化石研究会会誌

[特集・原著]

# 下部白亜系篠山層群からの竜脚類 およびその他脊椎動物化石の産出

# 三枝春生\*\*\*\*\*\*·田中里志\*\*\*\*·池田忠広\*\*\*·松原尚志\*\*·古谷 裕\*\*\*\*·半田久美子\*\*

# On the occurrence of sauropod and some associated vertebrate fossils from the Lower Cretaceous Sasayama Group of Hyogo Prefecture, SW Japan

SAEGUSA, Haruo<sup>\*.\*\*.+</sup>, TANAKA, Satoshi<sup>\*\*\*</sup>, IKEDA, Tadahiro<sup>\*\*</sup>, MATSUBARA, Takashi<sup>\*\*</sup>, FRUTANI, Hiroshi<sup>\*.\*\*</sup> and HANDA, Kumiko<sup>\*\*</sup>

#### Abstract

A new terrestrial vertebrate fossil assemblage was found from the Lower Cretaceous Sasayama Group of Hyogo Prefecture in 2006. The red mudstone of paleosol origin exposed on the river bank of Sasayama River in Tamba City, Hyogo Prefecture yields the axial skeletal elements, pelvic elements and brain case of an individual of a sauropod, shed teeth of theropods and ornithopods, and disarticulated skeletal elements of microvertrebrates. The excavation and the preparation of the Tamba sauropod are still in progress but the anterior elements of the sauropod skeleton are expected to be obtained by future excavation. The prepared elements of the skeleton suggest that the Tamba sauropod is allocated to Titanosauriforms. The problems on the chronology and taphonomy and the method of data collection at the site are also discussed in conjunction with the brief description of the stratigraphy, sedimentology and excavation procedure of the site.

Key words : vertebrate fossils, titanosauriforms sauropod, Lower Cretaceous, Sasayama Group, SW Japan

### 1. はじめに

兵庫県篠山市および丹波市南部には、下部白亜系の 篠山層群(小野山,1931命名;坂口,1959再定義)が 分布している. 篠山層群は超丹波帯の地層群に不整合 で重なる陸成層であり(吉川,1993),淡水性の軟体 動物化石(Ota,1960;田村,1990),カイエビ類化 石(円増・中沢,1956;坂口,1959;楠見,1961), および植物化石(円増,1958;楠見,1961)等の産出 が報告されているが,脊椎動物化石に関してはこれま で報告がなかった.

2006年8月7日に丹波市在住の村上茂・足立列両氏 により丹波市山南町上滝の篠山川河床に露出する篠山 層群下部層より大型の脊椎動物の肋骨および尾椎が発 見された(足立,2007)(図1).両氏からの通報を受けて、同年9月下旬に試掘が、さらに2007年2月~3 月および2008年1月に第一次および第二次発掘が兵庫 県立人と自然の博物館により行われた.これまでの発 掘により、竜脚類一個体に由来する保存の良い尾椎、 血道弓、腸骨、肋骨、脳函、環椎などが獣脚類、鳥脚 類の歯などとともに発掘されている.この竜脚類(以 下、「丹波竜脚類」とよぶ)の骨格の他の部分も埋蔵 されている可能性が高く、さらに数次にわたる発掘が 必要である.クリーニングにかかる期間も考慮する と、丹波竜脚類の分類学的記載が可能になるにはあと 数年はかかると思われる.そこで本稿では、現時点で 明らかとなっている丹波竜脚類の概要を化石含有層、

#### 2008年6月15日受理

- \*兵庫県立大学,自然・環境科学研究所 Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo \*\*兵庫県立人と自然の博物館 Museum of Nature and Human Activities
- \*\*\*京都教育大学,教育学部 Faculty of Education, Kyoto University of Education
  - +〒669-1546 兵庫県三田市弥生ヶ丘六丁目 兵庫県立人と自然の博物館



産出状況そして発掘方法とあわせて述べたい.なお 尾椎の近・中・遠位の定義は Tomida and Tsumura (2006)に従った.

#### 2. 恐竜化石産出層の概要

篠山層群は、篠山市の篠山盆地および丹波市山南町 下滝地域に分布し、超丹波帯の地層を不整合に覆い, 上部白亜系の有馬層群により不整合で覆われる. 篠山 層群は岩相に基づき下部層と上部層に分けられ(坂 口、1959;吉川、1993;栗本ほか、1993)、下部層が 篠山盆地および山南町の両地域に広く分布するのに対 して,上部層は篠山盆地東部にのみ分布する(図 1). 篠山盆地の篠山層群下部層は, 礫岩, 砂岩, 赤 褐色泥岩からなり、黒色泥岩および数層の流紋岩凝灰 岩層を挟む(吉川, 1993).本地域での層厚は1300m に達する(吉川, 1993; 栗本ほか, 1993).本層下部 の 黒 色 泥 岩 に は Viviparus cf. keisvonesis お よ び Sphaerium coreanicum が含まれ, 関門層群脇野亜層群 若宮層下部(W<sub>3</sub>)に対比されている(田村, 1990). また,本地域の篠山層群下部層の流紋岩凝灰岩からは 138±9Ma~134.7±22.3Maのフィッショントラック 年代が得られている(弘原海ほか、1983;松浦・吉 川, 1992). 一方, 恐竜化石を産出した山南町下滝地 域に分布する篠山層群下部層に関してはこれまで年代 学的な研究は行われていない. 下滝地域と篠山盆地内 の下部層は超丹波帯の分布域により隔てられており、 両者の対比に有効な鍵層も発見されていない. 最近, 両地域の下部層に関して古磁気学的研究が行われた

(Uno and Furukawa, 2005; 辻・森 永, 2007). し かし,これらの研究によれば篠山層群の砕屑岩の残留 磁気は堆積時ではなく,堆積後の褶曲構造の形成時に 獲得されたものであり,篠山層群の古地磁気層序は立 てられていない.従って現在のところ下滝地域の篠山 層群下部層の年代に関しては,岩相の類似から篠山盆 地内の篠山層群下部層とほぼ同等とする他ない.

