

福井県勝山市杉山川流域から発見された白亜紀の針葉樹材化石

寺田和雄・矢部 淳

福井県立恐竜博物館
福井県勝山市村岡町寺尾51-11

要 旨

福井県勝山市北谷町の杉山川流域から3点の珪化木を得た。そのうち、1点は*Xenoxylon latiporosum* (Cramer) Gothanであったが、もう2点はそれぞれヒノキ型とスギ型の分野壁孔を持つ材化石であった。ヒノキ型の分野壁孔を持つ材化石は、ヒノキ科の*Cupressinoxylon* の一種 (*Cupressinoxylon* sp.) と同定され、現生のヒノキ属とアスナロ属またはそれらの近縁属に類縁があると考えられる。一方、スギ型の分野壁孔を持つ材化石は、外帯日本の下部白亜系から報告された*Mesembrioxylon* (非合法名) の樹種に類縁があると考えられ、マキ科もしくは原マツ科の*Podocarpoxyylon* の一種 (*Podocarpoxyylon sensu* Gothan (1905)) とした。*X. latiporosum* の材化石と*Podocarpoxyylon* の一種の2点は、手取層群赤岩亜層群の最上部の北谷層から産した可能性が高く、もう1点の*Cupressinoxylon* の材化石は、北谷層もしくは北谷層を不整合で覆う大道谷層 (Maastrichtian) に由来した可能性が考えられる。手取層群からの*X. latiporosum* 以外の材化石の発見は初めてである。さらに、北谷層の*X. latiporosum* は、日本で最も時代の新しい産出記録であり、日本では本種が、少なくとも後期 Barremian までは生育していたと考えられる。北谷層からの*Podocarpoxyylon* の一種の発見は、北谷層堆積時に外帯日本に類似した乾期を伴う気候が内帯日本にも広がっていたことを示唆する。

キーワード: ヒノキ科, マキ科, 材化石, 手取層群, 北谷層, 大道谷層, *Xenoxylon latiporosum*, Protopinaceae, “*Mesembrioxylon*”

TERADA, Kazuo and Atsushi YABE (2011) Cretaceous conifer woods discovered from the Sugiyama River area of Katsuyama City, Fukui Prefecture, Japan. Mem. Fukui Pref. Dinosaur Mus. 10 : 89 – 102.

Three silicified woods were collected as boulders from the Sugiyama River at Kitadani-cho, Katsuyama City, Fukui Prefecture. One was identified as *Xenoxylon latiporosum* (Cramer) Gothan. Each of the other two has cupressoid and taxodioid cross-field pittings, respectively. The wood with cupressoid pittings was identified as *Cupressinoxylon* sp. of the family Cupressaceae and has affinity with *Chamaecyparis*, *Thujopsis* or their closely related genera. The wood with taxodioid pittings has affinity with species of *Mesembrioxylon* (illegitimate generic name) that were reported from the outer zone of Japan, and was regarded as *Podocarpoxyylon sensu* Gothan (1905) of the family Podocarpaceae or Protopinaceae. The fossil specimens of *X. latiporosum* and *Podocarpoxyylon* sp. probably occurred from the Kitadani Formation (late Barremian) of the uppermost part of the Akaiwa Subgroup of the Tetori Group. The specimen of *Cupressinoxylon* sp. probably occurred from either the Kitadani Formation or the unconformably overlying Omichidani Formation (Maastrichtian). This is the first discovery of fossil woods other than *X. latiporosum* from the Tetori Group. The discovery of *X. latiporosum* from the Kitadani Formation records the latest occurrence (late Barremian) of the species in Japan. The find of *Podocarpoxyylon* sp. from the Kitadani Formation supports that the climate with dry season occurred, if not prevailed, in both outer and inner zones of Japan then.

2011 年 6 月30日受付, 2011 年10月13日受理.

Corresponding author—Kazuo TERADA

Fukui Prefectural Dinosaur Museum, 51-11 Terao, Muroko,

Katsuyama, Fukui 911-8601, Japan

E-mail : k-terada@dinosaur.pref.fukui.jp

(*を半角@に変えてご入力ください)

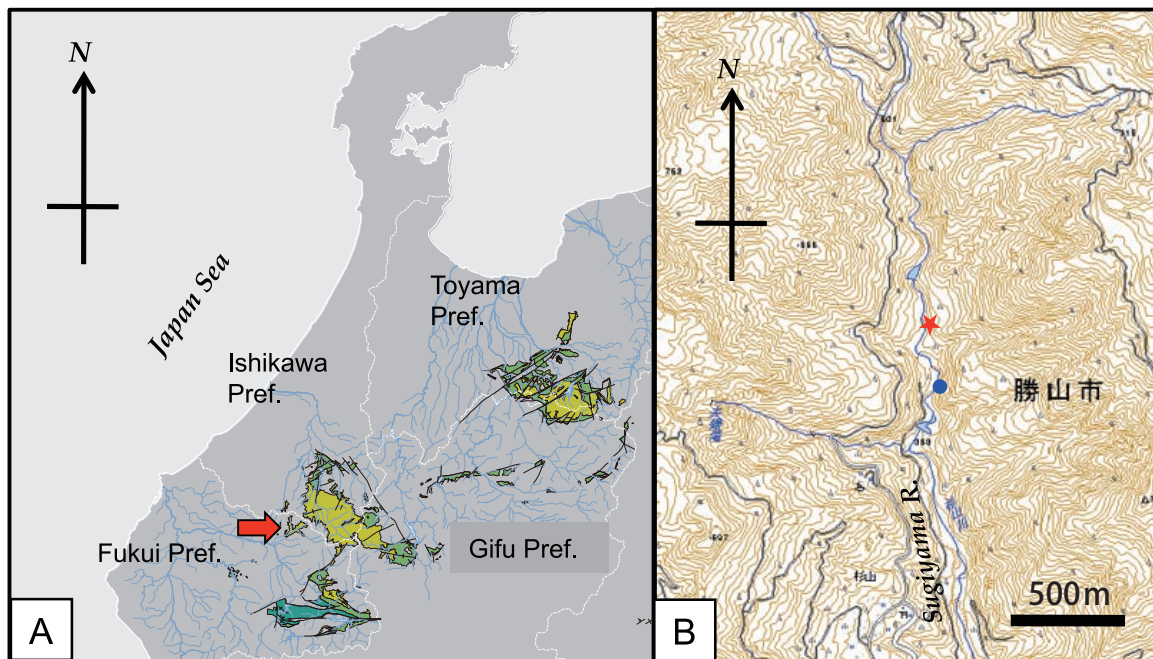


FIGURE 1. Locality maps of the Sugiyama River area. A, Distribution map of the Tetori Group (modified from Maeda (1961)). Green: Kuzuryu subgroup, Green yellow: Itoshiro subgroup, Yellow: Akaiwa subgroup. B, Collecting points (red star) of a fossil wood (FPDM-P-465) on topographic map (1: 25000 scale map of Kitadani published by the Geographical Survey Institute of Japan). Other two fossil woods (FPDM-P-463, 464) were collected from the Sugiyama River. Blue circle: Kitadani Dinosaur Quarry.

はじめに

日本を含む東アジアのジュラ紀中期から白亜紀前期の中生代植物化石群は、木村達明らによる一連の研究 (Kimura, 1987, 2000; Kimura and Ohana, 1997 など) で、組成上の特徴から内帯日本の「手取型植物群」と外帯日本の「領石型植物群」に区分された。手取型植物群は、北陸・飛騨地方に分布する手取層群から産する植物化石を模式とし、湿潤な気候を好む植物によって構成され、一方、領石型植物群は、乾期を伴う気候下に生育した植物によって構成された (Kimura, 1987; Kimura and Ohana, 1997 など)。また、両植物群には共通する種類が全く含まれず、植物地理学的に異なる地理区に属する同時代の植物群であるとされた (Kimura, 1987; Kimura and Ohana, 1997 など)。

手取層群は中部ジュラ系から下部白亜系の海成あるいは陸成層で、下位から、九頭竜亜層群、石徹白亜層群、赤岩亜層群に区分される (前田, 1961; Kusuhashi et al., 2002; Fujita, 2003 など)。Kimura (1975) は、手取層群の下位から、九頭竜植物群 (Kuzuryu Flora: Kimura 1958, 1975)・尾口植物群 (Oguchi Flora: Kimura, 1975)・赤岩植物群 (Akaiwa Flora: Kimura, 1975)・田茂谷植物群 (Tamodani Flora: Kimura, 1975; Kimura and Horiuchi, 1979) の4つの植物群を認識したが、その後、木村ら (Kimura, 1987, 2000; Kimura and Ohana, 1997 など) は、ジュラ紀中期から白亜紀前期にかけて手取層群から産する植物化石群の組

