

## 恐竜時代から始まっていた“鳥のような首”

～新手法で骨の形から首の動きの進化を解明～

### ポイント

- ・骨の形から、鳥類とワニ類の「首の動き」を数値で測る世界初の手法を開発。
- ・この手法により、化石から恐竜の首の動きを復元することに成功。
- ・鳥類のような柔軟な首の動きは、すでに恐竜の時代に始まっていたことを発見。

### 概要

北海道大学大学院理学院博士後期課程の宇津城遥平氏と、北海道大学総合博物館の小林快次教授は、骨の形だけから、すでに絶滅した動物の「首の動き」を復元できる新たな分析手法を開発しました。本研究では、現生のワニ類と鳥類を対象に、頸椎（首の骨）の形態と実際の動作を詳細に比較しました。その結果、骨の形態に含まれる情報から、首の可動性や動作パターンを高い精度で推定できることを明らかにしました。

鳥類は、三次元的で複雑な首の動きを可能にする特殊な構造をもつことで知られています。しかし、その高度な運動能力が、いつ、どのように進化したのかは、これまで十分に解明されていませんでした。その最大の理由は、「動き」が化石に直接残らないため、恐竜などの絶滅動物の首の動作を復元することが極めて困難だったからです。

本研究では、「関節可動効率」という新たな指標に着目し、首の骨の形態から“動きやすい関節”を数値的に評価する手法を確立しました。その結果、ワニ類では首の前方と後方の2か所、鳥類では前方・中央・後方の3か所に、特に可動性の高い関節が集中していることが明らかになりました。これらの分布は、実際に観察される首の動きとも高い一致を示していました。

さらに、この手法を獣脚類恐竜の化石に応用したところ、種ごとにワニ型・鳥型のいずれかに近い動作特性が認められました。これは、鳥類特有と考えられてきた複雑な首の動きが、すでに恐竜の時代に起源をもっていた可能性を示しています。

なお、本研究成果は、2026年1月27日（火）公開の Journal of Morphology（形態学の専門誌）にオンライン掲載されました。



本研究の概略図：

恐竜から鳥へ、首の柔軟性の進化。典型的な恐竜（左：可動部2か所）から、恐竜のマニラプトル類\*<sup>1</sup>（中央：3か所）、現生鳥類（右：3か所）へ

## 【背景】

鳥類の首は、他の脊椎動物と比べて極めて柔軟で、複雑な動きができることが大きな特徴です。餌を採る、周囲を見る、巣を作る、木に登るといった行動の多くは、この高い首の運動能力によって支えられています。

こうした動きを可能にしているのは、「可動軸」となる関節の数が、ほかの動物よりも多いことにあります。たとえば哺乳類では、頭と首の境目、そして首と胸の境目付近の2か所が主な可動軸として働き、それ以外の関節はほとんど動きません。一方、鳥類では、これらに加えて首の中央部分にも可動軸となる関節が存在し、より自由度の高い動きを可能にしています。

このような首の構造は、鳥類の多様な生態や繁栄と深く関わっていると考えられています。しかし、その進化の過程については、これまで十分に解明されていませんでした。その大きな理由は、骨の形態から実際の動作を直接推定することが難しく、祖先である恐竜類の首がどのように動いていたのかを復元することが困難だったためです。

これまでの研究では、頸椎の形態の多様性などをもとに、鳥類の首の進化について間接的な議論が行われてきましたが、「どのように動いていたのか」という点については、明確な証拠に基づく検証は十分に行われていませんでした。

## 【研究手法】

本研究では、筋肉によって関節が動く仕組みを、できるだけ単純化したモデルとして表現し、「同じ筋力でも、より大きく関節を動かすことができる骨の形とは何か」を理論的に導き出しました（図1）。

