

地学クラブ講演要旨

恐竜はいつどのようにして鳥になったのか

真 鍋 真*

When and How Dinosaurs Evolved into Birds?

Makoto MANABE *

1996年、中国遼寧省の白亜紀前期の湖成層から、最初の羽毛恐竜である中華竜鳥（シノサウロプテリクス）*Sinosauropteryx* が報告されてから、鳥類の恐竜起源説が一般にも広く知られるようになった。本稿では、最新の化石の情報に基づく鳥類の恐竜起源説の現状を解説する。

I. 恐竜起源説は最も古い鳥類起源の仮説

鳥類の恐竜起源説は、最近の仮説のようなイメージを持たれている。しかし、鳥類の起源説としては最も古く1868年に提唱されていた。その後、1920年代に反論があり、否定されたかに見られていた。鳥類の胸には、鳥類特有の叉骨と呼ばれる骨がある。この骨は、私たちヒトも左右に1本ずつ持つ鎖骨が、中央で癒合して1本の骨になったものである。当時、恐竜には鎖骨が発見されているものがいなかったため、鎖骨も持たない恐竜から鳥類が生まれる可能性は低いと指摘されたのだ。しかし、それは鎖骨が正しく認識されていなかっただけで、恐竜には鎖骨があるばかりではなく、叉骨をもつものがいたことがわかった。

鳥類の叉骨は、翼を打ち降ろした時に、スプリング（バネ）のように作用することから、まさに飛行に適した骨だと考えられていた。しかし、現在では、アロサウルス *Allosaurus* など、鳥類に遠縁な獣脚類恐竜にも叉骨があることが確認され

た。叉骨は飛行とはまったく関係ない機能を持っていたものが、鳥類が飛ぶことにうまく転用させたいことが明らかになった。

1986年には、手首や肩、骨盤など、骨格の80ヶ所以上の特徴が、鳥類と一部の獣脚類恐竜にしか見られないことから、彼らが共通の祖先から進化してきたとする仮説が明確に示された。そして1996年に、飛べない獣脚類恐竜の中にも、体がウロコではなく羽毛で覆われたものがいたことが明らかになった。現在の動物で羽毛を持つものは鳥類しかいないし、羽毛は爬虫類のウロコや、哺乳類の毛とは明確に異なるので、羽毛は鳥類の恐竜起源説を支持する証拠として注目され、恐竜起源説を広く知らしめた。

当初、いわゆる“羽毛恐竜”の羽毛は鳥類の羽毛と同じもの（相同）なのかどうかという議論が活発に交わされた。それは、中華竜鳥の羽毛が、針状の単純な構造をしていて、ウロコの形態変異に過ぎないのではないかと考えられたためである。そのため、羽毛が否定されたら、恐竜起源説が否定されるような誤解を与えてしまっている。前述の通り、羽毛は80以上の証拠の一つに過ぎない。また、中華竜鳥は、鳥類を生み出したコエルロサウルス類の一員であるが、ティラノサウルスよりも鳥類とは遠縁な種である。2004年には、ティラノサウルス類も、その初期の種ディロング

* 国立科学博物館

* National Science Museum

本稿は2004年11月19日に地学クラブで行われた講演の概要を中心としている。

Dilong は、小型（推定全長約 1.6 メートル）で羽毛が生えていたことが明らかになった（Xu et al., 2004: 図 1）。つまり、羽毛は鳥類に進化する遙か前に、飛ぶこととは関係なく進化した特徴なのである。

その後、恐竜起源説を支持する証拠は骨格、羽毛以外にも、その行動にも確認されている。1995 年にオヴィラプトル *Oviraptor* と呼ばれる獣脚類が、巣の上に座って抱卵していたことが化石で確認され、抱卵は恐竜ですでに進化していた行動で、鳥類はそれを引き継いだに過ぎないことが明らかになった。また、2004 年にメイ *Mei* と呼ばれるトロオドン類が、首を後ろに延ばし、頭を背中の上に置いて休む、鳥に特徴的な格好で発見された（Xu and Norell, 2004: 図 2）。鳥類は、このような格好で眠ることによって、頭と首から体温を失うのを避けているらしい。恐竜も、体温を一定に保つ恒温性に向かって進化していたことの傍証とも言える。

