

サンゴ礁保全再生事業*1 (タカセガイ育成礁を活用した中間育成技術開発)

久保 弘文*2

Study for Coral Intermediate Culture in Trochus Artificial Nurseries

Hirofumi KUBO

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を対象種として、有性生殖種苗を付着させ、陸上水槽で20～41日間育成した人工基盤を、タカセガイ育成礁に設置した。1礁あたり32ホルダーを全面に計26面を設置することにより、約2万枚の大量沖出しが可能となり、事業規模での中間育成試験を実施した。2013年3月末から8月中旬に異常高水温の影響を受けた。水温上昇前に沖出しが完了してい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良好な試験区において80%以上の生残で推移したが、産卵期の1ヶ月遅延により水温上昇期（最低水温28～30℃）に沖出し設置することとなったウスエダミドリイシは、多くが白化に見舞われ、生残率が50%以下に大きく減耗した。高水温対策としてサンゴ礁水路へ一部基盤（3,360枚）を移送し、約1ヶ月避難した結果、ツツユビ及びクシハダミドリイシ両種は生残率がより低下したが、ウスエダは放置した区より、減耗を抑制できた。今後、高水温対策に対しては、早期沖出しによる海域避難をいかにすると共に、タカセ礁内での遮光も試みる必要がある。ウニ駆除効果と陸上育成期間短縮化については、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回次以外に統計的にも効果が確認された。しかし、ウニ駆除区において、タカセガイの投入有無の間に統計的に有意差がなかった。陸上育成期間比較については、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）で検出した結果、陸上育成期間24日の短縮方がよいことが判った。食害試験についてはウニによる食害と白化の要因が絡み合い複雑な様相を呈したが、ウニが多く、タカセガイも多いところでは減少傾向が最も著しい結果となった。

有性生殖により枯渇したサンゴ礁の再生には、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（6 cm 以上）まで育て上げる必要がある（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、効率的な育成できるかどうか、可否要件となる。これらの要件は、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が可能となれば、満たし得る。目標サイズを6 cm 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1～2 cm 程度にしかならない。天然海域では、この時期に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、本期間の中間育成技術開発がターニングポイントとなり、前期中間育成として、集中的な技術開発を実施する。具体的にはタカセガイ育成礁を活用して、生後3週間程度から事項種苗生産したサンゴを着底基質単位で天然海域へ沖出しし、集約的に設置・育成する。この手法は万単位の量的スケールで中間育成コストを抑制し、淘汰圧を下げることで期

待でき、前年度は最高70%の生残を達成した。

1. 材料及び方法

1) 試験区位置、試験計画（設定）

タカセガイ育成礁は恩納村谷茶沖のリーフ上に設置されており、沖縄県漁港漁場課の試験許諾を得て、26区画を使用した。

育成礁は水深60 cmのプール状で、内法2.1 m×2.1 mの角形である。内部には縦2 m×横1 m、厚さ10 cmのFRPグレーチング（10 cm×5 cm格子）が、2枚敷設されている。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24年1月に平均殻径4 mmの種苗を収容してある。

26試験区の試験設定はタカセガイの有無・数量、ウニ除去の有無・除去対象種とした（図1）。タカセガイの有無・数量には、収容数750個、1500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1に色分けして列挙した9区分となった。タカセ礁は2試験区（コンク

*1 詳細は平成25年度サンゴ礁保全再生事業研究報告書に掲載。

*2 E-mail: kubohrfm@pref.okinawa.lg.jp 本所

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および岸側の位置についても考慮した。

タカセ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、昨年度、好成績であった約1ヶ月と、更なる短縮化を目指して2～3週間の沖出しを検討した。

(1). 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

今年度は中間育成数の増加に伴い、比較的安定した技術が確立している種苗生産と阿嘉島から恩納村まで輸送に関しては研究対象から分離して、事業として委託した。したがって、ここでは恩納村での種苗受け入れからタカセガイ育成礁への沖出しについて報告する(表1)。

沖出し時期は試験設定通り、陸上育成約3週間と1ヶ月の2回を計画していたが、今年度はサンゴの産卵が1ヶ月ずれ、ツツユビミドリイシとクシハダミドリイシが2013年6月1日、ウスエダミドリイシが同年6月29日となったため、ツツユビ・クシハダで2回次、ウスエダで2回次の計4回次に渡って沖出しを実施した。第1回沖出しは2013年6月25日にツツユビ・クシハダミドリイシを対象に実施した。沖出し基盤枚数はツツユビミドリイシ1,872枚、クシハダミドリイシ1,872枚の計3,744枚であった。基盤セットは前日夕方7時に恩納村漁協の恩納地区モズク種付け水槽約水深40cmに収容し、翌日、コレクターホルダー(以後、ホルダーと表記)156個への付け替え作業を船上で行った。当日は南西風が非常に強く、船上での付け替え作業は困難を極め、作業船3隻に17人が分かれての作業で、約4時間を要した。第2回沖出しは2013年7月9日にツツユビ・クシハダミドリイシを対象に実施した。沖出し基盤枚数はツツユビミドリイシ1,040枚、クシハダミドリイシ1,872枚の計2,912枚であった。第1回沖出し時に船上で困難な作業を経験したこと、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と判断し、2回目以降は基盤セットを前日夕方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。作業開始当初は不慣れで付け替えに時間を要したが、結果的にホルダー130個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。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寄せ、タカセガイ育成礁に移送した。3回目沖出しは2013年7月19日にウスエダミドリイシを対象に実施した。沖出し基盤枚数は前回より大幅に増加し、4,992枚であった。2回目同様に基盤セットを前日夕方7時からホルダーへの付け替え作業を行った。格段に多い基盤数にもかかわらず、2回目で陸上における前日夜間の付け替え作業を経験していたことにより、スムーズに作業を行うことが出来、結果的に208個のコレクターホルダーへの付け替え作業を作業員17人、約4時間で実施できた。4回目も同様にウスエダミドリイシを対象に8月9日に実施した。沖出し基盤枚数は更に増加し、8,112枚であったが、第3回より更に作業効率がアップし、25人、約3時間で終了した。本工程の習熟により基盤付け替え作業は、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・時は可能となった。次年度は更なる効率化を目指し、地元漁業者参画による技術定着を図りながら実施する。

2～4回次のタカセ礁への沖出しは先述の通り、0.5t横長水槽で約1,000枚(45ホルダー)輸送できるので、2回次は水槽3基を用いて、一度に現場へ移送できたが、3～4回次はこれを2往復する必要がある。いずれの回次も水槽内の水温上昇を抑えるため、500mlのペットボトル氷を4～5本投入したが、特に3、4回次は盛夏期で水温が非常に高く、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。タカセ礁周辺は水深が浅く、干潮時は大きな船舶が近寄れない。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る。一

表1 平成25年度産卵・沖出し日程・数量

種類	産卵日	沖出し日	日数	陸上育成 ホルダー設置数	タカセ礁1面 ホルダーあたり 取り付け基盤数	沖出し対象 タカセ礁面数	沖出し基盤 総数	付け替え ホルダー数
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

方、タカセ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第4回次の場合は、約8,000枚の沖出しを2往復・20人で、約5時間で終了した。

(2). 回次別タカセ礁内のホルダー設置配置

今年度の沖出しは産卵期のズレにより、4回次に渡って、順次設置し、第4回次の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。ホルダーにはプラスチック製札に通し番号とサンゴ種類、タカセ投入数・ウニ除去設置条件などを省略記号で表記し、ピータッチ（ブラザー）でラベルを作製して、PEクロステープでシールして、ホルダーに結索した。ホルダーの設置位置は、タカセ礁内の場所によって、微視的に日照や水流等の環境が異なるため、厳密に言えば乱数配置等を検討すべきであるが、大量設置の現実的可能性を検証する試験でもあるため、沖側より順次並べていく方法を採用した（図1）。タカセ礁内は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、一方向より順次、並べていく方法とならざるを得ない。いずれにしても、2万枚という大量の有性生殖種苗基盤の沖出しを、1礁32ホルダー全面設置を26面のタカセ礁で、実証できたことは意義がある。

