

## 2. 面的広がりのあるサンゴ植付け実証事業

### 2.1 サンゴ種苗の種類と用いた種苗の生産方法

本事業を進めるにあたって、世界中で進められてきたサンゴ礁の保全を目的とした種苗移植や群体の移動などの研究例を解析し、事業において実施する種苗の生産方法や管理手法の技術的な改良のための参考とした。収集した資料及びその研究結果の概要を表 2.1-1 に示す。

上記のような既存の研究例や沖縄県下で既に実施されてきた経緯のある手法を利用して種苗生産することとした。これらは、大きく「無性生殖法による種苗生産」と「有性生殖法による種苗生産」に区別できるものである。本事業では恩納村海域及び読谷村海域において無性生殖法により生産された種苗を植付け、有性生殖法による種苗は恩納村海域及び座間味海域で植付けた。本事業での各海域における種苗生産や植付けの方法の詳細は後述するが、無性生殖法及び有性生殖法それぞれによって生産される種苗の概要は以下のとおりである。

表 2.1-1(1) サンゴ移植に関する既往文献収集結果

No.	著者	タイトル	出典、雑誌	年	号	ページ	概要
1	青田 徹・柴田 早苗・綿貫 啓	サンゴ幼生の大量飼育、運搬、基盤着生によるさんご礁回復技術の開発	みどりいし	2006	17	4-10	サンゴ礁の再生について、スリッパを回収し人工の基盤へ着定させる手法を用いている。
2	Bowden-Kerby A	Coral transplantation in sheltered habitats using unattached fragments and cultured colonies	Proceedings of the Eighth International Coral Reef Symposium	1997	2	2063-2068	移植時のサンゴのサイズについて書かれており、生残率は砂底への移植では8-12cmの樹枝状ミドリイシ属で0%、30cmだと95%だったとしている。
3	Cabañan PC, Gomez ED, Alino PM	Effects of coral transplantation and giant clam restocking on the structure of fish communities on degraded patch reefs	Journal of Experimental Marine Biology and Ecology	2008	357	85-98	サンゴ(ミドリイシ属、ハナヤサイサンゴ属)の移植によって魚の種類が増えたことを報告している。
4	Clark S, Edwards AJ	Coral transplantation as an aid to reef rehabilitation: Evaluation of a case study in the Maldives Islands	Coral Reefs	1995	14	201-213	固定方法にもいろいろ種類があるが、波のエネルギーの強い場所ではどの方法でも良い結果が残っていないとしている。
5	Custodio III HM, Yap HT	Skeletal extension rates of <i>Porites cylindrica</i> and <i>Porites (Srinaraea) rus</i> after transplantation to two depths	Coral Reefs	1997	16	267-268	移植されたコピエエダハマサンゴとパオオハマサンゴの骨格成長速度が示されている。水深による違いとコンロールとの比較が示されている。
6	Dizon RM, Edwards AJ, Gomez ED	Comparison of three types of adhesives in attaching coral transplants to clam shell substrates	Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems	2008			Cyanoacrylate Glue, Epoxy putty, Marine Epoxyの3種類の接着剤を比較したところ、Marine Epoxyがもっとも剥がれにくかったとしている。また、生残率と再固着については差が見られなかったとしている。
7	Dizon RT, Yap HT	Effects of coral transplantation in sites of varying distances and environmental conditions	Marine Biology	2006	148	933-943	フィリピンでの移植で、サイト間での成長や生残率の違いはあったものの、塊状サンゴの方が生残率が良かったという結果を示している。このことから、サンゴ礁の再生を行うのにあたっては、骨格となる塊状・準塊状サンゴと空間を埋める樹枝状サンゴを組み合わせた計画が必要だとされている。
8	Edmunds PJ, Gates RD	Size-Dependent differences in the photophysiology of the reef coral <i>Porites astreoides</i>	Biological Bulletin	2004	206	61-64	一般的には小さな群体ほど死亡率が低いと言われているが、そうではなく小さな群体ほど死亡率が高いという可能性を示している。水槽実験では15mmと45mmのサイズを比べており、15mmの方が高い死亡率を示している。
9	Edwards A, Gomez E	Reef restoration concepts and guidelines: Making sensible management choices in the face of uncertainty	CKTR	2007			サンゴ礁の再生について書かれたガイドブック。いくつかの事例が示されている。
10	Edwards AJ	Reef Rehabilitation Manual	The Coral Reef Targeted Research Bulletin	2010			サンゴ礁再生マニュアル。事例の紹介がされている。
11	Edwards AJ, Clark S	Coral transplantation: A useful management tool or misguided meddling?	Targeted Research Bulletin	1998	37	8-12	成長が早く卵を速くまで拡散できる枝サンゴの移植よりも、成長が遅く、拡散能力の低い塊状サンゴを優先的に移植すべきだと提案している。
12	遠藤 秀文・Rahmadi Prasetyo・西平 守孝・大中 晋	移植サンゴの定着率に関する長期現地モニタリングおよびサンゴ移植の適用性の検討	海洋工学論文集	2006	第53巻	1196-1200	バリで行われた移植について、2年後の生残率はそれぞれ、ミドリイシ属(樹枝状)で73-93%、ハナヤサイサンゴで6-15%、チヂミスコモンサンゴで0-25%だったとしている。
13	遠藤 秀文・ラフマディ プラセティ オ・西平 守孝・大中 晋	バリ島、クタ海岸におけるサンゴ移植・増殖の適用性に関する検討	海洋工学論文集	2008	第55巻	1121-1125	サンゴを移植する際の群体片の固定方法として釘とケーブルタイ(2点どめ)を利用した方法を示している。
14	Epstein N, Bak RPM, Rinkevich B	Strategies for gardening denuded coral reef areas: The applicability of using different types of coral material for reef restoration	Restoration Ecology	2001	9(4)	432-442	移植用で作成したサンゴ片をすぐに移植するのではなく、育苗してから移植を行うことで死亡率を下げることがあるとしている。
15	Erwin PM, Song B, Szmant AM	Settlement behavior of <i>Acropora palmata</i> planulae: Effects of biofilm age and crustose coralline algal cover	Proceedings of the Eleventh International Coral Reef Symposium	2008			海水にタイルを漬け込み、その期間の長さで着生率に差が出るかどうかを調べている。0.2, 4.6, 8.9週間海水に漬けておいたもので比較しており、2.8, 9.8では他と比較して有意に着生率が高かったとしている。また、4.6, 8.9週間ではサンゴ礁の被度が有意に高く、タイルの下面においては着生率とサンゴ礁の被度との間には相関が見られたとしている。
16	Ferse SCA	Poor performance of corals transplanted onto substrates of short durability	Restoration Ecology	2010	18(4)	399-407	コンクリートが強く、自然に戻る素材として竹を用い、移植先のフレームを作ったが、耐久性が低すぎて非効率だったとしている。
17	Forrester GE, O'Connell-Rodwell C, Baily P, Forrester LM, Giovannini S, Harmon L, Karis R, Krumholz J, Rodwell T, Jarecki L	Evaluating methods for transplanting endangered Elkhorn Corals in the Virgin Islands	Restoration Ecology	2011	19(3)	299-306	サンゴの移植をする際に、サンゴを固定したほうが固定しないよりも良いとしている。また、ケーブルタイ、セメント、エポキシ樹脂による影響を比較しているが、大差は無いとしている。
18	Fox HE, Pet JS, Dahuri R, Caldwell RL	Coral reef restoration after fishing in Indonesia	Proceedings of the Ninth International Coral Reef Symposium	2000	2	969-975	ダイナマイトで破壊されたサンゴ礁の再生について書かれている。底質の礫などを固定することで、サンゴの加入量が多くなったとしている。また、石積みも置くことで、比較的安価にサンゴ礁の再生が行えるとしている。

表 2.1-1(2) サンゴ移植に関する既往文献収集整理結果

No.	著者	タイトル	出典、雑誌	年	号	ページ	概要
19	Garrison V, Ward G	Storm-generated coral fragments - a viable source of transplants for reef rehabilitation	Biological Conservation	2008	141	3089-3100	サンゴの種類によっては、ストームによって破片化したサンゴを移植することで、サンゴ礁の修復につながるかもしれないとしている。
20	Gittings SR, Bright TJ, Choi A, Barnett RR	The recovery process in a mechanically damaged coral reef community: Recruitment and growth	Proceedings of the Sixth International Coral Reef Symposium	1988	2	225-230	物やレキを除去することでサンゴ礁の効果があるとしている。また、回復の過程から、稚稚物やレキを除去することでサンゴ礁の効果があるとしている。
21	Guest JR, Dizon RM, Edwards AJ, Franco C, Gomez ED	How quickly do fragments of coral "self-attach" after transplantation?	Restoration Ecology	2009	19(2)	234-242	サンゴ片が固着するまでの時間は、ミドリイソ属で1か月ほど、ハマサンゴ属で2-3か月ほど、シロサンゴ属で3-5か月ほどであったとしている。また、大きな群体系片(5-8cm)の方が小さな群体系片(2-3cm)に比べて底質へ固着するまでの時間が短いという結果を示している。
22	Harriott VJ, Fisk DA	Coral transplantation as a reef management option	Proceedings of the Sixth International Coral Reef Symposium	1988	2	375-379	サンゴの移植について1970年台と1980年台のものを6例ほどレビューしている。移植にかかるコストについてコメントしており、商業的価値の高い場所以外への移植はコストが効率的であるとしている。
23	Herlan J, Lirman D	Development of a coral nursery program for the threatened coral <i>Acropora cervicornis</i> in Florida	Proceedings of the Eleventh International Coral Reef Symposium	2008			灰を固めたコンクリート製の筒状苗圃を利用した例。筒状の苗圃の上面と側面では成長速度に差は見られなかったとしている。また、小(3cm未満)、中(3-5cm)、大(5cmより大)の成長速度を比較すると、大が最も良かったとしている。
24	Herler J, Dirnwöber M	A simple technique for measuring buoyant weight increment of entire, transplanted coral colonies in the field	Journal of Experimental Marine Biology and Ecology	2011	407	250-255	水中で水中重量を測定する方法が示されている。これによって現場で移植サンゴの成長を計測することができるとしている。
25	Horoszewski-Fridman YB, Izhaki I, Rinkevich B	Engineering of coral reef larval supply through transplantation of nursery-farmed gravid colonies	Journal of Experimental Marine Biology and Ecology	2011	399	162-166	育苗したトグサンゴを移植したところ、その場所で大きくなったものと比較してブラズアの生産量が多かったとしている。
26	Hudson JH, Goodwin WB	Restoration and growth rate of hurricane damaged pillar coral ( <i>Dendrogya cylindrus</i> ) in the Key Largo national marine sanctuary, Florida	Proceedings of the Eighth International Coral Reef Symposium	1997	1	567-570	フロリダで棒状のサンゴ群体系(ブザサンゴ科の1種)がハリケーンの影響でぐらぐらと倒れたり壊れたりした。これらのサンゴをコンクリートなどで固定したところ100%の生残率であった。
27	池田 穂	水中コンクリートによるサンゴの移植工法の開発	ハザマ研究年報	2005	18		水中コンクリートを用いて、大型のサンゴを移植する手法を紹介している。
28	Johnson ME, Lustic C, Bartels E, Baums IB	Caribbean <i>Acropora</i> restoration guide: Best practices for propagation and population enhancement	The Nature Conservancy	2011			カリブ海のミドリイソ属の再生ガイドブック。事例の紹介がされている。
29	財団法人海中公園センター	平成6年度サンゴ礁生態系の復元手法に関する研究報告書	環境庁	1995			石西礁湖で行われた移植を用いたサンゴ礁再生の事例。2.5年後の生残率は適した地点で32.1%だったとしている。着生に関する調査では基礎としてホタテガイを利用しており、壊れやすいという記述がある。
30	Lindahl U	Low-Tech rehabilitation of degraded coral reefs through transplantation of staghorn corals	AMBIO: A Journal of the Human Environment	1998	27-8	645-650	サンゴを移植する簡易な方法として、ヒモで連結したサンゴを海底に設置する方法を示している。
31	McClanahan TR, Arthur R, Kaunda-Arara B, Kiambo R, Mwachiro H, Mangi S, Muthiga N, Rodrigues M	Sea urchin reduction as a restoration technique in a new marine park	Proceedings of the Ninth International Coral Reef Symposium	2000	2	947-953	調査を行った範囲の大きさによるが、ウニを除去することでサンゴの被度を高くする効果があるとしている。これはウニのクレーシング圧を減らす事によってもたらされるとしている。
32	Miller K, Mundy C	Rapid settlement in broadcast spawning corals: Implications for larval dispersal	Coral Reefs	2003	22	99-106	<i>Platygyra daedala</i> と <i>Goniastrea favulus</i> で、受精から着底までの期間は2.5-2.75日であり、これまで考えられていた4.0-6.0日よりも短く、意外と近くへ着底している可能性を示している。
33	Monty JA, Gilliam DS, Banks KW, Stout DK, Dodge RE	Coral of opportunity survivorship and the use of coral nurseries in coral reef restoration	Proceedings of the Tenth International Coral Reef Symposium	2006		1665-1673	サンゴ礁の再生のために移植という手法を取るに当たり、苗圃で移植するサンゴを管理することで安定的に苗を供給することができるとしている。
34	Munoz-Chagin RF	Coral transplantation program in the Paraiso coral reef, Cozumel island, Mexico	Proceedings of the Eighth International Coral Reef Symposium	1997	2	2075-2078	棧橋(もしくは橋桁)工事に伴い2150群体系のサンゴ、424群体系の八放サンゴ488塊の海綿の移植についての記録。移植してから1か月後の死亡率は3%ほどで、これはハリケーンの影響だとされている。
35	Nakamura R, Ando W, Yamamoto H, Kitano M, Sato A, Nakamura M, Kavanane H, Omori M	Corals mass-cultured from eggs and transplanted as juveniles to their native, remote coral reef	Marine ecology progress series	2011	436	161-168	産卵後のスリックを飼育し、幼生にした後での移植について書かれている。
36	日本サンゴ礁学会サンゴ礁保全委員会	造礁サンゴ移植の現状と課題	日本サンゴ礁学会誌	2008	第10巻		日本サンゴ礁学会のサンゴ礁保全委員会がまとめたサンゴ移植の現状と課題。
37	西平 孝孝	波釘付き釘を用いたサンゴ片の新たな固定法	名教大学総合研究	2006a	9	57-60	波釘を巻きつけた釘を用いたサンゴ片の固定方法を示している。

表 2.1-1(3) サンゴ移植に関する既往文献収集整理結果

No.	著者	タイトル	出典、雑誌	年	号	ページ	概要
38	西平 守孝	伸縮性素材を用いたサンゴ片の新たな固定法	名桜大学総合研究	2006b	9	71-75	4種類の素材によるサンゴ片の固定を比較している。使用しているのは金属バネ・幅広ゴム・細ゴム・モヒロン（ポリウレタン製の伸縮糸）。
39	西平 守孝	沖縄島南部具志頭浜海岸の礁池における移植サンゴ片の生存と成長	名桜大学総合研究	2007a	11	37-46	移植とモニタリングを報告している。移植にはバネ法を用いている。
40	西平 守孝	分割可能なサンゴ移植プレートを用いたサンゴ片の新たな移植法	名桜大学総合研究	2007b	11	63-67	切れ込みの入ったプレートを用いた移植方法を紹介している。事前に水槽などでプレート上でサンゴ片を育苗させておき、プレートごと現場へ運び、切れ込みに沿って分割・利用している。
41	大久保 奈弥・大森 信	世界の産礁サンゴの移植レビュー	Calaxea	2001	3	31-40	サンゴの移植に関するレビュー。
42	Omori M	Degradation and restoration of coral reefs: Experience in Okinawa, Japan	Marine Biology Research	2011	7	3-12	沖縄におけるサンゴ礁再生について紹介している。
43	大中 晋・ラフマディブ・ラセティオ・A, Chansang H	ハリ島クダ海岸における大規模サンゴ移植実施後の状況について	こうえいフォーラム	2009	第18号	121-128	ハリ島で1haを対象とした移植を行なった事例の紹介。
44	Oren U, Benayahu Y	Transplantation of juvenile corals: A new approach for enhancing colonization of artificial reefs	Marine Biology	1997	127	499-505	砂底から立ち上げた人工基盤（ロープに付けた50x50cmのプレート）への移植について書かれている。移植先の水深が浅いと、直射光の当たらない基盤裏面の生残率が良い事を示している。
45	Phniak GA, Brown EK	Growth and mortality of coral transplants ( <i>Pocillopora damicornis</i> ) along a range of sediment influence in Maui, Hawaii	Pacific Science	2008	62	39-55	7ヶ月間成長させた苗を移植に用いている例。
46	Putchim L, Thongtham N, Hewett A, Chansang H	Survival and growth of <i>Acropora</i> spp. in mid-water nursery and after transplantation at Phi Phi Islands, Andaman Sea, Thailand	Proceedings of the Eleventh International Coral Reef Symposium	2008	93	1258-1261	ハナヤサイサンゴの幼生が着底能力を持つ期間はおよそ100日としている。この日数から高い拡散能力を持つとしている。
47	Ritchmond RH	Energetics, competency, and long-distance dispersal of planula larvae of the coral <i>Pocillopora damicornis</i>	Marine Biology	1987	411	73-87	水温が上がると、群生サイズの分布に変化が見られるとしている。
48	Roth L, Koksai S, van Woessik R	Effects of thermal stress on key processes driving coral-population dynamics	Marine Ecology Progress Series	2010	411	1674-1679	海底に設置された育苗池よりも、中間に浮かべたもののほうが多くで覆われているとしている。
49	Shafir S, van Rijn J, Rinkevitch B	A mid-water coral nursery	Proceedings of the Tenth International Coral Reef Symposium	2006			
50	Shaish L, Levy G, Gomez E, Rinkevitch B	Fixed and suspended coral nurseries in the Philippines: Establishing the first step in the "gardening concept" of reef restoration	Journal of Experimental Marine Biology and Ecology	2008	358	86-97	育苗池を利用している事例で、フィリピンのもの。
51	Sleeman JC, Boggs GS, Radford BC, Kendrick GA	Using agent-based models to aid reef restoration: Enhancing coral cover and topographic complexity through the spatial arrangement of coral transplants	Restoration Ecology	2005	13(4)	685-694	サンゴ片を移植する際には、等間隔に植えて、サンゴ同士の競争があまり起こらないようにすべきとしている。
52	Smith LD, Hughes TP	An experimental assessment of survival, re-attachment and fecundity of coral fragments	Journal of Experimental Marine Biology and Ecology	1999	235	147-164	移植する際に、大きめのサンゴ片(11-20cm)の方が小さいサンゴ片(6-9cm)と比べ生残率が良いことを示している。
53	Smith SR	Reef damage and recovery after ship groundings on Bermuda	Proceedings of the Fifth International Coral Reef Symposium	1985	6	497-502	船の乗り上げ事故の後のサンゴ礁について調べている。事故は1978年、5年後の幼生の加入は1平方メートル辺り162個体。被度は、被害があった場所ですべて16.9%、事故の影響がなかった場所で20-30%ほど。
54	Soong K, Chen TA	Coral transplantation: Regeneration and growth of <i>Acropora</i> fragments in a nursery	Restoration Ecology	2003	11(1)	62-71	<i>Acropora pulchra</i> の枝を用いて育苗を行う際の最適な枝の長さは4cmだとしている。
55	Suzuki G, Arakaki S, Suzuki K, Ichisa Y, Hayashibara T	What is the optimal density of larval seeding in <i>Acropora</i> corals?	Fisheries Science	2012	78	801-808	サンゴの移植にはいろいろな方法があるが、幼生から着底させる場合は5000幼生/m <sup>2</sup> 、もしくは120幼生/1の密度で着底させると効率が良いとしている。
56	鈴木 豪・新垣 誠司・下田 徹・名波 敦・山下 洋・甲斐 清香・林原 繁・眞世田 兼三	石西礁湖における枝状ドリズン群集の回復阻害要因の検討	日本サンゴ礁学会誌	2011	13	29-41	海水の富栄養化状態がサンゴ礁の回復阻害要因になる可能性について論じている。移植前の検討が重要だとされている。
57	Thornton SL, Dodge RE, Gilliam DS, DeVicior R, Cooke P	Success and growth of corals transplanted to cement armor mat tiles in southeast Florida: Implications for reef restoration	Proceedings of the Ninth International Coral Reef Symposium	2000	2	955-962	下水管の出口についたサンゴ、271群体を別な場所へ移植して生残率を記録している。2か月後の生残率が87%で、周辺のコントロールが83%だったことから、移植先によっては移植の影響が小さいとしている。

表 2. 1-1(4) サンゴ移植に関する既往文献収集整理結果

No.	著者	タイトル	出典、雑誌	年	号	ページ	概要
58	Underwood JN, Smith LD, van Oppen MJH, Gilmour JP	Ecologically relevant dispersal of corals on isolated reefs: Implications for managing resilience	Ecological Applications	2009	19(1)	18-29	トグサンゴでは20km離れると遺伝的に差が見え始め、ウズエダミドリインでは60kmほどで差が見え始めるとしている。
59	van Treecck P, Schuhmacher H	Initial survival of coral nubbin transplanted by a new coral transplantation technology – onions for reef rehabilitation	Marine Ecology Progress Series	1997	150	287-292	海底に電極への付着物を利用した人工の基盤を造り、そこへサンゴを移植する試みを報告している。
60	van Treecck P, Schuhmacher H	Artificial reefs created by electrolysis and coral transplantation: An approach ensuring the compatibility of environmental protection and diving tourism	Estuarine, Coastal and Shelf Science	1999	49(S. A)	75-81	電氣を利用した人工基盤を造り、移植を行なっている。
61	山本 克則・宮城 清・和山 通年・大葉 英雄・日野林 謙二	慶良間諸島における網状基盤を用いたサンゴ群集再生の試み	日本サンゴ礁学会大会講演要旨集	2007	10		ネットを海底に設置し、着生したサンゴを移植に用いている。
62	山下 隆男・西平 守孝・土屋 義人・スワンデン イー	サンゴの移植によるバリ島サスール海岸の保全について	海岸工学論文集	1996	第43巻 No.21(2)	1281-1285	海底に石灰岩の塊を設置し、サンゴを移植した実験。
63	Yap HT	Coral reef "restoration" and coral transplantation	Marine Pollution Bulletin	2003	46	529	もともとサンゴが見られなかった場所への移植は意味が薄い、表面組織の90%が死んだ状態から回復したのを見たことがあるが、移植後のモニタリングを途中でやめない。濁っているサンゴ礁でも健全なサンゴがみられる。
64	Yap HT	Differential survival of coral transplants on various substrates under elevated water temperatures	Marine pollution bulletin	2004	49	306-312	移植先の底質の違いによって移植後の生残率が異なる可能性について示されている。
65	Yap HT	Local changes in community diversity after coral transplantation	Marine Ecology Progress Series	2009	374	33-41	サンゴを移植することで、より多くの魚類や無脊椎動物が見られるようになるという結果が示されている。
66	Yap HT, Alino PM, Gomez ED	Trends in growth and mortality of three coral species (Anthozoa: Scleractinian), including effects of transplantation	Marine Ecology Progress Series	1992	83	91-101	ハナヤサイサンゴ、クシハダミドリイン、コノハシコロサンゴの移植後の成長率と死亡率を調べている。面積が前面に出されているので、他の事例と比較するのは難しい。ハナヤサイサンゴは成長率が良く死亡率が高い、クシハダミドリインは成長率は中程で死亡率が高い、コノハシコロサンゴは成長率も時間も良く、死亡率は0だったとしている。
67	Yap HT, Gomez ED	Growth of <i>Acropora pulchra</i> . III. Preliminary observations on the effects of transplantation and sediment on the growth and survival of transplants	Marine Biology	1985	87	203-209	サンゴを移植することや、移植後に堆積物のストレスにさらされると成長量が下がることを示している。
68	Yap HT, Molina RA	Comparison of coral growth and survival under enclosed, semi-natural conditions and in the field	Marine Pollution Bulletin	2003	46	858-864	エドエダハマサンゴとハラオハマサンゴの移植実験から、海城への移植の方が水槽と比較して成長も生残率も良かったとしている。

### 2.1.1 無性生殖法による種苗生産

無性生殖法による種苗生産法とは、自然海域に生息している群体(親株、ドナー)そのもの、若しくは既存群体から切り出した群体断片から種苗を製作する方法である。このような無性生殖法による種苗の生産は、今日まで広く一般的に行われてきている。

本事業のうち、恩納村海域における無性生殖法による植付け種苗は、漁業協同組合が海域で飼育中のドナー群体(種類は年度によって変更)の一部の断片を、プレート型サンゴ植付基盤(マグネシウム系固化剤、白砂製)にステンレスワイヤーで固定して使用した(図 2.1.1-1)。

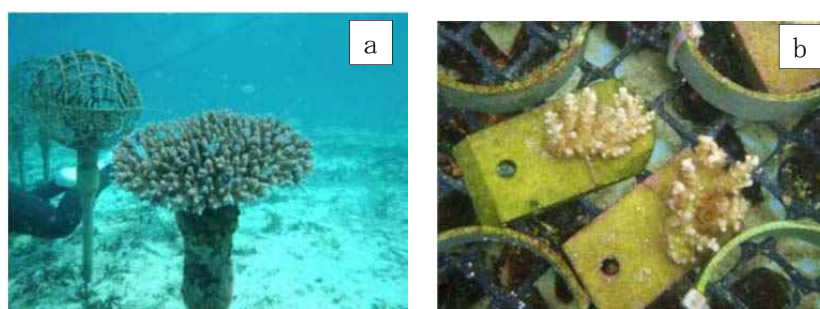


図 2.1.1-1 ドナー群体 (a) とプレート型基盤に固定された群体片 (b)