さらに、卵殻の微細構造にも一部の獣脚類恐竜と鳥類にしか見られない共通性が確認された。それは、恐竜以外の爬虫類の卵殻が単層構造なのに対して、一部の恐竜と鳥類の卵殻は、複数の構造が重なり合った多層構造をしていることだ。2004 年には、翼竜の卵殻が始めて発見されたが、系統的にワニと恐竜の中間に位置する翼竜の卵殻は、ワニなどと同様にまだ単層構造だったことも明らかになった。以上のように骨格、表皮、卵殻、行動など、様々なタイプの証拠に基づく恐竜起源説だが、反論もある。その代表的なものは次の 2 つに要約することができる。

II. 時代のパラドクス

最も古く原始的な鳥類である始祖鳥 *Archaeopteryx* が約 1.5 億年前（ジュラ紀後期）に出現していたので、鳥類と恐竜の分岐はそれ以前に起こっていたはずである。ミクロラプトルなどトロマエオサウルス類やメイなどトロオドン類の 2 グループをあわせてデイノニコサウルス類と呼ぶ。このグループの獣脚類恐竜が、恐竜の中では鳥類に最も近縁だと考えられている。そうならば、彼らは

始祖鳥よりも前の時代に生息していたはずだ。しかし、誰もが認めるデイノニコサウルス類はいずれも白亜紀のもので、ジュラ紀からは産出していない。いわゆる“羽毛恐竜”は全て白亜紀前期のものである。そんなところから、出現する順番が逆ではないかと感じる人が少なくない。化石は、当時の生物が全て化石になり、それが人間に発見され、さらに正しく分類されるとは限らない。だから、これまでに発見されている化石の有無やその産出の順番を額面通りに受け取することはできない。デイノニコサウルス類と鳥類が共通の祖先を持つという現在の仮説が正しいのならば、デイノニコサウルス類はジュラ紀後期以前に生息していたはずで、その化石が発見されることが、この説を検証することになる。2005 年 2 月、内モンゴルからペドペンナ *Pedopenna* という新種の獣脚類が報告された（Xu and Zhang, 2005: 図 1）。この地層の年代はジュラ紀後期である可能性が高いという。もしそうであれば、時代のパラドクスは解消されたのかもしれない。

III. 3 本指のパラドクス

デイノニコサウルス類の手は 3 本指である。原始的な段階の獣脚類は 5 本指だったが、第 4 指（薬指）と第 5 指（小指）はとても小さく、すでに退化傾向が認められる。そのような理由からデイノニコサウルス類の 3 本の指は第 1 指（親指）、第 2 指（人さし指）、第 3 指（中指）だと考えられている。鳥類の指は翼に隠れて見えないが 3 本指である。ニワトリの胚（ふ化する前の段階）で、指がどのように発生して行くかを追跡した結果、最初は 5 本の指を作りはじめるが、最後に残るのは第 2 指、第 3 指、第 4 指だとする説が出された。一見すると同じ 3 本指でも、その起源は異なり、見かけの類似に過ぎないというわけである。骨格の形態が類似していても、その起源が異なるのでは、類似がその系統的なルーツを示さないわけで、現在のところ最も重要な反論である。それに対して、獣脚類の胚の段階での指の発生過程を確認出来ないで、獣脚類も第 2 指から第 4 指なのかもしれないという立場もある。し

