# X線CT装置を活用した青森県陸奥湾から産出した 長鼻類化石の再検討

高橋啓一\*・島口 天\*\*・馬場理香\*\*\*・北川博道\*\*\*\*

## Reexamination by X-ray computed tomography of a fossil proboscidean molar from Mutsu Bay, Aomori Prefecture, Japan

TAKAHASHI, Keiichi\*, SHIMAGUCHI, Takashi\*\*, BABA, Rika\*\*\* and KITAGAWA, Hiromichi\*\*\*\*

## Abstract

A fossil proboscidean molar from Mutsu Bay, Aomori Prefecture, which had been identified as *Palaeoloxodon naumanni*, was observed with an X-ray CT device to reconfirm the species identification. The specimen exhibited the following features : 1) the mesial and distal parts of the enamel loops are nearly parallel, 2) the buccal and lingual ends of the enamel loops are round, 3) the enamel folding is weak, and 4) the width of the occlusal surface narrows suddenly in the distal part. These characteristics indicate that the molar belongs to the genus *Mammuthus*. Additionally, the lamellar frequency (5.5-6) and the enamel thickness (2.5-2.7 mm) are similar to those of molars of *M. trogontherii*. Fossil elephants of this type in Japan from horizons of about 1.1-0.7 Ma have been called *M. protomammonteus*. The age of the stratum is seen at the shore near the collecting locality is within this range. This report has significance for the distribution of *M. protomammonteus*, which was previously unknown from the Tohoku district, including Aomori Prefecture.

Key wards: Aomori Prefecture, Mammuthus protomammonteus, Mutsu Bay, X-ray CT

## 1. はじめに

本標本は、2004年12月に青森県むつ市沖でホタテ漁 の漁船によって採集され、青森県立郷土博物館に寄贈 された長鼻類の右下顎第3大臼歯(収蔵番号 AOPM1958-1)である.本論の著者の一人である島口 は、この臼歯化石の外部形態の観察や計測を行い、本 標本を典型的ではないとしながらもナウマンゾウ
 *Palaeoloxodon naumanni* に同定した(島口, 2007).
 一方,もう一人の共著者である北川らは、第29回化

石研究会総会・学術大会(2011年6月5日)の講演に おいて,島口(2007)がナウマンゾウの特徴として指 摘したエナメル輪中央部の膨らみは Palaeoloxodon 属

2016年4月15日受付, 2016年10月21日受理

* <b>〒</b> 525−0001	滋賀県草津市下物町1091	滋賀県立琵琶湖博物館			
1091 Oroshimo, Kusatsu, Shiga 525-0001, Japan					
E-mail: takahasi@lbm.go.jp					
* * 〒030-0802	青森県青森市本町2-8-	14 青森県立郷土館			

Aomori Prefectural Museum, 2-8-14 Honcho, Aomori 030-0802, Japan

\*\*\*〒185-8601 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 ㈱日立製作所研究開発グループ Research and Development Group, Hitachi, Ltd., 1-280 Higashi-Koigakubo Kokubunji, Tokyo 185-8601, Japan

\*\*\*\*〒369-1305 埼玉県秩父郡長瀞町長瀞1417-1 埼玉県立自然の博物館 Saitama Museum of Natural History, 1417-1 Nagatoro, Nagatoro-machi, Chichibu-gun, Saitama 369-1305, Japan に見られる菱形歯湾曲ではなく, Mammuthus 属に見 られる形態であり, 歯冠幅に対する歯根の幅がナウマ ンゾウのもの(65~90%)よりも小さい(54%)こと を指摘し, 形態的特徴と計測値から本標本がトロゴン テリゾウ Mammuthus trogontherii であると報告した (北川ほか, 2011).

