

(2) 座間味村海域での植付け事業

1) 事業の概要

座間味村海域において、当該海域に生育するサンゴ群体から放出されたバンドルを採集し、これより得られた幼生を複数の着生基盤に着生させ、中間育成した。これを種苗として植付け事業を実施した。

事業期間中の植付け実績は下表のとおりであり、総面積 432 m²に対して合計 5,501 個の種苗を植付けた (表 2.2.2-15)。

表 2.2.2-15 座間味村海域におけるサンゴ植付け実績 (有性生殖法)

年度	植付け種苗数	植付け面積 (m ²)
2013	190	-
2014	100	-
2015	4,031	366
2016	1,180	66
計	5,501	432

2) 海域環境の状況

座間味村海域において、2011 年度に(一財)熱帯海洋生態研究振興財団阿嘉島臨海研究所及び漁業者に、サンゴ種苗移植に好適な海域はどこかについてヒアリングを行った。その際の指摘に基づいて阿嘉島、慶留間島、外地島、奥武島周辺に 13 か所の植付けエリアの候補地を設定した上で、各候補地について、水深、地形・底質、堆積物、水温・塩分・濁度、サンゴ生息状況を把握するための現地調査を行った。また、2011～2013 年度において幼生加入調査、2011～2012 年度において海流調査を実施し、稚サンゴの加入状況等を調査した。その結果、食害生物の少ないこと、地形が平坦でなく起伏に富んでおり、砂礫の移動や波浪の影響を受けにくいこと、現状ではサンゴ類の生息被度が比較的低いものの、過去にはサンゴ礁が発達していたと推測されることから再生の可能性が高く、再生すべき地域という観点から、嘉比島周辺、安慶名敷島周辺の 2 海域が、植付け場所としての適正度が高いと考えられた (図 2.2.2-95、St. 1～3)。

2つの植付けの対象海域は、島嶼群に囲まれ、比較的波浪は穏やかである一方、潮通しは良好であった。嘉比島周辺は干潮時に水深 0.7m 程度、安慶名敷島周辺は水深 0.6m 程度で、いずれの地点も岩礁が広がる海域であった。既存のサンゴ類はハナヤサイサンゴ属、ミドリイシ属を主とし、被度は 5% 未満であるが、海底に堆積、又は岩盤に固着する死サンゴの状況から、過去には卓状ミドリイシが高被度で分布していたと推定された。現地調査によると、稚サンゴ数は嘉比島周辺が 1.5 群体/m²、安慶名敷島周辺が 0.6 群体/m²といずれも少なく、近年、サン

ゴ幼生の加入・着定量が少ない海域であると考えられた。

また、2016年度の植付けにおいては地元のダイビング協会にヒアリングを行い安慶名敷島東岸と外白崎(安室島)西岸にそれぞれSt.4とSt.5を追加した(図2.2.2-95)。

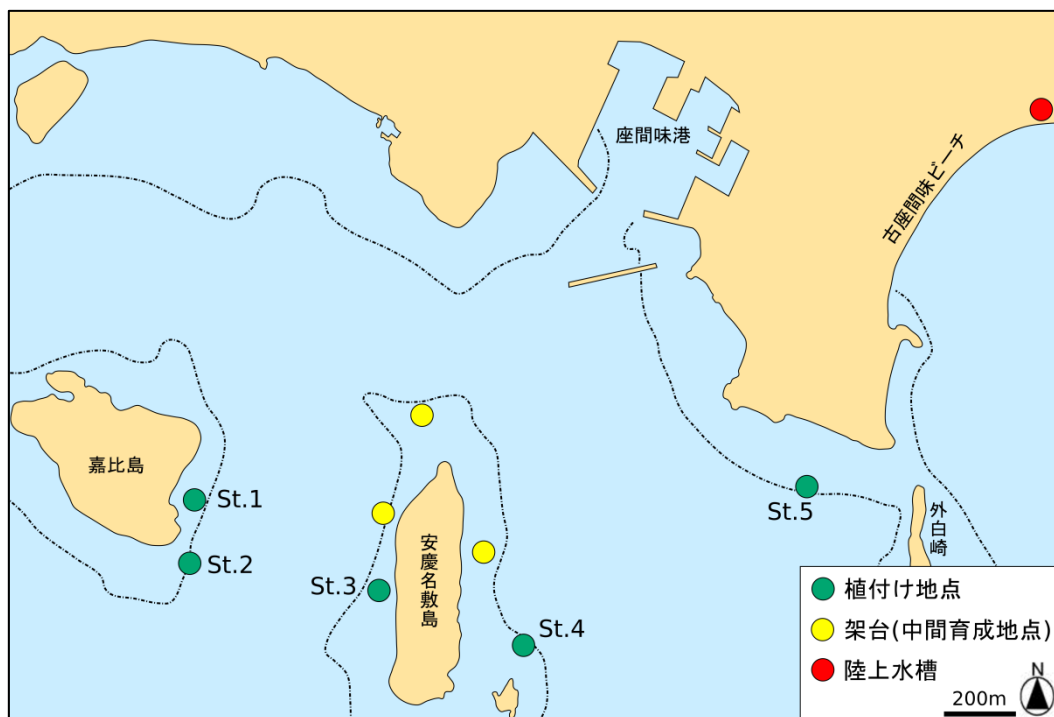


図 2.2.2-95 座間味村海域のサンゴ植付け場所

3) 種苗生産

有性生殖法によって得られた種苗の植付けとは、受精卵から成長した幼生を人工の着生基盤等に着生させ、育成期間を経て、種苗とし、海域に植付けるものである。

① 生産方法の検討

本海域では、最初に、どのような方法で受精卵を得るかを検討した。検討は以下の方法について複数年にわたって行った。

ア. スリックの利用

スリックから採取した受精卵を水槽で飼育する方法である。スリックの分布状況を把握することを目的に、航空機及び漁船によるスリックの探索をサンゴ産卵期の2011年6月に行った。座間味島付近で航空機からスリックを確認したため、漁船により受精卵を採取し、座間味島の陸上水槽へ運搬した。なお、座間味島の陸上水槽は、座間味漁業協同組合の協力を得て、モズク養殖に用い

る種付け用の陸上水槽（10m×1.8m×0.8m）を使用した。

なお、陸上水槽において飼育し、着生基盤に着生させた幼サンゴは着生2か月後の生育状況はきわめて悪かった。これは、海上で採集したスリックでも一旦は海岸に打ち上げられるなどして損傷を受け、発生が順調に進まなかった可能性があると考えられた。翌年の2012年度も同様に低い着生状況であったため、スリックによる種苗生産は補助的な生産手段とした。

イ. バンドルの利用

雌雄の配偶子が入ったバンドルをサンゴ群体の直上で採取する方法である。

2012年6月のサンゴ産卵期の夜、座間味島沿岸で5群体のウスエダミドリイシの上方にバンドルコレクターを設置し、同夜バンドル採取後、直ちに媒精し、座間味島の陸上水槽に収容した。その結果、約1.2万個の受精卵を確保できた（受精率約30%）。

なお、受精卵及び幼生に成長するまで、各種着生基盤を投入し、着生させた後、11月から安慶名敷島周辺海域において約1.5年中間育成を行った。中間育成は水深約3mの海底に鉄パイプで架台を作り、着生基盤を連結してケース（プラスチック製の開放型の枠組）に収容して取り付けた。海域での中間育成期間中は適宜、堆積物や海藻類の除去作業を行った。2013年度以降も同様の作業を続け、2015年度では、10群体のウスエダミドリイシから130万個の卵を採集し、92.5%の受精卵を得ることができた。また、着床具と素焼きの陶土プレートとの2種の着生基盤を投入し、着生させたところ、中間育成中の2015年12月における着生率は着床具で61%、陶土プレートで2%であった。（着生基盤については後述）

ウ. 天然採苗

卓越して生息するミドリイシ属のサンゴが一斉産卵すると考えられる2011年5月に安慶名敷島周辺の海底に4種（着床具、ホタテガイの殻、生分解性ネット、素焼き陶土プレート）の着生基盤を設置し、幼生の着生を待った。約20か月後の2013年12月における抽出の結果、生産基盤率（1群体以上のサンゴが着生した基盤数÷設置した基盤数）は多くの地点において3%程度で、ハナヤサイサンゴ科の種が比較的多かった。2014年度以降も同様の設置作業を続け、2013年度では、4種の着生基盤、計5,872個を座間味村の外洋域に設置、着生後、台風期前に静穏な安慶名敷島周辺に移設した。19か月後、全着生基盤の生産基盤率は3.5%で、座間味村古座間味の陸上水槽での着生率である4.7%と比較し、やや少なかった。また、種苗の内訳では、ミドリイシ属が全く採苗されなかった。そのため、天然採苗は補助的な生産手段とした。

