

令和 7 年 6 月 9 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2024

課題番号：20H03066・23K20289

研究課題名（和文）スマートフォンの携帯通信網を活用したサンゴ一斉産卵の同時多点観測システムの構築

研究課題名（英文）Development of coral spawning monitoring device using mobile communications network

研究代表者

鈴木 豪（Suzuki, Go）

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所（長崎）・主任研究員

研究者番号：30533319

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：サンゴの産卵は、「同時一斉産卵」と呼ばれる特異な繁殖様式である。この一斉産卵の同調性の「ずれ」の正確な把握は、サンゴの再生産の実態を明らかにする上で、残された重要な課題である。本研究では、全国でインフラが整っている携帯電話通信網を利用し、円筒型のプランクトンネットで捕捉したバンドルをスマートフォンで観測できる産卵観測装置を完成させた。これを用いて産卵日を広範囲で観測した結果、小規模な湾内でも東部と西部で産卵がずれていることが分かった。また、白化前後の受精率の変化を考慮した幼生加入モデルを開発した。さらに、トランスクリプトーム解析により、産卵に向けて発現量が増える複数の遺伝子を特定できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

サンゴ一斉産卵の観測装置の開発については、コスト面や運用面で課題も残されたものの、広範囲での同時モニタリングが可能な基盤を提供することができた。幼生加入量の予測モデルや遺伝子を用いた産卵日予測技術の完成によって、サンゴの一斉産卵メカニズムを解明し、サンゴ礁の修復や保全策を効果的に策定することが可能になると期待される。

研究成果の概要（英文）：Coral spawning is a unique reproductive behavior known as “synchronized mass spawning.” Accurate prediction of the timing of this synchronized spawning is crucial for understanding the actual reproductive dynamics of corals. In this study, we developed a spawning monitoring device that utilizes the nationwide mobile phone network infrastructure to record spawning events using cylindrical plankton nets and mobile phones. Using this device, we observed spawning dates over a wide area and found that spawning was delayed in the eastern and western parts of even small bays. Additionally, we developed a larval recruitment model that accounts for changes in fertilization rates before and after bleaching. Furthermore, transcriptomic analysis identified multiple coral genes whose expression increases in preparation for spawning.

研究分野：サンゴ礁生態学

キーワード：ミドリイシ フェノロジー 受精効率 幼生加入

## 1. 研究開始当初の背景

サンゴの産卵は、一般にもよく知られた現象で、初夏の満月の夜に一斉に産卵する様子が数多く報道されている。これは、「同時一斉産卵」と呼ばれる特異な繁殖様式で、異なる科・属に所属する複数の種が同時一斉に放卵放精するというサンゴ礁の一大イベントである。特に、最大の優占種群であり、産卵同調性の高いミドリイシ属では、同属の20種以上がほぼ同時刻に一斉に産卵し、海面がピンクの卵で埋め尽くされることもある。しかし、実際に放出されるのはバンドルと呼ばれる精子と卵が入ったカプセルで、卵の浮力によって海面まで配偶子を運ぶ役割を果たす(図1)。この一斉産卵は、多くのサンゴにとって年に一度の繁殖機会であり、海面で卵と精子が受精して幼生になり、数日~数週間の浮遊期間を経て海底に着底するという新規加入も、このときだけ生じる(同時一斉加入)(Suzuki et al. 2011)。

そこで、この一斉産卵の同調性の「ずれ」に注目し、群体間で「ずれ」が大きくなると受精率の低下を招き、幼生加入量の減少につながるという仮説を検証した。実際、ミドリイシ属サンゴの加入量は、1,000 個体/m<sup>2</sup> 以下~10,000 個体/m<sup>2</sup> 以上まで、10 倍以上の変動を繰り返しており、その変動が月周期や積算水温といった産卵同調性の鍵となる要因に影響されることを明らかにした。しかし、産卵の調査は、卵の成熟度から判定していたため、完全に同じ日に産んだかどうかの裏付けが困難であった。実際に野外で観察していると、1~3 日の群体レベルでのずれが珍しくない。このずれをいかに正確に把握するかは、一斉産卵の同調性の実態を明らかにする上で、残された重要な課題となっている。また、同調の空間スケールも詳細は未だ不明である。これらを明らかにすることで、1 日あたりの産卵量を正確に見積もることが可能となり、受精率、被食率などのパラメータを加えることで、幼生供給量の予測が実現する。

