

令和 6 年 9 月 30 日現在

機関番号：58001

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H03329

研究課題名（和文）白化に強いユビエダハマサンゴ群落は頑健か？脆弱か？-生物学と地質学からの検証-

研究課題名（英文）Are communities of bleaching-resistant *Porites cylindrica* robust or vulnerable?
- An examination from biological and geological perspectives

研究代表者

磯村 尚子 (Isomura, Naoko)

沖縄工業高等専門学校・生物資源工学科・教授

研究者番号：90376989

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では白化に強いユビエダハマサンゴを対象に「ユビエダハマサンゴの大規模群落は、環境の激変をどの様にして乗り越えてきたのか？それを可能にした要因は何か？」を「問い」とし、各群落の生殖様式と遺伝的構造、地質学的な形成年代を調査し、白化耐性と集団維持機構との関連を明らかにすることを目的とした。その結果、ユビエダハマサンゴ群落は近年の大規模白化後ではなく、1800年代に加入後に形成されたことがわかった。また、サンゴ類にとって良好ではない環境でも群落を形成できると考えられた。さらに、地域や群落の規模により雌雄比が異なり、各規模段階において成長と繁殖のトレードオフを最適化している可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動が著しい環境下において、白化に強いユビエダハマサンゴ大群落は、サンゴ礁生態系で重要な役割を担うと予想される。本研究では、大群落の形成過程及び維持機構について複数の手法で推定することを目的とした。

対象5集団は1800年頃に加入し、環境に応じて成長したと予想された。集団間のコネクティビティは弱く、主に自集団の加入・維持が考えられた。さらに、集団が小さい際には性比が雄に偏り各群体の成長が優先されると考えられた。地質的解析により過去の履歴をたどることで、より正確に今後の気候変動へ対応できると考える。さらに、増殖や種苗で配偶子を採集する際には、集団の性比や配偶子の自他性を考慮する必要がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focused on the resilient *Porites cylindrica* to address the questions: "How have large population of *P. cylindrica* survived drastic environmental changes? What factors enabled this survival?" We aimed to clarify the relationship between bleaching resistance and population maintenance mechanisms by investigating reproductive modes, genetic structures, and geological formation ages of various populations.

The findings revealed that the *P. cylindrica* populations formed after joining in the 1,800s, not post-recent mass bleaching events. These colonies can form even in suboptimal environments. Additionally, the sex ratios varied by region and population size, possibly optimizing the trade-off between growth and reproduction at different scales.

研究分野：繁殖生態学

キーワード：大規模集団の維持機構 ユビエダハマサンゴ 地質学と生物学からの検証

1. 研究開始当初の背景

熱帯・亜熱帯に生息する造礁サンゴ類(以下、“サンゴ”)の生息数は、気候変動に伴う海水温上昇などに起因する白化現象の頻発により全世界的に激減している。白化は、サンゴの細胞内に共生している褐虫藻が減少または代謝活性が低下した結果、サンゴ 褐虫藻の共生関係が崩壊し、宿主であるサンゴが弱り死にまで至る現象である。白化が生じるメカニズムについては不明な点が多いが、これまでの研究によって、白化への応答や耐性は種間や種内の群体間でも違いがあることが明らかになりつつある。また近年になって、白化が引き起こされるような海水温上昇が生じた際、白化せずに生き残る群体があることが報告されている(Camp et al. 2018)。この白化に強い群体は「スーパーコーラル」と呼ばれ、現在も分子的・生理学的特性の解明が行われている(例えば、Grottori et al. 2017)。1998年の世界的な大規模白化の際には、サンゴの形状とそれに付随するその生態特性が白化耐性に関係していると考えられたが(Loya et al. 2001)、その後の調査で白化には形状だけではなく、(1)温度耐性があり、地域的に継続した集団を有すること、(2)生き残った群体の成長が速いこと、(3)加入した群体が地域的に継続できること、の3条件を満たすサンゴが白化に対する勝者(winner)になれることが示された(van Woessik et al. 2011)。

