

## CT スキャンで観察したモササウルス類の歯の特徴

三島弘幸\*・谷本正浩\*\*

## A feature of the mosasaur teeth shown from CT scan

MISHIMA, Hiroyuki\* and TANIMOTO, Masahiro\*

## 1. はじめに

日本の白亜紀後期の海生爬虫類は、主に長頸竜類・モササウルス類・カメ類によって知られ、それら3大グループについては、Sato *et al.* (2012) によるレビューが発表されている。筆者の一人谷本は、主に西日本の白亜紀後期の主として海成の地層からなる和泉層群から産出するモササウルス類等の化石を研究してきた (Tanimoto, 2015)。

一般的に爬虫類の歯は哺乳類の歯と比較して属や種における形態の変化に乏しいため、遊離歯の化石の場合は、詳細な同定に至らない場合が多い。淡路島の和泉層群の地層から見つかった長頸竜類の歯化石 (佐藤, 1995) では、プレシオサウルス上科のレベルでの同定に留まっている。一方、モササウルス類の歯冠は棲み分ける生態的な位置に応じて歯の形態を変化させるため、Bardet *et al.* (2015, Fig. 7) で示されたモロッコのマーストリヒト期のモササウルス類の歯のギルド図によっても明らかのように、突き刺すのに適した先端の尖った細長い歯のギルド、切るのに適した歯のギルド、押しつぶし切るのに適した歯のギルド、押しつぶすのに適したギルド等、モロッコのマーストリヒト期という限られた時代の限られた地域だけでも、7属10種もの歯冠形態の変化が認められている (ここで言う「ギルド」とは Massare, 1987によって名付けられたもので、中生代の異なる海生爬虫類の歯が、生態適応により類似の歯冠形態になった状態を、一つの「職業組合」として見なしたもの)。

和泉層群で見つかった海棲爬虫類の歯の化石は、モ

ササウルス類を除くと上述のように長頸竜類の歯だけであった。この淡路島産標本も含めて、長頸竜類の歯は基本的に歯冠断面形が円形もしくは楕円形であり、歯冠全体の形状は細長く、歯冠先端部を除いて切縁が発達することもない。歯冠形態としては舌側面には縦筋状の隆起線が発達するが、唇側面には隆起線が発達は微弱である。長頸竜類と比べてモササウルス類の歯冠では、歯冠の全体的形状は側面から見て円錐形を呈し、歯冠前後の先端から基部にかけて明瞭な切縁が発達することが多い。このようにモササウルス類と長頸竜類とは、かなりの程度違いのある歯冠形態なので、同定の上で困難を生じることは少ない。なお、日本では現時点において稀産のハリサウルス亜科のモササウルス類 (Konishi *et al.*, 2015) では、幾らか長頸竜類に似た外観を呈するが、これはモササウルス類としては例外的形態で、保存部位の状況にもよるが、基本的に長頸竜類との区別は可能と判断される。

白亜紀後期の海生爬虫類としては、ワニ類の存在が挙げられる。しかし Sato *et al.* (2012) では、ワニ類の化石が報告されておらず、日本において海成層からワニ類の化石の産出は非常に少ないのが実態である。しかし、和泉層群でワニ類と歯の形態が類似するモササウルス類の歯化石の発見もあった (谷本, 1998)。近年、発見される化石の増加と検討によって、海成層から産出される歯の化石はモササウルス類の歯であることが明確になり、モササウルス類の歯冠形状の多様性を更に示すこととなった。上記のようなモササウルス類の歯冠形状の多様性は、モササウルスが歯冠形状

2015年12月21日受付, 2016年2月3日受理

\* 〒780-0955 高知市旭天神町292-26 高知学園短期大学医療衛生学科歯科衛生専攻

Kochi Gakuen College, Department of Medical Hygiene, Dental Hygiene Course, 292-26 Asahitenjincho, Kochi, Kochi 780-0955, JAPAN

