

石川県白山市瀬戸野地域における手取層群の三番目の海進相の認定 — 石徹白亜層群上部における放散虫化石の初産出 —

柏木健司¹・伊左治鎮司²・佐野晋一³

¹ 富山大学大学院理工学研究部（理学） 富山県富山市五福 3190

² 千葉県立中央博物館 千葉県千葉市中央区青葉町 955-2

³ 福井県立恐竜博物館 福井県勝山市村岡町寺尾 51-11

要 旨

石川県瀬戸野地域に分布する手取層群石徹白亜層群桑島層（下部白亜系）の層序と堆積相、産出化石相を検討した。観察される層序は層厚約 140 m で、汽水生二枚貝 *Myrene tetoriensis* を主体にカキ類を伴う砂質シルト岩層、前浜環境が示唆される平行葉理砂岩層、外浜環境を示すハンモック状斜交層理砂岩層、陸棚環境を示すシルト岩層などからなり、少なくとも 2 回の海進と 1 回の海退が記録されていると解釈される。微化石（涙滴型および塔状放散虫・一軸型海綿骨針・間隙性貝形虫）は、主に陸棚環境を示すシルト岩層中に挟まれる茶黒色シルト岩層から得られた。従来、生痕化石と堆積相に基づいて、本地域の桑島層下部における海成層の存在が示唆されていたが、放散虫化石の発見は初の海成層の確実な証拠となる。また、この海成層は手取層群で認められる三番目の海進期（Hauterivian～Barremian）に対応し、海進は現在の白山区に相当する範囲全域に及んだと考えられる。

キーワード：手取層群, 桑島層, 放散虫, 海綿骨針, 貝形虫, *Myrene tetoriensis*

KASHIWAGI, Kenji, Shinji ISAJI and Shin-ichi SANO (2016) Recognition of a third marine transgression of the Tetori Group in the Setono area, northern Central Japan, with radiolarians indicative of an open marine ocean environment. Mem. Fukui Pref. Dinosaur Mus. 15 : 7-26.

This paper describes the stratigraphy and biofacies of the Lower Cretaceous Kuwajima Formation, a member of the Itoshiro Subgroup of the Tetori Group in the Setono area, Ishikawa Prefecture, Central Japan. This formation is approximately 140 m in thickness and comprises brackish sandy siltstones containing the brackish bivalve *Myrene tetoriensis* in association with rare oyster individuals, parallel laminated and hummocky cross-stratified sandstones indicating foreshore and shoreface environments, and offshore siltstones containing radiolarians, siliceous sponge spicules, and ostracods. Marine microfossils were recovered mainly from the brownish black siltstone beds deposited in the offshore environment. Radiolarians and ostracods were found in thin sections, whereas sponge spicules could be isolated from rocks. Only the outlines of the radiolarians are recognized through tests showing a conical or tear-drop shape in thin sections. The ostracods are characterized by very small carapaces (approximately <300 μm) and can be considered interstitial taxa. The sponge spicules are mainly composed of monaxons showing lengthwise curvature. Although the presence of a shallow marine depositional environment was assumed in this area based on ichnofossils and sedimentary facies analysis, the occurrences of radiolarians and other marine microfossils provide concrete evidences of marine influences, reaching to offshore depositional environments. This marine record suggests that a third (Hauterivian–Barremian) transgression in the Tetori Group influenced a much wider area (possibly the entire distributional area of the Tetori Group in the Hakusan Region) than previously thought.

2016 年 8 月 15 日受付, 2016 年 12 月 8 日受理.

Corresponding author—Kenji KASHIWAGI

Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama, Toyama 930-8555, Japan

E-mail : kasiwagi@sci.u-toyama.ac.jp

編集注) : 「古世」「中世」「新世」は、それぞれ「前期」「中期」「後期」と同義.

はじめに

北陸地域に広く分布するジュラ紀中世～白亜紀古世後期の手取層群は、非海成層を主体とし一部に海成層を挟む陸源碎屑岩類から構成され、その分布は白山区と神通区に大きく区分されている (Fig. 1) (前田, 1961b). 手取層群の層序が模式的かつ連続的に露出する白山区では、手取層群は下位から九頭竜亜層群、石徹白亜層群、および赤岩亜層群に区分されている (前田, 1961b; Fujita, 2003). 軟体動物化石を主とする無脊椎動物化石が非海成層と海成層の両方から多産するとともに (例えば, 田村, 1990; Sato and Westermann, 1991; Matsukawa et al., 2006; Koarai and Matsukawa, 2016), 陸成層からは恐竜や哺乳類をはじめとする多様な脊椎動物化石の産出も知られている (例えば, Matsuoka et al., 2002, 2016; Azuma, 2003; Kusuhashi, 2008; Shibata and Azuma, 2015; Azuma et al., 2016).

手取層群においては、従来、海成層は九頭竜亜層群にほぼ限られるとされてきたが (例えば, 前田, 1961b), 最近では石徹白亜層群の複数層準に海成層の存在が知られるようになった (例えば, 藤田ほか, 1998; 後藤, 2001, 2007; 公文・梅澤, 2001; 佐藤ほか, 2003; Sato and Yamada, 2005; 松川ほか, 2007; 佐藤, 2008; Matsukawa and Fukui, 2009; 松川・浅原, 2010). これらの海成層の認識は、主にアンモノイドなどの海生無脊椎動物化石の産出に基づいている。最近、著者のひとり柏木は手取層群から時代決定に有効な放散虫化石の抽出に初めて成功し、アンモノイドとは独立した生層序の検討ができる可能性を示した (平澤・柏木, 2008; Kashiwagi and Hirasawa, 2010, 2015; Kashiwagi, 2014).

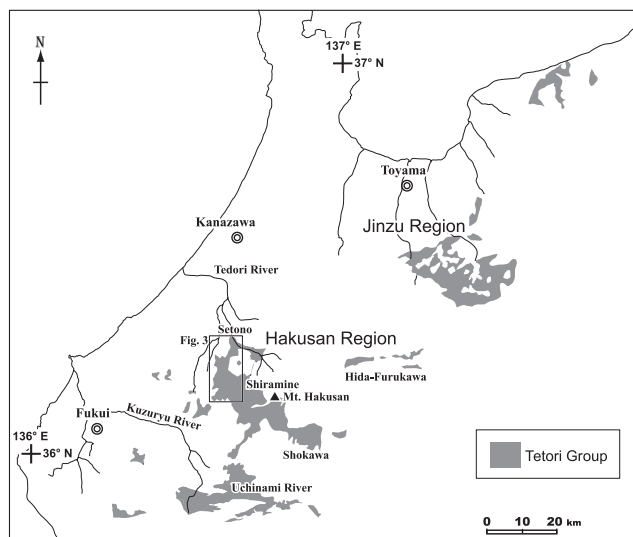


FIGURE 1. Outline of the distribution of the Tetori Group in northern Central Japan [modified from Maeda (1961b)].

石川県白山市瀬戸野*では、石徹白亜層群上部としては例外的に、カプトガニなどの生痕化石の産出と堆積相解析に基づき、海成層の存在が示唆されている (松岡ほか, 2001, 2009). しかし、アンモノイドや放散虫など、明らかな海生生物化石の産出は知られておらず、またカプトガニは非海成層からの化石記録も知られているため (例えば, Fernández and Pazos, 2013; Lamsdell, 2016), 海成層の存在は確実とは言い難い。そこで、本地域における海成層の存在を検証するため、石徹白亜層群上部の桑島層から微化石の抽出および薄片観察を試み、複数層準において海生微化石である放散虫のほか、海綿骨針と貝形虫の産出を確認した。さらに岩相層序学的検討と組み合わせることにより、これらの微化石産出層準の堆積環境を明らかにすることができた。このことは、他地域の手取層群においても、同様の手法の適用により、海生微化石を用いた海成層の存在の検証、さらには時代論や堆積環境推定への貢献が期待できることを示す。本稿では、瀬戸野地域の岩相層序と産出化石相の詳細を報告し、今後の手取層群における海成層研究の一助としたい。

地質概説

白山区に位置する手取川流域の手取層群は、下部白亜系の石徹白亜層群と赤岩亜層群から構成され、その岩相層序の大綱は前田 (1958, 1961a) により明らかにされ、前田 (1961b) でまとめられている (Fig. 2). 彼は、手取川流域のうち下流の尾添川との合流点付近から現在の手取湖、そして支流の大谷谷、太田谷に至る地域の手取層群の層序を、下位から石徹白亜層群の五味島礫岩と桑島互層、および赤岩亜層群の赤岩砂岩と北谷互層に区分した (前田, 1961b). 手取川流域を中心に九頭竜川と庄川流域を広域的に調査した河合 (1961) は、手取川流域の手取層群を下位から尾口累層、赤岩累層、および明谷累層に区分し、それら全てを石徹白亜層群に含めた。なお、尾口累層は下部の五味島礫岩層と上部の桑島互層に区分されている (河合, 1961). また、河合 (1961) の地質図に図示された明谷累層の分布は、前田 (1958) による手取川上流域の北谷互層の分布を含み、より広範囲の地域を占めている。その後、Kusuhashi et al. (2002) は手取川地域の手取層群の層序を総括し、下位から石徹白亜層群の五味島層と桑島層、赤岩亜層群の赤岩層と明谷層に区分し、明谷層を福井県滝波川流域に模式的に露出する北谷互層 (前田, 1961b) に対比している。一方、松川ほか (2003) は白山区の手取層群を包括する統一的な岩相層序を示し、手取川流域の手取層群を下位から大谷山層五味島礫岩部層、桑島層、アマゴ谷層、大倉層、および別山谷層に区分し、尾添川との合流点付近から手取湖にかけての地域に、五味島礫岩部層と桑島層が分布するとした。ただし、本論文で対象とする瀬戸野付近については、手取層群の岩相分布は示されておらず、彼らの調査対象外地域となっている。本稿では、調査地域を含む手取川流域とその周辺 (瀬戸野から手取湖、およびその南方) に露出する手取層群について、多くの研究者に受け入れられている

* 瀬戸野は、現在の地形図では使われていない集落名で、瀬戸に含められている。ただし、瀬戸野は前田 (1958, 1961a) における化石産地の一つであり、田村 (1990) では重要な化石産地として再検討された。既存研究との比較において、瀬戸野は重要な地名であり、本稿では、Figure 4 において最新の国土地理院発行の地形図上に瀬戸野の位置を表記するとともに、調査地域名として「瀬戸野地域」を使用する。

	This report	Kusuhashi et al. (2002)	Maeda (1961b)	Kawai (1961)	Matsukawa et al. (2003)
Akaiwa Subgroup	Kitadani Formation	Myodani Formation	Kitadani alternation	Myogadani formation	Bessandani Formation
	Akaiwa Formation	Akaiwa Formation	Akaiwa sandstone	Akaiwa formation	Okura Formation
Itoshiro Subgroup	Kuwajima Formation	Kuwajima Formation	Kuwajima alternation	Oguchi formation	Amagodani Formation
	Gomijima Formation	Gomijima Formation	Gomijima conglomerate		Kuwajima Formation
					Gomijima Conglomerate Member

FIGURE 2. Stratigraphic correlation of the Itoshiro and Akaiwa subgroups of the Tetori Group in the Tetori River district, Hakusan region.

前田 (1961b) の層序区分に従い、かつ日本地質学会の地層命名指針に基づき、各単元を「層 (Formation)」を用いて表記する (Figs. 2, 3).

