

## 2.2.2 有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

本事業では、水槽内において有性生殖法により種苗生産を行い、得られた稚サンゴを海域にて中間育成し、十分に大きくなった群体を海域に植付けることによりサンゴ群集を再生させる試みも実施した。ここでは、本事業において実施した有性生殖法による種苗生産、海域での中間育成、実海域への植付けについて、実施内容及び成果を示す。

#### 1) 実施概要

サンゴ種苗生産の設備の整った施設において、中間育成試験の実施のために必要となる稚サンゴ種苗を大量に生産するとともに、生産した種苗を中間育成海域のある恩納村まで輸送した。前期中間育成は、恩納村地先に設置されたタカセガイ育成礁<sup>1</sup>にて実施した。約1年間の前期中間育成のあと、静穏な海域において、養殖棚を用いて約半年から1年間の後期中間育成を行ったのち、恩納村海域のサンゴ礁にサンゴを植付けた。これらの作業内容の概要を図 2.2.2-1 に示す。

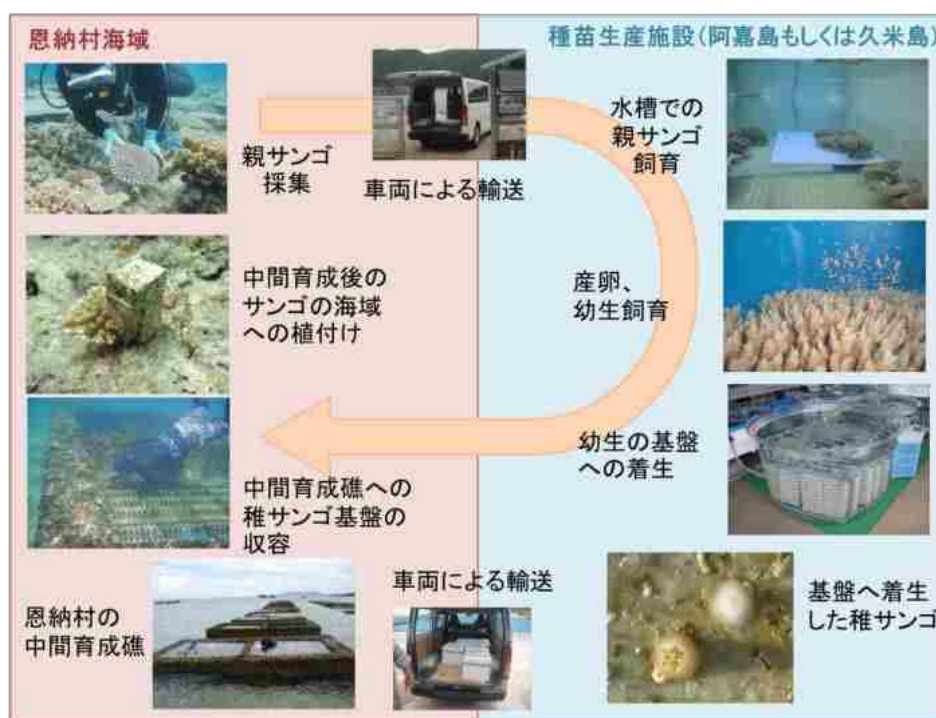


図 2.2.2-1 サンゴ種苗生産及び植付け

<sup>1</sup> タカセガイ育成礁の詳細については、2.2.2 (1) 3) タカセガイ育成礁を用いたサンゴ種苗の中間育成を参照

## 2) 種苗生産

有性生殖法によるサンゴの種苗生産は、1990 年頃より一般財団法人熱帯海洋生態研究振興財団、阿嘉島臨海研究所で研究が行われ、2004 年に世界で初めて稚サンゴの生産に成功した。その後、様々な研究機関等で大量種苗生産についての技術開発が進められている。これらの研究及び技術開発により、有性生殖法によるサンゴ種苗生産の基礎は概ね確立され、その技術は以下のマニュアルにまとめられている。

- サンゴ礁修復に関する技術手法—現状と展望. 大森 信 (編著) 環境省自然環境局、2003 年 11 月  
(<http://sekiseisyouko.com/szn/pdf/report/RSTR2003a.pdf>)
- Reef Restoration Concepts and Guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty. Edwards, A.J., Gomez, E.D.(2007)  
([http://www.gefcoral.org/portals/25/workgroups/rr\\_guidelines/rrg\\_fullguide.pdf](http://www.gefcoral.org/portals/25/workgroups/rr_guidelines/rrg_fullguide.pdf))
- 有性生殖によるサンゴ増殖の手引き：生育環境が厳しい沖ノ鳥島におけるサンゴ増殖. 水産庁漁港漁場整備部、平成 21 年 3 月  
([http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko\\_gyozyo/g\\_hourei/pdf/sub7931.pdf](http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_hourei/pdf/sub7931.pdf))
- Reef Rehabilitation Manual. Edwards, A.J. (ed)(2010)  
([http://www.gefcoral.org/Portals/53/downloads/Reef%20Rehabilitation%20Manual\\_web.pdf](http://www.gefcoral.org/Portals/53/downloads/Reef%20Rehabilitation%20Manual_web.pdf))
- 有性生殖を利用したサンゴ種苗生産と植付けによるさんご礁修復のための技術手法:付, 積極的なさんご礁修復再生事業のために役立つ参考文献集. 大森信・岩尾研二、2014 年 4 月  
(<http://www.amsl.or.jp/body34.html>)

本事業では、上記のマニュアルに記載された技術を用いながら、一部改良を加えて種苗生産を実施した。

① 対象種

種苗生産の対象種は、①過去に種苗生産が行われたことのある種で確実に種苗を作ることが可能な種、②海域への植付け後に良好な成長・生残が見込まれる種、③親サンゴが確実に確保できる種、等を選定条件として決定した。各年度における事業の対象種は、表 2.2.2-1 及び図 2.2.2-2 のとおりである。

表 2.2.2-1 各年度における種苗生産対象種

年度	種数	対象種
平成 25 年度 (2013 年)	1 属 3 種	ウスエダミドリイシ ( <i>Acropora tenuis</i> ) クシハダミドリイシ ( <i>A. hyacinthus</i> ) ツツユビミドリイシ ( <i>A. humilis</i> )
平成 26 年度 (2014 年)	2 属 3 種	ウスエダミドリイシ, クシハダミドリイシ, ハナヤサイサンゴ ( <i>Pocillopora damicornis</i> )
平成 27 年度 (2015 年)	1 属 4 種	ウスエダミドリイシ, クシハダミドリイシ, ツツユビミドリイシ, <i>A. donei</i>



図 2.2.2-2 種苗生産対象種

- A: ウスエダミドリイシ
- B: クシハダミドリイシ
- C: ツツユビミドリイシ
- D: *A. donei*
- E: ハナヤサイサンゴ

## ② 親サンゴの確保

### ア. 採集

種苗生産に用いた親サンゴは、沖縄県恩納村恩納、若しくは山田の地先において採集した（図 2.2.2-3）。採集の際には、群体を壊したり、枝を折らないように注意しながら、タガネとハンマーを用いて岩盤より割り取った（図 2.2.2-4）。ただし、2015 年のウスエダミドリイシの種苗生産については、天然サンゴではなく、恩納村漁協が海域にて養殖した群体を親サンゴとして用いた。養殖されているサンゴを使用しても、卵の受精率、幼生や稚サンゴの生残率に問題は発生しなかった。

有性生殖法による種苗生産において卵の高い受精率を得るためには、6 群体以上の親サンゴから得られた卵と精子を混合することが望ましいとされている（Iwao et al. 2014）。このため、本種苗生産では、各サンゴ種あたり概ね 10 群体を採集し種苗生産に用いた。種苗生産の終了後、用いた親サンゴは恩納村の海域へ戻した。

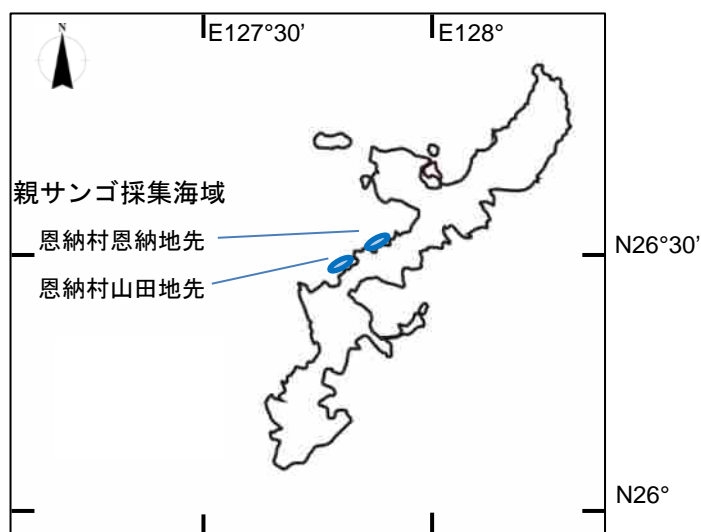


図 2.2.2-3 親サンゴ採集海域



図 2.2.2-4 親サンゴ採集作業

#### イ. 種苗生産施設への輸送、飼育

種苗生産は、平成 25 年度及び 26 年度においては沖縄県座間味村阿嘉島のサンゴ種苗生産センターにて、平成 27 年度においては久米島の沖縄県海洋深層水研究所内に所在するサンゴ増殖研究所にて実施した。

採集したサンゴのすべての群体は、恩納村から陸路とフェリーを用いて阿嘉島、若しくは久米島に輸送し、上記のサンゴ種苗生産施設の水槽に収容した(図 2.2.2-5)。輸送は、サンゴを 20L の密閉容器に収容して行った。容器内に空気が残っていると、サンゴが空気に触れ粘液をだし、水質が悪化するため、容器には海水を満たした。容器内での曝気や輸送途中での換水は行わなかった。輸送中の水温は海域の海水温と等しくなるように、エアコンで輸送車の空調を行うとともに、密閉容器の外側に保冷材を置いて調整した。輸送時間は、阿嘉島の場合は約 4 時間、久米島の場合は約 6 時間であった。

親サンゴの飼育には、容量 5 トンの FRP 製角形水槽 1 基、若しくは容量 1 トンのポリカーボネイト製円形水槽 1 基を用いた(図 2.2.2-5)。各水槽の換水率は概ね 1 回転/時間とし、遮光ネットを用いて水槽に入り込む光量の調節を行うとともに、水槽内に水流を発生させるために強度の曝気を施した。

親サンゴの輸送及び飼育は、3 年間で 7 回実施し、親サンゴの状態は概ね健全に保たれ、斃死や衰弱が発生することはなかった。しかし、平成 27 年 6 月 23 日にウスエダミドリイシ (10 群体) 及び *A. donei* (6 群体) を輸送した際には、輸送中にサンゴが RTN (rapid tissue necrosis) に罹患し、約半数の群体が斃死した。この時期の海域の海水温は約 28℃であり、輸送中はこの水温が保たれていた。病気が発生した原因として、採集のストレスや輸送中の水温が高かったことが考えられた。このため、同年 8 月に種苗生産終了後の親サンゴを恩納村へ戻す際、密閉容器内に保冷材を入れて水温を約 25℃まで下げたところ、健全な状態でサンゴを輸送することができた。このことから、親サンゴを輸送する際には、海域や水槽内の水温と等しくするのではなく、サンゴの育成に適した 25℃程度の水温を保つことが良いのではないかと思われる。



図 2.2.2-5 親サンゴの種苗生産施設への搬入と飼育

A：密閉容器での輸送、B：親サンゴの水槽への収容と水温順化、  
C：親サンゴを収容した5トンFRP製水槽、D：親サンゴを収容した1トン円形水槽。

### ③ 採卵と幼生の飼育

#### ア. ミドリイシ類

ミドリイシ属サンゴは卵と精子を海水中に放出する「放卵放精型」のサンゴである。対象種の中では、ウスエダミドリイシ、ツツユビミドリイシ、クシハダミドリイシ、*A. donei* がミドリイシ属に属する。これらのサンゴは、産卵の際に卵と精子を個別に水中に放出するのではなく、卵と精子を1つの塊にして放出する。この塊は“バンドル”と呼ばれ、直径1.0～1.5 mm程度で、約10個の卵を含んでいる。

サンゴ種苗生産施設の水槽内で飼育していた親サンゴは、概ね6、7月の満月付近に自然産卵した（表 2.2.2-2）。産卵時刻は、ウスエダミドリイシが19時半頃、その他のサンゴが22時頃であった。

ただし、2015年のウスエダミドリイシについては、産卵予測日を大幅に過ぎても産卵せず、スケジュール的に他の作業に影響を与えることが想定されたため、産卵誘発によって卵を得た。誘発は Hayashibara et al. (2004) に従い、産卵させる日の前日の19:00～22:00の3時間、過酸化水素を添加した海水（2モル濃度）にサンゴ群体を浸漬することにより実施した。誘発したすべての群体は、翌日に産卵した。

表 2.2.2-2 親サンゴの水槽内での産卵状況

年	種	産卵日	満月後日数
2013	クシハダミドリイシ	6月1日	7日後
	ツツユビミドリイシ	6月1日	7日後
	ウスエダミドリイシ	6月29日	6日後
2014	クシハダミドリイシ	6月17, 18日	4, 5日後
	ウスエダミドリイシ	6月17, 18日	4, 5日後
2015	クシハダミドリイシ	6月10-14日	7-12日後
	ツツユビミドリイシ	6月9-15日	6-13日後
	<i>A. donei</i>	6月9, 10日、7月7日	6, 7, 5日後
	ウスエダミドリイシ	6月24-26日	21-23日後

100L、若しくは500Lのポリカーボネイト水槽にて産卵を行わせ、水槽水面に浮いたバンドルを容量200ml程度のプラスチック製カップを用いて掬った。収集したすべてのバンドルを種毎に1つの容器(100Lポリカーボネイト水槽)に収容した。容器内の海水を攪拌することにより、卵塊を個々の卵に分離するとともに、同容器内で受精させた。受精開始約1時間後に、卵に付着した余分な精子や汚れを除去するために洗卵を行った。洗卵は、100 $\mu$ m目のネットを用いて卵を篩にかける要領で行った。洗卵後、卵を清浄な海水を張った容器(100Lポリカーボネイト製水槽)に収容した。卵の収容密度は2000粒/Lを上限とした。卵を収容した水槽は流水式(かけ流し式)とし、約4回転/日の換水率で飼育海水の交換を行った(図2.2.2-6)。水槽の排水管より流れ出た幼生は、100 $\mu$ m目のネットで受け、定期的に水槽へ戻した。

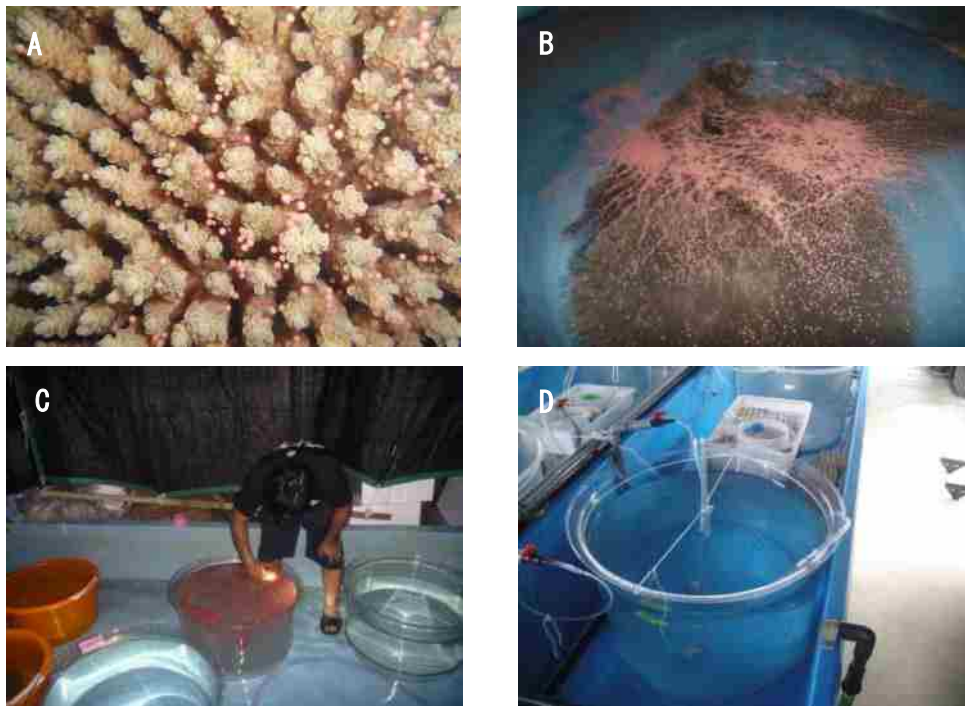


図 2.2.2-6 親サンゴ（ウスエダミドリイシ）の産卵、採卵、幼生飼育  
 A:放出されたバンドル、B:水面に浮かんだバンドル、  
 C:バンドルの回収、D:幼生飼育水槽

産卵及び受精の結果を表 2.2.2-3 に示す。各年及び各種のいずれにおいても、目標とする稚サンゴを生産するために十分な受精卵を確保することができた。一方で、1 群体しか産卵しなかった日や、受精率が異常に低いケースがいくつかあった（例えば、2014 年 6 月 17 日のウスエダミドリイシでは、受精率は 14.5%）。その日に産卵した群体同士が遺伝的に近いことが低受精率の原因のひとつとして考えられるが、明確な理由はまだ分かっていない。また、低受精率は、産卵日が複数日に渡り、違う日にバラバラと産卵して、同日に産卵する群体数が少ない場合にも生じた。産卵日が分散する原因は今のところ分かっていない。対処としては、同じ日に産卵する群体数を増やすことであるが、産卵日が分散してしまうことを念頭に入れて、なるべく多くの親群体を用いることが必要である。また、産卵誘発により、産卵日の同調性を高めることも対処のひとつである。ただし、産卵誘発には過酸化水素水を用いるため、誘発したサンゴはかなり衰弱し、斃死する場合もある。一方、産卵誘発で得られた卵の受精率及び幼生の生残率は高いため（表 2.2.2-3 及び表 2.2.2-4 の 2015 年のウスエダミドリイシ）、誘発による卵や幼生への悪影響はほぼないと考えられる。



表 2.2.2-3 恩納村産親サンゴの産卵及び受精の結果

年	種	産卵日	親群 体数	産卵 群 体 数	産卵数 (x10 <sup>3</sup> )	受精率 (%)	受精卵数 (x10 <sup>3</sup> )
2013	クシハダミドリイシ	6月1日	6	5	529	61.0	323
	ツツユビミドリイシ	6月1日	5	2	291	96.5	281
	ウスエダミドリイシ	6月29日	10	8	1,378	99.0	1,365
2014	クシハダミドリイシ	6月17日	10	1	11	0	0
		6月18日		9	602	96.5	581
	ウスエダミドリイシ	6月17日	10	3	261	14.5	38
		6月18日		7	384	29.5	113
2015	クシハダミドリイシ	6月10日	10	1	95	0	0
		6月11日		2	74	16.0	12
		6月12日		5	155	98.0	152
		6月13日		4	34	67.5	23
		6月14日		1	0	0	0
	ツツユビミドリイシ	6月9日	10	1	22	0	0
		6月10日		3	104	27.5	29
		6月11日		2	53	91.5	48
		6月13日		3	34	96.0	33
		6月15日		2	10	14.0	1
	<i>A. donei</i>	6月9日	10	1	8	0	0
		6月10日		1	6	0	0
		7月7日		5	112	95.5	107
	ウスエダミドリイシ	6月24日	20	10	269	99.0	266
		6月25日		6	375	98.0	368
6月26日		2		81	99.0	80	

幼生飼育の結果を表 2.2.2-4 に示す。各年及び各種において、目標とする稚サンゴを生産するために十分な数量である数万から百万個体の幼生が得られた。特に幼生飼育は難しい技術ではないが、幼生が衰弱しないように飼育水温を適温に保つこと（26～28℃程度）、卵の洗卵や幼生飼育海水の換水などの作業の際に、卵や幼生にダメージを与えないように丁寧に行う必要がある。

表 2.2.2-4 幼生飼育結果

年	種	幼生飼育場所	収容受精卵数 (x10 <sup>3</sup> )	取上げ幼生数 (x10 <sup>3</sup> )	幼生生残率
2013	クシハダミドリイシ	阿嘉島	317	238	74.9%
	ツツユビミドリイシ	阿嘉島	281	277	98.5%
	ウスエダミドリイシ <sup>*1</sup>	阿嘉島	975	1,021	104.8%
2014	クシハダミドリイシ	阿嘉島	581	575	98.9%
	ウスエダミドリイシ	阿嘉島	151	147	97.2%
	ウスエダミドリイシ <sup>*2</sup>	恩納村	458	342	74.6%
2015	クシハダミドリイシ	久米島	186	83	44.8%
	ツツユビミドリイシ	久米島	182	158	86.8%
	<i>A. donei</i>	久米島	107	101	94.6%
	ウスエダミドリイシ	久米島	714	643	90.2%

\*1 2013 年のウスエダミドリイシの幼生生残率が 100%を超えたのは、いくつかの胚が飼育過程において 2 つに割れ、それぞれが幼生にまで発生したためと思われる。

\*2 2014 年のウスエダミドリイシの種苗生産では、阿嘉島の種苗生産施設での幼生数が少なかったため、恩納村において飼育した幼生も用いた。

#### イ. ハナヤサイサンゴ

ハナヤサイサンゴは、ミドリイシ属とは異なり、体内で受精した卵をプラヌラ幼生まで育て、幼生を放出する「幼生保育型」のサンゴである。親サンゴは夏季の数か月間、新月付近に幼生を放出する。放出時刻は午前 2 時頃である。

ハナヤサイサンゴの種苗生産は 2014 年においてのみ実施した。本種苗生産では、親サンゴ飼育水槽の排水口に 200 μm 目のネットを設置し、午前 9 時頃にネット上に集められた幼生を収集し種苗生産に用いた (図 2.2.2-7)。親サンゴ水槽は常時海水をかけ流してあった。幼生収集結果を表 2.2.2-5 に示した。



図 2.2.2-7 ハナヤサイサンゴ幼生の収集装置.

表 2.2.2-5 2014 年のハナヤサイサンゴ幼生の採集

親群体数	幼生採集期間	幼生放出群体数	幼生数
30	10月25日～11月8日 (14日間)	未確認	28,870

#### ④ サンゴ幼生の着生と飼育

##### ア. 着生基盤

サンゴの幼生を着生させるための基盤として、マグホワイト製平板（縦6 cm ×横3 cm×厚さ1cm）を使用した（以降、「基盤」と呼ぶ）。各種の作業や稚サンゴの飼育を行う際に基盤単体では扱いづらいため、これらの基盤をステンレス製の棒に串刺した状態で固定した。幼生着生前に基盤を海域に約1か月間浸漬した（図2.2.2-8）。サンゴの幼生は、ある種のバクテリアにより着生を誘引されることが知られている。海域に浸漬しない、若しくは浸漬期間が短い基盤では、全く、あるいはほとんど幼生が着生しない。浸漬により、基盤の表面に着生誘引バクテリアが付着すると考えられている。

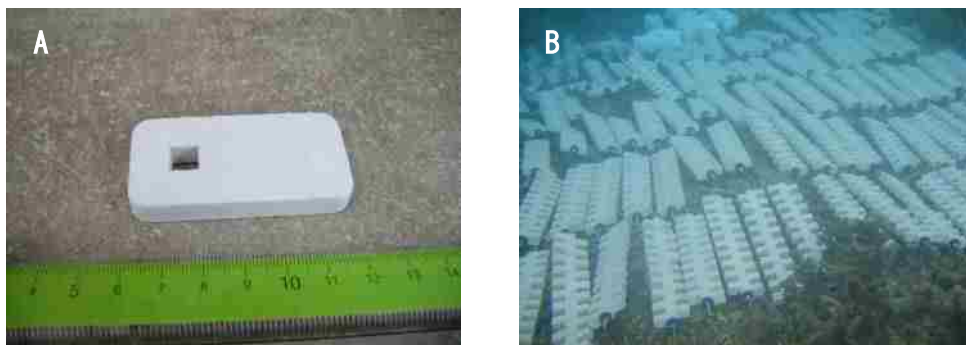


図 2.2.2-8 サンゴ着生基盤

A: マグホワイト製着生基盤、B: 海域に浸漬した基盤

##### イ. ミドリイシ類

海域より引き上げた基盤を着生水槽（500L 及び 1,000L 透明ポリカーボネイト水槽）に收容し、この水槽に幼生を收容し着生させた（図2.2.2-9）。着生は、幼生が4日齢に達した日から開始した。

基盤1枚あたりに平均で10個体の幼生を着生させることを目標とした。着生率（着生した個体数／收容した個体数）をクシハダミドリイシ及びツツユビミドリイシ、*A. donei* では30%、ウスエダミドリイシで50%と推定して算出した幼生数を、着生開始時に着生水槽へ收容した。着生開始後の2～4日目に

において着生した稚サンゴの観察を行い、着生個体が目標より少ない場合は追加の幼生を水槽に收容した。幼生の追加は、基盤に着生している幼生を目視観察し、その個体数が10個体程度になるまで実施した。

幼生を着生させる水槽には、幼生が一か所に集まってしまふのを防ぐために強めの曝気を行い、水槽内に水流を起こした。また、着生開始後2日目から、1日あたり日中の6時間程度、連続的に注水を行い飼育海水の換水を行った。水槽からの排水とともに流出した幼生は、100 $\mu$ m目合のネットで回収し、着生水槽へ戻した。



図 2.2.2-9 着生水槽に收容したサンゴ着生基盤

幼生の着生の結果を表 2.2.2-6 に示す。着生率は種により異なる傾向が見られ、概ねクシハダミドリイシ及びツツユビミドリイシでは15%程度、ウエダミドリイシでは20~40%程度、*A. donei*では30%程度であった。

但し、2014年のクシハダミドリイシの着生率は極端に低かった(0.2%)。幼生着生後の変態過程において、骨格形成が正常に行われず、通常みられない発達異常を示す稚サンゴが観察された。骨格形成ができなかった稚サンゴは数日後には斃死した。この原因として、親サンゴの不調が考えられる。2013年8月に沖縄近海において高水温期があり、2014年の種苗生産に用いた親サンゴを採集した地域では広くサンゴの白化が生じた。親サンゴに群体の形状の変形が見られたが、これは白化によって生じた可能性がある。白化を経験したサンゴの卵や精子は大きな負の影響を受けているとの研究例がある。例えば、Airi et al. (2014) は高水温のストレス下でサンゴが卵細胞を再吸収し、他の生命活動に使用することを報告している。また、ソフトコーラルの一種では過度の白化を経験した場合、卵細胞の未発達により受精率が極端に低下する(Michalek-Wagner and Willis 2001)。また、Omori et al. (2001) は1999年における阿嘉島周辺海域でみられたミドリイシ属サンゴの一斉産卵では受精率が極端に低かったことを報告しており、その原因として前年の1998年に

当該海域で生じた過度の白化の影響の可能性を指摘している。本種苗生産において観察された異常は、おおむね白化による卵成熟への悪影響の事例と合致している。親サンゴ自体が白化を経験し、そのことにより卵の質が著しく低下し、結果的に低受精率や発達障害の原因になった可能性が考えられる。種苗生産においては、白化を経験していない健全な親サンゴを用いることにより、こうした現象を回避できるのではないかと思われる。

生産基盤率は、2014年のクシハダミドリイシのケースを除いても30～96%とばらつきの幅が大きかった。また、生産基盤率の変動は、種や着生率とは関係性が見られない。おそらく、生産基盤率が高いケースでは、各基盤に着生誘引バクテリアが概ね均等に付着していて、生産基盤率の低いケースでは、基盤により着生誘引バクテリアの付着量が異なっていたのではないかと推測される。生産基盤率を上げるために、着生誘引バクテリアを各基盤に均等に付着させる技術の開発が今後の課題である。

表 2.2.2-6 ミドリイシ類の幼生の着生結果

年	種	使用基盤数	収容幼生数 (x10 <sup>3</sup> )	着生が確認された基盤数	生産基盤率 *1	着生個体数 (x10 <sup>3</sup> )	着生率 *2
2013	クシハダミドリイシ	5,434	334	4,746	87.3%	56	16.7%
	ツツユビミドリイシ	5,442	163	3,945	72.5%	30	18.3%
	ウスエダミドリイシ	18,358	491	17,438	95.0%	180	36.8%
2014	クシハダミドリイシ	8,320	387	749	9.0%	1	0.2%
	ウスエダミドリイシ	19,200	425	18,384	94.2%	171	40.1%
2015	クシハダミドリイシ	11,520	83	3,465	30.1%	10	12.1%
	ツツユビミドリイシ	14,400	158	4,099	28.5%	18	11.5%
	<i>A. donei</i>	1,070	101	1,027	96.0%	29	28.6%
	ウスエダミドリイシ	17,280	643	12,656	73.2%	146	22.7%

\*1 生産基盤率は、着生が確認された基盤数/使用基盤数により求めた。

\*2 着生率は、着生個体数/収容幼生数により求めた。

#### ウ. ハナヤサイサンゴ

ハナヤサイサンゴの幼生を着生させる方法は、基本的にはミドリイシ属のサンゴと同様であった。但し、2014年10月に実施した種苗生産において、同種は14日間幼生を放出し続けたため、親サンゴ飼育水槽から回収した幼生を毎日着生水槽へ収容した。

幼生の着生の結果を表 2.2.2-7 に示す。着生率は約50%、生産基盤率は約94%であった。ハナヤサイサンゴは、親群体から幼生として放出されることと、

幼生は適切な基盤があれば速やかに着生することから、種苗生産のやり易い種であるといえる。今回の種苗生産では、幼生が午前2時頃に放出されてから着生水槽に收容するまでに約7時間を要している。また、ネットで回収された幼生は水槽からの排水の水圧でダメージを受けていると思われる。放出後の早い時間に、またダメージを与えることなく幼生を回収することにより、より高い着生率が期待できるのではないかと思われる。

表 2.2.2-7 ハナヤサイサンゴの幼生の着生結果

種	使用 基盤数	收容幼生数 (x10 <sup>3</sup> )	着生が確認さ れた基盤数	生産 基盤率	着生個体数 (x10 <sup>3</sup> )	着生率
ハナヤサイサンゴ	2,400	29	2,260	94.2%	14	49.3%

#### ⑤ 基盤の選別、稚サンゴの間引き

ミドリイシ類の種苗生産においては幼生着生開始から概ね1週間後に、ハナヤサイサンゴの場合は最後に幼生を收容した7日後に、稚サンゴが着生した基盤を稚サンゴ飼育水槽（5トン及び2トンFRP水槽）へ收容した。稚サンゴ飼育水槽は、阿嘉島の施設では屋外に、久米島の施設ではポリカーボネイト製飼育棟の屋内に設置した（図 2.2.2-10）。

稚サンゴ水槽への基盤の移動から2週間以内に基盤の選別を行い、稚サンゴが着生している基盤のみ飼育を継続した。但し、十分な枚数の稚サンゴが着生した基盤を確保できた場合は、3個体以上、若しくは5個体以上の稚サンゴが着生している基盤のみを選別し継続飼育した。

稚サンゴが基盤に過剰に着生していると斃死しやすい。このため、選別と同時に、10個体/基盤を目安として稚サンゴの間引きも実施した（図 2.2.2-11）。

具体的な基盤選別及び稚サンゴ間引きの方法は次のとおりであった。まず、すべての基盤をステンレス棒から外して、海水を張ったタッパー容器（サイズ約 W20×L30×D10cm）に並べた。各基盤に着生している個体数を観察して、基盤の選別と稚サンゴの間引きを実施した。間引きは、ピンセットで余分な個体を取り除く方法で行った。選別及び間引きを行った基盤は、作業終了後に速やかに稚サンゴ飼育水槽へ戻した。

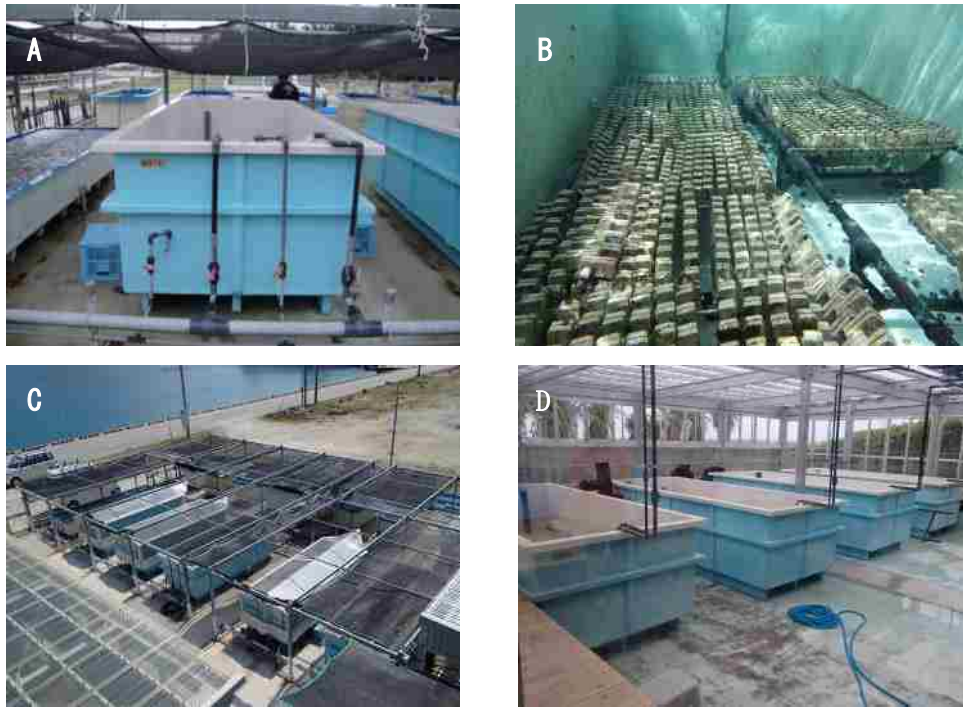


図 2.2.2-10 稚サンゴ飼育水槽

A: 稚サンゴ飼育に主に使用した5トンFRP水槽、B: 基盤の水槽内での配置  
 C: 屋外に設置された水槽(阿嘉島の施設)、D: 屋内に設置された水槽(久米島の施設)

