

Title	シロテテナガザルの移動行動に関する機能形態学的研究
Author(s)	岡, 健司
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/58484">https://hdl.handle.net/11094/58484</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	岡 健 司
博士の専攻分野の名称	博士(人間科学)
学位記番号	第 24296 号
学位授与年月日	平成23年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 人間科学研究科人間科学専攻
学位論文名	シロテテナガザルの移動行動に関する機能形態学的研究
論文審査委員	(主査) 教授 熊倉 博雄 (副査) 教授 中道 正之 准教授 八十島安伸 准教授 中野 良彦

## 論文内容の要旨

霊長類は樹上を中心とした多様な環境に生息しており、移動行動様式は四足歩行、二足歩行、跳躍など多岐にわたる。霊長類の移動行動は、生息環境への適応として種特異的に進化する。移動行動は筋骨格系の働きによって可能となり、筋骨格系の形態は移動行動様式に基づいて決まると考えられる。しかし、霊長類の生息環境、移動行動様式、形態学的特徴の相互の関連は、充分には理解されていない。本研究では、樹上性類人猿であるテナガザルと、その主たる移動行動様式であるブラキエーションに着目した。ブラキエーションは、木の枝に懸垂して前肢を交互に振り出すことで前進する移動行動である。ブラキエーションの定量的な運動学的分析はこれまでに報告されておらず、特に後肢関節の動きや体幹の働きは不明である。そこで、シロテテナガザルを対象として、ブラキエーション時の体肢運動の運動学的解析、ブラキエーション時の体幹筋の筋電図学的解析、体幹深部筋の肉眼解剖学的解析を行い、シロテテナガザルの移動行動への適応について考察した。

特に情報の少ない後肢と体幹の動きを調査するために、精密な三次元運動計測装置を用いてシロテテナガザルのブラキエーション時の大腿部と体幹下部の定量的運動分析を行った。シロテテナガザルのブラキエーションにおいては、右片手支持期に冠状面で体幹が左側に傾斜することで、体幹下部が右方へと移行し、逆に左片手支持期には体幹が右傾斜して体幹下部は左方へと動いていた。この体幹傾斜は、重力による身体質量中心の位置変化に伴う受動的な動きだと考えられた。また矢状面内では、体幹の上下方向運動と前進速度とが相互に変換されており、ブラキエーション時のシロテテナガザルの身体が単振り子の

ように位置エネルギーと運動エネルギーの変換を行っていることが示された。さらに、股関節の屈曲・伸展運動が、運動範囲は小さいものの規則的に生じていることが見出され、後肢運動にはブラキエーションの遂行効率を向上する役割があると考えられた。左右方向では、後肢は体幹と逆向きに動いており、身体質量中心の側方動揺を制限していると示唆された。これらの結果から、シロテテナガザルのブラキエーション時には股関節の素早く微細な後肢運動が、身体質量中心の左右方向への動きを制限していると示唆された。

先のシロテテナガザルのブラキエーション後肢運動分析は、股関節運動に焦点を絞ったものであった。後肢運動の働きをさらに詳しく理解するためには、膝関節動態や、前肢運動と後肢運動の対応について把握する必要がある。そこで、ビデオベースの運動解析システムを用いて両側の前肢および後肢の動きを計測し、ブラキエーション時の体肢運動を総合的に分析した。その結果、シロテテナガザルのブラキエーションの片手支持期には、支持基体に接していない方の前肢が、左右方向において身体全体の動きとは逆方向に動いていた。このことから、シロテテナガザルのブラキエーション時には、支持基体に接していない方の前肢が、左右方向における身体質量中心軌道の動揺を抑制するように動くことと示唆された。また膝関節は、股関節とは異なる角度変化パターンを示した。膝関節運動は、股関節と同期的に動いてブラキエーション時の前進運動量の増加に関与するのではなく、股関節の受動的な動揺を抑制することで補助的に運動効率向上に関与する可能性がある。また、両手支持期には、片手が支持基体を離れるのに先立って両側の後肢が運動を開始した。このことから、片手支持期あるいは手が支持基体に衝突するときに動揺した身体質量中心の軌道の修正に、能動的な後肢運動が関与していると示唆された。シロテテナガザルのブラキエーションにおいては、前肢と後肢の両方が、矢状面における振り子様運動の効率を高めるように動くだけでなく、身体質量中心の左右方向への過剰な変位を抑制し、懸垂する手を左右交互に変えながらも円滑にブラキエーションが継続されることに貢献していると示唆された。

体幹筋が骨盤の位置を調節することで移動行動全体の効率化に関与している可能性を検証するために、シロテテナガザルにおけるブラキエーション時および二足歩行時の腰部脊柱起立筋の活動を動作筋電図学的に分析した。霊長類の腰部脊柱起立筋の発達には、樹上性種では良好で樹上性種では弱いとされるが、テナガザルは樹上性が強いにも関わらず発達が良好だとされている。筋電図学的分析の結果、ブラキエーション時における腰部脊柱起立筋は、体重を支持する手が交代される時期に活動することで骨盤を含む体幹の位置を調節し、振り子運動を円滑に連続させることに関与すると示唆された。また、二足歩行時における腰部脊柱起立筋は、足の接地に伴って活動し、体幹を伸展させるなどの作用によって転倒を防ぐ働きを示すと考えられた。すなわちシロテテナガザルの腰部脊柱起立筋はいずれの移動行動においても、体重を支持する肢が交代される時期に活動し、骨盤位置を調節することで体幹姿勢を整え、身体全体の位置移動の円滑な遂行に関与する機能を有すると示唆された。シロテテナガザルの腰部脊柱起立筋の発達は、これらの移動行動への適応だと考えられた。

