

移植サンゴの定着率に関する長期現地モニタリングおよび サンゴ移植の適用性の検討

遠藤秀文¹・Rahmadi Prasetyo²・西平守孝³・大中 晋⁴

これまで、無性生殖によるサンゴ移植では、サンゴ種や固定方法の違いによる移植後のサンゴ群体の残存率や成長率について、長期的かつ定量的に検討された事例は少ない。本研究は、バリ島クタ海岸の礁池においてサンゴの群集の人為的再生の可能性を検討するため、数種類の固定材料を用いて礁池に設置した 20 個の自然石基盤の上面および側面に数種類のサンゴ片を移植し、2 年以上にわたり定期的に移植したサンゴの残存、再固着および成長状況について観察したものである。この研究により、サンゴ移植の実用化に際して必要な移植サンゴの種類や固定方法等による残存率および成長率について定量的なデータが得られたとともに、海水温とサンゴの成長および影響についても定性的に把握することができた。

1. はじめに

近年の国内におけるサンゴ移植・増殖の研究は、有性生殖（自然基盤および人工基盤へのサンゴの自然着生）および無性生殖（サンゴ片の移植）を利用して行われている。有性生殖による方法では、効果が現れるまでに一般に長い年月を要するが、無性生殖によるサンゴ片の移植は比較的速く効果が得られる反面、サンゴ採取の規制や移植片採取のためにドナーとなるサンゴ群体を傷つけることがある。後者は、海外の比較的サンゴの豊富な熱帯地域に属する一部の国々では、実用レベルで実施されている事例もある。しかしこれまで、無性生殖によるサンゴ移植方法について、サンゴの種類や固定方法、あるいは移植場所等の環境条件の違いが、移植したサンゴの残存率や基盤への再固着速度および成長率に及ぼす影響について、長期的かつ定量的に検討された事例はほとんど見られない。

インドネシア国バリ島のクタ海岸では、建材用として 1970 年代初頭まで行われた礁池でのサンゴ掘削や埋立による滑走路建設によってサンゴの大半を失う結果を招いた。その一方で、限られたエリアではあるものの、礁池の一部で再びサンゴが生息している状況が観察された。そこで、当海岸においてサンゴの群集の人為的再生の可能性を検討するため、礁池の数カ所に石灰岩の自然石基盤を設置し、数種類のサンゴ片を異なる材料を用いて固定し、2 年以上にわたって移植サンゴ片の残存、再固着および成長状況を観察した。

本研究は、1) サンゴ片の固定方法、2) サンゴ種および環境の違いが再固着および成長に及ぼす影響を明らかにし、3) 当海岸でのサンゴ移植の適用性を把握することを目的とする。

1	正会員	日本工営（株）港湾・空港部
2		日本工営（株）バリ海岸保全開発事務所
3	理博	名桜大学教授 総合研究所
4	正会員	修(工) 日本工営（株）港湾・空港部

2. 調査の概要

調査地点を図 - 1 に示す。沿岸方向約 2.5km および岸沖方向 0.5km ~ 1.3km のエリアを有するクタの礁池内に 4 点を選定し、サンゴ移植用の基盤として当地の波浪に耐えうる約 500kg の自然石基盤（以下、基盤と記す）を各地点に 5 個ずつ、計 20 個設置した。各地点を空港側よりそれぞれ St.1 ~ St.4 とし、1 地点内の 5 個の基盤を 1 ~ 5 とする。なお、基盤同士の間隔は 3 ~ 5m 程度とした。基盤設置場所の平均水深および基盤上面の平均水深を表 - 1 に示す。St.1, St.2 は St.3, St.4 に比べ水深が浅く、St.2 では大潮期の干潮時には一部干出する。当地の潮位条件は、LWL=±0.0m、MSL=+1.3m および HWL=+2.6m である。

