

謎の化石の正体を追って

倉谷 滋 (Kuratani Shigeru)

1. はじめに

「パレオスポンディルス」という名の化石がかなり以前から気になっていた。最初にそれが目に留まったのは1970年代の終わり、私がまだ学部学生だったときのこと、興味本位で読んでいたいくつかの古脊椎動物学の教科書にそれが描かれていたのである。あの頃はまだ自分が何をしようとしているかもわからず、ただ闇雲に面白そうなことに首を突っ込んでいたのだが、そのひとつが脊椎動物の比較形態学であり、そこに不可解な謎を見つけていたというわけなのだ。

当時、脊椎動物の進化史におきまりのように登場する2つの化石が、とりわけ私にとっては大きな謎だった。そのひとつは「ヘリコプリオン」というサメの歯の化石であり、いまひとつが問題の「パレオスポンディルス (*Palaeospondylus gunni*)」なのであった。この2つがいつも頭の隅にこびりついていたのだ。あまり国内では知られていなかったが、英米の専門の教科書を開けばすぐに目に飛び込んでくる。こんな不思議な動物が棲息していたことが不思議でならない。これに比べれば、たいがいの恐竜等はすでに手垢の付いた当たり前の動物でしかないなどと、若い頃の私は考えていた。

2. 謎の化石

まず、ヘリコプリオンについては当時から、その構造的な特徴からそれがサメの歯であることまでは分かっていた（そして、その持ち主は三畳紀まで世界に広く棲息していた）。が、螺旋を描く奇妙なパターンのため、この装置がそのサメの体のどこにどのよ

うに生えていたのかが全く分かっていなかった。そういうわけで、以前はさまざまな復元図が問われ、例えばらせん状の歯が鼻の頭に付いていたり、鬚のように下顎の下に付いていたり、あるいは背中に生えていたり、実にさまざまな、かなり珍妙な想像図が提出されていたのだった。いうまでもなく、その大半は誤謬である。

結局、2010年代になって状態の良いヘリコプリオン化石がいくつか報告され、その歯が下顎に付いていたことがほぼ確実に became¹⁾。この *Helicoprion* 属のサメについてはまだ分からないことも多く残されているらしいが、私にとっては十分納得の行く解決であった。というわけで、私に残された謎はパレオスポンディルスのみということになった。科学の謎はいつか解決されるものだ。この化石の正体も誰かがそのうち明らかにしてくれるだろうなどと、2010年代初頭までは、そんな風に他人事のように考えていた。

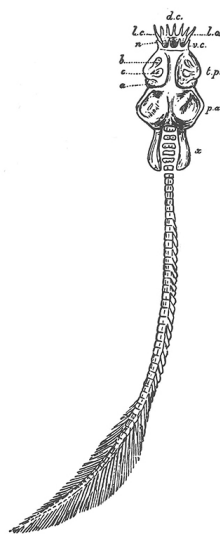


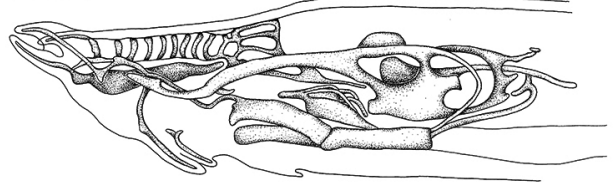
図1 パレオスポンディルス (*Palaeospondylus gunni*) の化石のスケッチ²⁾

パレオスポンディルスは全長数cmの小型の魚のような動物で、スコットランドのデヴォン紀層から大量に産出する(図1)³⁾。であるから、決して珍しい化石ではない。非常に数が多く、売買までされているが、さりとてそれが何者かは分からない。そして、この動物の正体についてもまた、これまでさまざまな説が提出されてきた。およそ考えられる限りすべての脊椎動物のグループが候補に挙げられたと言って過言ではない。私が最初に読んだ教科書、ローマーの『古脊椎動物学: Vertebrate Paleontology』⁴⁾では、絶滅した化石動物、板皮類(最初に顎を持った動物群)の一種ではないかと言われていた。したがって、この動物の解釈をめぐる仮説の90%以上は誤りであったということについてはすでに明らかだった(なかには、この化石がカエルのオタマジャクシに近いのではという珍説もあった。デヴォン紀にはまだカエルは棲息していなかった)。どれが正解かも分からず、ひょっとするとその正体はまだ誰も考えたことのない動物なのかも知れない。いずれにせよ、私は理化学研究所(理研)に勤めながらカメの甲羅や円口類の発生学を扱う進化形態学研究を始めるようになり、しばらくの間この動物化石についてはすっかり忘れていたのだが、自分の研究の中に思わぬ形でパレオスポンディルス問題が浮上することになった。