## 2. 研究の目的

従来、サンゴの一斉産卵の調査は、直接観察で記録されることが多かった(Hayashibara et al. 1993)。しかし、これでは1ha 程度の範囲が限界である。そこで、本研究では、既存の普及品であるスマートフォンを活用し、1 地点あたりの観測を安価なシステムで可能にすると同時に、携帯電話通信網を用いて、リアルタイムで同時観測するシステムを構築する。これによって、同調性の空間構造を明らかにできると期待している。サンゴの実質的な繁殖成功を評価する上で必須となる、数十 m 以内の実際に受精可能なスケールから、数 km のリーフスケール、数十 km の地域(島嶼)スケール、それぞれの同調性を明らかにすることができる。

本研究の最終目標は、サンゴの幼生加入量の変動を高精度に予測することである。従来は、沿岸の吹送流や潮汐流といった海水流動が浮遊幼生の拡散や着底場所に影響すると考えられ、流動モデリングが重視されてきた。しかし、申請者らは、サンゴ自体の産卵同調性の時間的「ずれ」も、受精率の変化や捕食・散逸による幼生減耗率の変化を引き起こすことで、幼生加入量の変動に大きく寄与すると予想した。これは、約15年に亘る琉球列島の複数カ所でのサンゴ幼生の加入量データという、世界でも数少ないデータの蓄積に基づいたものである。

白化等の大規模攪乱の影響については、2016~2017年にかけて沖縄地域を含む地球規模の広範囲で白化による死滅が起きており、申請者らは、各調査定点でサンゴ被度の変化や成熟度・加入量の変化を記録している。攪乱前からの変遷を明らかにすることで、初めて攪乱の影響を正確に評価できるため、本研究では、大規模攪乱によるサンゴ生息密度の変化が、産卵同調性および受精率、さらにはその後の幼生加入にどの程度影響するかを明らかにする。

さらに、申請者らは、これまでの共同研究により、サンゴの遺伝子情報も蓄積している。世界初のサンゴの全ゲノム解読(Shinzato et al. 2011)に始まり、ミドリイシ属を中心に20種近い全ゲノム情報を解読済み(Shinzato et al. 2021)であり、それらを基にした成熟・産卵に関わる遺伝子の特定も進めている。サンゴの産卵同調は、ホルモン様物質が関わっているとの報告もあるが、野外では検出が困難である。そこで、本研究では、産卵誘引物質を受け取った痕跡を遺伝子発現側から検出するというアプローチで、産卵予測技術の実用化を目指す。

## 3. 研究の方法

### ・サンゴ一斉産卵の多点同時観測システムの構築

まず、スマートフォンで遠隔で産卵をリアルタイム観測するシステムを開発する。スマホにはLEDライトが装備されている機種が多く、夜間も撮影可能である。これまでの予備的実験では、バッテリーの持続性がネックとなっており、太陽光パネル式充電器とスマホ本体を海水で冷却するシステムが有効だと考えている。まず、少数の装置を試作して、予備試験を実施し、多地点同時に観測するため、台数を増やし、数十地点での観測を目標とする。また、観測用アプリについて、産卵を記録できるような仕組みを検討する。ちなみに、3分毎の撮影設定で、一斉産卵の瞬間が記録可能なことは前課題で実証済みである。

### ・ミドリイシ属サンゴの成熟度と幼生加入量モニタリング

サンゴの産卵同調性は年間の水温変動幅に大きく影響されるため、温帯から熱帯域の広範囲

において、上記の多点同時観測システムを展開する。各地域で複数の定点を設け（リーフスケール）各地点でさらに複数のサブ地点を設置する（受精可能スケール）。さらに、成熟群体の生息密度を白化前後で比較することで、群体間の距離の変化が受精率へ及ぼす影響を検証する。毎年の幼生加入量は、各地域で産卵の2か月前に着生基盤を設置し、産卵の2週間後に着生個体数をカウントすることで評価する。

