

骨化石観察におけるX線CTの有用性 —恐竜 *Stegosaurus* の皮膚装甲の内部構造を例として—

林 昭次¹⁾・竹村 貴人²⁾・遠藤 邦彦³⁾・真鍋 真⁴⁾

1. はじめに

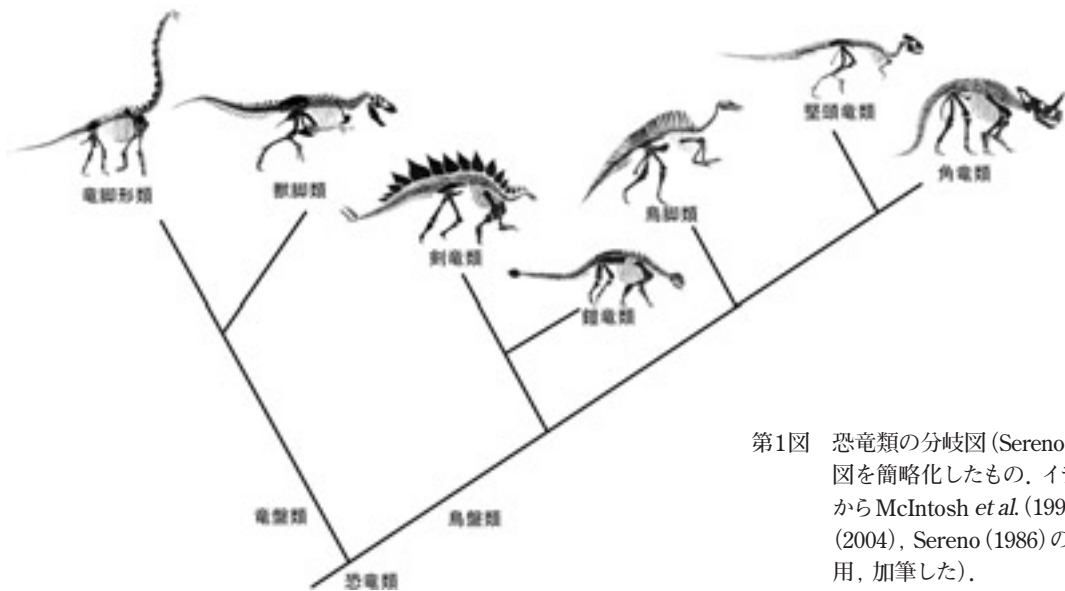
人体の断面や立体画像が簡単に得られる「X線CT (X-ray Computed Tomography: X線断層写真撮影) 装置」は医療現場にはなくてはならない診断装置となってきた。試料を破壊せず、内部構造を観察することができるこの装置を、地球化学の分野に応用できれば、多くの貴重な情報が得られる。このような観点から、岩石や堆積物試料にこの装置を応用して内部情報を得ようとする試みが進められている(例えば、西沢ほか, 1995; 池原, 1997など)。

筆者らが取り組む古生物の研究においても、研究といえども貴重な化石標本を破壊することが許されない場合が多い。非破壊で貴重な化石標本から、古

生物の3次元内部構造などの情報が取得できれば、古生物研究にとって画期的なことである。このような背景の下、今回、北アメリカ産の *Stegosaurus* (ステゴサウルス) の化石についてX線CT装置による観察を試み、その有用性について検討したので、その概要を紹介する。