3. 謎との対面

2012年の秋から2013年の初めにかけて、私はパリの自然史博物館で短期客員教授を務めていた。もっぱらここではヌタウナギの頭部発生について論文を仕上げているのだが、たまたま眺めていた「ボルクの比較解剖学(1930年代に編纂された、ドイツの比較解剖学の教科書)」の中に、パレオスポンディルスの「仮想的側面図」を見つけたのであった(図2)。とたんに長年の謎が頭の中に蘇ってきた。私にはそれがヌタウナギの絵にしか見えなかったのである。とりわけ、円口類(ヤツメウナギとヌタウナギを含む原始的な動物群)に特徴的な舌器官が、パレオスポンディルスにおける不可解な突起(以前はrostral plateと呼ばれた)をうまく説明しているように思われた。そしてそのように想定すると、これまで説明の付かなかった構造が、すべて円口類の軟骨頭蓋の構成要素として過不足なく説明されるこ

ヌタウナギ



Palaeospondylus

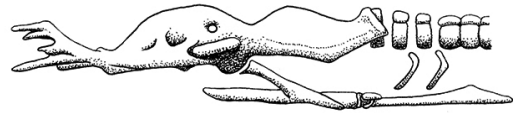


図2 ヌタウナギ(上)とパレオスポンディルス(下)の軟骨頭蓋の比較

左側面観を示す。ヌタウナギの頭蓋は文献5)を改変、パレオスポンディルスの図は文献6)より改変。パレオスポンディルスの口腔底部を前後に走る長い棒状の骨格が、円口類に特徴的な舌装置と相同であると思われる

とに気がついた。つまり、パレオスポンディルスが原始的なヌタウナギだという説が正解のように思われたのである。

そこで、化石古代魚の研究で名高いフィリップ・ジャンヴィエ(Philippe Janvier)博士に話してみると、彼も私の説明を納得したようだった。なにより、これまでまったく説明の付かなかった構造にすべて名前を付けることができるのだ。整合的な形態学的解釈が、私の説の正しさを証明しているように思われた。ちょっと見方を変えることによって、これまで見えなかった意外な一致点が見えてきたのだ。そこで帰国後、古生物学出身の平沢研究員と論文を仕上げ、*Nature*誌に投稿したのだが、残念ながら証拠が足りず、もうすこしのところで出版は叶わなかった。が、編集者や一部の査読者も我々のヌタウナギ説がほぼ正しいと認めているようではあった。そこで、この論文を急遽、*Zoological Letters*誌に投稿することにした⁷⁾。今回は首尾よくアクセプトされ、2016年にその論文は公開された。とはいえ、私の頭の中にはまだ小さな謎がしこりのように残っている。それが紛れもなく円口類であることを示す、何か決定的な証拠が必要なのだが、それがならず、そのことが妙に気になっていたのだ。

4. 不安要素と正解

さて、どんな証拠が必要なのか。それは「内耳」である。私たちの内耳には、3つの半規管という管

があり、これによって体のバランスを効率的に調節している。ところが円口類の内耳には、この半規管が1本しかない（私たちの祖先で顎のない段階では半規管が2本存在し、円口類ではヤツメウナギもヌタウナギも1本しかないことを、Higuchiらが発表した⁸⁾）。もし、パレオスポンディルスが私の想像したとおり円口類の仲間なのであれば、それはやはり内耳の中に1半規管を持つはずであり、それを証明するには化石の外部だけではなく、内部を「解剖」するより他はない。具体的には、放射光を用いて内部構造を詳細に観察するのである。そこで、平沢研究員が中心となり、大型放射光施設 SPring-8 でシンクロトン放射光 (SRX μ CT) をもちいて観察すべく共同研究を開始した。が、そのときの私はまだ「パレオスポンディルスはヌタウナギの仲間である」という当初の考えにしがみついており、駄目押しの証拠を固めるために放射光を用いて *Nature* 誌を納得させようとしてしか考えていなかったのである。放射光によるデータが加われば、あらためて新しい論文を *Nature* 誌に投稿することもできるだろうと。ところが……。

