

[原著]

金沢市大桑町の犀川河床から産出したシフゾウの足跡化石

岡村喜明*, 高橋啓一**, 山本英喜***, 松浦信臣****, 大桑町足跡化石調査団*****

Footprint fossils of fossil *Elaphurus* (Cervinae, Mammalia) from the riverbed of
the Saikawa River, Okuwa, Kanazawa, central JapanOKAMURA, Yoshiaki*, TAKAHASHI, Keiichi**, YAMAMOTO, Hideki***, MATSUURA, Nobuomi****
and Okuwa Fossil Footprint Research Group*****

Abstract

In 1991 and 2000, many footprint fossils of proboscids and artiodactyls were discovered at the upper part of the Onma Formation (0.9-0.8Ma) exposed in the riverbed of the Saikawa River, Kanazawa, Ishikawa Prefecture, central Japan. Okuwa Fossil Footprint Research Group was formed to research these fossils, and the field investigation was performed in 2001.

The field investigation discovered approximately 100 proboscoid and 50 artiodactyl footprint fossils in the study area. Though this research, including geological studies, is still underway, we have reached several conclusions regarding these footprint fossils, and we herein provide an outline of our findings.

Most proboscoid footprint fossils are about 30cm in both length, and about 10cm in depth. Two types of artiodactyl footprints were observed in this area. One is rare; the tip of the footprint is sharp and the main slot is of an elongate lanceolate form. The second type is abundant; the tip of the footprint is round and the main slot is of an elongate kidney form. The latter was compared with footprints and hooves of fifty-seven extant artiodactylids and was identified as footprints of a member of the genus *Elaphurus* by the shape and size.

At the geological time in which the footprints were discovered, *Elaphurus shikamai* is known to have occurred, and it is therefore the most probable that these footprints are of this species.

Key words: *Elaphurus*, Onma Formation, footprint fossils, early Pleistocene

2004年7月26日受付, 2004年11月10日受理

* 〒520-3005 滋賀県栗東市御園1022-7, 滋賀県足跡化石研究会

Shiga Fossil Footprint Research Group, 1022-7 Misono, Ritto, Shiga 520-3005, Japan

** 〒525-0001 滋賀県草津市下物町1091, 滋賀県立琵琶湖博物館研究部環境史研究領域

Cultural and Geoscience Research Group, Scientific Research Department,

Lake Biwa Museum, 1091 Oroshimo, Kusatsu, Shiga 525-0001, Japan

*** 〒920-0217 石川県金沢市近岡町217 金沢市立港中学校

Minato Junior Highschool, 217 Chikaoka-machi, Kanazawa, Ishikawa 920-0217, Japan

**** 〒920-0335 石川県金沢市金石東2-7-9

2-7-9 Kanaishi-higashi, Kanazawa 920-0335, Japan

***** 北村栄一, 小坂 淳, 村田哲夫, 出口 隆, 松原 仁, 山口達弘, 坂本 雅, 新保 修, 河村真吾,
下川弘晃, 西出 忠

1. はじめに

金沢市大桑町の犀川河床は、下部更新統大桑層の模式地である。大桑橋より上流約400mの河床（図1）から、1991年と2000年に著者の松浦、山本によって直径が30cm程度の円形や洋ナシ形、あるいは長さが約10cmのV字形またはH字形のくぼみが多数発見された。著者らは、これらのくぼみの垂直断面で見られたラミナの形態から、それらが上部からの荷重でできたくぼみであり、足跡化石の可能性が高いと判断した。地質学的な検討と足跡化石に関する本格的な調査は2001年5月27日～同年10月7日の間、3回にわたって行われた。ここではこの調査の概要と国内2例目となるシフゾウと同定した足跡化石について報告を行う。

