

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06814

研究課題名(和文)地球温暖化下のサンゴ礁の復元力になわばり性藻食スズメダイが果たす役割

研究課題名(英文) Effects of territorial herbivorous damselfish in the resilience of coral reefs under global warming

研究代表者

畑 啓生 (HATA, Hiroki)

愛媛大学・理工学研究科(理学系)・教授

研究者番号：00510512

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は藻食性スズメダイによるサンゴ群集の復元力への貢献を明らかにすることを目的とした。藻食性スズメダイのなわばり内外のサンゴ群集を追跡したところ、なわばり内では、ミドリイシやハナヤサイサンゴ属が多く生育し、種多様性と被度が高いサンゴ群集が成立した。調査期間にサンゴの大規模白化が発生し、特にミドリイシ属のサンゴが高い死亡率を示したが、スズメダイのなわばり内では、ミドリイシが被度を回復させ、サンゴ礁のレジリエンスに寄与することが示された。つまり、なわばりを持つ藻食性スズメダイが、サンゴの白化後にサンゴ着底の新たな基盤を拓き、サンゴ群集のレジリエンスを向上させることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、地球温暖化による海水温上昇が引き起こすサンゴ礁の大規模攪乱下でスズメダイのなわばりがサンゴ群集の初期再生に果たす役割を明らかにすることを目的とした。研究結果からは、スズメダイのなわばり内が白化による被害を受けやすいサンゴ種の回復の場として機能している可能性が示唆された。この知見は学術的にも重要であり、また、近年世界中で確認されているサンゴ白化問題や日本のサンゴ礁の保全にも大きな意義がある。今後はさらなる追跡調査が必要であり、持続可能なサンゴ礁の保護や管理計画の策定に向けた貴重な情報を提供することが期待される。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to clarify the contribution of herbivorous damselfish to the restoration ability of coral communities. By tracking coral communities inside and outside the territorial of herbivorous damselfishes, it was found that within their territory, coral communities with high species diversity and coverage were established, with a large number of Acropora and Pocillopora corals growing. During the survey period, a mass coral bleaching event occurred, and especially Acropora corals showed a high mortality rate. However, within the territory of the damselfish, the coverage of Acropora corals was recovered, and it was shown that they contribute to the resilience of coral reefs. In other words, it was demonstrated that herbivorous damselfish with territories can create a new foundation for coral settlement after coral bleaching, and improve the resilience of coral communities.