以上の検討の結果、有性生殖による種苗生産は、大量の種苗生産が可能なバンドル利用による方法で行うこととし、その他の手法は補助的な手段とすることとした。

② 種苗初期育成

ア. 産卵調査及びバンドル採取

座間味村海域では、調査の結果、スリック採取からの採苗や天然海域での採苗は良質又は十分な量の種苗を生産することは困難であることがわかったため、これらは補助的な生産手段とした。主体となる生産手段は、より安定的な大量種苗生産方法であるサンゴ群体から直接配偶体を採取、水槽で交配後、飼育した幼生を着生基盤に着生させる方法とした。

配偶体採取のためには、その場所のサンゴの正確な産卵時期を把握する必要がある。座間味村海域では、毎年5月～6月の満月前後の夜にミドリイシ属の一斉産卵が起こることが知られている (Hayashibara et al. 1993)。そのため、事前調査に基づき、2012年6月1日～9日の夜間 (3日～5日は台風のため中止)、座間味島において潜水調査を行い、6月9日 (満月後5夜)、ミドリイシ属の比較的大規模な一斉産卵を確認するとともに、産卵中の5群体のウスエダミドリイシからバンドルコレクターによりバンドルを採取した (図 2.2.2-96)。



図 2.2.2-96 左：バンドルコレクターの設置状況、右：媒精作業状況

得られた卵と精子は船上に取り上げて陸上に移送し、受精のため1時間程度高密度で混合してから新鮮な海水で洗浄、希釈して座間味村の陸上水槽へ収容した。確保した受精卵は約1.2万個で、媒精後に卵の観察を行ったところ、受精率は約30% (2分割卵は26個/卵100個)であった。

イ. 幼生飼育

受精卵を収容した施設は野外に設置されたコンクリート水槽(15t)である。前面海域から取水した海水を 10~12L/分給水し、水量約 5.4 t で維持した (図 2.2.2-95、陸上水槽)。卵、幼生が水槽の隅などの箇所に集合し、溜まってしまわないように、水槽の内部壁面付近で散水、エアレーションを施した。また、海水の出口では目合 100 μ m のフィルターで卵、幼生の流出を防いだ。幼生収容後から 2 週間、水温上昇及び降雨流入防止のため、ブルーシートを水槽上部に張り、さらに 2 週間後からは水温上昇防止のため、遮光ネット (遮光率 30%) を上部に張った (図 2.2.2-97)。

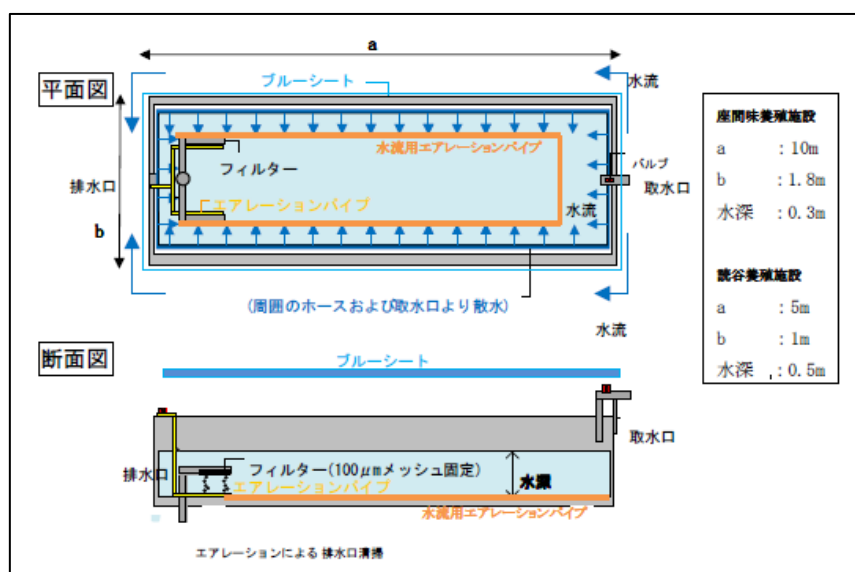


図 2.2.2-97 収容水槽

③ 着生基盤

幼生を着生させる人工基盤として、基本的に 4 タイプの材料を用い、6 種類の基盤を使用した。表 2.2.2-16、図 2.2.2-99 に概要を示す。人工網状基盤は、籠などの製作に用いられるプラスチック網で、プラスチック素材は一定期間経過後に溶出する生分解性のものを用いた。この生分解性プラスチック素材の網状基盤は、慶良間海域で試験の使用実績がある (山木 2010)。ホタテ貝殻は養殖後、不要となったものを活用した。この素材による着生基盤については、環境庁のサンゴ礁修復研究で使用実績がある (海中公園センター 1992)。着床具は、環境省石西礁湖自然再生事業で使用されており、基盤としての性能が実証されている (Fujiwara et al. 2016)。素焼き陶土プレートは沖縄島での使用実績がある (西平 2007)。

表 2.2.2-16 着生基盤材料

着生基盤の種類	素材と単位	海水への馴致期間
人工網状基盤（筒形）	<ul style="list-style-type: none"> ・鹿島建設(株)製 ・生分解性プラスチック ・直径 10cm、長さ 100cm、目合い 1cm×1cm 	2 か月間 (石灰藻が付着した状態)
人工網状基盤（細目）	<ul style="list-style-type: none"> ・鹿島建設(株)製 ・生分解性プラスチック ・30cm×80cm、目合い 1cm×2cm 	2 週間
ホタテガイの殻	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄される養殖ホタテガイの殻を利用 ・右左の貝殻一对の中心部にロープを貫通 ・種苗の単位は貝殻 1 枚とした 	
着床具（07C 型） [07C 型=07 セラミック型]	<ul style="list-style-type: none"> ・セラミック ・直径 4cm ・種苗の単位は 1 個ずつの単体とする。水槽や海中に設置する際には単体を連結し、120 個をプラスチックの枠組み（ケースと呼ぶ）に收容した。 	
着床具（12S 型） [12S 型=12 スラグ型]	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄鋼スラグとアルミスラグを焼成 ・直径 4.5cm ・種苗の単位は 1 個ずつの単体とする。水槽や海中に設置する際には単体を連結し、88 個をプラスチックの枠組み（ケースと呼ぶ）に收容した。 	
素焼き陶土プレート	<ul style="list-style-type: none"> ・素焼き陶土 ・長さ 30cm、幅 5cm、厚み 0.8cm ただし、モニタリング用には幅 3cm のものを用いた。 	







<p>人工網状基盤（筒状） （鹿島建設(株)製、目合 1cm×1cm）</p>	<p>人工網状基盤（細目） （鹿島建設(株)製、目合 1cm×2cm）</p>
	
<p>ホタテガイの殻 （右左の貝殻一对の中心部に ロープを貫通させて利用）</p>	<p>着床具 （07C 型：セラミック製のコマ状基盤、 直径 4cm）</p>
	
<p>着床具 （12S 型：鉄鋼スラグを主成分として焼成し たコマ状基盤、直径 4.5cm）</p>	<p>素焼き陶土プレート （表面に 3cm 間隔で深さ 2mm の溝有り）</p>
	

図 2.2.2-98 着生基盤

④ 基盤への着生及び水槽飼育

着生基盤の水槽への投入は、プラヌラ幼生が運動能力を持ったことを確認後（卵収容から3日後）に行った。着生基盤は2面の水槽に各々異なる設置密度で設置した（表 2.2.2-17、表 2.2.2-18）。

表 2.2.2-17 低密度槽における着生基盤設置数量

着生基盤の種類（低密度槽）	数量
ネット細目（1セット2枚）	4セット（全8枚）
ホタテガイ殻（1セット28枚利用、横置き）	4セット（全112枚）
着床具07C型（1ケース120個）	4ケース（全480個）
素焼き陶土プレート（1セット12枚利用）	4セット（全48枚）

表 2.2.2-18 高密度槽における着生基盤設置数量

着生基盤の種類（高密度槽）	数量
ネット筒状（横置き）	4本
ホタテガイ殻（園芸ポール1本へ12セット垂下） （1セット：28枚）	園芸ポール11本 （全3,696枚）
着床具07C型（1ケース120個）	36ケース（全4,320個）
着床具12S型（1ケース88個）	5ケース（全440個）

