

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：16301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12253

研究課題名(和文) サンゴ産卵・白化のリアルをワイパー式メモリー水中カメラとドローンにより探る

研究課題名(英文) Studies on coral spawning and bleaching using an aerial drone and an underwater camera equipped with a lens wiper

研究代表者

竹内 一郎 (TAKEUCHI, Ichiro)

愛媛大学・農学研究科・教授

研究者番号：30212020

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：2015年と2016年の夏季に琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底研究施設の陸上水槽にココビミドリイシを移植し、ワイパー式メモリー水中カメラにより産卵を観測した。その結果、5月下旬～6月上旬の満月3～5日前の午後10時頃より産卵すること等が明らかになった。

また、2016年夏季に同研究施設地先の海域にて、水中カメラによるハマサンゴとハナバチミドリイシの連続観測とドローン(無人航空機)によるサンゴ礁の空撮を実施した。これらの観測の結果、9月上旬には、テーブル状のミドリイシ類の大型個体の大部分は白化したが、塊状のハマサンゴ類の大型個体の大部分は白化しなかったこと等が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：During 2015 and 2016, colonies of *Acropora digitifera* were transferred to an aquarium at Sesoko Station, Tropical Biosphere Research Center, the University of the Ryukyus. These colonies were continuously photographed using an underwater digital camera equipped with a lens wiper. Spawning of *A. digitifera* occurred around 22:00, 3 to 5 days before full moon during late May to early June.

During the summer of 2016, a continuous photographic survey of *Porites* sp. and *Acropora cytherea* was conducted at the coral reef situated off Sesoko Station. We used an underwater digital camera equipped with a lens wiper. We also conducted aerial surveys using a drone (UAV; unmanned aerial vehicle). These surveys showed that most large individuals of table *Acropora* had been bleached by early September, while most large individuals of massive *Porites* remained unbleached.

研究分野：生態系保全学

キーワード：サンゴ産卵 サンゴ白化 ワイパー式メモリー水中カメラ ドローン(無人航空機)

1. 研究開始当初の背景

熱帯から亜熱帯域のサンゴ礁生態系は、地球上で最も生物多様性が高い生態系である。ミドリイシ属に代表される造礁性サンゴ(以下、サンゴ)は本生態系の地形を形成し、本生態系の重要な構成要素となり、かつ、それらの中で展開される食物連鎖網を支える最も重要な生物群である。

しかし、近年、世界各地でサンゴ白化とそれに伴うサンゴ礁生態系の崩壊が報告されるようになった。そのため、サンゴの生活史及び環境応答の詳細の解明を目指し様々な研究が実施されてきた。

これまでのサンゴ礁における各種の調査は、母船から観測者を曳航し、観測者がサンゴの種や被度等を一定時間毎に直接観測する「マントトウ(Manta tow)」(Sweetman et al., 2008)等のように、研究者が潜水し、直接、観察調査することが基本であった。しかし、このような調査方法では、多大の時間、人力が必要であり、サンゴ礁の詳細な時空間的データを取得するにはボトルネックとなっている。

サンゴの一斉産卵現象が1980年代にオーストラリア・グレートバリアリーフで報告されて以来、沖縄を含む世界各地で同様の現象が報告されている。沖縄では、ミドリイシ属 *Acropora* では4-7月の大潮前後に産卵することが知られているが、その詳細は不明であり、サンゴの月齢感知機構は、“生物学における最大級の未解明課題”であると考えられている(服田, 2008)。

また、サンゴ白化は高水温、土壌の流入等により共生藻がサンゴから離脱することや共生藻の色素が消失することによると考えられてきた。しかし、近年、オーストラリアでは栄養塩類が多い陸水が流入する沿岸では、サンゴの白化水温が2程低下すること(Woolldridge, 2009)や、イルガロール1051等の除草剤が共生藻類の光合成を阻害すること(Jones and Kerswell, 2003等)が報告されている。そのため、サンゴの白化は水温上昇のみではなく、富栄養化や除草剤等の人工化学物質等が関与していることが考えられ、日本の沖縄県等における沿岸域でのサンゴの白化状況を詳細に把握する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、ミドリイシ属等の造礁性サンゴの産卵や白化の詳細な時空間的状況を、近年急速に発展している小型ドローン(無人航空機(UAV: Unmanned Air Vehicle))等の最新のテクノロジーによる観測機器等を用いて記録し、その実態の詳細を解明することを目的として実施する。

サンゴ産卵の時間的変動には、数ヶ月にわたる連続観測が可能なワイパー式メモリー水中カメラを使用し、サンゴの産卵の開始時間等を10分単位で記録する。

サンゴ白化に関しても、サンゴ礁にワイパー式メモリー水中カメラを設置し、長期間の

連続観測を行い、サンゴの体色の変遷を記録し、サンゴの白化過程を解明する。

また、小型ドローンを用いてサンゴ礁域の空撮を実施し、撮影した画像を基にパノラマ合成等を行い、サンゴ白化がおこったさい、どのようなサンゴが白化しやすいのか等の白化の詳細を解明する。