研究分野：生態学

キーワード：サンゴ礁 生物多様性 地球温暖化

## 1. 研究開始当初の背景

2016年の第三次世界的サンゴ大規模白化の後、日本のサンゴ礁もこの大規模攪乱からの回復の過程にある。サンゴの白化とは、高水温や水質悪化などのストレスによってサンゴが細胞内の共生藻類を放出することで、共生藻を失ったサンゴの組織が透明化して炭酸カルシウムの骨格が白く透けて見える。この状態が2~4週間続くとサンゴは死に至る。サンゴ礁はこの地球上で熱帯雨林と双璧をなす生物多様性が最も高い生態系で、世界中で毎年300億ドルを超える価値を生み、およそ5億の人々がその生産物に依存している。サンゴ類はその骨格によって他の生物の生息場所を作り出し、共生藻から受け渡された光合成産物の多くを粘液として水中に放出して多量の養分を供給している。そのためサンゴ類の死滅はサンゴ礁生態系の存立基盤を脅かす。世界の海洋では、不可逆的に進行する地球温暖化により海水温が上昇を続けており、かつては稀であったサンゴの大規模白化が、今後はおよそ6年に一回という頻度で発生すると予測され(Hughes et al. 2018, 図1)、サンゴ群集のモニタリングや復元力(レジリエンス)の評価が喫緊の課題である。普通サンゴの死滅後には藻類が繁茂するため、それを食べサンゴ着底の新たな基盤を拓く藻食魚の密度が復元力を向上させる(Hughes et al. 2003)。しかし藻食魚の中にはグレイザー(嚙り取り食者)のブダイ類やブラウザー(摘み取り食者)のニザダイ類等、様々な機能群が含まれ、それぞれサンゴ群集の回復に異なる役割を果たすことが明らかになってきた(Graham et al. 2015)。例えばグレイザーはサンゴと競争関係にある藻類を除去する一方、稚サンゴを食害しサンゴの新規加入を制限する。他方、なわばり性藻食者であるスズメダイ類は、各個体が一つ、摂餌の場となるなわばりを維持し、他の藻食者を追い払い、なわばり内に自らの餌となる糸状藻類を繁茂させる(Hata et al. 2002, 図2)。これらのスズメダイのなわばりは、サンゴ礁の礁原において時に底質の70%を占めるほど優占し、さらにサンゴの大規模死滅直後に密度を増加させる(Hata & Ceccarelli 2016)。しかし、それらのサンゴ群集の再生や復元力に対する効果はほとんど研究されていない。なわばり性スズメダイは、種によって粗放的から集約的に至る様々ななわばり管理戦略を持つ(Hata & Kato 2004, 図2)。集約的なスズメダイは、除藻を行い、サンゴとの競争関係において優位な大型藻類をなわばりから排除し、自らが消化できる微細な糸状藻類の単作藻園を維持する(Hata & Kato 2002, 2003, 2006; Hata et al. 2010)。申請者らが2015年4月より進めている沖縄での調査の結果、スズメダイ種ごとになわばり内に特異なサンゴ群集が成立していた。全体の被度はなわばり外より低いが、ミドリイシ属やハナヤサイサンゴ属のサンゴが、集約的ななわばり管理を行うクロソラスズメダイのなわばり内に多かった。これらのサンゴ種は枝状の骨格をもち、他種の共存を促進するキーストーン構造をもたらすが、大規模白化の際死亡率が高く、これらサンゴの動向がサンゴ礁の復元力に関わり、またこれらサンゴが失われることが、サンゴ礁がサンゴではなく大型藻類が卓越した他の平衡状態へとレジームシフトしたことの指標となる(Wilson et al. 2019)。これらのスズメダイ類では1年間に20%を超えるなわばりが放棄され、その後その場のサンゴが急速に成長した。

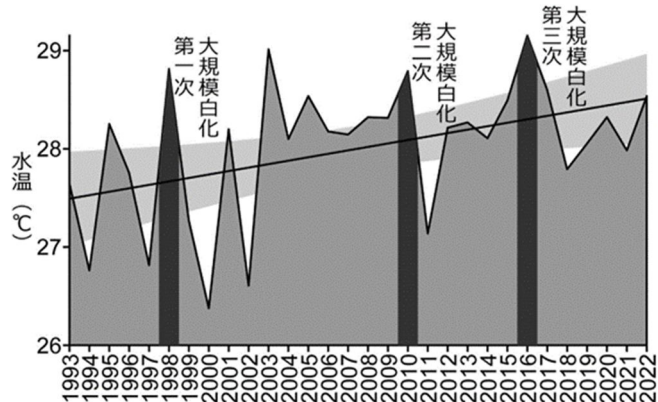


図1. 沖縄県本部半島の水深20mにおける夏期(7-9月)水温の年変動。上昇傾向にあり、特に水温が高い年にサンゴの大規模白化が生じている。(第十一管区海上保安本部より)

## 2. 研究の目的

上記背景から、なわばり性スズメダイの役割として以下5つが仮説として挙げられる。

- 1) スズメダイは、なわばりを防衛することで大型藻類の繁茂を防ぎ、大型藻類が優占する群集となるフェーズシフトを妨げる。
- 2) スズメダイは、サンゴ食者やグレイザーを追い払い、サンゴへの捕食圧を弱め、稚サンゴに着底や生育の場所を与える。
- 3) スズメダイは種ごとに異なるなわばり管理を行うため、それらのなわばりは様々に条件付けられ、多様なサンゴ種の生育の場となりうる。
- 4) 大規模白化後に、特に強く影響を受けるサンゴ種に着底場所、生育場所を提供しうる。
- 5) スズメダイのなわばりは、なわばり放棄が頻繁であるためサンゴ礁におけるサンゴのソースとなりうる。

