

令和元年6月26日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07506

研究課題名(和文) 中・長期モニタリングデータの解析によるサンゴ群集の時空間動態の解明

研究課題名(英文) Spatio-temporal dynamics of coral community based on the analysis of long-term monitoring data

研究代表者

竹垣 草世香(向草世香) (TAKEGAKI (MUKO), Soyoka)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・客員研究員

研究者番号：30546106

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)：モニタリングサイト1000、石西礁湖自然再生事業、長崎の定点観測の調査データを解析した。石西礁湖周辺でサンゴ被度年変化のカテゴリカルクラスター解析の結果、196調査地点のうち60地点で2007年の大規模サンゴ白化以降サンゴ被度が回復していなかった。その地点の多くは石西礁湖中南部に位置していた。一方、石西礁湖北部の地点ではミドリイシ科サンゴの加入数が多く、1990年以降オニヒトデや白化などの大規模攪乱からのサンゴ被度の回復力が高かった。また、琉球諸島に比べて、九州・本州ではサンゴ被度の年変化量やミドリイシ科加入数が小さく、優占種エンタクミドリイシの死亡率や成長率が低かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

わが国最大のサンゴ礁海域である石西礁湖は、1983年から定点観測が行われている世界的にも貴重な海域である。本研究では、複数のモニタリングデータを包括的に解析し、石西礁湖北部はサンゴの回復力が常に高い一方で、中南部は2007年のサンゴ白化以降サンゴの回復力が低いなど、地域ごとの特徴を明らかにした。今後のサンゴ群集の回復予測や、再生事業について重要な知見を与えることができた。また、サンゴの分布拡大が見られている九州や本州では、沖縄諸島に比べるとサンゴ群集の動態は比較的安定していることが示唆された。暖温帯域では大きな攪乱がない限りサンゴ群集は維持されると予想され、今後の沿岸生態系の変化が懸念される。

研究成果の概要(英文)：Long-term monitoring data, including Monitoring site 1000, Conservation monitoring for the coral reefs in the Sekisei Lagoon, Fixed point observation in Nagasaki, were analyzed in this study. Categorical clustering analysis for coral cover collected at 196 research sites suggested that 60 research sites, mostly located in the middle and south Sekisei Lagoon, showed the sharp decline of coral cover in 2007 when a severe bleaching event occurred and unrecovered thereafter. In contrast, the research sites located in the northern Sekisei Lagoon had large recruitment of *Acropora* juveniles and resulted in the successful recovery of coral cover subsequently after the large-scale disturbances.

The research sites in the Honshu and Kyushu Islands exhibited less-changed coral cover and low *Acropora* recruits than those in the Ryukyu Islands. *Acropora solitaryensis*, which was a dominant species in the temperate areas, showed low mortality rate and growth rate.

研究分野：数理生態学

キーワード：時空間動態 中長期モニタリング サンゴ群集

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

## 1. 研究開始当初の背景

生物多様性の宝庫であるサンゴ礁は、地球温暖化や地域環境悪化など様々な環境変動にさらされている。わが国最大のサンゴ礁海域である石西礁湖および石垣島・西表島周辺では、これまでにオニヒトデ大発生（1979～1983年、2008～2012年）や大規模サンゴ白化（1998年、2007年、2016年）など複数の攪乱を受け、サンゴが減退傾向にある。本海域は1983年から同一プロトコルによる定点観測が行われている世界的にも貴重な海域であり、2002年からは環境省自然再生事業のターゲットエリアとしてサンゴ礁再生に向けた取り組みが進められている。しかし、モニタリングデータの詳細な解析はなされておらず、複数の攪乱からいつ、どのような場所でサンゴが回復してきたかは不明である。

一方で、暖温帯の九州～四国では海藻の消失（磯焼け）後、サンゴの分布が拡大している。サンゴ群集のダイナミクスが亜熱帯と正反対の方向性を示すのはなぜだろうか。琉球諸島・九州・本州の各地では、2004年から環境省モニタリングサイト1000が実施されており、同一プロトコルで定点観測が行われている。亜熱帯から暖温帯までを統一的に解析することで、サンゴ群集の時空間ダイナミクスを緯度勾配に従って評価することが可能となる。

## 2. 研究の目的

### (1) 石西礁湖のサンゴ群集回復力の評価：再生可能な海域の選定

石西礁湖および石垣島・西表島周辺で行われてきた複数のモニタリング調査データを解析し、サンゴ群集の現在の状況を明らかにする。さらに、様々な攪乱からのサンゴ群集の回復力を評価し、攪乱要因や加入との関連性を分析することで、サンゴの再生に適した海域を特定する。

