

Title	霊長類における身体垂直移動の運動力学的解析
Author(s)	平崎, 鋭矢
Citation	大阪大学, 1994, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3074999">https://doi.org/10.11501/3074999</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏 名 平 崎 鋭 矢

博士の専攻分野の名称 博 士 (人間科学)

学位記番号 第 1 1 0 4 6 号

学位授与年月日 平成 6 年 1 月 27 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 行動学専攻

学位論文名 霊長類における身体垂直移動の運動力学的解析

(主査)  
論文審査委員 教授 俣野 彰三(副査)  
教授 山本 隆 助教授 熊倉 博雄

## 論 文 内 容 の 要 旨

1970年代後半から頻繁に行われるようになった霊長類ロコモーションの野外観察研究や実験的研究からの知見を根拠として、Prost (1980) と Fleagle et al. (1981) は、身体垂直移動・垂直木登りがヒトの直立二足歩行の進化に重要な役割を果たしたとする仮説を提唱した。その後の多くの研究にも支持されており、現在垂直木登りは直立二足歩行の前段階ロコモーションの有力な候補として注目を集めている。

しかし垂直木登りは霊長類の大半が行うロコモーション様式であるにもかかわらず、直立二足歩行を獲得し得たのはヒトだけであることを考えると、単純にこのロコモーション様式を直立二足歩行の前段階モデルとすることはできない。多様な種の垂直木登りについて分析・比較を行い、このロコモーション様式におけるどのような特徴が直立二足歩行に影響をおよぼしたのかについて明らかにする必要があるといえる。

そこで本研究では、被験体にクモザル (*Atetes geoffroyi*) とニホンザル (*Macaca fuscata*) を用い、これらの霊長類における垂直木登りについて運動力学的に解析・比較を行うことによって、垂直木登りと直立二足歩行の進化との関連性を探ることを目的とした。クモザルは、腕渡りや木登り等の軀幹非水平型行動を示す大型新世界ザルで、後肢の筋構造がヒトに似ている (Stern, 1971) といわれる。ニホンザルは主に水平四足歩行を行う旧世界ザルである。

総合的な解析を行うために、解析方法には身体各部の時間的な変位をとらえる運動学的方法、ロコモーション時に被験体が支持体に及ぼす力を計測する力学的的方法、筋の活動パターンを直接とらえる筋電図法を用いた。

さらに上記の 3 種類の方法では計測不可能な生体内部に働く力を解析するために、垂直木登り運動を生機構学的手法によりモデル化し、このモデルを用いて運動をシミュレートすることによって関節に働くモーメント、筋力、関節にかかる力 (関節伝達力)、運動のエネルギー効率を計算した。

## ・運動学的方法からの所見

16mm 高速度カメラを用いて被験体の垂直木登り運動を撮影し、フィルム分析による解析を行ったところ、以下の所見を得た。

登攀の速度に両種で差はないが、クモザルでは歩幅、歩行周期が長かった。一方ニホンザルは小さな歩幅で素早く登る。またクモザルが同側の前肢と後肢を同期させて用いるのに対し、ニホンザルは対側の前後肢を同期させて登攀を行うことが判明した。関節角度の分析結果は、クモザルがニホンザルに比べ、膝関節、股関節、肘関節をより伸展させ、肩関節をより前方挙上させること、クモザルの足関節に強い蹴りだしを示唆する動きがみられること、クモザルの体幹部がニホンザルに比べより直立に近いこと等を明らかにした。立脚時間比の比較からは、クモザルにおいて前後肢差が大きく、クモザルの後肢への依存度が大きいことが判明した。

#### ・力学的方法からの所見

垂直木登りを行う際に支持体との間に作用する力を登力計（Yamazaki & Ishida, 1984）を用いて分析し、以下の結果を得た。

力の水平分力においては、前後肢ともクモザルの値がニホンザルより明らかに大きかった。垂直分力の比較からは、前肢ではニホンザルが大きく、後肢ではクモザルが大きな値となった。すなわち前後肢差はクモザルにおいて大きく、クモザルがニホンザルに比べ後肢により多く依存していることが判明した。また力の作用する点の軌跡を分析したところ、クモザルでは力の作用点が後肢の蹴りだしの直前に急速に足先方向に移動しており、蹴りだしが力強く行われることが示唆された。

#### ・筋電図法による所見

ニホンザルにおける垂直木登り時の筋活動を表面電極とテレメーターを用いて導出・記録し、文献によるクモザルの筋電図記録との比較を行った。その結果前肢においては、ニホンザルでは肘関節の伸展筋である上腕三頭筋がスイングフェイズ（前肢・後肢が支持体から離れ、進行方向に運ばれる期間）に加えサポートフェイズ（前肢が支持体に接する期間）にも働くのに対しクモザルではこの筋はスイングフェイズにのみ働くこと、クモザルでは肘関節の屈曲にかかわる上腕二頭筋がサポートフェイズにおいてニホンザルより長く活動することなどが明らかになった。後肢においては、ニホンザルでは大腿直筋はスタンスフェイズ（後肢が支持体に接する期間）の膝関節伸展にも働くがクモザルではスイングフェイズにしか働かないことなどが判明した。特に前肢の結果からは、ニホンザルの前肢はサポートフェイズに肘関節を伸展させることにより、クモザルより推進に大きく寄与していることが推察される。一方クモザルの前肢はサポートフェイズにおいては、主として屈曲することによって身体を支持体近くに維持するように働くといえる。

#### ・シミュレーションモデルによる解析

さらに詳細な検討を行うために、木登り運動の計算機シミュレーションモデルを開発し、これによる解析を行った。モデルの開発には山崎（1975）の直立二足歩行モデルを参照した。解析結果は以下の通りである。

