

沖縄県サンゴ礁保全再生事業
総括報告書

平成29年3月

沖 縄 県
環境部自然保護課

はじめに

サンゴ礁は、多種多様な生物の生息の場であるとともに、漁業資源や観光資源としても、重要な価値を有しており、本県の大切な宝です。沖縄県の将来あるべき姿を描き、その実現に向けた取り組みの方向性を示した「沖縄21世紀ビジョン」では「サンゴ礁や藻場・干潟・砂浜など自然海岸が生物多様性の維持・回復や観光産業、漁業等に与えている恩恵を踏まえ、沖縄のサンゴ礁や自然海岸の経済的価値や公共的価値の再評価を行うとともに、その保全・再生のための新たな仕組み・方策を確立する。」としており、これまでも、本県では、サンゴ礁の保全や再生について様々な取り組みを行ってまいりました。

しかしながら、近年、サンゴは、高海水温等による白化、オニヒトデによる食害、陸域からの赤土等や栄養塩等の流出などにより、健全性が低下しており、過去の沖縄県の調査では、沖縄本島の8割のサンゴ礁域において、サンゴの被度が10%以下であるという大変深刻な状況にあることが判明しました。

そのため、県は、平成22年度に、サンゴ礁の保全・再生のための技術開発・調査研究等を行う「サンゴ礁保全再生事業」を立ち上げ、より積極的な対策に取り組むことといたしました。具体的には、恩納村海域、読谷村海域及び座間味村海域を事業実施海域として、サンゴの種苗生産・中間育成・植付けを行い、今後も活用できる知見や技術などの蓄積を図りました。また、全県的なサンゴ群集の遺伝子組成の解析や移植箇所の選定に関する検討等の調査研究、及び民間団体等へのサンゴ保全活動への支援を行いました。

本総括報告書は、平成22年度から平成28年度にかけて実施した事業成果を取りまとめたものであり、今後のサンゴの種苗生産・中間育成・植付けや、サンゴ礁の保全を行うための参考事例集として活用され、本県におけるサンゴ礁の保全・再生に関する活動の一助となれば幸甚に存じます。

最後に、本事業の実施にあたっては、専門的な知見を有する検討委員会の委員の皆様にご慎重な御検討と適切な御指摘等いただきました。また、本事業に関わった多くの機関の創意工夫などにより具体の事業を実施することができました。この場を借りて心からお礼申し上げます。

平成29年3月

沖縄県 環境部

部長 大浜 浩志

目次

1. サンゴ礁再生実証事業概要	
1.1 目的	1-1
1.2 事業実施過程と成果の目標	1-1
1.3 事業成果	1-4
1.3.1 面的広がりのあるサンゴの植付け	1-4
1.3.2 サンゴ礁保全再生に関する調査研究	1-5
1.3.3 その他の事業	1-6
1.3.4 成果の公表	1-6
1.4 サンゴ礁保全再生事業検討委員会及び海域別の事業実施団体	1-6
2. 面的広がりのあるサンゴ植付け実証事業	
2.1 サンゴ種苗の種類と用いた種苗の生産方法	2-1
2.1.1 無性生殖法による種苗生産	2-6
2.1.2 有性生殖法による種苗生産	2-6
2.2 種苗生産法別海域別の本事業におけるサンゴの植付け	2-9
2.2.1 無性生殖法による生産種苗を用いたサンゴ植付け	2-10
(1) 恩納村海域での植付け事業	2-10
(2) 読谷村海域での植付け事業	2-38
(3) 座間味村海域での植付け事業（サンゴの移設）	2-54
(4) 植付け海域における生物の棲込状況に関する検討	2-65
2.2.2 有性生殖法による生産種苗を用いたサンゴ植付け	2-69
(1) 恩納村海域での植付け事業	2-69
(2) 座間味村海域での植付け事業	2-158
(3) 有性生殖法種苗を用いたサンゴ植付けに係る費用について	2-173
2.2.3 事業実施中のサンゴの白化	2-175
2.2.4 植付け海域管理体制の構築検討	2-180

目次

3. サンゴ礁保全再生に関する調査研究	
3.1 移植によるサンゴ礁の修復再生のための研究と技術開発	3-1
3.1.1 総論：これまでの進捗	3-1
3.1.2 参考文献一覧	3-26
3.2 サンゴのゲノム解析、無性生殖株のミドリイシ類個体群の遺伝学的多様性の検証	3-89
3.2.1 遺伝子解析分野の目的	3-89
3.2.2 DNA 情報を用いた沖縄周辺の天然のサンゴ礁の現状把握	3-89
3.2.3 養殖・植付けに使用されるサンゴの遺伝的多様性の確保	3-101
3.2.4 まとめ	3-109
3.3 サンゴ群体間距離と受精率に関する研究	3-111
4. 事業のまとめと今後の課題・展望	4-1
5. 沖縄県が実施するその他の事業	5-1