成がほとんど変化しなかったとする見解を持つに至った。しかし、この見解について、最近問題が指摘されている (Yabe et al., 2003; Yabe and Kubota, 2004; Yamada and Uemura, 2008; 山田, 2009; Legrand et al., 2010 など)。Yabe et al. (2003) は、木村が以前認識した尾口植物群・赤岩植物群・田茂谷植物群を再認識し、さらに田茂谷植物群を新たな植物化石を含めて再定義した。彼らは、これら植物群の差異はアジア地域での植生変化に起因すると考えた (Yabe et al., 2003; Yabe and Kubota, 2004)。Yamada and Uemura (2008) は、Kimura (1958) による九頭竜植物群のうち、*Otozamites sewardii* Oishi (1940) を除き、すべて石徹白亜層群から採集された植物化石に基づいていることを示し、さらに、明らかに九頭竜亜層群の貝皿層から産する植物群が、他の手取型植物群と組成が異なることから「貝皿植物群」を提唱した。また、山田 (2009) は、ジュラ紀中期から白亜紀前期にかけての含植物化石層の年代を推定し、近年の研究の成果などから、前期白亜紀後期 (late Early Cretaceous) には、内帯日本も外帯日本の領石型植物群と同じような乾燥した気候を好む植物群が生育した可能性を示唆した。このように日本の中生代植物相の変遷を明らかにする上で、手取層群の詳細な植物化石の研究が重要となってきた。

今回、福井県勝山市北谷町滝波川支流の杉山川流域から新たに3点の珪化した材化石を得た。手取層群のうち、石徹白亜層群や赤岩亜層群下部からは珪化木が多産し (前

田, 1955a, 1955b), その一部は直立樹幹の状態で産し, 化石林を形成する(小林, 1951; Ogura et al., 1951; 前田, 1954; 石川県教育委員会, 1978; 寺田, 2008など). その樹種については, 島倉(1934; Shimakura, 1936)が白山市桑島の材化石を *Xenoxylon latiporosum* (Cramer) Gothan と同定した. その後, 手取層群各地の数十点以上の材化石が検討されたが, すべてが *X. latiporosum* と同定され, 他の樹種は知られていない(Ogura et al., 1951; 石川県教育委員会, 1978; Suzuki and Terada, 1992; 寺田ほか, 2002; Terada et al., 2004; 寺田, 2008など). 材(二次木部)化石ではないが, 唯一, 岐阜県高山市荘川町尾上郷谷から採集された木生シダの幹だけが別種の珪化化石である(寺田ほか, 2001; Terada, 2002; Yabe et al., 2003).

この20年余り, 杉山川の北谷層について, 福井県による恐竜化石発掘調査がなされ, 北谷町の発掘現場(Kitadani Dinosaur Quarry) (Fig. 1B)からは, 恐竜, ワニ, カメ, 魚類および淡水生軟体動物などの動物化石を中心に数多くの化石が産出している(後藤ほか, 2002; 柴田・後藤, 2008; Azuma and Shibata, 2010など). しかしながら, この現場から産出する幹などの材化石は, すべて炭化状態で, 内部構造は全く残っておらず, 樹種の同定はできていない.

これまでの杉山川・滝波川流域の地質層序学的な報告に, わずかながら材化石の産出記録がある(前田, 1958; 塚野, 1969). 前田(1958)は, 北谷町河合の北谷層に挟在する石炭の薄層の上盤から *X. latiporosum* の産出を報告した. 塚野(1969)は, 勝山市村岡町柵神谷の滝波川河床に分布する柵神谷砂岩層(前田(1958)の赤岩砂岩層)から *X. latiporosum* と考えられる珪化木の破片を採集し, さらに, 北谷層最下部の礫質砂岩層から *X. latiporosum* の樹幹を発見したと言及している. しかし, これらの報告は文章による記述のみで, 試料の写真や記載などはなく, 薄片などを作成して詳細な検討がなされたかどうかはわからない.

今回, 杉山川流域から得られた3点の材化石の樹種について検討した結果, 新たな知見が得られたので, 樹種, 産出層準および発見の意義について報告する.

試料と方法

地質概要

福井県勝山市北谷町の杉山川流域の地質は, 下位より手取層群北谷層, 足羽層群大道谷層, 面谷(濃飛)流紋岩類, 下部中新統及び鮮新統～更新統の安山岩類などの火山性碎屑物に区分される(塚野, 1969; 山田, 1988; 福井県, 2010). このうち植物化石が産することが知られている地層は北谷層と大道谷層である.

北谷層は, 福井県勝山市北谷町杉山川流域を模式地とする, 中～細粒砂岩, 黒色砂質頁岩および泥岩の互層からなる. 北谷層の手取層群における層序学的位置に関しては, いくつかの異なる見解があるが(河合, 1961; 大村, 1973; 松川ほか, 2003など), 一般的に北谷層は赤岩垂層群の最上部, つまり手取層群の最上部に位置し, 大野市の石徹白川上流域の知那洞谷層および石川県の手取川上流域

の明谷層と対比されている(前田, 1958, 1961; 山田, 1988; Fujita, 2003; Kusuhashi, 2008; Yamada and Uemura, 2008など). 北谷層の年代は二枚貝や車軸藻などによる生層序に基づき, 後期 Barremian と推定されている(Isaji, 1993; Kubota, 2005など).

北谷層の植物化石に関しては, Yabe and Kubota (2004) の *Brachyphyllum obesum* Heer 以外の詳細な報告はなされていない. 北谷発掘現場からは, 多数の *B. obesum* をはじめ, *Elatocladus*, *Podozamites* など針葉樹類の葉やシュートや, シダ植物の *Onychiopsis elongata* (Geyler) Yokoyama, *Gleichenites nipponensis* Oishi など, 尾口植物群と共通する要素が産出するが, 尾口植物群に特徴的な *Podozamites reinii* Geyler やイチョウ類, チェカノウスキア類, ソテツ類の *Nilssonia* が産出しないという予察的な報告がある(矢部ほか, 2011). また最近, 本層の孢子・花粉分析も行われており, シダ植物の孢子や裸子植物の球果類やベネチテス類などが多産する一方, イチョウ類が全く検出されなかったことから, 明らかに尾口植物群と異なった植物相であることが指摘されている(Legrand et al., 2010).

一方, 大道谷層は, 滝波川上流の谷峠と杉山川沿いに分布し, この地域では北谷層を不整合に覆う(前田, 1952, 1958). 本層は泥岩を主体として凝灰質砂岩を伴う湖成堆積物で, 本層の植物化石群集は, 大道谷植物群(Omichidani Flora)として報告されている(天野・遠藤, 1952; Matsuo, 1970). 大道谷植物群は, シダ植物の *Cladophlebis* やソテツ類の *Nilssonia* などと, マツ科のトガサワラ属(*Pseudotsuga*), マツ属(*Pinus*), ヒノキ科のスイショウ属(*Glyptostrobus*), セコイア属(*Sequoia*), タイワンスギ属(*Taiwania*), ヒノキ属(*Chamaecyparis*)等の裸子植物の他, アスナロビシ属(*Hemitrapa*)などの被子植物を含む(Matsuo, 1970). しかし, 既報の化石は葉や生殖器官のみで, これまでに材化石は報告されていない. また, 本層の花粉・孢子分析も行われており, これらの結果から本層の年代は白亜紀後期のMaastrichtianと推定されている(高橋, 1991; Nichols et al., 2010).

材化石試料の産地と研究方法

材化石試料3点は, いずれも福井県勝山市北谷町杉山川の転石として採集された(Fig. 1B). 試料(FPDM-P-465)は, 小林則夫が2008年6月10日, 北谷発掘現場より250mほど上流の杉山川左岸の谷(北緯36度7分28秒, 東経136度32分40秒)で採集したもので, 北谷層分布域で採集されたものである(Fig. 1B). この試料は硬い珪化木で母岩は付いておらず, 表面は黄褐色で, 樹皮は欠くもののほとんど円磨されていない(Fig. 2A). この採集地点のすぐ近傍の露頭から, 哺乳類化石 *Symmetrolestes parvus* Tsubamoto et al. (Tsubamoto et al., 2004) や針葉樹シュート化石 *Brachyphyllum obesum* Heer (Yabe and Kubota, 2004) が報告されている.

残りの2点(FPDM-P-463, FPDM-P-464)は, 森永政治が砂防工事の際(1998年頃), “林道杉山線”より谷下側で採集したものである. 採集地点は北谷層分布域だが, 詳細