2. 調査地周辺の地質概要

模式地において大桑層は、岩相・生物相などから上・中・下部層に区分されている（北村・近藤, 1990）。それらは、3枚の薄い凝灰岩層を挟む下部層、主として青灰色の細粒砂岩からなり、極めて多くの海生の貝化石を産する中部層、そして中・下部に比べて粗粒化し、細粒～中粒砂岩あるいは一部に粗粒砂岩や砂岩泥岩の互層が見られ、貝化石は少ない上部層として特徴づけられている。また、これらの層準のうち、中・下部層からは鯨類、鰭脚類、海牛類、魚類などの海生脊椎動物が、上部層からは内湾性の貝化石とともに長鼻類の指骨が発見されている（高山ほか, 1988；松浦, 1996）。

今回の足跡化石調査地は、この大桑層の上部層が分

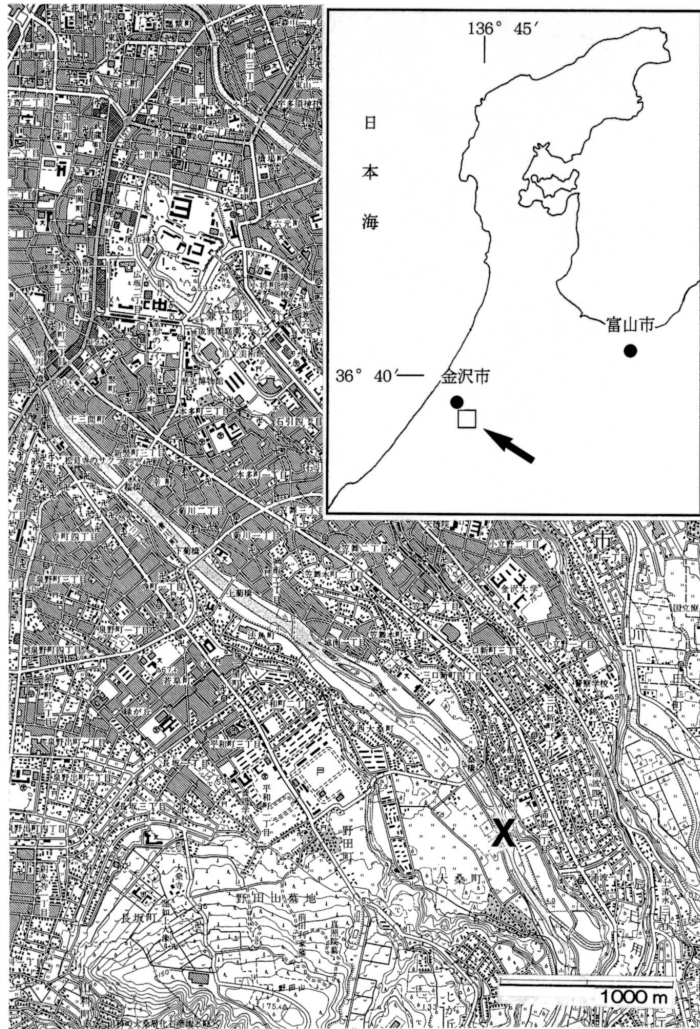


図1 調査位置図

×印は足跡化石産出地点。国土地理院発行2.5万分の1地形図「金沢」を使用。

布する地域にあたり、その年代については、高山ほか（1988）の石灰質ナンノ化石や大村ほか（1989）の古地磁気の研究から、約90～80万年前と考えられている。また、足跡産出層準の珪藻分析を行った山本（1996）は、足跡化石の産出層準は塩水の影響が若干見られる海岸近くの湿地あるいは沼沢地と推定している。

3. 足跡化石の産状と形態

産状：調査範囲は、犀川左岸の長さ約55m、幅約10mの範囲である。この範囲からは、保存良好な足跡化石が6層準に確認された（図2）。それらは、下位から第1層準～第6層準と区分した。第6層準より約30m下流の左岸にはシルト層が見られ、そこにも垂直断面として長鼻類および偶蹄類と判断できる足跡化石が確認できたことから、これを第7層準とした。