ユビエダハマサンゴ(*Porites cylindrica*)は、枝状の形状を持つハマサンゴ科ハマサンゴ属に属する造礁サンゴである。本種は、短期間の温度ストレスに強く(Fitt et al. 2005)、1998年大規模白化直後の石垣島周辺海域調査においてもほとんど白化せず(Fujioka 1999)、人工的に移植した群体の成長が塊状ハマサンゴよりも速いこと(Custodio III and Yap 1997)が報告されている。前項のvan Woessikの3条件に照らし合わせると、ユビエダハマサンゴは(1)温度耐性があり、地域的に継続した集団を有する、(2)生き残った群体の成長が速い、の2つを満たしている。実際に生育環境の大きく異なる複数の地点でユビエダハマサンゴの単一に近い巨大群落(100m四方以上)が観察されており、ユビエダハマサンゴは長期的に見て白化に対する勝者である可能性が高い。サンゴ礁生態系の維持に人類の介入がもはや不可避と見られている近年、「白化に強い」ユビエダハマサンゴへの期待が世界的にも高まっている。

しかしながら、現存するユビエダハマサンゴの巨大群落がいつからその場所に現れ、どれくらいの時間をかけて現在の姿になったのかは分かっていない。さらにvanWoessikの3条件のうち、(3)加入した幼生由来の群体が存続するについては、ユビエダハマサンゴが雌雄異体で繁殖に関する研究の蓄積がほとんどないことから検証が進んでいない。群落形成が世界的な大規模白化に先立つのか(強い耐性?)、白化以降なのか(他を圧する成長?)、さらには変動の大きな環境下での特異的な増殖・繁殖様式が存在するのか(加入と更新?)など、ユビエダハマサンゴを白化に対する勝者と位置づけるには証拠が十分でない。

2. 研究の目的

本研究では、研究課題の核心をなす学術的な「問い」として、「ユビエダハマサンゴの大規模群落は、環境の激変をどの様にして乗り越えてきたのか? それを可能にした要因は何か?」を設定する。

3. 研究の方法

本研究ではユビエダハマサンゴ群落の維持機構と維持期間を生物学と地質学的手法から明らかにすることを目的としている。具体的には、1.異なる環境条件下で発達したユビエダハマサンゴの大規模群落の構造を明らかにし、2.地質学的手法により1.の大規模群落がどのような過程を経て今あるのかを明らかにする。さらに3.ユビエダハマサンゴの野外における性比と繁殖様式を解明し、4.大規模群落の遺伝的構造を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 令和2年度

沖縄県本部町瀬底島アンチ浜のユビエダハマサンゴ群落を対象とした。群落のサイズは300×25メートルであり、ほぼユビエダハマサンゴでのみ形成されていた。産卵時期である5月はコロナ禍で実験施設の利用制限があったため、予備的に13群体から枝の一部を採取し、水槽にて配偶子放出を確認した。その結果、雌が12群体、雄が1群体であり、性比の偏りが推測された。また、交配実験より、放出された配偶子の受精能が確認できた。

夏季には、対象群落にて(1)ボーリングによるコア採取、(2)群落全体を網羅するように40群体からの枝片採取、を行った。(1)からは、群落の下部には細砂・泥質堆積物で埋積されていたことから、この場所に最初に加したのはユビエダハマサンゴであり、その後継続して群落を形成・維持してきたことが示唆された。なお、詳しい形成年代については、加速器質量分析

装置を用いた 14C の定量分析により現在解析中である。(2) の枝片について遺伝子解析を行ったところ、群落を形成するユビエダハマサンゴには遺伝的に異なる 2 系統があることがわかった。また、解析した群体ではクローンはみられなかった。

