

【4-1304】島嶼 - サンゴ礁 - 外洋統合ネットワーク系動態解明に基づく石西礁湖自然再生への貢献 (H25 ~ H27 ; 累計予算額 110,194 千円)

灘岡 和夫 (東京工業大学)

1. 研究実施体制

- (1) 数値シミュレーションモデル解析と現地調査に基づく「島嶼 - サンゴ礁 - 外洋」統合ネットワーク系の構造解明 (東京工業大学)
- (2) メタゲノム解析による生物多様性の把握とサンゴ礁レジリエンス過程の観察 (国立研究開発法人水産総合研究センター)
- (3) 石西礁湖を中心としたサンゴ礁生物の reef-scape connectivity の解明 (宮崎大学)
- (4) 石西礁湖におけるサンゴ礁性生物の再生産及び関連する環境動態の把握 (国立研究開発法人水産総合研究センター)

2. 研究開発目的

本研究は、石西礁湖及び周辺海域におけるサンゴ礁生態系の広範な衰退現象とその背後にある回復力 (レジリエンス) の減退をもたらしているメカニズムを明らかにするべく、そのキーとなる、石西礁湖周辺海域における島嶼からの環境負荷及びサンゴ礁生物の分散・再生産過程を“島嶼 - サンゴ礁 - 外洋統合ネットワーク系”の観点から解明することを目的とする。そして、それに基づいて、有効な石西礁湖自然再生策につながる科学的知見を提供する。

3. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

近年、世界のさまざまな地域でサンゴ群集の計画的モニタリング調査が実施されてきたが、科学的知見を得るための解析が行われた例は少ない。石西礁湖および周辺海域で行われてきた 16 年間のモニタリング調査を詳細に解析し、サンゴ群集の被度変化パターンの類別化と、その原因となる攪乱要因を特定した本研究は、長期モニタリングデータの貴重な応用例である。また、2007 年以降サンゴ群集の回復力が低下している地域を特定できたことにより、今後、生物的要因と物理的環境要因をさらに分析し、回復力の低下をもたらした原因を解明するためのターゲットエリアが明確となった。

オニヒトデの大発生メカニズム解明に関して、本研究では、『栄養塩仮説』を検証する上で必要不可欠な野外での浮遊幼生の分布および餌である植物プランクトン環境を、全サブテーマ共同での合同一斉調査やサブテーマ(4)の観測から明らかにした。その結果、石垣港周辺では、他と比べて常に植物プランクトン濃度が高く、生活排水の影響で植物プランクトン密度を $0.2 \mu\text{g/L}$ から $0.5 \mu\text{g/L}$ と 2 倍以上に上昇していることが示された。一方、名蔵湾では、台風通過後のみ高く、河川の増水という一時的な陸水の影響で、瞬間的に植物プランクトンが高密度になっていることが推定された。こうした石垣島南部海域での高密度プランクトンの出現特性は、サブテーマ(2)によるメタゲノム解析の結果とも整合的だった。栄養塩に関しては、植物プランクトンの増殖の結果を反映していることが多く、栄養塩単独では餌環境のモニタリング指標には適さないと判断できる。しかし、オニヒトデ幼生が多く出現したのは、植物プランクトンが高密度であった石垣港周辺ではなく、むしろ植物プランクトン密度は低い方であった竹富島北(K5)であり、餌の供給源と幼生の出現場所は分けて考える必要があると提言できる。

野外オニヒトデ幼生を検出するための技術を確立し、オニヒトデ幼生の高密度集団を世界で初めて発見することに成功した。こうした幼生の高密度集団が大量発生の引き金となっている可能性を明らかにした。またオニヒトデ幼生を人工的に大量作出し、約 1 週間程度飼育した後、これに天然のプランクトンを餌として与え、24 時間経過した幼生の胃内容物のメタゲノム解析を行う

ことで、餌生物を特定する方法を、世界で初めて開発した。約 500 個体について解析を行ったところ、OTU 数の割合として、渦鞭毛藻 36%、珪藻 36%、動物プランクトン 24%、繊毛虫 10%、クリプト藻・ハプト藻 10%、原生動物 9%を検出することに成功し、オニヒトデ幼生が微細藻類を中心にデトライタスを捕食している可能性のあることが示された。本法により、『栄養塩仮説』が正しいかどうかの検証が可能になり、重要な餌生物の特定に貢献できる。

世界初となる「陸域-海洋-生態系」統合型モデルシステムの開発に成功したことで、陸域からの栄養塩負荷がどの程度、またどのように海域に広がり、生態系にどのような影響を及ぼすかを初めて定量的に示すことができるようになった。これによって、実際に陸域からの栄養塩負荷がオニヒトデの大量発生に繋がっていること明示され、『栄養塩仮説』が裏付けられた。さらには、栄養塩負荷の程度に応じたオニヒトデ密度やサンゴ群集被度を定量的に示すことが可能となった。