(3). 中間育成種苗のモニタリング

昨年度のモニタリング方法は、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、静穏な観察条件を選定し、目視で確認したが、この方法は集計データの経時的比較により、生残数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。したがって、今年度、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、基盤の結索されたステンレス製ホルダーを裏返し、8ホルダー収容した。ホルダーを裏返すことにより、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製保冷剤（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。輸送後、水産海洋技術センター内の水槽に収容し、逐次、研究室において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記録した。計数後、基盤全体をデジタルカメラ NikonD600 で、各区20個体以

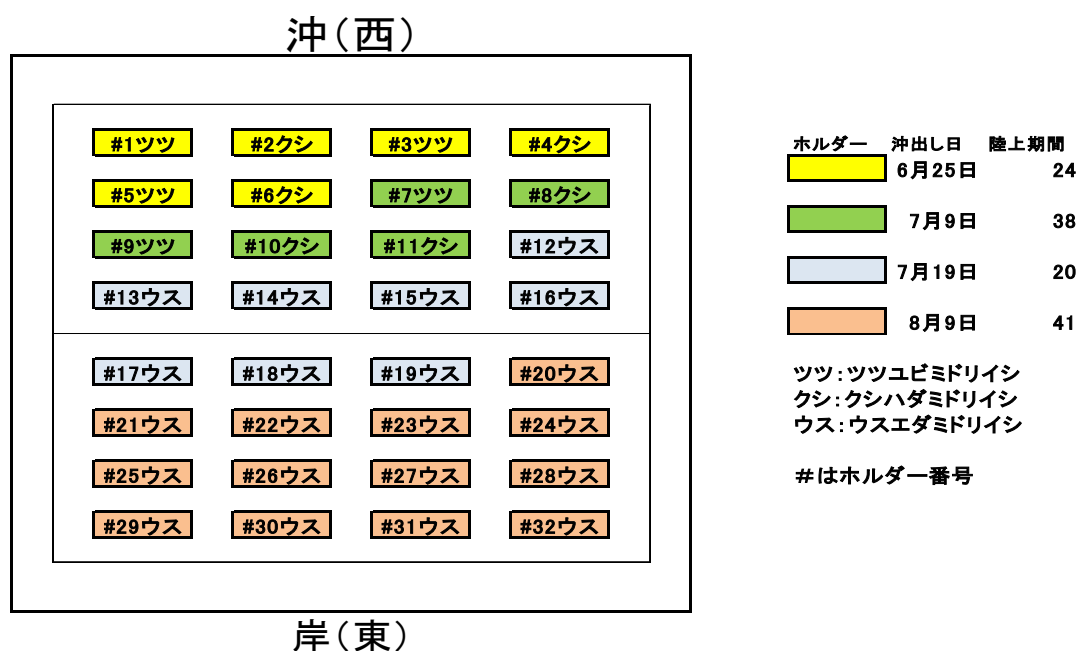


図1. タカセ礁内ホルダー設置位置図

上の稚サング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、13、14、16～20 の試験区で、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 ヶ月と 2～3 ヶ月、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、あわせて種苗率として基盤上に 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グが観察されたので、白化して死んでいるサングの数を計数し、全体のサング数に対する%を求め、白化による推定死亡率を推定した。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。

2. 結果と考察

1) 生残率と種苗率の推移

生残率は初期減耗や経時的な種苗の減少傾向を客観的に把握するために必要であるが、本事業では移植用種苗の中間育成であるから、最終的に有性種苗が基盤 1 枚に 1 個以上残っていれば良い。よって、生残率は、中間育成の目標数値にはならない。例えば、生残率では沖出し時に 10 個の種苗が基盤上に存在し、最終的に 8 個もしくは 2 個生残した場合では、8 個が評価されるが、一方で、種苗の成長が、2 個の方が明らかに上回る場合や、健苗性が勝っている場合は生残率とは相反する評価となる。したがって、最終的な中間

育成の評価は健苗な状況で、基盤上に 1 個体以上種苗が育成できた率を種苗率（各試験区におけるモニタリング枚数中の集計数の百分率%）として表した。以下に回次別の生残率と種苗率の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 ヶ月、種苗率については約半年を目処にモニタリングした。

（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、あるいは侵入が 104 個体と最も多かった。基盤表面の観察結果から、ウニ類による囓り取りの痕跡が確認され、非常に高い確率でサング種苗がウニ類に食害され、大きく減耗したと考えられた。昨年度、タカセガイの摂餌による藻類減少の結果、ウニ類の摂食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が、タカセガイ投入量の多い本試験区での顕著な生残率の低下はそれを裏付ける結果の一つと考えられる。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）。種苗率でも 163 日経過時点で #4 が 30%以下まで激減し、先述の通り、タカセガイ 1,500 個投入とその結果の餌料減少に伴うウニ類の囓り取り（食害）の強い発現が確認された。一方、その他の試験区は概ね良好で、種苗率は約 8 割以上を維持した。中でも試験区 #

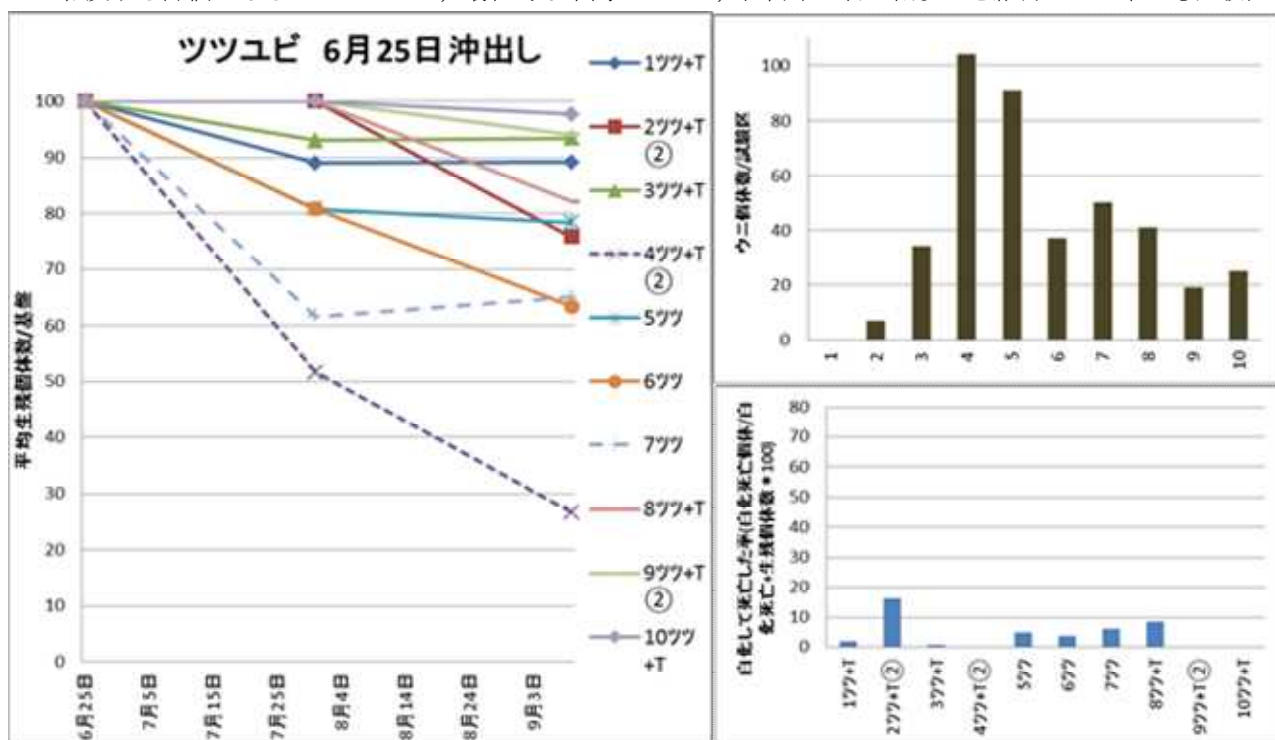


図 2. 第 1 回次ツツユビミドリイシの生残率推移と各試験区ウニ侵入数（10 月 2 日）及び白化死亡率

10 は、最悪の結果であった # 4 と同様、タカセガイを 1500 個投入したにもかかわらず、最も高い種苗率 100% を記録した。#10 は全ウニ除去を実施した結果、ウニ数は 7 個に留まっていた。すなわち、ウニによる影響を駆除によって低く留めることが出来れば、タカセガイ 1500 個は必ずしも過剰な投入数ではないと考えられた。