この調査範囲内で観察された足跡化石のうち長鼻類と確認できたものは約100個、偶蹄類と確認できたものは約50個であった。偶蹄類の足跡の中で保存良好なものを観察すると、産出数が2～3個と少なく小型で蹄尖印が尖るササノハ形と、産出数が48個以上と多く大型で蹄尖印が丸みを帯びた長腎臓形の2種類が認められた。これらの足跡化石は、エポキシ樹脂で型取りを行い、室内でその形態を詳細に観察した。

形態：長鼻類の足跡化石：円形で足印長、足印幅ともに約30cmのくぼみとしてみられた。このうち、第3層準にみられた保存良好な足印（図3）は前後の足印が重複したもので、足印長は28cm、足印幅は29cm、深さは12cmあり、指印と思われる半円形のくぼみが前縁に3個、内外側に2あるいは3個みられた。

偶蹄類の足跡化石：ササノハ形の足跡のうち第1層準から産出した最も保存良好な足印（ササノハ形標本1）を観察すると、足印長は9.5cm、足印幅は5.3cmで、上面観では2個の主蹄印が平行に配列し、その後方に小さい円形の副蹄印が3個みられた。2個の主蹄印の幅と深さに差があり、右側が広く深く、足印壁が傾斜していることからやや斜めに着地したことによってできた足印と考えられる。型取りしたエポキシ樹脂模型を詳細に観察すると主蹄印が4個みられ、副蹄印も3個見られることから前後の足印が重複したものであることが確認できた。樹脂模型で計測した主蹄印長は5.0cm、蹄球部印最大幅は1.4cmである（図4、5）。

長腎臓形の足跡については、保存良好な標本を第2層準から3個、第4層準から2個選び、エポキシ樹脂で型取りした。これらの計測値は、主蹄印長は9.0～10.5cm、主蹄印幅は3.0～3.5cmで、蹄球部印は幅広い形態をしていた。

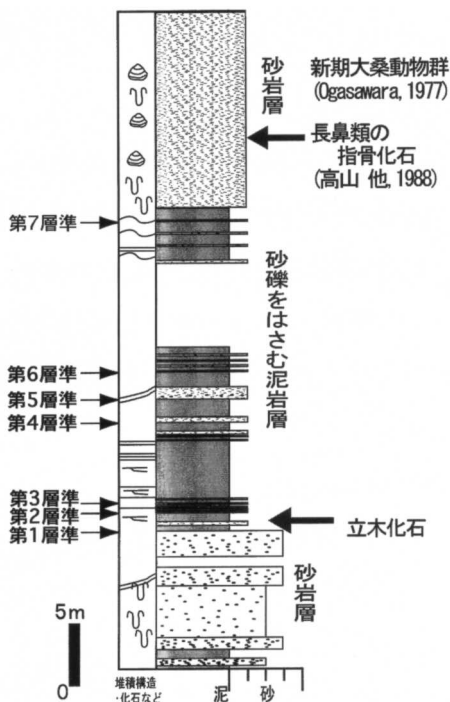


図2 足跡化石産地の柱状図（山本，1996に加筆）



図3 第3層準から産出した保存良好な長鼻類足印化石樹脂で型どりした凸型のスケッチ。スケールは10cm

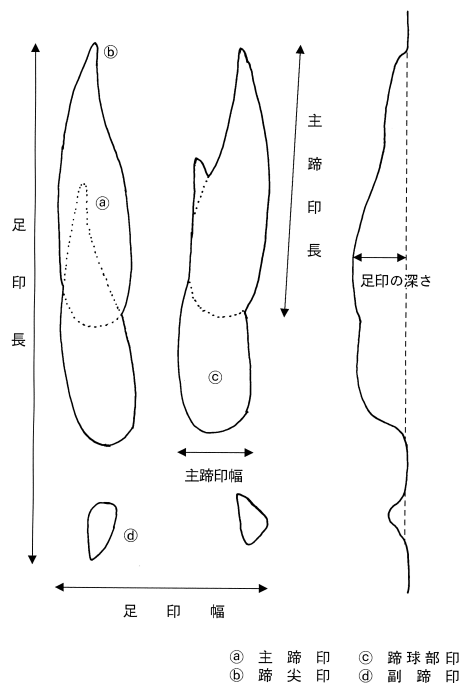


図4 偶蹄類足印の用語と計測部位

2種類の偶蹄類足跡化石のうち、大型で蹄尖印が丸みを帯びた長腎臓形の足印は後述する理由からシフゾウのものと考えられ、今後の検討資料として重要と思われることから、以下に足印化石を型取りした樹脂模型（凸面）を観察した形態を記載する。

