

佐賀県武雄市の漸新統より産出したカブトガニの足跡化石

大石, 博之
西日本技術開発KK調査部

松隈, 明彦
九州大学理学部

相原, 安津夫
九州大学理学部

<https://doi.org/10.15017/4494739>

出版情報：九州大学理学部研究報告. 地球惑星科学. 18 (1), pp.73-84, 1993-12-25. Faculty of Sciences, Kyushu University

バージョン：

権利関係：

佐賀県武雄市の漸新統より産出した カブトガニの足跡化石

大石博之*・松隈明彦・相原安津夫

Limulid trace fossils from the Oligocene of Takeo, Saga Prefecture, Japan

Hiroyuki OISHI*, Akihiko MATSUKUMA and Atsuo AIHARA

Abstract

The Oligocene Yoshinotani Formation of Takeo, Saga Prefecture, Japan, yielded several distinct footprints without any track maker at the end of its trail. The most well-preserved trackway, consisting of eight left footprints and seven right ones, is described in this paper. Each footprint has four 'fingers' and a bifurcate 'heel'. The right and left footprints are arranged symmetrically. An average stride length, 25.8 cm, is nearly equal to an average track breadth, 24.6 cm. All left footprints are nearly equal in form and size, averaging 6.2 cm long and 3.4 cm wide. All right ones, 5.4 cm in length and 3.7 cm in width, are also identical with each other. This evidence suggests that the trackway was made by a pair of left and right legs of the track maker, which moved both left and right legs simultaneously. These footprints have been compared with the trails of bipedal vertebrates, including birds and turtles, but the manner of occurrence and the morphology of footprints suggest that they are probably undertracks formed by the pushing appendages of a limulid, i.e. the paired sixth cephalothracical appendage with four blades.

Although no fossil limulid has been reported from Japan, the trackway of the Yoshinotani Formation, i.e. *Kouphichnium* sp., suggests that Japanese limulids should go back to the Oligocene age. It is predicted that limulid body fossils will be found from the Yoshinotani Formation, which is important in considering the origin of the living Japanese limulid, *Tachypleus tridentatus*.

はじめに

唐津炭田南東部にあたる佐賀県武雄市付近には、古第三系相知層群芳ノ谷層の夾炭層が露出しており、1985年に同市武雄町北永野の採石場から保存のよい足跡化石が山田琢哉によって発見された（相原ほか，1986MS）。発見当初からこの化石の印跡動物に関してはいくつかの見解があったが、十分な研究は行われず、詳しい報告がなされないままになっていた。

一般に、足跡化石は古生物・古環境についての多くの手がかりをもたらす貴重な研究材料であるにも関わらず、わが国の新生代足跡化石については、積極的に研究されていないのが現状である。その主な理由は、体組織の保存されていない足跡化石から確実な古生物学的情報を得ることが非常に困難なためである。足跡化石を取り扱う場合、生物学的に研究しようとしたときには支持基体の物理学的・化学的狀態に左右されるという制約を受け、堆積学的に研究しようとしたときには動物

*西日本技術開発 KK 調査部 Research Department, West Japan Engineering Consultants, Inc.

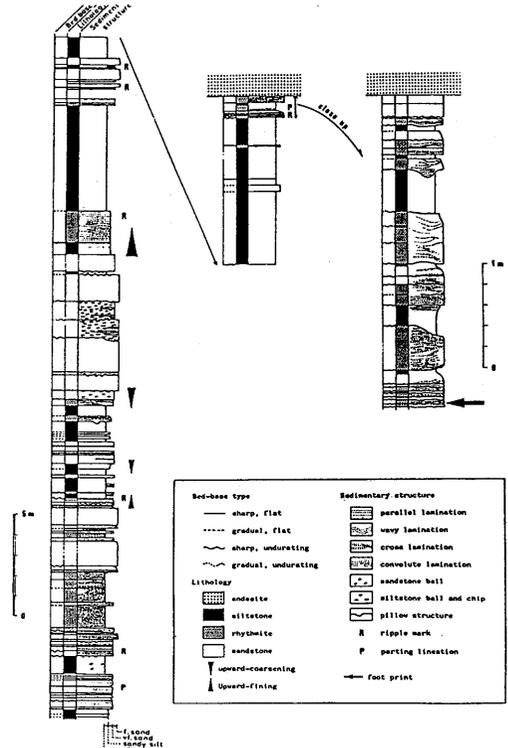


第1図 足跡化石産出地点 ($33^{\circ}10.1'N$, $130^{\circ}02.1'E$) (国土地理院発行2.5万分の1地形図“武雄”及び“鹿島”による.)

Fig. 1. The locality of footprints in Takeo, Saga Prefecture, Japan ($33^{\circ}10.1'N$, $130^{\circ}02.1'E$) shown with arrow on the topographic maps of “Takeo” and “Kashima”, scale 1 : 25,000 published by the Geographical Survey Institute, Japan.

の行動の記録であるという偶然性の制約を受けてしまう。足跡化石の持つ生物学的特性と堆積学的特性というこの2つの側面を捉え、総合的に解析して初めて足跡化石から有意義な情報が得られる。

本研究では、武雄市で発見された足跡化石について、伝統的な足跡化石研究法を踏襲しつつ、若干の新技术も加えながら総合的な調査・分析を行い、可能な限りの情報を抽出した上で印跡動物の同定を試みた。その結果、いくつかの重要な事実が判明したので、足跡化石の概要と共にここに報告する。足跡化石の堆積学的特性については、土質力学的側面からの検討結果を別途発表する予定である。なお、本論文中で使用する足跡化石に関する用語は石垣 (1988a, b) に従った。



第2図 足跡化石産出地点付近の柱状図 (相原ほか, 1986MSによる.)

Fig. 2. Columnar section showing lithology and stratigraphic position of the fossil locality (after Aihara *et al.*, 1986MS.)

