

論文審査の結果の要旨

氏名 竹 田 裕 介

本論文は、外殻性有殻頭足類（オウムガイ類・アンモナイト類）の隔壁構造の結晶学的性質を明らかにし、その殻体形成メカニズムとの関連と機能形態学的特徴について包括的に検討し、隔壁構造の進化多様性における結晶学的性質の意義を論じた先駆的研究である。外殻性有殻頭足類の貝殻は、内部に隔壁と呼ばれる仕切り構造を持つことで浮力を得ると同時に、耐圧器官としての機能を果たしている。化石種も豊富なことから、頭足類は軟体動物の貝殻のバイオメカニクスの進化を考えるうえで重要である。従来、隔壁のマクロ形態に注目した機能形態学・形態形成論的研究は行われてきたものの、隔壁を構成する多結晶体とその積層構造に関する知見は不十分であった。

全体は5章からなり、第1章は関連分野における先行研究の広範なレビューである。第2章では、現生オウムガイ類における隔壁の結晶学的性質の変異を明らかにするため、隔壁を構成する真珠構造の結晶方位をX線回折により解析した。腹足類や二枚貝類の真珠構造では、結晶方位の面内配向パターンが互いに異なることが知られていたが、本研究により、現生オウムガイの隔壁は多くの二枚貝類の真珠構造と同様に配向性が高く、真珠構造を構成するアラゴナイトのb軸方向が体の左右方向に平行に配向していることが初めて明らかになった。水族館における飼育個体を加えた解析の結果、配向度には集団間で変異が存在し、環境変異ではなく遺伝的変異であることを示した。また、そのような遺伝的組成の差異が生息水深への適応の結果である可能性を示した。

第3章では、現生オウムガイ類の隔壁を構成する真珠構造の形態

学的特徴を明らかにした。真珠構造を構成するタブレット状の多結晶体の積層構造を、走査型電子顕微鏡および放射光 X 線 CT を用いて観察し、定性的な形態観察と形態計測を組み合わせることで積層様式を詳細に解析した。その結果、現生オウムガイ類の真珠構造は体の背腹方向に引き伸ばされた六角形状のタブレットから成ることを明らかにした。従来、隔壁のタブレットは柱状に積層すると考えられていたが、本研究では積層は必ずしも柱状ではなく、頻繁にシート状に積層することが明らかになった。更に、結晶方位解析の結果と比較することで、六角形状のタブレットは a 軸方向に伸長していることが明らかとなり、a 軸方向に沿った幾何学的選別によるタブレットの結晶成長が起きている可能性が示唆された。また、二枚貝類および腹足類の真珠構造と比較し、オウムガイ類隔壁の真珠構造は二枚貝（タイラギ類）に類似した積層様式であることを明らかにした。

第 4 章では、化石種の結晶学的性質を明らかにし、第 3 章で検討した現生種のデータとの比較を行った。同所的に生息していたと考えられる化石種のオウムガイ類およびアンモナイト類個体を研究材料として、結晶方位解析および真珠構造の形態解析を行った。その結果、異方性の高い結晶学的性質はオウムガイ亜綱内で共通していることを明らかにした。また、オウムガイ亜綱では、生息水深と結晶方位の配向性の関係が、化石種と現生種に共通して存在する可能性を示した。一方で、異なる亜綱に属するアンモナイト類では、結晶方位は配向性が低く、真珠構造を構成するタブレットはオウムガイ類に比べて横方向に短く、鉛直方向の柱状の積層が卓越していること、すなわち、異なる亜綱間では隔壁の結晶学的性質が大きく異なることを明らかにした。

第 5 章では、第 2 章から第 4 章の研究で明らかとなった頭足類の

隔壁の結晶学的性質の多様性を総括し、隔壁のマクロ形態に結晶学的性質が及ぼす影響を考察した。まず、隔壁の真珠構造における結晶学的性質を二枚貝類および巻貝類の真珠構造と比較し、結晶成長様式の点でオウムガイ類は二枚貝類に類似する一方、アンモナイト類は巻貝類に類似していることを示し、亜網間で形態形成メカニズムが異なる可能性を明らかにした。次に、結晶学的性質の違いが、隔壁構造の材料としてのふるまいにどのように影響するのか、材料力学における物性の最適化モデルに当てはめて検証した。その結果、オウムガイ類では引張強度・靱性・剛性を最も高めるサイズのタブレットを発達させているが、アンモナイト類ではこれらの物性に対し必ずしも最適化されていないことを示し、隔壁の材料としての性質に大きな差異が見られることを明らかにした。従来の研究では、隔壁のマクロ形態の耐圧機能の解析は隔壁の材料を一定とみなし等方的にふるまうことを仮定していたが、本研究では、結晶学的性質の多様性がもたらす異方性や多様な物性がマクロ形態の機能を明らかにするうえで無視できないことを指摘した。

以上述べたように、本論文は、データの質と量、新規性、独創性の観点から博士論文として十分な到達度を満たしている。したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。