以上から、ユビエダハマサンゴは最初に加した場所に継続して生息していること(問 の一部に対応)、破片化ではなく有性生殖にて群落を広げてきたこと(問 の一部に対応)が示された。

(2) 令和3年度

沖縄本島大浦湾、金武湾および伊平屋島のユビエダハマサンゴ群落を対象とした。すべての対象群落から全体を網羅するように枝片採取、また大浦湾と金武湾かではボーリング調査をした。いずれの群落も最初に加したのはユビエダハマサンゴであり、その後継続して群落を形成・維持してきたことが示唆された。一方で下部は大浦では砂泥、金武では粗粒砂が埋積されており、場所による違いがみられた。なお、詳しい形成年代については現在解析中である。また遺伝子解析から、今回対象とした群落では前年確認された 2 系統のうち 1 系統のみが存在すること、群落内でクローン群体が存在すること、基本的に自集団からの幼生加入にて集団維持していることが示された。

夏期に瀬底島マジャノハマ群落の群体を用いて産卵観察および交配実験を行った。その結果、満月 2~5 日後の間に必ず放卵・放精すること、卵を洗浄して媒精すると受精しないこと、群体の組み合わせにより受精率に差があることが確認できた。以上から、ユビエダハマサンゴは最初に加した場所に継続して生息していること(問 の一部に対応)、場所によっては有性生殖に加えて破片化で群落を広げてきたこと(問 の一部に対応)が示された。

(3) 令和4年度

対象地域を複数に拡大し調査・検証を行うことができた。当初予想していなかった性比の偏りや遺伝的に異なる 2 系統の分布についてさらに複数の群落で検証したところ、地域や群落によって状況が異なることがわかった。特に分布は、隠蔽系統は八重山諸島に多く生息し北限は沖縄本島中部にある一方で、いわゆるユビエダハマサンゴとして認識されている種は八重山諸島から沖縄本島全体に生息し、北部では占有していることがわかった。隠蔽系統も含め、ユビエダハマサンゴ群落全体が均一な状況を示すのではなく、各所・各群落で異なるということが、設定した学術的問いに対して重要な知見となると予想される。また、ユビエダハマサンゴは雄・雌・両性の群体が存在すること、他属サンゴに比べ非常に受精率およびプラナラ幼生への発生率が低いこと、さらに 2 系統間では不完全な繁殖隔離がみられるなど、新規性の高い繁殖生態学的見地がいくつも得られた。

さらに、他機関と協力して異なる 2 系統間での繁殖や生理活性の違いについての検証および種記載に着手している。また、2 系統について共生藻の遺伝的解析に着手し、ユビエダハマサンゴとその近縁系統についての違いをホスト・共生者両面から明らかにしようとしており、その予備実験に成功している。このように、初めに設定していたよりも多くの事象が明らかになってきている。

(4) 令和5年度

大浦湾、金武湾、瀬底島および安室島の群落を対象に調査を行った。大浦湾を除く 3 地点では多方向からの海流が常にみられ、いわゆる「潮通しがよい」環境であることがわかった。特に、この中で一番規模の大きい群落がある安室島では流速が大きかった。一方、大浦湾は潮通しは中程度であり、さらに河口域であることから大雨後には急激な水温と塩分濃度低下がみられた。また、金武湾を除く 3 地点では、14C による年代測定から 1840-1850 年ごろに各地に群落が出現し、現在まで継続していることがわかった。大浦湾および金武湾において、組織学的観察から雌雄比を算出したところ、性比が雌に偏っていた。