巻末資料

1. サンゴの学名和名対応表	巻 1-1
2. 用語集	巻 2-1
3. 参考文献	巻 3-1

1. サンゴ礁再生実証事業概要

1.1 目的

沖縄県は高い生物多様性で特徴づけられている日本で唯一の亜熱帯海洋性気候にあり、南北 400km の範囲にある島々その周囲に美しいサンゴ礁の海が広がっている。このような自然は、沖縄らしい歴史と伝統、文化を育んできた。サンゴ礁域が有する水産資源、観光資源、防波堤機能などは、人々に多くの恩恵をもたらしている。

しかしながら、最近では、地球規模の温暖化、陸域での人間活動による赤土の海域への流出、海水の富栄養化、埋立て等による影響を受け、健全なサンゴ礁が減少している状況にある。

本事業は、上記のような状況に鑑み、「面的広がりのあるサンゴ植付け」を実施し、この方法を確立して、今後のサンゴ礁生態系の保全と再生活動に資することを目的とした。

サンゴ種苗の植付けについては、これまで種々の活動が進められ、その中で技術開発が取り組まれてきた。本事業では、目的達成のため、沖縄島及び慶良間諸島の複数の海域を選定し、各海域において適すると考えられる実績のある手法や新たな手法を適用しながら、発生する種々の課題の解決策や管理方法等を検討しつつ、今後のサンゴ礁保全活動に参考となりうる情報を収集した。

1.2 事業実施過程と成果の目標

本事業は図 1.2.1-1 に示すロードマップに従い、平成 22 年度から 29 年度の延べ 7 年度に渡って実施された。

ロードマップに示すように、本事業は「面的に広がりのあるサンゴ植付けの実証事業」と、このサンゴ植付けに関する技術的情報を補完するための「サンゴ礁再生に関する調査研究」に大別される。

「面的に広がりのあるサンゴ植付けの実証事業」では、植付け対象海域を選定するために、現況のサンゴ礁の発達状況や各種の環境要因の分布状況などの基礎的な情報を得るために幼生加入調査、再生地点適地選定調査、幼生拡散経路調査を行い、これらの結果を踏まえて、サンゴ種苗の植付け実施事業を行った。また、種苗生産ではサンゴの生育に好適な環境を有すると考えられるタカセガイ育成礁を活用する中間育成技術の開発、陸上水槽内における種苗生産、着生基盤などについて調査・検討を行った上で実際の種苗植付けを行った。植付けた後は、事業成果を把握するため、生残や成長等の項目についてモニタリング調査を行った。また、このような種苗の生産、植付け、その後の管理を対象海域の地元住民らにより実施・運営することができるの

かどうかを検討した。

このような技術開発に関する検討を加えつつ、サンゴの植付け実証事業としては、沖縄島沿岸及び慶良間諸島海域の全体で 3ha の範囲に対して植付けることを事業成果の目標とした。

「サンゴ礁再生に関する調査研究」では、サンゴ礁保全を目標としたサンゴ種苗の植付け技術に関する研究論文を収集し、本事業で種苗生産や植付けを実施するに際して、参考となる技術の事例を整理し、さらに、サンゴ礁保全・造成等に関する技術の進歩について、総論にとりまとめた。また、種苗の生産や植付けにおいては、サンゴ種内の遺伝的多様性の減少が懸念されていることを踏まえて、遺伝子解析によりこの課題を検討した。さらに、種苗植付け作業時の課題となる種苗の適正密度についても検討した。

