

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：14201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23570022

研究課題名(和文) サンゴ礁魚類保全のための生息地パッチ群の評価：メタ群集理論と種数面積関係の応用

研究課題名(英文) Evaluation of habitat patches for coral reef fish conservation: application of metacommunity theory and species-area relationships

研究代表者

服部 昭尚 (Hattori, Akihisa)

滋賀大学・教育学部・教授

研究者番号：90273391

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：サンゴ礁池の81リーフとスズメダイ科魚類全種を対象に種数面積関係とリーフ高、競争優位種の縄張り、競争劣位種のリーフ間移動を調べた。その結果、背の高い大リーフでは競争種は立体的に棲み分けていた。ハナナガスズメダイは競争優位種であり、大リーフ平面を占拠し、クロソラスズメダイ(Sn)は競争劣位種であり、背の高い大リーフでは側面を利用したが、中リーフでは共存しなかった。Snは大半のリーフに生息し、分散種であった。浅い礁池では、リーフ高は最大で2m程であり、大面積からの予測より生息種数は少なかった。大リーフ側面や小リーフが競争劣位種の逃避所となり、種数体積関係は総生息種数を予測する有効な指標である。

研究成果の概要(英文)：We examined species-area relationships and species-volume relationships (SVRs) of damselfishes over 81 patch reefs on a back reef of Ishigaki Island. We also observed territoriality of 3 superior competitors and movement patterns of other less superior competitors. In the large tall reef, the 3 species segregated their territories. *Stegastes nigricans*, which was thought as a superior competitor, was a superior disperser because it uses the vertical plane of large reef and more than half of 81 reefs, both of which were not inhabited by the superior competitor *S. lividus*. The fact that *Hemiglyphidodon plagiometopon* had negative effects on species richness in large reefs was attributable to that their territories were established on topographically simple basement, where other species were not found. The height of reefs reached the limit because of shallowness (2m deep) in back reefs. SVR was a most useful function to predict total species richness in a place.

研究分野：動物生態学

科研費の分科・細目：基礎生物学、生態・環境

キーワード：海洋生態 サンゴ礁 メタ群集 種数面積関係 景観構造

1. 研究開始当初の背景

サンゴ礁魚類は浮遊幼生期に広範囲に分散できるため、大生息地だけでなく、小生息地にも定着が可能である。しかしながら、これまで、小生息地パッチ群が保全の対象となることはなかった。近年発達してきたメタ群集生態学は、小生息地パッチ群には逃避所としての機能がありうることを示している。例えば、大生息地パッチでは一般に生息種数が多くなるため、競争優位種による種間相互作用が強く働き、移動分散力の高い種は競争優位種を避ける傾向にある。このため、面積から予想されるほどには生息種数が多くはならず、一方で小生息地パッチ群には競争劣位種が逃避できるため、小生息地パッチ群の存在がメタ群集全体の生息種数を多くさせる可能性がある。しかし、サンゴ礁魚類等の海洋生物群集では、メタ群集の研究は進んでおらず、小生息地パッチ群がどのように機能しているのかは明らかではない。

生物多様性が著しく高いサンゴ礁には、大小様々なパッチリーフが混在し、その景観構造は航空写真画像に鮮明に反映される。研究代表者の服部は、これまで、画像解析ソフトを利用して高解像度航空写真画像を単純化し、景観カテゴリーを明確化した野外調査用のマップを作成し、石垣島白保サンゴ礁に存在する 84 個のパッチリーフにおけるスズメダイ科魚類全種のメタ群集を対象に、前回の基盤研究 C において種数面積関係を調べた。その結果、大リーフでは、面積から予想されるよりも生息種数が少ないことを明らかにした。さらに、種数面積関係にリーフ高を加えると、生息種数の予測精度を向上させられることが示唆され、このリーフ高が種間競争を緩和する可能性を見出した。しかし、空間を占拠する競争最優位種（縄張り制藻類食魚）3 種の中で統計的には 1 種だけが生息種数に負の影響を与えており、なぜリーフ高のデータを加えると生息種数の予測精度を向上できそうになるのかは明らかではなかった。このため、本研究では、種数面積関係を再調査し、さらに種数体積関係を調べ、また、競争優位種の種間関係等を立体的リーフにて詳細に観察することにより、種数面積関係を成立させている仕組みについて明らかにした。

