

〔総 説〕

恐竜の骨細胞

福田 芳生*

はじめに

濃い茶褐色を呈した恐竜の大きな化石骨が、カナダのアルバータ州のブルックスにあるバットランド（悪地）と呼ばれる、乾いた丘陵地帯にごろごろしている。近年、この恐竜の骨を国外に持ち出すことが難しくなってきた。

それは貴重な恐竜の骨を色々な角度から学問的に研究するのは良いとしても、いわゆる骨董品としてべらぼうな値段で外国人に売りつけ、ひともうけを目論む一部の悪徳業者がいることなどが原因であろう。そこで筆者は、ドーバー海峡に面したイギリス本島沿岸のほぼ中央部にある、サザンプトン港の沖合のワイト島から産出した白亜紀前期（今から約1億年前）のイグアノドン（図1）の尾椎骨を入手し、そこから骨細胞（osteocyte）の化石を検出しようと考えた。また、イギリス南部のドー

セット県にあるライム・レギスの海岸には、ジュラ紀前期（今からはほぼ1億8千万年前）の黒味がかかった頁岩層が広く分布している。

そこからしばしば保存の良い魚竜や首長竜の遺骸が見出されている。このライム・レギスの海岸から産出した魚竜（図2）の円盤形を呈する分離した椎骨についても、電子顕微鏡的な観察を実施した。その目的は、そこにも骨細胞が残っているとすればどのような形のものか、はたしてイグアノドンの骨細胞と違いがあるのか比較検討することにあつた。そこから得られた結果について以下に総説してみよう。

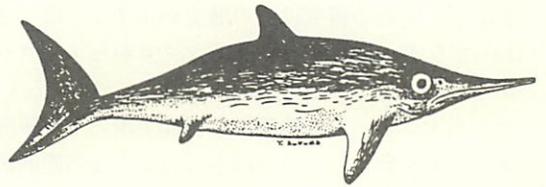


図2 ジュラ紀の魚竜の復元図。背側は濃褐色をしていたと考えられている。

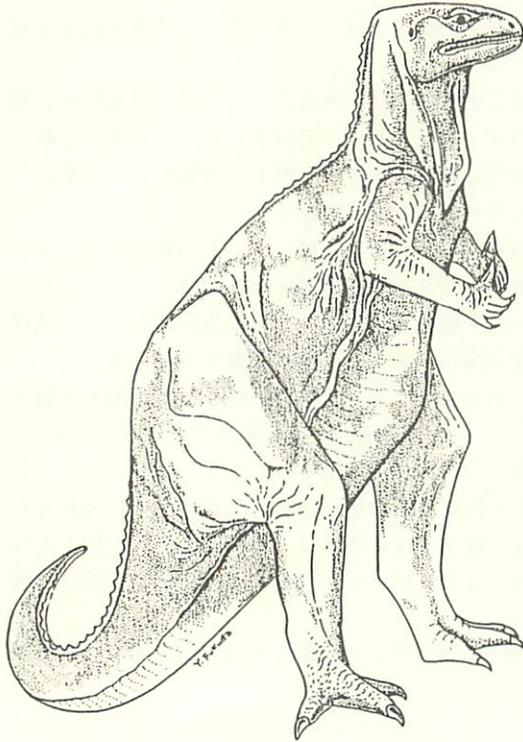


図1 恐竜の人気者、イグアノドンの復元図。

骨組織の基本的な構造

骨細胞の化石と言っても、実際にタンパク質からなる骨細胞自体が化石として残るといわけではない。骨の内部には有難いことに、ハバース管と呼ばれる血管をふくむ軟組織が大変密に分布していて、化石化する過程でその血管の内腔に鈣物質が染みこみ固結する。研究のため化石骨を稀塩酸に浸すと、ハバース管は腐蝕されずに残るので、細いパイプのように浮き出してくる。この好例を前記のドーセット県のライム・レギスから産出した首長竜プレシオサウルスの肋骨の断面で観察したことがある（図3）。

骨は外側の緻密骨質と内側の海綿骨質の2つの部分からなる。血管に富み多孔質の海綿骨質は造血器官として機能する。ハバース管の周囲に同心円状の層板構造を伴う（図4の上）。層板構造の間に小さな隙間が観察される（図4の下）。