(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 日目ではツツユビミドリイシで大きく減耗した試験区 # 4 は

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 3)。

一方、種苗率では 163 日経過時点で # 9 が 50% まで減少したが、ツツユビミドリイシで最悪の結果であった # 4 は 8 割以上の種苗率を維持した。この結果については、# 9 では基盤上の種苗の元数が 4 個程度と少なく、食害の影響が出やすかったこと、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

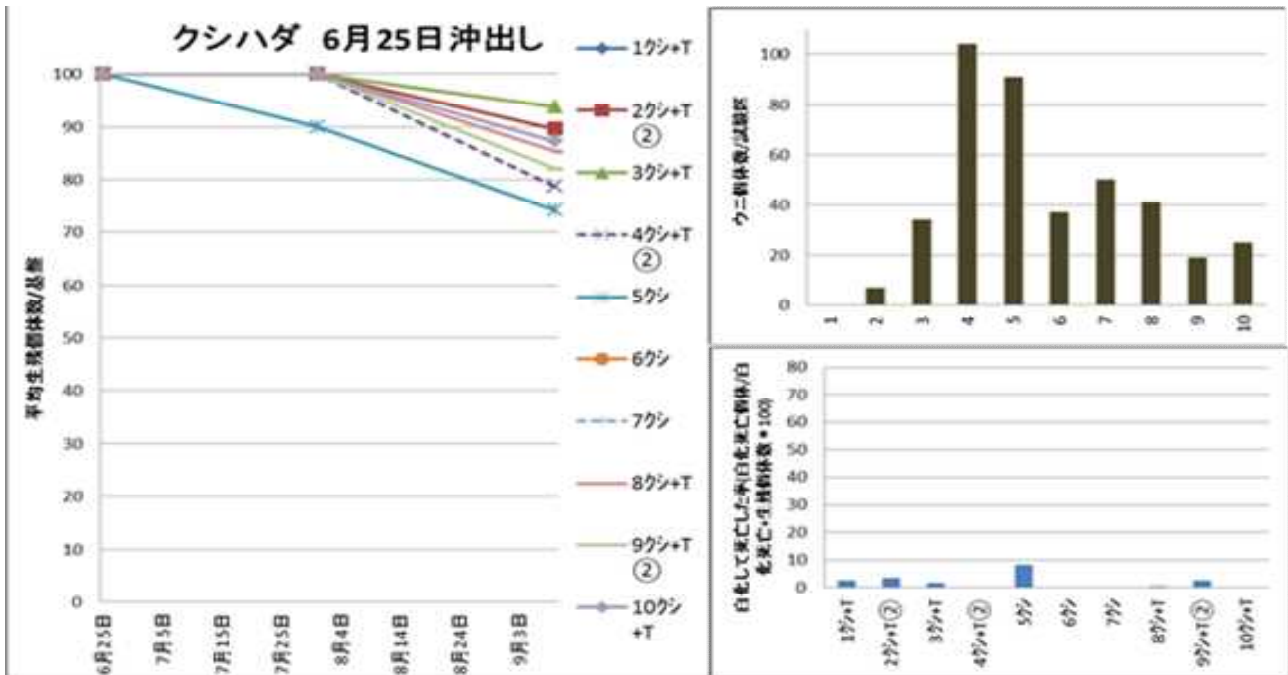


図 3. 第 1 回次クシハダミドリイシの生残率推移と各試験区ウニ侵入数 (10 月 2 日) 及び白化死亡率

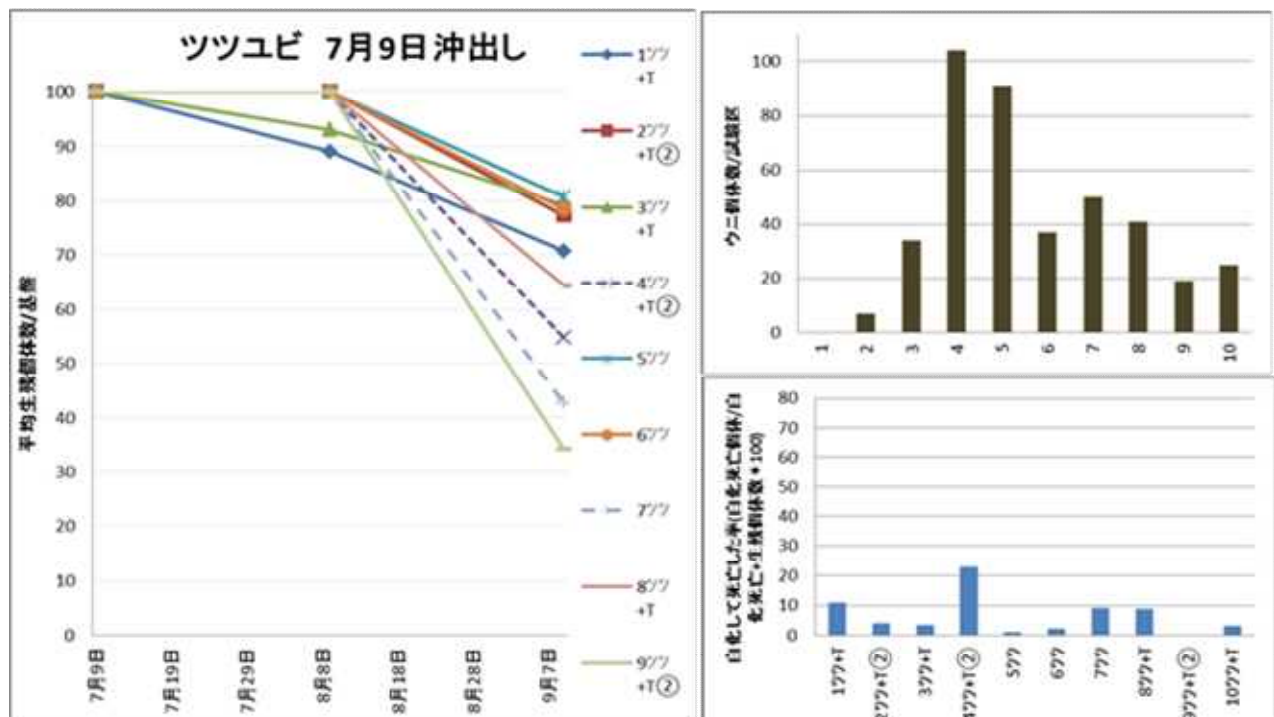


図 4. 第 2 回次ツツユビミドリイシの生残率推移と各試験区ウニ侵入数 (10 月 2 日) 及び白化死亡率

たので、今回モニタリングしたホルダーの周辺にウニ類が局所的に棲みついて、食害の影響を強く及ぼした可能性もある。

(第2回次) ツツユビミドリイシ

生残率は、沖出し後1ヶ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4)。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。種苗率では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。

(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、食害による減耗と考えられた。種苗率でも、#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、昨年同様、陸上育成期間は、より短い方が良い結果となった。しかしながら、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(後述)。よって、陸上育成期間以外の諸条件も加味して検討する必要がある。

(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23)。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、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8)。特に第3回次は沖出し後の最低水温が 30°C 内外で推移し、白化の発現水温である $29 \sim 32^{\circ}\text{C}$ 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、再生したものの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。

種苗率でも減少傾向は著しく、175日経過時点で $18\% \pm 8\%$ 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: $P=0.1436$)。