Email: mishima@kochi-gc.ac.jp

\*\* 〒546-0034 大阪市東住吉区長居公園1-23 大阪市立自然史博物館

Osaka Museum of Natural History, Nagai Park 1-23, Higashi-Sumiyoshi-ku, Osaka, 546-0034, JAPAN

Email: tanimo628@zb3.so-net.ne.jp

を柔軟に変化させ、これまでモササウルス類以外の海生爬虫類の各グループが占めていた生態的な位置を占拠するかのような状況変化に導いた (Massare, 1987, Fig. 17におけるジュラ紀前期から白亜紀後期の海生爬虫類の歯に基づくギルドの変遷図表を参照)。

ワニ類の歯冠は、モササウルス類の歯冠のように円錐状であり、明瞭な切縁を有することもある。ワニ類の歯冠表面形態は縦の隆起線を持つことが多いが、幾つかのモササウルス類の歯冠に見られるような細かい小面は縦の隆起線と紛らわしいことがある。そのため不完全もしくは遊離した爬虫類の歯冠化石の場合、モササウルス類と見なされそうな化石の中に、ワニ類の歯冠化石も紛れ込むかもしれないという危惧が、白亜紀後期の地層において存在する。そのため、生態適応の戦略として柔軟に歯冠表面の形態を変化させるモササウルス類の歯とワニ類の歯とを区別するための、歯冠形態に頼らない視点も必要となってきた。

2013年から三島は谷本と共同で、モロッコ産のモササウルス類の顎化石を使用して、モササウルス類の歯のセメント質と歯の交換様式の研究を開始した。その過程で、標本の2次元透過像と断層画像が撮影された。その断層画像の歯冠内部の形態画像が、モササウルス類とワニ類との歯の相違点についての考察の上で大変参考になるものだった。ここでは、モササウルス類の顎骨の断層画像を記載し、モササウルス類とワニ

類との歯の相違点について、議論を行うこととする。

## 2. 本標本の肉眼観察とCTスキャン画像の観察に関する結果及び考察

実施されたCTスキャンの条件は以下の通り：

高知大学海洋コア総合研究センター CTスキャン装置 GEヘルスケア・ジャパン株式会社製、

LightSpeed Ultra 6

1. 2次元透過像 120kV, 100mA
2. 断層画像, スパイラル撮影 120kV, 100mA, スライス厚0.625mm 837枚

### 1) 肉眼観察とCTスキャン画像に関する所見

使用した標本はモロッコ産のモササウルス類の下顎化石で、左下顎の歯骨（及びバラバラに破砕された夾板骨）の内側面（舌側面）が剖出されており、計10点の歯が観察された（図1, 2）。この標本は業者からの購入標本であるため、モロッコ産という以外は詳細な産地は不明である。層準的にはマーストリヒト階と思われるが、上部マーストリヒト階か下部マーストリヒト階かは不明である。Bardet *et al.* (2015) では、モロッコ産の3種の *Prognathodon* が示されているが、種によって上部・下部マーストリヒト階の産出の違いが見られるので、属レベルの情報だけでは詳細な時代は不明である。10本の歯が歯骨に植立している。歯冠の特徴等から *Prognathodon* sp. と同定される（図1）。