読谷村海域において用いた無性生殖法による植付け種苗では、種苗生産施設である「(有)海の種」が水槽で飼育中のドナー群体の一部の断片を、着生基盤(L字型素焼きピン)に接着剤で固着した種苗を使用した(図 2.1.1-2)。

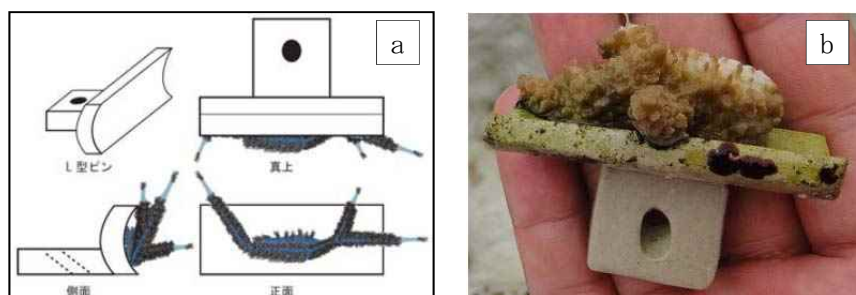


図 2.1.1-2 L字型素焼きピン (a) とピンに固着した群体片 (b)

### 2.1.2 有性生殖法による種苗生産

有性生殖法は、サンゴから放出された卵が水中で受精し、浮遊しながら成長した幼生を人工の着生基盤に着定させ、これを種苗として利用する方法である。さらにサンゴ幼生の着生基盤への着定方法には天然採苗法と人為採苗法があり、天然採苗法はサンゴの産卵期に、図 2.1.2-1 のような人工基盤を海底等に設置し、浮遊し

てくる幼生の着生を待つ方法である。また、人為採苗は、産卵翌朝に浮遊する受精卵や成長途中の胚（スリック）を海面で採取し、陸上水槽において飼育後、水槽に人工基盤を投入して幼生を着生させる方法と、自然海域、若しくは水槽においてサンゴ群体が放出するバンドルを、ネットを用いて採取し（図 2.1.2-2）、陸上水槽において複数の群体から得たバンドルの卵と精子を媒精して飼育し、人工基盤に幼生を着生させる方法がある。天然採苗は慶良間海域で、人為採苗は慶良間海域と恩納村海域において実施した。

人工網状基盤（筒状） （鹿島建設㈱製、目合 1cm×1cm）	人工網状基盤（細目） （鹿島建設㈱製、目合 1cm×2cm）
	
ホタテ貝殻 （右左の貝殻一対の中心部に ロープを貫通させて利用）	着床具 （07C 型：セラミック製のコマ状基盤、直径 4cm）
	
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）	糸焼き陶土プレート基盤 （表面に 3cm 間隔で深さ 2mm の溝有り）
	

図 2.1.2-1 慶良間海域での事業に使用された着生用人工基盤

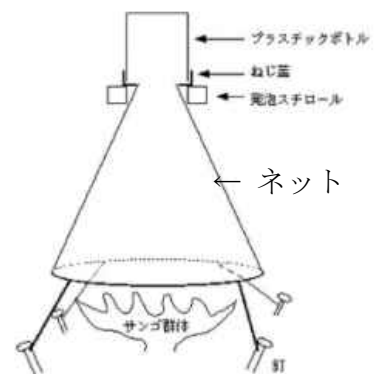
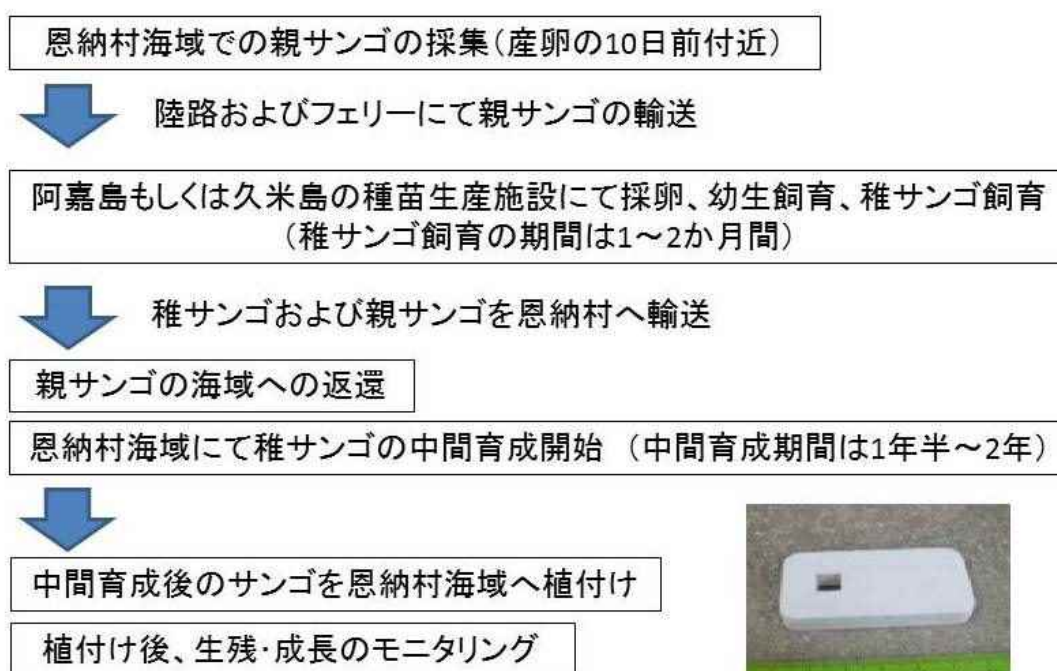


図 2.1.2-2 バンドルコレクター  
上側のイラストは大森信編著(2003)【サンゴ礁修復に関する技術手法—現状と展望—。環境省自然環境局】に説明を追記



恩納村海域における有性生殖法のサンゴ種苗は、恩納村海域において採取した親サンゴを阿嘉島、若しくは久米島の種苗生産の設備の整った施設に輸送し、この親サンゴから産卵され、成長した幼生を飼育し、マグネシウム固化剤製の基盤に着生させることによって生産した。なお、阿嘉島、久米島で種苗生産を行った際には、飼育施設から周辺海域に親サンゴ、卵・精子が流出しないように配慮した。この種苗を恩納村海域に輸送して海域で中間育成を行った後、恩納村海域のサンゴ礁にサンゴを植付けた。これらの作業内容とサンゴ着生基盤の概要を図2.1.2-3に示す。



マグネシウム固化剤(マグホワイト製)着生基盤

図 2.1.2-3 恩納村海域の事業手順と使用された着生用人工基盤



## 2.2 種苗生産法別海域別の本事業におけるサンゴの植付け

本事業の中心となる「面的広がりのあるサンゴ植付け実証事業」の対象海域については、2010年度及び2011年度に実施した「再生地点の適地検討」の検討結果を基に以下の視点に基づいて選定した。

- ① 沖縄海岸国定公園に属する海域
  - … 自然環境がよく保全されているという条件を考慮
- ② サンゴの植付け事業実績
  - … 既往事業実績から、成果が期待できる環境条件の成立を考慮
- ③ 海域での植付け後、種苗の管理、観察実施の可能性
  - … 植付け後のメンテナンス・モニタリング等の実施条件の存在を考慮
- ④ サンゴ群集の生息環境の適性（天敵等の存在を含む）
  - … 現存サンゴ群集の存在により、種苗の生残に適する条件を考慮
- ⑤ 周辺に健康なサンゴ礁があり、過去にサンゴが繁茂していた場所
  - … サンゴ礁成立のポテンシャルをもつ環境条件であることを考慮

この検討を踏まえて、これまでも記述したように、沖縄島沿岸域として恩納村海域と読谷村海域の2海域と、これに慶良間諸島座間味村海域を含む3海域を選定した。

以後、種苗生産手法別に、海域ごとの植付け地点の絞り込み、地点の概要、植付けの方法等を記載した。

## 2.2.1 無性生殖法による生産種苗を用いたサンゴ植付け

### (1) 恩納村海域での植付け事業

#### 1) 恩納村海域サンゴ群集再生実証事業の概要

サンゴ礁の再生のための手段は未だに発展途上にある。サンゴ片の植付けによるサンゴ礁の再生方法は有効な手段とされてはいるが、科学的知見が不足している状況にある。このような現状を踏まえ、本事業では、3ha 規模のサンゴ植付けを実施する過程において必要な工夫を加えながら、前述のような科学的知見の蓄積を図ることを目的とした。恩納村海域における無性生殖法によるサンゴ植付けでは、恩納村漁協が主体となって実施し、地域に技術力の蓄積を図るとともに、無性生殖種苗を用いて 2.74ha のサンゴ植付けを行った。同時に、技術の改良発展に努め、効果的・効率的な植付け方法の創意工夫を行った。

#### 2) 恩納村での植付け海域の選定

①恩納村地先のリーフ（前方礁嶺）付近には、1998 年の白化現象発生以前にサンゴが高被度で分布していた。しかし、事業開始時には低被度であった。②オニヒトデの個体数が少なかった。③赤土流出の影響が小さかった。④3ha 程度の植付け面積が得られる比較的広い岩盤を有している。⑤既にサンゴの植付け事業の実績があった。⑥恩納村漁協に近く、管理面でも有利であった。このような状況を勘案し、恩納村前兼久地先を植付け事業の適正な海域として選定した（図 2.2.1-1）。

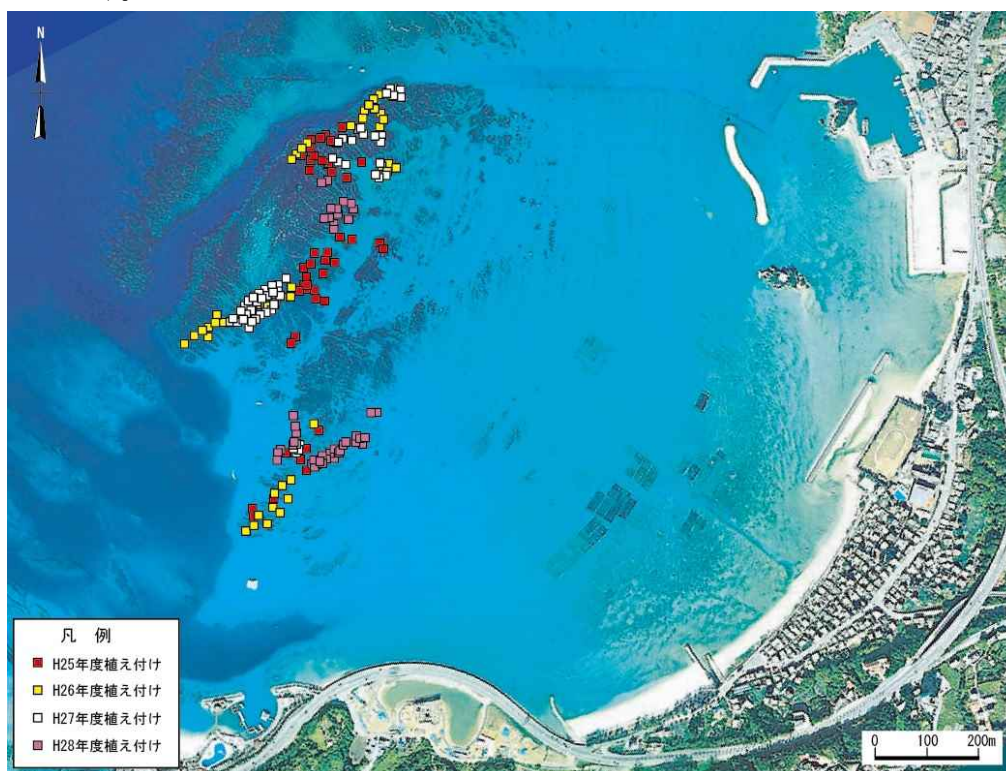


図 2.2.1-1 恩納村海域のサンゴ植付けエリア

当該海域での植付けは、恩納村海域に設定された2か所のサンゴひび建て式養殖場（図 2.2.1-5）で育成したサンゴ群体の一部を採取し、基盤にステンレス線で固定し（図 2.2.1-3）、同養殖場内で中間育成した種苗を天然海域に植付けることによって行った。当該海域におけるサンゴ群体の植付け実績は、表 2.2.1-1 のとおりで、植付け総数は104,687本、植付け面積は2.74haとなった。植付けに当たっては、海底に枠を設けてその中に一定密度で行っているため、枠の合計面積が植付け面積となっている（図 2.2.1-11）。

表 2.2.1-1 恩納村海域におけるサンゴ群体の植付け実績

年度	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
地域検討		←→					
植付け期間		←→					
年度別 植付け群体数 (面積 ha)		1,015 (0.0051)	12,440 (0.0622)	22,016 (0.7452)	22,016 (0.7452)	22,000 (0.55)	25,200 (0.63)

### ① 海域環境の状況

恩納村海域では、恩納村漁協により1998年からサンゴ親株のひび建て式養殖に取り組み、親株を切り取って生産された種苗の植付けが行われている。

事業期間中では、2013年と2016年の夏季に海水温上昇に伴い、サンゴの白化がみられた。2016年の白化現象は、1998年以来の大規模なもので、植付けたサンゴの約85%が死亡した。その他には、接近した台風や急激に発達した低気圧による波浪や海底の砂礫の移動、漂砂により中間育成中の種苗や植付けたサンゴに影響が生じた。

### 3) 種苗生産

マグネシウム系固化剤とサンゴ砂を成分とし、成形された基盤（沖縄セメント株式会社製、マグホワイト）を使用した。2011と2012年度は、縦60mm×横30mm×高さ9mmのプレート型基盤（図 2.2.1-2）、2013と2014年度は、直径28mm×高さ80mmの円柱に直径6mm×長さ40mmのステンレスねじ切り軸が出ている円柱スティック型基盤（図 2.2.1-3）、2015と2016年度は、縦28mm×横28mm×高さ63mmの四角柱に直径6mm×長さ40mmのステンレスねじ切り軸が出ている四角柱スティック型基盤（図 2.2.1-4）を使用した。

サンゴ片の大きさは、プレート型基盤で長さ5cm、円柱及び四角柱型基盤で長さ8cm以上とした。プレート型は、基盤に対して横付けで岩盤に対しても横付け

となる。スティック型は、基盤に対して横付けで岩盤に対して縦付けとなる。基盤に取り付けたテーブル状サンゴの種苗は、岩盤に活着した後、基盤上部より横方向に延びる特性がある。また、円柱から四角柱型へ変更したことにより、基盤の回転が抑制され、岩盤へ活着し易くなった。

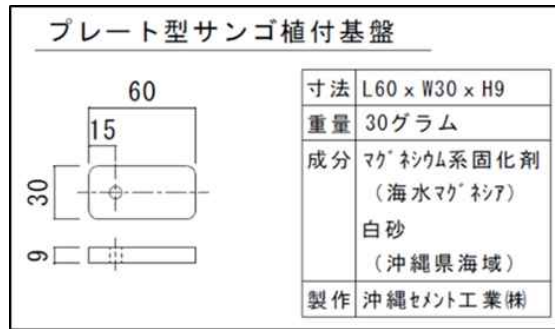
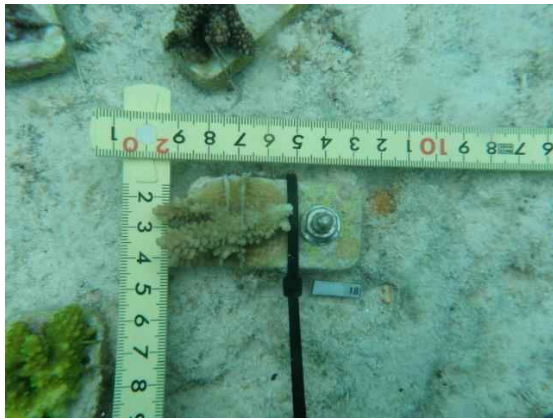


図 2.2.1-2 プレート型基盤への取り付け状況及び図面

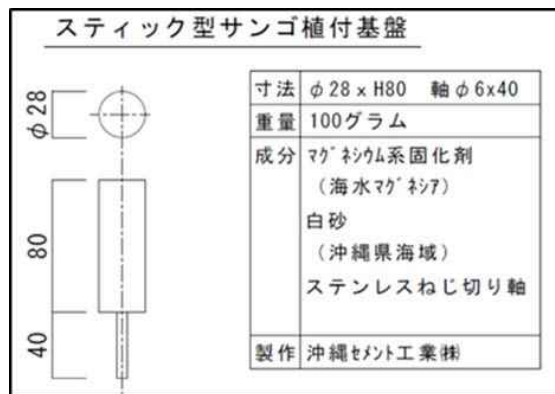


図 2.2.1-3 円柱スティック型基盤への取り付け状況及び図面

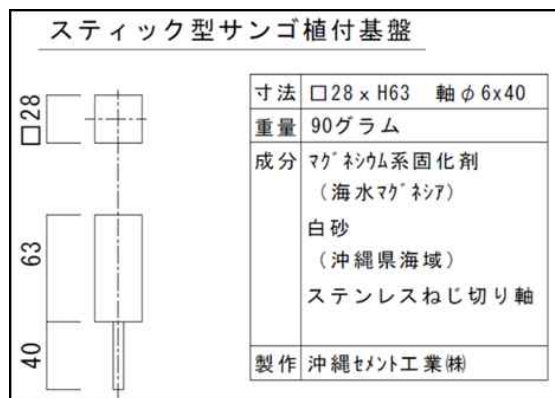


図 2.2.1-4 四角柱スティック型基盤への取り付け状況及び図面





図 2.2.1-5 恩納養殖場（左）と前兼久養殖場（右）の状況

養殖場の様子は沖縄観光コンベンションビューローと Google によりストリートビューでみることができる <http://www.ocvb.or.jp/topics/1594>

#### 4) 中間育成

中間育成棚は、幅 1m×長 3mで四方に脚を設置し、海底面より約 40 cmの高さに設置してある。なお、脚部は海底に約 60 cm打ち込んで固定している。主要部は単管パイプ（直径：48.6mm、建築現場で作業をするための足場用資材）と直交クランプで組み立てた。その上に、長さ 1mの硬質ポリ塩化ビニル管（直径 25 mm）を 15 cm間隔で 20 本ほど格子状に組合せた物を載せて、育成棚とした。棚 1 基での育成数は、スティック型基盤で 220 本であった。使用した棚の総数は、110 基であった（図 2.2.1-6）。

植付け用種苗は、海底に設置した棚上で約半年間、中間育成を行った。サンゴが基盤に活着する日数は、約 2 週間から 1 か月とされており、今回（2015 年）は *Acropora valenciennesi* において固定後 19 日目で基盤への活着が確認された（図 2.2.1-6、図 2.2.1-7）。中間育成を行った *A. valenciennesi* と *Acropora donei* は、設置後、約半年を過ぎるあたりからサンゴの成長により高被度となったことより、さらに大型種苗を育成する場合には、棚上の密度を低くする必要がある（図 2.2.1-8）。

サンゴ種苗は、マグホワイト基盤とステンレス線、塩ビ管に活着し易いという特性がある。種苗を基盤に取り付けるコツは、基盤底面ぎりぎりにサンゴ片を取り付けることで、この取り付け方により中間育成の成功率が高まる。また、基盤底面ぎりぎりにサンゴ片を取り付けた場合にはサンゴが中間育成棚に活着することもあるが、取り上げる際に破損することよりも基盤底面ぎりぎりにサンゴ片があることの方が優先されるため気にする必要は無い（図 2.2.1-9）。

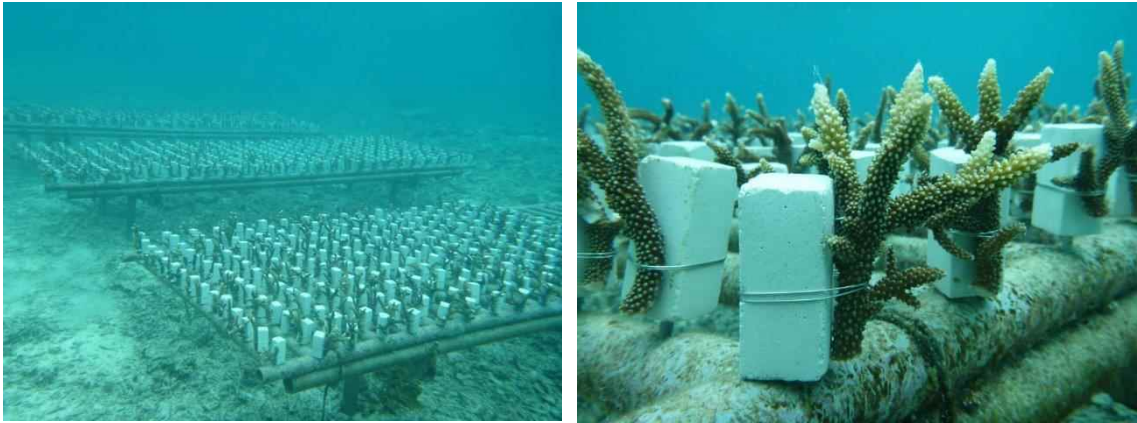


図 2.2.1-6 中間育成棚（左）と中間育成種苗 1 日目の状況（右）



図 2.2.1-7 中間育成棚（左）と中間育成種苗 19 日目の状況（右）

注：右の矢印は、基盤にサンゴが活着した所を示す。



図 2.2.1-8 育成サンゴが高被度になった状況





図 2.2.1-9 基盤への種苗取り付け状況（左）と棚への活着状況（右）

## 5) 種苗の植付け

### ① 運搬状況

中間育成を行った種苗を植付けに供する。種苗の運搬は、海水を溜めた水槽で行うか、少なくとも漁船の航行中は風がサンゴに当たらないように注意を要した。現場に到着した後は、種苗をカゴに入れて海中で保管する方法が良い（図 2.2.1-10）。



図 2.2.1-10 種苗の運搬状況（左）と海中での保管状況（右）

### ② 植付け配置

植付け配置を図 2.2.1-11 に示す。図の(a)は、2011 と 2012 年度の植付け配置で、植付け密度は  $20 \text{ 本}/\text{m}^2$ （50cm 四方に 5 本）とした。2011 年度は、種の多様性に配慮し、多くの種を枠内に植付けた。2012 年度は、枠内の種は出来るだけ同一種とした。図の(b)は、2013 と 2014 年度の植付け配置で、植付け密度は  $2.78 \text{ 本}/\text{m}^2$ （60cm 四方に 1 本）とした。1 区画に 4 つの枠を設け、その中のほ

ば 6m×6m の範囲に同一種 100 本を植付け、1 区画内では同一種が隣り合わない ようにして、合計 400 本を植付けた。図の(c)は、2015 と 2016 年度の植付け配 置で、植付け密度は 4 本/m<sup>2</sup> (50cm 四方に 1 本) の配置となっている。5m×5m の枠に同一種 100 本を植付け、1 区画 4 枠は、全て同一種とし 400 本を植付け た。

考慮した事項は、図の(a)は種の多様性と高密度植付け、(b)はサンゴの成長 とモニタリングの効率、(c)は遺伝的多様性と受精率の向上であった。また、図 の(b)と(c)の小さな四角と数字はモニタリング用サンゴの配置であり、図の(c) の青と赤の丸は標識となる杭の種類と配置を示している。

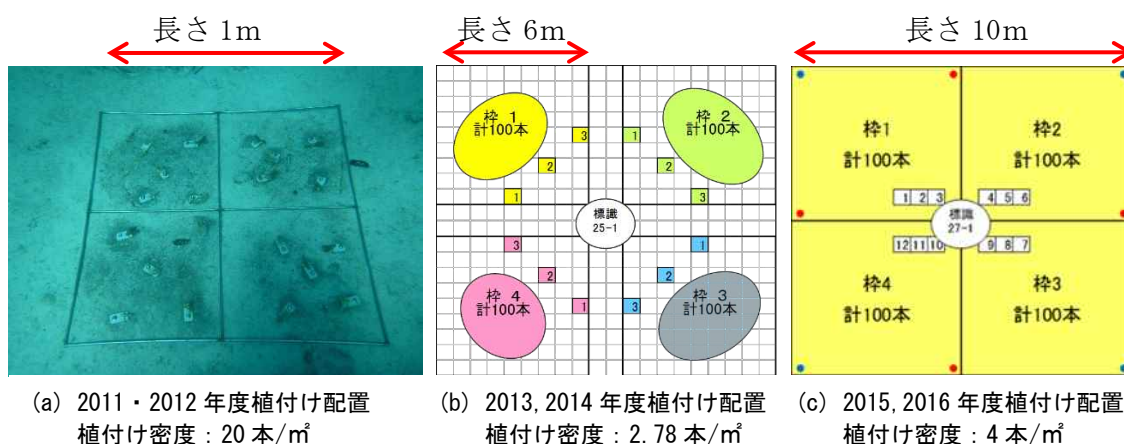


図 2.2.1-11 植付け配置

### ③ 種苗の植付け

植付けに当たっては、

図 2.2.1-11 で示した区画及び枠を海底岩盤に設置し、枠内に決められた数 の種苗を植付けた (図 2.2.1-12 左上)。植付けは表面がごつごつしており、過 去にミドリイシ類が生息した痕跡がある岩盤を選んで行った (図 2.2.1-12 右 上)。岩盤にはエアードリルで基盤のステンレスねじ切りの直径と同じ 6 mm を使 用して穴をあけた。岩盤が柔らかい場合には、ドリルの直径を少し小さめに設 定した (図 2.2.1-12 左中央)。サンゴ種苗は、空けた穴にステンレスねじ切り 部分を強く差し込み固定した (図 2.2.1-12 右中央)。植付けた後は、サンゴ種 苗の底部が岩盤と接触していることを確かめ、不具合があればその場で植え直 しを行った (図 2.2.1-12 左下)。種苗は、岩盤にサンゴ片の 2 か所以上接する 様に植付けると活着が良い傾向がみられた (図 2.2.1-12 左下)。