4. 長腎臓形足印模型の記載

長腎臓形標本1（図6-a）：第2層準から産出した標本である。上面観での足印口の形態はH字形。先端が丸みを帯びた蹄尖印が4個観察でき、浅いものと深いものがある。浅く平行してついている2個の蹄尖印が前足印、深い2個は後足印と推定できる。後足印の深さは4cmであった。

主蹄印の後方には、平行に小さな3個の副蹄印が観察できる。右側の2個の副蹄印のすぐ前部には蹄球部印の顕著なふくらみが前方に向かって8の字形にみられるが、これは足底部の形態がそのようになっているのではなく、低角度で滑りながら着地したためにできた形態と判断した。支持痕の明瞭な後足印の形態は、長腎臓形であった。浅い前足印は蹄尖印のみであったことから、その主蹄印長は計測不能であったが、後足印は主蹄印長が9.5cm、主蹄印幅が3.5cmであった。

長腎臓形標本2（図6-b）：第2層準から産出した標本である。上面観での足印口の形態はH字形。



図5 第1層準から産出したササノハ形の偶蹄類足印化石（ササノハ形標本1）
樹脂で型どりした凸型のスケッチ。スケールは10cm

丸みを帯びた蹄尖印が4個みられることから、標本1と同様に前後の足印が重複したものと判断できる。足印の形態は、標本1よりも細長い。これは主蹄印の後方についている副蹄印が線状に長くみられることからわかるとおり、滑りながら印跡した結果である。

足印の全長は、35cm、最大幅は15cm、最大深度は13.7cmであった。支持痕の明瞭なもの主蹄印長は10.5cm、主蹄印幅は3.5cmである。

長腎臓形標本3（図6-c）：第4層準から産出した標本である。この印跡面は、調査時にすでに浸食を受けていたために正確な深さは不明である。足印の前部には蹄尖が丸みを帯びた長腎臓形の主蹄印がほぼ平行に2個、それらの後部に同じ幅の主蹄後半部の足印が浅く2個観察できる。さらにその後方にはハの字形に長さ6.0cmの副蹄印が観察できる。この足印は単足印か重複足印か定かではないが、前部の支持痕の明瞭なもの主蹄印長は9.0cm、主蹄印幅は3.5cmである。蹄球部印のふくらみは顕著である。

