

徳島県勝浦町の下部白亜系立川層より発見された竜脚類恐竜の歯

辻野泰之¹・東 洋一^{2,3}・宮田和周³・中尾賢一¹・藺田哲平³・河部壮一郎^{2,3}・
出山康代²・田上浩久⁴・田上竜熙⁴

[Yasuyuki Tsujino¹, Yoichi Azuma^{2,3}, Kazunori Miyata³, Ken-ichi Nakao¹, Teppei Sonoda³, Soichiro Kawabe^{2,3},
Yasuyo Deyama², Hirohisa Tagami⁴ and Ryuki Tagami⁴: A sauropod dinosaur tooth from the Lower Cretaceous
Tatsukawa Formation (Monobegawa Group) in Katsuura area, Tokushima Prefecture, Japan]

Abstract : A sauropod dinosaur tooth was found from the Lower Cretaceous Tatsukawa Formation, Monobegawa Group (the Outer Zone of Southwest Japan) in Katsuura, Tokushima Prefecture, Japan. Based on our observations, the specimen is identified as a tooth of a titanosauriform sauropod. In Japan, several isolated teeth of titanosauriform sauropods have been reported from the Lower Cretaceous strata such as the Tetori and Sasayama groups in the Inner Zone and the Matsuo and Sanchu groups in the Outer Zone of Japan. In particular, morphological feature of the sauropod tooth from Katsuura closely resembles to those of the titanosauriform teeth from the Matsuo and Sanchu groups. The new finding from Katsuura suggests a wide dispersal of the Early Cretaceous titanosauriforms in coastal area near the continental margin where the Outer Zone of Southwest Japan was formed in.

Key words : Dinosaur, Early Cretaceous, Monobegawa Group, Titanosauriform, Sauropod

はじめに

2016年7月3日、本論の著者でもある田上浩久と田上竜熙（当時：中学2年生14才）の親子によって、徳島県勝浦町立川溪谷の支流の立川層と考えられる泥岩の転石から竜脚類恐竜の歯が発見された（Fig. 1）。同産地からは、1994年に鳥脚類恐竜のイグアノドン類の遊離歯も発見されている（両角ほか、1995）。

1970年代前半まで、日本から恐竜化石の産出は、ほとんど期待されていなかった。しかしながら、1978年に岩手県岩泉町に分布する下部白亜系の宮古層群から竜脚類の上腕骨が発見されて以来（Hasegawa et al., 1991）、日本各地から恐竜化石が相次いで発見されている。特に西南日本内帯にある手取層群や篠山層群などは、前期白亜紀の陸成層が広く露出していることから、多数の恐竜化石が発見され、なかには新属新種として記載されたものもある（Azuma and Currie, 2000; Kobayashi and Azuma, 2003; Ohashi and Barrett, 2009; Azuma and Shibata, 2010;

Saegusa and Ikeda, 2014; Shibata and Azuma, 2015; Azuma et al., 2016）。また、近年、北海道むかわ町穂別地域に分布する上部白亜系の蝦夷層群淵層から、ほぼ全身骨格が保存されたハドロサウルス類の化石も報告され、全国的に注目を集めている（櫻井ほか、2014; 土屋、2016; Kobayashi et al., 2019）。

一方、西南日本外帯からの恐竜化石の報告は、陸成層が豊富な内帯に比べ非常に少ない。これまでに報告されている外帯からの恐竜化石の産出地は、ここに報告する徳島県勝浦町（両角ほか、1995）以外では、和歌山県湯浅町（小原、2008）、三重県鳥羽市（Tomida and Tsumura, 2006）、および群馬県神流町（旧・中里村）（Hasegawa et al., 1999; 高桑ほか、2008）に限られる（柴田ほか、2017）。これら4地域の恐竜産出地は、それぞれ前期白亜紀の正常堆積物である物部川層群および、その延長上に位置する湯浅層、松尾層群、山中層群である。これらの地層は、同じ堆積盆で堆積したものと推定されている（Kozai et al., 2005; 中畑ほか、2016; 安藤・高橋、

2019年11月30日受付、12月17日受理。

¹ 徳島県立博物館、〒770-8070 徳島市八万町向寺山文化の森総合公園、Tokushima Prefectural Museum, Bunka-no-Mori Park, Mukoterayama, Hachiman-chō, Tokushima 770-8070, Japan.

² 福井県立大学恐竜学研究所、〒910-1195 福井県永平寺町松岡兼定島4-1-1. Institute of Dinosaur Research, Fukui Prefectural University, 4-1-1 Kenjojima, Matsuoka, Eiheiji-chō, Fukui 910-1195, Japan.

³ 福井県立恐竜博物館、〒911-8601 福井県勝山市村岡町寺尾51-11. Fukui Prefectural Dinosaur Museum, 51-11 Terao, Muroko, Katsuyama, Fukui 911-8601, Japan.

⁴ 徳島県化石同好会、Tokushima Amateur Fossil Club

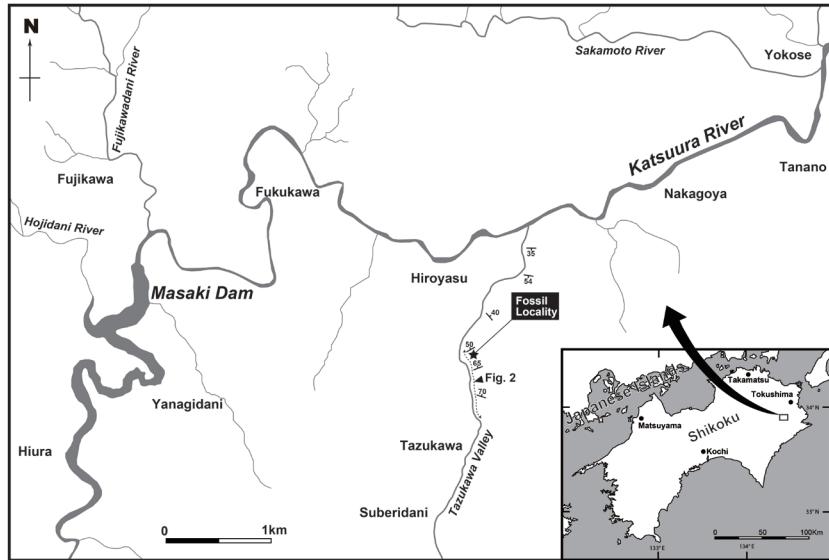


Fig.1. Index map showing the locality of TKPM.GFV1330, a sauropod dinosaur tooth from the Tatsukawa Formation, Katsuura, Tokushima Prefecture, Japan. The stratigraphic column of the formation is shown in Fig. 2.

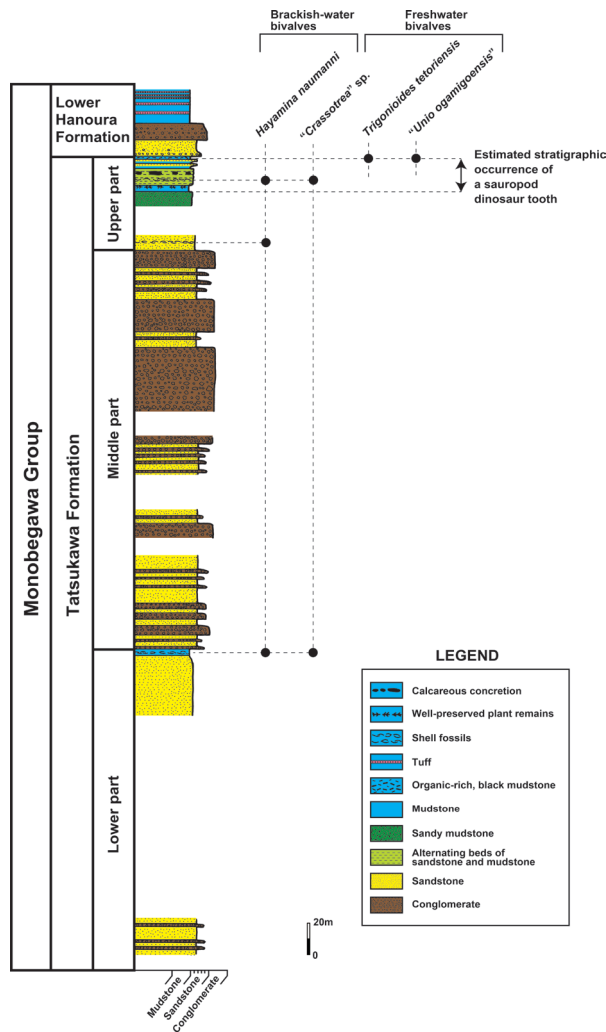


Fig.2. Stratigraphic column of the Tatsukawa Formation along the Tazukawa Valley shown in Fig. 1, indicating stratigraphic horizon of TKPM.GFV1330 and non-marine molluscan fossils.

