

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月18日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2011

課題番号：20241018

研究課題名（和文） 島嶼保全のためのサンゴ再生技術の研究開発

研究課題名（英文） Development of coral restoration technology for islands

## 研究代表者

岡本 峰雄（OKAMOTO MINEO）

東京海洋大学・海洋科学部・教授

研究者番号：70345403

研究成果の概要（和文）：近年の海水温上昇に伴うサンゴの白化・死滅は世界のサンゴ礁を荒廃させている。荒廃をもたらす最大の危機はリーフ上面域のサンゴの消滅、つまり島の沈降とリーフの侵食対策の担い手の消滅である。また基礎生産を行うサンゴの消失は生物多様性の高いサンゴ礁生態系を消滅させる。本研究では、外洋に面したリーフ上面のサンゴ再生のために、高強度型サンゴ着床具を開発し、それを用いた再生技術を石西礁湖とインドネシアのブナケン国立海洋公園（マナド）の海域実験で完成させた。

研究成果の概要（英文）：Coral reefs around the world have been rapidly degrading due to the coral bleaching caused by global warming. The largest critical situation of the degrading corals is to lose corals on the reef flat. Corals growing on the reef flat have been prevented from erosion of coral reef by wave and Islands from sinking. Also, corals have been kept coral reef ecosystem as a primary producer in the tropical countries. We successfully developed coral restoration technology for the shallow reef flat at the outer reef, by newly developed slag-ceramic coral settlement device and developed the coral restoration technology to use it at Sekisei Lagoon, Japan and Bunaken National Park in Indonesia.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	13,600,000	4,080,000	17,680,000
2009年度	7,700,000	2,310,000	10,010,000
2010年度	8,500,000	2,550,000	11,050,000
2011年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
年度			
総計	35,200,000	10,560,000	45,760,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：環境保全・環境材料・国際協力・海洋生態

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年の海水温上昇に伴うサンゴの白化・死滅は世界のサンゴ礁を荒廃させている。荒廃をもたらす最大の危機はリーフ上面域のサンゴの消滅、つまり島の沈降とリーフの侵食対策の担い手の消滅である。さらに海面の上昇が島嶼の水没を現実化しつつある。

(2) サンゴ礁の島々は防波堤や護岸構造物を構築できる地形ではない。構築しても、その後延々と沈降をかさ上げし、また波浪侵食を修復しなければならない。島嶼の存続には、本来のリーフ補強者のサンゴを再生し、自然界の自己増殖・補修機能に任せるのが現実的

な対応策である。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究は、外洋に面したリーフ上面のサンゴ再生技術の開発を目的とし、強化型のサンゴ再生具類の開発と、幼生が減少するなかでの着生技術の開発を行う。

(2) 石西礁湖で「研究開発と実証試験」を主に行い、インドネシアのマナドで「熱帯でのサンゴ再生のための生態学的研究」と「開発した再生具類を用いたサンゴ再生実験」を行う。

(3) マナドでは現地研究協力者とともに実験を進め、熱帯の現場用の「島嶼のサンゴ礁再生マニュアル」を作成し、世界の島嶼保全に資する。

## 3. 研究の方法

(1) 外洋に面したリーフ上面のサンゴ再生技術を開発するため、石西礁湖とインドネシアのマナド海域の2ヶ所でフィールド研究を主体に行い、「島嶼のサンゴ礁再生マニュアル」を開発する。

(2) 石西礁湖では、リーフ上面用の移植ユニット（強化着床具とリーフ化促進保護具）の開発と幼生着生数を増加させるための研究を行い、リーフ再生のための要素技術を確立する。

(3) マナド海域では、マナド埋立地の岸壁（巨石、長さ約3km）と16km沖のブナケン島（東西約8km、南北約4km）の2ヶ所を対象に研究を行う。熱帯域はサンゴの一斉産卵時期すら不明で、マナド岸壁のミドリイシ属を対象に産卵・定着・成長過程の解明を行う。またガレキ化したブナケン島リーフ上面で再生実験を行い、開発する移植ユニットの検証・フィードバックを行う。

(4) 島嶼のサンゴ礁再生を住民が行うためのマニュアルを開発するため、マナド海域の実験とマニュアル作成は地元大学、サンゴ保全再生に携わる公園管理所の研究協力者とともに進める。

## 4. 研究成果

### (1) 高強度セラミック着床具の開発

外洋に面したサンゴ礁の上面はかつて豊かなサンゴに覆われ、サンゴの光合成も活発であり、生物多様性に富んだサンゴ礁生態系が形成されていた。しかし1998年/1997年の地球規模のサンゴの白化で最大に被害を受けたのがこのサンゴ礁上面域であった。我々はセラミック

