

恐竜の走行能力の進化の解明

～白亜紀は恐竜高速化の時代だった～

ポイント

- ・ 恐竜出現初期から絶滅以前まで幅広い年代の獣脚類で、後肢骨格から走行能力の進化傾向を解析。
- ・ コエルロサウルス類の一群で、走行に適した後肢比率・束状の足首骨格の収斂進化が進行。
- ・ 白亜紀中頃に高速走行型のコエルロサウルス類が同時多発的に進化したことを示唆。

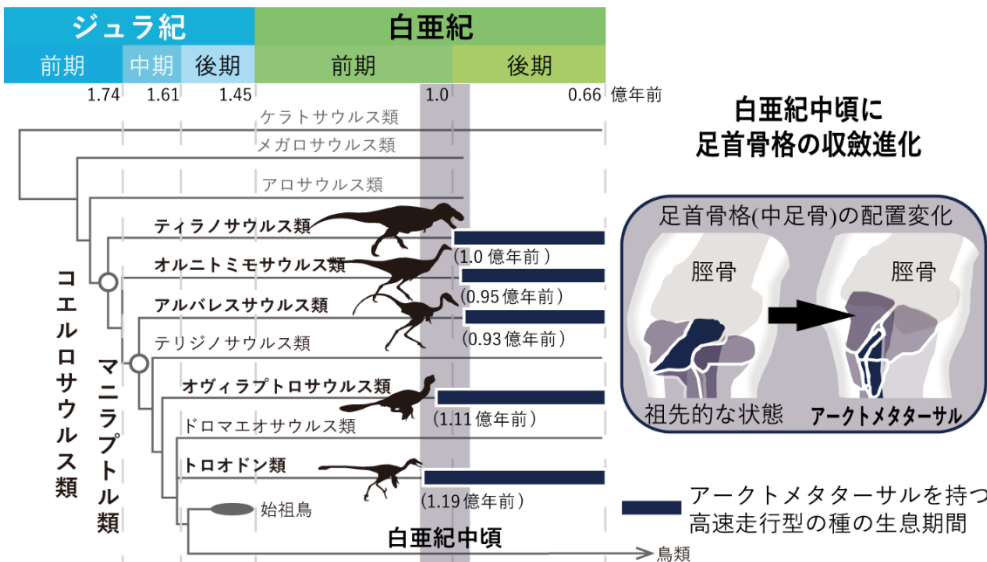
概要

東京大学大学院理学系研究科の久保孝太客員共同研究員（研究当時：北海道大学大学院理学院博士後期課程）、北海道大学総合博物館の小林快次教授の研究グループは、白亜紀中頃（約1億2000～9300万年前）に、走行に適した特徴（後肢長比率・アークトメタターサル構造）の進化がコエルロサウルス類に属す獣脚類恐竜5系統で独立的に起きたことを明らかにしました。

本研究では、獣脚類恐竜104種から後肢長を解析し、走行能力に関わる後肢長比率（体サイズに対するヒザ下の相対的な長さ）が、系統間で違いがあるか、各系統でどのように変化してきたかを調べました。また、走行性の高さに関わるとされる骨同士が束ねられた足首構造・アークトメタターサルの獲得と後肢長比率との対応を調べ、このような進化が起きた時期を統計的に推定しました。

その結果、走行に適した後肢長比率への変化は、ノアサウルス類とアークトメタターサルを持つコエルロサウルス類（ティラノサウルス類、オルニトミモサウルス類、アルバレスサウルス類、オヴィラプトロサウルス類、トロオドン類）、これらの獣脚類の6系統でそれぞれ独立的に起きたことが分かりました。また、アークトメタターサルの進化も各系統で独立的に起きており、この進化がコエルロサウルス類に限定的であること、そして後肢長比率の変化と足首骨格の変化には関連性があることが分かりました。さらに、コエルロサウルス類の5系統で走行に適した特徴の進化時期が、白亜紀中頃（約1億2000～9300万年前）に収まることが明らかになりました。本研究の結果は、この期間にコエルロサウルス類の走行能力を高める選択圧があったことを示唆しています。