本事業の実施期間には併行して他のサンゴ礁保全活動に対する支援事業も実施された。

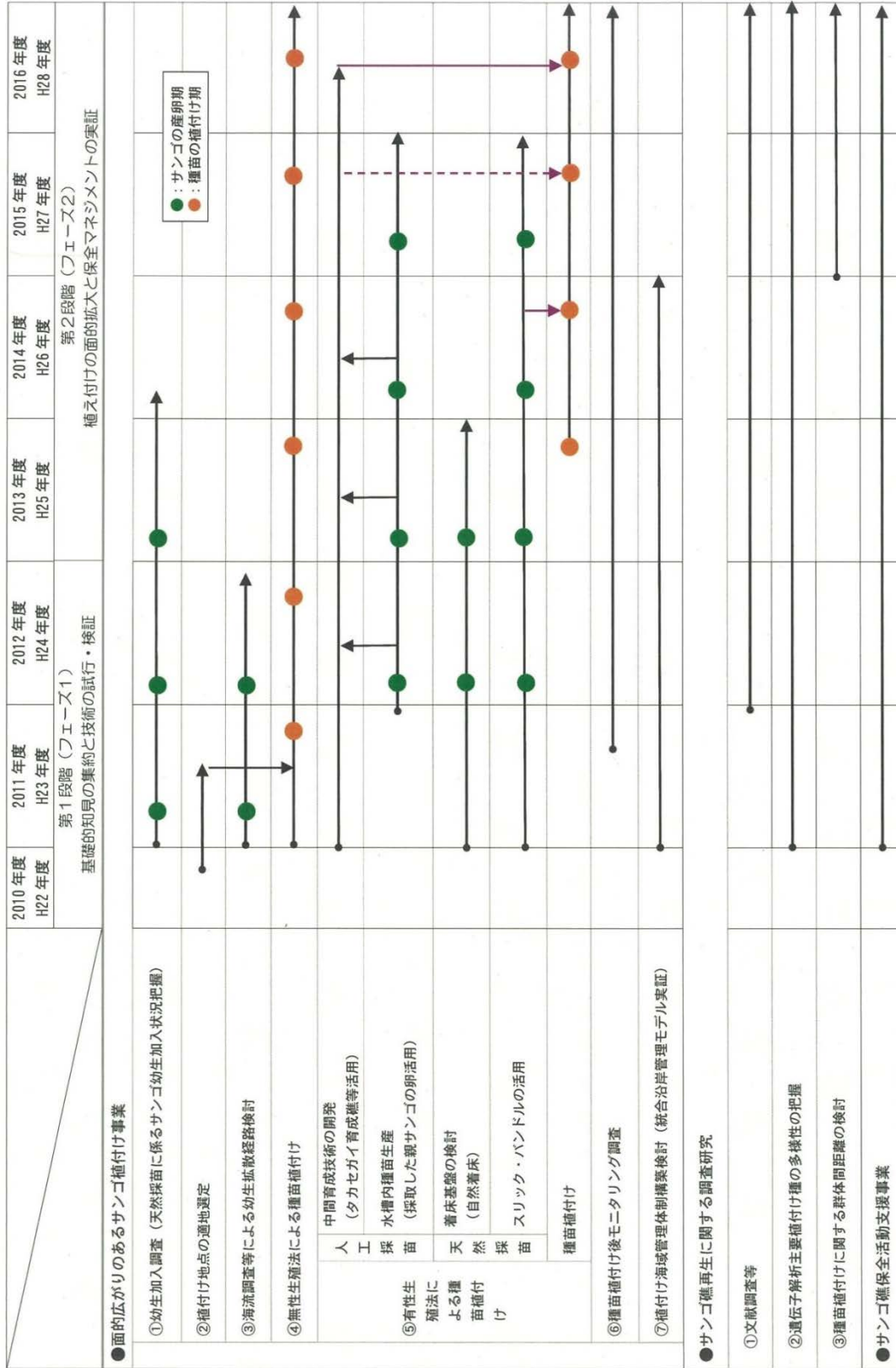


図 1.2.1-1 沖縄県サンゴ礁保全再生事業の事業ロードマップ

1.3 事業成果

1.3.1 面的広がりのあるサンゴの植付け

沖縄島沿岸海域では恩納村海域及び読谷村海域を選定し、慶良間諸島海域では座間味村の沿岸海域を対象として表 1.3.1-1 に示すように全体で3.42haの範囲に対してサンゴを植付けることができた。

表 1.3.1-1 沖縄県サンゴ礁保全再生事業によるサンゴ植付け面積

海 域	恩納村		読谷村	座間味村	
種苗区分	無性生殖法	有性生殖法	無性生殖法	無性生殖法	有性生殖法
面積 (ha)	2.74	0.38	0.18	0.08	0.04
	3.42				
植付け 本数 (本)	104,687	15,306	23,935	1,885	5,501
	151,314				

恩納村海域では、恩納村漁業協同組合で無性生殖法で生産された種苗を恩納村前兼久の地先に植付けた事業と、恩納村海域で採集されたサンゴ親株を阿嘉島若しくは久米島の施設において幼生を人工基盤に着生させて得た有性生殖法による種苗を恩納村海域に戻して植付けた事業が行われた。

