

博士論文（要約）

Comparative functional morphological study of masticatory system in Carnivora

（ 食肉類における咀嚼器の比較機能形態学的検討 ）

伊藤 海

第一章：本章の内容は、学術雑誌に掲載されており、出版社との契約条件によって公表できない。本章の内容は、Mammal Study, 41 巻, 4 号, 181-190 ページに掲載されている。

食肉類の咀嚼筋における生理学的筋断面積の比較形態学的検討

咀嚼の動力は、収縮方向の異なる咀嚼筋から構成される。これらは側頭筋、咬筋、内側翼突筋、外側翼突筋に分けることができ、咬筋は浅層、中層、深層の3層に分けることができる。これらの筋が発揮する力は生理学的断面積(PCSA)と相関する。本章では、咀嚼筋 PCSA の定量的検討により、食肉類の各系統における咀嚼筋の機能形態学的戦略を明らかにすることを目的とした。その結果、各筋の PCSA 値は、系統に関わらず体サイズに相関して小さくなるという多様化した食肉類における一般性が観察された。体サイズの小さい食肉類は大きい食肉類に比べ代謝率が高く、頻繁に獲物を食べる必要がある。このため、小さい食肉類は、体サイズに対して大きい PCSA 値をもつ筋を用いて獲物を捕殺、咀嚼していると示唆される。ネコ科では咬筋浅層の PCSA 値、イタチ科では側頭筋の PCSA 値、イヌ科では咬筋浅層の PCSA 値が、他の系統と比較して有意に大きいことが確認された。ネコ科は、外側方向に下顎をスライドさせる咬筋浅層を用いて、発達した鋭い上顎と下顎の裂肉歯を擦り合わせることで獲物を剪断する咀嚼をしていることが示唆された。また、イタチ科は下顎頭が関節窩に嵌り込んだ強固な顎関節をもつ。そのため、側頭筋の背側方向に引き上げる力が強い場合でも、下顎頭が関節窩から脱臼することなく咀嚼ができることが示唆された。イヌ科は、イタチ科のような強固な顎関節をもたないため、咬筋浅層を用いて下顎の運動方向を変化させることで顎関節の脱臼を防いでいると示唆された。これらの科における高い PCSA 値を示した筋肉は、歯や顎関節の特性に合った機能を果たす筋肉であることが示唆された。

第二章：本章の内容は、学術雑誌論文として出版する計画があるため公表できない。5 年以内に出版予定。

食肉類の咀嚼筋における筋束長と開口の比較機能形態学的関係について

食肉類の咀嚼器の機能形態学的な構造を解明するためには、閉口だけではなく、開口の構造を検討する必要がある。咀嚼筋の筋束長は開口の大きさに関係することが知られている。また筋束長は、筋の伸展性のみならず、筋力が発揮する力にも関係する。筋束長が長くなると、開口が大きくなり、筋束長が短くなると発揮する力が強くなるとされている。本研究の目的は、咀嚼筋のうちどの筋が開口に寄与しているのかを突き止めることである。また、食肉類の開口においての科レベルの系統的な制約についても議論する。左右の顎関節の midpoint と infradentale が作る直線と、左右の顎関節の midpoint と prosthion の作

る直線のなす角を開口角度，また開口時の *prosthion* から *infradentale* までの距離を最大開口距離とし，これらを開口の大きさの指標とした．各咀嚼筋の筋束長と開口角度，最大開口距離との相関を調べた結果，咬筋浅層の筋束長の長さが開口角度，最大開口距離と高い相関を示した．このことから，咬筋浅層の筋束長が長くなり伸展性が上がるほど，大きな開口になることがわかった．また，顔面頭蓋が吻尾方向に短いネコ科とイタチ科は，開口角度が大きく，最大開口距離は，ネコ科が，顔面頭蓋が吻尾方向に長いイヌ科を上回る値を示した．これらのことから，ネコ科は開口角度と最大開口距離が大きい系統であることがわかった．ネコ科に属する種の咬筋浅層の筋束長は他の種と比較して長い．このことが，ネコ科の開口を大きくする要因であると考えられる．またネコ科の咬筋浅層の *PCSA* は大きく，筋束長も長いため，ネコ科は筋重量を大きくしていることがわかった．結果として，ネコ科はこのような咬筋浅層をもつことで，開口を大きくするとともに，強い筋力を発揮している．また，鰭脚類に属するゴマフアザラシとセイウチはネコ科と対比的な結果を示した．これら 2 種の開口角度は小さかった．その原因は，その他の種と比較して筋束長が短いことであると考えられる．また，*PCSA* も小さいことから，ゴマフアザラシとセイウチの咀嚼筋の筋重量は小さいことが示された．生態学的にみても，ゴマフアザラシとセイウチは，小型の魚や二枚貝を餌としている．これらの咀嚼には大きな開口と強い筋力が必要がないと考えられる．

第三章：本章の内容は，学術雑誌論文として出版する計画があるため公表できない．5 年以内に出版予定．

食肉類の咀嚼筋生理学的筋断面積が顎関節構造に及ぼす比較機能形態学的影响について

本研究では，顎関節の形状の変化を種間で比較し，系統ごとの傾向を把握した．また，顎関節に力を加える収縮方向の異なる各咀嚼筋のうち，どの筋がどのように顎関節の形状に影響を及ぼすかを解明することを目的とした．咀嚼筋全体に対する各筋の *PCSA* の比率と顎関節の形状，さらに，体サイズに対する各筋の大きさと顎関節の形状の相関を調べた．その結果，体サイズに対する側頭筋の大きさと顎関節の形状に相関があることがわかった．体サイズに対して側頭筋が大きいほど，顎関節前突起の頂点が尾側方向に突出し，さらに顎関節後突起の頂点が吻側方向に突出する．その結果，前後関節突起の頂点同士の間の距離が短くなると示された．これにより，下顎頭が顎関節窩の中に深く嵌まり込む強固な顎関節となる．生体力学的な議論から，食肉類は側頭筋のみを用いて裂肉歯で餌を噛む場合，顎関節が脱臼してしまうことが知られている．これらの結果から，食肉類は，側頭筋を使って裂肉歯で餌を噛む際に起こる脱臼を，顎関節を強固にす

