

福井県の恐竜時代

東 洋一¹

福井県立大学恐竜学研究所

概要： 福井県では平成元年から現在まで勝山市の恐竜発掘現場で断続的に発掘調査を継続してきた。その結果、7種類の肉食や草食の恐竜の存在を明らかにすることができた。中でも2016年に命名されたフクイバートルは、全身の約70%が保存されたもので、その脳や内耳が明らかになった大変興味深い肉食恐竜である。さらに、これらの恐竜とアジア大陸内部の恐竜たちの関係も次第に明らかになってきた。さらに中生代鳥類化石の発見もあり、この骨格をデジタル的に復元することもできた。日本で最古の鳥類の姿が明らかとなった。

THE DINOSAUR AGE OF FUKUI PREFECTURE

YOICHI AZUMA¹

Institute of Dinosaur Research, Fukui Prefectural University

日本で最も数多くの恐竜の骨や足跡の化石が発掘されているのは手取層群であるが、ジュラ紀から白亜期前期にかけて堆積した地層で、アンモナイトなど海の動物、陸の動物である恐竜などの脊椎動物や植物の化石が多量に産出している。手取層群は、富山、石川、福井、岐阜県などにまたがって分布している（図1）。

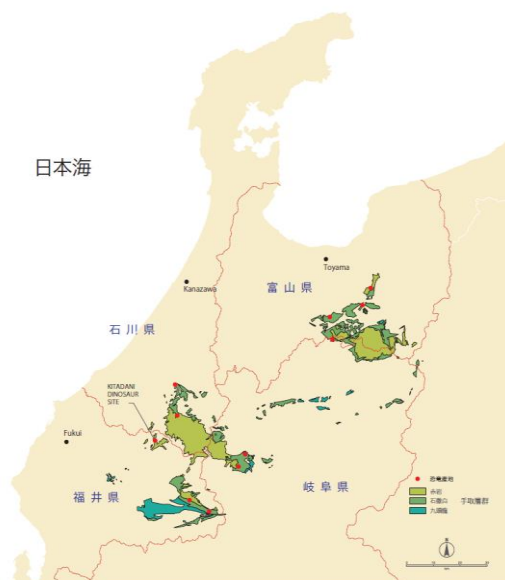


図1：手取層群の分布と主な恐竜化石産地

手取層群からは、昭和41年に福井県福井市美山町（旧美山村）から中生代のトカゲ化石（アスワテドリリュウ）が発見された。この化石は、我が国から発見された最初の中生代陸上爬虫類の記録であった。その後、昭和53年に石川県白山市（旧白峰村）からカメ化石が、さらに昭和57

年には福井県勝山市からワニ化石のほぼ一体分が発掘された。このようにトカゲ、カメ、ワニと次第に大きな動物へと発見が続きましたが、恐竜化石は長い間発見されることはなかった。ようやく手取層群から恐竜化石が確認されたのは昭和60年になってからだった。

その発見は石川県白山市の通称「化石壁」からの肉食恐竜（獣脚類）の歯で、福井県在住の当時女子高校生によるものだった。白山市から恐竜化石の発見が明らかになると、手取層群分布域の各地から恐竜発見が報じられるようになった。福井県勝山市のワニ化石産地では、福井県立博物館（当時）によって昭和63年に恐竜化石発見のための予備調査が実施され、肉食恐竜の歯の化石が採集された。引き続き、福井県は平成元年から一次、二次の恐竜化石発掘調査を大規模に展開した。この調査の成果として大量の恐竜化石などが採集されたが、特に獣脚類やイグアノドン類（鳥脚類）の頭骨を含めた骨格の発見は大変意義深いものだった。イグアノドン類は平成6年（1996年）に、獣脚類は平成12年（2000年）に全身骨格の復元がなされ、獣脚類は平成12年（2000年）にフクイラプトル・キタダニエンシス（*Fukuiraptor kitadaniensis*）と（図2-1）、イグアノドン類は平成15年（2003年）にフクイサウルス・テトリエンシス（*Fukuisaurus tetoriensis*）と命名された（図2-2）（Azuma & Currie, 2000; Kobayashi & Azuma, 2003）^{1, 2}。発掘現場からはこれらの他に、ワニ、カメ、魚鱗などの脊椎動物化石も産出した。さらにこの発掘現場からは、恐竜化石包含層の上位や下位の地層から獣脚類、竜脚類、鳥脚類などの恐竜や鳥類の足跡化石も多量に発掘された。近年の発掘調査の成果として、フクイラプトルやイグアノドン類の幼体と考えられる化石や恐竜と思われる卵殻化石などの産出も確認された。幼体化石はそれぞれサイズが異なり、