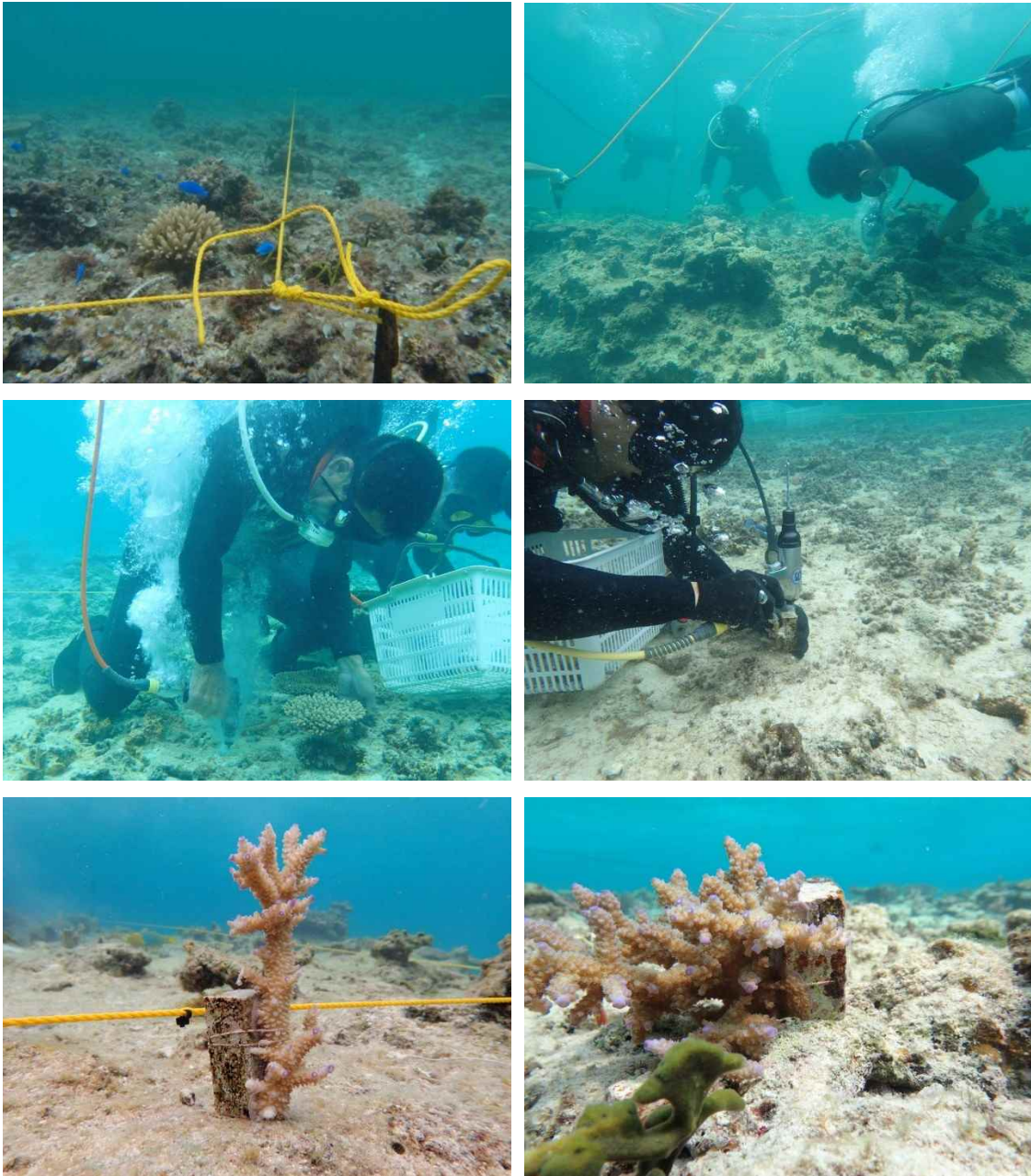


図 2.2.1-12 種苗の植付け作業と植付けた種苗

#### ④ 植付け種の選定

植付け種の選定に当たっては、漁協で養殖している種より植付け実績のある約 30 種を検討対象とした。基準種は、恩納村海域で植付けにおける生残率が高いウスエダミドリイシとし、生残率と成長を考慮して 6 種を第一選定種とした。2013、2014 年度は種の多様性を考慮して 10 種を植付け、2015 年度以降は、生残率や成長、遺伝的多様性を考慮して第一選定種より更に絞り込んだ（表 2.2.1-2）。

植付け規模は、4年間で91,232本となった。その内、植付け本数が多いのは、*A. donei*が30,300本で全体の約33%、続いて、ウスエダミドリイシが24,824本で全体の約27%、*A. valenciennesi*が11,400本で全体の約13%、コユビミドリイシが11,308本で全体の約12%、クシハダミドリイシが10,900本で全体の約12%であった。主要5種で88,732本の植付け、全体の約97%であった(図2.2.1-13)。

表 2.2.1-2 恩納村海域における植付け実績

種類数	種名	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	計
1	コユビミドリイシ	2,900	4,408	4,000		11,308
2	スギノキミドリイシ		200			200
3	<i>A. valenciennesi</i> (バランヤンネシ)	3,400	2,000	3,200	2,800	11,400
4	ウスエダミドリイシ	7,016	4,608	8,400	4,800	24,824
5	<i>A. donei</i> (ドネイ)	2,400	3,900	6,400	17,600	30,300
6	ハナバチミドリイシ	700	400			1,100
7	<i>A. microclados</i> (マイクロラドス)	100	400			500
8	クシハダミドリイシ	5,200	5,700			10,900
9	ムギノホミドリイシ	100				100
10	ハナガサミドリイシ	100	300			400
11	ヤッコミドリイシ	100	100			200
	植付け種類数	10	10	4	3	11
	植付け本数	22,016	22,016	22,000	25,200	91,232

注: 種名の青塗りは第1選定種を示す。

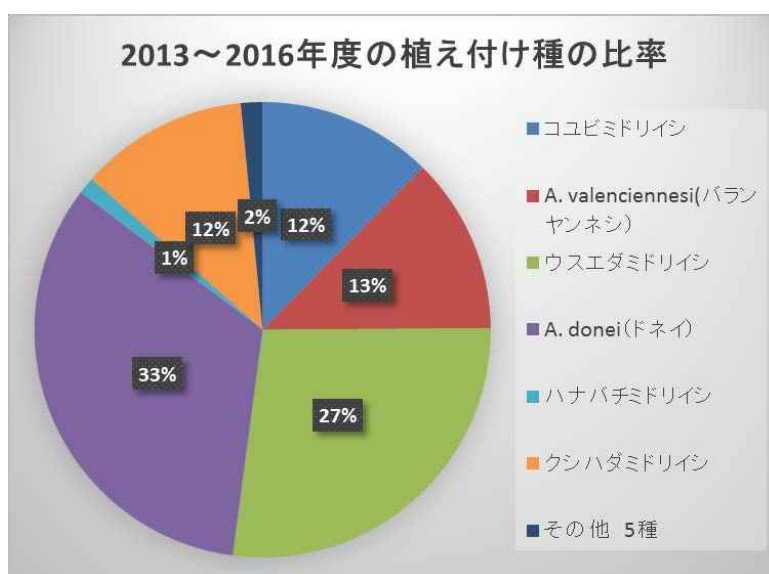


図 2.2.1-13 植付け種の比率

## 6) 植付け後の管理状況

植付けたサンゴについては、捕食者による食害を防止するため、3月～12月の期間、毎月、オニヒトデとシロレイシガイダマシ、ヒメシロレイシガイダマシの駆除を行った（図 2.2.1-14）。



図 2.2.1-14 食害生物の駆除作業

## 7) 植付け後の生育状況

2011年度～2016年度に植付けたサンゴについては、2013年度～2016年度にモニタリングを行った。

### ① モニタリング方法

植付けしたサンゴについては、モニタリング対象となる標本数を以下の式より求めた。信頼係数を95%、区間推定の誤差を5%、母集団の比率Pを予測が困難で最も安全な標本の大きさとしてP=0.5とした。必要な標本数と実際のモニタリング数は、表 2.2.1-3 に示す。

母集団の大きさ：N、最大誤差：E、信頼率に対応する正規分布点：k、予想される母集団の比率：P

$$n \geq \frac{N}{\left(\frac{E}{k}\right)^2 \times \frac{N-1}{P(1-P)} + 1}$$

※参考：兵庫教育大学 成田 茂氏 HP

【[http://www.ceser.hyogo-u.ac.jp/naritas/spss/sample\\_size/sample\\_size.htm](http://www.ceser.hyogo-u.ac.jp/naritas/spss/sample_size/sample_size.htm)】

表 2.2.1-3 必要な標本数と実際のモニタリング数

植付け年度	植付け数	必要標本数	モニタリング数
2011	700	248	700
2012	10,440	371	508
2013	20,000	377	600
2014	20,000	377	600
2015	20,000	377	600
2016	20,000	377	600
計	91,140	2,127	3,608

## ② モニタリング結果

### ア. 植付け本数と植付け面積

2011 年度より恩納村海域に植付けた本数は、104,687 本で、植付け面積は 2.74ha となった。表 2.2.1-4 と表 2.2.1-5 に示した色塗りの違いは、基盤の種類の違いを表している。表では、プレート型基盤を赤、コンクリート釘を黄、円柱スティック基盤を青、四角柱スティック基盤を緑で示した。また、植付けは3つのチームに分かれて実施した（表の2段目）。フェーズ1では、前兼久チーム（前兼久T）とNPO法人グローイングコーラル（G・C）が植付けを行った。2013年度以降（フェーズ2）では、3ha規模のサンゴ植付けの実施に伴い、植付け本数が増加したことより、新たに恩納チーム（恩納T）を編成して植付けを行った。

表 2.2.1-4 植付け本数

年度	フェーズ1		フェーズ2			計
	前兼久T	G・C	恩納T	前兼久T	G・C	
2011年度	700	315				1,015
2012年度	10,440	2,000				12,440
2013年度			8,000	12,000	2,016	22,016
2014年度			8,000	12,000	2,016	22,016
2015年度			8,000	12,000	2,000	22,000
2016年度			8,200	17,000		25,200
計	11,140	2,315	32,200	53,000	6,032	104,687

注) 赤：プレート型基盤、黄：コンクリート釘、青：円柱スティック基盤、緑：四角柱スティック基盤



表 2.2.1-5 植付け面積 (㎡)

年度	フェーズ1		フェーズ2			計
	前兼久T	G・C	恩納T	前兼久T	G・C	
2011年度	35	16				51
2012年度	522	100				622
2013年度			2,880	4,320	252	7,452
2014年度			2,880	4,320	252	7,452
2015年度			2,000	3,000	500	5,500
2016年度			2,050	4,250		6,300
計	557	116	9,810	15,890	1,004	27,377

注) 赤：プレート型基盤、黄：コンクリート釘、青：円柱スティック基盤、緑：四角柱スティック基盤

#### イ. 基盤別の生残率

各年度に植付けたサンゴの生残率及び被度は、表 2.2.1-6 に 2016 年 5 月時点の調査結果、表 2.2.1-7 に 2016 年 11 月時点の調査結果を示した。5 月時点では、植付け総数 79,487 群体に対し、生存数は 56,972 群体で、生残率は 71.7%であった。11 月時点での生存数は、8,584 群体で生残率は 10.8%であった。両調査の間には、大規模な白化現象が起り、5 月時点で生存していたサンゴの約 85%が死亡した。

図 2.2.1-15 には、プレート型基盤を使用して植付けたサンゴの生残率を示した。2011 年度の植付けは、植付け後に死亡群体を植え替えたので、2012 年 9 月には生残率が 100%になっている。2011 年度植付けは、その後も波浪等で移動した転石等により被害が生じ、生残率は暫時低下し約 20%程度になった。2012 年度の植付けは、転石による被害が生じ難い場所を選定したので、生残率は約 50%で安定した。

図 2.2.1-16 には、恩納チームが植付けたサンゴの生残率を示した。恩納チームは、リーフ（前方礁嶺）北側で行ったことより波浪の影響により種苗の流失率が高かった。2013 と 2014 年度は、円柱スティック基盤を使用したことより、生残率は約 50%まで低下した。2015 年度は、四角柱スティック基盤に変更したことより一定の改善がみられた。

図 2.2.1-17 には、前兼久チームが植付けたサンゴの生残率を示した。前兼久チームは、リーフ（前方礁嶺）南側で行ったことより波浪の影響は比較的少なかった。2013 と 2014 年度は、円柱スティック基盤を使用したことより、生残率は約 80%まで低下した。2015 年度は、四角柱スティック基盤に変更したことより一定の改善がみられた。

図 2.2.1-18 には、グローイングコーラル (G・C) が植付けたサンゴの生残率を示した。グローイングコーラルは、礁池内の岩盤で行ったことより波浪の影響は少なかった。2013 年は、コンクリート釘を使用した植付けで、生残率

80%以上と高い値を示した。2014年度は、円柱スティック基盤を使用したことより、コンクリート釘より生残率は低くなったが、2015年度は、四角柱スティック基盤に変更したことより一定の改善がみられた。

表 2.2.1-6 生残率及び被度 (2016年5月時点)

年度	植付けチーム	植付け数	植付け面積(m <sup>2</sup> )	推定生存群体数	計測数	1群体の平均直径(cm)	1群体の平均面積(cm <sup>2</sup> )	サンゴ面積(m <sup>2</sup> )	被度	生残率
2011	前兼久チーム	700	35	96	96	20	309	3	8%	13.7%
	G・C	315	16	209	133	17	220	5	29%	66.5%
2012	前兼久チーム	10,440	522	4,973	242	22	382	190	36%	47.6%
	G・C	2,000	100	1,297	227	18	254	33	33%	64.9%
2013	恩納チーム	8,000	2,880	3,633	109	31	731	266	9%	45.4%
	前兼久チーム	12,000	4,320	9,000	270	21	363	326	8%	75.0%
	G・C	2,016	252	1,628	310	12	107	17	7%	80.7%
2014	恩納チーム	8,000	2,880	4,500	135	24	434	195	7%	56.3%
	前兼久チーム	12,000	4,320	10,233	307	20	311	318	7%	85.3%
	G・C	2,016	252	1,402	267	12	108	15	6%	69.5%
2015	恩納チーム	8,000	2,000	7,033	211	15	166	117	6%	87.9%
	前兼久チーム	12,000	3,000	11,100	333	10	71	79	3%	92.5%
	G・C	2,000	500	1,867	56	13	132	25	5%	93.3%
2011合計		1,015	51	305	229	18	248	8	<b>15%</b>	30.1%
2012合計		12,440	622	6,271	469	21	355	223	<b>36%</b>	50.4%
2013合計		22,016	7,452	14,261	689	23	427	610	<b>8%</b>	64.8%
2014合計		22,016	7,452	16,135	709	20	328	529	<b>7%</b>	73.3%
2015合計		22,000	5,500	20,000	600	12	110	220	<b>4%</b>	90.9%
合計		79,487	21,077	56,972	2,696	19	279	1,589	<b>7.5%</b>	<b>71.7%</b>

表 2.2.1-7 生残率及び被度 (2016年11月時点)

年度	植付けチーム	植付け数	植付け面積(m <sup>2</sup> )	推定生存群体数	計測数	1群体の平均直径(cm)	1群体の平均面積(cm <sup>2</sup> )	サンゴ面積(m <sup>2</sup> )	被度	生残率
2011	前兼久チーム	700	35	62	62	24	447	3	8%	8.9%
	G・C	315	16	119	58	23	431	5	33%	37.8%
2012	前兼久チーム	10,440	522	2,918	142	25	491	143	27%	28.0%
	G・C	2,000	100	869	152	23	421	37	37%	43.4%
2013	恩納チーム	8,000	2,880	167	5	23	413	8	0%	2.1%
	前兼久チーム	12,000	4,320	1,000	30	29	652	65	2%	8.3%
	G・C	2,016	252	0	0	0	0	0	0%	0.0%
2014	恩納チーム	8,000	2,880	433	13	20	322	20	1%	5.4%
	前兼久チーム	12,000	4,320	2,067	62	22	365	75	2%	17.2%
	G・C	2,016	252	16	3	6	31	0	0%	0.8%
2015	恩納チーム	8,000	2,000	133	4	14	156	2	0%	1.7%
	前兼久チーム	12,000	3,000	733	22	14	157	12	0%	6.1%
	G・C	2,000	500	67	2	7	43	0	0%	3.3%
2011合計		1,015	51	181	120	24	437	8	<b>16%</b>	17.8%
2012合計		12,440	622	3,787	294	25	475	180	<b>29%</b>	30.4%
2013合計		22,016	7,452	1,167	35	28	630	73	<b>1%</b>	5.3%
2014合計		22,016	7,452	2,516	78	22	381	96	<b>1%</b>	11.4%
2015合計		22,000	5,500	933	28	14	149	14	<b>0%</b>	4.2%
合計		79,487	21,077	8,584	555	23	432	371	<b>1.8%</b>	<b>10.8%</b>

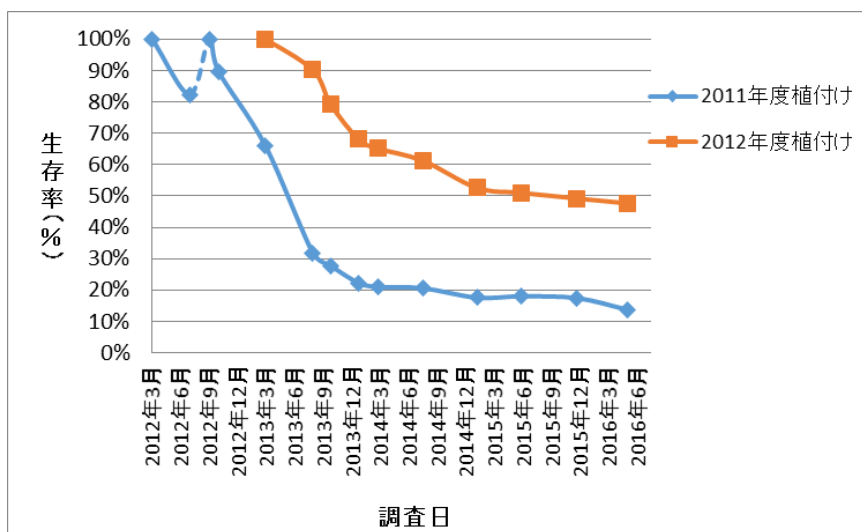


図 2.2.1-15 プレート型基盤を使用して植付けたサンゴの生残率

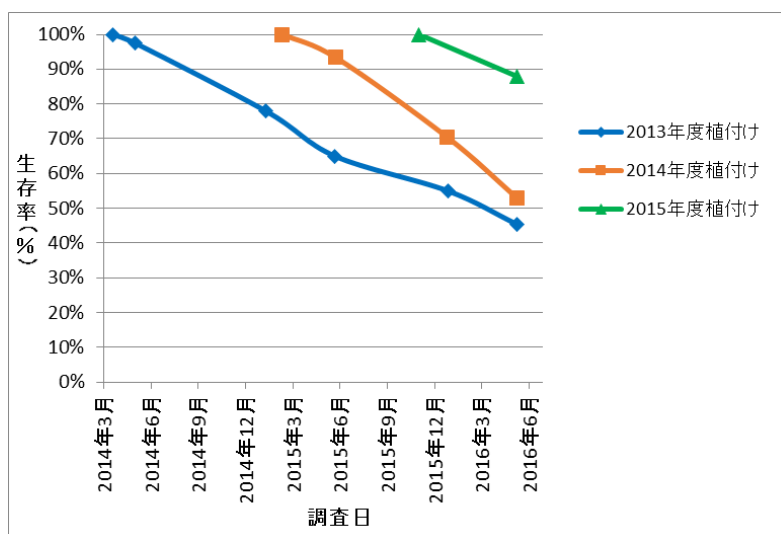


図 2.2.1-16 恩納チームが植付けたサンゴの生残率

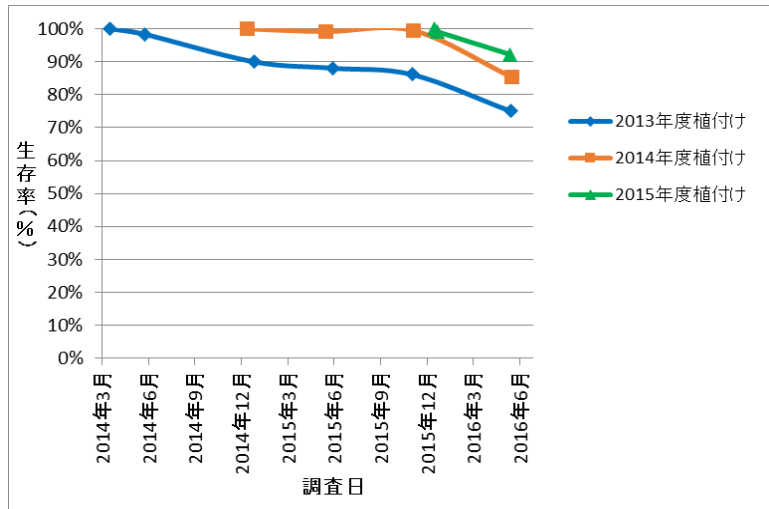


図 2.2.1-17 前兼久チームが植付けたサンゴの生残率

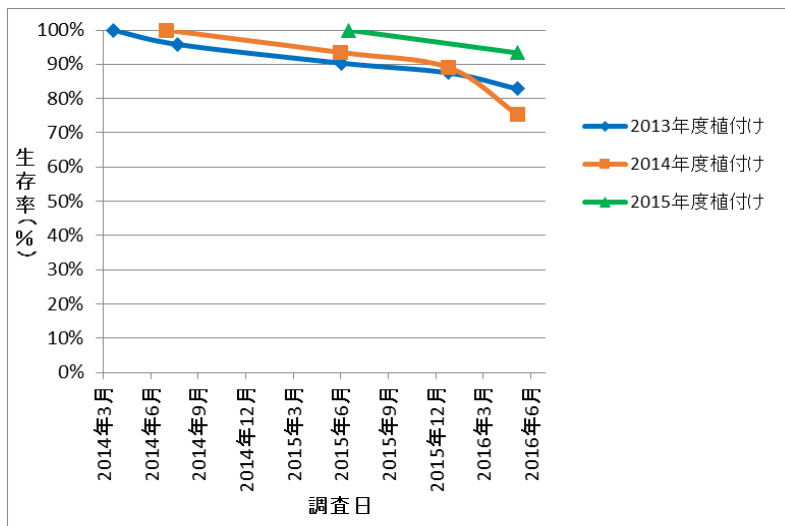


図 2.2.1-18 グローイングコーラルが植付けたサンゴの生残率

#### ウ. 種別生残率

種別の生残率は、2013年度に植付けた第一選定6種、21,616群体について図 2.2.1-19 に示した。植付け2年2か月後の生残率は、コユビミドリイシが約78%、ウスエダミドリイシが約77%と高い値を示し、続いて、*A. donei*が約67%、クシハダミドリイシが約65%と高い水準を維持し、*A. valenciennesi*が約35%、ハナバチミドリイシが約33%と低い値となった。生残率を下げた主な要因は、波浪による流失であった。そのため、今回の結果が他海域に直接で適用できるものではないが、種による岩盤への固着性の強弱として参考になるものと思われる。

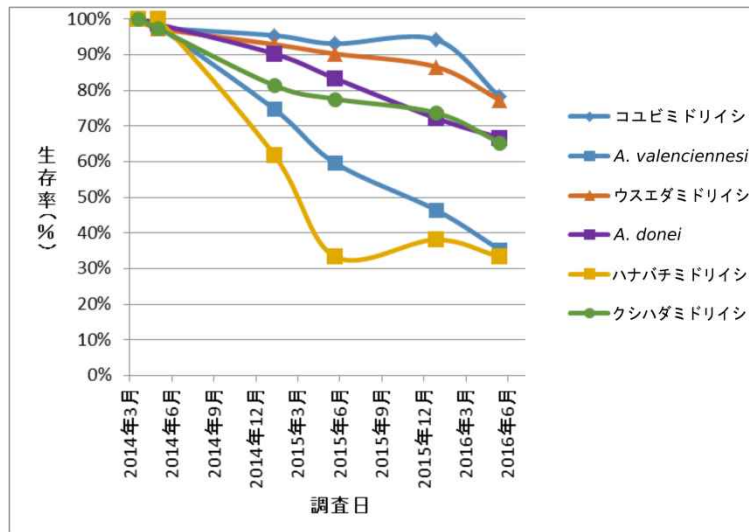


図 2.2.1-19 種別の生残率

#### エ. サンゴの成長

2013年度に恩納チームが植付けたサンゴの成長を図 2.2.1-20 に示す。サンゴの成長は群体の長径を計測し、種ごとに平均直径を算出することで評価した。なお、サンゴ種苗の直径は、写真撮影した画像から推定した長径 ( $d1$ ) と短径 ( $d2$ ) を用いて幾何学的平均径 ( $\sqrt{d1 \times d2}$ ) として求めた。

植付け後2年間の観察では、成長が速い種は、テーブル状のハナバチミドリイシとクシハダミドリイシであった。次に、成長が速い種は *A. donei* と *A. valenciennesi* であった。ウスエダミドリイシは、5種の中で一番成長が遅かった。また、ウスエダミドリイシ以外の4種は、直径が約25cmの所までは同じような成長であったが、その後、テーブル状サンゴの成長が速くなった。

