茨城県大子町滝倉の中新統浅川層から発見された 大型哺乳類足跡化石群とその産状

安藤寿男*・小池 渉**・国府田良樹**・岡村喜明*** (2010年9月7日受理)

Large Mammalian Fossil Footprints Discovered from the Miocene Asakawa Formation in Daigo Town, Ibaraki Prefecture

Hisao Ando*, Wataru Koike**, Yoshiki Koda** and Yoshiaki Okamura***

(Accepted September 7, 2010)

Abstract

Large mammalian fossil footprints were discovered from two localities of the Lower Miocene Asakawa Formation in Takikura, Daigo Town, Ibaraki Prefecture. The mode of occurrence and three-dimensional morphology of the footprints are described on the basis of the detailed observation on the exposed bedding plane, photographs, silicon resin molds taken from outcrops and moiré images of the molds. The footprints in each locality are preserved as natural casts and sole marks on the lower bedding surface of trough cross-stratified, coarse- to medium-grained sandstone which seems to have deposited under braided river channel environments. The footprints themselves had been formed on the underlying siltstone layers of flood plain origin. The well-preserved five and four footprints among a total of 18 and 11 footprints from locality 1 and 2 respectively are analyzed in terms of three-dimensional morphology. As all of five footprints from locality 1 show three-digit bearing form, similar to a Japanese maple leaf, their producer is inferred to be a Perissodactylan animal such as rhinoceros or tapir. On the other hand, four footprints in locality 2 have elliptical form with a few frontal small projections and rear-side smooth arched outline, and this shape suggests Proboscidea as a footprint maker. Though a traveling direction of each well-preserved footprint can be inferred from its anteroposterior direction, it is difficult to recognize trackways from the distribution pattern of the footprints on the bedding surface.

Key words: Fossil footprint, Perissodactyla, Proboscidea, Lower Miocene, Asakawa Formation, Daigo Town.

はじめに

生痕化石の一種である足跡化石は,陸成層における 過去の生物相や生物の行動を復元する有力な情報源で ある.近年,日本では白亜紀以降の陸成層から足跡化 石群の発見が相次いでおり、その研究方法が構築され 研究例が蓄積されつつある。その多くは地層が水平で 固結度の低い新生代鮮新世以降のものであったが(例 えば、岡村、2000;岡村・高橋、2009)、最近では中 新世以前の傾斜した固結岩層でも足跡化石群が頻繁に

^{*} 茨城大学理学部地球環境科学コース 〒 310-8512 茨城県水戸市文京 2-1-1 (Faculty of Science, Ibaraki University, 2-1-1 Bunkyo, Mito, Ibaraki 310-8512, Japan).

^{**} ミュージアムパーク茨城県自然博物館 〒 306-0622 茨城県坂東市大崎 700 (Ibaraki Nature Museum, 700 Osaki, Bando, Ibaraki 306-0622, Japan).

^{***} 滋賀県足跡化石研究会 〒 520-3005 滋賀県栗東市御園 1022-7 (Shiga Fossil Footprint Research Group, 1022-7 Misono, Ritto, Shiga 520-3005, Japan).

見出されている(例えば、安野,2003,2006,2007a, b,2009).茨城県内でも、棚倉構造線沿いに分布する 中新統の非海成層から、菊池ほか(2005)や小池ほ か(2007)によって長鼻類や偶蹄類(シカ科あるいは シカ科に近縁の偶蹄目)、鳥類の足跡化石が発見され、 条件が整えば印跡動物を同定し、行跡からその歩行様 式などが復元できることが示されている(小池ほか, 2007).

2008年夏に茨城県久慈郡大子町頃藤の久慈川支流 の滝倉沢で新たに足跡化石が発見され,2009年3月 ~4月および2010年2月にミュージアムパーク茨城 県自然博物館と茨城大学理学部が中心となって調査 を実施した(ミュージアムパーク茨城県自然博物館, 2009, pp.24-25).本報告では,露頭で確認された足 跡化石の産状について報告するとともに,採取された足 跡化石の産状について報告するとともに,採取された 同本に基づいて足跡化石の特徴について記録し,その 形成過程について考察する.なお,採取された足跡化 石の型取り標本はミュージアムパーク茨城県自然博物 館に保管されている.

調査方法の概要

足跡化石が発見されたのは、茨城県久慈郡大子町頃 藤の滝倉沢川(久慈川支流)沿いに露出する浅川層の 中部で、久慈川との合流点から直線距離約 1.2 kmの 滝倉沢左岸(地点 1)と、そこから約 300 m 上流側の 町道沿い(地点 2)の2カ所である(図 1).いずれも 泥岩層上位の厚い砂岩層の層理面下底の底痕として保 存されている.

2009 年 3 ~ 4 月および 2010 年 2 月にミュージアム パーク茨城県自然博物館と茨城大学理学部が中心と なって現地調査を実施した.地点1(図 2a, 図版 1a) については層理下面の観察ができるように削岩機など を使って下位の岩陰状のへこみを掘削して広げ(図 版 2a, b),奥行き 1.5 m,幅7mにわたって密集する 合計 18 個の足印と推定される凸部を見い出した(図



図1. 足跡化石産地の位置(地点1,2). 国土地理院2万5千分の1地形図「大中宿」を使用. 地点3は菊池ほか(2005)の長鼻類足跡化石産地, 地点4は小池ほか(2007)による偶蹄類・鳥類足跡化石産地.

Fig. 1. Footprint fossil localities on a 1:25,000 scale topographical map, "Onakashuku" published by the Geographical Survey Institute of Japan (Localities 1 and 2). Locality 3: Proboscidea footprint locality reported by Kikuchi *et al.* (2005), 4: Cetartiodactyla and Avian footprint locality reported by Koike *et al.* (2007).

2a, 図版 2c). 地点 2 では風化と侵食によりすでに奥 模様か

行き 1.5 m, 幅 4 m の層理下面が露出しており, 11 個 の足印と推定される凸部を確認した(図 2b, 図版 1b).

凸部の形態と分布については, 露頭の層理下面に透 明ビニールシートを当ててその面の凸部の外形, 起伏, 充填した砂岩の葉理などをトレースして, 密集の様子 や配列を記録した(図版2d). これらの凸部は, 本来 直下の泥岩に踏み込まれてできた足印による凹部が上 位の砂質堆積物によって充填され, キャスト状になっ たと考えられ, その形態がよく保存されているものに ついてシリコン樹脂で型取りを行い, そのモールドか ら凹面観を観察した(図版2e,f). さらにモアレ法(岡 村・高橋, 2009)でモアレ写真を撮影し, 画像の干渉



- 図2. 足跡化石露頭の全景. ▶ ◀は足跡化石層準. a. 地点 1, 滝倉沢川左岸. 右が流下方向. ハンマー: 35 cm. b. 地点 2, 滝倉沢川沿い町道脇の北側露頭. ▶ ◀間は 300 cm.
- Fig. 2. Outcrop photographs of two footprint fossil localities. Triangle marks show the footprint fossil horizon. Locality 1, left bank of the Takikurazawa River. Length of the hammer: 35 cm. b. Locality 2 in the north side cliff of town road along the Takikurazawa River. ▶ ◀: 300 cm.

模様から足印による三次元構造を判定した.保存状態 のよい凸部については詳細に足印形態記載を行い,そ の特徴などから印跡動物を推定し,足跡化石の形成過 程について考察した.

地質概要

茨城県北部大子町の八溝山地(西側)と阿武隈山 地(東側)に挟まれた地域には,棚倉構造線の横ず れ運動に伴って形成された横ずれ堆積盆(strike-slip basin)が南北に分布し,新生代新第三紀中新世の厚 い陸成~海成層で埋積されている(大槻,1975;天野, 2008 など).この中新統は,中上部ジュラ系~最下部 白亜系の付加複合体を構成する硬い珪質砕屑岩類を主 体とし,一部にチャートを含む八溝層群(笠井ほか, 2000)を不整合に覆う(図3).

大子町頃藤周辺では下部中新統最上部の北田気層 と、それに整合に累重する浅川層が分布しており、そ の上位には男体山火山角礫岩が重なっている.北田気 層は棚倉構造線西側に分布する中新統の最下部にあた り、河川成の斜交層理が顕著な粗粒~中粒砂岩や砂岩 泥岩互層を主体とする.北田気層上部は白色~緑灰色



図3. 調査地域の地質層序. 大槻 (1975) および天野 (2008) に基づく.

Fig. 3. Stratigraphic division of the studied area based on Otsuki (1975) and Amano (2008).

の軽石質火山礫凝灰岩や白色の細粒凝灰岩からなるため、大沢口凝灰岩部層として識別され、大子町周辺地域の有効な鍵層となっている. 模式地の大沢川下流部の大沢口では天野ほか(2004)が16.7 MaのK-Ar 年代を報告している.小池ほか(2007)で報告した偶蹄類と鳥類の足跡化石群は、この大沢口凝灰岩部層中に含まれる砂岩層中に見出されたものである.

