

富山県南東部に分布する有峰層 (Oxfordian階中部) の生痕化石群集と堆積相について  
(富山県域の上部ジュラ系九頭竜層群 – 第1報 – ) \*

平澤 聡

富山市科学博物館

939-8084 富山市西中野町一丁目8-31

**Ichnofossil assemblage and sedimentary facies of the middle Oxfordian  
Arimine Formation, southeastern Toyama Prefecture  
(The Upper Jurassic Kuzuryu Group in the Toyama area, Part 1)**

Satoshi Hirasawa

Toyama Science Museum

1-8-31 Nishinakano-machi, Toyama-shi, Toyama 939-8084, Japan

The shallow marine Upper Jurassic Kuzuryu Group, distributed in north-central Japan, is important in paleontological studies of East Asia during late Mesozoic time. However, sedimentological and ichnological information on the group is still insufficient. This is a preliminary report on the sedimentary facies and ichnofossil assemblage of the middle Oxfordian Arimine Formation (upper part of the Kuzuryu Group), southeastern Toyama Prefecture. Results of the study are summarized as follows:

(1) A mixed *Skolithos-Cruziana* ichnofacies dominated by *Ophiomorpha*, is recognized in the middle part of the Arimine Formation.

(2) The ichnofossil-bearing interval consists of alternating beds of swaley cross-stratified fine-grained sandstone and intensely bioturbated muddy fine-grained sandstone.

(3) Sedimentary facies of the interval is suggested to be a moderately storm-dominated, middle to lower shoreface.

**Key words :** sedimentary facies, ichnofossil assemblage, Arimine Formation, Kuzuryu Group, Upper Jurassic

**キーワード :** 堆積相, 生痕化石群集, 有峰層, 九頭竜層群, 上部ジュラ系

**はじめに**

中部地方の北部には, 上部中生界手取層群の下部を構成し, いわゆる「九頭竜亜層群」(前田, 1961) として層序区分されてきた中部ジュラ系から下部白亜系の海成層が断片的に分布する (Sano, 2015およびその引用文献). これらは海進期の堆積物であり, 後期中生代の東アジア地域における古環境や古生物相, さらに日本列島の構造発達史を解明する上で重要とされる (松川ほか, 2007; Matsukawa et al., 2008; 佐野ほか, 2013; Sano, 2015). Yokoyama (1904) 以来, 「九頭竜亜層群」から産出する軟体動物化石については数多く報告され, 詳細に研究されている (例えば, Kobayashi, 1947;

Hayami, 1960; Sato, 1962; Maeda and Kawabe, 1966; Matsukawa et al., 2008; Sano et al., 2010; Sato and Yamada, 2014など). その一方で, 化石産出層の堆積相解析やそれに基づく堆積環境の考察は, Masuda et al. (1991)や公文・梅澤 (2001), Yamashita et al. (2011) などごく少数にとどまり, 調査地域も限られている. さらに東アジア地域のジュラ系では, 堆積環境と底生群集との関係についての研究例が非常に乏しいことも指摘されている (Komatsu et al., 2001).

富山県南東部の有峰地域は, 「九頭竜亜層群」に相当する上部ジュラ系浅海成層の模式地の1つである (前田・武南, 1957a; 河合・野沢, 1958; Fig. 1). この浅海成

\* 富山市科学博物館研究業績第489号

層に関して、層序学的研究（前田・武南，1957a; 河合・野沢，1958; 野沢・坂本，1960; 竹内・滝沢，1991; 松川ほか，2014）に加えて、アンモノイド群集（Sato, 1962; Matsukawa et al., 2008; Sato et al., 2012; Sato and Yamada, 2014）や、放散虫化石群集（平澤・柏木，2008; Kashiwagi and Hirasawa, 2010）の古生物学的・生層序学的研究がなされてきた。しかし堆積学および古生態学に関する知見は、二枚貝化石の産状に基づいて堆積環境を考察した、前田・武南（1957b）から殆ど蓄積されていない。

そこで本研究は生痕化石群集に注目して、有峰地域に分布する浅海成層の堆積相を明らかにし、その堆積環境について若干の考察を行う。化石棲管は、内在性の底生生物により形成された巣穴の生痕化石である。底質環境に影響された原地性の化石であることから、化石棲管は堆積環境の復元に有効であり、特に浅海成層では堆積構造と生痕化石群集を組み合わせることで精密な堆積相モデルを構築できる（MacEachern and Pemberton, 1992; Pemberton et al., 1992a, b）。本稿はOxfordian階中部の有峰層で確認された、*Ophiomorpha* を主体と

する生痕化石群集について報告し、その産出区間の堆積相について考察する。なお生痕化石に関する術語の邦訳は、ブロムリー、大森（監訳）（1993）および野田（1994）に従う。採取した標本は、富山市科学博物館に所蔵されている（標本番号TOYA-Fo. 4459, 4460および4461）。

## 地質概説

中部地方北部には、手取層群に代表される中部ジュラ系～下部白亜系の海成、汽水成および河川成の堆積物が広く分布する（前田，1961; 松川ほか，2014; Sano, 2015）。この上部中生界から多様な動植物化石が知られており、東アジア地域における後期中生代の古生物相や、その変遷を解明する上で重要な化石群集となっている（前田，1961; Manabe et al., 2000; Kusuhashi et al., 2002; Matsuoka et al., 2002; Hirano et al., 2003; Matsukawa et al., 2006）。

この中生界の下部をなすジュラ系は、福井県東部（真名－大納－長野－上半原地域と石徹白地域）および富山県南部（桐谷地域）～南東部（有峰地域）に分布し、中期ジュラ紀（後期Bathonian期）から後期ジュラ紀（Oxfordian期中期，Tithonian期）にかけて堆積した碎屑岩類からなる浅海成層である（前田，1961; Sato, 1962; Sato and Yamada, 2005, 2014; 松川ほか，2014; Sano, 2015）。従来、これらは手取層群の下部をなす九頭竜亜層群（前田，1952, 1961）や、その相当層の東坂森累層（河合・野沢，1958）として層序区分されてきた（例えば、富山県教育委員会，2003など）。Sano（2015）は前田（1952）の「九頭竜亜層群」を、九頭竜層群（石徹白地域を模式地とする中～上部ジュラ系Bathonian～Oxfordian階）として再定義し、桐谷・有峰両地域のOxfordian階も本層群に含めた。また、真名－大納－長野－上半原地域のジュラ系は、真名川層群（小林，1954再定義）の下部とした（Sano, 2015）。しかし、真名川層群の詳細な分布や層序学的位置付けは不詳（Sano, 2015）であるため、本節では省略する。

九頭竜層群は飛騨帯および飛騨外縁帯の構成岩類を基盤とし、それらと不整合あるいは断層で接する（前田，1961）。また本層群は、下部白亜系の手取層群や神通層群に不整合に被覆される（前田，1961; 松川ほか，2014; Sano, 2015）。基盤岩類と砂岩から得られたジルコンの年代分布や重鉍物組成によると、九頭竜層群は現在の中国東北部を後背地とし、中～後期ジュラ紀にかけて中朝地塊の東縁部に形成されたと考えられている（相馬・桐座，1993; 川越ほか，2014）。また古地磁の解析から、その堆積盆は低緯度（北緯24°付近）に位置していた（Hirooka et al., 2002, 2003）。九頭竜層群は海進期の