化石産出地点及び地質概略

足跡化石は、山田 (1986MS) による佐賀県武雄市武雄町北永野の汐見川沿いの採石場内の頁岩露頭の調査中に発見された (図1)。化石産出地点付近には古第三系漸新統相知層群芳ノ谷層上部層の堆積岩層が分布している (図2)。芳ノ谷層上部層は、下限によく発達した炭層を挟むが、上位に行くに従って炭層の発達は悪くなっている。上部層の主部は白色アーコーズ質砂岩・暗灰色頁岩からなっており、また最上部では頁岩、あるいはアーコーズ質細粒～中粒砂岩 (しばしば礫質砂岩に漸移する) が杵島層の基底礫岩まで続いている。芳ノ谷層上部層からは *Athleta japonica* Nagao, *Callista* sp., *Ostrea* sp. 等の浅海性の貝化石が知られているが産出は希である (井上, 1958)。

足跡化石産出地点の露頭は芳ノ谷層上部層に当

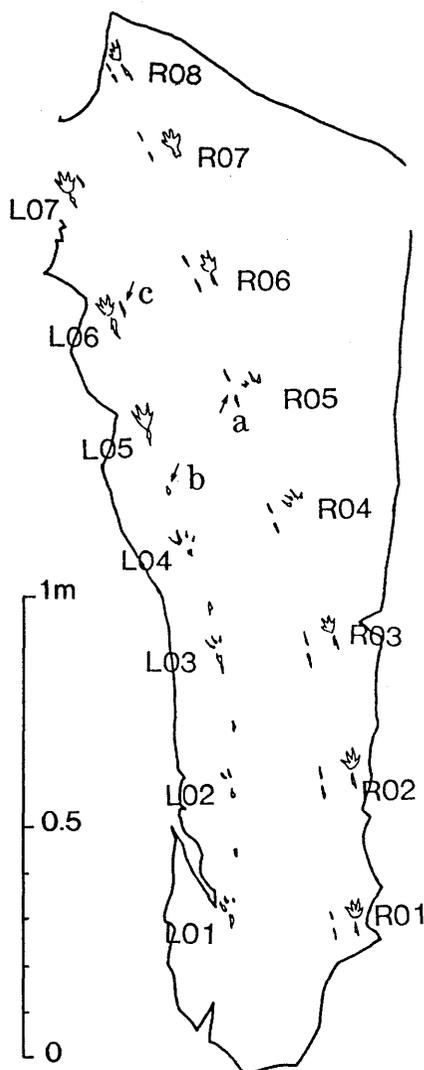
たり、主に頁岩～細粒砂岩からなる。露頭面は、この直上位に餅盤に貫入した安山岩の熱で弱い接触変成を受けて著しく固化している。足跡化石は、安山岩を採石として掘削排除したために新たに現われた層理面 (N3°E, 67°W) とほぼ平行な露頭面に露出していた。他の化石はほとんど発見することが出来ず、僅かに不明瞭な生痕化石を産するのみである。地層には斜交葉理が認められ、クラミング・リップル葉理状の形態を呈している。また、リップル葉理の間には泥質の堆積物が存在しており、プレーザー層理を成している。このような堆積構造からは、砂のリップルをもたらすような活発な流れの作用と泥が沈積するような穏やかな水塊とが交互に繰り返すような堆積条件が推定される。足跡化石支持基体中には、鏡下で組織を確認することが出来ない有機物がラミナの部分及び石英粒子間に多く含まれている。これら有機物は藻類等が十分に腐食され、腐泥として堆積されたものと考えられ、一般には潟や潮間帯湿地の堆積物中に見られる。

足跡化石について

発見された足跡化石には、左足の足印が7個 (L01-07)、右足の足印が8個 (R01-08) 保存されていた。左右の足印は、行跡軸を挟んでほぼ左右対称に並んでいる (図3)。行跡は N33°E から N48°E 方向へ緩やかにカーブしている。これら足印のほか、右足印内側には縦に並んだ2個の細長い痕跡 (a) が規則的に残されており、左足印列の足印間には1個の規則的な痕跡 (b)、左足印内側にはやや不規則に1個の痕跡 (c) が存在する。

