福井県越前海岸に分布する下部中新統国見層の生痕化石群集

福井大学地域環境研究教育センター研究紀要
「日本海地域の自然と環境」
No. 27,　27 - 51,　2020

福井県越前海岸に分布する下部中新統国見層の生痕化石群集

Ichnofauna from the Lower Miocene Kunimi Formation along
the Echizen Coast, Fukui Prefecture, central Japan

中川　登美雄*
（福井県立羽水高等学校・福井大学地域環境研究センター学外協力メンバー）
平山　勝大**
（福井県立羽水高等学校自然科学部，現所属：仁愛大学人間生活学部子ども教育学科）
小幡　喜一***
（埼玉県立小鹿野高等学校）

Abstract: Trace fossils from the Lower Miocene (about 18 to 16 Ma) Kunimi Formation in the Echizen Coast area, Fukui Prefecture, central Japan. Ichnofacies clarified that the paleoenvironment in the Kunimi Formation are fluvial foot–print ichnofacies, tidal flat *Psilonichinus* ichnofacies and shore *Ophiomorpha* ichnofacies.

The foot–print ichnofacies occurs in alternation of thin laminated fine–grained sandstone and mudstone with black mudstone, and is characterized by foot–print on the bedding plane. The *Psilonichnus* ichnofacies occurs in bioturbated sandy mudstone and muddy fine–grained sandstone, and is characterized by vertical and horizontal sand pipe as *Psilonichinus tubiformis*, *Psilonichinus* cf. *upsilon* and *Planolites* isp. The *Ophiomorpha* ichnofacies occurs in medium to fine sandstone, and is characterized by *Macaronichnus segregatis* and *Ophiomorpha nodosa*. The ichnofacies show that the Kunimi Formation was formed by the repetition of the fluvial and shallow marine environment, and the sedimentary basin became deep gradually.

Key word: Kunimi Formation, trace fossil, Early Miocene, Fukui Prefecture, *Ophiomorpha nodosa*, *Ophiomorpha* ichnofacies, *Psilonichnus* ichnofacies

Ⅰ　はじめに

福井県福井市の鮎川～茱崎（ぐみさき）の越前海岸沿いには広く国見層が分布する（図 1）．生痕化石の存在は知られていた（友安・梅田，1985）が，甲殻類の居住痕の多くは砂管（sand pipe）や垂直型生痕として記録されるのみであった．Nakagawa (1998)，中川・梅田（2000），鹿野ほか（2007）は特徴的な形態を持つ *Ophiomorpha nodosa* や *Macaronichnus segregatis* のほか，何種類かの生痕化石を報告した．しかし，未命名の生痕化石も多く，生痕化石の詳細な分布や層準，形態ならびに古生態の復元という観点からの研究は行われていない．また，安野（1997，1998，2007，2015），越廼村哺乳類足跡化石調査委員会編（2001）は国見層下部の河川の氾濫原堆積物に残された哺乳類のゾウや偶蹄類（シカの仲間），奇蹄類の足跡化石を報告している．このように越前海岸の国見層には河川の氾濫原から浅海上部の古環境を示す多くの生痕化石が残されている．そこで本研究においては干潟から海浜にかけての生痕化石の分布と岩相の関係を明らかにし，生痕化石群集から古環境を復元する．

*　Tomio Nakagawa〈tomio1203@yahoo.co.jp〉
（Fukui Prefectural Usui High School. Off-campus cooperation members）
**　Katsuhiro Hirayama
（Science Club of Usui High School, Present address: Department of Child Education, Jin-ai University）
***　Kiichi Obata
（Saitama Prefectural Ogano High School）

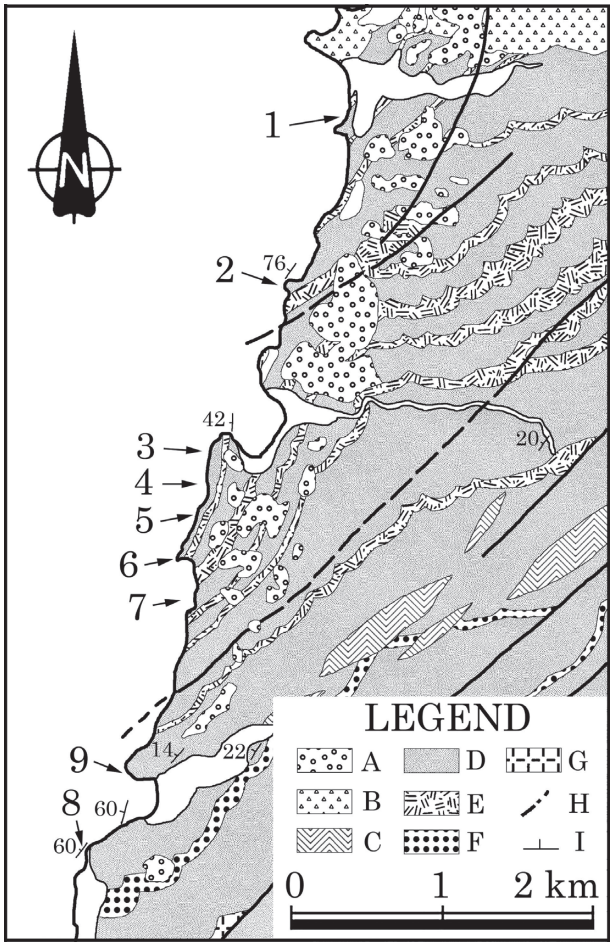


図１　調査地域の地質図と調査地点．地質図は鹿野ほか（2007）による．
地点1：福井市鮎川，地点2：福井市白浜，地点3：福井市小丹生（弁慶の洗濯岩），地点4〜6：福井市小丹生南，地点7：福井市佐武，地点8：福井市茱崎（軍艦岩），地点9：福井市大味
A：段丘堆積物，B：市ノ瀬流紋岩，C：安山岩岩脈，D：国見層（砂岩，泥岩），E：国見層（火砕岩鍵層），F：国見層（礫岩），G：糸生層，H：断層，I：走向・傾斜

なお，本研究は平山が中川の指導の下，福井県立羽水高等学校自然科学部で行った研究（平山ほか，2016，平山，2017）を中川・小幡が再検討しまとめたものである．

Ⅱ　地質概説

福井県丹生山地の新第三系は下位から西谷流紋岩，糸生層，国見層，荒谷層，市ノ瀬流紋岩類，国見岳火山岩類に区分される（鹿野ほか，2007）．福井市鮎川〜茱崎にかけての越前海岸沿いには国見層が広く分布する（中川・梅田，2000）．国見層にはＫ０〜Ｋ11までの火砕岩鍵層が含まれ，これらをもとに地層の細分が行われてきた（東，1985；Nakagawa, 1998）．Nakagawa（1998）は国見層が沈降する堆積盆地を火砕岩が繰り返し埋めることで，同じような環境が何回も繰り返すことを明らかにした．鹿野ほか（2007）はこのような火砕岩鍵層が丹生山地全体につながることを示し地質図を作成した．

国見層はＫ４から 15.8 ± 1.0 Ma と 17.5 ± 0.6 Ma, Ｋ９から 16.5 ± 0.6 Ma のジルコンのフィッション・トラック年代（FT 年代）が（鹿野ほか，2007），Ｋ６〜Ｋ７の間で正帯磁が報告されている（中島ほか，1992）．また，“熱帯海中気候”（Itoigawa and Yamanoi, 1990）とよばれる熱帯的な環境下の堆積物を含んでいる（Nakagawa, 1998）．特に，福井市鮎川では古くから前〜中期中新世の示準化石である *Vicarya yokoyamai* を含む保存の良い貝化石の産出が知られている（竹山，1933；紬野・三浦，1956）．中川（1989，2002）は *Vicarya yokoyamai* やマングローブ沼に生息するマングローブシジミ（*Geloina stachi*）などの Arcid–Potamid 動物群を，山野井（1992）はマングローブの花粉化石を報告した．柳沢・渡辺（2017）は最下部に Arcid–Potamid 動物群を含む門ノ沢動物群が 17 〜

16.7 Ma の短い期間内に生息したことを示している．そのほか，シカの仲間の *Amphitraglus*? sp. の顎歯（竹山，1989），長鼻類の大腿骨（冨田・安野，1993），スッポン科の背甲（白竹・水野，1980）などの脊椎動物化石も報告されている．

中島ほか（1990）は国見層に整合に重なる荒谷層の安山岩から 15.7 Ma ± 0.5 Ma の K–Ar 年代を報告した．鹿野ほか（2007）はその安山岩が荒谷層に貫入したシルであることを明らかにし，国見・荒谷層の時代を 18 ～ 16 Ma とした．

Ⅲ　観察地点の地質・古環境

福井市鮎川から茱崎にかけての越前海岸に分布する国見層の代表的な 9 地点について野外調査を行い生痕化石の観察を行った（図 1）．各地点において柱状図を作成し，生痕化石の産出層準と岩相との関係を明らかにした（図 2，3，4，5）．

地点 1 ：福井市鮎川北（図版 1–a, c, d, e, f, 図版 2–a, b, c, d, e, f, g）

岩相と層準：K 11 とその下位の砂岩・泥岩が見られ（鹿野ほか，2007），生痕化石 *Ohiomorpha nodosa* が多産する（図 2）．また，砂岩層にはヘリンボーン斜交葉理やスウェール状斜交葉理（図版 1–a）が見られるほか, 平行葉理を伴う細粒砂岩もある．また, K 11 には火山灰付着火山礫（図版 1–c）が含まれる．

外径 20 ～ 50 mm の *Ophiomorpha nodosa* が多くの層準で見られる（図版 2–a, b, c, d, e, g）．1 A ではわずかに生痕化石 *Cylindrichnus* isp. が見られた（図版 2–b）．砂岩層基底は下位層を削り込むことが多いので充填された堆積物がどの層準に起源を持つかははっきりしない．生痕の多くは砂で充填されているが，1 A，1 D はまれに泥で充填されている．1 A，1 D，1 E では分岐を繰り返し，ほぼ水平に生痕が伸びている（図版 1–d, e, f, 図版 2–c）．また, 1E 最上部では径が 5 ～ 10 mm と小さく（図版 2–e），その数 cm 下位の地層断面では外径が 30 mm 前後になり（図版 1–e, f），径の小さい生痕は見られない．1G では外径が 35 mm 前後あり途中は不明だが，垂直方向に推定 60 cm 以上の長さを持つ個体も見られる（図版 2–d）．その他，1 E では径 3 ～ 4 mm，長さ 10 ～ 15 mm の黒色のペレットや（図版 2–g），1C では径 4 mm，長さ 5 cm の移動摂食痕がみられた（図版 2–f）．

古環境指標：K 11 の下部 1.5 m 前後は砂岩や泥岩を取り込んでいる．これは，火砕流が水中に流れ込んだ時に下位の軟質な堆積物を削り込んだものである（鹿野ほか，2007）．また，K 11 の基底から 1.5 m 前後上に火山灰付着火山礫が見られる（鹿野ほか，2007）．したがって，K 11 は，下位から 3 m 前後は海中で，その上位は干潟で堆積した．そこから考えると K 11 直下は上部外浜に堆積したと判断される．

地点 2：福井市白浜南（図版 2–h, i）

岩相と層準：K 8 の下位の厚さ 5 m 程度の泥岩及び泥質細～中粒砂岩である（図 2）．泥質細～中粒砂岩はウェーブリップル斜交葉理が見られるが，生物擾乱により，堆積構造が攪乱され層理面がはっきりしない部分もある．

観察地点最下部の泥岩（2 A）には上位の細～中粒砂で受動的に充填された径 10 ～ 15 mm の生痕化石 *Psilonichnus tubiformis* が見られる（図版 2–h）．生痕化石は中粒砂岩の基底から下位になるほど密度が低下する．写真を撮り約 2 cm ごとのメッシュを作成し，砂の占める割合と泥の割合を計測した．中粒砂岩の基底から深さ 10 cm までは多くの生痕充填物のため，50 %以上を中粒砂が占める．10 ～ 20 cm までは砂の占める割合が 1/3 程度になり，それ以深は 10 %程度になる．Y 字型の円筒状生痕化石であるため，深さ 10 cm 以浅では 2 分岐し，その下位で 1 つになるため，このような割合になる．さらに，地層面から 70 cm 以上下位にも生痕化石が見られる．また，2 B，2 C，2 D においても *Psilonichnus tubiformis* が見られる（図版 2–i）．

