

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

西平守孝

Survival and growth of transplanted coral pieces in a moat along the Gushichan-hama coast, Okinawa Island

Moritaka Nishihira

要 旨

沖縄島南部八重瀬町具志頭浜の礁池において、バネ法を用いて4種のサンゴの移植実験を行なった。クシハダミドリイシと枝状ミドリイシの一種は移植後60日目までに病気と思われる原因によって全て死亡したが、コノハシコロサンゴは50%が生存した。移植後242日目に死亡サンゴを枝状ミドリイシの一種とコモンサンゴの一種に植え替え、生残したコノハシコロサンゴ5群体と共に459日間にわたって追跡した。5群体のコノハシコロサンゴは701日まで全て生存し、ミドリイシの一種は19群体中全死亡4群体(21.1%)、部分的死亡3群体(15.8%)、健全な状態のものは12群体(63.2%)であった。コモンサンゴの一種は4群体全て健全であった。成長率は枝状ミドリイシの一種が最大で、459日間でサイズ(群体の長さの幾何平均)が移植時サイズの3.5倍に成長し、コモンサンゴの一種が2.4倍に、コノハシコロサンゴは701日で1.7倍に成長した。ミドリイシ類の部分的死亡や全死亡の原因として、病気、シロレイシガイダマシによる捕食、魚による嚙食、藻類繁茂による被覆、ナガウニの糞による埋没、釣り糸の巻き付きや機械的破壊などが見られた。これらの結果に基づいて、サンゴ片の移植に関して考慮すべき点を議論した。

キーワード: サンゴ移植, バネ法, 生存率, 成長率

Abstract

In a moat along Gushichan-hama coast in Okinawa Island, four species of corals were transplanted using the spring method. 50 % of *Pavona frondifera* survived, but all of the transplanted *Acropora hyacinthus* and *Acropora* sp. died probably due to coral disease within 60 days after transplantation. After dead corals were replaced with coral pieces (encrusting/submassive *Montipora* sp. and branching *Acropora* sp.), these were monitored for 459 days together with the surviving *Pavona*. At the end of the monitoring period, the survival rate was 100 % for *Pavona* (701 days) and *Montipora* (459 days); and 79 % for *Acropora* (459 days). *Acropora* showed the greatest growth, followed by *Montipora*; and *Pavona* showed the smallest growth. As for the size (expressed by the geometric mean of the length and width of the colony), *Acropora* increased 3.5 times its initial size in 459 days, *Montipora* 2.4 times, and *Pavona* 1.7 times in 701 days. As mortality factors, disease (white syndrome), predation, algal cover, burial in sediment, etc. were observed. Based on the findings, the need for further studies of coral transplantation and coral community restoration was discussed.

Key words: coral transplantation, spring method, survival rate, growth rate

はじめに

近年沖縄県下の各地水域でサンゴ群集の荒廃が進行し、自然環境や種多様性など産業の基盤としてのサンゴ礁の包括的資源的価値の減少が危惧されている。このような状況において、さまざまな視点や思惑でサンゴの移植活動が盛んになってきている一方で、日本サンゴ礁学会はサンゴの移植に関するガイドラインを公表し（日本サンゴ礁学会，2004）、沖縄県の漁業調整規則の運用に関する意見書を公表した（日本サンゴ礁学会サンゴ礁保全委員会，2004）。

私はこれまで、サンゴ礁基盤にサンゴの薄片を固定して再固着を促進させ、サンゴ群集の回復や創出に寄与すべくいくつかの野外実験を行ってきた（遠藤ら，2006；西平，1988，1994，2006a，2006b；西平ら，1988；西平・金城，2003；平良，1998；山下ら，2000）。市民がサンゴ礁を自分たちの貴重な資源と考え、サンゴ礁を含む自然環境に対する理解を深め、その重要性を認識し、自らの問題としてサンゴ礁の保全と理に適った活用を目指しつつ、サンゴの移植を含む保全活動に日常的に取り組めるような状況を作り出すことが必要と考えてきた。そのためには、何よりもまず、安価で容易かつ安全で効率の高い方法の確立と取り組みの仕掛けを作り出すことが必要で、それに即した技術を模索してきた（西平，1988，1994，2006a，b）。

移植したサンゴ片が速やかに岩盤に再固着できるようにするためには、(1) 移植片の組織（軟体部）が基盤に接触していることと(2) 移植片が動かないことが必要である（2006b）。これまでに自ら試したさまざまな方法のうち、セメント釘と密着巻きバネを用いてサンゴ群体の薄片を岩盤に固定する方法（以後バネ法と呼ぶ）が、その目的に最も適していると考えた（西平，2006b）。バネ法は、安価で移植作業を容易かつ安全に行い得るばかりでなく、上記(1)(2)を容易に実現することができるため、再固着の効率を高めることができる。その上、緩傾斜の岩面のみならず垂直面にもオーバーハングにも適用が可能である上に、移植したサンゴ片が死亡した場合、バネをそのまま再利用して植え替えることができるという利点がある。

このバネ法によってサンゴ礁池の自然基盤上に数種のサンゴを移植し、移植サンゴの動態をおよそ500日～700日にわたって追跡した。その結果、移植したサンゴ片の残存率、死亡率（または生存率）、部分的死亡や全死亡の頻度とそれらの原因に加えて、成長に関する幾らかの知見が得られた。ここでは、バネ法の有効性を検証すると共に、実験結果に基づいてサンゴの移植に関するいくつかの問題について考えたい。