篠山層群の分布域は比較的小さいが, 丹波帯形成以 後のテクトニクスを考える上で貴重な情報源である. このため篠山層群の砂岩・礫岩の構成粒子を分析し. 堆積物を供給した後背地とそのテクトニックな背景を 推定する研究はこれまでにいくつか行われている(井 本ほか, 1977; 梅田ほか, 1995; Asiedu, et al., 1998; Kobayashi and Adachi, 2007). しかし, 礫岩 層の分布から, 篠山層群の一部は扇状地堆積物とした 研究はあるものの(吉川, 1993), 篠山層群に関する 堆積学的な研究はこれまでに行われていない. 発掘調 査と平行して行われた田中による調査によれば、発掘 現場周辺の篠山層群下部層は全て河川堆積物から構成 されている.上述のように、 篠山層群下部層の黒色頁 岩からは軟体動物化石が産出するが、篠山層群下部層 では最も一般的な赤褐色の泥岩からは、これまで生痕 化石や炭化した植物片を除き化石は発見されていな かった. 丹波竜脚類の化石はこの赤褐色の泥岩から発 見された.恐竜化石包含層である厚さ2.5mの赤褐色 の泥岩層は、後背湿地の堆積物と考えられ、下部に石 灰質ノジュールと根痕を含んでいる.恐竜の化石はこ の泥岩層の上部に集中しており、一次発掘で切り出し

た岩塊では、かつての地表面を示すと思われる平面上 に化石骨が並んでいる様子が見て取れる.発掘現場で はこの赤褐色の泥岩層の上位に厚さ3mの下部1m が礫岩よりなる河道の堆積物が、さらにその上位には 厚さ2.5mの砂岩および泥岩よりなる自然堤防の堆積 物が重なっている.後者の泥岩中にはごくわずかに脊 椎動物の分離骨が含まれるが、礫岩よりなる河道の堆 積物には化石骨は確認されていない.

#### 3. 発掘方法

第一次および第二次発掘はそれぞれ、2007年2月12 日~同年3月22日と2008年1月11日~同年3月4日に 行われた.発掘地点は篠山川の河川敷内にあるが, 篠 山川の集水域の降雨量が最小になる冬季以外は篠山川 の増水により水没する可能性が常にあり、冬季の限ら れた期間にしか発掘は出来ない. また発掘地点では地 層は約25~30度で南南東に傾斜しているため、地層の 傾斜方向に発掘を進めると掘削量が急速に増加し、費 用の増加や河床の大規模な形状変化が懸念される. そ こで、気候条件と掘削条件を考慮し、丹波竜脚類の化 石が埋まっていると想定される区画を一気に広く掘削 するのではなく、化石の分布域をたどる形で、小面積 で行う発掘を複数回行うこととした. このため発掘区 画の面積は第一次および第二次発掘それぞれ21m<sup>2</sup> (7×3m)および25m<sup>2</sup> (5×5m)と比較的狭いも のとなった。

第一次および第二次発掘ともに恐竜化石包含層の発 掘に先立ち,上位の河道および自然堤防堆積物を油圧 ショベル(バックホウ)に装着した油圧ブレーカによ り破砕し除去した.これに要した期間は第一次,第二 次発掘でそれぞれ約20日間および40日間であった.砂 岩および泥岩よりなる自然堤防の堆積物は,泥岩や細 粒砂岩などの脆弱な層が頻繁に挟まるため油圧ブレー カにより容易に破砕できたが,河道堆積物の最下部1 mあまりを構成し恐竜化石包含層直上の礫岩層の固 結度は高く,そのために長時間にわたって油圧ブレー カにより地層に衝撃を与えることになった.しかし, その直下の泥岩層から産出した恐竜化石には油圧ブ レーカの与える衝撃により生じたと思われる損傷は見 られなかった.

第一次発掘では、時間的制約から恐竜化石包含層を 覆う堆積物の除去は化石の含有を検査せずに行った. しかし、除去した岩屑を発掘後にボランティアの協力 を得て細かく割り検査したところ、少数で断片的では あるが脊椎動物化石が発見された.脊椎動物化石は細 礫の混じる極細粒砂岩~シルト岩に含まれていたこと から、これらの化石は自然堤防堆積物由来と推定し た.そこで、第二次発掘では、自然堤防堆積物の除去 作業時に泥岩と細粒砂岩を層準ごとに分別し,これを 第二次発掘の期間中にボランティアに細かく割っても らい脊椎動物化石の有無を検査した.5層準に分けて 河原に山積みされた自然堤防堆積物を約20名のボラン ティアにのべ約15時間かけて細かく割ってもらった が,脊椎動物化石は発見されなかった.自然堤防堆積 物中の化石含有量はきわめて低いと考えられる.

恐竜化石含有層上部の約50cm は化石を含有してい ないため, 圧搾空気作動の削岩機で掘削した. これに 対して化石含有層準は電動ハンマーと大小のタガネ・ ハンマーを用いて慎重に掘り進んだ. 産出した化石は 地層から取り出す前にトータルステーションで位置を 測量し, 握りこぶし大以上のものはすべて産出状況を 撮影した. 化石が密集している部分は岩塊としてプラ スタージャケットで保護して切り出した. 化石含有層 進の掘削で生じる岩層はボランティアに細かく割って もらい、脊椎動物化石が含まれていないかどうか調べ た. 化石が元来含まれていた大まかな位置を知るため に、化石含有層準に1mマスのグリッドを設定、各 グリッドから出た岩屑はグリッドごとに番号を明記し た土嚢袋に一旦入れた後、細かく割り化石を探す作業 にまわした. 土嚢袋中の岩屑から化石が出た場合は、 その土嚢袋に書かれているグリッド番号を明記したの ち標本袋に入れた.