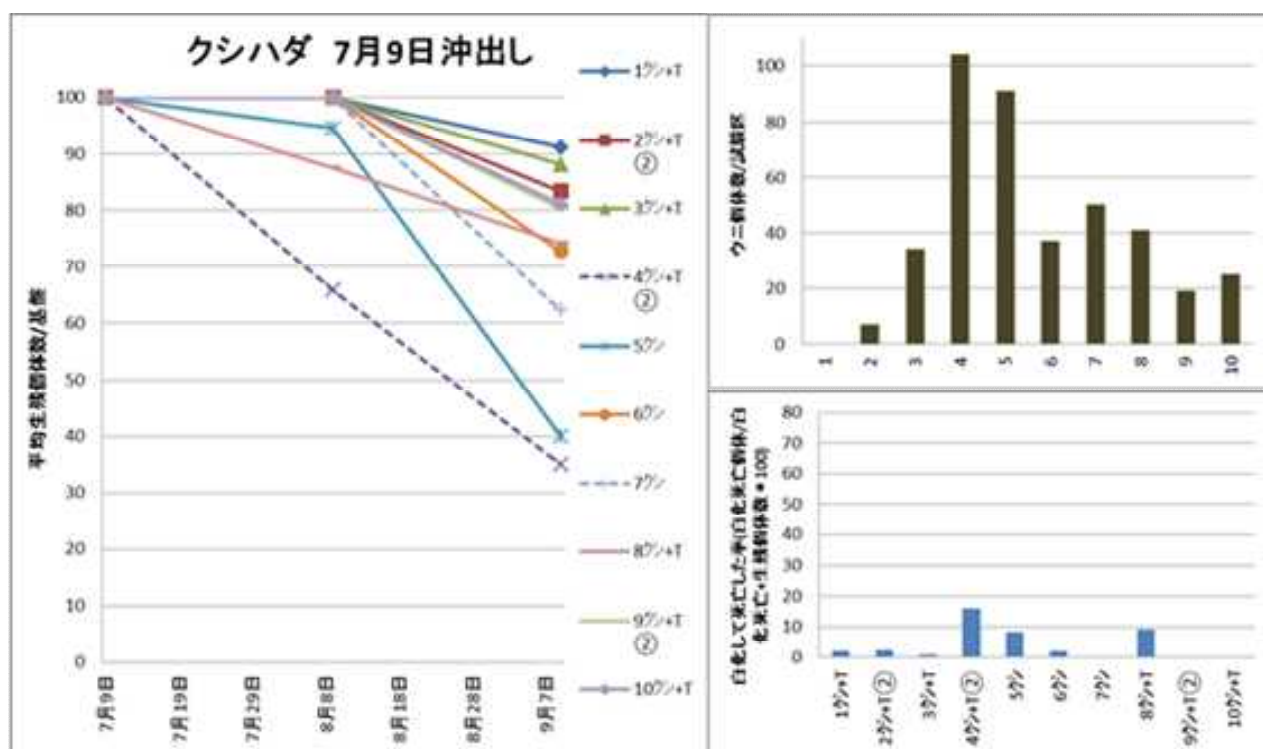


図5. 第2回次クシハダミドリイシの生残率推移と各試験区ウニ侵入数(10月2日)及び白化死亡率

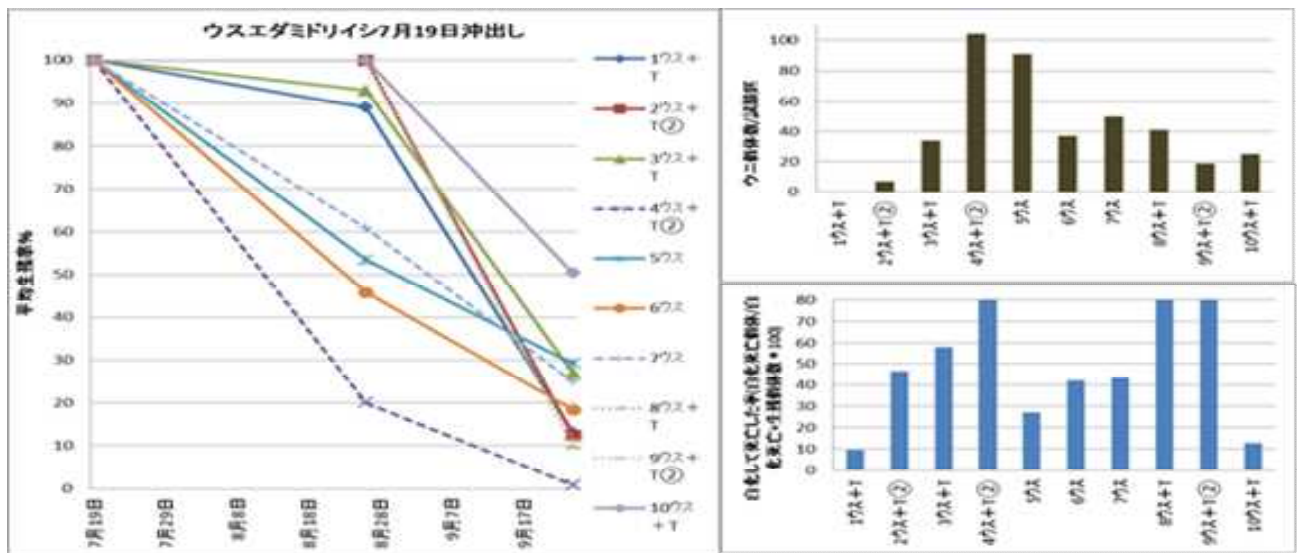


図 6. 第 3 回次ウスエダミドリイシの生残率推移と各試験区ウニ侵入数（10 月 2 日）及び白化死亡率

（第 4 回次）ウスエダミドリイシ

生残率は、第 3 回次とは同様の傾向を示し、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、 $42 \pm 18\%$ に留まった（図 7）。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 8）。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。

種苗率では # 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。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

