

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 13 日現在

機関番号：12608

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26891007

研究課題名(和文)石西礁湖のサンゴメタ群集のコネクティビティ構造の解明

研究課題名(英文)Connectivity structure of coral populations in the Sekisei Lagoon.

研究代表者

竹垣 草世香(向草世香)(Muko, Soyoka)

東京工業大学・情報理工学(系)研究科・産学官連携研究員

研究者番号：30546106

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文):石西礁湖周辺で行なわれているモニタリングサイト1000事業のデータを収集し、196観測地点での2000年～2013年のサンゴ被度年変化をクラスター解析したところ、2007年の大規模サンゴ白化以降被度が回復していない地点は全体の約31%を占めており、オニヒトデ大発生とミドリイシ科加入量の減少が要因の一つであると考えられた。次に各攪乱要因がサンゴ被度に与える影響を一般化加法モデルにより相対的に評価した結果、オニヒトデは個体数によらず、白化率は約40%以上のときに負の影響を与えていた。また、幼生分散パターンとモニタリングデータの解析から西表島北側周辺がソース個体群として重要であることが示唆された。

研究成果の概要(英文):The status of corals after a sequence of disturbances in the Sekisei Lagoon and adjacent areas, Okinawa, was assessed using the long-term monitoring data collected at 196 research sites from 2000 to 2013. A hierarchical cluster analysis suggested that there were the sites, which accounted for approximately 31% of the total, lost the resilience after a sharp decline in mean coral cover caused by a severe bleaching event in 2007. This was mainly because of subsequent outbreaks of *Acanthaster planci* and the reduction of *Acropora* recruits. In addition, the relative impact of each disturbance type on the loss of coral cover was evaluated by a generalized additive model. *A. planci* and severe coral bleaching over approximately 40% had large negative impacts on coral cover. Analyses of larval dispersal pattern and monitoring data suggested that the northern area of Iriomote Island might act as a source population.

研究分野：生態学

キーワード：個体群動態 回復力 メタ群集 クラスター解析 一般化加法モデル

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生態系は、海水温上昇など地球規模の環境変動と地域的な環境悪化により、この20年間に世界各地で生態系の崩壊が報告されている。今後予想される環境変動への群集の応答を予測し、有効な保全計画を策定するためには、個体群のダイナミクスや群集構造の変化をもたらすメカニズムを明らかにしなければいけない。

浮遊幼生期を持つサンゴ礁生物は、海流によって運ばれた幼生を通じて複数の生息地が結ばれるメタ群集構造をもつ。しかし、野外の観測データからメタ群集構造を明らかにすることはきわめて難しい。また、幼生分散が数 km～数 100km の空間スケールで起こる一方で、局所群集は数 m スケールで動態が決まるため、幼生のコネクティビティの構造と局所群集の情報をリンクさせた研究例は極めて少ない。

石西礁湖のサンゴ群集は、高水温によるサンゴ白化現象や捕食者オニヒトデの大量発生などの攪乱を受けて、減退傾向が顕著である。環境省自然再生事業などいくつかのモニタリング調査が実施され、多くの地点でサンゴ群集と物理的環境が経年的に調べられてきた。しかし、調査データの詳細な解析はなされておらず、いつ、どのような場所で、どのような要因でサンゴの衰退が生じたかは不明である。

また、石西礁湖は複数の島嶼からなる一方で、太平洋や東シナ海とも直接面しており、周辺沿岸海域の海流は複雑である。本海域のメタ群集構造を明らかにするためには、海流パターンにもとづいて生息地間のコネクティビティ構造を考慮する必要がある。

2. 研究の目的

【1】長期野外観測データを解析し、石西礁湖および周辺海域のサンゴ群集がいつ、どこで、どのように変化したかを明らかにするために、サンゴ被度の年変化と変化パターンが同調する空間スケール、変化をもたらす要因を明らかにする。【2】石西礁湖と周辺沿岸海域の海流を再現した海水流動モデルを用いて、幼生の分散パターンを解析する。【3】2つの結果を統合して