水槽飼育中は、台風接近時の濁水取水や降雨による塩分低下を防ぐため、2013年着生分では、流入微粒子のろ過器や、雨水防止のための波板屋根を設置した。その結果、2013年12月（着生後6か月）の生産基盤率は5.0%～48.9%と、2012年の着生分（2.0%～9.1%）に比べ増加した。

4) 中間育成（沖出し）

航空写真判読や漁業者からのヒアリング情報を基に、高波浪、高水温の影響を受けにくいと考えられる安慶名敷島周辺、水深6～7mの砂礫底地点を中間育成場所として選定した。育成場所に、鋼製パイプを用いて、4m×2mの着生基盤収容枠を組立てて、産卵・着生約5か月後、サンゴが数個体に分裂した着生基盤を陸上水槽から運搬し、設置した（図 2.2.2-99）。

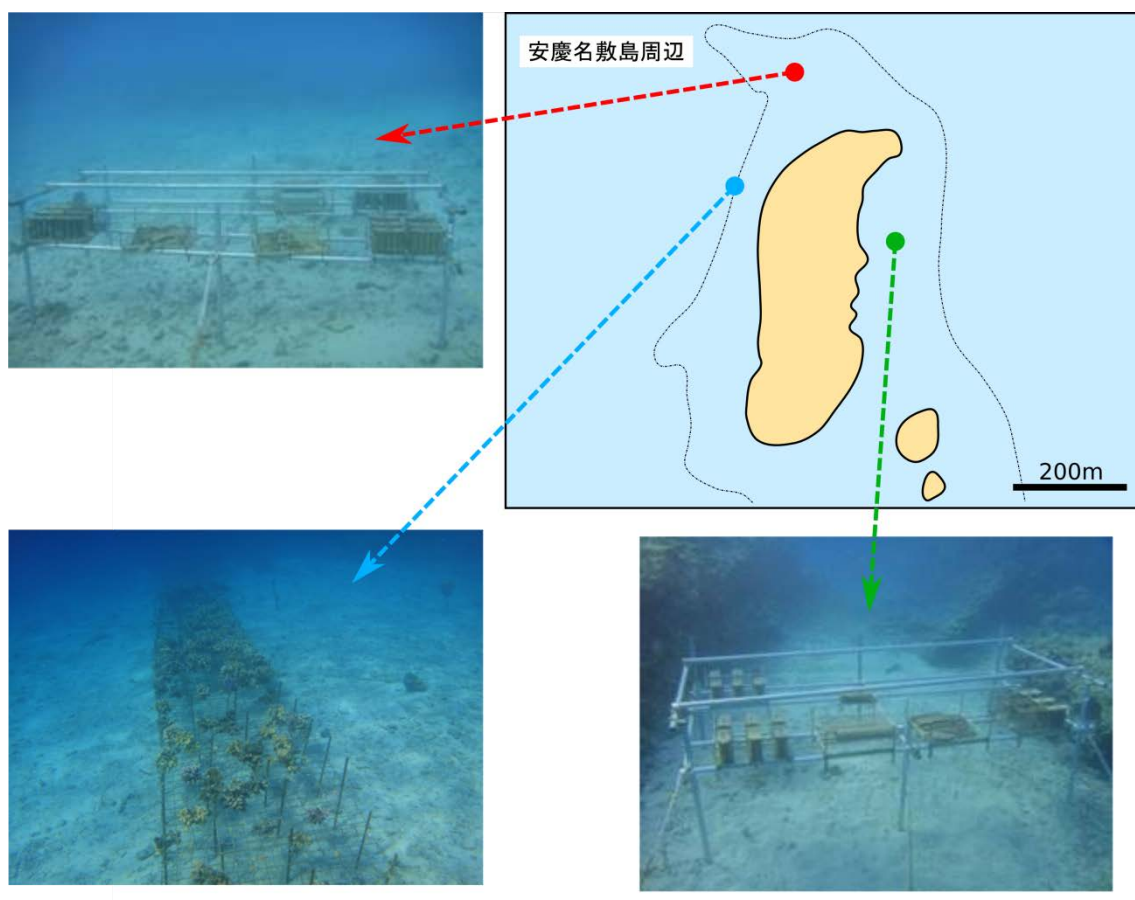


図 2.2.2-99 中間育成の状況

5) 種苗植付け

陸上水槽で着生させ、海域に沖出しして中間育成していたサンゴ種苗を嘉比島及び安慶名敷島周辺の岩礁底に植付けた。なお、中間育成中は着生基盤ごとに種苗をケースなどに組み合わせていたが、岩礁に植付ける際には、着生基盤単体に分解して植付けた。表 2.2.2-19 に植付け地点と植付け種苗数を示す。2013 年度の種苗数は合計 190 個で、そのうちハナヤサイサンゴ科が大半で 82.1% を占め、ミドリイシ属は 7.4% であった。2014 年度に植付けた種苗数は 100 個で、サンゴの種類は 2013 年度と同様にハナヤサイサンゴ属が最も多く 63% だった。2015 年度には 4,031 個の種苗を植付け、最も多いサンゴの種類はコモンサンゴ属で 57% を占めた。2016 年度の植付けでは 1,180 個の種苗を植付け、最も多いサンゴはミドリイシ属の 70% だった。

着生基盤別では、2013 年度の植付けでは 07 セラミック型着床具が最も多く、54%、次いでホタテガイの殻 22%、網状基盤 13%、12S スラグ型着床具 6%、素焼き陶土プレート 5% の順であった (表 2.2.2-20)。2014 年度の植付けでは 07 セラミック型着床具が最も多く 70% であり、以降の 2015 年度 (92%) と 2016 年

度（81%）においても同様の傾向であった。

表 2.2.2-19 植付け地点と種苗数

植付け年度	植付け地点	種苗上の群体数					植付け種苗数
		ミドリイシ属	ハナヤサイサンゴ科	コモンサンゴ属	その他	合計	
2013	St.1	6	148	0	20	174	174
	St.2	4	4	0	0	8	8
	St.3	4	4	0	0	8	8
	小計	14 (7%)	156 (82%)	0 (0%)	20 (11%)	190	190
2014	St.1	4	10	4	3	21	20
	St.3	9	61	14	7	91	80
	小計	13 (12%)	71 (63%)	18 (16%)	10 (9%)	112	100
2015	St.1	635	737	1,953	242	3,567	3,286
	St.3	75	139	522	20	756	745
	小計	710 (16%)	876 (20%)	2,475 (57%)	262 (6%)	4,323	4,031
2016	St.1	210	140	135	67	552	440
	St.3	583	29	86	3	701	500
	St.4	111	6	2	2	121	100
	St.5	213	6	2	1	222	140
	小計	1,117 (70%)	181 (11%)	225 (14%)	73 (5%)	1,596	1,180

表 2.2.2-20 基盤別の種苗数

植付け年度	植付け地点	着生基盤					合計
		着床具(07C型)	着床具(12S型)	ホタテガイの殻	素焼き陶土プレート	ネット	
2013	St.1	87	11	42	10	24	174
	St.2	8	0	0	0	0	8
	St.3	8	0	0	0	0	8
	小計	103 (54%)	11 (6%)	42 (22%)	10 (5%)	24 (13%)	190
2014	St.1	20	0	0	0	0	20
	St.3	50	0	10	10	10	80
	小計	70 (70%)	0 (0%)	10 (10%)	10 (10%)	10 (10%)	100
2015	St.1	2,980	0	0	306	0	3,286
	St.3	745	0	0	0	0	745
	小計	3,725 (92%)	0 (0%)	0 (0%)	306 (8%)	0 (0%)	4,031
2016	St.1	220	0	160	60	0	440
	St.3	500	0	0	0	0	500
	St.4	100	0	0	0	0	100
	St.5	140	0	0	0	0	140
	小計	960 (81%)	0 (0%)	160 (14%)	60 (5%)	0 (0%)	1,180

植付け法は、着床具については海底基盤にドリルで穴を空け、エポキシ系接着剤（ビーオーケミカル㈱製、WS ボンド）を入れ、着床具を差込み固定した。ホタテガイの殻については、貝殻上のサンゴが着生している部分を、ニッパーで切り出し、海底基盤に水中ボンドで固定した。素焼き陶土プレートについては、素焼き陶土プレート上のサンゴが着生する区画を、ニッパー等で分割し、海底基盤

に接着剤で固定した。人工網状基盤については、ネット上のサンゴが着生した部分をニッパーでネットを切り取り、ネットを固定するための専用ピンで海底基盤に設置した（図 2.2.2-100）。