滝倉沢では主に浅川層が露出しており、中粒〜粗粒 砂岩を主体とし、礫岩、砂岩泥岩互層、塊状〜葉理シ ルト岩、凝灰岩を伴う、下部は陸成の砂礫質河川堆積 物で、上部には Arcid-Potamid フォーナ(高橋, 2001) と呼ばれる軟体動物化石群集や有孔虫化石を含む層準 があり、汽水成〜浅海成と考えられている、滝倉沢付 近での浅川層は全層厚約1,200 mを越えており、北西 -南東走向で 30 ~ 40°東に傾斜した東上位の同斜構 造をなしている、滝倉沢上流部では、浅川層の上位に 男体山火山角礫岩が顕著な岩相境界をもって重なって いる。

足跡化石層準の堆積相層序

1. 地点1

滴倉沢の左岸側に露出する,高さ約10m,幅約20m の全層厚約 20 m 弱の露頭(図 2a, 4, 図版 1a) である. 走向は N62°W, 傾斜が 26°NE であり, 沢の上流側が 上位となる. この露頭は、分級の中~やや不良な厚い 中粒~粗粒砂岩とそれらに挟在する厚さ10~20 cm, 40~50 cmの暗灰色泥岩からなっており、I~Vの 5つの岩相層序ユニットに区分できる. III ~ V は粒 度と層理の発達状況から2つもしくは3つのサブユ ニットに細分できる. ユニット III と IV はそれぞれ 上方細粒化する砂岩・泥岩サクセッションをなしてお り、特にIII は級化傾向が顕著である、中粒〜粗粒砂 岩にはトラフ型斜交層理が顕著で、ユニット IV と V でのトラフセット厚は数10 cm から1.5 m 程度である が, III-1 では細粒~中粒砂岩を含み, 40 cm 以下であ る. II は最上部のみが露出するが. II から V にかけ て砂岩が上方厚層化する傾向がある.

地点1の地層は粒度,分級,堆積構造,上下位の堆 積相から,氾濫原成の泥質相をわずかに伴う砂質網状 河川の堆積物と解釈される.足跡化石はユニットIII とIVの比較的平坦な境界面に,IV基底の底痕として 保存されており,その起伏は数 cm から最大9 cm で ある. これはユニット III-2 の薄い氾濫原成の未固結 な平行葉理暗灰色シルトに踏み込まれた足印の凹部 が,その後河道成の含細礫質極粗粒~粗粒砂で充填さ れたことを示す.ユニット III はその上位ユニットよ り細粒であるため,同じ網状河川相でも浅い起伏の小 さな網状流路を充填した砂質堆積物の上に薄く氾濫原 泥が沈積したと推定される.

2. 地点2

地点2は、地点1より滝倉沢沿いの町道を約300m 上流側に進んだ位置にある、町道に沿う幅約50m, 最大高約15mの露頭である(図2b, 5, 図版1b). こ の露頭は地点1より120mほど上位の層準にある(図 1). ここでは層厚22mが露出し、I~VIの岩相層序 ユニットに区分できる.

ユニット」は細粒凝灰岩、砂質凝灰岩、平行葉理 を伴うシルト岩が卓越する. 特に上部のシルト岩で は葉理が顕著で、Paliurus protonipponica、Plafkeria cf. basiobliqua などの植物の葉片化石や炭化植物片が多く 含まれる.ユニットIIは、トラフ型斜交層理が顕著 な層厚 2.5 m の極粗粒~中粒砂岩とそれに重なる層厚 40 cm の平行葉理が認められるシルト岩で、両者の境 界では級化して漸移する.シルト岩には保存の悪い植 物の葉片化石が散在する.ユニット III は、一部に露 出欠如があるが, 塊状~厚層の細粒凝灰岩, 砂質凝灰 岩を主体として、凝灰質細粒~中粒砂岩を含む、ユニッ ト IV は、III に明瞭なやや起伏のある侵食面を介して、 極粗粒~粗粒砂岩が重なっており、下部の層厚1mの 砂岩にはトラフ型斜交層理が顕著で、その基底部には 中〜細礫や材化石片が多数含まれる. ユニット VI と Vとの境界は露出していないが、V は斜交層理があま り認められない塊状の凝灰質中粒砂岩からなる. VI はVに起伏のある明瞭な侵食面で重なる極粗粒〜粗 粒のアルコース質砂岩で、セット厚が1mを超えて波 長が数mにおよぶ大規模なトラフ型斜交層理で特徴 づけられる. 黒色の火山岩の多い中礫層理も頻繁に含 まれるが、下位層に比べ軽石粒が少なく凝灰質ではな い. 下限から 2.8 m の層準に層厚 5 cm 以下の薄いレ ンズ状の灰黒色シルト岩を挟在している.

足跡化石は凝灰質岩の卓越するユニットIとIIIの 間に含まれるユニットIIの厚い砂岩層下底の底痕と して保存されている.ユニットIV ~ VIはトラフ型 斜交層理が著しい厚い砂岩が卓越することから,砂質 網状河川の堆積物と判断されるが, I ~ Ⅲ は凝灰岩 が平坦に厚く堆積する河川氾濫原環境が続いていたこ とを示している.

足跡化石の産状

1. 地点1

足跡化石は、ユニット IV 基底面に底痕として保存 されている.下位のユニット III 上部の砂岩・シルト

層厚 (m)	岩相層序 ユニット		地質柱状 粒径区分化石	岩 相 記 載	堆 積 環 境		
15 -	V	2	elsi fracve sdy st	灰色トラフ型斜交層理 厚層 アルコース質 粗粒〜中粒砂岩	大規模河道		
	-	1		灰色トラフ型斜交層理 厚層 アルコース質 極粗粒〜粗粒砂岩. 細礫 > 中礫, 泥岩偽礫の葉理を含む 記伏のある侵食基底. 直径 10 cm 直立炭化樹幹			
	-	3	B	暗灰角弱平行葉理 砂質シルト岩 植物葉片化石		_	
10 -	IV	2	Y N/V N	級化 灰色トラフ型斜交層理 厚層 アルコース質 粗粒〜極粗粒砂岩 斜交層理セット層厚:数10 cm〜1.5 m 基底面に底底として足跡化石密集	中規模河道	砂質網状河ー	
		2		電灰色弱平行葉理砂質シルト岩			
	III	1	62 26	暗灰の灰色塊状シルト質細〜中粒砂岩 灰色斜交層理粗〜極粗粒砂岩 細礫 >> 中礫層理を含む	砂州		
5-	Π			塊状中粒砂岩	砂州		
0	I		~~~	トラフ型斜交層理 アルコース質粗〜中粒砂岩	河道		
			clay f c congl				
			sdy silt sand				

図4. 地点1(滝倉沢左岸露頭)における地質柱状図.

Fig. 4. Geological columnar section of locality 1, left side of the Takikurazawa River.





Fig. 5. Geological columnar section of locality 2 in the north side cliff of town road along the Takikurazawa River.

岩は、侵食・風化によって失われて岩陰状に大きくく ぼんでいるため、その天井部の IV 基底面に凸型の膨 らみとして露出している(図 6、図版 3).奥行き 1~ 1.5 m で幅 7 m の範囲の露出面に、形態が把握できる 凸部は計 18 個認められ、凸部の層厚(下位のシルト 岩のくぼみを埋積した砂岩層の厚さ)は最大で 9 cm である、個々の凸部を特定するために、傾斜して露出 する層理面の西側から東側に向かって 1-01 から 1-18 の凸部番号を付した(図 7).なお、この中には風化 により凸部がほぼ欠われた 1 個が含まれているが、便 宜上、凸部と同様に番号(1-18)を与えた、また、足 印断面が密集する領域が 1 群存在し、1-A とした(図 版 4a).

凸部は露出する層理面上に散在するが,一部で密集 している.凸部には,風化により破損・脱落して初生 的な凸部形態が保持されていないために足印の形態が 判別できないものも含まれる.なお,図7(後出の図 8も同様)は層理下面の凸面観(以下,層理下面に露 出する凸状の足印形態を凸面観とする)ではなく,印 跡時の足跡化石群の分布を理解するために上面観に反 転して表示した.

地点1における凸部1-01~1-18の個々の形態的特 徴を表1に示す. このうち,1-01,1-04,1-05,1-06 の4個は,保存状態がよく足印形態が確認できるた め,露頭観察に加えてモアレ写真による詳細な形態解 析を実施し,足印形態について考察した.また,1-18 は凸部が脱落しているが,断面での趾印形態が明瞭で あるため,その形態について記載した.また,1-Aは 1組の足印ではなく,平坦な層理面上に趾印を示すU 字状構造が多数密集した足印断面群と考えられるた め,その分布や進行方向についてより詳しく検討した. なお,表1において保存状態を「やや良」とした8個



- 図6. 地点1のユニットⅣ基底の層理下面に露出する 凸部の産出状況. ユニットⅢ上部の砂岩・シルト岩 は選択侵食により大きく削られている.
- Fig. 6. The mode of occurrence of the footprint casts exposed on the lower bedding surface of unit IV, locality 1. Sandstone-siltstone layers of the upper part of unit III were eroded away.



