

氏名(本籍)	なかやま やまぐち はるよ 中山(山口)晴代(茨城県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博甲第5707号
学位授与年月日	平成23年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	生命環境科学研究科
学位論文題目	Taxonomy and Phylogeny of the Raphidophyceae (Heterokontophyta) (不等毛植物門ラフィド藻綱の系統分類学的研究)
主査	筑波大学教授 理学博士 井上 勲
副査	筑波大学教授 学術博士 橋本 哲男
副査	筑波大学准教授 博士(理学) 石田 健一郎
副査	筑波大学准教授 博士(農学) 鈴木 石根

論文の内容の要旨

不等毛植物は、緑色植物門に匹敵する遺伝的にも形態的にも多様な生物群からなり、現時点で、褐藻類を頂点とする16綱が認識されている。紅藻類の二次共生によって誕生した二次植物で、中生代以降、海洋の主要な生産者であり、炭素循環の生物ポンプを駆動する主役として地球生態系の維持に重要な役割を果たしている。ラフィド藻綱(Raphidophyceae)は、淡水及び海水域に広く存在する単細胞自由遊泳性の不等毛植物の一群である。比較的小さなグループで、現在までに7属18種が知られる。海産種は大規模な赤潮を形成し、甚大な漁業被害をもたらすことから、基礎生物学、水産学的な立場からさまざまな研究が行われてきた。海産ラフィド藻は主要光合成色素としてフコキサンチンを持つため茶色に、淡水産ラフィド藻はそれを欠くため黄緑色を呈する。分子系統解析から、本藻綱の単系統性は強く支持され、ラフィド藻の進化の過程で、海から陸水への進出、光合成色素の進化があったと考えられているが、詳細は明かでない。一方で、1990年代後半、底生性のラフィド藻が発見されたことから、底生性の進化を含むラフィド藻綱全体の系統と進化の研究の必要性が指摘されている。

本論文で、中山氏は、新規に底生性ラフィド藻の探索を行い、新属を含む2種について、光学、電子顕微鏡による観察、解析と分子系統解析を行った。また、淡水産ラフィド藻2属の分子情報を取得し、ラフィド藻綱のすべての属を含む分子系統解析を行い、ラフィド藻綱の系統と進化における形質進化を明らかにした。これらをもとに、ラフィド藻綱の分類を再構築している。研究の概要は、以下のようである。

1) 新規底生性ラフィド藻 *Haramonas pauciplastida* sp. nov. の記載：バンクーバー島の砂から単離された新規ラフィド藻の形態観察及び18S rDNAによる分子系統解析にもとづいて、底生性ラフィド藻 *Haramonas pauciplastida* sp. nov. として記載した。本藻の葉緑体は黄緑色を呈することで *H. viridis* に似るが、葉緑体の数、ラメラを形成するチラコイドの数、ピレノイドの存在様式などの点で異なる。分子系統解析から、本藻を含む *Haramonas* 3種は単系統群を形成すること、*Haramonas* 属はラフィド藻綱において、比較的初期に派生し、*Haramonas* 属の共通祖先において底生性を獲得したことが示唆された。

2) 新規底生性ラフィド藻 *Chlorinimonas sublosa* gen. et sp. nov. の記載：和歌山県の砂浜から単離された新規ラフィド藻の形態観察及び 18S rDNA 分子系統解析を行い、新属新種 *Chlorinimonas sublosa* gen. et sp. nov. を記載した。細胞は長円形で、2本の不等長の鞭毛を持ち、ディスク状で黄緑色の葉緑体を多数持つ。*Heterosigma* 属に似るが、ピレノイドへのチラコイドの陥入がないこと、ガードルラメラを持たない点で他のラフィド藻と属レベルで異なる。本藻は *Chattonella* 属及び *Heterosigma* 属の基部で分岐したことが高いブートストラップ値で支持された。また、顕微分光法により、本藻の葉緑体にはフコキサンチンが非常に少ないことがわかった。

3) ラフィド藻綱全体の分子系統解析：ラフィド藻綱を構成するすべての属の分子情報を得るため、新たに淡水産ラフィド藻 *Goniostomum semen* と *Merotrichia bacillata* の培養株を作成し、これらの配列を含めた 18S rDNA 分子系統解析を行った。その結果、淡水産ラフィド藻は単系統群だが、海産ラフィド藻に含まれる結果を得た。Thronsen (1993) は海産ラフィド藻と淡水産ラフィド藻にそれぞれ独自の目、科の名前を提唱した。しかし、海産ラフィド藻は多系統で、したがって、Thronsen の提唱した分類体系は適切ではない。本論文では、ラフィド藻綱の科および目の記載文の修正を行い、海産種および淡水産種を 1つの科・目にまとめる分類学的処置を行っている。

4) 形質進化：系統関係と海産、砂浜産および淡水産ラフィド藻類における形質状態の解析から、ラフィド藻綱内で底生性の進化は独立に 2 回生じたこと、フコキサンチンの消失または減少は独立に 3 回生じていることが示唆された。光合成色素の変化は、海洋プランクトンから淡水や砂浜という生育環境の変化と関係していることが示唆された。本研究により、底生性ラフィド藻の研究が、赤潮藻の進化およびラフィド藻綱全体の進化を考察する上で重要であることが示された。

審 査 の 結 果 の 要 旨

ラフィド藻綱の一部の藻類は 1800 年代から認識されていたが、研究者によって、しばしば、相反する見解が示されるなど、長い間、分類学的な混乱が続いてきた。現在のラフィド藻綱 (Raphidophyceae) は、1980 年に Silva によって *Raphidomonas* Stein (1878) をタイプとして有効な学名として提唱されたもので、分類、系統解析ともに、本格的な研究の歴史は浅い。中山氏は、新規の底生性ラフィド藻類を発見、記載し、同時に分子情報が皆無であった淡水産 2 属を加えることで、すべての属を含む系統解析を可能にした。信頼性の高い系統樹の構築と、詳細な微細構造を含む形質評価から、ラフィド藻綱の系統と形質進化を明らかにした。本研究は、ラフィド藻綱全体を対象とした系統と進化に関するはじめての研究であり、これまでの分類の不備を正し、信頼に足る分類系を提案したこと、海産プランクトンから底生性への進化、光合成色素の進化のシナリオを提示したことは高く評価できる。また、ラフィド藻綱の葉緑体チラコイドの特殊性をはじめて発見、指摘したことは、ラフィド藻綱にとどまらず、今後の不等毛植物全体の研究に波及するものと評価される。

よって、著者は博士 (理学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。