実験場所と方法

1) 実験場所

サンゴの移植実験は、八重瀬町（実験開始時は具志頭村）の具志頭浜の礁池（約130 m×40 m、干潮時水深約2 m）で行なった。この礁池は、干潮時に外洋との連絡を絶ち、海底面には季節によってカサノリ *Acetabularia ryukyuensis* やイソスギナ *Halicoryne wrightii* などが繁茂し、透明度は低い。周辺には生サンゴは極めて少なかった。海岸には人出が多いが礁池内に入ることは少なく、時に釣り糸を垂れる人が見られる程度で、人為的攪乱はあまり大きくないと考えられる。

礁池の石灰岩壁の急斜面からほぼ垂直面を移植実験の場所を選んだ。これはバネ法の適用が垂直面でも可能であるとした前報（西平，2006b）の検証も兼ねたためである。

2) 移植片の採取・基盤への固定と配列

移植実験に用いたサンゴの薄片は、礁池と隣接する潮だまり内で採取した。第1回の実験（2005年1月～4月）では、コノハシコロサンゴ *Pavona frondifera*、クシハダミドリイシ *Acropora hyacinthus* および枝状ミドリイシの一種 *Acropora* sp. の3種を用いた。実験開始後約60日迄にミドリイシ類2種とも全て死亡したため、77日目迄でモニタリングを中断した。242日目に死亡したサンゴを他のサンゴ片に植え替えた。植え替えに用いたサンゴは礁池内で採取した2種で、被覆/準塊状のコモンサンゴの一種 *Montipora* sp. および枝状ミドリイシの一種 *Acropora* sp. である。

これらサンゴ片の採取は、採取元のドナー群体への影響を考慮して群体サイズの20%に満たない程度にとどめた。ニッパーや金切りハサミを使って切り取ったサンゴ片は、その日の内に岩盤に固定（移植）した。用意したサンゴ片は、各種共に50 mm程度の大きさに揃えるようにした。

サンゴ片の基盤への固定は、西平（2006b）が最も有効であるとしたバネ法を用いて行なった。スプリング（直径0.4 mmのステンレス、巻き幅4 mm）は長さ1 cm長で、セメント釘は2.5 cm長のものを用いた。サンゴ片を固定した岩盤は急傾斜で、干潮時の深さ約50 cmから1.5 mの範囲内である。上下2列に、サンゴ片を約30～50 cmの間隔を置いて固定した。

2005年1月28日にサンゴ片を岩盤に固定した後、6日後に1回目、以後30，60，77日目にそれぞれモニタリングを行なった。2005年9月27日（最初の固定から242日目）に、ほぼ良好な状態で生存していた5片のコノハシコロサンゴを残して、死亡した群体を枝状のミドリイシの一種とコモンサンゴの一種に植え替えた後、12日目か

らモニタリングを開始し、引き続き断続的に6回のモニタリングを行なって、植え替え後459日（2006年12月30日）まで追跡した。はじめに固定したコノハシコロサンゴも同日にモニタリングしたため、その種は最初に固定してから701日目まで追跡したことになる。

各モニタリングでは、群体の側に定規を添えて上面からデジタルカメラを用いて写真撮影し、印刷した写真上で群体の長径と短径を測定した。できる限り同一方向から撮影するようにしたが、厳密に撮影角度を一定に保つことが困難であったため、測定値にわずかな誤差があることは否めない。サンゴの大きさの表現として、群体の長径と短径の幾何平均を用いた。サンゴの残存・消失・破損などのほか、切断面の傷の修復状況、基盤への再固着状態、全死亡、部分的死亡、捕食、底質への埋没、海藻の繁茂やサンゴ片被覆の状況、釣り糸の絡みつきなど人為的攪乱の状況なども記録した。

結 果

1) 第1回実験

2005年1月28日にコノハシコロサンゴ10片、クシハダミドリイシ9片および枝状ミドリイシの一種9片の合計28片を固定し、77日目まで4回にわたって断続的にモニタリングを行なった（表1）。

固定後30日までは離脱も死亡もなく、切断面の修復も

再固着も進むなど順調であった。一時、ミドリイシ類の群体枝先に魚によると思われる嚙り痕が見られた後、3月29日（60日目）にはミドリイシ属2種の全ての移植片の組織が剥離し骨格がむき出しになって死亡していた。コノハシコロサンゴも5片は組織の剥離が著しく、殆ど全死亡に近いような状況であった。他の5片のうち、1片は健全、他の4片には部分的死亡がみられたものの、その後ほぼ順調に成長した。コノハシコロサンゴには、魚によると思われる嚙り痕やシロレイシガイダマシ *Druppella cornus* による捕食は見られなかった。サンゴの死亡は病気によるものと考えられた。

2種のミドリイシが全て死亡した時期には、実験地点周辺に棲息していたサンゴにも、部分的死亡あるいは全死亡が見られる群体があった。死亡の状況は移植片とほぼ同様であった。これらの中には、ルリサンゴ属 *Leptoseris*、トゲキクメイシ属 *Cyphastrea*、キクメイシ属 *Favia*、カメノコキクメイシ属 *Favites*、ノウサンゴ属 *Platygyra*、マルキクメイシ属 *Montastrea* などのキクメイシ類、ミドリイシ属 *Acropora* やアナサンゴ属 *Astreopora* などのミドリイシ類、塊状および樹枝状のハマサンゴ属 *Porites*、シコロサンゴ属 *Pavona* やアザミサンゴ属 *Galaxea* などが含まれ、多くの種が死亡していた。しかしながら、中には同属で全く死亡の気配を見せない健全な群体も見られ、その他に固着性のスワリクサピライシ *Fungia* sp. sessile やムカシサンゴ属 *Stylocoeniella* なども健全であった。