成長段階を示していると考えられている。また、多量の卵殻化石の存在から、恐竜の営巣地が発掘地点周辺にあったことが確認される。その後福井県は恐竜化石調査の成果

を受け“恐竜博物館”の建設を決定し、平成 12 年 7 月にアジア最大規模の福井県立恐竜博物館が開館した。

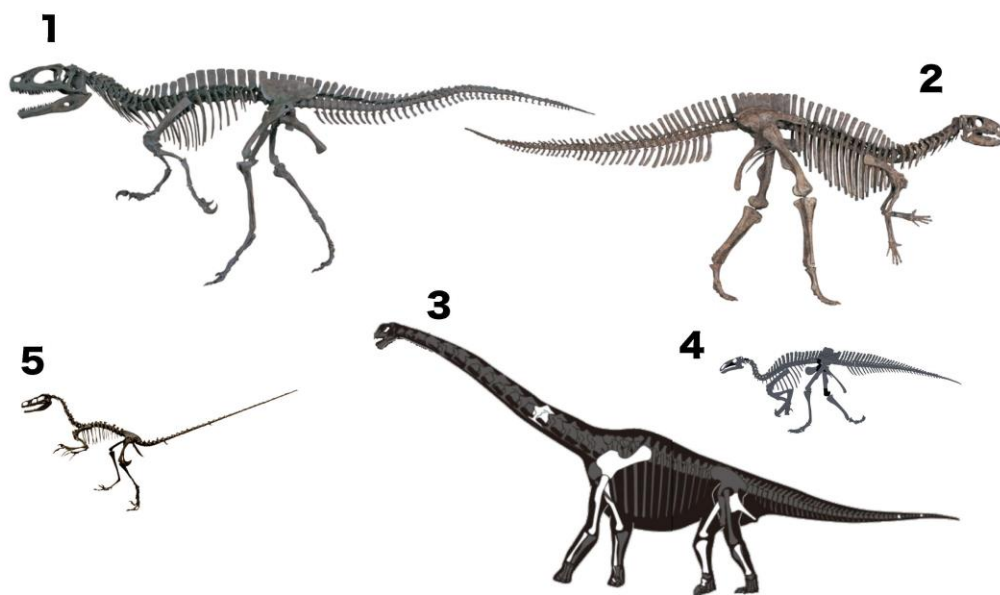


図 2：福井県勝山産恐竜化石

1；福井ラプトル、2；フクイサウルス、3；フクイチタン、4；コシサウルス、5；フクイベナートル



図 3：フクイベナートルの発掘された骨格

福井県立恐竜博物館は追加の化石や新たな化石の発見をめざして、平成 19 年から第三次恐竜化石発掘調査を開始した。平成 19 年 7 月初旬、発掘のための準備作業を現場で開始した直後のことだった。現場を訪れた福井県立恐竜博物館の柴田正輝技師（当時）は、準備中の崖の掘削面に黒色の大きな骨の存在に気がついた。その後の発掘調査でこ

の骨は竜脚類の上腕骨であることが明らかになった。この骨は長さが約 1 メートルもあり、過去にこの発掘現場で発見された最大の恐竜化石となった。この上腕骨の骨を慎重に発掘し、さらにこの骨を包含する地層を掘り進め、さらに竜脚類の大腿骨や前肢などの骨が次々と発見された。平成元年にこの発掘現場で調査を開始した時に、竜脚類の

“歯”が発見され、その後の調査で多くの竜脚類の歯が採集されていた。しかし、一次、二次の調査では竜脚類の歯以外の体の骨を見つけることはできなかった。このことは、なぜ歯の化石しか発見できないのかという長年の疑問だった。従って、竜脚類の上腕骨などの発見は、筆者が約 20 年間待ち続けた化石だった。