石西礁湖のサンゴメタ群集のコネクティビティ構造を解明し、メタ群集の維持に重要な保全海域を特定する。

3. 研究の方法

【1】長期野外観測データによるサンゴ群集時空間動態の解明

石西礁湖、石垣島および西表島の周辺で1998年から環境省モニタリングサイト1000の一環として実施されてきたモニタリングデータを収集し、各調査地点でのサンゴ群集(親サンゴの被度・優占種、ミドリイシ科稚サンゴの加入量)、生物的攪乱要因(サンゴ白化発生率、オニヒトデ出現数、サンゴ食巻貝発生状況、病気罹患率)、物理的攪乱要因(台風被害)と物理的環境条件(地形情報、透視度)を整理した。

サンゴ被度の年変化をクラスター解析し、変化パターンをグループ化した。得られたグループの生物的攪乱要因と物理的攪乱要因、物理的環境条件の特徴を検討した。

また、攪乱要因の発生状況を整理するために、各要因の年トレンドと地点間変異を一般化加法モデルにより解析した。オニヒトデ出現数とサンゴ白化発生率は誤差構造をトウィーディー分布に、台風被害とサンゴ食巻貝発生状況は多項分布に指定した。地点間変異は、調査地点、調査エリア、物理的環境条件、緯経度の二次元平滑化をそれぞれ仮定した。赤池情報量基準(AIC)にもとづいたモデル選択により、攪乱要因の時空間変動パターンを特定した。また、サンゴ被度の1年間の変化量に生物的・物理的攪乱要因とミドリイシ科稚サンゴ加入量を与える影響を、一般化加法モデルにより相対的に評価した。

【2】海水流動モデルによる幼生分散パターンの推定

石西礁湖周辺の海流を再現した海水流動モデルを用いて、ミドリイシ科幼生に見立てた仮想粒子の拡散過程を追跡した(東京工業大学灘岡研究室との共同研究)。当初の計画よりもモデルの開発に時間を要したため、まずは初期的な解析を行った。対象海域を55の領域に区切り、各領域から放出した幼生の分散確率を計算した。領域

を頂点、領域間の幼生分散の有無を辺、分散確率を辺の重みをとする有向グラフと考え、ネットワーク理論にもとづいてコミュニティ構造の検出を行った。

【3】石西礁湖のメタ群集構造の解明と保全海域の特定

解析結果にもとづき、サンゴの被度が高く幼生供給能力の高い海域と、稚サンゴの加入量が多く加入成功率の高い海域を選定した。また、サンゴ群集の衰退が著しく、今後の推移に注意を要する海域を選定した。さらに、幼生加入のポテンシャルと観測値のギャップを明らかにし、石西礁湖内のサンゴメタ群集のコネクティビティの強さとメタ群集維持に重要な海域を特定した。

4. 研究成果

【1】長期野外観測データによるサンゴ群集時空間動態の解明

石西礁湖、石垣島および西表島の周辺の202地点（2013年現在）で実施されてきた定点モニタリングの結果を収集し、サンゴ群集の状況や諸要因をまとめたデータベースを完成させた。

2000年から2013年まで196地点のサンゴ被度年変化のクラスター解析で得られたデンドログラムの結果から、サンゴ平均被度の年変化パターンは（1）高被度グループ、（2）2007年減少グループ、（3）低被度グループの3つに大きく分けられることが分かった（図1）。

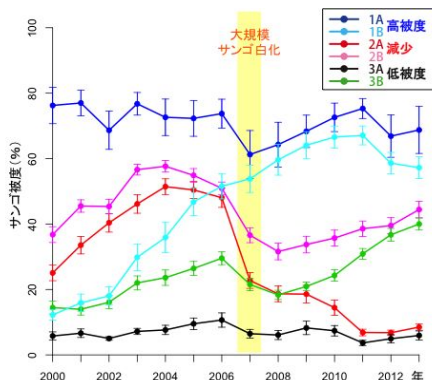


図1 クラスター解析により分類されたグループのサンゴ平均被度(±SE)の年変化

高被度グループはミドリイシ科稚サンゴ加入量が多く、オニヒトデ大発生により2012年に被度が減少した地点でも速やかなサンゴ被度の回復が期待できる。

2007年減少グループは2007年の大規模サンゴ白化により被度が大きく減少した。その

後サンゴ被度の増加が見られない地点（2A）ではサンゴの回復力が低下しており、その要因は続いて生じたオニヒトデの大発生と少ないミドリイシ科加入量だと考えられた。

低被度グループではミドリイシ科加入量が相対的に少なく、幼生の着底や成長が妨げられる環境であることが示唆された。これらの結果を学術論文まとめ、国際学術雑誌に投稿中である。