なお発掘作業は人と自然の博物館の研究員,ボラン ティアおよび発掘工事を受注した建設会社の作業員に より行われた.ボランティアの募集は原則として地元 丹波市市民を対象として行われ,これに加えて日常的 に博物館が行う活動に参加している他地域の人がボラ ンティアとして参加した.発掘したボランティアは第 一次発掘で55名,第二次発掘では67名であったが,一 日あたりのボランティア参加人数は20人前後であっ た.

#### 4. 竜脚類の骨格の産出状況

2007および2008年に行われた第一次および第二次発 掘によって,5000点あまりの脊椎動物化石が採取され た.そのほとんどが単一の竜脚類の骨格に由来すると 考えられる骨片である.丹波竜脚類の骨格とともに獣 脚類の脱落歯十数本,鳥脚類の脱落歯数本,有鱗類の 遊離骨多数が産出している.現在までにある程度部位 の確認されている丹波竜脚類の骨は,一部関節状態に ある21個の尾椎,16本の血道弓,仙骨と仙肋骨の破 片,十数本の胴肋骨,右腸骨,坐骨と恥骨の破片,含 気骨化した椎骨の破片多数,環椎(図3,7),脳函 (図3,6),未咬耗の歯一本である.

産状を考慮すると、この竜脚類は右半身を地面に接 する形で地表に横たわったあと、骨格配列を多少擾乱



図2. 丹波竜脚類の尾部中軸骨格と腸骨の埋蔵状態. 第一次発掘で切り出した岩塊(PJ1および PJ2)に含まれている状態 で示す. C1~C10:第1~第10尾椎, Cx:位置不明の尾椎, H:血道弓, S:仙骨と見られる骨片, SR1?:第1仙 肋骨である可能性のある骨, SR2~SR6:第2~第6仙肋骨と見られる骨

されてから埋没したと考えられる.尾椎は第一〜第十 尾椎まで近位から遠位まで順番にならぶが,それより 遠位の尾椎は発掘区画に散在しており,それらの産出 位置には本来の尾の中での位置関係は保存されていな い(図2).血道弓のうち8本は尾椎に近接して第一 〜第十尾椎の腹側に埋まっていた.骨盤のうち,右腸 骨とそれに接する仙肋骨は第一尾椎に続いており,本 来の位置関係を保っているが,仙椎の椎体の大部分と 左腸骨は失われている.おそらく,遺体の埋没時に右 半身のみが堆積物に覆われ,左半身は地表に露出して いたのだろう.右腸骨および近位尾椎の上及びその周 辺には夥しい量の骨片が載っていたが,これらは崩落 した左半身の骨格に由来すると解釈できる.第二次発 掘では一次発掘で得られた尾椎と腸骨の延長線上に骨 盤より頭方の骨格である肋骨が十数本発見された.発 見された肋骨の大部分がこの延長線,つまり本来の体 軸に直行する方向にほぼ平行して並んでいた.また大 部分の肋骨の骨頭は,尾椎の並びから推定される背側 に向いており,背腹方向の配列も大まかに残してい る.この肋骨群の背側にあたる部分には椎骨の破片と 考えられる骨片を大量に含む部分が隣り合っていた. この部分は骨片で表面を覆われた状態で切り出した が,その岩塊中には胴椎が入っていると推定される. このように体軸骨はある程度の擾乱をうけつつも本来 の位置関係を残しているが,後肢はこれまでの発掘で は発見されておらず,また,脳函は尾椎に近接して発 見されるなど本来の位置関係と一致しない.恐竜類で は強く体を後ろにそらした姿勢をとった遺体がしばし ば発見され,その原因は死亡直前に中枢神経が破壊さ れたことにより引き起こされた後弓反張であるとされ



図3.丹波竜脚類の中軸骨格と脳函.1a:近位尾椎右側面,1b:同 前面,2:尾椎左側面,3:尾椎右側面,矢印は獣脚類による歯形と見られる傷を示す, 4:血道弓後面,保存されている中では最大,5:血道弓後面,保存されている中では最小,6:脳函後面,7:環椎前面

ているが(Faux and Padian, 2007), 丹波竜脚類の 場合も死亡時に同様の姿勢をとっていたとすれば脳函 が埋まっていた位置は説明できる.一方後肢に関して は,死後になんらかの作用により埋没場所において体 幹より分離したと考えられる.脳函や環椎など小さく 遺体本体から離脱しやすい骨格要素が一緒に産出して いること,化石を含有する堆積物は細粒の後背湿地堆 積物であることから,水流により長距離運ばれる過程 で後肢が脱落した可能性は低い.後述するように獣脚 類の脱落歯が20本近く共産し,尾椎2個にかじりあと と見られる傷が見られたことは(図3,3),獣脚類が 骨格の移動に関与したことを示唆している.後肢は獣 脚類により取り外されたのかもしれない.

#### 5. 竜脚類骨格以外の化石

恐竜化石包含層からは,非常に保存の悪い二枚貝様 の化石が数点産出したものの,カメ類や魚類等水生の 脊椎動物は確認されていない.未同定の肋骨様の微細 な骨と有鱗類の分離骨をのぞくと竜脚類骨格と一緒に 産する主要な化石は恐竜類の脱落歯である.