もう一つ注目すべき恐竜化石が発見された。それは、小型の肉食恐竜（獣脚類）の腰や後ろ脚の骨、尻尾の骨などだった。特に、後ろ脚は右の脛骨から下の部分でほぼ全ての中足骨や指の骨がそろっていた。それらの骨は、ほぼ元の位置に近い状態で残っていた。腰の部分は、仙椎が 5 つ見つかり、その内 4 つは骨が繋がった状態で産出した。頭骨の右上顎骨が 4 本の歯が残った状態の骨も明らかになった。結果的に約 170 個の骨が確認され、全身の 70%以上が保存された我が国で最も保存度の高い恐竜標本となった。発見された竜脚類は 2010 年にティタノサウルス形類に属するフクイティタン・ニッポネンシス (*Fukuikititan nipponensis*) として (図 2-3)、獣脚類は 2016 年にフクイベナートル・パラドクサス (*Fukuivenator paradoxus*) (図 2-5) とそれぞれ命名された (Azuma & Shibata, 2010; Azuma et al., 2016)^{3,4}。さらに 2015 年に別の草食恐竜にもコシサウルス・カツヤマ (*Koshisaurus Katsuyama*)⁵ (図 2-4) という名前がつけられた (Shibata et al., 2015)。これで、勝山市の恐竜発掘現場から発見された 5 種類の恐竜に名前がつけられたことになった。

これらの竜脚類や小型獣脚類の骨格が発見された新たな地層によって、勝山市の恐竜化石発掘現場周辺の恐竜化石の豊富が改めて認識させられた。これまでの一次、二次調査で発掘された恐竜化石包含層は、今回の包含層の下位の別の地層だった。今回の発見で、新たに有望な恐竜化石包含層が確認されたことになった。

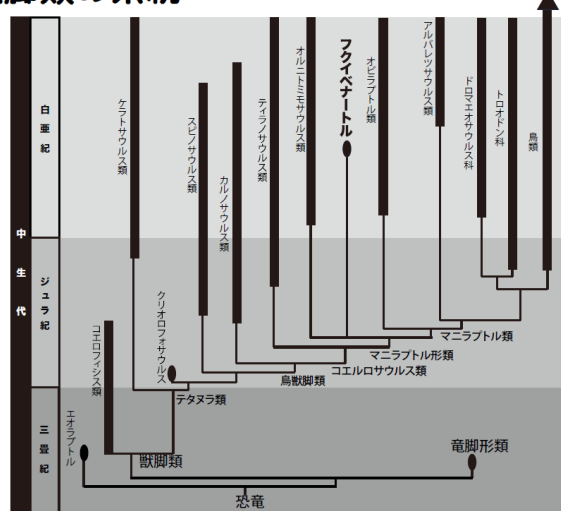
第三次調査で明らかになった竜脚類の上腕骨や大腿骨などの骨は、今後の勝山産竜脚類化石の研究を進めてゆく上で大変大切なものだった。フクイチタンが属するティタノサウルス類竜脚類は、主に白亜紀の南半球やインドで棲息した竜脚類として良く知られている。アジア地域（インドを除く）のティタノサウルス類竜脚類は、三重県鳥羽市で竜脚類が発見された直後の平成 9 年、モンゴルのゴビ砂漠からオピストコエリカウディアと名付けられたティタノサウルス形類サルタサウルス科に属する竜脚類が公表された。その後、タイ（ブウイヤングサウルス）やラオス（タンバヨサウルス）の白亜紀前期から相次いでティタノサウルス形類竜脚類が報告され、2000 年以降中国からも 12 種類の白亜紀のティタノサウルス形類が現在までに明らかになっている。フクイチタンは、アジア地域でこれまで明らかになっているティタノサウルス形類と密接な関係があることは明白と考えられる。

一方フクイベナートルは、全身骨格の約 70%以上揃って

いる標本であるので (図 3)、当然、全身骨格の復元作業が始められた。平成 22 年 3 月に復元が完成し、早速、恐竜博物館に展示された。

フクイベナートルは 2016 年に学術雑誌「サイエンティフィック・レポート (Scientific Reports)」に論文が掲載された。フクイベナートル・パラドクサスという学名は、“逆説の福井の狩人”の意味である。このフクイベナートルについて研究を始めた頃は、ドロマエオサウルス類の仲間と推定されていたが、研究の結果より原始的なコエルロサウルス類に属するマニラプトル類の一種とされた (図 4)。

獣脚類の系統



T.R. Holtz 2007 を修正・加筆

図 4：獣脚類の系統

コエルロサウルス類はジュラ紀中期のアロサウルスなどテタヌラ類から分岐したグループで、ティタノサウルスのような大型獣脚類も含まれているが、大半は小型の獣脚類で三本の指と長い尻尾をもっていた。コエルロサウルス類の最も特徴的なことは、彼らが羽毛をもっていたということだ。また、多くのコエルロサウルス類は他の獣脚類と比べて後肢に対して前肢が長いという特徴もある。マニラプトル類はより鳥類に近くなったグループとも言える。