この隙間こそ、骨小腔（bone lacuna）と呼ばれる骨細胞のための小部屋なのである。骨小腔の内部に鈣物質

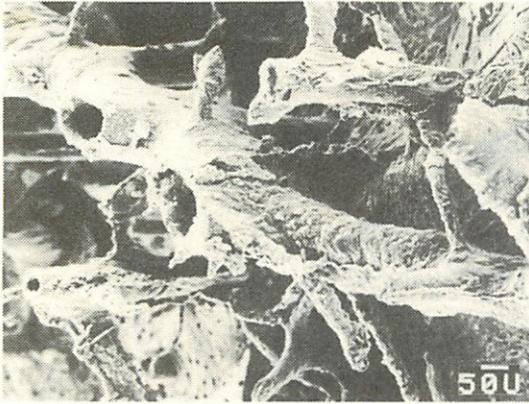


図3 ジュラ紀前期のプレシオサウルスの肋骨内部の複雑に分岐したハバース管（血管）の鋳型を示す（Uはミクロンを表す）。

（主として鉄）が徐々に染みこんでいき、遂に完全な骨細胞の鋳型ができあがるというわけである。もし、骨小腔という特別な小部屋がなければ、我々は決して化石骨から骨細胞を検出し得なかったであろう。骨細胞は単独で存在しているわけではなく、各骨細胞は骨層板に沿って同心円状に並んでいて、細胞壁の周囲から無数の細かな突起を伸ばし、隣接するものと実に巧みな連携を維持している（図5）。

骨細胞の突起の通路が骨細管（bone canaliculi）と呼ばれているもので、ハバース管からCa、Pその他の栄養分を受けとり、骨細管を経由して各骨細胞に供給し、骨の形成に関与しているのである。言うまでもなく、骨の基質はコラーゲン線維である。コラーゲン線維の格子状の部分にCaやPなどの鉱物質が徐々に沈着して行き、硬い骨ができあがる。

骨細胞は血中のCaやPを一旦胞体内に取込んで、それを放出する化骨にとって無くてはならない極めて効率の良い、生体における鉱物質の同化装置と看なすことができる。骨は骨膜によって被覆されている。骨膜の部分には、血管の他に神経があるので、損傷時に激しい痛みを感じる。

骨の古病理学

骨膜炎というやっかいな細菌性の疾病に侵された時、骨組織の異常な増殖（化石骨ではコブ状の異常な塊として残存する）や濃汁が溜って骨の一部が腐り、空洞化することがある。古病理学（Paleopathology）の研究分野は、このような硬組織に残された病変の成因について、あれこれ考える学問と言っても良い。なぜなら、化石として内臓が残ることは、ほとんど無いからである（ただ例外として、シベリアの永久凍土の中に封じ込められていたマンモスやドイツのメッセルにある始新統の油を含

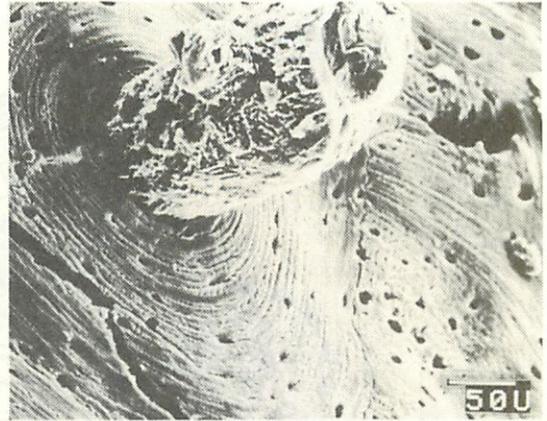


図4 ジュラ紀前期のプレシオサウルスの肋骨断面。上はハバース管の鋳型（棒状の突起）周囲に存在する同心円状の骨層板。下は骨層板に沿って配列する骨小腔。このサンプルでは単なる小孔として認められるにすぎない（Uはミクロンを表す）。

んだ頁岩層中の動物群がある）。

筆者は全くの幸運としか言いようが無かったのだが、イギリス本島中央部のニューシャムという所にある炭鉱町で、道路拡張のために崖を崩した際、たまたま発見された石炭紀のシーラカンス、ランブドデルマ（*Rhambodermia* sp.）の鱗の下側から大量のピブリオ属の細菌に類似した微生物の化石を見出した（図6）。これは当時の湖沼で生活していたシーラカンスが、表皮の傷口から侵入したピブリオ属の細菌に感染して死亡した事を推定させる稀な例であろう。

恐竜の骨細胞とはどのようなものか

話を元に戻そう。恐竜は身体が大形であるから、さぞ骨細胞も大きいに違いないと思うであろう。ところが、ワイト島の白亜紀前期のイグアノドンの尾椎骨から検出された骨細胞は、紡錘形をしていて、長径が20 μ m前後、短径が7~10 μ mほどあり、大きさは現在の哺乳類