#### ① モニタリングサイト1000調査の検証

1998年から該当海域で実施されてきた環境省モニタリングサイト1000のサンゴ群集調査では、サンゴ被度などの定量的データを目視観測で算出している。そこで同一地点でデジタル画像撮影を行い、調査データと比較することで、その信頼性を検証する。

#### ② サンゴ被度年変化トレンドにもとづく調査地の分類

各調査地点でのサンゴ被度の長期的変化を明らかにし、被度の年変化トレンドに応じて調査地を類別化する。

#### ③ 石西礁湖内のサンゴ群集回復力の評価

各調査地点でのサンゴ群集の回復力を、以下の内容で評価する。

- a) 大規模攪乱後のサンゴ被度回復量を算出し、年代ごとに比較する。
- b) ミドリイシ科の幼生着底数と稚サンゴ加入数の関係を明らかにし、加入に好適な地点、加入後の生残率が良い地点、サンゴの生育が良い地点を明らかにする。
- c) ミドリイシ科サンゴの卵成熟度とサンゴ被度の関係から、卵生産力が高い地点を明らかにする。

### (2) 亜熱帯から温帯のサンゴ群集の時空間ダイナミクスと優占種の生活史特性：

モニタリングデータの解析から、亜熱帯から暖温帯のサンゴ群集の時空間ダイナミクスや、変動の要因、群集構造の違いを明らかにする。また、群集動態への寄与が大きい優占種の生活史特性を亜熱帯と暖温帯で比較することで、個体群や群集の変動パターンを生み出すメカニズムを明らかにする。

#### ① サンゴ群集の時空間ダイナミクス

2004年から琉球諸島・九州・本州の各地で実施されてきた環境省モニタリングサイト1000、および2011年から長崎市で実施している定点観測のサンゴ群集調査データを解析し、サンゴ群集の年変動、変動をもたらす要因を明らかにする。

#### ② 優占種の生活史特性

テーブル状ミドリイシ科サンゴは、成長が速く加入数も多いため群集の優占種となりうる。その主要種である石西礁湖のクシハダミドリイシと長崎のエンタクミドリイシの個体群調査データを解析し、推定した生活史パラメータを亜熱帯と暖温帯で比較する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 石西礁湖のサンゴ群集回復力の評価：再生可能な海域の選定

石西礁湖、石垣島および西表島の周辺で、1983年～2017年に実施されてきたモニタリング調査の調査データを収集、整理し、データベースを作成した（出典：八重山海中公園研究所、環境庁自然保護局、環境省自然環境局）。また、石西礁湖自然再生事業で取得された2004年～2013年の調査データを整理し、データベースを作成した。

##### ① モニタリングサイト 1000 の検証

2017年11月にライトランゼクト法を用いた野外調査を行った。モニタリングサイト 1000 調査地点から、サンゴ被度が5%～50%の範囲で12地点を選出し、30mのラインを3本設置した。ラインに沿って1mおきに50cm四方の方形区を設置し、枠内の海底の写真を撮影した。デジタル画像解析からサンゴに覆われた海底の割合を算出し、サンゴ被度とした。同年に行われたモニタリングサイト 1000 の調査データと比較し、同一地点でのサンゴ被度データを比較した。

##### ② サンゴ被度年変化トレンドにもとづく調査地の分類

1998年～2017年の196地点でのモニタリングサイト 1000 の調査データについて、サンゴ被度を10%未満、10%以上～50%未満、50%以上の3段階にクラス分けした。カテゴリカル変数に対するクラスター解析を行い、サンゴ被度の年変化トレンドにもとづいて調査地を類別化した。

##### ③ 石西礁湖のサンゴ群集回復力の評価

###### a) 大規模攪乱後のサンゴ被度回復量

1983年～2013年のモニタリング調査データを用いて、大規模攪乱後のサンゴ被度の変化量を算出し、回復力とした。1990年までのオニヒトデ大発生、1998年および2007年の大規模サンゴ白化と3回の攪乱を抽出し、その後の4年間の69地点でのサンゴ被度変化量をそれぞれ算出した。回復力の高い地点を選出し、その数や空間分布を年代間で比較した。

###### b) ミドリイシ科サンゴ幼生着底数と稚サンゴ加入数

2004年～2013年までの45地点での石西礁湖自然再生事業の調査データを用いて、各調査地点での定着基盤の幼生着底数と、自然基底への稚サンゴ加入数の経年変化、両者の関係性を求めた。