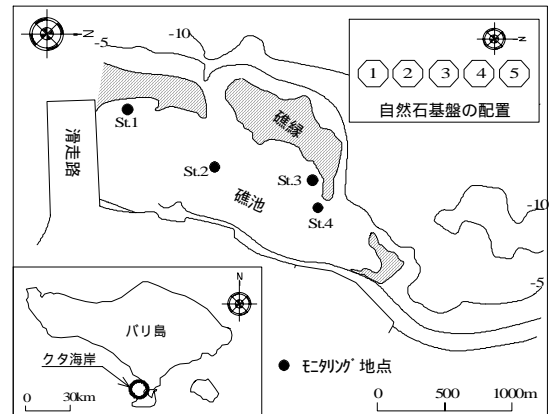


図 - 1 調査地点(St.1 ~ St.4)および基盤設置位置(1 ~ 5)

表 - 1 基盤各設置地点の水深および基盤高

	設置場所の平均水深(m)	基盤の平均高(m)	基盤上面の平均水深(m)
St.1	-0.77	0.47	-0.30
St.2	-0.49	0.44	-0.05
St.3	-1.71	0.41	-1.30
St.4	-1.61	0.39	-1.21

移植試験には、クタの礁池に多く生息する 1) 樹枝状ミ

ドリイシ, 2)ハナヤサイサンゴおよび3)チヂミウスコモンサンゴの3種のサンゴを用いた。本調査で用いるサンゴ片は、同地点の礁池に現存するサンゴより採取した。これについては、事前にインドネシア政府より採取許可を得るとともに、ドナーのサンゴ群体への影響を考慮し、採取料を群体サイズの3割程度に止め、タガネとニッパを用いて慎重に採取した。採取したサンゴ片は、タガネとハサミを用いて、可能な限りダメージを与えないようにしつつ約4.5cm～約6cmの大きさに揃えて切断した。準備したサンゴ片は、各移植場所に輸送した後、約24時間現場の海中で順化させた。表-2は、各地点の1～5の基盤における使用したサンゴ種、固定方法、サンゴ片数、サンゴ片のサイズについてまとめたものである。

表-2 基盤上の移植サンゴ片の配置と固定材料

基盤番号	基盤固定面	サンゴ種	固定方法	サンゴ片数	サンゴ片の大きさ
1	上面	樹枝状ミドリイシ	テグス・2点固定	5	約6cm
			鉄片・1点固定	5	約6cm
	側面		テグス・2点固定	5	約6cm
			鉄片・1点固定	5	約6cm
2	上面	ハナヤサイサンゴ	テグス・2点固定	5	約5cm
	側面			5	約5cm
3	上面	ハナヤサイサンゴ	鉄片・1点固定	5	約5cm
	側面			5	約5cm
4	上面	樹枝状ミドリイシ	ワイヤースプリング・2点固定	5	約6cm
	側面			5	約6cm
5	上面	チヂミウスコモンサンゴ	テグス・2点固定	5	約4.5cm
			鉄片・1点固定	5	約4.5cm
	側面		テグス・2点固定	5	約4.5cm
			鉄片・1点固定	5	約4.5cm

基盤へのサンゴ片の固定方法については、これまでいくつかの方法が提案されている(大久保・大森, 2001)。今後当海岸でのサンゴ移植が住民参加やサンゴ礁修復工事による移植等を想定すれば、できるだけ簡便な方法であることが望ましい。そこで、サンゴ片固定の水中作業時間を極力抑えるために、樹枝状ミドリイシについては写真-1～3に示すように、1)鉄片・一点固定、2)テグス・2点固定および3)ワイヤースプリング・2点固定の3法を用い、ハナヤサイサンゴおよびチヂミウスコモンサンゴについては、1)および2)の2法を用いた。