図7. 地点1における足印密集層下面の平面スケッチ. 網掛け領域は各凸部(1-01~18)および足印断面密 集部(1-A), 点線は足印分布区域1~3および図10の範囲. 矢印は足印形態から推定される進行方向を示す. Fig. 7. Plan view sketch of the lower bedding surface of the footprint horizon at locality 1. Shaded areas show natural casts of footprints (1-01~18) and the concentrated area of footprints (1-A) whose main parts of casts were flaked away due to weathering. Encircled and dotted lines indicate the footprints areas 1 to 3 and the area shown in Fig. 10 respectively. Arrows indicate the inferred traveling directions of the footprint-making animals.

表1. 地点1における凸部の形態・状態と確認された足印の計測値一覧.

 Table 1. List of shapes, preservation states and measured parameters for footprint fossils from locality 1.

-10- LL	凸部形態·状態	凸部の大きさ (mm)			但去让能 口伯剑	口口がの形態	足印の大きさ(mm)			足印の	推定される	お参	它古笙
面方		長径	短径	層厚	体针状態	正中部0716度。	長さ	幅	第3趾印幅	重複の有無	進行方向	口中人	与具守
1-01	楕円形	260	180	30	良好	3 趾型	180+	210	75	重複	北	※本文中に記述	Fig. 9a-c
1-02	円形, 一部 破損している	190	170	30	やや良	3 趾型 ?	105+	160	55	重複	西南西	3 趾型足印1個を 確認,ほかの趾印 から,ほかに2個 以上の足印が重複.	Pl. 3a
1-03	円形, 破損して いる	230	200	40	不良	不明	-	-	-	不明	-	不明瞭で趾印の判 別不可.	
1-04	楕円形	230	180	60	良好	3 趾型?	170+	205	60	重複の可能 性あり	南	※本文中に記述	Fig. 9d-f
1-05	ほぼ円形	240	170	50	良好	3 趾型	190	225	130?	重複	東	※本文中に記述	Fig. 9g-i
1-06	楕円形	310	230	50	良好	3 趾型	180	180	?	重複の可能 性高い	東北東	※本文中に記述	Fig. 9j-l
1-07	2 個の円形が連 なる	310	260	40	不良	不明	_	_	_	重複	_	円形の凸部がずれ た 位 置 に 2 個 重 なっているが,底 部は平滑で足印形 態 は 判 別 で きな い.	Pl. 3b
1-08	楕円形であるが 外形に凹凸が激 しい	250	240	40	やや良	3 趾型	- /155+	- /170	110/100	重複	北	ややサイズの異な る3趾型足印が重 複している.	Pl. 3c
1-09	不明	160+	90+	40	不良	不明	-	-	-	不明	-	壁面に接していて 一部が露出してい ないため,全体形 態が不明.	
1-10	円形?	280	150+	50	不良	不明	-	_	_	不明	_	壁面に接していて 一部が露出してい ないため,全体形 態が不明.	
1-11	円形	240	220	30	やや良	3 趾型	130+	130+	70	重複	南南東	壁面に接した部分 が不明瞭である が、3 趾型の形態 が認められる.	Pl. 3d
1-12	楕円形, 破損が みられる	480	320	60	やや良	3 趾型?	-	-	75	重複?	西北西~北 西	小礫が露出. 趾印 による突出は認め られるが, 足印形 態は不明瞭.	Pl. 3e
1-13	円形	270	240	20	やや良	3 趾型	210	180	$75 \sim 80$	重複	西南西	凸部は大部分が欠 落しているが,小 礫を含む足印断面 が認められる.	Pl. 3f
1-14	円形	250	230	20	やや良	3 趾型	170	175+	75	重複	北西	凸部は大部分が欠 落しているが,小 礫を含む足印断面 が認められる.	Pl. 3f
1-15	不明	400	200+	30	不良	不明	-	-	_	不明	_	 壁面に接していて 一部が露出してい ないため、全体形 態が不明. 	
1-16	円形?	310	240	30	やや良	3 趾型?	_	_	$60 \sim 65$	重複?	南西	一部が壁面に接しているが、趾印と考えられる突出部が複数確認される。	Pl. 3g
1-17	楕円形	270	195	90	やや良	3 趾型 ?	-	180	-	重複?	-	地点1では最も大 きく突出している が、凸部周辺の空 洞が狭いために詳 細観察が困難.	Pl.3h
1-18	突出なし, 粗粒 砂あり, 一部破 損	-	-	0	良好	3 趾型	180+	160	60	重複	南東	※本文中に記述	Fig. 9m-n
1-A	U 字型の趾印群	-	_	_	良好	趾印群	-	_	_	重複	南西	※本文中に記述	Fig. 10, 11, Pl. 4a

は、突出部の一部に破損があるが足印の形状の一部を 保持したもので、「不良」とした5個については、風 化による破損により形態的な観察および各部の計測に は適していないと判断した.

2. 地点2

ユニット II の砂岩層下底に露出する奥行き 1.5 mで 幅4mの範囲に,計11個の凸部が地点1と同様に下 に凸の膨らみをなす底痕として密集する(図版4b). 凸部の層厚は3~11 cmである.この凸部に層理面 の東側から西側に向かって2-1~2-11の番号を付し, 個々の形態的特徴を表2に示した.上面観で描いた分 布図(図8)に示すとおり,凸部の大きさと形態は多 様で,風化により破損,脱落している箇所が少なくな い.このためシリコン樹脂での型取りおよびモアレ 写真による形態解析は,保存状態の良好な2-1,2-3, 2-5,2-8の4個の凸部についてのみ行い,足印形態に ついて検討した. の5個および1群と地点2の4個の凸部などについて, 露頭での目視による凸面観の観察,シリコン樹脂凹型 のモアレ写真を用いた三次元構造の判別から足印の形 態解析を行った.2地点で確認された凸部はいずれも, 1個の突出が1個の足印あるいは1組の前後重複足印 によって形成されているとは限らず,なかには凸面に 3個以上の足印によると考えられる突出形態が観察で きるものもある.このような場合は最も輪郭が明瞭な 足印を中心に記載した.

なお、モアレ写真は、凸部のシリコン樹脂モールド (凹型)を用いているために、露頭での凸部形態と凹 凸が逆になるが、ここでは両者の記載を統一するため に、得られた三次元解析結果を凸部の形状に置き換え て記述した.また、足印形態において踵部と推定され る周縁部の弧状形態や踵溝に相当するくぼみの存在、 趾印の配置などから足印の向きについて推定した.そ の方向については、露頭面の上面観および下面観の記 述上の混同を避けるため、ここでは図 9、10、11、12 上におけるクロックポジション(0時~12時)で表 現した.

足跡化石の形態記載

足印形態がよく保存されていると考えられる地点1

表 2. 地点 2 における凸部の形態・状態と確認された足印の計測値一覧. **Table 2.** List of shapes, preservation states and measured parameters for footprint fossils from locality 2.

	凸部形態·状態	凸部の大きさ (mm)		但大小型		足印の大きさ (mm)		足印の	推定される	44.15	官古体	
金亏		長径	短径	層厚	• 保存状態	態 足印形態	長さ	幅	重複の有無	進行方向	記載	与具等
2-01	楕円形	260	180	70	良好	楕円形2個	180	145	重複	-	※本文中に記述	Fig. 11a-c
2-02	かまぽこ形,破 損が著しい	190	170	120	不良	不明	-	-	不明	_	大きく突出しているが, 主要部が脱落しているた め,形態判別は不能.	
2-03	楕円形, 凸部は 脱落している	230	200	0	良好	楕円形	220	157	重複	東北東	※本文中に記述	Fig. 11d-e, Pl. 4b
2-04	楕円形, 一部破 損している	230	180	110	やや良	円形~楕円形	-	-	不明	_	上部は破損,下部縁辺部 には小さなくびれが複数 確認されるが,趾印の可 能性は不明.	Pl. 4b
2-05	楕円形, 凸部の 一部が脱落	240	170	90	良好	楕円形	190	135	重複	東	※本文中に記述	Fig. 11f-h, Pl. 4b
2-06	円形·破損	310	230	80	やや良	円形?	-	-	不明	-	左上部は破損,右下縁辺 部には小さなくびれが複 数確認されるが,趾印の 可能性は不明.	Pl. 4b
2-07	楕円形 ? 破損し ている	310	260	110	不良	不明	-	-	不明	-	風化の進行により詳細形 態の判別不能.	
2-08	楕円形	250	240	70	良好	楕円形	180	130	重複?	南南東	※本文中に記述	Fig. 11i-k
2-09	円形, 一部破損 している	160+	90+	30	不良	不明	-	-	不明	_	壁面に接していて一部が 露出していないため,全 体形態が不明.	
2-10	楕円形 ? 破損し ている	280	150+	60	不良	不明	-	-	不明	-	風化の進行により凸部の 過半が脱落し,形態判別 は不能.	
2-11	楕円形?破損し ている	240	220	100	不良	不明	-	-	不明	-	風化の進行により凸部の 過半が脱落し,形態判別 は不能.	