丹波竜脚類の骨格の上やその周辺からは獣脚類の脱 落歯が20本近く採集された.鳥脚類の脱落歯も竜脚類 の骨格に混じって発見されたが、7本と少数であっ た.このような産出個数の差は、竜脚類の死体が獣脚 類をひきつけた結果なのかもしれない、実際、竜脚類 の21個の尾椎のうち遠位のもの2個の表面には獣脚類 の歯によってつけられた傷跡と思われる平行に走る数 本の条線があり(図3,3),獣脚類が竜脚類の遺体を 食べていた可能性がある、もしそうなら、丹波竜脚類 に随伴して産出した獣脚類の脱落歯は遺体を消費する 動物の構成に関して何らかの手がかりを与えると期待 できる.しかし、獣脚類の歯の多さは、単に獣脚類の 歯がより選択的に保存あるいは発見された結果という 可能性もある.山南町の鳥脚類の歯は強く磨り減った 歯が脱落したものであり、こうした歯は地表では獣脚 類の歯よりも早く分解されるかもしれない。また、強 く磨り減った鳥脚類の歯は獣脚類の歯よりも目立たな いために、発見される率が低いかもしれない、こうし たバイアスを考慮せずに発見される個数の違いから直 ちに遺体周辺に獣脚類が選択的に集まっていたと推論 するのは危険である.理想的には竜脚類と同一の産出 層準でかつ十分に骨格から離れた場所で大量の泥岩を 処理し、産出する歯の比率を竜脚類の産出地点と比べ るべきだろう.しかし、現場周辺の状況を考えるとこ れは不可能に近い. このような処理を行うには竜脚類 化石含有層を広く掘削しなければならず、数千万円近 い費用がかかってしまうだろう.従って,発掘対象と なっている範囲で何らかの傾向をつかみそこから議論

を展開するしかない.今回の発掘では,地層中から in situ で発見された獣脚類および鳥脚類の脱落歯と丹 波竜脚類の骨格との位置関係はトータルステーション で測量してある.また,発掘で生じた岩屑の処理で発 見された獣脚類および鳥脚類の脱落歯については,1 m角のグリッドごとに処理した岩屑が選別してある ので,地層中での丹波竜脚類の骨格との位置関係を大 まかではあるが知ることが出来る.限られた面積であ るが,その中で獣脚類の歯の産出ポイントが竜脚類の 骨格に近いところに多いという傾向がつかめたら,獣 脚類が選択的に集まっていたと考えてもよいだろう.

平面的な分布で一定の傾向がつかめたとしても, 獣脚類の歯が竜脚類の遺体に軟体部が残っていた時 点で埋没した物でなければ議論自体が崩れてしまう. それには詳細に垂直方向の化石分布を記録する必要 があり、考古遺跡では常識的な手段となっているトー タルステーションを用いた産出位置の mm 単位の 記録が有効な手段だが、恐竜の発掘ではまだ一般的 ではない. Jennings and Hasiotis (2006) はトータル ステーションで得た化石産出位置のデータをGIS (Geographic Information Systems) を用いてアロサ ウルスの摂食活動の記録とされているサイトを図化し た結果、互いにきわめて近接した化石産出層準が上下 二つに分かれていることを見出し、アロサウルスによ る竜脚類への襲撃あるいは、巣の中での摂食という説 を否定している、こうした分析結果は、恐竜発掘で伝 統的に行われている化石産出位置の記録からは得られ ないという. 獣脚類の捕食や腐肉食と言った現象は数 時間から長くて数週間以内に生起したものであり、そ れらを記録するものがあったとしても、それは層厚に して数~数十 cm の範囲に凝縮しているはずであり、 高い分解能を持った記録が本来必要である. 丹波竜脚 類の事例に戻るなら、遺体が分解しつつ埋没する過程 と、獣脚類の脱落歯の分布をつき合わす必要がある。 丹波竜脚類の発掘では約5000個の脊椎動物化石が得ら れたが、そのほとんどは丹波竜脚類の骨片であり、こ れら骨片は比較的保存の良い丹波竜脚類の骨の上に降 り積もるように分布していた。その骨片の状態を見る と, 鋭利な破断面を示すものから完全に円磨されたよ うな状態のものまであり、発掘中の印象では全般的に 円磨されたものはより上位の層準にあった。この印象 の正否を確かめさらに遺体の分解過程を復元するため に、トータルステーションで得た位置データと個々の 骨片の保存状態を GIS 上で統合する予定である.こ うした遺体の分解過程の復元が行われた後ではじめ て、獣脚類の脱落歯の分布状況は意味を持ってくるだ ろう.

動植物の化石ではないが、円磨された大~中礫が赤

褐色の泥岩中の丹波竜脚類の骨格化石の間に散在して いた.このように、細粒堆積物中で竜脚類の骨格化石 に随伴する礫はしばしば胃石(gastrolith)と解釈さ れてきた (Janensch, 1929; Sanders et al., 2001な ど).確かに竜脚類の胃の内容物であったと結論でき るものが、少数ではあるが存在するが、現生種の胃石 に関する実験・観察結果からみて、竜脚類の胃石が食 物を消化管の中ですりつぶす機能をはたしていたと は考えられないという (Wings, 2004; Wings and Sander, 2007). この竜脚類の事例のように、胃石の 機能は単純には断定できないため, Wings (2007) は 胃石という用語から機能に関連した意味を切り離し, "動物の消化管の中に保持されている(いた)カロ リー価をともなわない硬い物体"と再定義した. 丹波 竜脚類に随伴した礫は、このWings (2007)の定義 に合致する胃石である可能性が極めて高い物であった が, 第一次および第二次発掘ではその意義が軽視さ れ,丹波竜脚類に随伴する礫の位置の記録とサンプリ ングは網羅的に行われなかった.ただ, Sanders et al.(2001) などで報告されているような胃石の密集は 見られなかったので、1個体あたりの胃石の総量、礫 種、円磨度の割合を検査するには元来適さない資料と いえる.丹波竜脚類の骨格とともに発見された礫が胃 石であったとしても,埋没時には散在した状態だった ので、たとえ網羅的にサンプリングが行われても胃石 全体のどれだけがサンプリングされたかは知りようが ないからである.