2017).

本論は、徳島県勝浦町で発見された竜脚類恐竜の歯(辻野ほか, 2018) について、形態的記載を行う。さらに西南日本内帯および外帯の前期白亜紀正常堆積物から発見された竜脚類恐竜の歯との形態比較を行い、その発見の意義について論じる。

地質概要

化石が発見された徳島県勝浦地域は、西南日本外帯の秩父帯に属し、その基盤は、ペルム紀付加コンプレックスの八重地層群からなる(石田・香西, 2003)。その付加コンプレックスを不整合に覆い、前期白亜紀正常堆積物の物部川層群が広く露出する(石田・香西, 2003; Ishida et al., 2003; Kozai et al., 2005; 石田・香西, 2016)。徳島県の物部川層群は従来、下位より立川層、羽ノ浦層、傍示層、藤川層の4つに区分されていた(平山ほか, 1956; 中居, 1968)。しかしながら、その後、石田ほか(1992, 1996)が、羽ノ浦層の中に2つの堆積サイクルがあるとし、羽ノ浦層を二分した結果、徳島県の物部川層群は、立川層、下部羽ノ浦層、上部羽ノ浦層、傍示層、藤川層の5つに区分されている。

竜脚類恐竜化石が発見された立川溪谷支流周辺には、物部川層群の最下部層である立川層、およびその直上に位置する下部羽ノ浦層が露出している(Figs 1, 2)。これらの地層は、主に東北東—西南西方向の走向で、北へ70°~50°で傾斜し、北方で地層の上位が露出する(Fig.

1). しかしながら、化石の発見地点より北方約 300 m 付近に向斜軸があり、立川谷下流域の地層は南上位となる。

立川層の模式地は勝浦町立川溪谷であり、そこでの本層層厚は、約 520 m に達する (Fig. 2; 両角ほか, 1995). 立川層の岩相は、下部および中部においてはチャートを主体とする礫岩層と細粒～中粒砂岩層からなる。一方、上部は砂岩泥岩互層や比較的厚い泥岩層を主体とする泥質堆積物が発達する。砂岩泥岩互層中の泥岩層や比較的厚い泥岩層には、時折、石灰質コンクリーションを伴う層準がある。

立川層の下部および上部の泥質堆積物の一部の層準からは、汽水生の貝類化石 (カキ類や *Hayamina naumanni* など) が含まれる (Kozai et al., 2005). 上部の砂岩泥岩互層からは、保存良好な領石型植物化石 (シダ植物および裸子植物) が多産する。また、最上部の炭質物を豊富に含んだ泥岩層からは、淡水生の貝類化石 (*Trigonioides tetoriensis*, *Unio ogamigoensis* など) が産出する (田代・奥平, 1993; 両角ほか, 1995; Kozai et al., 2005). このことから、立川層の堆積環境は汽水域～淡水域であったと想定されている。なお、立川層の最上部は、下部羽ノ浦層の基底となる石灰岩やチャート礫を含んだ砂岩層によって整合に覆われる。

立川層からは示準化石は産出していない。一方、立川層の上位層準に位置する下部羽ノ浦層の泥岩層からは、*Shastrioceras nipponicum* や *Crioceratites (Paracrioceras) asiaticum* などの前期バレミアン期を示す異常巻きアンモノイドを含む (松川・江藤, 1987; Matsukawa and

Obata, 1993). このことから立川層は、上部オーテリビアン階から下部バレミアン階に対比されている (松川・伊藤, 1995). また、両角ほか (1995) は、羽ノ浦層からこれまでに報告されたアンモノイド類 (松川・江藤, 1987; 松川・伊藤, 1995) および放散虫群集 (石田ほか, 1992) から総合的に判断し、立川層の堆積時代をオーテリビアン階からバレミアン階とした。本論も、立川層の堆積時代を上部オーテリビアン階から下部バレミアン階とする松川・伊藤 (1995) や両角ほか (1995) の解釈に従う。

古生物学的記載

Sauropoda Marsh, 1878

Eusauropoda Upchurch, 1995

Neosauropoda Bonaparte, 1986

Titanosauriformes Salgado et al., 1997

Gen. et sp. indet. (Fig. 3)

標本：本標本 (TKPM.GFV1330) は徳島県立博物館の登録標本として保管されている。

産地および層準：本標本は、立川溪谷支流において、保存状態の良いシダ植物化石を含む暗灰色泥岩の転石から産出した。この立川溪谷支流には、立川層最上部の砂岩泥岩互層および泥岩層が露出し、また保存状態の良い領石型植物化石が集中して含まれる。本標本は、転石からの産出であるものの、転石の岩相や共産する化石から、

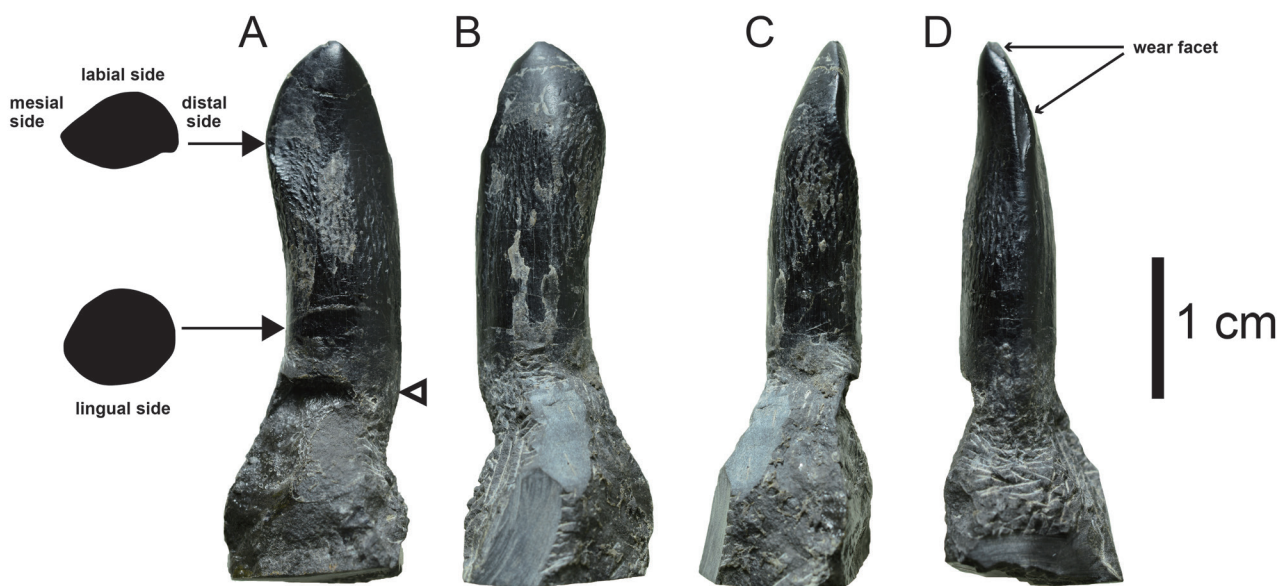


Fig. 3. TKPM.GFV1330, a titanosauriform sauropod dinosaur tooth from the Tatsukawa Formation of Katsura, Tokushima Prefecture, Japan. A–D, lingual, labial, mesial, and distal views. An open triangle indicates the cervical line. The specimen is housed in the Tokushima Prefectural Museum.