これまでの結果から、対象とした群落のユビエダハマサンゴは近年の大規模白化後ではなく、江戸時代(天保)に加し継続して生息していることがわかった(問 に対応)。また、潮通しがよい場所には大規模な群落が形成されるが、サンゴ類にとって良好ではない環境でもユビエダハマサンゴは生息し群落を形成できると考えられた(問 に対応)。さらに、海洋生物では集団が大きくなると雌に比率が偏ることが知られている。ユビエダハマサンゴは地域や群落の規模により雌雄比が異なることで、各規模段階において成長と繁殖のトレードオフを最適化している可能性がある(問 に対応)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Chukaew Thanapat, Isomura Naoko, Mezaki Takuma, Matsumoto Hisashi, Kitano Yuko F., Nozawa Yoko, Tachikawa Hiroyuki, Fukami Hironobu	4. 巻 40
2. 論文標題 Molecular Phylogeny and Taxonomy of the Coral Genus <i>Cyphastrea</i> (Cnidaria, Scleractinia, Merulinidae) in Japan, With the First Records of Two Species	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Zoological Science	6. 最初と最後の頁 326-340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2108/zs230009	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 該当する

1. 著者名 Chukaew Thanapat, Isomura Naoko, Mezaki Takuma, Matsumoto Hisashi, Kitano Yuko F., Nozawa Yoko, Tachikawa Hiroyuki, Fukami Hironobu	4. 巻 40
2. 論文標題 Molecular Phylogeny and Taxonomy of the Coral Genus <i>Cyphastrea</i> (Cnidaria, Scleractinia, Merulinidae) in Japan, With the First Records of Two Species	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Zoological Science	6. 最初と最後の頁 326-340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2108/zs230009	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 該当する

1. 著者名 Takekata Hiroki, Hamazato Hirono, Suan Tan Ee, Izumi Ryotaro, Yaguchi Hajime, Matsunami Masatoshi, Isomura Naoko, Takemura Akihiro	4. 巻 39
2. 論文標題 Transcriptome Analysis in a Scleractinian Coral, <i>Acropora tenuis</i> , during the Spawning Season With Reference to the Gonadal Condition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Zoological Science	6. 最初と最後の頁 570-580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2108/zs220016	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 該当する

1. 著者名 Izumi Ryotaro, Tan Ee Suan, Higa Hinako, Shi Zongyan, Takeuchi Yuki, Isomura Naoko, Takemura Akihiro	4. 巻 42
2. 論文標題 Effects of light intensity and spectral composition on the growth and physiological adaptation of Acroporid corals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Coral Reefs	6. 最初と最後の頁 385 ~ 398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00338-023-02348-w	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 該当する

1. 著者名 Tan Ee Suan, Hamazato Hirono, Ishii Takahiro, Taira Kenshiro, Takeuchi Yuki, Takekata Hiroki, Isomura Naoko, Takemura Akihiro	4. 巻 255
2. 論文標題 Does estrogen regulate vitellogenin synthesis in corals?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology	6. 最初と最後の頁 110910 ~ 110910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbpa.2021.110910	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 該当する

1. 著者名 Baird Andrew H., Edwards Alasdair J., Guest James R et al.	4. 巻 24
2. 論文標題 A coral spawning calendar for Sesoko Station, Okinawa, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Galaxea, Journal of Coral Reef Studies	6. 最初と最後の頁 41 ~ 49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3755/galaxea.G2021_S100	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 Mitsuki Yuta, Isomura Naoko, Nozawa Yoko, Tachikawa Hiroyuki, Huang Danwei, Fukami Hironobu	4. 巻 35
2. 論文標題 Distinct species hidden in the widely distributed coral <i>Coelastrea aspera</i> (Cnidaria, Anthozoa, Scleractinia)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Invertebrate Systematics	6. 最初と最後の頁 876-891
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1071/IS21025	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 該当する