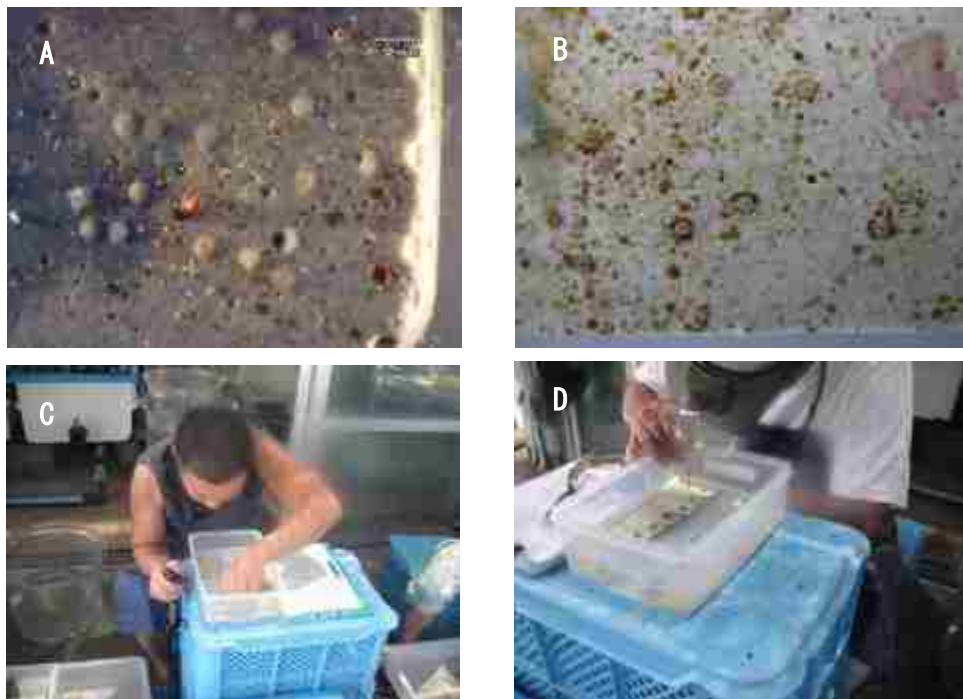


図 2.2.2-11 基盤の選別及び稚サンゴの間引き

A: 間引き前の稚サンゴが密集した状態、B: 間引き後の状態  
 C 及び D: 選別及び間引き作業の状況

稚サンゴの間引きの結果を表 2.2.2-8 に示す。間引き前の基盤数は、予め着生が見られなかった基盤を除いた枚数である。2015 年のクシハダミドリイシについては、上述のように着生個体数が少なかったため間引きは実施しなかった。

間引き前と後の稚サンゴ個体数を比較すると、間引きにより個体数が大きく減少しているのが分かる。また、間引き前には基盤あたりの着生個体数の幅が大きく、適正着生数を大きく超えている基盤も多数あった。約 20,000 個の基盤選別及び稚サンゴ間引きに要した労力は延べ約 50 人日であった。幼生を無駄なく効率的に用いることと、間引きや選別に係る手間を減らすためには、幼生の着生の箇所でも述べたように、着生誘引バクテリアを各基盤に均等に付着させる技術の開発を行うとともに、基盤へ着生している幼生数を目視観察しながら、適切な量の幼生を水槽へ収容する必要がある。

表 2.2.2-8 稚サンゴの間引き結果

年	種	間引き前					間引き後				
		稚サンゴが着生していた基盤数	稚サンゴ個体数 (x10 <sup>3</sup> )	稚サンゴ数/基盤			稚サンゴが着生していた基盤数	稚サンゴ個体数 (x10 <sup>3</sup> )	稚サンゴ数/基盤		
				平均	SD	レンジ			平均	SD	レンジ
2013	クシハダミドリイシ	4,746	56	11.8	12.2	1-74	3,783	29	7.7	2.7	3-10
	ツツユビミドリイシ	3,945	30	7.6	7.7	1-43	2,935	21	7.2	2.8	3-10
	ウスエダミドリイシ	17,438	180	9.3	9.4	1-69	13,294	111	8.2	2.0	5-10
2014	クシハダミドリイシ	749	1	1.3	0.5	1-5	749	1	1.3	0.5	1-5
	ウスエダミドリイシ	18,384	171	8.9	7.1	1-42	18,384	144	7.8	4.9	1-28
	ハナヤサイサンゴ	2,260	14	6.3	4.1	1-26	2,260	14	6.2	3.9	1-20
2015	クシハダミドリイシ	3,465	10	2.9	3.6	1-45	3,465	10	2.8	3.0	1-29
	ツツユビミドリイシ	4,099	18	4.4	4.1	1-77	4,099	17	4.1	4.7	1-31
	<i>A. donei</i>	1,027	29	28.1	30.1	1-181	1,027	7	7.2	5.9	1-41
	ウスエダミドリイシ	12,656	146	11.5	15.8	1-165	12,656	102	8.1	8.0	1-48

## ⑥ 稚サンゴ飼育

稚サンゴ飼育水槽では、換水率は約 0.5 回転/時間とし、水流を発生させるために強めの曝気を行った。遮光ネットを用いて、水槽に入り込む光の量が空中の約 4 分の 1 程度になるように調整した。

水槽内において藻類やイソギンチャクが繁茂すると、稚サンゴはそれらに覆われて斃死してしまう。このため、水槽には、藻食性の貝類（タカセガイ稚貝、カンギクガイ成貝、タカラガイ成貝など）（合計で 1,000 個体程度/水槽）及び魚類（アイゴ類、ハギ類）（2、3 個体/水槽）、また、イソギンチャク食のミゾレチョウチョウウオ（1 個体/水槽）を稚サンゴと一緒に収容し、競合生物が繁茂するのを防いだ。

稚サンゴ水槽での飼育期間は、ほとんどの場合において、約 1 か月であった。但し、2015 年の *A. donei* 及びウスエダミドリイシについては、台風の襲来により海域の中間育成礁への沖出しができず、水槽での飼育期間は約 2 か月とな



った。

稚サンゴの間引き後から搬出までの飼育結果を表 2.2.2-9 に示す。水槽内飼育での稚サンゴの生残率は概ね 80%以上であり、大量斃死等の大きな問題は生じなかった。しかし、2014 年のクシハダミドリイシ、2015 年の *A. donei* 及びウスエダミドリイシについては、稚サンゴの生残率が極端に低かった。クシハダミドリイシについては、前述のように卵や精子・幼生の状態が悪かったことに起因しているのではないかと思われる。*A. donei* 及びウスエダミドリイシの低生残率については 2 つの要因が推測される。一つ目は、1 つの基盤に多くの稚サンゴが着生した基盤が存在していたことである (*A. donei* では最高 41 個体/基盤、ウスエダミドリイシでは 48 個体/基盤)。高密度のため、稚サンゴが斃死することにより悪性の細菌が発生し、他の基盤の稚サンゴにも影響を与えた可能性もある。これを防ぐためには、間引きにより適正な着生密度の管理が必要であると考えられる。2 つ目は飼育環境の悪化である。2015 年の *A. donei* 及びウスエダミドリイシの種苗生産では飼育期間が延びたため、通常より多くの藻類が基盤に付着した。これを除去するために、一度に多量の藻食性貝類を水槽内に収容した。これらの糞が基盤の隙間に溜まり悪性の細菌を発生させた可能性も考えられる (図 2.2.2-12)。稚サンゴの飼育当初から、藻類の繁茂状況を観察しながら、適正な個体数の貝類を水槽に入れて藻類の発生を抑えることで、この問題は解決できるのではないかと思われる。

表 2.2.2-9 稚サンゴの飼育及び搬出結果

年	種	稚サンゴが着生していた基盤数		稚サンゴ個体数 (x10 <sup>3</sup> )		稚サンゴ生残率
		間引き後	搬出時	間引き後	搬出時	
2013	クシハダミドリイシ	3,783	3,783	29	28	97.5%
	ツツユビミドリイシ	2,935	2,935	21	21	99.6%
	ウスエダミドリイシ	13,294	13,170	111	110	99.0%
	小計	20,012	19,888	161	159	98.8%
2014	クシハダミドリイシ	749	358	0.94	0.43	46.3%
	ウスエダミドリイシ	18,384	18,077	144	142	98.9%
	ハナヤサイサンゴ	2,260	1,733	14	13	90.6%
	小計	21,393	20,168	159	155	97.9%
2015	クシハダミドリイシ	3,465	3,465	10	8	80.9%
	ツツユビミドリイシ	4,099	4,099	17	11	65.9%
	<i>A. donei</i>	1,027	482	7.35	0.71	9.7%
	ウスエダミドリイシ	12,656	9,079	102	25	24.0%
	小計	21,247	17,125	136	44	32.5%
合計		62,652	57,181	456	359	78.7%



図 2.2.2-12  
基盤に付着した藻類と  
基盤の隙間に詰まった  
貝類の糞

(青丸と赤丸で囲まれた  
部分が、それぞれ藻類  
と糞の一例)

### ⑦ サンゴ種苗の輸送

約 1 か月を目安とした水槽内での稚サンゴ飼育期間が終了した後、海域の中間育成礁への沖出しのため、基盤に着生した稚サンゴを恩納村へ輸送した。稚サンゴ輸送のために、まず、基盤をステンレス棒に串刺しにした状態で、特製の塩化ビニール製ホルダーに固定した。その後、これらを、ビニール袋を被せて海水を満たした発砲スチロール箱に収容した。ビニール袋内に酸素を充填するとともに、箱内に水温上昇を防ぐための保冷剤 1 kg 程度を同梱した (図 2.2.2-13)。梱包した稚サンゴを、阿嘉島、若しくは久米島から沖縄島の泊港まではフェリー、泊港から恩納村までは車両を用いて輸送した。輸送時間は、阿嘉島からは約 3 時間、久米島からは約 5 時間であった。



図 2.2.2-13 稚サンゴの搬出、輸送及び納品

A: 輸送に用いた発泡スチロール箱、B: 基盤を特製ホルダーへ固定  
C: 三重のポリ袋に海水と酸素を充填、D: 車両への積み込み

## ⑧ 恩納村海域での植付け事業のまとめ

今回の3年間の有性生殖法によるサンゴ種苗生産の試みにより、生息域から離れた遠隔地へ親サンゴを運び大量に種苗生産し、生産された稚サンゴを元の生息海域に戻すことが可能であることが立証された。各サンゴ群集の遺伝的な特徴を保ち、遺伝的攪乱を引き起こさないために、他地域のサンゴを持ち込むべきではない。しかし、沖縄県内において、各サンゴ生息域の近隣に、サンゴの大量種苗生産に利用できる水槽や機材が整った施設が存在する場所は限られている。今回の試みにより遠隔地での種苗生産が可能となったことにより、県内のいずれの地域においても、サンゴ礁再生のために有性生殖法により生産した稚サンゴを植付けできる可能性が広がったと言える。

一方、今回の種苗生産を通して、いくつかの課題も明らかとなった。以下にこれらの課題と対策を列挙する。

### ア. 健全な親サンゴの確保

2014年の種苗生産において、親サンゴの白化の影響ではないかと思われる幼生の着生・変態の異常が見られた。各地のサンゴ群集が衰退する中で、健全な親の採集が難しくなるような地域も出てきてしまうことも考えられる。

恩納村海域では、恩納村漁協のひび建て式養殖(図 2.2.1-5)により多数の大型のサンゴ群体が海域にて飼育されている。県内の各地においても、このような親サンゴの養殖によるストックが行われても良いのではないかとと思われる。

また、久米島に所在する沖縄県海洋深層水研究所では、水産土木建設技術センターとの共同試験により、久米島産の親サンゴを水槽内で長期飼育し、これらの群体から得られた卵を用いて種苗生産を行っている。同研究所では深層水で冷却した表層水をできることから、海域の高水温時においても、適切な水温でサンゴを飼育することが可能である。このような施設にて、県内各地の親サンゴを飼育し、これらのサンゴを一種のジーンプールとして利用することも可能ではないかと思われる。

### イ. 産卵日の同調性の向上

水槽内で飼育したサンゴでは、産卵日が群体により違ってしまいうケースが多々見られる。今回の種苗生産においても、産卵日が同調せず、受精させることができずに卵が無駄になることがあった。

サンゴの産卵誘発は、これまでのところ、唯一過酸化水素を添加する方法が開発されている。過酸化水素を用いた場合、誘発したサンゴはかなり衰弱し、斃死する場合もある。将来的に、サンゴの産卵日を決定する環境要因の解明及

びサンゴヘダメージの少ない産卵誘発法の技術開発が必要と思われる。

#### ウ. 幼生の効率的な着生

サンゴ幼生の着生には着生誘引細菌が関与しており、これらの細菌を基盤に付着させるには、現在のところ、基盤を海域に浸漬する方法しかない。自然の状態では、基盤間あるいは同じ基盤上の部分で細菌の付着量が異なってしまい、幼生を均等に着生させることが難しい。将来的に、着生誘引細菌や誘引成分を基盤に塗布するなどの人工的な処理により、基盤上に均等に幼生を着生させることができる技術の開発が望まれる。この技術が開発されると、基盤を海域に浸漬する必要がなくなり、作業の効率化を図ることが可能となる。また、着生密度の管理も可能となると、間引きの手間も省くことができる。

#### エ. 着生基盤の選定

今回の種苗生産では、着生基盤として、マグネシウム系固化剤マグホホワイト製の平板（縦 6 cm×横 3 cm×厚さ 1cm）を用いた。同基盤はもろく、種苗生産中に破損する数も少なからずあった。また、重量も重く、作業に手間がかかった。

各種の作業や稚サンゴの飼育を行う際に基盤単体では扱いづらいため、基盤 40 枚を 1 本のステンレス製の棒に串刺した状態で固定した（図 2.2.2-14）。また、基盤の両面に稚サンゴが着生していると間引きの際などに不都合であるため、2 枚の基盤を背中合わせにして、一面だけにサンゴが着生するようにした。それらを互い違いの向きでステンレス棒に組み込んだ。このような基盤の組み方では、縦 6 cm×横 3 cm の面の 3 分の 1 が他の基盤と重なってしまい、稚サンゴの着生できる面積が減少した。

より効率的に種苗生産を行うために、より良い着生基盤の選定及び組み方について検討を行う必要がある。

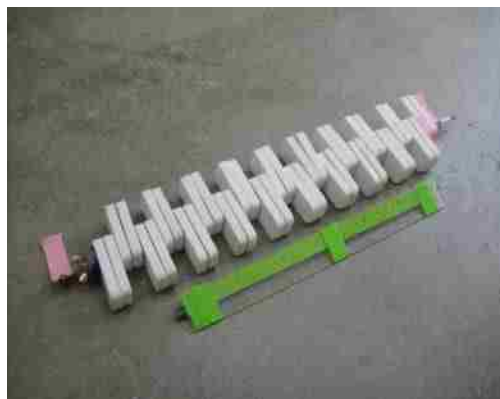


図 2.2.2-14 ステンレス棒へ組み込んだ着生基盤

### 3) タカセガイ育成礁を用いたサンゴ種苗の中間育成

#### ① なぜタカセガイ育成礁で中間育成を行うのか…本研究の経緯

タカセガイ育成礁はタカセガイ種苗を捕食者から保護し、かつ天然海域の高い生産性を利用して中間育成する施設として開発された(久保ら 1993)。本育成礁はリーフ上に設置された枡上のコンクリート構造物で、満潮時には水没し、大潮干潮時には干出する場合もあるが、日々、上潮と下潮時に、リーフ上特有の高いポテンシャルの流れに曝され、サンゴの生育にとっても好条件となる。こうした中で、育成作業の現場からは実際に造礁サンゴ類、特にミドリイシ類が自然着生して、タカセガイ育成の弊害となることが頻繁におこり、毎年、そのサンゴの除去作業を実施していた。しかし、サンゴ育成観点からは、逆に本育成礁がミドリイシ類の育成場としても、良好な環境ということが言えるため、大いに注目されることになった(Omori et al. 2007)。

本礁のサンゴ育成効果については Omori et al. (2007) を参考に、日本サンゴ礁学会サンゴ礁保全委員会が以下のように論説している。

「タカセガイ育成礁のサンゴ育成機能に影響する構造としては、枡(プール)構造、格子構造、高さ(底上げ)がある。サンゴを増やす機能として想定されるものは、物理的機能として波・流れの緩和・渦流の発生、水深確保、漂砂・レキ・浮泥の防御、垂直面提供があり、生物的機能としては食害魚類・ウニ類の防御、タカセガイによる海藻繁茂防御がある。」

安藤ら(2008)は上記の論拠に関わる水産土木学、及び生物学的観点からの検証実験を行い、結果について以下のように著した。育成礁内の環境は浮泥等の影響を軽減する効果があり、礁外では  $499\text{g}/\text{m}^2$  という高い値を示したが、礁内では  $131\text{g}/\text{m}^2$  に留まる。相対光量子については礁内が礁外の2倍明るい。流速については平均値では礁内外はほぼ同様であったが、最大流速は礁内が  $21.9\text{cm}/\text{s}$  に対し、礁外は  $33.5\text{cm}/\text{s}$  と大きいことが報告された。すなわち、懸濁物が少なく、かつ高照度で、常に一定の流れが保持されながら、激浪には曝されにくいといった、ミドリイシ等にとって、多くの好条件が揃った環境であることが示唆された。サンゴ食或いはグレージング動物の回避効果については、育成礁の内面が設置面であるサンゴ礁底面から1mの距離でコンクリート壁により隔てられており、満潮時において、ブダイ等サンゴ食の魚類も含め、周辺の魚類がタカセガイ礁を越えていく様子は観察されなかった。しかし、ナガウニ等のウニ類がタカセガイ育成礁の枡内のグレーチング(すのこ状の土木・建築資材。通常、側溝の蓋などに用いられるもの。)に多数棲みつき、ウニ類の個体数が多い枡でサンゴ被度が低く、少ない枡でサンゴ被度が高い傾向があり、ウニ類の個体数が多いとサンゴの着生・生育を阻害されることを示唆した。

ウニ類のグレージングに関する稚サンゴ生育への影響については、海底面での競合者である藻類を摂食することで、サンゴの生育に有利とする見解がある (Margaret and Alina 2006)。一方で、ウニ類の強力な歯によるサンゴの嚙取や生きたサンゴを専食する種の存在も指摘され、ウニ類のグレージングは稚サンゴの生育上、むしろマイナスに働いているとする見解も多い(鈴木 2005、Bak and Eys 1975、Korzen et al. 2011)。

タカセガイによるサンゴ初期種苗への影響については、高密にタカセガイを同居させると、結果的に種苗上を匍匐、通過していく機会も多くなり、サンゴ種苗にストレスとなる可能性もあるが、受精後 120 時間後のごく初期の種苗を用い、かつ実際の間育成よりもかなり高い密度で混養した実験でも、種苗の生残率が 96~98.6%を示し直接的な弊害は認められないと言及されている (田村 2008)。海域でのケージによる中間育成についてもタカセガイ混養の効果は示唆されており、コントロールの 3 倍の生残率を達成している (Villanueva et al. 2013)。タカセガイの歯舌は堅いものを削ることのできない細いブラシ状の形態的特徴を有することも判っている (久保 未発表)。既にこのようなタカセガイのサンゴに優しい藻類摂餌能力を活用したサンゴ育成時のメンテナンスは、タカセガイ自体が種苗生産技術の確立で大量に入手可能な優位性もあって、種苗生産現場では最も基本的な手法となっている (大森・岩尾 2014)。

## ② タカセガイ育成礁を活用した初期有性種苗の中間育成 (前期中間育成)

枯渇したサンゴ礁を移植によって再生させるためには、有性生殖により大量にサンゴを種苗生産し、移植時に海域育成でも生残が期待できるサイズ(6cm 以上)まで育て上げる必要があると言われている (Nakamura et al. 2011)。さらに、これを事業化するには、高歩留まり・高成長・低コストで育成できるかどうか、必要要件となる。本要件は、陸上での育成期間を短縮して、揚水や維持管理コストを削減し、天然海域下での中間育成技術開発にする必要がある。目標サイズを 6cm とした場合、受精卵からの成長を考慮すれば、約 2 年を要するが、生後 1 年までは成長が遅く、達成サイズも 1~2cm 程度にしか成長しない。天然海域では、こうした初期の稚サンゴには捕食や物理的原因によって、高い淘汰圧がかかっていると考えられる。

そのような中で、くしくも、本事業の増殖対象海域である恩納村には、タカセガイ育成礁が設置されていて、有性生殖による事業規模での大量増殖に関して、効率的な中間育成技術開発が求められていることから、本育成礁の開発をした沖縄県水産海洋技術センターが事業主体の要望を受け、中間育成技術開発を担当することとなった。

本育成礁では当面 1 年程度の初期種苗を中間育成することを目標として、これを前期中間育成として、集約的な技術開発を実施した。具体的には、陸上で、人工基盤に着底させた稚サンゴを短期間（3～6 週間）育成後、天然海域に設置されたタカセガイ育成礁へ沖出しし、集約的に育成する。最終的には、本手法により、大量種苗の中間育成技術開発とその実証が目標である。

本総括報告では、本中間育成技術開発によって最終的に種苗生産を事業レベルで達成した証として、作出した有性種苗の生産枚数を成果として報告する。また、以下の 2012～2015 年度に渡る過去 4 年間の基礎～実証試験について、結果・考察を中心に絞り込んで報告する。

ウスエダミドリイシ *A. tenuis* 種苗の前期中間育成手法比較試験（H24 年度:2012）  
 ミドリイシ 3 種の前期中間育成条件比較試験（H25 年度:2013）  
 ミドリイシ 3 種の前期中間育成実証試験①（H26 年度:2014）  
 ミドリイシ 3 種の前期中間育成実証試験②（H27 年度:2015）

ア. ウスエダミドリイシ種苗の前期中間育成手法比較試験（H24 年度:2012）

i 試験区位置、試験設定

タカセガイ育成礁は、恩納村谷茶沖約 2km のリーフ上に設置されており、縦 5m×横 2.5m×高さ 1m の柵状のコンクリート構造物で、水深 60cm のプールが 2 面並んでいる。プールは内法 2.1m×2.1m の角形で、内部には縦 2m×横 1m、厚さ 10cm の FRP グレーチング（すのこ状土木・建築資材、10cm×5cm 格子）が、2 枚敷設されている。沖縄県漁港漁場課の試験許諾を得て、沖側の 8 区画を使用した（図 2.2.2-15）。8 の試験区のうち、4 区画にはタカセガイの種苗（約 2cm サイズ）1,000 個体を収容し、残り 4 基はタカセガイの非存在区とした。

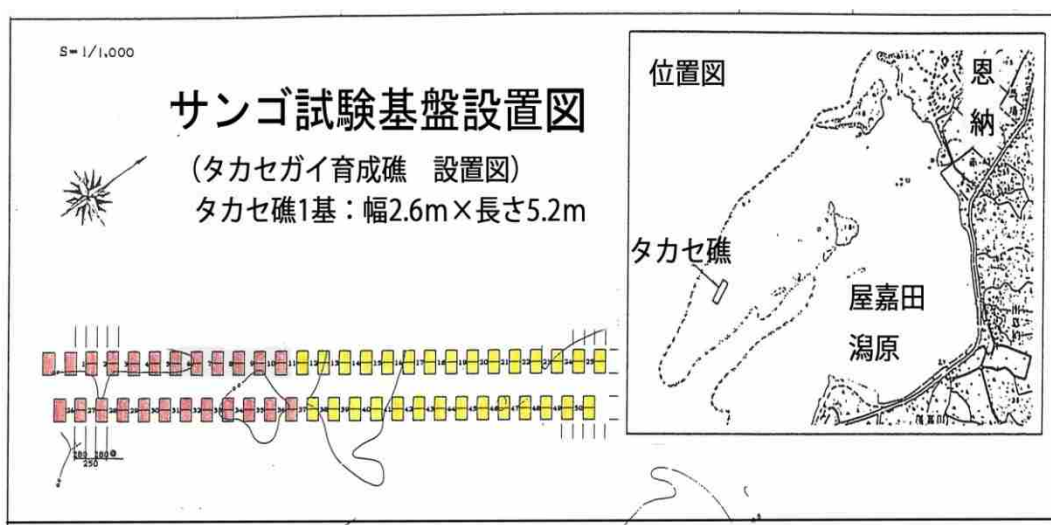


図 2.2.2-15 タカセガイ育成礁設置位置図

中間育成試験区は図 2.2.2-16 及び 図 2.2.2-17 の通り、タカセガイ育成礁 8 区画 (A~H) と、その比較区として、隣接するリーフ上 2 区画 (I, J) と恩納漁協サンゴ用養殖場内にある水深約 3m のモート内 2 区画 (K, L) の計 2



図 2.2.2-16 中間育成試験区

箇所を設けた。平成 24 年 7 月 18 日に、それぞれの試験区に、陸上で 1 か月育成したウスエダミドリイシを、1 試験区あたり 6 ホルダー(基盤 144 枚) ずつ設置した。

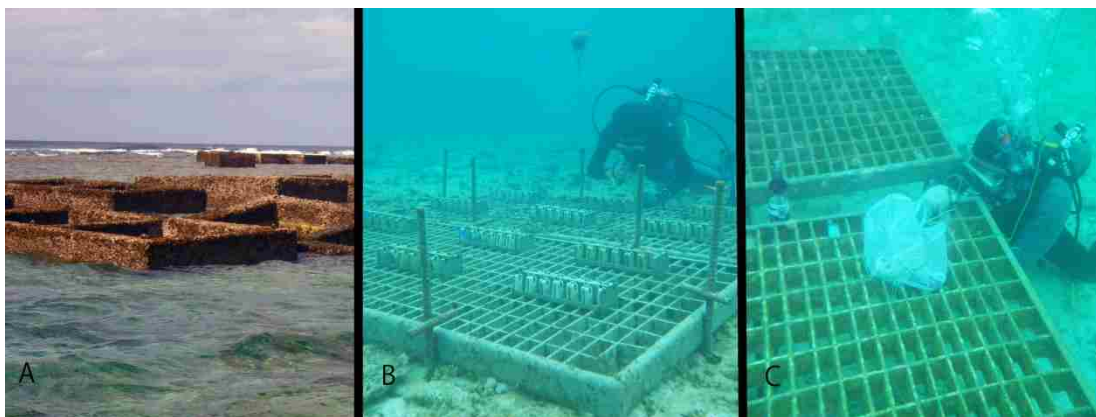


図 2.2.2-17 中間育成試験区 A. タカセガイ育成礁 B. リーフ上 C. モート内

ii 中間育成試験結果

A) 生残率 (生産基盤率)

基盤上の群体数は現在の着底技術では基盤毎にコントロールできず、また、作業的にも初期の微小な段階で種苗数を計数して生残率を正確に把握することは困難であった。事業の目的としても、確実に基盤上に 1 個以上種苗が生残させることが出来るか否かが問題となる。そこで便宜的に試験区全体の基盤数に対する 1 群体以上生残



図 2.2.2-18 サンゴ種苗の観察状況



した基盤数の占める率を「生産基盤率」という表現で示すこととした。観察は沖出し設置後の1か月、2か月、3か月、6か月(半年)の4回実施した。1, 2 か月経過時での観察はハンドリングリスクを回避するため水中ですべての基盤上にあるサンゴをルーペや水中ライトを用いて、観察条件を調整し、目視で確認した。しかし、この方法は集計データの経時的比較により、生産基盤率が前回を上回る結果が出るなど、個人差や観察時の気象条件により誤差が大きくなる可能性が示唆された。よって、3 か月以降の観察は、研究室へ持ち帰り、実体顕微鏡と写真撮影を用いて状況を確認した。なお、最終サンプルを取り上げて調べる調査以外はハンドリングのリスクを考慮して全体の3分2を対象とした他、陸上処理時間を短縮し、サンゴ種苗にストレスを与えないよう陣容を総動員して集中的に迅速な処理をするよう心がけた。しかし、取り上げ数が1,000枚を超える場合は4名で観察と写真撮影に、毎回、丸3日以上を要した(図 2.2.2-18)。

生産基盤率は175日経過時でも、タカセガイ育成礁内ではタカセガイの非存在区で $63.3 \pm 5.9\%$ と高歩留まりを達成し、ついで、タカセガイの存在区では最初の1か月は高歩留まりで推移したが、8月後半以降に急減し、その後、落ち着き、 $52.3 \pm 4.9\%$ に留まった。一方、タカセガイ育成礁外ではモート区が漸減し続けて、 $24.0 \pm 4.2\%$ まで低下し、リーフ上では当初はタカセガイ育成礁内に遜色ない生産基盤率であったが、最終的には $42.0 \pm 4.2\%$ まで低下した(図 2.2.2-19)。いずれの区も平均値間には有意な差が認められた。(t検定:  $P < 0.01$ )

本結果からタカセガイ育成礁がリーフ上及びモート内より、中間育成における生残優位性があると考えられた。しかし、同じ育成礁内において、タカセガイ存在区が生産基盤率が、タカセガイの非存在区のそれを常に下回ったことは、当初の想定であったタカセガイを用いたサンゴ周辺の海藻排除によるサンゴ種苗の生残向上の目論見とは相反する結果となった。

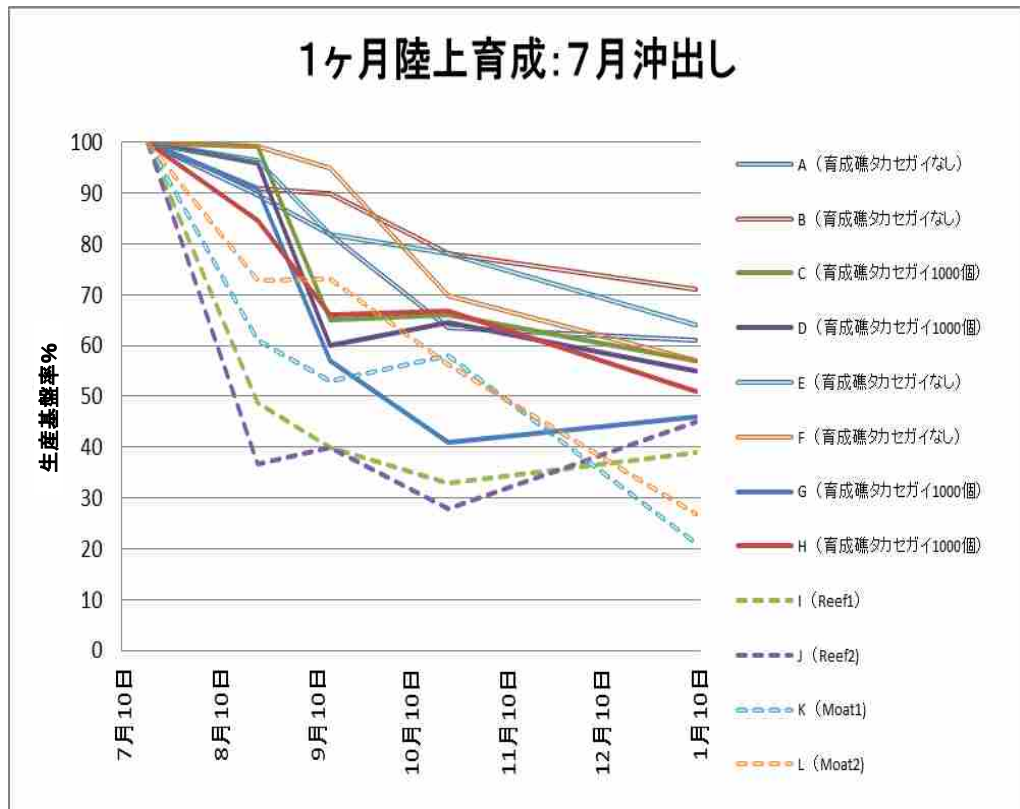


図 2.2.2-19 中間育成3手法の各試験区における生産基盤率推移

a) タカセガイ存在区の生残（生産基盤率）低下の要因解明

育成礁内試験区のプロダクションベース率において、タカセガイ存在区がタカセガイ非存在区を下回った理由について、以下に検討した。まず8月後半のタカセガイ育成礁内の状況を図2.2.2-20に示す。これから、推測されることは、タカセガイ存在区は基盤上、土台であるグレーチング上共に、明らかに藻類の繁茂が淘汰されて、いわば磯焼けのような状況となっている点で有り、一方、タ



図 2.2.2-20 タカセガイ育成礁内における藻類繁茂の状況

カセガイ非存在区の方は、逆に全体に緑色を帯び、藻類の繁茂が確認されることである。特に前者は少なくともタカセガイによる摂食が藻類の繁茂を抑制していると考えられるが、これ以外に礁内に幼生が自然着底した藻食性底生動物、特にウニ類が関与している可能性が高い。ウニ類は稚サンゴを摂食することが知られており、今回の減耗要因にもウニ類が関与している可能性があるため、仮説を設定し、それを検証するためのいくつかの実験とデータ分析を行った。仮説はウニ類がサンゴを食べるという既往知見が有ることから、中間育成開始後1か月（8月頃）から、ウニ類もタカセガイもプール内で成長し、礁内は餌不足状態になって、基盤まで齧ってサンゴを減耗させたというものである。特にタカセガイ有り区は海藻がほとんど無かったため、ウニ類が、稚サンゴを食害する度合いが高まったと推測した。検証手法としては、タカセガイ存在区の基盤表面にはウニ類の噛み痕の確認と、その結果基盤上に見られるであろう磯焼け理論にある無節石灰藻の確認を行うと共に、実験室内でウニ類による稚サンゴの捕食試験を実施した。

b) ウニ類による稚サンゴに対する摂食試験

タカセガイ育成礁内で確認されたウニ類を用いて、基盤上の稚サンゴを摂食するかどうか、室内実験による確認を試みた。対象動物はツマジロナガウニ 5 個体（平均殻径 32mm）、シラヒゲウニ 5 個体（平均殻径 36mm）、アオスジガンガゼ 5 個体（平均殻径 31mm）、トックリガンガゼモドキ 5 個体（平均殻径 20mm の計 4 種の稚サンゴが着生した基盤 6 枚に対する捕食を観察した。観察は1週目が毎日とし、2週目は13日目をもって終了とした。なお、稚サンゴはポリプ数が 20 個以下の個体を用いた。ガンガゼ類がサンゴを摂食することが報告されている他、ナガウニについては変態直後の幼ポリプに対する摂食に関する報告がある（大久保ら 2003、佐藤 2010）。摂食圧はアオスジガンガゼが非常に高く、稚サンゴ 1 個/日の割合で摂食した。ついで