ことで防いでいることがわかった。顎関節の形状には、科レベルの系統的な特徴がみられた。イタチ科の顎関節は、顎関節後突起の頂点が吻側方向に突出することで顎関節が強固になっている。これは、側頭筋の力を用いて裂肉歯で咀嚼することに適していると考えられる。また、ネコ科では、顎関節前突起が尾側方向に突出することで顎関節が強固になっている。これにより、本来は発達した裂肉歯に加えるための咬筋の力を犬歯に転用することができる。イヌ科の顎関節は緩い。そのため側頭筋、咬筋、内側翼突筋の力の均衡を保つことで、顎関節の脱臼を防いでいると示唆される。

第四章：本章の内容は、学術雑誌論文として出版する計画があるため公表できない。5年以内に出版予定。

食肉類の頭蓋骨形態に基づく咀嚼筋生理学的筋断面積の推定

咀嚼筋 PCSA が計測できる標本は稀である。しかし、頭蓋骨標本は希少種、絶滅群も含め世界中に数多く存在する。そのため、頭蓋骨標本のみから咀嚼筋 PCSA を計測することができれば、あらゆる種を用いた網羅的な解析が可能になる。本章の目的は、頭蓋骨から各咀嚼筋 PCSA を復元する方法を確立することである。そのため、頭蓋骨における各筋の付着部位の稜線や粗面部を基に、選択的筋付着部位(SMA)を提案し、それが各筋の PCSA 値と高い相関を示すことを証明した。しかしながら、咬筋浅層の SMA と PCSA 値の相関は他の筋と比較して低かった。これは、裂肉歯を擦り合わせるため発達した咬筋浅層が頭蓋骨から外側へはみ出ることで、付着部位が PCSA 値に対して小さくなるというネコ科の影響であると考えられた。

第五章：本章の内容は、学術雑誌論文として出版する計画があるため公表できない。5年以内に出版予定。

食肉類において形態学的要因が推定咬合力に及ぼす影響の特定

三次元形態学的手法を用いて、食肉類の頭蓋骨から推定咬合力を算出した。アメリカミンクとフェレットは、体サイズが同等で、系統的にも近縁である。アメリカミンクの推定咬合力とフェレットの実際の咬合力を比較することで、推定咬合力の確度を調べた。その結果、アメリカミンクの推定咬合力は実際のフェレットの咬合力の計測範囲内に収まるものであった。この推定方法を用いて作業側における犬歯と臼歯の咬合力を食肉類 32 種で比較した。その結果、ネコ科に属する種、さらには、ドール、ハクビシン、マレーグマ、アライグマは、犬歯、臼歯における咬合力が強く、レッサーパンダは臼歯のみの咬合力が強かった。また、アメリカミンク、ニホンイタチ、キンカジュウ、ゴマフアザラシ、セイウチでは犬歯と臼歯で弱い咬合力を発揮することがわかった。ネコ科に

属する種とドールは肉食性であるため、犬歯での高い咬合力が獲物の捕殺のために必要だと考えられる。また、肉の剪断には発達した臼歯である裂肉歯に強い力を加える必要があると考えられる。ハクビシン、マレーグマ、アライグマは雑食である。これらは、咬合力を大きくすることで、破壊し、利用できる餌の範囲を広げていると考えられる。レッサーパンダでは臼歯でのみ強い咬合力を発揮し、これは、タケ類を磨り潰すための特殊化であると考えられる。小型の食肉類は体サイズの小さい獲物を餌とする。アメリカミンク、ニホンイタチは獲物の捕殺のために特に強い咬合力を必要としないと考えられる。また、キンカジュウは主に熟れた果実を餌とする種である。このため、強い咬合力を必要としない。鰐脚類に属するゴマフアザラシ、セイウチは、魚や二枚貝の軟体部のみを飲み込む。このように、食肉類は食性に適応した咬合力を発揮していると示唆された。また、咬合力を発揮するためには、大きく分けて3つの形態学的な要素が重要であるとされている。それらは、1、顎関節から歯牙までのロードアーム、2、顎関節から各筋の作用線までの距離であるレバーアーム、3、筋肉の発揮する力である。強い咬合力を示した種では、2と3の要素の影響が大きいことから、食肉類は、2と3を大きくすることで強い咬合力を発揮していると考えられる。しかし、ネコ科に属する種とドールの強い咬合力は、3の要素のみに起因していると考えられる。筋肉で咬合力を強くすることは、持続的に強い力で餌を噛めるということを意味する。これは、捕殺や肉の剪断に有利であると考えられる。しかし、レッサーパンダは2の要素のみから強い咬合力を発揮していた。レッサーパンダは、タケ類を咀嚼するために長時間咀嚼運動を行う。このため、頭骨の形態から決まるレバーアームを中心とした、筋肉に疲労の蓄積しない咀嚼を行っていると示唆される。ネコ科、ドールとレッサーパンダは、強い咬合力を発揮するため、食肉類の中でも独自の戦略をもつことが示された。