写真-1 鉄片・1点固定

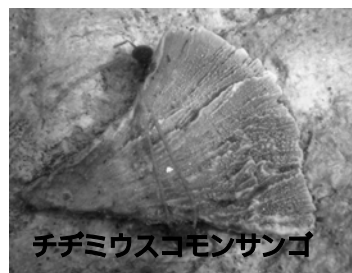
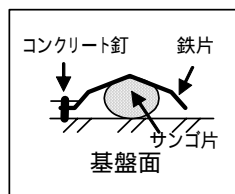


写真-2 テグス・2点固定

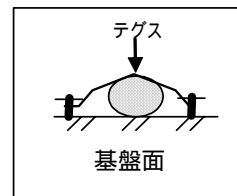
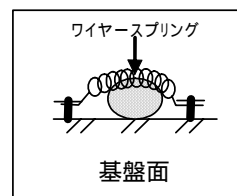


写真-3 ワイヤースプリング・2点固定



陸上で基盤上面および側面に約5cm間隔の対の穴(3.5mm)をそれぞれ5対または10対開け、実験場所に設置した。次に水中でサンゴ片固定位置の藻類や沈殿物をワイヤブラシで除去し、コンクリート釘を打ち込み、それぞれの固定材料を用いてサンゴ片を固定した。

本調査は、2003年9月より開始し、サンゴ移植後10日、1カ月、2カ月、3カ月、6カ月、9カ月、12カ月、18カ月および24ヶ月においてモニタリング調査を実施した。モニタリングの項目は、1)基盤上面・側面および各々のサンゴ片の写真撮影、2)各サンゴ群体の最大幅および最大高の測定、3)サンゴ片の固定材料および基盤への固着状況、4)基盤およびサンゴ片への藻類や動物等の付着状況、5)基盤が沈下または移動していないかの確認等である。また、2004年10月からは、水温変化がサンゴへ及ぼす影響を調べるために、クタの礁池の6地点に自記式水温計を設置し、水温の毎時連続観測を行っている。

3. 移植後のサンゴ片の再固着および残存率

(1) 固定材料および基盤への再固着状況

全地点および固定位置におけるサンゴ種毎の固定材料および基盤への再固着率(残存片の内、再固着したサンゴ片の比率)をそれぞれ図-2および図-3に示す。図-2より、固定材料への再固着率は、樹枝状ミドリイシおよびチヂミウスコモンサンゴが移植後1ヶ月で90%以上を示し、ハナヤサイサンゴは移植後2ヶ月で90%に達した。

図-3より、基盤への再固着率は、樹枝状ミドリイシが移植後2ヶ月で87.1%に達したが、ハナヤサイサンゴおよびチヂミウスコモンサンゴは、移植後3ヶ月で50～60%に留まり、全ての残存サンゴが基盤に再固着するまでに約18ヶ月の期間を要した。樹枝状ミドリイシは、固

定材料への抱き込み後、基盤への固着が速く、基盤への固着後は急激に基盤への固着面を広げ、固着強度を増大させることにより、波や流れ等の外力による脱落が少ないものと考えられる。一方、ハナヤサイサンゴおよびチヂミウスコモンサンゴは、樹枝状ミドリイシに比べ1ヶ月ほど遅く基盤へ再固着し始めたが、固着強度が弱いため、波や流れの外力により脱落および固着を繰り返す傾向が見られた。これらのことから、樹枝状ミドリイシでは、約2ヶ月程度サンゴ片を固定できる素材と方法、ハナヤサイサンゴおよびチヂミウスコモンサンゴでは、6ヶ月~1年程度確実に固定できる素材と方法の選定が必要であると考えられる。

