

**京都大学教育研究振興財団助成事業  
成 果 報 告 書**

2020年 4月 30日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会 長 藤 洋 作 様

所 属 部 局 霊長類研究所

職 名 准教授

氏 名 平崎 鋭矢

助 成 の 種 類	<b>2019年度 ・ 研究活動推進助成</b>			
申請時の科研費 研究 課 題 名	適応的歩行の生成機序から歩行の進化を探るーバイオメカニクスと運動生理学的研究			
上記以外で助成金を 充 当 した 研 究 内 容	歩行時の体幹姿勢制御の進化とその形態基盤			
助成金充当に関 わる 共 同 研 究 者	霊長類研究所・大学院生・木下勇貴			
発 表 学 会 文 献 等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・木下勇貴、平崎鋭矢、ニホンザル体幹回旋時の胸腰椎椎間関節角度に関する予備的報告. 第73回日本人類学会大会(佐賀, 2019年10月).</li> <li>・荻原直道、平崎鋭矢、重心位置の前方シフトがニホンザル四足歩行時の接地パターンに与える影響. 第73回日本人類学会大会(佐賀, 2019年10月).</li> <li>・布施裕子、平崎鋭矢、(他5名). 胸腰神経後枝内側枝の比較解剖学ーヒト、ニホンザル、シロネズミを用いてー. 第73回日本人類学会大会(佐賀, 2019年10月).</li> <li>・緑川沙織、平崎鋭矢、(他5名). 霊長類における背側肩帯筋の支配神経と背側斜角筋との関係. 第73回日本人類学会大会(佐賀, 2019年10月).</li> <li>・羽賀雄海、平崎鋭矢、(他2名). ニホンザル型四足歩行ロボットによる歩行シーケンスと体重心との関係の力学解析. 第40回バイオメカニクス学会学術講演会(春日井, 2019年11月).</li> <li>・平崎鋭矢、足の動きと形態から見た霊長類の二足歩行と四足歩行. 第40回バイオメカニクス学会学術講演会(春日井, 2019年11月).</li> <li>・木下勇貴、平崎鋭矢、(他2名). 二足歩行時の前額面における体幹姿勢調節:ヒト、シロテナガザル、ニホンザルの比較. 第35回日本霊長類学会大会(熊本, 2019年7月).</li> </ul>			
成 果 の 概 要	<b>研究内容・研究成果・今後の見通しなどについて、簡略に、A4版・和文で作成し、添付して下さい。(タイトルは「成果の概要／報告者名」)</b>			
会 計 報 告	交付を受けた助成金額	1,000,000 円		
	使用した助成金額	1,000,000 円		
	返納すべき助成金額	0 円		
	助成金の使途内訳	費 目	金 額	
		備品	509,000円	
		消耗品	34,373円	
旅費(国内のみ)		119,200円		
人件費・謝金		306,013円		
	その他	31,414円		
当財団の助成につ いて	<p>(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。)</p> <p>科研費が不採択となり途方にくれていた時期に、手厚い援助をいただき感謝しております。おかげ様で、研究を継続することができました。お礼申し上げます。</p>			

## 成果の概要 / 平崎 鋭矢

適応的歩行の生成機序から歩行の進化を探るーバイオメカニクスと運動生理学的研究。

2019年度の科研費申請は上のタイトルで行ったが、扱う対象の幅が広過ぎるため、本研究では、これまでの研究成果から重要であると気づいた体幹部の動きに対象を絞ることとし、テーマを「歩行時の体幹姿勢制御の進化とその形態基盤」とした。

体幹は、ロコモーションの進化とともにそのはたらきを変えて来た。魚類から爬虫類では体幹の側屈運動が、哺乳類では前後屈運動が推進力の多くを産み出していたが、二足歩行においては体幹の長軸回りの回旋が推進に寄与するようになった。骨盤の回旋が歩幅の増加をもたらすためである。ただし、一步踏み出すごとに身体を回旋させると、体幹の長軸周りのモーメントの向きを一步ごとに大きく変えることになり、エネルギーの損失が大きい。この損失は下肢の質量が大きくなるほど増大し、他の霊長類に比べ下肢が長くなったヒトでは何らかの対処が必要になる。そこで、ヒトにおいては、右足が前に出る時、すなわち骨盤がその右側を前に出すような回旋をする時には、体幹上部は左肩が前に出るように回旋し、歩行のモーメントバランスを保つようになった。こうした体幹上部の運動により、左手が前に振り出される動きも生じた。腰部でのこうした体幹の捩れは、ヒト特有の動きだというのがこれまでの考えであった。