5. 考察

今回観察された偶蹄類の足跡化石には、産出数が少ない小型で蹄尖印が尖るササノハ形の足跡と産出数が多い大型で蹄尖印が丸みを帯びた長腎臓形の2つのタイプがみられた。

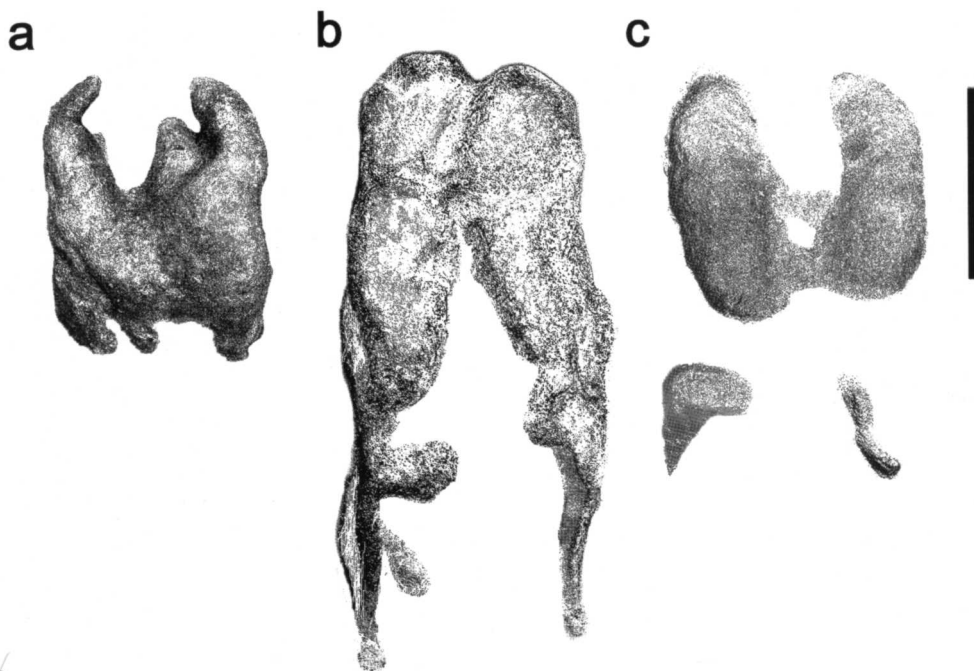


図6 長腎臓形の偶蹄類足印化石

a: 長腎臓形標本1 (第2層準) b: 長腎臓形標本2 (第2層準) c: 長腎臓形標本3 (第4層準)
いずれも樹脂で型取りした凸型のスケッチ。スケールは10cm.

偶蹄類の足跡部ならびに足跡の形態については、岡村・高橋 (2003) が57種の現生偶蹄類を観察し、系統とその形態についての考察をおこなった。その結果、偶蹄類の足跡部および足跡の形態は、半円形 (Semicircular form)、腎臓形 (Kidney form)、長腎臓形 (Elongate kidney form)、勾玉形 (Curved tear drop form)、ササノハ形 (Lanceolate form)、ヤナギハ形 (Elongate lanceolate form) に分類することができ、一般的には亜目あるいは場合によっては科程度の同定はできるが属以下の同定は特殊なものを除いて難しいことを示した。その中で、ササノハ形は、主蹄の外縁はゆるやかな弧を描き、内縁は前半部でややくぼむことや蹄尖印がほぼ前方を向いて尖り、主蹄印の最大幅と長さの関係が1:2.8程度と定義され、シカ科の多くのグループやレイヨウ類などにみられるとした。

先に述べたようにササノハ形の形態をもつということからは、詳細な種類の同定を行うことは困難であり、今回犀川河床から発見されたササノハ形の足跡化石は中型のシカ科あるいはレイヨウ類のうちで副蹄を持つ種類としか同定できない。しかしながら、レイヨウ類の化石はこれまで日本では発見されていないことから、中型のシカ科によってつけられた足跡である可能性が高い。

他方、蹄尖印が丸みを帯びた長腎臓形の足印をつける偶蹄類には、主蹄印長が5.0cm未満の小型のものではヤギ類、5.0~10cmの中型のものではニホンカモシカやゴールル、10cm以上の大型のものではキリンやラマなどがみられる。今回発見された化石足印の主蹄印長は9.0~10.5cmと中型と大型の間であり、現生の長腎臓形の足印をつけるものではシフゾウと一致する (図7)。また、大型のキリンやラマの幼体の足跡でないことは、それらが副蹄を持たないこと、今回の足跡化石の産地がこれまで報告されているキリンやラマの化石の分布地域より外れることから明らかである。図8に、現生のシフゾウの足印および蹄の形態を、表1にその計測値を示す。

シフゾウは、角の形態から *Elaphuroides* 亜属と *Elaphurus* 亜属の2亜属に分けられている (Otsuka, 1972)。このうち、*Elaphuroides* 亜属は、シカマシフゾウ *E. shikamai* を模式種として3種が日本および中国の下部更新統から知られている。

一方、*Elaphurus* 亜属は、現生のシフゾウ *E. davidianus* を模式種としてこれまでに3種が知られている。この亜属は、中期更新世以降に *Elaphuroides* 亜属から進化してきたと考えられている (Otsuka, 1972)。