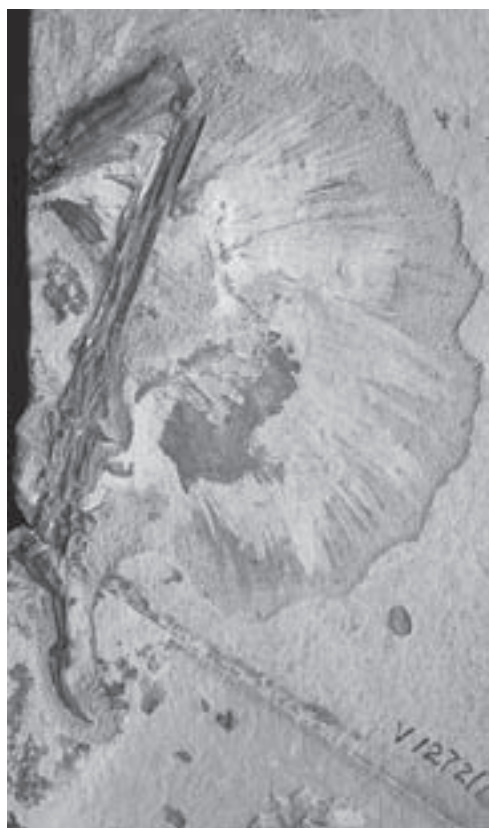


図 1 ペドペンナ *Pedopenna*

足首から先の部分の標本が 1 点しか発見されていないが、指先の骨（末節骨）は、ミクロラプトル（ドロマエオサウルス類）やメイ（トロオドン類）のようにカギツメ化しておらず、始祖鳥など鳥類のように第 1 趾が後から枝をつかむように発達していない。そのような理由から、ディノニコサウルス類と鳥類の分岐点に近い動物だったと考えられている。羽毛恐竜だとすれば、ジュラ紀から初めての産出になる。

かし、最近、Hox 遺伝子（形態形成遺伝子）の発現の仕方から、鳥類の指も第 1 指から第 3 指かもしれないという研究が発表された（Vargas and Fallon, 2005）。この説が正しければ、3 本指のパラドクスもパラドクスとはならないだろう。

IV．飛翔の起源

羽毛や叉骨など、かつては鳥類にしかないと思われていた特徴が、獣脚類恐竜にすでに進化して

いたことから、現在では、滑空ではなく、羽ばたいて飛行出来るかどうかが恐竜と鳥類を分ける境界線だとされている。厳密な意味での飛行能力の有無は、骨格や羽毛の化石だけではわからない。後肢で地上を走る獣脚類はいわば後輪駆動で、前肢の翼で飛行する鳥類は前輪駆動である。始祖鳥の前肢と後肢はほぼ同じ長さなので、前肢と後肢の長さを比較した時、前肢が後肢と同じ長さか、前肢の方が長いことなどをもって鳥類と分類することになっている。

ミクロラプトル・グイ *Microaptor gui* は 2003 年に報告されたドロマエオサウルス類の新種である（Xu *et al.*, 2003: 口絵 1 図 3）。ミクロラプトルは後肢にも翼状の構造があることから、四翼で滑空したかもしれない恐竜として注目を集めた。骨格を始祖鳥と比較してみると、ミクロラプトルと始祖鳥との骨格のプロポーシオンの違いはほとんどない。最近では、どこまでが恐竜でどこからが鳥類かの境界線を引くのが難しくなったと言われている。それだけ恐竜から鳥類への進化が連続的だったのだ。

ミクロラプトルは、後肢にも翼を持つことから、後輪駆動から前輪駆動への移行段階に、四翼で滑空するような段階があったらしいことが示唆された。ただし、ミクロラプトルはただの変り者で、鳥類への中間段階ではないかもしれないという意見もあった。しかし、最近、始祖鳥にもすねまでは風切羽状の羽毛があったらしいことがわかり、さらに中国の遼寧省から後肢にも翼のあるエナンティオルニス類の鳥類が発見された（Zhou and Zhang, 2004）。始祖鳥、エナンティオルニス類とも、後肢の翼はミクロラプトルほど発達していない。このことから、当初は四翼で滑空していたものの、次第に前肢の翼の推進力が増加し、後肢の翼が退化して行ったらしい可能性が高くなってきた。