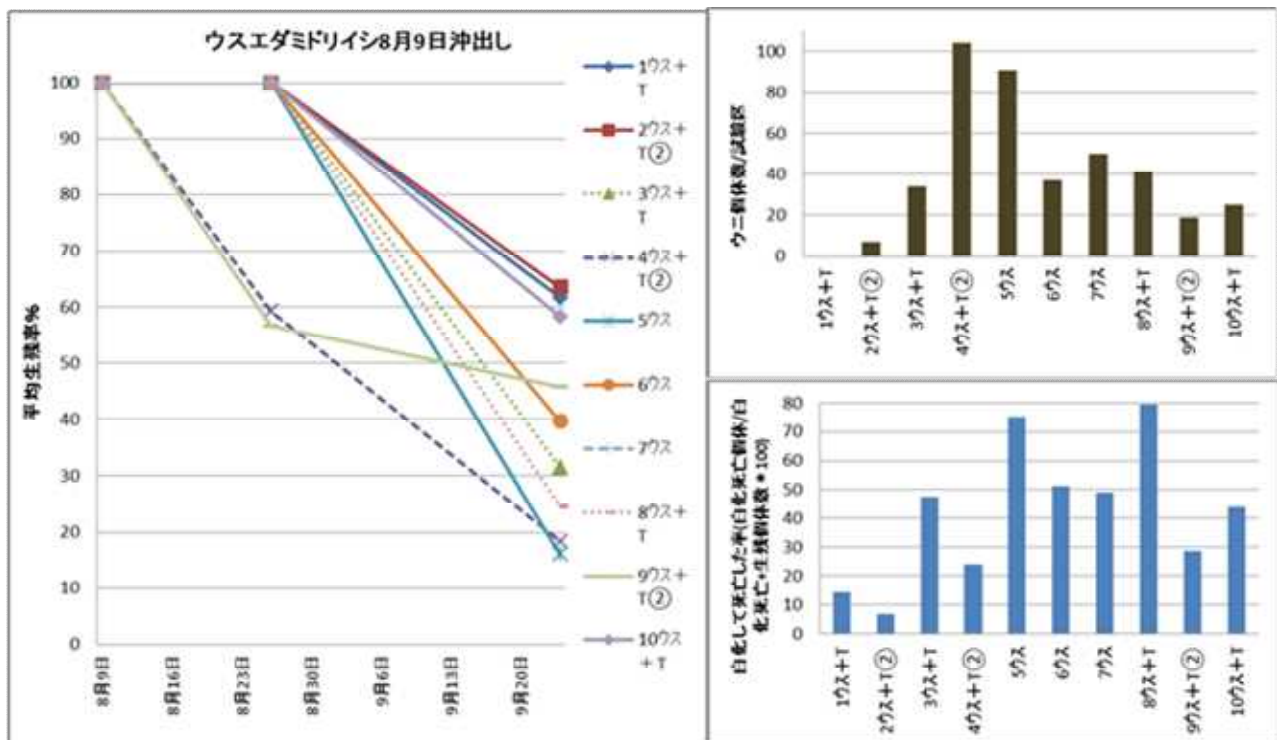


図 7. 第 3 回次ウスエダミドリイシの生残率推移と各試験区ウニ侵入数（10 月 2 日）及び白化死亡率

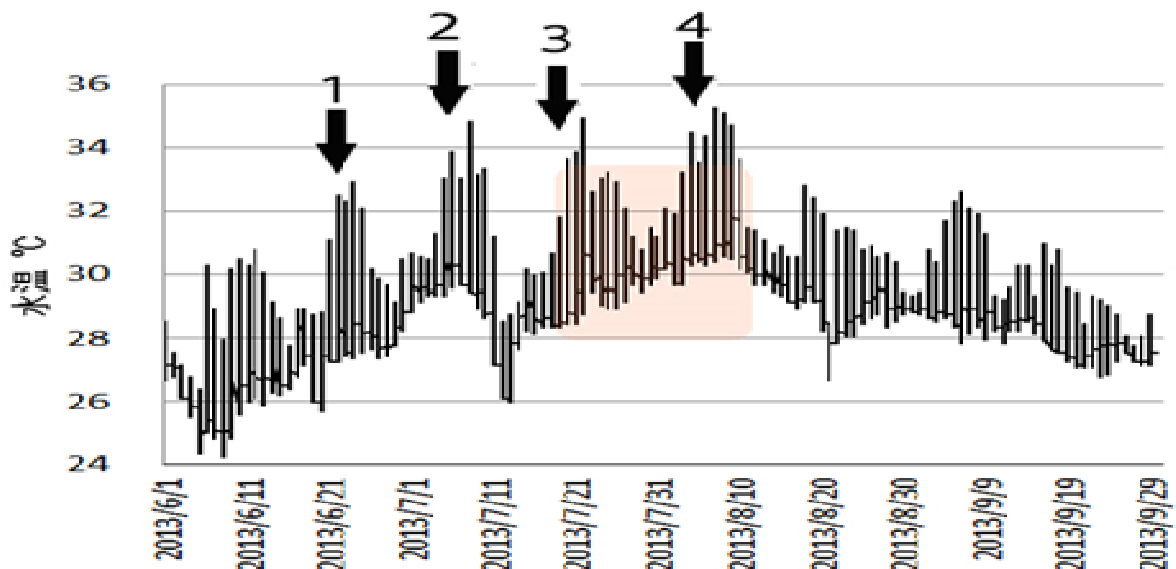


図 8. 各沖出し回次（番号↓）とタカセガイ育成礁内の水温推移（濃色範囲は顕著な高水温期）

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・Wellington, 1993 ; Brown et al, 1994）。

いずれにしても、今年のウスエダミドリイシの中間育成不調は産卵の1ヶ月遅延と異常高水温が重なって起きた非通常のイベントであったと考えられる。

2). ウニ駆除効果と陸上育成期間短縮化について

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。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、平年並みの条件下で、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日の短い方がよいことが判った※。しかし、なぜ短い方が良いかという問いに対しては以下に列挙した、いくつか想定できる理由があり、これらが複合的に原因したと考えられる。

- ・早期沖出しで、高水温条件になる前に海域馴致されたこと。

- ・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、食害回避効果が期待できること。

- ・タカセ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あり、それを早期に解消できること。

※第1回次第2回次生残率比較

両側 t 検定 P=0.0102

3). 高水温対策について

今年度は想定外の事態として7月末から8月中旬に異常高水温の影響を受けた（図9）。白化は沖縄島西海岸で甚だしく、終息の有無も判然としない中で、タカセ礁内の種苗に対して、何らかの早急な高水温対策に迫られた。タカセ礁はリーフ上に設置されており、最も浅瀬に位置しているため、干潮時に著しく水温が上昇する。速やかに、これを解消するためには、漁業者との連携を図りながら、直接的に深場へ、ホルダーごと基盤を移送避難することが、当面、実施できる唯一の方法であった。遮光対策も有効であると考えられるが、タカセ礁はリーフ外からの波浪に直接曝され、その破壊力はすさまじいので、予め耐久性のある特注シェードを準備する必要がある、そのような時間的な余裕はなかった。



図 9. 恩納水路（水深6m）の避難棚と、移送したホルダーを、並べている状況。

8月17日に高地盤に設置されているタカセ礁6基分(192ホルダー:約4,500枚)を、事前に水温が表面より約2度低いことを確認した上で、恩納水路の水深6mに移送した。移送先は農業用パイプと建設用金網を組み合わせ、現場委託業務の順応的対応の中で恩納漁協メンバーに迅速に作製してもらった(図10)。ホルダーの移送は沖出し時と同様の0.5t横長FRP水槽を用いた。

避難後の約1ヶ月で水温低下したため、9月20日にタカセ礁へ再設置を実施した。その際、基盤の状況を観察するとともに、再設置後に種苗の状況が安定した頃を見計らって、同試験区の一部で、避難せずに放