Table 1. Measurements and SI values of crown among titanosauriform sauropod teeth from Lower Cretaceous in Japan. SI values mean Slenderness index which indicate the ration of crown height to maximum mesiodistal crown width.

specimen (Locality)	specimen number	maximum height of crown (mm)	maximum mesiodistal width of crown (mm)	SI	Reference
Titanosauriformes (Hakusan, Ishikawa)	SBEI 160	37.2	12.4	3	measured value
Titanosauriformes (Hakusan, Ishikawa)	SBEI 113	31.4	9.7	3.24	measured value
Titanosauriformes (Hakusan, Ishikawa)	SBEI 183	33.4	12.8	2.61	measured value
<i>Fukuititan nipponensis</i> (Katsuyama, Fukui)	FPDM-V8469-1	17.2	8.5	2.02	measured value
<i>Fukuititan nipponensis</i> (Katsuyama, Fukui)	FPDM-V8469-2	29.9	12.4	2.41	measured value
<i>Fukuititan nipponensis</i> (Katsuyama, Fukui)	FPDM-V8469-3	33.6	10.8	3.11	measured value
<i>Tambatitanis amicitiae</i> (Tamba, Hyogo)	090227IS02	44.6	9.2	4.85	Saegusa and Tomida, 2011
<i>Tambatitanis amicitiae</i> (Tamba, Hyogo)	090227IS13	32.5	8.5	3.82	Saegusa and Tomida, 2011
<i>Tambatitanis amicitiae</i> (Tamba, Hyogo)	070225-43	21.6	6.5	3.32	Saegusa and Tomida, 2011
Titanosauriformes (Kanna, Gunma)	NDC-Use0001	20.5	10.2	2.01	Takakuwa et al., 2008
Titanosauriformes (Toba, Mie)		19.5	9.6	2.03	Saegusa and Tomida, 2011
Titanosauriformes (Katsuura, Tokushima)	TKPM.GFV1330	23.8	8.7	2.74	measured value

立川層最上部から産出したものと思われる (Fig. 2).

同産地の立川層最上部とされる石灰質泥岩の転石から鳥脚類イグアノドン類の歯が報告されている (両角ほか, 1995). 今回の本標本の母岩である泥岩とイグアノドン類の歯を含んでいた泥岩の岩相は異なる. 立川層最上部の泥質堆積物には, しばしば石灰質コンクリーションの層準も挟まれる. これら恐竜化石の産出層準は, 未だ明確ではないが, 立川層最上部のある程度の範囲に限られ, 恐らくかなり近接した異なる層準から恐竜化石が産出した可能性がある.

立川層の堆積時代は, 上部オーテリビアン階から下部バレミアン階と想定され (松川・伊藤, 1995), 両角ほか (1995) は, イグアノドン類の歯を産出した立川層最上部を暫定的にバレミアン階最下部と考えた. 本研究のTKPM.GFV1330を産出した泥岩も, 同様に立川層最上部のもので, バレミアン階最下部のものと考えられる.

記載: 本標本の大部分は歯冠部分であり, わずかに歯根部分が残される (Fig. 3). 本標本の最大歯冠高は, 23.8 mm, 最大歯冠幅は, 8.7 mm である. SI 値 (歯冠幅に対する歯冠高の比の値) は, 2.74 である (Table 1). 歯冠の保存状態は非常に良く, 全体的にヘラ状で, エナメル質の表面にはシワが発達する. 舌側では, 歯冠基部から中位までやや膨らみがあるものの, 歯冠上部の三分の一は凹状となる. 側面観の歯冠中位までは, 近心縁と遠心縁はほぼ平行でゆるやかなカーブを描き, 歯冠上部では収束する.

TKPM.GFV1330の断面形状は, 歯根側から中部において円形から楕円形を呈する. 一方, 先端部付近では, 唇側の膨らみに対して, 舌側の膨らみは弱く, D字型をなす. 歯の先端部付近の遠心側には向き合う歯との咬耗面が見られる. その咬耗面は, 歯の先端部と先端部より 5 mm ほど下位の 2 カ所に確認できる. 咬耗面は比較的

浅く, 特に先端より 5 mm 下位に位置する咬耗面は, 高角度のV字状を呈している. 歯冠の近心側に目立つ咬耗面はない. また, 歯冠に鋸歯はない.

議論: Wilson and Sereno (1998) に基づくと, D字状の断面および, 表面にシワが発達するエナメル質とV字の咬耗面をもつ竜脚類の歯の特徴は, 真竜脚類 (Eusauropoda) の特徴である. また, TKPM.GFV1330の歯冠部の遠心縁と近心の縁がほぼ平行に近いこと (Upchurch, 1998), SI 値が, 2.0~4.0 の範囲内 (Barrett et al., 2002) にあること, 全体的な形状が, Calvo (1994) で示された“扁平なコーンチゼル型の歯” (compressed cone-chisel like teeth) に合うことなどの特徴から総合的に判断し, ティタノサウルス形類 (Titanosauriformes) の歯と推定した (Salgado et al., 1997; 佐藤ほか, 2008; Bindellini and Sasso, in press). 全体的な外形は, 石川県白山市桑島で発見された基盤的ティタノサウルス形類の歯 (SBEI 13, 白山市教育委員会所蔵標本; Barrett et al., 2002) に似ており, 勝浦町産の竜脚類の歯も同様に基盤的なティタノサウルス形類と考えられる. また, 歯の咬耗面の位置や歯冠の形態的特徴から, 下顎骨の右側あるいは, 上顎骨の左側の前方部の歯と考えられる.

考 察

現在, 日本国内で竜脚類恐竜の歯化石が発見されているのは, 徳島県勝浦町を含めて 12 地域である (谷本・水谷, 1990a, b; Barrett et al., 2002; 高桑ほか, 2008; Saegusa and Tomida, 2011; Azuma and Shibata, 2010; 平山ほか, 2010; Saegusa and Ikeda, 2014; 小松ほか, 2014; 廣瀬ほか, 2015; 久保田, 2017). そのうち, 前期白亜紀のものは, 少なくとも 6 地域から知られ, これらすべては, 西南日本内帯および外帯に属する前期白亜紀正常

堆積物から産出したものである (Table 1; Figs. 4–9). 以下に本研究で報告した TKPM.GFV1330 と、これまでに西南日本外帯および内帯の下部白亜系から報告された竜脚類の歯との形態比較を行い、本標本の産出の意義について述べる.

西南日本内帯からの竜脚類恐竜の歯との比較

前期白亜紀の竜脚類恐竜の歯の多くは、西南日本内帯の手取層群および篠山層群から発見されている. 手取層群では、石川県白山市の桑島層、および福井県勝山市の北谷層から報告がある (Barrett et al., 2002; Azuma and Shibata, 2010). それぞれの地層の堆積時代については、桑島層がバレミアン期、北谷層がアプチアン期以降と推定されている (Fig. 4; Sano, 2015; 柴田ほか, 2017; 酒井ほか, 2018, 2019). 桑島層と北谷層の竜脚類の歯は、いずれもヘラ状の形態をしており、側面観での近心縁と遠心縁はほぼ平行で、歯の先端部の遠近心の両側にV字の咬耗面をもち、基盤的ティタノサウルス形類の特徴をもつ (Figs. 5, 6; Barrett et al., 2002; Azuma and Shibata, 2010). なお、北谷層から発見されたティタノサウルス形類については、歯および四肢骨、尾椎骨などに基づいて、*Fukuititan nipponensis* として記載された (Azuma and Shibata, 2010).

桑島層と北谷層からは複数の竜脚類の歯が知られ、SBEI13 (桑島層) (Fig. 5E–H) および FPDM-V8469-1 (北谷層産、福井県立恐竜博物館所蔵標本; Azuma and Shibata, 2010) (Fig. 6A–D) の歯冠部は、TKPM.GFV1330 (立川層) と比較的近い形態をしている. それぞれの標本の SI 値は、SBEI13 が 3.24, FPDM-V8469-1 が、2.07 であり、TKPM.GFV1330 は、その中間 (2.74) を示す (Table 1; Fig. 10). 歯冠のエナメル質の表面は、*F. nipponensis* のタイプ標本 (FPDM-V8469-1, 8469-2, 8469-3) とともに、シワの発達が目立つ (Fig. 6; Azuma and Shibata, 2010). この特徴は、TKPM.GFV1330 でも観察できる. 一方、SBEI13 を含む桑島層産標本には、北谷層および立川層産の標本よりシワ状の装飾は発達しない (Fig. 5; Barrett et al., 2002).