なお、種苗のサンゴの大きさは種によって異なっていたが、多くは数 cm まで成長していた。

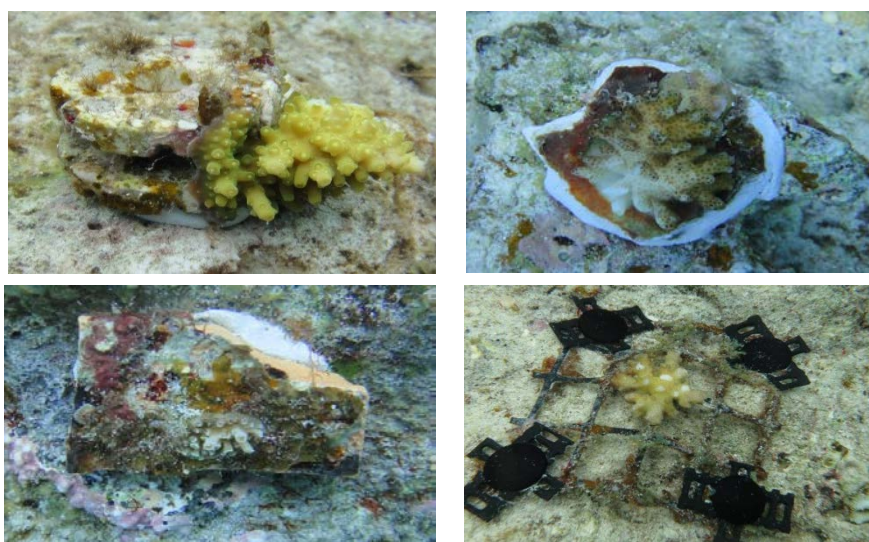


図 2.2.2-100 各着生基盤の植付け方法

（左上：着床具、右上：ホタテガイの殻、左下：素焼き陶土プレート、右下：人工網状プレート）

6) モニタリング

植付けを行った種苗について、2014年6月、9月、12月、2015年2月、6月、10月、2016年の5月、10月の8回、モニタリングを行った。モニタリングの抽出量は2013年度植付けで129個、2014年植付けで101個、2015年植付けで394個であった（表 2.2.2-21）。

表 2.2.2-21 モニタリング抽出量

植付け年度	植付け種苗数	モニタリング数
2013	190	129
2014	100	101
2015	4,031	394
合計	4,321	624

① 全植付け種苗の生残、成長

全植付け種苗の生残率は、植付け3か月後(2014年6月)から徐々に低下し、植付け19か月後(2015年10月)に16%となったが、2015年6月からは安定状態にあった(図2.2.2-101)。植付け種苗被度や植付け種苗面積(投影面積)は、ほぼ横ばいで、植付け19か月後に約0.1%と約0.037m²であった(図2.2.2-102、図2.2.2-103)。

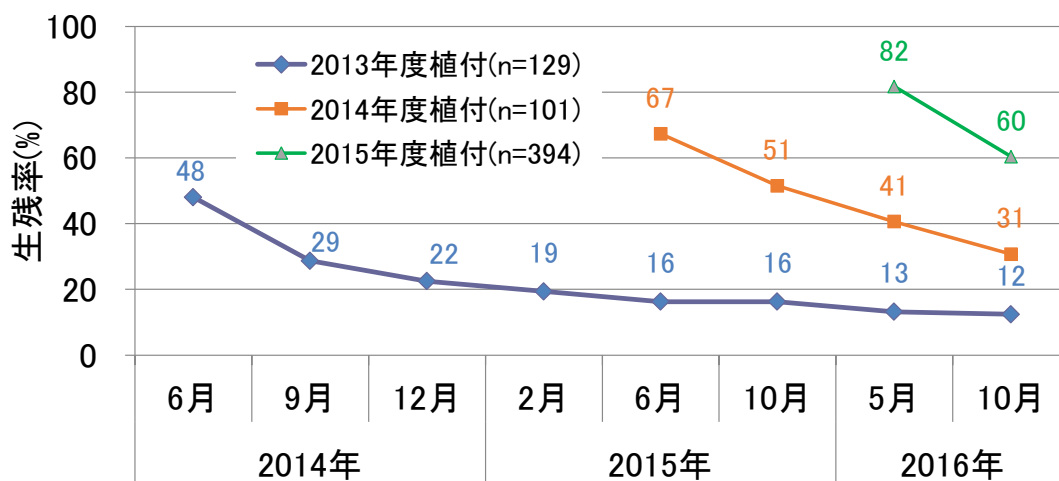


図 2.2.2-101 全植付け種苗の生残率

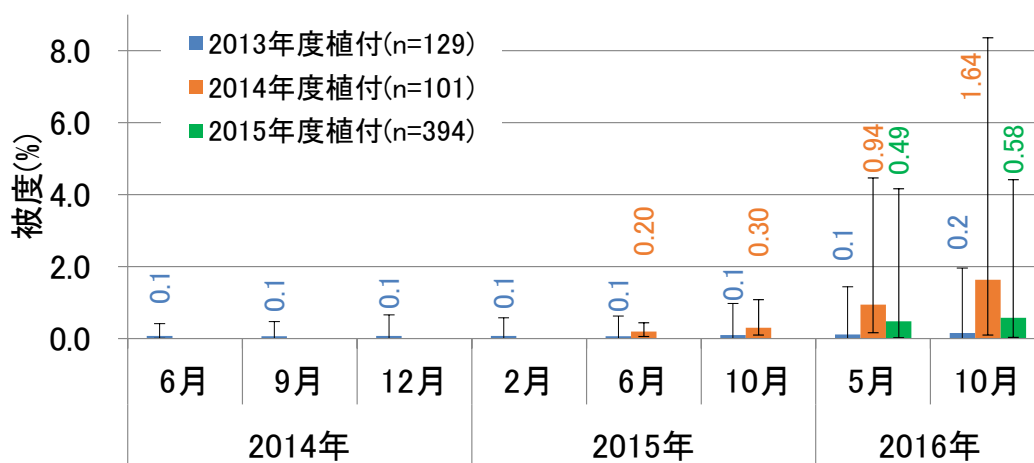


図 2.2.2-102 全植付け種苗の被度 (バー: 最大と最小)

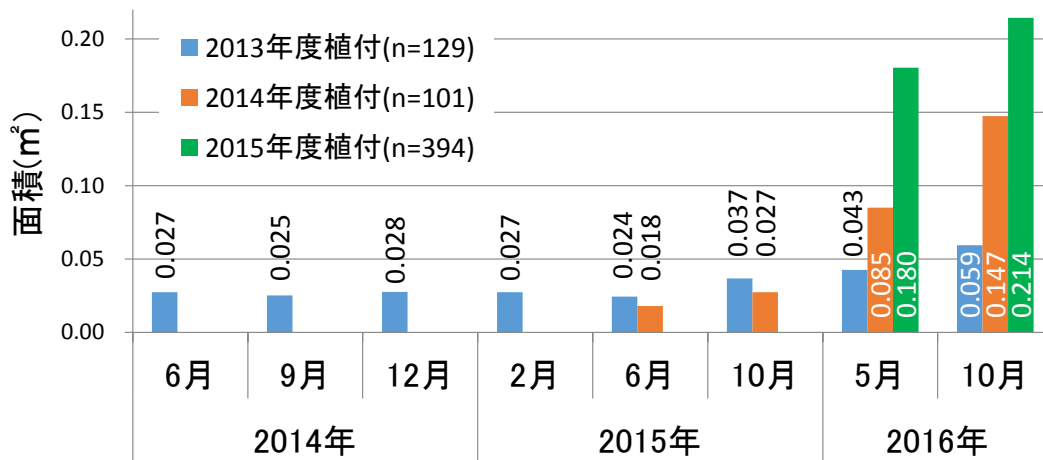


図 2.2.2-103 全植付け種苗の面積

② 全植付け種苗の固着状況

植付けた種苗の群体が成長し、その一部が岩盤へ達し、固着すると、耐波性が高くなるため、種苗の流出率を低下させることができる（図 2.2.2-105）。全植付け種苗の固着率（生存種苗のうち、岩盤へ群体が固着した種苗の割合）は、植付け約 1.5 年で 48% に増加した（図 2.2.2-105）。

