

論文内容要旨 (和文)

24 年度入学 大学院博士後期課程

地球共生圏科学 専攻 生物学 分野

氏 名 高橋 和也



論文題目 Systematic study on the family Suessiaceae (Dinophyceae)
(スエシア科渦鞭毛藻類の系統分類学的研究)

渦鞭毛藻類は、細胞外被構造である amphiesmal vesicle (AV) の数と鎧板の有無に基づき有殻種と無殻種に大別されるが、中間程度の AV 数をもつ種はこれらとは別に *Woloszynskia* 属に分類されてきた。*Woloszynskia* 属は、分子系統解析の結果から複数の系統群からなる人為分類群であることが示され、眼点と上錐溝の微細構造の違いに基づきスエシア科、ボルギエラ科、トヴェリア科の3科に再編された。これら3科のうちスエシア科藻類は、ブロック状構造を含む複数の小胞からなる眼点 (Eタイプ眼点) と、単一の伸長した AV (elongate apical vesicle; EAV) を含む上錐溝をもつことで特徴づけられる。スエシア科は、以前は *Woloszynskia* 属に所属した一部の種と共に、海産共生性の *Symbiodinium* 属や *Pelagodinium* 属などから構成される一群である。本科構成種の多くは海産の小型種であることが分かっていたが、光学顕微鏡下で無殻種と酷似するだけでなく、識別に必要な AV 配列が観察できないことを主因として、種の記載や同定が十分に行われて来なかった。近年では、スエシア科に所属する海産小型種が世界の沿岸域に広く分布することや、一部は赤潮形成による魚類斃死に関わることも分かっていた。本研究では、スエシア科渦鞭毛藻類を対象として、1) 構成種の形態形質の把握と記載報告、2) 形態的・生態的特徴の系統的獲得過程の推定、そして3) スエシア科構成種を識別できる形態形質の把握、を目的に系統分類研究を行った。

研究試料は、日本の沿岸域と陸水域、そして周辺各国から採集して単藻培養株を確立するとともに、培養株保存施設から譲受したものを加えた。遊泳細胞とシストの形態は、光学顕微鏡、蛍光顕微鏡、走査型・透過型電子顕微鏡で観察した。系統関係は、SSU rDNA, ITS, LSU rDNA 配列に基づき近隣結合法、最節約法、最尤法で系統樹を作成して推定した。なお、スエシア科の特徴をより明確にするために、ボルギエラ科とトヴェリア科渦鞭毛藻の試料も入手して比較した。

形態形質の比較と分子系統解析の結果から、スエシア科9種、ボルギエラ科4種、トヴェリア科6種、および所属不明1種を識別した。これらのうち、既報種と形態的・遺伝的形質が異なる種は未記載種とした。スエシア科では *Biecheleria* 属の海産種 *B. brevisulcata* を新称として記載した他、スエシア科の淡水産2種 *Limnopolarella miricentonis* ms. と *Leiocephalum pseudosanguineum* ms., トヴェリア科の淡水産種 *Cardiodinium matutinum* ms., 所属不明の海産種 *Dactylocladus pterobelotum* ms. を未記載種とし

て識別し、新分類群名の正式発表は一部行っていないが、それぞれの形態形質を記載した。*B. brevisulcata* は本属の既記載種より上錐溝の globular knob 数が少ないことなどで識別された。スエシア科の *L. miricentonis* と *L. pseudosanguineum* は上錐溝をもたない点が特徴的であり、前者は上錐腹面右側に位置する大きな AV、後者は U 字状の核と AV 列数 (24 列以上) により全ての本科構成種と識別できた。トヴェリア科の *C. matutinum* は生活史の長い期間をハート形の不動細胞で過ごす、この特徴は既報種にはみられない。所属科不明の *D. pterobelotum* がもつ 5 列の AV 列数は全ての *Woloszynskia* 類の中で最も少なく、上錐に位置する発達したペダングルと、側毛が付随するトリコシストをもつ点の特徴的である。なお、このトリコシストの形状は渦鞭毛藻綱の中でも初報告となる。既報種では、*Biecheleriopsis adriatica* の横溝下縁の縫合線が直線状であること、そして *Polarella glacialis* の葉緑体が下錐中で層状構造を形成することが、本研究で新たに観察された形態形質である。

分子系統解析では、対象とした全 20 種は 3 科の系統群に含まれた。これらのうち 19 種の形態形質は所属する科の特徴と一致した。しかし *D. pterobelotum* は、スエシア科系統群の根元に位置しながら、ボルギエラ科の特徴である B タイプ眼点と pair of elongate anterior vesicle (PEV) を含む上錐溝が観察された。この系統関係から、スエシア科とボルギエラ科はこれまで姉妹群と認識されてきたが、ボルギエラ科構成種がスエシア科の根本で側系統群となっている可能性が示された。未記載種であることを確認した淡水産の *L. miricentonis* と *L. pseudosanguineum* は、淡水産の寄生性種 *Piscinoodinium* sp. や環境 DNA 配列とスエシア科系統群内で単系統群を形成した。スエシア科は主に海産種から構成されると認識されてきたが、この結果は科内に複数種からなる淡水産種の系統群が存在することを示す。系統関係から、E タイプ眼点は海産、淡水産、自由生活性、寄生性などの生態的特性にかかわらずスエシア科内で安定した形質であること、上錐溝は科内の特定の系統で失われたこと、チラコイドが陥入するピレノイドは科内の主に海産種からなる系統で一度獲得されたこと、寄生性種は淡水産の系統群から派生し、海産の共生性系統群とは微細構造と系統的位置が異なることなどが明らかとなった。