古環境指標：*Vicarya yokoyamai* や *Pirenella yatsuoensis* など干潟に生息する貝化石が含まれ，これ

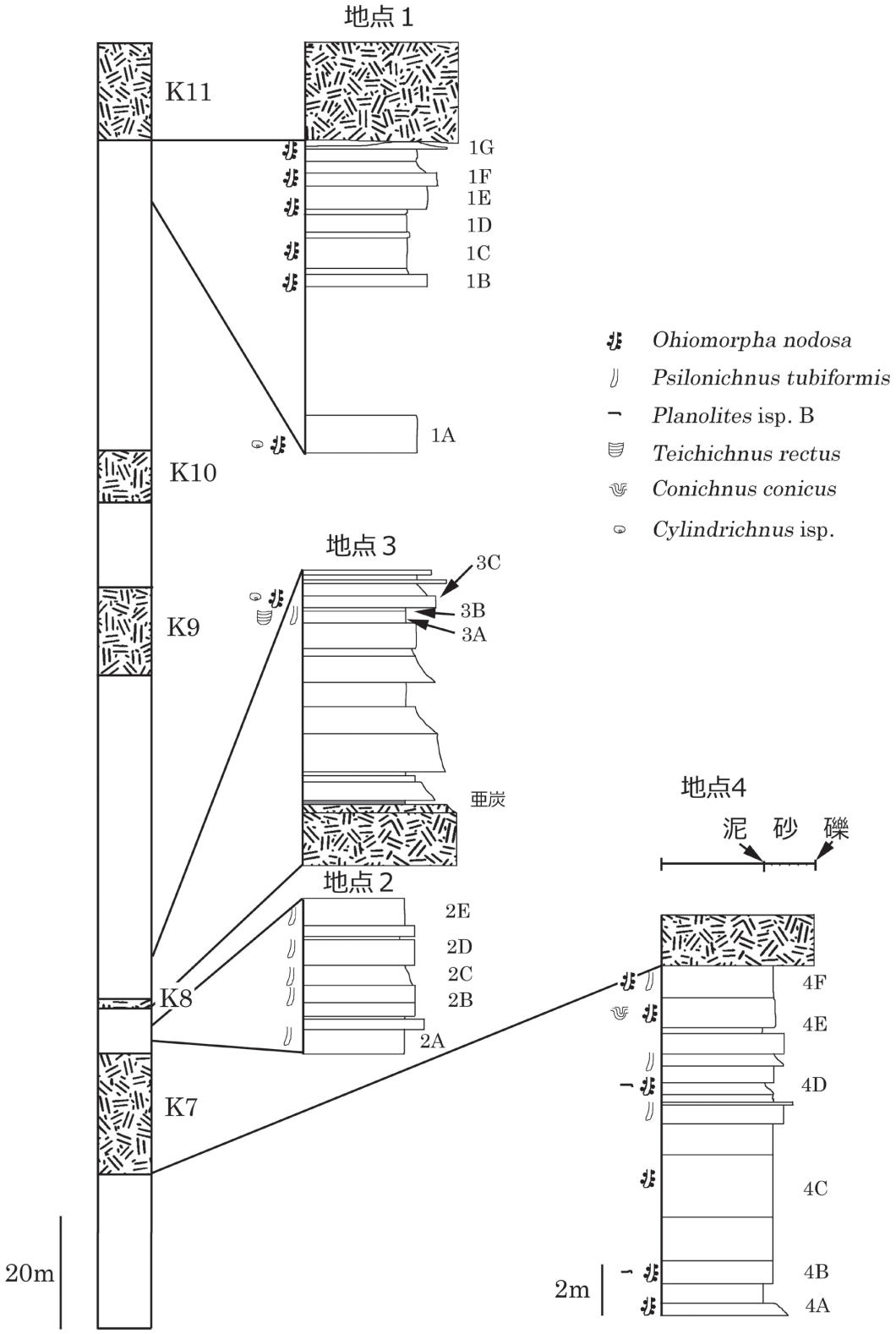


図２　福井市鮎川北（地点1），白浜南（地点2），小丹生（地点3），小丹生南（地点4）の地質柱状図．
地点1～4までの柱状図の縮尺ならびに粒度は地点4を参照．

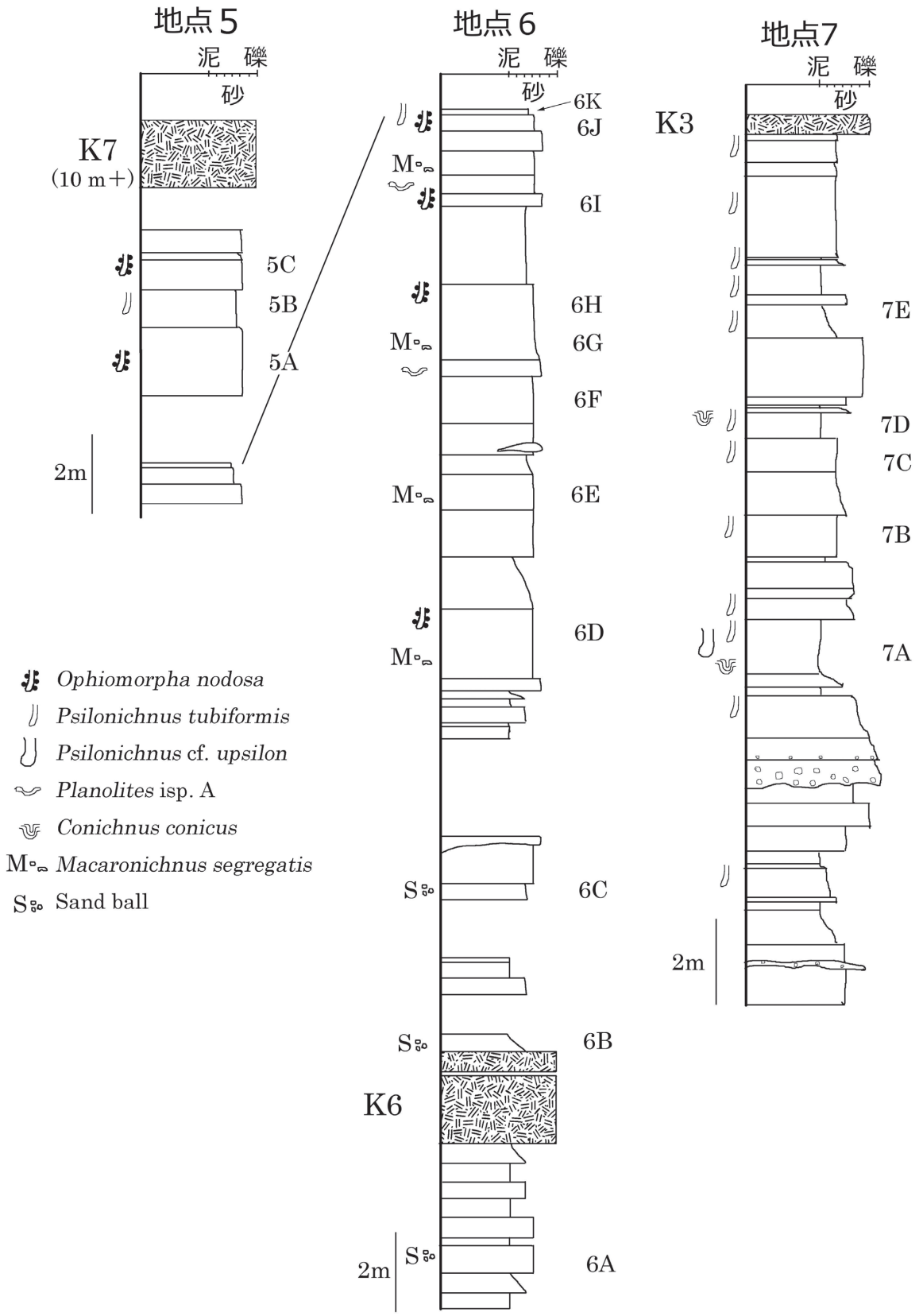


図３　福井市小丹生南（地点5，6）および佐武（地点7）の地質柱状図.

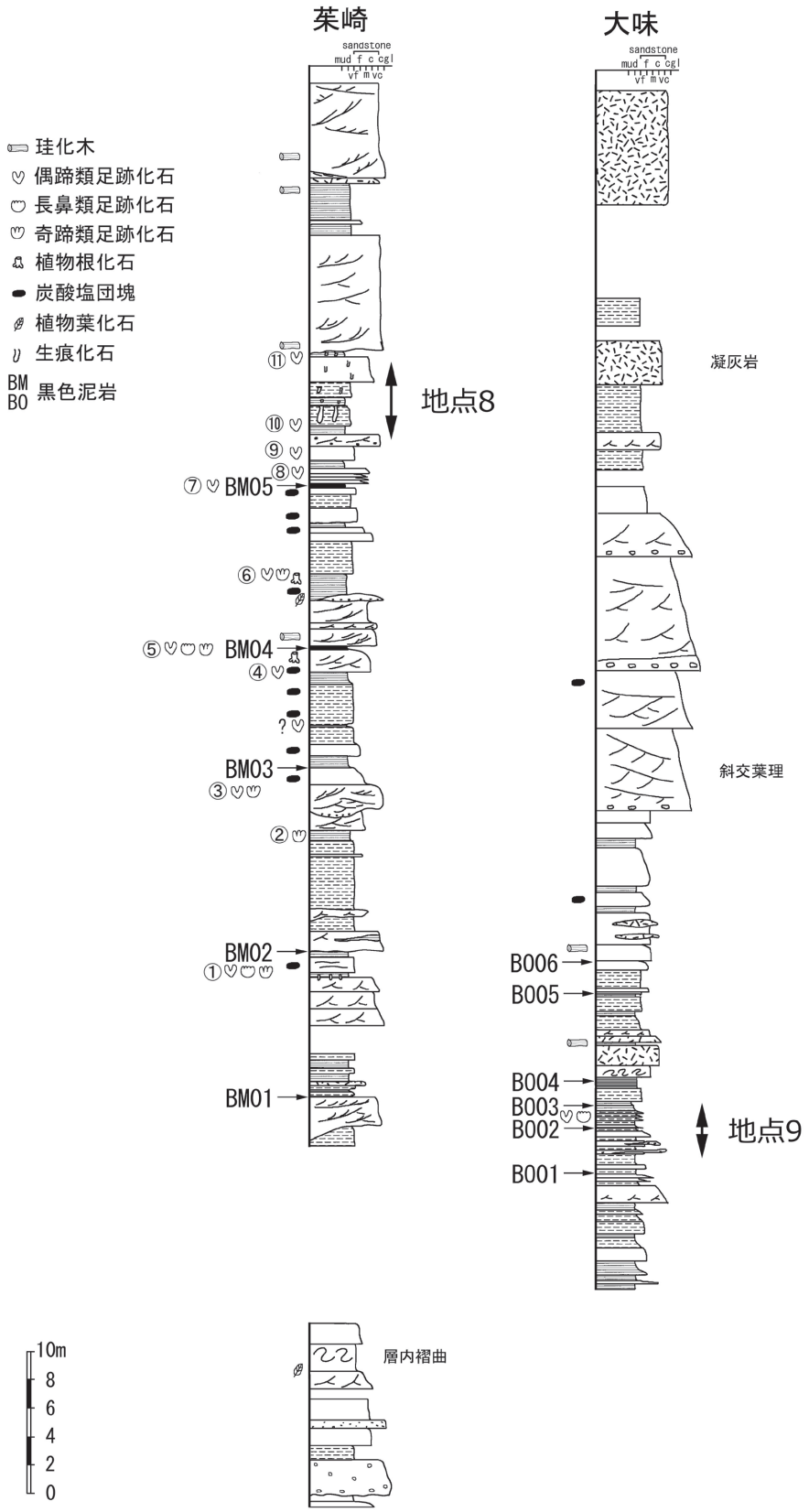


図４　地点8ならびに地点9の柱状図（中川・梅田，2001に加筆）.
大味（地点9）は茱崎（地点8）より下位の層準.

らによる生物擾乱の為，細～中粒砂岩と泥岩が混合し，砂質泥岩になっている．また，ウェーブリップル斜交葉理が見られることから干潟環境と考えられる．

地点３：福井市小丹生（図版 3–a, b, c, d, e, f, g, h, i, j）

岩相と層準：地点３は中～粗粒砂岩と泥岩の互層がケスタ地形を形成し，「弁慶の洗濯岩」と呼ばれる景勝地になっている．多くの層準から *Ophiomorpha* をはじめとする生痕化石を産出する．ここでは，Ｋ８の 10 数m上の層準に見られる厚さ約 70 cm の砂質泥岩（3A），厚さ 30 cm の泥岩（3B），厚さ約１m の中～粗粒砂岩（3 C）から産出した生痕化石を記載する．中～粗粒砂岩は下位層を削り込む．生物擾乱の発達した砂質泥岩（3A）の下部からは径 15 mm 前後，確認できる長さが 30 ～ 50 mm の *Teichichnus* isp.（図版 3–f）が，下部～上部からは径が５～ 10 cm，長さが 30 cm 以上の *Teichichnus rectus*（図版 3–a, b, c, d, e, g）が産出した．*Teichichnus rectus* は露頭の幅 2.5 m の間に 11 個見られ（図版 3–a），生痕密度は側方に変化し，数 m 北側では露頭の幅１ m 程度に１個の割合となる．炭質物を多く含む泥，白色の泥岩片，黒色のペレット様の粒子が生痕内部を埋める図版 3–d, e）．この砂質泥岩の上部は泥岩となり（3B），上位の中～粗粒砂で受動的に充填された径７～ 10 mm 前後の *Psilonichnus tubiformis* の生痕が見られる（図版 3–d）．長さは最大で 15 cm 前後である．中～粗粒砂岩（3 C）には *Cylindrichnus* isp. ならびに *Ophiomorpha* isp. が産出する（図版 3–h, i, j）．*Cylindrichnus* isp. は外径 20 mm，内径８～ 12 mm で白色の泥の裏打ちが見られ，中心部は粗粒砂岩で埋められている（図版 3–j）．また，断面では分岐が見られたり（図版 3–k），いくつかの生痕化石が交差し，泥の裏打ちに不明瞭な泥団子が付いた *Ophiomorpha* isp. も共産した．

古環境指標：粗粒砂岩にはトラフ型の斜交葉理やハンモック状斜交葉理が見られ外浜の，泥岩や極細粒砂岩には植物化石が産出し（越廼村哺乳類足跡化石調査委員会編，2001），氾濫原・潟湖・干潟にかけての古環境が推定される（Nakagawa, 1998）．また，観察地点の 20 m 上位ならびにK7の下位から *Vicarya yokoyamai* を含む潮間帯干潟の貝化石が報告されている（Nakagawa, 1998）．また，K7 ～ K8 直上には立木や哺乳類の足跡化石が報告されている（安野，2016）．*Teichichnus* isp. や *Teichichnus rectus* の産出した３Ａは干潟と考えられる．*Psilonichnus tubiformis* の産出した３Ｂの基層は干潟堆積物であるが，その後，中～粗粒砂岩で充填されている３ Ｃは上部～下部外浜の環境を示す．中～粗粒砂岩にはトラフ型の斜交葉理やハンモック状斜交葉理が見られ外浜の，泥岩には植物化石が産出し，氾濫原・潟湖・干潟にかけての古環境が推定される．