こうした前期更新世の Mammuthus 属のムカシマン モスゾウと Palaeoloxodon 属のナウマンゾウの同定問 題は、本標本に限らずこれまで度々起こってきた、例 えばムカシマンモスの研究の初期の段階では. Matsumoto (1926) によって Parelephas protomammonteus typicus の完模式標本および副模式標本とされた千葉 県長浜産の2点の標本は、Takai (1936), Shikama (1937). 高井 (1938). Dubrovo (1981) では Palaeoloxodon 属に同定されている。また、木村ほか (1983) が Mammuthus sp. cf. paramammonteus とし た3点が樽野・河村(2007)によってナウマンゾウと 再同定された.同じく樽野・河村(2007)では. Tokunaga (1940) によってナマディクスゾウ P. namadicus あるいは Elephas trogontherii と同定された 琉球列島の宮古島から産出した標本を M. torogontherii と再同定した.

このように,前期更新世のマムサス属と中期~後期 更新世から産出するナウマンゾウの臼歯の咬合面の形 態は咬耗状態によっては類似しており,これまでしば しば混乱を生じてきた.

本報告で扱う臼歯化石は咬耗がかなり進んでおり、 本来の臼歯の遠心部のみが残存する標本である. その ため、種の同定において外部形態から得られる情報は 限られたものであることが否めない. そこで、今回は X線CT装置を使用して内部形態の観察も行い、部分 的な標本においてもできる限りの情報を引き出し、異 なる見解を報告した研究者同士が再度共同で観察や議 論を行い、種名についての再同定を行ったので、その 結果を報告する.

#### 2. 観察方法

今回の観察では、肉眼による通常の外部形態の観察 のほか、東京都立産業技術研究センターの高エネル ギーX線CT装置(東芝ITコントロールシステム社 製TOSCANER-34500FD)を用いた内部形態の観察 を行った.

CT 装置は、X 線を照射する X 線管, 試料を設置す る回転台, 試料を通過した X 線を受ける面検出器, 面検出器で得られたデータを処理する演算装置から構 成されている. この装置の X 線ビームは円錐状に放 出されるコーンビームである.撮影時の条件は, X 線 管電圧430kV, 電流1.6mA, 0.36° おきに 5 回ずつ X 線を照射し360°のデータを収集した.また、X線の ビームハードニングに起因する画像のアーチファクト を低減し良質の画質を得るために、4 mm 厚の銅製 X 線フィルタを使用した.検出器には4096×4096画素の フラットパネルディテクタを使用しており、1024× 1024×1024画素の3次元に再構成した画像が得られ た.最終的に得られた再構成画像の精度は0.4mm で あった.

得られた再構成画像は、アメリカ合衆国国立衛生研 究所で開発された画像処理ソフトウェア Image J を 使用して様々な断面を作りだし、臼歯の形態的特徴を 検討した. なお、コーンビーム X 線 CT 装置の原理 については、著者のひとり馬場の論文に解説されてい るのでここでは省略した(馬場, 2002, 2006;馬場ほ か, 1999).

### 3. 形態の記載

本標本は咬耗が進んだ右下顎第3大臼歯の遠心半で ある.外部形態の観察を行った島口(2007)の報告で



図1. 青森県陸奥湾産ムカシマンモスゾウ Mammuthus protomammonteus (Matsumoto)の右下顎第3大臼歯 (収蔵番号 AOPM1958-1). A:側面CT画像. 描かれた直線は, B~Fの画像の断面 位置を示す. B~F:X線CTによって得られたデータか ら作成した画像. G:咬合面, H:舌側面, I:頬側面. 表1. 青森県陸奥湾産ムカシマンモスゾウと Mammuthus 属3種, Palaeoloxodon naumanniの下顎第3大臼歯の比較. エナメル輪の形態の数字は1:咬耗し始め、2:やや咬耗が進んだもの、3:かなり咬耗が進んだものを示す.

