

絶滅哺乳類の穴の掘り方を復元する指標を発見 ～動物の穴掘りのルーツと進化の過程を知る手がかりに～

【本研究のポイント】

- ・これまで、絶滅した哺乳類が穴を掘っていたのかどうかを復元するのに、特定の前足の動きの力強さを反映する形態指標の有無だけで議論されてきた。
- ・前足を使って穴を掘る方法は今生きている哺乳類で3種類あり、それぞれ前足の動かし方が異なる。
- ・動かし方の違いで、肩について2つの筋肉、肘について3つの筋肉に分け、計5つの筋肉のテコ比^{注1)}を300種類以上の哺乳類の前肢骨から計測した。
- ・肩と肘を動かす5つの筋肉のテコ比が、掘削能力の有無や、穴の掘り方の違いを判別する指標になることが判明した。
- ・本研究で得られた指標により、絶滅哺乳類の穴の掘り方をより正確に復元することができ、掘削能力の獲得と掘り方の多様性の起源を知る手がかりになることが期待される。

【研究概要】

動物の穴掘り(掘削)能力は、地中の餌探しや営巣、冬(夏)眠のねぐら造りといった行動に欠かせません。今生きている哺乳類の多くが穴掘り能力を獲得しているが、中でも、前足を使った穴の掘り方は種ごとに多様です。前足を使った掘り方は、モグラに代表される掘り方(モグラ型)、アリクイに代表される掘り方(アリクイ型)、アルマジロに代表される掘り方(アルマジロ型)とあり、それぞれ穴を前足の動かし方と、穴掘りに使われる肩や肘の筋肉が異なります。哺乳類が進化の過程でどのように地中生活へ適応していったかを知るためには、個々の絶滅哺乳類の穴掘り能力や掘り方を正しく復元していかなければな

りません。しかし、絶滅哺乳類の穴掘り能力と方法は、特定の筋肉(肘を伸ばす筋肉)のテコ比の大きさばかりに焦点が当てられてきたため、穴掘能力の有無や掘り方の違いが正しく理解されてきたとは言いがたいです。本研究では、肩・肘を動かす 5 つの筋肉のテコ比を、穴を掘る動物と掘らない動物で比較しました。その結果、穴を掘る動物では、穴を掘らない動物に比べて、これらの筋肉のテコ比が大きくなることが分かりました。さらに穴を掘る動物のなかでも、掘削に最も使われる動きの筋肉では、他の筋肉よりテコ比が大きくなることが分かりました。今回の成果を絶滅した動物の化石骨に応用することによって、彼らの掘削能力・方法から、行動生態を復元したり、穴掘り行動がいつ獲得され、どのように多様化したのかを知る手がかりになると期待されます。

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院環境学研究科の仲井 大智 博士後期課程学生、藤原 慎一 講師は、哺乳類の前肢骨の形から、穴を掘る能力があるかどうか、どんな穴の掘り方をしていたのかを定量的に評価する指標を提唱しました。今生きている哺乳類の前足を使った穴の掘り方は、大きく 3 種類に分けられ、それぞれ前足の動かし方が異なることが知られています。その一方、絶滅した動物の穴を掘る能力を復元するときには、肘を伸ばす動きのみに注目されて議論されてきました。

本研究では、300 種以上の哺乳類の骨から、肩と肘を動かす筋肉のテコの比率を調べることによって、動物が穴を掘っていたのか、どのような掘り方をするのかを判別する指標を提唱しました。さらに 6 種の絶滅哺乳類の化石骨から、穴を掘っていたかどうか、どんな穴の掘り方をしていたのか調べた結果、種により異なる掘り方を採用していた可能性が明らかとなりました。

これらの指標を化石骨に応用することにより、絶滅した哺乳類の掘削能力と掘削方法をより正確に復元し、どのような行動生態をしていたのか知る手がかりになることが期待されます。さらに、掘削能力の獲得と、掘削方法の多様性がいつ、どのように進化したのかを知る手がかりになることも期待されます。