フクイベナートルは、全長 245cm、体重約 25kg の亜成体の小型獣脚類である。亜成体と判断したのは、成体になると骨の“癒合”が完全なものとなるが、フクイベナートルの背骨や頭骨の一部に不完全な癒合が認められたからである。さらにフクイベナートルは他のどんな獣脚類も持っていない多くの形態的特徴を有していることに加え、当初考えられていたドロマエオサウルス類恐竜に見られる派生的な特徴と、より基盤的な恐竜に見られる原始的な特徴を併せ持っていた。以上のことを少し解説すると以下のとおりである。フクイベナートルの頸椎の棘突起（椎骨の後端の突出部）が、他のどの獣脚類には無く竜脚類に見られる二つに分岐した棘突起が見られる点が特有な形態的特徴であ

る。また、上顎骨や尾椎などの形態は派生的なドロマエオサウルス類にみられる形態的特徴と言える。さらに後肢の2番目の指の特徴や前肢の長さが後肢のその約75%まで長くなっている点も派生的な特徴である。一方、肩の骨や大腿骨はより基盤的な特徴を持っている。すなわち体のある箇所は基盤的で、別のある箇所はより派生的な特徴を有している“モザイク”な特徴を持っている変わった獣脚類ともいえる。これらのことから、コエルロサウルス類の進化においてドロマエオサウルス類とは別に分岐したマニラプトル類獣脚類で、さらに、フクイベナートルがマニラプトル類獣脚類の進化の初期の段階に位置する事を意味している。

さらに、フクイベナートルの歯にも一般的な獣脚類のものとは異なった特徴がある。ティラノサウルスやアロサウルスなどの歯は、一般的な獣脚類にみられる扁平でナイフ状に反り返り、前後の縁にノコギリ歯のような鋸歯があるが、フクイベナートルの歯は円錐形で鋸歯がない。さらに、一般的な獣脚類の顎にある歯は同じ形をしているが、フクイベナートルの上顎骨に残っている歯の形は前後で異なっており(異形歯)いることなどから、フクイベナートルは通常の獣脚類とは異なった食性であったことを意味している。フクイベナートルの頸椎は10個以上の頸椎からなる長い首をもっていたと考えられるが、歯の特徴などと併せ考えると恐らくフクイベナートルは雑食性であったことを示唆しているものと考えられる。

今回の研究成果の今一つの成果は、国産恐竜として初めてその脳や内耳を復元することができたことをあげることができる。フクイベナートルの骨格の中に“脳函”の骨があった。脳函は頭部後方の上部にある骨で、“脳”を包むように取り囲んでいる複数の骨の集合体のことを指す。しかし残念なことに脳函前上半部に尾椎骨が乗っかっており若干脳函が潰されていた。ともあれ恐竜博物館にある工業用のCTスキャナーを使って、脳函から脳の形態的形状を画像として読み取り、コンピューターの解析ソフトを用いて脳の3D復元を試みた。この研究は県立大学の地域貢献研究費(平成26年度)の助成を受けて実現できた。その結果、大脳部は破損していたが、小脳や内耳などを復元することができ、脳の大きさが長さ約8cm、幅約3cm、高さ約3cmで、顔面神経や舌下神経などを明らかにすることができた(図5)。さらに内耳もほぼ完全に復元され、フクイベナートルの内耳は鳥類と一般的な類獣脚類の中間状態の形態を表し、三半規管は一般的な獣脚類恐竜のものと同程度の平衡感覚であり、蝸牛からは現生鳥類に匹敵する聴力を有していたことがわかった。以上のようにフクイベナートルの発見はコエルロサウルス類恐竜の進化において、そのグループにおける形態学的な違いが大きく拡大したことを示し、鳥の起源であるコエルロサウルス類進化の理解について貢