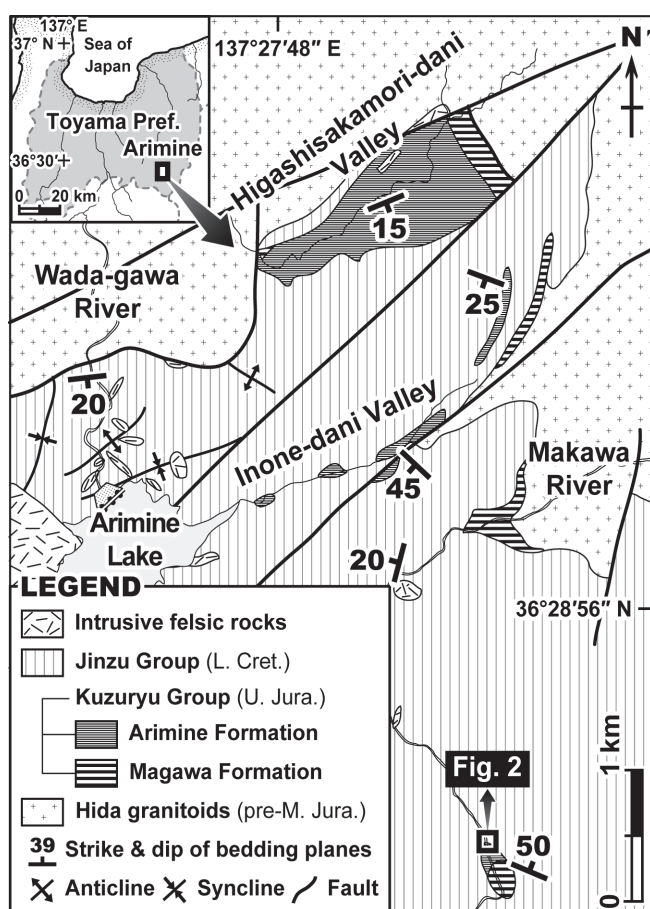


Fig. 1 Index map and geological outline of the studied area Modified after Kawai and Nozawa (1958), Takenami and Maeda (1959) and Nozawa and Sakamoto (1960).

堆積物（前田，1961；松川ほか，2007，2014）であり，中期ジュラ紀（Bathonian～Callovian期）と後期ジュラ紀（Oxfordian期）の2回の海進を記録している（佐野ほか，2013；Sano，2015）．本層群は全体として，堆積速度・堆積物供給量ともに高い沿岸域～内湾域で形成された（前田，1955；Takenami and Maeda，1959；Maeda and Kawabe，1966；Sato and Yamada，2014）．模式地の九頭竜層群は，ファンデルタシステムの堆積物と考えられている（山田ほか，1989；Masuda et al.，1991）．石徹白地域の本層群からは，北方系の軟体動物化石群集を産する（Kobayashi，1947；前田，1961；Sano et al.，2010）．一方，有峰地域から産出するアンモノイド類は，古太平洋ないしテチス海の群集要素である（Sato and Yamada，2014）．

有峰地域の九頭竜層群（＝河合・野沢，1958の「手取層群東坂森累層」）は，下位より真川層（砂岩と礫岩主体で黒色泥岩を挟在する）と，有峰層（黒色泥岩優勢な砂岩泥岩互層を主体とし礫岩を伴う）に区分され，東坂森谷，猪根谷および真川流域に散在的に分布する（河合・野沢，1958；Takenami and Maeda，1959；松川ほか，2014；Fig. 1）．この地域の本層群は，基盤岩の飛騨花崗岩類（先中部ジュラ系）と不整合や断層で接し，下部白亜系の神通層群（＝河合・野沢，1958の「手取層群長棟川累層」）に不整合で覆われる（松川ほか，2014）．真川層では化石に乏しいものの，有峰層から多くの示準化

石が発見されている（平澤ほか，2010）．*Perisphinctes matsushimai* 群集帯のアンモノイド類を産出することから，有峰層は後期ジュラ紀のOxfordian期中期に対比される（Sato and Westermann 1991；Matsukawa et al.，2008；Sato and Yamada，2014）．

調査を行った有峰東部の真川上流域では，九頭竜層群が地窓状に露出する（Fig. 1）．本地域に分布する地層の帰属について一致した見解はなく，真川層（松川ほか，2014），有峰層（河合・野沢，1958；竹内・滝沢，1991），あるいは真川層および有峰層（前田・武南，1957a；Sato and Yamada，2014）として区分されている．調査ルートは地窓状分布域の北縁部である（Fig. 2）．

