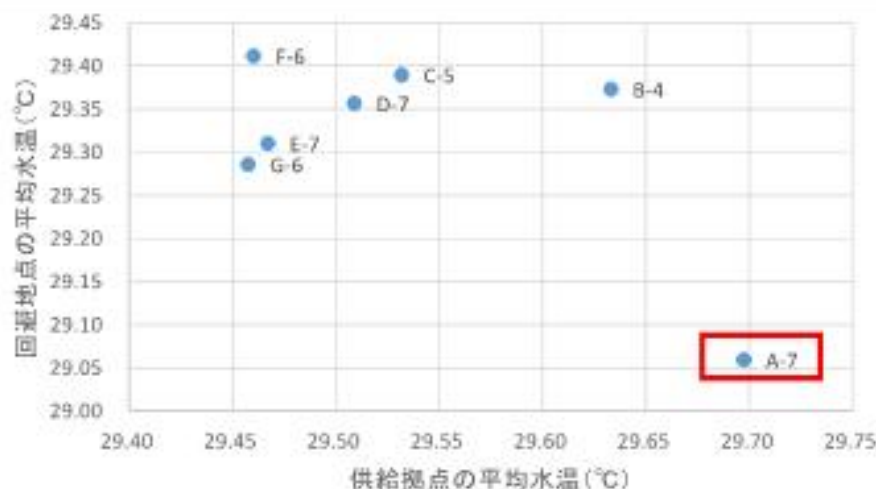
【結果】②異常高水温回避場所の選定

供給拠点と回避場所の水温比較

＜平均水温＞

地点	水深(D.L.m)		水深差 (m)	平均水温(7-9月, °C)		
	供給	回避		供給	回避	水温差
A-7	-7.0	-15.7	8.7	29.70	29.06	0.64
B-4	-7.0	-15.8	8.8	29.63	29.37	0.26
C-5	-10.3	-16.4	6.1	29.53	29.39	0.14
D-7	-10.3	-16.3	6.0	29.51	29.36	0.15
E-7	-10.5	-15.5	5.0	29.47	29.31	0.16
F-6	-13.4	-19.7	6.3	29.46	29.41	0.05
G-6	-8.1	-16.5	8.4	29.46	29.29	0.17

- ・期間: 2021/7/7,8~9/30
- ・全地点で回避場所水温が低い
- ・水温差は0.05~0.64°C
- ・A-7で水温差が大きい(0.64°C)
- ・B-4で水温差0.26°C、他は<0.2°C





【結果】②異常高水温回避場所の選定

供給拠点と回避場所の光量子比較

<光量子量> 期間:7/10-11の日中平均値 ※①遮光試験と同じデータ対象期間

地点	水深(D.L.m)		水深差 (m)	光量子量の平均値 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)		
	供給	回避		供給	回避	減衰率
A-7	-7.0	-15.7	8.7	345.9	135.9	62%
B-4	-7.0	-15.8	8.8	255.1	73.8	72%
C-5	-10.3	-16.4	6.1	215.8	84.2	61%
D-7	-10.3	-16.3	6.0	306.0	125.4	60%
E-7	-10.5	-15.5	5.0	291.1	104.9	65%
F-6	-13.4	-19.7	6.3	184.4	96.0	49%
G-6	-8.1	-16.5	8.4	337.3	102.6	70%



- ・光量子の減衰率は、49%～72%と大きかった。
- ・既往事例で白化抑制効果が期待される遮光率25～50%(水産庁,H30)を超える地点が大多数であり、回避場所の光量子量の絶対値も $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 未滿と低かった。
- 回避場所では長期的には光量不足で成育に悪影響が生じる恐れがある



②異常高水温回避場所の選定

【回避場所の評価】

・水温、光量子量、移動距離の観点から、各回避場所の適性を評価した。

地点	水温 低下幅	光量子 減衰率	光量子量	距離	移動コスト	回避場所 としての適性
A-7	大きい	非常に大きい	小さい	遠い	大: 船での移動	○
B-4	やや大きい	非常に大きい	非常に小さい	遠い	大: 船での移動	△
C-5	同程度	非常に大きい	非常に小さい	遠い	大: 船での移動	×
D-7	同程度	非常に大きい	小さい	遠い	大: 船での移動	×
E-7	同程度	非常に大きい	小さい	近い	小: 水中移動	△
F-6	同程度	大きい	非常に小さい	遠い	大: 船での移動	×
G-6	同程度	非常に大きい	小さい	遠い	大: 船での移動	×

