

インドネシアにおける大規模サンゴ移植の実施

IMPLEMENTATION OF LARGE-SCALE CORAL TRANSPLANTATION IN INDONESIA

大中 晋¹・遠藤秀文²・西平守孝³・吉井一郎⁴
Susumu ONAKA, Shubun ENDO, Moritaka NISHIHARA and Ichiro YOSHII

- ¹正会員 工修 日本工営(株)コンサルタント海外事業部 (〒102-0083 東京都千代田区麹町4-2)
²正会員 双葉測量設計(株) (〒979-1111 福島県双葉郡富岡町大字小浜字中央592)
³理博 名桜大学国際学部 (〒905-8585 沖縄県名護市字為又1220-1)
⁴正会員 日本工営(株)コンサルタント海外事業部 (〒102-0083 東京都千代田区麹町4-2)

The large-scale coral transplantation has been implemented on the reef flat area at Kuta Beach in Bali Island of Indonesia. The transplantation area is about 1.3 ha and there is no other example like this big scale coral transplantation. The asexual reproduction was applied as transplantation method by fixing coral fragments using nail with cable-tie and the limestone was adopted as artificial substrate for coral transplantation. The major species of coral to be transplanted is *Acropora* sp. which was taken from the same coral reef area. More than a half year has already passed after the completion of the first coral transplantation and high degree of survival rate with more than 98% could be maintained until now.

Key Words : Coral Transplantation, Mitigation, Coral Reef, Indonesia, Asexual Reproduction, ODA, Beach Conservation, Kuta, Bali, Indonesia

1. はじめに

インドネシアのバリ島では現在, わが国の援助による海岸保全事業が実施されており, その中で無性生殖(サンゴ片の基盤上への固定)を活用したサンゴ移植を実施している. これまでのサンゴ移植の現地事例はどれも小規模のものが大半であるのに対し, 本事業で実施中のサンゴ移植は, 移植面積が 1.3ha と, 過去に例を見ない大規模なものである. 本サンゴ移植は海岸保全事業の一環として実施されることから, 移植後の確実かつ高い定着率が求められる.

本研究は, 現在実施中のサンゴ移植について, 実務レベルの視点に立った移植の進め方と具体的方法を示すとともに, これまでの経過状況について報告するものである.

2. サンゴ移植の概要

(1) 実施概要

サンゴ移植は, 図-1 に示すインドネシアのバリ島南西部に位置するクタ海岸の礁池で実施中である. クタ海岸では 1970 年代より顕在化している海岸侵食問題に対し, 現在日本の援助(JBIC 円借款事

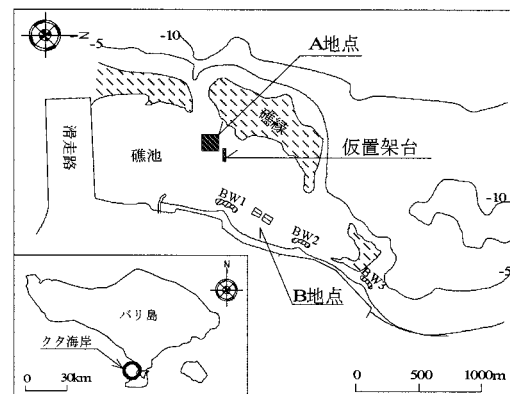


図-1 対象地点の位置図

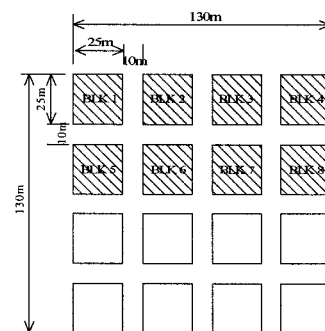


図-2 A地点の基盤石配置

業)による海岸保全事業としての養浜工事が行われている。本論で示すサンゴ移植は、この事業の一環として実施されているものである。沿岸方向約2.5km、岸沖方向0.5km~1.3kmの礁池における、岸側から約700m離れたA地点において、昨年9月から11月初旬にかけて、第1回目のサンゴ移植が実施された。全体として、A地点で1ha、B地点で0.3haの計1.3haの範囲でのサンゴ移植を計画しているが、今回の第1回目のサンゴ移植では、このうちのA地点での0.5ha分が実施され、残りについては地点Bと合わせて今年(2008年)5月以降に実施予定である。図-2に示すように、A地点1haのエリアを25m四方の16ブロックに分割し、各ブロックにサンゴ基盤用としての石灰石(重さ1トン、高さ60cm程度)を設置し、その表面上にサンゴ片を固定していく。なお、第1回目のサンゴ移植に用いた基盤石は約5000個、固定したサンゴ片は約45,300個である。