このモデルに基づき、現生のワニ類及び鳥類の脊椎を詳しく計測し、背骨の並びに沿って、関節の「動かしやすさ（可動効率）」がどのように変化しているのかを分析しました。さらに、その結果を、これまでに報告されている実際の首の動作データと比較することで、骨の形と動きとの対応関係を検証しました。

加えて、進化的にワニ類と鳥類の中間に位置する獣脚類恐竜4種についても同様の計測を行い、現生動物との比較を通して、恐竜の首の動作様式を復元する手がかりを得ました。

## 【研究成果】

本研究のモデル計算により、関節の回転中心から、二つの筋肉の付着点（起始・停止）までの距離の比率（RLL）が大きいほど、同じ筋力でも関節をより大きく回転させられることが明らかになりました（図1）。つまり、「骨の形によって、首の動かしやすさが決まる」ことが、数値として示されたのです。

このRLLを、ワニ類及び鳥類の脊椎列に沿って計測した結果、首の中に特に値が高い関節が集中する場所が存在することが分かりました。ワニ類では前方と後方の二箇所、鳥類では前方・中央・後方の三箇所に、可動性の高い関節が確認されました（図2）。これらの部位は、実際の観察においても、首の動作の中心となる重要な可動部位と一致していました。

この結果から、首の動きの特徴が、骨の形態として明確に記録されていることが示されました。特に鳥類では、複雑な首の動作を可能にする「中央可動軸」の存在を、骨形態から初めて定量的に捉えることに成功しました。これにより、鳥類特有のしなやかな首の動きが、骨の構造から読み取れるようになったのです。

さらに、非鳥類型の獣脚類恐竜においても、首の一部にワニ類または鳥類と共通するRLLの傾向が認められました（図2）。特に鳥類と近縁なマニラプトル類では、鳥類と同様に中央可動軸の存在が示唆されました。

これらの結果は、これまで鳥類特有と考えられてきた複雑な首の動作が、鳥類の誕生以前、すでに恐竜の段階で獲得されていた可能性を示しています（図3）。

### 【今後への期待】

これまで、骨の形態から動作を推定することは困難であったため、現生鳥類に見られる複雑な首の動きが、化石として残された恐竜の段階で、いつ、どのように獲得されてきたのかは、長らく明らかになっていませんでした。

本研究で確立した手法を、今後さらに多くの非鳥類型獣脚類に適用することで、恐竜から鳥類へと至る進化の過程において、首の動作がどのように段階的に発達してきたのかを、より詳しく解明できると期待されます。

さらに、本手法は首にとどまらず、手足や体幹など他の部位や、様々な動物群にも応用することが可能です。これまで評価が難しかった「動き」や「使い方」といった機能面についても、骨の形態から復元できるようになり、動物の進化や生態の理解を大きく前進させることが期待されます。

### 論文情報

論文名	Functional morphology of the archosaur neck provides evolutionary insights into the avian neck flexibility（主竜類の機能形態が示す、鳥類の柔軟な頸部動作への進化的知見）
著者名	宇津城遥平 <sup>1</sup> 、小林快次 <sup>2</sup> （ <sup>1</sup> 北海道大学大学院理学院、 <sup>2</sup> 北海道大学総合博物館）
雑誌名	Journal of Morphology（形態学の専門誌）
DOI	10.1002/jmor.70114
公開日	2026年1月27日（火）（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】

