

最新科学情報ポッドキャスト番組

# ヴォイニッチの科学書

2011年5月28日  
Chapter-342 羽の起源

配信資料



<http://www.febe.jp/>

<http://obio.c-studio.net/science/>

参考資料：ナショナルジオグラフィック 2011年2月号

しつもん

- ・鳥の羽は何のためにあるのでしょうか
- ・鳥の祖先は恐竜ですが、羽を持った恐竜の羽は何のためにあるのでしょうか

鳥は恐竜から進化した生物であることはこれまでの研究で明らかです。鳥の持つ羽は私たち人間の持たない独創的な発明品です。空を飛ぶための羽である風切羽<sup>かきりばね</sup>は風圧に耐えられるように左右非対称になっていますし、翼は角度をわずかに変化させるだけで翼の上面と下面の空気の流れを変化させて宙に浮くことができます。

飛行機の翼もこれと同じ仕組みではありますが、鳥の翼の方が非常に緻密で軽くて丈夫で構造的には非常に複雑です。このような驚異的な羽の仕組みがどのようにして作られたのか、鳥の翼の進化に関する謎は生物進化の謎の中で最も議論されている問題の一つです。

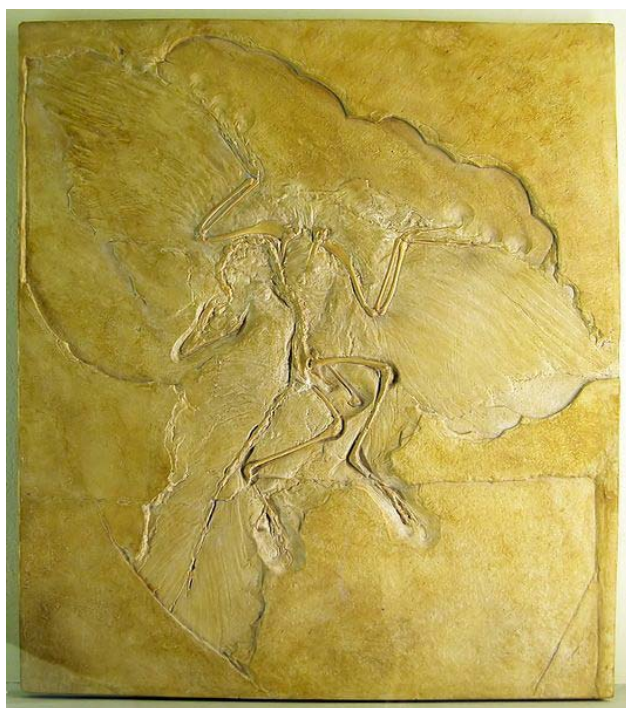
鳥の祖先として有名な始祖鳥の化石が発見されたのは1861年のドイツでのことでした。これはダーウィンが「種の起源」を刊行したわずか2年後

のことです。始祖鳥は1億5000万年前に生息していたカラス程度の大きさの生物です。下の写真はダーウィンも高く評価したドイツの始祖鳥の化石。この化石では頭部は欠落しています。



現在の鳥の特徴を備えつつ、一方で、歯、かぎ爪、しっぽがあるなどは虫類の特徴も残していま

した。このような現在は別々の生物となっている2種類の生物の中間的な構造を持つ化石の発見にはダーウィンも興奮したようで、自分自身の理論を裏付ける画期的発見だと友人に語ったと言われています。ただし、始祖鳥は中間とは言っても非常に現在の鳥に近かったので、もっと中間的な、つまりは虫類にそっくりで鳥の特徴を持ち始めた頃の生物の化石を探し出そうと多くの研究者が発掘に取り組みましたが、その後150年にもわたって何の発見も無い時代が続きました。下の写真はベルリンに保管されている始祖鳥の化石。始祖鳥の化石という床の標本を思い出す人が多いはず。



始祖鳥の化石を見る限り、は虫類が進化して鳥になったらしい。だったら、その進化の過程で何が起きたのだろうか、と想像する古生物学者も多くいました。彼らによる多くの説の一つには虫類のウロコが翼に進化したという説がありました。鳥の祖先が持っていたウロコが世代を重ねるごとに次第に伸びて羽のような構造に裂けていった、

というものです。何故そのようなことが起きたのか、想像するに、樹上生活をしていたは虫類の祖先が木から木へと飛び移る際に羽があればより有利に移動することが可能となります。そのため、長い時間を



かけて滑空するための構造として羽の元になるような物が進化し、やがて自立飛行できるようになったのでは無いか・・・という説です。この説のポイントは飛ぶための道具として、つまり、は虫類の飛ぼうとする行動があつてそれを追いかけるように羽が進化した、翼と飛行は一心同体だという考え方である点です。