2013年度に前兼久チームが植付けたサンゴの成長を図 2.2.1-21 に示した。成長が速い種は、クシハダミドリイシと *A. donei* であった。次に、成長が速い種はウスエダミドリイシであった。コユビミドリイシは、4種の中で一番成長が遅かった。

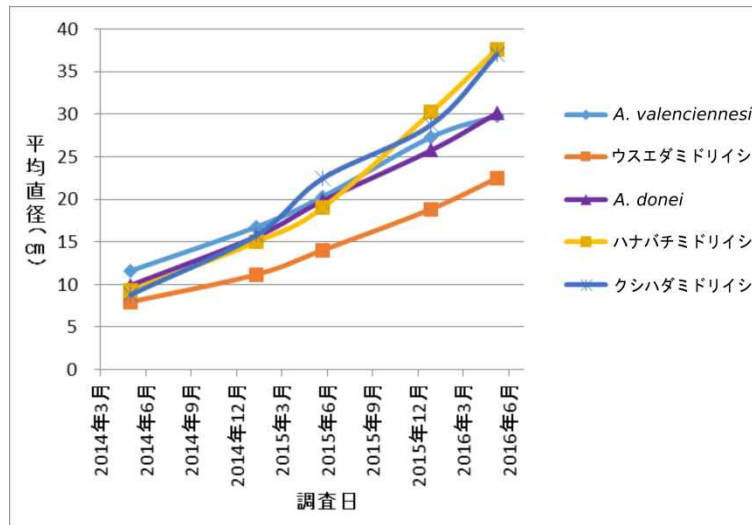


図 2.2.1-20 恩納チームが植付けたサンゴの成長

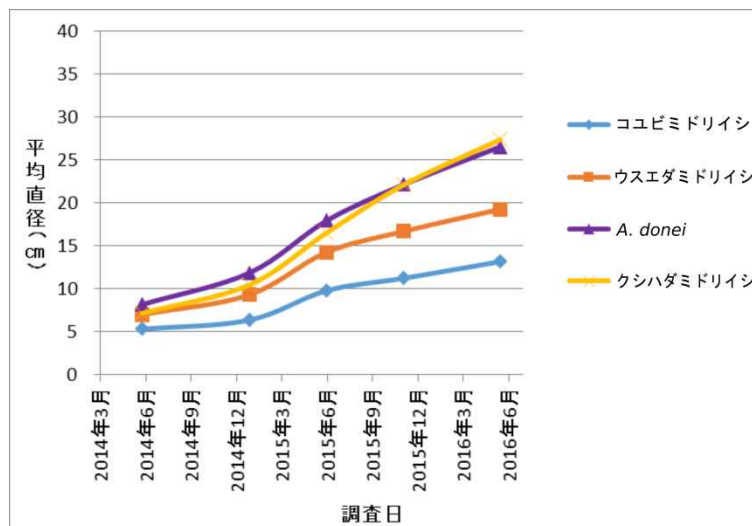


図 2.2.1-21 前兼久チームが植付けたサンゴの成長

オ. 種ごとの被度の推移

2013 年度に恩納チームが植付けたサンゴの被度の推移を図 2.2.1-22 に示す。植付け後2年間の観察では、被度の増加が最も速い種は、テーブル状サンゴのクシハダミドリイシであった。続いて、増加が速い種は、*A. donei*、ハナバチミドリイシ、*A. valenciennesi*、ウスエダミドリイシの順であった。

2013 年度に前兼久チームが植付けたサンゴの被度の推移を図 2.2.1-23 に示す。被度の増加が最も速い種は、コリンボース状サンゴの *A. donei* であった。続いて、増加が速い種は、クシハダミドリイシ、ウスエダミドリイシ、コユビミドリイシの順であった。



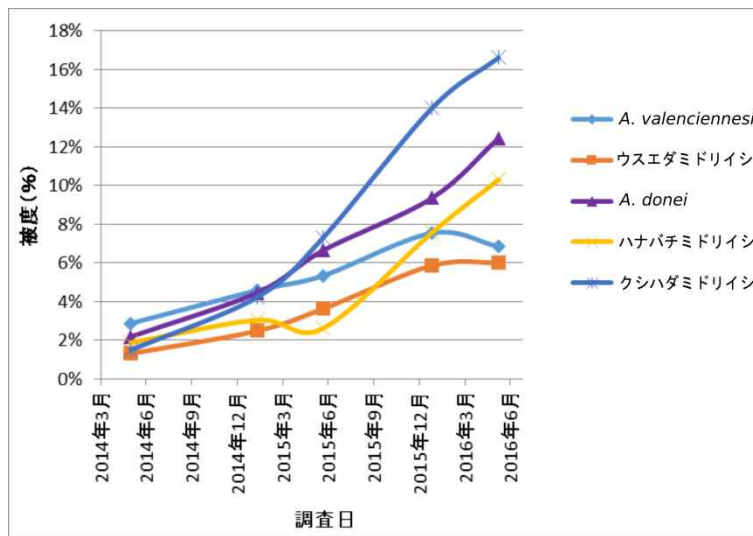


図 2.2.1-22 恩納チームが植付けたサンゴの被度の推移

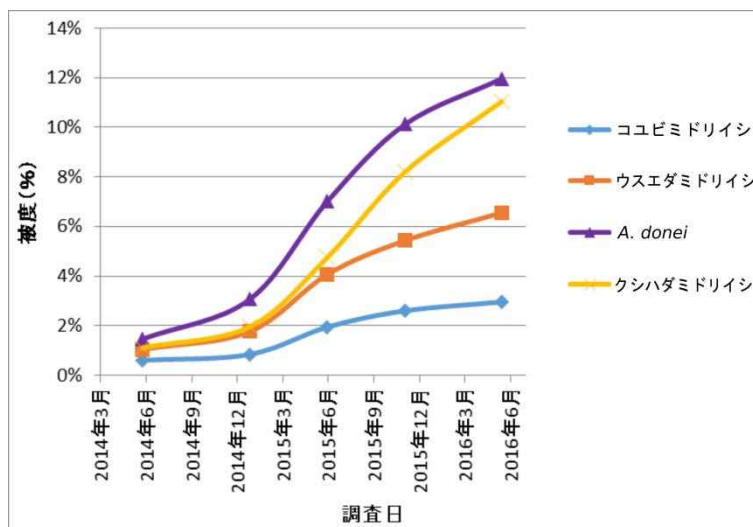


図 2.2.1-23 前兼久チームが植付けたサンゴの被度の推移

#### カ. 群集の創生

サンゴが立体的な空間を作ることにより、他生物への棲み家及び避難場所を提供している。サンゴ群体への「棲み込み」は、生物多様性を高めることにもつながるため、サンゴ植付けがもたらすもう1つの評価指標として、ここではサンゴ群体が作り出す空間（体積）を見積もった。

2013年度に植付けたサンゴが作り出す空間の体積は、図 2.2.1-24 に示した。体積の増加が最も速い種は、コリンボース状の *A. valenciennesi* であった。

続いて、増加が速い種は、クシハダミドリイシ、*A. donei*、ウスエダミドリイシ、コユビミドリイシの順であった。

体積の算出方法は、対象となるサンゴを直上と側方から写真撮影を行い、直上から長径 ( $a$ )・短径 ( $b$ )を側方より群体の厚さ ( $c$ )、海底から群体水平中心までの高さ ( $d$ ) を計測し、サンゴの形に合わせて回転楕円体や円柱の式によりサンゴの体積を求めた。なお、計算には長半径 ( $a'$ )・短半径 ( $b'$ )・厚さの半分 ( $c'$ ) を用いた。

*A. donei*・*A. valenciennesi* の体積モデルは、枝が密集したコリンボース型の群体部分を回転楕円体 (扁球) と想定した。

$$V = \frac{4\pi a' b' c'}{3}$$

クシハダミドリイシの体積モデルは、卓状群体の上縁から海底までの円柱と想定した。体積は以下の式により計算した。

$$V = \pi a' b' d$$

ウスエダミドリイシ・コユビミドリイシの体積モデルは、枝が密集したコリンボース型の群体部分を回転楕円体 (扁球) の上側 1/2 と、群体の水平中心面から海底までの円柱の組み合わせとした。体積は以下の式により計算した。

$$V = \frac{1}{2} \times \frac{4\pi a' b' c'}{3} + \pi a' b' d$$

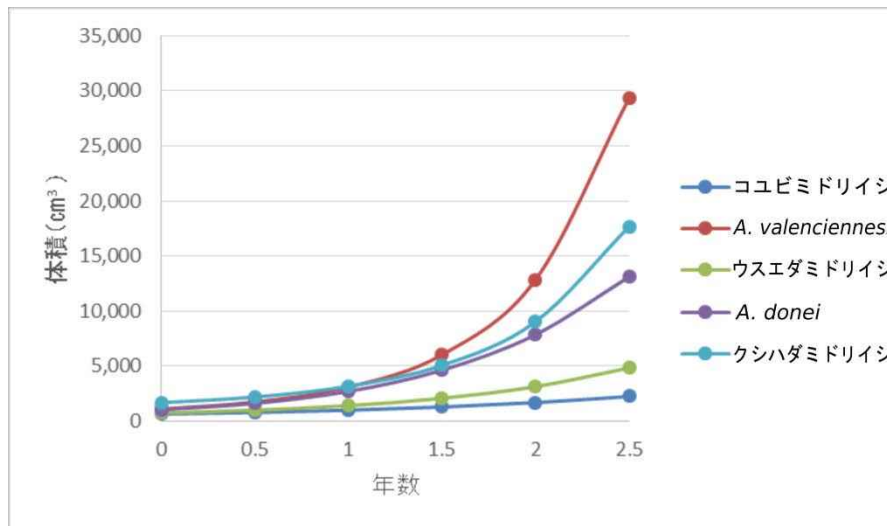


図 2.2.1-24 サンゴが作り出す空間の体積の植付け後の変化

この調査区は、複数種の群体が成長するに伴って密集する状態がみられた。2011年度は、50 cm四方に5本のサンゴを、種を混ぜて植付けたことにより、成長の早い種が成長の遅い種を覆う状態となった。図 2.2.1-24 の左の大型群

体は *A. donei*、右の大型群体はヤッコミドリイシであった。2012 年度は、50 cm 四方に 5 本のサンゴを、できるだけ同一種を植付けた。図 2.2.1-25 の左はウスエダミドリイシで各群体が接触しながらも成長した。右は、成長の早い *A. valenciennesi* やクシハダミドリイシが 50 cm の枠を超えて成長し、成長の遅い種を覆う状態となった。2013 年度は、6m 四方に 100 本のサンゴを約 60 cm 離して同一種を植付けたことにより、接触等による成長阻害は少なかった。これにより、第一選定種の 6 種については、成長に関するデータが得られた。以下、図に成長状態を示す。図 2.2.1-28(1) の左はコユビミドリイシ、右は *A. valenciennesi* を示した。図 2.2.1-28(2) の左はウスエダミドリイシ、右は *A. donei* を示した。図 2.2.1-28(3) の左はハナバチミドリイシ、右はクシハダミドリイシを示した。図 2.2.1-28(4) の左はクシハダミドリイシ、右はウスエダミドリイシの植付け区域を示した。

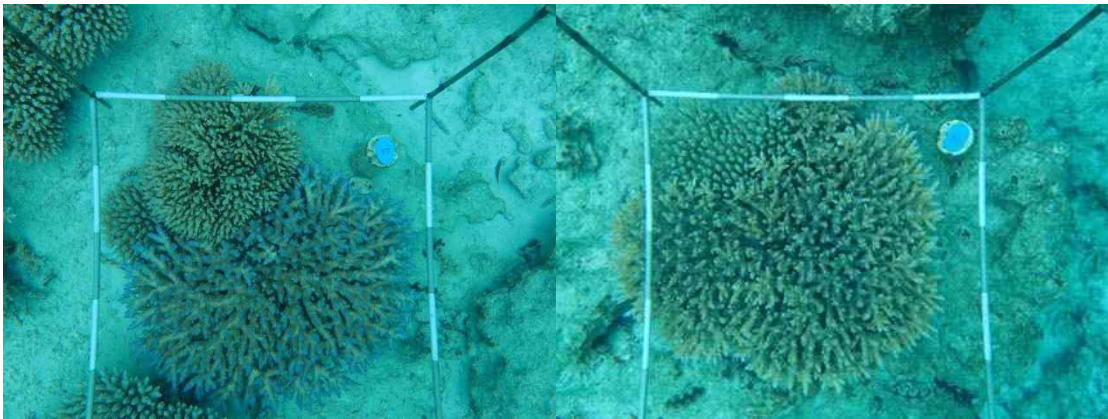


図 2.2.1-25 2011 年度に植付けたサンゴの状況 (2016 年 5 月撮影)



図 2.2.1-26 2012 年度に植付けたサンゴの状況 (2016 年 5 月撮影)



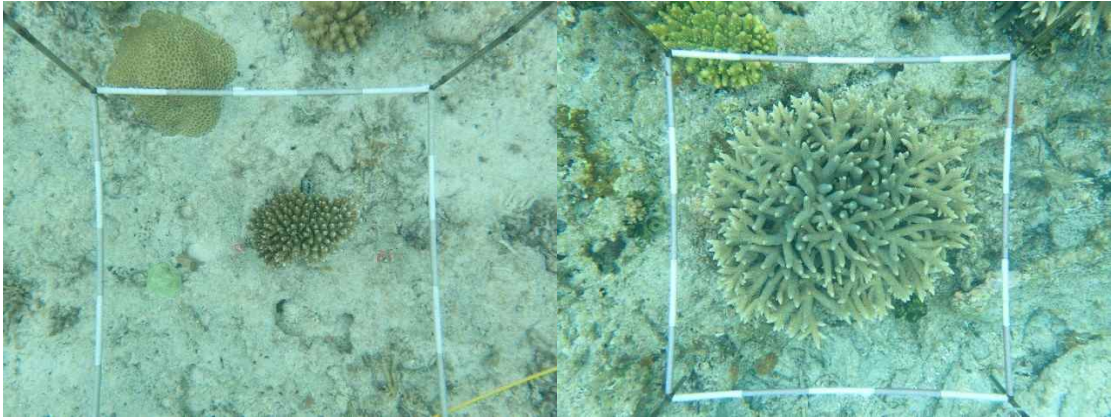


図 2.2.1-27(1) 2013 年度に植付けたサンゴの状況 (2016 年 5 月撮影)  
 (左 : コユビミドリイシ、右 : *A. valenciennesi*)

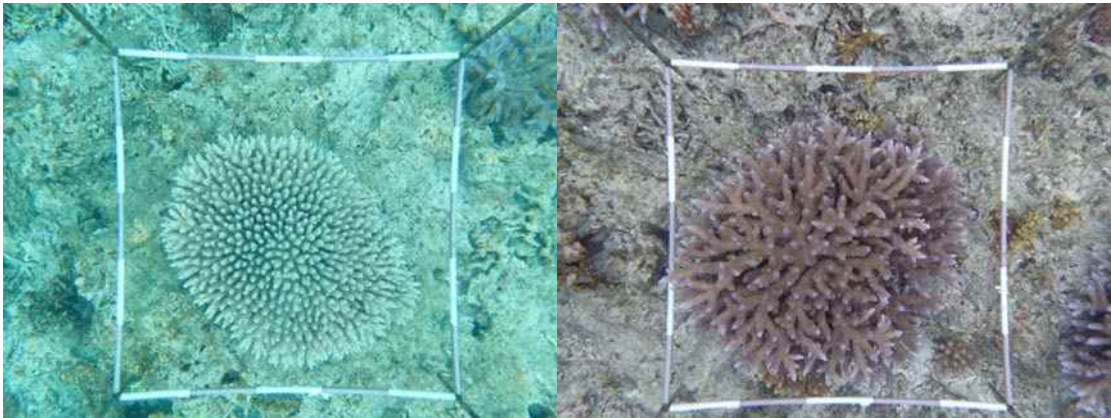


図 2.2.1-27(2) 2013 年度に植付けたサンゴの状況 (2016 年 5 月撮影)  
 (左 : ウスエダミドリイシ、右 : *A. donei*)

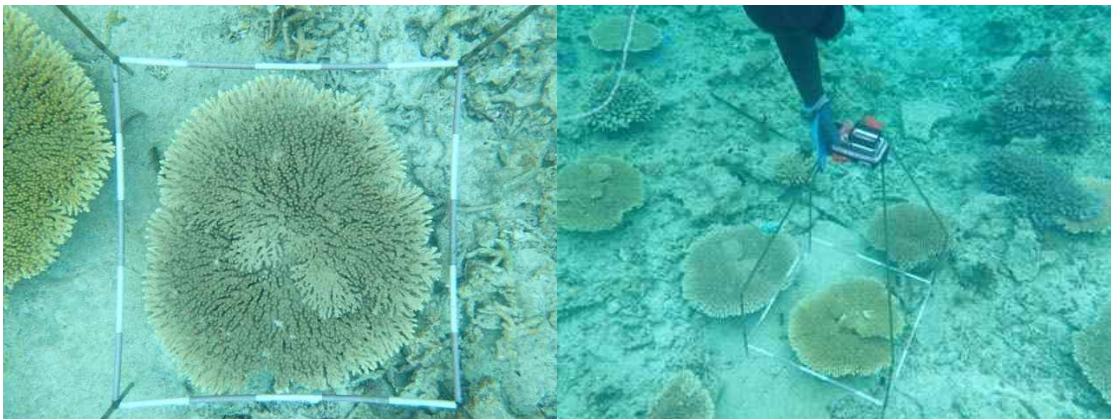


図 2.2.1-27(3) 2013 年度に植付けたサンゴの状況 (2016 年 5 月撮影)  
 (左 : ハナバチミドリイシ、右 : クシハダミドリイシ)



図 2.2.1-27(4) 2013 年度に植付けたサンゴの状況 (2016 年 5 月撮影)  
(左 : クシハダミドリイシ植付け区域、右 : ウスエダミドリイシ植付け区域)

## 8) 考察

### ① 生残率

前述したように 2016 年夏には、大規模な白化現象により植付けたサンゴの大量死亡が起こった (表 2.2.1-6、表 2.2.1-7)。このことについては「2.2.3 2016 年の白化現象について」において再度詳述することとした。ここでは、2016 年の特異的な白化現象より以前の期間のデータをもとに、本事業による植付け種苗の生残率について考察した。

白化以外で生残率が低下した要因は、主に流失や転石等による破損であった。プレート型基盤を使用した 2011 年度に植付けた種苗は、2013 年 8 月までに生残率が約 31%まで急激に低下し、その後、4 年 3 か月後の 2016 年 5 月には約 14%まで低下した。2012 年度に植付けた種苗は、2015 年 1 月までに生残率が約 53%まで低下し、その後、3 年 3 か月後の 2016 年 5 月には約 48%に留まった。プレート型基盤は、基盤に対し横付けするので転石等による破損を受けやすい傾向にあった。生残率の差は、植付け場所の転石の状況によるものであった。プレート型基盤では、植付け 2~3 年後の生残率の目標を約 50%と設定しているの、2012 年度の生残率は想定通りであった。しかし、生残率の更なる向上を目指すためには、転石による影響を受け難い基盤の開発と大型種苗の育成が課題となった。

コンクリート釘による植付けでは、2011、2012 年度ともに 2013 年 9 月には生残率は約 70%台に低下した。要因は、2013 年夏の白化現象により植付け群体の一部が死亡したため、2016 年 5 月の生残率は両方とも 60%後半と高い値を示した (図 2.2.1-30)。2013 年度に植付けた種苗では、植付け後 2 年 2 か月後で生残率約 83%と高い値を示した (図 2.2.1-30)。

2013 年度の植付けから使用したスティック型基盤では、恩納チームが植付けた場所で流失が多く課題となった。植付け方法に示した改善を行う事で、流失率はやや

改善した。基本的には、スティック型基盤を円柱から四角柱に変更したことにより、コンクリート釘による植付けと同程度の生残率を示した（図 2.2.1-16、図 2.2.1-17、図 2.2.1-18）。

## ② 成長

成長の比較は、2013年度の植付け後2年2か月後（2016年5月時点）までの結果で行った。成長が速いのは、テーブル状サンゴのハナバチミドリイシとクシハダミドリイシであった。次に、成長が速い種は *A. donei* と *A. valenciennesi* であった。続いて、今回の植付けで標準種としているウスエダミドリイシであった。コユビミドリイシは、成長が遅かった。

## ③ 被度

被度は、単位面積あたりに生存しているサンゴが占める面積の割合を示している。被度は、植付けたサンゴの生残率と成長の影響を大きく受けるので、総合評価として重要である。2013年度植付けでは、被度が高い順にクシハダミドリイシ、*A. donei*、ハナバチミドリイシ、*A. valenciennesi*、ウスエダミドリイシ、コユビミドリイシの順となった。コユビミドリイシは、1998年の大規模な白化現象後、いち早く回復した種であるが、成長が遅いので植付け種として選定するには、課題が残った。

## ④ サンゴ群集の創生

植付けの目標は、植付けた群体が産卵することによる自然再生の手助け、群集の創生による棲み家及び避難場所の提供、海中景観の創造があげられる。他生物への棲み家を提供する可能性を群体の体積を指標として示すと、*A. valenciennesi*、クシハダミドリイシ、*A. donei*、ウスエダミドリイシ、コユビミドリイシの順に高かった。なお、ハナバチミドリイシは、成長速度をもとに同じテーブル状のクシハダミドリイシより上位とした。

## ⑤ 植付け種の評価

植付け種の評価は、上記の生残率、成長、被度、群集の創生に着目して行った。生残率と成長、被度、群集創生は、成績の良い順に1から6の番号を割り当てた。すなわち、総合点数が低いものほど植付けに良好な種と考えられる（表 2.2.1-8）。

表 2.2.1-8 サンゴ種別種苗適正評価

項目/種名	コユビミドリイシ	<i>A. valenciennesi</i>	ウスエダミドリイシ	<i>A. donei</i>	ハナバチミドリイシ	クシハダミドリイシ
生残率	1	5	2	3	6	4
成長	6	4	5	3	1	2
被度	6	4	5	2	3	1
群集創生	6	1	5	4	2	3
得点	19	14	17	12	12	10
総合評価	×	○	○	○	○	○

凡例) ○ : 良好、× : 不適

この結果によると、当該海域では、*A. valenciennesi*、ウスエダミドリイシ、*A. donei*、ハナバチミドリイシ、クシハダミドリイシの 5 種は、植付けに適した種との評価となった。コユビミドリイシは、既往の事業で用いられることが多いウスエダミドリイシより不適となった。


テーブル状サンゴのハナバチミドリイシとクシハダミドリイシを比較すると、生残率と被度より、クシハダミドリイシを植付け種として選択した方が良いと思われる。



## 9) コンクリート釘による植付け手法

本事業では 2012 年度までを「基礎的知見の集約と技術の試行・検証期フェーズ1)」として、種々の手法の検討を行った（1-3 ページ、ロードマップ参照）。その一つとして、恩納村海域では陸上水槽での育苗作業過程を含む手法とは異なり、海域で種苗中間育成を行い、植付け方法も前項までに示した手法とは異なり、コンクリート釘を用いるという手法についても検証した。

植付け方法の概要は下図のとおりである。

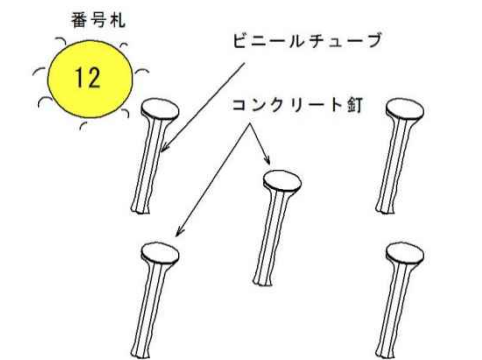


① 種苗の生産

恩納村漁協が海域で成育している養殖サンゴ（ウスエダミドリイシ等）から断片を採取する。その断片に結束バンドを取り付け、海底に設置した架台上でサンゴが結束バンドを巻き込むまで養生し、移植用の種苗を生産する。

② 基盤への固定準備

移植予定場所の岩盤にコンクリート釘をサイコロの五の目の形で打ち、上部は 4cm～5cm 残す。岩盤から突き出た上部をビニールチューブで覆い、サンゴの滑り止めと針金の電蝕防止用とする。