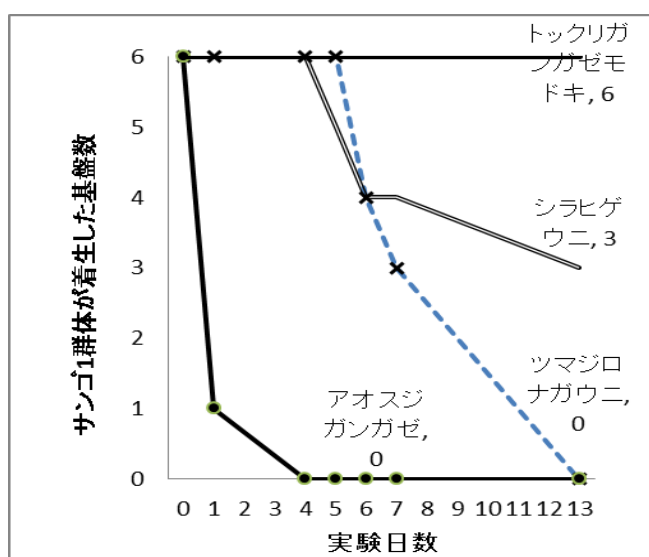


図 2.2.2-21 ウニによる稚サンゴの摂食個数

アオスジガンガゼが非常に高く、稚サンゴ 1 個/日の割合で摂食した。ついで

でツマジロナガウニの摂食率が高く、0.43 個/日であった。シラヒゲウニの摂食率は 0.23 個/日と低く、トックリガンガゼモドキは全く摂食しなかった (図 2.2.2-21)。この結果、食害種として、ガンガゼ類とナガウニ類が注意すべき種であることが判った。

c) ガンガゼ類とナガウニ類による稚サンゴの摂食試験

次いで食害種として注意すべきと判断された 2 種について、更に実験を行った。ガンガゼ類 (アオスジガンガゼ) の中 (平均殻径 25mm) 及び小 (平均殻径 13mm) を飼育している 2 試験区と、礁内に優占するナガウニ類 (ツマジロナガウニ) の中 : 平均殻径 32mm 及び小 (平均殻径 23mm) を飼育している 2 試験区の計 4 試験区に、着生基盤に付着した稚サンゴ (ポリプ数 が 10 個以下の小型個体) を設置した (図 2.2.2-22)。



図 2.2.2-22 ウニによる稚サンゴ  
摂食実験

観察は週 1 回 (7 日経過後) ごとに、サンゴの摂食活動の有無を観察し、3 回目 (3 週間) をもって終了した。アオスジガンガゼは小型個体、中型個体共に 0.42 個/日のペースで、稚サンゴ全体の約 50% を摂食したが、ツマジロナガウニの中型個体は 0.19 個/日に留まり、小は 0.05 個/日で、殆ど摂食しなかった (図 2.2.2-23)。

基盤をホルダーに装着した際の基盤間には約 30mm の隙間が空くが、何れのウニもその隙間に侵入して稚サンゴを摂食し、特にアオスジガンガゼは稚サンゴを強力に摂食することが再確認された。

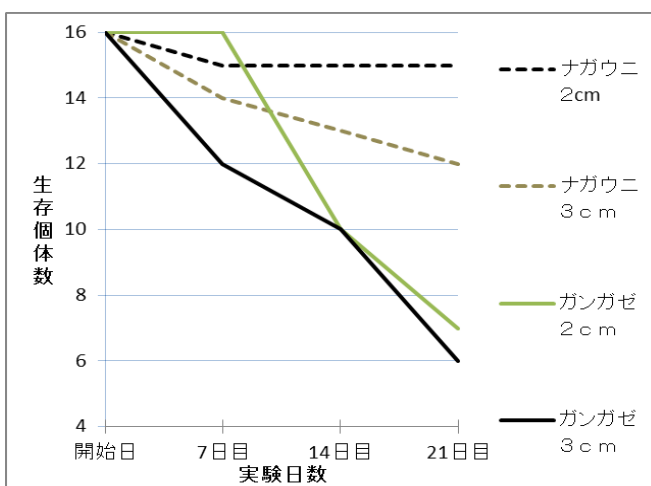


図 2.2.2-23 有力ウニ 2 種による稚サンゴの摂食個数

d) タカセガイ育成礁内のウニ類生息状況

図 2.2.2-24 にタカセガイ育成礁内のウニ類個体数及び図 2.2.2-25 にナガウニ類の大きさの個体数頻度分布を示す。タカセガイ育成礁内には5×10cm 格子のグレーチングが敷設されており、通常、ウニ類はその内側に潜んでいる。育成礁内の内法は約 4 m<sup>2</sup>である。育成礁内にはナガウニ類平均 163±87 個 (41 個/m<sup>2</sup>)、ガンガゼ類 3.6±1 個 (0.9 個/m<sup>2</sup>)、その他のウニ 6.13 ±2.9 個 (1.5 個/m<sup>2</sup>) が計数された。

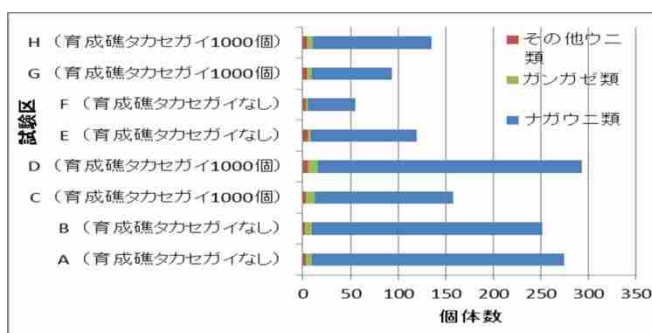


図 2.2.2-24 各試験区の侵入ウニ類の個体数

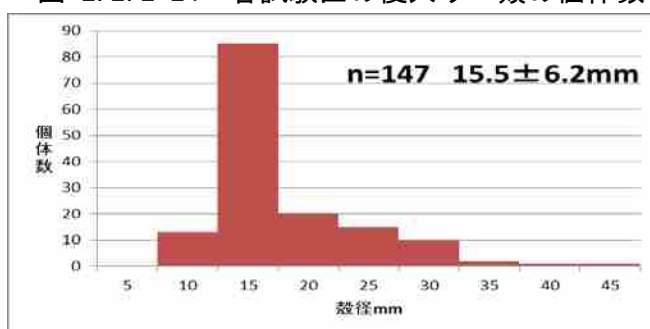


図 2.2.2-25 タカセガイ育成礁の侵入ナガウニ類のサイズ

e) 基盤表面の性状とウニ類の捕食による藻類相の変化に関する考察

これまで、タカセガイ育成礁内の空間で、限られた餌資源を巡って、タカセガイ存在区では、ウニ類との餌料競合が生じて磯焼け状態となり、稚サンゴの付着する基盤への摂食圧が高まり稚サンゴが嚙り取られ、生産基盤率が低下したと推測してきた。ウニ類による嚙り取りで、磯焼けとなり、岩盤表面が無節石灰藻に生態遷移する (Lawrence 1975)。また、ウニ類によるサンゴに対する摂食の影響につ

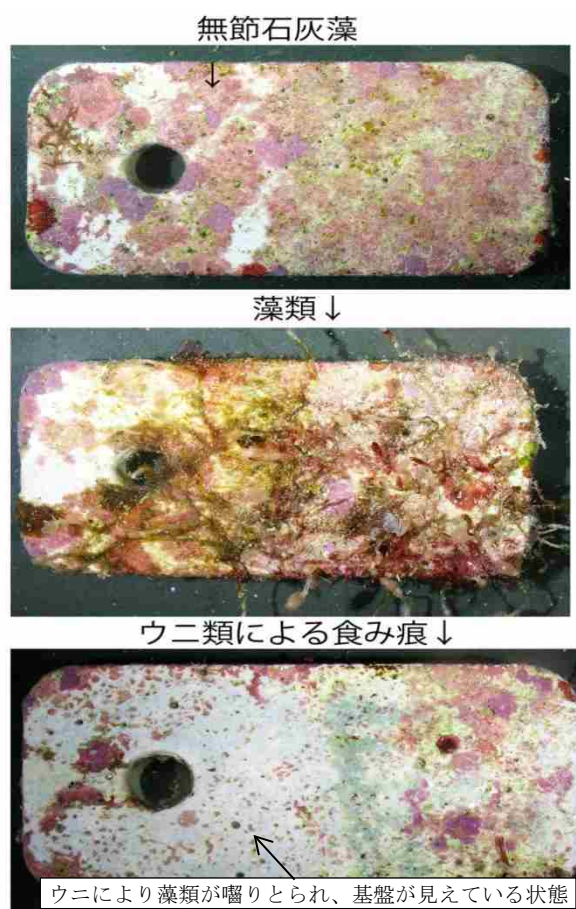


図 2.2.2-26 基盤表面の観察による 3 類型

いても、嚙り取りによる悪影響についての既往知見は少なくない (Birkeland 1989、Cover 2011、鈴木 2005)。

したがって、ウニ類による基盤に着生したサンゴへの摂食があった場合、基板表面にウニ特有の食み痕ができ、その部分が無節石灰藻によって被覆

されるといふ遷移の可能性がある。図 2.2.2-26 に基盤表面の類型化と、図 2.2.2-27 にそれに基づいて求めたタカセガイ存在区と非存在区の各タイプの出現率を示す。石灰藻の被覆が優占する数はタカセガイ存在区が、非存在区と比べて有意に多く、逆に藻類が優占する数はタカセガイ存在区に比べて、非存在区が有意に多かった。(カイニ乗検定： $P < 0.01$ )。

以上の結果とウニ捕食試験によって、ウニ類が稚サンゴを嚙り取るとること、タカセガイ育成礁内のウニ類調査で、タカセガイ育成礁内にウニ類が多数棲みついていた

こと、8月時点での現場観察から、タカセガイ存在区では殆ど藻類の被覆が認められなかったこと等をあわせて考察し、タカセガイ存在区においてサンゴが減耗した要因はウニ類の食害によるものと結論づけた。

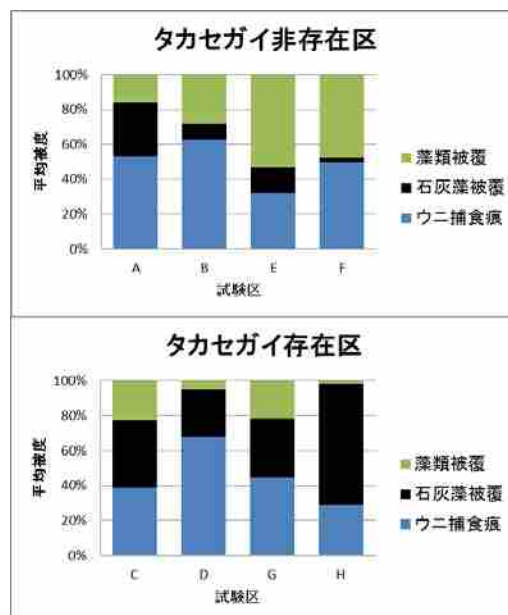


図 2.2.2-27 基盤表面の類型割合とタカセガイ有無の比較

f) タカセガイ育成礁試験区におけるサンゴ種苗の基盤上生残位置とウニ類被食実態の考察

稚サンゴが被食されるとは、ウニ類の口器によって嚙りとられることである。ただウニ類は、口器の位置が体の腹面中央にあるため、基盤の上面においては遍く嚙ることが出来るが、横面は基底面と90度の角度の隙間となり、口器がとどかず、容易に嚙り取ることが出来ないと考えられる(図 2.2.2-28)。そこで、実際にウスエダミドリイシの種苗とツツユビミ

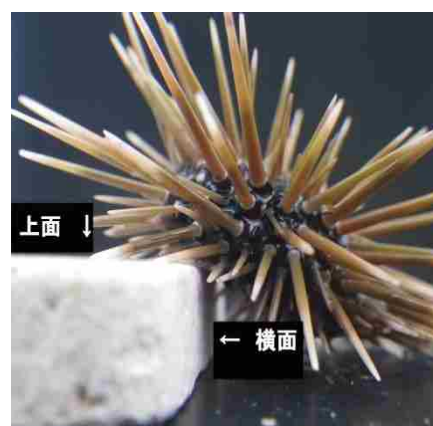


図 2.2.2-28 サンゴ基盤とナガウニの匍匐行動 (ウニの口器部分である腹面中央に隙間ができている状況)

ドリイシ及びクシハダミドリイシの種苗を中間育成したタカセガイ育成礁の10試験区の内、ウニを全て除去した区（図 2.2.2-29、試験区 2）とウニ数が100 個体以上存在した放置区（図 2.2.2-29、試験区 4）において、基盤上の種苗の生残位置について調査した。すなわち、ウニが容易にサンゴ種苗を嚙り取れるであろう基盤の上面部と、嚙り取られにくいであろう基盤の狭い横面で、サンゴ種苗の生残率に差があるかどうかを比較した。その結果、ウニを全て除去した区とウニが多い放置区の間で、基盤の上面と横面の生残個体の割合に明確な差異が認められた。これらの試験区間ではウニ数以外の条件は同様であり、上面の生残個体数はウニ数の多い放置区では、ウニを全て除去した区と比べて、生残が1割程度に留まったが、横面のサンゴ種苗数は、両区ともほぼ同数が生残していた。このような基盤上の位置による生残の差異はウニの食害を反映していると推測された（図 2.2.2-29）。

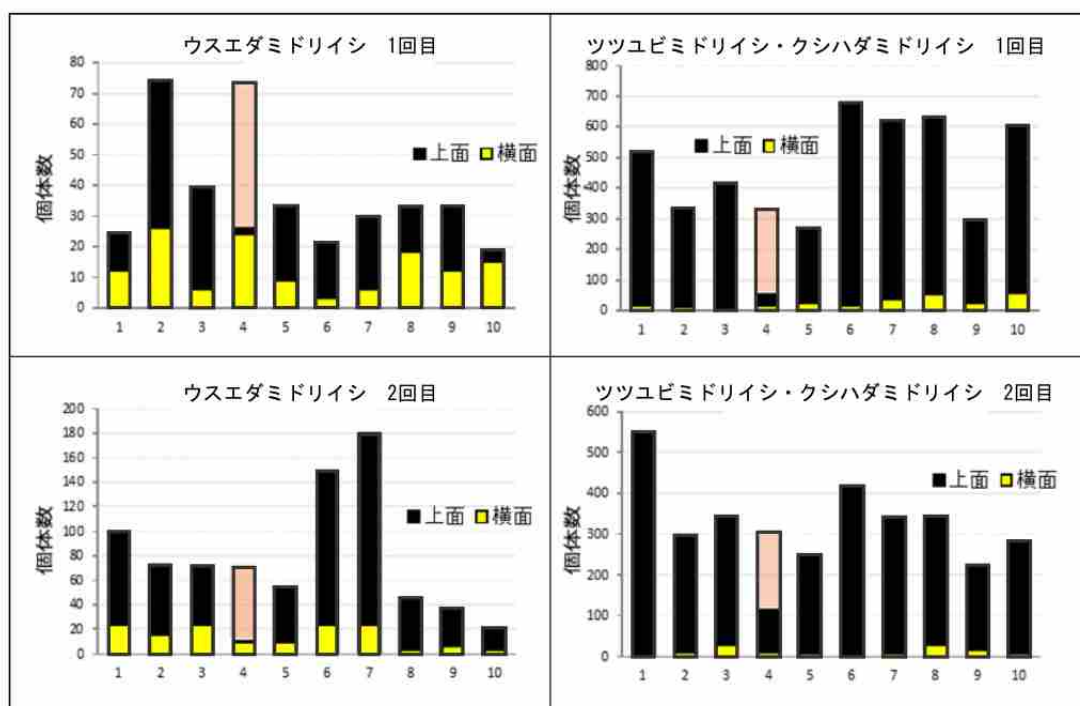


図 2.2.2-29 タカセガイ礁10 試験区（横軸）における基盤上のサンゴ種苗の生残位置（上面・横面）の生残個体数比較（赤塗は食害により消失と推定した部分）

## B) 成長

中間育成試験区と中間育成開始時期別の成長比較を行った。今回、成長の尺度として、稚サンゴの形態が不定形であることを考慮して、群体のポリプ数により評価した。まず、中間育成期間



図 2.2.2-30 モート内区に設置した基盤

175日時点での試験区別の成長比較について述べる。試験区はタカセガイ育成礁内のタカセガイ存在、タカセガイ非存在、リーフ上、モート内の4区分である。試験区別の175日経過時（1月9日時点）のポリプ数を図2.2.2-31に示す。タカセガイ存在区：平均 $23.9 \pm 18.4$ 個、タカセガイ非存在区：平均 $24.8 \pm 15.1$ 個、リーフ上区：平均 $24.4 \pm 14.1$ 個であり、3試験区のポリプ数組成は、非常に似通っていたため、成長に差は無いと考えられた。一方、モート内区は平均 $6.2 \pm 3.90$ 個で、著しくポリプ数が少なく、他区と比べて有意に小さかった。

モート区は高床式であるため、ウニ類等の藻食性動物が上ることができないことから、最終的には著しく藻類に覆われ、それが光や流れを遮蔽して、成長不良になったと考えられた（図2.2.2-30）。

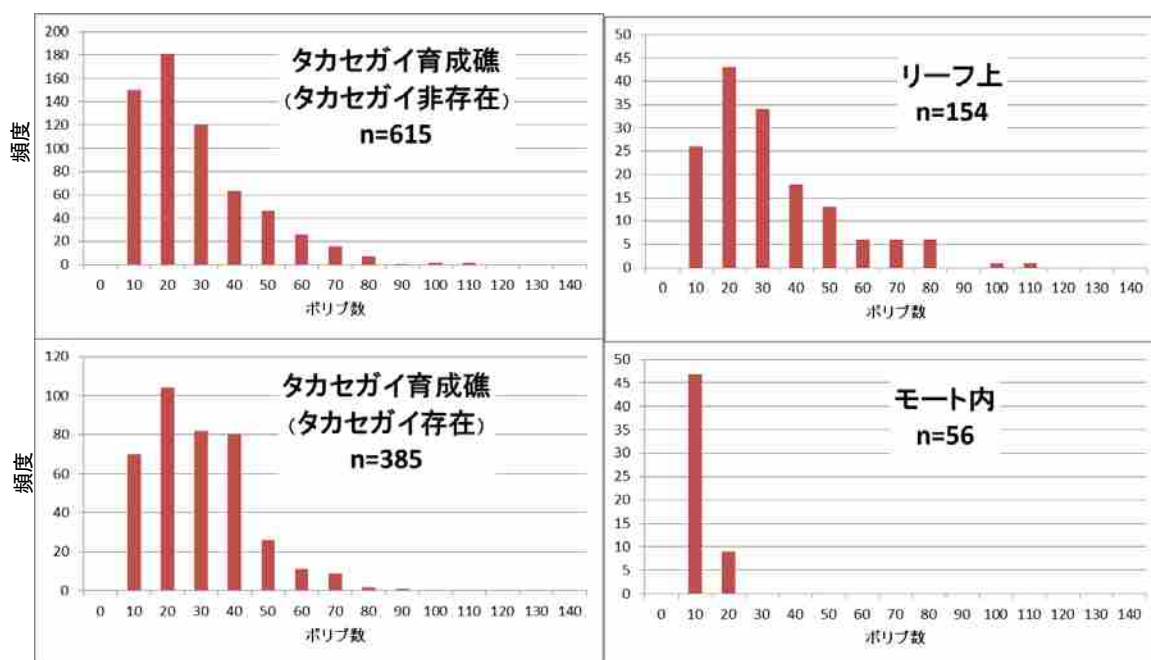


図 2.2.2-31 沖出し後175日経過時の各種苗のポリプ数頻度からみた各試験区の成長比較



イ. ミドリイシ3種の前期中間育成条件比較試験 (H25年度:2013)

i 中間育成試験区位置、試験設定

タカセガイ育成礁は沖縄県漁港漁場課の試験許諾を得て、26区画を使用した。なお、タカセガイ育成礁は2区画で1基である。すべての区画においては付着生物の除去作業を、漁協への現場作業委託でタカセガイ収容前に実施し、タカセガイはサンゴ育成前、3か月～半年前に平均殻径4～8mmの種苗を収容した。(図2.2.2-32)。

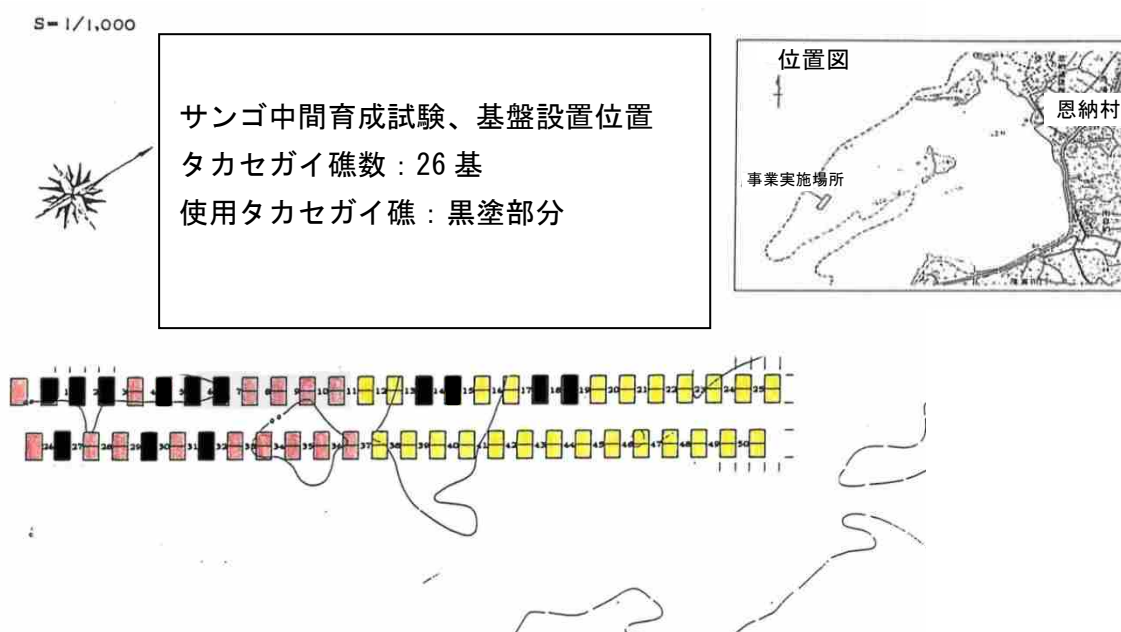
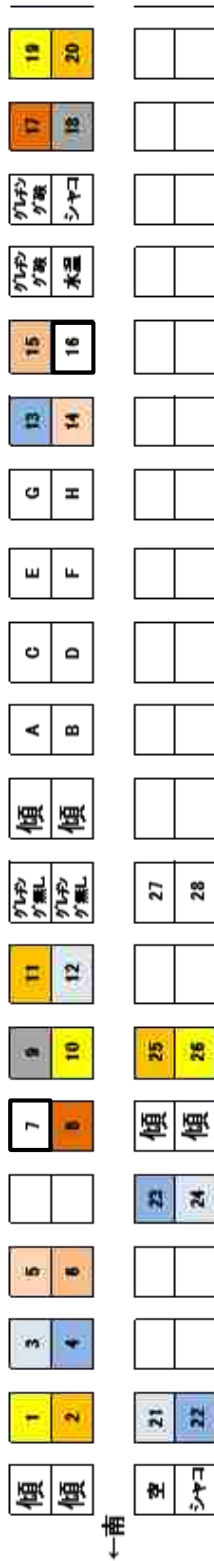


図 2.2.2-32 タカセガイ育成礁設置位置図

タカセガイの有無・数量には、収容数750個、1,500個、無しの3通り、ウニ除去の有無・除去対象種には、除去無し、ガンガゼのみ除去、全ウニ類除去の3通りとした。これらの設定を組み合わせた結果、図2.2.2-33に色分けして列挙した9通りとなった。タカセガイ育成礁は2試験区(コンクリート柵2面)で1基となっており、この2面は沖(リーフ外)側と岸(リーフ内)側に位置するため、波浪条件が異なっている。したがって試験区の配置については、できる限り条件が偏らないように沖、及び岸側の位置についても考慮した。

タカセガイ育成礁内におけるホルダーの配置は最大限の基盤設置を想定して、ほぼ全面に配列するよう考慮し、横4列、縦8列の計32ホルダーの配置とした。陸上における種苗生産期間の短縮化のため、約1か月と、更なる短縮化を目指して2～3週間の沖出しを検討した。

沖 1



岸 1

有性生殖株生産試験区:1~26  
試験区あたり設置枚数:2枚/ホルダー×4ホルダー×8列=768枚

試験設定	面積	基礎枚数/面	総枚数	期待生産率	期待生産数/面	タカセガイ/イ箱数	タカセガイ/イ箱数	試験区番号	タカセ比
①タカセガイ750個投入+ガンガゼ除去区	4	768	3,072	70%	2,150	750	3,000	1 10 19 26	x1
②タカセガイ1500個投入+全ウニ除去区	4	768	3,072	70%	2,150	1500	6,000	2 11 20 25	x2
③タカセガイ750個投入+全ウニ除去区	4	768	3,072	70%	2,150	750	3,000	3 12 21 24	x1
④タカセガイ1500個投入+ガンガゼ除去区	4	768	3,072	70%	2,150	1500	6,000	4 13 22 23	x2
⑤タカセガイ投入無し+ガンガゼ除去区	2	768	1,536	40%	614	0	0	5 14	x0
⑥タカセガイ投入無し+全ウニ除去区	2	768	1,536	40%	614	0	0	6 15	x0
⑦タカセガイ投入無し+放置区	2	768	1,536	20%	307	0	0	7 16	x0
⑧タカセガイ750個投入+放置区	2	768	1,536	40%	614	750	1,500	8 17	x1
⑨タカセガイ1500個投入+放置区	2	768	1,536	40%	614	1500	3,000	9 18	x2
	26	6,912	19,968		11,388		22,500		

ホルダーの配置は  
1列 4ホルダーで8列並べ、32ホルダーとした。  
(ホルダー幅は10cm)  
総ホルダー数  
832個  
総基礎数  
19,968

図 2.2.2-33 タカセガイ育成礁での中間育成技術開発 試験区設定

ii 基盤（種苗）の輸送とコレクターホルダーへの付け替え及びタカセガイ育成礁への沖出し

水産土木建設技術センターで陸上育成後のツツユビミドリイシ *Acropora humilis*、クシハダミドリイシ *Acropora hyacinthus*、ウスエダミドリイシの3種のサンゴ種苗を恩納村漁協のモズク種付け施設へ受け入れ、水槽内で中間育成用のホルダーに付け替えて、タカセガイ育成礁への沖出した（表 2.2.2-10）。

表 2.2.2-10 平成25年度産卵・沖出し日程・数量

種類	産卵日	沖出し日	陸上育成		ホルダーあたり		沖出し対象 タカセ礁回数	沖出し基盤 総数	付け替え ホルダー数
			日数	タカセ礁1回 ホルダー設置数	ホルダーあたり 取り付け基盤数				
ツツユビミドリイシ	6月1日	6月25日	24	3	24	26	1872	78	
クシハダミドリイシ	6月1日	6月25日	24	3	24	26	1872	78	
ツツユビミドリイシ	6月1日	7月9日	38	2	20	26	1040	52	
クシハダミドリイシ	6月1日	7月9日	38	3	24	26	1872	78	
ウスエダミドリイシ	6月29日	7月19日	20	8	24	26	4992	208	
ウスエダミドリイシ	6月29日	8月9日	41	13	24	26	8112	338	

種苗生産施設から搬入された基盤セットは沖出しの前日の夕方7時頃に恩納村漁協の恩納地区モズク種付け水槽水深約40cmに收容した。タカセガイ育成礁に集約的に設置するため、種苗着生基盤は、予め準備したステンレス製コレクターホルダー（以下ホルダー）に付け替える方法を採用した。ホルダー



図 2.2.2-34 ホルダーへの基盤付け替え作業

は基盤を垂直に24枚セットで結束バンドにより固定でき、またホルダーの下部には土台に相当するグレーチングにスリットで固定できる。

当初は、基板セット搬入の翌日、ホルダーへの付け替え作業を船上で行っていたが、南西風が非常に強く、船上での付け替え作業が困難を極めた。こうした反省から第2回の沖出しは、水温が昼間に上昇し、種苗にストレスとなる可能性があることも考慮して、前日夕方7時から恩納村漁協の恩納地区モズク種付け水槽内で夜間照明下において、ホルダーへの付け替え作業を行った（図 2.2.2-34）。作業開始当初は不慣れで付け替えに時間を要したが、結果的に130個のホルダーへの付け替え作業を13人の作業員が

約 3 時間で行うことが出来た。付け替えが終了したホルダーは、翌日までモズク種付け用水槽で、弱いエアレーションと少量の海水交換で畜養した。ホルダーは横に置くと面積を要するが、水槽内に立てて並べることにより、集約的に畜養できた(図 2.2.2-35)。



図 2.2.2-35 水槽内コレクターホルダー畜養状況

翌日まで水槽で畜養したホルダーは早朝 6 時頃から 0.5tFRP 水槽に縦に並べ入れることにより、45 個(基盤 1,080 枚)収容可能であった。水槽はパッキンを施した専用蓋を作製し、蓋をして水

槽ごと作業船に載せ、タカセガイ育成礁に移送した。最終的に基盤付け替え作業は工程の習熟により、事業実施対象海域の恩納村漁協のサンゴ部会メンバーを中心に約 110 枚/人・時が可能となった。

2 回目 :  $130 \text{ ホルダー} \times 24 \text{ 枚} \div 13 \text{ 人} \div 3 \text{ 時間} = 80 \text{ 枚/人} \cdot \text{時間}$

3 回目以降 :  $338 \text{ ホルダー} \times 24 \text{ 枚} \div 25 \text{ 人} \div 3 \text{ 時間} = 110 \text{ 枚/人} \cdot \text{時間}$

タカセガイ育成礁への基盤(ホルダー)の沖出しは 0.5t 横長水槽で約 1,000 枚(45 ホルダー)輸送できたが、水槽 3 基を船に載せて一度に現場へ移送しても、最大 3,000 枚であり、沖出しの基盤数が 8,000 枚に及ぶ場合は、タカセガイ育成礁までの移送を 3 往復する必要があった。いずれの回も水槽内の水温上昇を抑えるため、500ml ペットボトルに水を入れて凍らせたもの(以下、ペットボトル氷)を 4~5 本投入したが、特に盛夏期は水温が非常に高く、タカセガイ育成礁に到着した時点(30 分以内)ですべて溶け、保冷効果が消失していた。タカセガイ育成礁周辺は水深が浅く、干潮時は大きな船舶が近寄ることが困難である。しかし、0.5t(500kg)水槽を 3 基(1.5t)載せて運ぶ必要があるため、ある程度大型船を調達する必要があった。一方、タカセガイ育成礁内へのホルダー設置作業は満潮時の場合は波浪の影響を受けやすく、干潮時に実施した方が事故などのリスクが少ない。そのため、満潮時にタカセガイ育成礁まで近づいて、一旦周辺の海底にホルダーを沈め、干潮時まで現場で待機して、設置作業が可能な水位まで潮が引いたことを確認後、一斉に設置作業を行う等の工夫が必要であった。ホルダーの設置は、台風などの際に流失する可能性を考慮し

て、逐一、インシュロックタイで固定した。インシュロックタイの固定はグレーチングの下を潜らせて固定する必要があるため、ピンセットを使ってインシュロックタイの先端をつまみ上げて固定しなければならず、作業に時間を要した。最も効率的に作業が出来た最終回の場合は、約 8,000 枚の沖出しを 2 往復・20 人で、約 5 時間で終了した。

iii タカセガイ育成礁内のホルダーの集約的配置

今年度の沖出しは産卵期のズレにより、4 回に渡って順次設置し、第 4 回の 8 月 9 日をもって計画の 32 ホルダーの全面設置が完了した(図 2.2.2-37)。ホルダーにはプラスチック製札に通し番号を表記して、ピータッチ (ブラザー) でラベル作製後、PE クロステープで 2 重にシールした。ホルダーの設置位置は、タカセガイ育成礁内は 2m 角のプール状で内部空間は狭く、その中での設置作業はスペースが限られていて、不規則な設置は煩雑となるばかりでなく、作業員の基盤への不用意な接触やホルダー同士の擦れ等で種苗がダメージを受ける可能性が高い。よって、沖側の一方向より順次並べていく方法を採用した。いずれにしても、2 万枚という大量の基盤の沖出しを、1 礁 32 ホルダー全面設置を 26 面のタカセガイ育成礁で、実証できたことは意義がある(図 2.2.2-36)。