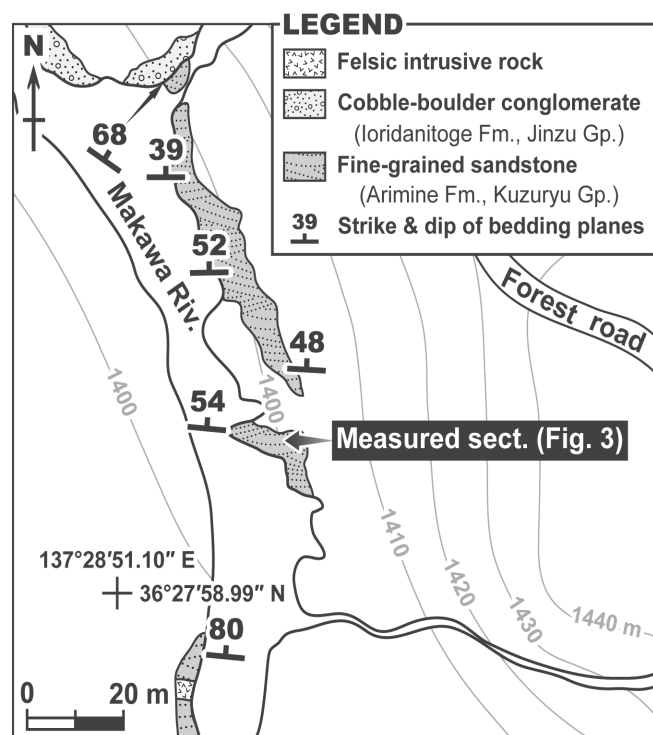


Fig. 2 Route map along the upper course of the Makawa River, eastern Arimine

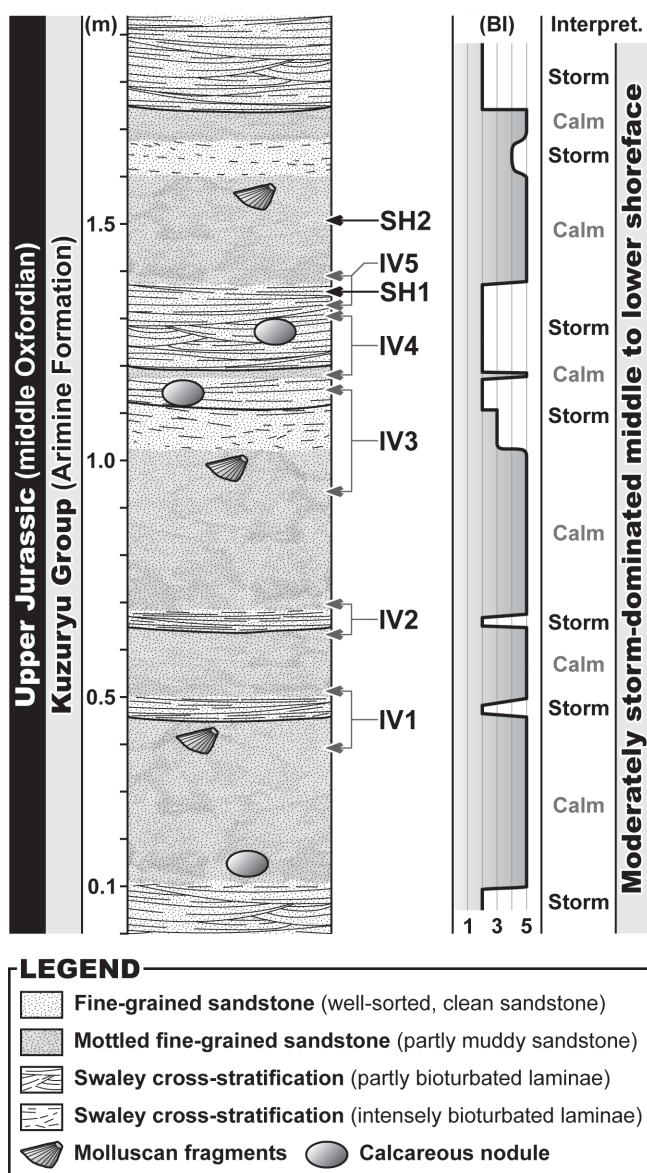


Fig. 3 Columnar section with the bioturbation index (BI) and interpretation of the lithofacies

“IV1-5” are intervals exhibiting the representative lithofacies and ichnofabrics (Figs. 4, 6). “SH1, 2” indicate the sampling horizons.

## 生痕化石産出区間の岩相

真川本流に沿う調査ルート (Fig. 2) では、平行葉理や斜交層理の発達した九頭竜層群の細粒砂岩層が水平距離約130 mにわたって連続的に露出する。層理面はほぼ東西走向で、北に約40~80°傾斜している。このルートでは、大規模な断層や褶曲構造はみられない。細粒砂岩層は、調査区域の北部で大~巨礫岩層 (神通層群の基底部をなす庵谷峠層) に不整合で被覆され、南部では珪長質火山岩の岩床に貫入される。礫岩層は主に塊状・不淘汰で礫支持の花崗岩円礫からなり、側方連続性の悪い粗~極粗粒砂岩層を挟む。珪長質火山岩は著しく風化しており、局所的に粘土化している。

*Ophiomorpha* を主体とする生痕化石群集は、調査ルートの中部に露出する細粒砂岩層から産出する。その岩相は、癒着したスウェール状斜交層理SCSをなす淡青灰白色細粒砂岩と、著しく生物攪拌を受けた黒灰色泥質細粒砂岩の互層で特徴づけられる (Fig. 3)。互層はかなり泥質な層準もあるが、単層として認識できる層厚の泥岩層を挟在しない。両砂岩とも堅牢で、風化面は赤褐色を呈する。

SCS細粒砂岩層の基底は浅い溝状で、下位の泥質細粒砂岩層を明瞭な侵食面で覆う (Fig. 4.A, B)。侵食面上に礫や貝化石片などの粗粒な粒子は認められない。単層内において斜交葉理の傾斜は上位に向かうほど低角となり、最上部ではほぼ平行葉理をなすようになる (Fig. 4.A, C)。SCSのセットは泥質岩層を挟在せず、癒着している。基底面とは対照的に、SCS砂岩単層の上面は生物攪拌により明瞭な境界を示さず、被覆する泥質砂岩層へ漸移する (Fig. 4.C)。SCS砂岩の単層厚は層準によって異なり、5 cm未満の薄層から20 cmを超える厚層もある

(Figs. 3, 4.A, D)。生物攪拌強度の指標bioturbation index (BI; Taylor and Goldring, 1993) は一般にBI=2程度と低いが、比較的強く攪拌 (BI=3~4) された層準もみられる (Fig. 3)。SCS砂岩層の化石棲管は、層理面に対し垂直ないし高角に斜交する傾向を持つ (Fig. 4.C)。また生痕化石と母岩との境界は明瞭であり、化石棲管を容易に認識できる。

一方、泥質細粒砂岩層は層準によらず生物攪拌を強く受けていて、初生的な堆積構造をほぼ欠いている (BI=5; Figs. 3, 4.A-C, E)。生痕ファブリックichnofabricは叢雲状や境界の不明瞭な斑点状であり、個々の化石棲管を認識し難い (Fig. 4.B, C)。また、SCS砂岩の生痕化石と異なり、層理面に平行または低角に斜交する化石棲管が主体である。柱状図作成区間では、泥質砂岩がSCS砂岩よりも優勢であり、30 cm以上の単層厚を示す層準も認められる (Fig. 3)。Pinnaなどの軟体動物化

石が泥質砂岩から散在的に産出する。二枚貝化石は、層理面に平行な離弁殻片あるいは合弁の状態で産する (Fig. 4.E)。軟体動物化石の殻は、多くの場合溶脱している。

これらの細粒砂岩は、比較的円磨度の良い石英や斜長石の粒子からなるアルコウス質砂岩であり、白雲母片に富む (Fig. 5)。また、SCSおよび泥質砂岩はともに細~中礫大の石灰質団塊 (Figs. 3, 4.A) を産するが、植物片や微化石を含まない。SCS砂岩は淘汰良好で、基質に乏しくほぼ砂粒子のみからなる。