地点４～６：福井市小丹生南 (図版 4–a, b, c, d, e, f, g, h, 図版 5–a, b, c, d, e, f, g)

岩相と層準：K8 ～ K7 下の層準は越前海岸では広く分布するが，場所により岩相が異なり中～粗粒砂岩では *Ophiomorpha nodosa* が，細粒砂岩～泥岩では *Psilonichnus tubiformis* が多く見られる．今回はその中で３地点を調査した．地点４ではＫ８～Ｋ７の下位までを，地点５では K7 の下位を，地点６では地点５の下位からＫ４までの層準を観察した．３地点とも場所により岩相が側方に変化するので代表的な岩相の柱状図を示した（図２，３）．Ｋ７～Ｋ６の中粒～粗粒砂岩では *Ophiomorpha nodosa*（図版 4–a, e, 図版 5–a, b, d）が見られる（4 A, 4 B, 4 C, 4 E，4 F，5 A, 5 C，6 D, 6 H, 6 I, 6 J）．細粒砂岩や砂質泥岩からは *Psilonichnus tubiformis*（図版 4–f）が見られた（4 D, 4 F, 5 B, 6 K). 不明瞭な低角の斜交葉理が見られ中粒砂岩（4 B，4 D）からは *Planolites* isp.B（図版 4–b, d）が見られる．このほか，４Ｅでは上方移動型のスプライト構造をもつ逃避痕である *Conichinus conicus*（図版 4–c）が見られる．Ｋ６の下位には砂団子が多く見られ（6 A，6 B，6 C），中には径数 cm に達する大きな砂団子（図版 5–c）も見られる．また，Ｋ６の上位には広く中粒砂岩が分布し，6 D，6 E，6 G，6 I からは前浜環境の指標種とされる *Macaronichnus segregatis*（図版 5–d, e）が見られるほか，6G と 6I では地層面に平行にゆるやかに曲がりながらのびる *Planolites* isp. A（図版 4–h）が見られる．その他，6K ～ 6I にかけて *Thalassinoides* isp.（図版 4–g）が見られる．

古環境指標：Ｋ７からＫ８にかけての層準では立木や哺乳類の足印化石が報告されている（安野，

2016）．Ｋ７下位の層準４Ｄや５Ｂから *Vicarya yokoyamai* や *Anadara* (*Hataiarca*) *kakehataensis* など干潟に生息する貝化石が産出する（Nakagawa, 1998）．また，４Ｂ～４Ｃで見られる低角の斜交葉理は前浜の特徴と考えられており（Nakagawa, 1998），中～粗粒砂岩中に *Ophiomorpha nodosa* が産出することから，全体として干潟を含む前浜から外浜の堆積相と考えられる．低角度斜交葉理や指標生痕である *Macaronichnus segregatis* が報告されている（Nakagawa, 1998）．ハンモック状斜交葉理を伴う中～粗粒砂岩からは *Ophiomorpha nodosa* が，生物擾乱の発達した砂質泥岩ないし泥質細粒砂岩から干潟に生息する貝化石（Nakagawa, 1998）と共に *Psilonichnus tubiformis* が見られる．したがって地点４～６は，干潟ならびに前浜～外浜の環境を示す．

地点７：福井市佐部北（図版 6–a, b, c, d, e, f, g）

岩相と層準：Ｋ２とＫ３との間に見られる砂岩，泥岩（図 3）．細粒砂岩ならびに泥岩は生物擾乱が著しい．ここでは，下部に下位層を大きく削り込む礫岩が見られる．その上位の泥岩（7Ａ）には *Psilonichnus* cf. *upsilon*（図版 6–a, b）や *Conichinus conicus*（図版 6–e, f, g），その上位の砂岩や泥岩（7Ｂ～7Ｅ）に *Psilonichnus tubiformis*（図版 6–c, d）が数多く見られる．層準７Ｄの上面から大型の *Conichinus conicus*（図版 6–e）と推定される凹みが見られた．

古環境指標：Ｋ２にはガス抜け構造やピソライト，火山灰付着火山礫などが見られる（鹿野ほか，2007）．これらは，Ｋ２の一部は陸上を流れた火砕流であること，上部は水分のあるところで堆積したことを意味する．生痕化石の見られる地点７では河川堆積物を含み，ハンモック状斜交葉理（図版 1– b）が見られることから，河川から外浜へと環境が移り変わる層準の干潟環境と判断される．

地点８：福井市軍艦岩（図版 7–a, b, c, d, e, f，図版 8–a, b, c, d）

岩相と層準：Ｋ０より下位に見られる砂岩，泥岩．粗粒砂岩は頻繁に下位層を削り込むチャネル構造が見られ，側方への岩相の変化が著しい．4 枚の黒色泥岩によって層準を細分できる（友安・梅田，1985）が，垂直型生痕化石が発達するのはその最上部の炭質物の多い泥岩ならびにその上位の砂岩，泥岩である（図版 7–a）．層準 8A からは植物根のほか，径 5 cm，長さ 25 cm を超える *Psilonichnus* cf. *upsilon*（図版 8–d），*Psilonichnus tubiformis*（図版 8–c）が産出する．そのほか，*Teichichnus* isp. が見られる．層準 8B からは径 3 ～ 5 cm，長さが 20 ～ 30 cm の *Psilonichnus* cf. *upsilon*（図版 7–b, c）が数多く含まれている．層準８Ｃの黒色泥岩から *Planolites* isp. Ａや *Teichichnus* isp. が産出する（図版 7–d，図版 8–a, b）．層準８Ｄの細粒砂岩からは *Psilonichnus tubiformis*（図版 7–e）が産出する．このほか，８Ｅの粗粒砂岩から *Ophiomorpha* isp.（図版 7–f）が洗い出された異地性の産状で産出した．

古環境指標：チャネル構造を持つ斜交葉理と薄葉理の泥岩と極細粒砂岩の互層の繰り返しは蛇行河川の流路と氾濫原の環境を示す．氾濫原堆積物からは長鼻類，偶蹄類，奇蹄類の足跡化石

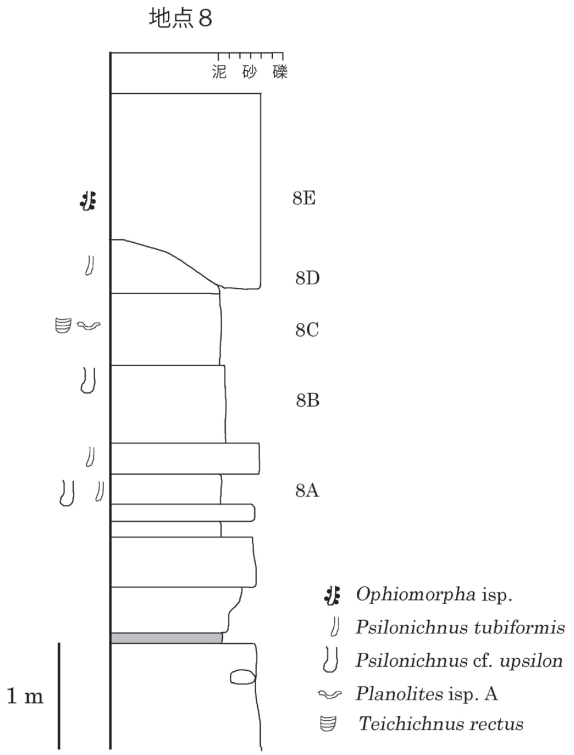


図５　地点8の柱状図．柱状図作成層準は図４を参照．

が報告されている（安野，1997，1998；越廼村哺乳類足跡化石調査委員会編，2001）．最上部は生物擾乱が発達し，*Psilonichnus* cf. *upsilon*，*Psilonichnus tubiformis* が高密度に見られ河口付近の干潟の環境が推定される．また，過去の堆積物から洗い出された *Ophiomorpha* isp. が見られる．

地点９：福井市大味（図版 8–e, f）

岩相と層準：位置的には地点７と地点８の間の福井市大味の海岸に見られる露頭（図版 8–e）で，層準的には地点８の下位に相当する（中川・梅田，2001）．ここは，安野（1997，1998）によって哺乳類足印化石（図版 8–f）が報告された露頭で，黒色泥岩ないし亜炭層，凝灰質泥岩・砂岩が複雑に互層する．偶蹄類の連続歩行痕のほか，径数 cm の立ち木化石が見られる．また，これらの細粒岩の上位にはコンボリュートラミナを伴う粗粒砂岩が重なる．この粗粒砂岩は下位層を削り込むチャネルが見られる．さらに，径 15 cm 程の立ち木化石が見られ，その立ち木を逆グレーディングする中～粗粒砂岩が埋積している．

古環境指標：黒色の泥岩と亜炭層は氾濫原の湿地堆積物である．逆級化する砂岩は洪水堆積物と解釈されている（鹿野ほか，2007）．

Ⅳ　生痕化石の記載

Ichnospecies　*Conichnus conicus* Männil

（図版 4–c, 6–e, f, g）

記載・比較　砂質泥岩中にみられる，地層面に対してほぼ垂直にのびた生痕である．砂質泥岩で裏打ちされ，上位の砂質泥岩や細粒砂岩に充填された，幅５～８ cm，深さ 10 cm 前後の逆円錐形生痕化石である．７Ｄに見られる幅 15 cm の生痕も同種と判断される．軟弱な海底にすむイソギンチャク類の居住痕と考えられる（Chamberlain, 1971；ほか）．埋積により上位にシフトした平衡痕もみられる（Savrda, 2002）．安野（2016）が地点５付近のＫ７～Ｋ８層準から偶蹄類足印化石として報告した図版 2-2 も本生痕化石に同定される．

古環境　本生痕属は前浜～外浜環境を示す *Skolithos* 生痕相の構成要素とされ（e.g. Knaust, 2017），干潟や河口域のような潮間帯から潮下帯から産出するとされる（Curran and Frey, 1977）．*Psilonichnus* cf. *upsilon* や *Psilonichnus tubiformis* と共産することから干潟の可能性が高い．

産地・層準　福井市小丹生南（地点 4）の層準４E, 佐武北（地点 7）の層準７A, 7 D の泥岩にみられる．

Ichnospecies　*Cylindrichnus* isp.

（図版 2–b，図版 3–j）

記載・比較　細粒～中粒砂岩中にみられる地層面に対して垂直方向に伸びる円筒状の生痕化石．外径は約 20 mm で，中央部の芯とそれを取り巻く泥の厚い裏打ちからなる．芯は径８～ 12 mm で無構造の砂質堆積物が埋めている．地点３のものは地層面の観察からは厚い泥の裏打ちを持ち小幡（1998）の *Rosselia socialis* に似るが芯が太く，地層断面では伸長方向が様々である．ここでは全体の形状が弓形であるかは不明で，芯が太く裏打ちにラミナがみられないので *Cylindrichnus* isp. とした．本生痕属は，フサゴカイ目やタケフシゴカイ科の多毛類・ナマコ類が形成者とみられる（Knaust, 2017）．

古環境　本生痕属は下部外浜～陸棚を示す *Cruziana* 生痕相の構成要素とされる（e.g. Pemberton *et al*., 2001; Knaust, 2017）．前浜～外浜環境を示す *Skolithos* 生痕相の要素とされる *Ophiomorpha nodosa* と共産した地点１Ａは産出数もわずかで上部外浜環境で堆積した．一方地点３Ｃではハンモック状斜交葉理が観察され，その古環境が下部外浜の可能性もある．*Ophiomorpha* isp. と *Cylindrichnus* isp. の共産が上部外浜より深くなるとする野田（1994）の考えを支持する．

産地・層準　福井市鮎川（地点 1）の層準１A，福井市小丹生（地点 3）層準３Ｃの中～粗粒砂岩．

Ichnospecies　*Macaronichnus segregatis* Clifton and Thompson

（図版 5–d, e）

記載・比較　中粒砂岩中に，地層面に平行にのびる太さ 2 ～ 3 mm の生痕化石で，露頭では長さ数 mm の楕円から長楕円形に見える．中央部の白色砂と周縁部の暗色鉱物粒のマントルからなる．堆積物食のオフェリアゴカイ科多毛類の移動摂食痕とされる（Clifton and Thompson, 1978; 奈良・清家, 2004）.

古環境　本生痕属は前浜～外浜環境を示す *Skolithos* 生痕相の構成要素とされ（e.g. Knaust, 2017），前浜堆積物に多産する（奈良，1994）．Pemberton *et al.*（2001）は，酸素が十分に流通する，波の荒い高エネルギー環境の堆積物中に卓越するとした.

産地層準　福井市小丹生南（地点 6）の層準 6 D, 6 E, 6 G, 6 I において見られる.

Ichnospecies　*Ophiomorpha nodosa* Lundgren

（図版 1–d, e, f，図版 2–a, b, c, d, e，図版 4–a, e，図版 5–a, b, d）

記載・比較　砂質中の外径 10 ～ 50 mm の円筒状生痕化石で，地層面に垂直なものと地層面に水平なもの，斜交するものなどが見られる．泥の裏打ちを持ち，外側には泥団子でできた乳頭状の突起が見られる．ほぼ T 字型に分岐し，内部は無構造の砂で充填されていることが多いが，まれにメニスカス型の後方充填構造を持つ.

本種はスナモグリ科およびアナジャコ科の生痕化石とされる（e.g. Ekdale and Bromley, 2003）．場所により裏打ちの厚さや泥団子の大きさ等に差が見られた．また，風化面を観察するため，泥団子が取れて同定しにくい個体も多く見られた.