③ サンゴの植付け

養生したサンゴ断片をコンクリート釘に固定し、植付けを行う。植付けたサンゴ5株のまともりごとにラベルを設置し、個別識別しながら管理する。




図 2.2.1-28 恩納村海域におけるコンクリート釘を用いたサンゴ植付け手法

移植は、平成 23～27 年度に、図 2.2.1-29 に示す海域において行った。

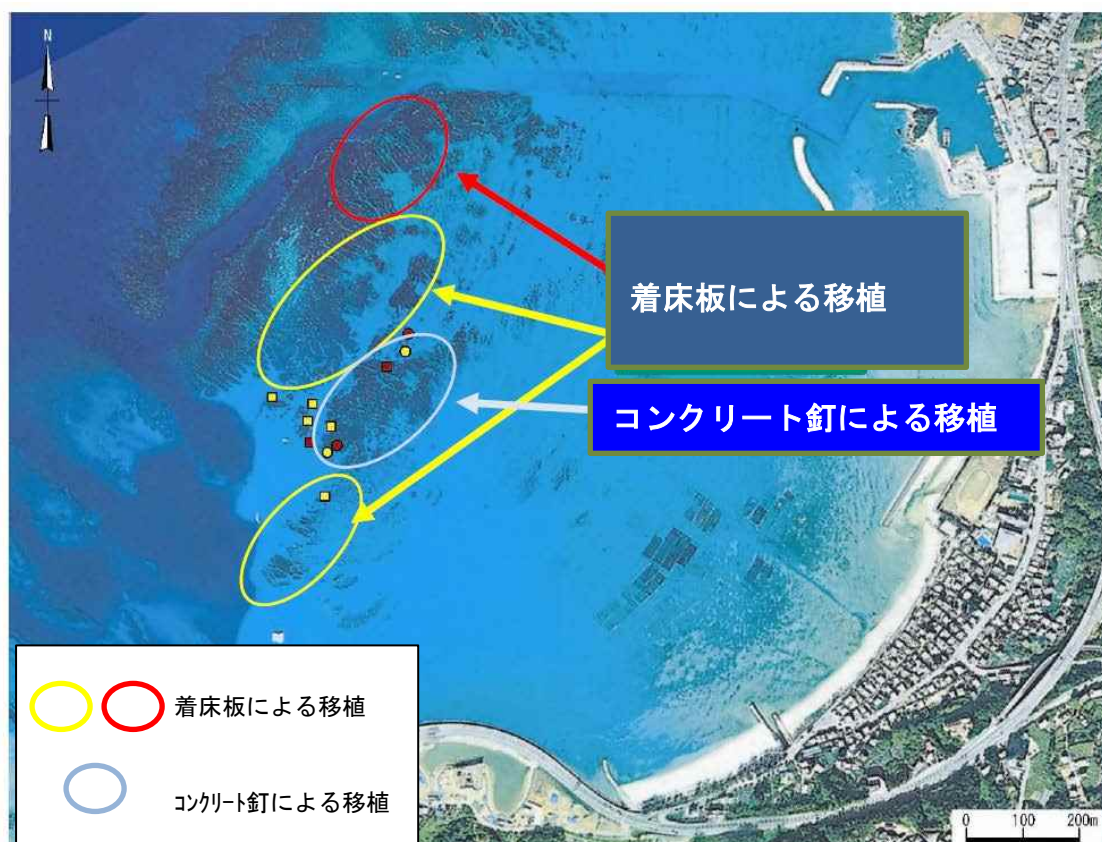


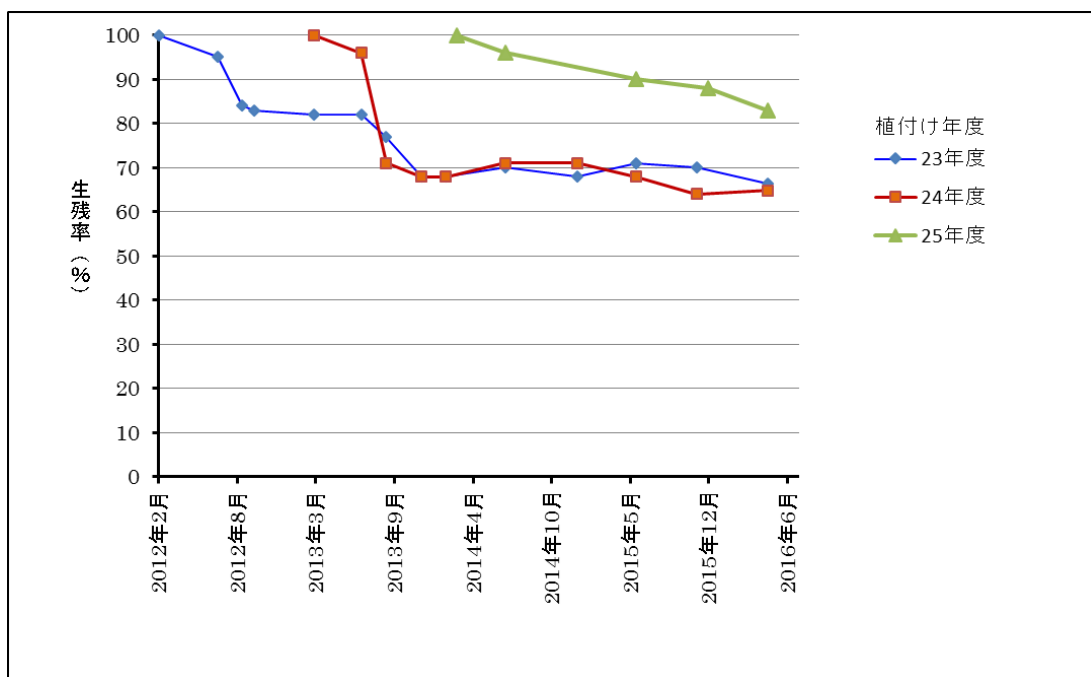
図 2.2.1-29 コンクリート釘及び着床板を用いてサンゴを植付けた海域

植付けた群体数は以下のとおりである。

表 2.2.1-9 コンクリート釘による植付け状況

実施年度	植付け時期	植付け群体数	サンゴ類
平成 23 年度	平成 24 年 2 月 23、24 日	315	ウスエダミドリイシ <i>A. valenciennesi</i> ヤッコミドリイシ ムギノホミドリイシ
平成 24 年度	平成 25 年 3 月 26～29 日	2,000	ウスエダミドリイシ <i>A. donei</i> ヤッコミドリイシ
平成 25 年度	平成 25 年 3 月 17～20 日	2,016	ウスエダミドリイシ

各年度の植付け群について、その後のモニタリング調査の結果、図 2.2.1-30 のような生残率の推移が得られた。



※観察時に死亡と判断した種苗が部分的に生きていた場合において生残率が上がっている。

図 2.2.1-30 コンクリート釘を用いて植付けたサンゴの生残率の推移（恩納村海域）

この手法によるサンゴの植付けでも比較的高い水準の生残率が得られた。なお、植付け面積については前項の植付け本数と面積をまとめた表に含まれている。



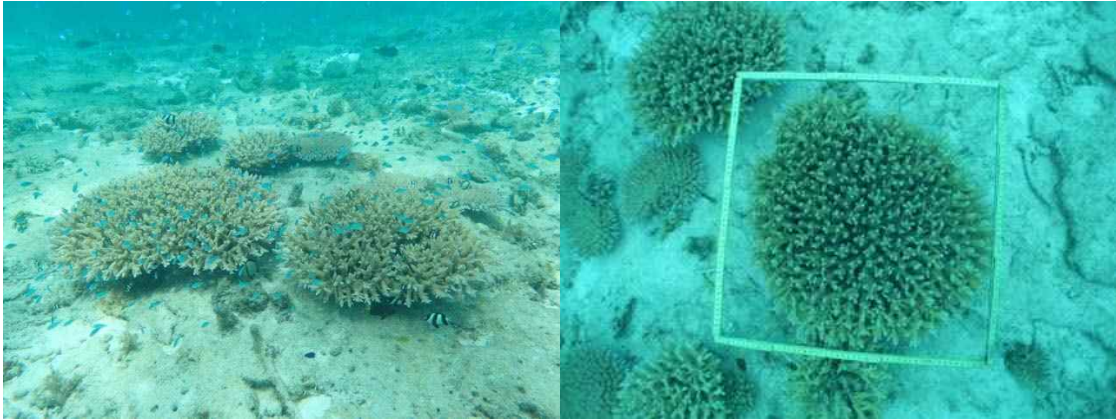


図 2. 2. 1-31 2011 年度に植付けたサンゴの状況（撮影：2016 年 7 月）



図 2. 2. 1-32 2012 年度に植付けたサンゴの状況（撮影：2016 年 5 月）

## (2) 読谷村海域での植付け事業

### 1) 事業海域と植付けの概要

2010～2011年度の検討において、赤土影響が小さく、1998年の広範な白化現象発生以前にサンゴが高被度で分布していたことが知られており、オニヒトデの個体数が少ないこと、並びに岩礁の面積が比較的広いという好適な自然条件であることから、読谷村楚辺～残波岬を植付け事業の対象として適正な海域とし、航空写真判読及び現地調査結果から植付けるための面積が得られることが判明したこと、既にサンゴの植付け事業の実績があり、サンゴの種苗を養殖している施設から近いことにより管理面でも優位であると判断されたことから、読谷村高志保前面海域を本事業の植付け海域として選定した(図 2.2.1-33)。なお、選定された植付け海域は、以前から植付けが行われていた範囲とその周辺であり、地形、底質、波あたり、水質等の環境条件も、サンゴ植付けの適正海域であると考えられた。

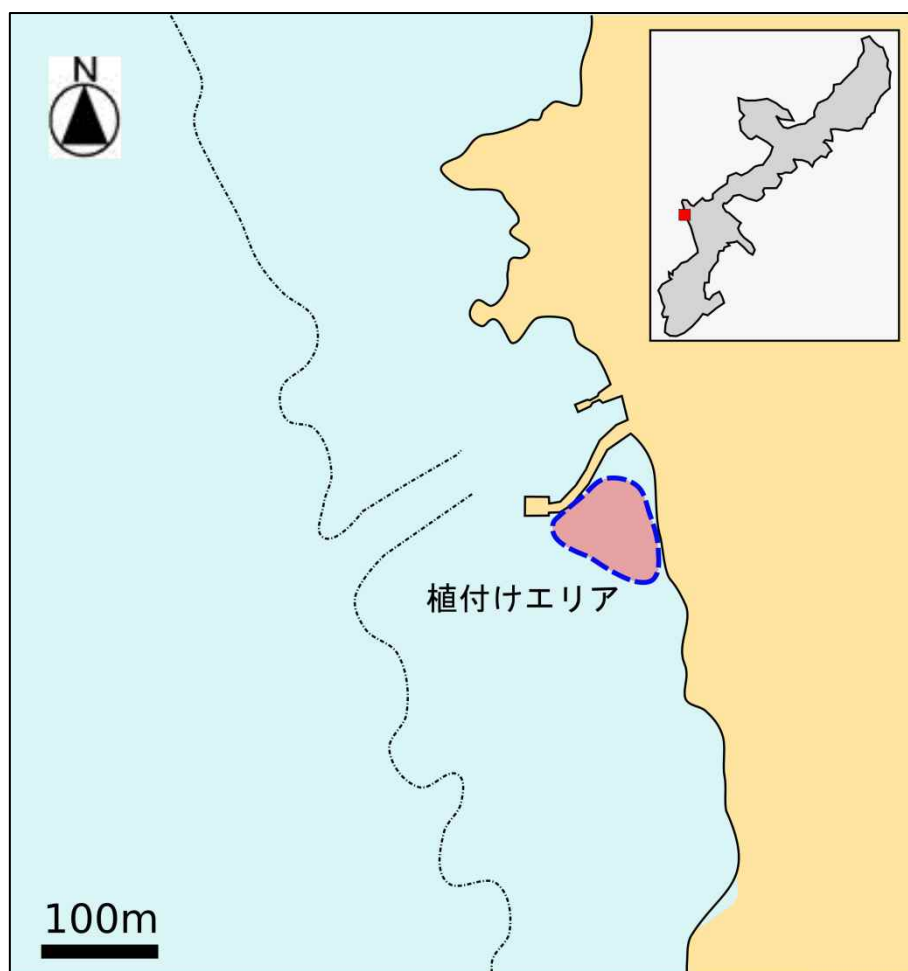


図 2.2.1-33 読谷村海域のサンゴ植付け対象範囲



当該海域での植付けに当たっては、当該海域に隣接しており、サンゴ種苗の生産施設である「(有)海の種」の水槽中で飼育中されている群体の一部を採取して種苗に用いた。種苗の生産・植付けは、陸上水槽においてサンゴ着生基盤に針金若しくは結束バンドで固着して育成した種苗を、天然海域に植付けることによって行った。

当該海域におけるサンゴ群体の植付け実績は、表 2.2.1-10 のとおりである。

表 2.2.1-10 読谷村海域におけるサンゴ群体の植付け実績

年度	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
地域検討		←→					
植付け期間		←→					
年度別植付け 群体数 (面積 ha)		1,000 (0.005)	5,000 (0.025)	5,680 (0.057)	4,075 (0.041)	4,023 (0.040)	3,000 (0.030)

本海域の海底は、漂砂礫の影響を受けやすいことから、植付け場所の微細地形を十分に考慮する必要がある。また、当該海域において実施されたサンゴ植付け事業の経験から、サンゴの種類によって生残率、岩盤への固着率、群集の創生の面で差異があることが判っており、ウスエダミドリイシ、*A. donei*、シコロサンゴが種苗対象種として有効であると考えられた。

## 2) 海域環境の状況

2011年12月27日に実施した移植前環境調査の結果では、植付け海域は水深約1mの浅い礁池の岩礁域で、堆積物は少ないことが示されている。主としてハナヤサイサンゴ属の群が低被度(10%程度)で生息しているが、稚サンゴが観察されていないため、加入は乏しいと判断された。水質調査結果では、概ね環境基準値(A類型)を満たしていた。この傾向は、2015年度まで、毎年、夏、冬に実施された調査においても大きな変化はなく安定していた。

当該海域は、浅い礁池という地形環境のため、夏季に昇温しやすく、2013年では、日平均水温は7月上旬から30℃を超え、8月下旬まで続いた(図 2.2.1-34)。そのため、白化などサンゴへの影響が懸念されたが、台風の度重なる接近により重篤な状況は避けられた。2016年は世界的にサンゴの白化が起り、植付けを行った沖縄島の読谷村においても6月下旬から30℃を超える日が続いた(表 2.2.1-11)。この長期の高水温が植付けサンゴの生残に影響を与えたものと考えられた。

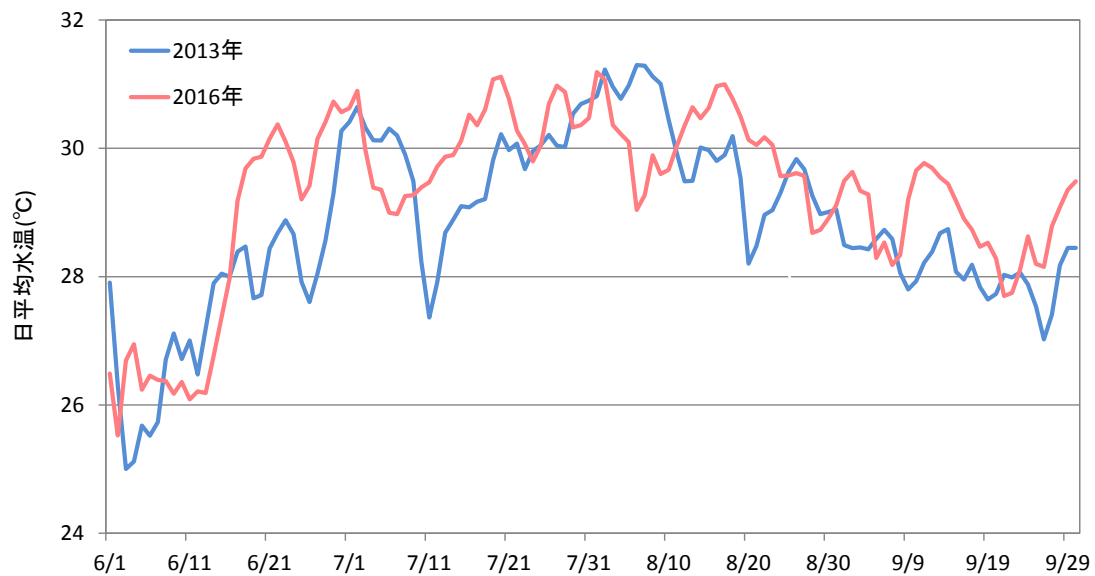


図 2.2.1-34 植付け地点における夏季の水温変動（2013年、2016年）

表 2.2.1-11 植付け地点において水温が30度を超えた日の記録

	30度を超えた日付	30度を超えた日数	平均水温	最大日平均水温
2013年	7月1日	29日	28.8度	31.3度
2016年	6月22日	43日	29.3度	31.1度

### 3) 種苗生産

種苗生産施設「(有)海の種」の水槽で飼育されていたドナー群体（ウスエダミドリイシ、コエダミドリイシ、*A. donei*、ハナヤサイサンゴ等）の一部を採取し、着生基盤（L字型素焼きピン、図 2.2.1-35a）に設置し、成長により自然に固着させ、種苗とした（図 2.2.1-35b）。サンゴ片の長さは約5cmである。

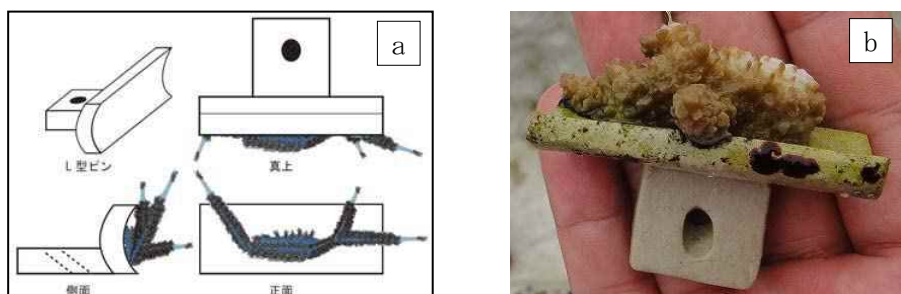


図 2.2.1-35 L字型素焼きピン (a) とピンに固着させた群体片 (b)

#### 4) 種苗の植付け

種苗を固着させた着生基盤を岩盤の形状や硬さにより、コンクリート釘、ビス、バネ等を使い分けて、海底に固定した。また、モニタリングの際にドナー系列が識別できるように、色の異なる結束バンドを種苗に取り付けて区別けした（図 2.2.1-36）。植付け密度は 10 本/m<sup>2</sup>程度とした。植付けエリアにおける植付け地点を図 2.2.1-37 に、植付け数量を表 2.2.1-12 に示す。

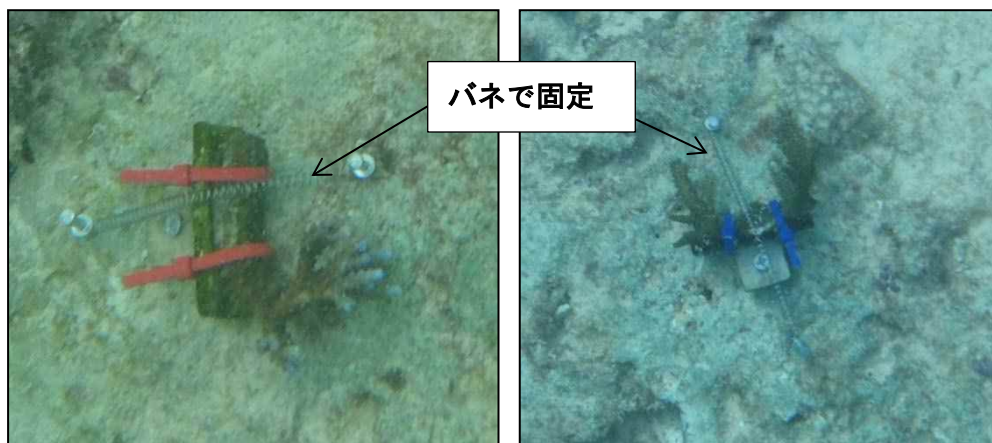


図 2.2.1-36 種苗の海底固定状況

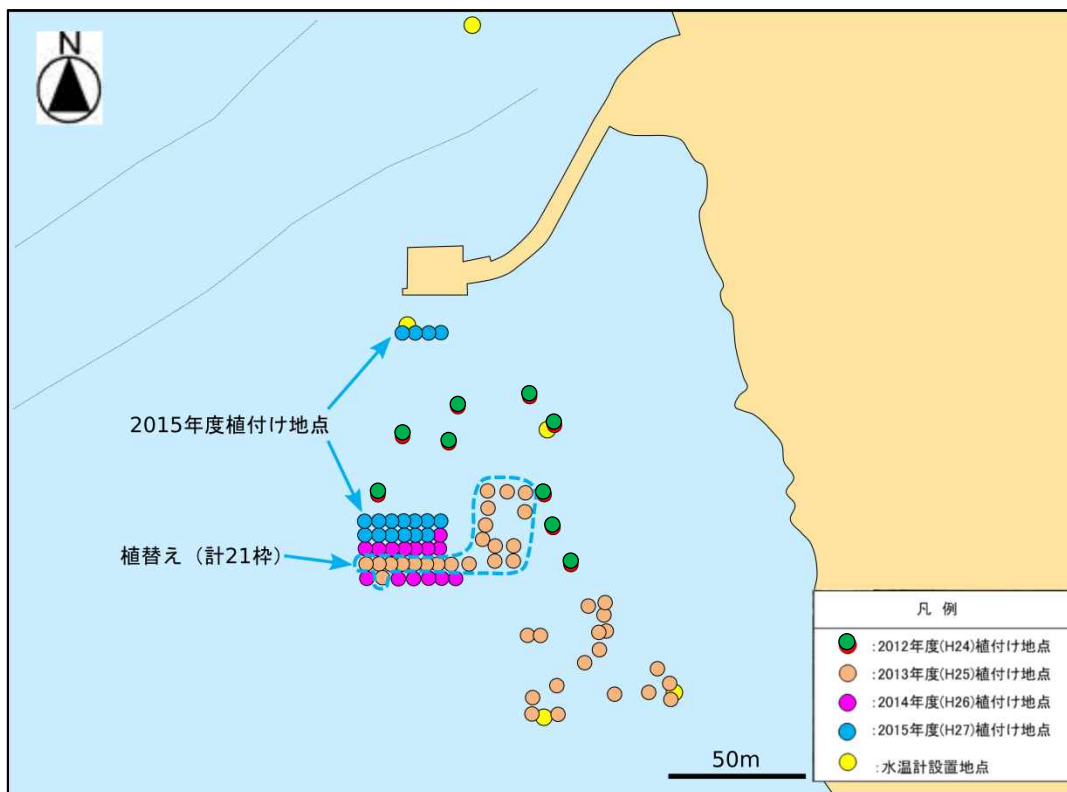


図 2.2.1-37 植付け地点の分布状況

表 2.2.1-12 読谷村海域における植付け実績

年度	植付け本数					植付け面積 (ha)
	ウスエダ ミドリイシ	シコロ サンゴ	ハナヤサイ サンゴ	その他	計	
2011	>1,000			少数	1,000	0.005
2012	>5,000			少数	5,000	0.025
2013	1,315	1,420	1,380	1,565*	5,680	0.057
2014	1,114	1,423	618	920**	4,075	0.041
2015	1,097	1,743	95	1,088***	4,023	0.040
2016	3,000			少数	3,000	0.030
計	12,526	4,586	2,093	3,573	22,778	0.198

\* : *A. donei*、コエダミドリイシ、ヒメマツミドリイシを含む  
 \*\* : *A. donei*、コエダミドリイシ、マルツツミドリイシ、エダコモンサンゴを含む  
 \*\*\* : *A. donei*、コエダミドリイシ、マルツツミドリイシ、エダコモンサンゴ、ムギノホミドリイシを含む

### 5) 植付け後の生育状況

2012年度～2014年度に植付けたサンゴについて、2013年度～2016年度に生息状況に関するモニタリング調査を行った。なお、2011年度植付けサンゴについては、2013年夏季の白化により死亡したため、その後のモニタリング調査を実施していない。

#### ① モニタリング方法

2012年度に植付けた5,000群体のサンゴから、モニタリングする標本数を以下の式より求めた。信頼係数を95%、区間推定の誤差を5%、母集団の比率Pを予測が困難で最も安全な標本の大きさとしてP=0.5とした。

母集団の大きさ :  $N$ 、最大誤差 :  $E$ 、信頼率に対応する正規分布点 :  $k$ 、予想される母集団の比率 :  $P$

$$n \geq \frac{N}{\left(\frac{E}{k}\right)^2 \times \frac{N-1}{P(1-P)} + 1}$$

※参考：兵庫教育大学 成田 茂氏 HP

【[http://www.ceser.hyogo-u.ac.jp/naritas/spss/sample\\_size/sample\\_size.htm](http://www.ceser.hyogo-u.ac.jp/naritas/spss/sample_size/sample_size.htm)】

計算の結果、2012年度：513本、2013年度：453本、2014年度：413本、2015年度：375本を調査の対象とした。モニタリング調査項目を表 2.2.1-13 に示す。

表 2.2.1-13 モニタリング調査項目

項 目		調査内容	
生残率 調査	生育 状況	生残状況	植付け群体の生残状況を記録
		流出状況	植付け群体の流出状況を記録
		写真撮影	コドラート写真及び群体写真
成長記録調査	生育 状況	サイズ	長径×短径の記録
		死亡状況	部分死亡の割合を記録
		群体面積	単位面積あたりの面積をサイズより算出 ( $\frac{1}{2}$ 長径× $\frac{1}{2}$ 短径× $\pi$ )
		被度	単位面積あたりの被度をサイズより算出
		白化状況	白化状況を記録 (5段階) 0: 白化がみられない 1: 白化はほとんどみられない (群体の 5%未満) 2: 白化部は群体の 50%未満 3: 白化部は群体の 50%以上 4: 群体のほとんどが白化 (群体の 90%以上)
	破損状況	破損の有無を記録	
生息環境		底質の概観、海藻の繁茂状況、食害生物の出現状況	
水温・塩分濃度		測定機器による連続測定	

## ② モニタリング結果

### ア. 被度

2012年度に植付けた種苗についてみると、サンゴ被度は2013年7月（植付け4か月後）は2.9%であったが、2013年夏季に広範囲で発生した白化によって、同年9月（植付け6か月後）には被度は1%未満に低下した。その後は、植付け群体の大量死亡等の異常は記録されておらず、白化1年後には回復状況がみられた（図 2.2.1-38）。成長に伴い、被度は増加傾向となり、2016年2月（植付け35か月後）には7.2%に増加した（図 2.2.1-39）。2013年度植付け（図 2.2.1-40）、2014年度植付け（図 2.2.1-41）についても順調な被度の上昇がみられている。