なお、本研究成果は、2025年1月15日（水）、Royal Society Open Science 誌にオンライン公開されました。



本研究の概略図：
高速走行型獣脚類の時間分布と足首骨格に生じた収斂進化

【背景】

コエルロサウルス類はティラノサウルス類や鳥類を含み、恐竜から鳥類への進化過程を探る上で重要視されている獣脚類恐竜の一群です。その進化過程では、体サイズの大型化、肉食性から植物食性への変化、そして飛行能力の獲得が進行してきたことが分かっています。コエルロサウルス類の進化で注目される特徴の一つに、足首骨格に見られる「アークトメタターサル構造」があります（図1）。この足首骨格は、3本の中足骨の内の中央の骨が隣り合う骨とずれて配置されることで、束ねられた構造をしています。地面を蹴り出す際に足にかかる抗力に対し、アークトメタターサルには強い耐久性があるとされ、走行能力との関連性が推測されてきました。しかし、この足首骨格がいつ・どのように進化してきたかについては、ほとんど分かっていませんでした。

これまでの化石記録から、ティラノサウルス類やオルニトミムス類などのアークトメタターサルを持つコエルロサウルス類の仲間の多くが白亜紀後期の後半（約8000万～6600万年前）の北米やアジアにいた一方で、白亜紀前期（約1億4500万～1億年前）以前ではほとんど見られませんでした。この化石の産出パターンから、白亜紀中頃がアークトメタターサルを持つ高速走行型の恐竜が現れた期間であると予想しました。これを検証するため、獣脚類の後肢骨格データを収集し、走行性に関わる後肢長比率（体サイズに対する脛骨と中足骨の相対長）やアークトメタターサルの進化パターンとその化石記録の時間分布に対する統計解析を行いました。

【研究手法・研究成果】

後肢骨格の内、ヒザ下の部位である下肢（脛骨・中足骨）の長さは、歩幅の大きさ（移動速度）に関わります。体サイズに対する下肢の相対長を104種の二足歩行性の恐竜類で比較したところ、アークトメタターサルを持つコエルロサウルス類（ティラノサウルス類、オルニトミモサウルス類、アルバレスサウルス類、オヴィラプトロサウルス類、トロオドン類）とノアサウルス類が、相対的な下肢長が有意に長いことが示されました（図2）。さらにコエルロサウルス類では、ティラノサウルス類、アルバレスサウルス類、トロオドン類はアークトメタターサルの進化と後肢長比率の変化のタイミングが同期的である一方、オルニトミモサウルス類とオヴィラプトロサウルス類ではアークトメタターサルの進化以前から後肢長比率を変化させていたことも分かりました。これに対し、コエルロサウルス類よりも原始的なノアサウルス類では後肢長比率は変化していますが、足首骨格は祖先的な状態を維持していました。このことは、コエルロサウルス類に限り、後肢長比率の変化が足首骨格のアークトメタターサル化に関連していることを示しています。そして、この足首骨格の配置変化がコエルロサウルス類内に限定されていることは、それ以前の獣脚類まではこの配置変化を許容しない制約があったことを示唆しています。

続いて、化石記録の産出年代パターンを基に、コエルロサウルス類5系統について、足首骨格のアークトメタターサル化が起きた系統位置の年代を統計的に推定しました。その結果、推定時期がオヴィラプトロサウルス類とトロオドン類は白亜紀中頃の前半期間（約1億2000万～1億1000万年前）、ティラノサウルス類、オルニトミムス類、アルバレスサウルス類はその後半期間（約1億～9300万年前）に収まることが明らかになりました（図3）。つまり、白亜紀中頃は、コエルロサウルス類で後肢骨格の進化を伴う走行適応が進行した期間であると考えられます。白亜紀中頃は、劇的な温暖化や被子植物の台頭を伴う環境変動が起きた期間であり、当時の陸棲動物にも影響を与えたと考えられています。またこの期間の北半球では、アロサウルス類やスピノサウルス類の走行性の低い非コエルロサウルス類の大型獣脚類が衰退していきます。したがって、白亜紀中頃には走行性を高める選択圧があり、高速走行型のコエルロサウルス類が優勢になっていた可能性を示唆しています。

【今後への期待】

白亜紀中頃は白亜紀後期の恐竜類相の成立過程の転換点となる重要な期間ですが、当時の恐竜類の進化や生態系について多くの謎が残っています。本研究では、白亜紀中頃でコエルロサウルス類の様々な系統がアークトメタターサルという足首骨格を備えた高速走行型に進化したことを初めて提示しました。この時代傾向は、手掛かりの少ない当時起きた恐竜類の進化とその背景を紐解く鍵になることが期待されます。

論文情報

論文名 Cursorial ecomorphology and temporal patterns in theropod dinosaur evolution during the mid-Cretaceous (白亜紀中頃における獣脚類の進化にある走行性のエコモロフォロジーとその時間的パターン)
著者名 久保孝太^{1, 2}、小林快次³ (1北海道大学大学院理学院、²東京大学大学院理学系研究科、³北海道大学総合博物館)
雑誌名 Royal Society Open Science (科学専門誌)
DOI 10.1098/rsos.241178
公表日 2025年1月15日(水)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学総合博物館 教授 小林快次 (こばやしよしつぐ)
TEL 011-706-4730 メール ykobayashi@museum.hokudai.ac.jp