メタ群集の理論からは、パッチ上の生息地群を利用する種類には、競争と分散の種間トレードオフが働き、先に述べたように、大パッチリーフでは種間競争が激しくなって小パッチには競争劣位種が多く生息するはずである。本研究では、リーフ高に注目しながら、生息地パッチ群全体の質を評価する手法を確立するとともに、大パッチリーフでの種間競争を緩和する要因や、小パッチリーフ群が競争劣位種の逃避所として機能しているのかどうかについても明らかにするよう試みた。

2. 研究の目的

本研究では、まず、大パッチリーフを対象とし、リーフ高に注目しながら、大パッチリーフでの種間競争を緩和する要因を探ることを目的とした。具体的には、「面積が同程度であれば、背の低い大リーフ (large flat reef) では、背の高い大リーフ (large tall reef) よりも、種間競争が激しくなり、種数面積関係から予測される生息種数よりも少なくなる」と言う作業仮説のもとに、競争優位種を対象とした種間縄張りの観察と種間相互作用に観察から種間競争を緩和する要因を探った。次に、中小パッチリーフ群が逃避所として機能しているのかどうかを確かめた。競争劣位種の遊泳行動に注目し、個体識別追跡調査をおこなうことにより、リーフ間の移動の程度を調べた。さらに、競争劣位種の分布傾向、すなわち、競争劣位種が分散優位種になっているのかどうかについても調査した。最後に、生息地パッチ群全体の質の評価について、リーフ高にも注目しながら、生息種数を予測する手法について確立することを目的とした。

3. 研究の方法

3 - 1 リーフ高に注目した大リーフでの競争優位種の種間関係

前回の基盤研究 C において、調査した 81 パッチリーフ (当時は 84 リーフであったが、3 リーフは消失) の中から、背の低い大リーフ (large flat reef) と、背の高い大リーフ (large tall reef) を選び、競争優位と考えられる 3 種 (クロソラスズメダイ、ハナナガスズメダイ、スズメダイモドキ) について、行動圏とともに種間・種内の個体攻撃頻度を観察した。サンゴ礁のデジタル航空写真画像を拡大して観察板として、上から行動圏を観察した。さらに、水中で斜め上からパッチリーフを撮影し、この画像を観察板として、立体的な縄張り関係を記載した。行動圏のオーバーレイにより、立体的棲み分け構造を調べた。また、イソギンチャクを生息地パッチとしているカクレクマノミについて、大生息地パッチにおいて劣位個体が優位個体の競争をどのように回避するにかについて調べた。

3 - 2 中小リーフでの競争劣位種の移動・分散と競争回避

個体数が多く、予備観察によって競争劣位種と考えられたミナミイソスズメダイを中心に、ルリスズメダイ、ミスジリュウキュウスズメダイ、デバスズメダイ、クラカオスズメダイ、ロクセンスズメダイの個体識別された個体の行動圏を観察した。また、数ヶ月時間間隔を経てリーフ間を移動しているかどうかを確認した。また、上記の種類について、

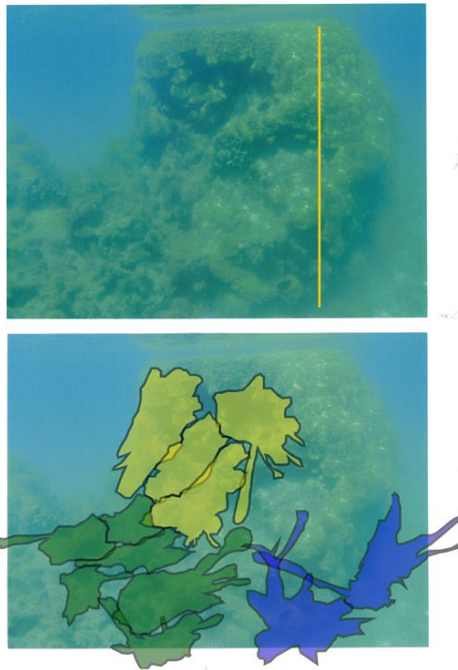


図1 背の高い大リーフでの競争優位種間の種間縄張りと立体的棲み分け: 緑色がハナナガスズメダイ、黄色がクロソラスズメダイ、青色がスズメダイモドキの種間縄張りを示す。黄色のスケールは2mを示す。

新規定着個体の分布を調べた。さらに、競争劣位種であり、移動分散種として知られるクマノミについて、個体群の北限個体をサンプルし、その遺伝子の塩基配列を用いて個体群の分散/定住比を解析した。すなわち、亜熱帯に適応した個体がどの程度北限個体群に混ざっているのかを調べた。