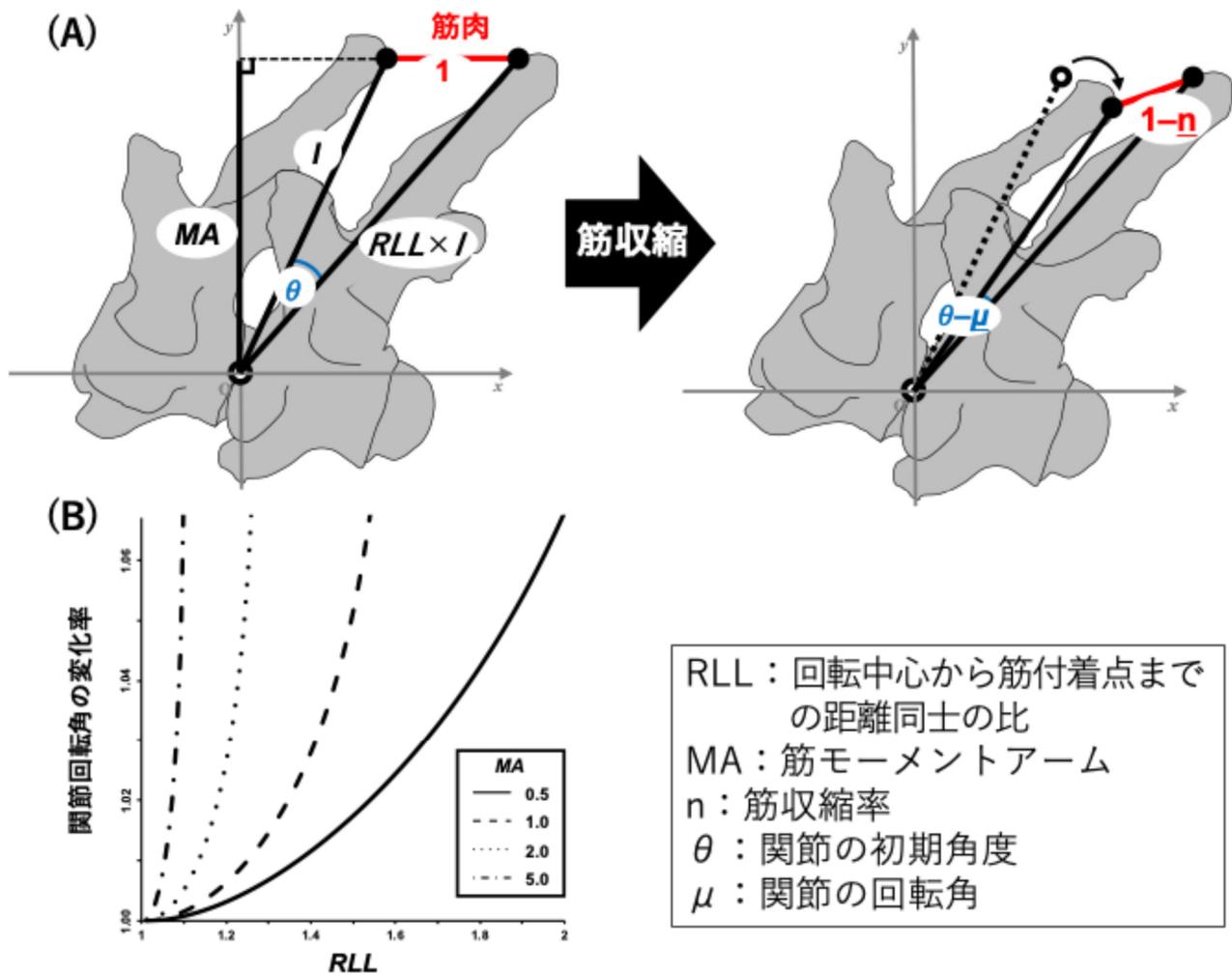


図 1. 筋収縮による関節可動モデル。関節の回転角 ( $\mu$ ) は、関節の回転中心から二つの筋付着点までの距離同士の比率 (RLL)、筋モーメントアーム<sup>2</sup> (MA)、筋収縮率 ( $n$ ) で表せる (A)。同一の  $n$  の下、RLL、MA を変化させて  $\mu$  の変化を調べたところ、いずれの MA においても、RLL の上昇に伴って  $\mu$  が上昇することが示された。このことから、RLL を関節可動効率の指標として用いることができると考えられる。