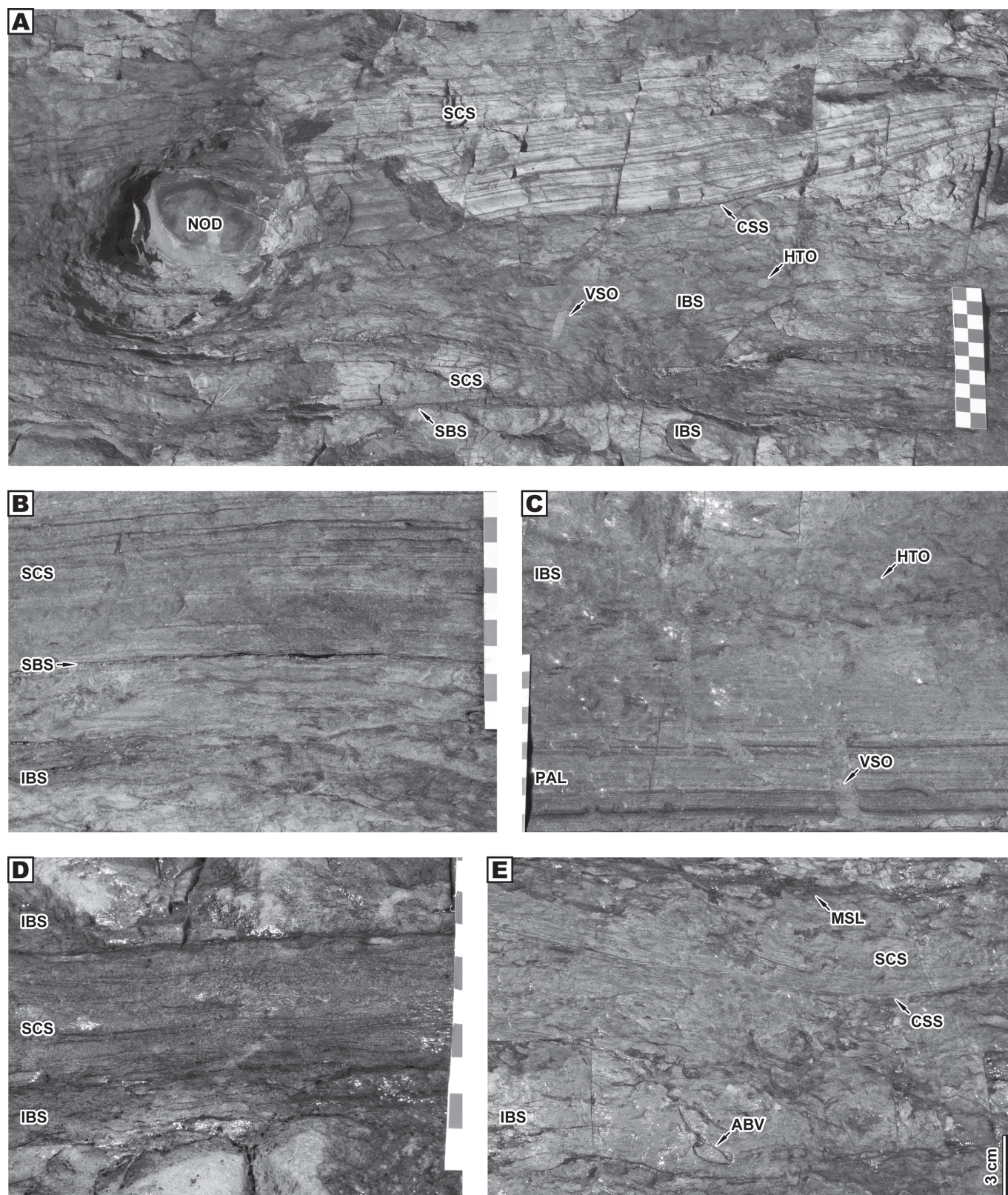
前述したように、真川上流域に露出する九頭竜層群の層序区分については見解の一致をみていない。Sato and Yamada (2014, p.22, 24) では、本地域に観察されるスウェール状斜交層理の発達した砂岩層を、“Arimine Formation” (有峰層) としている。本報告でもこの層序区分に従い、調査ルート (Figs. 2, 3) のSCS砂岩層区間を有峰層とみなす。柱状図の作成区間 (Fig. 2) は、Sato and Yamada (2014, Fig. 2) における観察地点AR0009とAR0010の概ね中間に位置し、有峰層中部に相当する。

## 生痕化石群集の特徴

生痕化石群集は泥質砂岩であるが、SCS砂岩も生痕ファブリックを示す (Fig. 6.A-C)。群集を構成する化石棲管は主として*Ophiomorpha*であり、phycosiphoniform, *Planolites* および*Skolithos* と共産する (Fig. 6.B-E)。以上の生痕化石は全層準から産するが、特に標本採取層準SH1 (Fig. 3) のSCS砂岩では、*Cylindrichnus* と*Skolithos* に類似した裏打ちliningのある化石棲管も認められる (Fig. 6.F, G)。しかし、区間全体として群集の多様性は乏しく、わずかな数生痕属から構成されている。

これら生痕化石の産状は岩相によって異なる。SCS砂岩 (特に単層上部) では、*Ophiomorpha* の立坑 shaft や*Skolithos* など、層理面に対し垂直な化石棲管が特徴的にみられる (Fig. 6.C)。対照的に泥質砂岩から産出する生痕化石は、層理面にほぼ平行な*Ophiomorpha* の水平孔 horizontal tunnel と*Planolites* を主体とする (Fig. 6.B)。Phycosiphoniform は、SCS砂岩層の最上部から上位の泥質砂岩にかけて多産する。ただし、垂直および水平な化石棲管は、それぞれ泥質砂岩とSCS砂岩にも認められる (Fig. 6.B, C)。化石棲管の産状は生痕属や母岩の岩質に関わらず、いずれも完形浮き彫り痕 full relief である。また、産出区間では層理面が露出していないため、這い跡や歩行痕の有無を確認できない。

*Ophiomorpha* は、外側のみに特徴的な瘤状構造 wall granule のある管壁 wall lining と、無構造ないし後方充填構造backfill structureを示す棲管充填物からな



**Fig. 4 Lithofacies of the middle Oxfordian Arimine Formation**

(A) Swaley cross-stratified (SCS) sandstone bed overlying an intensely bioturbated muddy sandstone bed with a sharp, erosive base (IV4). The SCS and muddy sandstones contain a pebble-sized nodule and abundant burrows, respectively. (B) Sharp basal contact of a SCS bed overlying an intensely bioturbated bed. Lower part of IV4. (C) Parallel-laminated sandstone gradually changing into the overlying mottled sandstone (IV5). Few vertical and inclined burrows penetrating into the laminated sandstone. (D) Thin SCS layer intercalated in a bioturbated interval (IV2). (E) Intensely bioturbated sandstone contained a molluscan fossil (IV1). Thin layers of SCS and dark muddy sandstones overlying the bioturbated bed. Abbreviations: ABV, articulated bivalve fossil; CSS, concave upward shallow scour; HTO, horizontal tunnel of *Ophiomorpha*; IBS, intensely bioturbated muddy sandstone; MSL, muddy fine-grained sandstone layer; NOD, nodule; PAL, parallel lamination; SBS, sharp base of a SCS bed; SCS, swaley cross-stratification; VSO, vertical shaft of *Ophiomorpha*. Scale (A-D) in cm.

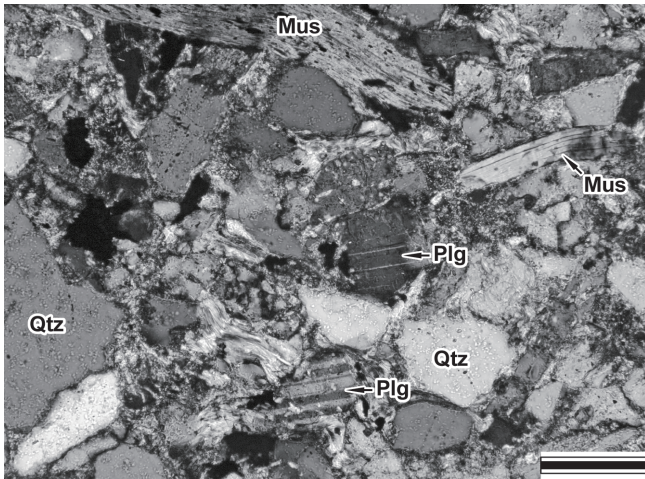


Fig. 5 Photomicrograph (under XPL) of the muddy sandstone (TOYA-Fo. 4461) from SH2. Quartz grains tend to be well-rounded. Abbreviations: Mus, muscovite; Plg, plagioclase; Qtz, quartz. Scale bar indicates 100  $\mu$ m.