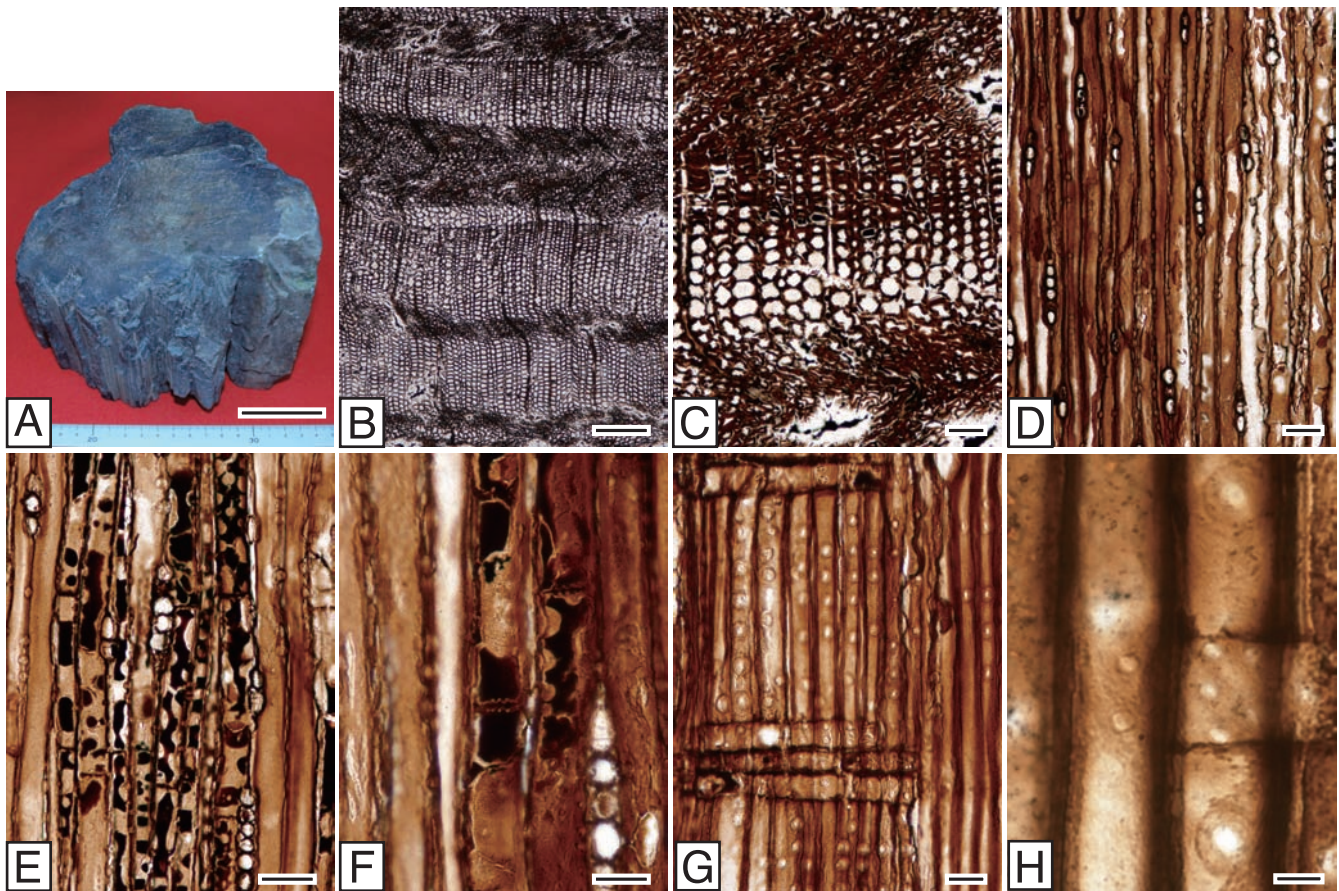


FIGURE 2. *Cupressinoxylon* sp., FPDm-P-465. A, Original material. Scale bar : 5 cm. B–H, Microphotographs of fossil wood. B, Cross section showing growth rings. Scale bar : 500 μ m. C, Cross section showing a growth ring and tangential zonated axial parenchyma. Scale bar : 50 μ m. D, Tangential section showing low uniseriate rays. Scale bar : 50 μ m. E, Tangential section showing axial parenchyma with resin. Scale bar : 50 μ m. F, Tangential section showing nodular transverse end walls of axial parenchyma. Scale bar : 25 μ m. G, Radial section showing uniseriate tracheid pitting. Scale bar : 25 μ m. H, Radial section showing cupressoid cross-field pitting. Scale bar : 10 μ m.

は不明である。2 試料とも母岩は付いておらず、黒色で、樹皮を欠き、硬く緻密な珪化木である (Figs. 3A, 4A)。FPDM-P-464は円磨され、すこし角がとれている (Fig. 4A)。FPDM-P-463は、ほとんど円磨されておらず、年輪も確認され、木の中心部が残っている (Fig. 3A)。

以上の3点の試料から、木口・板目・柾目面の3方向の薄片プレパラートを作成し、光学顕微鏡を用いて観察し、分類学的に検討を行なった。材化石の原試料及び観察に用いたプレパラートは、福井県立恐竜博物館に保管されている。

結 果

検討した3点のうち、1点 (FPDM-P-464) は *Xenoxylon latiporosum* と同定され、もう2点はそれぞれヒノキ型とスギ型の分野壁孔を持つ材化石であった。ヒノキ型の分野壁孔を持つ材化石 (FPDM-P-465) は *Cupressinoxylon* の一

種 (*Cupressinoxylon* sp.)、スギ型の分野壁孔を持つ材化石 (FPDM-P-463) は、*Podocarpoxylon* の一種 (*Podocarpoxylon* sp.) とした。古生物学的記載を以下に記述する。

なお、木材組織・形質の専門用語に関しては、IAWA Committee (2004) に従い、日本語訳は日本木材学会ほか (2006) に従った。さらに、中生代針葉樹の判別に特に重要な分野壁孔と仮道管壁孔の形質は、Philippe and Bamford (2008) に従い、Table 1 のとおり区分した。

古生物学的記載

マツ綱 Class PINOPSIDA Burnett, 1835

マツ目 Order PINALES Dumortier, 1829

ヒノキ科 Family CUPRESSACEAE LC Richard ex Bartling, 1830

Genus *CUPRESSINOXYLON* Göppert, 1850

CUPRESSINOXYLON sp.

(Fig. 2 A–H)

TABLE 1. Definitions of terms for anatomical features of Mesozoic woods (referred from IAWA Committee (2004) and Philippe and Bamford (2008)).

用語	定義
【分野壁孔】	
窓状	単壁孔（縁がない孔）もしくは見かけ上の単壁孔で、通常1分野1～2つで、孔口は大きく、分野のほぼ全域を占める正方形ないしは長方形で、角は丸く尖らない。
トウヒ型	円形または斜めに傾いた楕円形の壁孔縁をもち、孔口は狭くスリット状で、しばしば両端が壁孔縁からはみ出す。
ヒノキ型	円形または楕円形の壁孔縁をもち、孔口は長楕円形で壁孔縁の境界内に収まる。孔口の幅（短径）が両側の壁孔縁の幅よりも狭い。
スギ型	円形または楕円形の壁孔縁をもち、孔口は大きく楕円形から長円形で壁孔縁の境界に収まる。孔口の幅（短径）が両側の壁孔縁の最も広い部分の幅よりもはるかに広い。
Phyllocladoid 型（エダハマキ型）	単壁孔もしくは見かけ上の単壁孔で、通常1分野1～2つで、孔口は窓状であるが、向かい合う一對の2つの角が尖っている。
Podocarpoid型（マキ型）	円形の壁孔縁をもち、孔口は楕円形でほぼ垂直にスリット状に狭く開いている。
【放射壁の仮道管壁孔】	
ナンヨウスギ型	壁孔の90%以上が隣接し連続的で、多列部分が常に交互状に配列し、壁孔の形状は隣接する壁孔間が平らになり多角形である。
Abietinean型（モミ亜科型）	壁孔の多くが単独（多くても連続する壁孔は10%）で、2列か多列の時は対列状に配列し、壁孔の形状は普通円形である。
混合型（過渡型もしくは Übergangsformen型）	壁孔がナンヨウスギ型とAbietinean型の両者の特徴を持っている。
Xenoxylean型（ゼノキシロン型）	<i>Xenoxylon latiporosum</i> で見られるような、軸方向が著しく偏平した楕円形の壁孔が隣接の壁孔と垂直に連続している。

試料: FPDMP-465. 試料は硬く、円磨度は低い。原試料の大きさは16 × 16 cm、軸方向の長さは20 cmである。黄褐色で、幹の中心を伴い、年輪を確認できるものの、樹皮は欠き、二次木部のみからなる (Fig. 2A)。

採集地点: 福井県勝山市北谷町字中野俣杉山川 (北緯36度7分28秒、東経136度32分40秒)、2008年6月10日、小林則夫が転石として採集 (Fig. 1B)。

材構造: 仮道管と軸方向柔組織（樹脂細胞）と放射柔細胞からなる針葉樹材で、軸方向および放射細胞間道を欠く (Fig. 2B, D)。年輪は比較的明瞭で、年輪幅は狭く、0.3～1.8 (平均0.76) mmである。早材部の組織の一部は分解が進み、変形しているが、早材から晩材への移行は比較的緩やかで、晩材部は狭く2～3列である (Fig. 2E)。早材部の仮道管は、接線径 25～50 (平均30) μm × 放射径 20～25 (平均22) μmで、晩材部では放射径が13～20 (平均15) μmに減ずる。仮道管の放射壁の壁孔はAbietinean型で、すべて単列で単独である (Fig. 2G)。その壁孔径は10～17.5 (平均13.8) μmで、中心に2.5～3.1 (平均2.9) μmの孔口を持つ。仮道管内に螺旋肥厚は見られない。軸方向柔組織は黒褐色の樹脂を含み、早材から晩材の境界付近に接線方向の帯状配列し (Fig. 2C)、その水平壁は数珠状に肥厚した末端壁を持つ (Fig. 2E, F)。放射柔細胞の末端壁は平滑である (Fig. 2G, H)。分野壁孔は典型的なヒノキ型 (96%)、またはまれにトウヒ型 (4%) で、1分野に1～4個 (まれに5個) (平均2.3個) 存在し、その径は4～7 (平均5.8) μmで、長楕円形の

孔口の長軸は斜めに配向する (Fig. 2H)。放射組織はすべて単列で、その高さは比較的長く、1～6細胞高 (25～125 (平均70) μm) で、ほとんどが4細胞高以下である (Fig. 2D, E)。

類縁: 軸方向および放射細胞間道を欠く針葉樹材、晩材部が狭い、軸方向柔組織（樹脂細胞）を有す、分野壁孔はヒノキ型という形質から、本化石がヒノキ科の材であることは明らかである。ヒノキ科は、長らくは狭義のヒノキ科とスギ科の2つに分けられていたが、分子系統学的研究から、両科をヒノキ科として扱うのが普通である (Brunsfield et al., 1994; Gadek et al., 2000など)。ヒノキ科 (広義) の現生種は28属ないし30属で、約142種からなり、世界中に分布する (Farjon, 2005; Earle, 1997-onwards)。