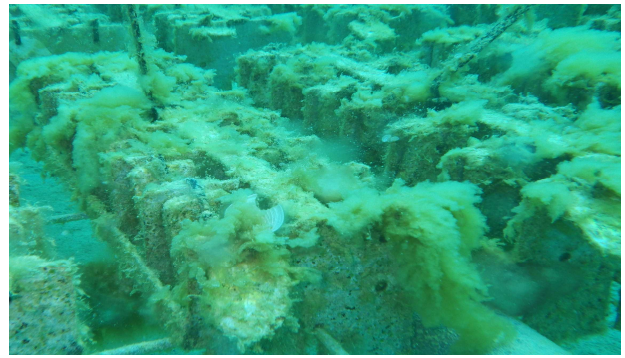


図10. 避難後、ホルダー上に発生したシオミドロ類置した分との生残率と白化死亡率を比較した。

9月20日(1ヶ月後)の基盤上にはタカセ礁では

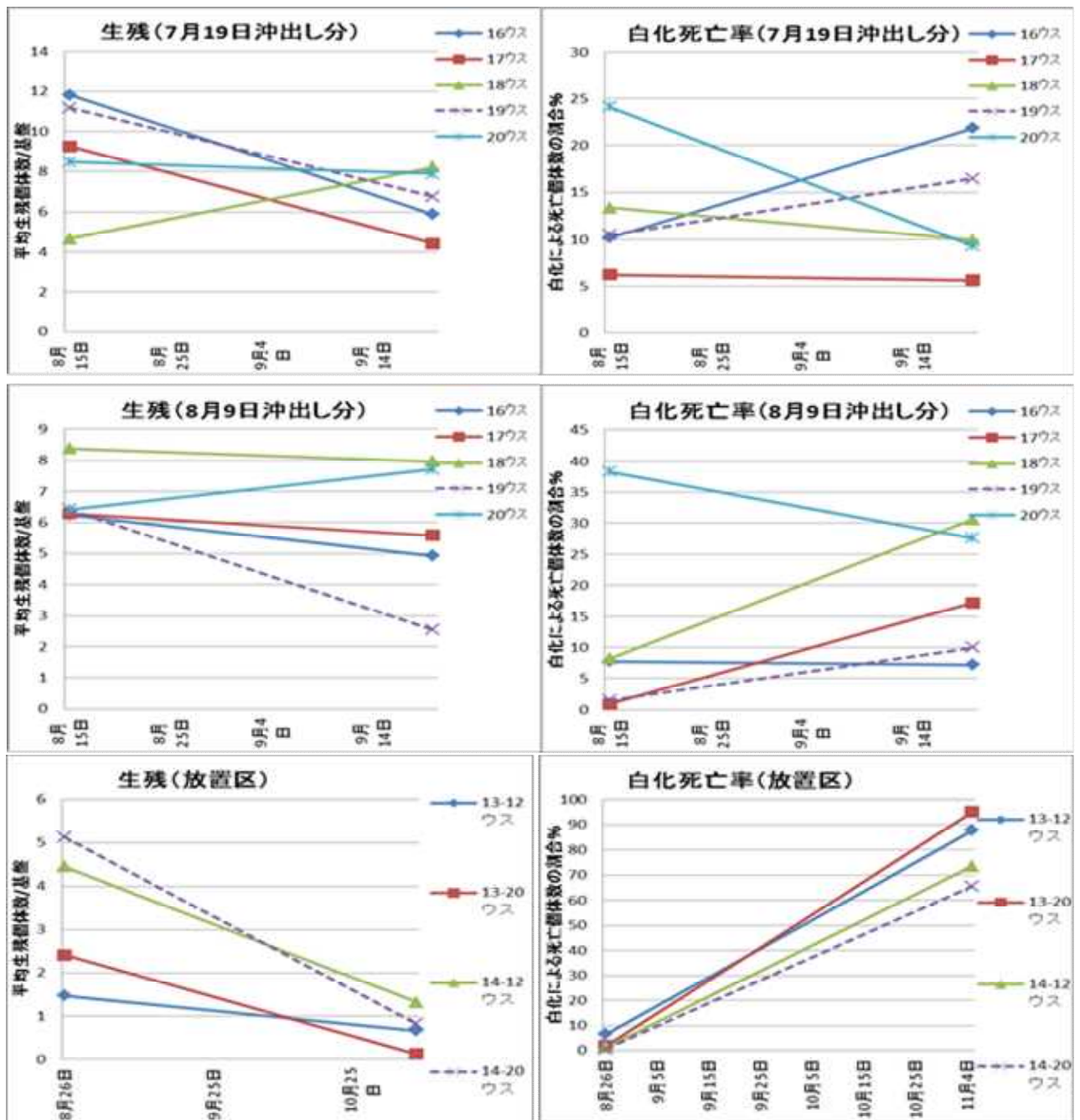


図11. ウスエダミドリイシの避難区(上段2)と放置区(下段1)の生残と白化死亡率の推移

発生していないシオミドロの一種が著しく発生し、ホルダー全体が綿をかぶったような状況になっていた。この藻類は手のひらで水流を起こし、払うことによって、少なからず除去できたが、ホルダーの隙間の基盤と基盤の間に生えている部分は残っていた（図 11）。

移送避難のモニタリング結果を生残率と白化死亡率の推移で比較すると、ウスエダミドリイシは避難区が生残、死亡共に横這いであったのと比べ、放置区は生残で半減、死亡率では 60～90%と著しく増加した。従って、ウスエダは避難したことにより明らかに被害が低減された結果となった（図 12）。

一方、ツツユビミドリイシとクシハダミドリイシ

は、避難区が、明らかに生残で、ツツユビミドリイシ約 7 割低下、クシハダミドリイシで半減、白化死亡率はそれと反比例して、4～5 倍も増加した（図 12）。したがって、ツツユビミドリイシとクシハダミドリイシは明らかに避難措置が、裏目に出た結果となった。ウスエダミドリイシは、元々、リーフ内の水深 1～2 m に生息し、静穏な環境に分布しているが、ツツユビミドリイシとクシハダミドリイシはリーフエッジ～リーフ上の比較的潮通しの良い環境に分布している。よって、種類による結果相違の原因は、サンゴ種の生態的特性に起因する可能性がある。また、ツツユビミドリイシとクシハダミドリイシは第 1 回次と第 2 回

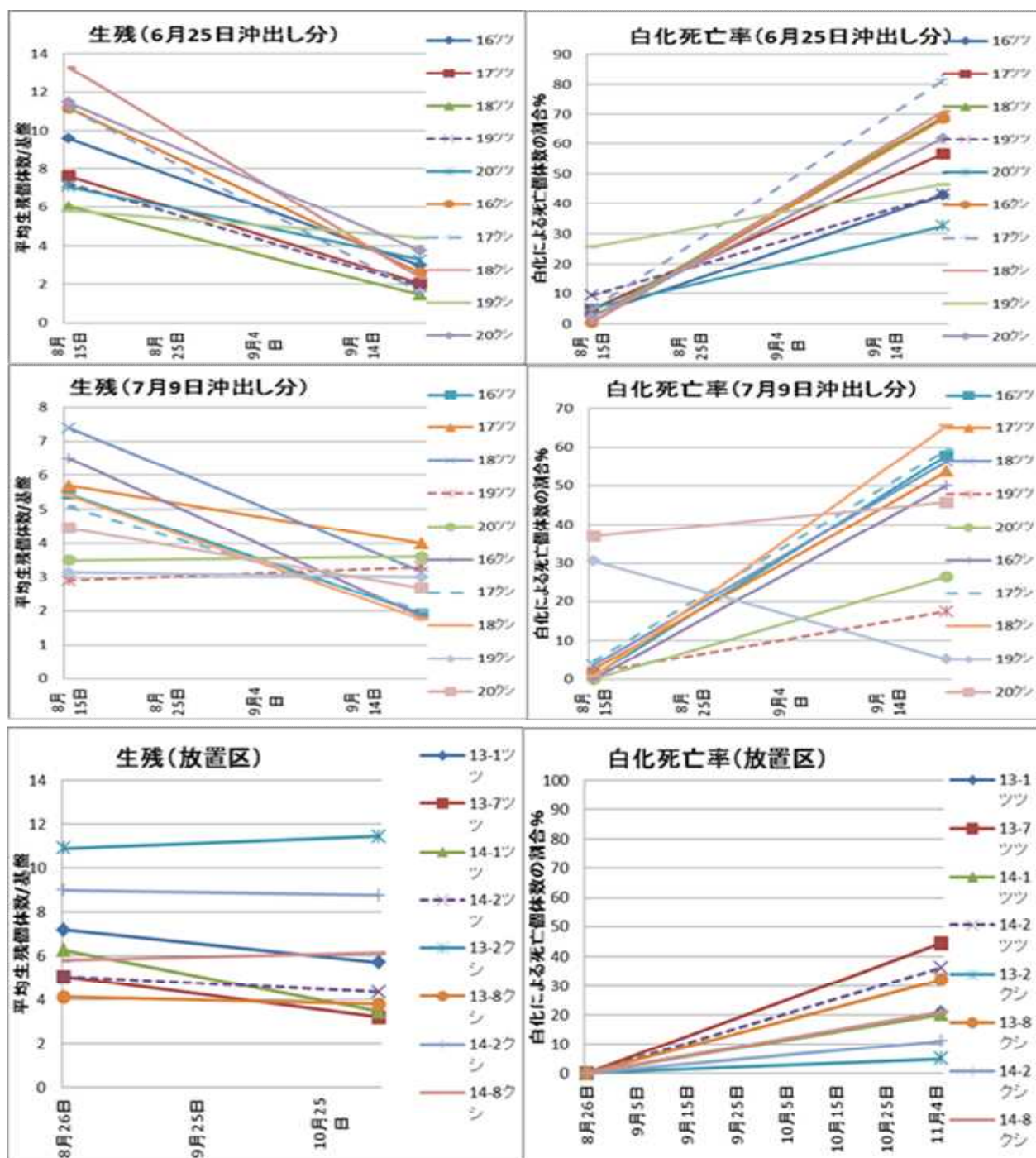


図 12. ツツユビ及びクシハダミドリイシの避難区（上段 2）と放置区（下段 1）の生残と白化死亡率の推移

次の沖出し分であり、水温上昇前に、既に高い換水環境の海域へ馴致していたにもかかわらず、あえて全く環境の異なる条件に移送し、その後、シオミドロに覆われるなどの閉塞条件となったことで、ダメージを受けた可能性も高い。今後、高水温対策に対しては、種の特異性の検討、早期沖出しによる海域馴致、タカセ礁内での遮光による高水温ストレスの緩和など、総合的な対策を試みる必要がある。

4). 食害動物調査及び試験結果

平成 24 年度結果では、タカセガイ育成礁における稚サンゴの食害動物として、ウニ類が有力視され、今年度は、更にタカセガイ育成礁への侵入実態や、ウニ駆除の有無による種苗の基盤付着位置別生残数比較を行い、タカセ礁におけるウニ類の稚サンゴ被害実態に関する知見を集積する。

(1) 基盤上におけるサンゴ種苗の生残位置とウニ類の被害実態

稚サンゴが被食されるとは、ウニ類の口器によって囓りとられることである。ただ、ウニ類は、口器の位置が自ら腹面中央にあるため、平面においては遍く囓ることが出来るが、凹部や狭く 90 度以下角度のついた内側部分は口が届かず、囓ることが出来ない(図 13)。そこで、全ウニ除去区と放置区の基盤において、生残種苗が、基盤の平面部か、基盤角の狭い側面に生残す