前肢については、ニホンザルではサポートフェイズ後半に肘関節モーメントが伸展方向に転じていることから前肢が推進に寄与していることが考えられる。一方クモザルではサポートフェイズを通じて肘関節には屈曲モーメントが働いており、前肢は推進よりも身体保持の役割を持つようである。また肩関節伸展筋の筋力推定値や肩関節にかかる力のピークの位置が、クモザルでは肩関節伸展が水平方向の力を生じるサポートフェイズ後期、ニホンザルでは肩関節伸展が垂直方向の力を生じる前期にあることも、2種で前肢の役割が異なるという上述の考察を支持した。後肢に関しては、クモザルにおいて膝関節と股関節の伸展筋および足関節底屈筋の筋力推定値が大きかった。一方ニホンザルにおいては股関節屈曲筋で大きな値を示した。このことから直立二足歩行に重要な後肢の各関節における伸展筋の発達、クモザル型の垂直木登りによって促進された可能性が示唆される。また関節モーメント、関節にかかる力等の計算結果において前後肢の差はクモザルの方が大きく、クモザルの後肢への依存度がニホンザルに比べ大きいことが明らかになった。エネルギー効率はクモザルが特に後肢においてまさり、垂直木登りに、より適応している可能性を示唆した。ニホンザルでは一歩あたりの筋力推定値はクモザルより小さいが、筋の収縮速度が速いため消費エネルギーが大きくなり、さらに歩幅が小さいことによりエネルギー効率が悪くなると考えられる。

#### ・水平四足歩行との比較

両種の垂直木登りと水平四足歩行の運動学的・力学的特性を比較した。その結果、クモザルにおいて水平四足歩行

と垂直木登りの運動学的・力学的特性は大きく異なり、垂直木登りによって直立二足歩行に重要な股関節の伸展や足関節に蹴りだしが促進され得ることが判明した。一方ニホンザルでは、垂直木登り時において関節角度が水平四足歩行時より屈曲位にあるが、全体としてこれら2つのロコモーション様式の運動学的・力学的特性には類似点が多かった。

以上の所見により、クモザルとニホンザルの垂直木登りの運動力学的特性が大きく異なるのは明らかである。特に重要なものを以下にまとめる。すなわちクモザルにおいては、(1) 体幹部がより直立に近い、(2) 股関節と膝関節がより伸展している、(3) 股関節の伸展筋、膝関節の伸展筋および足関節の底屈筋が強く働く、(4) 足関節に強い蹴り出しを思わせる動きがみられる、(5) 前肢と後肢の機能分化が進んでおり、推進については後肢により多く依存している、(6) 前肢は推進よりも身体が支持体から離れないように保持することに働く、(7) 特に後肢においてエネルギー効率が良い、(8) 垂直木登り時の特性が水平四足歩行とは大きく異なり、股関節の伸展や足関節の蹴りだしが促進された可能性がある。

直立二足歩行では、各関節を十分に伸展し、体幹部を直立させ、足関節の強い蹴りだしによって推進力を得ることが重要である。そして上肢と下肢の機能分化が明確であり、推進力を生み出すのは下肢のみである。したがって上にあげた項目のうち(1)(2)(4)(5)(6)(8)はいずれも直立二足歩行獲得への潜在的な能力を示すものと考えられる。また(3)はクモザル型の垂直木登りによって、ヒトにおいて相対筋重量値の大きい股関節および膝関節伸展筋、足関節底屈筋の発達を促され得ることを示す。これらのことからクモザル型の垂直木登りはニホンザル型の木登りに比べ直立二足歩行の前適応に、より大きく関与した可能性が強いといえるであろう。

一方ニホンザルではクモザルほどには前肢と後肢の機能分化が進んでおらず、前肢も推進に比較的大きくかかわる。また水平四足歩行に似た特徴を持ち、水平四足歩行よりさらに関節を屈曲させることから、ニホンザル型の垂直木登りが関節伸展型の直立二足歩行の前適応をもたらした可能性は低いと考えられる。

文献との比較により、限られたデータにおいてははあるが、クモザルの垂直木登りと類人猿など他の軀幹非水平型霊長類の垂直木登りが運動学的に類似することも明らかになった。我々の祖先においてクモザル・類人猿型の垂直木登りを行った時期があり、それが直立二足歩行の進化に影響を与えた可能性が示唆される。

## 論文審査の結果の要旨

ホミニゼーション(Hominization, ヒト化)の最も顕著な特徴の一つである直立二足歩行に関して、その起源と獲得過程について検証することは生物人類学の最大のテーマの一つである。

本論文では、直立二足歩行獲得の前適応をなしたものとして近年注目されている霊長類の身体垂直移動に着目し、旧世界サル的一种であるニホンザルと新世界サル的一种であるクモザルという二種霊長類について運動行動の比較を行なったものである。身体垂直移動解析においては、この目的のために開発された登力計を用いた運動時の力学的計測値などの運動学的データ及び運動時の筋活動を記録した筋電図データを用いた詳細な検討が行なわれているのに加え、新たに開発された身体垂直移動の力学的モデルによるコンピュータシミュレーションも駆使されており、実験技術の堅実性と独創性が共に示されている。これらを通じて得られたデータから、ヒトにおける直立二足性の獲得につながる運動行動の適応としては、新世界サルであるクモザル型の方が、より効果的な前適応をなしていることが実証された。この貴重な成果は、博士(人間科学)学位論文として十分に価値あるものとして認められるものである。