篠山層群の下部層 (アルビアン階; Kusuhashi et al., 2013) のティタノサウルス形類には、*Tambatitanis amicitiae* として新属新種記載された標本がある (Saegusa and Tomida, 2011; Saegusa and Ikeda, 2014). *Tambatitanis amicitiae* は、歯以外にも、頭骨の一部、頸椎、肋骨、胴椎、腸骨、恥骨、尾椎、血道弓などの骨格が発見されており、これらの特徴から、ティタノサウルス形類のユーヘロプス科に含められた (Saegusa and Ikeda, 2014).

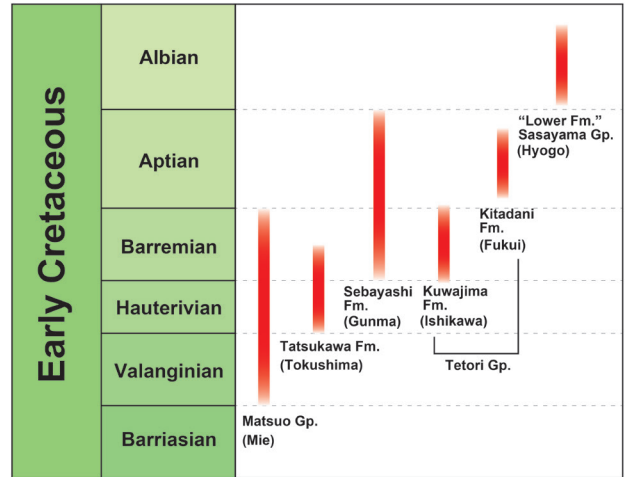


Fig. 4. Estimated age of the Early Cretaceous deposits in Japan which yield sauropod dinosaur teeth.

篠山層群産のティタノサウルス形類 (*T. amicitiae*) の歯は杭状をしており、TKPM.GFV1330 はもちろん、桑島層と北谷層のティタノサウルス形類が持つヘラ状の歯とは異なる (Fig. 7). この杭状の歯は、ティタノサウルス形類の中でもより派生的なティタノサウリア類 (Titanosauria) の歯の特徴に類似する (Saegusa and Tomida, 2011; 三枝, 2016). また、篠山層群産の *T. amicitiae* の歯の 3 標本 (090221IS13, 090227IS02, 070225-43; 兵庫県立人と自然の博物館所蔵) の SI 値の範囲は、3.32~4.85 である (Table 1; Fig. 10). 一方、ヘラ状を呈する TKPM.GFV1330 や手取層群 (桑島層・北谷層) 産のティタノサウルス形類の歯は、SI 値が、2.07~3.24 であり、篠山層群産の杭状の歯と見分けられる (Table 1; Fig. 10).

以上のことから、徳島県勝浦町産の竜脚類の歯は篠山層群の標本よりも、手取層群の標本に近い形態であり、歯冠表面のエナメル質のシワ状構造が発達する点から北谷層産のティタノサウルス形類の歯に類似すると考える.

西南日本外帯からの竜脚類恐竜の歯との比較

徳島県外には、日本外帯の前期白亜紀正常堆積物として知られる松尾層群 (三重県鳥羽市) と山中層群瀬林層 (群馬県神流町) から、それぞれ竜脚類恐竜の歯が発見されている (谷本・水谷, 1990a, b; 高桑ほか, 2008; 辻野ほか, 2018). 徳島県を含むこれら日本外帯の竜脚類の歯は、すべて基盤的ティタノサウルス形類の特徴をもつ (Fig. 8; 高桑ほか, 2008; Saegusa and Tomida, 2011; 三枝, 2016).

三重県鳥羽市のティタノサウルス形類 (鳥羽竜) の化石を産した松尾層群の堆積年代は、放射虫化石のデータ

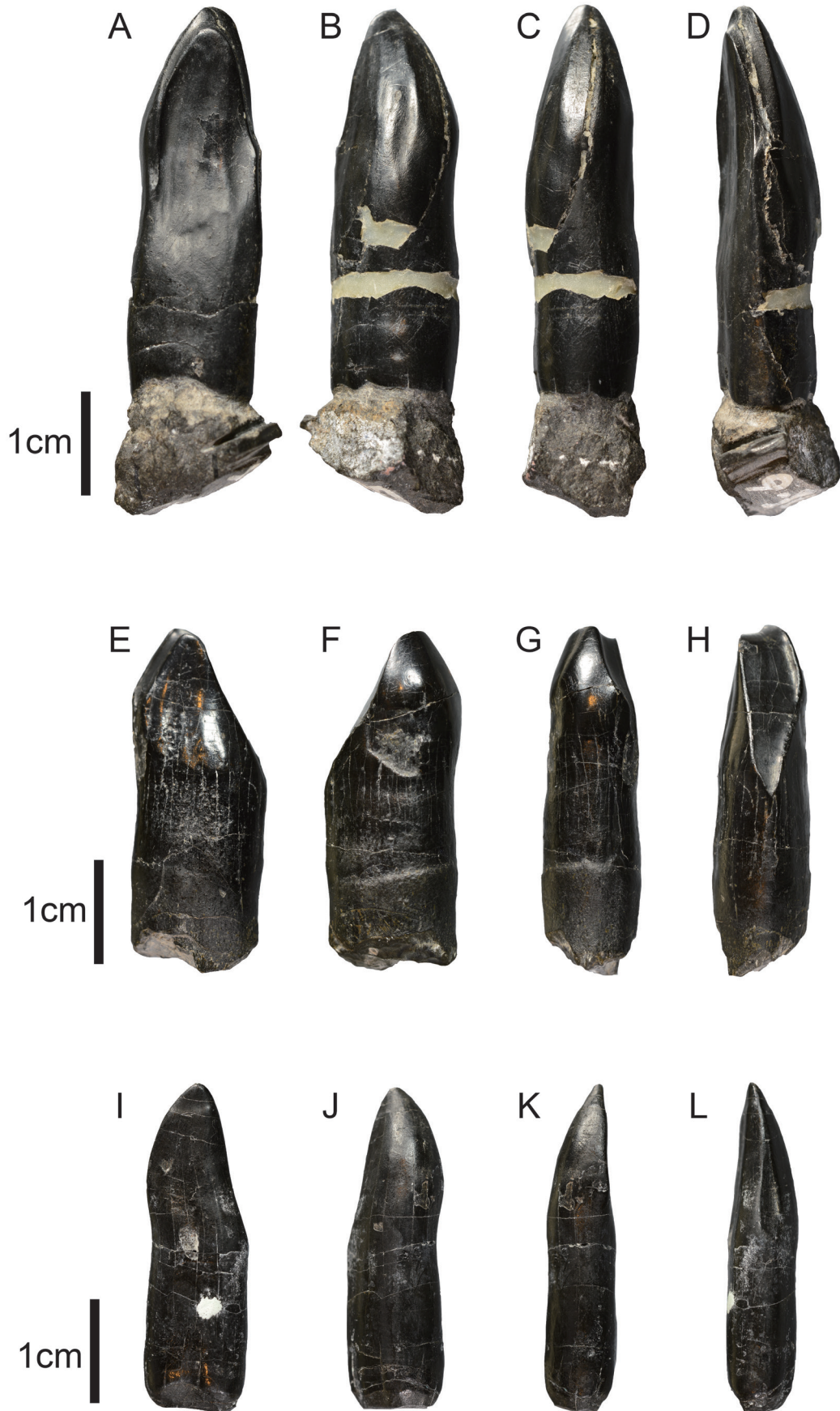


Fig. 5. Titanosauriform sauropod dinosaur teeth from the Kuwajima Formation of Shiramine, Hakusan, Ishikawa Prefecture. A–D, SBEI 160 in lingual, labial, mesial and distal views. E–H, SBEI 183 in lingual, labial, mesial and distal views. I–L, SBEI 13 in lingual, labial, mesial and distal views. All specimens are housed in the Shiramine Institute of Paleontology, Hakusan Board of Education, Hakusan City, Ishikawa Prefecture, Japan (SBEI, Shiramine Board of Education).