本化石は、1) 軸方向柔組織が接線状に配列する、2) その水平壁は数珠状になる、3) 分野壁孔がヒノキ型からまれにトウヒ型で斜めに孔口が開く、3) 1分野に2個程度持つ、等の特徴から、現生ヒノキ科のヒノキ属 (*Chamaecyparis*) もしくはアスナロ属 (*Thujaopsis*) に類似する。Noshiro (2011) は、日本産の現生ヒノキ科の材形質の数量的な変異を検討した結果、変異は大きく重なるものの、分野壁孔の大きさや型や1分野における数の平均値によって識別が可能であるとした。この結果に基づくと、本化石は分野壁孔径の平均は5.8 μmで、ヒノキ型 (96%)、トウヒ型 (4%)、1分野における数の平均は2.3個であることから、ヒノキ属のヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* (Siebold et Zucc.) Endl.) とアスナロ属のアスナロ

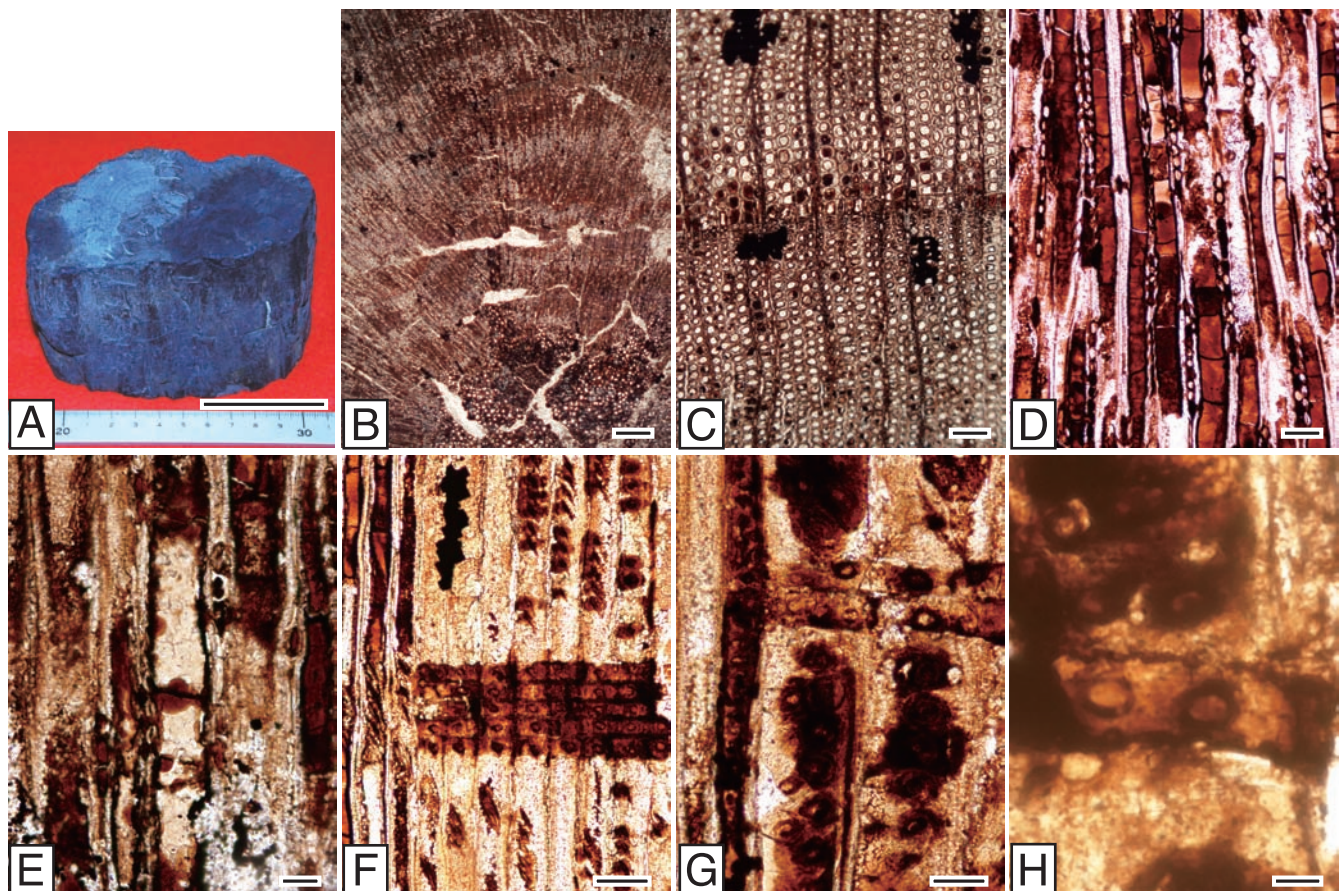


FIGURE 3. *Podocarpoxyylon* sp., FPDm-P-463. A, Original material. Scale bar : 5 cm. B–H, Microphotographs of fossil wood. B, Cross section showing pith and compression wood. Scale bar : 500 μ m. C, Cross section showing a growth ring and numerous resinous tracheids. Scale bar : 50 μ m. D, Tangential section showing mostly uniseriate rays and resinous tracheids. Scale bar : 50 μ m. E, Tangential section showing thin-walled tylosis. Scale bar : 25 μ m. F, Radial section showing mostly uniseriate tracheid pitting. Scale bar : 50 μ m. G, Radial section showing opposite and alternate tracheid pitting and taxodioid cross-field pitting. Scale bar : 25 μ m. H, Radial section showing taxodioid cross-field pitting. Scale bar : 10 μ m.

(*Thujaopsis dolabrata* (L.f.) Siebold et Zucc.)の変異の幅において両種の中間的な値を持っていた。今後、日本産以外のヒノキ科の樹種との比較を行う必要があるが、本化石はヒノキ属とアスナロ属またはその近縁属に類縁があるかもしれない。

中生代のヒノキ科材化石は、一般的に形態属である *Cupressinoxylon* に所属させられてきた。*Cupressinoxylon* には植物命名規約上の複雑な問題があるものの (Bamford and Philippe, 2001; Bamford et al., 2002)。本属が1世紀以上にわたって数多くの種に対して用いられてきたことから (Gothan, 1907; Stopes, 1915; Kräusel, 1919, 1949; Seward, 1919; Shimakura, 1937; Vaudois and Privé, 1971など)、*Cupressinoxylon* は保存名に提案され (Bamford et al., 2002)、承認されている (Skog, 2003)。

日本では、北海道の上部白亜系から *Cupressinoxylon* sp. (Shimakura, 1937) が、岩手県種市の上白亜系 (Santonian–Campanian) からは *C. vectense* Barber (Nishida

et al., 1993) が、千葉県銚子の下部白亜系 (Barremian–Aptian) からは *C. vectense*, *C. cf. hortii* Stopes, *C. sachalinense* Shimakura (Nishida, 1962, 1965, 1973) が、さらに岐阜県犬山市の下部～中部ジュラ系の坂祝礫岩層から *Cupressinoxylon* sp. (西田ほか, 1974; 近藤・足立, 1975) が報告されている (Oh et al., 2011bを一部訂正)。これら既報の分類群は、分野壁孔の数、放射組織の高さ、軸方向柔細胞の頻度などで区別されている。このような形質上の相違というものは、材形質の変異の幅を考慮して検討する必要があるので、本報では本化石を *Cupressinoxylon* の一種としておく。

マキ科もしくは原マツ科

Family PODOCARPACEAE Endlicher 1847
or PROTOPINACEAE Kräusel, 1917

Genus *PODOCARPOXYLON* sensu Gothan, 1905
PODOCARPOXYLON sp.

(Fig. 3 A–H)

試料: FPDMP-463. 試料は硬く、円磨度は低い。原試料の木口面は楕円形で、大きさは 11.5×6 cm (長径×短径)、軸方向の長さは13 cmである。幹の中心を伴い、年輪を確認できるものの、樹皮を欠き、二次木部のみからなる (Fig. 3A)。

