

要約

進化形態学は、生物の形態的多様性やその偏りを機能や適応の観点から理解しようとする学問分野である。生物の機能形態を考究する際にバイオメカニクスや形態空間解析などの手法がよく使われるが、前者は脊椎動物の筋-骨格系の解析で発展してきた手法であるのに対して、後者は貝殻形態などを対象とした理論形態学から派生し、それぞれ単独で用いられてきた。本研究では、従来別々に扱われてきたバイオメカニクスと機能形態空間解析の二つの手法を組み合わせた解析の試みとして、貝形虫の単純な筋骨格系に注目し、殻形態と閉殻筋を合わせた理論形態モデルを用いた貝形虫の進化形態学的研究を行った。本研究で扱うモデルは、殻の外形を三軸楕円体で、閉殻筋を円柱でそれぞれ近似し、殻口の縦横比、殻の膨らみ、筋肉の付着位置、筋肉の太さの四つの形状パラメータで形態を定義する。本研究では、貝形虫の行動に関する機能として殻を閉じる強さ、殻を閉じる速さ、姿勢の安定性の三つに注目し、これらの評価値を形状モデルごとに計算で求めた。求められた機能評価値を理論形態空間上の等高線として表現した機能形態空間から、機能間のトレードオフ関係が見いだされ、殻を閉じる強さは、殻を閉じる速さおよび姿勢の安定性と両立が困難であることがわかった。いずれの機能もほどほどに満たす折衷的な形態は細長い形状から球形に近い形状までのスペクトラムで実現できることがわかった。姿勢の安定性を低下させることなく殻を閉じる強さを向上させるためには、太い筋肉を腹縁に近い位置に発達させる必要がある。理論形態モデルから得られたパレート最適解は、機能特性値の組み合わせの理論的可能範囲の限界線に沿って細長く分布するが、

三つの機能特性をいずれもほどほどの値に折衷する理論形態は、そのパレート最適解の狭長な分布と平行に隣接するように分布することがわかった。

貝形虫 109 種から得られた実測データの機能形態空間内での分布を調べたところ、殻口の縦横比と殻の膨らみの間に有意な正の相関が見られ、かつ散布の分布方向が殻を閉じる強さおよび姿勢の安定性の機能等高線と調和的であることも明らかとなった。このことは、貝形虫の殻形状がそれら二つの機能を折衷するものに限られ、どちらかの機能に極端に特化したものがないことを示している。また、実際の筋肉の付着位置は殻の中央からわずかに背中側に寄った位置が卓越していたことから、パレート最適解よりも機能間の均衡が重要であることがわかった。実測データにおいて見られた形状パラメータ間の相関は、機能特性間の均衡を保つという進化的戦略であると解釈できる。

三つの機能特性と生活型を比較したところ、堆積物表生種は閉殻力よりは姿勢の安定性をやや優先させているのに対して、内生種は姿勢の安定性を多少犠牲にして強い閉殻力を実現する傾向が見られた。一方葉上種は、表生種と内生種の間間的な値をとる傾向にあった。貝形虫の系統樹の端点に生活型の形質状態を配置したところ、生活型が同形形質になることがわかった。このことから、機能特性と生活型の連関が、単なる系統的制約によるものではなく、捕食者に対する適応の結果であると解釈できる。

本研究は貝形虫の形態と機能特性の関係性を理解する基礎を示した。殻装飾や筋肉の微細組織のようなより細かい構造を取り入れて本研究を発展させるためには、より複雑なモデルが必要である。