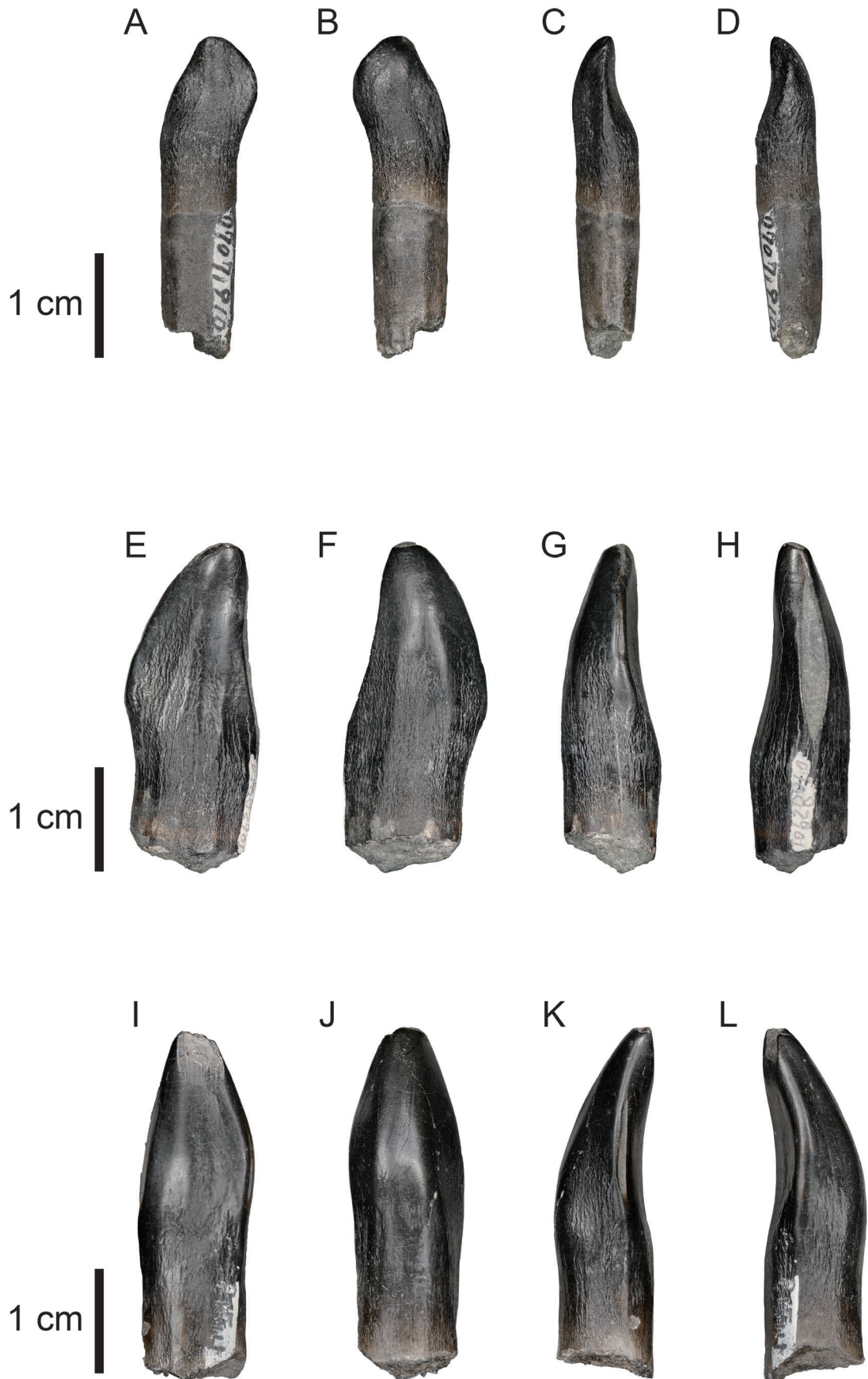


Fig. 6. Titanosauriform sauropod dinosaur (*Fukuititan nipponensis*) teeth from the Kitadani Formation of Katsuyama, Fukui Prefecture. A–D, FPDM-V8468-1 in lingual, labial, distal and mesial views. E–H, FPDM-V8468-2 in lingual, labial, mesial and distal views. I–L, FPDM-V8468-3 in lingual, labial, distal and mesial views. All specimens are housed in the Fukui Prefectural Dinosaur Museum.

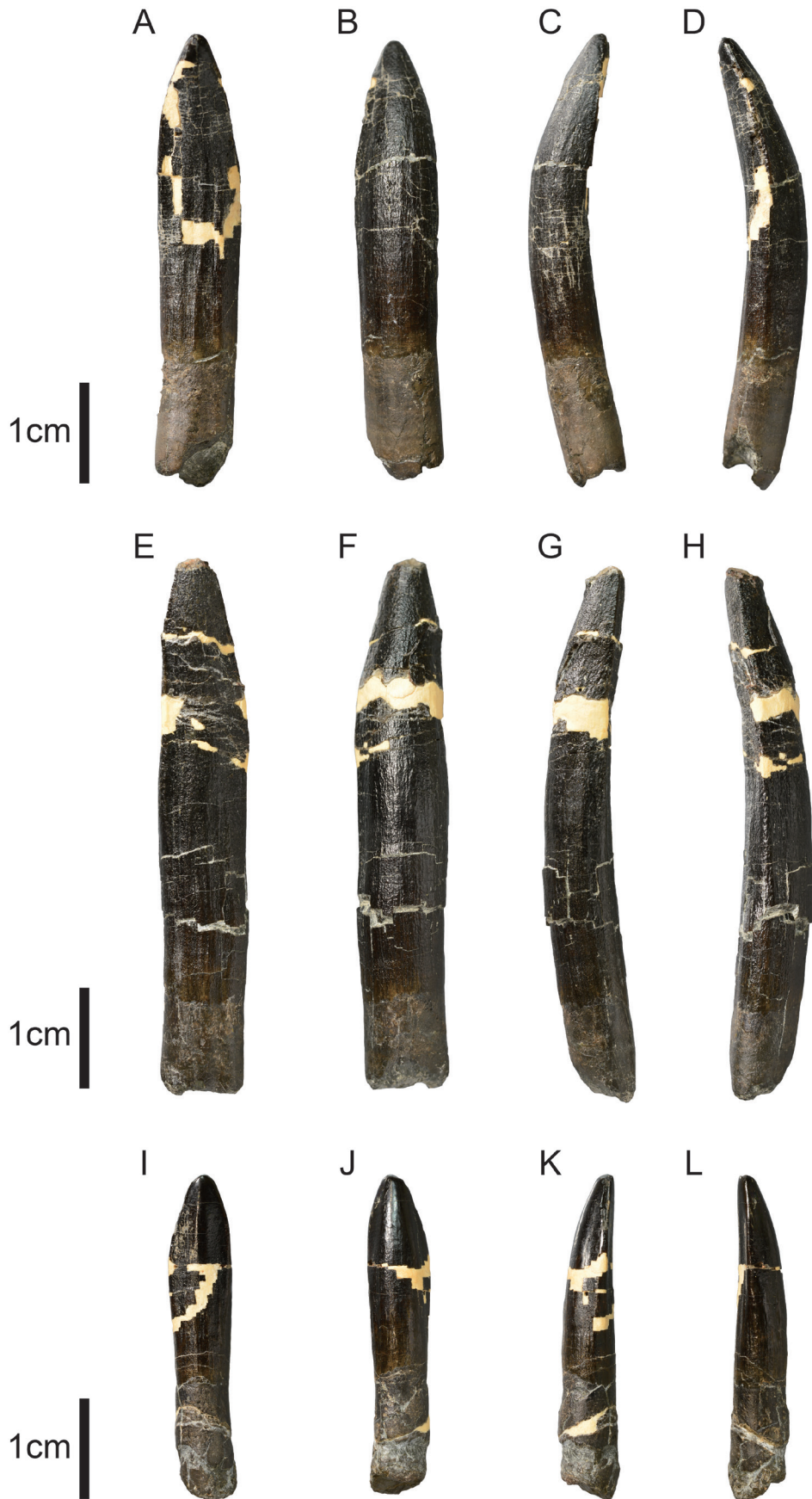


Fig. 7. Titanosauriform sauropod dinosaur (*Tambatitanis amicitiae*) teeth from the Sasayama Group of Tamba, Hyogo Prefecture. A–D, 090221IS13 in lingual, labial, mesial and distal views. E–H, 090227IS02 in lingual, labial, mesial and distal views. I–L, 070225-43 in lingual, labial, distal and mesial views. All specimens are housed in the Hyogo Prefectural Museum of Nature and Human Activities.

