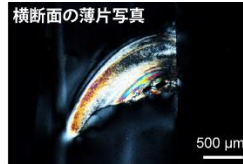


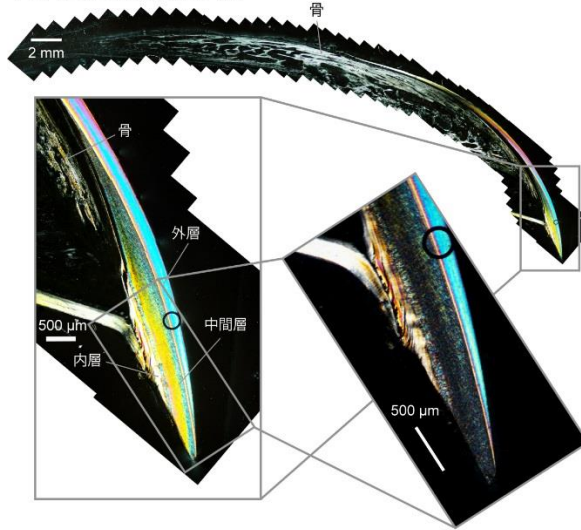
ニワトリの頭骨



横断面の薄片写真



クチバシの正中断面の薄片写真



トリのクチバシの角質はサンドイッチ構造 ～三層構造から予想されるクチバシの成長モデル～

クチバシは、口の骨を角質が覆った構造で、現代に生きているトリやカメ以外にも、多くの絶滅動物で獲得されてきたと考えられています。クチバシは多様な形態とそれに応じた様々な機能を持っており、食性をはじめとする動物の行動生態と密接に関係しているため、絶滅動物の生態を理解するためにはクチバシの形を正しく復元する必要があります。しかし、クチバシの角質部分はほとんど化石として残らないため、これまでその形態を知る術はなく、絶滅動物のクチバシの機能を推測することは困難でした。名古屋大学大学院環境学研究科の 浦野 雪峰 大学院生（当時）、同大学シンクロトロン光研究センターの 杉本 泰伸 准教授、福岡大学理学部の 田上 響 助教、神奈川県立生命の星・地球博物館の 松本 涼子 学芸員、福井県立大学恐竜学研究所の 河部 壮一郎 准教授、北九州市立自然史・歴史博物館の 大橋 智之 学芸員、名古屋大学博物館の 藤原 慎一 講師は、様々な成長段階のニワトリのクチバシに対し、三種類の全く異なる観察手法を用いることで、クチバシの角質部分が微細構造の異なる三層で構成されていることを突き止めました。この三層は、それぞれに成長方向が異なっていることが予想され、それがクチバシの骨部分の形態と角質部分の形態の違いを生む原因となっている可能性を示しました。本研究で明らかになったクチバシの構造は、絶滅動物のクチバシ形態を解明するための手掛かりになると期待されます。

この研究成果は、平成 31 年 4 月 17 日付(日本時間)英国科学雑誌「Journal of Anatomy」オンライン版に掲載されました。

なお、この研究は、平成 27 年度から始まった日本学術振興会科学研究費助成事業の支援のもとでおこなわれたものです。

【ポイント】

- ・現代に生きているトリですら知られていなかった、クチバシの角質部分の詳細な構造を初めて発見し、角質部分の部位によって、成長方向が異なっている可能性を示しました。
- ・絶滅動物のクチバシは、これまで確かな根拠がないまま、形態復元されてきました。本研究は、クチバシの骨部分から角質部分をより確かに復元することを目指した先駆的な研究です。
- ・クチバシの微細構造を明らかにするために、地球科学、生物学、物理学にまたがる三つの手法を用いて研究を行い、それぞれの結果を併せて考察しました。これらの三つの手法を組み合わせることにより、今回の研究成果を得ることができました。

【研究背景と内容】

クチバシは口の骨を角質の鞘(さや)が覆った器官で(図 1)、現代に生きているトリやカメだけでなく、一部の絶滅動物(トリケラトプス、プレラドンなど)も持っていたと考えられています。現代に生きているトリやカメのクチバシの形態は多様で、その形態によってクチバシの機能も多岐にわたるため、絶滅動物の食性を含む行動生態を考察するためには、絶滅動物のクチバシの形態を正確に知る必要があります。しかし、ほとんどの場合、化石として残るのはクチバシの骨部分のみで、角質部分の痕跡が見つかることは非常に稀です。さらに、私たちの研究グループの先行研究から、トリとカメのクチバシは、骨部分と角質部分では形態が異なっていることが明らかになっており、クチバシの骨部分の輪郭を単純になぞるだけでは角質部分の形態を正確には復元できないことが示されています。にもかかわらず、明確な根拠がなく、骨部分の形態のみをトレースしたようなクチバシが復元されているのが現状です。つまり、多くの絶滅動物のクチバシの形態は未だに分かっておらず、根拠に乏しい不確かなクチバシの形態を元に食性等の議論が行われてしまっているという問題がありました。