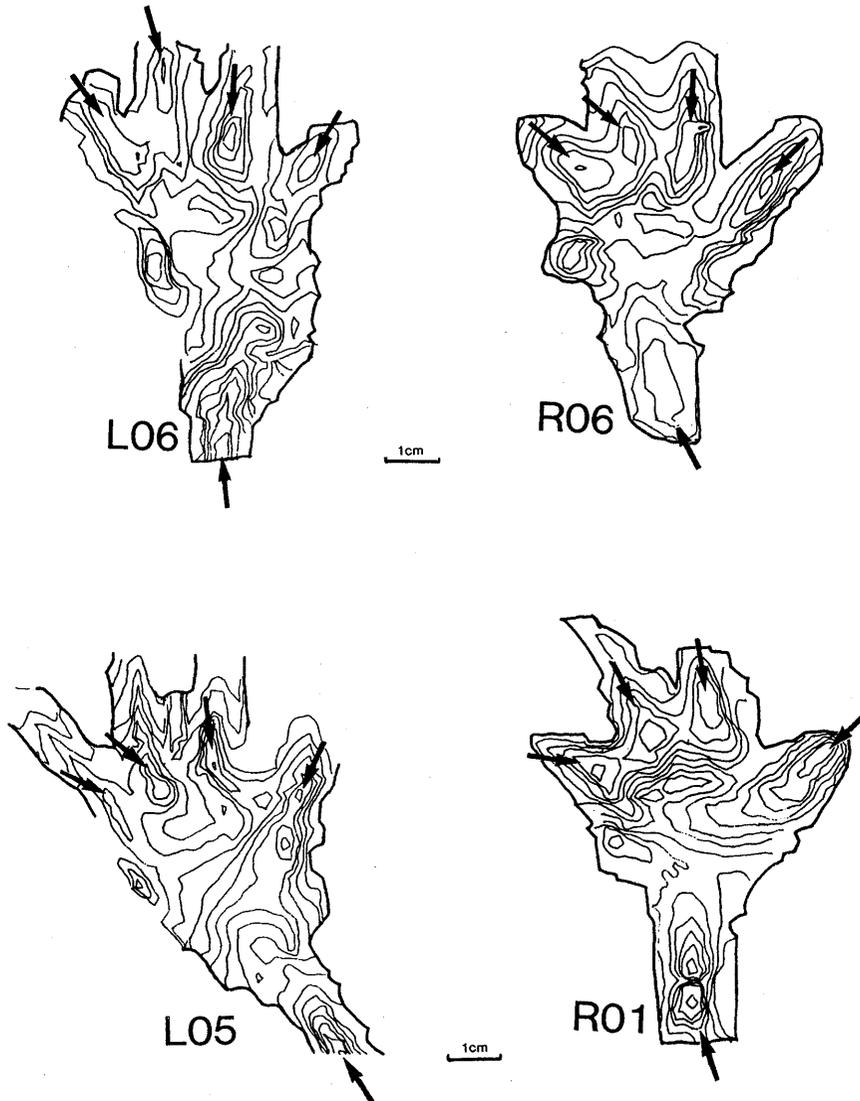
比較的保存のよい足印 (L01, L06, R01, R06) を選び、レーザー変位計 (キーエンス社製, LC2010, 計測範囲±3mm, スポット径0.05mm, 分解能0.5μm) を用いて、足印内の起伏状況を調べた。この変位計で得られた格子データをもとに塩野ほか (1984) の方法に従いコンピューターにより0.2mm間隔で等高線図を作成した (図4)。その結果、各足印には、前方に向かって伸びる4本の指状の痕跡が共通して認められた。また、踵部分からも後方に伸びる一本の指状の痕跡があり、幾つかの足印ではその先端が明瞭に2分しているのが認められる (図7, C, D)。

足印の大きさに関しては、図5に示す部位につ



第3図 足跡化石全景のスケッチ。a: 右足印内側の規則的な引っ掻き傷。b: 左足印列の足印の中間についた引っ掻き傷。c: 左足印内側の引っ掻き傷。L01-07: 左足印, R01-08: 右足印。

Fig. 3. Sketch of trackway showing symmetric arrangement of footprints. a: A pair of long and narrow scratches placed inside each right footprint. b: A scratch located nearly mid point of stride of left foot. c: A scratch placed just inside left footprint. L01-07: Left side footprints. R01-08: Right side footprints.



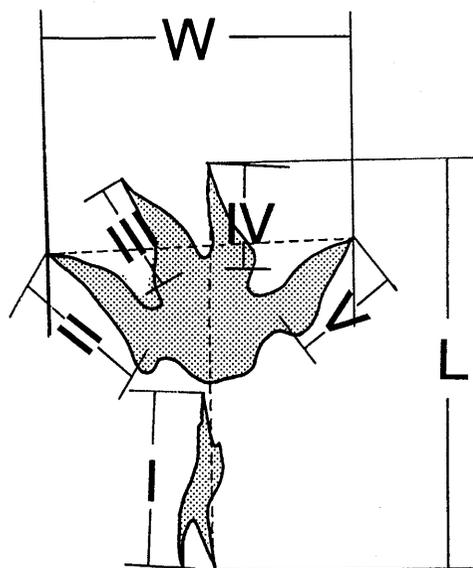
第4図 レーザー変位計により0.2mm間隔の等高線で表された足印の微地形。矢印は地形の谷を表す。

Fig. 4. Contour map of footprints with 0.2mm regular interval. Arrows indicate valleys of microtopography.

いてノギスによる計測を行なった(第1表)。足印長(L)の平均値は右足印列で5.4cm,左足印列で6.2cm,足印幅(W)の平均値は右足印列で3.7cm,左足印列で3.4cmであった。また,足印幅と足印長の比(W/L)の平均値は,右足印列で0.69,左足印列で0.54であった。

足跡の歩幅(stride length)および行跡幅(trackway breadth)については図6に示すように定義し,計測を行なった(第2表)。歩幅の平

均値は,右足印列(SR)で26.4cm,左足印列(SL)で25.1cmであった。右足印列の足印長と歩幅の比(L/SR)の平均値は0.21,左足印列での比(L/SL)の平均値は0.22であった。また,行跡幅(T)の平均値は24.6cmであった。足印幅に対する行跡幅の比(W/T)の平均値は0.14である(第3表)。



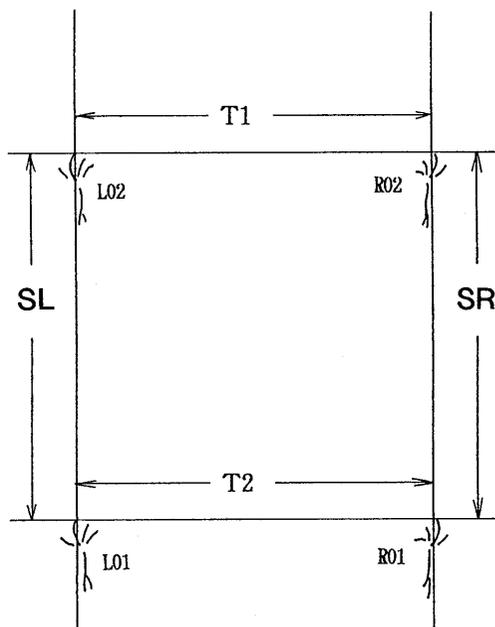
第5図 足印の計測部位。I—V：指状部 (I—V) の長さ。L：足印の最大長。W：足印の最大幅。

Fig. 5. Basic morphology and measurements of footprints. I—V: Digit length. L: Maximum length of footprint. W: Maximum width of footprint.