本研究成果は、2023 年 2 月 2 日付イギリス科学雑誌「Journal of Anatomy」のオンライン版に掲載されました。

【研究背景と内容】

動物にとって穴掘りは、地中の餌とりや、住処にして子育てしたり、冬(夏)眠したり、彼らの生活に欠かせない運動です。例えば、子育てのために穴を掘っていたのであれば、今生きている穴掘り動物の親も、また穴を掘って子育てをして、そのまた親(ご先祖)も、そのまたご先祖も穴を掘っていたはずで、では、動物はいつから穴を掘るようになったのでしょうか？ 動物の行動がいつから獲得されたのかを知るのは、古生物学の主要なテーマの1つです。

この疑問を明らかにするためには、動物のご先祖にあたる、すでに絶滅した動物の化石から、彼らの運動能力を復元しなければなりません。ただし、化石^{注 2)}は基本的に骨や歯といった硬い組織しか保存されないため、彼らの運動を直接見ることはできません。そのため、化石骨から絶滅した動物の運動能力を知るには、復元根拠となる“指標”が必要です。しかしながら、これまで穴掘り能力をもつかどうかの指標と、どんな掘り方をするのか(後

述する穴の掘り方の違い)を分ける指標はハッキリと分かっていませんでした。絶滅した動物が穴を掘っていたのかどうかをより正確に評価するためには、骨のかたちをどのように見ればいいのか？

○穴掘りに必要な“メカニズム”は？ テコの原理から穴掘り能力を評価する

穴を掘って、崩した土砂をどかすのは重労働です。もし人が動物と同じように手を使って、自分の体が入るほどの穴を掘ろうとしたら、筋肉痛でしばらく動けなくなるでしょう。それにも関わらず穴を掘る動物は、巣穴やトンネルを作ったり、餌を探したりするために、自身の体サイズよりたくさんの土砂を掘っています。楽チンに穴を掘るために、彼らの前足には、より力強く、より効率的に穴を掘るための“メカニズム”が必要となります。

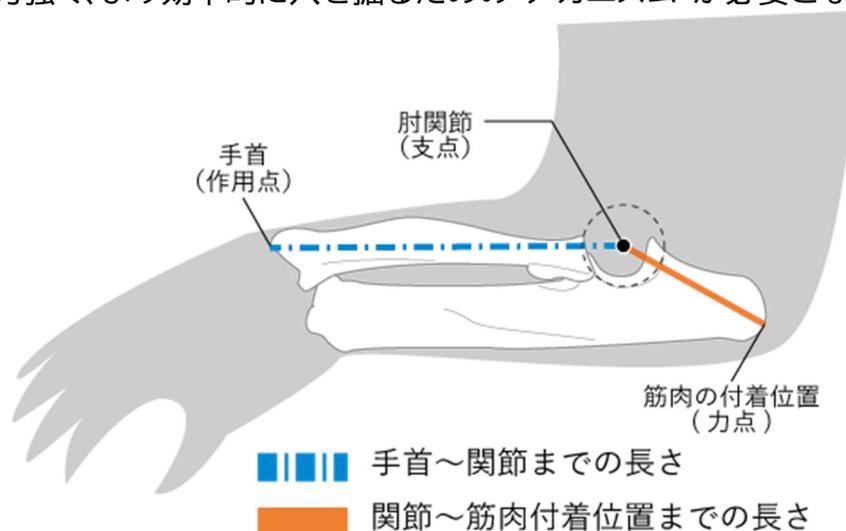
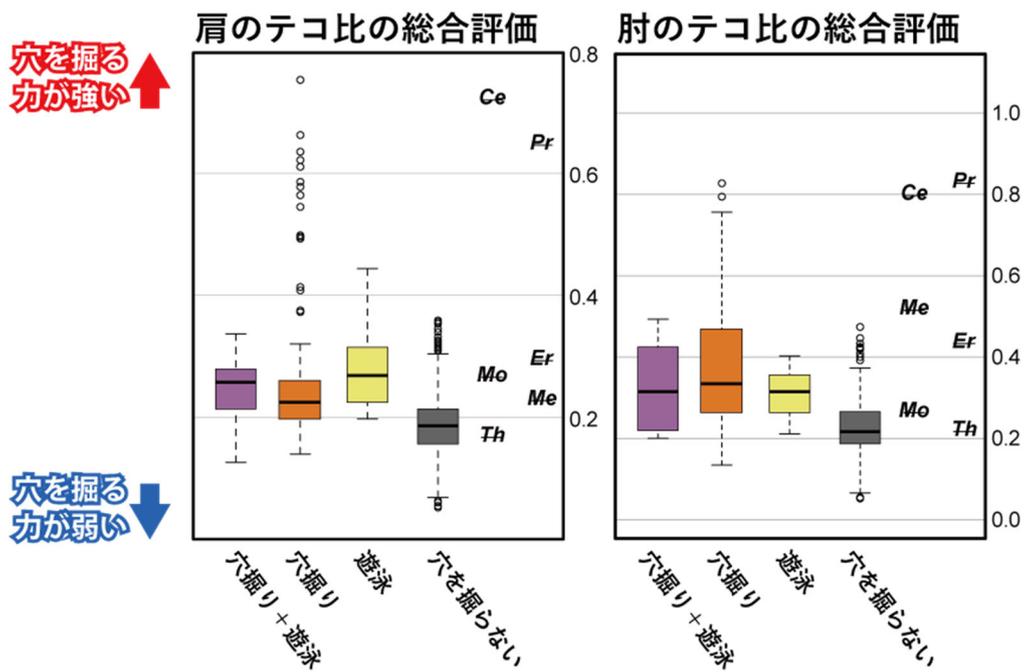