着床具を開発して静穏海域での有性生殖を利用したサンゴ再生技術の開発に成功した。しかし陶土を成型して酸化焼成したセラミック着床具をサンゴが死滅したサンゴ礁に固定しても、強度面の問題が起きることがあった。

静穏な礁湖内の離礁で礁側面部の比較的深い深度（5-6m）のものは波浪による流失被害を受けることはほとんどなかった。しかし台風の波浪の影響での流失は避けられなかった。

このため、通常は穏やかな礁湖内の離礁であっても着床具の高強度化は必要であった。また日本そして世界のサンゴ礁では、外洋波浪の直撃を受けるアウターリーフのサンゴが壊滅的な被害を受けており、この対策が必要であった。

開発は2段階に分けて行った。第1段階では高強度のスラグセラミック着床具の試作と海域実験を行った。製鉄の副産物であるスラグを細かく砕いて陶土の代わりに用い、スラグに含まれる生石灰（CaO）や金属類などの不純物を除去するため、砕いたアルミドrossを混ぜて成型・焼成しスラグセラミック製の着床具を製作した。この製法ではテルミット反応を利用して高温で焼成させるため不純物は結晶化して3-10 $\mu$ のポーラス構造となる。強度は高く海水が通過するため生物との親和性が高い。着床具はコマ型で脚部をリーフに空けた穴に挿入接着して固定する方式である。この着床具を石西礁湖の南礁（アウターリーフ）に固定して追跡調査を行なった。その結果脚部だけで固定する方法では強度不足で流失するものが見られた。そこで第2段階では、着床具本体に貫通穴を明け、脚固定に加えステンレス釘を打ち込んで強化固定できるスラグセラミック着床具を開発し、海域実験を行なって性能を検証した。これによって、目的とした高強度型着床具を完成した。

### (2) 石西礁湖でのサンゴ再生技術の研究開発

#### ① 幼生着生実験

毎年、石西礁湖と宮古島海域で着床具を一斉産卵前に海域に設置し、産卵の概ね3ヵ月後に回収してミドリイシ属サンゴの着生数を計測してきた。その結果、セラミック着床具、スラグセラミック着床具とも着生して育ったサンゴ（直径1-2mm）の数に大きな差はなく、高強度型の有効性は確認できた。

#### ② 着床具に育ったサンゴの成長

石西礁湖でサンゴの一斉産卵前に海

域に設置した着床具を産卵の25カ月後に回収した育ったミドリイシ属サンゴの成長を調べた。サンゴには着床具表面に着生したものとサンゴや付着生物の死骸に着生して育ったものがあり、前者は生まれて13ヶ月（設置1年後の一斉産卵で生まれたもの）、後者は25カ月である。産卵13ヶ月後のミドリイシの最大直径は2.8-11.8 mm（平均7.8±標準偏差2.4 mm）で、産卵25ヶ月後は5.2-38.2 mm（19.4 ± 5.5 mm）であった。これら1-2才のミドリイシは概ね被覆状で種類による形態や成長の相違を見出すことは困難であった。

③ リーフに着生したミドリイシの成長  
着床具に育ったミドリイシは自然界にない形の横溝（重ねた着床具間）の中に着生して育ったものであり、リーフに着生したものは初期の成長が異なることも危惧された。そこで石西礁湖北礁（北側アウターリーフ）に育ったミドリイシ属サンゴの初期の成長を知るため、2008年の一斉産卵で生まれて着生したミドリイシを、2009年から2年間にわたって個体識別し、成長追跡を行なった。直径12mm未満（産卵12ヶ月と仮定。以後12ヶ月と呼ぶ）のミドリイシ436群（1.9-11.9mm、平均と標準偏差8.0mm±2.4mm）を、36ヶ月後まで生残・成長追跡を行なった。12ヶ月のミドリイシは被覆状で、ほとんどがリーフの穴や窪みに着生していた。被覆部から樹枝部ができるのは15ヶ月以降でかつ10mm以上に成長してからであった。24ヶ月（5.0-41.6mm）には12mmを超えた群で樹枝が見られ18mmを超えた群体の半数以上が樹枝を有していた。29ヶ月には12mm以上の群体の半数以上が樹枝を有していた。36ヶ月には、28mmを超える群体のなかに樹枝部のほうが基部より大きくなったものが増えてきた。また24ヶ月で12mmに達しないものが約1/4含まれていた。生残率は12ヶ月から24ヶ月までが約40%、24ヶ月から36ヶ月が約45%であった。