図 2.2.1-38 白化1年後の回復状況



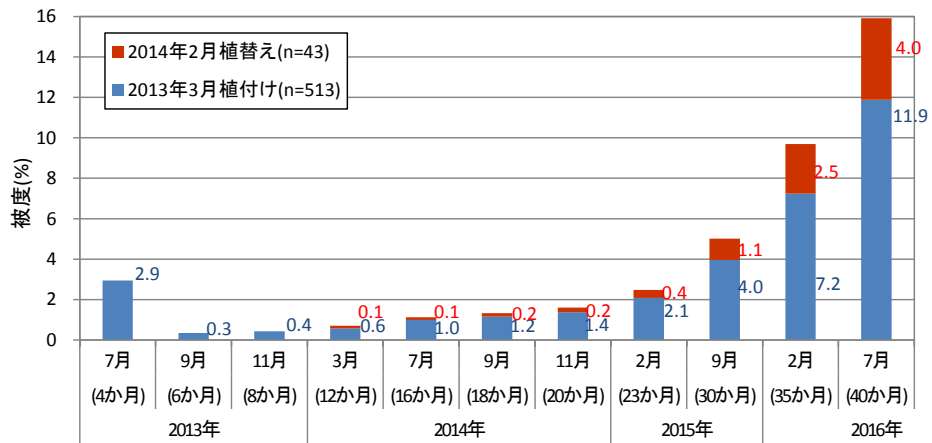


図 2.2.1-39 植付け種苗被度 (2012 年度植付け)

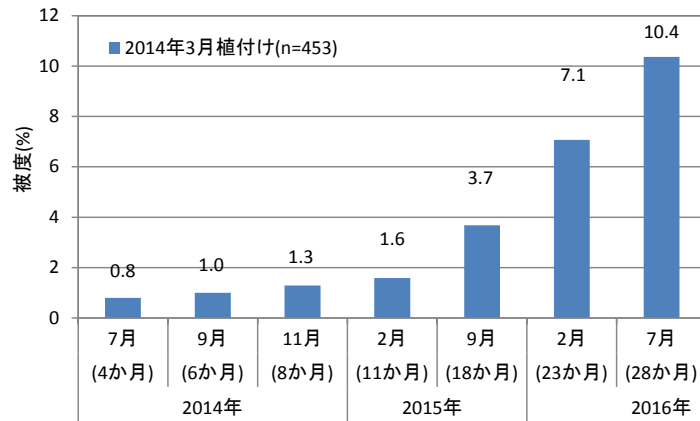


図 2.2.1-40 植付け種苗被度 (2013 年度植付け)

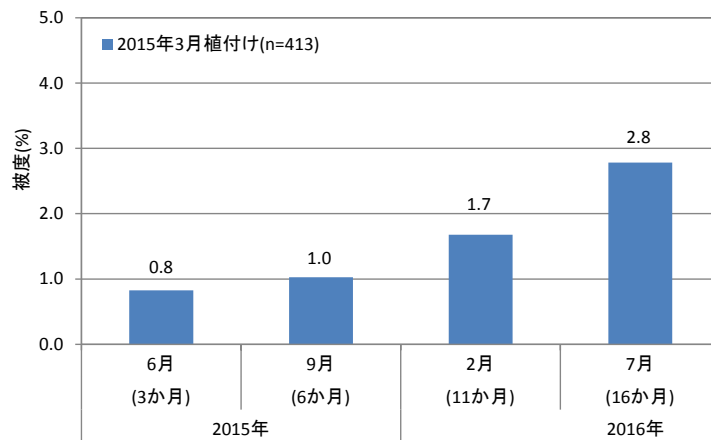


図 2.2.1-41 植付け種苗被度 (2014 年度植付け)

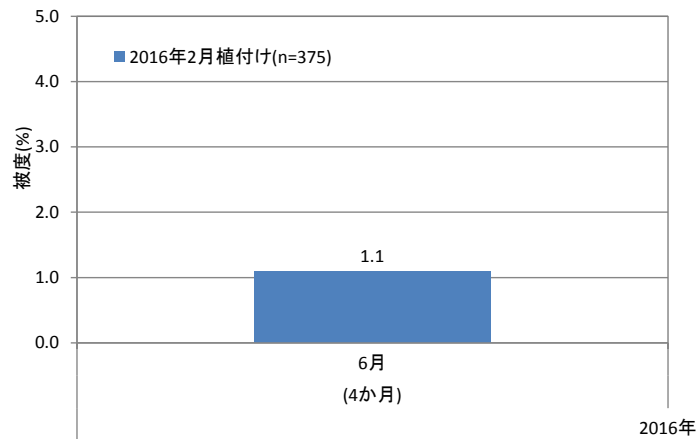


図 2.2.1-42 植付け種苗被度 (2015 年度植付け)

#### イ. 生残率

2012 年度に植付けた種苗の生残率は、2013 年 7 月までは 99%と良好な生育状態であったが、2013 年夏季の高水温期に発生した白化によって、2013 年 9 月には 20%、2013 年 11 月には 17%に低下し、全体の 79%に相当する 404 群体が死亡した。その後は、流失等による群体数の減少は確認されたものの、生残率は 11%で安定状態にある (図 2.2.1-43)。2013 年度植付け種苗では、白化の影響は受けなかったため、植付け 23 か月後の生残率は 57%で、緩やかな減少を示した。

2016 年度のモニタリング調査の結果によると、2013 年度植付け (図 2.2.1-44)、2014 年度植付け (図 2.2.1-45)、2015 年度植付け群 (図 2.2.1-46) ともにシコロサングの生残率が高く、次いで、年度によって多少のバラツキはあるが、*A. donei*、ウスエダミドリイシの生残率が高かった。

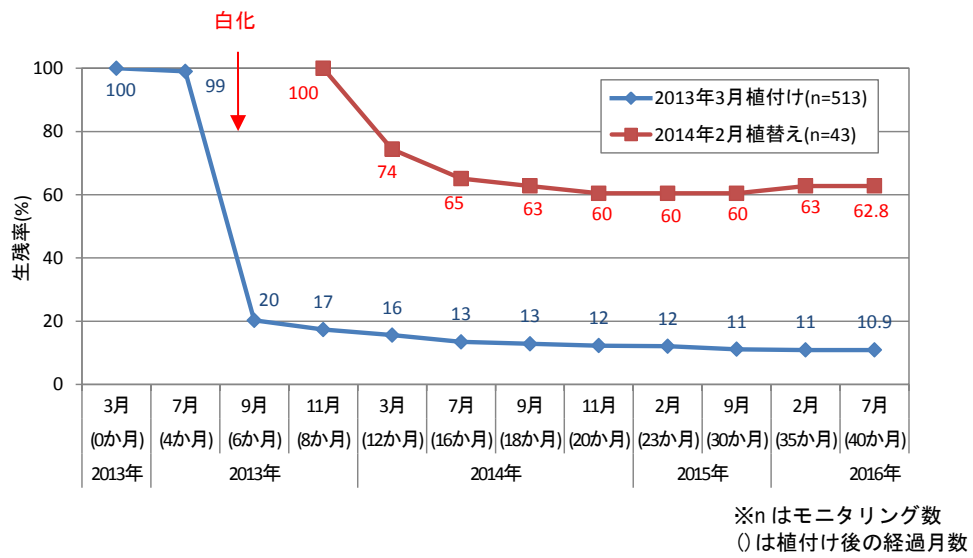


図 2.2.1-43 植付け種苗の生残率 (2012 年度植付け)

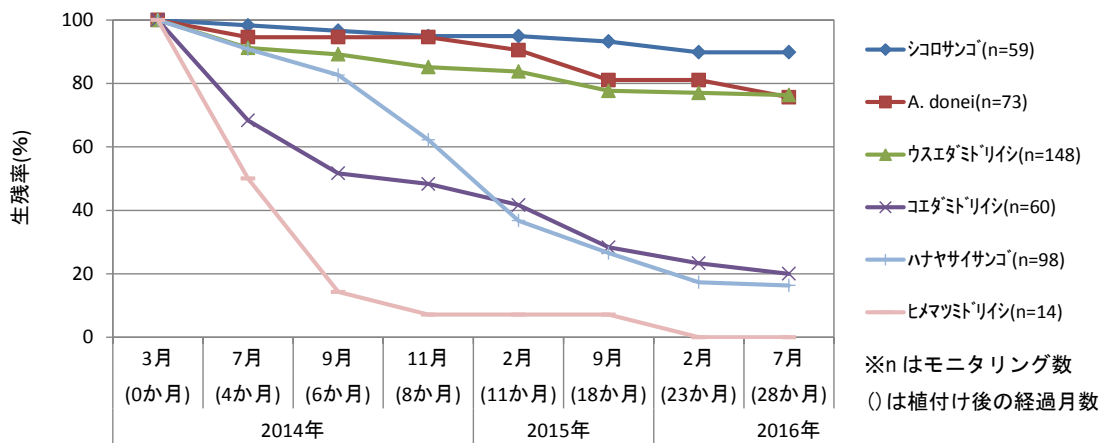


図 2.2.1-44 植付け種苗の生残率 (種類別、2013 年度植付け)

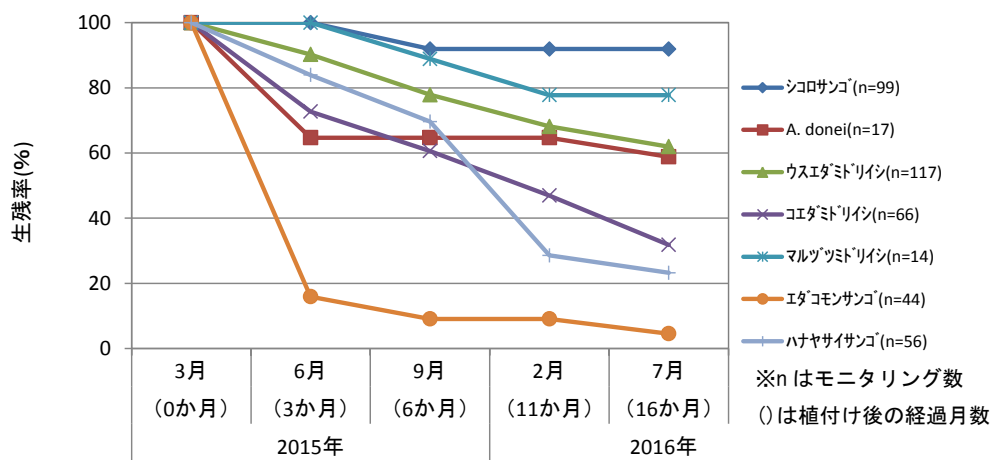


図 2.2.1-45 植付け種苗の生残率 (種類別、2014 年度植付け)

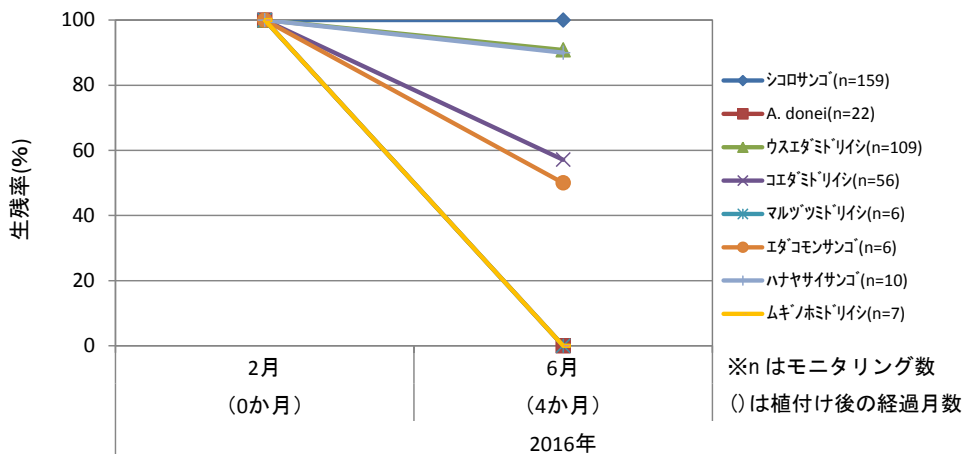


図 2.2.1-46 植付け種苗の生残率（種類別、2015 年度植付け）

#### ウ. 固着率

岩盤への固着率を 2012 年度に植付けた種苗についてみると、2013 年 11 月（植付け 8 か月後）から増加し、2016 年 2 月（植付け 23 か月後）には 80%であった（図 2.2.1-48）。岩盤への固着がみられなかった群体には、長径が 20cm 程度に成長した比較的大型の群体も含まれていた。2013 年 3 月に植付けた種苗は、ウスエダミドリイシと *A. donei* であったが、これらの種類は光の当たる群体上部で上方向への成長が顕著にみられたものの、陰になった群体下部の成長は乏しく、今後も岩盤への固着は難しいと考えられた。そのため、固定の強化が必要と判断し、2014 年 3 月の植付けからバネだけでなく、ネジも併用することとした（図 2.2.1-47）。2014 年度に植付けた種苗の固着率は比較的早期 18 か月後に上昇していた。これは、岩盤への固定方法の違いによって、固着率の差が生じたものと考えられた。

種類別にみると、2013 年度に植付けた種苗の岩盤への固着率は、2014 年 9 月（植付け 6 か月後）から増加し、2016 年 2 月（植付け 23 か月後）には最も高い固着率(85%)を示した。最も固着率が高かったのはシコロサンゴ、次いで *A. donei*、コエダミドリイシの順であった（図 2.2.1-49）。2014 年度植付け群においてもシコロサンゴの固着率が高く、次いで *A. donei*、ウスエダミドリイシが比較的高い固着率を示した。

ミドリイシ属は上方への著しい成長がみられたが、シコロサンゴは放射状の成長がみられた。そのためシコロサンゴはミドリイシ属と比べ、岩盤への固着が速かったと考えられた（図 2.2.1-52）。

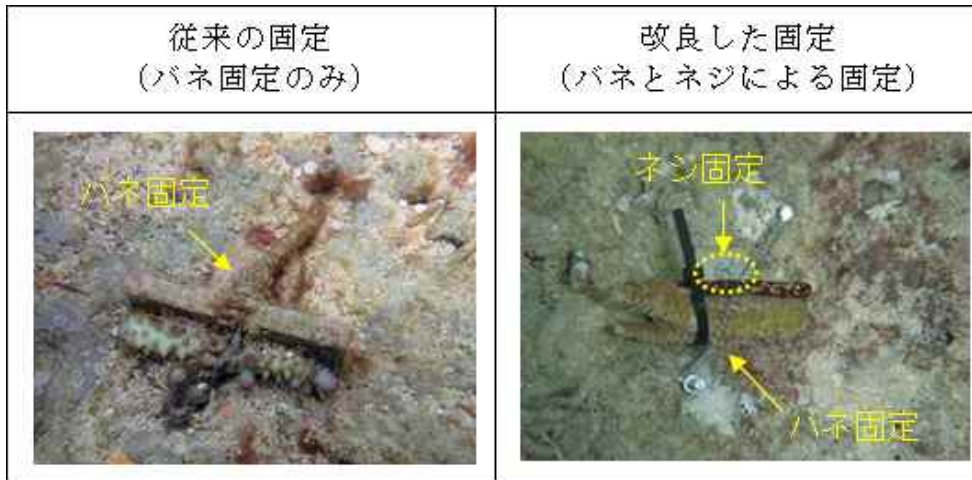


図 2.2.1-47 バネとネジによる種苗固定状況

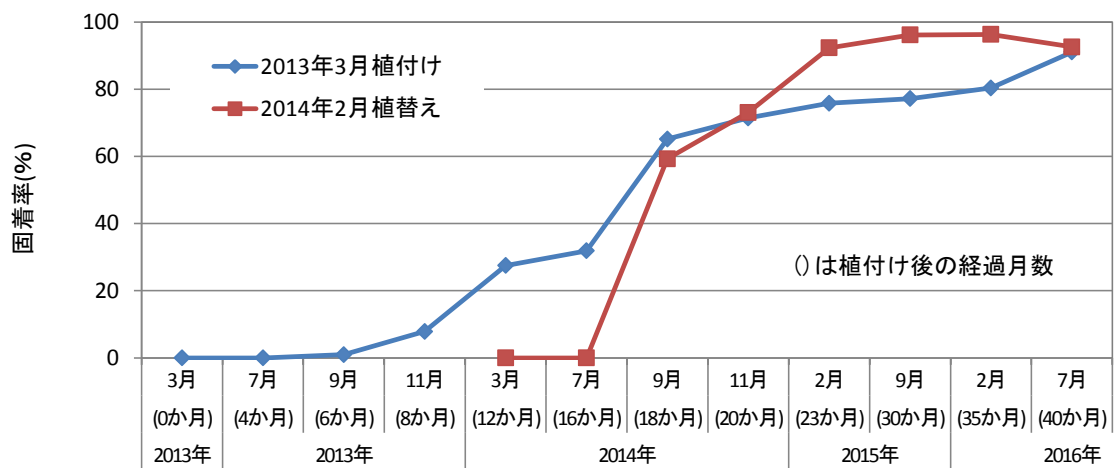


図 2.2.1-48 2012 年度に植付けた種苗の固着率

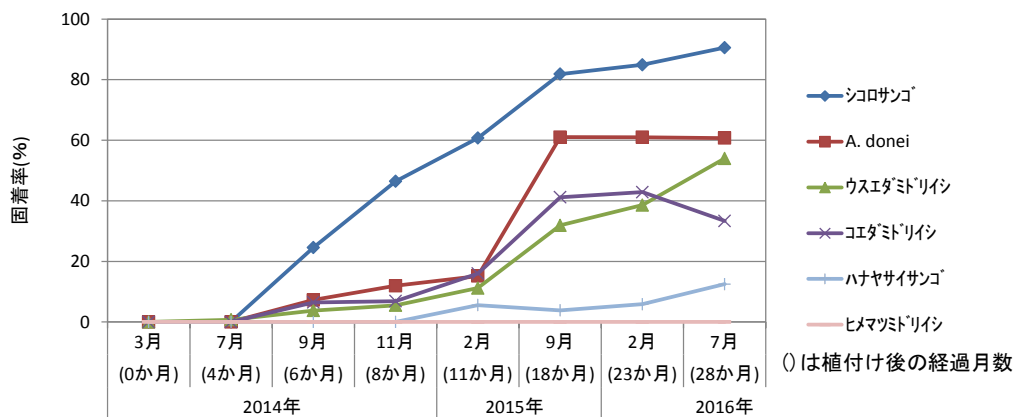


図 2.2.1-49 2013 年度に植付けた種苗の固着率 (種類別)



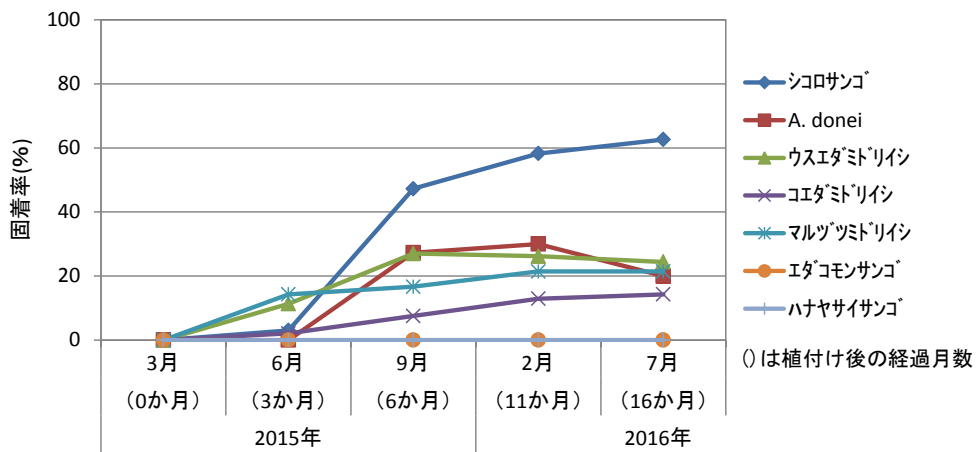


図 2. 2. 1-50 2014 年度に植付けた種苗の固着率 (種類別)

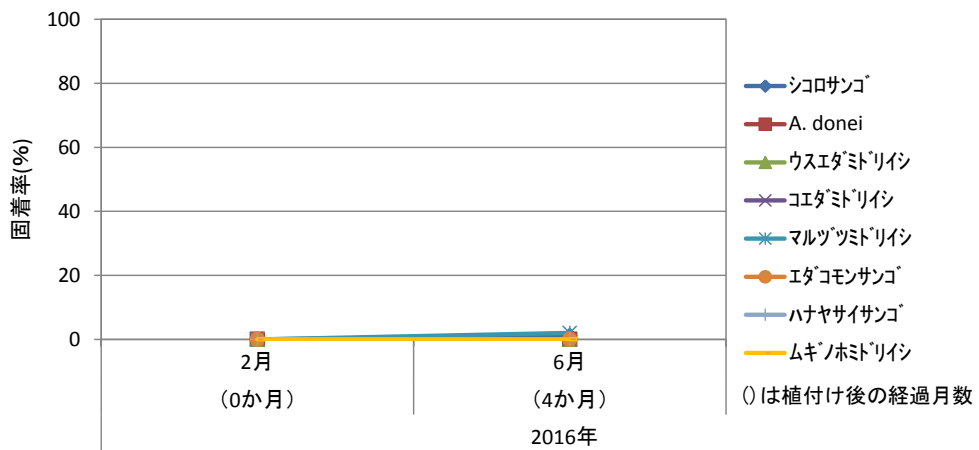


図 2. 2. 1-51 2015 年度に植付けた種苗の固着率 (種類別)

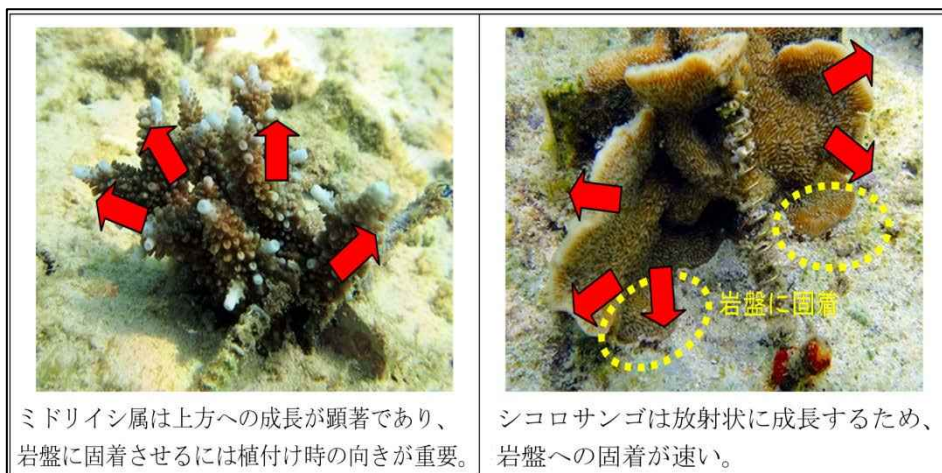


図 2. 2. 1-52 ミドリイシ属とシコロサンゴの成長パターンの違い

#### エ. 植付け種苗の融合

2012 年度植付けサンゴの成長にともない、近傍のウスエダミドリイシ群体同士の融合がみられ始めたが、融合部における死亡等はみられなかった（図 2.2.1-53）。

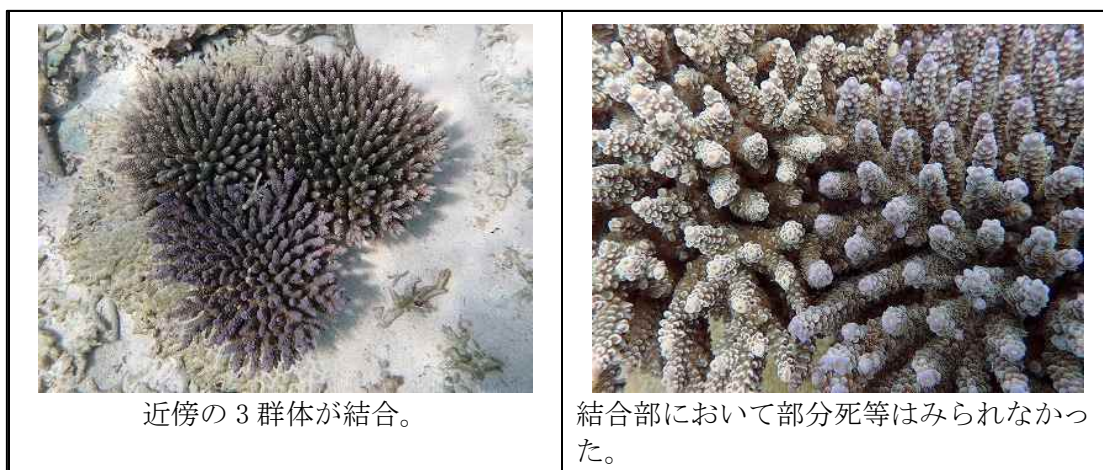


図 2.2.1-53 融合したウスエダミドリイシの群体（2016年2月）

#### オ. 植付け種苗の産卵確認

2013年3月に植付けたウスエダミドリイシ群体は、2016年6月に生殖巣の発達を確認した（図 2.2.1-54）。バンドルの放出の瞬間は確認できなかったが、生殖巣の状況から産卵していたと考えられ、植付けサンゴが再生産に貢献したと考えられた。