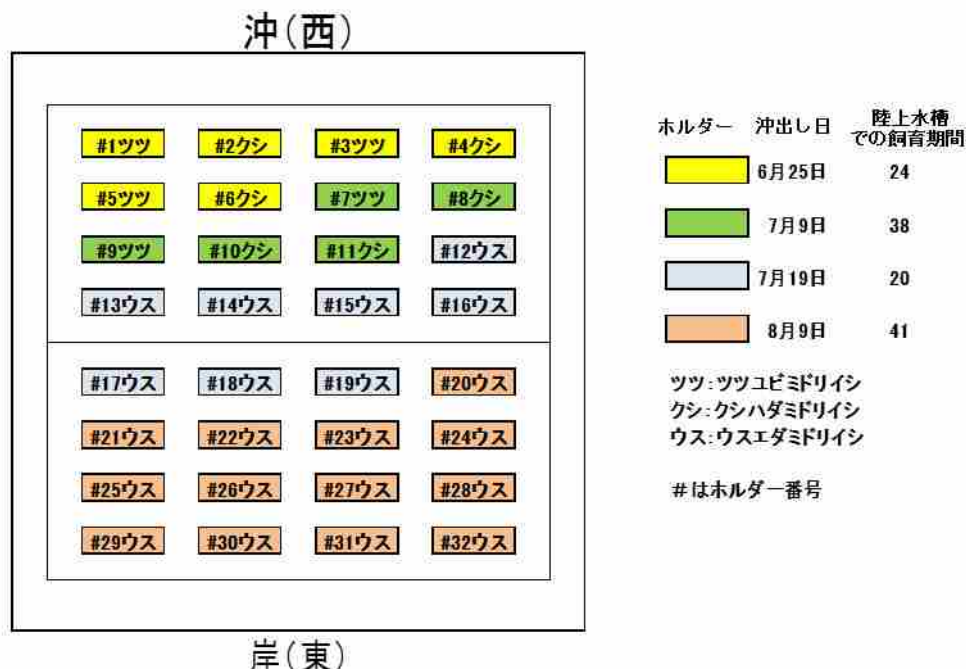


図 2.2.2-36 タカセガイ育成礁内ホルダー設置位置図

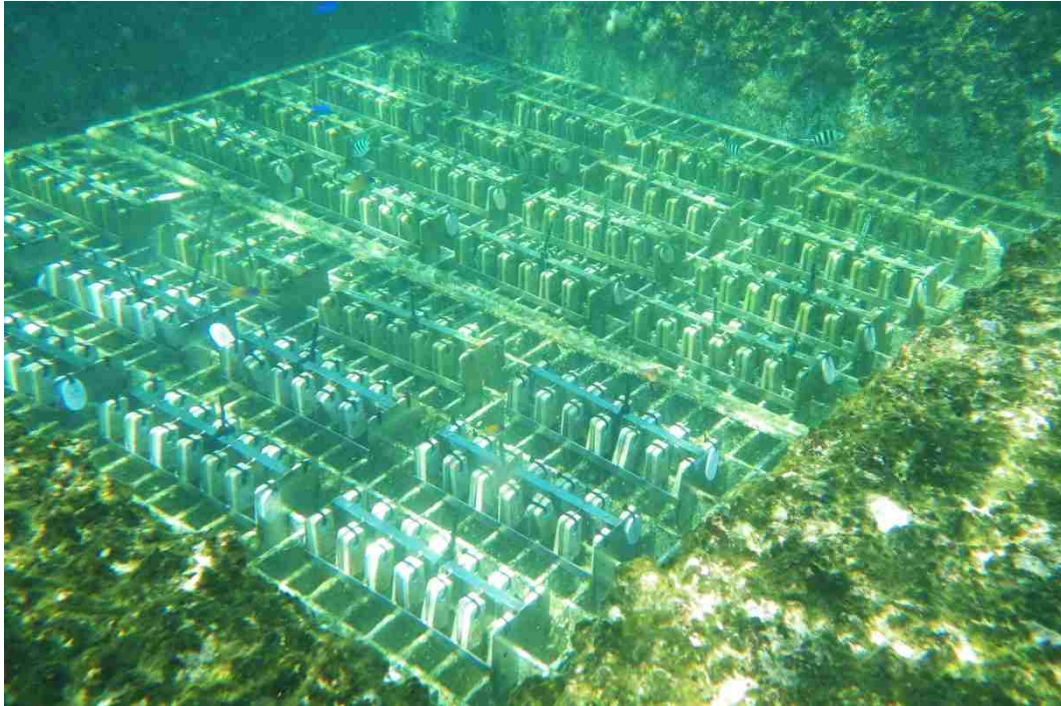


図 2.2.2-37 32ホルダー（4×8列）の全面設置が完了した状況

iv 中間育成種苗のモニタリング

全てのモニタリング対象の基盤は恩納村から糸満市の水産海洋技術センターに持ち帰り、実体顕微鏡下で稚サンゴを全数調査した。稚サンゴの輸送はプラスチック製容器（内法：長さ 69cm、幅 45cm、深さ 20cm）1 個に、基盤の結索されたホルダーを逆さまに置き、8ホルダー収容した。ホルダーを逆さまに置くことにより、基盤部分を水没させることができた。また高水温時には空間部分にペットボトル氷を、メッシュを挟んで海水より隔離して同梱し、水温上昇を抑えた（図 2.2.2-38）。輸送後、水産海洋技術センター内の水槽に収容し、逐次稚サンゴを計数した。稚サンゴは基盤上の付着位置別に上面と側面を区別して計数した。計数後、基盤全体をデジタルカメラ NikonD600 で、各区 20 個体以上の稚サンゴを顕微鏡デジタルカメラ DFC295 と一軸マイクロスコープ LeicaZ6APO で写真に記録し、サイズ（長径・短径）を測定した。全 26 試験区の基盤数約 2 万枚のうち、#1~10 を基本とし、予備的に 13, 14, 16~20 の試験区も加え、各区 6 ホルダー（基盤数 144 枚）×17 区を計 2,448 枚追跡調査した。特に 13, 14 区以外は 1 か月と 2~3 か月、約半年経過後の 3 回次に渡って観察し、のべ観察枚数は約 6,000 枚であった。基盤上の平均個体数を計数し、経時的な生残率推移を求め、あわせて生産基盤率として基盤上に 1 個体以上生残する%を求めた。

第 2 回モニタリングから白化する稚サンゴが観察されたので、白化して死んでいる稚サンゴの数を計数し、全体のサンゴ数に対する%を求め、白化による推定死亡率を便宜的に白化率として、比較検討のための一つのパラメーターとした。あわせて減耗要因のパラメーターとして、タカセガイ収容数を考慮し、各試験区における侵入ウニの個体数調査結果及び水温データを比較検討した。



図 2.2.2-38 ペットボトル氷とコレクターホルダーの移送用ケース

v 生残率と生産基盤率の推移

以下に回次別推移について報告する。なお、モニタリング対象は先述した通り、#1～10 を基本とし、その他は補足的に適宜追加調査を実施した。また、生残率については中間育成の前半 3 か月、生産基盤率については約半年を目処にモニタリングした。以下、各回次のグラフには視覚的に見比べ易いようにタカセガイ礁内のウニ数や顕微鏡観察下で白化して死亡している群体の比率（白化率）を並列させ、比較検討した。なお、生産基盤率は先述の通り、試験区全体の基盤数に対する 1 群体以上生残した基盤数の占める率を便宜的に表した。

A) 第1回次：ツツユビミドリイシ

生残率は概ね横ばいであったが、試験区#4は大きく低下した。#4区はタカセガイ種苗を1,500個と多く投入し、ウニ駆除はガンガゼのみを除去する設定であった。

当試験区のウニ類調査の結果、ナガウニをはじめとするウニ類の棲みつき数、あるいは侵入数が104個体と最も多かった。基盤表面の観察結果から、ウニ類による嚙り取りの痕跡が確認され、高頻度にサンゴ種苗がウニ類に食害され、大きく減耗したと考えられた。2012年度では、タカセガイの摂餌によって藻類が減少すると、ウニ類の索餌活動がより広範囲に活発化し、ウニ類による食害の影響が高くなることが示唆されたので、本試験結果でも、タカセガイ投入量が多く、これが藻類を減少させた状況であったために、ウニによる嚙り取りが顕著となり、結果的に生残率が低下したと考えられた。なお、全試験区とも白化による死亡率は全て低く留まっており、高水温の影響は小さいと考えられた(図2.2.2-39)。

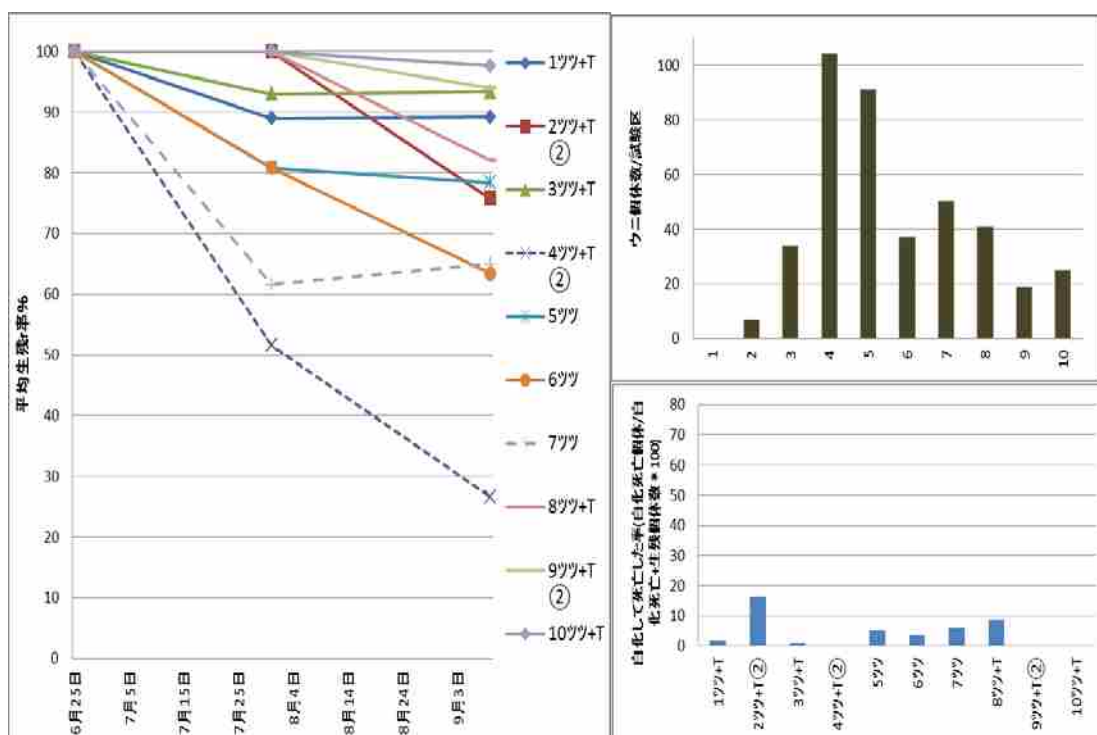


図 2.2.2-39 第1回次ツツユビミドリイシ生残率の推移と各試験区ウニ数及び白化死亡率

サンゴ種名の前の数字は試験区番号を、種名の後の「+T」はタカセガイが存在していることを、種名の後の丸囲み数字は試験設定を示す。試験区位置は図2.2.2-32,33,36参照

生産基盤率でも試験区#4が163日経過時点で30%以下まで激減した。先述の通り、本試験区は1,500個体のタカセガイ投入とそのタカセガイが摂



餌して藻類が減少し、その結果、ウニ類の索餌が活発化して、基盤上の種苗が嚙り取られ、生産基盤率が大きく低下したと考えられた(図 2.2.2-41)。

一方、その他の試験区は概ね良好で、生産基盤率は平均で約 8 割以上を維持した。中でも試験区#10 は、最悪の結果であった#4 と同様、タカセガイを 1,500 個投入したにもかかわらず、最も高い生産基盤率 100%を記録した。#10 は全てのウニの除去を実施した区で、調査の結果、ウニ数は 7 個に留まっていた。すなわち、ウニによる影響を除去作業によって低く留めることが出来れば、タカセガイ 1,500 個は必ずしも過剰な投入数ではないと考えられた(図 2.2.2-40)。

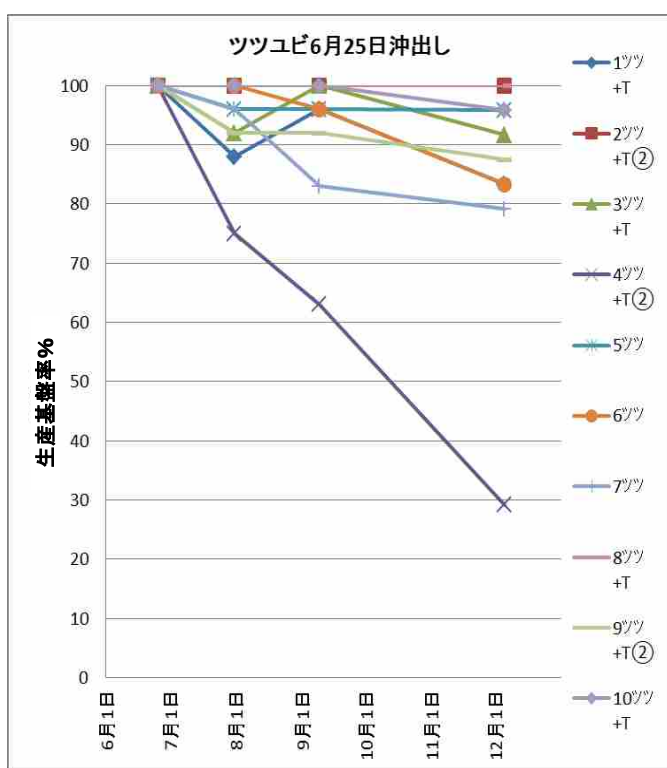


図 2.2.2-40 第1回次ツツユビミドリイシの生産基盤率の推移



図 2.2.2-41 試験区#4 基盤上のウニ類の嚙り取り痕

B) 第1回次：クシハダミドリイシ

生残率は概ね横ばいで、少なくとも76日まではツツユビミドリイシで大きく減耗した試験区#4においても10%強の減少に留まっていた。クシハダミドリイシは基盤上の種苗の元数が、ツツユビミドリイシと比べ多かったことが、生残率に影響を及ぼしにくい結果につながった可能性がある(図2.2.2-42)。

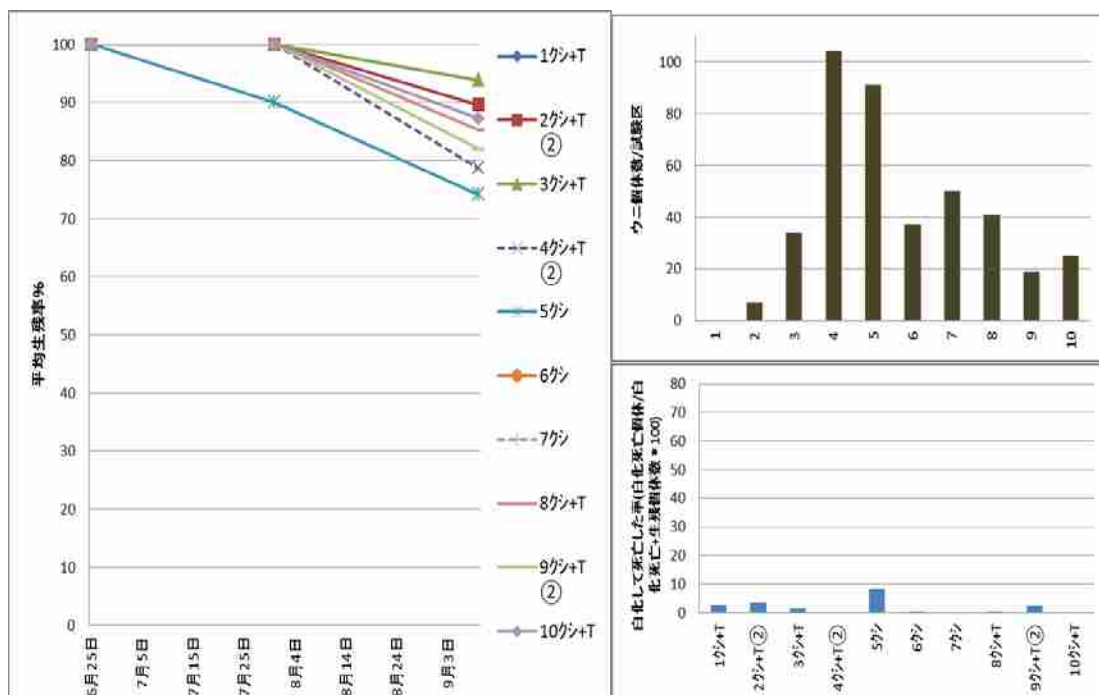


図 2.2.2-42 第1回次クシハダミドリイシの生残率の推移と各試験区ウニ侵入数及び白化死亡率

一方、生産基盤率では163日経過時点で試験区#9が50%まで減少したが、ツツユビミドリイシで最も減耗した試験区#4は8割以上の生産基盤率を維持した(図2.2.2-43)。#9は基盤上の種苗の元数を計数結果から、平均4個と少なかったため、基盤上の種苗が食害により消失しやすく、また基盤の観察結果からウニ類による食痕が広範に観察されたことも考え合わせると、ウニの食害の影響を強く受けた可能性が考えられた(図2.2.2-44)。

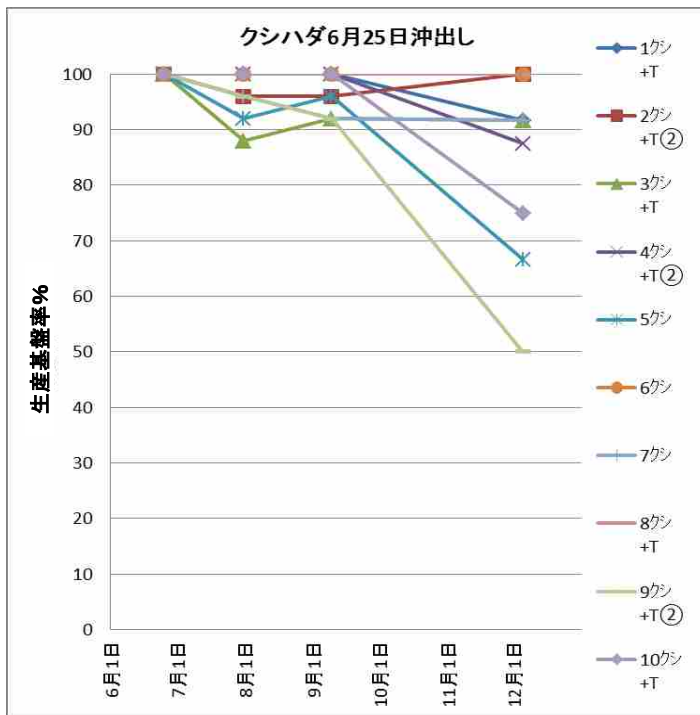


図 2.2.2-43 第1回次クシハダミドリイシの生産基盤率の推移



図 2.2.2-44 試験区#9 基盤上のウニ類の嚙り取り痕

C) 第2回次：ツツユビミドリイシ

生残率は、沖出し後1か月は概ね横ばいであったが、その後、漸減し、特に試験区#9, 4, 7は低下した。#4, 7はウニ数も多く、食害の影響と考えられる。#9についても基盤の観察結果からウニ類による食痕が観察された(図2.2.2-47)。全試験区とも白化による死亡率は概ね低く、高水温の影響は小さいと考えられた(図2.2.2-45)。

生産基盤率では163日経過時点で#9が30%、#4が58%以下まで低下したが、全ウニ除去区の#2, 3, 6をはじめ、ガンガゼ除去区で、ウニ侵入数が10個以下に留まった#1では、すべて90%以上を達成し、極めて良好な中間育成成績であった(図2.2.2-46)。

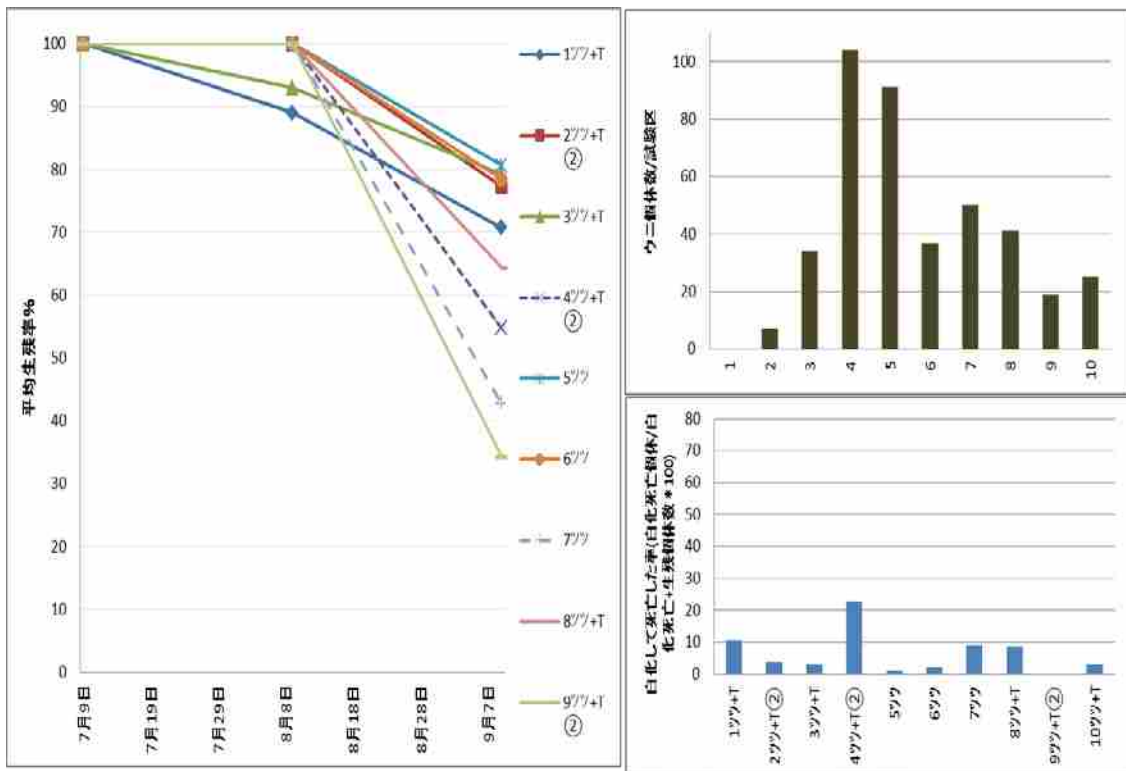


図 2.2.2-45 第2回次ツツビミドリイシの生残率の推移と各試験区ウニ侵入数及び白化死亡率

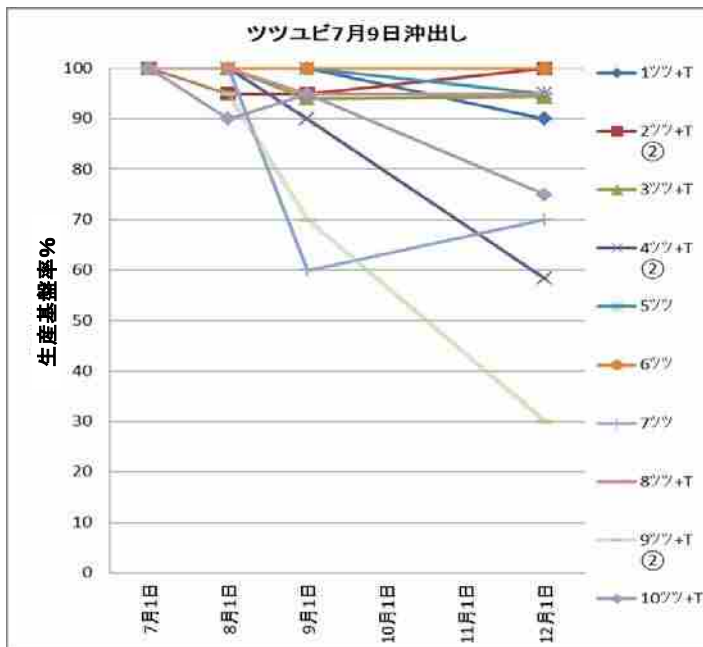


図 2.2.2-46 第2回次ツツビミドリイシの生産基盤率の推移



図 2.2.2-47 試験区#9-7 基盤のウニ類の嚙り取り痕

D) 第2回次：クシハダミドリイシ

生残率は試験区#4、5が大きく減耗し、いずれもウニ数が多い区であったこと、基盤の観察結果からウニ類による食痕が広範に観察されたことから（図 2.2.2-50）、食害による減耗と考えられた（図 2.2.2-48）。

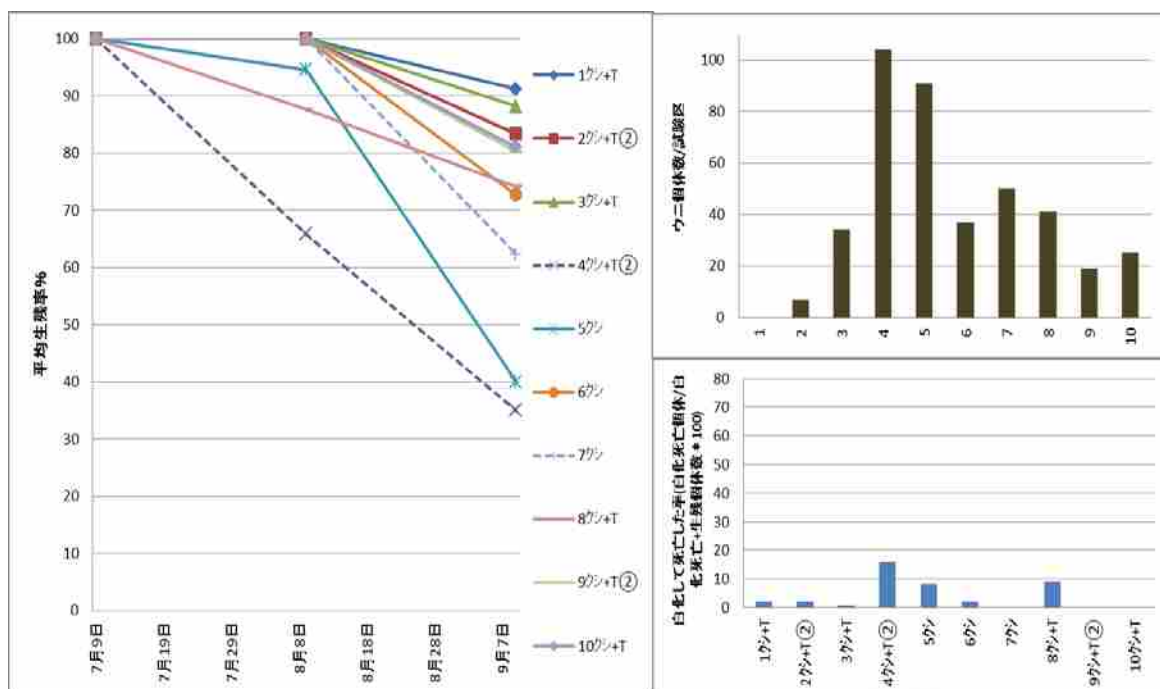


図 2.2.2-48 第2回次クシハダミドリイシの生残率の推移と各試験区ウニ侵入数及び白化死亡率

生産基盤率でも、#4、5は40～50%以下まで低下したが、全ウニ除去区の#2、3をはじめ、ガンガゼ除去区の#10でも、90%以上を達成し、中間育成成績は極めて良好であった。

第2回次（陸上育成期間38日）は、ツツユビミドリイシ・クシハダミドリイシともに、1回次（陸上育成期間24日）より生残率の低下傾向が強く、陸上育成期間はより短い方が良い結果となった。加えて沖出し時期の違いによる高水温の影響や、ウニ類駆除後に、一定期間をおいて再度侵入してくるウニ類による食害の影響等も、2回次の方が悪条件となっていた。よって、陸上育成期間を短縮し、沖出し時期の物理・生物条件も加味して検討する必要がある（図 2.2.2-49）。

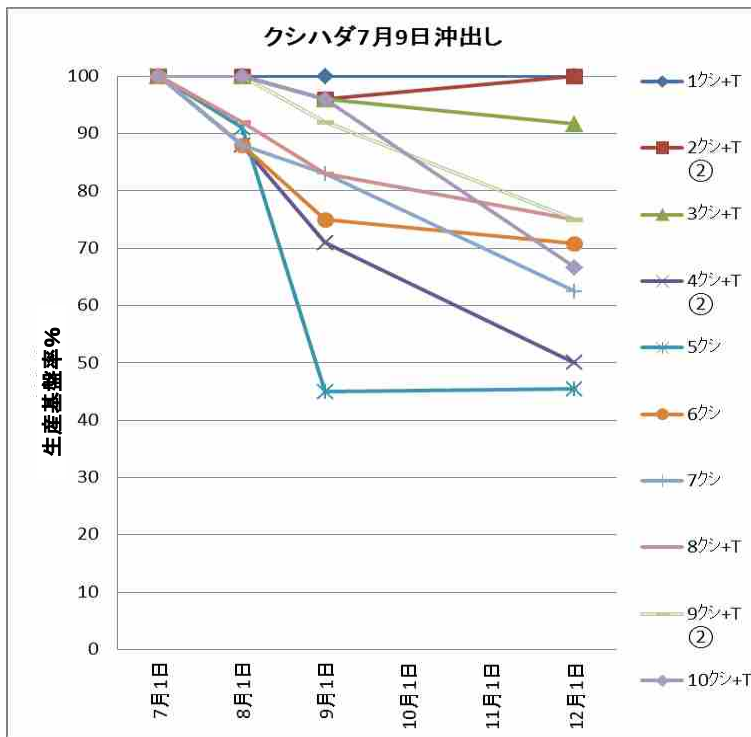


図 2.2.2-49 第2回次クシハダミドリイシの生産基盤率の推移

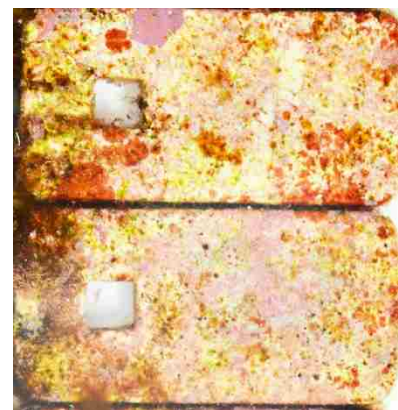


図 2.2.2-50 試験区#5-8 基盤上のウニ類の嚙り取り痕

E) 第3回次：ウスエダミドリイシ

第3回次の生残率は、第1, 2回次とは様相が一変し、多くの試験区で激減し、平均  $20 \pm 14\%$  まで低下した (図 2.2.2-52)。

第3回次では全試験区とも白化による死亡率が急増し、平均 50% に達した。平成 25 年度盛夏期は異常高水温に見舞われ、沖縄島西海岸を中心に多くのサンゴ白化現象が確認されたが、第3回次のウスエダミドリイシも同時期に沖出しのタイミングが重なってしまった (図 2.2.2-52)。特に第3回次は

沖出し後の最低水温が  $30^{\circ}\text{C}$  内外で推移し、白化の発現水温である  $29 \sim 32^{\circ}\text{C}$

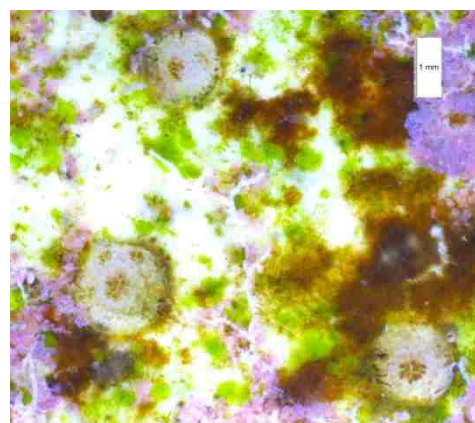


図 2.2.2-51 高水温により白化したと考えられる基盤上のウスエダミドリイシ種苗

の範囲を超えていたことから、高水温の影響を強く受けたと考えられる（日高 2011）。稚サンゴの白化はポリプの頂点付近から色が抜けはじめ、それが全体に広がっていく状況であった。白化したサンゴのうち、再生したのも骨格に空隙が多数認められ、健苗とは言えない状況であった（図 2.2.2-51）。

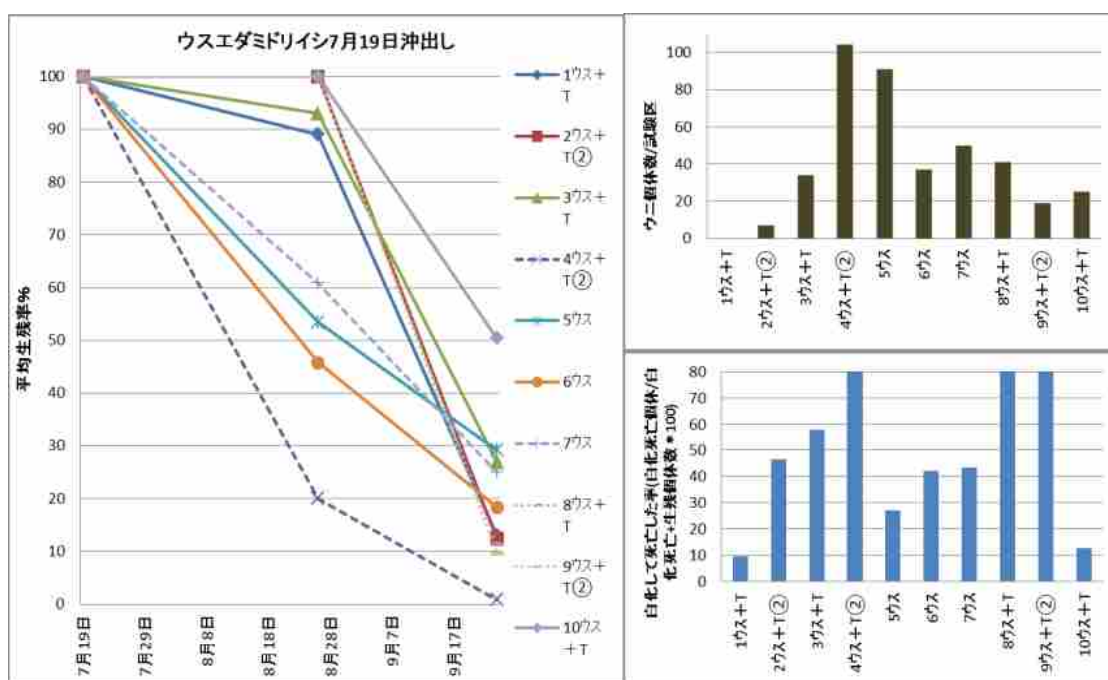


図 2.2.2-52 第3回次ウスエダミドリイシの生残率の推移と各試験区ウニ侵入数及び白化死亡率

生産基盤率でも減少傾向は著しく、175日経過した時点で  $18 \pm 8\%$  まで減少した。しかし、試験区の中には#2の様に全ウニ除去区で、39%を維持した試験区もあった。一方、ウニ数の多い#4が、とりわけ急激に減少していることから、主な減耗要因が高水温であっても、更にウニ食害が被害を拡大している可能性がある。なお、ウニ除去区とその他の試験区間では統計的に有意差は無く、高水温が、ウニ除去効果を打ち消し、それ以上の悪影響を及ぼした結果と考えられる（t検定： $P=0.1436$ ）（図 2.2.2-53）。

