

# 学 位 論 文 要 旨

氏名 灰谷 慈

題 目：チーターとアフリカゾウの骨格筋繊維の分布

---

## 論文要旨：

哺乳類は、地球上のあらゆる棲息環境に適応する過程で、Locomotion の多様性を獲得した脊椎動物である。Locomotion とは、動物が自らの骨格筋の活動によって移動することである。

Locomotion を達成するためには、推進力を生みだしつつ、安定的に体を支えることを同時に行わなければならない。地上最速で走行するチーターと、地上最大の体重をもつアフリカゾウは、重力に挑む進化を遂げ、現存する哺乳類の中で頂点に達した動物である。

哺乳類の locomotion を理解するためには、あらゆる手法・実験系が必要となってくる。個々の哺乳類の Locomotion を理解するためには、力の発生装置となる筋骨格系の性質だけでなく、運動のエネルギーを供給し、環境を整え、重心の位置を決定する内臓諸臓器を含めたシステム全体で考察する必要がある。あらゆる哺乳類の locomotion の能力を、同じ指標で比較する事は非常に難しい問題である。しかし、細胞レベルで考えると、すべての哺乳類がたった数種類の筋繊維で構成された骨格筋をもち、それぞれの骨格筋、それぞれの動物種が遺伝的に決定された特徴的な筋繊維の組成分布を有している。

骨格筋の筋繊維は、大きく2種類に分けられ、ミトコンドリアに富んで酸素を利用した持続的な収縮の可能な遅筋繊維 (Type I、赤筋) と、ミトコンドリアは比較的少なくピルビン酸による瞬発的な収縮をする速筋繊維 (Type II、白筋) である。Type II 繊維にはサブタイプがあり、Type

(別紙様式第 3 号)

Ⅱa、Ⅱx、Ⅱb が知られている。骨格筋はそれぞれが異なる筋繊維の含有率をもち、それによってその筋の性質が決定する。また、筋繊維の断面積は張力と比例するので、筋繊維の分布と断面積との関係から、その筋の発揮する張力の特徴を理解することができる。

今回我々は、チーターとアフリカゾウの全身の骨格筋の性質を、肉眼的解剖および組織化学的な筋繊維の調査により明らかにした。ミオシン重鎖 (Myosin heavy chain :MHC) Ⅱa およびⅡx を特異的に反応する fast myosin、MHC - I に特異的に反応する BA - D58、MHC - Ⅱa に特異的に反応する SC-71 を用いて、それぞれの動物の筋繊維を抗体染色し、異なる 3 種類の筋繊維が区別された。チーター、ゾウともに、Type I 繊維と Type Ⅱa 繊維は共通して有しているが、最も収縮速度が速い筋繊維は異なるものであり、チーターでは Type Ⅱx、ゾウでは Type Ⅱa と Type Ⅱx のハイブリッドタイプである Type Ⅱ - h が存在した。

チーターの筋繊維の分布は、特に後肢の筋において、収縮速度が最も大きな Type Ⅱx の割合が多かった。このことから瞬発的に歩幅を最大限に延長することによって、高速走行が達成されている事が示唆された。アフリカゾウでは、全身の筋において圧倒的に Type I 繊維が多く存在し、さらに最も収縮速度が速い筋繊維がハイブリッドタイプとなっていることで、全身の骨格筋がより遅筋繊維の性質を備えていることが明らかになった。このことからアフリカゾウが巨大な体重を支え、長時間歩き続けるためには、遅筋繊維が重要な役割を果たしていることが示唆された。

今後、さらに多くの動物種の筋繊維の性質が明らかにされれば、哺乳類の Locomotion の多様性と進化の歴史を知ることができると思う。

(和文 2,000 字又は英文 800 語程度)