古環境　本生痕属は前浜～外浜環境を示す *Skolithos* 生痕相および下部外浜～陸棚を示す *Cruziana* 生痕相の構成要素とされる（e.g. Pemberton et al., 2001; Knaust, 2017）．外浜・三角州などの浅海環境に普通にみられ（e.g. Nickll and Atkinson, 1995），外浜を代表する生痕で，日本各地から報告されている（野田，1994）.

産地・層準　福井市鮎川北（地点 1），福井市小丹生（地点 3，4，5，6）で見られる．地点 1 は K 11 の下位，地点 3 ～ 6 は K 6 の上から K 8 の上位である．また，K 9 の下からも報告されている（中川・梅田，2000）．K 6 より上の国見層からは最も多産する生痕化石である.

Ichnospecies　*Planolites* isp. A

（図版 4–h，図版 5–g）

記載・比較　中粒砂岩中にみられる，地層面にほぼ平行で緩やかに左右に曲がり長さが 1 m を超えることがある．断面は径 15 mm 弱の円形で，分岐しない．裏打ちはなく，無構造の中粒砂が充填する．周囲の岩相と差が少ないため，新鮮な岩相でははっきりしないが，風化するとその外形がはっきりし，密度の高い場所では，“ハチの巣状構造”を構成することがある（図版 4–h，図版 5–g）．本生痕属は環形動物, 半索動物, 鰓曳動物, 節足動物など, 様々の動物の移動摂食痕と考えられる（Knaust, 2017）．このほか，甲殻類の巣穴とする考えもある（野田，1994）.

古環境　*Planolites* は淡水から深海まで分布し（Pemberton *et al.*, 2001），様々な生痕相から発見される（e.g. Pemberton et al., 2001; Knaust, 2017）.

産地・層準　福井市小丹生南（地点 6）の層準 6 G と 6 I 付近から産出し，*Ophiomorpha nodosa* や *Macaronichnus segregatis* が近くの層準で産出することから前浜環境と考えられる.

Ichnospecies　*Planolites* isp. B

（図版 4–b, d）

記載・比較　細粒～中粒砂岩中にみられる，地層面に平行または斜交する白色の泥岩で充填された紐状の生痕化石である．幅 1 ～ 2 mm，長さ 15 mm 程度で両端が少し丸く見えるものが多い．前種と

比較すると小さく，断面が楕円形であることから区分される．部分的に密集する．本生痕属は環形動物，半索動物，鰓曳動物，節足動物など，様々の動物の移動摂食痕と考えられる（Knaust, 2017）．
古環境　*Planolites* は淡水から深海まで分布し（Pemberton *et al*., 2001），様々な生痕相から発見される（e.g. Pemberton et al., 2001; Knaust, 2017）．*Ophiomorpha nodosa* や *Macaronichnus segregatis* が近くの層準で産出することから前浜環境と考えられる．
産地・層準　福井市小丹生（地点 4）の層準 4 B，4 D に見られる．

Ichnospecies　*Psilonichnus tubiformis* Fürsich
（図版 2–h, i，図版 3–d，図版 4–f，図版 6–c, d, 図版 7–d, e, 図版 8–b, c）
記載・比較　生物擾乱の著しい細粒砂岩や泥岩中に，中粒砂岩や生物擾乱の著しい細粒砂岩で充填された, 径 10 ～ 15 mm 前後の円筒状生痕化石である．裏打ちはない．地層面にたいし垂直かやや傾き，J 字型やあるいは Y 字型の生痕であるが，上部が削剥され，ほぼ直線状のことも多い．分岐は通常短い．最下部はやや曲がる．*Psilonichnus tubiformis* は現生種のアナジャコやその近縁種の生痕とされている（市原ほか，1996；奈良・小竹，1997）．
古環境　本生痕属は後浜から前浜環境を示す *Psilonichnus* 生痕相の主要な構成要素である（Frey and Pemberton, 1987）．*Psilonichnus tubiformis* を市原ほか（1996）はアナジャコの巣穴化石とし砂泥干潟環境としたが，奈良・小竹（1997）は前浜～外浜とした．Frey *et al*.（1984）は，本生痕がスナガニ科のつくる生痕として，潮間帯だけではなく後浜や砂丘までの環境に分布するとした．
産地・層準　福井市白浜南（地点 2）の層準 2 A ～ E，福井市小丹生（地点 3）の層準 3 B，小丹生南（地点 4）の層準 4 D，4 F，福井市小丹生（地点 5）の層準 5 B，福井市軍艦岩（地点 8）のほか，福井市佐部北（地点 7）では多くの層準にみられる．

Ichnospecies　*Psilonichnus* cf. *upsilon* Frey, Curran and Pemberton
（図版 6–a, b，図版 7–a, b, c, 図版 8–d）
記載・比較　泥岩ないしは細粒砂岩中に泥岩で充填された円筒状生痕化石である．薄い泥の裏打ちが見られる．主に地層面に垂直で先端は少し曲がり, 全体として J 字型を示す．上部では Y 字型を示し，径はほぼ同じ大きさで分岐はまれである. 径が30～50 mmと大型で最大で30 cm以上の長さを持つ．*Psilonichnus tubiformis* と比べると径が大きいが，小幡（2009）は *Psilonichnus* の巣穴の直径が 3 ～ 5 cm としており特異なものではない．
古環境　本生痕属は後浜から前浜環境を示す *Psilonichnus* 生痕相の主要な構成要素である（Frey and Pemberton, 1987）．小幡（2009）は *Psilonichnus upsilon* を内湾・河口の潮間帯に生息するオサガニのつくる生痕（生痕研究グループ，1989）に似ているとした．Frey *et al*.（1984）は，スナガニ科のつくる生痕で潮間帯だけではなく後浜や砂丘までに分布するとした．
産地・層準　福井市佐部北（地点 7）の層準 7A，福井市軍艦岩（地点 8）にみられる．

Ichnospecies　*Teichichnus rectus* Seilacher, 1955
（図版 3–a, b, c, d, e, g）
記載・比較　砂質泥岩中にみられる大型の生痕で，上部が細くなったり（図版 3–b, c），屈曲が見られる（図版 3–d, e）．地層面に対して垂直なスプライト構造をともなう．スプライト構造の両端は垂直で，直線状の形態のものが多いが，外形が屈曲しているものが見られる．地層面に平行な断面の形状は深さによって変化する．スプライト構造全体の最大の長さは 10 cm 前後，深さ 40 cm に達し，最大のものでは長さが 20 cm 以上，深さが 56 cm ある．また，この生痕内部は破砕された泥岩からなり，下部には径 5 mm の黒い粒状のペレット？が見られる．本生痕属は，環形動物・節足動物などが形成者とみられる（Knaust, 2017）．Cornaer and Fjalstad（1993）は *Diplocraterion* と *Teichichnus* の形態が連続的に変化することを指摘している．Dashtgard and Gingras（2012）は現生種の観察か

らナマコ類の *Pentamera pseudocalcigera* の移動痕が本生痕種と似たような生痕をつくることを示し *Diplocraterion* isp. とした．しかし，なまこ類ではＵ字管が残らないことから *Diplocraterion* isp. ではなく *Teichichnus rectus* に同定される．本標本は，太さが急変することや屈曲する特徴は，柔らかい体を持つ，ナマコ類による生痕に類似する．

古環境　本生痕属は主に下部外浜～陸棚を示す *Cruziana* 生痕相の構成要素であるが，汽水域から深海の環境から産出し，海進期堆積体の特徴ともされている（Knaust, 2017）．

産地・層準　福井市小丹生（地点 3）の層準 3 A.

Ichnospecies　*Teichichnus* isp.

（図版 3–f, 図版 8–a, b）

記載・比較　砂質泥岩中にみられる．スプライト構造をもつ生痕の全体の長さは 5 cm 前後，径は 1 ～ 2 cm.

古環境　本生痕属は主に下部外浜～陸棚を示す *Cruziana* 生痕相の構成要素であるが，汽水域から深海の環境から産出し，海進期堆積体の特徴ともされている（Knaust, 2017）．

産地・層準　福井市小丹生（地点 3）の層準 3 A，軍艦岩（地点 8）の層準 8 C.

Ichnospecies　*Thalassinoides* isp.

（図版 4–g, 図版 5–f）

記載・比較　中粒砂岩に見られる垂直，水平方向に分岐する．Ekdale *et al.*（1984）は，同一種の十脚甲殻類が不安定な砂層中では *Ophiomorpha nodosa* を，半固結状態の泥層では *Spongeliomorpha iberica* を，粘性の高い泥層では *Thalassinoides suebicus* を作ることを明らかにした．地点 6 の層準 6J では *Ophiomorpha nodosa* と *Thalassinoides* isp. が共産する．地点 1 付近の K 11 下位から *Thalassinoides* isp. が報告されているが（Nakagawa, 1998）現在は観察できない．

古環境　本生痕属は主に下部外浜～陸棚を示す *Cruziana* 生痕相の構成要素とされる（e.g. Knaust, 2017）．*Ophiomorpha nodosa* と共存することから前浜や外浜などの海浜環境と考えられる．

産地・層準　福井市小丹生（地点 6）の層準 6 J，6 G 付近.

Ⅴ　考察

Ⅴ－1　生痕化石から推定される堆積環境

Seilacher（1967）は，海洋の軟質底環境を深さに応じて *Skolithos, Cruziana, Nereites, Zoophycos* の 4 つの生痕相に区分した．それぞれが示す環境は前浜～外浜，沖浜～内側陸棚，外側陸棚～陸棚斜面，深海底である．さらに，Frey and Pemberton（1987）は，現生生痕群集の観察から *Psilonichnus* 生痕相を後浜～前浜環境のために提案した．さらに，Pemberton *et al.*（2012）は，前浜～上部外浜に，*Macaronichnus* 生痕群集が，中部外浜には *Ophiomorpha nodosa* が特徴的に産出することを示した．

今回国見層から産出した生痕化石群集は，氾濫原堆積物を代表する哺乳類化石足跡化石（安野，1997，1998，2007，2015，2016），干潟環境を代表する *Psilonichnus* 生痕化石群集，海浜環境を代表する *Ophiomorpha* 生痕化石群集である．Frey and Pemberton (1987) は，後浜～前浜環境として *Psilonichnus* 生痕相を提案した．その定義にしたがえば哺乳類化石足跡化石も *Psilonichnus* 生痕相に含まれるが，ここでは氾濫原環境を表すものとして分離した．また，現生種における海浜生痕群集は *Skolithos* 生痕群集であるが，国見層からは *Skolithos* が産出しないので *Ophiomorpha* 生痕化石群集とした．*Ophiomorpha* 生痕化石群集はさらに 3 つに細分可能である．それらは，外浜砂底（水深 3 ～ 10 m）に特徴的な *Ophiomorpha nodosa* などの甲殻類の居住痕からなる外浜上部（水深 6 m 以浅）の亜群集，*Ophiomorpha* isp. と *Cylindrichnus* isp. が共産する上部外浜～下部外浜（水深 6 ～ 20 m）上部の亜群集，*Ophiomorpha nodosa* と前浜砂底に特徴的な *Macaronichnus segregatis* や *Planolites* sp. B を含む亜群集（潮間帯）である．これらの亜群集は厳密に区分できるわけではない

表1　各観察地点から産出した生痕化石とその古環境.

地点名	層準	生痕化石		堆積構造・体化石	古環境	古環境
		生痕化石種	生息古水深			
地点1	K11直下	*Ophiomorpha nodosa*	前浜～陸棚	ヘリンボーン斜交葉理 スウェール状斜交葉理 火山灰付着火山灰（K11）	上部外浜 干潟	上部外浜
		Cylindrichnus isp.	下部外浜～陸棚			
		ペレット				
地点2	K7-K8 （K8下）	*Psilonichnus tubiformis*	前浜～外浜	ウェーブリップル葉理	前浜	前浜 干潟
		生物擾乱		*Vicarya, Pirenella*	干潟	
地点3	K7-K9	*Ophiomorpha* isp.	前浜～陸棚	ハンモック状斜交葉理 トラフ型斜交葉理	上部外浜	前浜 外浜 氾濫原
		Cylindrichnus isp.	下部外浜～陸棚			
		Psilonichnus tubiformis	前浜～外浜			
		Teichichinus rectus	下部外浜～大陸斜面	ヘリンボーン斜交葉理	下部外浜	
		Teichichnus isp.	外浜～大陸斜面			
		哺乳類足跡化石（安野，2016）	陸域	立木	氾濫原	
地点4～6	K6-K7 （K7下）	*Ophiomorpha nodosa*	前浜～陸棚	低角斜交葉理	前浜	前浜 干潟 上部外浜
		Psilonichnus tubiformis	前浜～外浜			
		Macaronichnus segregatis	前浜	*Vicarya, Anadara*	干潟	
		Thalassinoides isp.	下部外浜～陸棚			
		Planolites isp. A *Planolites* isp. B　生物擾乱				
地点7	K2-K3	*Psilonichnus tubiformis*	前浜～外浜	ハンモック状斜交葉理	下部外浜	前浜
		Psilonichnus cf. upsilon	前浜			
		Conichnus conicus	前浜～外浜	火山灰付着火山灰（K2）	陸上～水分のある場所	
		Planolites isp. A　生物擾乱				
地点8	K0下	*Psilonichnus tubiformis*	前浜～外浜	斜交葉理	前浜～外浜	前浜 外浜？ 氾濫原 河川流路
		Psilonichnus cf. *upsilon*	前浜			
		Ophiomorpha isp.（再堆積）	前浜～陸棚			
		哺乳類足跡化石（安野，1997）	陸域（氾濫原）	チャネル構造	河川 前浜	
		Planolites isp. A *Teichichnus* isp. ペレット　生物擾乱				
地点9	K0下	哺乳類足跡化石（安野，1997） 生物擾乱	陸域	泥炭質泥岩　立木 逆グレーディング	氾濫原 河川流路	氾濫原 河川流路