採集地点: 福井県勝山市北谷町杉山川、採集地点詳細不明、森永政治が転石として採集。

材構造: 本化石は中心部分に髄をもつことから幹材と判断される (Fig. 3B)。材は部分的に圧縮材で、木口面での仮道管の輪郭は丸みを帯びる (Fig. 3B, C)。材は、仮道管と軸方向柔組織と放射柔細胞からなる針葉樹材で、軸方向および放射細胞間道を欠く (Fig. 3C, D)。年輪は比較的不明瞭で、年輪幅は $0.8 \sim 2.7$ (平均 1.8) mmである。早材から晩材への移行は緩やかで、晩材部は狭く2～3列である (Fig. 3C)。早材部の仮道管は、接線径 $20 \sim 65$ (平均 46) μm × 放射径 $25 \sim 65$ (平均 39) μm で、晩材部では放射径が $22 \sim 30$ (平均 25) μm に減ずる。仮道管の放射壁の壁孔は、ほとんどがAbietinean型の単列であるが (Fig. 3F)、まれに対列状～交互状に配列しており、混合型である (Fig. 3G)。その交互状の部分の壁孔は、ナンヨウスギ型のような多角形ではなく、円形である (Fig. 3G)。仮道管の放射壁の壁孔径は $12.5 \sim 22.5$ (平均 17) μm で、中心に $5 \sim 10$ (平均 7.9) μm の孔口を持つ。樹脂状の有機堆積物が顕著で、特に年輪の初めや放射組織の近くの仮道管は有機堆積物で充填されている (Fig. 3C, D)。仮道管内にセブタ状の薄いチロースが存在するため、有機堆積物を含む仮道管が軸方向柔組織 (樹脂細胞) のように見え、両者の区別は難しく (Fig. 3C)、木口面での軸方向柔組織の配列はわからない。さらに、板目・柁目面での観察からすると、軸方向柔組織は存在しないか極めてまれであり、たとえ存在しても、その水平壁は薄く平滑である (Fig. 3D, E)。また、放射柔細胞の末端壁は平滑である。分野壁孔は典型的な大きなスギ型もしくはまれに縁のある円形で、1分野に1もしくは2個 (まれに3個) 存在し、その放射径 $7 \sim 15$ (平均 11.2) μm × 垂直径 $6 \sim 11$ (平均 8.9) μm で、長楕円形の孔口の長軸は斜めから水平に配向する (Fig. 3F, G, H)。放射組織は単列または2列で、その高さは中庸から高く、 $1 \sim 20$ 細胞高 ($50 \sim 450$ (平均 244) μm)で、ほとんどが15細胞高以上である (Fig. 3D, E)。

類縁: 本化石は、1) 軸方向および放射細胞間道を欠く針葉樹材、2) 仮道管の放射壁の壁孔はAbietinean型まれに混合型、3) 軸方向柔組織 (樹脂細胞) はまれに存在しない、4) 分野壁孔は大型のスギ型まれに円形で、1分野に1もしくは2個存在する、という特徴を持つ。

一般的に、スギ型の分野壁孔を持つ材化石の形態属には、*Taxodioxylo*, *Glyptostroboxylo*, *Sequoioxylo*, *Juniperoxylo* の一部などがあり、それらは広義のヒノキ科として扱われる (Hartig, 1848; Conwentz, 1885; Gothan, 1905; Torrey, 1923; Kräusel, 1919, 1949; Vaudois and Privé, 1971; Dolezych, 2011など)。しかしながら、これらの属は、すべて明瞭な軸方向柔細胞 (樹脂細胞) を持つのに対し、本化石は軸方向柔細胞がまれに存在しない。従って、本化石はこれらの形態属には含まれない。

分野壁孔の形質が、本化石のように、1分野に1～2個

存在し、半有縁孔から単壁孔の大きな楕円形 (卵形) で、孔口の長軸は斜めから水平に配向しするものは、和歌山県有田の下部白亜系 (Barremian–Aptian) から報告された *Podocarpoxylon woburnense* Stopes (Shimakura, 1937) や千葉県銚子の下部白亜系 (Barremian–Aptian) から報告された *Mesembrioxylon gothani* (Stopes) Seward や *M. nihei-takagii* Nishida, *M. woburnense* (Stopes) Seward (Nishida, 1966)、さらに群馬県の関東山地の下部白亜系 (Barremian–Aptian) から報告された *Mesembrioxylon chichibuense* Nishida et Nishida (Nishida and Nishida, 1983) である。これらのうち、*Mesembrioxylon gothani* と *M. woburnense* は、Seward (1919) がそれぞれ *Phyllocladoxylo* *gothani* と *Podocarpoxylon woburnense* を *Mesembrioxylon* に組み換えたもので、Nishida (1966) はそれらを適用した。

これらの樹種は、軸方向柔細胞 (樹脂細胞) の頻度や放射組織の幅と高さ、分野壁孔の数によって区別されているが、非常に類似した材構造を持つ。

本化石は、これら外帯日本の下部白亜系から報告された *Mesembrioxylon* の樹種に類縁があるものだと考えられる。*Mesembrioxylon* は、Seward (1919) により Gothan (1905, 1910) の *Podocarpoxylon* と *Phyllocladoxylo* の2属をまとめた形で提唱された属名である。しかし、*Podocarpoxylon* と *Phyllocladoxylo* の両属は国際植物命名規約上合法名であることから、*Mesembrioxylon* は非合法名である (Bamford and Philippe, 2001; Harland et al., 2007など)。

Mesembrioxylon は使えないため、Oh et al. (2011b) は、前述した日本産の *Mesembrioxylon* の樹種を、議論なしに *Podocarpoxylon* や *Circoporoxylon*, *Taxodioxylo* に割り当てた。これらの3つの形態属のなかで、前述したように、本化石は軸方向柔細胞 (樹脂細胞) を欠くかまれであることから、*Taxodioxylo* には該当しない。

Circoporoxylon は、Kräusel (1949) が *Podocarpoxylon* と *Phyllocladoxylo* の中から設立した形態属で、中生代初期に多様化した針葉樹類の絶滅科である原マツ科 (Protopinaceae) に含まれる (Kräusel, 1949; Vogellehner, 1967, 1968; Iamandei and Iamandei, 2005)。*Circoporoxylon* の特徴は、Abietinean型の仮道管の放射壁の壁孔と、1分野に1個 (まれに2個) で狭い縁を持った円形の分野壁孔を持ち、軸方向柔細胞は持たない (Kräusel, 1949)。これらの特徴は、本化石と非常に類似するが、*Circoporoxylon* の分野壁孔の孔口は円形のみで (Kräusel, 1949; Philippe and Bamford, 2008)、本化石が斜めに傾いた楕円状の孔口からなる点で異なる。

一方、*Podocarpoxylon* は Gothan (1905) がマキ科の形態属として設立した。Gothan (1905) の原記載では、*Podocarpoxylon* の材構造は、放射壁の壁孔は連続的でなく、丸くて大きく、時に対列状で、仮道管の内壁には螺旋肥厚を欠き、軸方向柔細胞を持ち、分野壁孔は、Podocarpoid型もしくは Araucarioid型で、時に卵形孔を伴い、1分野に1～2個持つとされる (Bamford and Philippe, 2001; Philippe and Bamford, 2008を参照)。*Podocarpoxylon sensu* Gothan (1905) の樹種が数多く報告され (Gothan, 1908, 1910; Stopes, 1915; Torrey, 1923など)、

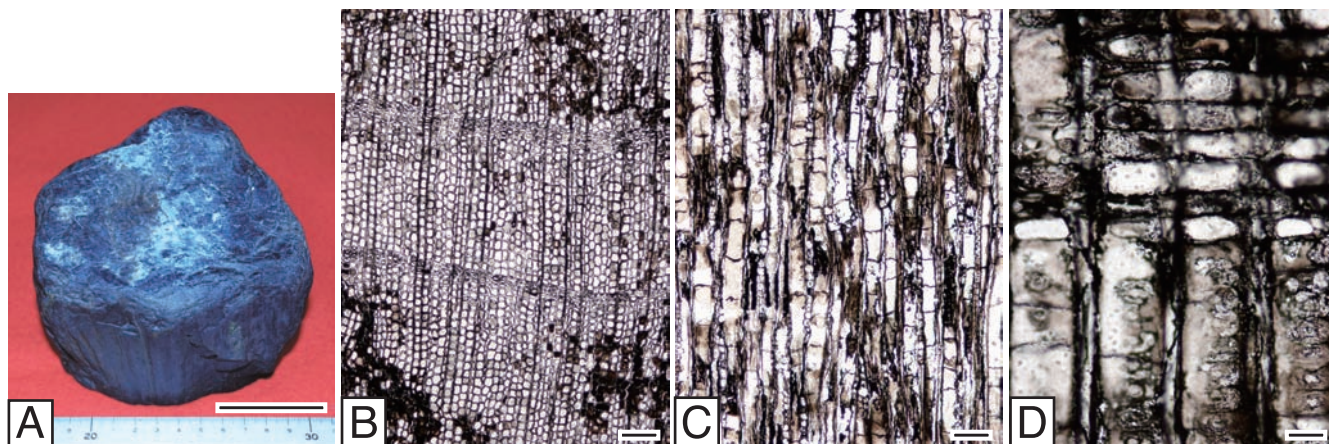


FIGURE 4. *Xenoxylon latiporosum* (Cramer) Gothan, FPDM-P-464. A, Original material. Scale bar : 5 cm. B-D, Microphotographs of fossil wood. B, Cross section showing distinct growth rings. Scale bar : 250 μm . C, Tangential section showing mostly uniseriate rays and tracheids with thin-walled tylosis. Scale bar : 100 μm . D, Radial section showing xenoxylean radial pitting and window-like cross-field pitting. Scale bar : 25 μm .