白亜紀末（約 6550 万年前）に、カリブ海での隕石衝突などに起因する汎地球的な環境悪化が起こり、史上 2 番目の大量絶滅が引き起こされた。この時に鳥類以外の恐竜が全て絶滅してしまったらしい。しかし、前述の通り、獣脚類恐竜から鳥



図 2 ヤノルニス *Yanornis*

鳥類は白亜紀には多様性も高く、大いに繁栄していた。しかし、白亜紀の鳥類の大部分はエナントリオルニス類に属する。エナントリオルニス類は現代の鳥類に比べると、羽ばたき飛行能力が低かったと考えられている。白亜紀末にはエナントリオルニス類が全て絶滅してしまい、新生代まで存続したのは、現代の鳥類も含まれる真鳥類などごく一部だった。ヤノルニスは真鳥類に分類される種で、左右のヒジの間の四角い骨がその特徴の一つである。これは胸骨の竜骨突起と呼ばれる板状の突起を側面から見たところである。胸骨の中央に竜骨突起が発達することにより、翼を羽ばたかせる大胸筋の付着面積が増大した結果、真鳥類は羽ばたき能力が向上したと考えられている。

類への進化は連続的だったことを考えると、鳥類が生き残ったのに恐竜が絶滅してしまった理由を説明するのは難しい。白亜紀末の大量絶滅はあらゆる動植物において深刻で、鳥類もその 75% 以上が絶滅していたとする試算がある（図 2）。つ

まり、大量絶滅で、地球上のどこかにうまく生き残った集団がいて、それがその後子孫を継続させて行けたかどうかの問題だったらしい。

本稿で紹介した標本や内容は、恐竜博 2005 で紹介されている。恐竜博 2005 は 2005 年 3 月 19 日から 7 月 3 日まで国立科学博物館（上野公園）で開催され、その後 7 月 16 日から 9 月 25 日まで万博ささしまサテライト会場、10 月 8 日から 11 月 27 日まで大阪市立自然史博物館、12 月 23 日から 2006 年 3 月 31 日まで北九州市いのちのたび博物館を巡回している。恐竜博 2005 では、恐竜から初期の鳥類まで、その標本を系統図に沿って展示することによって、獣脚類恐竜から鳥類への進化を最新の標本と研究成果に基づいて、わかりやすく解説することを目指している。ディロングなどの実物化石が世界に先駆けて一般公開されている。鳥類の恐竜起源説をご自分の目で検証する機会として、是非お出で頂きたい。また、国立科学博物館では 7 月 22 日から 2006 年 3 月 31 日まで、恐竜博 2005 のために制作された復元画の原画を、常設展示室（地下 1 階恐竜展示）の中で展示している。原画展もあわせてご覧頂きたい。

文 献

- Vargas, A.O. and Fallon, J.F. (2005) Birds have dinosaur wings: The molecular evidence. *J. Experimental Zoology (Molecular and Developmental Evolution)*, **304B**, 86-90.
- Xu, X. and Norell, M.A. (2004) A new troodontid dinosaur from China with avian-like sleeping posture. *Nature*, **431**, 838-841.
- Xu, X. and Zhang, F. (2005) *A New Maniraptoran Dinosaur with Long Feathers on the Metatarsus from China*. Naturwissenschaften Published.
- Xu, X., Norell, M.A., Kuang, X., Wang, X., Zhao, Q. and Jia, Q. (2004) Basal tyrannosauroids from China and evidence for protofeathers in tyrannosauroids. *Nature*, **431**, 680-684.
- Xing, X., Zhou, Z., Wang, X., Kuang, X., Zhang, F. and Du, X. (2003) Four-winged dinosaurs from China. *Nature*, **421**, 335-340.
- Zhang, Z. and Zhou, Z. (2004) Leg feathers in an Early Cretaceous bird, *Nature*, **431**, 925.