

# 傾斜支持基体でのシロテテナガザル二足歩行と運動選択の関係性

藤原 峻宇

## 【第1章:序論】

直立二足歩行はヒトのみが行う特異的な運動であり、進化の過程で段階的に獲得されたと考えられている。化石人類の一種であるラミダス猿人は、下肢骨の形態学的研究から樹上での二足歩行に機能的に適応していたことが示唆されており、この樹上性二足歩行がヒトの直立二足歩行の前適応となった可能性が考えられる。しかし、地上よりも不安定かつ転落のリスクを伴う樹枝の上で、化石人類がどのようにして二足歩行を実現していたのか、また実際に樹上性二足歩行を行っていたのかについては、未だ十分に明らかになっていない。

シロテテナガザルは樹枝の上で自発的に二足歩行を行う類人猿であることから、化石人類が行っていたであろう樹上性二足歩行のメカニズムを明らかにする上で有用なモデル動物になると考えられる。樹上性二足歩行の安定性や効率性に影響すると考えられる樹枝のパラメータには、太さや傾斜角度などがあげられる。太さに関しては、先行研究からシロテテナガザルが比較的太い樹枝の上で二足歩行を行うことが知られている。しかし、傾斜した樹枝の上でどのようにして安定した二足歩行を生成しているのか、またそのような環境で実際にどの程度二足歩行を選択するのかについては全く明らかになっていない。実際の樹上環境では完全に水平な樹枝はほぼ存在しないことが予想され、傾斜に対する運動適応は樹上性二足歩行や、その後の地上性二足歩行の獲得においても重要であった可能性がある。傾斜環境に対するシロテテナガザルの樹上性二足歩行時の運動戦略や、それを可能としているシロテテナガザルの形態的基盤を理解することは、ラミダス猿人を含む化石人類が当時どのような運動を行っていたのかを推測する上で役立つであろう。さらに、複数のロコモーション様式を有するシロテテナガザルが、傾斜条件の違う支持基体でどの程度二足歩行を移動手段として選択するのかを明らかにすることができれば、樹上における二足性がどのような支持基体条件のもとで獲得されたのかを理解する上で重要な知見になるかもしれない。

本研究では、傾斜させた丸太支持基体を模擬的な樹上環境に見立て、①傾斜支持基体におけるシロテテナガザル二足歩行時の運動戦略を明らかにすること、②支持基体の傾斜条件とシロテテナガザルの二足歩行の選択頻度の関係を明らかにすること、の二点を目的とした。

## 【第2章:傾斜支持基体におけるシロテテナガザルの二足歩行運動解析】

傾斜角度  $5^{\circ}$ ・ $10^{\circ}$  での上り・下り傾斜条件および水平条件の計 5 つの支持基体条件を設定し、各傾斜条件におけるシロテテナガザル一頭の二足歩行を複数台のビデオカメラで撮影した。デジタイズによって算出された各身体標点の三次元座標値を用いて、ストライド長、平均速度、Duty 比、ケイデンス、重心位置、関節角度を計算し、各支持基体条件で比較を行った。

平均速度は、水平条件と比較して下り  $5^{\circ}$  傾斜条件で有意に小さく、下り傾斜では速度を落として歩く傾向にあった。ストライド長は、水平条件と比較して下り傾斜条件で有意に小さくなることがわかった。立脚期中の重心と支持基体間の距離は、水平条件と比較して下り傾斜条件では有意に小さく、下り傾斜条件では立脚期を通して重心を低く、支持基体に近づけて歩いていることがわかった。関節角度は、水平条件と比較して、上り・下り両傾斜条件で立脚期を通して股関節が屈曲位にあった。膝関節は、水平条件と上り傾斜条件では、接地後に屈曲した後に立脚後期で再び伸展する一方で、下り傾斜条件では立脚

期を通して屈曲していくことがわかった。立脚後期の膝関節伸展は、水平条件と比較して上り傾斜条件でやや大きい傾向にあった。足関節は、水平条件と比較して、下り傾斜条件では立脚期を通して底屈位にあった。

立脚期中の姿勢の比較から、シロテテナガザルは傾斜支持基体上を歩行する際に、関節角度を調節することで、重心を適切な位置へと移動させていることが考えられた。具体的に、上り傾斜条件では身体を後方へ転倒させるような重力の分力が作用するため、体幹や下肢の関節角度を変化させて重心の位置を前下方へと移動することで、上り傾斜歩行時に生じる身体を後方へ転倒させるモーメントを減少させ、水平条件と同程度の速度で歩行を生成することが可能であったと予想される。一方で、下り傾斜条件では身体を前方へ転倒させるような重力の分力が作用するが、重心を十分に後方へ位置させることが困難であったため、しゃがんだような姿勢で、速度の遅い慎重な二足歩行を行ったと思われる。またこの原因として、後湾した腰椎を有するシロテテナガザルの腰部の可動性の低さが考えられた。

### 【第3章:支持基体の傾斜条件によるシロテテナガザルの二足歩行の選択頻度の観察】

傾斜 10° の上り・下り傾斜条件および水平条件の三つの傾斜条件と、高位置と低位置の 2 つの高さ条件の組み合わせから計 6 つの支持基体条件を設定し、運動実験で使用したシロテテナガザルを各支持基体条件で自由に運動させ、移動様式として二足歩行が選択される頻度を調べた。その結果、低位置水平条件と上り傾斜条件では二足歩行が好んで選択される傾向が得られ、下り傾斜条件では二足歩行よりもブラキエーションが好んで選択されることがわかった。

### 【第4章:総合論議】

本研究の結果から、樹上二足性を獲得していると考えられるシロテテナガザルは、下り傾斜条件で速度の遅い二足歩行を行うこと、そして下り傾斜条件で比較的二足歩行を選択しづらいことがわかった。これは、シロテテナガザルが体幹を後傾させづらい腰部形態を有しているため、歩行中に重心位置を十分に後方へと移動させることができなかったことに起因していると考えられた。ヒトに類似した腰椎や骨盤の形態を示すラミダス猿人は、シロテテナガザルと比べて比較的可動性の高い腰部を有していたことが予想され、体幹後傾による重心の位置調節が重要と考えられた下り傾斜においても、安定した二足歩行を生成できたかもしれない。また、ラミダス猿人の足部はサル類のような母趾対向性や、柔軟かつ平坦な構造を有していたことがわかっており、樹枝の上で枝を把持しながら転落することなく二足歩行することが可能であったと考えられる。このようなラミダス猿人の腰部や足部に見られる樹上性二足歩行のための形態的基盤は、その後の地上性二足歩行の獲得にも大きく寄与したかもしれない。

直立二足歩行の前適応を説明する上で有力とされている垂直木登り仮説では、垂直な支持基体を四本足で上る運動が、ヒトの直立二足歩行の獲得に重要であったと考えられてきた。本研究の結果から、シロテテナガザルは二足歩行中に姿勢を調節することによって、上り傾斜条件で水平条件と同程度の速度で移動可能であること、そして上り傾斜条件で支持基体の高さに関係なく、ある程度の割合で二足歩行を移動手段として選択することがわかった。これは二足歩行の進化過程の中で、腰部の可動性の増大が形態的に得られる以前から、霊長類の祖先が上り方向に傾斜した樹枝の上を二足で移動できたことを示唆しているかもしれない。重心を上方へ移動させるという点で、傾斜支持基体を上る運動が垂直木登り運動に類似している点も踏まえると、垂直木登り運動に適した形態を有していた種が、傾斜した樹枝の上を二足で上りはじめ、やがて地上に降りて二足歩行を行ったという新しい仮説が提案された。(生物人類学)