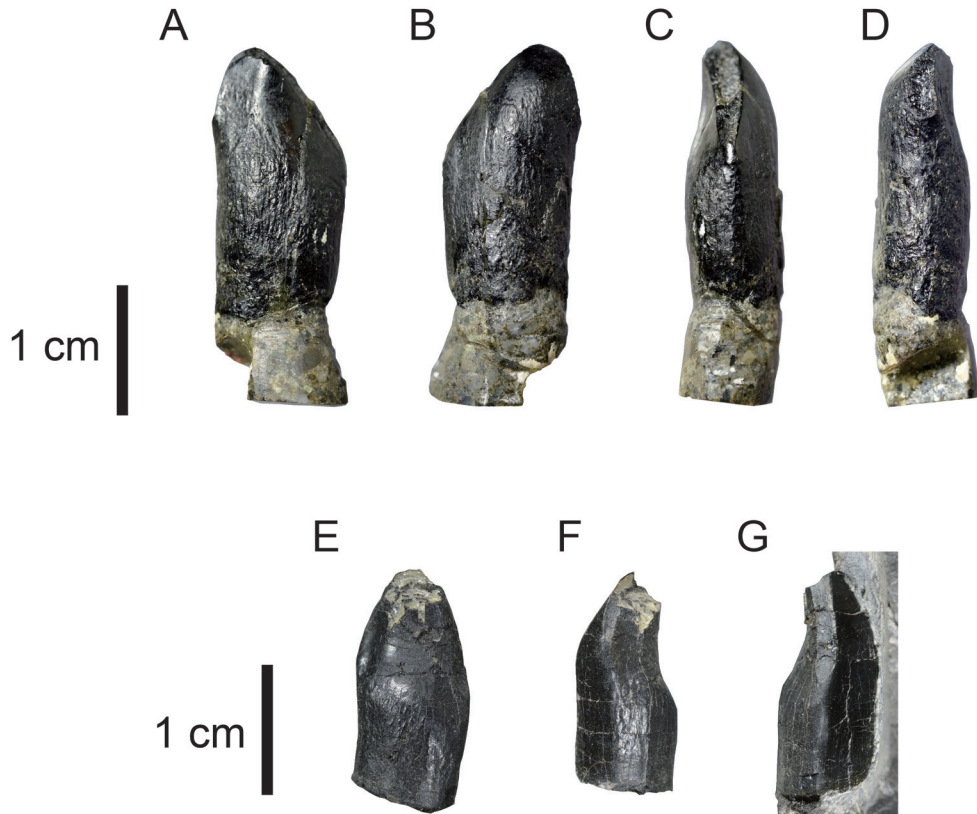


Fig.8. Titanosauriform sauropod dinosaur teeth from the Lower Cretaceous deposits in the Outer Zone of Southwest Japan. A–D, a tooth of sauropod from the Sebayashi Formation of Kanna, Gunma Prefecture, in lingual, labial, mesial and distal views. The specimen is housed in the Kanna Dinosaur Center. E–G, a tooth of sauropod from the Matsuo Group of Toba, Mie Prefecture, in lingual, mesial and distal views. The specimen is stored as privately owned collection by Mr. Takao Mizutani.

から、上部バランギニアン階からバレミアン階と推定されている (Fig. 4; 川端, 2001). また、フィッション・トラック年代測定値は 138 ± 7 Ma であり、予想年代は 130 Ma としている (坂, 2001). この数値は、オーテリビアン期とバレミアン期の境界にあたる (Ogg and Hinnov, 2012).

関東山地に分布し、ティタノサウルス形類の化石を産した山中層群瀬林層下部の堆積年代は、有孔虫化石から後期アプチアン期と推定されている (川村・指田, 2004). 一方、寺部・松岡 (2009) は、瀬林層からバレミアン期のアンモナイトを報告している. また、瀬林層の下位層準にあたる石堂層からは、バレミアン期のアンモナイト (Matsukawa, 1983; Matsukawa et al., 2007) やバレミアン期末～後期アプチアン期の放射虫化石 (川村・指田, 2004) が産出している. さらに、上位の石堂層上部の石灰岩から前期アプチアン期の有孔虫化石が産出している (Sashida et al., 1992; Matsumaru et al., 2005; 猪瀬・指田, 2011). 以上のデータから総合的に判断して、群馬県神流町でティタノサウルス形類を産した瀬林層下部

は、バレミアン期からアプチアン期の範囲にあると推定できる (Fig. 4).

徳島県を含むこれら日本外帯のティタノサウルス形類の化石年代は、各地層に含まれる示準化石の生存期間やフィッション・トラック年代値の精度に依存する. 未だその年代の詳細は議論できない段階にあるものの、従来の地質学的背景の解釈から、同じ堆積盆のほぼ同時期の地層から産出したものと考えられる (Kozai et al., 2005; 中畑ほか, 2016; 安藤・高橋, 2017).

三重県鳥羽市および群馬県神流町産のティタノサウルス形類の歯はヘラ状を呈しており、歯冠のエナメルの表面には、TKPM.GFV1330 と類似するシワ状の装飾が発達する (Fig. 8). 三重県鳥羽市の最大歯冠高と幅がそれぞれ 19.5 mm と 9.6 mm であり、SI 値が 2.03 である (Table 1; Fig. 9; Saegusa and Tomida, 2011). 一方、群馬県神流町の標本 (NDC-Use0001) は、最大歯冠高と幅がそれぞれ 20.5 mm と 10.2 mm であり、SI 値が 2.01 である (高桑ほか, 2008; Table 1; Fig. 9). 両標本とも SI 値がほぼ 2.0 であり、TKPM.GFV1330 の 2.74 に比べてやや低い. こ

とする見解である。この場合、内帯と外帯の前期白亜紀正常堆積物は、それぞれ内陸部の背弧・弧内海盆と沿岸部の前弧海盆の関係となる（磯崎・丸山, 1991; 磯崎ほか, 1992; 磯崎ほか, 2010; Isozaki et al., 2010; 中畑ほか, 2016; 安藤・高橋, 2017）。これらの研究の一部には、中央構造線の活動が主に中新世と第四紀の2回と想定しており、白亜紀から現在に至るまでの継続的な活動を想定していない（磯崎ほか, 2010; Isozaki et al., 2010）。

本論では、西南日本の白亜紀正常堆積物の堆積場について論じた最新の研究である中畑ほか（2016）の古地理図（Fig. 10）を利用するが、上記の中央構造線の活動についての2つの見解のいずれかに依るものではない。上記2つのどちらの見解においても、外帯の前期白亜紀正常堆積物（物部川層群、松尾層群、および山中層群）の堆積場は、外洋に面した沿岸部と想定されていることは同様である（Kozai et al., 2005; 中畑ほか, 2016; 安藤・高橋, 2017; 柴田ほか, 2017）。TKPM.GFV1330を産出した徳島県勝浦町の立川層については、その最上部から淡水生貝類化石が産出するもの、大部分の層準から汽水生貝類化石が多産することから、その堆積場の主体は汽水域であると判断される（Fig. 2）。すなわち、立川層はかなり海が近く、外洋に面した沿岸部で堆積したものと考えられる。この想定は松川・江藤（1987）や松川・伊藤（1995）でも同様で、立川層の堆積環境をファンデルタや河川の卓越した三角州と想定している。また同様に、ティタノサウルス形類の化石を産した外帯の松尾層群や山中層群瀬林層の堆積環境も汽水域が主体で、沿岸部に近い環境であったことが堆積相解析や共産する貝類化石から推測されている（Matsukawa, 1983; 松川・伊藤, 1995; 村越, 2001; Kozai et al., 2005）。

以上のことから、前期白亜紀の西南日本外帯が位置する大陸縁辺の沿岸付近で、物部川層群立川層、松尾層群、そして山中層群瀬林層はそれぞれ堆積し、汽水～淡水域の環境が広がるころ、ティタノサウルス形類の竜脚類がこれらの地域に広く分布していたと推測される（Fig. 10）。

謝辞

石川県白山市桑島産の竜脚類の標本の観察においては、大塚健斗 研究員（白山恐竜パーク白峰）にお世話になった。また、兵庫県丹波市産の竜脚類 *Tambatitanis amicitiae* の歯化石の観察では、三枝春生 博士・池田忠広 博士（兵庫県立人と自然の博物館）にご協力をいただいた。群馬県神流町産の竜脚類の標本の観察で、青塚