図1:筋肉のテコ比の概略図。図は肘伸展の筋肉のテコ比を表す。

今生きている穴掘り動物の前足の骨を観察してみると、穴掘りに使う筋肉が関節から離れた位置に付着しています(図1)。この構造によって、関節が支点、筋肉の付着位置が力点、土砂をかき手が作用点となっていて、関節から手までの長さ(図1の青色の破線)に対する、関節から筋肉の付着位置までの長さ(図1の橙色の線)が長くなり、テコの原理で、より強い力を発揮することができます(以下、この長さの比率をテコ比と記します)。これまでの研究では、肘の引っ張り(肘を伸ばす筋肉のテコ比)を指標として、絶滅した動物の穴掘り能力が復元されてきました。でも、穴を掘るときに使う筋肉が、肘を伸ばす筋肉だけとは限りません。

そこで本研究では、穴を掘るときに使うと期待される、肩の動き(内旋^{注3)}、後引^{注4)})と肘の動き(伸展^{注5)}、屈曲^{注6)}、内転^{注7)})の筋肉のテコ比すべてを、穴を掘る動物と掘らない動物で比べました。哺乳類(24目103科279属332種)の骨で調べてみた結果、穴を掘る動物では、穴を掘らない動物に比べて、5つの筋肉のテコ比がすべて大きくなること分かりました(図2)。



※英字のプロットは絶滅動物の計測値を示す。

図 2: 穴を掘る／掘らない哺乳類間での筋肉のテコ比の比較

○穴の掘り方は3種類！ でも穴の掘り方の違いはどうやって見分けるの？

さらに、今生きている哺乳類の行動をよく観察してみると、前足を使った穴の掘り方は大きく3種類に分けられます。アルマジロに代表される、犬かきをして土を後ろへ掻き出す方法(アルマジロ型)、アリクイに代表される、タンスの引き出しを引くような動きをして土壁を引きはがす方法(アリクイ型)、モグラに代表される、平泳ぎのようにして体の横へ土砂を押し付ける方法(モグラ型)です。それぞれの掘り方によって、穴を掘るときの肩・肘の動かし方が異なります(図3)。