本申請研究はこれらの仮説の検証を行うことを目的とする。

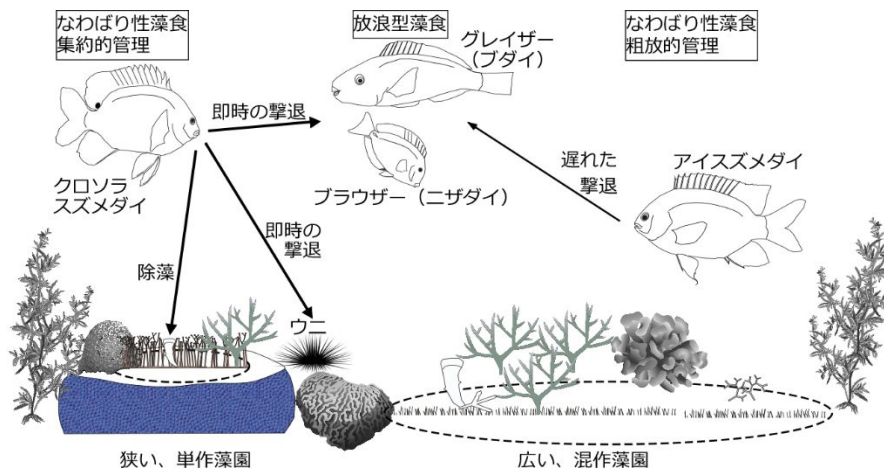


図2．スズメダイのなわばり内外のサンゴ群集と藻類群集。サンゴと藻類は競合関係にあり、藻食者は藻類を摂食し間接的にサンゴを利用する。藻食スズメダイはなわばり管理様式が集約的か粗放的かで、そのなわばりを様々に条件付け、サンゴに多様な生息場所を提供する。

### 3．研究の方法

2015年より調査としている沖縄本島周辺で、優占するサンゴ種が異なる3地点（瀬底島、恩納村、大度浜）において、高密度で生息するなわばり性スズメダイ6種（集約的な種からクロソラスズメダイ、ルリホシスズメダイ、ハナナガスズメダイ、キオビスズメダイ、フチドリスズメダイ、そして最も粗放的なアイスズメダイ）のなわばり内外のサンゴ群集の追跡をさらに3年間継続し、1)大規模白化前、白化直後と比較して、サンゴ群集への大規模白化の影響と再生の過程を追跡した。2)サンゴと競合する藻類群集のなわばり内外での遷移を追跡した。これらにより、スズメダイ6種のサンゴ大規模白化前後の動態を明らかにし、スズメダイ各種のなわばり内外におけるサンゴ群集の再生の過程がどのようなメカニズムで、どのように異なるのかを解析した。

