

令和 2 年 9 月 11 日現在

機関番号：58001

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07545

研究課題名(和文)多種同調産卵はミドリイシ属サンゴの雑種種分化を引き起こすのか？

研究課題名(英文) Does multi-specific synchronous spawning cause hybridization and speciation in Acropora?

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・准教授

研究者番号：90376989

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：多種同調産卵頻度の高低がミドリイシ属サンゴの集団内の遺伝子浸透および雑種種分化に影響を及ぼすかを検証した。毎年多種同調産卵がみられる阿嘉島と同調性にばらつきがみられる瀬底島において、ミドリイシ属サンゴとそれらが形成する集団を対象にした。野外調査および遺伝子解析の結果、1)瀬底島集団は阿嘉島集団のように毎年多種同調産卵はみられず、また種内でも産卵日にずれがみられることがあった、2)阿嘉島集団では、産卵時間がほぼ一致する2種のミドリイシで顕著な遺伝子浸透がみられた。現在、瀬底島集団の遺伝子解析を継続しているが、阿嘉島集団の結果からは多種同調産卵が種間の遺伝子浸透に関係していると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ミドリイシ属は、多種多様な形態を示す約150種から構成される有藻性イシサンゴ類の中で最大のグループである。この多様性がどのように生じてきたかは長い間謎であり、雑種種分化によると考えられてきた。今回の課題を含めた研究者らの研究から、そもそも物理的に雑種体を生じるために必要な多種同調産卵は限られた地域でのみみられること、さらに多種同調産卵がみられる地域のミドリイシでは遺伝子浸透は生じているものの、雑種体が種として確立・継続していくにはいくつもの条件をクリアする必要があることがわかった。以上からミドリイシの多様化には、物理的に種間交配できる多種同調産卵が重要な役割を担っていると考えられた。

研究成果の概要(英文)：Our study aims are to elucidate the effect of frequency about multi-specific synchronous spawning in Acropora on introgression and hybridization-speciation. We set two study sites, one was Akajima Island where multi-specific synchronous spawning was found every year, another was Sesoko Island where multi-specific synchronous spawning did not always occur. From field survey and genetic analyses about Acropora populations in the two sites, we found results as follows: 1) In Sesoko Island, multi-specific synchronous spawning was found irregularly, 2) In Akajima Island, remarkable introgression was confirmed between *Acropora florida* and *A. gemmifera* they have almost same spawning time.

Now we continue to perform genetic analyses about Acropora population in Sesoko Island, by the results of the population in Akajima Island, we concluded that multi-specific synchronous spawning may affect introgression among Acropora.

研究分野：繁殖生態学

キーワード：雑種種分化 ミドリイシ 遺伝子浸透 多種同調産卵

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

サンゴ礁生態系の基盤構成種である造礁サンゴ(以下、サンゴ)の中で、ミドリイシ科ミドリイシ属(*Acropora*; 以下、ミドリイシ)は、熱帯・亜熱帯および温帯の海域において重要な構成要素であり、最も種数の多い(約 150 種)グループである(Wallace 1999)。その種数の多さから、植物のように一度分化した種の間で交雑が生じて雑種が形成され、その雑種体が種として確立される「雑種分化」が生じていると考えられてきた(Veron 1995)。ミドリイシにおける雑種分化の根拠として、指状や樹枝状、テーブル状と多様な形態を持つが、それらの中間形態が多くみられること、多くの種が同調して同じ日時に精子と卵を放出するため(以下、多種同調産卵)物理的に交雑が起きやすいと考えられること、が挙げられる。

については、カリブ海に生息するミドリイシ 3 種のうち、1 種が雑種であることが明らかになっている(Volmer and Palumbi 2002)。雑種であることを確定したのは遺伝的な情報であったが、この種が雑種ではないかと予想できたのは、他の 2 種の中間形態を持っていたためである。については、ミドリイシの多種同調産卵がオーストラリアのグレートバリアリーフで報告されて以来(Babcock et al. 1985)、各地で種間交配実験が行なわれ、遺伝的に近い種間では受精できることが示された(例えば、Willis et al. 1995; Hatta et al. 1999)。