④ クシハダミドリイシを指標とした白化に伴う石西礁湖のサンゴ群集の変動

石西礁湖のサンゴ群集は、1998年、2001年、2003年、2007年の白化被害を受け大きく変化した。サンゴ群集の分布域の変遷をミドリイシ属サンゴの中で優占していたクシハダミドリイシを対象として求めた。調査は1998年（白化終了直後の10月）1999年、2000年、2003年、2005年、2006年、2009年に行った。石西礁湖内に26ヶ所の観測定点を設け、水深3、6、9m（基準水面下）に長さ50mのメジャー（幅7cm）を張り、測線上方1-1.5mからモザイク状に写真撮影を行なった。また、2ヶ所の定点には自記式水温計を設置し、10分毎に記録を得た。写真からクシハダミド

リイシを選別し、計数と最大直径の計測を行なった。なお、10cm未満の群体は定点によっては識別が困難なものがあるため、対象外とした。その結果、1998年には26ヶ所の定点のうち18定点でクシハダミドリイシが生育していたが、2009年までにそれらは1定点を除き、死滅した。一方、礁湖北側のリーフ3定点では2003年頃から回復が進み、2010年時点ではクシハダミドリイシを主としたミドリイシ属サンゴの群集が形成されるに至った。この群集は2007年頃から一斉産卵を行なうサイズに達したものと判断された。2009年6月時点でクシハダミドリイシが分布している海域は、礁湖北側のリーフ3定点と黒島周辺のリーフ4定点及び礁湖西側の2定点の計9定点のみであった

⑤ 北礁のクシハダミドリイシの死滅回復過程の解明

1998年から2009年にかけて行なった石西礁湖内26ヶ所の定点調査のデータの解析と、北礁での2009年からのミドリイシ属サンゴの1-3才の初期成長過程の解明結果により、北礁でのクシハダミドリイシの死滅過程と回復過程を解明することができた。1998年の白化で5/6のクシハダミドリイシが死に、2001年の白化で残りの1/6が死に1998年に北礁に生育していたクシハダミドリイシは2003年の白化までに全滅した。一方、礁湖中央から南礁に生残していたクシハダミドリイシの一斉産卵によって北礁には2007年まで幼生が供給されていた。

再生過程は、クシハダミドリイシの着生から3年間の幼期の成長が明らかになったことで、白化が起きた1998年に加入したサンゴから始まったと判断された。以後、毎年加入するクシハダミドリイシによって回復が進み、最大年級群は2007年には概ね成熟サイズに達し、2008年の産卵確認に至った。

以上のことから、クシハダミドリイシは2回（4年間）の白化で全滅し、回復には10年間（1998-2007）以上を要したことが明らかになった。

(3) マナドでのサンゴ再生技術の研究開発

インドネシアマナド沖のブナケン島では、2003年2月時点で南礁上面や水深の浅い海域ではミドリイシ属サンゴがほぼ死滅しており、またミドリイシ属の稚サンゴも極端に少なかった。ブナケン島の南礁上面のサンゴはその後も好転の兆しがなかった。ここはコーラルトライアングルのほぼ中央に位置し、生物多様性とくにサンゴ群集の多様性が注目されている海域でブナケン国立海洋公園と

して保全活動が行なわれている。また歴史的にも太平洋・インド洋のサンゴの源流部に位置すると考えられている。

石西礁湖や日本のサンゴの保全再生策の今後の方向性を見出すためにも、ブナケン島周辺海域のサンゴ群集の群集構造の変化や衰退要因を知ることが必要と考えた。また熱帯海域のサンゴの再生では碎片移植が主に行われている。石西礁湖のようにミドリイシ属サンゴが減少している海域ではミドリイシの碎片移植は健全なミドリイシを傷つけるため好ましくない。また遺伝子の多様性の観点からも有性生殖による再生が望ましい。これはブナケン島においても同様である。

そこで2007年2月から、ブナケン海域のミドリイシ群集について、有性生殖を利用したサンゴ再生の可能性を知るため、着床具と穴をあけたマリブロック板を用いてミドリイシの産卵時期、加入、着生初期の成長などの調査を進めてきた。

#### ① ミドリイシ群集の現状

ブナケン島の4ヶ所、シラデン島1ヶ所、マナドツア島1箇所、マナド護岸堤1カ所の計7ヶ所でサンゴの現況調査を行なった。その結果、ブナケン国立海洋公園の3島6ヶ所のなかでミドリイシ属が卓越している海域はなく、僅かにブナケン島東海岸とマナドツア島に小規模なミドリイシ群集を確認できたにすぎなかった。一方、生活排水や下水で汚染されているマナドの埋立地護岸堤の転石帯にミドリイシ属サンゴが多く生育していることを確認できた。