瀬戸野から手取川に沿って上流の手取湖畔にかけて、石徹白亜層群の五味島層と桑島層は、周囲を新生界や飛騨片麻岩類に囲まれて分布する (Fig. 3). 前田 (1958) は、桑島層を下部の半鹹半淡水成層と上部の淡水成層に二分し、瀬戸野地域には桑島層下部が分布するとした。前田 (1961a) は、鍋ヶ谷～大嵐谷以北を尾添地塊区と呼称し、手取層群中に多くの断層とともに、北西～南東走向の軸を持つ向斜の存在を示した。

尾添地塊区の桑島層からは、これまで多くの軟体動物化石の報告がある。瀬戸野と仏師ヶ野からは、二枚貝類 5 種、巻貝類 3 種が報告されている (前田, 1958 の地点 4, 8)。ただし、正確な産出地点を前田 (1958) の動物化石産地の位置図から読み取ることは困難である。田村 (1990) は、手取層群における非海生二枚貝化石フォーナの重要産地として瀬戸野を挙げ、産出化石として *Myrene tetoriensis* (Kobayashi and Suzuki), *Tetoria yokoyamai* (Kobayashi and Suzuki) など数種を図示している。また、図示していないものの、海生を示唆する *Isognomon* Lightfoot の産出を報告している点は注目に値する。Matsukawa and Ido (1993) は尾添川流域から *M. tetoriensis* と *T. yokoyamai* を報告した。松岡ほか (2009) は、瀬戸野の手取川沿いに露出する桑島層から、カプトガニ類の行跡化石 *Kouphichnuim* Nopcsa, 巻貝の這い跡化石 *Taphrhelminthopsis* Sacco や巣穴型の生痕化石 *Ophiomorpha* Lundgren の産出を報告している。しかし、現在のところ本地域からは詳細な年代指標となる化石の産出は知られていない。

本地域の桑島層下部の凝灰岩のジルコン LA-ICPMS U-Pb 年代として、松本ほか (2006) により 130.7 ± 0.8 Ma の値が報告され、その年代は後期 Hauterivian～Barremian 最初期に相当する (Ogg and Hinnov, 2012)。一方、桑島層の上位に位置する赤岩亜層群赤岩層中に挟在される凝灰岩は、 121.2 ± 1.1 Ma のジルコン LA-ICPMS U-Pb 年代を示し (酒井ほか, 2015), その年代は後期 Aptian の前半にあたる (Ogg and Hinnov, 2012)。以上から、凝灰岩のジルコン U-Pb 年代に基づく、桑島層の時代は白亜紀古世の後期 Hauterivian～前期 Aptian と考えられる。

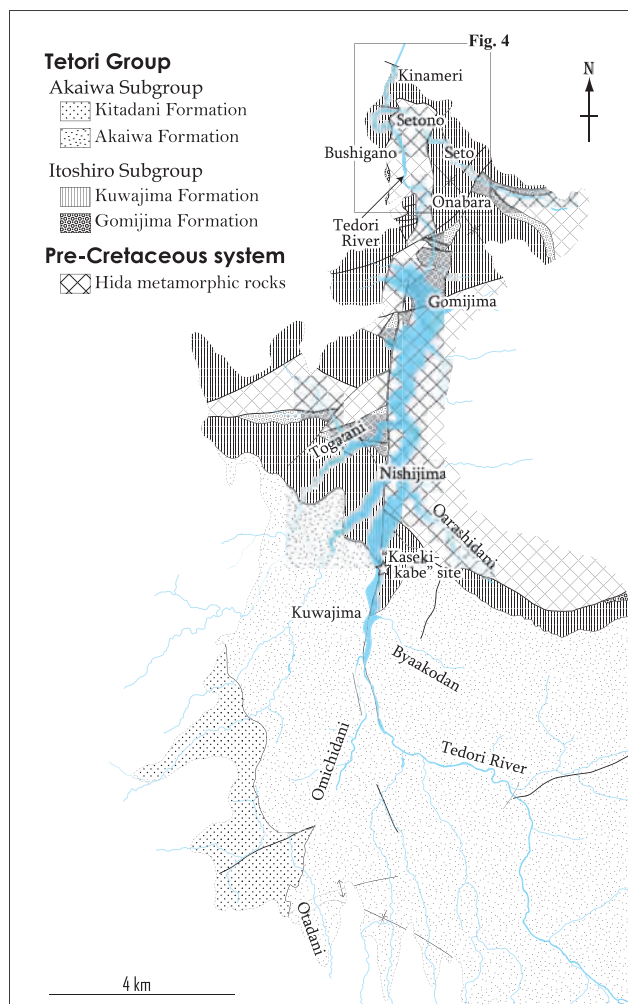


FIGURE 3. Geological map of the Tetori River district, Hakusan region, showing the location of the Setono area [modified from Maeda (1961a)].

瀬戸野地域の桑島層の岩相

調査地域は、手取川第二ダムの下流約 400 m の右岸急崖露頭から尾添川との合流地点までの手取川沿い、および手取川支流の尾添川のうち濁澄橋より下流の範囲で、本稿では瀬戸野地域と称する (Fig. 4)。瀬戸野地域において、野外調査に基づく岩相分布図 (Fig. 5) を作成するとともに、新たに微化石が得られた地点 01 と 05 の 2 地点で詳細な岩相柱状図 (Fig. 6) を作成した。層理面の姿勢と地層の分布から、調査地域に露出する地層は整合関係で、北西上位で累重する連続層序を構成するものとみなせ、層厚は露頭欠如の部分を含めて約 140 m と見積もられる (Fig. 5)。以下、層序の下位から上位に岩相層序を記述する。

地点 01 は、手取川右岸の急崖に位置し、層厚約 40 m の連続的な層序が観察される (Figs. 5-8)。本地点ではザイルワークを用いて単層単位で岩相を記載した。下位から上位に、粗粒砂岩層、砂質シルト岩層、ハンモック状斜交層理極細粒砂岩層 (以下、ハンモック状斜交層理を HCS と略記する)、平行葉理中粒砂岩層、シルト岩層、中粒砂岩層、および砂質シルト岩層で、それぞれ整合に累重する (Figs. 6a, 7a)。

最下部の粗粒砂岩層は水面付近に露出し、層厚 30 cm 以上である。その上位の砂質シルト岩層 (層厚 8.65 m) は、凝灰岩層 (層厚 35 cm) を境に下部と上部に分けられる。下部の中程の層準に、層厚 35 cm の塊状極細粒砂岩層が



FIGURE 4. Index map of Setono and its adjacent area. The locality of a belemnite-bearing float is also shown. Geographic map referred from a 1 : 25,000 topographic map of "Ichihara" published by the Geospatial Information Authority of Japan.

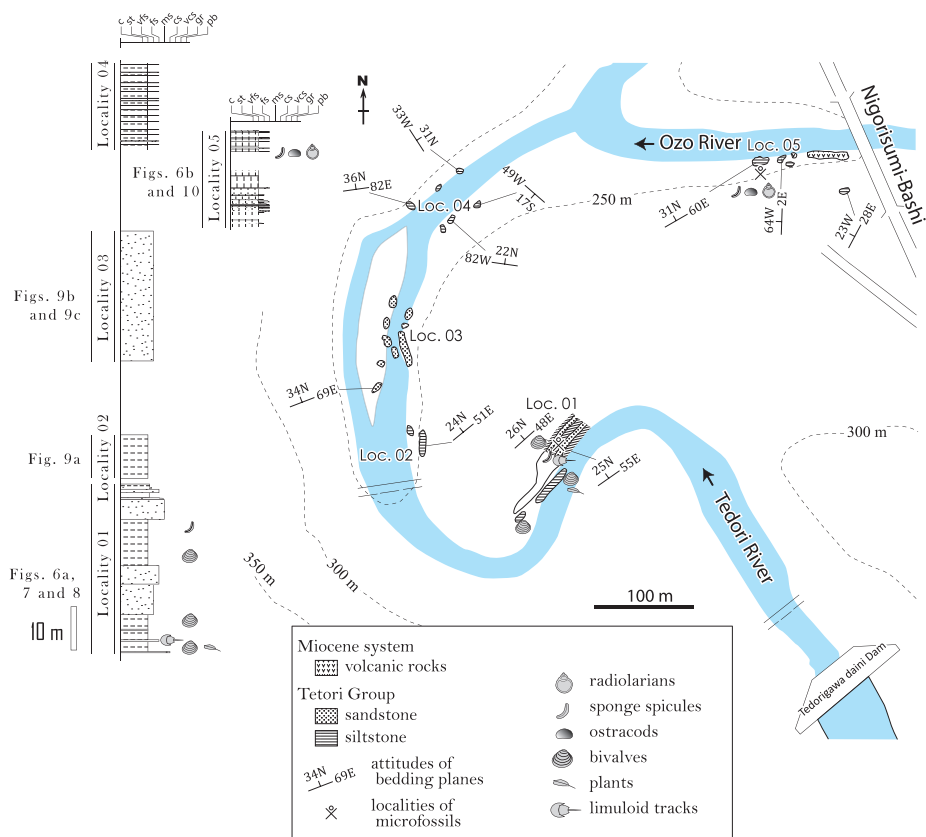


FIGURE 5. Lithological distribution and generalized columnar section of the Kuwajima Formation in the Setono area. Localities 01-05 are shown.

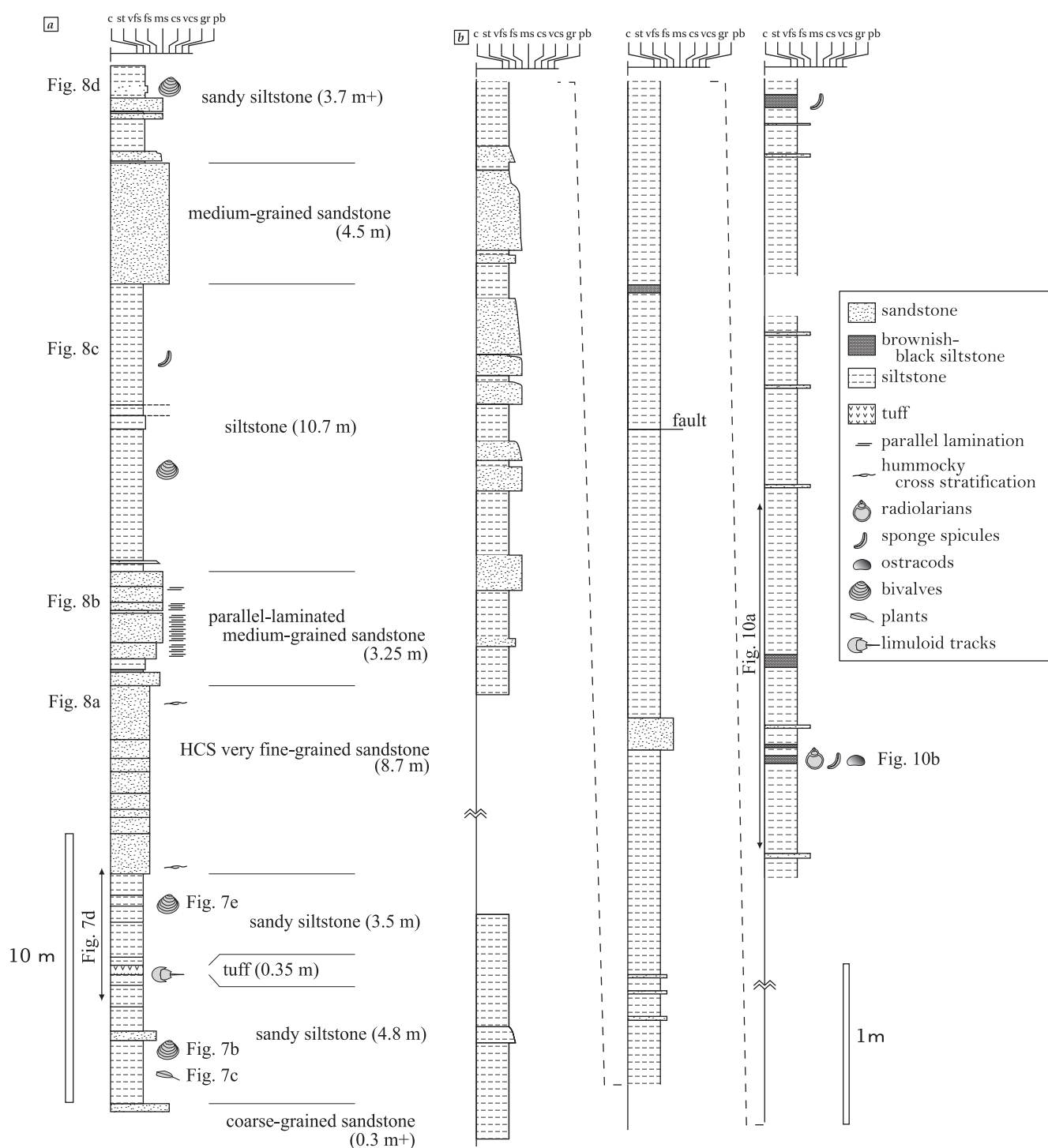


FIGURE 6. Columnar sections of the Kuwajima Formation showing the horizons of micro- and macro-fossils at Localities 01 (a) and 05 (b) in the Setono area.

挟在される。この砂岩層の下底面から約 5 cm 下位に、層厚 5 cm の *M. tetoriensis* のレンズ状密集部があり (Fig. 7b), 同じく下底面から約 90 cm 下位の層準から植物化石 *Podozamites lanceolatus* (Lindley and Hutton) の葉化石

が産出した (Fig. 7c)。なお、*P. lanceolatus* の葉化石はこの層準に限らず、下部の砂質シルト岩から散点的に産出する。凝灰岩層は、灰白色の相対的に明るい色調を呈し、 130 ± 0.8 Ma のジルコン LA-ICPMS U-Pb 年代値が報告されて



FIGURE 7. Lithofacies of the Kuwajima Formation at Locality 01. The photographed horizons are shown in Figure 6a. a, Panoramic view of the outcrop at Locality 01. b, Mode of occurrence of bivalve shells (mainly of *Myrene tetoriensis*) intercalated in the sandy siltstone bed. c, *Podozamites lanceolatus* (plant fossil) collected from the sandy siltstone. Scale bar shows 1 cm. d, Sandy siltstone showing continuous fractures parallel to the bedding plane at approximately 10-cm intervals. e, A small bivalve fossil in the sandy siltstone. Scale bars indicate 1 mm.

