

Title	Study on dinosaur locomotion mechanism based on mechanical functional morphology of musculoskeletal system
Author(s)	伊東, 和輝
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/96053
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (伊東 和輝)

論文題名

Study on dinosaur locomotion mechanism based on mechanical functional morphology of musculoskeletal system
(筋骨格系の力学的機能形態学に基づく恐竜類のロコモーションメカニズムについての研究)

論文内容の要旨

Dinosaurs are terrestrial vertebrates with unparalleled diversification over 160 million years of lineage. They range from bipedal to quadrupedal and from small to the largest species in history, covering almost the entire diversity of legged terrestrial vertebrates in size. From this point, the ultimate goal of this study is to construct a general design principle of terrestrial locomotion that can be applied to diverse body sizes or locomotor types by understanding the locomotor mechanism of dinosaurs.

Locomotion in terrestrial vertebrates is emerged from the musculoskeletal system and interaction with the environment. The skeleton supports the body, and the mechanical function of the muscular system maintains the posture of the skeleton. The muscular system is composed of many elements, such as muscles and tendons, and the active and passive functions interact to coordinate the movement of the skeleton and realize locomotion. We aimed to clarify the essential dinosaur locomotion mechanism based on the mechanical functional morphology of the musculoskeletal system. However, the elements of the musculoskeletal system of dinosaurs were left only the bones, and the muscular system must be reconstructed.

In many previous approaches to reconstruct the muscular system, the muscular system has been estimated based on the morphological homology of extant sisters of dinosaurs (e.g., crocodiles and avians). However, the elements of the musculoskeletal system of dinosaurs were fundamentally left only the bones, and the muscular system must be reconstructed.

Therefore, in this study, we proposed an approach to construct dinosaur locomotion based on the correlation between the morphology and mechanical function of the musculoskeletal system (we called this mechanical functional morphology) of extant sisters. First, in preparation, we dissected extant sisters to hypothesize the fundamental locomotion mechanism. Next, we developed physical models of the musculoskeletal system of the dissected species and verified the feasibility of the hypotheses. From this approach, we revealed the stance mechanism of the crocodylian hindlimbs based on the passive coordination of the muscular system and interaction with the environment.

Furthermore, we revealed the mechanical backgrounds of the Engage-Disengage Mechanism observed in the intertarsal joint of ratites. Finally, we attempt to construct locomotion mechanisms by applying the mechanical functional morphology of extant sisters to the dinosaur skeleton. As a result, we succeeded in realizing the stance of the hindlimbs of the dinosaur skeleton based on the stance mechanism of a crocodylian hindlimb.

Through these approaches, we succeeded in constructing the dinosaur's locomotion based on the mechanical functional morphology of the musculoskeletal system. However, in this dissertation, only the stance mechanism of dinosaur hindlimbs has been clarified, which is only the beginning of the road to realizing the terrestrial locomotion of dinosaurs.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (伊 東 和 輝)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	大須賀 公一
	副 査	教授	石川 将人
	副 査	教授	東森 充

論文審査の結果の要旨

本学位論文は、多様な身体形状に対して適用可能で陸上を巧みに移動することができるロコモーションの汎用的な設計原理を構築すること究極的な目標として、その礎となる恐竜類のロコモーションのメカニズムを理解するための手法の考案と実証、並びに新たな恐竜類のロコモーションメカニズムを明らかにした成果をまとめたものである。恐竜類のロコモーションメカニズムから汎用的な陸上ロコモーションの設計原理を構築するという独創的なアイデアは、恐竜類が 1.6 億年繁栄し、系統の中で他の陸上脊椎動物に類を見ない身体の大きさや形状、歩行形態の多様化に成功した点に着想を得ており、これらの特徴から陸環境への適応と多様な身体に対する汎用性を備えたロコモーションの設計原理を構築できると考えている。

恐竜類のロコモーションを明らかにする上で、筋骨格系の能動的な振る舞いだけでなく、筋系の形態から生まれる受動的な連動や関節間協調、環境との相互作用など、筋骨格系の形態とそこから生まれる力学的機能の連関(mechanical functional morphology)によって実現される筋骨格系ならではのメカニズムの理解に重きを置いている。一方で、恐竜類においては筋骨格系の構成要素である筋系の形態が失われているという絶滅種固有の問題がある。この問題の解決のために、筋系復元の鍵となる恐竜類の現生近縁種(ワニ類や鳥類)における筋骨格系の mechanical functional morphology に基づくロコモーションメカニズムを解剖と物理モデルによる構成論的な再現によって明らかにすることから本論文は始まる。そして、近縁種のロコモーションを実現する筋系の形態と力学的機能を恐竜類の骨格物理モデルへと適用することでロコモーションを実現できるかを評価する。第 1 章では、以上の筋骨格系の mechanical functional morphology に基づく恐竜類の自然なロコモーションメカニズムの明らかにする手法の提案について述べている。第 2 章では、本手法に基づく主要な成果として、ワニ類後肢において、地面反力と後肢最大の推進筋の能動的牽引力が筋系へと作用することで、筋系の形態により複数の関節の運動を受動的に協調して立位を実現・維持するメカニズムを明らかにしている。また、第 3 章では、第 2 章で示したワニ類後肢の立位と推進のメカニズムを受動的に補助する筋の機能を明らかにしたことについて述べている。さらに、第 4 章では、鳥類の intertarsal joint に見られる関節を受動的に伸展・屈曲させるメカニズム(Engage-disengage mechanism)が実現される力学的背景を明らかにしている。そして第 5 章では、ワニ類の受動的関節間協調に基づく立位メカニズムと筋系を四足歩行の恐竜類 *Protoceratops andrewsi* の後肢に適用し、ロコモーションの基礎となる立位を実現することに成功している。恐竜類のロコモーション研究において筋系の形態が生み出す受動的振る舞いを考慮したロコモーションのメカニズムはこれまでに知られておらず、従来研究に対して新たな視座を与える成果である。

以上のように、本論文は、恐竜類の近縁種であるワニ類や鳥類の筋骨格系の形態とそこから生まれる力学的機能の連関に基づいて恐竜類のロコモーションメカニズムを明らかにする一連の手法を示し、これまで知られていなかった恐竜類後肢の立位を実現するメカニズムを示している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。