るかに着目し、比較検討した。その結果、全ウニ除去区と放置区の中で、特に差の大きい試験区である # 2 (全ウニ除去区) と # 4 (ウニ数 100 個体以上) に着目すると、上面の生残個体にすべてのサンゴ種と回次で明確な相違が認められた。すなわち、両試験区間ではウニ数以外の条件は同様であるため、# 2 の上面の生残個体数は # 4 にも存在していた可能性が高いにもかかわらず、9 割以上の個体が消滅し、一方、横面の生残個体数はほぼ同数という結果となり、生残個体の付着位置比率はウニの被害実態を明瞭に反映していることが示唆された(図 14)。

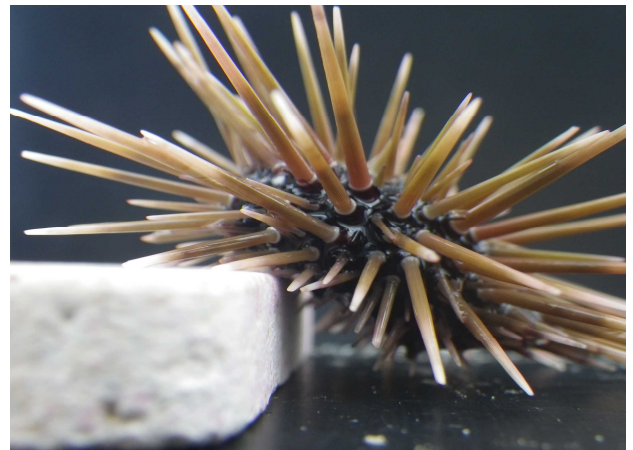


図 13. サンゴ基盤とウニ口器（ナガウニ）の位置関係

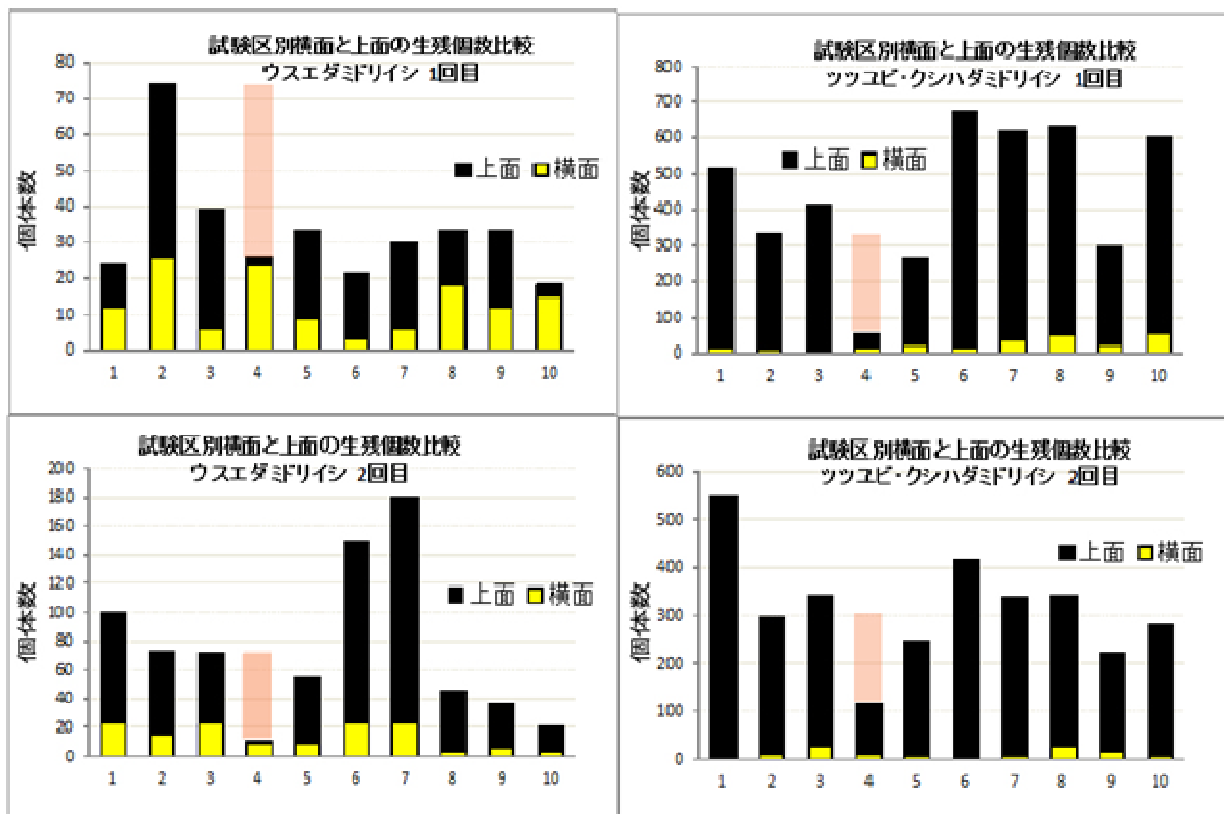


図 14. 試験区別基盤上のサンゴ種苗の生残位置（上面・横面）の生残個体数比較（薄塗は食害により消失したと推定した個体数：まとまりのある 1 群体を個体として計数）

(2) タカセ礁全ウニ除去区におけるウニ類の侵入実態

タカセ礁における稚サンゴ育成において、ウニ類除去の必要性は、上述の様々な研究結果から、ほぼ検証されつつある。しかしながら、全ウニ除去の作業頻度は不明であり、時系列的なウニ侵入実態から、これを予察する必要がある。

調査は全ウニ駆除の7試験区、およびガンガゼ除去の6試験区において、6月13日に駆除した後、基盤追跡調査の折に定期的に礁内を観察し、9月中頃から一部のタカセ礁にウニの侵入が目立ちはじめたので、10月2日(111日経過)、11月5日(145日経過)に実施した。

全ウニ除去区は、7区中、4区は111日まで10個以下で、うち3区は、145日目でも10個内外に留まったが、試験区#21で、急激なウニ数の増加が認められた。残りの3区は111日に、すでに20~30個程度侵入したが、その後、1ヶ月で更に約10~20個体増加し、30~50個体に達した(図15)。

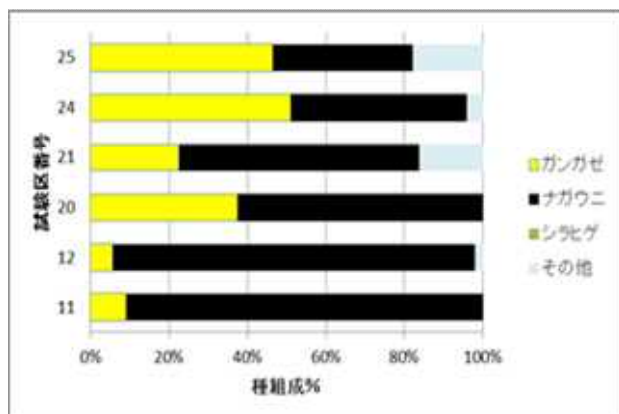


図 15. 時系列的ウニ類侵入実態とそのウニ類の種組成

全ウニ除去区における侵入ウニ類の種類組成については1個体しかいなかった試験区を除いて検討した結果、殆どがナガウニ類とガンガゼ類で占められ、比較的ガンガゼの割合が高かった。それぞれのサイズ組成をみるとナガウニは様々な成長段階の個体が混在し、礁内で着底している個体の存在が推察されたが、ガンガゼ類は小型個体が全く見られなかったことから、礁内で成長したものでなく、外部からの侵入個体である可能性が高い(図16)。ガンガゼ類の侵入比率の高さはガンガゼ類特有の移動能力の高さが関係していると考えられる。

ガンガゼ除去区はガンガゼに着目して調査した。ガンガゼについても状況は全ウニ除去区と類似し、111日目まで5試験区ともに10個体以下で推移したが、うち3試験区で、145日目までの1ヶ月で急激な侵入個体数の増加が認められた。急激に増加した1ヶ月は季節的に9月末~11月初旬の秋期にあたり、年間を通じ