注) 【水温低下幅】 大きい: 0.5℃以上、やや大きい: 0.2～0.5℃、同程度: 0.2℃未満

【光量子減衰率】 大きい: 減衰率25～50%、非常に大きい: 減衰率50%以上

【光量子量】 小さい: 100～200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、非常に小さい: 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 未満 (日中の平均)

【距離】 近い: 50 m以内、やや近い: 50～150 m、遠い: 150m以上

【移動コスト】 小 (水中移動: 水中でダイバーがサンゴを移動可能) 大 (船での移動: サンゴを船で移動)

水深移動の有用性が認められる条件

生残性低下を引き起こす条件

水深移動の有用性がやや認められる条件

- ・回避場所の適性はA-7が最も好適で、次いでB-4、E-7が比較的好適と評価した。
→強光時の光量子減衰率は遮光により対応可能であるため、評価の対象外とした。
- ・大規模白化が起こるような高水温下では、一定水深に水温躍層が生じる可能性もある。水温低下幅は、回避場所が躍層以深の場合、異なる結果となる可能性がある。

3. 藻類除去試験の進捗状況



試験区の設定

試験区名称	内容
処理区 1	金ブラシを使用。表層の海藻類を除去。 ※生物相（サンゴモ等）は一部残す。
処理区 2	ハサミ等を使用し、藻類の根を残す。
処理区 3	刷毛などを使用し、礫、砂、浮泥を除去。
対照区	処理を実施しない。

1. 試験区の設定、除去処理 ※産卵想定期間前（4月下旬）

- 石西礁湖内の3地点で藻類除去試験調査区を設定し、藻類等の除去処理を実施した。
→ 処理区1(金属ブラシ)、処理区2(タワシおよびハサミ)、処理区3(礫等の除去)及び 対照区の合計4試験区について、各地点10箇所を岩盤上に設定。

各処理の結果は下記の通り

【処理区1(金属ブラシ処理)】

おおよそ岩盤が露出した状態を実現した。

【処理区2(タワシおよびハサミ処理)】

イワノカワ類などの被覆性海藻類が残った。

【処理区3(礫等の除去処理)】

礫、砂、浮泥が除去された。

処理に要する時間

金属ブラシ処理が10～15分/枠程度、タワシが5～10分/枠程度、礫等の除去が3～5分/枠程度であった。



0.5×0.5m枠



金ブラシ

概ね岩盤が露出
するよう藻類を除去

作業状況(処理区1: 金ブラシ)



被覆性海藻類
の根は残存する
よう除去

作業状況(処理区2: タワシ)



作業状況(処理区3: 礫等除去)

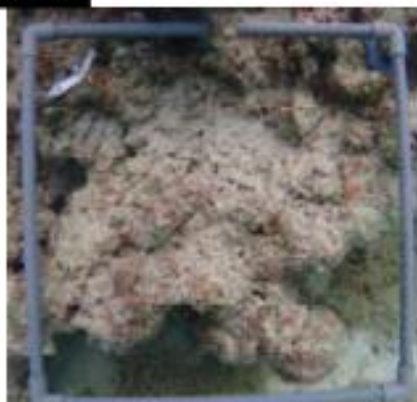


藻類等除去の状況

試験区名称	内容
処理区 1	金ブラシを使用。表層の海藻類を除去。 ※生物相（サンゴモ等）は一部残す。
処理区 2	ハサミ等を使用し、藻類の根を残す。
処理区 3	刷毛などを使用し、礫、砂、浮泥を除去。
対照区	処理を実施しない。

【処理前後の状況】処理区1(金属ブラシ)