る円筒状の化石棲管である (Fig. 6.D). 管壁は母岩よりも暗色かつ泥質であるため、風化した露頭面でもこの生痕属を容易に識別できる。SCS砂岩中の棲管は厚い管壁と大きな瘤状構造をもつ (Fig. 6.D, F). しかし泥質砂岩中の棲管では、管壁は薄く瘤状構造も小さい (Fig. 6.E). 水平孔の横断面は円形に近い楕円形である (Fig. 6.B, D). 棲管の充填物は一般に砂質で、周囲の母岩あるいは被覆層と同じ岩質である。同一層準でも大きさは棲管ごとにかかなり変異し、立坑の長さ1.0~10.0 cm, 棲管径 (横断面の長軸長) で0.4~2.5 cmである。ただし、棲管径は同一棲管ではほぼ一定している (Fig. 6.C-F). 分岐した化石棲管は、産出頻度の高い層準でも確認できない。また、明らかにSCS砂岩層の基底面を掘進 burrowing する立坑もみられない。

Phycosiphoniformは、クラスター状ないし層理面に沿って密集した小斑点状、鉤状または垂直ないし水平な細管状のコア core を特徴とする (Fig. 6.E-G). コアは黒色泥岩質であり、一般に無構造だが稀に後方充填構造を示す (Fig. 6.G). コアの横断面径 (長軸長) の違いから、この生痕化石は大型と小型の2タイプに区分される (Fig. 6.E-G). コア横断面径は前者で約1.0~2.0 mm, 後者で0.4~0.6 mm程度である。しかし両タイプのコア形態に明瞭な差異はなく、同層準から産出する場合も多い (Fig. 6.E). コア周囲のマントル mantle は、SCSおよび泥質砂岩中の標本ともに、きわめて不明瞭である。

*Planolites* は、層理面に平行ないし低角に斜交する裏打ち構造のない化石棲管である (Fig. 6.E). 充填物は黒色泥質岩であり、内部構造を示さない。棲管の長さは最大10.0 mm程度で、棲管横断面径 (長軸長)

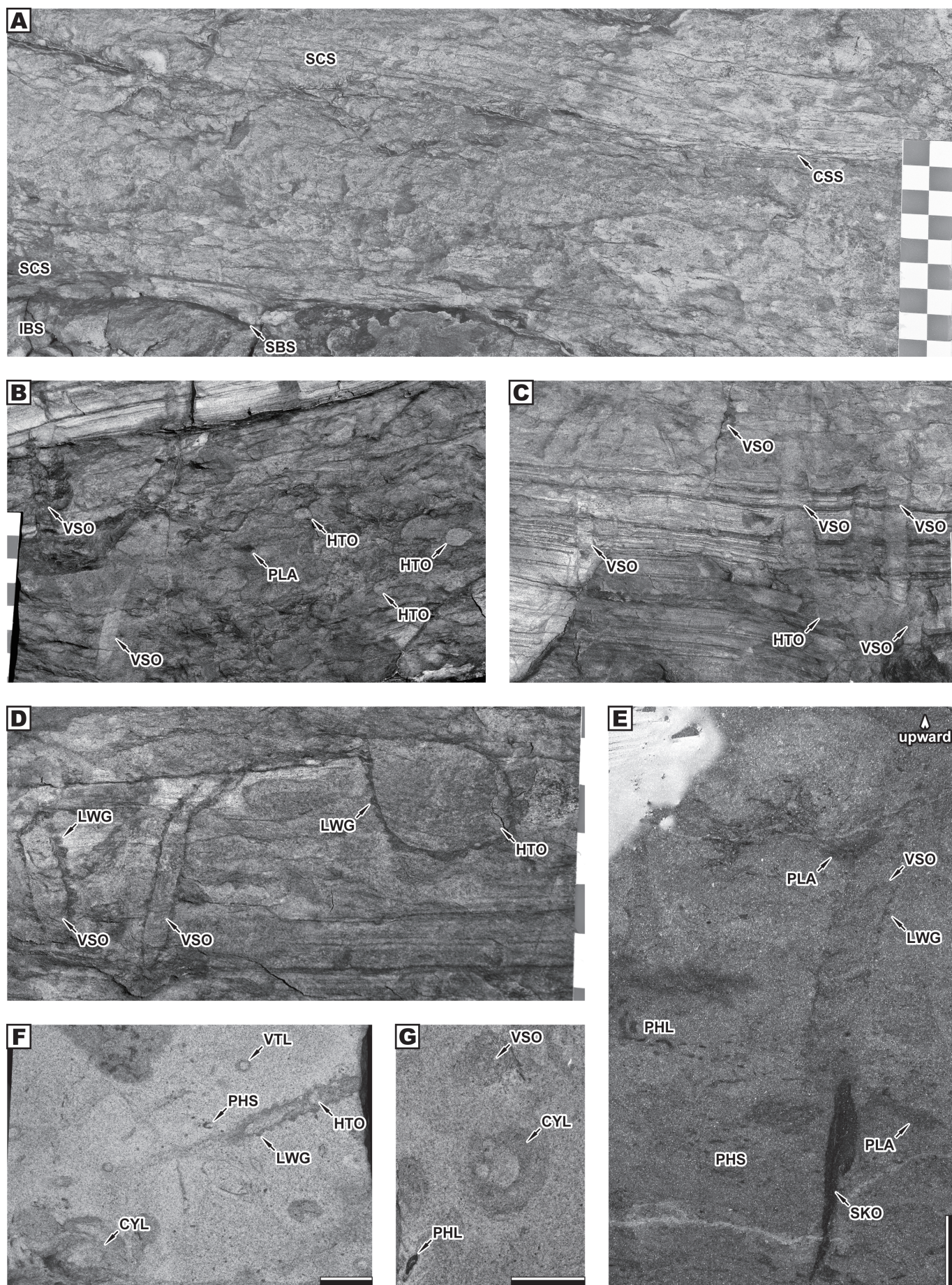
3.0~5.0 mmである。

*Skolithos* は、層理面に対してほぼ垂直で直線的な細管状の化石棲管である (Fig. 6.E). *Planolites* と同様に、棲管は黒色泥質岩で充填されており、内部構造も示さない。棲管長は最大で70.0 mm, 棲管径約1.0~4.0 mm程度である。標本採取層準SH1では、*Skolithos* に類似するが裏打ちされた垂直細管を産する (Fig. 6.F). 裏打ちは*Ophiomorpha* と同じく、暗色で泥質な堆積物からなる。また充填物は無構造で母岩と同じ砂岩である。大きさは棲管内径で約2.0 mm, 裏打ちの厚さ0.2~1.0 mmほどである。

*Cylindrichnus* 様の生痕化石もSH1層準に認められる。円筒状の垂直な化石棲管であり、不明瞭な同心円構造を示す管壁をもつ。同心円構造は、中央部の砂質充填物とそれを取り巻く砂岩と泥質岩の不規則な互層からなる (Fig. 6.F, G). 少なくとも水平横断面では、砂質充填物に内部構造を確認できない。充填物の直径と、管壁全体の厚さは、それぞれ約5.0 mmと4.0~7.0 mmである。

