

学 位 論 文 題 名

A molecular phylogenetic study
of the family Halymeniaceae (Rhodophyta)

(紅藻ムカデノリ科の分子系統学的研究)

学位論文内容の要旨

紅藻ムカデノリ科 *Halymeniaceae* の海藻は現在約 20 属 200 種が知られており、世界中に広く分布している。しかしながら、この科の多くの属の分類はまだ確立されておらず、さらなる研究を要することが指摘されている。本研究では本科の属および種を正確に分類することを目的とし、日本及びその周辺海域に生育する分類群を主に扱った。42 種 165 株の葉緑体にコードされている *rbcL* (リブロース-1,5-二リン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ大サブユニット) 遺伝子の塩基配列を用いて分子系統学的解析を行い、その結果と既に発表されている（あるいは未発表の）形態形質と比較して、属と種レベルの分類に有効な形態形質を明らかにして、扱った分類群の所属を明確にした。さらに、数種については形態学的特徴を記載した。

分子系統学的解析による系統樹では、ムカデノリ科内に 98-100% の高いブートストラップ値で支持された *Aeodes/Pachymenia* クレード、*Polyopes* クレード、*Cryptonemia/Halymenia* クレード、*Carpopeltis* クレード、そして *Grateloupia/Prionitis* クレードの 5 つを認識した。この解析結果と形態形質との比較によって、助細胞アンプル構造のタイプと屈折率の高い髄層細胞の有無は属間の系統関係を反映することが明らかになったが、これまで属を区別するために用いられてきた藻体の質や形、藻体表面の副出枝の頻度、皮層の厚さや生殖器官の位置といった形態学的特徴はホモプラシーであることが示された。

ムカデノリ属 *Grateloupia* とキントキ属 *Prionitis* の詳細な形態形質の比較の結果、これら 2 属の種は栄養構造の形態変異の幅は大きい、いずれも *Grateloupia* タイプの助細胞アンプルを持つことなどの生殖器官の特徴が共通していることを確認した。しかし、属を区別する形質として従来用いられてきた藻体の質（ムカデノリ属では平滑な膜質であるのに対して、キントキ属では硬い軟骨質である）と生殖器官の位置（ムカデノリ属では藻体全体に散在するが、キントキ属では特別な部位に限定される）は連続的で、両者を区別する

ことはできない。分子系統樹において、タイプ種を含むこれら 2 属の種は、ムカデノリ科内で 1 つの大きなクレードを形成した。これらの結果からキントキ属をムカデノリ属の異名とし、キントキ属の 11 種をムカデノリ属へ移行し、以下の新組合せ名あるいは新名を与えた: キントキ *Grateloupia angusta* comb. nov., フシキントキ *G. articulata* comb. nov., *G. clarionensis* comb. nov., *G. corymbifera* comb. nov., ヒトツマツ *G. chiangi* nom. nov., ナガキントキ *G. elata* comb. nov., *G. americana* nom. nov., ヒラキントキ *G. patens* comb. nov., *G. pterocladina* comb. nov., オオバキントキ *G. schmitziana* comb. nov. 及び *G. simplex* comb. nov..

マツノリ *Carpopeltis affinis*、コメノリ *C. prolifera* およびマタボウ *Polyopes polyideoides* の 3 種は共通して *Aeodes* タイプの助細胞アンプルを持ち、マタボウ属のタイプ種である *Polyopes constrictus* と *Sinkoraena* 属のタイプ種であるキョウノヒモ *S. lancifolia* の助細胞アンプルと類似している (しかし、*Carpopeltis* のタイプ種の助細胞アンプル構造とは異なる)。分子系統学的解析によると、この 5 種が 100% の高いブートストラップ値で単系統となった。このことからマツノリとコメノリをマタボウ属へ移行した。また、*Sinkoraena* 属とマタボウ属も同一属であり、キョウノヒモもマタボウ属へ移行し、以下の新組合せ名を与えた: マツノリ *Polyopes affinis* comb. nov., コメノリ *P. prolifera* comb. nov. 及びキョウノヒモ *P. lancifolius* comb. nov..

