

# 論文審査の結果の要旨

氏名 椎野 勇太

本論文は、無脊椎動物腕足動物門スピリファー類の殻の流体力学的特性を可視化流水実験と数値流体解析法を用いて調べて、受動的採餌流の発生機構を考察した独創的な研究である。

腕足動物は二枚の石灰質殻体を持つため、顕生累代を通じて豊富な化石記録を持つ。生態学的には、殻体内に取り込んだ海水中の微小な有機物を触手冠と呼ばれる採餌器官によって濾過して食べる非活動的の底生動物である。本論文で扱われたスピリファー類は、古生代の浅海域に大繁栄を遂げたのち、ジュラ紀前期に絶滅した腕足類の一目で、燕が翼を広げたような外形と殻中央部にサルカスと呼ばれる顕著な膨らみを持つ特異な殻形態で特徴づけられる。このような殻形態が採餌効率と何らかの関連性があるという考えは古くからあったが、詳細は不明であった。論文提出者は、バイオメカニクスの視点からこの問題に取り組み、多くの新知見を得ることに成功した。

本論文は、5章から構成される。第1章では、現生・化石腕足動物の食性と殻形態との関連性、とくに受動的採餌流に関する先行研究のレビューと本研究の目的が述べられている。第2章では、スピリファー類の殻周りでの受動的採餌流の挙動について可視化流水実験の結果がまとめられている。従来、殻内部で発生する受動的採餌流については、殻側面の隙間から取り込んだ後にサルカスの隙間から排出するという説 (Rudwick-Vogel モデル) と、サルカスの隙間から取り込み殻側面の隙間から排出するという説 (Willams-Ager モデル) という相反する2つの仮説が提唱されていたが、それらの妥当性については未検証のままであった。論文提出者は、デボン紀のスピリファー類2種 (*Paraspirifer bownockeri* と *Cyrtospirifer* sp.) の保存のよい化石標本から精巧な透明プラスチックモデルを作成して、流水下での殻内部での流体の挙動を可視化実験によって調べた。その結果、水流の向きに関わらず、サルカスの隙間から水流が取り込まれ、殻の側方口から水が流出することや、殻の内側で旋回流が発生することが明らかになり、Willams-Agerモデルの妥当性が検証された。また、この旋回流は螺旋状採餌器官を取り巻く流れとなっていることから、スピリファー類は渦状旋回流を利用して受動的な採餌を行っていた可能性が強く示唆された。

第3章では、*Paraspirifer bownockeri* の中空模型から作成した3Dモデルを利用した数値流体解析の結果がまとめられている。0.01 m/s, 0.1 m/s, 1.0 m/sの周辺流速を用いた解析によって、スピリファー類の特徴的な形態であるサルカス付近で圧力が比較的増加し、サルカス開口部から強く流入する結果を得た。このことから、サルカスは殻内側で生じる受動的採餌流形成のための流入領域として高い圧力を発生させる機能を持っていたことが判明した。また、背腹それぞれ2方向からの解析結果の比較から、腹殻側からの水流の方が安定した螺旋状の旋回流を形成し、受動的採餌により適していることが示唆された。

第4章では、サルカスの発達具合を3段階変えたモデルを用いて腹殻方向からの水流によって発生する受動的採餌流の数値流体解析の結果がまとめられている。実験の結果、サルカスの無い

モデルでは、流入流出関係が逆転するだけでなく、殻内側で生じる渦状旋回流の旋回軸が大きく異なることが明らかになった。このことから、螺旋状採餌器官を持つスピリファー類では、受動的採餌においてサルカスが重要な機能を持っていたことが示唆された。また、サルカスの発達段階の異なるモデルを用いた実験結果の比較から、スピリファー類でのサルカスの発達程度は流水環境に対する機能と軟体部の最適濾過条件の両者の関係によって制約を受けていた可能性が示唆された。

従来の流体力学的手法を用いた生物のかたちと機能に関する研究は、媒質中を能動的に動く遊泳・飛翔動物を対象としたものがほとんどであった。論文提出者は、腕足動物のような非活動的な底生動物においても、受動的採餌流の発生が殻の外部形態や内部採餌器官といかに深く関係しているかを、可視化流水実験とコンピュータを用いた数値流体解析により世界で初めて明らかにすることに成功した。この研究によって、古生代を通じて多様な殻形態を発達させて繁栄を遂げた腕足動物の進化過程を、機能形態学的側面から理解する手がかりが得られたと考えられる。なお、本論文のうち、第3、4章は桑水流理との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析し、考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

これらの点を鑑み、審査委員会では全員が本論文の独創性・萌芽性と今後の進化古生物学の新しい発展に寄与した点を高く評価し、本論文を博士(理学)の学位に受けるに値すると判断した。