#### 6. 丹波竜脚類の骨格の概略

・ 金脚類の化石の表面は、方解石と硬い暗青灰色の泥 岩よりなる厚さ数ミリの被覆層で覆われている.この 被覆層の表面で、母岩の赤褐色泥岩は比較的容易に剥 離するが、被覆層自体は化石表面に密着しており、実 体顕微鏡下でエアチゼルを用いて慎重に削り取らなけ ればならない.このため剖出には時間がかかり、第一 次、第二次発掘で採取された化石のうち、現時点で剖 出の完了しているものは,尾椎9個,血道弓6本,仙 肋骨の破片一個, 胴肋骨の破片一個, 歯一個と少数で ある. 剖出の完了している尾椎9個はいずれも椎頭, 椎窩ともに平坦であり、Pleurocoel はなく含気骨化し ていない (図3,1a, 1b, 2, 3). うち8個は中 位および遠位のものである.残り一個の尾椎の椎体は 頭尾長よりも背腹高が大きく, 棘突起が良く発達し, 痕跡的な横突起(尾肋骨)があり、比較的遠位の近位 尾椎である.この尾椎の椎体は側面から見ると尾方の 関節面が頭方よりも腹側に下がった菱型 (rhombusshaped) をしている (図 3, 1 a). 椎弓は椎体の頭方 半分に位置するが、棘突起の近位三分の二は後ろに強

く傾き、遠位三分の一では垂直に近くなる、このため 棘突起は全体として強く弓形にそっており、その遠位 端は椎体の尾方関節面よりも尾方まで延びている. Spinoprezygapophyseal lamina はよく発達している のに対して, prespinal lamina の発達は悪く棘突起の 遠位にわずかに突出する程度である.このため、 prespinal fossa は深い. 一方 postspinal lamina は尾 方に強く突出している.これより近位の尾椎はまだク リーニングが不十分であり薄く母岩に包まれた状態に あるが, 剖出の終わった近位尾椎と上記のような特徴 を共有しているようである. クリーニング未完了の近 位尾椎にはこうした特徴に加え, 棘突起遠位端が強く 膨らんでいるという特徴が観察される(図2).横突 起(または尾肋骨)は、現在露出している左側面では 近位のものでも一見短く見えるが、化石表面はまだ母 岩で薄く覆われており,実際は左側の横突起は破損し て短くなっている可能性がある. Pleurocoel の有無に 関しても同様の問題がある. クリーニングが完了する までこれらの発達状態は不明である.

割出の完了している大小5つの血道弓はいずれも haemal canal の背側が開いている(図3,4,5). これらのうち最大の血道弓は遠位端が破損している が,保存長は40cm あり,竜脚類の血道弓としても大 きな部類に属する.この血道弓は破損した遠位端でも 前後に扁平であり,血道弓の遠位端は本来左右に扁平 であることを考えると,完全な状態の背腹長は保存長 に加えさらに最低でも数 cm はあっただろう.最小の 血道弓(背腹長7 cm)でも遠位端には頭尾方向の突 起を欠き単純な V 字型をしている.Haemal canal の 背腹長は頭方~中位の血道弓ではその全背腹長の半分 以下である.

右腸骨はほぼ完全に保存されており,現状ではその 内側面を見ることが出来る(図2). Titanosauriformes では腸骨の前端は側面観で弧を描き,軟骨の付着面が 腹側まで伸びている(Wilson and Sereno, 1998). 丹 波の標本ではこの部分が頭方に尖った形をしている が,表面が母岩で薄く覆われているため,これが本来 の形態かどうかはまだ断定できない. 仙椎は著しく破 損しており,ほとんど原型をとどめていないが,板状 の仙肋骨は残っており,それらと接合する高まりが右 腸骨の内側面に観察される. それによれば仙肋骨は少 なくとも5対ある.また,右腸骨の前端に細くて短い 肋骨が接触している. 剖出が不完全なため腸骨との関 節状態が明かでないが,もし腸骨と密着しているとす ると,第一仙肋骨ということになり,合計6対の仙肋 骨を持つことになる.

脊椎の含気骨化は竜脚類の一般的な進化傾向である が、Titanosauriformes では胴椎の内部には蜂巣状空 洞が発達しこの進化傾向の極限にある(Wilson and Sereno, 1998; Wilson, 2002; Wedel, 2005). 丹波 竜脚類の発掘では蜂巣状の空洞を持つ骨に由来すると 考えられる大小の骨片が大量に産出した. これまで第 一次・第二次発掘あわせて5000点あまりの脊椎動物化 石が採取されたが,その大半はこうした骨片である. 残念ながらまだ明確に胴椎であると同定できるものは 発掘されていないが,尾椎や肋骨などとの位置関係か ら見て,これら大量に産出した蜂巣状の空洞を持つ骨 片は含気骨化した胴椎に由来するものであろう.

第二次発掘では胴肋骨が十数本発掘されたが,唯一 割出の完了している肋骨は第一次発掘で発掘された胴 肋骨の近位端破片であり,この破片には含気性の孔が 見られる.これ以外の胴肋骨は剖出が未完了で表面が 薄い母岩で覆われているため,含気性の孔の有無は現 在のところ不明である.しかし,骨全体のプロポー ションを見ることは可能であり,頭方の胴肋骨が板状 であることがわかる.

第二次発掘では竜脚類の単離した未咬耗の歯が胴椎 の破片群の間から産出した.下記のように獣脚類や鳥 脚類の単離した歯が共産する状況では、単離した竜脚 類の歯をただちに骨格と同一個体のものと断定するこ とは出来ないが、他の単離した歯とは異なり完全に未 咬耗であること, 歯根が破損せずに残っていることか らこの歯は動物の死後歯槽から脱落した後、長距離移 動せずに埋没したと考えられる. 地層中で最も近接し ている骨格が、丹波竜脚類の骨格であることを考える と、これと同一個体のものと考えるのがもっとも無理 のない解釈である.舌側および頬側面観において、歯 冠は上下に細長く咬頭はとがっている。遠心および近 心縁は咬頭の先端と歯頸を結ぶ明瞭な切縁となってい るが, 鋸歯はない. 遠心および近心縁は歯冠の頸側三 分の二では互いに平行に走り、咬頭側三分の一では咬 頭に向かって互いに収斂する. 頬側面は頬側に凸なの に対して, 舌側面にはその中央に上下に走るかすかな ふくらみがある以外は平面的である.このため、歯冠 の水平断面はD型を呈する.遠心および近心縁がより 不明瞭な切縁となっていることを除くと Malawisaurus の歯 (Jacobs et al., 1993; Gomani, 2005) は丹波竜 脚類の歯に比較的類似している.より保存の悪い材料 であるが*Mongolosaurus haplodon* (Gilmore, 1933) の歯冠破片の断面はD型を呈し、遠心および近心縁 が明瞭な切縁を作るという点ではさらに丹波竜脚類に 良く類似しているが、より頬舌径が相対的に大きいこ とが異なる.