読谷村海域では、地元のサンゴ種苗生産施設において生産された無性生殖法によるサンゴ種苗を、地先海域に植付けたものである。

座間味村海域では、水産養殖施設のロープなどに着生していたサンゴ群体を当該海域の岩盤に植付けた無性生殖法による植付けと、海域で浮遊する幼生や卵・精子を用いて基盤上にサンゴ幼体を着生させ種苗とし、これを植付けた有性生殖法による植付け事業を行った。

それぞれの海域におけるサンゴ種苗の植付け面積、植付け本数は、上表に示すとおりであり、恩納村海域における無性生殖法によって生産された種苗の植付け面積が最も広く、植付け本数も最も多かった。次いで、恩納村海域の有性生殖、読谷村海域の無性生殖種苗の植付けが大規模に実施できた。これに対して、座間味村海域における植付けで行った天然海域に分布する幼生や卵・精子を用いた有性生殖種苗の作成では、浮遊幼生の加入・着生量が少なかったことや、陸上水槽での幼生の着生に関する管理手法などで試行錯誤が続いたことによって他の海域に比べて狭い植付け面積となった。

なお、本事業は、種苗の親株となる群体利用などにおいて沖縄県漁業調整規則を遵守して実施したものである。また、座間味海域の無性生殖種苗の植付けでは、狭い面積にとどまったものの、漁業調整規則の特別採捕許可を得て、廃棄されようとするサンゴ群体を用いた種苗を有効利用するという新たな取り組みにも取り組んだ。

1.3.2 サンゴ礁保全再生に関する調査研究

本事業では、将来実施されるサンゴの移植・植付けにも参考となる情報を得るため、既往の研究・資料を収集整理し、これまでの技術の進歩を総論にとりまとめ、かつ将来の展望についても言及した。また、サンゴ礁の再生事業に関する多角的なアプローチを可能にするためにサンゴのゲノム解析、無性生殖株のミドリイシ類個体群の遺伝学的多様性の検証、サンゴ群集の再生産に寄与する植付け群体間の距離についての調査・研究を行った。

サンゴのゲノム解析では、コムビドリイシのゲノム情報集団解析により、本種は南西諸島全域で単一の集団ではなく、地域ごと、島ごとにDNAレベルでの違いが存在することが分かった。このことから、沖縄県全体でのサンゴ礁保護には、サンゴが豊富にある場所だけを守るのではなく、地域ごとにサンゴ礁の保護に取り組む必要があることが示唆された。また、移植対象として有力とされているウスエダミドリイシには少なくとも2つ以上の集団が存在しており、この集団の境界は明瞭に分かれているのではなく、地点毎に由来する集団の割合が異なりグラデーション様の集団構造をもつことが判った。さらに、県内海域におけるサンゴの幼生供給は単純な北向き一方方向ではないことが示唆された。これらのことから、沖縄県を含む南西諸島のサンゴの遺伝的集団構造は複雑であり、自然の群集構造の破壊や遺伝子攪乱を避けるためには、可能な限り植付けを行う場所から近い海域で採取された種苗若しくは親株（ドナー）を利用する必要がある。

ただし、ウスエダミドリイシについては、本調査の結果からは、野生ではクローンで増えたと考えられる群体の集合は見つかっていないことから、基本的に有性生殖で増殖させることが望ましい。また、植付け種苗生産において無性生殖法を用いる場合には親株の遺伝子型を判定し、群体を識別できるようにタグ管理により将来的に配偶子がより効率的に受精できるように、異なる遺伝子型をもった株を組み合わせて植付けることが望ましい。

さらに、種苗植付けした後、成長したサンゴ群集から放出された配偶子が高い割合で受精することができる適正な距離に複数の種苗を植付ける間隔に関する検討を行った。2年間の現地調査や解析研究によると、卵の拡散に係わる特性などの情報は不足しているものの、受精に適正な群体間距離を推定することができた。

1.3.3 その他の事業

サンゴの植付け事業及びサンゴ礁保全再生に関する調査・研究のほか、沖縄県はサンゴ礁保全活動支援事業として、県内の法人や団体が、サンゴ礁保全再生活動を継続して行うためモデルとなる活動に対する助成事業を行った。本報告書ではこれらの事業の実施状況を整理し、とりまとめた。

1.3.4 成果の公表

本事業の成果として以下の論文が学会誌等に発表、若しくは投稿された。

Higa, Y. and Omori, M. (2014) Production of coral colonies for outplanting using a unique rearing method of donor colonies at Onna Village, Okinawa, Japan. *Galaxea, Journal of Coral Reef Studies* 16, 19-20.