生物的・物理的攪乱要因の発生状況は調査エリア間で異なっていた。オニヒトデは2005年から観測されはじめ、大発生のピークは2008年～2012年の間に石西礁湖中南部・東部から石垣島西部、石西礁湖北部へと移動した。白化率は全海域で1998年と2007年に50%以上と非常に高く、また石西礁湖では20%～40%の中程度の白化が頻繁に発生していた。台風被害とサンゴ食巻貝発生は局所的であり、明確な地理的傾向は見られなかった。サンゴ被度の1年間の変化量はオニヒトデ個体数に非常に強い負の影響を受け、白化率は約40%以上、台風とサンゴ食巻貝は高い被害ランクのときに負の影響を受けた。ミドリイシ科加入量は正の影響があった。これらの内容について、学術論文を執筆中である。

【2】海水流動モデルによる幼生分散パターンの推定

3年間の海水流動シミュレーションを平均して得られた幼生分散確率を解析した結果、幼生の着底確率が高くシンクとなりうる領域は西表島北部や石垣島西部、名蔵湾奥部であった。幼生の供給率が高くソースとなりうる領域もほぼ同様で、西表島北部と名蔵湾奥部であった。

西表島周辺は、石西礁湖中央部と一つのコミュニティを形成しており幼生分散が密であったが、石西礁湖東部や石垣島周辺とは顕著な交流は見られなかった。

現在、より精度を上げた海水流動モデルによるモニタリングサイト1000観測地点間での幼生分散確率の計算を準備中である。

【3】石西礁湖のメタ群集構造の解明と保全海域の特定

サンゴ被度クラスター解析の結果から、サンゴ被度が高く幼生供給能力が高い海域は、石西礁湖北側外縁部や西表島北側、ヨナラ水道などであった（図2青、水色）。また、これらの海域ではミドリイシ科加入量が多く、

加入成功率も高いと思われる。

一方で、2007年以降サンゴ被度が回復していない地点の多くは、石西礁湖の中央・南・東部と石垣島北部に位置しており、全体の約31%を占めていた(図2赤)。これらの地点では相対的にミドリイシ科加入量が少なかった。

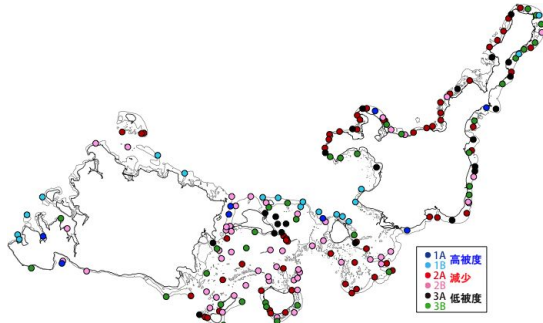


図2 モニタリングサイト1000実施地点でのサンゴ被度年変化グループの分布

西表島北部周辺は、幼生分散パターンでも高い幼生供給率を示すことから、ソース個体群として重要な保全海域になりうる。石西礁湖中央部は西表島周辺と幼生分散が密に生じており、ミドリイシ科幼生加入のポテンシャルが高いと考えられる。しかし実際の加入量が少ない地点もあることから、より詳細な幼生分散パターンの解析と幼生の生残・成長を妨げる局所的環境条件の検討がさらに必要である。

今後は、現在準備中のモニタリングサイト1000 観測地点間での幼生分散確率を用いたメタ群集モデルを作成し、コネクティビティの年変動も考慮した上で、重要な保全海域の選定を行う予定である。

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)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

向 草世香・中村 隆志・鈴木 豪・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沿岸海域のサンゴ被度変遷の解析」日本サンゴ礁学会第17会大会、2014年11月、高知城ホール(高知市)

向 草世香・斎藤 衛・中村 隆志・灘岡 和夫「石西礁湖および周辺海域のサンゴ被度変遷の傾向分類と要因検討～16年間のモニタリングデータに基づく解析～」日本サンゴ礁学会第18会大会、2015年11月、慶應義塾大学(東京都)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者
竹垣 草世香(向 草世香)(TAKEGAKI(MUKO), Soyoka)
東京工業大学・大学院情報理工学研究所・産学官連携研究員

研究者番号：30546106

(2)研究分担者
()

研究者番号：

(3)連携研究者
()

研究者番号：