表1. 岩礁基盤に固定した3種のサンゴ片の経時変化（第1回実験：2005.1.28-4.15）。「残存」はサンゴの生死に関わらず基盤上に残存していた群体、「生存」は部分的死亡の見られない生群体、「死亡」は死亡群体、「部分死亡」は群体の一部が死亡した群体、「捕食」は動物に嚙られた痕のある群体を示す。*、データ無し。

Table 1. Change of coral pieces transplanted to natural limestone substrates in the first experiment (2005.1.28-4.15). "Remaining": corals remaining on the rock substrate irrespective of being dead or alive; "live": intact, living corals; "dead": dead corals; "partially dead": partially dead corals; "predation": corals with grazing scar(s). "**": no data.

種 類 Species	経過日数	Days	0	6	30	60	77
コノハシコロサンゴ <i>Pavona frondifera</i>	残 存	Remaining	10	10	10	10	10
	生 存	Live	10	10	10	2	1
	死 亡	Dead	0	0	0	0	5
	部分的死亡	Partially dead	0	0	0	8	4
	捕 食	Predation	0	0	0	0	0
クシハダミドリイシ <i>Acropora hyacinthus</i>	残 存	Remaining	9	9	9	9	9
	生 存	Live	9	9	3	0	0
	死 亡	Dead	0	0	0	9	9
	部分的死亡	Partially dead	0	0	0	*	*
	捕 食	Predation	0	0	6	*	*
枝状ミドリイシの一種 <i>Acropora</i> sp.	残 存	Remaining	9	9	9	9	9
	生 存	Live	9	9	9	0	0
	死 亡	Dead	0	0	0	9	9
	部分的死亡	Partially dead	0	0	0	*	*
	捕 食	Predation	0	0	0	*	*

2) 第2回実験

a) 移植片の残存と生存の状況

第1回目の実験で死亡した群体を植え替えた後、459日まで断続的にモニタリングを行なった(表2)。対象とした群体は、コノハシコロサンゴ5群体、新たに植え替えた枝状ミドリイシの一種19群体、コモンサンゴの一種4群体の合計28群体であった。

モニタリングの期間中、何れの種にも離脱は見られず、病気によると思われる死亡も見られなかった。

コノハシコロサンゴは、242日目には部分的死亡を示していた1群体が回復し、以後374日まで健全群体2、部分的死亡群体3(死亡部分は群体の5~50%相当部分)のまま推移した。423日目に全てが10~50%の部分的死亡を示していたが、573日目のモニタリングでは部分的死亡は2群体に減少した(それぞれ10%)。701日目には健全な群体が4群体になったが、他の1群体は大部分が破壊され、わずかに固着部分が生きた状態で残っていた。観察期間中全死亡群体はなく、捕食も離脱も見られなかった。

枝状ミドリイシの一種は、固定後12日目にほとんどの群体の枝の先端部に魚によると思われる嚙り痕が見られ、132日目には8群体に嚙り痕が見られた。それ以降、枝の先端部は修復され、嚙り痕は見られなくなった。一方で、73日目から枝の一部に嚙り痕以外に部分的死亡が現れ(2群体)、以後459日まで少数の群体に見られた。全死亡は132日目に1群体、331日目には3群体に増加し、459日目までに全体で4群体が死亡した(図2-8)。部分的死亡や全死亡の原因はナガウニの糞による埋没、糸状に繁茂した未同定の緑藻による被覆、釣り糸の巻き付きに伴う海藻などの絡みつきおよびシロレイシガイダマシによる捕食であった。なお、ミドリイシの一種を捕食したシロレイシガイダマシは少数で、3群体に見られただけで、観察された際に全て除去した。貝は全て小型個体(殻長:17.4 mm±5.3 mm, n=11)であった。図2-6はシロレイシガイダマシに捕食された群体を示す。健全な群体は植え付け後73日目で2群体減少した後も漸次減少したが、部分的死亡を示した群体が死亡部分を再生して再び健全な群体になることもあった。観察最終日(459日目)には、健全な群体12、部分的死亡の群体3であった。群体の生死を問わず、離脱したものはなかった。

コモンサンゴの一種は、459日間の観察を通して、離脱も部分的死亡や全死亡も全く見られなかった。捕食痕も見られず、全て健全であった。

移植後の生残率は、コノハシコロサンゴは701日で50.0%、ミドリイシの一種は459日で78.9%、コモンサンゴの一種は同じく459日で100%であった。一見して種間に大きな差が見られたが、サンプル数が少ないこともあって、差は有意とは言えなかった($\chi^2=2.21$, $df=2$, $p=0.33$)。

b) 移植片の成長

3種のサンゴ片の固定後の成長を図1に、サンゴ片固定時と最終観察時の群体の成長、部分的死亡、全死亡の例を図2に示す。

コノハシコロサンゴ(図1-A; 図2-1,2)は、固定時のサンゴ片の平均サイズが58.6 mm±9.6 mm(平均±SD, n=5)であったが、701日で101.0 mm±20.4 mm(n=4)に成長し、成長量は41.5 mm±17.3 mm(n=4)で、サイズは1.71±0.29倍(幅1.32~2.03, n=4)になった。成長率(観察最終日の群体サイズ/移植時点の群体サイズ)は群体によって異なり、最大2.03倍、最小1.32倍であった。月平均では群体サイズの約7%の速度で成長したことになる。