が *Ophiomorpha* と *Cylindrichnus* isp. が共産すると上部外浜～下部外浜と海浜の中ではやや深く，*Ophiomorpha nodosa* と *Macaronichnus segregatis* が共産すると前浜～外浜とやや浅い環境を示すと考えられる．また，調査地域ならびに国見層下部からは哺乳類の足跡化石が報告されている（安野，1997，1998，2007，2015，2016）．これは，氾濫原堆積物を代表するもので，垂直型の生痕は発達していない．また，安野（2007）は国見層の下部から *Ophiomorpha* isp. を報告しているが，泥の裏打ちは確認されるが泥団子が見られないため *Ophiomorpha* isp. とは同定できない．また，安野（2007，2015）は国見町下部～最下部の越前岬周辺からフナクイムシの穿孔痕化石 *Teredolites* isp. を含む流木化石を報告している．安野（2007，2015）の報告は主に礫岩相からなる国見層最下部扇状地堆積物の先端が海に直接接してできた臨海扇状地であることを示す．また扇状地や河川流路，氾濫原，干潟の環境が繰り返し現れることを示唆している．

Ｖ－２　生痕化石の産出層準

それぞれの生痕化石がどの層準から産出するかを表１に示す．*Ophiomorpha* 生痕化石群集に代表的な *Ophiomorpha nodosa* は外浜に特徴的な化石とされ，Ｋ 11 の下位（地点１），K8 の上位（地点 3），Ｋ７の下位～Ｋ６上位（地点 4，5，6）で見られた．このほか，Ｋ９の下位（中川・梅田，2000）からも報告されている．Ｋ０より下位の地点８にみられる *Ophiomorpha* isp. は異地性の産状であり，近隣に外浜環境があったものと推定される．*Psilonichinus tubiformis* に代表される干潟生痕はＫ０より下位の茱崎，Ｋ２とＫ３の間，Ｋ８の上から産出し，Ｋ７の下位や上位にも似た生痕化石が産出する．*Psilonichnus* cf. *upsilon* は地点７と８で *Psilonichinus tubiformis* と似た層準から産出する．*Macaronichnus segregatis* や *Planolites* sp. Ｂは地点４～６のＫ７の下位からＫ６の上位から産出する．偶蹄類に代表される哺乳類足跡化石の産出は地点 3，8，9 から報告がある．

これら３種類の生痕化石群集の初産出層準は下位から順に哺乳類足跡化石，*Psilonichnus* 生痕化石群集，*Ophiomorpha* 生痕化石群集となり，下位から河川成（氾濫原），干潟，外浜と環境が変化した．氾濫原堆積物は主に国見層下部で確認できる．また，干潟の環境を示す *Psilonichnus* 生痕化石群集は K0 の下位からＫ８の上位までの広い層準で繰り返し見られる．Ｋ６の上位～Ｋ８の下位まで，ならびにＫ 10 ～Ｋ 11 の層準の鮎川から干潟の貝化石群集も報告されている（紺野・三浦，1956；中川，1989，2002 など）．*Ophiomorpha* 生痕化石群集もＫ６の上からＫ 11 まで繰り返し見られる．このように同じ生痕化石が繰り返し産出しながら全体として氾濫原→干潟→海浜へと堆積環境が少しずつ海側の環境へと移行していく．Nakagawa（1998）の指摘するように沈降する堆積盆地に繰り返し火砕流堆積物が流れ込むことで堆積盆地が埋め立てられ，同じような環境が繰り返し現れたことが生痕化石からも裏付けられた．

Ｖ－３　*Ophiomorpha nodosa* の生痕の復元とその古環境

この生痕化石は外浜に特徴的な化石とされ，Ｋ 11 の下位（地点１），Ｋ８の上位（地点 3），Ｋ７の下位（地点 4, 5, 6）で観察できた．これらの地点では 50 cm 四方における生痕の密度は５～７個だった．最も外径の大きな場所では直線距離 3 m の中に生痕が４つあるだけであり大型になると生息密度が減少する．また，地点８から異地性の同属化石が産出した．

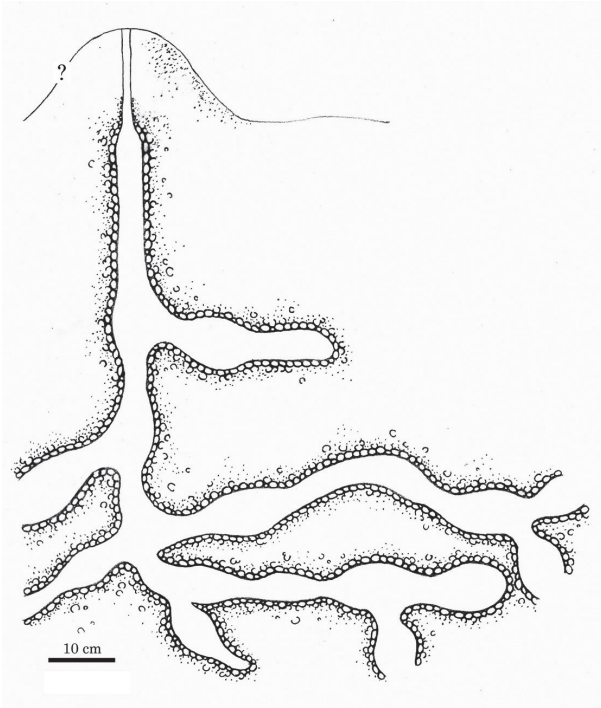


図６　地点1や地点4～6の観察から復元した *Ophiomorpha nodosa*．マウンドの有無は不明．

Ophiomorpha nodosa は現生のスナモグリの仲間（*Callianassa* spp.）の巣穴と考えられている．Bromley（1986: 大森監訳，1993）には何種類かの現生スナモグリ属の巣穴の形態について解説しているが同属でもその特徴は種ごとに違っている．

本属化石の最大の特徴は生痕に泥の厚い裏打ちと団子状の粒子が付着していることである．今回の観察では４つの産状の特徴が観察できた．

(1) 地層面に垂直に伸びる場合，上下方向に径に差がなく外径が 35 ～ 50 mm 前後である．最大長 60 cm 以上の垂直型で，途中分岐がみられる．

(2) 分岐するところでは周囲に比べやや太くなり，丸みを帯びる．

(3) 垂直に伸びる生痕のほか，地層にほぼ平行な形で地層面に斜交または平行に近い産状を示

すものがあり，それらは途中で分岐する．
(4) 多くの場合，地層面から下にほぼ同じ太さで穴が掘られている．まれに 5 ～ 15 mm 前後の細い部分がみられ，生痕上部が細くなっていると判断した．

なお，現生種で観察されるマウンドの有無については，砂岩の下面が侵食面になっていて観察できなかった．これらをもとに復元した *Ophiomorpha nodosa* を図 6 に示す．垂直にのびた縦坑に深部の分岐するほぼ水平に広がるトンネルがつながる形態は，Griffis and Suchanek（1991）が分類したアナジャコ上科の巣穴のうち，Type 4 とされたスナモグリ属の *Callianassa jamaicense, C. louisianensis, Callichirus major, C. islaqrande* などの巣穴形態に似る．

Ⅵ　まとめ

国見層の生痕化石から推定される古環境を，氾濫原の足跡からなる生痕化石群集，干潟環境の *Psilonichinus* 生痕化石群集，海浜（前浜と外浜）環境の *Ophiomorpha* 生痕化石群集に細分した．その結果，福井市茱崎から鮎川にかけての国見層は下位から氾濫原，干潟，海浜の環境が発達するが，それらが単純に重なるわけではなく，同じ環境が何回も繰り返しながら次第に海側の環境へ移行していく様子を生痕化石群集から詳細に明らかにすることができた．

謝　　辞

茨城県つくば市の鹿野和彦先生，福井県福井市の安野敏勝先生には研究を進める上で多くのご助言をいただいた．福井大学の山本博文先生には原稿を読んでいただき，有益なご助言をいただいた．*Ophiomorpha noodosa* の復元の清書には福井県立羽水高等学校美術部（当時）の塚本いちこさんにお手伝いいただいた．記してお礼申し上げる．

文　　献

東　洋一（1985）福井県丹生山地北西部の中新統層序 – 特に新たに見い出された中期中新世の不整合について –．福井県立博物館紀要，no. 1，1–17.

Chamberlain, C. K. (1971) Morphology and ethology of trace fossils from the Ouachita Mountains, southeast Oklahoma. *Jour. Paleontology*, **45**, 212–246.

Clifton, H. E. and Thorpson, J. K. (1978) *Macaronichnus segregatis*; a feeding structure of shallow marine polychastes. *Jour. of Sedimentary Petrology*, **48**, 1293–1302.

Corner, G.D and Fjalstad, A. (1993) Spreite trace fossils (*Teichichnus*) in a raised Holocene fjord–delta, Breidvikeidet, Norway. *Ichnos*, **2**, 155–164.

Curran, H. A. and Frey, R. W. (1977) Pleistocene trace fossils from North Carolina (U. S. A.), and their Holocene analogues. *In: Crimes, T. P. and Harper, J. C.* (eds) *Trace Fossils 2. Geological Journal,* **9** (Special Issue), 139–162.

Dashtgard, S. E. and Gingras, M. K. (2012) Marine invertebrate neoichnology. In: Knaust, D. *et al.,* (eds.) *Trace fossils as indicators of sedimentary environments*. Development in Sedimentology, **64**, 273–295, Elsevier.

Ekdale, A. A., Bromley, R. G. and Pemberton, S. G. (1984) Ichnology: the use of trace fossils in sedimentology and stratigraphy. *SEPM Short Course Notes*, **15**, 317p.

Ekdale, A. A., and Bromley, R. G. (2003) Paleoethologic interpretation of complex *Thalassinoides* in shallow-marine limestones, Lower Ordovician, southern Sweden. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.,* **192**, 221–227.

Frey, R.W., Curran, H. A. and Pemberton, S. G. (1984) Tracemaking activities of crabs and their environmental significance: ichnogenus *Psilonichnus. Jour. Paleontology*, **58**, 333–350.

Frey, R.W. and Pemberton, S. G. (1987) The *Psilonichnus* ichnocoenose, and its relationship to

adjacent marine and nonmarine ichnocoenoses along the Georgia coast. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, **35**, 333–357.

平山勝大(2017)越前海岸国見層の生痕化石群集とその古環境(その2). 福井県高等学校理科研究会誌, no. 59, 69–84.

平山勝大・黒川瑞貴・奥村怜音・斎藤準也・高田斗真・八木紀斗（2016）越前海岸国見層の生痕化石群集とその古環境. 福井県高等学校理科研究会誌, no. 58, 146–172.

Griffis, R. B. and Suchanek, T. H. (1991) A model of burrow architecture and trophic modes in thalassinidean shrimp (Decapoda: Thalassinidea). *Marine Ecology Progress Series*, **79**, 171–183.

市原季彦・高塚　潔・下山正一（1996）生痕層序. 地質学雑誌, **102**, 685–699.

Itoigawa, J., and Yamanoi, T. (1990) Climatic Optimum in the Mid–Neogene of the Japanese Islands. In: Tsuchi, R. (ed.) *Pacific Neogene Evens. Their Timing, Nature and Interrelationship*, 3–14. University of Tokyo Press.

鹿野和彦・山本博文・中川登美雄（2007）福井地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 68p.

紬野義夫・三浦　静, 1956, 福井県産化石図譜第一集 - 改訂 -（鮎川付近）. 1–18, 福井市理科部会・福井市郷土自然科学博編.

Knaust, D. (2017) *Atlas of Trace Fossils in Well Core: Appearance, Taxonomy and Interpretation*, 209p. Springer.

越廼村哺乳類足跡化石調査委員会編（2001）福井県越廼村の哺乳類足跡化石. 越廼村. 58p.

中川登美雄（1989）福井県丹生山地北部の中新統, 国見累層産潮間帯性貝類化石群集. 福井県立博物館紀要, no. 3, 23–45.

Nakagawa, T. (1998) Miocene molluscan fauna and paleoenvironment in the Niu Mountains, Fukui Prefecture, central Japan. *Sci., Rep., Univ., Tsukuba*, **19**, 61–185.

中川登美雄（2002）福井県丹生山地の国見層（中期中新世）から産出した *Geloina* 化石. 福井市自然史博物館研究報告, no. 49, 79–82.

中川登美雄・梅田美由紀（2000）地学散歩「歩いてみよう越前海岸」. 福井市自然史博物館, 36p.

中川登美雄・梅田美由紀（2001）福井県越廼村の哺乳類足跡化石. 8–13. 越廼村哺乳類足跡化石調査委員会編, 越廼村.

中島正志・中川登美雄・渡辺美子・今澤泰秀（1992）福井県北部国見累層の古地磁気層序. 地質学雑誌, **98**, 975–978.

中島正志・沢田順弘・中川登美雄・林　昌代・板谷徹丸（1990）福井県北部新第三系の K–Ar 年代と古地磁気. 岩鉱（岩石鉱物鉱床学会誌）, **85**, 45–59.

奈良正和（1994）, “ヒメスナホリムシの生痕化石”の形成者は何か. 化石, no. 56, 9–20.

奈良正和・小竹信宏（1997）, 中 – 上部更新統下総層群に産する“アナジャコ巣穴化石” *Psilonichnus*. 地質学雑誌, **103**, 971–981.

