

大型ティラノサウルス類の起源と進化の解明

～ティラノサウルスの進化の鍵は“成長スピードの違い”～

ポイント

- ・新属新種「カンクウルウ」の研究による大型ティラノサウルス類の進化過程の解明。
- ・アジアと北アメリカをまたぐ大陸間移動と進化のシナリオを再構築。
- ・“成長の時間差”が、異なる体型や生態的地位を生んだ進化の駆動力であることを提唱。

概要

北海道大学総合博物館の小林快次教授、カルガリー大学のダーラ・ザレトニツキー教授らの国際共同研究グループは、モンゴルの白亜紀後期の地層（約 9,000 万年前）から発見された新種のティラノサウルス類カンクウルウ・モンゴリエンシス（*Khankhuuluu mongoliensis*）を報告し、この発見をもとに、北米とアジアにおける大型ティラノサウルス類であるエウティラノサウルス類（ティラノサウルス・レックス *Tyrannosaurus rex* やタルボサウルス・バタール *Tarbosaurus bataar* などの恐竜）の起源と進化に関する新たな仮説を提案しました。本研究では、モンゴル南東部のバヤンシレ層から産出した 2 個体の骨格化石に基づき、形態比較と系統解析を実施しました。その結果、カンクウルウは大型ティラノサウルス類の直前に分岐した中間的な形態を示しており、頭骨の形状や骨格の構造などから、大型ティラノサウルス類の進化の過程で異時性（ヘテロクロニー）が重要な役割を果たしていたことが分かりました。特に、アリオラムス亜科（Alioramini）は、従来初期系統と考えられてきましたが、本研究の結果からは、むしろ派生的な系統であり、大型ティラノサウルス類の幼体的形質を保持した「幼形成熟（パエドモルフォーシス）」による進化の可能性が示唆されました。

一方で、大型ティラノサウルス類の中でもティラノサウルスに代表されるティラノサウルス亜科（*Tyrannosaurini*）は「過成熟化（ペラモルフォーシス）」によって著しい大型化を遂げたと考えられます。さらに、本研究は、アジアで進化した中間型ティラノサウルス類が北アメリカに分散し、そこで大型ティラノサウルス類が起源・多様化し、再びアジアに逆流入したという分散経路を、統計的な祖先状態復元と地理解析により明らかにしました。これにより、ティラノサウルス類の進化史におけるアジアと北アメリカ間の交流と形態多様化のメカニズムが再構築され、大型ティラノサウルス類の進化に関する理解が大きく進展しました。

なお、本研究成果は、2025 年 6 月 12 日（木）、Nature 誌にオンライン公開されました。



本研究の概略図：

カンクウルウ（中央）と

その他のユウティラノサウルス類

（左、アリオラムス；上、ティラノサウルス；右、ゴルゴサウルス）

【背景】

白亜紀の最末期、北アメリカではティラノサウルス・レックス、アジアではタルボサウルス・バタールが、それぞれ陸上の生態系で頂点に君臨していました。これらの巨大な捕食者とその近縁種たちは「エウティラノサウルス類」と呼ばれ、体重は1トンを超え、分厚く頑丈な頭骨で強烈な咬合力を発揮するなど、驚異的な進化を遂げた大型ティラノサウルス類のグループです。

この大型ティラノサウルス類（エウティラノサウルス類）は、白亜紀最後の1,500万年間（約8,600万～6,600万年前）に繁栄しましたが、では彼らはどこからやってきたのでしょうか。答えは、意外にも「小さくて地味な恐竜たち」にあります。大型ティラノサウルス類のルーツは、かつてアロサウルス類などの大型肉食恐竜が支配していた生態系のなかで、ひっそりと暮らしていた体重500kg未満の小型のティラノサウルス類、通称「中間型ティラノサウルス類（mid-grade tyrannosauroids）」です。

このグループは、ジュラ紀～白亜紀前期にかけての初期型ティラノサウルス類（プロケラトサウルス科など）と、白亜紀後期の大型ティラノサウルス類の間をつなぐ“進化の中継点”とも言える存在ですが、化石記録が乏しく、長らく「進化の空白地帯」とされてきました。そのため、中間型ティラノサウルス類の発見と解析は、ティラノサウルスのような超大型捕食者がどのようにして誕生し、どのような環境の変化に応じて進化を遂げたのか、この謎を解き明かすカギとなると考えられてきました。