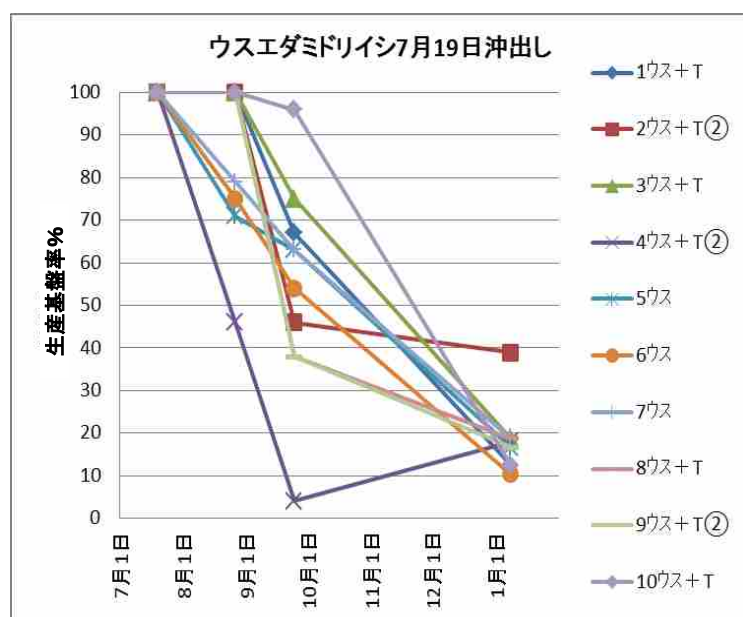


図 2.2.2-53 第3回次ウスエダミドリイシの生産基盤率の推移

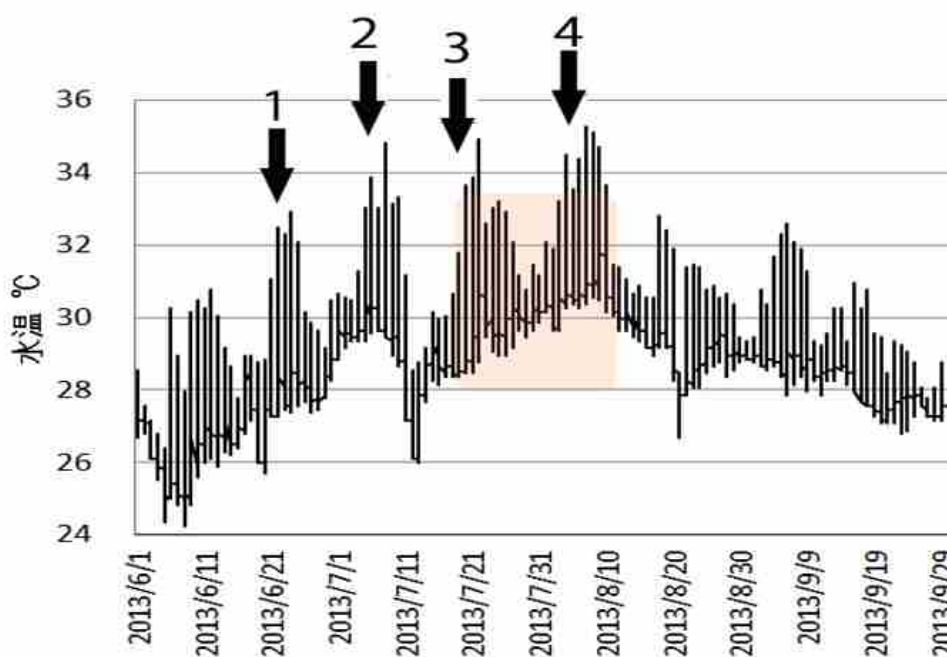


図 2.2.2-54 各沖出し回次（番号↓）とタカセガイ育成礁内の水温推移（赤塗は顕著な高水温期）

F) 第4回次：ウスエダミドリイシ

生残率は、第3回次と同様の傾向を示し、多くの試験区で激減した。全試験区とも白化による死亡率が急増したが、その割合は第3回次よりやや低い平均40%であった。減耗の程度もやや抑制されて、42±18%に留まった(図



2.2.2-55)。第4回次でも平成25年度盛夏期は異常高水温に見舞われはしたが、沖出し後2週間以降は水温が低下する傾向となったため、ダメージが少なかった可能性がある(図2.2.2-54)。

したがって、次年度以降、同様の水温上昇に見舞われた場合には沖出しのタイミングをずらす等の順応的管理が必要で、これにより被害を最小限に留めることが可能であろう。なお、第3回次と同様に試験区#4の顕著な急減と他試験区との時間的ズレはウニ食害の影響も大きいと考えられた。

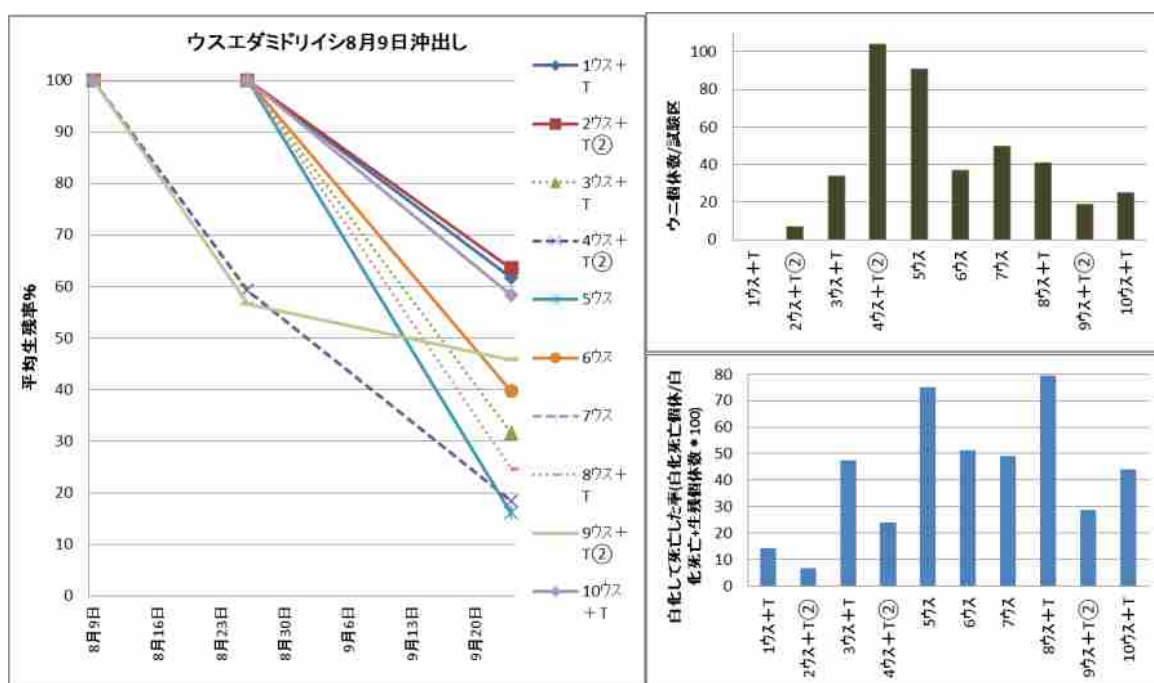


図 2.2.2-55 第4回次ウスエダミドリイシ生残率の推移とウニ侵入数及び白化死亡率

生産基盤率では#3同様、減少傾向は著しいが、152日経過時点で平均31%に留まった(図2.2.2-56)。本試験区の場合、高水温下においても全ウニ除去区では、平均44%であり、他の試験区との差は統計的に有意であった(t検定;P=0.0442)。したがって、ウニ除去が有効に作用したと考えられるが、理由としては食害回避だけでなく、ウニの除去により微細藻類の繁茂が維持され、それがシェードとなって、直射日光からの被曝を軽減できた可能性も否定できない。サンゴの白化には高水温の影響のみならず紫外線をはじめ直射日光が原因することが知られている(Gleason and Wellington 1993, Brown et al. 1994)。

いずれにしても、2013年度のウスエダミドリイシの中間育成の不調は産卵が1か月遅延したと異常高水温が重なって起きた非通常的なイベントであったと考えられる。

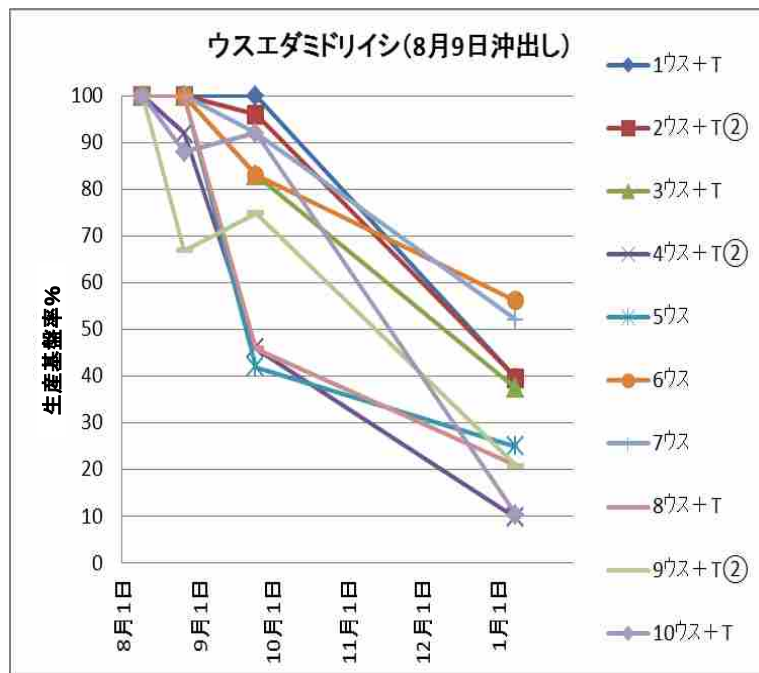


図 2. 2. 2-56 第 4 回次ウスエダミドリイシの生産基盤率の推移

vi ウニ駆除効果と沖出しまでの陸上育成期間短縮化に関する考察

全回次を通して、ウニ駆除の効果を検証した結果、高水温の影響を強く受けた第 3 回次以外は統計的にも効果が確認された (図 2. 2. 2-57)。しかし、ウニ駆除をした区において、タカセガイの投入をした場合としない場合では統計的に有意差が無かった。ただ、今回は異常高水温に見舞われた関係で藻類や付着性無脊椎動物等との棲み場競合が例年より抑制されていた可能性があり、タカセガイの掃除の効果については、通常条件下で、より詳しい検討が必要であると考えられる。陸上育成期間の差については、高水温の影響の少なかった第 1 回次(陸上育成 24 日)と第 2 回次(陸上育成 38 日)で検討した結果、陸上育成期間 24 日の短期育成がよいことが判った (両側 t 検定  $P=0.0102$ )。しかし、短期育成の優位性は以下に列挙した、いくつか理由が想定でき、これらが複合的に原因したと考えられる。

- 早期沖出しで、高水温条件に到達する前に収容でき、緩やかに水温馴致された。
- ウニ駆除の実施日から、タイムラグが少ない早期の方が、侵入ウニが少なく、食害回避効果があった。
- タカセガイ育成礁と比較して陸上水槽における飼育は高密度で低換水率で劣悪な条件であり、タカセガイ育成礁への収容は早期にその条件を解消できた。

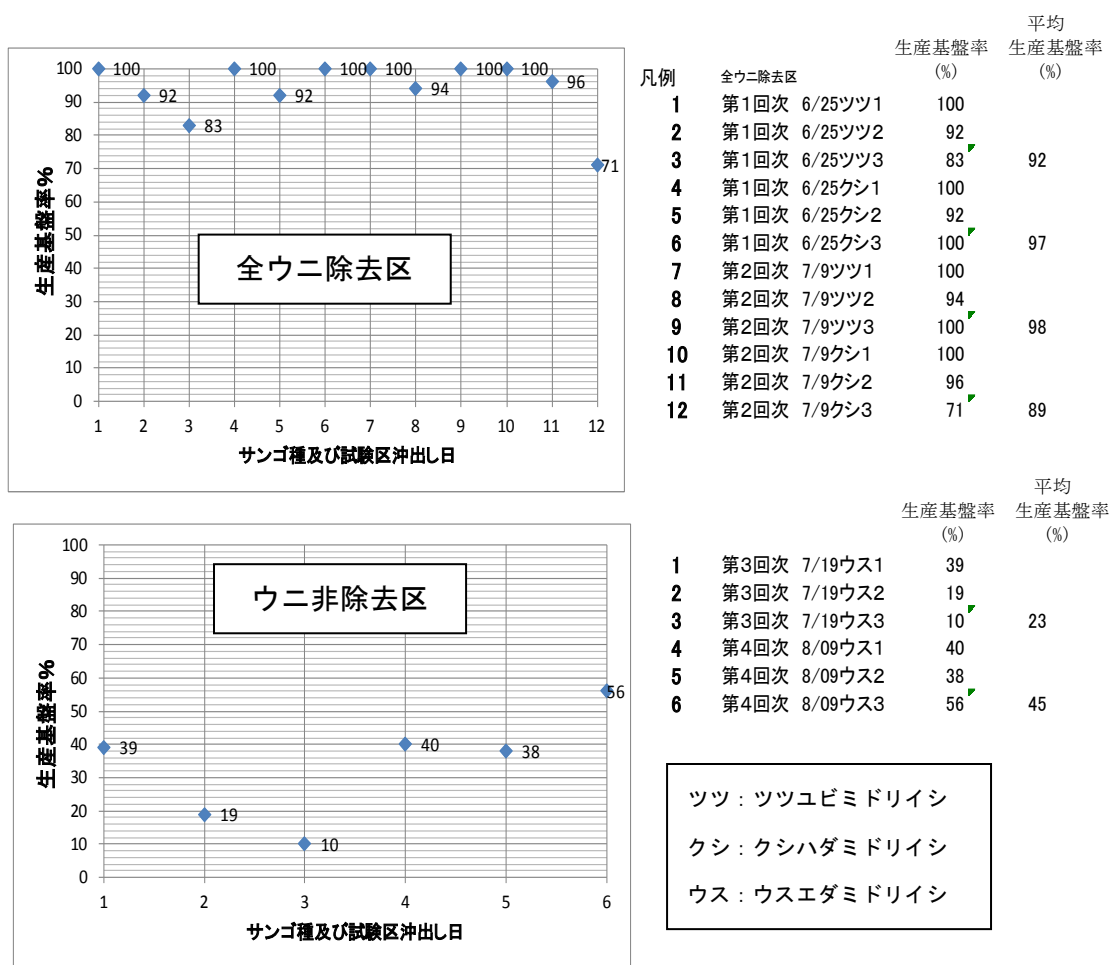


図 2.2.2-57 全ウニ除去区（上）と非除去区（下）の生産基盤率の比較  
 （ウニ除去の有無を比較） 両側 t 検定 (Welch 法) 第 1 回次 P= 0.042 第 2 回次 P=  
 0.005 第 4 回次 P=0.028

vii ミドリイシ類 3 種の成長

試験区別、サンゴ種類別、中間育成開始時期別の成長比較を行った。生残等のモニタリング時に、各区 20 個体以上の稚サンゴを顕微鏡デジタルカメラ DFC295 と一軸マイクロスコープ LeicaZ6AP0 で、写真に記録し、サイズ（長径・短径）を、アドビ社製 photoshopCS2 で測定した。サイズは単一数值化のために、式（長径+短径）/2 で、基本値を算出した。回次別、種類別の差を統計的に求めた（t 検定）。試験区別では、バラツキが各試験区で非常に大きく、誤差範囲が完全に重なるため、差はないものと見なした。

回次別ではクシハダミドリイシでは有意差はなかったが、ツツユビミドリイシは 1 回次の方が 2 回次より成長が早く、有意差が得られた（片側 t 検定、P= 0.0358）。ツツユビミドリイシについては、早期沖出しが生残の

みならず、成長においても有効と考えられた (図 2.2.2-58)。

ウスエダミドリイシは 3 回次より 4 回次が良好な成長を示した (両側 t 検定、 $P=0.0118$ )。これについては陸上での育成期間を延長したことのデメリットより、高水温で 3 回次が受けたダメージの方が大きかったことが考えられる (図 2.2.2-58)。

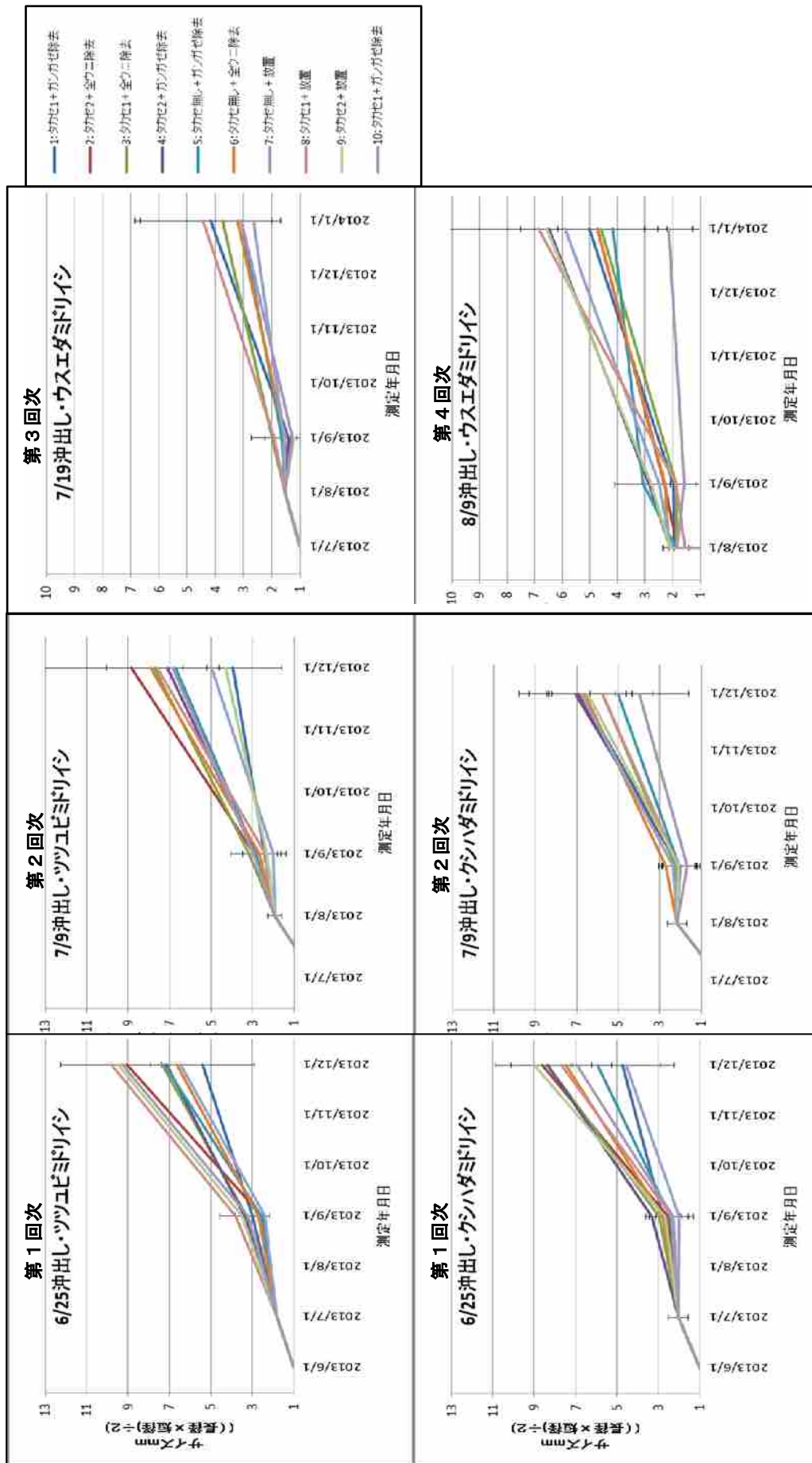


図 2.2.2-58 ツツユビミドリシ・クシハダミドリシ・ウスエダミドリシの回次別成長比較

ウ. ミドリイシ 2 種の前期大規模中間育成実証試験① (H26 年度:2014)

i 試験区位置、試験計画 (設定)

モニタリングは、タカセガイ育成礁 26 区画中 6 面を対象とした (図 2.2.2-59)。すべての区画は付着生物の除去作業を、漁協への現場作業委託事業でタカセガイ収容前に実施し、タカセガイは平成 26 年 6 月 13 日に平均殻径 4.8mm の種苗を 1 万 3 千個収容した。

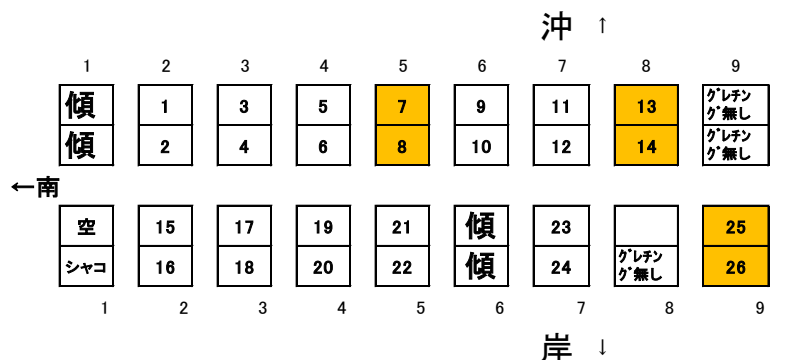


図 2.2.2-59 高水温対策試験位置 (橙色)

図は試験に用いたタカセガイ育成礁の配置パターンを示す。具体的配置と試験設定は図 2.2.2-33 を参照

モニタリングは礁番号 7, 8, 13, 14, 25, 26 の内、8, 13, 26 の 3 面に遮光ネット (目合い 8mm 黒ネトロンネットと 100mm 建設用鋼製格子を重ねたもの) を施し、7, 14, 25 は全天開放区とし、高温と強光障害による複合的影響を調査することとした (図 2.2.2-59)。

サンゴの種類はウスエダミドリイシ、及びクシハダミドリイシとし、6 面それぞれの中に設置してある 32 ホルダー中、各 3 ホルダー (ウスエダ 2, クシハダ 1) の計 18 ホルダーを対象とした。モニタリングしたホルダーの配置はウスエダが各礁 3 番及び 19 番、クシハダが 15 番とした。なお、番号配置については、前年度と同様、横 4 列、縦 8 列の左上を 1 番で横方向への順とした。

A) 結果及び考察

2013 年度のウスエダミドリイシ種苗の高水温による白化を受けて高水温対策を念頭にモニタリングを行った。白化現象は高水温のみならず、紫外線による障害が複合して、悪化するため、遮光により紫外線を遮断すれば白化は軽減できる可能性が高い。そこで、2014 年度はその対策として遮光ネットを準備し、万全の対策をとることとした。しかしながら、当該年度の夏期水温は以下に示すとおり、最低水温が連続的に 30°C 以上になることは全くなく、高水温対策の

効果検証に値する気候条件にならなかったため、検証をするに至らなかった。  
したがって、通常のモニタリングと相違ない調査を実施した（図 2.2.2-60）。

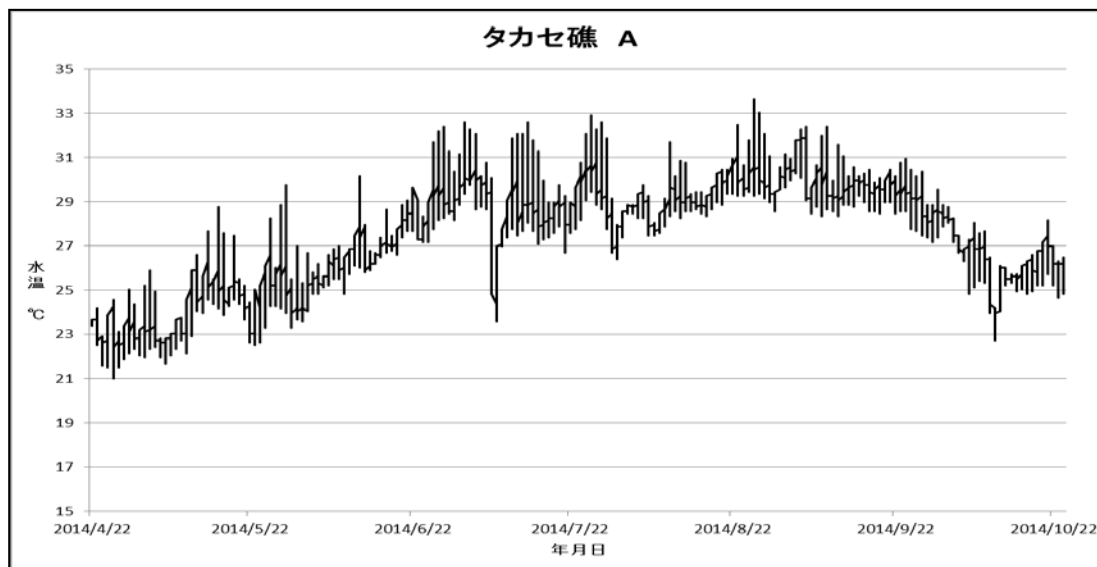


図 2.2.2-60 平成 26 年度夏期におけるタカセガイ育成礁内の水温推移

#### B) クシハダミドリイシ

クシハダミドリイシは設置直後から白化して弱った個体が多く、種苗育成に勢いが無かった。147 日目の平均生産基盤率は 28% に留まった。2014 年度は種苗生産段階から平均生産基盤率は不調であり、2013 年度の白化ストレスによる卵質不良の可能性が高い。生産基盤率（1 基盤に 1 群体以上生残する率）で見ても、設置後 2 週間以内に 6 試験区中 4 試験が半減し、種苗の脆弱性が示唆された。一方、2 週間以降で生残した種苗は、その後、緩やかに漸減したものの大幅な減少傾向は認められず、タカセガイ育成礁内でのストレスによる原因死は低く抑えられたと考えられた。

成長については、すべての遮光（ネット：実線）区が、開放区を上回ったが、その差は僅差であったこと、後述するウスエダミドリイシで無関係であった結果も考慮して、今後、再検証する必要がある（図 2.2.2-61）。

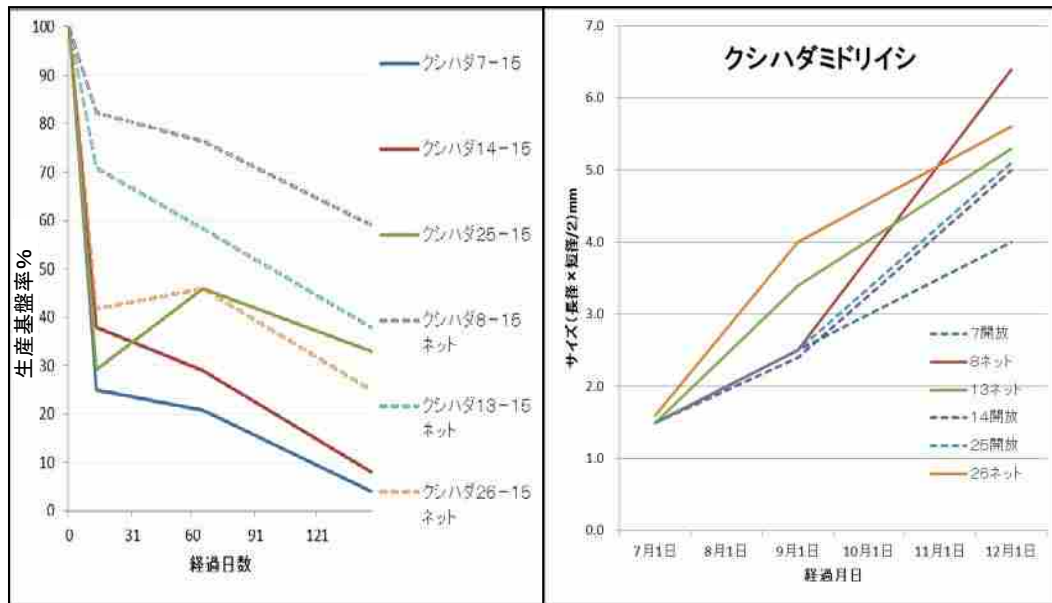


図 2.2.2-61 クシハダミドリイシの生産基盤率及び成長推移

C) ウスエダミドリイシ

147日目の平均生残率が59%と、高水温障害を受けた25年度の20%を大きく上回ったものの、生産基盤率をホルダー単位で見た場合、17~79%とバラツキが大きく、特に収容直後に減耗した区があったことから課題が残った。

少なくともネットの有無とは無関係に生産基盤率が変動し、関連性はないと考えられた(図 2.2.2-62)。その他の原因については、ウニ除去の徹底とタカセガイ種苗のサイズがやや小型であったことで、海藻の過剰繁茂を懸念した(図 2.2.2-63)。

しかし、海藻の繁茂状況と生産基盤率及び生残数を海藻が比較的多く着生している試験区とそうでない試験区で比較検証した結果、海藻繁茂との関係性は認められなかった(図 2.2.2-64)。これについて、ロット単位での生残率のばらつきなどは、種苗のハンドリングや基盤固定の緩みなどが考えられるが、データが数値化できない人的要素であるため、検証は困難であった。しかし、次年度は、インシュロックタイによる基盤固定手法の適正化等を検討する必要がある。成長についてはネット有無とは無関係に大きくバラツキ、先述のクシハダミドリイシとは異なる結果となった。



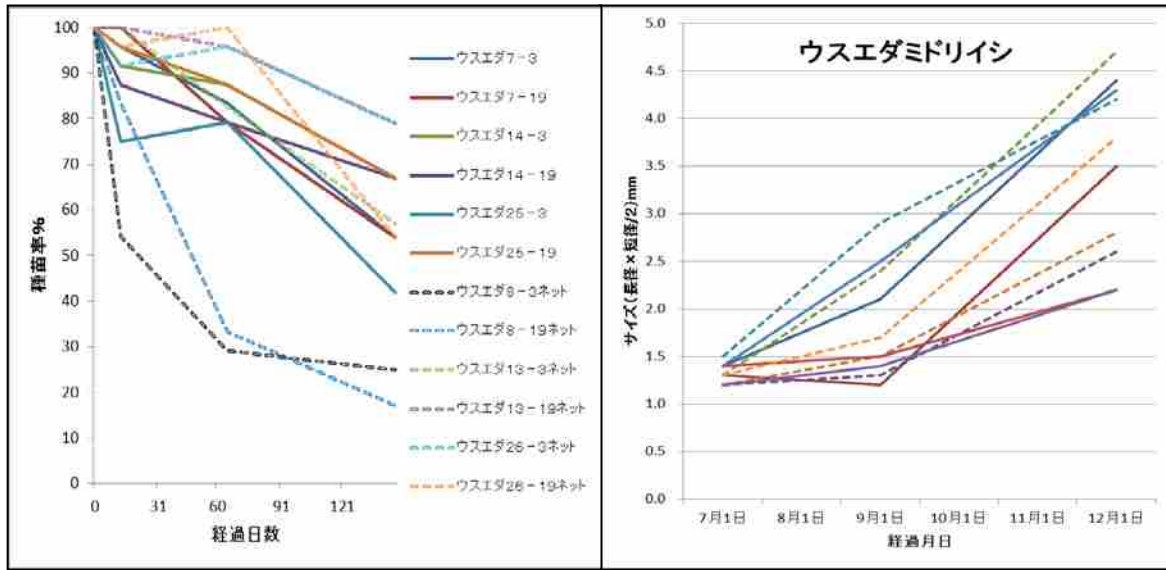


図 2.2.2-62 ウスエダミドリイシの生産基盤率及び成長推移



図 2.2.2-63 ウニ除去の徹底の結果ホルダー上に繁茂した海藻類の状況

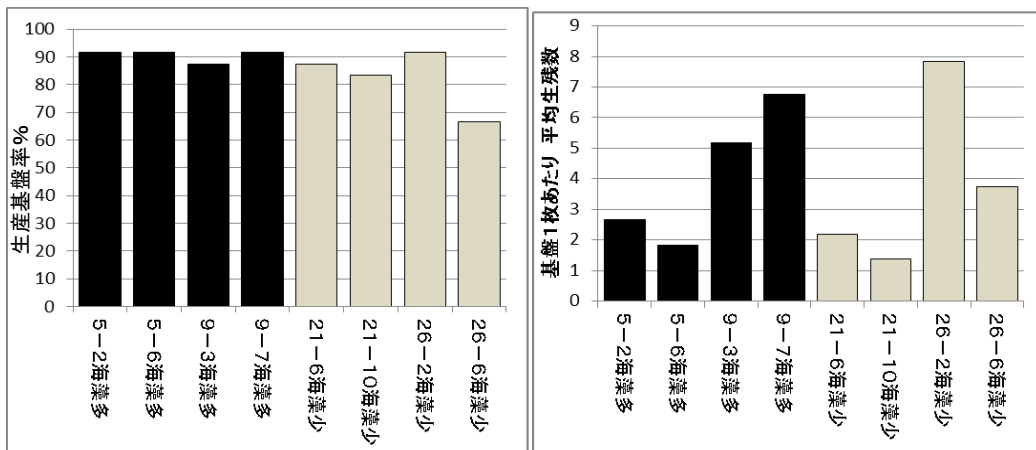


図 2.2.2-64 試験区別海藻繁茂状況と生産基盤率及び生残数

(数字はタカセガイ礁の No. と種苗ホルダー No. を示す。)