実は、放射光を用いた観察のために最適な化石標本を手に入れる際の苦労話が多くあるのだが、それ

については理研ホームページの「科学道研究最前線：謎の化石の正体を放射光と系統解析で解き明かす」(https://www.riken.jp/pr/closeup/2022/20220818_1/index.html)などを参照していただくとして、そのときの私は自分の仮説のみを信じ、そのために盤石の証拠を固めようとしていたということだけ伝えれば十分だと思う。しかし、最初の観察を終えて帰ってきた平沢研究員からの報告は意外なものであった。「パレオスポンディルスには三半規管がある」というのである。瞬間的に、私の仮説はガラガラと音を立てて崩れ去った。さすがに私も、これまで間違った仮説をせつせと組み上げていたのだと納得せざるをえなかった。

ここからは平沢研究員の独壇場だった。彼はあらためて高解像度で復元されたパレオスポンディルスの頭蓋骨格を吟味し、そこに口蓋方形軟骨（それが顎を持った脊椎動物のものであることを示す）と、神経頭蓋の中の関節構造（その動物が四肢動物に近縁であることを示す）が存在していることを明らかにした（**図3**）。さらに、脊柱や正中^{せいちゆうき}鱗の構造も、原始的な四肢動物のものに極めて近い。結局、パレオスポンディルスは、我々の祖先のうち、魚類的段階から両生類的段階へ徐々に移行しつつある動物