第1表 足印の計測結果 (cm)。I—V：指状部 (I—V) の長さ。L：足印長。L01—07：左足印。R01—08：右足印。W：足印幅。

Table 1. Measurements of footprints (cm). I—V: Digit length. L: Footprint length. L01—07: Footprint in the left row. R01—08: Footprint in the right row. W: Footprint width.

	W	L	W/L	I	II	III	IV	VI
L01	—	6.4	—	1.6	1.9	1.2	0.4	—
L02	—	5.4	—	1.2	1.8	1.2	—	—
L03	—	5.8	—	2.0	1.9	1.0	0.5	—
L04	3.3	6.0	0.55	1.7	2.2	1.9	1.2	0.9
L05	3.5	6.4	0.55	2.6	2.7	2.1	1.5	1.6
L06	3.5	5.6	0.63	2.9	2.7	2.0	1.6	1.6
L07	3.2	7.9	0.41	1.3	—	2.1	1.5	1.6
R01	4.0	5.1	0.78	1.8	1.5	1.4	1.2	1.7
R02	3.9	5.6	0.70	2.1	1.5	1.3	1.2	1.2
R03	3.5	5.5	0.64	1.5	1.2	1.5	1.5	1.2
R04	—	—	—	—	—	1.5	1.5	1.3
R05	—	—	—	—	1.5	0.8	0.8	1.2
R06	3.2	5.2	0.62	1.9	2.6	2.0	1.7	1.5
R07	3.8	5.5	0.69	1.5	2.2	2.0	1.8	1.7
R08	3.7	5.3	0.70	1.7	2.5	1.9	1.5	—



第6図 行跡の測定部位。SL：左足印列の歩幅。SR：右足印列の歩幅。T：行跡幅。

Fig. 6. Measurements of successive trackways. SL: Stride length of the left row. SR: Stride length of right footprint row. T: Trackway breadth.

第2表 足跡化石の歩幅と行跡幅 (cm)。SL：左足印列の歩幅。SR：右足印列の歩幅。T：行跡幅。

Table 2. Stride length and trackway breadth of the fossil footprints (cm). SL: Stride length measured in the left row of footprint. SR: Stride length measured in the right row of footprint. T: Trackway breadth.

	Stride length (cm)	Stride length (cm)	Trackway breadth (cm)		
SL1	25.0	SR1	29.9	T1	26.5
SL2	24.5	SR2	27.9	T2	25.5
SL3	25.0	SR3	25.6	T3	24.7
SL4	24.8	SR4	25.5	T4	24.5
SL5	25.1	SR5	25.0	T5	23.5
SL6	26.1	SR6	27.0	T6	23.4
—	—	SR7	24.1	T7	23.8
\bar{SL}	25.1	\bar{SR}	26.4	\bar{T}	24.6

足印の形態および計測結果の考察

今回の足跡化石では、足印長、足印幅、歩幅、行跡幅の計測結果、並びに足跡の形態からは明瞭な前足・後足の区別が認められず、左右2本の足の痕跡であることが示唆されている。足印長に関しては左足印列の方が右足印列より大きく、歩幅については右足印列の方が大きい。これは印跡動物が緩やかに左にカーブしながら進行したため、左足が右足より深く堆積物に足印を付けたことによると考えられる。

足印の配列状態について見ると、対応する左右の足印は行跡軸に対してほぼ対称に配列しており、しかも足印長に対して歩幅が非常に大きいことから、印跡動物は左右2本の足を同時に踏み出して、跳躍型の歩行をしていたことが推測できる。また、足印幅に対して行跡幅が非常に大きいことから、印跡動物は姿勢が低く、扁平な体型であったと考えられる (THULBORN, 1989)。しかしながら、低平な体型の動物が2本足で跳躍歩行を行っていたとするのは、運動効率の面から考えて非現実的

第3表 足印長と歩幅の比、および足印幅と行跡幅の比。Lx: 平均足印長。Wx: 平均足印幅。

Table 3. Ratios of fossil footprint length to stride length (Lx/SL, Lx/SR) and footprint width to trackway breadth (Wx/T). Lx: Arithmetic mean of footprint length. Wx: Arithmetic mean of footprint width.

Lx/SL		Lx/SR		Wx/T	
SL1	0.22	SR1	0.19	T1	0.13
SL2	0.23	SR2	0.20	T2	0.14
SL3	0.22	SR3	0.22	T3	0.14
SL4	0.23	SR4	0.22	T4	0.15
SL5	0.22	SR5	0.22	T5	0.15
SL6	0.21	SR6	0.21	T6	0.15
—	—	SR7	0.23	T7	0.15

である。この問題については、印跡動物が足跡印跡時に半遊泳状態にあり、水中に体を浮かせて足先で水底を蹴りながら行動 (浮体水中歩行) していたと考えると合理的に説明できる (STOKES, 1957)。

以上のような足跡化石の特徴並びに化石の産状をまとめて、印跡動物の特徴を推測すると、(1)扁平な体型で、(2)水中生活をする生物 (或いは水中を主な生活圏とする生物であること)、(3)歩行時には対応する左右の足を同時に踏み出すこと、等が考えられる。また、本足跡化石の個々の足印は非常に特徴的である。即ち、前方に4本の指状の痕跡があり、後方に先端が2分した1本の指状痕跡がある。印跡動物として、これら全ての事柄に矛盾なく当てはまる動物を推定する必要がある。