奈良正和・清家弘治（2004）千葉県九十九里浜の現世前浜堆積物に見られる *Macaronichnus segregatis* 様生痕とその形成者. 地質学雑誌, **110**, 545–551.

野田浩司（1994）日本産生痕化石研究への序説. 洛思社, 294p.

Nickll, L. A. and Atkinson, R. J. A. (1995) Fanctional morphology of burrows and trophic modes of three tharassinoidean burrow morphology. *Marine Ecology Progress Series*, **128**, 181–197.

小幡喜一（1998）秩父盆地の赤平川沿いにみられる中新統の生痕化石と堆積環境. 埼玉県立自然史博物館研究報告, no. 16, 23–34.

小幡喜一（2009）秩父盆地北東部の中新統の生痕化石とそれらの古環境. 埼玉県立自然の博物館研究報告, no.3, 11–32.

大森昌衛監訳（1993）生痕化石 – 生痕の生物学と化石の成因 –. 東海大学出版, 364p.（Bromley, R. G.

(1990), Trace Fossils–biology and taphonomy).

Pemberton, S. G., MacEachern, J. A., Dashtgard, S. E., Bann, K. L., Gingras, M. K. and Zonneveld, J–P. (2012) Shoreface. *Development in Sedimentology*, **64**, 563–603. In: Knaust, D. *et al*., (eds.) *Trace fossils as indicators of sedimentary environments*. Elsevier.

Pemberton, S. G., Spila, M., Pulham, A. J., Saunders, T., MacEachern, J. A., Robbins, D. and Sinclair, I. K., (2001) Ichnology of shallow to marginal marine systems: Ben Nevis & Avalon Reservoirs, Jeanne d' Arc Basin. *Geol. Assoc. Canada Short Course*, **15**, 343p.

Savrda, C. E. (2002) Equilibrium responses reflected in a large *Conichnus* (Upper Cretaceous Eutaw Formation, Alabama, USA). *Ichnos*, **9**, 33–40.

生痕研究グループ（1989）現生および化石の巣穴．地団研専報，no. 35，131p.

Seilacher (1967) Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology*, **5**, 413–428.

白竹武夫・水野幹司（1980）越前海岸における野外観察の一考察―エチゼンオオスッポンの発見とその周辺の古環境について―．福井県教育研究所紀要，no. 77，87–97.

竹山憲市（1989）福井県の中新統国見累層より産出したシカ類化石．福井県立博物館紀要，no. 3，9–21.

竹山俊雄（1933）越前丹生山地北部の新第三紀層．地球，**20**，202–207.

冨田幸光・安野敏勝（1993）福井市北部の国見累層（中新世）より発見された長鼻類骨化石とその意義．金沢大学日本海域研究所報告，no. 25, 35–45.

友安由美子・梅田美由紀（1985）福井県越前海岸に見られる新第三紀層の堆積構造．福井市郷土自然科学博物館研究報告，no. 32，9–30.

山野井　徹（1992）中部日本における中期中新世初期の花粉群集．瑞浪市化石博物館研究報告，no. 19, 103–112.

柳沢幸夫･渡辺真人（2017）大佐渡地域南部に分布する新第三系の海生珪藻化石層序．地質調査報告，**68**，287–339.

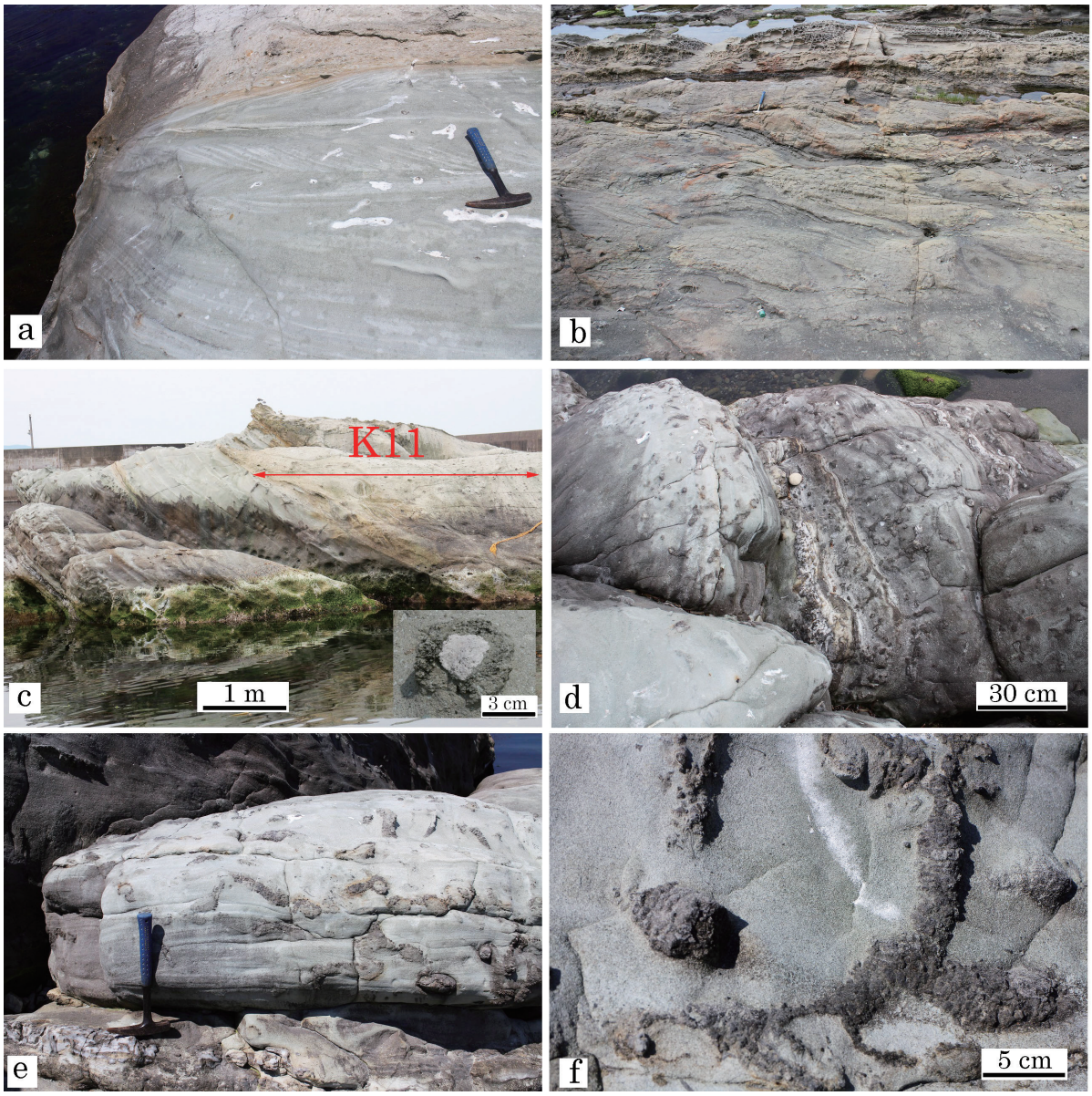
安野敏勝（1997）福井県越廼村の中新世哺乳動物足跡化石．福井市自然史博物館研究報告，no. 44，29–34.

安野敏勝（1998）日本の中新世より発見された長鼻類足跡化石．福井市自然史博物館研究報告，no. 45，1–7.

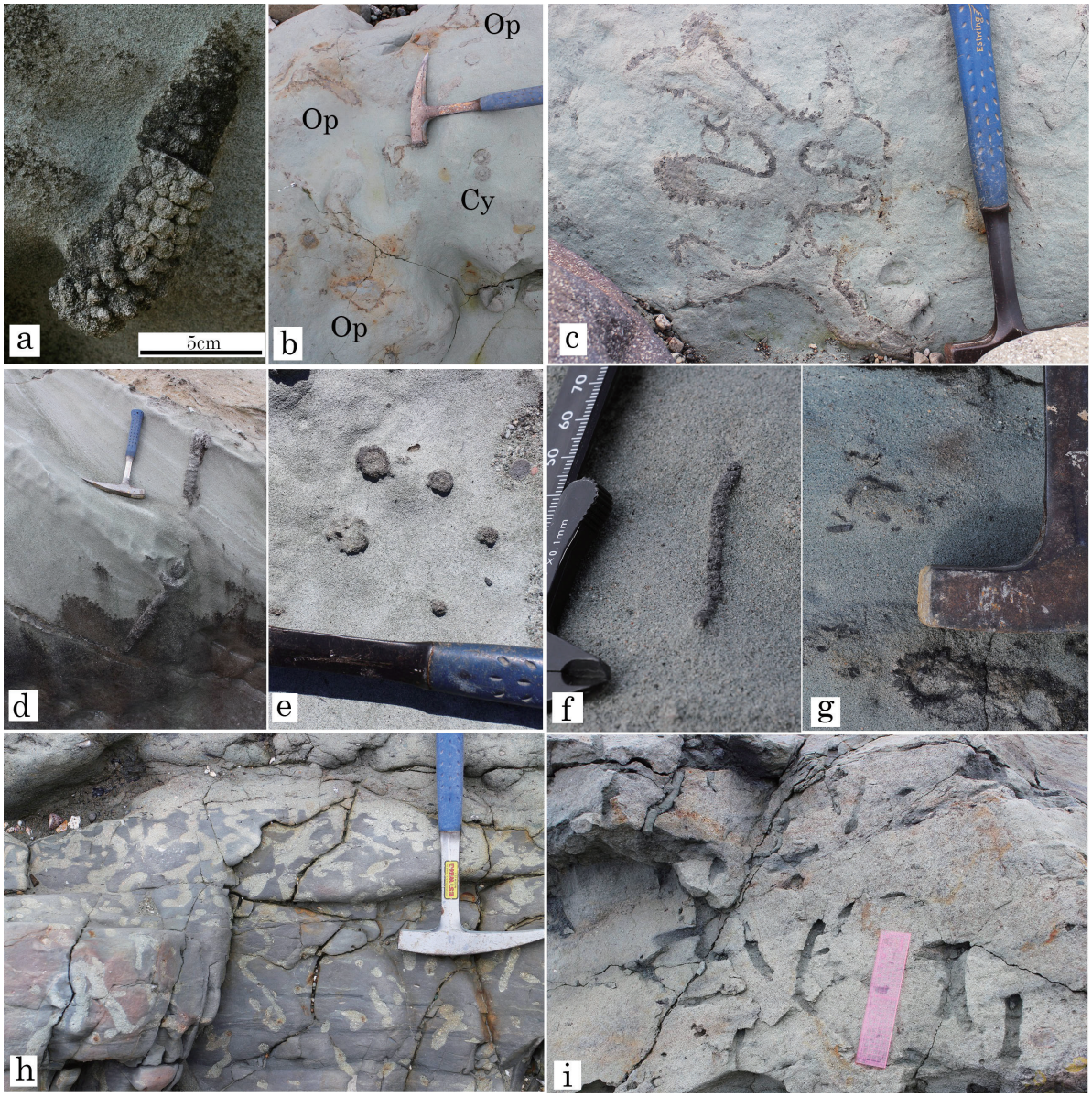
安野敏勝（2007）福井県福井市南西部の中新統国見層より哺乳類足跡化石および生痕化石の産出．福井市自然史博物館研究報告，no. 54，41–44.

安野敏勝（2015）福井県越前岬周辺の海岸から産出した中新世化石群集．福井市自然史博物館研究報告，no. 62，27–32.

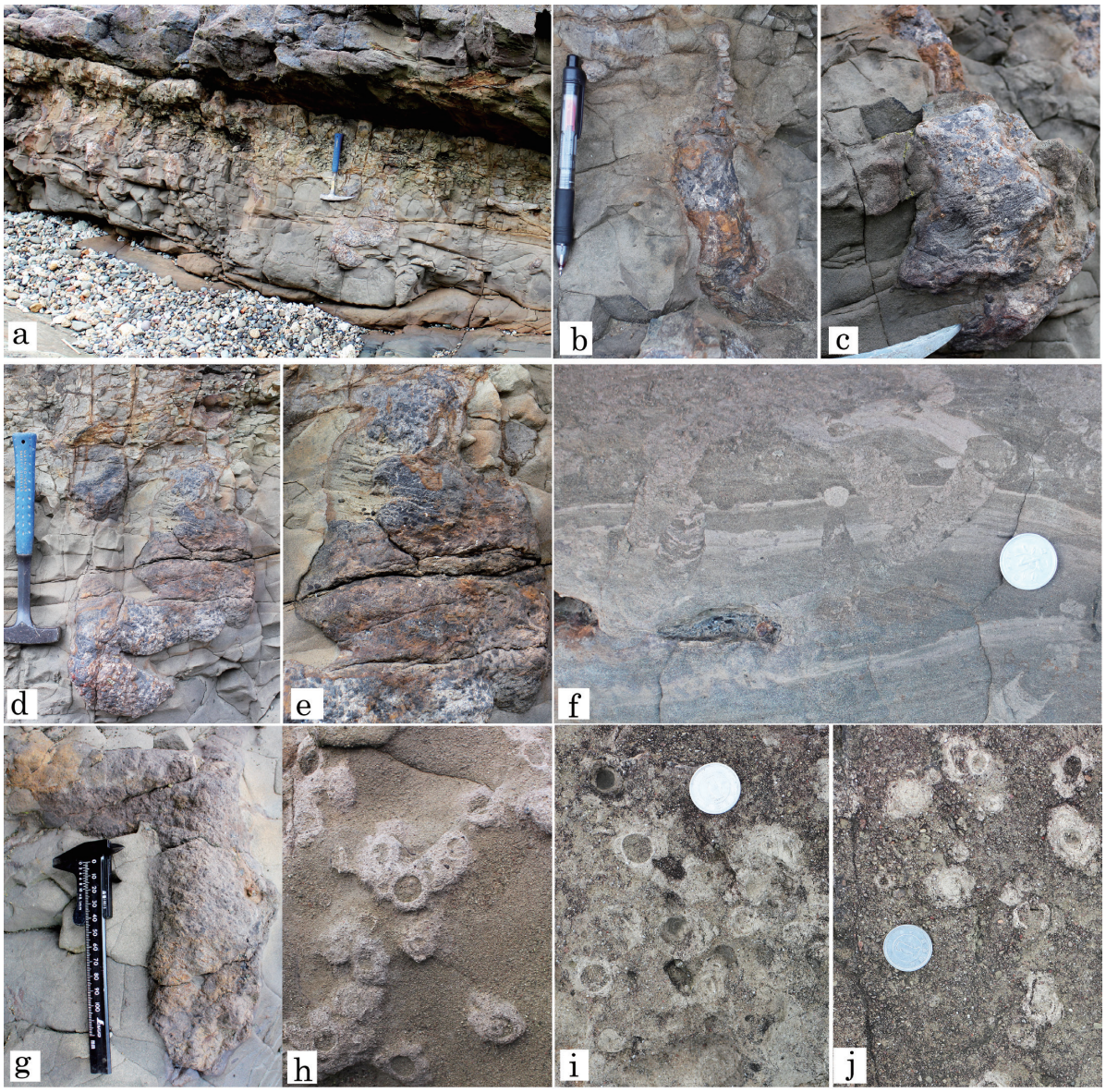
安野敏勝（2016）福井市小丹生海岸から産出した中新世哺乳類足印および立株化石．福井市自然史博物館研究報告，no. 63，27–36.