2. 研究標本・方法

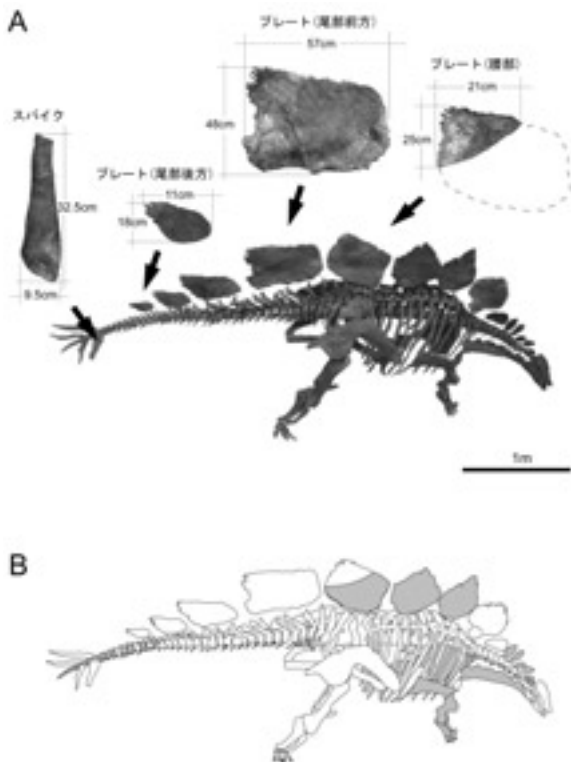
恐竜類は骨盤の形から、鳥盤類と竜盤類に分類することができる。剣竜類は鳥盤類に分類され、背や尾に骨質の大きなプレートやスパイク状の皮膚装甲を持つことで知られる(第1図)。特にジュラ紀後期に北米で生息した *Stegosaurus* (第2図) は、最大級のプレ



第1図 恐竜類の分岐図 (Serenó (1999) の図を簡略化したもの。イラストは左から McIntosh *et al.* (1997), Holtz (2004), Sereno (1986) のものを引用, 加筆した)。

1) 日本大学大学院総合基礎科学研究科地球情報数理科学専攻
東京都世田谷区桜上水3-25-40
2) 深部地質環境センター 地下環境機能チーム
3) 日本大学文理学部地球システム科学科
4) 国立科学博物館地学研究部主任研究官

キーワード: X線CT, 非破壊, 骨化石, *Stegosaurus*, プレート, スパイク, 内部構造



第2図 本報告でX線CTを行った*Stegosaurus stenops* (NSM PV 20380)の部位。
A, 標本写真。B, 実物化石部分を白色で示す。矢印で示されたプレートとスパイクは、X線CTによって内部構造観察を行った部分。



第3図 産出地点 (Turner *et al.*, 1999の図に加筆)。
●は本標本の産出地点、灰色部はMorrison Formationの分布域を示す。

ートを持つ種である。プレートは、その内部、表面の微細構造から、体温調節を行うための放熱板として用いられたとする説 (Farlow *et al.*, 1976; Buffrenil *et al.*, 1986)、ディスプレイとして用いられたとする説 (Main *et al.*, 2005) などの仮説が提唱されている。スパイクは円錐形で、その内部構造もプレートとは著しく異なる。その機能としては、武器として用いたとする説 (McWhinney *et al.*, 2001) がある。骨内部の微細構造についての先行研究は、薄片検鏡など破壊的な手法によるものが一般的であったために、成体の一部のプレートやスパイクの観察結果に依存せざるを得なかった。そこで本論は、多数の標本観察を可能にする為、非破壊的手法であるX線CTが骨化石の内部構造観察に有用な手段であるかを検証する。

本研究で用いた標本は、アメリカ合衆国ワイオミング州南東部、Bone Cabin Quarryと呼ばれる化石産

地 (第3図) に分布する Morrison 累層, Salt Wash 部層 (ジュラ紀後期 Kimmeridgian 階) から産出した *Stegosaurus* (国立科学博物館所蔵標本 NSM PV 20380; 第2図) である。本研究では医療用X線CTを用い、腰部・尾部前方・尾部後方上のプレート、右側前方のスパイクの内部構造を観察した。撮影には産業技術総合研究所地質調査総合センターに設置されている医療用X線CT (日立メディコ製 CT-W2000; 第4図) を用いた。設定は管電流 175mA、管電圧 120kV、スライス厚 1mm、スライス断面の空間分解能 0.3mm/pixel (CT画像の画素数 512×512) で行った。その後、Buffrenil *et al.* (1986) のプレート (YPM 1856) の薄片写真と本標本のプレートのCT画像とを比較し、X線CTによる骨化石の内部構造観察の有用性を検討した。