3. 研究の方法

本研究の調査は沖縄県本部町瀬底島で実施した。瀬底島は沖縄本島北西部の本部半島の約600m沖に位置する面積約3km²、周囲約7kmの台地状の島であり、周囲はサンゴ礁に取り囲まれている。

(1) ワイパー式メモリー水中カメラによるミドリイシ属サンゴの産卵観測

2015年5月下旬、及び、2016年5月下旬に、瀬底島南東岸の琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底研究施設地先近くのサンゴ礁域よりココビミドリイシ *Acropora digitifera* を採集した。採集したサンゴは、直ちに瀬底研究施設内の流水式の野外水槽(199×99×33cm)に移植し、継続的な飼育を行い、観測に供した。

ワイパー式メモリー水中カメラ SFIDA (JFEアドバンテック株式会社、兵庫県西宮市)を水槽内にサンゴから約45cmの位置に設置し、2015年は5月下旬から6月上旬に、2016年6月上旬から中旬に、10分間隔での連続撮影を行った。

なお、ワイパー式メモリー水中カメラ SFIDA は直径87mm、長さ371.5mmのチタン製の円筒型のカメラである。消費電力の少ない高精度のモーターがカメラ内に装着されている。撮影前にカメラレンズ面のワイパーをこのモーターにより動作させ、レンズ上の生物付着等を除去することができる。そのため、海水中での長期間の連続撮影が可能である。

得られた画像より、観測時間毎のサンゴと水面間のバンドル状の赤い粒子をカウントした。

(2) ワイパー式メモリー水中カメラによるサンゴの白化観測

調査は、瀬底研究施設地先のサンゴ礁内に位置する礁池内の水深約1mの海域において実施した。

2016年7月下旬に、ハマサンゴ *Porites* sp. 及びハナバチミドリイシ *Acropora cytherea* 近くの海底上に、ワイパー式メモリー水中カメラ SFIDA を取り付けコンクリートブロック(39×19×15cm)を、各1台ずつ、設置し、1時間毎の連続撮影を行った。

また、コンクリートブロックの一台に水中用データロガーU22-001 HOBO Water Temp Pro V2 (Onset Computer Corporation, Massachusetts, USA)を取り付け、海水温の測定を10分間隔で行った。

設置した水中カメラは、台風 13 号の沖縄接近にともない、2 台とも 9 月上旬に回収した。その後、台風 14 号等が相次いで沖縄等の日本南岸域に接近したため、水中カメラの同海域への再設置は断念した。

太陽光のサンゴへの照射状況等から、毎日、14 時 00 分に撮影した画像を基に、サンゴの体色の解析を行った。ハマサンゴ及びハナバチミドリイシの画像から、それぞれ、32 箇所の RGB (R、赤: G、緑: B、青) 値を Photoshop 等により測定した。

なお、R、G、B 値はそれぞれ 0~255 の値をとり、R=G=B=255 で白、R=G=B=0 で黒となる。

(3) ドローンによるサンゴの白化観測

本観測には、DJI Co., Ltd. (Guangdong, China) のドローン、Phantom 3 Professional 等を使用した。

Phantom 3 Professional は、プロペラを含む対角線サイズで 590 mm、重量 1280 g (バッテリーとプロペラを含む) の小型のドローンであるが、6 軸のジャイロスコープ、加速度計等からなる高精度慣性測定ユニット、電子速度コントローラー (ESC)、ESC と連動したブラシレスモーター等を装備しており、離陸時から着陸時まで安定した飛行を行うことができる。

また、Phantom 3 Professional は、3 軸のジンバルを装着しており、ジンバル操作可能範囲はピッチ (垂直方法) で $-90^{\circ} \sim +30^{\circ}$ である。そのため、ドローンの直下を撮影することができる。FOV 94° 20 mm (35 mm 製フォーマット同等) f/2.8 の高性能カメラレンズや 1.23 μ m CMOS 等を搭載しているため、4K の動画や 4000×3000 ピクセルの高密度の静止画を撮影することができる。

2016 年 6 月上旬、及び、8 月上旬~9 月上旬の大潮付近の干潮時に、瀬底研究施設地先のサンゴ礁域にて、Phantom 3 Professional を約 50m の高度を飛行させ、ドローン直下のサンゴ礁を撮影した。なお、撮影した画像に太陽の映り込みを避けるために、撮影は、薄曇りから曇天時に実施した。

調査期毎に、撮影した画像 (約 40~100 枚) からパノラマ合成ソフト等を使用し、調査対象海域のサンゴ礁の二次元合成画像を作成した。

4. 研究成果

(1) ワイパー式メモリー水中カメラによるミドリイシ属サンゴの産卵観測

2015 年では、ココビミドリイシ 1 コロニーの観測を実施した。5 月 31 日午後 22:00 頃 (日没後約 3 時間後) に赤い粒数の観測数が急上昇し、2 時間程で粒数のピークが終了した。5 月 31 日は、満月 3 日前に相当する。