3 - 3 リーフ高に注目した生息種数の予測

前回の基盤研究Cにおいてパッチリーフを対象に面積と各種の個体数および生息種数を調査したが、今回、全く同じ手法を用いてもう一度調査を行い、さらにそのデータにリーフ高のデータを加えて、種数体積関係を分析した。また、パッチリーフ群全体での生息種数を種数体積関係から予測できるかどうか、二つの方法を試した。すなわち、1) 種数体積関係の回帰関数をそのまま使い、パッチリーフの合計面積を当てはめて計算した値が総生息種数とほぼ一致するかどうか、2) 前回の基盤研究Cで適用したランダム置換モデルを用いたコンピュータシミュレーションを種数体積関係に当てはめ、その結果から回帰関数を導き、そこにパッチリーフの総面積を代入して総生息種数を予測し、検証した。

4 . 研究成果

4 - 1 リーフ高に注目した大リーフでの競争優位種の種間関係

背の低い大リーフと背の高い大リーフでの種内・種間相互作用の頻度を比較すると、クロソラスズメダイとハナナガスズメダイでは、背の低い大リーフでは種間相互作用の頻度が高く、背の高い大リーフでは種内相互作用の頻度が高くなった。これは、リーフ高が種間競争を緩和する要因であることを示している。スズメダイモドキに関しては、個体数が少なかったため、統計的に有意な差は検出できなかった。背の高い大リーフでの種間縄張りの観察により、明確な立体的な棲み分け構造を記述できた(図1)。

イソギンチャクを生息地パッチとしているカクレクマノミについては、劣位個体は小型の体サイズを維持することによって優位個体からの攻撃を回避し、劣等な場所に滞在しながら優位個体の消失を待ち、消失した後に成長を開始して優位な立場に着くことを明らかにした。

4 - 2 中小リーフでの競争劣位種の移動・分散と競争回避

競争劣位種と考えられた藻類食魚のミナミイソスズメダイの個体識別追跡調査によって、実際にはこの種はリーフ間を移動しているわけではないことが明らかになった。縄張りは持たず、他種への攻撃もほとんど行わないが、一つのリーフに調査期間中は滞在していた。競争劣位種が分散優位種となっているのかどうかについては、識別個体のリーフ間移動を2~3年追跡するだけでは明らかにできないということがわかってきた。しかし、ミナミイソスズメダイのような個体数の多い種の中に、81個のパッチリーフ中、20個程度にしか生息しない種が存在しており、そのような種の中に、ハナナガスズメダイやスズメダイモドキが含まれていることがわかった。個体数が最も多い上位8種に注目すると、競争優位種と考えていたクロソラスズメダイはむしろ移動分散優位種となり、ハナナガスズメダイとの競争関係を回避していることと整合性がとれた。また、ミナミイソスズメダイやミスジリュウキュウスズメダイやクラカオスズメダイ、ルリスズメダイは生息リーフ数が多く、移動分散種と見なせることがわかった。このことから、定着後に競争回避を行うのではなく、幼生期に競争回避を行いながら定着場所を選んでいる可能性が示された。

競争劣位種として知られるクマノミの北限個体群を対象とした遺伝子による個体群組成の調査は現在まだ分析が終わっていない。亜熱帯に適応した個体がどの程度北限個体群に混ざっているのかについては現在確認中である。

4 - 3 リーフ高に注目した生息種数の予測

種数面積関係の再調査により、前回の基盤研究Cの結果から得られたのと同じく、対数面積と生息種数の関係に明瞭な回帰直線を引くことで、対数面積から生息種数を予測できることを確かめられた。さらにリーフ高のデータを加えると、すなわち、面積×高さの対数値と生息種数の関係により有意な回帰直線を引くことができ、生息種数の予測精度を上げることができた(図2)。さらに、

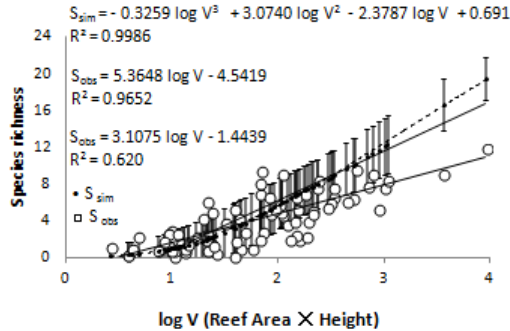


図2 種数体積関係の観測グラフ(白丸)とランダム置換モデルシミュレーションの結果(一万回の平均値と2標準偏差を縦棒で示した)。実線はそれぞれの回帰直線、破線は多項式回帰による回帰曲線を示す。体積とは、パッチリーフのリーフ面積×リーフ高のことである。