・遺伝子を用いた成熟・産卵予測技術の実用化

産卵同調性の評価について、前述の成熟調査によって数日のずれは卵の色および状態によって推定可能であるが、1日単位のずれを正確に特定することは困難である。そこで、成熟および産卵のために発現する遺伝子を見ることで、産卵日を予測する技術が必要となる。前課題において、産卵日前、産卵当日、産卵翌日に発現している遺伝子を網羅的に解析・比較し、産卵および成熟に関わると推定される2つの遺伝子をそれぞれ特定している。前者は、LIM転写制御因子と相同性を示し、卵の放出に関わる遺伝子群を制御していると推定されたが、後者は、他の生物とは相同性を示さないサンゴ独自の未知の遺伝子であった。本研究では、これらの遺伝子の発現を産卵直前に1日おき（産卵期以外は1か月おき）に調べ、量的変化を明らかにする。

4. 研究成果

・サンゴ一斉産卵の多点同時観測システムの構築

当初、サンゴの産卵を直接撮影することを目的に、防水ビニールケースに封入した充電器付き太陽光パネルとスマホを直接サンゴの上に浮かべて固定したが、潮汐の干満と波風によって全く対象のサンゴを撮影できなかった。そこで、塩ビパイプで作成した浮体装置を作り、円筒型のプランクトンネットで捕捉したバンドルを撮影する方法に切り替えた。バンドルは、プラスチック製ロートを逆さまにサンゴの直上に設置し、ロートに接続したビニールホースでプランクトンネットまで自動的に浮上するようにした。試行錯誤を繰り返し、産卵観測装置を完成させた

(図1)。2024年5月には、産卵予想期間の約1週間前に、石垣島浦底湾内の10か所に装置を設置し（対象種：ウスエダミドリイシ）産卵タイミングを記録した。同時期に、琉球大学瀬底実験施設でも産卵観測を試みた。スマホが撮影した動画をリアルタイムで確認するため、本来留守中の見守り等に使えるアプリ「Track View」を用いた。

浦底湾に設置した10台

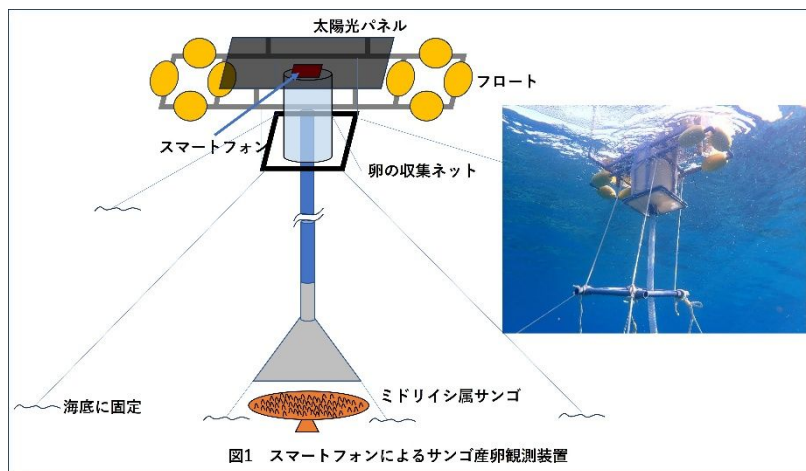


図1 スマートフォンによるサンゴ産卵観測装置

中5台でバンドルの浮上をリアルタイムで観測することに成功した。その結果、浦底湾の東部と西部で産卵が1日ずれていることが分かった（鈴木他、投稿準備中）。また、同日ではないものの、瀬底でも産卵をスマホ上で確認できた。産卵確認は、アプリ使用のため当然であるが、ウェブに接続されているPCやスマホを持っていれば、世界中どこにいても可能である（実際石垣と瀬底で同時に確認できた）。しかし、装置の安定性にはまだ課題がある。今回も半数の装置で、スマホのバッテリー切れや通信不良を起こし、観測ができなかった。今後、安定性を高めることで、広範囲で同時に観測可能なシステムを確立できると期待される。

・ミドリイシ属サンゴの成熟度と幼生加入量

2020年から2024年の5年間のミドリイシ属サンゴの幼生加入量と成熟度を毎年記録したところ、成熟度との関係は明瞭ではなく、2022年の大規模白化による親サンゴ死滅の影響が強かった(図2)。実際、白化後の2023、2024年の加入量はほぼなかった。ただ、2021年のように一斉産卵が5月と6月に分かれた場合、加入量の総数は分かれなかった2020年の半分以下となった。このように、サンゴ被度が高い場合でも一斉産卵の同調性によって加入量が変