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)
TEL 011-706-2610 FAX 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp
東京大学大学院理学系研究科・理学部広報室
TEL 03-5841-8856 メール media.s@gs.mail.u-tokyo.ac.jp

【参考図】

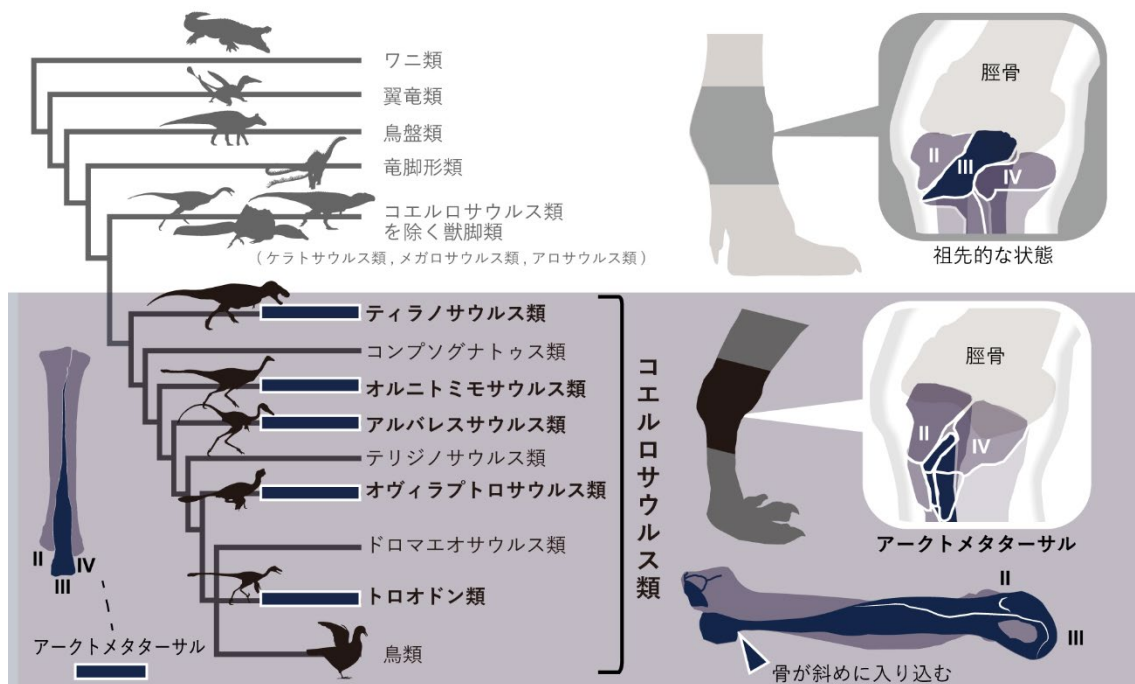


図1. (左) 獣脚類の系統樹とアークトメタターサルの分布。

(右) 恐竜類の足首骨格の比較図。下図は外側から見たアークトメタターサル構造。

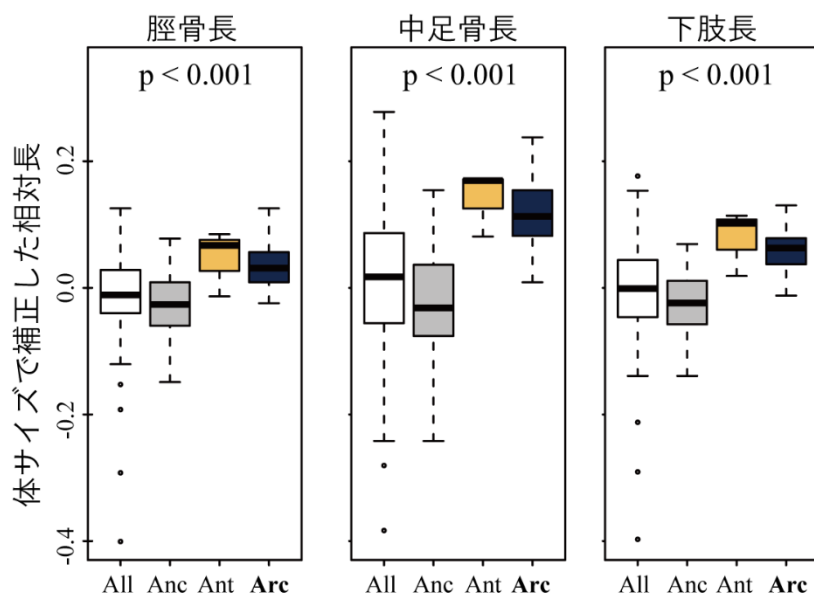


図 2. 二足歩行性の恐竜類における体サイズ補正した後肢長の比較 (All、全体の分布；Anc、祖先的な足首骨格；Ant、ノアサウルス類；Arc、アークトメタターサルを持つコエルロサウルス類)。