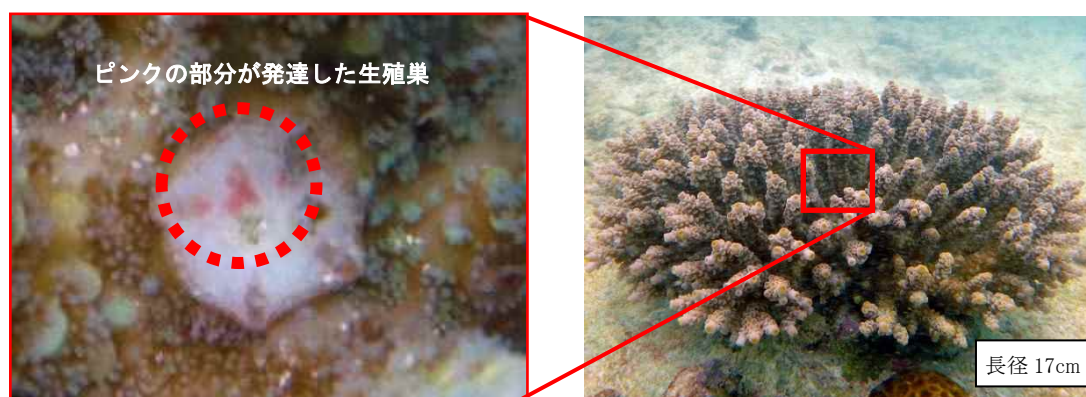


図 2.2.1-54 ウスエダミドリイシの生殖巣の発達状況（2015年6月23日）

## カ. 群集の創生

植付け群体の成長に伴い、2013 年度植付けのウスエダミドリイシでは、被度が高くなり、サンゴ礁域の景観を示した（図 2.2.1-55）。



図 2.2.1-55 植付けたウスエダミドリイシ群生域の概観

## 6) 考察

### ① 生残率

2016 年度のモニタリング調査の結果によると、異なる年度（2013、2014、2015 年度）に植付けたグループにおいて、いずれもシコロサンゴの生残率が高く、次いで、年度によって多少のバラツキはあるが *A. donei*、ウスエダミドリイシの生残率が高かった。シコロサンゴは一般に礁池の浅所に分布するため、水温の変動に強く、白化に対する高い耐性能力をもつ種とされている（中村 2012）。そのため、本海域のような浅所における植付け事業に関して適切な種であったと考えられる。ウスエダミドリイシは、礁池・礁湖から礁斜面まで様々な環境に生息する種で、幅広い環境耐性を有すると考えられ、植付けに適した種であった。

一方、低い生残率を示したのはコエダミドリイシ、ハナヤサイサンゴ、ヒメマツミドリイシなどであった。いずれも枝状の種であるため、漂砂礫による影響を受けやすく、損傷による死亡が生残率低下の原因と推定される。これらの種類を植付ける場合には、漂砂礫の影響を避ける方策を検討する必要がある。

### ② 被度

2012 年度に植付けた種の大半はウスエダミドリイシであるが、高水温による白化のため、35 か月後には生残率は 11% に低下した。しかし、被度は白化後、急速に回復し、35 か月後、7.2% に達した。このままの生残率で成長した場合、図 2.2.1-40～2.2.1-42 の被度の経年的な推移の状況からみると、移植 5 年後に

は、被度は 10%を超えると予想された。他の年度に植付けた種苗についても 2016 年の白化前までは順調な被度の向上が認められた。

### ③ 固着率

固着率は 2012 年度に植付けた種苗についてみると、23 か月後には、シコロサンゴが 85%という極めて高い値を示した。シコロサンゴは群体が葉状に広がるため、接地部分から次第に広がって強固に固着していったと考えられる。

一方、ハナヤサイサンゴとヒメマツミドリイシは固着率が低く、本海域における植付けには不適な種と考えられる。

### ④ 再生産

2013 年 3 月に植付けたウスエダミドリイシが 3 年 3 か月後 (2015 年 6 月) に成熟卵を有していることを確認した。阿嘉島 (Iwao et al. 2010) や和歌山県串本町 (御前 2008) の研究例では、それぞれ長径約 20cm、約 17cm で産卵したことが報告されている。本事業で観察されたウスエダミドリイシは同等の大きさになった群体であり、植付け 3 年後以降には、再生産が開始され、幼生の供給が行われる可能性があると考えられる。

### ⑤ サンゴ礁の生物群集の創生

植付けの目標は種苗の再生産だけでなく、群集の創生によるすみかの提供、海中景観の創造もあげられる。

グレート・バリア・リーフにおける研究例 (Vytopil and Willis 2001、Stella et al. 2010) をみると、単純な枝状の種では小型の共生動物はほとんど生息しておらず、多数の分枝によって形作られる樹枝状群体のハナヤサイサンゴ科はコリンボース状群体のミドリイシ属に比べて多くの共生動物が記録されている。これらは、サンゴ群体が形成する生息空間がより複雑で、カニ類等の生息動物にとって安全であることに起因するとされている。

この例によると、サンゴ礁に依存する魚類や底生動物等の生息場所としての機能は、群体内の生息空間の複雑性に左右されると考えられることから、ハナヤサイサンゴ、ウスエダミドリイシが優位であり、これに比べると、コエダミドリイシ、ヒメマツミドリイシ、シコロサンゴがやや劣っていると考えられる。

### ⑥ 植付け種苗の評価

上記の生残率、固着率、群集の創生を指標とし、サンゴの種別の植付けに関する適性を総合的に評価すると定性的には表 2.2.1-14 のようになる。



表 2.2.1-14 サンゴ種別種苗適正評価

項目/種名	ハナヤサイ サンゴ	コエダ ミドリイシ	ヒメマツ ミドリイシ	ウスエダ ミドリイシ	<i>A. donei</i>	シコロ サンゴ
生残率	△	△	×	○	○	○
固着率	×	△	×	△	○	○
群集創生	○	×	×	○	△	×
総合評価	△	△	×	○	○	○

凡例) ○：良好、△：中程度、×：不適

これは多分に定性的な評価であるが、当該海域では、ウスエダミドリイシ、*A. donei*、シコロサンゴが良好な適正種となり、次いでハナヤサイサンゴ、コエダミドリイシであり、ヒメマツミドリイシは種苗としてはあまり適していないという評価になった。

今後、サンゴ礁の保全、再生を図るに当たっては、対象とする海域の環境を踏まえ、また、その海域において過去に繁茂していた種を考慮し、上記の種苗適正種を念頭において対象種を選定するべきであると考えられる。



### (3) 座間味村海域での植付け事業（サンゴの移設）

#### 1) 事業の概要

座間味村海域におけるサンゴの移設による植付け事業に用いた種苗は、安室島東側海域に放置され、撤去予定であった定置網の固定用ロープに着生していたヘラジカハナヤサイサンゴを主とする複数種の群体である。採取した群体を海底において中間育成した後、嘉比島及び安慶名敷島沿岸の岩礁域に植付けた。植付け実績は下表のとおりであり、2013年度から2016年度の期間中、1,885本を総面積752m<sup>2</sup>（約0.1ha）に植付けた（表2.2.1-15）。

2016年10月のモニタリング結果によると、後述するように植付け年度や植付け箇所ではばらつきがあり、2013年度に植付けたグループの生残率は21%、2014年植付け群の生残率は74%、2015年度植付け群では64%であった。

植付け後2.5年を経過した2013年度植付け群の生残率が20%程度まで低下した理由は、ヘラジカハナヤサイサンゴは礁縁の波あたりの強い場所を好む種であるため、本種にとって植付け海域が過度に静穏な環境であり、環境への順応が不十分であった可能性が考えられる。

表 2.2.1-15 座間味村海域における移設によるサンゴ植付け実績

年度	植付け本数					植付け面積 (m <sup>2</sup> )
	ヘラジカハナヤサイサンゴ	ハナヤサイサンゴ	ハナヤサイサンゴ属	その他	計	
2013	1,311	69	25	5	1,410	512
2014	117	0	3	0	120	60
2015	205	0	0	0	205	105
2016	150	0	0	0	150	75
計	1,783	69	28	5	1,885	752

注) 採取した891群体のうち、大型群体については植付け固定が困難なため、適宜断片化して植付けた。そのため、本表では、植付け本数は採取時のものより多くなっている。

#### 2) 海域環境の状況

植付けに採用した種苗を採取したサンゴの親株は、安室島東北岸のリーフの外側の海中に放置され、垂下していた定置網の固定用ロープ等の漁具に着生していたものである（図2.2.1-57）。

このサンゴをロープごと切り離し、いったん安慶名敷島の北部、西部の2箇所に設けた中間育成場所（ともに水深約3m）に移設した（図2.2.1-56）。その場所で、後述する方法で植付け種苗用の断片や群体を準備し、図2.2.1-60に示した植付け地点に移設した。

植付け地点は、現状ではサンゴ類の生息被度が比較的低いものの、岩盤への死サンゴの分布状況から、過去にサンゴ礁が発達していた場所と考えられ、植付け場所として適切であると判断された地点である。植付け箇所の水深は3m前後の岩盤域である。



図 2.2.1-56 種苗生産地点 (赤丸：定置網、橙丸：中間育成区)

### 3) 植付け種苗の生産

安室島東にある撤去予定の漁業用定置網の固定用ロープには、複数種のサンゴ群体が付着していた。そこで、定置網撤去により遺棄されてしまうサンゴ891群体を2013年6~7月に定置網ロープから採取した。採取した群体は、安慶名敷島北部及び西部の中間育成区で中間育成を行った後、植付け種苗として活用した(図2.2.1-56)。

#### ① 種苗の採取

サンゴが付着した定置網ロープの固定部を切断し、エアバッグを複数用いて、海面から吊り下げ、採取船近くまで牽引した(図2.2.1-57a)。定置網ロープは、船上への引き揚げが容易となるように2m程度に切断し、船上の生簀水槽に収容した(図2.2.1-57b)。

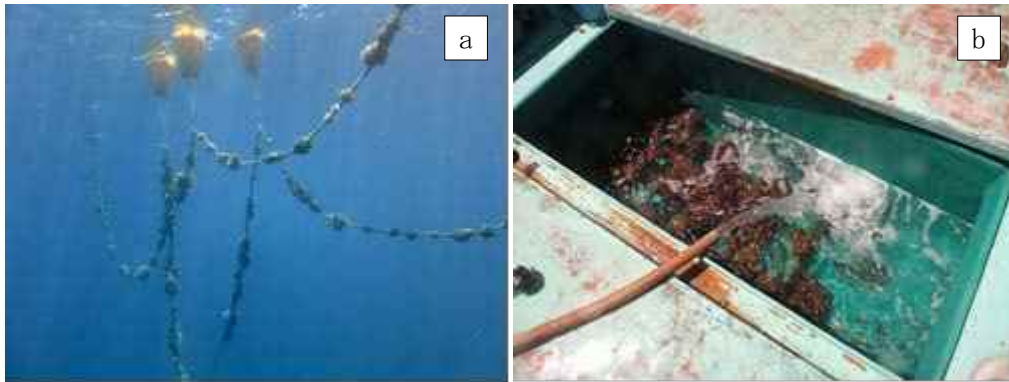


図 2.2.1-57 船舶で牽引中のサンゴ付着ロープ (a) と生簀への収容 (b)

## ② 種苗の中間育成

中間育成は、2013年7月から開始し、そのままの育成条件で成長をさせながら、2014年2月まで育成した。中間育成は棚上式と敷設式の2種類の施設を利用した。棚上式は、打設した鉄筋上にワイヤーメッシュ（10cm x 10cm）を固定し、その上に種苗を結束バンドで固定する方式である（図 2.2.1-58）。敷設式は、海底に鉄筋とワイヤーメッシュで囲った柵を設置し、その中にサンゴの親株を置いて、育成するものである（図 2.2.1-59）。収容した種苗の総数は棚上式施設で 250 群体（ヘラジカハナヤサイサンゴが 89.2%）、敷設式施設が 641 群体（ヘラジカハナヤサイサンゴが 90.2%）、計 15 種、891 群体（ヘラジカハナヤサイサンゴが 89.9%）であった。育成中、死亡した群体はほとんどみられなかった。

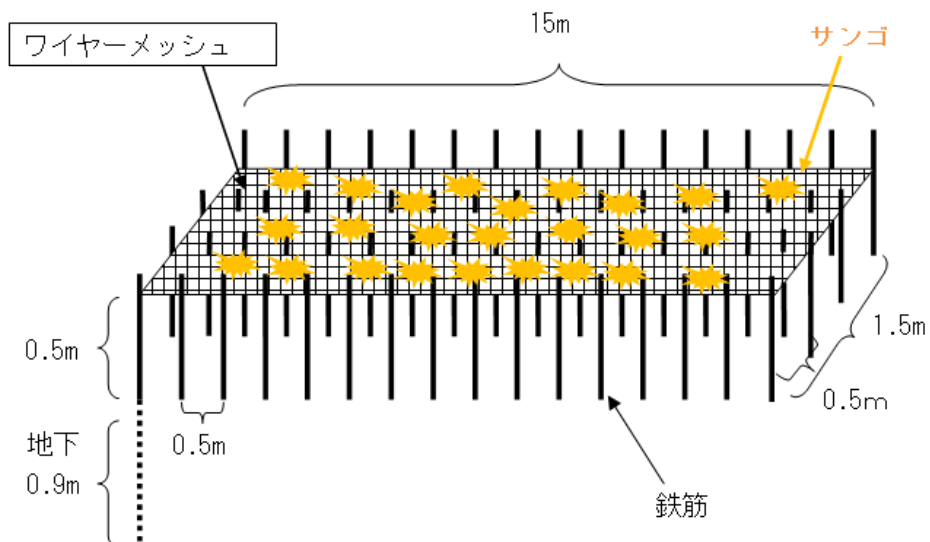


図 2.2.1-58 棚上式の中間育成施設に種苗を固定した様子

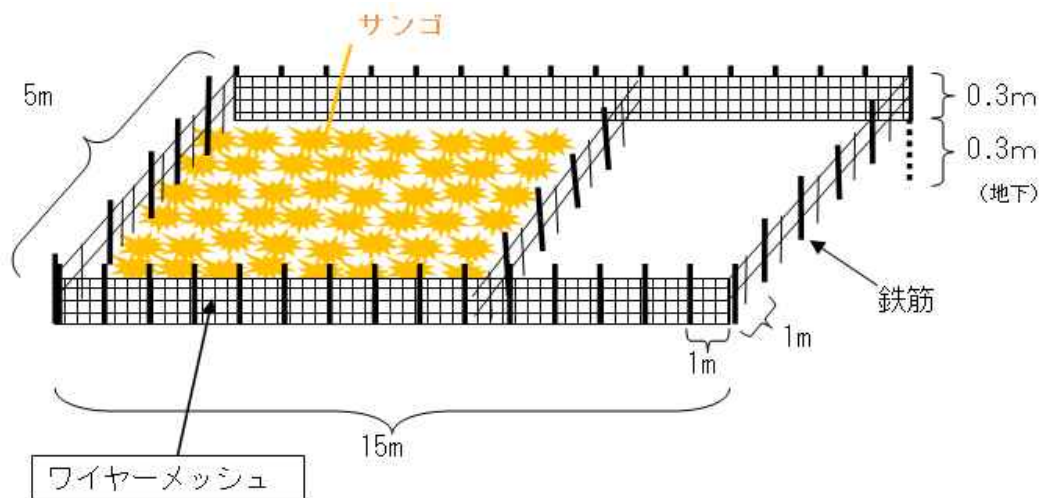


図 2.2.1-59 敷設式の間育成施設に種苗を設置した状況

#### 4) 種苗の植付け

##### ① 植付け手法検討

2013年7月、当該海域に適した植付け手法を検討するため、嘉比島周辺（図 2.2.1-60、St.1）において、図 2.2.1-61 に示す 7 通りの手法で試験を実施した。使用した種苗は主としてヘラジカハナヤサイサンゴの断片 151 本で、断片の大きさ長径は約 15cm であった。また、断片化せず、採取した状態のまま植付けた群体は長径 20cm 程度であった。このように用意したサンゴ種苗を、海底に設定した 3 枠内（3m×3m。A 枠：群体植付けのみ、B 枠：群体と断片植付けの混合、C 枠：断片植付けのみ、図 2.2.1-62）に、表 2.2.1-16 に示す数量を植付けた。なお、植付けの際、設置箇所の岩盤については、ワイヤーブラシ等を用いて付着藻類などの付着物を除去する清掃処置を行った。

植付け 1 か月後に実施したモニタリング調査の結果、断片化せずに植付けた種苗における生残率は 100%であったが、断片化した種苗では 18%、断片化していない種苗と断片を混合した種苗では 5%の流失があった。群体のままの植付けた種苗では流失がみられず、また部分死亡の程度も最も小さかったことから、植付け手法として、基本的に群体植付けを採用することとした。なお、ぐらつきがないように固定することが困難な大型群体については、固定可能となるサイズまで断片化することとした。ただし、この場合もむやみに小さく断片化することのないように配慮した。また、岩盤等への種苗の固定法としては、一般的に多く用いられている釘（コンクリート釘）と針金（針金を 2 本以上束ねて十字に固定）を用いる手法とした。



図 2.2.1-60 植付け地点

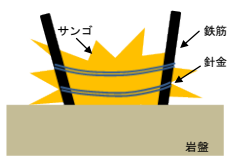
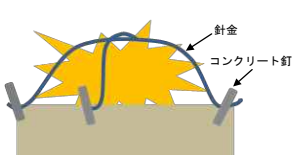
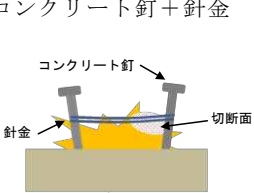
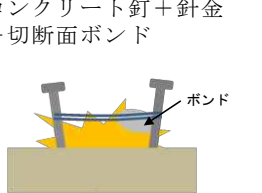
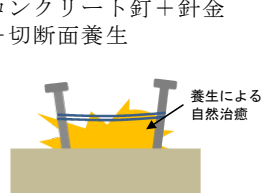
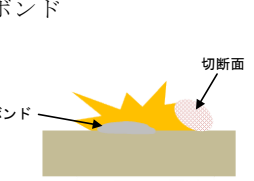
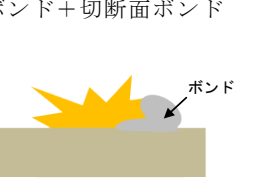
群 体 植 付 け	①鉄筋+針金		
	②コンクリート釘+針金		
断 片 植 付 け	③コンクリート釘+針金		
	④コンクリート釘+針金+切断面ボンド		
	⑤コンクリート釘+針金+切断面養生		
	⑥ボンド		
	⑦ボンド+切断面ボンド		

図 2.2.1-61 検討した植付け方法

(注記「切断面ボンド」とは、サンゴ片の切断面の肉質部を露出させないように水中ボンドで被覆したことを示す。  
「切断面養生」とは、切断面をそのままの状態で使用したことを示す。)



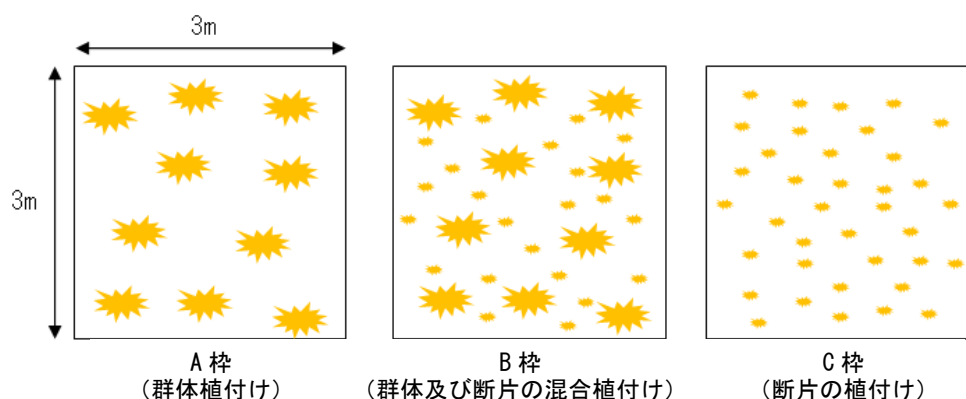


図 2.2.1-62 コドラート枠内の植付け概念図

表 2.2.1-16 手法別植付け数

植付け方法		数量			
		A枠	B枠	C枠	計
群体植付け	①鉄筋+針金	7	0	0	7
	②コンクリート釘+針金	5	13	0	18
	計	12	13	0	25
断片植付け	③コンクリート釘+針金	0	15	20	35
	④コンクリート釘+針金+切断面ボンド	0	0	20	20
	⑤コンクリート釘+針金+切断面養生	0	16	10	26
	⑥ボンド	0	1	21	22
	⑦ボンド+切断面ボンド	0	0	23	23
	計	0	32	94	126
計		12	45	94	151

(注:「切断面ボンド」とは、サンゴ片の切断面の肉質部を露出させないように水中ボンドで被覆したことを示す。「切断面養生」とは、切断面をそのままの状態で使用したことを示す。)

## ② 植付け

前述の植付け手法の検討結果を踏まえ、原則として、植付けは断片化しない状態の群体を植付けることとし、比較的大型の群体の一部を断片化することによって、植付け種苗の数量を増加させた。これを前述の St. 1~3 (図 2.2.1-60) において、群体のまま植付ける場合は 2 本/m<sup>2</sup>、断片化した種苗の場合は 7 本/m<sup>2</sup>程度、512 m<sup>2</sup>の岩盤に計 1,410 種苗植付けた (表 2.2.1-17)。植付けはコンクリート釘と針金を用いて行った。

表 2.2.1-17 試験植付け種苗数 (2013 年度)

種類 位置	ヘラジカハ ナヤサイサ ンゴ	ハナヤサイ サンゴ	左記以外の ハナヤサイ サンゴ属	アナサンゴ モドキ属	キクメイシ 科	計
St. 1	1,246	64	17	1	3	1,331
St. 2	38	2	5	0	0	45
St. 3	27	3	3	1	0	34
計	1,311	69	25	2	3	1,410

2013年度の事業成果を踏まえ、2014年度、2015年度にも継続して中間育成を行っていた群体及び断片の植付けを行った。2014年度は、St.1とSt.3において、120本（ヘラジカハナヤサイサンゴ97.5%）の種苗を60㎡の範囲に植付けた。2015年度も同位置で、205本のヘラジカハナヤサイサンゴを105㎡の範囲に植付けており、2016年度も150本のヘラジカハナヤサイサンゴを75㎡の範囲に植付けた（表2.2.1-18）。

表 2.2.1-18 本植付け種苗数

種類 年度	ヘラジカハ ナヤサイサ ンゴ	ハナヤサイ サンゴ	左記以外の ハナヤサイ サンゴ属	アナサンゴ モドキ属	キクメイシ 科	計
2014	117	0	3	0	0	120
2015	205	0	0	0	0	205
2016	150	0	0	0	0	150
計	472	0	3	0	0	475

#### 5) 植付け種苗のモニタリング調査結果

2013年度、2014年度、2015年度に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、の計6回、モニタリングを行った。モニタリングの抽出量は、2013年度分が植付け数1,410本に対し314本、2014年度が植付け数120本に対し93本、2015年度が植付け数205本に対し139本であった（表2.2.1-19）。

表 2.2.1-19 モニタリング対象とした群体数

植付け年度	植付け地点	植付け手法別			
		植付け群体数		モニタリング群体数	
		群体	断片	群体	断片
2013年	St.1	727	604	158	140
	St.2	45	0	9	0
	St.3	34	0	7	0
	小計	806	604	174	140
2014年	St.1	52	0	52	0
	St.3	68	0	41	0
	小計	120	0	93	0
2015年	St.1	56	0	40	0
	St.3	149	0	99	0
	小計	205	0	139	0
合計		1,735		546	

### ① 植付け種苗の生残、成長

2013年度に植付けた種苗の植付け1か月後の調査によると、対象とした314種苗の生残率は97%で、被度4.2%、面積4.67 m<sup>2</sup>であった。その後、植付け2か月後から8か月後までは流失があり、大きく低下したが、それ以降は穏やかな変化となり、2015年10月(21か月後)に24%、2016年10月(33か月後)には21%と大きな変化はみられなかった(図2.2.1-63)。植付け当初の比較的大きな生残率の低下は、波浪の影響による流失が原因であると考えられる。

2014年度に植付けた種苗は、2016年10月にも74%が生残していた。

2015年度に植付けた種苗では、2016年10月に63%の生残がみられた。

2016年の観察では、植付けサンゴに大きな白化は認められなかったが、群体種苗に比べて断片化種苗のほうが、部分的に白化している状況が比較的頻繁にみられた。なお、群体全部が白化した種苗は観察されなかった。

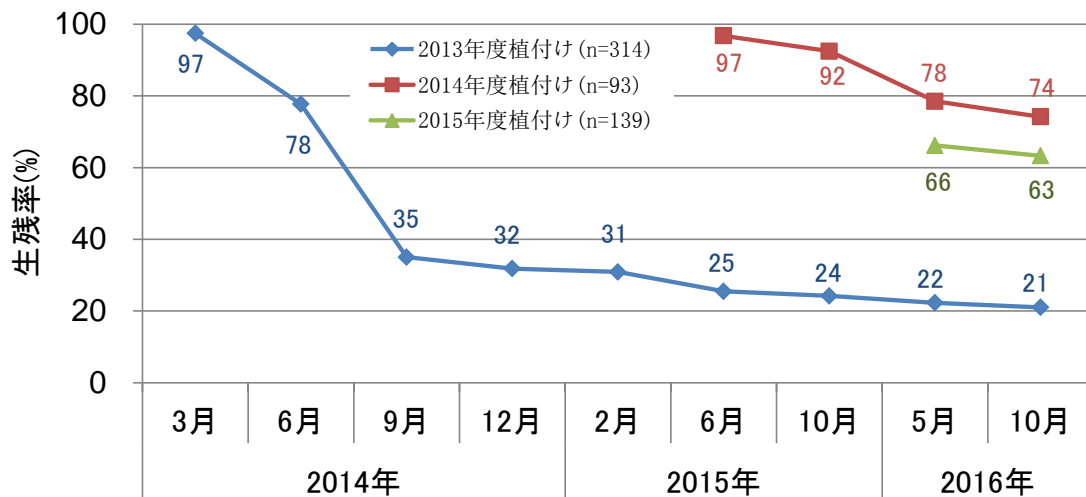


図 2.2.1-63 植付け種苗の生残率

植付け箇所の被度や植付け種苗の面積(投影面積)は、2016年のモニタリングの結果では、サンゴ群落としての被度の上昇や群体の成長は明瞭にはみられなかった(図2.2.1-64、図2.2.1-65)。