#### ② ミドリイシ属サンゴの産卵時期

着床具を年4回設置回収して着生サンゴを解析した。しかしミドリイシ科の、一斉産卵型のミドリイシ属と周年幼生放出型のイソポラ属、の稚サンゴが混在していた。この2属を確実に識別するのが困難なため、一斉産卵時期の特定はできなかった。ただしミドリイシ属が激減したマナド海域では、ミドリイシ属サンゴの一斉産卵が起きていたとは考え難い状況であった。稚サンゴ着生数の多寡から見ると、ミドリイシ科（ミドリイシ属とイソポラ属）の着生は2-6月にかけて多く、10月以降にも小規模の加入があった。

#### ③ ミドリイシ科サンゴの初期の成長

マリブロックに空けた穴に着生したサンゴの成長追跡の結果、ミドリイシ科の稚サンゴは、着生翌年2-5月には5.0-31.8mmの範囲に成長していた。また着生翌々年の2-5月には15.4-62.8mmに成長することがわかった。

#### ④ サンゴ再生実験

高強度型着床具を2009年にマナド海域の4ヶ所に設置し、育ったサンゴを用いて2012年に移植実験を行った。着床具に育ったサンゴを用い、ブナケン島東岸のサンゴが衰退したサンゴ礁に160個を移植して追跡調査を開始した。またスラベシ島北端のリクパン海域（サムラトランギ大学の臨海実験所）にはマナド海域で着生・育成したミドリイシ属サンゴの移植を行った。

これらの実験を行う過程で、着床具にミドリイシ属サンゴを着生させる着生海域としてマナド護岸堤を選定できた。ただし護岸堤は富栄養化の影響で着床具表面が藻類や懸濁物に覆われてサンゴが生残できなくなるため、設置3ヶ月以内に海水が清浄なブナケン島西岸の育成海域(16m沖)に移動する。サンゴが育った着床具は再生海域（ブナケン島、リクパン）に移植するが、そのうちリクパン海域は約40km離れている。これら海域間の移動も着床具を船上の小型水槽に納めることで問題なく実施できる。

#### (4) 得られた成果の波及効果

##### ① 石西礁湖

石西礁湖の研究成果は、直ちに環境省石西礁湖自然再生事業へと技術移転され、石西礁湖のサンゴ保全再生に寄与している。

##### ② マナド

マナド海域で実験を行うため、地元の北スラベシ州海洋水産部やサムラトランギ大学ほか2大学との研究協力体制を構築した。

2012年度から関係諸機関と5年間の共同研究を行なうことが決定しており、今後マナド海域のサンゴ保全再生への寄与、さらにはインドネシアの他海域や熱帯の島嶼国家への展開が期待されている。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

① 岡本峰雄、サンゴ礁の世界、Consultant、25、査読無、2011、12-25、

② 岡本峰雄、屋外研究サイトから(16)石西礁湖、日本生態学会誌、60、査読無、2010、393-398、  
DOI:10.1007/s12562-008-0031-7 b

③ OKAMOTO M, M YAP, KA ROEROE, S NOJIMA, K OYAMADA, S FUJIWARA, I IWATA: In situ growth and mortality of juvenile *Acropora* over two years following mass spawning in Sekisei Lagoon, Okinawa (24° N). FISHERIES SCIENCE. 76, 査読有, 2010, 433-353,  
DOI:10.1007/s12562-010-0222-x

- ④ 岡本峰雄、温暖化によって消滅しているサンゴ礁の再生、養殖、45(10)、緑書房、2008、44-46、
- ⑤ 小山田久美、渡辺圭治、岡本峰雄、岩田至、マリブロックによるサンゴ礁再生技術、JFE技報、19、査読無、2008、6-12、
- ⑥ 野島 哲、岡本峰雄、造礁サンゴの北上と白化、日本水産学会誌、74、査読無、2008、884-888、
- ⑦ ROEROE K. A., M. YAP and M. OKAMOTO. Development of a coastal environment assessment system using coral recruitmen. FISHERIES SCIENCE, 75, 査読有, 2009, 215-224.
- ⑧ Okamoto M, S. Nojima, S. Fujiwara and Y Furushima, Development of ceramic settlement devices for coral reef restoration using in situ sexual reproduction of coral. FISHERIES SCIENCE, 74, 査読有, 2008, 1245-1253.