### 4．研究成果

集約的ななわばり管理をするクロソラスズメダイのなわばりはおよそ3000cm<sup>2</sup>、最も粗放的なアイスズメダイでは20000cm<sup>2</sup>であった。クロソラスズメダイのなわばりでは、サンゴの被度は10-20%程度で、粗放的なアイスズメダイのなわばりで最大40%ほどであった。なわばり外では、サンゴの被度は20-40%であった（図3）。スズメダイのなわばりでは、サンゴ大規模白化からのサンゴ群集の回復が顕著であった。なわばり外は、地点とサンゴ礁の部位によって異なるサンゴ群集が形成されており、回復の過程も程度も様々であった。例えば、瀬底礁斜面では、ハマサンゴが優占し、恩納村ではシコロサンゴが優占し、大度浜はハマサンゴとコモンサンゴが優占し、瀬底礁原はミドリイシやハマサンゴ、コモンサンゴなど多様なサンゴ種からなっていた。スズメダイのなわばり内では、いずれのスズメダイ種、いずれに地点でも、なわばり外で優占するサンゴの被度は低く抑えられ、ミドリイシや、カメノコキクメイシ、クロソラスズメダイのなわばりではハナヤサイサンゴの被度がなわばり外に比べて高くなった。なわばり内には、なわばり外に比べ、種多様性の高い、またなわばり外とは異なるサンゴ群集構造が形成され、すなわちスズメダイのなわばりは、サンゴ群集の多様性、多様性の向上に貢献していると考えられた。なぜスズメダイのなわばり内には特異なサンゴ群集が形成されているのかを明らかにするため、なわばり主を除去した実験を行ったところ、サンゴ食者が、かつて防衛されていた場所へ侵入し、なわばり内で多かったハナヤサイサンゴは30日の内におそらくゴマモンガラによって食害を受けることを観察した。そのため、スズメダイの防衛の効果があると考えられる。このように、スズメダイのなわばりにはミドリイシやハナヤサイサンゴが多い特異なサンゴ群集が形成されており、サンゴ食者からも防衛されるスズメダイのなわばりは、被食に弱いサンゴや稚サンゴの避難場所になりうるということがわかった。また、なわばり内ではサンゴ群集に顕著な回復がみられたということがわかり、なわばり内のサンゴ群集は、大規模白化からのサンゴ群集の回復に貢献することが示された。これは、スズメダイがなわばりを管理することで、大型藻類や被覆状藻類が優占するようになるフェーズシフトを妨げ、再びサンゴが着底し、生息できる環境を維持しているためではないかと考えられる。今後はさらに次の大規模白化が生じてそこからの回復がみられるまで観察を継続することと、またデータ解析を行って、サンゴ群集への大規模撹乱の影響と、そ