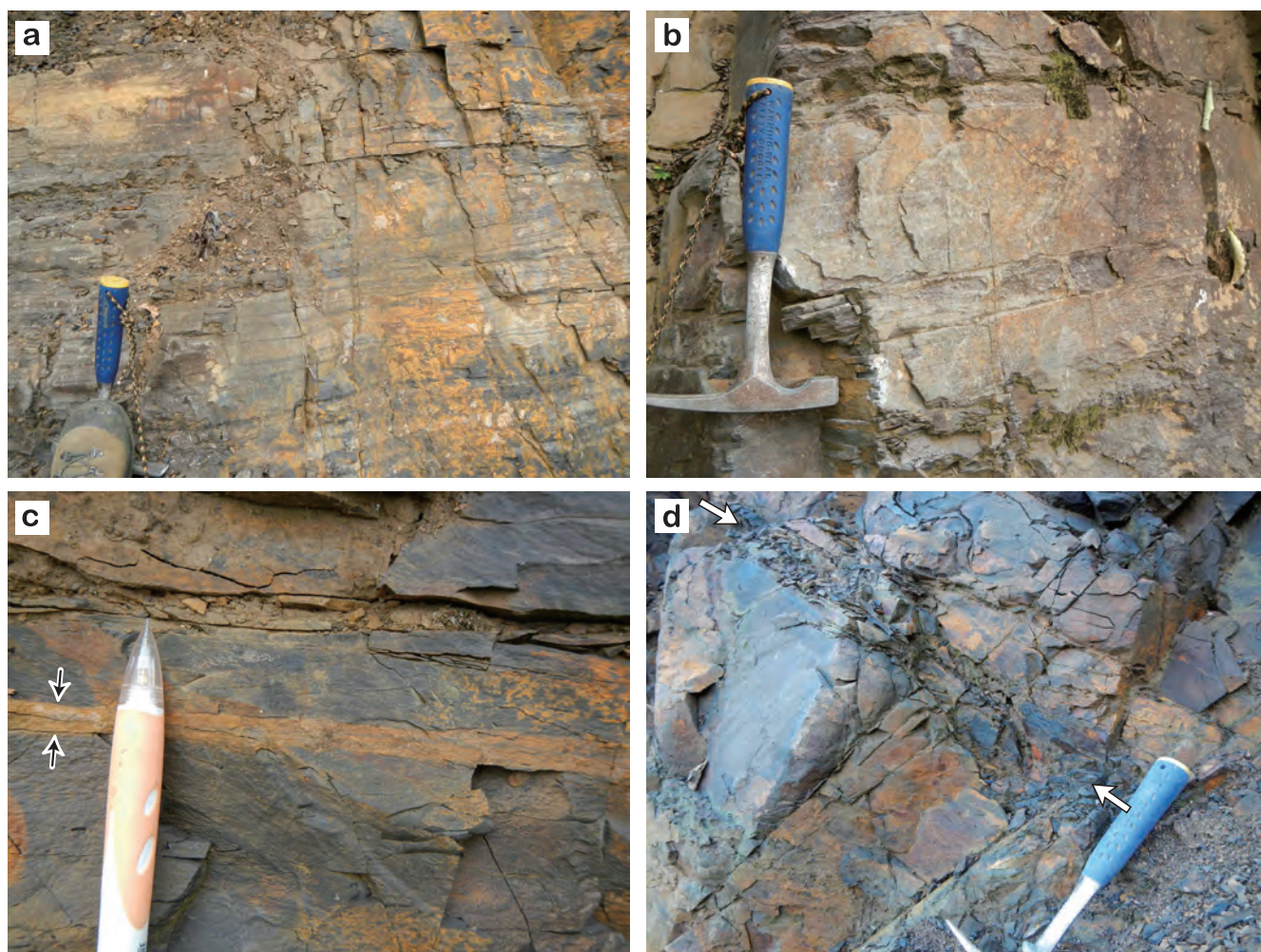


FIGURE 8. Lithofacies of the Kuwajima Formation at Locality 01 (continued). The photographed horizons are shown in Figure 6a. a, Fine-grained hummocky cross-stratified sandstone. b, Parallel-laminated sandstone. c, Horizon of sponge spicules in the siltstone bed. It is a light yellowish-brown layer of approximately 1 cm thick at the central part of the photograph (arrows). d, Shell bed of *Myrene tetoriensis* intercalated in the sandy siltstone.

いる（松本ほか，2006）．凝灰岩層直下の砂質シルト岩層の層理面上には，カプトガニ類の行跡化石 *Kouphichnium* と巻貝の這い跡化石 *Taphrhelminthopsis* が知られている（松岡ほか，2009）．上部の砂質シルト岩層中には，層厚数十 cm 間隔で層理に平行かつ連続性の良い割れ目が発達する（Fig. 7d）．また，径数 mm の微小な二枚貝化石が，合弁ないし離弁の状態に含まれる層準がある（Fig. 7e）．HCS 砂岩層（層厚 8.7 m）は，低角度に斜交する HCS の発達で特徴づけられる（Fig. 8a）．平行葉理砂岩層（層厚 3.25 m）は，平行葉理が発達する中粒～細粒砂岩層である（Fig. 8b）．層厚 10.7 m のシルト岩層は，最下部に層厚 10 cm の細粒～中粒砂岩層を挟在する点を除き，全体を通して均質な岩相からなり，薄殻の二枚貝化石と海綿骨針化石が，それぞれ一層準から得られている（Figs. 6a, 8c）．その上位に累重する中粒砂岩層（層厚 4.5 m）には，明瞭な堆積構造は認められない．露頭最上部の砂質シルト岩層（層厚 3.7 m +）は，中粒～細粒砂岩層を挟在し，数枚の *M. tetoriensis* の

密集層が認められる（Fig. 8d）．この密集層には，カキ類 *Ostreidae* gen. et sp. indet. が僅かながら産する．

各岩相は，地層の走向と手取川の流路方向がほぼ一致するため，流路に沿う幅約 120 m の急崖に同一層準が側方に良く連続して露出する（Fig. 7a）．層理面の姿勢は北東～南西走向の北に低～中角度傾斜で，下位から上位にかけてほぼ一定である．また，露頭内に顕著な変位を伴う断層は認められない．地点 01 と地点 02 の層序関係は，露頭欠如のため直接的には観察できない．ただし，地点 01 最上部層準の手取川河床における分布位置は，地点 01 の層理面の姿勢を用いて地質図学的に求めると，地点 02 のやや南方に想定される．

地点 02 は，堰堤北側の手取川右岸に位置し（Fig. 5），砂質シルト岩層から主に構成され，砂岩薄層を所々に挟在する（Fig. 9a）．また，一部に層厚数十 cm～2 m 弱の葉理質細粒砂岩層を伴う．層理面に低～高角度に斜交する断層が所々に発達し，側方への連続性に乏しいため正確な値は不

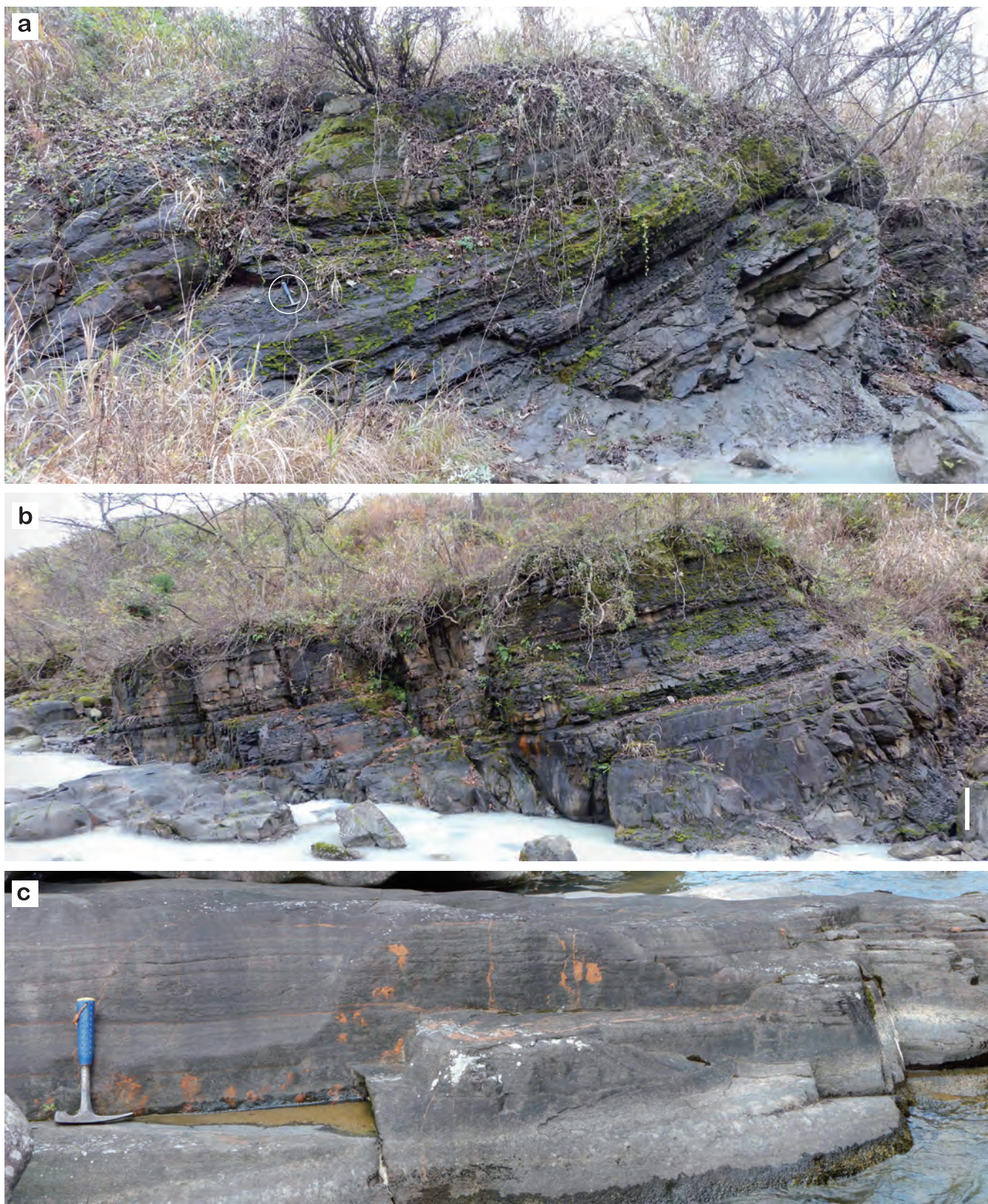


FIGURE 9. Lithofacies of the Kuwajima Formation at Localities 02 and 03. The photographed horizons are shown in Figure 5. a, Sandy siltstone at Locality 02. b, Hummocky cross-stratified sandstone. Panoramic view of the outcrop at the right bank of Locality 03. White bar shows 1 m. c, Hummocky cross-stratification at Locality 03.

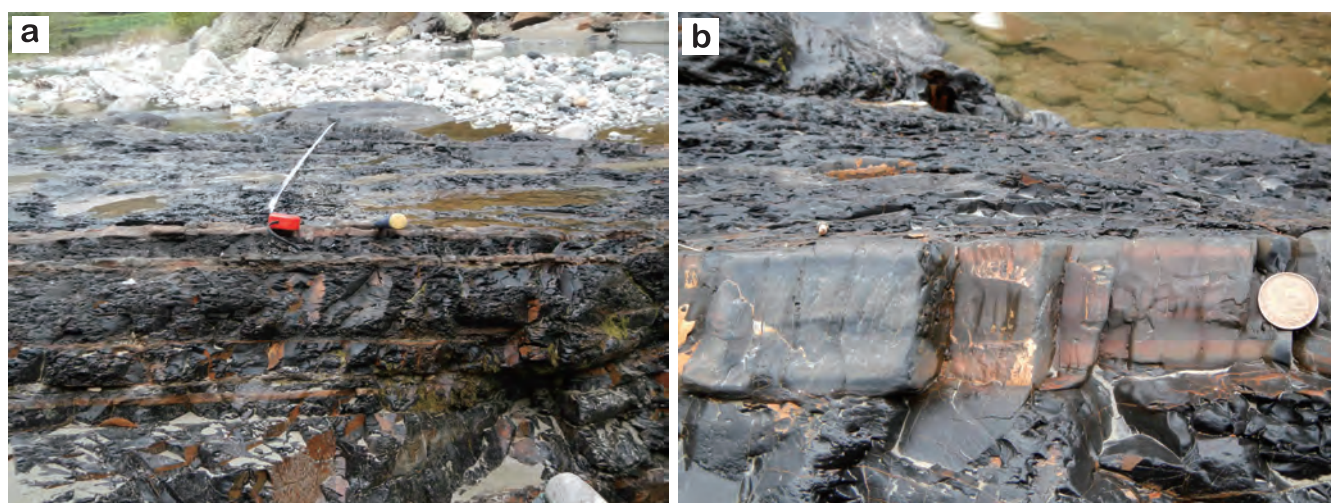


FIGURE 10. Lithofacies of the siltstone at Locality 05. The photographed horizons are shown in Figure 6b. a, Thin intercalations of brownish-black siltstones and fine-grained sandstones in the siltstone. b, Detailed view of brownish-black siltstone bed. Note its dark brown to dark red color on the surface of the outcrop.

