



Title	緑色植物の進化に伴う光化学系の変遷に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	亀尾, 辰砂
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第16222号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95340
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	KAMEO_Shinsa_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士 (環境科学)

氏 名 亀尾 辰砂

審査委員 主査 教授 田中 亮一
副査 教授 三輪 京子
副査 助教 高林 厚史

学 位 論 文 題 名

緑色植物の進化に伴う光化学系の変遷に関する研究
(Studies on the evolutionary changes of photosystems in green plants)

光合成は光エネルギーを化学エネルギーに転換し、その化学エネルギーを用いて糖などの様々な生体物質を合成する反応である。生物は光合成の産物を直接または間接的に利用しているため、これは生命活動の源ともいえる極めて重要な反応である。また、一次生産者である光合成生物は海から陸上まで、また熱帯から寒帯まで広く適応し、多様な環境で光合成を行うことでエコシステムを支えている。そのため、光合成生物の進化や環境適応は地球環境という観点からも重要な意義を持つ。光合成システムの環境適応能を支える機構の1つは集光アンテナ系の多様性である。光合成の根幹を担う光化学系は、高度に保存された反応中心複合体および多様な周辺集光アンテナから構成されており、後者の多様性は環境適応能と密接に関与していると考えられている。近年、緑藻類の光化学系の構造解析が進んだことで、緑藻類の特に光化学系IIには予想以上の多様性が見られることが明らかになってきた。しかしながら、とりわけ緑藻の進化初期分岐系統群の光化学系についての先行研究が限られていることから、緑藻の進化初期にどのように光化学系が変遷したのか、また緑藻から陸上植物への進化の過程でどのように光化学系が変遷したのか、については明らかになっていない。

本研究で、申請者は、まず、光化学系を分離する手法であるNative電気泳動法、Clear-Native(CN)-PAGEを改変することで、機能や構造を維持したままでの光化学系の分離を試みた。その結果、デオキシコール酸を両親媒性ポリマーの一種amphipol A8-35に変更するとともに、buffering ionをTricineからhistidineもしくはBisTrisに変更し、バッファー系を弱酸性にすることで、光化学系IIからの酸素発生複合体の解離を効果的に抑制することに成功した。また、この系は従来法と比べて欠点は見つからなかった。そのため、この新しい実験法は従来法に比べて機能や構造解析のための光化学系の分離に適していると結論付けられた。

続いて、申請者は緑藻類の進化過程における周辺集光アンテナ (light-harvesting complex: LHC) 遺伝子群の変遷を調べることを目的とし、これらのタンパク質群の系統解析を行った。系統的に重要な分類群であるPyramimonadophyceaeおよびNephroselmidaceaeについては、ゲノム情報が公開されている種が存在しなかった。そのため、それぞれの分類群から*Pyramimonas parkeae*および*Nephroselmis astigmatica*を選び、RNA-seq解析を実施してLHC配列を取得した。これらの配列にゲノム情報が公開されて

いる緑藻の配列を用いて、系統解析を行った。その分岐パターンから判断すると、Prasinodermaphytaに属する*Prasinoderma colonial*, およびChlorophytaに属する*P. parkeae*, *N. astigmatica*の光化学系Iは同様のLHC組成を持つと推定され、それは緑藻の共通祖先のLHCアンテナの組成であろうとの考察がなされている。さらに、それらのLHC組成はMamiellophyceaeに属する*Ostreococcus tauri*とは異なっていた。モデルプラシノ藻類である*O. tauri*の光化学系IのLHC組成が他のプラシノ藻類と異なっていたことは予想外であり、共通祖先の集光系から進化の過程で変わったことが示唆された。これらは緑藻の光化学系の進化を考える上で重要な知見である。

さらに、緑藻の共通祖先と同じLHCの構成を持つと推定された*P. parkeae* の光化学系IをCN-PAGEで分離した結果、上記の配列解析から予想される通り、一般的な陸上植物より大きな周辺アンテナを持つことを示した。さらに、陸上植物ではNADH dehydrogenase-like (NDH)複合体と光化学系Iの超複合体形成に用いられているLHCA5タンパク質は、Chlorophytaに属する緑藻類では光化学系Iの周辺アンテナで集光に機能することが示唆された。これは陸上植物の光化学系I循環的電子伝達経路の制御の起源を考える上で、重要な知見である。

これらの知見は、緑藻の進化に伴う光化学系の変遷を理解するための分子的な基盤であるとともに、緑藻が海洋から淡水、淡水から陸上へと弱光から強光環境へと適応する過程においてのLHCアンテナの変遷の意義を理解するためにも重要である。また、今後、緑藻の進化初期分岐系統群の光化学系の構造解析を進めていく上でも重要な知見と言える。

審査員一同は、これらの研究成果を高く評価した。また、研究者として様々な試行錯誤を繰り返しながら新たな実験系を開発したこと、誠実かつ熱心な研究姿勢、大学院博士課程における研鑽や修得単位なども総合的に判断し、申請者が博士（環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。