翼と飛行がセットで進化したことは誰の目にも明らかに思われたので長い間そのように信じられていましたが、1970年代に入ってこの説は力を失いました。

1970年代に行われた鳥の骨格とティラノサウルスなどの獣脚類<sup>1</sup>の骨格比較研究の結果、両者の骨格が非常に似ていることが分かりました。さらなる詳細な研究で鳥は獣脚類の子孫であることが明らかになりました。獣脚類はティラノサウルスを思い出していただければ分かるとおり、頑丈な後ろ脚、短い前脚、そして丈夫なしっぽを持っています。解剖学的検討から判断してもティラノサウル

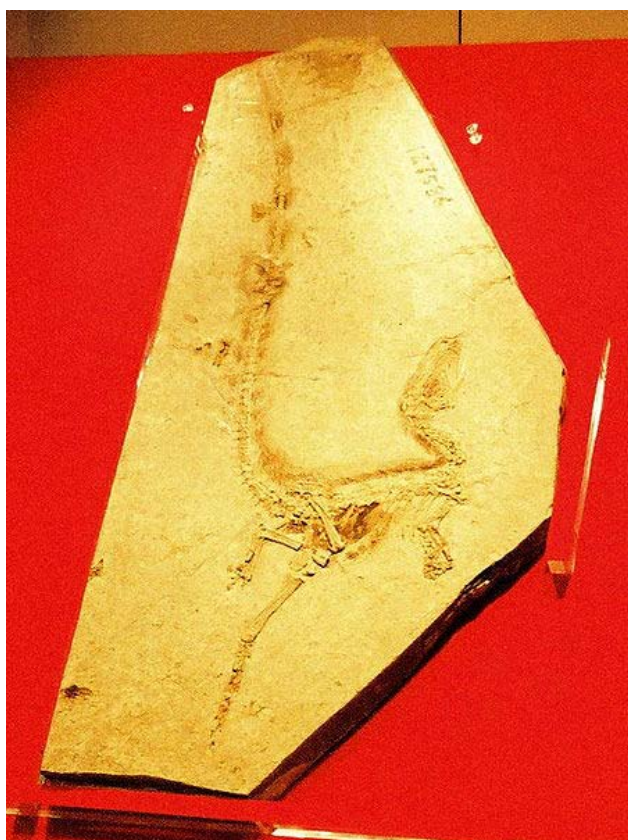
<sup>1</sup> 竜盤類に含まれる恐竜の一群。二足歩行で主に肉食性。ティラノサウルス・オビラプトルなど。鳥類の祖先を含む。

[株式会社岩波書店 広辞苑第六版]



ルスの仲間が木から木へ飛び移る生活をしていたとはとても考えられません。

そして 1996 年、中国の研究チームが 1 億 2500 万年前の原始的な羽毛を持った獣脚類の化石を発見しました。この獣脚類はシノサウロプテリクスといい、獣脚類特有の地上を走り回るのに有利な強い後ろ足を持っている恐竜でした<sup>2</sup>。下写真。



かつての説では、木々を飛び移っていた恐竜が徐々に翼のような構造を進化させたことになっていましたが、シノサウロプテリクスの発見によって、地上を走り回る恐竜に羽毛が発生しており、羽と飛行が別々の起源を持っていることを示して

<sup>2</sup> 同じ獣脚類でも体の巨大なティラノサウルスはそれほど地上を走り回るのには得意ではなく、のっしのっしと歩いていたと推定されています。

います。その後、次々と羽毛の生えた獣脚類の化石が発見され、羽毛の進化と飛行能力の獲得は別々の出来事であることがより確からしくなった上に、羽の構造の進化も次第に解明されていきました。1本の毛のような羽を持った獣脚類や現在の鳥同様の複雑な構造の羽を持った獣脚類の化石も発見されました。

羽の構造が簡単な物から複雑な物へと進化したとすると、1本の糸のような羽はどのようにウロコから進化したのでしょうか。現在、生きている生物の中でこのような原始的な羽を持っている生物を探したところ、鳥のヒナがそれに該当することが分かりました。ヒナがタマゴから羽化する前、最初の羽が生える時、皮膚細胞の一部に円形に集まった細胞があり、そこが盛り上がることによって初期の羽が形成されます。この皮膚細胞の集まりをプラコードといいます。実は、は虫類のウロコもプラコードが成長した物なのです。1990年代末の遺伝子レベルの研究でプラコードが後ろに伸びるとウロコになり、上に伸びると羽になる可能性が指摘されました。