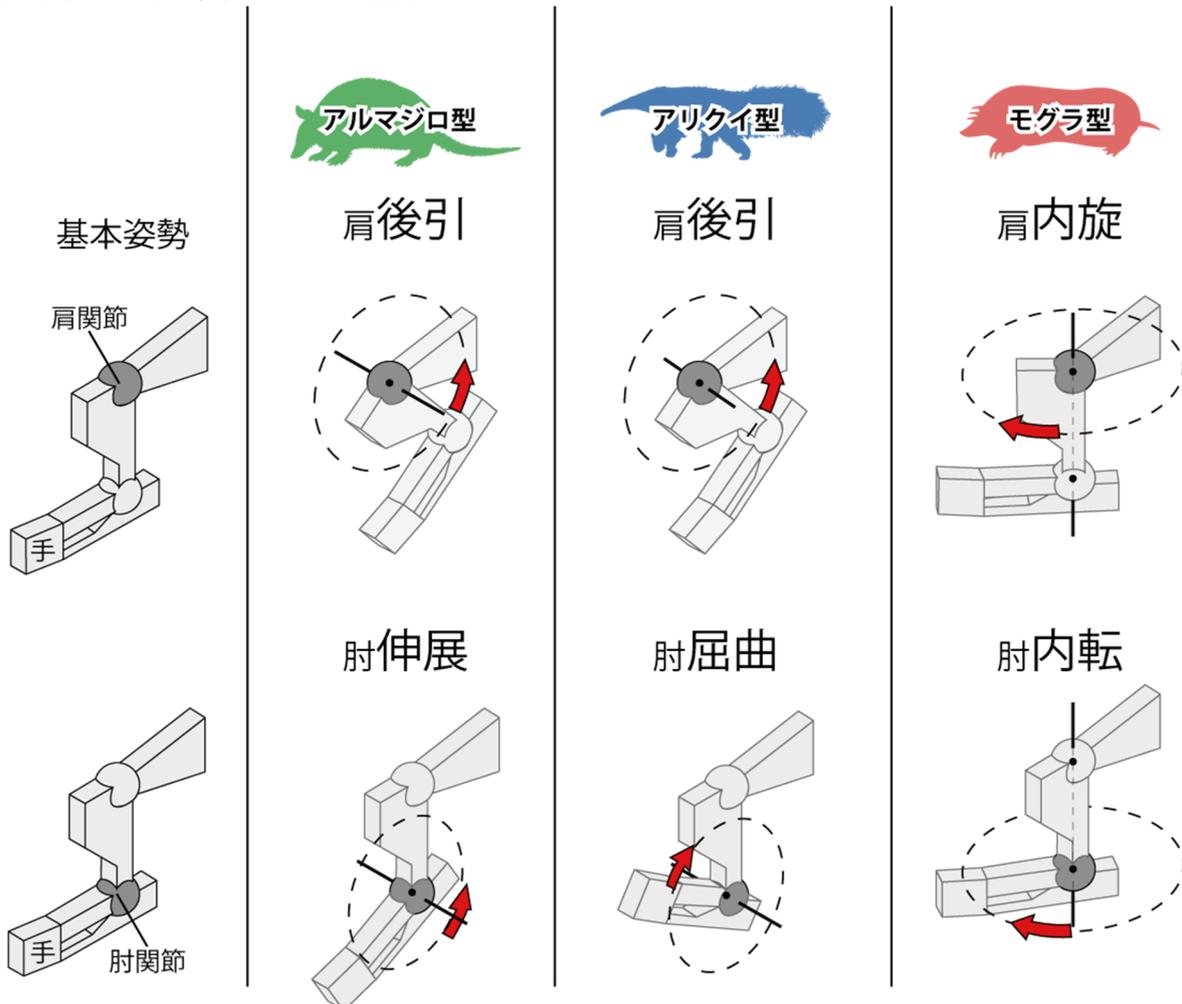
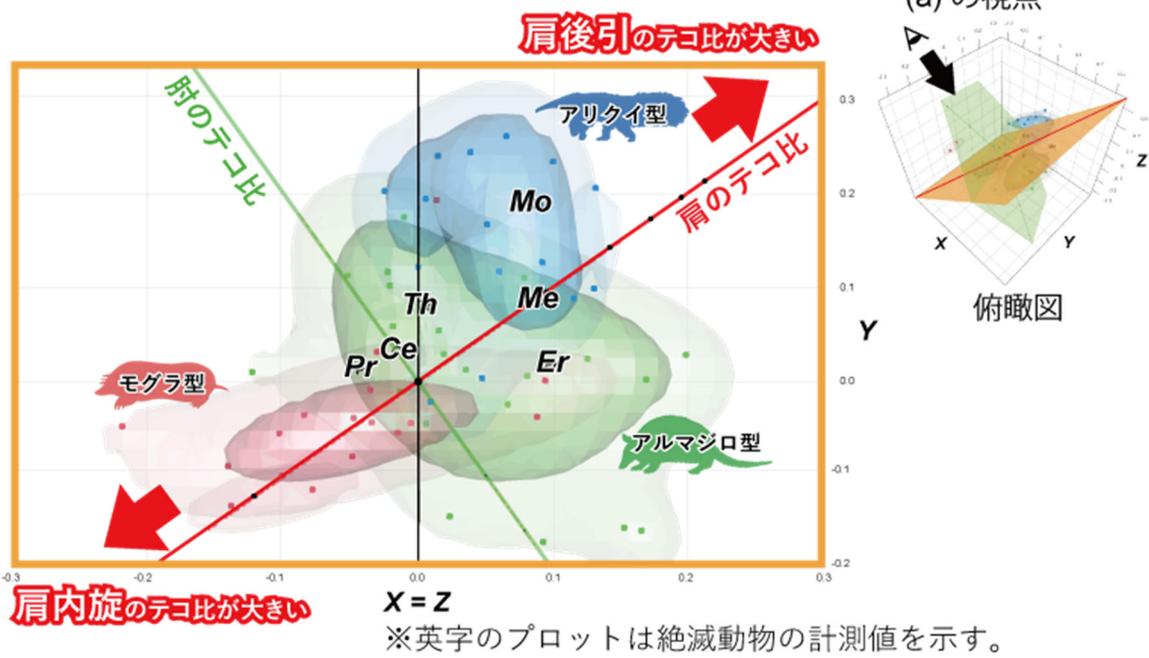