#### 7. 丹波竜脚類の分類

これまでの発掘で丹波竜脚類の脳函,環椎,および

胴体と尾の体軸骨の大部分が得られたと考えられ, 剖出 が完了すれば, これまでの分岐分析(Wilson, 2002: Upchurch, 1998; Curry-Rogers, 2005など)で使わ れてきた二百数十個あまりの形質のうち少なくとも2 割強程度は観察できるはずである.しかし, 現在丹波 市産竜脚類の剖出作業はその初期段階にあり, 現時点 で観察できる形質はかなり限られている.そこで Wilson(2002)にならい分岐分析で認められた単系 統群の共有新形質の存否を基準にして丹波市産竜脚類 の分類的な位置を予察的に検討することにする.

丹波市産竜脚類の血道弓はいずれも背側が開き,こ の竜脚類が Macronaria (Wilson and Sereno, 1998) に属することを示唆している.さらに,蜂の巣状に含 気腔の発達した椎体破片が産出し,仙椎より前の椎骨 の強い含気骨化が推測されること,肋骨には含気性の孔が 見られること,前位胴肋骨が板状であることなどは,こ の竜脚類がティタノサウルス形類 Titanosauriformes

(Salgado *et al.*, 1997) に属することを示している. 仙椎は破損しているが,右腸骨内側面には5個の仙肋 骨が接しており,さらに腸骨前縁に接する肋骨が第一 仙肋骨であるとすると,仙椎の総数は6個となり,こ の竜脚類が Somphospondyli (Wilson and Sereno, 1998) に属することが示唆される.

発見されているもののうち,最も尾方の血道弓 の遠位端には頭尾方向へ突出する突起を欠き全体 として単純なV字型をしている(図3,5).三枝 (2007)はこの血道弓の形態をもって、丹波市産竜脚 類を Titanosauria (Bonaparte and Coria, 1993) に分類できるとした. さらに Wilson (2002) で Titanosauria の共有新形質の一つとされた近位尾椎腹 側のへこみも見られる.しかし、化石の剖出が進んだ 結果,尾椎の椎体の関節面は全て扁平型でありかつ最 尾方のものを除き、血道弓の haemal canal は背腹に 短いと言った原始的な特徴を残していることが明かと なった (図3, 4). このように, Wilson (2002) で Titanosauria の共有新形質とされたものとそうでない ものが<br />
丹波<br />
竜脚<br />
類では<br />
混在しており、<br />
Wilson (2002) で提示されている各単系統群の共有新形質を 鍵としたばあい丹波竜脚類が Titanosauria であると は断定できない. したがって現状では丹波竜脚類は Somphospondvliである可能性のあるTitanosauriformes であるとしか言えない.

上記のようなWilson (2002) で提示されている各 単系統群の共有新形質との食い違いは分類群間の ギャップが新たな化石の発見により埋まることにより 生じたものである. Titanosauriformes の中では単純 なV字型をした遠位の血道弓はTitanosauria のみで しかこれまで確認されていないが,これは後位の血道 弓の形質状態が知られているものは Titanosauria のみ であり, Haplocanthosaurus, Barachiosaurus, Euhelopus といった原始的な Titanosauriformes におけるその形 質分布は不明であることを反映している.しかし,比 較的多くの化石標本で確認可能な形質にも Wilson

(2002) で提示されているものとは異なる形質分 布が見られる. 丹波竜脚類のみならず Huanghetitan liujiaxiaensis にも Wilson (2002) で Titanosauria の 共有新形質とされた近位尾椎腹側のへこみがみ られ (You et al., 2006), 逆に Fusuisaurus zhaoi は Titanosauriformes の共有新形質とされた胴肋骨の含 気性の孔を欠く (Mo et al., 2006). しかし, 他の形質 はこれらが Titanosauriformes であることを支持して おり, Wilson (2002) により Titanosauria の共有新形 質とされた形質のうちいくつかは Titanosauriformes のなかで複数回獲得されたか, 形質進化の逆転があっ たことになる.

近年,東アジアの下部白亜系からは丹波竜脚類のみ ならず比較的原始的な Titanosauriformes の発見が相 次いでおり (Mo et al., 2006; You et al., 2003; 2006; Wu, et al., 2006; Wang et al., 2007), 前期白 亜紀東アジアにおけるこの分類群の多様性が注目 されている. 原始的な Titanosauriformes の中から Titanosauria が派生していく過程は複雑であり、東ア ジアで発見されつつある竜脚類は其の中で重要な位置 をしめているのだろう.しかしながら、Euhelopus (Wiman, 1930) を除けば、これらは頭蓋の要素を 欠く部分骨格により知られているに過ぎない. こうし た中、丹波竜脚類の化石には頭蓋の部品が含まれ、今 後発掘が進めば中軸骨格のかなりの部分が発見される 可能性があり、そうなった場合、丹波竜脚類はユーラ シアの下部白亜系からの数少ない保存の良い竜脚類の 化石として, 竜脚類, 特に初期 Titanosauriformes の 系統関係さらには Titanosauria 内の系統関係の議論 に,形質の極性を左右することを通じて,大きく影響 することだろう.