従って、大桑層の時代からいえば、今回確認されたシフゾウの足跡化石は、*Elaphuroides* 亜属のものと考え

タイプ			主蹄印長 5 cm 未満	5 ~ 10 cm	10 cm 以上
1	半円形				フタコブラクダ ヒトコブラクダ
2	腎臓形				ウシ, ヒトコブウシ パンテン, スイギュウ, ヤク ガウア, ヨーロッパバイソン アメリカバイソン ターキン
3	長腎臓形		ヤギ	イノシシ スマトラカモシカ ニホンカモシカ ゴーラル, アカゴーラル ヒマラヤタール バーラル	アミメキリン ラマ シフゾウ
4	勾玉形				トナカイ
5	ササノハ形		ジャワマメジカ, キョン マエガミホエジカ, ホッグジカ キバノロ, ホエジカ トビイロホエジカ マエガミジカ, ノロ ニホンジカ コーブ, ゲレヌク, アルガリ	エルドジカ, サンバー クチジロジカ, バラシנגジカ アキシスジカ, ダマジカ ニホンジカ ゲムスボック, オグロヌー ハーテビースト, シタツンガ ボンゴ ^{#1} エダツノレイヨウ	ハラジカ アカシカ ジャイアントエランド
6	ヤナギハ形		コビトジャコウジカ オリビ, ステンボック アカダイカー, モウコガゼル アイベックス	シタツンガの前肢 ^{#2}	

図7 偶蹄類主蹄(印)の形態区分によるタイプ分け
* 1 : 長腎臓形にも見える。 * 2 : 蹄が長く伸びてヤナギハ形に見える。

表1 大桑層産の偶蹄類足跡化石と現生シフゾウの足印, 蹄型の計測値。

	標本番号	主蹄印長	主蹄印幅	蹄尖の形態	内側縁の湾入	主蹄印の形態
犀川足跡床標の本	ササノハ形標本1	5.0cm	1.4cm	尖	弱い	ササノハ形
	長腎臓形標本1	9.5cm	3.5cm	鈍	顕著	長腎臓形
	長腎臓形標本2	10.5cm	3.5cm	鈍	顕著	長腎臓形
	長腎臓形標本3	9.0cm	3.5cm	鈍	顕著	長腎臓形
現生の足跡標本	上海動物園シフゾウ(足跡)	9.0cm	3.0cm	鈍	顕著	長腎臓形
	上海動物園シフゾウ(足跡型)	9.2-9.7cm	3.2cm	鈍	顕著	長腎臓形
	王子動物園シフゾウ(前蹄型)	9.0-9.6cm	3.4-3.8cm	鈍	顕著	長腎臓形
	王子動物園シフゾウ(後蹄型)	9.2-9.6cm	2.8-3.2cm	鈍	顕著	長腎臓形