ミドリイシの一種(19~13群体)(図1-B; 図2-3~8)では、固定時の平均サイズ43.4 mm±8.6 mm(n=19)であったものが、459日後に123.8 mm±19.1 mm(幅91~149, n=13)に約83.7 mm±19.9 mmの成長量を示し、3.1±0.6倍に成長した。成長率は群体によって異なり、最大4.3倍、最小1.9倍であった。月平均では群体サイズの約21%ずつ成長したことになる。

コモンサンゴの一種(図1-C; 図2-9,10)は、固定時は43.5 mm±4.4 mm(n=4)で、459日後に49.5 mm±9.0 mm成長し、2.2±0.3倍になった。成長率は群体によって異なり、最大2.41倍、最小1.9倍で、月平均で約14%ずつ成長したことになる。

これら3種の成長速度には有意な差が見られ(ANOVA, $F=23.8$, $df=2$, $p<0.0001$)、単純に月平均すると成長率はミドリイシの一種が群体サイズの約21%、コモンサンゴの一種が約14%、コノハシコロサンゴが約7%の順で、種間の差は有意であった(TukeyのHSD検定, $p<0.05$)。ミドリイシの一種が最大で、シコロサンゴが最小であったことは、自然状態における成長の遅速の印象と一致していた。

考 察

サンゴ片の固定方法

サンゴ片の固定に用いたバネ法は、平坦面のみならず急傾斜面や垂直面、必要があればオーバーハングにも適用可能であることはすでに示されているが(西平, 2006b)、2回の実験のいずれにおいても、この方法の有効性が改めて確認された。西平(2006b)の目指した手法の備えるべき4条件(安価・手軽・安全・高効果)が、450~700日に及ぶモニタリングで改めて確認されたと言える。

サンゴ片の死亡要因

病 気? : 第1回目のサンゴ片固定後60日目には、病気と思われる原因不明の要因によって2種のミドリイシ類が全て死亡していた。この時期には自然に成育してい

表 2 . 3 種のサンゴ群体小片を礁池の岩礁基盤に固定した後の経時変化。コノハシコロサンゴは固定後701日, ミドリイシの一種とコモサンゴの一種は固定後459日後まで追跡した。固定した日 (経過日数 0) の残存数は固定した群体小片の数を示す。コノハシコロサンゴは2005年9月27日に生群体5個を残して他のサンゴに植え替えられた。 「残存」はサンゴの生死に関わらず基盤上に残存していた群体, 「生存」は部分的死亡の見られない生群体, 「死亡」は死亡群体, 「部分死亡」は群体の一部が死亡した群体, 「捕食」は動物に捕食された痕跡のある群体を示す。

Table 2 . Change of coral pieces transplanted to natural limestone substrates for over 701 days (for *Pavona frondifera*) and 459 days (for *Acropora* sp. and *Montipora* sp.) Dead colonies of *Pavona frondifera* were exchanged for other species on Sept. 27, 2005, and only five colonies were monitored thereafter. "Remaining": corals remaining on the rock substrate irrespective of being dead or alive; "live": intact, living corals; "dead": dead corals; "partially dead": partially dead corals; "predation,": corals with grazing scar(s).

種類 Species	日付 Date		2005/1/28		2005/2/3		2005/3/5		2005/3/29		2005/4/15		2005/9/27		2005/10/9		2005/12/9		2006/2/6		2006/3/27		2006/6/12		2006/8/24		2006/12/30		
	経過日数	Days	0	6	30	60	77	242	254	315	374	423	500	573	701	残存	Remaining	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
コノハシコロサンゴ <i>Pavona frondifera</i>	残存	Remaining	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	生存	Live	10	10	10	2	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	死亡	Dead	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	部分的死亡	Partially dead	0	0	0	8	4	3	3	3	3	5	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	捕食	Predation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2005.9.27 植え替え		日付 Date		2005/9/27		2005/10/9		2005/12/9		2006/2/6		2006/3/27		2006/6/12		2006/8/24		2006/12/30									
		Transplanted on Sept. 27, 2005		経過日数		Days		0		12		73		132		181		258		331		459							
				残存		Remaining		19		19		19		19		19		19		19		19		19		19		19	
				生存		Live		19		19		17		13		13		15		12		12		12		12		12	
				死亡		Dead		0		0		0		1		1		1		3		4		4		4		4	
				部分的死亡		Partially dead		0		0		2		5		5		2		4		3		3		3		3	
				捕食		Predation		0		1		0		8		0		0		0		0		0		0		0	
				残存		Remaining		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4	
				生存		Live		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4	
				死亡		Dead		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0	
				部分的死亡		Partially dead		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0	
				捕食		Predation		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0	