これまで国内産の竜脚類は骨格の一部分が産出した三 重県鳥羽産の竜脚類(Tomida and Tsumura, 2006) を除き,脱落した歯(Barret *et al.*, 2002)または四 肢骨の破片(Hasegawa *et al.*, 1991)など極めて断片 的なものであり,系統解析や機能解剖学に使えるもの は皆無であった.しかし丹波竜脚類の産出は,国内の 中生層からもこのような高度な研究に使える材料が産 出することを示した.これは丹波竜脚類と類似した岩 相の地層からの新たな脊椎動物化石の発見の可能性 と,その探査の必要性を示唆している. 8. まとめ

- 1)兵庫県丹波市山南町の下部白亜系篠山層群下部層 より竜脚類〔丹波竜脚類とよぶ〕の骨格が獣脚類お よび鳥脚類の脱落歯、有鱗類の遊離骨とともに2006 年に発見され、2007年および2008年に発掘された.
- 2)これまでの発掘で、丹波竜脚類の尾椎、血道弓、 仙骨と仙肋骨の破片、胴肋骨、右腸骨、坐骨と恥骨 の破片、環椎、脳函、未咬耗の歯一本が得られた. クリーニング・発掘ともにまだ完了していない.
- 3) 丹波竜脚類は右半身を下にした状態で骨格の配列 を若干乱された状態で氾濫原堆積物中に埋没したら しい. 獣脚類が遺体を食べ,骨格の配列を乱した可 能性がある.
- 丹波竜脚類は比較的原始的な Titanosauriformes と考えられ、その保存のよさからTitanosauriformes の系統関係の解明に大きく寄与すると期待される.

## 謝辞

発掘にはのべ115名のボランティアの方々が参加し, 発掘の原動力となっていただいた.行政諸機関関係 者,地元自治会,博物館職員および博物館研究員の 方々には財源面を含め,発掘の諸条件の整備に尽力し ていただいた.丹波市での恐竜化石発掘はこうした多 方面からの援助なしには到底成功させることはできな かった.林原自然科学博物館の渡部真人氏には現場で の発掘技術指導,比較標本の閲覧および文献収集に関 しご援助いただいた.早稲田大学の平山廉氏および古 脊椎古人類研究所の楠橋直氏には文献入手の便宜をは かっていただいた.以上の方々に厚くお礼申し上げ る.

## 引用文献

- 足立 冽 (2007) 地学は楽しい!大型恐竜化石の発 見. ミクロスコピア 24(1), 9-15.
- Asiedu, D. K., Suzuki, S. and Shibata, T. (1998) Compositions of detrital spinels from Lower Creataceous Sasayama Group. Hyogo Prefecture, Japan -- Constraints on source lithology and tectonic setting --.Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology 93(1), 27-41.
- Barrett, P. M., Hasegawa, Y., Manabe, M., Isaji, S. and Matsuoka, H. (2002) Sauropod dinosaurs from the Lower Cretaceous of Eastern Asia: Taxonomic and biogeographical implications. *Palaeontology* 45, 1197-1217.
- Bonaparte, J.F. and Coria, R.A. (1993) Un neuvo y gigantesco Saurópodo Titanosaurio de la Formación Río Limay (Albiano-Cenomaniano) de la Provincia

del Neuquén, Argentina. Ameghiniana 30, 271-282.

- Curry-Rogers, K. A. (2005) Titanosauria : A Phylogenetic Overview. In : Curry Rogers, K. A. and Wilson, J. A. (eds) *The Sauropods : Evolution and Paleobiology*, pp. 50-103, University of California Press.
- 円増俊夫(1958)兵庫県篠山盆地(篠山統)より発見 した植物化石及び生痕化石其の他について.地学研 究 10, 116-118.
- 円増俊夫・中沢圭二 (1956) 兵庫県篠山盆地 (篠山 統)より発見した貝蝦および植物化石について.地 学研究 8, 184-188.
- Faux, C.M. and Padian, K. (2007) The opisthotonic posture of vertebrate skeletons: postmortem contraction or death throes? *Paleobiology* 33, 201-226.
- Gilmore, C. W. (1933) Two new dinosaurian reptiles from Mongolia with notes on some fragmentary specimens. *American Museum Novitates* **679**, 1-20.
- Gomani, E. M. (2005) Sauropod dinosaurs from the Early Cretaceous of Malawi, Africa. *Palaeontologia Electronica* 8(1), 1-37.
- Hasegawa, Y., Manabe, M., Hanai, T., Kase, T. and Oji, T. (1991) A diplodocid dinosaur from the Early Cretaceous Miyako Group of Japan. *Bulletin* of the National Science Museum, Tokyo, Series C 17, 1-9.
- 井本伸広・京都教育大学礫岩研究グループ(1977) 篠 山層群よりオーソコーツァイト礫の産出.日本地質 学会関西支部報 81, 6-7.
- Jacobs, L.L, Winkler, D.A., Downs W.R. and Gomani, E.M. (1993) New material of an early Cretaceous titanosaurid sauropod dinosaur from Malawi. *Palaeontology* 36, 523-534.
- Janensch, W. (1929) Magenstein bei Sauropoden der Tendaguru-Schichten. Palaeontographica Supplementbande 7, 135-144.
- Jennings, D. S. and Hasiotis, S. T. (2006) Taphonomic analysis of a dinosaur feeding site using geographic information systems (GIS), Morrison Formation, southern Bighorn Basin, Wyoming, USA. *Palaios* 21 (5), 480-492.
- Kobayashi, F. and Adachi, K. (2007) Late Early Carboniferous and Early Permian foraminifers contained in limestone fragments of conglomerate of the Lower Cretaceous Sasayama Group, Hyogo-Late Paleozoic and Early Mesozoic foraminifers of Hyogo, Part 9. *Nature and Human Activities* 12, 17-35.