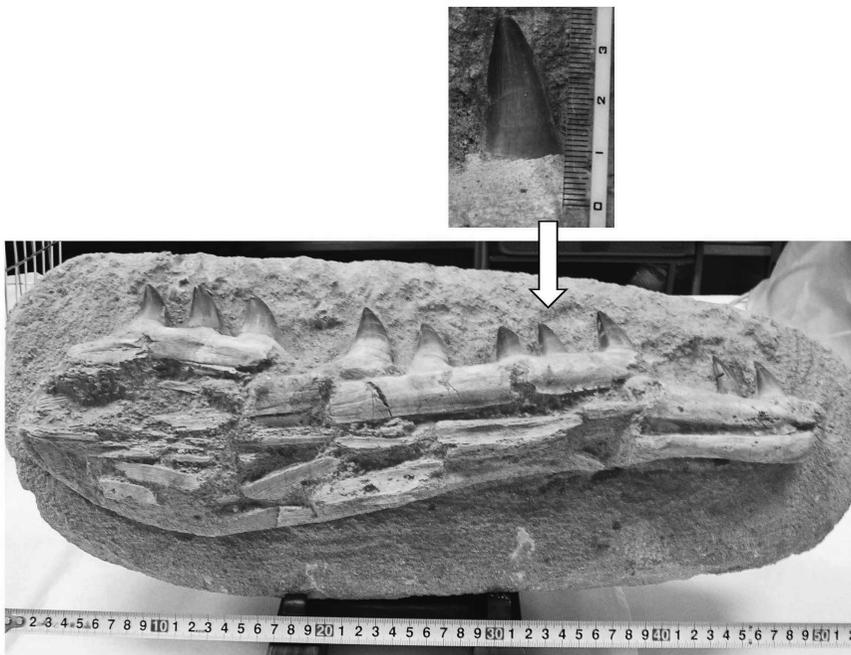


図1. モロッコ産モササウルス類 *Prognathodon* 画像、及び第4番目の歯冠画像。

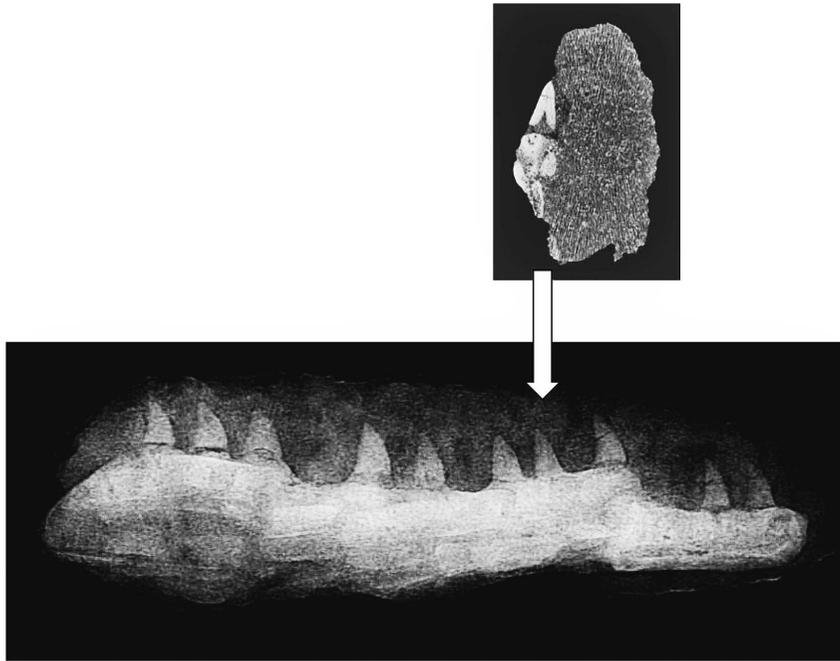


図2. モロッコ産モササウルス類 *Prognathodon* 透過画像および第4歯 CT スキャン画像。

本標本の10点の歯のCTスキャン画像において、個々の歯の明瞭な相違がないので、全ての歯のCTスキャン画像の掲載は割愛し、前から4番目の歯の部位のみを図2に示す。CTスキャン画像では、肉眼では観察不可能な歯冠内部、特に歯髓腔の形態が観察可能であった。本標本の10点の歯すべてにおいて、歯頸部が狭く円錐形の歯髓腔が認められ、ワニ類（田中譲治・三島弘幸，2001；Tadokoro *et al.*, 1998）と比較すると、明らかに歯髓腔が小さいのが特徴である（図2，4，5）。

