

## 論文の内容の要旨

水圏生物科学専攻

平成 24 年度博士課程進学

氏名 澤山周平

指導教員名 小松輝久

論文題目 サンゴ礁魚類群集に及ぼすハビタット空間配置の影響

サンゴ礁生態系は高い一次生産性と生物多様性を有し、また多くの財や生態系サービスを提供する源泉でもあるため人類にとって極めて重要である。しかし近年、局地的および地球規模の様々な要因によるサンゴ礁生態系の衰退が世界中で報告されている。こうした問題に加え、国内外における海洋保護区の設置のための取り組みの活発化もあり、サンゴ礁域に生息する生物やそれらのハビタットの分布に関する生態学的情報のニーズと重要性が高まっている。中でもサンゴ礁に生息する魚類には生きたサンゴに強く依存した生態を持つものが多いため、保全生態学的見地からサンゴ礁魚類とハビタット（特に生きたサンゴ）の関係については頻繁に研究されてきた。こうした既往研究の多くはコドラート法などの局所的観測手法によってハビタットを定量化しており、ハビタットの空間的広がりを含む配置についての概念は無視されてきた。しかしながら、空間内におけるハビタットの配置は生息する魚類の多様性や個体数密度などに影響を与えている可能性があり、また実際にハビタットを保全する上ではそれらの空間配置の考慮が不可欠である。したがって、より実用的な生態学的研究のためには、空間内に面的に広がるハビタットを効率的に定量化（マッピング）する手法が必要である。そのためのツールとして、衛星リモートセンシングの技術は大きなポテンシャルを有していると考えられるが、これを応用したサンゴ礁魚類の生態学的研究はこれまでほとんど行われておらず、実際の保全に役立っているとは言い難いのが現状である。本研究では、衛星リモートセンシングにより作成したハビタットマップとサンゴ礁魚類の多様性や種組成、個体数密度などのデータを組み合わせて解

析を行い、ハビタットの広がりおよび空間配置がサンゴ礁魚類群集にどのような影響を及ぼしているか明らかにすることを旨とした。特に、ハビタットの空間配置が生物群集に及ぼす作用の一つとして知られるエッジ効果、すなわちハビタットの縁辺域（エッジ）において種多様性や特定の種の個体数密度が高くなる現象に焦点を当てた。これにより、実際のサンゴ礁魚類の保全に資する知見を得るとともに、サンゴ礁魚類の生態学的研究における衛星リモートセンシングの有用性について検討した。本研究では、インドネシアのスラウェシ島南西部に位置するスペルモンデ諸島の中の3つの島の周囲のサンゴ礁を対象地とした。スペルモンデ諸島は地球上で最も魚類の多様性が高いとされるサンゴ礁域（coral triangle）に含まれている一方、近年では破壊的漁業や水質汚染の進行によるサンゴ礁生態系への悪影響が懸念されており、この地域で本研究を行う意義は大きい。

まず、サンゴ礁魚類の生態学的研究に適用する上で十分な精度および空間解像度を備えたハビタットマップを作成するための手法的検討を行った。GPSと水中ビデオカメラを用いた調査で得たグランドトゥルースデータを基に、最尤法自動分類により衛星画像中の各ピクセルを4つのクラス（生サンゴ、死サンゴ、海草および砂礫）のいずれかに分類することでハビタットマッピングを行った。その際、空間解像度の異なる複数のマルチスペクトル衛星画像（AVNIR-2画像、WorldView-2画像およびパンシャープンWorldView-2画像）と2種類の放射量補正法（DI指数法および深度帯マスクング法）を用い、それぞれで得られたハビタットマップの精度を比較した。その結果、WorldView-2画像（2013年9月撮影、空間解像度2.0 m）に深度帯マスクング法を適用した場合において全体の分類精度が最も高く、いずれのクラスにも深刻な誤分類がなかったことから、これを以降の魚類の生態学的研究におけるハビタットマップとして用いた。また、このマップから各島の西側の礁斜面に発達したサンゴ礁が分布していることを確かめ、この領域を魚類研究の対象地とした。