【発見と標本】

今回新たに記載されたティラノサウルス類のカンクウルウ・モンゴリエンシスは、1972～1973年にモンゴル南東部のバイシン・ツァフ（Baishin-Tsav）という化石産地で、モンゴル科学アカデミーの古生物学者アルタンゲレル・ペレ（Altangerel Perle）氏によって行われた発掘調査で発見された化石標本に基づいています。産出した地層はバヤンシレ層（Bayanshiree Formation）の上部で、地質時代ではチューロニアン期からサントニアン期（約9,300万～8,300万年前）にあたります。

本種のホロタイプ標本（標本番号 MPC-D 100/50）は、鼻骨癒合体、方形骨、涙骨、脊椎、尾椎、肩帯、中足骨などを含む保存状態の良い部分連結骨格で、モンゴル科学アカデミー古生物研究所（MPC）に収蔵されています。さらに、MPC-D 100/51 という追加標本（右頭骨要素・後肢など）と、ツァガン・テグという化石産地から発見された前頭骨の標本（MPC-D 102/4）も本種に帰属され、形態学的な共通性に基づいて同一分類群と判断されました（図1）。

これらの標本は長らく「アレクトロサウルス（*Alectrosaurus*）」に仮に分類されていましたが、今回の研究グループの詳細な再検討により、新属新種として独立させるに十分な独自の形質（自前派生形質）を持つことが明らかになりました。今回の研究によって、約50年の時を経て、これらの貴重な標本が再び脚光を浴び、大型ティラノサウルス類（エウティラノサウルス類）の進化を解明する鍵として位置づけられることとなりました。

【研究成果1：新属新種として命名】

今回の研究により発見した新属新種として「カンクウルウ・モンゴリエンシス（*Khankhuuluu mongoliensis*）」と命名しました。「Khankhuuluu」はモンゴル語の「王子（х а н х ү ү）」と「竜（л у у）」を組み合わせたもので、「モンゴルの王子の竜」という意味を持たせています。

この恐竜にしか見られない特徴として、鼻骨の中央部に浅く粗面をもつ縦走稜があり、隆起した領域の大部分にわたって延びている点、鼻骨と涙骨の接触部の前端に小さな鼻骨の気腔窩（pneumatic recess）が存在する点、鼻骨は前頭骨との接触部に過剰な突起（supernumerary processes）を持つが、内側前頭突起（medial frontal process）は欠如している点、頬骨（quadratojugal）と方形骨（quadrato）の背側接触面

が方形孔の内側縁より外側に位置している点、方形骨には方形骨気腔窩の内側に壁が存在せず、気腔窩自体も方形骨頭には達しない点、肩甲骨の外側面に深い肩峰下窪み（subacromial depression）がある点、烏口骨の関節下窩（subglenoid fossa）が二つの小窩（外側と腹側）に分かれており、それらは腹外側の稜で隔てられている点など、数多くの固有形質が確認されました。

また、次の属種と比較して次のような違いも見られます。アレクトロサウルス（*Alectrosaurus*）とは、第3中足骨の遠位関節面の足底側が過伸展しない点で異なり、ティムルレンギア（*Timurlengia*）とは、背椎の神経棘が高い点で異なり、ションガンロン（*Xiongguanlong*）とは、頬骨の背側突起が前方に拡大している点で異なることが明らかになりました。

【研究成果2：系統解析と大陸間の移動】

今回の研究では、モンゴル南東部のバヤンシレ層（約 8,600～7,800 万年前）から発見された新種のティラノサウルス類カンクウルウ・モンゴリエンシスを記載し、この化石が、大型ティラノサウルス類であるエウティラノサウルス類（*Eutyrannosauria*）の起源や進化、アジアと北アメリカ間の分布拡大において、重要な位置を占めることを明らかにしました。研究グループは、カンクウルウを含む広範なティラノサウルス類の頭骨や体骨の特徴（300 以上の形質）をもとに、最新の系統解析手法（最大節約法・ベイズ法）を用いて進化系統樹を再構築しました。加えて、生物地理学的解析（祖先形質再構築による分散シナリオ推定）も実施し、恐竜たちが白亜紀後期の「アジアアメリカ大陸（*Asiamerica*）」内でどのように移動し、進化したかをモデル化しました。