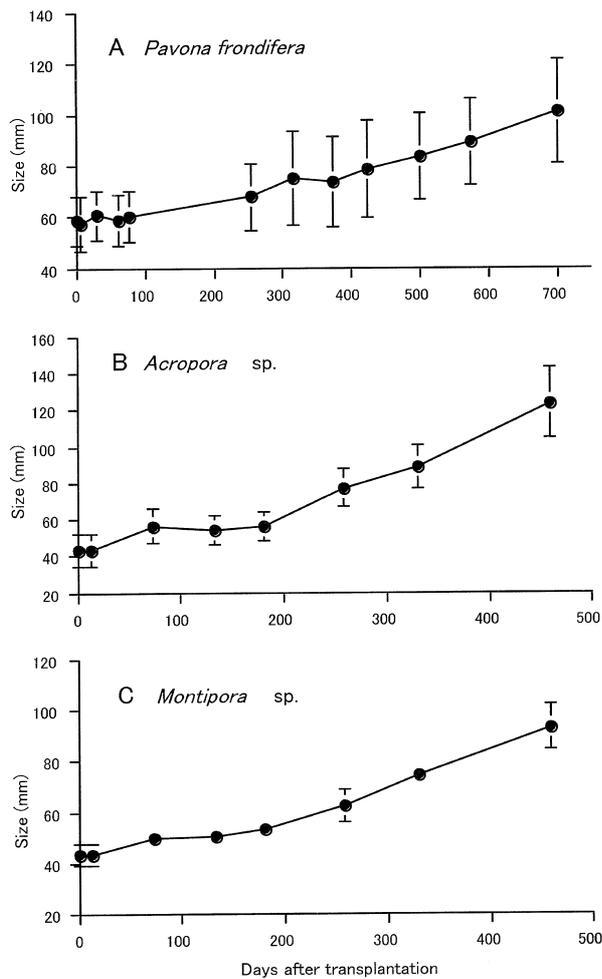


図1. 具志頭浜の礁池における3種のサンゴ小片の移植後の成長。A, コノハシコロサンゴ; B, ミドリイシの一種; C, コモンサンゴの一種。群体数はシコロサンゴの一種は5群体(最終観察4), ミドリイシの一種は19~13群体で順次減少, コモンサンゴの一種は常時4群体。Fig. 1. Growth of three species of coral transplanted to the natural substrate in a moat along Gushichan-hama coast, Okinawa Island. The number of samples was different in different species: *Pavona frondifera* five colonies (at last measurement, four); *Acropora* sp. varied from 19 (initially) to 13 (at last measurement); and for *Montipora* sp. it was four throughout the experiment.

るサンゴの多くの属で大小さまざまな群体に同様な経過で死亡が見られたことから、恐らく感染性の病気によるものと考えられる。サンゴ類の病気については、近年さまざまな海域で幾種類もの病気が報告されている(Jordan-Dahlgren & Rodriguez-Martinez, 2004; Weil, 2004; Willis et al., 2004)が、沖縄でも研究が進みつつある(入川・森山, 2006; Rosenberg & Loya, 2004; Yamashiro et al., 2000)。今回見られた死亡の様相は、一見いわゆるホワイトシンドローム white syndrome

(WS) に似たような状況であった (Willis et al., 2004; Bythell et al., 2004 参照)。組織の剥離の様子は Rozenblat & Rosenberg (2004) の示した *Vibrio coralliolyticus* を感染させたハナヤサイサンゴ *Pocillopora damicornis* の組織の剥離に似ていた。入川・森山 (2006) は慶良間海域における WS について報告しており、深見ら (2006) も細菌が褐虫藻を殺しサンゴの白化をもたらすことを示唆した。今回の実験に見られた組織の剥離による死亡原因の特定には詳しい研究が必要で、将来の重要な研究課題の一つとなるであろう。

捕食: 第1回目の実験でミドリイシ類の殆どの群体の枝先に魚によると思われる齧り痕が見られ、第2回目の実験ではミドリイシ類にシロレイシガイダマシの捕食も見られた。魚の捕食に関しては何ら対策を講じなかったが、シロレイシガイダマシに関しては、発見した際に除去した。全死亡に至るまで魚による捕食が進行することはなかった。コノハシコロサンゴとコモンサンゴの一種には、何れの捕食も見られなかった。シロレイシガイダマシがミドリイシ類に嗜好性を示すことは他の水域でも見られるが、サンゴの密度が減少した場所では、コモンサンゴ類やシコロサンゴ類に加えて塊状ハマサンゴをも捕食することが観察されている(西平, 未発表)。パネ法によって固定されたサンゴ片が再固着した後も、捕食に対する対応が必要であることを示している。捕食者は海域や季節により、また移植するサンゴの種群によって影響が異なると考えられるため、移植片の生存率を上げるためにはさまざまな側面からの対応が必要である。

底質への埋没: 岩の割れ目につまじロナガウニ *Echinomethra* sp. type A が潜んでいる場所の直下に固定したサンゴ片が、ウニの排泄した糞に埋まって部分的に死亡した群体が見られた。このようなことは希であろうが、移植片の固定箇所の選択には砂泥への埋没の危険性についても注意しなければならないのは言うまでもない。

藻類による被覆: 礁池内では、季節によって糸状の緑藻類が大量に繁茂することがあり、それが群体に絡みついて部分的死亡をもたらすことがあった。海藻に被覆された状態が長時間続き、藻類が一段と繁茂することがあれば、全死亡にいたる可能性がある。サンゴ群体がある程度の大きさに成長するまで、必要に応じて藻類の除去が必要となる場合もある。

人為的攪乱: 具志頭浜の礁池では海中に人が入ることは少ないと考えられたが、枝状ミドリイシに釣り糸がからまっていることがあった。そのことによって群体の枝が折れたことはなかったが、群体に絡みついたテグスに

