

論文内容の要旨

論文題目 Systematic Study on the Excavating Sponge Clionaidae (Porifera, Demospongiae, Hadromerida) from the West Pacific

[西太平洋産センコウカイメン科(海綿動物門, 普通海綿綱, 硬海綿目)の系統分類学的研究]

氏名 伊勢 優史

センコウカイメン科 Clionaidae は、d'Orbigny (1851)によって提唱され、一般に固着生活を行う他の海綿動物とは異なり、貝殻やサンゴ骨格、石灰岩など、炭酸カルシウム性の基質に酸を分泌することによって穿孔し、その穴の中で生活するという特異な生態を示す。この科には、成長すると基質を破壊して外側に溢れ出し被覆状になる種、さらには成長が進んで基質から遊離し塊状になる種、そして、穿孔基質を必要とせず、代わりに砂礫底に埋在して生活する種も知られており、生態的に非常に多様な科である。センコウカイメン科と他科のカイメン、および、センコウカイメン科内の系統関係の推定は、海綿動物における穿孔性の進化を考えるうえで非常に重要である。また、センコウカイメンは、岩礁海岸における生物侵食の主な要因となっており、養殖貝類や宝石珊瑚に穿孔する事によって被害を与える有害動物としても知られている。しかし、その分類が困難なため生態研究が進まず不明な点が多く、各種の形態の詳細な記載に基づく分類学的再検討が強く望まれていた。

しかし、これまで、センコウカイメン科の分類学的研究は、地中海とカリブ海に限られており、これらの海域よりも多くの種が分布していると予想される西太平洋ではほとんど研究が行われてこなかった。Rützler (2002)は、センコウカイメン科を 8 属に

整理し、これらは約 100 種を含むが、この分類体系は、主に地中海とカリブ海産の種に基づいて作られたものであるため、インド・西太平洋産の種で、この体系に当てはまらない例が多数存在する。また、近縁な科とされているパンカイメン科との関係にも依然、曖昧な部分が多い。

本研究では、センコウカイメン科とパンカイメン科、およびこれらと近縁ではあるが、科や属の位置が不明とされている種を用いて分子系統解析を行い、新たな分類体系を提唱した。また、この分類体系に基づいて、これまでほとんど研究の行われてこなかった西太平洋産センコウカイメン科各種の詳細な記載を行った。

分子系統解析によるセンコウカイメン科の再検討

1. 細胞核の 28S rRNA 遺伝子による系統解析

センコウカイメン科 3 属 30 種、パンカイメン科 3 種、ドウクツカイメン科 1 種、ヨロイカイメン科 1 種、そして、所属不明種 3 種を内群として用い、これに外群 2 目 5 科 5 属 5 種を加えた合計 2 目 9 科 11 属 43 種 49 個体を解析に用いた。遺伝マーカーとしては海綿動物の科や属間の系統関係の推定に有効であることが示唆されている細胞核の 28S rRNA 遺伝子を用い、5'側部分からアライメントできない部分を除去した 771 塩基対に基づき、GTR+I+G モデルにより最尤(ML)系統樹を構築した。そして、近隣結合法(NJ)と最節約法(MP)でブートストラップ 50 以上かつベイズ法(MrBayes)の事後確率 95 以上で支持された 11 のクレードを単系統群として認めた。

2. ミトコンドリア DNA の COI 遺伝子による系統解析

センコウカイメン科 3 属 15 種、ヨロイカイメン科 2 種、所属不明 2 種を内群とし、外群 3 科 3 属 5 種を加えた合計 5 科 7 属 24 種を解析に用い、ミトコンドリア DNA の COI 遺伝子 657 塩基対に基づき、系統解析を実施した。その結果、28S rRNA 遺伝子の解析では強く支持されなかった一部のクレードの単系統性や近縁性が明らかとなった。

3. 複数の遺伝子 (28S rDNA と COI) による系統解析

センコウカイメン科 2 属 13 種、ヨロイカイメン科 1 種、所属不明 2 種を内群とし、外群 3 科 3 属 3 種を加えた合計 5 科 5 属 19 種を解析に用い、28S rRNA 遺伝子と COI 遺伝子を結合した合計 1428 塩基対に基づき、系統解析を実施した。この結果、単一の遺伝子では解くことのできなかつたほぼ全ての種間の系統関係を明らかにすることができた。

