

氏 名	やま した まさ き 山 下 真 幸
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	論 理 博 第 1425 号
学位授与の日付	平 成 15 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Functional morphology of primate mandibles using the finite element method. (有限要素法を用いた霊長類下顎骨の機能形態)
論文調査委員	(主 査) 教 授 石 田 英 実 教 授 西 田 利 貞 教 授 米 井 脩 治

論 文 内 容 の 要 旨

下顎骨は、化石としてよく発見される部位であることと、その形態が食性と関連づけて論じることから人類進化に関する研究において重要な骨である。下顎骨の形態と食性の関係を論じるには機能形態学的分析、とりわけバイオメカニクスの分析が必須となる。本論文では、霊長類の下顎骨にみられる形質と咀嚼機能との関係を有限要素法を用いて分析している。

まず、下顎骨第二大臼歯部における前頭断面について、咬合力と断面形態との関係を二次元有限要素法を用いて分析した。チンパンジー、ゴリラ、ヒトについて計算を行った結果、断面内の応力およびひずみエネルギーは、歯軸と同一方向の咬合力をかけた場合に極小になることが判明した。断面全体の形態は咬合力が直接引き起こす応力分布とは相関せず、筋力や断面外にかかる咬合力など断面外の要因に影響されることが示唆された。

次に、チンパンジー、ゴリラ、ヒトの下顎骨全体の三次元有限要素モデルを構築し、さまざまな咬合力に対する下顎骨の力学的反応を下顎結合部においてシミュレートした。計算結果からは、水平方向の咬合力をかけた場合、下顎骨は「曲がりばり」としてふるまう。その際、結合部舌側に生じる強い引張に対抗するために上横隆起が形成されたと考えられる。これは、広く受け入れられている Hylander (1984) の生体咀嚼実験とも一致する結果である。

さらに、結合部の形態特徴と力学的要因の関係を明確にするため、U 字形のはりに単純化した下顎骨モデルに基づき、三次元有限要素法を用いて咀嚼時の結合部の応力分布を計算した。その結果、臼歯部に水平方向外側向きの咬合力を加えた場合、結合部の舌側面中央部すなわち上横隆起に相当する部位と結合部の唇側下端部、すなわちオトガイ骨に相当する部位に高い相当応力が生じた。また、咬筋下半部の筋力に相当する荷重を加えた場合、結合部の舌側面下端部すなわち下横隆起に相当する部位に高い相当応力が生じた。上、下横隆起に高い応力が生じる場合については、これまで考えられていた下顎骨の構造適応仮説と一致するが、オトガイ骨に関しては一致しなかった。計算結果からは、水平方向外側向きの咬合力をかけた場合、咬合力によって下顎体にこれまで考えられていたものとは逆向きのねじりが生じ、このねじりが結合部下部に圧縮を引き起こし、“wishboning”による唇側面の圧縮と合わせて、オトガイ骨に相当する部位に強い圧縮が生じる可能性が示唆された。現生人類において水平方向の咬合力が大きくなる咀嚼運動として臼磨運動（グラインディング）があり、現生人類におけるオトガイ骨の出現あるいは残存は、臼磨運動から生じる曲げに対応するための適応であることが可能性の一つとして指摘された。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

霊長類下顎骨の形態と機能の関係を明らかにすることは、化石種の食性を復元する上で重要な課題であるが、人類以外の霊長類については未だ研究が少ない。本申請論文は、有限要素法を用いて、霊長類の下顎骨にみられる形質特徴と咀嚼機能との関係を分析し、下顎形態の力学的適応を論じている。

主論文1では、下顎体臼歯部について、咬合力と断面形態との関係を、二次元有限要素法を用いて分析している。チンパンジー、ゴリラ、ヒトについて計算を行った結果、咬合力が断面内に生じさせる応力の分布は、咬合力と歯軸のなす角度の

みによって決定されることを明らかにしている。この結果は、下顎体断面形態の種間差は筋力や断面外に負荷される咬合力など断面外の要因に影響されることを示唆している。

主論文2および3では、三次元有限要素法を用いて、チンパンジー、ゴリラ、ヒトの下顎結合部の応力分布を比較している。主論文2では下顎骨の精密モデルを、主論文3では形態と力の関係を明確にするため、単純化したU字形はりモデルを用いて解析を行っている。その結果、下顎骨の上横隆起は咬合力のうち水平方向成分に、下横隆起は咀嚼筋力による下顎体のねじりに対抗するために形成された可能性を示している。この結果は、従来提案されていた下顎の形成要因に関する仮説を、定量的手法で補強している。一方、結合部でのオトガイの形成要因については、臼歯部にかかる咬合力の水平成分が、オトガイ部に強い圧縮応力を生じさせるだけでなく、曲げとねじりも付加的に作用させることが影響している可能性を示した。これは先行研究とは異なる新しい仮説である。このような水平方向の咬合力を生じさせる咀嚼運動として臼磨運動を挙げ、オトガイ形成は臼磨運動に対する力学的適応であるとしている。

本申請論文には、咀嚼という複雑な運動を力学的に単純化している点、計算モデルの評価が行われていない点などの問題点が残る。しかし本研究は、モデル分析の長所を生かして、様々な力学的条件のもとでの下顎骨のふるまいを比較し、その形態特徴について新しい力学的な解釈を加えており、化石霊長類の食性を推定する上でも有用な手がかりを与えている。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。