	-		-
	咬合面全体の形態	エナメル輪の形態	形態的特徴
陸奧湾産長鼻類化石		3 2	<ul> <li>・エナメル厚はやや厚い (2.5-2.7 mm)</li> <li>・咬板頻度はやや低い (5-5.5)</li> <li>・この標本で咬耗し始めのエナメル輪の形態が見られるのは本来の日窗の遠心部であり,観察に不適当. 咬耗が進んだ近心では長円形</li> <li>・咬合面の遠心部はとがる</li> </ul>
マンモスゾウ Mammuthus priigenius		3 2 1	<ul> <li>・エナメル厚は薄い(2mm 前後)</li> <li>・ 咬板類度は高い(7.5-12)</li> <li>・ 咬毛の始めは3つに別れたエナメル輪の内,中</li> <li>央部が両側より短いか同程度、咬耗が進むと中央</li> <li>部に膨らみがみられるが、さらに進むとエナメル</li> <li>輪は長円形になることが多い</li> <li>・ M3の咬合面の速心部は Palaeoloxodon 属より</li> <li>はとがる。</li> </ul>
ムカシマンモスゾウ Mammuthus protomanmonteus		3 2 0 1	<ul> <li>・エナメル厚はやや厚い(2-3mm 程度)</li> <li>・咬板頻度はやや低い(6-7)</li> <li>・咬粘し始めは3つに別れたエナメル輪の内,中 央部のエナメル輪が両側と同じ程度だが、すぐに 両側より長くなる、さらに咬枯が進むと長円形に なるが、時には中央部が膨らむ場合もある</li> <li>・M3の咬合面の遠心部は Palaeoloxodon 属より はとがる。</li> </ul>
トロゴンテリゾウ Mammuthus trogontherii		3 2 0 0 1	・エナメル厚はやや厚い(2-3mm 程度) ・咬板頻度はやや低い(6-85) ・咬粘し始めは3つに別れたエナメル輪の内、中 央部のエナメル輪が両側と同じ程度だが、すぐに 両側より長くなることらに咬耗が進むと長円形に なるが、時には中央部が膨らむ場合もある ・M3の咬合面の遠心部はPalaeoloxodon属より はとがる
ナウマンゾウ Paraeoloxodon naumanni		3 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0	・エナメル厚はやや厚い(2.5-3mm 程度) ・咬板頻度はやや低い(4.5-6) ・咬耗し始めは3つに別れたエナメル輪の内,中 央部のエナメル輪が両側より長い、さらに咬耗が 進むと菱形歯湾曲を示すようになり、しばしば中 央部に突起が見られる、歯根近くまで咬耗が進む とより菱形が明瞭となる ・M3の咬合面の遠心部は Mammuthus 属ほど にはとがらない

は、残存咬板数は9枚としている.また、今回の外部 形態の観察結果においても9枚の咬板と最遠心の副咬 板が確認できたが、CT装置による観察によれば10枚 の咬板と最遠心の副咬板があることが判明した(図1 -D).咬合面の遠心部は、島口(2007)でも指摘し ているように、急激に幅が狭くなる.

咬合面では9枚の咬板が咬耗しており、近心部の5 枚では長円形のエナメル輪が、またそれより遠心では エナメル環およびエナメル結節が観察できる. 咬合面 におけるエナメル輪の舌側部は摩耗などによって観察 しにくいが、エナメル輪の近心縁と遠心縁は平行に近 い. CT 装置による観察によって、この傾向は歯根部 でも変わらないことがわかる(図1-E). エナメル褶 曲は若干みられるだけでむしろ弱い. Palaeoloxodon 属 の臼歯でしばしば見られるエナメル輪が菱形に近い形 を示す菱形歯湾曲や Mammuthus 属でしばしば見られ るエナメル輪遠心部が遠心に突出する中心湾曲といっ た属を判別する明瞭な形態はみられない. エナメル輪 の頬舌側端は丸い. 咬耗を始めたばかりの3つのエナ メル環が見られる遠心部の咬板では、中央のエナメル 環が頬舌側のエナメル環に比較して頬舌径が小さい.