(2) 対象エリアの自然特性

対象地点のクタ海岸の礁池面積は約200haであり、その大部分は砂およびサンゴ塊で覆われている。礁嶺付近では比較的良好なサンゴ群集が存在するとともに、礁池内においても小規模なサンゴ群集が一部で見られる。空中写真解析および現地調査結果より、礁嶺および礁池合わせたサンゴ群集の面積は28.5ha(被度30~50%程度)と見積もられた。礁池内の地盤高は0~1.8mであり、A地点での平均地盤高は-0.8mである。潮位はHWL+2.6m、LWL±0.0mであり、基盤石の平均高が60cm程度であることから、干潮時においても基盤上のサンゴ固定面が干出することはほとんどない。なお当地点の礁斜面沖側での平均的な入射波浪条件は、有義波高($H_{1/3}$)が1.0m程度、有義波周期($T_{1/3}$)は13s程度であるが、礁池内では礁斜面で生じる砕波により、潮位変化に応じた波浪変化が生じ、 $H_{1/3}$ が0~1m(水深の0.2~0.4倍程度)、 $T_{1/3}$ は平均6.5s程度となる。またA地点付近では、波浪および水位変化に応じた流れが生じ、流速は平均0.1m/s程度(最大0.4m/s)である。

3. 実施までの経緯

(1) サンゴ移植の必要性

本論で示すサンゴ移植を実施するに至った背景について示す。

a) 侵食要因の観点

クタ海岸における主な侵食要因として、1960年代に建設された礁池上での滑走路建設の影響とともに、建材利用を目的とした大規模なサンゴ掘削が挙げられ、これらにより礁池の水深変化やサンゴ環境の悪化を招いたと推測されている^{1),3)}。これより、失われたサンゴ礁を復元することが、海岸保全対策の1

つとして挙げられた。

b) 社会環境配慮の観点

バリ島における社会環境条件上の特殊性として、行政上および伝統上の2つのコミュニティが存在し、クタ海岸では、これらコミュニティの影響力が特に強いところである。このような背景より、事業を実施していく上で、地域に対する社会環境配慮が、他エリアでのプロジェクトにも増して高く求められた。その中でサンゴ礁の修復は、地域住民からの要望事項の1つとして挙げられていた。

c) ミチゲーション措置

住民との最終合意案の中で、養浜砂の流出低減対策としての3基の離岸堤の設置は認められた。しかしその中の1箇所の設置場所(図-1のBW2地点)において、一部の範囲に既存サンゴ群集が存在することが確認された。州政府下の環境局との協議の結果、影響を受けるエリアが600m²程度(被度35%程度)であり、クタ海岸の礁嶺・礁池での既存サンゴ生息エリア(28.5ha)に比べて極めて小さいことから、これらの既存サンゴを可能な限り移設することを条件の上で、離岸堤設置に対する承認が得られた。すなわち、既存サンゴ生息エリアに対するミチゲーション措置として、サンゴ移植の実施が必要となった。

(2) 環境条件上のサンゴ移植の可能性について

当エリアにおけるサンゴ移植の可能性については、以下に示す環境条件より判断した。

- ・ クタの礁池の水深は、同様の養浜事業を実施した他の2海岸(サヌール、ヌサドア)に比べて平均1m程度深い。これより干潮時においては、2海岸では礁池が干出するのに対し、当海岸では干出するエリアはごく僅かであり、サンゴの生息条件として適していたこと。
- ・ 上記の2海岸に比べて水質条件が良好であったこと。
- ・ 他の2海岸では、礁池上でのサンゴの生息はほとんど見られないのに対し、当エリアでは規模は小さいが、礁池の一部で既存サンゴの群集が存在しており、サンゴ採掘が行われる以前は、広範囲にサンゴが生息していたと考えられたこと。
- ・ サンゴの天敵となるオニヒトデやサンゴ食巻貝等の存在が確認されていないこと。
- ・ 水深が深く、干潮時にも干出しないことから、礁池での人的作用によるサンゴへの損傷が少ないと判断されたこと。