上記のハビタットマップ中の各ハビタットクラスの分布を基に砂礫域、貧サンゴ域、縁辺域、移行域および中央域という各海域を定義した。縁辺域、移行域および中央域は生サンゴの豊富な海域（富サンゴ域）の一部である。このうち縁辺域は砂礫域から最も距離が近く、富サンゴ域のエッジに相当する。また中央域は砂礫域から最も遠い海域、移行域は縁辺域と中央域の間の海域である。2013年および2014年6月に貧サンゴ域、縁辺域、移行域および中央域の各海域内に正方形の調査区（20 m×20 m）をそれぞれ5、9、7、8区ずつ設定し、魚類のトランセクト調査を行った。各調査区に20 mのラインを7.5 m間隔で3本ずつ平行に設置し、幅5 mの範囲の潜水目視観察によりトランセクト内（20 m×5 m×3=300 m<sup>2</sup>）に出現した魚種を記録した。また一部の魚種については出現個体数も記録した。こうして得た魚類の非出現・出現データと個体数データから4海域間の魚類群集の種多様性や種組成を比較した。その結果、平均出現種数、総出現種数およびその海域に特異的に出現した種の数は全て縁辺域で最も多かった。さらに希薄化曲線（rarefaction curve）を用いて4海域それぞれの種多様性を同じ調査面積に補正して比較すると、貧サンゴ域、移行域および中央域の多様性は同程度であるのに対し、縁辺域の多様性はそれらよりも高いことが示された。全ての海域を総合した場合の種多様性と比較しても、同じ調査面積においては縁辺域の多様性の方が上回っていた。また、スズメダイ科やハゼ科など特定の分類群における種多様性も縁辺域で高い場合が多かった。これらの結果から、縁辺域は中央域や移行域に比べて極めて高い魚類の種多様性を有すること、すなわち魚類の種多様性にはエ

ッジ効果の影響があることが明らかとなった。また、各海域の魚類群集を特徴付けている種を見出すため指標種分析を行った結果、貧サンゴ域において最も多くの指標種が検出された。また富サンゴ域の3海域中では、縁辺域において最も多くの指標種が検出された。縁辺域の指標種は、サンゴの枝間に隠れ住むテンジクダイ科の一種 *Apogon compressus* や偏性サンゴ食性のチョウチョウオ科の一種 *Chaetodon octofasciatus* のように生サンゴと生態学的に強い関連を持つものが多く、サンゴ群集との関連が示唆された。さらに非計量多次元尺度構成法により各海域の魚類群集の種組成を比較すると、貧サンゴ域の種組成は富サンゴ域の3海域のそれとは大きく異なることが確認された。また、縁辺域の種組成は一部において移行域および中央域の種組成と異なっていた。

サンゴ礁生態系内で特に重要な機能群と考えられる肉食性魚類およびサンゴ食性魚類のグループまたは種について、個体数密度指数  $D'$ （上述のトランセクト調査で得られた個体数密度の平方根変換値）の平均値を各海域間で比較した（Tukey-Kramer法）。その結果、偏性サンゴ食性チョウチョウオ類およびその主な構成種である *C. octofasciatus* の  $D'$  は縁辺域において他の富サンゴ域よりも有意に高く（ $P < 0.01$ ）、エッジ効果の影響が確かめられた。また、肉食性のイトヨリダイ科の一種 *Scolopsis margaritifer* の  $D'$  は、縁辺域において中央域よりも有意に高かった（ $P < 0.05$ ）。

さらに、各海域の面積と魚類の個体数密度のデータから対象地全体の個体数を推定する手法を考案し、その手法の有用性を検討するため複数の前提条件の下で推定を行った。その結果、*C. octofasciatus* の個体数推定では富サンゴ域の空間配置を考慮した場合と考慮しなかった場合で推定値が大きく異なることが確かめられた。

衛星リモートセンシングを応用することにより、サンゴ礁魚類群集の多様性や種の個体数密度が富サンゴ域のエッジ効果の影響を受けていることを本研究は初めて示した。こうしたエッジ効果が生じる要因として、縁辺域に分布するサンゴ群集の形態的・分類学的特徴と魚類によるそれらの利用、砂礫域の餌資源へのアクセシビリティ、栄養塩の循環効率などの影響が考えられる。従来のサンゴ礁魚類に関する生態学的研究においてはサンゴの被度ばかりが重要視される傾向があったが、実際の保全においてはハビタットの空間配置を考慮しなければならないことを具体的事例から示した本研究の意義は大きい。また本研究で得られた知見は、衛星リモートセンシングが今後のサンゴ礁魚類の効果的な保全の上で鍵となる技術であることも示している。例えば、衛星リモートセンシングにより広いサンゴ礁域から縁辺域のような魚類の多様性や個体数が局地的に高い海域（ホットスポット）を検出することができる。こうした海域の情報は、海洋保護区、サンゴの移植地、集中的なオニヒトデの駆除域などの具体的な区域の設定を可能にし、サンゴ礁生態系の保全策に活用できる。また衛星リモートセンシングによるハビタットマッピングは、サンゴ礁魚類群集のモニタリングや個体数推定のための有用なツールとなる。今後こうした衛星リモートセンシングを応用した生態学的研究が増えることにより、サンゴ礁魚類の効果的な保全に役立つ生態学的知見が蓄積されていくと考えられる。以上、本研究で得られた知見は、サンゴ礁魚類の生態学に対する巨視的・空間的なアプローチの導入を促進する上で重要な意味を持ち、今後のサンゴ礁生態系の保全と修復に資するものと期待される。