CTスキャン画像からは、肉眼で観察可能だった歯も含めて、未萌出の歯は見出すことは困難であった。しかし、歯骨の前から3番目の歯の真下辺りにエナメル質が半ば剥げた小さな歯冠（長さ1cm弱）が1点肉眼で観察でき、未萌出の歯（次代の後継歯）の可能性がある（図3）。次代の後継歯では歯根部が観察できないが、歯の形成の初期の段階では、歯根部は発達せず、歯冠がかなり形成されてから、歯根部が形成される。図3の歯は歯根形成がされていない時期のものと判断される（Caldwell, 2007）。しかし、この歯は前から3番目の歯の直前にある亀裂によって上下にずれた顎骨のすぐ近くにある。その影響で、この歯も位置関係のずれが生じた恐れがあるため、今後さらに検討しなければならない。

## 2) モササウルス類とワニの歯に関する議論

2015年にロシアの爬虫類化石研究者 D. V. Grigoriev

がインターネットの ResearchGate 上で、「How to distinguish mosasaurian teeth from crocodylian?」という公開質問を出した。これは、モササウルス類とワニ類の歯冠形状の区別の困難性が、日本の地層で見つかる標本においてだけ生じる問題ではないことを示している。その情報交換の中で、アメリカのモササウルス類の専門家の Michael Polcyn が、George Phillips 作成によるモササウルス類とワニの歯の見分け方の図（modes of subdental resorption in both mosasaurs and crocs.）を提供してくれた。その図はモササウルス類とワニの歯の歯髓腔の形態の違いを示している（図5，Polcyn 私信）。今回のモササウルス類の歯の歯髓腔の内部形態の特徴は、図5でモササウルス類のものとした形状と一致し、明らかにワニの歯髓腔の形態とは異なる。ワニの歯髓腔の形態は多くの歯学関係の論文・著作において図示されている。Anthony（1983）では、ワニ類における歯の交換3段階が描かれている。Poole（1961）では *Crocodylus niloticus* の歯の生え変わりの縦断面の線画が6段階に分けて描かれている。後藤ほか（2014）において「機能歯の直下に次代の歯胚が形成されている」ナイルワニ *Crocodylus niloticus* の下顎歯の縦断画像が記載されている。クロコダイル科やアリゲーター科の歯の交換様式として、次代の歯胚は顎骨の舌側に形成され、その後成長し、機能歯の舌側に接近し、破歯細胞が機能歯のセメント質と象牙質を吸収し、その後機能歯の歯髓

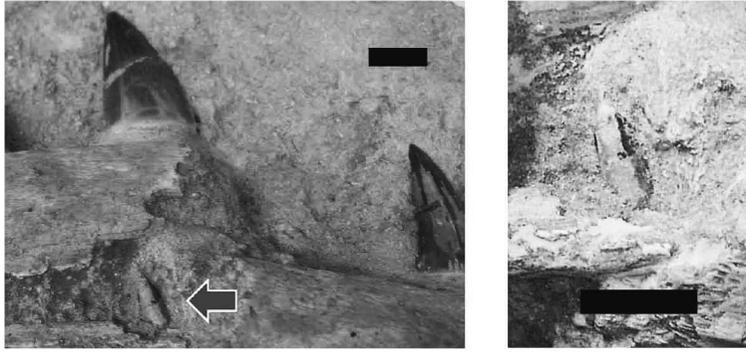


図3. 未萌出の後継歯の可能性がある小さな歯化石。左：3番目の歯冠の下部にある様子を示す。右：未萌出歯の拡大画像。スケールは1 cm。

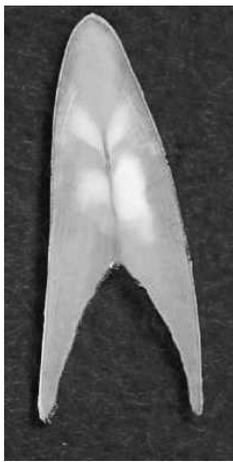


図4. アメリカアリゲーター (*Alligator mississippiensis*) の縦断像。歯冠表面にエナメル質が存在する。象牙質に成長線が観察される。