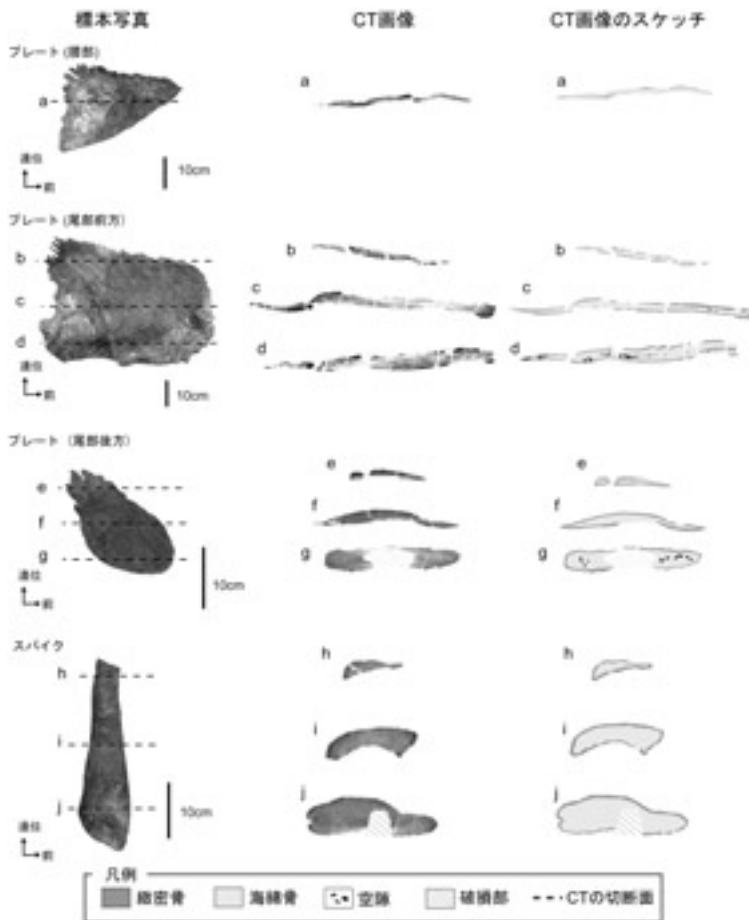


第4図 産業技術総合研究所の医療用X線CT.