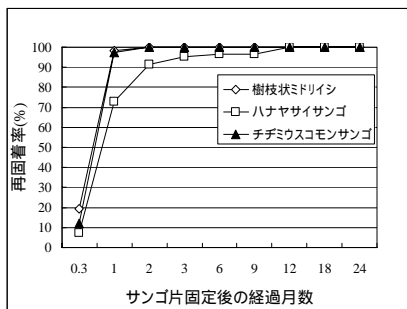


図-2 固定材料への固着率

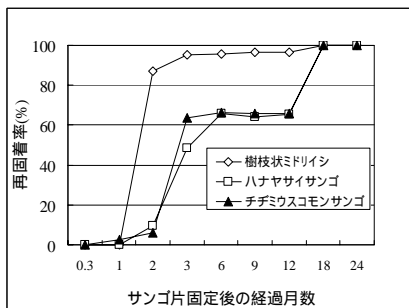


図-3 基盤への固着率

(2) 固定材料毎のサンゴ片の残存率

全地点および固定位置におけるサンゴ種毎の固定材料の違いによる残存率を図-4~図-6に示す。樹枝状ミドリイシについては、固定材料によって残存率の差は殆ど見られず、移植後24ヶ月経過後も全ての固定材料で78~85%の高い値を示した。一方、ハナヤサイサンゴについては、移植後12ヶ月時点での残存率が、鉄片・1点固定で13%、テグス・2点固定で53%と著しい差があった。さらにその後はテグス・2点固定による残存率も大幅に低下し、最終的に両者とも10%程度となった。12ヶ月時点までの両者の違いについては、固定方法の違いによるものと考えられるが、その後の残存率の大幅な低下は、後述する高温水によるサンゴの白化、それによる死亡が原因と考えられる。チヂミウスコモンサンゴについては、固定後2ヶ月の残存率が、テグス・2点固定で78%であるのに対し、鉄片・1点固定では20%と明らかな違いが

生じた。それ以降、いずれの固定材料でも残存率が低下し続け、固定後24ヶ月の残存率は、テグス・2点固定では20%、鉄片・1点固定で0%と非常に低い値となった。チヂミウスコモンサンゴは、基盤への再固着が遅い上、群体が葉状で波や流れの外力の影響を受けやすく、他のサンゴ種に比べて脱落が起こりやすかったと考えられる。

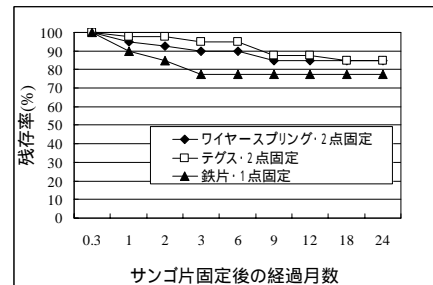


図-4 樹枝状ミドリイシの残存率の変化

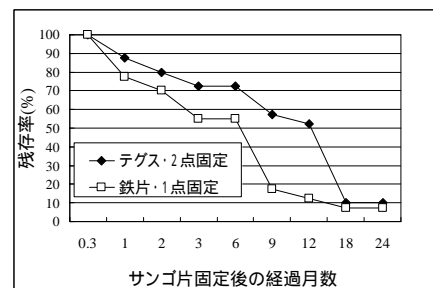


図-5 ハナヤサイサンゴの残存率の変化

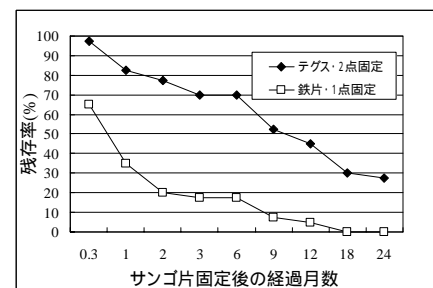


図-6 チヂミウスコモンサンゴの残存率の変化

(3) 外力の違いによるサンゴ片の残存率

各サンゴ種の残存率について、設置地点の違いを示したものが図-7~図-9である。また、高潮時における各地点の平均波高および流速は、表-3に示す通りである。

表-3 各地点での平均波高および流速 (高潮時)

	K1	K2	K3	K4
平均波高 (m)	0.90	0.60	0.80	0.95
平均流速 (m/s)	0.10	0.15	0.20	0.25

樹枝状ミドリイシについては、St.2で93%と非常に高い残存率となる一方、St.4で73%と最も低い残存率となった。St.1およびSt.3の残存率は、それぞれ83%および