## 学位論文審査の結果の要旨

氏名	灰谷 慈
審査委員	主査：山口大学 教授 和田 直己
	副査：山口大学 教授 山本 芳実
	副査：鹿児島大学 教授 川崎 安亮
	副査：山口大学 教授 宮田 浩文
	副査：山口大学 准教授 板本 和仁
題目	チーターとアフリカゾウの骨格筋筋線維の分布
審査結果の要旨： 灰谷氏は哺乳類の移動運動に関して種々の研究方法を用いて研究を進めている。博士論文は筋線維の分布に関するものである。以下に概要を示す。 1. 哺乳類がより速く走ろうとするとき、3つの手段を用いる。歩容の変換、歩幅の延長、歩数の増加である。(Biewener 2007.) 我々が、その動物の locomotion の特徴を理解しようとするとき、最も良い方法の一つは、その動物がトップスピードで走る(歩く)のを注意深く観察し、何が起きているかを推察することである。なぜなら、高速走行は、全身の神経-筋骨格系の能力を最大限発揮した状態であるからだ。地上最速のチーターは、まず歩容の変換を行い、単位時間当たりの歩数を増やすことによってさらに加速し、歩幅を最大限延長させることによってトップスピードへ達する。最速の歩容である gallop には、前肢が離地した後の crossed flight と、後肢が離地した後の extension flight の2つの空中中期の出現によって、大幅な歩幅の延長が可能となる。チーターと同様のスプリンターで、体重が同じ程あるグレイハウンドと、加速からトップスピードに至るまでの歩幅の変化を比較すると、チーターは、最初の歩幅の約 2.5 倍歩幅を伸ばす事が出来るが、グレイハウンドは 1.8 倍程であった。グレイハウンドは加速しトップスピードへ移行する間、グレイハウンドは前肢間、後肢間、crossed flight、extension flight の歩幅の比率に変化は見られない。一方チーターは、extension flight が漸減し crossed flight 漸増して、トップスピードに至っていた。このことから、チーターの高速走行は、後肢の強い蹴りだしから体幹を伸ばして加速し、前肢を尾側へ、後肢を頭側へ最大限体幹に引きつけてトップスピードでさらに歩幅を伸ばす事で達成されていると考えられる。灰谷氏はこれらのチーターの走行の特徴を筋線維の分布から示している。 2. チーターを移動に特化した動物とするならば、地上最大のアフリカゾウは体をさせる能	

(別紙様式第 10 号)

力を著しく発達させた動物である。アフリカゾウは、歩容の変換を行うことができないが、歩幅と歩数を最大限増加させることによってトップスピードに達する。筋線維の研究結果は体の大きな動物では、Type I 線維が増える傾向があるが、アフリカゾウに強くみられた。さらに、速筋線維は、Type II x 線維がなく、Type II a と Type II x のハイブリッド型線維が第 3 の線維であり、速筋ですらより遅い筋へと近づいていた。ゾウの駐立姿勢は、四肢の関節がまっすぐに伸び、骨格だけでも体重を支えやすい構造を備えるが、この真っすぐに伸びた関節は、わずかな筋の収縮でも効果的に関節角度を変位させることができる利点がある。ゾウが高速で歩く時は、頭部を上下させ、四肢を振り子のように使う。四肢の近位の筋の伸筋・屈筋に Type II - h が比較的多く含まれているのは、高速歩行時のゾウの四肢の使い方を裏付けるデータである。また、チーターが後輪駆動であるのに対し、アフリカゾウは重い頭部・前軀をもち、後肢より前肢で推進力を得ている。これらの事実を、筋線維の分布から示唆した。

Locomotion を理解するためには、動物の体の複雑なシステムを理解しなくてはいけない。しかし、筋の細胞レベルの成り立ちを調査し比較することで、非常に明解な答えを得ることができた。今後、さらに多くの動物種の筋線維の性質が明らかにされれば、哺乳類の Locomotion の多様性と進化の歴史を知ることができると考える。

以上のように、申請者の研究課題は独創性にすぐれ、その成果は、国際的にも十分に評価されている。よって、本論文は博士(獣医学)の学位を授与するにふさわしいと判断した。