

学 位 論 文 題 名

A systematic study
of the order Gelidiales (Rhodophyta) from Japan

(日本産紅藻テングサ目の系統分類学的研究)

学位論文内容の要旨

日本産紅藻テングサ目の野外藻体及び培養藻体をもとに、形態学的・分子系統学的・生理学的な手法を用いて系統分類学的研究を行った。

核コードの SSUrDNA (small subunit of ribosomal DNA)、ITS1 (internal transcribed spacer 1) 及び葉緑体コードの *rbcL* (large subunit of the ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase) 配列を用いた分子系統学的解析では、テングサ目全体の系統推定を行った。これらの系統樹はテングサ目が3つの大きなクレード、テングサ目で最初に分岐する *Gelidiella* クレード、*Pterocladia*/*Pterocladiella* クレード及び large *Gelidium* complex クレードからなることを示した。また、*Gelidium divaricatum* Martens (ヒメテングサ)、*G. vagum* Okamura (ヨレクサ) 及び *G. pusillum* (Stackhouse) Le Jolis (ハイテングサ) などが典型的な *Gelidium* (テングサ) 属から離れ、さらなる分類学的解析の必要性を示した。さらには、二次的仮根のタイプ (単細胞独立型、くぎ型及びふさ型) は完全に上述の3つのクレードと一致し、このことはこの形態形質がテングサ目の系統を反映した形質であることを示すものである。

テングサ目唯一の sympodial な生長様式を示す *Acanthopeltis* (ユイキリ) 属とテングサ目で一般的な monopodial な生長様式を示すとされていた *Yatabella* (ヤタベグサ) 属は、生長様式の違いを強調するこれまでの研究者によって異なる系統から派生したものと考えられてきた。しかし、SSUrDNA、*rbcL* 及び ITS1 配列を用いた分子系統学的解析はこれらの分類群が近縁であることを示した。また、これらの培養藻体及び野外藻体の生長様式を観察したところ、ユイキリ属では常に軸となる枝が変わる sympodial で、一方ヤタベグサ属は軸の変更が希なため一見 monopodial であるが実は間隔の広い sympodial な生長様式を示すことがわかった。つまり、ユイキリ属では軸の変更が常であるのに対しヤタベグサ属ではそれが時折であるという違いがあるものの、sympodial な生長様式を示すという点ではこれら2属は基本的に同じであることが明らかになった。分子データによる系統的近縁性に加えこれら2属を区別していた生長様式でも類似性が示されたことからユイキリ属とヤタベグサ属は同属として扱うべきであり、新組合せ

Acanthopeltis hirsuta (Okamura) Shimada, Horiguchi et Masuda を提唱した。

日本各地の *Pterocladia*/*Pterocradiella*-complex 21 個体群は *rbcL* 配列を用いた系統解析で 3 つの単系統群に分かれた。これら 3 つのグループは軸や第一位枝の長さ、第二位枝の幅及び軸や第一位枝の分枝間隔を含む形態形質の不連続により認識できた。これら 3 つのグループの形態的特徴は同一培養条件でも維持されていた。分子と形態データはこれら 3 つのグループが独立した種で、それぞれ *Pterocladia nana* Okamura、*Pterocladia tenuis* Okamura 及び *Pterocladia densa* Okamura であることを示した。*Pterocladia densa* は *Pterocradiella capillacea* (Gmelin) Santelices et Hommersand のシノニムである。*Pterocladia nana* Okamura と *Pterocladia tenuis* は *Pterocradiella*-type の嚢果を持つことから *Pterocradiella* 属に移すべきで、新組合わせ *Pterocradiella nana* (Okamura) Shimada, Horiguchi et Masuda 及び *Pterocradiella tenuis* (Okamura) Shimada, Horiguchi et Masuda を提唱した。

Gelidium subfastigiatum Okamura と *Gelidium elegans* Kützinger の独立性は疑問が出されている。しかし、年間を通した枝上部の季節変動を観察したところ、冬から春にかけて枝上部の形態的特徴で 2 種が区別できた。これら 2 種は ITS1 配列や低温耐性でも区別することができた。これらの形態、分子及び生理学的データは両者がそれぞれ独立した種であることを示唆した。

2 つの新種、*Gelidium tenuifolium* Shimada, Horiguchi et Masuda と *Gelidium koshikianum* Shimada, Horiguchi et Masuda を記載した。*Gelidium tenuifolium* は大型の藻体で、幅広く扁平で薄い枝や頂端の窪みによって特徴づけられる。*Gelidium koshikianum* は中型の藻体で、幅の広い軸や、狭い間隔で発出している短く分枝しない第二位枝及び第三位枝によって特徴づけられる。*rbcL* 配列を用いた系統解析は、*Gelidium linoides* Kützinger と *Gelidium tenuifolium* の、*Gelidium allanii* Chapman と *Gelidium koshikianum* のそれぞれの単系統性を高いブートストラップ値で支持した。