処理前

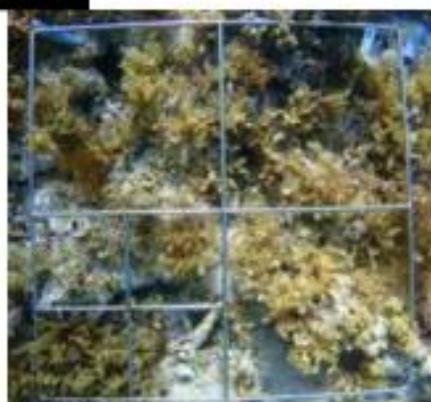


処理後

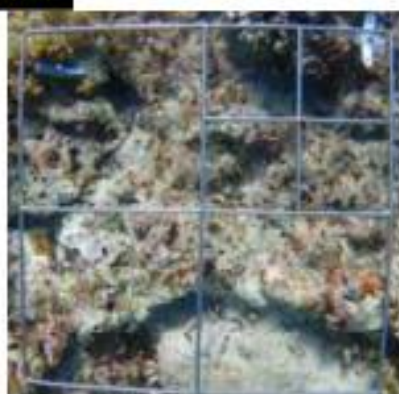


S10 タケルンジュ

処理前

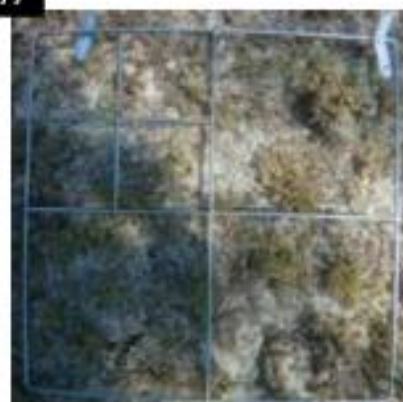


処理後



S12 シモビシユイサーウチ

処理前



処理後

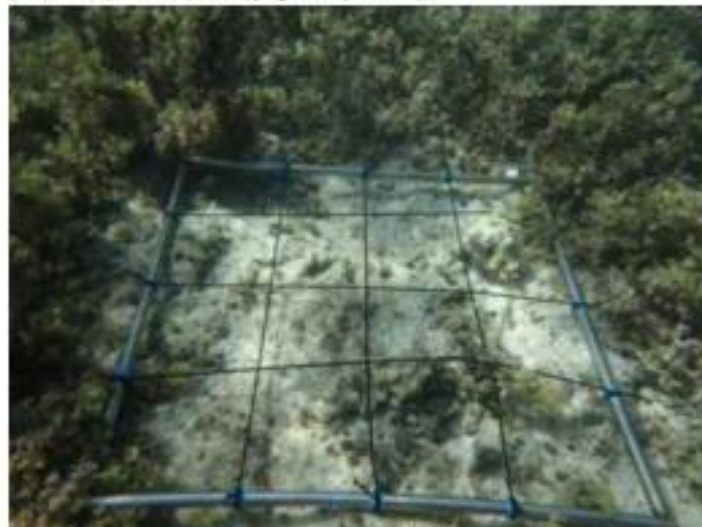