図8. 地点2における足印密集層下面の平面スケッチ. 点線は図版4bの撮影範囲. 矢印は足印形態から推定 される進行方向を示す.

Fig. 8. Plan view sketch of the lower bedding surface of the footprint horizon at locality 2. An area encircled with dotted lines indicates the covering area of Pl. 4b. Arrows indicate the inferred traveling directions of the footprint-making animals.

1. 地点1の凸部

1-01: (図 9a, 9b, 9c)

凸部の厚さは3 cm で外形は楕円形を呈する.凸面 観では凸部の右上半分の周縁が大きく弧状を呈してお り,踵印の可能性が示唆される(図9a).モアレ像(図 9c)からは、大きな弧の反対側に3つの小凸部があ り、全体として3趾型の起伏形態をなしている.した がって7~8時方向の3趾型の足印と推定される(図 9b).足印長は180 + mm、足印幅は210 mm であり、 第3趾印(3趾の中央の趾印)幅は75 mm である.また、 この足印下部の縁辺部に同じ向きのやや不明瞭な趾印 が認められることから、前後重複足印と考えられる. 1-04:(図9d, 9e, 9f)

凸部の厚さは6 cm. 凸面観では図9dの右部に長さ 約5 cmの切れ込み様くびれが,左上部の周縁には小 さな突出部が確認される.一部に欠損があるが,突出 面は比較的平坦で僅かな凹凸がみられる.下部では, 凸部の周縁が大きく弧状を呈しており,踵印である可 能性がある.トレース図(図9e)とモアレ像(図9f) では,凸部の右下にも小さな突出があり,左上の小突 出部と併せて3趾型の足印が想定される.推定足印 長は170+mm,足印幅は205 mm,第3趾印幅は推定 60 mm であり,進行方向はおおよそ1時方向と考え られる.ほかにも趾印と推定される小突出部が認めら れることから,前後重複足印の可能性が考えられる. 1-05:(図9g,9h,9i)

凸部の厚さは5 cm, 外形はほぼ円形を呈する. 凸

面観では凸部(図 9g)の左側周縁が大きな弧を描く. 上下両側に小さな突出が認められ,トレース図(図 9h)およびモアレ像(図 9i)と併せて,全体として 9 時方向の 3 趾型足印と判別される.足印の推定足印長 は 190 mm,足印幅は 225 mm である.左部に不明瞭 な趾印が複数存在することから,前後重複足印である と考えられる.また,突出部のやや平滑な表面に,同 様の方向を示す 3 趾型足印の形状らしき小型の円形の 膨らみを読み取ることができる(図 9h).つまり,9 時方向の大小の 3 趾型足印が重なっている可能性があ る.

1-06: (図 9j, 9k, 9l)

凸部の厚さは5 cm,外形はほぼ円形を呈する.凸 面観で表面に小さな凹凸があり,これを反映して粗粒 砂〜細礫が分布しているように見える(図 9j).突出 部の左上方周縁は大きな弧を描き,それ以外の周縁部 では小突出が4~5 個認められ,やや複雑な形状を呈 している(図 9k).モアレ像(図 9l)では,3趾型足 印様の形態が認められ,4~5時方向の3趾型足印と 判別される.また,踵部に該当する弧状縁には踵溝に 相当すると思われる浅いくほみが確認できる.この足 印の推定足印長は180 mm,足印幅は180 mmである. 周縁部の複雑な形状から,前後重複足印の可能性が高 いと思われる.

1-18: (図 9m, 9n)

この凸部は風化の進行によりほとんど脱落し、足印 の輪郭を示す最大1 cm の高まりが層理面に残されて



- 図 9. 地点1の主な足印の形態.シリコン樹脂凹型のモアレ画像については,露頭での凸面観写真に対応させるため,画像を反転させてある。矢印は足印形態から推定される進行方向を示す.スケールは10 cm.
 a. 1-01の凸面観写真, b. 1-01の形態スケッチ, c. 1-01のシリコン樹脂凹型のモアレ画像, d. 1-04の凸面観写真,
 e. 1-04の形態スケッチ, f. 1-04のシリコン樹脂凹型のモアレ画像, g. 1-05の凸面観写真, h. 1-05の形態スケッチ,
 f. 1-05のシリコン樹脂凹型のモアレ画像, j. 1-06の凸面観写真, k. 1-06の形態スケッチ,
 l. 1-06のシリコン樹脂凹型のモアレ画像, m. 1-18の凸面観写真, n. 1-18の形態スケッチ.
- Fig. 9. Morphology of typical footprints in locality 1. Moire image photos are reversed for comparison with the plan view outcrop photos. Arrows indicate the inferred traveling directions of the footprint-making animals. Scale: 10 cm. a. Plan view photo of footprint 1-01, b. Plan view sketch of footprint 1-01, c. Moiré image photo of footprint 1-01, d. Plan view photo of footprint 1-04, e. Plan view sketch of footprint 1-04, f. Moiré image photo of footprint 1-04, g. Plan view photo of footprint 1-05, h. Plan view sketch of footprint 1-05, i. Moiré image photo of footprint 1-06, j. Plan view photo of footprint 1-06, k. Plan view sketch of footprint 1-06, l. Moiré image photo of footprint 1-06, m. Plan view photo of footprint 1-18, n. Plan view sketch of footprint 1-18.

おり(図9m,9n),一部に破損が認められるものの, 外形は楕円形を呈する.趾印部には粗粒砂がみられ, 趾印による深いくぼみを上位層の砂礫層が埋積したも のと考えられる.粗粒砂の分布および足印の輪郭の 形状から,2時方向の3趾型足印と判別される.推定 足印長は180+mm,足印幅は160mmである.また, 足印の輪郭の外側に別の輪郭の一部が認められること から(図9n),前後重複足印と考えられる.

2. 地点1の足印断面密集部

1-A: (図 10, 11, 図版 4a)

ここでは凸部が保存されておらず,平坦な粗粒砂岩 層の底面上にU字状あるいは湾曲形を呈する約50個 の極粗粒砂~細礫の集積部が,50 cm×120 cmの範 囲にパッチ状に密集している.この構造は足印により 形成された凸部が侵食・風化で脱落してできた足印断 面群と考えられる.U字状構造の内側には,極粗粒砂



図 10. 足印断面密集部 1-A の露頭平面写真(地点 1). スケールは 50 cm. Fig. 10. Plan view photo of the concentrated area of footprint sections 1-A. Scale: 50 cm.



図 11. 足印断面密集部 1-A の趾印断面群形態スケッチ(地点 1). 点線は図版 4a の撮影範囲. **Fig. 11.** Plan view sketch of the concentrated area of footprint sections 1-A. Dotted lines indicate the covering area of Pl. 4a.

〜細礫が分布しているため、その境界部は概して明瞭 であり(図版 4a)、サイズと形状から主に深いくびれ をもった趾印とみなされ、一部は足印の輪郭を示すと 考えられる.しかし、密集かつ重複して印跡されてい るために、個々の足印形態の把握は困難である.

この足印断面密集部について,東西約 130 cm,南 北 70 cm の範囲の露出状況およびスケッチを,それぞ れ図 10 および図 11 に示す.趾印は左方向のものが卓 越し,逆方向はほとんど見受けられない(図 11).こ れは多数の同一方向の足印が重複して印跡されたこと を示す.また,1-A の延長上に位置する 1-13,1-14, 1-16 の足印の向きは,1-A の足印方向と調和的であり, 足印の向きを判別できない 1-15 を含めた 4 つの足印 は 1-A と一連の足印群であると考えられる(図 7).U 字状構造の幅は 36 ~ 143 mm とかなりの変異が認め られるが,多くは 90 mm 以下である.

3. 地点2の凸部

2-01: (図 12a, 12b, 12c)

この凸部は長径 420 mm, 短径 370 mm の楕円形を 呈する (図 12a). 凸部の厚さは 70 mm である. 破損 している部分があるが, 凸部表面に小さな楕円形の突 出部が 2 個認められる (図 12b). この 2 個の楕円形 の突出部は, いずれも長径 180 mm, 短径 150 mm で ある. モアレ画像では 2 個の突出部の形態はやや不明 瞭で (図 12c), 地点 1 で認められたような趾印間の くびれは認められない.

