

学位論文要旨 (Summary of the Doctoral Dissertation)	
学位論文題目 (Dissertation Title)	中期ペルム紀放散虫化石群集と化石形態の画像解析 (Middle Permian Radiolarian Assemblage and Image Analysis of Fossil Morphology)
氏名(Name)	中川 孝典
<p>本研究では、放散虫化石の進化系列の解明を目的として、放散虫化石の「古生物学的研究」と、「化石形態の画像解析」の2種類の研究を実施した。</p> <p>「古生物学的研究」では、中期ペルム紀前期の放散虫化石、特に <i>Albaillella</i> 目の <i>Parafollicucullus</i> 属を対象にしている。山口県周南市鹿野地域の錦層群のメラングジュ中に挟まれるマンガン炭酸塩岩から抽出された放散虫化石群集は、これまで世界で報告された同時代の放散虫化石の中で、群を抜いて優れた保存状態を示している。この放散虫化石群集は、その保存の良さから、先行研究では確認できていなかったペルム紀放散虫化石 <i>Parafollicucullus</i> 属の形態的特徴を詳細に残している。具体的には、殻の多重構造や wing の下に外部とつながる空洞状の開口部が存在することを新たに発見した。また、化石の胴体部分で Pseudoabdomen において、構造的ギャップを発見し、“Pre-pseudoabdominal junction”と命名・定義した。本研究で対象とした放散虫化石群集の中に、従来世界のいずれの地域でも報告がなかった、2種の化石個体を発見し、これらの新種記載を実施した。そして、新たに2つの種が認定された。<i>Parafollicucullus babelis</i> sp. nov.と <i>Parafollicucullus grandis</i> sp. nov.である。<i>Parafollicucullus babelis</i> sp. nov.は、全長が1mm程もあり放散虫としては巨大であり、本研究で <i>lingura</i> と名付けた構造を有している。<i>Parafollicucullus grandis</i> sp. nov.は、最大幅が180~190 μm もあり、その巨大な殻と wing に <i>pleat</i> という本研究で名付けた構造を有している。これら2種の化石は、<i>Parafollicucullus</i> 属の放散虫化石の進化系列の今後の研究の発展に重要な鍵となる可能性がある。また、これらの記載をおこなう上で、保存状態が良い個体をもとにして、化石の部位の名称を明確に示すことができた。</p> <p>「化石形態の画像解析」では、コンピュータによる画像解析手法を用い、ペルム紀の放散虫化石を対象にした化石の形態解析を実施した。形態解析手法は、OpenCV (画像・動画解析ライブラリ) による特徴点マッチングであり、開発環境は Python である。本研究の化石形態の画像解析によって求めるものは“化石の代表的な形態”である。化石を定義する際には国際動物命名規約に基づいてホロタイプをはじめに設定し (新種記載)、それに近いものを同種としてきた (同定作業)。本研究における化石形態の画像解析研究は、このホロタイプに基づく化石研究のあり方を見直すために、同一種集団の中の形態バリエーションの関係を、コンピュータによる画像解析で検討し、ホロタイプとは別はその種の中で形態的に代表的な個体を求めることを目指した。同種の個体群中で多くの個体と類似している個体は中央値的形態であろうと考え、それを代表的な形態として求める。本研究では、中央値的形態をメディアアンフォームと定義し、その形態を持つ個体をスタ</p>	

(和文 2,000 字程度 / 英文 800 語程度)

(about 800 words)