これらより、クタの礁池内の環境条件は、サンゴ移植を実施する十分な可能性があるものと判断した。

(3) 実務として実施する上でのリスク低減措置

本サンゴ移植は、事業の一環として実施されるものであることから、移植サンゴの高い定着率を確保

することが必須である。またこれまでにいくつか紹介されているサンゴ移植事例に比べて移植規模が大きく、現地作業は大人数の現地ダイバーを用いての水中作業となる。このような制約下で高い定着率を確保していくためには、人為的要因および生物学的要因の両面において、想定される各リスクをできるだけ低減または排除した計画・方法を選定するとともに、その仕様に確実に沿った移植作業の実施、および適切なモニタリングを実施していく必要がある。以下に実務として実施する上で、リスクを低減するためにとった措置を示す。

a) 現地事前調査に基づく固定方法、ドナーサンゴの決定

サンゴは、それぞれの対象地点の自然環境条件や生物条件により、各エリア固有の特性を持つと考えられる。そこで、本移植実施前に約2年以上にわたる現地事前調査²⁾を実施し、移植方法、用いるドナーサンゴの選定等についての比較検討を行い、これらの現地調査結果を基に各仕様を決定した。なお目標とする定着率についても、この事前調査結果を基に70%以上を確保するものとした。

b) 移植場所の選定

移植場所については、リーフ上での自然条件上（リーフ上水深や海水交換性等）および利用条件上（航路や人為的損傷の可能性の低いこと）問題のない範囲であること、および移植用基盤石設置等による既存生息サンゴへ悪影響を及ぼさないように、基本的に既存サンゴの生息していない地点であることの2点を考慮し決定した。

c) 移植時期の設定

移植時期においては他の現場作業との関連から、他工事による水質悪化の懸念が生じない時期であること、および移植サンゴにとって最もストレスのかかる移植時期と、海水温が30度を超えるような高水温期が重なることを避けるために、低水温期となる乾季（6月～10月）に移植作業を実施することとした。サンゴ移植の実施時期を二回に分けた主な理由はこのためである。

d) 現地作業ダイバーへの教育・訓練

一連のサンゴ移植作業は、総勢20名近い現地ダイバーを用いての水中作業が主であるため、陸上作業と異なり、十分な管理が行き届かない恐れがある。特にサンゴ片への切断から基盤上への固定時は、その取り扱い如何でサンゴに多大なストレスがかかり、移植後の生存率にも大きな影響を及ぼすと考えられるため、慎重な扱いが求められる。そのためには、実際に現地で作業する各ダイバーへ、具体的な取り扱い方法と、その理由を十分に理解してもらう必要がある。これより筆者の一人（西平）が中心となり、作業員や管理する側も含めた関係者全員による事前の講習および現地指導を実施し、サンゴ移植作業に携わるすべての者が共通理解を持って実施する体制

とした。

e) モニタリングおよび維持管理の実施

移植作業後、特に固定したサンゴ片が基盤に再固着し、ある程度の大きさに成長する過程まで、移植したサンゴの脆弱性が高いと考えられるため、定期的なモニタリングを実施し、生育状況の観察を行った。特に本サンゴ移植においては、移植後に基盤石上での海藻の繁殖が顕著に見られたため、その状況に応じた維持管理が必要となった。さらに、サンゴ生育に影響を及ぼす主要外部要因である波、流れ、水位および海水温の経時変化を把握するため、波浪流向流速計および水温計を礁池上に設置し、継続的な観測を実施している。

4. サンゴ移植の内容

(1) 用いたサンゴ種および個数

今回のサンゴ移植は、ミチゲーション措置としての目的もあることから、移植に用いるドナーサンゴは、工事により移設の必要が生じる既存サンゴを用いることを基本とした。離岸堤(BW2)設置エリア付近での現地調査を実施し、サンゴ種の確認とその量を調べ、移植に用いるドナーサンゴを選定した。これより、離岸堤設置エリア周辺では18のサンゴ属(37種)が確認されたが、このうちの9割以上が樹枝状ミドリイシ(*Acropora nobilis*)⁴⁾であった。一方事前調査結果から、最も高い定着率、成長率が確認されたのもミドリイシ類であったことから、これを移植に用いる主要なドナーサンゴとした。またこれ以外の種類で比較的数量が多いのは、葉状サンゴのコモンサンゴ(*Montipora* sp.)およびスリバチサンゴ(*Turbinaria* sp.)などである。表-1に用いたサンゴ種および取り付けたサンゴ片の総個数を示す。なお、第2回目のサンゴ移植時での基礎データを得ることを目的として、外部からの購入サンゴをドナーとして用いた移植も、一部の基盤石を用いて実施した。