圭一 学芸員（神流町恐竜センター、現所属・東京大学大学院）に便宜を図っていただいた。三重県鳥羽市産の竜脚類の歯を所有している水谷孝夫 氏（愛知県瀬戸市）、また、その複製の作製において、藤本艶彦 氏（兵庫県立人と自然の博物館地域研究員）にお世話になった。谷本正浩 氏（大阪市立自然史博物館外来研究員）には、三重県鳥羽市産の竜脚類の標本の産出および保管状況などの情報を提供していただいた。関谷 透 博士（福井県立恐竜博物館）には、本論文の改善にあたり、有益なコメントをいただいた。ここに記して深く感謝したい。また、本研究の一部に、科学研究費補助金の若手研究（B）（課題番号 60372223）を使用させていただいた。

引用文献

- 安藤寿男・高橋雅紀. 2017. 白亜紀古日本陸弧－海溝系の復元：日本列島の白亜紀地質記録からの再考. 化石, (102) : 43–62.
- Azuma, Y. and Currie, P. J. 2000. A new carnosaur (Dinosauria: Theropoda) from the Lower Cretaceous of Japan. Canadian Journal of Earth Sciences, 37(12): 1735–1753.
- Azuma, Y. and Shibata, M. 2010. *Fukuititan nipponensis*, a new titanosauriform sauropod from the Early Cretaceous Tetori Group of Fukui Prefecture, Japan. Acta Geologica Sinica (English Edition), 84(3): 454–462.
- Azuma, Y., Xu, X., Shibata, M., Kawabe, S., Miyata, K. and Imai, T. 2016. A bizarre theropod from the Early Cretaceous of Japan highlighting mosaic evolution among coelurosaurians. Scientific Reports, 6 : 20478. Doi : 10.1038/srep20478.
- 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(6) : 1197–1217.
- Bindellini, G. and Sasso, C. D. in press. Sauropod teeth from the Middle Jurassic of Madagascar, and the oldest record of Titanosauriformes. Papers in Palaeontology, 1–25.
- Bonaparte, J. F. 1986. The early radiation and phylogenetic relationships of the Jurassic sauropod dinosaurs, based on vertebral anatomy. In: K. Padian, ed., The Beginning of the Age of Dinosaurs, p. 247–258. Cambridge University Press, Cambridge.
- Calvo, J. O. 1994. Jaw mechanics in sauropod dinosaurs. Gaia, 10 : 183–193.

- 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, Series C*, 17(1): 1-9.
- Hasegawa, Y., Manabe, M., Kase, T., Nakajima, S. and Takakuwa, Y. 1999. An ornithomimid vertebra from the Early Cretaceous Sebayashi Formation, Sanchu Terrane, Gunma Prefecture, Japan. *Bulletin of Gunma Museum of Natural History*, 3: 1-6.
- 平山 健・山下 昇・須鎗和巳・中川衷三. 1956. 7.5 万分の1 徳島県剣山図幅および同説明書. 52 p. 徳島県.
- 平山 廉・小林快次・藪田哲平・佐々木和久. 2010. 岩手県久慈市の上白亜系久慈層群玉川層より発見された陸生脊椎動物群(予報). *化石研究会会誌*, 42(2): 74-82.
- 廣瀬浩司・菊池直樹・鹿能晴尚・近藤康生・田代正之・大塚雅勇・三宅 安. 2015. 天草下島地域の姫浦層群上部亜層群における脊椎動物化石調査報告(Part 1). *御所浦白亜紀資料館報*, (16): 9-14.
- 猪瀬弘瑛・指田勝男. 2011. 白亜系山中層群石堂層に含まれる石灰岩の岩相・生物相とその年代. *化石*, (89): 5-14.
- 石田啓祐・橋本寿夫・香西 武. 1992. 四国東部の下部白亜系羽ノ浦層の岩相層序と生層序—その1. 勝浦川地域の日浦ならびに月ヶ谷ルート—. *徳島大学教養学部紀要(自然科学)*, 26: 1-57.
- 石田啓祐・橋本寿夫・香西 武. 1996. 四国東部の下部白亜系羽ノ浦層の岩相層序と生層序—その2. 羽ノ浦丘陵下部白亜系の再検討—. *徳島大学総合科学部紀要自然科学研究*, 9: 23-47.
- 石田啓祐・香西 武. 2003. 四国東部秩父累帯の地帯区分と層序. *徳島大学総合科学部紀要自然科学研究*, 16: 11-41.
- 石田啓祐・香西 武. 2016. 5.3 秩父累帯のジュラ紀—初期白亜紀前弧海盆堆積相と白亜紀デルター浅海相. *日本地質学会編, 日本地方地質誌7 四国地方*, p. 165-201, 朝倉書店, 東京.
- Ishida, K., Kozai, T., Park, S. and Mitsugi, T. 2003. Gravel bearing radiolarian as tracers for erosional events: a review of the status of recent research in SW Japan and Korea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(8): 909-920.
- 磯崎行雄・丸山茂徳. 1991. 日本におけるプレート造山論の歴史と日本列島の新しい地体構造区分. *地学雑誌*, 100(5): 697-761.
- 磯崎行雄・橋口孝泰・板谷徹丸. 1992. 黒瀬川クリッペの検証. *地質学雑誌*, 98(10): 917-941.
- 磯崎行雄・丸山茂徳・青木一勝・中間隆晃・宮下 敦・大藤 茂. 2010. 日本列島の地体構造区分再訪—太平洋型(都城型)造山帯構成单元および境界の分類・再定義—. *地学雑誌*, 119(6): 999-1053.
- Isozaki, Y., Aoki, K., Nakama, T. and Yanai, S. 2010. New insight into a subduction-related orogeny: A reappraisal of the geotectonic framework and evolution of the Japanese Islands. *Gondwana Research*, 18(1): 82-105.
- 川端清司. 2001. 恐竜化石胚胎層準における松尾層群の放散虫化石. 三重県大型化石発掘調査団編, 鳥羽の恐竜化石—三重県鳥羽市産恐竜化石調査研究報告書, p. 59-62, 三重県立博物館, 津.
- 川村宜央・指田勝男. 2004. 山中白亜系東縁部から産する白亜紀放散虫. *大阪微化石研究会誌, 特別号*, (13): 167-180.
- Kobayashi, Y. and Azuma, Y. 2003. A new iguanodontian (Dinosauria: Ornithopoda) from the Lower Cretaceous Kitadani Formation of Fukui Prefecture, Japan. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 23(1): 166-175.
- Kobayashi, Y., Nishimura, T., Takasaki, R., Chiba, K., Fiorillo, A. R., Tanaka, K., Chinzorig, T., Sato, T. and Sakurai, K. 2019. A new Hadrosaurine (Dinosauria: Hadrosauridae) from the marine deposits of the Late Cretaceous Hakobuchi Formation, Yezo Group, Japan. *Scientific Reports*, 9, 12389. Doi: 10.1038/s41598-019-48607-1
- 小松俊文・三宅優佳・真鍋 真・平山 廉・藪本美孝・對比地孝巨. 2014. 甌島列島に分布する上部白亜系姫浦層群の層序と化石および堆積環境. *地質学雑誌*, 120 (supplement): 19-39.
- Kozai, T., Ishida, K., Hirsch, F., Park, S. and Chang, K. 2005. Early Cretaceous non-marine mollusc faunas of Japan and Korea. *Cretaceous Research*, 26(1): 97-112.
- 久保田克博. 2017. 日本産の中生代恐竜化石目録. *人と自然*, (28): 97-115.
- Kusuhashi, N., Tsutsumi, Y., Saegusa, H., Horie, K., Ikeda, T., Yokoyama, K. and Shiraishi, K. 2013. A new Early Cretaceous eutherian mammal from the Sasayama Group, Hyogo, Japan. *Proceedings of the Royal Society B*, 280: 1-8.
- Matsukawa, M. 1983. Stratigraphy and sedimentary environments of the Sanchu Cretaceous, Japan. *Memoir of Ehime University, Science, Series D*, 9(4): 131-178.