2-03: (図 12d, 12e)

この凸部は長径 280 mm, 短径 170 mm の楕円形を 呈し,凸部が脱落して断面が露出している.この楕円 形の内部に,さらに楕円形を呈する褐灰色部と,半円 形を呈する褐黒色部(右側)が認められる(図 12d, 12e).楕円形褐灰色部は長径 220 mm,短径 157 mm で,その左側周縁部はくびれのない弧状を呈するのに 対し,右側周縁部には小さな弧状の突出が3 個認めら れる.一方,この右側に位置する半円形褐黒色部にも, 右側周縁部に小さな弧状の突出が3 個認められる.こ れらの突出間のくびれはいずれも小さく,足印の外形 が楕円形を呈する点で,地点1の3 趾型足印とは明ら かに形態が異なる.前肢による褐黒色部の足印上に, 後肢による褐灰色部の足印がややずれて踏み重なった 前後重複足印と考えられ(図 12e),印跡動物は3 時 方向に移動していたと考えられる. 2-05: (図 12f, 12g, 12h, 図版 4b)

この凸部は長径 330 mm, 横径 260 mm の楕円形を 呈するが, 右半分は破損している. 厚さは 90 mm で ある. 凸面には帯状に粗粒砂〜細礫が見られる(図 12f, 12g). 左側周縁部の一部は三日月形に脱落した 痕跡が見受けられるが, くびれのない大きな弧状を呈 しており, 踵印の可能性が示唆される(図 12h). 右 側周縁部には4~5 個の弱い小突出が認められ, 趾印 と考えられる(図 12g). このため, 地点1 でみられ るような明瞭な3 趾型足印ではなく, 楕円形で周縁に 小さな趾印をもつ足印と考えられる. 足印長は 190 mm, 足印幅は 135 mm で, 趾印の位置と数から3 時方向を 示す前後重複足印と推定できる.

2-08: (図 12i, 12j, 12k)

この凸部は小型の楕円形を呈し(図 12i),長径 200 mm,短径 150 mm,厚さは 70 mm である.凸面 には顕著な凹凸がみられないが,モアレ像によると 中央部に楕円形の緩やかな突出部が認められる(図 12k).左側は傾斜が急で大きく弧状を呈するのに対し, 右側では傾斜が緩く,周縁部には小さな突出が複数認 められる(図 12j).このことから2時方向を示す楕円 形の足印であろう.その推定足印長は 180 mm,足印 幅は 130 mm である.

足跡化石の配列と進行方向

地点1および地点2において確認された各足印について,推定される進行方向を足跡化石分布図に示し(図 7,8),その配列などについて考察した.

1. 地点1

足印と足印群の分布,推定できた12個の足印の進 行方向やその配列から3区域に区分した(図7).

区域1は足印断面密集部である1-Aから1-13,1-14, 1-15,1-16に至る,北東-南西方向に連なる帯状の 区域であり,北西向き(1-14)もあるが,南西向きの 3 趾型の足印(1-16,1-13,1-A)が配列し,逆方向の 足印が全く認められないことから,複数の印跡動物が 南西方向へ進行したことを示している.

区域2は地点1の露頭奥側の壁面に沿って12個が 密に並んでいるものの,足印の向きからは明瞭な規則 性は見いだせない.ただし,1-08,1-11,1-12につい ては南南東もしくは北北西方向への印跡動物の移動が



図 12. 地点 2 の主な足印の形態.シリコン樹脂凹型のモアレ画像については,露頭での凸面観写真に対応させるため,画像を反転させてある。矢印は足印形態から推定される進行方向を示す。スケールは 10 cm.
 a. 2-01 の凸面観写真, b. 2-01 の形態スケッチ, c. 2-01 のシリコン樹脂凹型のモアレ画像, d. 2-03 の凸面観写真,
 e. 2-03 の形態スケッチ,f. 2-05 の凸面観写真,g. 2-05 の形態スケッチ,h. 2-05 のシリコン樹脂凹型のモアレ画像,i. 2-08 の凸面観写真,j. 2-08 の形態スケッチ,k. 2-08 のシリコン樹脂凹型のモアレ画像.

Fig. 12. Morphology of typical footprints in locality 2. Moire image photos are reversed for comparison with the plan view outcrop photos. Arrows indicate the inferred traveling directions of the footprint-making animals. Scale: 10 cm. a. Plan view photo of footprint 2-01, b. Plan view sketch of footprint 2-01, c. Moiré image photo of footprint 2-01, d. Plan view photo of footprint 2-03, e. Plan view sketch of footprint 2-03, f. Plan view photo of footprint 2-05, g. Plan view sketch of footprint 2-05, h. Moiré image photo of footprint 2-05, i. Plan view photo of footprint 2-08, j. Plan view sketch of footprint 2-08, k. Moiré image photo of footprint 2-08.

推定され、その延長上で1-Aの領域を横断している と考えられる.1-Aの趾印群の一部には向きが南西方 向と異なるものがあり、区域2の一部の足印から連続 する可能性がある.

区域3は地点1の南西端に露出する2個の足印群であり,配列および1-18の足印方向から,行跡である可能性がある.

地点1では,いずれの区域でも印跡動物の行跡と確 定できる足印列は認められなかった.

2. 地点2

地点2では、11個の凸部のうち3足印について進 行方向が推定できた(図8). 2-03および2-05はほぼ 東向きで、2-08は南南東向きである. それ以外の足 印の分布や配列などを含めても、ここでは行跡などの 規則性は見いだすことができない.

印跡動物の推定

地点1で確認された3趾型の足印と,地点2で確認 された楕円形の足印について,その大きさや配列,形 態的特徴などから,印跡動物について考察する.

1. 地点1の印跡動物

地点1で確認された足印の形態的特徴として,足印 全体の形状が円形~亜楕円形であり,太い第3趾の両 側に小さな趾印をもつ3趾型であり,趾印間のくびれ が深く,第3趾の反対側の周縁部には踵部に該当する 弧状縁が認められる.これらの特徴は地点1で確認さ れた18個のうち13個の足印について共通しており, 1-Aの趾印形態と比べても調和的である.また,1-06 ではこの弧状縁に踵溝に相当すると思われるくぼみが 確認されている.足印の大きさは,付表1に示すとお り,足印長170~180 + mm,足印幅180~210 mm, 第3趾印幅は60~75 mm である.

哺乳類の現生種や新生代の化石種において、このような大きさの足印を形成し得る脚部をもつものは長鼻 類および奇蹄類のサイ科とバク科である.そのうち長 鼻類の足印は楕円形で趾印が短いため、地点1の足印 形態の特徴と合致しない(図13a).一方、サイ科は 前後足共に3趾をもち(図13b)、バク科は前足が4趾、 後足が3趾である(図13c, d).地点1では、一部の 足印では形態が不明瞭で判断できないが、確実な4趾 型の足印は確認できていない.しかし,前足印は後足 に踏まれてその全貌が残りにくいことを考慮すると, 4 趾型足印の混在がないとは言い切れない.現段階で は,地点1の足跡化石の印跡動物は奇蹄類のサイ科あ るいはバク科と推定しておく.

地点1の足印サイズから推定される脚部の大きさか ら、印跡動物は、現生種では小型のサイ科であるスマ トラサイ Dicerorhinus sumatrensis の大きさに相当する と考えられる.

2. 地点2の印跡動物

地点2の4足印は,地点1で認められた足印形態と は異なり,外形は楕円形で,前縁部には趾印による小 さく短い突出が3~6個認められ,後縁部は大きく弧 状を呈しており突出がない.この形態に似た脚部をも ち,直径10 cmを超える大型の足印をつくる可能性が ある動物は長鼻類だけである.

長鼻類は歩行の際,前後の足印が重複することが多く,楕円形の後足印が円形の前足印を踏むために,通常は後足印の方が明瞭に残る.地点2でも,2-03において前足印に重複して踏み込んだ楕円形の後足印がよく保存されている.確認された足印の後足印長は180~220 mm,足印幅は130~157 mmである.この大きさは,現生のアジアゾウ Elephas maximus の足印と比較すると,6カ月~1才の個体のものに相当する(岡村,2000)ので,印跡動物は小型の長鼻類と考えられる.

棚倉堆積盆の中新統から産出した 大型哺乳類足跡化石群の意義

棚倉堆積盆は棚倉構造線の横ずれ運動に伴って形成 された堆積盆で、中新統の厚い陸成〜海成層で埋積さ れている.足跡化石群は、棚倉堆積盆で2005年に初 めて発見されて以降、大子町の久慈川中流域に分布 する下部中新統の北田気層(大子町頃藤:小池ほか、 2007)およびそれに整合に累重する浅川層の中部(大 子町北沢:菊池ほか、2005;大子町滝倉:本報告)の3 地点から報告されている.これらは長鼻類、偶蹄類(シ カ科あるいはシカ科に近縁の偶蹄目)、奇蹄類(サイ 科あるいはバク科)および鳥類の足跡と確認されてい るので、これらの足跡化石群について、日本の中新世 の足跡化石群の分布や特徴をも参照して、その産出の 意義について考察する.