こからの回復過程をなわばり内外で詳細に描き出し、かつスズメダイのなわばり放棄の影響も調べていきたい。

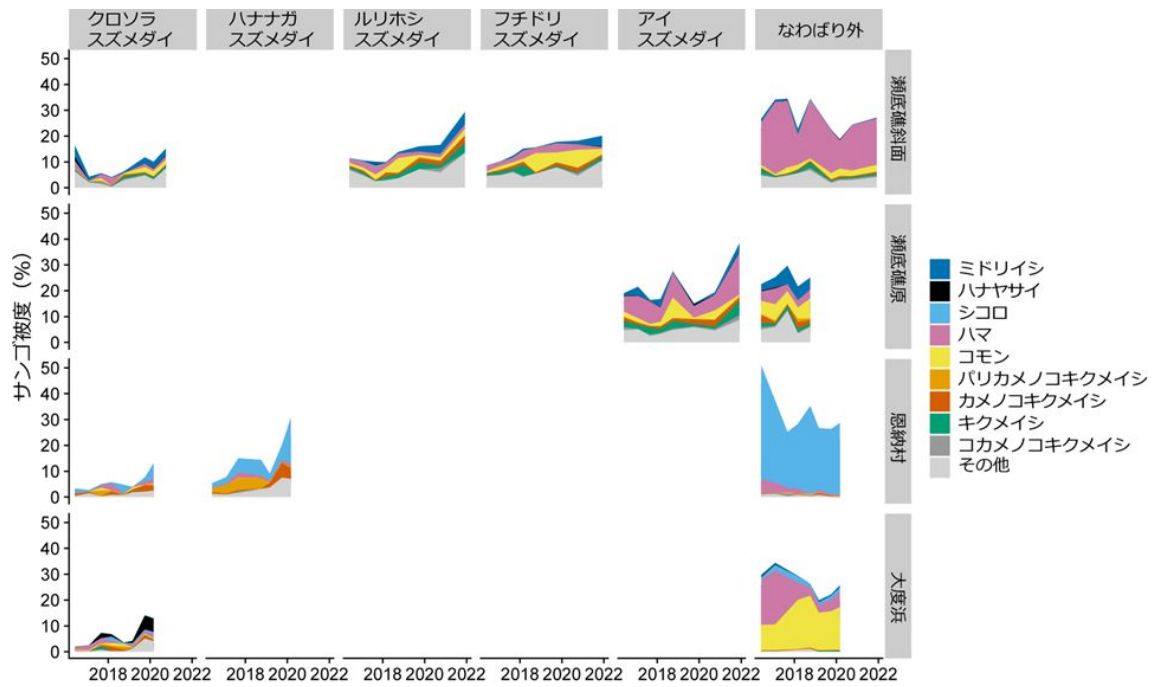


図 3 . 沖縄県沿岸 3 地点におけるスズメダイのなわばり内外のサンゴ群集組成の変遷。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Hata Hiroki, Ogasawara Kota, Yamashita Naoki	4. 巻 849
2. 論文標題 Population decline of an endangered unionid, <i>Pronodularia japonensis</i> , in streams is revealed by eDNA and conventional monitoring approaches	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Hydrobiologia	6. 最初と最後の頁 2635 ~ 2646
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10750-022-04852-6	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 Sogabe Atsushi, Murano Chie, Morii Ryota, Ikeda Hiroshi, Hata Hiroki	4. 巻 6
2. 論文標題 Complete mitochondrial genome of the Japanese field vole <i>Microtus montebelli</i> (Milne-Edwards, 1872) (Rodentia: Arvicolinae)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mitochondrial DNA Part B	6. 最初と最後の頁 2717 ~ 2718
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/23802359.2021.1917315	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 畑 啓生、東垣 大祐、小笠原 康太、松本 浩司、山本 貴仁、村上 裕、中島 淳、井上 幹生	4. 巻 26
2. 論文標題 愛媛県の農業用土水路における絶滅危惧種マツカサガイ残存個体群	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 保全生態学研究	6. 最初と最後の頁 n/a ~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18960/hozen.2111	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 Hata Hiroki, Uemura Yohsuke, Ouchi Kaito	4. 巻 66
2. 論文標題 Decline of unionid mussels enhances hybridisation of native and introduced bitterling fish species through competition for breeding substrate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Freshwater Biology	6. 最初と最後の頁 189 ~ 201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/fwb.13629	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 Hata Hiroki, Takano Shota, Masuhara Hiroyuki	4. 巻 10
2. 論文標題 Herbivorous damselfishes expand their territories after causing white scars on Porites corals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 16172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-73232-8	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 -

1. 著者名 Hata Hiroki, Taniguchi Rintaro, Yamashita Naoki, Hashiguchi Yasuyuki, Nakajima Jun, Takeyama Tomohiro	4. 巻 in press
2. 論文標題 Genotyping of two congeneric bitterling fish species by nuclear SNP markers and the detection of hybridization in a sympatric region	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Ecological Research	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) 10.1111/1440-1703.12387	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5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 畑啓生, 山下尚希, 渡辺椋太
2. 発表標題 公開 灌漑用水路を生息場所とする流水性イシガイ類マツカサガイの環境DNAを用いた保全
3. 学会等名 日本生態学会第69回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 畑啓生, 小笠原康太, 山下尚希
2. 発表標題 環境DNAと従来のモニタリング手法で明らかになった絶滅危惧種のイシガイ科二枚貝個体群の縮小
3. 学会等名 環境DNA学会第4回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷口倫太郎, 山下尚希, 畑 啓生, 橋口 康之, 武山 智博
2. 発表標題 自然分布域におけるヤリタナゴとアブラボテの交雑
3. 学会等名 第55回魚類学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 畑 啓生, 高野 翔太, 増原 碩之
2. 発表標題 なわばり性スズメダイによるハマサンゴ上の白い食跡と、そのなわばり維持における機能
3. 学会等名 日本生態学会第68回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 畑 啓生, 正司 みずき, 藤田 大地, 梶谷 拓真, 黒瀬 桂一朗
2. 発表標題 なわばり性スズメダイが促す造礁サンゴの多種共存
3. 学会等名 日本生態学会第70回大会
4. 発表年 2023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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------