1. 著者名 INOHA Keisuke, TAN Ee Suan, IZUMI Ryotaro, TAKEKATA Hiroki, TAKEMURA Akihiro, ISOMURA Naoko	4. 巻 76
2. 論文標題 Effects of light-emitting diode wavelengths on reproduction in <i>Acropora intermedia</i> and <i>A. muricata</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Benthology	6. 最初と最後の頁 59 ~ 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5179/benthos.76.59	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11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 磯村 尚子, 佐野 亘, 銘苅 海星, 中野 義勝, 横山 祐典, 宮入 陽介, 菅 浩伸
2. 発表標題 ユビエダハマサンゴ (<i>Porites cylindrica</i>) 地域個体群の創出および維持機構の推定
3. 学会等名 日本生態学会第71回大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐野 亘, 磯村 尚子, 中野 義勝, 横山 祐典, 宮入 陽介, 菅 浩伸
2. 発表標題 沖縄島大浦湾におけるユビエダハマサンゴ大規模群落の形成年代
3. 学会等名 日本サンゴ礁学会第26回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Naoko ISOMURA, Kaisei MEKARU, Hikaru NAKANO, Keisuke INOHA, Yoshikatsu NAKANO, Haruko KURIHARA, Nina YASUDA
2. 発表標題 Verification of cryptic species in <i>Porites cylindrica</i>
3. 学会等名 5th Asia-Pacific Coral Reef Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐野 亘, 磯村 尚子, 中野 義勝, 横山 祐典, 宮入 陽介, 菅 浩伸
2. 発表標題 沖縄島大浦湾におけるユビエダハマサンゴ大規模群落の形成年代
3. 学会等名 日本サンゴ礁学会第26回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 磯村 尚子, 佐野 亘, 銘苺 海星, 中野 義勝, 横山 祐典, 宮入 陽介, 菅 浩伸
2. 発表標題 ユビエダハマサンゴ (<i>Porites cylindrica</i>) 地域個体群の創出および維持機構の推定
3. 学会等名 日本生態学会第71回大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 伊野波佳介・栗原晴子・銘苺海星・磯村尚子
2. 発表標題 ユビエダハマサンゴ <i>Porites cylindrica</i> の繁殖生態
3. 学会等名 日本サンゴ礁学会第25回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 銘苺海星・中野晃・伊野波佳介・中野義勝・栗原晴子・安田仁奈・磯村尚子
2. 発表標題 ユビエダハマサンゴにおける隠蔽種の検証
3. 学会等名 日本サンゴ礁学会第25回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中野義勝・磯村尚子
2. 発表標題 中琉球（沖縄本島周辺、奄美群島）における特異なサンゴ群落の保全に向けて
3. 学会等名 日本サンゴ礁学会第25回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 銘苅海星・磯村尚子
2. 発表標題 ユビエダハマサンゴの配偶子形成と産卵
3. 学会等名 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊野波佳介・栗原晴子・磯村尚子
2. 発表標題 高水温によるユビエダハマサンゴPorites cyrindricaの繁殖への影響評価
3. 学会等名 日本サンゴ礁学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐野 亘・中野義勝・横山祐典・藤田和彦・宮入陽介・磯村尚子・菅 浩伸
2. 発表標題 沖縄本島備瀬の海草藻場における長期環境変動
3. 学会等名 日本サンゴ礁学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 深見裕伸・佐々木圭一・磯村尚子・北野裕子・藤井琢磨	4. 発行年 2022年
2. 出版社 喜界島サンゴ礁科学研究所	5. 総ページ数 208
3. 書名 喜界島 海と陸のサンゴ図鑑	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 サンゴの産卵誘導方法及び装置	発明者 山城信三・竹村明 洋・磯村尚子	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、7448913	取得年 2024年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

沖縄工業高等専門学校生物資源工学科 磯村研究室の紹介 https://sites.google.com/site/onctenvbiores/home/isomuralab

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	安田 仁奈 (Yasuda Nina) (00617251)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授 (12601)	
研究 分担者	菅 浩伸 (Kan Hironobu) (20294390)	九州大学・比較社会文化研究院・教授 (17102)	
研究 分担者	中野 義勝 (Nakano Yoshikatsu) (40457669)	沖縄科学技術大学院大学・沖縄マリンサイエンスサポートセ クション・リサーチサポートリーダー (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
---------	---------