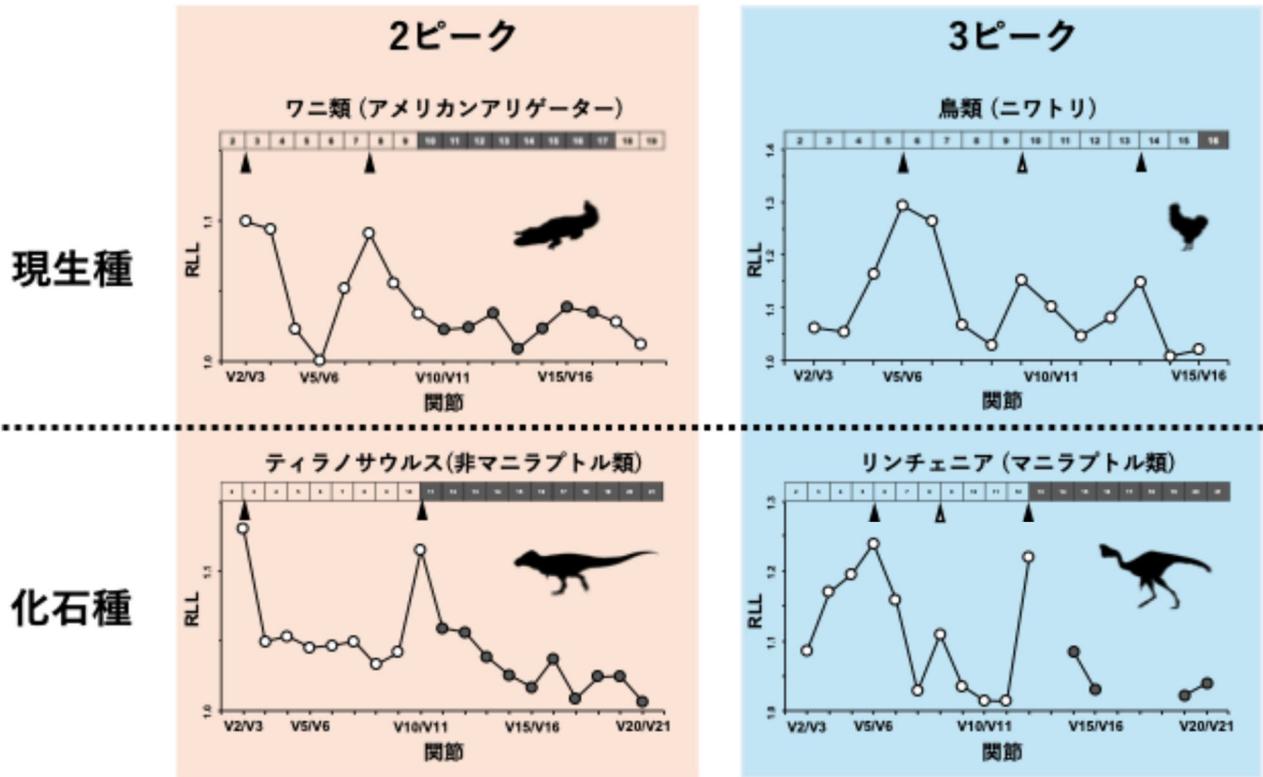


図 2. 脊椎列に沿った、関節可動効率の指標 (RLL) の変化。現生種では、ワニ類が首領域 (○・□) に二つの指標ピーク (▲) を示す関節が存在し、鳥類ではワニ類と同様の二つ (▲) に加え、首の中央部 (△) を加えた三つのピークを示す関節を持つ。非鳥類獣脚類では、非マニラプトル類でワニ類、マニラプトル類で鳥類と同様の指標傾向を示した。

