

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：35302

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14831

研究課題名（和文）化石動物の性差・性別判定方法の確立

研究課題名（英文）Investigation of sexual dimorphism in fossil organisms

研究代表者

千葉 謙太郎（Chiba, Kentaro）

岡山理科大学・生物地球学部・講師

研究者番号：80826438

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、化石動物での性差判別方法を検討するため、標本数が多く、非常に視覚的に目立った装飾構造を持つケラトプス類の恐竜を用いて、骨組織学的手法に基づいた検討を行った。その結果、セントロサウルスとプロトケラトプスにおいて、体サイズのバリエーションを伴って装飾構造に性差が見られる可能性が示唆された。また、この検討を通して、ケラトプス類の分類において重要な特徴が複数見出された。恐竜類には装飾構造で特徴づけられる分類群が数多く存在するが、性差が見られるかどうかについては議論が分かれていた。今後骨組織学的検討に基づくことで、恐竜類における性差の存在を明らかにできる可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現生動物では角やとさか等の構造に性差が見られることが多い。性差は主に性選択により発達し、種分化・形態的多様性に深く関連している。化石動物の中にも同様の装飾構造を持つものが多くいたが、これらの構造に性差が見出されることは極めて稀であり、性選択以外のプロセスでこれらの構造が進化したとする仮説も提唱されている。しかし、本研究の結果骨組織学的に標本の成長段階を推定し、成体個体のみにおいて性差の検討を行うことで、化石種でも性差を認識することができる可能性が示された。これにより、化石種のマクロ進化において見過ごされている性選択の重要性を再評価することが可能となると期待される。

研究成果の概要（英文）：This study investigated methods for distinguishing sexual differences in fossil animals based on osteohistological techniques using ceratopsian dinosaurs, which have prominent ornamentation and are represented by large sample sizes of available specimens. This study suggested that sexual differences might be observed in the ornamentations along with variations in body size in Centrosaurus and Protoceratops. Moreover, through this investigation, several important features in the classification of ceratopsians were identified. While there are many groups of dinosaurs characterized by various ornamentations, the existence of sexual dimorphism has been a matter of debate. In the future, it might be possible to clarify the presence of sexual differences in dinosaurs based on osteohistological investigations.

研究分野：古生物学

キーワード：恐竜

1. 研究開始当初の背景

多くの現生動物のオスはメスをめぐる競争のために、闘争に用いる角や、性的ディスプレイのための装飾を持っており、これらの構造には一般的に性差が見られる。このような性選択による進化は、現生動物の形態的多様性、種多様性と密接に関連している。一方、化石動物でも、装飾構造を持つものが数多く知られている(図1)。特に、中生代において大繁栄した恐竜類は多様な装飾で特徴づけられ、恐竜種の多様化にも性選択が寄与していたと長く考えられてきた。しかし、最近の研究では、恐竜の装飾構造に性差が見られないことを理由に、性選択以外の理由、例えば、捕食者に対する威嚇や同種の恐竜を認識するために進化したとの仮説が提唱されている。

しかし、恐竜の装飾に性差が見られないのは、先行研究の化石動物の性差を評価する手法が不適切であることも考えられる。化石種の性差を見出す際には、通常、体サイズを個体の成熟度の指標として検討を行う。つまり、体の大きい個体を成熟した成体と見なし、これら体の大きい個体の中で性差が見られるかどうかを検討してきた。しかし、現生動物を見てみると、装飾に性差を持つ種は、体サイズの性差も伴うことが多い。例えば、多くの有蹄類哺乳類では、オスは大きい体で大きい角を持ち、メスは体が小さく、小さい角しか持たないか、全く持たない。もしこのような現生動物を化石種で用いられている手法で性差を判定すると、体の小さいメスが性差の解析対象から外れてしまうため、性差を認識することができなくなってしまう。この問題を解消するためには、体サイズと独立に個体の成長度を推定した上で、性差を検討する必要がある(図1右)。

化石動物の年齢・成長度の推定には、近年、古生物学分野で適用が進んでいる骨組織学的手法が有用である。例えば、脊椎動物の脚の骨横断面には、木の年輪のような成長輪が保存されるため、この構造に基づいて、年齢推定や成長曲線の復元を行うことができる。

以上のことから、化石動物でこれまで性差が認識されず、それゆえに角やとさかの装飾が性選択以外のプロセスで進化したとする先行研究は、単に性差を見過ごしていた可能性が高い。よって、化石動物において性差を認識するために、骨組織学的手法に基づいて再検討する必要があると考えられる。恐竜類において適切な方法で、性差が検討されれば、恐竜類の形態的多様化、進化における性選択の重要性を適切にとらえることができると考えられる。