石西礁湖周辺海域において、サンゴ類に関して、これまで明らかにならなかった種境界を明らかにし、それら隠ぺい種の分布を予測する環境要因をそれぞれの種について明らかにした。このような景観遺伝学的解析は世界的に見てもまだ数が少なく、大きなインパクトがある。アオサンゴに関して、それまで 1 目 1 科 1 属 1 種とされていたところ、隠ぺい種を発見し、それらの好む環境因子の違いや産卵期などの生態学的な違いを明らかにした。サンゴの隠ぺい種は近年遺伝学的な手法で見つかったはいるものの、このような生態学的な違いまで明らかにした例は少ない。また八放サンゴでしばしば種判別や系統解析に用いられる ITS2 領域において、隠ぺい種 2 種間で極めて珍しい進化を遂げていることを発見し、IF の比較的高い雑誌に報告することができた。

これまで未解明であったサンゴの着生直後 1 年間の生残率について、格子状基盤および人工的に作出した幼生を用いることによって、着生後 1 年間の生残率をエリアごとに評価することができた。その結果、これまで、サンゴの回復が遅い場所は、初期生残率も低いと考えられてきたが、サンゴの回復の有無にかかわらず 1 年 3 か月後の生残率は 15%程度であることが明らかとなった。しかし、石西礁湖の外側の外洋に面した場所に関しては、6 か月後までは 20%程度で維持されていたが、1 年 3 か月後には 1%程度まで急激に低下した。これは、稚サンゴが被覆状から枝が立ち上がる段階で捕食圧以外のストレスがかかっている証拠である。

(2) 環境政策への貢献

< 行政が既に活用した成果 >

特に記載すべき事項はない。

< 行政が活用することが見込まれる成果 >

石西礁湖および周辺海域で現在サンゴ群集の状態が良い場所、攪乱により被度が低下したがミドリイシ新規加入数が多く素早い回復が見込まれる場所、2007 年以降サンゴ群集の回復がみられない場所などが特定できた。これらの地理的情報は、対象海域のサンゴ群集の保全政策を立案する上で重要な知見となる。

本研究で開発に成功した「陸域-海洋-生態系」統合型モデルシステムによって『栄養塩仮説』が裏付けられた。このことから、サンゴ礁生態系保全のためには陸域からの栄養塩負荷の積極的な削減が必要であることが示された。この統合モデルシステムによって栄養塩負荷の削減率とサンゴ被度回復効果との関係性を定量的に示すことが可能となったことから、サンゴ被度回復目標を設定する際に、科学的な根拠を基にした栄養塩負荷の削減目標を提案するための行政支援ツールとしての活用が見込まれる。

栄養塩や赤土流入などのローカルな環境負荷に加えて、今後、海水温上昇や海洋酸性化などのグローバルな環境変動がより顕在化していくものと予想されている。本研究で明らかにした各攪乱要因がサンゴ群集の構造や被度に与える影響を統合型モデルシステムに組み込むことで、このようなローカル・グローバルの複合的な環境負荷のもとでのサンゴ群集動態の将来予測を行うこ

とが可能になる。それは、本研究の成果が、様々な環境負荷シナリオのもとでのサンゴ礁生態系保全の可能性を検討するための支援ツールとして活用できる可能性を示すものである。

石西礁湖周辺海域における広域多点一斉調査等より、当該周辺海域におけるプランクトン出現種の組成や生物多様性の程度が明らかとなり、また、陸源負荷の影響評価のため、河川由来のケイ酸塩を利用して増殖する珪藻に着目して解析したところ、石垣島南部（特に石垣港周辺）を中心に高頻度の分布が見られたことから、陸源負荷の起源が、主に石垣島南部にあることを示すことができた。これにより、今後、河川水や生活排水由来の陸源負荷をどの様に軽減していくか、行政サイドと連携を深めていくデータを提示することができた。

地域絶滅の危険度が高い保育型のアオサンゴのデータを中心に、connectivity から推定された保全管理ユニットの提案ができた。本研究で提示した異なる保全管理ユニットでは幼生分散がごく限られてしまい回復の見込みがないと考えられることから、それぞれの海域において地域絶滅が起こらないように保全していく必要がある。また石西礁湖周辺海域におけるソース・シンクの観点から、西表北東ユシングチ周辺や黒島と新城島間の礁周辺など特に重要なサンゴ群集の絞込みに成功した。

4．委員の指摘及び提言概要

サンゴ礁の衰退に関して「栄養塩仮説」を統合型モデルの上で検証したほか、サンゴの新規加入による被度回復やオニヒトデとの相互作用につき興味深い結果が得られている。一方で、個別の研究が十分にモデルに集約されるには至っていない。また、査読論文の成果が十分ではない。今後は、それらの成果の論文化や行政施策への反映に努めていただきたい。

5．評点

総合評点：B