S14 ミルキーウェイ

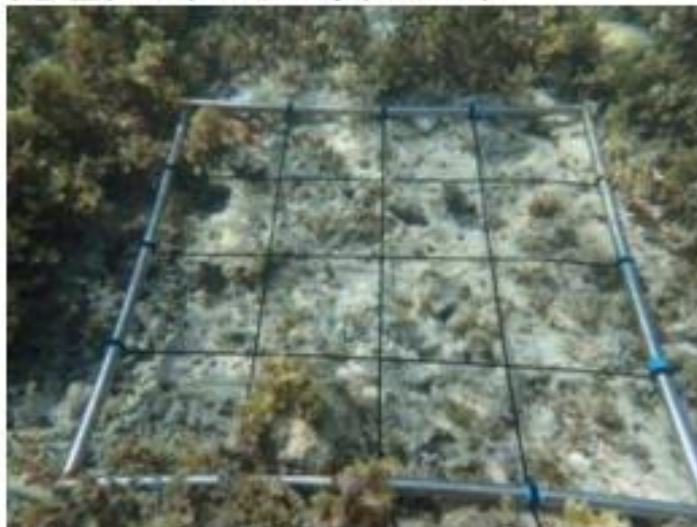


3ヶ月後モニタ:海藻処理の効果が持続

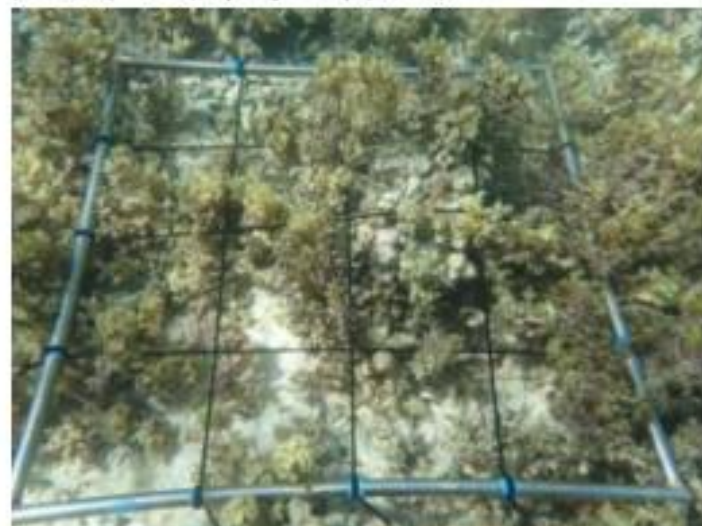
処理区1(金属ブラシ)



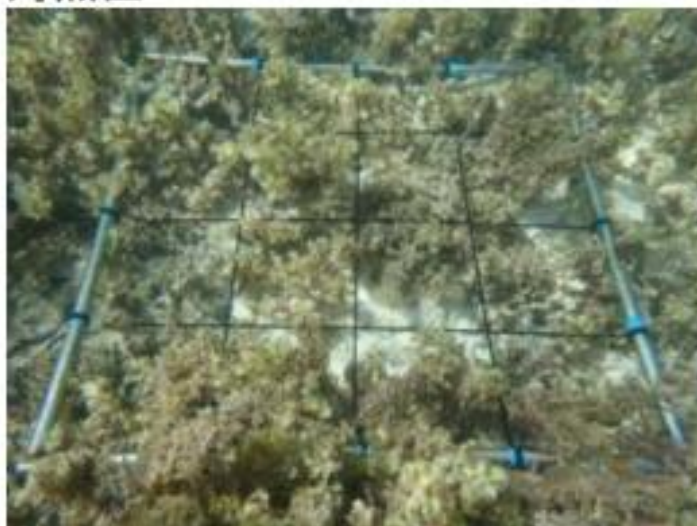
処理区2(ハサミ、タワシ)



処理区3(礫等の除去)