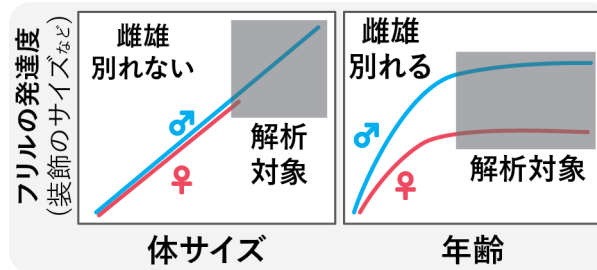


図1. これまでの化石種での性差の研究(左)と本研究で開発を行う手法(右)の概念図。本研究では、体サイズではなく、骨に残る成長輪(図右下)から推定される年齢・成長度に基づいて成長段階の認定を行うため、従来の研究より、性差が格段に認識しやすい。

2. 研究の目的

上記のように、骨組織学的手法を用いた成長度の評価は、化石動物の性差の判定に不可欠であるが、これまでの研究では、骨組織学が十分に活用されてこなかったことで、化石動物の性差が見過ごされてきた可能性が高い。そこで本研究の目的は、骨組織学的手法を用いた化石動物の性差・性別決定手法の確立とする。

3. 研究の方法

本研究では、ケラトプス類恐竜をモデル生物として、性差を検討する。ケラトプス類は、進化に伴って頭部後方にあるフリルを発達させ、さらにそのフリル装飾の詳細な進化過程が研究されているグループで(図2)、古くは、ケラトプス類のフリルは性的ディスプレイとして用いられ、性選択によって進化したと考えられていたが、フリルとその装飾に性差が見られないことから、現在は、性選択以外のプロセスによってフリルが進化したとの仮説が提唱されている。また、ケラトプス類恐竜では、多くの種で数多くの標本が発見されている。これらの理由から化石動物の性差・性別の検討を行い手法の確立を目指す基礎として、最適な分類群であると言える。今回の研究では、ケラトプス類の中でも特に、フリルの進化段階の異なる、プシッタコサウルス、プロトケラトプス、セントロサウルス、パキリノサウルスを

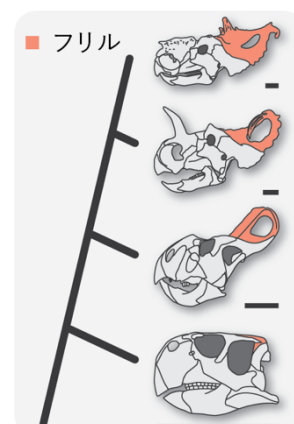


図2. ケラトプス類恐竜に見られるフリルとその装飾の進化。

中心に検討を行う(図2)。本研究では、化石動物の性差を、骨組織学的成長度推定とディスプレイ構造の検討に基づいて、フリルの進化段階の異なるケラトプス類恐竜において評価する。

4. 研究成果

本申請研究において、申請者が博士研究で行ったセントロサウルスの成長段階推定とディスプレイ構造の発達度の関係の再検討を、さらに多くの標本の薄片を作成して行ったところ、セントロサウルスの成体には大きな体サイズのバリエーションがあることが明らかとなった。また、セントロサウルスにおいてディスプレイ構造の発達と体サイズは密接に関連していることが古くから知られているが、文献や標本観察を元に、定量的にどの体サイズで装飾の発達が起こるかを検討したところ、セントロサウルスの成体のフリル装飾構造において著しい形態的な差異が見られる可能性が示された。これらの観察事実を合わせると、セントロサウルスの体サイズと装飾の発達度には性差が見られる可能性が考えられる。

また、申請者がモンゴル・ゴビ砂漠で発掘したプロトケラトプス 11 標本の化石剖出作業を行い、薄片作成も行った。プロトケラトプスの骨組織の保存は概ね悪く、これはこれらの標本の鉱物化の進行度が一般的な恐竜化石に比べて低いためと考えられる。しかし、個体の成長度を推定することは十分可能な保存状態であった。骨組織学的検討の結果、プロトケラトプスの成体にもセントロサウルスと同様、体サイズに大きなバリエーションが見出される可能性が明らかとなった。プロトケラトプスでもフリルの発達と体サイズには密接な関係があることがすでに知られているため、プロトケラトプスでも体サイズ、および、装飾の発達度に性差が見られる可能性が高い。