2009年、鳥と恐竜の関係をさらに明らかにする化石が発見されました。中国の研究チームが鳥盤類<sup>3</sup>と呼ばれる恐竜の仲間、ティラノサウルスという恐竜の化石を発見したのです。鳥盤類は獣脚類とは進化的に大きく離れた種類の恐竜です。にもかかわらず両方の種類に羽毛の生えた仲間がいるということは、獣脚類と鳥盤類が別れるよりもさらに前の段階でウロコから羽毛への進化が起きていたことを示唆しています。つま

<sup>3</sup> 恐竜を構成する2群のうちの一つ。分類上は鳥盤目を構成し、鳥脚類・剣竜・鎧よろい竜・堅頭竜・角つきの竜を含む。骨盤の形が鳥類に似るのでこの名がある。すべて植物食性。  
[株式会社岩波書店 広辞苑第六版]

り、羽毛を持たない獣脚類や鳥盤類は退化によって羽毛を失った可能性があるというのです。

また、別の研究で、羽毛の生えた翼竜<sup>4</sup>が存在していたことも明らかになりました。翼竜と恐竜の関係は獣脚類と鳥盤類の関係よりもさらに関係が遠いため、羽の起源は抑留と恐竜の共通の祖先にまでさかのぼるかもしれないとなりました。

さらに、現生の生物で恐竜に最も近いのはワニですが、ワニは羽を持たないにもかかわらず羽の形成に関わる遺伝子を持っていることが分かりました。つまり、遺伝子レベルで見ると羽の遺伝子は非常に古い時代に生物が獲得していた特性である可能性があるのです。鳥とは虫類が別れたのは2億5000万年前で、ひょっとするとこの時代には羽毛の生えたワニがいた可能性もあります。

ここまでは鳥の翼は飛ぶためにあるという前提で考えてきましたが、別の考え方として、鳥の翼は見せるために生まれ、それを使って飛ぶようになったのは偶然の産物であると



<sup>4</sup> 三疊紀から白亜紀に生息した飛行性爬虫類の総称。外形はコウモリに似るが、飛膜は主に長大化した薬指で支えられる。骨は中空で軽い。小型で尾の長いランフォルクス亜目と、大型で尾の短いプテロダクティルス亜目とに二分。  
[株式会社岩波書店 広辞苑第六版]

いう説がとなえられました。現生の鳥の中に翼をディスプレイに使う鳥は数多く知られていますが、獣脚類の羽の化石から色素を含む粒子を取り出すことに2009年に成功し、獣脚類もカラフルな羽毛を持っていることが確認されました。

結局、恐竜における羽の意味というのはまだ結論が出ていない問題です。

最初の羽が何のために使われたのかは分からないにしても、現在の鳥が羽で空を飛んでいるのは事実で進化のどこかの過程で羽毛が翼に変わり、空を飛ぶ能力を獲得したことは明らかです。

1億5000万年前にアンキオルニスという恐竜がいました。大きさはニワトリくらい。前足に羽が生えていて、それは白黒の模様になっていました。頭には赤いとさかがあり、翼は現在の鳥と同様の構造でしたが、羽は左右対称で進化の途中の段階のようです。外観でニワトリと異なるのはアンキオルニスは、前足はもちろん後ろ足も指の先まで羽に覆われていました。このような大げさな羽の生え方は、その羽が飛行に向いていない形であるのとあわせて考えると、空を飛ぶのに有利と言うよりはむしろ邪魔で、羽がディスプレイとして使われていたと考える方が自然です。ただし、繰り返しになりますが、翼の構造は現在の鳥とほとんど同じにまで進化していましたので、空を飛ぶことができるよりも先にそれに必要な体の構造の進化が行われていたこととなります。このように実際に行動するよりも先にそれに必要な構造が生み出されることを「前適応」と呼びます。

このように、飛行能力に先立って羽が進化したことは明らかなようですが、どうやって空を飛ぶようになったのかについてはまだ分かっていま

せん。地上をバタバタしながら走り回るうちに飛べるようになったという説や滑空説も飛行のきっかけとしてはいまだに生きています。ところで、最初の羽は毛のような単純な構造でそれは現在のヒナの羽毛と同じだと紹介しました。ヒナは飛ぶことができませんのでバタバタしながら地上を走り回って捕食者から逃げようとします。けれど、成長するにつれて複雑な構造の羽を持つようになり、羽ばたけるようになり、やがて空を飛びます。恐竜から鳥への進化も実はこの通りだったのでは無いか、鳥の成長は鳥の進化を再現しているのでは無いかと考える科学者もいます。

