



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Studies on diversity and chloroplast reduction in Paragymnodinium (Dinophyceae) [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	横内, 洗; Yokouchi, Koh
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第14795号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85941
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Koh_Yokouchi_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(理学) 氏名 横内 洸

学位論文題名

Studies on diversity and chloroplast reduction in *Paragymnodinium* (Dinophyceae)
(パラギムノディニウム属(渦鞭毛藻綱)における多様性と葉緑体の縮小進化の研究)

葉緑体は、光合成性原核生物と非光合成性真核生物の細胞内共生(一次共生)により成立し、さらに他の非光合成性真核生物との細胞内共生(二次共生)を経て様々な系統に広がったと考えられている。一方、藻類を含む広義の植物の中には、一度獲得した葉緑体の光合成機能を失ったものも多く知られている。渦鞭毛藻類では、葉緑体機能の消失が複数回起こったと考えられており、結果として異なる系統に複数の従属栄養性種が認められる。しかし、渦鞭毛藻類における葉緑体の縮小進化の過程については研究例が少ない。本研究では、単一の属内(*Paragymnodinium* 属)で光合成能力(栄養摂取様式)に差が見られる渦鞭毛藻類の種間比較により、葉緑体の縮小進化の初期段階のプロセスを解明することを目的とした。

本論文は4つの章で構成されている。第1章では、葉緑体進化の概要、渦鞭毛藻類の特徴、葉緑体縮小に関連する研究の背景をまとめた。

本研究では、*Paragymnodinium* 属の渦鞭毛藻類を用いた。本属はKangら(2010)により韓国産の*P. shiwhaense*をタイプ種として設立されたもので、葉緑体を持ちながら捕食も行う混合栄養性である点、複雑な射出装置であるネマトシストを持つ点が特徴である。第2章では、光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡、透過型電子顕微鏡による形態観察、および分子系統解析に基づいて、*Paragymnodinium* 属に属する新奇の渦鞭毛藻類4種を記載した。*Paragymnodinium stigmaticum*は長径8.5–15.2 μm、短径6.3–12.4 μmで、ネマトシストや葉緑体を持ち、餌を捕食するなど、*P. shiwhaense*と多くの特徴を共有していた。しかし、*P. shiwhaense*とは、捕食メカニズム、葉緑体チラコイドの微細構造、眼点の存在、底生性であること(*P. shiwhaense*は浮遊性)などで区別された。*Paragymnodinium verecundum*は長径9.4–17.1 μm、短径5.7–13.6 μmで、細胞の形状や眼点、ネマトシストを有する点、捕食を行う点、底生性である点で*P. stigmaticum*と類似していた。一方、*P. verecundum*は*P. stigmaticum*には見られない負の走光性とプシュールを持つことから別種であると考えられた。*Paragymnodinium asymmetricum*は長径7.9–12.6 μm、短径4.7–9.0 μmで、捕食行動を示さず、光合成のみで増殖が可能であった。本種はネマトシストを持つ点や眼点を持たない点、浮遊性である点など、*P. shiwhaense*と多くの特徴を共有していた。しかし、*P. asymmetricum*は下錐の形状が左右非対称であることや、捕食を行わない光合成性である点によって*P. shiwhaense*と区別された。*Paragymnodinium inerme*は長径15.3–23.7 μm、短径10.9–19.6 μmで、捕食行動を示さなかった。本種は細胞の形状や浮遊性である点で*P. shiwhaense*と類似していたが、捕食を行わない点で異なっていた。また、ネマトシストの構造が崩壊していた点も*P. inerme*に特有であった。18Sおよび28SリボソームDNA配列を連結して分子系統解析を行ったところ、4種の渦鞭毛藻類は*P. shiwhaense*と単系統を形成し、狭義の*Gymnodinium*クレードに含まれた。形態的特徴と系統関係から、これらの渦鞭毛藻類はすべて*Paragymnodinium*属の未記載種であると結論づけられた。また、様々な栄養獲得様式を示す種を含む*Paragymnodinium*属は、葉緑体の機能の進化を調べるための研究材料として好適であると考えられた。

第3章では、*Paragymnodinium asymmetricum*、*P. inerme*、*P. stigmaticum*の成長速度、色素組成、吸収スペクトル、可変クロロフィル蛍光に基づく光化学系II活性、および炭素固定速度を解析した。捕食を行わない独立栄養性種である*P. asymmetricum*と*P. inerme*は、高い光化学系II活性と炭素固定速度を示した。また、この2種の色素組成は、他の典型的なペリディニン型渦鞭毛藻類と類似していた。一方、捕食性種*P. stigmaticum*は従属栄養的な成長を示し、餌となるクリプト藻*Rhodomonas* sp.の添加が成長に必要であった。また、光化学系II活性と炭素固定速度は、独立

栄養性の2種に比べて著しく低かった。*P. stigmaticum*の色素組成は他の2種と同様であったが、ペリディニン、クロロフィル c_2 、 β -カロテンの含有比は独立栄養性の2種と大きく異なっていた。吸収スペクトル解析の結果、*P. stigmaticum*ではクロロフィル a のQy帯のピークが長波長側にシフトしており、クロロフィル-タンパク質複合体の変化が推測された。このような*Paragymnodinium*属内の違いは、光合成機能が失われる過程で生じている現象を示していると考えられた。

第4章では、*Paragymnodinium asymmetricum*、*P. inerme*、*P. stigmaticum*、さらに近縁な属の光合成性種*Gymnodinium catenatum*のトランスクリプトーム解析を行い、ヘム、クロロフィル、イソペンテニル二リン酸およびカロテノイドの合成経路、カルビン回路、光合成に関与する遺伝子の発現の差異を比較した。光合成性種*P. asymmetricum*、*P. inerme*、*G. catenatum*は、互いに近い遺伝子発現パターンを示した。一方、*P. stigmaticum*は、光合成機能を担う構成要素のうち、光化学系IIとその光捕集複合体の発現のみが著しく欠如していた。さらに、*P. stigmaticum*では*rbcL*遺伝子の転写が見られないことが判明した。また、*P. stigmaticum*ではクロロフィルやカロテノイド合成経路の一部の遺伝子発現が欠如していたが、ヘムやイソペンテニル二リン酸合成経路は他種と同程度の発現が見られた。これらの結果は、*P. stigmaticum*の光合成活性と炭素固定能力が不活性化している事実と整合性が取れており、光合成能力消失の初期段階における遺伝子発現の変化過程の一例を示していると考えられた。

以上、本研究は*Paragymnodinium*属渦鞭毛藻類のさらなる種多様性の解明に貢献したとともに、それらを研究材料とした比較研究により、葉緑体縮小の初期段階で生じる諸現象の詳細を明らかにした。これらの発見は、渦鞭毛藻類のみならず、広義の植物群の様々な系統に見られる葉緑体縮小進化の全貌解明に向けた注目すべき知見をもたらしたと言える。