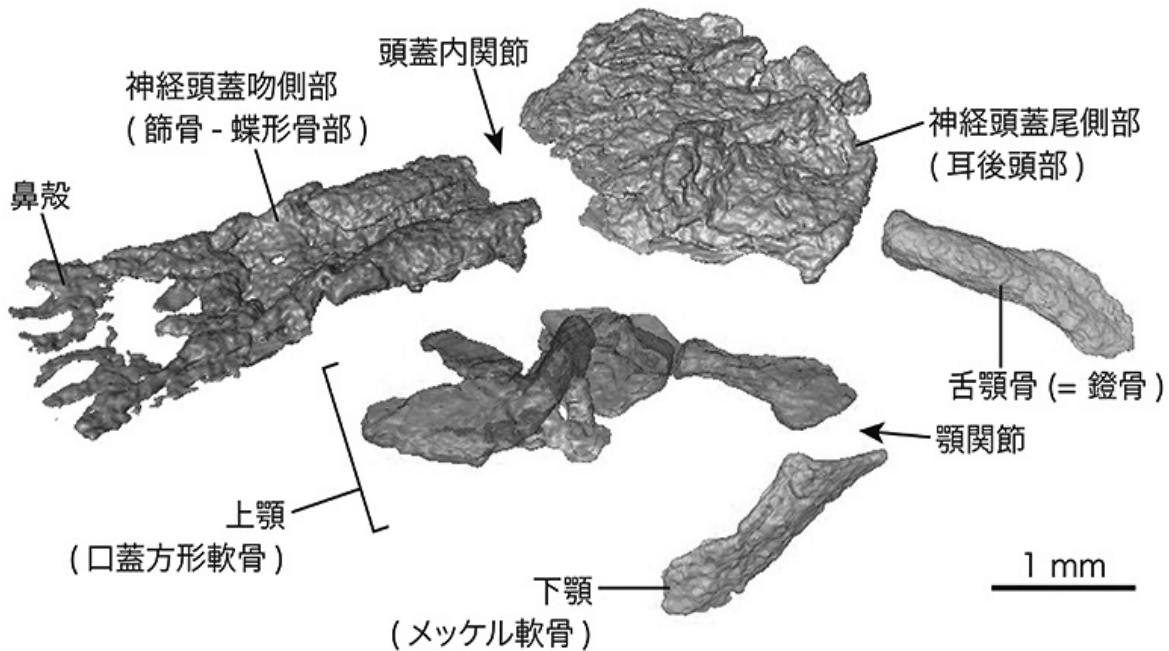
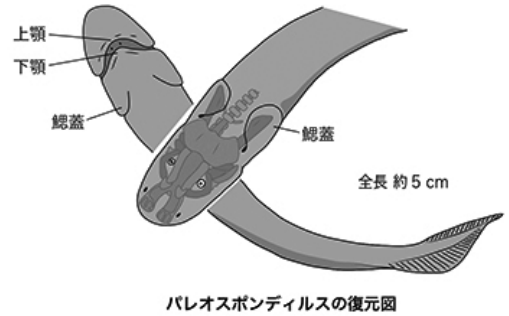
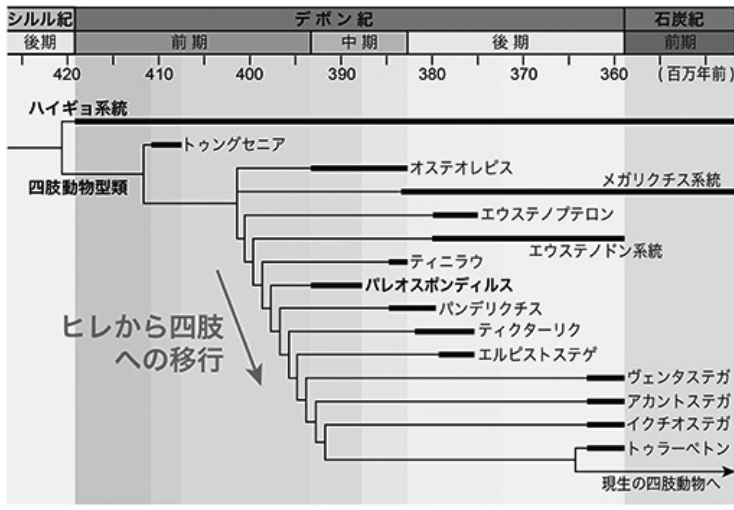


図3 SRX μ CTによって観察されたパレオスポンディルスの軟骨頭蓋
頭蓋を要素ごとに分割してある。複雑な口蓋方形軟骨複合体と強大な舌顎軟骨を備えていたことが分かる⁹⁾



パレオスポンディルスの復元図

図4 四肢動物の進化系統樹におけるパレオスポンディルスの位置

ハイギョの系統と分岐したのち、四肢を獲得する以前に分岐した動物であると推定された。文献9)より改変

の、かなり原始的な系統に属するものだったらしい。しかも、骨化状況や形態的特徴（歯がない、^{ついき}対鰭がない）から見ると、それは幼生段階のものに相当すると思われた。そうしてみると、それまでヌタウナギの特定の骨格要素だと思っていたものが、まったく別の骨格として整合的に説明できるのだ。ヌタウナギの神経頭蓋に相当すると思われていた軟骨が、本当は顎口類の口蓋方形軟骨複合体であることが分かった（図4）。いわば、たったひとつの矛盾が提示され、それに引き続いてすべてを説明する別の形態学的枠組みが提示されたのである。

こうして補強された我々の仮説は、組織学的な吟味を含め、あらためてまったく異なった論文として再生し、ふたたび *Nature* 誌に投稿され、今度は首尾よく掲載が決定したのだった¹⁰⁾。それにしても、なぜこのような意外な結末を迎えたのだろうか。同じひとつの化石が、まったく異なった動物と比較され、しかもそれぞれ辻褄が合っており、データひとつでその片方がひっくり返るとは……。思えば、円口類はこれまでしばしば両生類と比較されることが多かった。有名なところでは、「ダーウィンのブルドッグ」として知られるトマス・ハクスレーが、ヤツメウナギの頭部をカエルのオタマジャクシと比較している¹¹⁾。しかし、それもまた吸付き用の口器の類似性に導かれたと覚しい、明かな誤謬であった。私もその同じ穴の中に落ち込んでしまったのか……。