しかし、これらの報告は「交雑できる能力はあり、雑種体はできる」ことを明らかにしているが、「雑種分化」が生じたことを示していない。雑種分化が生じるには、さらに雑種体が妊性を持って次世代を残すこと、雑種体同士の交配が、他種あるいは親種との交配よりも高い頻度で成立すること、多種同調産卵状況下において、同種交配と同等もしくはそれ以上に異種交配がおこること、の 3 点が必要である。

以上をふまえ、申請者らは多種同調産卵を行なう 2 種、トゲスギミドリイシ *Acropora intermedia* (以下、トゲスギ)とサボテンミドリイシ *A. florida* (以下、サボテン)を対象に雑種分化の研究を行ってきた。については、2007 年に対象 2 種の種間交配を行い、得られた幼生(確定雑種)を 7 年間育成したところ、世界で初めてミドリイシ雑種の産卵を確認できた(Isomura et al. 2016)。また、についても、確定雑種の配偶子は受精能を持ち、雑種体同士では親種との戻し交配よりも高い受精率で交配することから、雑種体は生殖に参加し、一部は新しい種として存続しうると考えられた(Isomura et al. 2016)。

一方、については、種間交配は可能であったとしても、同種と異種の精子が同時に存在するときは、優先的に同種精子と受精することが示されていた(Willis et al. 2006)。このことから、交雑や雑種分化は自然界で稀にしか起こらず、辺境地域などで成立すると考えられていた。しかし申請者らの精子選択実験から、至適精子濃度では同種精子が優先的に受精するが、生息数が減少した現況を反映した低精子濃度では異種精子と受精することがわかった(Kitanobo et al. 2016)。この結果から、大規模白化によりミドリイシ数が激減した現在では、辺境地域だけではなく、多種同調産卵がおこる地域であれば雑種体が存在していると予想される。

雑種体形成の必須条件である多種同調産卵の影響を比較するために、申請者らは毎年確実に多種同調産卵がみられる阿嘉島(Hayashibara et al. 1993)と、多種同調産卵がほとんどみられていない瀬底島を調査地としてきた。申請者らは阿嘉島において、2 種の交雑由来と考えられる野生群体(推定雑種)の存在を明らかにしている(Isomura et al. 2013)。しかしここ 2 年の間は、阿嘉島で多種同調産卵の同調性にばらつきがみられ始め、反対に瀬底島では一部の種間で産卵に同調性がみられるようになった。さらに、阿嘉島では、形態はトゲスギであるにも関わらず、トゲスギの他群体とは交配せず、推定雑種と高い受精率で交配する群体がみられた(磯村 2015)。

これまでに申請者らが報告した推定雑種は、確定雑種との形態形質比較により、形態的にもトゲスギとサボテンの交雑由来であることが強く示唆されている(Fukami et al. 2019)。しかし、申請者らが明らかにした、の雑種体が雑種体同士だけではなく、親種とも戻し交配すること、

の生息数が減少した現況を反映した低精子濃度では異種精子と受精することから、野外において、雑種体が中間形態だけではなく親種に似た形態を示し、親種として観察されているか、或いはミドリイシの生息数が激減した現況では、不連続であっても多種同調産卵が起これば多くの地域で雑種体形成が起こっている、の 2 つの可能性があると考えることができる。

2. 研究の目的

サンゴ礁形成に重要であるミドリイシ属サンゴでは、異種間交雑による雑種分化が生じていることが指摘されてきた。これまでに申請者は、中間的な形態を持つ推定雑種の存在や人為的に作出した確定雑種の妊性を明らかにし、雑種分化機構の一端を解明してきた。しかし、雑種分化の解明には、野外で雑種形成や維持がどのような条件で生じているかを明らかにする必要がある。そこで本研究では、群体形態の極めて異なるトゲスギミドリイシとサボテンミドリイシ、形態から推定雑種の親種と予想されるオヤユビミドリイシ *Acropora gemmifera* を加えた 3 種を対象に、サンゴ群体レベルでの詳細な遺伝学的解析、さらに地域特異的な繁殖生態学の視点を含めた総合的な解析を実行することで、ミドリイシの雑種形成の実態を探り、そのプロセスを解明することを目的としている。