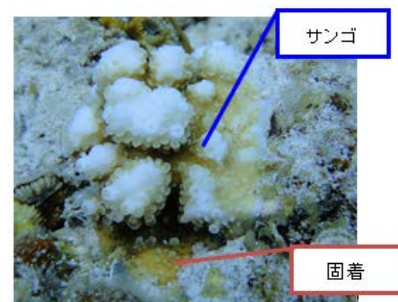


図 2.2.2-104 サンゴの固着状況

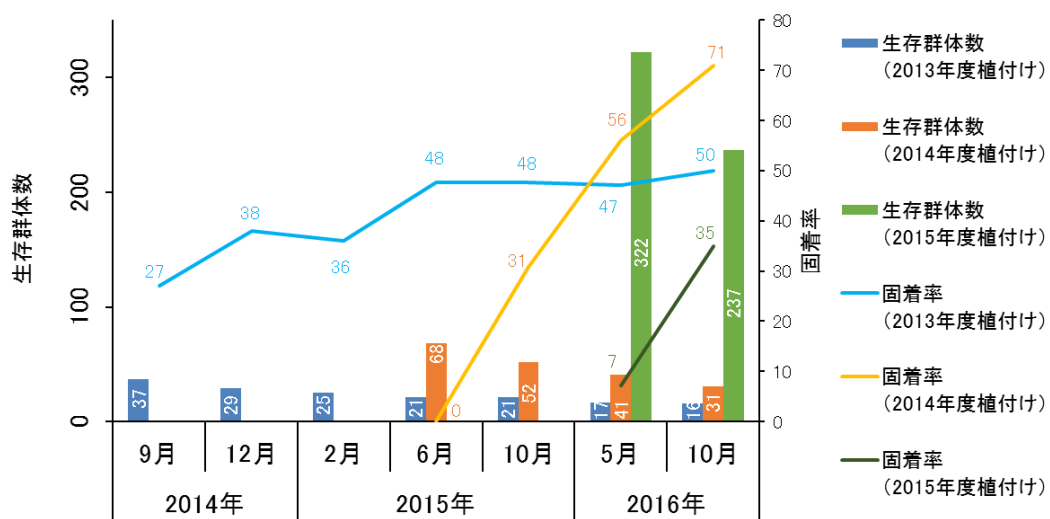


図 2.2.2-105 植付け種苗の固着率

7) 考察

① 採苗数

表 2.2.2-20 に示すように、2012 年 6 月水槽着生種苗の 1 年 9 か月後移植時（2014 年 3 月）採苗数は着床具（07C 型）が最も多く、2 タイプを合計すると着床具種苗数 190 個の 60%を占めた。しかし、当初、陸上水槽に設置した着床具数に対する生産できた種苗数（生産基盤率）は 4.0%で、高いとは言えず、また、種苗として重要なミドリイシ属は 7.4%に過ぎなかった。これは水槽育成中における濁りの流入等に関する水質管理に問題があったことが判明し、給水方法を改善した結果、2013 年度着生の同様の生産基盤率（着生 30 か月後）は 21%に増加した（沖縄県環境部自然保護・緑化推進課 2016）。石西礁湖においてもスリック採取後、水槽で幼生飼育し、海域育成した種苗（着生約 2 年後採苗）の生産基盤率は約 20%であるから本事業においても同程度の生産基盤率が得られたと考えられる。なお、座間味村も石西礁湖も水槽での着生直後はほぼ 100%の生産基盤率と考えられるが、石西礁湖では水槽飼育 3 か月後に 40%に低下し、海域移設後の 7 か月後も約 40%であった。このような種苗育成中の飼育管理については状況に即応する改善が必要と思われる。

② サンゴ被度

植付けの成果は、成長と生残の結果であるサンゴ被度として示される。2014 年 3 月植付け種苗は植付け約 1.5 年後にやや被度の増加がみられた。石西礁湖の着床具種苗では、植付けサンゴの被度が上昇してくるのは、植付け 4 年後付近からなので（藤原ら 2014）、座間味村海域で植付け種苗のサンゴ群集が形成されるのは、2018 年頃だと思われる。

③ 評価

本事業において実施した有性生殖法による種苗の生産は、海域において天然採苗する方法が、種の多様性を確保できること、陸上採苗に比べてメンテナンスを含めたコスト面で有利であると考えられることを念頭においたものである。ただし、対象海域の環境、サンゴ群集の分布状況等によって、海域での安定した天然採苗が期待できない場合も想定されることから、そのような場合には、天然サンゴから得た配偶体を利用して陸上で有性生殖法による種苗生産を行う必要があると考えられる。

慶良間海域における有性生殖法による種苗の植付け事業は上述の方針に基づいて実施した。しかしながら、実施した結果では、種苗の基となる浮遊幼生の加入や種苗基盤への着生が期待したよりも少なく、また、幼生が着生した種苗及びバンドルの飼育から得た種苗の管理作業で、技術的に試行錯誤が続き、十

分な数の種苗を得られず、植付け面積は狭いものとなった。

これらのことから、有性生殖法による種苗生産においては、対象とする海域の海洋環境、サンゴ群集の分布、幼生の加入・着生、採集作業等を実施する時期の海況等に左右され、採苗が安定しない場合があることを十分に配慮する必要があると考えられる。また、採苗後の種苗の育成に長期間を要するため、大量の種苗を短期間で必要とする場合、無性生殖法による種苗の生産には効率的に劣る面があることも念頭におく必要がある。ただし、有性生殖法によるサンゴ礁保全のための種苗作成は、サンゴ群集における種の多様性を確保し、サンゴ礁域の生物群集としてなるべく自然に近いものになることを目指すものである。サンゴ礁の保全には、このような視点も必要であると考えられることから、今後も上述のような課題を解決できるような技術の開発が必要であると考えられる。

(3) 有性生殖法種苗を用いたサンゴ植付けに係る費用について

本事業で、恩納村海域及び座間味村海域において実施された有性生殖法による生産種苗を用いて海域にサンゴを植付けた場合の費用を算定した。

費用算定は、本事業で実施した経験を踏まえて、移植事業としてある程度の規模の植付けを想定した種苗生産量を算定したものであり、また、各工程の作業に習熟した作業員がこれに当たることを前提とした。さらに、算定に当たっては、両海域の作業に係る直接人件費及び直接経費のうち、共通のものは同じ単価を用いた。

算定結果は表 2.2.2-22 に示すとおりであり、恩納村海域で行われたマグネシウム固化剤焼成の着生基盤を用い、タカセガイ礁における中間育成過程を加えた場合で生産される種苗数が 8,000 個とすると、1 個当たり約 3,500 円となり、座間味村で行われたスラグ製及びセラミック製着床具を用い、約 3,700 個の種苗を植付ける場合では種苗 1 個当たり約 2,700 円となった。

これらは事業規模、目標とする種苗生産数量、使用できる施設の運営費用などの条件で大きく変動すると考えられるが、直接経費だけの単価は上述のような費用が必要となると見積もられた。

表 2.2.2-22 有性生殖法種苗を用いたサンゴ植付けに係る費用の試算結果

1. マグネシウム固化剤焼成基盤、タカセガイ育成礁使用 (着生基盤20,000個を陸上で着生、 海域で育成し、選別・植付け)		直接人件費 (円)	直接経費 (円)	実施概要	費用比 率 (%)
1. 種苗生産 (準備期間 +産卵・着生 後1か月)	1.1 基盤の準備	102,000	3,174,000	着生基盤(25,000個)、基盤保持具(625式)の組立て: 普通作業員6人日 材料(着生基盤購入)	11.6
	1.2 海域における 基盤の養生・馴致	160,800	120,000	着生基盤の海域への移送・設置: 潜水士4人日 備船費	1.0
	1.3 親サンゴの確保 (採集・輸送・海域への返還)	262,800	398,000	親サンゴ採集・返還作業: 潜水士4人日、普通作業員2人日 輸送費、備車費、交通費	2.3
	1.4 陸上水槽の準備 (サンゴ収容を含む)	85,000	20,000	水槽清掃作業: 普通作業員5人日 消耗品費	0.4
	1.5 陸上水槽における 幼生着生	2,056,000	1,000,000	採卵、幼生着生作業、施設維持管理: 技師補40人日×2回 生残成長状況観察、飼育管理作業: 技師補15人日、普通作業員30人日 種苗生産資機材費、電気代(6~8月)	13.9
	1.6 陸上水槽における 稚サンゴの飼育	895,500			
2. 前期中間育成 (海域育成約 9か月)	2.1 タカセガイ 育成礁の準備	950,100	550,000	タカセガイ礁清掃: 技師補33人日、普通作業員6人日 備船費	5.3
	2.2 タカセガイ育成礁における サンゴ着生基盤の管理	2,867,200	1,438,000	中間育成ホルダーへの設置作業: 技師補56人日、普通作業員84人日 備船費	15.2
3. 後期中間育成 (約1年)	3.1 1齢サンゴ種苗の 選別・剥離・再接着	3,493,800	3,797,500	選別・剥離・再接着作業: 潜水士59人日、普通作業員66人日 備船費、基盤材料費(14,000個)	25.7
	3.2 後期中間育成棚 の設置	147,400	368,300	育成棚設置作業: 潜水士11人日(3年償却として1/3を計上) 備船費、育成棚材料費	1.8
	3.3 維持管理	643,200	280,000	中間育成中の管理作業: 潜水士8人日/回×2回 備船費、タンク充填	3.3
4. 造成海域へ の植付け	4.1 海域への植付け	4,020,000	1,500,000	植付け作業: 潜水士100人日 備船費、備車費、タンク充填、宿泊費	19.5
合計金額: 28,329,600円		15,683,800	12,645,800	実績から予想される種苗数: 8,000 1種苗辺りの単価: 3,542円	100.0