図 1. ニワトリのクチバシの上顎の立体構築モデル。

本研究では、将来的に確かな根拠に基づく絶滅動物の生態に関する議論を行うため、より正確に絶滅動物のクチバシ形態を復元するための手掛かりを探りました。そのためには、まず、クチバシの骨部分の情報しか残っていない化石ではなく、骨部分も角質部分も両方存在する、現代に生きているトリやカメを調べる必要があります。本研究では、ニワトリのクチバシの構造観察を行い、明らかになった構造からクチバシの角質部分の成長様式^{注1)}を推定することで、骨部分と角質部分の形態の違いを生む要因を考察しました。構造観察は、「①偏光顕微鏡^{注2)}による薄片観察」、「②走査型電子顕微鏡^{注3)}による観察」、「③X線小角散乱法^{注4)}による観察」の三つの手法を用いました。「①偏光顕微鏡による薄片観察」では、クチバシを切断・研磨して薄くし、それを鉋物の観察に使われる偏光顕微鏡で観察しました。その結果、クチバシの角質部分は消光^{注5)}するタイミング、すなわち、細かい構造が異なる三層の構造(外層・中間層・内層)から成ることが明らかになりました(図 2)。「②走査型電子顕微鏡による観察」では、クチバシの角質部分の断面の構造を観察しました。その結果、外層内に

更に微細な層が存在することが明らかになり、その微細層は「①偏光顕微鏡による薄片観察」で観察された消光現象と対応していることが明らかになりました(図3)。また、上記の二つの手法では明らかにしきれなかった中間層と内層の構造を推定するため、「③X線小角散乱法による観察」では、クチバシの角質部分に照射した散乱X線の強度の変化から、角質部分の中にある微細な構造の並びを検出しました。

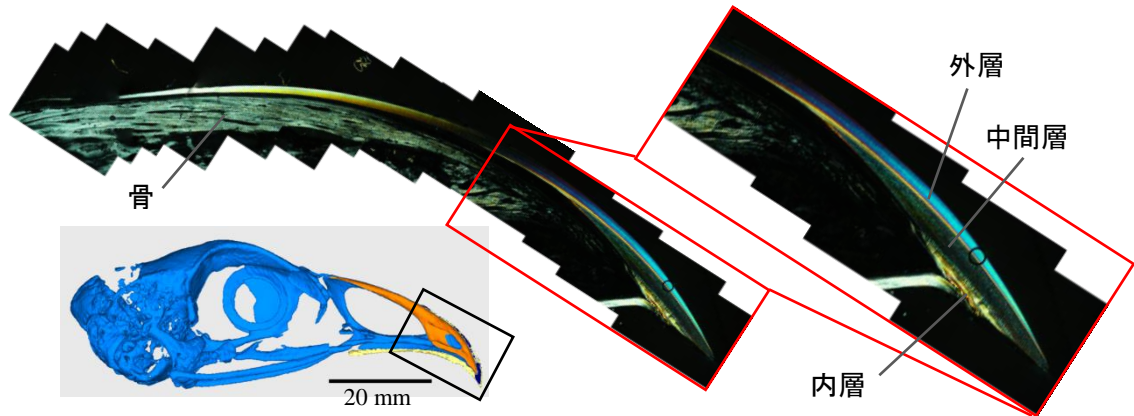


図2. 偏光顕微鏡でのニワトリのクチバシの観察写真。

上記の三つの結果から、ニワトリのクチバシの角質部分では部位によって成長方向が異なっている可能性が高いことが明らかになりました。全体を覆う外層は、根本では上方向(背側)に成長し(図4a 青部分)、クチバシの先端領域に存在する中間層は、前方に向かって成長し(図4c ピンク部分)、中間層よりも、さらに先端の方で現れる内層は、やや上方向(背側)に成長するという複雑な成長様式が予想されました(図4)。このとき、外層は中間層の成長に引き摺られることで、先端方向へと滑って移動しているものと考えられます。以上より、クチバシの角質部分の形態が骨部分の形態と全く同じ形態にはならない要因のひとつは、クチバシの部位によって角質の成長方向が異なることにある可能性が示唆されました。