明であるものの、見かけ 10 m 以上の層厚が推定される。層理面の姿勢は、地点 01 と地点 03 のそれにほぼ一致する。

地点 03 は、堰堤の下流 100~200 m 付近に位置する手取川右岸の連続露頭、および河床に点在する露頭からなる (Fig. 5)。数十 cm 層厚の HCS 極細粒~細粒砂岩層から主に構成され、厚さ数十 cm 間隔で層理が認められる (Fig. 9b, c)。その層厚は全体に約 30~35 m と見積もられる。

地点 04 と地点 05 は、地点 03 より下流の手取川両岸、および手取川支流の尾添川左岸に露出するシルト岩層である (Fig. 5)。両地点は、灰黒色を呈するシルト岩層中に、細粒~極細粒砂岩層を頻繁に挟むほか、風化面でやや茶色から赤みがかかる黒色の見かけを示すシルト岩層（以下、茶黒色シルト岩層と記す）を挟在することから (Fig. 6b)、岩相的に対比可能である。茶黒色シルト岩層は層厚 5~8 cm で、明瞭な層理面境界で上下位のシルト岩層に接する。新鮮な破断面では黒色を呈し、周囲のシルト岩層に比較して硬質で侵食されづらく、凸部を形成するために露頭で識別し易い (Fig. 10a, b)。後述する海生微化石の放散虫、および海綿骨針と貝形虫化石は、地点 05 の茶黒色シルト岩層のみから得られている。また、地点 05 ではシルト岩層の下位に砂岩シルト岩互層が伴われるが (Fig. 6b)、この岩相は地点 04 では観察されない。

両地点では、露頭分布が断片的なことに加え、恐らくは小断層によるブロック化が著しく、層理面姿勢が狭い範囲で異なる値を示していると考えられる。地点 05 では、層厚約 15 m のシルト岩層の下部に砂岩シルト岩互層（層厚約 7 m）を伴う。なお、層厚の推定に際しては層理面姿勢の異なる露頭ごとに実測で柱状図を作成し、かつ露頭欠如の部分は隣接する露頭における層理面姿勢の値で層厚を算出した。地点 04 では、層理面姿勢の異なる露頭が点在し、全体の層厚を正確に算出することは難しいものの、下位の地点 03 の層理面姿勢を参考にすると、その全体層厚は 20 m 前後と推定される。また、地点 04 は地点 05 よりも上位の層準に位置付けられ、これは地点 04 と地点 05 の上部の岩相

がシルト岩層からなることと整合的である。地点 04 と地点 05 をあわせると、砂岩シルト岩互層からシルト岩層の層厚は、以上の推定に基づくと約 40 m に達すると考えられる。

瀬戸野地域における桑島層下部の産出化石相

瀬戸野地域の桑島層から、微化石として放散虫 (Figs. 11, 12)、海綿骨針 (Fig. 13)、および貝形虫 (Fig. 14) を、大型化石として二枚貝類 (Fig. 15) を報告する。特に放散虫化石は本地域からの初めての確実な海生生物化石である。また、放散虫と共産する海綿骨針や貝形虫も海生生物化石と考えて矛盾は無い。さらに、尾添川沿いの桑島層分布域の河床から採取された転石中にペレムナイト化石を発見した (Fig. 16)。海生微化石産出層準とは別層準の可能性が高いものの、瀬戸野地域における海成層の存在を示唆するデータとして合わせて報告する。

放散虫化石

放散虫化石は、尾添川沿いの地点 05 の茶黒色シルト岩層中に、デジタルマイクロスコープ（キーエンス製、VHX-700FSP1344）を用いた岩石薄片観察により見出された。殻の輪郭は不明瞭であるものの、塔状と涙滴型の形態種が通常サイズの岩石薄片 4 枚中に少なくとも十数個体識別できる (Figs. 11, 12)。これらは、全体の大きさが 100~200 μm 前後と放散虫の一般的な殻高サイズにあたる (Suzuki and Not, 2015)。塔状と涙滴型ともに複数の個体で殻室の仕切りが観察され (Figs. 11a, b, e, 12e)、放散虫類のうちナセラリア目 (Nassellaria) に含まれるものと考えられる。このような殻室の仕切りは、岩石薄片下での放散虫化石の同定手法について言及した Chediya (1971) に基づくと、化石殻の接線断面 (tangential section) で観察される。一方、殻室の仕切りが観察されない個体 (Figs. 11c, 12b, g, j) は、Chediya (1971) の中央断面 (main section) ないし中央断

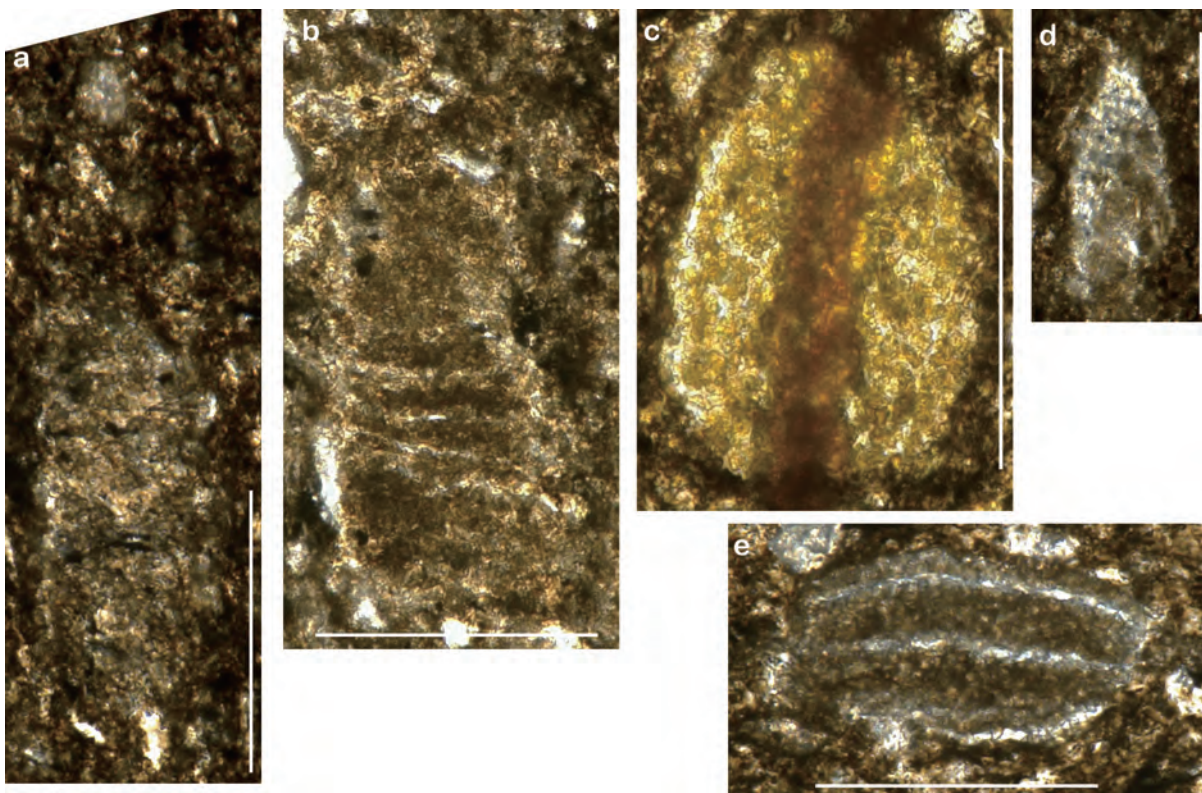


FIGURE 11. Thin section photomicrographs of conical-shaped nassellarians (Radiolaria) in the brownish-black siltstone at Locality 05 (a-e). Distinct segments in the tests are recognized except for those in Figure 11c-d. The positions of segments are likely regularly related with those of the undulation of the outline of the tests. The terminology of the sectioned radiolarians follows that in the report by Chediya (1971). The specimen in Figure 11e is possibly the tangential section of a nassellarian specimen showing a closed outline. Scale bars indicate 100 μm .

面近傍のこれに平行な断面に相当する。Kanomata (1960a, b) は、暗緑色粘板岩の岩石薄片下のナセラリア目を記載し、その殻高値の多くが100~300 μm の範囲内にあることを示した。さらに、放散虫化石殻は周囲の基質と明瞭に区別され、殻内部は周囲の基質と同質であり、殻内部に仕切りが観察される個体とされない個体があることを、その図版から読み取ることができる。なお、Kanomata (1960a, b) が対象とした暗緑色粘板岩は、足尾帯のジュラ紀新世付加体を構成する岩相の一つであり、塔状と涙滴型のナセラリア目を含むジュラ紀新世放散虫化石群集が報告されている(堀, 1998; Hori, 1999, 2001; 中江, 2000)。ここで報告する桑島層産のナセラリア目放散虫化石は、保存が極めて不良であるという相違はあるものの、Kanomata (1960a, b) により図示された岩石薄片下での放散虫化石像の特徴によく一致している。この他にも外形が不明瞭で規則的ではないものの、放散虫化石と考えられる粒子が基質中に散在して数多く認められる。球状放散虫類であるスプメラリア目(Spumellaria)やエンタクチナリア目(Entactinaria)の個体は、これら同定困難な粒子中に含まれているものと推察される。これらの放散虫化石の骨格は粘土鉱物に置換されており、5%フッ化水素酸溶液を用いた酸処理によっても、放散虫化石と判断できる分離個体は現在のところ得られていない。なお、涙滴型の一個体にはジオパタル構造が認められ、殻の下半分は泥質基質で満たされ、層理に平行な面

を境に上位の空間は石英で充填されている(Fig. 12a, b)。このジオパタル構造から読み取れる地層の上位は、野外観察の結果に一致している。また、ジオパタルの存在は、この涙滴型粒子が初生的に空洞を有していたことを示し、非生物起源の碎屑粒子ではなく、外殻を持ち内部に空洞を有する生物遺骸であり、その外形とサイズから放散虫化石遺骸であるという解釈を補強するデータとなる。

放散虫化石の種ないし属階級での同定には、外形のみならず殻表面の装飾や殻室の数、付属物等の情報が不可欠である。塔状ナセラリア目には三畳紀中世~白亜紀にかけて多様な形態種が知られている。涙滴型ナセラリア目のうち閉塞球状型のもの(Fig. 12b-h, 12j)は、ジュラ紀中世~白亜紀古世で多産する形態属(例えば、*Cryptamphorella* Dumitrica, *Hemicryptocapsa* Tan, *Hiscocapsa* O'Dogherty, *Minocapsa* Matsuoka, *Striatojaponocapsa* Kozur, *Tetracapsa* Haeckel, *Willriedellum* Dumitrica, *Zhamoidellum* Dumitrica)に類似する。現状では属階級での同定は著しく困難であるものの、放散虫化石が示唆する時代はジュラ紀~白亜紀と判断できる。この時代論は凝灰岩のU-Pb年代値と整合的である。

浅海相堆積物では放散虫の再堆積が頻繁に起こり、新生界に白亜紀放散虫の個体が含まれることすらある(菅野, 1986; 松井ほか, 2016)。再堆積個体が多数を占める場合(島本ほか, 1998)や、保存が良い再堆積個体が堆積物と同時