2. スラグ製及びセラミック製着床具による 種苗生産・植付け (着床具17,600個を200ケースに収容し、 陸上で着生、海域で中間育成して個別の 着床具を種苗植付け)		直接人件費 (円)	直接経費 (円)	実施概要	費用比 率 (%)
1. 種苗生産 (準備期間 +産卵・着生 2か月)	1.1 幼生着生基盤の製作	170,000	2,010,000	着生基盤の組立て作業: 普通作業員10人日 材料(着生基盤購入)	22.2
	1.2 種苗生産場所陸上水槽への 着生基盤の輸送	34,000	36,000	移送作業: 普通作業員2人日	0.7
	1.3 陸上水槽における 幼生着生基盤の養生・馴致	9,067	60,000	陸上水槽施設維持管理作業: 普通作業員30分/日、週2回、4~5月 電気代(4~5月)	0.7
	1.4 海域におけるバンドルの 採取	719,600	236,000	産卵期における海域探査作業: 技師補2名、14日間) 備船・備車費、宿泊費	9.7
	1.5 陸上水槽における幼生着生	62,733	80,000	幼生着生作業、施設維持管理: 技師補2日、普通作業員30分/ 日、週2日、6~7月 電気代(6~7月)	1.5
2. 中間育成 (陸上水槽2か月 +海域育成1年)	2.1 陸上水槽における中間育成	11,300	60,000	施設の維持管理: 普通作業員、30分/日、週2日、8~9月 電気代(8~9月)	0.7
	2.2 中間育成施設(海域) の設置	559,500	672,000	中間育成棚の海底設置:(潜水士4名+技師補1名)×3日 備船費、備車費、タンク充填、宿泊費、育成棚材料費	12.5
	2.3 陸上水槽から中間育成施設 (海域)への移設	106,100	108,400	海底中間育成棚に種苗を設置:(技師補1名+潜水士2名)×1日 備船費、備車費、タンク充填、宿泊費	2.2
	2.4 維持管理	241,200	210,000	中間育成中の管理作業: 潜水士2名×3回 備船費、タンク充填	4.6
3. 造成海域へ の植付け	3.1 種苗の選別	643,200	400,000	中間育成棚から種苗選別: 潜水士4名×4日 備船費、備車費、タンク充填、宿泊費	10.6
	3.2 種苗の植付け	2,006,700	1,387,500	海域植付け作業: 潜水士4名×12日、技師補1名×3日 備船費、タンク充填、宿泊費、交通費	34.6
合計金額: 9,823,300円		4,563,400	5,259,900	実績から予想される種苗数: 3,696 1種苗辺りの単価: 2,658円	100.0

注釈
上記は、本事業で実施した作業内容を踏まえ、十分に作業に
習熟したものが実施することを仮定した際に発生すると考え
られる作業量、費用を算定したもので、人件費単価、直接経
費の単価は右記を共通して使用した。

直接人件費	技師補	¥ 25,700
平成28年度国交省測量業務人件費単価	普通作業員	¥ 17,000
	潜水士	¥ 40,200
直接経費	スクーパータンク充填費(/本)	¥ 2,500
	備船費(/隻・日)	¥ 50,000

2.2.3 事業実施中のサンゴの白化

(1) 事業海域における植付け種苗の白化

本事業の2010年度から2016年度の期間では、2013年及び2016年夏季の海水温が高く、おそらくこの高水温が原因となつて、特に2016年度には沖縄県下の広い範囲においてサンゴの白化が発生した。2016年では、サンゴ礁が発達した石西礁湖において、白化現象の後、約70%のサンゴが死亡したと報じられた（環境省HP、2017年1月10日）。本事業の対象とした恩納村海域、読谷村海域、慶良間海域においても2016年の夏季から秋季にかけての高水温により、前述までのように白化現象が発生した。この白化現象は海域や同一海域でも植付けた地域によって差があった。ここでは2016年の白化現象による種苗の生残や、対策について事業海域ごとにとりまとめた。

1) 恩納村海域

図2.2.3-1に恩納村海域における各年度の植付け種苗について、2016年の白化前の生残率と白化後の生残率の推移を示す。なお、この集計は対象とした海域全域の平均値で示したものである。

当海域の植付け種苗では、2011年度から2015年度の平均で見ると、無性生殖法を用いた種苗は全体で約85%、有性生殖法(2015年度植付けのみ)を用いた種苗は95%のサンゴが白化から死亡に至った。ただし、白化の影響は植付け箇所や植付け年度、サンゴ種苗の種類によってばらつきがあり、2011年度及び2012年度植付け種苗では白化前後の生残率の低下は緩やかで、その後の植付け種苗の低下は比較的急な状況であった。

図2.2.3-2には、植付け年度別の生残種苗数の累積を示す。これによると、2011年の植付け数は少ないものの、2012年度以降の植付け群は2015年度まで順調に生残しており、植付けの成果が残されていた。しかし、2016年度の死亡が多く、生残群体の減少が顕著であった。ただし、上述のように2012年度植付け群の生残数の減少は2013～2015年度植付け群の減少の程度より軽微という結果であった。

なお、2016年度の植付け群の生残数が多いのは、当該海域での夏季～秋季における白化現象の発生や水温の状況を勘案し、植付け時期を例年より遅らせ、冬季に実施したため、生残数が多いという結果を得たものである。このように水温やサンゴの状況を観察しながら、海域環境の変動を把握し、種苗の植付け等の管理手法を適宜変更しながら行う「順応的管理」が重要であると考えられる。

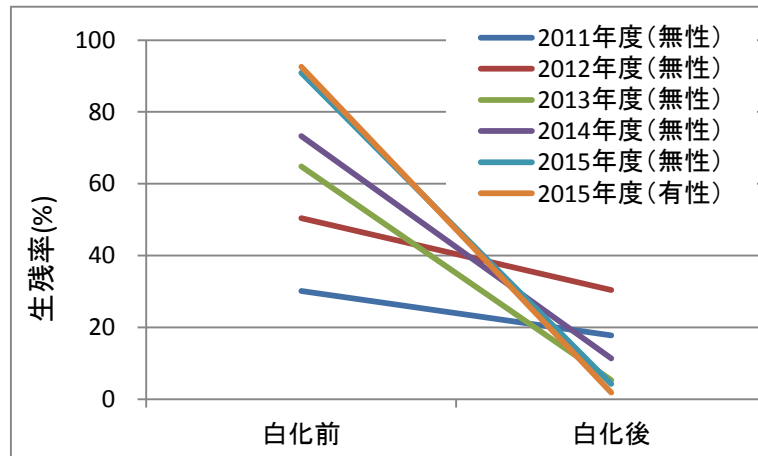


図 2.2.3-1 恩納村海域における 2016 年白化前後の植付け年度別生残率の推移
 調査時期：【白化前】5月[無性]、6月[有性] 【白化後】11月[無性]、12月[有性]
 (無性：無性生殖法による種苗、有性：有性生殖法による種苗)

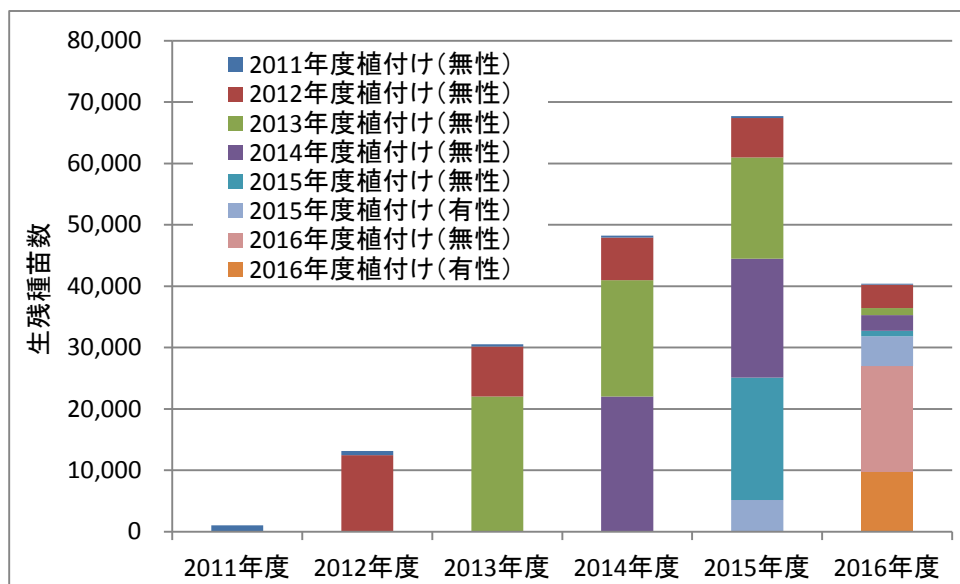


図 2.2.3-2 恩納村海域における年度終了時の生存種苗数の累積
 (無性生殖法、有性生殖法)
 (無性：無性生殖法による種苗、有性：有性生殖法による種苗)