ランダム置換モデルによるコンピュータシミュレーションの結果を用いると多項式回帰による回帰曲線を用いると総生息種数を予測できることが明らかになった(図2)。リーフ体積はリーフ面積の1.5乗には比例せず、むしろ直線的な関係が見られた。

4 - 4 . 考察

前回の基盤研究Cにおいて明らかになった「大パッチリーフにおいては、種数面積関係から予想される程には生息種数は多くならない」という現象は、今回の研究により、以下のように説明できる：1) 背が低い大リーフでは種間競争が激しくなるため、生息種数が面積から期待されるほどには多くならない、2) 背の高いリーフでは、リーフ側面を利用する種が種間競争を回避できるため、同じ面積ならより多くの種が生息できる、3) サンゴ礁の礁池では、水深が最大でも3m程度であるため、大リーフの多くは、相対的には背が低いリーフとなる(図3)。したがって、相対的に背が高い中小リーフ群で総生息種数が多くなることになる。また、中小のリーフ群は競争劣位種の逃避所として機能されていることが示唆された。リーフに定着した後の移動リスクが高いために、基本的にはリーフ間の移動はなく、むしろ、定着前、す

なわち、幼生の新規加入時に競争回避を行っているものと推察された。おそらく、競争劣位個体は小型の体サイズを維持しながら劣等な場所で生活し、優位な個体が消失した場合に空いた生活空間の一部を利用しながら成長するのではないか。今後、競争劣位種に注目した適応戦略の研究を通して、総生息種数を増加させる景観構造を明らかにしたい。本研究により、メタ群集の理論から予測される『競争と分散の種間トレードオフ』がサンゴ礁魚類にも適用でき、種数面積関係の成り立ちを説明することができた。

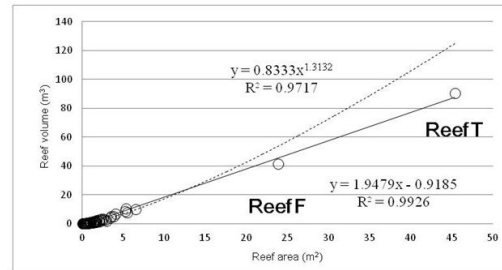


図3 パッチリーフの面積と体積の関係。背の高い大リーフ(Reef T)と背の低い大リーフ(Reef F)が示してある。リーフ面積の増大とともにリーフ高がアロメトリック式によって増す場合の最適な回帰関数を示したが、むしろ直線回帰の方がよく説明できることを示す。

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 3件)

服部, 「イソギンチャクとクマノミ類の共生関係の多様性：分布と組合せに関する生態学的レビュー」, 日本サンゴ礁学会誌, 査読有, 13巻, 2011年, 1-27

HATTORI, “Determinants of body size composition in limited shelter space: why are anemonefishes protandrous?” Behavioral Ecology, 査読有, 23巻, 2012年, 512-520

HATTORI, SHIBUNO, “Habitat use and coexistence of three territorial herbivorous damselfish on different-size patch reefs”, Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 査読有, 93巻, 2013年, 2265-2272

[学会発表](計 5件)

服部, 「グループ内体長組成の決定因子：なぜクマノミ類は雄性先熟か?」, 第44回日本魚類学会年会, 2011年10月1日, 弘前大学

服部・澁野, 「高解像度航空写真画像を用いた野外調査: サンゴ礁魚類保全のための生息地評価」, 日本サンゴ礁学会第 14 回大会, 2011 年 11 月 5 日, 沖縄県男女共同参画センター

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

HATTORI, SHIBUNO, “Species-area relationships and distribution patterns of damselfishes under random colonization”, 12th ICRS (International Coral Reef Symposium), 2012 年 7 月 12 日, Cairns, Australia.

服部・澁野, 「競争優位種の空間配置と攻撃頻度: リーフサイズはいかにスズメダイ科魚類群集に影響を与えるか?」, 第 45 回日本魚類学会, 2012 年 9 月 23 日, 水産大学校

服部・澁野, 「高解像度航空写真画像を用いた野外調査: スズメダイ科魚類の生息種数の多い場所の予測」, 第 46 回日本魚類学会, 2013 年 10 月 5 日, 宮崎観光ホテル

〔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
<http://www.edu.shiga-u.ac.jp/~hattori/gakkai.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

服部 昭尚 (HATTORI AKIHISA)
滋賀大学・教育学部・教授
研究者番号: 90273391

(2) 研究分担者