

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05331

研究課題名(和文)脊椎動物における嘴の機能と進化

研究課題名(英文)Function and evolution of beaks in vertebrates

研究代表者

田上 響 (Tanoue, Kyo)

福岡大学・理学部・助教

研究者番号：30578787

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：骨と角質から成り、様々な形態と機能を持つ脊椎動物の嘴の、化石分類群でのより確からしい復元を試みた。まず現生標本の嘴の骨と角質の形態を比較したところ、少なくとも鳥類では、角質が骨によって伸長を阻害されない方向に伸びていた。また、鳥類の嘴の切片観察の結果、角質に複数の層が認められ、それらの起点が骨の形態と関連付けられた。さらに嘴を持つとされる化石標本の吻部に微細な条線が見られ、その分布を基に角竜類恐竜標本において従来の復元より広い角質の分布を推定した。

研究成果の概要(英文)：Vertebrate beaks, which are diverse both in morphology and function, comprise bony and keratinous elements. More accurate reconstruction of vertebrate beaks than in previous studies was aimed in this project. Comparative morphology analyses of extant beaked vertebrates indicate keratinous sheaths develop in the direction to prevent growth interruption by bony beaks at least in birds. In addition, observation of thin sections of avian beaks revealed multi-layered structure of the keratinous beaks. The origin of the layer can be deduced from the morphology of the bony beak. Moreover, fine striations are preserved in the rostral region of fossils vertebrates which are interpreted to have been beaked. Based on the distribution of the striations, larger keratinous sheath than in previous reconstruction was presumed in a specimen of ceratopsian dinosaur.

研究分野：古生物学

キーワード：嘴 骨 角質

1. 研究開始当初の背景

角質(ケラチン質)のクチバシは、歯と並んで脊椎動物の重要な摂餌器官である。現生脊椎動物では主に鳥類とカメ類に見られ、肉食から植物食まで幅広い食性の分類群が含まれる。クチバシの形状は多様な生態と密接に関係しているとされている。古脊椎動物では、それら以外にも角質の嘴を持つと考えられる分類群が存在しただけでなく、クチバシと歯をともに持つと考えられる鳥盤類(恐竜類)やディキノドン類(単弓類)なども存在した。

古脊椎動物において、ほとんど化石に残らないクチバシの角質部の形態復元は、不確かな推測に頼ってきた。しかし、本研究組織の予備調査によると、骨形態と角質形態には大きな差異があることが示唆され、従来の角質部の復元法には大きな疑問が残る。以上の点から、絶滅した分類群の食性を含む古生態を理解するには、嘴を持つ現生分類群で、角質部の形態を制約する以下の発生的・機能的要因を明らかにし、化石分類群のクチバシの骨形態から、角質部をより確からしく復元できるようにする必要がある。

2. 研究の目的

(1) クチバシの角質部の形態

本研究課題では、まず現生脊椎動物のクチバシの角質部と骨質部の形態を比較し、両者の差異や位置関係を明らかにする。

(2) クチバシの発生的研究

角質部の微細構造を観察することにより、その成長の起点を確認し、骨質部と角質部の形状・位置関係を解明する。

(3) 骨を覆う角質部の分布の解析

クチバシを持つとされる古脊椎動物の化石標本を調査し、吻部の骨質部形状および保存された微細構造から、クチバシの角質部を復元する。

3. 研究の方法

(1) クチバシの角質部の形態解析

クチバシを持つ現生鳥類とカメ類を CT 撮像し、立体構築ソフトウェアにより、骨質部と角質部の立体構築をすることで、クチバシの形態を解析した。特に上クチバシにおける骨質部と角質部の背側縁に着目し、両者の形態の差異を調査した。

(2) クチバシの発生的研究

クチバシの発生過程を解析する際、様々な成長段階にある標本の骨質部と角質部を分離せずに切片にする必要がある。しかし従来の切片作成法では、切片の大きさに制限がある、標本の包埋済が高価である等の問題があった。そこで本課題に適した切片作成法の開発を試みた。さらに、開発された手法により、角質部の微細構造および骨質部との位置関

係を調査した。

(3) 骨を覆う角質部の分布の解析

化石標本のクチバシがあったとされる領域に残された微細構造を、現生分類群のそれと比較することにより、古脊椎動物における角質部の分布を推定した。

4. 研究成果

(1) クチバシの角質部の形態解析

クチバシを持つ現生鳥類とカメ類を CT 撮像し、立体構築ソフトウェアにより、骨質部と角質部の立体構築をすることで、クチバシの形態を解析した(図1)。その結果、少なく