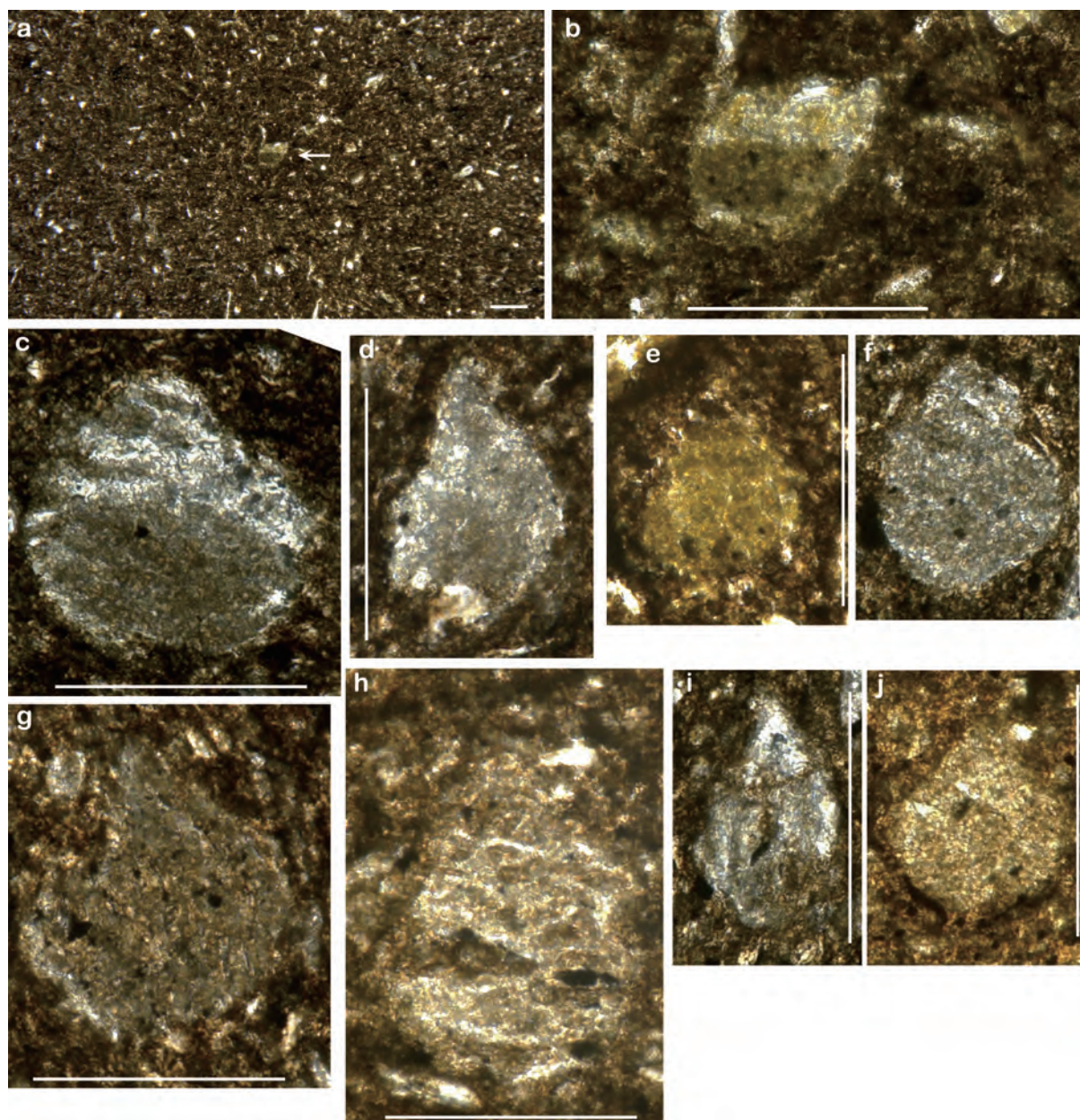


FIGURE 12. Thin section photomicrographs of tear-drop-shaped nassellarians (Radiolaria) in the brownish-black siltstone at Locality 05. Scale bars indicate 100 μm . a, Mode of occurrence of a tear-drop-shaped nassellarian (white arrow). The bedding plane is parallel to the long edge of the figure. b, Enlarged view of the radiolarian test in Figure 12a. Geopetal fabric is recognized in the test. The proximal top of the test is oriented to the right upper side of this photo. The boundary between the muddy sediments (lower) and cement (upper) in the test is parallel to the bedding plane. c–j, Tear-drop-shaped nassellarians with distal closed end. Nassellarians are composed of a segmented conical proximal portion and a globular final or successive segment similar to the tests of *Zhamoidellum* and *Striatojaponocapsa* of the Jurassic to Cretaceous age. Figure 12c–f show the oblique or tangential sections crossing the peripheral part of the test. Note the parallel fine lines in their conical portion. Figure 12b, 12g, and 12j represent the main or parallel section close to the main one of the test without clear segmentations.

代の個体と混在することも珍しくなく（菅野，1982），再堆積の有無については，量比や保存だけでは単純に判断できず，慎重な取り扱いが求められる。手取層群から従来報告されているジュラ紀放射虫化石は，全て十分に固化が進んだ珪質岩礫から産出している（例えば，斉田，1987；伊藤ほか，2012；Ito et al., 2015）。本層から産する放射虫化石は，

単離個体として，しかもジオペタル構造が形成されるような状態で泥質岩中に含まれており，碎屑物の堆積時に生存していたものがもたらされたと考えて良い。



FIGURE 13. Scanning electron micrographs of sponge spicules from the siltstone at Locality 01 (l–q) and the brownish-black siltstone at Locality 05 (a–k). The sponge spicules are mainly composed of monaxons showing lengthwise curvature and possesses a longitudinal hollow of a diameter of approximately 1/2 to 1/5 in the transverse width of the spicule. Note fine-meshed spongy ornamentation, especially in Figure 13j–k. Scale bars indicate 100 μm .

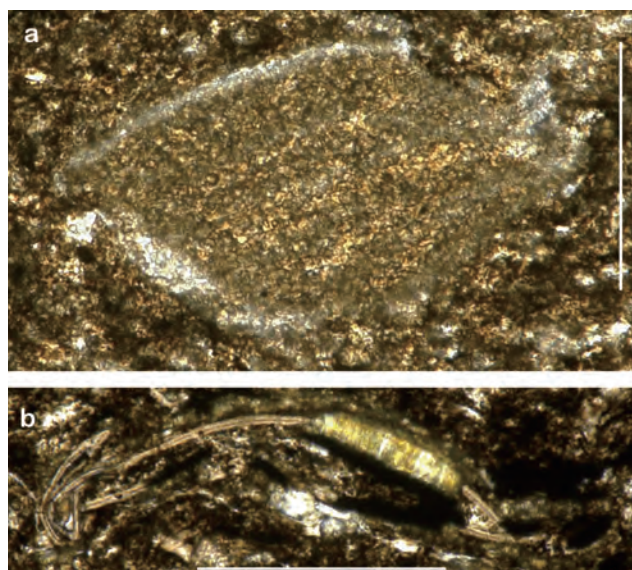


FIGURE 14. Thin section photomicrographs of ostracods in the brownish-black siltstone at Locality 05. Note the small size of carapaces (<200 μm). Scale bars indicate 100 μm . a, Articulated individual. b, Disarticulated carapace.

海綿骨針化石

海綿骨針化石は、地点01の柱状図の上部にあたるシルト岩層中に挟まれる層厚約3 cmのシルト岩薄層 (Figs. 6a, 8c) と、地点05の茶黒色シルト岩層 (Figs. 6b, 10b) から得られた。桑島層産の海綿骨針は珪質で、分岐を伴わない一軸型の形状で特徴づけられる。様々な程度で湾曲する長さ数100 μm 、幅50~100 μm 前後の棒状で、先端は鈍く尖るか平坦である (Fig. 13)。軸方向に伸びる浅い溝が、表面に観察される個体がある。軸方向の空洞は、円形の横断面を持ち、その直径は海綿骨針の径の1/2~1/5程度であり、先端の骨針表面に開口している場合もある。なお、明瞭な分岐を伴う形状の骨針は、現時点で未発見である。なお、複数の骨針は、全体ないし部分的に、泡状の付着物に覆われている (Fig. 13j-k)。

海綿動物門は、尋常海綿綱、六放海綿綱、石灰海綿綱、および同骨海綿綱の4綱に区分される (例えば、渡辺, 1992; Hooper and Van Soest, 2002; Erpenbeck and Worheide, 2007; Gazave et al., 2012; 伊勢, 2013)。海綿骨針は分類群ごとに異なる特徴を持つことから、同定に際して重要な形質の一つに位置付けられている。石灰海綿類の骨針は、石灰質の三輻体、四輻体、および桿状体から構成される (星野, 1980; 渡辺, 1992)。六放海綿類の骨針は、三軸が各々直角に交わる六放体の基本形から変化した骨片で構成されている (渡辺, 1992; Reid, 2003b)。同骨海綿類は四軸があるcalthrops型の骨片を持つ (伊勢, 2013)。一方、尋常海綿類の骨針は一軸型のほか、より複雑で様々な形質を持つ (Reid, 2003a)。桑島層産の海綿骨針化石は、珪質であること、および主に一軸型で構成され、より複雑な形質のものを含まない点で、尋常海綿類に由来すると判断される。

貝形虫化石

貝形虫化石は、2個体の背甲が地点05の茶黒色シルト岩の薄片中に確認された (Figs. 6b, 10b)。1個体は不完全であるものの合併である (Fig. 14a)。もう1個体は2層構造を示す離弁の背甲で、その殻表面は平滑で、背甲右側の縁辺重複部から成体と判断できる (Fig. 14b)。

貝形虫の同定には背甲の表面装飾が重要であるが、得られた貝形虫化石は岩石薄片中に観察される背甲の断面であり、表面装飾の詳細は不明である。一方、殻長200 μm 前後と著しく小型であることが注目される。貝形虫のうち、砂質堆積物の粒子間の空隙を満たす空隙水中に棲息する間隙性種は、成体で殻長200~400 μm 程度に留まることが知られている (例えば、Hartmann, 1973; Maddocks, 1976; Yamada and Tanaka, 2011)。桑島層から得られた個体は、その殻長のサイズから間隙性種である可能性がある。なお、その産出岩相はシルト岩であり、貝形虫が棲息できる粒子間空隙は存在しないことから、この貝形虫化石は異地性の個体と判断される。ただし、得られた貝形虫化石には合併個体が含まれる上、背甲に破片化があまりみられないことから、たとえ異地性だとしても遠くから運ばれたとは考えがたい。

手取層群では、福井県勝山市に露出する北谷層から、非海生貝形虫化石が報告されている (Cao, 1996)。桑島層からの報告は、薄片下での観察に留まるものの、手取層群から初めての海生種の報告となる。

二枚貝化石

*Myrene tetoriensis*が地点01の2層準に認められる (Fig. 6a)。凝灰岩層を挟在する砂質シルト岩中では、レンズ状の密集層 (Fig. 7b)、ないし離弁個体として散在して産する。このうち、層厚約5 cmの密集層中には、凸面を上に向ける離弁個体とともに、合併個体も含まれる。また、層理面に沿って植物化石片が多数観察される。地点01の露頭最上部の砂質シルト岩層には、*M. tetoriensis*の密集層が数枚発達し (Fig. 8d)、僅かであるもののカキ類Ostreidae gen. et sp. indet.が伴われる (Fig. 15d)。*M. tetoriensis*は、殻長約20~30 mmの個体からなり、ほとんどの殻は離弁であるが、合併個体も少量ながら含まれる。それぞれの殻は層理面に対してほぼ平行であり、長軸が定向配列を示す部分も認められる (Fig. 15a-c)。

*M. tetoriensis*は、粗粒砂質堆積物中では貝殻密集層を形成して異地性産状を示す。一方、現地性産状を示す合併個体は、細粒砂質泥岩中から産出する。また、地点01の*M. tetoriensis*のレンズ状密集層と近接する上下位の層準において、純淡水生の二枚貝や巻貝 (例えば*Unio* sp.や*Viviparus* sp.)、もしくは海生であるアンモノイドなどとの共産は認められない。

この他、径数mmの二枚貝化石が、地点01のうち凝灰岩層の上位に位置する砂質シルト岩層から (Fig. 7e)、また、薄殻の二枚貝化石が、地点01のうち中位の厚層のシルト岩層の下部から (Fig. 6a) 産出する。



FIGURE 15. Bivalve fossils collected from the shell bed (Figure 8d) intercalated in the silty sandstone at Locality 01. a–c, *Myrene tetoriensis* (Kobayashi and Suzuki). a, Inner surface of a right valve, rubber cast (CBM-PS 5601). b, Inner surface of a left valve, rubber cast (CBM-PS 5602). c, Outer surface of several individuals, rubber cast (CBM-PS 5603). d, *Ostreidae* gen. et sp. indet., outer surface of a right valve, rubber cast (CBM-PS 5604). These specimens are deposited in the Natural History Museum and Institute, Chiba.