###### c) ミドリイシ科サンゴ成熟度とサンゴ被度

2004年～2013年までの45地点での石西礁湖自然再生事業の調査データを用いて、各調査地点でのミドリイシ科サンゴの成熟度の経年変化を求めた。

#### (2) 亜熱帯から温帯のサンゴ群集の時空間ダイナミクスと優占種の生活史特性：

##### ① サンゴ群集の時空間ダイナミクス

2004年～2013年の24地点でのモニタリングサイト 1000 の調査データを用いて、サンゴの被度や群集構成種、新規加入数の年トレンドと調査地点間変異を解析し、オニヒトデ、サンゴ白化や病気による攪乱との関連性を検討した。

2016年～2018年に、長崎市沿岸3地点でサンゴ群集調査を行った。1m四方の永久方形区を各地点にそれぞれ9個設置し、年に1回方形区内の海底の写真を撮影した。2011年からの調査データと合わせて、デジタル画像からサンゴが覆う海底の割合を算出し、サンゴ被度とした。

##### ② 優占種の生活史特性

2011年～2018年に、長崎市沿岸3地点でマーキングしたエンタクミドリイシの追跡調査を行った。年1回撮影したデジタル画像から、同一個体の有無により生存率を、群体の投影面積の変化から成長率を推定した。

沖縄島および石西礁湖のクシハダミドリイシの成長率については、既存の研究報告を確認した。

### 4. 研究成果

#### (1) 石西礁湖のサンゴ群集回復力の評価：再生可能な海域の選定

##### ① モニタリングサイト 1000 の調査データの検証

デジタル画像解析と目視観測で算出したサンゴ被度を同一地点で比較したところ、両者の結果には有意な正の相関があった。しかしサンゴ被度が高い地点ほど、目視観測により被度が過大評価される傾向が見られた。この結果は、モニタリングサイト1000で得られたサンゴ被度データには少なからず不確実性が含まれることを示唆しており、サンゴ被度を扱う精度の高い解析には注意を要することがわかった。

### ② サンゴ被度年変化トレンドにもとづく調査地の分類

カテゴリ変数のクラスター解析を行った結果、196地点の約31%を閉める60地点で、サンゴ被度が2007年に減少し、その後低い状態のままであった(図1)。その地点の多くは石西礁湖中南部に位置しており(図2)、これらの海域では2007年の大規模サンゴ白化現象からサンゴの回復が進んでいないことがわかった。

### ③ 石西礁湖のサンゴ群集回復力の評価

#### a) 大規模攪乱後のサンゴ被度回復量

1990年までのオニヒトデ大発生後1991年～1994年に、サンゴ被度が40%以上増加したのは69地点のうち34地点であった。しかし、1998年のサンゴ白化後1999年～2003年で40%以上のサンゴ被度増加が見られたのは9地点、2007年のサンゴ白化後2008年～2012年では5地点と少なかった。石西礁湖北側外縁部の地点はどの年代でもサンゴ被度の回復力が高かったのに対し、礁内部の地点は近年回復力が低いことがわかった。

#### b) ミドリイシ科幼生着底数と稚サンゴ加入数

定着基盤の幼生着底数はその調査地への幼生供給量を、自然基底の稚サンゴ加入数は幼生から稚サンゴへの生残率、成長率などを示唆する。石西礁湖北側の地点は、幼生着底数、稚サンゴ加入数とともに多く、回復力が高いと期待された。この結果は、(③-a)で示されたサンゴ被度回復力が高い地域と一致する。また、幼生着底数に比べて稚サンゴ加入数が多い地点が石西礁湖中南部に2箇所確認され、ミドリイシ科幼生の生育に適した地点がスポット的に存在することが示唆された。

#### c) ミドリイシ科サンゴ卵成熟度とサンゴ被度

ミドリイシ科サンゴ卵成熟度は、地点で大きな差は見られなかった。そのため、各地点の卵生産力は、主にサンゴ被度によって決まると考えられる。しかし、地点差の解析には、地点の水深や濁度の影響を今後考慮する必要があるだろう。

## (2) 亜熱帯から温帯のサンゴ群集の時空間ダイナミクスと優占種の生活史特性：

### ① サンゴ群集の時空間ダイナミクス

サンゴ被度の経年変化は、石西礁湖・奄美群島では減少、沖縄島周辺離島では増加、他の調査海域では変動はあるものの顕著な増減の傾向は見られなかった。一般に、サンゴ被度年変化量およびミドリイシ科加入数は琉球諸島で大きく、九州・本州で小さい傾向があった。しかし九州・本州の各地でもサンゴ被度が大きく減少した年があり、その前年にオニヒトデの発生や高い白化率が見られた。サンゴ型は、琉球諸島ではミドリイシ優占群集が近年減少し、多種混成型に変わった一方で、九州・本州ではミドリイシ優占群集が経年的に多く見られた。