印跡動物の推定

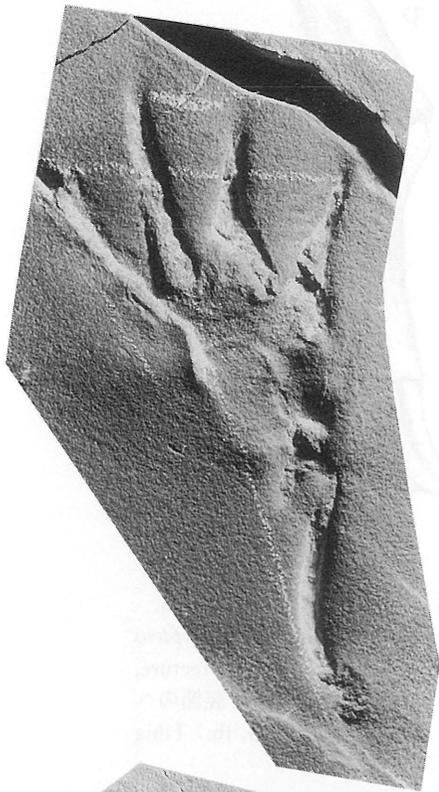
本足跡化石の発見以来、印跡動物として脊椎動物が考えられてきた (相原ほか, 1986MS; 大石, 1991MS)。これは主に、本足印が5本の指状痕跡を備えていること、および歩幅が約25-26cmと大きいことに基づいていると思われる。

足跡化石の足印の形態は、一見鳥類の足印 (MURIE, 1954) に類似しているが、以下の点で鳥類の足印とは明瞭に異なる。鳥類は、(1)4本の足指しか持たず、(2)最も典型的な足指の型 (正足) では内指、中指、外指の3指が前方を向き、後指が後方を向く。(3)皆前指足の種類では4指全てが前方を向くが、後方を向く5番目の指は存在しない。現在までのところ、本足跡化石に該当するような、前方に4"指", 後方に1"指"の足指を持った鳥類は、化石種を含めて知られていない。

大石 (1991MS) は本足跡化石の印跡動物として、淡水或いは汽水域に生息する爬虫綱カメ目の動物を想定した。これは足印幅に対して行跡幅が非常に大きいことから推定された扁平な体型を持つという点、及び半遊泳状態で水中歩行できると

第7図 武雄市漸新統芳ノ谷層産足跡化石。スケール: 1cm。矢印は足跡後部の2分した痕跡を示す。
Fig. 7. Footprint from the Oligocene Yoshinotani Formation, Takeo, Saga Prefecture, Japan. Arrows indicate a bifurcate trace. Scale: 1cm.

- A. L06左第6足印。
- B. L05左第5足印。
- C. R06右第6足印。
- D. R01右第1足印。



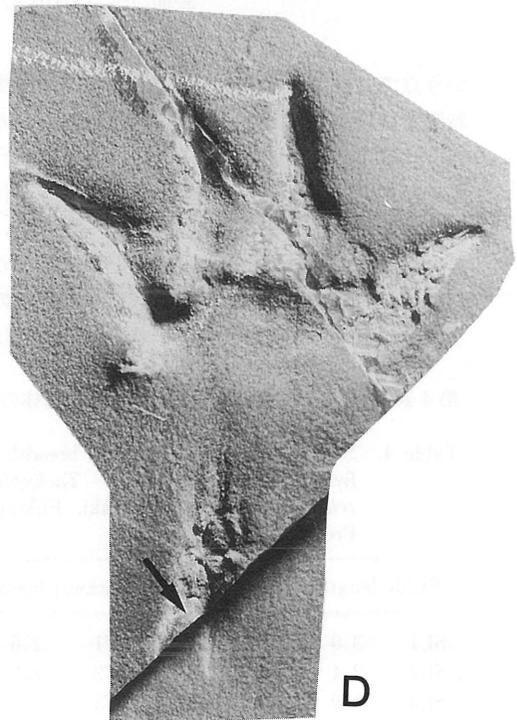
A



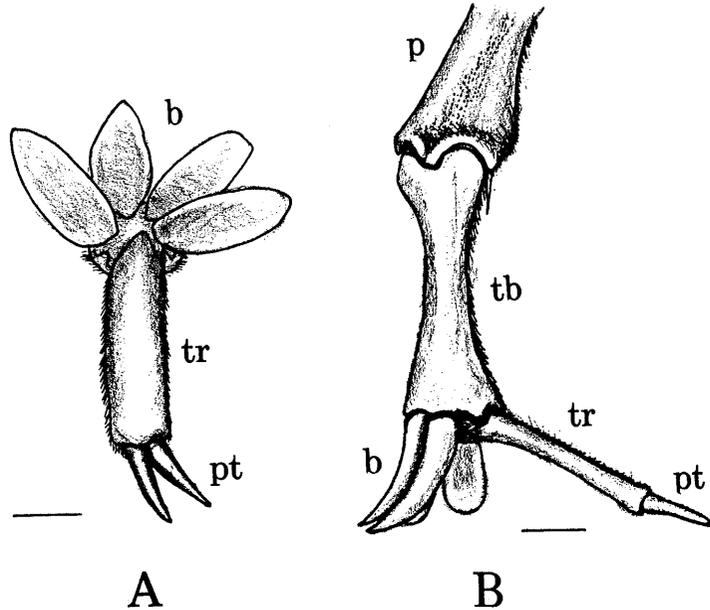
C



B



D



第8図 博多湾産現生カブトガニの右第5歩脚。スケール：1 cm。
 Fig. 8. The right pushing appendage of living limulid *Tachypleus tridentatus* from Imazu, Hakata Bay, Fukuoka Prefecture, Japan. A: Bottom view. B: Side view. b: Blade 脛節のへら状器. p: Patella 膝節. pt: Pretarsus 前跗節. tb: Tibia 脛節. tr: Tarsus 跗節. Scale: 1 cm.

