

【学術変革領域研究 (B)】

復元細胞機能学：集光性アンテナ複合体の復元（復元細胞機能）

研究代表者	東京農業大学・生命科学部・准教授
	渡辺 智 (わたなべ さとる) 研究者番号：10508237
研究課題情報	課題番号：24B304 研究期間：2024年度～2026年度
	キーワード：シアノバクテリア、フィコビリソーム、進化、ナノ構造体、1分子相関観察

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

生命は地球上に誕生して以来、環境に適応するためにさまざまな生理機能を獲得し、その過程で地球と相互に影響し合いながら進化してきた。では、なぜ生命の基本単位とも言える細胞ですら、機能をこれほどまでに多様に発達させることができたのだろうか？実は、人類はきちんとした答えを持っていない。我々はこの疑問に答えるためには直接的な証拠を得ることが必要だと考え、本領域「復元細胞機能学」を立ち上げた。具体的には、シアノバクテリアの光アンテナを例として、その細胞機能や進化原理を理解し、新たな細胞機能の開発を目指す（図1）。

1. **発掘**：地球環境と関連付けながら環境中のゲノム情報から多様な細胞機能を見つけ出す。
2. **再構成**：異種の細胞内や試験管内で、これらの機能を再現し、その機能を調査する。
3. **可視化**：細胞の機能の多様性を、1つずつ可視化し、理解を深める。
4. **天然凌駕**：復元した細胞機能の知見を元に天然の機能を超越する新たな細胞機能を創出する。

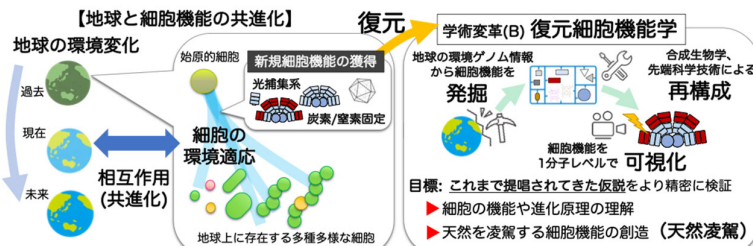


図1 本領域（復元細胞機能学：集光性アンテナ複合体の復元）の概要

シアノバクテリアは光合成により地球環境の形成に大きく関与し、現在では海や淡水、砂漠、温泉、氷河などあらゆる環境に生息する。シアノバクテリアの細胞機能の一つに、光を効率的に捕集する**集光性アンテナ複合体フィコビリソーム**が挙げられる（図2）。フィコビリソームは光化学系のクロロフィルだけでは吸収できない波長の光を捕らえ、光エネルギーを光化学系へと伝達するという役割を持つ。これまでに扇型やロッド型など様々な構造のフィコビリソームが発見されている。また、フィコビリソームは環境や栄養状態によってサイズや性質を変化させ、光化学系へのエネルギー伝達を適切に調整することが知られている。我々はフィコビリソームがシアノバクテリアの多様性・可塑性を支える重要な細胞機能であり、**地球光環境とシアノバクテリアの共進化に深く関わった細胞機能であることから「復元細胞機能学」の最初の材料として適していると考えた。**