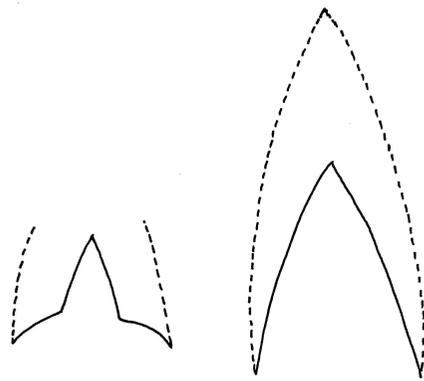


図5. Polcyn を通じて Phillips から送信されたモササウルス類 (左) とワニ類 (右) の歯の歯髓腔形態の違い (原図を基に改変)。

腔中に入り込む (後藤ほか, 2014; Tadokoro *et al.*, 1998)。ワニの歯の交換様式において、機能歯の歯髓腔に入り込んだ次代の歯胚の存在のため、ワニの歯髓腔側の象牙質は破歯細胞により吸収される。その吸収窩の形成により歯髓腔の領域は広がっている。

(図4, Ozakai *et al.*, 2002; Mishima *et al.*, 2004; 田中・三島, 2001; Tadokoro *et al.*, 1998)。

一方、モササウルス類の歯髓腔は狭窄している。Anthony (1983) では、毒腺を持たないヘビとコモドオオトカゲの歯の「側方交換様式」が図示されている。この図において、ヘビでは「機能歯の舌側面に後継歯が横たわって」おり、コモドオオトカゲでは「機能歯の舌側面に後継歯が立っている」。モササウルス類は、ヘビとモニター (コモドオオトカゲを含めオオトカゲ類) の中間に位置するグループと見なされているので、このような歯の交換様式ではないかと推定される。Caldwell (2007) では、歯の生え変わりの様子

が8段階に分けて説明されている。次代の歯胚は機能歯の歯髓腔には入り込まない。機能歯の歯根側面には歯根吸収で吸収窩 (resorption pit) が観察されるが、機能歯の内部にまで入り込むことはない。Caldwell (2007) では、機能歯の舌側面に次の後継歯の歯冠先端部が存在し、上述のコモドオオトカゲの状況に類似する。トカゲやヘビ等を含んだグループである鱗形類に属するモササウルス類は、このグループとしては例外的であるが、槽生性の歯と報告している (Caldwell, 2007)。しかし、本標本においてCT画像では明らかな歯槽が確認できない。Caldwell (2007) が報告している試料では、歯槽が存在し、セメント質、歯槽骨も存在している。今後本標本の剖出作業によって、骨内部の歯槽の有無を詳細に確認していきたい。また新たな試料を追加し、歯槽の存在について検討していきたい。

肉眼で観察できた次代の後継歯らしきものの歯冠部

以外に、CT画像で更に明瞭な後継歯の発見が期待されたが、今回のCT画像では、その他の明確な後継歯を見出すには至っていない。標本の外部形態から期待された程には、内部構造の保存は良好ではないのかもしれない。しかし、CT画像では捉えきれない構造が保存されている可能性もある。今後、骨内部の剖出作業によって、機能歯と後継歯との関係について、より明確な証拠を得られるかもしれない。また歯冠形態が極めて多様なモササウルス類において、歯の内部構造が全て同じような形態であったのか、更に調べる必要がある。以上のように、モササウルス類とワニ類との歯を区別するには、CTスキャンを使用するのが有効であることが今回明らかになった。

#### 謝辞

D. V. Grigoriev氏 (Russian Academy of Sciences) とは、モササウルス類とワニの歯の違いについての悩みを分かち合い、情報交換ができた。この一連の議論の中で Michael Polcyn氏 (Southern Methodist University) からは、George Phillips氏 (Mississippi Museum of Natural Science) による両者の歯の見分け方についてご教示いただき、図もご提供いただいた。小西卓哉氏 (University of Cincinnati) には、モロッコ産モササウルス類の同定について助言を賜った。R. E. Molnar氏 (Museum of Paleontology, University of California) はモササウルス類とワニの歯との区別に関してご教示いただき、大量の文献も提供していただいた。