献するものと思われる。

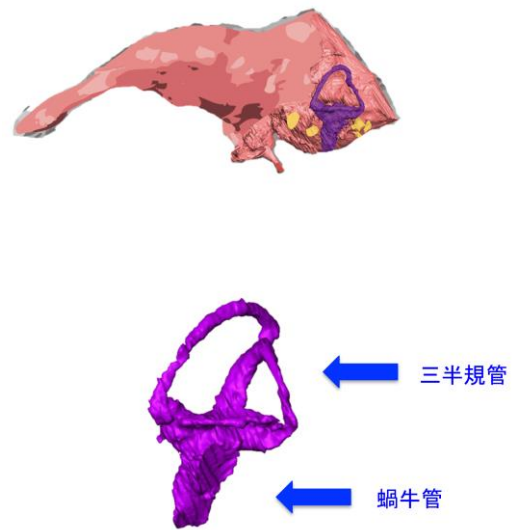


図5：復元されたフクイベナートルの脳と三半規管

恐竜化石が発掘されている現場およびその周辺からは、恐竜時代の鳥類の足跡化石や卵化石が発見されていた。ところが、第4次調査の2013年には、鳥類の骨格化石が発掘された。この鳥類骨格化石はクリーニングの結果、ほぼ全身が保存されていることが予想できた。しかし、個々の骨が小さいため物理的にこの骨を取り出すことができない。そこで、CTやコンピューターを使ってデジタル上で個々の骨を取り出すことを試みることにした。本研究では、福井県立恐竜博物館の工業用CTと大型放射光施設SPring-8(兵庫県佐用郡)においてシンクロトロンCTスキャンを行い、母岩と化石の断層画像を撮影した。その後、北谷化石鳥の頭骨を含む60部位を、CT画像処理ソフトAmiraを用いSTLのCGモデルとして母岩から分離した。その内、40部位について骨の同定が可能となった。

デジタル3D骨格復元に関しては、神戸芸術工科大学映像表現学科の吉田雅則准教授に協力していただいた。四肢骨など左右一対となっている部位については、どちらかが残されていた場合、その部位を反転させることによりもう片方を復元した。

その後、コンピューター上で各部位を組み上げ、さらに個々のCGモデルを3Dプリンターで出力し、勝山産鳥類骨格の複製骨格を組み上げた。

これまでに中国などで発見された白亜紀前期の鳥類骨格化石の多くは、部分的にしか保存されていないものや、全身骨格であっても潰されて平面的になっているものばかりだった。一方、勝山産鳥類化石は、保存されている部位が多く立体的なため、標本として得られる情報量は極めて多いと言える。

勝山産鳥類骨格には、鳥類特有のいくつかの骨格的特徴が見られるが、それらには以下のような鳥類進化の過程段階と言える形態も見られる。勝山産鳥類は癒合し短くなった尾椎（尾端骨）を持っていた。現生鳥類や進化した化石鳥類では尾端骨が完全に癒合しコンパクトになっているのに比べ、勝山産鳥類の尾端骨は細長く、一つ一つの尾椎の形状が残っているなど、まだ原始的な特徴を見ることができる。これらのことから、分類学的には原鳥類の中でも尾端骨類に分類されることが分かる。U字型のがっしりした叉骨や原始的な尾端骨、癒合していない前肢指骨、恐竜の特徴を残した腸骨が見られるため、恐竜から鳥類に変化した直後の極めて原始的な段階の鳥類として位置付けられることが明らかとなった。

以上のように福井県勝山市での約 30 年にわたる発掘調査で、日本の恐竜時代が明らかとなったと言って過言ではないであろう。

（本原稿は、東, 2016⁶を改変、追加したものである）

参考文献

- [1] Azuma, Y. & Currie, P. J., 2000: A new carnosaur (Dinosauria: Theropoda) from the Lower Cretaceous of Japan. *Canadian Journal of Sciences*, 37: 1-19.
- [2] Kobayashi, Y. & Azuma, Y., 2003: A new iguanodontian (Dinosauria: Ornithopoda) from the Lower Cretaceous Tetsudai Group, Japan. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 23 (1): 166-175.
- [3] Azuma Yoichi and Masateru Shibata. 2010. *Fukuititan nipponensis*, A New Titanosauriform Sauropod from the Early Cretaceous Tetsudai Group of Fukui Prefecture, Japan. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 84 (3): 454-462.
- [4] Azuma, Yoichi, Xing Xu, Masateru Shibata, Soichiro Kawabe, Kazunori Miyata, Takuya Imai, 2016. A bizarre theropod from the Early Cretaceous of Japan highlighting mosaic evolution among coelurosaurians. *Sci. Rep.* 6, 20478; doi: 10.1038/srep20478 .
- [5] Shibata, Masateru & Yoichi Azuma, 2015. New basal hadrosauroid (dinosaurian: Ornithopoda) from the Lower Cretaceous Kitadani Formation, Fukui, central Japan. *Zootaxa*, 3914 (4): 421-440.
- [6] 東 洋一、2016：福井の新しい恐竜フクイベナートル。 *TECHNO FUKUI*, 94: 34-37.