ベレムナイト化石

今回報告するベレムナイト化石は、尾添川沿いの河原の転石中に発見された (Fig. 4)。採取地点付近には桑島層が連続的に露出し、*M. tetoriensis*の密集層が砂質シルト岩層中に頻繁に挟在されるが、現在までのところ標本採取地点とその上流において、明確な海成層の存在は確認できていない。採取地点の下流部では最近まで堰堤工事が行われていたものの、国土交通省尾口砂防事務所によると、外部からの土砂持ち込みの記録はないとのことである。

ベレムナイト標本は、斜交葉理の発達した極細粒砂岩中に、貝殻片の密集した葉理に伴って産する (Fig. 16)。標本は不完全な大型の鞘で、後端部も alveolar 部も保存されていない。鞘の形状は一方的に太くなる可能性があり、鞘の残存部の長さ約 37 mm に加え、鞘の太い側に連続して約 25 mm の外形雌型を伴う。保存された部位においては溝や明瞭な平坦面の存在は確認できない。鞘の断面は円に近く、保存された鞘の細い側において背腹断面 16.6 mm、推定側断面 16.2 mm (保存の良い部分の半径を元に計算) である。

本標本自体からはベレムナイト目とする以上の同定は困難だが、鞘の大きさと断面の形状は、荘川地域の御手洗層 (Berriasian) とその上位の大谷山層から産する *Cylindroteuthis*

aff. *knoxvillensis* Anderson (佐野ほか, 2015) に類似する。*Cylindroteuthis* 属の産出レンジの上限は Valanginian であり (Doyle and Kelly, 1988; Dzyuba, 2005, 2011)、もし本地域産ベレムナイトをこの属に比定できるのであれば、本論文で報告したものは異なる層準・時代の海成層の存在を示すことになり (Sano, 2015)、追加標本の収集が待たれる。

瀬戸野地域における桑島層下部の堆積環境

瀬戸野地域の桑島層の岩相層序については、松岡ほか (2009) による報告があり、手取川沿いに手取川第二ダムから尾添川との合流点までの、層厚約 270 m の層序が明らかにされている。その岩相層序と堆積環境は、汽水成の砂岩とシルト岩、および土石流由来の礫岩で特徴づけられる下部、内湾汽水域から下部外浜の堆積環境が示唆される中部、および平均暴浪時波浪作用限界水深に近い内側陸棚を示唆する上部に細分されている。本論文で報告する瀬戸野地域の層序は、松岡ほか (2009) による中部と上部の層準に相当し、一連の海進期堆積物とされた区間を包括している。なお、地点 04 と 05 は、松岡ほか (2009) の地質図や柱状図に含まれるものの、その詳細については議論されていない。

地点 01 のうち、下部の砂質シルト岩層は *M. tetoriensis*

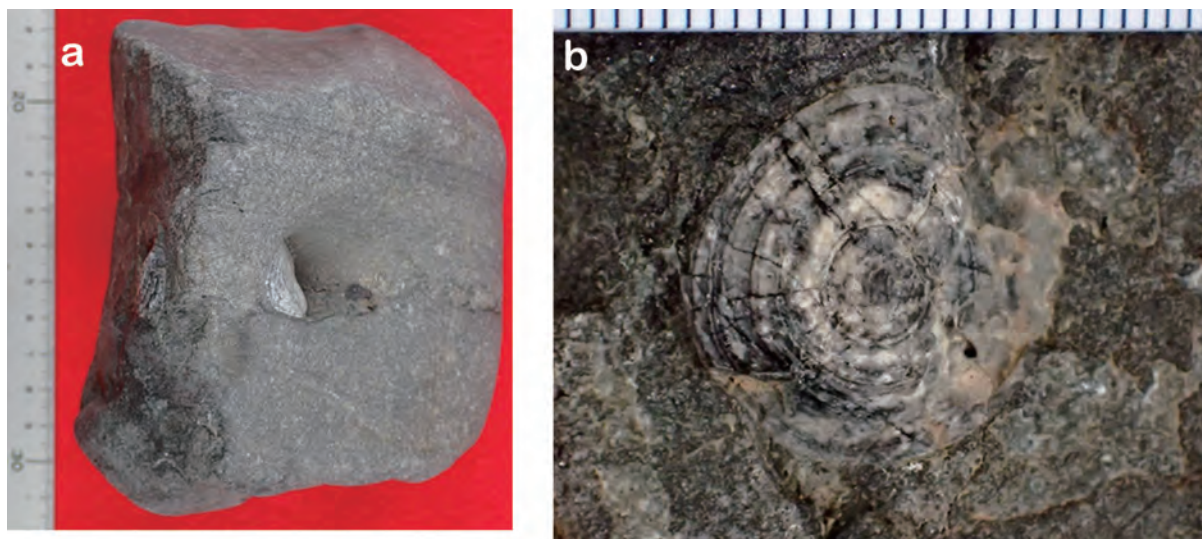


FIGURE 16. An incomplete rostrum of a belemnite in a sandstone float cobble collected from the river gravel bed along the Ozo River between Setono and Seto. The fossil locality is shown in Figure 4. a, Mode of occurrence of a belemnite rostrum in a sandstone cobble. The external mold of a rostrum is also partly preserved. b, Transverse section of a rostrum. This specimen is deposited in the Shiramine Institute of Paleontology, Hakusan City Board of Education, Ishikawa Prefecture, Japan.

のレンズ状薄層を挟在し (Fig. 7b), *P. lanceolatus* の葉化石が散在し, カブトガニ類の行跡化石 *Kouphichnium* と巻貝の這い跡化石 *Taphrhelminthopsis* が知られている (松岡ほか, 2009). その堆積環境として, 松岡ほか (2009) は潮汐流を示唆する複合流リップル, 海域を示唆する巣穴型の生痕化石 *Ophiomorpha*, および異地性を示す掃き寄せ状の *M. tetoriensis* 密集層の存在から, 汽水域から遠く離れていない内湾の沿岸域を推定している. 砂質シルト岩層の上位に累重する HCS 極細粒砂岩層は, 癒着した HCS で特徴づけられることから, 堆積環境としては外浜が考えられる (斎藤, 1989; Walker, 1992). その上位の平行葉理砂岩層は, 下位の HCS 砂岩層よりやや粗粒で, 泥岩の挟みをほとんど伴わないことから, 海浜相の前浜堆積物である可能性がある (斎藤, 1989). さらに上位に累重するシルト岩層は層厚 10.7 m で, 最下部に挟在される細粒～中粒砂岩薄層を除いて, 全体を通して均質な岩相で特徴づけられる. また, 後述する地点 04 と 05 のシルト岩層に挟在される茶黒色シルト岩の薄層は, 地点 01 のシルト岩層中には確認されない. 堆積場としては, 波浪作用がほとんど及ばず, かつ砂質～礫質堆積物の流れ込みの無い静穏な環境が想定される. また, 層厚 3 cm のシルト岩薄層から産する海綿骨針化石は, 地点 05 で産するものに形態的に類似する. 海綿動物は, 一部は淡水に生息するものの, その大部分は海生であることが知られている (巖佐ほか, 2013). 海綿骨針化石の産出に基づく, このシルト岩層は海成層と考えられる. シルト岩層の上位の中粒砂岩層は, 明瞭な堆積構造が観察されず, 現時点で正確な堆積環境の推定は困難である. 最上部の砂質シルト岩層中には数枚の *M. tetoriensis* 密集層が挟在され, 密集層中に僅かながらカキ類 *Ostreidae* gen. et sp. indet. が伴われる. Matsukawa and Ido (1993) は, 手取層群から産する非海生二枚貝化石群集を総括的に検討し, 種構成と産出割合に基づいて, 汽水から淡水環境における塩分濃度

の違いに対応すると考えられる 5 群集を識別している. 地点 01 上部の *M. tetoriensis* 密集層の群集構成は, カキ類を伴う点で *Ostreidae* gen. et sp. indet.—*Myrene tetoriensis* [Phenotype J] 群集に相当し, 汽水環境の中でも海水の影響を最も強く受ける環境であった可能性がある (例えば, Matsukawa and Ido, 1993; 松川ほか, 1996, 1999; 松川・中田, 1999, 2003).

以上をまとめると, 地点 01 の堆積環境は, まず汽水域から外浜に至り, 前浜, 詳細は不明であるものの海域環境を経て汽水域に戻るという, 海進と海退が記録されているものと考えられる.

地点 02 は, 砂質シルト岩層を主体とした岩相で, 地点 01 の層序とは僅かな間隙を挟んで上位に位置する. 現時点では, その堆積環境を直接議論できる資料は得られていないものの, 岩相は地点 01 の砂質シルト岩層と大差なく, 汽水域かそれに近い環境であったと推定される. その上位の地点 03 は, HCS が発達する極細粒～細粒砂岩層で, 一部にシルト岩層がレンズ状に挟在され, 外浜の堆積環境が想定される. 地点 04 と地点 05 は, 地点 03 の HCS 砂岩層より上位に位置し, シルト岩層から主に構成される細粒砂岩薄層を挟在する. 地点 05 では, 外洋域に主に生息し, 内湾や内海, 沿岸域では希な放散虫化石 (鈴木・相田, 2011) の産出が, 瀬戸野地域で現時点で唯一確認されている. シルト岩層から主に構成される岩相と, 外洋域を示唆する放散虫化石の産出に基づく, 地点 04 と 05 は外洋域の陸棚堆積物と解釈できる.

ところで, 地点 03 の HCS 砂岩層は層厚 30～35 m で, 地点 01 の層厚 8.7 m の HCS 砂岩層に比較して明らかに厚層をなしている. さらに, 地点 03 の HCS 砂岩層の上位には, 放散虫化石を産するシルト岩で主に構成される陸棚堆積物が重なり, それは地点 04 と地点 05 をあわせると全体層厚が約 40 m に達する (Fig. 5). これら堆積相の変遷と層厚の変

化を参照すれば、瀬戸野地域の桑島層下部の層相は下位から上位へと、より開かれた外洋域へと環境が変化したと解釈可能である。

以上から、瀬戸野地域のうち地点 01 から地点 02 にかけての層序には、汽水環境から外浜に至り、前浜を経て汽水域に戻るという海進と海退が、引き続き地点 03 から地点 04, 05 の層序では、外浜から陸棚に至る海進が記録されている。また、下位から上位にかけてより外洋域へと堆積環境が変化した可能性を指摘できる。松岡ほか (2009) は、ほぼ同じ範囲の岩相層序を一連の海進期堆積物と考えたが、本研究において、海生微化石に基づき海成層の存在を確実にしたほか、少なくとも 2 回の海進を含む、より詳細な海水準変動を明らかにした。

手取層群における三番目の海進期堆積物としての 桑島層の意義

手取層群に認められている三回の海進期のうち、最初のジュラ紀中世 Bathonian～同新世 Oxfordian と二番目のジュラ紀末 Tithonian～白亜紀最初期 Berriasian の海進期は、古生物学および堆積学的視点から、その詳細が明らかになりつつある (例えば、Sato and Westermann, 1991; 公文・梅澤, 2001; 佐藤, 2008; Handa et al., 2014)。一方、白亜紀古世中期 Hauterivian～Barremian の三番目の海進期は、九頭竜川上流の打波川地域で海成層の存在が初めて認識され (後藤, 2001, 2007; 松川・浅原, 2010)、その後に飛騨古川地域で海進期の存在が具体的に議論された (松川ほか, 2007; Matsukawa and Fukui, 2009)。しかし、三番目の海進期については研究例が少ないため、その実体の十分な理解には至っていない。

瀬戸野地域の桑島層下部からは、田村 (1990) で海生二枚貝 *Isognomon* の産出が言及されたほか、松岡ほか (2009) により生痕化石の *Kouphichnium* や *Ophiomorpha* の産出が報告され、少なくとも堆積場近傍における海が存在が示唆されているものの、明らかな海生生物化石の産出はこれまで確認されていなかった。本研究において桑島層下部から初めてとなる微化石の産出が明らかとなった。それらのうち、放散虫は一般に海生プランクトンと認識されている (例えば、Anderson, 1983; Casey, 1993; Kling, 1998; 鈴木・相田, 2011)。今回報告する放散虫化石は、保存不良で目階級での同定に留まるものの、本地域の桑島層下部に海成層が挟まれることを示す、初めての確実な古生物学的証拠となり、これは堆積相解析の結果とも整合的である。また、同一試料に共産する海綿骨針と貝形虫の化石も、同様に海生生物化石であることが示唆される。瀬戸野地域において、カプトガニ類の行跡化石を被覆する凝灰岩層のジルコン U-Pb 年代として、後期 Hauterivian～Barremian 最初期の年代値 (松本ほか, 2006) が知られており、本地域の桑島層下部の海成層は手取層群における三番目の海進期に対応すると考えられる。この海進は現在の手取層群の分布に基づいて考えた場合には、最初と二番目の海進に対応する海成層の分布が知られていない、白山区の最北西端にまで及んだことになる。

ところで、打波川地域では後藤 (2007) により後期 Hauterivian～前期 Barremian のアンモノイド化石

Pseudothurmannia sp. が記載され、その後、松川・浅原 (2010) はアンモノイドが示唆する時代は後期 Hauterivian に限定されるとした。この時代は瀬戸野地域の桑島層下部に挟まれる凝灰岩の U-Pb 年代 (松本ほか, 2006) にほぼ一致する。打波川地域におけるアンモノイド化石の産出層準について、松川・浅原 (2010) はこれを莊川～白峰地域のアマゴ谷層に対比し、アマゴ谷層を手取層群における三番目の海進期堆積物として位置付けている。松川ほか (2003) と松川・浅原 (2010) による手取層群の岩相層序に基づく、アマゴ谷層は桑島層を被覆する上位層とされており、三番目の海進期は瀬戸野地域と打波川地域において、それぞれ桑島層下部とアマゴ谷層と、層位、すなわち時代が異なる層中に認定されるという問題が生じる。これに対し、後藤 (2007) はアンモノイド産出層を、その上下の層準に挟まれる礫岩の礫種がチャートや珪質頁岩を主とする点に加え、より上位に赤岩層群に属すると考えられるオーソコーツアイト礫を主体とするアルコース質砂岩礫岩が分布することを理由に、石徹白亜層群上部に対比している。この場合、打波川地域のアンモノイド化石の産出層準は、手取川流域における石徹白亜層群上部に相当する桑島層に対比され、上記の層序対比上の矛盾は解消される。