なお、本研究は高知大学海洋コア総合研究センター共同利用研究 (15A021, 15B018) のもとで (海洋研究開発機構の協力により) 実施された。

#### 引用文献

- Anthony, J., 古橋久平監訳, 中島経夫訳 (1983) 歯のかたち. 医歯薬出版株式会社, 東京, 147pp.
- Bardet, N., Houssaye, A., Vincent, P., Suberbiola, X. P., Amaghaz, M., Jourani, E. and Meslouh, S. (2015) Mosasaurids (Squamata) from the Maastrichtian Phosphates of Morocco: biodiversity, palaeobiogeography and palaeoecology based on tooth morphoguilds. *Cretaceous Research*, **27**, 1068-1078.
- Caldwell, M. W. (2007) Ontogeny, anatomy and attachment of the dentition in mosasaurs (Mosasauridae: Squamata). *Zoological Journal of the Linnean Society*, **149**, 687-700.
- 後藤仁敏・大泰司紀之・田畑純・花村肇・佐藤巖 (編) (2014) 歯の比較解剖学第2版. 医歯薬出版株式会社, 東京, 288pp.
- Konishi, T., Caldwell, M. W., Nishimura, T., Sakurai K. and Tanoue, K. (2015) A new halisaurine mosasaur (Squamata: Halisaurinae) from Japan: the first record in the western Pacific realm and the first documented insights into binocular vision in mosasaurs. *Journal of Systematic Palaeontology*. Published online, 1-30.
- Massare, J. (1987) Tooth morphology and prey preference of Mesozoic marine reptiles. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **7**, 121-137.
- Mishima, H., Iwasa, Y., Yokota, R., Ruth, M. L., Tadokoro, O. and Kozawa, Y. (2004) Biomineralization (BIOM2001) formation, diversity, evolution and application; The short-period incremental lines in dentin of Alligatoridae teeth.; Kobayashi, I. and Ozawa, H. Eds. Tokai University Press, 317-320.
- Ozaki, T., Mishima, H. and Elsey, R. M. (2002) Incremental lines in the dentin of alligator teeth before and after hatching. *Nihon Univ. Journal of Oral Science*, **28**, 143-151.
- Poole, D. F. G. (1961) Notes on tooth replacement in the Nile Crocodile *Crocodylus niloticus*. *Proceedings of the Zoological Society of London*, **136**, 131-140.
- Sato, T., Konishi, T., Hirayama, R. and Caldwell, M. W. (2012) A review of the Upper Cretaceous marine reptiles from Japan. *Cretaceous Research*, **37**, 319-340.
- 佐藤勤 (1995) 西南日本淡路島の上部白亜系から発見されたプレシオサウルス上科 (爬虫綱, 鱗竜亜綱, 長頸竜目) 化石. 人と自然, **6**, 33-36.
- Tadokoro, O., Mishima, H., Maeda, T., Kozawa, Y. (1998) Innervation of the periodontal ligament in the alligatorid *Caiman crocodilius*. *European Journal of Oral Science*, **106**, 519-523.
- 田中譲治・三島弘幸 (2001) 単純な形態の歯の象牙質に於ける石灰化球形成に関する研究 - ワニの歯を例として. 日大口腔科学, **27**, 43-53.
- Tanimoto, M. (2005) Mosasaur remains from the Upper Cretaceous Izumi Group of southwest Japan. *Netherlands Journal of Geosciences*, **84**, 373-378.
- 谷本正浩・森恵介 (2007) 和泉層群で見つかったワニ (?) の歯化石. 痕跡, **30**, 50-54.
- 谷本正浩・谷 雅則・南野睦夫 (1998) 大阪府貝塚市 薔原の和泉層群 (上部白亜系 Maastrichtian) で見つかったワニ状の歯 (モササウルス科?) の化石. 地学研究, **47**, 91-95.