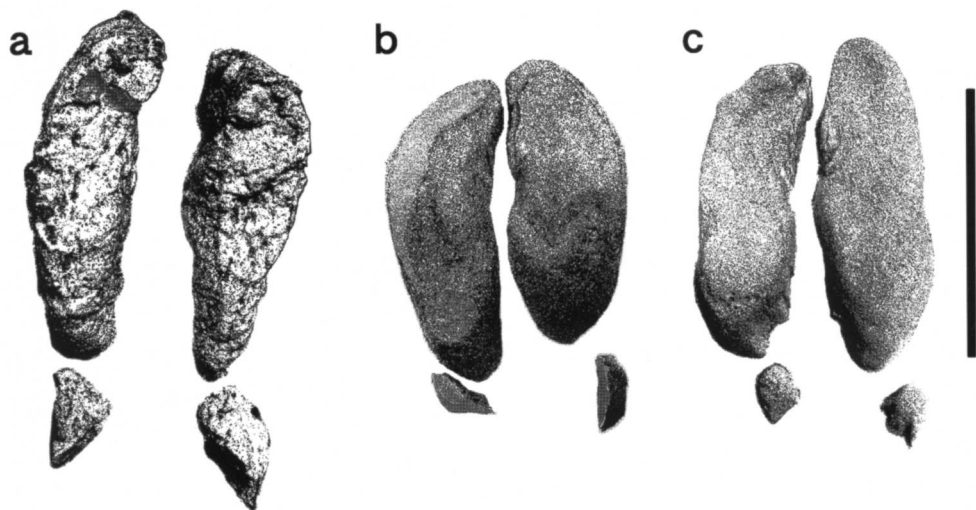


図8 現生シフゾウの足印および蹄の形態

- a. 上海動物園の泥の上についた足印の石膏型（凸型）のスケッチ
 b. 王子動物園の死亡個体の蹄からとった樹脂型（凸型）のスケッチ（前足）
 c. 同上（後足）
 スケールは10cm.

えることが妥当である。*Elaphuroides* 亜属のうち国内で産出している種は、現在のところシカマシフゾウ *E. shikamai* のみであり、今回確認したシフゾウの足跡化石は、シカマシフゾウによってつけられた可能性が高い。

これまでにシフゾウの足跡化石として報告された例は、大阪府富田林市を流れる石川の河床からのもの（富田林市石川化石発掘調査団, 1994）のみであり、シフゾウの足跡化石の報告としては、2例目となる。

謝辞

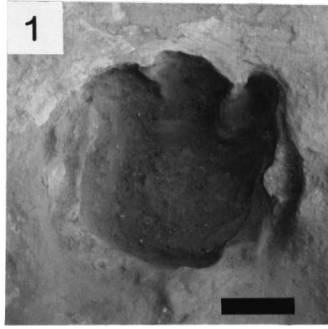
この報告をするに際して、以下の方々には現生偶蹄類の蹄の観察、足跡の写真撮影と型の採取などで大変お世話になった。ここに厚くお礼申し上げる。

王子動物園動物科学資料館、上海動物園、富田林市教育委員会、李 仲達氏（上海動物園）、陳 国亮氏（当時上海動物園）、村田浩一氏（当時王子動物園）。

引用文献

北村晃壽・近藤康生（1990）前期更新世の氷河性海水準変動による堆積サイクルと貝化石群集の周期的変化－模式地の大桑層中部の例－。地質学雑誌, 96, 19-36.
 松浦信臣（1996）金沢地域の大桑層産脊椎動物化石。

北陸地質研究所報告, no. 5, 55-87.
 大村一夫・伊藤 孝・政枝 宏・壇原 徹（1989）石川県金沢市に分布する大桑層の地磁気層序。松尾秀邦教授退官記念論文集, 111-124.
 岡村喜明・高橋啓一（2003）偶蹄類足跡化石の基礎研究。化石研会誌, 36, 16-25.
 Ogasawara, K. (1977) Paleontological analysis of Omma Fauna from Toyama-Ishikawa area, Hokuriku province, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 2nd Ser. (Geol.), 47, 2, 43-156. pls. 3-22.
 Otsuka, H. (1972) *Elaphurus shikamai* Otsuka (Pleistocene cervid) from the Akashi Formation of Osaka Group, Japan, with special reference to the genus *Elaphurus*. *Bull. Nat. Sci. Mus.*, 15, 1, 197-210, pls.1-3.
 高山俊昭・加藤道雄・工藤哲朗・佐藤時幸・亀尾浩司（1988）日本海側に発達する最上部新生界の石灰質微化石層序, その2, 北陸堆積盆地。石油技術協会誌, 53, 9-27.
 富田林市石川化石発掘調査団（1994）富田林の足跡化石－100万年前の自然を復元する－。富田林市石川化石発掘調査団, 248p.
 山本英喜（1996）金沢市に分布する卯辰山累層（中期更新世）の珪藻化石群集と堆積環境, 北陸地質研究所報告, no.5, 89-132.