本領域ではシアノバクテリアのフィコビリソームの**新たな機能や多様性**を見出すとともに、**地球光環境と集光システムの進化の関係性**を明らかにする。

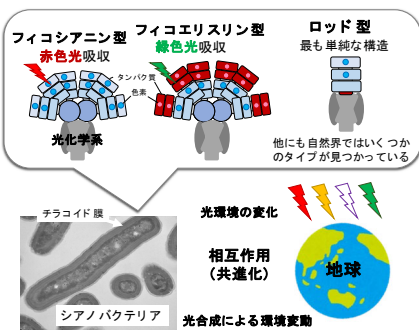


図2 集光性アンテナ複合体フィコビリソーム

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

地球の惑星環境の多様性と変化と紐付けながら、環境ゲノム情報を精査することで新たなフィコビリソームの遺伝子情報を探索（**発掘**）し、シアノバクテリア細胞内でそれらを機能的に異種発現、あるいは試験管内で人工構築（**再構成**）し、そして先端顕微鏡技術によりフィコビリソームの構造多様性と機能を1分子レベルの分解能で解析する（**可視化**）。これにより「**地球光環境とフィコビリソームの共進化**」や「**細胞内でのフィコビリソームの多様性**」に関する新たな実験的証拠を取得する。さらに得られた知見を利用して、天然を凌駕する集光システムの創造（**天然凌駕**）を目指す（図3）。本領域は幅広い分野（惑星科学、光生物学、進化情報生物学、合成生物学、生化学、物理学）を専門とする中堅・若手研究者により構成されており、3つの計画研究班（A01-A03）を設定して本領域研究を進める。

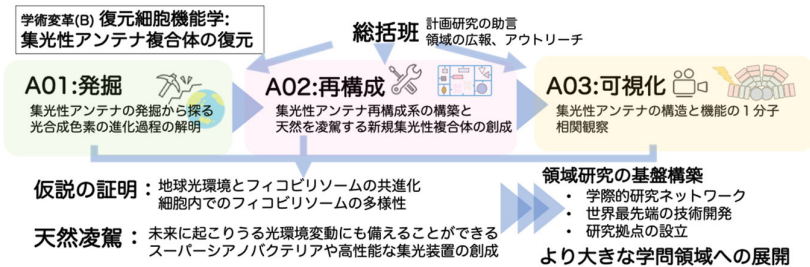


図3 本領域の研究目的と相互連携体制

総括班（渡辺智、松尾太郎、渡辺麻衣）：コミュニケーション促進、広報活動

A01班（松尾太郎、三宅敬太、今野直輝）：多様な光環境からフィコビリソームに関わる新たな遺伝子を環境ゲノム情報から抽出し生息地の光環境とフィコビリソームの分布の相関関係を導出する。さらに代推定に基づく始原的な色素や集光性タンパク質の特定を目指す。

A02班（渡辺智、中田栄司*）：フィコビリソーム関連遺伝子をモデルシアノバクテリアにおいて異種発現させることで多様なフィコビリソームを再構成する。また、試験管内でのフィコビリソームの再構成にも取り組み、ナノ構造体「DNAオリガミ」を足場に光を捕集してエネルギー伝達する人工複合体を創成する。

*連携研究者

A03班（渡辺麻衣、藤芳暁）：電子顕微鏡とクライオ蛍光顕微鏡を用いて平均化せずに一つ一つの複合体の構造と機能との相関観察をおこなう（1複合体ごとの構造機能解析）。具体的にはフィコビリソームの生理活性を蛍光分光法によって1分子ごとに観察し電子顕微鏡で得られた構造と相関させる。

●研究領域の波及効果

フィコビリソームを最初の研究対象として構築する「復元細胞機能学」の研究基盤はさまざまな研究分野に新しい研究概念を提供し、より大規模な新興・融合領域の形成を促進する。

1. **高性能な集光システムの開発**：フィコビリソームのもつ光環境適応と高効率光捕集のメカニズムを理解し、再構成することが出来れば高性能な集光システムの開発に役立てることができる。
2. **1分子光電子相関観察技術**：フィコビリソームに限らず様々な細胞機能に利用可能な顕微鏡観察技術を確認する。これにより細胞内でタンパク質が「いつ、どこで、何をしているか」という基本的な情報を得ることができる。
3. **地球惑星科学研究への展開**：従来の惑星科学研究に新たな視点を提供し、約30億年にわたる地球と生物の共進化の過程をより詳細に解き明かすことができます。将来的には太陽系外の惑星における生命活動の探査にも貢献できると考えられる。

ホームページ等

<https://restorative-cell-func.jp/>