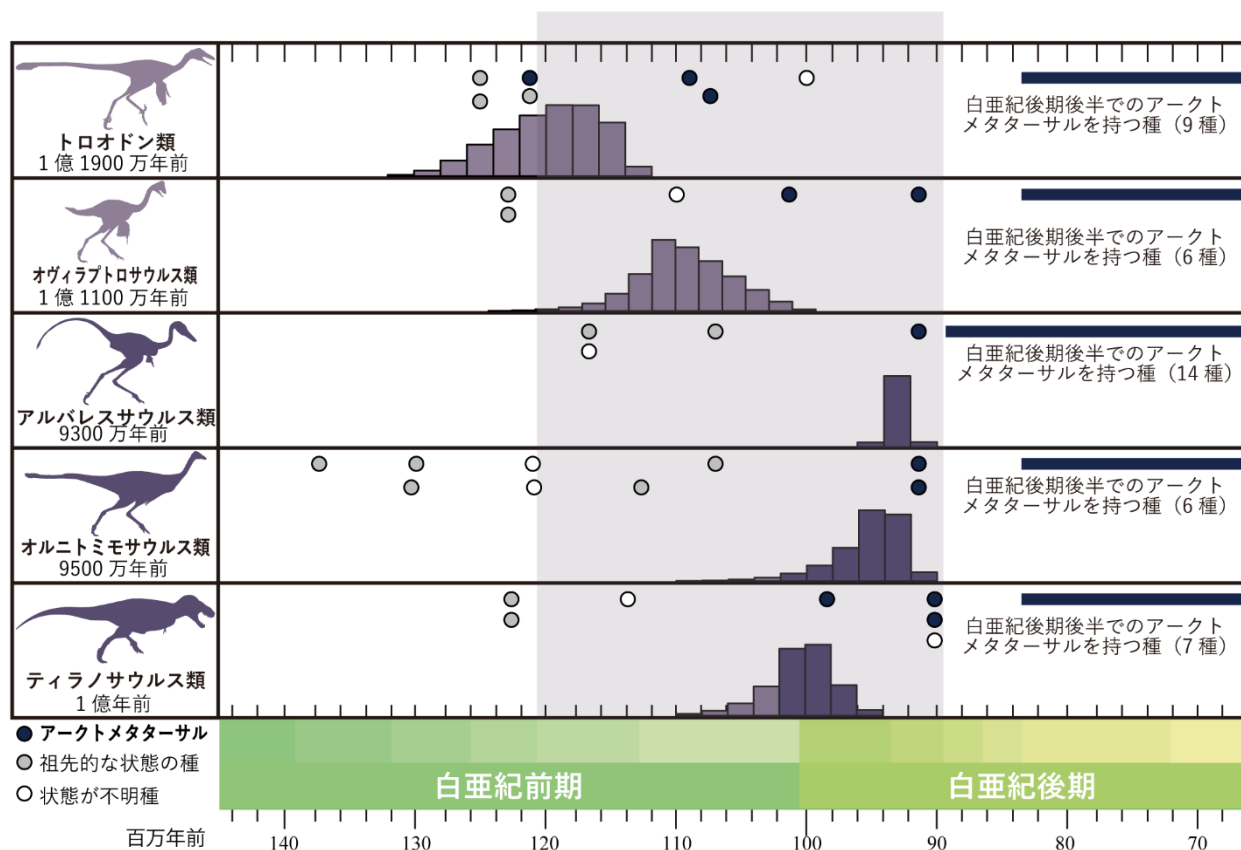


図 3. コエルロサウルス類におけるアークトメタターサルの進化時期の推定分布と化石記録の時間分布。青い領域は白亜紀中頃の期間 (横軸は時間軸)。ヒストグラムはアークトメタターサル化の推定時期を示す (丸印は化石種の産出年代を示す)。コエルロサウルス類の各系統の推定年代は時期推定ヒストグラムの中央値。