80%であった。このように、樹枝状ミドリイシについては、波や流れの外力条件の厳しい場所ほど、残存率が低下することが示された。図-8に示すハナヤサイサンゴについては、サンゴ片固定後6ヶ月後まではSt.2で75%、St.1およびSt.4で55%と場所による違いが若干見られた。しかし、固定後9ヶ月以降は、全ての場所で著しい低下を示し、18ヶ月で5~15%と非常に低い値になった。これは、基盤への固着が弱いことと波や流れによるサンゴ片の脱落が起因したものと考えられる。チヂミウスコモンサンゴについては、St.2でサンゴ片固定後6ヶ月までは他の地点に比べて高い残存率を示したが、24ヶ月経過後の残存率はSt.4で25%と最も高く、St.2で0%と上記の樹枝状ミドリイシと逆の傾向が見られた。これは、St.2が他の場所に比べて基盤高が高く、大潮干潮時には基盤が干出し、これによるとと思われる基盤上での藻類の繁茂が確認されている。チヂミウスコモンサンゴのような平面的に成長する葉状サンゴでは、これら藻類の繁茂がサンゴ群体を隠蔽し、その結果低い残存率になったものと考えられる。

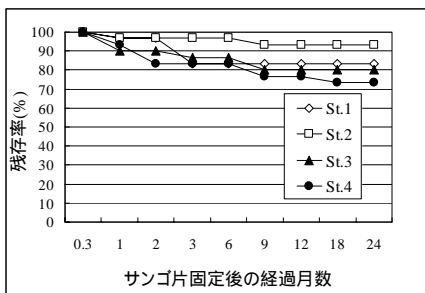


図-7 各地点における樹枝状ミドリイシの残存率

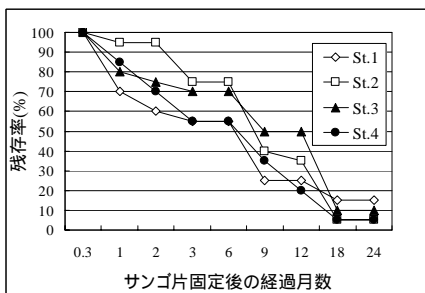


図-8 各地点におけるハナヤサイサンゴの残存率

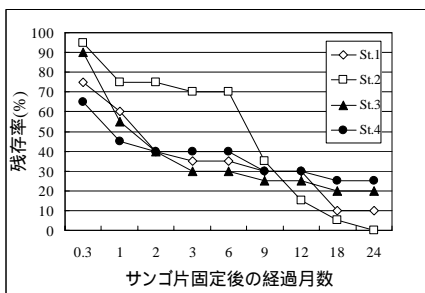


図-9 各地点におけるチヂミウスコモンサンゴの残存率

(4) 固定位置による残存率の違い

これまで、サンゴ礁や人工基盤への移植では、基盤の上面へのサンゴ片の固定が行われてきた。本調査では、全ての基盤で上面と側面に同数のサンゴ片を移植することにより、両者の残存率の違いを調べた。図-10にその結果を示す。

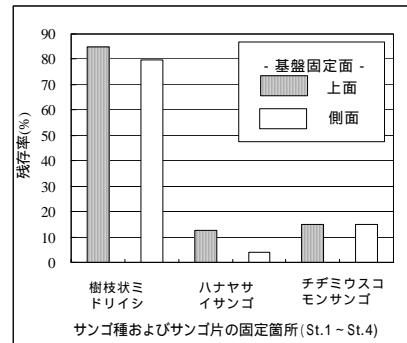


図-10 基盤固定面(上面および側面)による残存率の違い

これより、基盤上面は基盤側面に対して若干残存率が高いものの、それほど違いが生じないことが確認された。今回の手法では、サンゴ片の移植が基盤上面のみならず側面にも可能であることが分かった。