いう点で、足印の特徴から推定された印跡動物の特徴と合致するが、(1)淡水或いは汽水に住むカメ類では5指全てが前方を向くこと、及び(2)歩行の際は左右の後足を交互に動かし、跳躍型の歩行は行なわないこと、等で本足跡化石と一致しない。また、ウミガメ科やオサガメ科などの海生のカメ類では、遊泳時或いは歩行時に対応する左右の足を同時に動かすが、四肢はかい状、或いは鱗状に

変形し、爪は0～2個と少なく、本足跡化石の形態と一致しない。

CASTER (1938) は、WILLARD (1935) がアメリカ合衆国ペンシルベニア州の上部デボン系から両棲類の足跡として記載した *Paramphibius* を再検討した。現生アメリカカブトガニ *Limulus polyphemus* の第1～5歩脚の形態と足跡、及び頭胸甲・腹甲・尾剣・腹肢による痕跡を詳細に記載し、化石と比較した結果、*Paramphibius* は従来考えられていたような脊椎動物の足跡化石ではなく、無脊椎動物のカブトガニ類の足跡であると結論した。CASTER (1938, 1944) は、現生カブトガニ類の第5歩脚がへら状器と呼ばれる4枚の板状突起を備え、歩脚先端が鋏状に2分していることを示し、一見脊椎動物の足跡を思わせる特異な痕跡をつけることを指摘すると共に、上部三疊系カブトガニ類の足跡化石を *Kouphichnium arizonae* という名前で記載した。HAENTZSCHEL (1962) は、様々な痕跡化石の総説を行なった中で *Paramphibius* を *Kouphichnium* の新参同物異名とし、デボン紀～ジュラ紀の *Kouphichnium*

第4表 福岡県津屋崎産現生カブトガニ幼体の歩幅と行跡 (cm)。

Table 4. Stride length and trackway breadth of living juvenile limulid *Tachypleus tridentatus* from Tsuyazaki, Fukuoka Prefecture, Japan (in cm).

Stride length		Stride length		Trackway breadth	
SL1	3.0	SR1	2.8	T1	2.6
SL2	2.4	SR2	1.7	T2	3.2
SL3	1.9	SR3	2.1	T3	3.4
SL4	2.8	SR4	1.9	T4	3.7
SL5	2.6	SR5	2.3	T5	3.5
				T6	3.4

を图示した。 *Kouphichnium* の形態は様々に変異するが、多数の細長い鋏状の足跡と4～5本の指状の突起を持ったやや太い足跡からなるのが特徴で、古くは鳥類、魚様の両棲類、爬虫類、哺乳類など様々な脊椎動物が印跡動物に擬せられたが、現在はカブトガニ類の痕跡と考えられている。

武雄産の足跡化石は、指状の突起が CASTER (1938) が图示したデボン系の化石より1本少ないことを除けば、(1)前方に4本の指状の突起を備え、(2)後方に先端が2分した指状突起が1本あること、(3)指状突起はいずれも極めて細いこと、(4)足跡は行跡軸を挟んでほぼ左右対称に分布することなど、 *Paramphibius* (= *Kouphichnium*) の指状突起を備えた足跡に酷似している。武雄産の化石ではまた、第1～4歩脚による細長い鋏状の痕跡が見つかっていないが、足印の内側や中間に規則的に見られる小型の痕跡(図3, a-c)が、位置的に見てそれに当たると思われる。

現生カブトガニとの比較

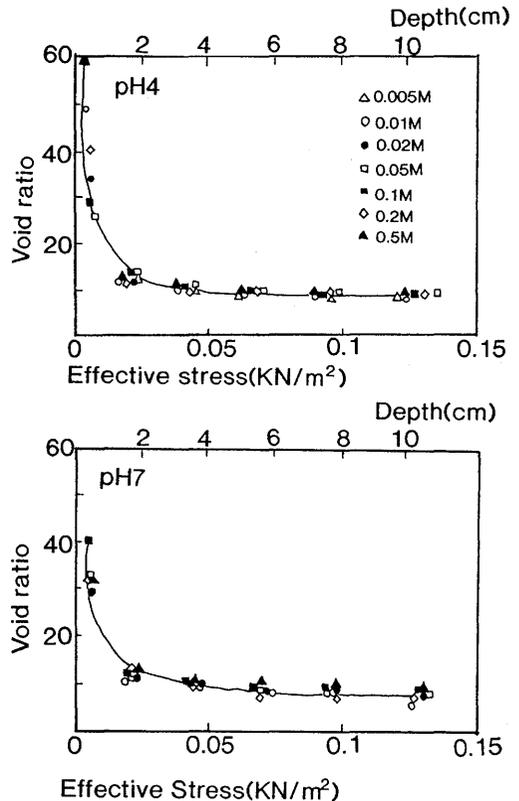
現生カブトガニは世界中で次の4種が知られている：アメリカカブトガニ *Limulus polyphemus* 北米東岸、マルオカブトガニ *Tachypleus rotundicauda* インド洋東部～東南アジア、ミナミカブトガニ *T. gigas* インド洋東部～東南アジア、カブトガニ *T. tridentatus* 日本～東南アジア。アジア産カブトガニ *Tachypleus* 属3種のうち、西日本に分布するカブトガニ *Tachypleus tridentatus* について第5歩脚の形態、歩行時の歩脚の動き、及び這い痕を観察した。観察に使った標本は博多湾西部(福岡市今津)、及び福岡県宗像郡津屋崎町で採集した。

第5歩脚について：カブトガニは1対の鋏肢と、5対の歩脚(胸肢)を持っている。第5歩脚は6対の脚の中で最も後方に位置し、歩行時の推進器の役割を果たしている。第5歩脚の脛節には、アメリカカブトガニ同様4枚の3角形の板で構成されるヘラ状器があり、脚先端の前跗節には鋏状の2本の爪がある(図8)。ヘラ状器は、歩脚が着地する際には大きく掌状に開かれて、体が軟弱な堆積物中に沈み込むのを妨げる働きをする。CASTER (1938, 1944) によれば、ヘラ状の4枚の板と先端の鋏状部とが作る角度は若い個体ではほぼ180°と大きく、成体では約90°と小さいことが報告されている。日本産のカブトガニでも幼体では

