

(別紙様式-4)

緑の海仮説における検証：薩南諸島硫黄島海域における光環境と光合成生物分布の計測
Green sea hypothesis: Measurement of light environment and phototrophs
under water around Iwo island

松尾太郎、名古屋大学・理学研究科

研究目的

鹿児島県薩摩硫黄島周辺の海域は熱水由来の鉄を豊富に含み、太古の還元的な海洋環境に類似していると考えられる。本研究はこの海域におけるフィールド調査により、太古の海洋における光環境と光合成生物の集光機構の共進化を理解することを目的とする。

約 30 億年前の太古代の海水中に多量に存在した二価鉄は、シアノバクテリアの酸素発生により水酸化鉄の懸濁粒子へと変化し、水中光の透過スペクトルを変化させた。この結果、光の透過（光の窓）はクロロフィルが吸収しにくい緑色側へとシフトしたと考えられる。このような環境変化が、緑色光を吸収する集光アンテナ（フィコビリソーム）の進化を促し、結果として大酸化イベントにつながったとする「緑の海仮説」を提唱した（Matsuo et al 2025）。

本研究では、鉄濃度が高く実際に「緑の海」を形成している薩摩硫黄島周辺海域における、光環境と光合成生物の関係を観測・比較することで、この仮説を検証することを目的とした。

研究方法

2025 年 5 月 20 日から 23 日にかけて、鹿児島大学附属練習船「南星丸」で海洋観測を実施した。調査は、名古屋大学・大阪大学・京都大学の研究チーム（教員 3 名、研究員 1 名、学生 1 名）に加え、鹿児島大学の安樂和彦教授および中央研究院（台湾）の Yung-Che Tseng 研究員らと共同で行った。

観測では、① 分光放射照度計および CTD を用いた、水深ごとの透過光スペクトルおよび水温の測定、② 採取した海水の化学分析と、光合成色素の分析（名古屋大学共通機器を用いた蛍光スペクトル測定および大阪大学共通機器を用いたフローサイトメトリー解析）を実施した。

これにより、「緑の海（高鉄環境）」と「青の海（低鉄環境）」の比較を行い、光環境とシアノバクテリアの色素特性の関係を解析した。

研究結果および考察

1. 鉄濃度と光環境

緑の海は青の海と比較して、10 倍以上高い鉄濃度を示した（図 1）。また、水中の透過光スペクトルは、海域の色に対応して、緑の海は緑色光、青の海は青色光が卓越していた（図 2）。さらに、同じ水深で比較した場合、緑の海の光量は青の海の約 1/10 と著しく低かった（図 3）。これは、水酸化鉄粒子が高い反射率を持つため、光が散乱・反射されることにより、水中がより暗い光環境となるためと考えられる。



図 1. 鹿児島県薩摩硫黄島の緑の海
☆は調査地点を示す。

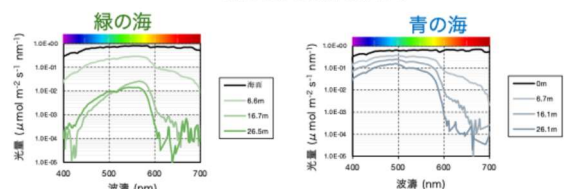


図 2. 水中の透過光スペクトル

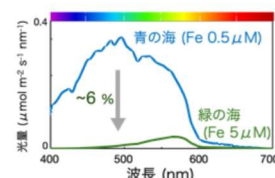


図 3. 緑の海と青の海の水深 11m の透過光スペクトル

2. シアノバクテリアの色素分布

シアノバクテリアの色素分析の結果、光環境に相関して、緑の海では緑色光を吸収する色素を多く持つ種が青の海より優占する傾向を示した（図 4 左）。また、緑の海に分布するシアノバクテリアは、青の海と比較してフィコビリソーム由来の蛍光量が高いことが確認された（図 4 右）。一般に、暗い光環境では光合成生物は光獲得効率を高めるため色素量を増加させる。本結果は、硫黄島周辺の鉄による暗い緑色海域においても同様の適応応答が生じている可能性を示唆する。

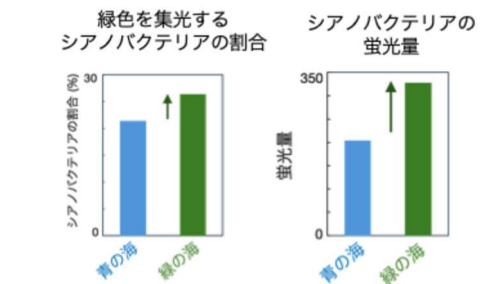


図4. 硫黄島海域のシアノバクテリアの色素分布

まとめと今後の展望

薩摩硫黄島周辺の高鉄環境におけるフィールド観測により、鉄濃度の増加に伴う光環境の変化（緑色化・低照度化）と光環境に対応したシアノバクテリアの色素特性の変化が明らかとなった。これらの結果は、太古代の海洋において、酸素発生により形成された水酸化鉄粒子が光環境を緑色へと変化させ、その環境がフィコビリソームを持つシアノバクテリアの進化・選択を促した可能性を支持する。

今後は、採取した海水試料について ICP-AES による詳細な元素分析を実施し、鉄以外の元素組成や懸濁粒子の化学形態を明らかにする。これにより、光環境と元素環境の相互関係をより統合的に理解し、太古海洋環境の再現と光合成生物の進化の解明を進める予定である。