4. 移植後のサンゴ片の成長状況

(1) サンゴ種毎の成長速度

各サンゴ種平均成長速度を表-4に示す。ここでは成長速度の指標として、移植した個々のサンゴ単体の最大幅および最大高を用いる。群体の最大幅の変化は、樹枝状ミドリイシ 16.4cm/年(上面)および 19.7cm/年(側面)、ハナヤサイサンゴ 6.7cm/年(上面)および 7.4cm/年(側面)、チヂミウスコモンサンゴ 3.5cm/年(上面)および 5.5cm/年(側面)であった。つぎに最大高の変化は、樹枝状ミドリイシ 13.5cm/年(上面)および 14.4cm/年(側面)、ハナヤサイサンゴ 7.7cm/年(上面)および 4.3cm/年(側面)、チヂミウスコモンサンゴ 3.1cm/年および 3.4cm/年であった。これらより、樹枝状ミドリイシの成長速度は、最大幅、最大高とも、他のサンゴ種に比べ非常に速いことがわかる。

表-4 各サンゴ種の成長速度(最大幅および最大高)

サンゴ種(固定面)	平均成長速度(cm/年)	
	最大幅	最大高
樹枝状ミドリイシ(上面)	16.4	13.5
樹枝状ミドリイシ(側面)	19.7	14.4
ハナヤサイサンゴ(上面)	6.7	7.7
ハナヤサイサンゴ(側面)	7.4	4.3
チヂミウスコモンサンゴ(上面)	3.5	3.1
チヂミウスコモンサンゴ(側面)	5.5	3.4

St.1 の基盤#1 に移植した，樹枝状ミドリイシの成長過程を写真 - 4 に示す．この基盤には，上面および側面にそれぞれ 10 片のサンゴを移植したが，移植後 12 ヶ月で既に高い被度を示し，24 ヶ月には，ほぼ 100%の被度に達した．また，成長した樹枝状ミドリイシの群体には，様々な種類の魚介類が棲み込んでいることが確認された．これよりサンゴ群体の成長により，新たに多様な生物の生息環境を創り出していることが示された（西平，1996）．

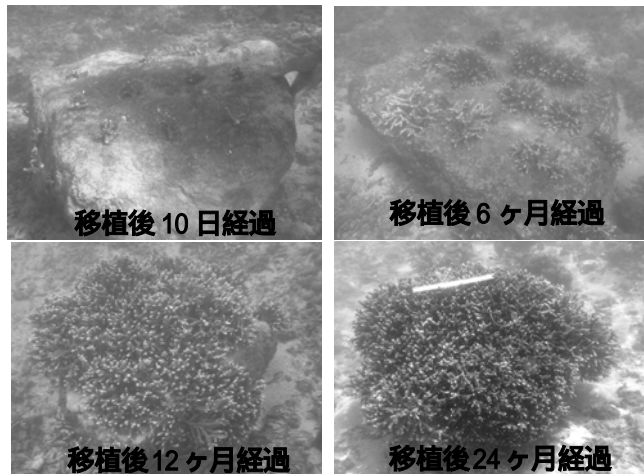


写真 - 4 樹枝状ミドリイシの成長過程

(2) 海水温とサンゴの白化

2004 年 10 月（移植後 13 ヶ月）～2006 年 2 月（移植後 27 ヶ月）の期間の月毎の最低水温，最高水温および平均水温を図 - 11 に示す．クタの礁池では 2005 年 1 月～2005 年 3 月の期間平均海水温が 30 を超え，2005 年 3 月に 33 の最高水温を示した．この期間において，樹枝状ミドリイシとハナヤサイサンゴの一部で白化が確認された．写真 - 5 は，この高温期間中の 2005 年 3 月（移植後 18 ヶ月）および平温時の 2005 年 9 月（移植後 24 ヶ月）における，樹枝状ミドリイシの変化状況を示す．高温期間中の 2005 年 3 月時点では，群体の 30～50%に白化が見られたが，6 ヶ月後の平温時には，白化したサンゴが完全に回復し，生存している様子が確認された．