それらの樹種の材構造は多様で、Podocarpoid型や Araucarioid型以外に楕円形から円形の分野壁孔を有するものや、軸方向柔細胞(樹脂細胞)も顕著に存在するものと、まれか存在しないものなどが含まれた。その後、Kräusel(1919, 1949)は*Podocarpoxyylon*をPodocarpoid型の分野壁孔をもつものに限り適用し、それが広く踏襲されるようになった(Vogellehner, 1967, 1968など, Bamford and Philippe, 2001を参照)。さらに、Kräusel(1949)は、Gothan(1905, 1910)の*Podocarpoxyylon*のうち、円形の分野壁孔を持つ樹種を*Circoporoxylon*に移し、残りの*Podocarpoxyylon sensu* Kräusel(1949)とともに原マツ科(Protopinaceae)に帰属させた(Vogellehner, 1967, 1968; Iamandei and Iamandei, 2005)。

本化石は、*Podocarpoxyylon sensu* Gothan(1905)の材形質に一致しているため、本報では暫定的に、*Podocarpoxyylon*の一種としておく。現在、Philippeらにより、中生代針葉樹の再検討と形態分類群の整理が進められている(Bamford and Philippe, 2001; Philippe, 2002; Philippe and Bamford, 2008; Philippe and Cantrill, 2007; Philippe et al., 1999, 2004など)。今後、本化石も含めて、“*Mesembrioxylon*”とされた樹種を詳細に再検討する必要がある。

科不明もしくは原マツ科

Family indet. or PROTOPINACEAE Kräusel, 1917

Genus *XENOXYLON* Gothan, 1905

XENOXYLON LATIPOROSUM (Cramer) Gothan, 1905
(Fig. 4A-D)

Pinites latiporosus Cramer, 1868, p. 176, pl. 40, figs. 1-8.

Xenoxylon latiporosum (Cramer) Gothan, 1905, p. 38; Gothan, 1910, p. 23-26, taf. 4, figs. 7-11, taf. 5, figs. 1-2; 島倉, 1934, p. 9-11; Shimakura, 1936, p. 278-281, text-fig. 4,

pl. 14, figs. 7-8, pl. 15, figs. 1-8, pl. 16, figs. 1-3, pl. 17, figs. 6-7; Ogura, 1944, p. 349-352, pl. 3, G-H, text-fig. 1-A; Ogura et al., 1951, p. 113, pl. 9, figs. 1-3; Watari, 1960, p. 511, figs. 1-15; Vogellehner, 1965, p. 44; Vogellehner, 1968, p. 144; Shilkina and Khudaiberdyev, 1971, p. 124-125, p. 129-131, taf. 76, 1-5, taf. 77, 3-5; 石川県教育委員会, 1978, p. 266-268, 図版113-1-113-4; 鈴木ほか, 1982, p. 47, pl. 2, figs. 7-8, pl. 3, figs. 9-12, pl. 4, figs. 13-16; Spicer and Parrish, 1990, p. 226-230, pl. 1, figs. 1-4; Suzuki and Terada, 1992, p. 91-97, fig. 2-1-2-9, fig. 3-10-3-15; Philippe and Thévenard, 1996, p. 355; Ding et al., 2000, p. 212, pl. 5, figs. 1-4; 寺田ほか, 2002, p. 34, 図版 1-6; Terada et al., 2004, p. 33-36, fig. 4-B-4-I, fig. 5J-K; Terada and Nishida, 2004, p. 33-34, fig. 1-1-1-5; Zheng et al., 2008, p. 159, p. 234, figs. 6, 47, 1-7; Oh et al., 2011a, p. 70-71, pl. 1-1-1-6.

試料: FPDM-P-464, 試料は非常に硬く、幾分円磨している。原試料の大きさは、11.5 × 12cm, 軸方向の長さは14cmである。色は黒く、肉眼では年輪は見えない。樹皮を欠き、二次木部のみからなる(Fig. 4A)。

採集地点: 福井県勝山市北谷町杉山川、採集地点詳細不明、森永政治が転石として採集。

材構造: 仮道管と放射柔組織からなる針葉樹材で、軸方向柔組織(樹脂細胞)、軸方向細胞間道を欠く(Fig. 4B-D)。

年輪界は明瞭で、年輪幅は1.3~6(平均3.6)mmである(Fig. 4B)。早材部と晩材部の移行は急で、晩材部は2~4細胞程度で狭い(Fig. 4B)。早材部の仮道管は、接線径35~60(平均48) μm × 放射径55~95(平均65) μm で、晩材部では放射径が45~60(平均52) μm に減ずる。仮道管内にはセプタ状の薄いチロースが頻繁に見られ、仮道管の内壁には黒褐色の物質が付着している(Fig. 4C)。仮道管の内壁に螺旋肥厚はない。仮道管の放射壁の壁孔は、典型的な

Xenoxylean型で、軸方向に大きく偏平な楕円形で、密に接して1列に長く並ぶ(Fig. 4D)。その壁孔径は、放射径25~30(平均28) μm ×垂直径12.5~20(平均16.7) μm で、中心に5~7.5(平均6.3) μm の円形の孔口を持つ。分野壁孔は大型の窓状で1分野に1個存在し、その径は放射径20~40(平均29.7) μm ×垂直径12.5~22.5(平均16.4) μm で、角が丸く、両端が尖るPhyllocladoid型の分野壁孔は見られない(Fig. 4D)。放射組織は単列のみで、その高さは比較的高く、1~25細胞高(75~750(平均346) μm)で、ほとんどが5細胞高以上である(Fig. 4C)。

類縁:ここでは本化石を、1) 軸方向柔組織(樹脂細胞)、軸方向細胞間道を欠く、2) 仮道管の放射壁には大型で偏平な楕円形の壁孔が1列に密に並ぶXenoxylean型、3) 分野壁孔は大きな窓状である、という形質から、手取層群から既報の*Xenoxylon latiporosum* (Cramer) Gothanと同定した。

X. latiporosum は、Cramer(1868)によってノルウェーのスピッツベルゲンの上部ジュラ系から*Pinites latiporosus*として記載された種で、Gothan(1905)により*Xenoxylon*に組み換えられた。この種は北半球の上部三畳系~上部白亜系から広範囲にわたって報告されており(Tsunada and Yamazaki, 1987; Philippe and Thévenard, 1996; Philippe et al., 2009; Zheng et al., 2008など)、日本では手取層群のほか、新潟・富山県のジュラ系来馬層群から報告されている(Watari, 1960; 鈴木ほか, 1982)。

*Xenoxylon*の樹種は*X. latiporosum*を含めて世界で十数種が知られるが(Vogellehner, 1965, 1967, 1968; Tsunada and Yamazaki, 1987; Philippe and Thévenard, 1996; Ding et al., 2000; Zheng et al., 2008など)、その類縁は未だ明らかになっていない。ナンヨウスギ科やコウヤマキ科、マキ科などにするとの見解もあるが(Philippe and Thévenard, 1996を参照)、Kräusel(1917, 1919, 1949)は絶滅科Protopinaceae(原マツ科)としてまとめた。*Xenoxylon*は、三畳紀後期のCarnianにローラシア(Laurasia)大陸(ヨーロッパからアジア)に出現し、ジュラ紀に北半球全域へと分布を広げ繁栄した。その後、白亜紀に入るとヨーロッパから衰退し、白亜紀後期には極東アジアからアラスカに分布が移動し、Maastrichtianに絶滅したと考えられている(Shilkina and Khudaiberdyev, 1971; Medlyn and Tidwell, 1975; Nishida and Nishida, 1986; Tsunada and Yamazaki, 1987; Spicer and Parrish, 1990; Philippe and Thévenard, 1996; Ding et al., 2000; Terada et al., 2004; Harland et al., 2007; Philippe et al., 2009など)。Philippe and Thévenard(1996)は、本属の産出地点の古地理学的検討から、本属が比較的湿潤で冷涼な環境に生育していたと推定した。

議 論

材化石の産出層準について

検討した3点の珪化木試料は、すべて杉山川流域の手取層群北谷層の分布域から採集された。円磨がほとんど見られないので、近隣に分布する地層に由来するものと思われるが、転石で採集されたため、詳細な産出層準は特定でき

ない。採集地点の上流には、北谷層と大道谷層の他、それらを不整合に覆う面谷(濃飛)流紋岩類、中新世~更新世の火山岩類が分布しており、北谷層以外の地層に由来する可能性もある。ここでは材化石の類縁からそれらの産出層準を推測する。

試料(FPDM-P-464)は、*Xenoxylon latiporosum*と同定された。*X. latiporosum*を含む*Xenoxylon*は、白亜紀後期には極東アジアやアラスカへと移動し、Maastrichtianには絶滅したと考えられている(Medlyn and Tidwell, 1975; Tsunada and Yamazaki, 1987; Spicer and Parrish, 1990; Philippe and Thévenard, 1996; Philippe et al., 2009など)。このことから、この*X. latiporosum*の試料(FPDM-P-464)は白亜系の大道谷層もしくは北谷層から産したと考えても矛盾しない。さらに、日本周辺においての時代的に新しい*Xenoxylon*の産出報告は、ロシア・サハリンの後期Turonian~Santonianから報告された*X. watarianum* (Nishida and Nishida, 1986; Philippe et al., 2009)や、中国黒竜江省のSantonian~Campanianから報告された*X. latiporosum* (Terada and Nishida, 2004; Philippe et al., 2009)であり、これらを最後に日本周辺での*Xenoxylon*の産出は知られていない(Philippe et al., 2009; Oh et al., 2011b)。大道谷層は白亜紀後期のMaastrichtianの堆積層とされているため(Matsuo, 1970; 高橋, 1991; Nichols et al., 2010など)、大道谷層から産したとすると、白亜紀後期の*Xenoxylon*の生物地理的分布傾向と合わない。このことを考慮すると、この*X. latiporosum*の試料(FPDM-P-464)は大道谷層よりは北谷層から産した可能性が考えられる。