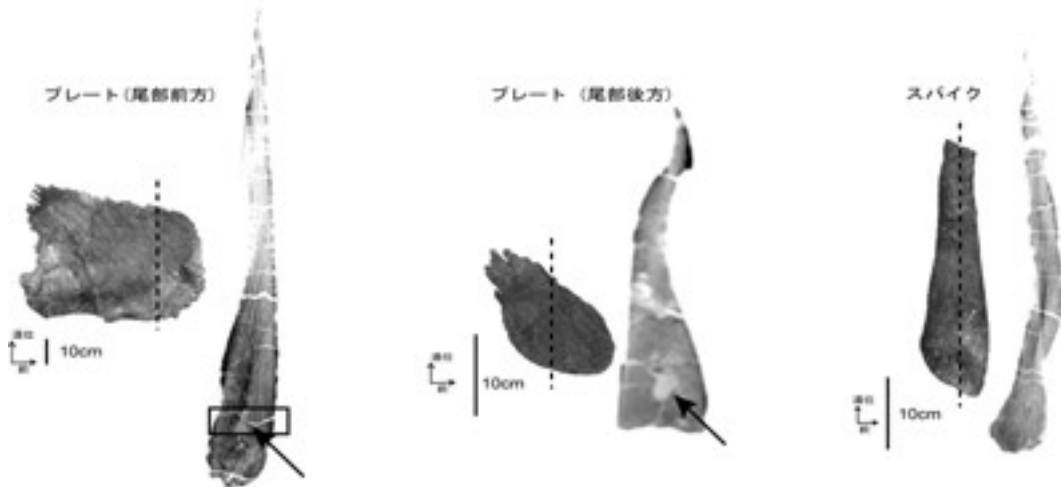
3. X線CTの結果と有用性

骨は通常、緻密骨、海綿骨という密度の違う構造から構成され、髓腔などの大きな空隙部分が中央に存在する。一般的にこれらの分布はその骨の機能と密接に関わっていることが知られている。その為、絶滅動物の研究においては、骨の内部構造から動物の生理や成長などが考察されている。

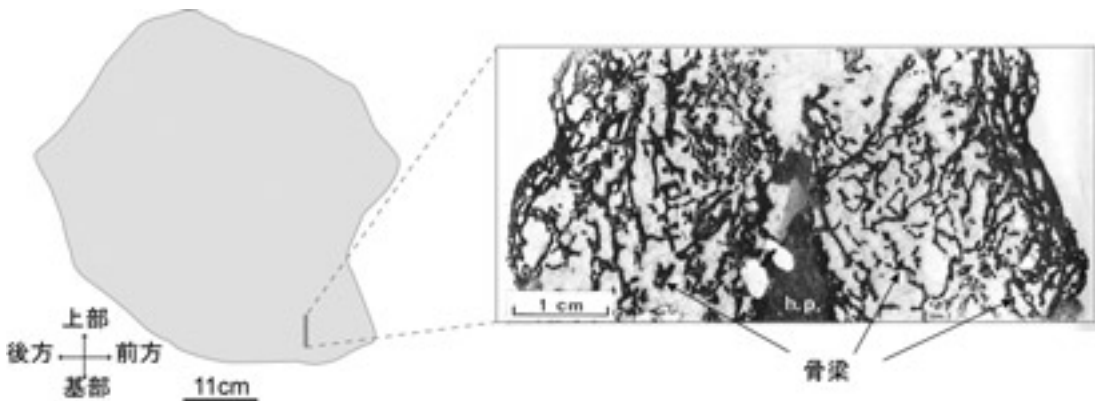
Buffrenil *et al.* (1986)によれば、*Stegosaurus*の背中のプレートの内部構造は、①厚い海綿骨の周囲を薄い緻密骨が覆う。②基部に大きな空隙が見られるという特徴を持つ。X線CTによって撮影された本標



第5図 X線CTによって撮影されたプレートとスパイクの内部構造(横断面)。CT画像およびCT画像のスケッチ a~j は左側の標本写真の a~j の断面画像に対応する。スケッチの空隙部は著しく発達する部位だけを示す。



第6図 X線CTによって撮影された、プレートとスパイクの内部構造(縦断面)。
 プレートは矢印の部分に大きな空隙部が見られる。プレート(尾部前方)の太枠で囲まれた部分は、図7の薄片写真に対応すると思われるところを示す。尚、プレート(腰部)については下部が欠損している為、ここでは示さなかった。



第7図 Buffrenil *et al.* (1986)の薄片写真(Buffrenil *et al.*, 1986を改変)。図6、プレート(尾部前方)の太枠で囲まれた部分と対応すると思われる。矢印で示された梁状の構造が骨梁である。また、薄片写真中のh.p.は大きな空隙部を示す。

本のプレートの内部構造も Buffrenil *et al.* (1986)と同様な①、②の特徴を示した(第5, 6図)。しかし、CT画像には薄片写真に見られる、海綿骨内部の小柱状構造である骨梁が示されなかった(第7図)。これは骨梁が微細な構造であるため、今回用いた医療用X線CTでは観察するのに十分な分解能が得られていない可能性がある。また、後の薄片観察により、続成作用によって骨梁間の空隙部に方解石の結晶などが充填しているのが確認された。この充填物質がCT画像に骨