エ. ミドリイシ4種の前期大規模中間育成実証試験② (H27年度:2015年)

ウスエダミドリイシ、ツツユビミドリイシ、クシハダミドリイシ、*Acropora donei* について、予め基盤上の着底種苗数を調整し、種苗数別の生産基盤率について、モニタリングを行った。モニタリング方法は、基本的に前年度と同様であるが、今回は種苗数調整済基盤の混同を回避するため、モニタリングの対象とした基盤はすべてマーキングして同群体を追跡できるよう識別して扱った。生産基盤率の推移は、沖出し時の基板上種苗数別に比較した。ツツユビミドリイシ、クシハダミドリイシについては基板上のサンゴ群体数を1, 3, 5群体以上の3区、ウスエダミドリイシは1, 2, 3, 4群体の4区について調査した。*A. donei* は基盤への着生群体数が全般に少なかった。このため、生産基盤率の推移は、1ないし2群体/基盤の着生がみられた2試験区のみをモニタリングの対象とした。モニタリングは沖出し後約1か月目と3か月目、6か月目を目処に計3回実施した。

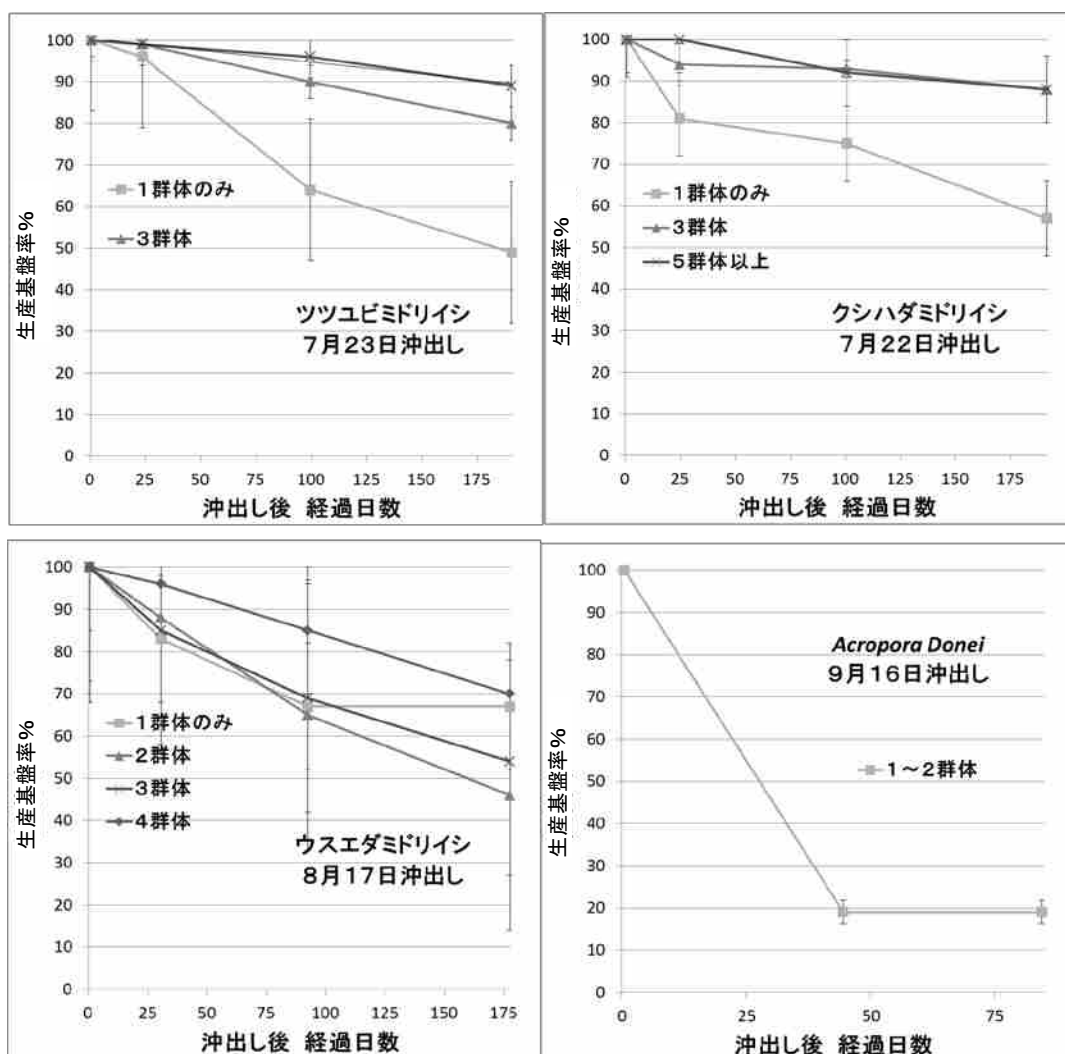


図 2.2.2-65 サンゴ4種における群体数別生産基盤率推移

生産基盤率はツツユビミドリイシ、クシハダミドリイシは基板上の種苗数に比例して向上し、3及び5 群体区と1 群体区の間に有意差が認められた。一方、ウスエダミドリイシは群体数に関わらず値が46~70%間に混在し、有意差は認められなかったが、4 群体区が最も高く70%で推移した(図2.2.2-65)。結果的にいずれのサンゴ種類においても、4~5 群体区以上では高い生産基盤率が認められたことから、少なくとも4~5 群体を着生させることで、その後の減耗に対しても移植用に必要な最低限の基盤上における種苗生残数1を確保でき、種苗生産時の基盤あたりのサンゴ着生数調整が重要であることが示唆された。*A. donei* は母サンゴの問題もあり、生産が低迷したが、沖出し後も1か月目で、19%と大きく低下し、生産不調による種苗の活力不良が考えられ、追跡調査も3か月で中断し、群体別比較には至らなかった。

#### オ. 年度別前期中間育成時の種苗成長比較

図2.2.2-66に事業対象種3種における年度別成長比較を行った。データはモニタリング最終時点の約6か月育成後の種苗サイズを中間育成日数で割った日間成長量(mm/day)を用いた。2013年(H25)は高水温に見舞われた年で、クシハダミドリイシ及びツツユビミドリイシ2種は沖出し時期が早く、高水温前に天然海域への馴致が行え、比較的高い成長を遂げたが、ウスエダ

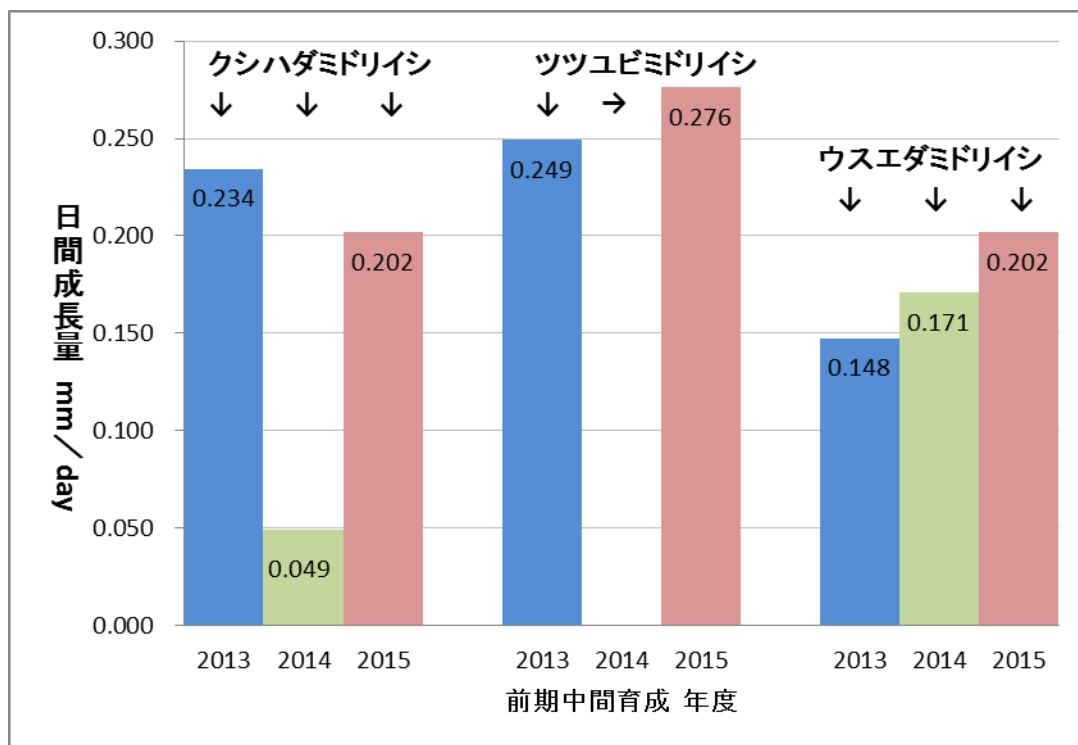


図 2.2.2-66 サンゴ3種の前期中間育成 年度別日間成長率の比較

ミドリイシは産卵の遅れから、沖出しと高水温が重なり、白化が起こったため、最も成長が鈍化した。2014年（H25）はクシハダとウスエダミドリイシのみでツツユビミドリイシは未実施であった。2014年のクシハダミドリイシは生産不調で生残状況も芳しくなく、種苗そのものに健全性の問題があったと考えられ、著しく成長が悪かった。

過去3年間のタカセガイ礁におけるサンゴ3種の日間成長量は稚サンゴの形態が著しく異なるため、単純に比較できないが、塊状に成長し、かつ、リーフエッジに棲息し、潮通しを要求すると考えられるツツユビミドリイシであっても、遜色なく成長を遂げていることが推測された。

### ③ リーフ内養殖漁場における高床式中間育成技術開発（後期中間育成技術開発）

有性生殖種苗を用いてサンゴ移植を実施する際、用いるサンゴは大きい方が、より良い生残率を期待できる。これは種苗放流等で放流サイズが大きいほど生残が期待できるという水産増殖のセオリーと全く同じである。しかし、より大きな種苗作出には時間と経費がかかるため、適正なサイズ選定は、自ずと限定されてくる。現在、無性株の移植では基盤などに固着させた5cm程度の株を用いており、4～10cm程度がよいとされている（Epstein et al. 2001、Shafir et al. 2010、Soong and Chen 2003）。タカセガイ育成礁での中間育成では前年度の実績では7月に沖出しした群体の半年後の到達サイズは平均ポリブ数で30～40個体、サイズとしては約1cm程度に過ぎない。したがって半年～10か月程度を、タカセガイ育成礁で育成したとしても、その種苗を直接、移植するには不十分なサイズと思われる。上記の4cm以上のサンゴに育てるためには、更に安定した中間育成を継続させ、より大きな種苗を作出する必要がある。そこで、タカセガイ育成礁での育成期間を前期中間育成、それ以降の移植サイズまで仕立てるための育成期間を後期中間育成と位置づけ、リーフ内養殖漁場における高床式中間育成手法等を検討する。

本総括報告では、本中間育成技術開発によって、移植準備段階に到達した有性種苗の基盤枚数を成果として報告する他、中間育成手法について比較検討した2013年、前期中間育成から、自然海域及びタカセガイ礁での後期中間育成への好適移行サイズについて、2014年の試験結果を中心に検討した。

- 1) ウスエダミドリイシの海域・手法・育成開始サイズ別比較試験（H25年度：2013）
- 2) ミドリイシ3種の海域・手法・育成開始サイズ別比較試験（H26年度：2014）

ア. ウスエダミドリイシの海域別手法別比較試験

i 試験区位置、試験計画

平成 24 年度にタカセガイ育成礁内で育成した種苗(前期種苗)を用いて、恩納(恩納漁港水路水深 2m)、前兼久(マガイグチ水深 2m)、仲泊(サンゴ牧場水深 5m)沖のリーフ内 3 か所、及びタカセガイ育成礁(水深 0.6m)での継続育成 1 か所、計 4 か所



図 2.2.2-67 後期中間育成試験 設置位置

で、後期中間育成試験を行った(図 2.2.2-67)。リーフ内 3 試験区は 2013 年 7 月 3 日、タカセガイ育成礁継続試験区は 8 月 1 日よりモニタリングを開始した。

リーフ内試験区は、すべてグレーチング幅 1m×長さ 2m に鉄筋の足場を作った養殖棚(海底より高さ 40~60cm)を設置し高床式とした。高床式養殖棚はそのま

表 2.2.2-11 後期中間育成試験設定

後期中間育成試験区	垂下金具	基盤数
タカセ礁	5	90
恩納漁港水路	10	180
マガイグチケージ内(タカセガイ有り)	3	54
マガイグチケージ内(タカセガイ無し・金網のみ)	3	54
マガイグチケージ外	4	72
サンゴ牧場ケージ内(タカセガイ有り)	3	54
サンゴ牧場ケージ外	2	36
予備(試験対象外)	7	126

まの状態と、食害防除、及びタカセガイ同居による掃除効果のために 5cm メッシュ金網で骨組みを作り、ネトロンネット 2cm メッシュで覆ったケージ区、5cm 金網のみのケージ区の 3 種類とした。基盤はグレーチング上に効率的かつ集約的設置できるよう 60cm の垂下金具を作製した(図 2.2.2-68)。

垂下金具には表裏で計 18 枚の基盤が垂下できる。それぞれの試験区における垂下金具数、及び基盤数を表に示す(表 2.2.2-11)。垂下金具の基盤 18 枚はサン

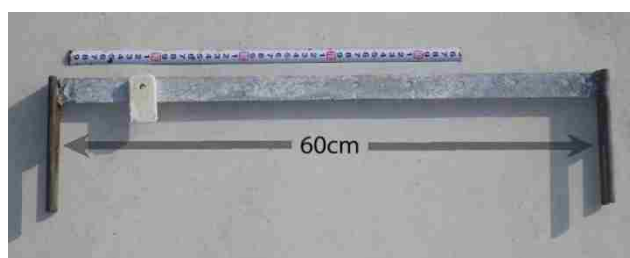


図 2.2.2-68 後期中間育成用基盤垂下金具

ゴサイズ別の生残・成長を比較するため、大:1,000 mm<sup>3</sup>以上 4,000 mm<sup>3</sup>未満(サイズ 13~20 mm 相当)、中:500 mm<sup>3</sup>以上 1,000 mm<sup>3</sup>未満(サイズ 8~12mm 相当)、小:500 mm<sup>3</sup>未満(サイズ 7mm 以下)の 3 区分とした。すべてサンゴは個体識別できるように一方向に番号を振って記録した。

モニタリングは生残、サイズ測定（縦・横・高さ, mm 単位）、その他特記事項を記録した。サンゴにストレスを与えないため、作業はすべて現場（水中）で実施した。サイズ測定は、種苗の高さは現場で実測したが、縦横の長さは個体識別番号テープ（スケール入り）と共に写真撮影し、photoshopCS2 で計測した。2 試験区のケージ内に同居させたタカセガイは平均 3.5cm の種苗を 1 ケージあたり 30 個投入した。

ii 結果、及び考察

A) タカセガイ育成礁

タカセガイ育成礁試験区はタカセガイ 750 個が同居する岸側の 2 面に設置した。礁内は沖から波浪を受けるため金具をその方向と直角に配置した(図 2.2.2-69)。大型海藻は少ないが、被覆性褐藻のイワノカワが多く、サンゴの被覆面に隣接して悪影響を及ぼしている可能性がある。なお、タカセガイは歯舌が弱いため、イワノカワを削り取ることはできないと考えられる。



図 2.2.2-69 タカセガイ育成礁内に設置された垂下金具と後期育成種苗(177日経過)の状況

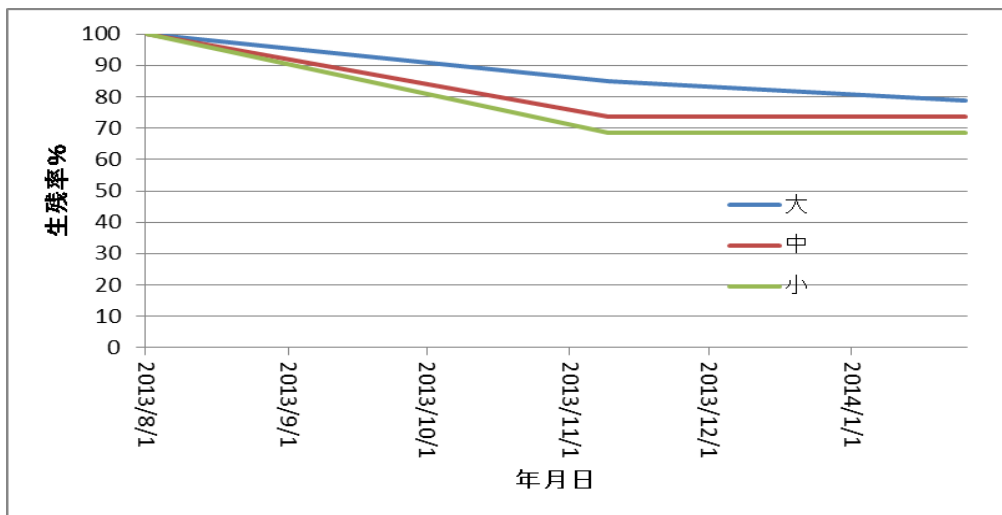


図 2.2.2-70 タカセガイ育成礁での後期中間育成生残率推移

生残率は 177 日が経過した段階で、大 79%、中 74%、小 69%であった(図 2.2.2-70)。いずれの区も 11 月以前の高水温期に減耗し、それ以降は安定したため、要因は異常高水温の影響が考えられる。よって、通常の水温環境であれば、より高い生残を期待できる。成長は大中小ともに、バラツキが大きく、特に大では、その幅は大きかった。

#### B) 恩納漁港沖水路

本試験区は恩納漁協サンゴ養殖部会の恩納地区グループが無性移植株を大量にひび建て方式により中間育成している場所で、サンゴ種苗養殖漁業権が取得されている。リーフ水路と河口が隣接し、潮通しが良く、栄養も豊富で、別事業での育成実績もあるため、選定した。海底は清浄な細砂底で、グレーチング上には海藻が繁茂しているが、藻食魚類等が海藻を摂食するため、基盤あるいは垂下金具への被覆はほとんど無い(図 2.2.2-71)。

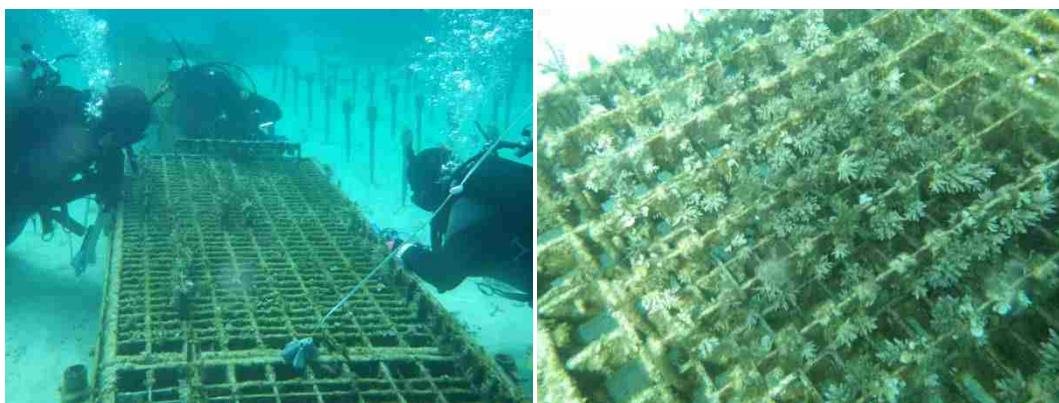


図 2.2.2-71 恩納漁港水路におけるモニタリング状況(左)、後期中間育成(206 日経過)

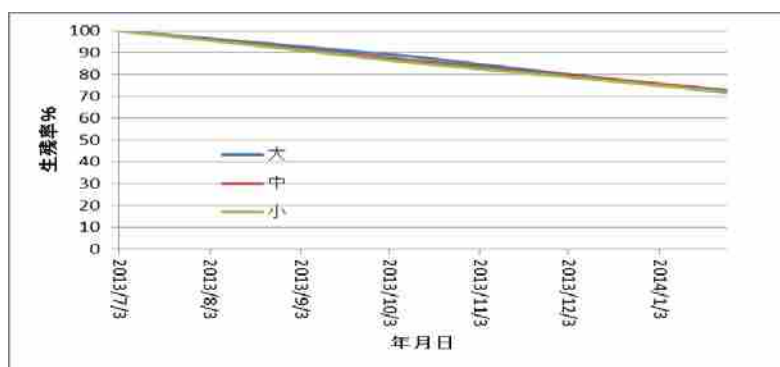


図 2.2.2-72 恩納水路でのサイズ別生残率推移

生残率は 206 日が経過した段階で、大 72%、中 73%、小 72%であった(図 2.2.2-72)。いずれの区も生残率は同じで、緩やかに漸減した。高水温時に

は白化個体も認められたが、大量斃死には至らなかったと考えられる。成長は前試験区と同様、大中小ともに、バラツキが大きく、大と小で大きくなる傾向があった。

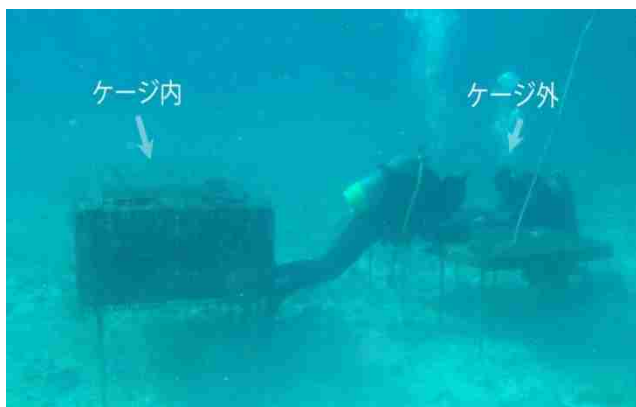


図 2.2.2-73 恩納漁港水路における試験区 (ケージ内・外)

C) マガイグチ (前兼久沖)

本試験区は恩納漁協サンゴ養殖部会の前兼久地区グループが無性移植株を大量にひび建て方式により中間育成している場所で、サンゴ種苗養殖漁業権が取得されている。リーフ水路が縦横に交差し、潮通しが非常に良く、近隣のリーフ上はサンゴ移植の対象海域となっている。海底は礫混じりの細砂底で、グレーチング上に海藻が繁茂し、基盤あるいは垂下金具へも多少の着生は認められるが、サンゴを被覆するほどの繁茂ではない。本試験区は食害等への保護を目的としたケージ区(タカセガイ有り、タカセガイ無し)とケージ外区が設定されている(図 2.2.2-73)。

生残率は211日が経過した段階で、ケージ内タカセガイ有りが、大 93%、中 88%、小 76%、ケージ内タカセガイ無しが、大 87%、中 100%、小 86%、ケージ外が、大 84%、中 82%、小 72%であった(図 2.2.2-74)。ケージ内外・タカセガイ有り無しとも生残率には統計的有意差はなく、いずれも緩やかに漸減した。大中小の生残率の差についても統計的有意差はなかった。

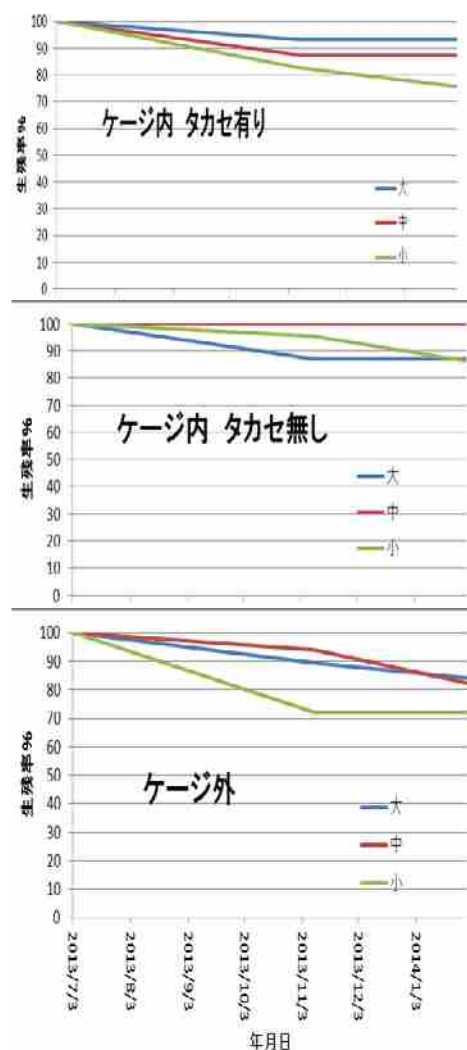


図 2.2.2-74 マガイグチにおける後期中間育成の生残率推移



#### D) サンゴ牧場（仲泊沖）

本試験区はマガイグチと同様、養殖漁業権があり、恩納漁協サンゴ養殖部会の前兼久地区グループが無性移植株を大量にひび建て方式養殖をしている場所で、通称サンゴ牧場と呼ばれている。養



図 2.2.2-75 サンゴ牧場（仲泊沖）における試験区（ケージ外）と、そこでのモニタリング状況

殖サンゴが美しく、熱帯魚が餌付けされており、観光客が体験ダイビングに訪れるスポットである(図 2.2.2-75)。水深は深く、大きく開口したリーフ水路に連続する湾状の静穏海域である。潮通しは比較的良いが、濁りが多い。海底は礫混じりの細砂底で、グレーチング上にはマガイグチ以上に海藻が繁茂し、基盤あるいは垂下金具へも多少の着生は認められる。昨年は、前期育成を本海域で実施し、海藻が著しく繁茂してサンゴが被覆され、育成に不適であるとの結果を得た。本試験区は食害等への保護を目的としたケージ区（タカセガイ有り）とケージ外区が設定されている。

生残率は 206 日が経過した段階で、ケージ内タカセガイ有りが、大 87%、中 64%、小 65%、ケージ外が、大 94%、中 100%、小 92%であった(図 2.2.2-76)。ケージ内外で生残率に統計的有意差があり、ケージ内で生残率が低い結果となった ( $P=0.041$ )。平成 24 年度においても本海域は濁りが多く、前期中間育成を実施した結果、ホルダーに藻類と共にシルトが集積し、極めて生残率・成長とも悪かった。今回も同様にケージ内の方が、ネットなどの遮蔽によって潮通しが悪くなるために、シルトなどの汚れが目立つ状況であった。よって、後期中間育成においても、本試験区のような濁りの多い海域において、ケージは不向きであると考えられた。

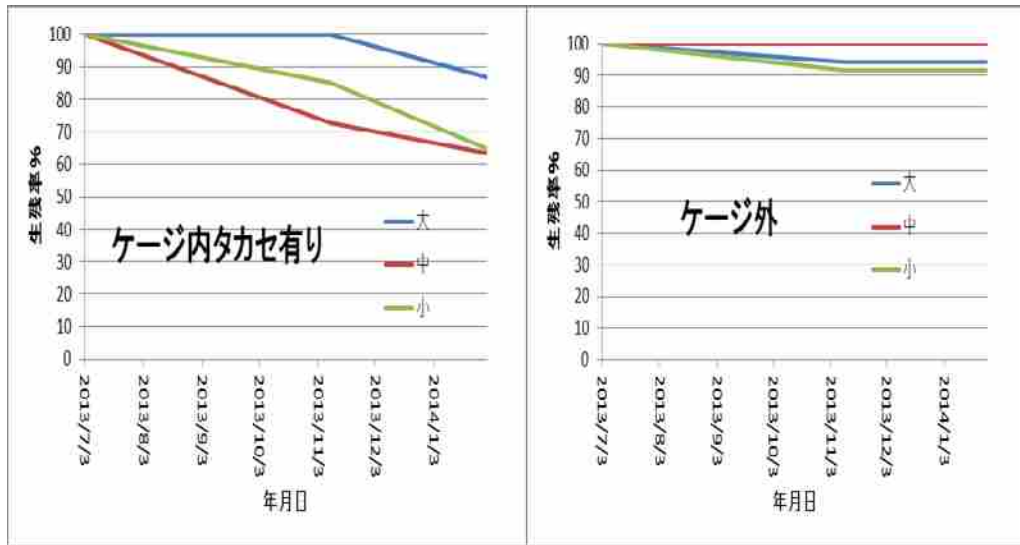


図 2.2.2-76 マガイグチでの後期中間育成手法別サイズ別生残率推移

試験区間の相違とその原因について考察する。生残率に関しては、条件が類似している 4 試験区のケージ外について比較した。恩納水路、タカセガイ育成礁、前兼久（マガイグチ）では差は無く、仲泊（牧場）のみが生残が良い結果となった。t 検定（両側）：前兼久 < 仲泊 (P=0.0224)，恩納 < 仲泊 (P=0.0007)，タカセガイ育成礁 < 仲泊 (P=0.0047)。本結果は、仲泊試験区のみ水深の最も深い海域で有り、水温が他試験区より低く、高水温が、タカセガイ育成礁より約 2~3℃以上、前兼久マガイグチより約 1℃以上低く抑えられていたことに起因すると考えられた。今年度は異常高水温で浅場を中心にサンゴ白化が生じ、サンゴは大きなダメージを受けた。後期中間育成に関しても同様に浅瀬に位置する 3 試験区は遍く悪影響を受けたと考えられる。一方、水深が深く、高水温の影響が比較的小さかった仲泊沖は、結果的にとりわけ高い生残率となったと考えられる。なお、他試

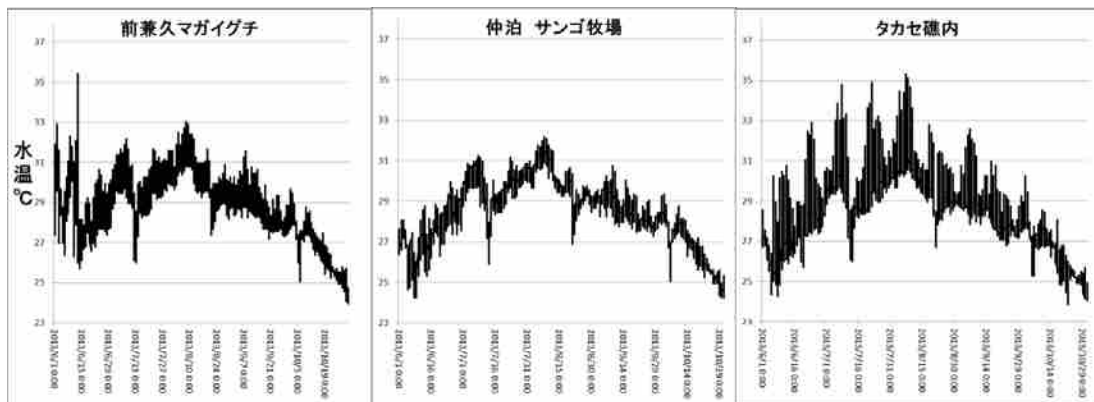


図 2.2.2-77 後期中間育成 3 試験区における 6~10 月の水温推移

験区における生残率は、事業目標としていた生残率(50%)は大きく上回り、概ね7~8割を達成している。したがって本方法は生残率において、事業レベルの成果が得られたものと考えられる。

#### E) サイズ別場所別にみた後期育成時の成長について

以下に場所・手法・サイズ別の後期育成種苗の成長を示す。全ての群体は識別されて追跡調査を行っている。本グラフにより、群体によって成長が非常に大きく分散していることが示唆された。

マガイグチにおける成長は前試験区と同様、大中小ともに、バラツキが大きく、特に小ではケージ内タカセガイ有り区が良好に成長している傾向があった(図 2.2.2-78)。

れは、同ケージ内タカセガイ無し、ケージ外と比較しても統計的に有意な差があった ( $P=0.0056$ ;  $P=0.0372$ )。前期中間育成において、小は7mm以下の成長が遅い群であり、いわゆる“落ちこぼれ”の稚サンゴである。しかし、種苗の数を稼ぐためには、これらをどう残すかが重要となってくる。このような成長の遅い稚サンゴについては、ケージ保護やタカセ同居といった中間育成が必要となる可能性があるが、現実的にはケージ内で管理するより、タカセガイ育成礁に落ちこぼれ群のみを再度、ホルダーに付け直して中間育成を行い、成長遅延を解消する方が合理的であると思われる。なお、中・大についてはケージ及びタカセガイの有無による統計的差異は認められなかった。