#### Fig. 6 Ichnofabrics exhibiting the mixed *Skolithos*-*Cruziana* ichnofacies of the Arimine Formation

(A) Moderately bioturbated SCS sandstone bed overlain by a less bioturbated SCS bed with an erosional base. Upper part of IV3. (B) Burrow- mottled ichnofabric dominated by horizontal tunnels of *Ophiomorpha*. Several vertical shafts of the ichnogenus also observed. Muddy sandstone in the lower part of IV4. (C) Vertical shafts of *Ophiomorpha* within an upper part of a SCS (quasi-parallel laminated) bed. Upper termination of the shafts are obscured by bioturbation. Lower part of IV5. (D) Typical mode of occurrence of *Ophiomorpha* (upper part of IV5). Shafts penetrate from the bioturbated muddy sandstone into the underlying laminated sandstone. Horizontal tunnels are burrowed in the muddy sandstone. Tubes have dark muddy wall linings with wall granules. Note distinct linings of the shafts even within the bioturbated sandstone. (E) Ichnofabric of the dark, homogeneous muddy sandstone. An indistinct shaft of *Ophiomorpha*, large and small phycosiphoniform, *Planolites* and *Skolithos* are observed. The shaft is characterized by very thin linings with tiny granules compared to those of the tubes within the laminated sandstone. Note *Planolites* cross-cutting the shaft. Vertical polished slab (TOYA-Fo. 4459) from SH2. (F) Bedding plane view of an ichnofabric of SCS sandstone. An irregularly concentric tube (?*Cylindrichnus*), small vertical tubes with muddy linings, a horizontal tunnel of *Ophiomorpha* and small phycosiphoniform are recognized in the light-colored, well-sorted SCS sandstone. Horizontal polished slab (TOYA-Fo. 4460) from SH1. (G) Transverse section of a vertical *Cylindrichnus*-like tube. Its concentric structure consists of a central sandstone core, an inner thin muddy and outer thick sandy linings. Two small vertical burrows intersect the tube. A phycosiphoniform core showing a backfill structure. Horizontal polished slab of the SCS sandstone (TOYA-Fo. 4460). "TOYA-Fo" is the acronym for the fossil collections housed in the Toyama Science Museum. Both scale division (A-D) and scale bars (E-G) indicate 1 cm. Abbreviations: CYL, *Cylindrichnus*-like vertical tube; LWG, muddy wall lining with wall granules; PHL, phycosiphoniform (large type); PHS, phycosiphoniform (small type); PLA, *Planolites*; SKO, *Skolithos*; VTL, thin vertical tube with muddy lining. Other abbreviations are the same as for Fig. 4.



## 議論

柱状図区間を特徴づける岩相は、生物攪拌の顕著な泥質砂岩と、SCSおよび平行葉理の発達した淘汰良好な砂岩からなる互層である (Figs. 3, 4). また区間中部のように、攪拌されたものの初生的な堆積構造が部分的に保存されている砂岩層もみられる (Figs. 3, 6.A). これらは堆積場で生じた、1) 周期的な暴浪堆積物の供給、2) 晴天時における泥質物の堆積と底生生物の活動、および 3) 底生群集の活動を許容または制約した現象、を記録していると考えられる。

1) について、SCSやそれに伴う平行葉理は、暴浪の卓越した沿岸域～陸棚域の浅海成層にみられる堆積構造である (Dott and Bourgeois, 1982; Leckie and Walker, 1982). 暴浪波で侵食された海浜や沿岸砂州の砂質物は海水中に浮遊し、沖側への引き波と暴浪波との相互作用を受けながら堆積した際に、ハンモック状斜交層理HCSやSCSを形成する (Dott and Bourgeois, 1982; 桂ほか, 1985). したがって柱状図区間のSCS砂岩は、暴浪時に陸側の浅域から供給された砂質物に由来するといえる。従来、真川上流域の九頭竜層群は沿岸成から内湾成であり、軟体動物化石の産状や保存状態から、多量の堆積物によって急速に埋積されるような堆積場であったと考えられてきた (前田・武南, 1957b; Takenami and Maeda, 1959; 前田, 1961; Maeda and Kawabe, 1966; Sato and Yamada, 2014). 一般に暴浪時には海水中に多量の砂が懸濁しており、暴浪波の営力低下とともに速やかに堆積する (Kreisa and Bambach, 1982). したがって先行研究で指摘されていた、有峰層における堆積現象の一因として、暴浪イベントに関連した堆積作用が挙げられるかもしれない。

2) について、泥質砂岩は暴浪時に供給された砂質物と、暴浪後の晴天期間に沈積した泥質物からなる砂泥底質に由来し、入植した底生生物により攪拌された泥質砂であったと考えられる。

3) について、生物攪拌を受けた堆積物が地層として保存されていることから、暴浪波の営力は底生群集を含んだ晴天時の底質をすべて削剥するほど強力でなかったといえる。泥質砂岩 (BI = 5) の層準では、底生群集が底質を完全に攪拌できる程度に継続した静穏期間と、緩やかな堆積傾向が示唆される。また区間中部には、部分的にSCSの保存された砂岩層 (BI = 3) が、より攪拌程度の低いSCS砂岩層 (BI = 2) に被覆された層準も認められる (Figs. 3, 6.A). このBI = 3 を示す砂岩層の成因として、2つの可能性が挙げられる。1つ目は、生物攪拌速度よりも堆積速度の大きかった場合である。つまり暴浪堆積物に入植した底生群集が、海底面 (堆積面) の

急速な上昇に応じて上方へ移動したため、不完全な生物攪拌に留まったと考えられる。2つ目として、晴天時における底生群集の入植可能な期間の長さ (colonization window; Pollard et al., 1993) が、泥質砂底 (BI = 5) のそれよりも相対的に短かった場合である。すなわち、底生群集の入植完了よりも前に次の暴浪イベントが発生し、進行中の攪拌現象を中断したためと思われる。しかし今回得られたデータでは、この砂岩層の成因について2つの可能性のいずれか、あるいは両者の複合した結果であるのか判断できない。

以上の考察から柱状図区間は、“moderately storm-dominated shoreface” (MacEachern and Pemberton, 1992) と解釈される。これは、暴浪イベントによる堆積作用とそれに引き続く日和見種の入植行動および平衡種の定着、という現象を繰り返した外浜環境である (MacEachern and Pemberton, 1992). より具体的に堆積場を推定すると、柱状図区間の砂岩はトラフ状あるいは平板状斜交層理を欠き、礫質堆積物を含まず細粒であることから、上部外浜よりも深い環境であったといえる。また、泥質砂岩層や泥質岩で充填された化石棲管から判断すると、晴天時には泥質物の沈積するような営力の低い堆積場であった。ただし単層として認識できる層厚の泥質岩がないため、内側陸棚よりも浅い堆積場と考えられる。したがって柱状図区間は、中部外浜から下部外浜にかけての環境だったと推定される。なおSCSはHCSよりも浅い堆積場を示唆し、下部外浜よりも中部外浜で形成されやすい (MacEachern and Pemberton, 1992; Dumas and Arnott, 2006). ゆえに堆積相として、中部外浜の可能性がより高いと考えられる。

生痕化石群集の組成は、淘汰良好なSCS砂岩と淘汰の悪い泥質砂岩で異なる。前者から産出する化石棲管は、円筒状で層面に垂直な *Ophiomorpha* の立坑および *Skolithos* を主体とし、水平棲管に乏しい。また化石棲管の産出頻度は低い。一方、後者に包含される化石棲管は、主として層面と平行する *Ophiomorpha* の水平孔と *Planolites* であり、それらの産出頻度も高い。Pemberton et al. (1992a) に基づくと、SCS砂岩と泥質砂岩の群集は、それぞれ *Skolithos* 生痕相 *Skolithos* ichnofacies および *Cruziana* 生痕相 *Cruziana* ichnofacies に比較され、区間全体として両生痕相の繰り返す混合相 (mixed *Skolithos-Cruziana* ichnofacies; MacEachern and Pemberton, 1992) をなす。区間の *Skolithos* 生痕相は、暴浪イベント後、新たに形成された砂質底 (SCS砂層) に入植した日和見種からなる底生群集 (Pemberton et al., 1992a) を示唆する。対照的に、区間の *Cruziana* 生痕相は晴天時の砂泥底に定着した平衡種で構成される底