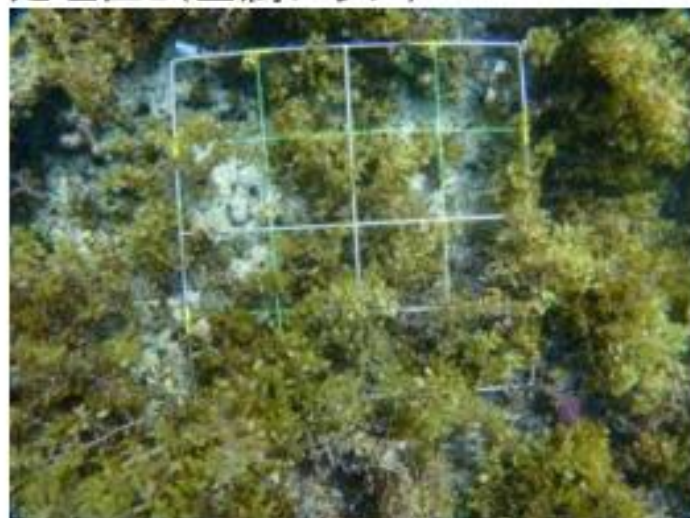
対照区





6ヶ月後モニタ:海藻処理の効果は限定的

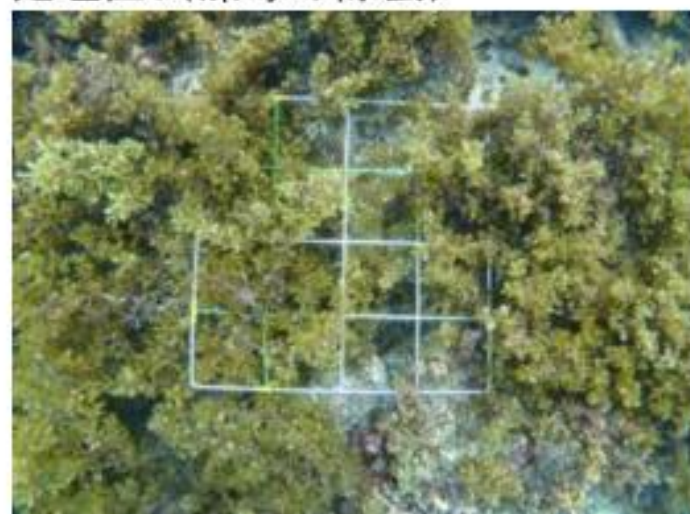
処理区1(金属ブラシ)



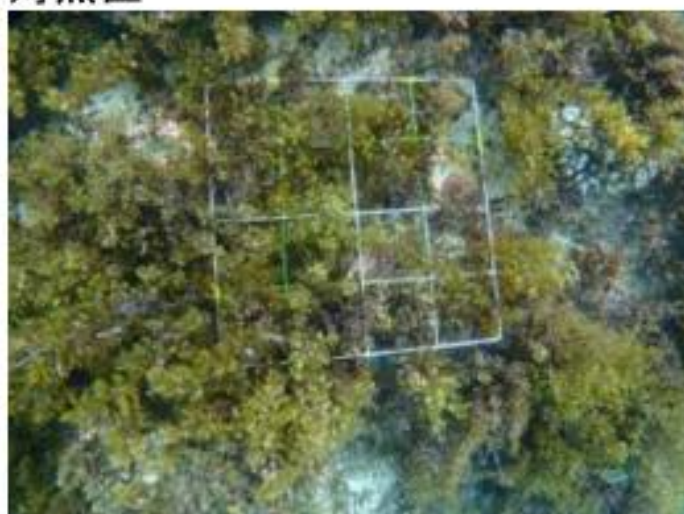
処理区2(ハサミ、タワシ)



処理区3(礫等の除去)



対照区



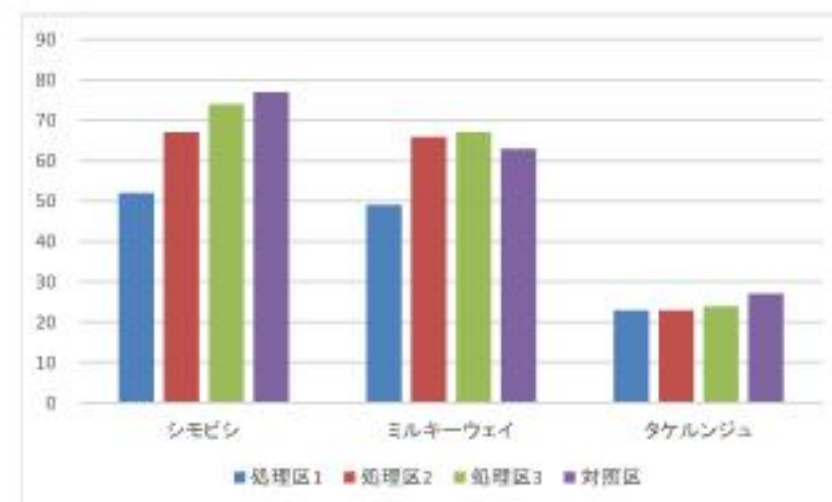
6ヶ月後モニタ結果

- 各地点において、各処理につき0.25 m×0.25 m×10枠を調査した。
- 今年度加入とみられる稚サンゴ(長径 8 mm以下とした)の確認数は平均 2.1群体/m²であった。
- 地点毎では、タケルンジュで多く確認された。処理区毎では、処理区1でやや多く確認された。
- 藻類の平均被度は、シモビシ及びミルキーウェイでは処理区1で低い傾向が見られた。

稚サンゴ数(長径 8 mm以下)

	シモビシ	ミルキーウェイ	タケルンジュ	合計
処理区1	1	1	6	8
処理区2	0	0	1	1
処理区3	0	2	0	2
対照区	0	1	4	5
合計	1	4	11	16

藻類の平均被度(%)



※各地点で処理区あたり0.25 m×0.25 m×10枠の合計