- 栗本史雄・松浦浩久・吉川敏之(1993) 篠山地域の地 質. 地質調査所, 93 pp.
- 楠見 久(1961) 化石カイエビ類の研究-特に現生カ イエビ類を考慮して-.広島大学地学研報 7, 1-88.
- 松浦浩久・吉川敏之(1992)兵庫県東部に分布する前 期白亜紀篠山層群の放射年代.地質学雑誌 98 (7),635-643.
- Mo, J., Wang, W., Huang, Z., Huang, X. and Xu, X. (2006) A Basal Titanosauriform from the Early Cretaceous of Guangxi, China. *Acta Geologica Sinica* **80** (4), 486-489.
- 小野山武文(1931) 篠山盆地地質概説. 地球 16, 159 -168.
- Ota, Y. (1960) The zonal distribution of the nonmarine fauna in the upper Mesozoic Wakino subgroup (Studies of the molluscan fauna of the non-marine upper Mesozoic Kwanmon group. Part 5). Memoirs of the Faculty of Science, Kyushu University, Series D. Geology 9, 187-209.
- 三枝春生(2007) 篠山層群からの恐竜化石の発見とその発掘について(演旨). 化石研究会会誌 40 (1),96-96.
- 坂口重雄(1959) 兵庫県篠山盆地の層序と構造-丹波 地帯南部の地質(2)-.大阪学芸大紀要 8,34-46.
- Salgado, L., Coria, R.A. and Calvo, J.O. (1997) Evolution of titanosaurid Sauropods. I: Phylogenetic analysis based on the postcranial evidence. *Ameghiniana* 34(1), 3-32.
- Sanders, F., Manley, K. and Carpenter, K. (2001) Gastroliths from the Lower Cretaceous sauropod *Cedarosaurus weiskopfae*. Chapter 12. In: Tanke, T., Carpenter, K. and Skrepnick, M. W. (eds) *Mesozoic Vertebrate Life*, pp. 166-180. Indiana University Press.
- 田村 実(1990)西南日本非海生白亜紀二枚貝フォー ナの層位学的・古生物学的研究. 熊本大教育学紀 要,自然科学 **39**,特別号,1-47.
- Tomida, Y. and Tsumura, Y. (2006) A partial skeleton of titanosaurian sauropod from the Early Cretaceous of Toba City, Central Japan. *Journal of the Paleontological Society of Korea* **22**, 217-238.
- 辻 真也・森永速男(2007)兵庫県中東部に分布する
   白亜系篠山層群赤色砂岩の古地磁気(A004-13)
   (演旨).地球電磁気・地球惑星圏学会総会・講演
   会予稿集(CD-ROM), 122.
- 梅田真樹・竹村静夫・八尾 昭(1995)兵庫県東部の 下部白亜系篠山層群中のチャート礫から産出した

中·古生代放散虫化石. 地質学雑誌 101(1), 937-939

- Uno, K. and Furukawa, K. (2005) Timing of remanent magnetization acquisition in red beds : a case study from a syn-folding sedimentary basin. *Tectonophysics* 406, 67-80.
- Upchurch, P. (1998) The phylogenetic relationships of sauropod dinosaurs. *Zoological Journal of the Linnean Society* **124**, 43-103.
- 弘原海清・栃本泰治・升本眞二(1983) 篠山層群の フィッション・トラック年代.日本地質学会第90年 大会演旨,185.
- Wang, X., You, H., Meng, Q., Gao, C., Chang, X. and Liu, J. (2007) Dongbeititan dongi, the first sauropod dinosaur from the Lower Cretaceous Jehol Group of western Liaoning Province, China. *Acta Geologica Sinica* (*English Edition*) 81(6), 911-916.
- Wedel, M.J. (2005) Postcranial skeletal pneumaticity in sauropods and its implications for mass estimates. In: Wilson, J.A. and Curry-Rogers, K. (eds) *The Sauropods : Evolution and Paleobiology*, pp. 201-228. University of California Press.
- Wilson, J.A. (2002) Sauropod dinosaur phylogeny : critique and cladistic analysis. *Zoological Journal of the Linnean Society* **136**, 217-276.
- Wilson, J. A. and Sereno, P. C. (1998) Early evolution and higher-level phylogeny of sauropod dinosaurs. *Society of Vertebrate Paleontology Memoir* 5, 1-68.

- Wiman, C. (1930) Die Kreide Dinosaurier aus Shantung. Palaeontologia Sinica, Series C 6 (1), 1-67
- Wings, O. (2004) Identification, distribution, and function of gastroliths in Dinosaurs and extant birds with emphasis on ostriches (*Struthio camelus*). Doctorate dissertation, Universitat Bonn, 187 pp.
- Wings, O. (2007) A review of gastrolith function with implications for fossil vertebrates and a revised classification. *Acta Palaeontologica Polonica* **52**(1), 1-16.
- Wings, O. and Sander, P.M. (2007) No gastric mill in sauropod dinosaurs : new evidence from analysis of gastrolith mass and function in ostriches. *Proceedings of the Royal Society*, B 274, 635-640.
- Wu, W.-H., Dong, Z.-M., Sun, Y.-W., Li, C.-T. and Li, T. (2006) A New Sauropod Dinosaur from the Cretaceous of Jiutai, Jilin, China. *Global Geology* 25 (1), 6-9.
- 吉川敏之(1993) 兵庫県篠山地域の下部白亜系篠山層 群の層序と構造.地質学雑誌 **99**(1), 29-38.
- You, H., Tang, F. and Luo, Z. (2003) A new basal titanosaur (Dinosauria: Sauropoda) from the Early Cretaceous of China. Acta Geologica Sinica (English Edition) 77 (4), 424-429.
- You, H., Li, D., Zhou, L. and Ji, Q. (2006) *Huanghetitan liujiaxiaensis*, a new sauropod dinosaur from the Lower Cretaceous Hekou Group of Lanzhou Basin, Gansu Province, China. *Geological Review* 52 (5), 668-674.