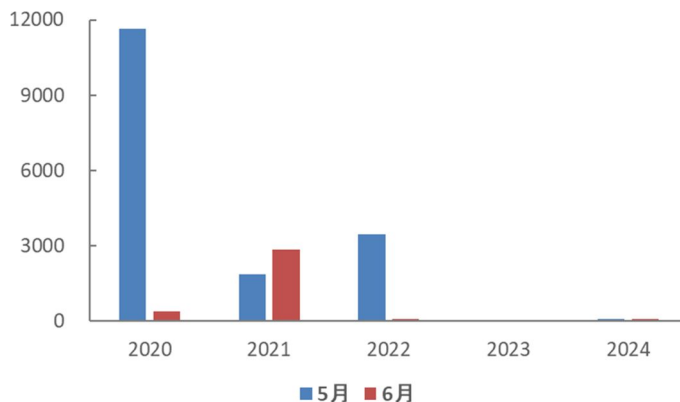


図2 石垣島周辺の2020-2024 幼生加入量

動することが示唆された。また、白化前後の受精率の変化を考慮した幼生加入モデルを開発した（向、投稿準備中）。

・遺伝子を用いた成熟・産卵予測技術の実用化

年間を通じてウスエダミドリイシのトランスクリプトーム解析を実施し、複数の遺伝子の発現量が産卵に向けて調節されることが明らかとなった。これらの遺伝子の発現パターンは 3 つに大別された（産卵の 2 週間前に発現ピークを迎える遺伝子群、1 週間前から徐々に発現量が増加する遺伝子群、産卵日にのみ発現する遺伝子群）（善岡他、投稿中）。これらの遺伝子群の発現パターンを調べることで、産卵日の予測が可能になると期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Suzuki Go, Tashiro Satokuni, Suhara Yuri, Shimada Go	4. 巻 43
2. 論文標題 New moon spawning of <i>Acropora divaricata</i> in the Sakishima Islands, Japan	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Coral Reefs	6. 最初と最後の頁 1145 ~ 1151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00338-024-02519-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshioka Yuki, Chiu Yi-Ling, Uchida Taiga, Yamashita Hiroshi, Suzuki Go, Shinzato Chuya	4. 巻 6
2. 論文標題 Genes possibly related to symbiosis in early life stages of <i>Acropora tenuis</i> inoculated with <i>Symbiodinium microadriaticum</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 1027-1027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42003-023-05350-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yoshioka Yuki, Yamashita Hiroshi, Suzuki Go, Shinzato Chuya	4. 巻 12
2. 論文標題 Larval transcriptomic responses of a stony coral, <i>Acropora tenuis</i> , during initial contact with the native symbiont, <i>Symbiodinium microadriaticum</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 2854
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-06822-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yoshioka Yuki, Suzuki Go, Zayasu Yuna, Yamashita Hiroshi, Shinzato Chuya	4. 巻 22
2. 論文標題 Comparative genomics highlight the importance of lineage-specific gene families in evolutionary divergence of the coral genus, <i>Montipora</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BMC Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12862-022-02023-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鈴木 豪, 田代 郷国, 善岡祐輝, 新里宙也, 酒井一彦
2. 発表標題 スマートフォンの携帯通信網を利用したミドリイシ属サンゴの産卵観測装置の開発
3. 学会等名 日本サンゴ礁学会第27回大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	新里 宙也  (Shinzato Chuya)  (70524726)	東京大学・大気海洋研究所・准教授   (12601)	
研究分担者	酒井 一彦  (Sakai Kazuhiko)  (50153838)	琉球大学・熱帯生物圏研究センター・協力研究員   (18001)	
研究分担者	竹垣 草世香 (向草世香)  (Takegaki Soyoka)  (30546106)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所(横浜)・主任研究員   (82708)	
研究分担者	善岡 祐輝  (Yoshioka Yuki)  (20982169)	沖縄科学技術大学院大学・マリンゲノミクスユニット・リサーチフェロー   (38005)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------