4 種、*Gelidiella ligulata* Dawson、*Gelidiella pannosa* (Feldmann) Feldmann et Hamel、*Pterocradiella caerulescens* (Kützinger) Santelices et Hommersand 及び *Pterocradiella caloglossoides* (Howe) Santelices を日本で初めて報告し、これらの特徴を記載した。雌雄同株の *P. caerulescens* は精子嚢群を i) 嚢果をつけた小枝；ii) 嚢果をつけた直立枝の特別な精子嚢小枝；及び iii) 特別な精子嚢直立枝に形成する。後者 2 つはこの種で初めての報告である。上述の日本新産 4 種を含む SSUrDNA 配列を用いた系統解析は *Gelidiella* クレードと *Pterocradiella* クレードそれぞれの単系統性を高いブートストラップ値で支持した。

学位論文審査の要旨

主査	教授	増田	道夫
副査	教授	片倉	晴雄
副査	教授	市村	輝宜
副査	助教授	堀口	健雄
副査	助教授	小亀	一弘

学位論文題名

A systematic study of the order Gelidiales (Rhodophyta) from Japan

(日本産紅藻テングサ目の系統分類学的研究)

本研究は形態学的形質の変異の把握が困難で、分類学的に難しいグループとされている紅藻テングサ目の日本産種の野外藻体及び培養藻体をもとに、形態学的・分子系統学的・生理学的な手法を用いて系統分類学的研究を行ったものであり、多くの新知見を得た。

核にコードされている SSUrDNA (small subunit of ribosomal DNA)、ITS1 (internal transcribed spacer 1) 及び葉緑体コードの *rbcL* (large subunit of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase) 配列を用いた分子系統学的解析では、テングサ目が3つの大きなクレード、*Gelidiella* クレード、*Pterocladia/Pterocradiella* クレード及び large *Gelidium* complex クレードからなることを明らかにし、培養実験から二次的仮根のタイプ（単細胞独立型、くぎ型及びふさ型）は完全にこれら3つのクレードと一致することを証明し、この形態形質がテングサ目の系統を反映した形質であることを示した。

テングサ目唯一の sympodial な生長様式を示す *Acanthopeltis* 属とテングサ目で一般的な monopodial な生長様式を示すとされていた *Yatabella* 属の分子系統学的解析はこれらの分類群が近縁であることを示し、これらの培養藻体及び野外藻体の生長様式の観察では、*Acanthopeltis* 属では常に軸となる枝が変わる sympodial に対して、*Yatabella* 属は軸の変更が希なため monopodial にみえるが、実際には間隔の広い sympodial な生長様式であることを明らかにし、*Yatabella* 属を *Acanthopeltis* 属のシノニムとし、新組合せ *Acanthopeltis hirsuta* (Okamura) Shimada, Horiguchi et Masuda を提唱した。

複数の種を含むことが予想されていた日本産の *Pterocladia/Pterocradiella*-complex を *rbcL* 配列を用いて系統解析して得た3つの単系統群の培養藻体及び野外藻体の詳細な形態形質の解析によって、これら3つのグループがそれぞれ独立した種、*Pterocradiella capillacea* (Gmelin) Santelices et Hommersand、*Pterocradiella nana* (Okamura) Shimada, Horiguchi et Masuda 及び *Pterocradiella tenuis* (Okamura) Shimada, Horiguchi et Masuda であることを明らかにした。

独立性に疑問が出されていた *Gelidium subfastigiatum* Okamura を *Gelidium elegans* Kützinger との詳細な比較によって、独立した種であることを確立した。

Gelidium tenuifolium Shimada, Horiguchi et Masuda と *Gelidium koshikianum* Shimada, Horiguchi et Masuda を新種として記載した。また、*Gelidiella ligulata* Dawson、*Gelidiella pannosa* (Feldmann) Feldmann et Hamel、*Pterocladella caerulescens* (Kützinger) Santelices et Hommersand 及び *Pterocladella caloglossoides* (Howe) Santelices の 4 種を日本から初めて報告し、これらの特徴を記載した。

これを要するに、著者は形態学的並びに生理学的形質の比較に、分子系統学的解析を加えて、類縁関係を明らかにしたことによって海藻類の系統分類学の新しい分野を開拓したものであり、生物学に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。