比嘉 義視・新里 宙也・座安 佑奈・長田 智史・中村 良太・横倉 厚・謝名堂 聡・大森 信 (2017 投稿中) 沖縄県さんご礁保全再生事業における無性生殖を利用したサンゴの種苗生産と植込み技術の段階的進歩. *日本サンゴ礁学会誌*

大森 信 (2016) 連結式サンゴ幼生着床具は最良の Coral babe magnet ではない: すぐれたサンゴ幼生の着生基盤についての考察. *日本サンゴ礁学会誌* 18:1-9

Omori M, Higa Y, Shinzato C, Zayasu Y, Nagata T, Nakamura R, Yokokura A・Janadou S (2016) Development of active restoration methodologies for coral reefs using asexual reproduction in Okinawa, Japan. *Proceedings of the 13th International Coral Reef Symposium, Honolulu* 369-387.

Shinzato C, Yasuoka Y, Mungpakdee S, Arakaki N, Fujie M, Nakajima Y, Satoh N (2014) Development of novel, cross-species microsatellite markers for *Acropora* corals using next-generation sequencing technology. *Frontiers in Marine Science* 1:11

Shinzato C, Mungpakdee S, Arakaki N, Satoh N (2015) Genome-wide SNP analysis explains coral diversity and recovery in the Ryukyu Archipelago. *Scientific Reports* 5:18211

Zayasu Y, Shinzato C (2016) Hope for coral reef rehabilitation: massive synchronous spawning by out planted corals in Okinawa, Japan. *Coral Reefs* doi:10.1007/s00338-016-1463-7

Zayasu Y, Nakajima Y, Sakai K, Suzuki G, Satoh N, Shinzato C (2016) Unexpectedly complex gradation of coral population structure in the Nansei Islands, Japan. *Ecology and Evolution* 6:5491-5505

1.4 サンゴ礁保全再生事業検討委員会及び海域別の事業実施団体

事業内容や計画内容や取り組み方法等について計画的・効果的に進めるため、各分野の専門家によって構成する検討委員会を組織し、年度ごとに数回の検討会を開催して、成果や進捗を確認し、助言や指導をいただきながら事業を進めた。

検討委員会の構成は表 1.4.1-1 のとおりである。

表 1.4.1-1 サンゴ礁保全再生事業検討委員会構成メンバー

区分	氏名	所属・職名	専門分野
委員長	土屋 誠	国立大学法人 琉球大学 名誉教授	生態学 (主にサンゴ礁)
委員	大森 信	国立大学法人 東京海洋大学 名誉教授	生態学 (主にサンゴ礁)
	鹿熊 信一郎	沖縄県海洋深層水研究所 所長	保全生態学 (主に資源管理)
	酒井 一彦	国立大学法人 琉球大学 教授 熱帯生物圏研究センター	生態学 (主にサンゴ礁)
	佐藤 矩行	学校法人 沖縄科学技術大学院大学 教授 マリンゲノミクスユニット	遺伝学
	仲座 栄三	国立大学法人 琉球大学 工学部 教授	海岸工学
	西平 守孝	一般財団法人 沖縄美ら島財団 参与	生態学 (主にサンゴ礁)

また、各海域におけるサンゴ種苗植付け作業や各種検討・研究を直接行った組織、団体、企業は以下のとおりである。

●サンゴ種苗の植付け、モニタリング等

(1) 無性生殖法による生産種苗を用いたサンゴ植付け

1) 恩納村海域での植付け事業

恩納村漁業協同組合、NPO法人グローイングコーラル

2) 読谷村海域での植付け事業

有限会社海の種、沖縄環境調査株式会社、いであ株式会社

3) 座間味村海域での植付け事業 (サンゴの移設)

沖縄環境調査株式会社、いであ株式会社

(2) 有性生殖法による生産種苗を用いたサンゴ植付け

1) 恩納村海域での植付け事業

沖縄県水産海洋技術センター、一般財団法人沖縄県環境科学センター、一般社団法人水産土木建設技術センター、恩納村漁業協同組合

2) 座間味村海域での植付け事業

沖縄環境調査株式会社、いであ株式会社、座間味村漁業協同組合、一般社団法人座間味ダイビング協会

●サンゴ群落及び種苗の遺伝子解析

学校法人沖縄科学技術大学院大学マリンゲノミクスユニット

●サンゴ群体間距離と受精率に関する研究

一般財団法人熱帯海洋生態研究振興財団阿嘉島臨海研究所、東海大学生物学部海洋生物科学科