て最も干満の差が小さく、タカセ礁の水没時間が最も長くなる条件となり、それがウニ類急増の一因になっていると考えられる。

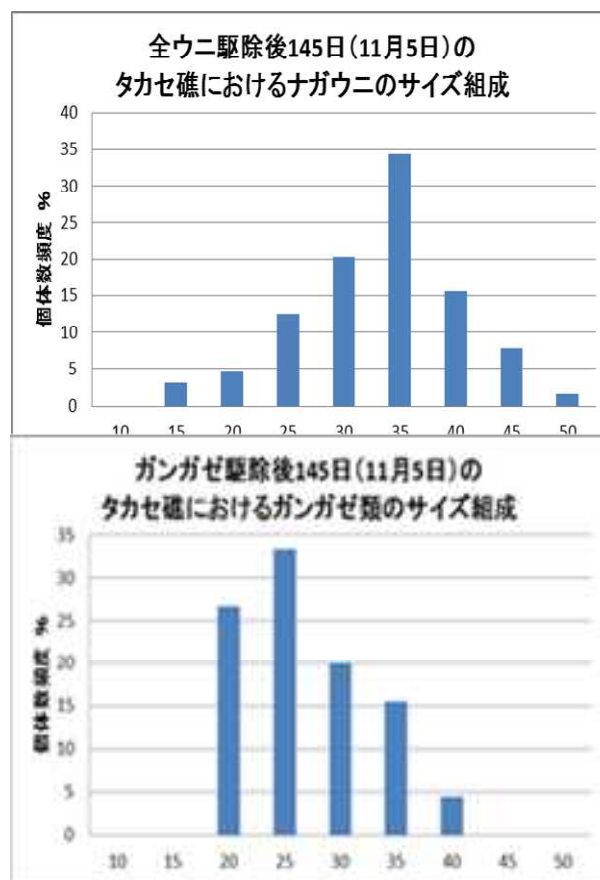


図 16. それぞれの除去区に侵入あるいは新規加入したウニ類

5) . 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 LeicaZ6APOで、写真に記録し、サイズ(長径・短径)を、Adobe社製 photoshopCS2で測定した。サイズは単一数値化のために、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)。昨年度も生残・成長ともに早期沖出しが有効との結論が得られているが、今年度も、生残のみならず、成長においても早期沖出しは有効で、陸上育成期間も3週間程度まで短縮することが可能と考えられた(図17)。一方、ウスエダは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育成延長のデメリットより、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18)。

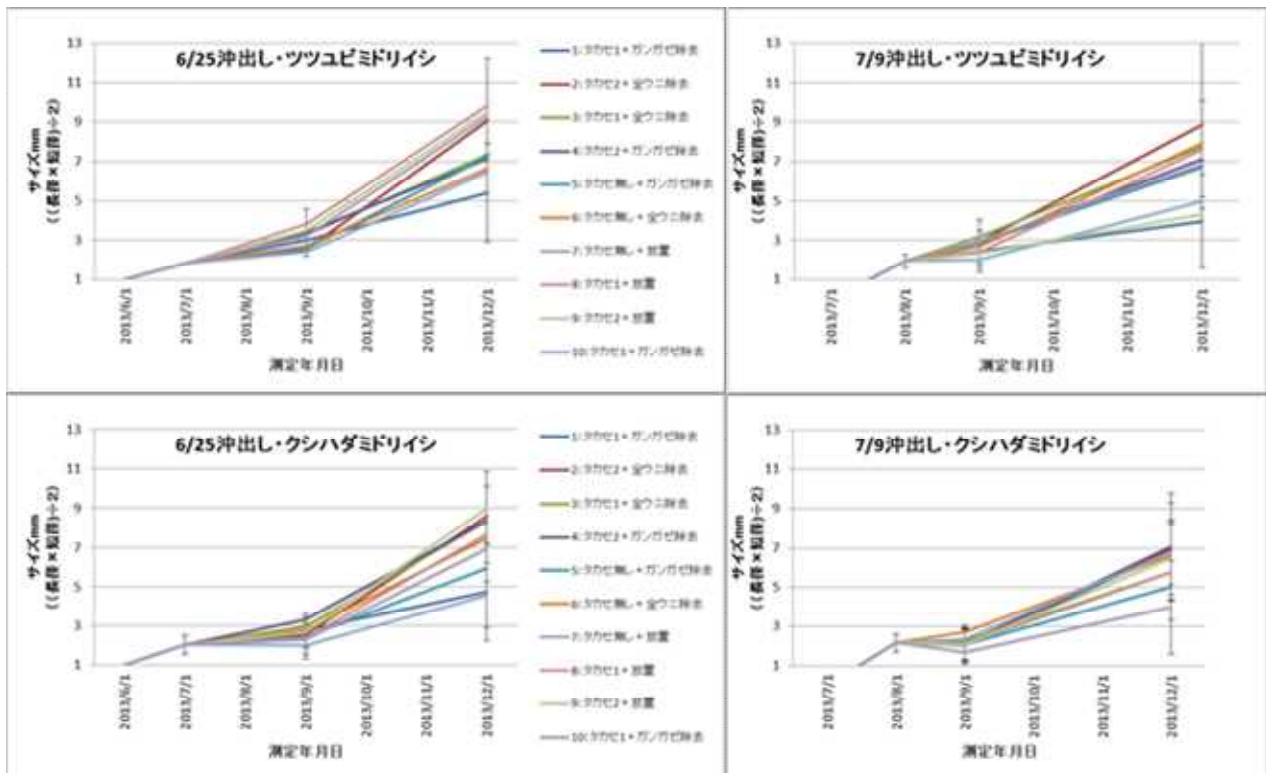


図 17. ツツユビミドリシ・クシハダミドリシの回次別各試験区における成長推移

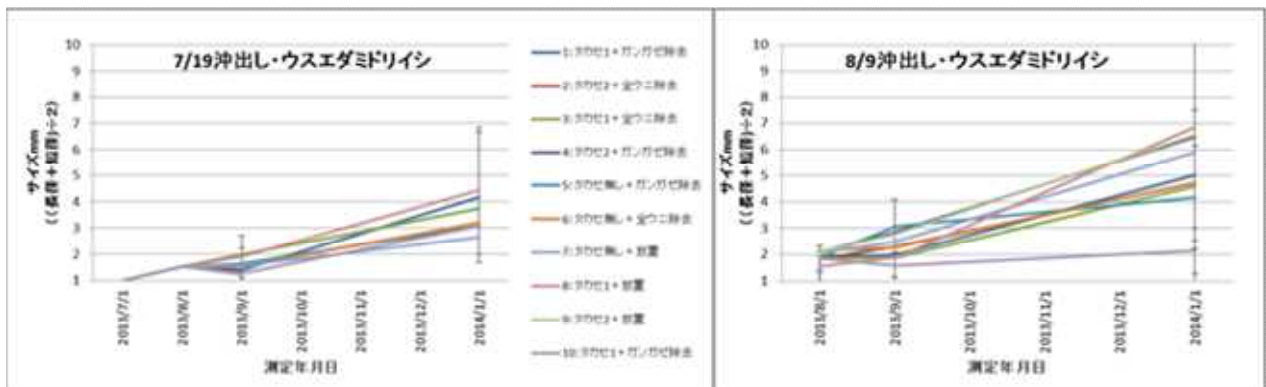


図 18. ウスエダミドリシの回次別各試験区における成長推移

文献

Brown, B.E., Dunne, R.P., Scoffin, T.P., and Le Tissier, M.D.A. 1994. Solar damage in intertidal corals. Marine Ecology Progress Series 105 : 219 – 230.

Gleason, D. • G. Wellington, 1993 Ultraviolet radiation and coral bleaching Nature 365, 836 – 838.

Epstein, N., Bak, R.P.M. and Rinkevich, B., 2001 Strategies for gardening denuded coral reef areas : the applicability of using different types of coral material for reef restoration. Restoration Ecology, 9 (4), 432-442

日高道雄, 2011 サンゴの生活史と共生 in 日本サンゴ礁学会編「サンゴ礁学 未知なる世界への招待」

東海大学出版会, pp120-152.

Nakamura R, Ando W, Yamamoto H, Kitano M and others 2010 Corals mass-cultured from eggs and transplanted as juveniles to their native, remote coral reef Marine Ecology Progress Series 436 : 161-168 .

沖縄県水産海洋技術センター・沖縄県自然保護課, 2013 平成 24 年度サンゴ礁保全再生事業研究報告書 26pp.