科学は仮説に次ぐ仮説の応酬であり、それを通じ

て人間は徐々に正しい答えへと導かれる。したがって、この世の仮説の大半は間違いであり、わずかな正しい仮説しか生き残ってこなかったのである。私はこれまで2回、間違った仮説を大々的に世に問うてしまったことがある。が、今回のパレオスポンディルス問題を含め、どちらもそれを自分の手で修正することができた。ライバルがその失敗に気づく前に、自分でそれを直してしまったのである。さりとてまた、過去の間違った仮説を撤回しようとも思わない。それどころか、その間違った論文もそれなりに気に入っているのである。過去の研究の一里塚として、失敗もまた、まっとうな科学的推論による結果だからだ。事実、パレオスポンディルスがなぜあれほど（実際には類縁性のないはずの）円口類に似ているのか、いまでもまだ私はちゃんと理解できていない。それもまた解かれるべき謎のひとつとして残っている。

人間は常に論理的に整合的（辻褄が合う、矛盾がない）であろうと努力する。が、しかし整合的であるということそれ自体は、必ずしも科学的に正しいことを保証してはくれない。残念ながらそれは事実だ。そのことは例えば、アリストテレスの残したいくつかの著作を読めば明らかだ。現代人の目から見ればそこには数多くの誤謬が記されているが、それは当時のアリストテレスが可能な限り整合的であろうと真摯に努めた結果として得られた推論ばかりなのである。科学の進歩はしたがって、多くの誤謬や失敗や勘違いなしには達成できないのだが、どうも

最近は矛盾や失敗を恐れる傾向が過ぎるように思えてならない。あるいは、自らの失敗を決して認めようとしない悪しき風潮もよく目にする。私は、自分の失敗を簡単に認めすぎると、時々知り合いの研究者から褒められることがあるのだが、これはどうしたものだろう。私はわざわざ好き好んで失敗しようと思っているわけではない。が、真面目に科学を楽しんでいればいるほど、多くの失敗をしてしまう。さりとして、失敗を通過せずしては正解にたどり着けない。それだけは間違いないことのように思う。付言すれば、今回の結論もまた、これまで多く提出されてきた仮説の最後のひとつに過ぎず、将来的にそれが覆される可能性も決してゼロではないのである。また、かりにパレオスポンディルスが原始的な四肢動物の幼生型を示すという今回の結論が正しいとしても、その親の姿がどのようなものであったのか、まだまったく分かってはいないのだ。その動物はすでに、どこかの博物館に収蔵されているかも知れないし、まだ発見されていないのかも知れない。あるいは、古生物学者がすでに良く知っている魚類なのかも知れない。謎はまだまだ解けてはいないのである。

謝辞

図版作成に協力いただいた平沢達矢博士に感謝いたします。

参考文献

- 1) Ramsay, J. B., *et al.*, *J. Morphol.*, **276**, 47-64 (2015)
- 2) Woodward, A. S., *Cambridge: at the University Press* (1898)
- 3) Traquair, R. H., *Ann. Mag. Nat. Hist.*, 6th Series, **6**, 479-486 (1890)
- 4) Romer, A. S., *Chicago Univ. Press* (1966)
- 5) Holmgren, N. & Stensiö, E., *Urban & Schwarzenberg, pp.*, 233-499 (1936)
- 6) Bulman, O. M. B., *Ann. Mag. Nat. Hist.*, 10 Ser., **8**, 179-190 (1931)
- 7) Hirasawa, T., *et al.*, *Zool. Lett.*, **2**, 20 (2016)
- 8) Higuchi, S., *et al.*, *Nature*, **565**, 347-350 (2019)
- 9) 理研プレスリリース (2022年5月26日) https://www.riken.jp/press/2022/20220526_1/
- 10) Hirasawa, T., *et al.*, *Nature*, **606**, 109-112 (2022)
- 11) Huxley, T. H., *J. Anat. Physiol.*, **18**, 412-429 (1876)

((国研)理化学研究所 生命機能科学研究センター形態進化研究チーム (兼) 開拓研究本部 倉谷形態進化研究室)