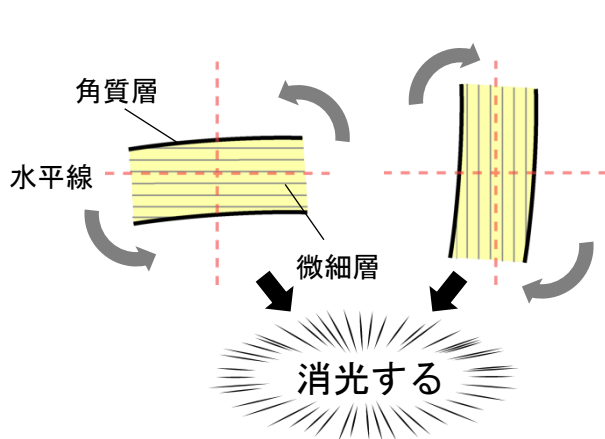


図3. 消光現象と微細構造の関係。

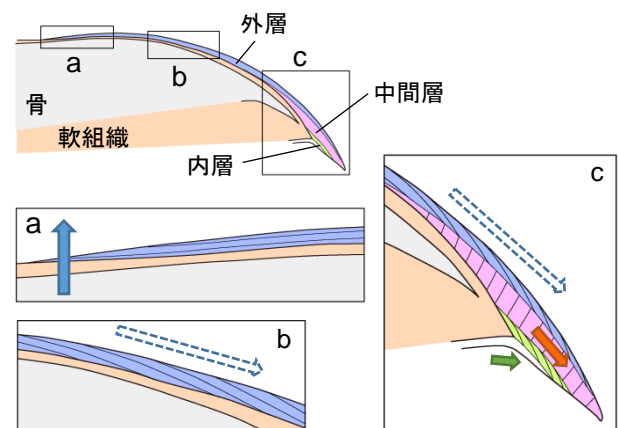


図4. 予想されるクチバシ角質部の微細構造と成長様式。

【成果の意義】

現代に生きているトリにおいてすら知られていなかった構造を明らかにしたこの成果は、これまでのクチバシ研究に一石を投じるものであり、根拠のある正確なクチバシの復元に必要な基礎情報を提供しました。また、この研究成果により、絶滅動物のクチバシを復元する際、クチバシの骨を単純

にトレースして角質部分の形態を復元することは誤りである可能性が示されました。

今後、本研究で明らかになったクチバシの角質部分の三層構造と骨部分の形態や構造との関連性を探ることで、絶滅動物のクチバシの形態をより正確に復元できるようになると期待されます。

【用語説明】

注1) 成長様式: その分類群に普遍的に見られる形態や構造、サイズの成長の仕方。

注2) 偏光顕微鏡: 光学顕微鏡の一種。試料を置く台の上下に偏光板を挟んだ顕微鏡で、結晶構造や分子構造を探るために鉱物学や結晶学の研究で用いられることが多い。

注3) 走査型電子顕微鏡: 電子顕微鏡の一種。光学顕微鏡では捉えられない微細な構造を観察する際に用いられる。

注4) X線小角散乱法: 試料を通過したX線の散乱角から、ナノスケール単位の繰り返し構造を捉えることができる手法。

注5) 消光: 偏光顕微鏡で試料を観察した際、試料中の結晶構造が偏光板と特定の角度をなすとき、その領域が真っ暗に見えることがある。これを消光と言い、鉱物などでは消光するタイミングから構造を推定することが可能。

【論文名】

掲載雑誌: Journal of Anatomy (John Wiley and Sons)

論文名: The sandwich structure of keratinous layers controls the form and growth orientation of chicken rhinotheca

著者: Yukine URANO, Yasunobu SUGIMOTO, Kyo TANOUE, Ryoko MATSUMOTO, Soichiro KAWABE, Tomoyuki OHASHI, Shin-ichi FUJIWARA

浦野 雪峰(名古屋大学大学院環境学研究科(当時))、杉本 泰伸(名古屋大学シンクロトン光研究センター)、田上 響(福岡大学理学部)、松本 涼子(神奈川県立生命の星・地球博物館)、河部 壮一郎(福井県立大学恐竜学研究所)、大橋 智之(北九州市立自然史・歴史博物館)、藤原 慎一(名古屋大学博物館)

公開日: 2019年4月17日14時1分(日本時間)オンライン版の先行公開

DOI: [10.1111/joa.12998](https://doi.org/10.1111/joa.12998)