(2) 移植手順

サンゴ移植の作業手順を示したものが図-3である。

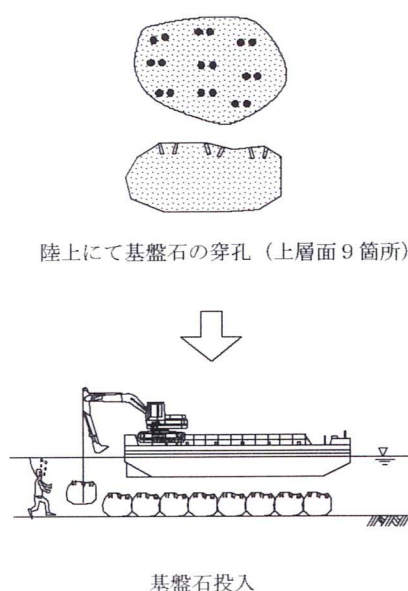
a) 基盤石搾孔および投入

予め陸上において、基盤石として用いる石灰石の表面に、固定用釘挿入のための搾孔を行う。孔の配置および間隔は、基盤石の上層面の面積（約0.65m²）と成長後のサンゴ占有状況を考慮し、上層

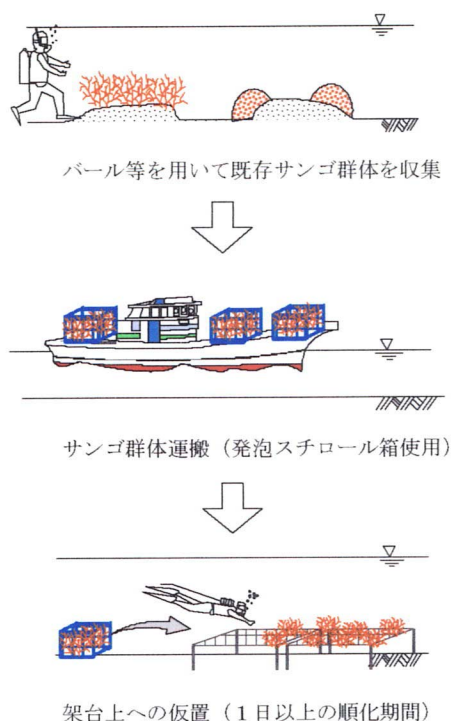
表-1 用いたサンゴ種およびサンゴ片の個数

形状	サンゴ属	個数	割合
樹枝状サンゴ	ミドリイシサンゴ (<i>Acropora nobilis</i>)	42,638	94.2%
	コモンサンゴ (<i>Montipora</i> sp.)	1,225	2.7%
葉状サンゴ	スリバチサンゴ (<i>Turbinaria</i> sp.)	558	1.2%
塊状サンゴ		504	1.1%
その他		338	0.7%
合計		45,263	100.0%

1. 基盤石穿孔および投入



2. サンゴ群体収集～仮置台への移設



3. サンゴ片作成～固定



図-3 サンゴ移植手順

面の9箇所とした。また各ブロックの外側に設置される基盤石については側面にも3箇所の孔を設けた。1箇所の孔の間隔は、固定するサンゴ片の大きさを考慮し7-8cmとした。穿孔された基盤石は、台船にて運搬され、サンゴ固定前に予め現地に設置した。なお、1ブロック当たり（25m四方）の基盤石総数は700～800個程度である。設置に際しては、特に基盤石設置高の慎重な管理を心がけた。

b) サンゴ群体収集～仮置架台への移設

ダイバーによる水中作業により、パール等を用いてBW2設置エリアからサンゴ群体を採集した。採集したサンゴ群体は、運搬用ボート上の海水を満たした発泡スチロール箱に入れて、仮置架台まで運搬した。仮置架台は1m×2mの大きさを持つ、鉄筋棒で組んだものであり、図-1に示すA地点近くに計70個設置した。なお仮置架台までの運搬距離は1km程度であり、運搬後直ちに仮置架台上へ移設し、1日以上の順化期間を設けた。

c) サンゴ片作成～固定

1日以上順化後、仮置架台上に固定されているサンゴ群体から、サンゴ片への切断を行う。サンゴへのストレスを極力抑えるために、作業はすべて水中作業とした。サンゴ片は5-10cm程度の大きさとし、作成されたサンゴ片はプラスチックカゴに入れて再び同地点で1日以上順化させた。特に切断後にはストレスからくる粘液の分泌が顕著であったこと