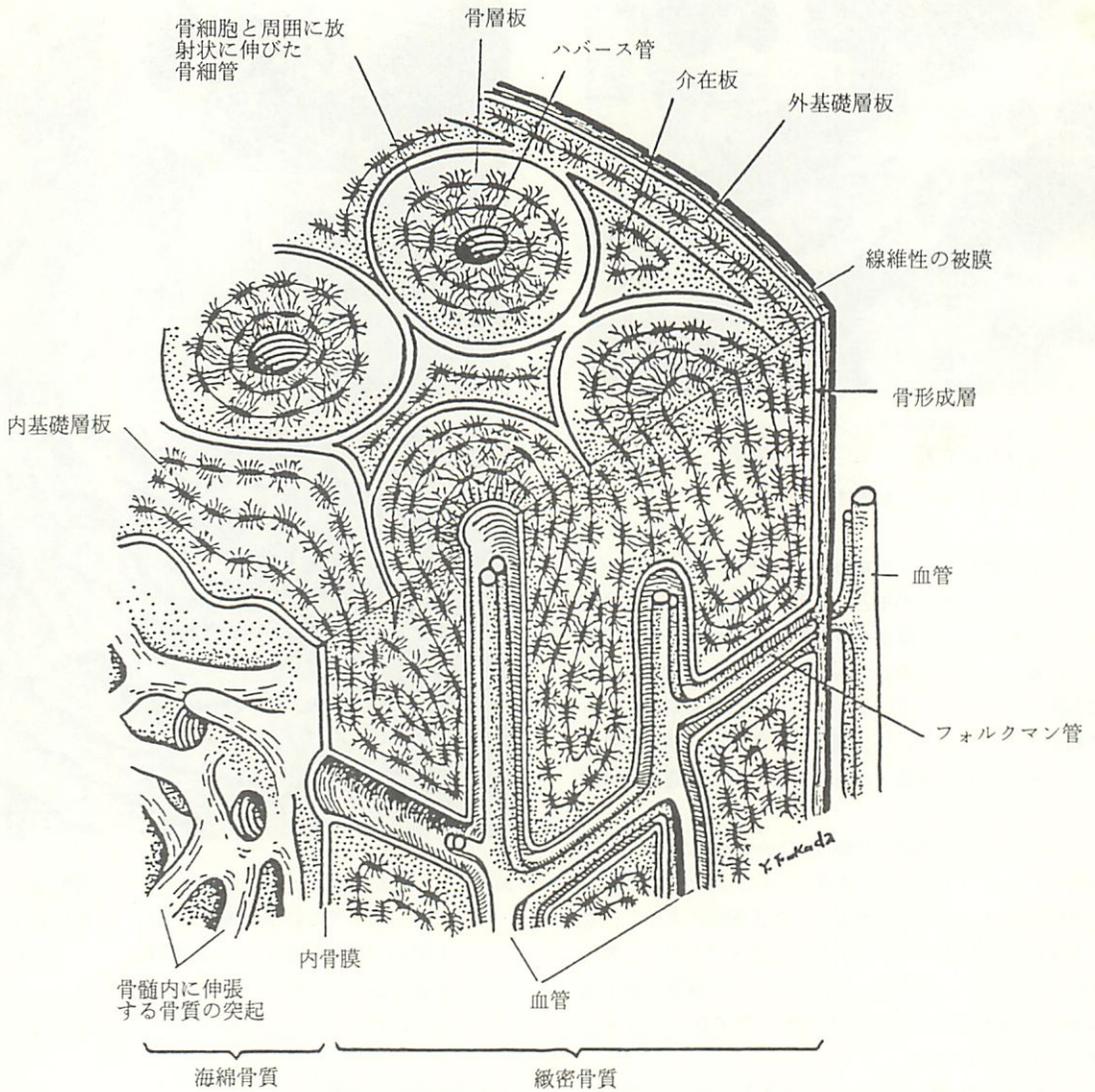


図5 骨の構造を模式的に示す。



図6 石炭紀のシーラカンス *Rhambdoderma* sp. の鱗下面に認められたビブリオ属の細菌に類似の微生物の化石。左は集落の低倍率像、右は高倍率像。いずれも良く鉱物化している (Uはミクロンを表す)。

