

# 論文審査の結果の要旨

氏名 大橋 智之

本論文は有限要素法 (FEA)を用いて植物食恐竜の頭骨の力学的解析を行い、食物を咀嚼する時の応力分布が骨格内にどのように分布するのかを3次元的に把握し、摂食メカニズムの機能的、進化学的考察を行った先駆的なものである。中生代に繁栄した恐竜類の中で、鳥脚類と呼ばれるグループは植物食に適応し、その一部は隣り合う多数の歯および生えかわりのための歯が密接に並んで生えているデンタルバッテリーとよばれる構造を発達させた。形態に基づく先行研究では、鳥脚類はこのような特殊な歯により広い面積での餌のすりつぶしを行うとともに、pleurokinesis と呼ばれる、上あごが側方へ可塑的な動きを示すことで、上あごと下あごの歯どうしが擦り合わさる動きを可能にし、植物の効率的な咀嚼を行っていたと考えられている。しかしこのような歯や上顎の構造や動きが果たして骨格内でどのような応力の分布をもたらし、実際どのような負荷が咬耗面に加わっていたのかについては不明であった。これらの力学的な特性を明らかにすることは、骨形態の機能的意味を明らかにするために重要であるばかりでなく、餌の性質や咀嚼に使われる応力の見積もりなどを行う上でも欠かすことはできない。本論文は比較的保存の良い鳥脚類恐竜の頭骨を用い、この pleurokinesis によるあごの動きにより、応力の分散が頭骨格内でどのように行われたのかを初めて明らかにしたものである。

この研究で用いられた材料は、国立科学博物館が所有する、北米産の白亜紀後期の鳥脚類恐竜、ヒパクロサウルス *Hypacrosaurus stebingeri* の保存の良い亜成体の頭骨である。この化石頭骨から CT スキャンによって3次元のデジタルデータを得て、それを多くの有限要素に分割することによって力学的な解析を行った。この解析は橋梁の強度測定等の工学分野で良く行われている方法である。従来 FEA を用いた研究では、頭骨の解析を行う際に頭骨が一つの、同様な性質を持った物体(rigid model)として解析を行っていた。しかし、実際には頭骨は頬骨や方形骨などいくつかの骨からなっている。そこで本論文では、複数の骨をつなぐ関節の性質 (ヤング率) を予想される範囲で変化させ、咀嚼時にどの位の数値が最も力学的に確からしいかを検討した。さらに歯列にどのような力がかかるのかを知るために、食物の板を歯列にかませるモデルを用いた。

解析の結果、rigid model に比べて関節や縫合面に可塑性を与えたモデルでは、*Hypacrosaurus stebingeri* の歯列全体にわたって広く応力が観察され、より均一な咀嚼が可能なことや、頭骨全体に負荷が分布するように力の分散がはかられていることが明らかになった。さらに重要なことは、pleurokinesis が存在すると仮定した場合、食物の板をかませた場合に歯列に応力がよりまんべんなく分布し、頭骨内にも応力の集中が見られずに

分散したパターンを示すことが明らかになったことである。このことから pleurokinesis が咀嚼時に重要な働きを果たしていることが示唆された。

本論文の特筆すべき点は、単に工学的な手法を生物体に応用したのみならず、実際の骨を rigid な一体の骨とは見なさず、その関節部分、縫合部分をも考慮し、異なった性質の部分の組み合わせとして理解していること、そしてこれらの関節、縫合部分に加えて餌の性質に大きな影響を与えるヤング率を決める際に、従来得られているデータと比較しつつ、これらの値を変化させながら応力分布が合理的に説明できるように決定し、その上でこれらの境界条件に基づいた上で解析を行っている点である。これは FEA を生物体に適応する上で重要なステップであり、また本論文のユニークな点となっている。このように、大橋君は、生物学的に妥当な境界条件を設定し、化石骨格を有限要素法を用いて詳細に構造解析し、応力のかかる場所の骨構造がどのように補強されているのかを定量的に明らかにすることに成功した。本研究により、咀嚼の進化と共にどのような骨構造の適応が見られるのかについても、今後の発展的な研究の基礎が築かれたと評価される。

なお、本論文は、大路樹生・真鍋 真・吉川暢宏・桑水流 理の諸氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、本論文の独創性と質の高さ、そして FEA を用いた今後の研究の発展性が非常に高いことも合わせて評価し、審査委員会では全員が本論文を博士（理学）の学位に受けるに値すると判断した。