長崎市の3地点の平均サンゴ被度は、2011年は42%、2012年は49%と高かったのに対し、2013年に26%まで減少し、その後は20%前後を推移していた。また、群集優占種が2013年に

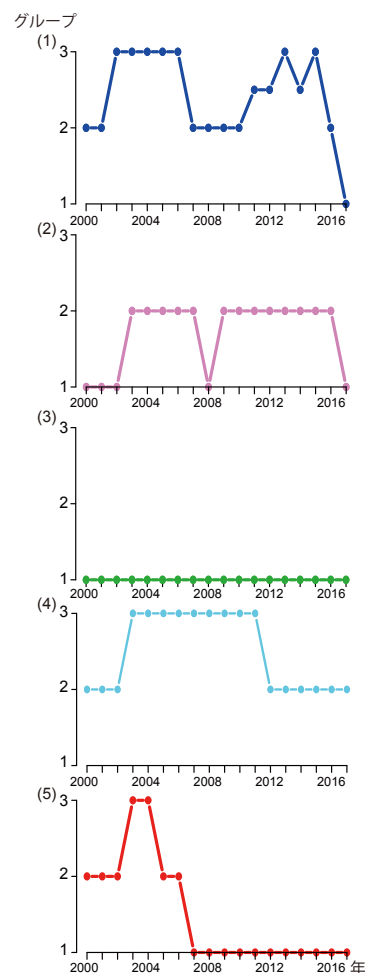


図1 カテゴリカルクラスター解析で得られた各グループの被度ランク中央値の年変化

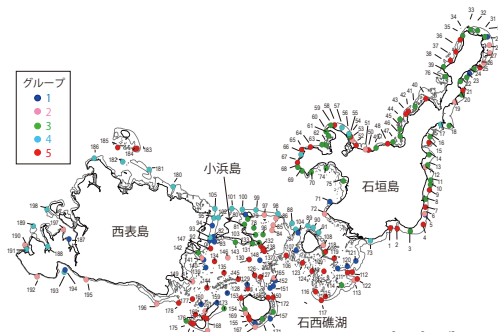


図2 カテゴリカルクラスター解析による各グループの分布図

ミドリイシ科からキクメイシ科に変化した。これは、2012年冬季の低水温の影響でミドリイシ科サンゴが白化し、その後死亡したためと考えられる。また、2013年以降サンゴ被度の回復は緩やかであることから、温帯ではサンゴの新規加入が少なく、またキクメイシ科サンゴの成長も緩やかであることが示唆された。

## ② 優占種の生活史特性

長崎の定点方形区の調査データから、エンタクミドリイシの死亡率は2012年に高かったが、それ以外の年は低い値であった。低水温などの攪乱がない場合、温帯のエンタクミドリイシはほとんど死亡しない。また、エンタクミドリイシの成長率は、亜熱帯域のクシハダミドリイシの成長率よりも低かった。しかし、近年の石西礁湖で観測されたクシハダミドリイシの成長率はエンタクミドリイシと同程度にまで低下しており、ミドリイシ科サンゴの成長が何らかの要因で減退していることが示唆された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計3件）

- ① Price NN, Muko S, Legendre L, (他20名). 印刷中. Global biogeography of coral recruitment: tropical decline and subtropical increase. *Marine Ecology Progress Series*. 査読あり.
- ② Muko S, Suzuki G, Saito M, Nakamura T, Nadaoka K. (2019). Critical information gaps impeding understanding of the role of larval connectivity among coral reef islands in an era of global change. *Ecological Research*. doi.org/10.1111/1440-1703.12013. 査読あり.
- ③ Edmunds PJ, McIlroy SE, Adjeroud M, … Muko S, … (他20名うち11番目). (2018) Transitions in coral communities over 17 years in the Sekisei Lagoon and adjacent reef areas in Okinawa, Japan. *Frontiers in Marine Science*, doi.org/10.3389/fmars.2018.00290. 査読あり.

〔学会発表〕（計1件）

- ① 向 草世香・中村 隆志・灘岡 和夫. モニタリングサイト1000データに基づく石西礁湖および周辺海域のサンゴ被度変遷の解析. 第64回日本生態学会大会、早稲田大学、2017年3月

## 6. 研究組織

なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。