ヘラ状器が大きく開き、成体ではあまり開かない(図8)ことから、カブトガニの成長段階に応じて第5歩脚による足跡が異なる形態になることが予想される。

脚の動きについて：博多湾西部での成体の野外観察、及び津屋崎産幼体の水槽内での観察によれば、カブトガニの5対の歩脚は最後方の第5歩脚から前方の脚へと順に踏み出され、ヘラ状器の4枚の板は後方に踏み出されたときに開き、前方に引き付けられたときに閉じる。このとき対応する左右の脚が同時に着地することが確認された。

歩行跡について：干潟の泥土上をカブトガニが歩く場合は、足跡のほか頭胸甲及び剣尾による痕がついた。第5歩脚は他の部位よりも深く堆積物中に差し込まれ、剣尾や頭胸甲は堆積物の表層に痕



第9図 間隙比と圧密(堆積物表面からの深さ)の関係(OHTSUBO & IBARAKI, 1991による)。

Fig. 9. Relationship between void ratio and effective stress, or depth, of clay sediments in pH 4 and pH 7 (after OHTSUBO & IBARAKI, 1991)

跡を残すだけであり、第1～4歩脚の足跡は第5歩脚の足跡に比べて小さく弱い。

水中で敏速に移動する個体は、干潟上を歩行する個体よりも歩幅がはるかに大きくなることが観察された。

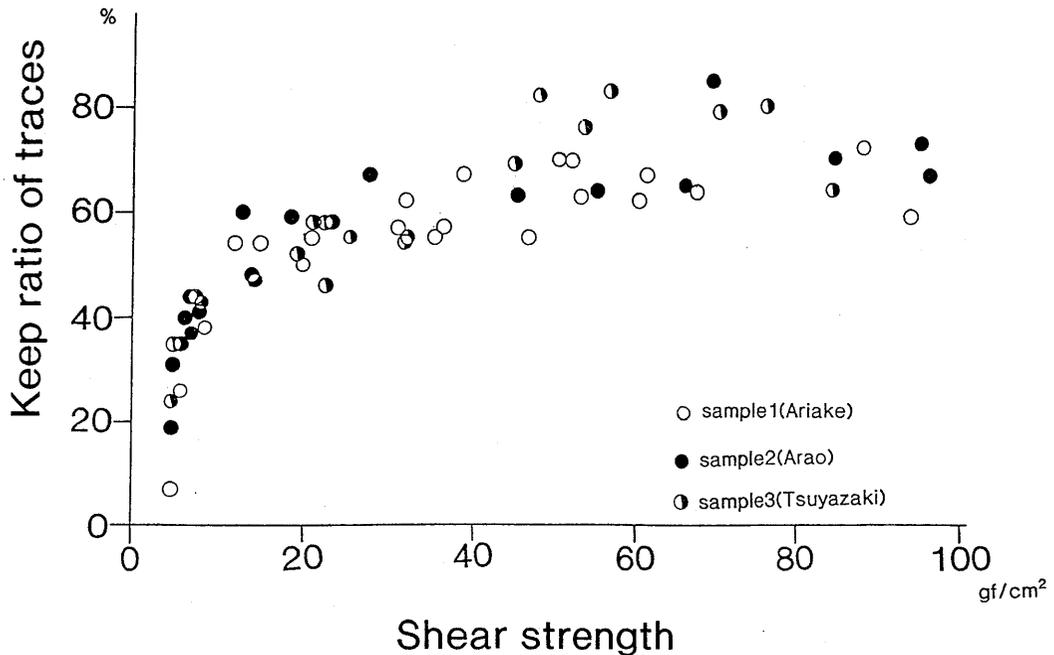
ビデオの映像から求めた水槽内を歩行中のカプトガニ幼体(剣尾、腹甲を除く全長4.9cm、全幅9.1cm)の第5歩脚の歩幅、行跡幅は第4表に示す通りである。歩幅の平均は右足2.2cm、左足2.5cmで、行跡幅の平均は3.3cmであった。第5歩脚の足印長は0.7cm、足印幅は0.4cmであった。足印長と歩幅の平均との比は右足、左足とも0.3で、足印幅と行跡幅の平均との比は0.12であった。これらの値は、武雄産足跡化石から求めた値と近いものである。水槽中の個体の方が歩幅が足印長に対してやや小さいという結果になったが、これは武雄産足跡化石印跡個体が今回の水槽中の個体より敏速に移動できる状態であったためだと推察される。

足跡化石の保存条件に関する考察

武雄市で発見された足跡化石の印跡動物は、カ

プトガニ類 limulid であると考えられるが、化石には第5歩脚の足印だけが選択的に保存されており、頭胸甲や腹甲、剣尾の痕跡は認められない。僅かに、第5歩脚以外の脚の痕跡と思われる跡(図3, a-c)が認められるだけである。生痕化石のこのような特異な保存状態に関しては、次のようなことが考えられる。OHTSUBO & IBARAKI (1991)は、水中で自然沈積した細粒堆積物は最表層から約2cmまでの深さで間隙比が激減することを室内実験で確認した(図9)。間隙比が高いと堆積物の塑性が低下するので、水中においては堆積物の表層に近い場所ほど足跡が付きにくく、かつ破壊されやすいと考えられる。逆に間隙比が小さく堅い堆積物上では足跡は明瞭に刻印され、二次的な変形からも守られて相対的に保存され易い。堆積物の堅さ(剪断強度)とその上に刻印された足跡の変形程度の実験的に確認するため、粒度組成の異なる以下の3地点の堆積物に、先端角60°の円錐を1cm貫入させ、それを引き抜いたときに出来る痕跡がどの程度変形しているかを検討した(図10)。

試料1：佐賀県有明町干潟堆積物(粘土



第10図 堆積物の堅さ(剪断強度)と痕跡の保存の程度。保存の程度は(変形後の痕跡の直径/変形前の痕跡の直径)×100(%)で表現されている。

Fig. 10. Relationship between shear strength of sediments and form-keeping ratio of traces. Form-keeping ratio is shown by (diameter of deformed trace/diameter of original trace) × 100 (%).