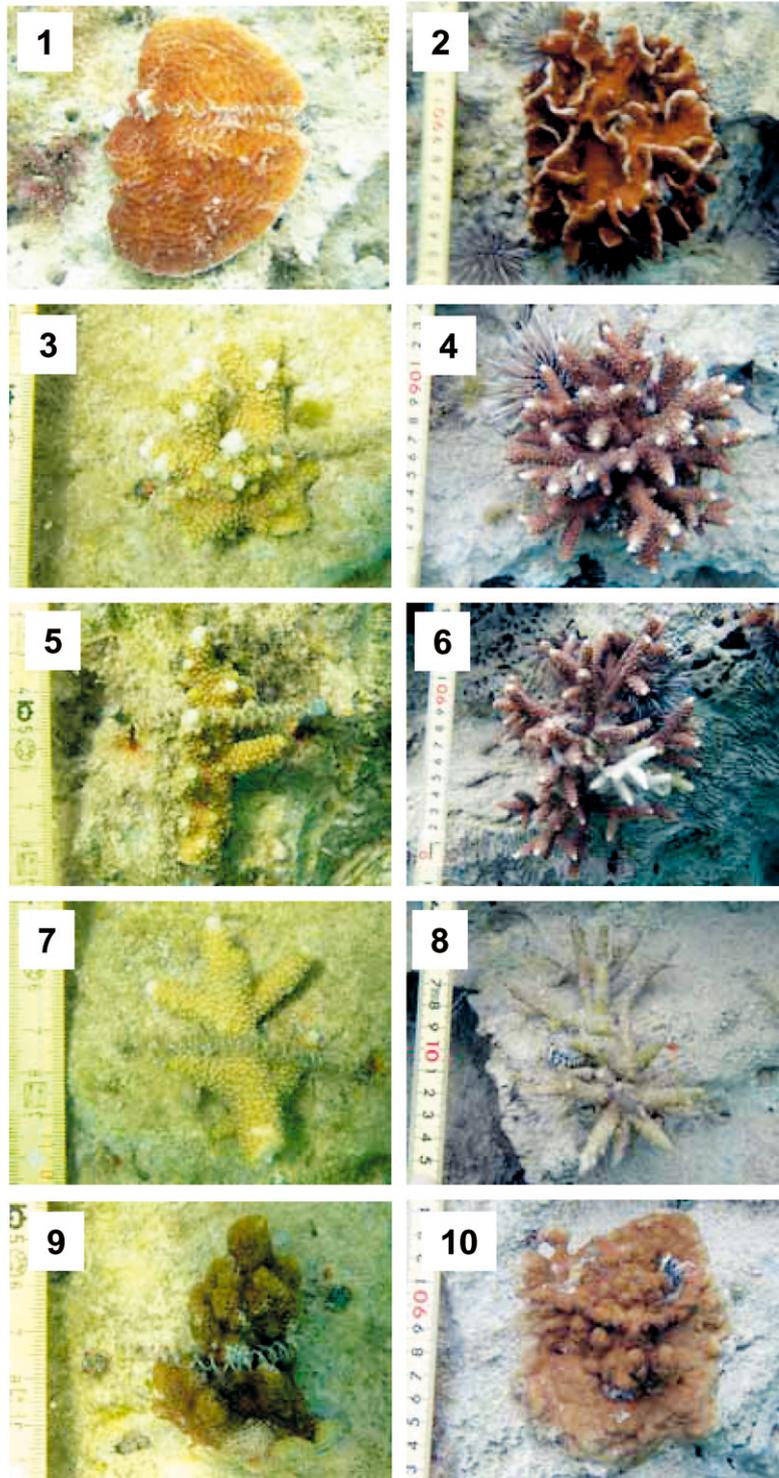


図2. 移植サンゴ片の成長, 部分的死亡, および全死亡群体の例。写真の左 (奇数番号) は移植時点 (0日), 右 (偶数番号) は最終観察時点 (2は701日目; 他は459日目) の状態を示し, 左右は同一群体。1-2, コノハシコロサンゴ; 3-8, 枝状ミドリイシの一種; 9-10, コモンサンゴの一種。6はシロレイシがダマシによる捕食, 8は観察最終時における全死亡群体。

Fig. 2. Photographs showing examples of the growth, partial mortality and total death. of transplanted coral pieces during the experimental period. 1-2, *Pavona frondifera*; 3-8, *Acropora* sp.; 9-10, *Montipora* sp. No. 6 shows partial death of *Acropora* sp. due to predation by *Druppela cornus*. No. 8 shows total death of *Acropora* at the end of the observation period. Photos on the left show transplanted coral pieces (time day 0) and the ones on the right show the condition of the coral at the time of the last monitoring (day 701 for 2; day 549 for the others). Paired corals show the same colony on the day 0 and day 701 or day 459.

藻類などの浮遊物が絡みついて群体を被覆している場合があった。このような場合には死亡の程度を確認するためにその部分だけ海藻を除去した。移植サンゴの人為的な破壊は見られなかったが、状況によっては人為的攪乱への対応も必要であろう。

移植片の成長

コノハシコロサンゴ：コノハシコロサンゴは移植後701日まで動態を追跡した。図1-Aに示すように5群体の成長は順調で、701日で初期サイズの1.71倍になった。面積にすれば約2.5倍になったことになる。パネ法で固定した移植片が再固着し捕食や病気を免れた場合に、順調に成長することが明らかである。なお、部分的死亡の著しかった群体が回復したこともあった。群体は縦横方向に平面的に伸張するだけでなく高さも増すため、群体は実際には更に大きくなっていった。また、経過時間に伴って群体サイズが急速に増大する傾向がうかがえる(図1)。これから先、過度のクローニングに留意しつつ、成長した群体から一部を採取し逐次移植に用いることができるが、その「逐次多回移植」(西平, 未発表)を行なって、移植群体を増やすことを検討したい。

