

論文審査の結果の要旨

氏名 小川 晟人

本論文は6章で構成される。第1章はイントロダクションであり、本研究で取り扱った棘皮動物門ナマコ綱板足目に関する系統分類の研究の歴史と現状がまとめられている。板足目は主に深海域に分布しており採集機会を得るのが比較的困難であること、ゼラチン質の体をもつため標本が壊れやすく形態学的な研究が難しいことなどから、研究が立ち後れている現状に触れている。しかしながら、深海底生生物群集で優占的な動物群であるため、深海生物の生態や進化を理解する上で鍵になる動物群であることや、ナマコ綱の中でも祖先的なグループであるためナマコ綱の進化を探る上では重要な系統的位置にあると考えられることなどから、研究内容の重要性を明瞭に示している。

第2章は、日本産の種を中心とした板足目の分類についてまとめている。11種のタイプ標本を含む約500点の標本を詳細に観察し、次章での分子系統解析において示された新たな分類体系に従って、日本周辺の板足目の分類を再編した。日本周辺海域から6科13属42種の板足目の生息を確認することができた。カンテナナマコ科は1初記録種を含む2属7種、ハゲナマコ科（新科）は2新種、2初記録種を含む5種、クラゲナマコ科は1属1種、エボシナマコ科は2初記録種を含む2属9種、クマナマコ科は1新種を含む5属15種、ウシナマコ科は1初記録種を含む2属5種で、新種や初記録種には詳細な記載を与えた。主たる分類形質の1つである、体壁中に存在する微小な骨片については、骨片の大まかな形状のみならず、走査型電子顕微鏡を用いて微細な形態を観察するとともに、多数の骨片を観察し定量的な記述をするという新たな手法を用いることにより、より明瞭に種の識別ができることを明らかにしている。

第3章では、板足目の系統的な位置や、板足目内の科や属の分類体系を再検討するために、従来にない長さの配列を用い多くの種を含んだ2つの分子系統解析を行った。4科15属35種の板足目種を含むナマコ綱97種のチトクロームcオキシダーゼ1 (COI) 遺伝子、16S及び18SリボソームDNAの3領域（合計2485 bp）を用いた分子系統解析では、板足目の単系統性が強く支持され、現生ナマコ綱の中では無足目に続いて板足目が2番目に分岐したことが確認された。これまで4科に分類されていた板足目には6クレードが認められることが明らか

かにされ、カンテナマコ科はこのうちの 3 クレードに属し多系統群となることが示唆された。属レベルでは、カンテナマコ属、ハゲナマコ属、ユメナマコ属およびエボシナマコ属の 4 属が単系統となることを確認し、*Amperima* 属とハナガサナマコ属は多系統に、ワタゾコナマコ属とウシナマコ属は側系統となり、今後の属の再検討の必要性が示された。

この系統樹で認められた 6 クレードのうち 2 クレードでは、その支持率が低かったため、これらの 2 クレードについても明瞭な支持を確認することを目的として、より保存的な配列である 18S および 28S リボソーム DNA (合計 5603 bp) を用いた系統解析も実施した。この板足目 15 種を用いた解析においても、板足目は 6 つのクレードに分かれ、この系統樹ではすべてのクレードの単系統性が強く支持された。これにより、クラゲナマコ科、エボシナマコ科の単系統性が確立し、カンテナマコ科は側系統となる 2 クレードに分かれ、クマナマコ科は単系統群となったが、科内に遺伝距離が大きく離れた 2 クレードを包含することを明らかにした。カンテナマコ科の 2 クレードとクマナマコ科の 2 クレードを含む板足目の 6 クレードは、背側の疣足の配列、石灰環、および体壁骨片の形態によって、形態によっても明瞭に区別することができた。6 クレード間の遺伝距離は十分に大きいことから、各クレードを科とするべきであると判断された。その結果、板足目を 6 科、カンテナマコ科、ハゲナマコ科 (新科)、クラゲナマコ科、エボシナマコ科、クマナマコ科、ウシナマコ科 (厩科から昇格) に再編し、各科に形態的定義を与えることに成功した。

第 4 章では、ハゲナマコ属の種の分類を見直すため、COI 遺伝子及び MIG-seq 法を用いて決定したゲノム全体の一塩基多型 (SNP) 情報を用いて、ハゲナマコ属内の種多様性の評価を行った。太平洋、南インド洋、南極海から採集した 221 個体を用いて解析を行ったところ、COI および一塩基多型による系統樹のいずれも同一の 10 クレードが確認され、各クレードは別種と判断するのに十分な遺伝的距離で互いに分離されることが明らかとなった。本属は、これまで広く太平洋に分布するムラサキハゲナマコと、*Pannychia taylorae* の 2 種のみが認められていたが、10 種として扱うべきと結論づけた。これらの 10 種のうち、北西太平洋には 5 種が、南西太平洋には 3 種が分布しているが、これらは地理的、深度的に異なる分布範囲をもっていることを明らかにすることができた。

第 5 章では、第 2~4 章の結果を踏まえ、日本周辺を含む北西太平洋海域において板足目の種多様性が高い要因、新たに構築した体壁骨片の形状によるタイプ分けの分類学的な有効性、ムラサキハゲナマコのように広域分布種とされて

きた種の実態について、総合的な議論をし、板足目が深海底で優占的な分類群となっている成因を追求することができた。この本研究における成果については、第6章の結論で明瞭に述べられている。

なお、本論文の第2章の一部は、森田貴己・藤田敏彦との共同研究であるが、論文提出者が主体と成って分析および検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。