ちょきりこきりヴォイニッチ  
今日使える科学の小ネタ

#### ▼万能でなかった万能細胞、iPSに拒絶反応

様々な組織の細胞に変化する iPS 細胞で、免疫による拒絶反応を引き起こす例があることを、米カリフォルニア大サンディエゴ校のチームがマウスの実験で明らかにしました。これまで、自分の細胞で作った iPS 細胞の移植では拒絶反応が起きないとされており、iPS 細胞を使う再生医療の新たな課題となる可能性もあります。

研究チームは、マウスの体細胞から作った iPS 細胞を、同じ遺伝情報を持つマウスの皮下に移植し、免疫反応を調べました。通常なら移植後、様々な種類の細胞の塊に成長するはずだが、今回、iPS 細胞は免疫細胞の攻撃を受け、塊ができにくくなる場合があります。作製法によって免疫反応に差が出たが、少なくとも2割で塊ができなかったり、塊の一部が壊死して小さくなったりしました。

一方、このマウスの受精卵から作った ES 細胞では細胞塊に成長した。詳しく解析すると、iPS 細胞では ES 細胞に比べ9種類の遺伝子が過剰に働いており、がん細胞で活発に働く遺伝子などが拒絶反応の原因になっているとみられます。

#### ▼惑星の多くは一人ぼっち？主星を持たない系外惑星を発見

惑星といえば通常恒星の周りを回る天体を指すが、そのような認識を覆す「浮遊惑星」という惑星が発見されました。これまでの系外惑星探査方法は全て主星の周りを回る惑星に限定され、ただ宇宙空間を漂っているだけの浮遊惑星を発見することはできません。これまで浮遊惑星の存在は理論的に予測されていたが、今回初めて名古屋大学などを含む国際研究チームが発見しました。

ニュージーランドにある Mt. John 天文台の 1.8m 広視野望遠鏡と、チリのラスカンパナス天文台にある 1.3m ワルシャワ望遠鏡で、重力マイクロレンズ現象による系外惑星探査を行いました。重力マイクロレンズ現象とは、星の前を別の重力天体が横切ったときにこの重力天体がレンズのような役割を果たして増光する現象を指す、一般相対性理論で示されている現象です。このような浮遊惑星のほとんどは普通の惑星と同じように惑星系円盤で形成し、その後他の惑星によって弾き飛ばされてしまったと考えられています。現在の観測技術では木星質量より小さい浮遊惑星を発見することはできませんが、地球質量程度の小さな惑星はより弾き飛ばされやすいので、この宇宙には恒星よりも多くの浮遊惑星が存在していることが予想されます。



▼解読不能の奇書「ヴォイニッチ手稿」の年代が特定される

ほかのどこでも見られない謎の文字で記され、何語で書かれているのか何が書かれているのかも不明な古文書「ヴォイニッチ手稿」。本文と関係あるのかすら不明な色鮮やかな多数の不可解な挿絵の魅力もあり、1912年にイタリアで発見されて以来、古書マニアや暗号マニアの心をくすぐり続けてきました。今回、アリゾナ大学で行われた質量分析により、その年代が特定されたそうです。「ヴォイニッチ手稿」は1912年、ローマ近郊のモンドラゴーネ寺院で発見され、発見者である古書商ウィルフリッド・ヴォイニッチにちなんで「ヴォイニッチ手稿」と呼ばれています。手稿はラテンアルファベットに似た文字や、既知のどんな文字にも似ていないような文字の混じった特殊な人工文字によって書かれていて、各文字や文字列の登場頻度などを分析した統計的手法により、でたらめな文字列ではなく確かに意味を持つ文章列であると判断されているのですが、発見から1世紀近く経た現在もなお解読されていません。

公衆浴場で入浴する人々のようにも見える絵。描かれている人物（らしきもの）はみな全裸のため、服装から時代を特定することもできないそうです。

アリゾナ大学の研究者らは手稿の紙の断片を採取し、そこに含まれる炭素14を加速器質量分析することにより「ヴォイニッチ手稿」の年代を1404年から1438年と特定しました。「ヴォイニッチ手稿」に使われている羊皮紙は動物の皮からできているので、動物の骨の化石から年代測定を大古ナウのと同様の手法で年代を決定することに成功し

ました。

今回は手稿に使われた羊皮紙の年代が特定されたわけであり、手稿が書かれた年代が特定されたとは言えないのですが、美術史家などによる分析では、インクや絵の具の色はルネサンス当時に入手可能だったものと一致しているそうです。