図版

- 1 第3層準から産出した長鼻類の前後重複足印化石.
 - 2 第1層準から産出したササノハ形の偶蹄類足印化石 (ササノハ形標本1, 樹脂模型, 凹型).
 - 3 第2層準から産出した長腎臓形の偶蹄類足印化石 (長腎臓形標本1, 樹脂模型, 凸型).
 - 4 第2層準から産出した長腎臓形の偶蹄類足印化石 (長腎臓形標本2, 樹脂模型, 凸型).
 - 5 第4層準から産出した長腎臓形の偶蹄類足印化石 (長腎臓形標本3, 樹脂模型, 凸型).
- スケールは10cm.

[Original report]

The relationship between the tooth size and total body length in the sandtiger shark,

Carcharias taurus (Lamniformes : Odontaspidae)

SHIMADA, Kenshu*

Abstract

The relationship between the height of tooth crown (CH) and total body length (TL) in the modern sandtiger shark, *Carcharias taurus* Rafinesque (Lamniformes : Odontaspidae) is examined using regression analyses. The results suggest : 1) that an increase in the CH of each tooth through replacement is proportional to the increase in the TL, 2) that the CH can be used to predict the TL, and 3) that distally located teeth develop faster through replacement compared to mesially located teeth. The quantitative dental data presented here can be used to infer the TL for modern *Carcharias* jaws without specimen data and for fossil odontaspimid individuals.

Key words : dentition, fossil, growth, lamnoid, odontaspimid

Introduction

Sharks generally occupy one of the highest trophic positions in any given marine ecosystem. Therefore, paleobiological inferences of extinct sharks, as simple as estimating their body size, are important for the reconstruction of ancient marine ecology. Odontaspimid sharks, which belong to the order Lamniformes, are common in the post-Jurassic fossil record worldwide (Cappetta, 1987), but like most other fossil elasmobranchs, most of them are known only by their teeth (e.g., Ward, 1988; Cvanara and Hoganson, 1993; Siverson, 1992; Welton and Farish, 1993; Shimada *et al.*, 2004). Thus, paleontologists must usually depend on the size of teeth to estimate their body size.

Lahille (1928), Applegate (1965), and Sadowsky (1970) noted the correlation between body length and tooth size in the modern odontaspimid shark, *Carcharias taurus* Rafinesque (sandtiger shark; Lamniformes : Fig. 1A), that reach to about 318 cm in total body length (for its biology, see Compagno, 1984). In particular, Applegate (1965) graphically showed that the increase in tooth height is directly

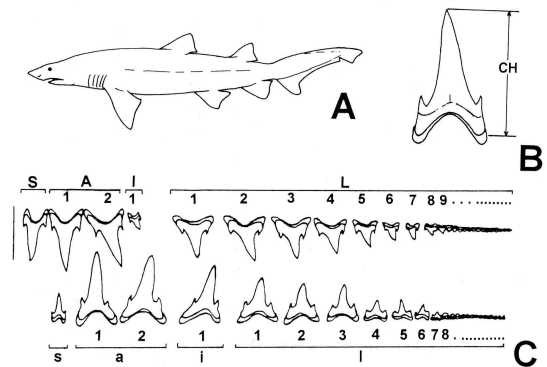


Fig. 1. Modern sandtiger shark, *Carcharias taurus* Rafinesque. A, adult individual (after Compagno, 1984; see text for size). B, tooth in labial view showing the measured variable, crown height (CH; see text for definition; not to scale). C, upper and lower dental series in labial view (mesial to the left; vertical line = position of upper jaw symphysis; illustration modified from Compagno, 1984). Tooth types based on Shimada (2002a): A, upper anterior tooth; a, lower anterior tooth; I, upper intermediate tooth; i, lower intermediate tooth; L, upper lateral tooth; l, lower lateral tooth; S, upper symphyseal tooth; s, lower symphyseal tooth.

Received : 30th August, 2004, Accepted : 21st October, 2004

*Environmental Science Program and Department of Biological Sciences, DePaul University, 2325 North Clifton Avenue, Chicago, Illinois 60614, U.S.A.; and Sternberg Museum of Natural History, Fort Hays State University, Hays, Kansas 67601, U.S.A.