2) 読谷村海域

図 2.2.3-3 に読谷村海域での無性生殖法を用いた種苗の植付け種苗の 2016 年の白化前と白化後の推移を示す。

2016 年の白化後には、各年度植付け種苗全体で約 40%のサンゴが死亡した。植

付け年度別の生残率については、恩納村海域と同様に、2013年の白化以前に植えられた種苗(2012年度植付け)の生残率の低下は比較的軽微であった。

また、植付け年度別の生残種苗数の累積(図 2.2.3-4)では、2013年度以降の植付け種苗の生残数は2016年の白化後に減少しているが、2012年度植付け群の生残数は、2013年に大きく減少した後、その後の減少は2013~2015年度植付け群の減少の程度より軽微という結果であった。

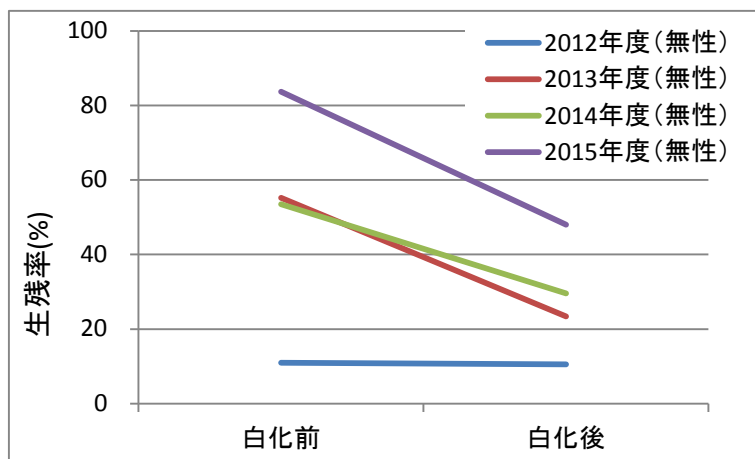


図 2.2.3-3 読谷村海域における2016年白化前後の植付け年度別生残率の推移

調査時期：【白化前】7月[無性] 【白化後】12月[無性]
 (無性：無性生殖法による種苗、有性：有性生殖法による種苗)

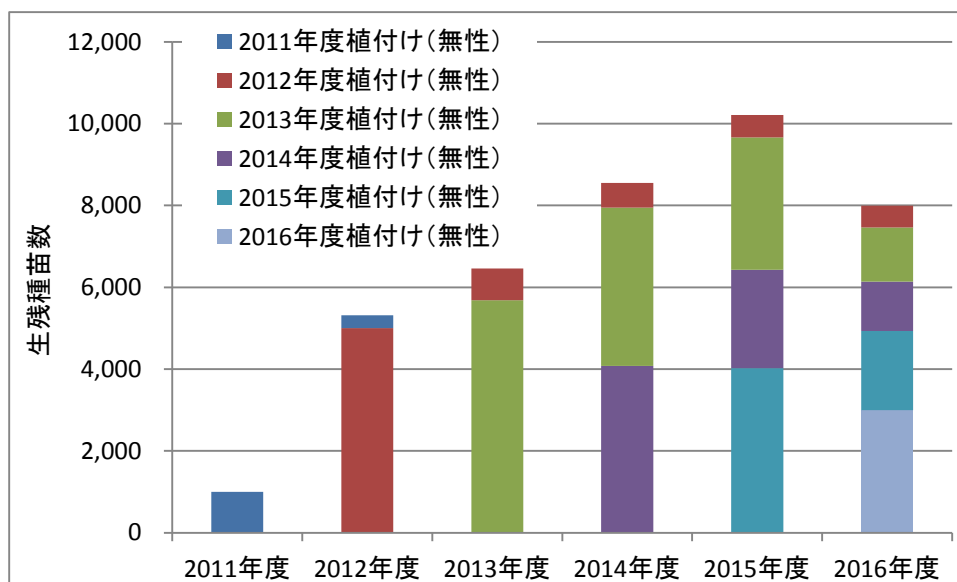


図 2.2.3-4 読谷村海域における年度終了時の生存種苗数の累積(無性生殖法)

(無性：無性生殖法による種苗、有性：有性生殖法による種苗)

3) 座間味村海域（慶良間諸島）

図 2.2.3-5 に座間味村海域での有性・無性生殖法を用いた種苗の植付け種苗の2016年の白化前と白化後の推移を示す。

これによると、恩納村海域と読谷村海域の2海域と比べて、本海域における白化後の生残率の低下は軽微であった。また、植付け年度別の生残種苗数の累積(図2.2.3-6)では、2015年度の植付け種苗の生残数が多いこともあり、2016年の全体の生残数の低下は小さいという結果であった。

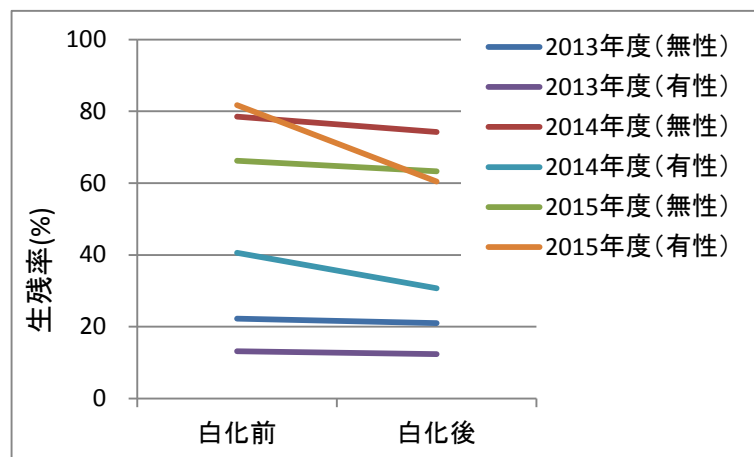


図 2.2.3-5 座間味村海域における2016年白化前後の植付け年度別生産率の推移

調査時期：【白化前】5月[有性]、7月[無性] 【白化後】10月[有性]、12月[無性]
(無性：無性生殖法による種苗、有性：有性生殖法による種苗)

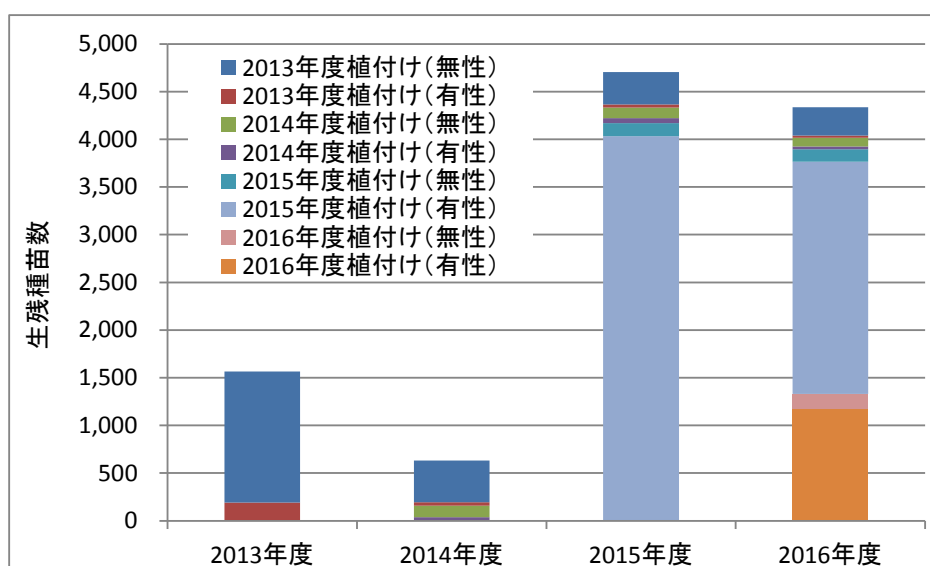


図 2.2.3-6 座間味村海域における年度終了時の生存種苗数の累積(無性生殖法、有性生殖法)