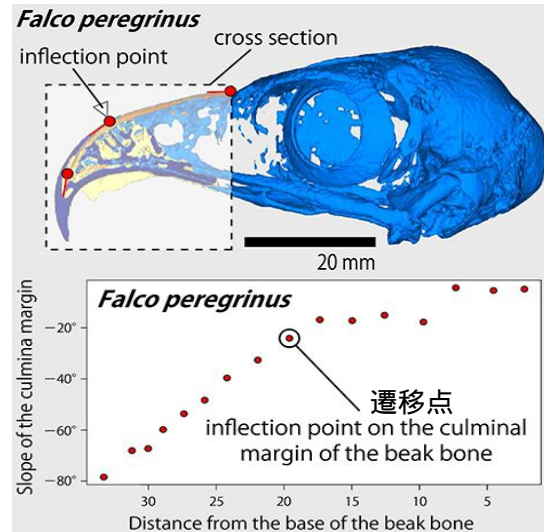


図1. ハヤブサのCTスキャン画像(上)とクチバシの背側縁の接線の傾斜角(下)。グラフの横軸はクチバシの後端からの距離を、縦軸はクチバシの背側縁の接線の傾斜角を示す。Urano et al. (International Congress of Vertebrate Morphology 2016)を改編。

とも鳥類では、骨質部の背側の曲率が大きく変化する点(遷移点)のうち最も遠位の点を境に、より遠位で角質部と骨質部の長さが大きく異なっていたものの、角質部の背側の曲率が骨質部の曲率と類似していることが明らかになった。一方で、最も遠位の遷移点より近位では、角質部の長さや曲率が骨質部のものと変わらなかった。これは、骨質部の背側における最遠位の遷移点以降では、角質部は骨質部形態に沿って伸長している可能性を示唆しており、このことから、角質部は骨質部によって伸長を阻害されないような方向に伸びているという解釈ができる。以上より、クチバシの骨の形態からある程度角質部の成長方向が予測できると考えられ、絶滅脊椎動物の角質部形態の復元に応用が可能であると期待される。本項目の成果は平成28年度の日本古生物学会年会・例会およびInternational Congress of Vertebrate Morphology(国際脊椎動物形態学会)にて報告し、角質部と骨質部の形態の関係に関する論文は、

Journal of Morphology に掲載された (Urano et al., 2018)。

(2) クチバシの発生学的研究

本研究では、無色透明かつ比較的安価で手に入りやすい樹脂で、硬組織と軟組織の構造の同時観察をすることを目標に、樹脂の種類や温度などの様々な条件を変え、試料包埋の実験を行った。その結果、アセトンによる脱水および液混合型樹脂による置換によって、従来の手法よりも安価に切片を作成できることとなった。また、新手法の包埋剤は無色透明のため、薄片にせずとも断面を観察できるという利点もある(図2)。なお、本実験の



図2. 本研究で作製したクモヒトデの盤の切片

結果を平成 29 年度の日本古生物学会年会および日本薄片研磨片技術討論会にて報告し、またその論文は『化石』に掲載された(浦野他, 2018)。

鳥類のクチバシの切片を偏光顕微鏡にてクロスニコルで観察した際に、角質部において、消光位の異なる二層以上の層構造を確認できた。クチバシの根元から遠位端にかけてある表面の一層(一層目)と、途中から現れる内側の一層(二層目)が特に顕著であった。この構造は、分類群や成長段階に関わらず存在しており、特に途中から現れる二層目の起点は、クチバシ骨質部の背側の曲がり具合が大きく変化する箇所と概ね一致することが明らかになった。上記の角質部の構造は、骨質部からの予測が十分可能であり、この構造と角質部の成長方向を合わせて議論することで、よりもっともらしいクチバシの形態復元が可能になると期待される。上記の層構造に関して、平成 29 年度の日本古生物学会例会にて報告した。

(3) 骨を覆う角質部の分布の解析

保存状態のきわめて良好な前期白亜紀の翼竜類、鳥類、角竜類恐竜標本を調査したところ、その吻部の表面にこれまで未報告の、1mm 当たり数本の平行または放射状に並ぶ細かい条線を確認した。現生鳥類およびカメ類の吻部にも同様の条線が見られる場合があり、この条線の分布をもとに、角竜類恐竜