計測値の記載については, 島口(2007)によってす でに報告されており, 著者らが計測した結果もおおむ ね一致したことから, ここでは省略する.ただし, 島 口(2007) ではエナメル厚は2.0-2.6mm(平均 2.2mm)としているが、今回の計測では2.5-2.7mm であり、若干の相違があった。

#### 4. 考察

本標本の形態について,島口(2007)の「標本の記 載」では「6番目の歯板に菱形歯湾曲が認められる が、1~5番目の歯板では咬合面に損傷があり不明瞭 である.」としている.また、「考察」においても「臼 歯は、典型的なナウマンゾウの形態を持つとは言えな いが、わずかに菱形歯湾曲が見られることからナウマ ンゾウと言ってよいと思われる.」としている.この ように島口(2007)で本標本をナウマンゾウに同定し た主要な根拠は、咬合面に見られた一か所の"菱形歯 湾曲"と判断した形態に基づいている.

著者らの観察においても、咬合面において近心から 5枚目あるいは6枚目のエナメル輪の中央部が近遠心 方向にわずかに膨らんでいるのを認めたが、それは菱 形歯湾曲とは異なり、Mammuthus 属によく見られる エナメル輪中央部の湾曲とも判断可能である.このこ とは、すでに北川ほか(2011)においても指摘されて いる.しかし、両者は区別が困難な場合もしばしばみ られることから、今回はCT装置を使用して、咬合面 から歯根部にかけて内部形態の観察を行った.その結 果,咬合面より歯根側のエナメル輪では菱形歯湾曲は 観察されず、むしろ、前述の形態の記載で記述したよ うに、エナメル輪の近心縁と遠心縁は咬合面から歯根 部に至るまで平行状態に近く、Palaeoloxodon 属の歯 根部付近で見られるエナメル輪中央部の近遠心径が広 がる形態とは異なっていた.また、エナメル輪の頬舌 側縁が丸い、エナメル褶曲が発達しない、咬合面の遠 心部が細い点などは、Mammuthus 属に見られる傾向 である.北川ほか(2011)では、歯冠部と歯根部の幅 の比率からも本標本が Mammuthus 属の特徴を持つこ とを指摘している.以上のことから、本標本はナウマ ンゾウ P. naumanni に属するのではなく、Mammuthus 属であると同定できる.

Mammuthus 属では進化した種ほど咬板数や咬板頻 度が増加し、エナメル厚が減少する傾向が見られる. 本標本は本来の臼歯の遠心部であり、元の咬板数は不 明であるが、咬板頻度は5.5~6 (島口, 2007)、エナ メル厚は著者らの計測では2.5-2.7mmであった. 島 口 (2007) ではエナメル厚を2.0-2.6mm (平均 2.2mm)としているが、これは咬合面におけるエナメ ル厚の計測は、ノギスの当て方によっては実際の値よ りも小さな値に成り易い傾向にあり (Hasegawa, 1972;高橋, 1991)、島口 (2007)の場合もそのよう な傾向が表れたものと考えられる. このことから、本 標本の咬板頻度とエナメル厚を Lister (1996) で示さ れた世界各地の Mammuthus 属の計測値と比較すると、 本標本が M. trogontherii の値に類似することがわか る.

これまで国内産の M. trogontherii 段階のゾウとして は、ムカシマンモスゾウ M. protomammonteus (大塚、 1978;三島・間島、1999; Takahashi and Namatsu, 2000; 樽野, 1999) と呼ばれ、近年、樽野・河村 (2007) によって M. trogontherii として報告された中 ~小型のゾウ化石がある. この種は国内では約110~ 70万年前の年代から産出している. 島口 (2007) は、 本標本をナウマンゾウと同定したことから、本標本の 発見場所に近い海岸には下部~中部更新統の浜田層最 上部層の奥内シルト岩部層が分布しているにも関わら ず、それより新しい年代の未確認の地層から産出した 可能性を指摘した. 本標本が M. trogontherii 段階のゾ ウであるならば、その産出層準が浜田層とすることに 矛盾はない.