その結果、カンクウルウはエウティラノサウルス類の直前に分岐した“中間的ティラノサウルス類”であり、北米のティラノサウルス・レックスやアジアのタルボサウルスなどを含む大型ティラノサウルス類の“最後の共通祖先”に極めて近い存在であることが分かりました（図2）。特に注目されるのは、*Alioramini*（アリオラムス亜科）という小型・細身のティラノサウルス類が、これまで考えられてきた「原始的な初期分岐群」ではなく、むしろ「ティラノサウルス・レックス」などと並ぶ高度に派生したグループであり、ティラノサウルス亜科（*Tyrannosaurini*）と姉妹関係にあるという驚きの結果です。

また、進化と拡散の歴史をたどると、大型ティラノサウルス類の祖先はまずアジアで誕生し（最尤推定 73.2%）、その姉妹種が北アメリカに渡って 8,600 万年前までに多様化し（北米起源の確率 73.6%）、その後しばらく北米に限定的に分布しました。そして、7,800 万年前頃に再びアジアへと戻った系統が、アリオラムス類とティラノサウルス亜科へと分岐・拡散します（アジア再定着の確率 80%）。最終的に、白亜紀末の 7,300～6,700 万年前、ティラノサウルスを含むティラノサウルス類の一部がアジアから再度北米に移動し、同地域で頂点捕食者として君臨するようになったと推定されます。これらの発見は、従来の「ティラノサウルス類は北米起源で単線的に巨大化した」という説を覆し、アジアと北米を舞台にした複雑な「大陸間シャトル進化」が存在したことを初めて定量的に示したものです。さらに、異時性進化（成長の早さや遅さの変化）が、大型ティラノサウルス類の多様な体型やニッチ分化の鍵であった可能性を強く示唆しています。

【研究成果3：異時性とエウティラノサウルス類の進化】

カンクウルウは、体重 500kg 未満と推定され、細身の体つきや浅い頭骨、未発達な頭部の装飾、細く平たい歯、大腿骨よりも長い脛骨など、「若いティラノサウルス」とよく似た特徴を持っていました。驚くべきことに、こうした特徴は本来、大型ティラノサウルス類（エウティラノサウルス類）の“幼体”にしか見られないもので、成体では失われるのが一般的です。一方で、カンクウルウは頑丈な鼻骨や涙骨、空洞をもつ方形骨など、「ティラノサウルスらしさ」もあわせ持っており、まさに「幼さ」と「進化の兆し」が同居する存在だったのです（図3）。

本研究では、この“幼さ”の残るカンクウルウを軸に、大型ティラノサウルス類の進化を「異時生（heterochrony）」で説明できることを提案しました。大型で筋肉質、体重 3.5 トンにも及ぶティラノサウルス・レックスのような種は、「成長を加速させる進化（peromorphosis：過成熟化）」によって、頭が大きくなり、歯は太くなり、まさに“パワー型”に進化したことが明らかになりました。極めて頑丈な骨格、巨大な体重（3,500kg 超）、深い頭骨、著しく発達した頭骨内の副鼻腔、ほぼ円錐形の歯が、過成熟化の特徴として挙げられます。

一方で、アリオラムスのように細身で浅い頭を持つ小型種は、逆に「成長を遅らせる進化（paedomorphosis：幼形成熟）」によって、幼体的な特徴をそのまま成体になっても維持した“スピード型”だったのです。華奢な体格（750kg）、長く浅い頭骨、薄い頭骨の屋根、扁平な歯、大腿骨よりも長い脛骨が、ティラノサウルス類の幼体に見られる特徴であり、カンクウルウにも共通する特徴です。この「時間差進化」が、のちにアジア大陸で両者が共存できた理由とも考えられています。つまり、アリオラムス類は中型のすばしこい“メソプレデター（中間捕食者）”として、ティラノサウルス類は最強の“エイペックスプレデター（頂点捕食者）”として、それぞれ異なる生態的役割を担っていたのです。

“どのように成長するか”というタイミングの違いが、恐竜たちの体を、そして未来を決定づけた、本研究は、そんな「成長の進化」の物語を、化石から解き明かしたのです。

【今後への期待】

カンクウルウの発見と本研究は、恐竜進化の大きな謎である「大型ティラノサウルスの祖先はどこから来たのか？」という問いに対し、明確な手がかりを与えました。今後は、同様の中間型ティラノサウルス類の化石が他地域からも発見されることで、アジアから北アメリカ、そして再びアジアへの移動経路やタイミングがさらに詳しく解明されると期待されます。