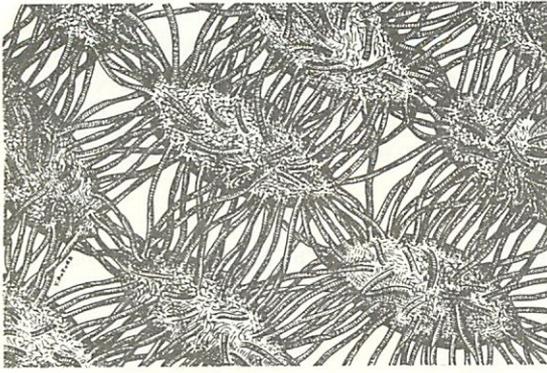


図7 恐竜の骨細胞。同心円状に配列した紡錘形の骨細胞から無数の突起を伸ばして隣接する骨細胞に養分をリレーする(福田, 1987による)。

のものにかなり近い(図7)。

X線分析によってイグアノドンの尾椎骨の元素組成を調べた結果、骨細胞周囲の骨基質中にはCa, Pが集中しているのに対して、骨細胞の部分では鉄のピークが異常に高く、この事実から骨細胞は化石骨内部に染みこんだ鉄によって置換されたものであることがわかった。骨細胞の化石はどんな骨からでも検出されるわけではなく、沼沢地のような泥の多い地層中に遺骸が埋没し、極めて緩慢に鉄分が化石骨内部に染みこんで行かなくては、骨細胞は化石として残り得ない。同じ恐竜の化石骨でも、風化した白色に近い骨からは検出されない。面白い事に、骨細胞の化石内部は常に中空で、壁の厚さは $1\mu\text{m}$ を越えることはほとんど無い(図8の上)。この値はかなり元の細胞壁の厚さに近いと言えよう。

これは骨の内部に染みこんだ鉄分がパイライト化しなかったため、骨小腔の内腔に沿って壁を塗るように鋳型を形成していったことを示している。ちょうどギョウザの袋を作って、内部に具を入れなかったようなものであろう。しばしば、骨細胞の鋳型の上部や側面に小孔が存在する例にぶつかることがある(図8の下矢印)。

鉄分からなる骨細胞の袋状の鋳型が閉鎖しないまま現在に至ったものと考えて良い。その御陰で、骨細胞壁の厚さを測定できるのであるから、骨細胞の袋が閉鎖しなかった事は、それを研究している者にとって大変有難い現象と言うことができる。

細かな細胞突起も忠実に鉄に置換されていて、それを丁寧に数えると、50本から時に100本にも及ぶ。細胞突起の平均的な数は50本前後と言ったところであろう(図7, 図8の下)。

この骨細胞に見られる突起の数は、一体何を意味するのであろうか。それは一言で表現するならば、骨細胞の代謝能の程度を示すもののだということになる。イグアノドンでは、突起の数が平均50本前後であるのは、極めて

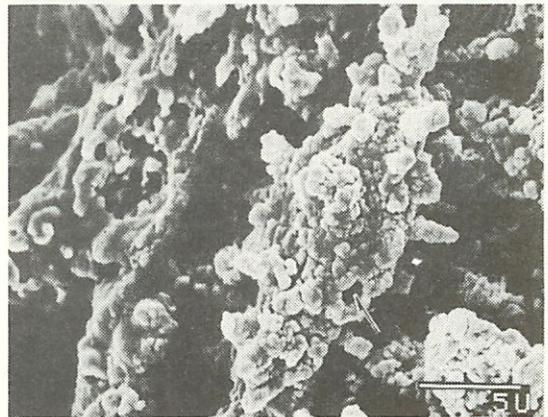
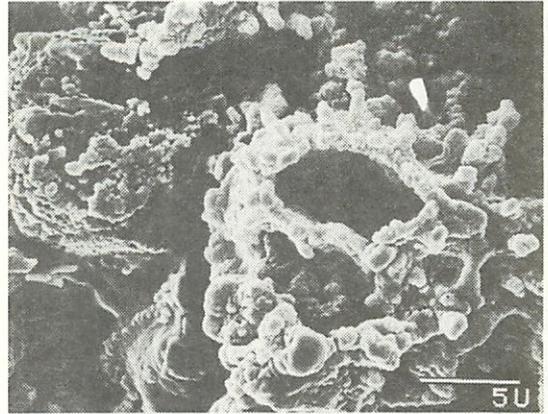


図8 イグアノドン尾椎骨内部に認められた骨細胞の化石(鋳型)。上は細胞壁上部に大形の開口部の存在するもの。下は紡錘形の骨細胞全形を示す。矢印は小型の開口部(小孔)。無数の突起が観察される(Uはミクロンを表す)。

“温血動物的”と考えてよいであろう。魚竜では骨細胞の大きさは長径 $10\sim 15\mu\text{m}$ 、短径 $5\mu\text{m}$ 前後で、突起の数は20本内外である(図9)。骨の代謝能の点では、断然陸生のイグアノドンの方が優っていた。