から、この粘液が完全に消えるまでは固定作業を実施しないこととした。順化後、予め基盤石表面の清掃を行った後に、サンゴ片の固定作業を実施した。サンゴ片の固定は、釘とプラスチック製結束バンドを用いて行った。なお大量のサンゴ片を限られた期間内に固定する必要があることから、一連の水中作業は三グループに分け、第一グループは基盤石の清掃、第二グループは釘の打ち込み、第三グループは結束バンドを用いたサンゴ片の固定というように、水中作業は流れ作業的に行った。なお個数は少ないものの、塊状サンゴおよび一部の樹枝ミドリイシについては、水中セメントのみによる固定方法も合わせて組み入れた。

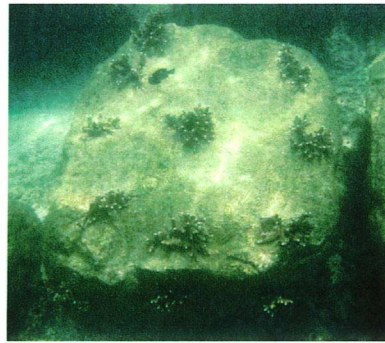
5. 移植後の状況

(1) 成長状況

写真-1は、固定から2週間後、1.5ヶ月後、および4.5ヶ月後のミドリイシサンゴの成長過程を示す。固定から4.5ヶ月の間に既に4～5倍以上の大きさに成長している。写真-2は葉状コモンサンゴおよびスリバチサンゴの1ヶ月後、4ヶ月後および6ヶ月後の成長過程を示す。ミドリイシに比べて成長速度は遅いものの、確実に成長している様子がうかがえる。ミドリイシの移植後の全般的な傾向として、移植後2～3日経過後あたりから、大部分のサンゴ



(1) 2週間後

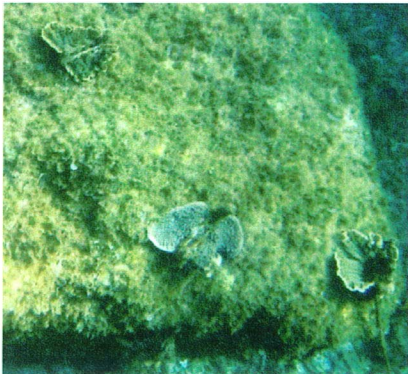


(2) 1.5ヶ月後



(3) 4.5ヶ月後

写真-1 サンゴ成長状況 (ミドリイシ)



(1) 1ヶ月後



(2) 4ヶ月後



(3) 6ヶ月後

写真-2 サンゴ成長状況 (コモンサンゴおよびスリパチサンゴ)