全国の産出地点を見ると、これまで東北地方からは M. protomammonteus あるいは M. trogontherii の産出報 告はなかった.本標本がこの種に同定できたことで、 国内におけるこの種の分布を考える上で貴重な資料が 得られたといえる. 謝辞

東京都立産業技術研究センターの外立貴宏氏には X線CT装置を使った本標本の撮影でお世話になっ た.お礼申し上げる.

引用文献

- 馬場理香 (2002) (XXI) コーンビーム CT (システム概要). 総合臨床, **51**, 2678-2686.
- 馬場理香(2006) 2. ボリューム CT イメージングが 拓く新しい世界.月刊インナービジョン,3月号, 112-117.
- 馬場理香・久芳 明・植田 健・高木 博・河合浩之 (1999) コーンビーム 3 次元 X 線計測技術の開発. MEDIX, **31**, 42-47.
- Dubrovo, I. A. (1981) Die fossilen Elephanten Japans. *Quartärpaläontologie*, **4**, 49-84.
- Hasegawa, Y. (1972) The Naumann's elephant, Palaeoloxodon naumanni (Makiyama) from the Late Pleistocene off Shakagahana, Shodoshima Is. in Seto Inland Sea, Japan. Bulletin of the National Science Museum, 15, 513-591, pls. 1-22.
- 木村方一・外崎徳二・赤松守雄・北川芳男・吉田充 夫・亀井節夫(1983)北海道石狩平野・野幌丘陵か らの前期―中期更新世哺乳動物化石群の発見.地球 科学,37,162-177,pls.1-4.
- 北川博道・高橋啓一・添田雄二(2011)北海道北広島 市および青森県陸奥湾海底産出ゾウ科臼歯化石の同 定の再検討. 化石研究会会誌, 44, 35. (講演抄録)
- Lister, A. M. (1996) Evolution and taxonomy of Eurasian mammoths. In: Shoshani, J. and Tassy, P. (eds.), *The Proboscidea: evolution and palaeoecology of elephants and their relatives*, 203- 213, Oxford University Press.
- Matsumoto, H. (1926) On the archetypal mammoths form the Province of Kazusa. *Science reports of the Tohoku Imperial University. 2nd series* (Geology), **10**, 43-50, pls. 18-24.
- 三島弘幸・間島信男(1999)千葉県富津市産ムカシマンモス臼歯化石(Mammuthus protomammonteus)の一例. 埼玉県立自然史博物館研報,(17):5-12.
- 大塚裕之(1978) 東支那海から採集された旧象化石に ついて. 琉球列島の地質学研究, (3), 149-156.
- Shikama, T. (1937) Nomenclative notes on Parelephas protomammonteus (Matsumoto). Japanese Journal of Geology and Geography, 14, 163-166.
- 島口 天(2007)青森県陸奥湾から産出した長鼻類化石. 化石研究会会誌. 40, 80-83.
- 高橋啓一(1991) 2. 臼歯. In: 亀井節夫編著, 日本 の長鼻類化石. 122-130, 築地書館, 東京.

- Takahashi, K. and Namatsu, K. (2000) Origin of the Japanese proboscidea in the Plio-Pleistocene. *Earth Science*, 54, 257-267.
- Takai, F. (1936) Fossil elephant from Tiba prefecture, Japan. Japanese journal of geology and geography, 13, 197-203, Pl. 24.
- 高井冬二(1938)本邦に於ける新生代哺乳動物(予 報). 地質学雑誌, **45**, 745-763.
- 樽野博幸(1999)哺乳類化石の変遷から見た日本列島 と大陸間の陸橋の形成時期.第四紀研究, **49**, 309-

314.

- 樽野博幸・河村善也(2007)東アジアのマンモス類― その分類,時空分布,進化および日本への移入についての再検討―. 亀井節夫先生傘寿記念論文集, 59-78.
- Tokunaga, S. (1940) A fossil elephant tooth discovered in Miyakozima, an island of the Ryukyu Archipelago, Japan. *Proceedings of the Imperial Academy of Japan*, 16, 122-124.