3. 研究の方法

以下の 3 項目について研究を行うことで野外における雑種分化の機構を明らかにする。対象は、群体形態の極めて異なるトゲスギミドリイシとサボテンミドリイシの 2 種に加え、これま

で継続してきた研究成果の中で得られた推定雑種である。また、新たに見つかった推定雑種の形態から、推定親種と考えられるオヤコビミドリイシ *Acropora gemmifera* (以下、オヤコビ) も対象とした。1) 生態学的アプローチ: 多種同調産卵する場所(阿嘉島)と低頻度な場所(瀬底島)における雑種形成の違いについての調査。

1-1 対象種および推定雑種の分布調査

1-2 同調産卵状況の調査

2) 分子系統学的アプローチ: 十分なレベルでの遺伝的な系統推定による雑種性の検討。

2-1 exon 領域による解析

2-2 MIG-seq による解析

3) 繁殖学的アプローチ: 1) 2) で確認された野外雑種体の妊性と親種との交配の検討。

4. 研究成果

1) 生態学的アプローチ:

1-1 対象種および推定雑種の分布調査: 100m×100m の対象領域において、阿嘉島では推定雑種と思われる群体がみられたが瀬底島ではみられなかった。

1-2 同調産卵状況の調査: 3年間の調査期間中、阿嘉島では多種同調産卵が連続してみられたが、瀬底島では同調したのは1年だけであった。

2) 分子系統学的アプローチ:

2-1 exon 領域による解析: 阿嘉島群体では、対象領域にてハプロタイプネットワーク図を作成したところ、トゲスギとオヤコビが多く、サボテンとトゲスギが少数のハプロタイプを共有していることが示された。

2-2 MIG-seq による解析: 阿嘉島では、トゲスギとオヤコビは遺伝的に浸透していることが示された。また、推定雑種の一部はトゲスギとオヤコビが親種であることが予想された。

なお、瀬底島群体における 2-1 および 2-2 の解析は現在進行中である。

3) 繁殖学的アプローチ:

瀬底島では推定雑種が確認されなかったため、このアプローチはおこなわなかった。

現在、瀬底島集団の遺伝子解析を継続しているが、阿嘉島集団の結果からは多種同調産卵が種間の遺伝子浸透に関係していると考えられた。今回の課題を含めた代表者らの研究から、そもそも物理的に雑種体を生じるために必要な多種同調産卵は限られた地域でのみみられること、さらに多種同調産卵がみられる地域のミドリイシでは遺伝子浸透は生じているものの、雑種体が種として確立・継続していくにはいくつもの条件をクリアする必要があることがわかった。以上からミドリイシの多様化には、物理的に種間交配できる多種同調産卵が重要な役割を担っていると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Taira J, Higa I, Tsuchida E, Isomura N, Iguchi A | 4. 巻 501 |
| 2. 論文標題 Neurotransmitters in hermatypic coral, <i>Acropora</i> spp., and its contribution to synchronous spawning during reproductive event | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Biochemical and Biophysical Research Communications | 6. 最初と最後の頁 80 ~ 84 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.bbrc.2018.04.170 | 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 Fukami H, Iwao K, Kumagai NH, Morita M, Isomura N | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 Maternal inheritance of F1 hybrid morphology and colony shape in the coral genus <i>Acropora</i> | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 PeerJ | 6. 最初と最後の頁 e6429 ~ e6429 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7717/peerj.6429 | 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 政木清孝・上里優貴・磯村尚子・山本広美・久森紀之 | 4. 巻 62 |
| 2. 論文標題 枝サンゴ骨格の折損挙動調査 四点曲げ強度特性の評価 | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 材料試験技術 | 6. 最初と最後の頁 131-136 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 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 Tan Ee Suan, Izumi Ryotaro, Takeuchi Yuki, Isomura Naoko, Takemura Akihiro | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Molecular approaches underlying the oogenic cycle of the scleractinian coral, <i>Acropora tenuis</i> | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-66020-x | 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 Morita M, Kitanobo S, Nozu R, Iwao K, Fukami H, Isomura N | 4. 巻 38 |
| 2. 論文標題 Reproductive strategies in the intercrossing corals <i>Acropora donei</i> and <i>A. tenuis</i> to prevent hybridization | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Coral Reefs | 6. 最初と最後の頁 1211-1223 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 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 - |