〔学会発表〕(計 16 件)

- ① Minlee Yap, 岡本峰雄, KA Roeroe, 藤原秀一、石西礁湖と宮古海域におけるミドリイシサンゴの再生産力、平成 23 年度日本水産工学会学術講演会、2011 年 11 月 3 日、東京
- ② 樋口直樹、新田洋一朗、風巻宏太、岡本峰雄、石西礁湖北リーフにおける 1~3 オミドリイシ属サンゴの現状把握、平成 23 年度日本水産学会秋季大会、2011 年 9 月 29 日、長崎
- ③ Minlee Y, 岡本峰雄, KA Roeroe, 藤原秀一、着床具とマリブロックを用いたミドリイシ類の加入量計測手法の開発、日本水産学会秋季大会、2011 年 9 月 29 日、長崎
- ④ Minlee Y, 岡本峰雄, 杉田篤信, KA Roeroe, 野島 哲、藤原秀一、マナドにおけるミドリイシ属サンゴの産卵と初期の成長について、平成 23 年度 日本水産学会秋季大会、2011 年 10 月 1 日、長崎
- ⑤ 山室悠太、新田洋一朗、岡本峰雄、岩田至、小山田久美、着床具と人工基盤(マリブロック)を用いた宮古島平良港でのサンゴ再生実験について、平成 22 年度日本水産学会秋季大会、2010 年 9 月 24 日、京都
- ⑥ Roeroe KA, M Yap, M Okamoto. Recent condition and recruitment potential of scleractinian corals in Manado bay, North Sulawesi, Indonesia. Coral Reef Management Symposium on Coral Triangle Area. October 2009. Jakarta, Indonesia.
- ⑦ 金井羅門、岡本峰雄、野島哲、白化に伴う石西礁湖のサンゴ群集の変動ークシハ

- ダミドリイシを指標として、平成 22 年度日本水産学会秋季大会、2010 年 9 月 24 日、京都
- ⑧ 作田寧之、樋口直樹、岡本峰雄、石西礁湖北リーフにおける 1-2 オミドリイシ属サンゴの成長について。平成 22 年度日本水産学会秋季大会、2010 年 9 月 24 日、京都
- ⑨ Roeroe KA, LTX Lalamentic, M Yap, 岡本峰雄, 野島哲, 藤原秀一、マナド海域におけるミドリイシ属サンゴの初期の成長について、平成 22 年度日本水産学会秋季大会、2010 年 9 月 23 日、京都
- ⑩ 岡本峰雄、野島哲、石西礁湖における 1998 年白化以降のクシハダミドリイシの死滅と回復過程、日本サンゴ礁学会第 13 回大会、2010 年 12 月 3 日、つくば
- ⑪ Okamoto M. Development of ceramic settlement device for coral reefs restoration using in-situ sexual reproduction of corals. International Seminar on Artificial Reef. 2011年2月16日. Manado, Indonesia
- ⑫ Roeroe AK, M Yap, M Okamoto, K Osawa, S Ikeda, Factors prohibiting coral recovery in Nagura bay, Ishigaki Island examined by measurement of potential recruitment. Coral Reef Management Symposium on Coral Triangle Area. October 2009. Jakarta, Indonesia.
- ⑬ Okamoto M et al, Introduction of a new coral reef restoration technology applicable for Indonesia. Coral Reef Management Symposium on Coral Triangle Area. Oct. 2009. Jakarta, Indonesia.
- ⑭ Okamoto M et al, Introduction of a new coral reef restoration technology applicable for Indonesia. WOC2009. 12 May 2009. Manado, Indonesia.
- ⑮ Roeroe KA, M Yap, M Okamoto, K Oyamada, サンゴの再生産力評価法の開発。第 7 回海環境シンポジウム、2008 年 7 月 16 日、札幌。
- ⑯ Okamoto M, KA Roeroe, L Lalamentik, K Oyamada, Condition and reproduction potential of corals around Bunaken Is, Indonesia, 5<sup>th</sup> World Fisheries Congress, 21. Oct. 2008, Yokohama

〔図書〕(計 1 件)

- ① 岡本峰雄、サンゴ礁。鷺谷いづみ編「消える日本の自然」、2008、恒星社厚生閣、88-97, 194-205、

6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
岡本 峰雄 (OKAMOTO MINEO)

東京海洋大学・海洋科学部・教授  
研究者番号：70345403

(2) 研究分担者

野島 哲 (NOJIMA SATOSHI)  
九州大学大学院・理学研究員・准教授  
研究者番号：30112288

(3) 連携研究者

(0)