1. 足跡化石群から明らかとなった棚倉堆積盆の大型 脊椎動物群

(1) 長鼻類

浅川層の2 露頭(北沢: 菊池ほか, 2005; 滝倉の地 点2)から多数の長鼻類の足跡化石が確認されており, いずれも複数個体によって印跡された可能性が高い が, どちらの露頭のものでも行跡を確定するに至って いない. 浅川層が堆積した中新世当時の日本列島では,長鼻 類ではゴムフォテリウム属とステゴロフォドン属が生 息していたと考えられている.ゴムフォテリウム属 の報告は岐阜県からのみであるが(Kamei et al., 1977; Makiyama, 1938),ステゴロフォドン属は福島県,宮 城県,茨城県,山形県,富山県などで報告されており (長谷川・国府田, 1981;長谷川ほか, 1984;国府田 ほか,2003,2005;国府田・長谷川,2002;Kamei and Kamiya, 1981 など),浅川層からは城里町と常陸大宮 市で下顎骨,臼歯がそれぞれ産出している.この分布



- 図 13. 現生長鼻類および奇蹄類の足印形態. a. 長鼻類 (アジアゾウ Elephas maximus の前後重複足印), b. 奇 蹄類サイ科 (スマトラサイ Dicerorhinus sumatrensis の後足印), c. 奇蹄類バク科 (マレーバク Tapirus indicus の後足印), d. 奇蹄類バク科 (マレーバクの前足印). スケールは 5 cm. 撮影: 岡村喜明.
- Fig. 13. Morphology of footprints of Proboscidea and Perissodactyla. a. Proboscidea (superimposed prints of fore and hind legs of *Elephas maximus*), b. Rhinocerotidae (hind leg print of *Dicerorhinus sumatrensis*), c. Tapiridae (hind leg print of *Tapirus indicus*), d. Tapiridae (fore leg print of *T. indicus*). Scale: 5 cm. Photographed by Y. Okamura.

から考えると、印跡した長鼻類はステゴロフォドン属 である可能性がある.2露頭における足印の大きさは、 当時のステゴロフォドン属の体サイズについての貴重 な情報を与えているものと思われる.

(2) 奇蹄類

今回報告した(滝倉の地点1)奇蹄目の足跡化石は, 歩行様式を示す行跡を確認することはできなかった が,同一方向の趾印密集帯の存在から,複数の奇蹄類 が同一方向に移動していたことが推定される.

棚倉堆積盆の中新統からは、奇蹄類は足跡化石を含 め化石の産出は報告されていないが、日本国内の中新 統では、滋賀県甲賀市(木村ほか、1994)や長崎県佐 世保市(河野・河野、2000)、宮城県大和町(浅野、 1996)、埼玉県深谷市(吉田ほか、1989)、福島県南相 馬市(平,2009)などからサイ科の骨格化石が、岐阜 県可児市(冨田、2003)からバク科の骨格化石が報告 されている.また、サイ科あるいは奇蹄目の足跡化石 については、長崎県佐世保市(河野・河野、2000)、 福井県福井市(安野・越廼村哺乳類足跡化石調査委員 会、2001)、岐阜県美濃加茂市(鹿野、1996)、兵庫県 香美町(安野、2003)および豊岡市(安野、2005)な どの中新統から報告されている.したがって、関東以 北での奇蹄目の足跡化石の産出は今回が初めての報告 となる.

(3) 偶蹄類

偶蹄類の足跡化石は北田気層の大沢川河床露頭(大 子町頃藤)で約150個のくぼみ群として露出し,その うち約60足印について切断面で蹄痕のある印跡面の 形態を確認した(小池ほか,2007).ここでは12列の 行跡が判別され,印跡動物はシカ科あるいはシカ科に 近縁の偶蹄目であり,小型の現生種ニホンジカ程度の 大きさと推定されている.なお,この産地の足跡化石 層準の100~150m上位にあたる浅川層下部の礫岩層 からは、シカ科 Dicrocerus tokunagaiの上顎骨が報告 されている(Shikama and Omori, 1952).

(4) 鳥類

鳥類の足跡化石は,北田気層の砂岩層理面に連続する5足印からなる1列の行跡として報告されている(小 池ほか,2007).足印長は約10 cm,4本の分枝をもっ た足印形態で,中型以上の体サイズであったことを示 している.保存された形態情報が限られているため, 印跡した鳥類を特定できていないが,国内各地の中新 統で鳥類足跡が多数確認されているため,今後の比較 研究に期待したい.

このように,日本各地の中新統から産する骨化石や 足跡化石で確認されている陸生脊椎動物相が,棚倉堆 積盆にも分布していたことが確実になった.

2. 足跡化石群が示す棚倉堆積盆の古環境

浅川層上部には Arcid-Potamid フォーナ(高橋, 2001)と呼ばれる汽水潮間帯生-浅海生の軟体動物化 石群集が産出し,八尾-門の沢型軟体動物群(例え ば Ogasawara et al., 2008)の亜熱帯性生物群を特徴づ ける.一方,北田気層から浅川層下部の植物相は台島 型植物群と呼ばれる暖温帯の落葉広葉樹で特徴づけら れ,浅川層上部になると常緑樹が増加し,亜熱帯要素 が含まれることが指摘されている(永戸, 2008).い ずれも新第三紀中期最温暖期(Mid-Neogene climatic optimum)の生物相であり,北田気層や浅川層が形成 されたこの時期には,温暖な気候が卓越していたと 考えられている.近年,本州中部の新第三系の年代 層序の検討が進み,この新第三紀中期最温暖期の時 期は 17.5 ~ 16.4Ma 付近とされている(高橋・柳沢, 2008).

足跡化石を含む層準は、いずれも、砂質河川相(大 子町頃藤:小池ほか、2007;大子町北沢:菊池ほか、 2005;大子町滝倉:本報告)であるが、頃藤と滝倉、北 沢では堆積相が大きく異なっている。

大子町頃藤では、印跡層は厚い火砕流堆積物中に挟 まれたシート状の中〜細粒砂岩層である.これは、大 規模火砕流の堆積休止期に、1回目の火砕流堆積物で 埋め尽されて平坦になった河川平野上を、河川成の火 山性砂層が薄くシート状に堆積し、そこを偶蹄類の複 数個体もしくは群れが歩行したものと解釈される(小 池ほか、2007). Shikama and Omori (1952)で報告さ れたシカ科の骨格片は、礫質河川チャネル堆積物に取 り込まれたものであるが、当時の棚倉堆積盆に偶蹄類 が普遍的に生息していたことを示唆する.活発な火山 活動が続き、火砕流が谷沿いをたびたび流下していた 時期にも、河岸の水辺にはシカ類の群れや大型の鳥類 などが集っていたのであろう.

一方、滝倉や北沢の浅川層下部における砂質網状河

川相の堆積する氾濫原には、大型哺乳類の長鼻類や奇 蹄類(サイ科あるいはバク科)の群れが水を求めて集 まっていた可能性が示唆される.

どちらのケースも新第三紀中期最温暖期における棚 倉堆積盆の陸上生態系の一端を示していると考えられる.

3. 棚倉堆積盆の足跡化石の産状三態

これまで著者らが研究に携わった北田気層および浅 川層の足跡化石には、3つの異なる産状が確認されて おり、今後の研究の進展の上で重要と考えられるので、 地層中での足跡化石の産出形態の要素を図14に示し た上で(Lockley, 1991;小池ほか, 2007による)簡



- 図 14. 地層中で確認される足跡化石の要素: 真足印(タ イプA), キャスト(タイプB), 偽足印(足印充填痕) (タイプC)およびアンダープリント. Lockley (1991) を一部改変.本地域の足跡化石ではアンダープリン トは確認されていない.
- Fig. 14. Elements of footprint fossils: true-footprint (Type A), natural cast (Type B), pseudo-footprint (track-infilling) (Type C) and under-footprint. Modified after Lockley (1991). Under-footprint cannot be confirmed in this study.

単に記載・考察しておく.

(1) タイプ A: 真足印 true-footprint

印跡面の上位層が侵食・剥離し,露出した層理面上 に足印がくぼみとして確認されるもので,大子町頃藤 の鳥類足跡化石(図14,図15a)がこれにあたる.

(2) タイプ B: 足印雌型 natural cast

印跡面の下位層が侵食・剥離し,露出した層理下面 に足印が凸状の膨らみとして確認される(大子町滝倉 および北沢の長鼻類および奇蹄類足跡化石:図14,図 15b).