東アジアとイタリア (タイプ産地) から採集したムカデノリ *Grateloupia filicina* の形態観察を行ったところ、東アジアのムカデノリは (1) 藻体は薄くて柔らかく、幅広い軸を持つ、(2) 髄糸は密集する、並びに (3) 生殖器官は藻体全体に散在するといった特徴でイタリアの藻体とは区別される。分子系統学的解析の結果は、これら 2 つの海域の個体群は *Grateloupia/Prionitis* クレードの中で異なったサブクレードに属し、それらの *rbcL* の塩基配列の違いは 6.6-6.9% (83-87 塩基) であり、東アジアのムカデノリは *G. filicina* とは別種であることを強く支持した。これらの結果に基づいて、東アジアのムカデノリを新種 *Grateloupia asiatica* sp. nov. として記載した。

北西太平洋沿岸産の *Grateloupia filicina* var. *lomentaria*、*G. filicina* var. *porracea* f. *lomentaria* 及び *Sinotubimorpha porracea* は *G. catenata* の異名であり、ウツロムカデ *G. catenata* の種名を復活させた。本種は (1) 円柱状あるいは扁圧で、中空の主軸をもつこと、(2) 主軸の表面を密に覆う、短く、*Lomentaria* 様にくびれた副出枝を形成すること、並びに (3) 生殖器官が副出枝に限定されることで特徴づけられる。

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 molecular phylogenetic study of the family Halymeniaceae (Rhodophyta)

(紅藻ムカデノリ科の分子系統学的研究)

紅藻ムカデノリ科 Halymeniaceae の属と種を正確に把握することを目的とし、42 種 165 株の葉緑体にコードされている *rbcL* (リブロース-1,5-二リン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ大サブユニット) 遺伝子の塩基配列を用いて分子系統学的解析を行い、その結果を形態学的形質と比較し、属と種レベルの分類に有効な形質を明らかにして、扱った分類群の所属を明確にした。

本研究で特筆すべき知見として、まず分子系統学的解析では、ムカデノリ科内に 98-100% の高いブートストラップ値で支持された *Aeodes/Pachymenia* クレード、*Polyopes* クレード、*Cryptonemia/Halymenia* クレード、*Carpopeltis* クレード、そして *Grateloupia/Prionitis* クレードの 5 つが認識されたことである。この解析結果と形態学的形質の比較によって、助細胞アンプル構造のタイプと屈折率の高い髄層細胞の有無は属間の系統関係を反映することが明らかになったが、これまで属を区別するために用いられてきた藻体の質や形、副出枝の頻度、皮層の厚さや生殖器官の位置といった形態学的特徴はホモプラシーであることが示された。

Grateloupia/Prionitis クレードの 2 属 (ムカデノリ属 *Grateloupia* とキントキ属 *Prionitis*) は *Grateloupia* タイプの助細胞アンプルを持つことなどの生殖器官の特徴が共通しており、両属を区別する形質として従来用いられてきた藻体の質と生殖器官の位置は連続的で、両者を区別することはできないことから、キントキ属をムカデノリ属の異名とし、キントキ属の 11 種をムカデノリ属へ移行した。

100% の高いブートストラップ値で単系統となった 3 属 5 種 (マツノリ *Carpopeltis affinis*, コメノリ *C. prolifera*, オーストラリア産 *Polyopes constrictus*, マタボウ *P.*

polyideoides 及びキョウノヒモ *Sinkoraena lancifolia*) は共通して *Aeodes* タイプの助細胞アンプルを持つことから同一属のメンバーであり、マツノリ、コメノリ並びにキョウノヒモをマタボウ属へ移行した。

東アジア産ムカデノリをタイプ産地のイタリア産標本と比較して、東アジアのムカデノリは、(1) 藻体は薄くて柔らかく、幅広い軸を持つ、(2) 髄糸は密集する、並びに(3) 生殖器官は藻体全体に散在するといった特徴でイタリアの藻体とは異なることを明らかにし、分子系統学的解析の結果は、これらが大きな *Grateloupia/Prionitis* クレードの中で異なったサブクレードに属し、それらの *rbcL* の塩基配列の違いは 6.6-6.9% (83-87 塩基)であり、東アジアのムカデノリは *G. filicina* とは別種であることを強く支持した。これらの結果に基づいて、東アジアのムカデノリを新種 *Grateloupia asiatica* sp. nov. として記載した。

藻体の主軸が中空になり、ムカデノリの変種とされてきたウツロムカデを分子系統学的解析と形態学的形質の再評価によって、独立した種と認識し、*Grateloupia catenata* の種名を復活させた。

これを要するに、著者は分子系統学的解析と形態学的形質の比較によって、ムカデノリ科の属の特徴と類縁関係を明らかにし、種の所属を決定したことによって、系統分類学を推進したものであり、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。