論文情報

論文名	A new Mongolian tyrannosauroid and the evolution of Eutyranosauria（モンゴルの新しいティラノサウルス類とエウティラノサウルス類の進化）
著者名	ジャレット・Ｔ・ボリス（Jared T. Voris） ¹ 、ダーラ・Ｋ・ゼレニツキー（Darla K. Zelenitsky） ¹ 、小林快次 ² 、ショーン・Ｐ・モデスト（Sean P. Modesto） ³ 、フランソワ・テリエン（François Therrien） ⁴ 、堤 裕規 ⁵ 、チンゾリグ・ツォグトバートル（Tsogtbaatar Chinzorig） ⁶ 、ヒシグジャブ・ツォグトバートル（Khishigjav Tsogtbaatar） ⁶ （ ¹ カルガリー大学、 ² 北海道大学総合博物館、 ³ ケープブレトン大学、 ⁴ ロイヤル・ティレル古生物学博物館、 ⁵ 北海道大学大学院理学院、 ⁶ モンゴル科学アカデミー古生物学センター）
雑誌名	Nature
D O I	10.1038/s41586-025-08964-6
公表日	2025 年 6 月 12 日（木）（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）

T E L 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）

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

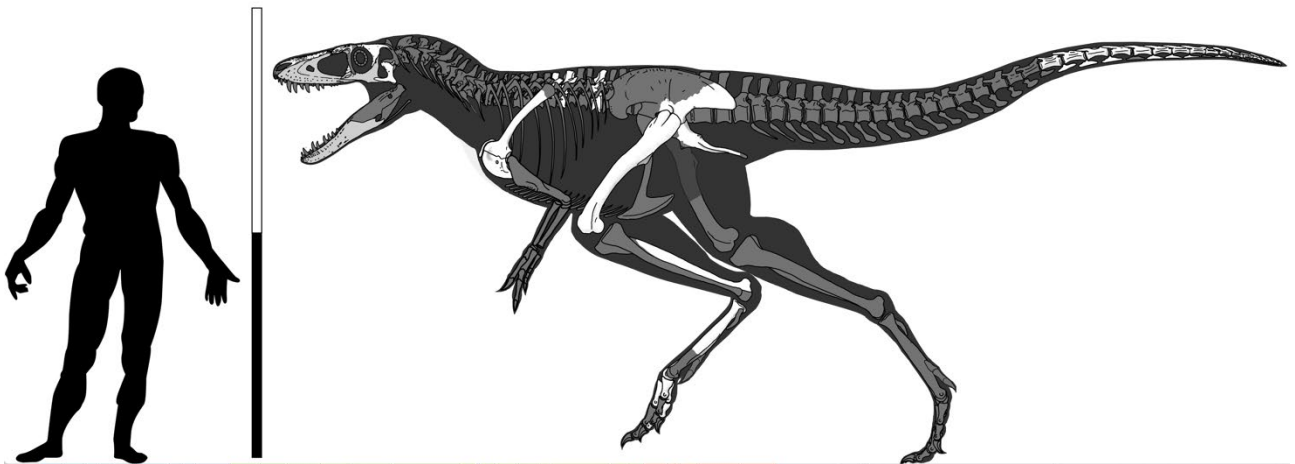


図 1. 本研究に使われたカンクウルウの骨格白い部分は発見された部位。

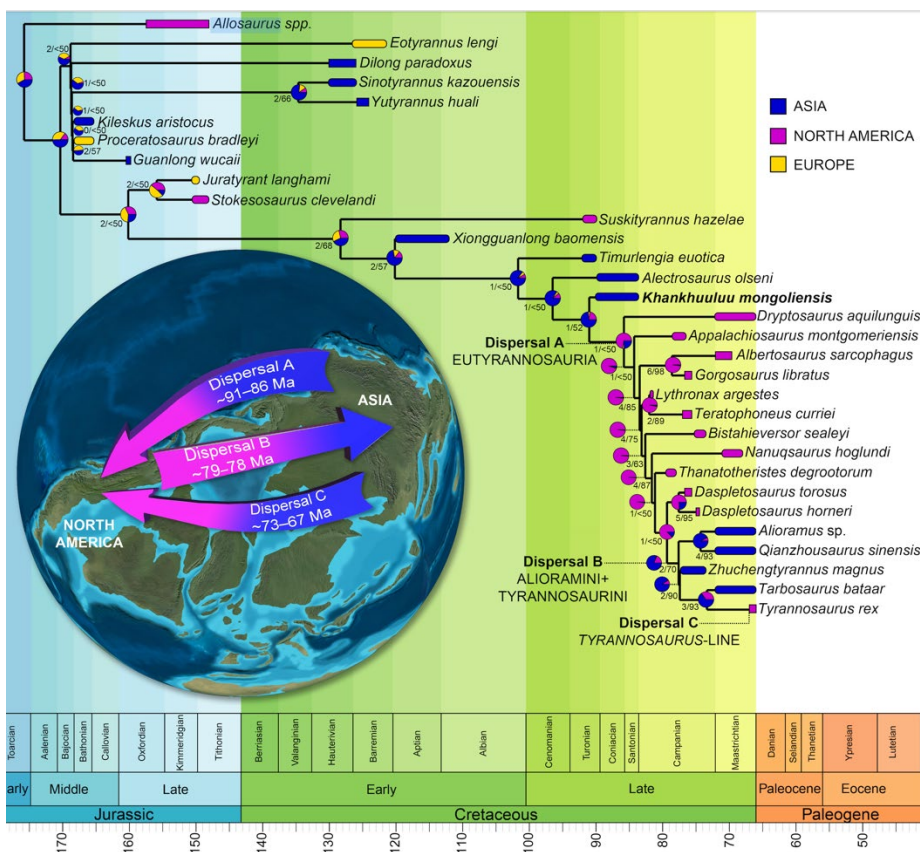


図 2. ティラノサウルス上科の時間較正付き系統樹。

本図は、新たに構築された系統解析データセットに基づき、確率的に推定された分岐時期及び地理的祖先状態の再構築を用いて作成された、ティラノサウルス上科の時間較正付き系統樹を示すものである。この解析には、系統的不確実性及び地層年代に関する不確実性の両方が考慮されている。系統樹の先端にある図形は、該当する分類群の年代範囲を表している。四角形は分類群の年代範囲が明確であることを示し、楕円形は、単独の標本しか存在しないか、あるいは年代が不確かな分類群であることを示す。図形の色とノードの円グラフの色は、それぞれ先端及びノードの地理的分布に対応している。ノードに配置された円グラフは、地理的祖先状態の最尤値 (maximum-likelihood ancestral

state values) を表している。年代のスケールは数百万年前 (Ma) で示されている。図の左下には、白亜紀後期 (約 8,000 万年前) における極地 (北極) から見た大陸配置図が描かれており、アジアと北アメリカ間の 3 回の分散イベント (ベーリング陸橋を介して) が矢印で示されている。これらの分散は、ユータイラノサウルス類の起源と進化に関する重要なイベントである。