(無性：無性生殖法による種苗、有性：有性生殖法による種苗)

4) 2016 年の白化現象に関する考察

前述のように、恩納村海域、読谷村海域、座間味村海域ともに 2012 年度に植付けた種苗では、2016 年度の白化現象後の生残率の低下が他の年度に植付けた群に比べてやや軽微である傾向がみられた。これについては、2013 年に広範囲における白化現象があり、この経験を経たサンゴ群体は 2016 年の白化・死亡という影響を免れたためだと考えられる。ただし、サンゴそのものの個体ごとの特性の違いによるのか、体内の褐虫藻の特性の違いによるのかなど、白化・死亡を免れた理由は解明できていない。これらは今後の研究・検討課題となると考えられる。

恩納村海域では、海域の高水温の状況、海域のサンゴの状況などを勘案して、2016 年度の種苗植付け時期を遅らせること、さらに、より水深の深い礁斜面へ移植することで、何も対策を施さなかった場合と比べより多くの生残した種苗を確保することができた。種苗の植付けやその後の管理においては、白化現象のような攪乱にも対応できるように「順応的管理」が必要であると考えられる。

2.2.4 植付け海域管理体制の構築検討

本事業では、サンゴ礁を保全再生する海域・地点の選定、事業実施後においても継続的なサンゴ礁の維持管理やサンゴの植付けを有効活用した地域づくりに貢献することを目的に利害関係者や利用者の組織体制をまとめる仕組みを検討した。

検討は、主に2011年度から2014年度において、座間味海域を対象に実施した。ただし、サンゴ種苗植付けに関しては2015年度以降も漁業協同やダイビング事業者との協議を踏まえて実施した。

(1) 地元利害関係者との協議

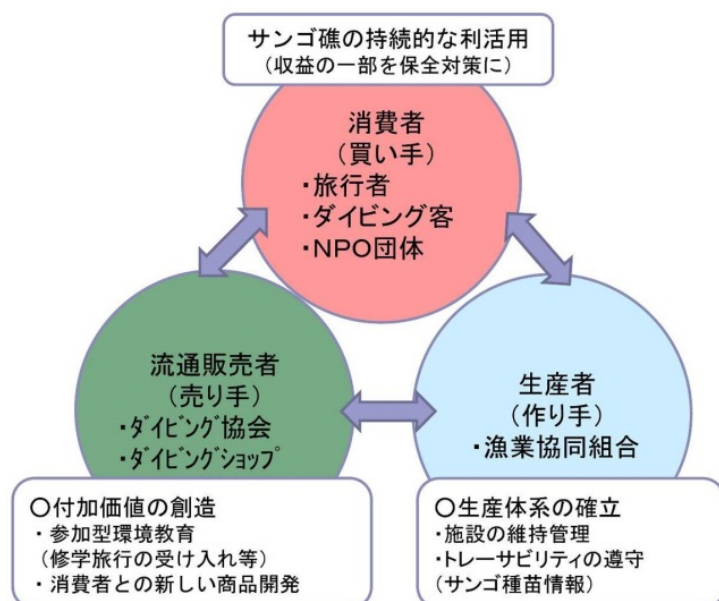
座間味海域では、座間味村漁業協同組合、ダイビング関係者、環境省、座間味村役場の出席を求めた会議を開催し、地元の意見を踏まえ、座間味でのサンゴ礁保全再生事業の事業主体や実施中の分担体制及び、保全再生事業後の管理体制等について協議、検討した。

(2) 事業実施海域の管理体制の検討について

1) 地域に根ざしたサンゴ礁保全再生体制

検討では、対象とする海域の利害関係者がすでに構築している、又は、目指している管理体制モデルがある場合、これを尊重しながら、サンゴ種苗の生産体制などについて具体的にどのような事業者が分担をしていくべきかを検討した。

座間味村では、将来的に座間味村漁業協同組合、各ダイビング協会が観光客等を対象とした、リクリエーションのためのダイビング等によるサンゴの体験植付け事業の展開を計画していた。本事業の検討では、座間味村が検討・計画していたこの事業展開のための体制を踏まえて、地域に根ざしたサンゴ礁保全再生体制を以下のように整理した（図2.2.4-1）。



すなわち、漁業協同組合が主体となって生産するサンゴ種苗を、ダイビング観光事業者が販売者となって、修学旅行生ほかの観光客に流通（販売）させ、サンゴ礁再生のために種苗植付けに利活用してもらうという構図であり、種苗の販売費を販売者、生産者の収益にし、その一部をサンゴ礁保全活動や新たな商品開発のための費用に充当しようとするものである。

2) サンゴ礁保全再生事業の実施体制・工程

前述のサンゴ礁保全再生に関する取り組み体制の具体的な実施過程を図2.2.4-2に示す。このような体制によってサンゴ礁再生に関する取り組みを行うに当たっては、前述の生産者、販売者、消費者のほか、国・県・座間味村による支援のほか、サンゴ礁関連の研究機関による技術指導等のような周囲の協力も必要であると考えられる。

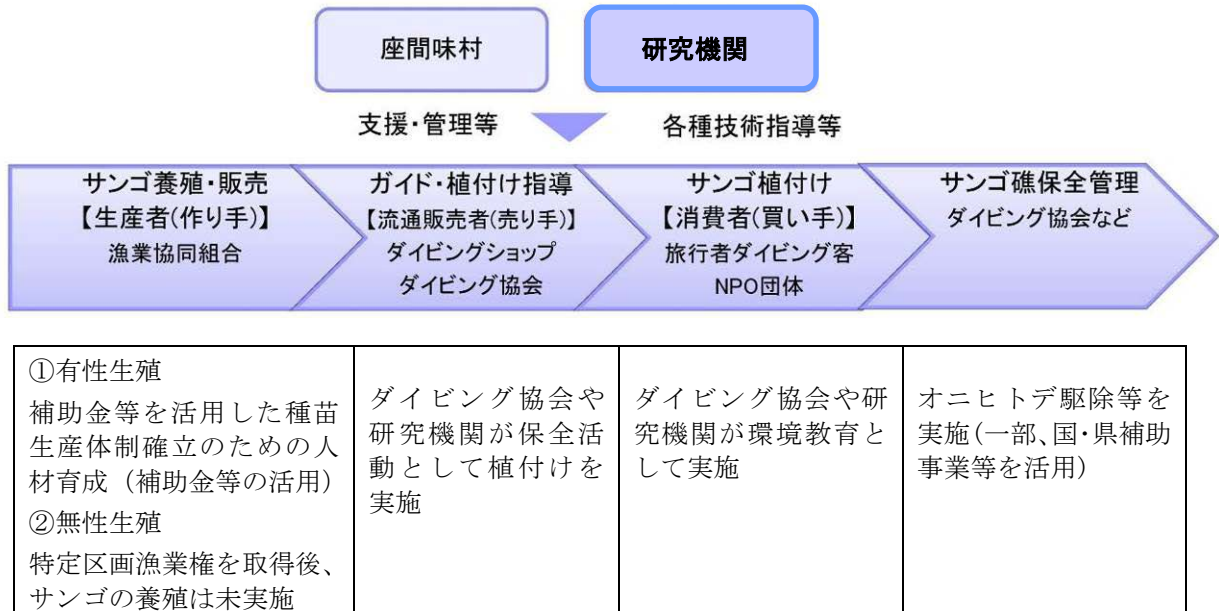


図 2.2.4-2 サンゴ礁保全再生事業の実施体制の整理

3) 協力体制構築のための課題・対策

座間味村海域でのサンゴ植付け事業の実施状況等を踏まえ、今後実施する事業における協力体制構築に関する課題と対策案について、以下のような検討項目が考えられた。

① 生産者（種苗の生産段階）

種苗の生産・植付け方法、使用施設・使用权、場所（特定区画漁業権との調整）、種苗生産のためのサンゴ親株の取得、生産コストの把握と価格設定、中間育成場所におけるサンゴの管理の手法・体制

② 流通販売段階（事業の推進）

生産された種苗の販売・流通（事業主体）、NPO や修学旅行者受け入れによる環境学習やイベントでの活用、死亡サンゴの活用など（商品開発）

③ 事業実施後の管理段階

保全対策の実施（オニヒトデ駆除等）、トレーサビリティの確保