ンダードスペシメンと定義した。解析方法は、OpenCV を用いて特徴点のマッチングを行い、個体ごとに、総当たりで同じ種とされている他の個体との類似度を求めそれらを標準化変量に変換し、-1~1 に収まる個体の数が多い個体ほどよりメディアフォームにふさわしいとし、メディアフォームを求めた。解析から、ホロタイプとは別の個体がメディアフォームを持つスタンダードスペシメンであるとの結果が得られた。ホロタイプの形態とメディアフォームを比べると、同一の形状をしている部位と異なる形状をしている部位が観察できた。また、肉眼による観察から化石の部位の形状をタイプ分けし、それぞれのパーツに対して多数をとる形状が中央値的な形態であるとし、推察できる中央値的な形態を求めた。肉眼観察により推察した中央値的な形態は、画像解析によって求められたメディアフォームと一致している。このように本研究のメディアフォームを求めるプロセスが人間の観察に調和的である。

本研究では、これまで解明が遅れていた中期ペルム紀前期の放散虫化石 *Parafollicucullus* 属の構造の詳細観察を通じて、構造要素の定義・命名を行い、前述の2つの新種を記載した。また、放散虫化石の形態の画像解析によりメディアフォームを求めることを、世界に先駆けて成功した。この画像解析により、これまでホロタイプに基づいてなされていた化石種の定義に、新たにメディアフォームという概念を導入し、化石種の同定に新しい可能性を示した。

(様式 9 号)

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	中川孝典
審 査 委 員	主 査： 脇田 浩二
	副 査： 大和田 正明
	副 査： 坂口 有人
	副 査： 岩谷 北斗
	副 査： 韓 先花
論 文 題 目	中期ペルム紀放射虫化石群集と化石形態の画像解析 Middle Permian Radiolarian Assemblage and Image Analysis of Fossil Morphology

【論文審査の結果及び最終試験の結果】

本研究は、ペルム紀放射虫化石の記載をベースにした「古生物学的研究」と、化石の形態解析をプログラムによって行う「化石形態の画像解析」の2種類の研究から構成されている。「古生物学的研究」では、自ら発見した、世界最高レベルの保存を示す中期ペルム紀前期の化石群集を解析し、2つの新種の放射虫化石、*Parafollicucullus babelis* sp. nov.と*Parafollicucullus grandis* sp. nov.について、その詳細な構造を新用語で定義しつつ記載した。これら2種の化石は、ペルム紀放射虫化石における進化系列研究の発展に重要な鍵となる。また「化石形態の画像解析」では、ペルム紀の放射虫化石を対象にした化石の形態解析を、OpenCVによる特徴点マッチングにより実施した。ホロタイプにより化石を定義する従来の研究手法に対し、同一種集団の中の形態バリエーションの関係をコンピュータによる画像解析で検討し、中央値的形態”メディアンフォーム”を決定する手法を開発し、化石種の同定に新しい道筋を示した。本研究は、これまで研究例が少なかった中期ペルム紀前期の化石群集の真の姿を明らかにするとともに、今後あらゆる化石の形態認識に適用できる可能性のある画像解析手法を開発したことで、古生物学において非常に大きな貢献となっている。

公聴会における主な質問内容は、SEM以外を対象とした画像解析の可能性、表面形態を含む化石群の適用の是非、より保存のよいジュラ紀の個体群への適用、地質年代決定の根拠などである。いずれの質問に対しても発表者からの的確な回答がなされた。

以上より、本研究は独創性・信頼性・有効性ともに優れ、博士(理学)の論文に十

(別紙様式第 10 号)

分に値するものと判断した。論文内容及び審査委員会・公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。なお、主要な関連論論文の発表状況は、下記の通りである。(関連論文 計 2 編)

Wakita, K., Nakagawa, T., Sakata, M., Tanaka, N. and Oyama, N., 2018: Phanerozoic accretionary history of Japan and the western Pacific margin. *Geological Magazine*, doi: 10.1017/S0016756818000742.

Nakagawa, T. and Wakita, K., 2020: Morphological insights from extremely well-preserved Parafollicucullus (Radiolaria, Order Albaillellaria) from probable Roadian (Guadalupian, middle Permian) manganese nodule in the Nishiki Group of the Akiyoshi Belt, Southwest Japan, in press, *Paleontological Research*, in press