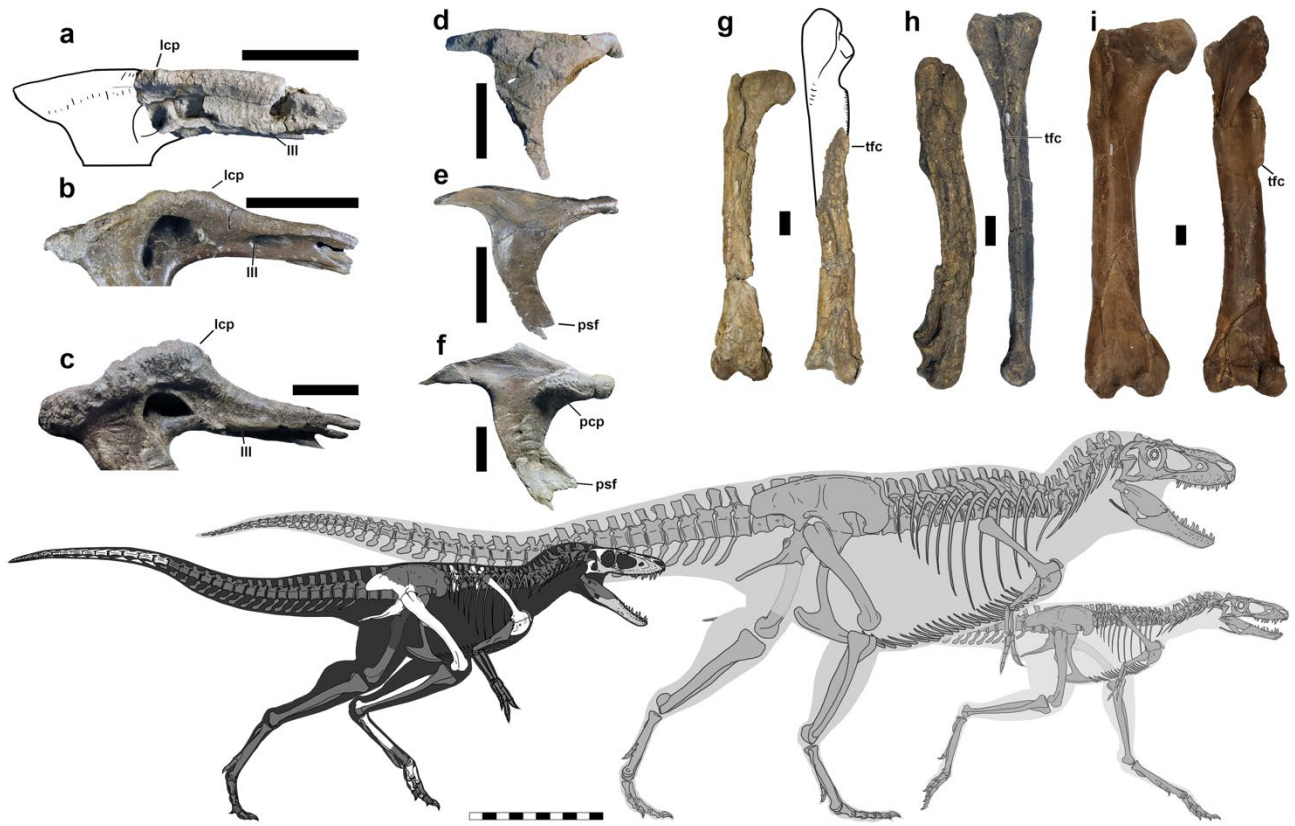


図 3. 大型ティラノサウルス類 (ユウティラノサウルス類) の形質の起源における過成熟的影響を示す骨格の証拠。

a: 涙骨 (MPC-D 100/50) を持つ成熟個体のカンクウルウでは、副鼻腔 (サイナス) の膨張が見られず、角状突起 (cornual process) は背側が平坦である。

b, c: 大型ティラノサウルス類の涙骨は、発生 (成長) に伴う副鼻腔の膨張及び角状突起の背側への拡大を示す (参考文献 [9, 38, 39])。その例として、未成体のゴルゴサウルス標本 TMP 1986.144.0001 (b) 及び成体標本 UALVP 10 (アルバータ大学古脊椎動物学研究所所蔵、c) が挙げられる。

d: 成熟個体のカンクウルウの後眼窩骨 (MPC-D 100/51) には、角状突起及び眼窩下フランジ (suborbital flange) が存在しない。

e, f: 大型ティラノサウルス類では、発生過程で角状突起 (pcp) 及び眼窩下フランジ (psf) が発達する。その例として、未成体標本 TMP 2009.012.014 (e) と成体標本 UALVP 10 (f) のゴルゴサウルスが示されている。

g: 成熟個体のカンクウルウの後肢要素 (MPC-D 100/51) は、大腿骨に対して脛骨が相対的に長いことが特徴である (腓骨稜の遠位端の位置は、脛骨近位端から全長の約 3 分の 1 の位置に相当)。

h, i: 大型ティラノサウルス類の脛骨は、大腿骨に対して負の異方成長 (negative allometry) を示しながら成長する (参考文献 [40])。その例として、未成体標本 TMP 2016.014.0001 (h) と成体

標本 TMP 1994.012.0602 (i) のゴルゴサウルスが挙げられる。下段：カンクウルウ（左）、未成年（右）、成体（中央）のゴルゴサウルスのシルエットが示されている。スケールバーは、個別の要素で 5 cm、シルエットで 1 m。