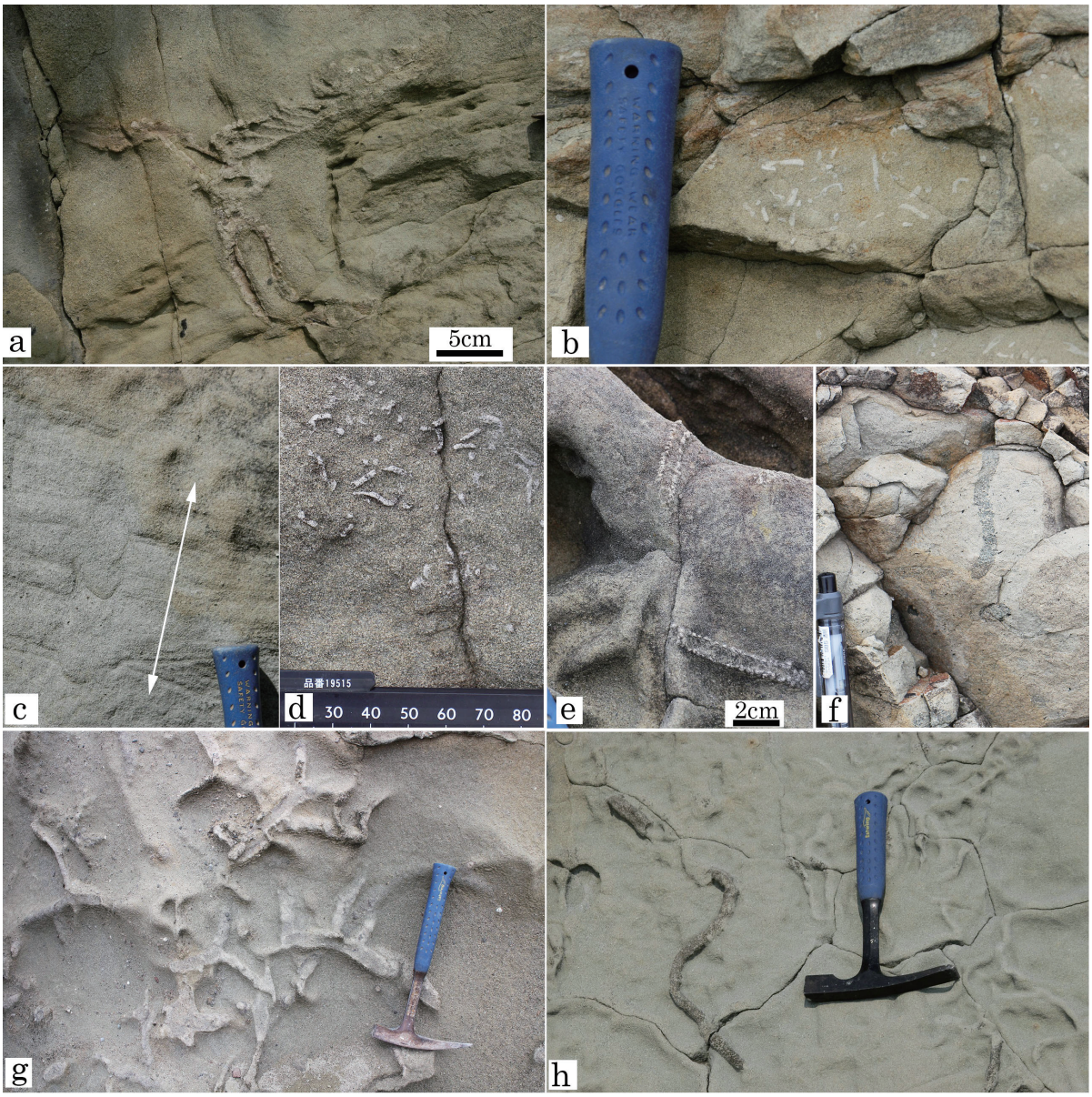
図版１　代表的な堆積指標と鮎川北（地点1）の*Ophiomorpha nodosa*.
a: 鮎川北（地点1）のK 11下砂岩層に見られるヘリンボーン斜交葉理．b: 小丹生（地点3）の中粒砂岩に見られるハンモック状斜交葉理．c: 鮎川北（地点1）の全景．写真右下はK 11に含まれる火山灰付着火山礫．d: 鮎川北（地点1）の層準1 C～1 Eの砂岩泥岩互層と含まれる*Ophiomorpha nodosa*の産状．e: 鮎川北（地点1）の1 Eの*Ophiomorpha nodosa*の産状．f: 層準1 EにおいてT字型に分岐する*Ophiomorpha nodosa*.



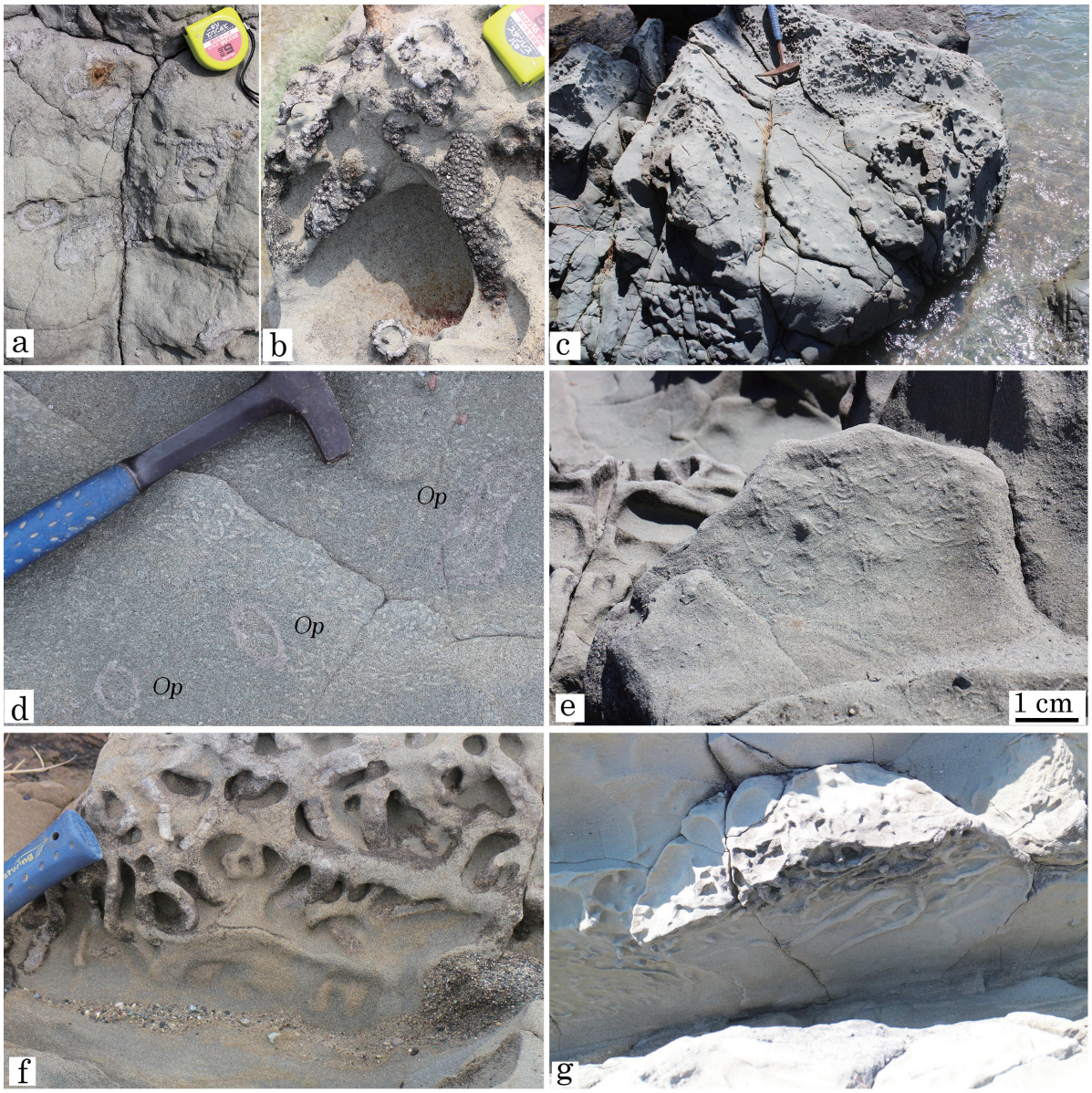
図版２　鮎川北ほか（地点1，地点4）の*Ophiomorpha nodosa*と白浜（地点2）の生痕化石．
a: 地点1の*Ophiomorpha nodosa*の外側表面にみられる泥団子．b: 層準1 Aの*Ophiomorpha nodosa (Op)*と共産する*Cylindrichnus* isp（*Cy*）．c: 層準1Aの地層断面に見られるT字型に分岐する*Ophiomorpha nodosa*．d: 層準1 Gにみられる垂直に伸びる*Ophiomorpha nodosa*．途中途切れて見えるが同一生痕と判断される．e: 層準1 E最上部の地層面に見られる径の小さい*Ophiomorpha nodosa*．生痕化石の最上部付近．f: 層準1Cに見られる移動摂食痕．ほぼ垂直方向に伸び少し曲がる．g: 層準1 Eに見られる甲殻類（？）のペレットと*Ophiomorpha nodosa*．h: 地点2の中粒砂岩層から泥岩層に掘った*Psilonichnus tubiformis*．砂岩の基底から深くなるにつれて，生痕化石の頻度が減少する．i: 地点2の細粒砂岩に見られる*Psilonichnus tubiformis*．



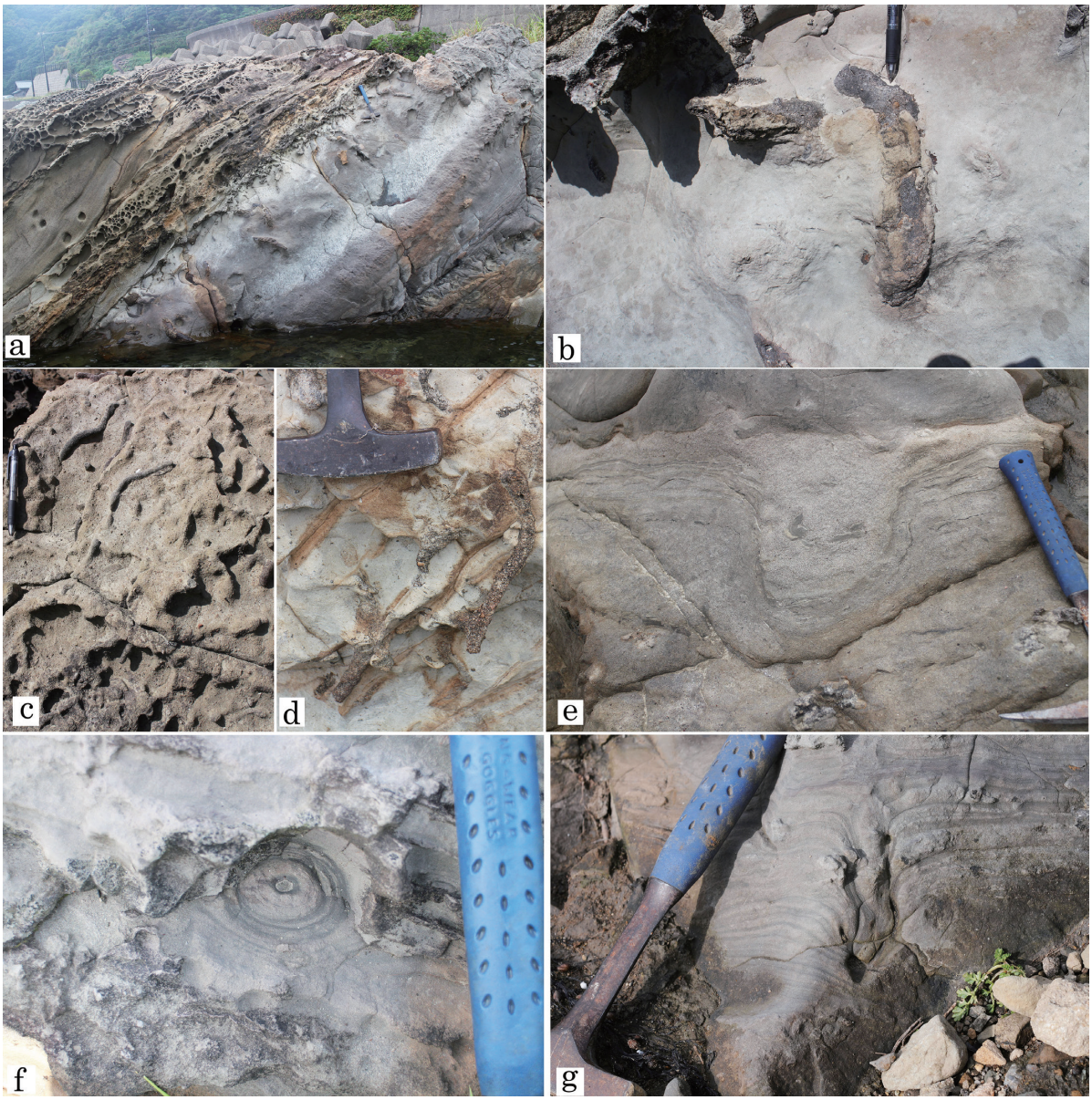
図版３　地点3（弁慶の洗濯岩）の生痕化石.
a: *Teichichnus rectus*を産出する砂質泥岩. ハンマーの左（南側）は生痕化石の頻度が高く右へ行くにつれて減少する. b: 上部に細くなる*Teichichnus rectus* . c: スプライト構造の発達した*Teichichnus rectus*. d: 最も大きな*Teichichnus rectus*. e: dの生痕上部の拡大. 上部にスプライト構造に伴うラミナ様の模様が, 基部にペレット様の黒い粒子がみられる. f: 砂質泥岩の下部（3 A）から産出する*Teichichnus* isp. 不明瞭なスプライト構造が見られる. g: ほぼ水平方向に伸び, 途中で折れ曲がり垂直方向に伸びる*Teichichnus rectus*. h: 層準3C最上部の地層面から見た*Ophiomorpha* isp. 厚い泥の裏打ちがあるが泥団子は不明瞭. i: 層準3C最上部の層理面から見た*Cylindrichnus* isp. 厚い泥の裏打ちが見られる. j: 砂質泥岩に重なる層準3Cの中粒砂岩の断面から見た*Ophiomorpha* isp. と*Cylindrichnus* isp.