しかし、最近になって、体幹上部と骨盤の反対回旋はチンパンジーの二足歩行時にも見られるという報告がなされた (Thompson et al., 2015)。体幹上部は骨盤に対しては反対向きに回旋しているのだが、骨盤の回旋量がヒトの場合に比べてはるかに大きいという主張である。骨盤と体幹上部の反対回旋 (体幹の捩れ) がヒト特有のものではなく、チンパンジーの二足歩行でも見られるとすると、次のような疑問が生じる。(1) 体幹の捩れは二足歩行という運動に必要なものなのか、(2) 体幹の捩れはヒト/チンパンジーに共通する体幹の形態のみが可能にするものなのか。これらの疑問に答えるために、我々は非ヒト霊長類のうち、チンパンジーと同じく類人猿グループに属し常習的に二足歩行を行うテナガザルと、ヒトとは系統的にやや離れており、通常は二足歩行をほとんど行わないニホンザルを被験体として選び、彼らの二足歩行時の体幹の動について、ビデオ映像と慣性センサを用いた運動学的計測を行った。その際、体幹の捩れ (水平面内の回旋) に加え、左右への揺れ (冠状面内の回旋) についても同様の分析を行った。

ヒト5名、ニホンザル5頭、テナガザル1頭を用いた比較運動学的実験の結果、ニホンザルとテナガザルの二足歩行においても、ヒトと同様の体幹の捩れが見られることが明らかになった。つまり、骨盤が水平面内で左に回旋する際に、体幹上部の前肢帯は右に回旋する。ただし、チンパンジーの場合と同様、骨盤の回旋量がヒトに比べて大きいというため、前肢帯は骨盤に対しては反対向きに回旋するものの、空間座標系においては骨盤と同じ方向に回旋す

ることになり、その結果、ニホンザルとテナガザルの両方において、前肢は後肢と同側のもおが前方に振り出されるか、あるいはほとんど振り出されなかった。これらの実験結果から、我々は、骨盤と体幹上部の反対回旋は種を問わず二足歩行という運動の力学的要請によって生じると考えている。ヒトとは系統的にやや遠く、体幹の形状も大きく異なるニホンザルにも反対回旋が観察されたためである。二足歩行の効率を上げるためには歩幅を大きくする必要があり、そのためには骨盤の回旋が不可欠となる。しかし、それによってモーメントバランスが崩れると歩行の不安定化やエネルギーの損失に繋がるため、体幹上部を能動的に反対方向に回旋させることでモーメントバランスを保とうとしていると考えられる (Kinoshita et al., 投稿中)。

ただし、もうひとつの可能性として、反対回旋は受動的なものだとする考えもある。骨盤が能動的に回旋する際に体幹上部は引きずられて同方向に回旋するものの、腰部付近の柔軟性によって十分に追従できず、その回旋量の差が骨盤に対する体幹上部の反対回旋として計測されているという考えである。これを検証するためには体幹筋の活動を計測する必要があるが、本研究の期間内に筋電図計測装置を購入することができず、検証には至れなかった。今後の課題としたい。

体幹の左右への揺れについては現在分析を進めているが、予備的結果として、ヒトと非ヒト霊長類とでは大きく異なる動きが見られることが明らかになりつつある。ヒトでは大腿部の内転により地面に接地する足は身体の正中線に近い位置にあるが、非ヒト霊長類では正中線から大きく左右に外れた位置に置かれた足で身体を支えることとなる。そのため、一歩ごとに体重心を左右に動かす必要があり、体幹の左右への傾きも大きくなる (木下ら、2019)。さらに、非ヒト霊長類の中でも種によって体幹の動きが異なることを示唆する結果が得られつつあり、今後の分析で詳細に検討する予定である。