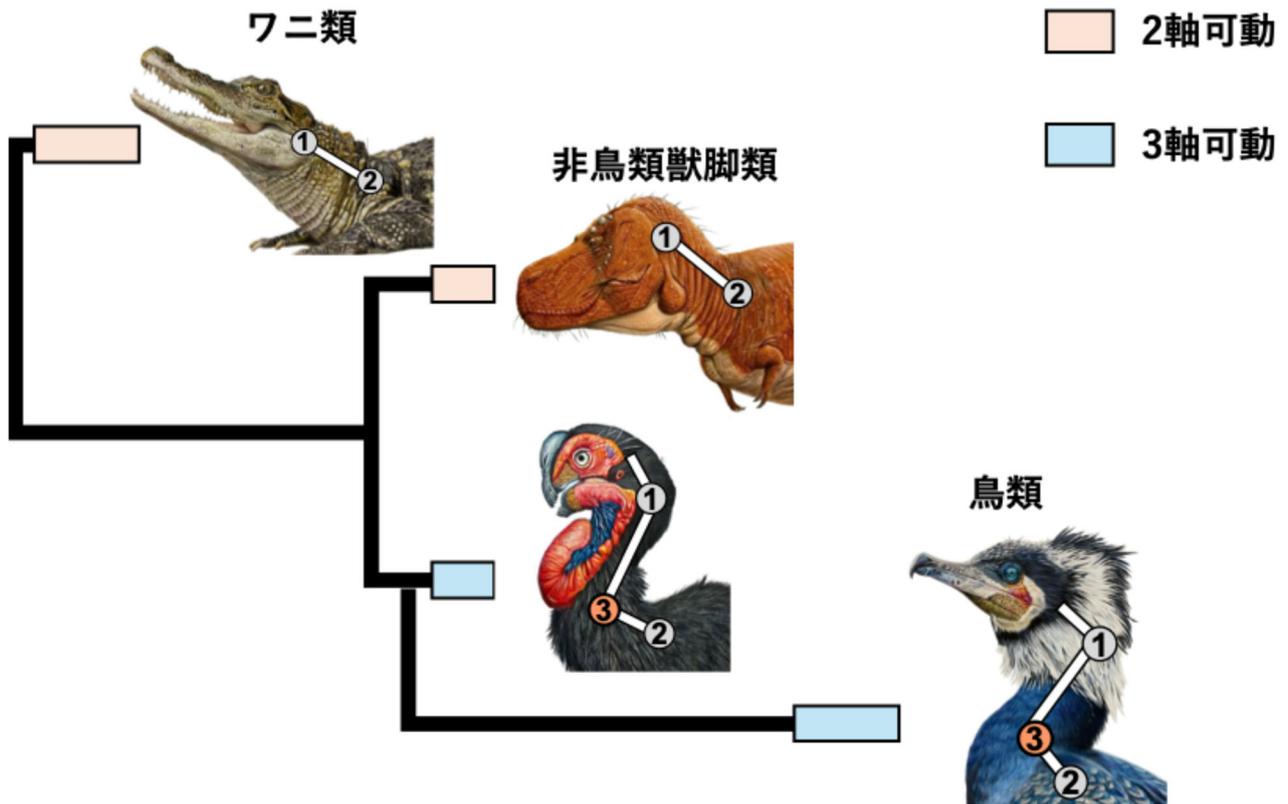


図 3. 主竜類の系統関係と首の動作様式。現生ワニ類は二つ、鳥類は三つの可動軸によって首を動作させる。鳥類の祖先系統である非鳥類獣脚類には、種ごとに二軸、三軸のものが存在しており、鳥類以前に首の動作に複雑化が起きていた可能性を示す。

**【用語解説】**

- \*1 マニラプトル類 … 鳥類の祖先系統である獣脚類恐竜のうち、鳥類とそれに近縁な種を含むグループ。本研究で用いた化石種の内、リンチェニア（オヴィラプトロサウルス類）とヴェロキラプトル（ドロマエオサウルス類）がこのグループに含まれる。
- \*2 筋モーメントアーム … 筋肉のテコの大きさ。大きいほど、同じ筋力で大きな回転力を得られるが、回転速度は低下する。