本研究によって、瀬戸野地域の桑島層には、前浜から外浜、陸棚におよぶ環境で堆積した海成層が伴われることが明らかとなった。打波川地域の石徹白亜層群最上部は、アンモノイド化石の産出層準では細粒～中粒砂岩層を主体に礫岩層と砂岩層を挟在しており (後藤, 2007)、また産出化石に基づき海水環境から oligohaline を示す汽水環境への変化が生じたと推定されている (松川・浅原, 2010)。一方、飛騨古川地域では、海生軟体動物化石を多産する稲越層は、砂岩層を主として砂岩礫岩互層や砂岩泥岩互層を伴う岩相からなる。稲越層の層序的により下位に位置する太江層は、デルタないしその周辺環境で堆積し、oligohaline から mesohaline を示す汽水生二枚貝化石群集を産する。以上から、稲越層は太江層堆積時の海退に引き続く海進期の堆積相と考えられている (松川ほか, 2007)。このように、三番目の海進期に対応する、飛騨古川、打波川、および瀬戸野の 3 地域で海成層は、汽水成層を伴うことから海水準変動の記録を残しやすい海岸域に位置していたと考えられる。これらの中で、瀬戸野地域の桑島層は白山区の手取層群において最も北西側に分布し、陸棚環境の存在が推定されるなど、他の 2 地域よりも相対的に深い環境を示す点で、当時の古地理を復元する上で注目される。Kondo et al. (2006) は、手取層群の伊月層と桑島層、大黒谷層が、広大な汽水湖のような単調な環境を示唆する、*M. tetoriensis* と *T. yokoyamai* を主体とする単純な構成の汽水生二枚貝化石群集で特徴づけられるとしている。仮に現在の位置関係に基づいて議論するのであれば、手取層群の三番目の海進期には、白山区にはその全域に相当する広大な汽水環境が発達しており、しかも海進期により北側に水深が深くなるような、より北側に開いた海域の存在が示唆される。このことは、松川ほか (2007) や Matsukawa and Fukui (2009) による、稲越層の海生二枚貝相に中国東北部の下部白亜系のものとの間に共通性が認められることから、手取層群がアジア大陸東縁部に存在したと推定される、北側に湾口を開いた大きな海域の南縁部で堆積したという

議論と整合的である。今後、手取層群の三番目の海進期における生物相や堆積相についての更なる研究が期待される。

今後の展望：手取層群における放散虫化石研究の意義

手取層群の古生物学資料に基づく時代決定は、主に海成層中のアンモノイド化石の生層序学的研究に基づいており（例えば、Sato, 1962; Sato and Westermann, 1991; 佐藤, 2008）、他の分類群を用いた研究は十分には進んでいない。しかし、放散虫化石は少ない試料から多量の個体が得られ、かつ多数の属ないし種の産出時代を複合することで時代をより細かく決定できるため、海成層を対象とする有用な示準化石の一つとなっている。以下では、手取層群の海成層における放散虫化石研究の意義について述べる。

筆者らのうち柏木は、手取層群の複数層準の海成層を対象に、放散虫化石の時代論や群集構成等について検討を進めている（Kashiwagi, 2014）。即ち、九頭竜亜層群の有峰層からの産出報告（平澤・柏木, 2008）を端緒に、同亜層群の桐谷層（Kashiwagi and Hirasawa, 2010）と貝皿層（Kashiwagi and Hirasawa, 2015）のものが既に公表されている。これらの報告では、放散虫化石の時代決定の精度はアンモノイドよりもやや劣るものの、概ね従来のアンモノイドによる時代論を支持する結果が得られている。

一方、石徹白亜層群御手洗層はアンモノイドの検討により、現在では白亜紀最初期のBerriasianとされている（佐藤ほか, 2003, 2008）が、二枚貝化石に基づく白亜紀古世Barremian～Aptianという時代推定（Sha and Hirano, 2012）、あるいは凝灰岩からの後期Hauterivian～AptianのジルコンLA-ICPMS U-Pb年代値も報告され（Kusuhashi et al., 2006）、その時代論は未だに議論が続いている。柏木は、既に御手洗層からの放散虫化石の抽出に成功しており、現在その群集構成と時代論を検討中である（柏木・佐野, 2016）。今後、放散虫化石は新たな時代決定ツールとして、時代についての議論がある浅海成層の堆積時代の検証にも大きく貢献することが期待される。

汽水－浅海環境は、日本列島のような変動帯における浅海相では鋭敏に地層中に繰り返し記録されていると予想できる。瀬戸野地域における放散虫化石の発見は、浅海相での放散虫研究において、堆積相解析と組み合わせて探索する方法が有用であることを示している。さらに本研究では個体分離不可能な個体を岩石薄片で探査することで、これまで認識が困難であった海生微化石の産出を捉えられる可能性が示された。

総括

石川県白山市瀬戸野地域の手取層群石徹白亜層群上部の桑島層を対象に、野外調査に基づく堆積相解析とともに、産出する微化石と大型化石の古生物学的検討を行った。結果は以下の通りである。

1) 瀬戸野地域の桑島層は、汽水域から外浜に至り、前浜を経て、その後汽水域に戻る、という海進と海退、さらに上位に累重する外浜から陸棚に至る海進を記録した堆積物からなる。また、下位から上位へとより外洋域への堆積環境の変化が記録されている。

2) 陸棚環境を示すシルト岩層中に挟在される茶黒色シルト岩から、海生微化石（放散虫と海綿骨針、貝形虫）の産出を新たに確認した。本地域においては、これまで堆積相と生痕化石に基づいて海成層の存在が示唆されてきたが、放散虫化石の産出により海成層の存在が確実にされた。

3) 瀬戸野地域の桑島層下部の海成層は、先行研究の凝灰岩のジルコンU-Pb年代に基づく、手取層群における三番目の海進期に対応するものと考えられる。本地域は白山区の最北西端に位置しており、本地域において、同じ三番目の海進期に相当する飛騨古川地域や打波川地域の海成層に比べて、より深い堆積環境の存在が認識されることは、当時の古地理を考える上で重要な情報を与える可能性がある。

謝辞

福井県立恐竜博物館（元白山市白峰化石調査センター）の園田哲平博士には、本研究を行うきっかけを与えて頂いた。白山市白峰化石調査センターの大塚健斗専門員、白山手取川ジオパーク推進協議会の日比野 剛専門員には、現地調査に際してお世話になった。京都大学の松岡廣繁博士には、瀬戸野地域の桑島層の層序と堆積相について議論して頂いた。国立科学博物館の矢部 淳博士には、植物化石を同定して頂いた。熊本大学沿岸域環境科学教育研究センターの田中源吾博士には、貝形虫化石の同定に際して多数の有益なご助言を頂いた。富山大学自然科学研究支援センター機器分析施設の砂田かおる技術職員には、デジタルマイクロスコプの、同施設の山田 聖技術職員には、株式会社日立ハイテクノロジーズ製の低真空電子顕微鏡 Miniscope TM3030の使用に際してご助力を頂いた。富山大学理学部地球科学科に在学の松本雄大氏には、カブトガニ行跡化石産出層準付近における、軟体動物化石の採取にご助力を頂いた。本研究で用いたベレムナイト化石は、2012年10月27日の白山市教育委員会主催の児童向け自然観察会の折に、参加者により転石中に発見された。東北大学の鈴木紀毅博士と千葉県立中央博物館の岡崎浩子博士には、査読を通じて多くの有用なご指摘を頂き、原稿を大きく改善できた。本研究の一部に学術研究助成基金助成金（基盤研究(C)）（代表：柏木健司, No. 23540547, 2011 - 2013年度）とJSPS 科研費JP16H00325（代表：佐野晋一）を使用した。以上の方々と機関に心から感謝します。

引用文献

- Anderson, O. R. 1983. Abundance and geographical distribution : pp. 212-264 *in* O. R. Anderson, Radiolaria. Springer, New York.
- Azuma, Y. 2003. Early Cretaceous vertebrate remains from Katsuyama City, Fukui Prefecture, Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 2 : 17-21.
- Azuma, Y., X. Xing, M. Shibata, S. Kawabe, K. Miyata and T. Imai. 2016. A bizarre theropod from the Early Cretaceous of Japan highlighting mosaic evolution among coelurosaurians. *Scientific Reports* 6 : 204788.
- Cao, M. 1996. Nonmarine cretaceous ostracods from Inner Zone of SW Japan. *Bulletin of the Kitakyushu Museum*

- of Natural History 15 : 13-30.
- Casey, R. E. 1993. Radiolaria : pp. 249-284 in J. H. Lipps (ed.), Fossil Prokaryotes and Protists. Blackwell Scientific Publications, Boston and London.
- Chediya, D. M. 1971. Novoe v metosike izucheniya skeletov drevnikh radiolyariy (metodicheskaya razpabotka). Kafedra Geologii i Paleontologii, Tadzikiyskiya Gosudarstvenniy Universitet, Dushanbe, 105 pp.
- Doyle, P., and S. R. A. Kelly. 1988. The Jurassic and Cretaceous belemnites of Kong Karls Land, Svalbard. Skrifter 189 : 1-77.
- Dzyuba, O. S. 2005. Systematics and phylogeny of the boreal family Cylindroteuthidae : problems solved and unsolved : pp. 64-67 in Košťák, M. and J. Marek. (eds.), Short Papers / Abstracts Volume of 2nd International Symposium "Coleoid Cephalopods through time". Faculty of Science, Charles University of Prague, Prague, Czech Republic.
- Dzyuba, O. S. 2011. Subfamily classification within the Cylindroteuthidae (Belemnitida). News of palaeontology and stratigraphy 16-17 (Supplement to Russian Geology and Geophysics v. 52) : 103-108.*
- Erpenbeck, D., and G. Worheide. 2007. On the molecular phylogeny of sponges (Porifera). Zootaxa 1668 : 107-126.
- Fernández, D. E., and P. J. Pazod. 2013. Xiphosurid trackways in a Lower Cretaceous tidal flat in Patagonia : palaeoecological implications and the involvement of microbial mats in trace-fossil preservation. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 375 : 16-29.
- Fujita, M. 2003. Geological age and correlation of the vertebrate-bearing horizons in the Tetori Group. Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum 2 : 3-14.
- 藤田将人・宮本隆実・田中 均. 1998. 福井県和泉村東部地域に分布する手取層群石徹白亜層群から産出したイノセラムス化石とその意義. 地質学雑誌 104 : 52-55.
- Gazave, E., E. Lapébie, A. V. Ereskovsky, J. Vacelet, E. Renard, P. Cárdenas and C. Borchellini. 2012. No longer Demospongiae : homoscleromorpha formal nomination as a fourth class of Porifera. Hydrobiologia 687 : 3-10.
- 後藤道治. 2001. 福井県大野市に分布する手取層群石徹白亜層群から産出したアンモナイト化石とその意義. 日本地質学会第 108 年学術大会講演要旨 : 131.
- 後藤道治. 2007. 福井県大野市打波川地域の手取層群石徹白亜層群から産出した白亜紀前期アンモノイド化石. 福井県立恐竜博物館紀要 6 : 27-34.
- Handa, N., K. Nakada, J. Anso and A. Matsuoka. 2014. Bathonian/Callovian (Middle Jurassic) ammonite biostratigraphy of the Kaizara Formation of the Tetori Group in central Japan. Newsletters on Stratigraphy 47 : 283-297.
- Hartmann, G. 1973. Zum gegenwärtigen Stand der Erforschung der Ostracoden interstitieller Systeme. Annales de Spéléologie 28 : 417-426.
- 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.
- Hooper, J. N. A., and R. W. M. Van Soest. 2002. Systema Porifera : a guide to the classifications of sponges, Volume 1 and 2. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York, 1707 pp.
- 堀 常東. 1998. 八溝山地鷺子山塊大平地域より産出するジュラ紀最末期放散虫化石とその古生物地理的意義 - Vallupus テリトリーの時空分布に関する一考察 -. 地質学雑誌 104 : 233-242.
- Hori, N. 1999. Latest Jurassic radiolarians from the northeastern part of the Torinoko Block, Yamizo Mountains, central Japan. Science Report of the Institute of Geoscience, University of Tsukuba 20 : 47-114.
- Hori, N. 2001. Triassic and Jurassic radiolarians from the chert-clastic sequence of the Takatori Unit in the Torinoko Block, Yamizo Mountains. News of Osaka Micropaleontologists, Special Volume 12 : 159-180.
- 星野孝治. 1980. 附着生物の種類査定法 (4) 海綿類 (石灰海綿, 尋常海綿). 附着生物研究 2, 53-58.
- 伊勢優史. 2013. 分類学に基づいた動物学 - 海綿動物を例に, "海綿動物門第 4 の綱 : 同骨海綿綱". タクサ (日本動物分類学会誌) 34 : 18-24.
- Ito, T., Y. Sakai, Q. Feng and A. Matsuoka. 2015. Middle Jurassic radiolarians from chert clasts within conglomerates of the Itsuki Formation of the Itoshiro Subgroup (Tetori Group) in the Taniyamadani Valley, Fukui Prefecture, central Japan. Science Reports of Niigata University. (Geology) 30 : 1-13.
- 伊藤 剛・酒井佑輔・茨木洋介・吉野恒平・石田直人・梅津 暢・中田健太郎・松本明日香・日野原達哉・松本 健・松岡 篤. 2012. 新潟県糸魚川地域手取層群水上谷層の礫岩中の珪質岩礫から産出した放散虫化石. 糸魚川市博物館研究報告 3 : 13-25.
- 巖佐 庸・倉谷 滋・斎藤成也・塚谷裕一 (編). 2013. 生物学辞典 第 5 版. 岩波書店, 東京都, 2192 pp.
- Kanomata, N. 1960a. A radiolarian fauna at Nokura, Ibaraki Prefecture, Japan. Journal of the College of Arts and Sciences, Chiba University 1 : 93-97.
- Kanomata, N. 1960b. A radiolarian fauna at Odaira, Ibaraki Prefecture, Japan. Journal of the College of Arts and Sciences, Chiba University 3 : 213-220.
- Kashiwagi, K. 2014. Radiolarians from the marine strata of the Tetori Group in Central Japan. Abstracts of International Symposium on Asian Dinosaurs in Fukui 2014 : 66-68.
- Kashiwagi, K., and S. Hirasawa. 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.
- Kashiwagi, K., and S. Hirasawa. 2015. Middle Jurassic