98.1%, シルト1.9%, 砂-)

試料2: 福岡県荒尾干潟堆積物(粘土13.0%, シルト31.8%, 砂55.2%)

試料3: 福岡県津屋崎干潟堆積物(粘土1.5%, シルト8.6%, 砂89.9%)

実験は各試料につき、異なる剪断強度で20回ずつ測定した。実験の結果、堆積物の剪断強度が約10gf/cm²より低くなるとそこに刻印された足跡の変形度は急激に大きくなり、逆に剪断強度が10gf/cm²以上になると堆積物の生痕保持能力は緩やかに上昇していった。この関係は、堆積物の粒度組成には関係無く、実験に用いた3試料共通の傾向であった。

今回の実験結果およびOHTSUBO & IBARAKI (1991)の研究結果を併せて考察すると、水中においては剪断強度の低い堆積物表層付近では足跡がつきにくく、逆にある程度の深度をもって堆積物中に刻印される足跡ほど明瞭な形態を保持し、しかも破壊されにくいと考えられる。このような堆積物の性質を考慮すると、印痕動物歩行時により強く堆積物におしつけられて土中深く差し込まれる部位の痕跡は良く保存されるが、堆積物の表層部にしか接触しない部位の痕跡は堆積物の塑性が低いため保存されにくいと考えられる。

カプトガニの歩行時には、推進器である第5歩脚は他の部位より深く堆積物中に差し込まれ、剣尾や頭胸甲は堆積物の表層にしか接触しないと考えられる。このことから、1個体の生痕であっても部位毎の到達深度の違いから保存の程度に差異が生じ、武雄市で発見されたような一部分のみの痕跡が選択的に保存された化石が形成されたと考えられる。

GOLDRING & SEILACHER (1971)は、1個体の生痕が数枚のラミナにわたって保存されているカプトガニ化石の研究から、生痕が部位毎に異なる平面状に保存されることを明らかにした。彼らは、第5歩脚の足印が他の部位の痕跡より深い位置に印跡されることを示し、このような印跡動物の生息した時の堆積物表面より下の層に印跡され、保存される生痕をundertrackと呼んだ。武雄市で発見された足跡化石はカプトガニの第5歩脚のundertrackと考えられる。

まとめ

佐賀県武雄市の漸新統相知層群芳ノ谷層から発

見された足跡化石は、前方に4個の指状の痕跡、後方に先端が2分した1個の痕跡を持つこと、足印が行跡軸を挟んで左右対称に分布すること、歩幅・行跡幅が足印長・足印幅に比べて非常に大きいことなどから、カプトガニ類の生痕化石 *Kouphichnium* sp. であり、第5歩脚の足印が選択的に保存された undertrack であると考えられる。

謝辞

九州大学理学部地球惑星科学教室柳田寿一教授、下山正一博士には、本研究を行うにあたり種々ご指導いただいた。同大学工学部江崎哲朗教授には、レーザー変位計を使用させていただいた。また、同大学農学部大坪政美助教授には土質試験の機器を使用させていただき、試験結果の検討で種々御教示いただいた。チュービンゲン大学アドルフ・ザイラッハー教授には実際に化石を見ていただき、貴重な御意見を賜った。これらの方々には深く感謝の意を表す。

文献

- 相原安津夫・千々和一豊・山田琢哉 (1986MS): 唐津炭田南東部の脊椎動物足跡化石と堆積環境. 日本地質学会第93年学術大会講演要旨, 講演番号211:313.
- CASRTER, K. E. (1938): A restudy of the tracks of *Paramphibius*. *Jour. Paleont.*, 12 (1), 3-60, pls.1-13.
- (1944): Limuloid trails from the Upper Triassic (Chinle) of the Petrified Forest National Monument, Arizona. *Amer. Jour. Sci.*, 242, 74-84.
- GOLDRING, R. and SEILACHER, A. (1971): Limulid undertracks and their sedimentological implications. *N. Jb. Geol. Palaeont. Abh.*, 137 (3), 422-442.
- HAENTZSCHEL, W. (1962): Trace fossils and problematica. In MOORE, R. C. (ed.): *Treatise on Invertebrate Paleontology*, part W Miscellaneous, Geol. Soc. Amer. & Univ. Kansas Pr., New York & Kansas, 177-245.
- 井上英二 (1958): 唐津炭田南北における杵高層群の岩層変化と地質構造. 地質雑, 64 (748), 29-39.
- 石垣忍 (1988a): 足跡学の用語. 生物科学, 40 (1), 31-38.
- (1988b): 古足跡学の可能性. 化石研究会会報, 20, 32-38.
- MURIE, O. J. (1954): *A field guide to animal tracks*. Houghton Mifflin, Boston, 374p.

- OHTSUBO, M. and IBARAKI, M. (1991) : A particle-size characterization of floes and sedimentation volume in electrolyte clay suspensions. *Applied Clay Sci.*, **6** (1991), 181-194.
- 大石博之 (1991MS) : 佐賀県武雄市武雄町北永野より発見された脊椎動物足跡化石に関する古生物学的・堆積学的研究. 九州大学理学部地質学科卒業論文. 49p.
- 塩野清治・弘原海清・升本信二 (1984) : マイコンによる格子データの三次元グラフィック表示. 情報地質, (9), 61-72.
- STOKES, W. (1957) : Pterodactyl tracks from the Morisson Formation. *Jour. Paleont.*, **31** (5), 952-954, pl. 117.
- THULBORN, R. A. (1989) : *The gaits of dinosaurs*. Cambridge Univ. Press, 39-49.
- WILLARD, B. (1935) : Chemung tracks and trails from Pennsylvania. *Jour. Paleont.*, **9** (1), 43-56, pls. 10-11.
- 山田琢哉 (1986MS) : 唐津炭田南東部における石炭地質学的研究. 九州大学理学部地質学科卒業論文. 65p.