- 松川正樹・江藤史哉. 1987. 徳島県勝浦川盆地の下部白亜系の層序と堆積環境—特に秩父帯の南北2帯の白亜系を比較して—. 地質学雑誌, 93(7): 491–511.
- 松川正樹・伊藤 慎. 1995. 非海生二枚貝化石の生層序学的分解能の評価—日本の下部白亜系を例として—. 地質学雑誌, 101(1): 42–53.
- Matsukawa, M. and Obata, I. 1993. The ammonites *Crioceratites* (*Paracrioceras*) and *Shastrioceras* from the Barremian of southwest Japan. *Palaeontology*, 36(2): 249–266.
- Matsukawa, M., Obata, I. and Sato, K. 2007. Barremian ammonite fauna of the lower Ishido Formation, eastern part of the Sanchu Cretaceous, Japan. *Bulletin of Tokyo Gakugei University, Natural Sciences*, 59: 77–87.
- Matsumaru, K., Yoshida, A. and Hayashi, A. 2005. Orbitolinid Foraminifera from the Lower Aptian Ishido Formation of the Sanchu Cretaceous System, Kanto Mountains, Central Japan. *Journal of the Paleontological Society of India*, 50(2): 55–60.
- Marsh, O. C. 1878. Principal characters of American Jurassic dinosaurs, Part I. *American Journal of Science (series 3)*, 16: 411–416.
- 両角芳郎・亀井節夫・田代正之・菊池直樹・石田啓祐・東 洋一・橋本寿夫・中尾賢一. 1995. 徳島県勝浦町の下部白亜系立川層から産出した恐竜類化石. 徳島県立博物館研究報告, (5): 1–9.
- 村越直美. 2001. 松尾層群の堆積環境. 三重県大型化石発掘調査団編, 鳥羽の恐竜化石 三重県鳥羽市産恐竜化石調査研究報告書, p. 49–53. 三重県立博物館, 津.
- 中畑浩基・磯崎行雄・堤 之恭. 2016. 四国西部の3種の浅海成白亜系と碎屑性ジルコン U-Pb 年代スペクトル. 地学雑誌, 125(3): 717–745.
- 中居 功. 1968. 徳島県勝浦川盆地の白亜系層序—とくにアンモナイトに基づく時代論—. 地質学雑誌, 74(5): 279–293.
- Ogg, J. G. and Hinnov, L. A. 2012. Cretaceous. In: F. M. Gradstein, J. G. Ogg, A. G. Smith, and G. Ogg, eds., *The Geologic Time Scale 2012*, p. 793–853. Elsevier publications, Amsterdam.
- Ohashi, T. and Barrett, P. 2009. A new ornithischian dinosaur from the Lower Cretaceous Kuwajima Formation of Japan. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 29(3): 748–757.
- 小原正顕. 2008. 和歌山県湯浅町の下部白亜系湯浅層から産出した獣脚類化石. 和歌山県立博物館館報, 26: 67–72.
- 三枝春生. 2016. 日本の竜脚類 ～トバリユウのなかまたち～. 中川良平・津村善博編, 三重県立総合博物館 第12回企画展「大変動の地～三重の三億年変動に生きた巨大生物たち～」展示解説書, p. 24–32. 三重県立総合博物館, 津.
- Saegusa, H. and Ikeda, T. 2014. A new titanosauriform sauropod (Dinosauria: Saurischia) from the Lower Cretaceous of Hyogo, Japan. *Zootaxa*, 3848(1): 1–66.
- Saegusa, H. and Tomida, Y. 2011. Titanosauriform teeth from the Cretaceous of Japan. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 83(1): 247–265.
- 坂 幸恭. 2001. 志摩半島秩父帯, 松尾層群の地質年代. 三重県大型化石発掘調査団編, 鳥羽の恐竜化石 三重県鳥羽市産恐竜化石調査研究報告書, p. 65–67. 三重県立博物館, 津.
- 酒井佑輔・関戸信次・松岡 篤. 2018. 石川一福井県境地域における下部白亜系手取層群の層序と植物化石群の層位的意義. 地質学雑誌, 124(3): 171–189.
- 酒井佑輔・堤 之恭・楠橋 直・藺田哲平・堀江憲路・松岡 篤. 2019. 石川県白峰地域における手取層群赤岩層の凝灰岩から得られたジルコン LA-ICP-MS U-Pb 年代. 地質学雑誌, 125(3): 255–260.
- 櫻井和彦・西村智弘・小林快次. 2014. 穂別産恐竜化石調査記録(1) 発見～第一次発掘. むかわ町立穂別博物館研究報告, (29): 1–28.
- 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.
- Sano, S. 2015. New view of the stratigraphy of the Tetori Group in Central Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*. (14): 25–61.
- Sashida, K., Igo, H., Adachi, S. and Ito, S. 1992. Foraminifers from the “Torinosu Limestone” embedded in the Ishido Formation of the Sanchu Cretaceous System, Kanto Mountains, Central Japan. In: K. Ishizaki and T. Saito, eds., *Centenary of Japanese Micropaleontology*, p. 273–280. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo.
- 佐藤和久・高栞祐司・長谷川善和. 2008. 群馬県神流町の瀬林層から産出した竜脚類化石. 日本古生物学会 第157回例会講演予稿集, 40.
- Shibata, M. and Azuma, Y. 2015. New basal hadrosauroid (Dinosauria: Ornithomimidae) from the Lower Cretaceous Kitadani Formation, Fukui, central Japan. *Zootaxa*, 3914(4): 421–440.

- 柴田正輝・尤 海魯・東 洋一. 2017. 日本の恐竜研究はどこまできたのか? : 東・東南アジアの前期白亜紀恐竜フォナーナの比較. 化石, (101): 23–41.
- Taira, A., Saito, Y. and Hashimoto, M. 1983. The role of oblique subduction and strike-slip tectonics in evolution of Japan. In: T. W. C. Hilde and S. Uyeda, eds., *Geodynamics of the Western Pacific-Indonesian Region*. p. 303–316. American Geophysical Union (Geodynamics Series 11), Washington, D. C.
- 高桑祐司・佐藤和久・木村敏之. 2008. 山中層群の古生物学的研究. 群馬県立自然史博物館編, 群馬県立自然史博物館自然史調査報告書(4), p. 78–98. 群馬県立自然史博物館, 富岡.
- 谷本正浩・水谷孝夫. 1999a. 鳥羽で見つかった竜脚類の歯. 地学研究, 47(3): 143–150.
- 谷本正浩・水谷孝夫. 1999b. 鳥羽竜脚類はネメグトサウルス科の最古のメンバー (鳥羽竜脚類の歯: 第2報). 地学研究, 47(4): 233–236.
- 田代正之・奥平耕右. 1993. 四国下部白亜系から *Trigonioides* 化石 (非海生二枚貝) の産出とその意義. 島根大学地質学研究報告, (12): 1–9.
- 田沢純一. 1993. 古生物地理からみた日本列島の先新三紀テクトニクス. 地質学雑誌, 99(7): 525–543.
- 田沢純一. 2004. 横ずれ説: 日本列島の起源と形成についての考察. 地質学雑誌, 110, 503–517.
- 寺部和伸・松岡 篤. 2009. 関東山地秩父累帯の山中白亜系瀬林層より産出したバレミアン期テチス型二枚貝群集. 地質学雑誌, 115(3): 130–140.
- 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(1): 217–238.
- 土屋 健. 2016. ザ・パーフェクトー日本初の恐竜全身骨格発掘記 ハドロサウルス発見から進化の謎まで. 313 p. 誠文堂新光社, 東京.
- 辻野泰之・東 洋一・宮田和周・中尾賢一・藺田哲平・河部壮一郎. 2018. 徳島県勝浦町の下部白亜系立川層 (物部川層群) から発見された竜脚類恐竜の歯. 日本古生物学会第 167 回例会講演予稿集, 39.
- Upchurch, P. 1995. The evolutionary history of sauropod dinosaurs. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. (Series B: Biological Sciences), 349 (1330): 365–390.
- Upchurch, P. 1998. The phylogenetic relationships of sauropod dinosaurs. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 124(1): 43–103.
- Wilson, J. and Sereno, P. C. 1998. Early evolution and higher-level phylogeny of sauropod dinosaurs. *Society of Vertebrate Paleontology*, (5): 1–68 (supplement to *Journal of Vertebrate Paleontology* 18).
- 山北 聡・大藤 茂. 2000. 中央構造線の後期白亜紀左横すべり変位量の推定とその西南日本の地帯配列における意味. 地団研専報, (49): 93–104.