- radiolarians from calcareous nodules within silty sandstone float boulder derived from the Kaizara Formation of the Tetori Group in central Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 14 : 11-18.
- 柏木健司・佐野佳緒里. 2016. 岐阜県荘川地域の手取層群石徹白亜層群御手洗層から産した放散虫化石. *日本古生物学会 2016 年年会講演会予稿集* : 33.
- 河合正虎. 1961. 飛騨高原西部における後期中生代の地殻変動 第3報－白山周辺地域の地質学的研究－. *地質調査所月報* 12 : 747-762.
- Kling, S. A. 1998. Radiolaria : pp. 203-244 *in* B.U. Haq and A. Boersma (eds.), *Introduction to Marine Micropaleontology*, Elsevier, Singapore.
- Koarai, K., and M. Matsukawa. 2016. Late Mesozoic bivalves of the Tetori Group, Japan. *Bulletin of Tokyo Gakugei University, Division of Natural Sciences* 68 : 91-190.
- Kondo, Y., T. Kozai, N. Kikuchi and K. Sugawara. 2006. Ecologic and taxonomic diversification in the Mesozoic brackish-water bivalve faunas in Japan, with emphasis on infaunalization of heterodonts. *Gondwana Research* 10 : 316-327.
- 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. 2008. Early Cretaceous multituberculate mammals from the Kuwajima Formation (Tetori Group), central Japan. *Acta Palaeontologica Polonica* 53 : 379-390.
- Kusuhashi, N., A. Matsumoto, M. Murakami, T. Tagami, T. Hirata, T. Iizuka, T. Handa and H. Matsuoka. 2006. Zircon U-Pb ages from tuff beds of the upper Mesozoic Tetori Group in the Shokawa district, Gifu Prefecture, central Japan. *Island Arc* 15 : 378-390.
- Kusuhashi, N., H. Matsuoka, H. Kamiya and T. Setoguchi. 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.
- Lamsdell, J. C. 2016. Horseshoe crab phylogeny and independent colonizations of fresh water : ecological invasion as a driver for morphological innovation. *Palaeontology* 59 : 181-194.
- Maddocks, R.F. 1976. Pussellinae are interstitial Bairdiidae (Ostracoda). *Micropaleontology* 22 : 194-214.
- 前田四郎. 1958. 白山地域の手取層群の層序と構造 (その1 層序). *地質学雑誌* 64 : 583-594.
- 前田四郎. 1961a. 白山地域の手取層群の層序と構造 (その2 地質構造). *地質学雑誌* 67 : 133-142.
- 前田四郎. 1961b. 手取層群の地史学的研究. *千葉大学文理学部紀要* 3 : 369-426.
- 松井久美子・指田勝男・上松佐知子. 2016. 中新統赤平層群秩父町層から産するジュラ紀末～白亜紀放散虫. *地質学雑誌* 122 : 261-266.
- 松川正樹・浅原拓麻. 2010. 石川・福井県境の打波川流域に分布する手取層群の層序：白山地域と九頭竜川地域の対比. *東京学芸大学紀要, 自然科学系* 62 : 119-130.
- Matsukawa, M., and M. Fukui. 2009. Hauterivian-Barremian marine molluscan fauna from the Tetori Group in Japan and late Mesozoic marine transgressions in East Asia. *Cretaceous Research* 30 : 615-631.
- 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.
- Matsukawa, M., and K. Ido. 1993. Nonmarine molluscan communities and palaeoecology in the Jurassic-Cretaceous Tetori Group, Japan. *Cretaceous Research* 14 : 365-381.
- Matsukawa, M., M. Ito, N. Nishida, K. Koarai, M. G. Lockley and D. J. Nichols. 2006. The Cretaceous Tetori biota in Japan and its evolutionary significance for terrestrial ecosystems in Asia. *Cretaceous Research* 27 : 199-225.
- 松川正樹・川島和桐・小荒井千人. 1996. 岐阜県北部の手取層群中部の非海生軟体動物化石群集と化石化過程. *東京学芸大学紀要, 第4部門* 48 : 101-113.
- 松川正樹・小荒井千人・塩野谷奨・新海拓也・中田恒介・松井哲也・青野宏美・小林典夫・大久保敦・林 慶一・伊藤 慎. 2003. 手取層群の主要分布域全域の層序と堆積盆地の変遷. *地質学雑誌* 109 : 383-398.
- 松川正樹・中田恒介. 1999. 手取層群の分布域中央部の層序と堆積環境の変遷－非海生軟体動物化石群集に基づいて－. *地質学雑誌* 105 : 817-835.
- 松川正樹・中田恒介. 2003. “シジミ貝類” (corbiculoids) の適応戦略と系統進化－日本の中生代化石に基づいて－. *東京学芸大学紀要, 第4部門* 55 : 161-189.
- 松川正樹・中田恒介・小荒井千人・梶澤吉広・塩野谷 奨・松井哲也・大久保 敦・青野宏美. 1999. 岐阜県北部大白川地域の手取層群の層序と非海生軟体動物化石群集. *東京学芸大学紀要, 第4部門* 51 : 67-76.
- 松本 藍・楠橋 直・村上雅紀・田上高広・平田岳史・飯塚 毅・半田岳士・松岡廣繁. 2006. LA-ICPMS を用いた手取層群の凝灰岩層のジルコン・ウラン鉛年代. *日本古生物学会第155回例会予稿集* : 110.
- 松岡廣繁・長谷川善和・小泉明裕・中村明男・山口一男. 2001. 石川県尾口村瀬戸野の手取層群桑島層から発見されたカプトガニ類の行跡化石. *日本古生物学会第150回例会予稿集* : 60.
- 松岡廣繁・平澤 聡・イングリシ マシュー・寺島容子・楠橋 直・長谷川善和. 2009. 前期白亜紀における“カプトガニのポンペイ遺跡”：石川県白山市瀬戸野（下部白亜系手取層群）の *Kouphichnium* 生痕化石群の概要. *化石研究会会誌* 41 : 62-75.
- Matsuoka, H., N. Kusuhashi, T. Takada and T. Setoguchi. 2002. A clue to the Neocomian vertebrate fauna : initial results from the Kuwajima “Kaseki-kabe” (Tetori Group) in Shiramine, Ishikawa, central Japan. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University, Series of Geology and Mineralogy* 59 : 33-45.
- Matsuoka, H., N. Kusuhashi and I. J. Corfe. 2016. A new Early Cretaceous tritylodontid (Synapsida, Cynodontia,

- Mammaliomorpha) from the Kuwajima Formation (Tetori Group) of central Japan. *Journal of Vertebrate Paleontology* 36 : e1112289.
- 中江 訓. 2000. 八溝山地大子地域の足尾テレーンに見られる3種類の中期-後期ジュラ紀泥質岩. *地質調査所月報* 51 : 113-128.
- Ogg, J. G., and L. A. Hinnov. 2012. Cretaceous : pp. 793-853 in F. M. Gradstein, J. G. Ogg, M. D. Schmitz and G. M. Ogg (eds.), *The Geologic Time Scale 2012, Volume 2*. Elsevier, Oxford, U.K.
- Reid, R. E. H. 2003a. Class Demospongia : general morphology and classification : pp. 15-62 in R. M. Finks, R. E. H. Reid and J. K. Rigby (eds.), *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part E (Revised), Porifera vol.2*. The Geological Society of America and the University of Kansas, Boulder and Lawrence.
- Reid, R. E. H. 2003b. Hexactinellida : general morphology and classification : pp. 127-134 in R. M. Finks, R. E. H. Reid and J. K. Rigby (eds.), *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part E (Revised), Porifera vol.2*. The Geological Society of America and the University of Kansas, Boulder and Lawrence.
- 斉田縦道. 1987. 福井県大野郡和泉村田茂谷地域の手取層群のチャート礫に含まれる三疊紀およびジュラ紀放散虫化石. *地質学雑誌* 93 : 57-59.
- 斎藤文紀. 1989. 陸棚堆積物の区分と暴風型陸棚における堆積相. *地学雑誌* 98 : 164-179.
- 酒井佑輔・園田哲平・堤 之恭・楠橋 直・堀江憲路・松岡 篤. 2015. 石川県白峰地域における手取層群赤岩亜層群の凝灰岩から得られたジルコンのU-Pb年代. *日本古生物学会 2015 年年会予稿集* : 49.
- 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.
- 佐野晋一・伊庭靖弘・伊左治鎮司・浅井秀彦・ジューバオクサナ S. 2015. 日本における白亜紀最初期のベレムナイトとその古生物地理学的意義. *地質学雑誌* 121 : 71-79.
- Sato, T. 1962. Études biostratigraphiques des ammonites du Jurassique du Japon. *Mémoires de la Société Géologique de France, Nouvelle Série* 94 : 1-122.
- 佐藤 正. 2008. 手取層群アンモナイトの総括的リスト. *深田地質研究所年報* 9 : 79-107.
- 佐藤 正・浅見昭子・蜂矢喜一郎・水野吉昭. 2008. 岐阜県庄川上流御手洗層からベリアシアン(白亜紀前期)アンモナイト *Neocosmoceras* の発見. *瑞浪市化石博物館研究報告* 34 : 77-80.
- 佐藤 正・蜂矢喜一郎・水野吉昭. 2003. 岐阜県庄川村の手取層群から産出したジュラ紀末期-白亜紀初期アンモナイト. *瑞浪市化石博物館研究報告* 30 : 151-167.
- Sato, T., and G. E. G. Westermann. 1991. Japan and South-East Asia. *Newsletters on Stratigraphy* 24 : 81-108.
- Sato, T., and T. Yamada. 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.
- Sha, J., and H. Hirano. 2012. A revised Barremian-Aptian age for the Mitarai Formation (lower Tetori Group, Makito area of central Japan), previously considered Middle Jurassic-earliest Cretaceous. *Episodes* 35 : 431-437.
- Shibata, M., and Y. Azuma. 2015. New basal hadrosauroid (Dinosauria : Ornithopoda) from the Lower Cretaceous Kitadani Formation, Fukui, central Japan. *Zootaxa* 3914 : 421-440.
- 島本昌憲・林 広樹・鈴木紀毅・田中裕一郎・斎藤常正. 1998. 福島県東棚倉地域に分布する新第三系の層序と微化石年代. *地質学雑誌* 104 : 296-312.
- 菅野耕三. 1982. 北陸地方新第三系の化石放散虫層序の研究(第2報) - 藪田層の放散虫化石群集 -. *大阪教育大学紀要 第III部門* 31 : 35-43.
- 菅野耕三. 1986. 放散虫化石の再堆積問題について. *大阪微化石研究会誌特別号* 7 : 131-139.
- 鈴木紀毅・相田吉昭. 2011. 放散虫の生物学-分布, 現存量, 共生生物-. *日本プランクトン学会報* 58 : 46-48.
- Suzuki, N., and F. Not. 2015. Biology and ecology of Radiolaria : pp. 179-222 in S. Ohtsuka, T. Suzuki T. Horiguchi, N. Suzuki and F. Not (eds.), *Marine Protists : Diversity and Dynamics*. Springer, Tokyo.
- 田村 実. 1990. 西南日本非海成白亜紀二枚貝フォーナの層位学的・古生物学的研究. *熊本大学教育学部紀要, 自然科学, 特別号* 39 : 1-47.
- Walker, R. G. 1992. Wave- and storm-dominated shallow marine systems : pp. 219-238 in R. G. Walker, and N. P. James (eds.), *Facies Models, Response to Sea Level Change*, Geological Association of Canada. St Johns.
- 渡辺洋子. 1992. 後生動物亜界 海綿動物門 : pp. 7-19, 西村三郎(編), *原色検索日本海岸動物図鑑 [I]*. 保育社, 東京都.
- Yamada, S., and H. Tanaka. 2011. First report of an interstitial *Semicytherura* (Crustacea : Ostracoda : Cytheruridae : Cytherurinae) : a new species from central Japan. *Species Diversity* 16 : 46-63.

* : in Russian with English summary