生群集 (Pemberton et al., 1992a) であろう。ただし、両生痕相の要素は岩相境界で明瞭に区別されるわけではなく、SCS砂岩層上部から上位の泥質砂岩層下部にかけて混交している。例えば *Skolithos* 生痕相を示すSCS砂岩中にも、*Cruziana* 生痕相の1構成要素 (Pemberton et al., 1992a) である *Cylindrichnus* に類似した化石棲管や、*Ophiomorpha* の水平孔が認められる (Fig. 6.B, C, E, F)。このような両要素の混交した生痕ファブリックは、暴浪イベント直後の日和見的な底生群集 (*Skolithos* 生痕相) から、晴天時における平衡状態の底生群集 (*Cruziana* 生痕相) への変遷を反映していると考えられる。また、SCS砂岩最上部に発達する *Ophiomorpha* の立坑に注目すると、被覆する泥質砂岩層内に上端部が確認できない場合 (Figs. 4.C, 6.C) と、明瞭に保存された産状 (Fig. 6.D) に区分される。前者は立坑形成後に生物攪拌を受けてかき消されたと思われることから、暴浪イベント直後の底質に侵入した入植者痕とみなせる。後者の場合、BI=5を示す泥質岩中でも棲管上端部が残されていることから、底質環境の安定した時期に形成されたと考えられる。このように同一生痕属でも、形成者が先駆種として入植するほか、平衡群集の1要素として定着する場合もあったといえる。

## まとめ

生痕化石群集に注目して、富山県南東部に分布する上部ジュラ系九頭竜層群有峰層の堆積相について考察した。本報告の要約は、以下の4点である。

- (1) Oxfordian 階中部有峰層の中部に、*Ophiomorpha* を主体とする生痕化石群集の産出区間を発見した。
- (2) 産出区間の岩相は、スウェール状斜交層理の発達した細粒砂岩と、生物攪拌の顕著な泥質細粒砂岩の互層である。
- (3) 生痕化石群集は、暴浪イベント直後の日和見種からなる *Skolithos* 生痕相と、晴天時に平衡種の形成した *Cruziana* 生痕相との混合相を示す。
- (4) 産出区間の堆積相は、しばしば暴浪イベントの影響を受けた中部～下部外浜である。

## 謝辞

本稿を作成するにあたり、大藤 茂教授 (富山大学) には薄片写真の撮影にご協力いただいた。また文献の収集に際しては、高谷真樹氏 (京都大学) のご便宜を得た。ここに記して深謝申し上げる。

## 文献

ブロムリー, 大森昌衛監訳, 1993. 生痕化石－生痕の生

物学と化石の成因. 東海大学出版会, 364pp.

- Dott, R.J. and Bourgeois, J., 1982. Hummocky stratification: Significance of its variable bedding sequences. *Geological Society of America Bulletin*, 93: 663-680.
- Dumas, S. and Arnott, R.W.C., 2006. Origin of hummocky and swaley cross-stratification-the controlling influence of unidirectional current strength and aggradation rate. *Geology*, 34: 1073-1076.
- Hayami, I., 1960. Jurassic inoceramids in Japan. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo, Section 2*, 12: 277-328, pls. 15-18.
- Hirano, H., Hasegawa, T., Sano, S. and Azuma, Y., eds., 2003. Special Issue: Fauna and Flora of the Tetori Group and correlation with the Cretaceous sequences in Far-East Asia. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, 2: 1-152.
- 平澤 聡・柏木健司, 2008. 富山県南東部の手取層群有峰頁岩部層から産したジュラ紀新世放散虫化石とその意義 (予報). 日本地質学会第115年学術大会講演要旨: 35.
- 平澤 聡・柏木健司・藤田将人, 2010. 富山県に分布する上部ジュラ～下部白亜系手取層群の海成層と恐竜足跡化石. 日本地質学会第117年学術大会見学旅行案内書: 103-121.
- Hirooka, K., Kato, M., Morisada, T. and Azuma, Y., 2002. Paleomagnetic study on the dinosaur-bearing strata of the Tetori Group, Central Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, 1: 54-62.
- Hirooka, K., Yamaguchi, J., Sakai, H. and Mizoguchi, H., 2003. Paleomagnetic study of the Tetori Group in Toyama. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, 2: 51-62.
- Kashiwagi, K. and Hirasawa, S., 2010. Jurassic radiolarians and other microfauna recovered from the trace fossils of the Kiritani Formation of the Tetori Group in the Yatsuo area, Toyama Prefecture, northern Central Japan. *Paleontological Research*, 14: 212-223.
- 桂 雄三・増田富士雄・岡崎浩子, 1985. 筑波台地周辺の第四系中にみられるストーム堆積物の特徴. 筑波の環境研究, 9: 56-62.
- 川越雄太・佐野晋一・折橋裕二・高地吉一・上田哲也・