Archaeoceratops oshimai の角質部の分布を推定したところ、従来の解釈より尾側に、すなわちより広範囲に角質が分布することが示唆された(図3)。角竜類恐竜の解析結果を平

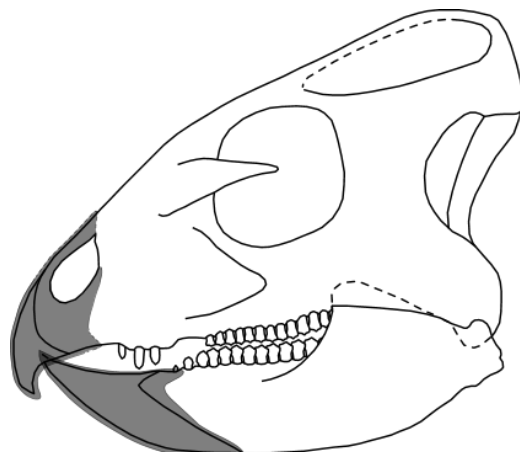


図3. 本研究で推定された角竜類恐竜 *Archaeoceratops oshimai* の角質部の分布(灰色の領域)

成 29 年度の Annual Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology (古脊椎動物学会)にて報告した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

浦野 雪峰、高木 菜都子、田上 響、藤原 慎一、動物の硬組織と軟組織を同時観察する薄片作製のための新たな包埋法、化石、査読有、103 号、2018、pp. 51 - 59

Yukine Urano、Kyo Tanoue、Ryoko Matsumoto、Soichiro Kawabe、Tomoyuki Ohashi、Shin-ichi Fujiwara、How does the curvature of the upper beak bone reflect the overlying rhinotheca morphology?, Journal of Morphology、査読有、279 巻、2018、pp. 636 - 647

[学会発表](計 6 件)

浦野 雪峰、田上 響、松本 涼子、河部 壮一郎、大橋 智之、藤原 慎一、薄片観察によって明らかになったトリのクチバシ角質部の層構造、日本古生物学会第 167 回例会、2018 年 2 月 3 日、愛媛大学(愛媛県・松山市)

浦野 雪峰、高木 菜都子、田上 響、藤原 慎一、樹脂の浸透性を高めることによる動物組織の薄片作製のための新たな包埋法の提案、第 60 回日本薄片研磨片技術討論会、2017 年 10 月 5 日、松江テルサ(島根県・松江市)

Kyo Tanoue、Tomoyuki Ohashi、Ryoko

Matsumoto, Shin-ichi Fujiwara, Soichiro Kawabe, Yukine Urano, Qi Zhao, Hai-Lu You, Distribution of keratinous beaks in basal ceratopsians from the Lower Cretaceous in China, 77th Annual Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology, 2017年8月25日、カルガリー (カナダ)

浦野 雪峰、松本 涼子、河部 壮一郎、田上 響、大橋 智之、藤原 慎一、クチバシの骨質部形態が制御する角質の成長方向、日本古生物学会第166回例会、2017年1月28日、早稲田大学 (東京都・新宿区)

Yukine Urano, Ryoko Matsumoto, Soichiro Kawabe, Kyo Tanoue, Tomoyuki Ohashi, Shin-ichi Fujiwara, Growth orientations of rhamphothecae in extant beaked animals with implications to the reconstruction of the beaks in extinct taxa, 11th International Congress of Vertebrate Morphology, 2016年7月1日、ワシントン DC (アメリカ合衆国)

浦野 雪峰、松本 涼子、河部 壮一郎、田上 響、大橋 智之、藤原 慎一、クチバシの骨質部とそれを覆う角質の成長方向の関係、日本古生物学会2016年年会、2016年6月25日、福井県立大学(福井県・永平寺町)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田上 響 (TANOUE, Kyo)
福岡大学・理学部・助教
研究者番号：30578787

(2) 研究分担者

松本 涼子 (MATSUMOTO, Ryoko)
神奈川県立生命の星・地球博物館・学芸部・学芸員
研究者番号：00710138

大橋 智之 (OHASHI, Tomoyuki)
北九州市立自然史・歴史博物館・自然史課・学芸員
研究者番号：20584519

藤原 慎一 (FUJIWARA, Shin-ichi)
名古屋大学・博物館・講師
研究者番号：30571236

(4) 研究協力者

河部 壮一郎 (KAWABE, Soichiro)
福井県立恐竜博物館・研究グループ・研究員