(3) タイプ C: 偽足印(足印充填凹部) pseudofootprint (track infilling)

印跡面では剥離せず,その数 cm 上位の層理面上に くぼみ(偽足印:小池ほか,2007)が露出する.真の 足印は地層ブロックの切断により,偽足印直下に印跡 断面として確認される(大子町頃藤,偶蹄類足跡化 石:図14,図15c).これは深い足印凹部が,印跡面を なす下位の堆積物と同質の堆積物で充填されたが,充 填量が十分でなかったために,起伏の小さな浅い凹部 として残されたもので,その直後にわずかな堆積間隙 があったことと,浅い凹部を埋めた砂層の岩質が多少 違っていたために,風化地層面上にタイプCが露出 したものであろう.

なお、これまで著者らの研究ではアンダープリント (under-footprint) と思われる足跡化石は確認されてい ない.



- 図 15. 棚倉堆積盆の中新統から確認された足跡化石の産出形態の分類. a. タイプ A: 鳥類の真足印(大子町頃 藤:小池ほか, 2007), b. タイプ B: 奇蹄類のキャスト(大子町滝倉:本報告), c. タイプ C: 偶蹄類の偽足印 とその下位で確認できる印跡断面(大子町頃藤:小池ほか, 2007). スケールは 5 cm.
- Fig. 15. The morphological division of footprint fossils from the Miocene Tanakura Basin. a. Type A: true-footprint of Aves (Korofuji: Koike *et al.*, 2007), b. Type B: natural cast of Rhinocerotidae (Takikura: this study), c. pseudo-footprint of Cetartiodactyla (Korofuji: Koike *et al.*, 2007). Scale: 5 cm.

これまでに報告された日本の中新統足跡化石の産状 は、タイプAの場合が多く、タイプBは少なく、タ イプCの報告例は極めて少ない(安野,2009など). タイプBやCは、層理上面の明瞭な足印ではないた め、その存在に気づかれない場合が多いと予想され る.しかし、タイプBは、砂岩卓越型砂岩泥岩互層の、 特に泥岩層直上の砂岩下底の底痕を丹念に調べること で、容易に見出せる可能性が高いので、今後、産出記 録を蓄積していく必要がある.大型脊椎動物の体化石 の産出は稀であることを考慮すると、棚倉堆積盆の中 新世における陸上生態系の構成要素やその古生態を解 明するためには、さらに多くの足跡化石の発見が望ま れる.

まとめ

1. 茨城県大子町頃藤滝倉沢の下部中新統上部の浅川 層中部が露出する2地点より大型哺乳類足跡化石が発 見された. この足跡化石について,その産状と採取し た標本に基づき,足印の形態的特徴や分布などについ て記載した.

2. 足跡化石は,網状河川成砂岩相中の粗粒~中粒砂 岩層下面に底痕として突出しており,下位の氾濫原シ ルト岩層上に踏み込まれた足印が砂質堆積物で充填さ れた,キャストとして保存されている.

3. 足跡化石は地点1で18個の足印と1つの趾印群, 地点2で11個の足印を確認でき,露頭面での足印形 態とその分布,足印のシリコン樹脂型とモアレ写真に よる三次元構造の把握などを行い,保存のよい地点1 の5個の足印と1つの趾印群,地点2の4個の足印に ついてその形態的特徴を詳しく記載した.

 4. 地点1の5足印はいずれも3趾型の形態を呈し、 3趾をもつ動物による印跡と考えられる. 足印の大き さと形態から、奇蹄類であるサイ科あるいはバク科の 足印であると推定される.

5. 地点2の足印は,地点1とは異なり楕円形を呈し, 前縁部に小さく短い突出が数個認められ,後縁は突出 部のない大きな弧状をなすことから,長鼻類による足 印である可能性が高い.

6. 地点1では,同一方向の足印群が密集して帯状に 分布し,奇蹄類の複数個体での移動による印跡が示唆 される.しかし,1個体による行跡をたどることがで きる足印列は,地点1,地点2ともに確認できない. 7. 大子町地域に分布する下部中新統の浅川層および 北田気層からは,長鼻類,偶蹄類(シカ科あるいはシ カ科に近縁の偶蹄目),鳥類に加えて,奇蹄類(サイ 科あるいはバク科)の足跡化石が新たに発見され,当 時の温暖な河川平野に生息していた大型脊椎動物群の 古生態を解明する上で重要な情報が提供された.

謝 辞

この報告を行うにあたり、茨城大学大学院理工学研 究科博士前期課程の須藤雄介氏、飯泉克典氏、ミュー ジアムパーク茨城県自然博物館の永瀬卓也、伊藤 誠、 木村正和の各氏、大子町の笠井勝美博士、日立市の細 貝利夫氏、取手市の飯泉陽子氏には現地調査に参加い ただいた. 取手市立六郷小学校(元ミュージアムパー ク茨城県自然博物館)の滝本秀夫氏には現地調査およ び植物化石の同定をしていただいた。また、大子町教 育委員会、地元の方々からは種々の便宜を図っていた だき、茨城県常陸大宮土木事務所大子工務所からは現 地発掘作業の許可を受け地形図を提供いただいた. 滋 賀県立琵琶湖博物館の高橋啓一博士にはモアレ写真撮 影に際しご協力をいただいた.筑波大学大学院生命環 境科学研究科小笠原憲四郎教授。財団法人自然史科学 研究所の菊池芳文博士からは長鼻類の足跡化石につい て情報提供をいただいた。なお、この研究はミュージ アムパーク茨城県自然博物館の分野別調査研究の一環 として行われた.

以上の方々および関係当局に厚くお礼申し上げる.

引用文献

- 天野一男. 2008. 3.4.3 棚倉地域. 日本地質学会(編). 日本 地方地質誌 3 関東地方. pp. 206-214, 朝倉書店, 東京.
- 天野一男・橋本 純・松原典孝. 2004. 棚倉破砕帯周辺の新 第三系層序の再検討 – 男体山火山角礫岩類の K-Ar 年代. 日本地質学会第 111 年学術大会講演要旨: O-81.
- 浅野裕一. 1996. 宮城県大和町産の後期中新世サイ上科臼歯 化石. 地球科学, 50(1): 66-69.
- 長谷川善和・国府田良樹・柳沢一郎. 1984. 福島県いわきニュ ウタウン地域より産出せる Stegolophodon pseudolatidens (Yabe)の化石について. 横浜国立大学理科紀要 第二類 生 物学・地学, 31: 51-63.
- 長谷川善和・国府田良樹. 1981. いわき市平谷川瀬より産出 したゾウ化石(予報). 平地学同好会会報, 14:16-17.
- Kamei, T. and H. Kamiya. 1981. On the fossil teeth of *Stegolophodon pseudolatidens* (Yabe) from the Miocene Bed of the Abukuma mountains. *Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ., Ser. Geol.,*

Min., 47(2): 165-176.

- Kamei, T., Y. Okazaki, I. Nonogaki and Paleontology Club (Aichi Gakuin University). 1977. On some new materials of *Gomphotherium annectens* (Matsumoto) from the Mizunami Group, Central Japan. Bull. Mizunami Fossil Mus., (4): 1-8.
- 鹿野勘次. 1996. 岐阜県美濃地方の下部中新統中村累層より 産出した奇蹄類の足跡化石(演旨). 日本地質学会第 103 年学術大会講演要旨: 164.
- 笠井勝美・酒井豊三郎・相田吉昭・天野一男. 2000. 八溝山 地中央部におけるチャート・砕屑岩シークェンス. 地質雑, 106: 1-14.
- 河野隆重・河野重範. 2000. 佐世保市黒島の野島層群(前期 中新統)よりサイ臼歯と足印化石の産出(演旨). 日本地 質学会第107年学術大会講演要旨:136.
- 菊池芳文・永戸秀雄・小笠原憲四郎・野田浩司・二階堂章信・ 安藤義路. 2005. 茨城県北部の中期中新統浅川層から発見 された長鼻類足跡化石(予報). 日本古生物学会第154回 例会講演予稿集: 76.
- 木村敏之・小沢智生・長谷川善和. 1994. 滋賀県の中新統鮎 河層群よりサイ類化石の産出. 名古屋大学古川総合研究資 料館報告, (10): 39-44.
- 国府田良樹・柳沢幸夫・長谷川善和・大塚裕之・相沢正夫. 2003. 茨城県桂村で発見された中期中新世 Stegolophodon 属(長鼻類)の下顎骨化石.地球科学, **57**: 49-59.
- 国府田良樹・高橋修一・長谷川善和. 2005. 山形県朝日村か ら発見された中期中新世 Stegolophodon 属(長鼻類) 頭蓋 化石(演旨). 日本古生物学会例会講演予稿集, **154**: 25.
- 国府田良樹,長谷川善和. 2002. 富山県八尾町産中新世 Stegolophodon 化石. 茨城県自然博物館研究報告, (5): 105-108.
- 小池 渉・安藤寿男・国府田良樹・岡村喜明. 2007. 茨城県 大子町の下部中新統北田気層より産出した哺乳類および鳥 類足跡化石群の産状と標本. 茨城県自然博物館研究報告, (10): 21-44.
- Makiyama, J. 1938. Japonic Proboscidea. Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., B, 14: 1-59.
- ミュージアムパーク茨城県自然博物館(編). 2009. 第46回 企画展. 姿なき化石-足あとから過去をひも解く. ミュー ジアムパーク茨城県自然博物館, 38 pp.
- Lockley, M. 1991. Tracking Dinosaurs: A New Look at an Ancient World. 238 pp., Cambridge Univ. Press, UK.
- 永戸秀雄. 2008. 茨城県大子地域における中新世植物化石群. 化石, (84): 37-46.
- Ogasawara, K., M. Tanano, H. Nagato and T. Nakano. 2008.