ミドリイシの一種(図1-B)：ミドリイシ類は概して成長が速く、3種のサンゴの中で、最も高い成長率を示した。植え替え後459日後には移植当初の群体サイズの3.1倍になり、面積としては9倍近くの成長に相当する。枝状群体の特徴を反映して、コノハシコロサンゴに比べて立体的な成長は更に大きかった。移植片が切断面の傷を修復し、岩盤に再固着した後比較的順調に成長したが、枝がある程度伸張して中軸ポリプが形成されてからは、多方向に伸張して成長がさらに速くなるようであった。2回目の実験では群体が魚類に囓られ全死亡することはなかったが、シロレイシガイダマシの捕食や海藻の被覆などによって部分的死亡や全死亡に到ることがあった。この種についても、逐次多回移植を試みたい。

コモンスンゴの一種(図1-C)：コモンスンゴの一種は被覆性～準塊状の種であるが、再固着した後は全群体が順調な成長を見せた。459日で初期サイズの2.2倍に成長し、ミドリイシに次ぐ成長速度であった。成長は岩盤を広く被うように横方向に進み、群体上方への突出成長は観察期間内ではあまり顕著ではなかった。基盤の被覆成長が進んだ後、基盤を離れて葉状または薄い盤状に張り出すと共に、準塊状又は柱状の突出部も成長してくる兆しが見られた。逐次多回移植が適用できるのはそれから、しばらく時間がかかるであろう。

Okubo et al. (2005, 2006) が示したように、移植片も成長すれば有性生殖を行なうが、これら3種がいつから有性生殖を行なうかを確かめる必要もある。さらに、これから先、種類を増やして同様な実験をする必要があり、より広い面積を対象に複数の海域でより多くの種を用いてサンゴ群集の復元・創出の実証試験的実験を行ないたい。生物の棲み場所をめぐる関わり合いの中で、生物の存在や活動がたの生物の棲み場所となる微細環境の多様化をもたらす、そこに新たに生物が棲み込み、それらが更に棲み場所の多様化をもたらすという連鎖を「棲み込み連鎖」といい、それがサンゴの成長に伴って生物が豊富になっていく筋道だという考えがある(西平, 1996参照)。移植したサンゴが成長してもたらされるサンゴ群集の発達に伴って、他の動物がどのように変化していくかを追跡し、「棲み込み連鎖」の進行の観察が必要である。市民が伸び伸びとサンゴ群集の復元と創出に関わり、それを通して自然環境への接し方を学習するとともに、真の意味で自然を活用することを学ぶ「方式」を、実践を通して確立することを目指したい。

遠藤ら(2006)は、バリ島クタの礁池内に設置した石灰岩の自然石に枝状ミドリイシの一種 *Acropora* sp., チヂミウスコモンサンゴ *Montipora aequituberculata*, およびハナヤサイサンゴ *Pocillopora damicornis* を3つの方法で固定し、2年間にわたって生残と成長を追跡した。クタの礁池では病気も捕食も見られず、沖縄各地で行なわれている移植実験で問題となるような困難はなかった。今回用いた方法とは手順が幾らか異なるパネ法が最も良い成績をあげている。ミドリイシ類が最も旺盛な成長を示し、今回の結果よりも高い成長速度が得られている。

沖縄における移植においては、場所にもよるが、捕食者や病気に対する対応に加えて人為的攪乱に留意しなければならない。海域環境そのものを良好に保たなければならないことは当然のことであるが、それはサンゴの移植によってサンゴ群集を回復あるいは創出しようとする人たちのみで解決出来る問題ではない。サンゴ礁全体を対象に、移植によって回復を図ることは、現実的とは思えない。

まとめ

1. 沖縄島南部の八重瀬町具志頭浜の礁池で、4種のサンゴ群体小片を用いたパネ法による移植実験を行なった。最長で701日、最短で459日のモニタリングを行なった。
2. クシハダミドリイシと枝状ミドリイシの一種は移植後60日で病気と思われる原因によって全て死亡したが、コノハシコロサンゴは50%が生存した。

3. 移植後242日目に死亡サンゴを枝状ミドリイシの一種とコモンサンゴの一種に植え替えた後、459日間にわたって断続的にモニタリングを続けた。
4. パネ法は極めて有効で、離脱した移植片は実験期間を通して見られなかった。
5. 再移植後459日の生残率は、コノハシコロサンゴは100%、ミドリイシの一種は78.9%、コモンサンゴの一種は100%であった。
6. 枝状ミドリイシの一種は459日間で初期のサイズの3.5倍(直線比)に成長し、コモンサンゴの一種が2.4倍、コノハシコロサンゴは701日間で1.7倍に成長した。
7. コノハシコロサンゴと移植した2種の成長速度には有意な差が見られ、単純に月平均すると成長率はミドリイシの一種が群体サイズの約21%、コモンサンゴの一種が約14%、コノハシコロサンゴが約7%の順であった。
8. ミドリイシ類の部分的死亡や全死亡の原因として、病気、シロレイシガイダマシや魚による捕食、藻類の繁茂、ナガウニの糞に埋没、釣り糸の巻き付き、機械的破壊などが見られた。
9. これらの実験結果に基づいて、サンゴ片の移植によるサンゴ群集の回復・復元・創出活動に際して考慮すべき点を議論し、今後の実験の展開について考察した。