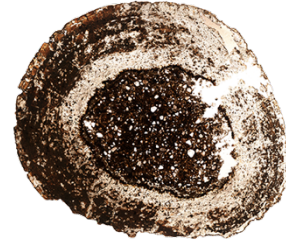


図3. 本研究で作成したプロトケラトプス成体の骨薄片。

プロトケラトプスのフリル形態を再検討したところ、これまで見過ごされていた装飾構造が見られる可能性が明らかとなった。一般にプロトケラトプスのフリルはセントロサウルスやパキリノサウルスに比べて縁の形態がシンプルであると考えられてきた。しかし、現在標本は化石剖出作業中の事故で破損してしまい詳細な観察は不可能だが、発掘中の写真でフリルの縁がセントロサウルスやパキリノサウルスのように大きく波打っている個体が存在することが明らかとなった。さらに、この個体ほど顕著ではないが、アメリカ自然史博物館やモンゴル古生物学研究所に所属されている標本の詳細な観察を行うと、プロトケラトプスの多くの個体のフリルにも縁が波打つような構造が見られることが明らかとなった。これらの装飾構造の存在は、フリルが性選択を受けていた可能性を支持する。また、これらの形態観察の際、多くのプロトケラトプス標本を観察することで、プロトケラトプスにこれまで見出されていなかったケラトプス科と共通する特徴が見られること、さらにプロトケラトプスに含まれる2種、*Protoceratops andrewsi* と *P. hellenikorhinus* の新たな表徴形質を見出すことができた。加えて、予察的な文献調査の結果、*P. andrewsi* と *P. hellenikorhinus* に見られる形態差異が、*Bagaceratops rozhddestvenskyi* 一種内にも見られる可能性がある。今後より詳細な検討が必要になるが、プロトケラトプスの分類学的検討を通して、ケラトプス類の系統関係を再検討する必要があることが明らかとなった。

図4. フリル縁に波打つ構造が見られるプロトケラトプス標本の例。



主に文献データの再検討のみに留まったが、他の2種でも成体の体サイズに大きなバリエーションがある可能性が示唆される。以上を踏まえると、ケラトプス類はその進化の初期から体サイズに性差が見られ、さらにフリルの発達にも性選択が重要であったことが考えられる。ケラトプス類に限らず、恐竜類において装飾構造を持つ分類群は数多く存在するが、それらの分類群においても本申請研究と同様の手法を取ることで性差の存在を明らかにできる可能性は高い。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Cullen Thomas M., Brown Caleb M., Chiba Kentaro, Brink Kirstin S., Makovicky Peter J., Evans David C.	4. 巻 17
2. 論文標題 Growth variability, dimensional scaling, and the interpretation of osteohistological growth data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biology Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1098/rsbl.2021.0383	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Scott Evan E., Chiba Kentaro, Fanti Federico, Saylor Beverly Z., Evans David C., Ryan Michael J.	4. 巻 -
2. 論文標題 Taphonomy of a monodominant <i>Gryposaurus</i> sp. bonebed from the Oldman Formation (Campanian) of Alberta, Canada	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Canadian Journal of Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 1~17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1139/cjes-2020-0200	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Kentaro Chiba, Michael J. Ryan, Mototaka Saneyoshi, Satoshi Konishi, Yudai Yamamoto, Buuvei Mainbayar, Khishigjav Tsogtbaatar
2. 発表標題 TAXONOMIC RE-EVALUATION OF PROTOCERATOPS (DINOSAURIA: CERATOPSIA) SPECIMENS FROM ULDYN SAYR, MONGOLIA
3. 学会等名 Society of Vertebrate Paleontology the 80th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chiba, K., Ryan, M.J., Yamamoto, Y., Konishi, S., Chinzorig, T., Khatanbaatar, P., Badamkhatan, Z., Saneyoshi, M., and Tsogtbaatar, K.
2. 発表標題 New insights on the evolution of the neoceratopsian frill: ornamentations on protoceratops
3. 学会等名 Society of Vertebrate Paleontology the 79th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chiba, K., Ryan, M.J., Yamamoto, Y., Konishi, S., Chinzorig, T., Khatanbaatar, P., Badamkhatan, Z., Saneyoshi, M., and Tsogtbaatar, K.
2. 発表標題 A new look at frill ornamentations on Protoceratops and implications for the evolution of neoceratopsian frills
3. 学会等名 International Symposium on Asain Dinosaurs (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
モンゴル	Institute of Paleontology			
カナダ	Royal Ontario Museum	Royal Tyrrell Museum of Paleontology	University of Manitoba	他1機関
米国	Field Museum			
イタリア	University of Bologna			