写真-3 固定直後の色落ち (白化) 状況

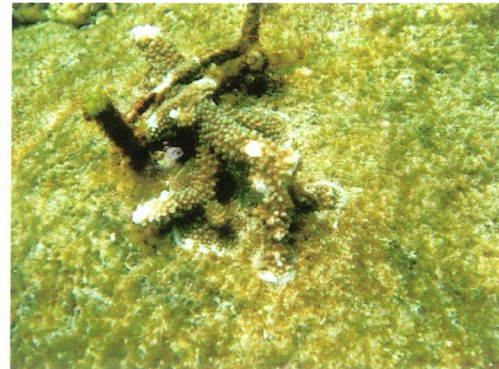


写真-4 再固着状況



写真-5 多様な魚の生息環境の形成

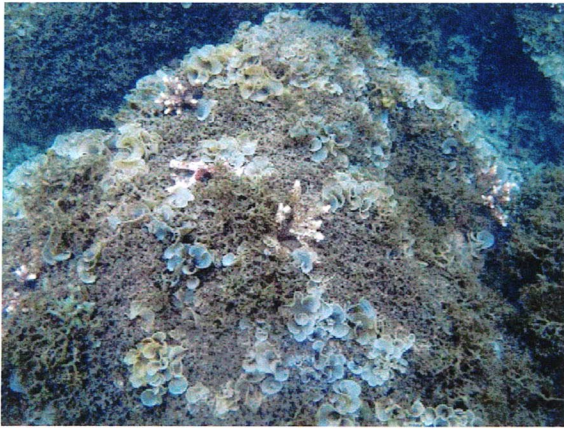


写真-6 基盤上での海藻の繁殖

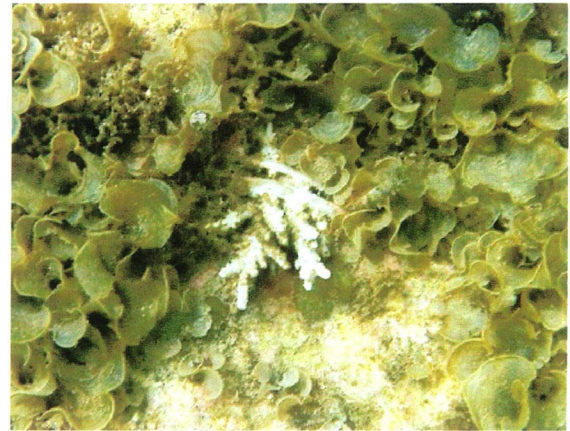


写真-7 白化したサンゴ移植片

片の色落ち（白化）が見られ、これが2週間程度続いた（写真-3）。その後ほとんどのサンゴ片は元の状態に戻り順調な成長を続けているが、白化の著しかったサンゴ片の一部では、そのまま死亡したものも見られた。固定から1.5～2ヶ月程度で写真-4に見られるような基盤石への再固着が確認された。1回目のサンゴ移植の実施から既に半年程度経過した現在まで、全体としてほぼ98%以上の高い生存率が確認されている。また、これまでクタの礁池ではほとんど見られなかった多種の魚類の生息環境が形成されつつある（写真-5）

(2) 死滅・脱落要因

前述のように、現在まで順調な生育を続けているが、全体で約1～2%程度のサンゴ片が死亡または脱落した。その要因として、以下に示す事項が挙げられる。

a) 基盤石への海藻類の付着による死亡

今回の移植において、死滅の最大要因として挙げられたのは、基盤石表面での海藻付着によるサンゴ片の隠蔽による死滅である。移植直後ではそれほど顕著ではなかったが、その後の昨年11月中旬頃には、ほぼ全域にわたり海藻が繁殖し、かなりのサンゴ片が海藻に覆われた状況となった（写真-6）。その結果、一部のサンゴ片では、写真-7に示すように一部の部分が白化していた。このような状況から、可能な限りの基盤表面の海藻除去を早急に実施し、これにより1%程度のサンゴ片の死亡にとどめた。

b) 高波浪や砂の堆積、巻き上げ等による損傷および脱落

固定後、すべてのサンゴ片に対する受け入れ検査を実施し、用いたサンゴ片や固定方法に不備がないかのチェックを行うため、その時点での固定の不備はすべて排除される。しかし、固定直後は問題が見られなかったものの、その後の高波浪や高波浪時の砂の巻き上げ、一部エリアの砂の堆積等により、脱落、損傷したサンゴ片が見られた。

c) 人為的損傷

時折、基盤上のサンゴ片が踏み荒らされた形跡が

見られた。本移植エリアはオープンエリアであるため、住民・漁民の一部が、主に魚の捕獲目当てに当エリアに侵入することが見受けられ、その際に損傷を受けたと想定される。

d) ドナーサンゴの生物要因

数は少ないものの、用いたサンゴ片そのものの生物的要因で死滅したと思われるサンゴ片が見られる。これについては、予めそのようなサンゴ片を識別し排除することは現実的には難しい。

6. おわりに

本論では、国内では類を見ない大規模サンゴ移植について、実務レベルの視点に立った移植の進め方、具体的方法および途中経過について明らかにした。これまでのところ、想定以上の高い定着率をもって、移植されたサンゴ片は順調な生育を続けている。当初、最も懸念された雨季の高海水温期（1月～3月）の影響も、今年は例年ほど海水温が上がらなかったこともあり、まったく影響を受けずに現在に至っている。今後更に経過を観察し、データを蓄積することにより、サンゴ種の違いや波浪・水温変化といった様々な外部要因と移植サンゴの定着率、成長率に関する定量評価を行っていく予定である。

参考文献

- 1) Abdul Rachim Syamsudin: Beach erosion in coral reef beaches and its control, thesis for a doctorate, 1993.
- 2) 遠藤秀文, Rahmadi Prasetyo, 西平守孝, 大中晋: 移植サンゴの定着率に関する長期現地モニタリングおよびサンゴ移植の適用性の検討, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1196-1200, 2006.
- 3) 宇多高明, 大須賀 豊, 遠藤 秀文, 芹沢 真澄, 三波俊郎, 古池 鋼: 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, 2004.
- 4) 西平守孝, J. E. N. Veron: 日本の造礁サンゴ類, 海遊舎, 1995.