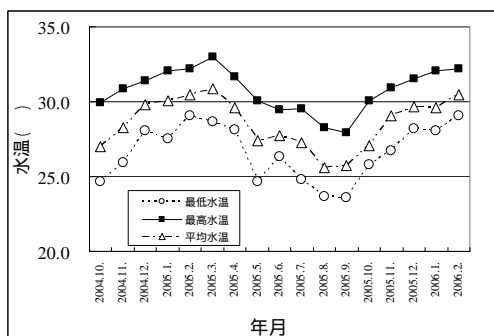


図 - 11 各月の水温変化

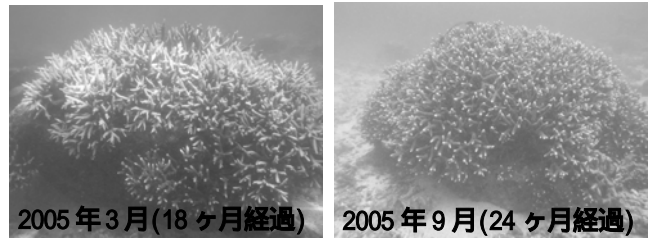


写真 - 5 サンゴ白化からの回復

5. おわりに

本研究では以下の点を確認することができた．

樹枝状ミドリイシは 2 ヶ月程度，ハナヤサイサンゴおよびチヂミウスコモンサンゴは 6 ヶ月～1 年サンゴ片を固定可能な素材の選定が必要である．ワイヤースプリングおよびテグスの 2 点固定は，鉄片・1 点固定に比べ，残存率が非常に高い．礁縁やリーフギャップに近く波や流れの外力が強い場所では，サンゴ片の残存率が低い．干潮時に基盤が干出する場所では，基盤に藻類が繁茂し，チヂミウスコモンサンゴは，藻類がサンゴ群体を隠蔽し，低い残存率を示した．基盤上面および側面での残存率は，同様の結果が得られ，側面での移植が可能であることを示した．樹枝状ミドリイシの成長速度は，基盤上面での最大幅が 16.4cm/年および最大高が 13.5cm/年と，他のサンゴ種に比べ非常に早いことが示された．樹枝状ミドリイシは，高水温（平均 30 度以上）時に群体の 30～50%が白化した，平温に戻ると白化したサンゴが完全に回復することが確認された．

現在，サンゴ片の移植方法による本格的なサンゴ群集回復の実施に向けて，移植時の施工性，経済性，および移植したサンゴの成長後の水中景観向上を調べるための第二次現地試験を実施中である．

本研究の実施に際し，貴重な意見を頂いたインドネシア国公共事業省ならびに国際協力銀行(JBIC)の方々および研究の計画からモニタリングまで貴重なアドバイスを頂いた屋比久壮夫氏に謝意を表す．

参考文献

- 山下隆男・西平守孝・土屋義人・スワンディ (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，第 43 巻，No. 21(2)，pp. 1281-1285．
- 宇多高明・大須賀 豊・遠藤秀文・芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼 (2004) : Bali 島の Kuta 海岸の侵食原因に関する考察，海岸工学論文集，第 51 巻，pp. 1376-1380，
- 環境省・日本サンゴ礁学会(2004) : 日本のサンゴ礁，pp. 109-159
- 西平守孝 (1996) : 足場の生態学，海游舎，東京，269pp.
- 西平守孝(2006) : 伸縮性素材を用いたサンゴ片の新たな固定方法，名桜大学総合研究，pp. 71-75
- 大久保奈弥・大森 信(2001) : 世界の造礁サンゴの移植レビュー - ，Galaxea, JCRS, No. 3, pp.31-40