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 磯村尚子・仲田鈴・上江洲慶多・具志美香子 |
| 2. 発表標題 トゲスギミドリイシの繁殖における白化の影響 |
| 3. 学会等名 日本生態学会第66回大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 目崎 拓真・磯村 尚子・戸篠 祥・林 徹・具志 美香子・深見 裕伸 |
| 2. 発表標題 沖縄県瀬底島の南端地先海域における有藻性イシサンゴ類の産卵パターンと生殖様式 |
| 3. 学会等名 日本サンゴ礁学会第21回大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 磯村尚子・岩尾研二・守田昌哉・深見裕伸 |
| 2. 発表標題 ミドリイシ属サンゴの雑種体はすべて生き残ることができるのか？ |
| 3. 学会等名 日本サンゴ礁学会第20回大会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 磯村尚子・Jean-Francois Flot・Catalina Ramirez-Portilla・守田昌哉・深見裕伸 |
| 2. 発表標題 雑種体を形成するミドリイシ属サンゴ集団の遺伝的關係 |
| 3. 学会等名 日本生態学会第65回大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Isomura N and Yogi T |
| 2. 発表標題 The genes expression of hormone and neuronal transmitter receptor in relation to gametogenesis and spawning in Acropora intermedia |
| 3. 学会等名 4th Asia Marine Biology Symposium (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Isomura N |
| 2. 発表標題 Can all hybrid among Acropora survive? |
| 3. 学会等名 3rd Asia Marine Biology Symposium (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 磯村尚子・原口弦大・菊地泰生・志村晶史・巖岩美月・安田仁奈・深見裕伸 |
| 2. 発表標題 多種同調産卵する地域におけるミドリイシ属サンゴ集団の遺伝的關係 |
| 3. 学会等名 2019年度日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 多種同調産卵によるミドリイシ属サンゴ集団の遺伝的関係への影響 |
| 2. 発表標題 磯村尚子・原口弦大・菊地泰生・志村晶史・巖岩美月・安田仁奈・深見裕伸 |
| 3. 学会等名 日本生態学会第67回大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計2件

| | |
|--------------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 Isomura N and Fukami H | 4. 発行年 2018年 |
| 2. 出版社 Springer | 5. 総ページ数 179 |
| 3. 書名 Coral Reef Studies of Japan | |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Isomura N | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 Bentham Science Publishers | 5. 総ページ数 301 |
| 3. 書名 Monitoring Artificial Materials and Microbes in Marine Ecosystems: Interactions and Assessment Methods | |

〔出願〕 計1件

| | | |
|-------------------------------|---------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称 サンゴの養殖方法 | 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、2019-042100 | 出願年 2019年 | 国内・外国の別 国内 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

沖縄工業高等専門学校・生物資源工学科・環境生物資源研究の紹介
<https://sites.google.com/site/onctenvbiores/home/isomuralab/naokoisomura>

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 | 深見 裕伸 (Fukami Hironobu) (50402756) | 宮崎大学・農学部・教授 (17601) | |
| 研究分担者 | 守田 昌哉 (Morita Masaya) (80535302) | 琉球大学・熱帯生物圏研究センター・准教授 (18001) | |