図3:前足を使った穴の掘り方(掘削方法)と、それぞれの肩・肘の動かし方。

もし穴の掘り方によって腕の動かし方が違うのであれば、穴を掘る動きに一番使われる筋肉は、他の筋肉よりテコ比が大きくなると期待されます。そこで、肩(後引:内旋の2つ)・肘(伸展:屈曲:内転の3つ)の筋肉のテコ比同士をそれぞれ比較しました。穴の掘り方が分かっている哺乳類42種の骨で調べてみた結果、アルマジロ型では肩の後引と肘の伸展、アリクイ型では肩の後引と肘の屈曲、モグラ型では肩の内旋のテコ比が相対的に大きいことが分かりました(図4)。

さらにこれらの指標を応用して、6種の絶滅哺乳類が、穴を掘っていたのかどうか、どんな穴の掘り方をしていたのかを検証すると、絶滅動物によってそれぞれ異なる掘削方法を採用していた可能性が高いことが分かりました。

(a) 肩の筋肉のテコ比の比較



(b) 肘の筋肉のテコ比の比較

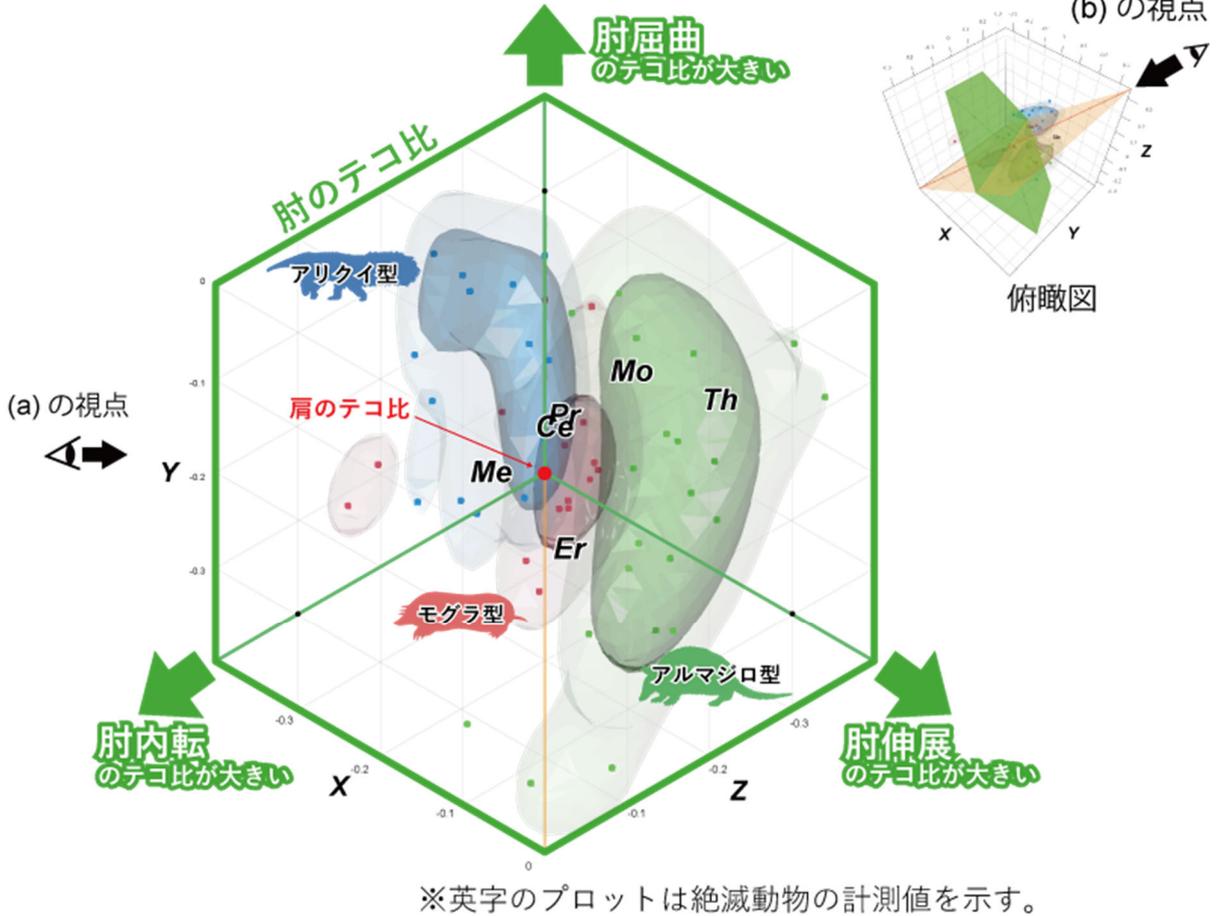


図4: 穴掘り動物間での筋肉のテコ比の比較

【成果の意義】

これまで、絶滅動物がどのような掘り方を採用していたのかを評価するのに、骨のかたちのどこを見ればいいのか分かりませんでした。本研究によって、穴を掘っていたかどうかに加え、穴の掘り方の違いまでも定量的に評価する方法を初めて提唱しました。本指標を化石骨に応用することで、絶滅した動物の掘削能力と方法を復元でき、彼らがどのように、何のために穴を掘っていたのか知る手がかりになることが期待されます。

さらに、動物のご先祖、そのまたご先祖……と穴掘り能力を評価することで、動物が進化の道すじのなかで、いつ、どのようにして穴掘りを獲得したのか、穴の掘り方が多様になったのかを知る手がかりにもなると期待されます。