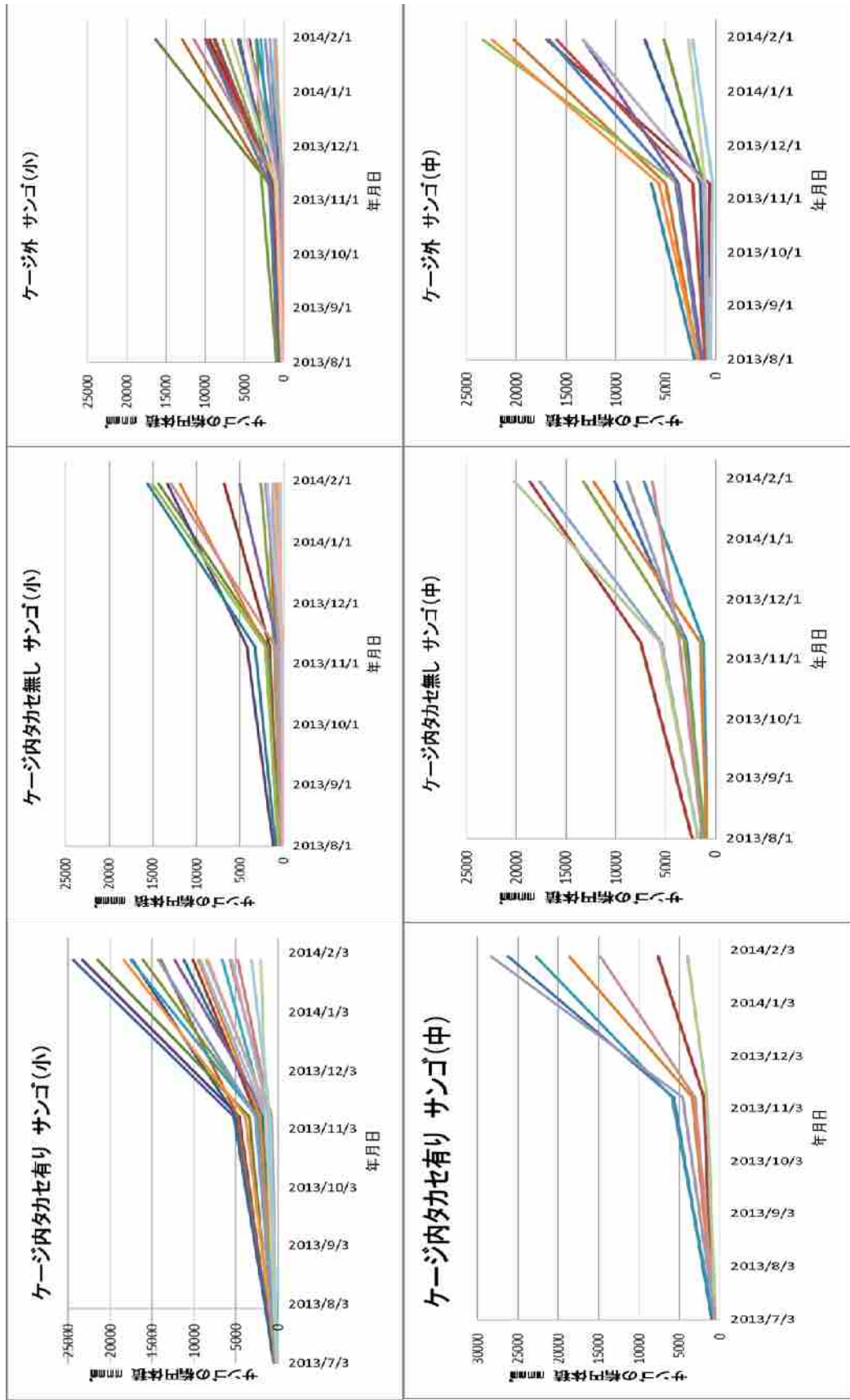


図 2.2.2-78 前兼久マガイグチでの後期中間育成のサイズ別群成長

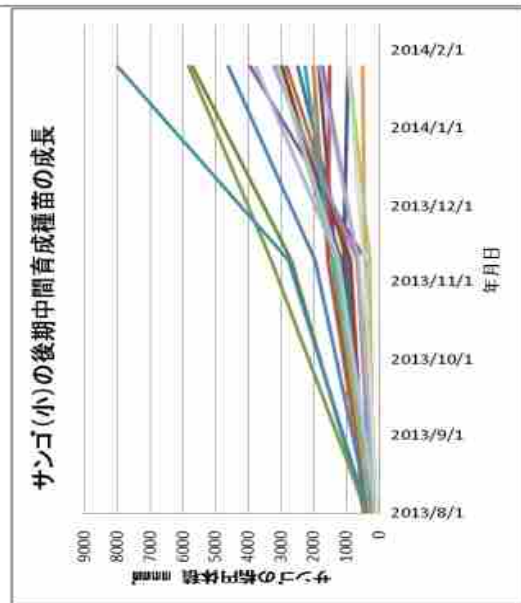
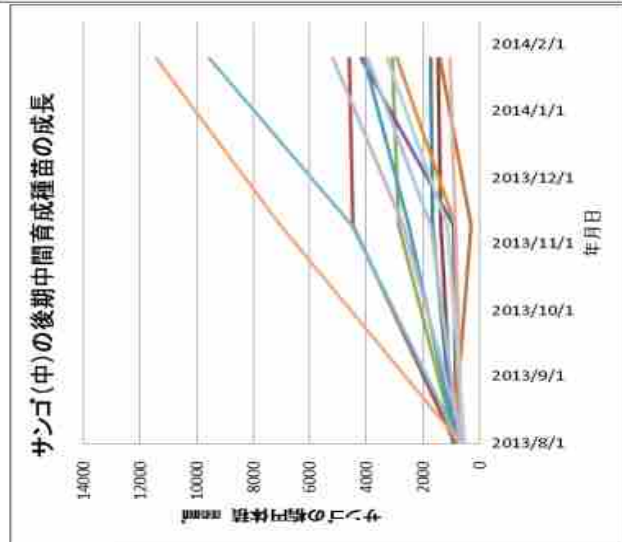
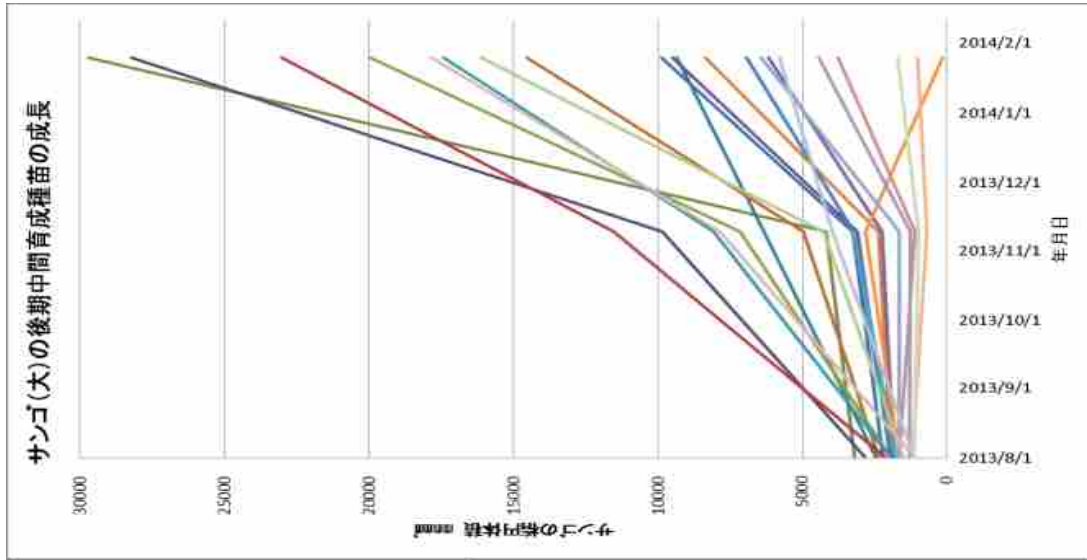


図 2.2.2-79 タカセガイ育成礁での後期育成サイズ別成長

これは、同ケージ内タカセガイ無し、ケージ外と比較しても統計的に有意な差があった ( $P=0.0056$ ;  $P=0.0372$ )。前期中間育成において、小は7mm以下の成長が遅い群であり、いわゆる“落ちこぼれ”の稚サンゴである。しかし、種苗の数を稼ぐためには、これらをどう残すかが重要となってくる。このような成長の遅い稚サンゴについては、ケージによる保護やタカセガイを同居させるといった条件で中間育成を行うことが必要となる可能性があるが、現実的にはケージ内で管理するより、タカセガイ育成礁に落ちこぼれ群のみを再度、ホルダーに付け直して中間育成を行い、成長遅延を解消する方が合理的であると思われる。なお、中・大についてはケージ及びタカセガイの有無による統計的差異は認められなかった。

サンゴ牧場（仲泊）の成長はマガイグチと同様、大中小ともにバラツキが大きく、いずれのサイズ区分ともにグラフを見る限りは、差が無いように見受けられるが、日間成長量で比較するとケージ内外による統計的差異が認められ、ケージ内の方が、成長が遅いという結果となった(図2.2.2-80)。マガイグチでは、小は7mm以下の成長がケージの保護やタカセガイとの同居によって、好成績を得たが、本試験区ではそれ以上に濁りによる悪影響があり、成長の遅れが出た。

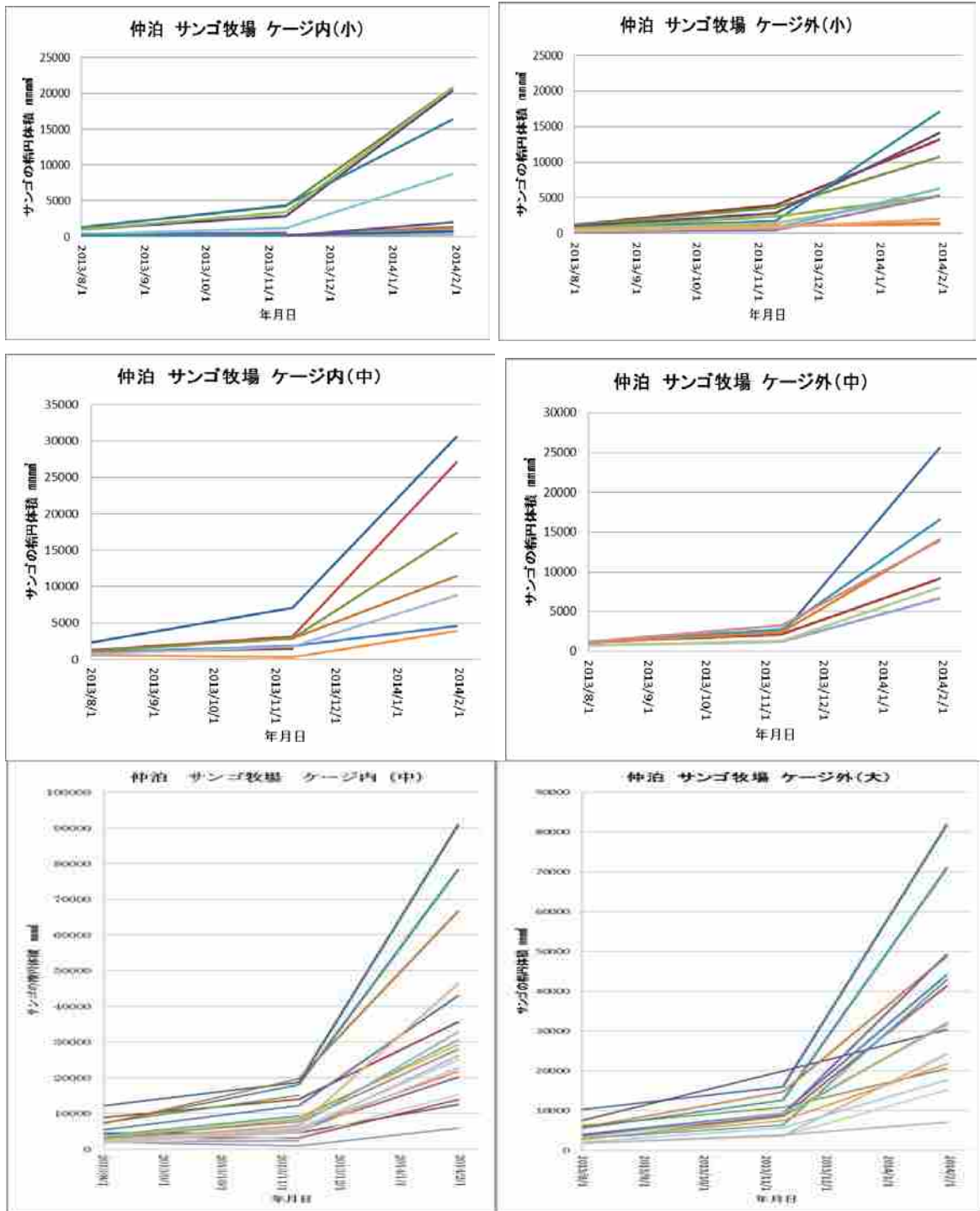


図 2.2.2-80 サンゴ牧場での後期中間育成のサイズ別群体成長

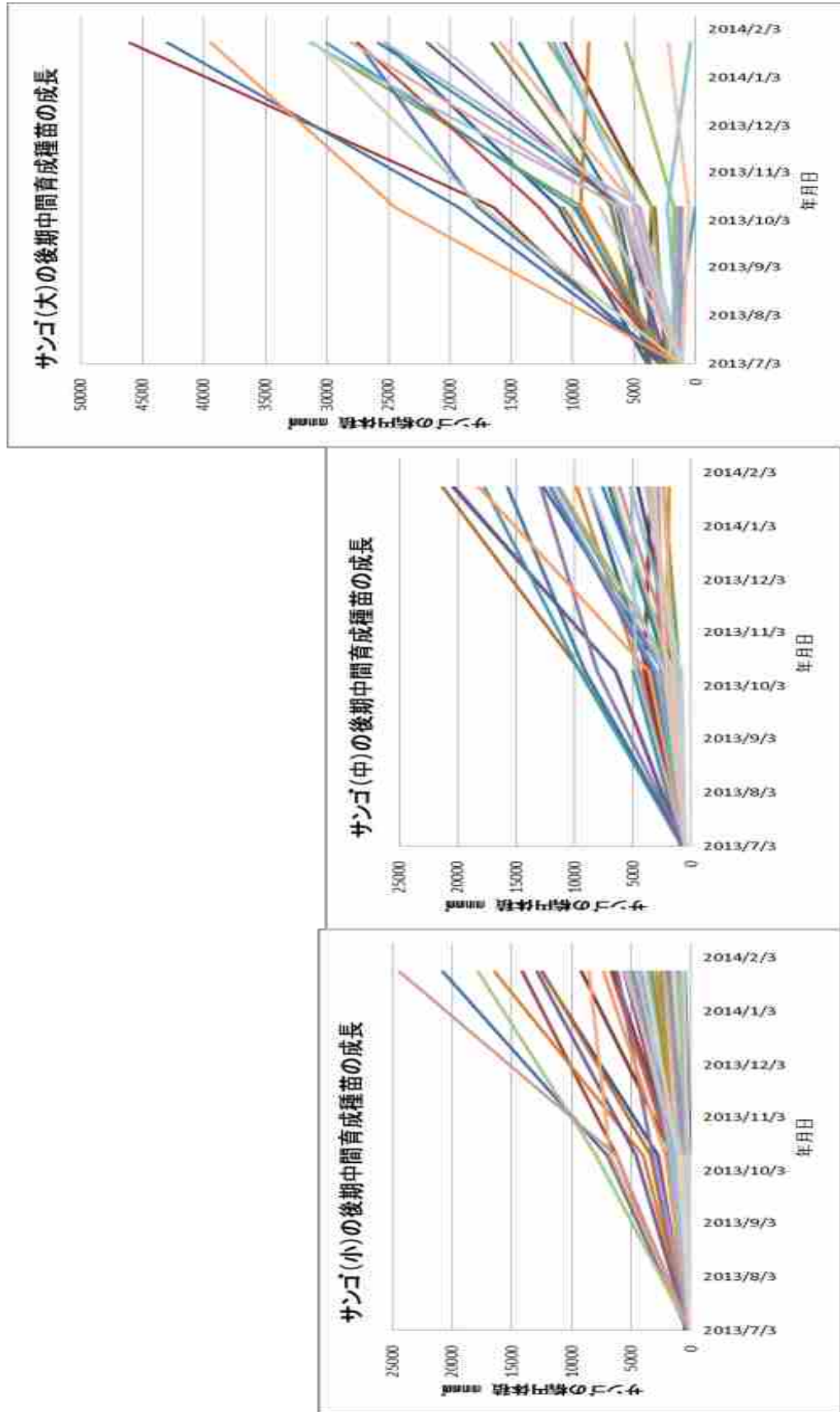


図 2.2.2-81 恩納水路での後期中間育成サイズ別群成長



場所別サイズ別成長は各試験区で求めた平均日間成長量で検討した(表 2.2.2-12)。試験区別に比較した結果、タカセガイ育成礁が他試験区と比べ、有意に日間成長量が小さく、成長が遅いことが判った(図 2.2.2-82)。

(Bonferroni 一元配置分散分析) タカセガイ育成礁<恩納 P=0.0039, タカセガイ育成礁<マガイグチ P=0.0069, タカセガイ育成礁<仲泊 P=0.0043)

本結果は、平成 25 年度の夏期における高水温による成長遅延と考えられるが、元々、ウスエダミドリイシは比較的静穏なリーフ内に生息し、タカセガイ育成礁のような波浪の激しい場所での後期中間育成は不適である可

表 2.2.2-12 後期中間育成試験区別成長データ比較

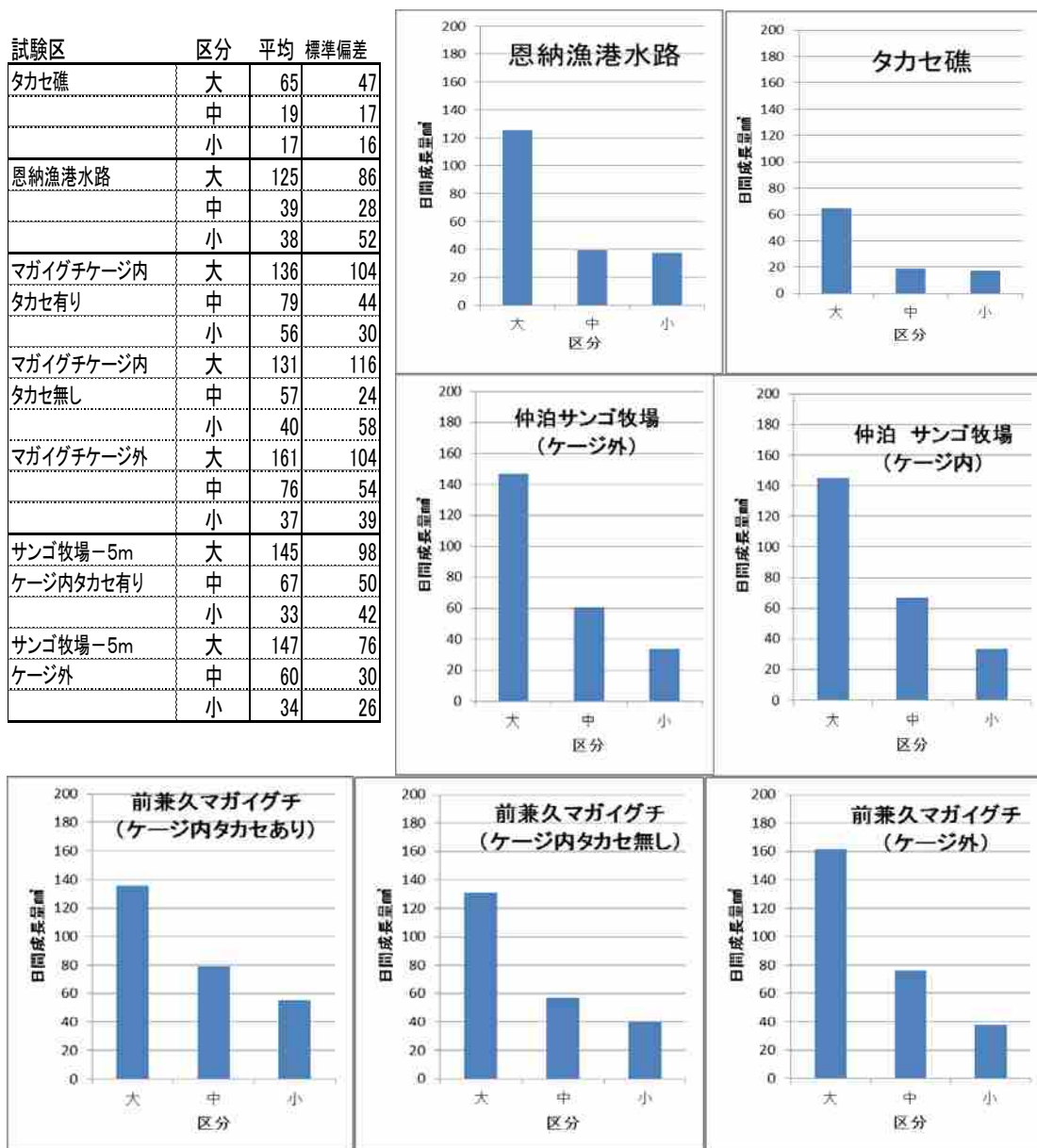


図 2.2.2-82 後期育成全試験区各サイズ区分における日間成長量

能性がある。しかし、生残率が恩納漁港水路等の浅場に設置した試験区と遜色がないことから、通常の水温環境の場合で再検証する必要がある。

#### イ. ミドリイシ3種の海域・手法・育成開始サイズ別後期中間育成比較試験

##### i 方法

実験用サンゴはタカセガイ育成礁で平成24(2012)年7,8月～平成25(2013)年4,5月まで約9か月前期育成した種苗を用いた。種苗の選別は、基盤上に3個以上着いている場合は元基盤として1～2個を残して、育成すると共に、残りの種苗は小型マイナスドライバー等で間引き(剥離)をし、間引き(剥離)種苗は新基盤に瞬間接着剤で貼り付け、再生基盤として活用することとした。なお、適正サイズを見極めるため、便宜的に以下のサイズ別に分け、検討した。

大：1,000 mm<sup>3</sup>上

中：125～1,000 mm<sup>3</sup>未満

小：125 mm<sup>3</sup>未満

(選別時の目安：大 15mm 以上 中：10～14 小：9mm 以下)

後期中間育成は、1と同様、リーフ内養殖漁場での高床式の中間育成とした。試験区は、すべて農業用パイプと塩ビパイプを組み合わせた養殖棚(図2.2.2-83)を設置し、海底より高さ40～60cmの高床式とした。ここに、表裏で計20枚の基盤が垂下できる垂下金具を並べた。

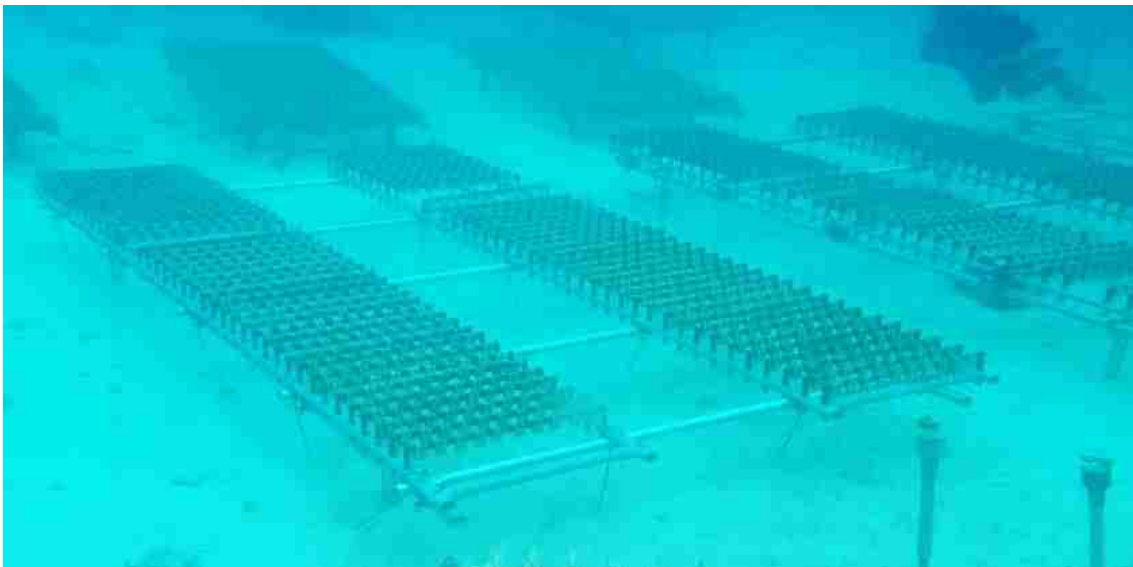


図 2.2.2-83 農業用パイプで作製した垂下金具用後期育成用中間育成棚

ii 試験区位置

モニタリングは1の試験と同様、恩納（恩納漁港水路水深2m）、前兼久（マガイグチ水深2m）、仲泊（サンゴ牧場水深5m）沖のリーフ内3か所、及びタカセガイ育成礁（水深0.6m）での継続育成1か所、計4か所である。表の通り、4か所でそれぞれ年4回のモニタリングを実施した。モニタリングは全てのサンゴの生残、サイズ測定（縦・横・高さ、mm単位）、その他特記事項を記録した。

表 2.2.2-13 ミドリイシ3種の後期中間育成試験設定、及びスケジュール

	設置直後	基盤枚数	追跡調査①	経過日数	追跡調査②	経過日数	追跡調査③	経過日数
恩納水路	4月28日	120	7月1日	64	9月2日	127	12月10日	226
仲泊	5月1日	120	7月2日	62	9月9日	131	12月24日	237
タカセ礁	5月19日	80	7月3日	45	9月22日	126	12月15日	210
マガイグチ	5月20日	120	7月23日	64	9月25日	128	1月13日	238

iii 結果・考察

4試験区の内、恩納漁港水路では、2014年10月12日に沖縄島を通過した台風19号により壊滅的ダメージを受け、実験データが、客観的に評価できないため、除外した。なお、台風規模の割には残る3試験区は影響がなかったため、後期中間育成を分散して配置したことでリスクが回避できたと考えられる。

A) 再生・元基盤別・サンゴ種別・サイズ別生残率の比較検討

2013年度、ウスエダミドリイシは、再生・元基盤共に高い生残率が達成されたが、2014年度も概ね良好であった。しかし、2014年度、初めて実施したツツユビミドリイシとクシハダミドリイシについてはウスエダミドリ



図 2.2.2-84 余剰サンゴの剥離作業状況 及び 基盤に過剰固着したクシハダミドリイシ

イシ同様の結果は得られなかった。ツツユビミドリイシは小が、再生・元基盤共に、仲泊、マガイグチ両区で低かったが、「中」は元基盤が総じて高く、再生は試験区によって高いところもあった。クシハダミドリイシは再生基盤がすべて低位で、元基盤については、「中」は 6~8 割の種苗が生残したが、「小」は元基盤でも、水深のより深い仲泊で多くが死亡し、比較的潮通しの良いマガイグチでも生残率は 5 割に留まった (図 2.2.2-85)。一方、タカセガイ育成礁はツツユビ・クシハダ共に元基盤の「小」が、ほぼ 8 割を維持し、再生基盤も初期減耗で、大きく落ちたものの漸減しなかった。以上のことから、ツツユビ・クシハダは共に再生基盤は不安定で、特に小は難易度が高く、中でもロットによって大きく異なるため、剥離・接着によるハンドリングの難易度が高いと考えられる (図 2.2.2-84)。

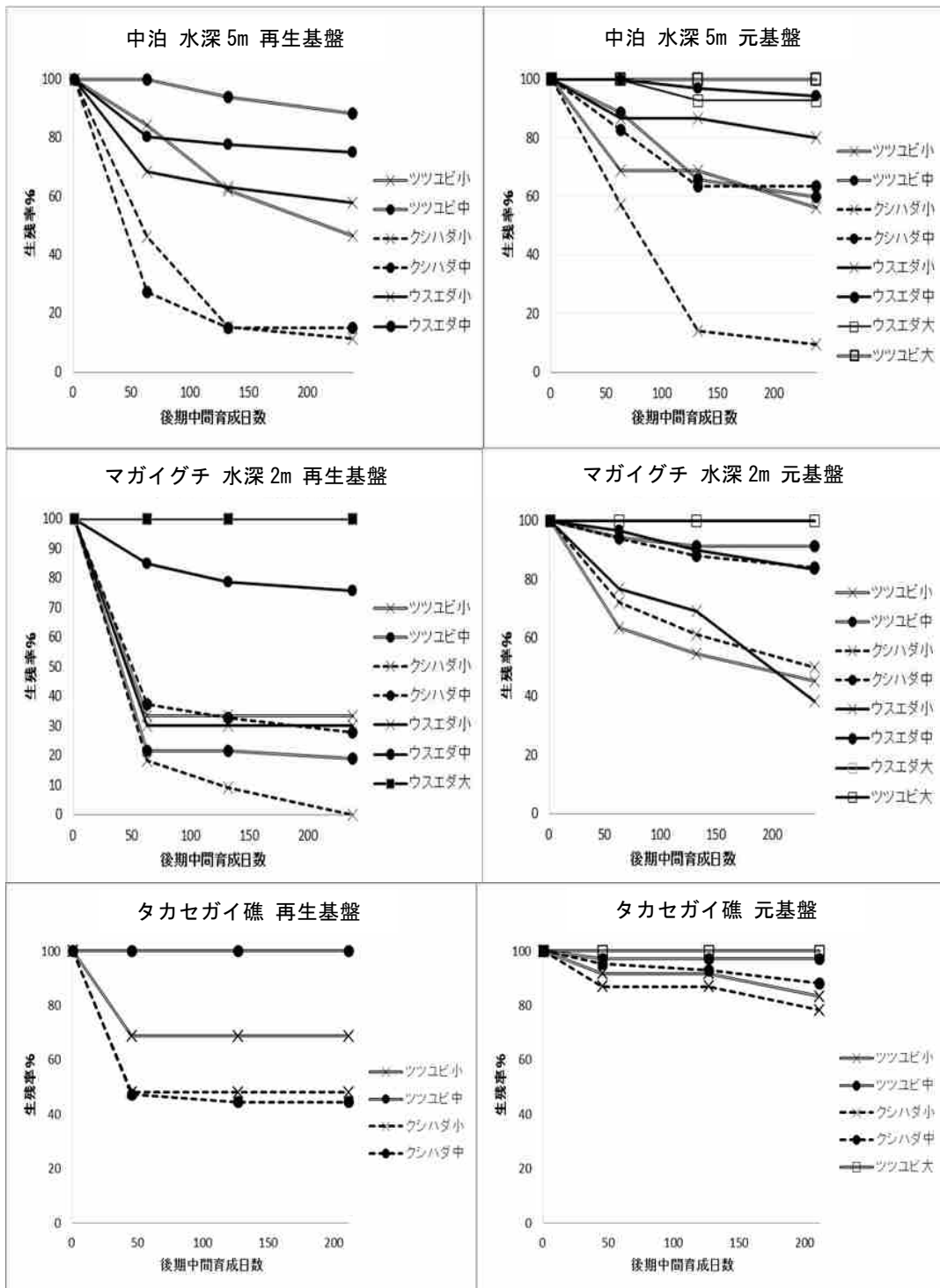


図 2.2.2-85 試験区別 後期中間育成種苗の生残率の推移

また、元基盤でも「小」については、リーフ内では、潮通しがタカセガイ育成礁より鈍く、海藻にも被覆されやすいため、ツツユビ・クシハダは後期育成には移行するには早すぎたと考えられ、今後は「小」のような成

長の遅いロットはタカセガイ育成礁で前期育成を更に継続させて、大成させた後に、後期育成に移行する必要があると考えられた。

#### B) 生残率から見た後期育成の目安

ウスエダミドリイシは選別時の目安で「小」(9mm 以下)でも剥離再生が可能だが、中(10mm 以上)が理想で、全般的に後期育成の難易度は低い。ツツユビ及びクシハダミドリイシは、元基盤は「中」(10mm 以上)を目安に後期育成が可能である。小(9mm 以下)はタカセガイ育成礁で再度成長を促し、再度、活用する方が良い。剥離による再生利用はクシハダミドリイシの難易度が高く、瞬間接着剤による方法は不適で、ツツユビミドリイシは中(10mm 以上)を目安に可能だが、剥離接着に一定の技術水準を要する。

#### C) ミドリイシ3種の場所別サイズ別成長比較

成長の推移を図 2.2.2-87 に示した。リーフ内の何れの試験区も、「中」は、直線的に成長し、基盤上を超えるサイズに達成した。しかし、「小」は、水深の深い仲泊でクシハダミドリイシ「小」の成長が鈍化した(P=0.009)。クシハダミドリイシはリーフエッジからリーフ上に生息圏をもつため、水深のあるモート内での後期育成は不向きな可能性がある。一方、タカセガイ育成礁では、クシハダミドリイシ「中」の成長が鈍化したので、成長の点では、タカセガイ育成礁での中サイズ以上の大型種苗後期育成は向いていないと考えられた。

いずれにしてもツツユビミドリイシとクシハダミドリイシは上方に立ち上がるウスエダミドリイシとは異なり、基盤上の幅を超えるまで平面上に拡がっていくため、早期に移植用基盤(スティック式基盤)に付け替える等の工夫や手法の改良が必要と考えられた。