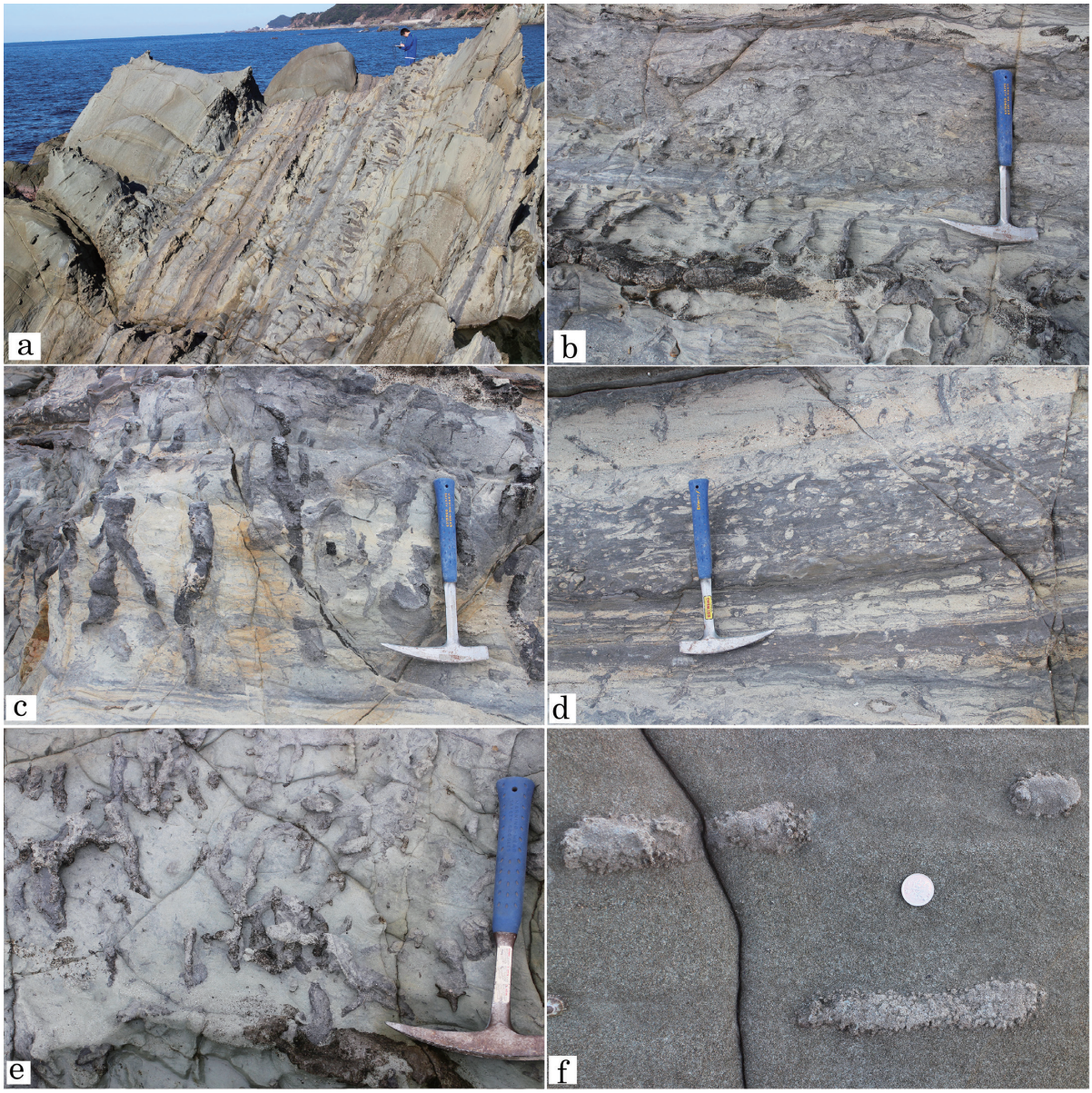
図版４　小丹生南（地点4～6）に見られる生痕化石.
a: 小丹生南（地点4）の層準4 Eの*Ophiomorpha nodosa*. メニスカス様の充填構造が見られる. b: 層準4 Bの*Planolites* isp.B. c: 層準4 Eの中～粗粒砂岩に見られる上方移動型のスプライト構造を持つ *Conichinus conicus*. d: 層準4 Dの*Planolites* isp.B. e: 層準6 Hの*Ophiomorpha nodosa*. 内径が10 mm前後と他の場所に比べ径が小さい. f: 地点5の層準5Bの*Psilonichnus tubiformis*. ここでは*Vicarya*や*Anadara*などの干潟の貝化石を産出する. g: 層準6 Jの中粒砂岩にみられる*Thalassinoides* isp. h: 層準6 J付近の*Planolites* isp.A.



図版５　小丹生南（地点6）に見られる生痕化石.
a, b: 小丹生南（地点4）の層準4A付近に見られる*Ophiomorpha nodosa*. c: 地点6のK6の下位に見られる砂団子. d, e: 層準I付近に見られる*Macaronichnus segregatis*. *Ophiomorpha nodosa*と共産する. f: *Thalassinoides* isp. 新鮮な面でははっきりしないが, 風化面では生痕が浮き出ている. g: 層準6Fに見られる*Planolites* isp.A.

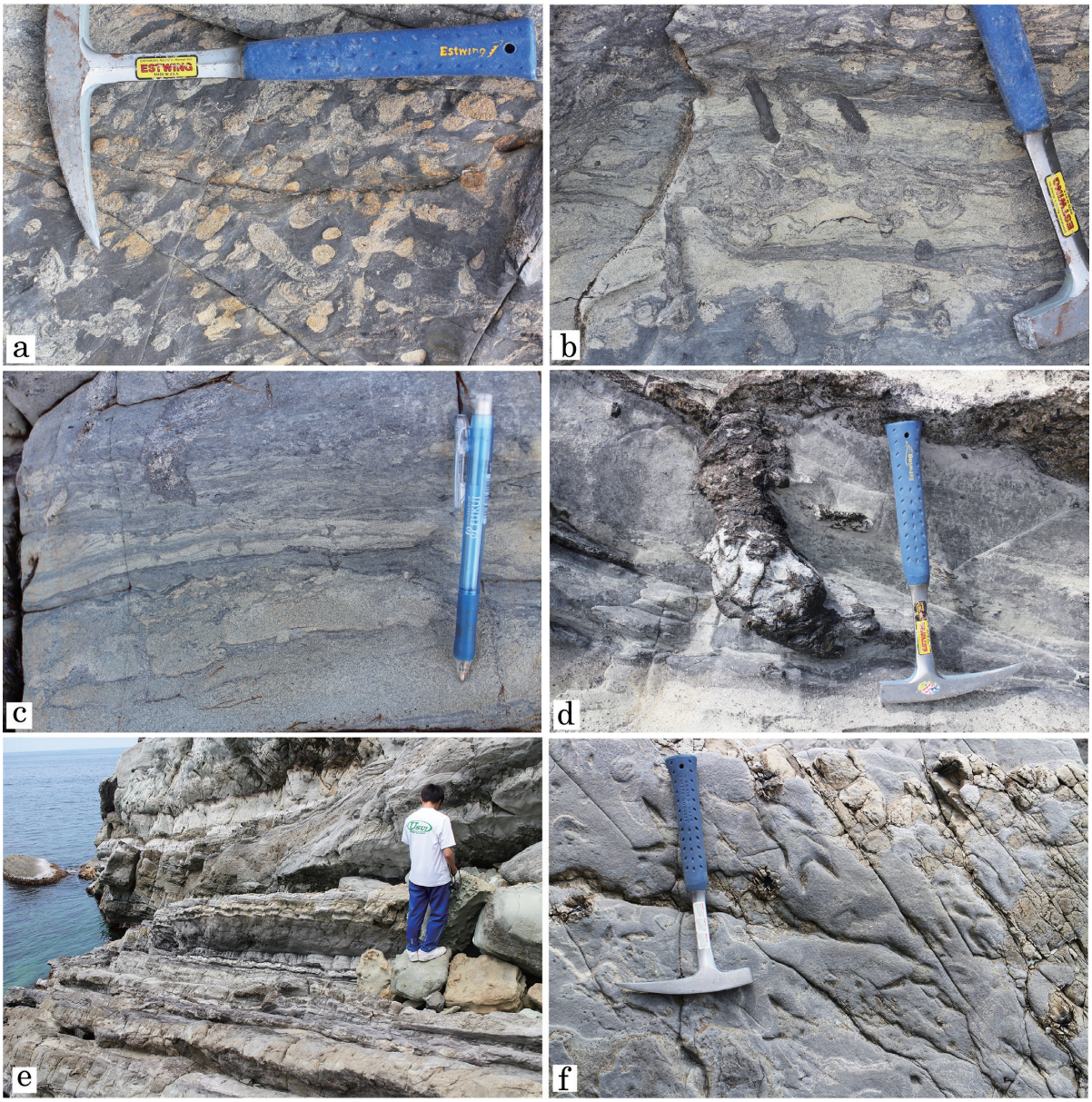


図版６　佐武（地点7）のK2–K4の層準に産出する生痕化石.
a: 地点7の砂岩・泥岩層．青白色の泥岩（層準7A）からは主に*Psilonichnus* cf. *upsilon*が，茶色みがかった細～中粒砂岩と泥岩の互層からは*Psilonichnus tubiformis* が産出する．b: 層準7Aから産出する*Ps*. cf. *upsilon*の産状．c, d: 層準7Bから7Cに見られる*Psilonichnus tubiformis*．e: 層準7Dの大型の*Conichnus conicus*の産状．f: 層準7Aの地層面の上から見た*Conichnus conicus*の産状．g: 層準7A地層断面から見た*Conichnus conicus*の産状.



図版７　軍艦岩（地点8）から産出する生痕化石.

a: 地点8の生痕を多産する層準．特に*Psilonichnus* cf. *upsilon*.が目立つ．b: 地層断面から見た*Ps*. cf. *upsilon*（層準8B）とその上位の生物擾乱の著しい泥岩．この写真では*Teichichnus* ispや*Psilonichnus tubiformis*ははっきり識別できない．c: 層準8Bの地層断面に見られる*Psilonichnus* cf. *upsilon*．一部は交差している．d: 層準8C～8Dにかけての岩相．黒色の泥岩には地層面に水平に伸びる*Planolites* isp.A や垂直型でスプライト構造をもつ*Teichichnus* isp.が見られる．8Dでは径1cm前後の*Psilonichnus tubiformis* が見られる．e: 層準8Dの地層断面に見られる*Teichichnus tubiformis*．この層準は粗粒砂岩により削られて観察できない場所も多い．f: 層準8Eの粗粒砂岩により洗い出されて堆積した異地性の*Ophiomorpha* isp.　*Ophiomorpha*に特徴的な泥団子が見られるが，*Ophiomorpha nodosa*に比べ個々の団子が小さい.



図版８　軍艦岩（地点8）と大味（地点9）から産出する生痕化石.
a: 層準8Cの泥岩に見られる*Teichichnus* isp. b, c: 層準8Aに見られる*Teichichnus* isp.と*Psilonichnus tubiformis*. d: 層準8Aに見られる*Psilonichnus* cf. *upsilon*. e: 地点9の氾濫原堆積物. f: 黒色泥岩の地層面に見られる偶蹄類足跡化石.