Cenozoic molluscan faunas and climatic changes in the northern Pacific related to Pacific gateways: review and perspective. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **59**: 355-364.

- 岡村喜明. 2000. 石になった足跡-へこみの正体をあばく-. 270 pp., サンライズ出版, 彦根.
- 岡村喜明・高橋啓一. 2009. 新生代からの足跡化石研究の現状. 化石研究会会誌, **41**: 82-88.
- 大槻憲四郎. 1975. 棚倉破砕帯の地質構造. 東北大学地質古 生物研邦報, 76: 1-71.
- Shikama, T. and Omori, M. 1952. Note on and occurrence of *Dicrocerus* in the Daigo Group of the Ibaraki Prefecture, Japan. *Proc. Japan Acad.* 28: 567-572.
- 平 宗雄. 2009. 中新世塩手層より産した化石キロテリウム について. 地学研究, 57: 207-211.
- 高橋宏和. 2001. 棚倉破砕帯の Arcid-Potamid 群集. 生物科学, 53: 168-177.
- 高橋雅紀·柳沢幸夫. 2008. 常磐地域. 日本地質学会(編), 日本地方地質誌3 関東地方. pp. 196-206, 朝倉書店.
- 冨田幸光. 2003. 岐阜県可児市産の小型哺乳類化石群−その 発見と研究のものがたり−. 美濃加茂にサイやゾウがい た頃−みのかもの大地と化石−, pp. 35-38, 美濃加茂市民 ミュージアム.
- 安野敏勝. 2003. 兵庫県北部香住町の中新統から産出した哺 乳類足跡化石. 福井市自然史博物館研究報告, (50): 9-25.
- 安野敏勝. 2005. 兵庫県豊岡市竹野海岸から産出した前期中 新世化石群集(1). 福井市自然史博物館研究報告, (52): 43-65.
- 安野敏勝. 2006. 兵庫県香美町南部村岡地域から産出した 哺乳類足跡化石. 福井市自然史博物館研究報告, (53): 35-40.
- 安野敏勝. 2007a. 兵庫県豊岡市中村から産出した哺乳類足 跡化石と北但地域の前期中新統層序. 福井市自然史博物館 研究報告, (54): 33-40.
- 安野敏勝. 2007b. 福井県福井市南西部の中新統国見層より 哺乳類足跡化石および生痕化石の産出. 福井市自然史博物 館研究報告, (54):41-44.
- 安野敏勝. 2009. 福井県および兵庫県の日本海沿岸地域にお ける中新世足跡化石の概要. 化石研究会会誌, 41:89-96.
- 安野敏勝・越廼村哺乳類足跡化石調査委員会.2001. 福井県 越廼村産中新世哺乳類足跡化石(演旨).日本地質学会第 108年学術大会講演要旨:279.
- 吉田健一・宮崎重雄・三島弘幸・柿沼知子・中村和子. 1989. 埼玉県川本町の中新統楊井層よりサイ化石の発見. 地球科学, 43: 43-48.

(要 旨)

安藤寿男・小池 渉・国府田良樹・岡村喜明.茨城県大子町滝倉の中新統浅川層から発見 された大型哺乳類足跡化石群とその産状.茨城県自然博物館研究報告 第13号(2010) pp. 1-21, pls.1-4.

茨城県大子町滝倉に露出する下部中新統上部の浅川層の2カ所の露頭から発見された大型 哺乳類足跡化石について、その産状と採取標本の観察に基づいて足印の形態的特徴や分布を 記載した.足跡化石は、網状河川相中の粗粒~中粒砂岩層下面に底痕として突出しており、 下位の氾濫原成のシルト岩層上に踏み込まれた足印が砂質堆積物で充填された、キャストと して保存されている.地点1で18個,地点2で11個の足印と、地点1で足印断面の密集部 1群を確認した.保存のよい地点1の5個と地点2の4個の足印の形態的特徴から印跡動物 を推定した.地点1の5足印はいずれも3趾印をもち、奇蹄類のサイ科あるいはバク科の足 印である可能性が高い.また、足印断面の密集部では趾印がほぼ同じ方向であることから、 複数の個体での行動が示唆される.地点2の足印は、地点1とは異なり楕円形の外形をもち、 前縁に小さく短い突出が数個認められ、後縁は突出部のない大きな弧状を呈することから、 長鼻類の足印と推定される.両地点とも、個々の足印の進行方向はある程度確認できるが、1 個体に限定できる行跡は認められない.

これまでに大子町地域の下部中新統で確認された足跡化石から,長鼻類,偶蹄類(シカ科 あるいはシカ科に近縁の偶蹄目),鳥類,奇蹄類(サイ類あるいはバク類)が河川平野に生息 していたことになる.

(キーワード):足跡化石,大型哺乳類,奇蹄類,長鼻類,下部中新統,浅川層,大子町.

図版と説明 (4 図版)

Plates and Explanations (4 plates)

図版1 (Plate 1)

- a. 地点1のユニットⅣ基底の層理下面に露出する凸部の産出状況.
- **a.** The mode of occurrence of the natural casts of footprints exposed on the lower bedding surface of unit IV, locality 1.
- b. 地点2のユニットⅡ基底の層理下面に露出する凸部の産出状況.
- **b.** The mode of occurrence of t the natural casts of footprints exposed on the lower bedding surface of unit II, locality 2.



図版2(Plate 2)

足跡化石の発掘調査の様子. Excavation procedures of footprint fossils.

- a. 発掘調査開始時の足跡化石の露出状況(地点 1). 足跡化石は高さ 30 ~ 40 cm の狭い空洞 の天井面に露出している.
- **a.** Outcrop photograph at the start of excavation at locality 1. Footprints are exposed on the ceiling surface of a narrow cave with a height of 30-40 cm.
- **b.**空洞底面の砂岩層の除去作業.空洞の一部を広げて作業スペースを確保する(地点 1).
- **b.** Breaking sandstone beds away at the bottom of the narrow cave at locality 1. In order to secure our workspace, the cave was partly excavated.
- c. 層理下面に露出する凸部の形態観察(地点 1).
- c. Observation of natural casts of footprints exposed on the lower bedding surface at locality 1.
- d. 透明ビニールシートへの凸部の形態や分布のトレース作業(地点1).
- **d.** Tracing shapes and distributions of natural casts of footprints on a transparent plastic sheet at locality 1.
- e.シリコン樹脂を用いた凸部の型取り作業(地点1).
- e. Silicone resin molding of natural casts of footprints at locality 1.
- f. 作製したシリコン樹脂凹型(地点2). この凹型を用いてモアレ写真による形態判別を行った.
- f. Silicone resin molds taken at locality 2. Moiré images were subsequently photographed from these molds.



図版3 (Plate 3)

地点1の足印の凸面観写真. 推定される足跡の進行方向を矢印で示す. Plan view photos of footprints at locality 1. Arrows indicate the traveling directions of the footprintmaking animals.

a. 1-02 の凸面観写真. **a.** Plan view photo of footprint 1-02.

b.1-07の凸面観写真. **b.** Plan view photo of footprint 1-07.

c. 1-08 の凸面観写真. **c.** Plan view photo of footprint 1-08.

d.1-11 の凸面観写真. **d.** Plan view photo of footprint 1-11.

e. 1-12 の凸面観写真. **e.** Plan view photo of footprint 1-12.

f. 1-13 および 1-14 の凸面観写真.f. Plan view photo of footprint 1-13 and 1-14.

g. 1-16 の凸面観写真. **g.** Plan view photo of footprint 1-16.

h.1-17の凸面観写真. **h.** Plan view photo of footprint 1-17.



図版4 (Plate 4)

地点1と2の足印の凸面観写真. 推定される足跡の進行方向を矢印で示す. Plan view photos of footprints at localities 1 and 2. Arrows indicate the traveling directions of the footprint-making animals.

- a. 足印断面が密集する 1-A の一部(地点 1). 撮影範囲を図 11 に示す.
- **a.** Plan view photo of a part of the concentrated area of footprint sections 1-A, locality 1. The photographed area is shown in Fig. 11.
- b.密集した足印(2-03, 2-04, 2-05, 2-06)の凸面観写真(地点 2). 撮影範囲を図 8 に示す.
- **b.** Plan view photo of the crowded footprints (2-03, 2-04, 2-05 and 2-06) at locality 2. The photographed area is shown in Fig. 8.