梁構造が反映されなかったことと関連しているかもしれない。

以上のようなことから、少なくとも医療用X線CTを用いることで、骨化石内部の緻密骨、海綿骨、髓腔の分布域など、ある程度の大きさを持った構造を観察することが可能であることがわかった。一方、骨梁などの微細な構造の観察を行うには、医療用CTでは限界があると考えられる。しかし、X線CTには、医療用よりも高分解能で内部構造を観察できるマイクロフ

フォーカスX線CTが存在する。マイクロフォーカスX線CTを用いれば、今回観察することができなかった骨梁などの微細構造も観察できる可能性がある。

5. まとめ

骨化石観察におけるX線CTの有用性を検証するため、*Stegosaurus* (NSM PV 20380)のプレートとスパイクの内部構造のCT画像と、Buffrenil *et al.* (1986)が作成したプレート(YPM1856)の薄片写真との比較を行った。その結果、内部構造に同様な構造が確認でき、X線CTを使用すれば、非破壊で内部構造について一定の情報を得られることが予察的に確認された。

謝辞：本論をまとめるにあたり、様々な方のご協力を頂きました。CT画像の撮影にあたっては、産業技術総合研究所地質情報研究部門の池原研博士、日本大学文理学部の中尾有利子博士、中山聡子氏にお世話になりました。この場を借りて、以上の方々には深く御礼申し上げます。

引用文献

- Buffrenil, V. de, Farlow, J. O. and de Ricqlès, A. J. (1986) : Growth and function of *Stegosaurus* plates: evidence from bone histology. *Paleobiology* 12, pp.459-473.
- Farlow, J. O., Thompson, C. V. and Rosner, D. E. (1976) : Plates of *Stegosaurus* : Forced convection heat loss fins? *Science* 192, pp.1123-1125.
- Holtz, T.R.Jr. (2004) : Tyrannosauroidae. In: Weishampel, D.B., Dodson, P., Osmolska, H. (ed.), *The Dinosauria*, pp.111-136. University California Press.
- 池原 研 (1997) : X線CT装置を用いた地質試料の非破壊観察と測定 (1)-X線CT装置の原理・概要と断面写真-, *地質ニュース*, 516, 50-61.
- Main, R.P., de Ricqlès, A. J., Horner, J. R. and Padian, K. (2005) : The evolution and function of thyreophoran dinosaur scutes: implications for plate function in stegosaurs. *Paleobiology* 31, pp.291-314.
- McIntosh, J. S., Brett-Surman, M.K. and Farlow, J.O. (1997) : Sauropods. In: Farlow, J.O., Brett-Surman, M.K. (ed.), *The Complete Dinosaur*, pp.264-290. Indiana University Press.
- McWhinney, L. A., Rothschild, B. M. and Carpenter, K. (2001) : Posttraumatic Chronic Osteomyelitis in *Stegosaurus* Spikes. In: Carpenter, K. (ed.), *The Armored Dinosaurs*, pp.141-155. Indiana University Press.
- 西沢 修・中野 司・野呂春文・稲崎富士 (1995) : X線CTによる地球化学試料の内部構造分析技術の最近の進歩について, *地調月報* 46, 11, 565-571.
- Sereno, P.C. (1986) : Phylogeny of the Bird-hipped Dinosaurs (Order Ornithischia). *National Geographic Research* 2, pp.234-256.
- Sereno, P.C. (1999) : The Evolution of Dinosaurs. *Science* 284, pp.2137-2147.
- Turner, C.E. and Peterson, F. (1999) : Biostratigraphy of dinosaurs in the Upper Jurassic Morrison Formation of the Western Interior, USA. In: Gillette, D.D. (ed.), *Vertebrate Paleontology In Utah* 99-1, pp.77-114. Miscellaneous Publication-Geological Survey of Utah.
- HAYASHI Shoji, TAKEMURA Takato, ENDO Kunihiko and MANABE Makoto (2005) : Utility of the X-ray CT system on bone fossils; An example of *Stegosaurus* osteoderms.

<受付：2005年5月30日>