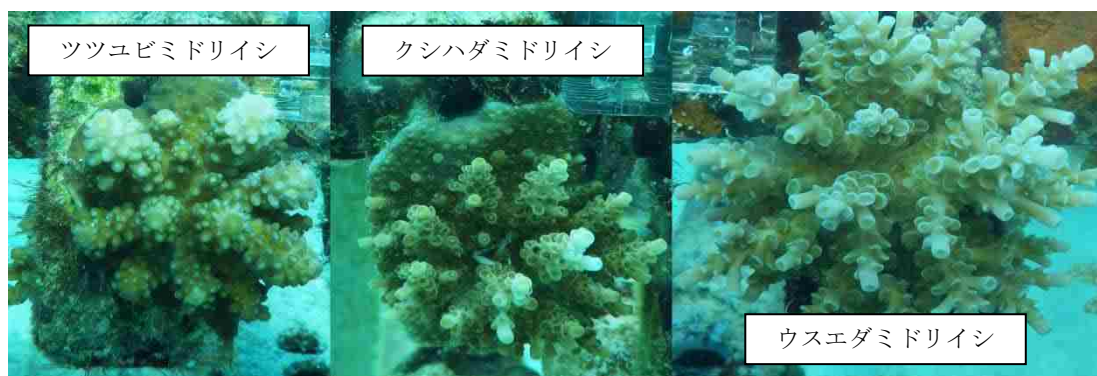
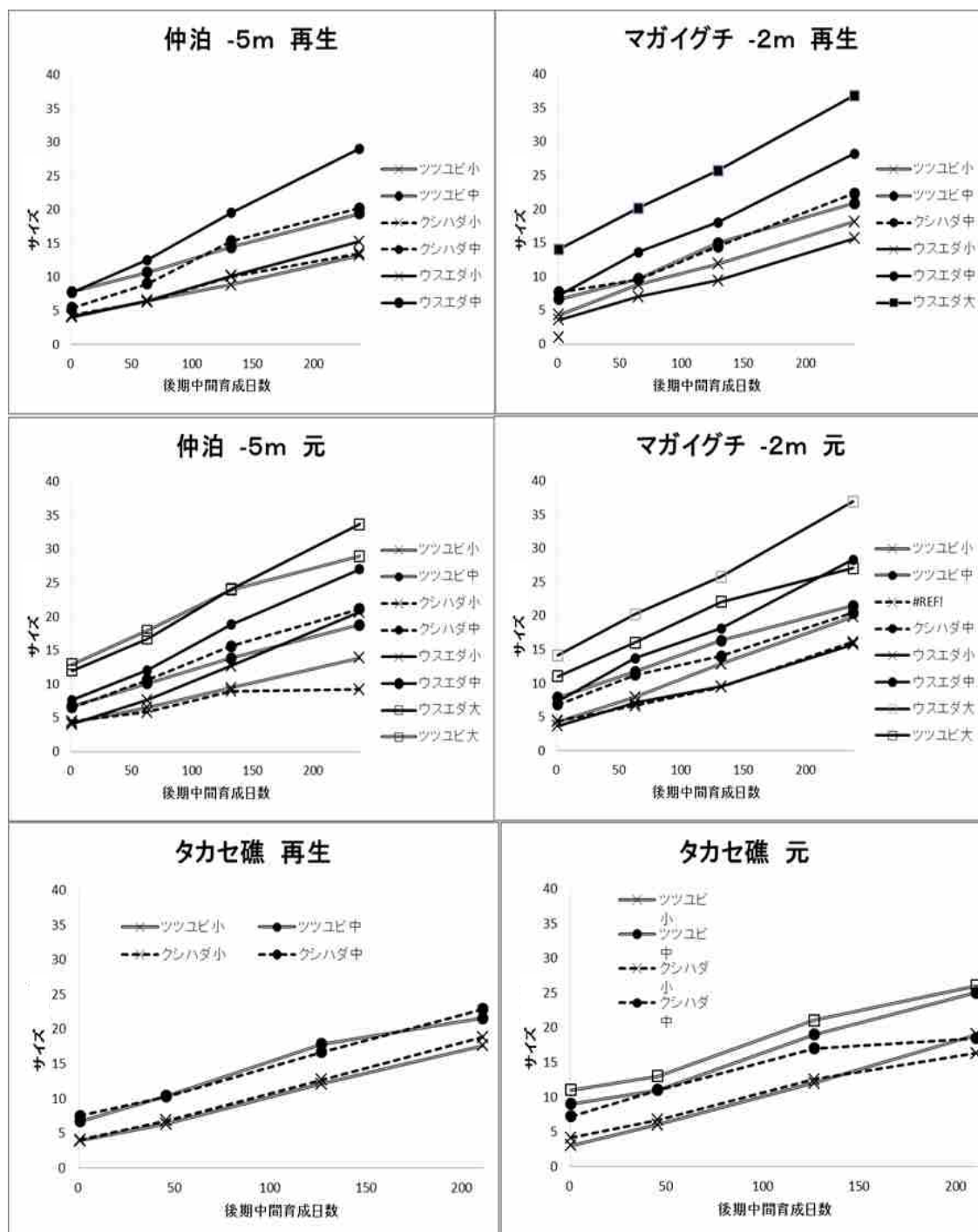


図 2.2.2-86 後期中間育成ミドリイシ3種(2015年1月現在:210~238日育成)

本試験に基づき、後期中間育成における事業ベースでの平均生産基盤率は以下の通りで、有性生殖種苗の移植事業計画の参考に資する。

- ・ ウスエダミドリイシ 元基盤 74% 再生基盤 59%
- ・ ツツユビミドリイシ 元基盤 80% 再生基盤 33%
- ・ クシハダミドリイシ 元基盤 39% 再生基盤 16%



※サイズ(mm) =  $\sqrt[3]{\text{長径(mm)} \times \text{短径(mm)} \times \text{高さ(mm)}}$

図 2.2.2-87 再生・元基盤別 試験区別成長推移

#### ④ 中間育成技術開発総括（前期・後期育成の生産基盤率推移から見た達成状況）

平成 26 年度までの技術開発でタカセガイ育成礁を活用したサンゴの中間育成手法の開発は、生残率向上に関する諸条件について、手法の検討・確立を図ってきた。平成 27 年（2015 年）以降は恩納村漁協が主体となり、実証レベルでの試行を実施した。特に以下の技術に関しては概ね現場へ技術移転可能なレベルに到達したと考えられる。しかしながら中間育成施設となったタカセガイ育成礁は地先型増殖場施設で、沖縄県 5 箇所（沖縄島 2、宮古島 1、石垣島 2）のみであり、活用できる範囲が限られている。また、本育成礁の基質には掃除や干出処理等の管理を怠ると様々な付着生物が蔓延するため、その対応に関する維持経費がかかる。また、本育成礁内に集約的に基盤を配置するため、基盤と基盤の垂下間隔が 3cm 程度と狭く、種苗の成長によってはサンゴ種苗同士がぶつかってしまうことや、毎年、本育成礁を繰り返して、継続使用するためには、単年周期で新規種苗を入れ替える必要があること等の問題がある。その結果、育成礁の外（リーフ内）での後期育成技術開発を考案し、およその植付け可能サイズへ育成が可能となったが、移行作業にかなりの人件費を要した。中間育成手法の効率化は、事業遂行にあたって、コストの低減という現実的に最も大きな課題の克服に繋がるため、今後の検討すべき項目として、末尾に記載した。

#### ア. 有性種苗の大量輸送と事業規模での海面沖出しの実証化

サンゴ礁保全再生事業は最終的には受益事業者が主体となり、特に地元漁協・漁業者の参画により、約 2 万株のタカセガイ育成礁への沖出しが可能な段階に到達した。

#### イ. 陸上での種苗生産期間の短縮化

種苗の育成には人的・施設的なランニングコストが大きなウエイトを占めると考えられ、本コストを削減するためには陸上育成期間の短縮を図る必要がある。本技術開発では約 4 週間の陸上育成期間という短縮化を図った。しかし、タカセガイ育成礁内を適正な環境に維持するためのウニやタカセガイの数量調整や、遮光膜による高水温対策等残された課題も多い。

#### ウ. 規模感のある事業レベルの移植用有性種苗量産の具現化

具体的には 2013 年度に生産された 5,533 群体が、前・後期の中間育成を経て、移植可能な段階に到達して、再生実証海域に移植された他、2014 年度には約 8,000 群体が後期育成を経て移植可能な種苗を得ることができた。沖出し基盤数から換算した現在の生産基盤率は 25 年度 28%、26 年度は 44%とな



った。こうした結果を受けて、27年度は事業規模での沖出しが展開され、前期育成数の17,125枚に対し、過去最高の平均生産基盤率84%となる14,271枚が28年度に育成された。現在、これらサンゴ種苗が短期の後期育成に移行され、再生海域への移植に活用される予定である。

本事業は大規模な事業レベルの中間育成技術を開発しつつ、実証事例としては、万単位に及ぶ移植と海域における中間育成を行うという全く既往知見のない手法について、恩納村漁協と共に試行錯誤しながらスタートした。2013年度は前期育成で、夏場の異常高水温、後期育成に大型台風による埋没被害、2014年度は前期育成で母サンゴの産卵不調など、いずれも理想的な状態では無かった。また、元来、技術開発を第1目的としていたため、これまでの事業では主に用いられていなかった種の選定や不利な条件下での試験区を設定する必要があったりした。しかしながら、事業成果として、結果的に約1万3千群体（2015年度分を加えると2万群体以上）の移植可能段階（径約4～6cm）の有性生殖法による種苗の作出を実証できたことは、今後の移植によるサンゴ再生の技術として活用できると思われる。今後は生産技術の効率化を図り、種苗作出のコスト低減を図る必要がある。

## ⑤ 今後の検討課題

ア. タカセガイ育成礁への集約的かつ長期的な中間育成手法の再検討。

ステンレス製コレクターホルダーによるマグホワイト基盤の垂下法とは異なる新発想の簡易な設置手法を開発する必要がある。

イ. タカセガイ育成礁内へ自然着生する天然種苗の活用

本礁のグレーチング（すのこ状の資材）自体にも天然サンゴの新規着底が数千～万のオーダーの群体数で確認されており、種苗生産のみならず、こうした天然種苗の活用も検討する必要がある。

ウ. 地域的に汎用性のある中間育成手法開発（タカセガイ育成礁から脱却）

タカセガイ育成礁以外で、量的規模観があり、かつ、台風など荒天時の耐久性がある手法の開発が必要である。また既存施設の活用や再生可能な資材、自然への負荷が少ない生分解性資材の探索や新規開発が望まれる。

#### 4) 海域に植付けられた有性生殖由来種苗のモニタリング

モニタリングは、海域に植付けられた有性生殖法により生産されたウスエダミドリイシ (*Acropora tenuis*) 及びツツユビミドリイシ (*Acropora humilis*)、クシハダミドリイシ (*Acropora hyacinthus*) のミドリイシ属 3 種の種苗を対象とした (図 2.2.2-88)。



図 2.2.2-88 本業務における植付け種苗モニタリング対象 3 種と各種苗 (A: ウスエダミドリイシ、B. ツツユビミドリイシ、C. クシハダミドリイシ)

### ① 目的

2013 年度（平成 25 年度）に有性生殖法によって生産されたミドリイシ類 3 種の種苗を、恩納村に位置する礁池（図 2.2.2-89）に植付けた。本項では、種苗の植付け場所と植付け時の固定方法の検討を目的とした「試験植付け」を実施し、これら植付けられた種苗の生残・成長と周辺環境をモニタリングした結果について記す。試験植付け結果の検討から提案された、植付け場所と固定方法により「追加植付け」を実施し、これらの生残・成長をモニタリングした（表 2.2.2-14）。

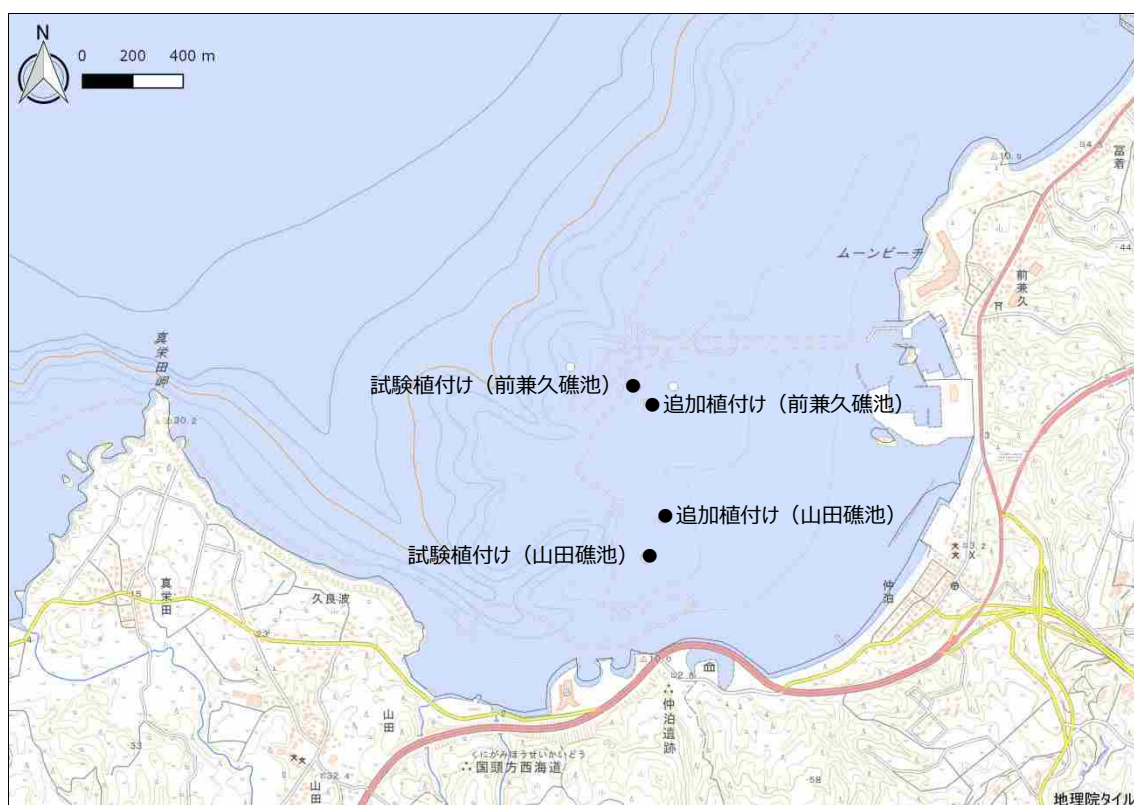


図 2.2.2-89 2015 年度植付け地点（●）の位置

（等深線：日本水路協会海底地形デジタルデータ M7020ver2.1 沖縄本島海域 D7020S-2）

表 2.2.2-14 平成 25 年度産種苗の植付け日、調査日、モニタリングを実施した群体数

植付け	植付け日	調査日	地点	種	群体数	小計	合計
試験	2015 年 5 月 24 日	2016 年 6 月 14 日	前兼久礁池	ウスエダミドリイシ	93	558	1158
		2016 年 12 月 9 日		ツツユビミドリイシ	93		
		2017 年 3 月 23 日		クシハダミドリイシ	93		
	2015 年 5 月 27 日	2016 年 6 月 17 日	山田礁池	ウスエダミドリイシ	93		
		2016 年 12 月 9 日		ツツユビミドリイシ	93		
		2017 年 3 月 23 日		クシハダミドリイシ	93		
追加	2015 年 5 月 26 日	2016 年 6 月 14 日	前兼久礁池	ツツユビミドリイシ	150	600	
		2016 年 12 月 9 日		クシハダミドリイシ	150		
	2015 年 6 月 23 日	2016 年 6 月 17 日	山田礁池	ウスエダミドリイシ	300		
		2016 年 12 月 9 日					
	2017 年 3 月 23 日						

## ② 方法

2013 年度（平成 25 年度）に有性生殖法によって生産されたウスエダミドリイシとクシハダミドリイシ、ツツユビミドリイシ 3 種の種苗 558 群体を、2015 年 8 月に恩納村の 2 地点（図 2.2.2-89）に、「基盤のみ：種苗が着生している基盤をそのまま固定する方法」、「スティック：基盤を角形スティックに付けスティックごと固定する方法」、「スティックと釘：角形スティックを固定しさらに釘で支持して固定する方法」の 3 つの異なる固定方法（図 2.2.2-90）で試験的に植付けた。植付けたサンゴ種苗を群体ごとに識別し、大きさ（ $\text{cm}^3 = \text{長径} \times \text{短径} \times \text{高さ} \times 4\pi/3$ ）や生残等を測定し記録した。

植付けられた試験植付け種苗を除く 2013 年（平成 25 年度）産の有性生殖法によって生産された種苗は、試験植付け結果を受けて「スティック」を用いた固定方法により、恩納村海域山田及び前兼久の試験植付け地点近傍の 2 地点（図 2.2.2-89）に、追加して植付けられた。植付けられたサンゴ種苗 4,575 群体のうち 600 群体を対象として、試験植付けと同様に群体ごとに識別し、大きさ（ $\text{cm}^3 = \text{長径} \times \text{短径} \times \text{高さ} \times 4\pi/3$ ）を測定し記録した。



図 2.2.2-90 試験された 3 つの固定方法

### ③ 生残率

試験植付け種苗の植付け 10 か月後（2016 年 6 月）の生残率は、ミドリイシ類 3 種（それぞれ n=93）ほとんどの種苗で 80%以上を維持していたが、前兼久地点の基盤のみで固定された種苗の生残率が 70%以下と低かった（図 2.2.2-91）。植付け 21 か月後（2016 年 12 月）には、2016 年夏の高水温、及び高光量の影響によると考えられる白化現象により生残率が 3~10%にまで低下し、その後 2017 年 3 月まで変化は無かった。

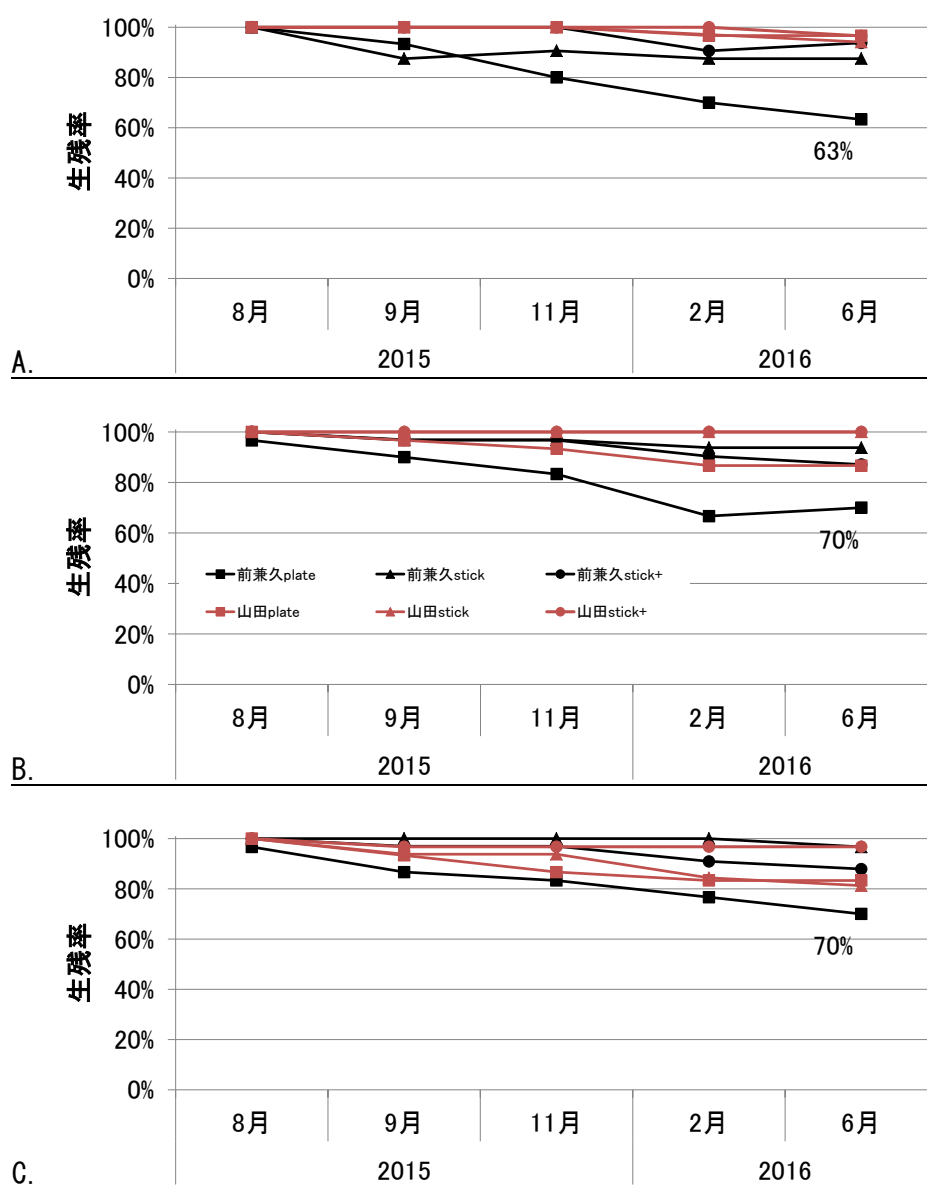


図 2.2.2-91 2015 年度試験植付け種苗 3 種の固定方法、地点ごとの生残率 (%) (A: ウスエダミドリイシ、B. ツツユビミドリイシ、C. クシハダミドリイシ)

試験植付けの結果を参考にして、2016年1月と3月にスティックに固定する方法でそれぞれ追加して植付けられたウスエダミドリイシ(山田地点、n=300)、及びクシハダミドリイシとツツユビミドリイシ(前兼久地点、それぞれn=150)の種苗3種(全植付群体数4,575群体)を対象にモニタリングを実施した。

植付け3~5か月後(2016年6月)の生残率は、ウスエダミドリイシで89%(植付け後5か月)、クシハダミドリイシ、及びツツユビミドリイシで95%以上(同3か月)を維持していた(図2.2.2-92)。

2015年~2016年にかけて(平成27年度)植付けられた試験植付け種苗、及び追加植付け種苗の多くは、2016年夏期の高水温、及び高光量の影響によると考えられる白化現象により死亡した。

白化現象後の生残率は、僅かながら試験植付け種苗は追加植付けに比べて高かった。生残率の違いが、僅かな植付け地点の違い、植付け時期すなわち植付け後の経過時間の違い、種苗の大きさなど、どのような原因に影響を受けているかについて検証するために、今後モニタリングの継続が求められる。

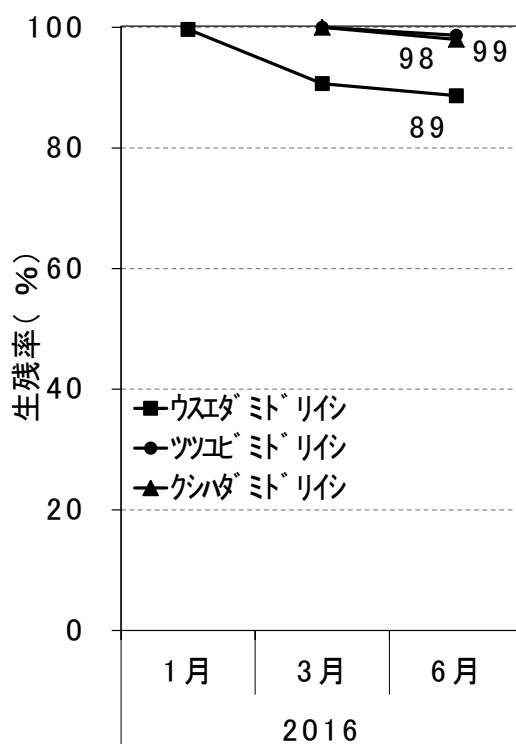


図 2.2.2-92 2015年度に追加して植付けした種苗の種別生残率(%)

#### ④ 成長

2016年8月に植付けられた試験植付け種苗の植付け10か月後(2016年6月)までの積算成長量(測定時の体積から植付け時の体積を引いた値、 $\text{cm}^3$ )を種、及び地点別に図2.2.2-93(1)~(3)に示した(横軸の日付は測定を行った月で括弧内は植付け後の月数)。各種の植付け後10か月後の積算成長量は、ウスエダミドリイシで $200\sim 400\text{ cm}^3$ 、クシハダミドリイシは $200\sim 600\text{ cm}^3$ と合わせて、ツツユビミドリイシの $100\sim 200\text{ cm}^3$ に比べ高く、地点又は固定方法で明らかな差は見られなかった。

追加植付け種苗の植付け3~5か月後(2016年6月)までの積算成長量中央値は、ツツユビミドリイシは $115.4\text{ cm}^3$ で、ウスエダミドリイシの $67.1\text{ cm}^3$ 、クシハダミドリイシの $72.8\text{ cm}^3$ と比べて高かった(図2.2.2-94)。

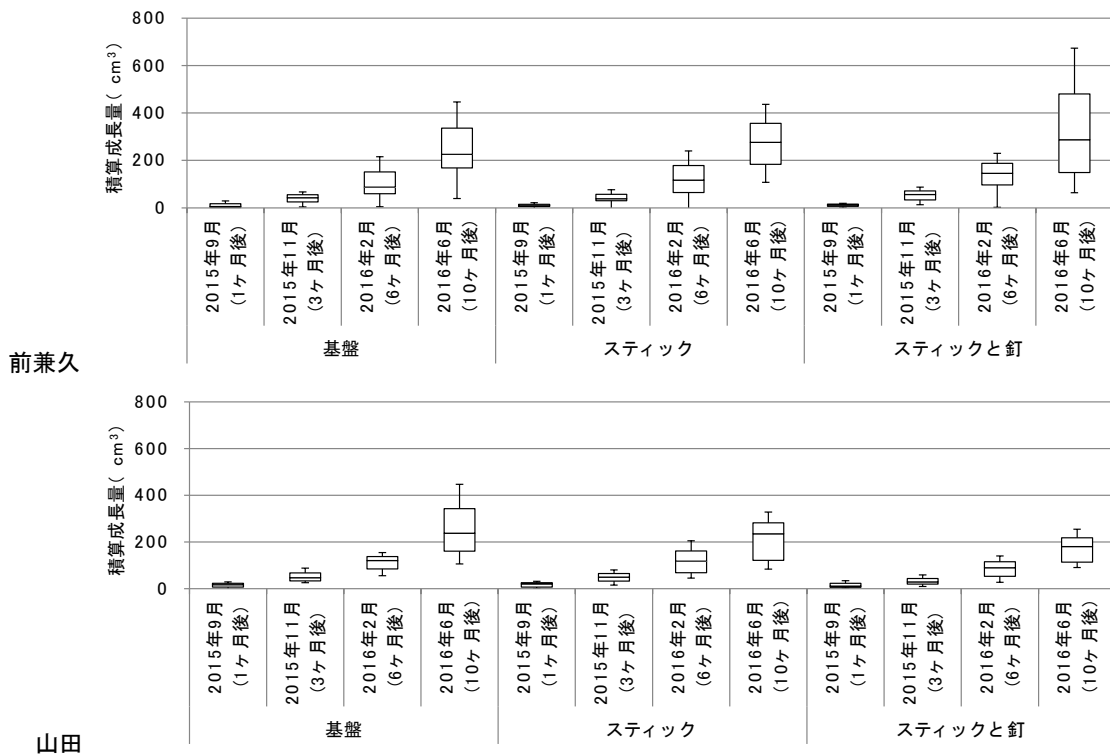


図 2.2.2-93(1) 2015年度に試験植付けを行ったウスエダミドリイシの種苗の  
 固定方法、地点ごとの植付け後の月毎積算成長量 ( $\text{cm}^3$ )  
 (中央値±第三[25~75%範囲:箱の上下]、及び第四[5~95%範囲:ヒゲの上下]分位)

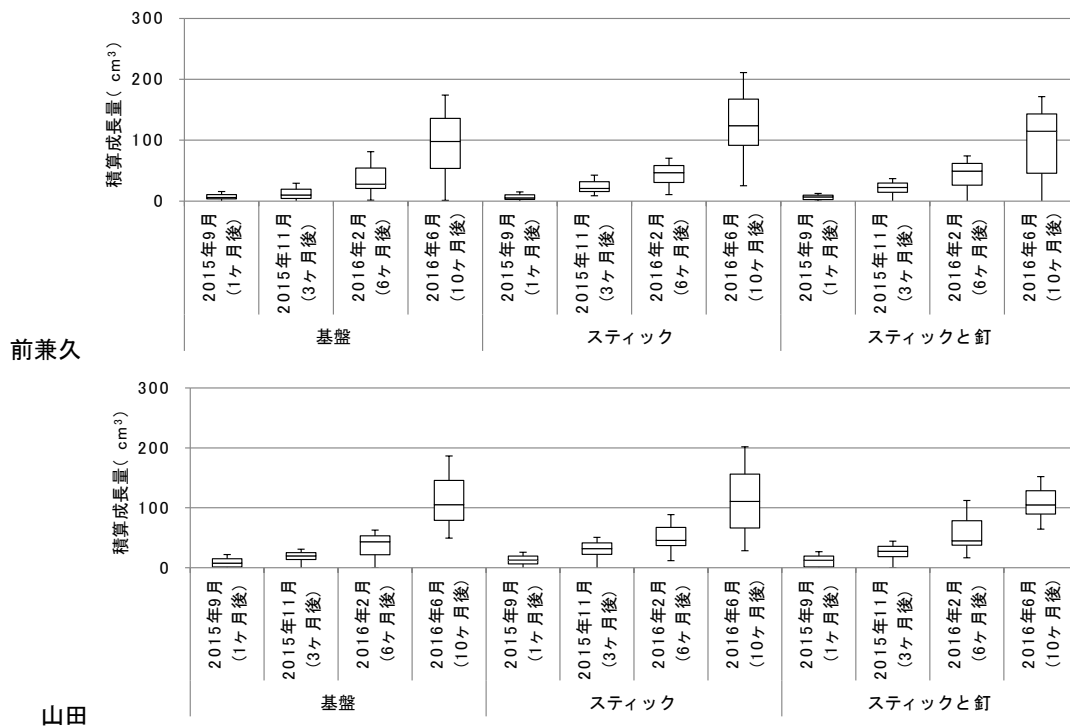


図 2.2.2-93(2) 2015 年度に試験植付けを行ったツツユビミドリイシの種苗の固定方法、地点ごとの植付け後の月毎積算成長量 (cm<sup>3</sup>) (中央値±第三[25~75%範囲:箱の上下]、及び第四[5~95%範囲:ヒゲの上下]分位)

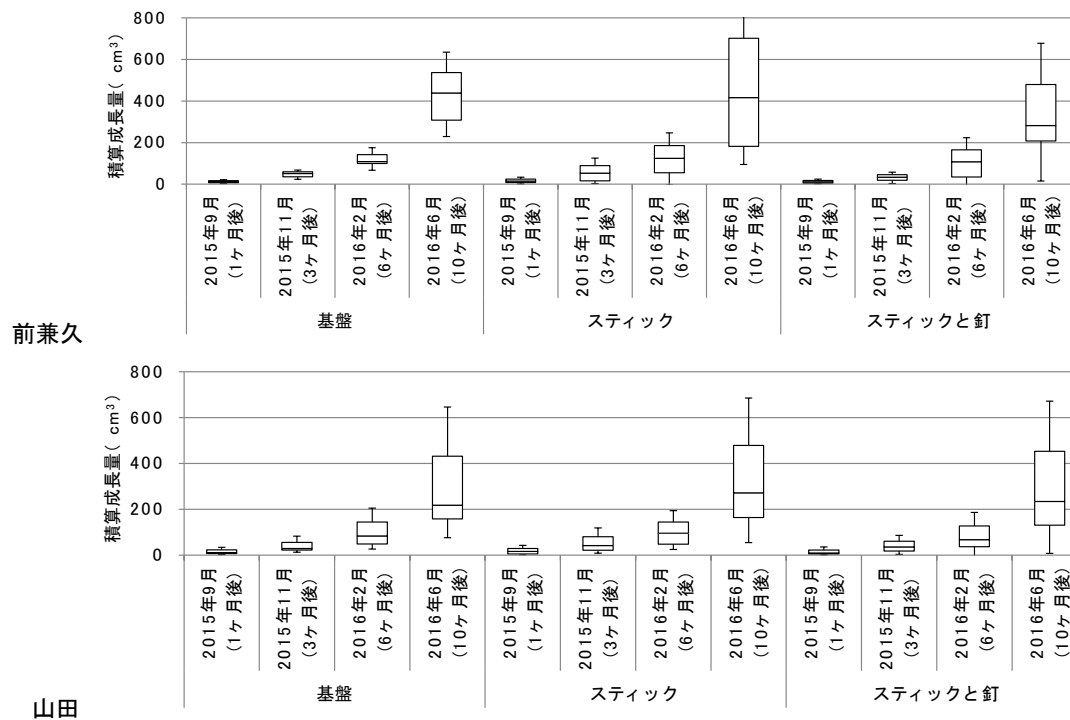


図 2.2.2-93(3) 2015 年度に試験植付けを行ったクシハダミドリイシの種苗の固定方法、地点ごとの植付け後の月毎積算成長量 (cm<sup>3</sup>) (中央値±第三[25~75%範囲:箱の上下]、及び第四[5~95%範囲:ヒゲの上下]分位)



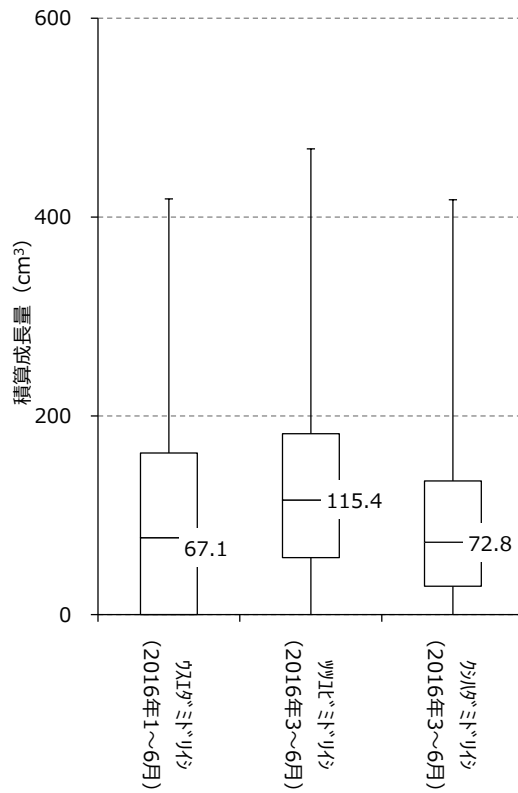


図 2.2.2-94 2015 年度追加植付け種苗の種別の積算成長量 (cm<sup>3</sup>)  
 (中央値±第三[25～75%範囲:箱の上下]、及び第四[5～95%範囲:ヒゲの上下]分位)