ボルギエラ科やトヴェリア科との比較からは、スエシア科に見られる E タイプ眼点と EAV を含む上錐溝の特徴は、一部上錐溝自体を失った種を除き、科内で進化的にも安定した、他の科と識別できる有用な形態形質であることが分かった。また、無殻種と酷似することから同定が困難であった海産小型スエシア科渦鞭毛藻については、構成種の形態比較から、眼点と S 字状に深くくびれた縦溝を持つことが同定の基準となることが分かった。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

2015 年 8 月 7 日

理 工 学 研 究 科 長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 横 山 潤

副査 半 澤 直 人

副査 Richard W. Jordan

副査 岩 滝 光 儀

副査



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論 文 申 請 者	専攻・分野名 地球共生圏科学専攻（生物学分野）氏名 高 橋 和 也		
論 文 題 目	Systematic study on the family Suessiaceae (Dinophyceae) (スエシア科渦鞭毛藻類の系統分類学的研究)		
学位論文審査結果	合格	論 文 審 査 年 月 日	2015 年 7 月 22 日～ 2015 年 8 月 7 日
論 文 公 聴 会	2015 年 8 月 7 日	場 所	理学部 1 号館 12 番教室
最 終 試 験 結 果	合格	最 終 試 験 年 月 日	2015 年 8 月 7 日

学位論文の審査結果の要旨（1,000 字程度）

本学位論文は 5 章から構成されている。第 1 章では渦鞭毛藻類全体および本研究の対象群であるスエシア科の分類に関するレビューがなされ、本科藻類の分類に関する問題点および本研究の目的が明示されている。第 2 章では、本研究で得た渦鞭毛藻類の培養株の産地および培養株の樹立方法、形態観察、系統解析の手法がまとめられている。第 3 章では、本研究で得られた渦鞭毛藻類の形態観察（光学顕微鏡・電子顕微鏡）に基づく分類結果がまとめられており、スエシア科と近縁科に属する 20 種が識別された。このうち、5 種は新分類群（4 新属の設立を含む）であり、海産種の多い本藻群において特に淡水産種の多様性を詳細に明らかにしたことは、本研究の特筆すべき成果の一つである。また、電子顕微鏡を用いた詳細な形態観察から、既報種に新たな形質を見いだした事も重要な成果である。第 4 章では分子系統解析の手法を援用して、本研究で得られた渦鞭毛藻類の系統関係を明らかにしている。解析結果は基本的には既往の科の分類を支持したが、所属科不詳であった種がスエシア科系統群の姉妹群となるなど、形態形質による従来の上位群設定に合致しない事例も見いだされた。スエシア科内では、本研究で初めて記録された淡水産の 2 種が寄生性渦鞭毛藻類と単系統となることが明らかとなった。本科には既に動物と共生関係を結ぶ種群の存在が明らかになっているが、これらの他の生物と関係をもつ性質はそれぞれ独立に進化したことなども明らかとなった。科内に多様な生育環境（海水・淡水）および生活様式（自由生活、共生性、寄生性）を含むことが示された渦鞭毛藻類は類例がなく、本研究によるスエシア科の高い進化的ポテンシャルの解明は、渦鞭毛藻類の進化全体を考える上で重要な事例になるといえる。この結果もまた、本研究の特筆すべき成果である。第 5 章ではこれまでの結果をふまえて、形質の再評価を行なった上でスエシア科の新しい定義について提案している。これら一連の研究は、渦鞭毛藻類のみならず、微細藻類全般の系統分類に応用可能な知見を多数含む点で高く評価される。

本研究の成果の一部は、既に申請者を筆頭著者とする査読付き欧文誌に掲載されている。論文全体は適切に構成されており、記述も正確かつ論理的である。審査員 4 名で審査した結果、本学位論文は、研究テーマの新規性・独自性、専門知識に基づく背景・目的の正しい記述、論文構成および論理性、明確な結論の提示、のいずれの審査基準も十分に満たしていると判断されたため、学位論文の審査を合格と判定した。

最終試験の結果の要旨

最終試験は、申請者に博士論文の内容についてのプレゼンテーション（約 35 分）を行なってもらい、その内容および関連する事項について、口頭で質疑する形式（約 25 分）で実施した。微細藻類の分類に関する一般論、渦鞭毛藻類特有の問題点など、研究に直接関連する内容の質疑の他に、系統解析の手法、生物の系統進化などに関する一般的な内容の質疑を行い、専門分野に対する理解度、今後の研究展開能力などについての評価を行なった。その結果、博士の学位を授与するのに十分な知識と能力を有していると判断されたので、最終試験を合格と判定した。