本研究は、平成 31 年度名古屋大学環境学研究科学生生活動支援事業の支援のもとで行われたものです。

【用語説明】

注 1) テコ比(テコの原理):

支点、力点、作用点の位置関係によって、弱い力で強い力を生み出すことができる物理の原理。本文では、テコ比は関節から手首までの長さに対する関節から筋肉付着位置までの長さの比率を指し、穴を掘るときの前足の力強さを示す。

注 2) 化石:

太古の生物の死骸が地中に埋まったもの。まれに軟組織や動物が作り出した痕(生痕: 本研究の場合、巣穴など)が保存された化石も産出される。

注 3) 肩内旋:

腕相撲をするときに、対戦相手の手を地面につかせようとするときの肩の動き。

注 4) 肩後引:

腕をまっすぐ下した状態から、後ろへ手を伸ばすときの肩の動き。

注 5) 肘伸展:

腕と二の腕がまっすぐになるように、肘を伸ばす動き。

注 6) 肘屈曲:

腕と二の腕がくっつくように、肘を曲げる動き。

注 7) 肘内転:

脇を広げた状態で、猫の手招きをしようとしたときに肘が手のひら側に倒れる動き(※人にはできない動き)。

【論文情報】

雑誌名: Journal of Anatomy

論文タイトル: Fossorial mammals emphasise the forelimb muscle moment arms used for digging: New indices for reconstruction of the digging ability and behaviours in extinct taxa

著者: Daichi Nakai、Shin-ichi Fujiwara

DOI: 10.1111/joa.13815

URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/joa.13815>