腰部脊柱起立筋以外で骨盤位置調節に関与すると考えられる体幹腹側筋である腰方形筋は、霊長類における構造がほとんど分かっていない。そこで、シロテテナガザルとその他7種の霊長類(ガネットガラゴ、スローロリス、ジェフロイコモザル、ニホンザル、オランウータン、コモテンパンジー、ボノボ)における腰方形筋の構造を肉眼解剖学的に観察し、各種の移動行動様式に注目しつつ種間比較を行った。その結果、霊長類の腰方形筋は複数種類の筋線維束(腸骨-肋骨線維束、腸骨-胸椎線維束、腸骨-腰椎線維束、腰椎-腰椎線維束、腰椎-胸椎線維束、腰椎-肋骨線維束)の組み合わせによって構成され、種によって腰方形筋を構成する筋線維束の種類が異なることが示された。四足歩行型霊長類の腰方形筋は腰椎部固定性を高める構造を示し、四足歩行時の腰椎安定性に寄与すると考えられた。前肢での懸垂行動を常用する霊長類の腰方形筋では、胸郭部と腰椎部を連結する構造が発達しており、これは体幹直立位での懸垂時の体幹姿勢保持に関連していると考えられた。腰椎部可動性の小さい大型類人猿のチンパンジー属においては、腰椎に付着

する線維束が少なかった。樹上性の強い大型類人猿のオランウータンの腰方形筋では、腸骨と腰椎をつなぐ線維束が発達しており、樹上移動行動時の骨盤位置移動に関与すると示唆された。シロテテナガザルの腰方形筋の構造は、大型類人猿とは異なり、腸骨と下位腰椎をつなぐ線維束と、上位腰椎と胸郭部をつなぐ線維束が発達していた。シロテテナガザルの腰方形筋は、常態的移動行動であるブラキエーション時に、胸郭部を固定しながら骨盤位置を調整する働きを担っていると示唆された。

本研究の結果から、従来は前肢のみが着目されること多かったシロテテナガザルのブラキエーション時において、後肢や腰部筋の活動による腰椎運動や骨盤位置調節が、身体全体の位置移動の円滑な遂行に寄与していることが示された。

## 論文審査の結果の要旨

200種を越える現生霊長類は、いずれも種特異的な環境の中で、さまざまな形態学的多様性を表現している。このような形態学的多様性と環境を媒介するのは、位置移動行動を含む日常活動である。環境-行動-形態という関係性は、とりわけ霊長類を研究対象とした場合には、人類の進化過程を理解する上で重要な意味を持つ。

本論文ではこの問題に関する総説に始まり、2種の運動解析実験と、1種の筋電図実験、腰方形筋の比較解剖学的検索の結果について述べられる。その後、総合論議として機能実験と形態学的観察の結果が結び付けられるとともに、基礎研究の成果をリハビリテーション医療の臨床現場に生かす可能性についても論じている。

最初の実験は、ブラキエーション時における後肢の運動動態を定量的に明らかにしようとするものである。テナガザルのブラキエーションについては、前肢の運動解析や振り運動としてのモデル解析が中心に行われてきており、実運動時の体幹および後肢についての定量的運動解析は行われていなかった。先行研究の中には、この運動においては体幹・後肢は前肢による振り運動に伴う受動的なものであるとする説もある。そこで、赤外線反射式3次元運動解析システムを用いて、ブラキエーション時の骨盤と大腿の運動解析が試みられた。その結果から、シロテテナガザルのブラキエーション時には股関節運動が身体質量中心の左右方向への動きを制限し、身体全体の前進効率を高めていることが示された。

第1の実験では、方法上の制約から身体の片側のみの記録に終わったため、続く第2実験ではビデオカメラを4台用いた解析手法の導入によって、身体両側の12標点の運動変位の記録を試みている。この実験の結果は、第1実験の結果を追認するもので、後肢運動も、身体質量中心の左右方向への過剰な変位を抑制することで、ブラキエーションの円滑な継続に貢献していることが示唆された。

運動実験の結果から、体幹・後肢がブラキエーションの推進機構において積極的な役割を果たしていることが示されたため、続く実験では、体幹筋としての腰部脊柱起立筋をえらび、その筋電図記録を試みている。実験は、赤外線反射式3次元運動計測と同期するように行われた。実験の結果、腰部脊柱起立筋はブラキエーション時においては、体重を支持する肢の交代期に一側性の活動を示すことがわかった。この活動は骨盤の位置を調節することで振り運動を円滑に遂行することに貢献しているものと考察された。

筋電図実験の結果から、骨盤の調整というはたらきが重要であるという知見を得たことから、続く研究においては、機能がまだ明らかになっていない体幹深部筋である腰方形筋について比較解剖学的検索を行っている。シロテテナガザルを含む8種の、移動運動様式を異にする霊長類の腰方形筋を比較検討した結果、シロテテナガザルでは胸郭部と腰椎部を連結する構造が発達しており、これは体幹が直立した懸垂時の体幹姿勢保持、とりわけ骨盤の位置調節に関連しているものと考察された。

終章の総合論議では自家所見を統合するとともに、最新の研究成果を概観しながら環境-行動-形態の関連について深い考察を行っている。

以上のように、本論文は、定量的運動計測が不十分であったテナガザルのブラキエーションについての基礎的知見を明らかにすることで、形態人類学において重要なテーマである環境適応の問題に重要な展開をもたらすものであり、博士(人間科学)の学位授与に相当するものと判断した。