2016 年は、ココビミドリイシ 2 コロニーを観測した。2 個体ともにほぼ同時に、6 月 15 日午後 22:00 頃に、観測された粒数は 2015 年

程多くないものの、粒数の急上昇が観測された。なお、6 月 15 日は、満月 5 日前に相当する。

(2) ワイパー式メモリー水中カメラによるサンゴの白化観測

2016 年 7 月下旬から 9 月上旬にかけての平均海水温は約 30 であり、日平均では 28 から 31 前後であった。7 月下旬から 8 月上旬が比較的高く、ほぼ、30 (日平均) 以上であり、8 月 2 日が最も高かった。その後、減少傾向を示し、24 日以降は 30 (日平均) を下回った。

本観測の結果、ハマサンゴ、ハナバチミドリイシともに 7 月下旬から 9 月上旬の約 50 日間の連続画像を撮影することができた。

観測期間中、ハマサンゴの RGB 値は、ほぼ一定であり、9 月上旬でも白化しなかった。

一方、ハナバチミドリイシの RGB 値は観測期間が経過するにつれ徐々に増加した。9 月上旬には、RGB 値は、いずれも、観測当初より 100 前後増加した。8 月下旬には、白化したと推定された。

(3) ドローンによるサンゴの白化観測

6 月上旬の観測では、瀬底研究施設地先の海域では白化したサンゴは確認することができなかった。

8 月上旬の観測時に、テーブル状のミドリイシ類の大型個体は中心部より白化が始まったことが確認された。その後、9 月上旬にかけて、ミドリイシ類の白化が進行し、大型個体の大部分は白化した。しかし、塊状のハマサンゴ類の大部分の個体は 9 月上旬でも白化しなかった。

2014 年より太平洋中部のマーシャル諸島やグレートバリアリーフ等の世界各地のサンゴ礁で大規模な白化がおこっており (Eakin et al., 2016)、沖縄県西部の石西礁湖等でも、2016 年夏季は大規模なサンゴ白化が発生している。石西礁湖でのサンゴの白化率は約 90% に達し、その後、約 70% の群体が死滅したことが報告されている (環境省, 2017)。

沖縄県北部の瀬底島沿岸域では、石西礁湖と同様の大規模なサンゴ白化は観測されなかったが、4-(2)、(3) のように、同海域では、テーブル状のミドリイシ類の大型個体等は白化したものの、塊状のハマサンゴ類は白化しなかったこと等が明らかになった。

よって、30 付近の海水温では、サンゴのグループ間で白化の進行が異なることが推察された。

<引用文献>

Eakin, C. M., Liu, G., Gomez, A.M., De la Cour, J.L., Heron, S.F., Skirving, W.J., Geiger, R.F., Tirak, K.V. and Strong, A. S. (2016) Global coral bleaching

- 2014–2017: status and an appeal for observations. *Reef Encounter* 31: 20-26.
- 服田昌之 (2008) ミドリイシサンゴ産卵の謎はいまだに闇の中. *みどりいし* 19: 3-5.
- Jones, R.J. and Kerswell, A.P. (2003) Phytotoxicity of Photosystem II (PSII) herbicides to coral. *Marine Ecology Progress Series* 261: 149-159.
- 環境省 (2017) 報道発表資料 西表石垣国立公園 石西礁湖のサンゴ白化現象の調査結果について (<http://www.env.go.jp/press/103439.html>)
- Sweatman, H.H., Cheal, A., Coleman, G., Emslie, M., Johns, K., Jonker, M., Miller, I. and Osborne, K. (2008) Long-term monitoring of the Great Barrier Reef. Status report. Number 8. Australian Institute of Marine Science, x + 369 pp.
- Wooldridge, S.A. (2009) Water quality and coral bleaching thresholds: formalising the linkage for the inshore reefs of the Great Barrier Reef, Australia. *Marine Pollution Bulletin* 58: 745-751.

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)

[学会発表](計4件)

山城秀之・竹内一郎 (2017) 瀬底研究施設前のサンゴ白化および白化回復後の死亡事例について. 沖縄生物学会第54回大会、琉球大学理学部(沖縄県中頭郡西原町)、2017年5月20日.

竹内一郎・山城秀之 (2016) 2016年夏季における瀬底研究施設地先海域のサンゴ白化状況(速報). 日本サンゴ礁学会第19回大会、沖縄タイムスビル(沖縄県那覇市)、2016年12月3日.

善岡祐輝・井口亮 (2016) 大規模白化が予想された2016年夏をサンゴは乗り切れたのか-コユビミドリイシでの事例-. 日本サンゴ礁学会第19回大会、沖縄タイムスビル(沖縄県那覇市)、2016年12月3日.

具志美香子・井口亮・山城秀之・竹内一郎 (2015) ワイパー式メモリー水中カメラを使用したサンゴ産卵・病気進行の観察. 日本サンゴ礁学会第18回大会、慶應義塾大学三田キャンパス(東京都港区)、2015年11月28日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹内 一郎 (TAKEUCHI, Ichiro)
愛媛大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号：30212020

(2) 研究分担者

井口 亮 (IGUCHI, Akira)
沖縄高等工業専門学校・生物資源工学科・助教
研究者番号：50547502