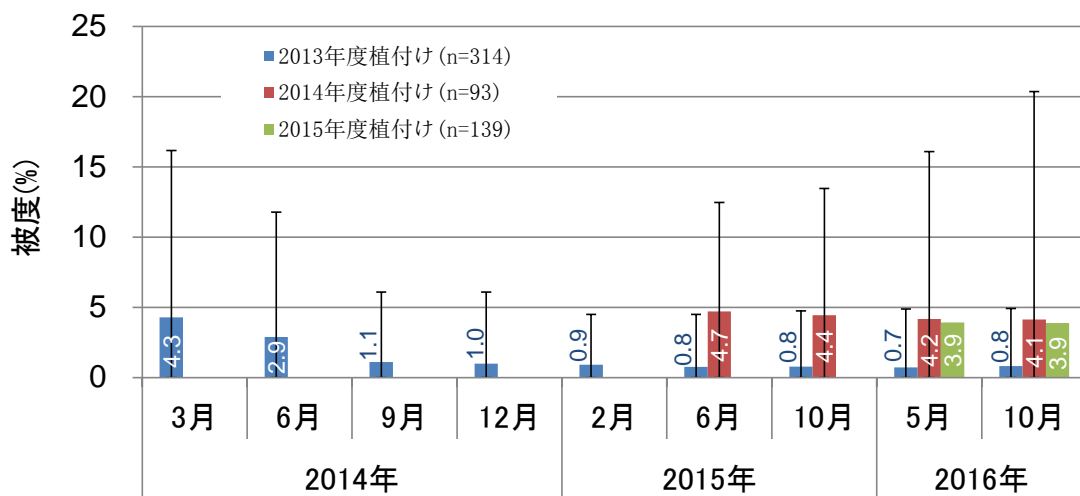


図 2.2.1-64 植付け種苗の被度 (バー：最大と最小)  
(2015年度に植付けた種苗については全体の被度のみを示している)

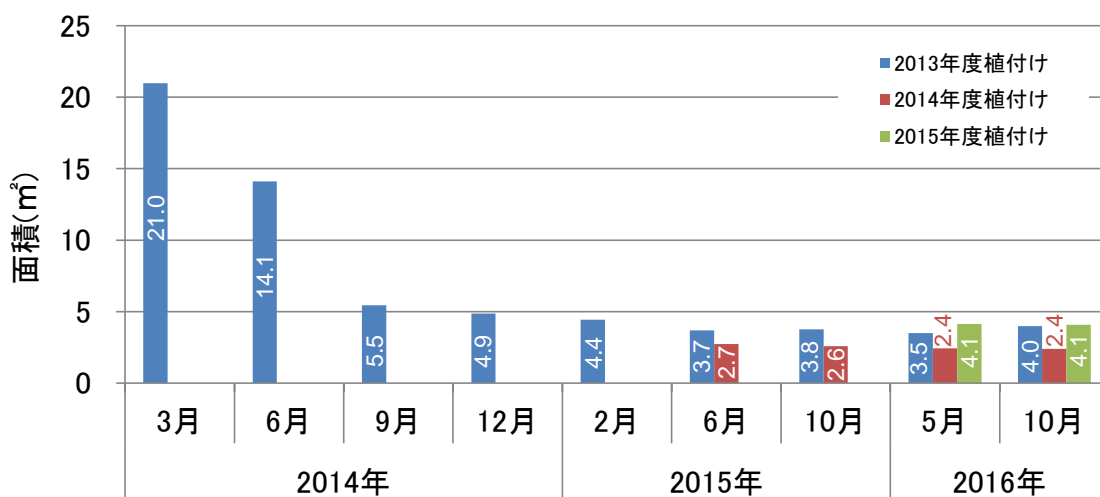


図 2.2.1-65 植付け種苗の面積

## ② 植付け種苗の岩盤への固着状況

植付けた種苗の群体が成長し、その一部が岩盤に達して固着すると、波浪によって動揺することが無くなり、種苗が流出する割合も低下することが予想される (図 2.2.1-66)。種苗の岩盤への固着率 (生存種苗のうち、岩盤へ群体が固着した種苗の割合) は、2014年度に植付けた種苗が2016年10月に90%、2015年度に植付けた種苗は83%と上昇しているが、2013年度に植付けた種苗では2016年10月でも26%であった。これは、2013年度の植付けに際して、波浪に対する対策や植付け基盤である岩盤の付着生物等の除去処理などの対策が不十分であったためと考えられる (図 2.2.1-67)。

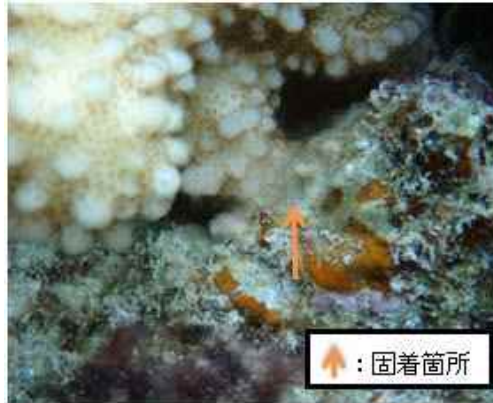


図 2.2.1-66 サンゴの固着状況

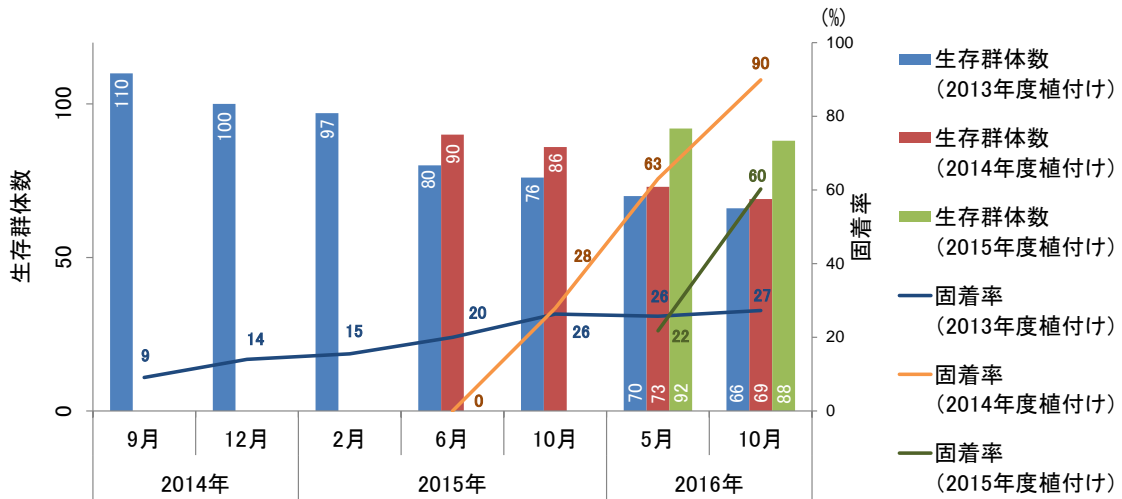


図 2.2.1-67 植付け種苗の生存群体数と固着率

6) 考察

このように、慶良間海域の群体移植事業では、2013 年度に植付けた種苗の生残率が後の年度の結果に比べて低く、岩盤への固着率も 2013 年度に植付けた種苗が低率であった。本海域での群体として移植した主な種であるヘラジカハナヤサイサンゴは、礁縁の波あたりの強い場所に生息する種であるため、本事業で植付けた場所は本種にとってやや静穏過ぎる環境であった可能性があり、初期の生残率の低下は、植付け環境に対してサンゴ自体の順応が不十分であったとも考えられる。米領サモアで本種を 2 か所の異なる環境に植付けて成長を比較した研究では、水温が高くても潮通しの良い環境に植付けた群体の成長量が良好であったことが報告されている (Smith et al. 2008)。

また、岩盤への固着率が低率であった場合があることに関して、モルディブにおける別途の研究 (Clark and Edwards 1995) では、イボハダハナヤサイサンゴ



(ハナヤサイサンゴ科でヘラジカハナヤサイサンゴの近縁種)を含む5属のサンゴを礁原に移設し、岩盤への固着状況を比較した結果、ほとんどの種苗は16か月以内に固着し、25%が植付け後7か月以内に消失したものの、その後の消失は5%に過ぎなかったことが報告されている。

これらのことから、ヘラジカハナヤサイサンゴを種苗として移植を進めるにあたっては、海水流動の良好な場所を植付け場所を選定するほうがよいが、反面そのような場所では流失の危険性が高まると考えられるため、波浪等の影響によって種苗が流失してしまわないような固定方法を採用することが重要であると考えられる。

#### (4) 植付け海域における生物の棲込状況に関する検討

##### 1) 検討の概要

恩納村海域及び読谷村海域の移植地では、植付けたサンゴの成長に伴うサンゴ礁生態系の回復、保全に関する基礎データの蓄積を目的として、魚類や底生動物の棲込状況（蛸集状況）を調査した。

調査にあたっては、サンゴ移植地内に 5m×5m 若しくは 1m×1m 方形枠の調査定点内のサンゴ類、海藻草類、大型底生動物について被度、出現種及び個体数等を記録し、さらに周辺を遊泳する魚類を記録した。

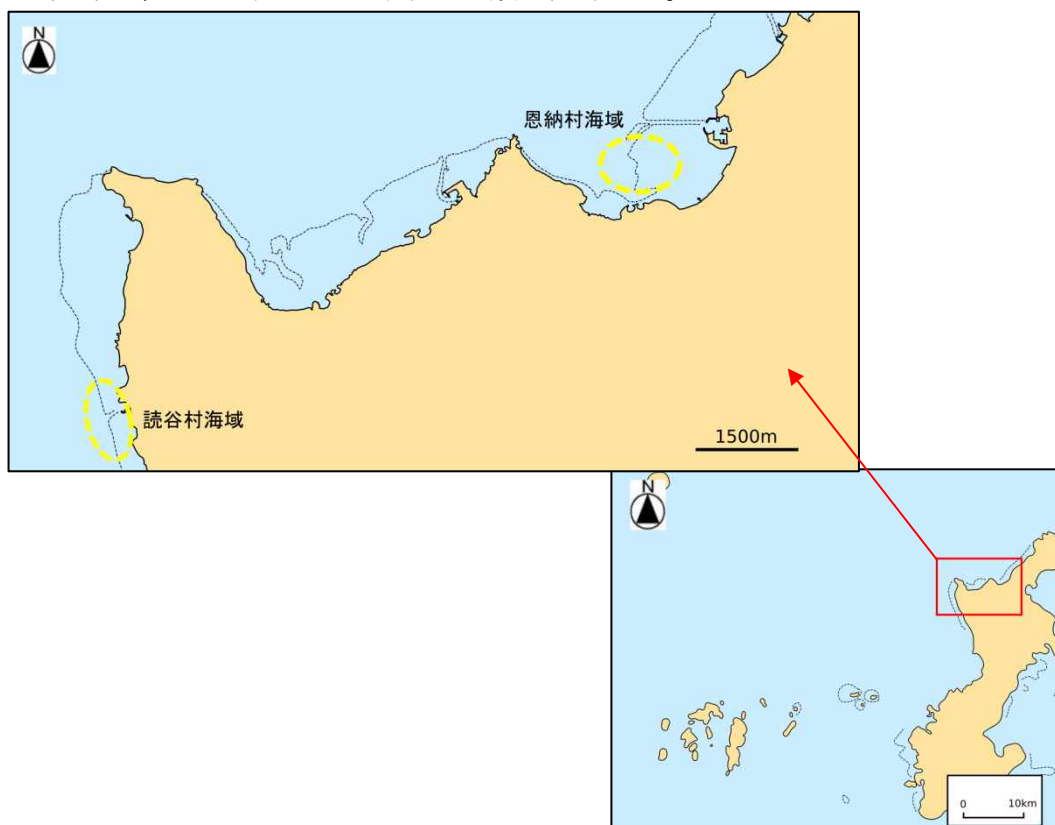


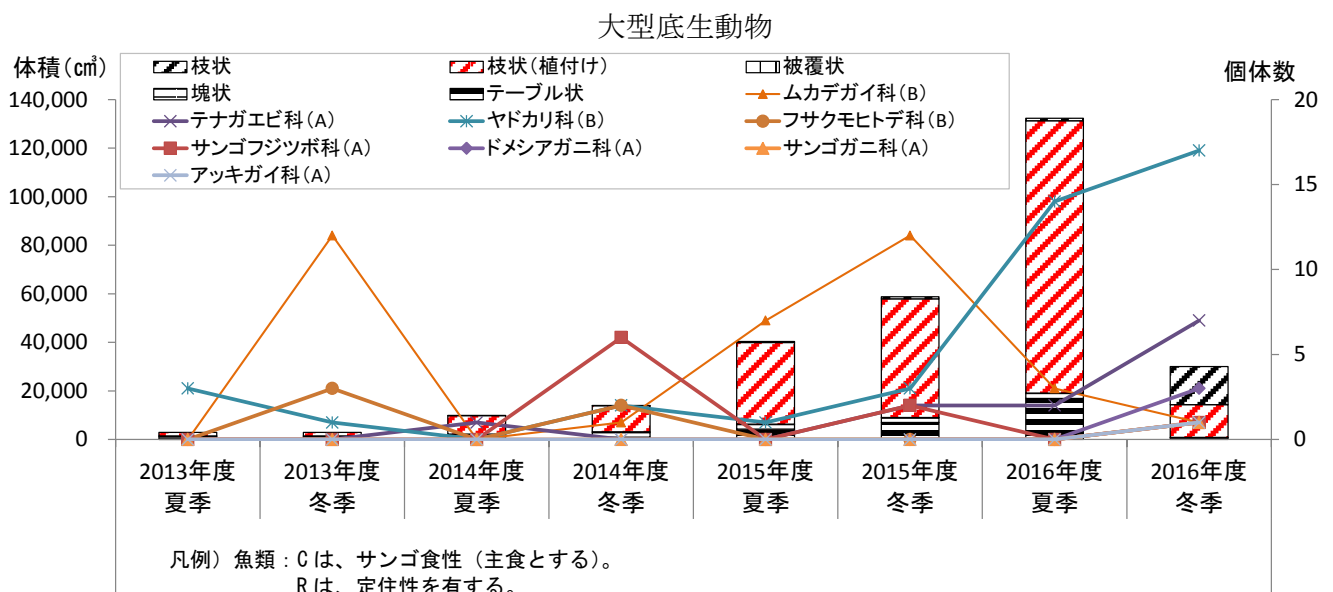
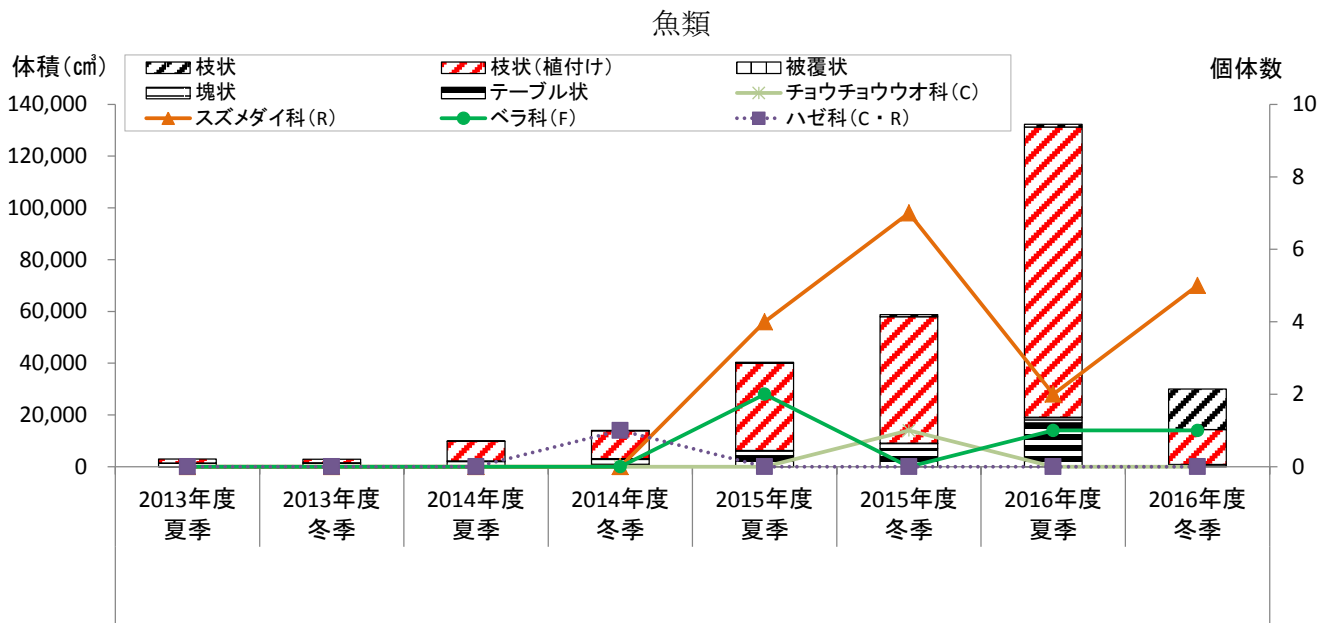
図 2.2.1-68 調査地点図（上：恩納村・読谷村海域、下：広域図）

##### 2) 検討結果

調査の結果は、全体では生物の棲込が著しいという状況ではないことを示していた。ただし、恩納村海域及び読谷村海域の植付け種苗の成長が比較的順調な地点をみると、以下のような、サンゴ群集の成長に伴う魚類や底生動物の増加の傾向がみられ、サンゴ群集の成長に伴うサンゴ礁生態系における生物量、及び生物多様性の向上が示唆された。

- ・恩納村海域、読谷村海域ともに、植付けを行ったミドリイシ属のサンゴは 2016 年度夏季まで順調に成長した（図 2.2.1-69、図 2.2.1-70）。

- 植付け後、2～3年経過後からサンゴの体積が増加するに従い、季節変化はあるものの、恩納村海域ではスズメダイ科やムカデガイ科、ヤドカリ科、読谷村海域ではスズメダイ科やイソギンポ科、テナガエビ科の個体数が増加した（図 2.2.1-69、図 2.2.1-70、折線グラフ参照）。
- 上記の魚類や底生動物は、主にサンゴの間隙に生息する種であることを考慮すると、両海域に植付けた枝状ミドリイシ属の成長により、これらの魚類や底生動物の生息空間が拡大したことにより個体数が増加した可能性が考えられた。
- 上記以外の魚類や底生動物については、サンゴの成長との関係は認められなかった。



凡例) 魚類: Cは、サンゴ食性(主食とする)。

Rは、定住性を有する。

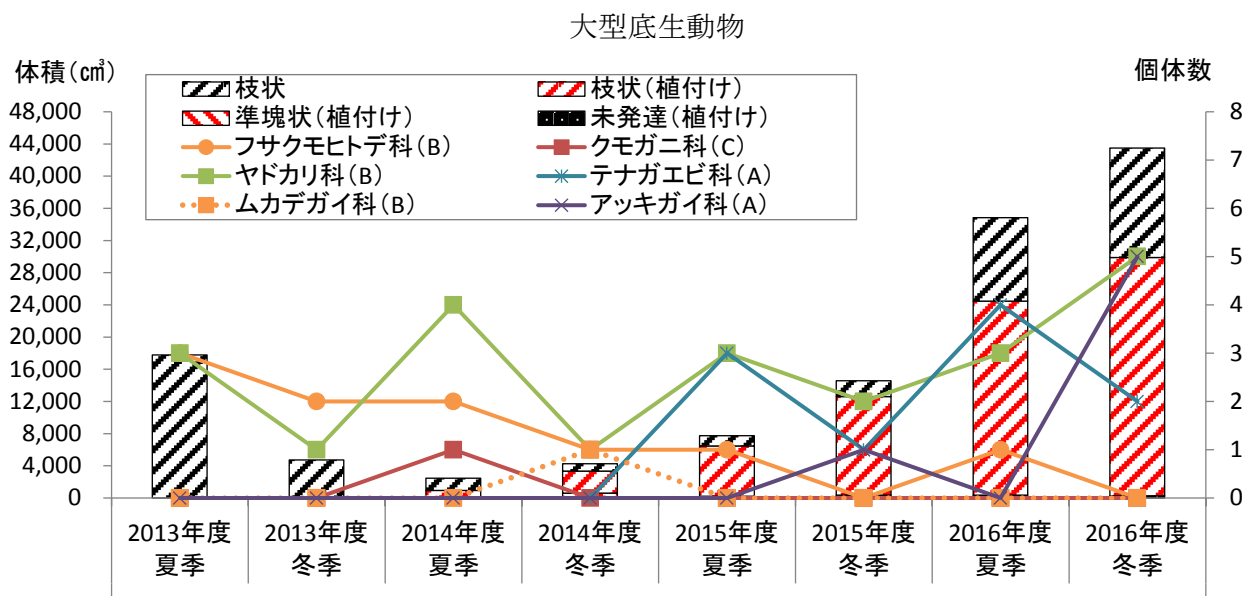
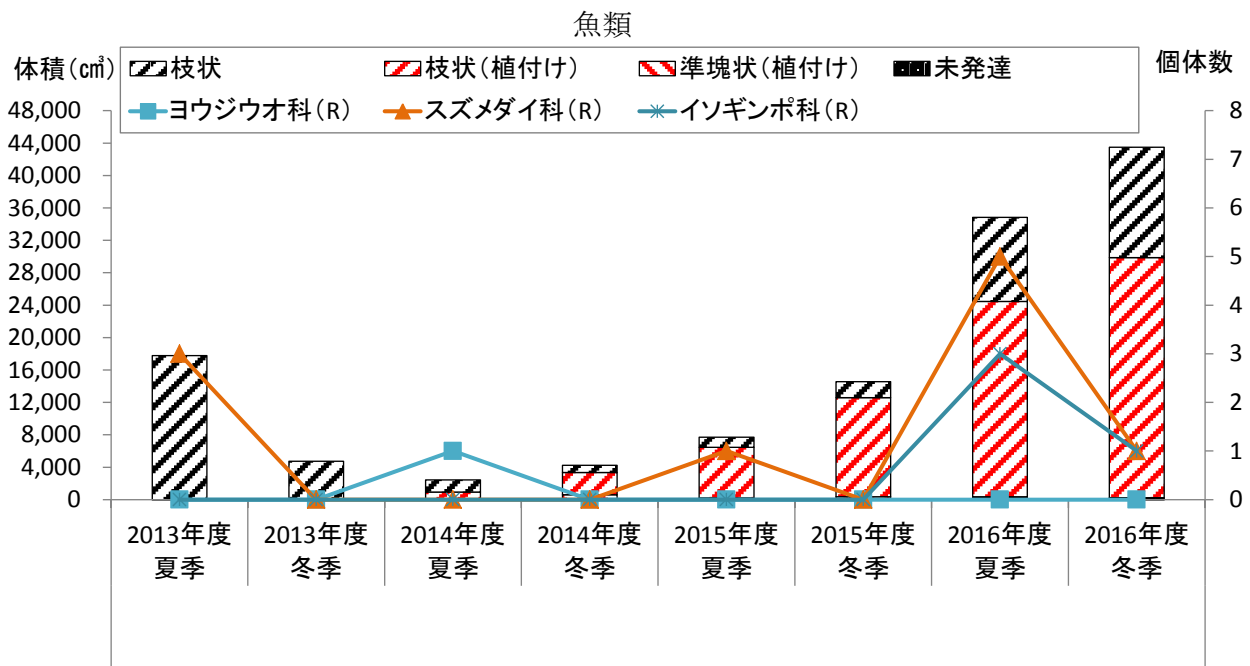
Fは、任意・選択的なサンゴ食性を示す。

大型底生動物: Aは、ほぼ完全にサンゴ上若しくは枝内・内部で見られる。又は、サンゴのみ捕食する。

Bは、サンゴ上若しくは枝内で見られる。又は、サンゴを捕食する場合がある。

Cは、サンゴ上若しくは枝内で多くみられる。

図 2.2.1-69 恩納村海域におけるサンゴの大きさの変化とサンゴ礁に依存すると考えられる生物の変化 [恩納村海域で調査を行った1×1m 方形枠の一例]



凡例) 魚類: Rは、定住性を有する。  
 大型底生動物: Aは、ほぼ完全にサンゴ上若しくは枝内・内部で見られる。又は、サンゴのみ捕食する。  
 Bは、サンゴ上若しくは枝内で見られる。又は、サンゴを捕食する可能性がある。  
 Cは、サンゴ上若しくは枝内で多く見られる。

図 2.2.1-70 読谷村海域におけるサンゴの大きさの変化とサンゴ礁に依存すると考えられる生物の変化 [読谷村海域で調査を行った1×1m 方形枠の一例]