海の生活者魚竜は潮流に乗って身体のバランスをうまく保持していればよく、獲物を見つけた時のみ、猛烈に突進すれば生きて行けたのである。そして、重力から解放されたため骨はひどく多孔質で、水温の一定した暖海に生息していたために、体温の調節に苦勞する事が無かったのであろう。一方、イグアノドンは日没と共に気温が低下する地上の生き物であった事である。恐竜は真の温血動物であったというよりも、ホールステッド博士が支持している学説のように、身体を大きくする事で、保温効果を高めていた動物と考えることができよう。となれば、より速く成長し(当然骨も同時に大形になっていった)大きな身体を維持するために、哺乳類型の最もCa, Pの代謝能の高い骨細胞を持つようになったのは、当然の帰結という事になる。

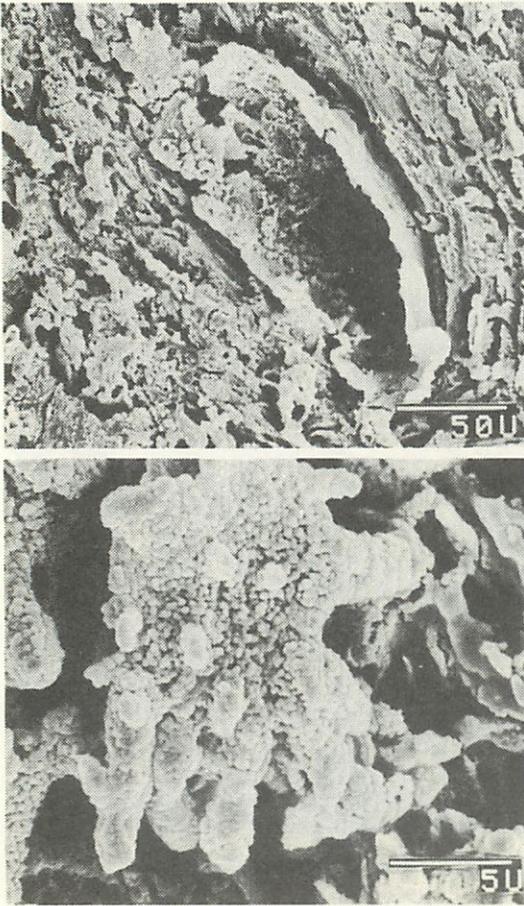


図9 ジュラ紀初期の魚竜の椎骨内部に認められた骨細胞の化石(鋳型)。海生爬虫類では、骨細胞が残されている例は極めて少ない。上はハバース管周囲の骨細胞。下は1個の骨細胞を示す。イグアノドンのものに比べて単純な形をしている(Uはミクロンを表す)。

そして、骨は筋肉の付着装置として、また身体の支柱として働き、造血器官の一員でもある。骨格の大小が種として確立された動物固有の身体の大きさを決定する重要なファクターである事を考えるに、骨は多くの機能を内蔵する一個の独立した器官と呼んで良いであろう。

文献

- Curry, J. D. (1962) The histology of the bone of a prosauropod dinosaur. *Palaeontol.*, 5, 238-246.
- デビッド・ランバート篇(長谷川善和・真鍋真訳)(1985) 恐竜の百科. 平凡社, 東京, p. 1-259.
- 福田芳生(1981) 生痕化石の世界. 築地書館, 東京, p. 1-152.
- 福田芳生(1986) 恐竜の腿に認められた骨細胞. *地球*, 8, 163-169.
- 福田芳生・伊沢久夫(1986) 獣医学と古生物学, 魚竜の話, 獣医学1986年版, 187-202, 近代出版, 東京.
- 福田芳生(1987) 図解恐竜はどんな生物だったか(その素顔と生活をさぐる). ブルーボックス, 講談社, 東京, p. 1-295.
- Jones, S. J., and Boyde, A. (1974) The organization and gross mineralization patterns of the collagen fibres in sharpy fibre bone, *Cell Tissue Res.*, 148, 83-96.
- ジョン・ノーブルとウィルフォード(小島郁生監訳)(1987) 恐竜の謎. 河出書房新社, 東京, p. 1-374.
- ホールステッド, L. B. (亀井節夫監訳)(1981) ディノサウルス(恐竜の進化と生態), 築地書館, 東京, p. 1-118.
- Reid, R. E. (1985) On supposed harversian bone from the hadrosaur *Anatosaurus*, and the nature of compact bone in dinosaur. *J. Paleontol.*, 59, 140-148.
- スウィントン, W. E. (小島郁生訳)(1974) 恐竜の発生と絶滅. 築地書館, 東京, p. 1-321.