3つの解析を総合した結果、Rützler (2002)によるセンコウカイメン科は単系統群にならず、パンカイメン科とドウクツカイメン科、そして科の所属不明種がセンコウカイメン科のクレードに入ることが示された。このことから、センコウカイメン科の定義を、従来言われていた穿孔能力に基づいてではなく、streptaster と呼ばれる一連の微小骨片をもつことによって定義し直し、パンカイメン科とドウクツカイメン科をセンコウカイメン科の属として扱うこととした。センコウカイメン科で最も多くの種を含んでいる *Cliona* 属も単系統にならず、支持された単系統群と形態的特徴をもとに分割し、新たに3属を設け、シノニムとされていた2属を復活させることにより、計6属に整理した。*Spirastrella* として記載されていたが属や科の位置が不明とされた3種は、Rützler (2002)による *Spirastrella* と明確に区別された。“*Spirastrella*” *vagabunda* と“*S.*” *solida* は、復活させた *Anthosigemella* 属のクレードに含まれ、“*S.*” *insignis* は、他のどの種ともクレードを形成しなかった。この種は穿孔生活を欠くこと、微小骨片が表層に特に密集して分布すること、塊状の外部形態をとるという他の種には見られない独自の形態的特徴からも、新属を設けるべきと判断された。また、このことにより、センコウカイメン科において、穿孔能力の二次的消失が起きていることが示された。これらの結果から、新たなセンコウカイメン科として4新属、2復活属を含めた17属を認め、それぞれに新たに定義を与え、分類体系を構築した。

西太平洋産センコウカイメン科の分類学的研究

西太平洋産として、琉球列島、台湾、フィリピン、ベトナム、インドネシア、パラオ、オーストラリア、ニューカレドニアより得られた合計280個体に基づいてセンコウカイメン科の分類学的研究を行った。また、北太平洋、インド洋、地中海、東大西洋、カリブ海産の標本と、国外の博物館より借用した標本16種9変種のタイプ標本を含む115個体を比較標本として観察した。従来から分類形質として重要視されていた骨片については、配列、形態、測定を詳細に行った。また、種分類に有効な新しい形態形質を探索するため、穿孔型の記載を行い、採集にあたっては生時の形態や色彩も記録した。

分子系統解析から提唱した新しい分類体系に基づき、科や属の位置に問題のあった *Anthosigmella vagabunda* と *A. solida* を含む *Anthosigmella* 属9種(3新種)、*Caesia* 属1種、*Metallica* 属1種、*Bernatia* 属8種(3新種)、*Cliona* 属3種(2新種)、*Cliothosa* 属2種(1新種)の合計6属24種について詳細な形態の記載を行った。

さらに、西太平洋産のセンコウカイメン科全種の分類学的再検討を行い、8新種17

新組み合わせを含む合計 10 属 43 種を認めた。

従来の *Cliona* 属から分けられた 6 属は、微小骨片の有無と穿孔痕の形態によってそれぞれを定義付けることができた。微小骨片を持たない属では、穿孔痕が一つの単純な穴となるか、多数の小さな球状の穴が融合する *Cliona* 属、穴が融合せず基質の表層近くに限定する *Caesia* 属、そして、円柱状になる *Pangia* 属が認められた。微小骨片を持つ属では、穿孔痕が多孔性で不規則な輪郭になる *Anthosigmella* 属、多数の小さな球状の穴が融合する *Metallica* 属、そして、一つもしくは融合しない数個の単純な穴となる *Bernatia* 属が認められた。これらの形態的特徴は、従来の分類体系では用いられていなかったが、本研究で属の分類に有効であることが判明した。

螺旋星体の形態は、従来の記載で見られるような光学顕微鏡による観察では種分類に用いるのが困難であったが、軸の長さや太さ、棘の形態や長さ、分布様式を詳細に調べ、かつ、他の形態形質と併用することにより、種分類に有効であることが明らかになった。螺旋星体の形態は、それだけで属を定義付けることはできなかったが、渦巻き状に多分岐する棘は *Anthosigmella* 属でのみ確認された。また、単純な円錐状の棘は、螺旋星体をもつ全ての属に広く存在することが明らかになり、この特徴がより祖先的なものであると推察された。

結論

形態の記載に用いた標本や新種記載に用いたタイプ標本を同時に分子系統解析にも用いることにより、より厳密に形態形質と分子系統解析を組み合わせることでセンコウカイメン科の分類体系を明らかにすることができた。このような方法は過去に例がなく、形態形質に乏しい海綿動物の分類や系統解析を効果的に行ううえで、今後、よりいっそう重要になると考えられる。

本研究の結果、センコウカイメン科は、穿孔生活を送る種のみならず、穿孔能力を持たない種や、炭酸カルシウム性基質を分泌する種、埋在生活に適應した種を含む、より生態的に多様な分類群であるという新たな姿が明らかとなった。これは、従来のセンコウカイメン科だけを対象にしては得られなかった知見であり、科や属の位置が不明であった種を扱った詳細な形態記載と分子系統解析により初めて明らかにすることができた。