謝 辞

野外実験は、亜熱帯総合研究所よりの受託研究によって行われたサンゴ礁修復技術実証試験の一部で、その概要は2006年11月に日本サンゴ礁学会大会で報告した。実験結果の公表を了承された亜熱帯総合研究所に感謝する。また、野外実験の潜水作業の全体を通してプロダイビングショップ・マリンガールの棚原盛秀氏に援助して頂き、実験初期にはアクアコーラル企画の屋比久壮実氏に協力して頂いた。両氏の常々の理解と協力、およびデータ処理に便宜をはかって頂いた琉球大学の酒井一彦氏に感謝する。移植に用いたサンゴ片の採取は、沖縄県の特別採捕許可に基づいて行なった。特別採捕許可証の交付に感謝したい。2名の査読者の有益なコメントに感謝する。

参考文献

Bythell, J., Pantos, O. & L. Richardson. 2004. White plague, white band, and other "white" diseases. In: Rosenberg, E. & Y. Loya (eds) *Coral Health and Disease*. Springer. Berlin. pp. 351-365.

遠藤秀文・Prasetyo, R.・西平守孝・大中 晋. 2006. 移植サンゴの定着率に関する長期現地モニタリング及びサンゴ移植の適用性の検討. 海岸工学論文集. 53:1196-1200.

深見公雄・中尾絵津子・K. Shashank・的場洋右. 2006. サンゴ群生海域における渦鞭毛藻殺滅細菌の分布とサンゴ白化に対するその影響. 日本サンゴ礁学会第9回大会講演要旨集, p. 60.

入川暁之・森山 敦. 2006. 慶良間海域保全連合会による造礁サンゴ類の病気発生状況の報告. 日本サンゴ礁学会第9回大会講演要旨集, p. 67.

Jordan-Dahlgren, E. & R.R. Rodriguez-Martinez. 2004. Coral disease on the Great Barrier Reef. In: Rosenberg, E. & Y. Loya (eds) *Coral Health and Disease*. Springer. Berlin. pp. 105-118.

Okubo, N., Taniguchi, H. & T. Motokawa. 2005. Successful methods for transplanting fragments of *Acropora formosa* and *Acropora hyacinthus*. *Coral Reefs*, 24: 333-342.

Okubo, N., Motokawa, T. & M. Omori. 2007. When fragmented coral spawn? Effect of size and timing on survivorship and fecundity of fragmentation in *Acropora formosa*. *Mar. Biol.*, 151: 353-363.

日本サンゴ礁学会. 2004. <http://www.soc.nii.ac.jp/jcrs/information/ishoku-guideline.pdf>

日本サンゴ礁学会サンゴ礁保全委員会. 2004. <http://www.soc.nii.ac.jp/jcrs/information/tokusai-youbou.pdf>
<http://www.soc.nii.ac.jp/jcrs/information/tokusai-teian.pdf>

西平守孝. 1988. 「サンゴ礁の渚を遊ぶ」. ひるぎ社, 那覇. 299pp.

西平守孝. 1994. 群体破片を用いた造礁サンゴの移植について 竹串を用いる簡便な方法. 沖縄生物学会誌, (32):49-56.

西平守孝. 1995. 「足場の生態学」. 保育社, 東京, 250pp.

西平守孝. 2006a. 波釘付き釘を用いたサンゴ片の新たな固定法. 名桜大学総合研究, (9):57-60.

西平守孝. 2006b. 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, (9):71-75.

西平守孝・金城浩二. 2003. サンゴの移植: 簡便で効率的なサンゴ移植片の新しい固定法. 日本サンゴ礁学会第5回大会・講演要旨集. 日本サンゴ礁学会. p.36.

西平守孝・屋比久壮実・藤田智康. 1988. サンゴ群体破片の無性生殖の応用によるサンゴ群集の復元方法の研究. サンゴ礁海域保全研究会第1回研究報告書. 沖縄県環境科学検査センター, 浦添. 184-254pp.

Rozenblat, Y.B-H. & E. Rosenberg. 2004. Temperature-regulated bleaching and tissue lysis of *Pocillopora*

- damicornis* by the novel pathogen *Vibrio carallii-lyticus*. In: Rosenberg, E. & Y. Loya (eds) *Coral Health and Disease*. Springer. Berlin. pp. 301-324.
- Rosenberg, E. & Y. Loya. (eds) 2004. *Coral Health and Disease*. Springer. Berlin. 488pp.
- 平良正哉. 1998. サンゴの移植について. 公益信託TaKaRa ハーモニーファンド 平成4年度研究活動報告. 宝酒造. pp. 58-60.
- Weil, E. 2004. Coral reef diseases in the wider Caribbean. In: Rosenberg, E. & Y. Loya (eds) *Coral Health and Disease*. Springer. Berlin. pp. 35-68.
- Willis, B.L., Page, C.A. & E.A. Dinsdale. 2004. Coral disease on the Great Barrier Reef. In: Rosenberg, E. & Y. Loya (eds) *Coral Health and Disease*. Springer. Berlin. pp. 69-104.
- 山下隆男・西平守孝・土屋義人・スワンデー. 1996. サンゴの移植によるバリ島サヌール海岸の保全について. 海岸工学論文集. 43:1281-1285.
- Yamashiro, Y., Yamamoto, M. & R. van Woesik. 2000. Tumor formation on the coral *Montipora informis*. Dis. Aquat. Org., 41:211-217.