- 山本鋼志・大藤 茂, 2014. 砕屑性ジルコン年代から推定した福井県, 富山県の手取層群の後背地. 日本地球惑星科学連合2014年大会, SGL43-P02.
- 河合正虎・野沢 保, 1958. 5万分の1地質図幅「東茂住」および同説明書. 地質調査所, 76pp.
- 小林 学, 1954. 福井県大野郡西谷村付近の地質. 東京教育大学理学部地質学鉱物学教室研究報告, 3 : 35-42.
- Kobayashi, T., 1947. On the occurrence of *Seymourites* in Nippon and its bearing on the Jurassic palaeogeography. *Japanese Journal of Geology and Geography*, 20: 19-31.
- Komatsu, T., Saito, R. and Fursich, F.T., 2001. Mode of occurrence and composition of bivalves of the Middle Jurassic Mitarai Formation, Tetori Group, Japan. *Paleontological Research*, 5: 121-129.
- Kreisa, R.D. and Bambach, R.K., 1982. The role of storm processes in generating shell beds in Paleozoic shelf environments. In Einsele, G. and Seilacher, A., eds., *Cyclic and Event Stratification*, Springer-Verlag, Berlin: 200-207.
- 公文富士夫・梅澤貴司, 2001. 岐阜県荘川村, 御手洗川支流松山谷に分布する手取層群の堆積相. 地球科学, 55 : 321-328.
- Kusuhashi, N., Matsuoka, H., Kamiya, H. and Setoguchi, T., 2002. Stratigraphy of the late Mesozoic Tetori Group in the Hakusan Region, central Japan: an overview. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University, Series of Geology and Mineralogy*, 59: 9-31.
- Leckie, D.A. and Walker, R.G., 1982. Storm-and tide-dominated shorelines in Cretaceous Moosebar-Lower Gates interval – Outcrop equivalents of deep basin gas trap in Western Canada. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 66: 138-157.
- MacEachern, J.A. and Pemberton, S.G., 1992. Ichnological aspects of Cretaceous shoreface successions and shoreface variability in the Western Interior Seaway of North America. In Pemberton, S.G., ed., *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration, SEPM Core Workshop*, 17: 57-84.
- 前田四郎, 1952. 福井県九頭竜川地域の手取層群の層位的研究. 地質学雑誌, 58 : 401-410.
- 前田四郎, 1955. 手取層群の化石相. 千葉大学文理学部紀要, 1: 293-299.
- 前田四郎, 1961. 手取層群の地史学的研究. 千葉大学文理学部紀要, 3 : 369-426.
- Maeda, S. and Kawabe, T., 1966. Some *Myophorella* from the Tetori Group in the Arimine district, Central Japan. *Annual Report, the Foreign Students' College of Chiba University*, 1 : 43-50.
- 前田四郎・武南 馨, 1957a. 富山県南部の手取層群の層序と構造. 地質学雑誌, 63 : 273-288.
- 前田四郎・武南 馨, 1957b. 富山県南部の手取層群の堆積環境について. 千葉大学文理学部紀要, 2 : 138-142.
- Manabe, M., Barret, P.M. and Isaji, S., 2000. A refugium for relicts ? *Nature*, 404: 953.
- Masuda, F., Ito, M., Matsukawa, M., Yokokawa, M. and Makino, Y., 1991. Depositional environments. In Matsukawa, M., ed., *Lower Cretaceous Nonmarine and Marine Deposits in Tetori and Sanchu, Honshu. IGCP-245 Field Trip Guide Book of 1991 Fukuoka International Symposium*: 11-17.
- 松川正樹・福井真木子・小荒井千人・浅倉 努・青野宏美, 2007. 手取層群で確認された三番目の海進相—岐阜県飛騨市古川町周辺に分布する手取層群に基づいて. 地質学雑誌, 113 : 417-437.
- 松川正樹・福井真木子・小河佑太力・田子 豪・小荒井千人・大平寛人・林 慶一, 2014. 手取層群の分布域東部(富山・岐阜県境)の層序の再検討と神通層群(新称)の提案. 地質学雑誌, 120 : 147-164.
- Matsukawa, M., Ito, M., Nishida, N., Koarai, K., Lockley, M.G. and Nichols, D.J., 2006. The Cretaceous Tetori biota in Japan and its evolutionary significance for terrestrial ecosystems in Asia. *Cretaceous Research*, 27: 199-225.
- Matsukawa, M., Koarai, K., Fukui, M., Suzuki, K., Ogawa, Y., Kikukawa, S., Kometani, M. and Hamuro, T., 2008. A gigantic ammonite from the Upper Jurassic Arimine Formation of the Tetori Group, Japan. *Bulletin of the Tateyama Caldera Sabo Museum*, 9: 1-10.
- Matsuoka, H., Kusuhashi, N., Takada, T. and Setoguchi, T., 2002. A clue to the Neocomian vertebrate fauna: initial results from the Kuwajima “Kasekikabe” (Tetori Group) in Shiramine, Ishikawa, central Japan. *Memoirs*

- of the Faculty of Science, Kyoto University, Series of Geology and Mineralogy, 59: 33-45.
- 野田浩司, 1994. 日本産生痕化石研究への序説. 洛思社, 294p.
- 野沢 保・坂本 亨, 1960. 5万分の1地質図幅「五百石」および同説明書. 地質調査所: 25-33.
- Pemberton, S.G., Frey, R.W., Ranger, M.J. and MacEachern, J., 1992a. The conceptual framework of ichnology. In Pemberton, S.G., ed., *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration*, SEPM core workshop, 17, Calgary: 1-32.
- Pemberton, S.G., MacEachern, J.A. and Frey, R.W., 1992 b. Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance, In Walker, R.G. and James, N.P., eds., *Facies Models – Response to Sea Level Change*, Geological Association of Canada, St. John's Newfoundland: 47-72.
- Pollard, J.E., Goldring, R., and Buck, S.G., 1993. Ichnofabrics containing *Ophiomorpha*: significance in shallow-water facies interpretation. *Journal of the Geological Society, London*, 150: 149-164.
- Sano, S., 2015. New view of the stratigraphy of the Tetori Group in Central Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, 14: 25-61.
- Sano, S., Goto, M., Dzyuba, O.S. and Iba, Y., 2010. A late Middle Jurassic Boreal belemnite *Cylindroteuthis* from Central Japan and its paleobiogeographic implications. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, 9: 1-7.
- 佐野晋一・後藤道治・成田貴人・脇本晃美・大藤 茂, 2013. 福井県大野市大納地域からの後期ジュラ紀アンモノイドの産出と九頭竜地域手取層群の対比再検討. 福井県立恐竜博紀要, 12: 1-16.
- Sato, T., 1962. Études biostratigraphiques des ammonites du Jurassique du Japon. *Mémoires de la Société, Géologique de France, Nouvelle Série*, 94: 1-122.
- Sato, T., Goto, M., Fujita, M. and Tanaka, Y., 2012. Late Jurassic ammonites from the Tetori Group in Arimine area of Toyama Prefecture, northern Central Japan. *Bulletin of the Toyama Science Museum*, 36: 1-8.
- Sato, T. and Westermann, G.E.G., 1991. Japan and South-East Asia. In Westermann, G.E.G. and Riccardi, A.C., eds., *Jurassic taxa ranges and correlation charts for the Circum-Pacific, Newsletters on Stratigraphy*, 24: 81-108.
- Sato, T. and Yamada, T., 2005. Early Tithonian (Late Jurassic) ammonite *Parapallasiceras* newly discovered from the Itoshiro Subgroup (Tetori Group) in the Hida Belt, northern Central Japan. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 81: 267-272.
- Sato, T. and Yamada, T., 2014. A new Oxfordian (Late Jurassic) ammonite assemblage from the Arimine Formation (Tetori Group) in the Arimine Area, southeastern Toyama Prefecture, northern Central Japan. *Bulletin of the National Science Museum. Series C*, 40: 21-55.
- 相馬恒雄・棚座圭太郎, 1993. 飛騨ナツプの形成と中生層のテクトニクス: 飛騨地域の構造発達史. 地質学論集, 42: 1-20.
- Takenami, K. and Maeda, S., 1959. Geology of the Arimine District, Toyama Prefecture, with special reference to the Tetori Group. *Journal of the College of Arts and Sciences, Chiba University*, 2: 309-320.
- 竹内 誠・滝沢文教, 1991. 飛騨山地薬師岳地域の手取層群の堆積環境と後背地解析. 地質調査所月報, 42: 439-472.
- Taylor, A.M., and Goldring, R., 1993. Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. *Journal of the Geological Society of London*, 150: 141-148.
- 富山県教育委員会, 2003. 富山県の手取層群—手取層群調査事業基礎調査成果資料集—. 富山県, 109pp.
- 山田一雄・丹羽 茂・鎌田雅道, 1989. 福井県九頭竜川上流地方の手取層群の層序と岩相変化. 地質学雑誌, 95: 391-403.
- Yamashita, S., Matsuoka, H. and Naruse, H., 2011. Formation processes of shell concentrations in the Lower Cretaceous estuarine sediments of the Okurodani Formation, Tetori Group, Gifu Prefecture, central Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 308: 476-491.
- Yokoyama, M., 1904. Jurassic ammonites from Echizen and Nagato. *Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo*, 19: 1-17, pls. 1-4.