*Podocarpoxylon*の一種(*Podocarpoxylon sensu* Gothan(1905))とした材化石は、和歌山県有田、千葉県銚子、群馬県の関東山地などの外帯日本の下部白亜系(Barremian-Aptian)から報告された*Mesembrioxylon*(非合法名)に類縁が考えられた。北谷層の年代は後期Barremianと推定されていることから(Isaji, 1993; Kubota, 2005など)、この樹種が北谷層の時代に生育していても矛盾はない。*Mesembrioxylon*は上部白亜系からは報告されていないことから(Tsunada and Yamazaki, 1987; Oh et al., 2011b)、Maastrichtianの大道谷層から産したと考えるより、*Podocarpoxylon*の一種とした試料(FPDM-P-463)もまた、北谷層から産した可能性が考えられる。

一方、*Cupressinoxylon*もまた、北海道の上部白亜系(Shimakura, 1937)と岐阜県犬山市の下部~中部ジュラ系(西田ほか, 1974)からの試料以外は、外帯日本の千葉県銚子の下部白亜系(Barremian-Aptian)、岩手県種市の上白亜系から報告されている(Oh et al., 2011bを一部訂正)。北谷層の年代は後期Barremianと推定されていることから(Isaji, 1993; Kubota, 2005など)、この樹種が北谷層の時代に生育していても矛盾はない。しかしながら、本化石は現生のヒノキ属やアスナロ属またはその近縁属に類縁が考えられるほど現代的な材構造をしている。北谷層の上位の大道谷層からは大道谷植物群が報告され(Matsuo, 1970)、その中には、広義のヒノキ科のクウヨウザン属(?*Cunninghamia*? sp.)、スイショウ属(*Glyptostrobus* sp.)、セコイア属(*Sequoia*

sp., *Sequoia smithiana* Heer, *Sequoia heterophylla* Velenovsky), タイワンスギ属 (*Taiwania mesocryptomerioides* Matsuo), ヒノキ属 (*Chamaecyparis* sp.) が報告されている (天野・遠藤, 1952; Matsuo 1970). この中には本化石のようにヒノキ型の分野壁孔を持つタイワンスギ属とヒノキ属も含まれる. このことから, *Cupressinoxylon* の一種の試料 (FPDM-P-465) は上部白亜系の大道谷層起源の可能性もある.

材化石発見の意義

北谷層からは, *Xenoxylon latiporosum* と *Podocarpoxyylon* の一種が産し, さらに, *Cupressinoxylon* の一種が北谷層もしくは大道谷層から産したと考えられた. 今までの手取層群産の材化石は, すべて *X. latiporosum* と同定されていたので (Ogura et al., 1951; 石川県教育委員会, 1978; Suzuki and Terada, 1992; 寺田ほか, 2002; Terada et al., 2004; 寺田, 2008 など), 本報告の材化石のうち, *X. latiporosum* を除く 2 種は, 手取層群の分布域から初めて発見された樹種である.

また, 今までの手取層群の *X. latiporosum* の産出報告は, 石徹白亜層群産 (桑島層・大黒谷層など) と赤岩亜層群下部産 (赤岩層など) に集中していた (前田, 1955a, 1955b; 石川県教育委員会, 1978; Suzuki and Terada, 1992; 寺田ほか, 2002; Terada et al., 2004 など). 今回, 赤岩亜層群最上部, つまり手取層群最上部の北谷層から *X. latiporosum* が産出したことは, 新たな産出地点を増やただけでなく, 日本で最も時代の新しい *X. latiporosum* の産出記録という点で重要である. 北谷層の年代は後期 Barremian と推定されていることから (Isaji, 1993; Kubota, 2005 など), *X. latiporosum* がその後, 極東アジアやアラスカへと分布を縮小していく一方で (Philippe and Thévenard, 1996; Philippe et al., 2009 など), 日本では少なくとも後期 Barremian までは生育していたと考えられる.

本論の *Podocarpoxyylon* の一種は, 日本の下部白亜系においては外帯日本のみから報告された "*Mesembrioxylon*" の樹種に類縁が考えられた. "*Mesembrioxylon*" は乾期を伴う気候下に生育した領石型植物群の指標種の一つとされている (Tsunada and Yamazaki, 1987; Kimura, 2000; Oh et al., 2011a). このことは, 北谷層堆積時に乾期を伴う気候が内帯日本にも広がっていたとする最近の研究 (Yabe et al., 2003; Yabe and Kubota, 2004; 山田, 2009; 矢部ほか, 2011) を支持する. 同時に, 手取層群に普遍的な *X. latiporosum* が北谷層から産出したことは, 手取層群堆積地域の植物相の変化が, 尾口植物群や赤岩植物群にみられる要素を残しつつ漸移的に起きた可能性を示唆する.

謝 辞

この研究を進めるにあたり, 材化石試料を採集し, 福井県立恐竜博物館に寄贈していただいた森永政治氏, 小林則夫氏に感謝申し上げます. また, 粗稿を丁寧に査読していただき, 有益なご助言をいただいた鈴木三男博士, 西田治文

博士, 山田敏弘博士の 3 名の査読者に感謝申し上げます.

引用文献

- 天野昌久・遠藤誠道. 1952. 大道谷植物化石について (演旨). 地質学雑誌 58: 317.
- Azuma, Y., and M. Shibata. 2010. *Fukuititan nipponensis*, A new titanosauriform sauropod from the Early Cretaceous Tetori Group of Fukui Prefecture, Japan. Acta Geologica Sinica (English Edition) 84: 454–462.
- Bamford, M., and M. Philippe. 2001. Gondwanan Jurassic–Early Cretaceous homoxylous woods: a nomenclatural revision of the genera with taxonomical notes. Review of Paleobotany and Palynology 113: 287–297.
- Bamford, M., G. Ziljstra and M. Philippe. 2002. Proposal to conserve the name *Cupressinoxylon* Göppert (Fossil, Gymnospermae, Coniferales) against *Retinodendron* Zenker (Fossil, Gymnospermae, Coniferales), with a conserved type. Taxon 51: 205–206.
- Bartling, F. G. 1830. Ordines naturales plantarum. Eorumque characteres et affinitates. Dieterichianus, Göttingen, 498 pp.
- Brunsfeld, S. J., P. E. Soltis, D. E. Soltis, P. A. Gedeck, C. J. Quinn, D. D. Streng and T. A. Ranker. 1994. Phylogenetic relationships among the genera of Taxodiaceae and Cupressaceae: evidence from rbcL sequences. Systematic Botany 19: 253–262.
- Burnett, G. T. 1835. Outlines of Botany. Renshaw, London, 1068 pp.
- Conwentz, H., 1885. Sobre algunos árboles fósiles del Río Negro. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias Cordoba 7: 435–456.
- Cramer, C. 1868. Fossile Hölzer der arctischen Zone: pp. 167–180 in O. Heer (ed.), Flora fossilis arctica. Die Fossile Flora Der Polarländer. Druck und Verlag von Friedrich Schulthess, Zürich.
- Ding, Q.-H., S.-L. Zheng and W. Zhang 2000. Mesozoic Fossil woods of genus *Xenoxylon* from Northeast China and its palaeoecology. Acta Palaeontologica Sinica 39: 237–249.*
- Dolezych, M. 2011. Taxodiaceae woods in Lusatia (Central Europ), including curiosities in their nomenclature and taxonomy, with a focus on *Taxodioxyylon*. Japanese Journal of Historical Botany 19: 25–46.
- Dumortier, B. C. J. 1829. Analyse des familles des plantes avec l'indication des principaux cenres que s'y rattachent. J. Casterman, Tournay, 105 pp.
- Earle, C. J. 1997-onwards. The Gymnosperm Database. URL: <http://www.conifers.org/>.
- Endlicher, S. L. 1847. Synopsis Coniferarum. Apud Scheitlin & Zollikofer, Sangalli, 368 pp.
- Farjon, A. 2005. Monograph of Cupressaceae and *Sciadopitys*.

- Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, 650 pp.
- 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.
- 福井県. 2010. 福井県地質図及び同説明書(2010年版). (財) 福井県建設技術公社, 福井, 173 pp.
- Gadek, P. A., D. L. Alpers, M. M. Heslewood and C. J. Quinn. 2000. Relationships within Cupressaceae *sensu lato*: a combined morphological and molecular approach. American Journal of Botany 87: 1044–1057.
- Göppert, H. R. 1850. Monographie der fossilen Coniferen. Verhandelingen van de Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen te Harlem 12: 1–359.
- Gothan, W. 1905. Zur Anatomie lebender und fossiler Gymnospermen-Hölzer. Abhandlungen der Preussischen Geologischen Landesanstalt 44: 1–108.
- Gothan, W. 1907. Die fossilen Hölzer von König-Karls Land. Kungliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar 42: 1–27.
- Gothan, W. 1908. Die fossilen Hölzer von der Seymour- und Snow Hill-Insel. Wissenschaftliche Ergebnisse der Schwedischen Südpolar Expedition 1901–1903, 3: 1–33.
- Gothan, W. 1910. Die fossilen Holzreste von Spitzbergen. Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar 45: 1–56.
- 後藤道治・矢部 淳・佐野晋一. 2002. 平成13年度福井県恐竜化石試掘調査報告. 福井県立恐竜博物館紀要 1: 102–118.
- Harland M., J. E. Francis, S. J. Brentnall and D. J. Beerling. 2007. Cretaceous (Albian–Aptian) conifer wood from Northern Hemisphere high latitudes: forest composition and palaeoclimate. Review of Palaeobotany and Palynology 143: 167–196.
- Hartig, T. 1848. Beiträge zur Geschichte der Pflanzen und zur Kenntnis der norddeutschen Braunkohlenflora. Botanische Zeitung (Berlin) 7: 122–128.
- Iamandei, E., and S. Iamandei. 2005. Early Cretaceous protopinaceous fossil wood from South Dobrogea, Romania. Acta Paleontologica Romaniaae 5: 231–247.
- IAWA Committee. 2004. IAWA list of microscopic features for softwood identification. IAWA Journal 25: 1–70.
- Isaji, S. 1993. *Nippononia ryosekiana* (Bivalvia, Mollusca) from the Tetori Group in Central Japan. Bulletin of National Science Museum, Tokyo 19: 65–71.
- 石川県教育委員会. 1978. 手取川流域の手取統珪化木産地調査報告書. 石川県教育委員会文化財保護課, 金沢, 301 pp. 117図版, 付図.
- 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.
- Kimura, T. 1958. Mesozoic plants from the Tetori Series, Central Honshu, Japan (Part 1). Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series, 29: 166–168, pl. 25.
- Kimura, T. 1975. Middle – Late Early Cretaceous plants newly found from the upper course of the Kuzuryu River Area, Fukui Prefecture, Japan. Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series, 98: 55–93, pls. 5–8.
- Kimura, T. 1987. Recent knowledge of Jurassic and Early Cretaceous floras in Japan and phytogeography of this time in East Asia. Bulletin of the Tokyo Gakugei University, Section 4, 39: 87–115.
- Kimura, T. 2000. Early Cretaceous climatic provinces in Japan and adjacent regions on the basis of fossil land plants; pp. 155–161 in H. Okada and N. J. Mateer (eds.), Cretaceous Environments of Asia. Elsevier, Tokyo.
- Kimura, T., and J. Horiuchi. 1979. Some late Early Cretaceous plants from Fukui Prefecture, in the inner zone of Japan. Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series, 113: 1–14, pl. 1.
- Kimura, T., and T. Ohana. 1997. Catalogue of the Late Jurassic and Early Cretaceous plant-taxa in Japan. Memoirs of the Geological Society of Japan 48: 176–188.
- 小林貞一. 1951. 白山をめぐる地域の地質, 特に手取統について. pp. 1–20. 石川県(編), 白山をめぐる地域の地質, 金沢.
- 近藤直門・足立 守. 1975. 犬山市北方の中生層—とくに坂祝礫岩について. 地質学雑誌 81: 373–386.
- Kräusel, R. 1917. Die Bedeutung der Anatomie lebender und fossiler Hölzer für die Phylogenie der Koniferen. Naturwissenschaftliche Wochenschrift 16: 305–311.
- Kräusel, R. 1919. Die fossilen Koniferen Hölzer (unter Ausschluss von *Araucarioxylon* Kraus). I: Versuch einer monographischen Darstellung. Palaeontographica Abteilung B 62: 185–284.
- Kräusel, R. 1949. Die fossilen Koniferen-Hölzer (unter Ausschluss von *Araucarioxylon* Kraus). II: Kritische Untersuchungen zur Diagnostik lebender und fossiler Koniferen-Hölzer. Palaeontographica Abteilung B 89: 83–203.
- Kubota, K. 2005. Charophyte gyrogonites from the Lower Cretaceous Kitadani Formation of the Tetori Group in the Takinamigawa area, Katsuyama City, Fukui Prefecture, central Japan. Paleontological Research 9: 203–213.
- Kusuhashi, N. 2008. Early Cretaceous multituberculate mammals from the Kuwajima Formation (Tetori Group), central Japan. Acta Palaeontologica Polonica 53: 379–390.
- 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.
- Legrand, J., D. Pons, H. Nishida, T. Yamada, K. Terada, A. Yabe and J. Broutin. 2010. Lower Cretaceous palynomorph assemblages from Japan, and Paleofloristic Provinces of southeastern Asia. Proceedings of the 8th European Palaeobotany–Palynology Conference. Symposium.
- 前田四郎. 1954. 岐阜県庄川上流地域の手取化石林について. 東京教育大学理学部地質学鉱物学教室研究報告 3 : 43–47.
- 前田四郎. 1955a. 手取化石林の堆積環境. 堆積学研究 9 : 12–13.
- 前田四郎. 1955b. 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. 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. 1961. 手取層群の地史学的研究. 千葉大学文理学部紀要 3 : 369–424.
- 松川正樹・小荒井千人・塩野谷奨・新海拓也・中田浩恒・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.
- Matsuo, H. 1970. On the Omichidani Flora (upper Cretaceous), inner side of central Japan. Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series, 80 : 371–389.
- Medlyn, D. A., and W. D. Tidwell. 1975. Conifer wood from the Upper Jurassic of Utah Part I: *Xenoxylon morrisonense* sp. nov. American Journal of Botany 62 : 203–208.
- Nichols, D. J., M. Matsukawa and M. Ito. 2010. The geological age and phytogeographical significance of some metamorphosed palynomorphs from the Omichidani Formation of Japan. Palynology 34 : 157–163.
- 日本木材学会・組織と材質研究会・伊東隆夫・藤井智之・佐野雄三・安部 久・内海泰弘(日本語版監修). 2006. 針葉樹の識別 IAWAによる光学顕微鏡的特徴リスト. 海青社, 大津, 86 pp.
- Nishida, M. 1962. On some petrified plants from the Cretaceous of Choshi, Chiba Prefecture. Journal of Japanese Botany 18 : 87–104.
- Nishida, M. 1965. On some petrified plants from the Cretaceous of Choshi, Chiba Prefecture II. Botanical Magazine of Tokyo 78 : 138–146.
- Nishida, M. 1966. On some petrified plants from the Cretaceous of Choshi, Chiba Prefecture III. Botanical Magazine of Tokyo 79 : 226–235.
- Nishida, M. 1973. On some petrified plants from the Cretaceous of Choshi, Chiba Prefecture VI. Botanical Magazine of Tokyo 86 : 189–202.
- 西田 誠・足立 守・近藤直門. 1974. 犬山市北方域のいわゆる古生層より産出した材化石とその地質学的意義. 植物研究雑誌 49 : 265–273.
- Nishida, M., and H. Nishida. 1983. Petrified plants from the Cretaceous of the Kwanto Mountains, Central Japan I. Botanical Magazine of Tokyo 96 : 85–91.
- Nishida, M., and H. Nishida. 1986. Structure and affinities of petrified plants from the Cretaceous of Northern Japan and Saghalien III. Petrified plants from the Upper Cretaceous of Saghalien I. Botanical Magazine of Tokyo 99 : 191–204.
- Nishida, M., H. Nishida and R. Sugiyama. 1993. Studies on the petrified plants from the Cretaceous of northern Japan and Saghalien XIV. Coniferous woods from the Upper Cretaceous of Taneichi, Iwate Prefecture. Research Institute of Evolutionary Biology, Scientific Report 7 : 69–86.
- Noshiro, S. 2011. Identification of Japanese species of Cupressaceae from wood structure. Japanese Journal of Historical Botany 19 : 125–132.
- Ogura, Y., T. Kobayashi and S. Maeda. 1951. Discovery of erect stumps of *Xenoxylon latiporosum* in the Jurassic Tetori Series in Japan. Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series, 4 : 113–119.
- Oh, C., K. Kim, I.-S. Paik and J.-D. Lim. 2011a. Cretaceous conifer woods of Korea : Occurrences and palaeobiological implications. Review of Palaeobotany and Palynology 164 : 67–83.
- Oh, C., J. Legrand, K. Kim, M. Philippe and I.-S. Paik. 2011b. Fossil wood diversity gradient and Far-East Asia palaeoclimatology during the Late Triassic–Cretaceous interval. Journal of Asian Earth Sciences 40 : 710–721.
- Oishi, S. 1940. The Mesozoic floras of Japan. Journal of the Faculty of Sciences, Hokkaido Imperial University, Section 4, 5 : 123–480, pls. 1–48.
- 大村一夫. 1973. 飛騨産地に分布する白亜系の層位学的研究 I : 北陸地方の白亜系. 金沢大学教養部論集 (自然科学) 10 : 107–153.
- Philippe, M. 2002. Reappraisal of five genera designed for fossil coniferous woods by early American wood anatomists. IAWA Journal 23 : 319–326.
- Philippe, M., and M. Bamford. 2008. A key to morphogenera used for Mesozoic conifer-like woods. Review of Palaeobotany and Palynology 148 : 184–207.
- Philippe, M., M. Bamford, S. McLoughlin, L. S. Da Rosa Alves, H. Falcon-Lang, S. Gnaedinger, E. Ottone, M. Pole, A. Rajanikanth, R. E. Shoemaker, T. Torres and A. Zamuner. 2004. Biogeography of Gondwanan terrestrial biota during the Jurassic–Early Cretaceous as seen from fossil wood evidence. Review of Palaeobotany and Palynology 129 : 141–173.
- Philippe, M., and D. Cantrill. 2007. Nomenclatural types and taxonomy of Gothan's Arctic fossil conifer wood. Taxon 56 : 551–566.

- Philippe, M., H.-E. Jiang, K. Kim, C. Oh, D. Gromyko, M. Harland, I. S. Paik and F. Thévenard. 2009. Structure and diversity of the Mesozoic wood genus *Xenoxylon* in Far-East Asia: implications for terrestrial palaeoclimates. *Lethaia* 42: 393–406.
- Philippe, M., and F. Thévenard 1996. Distribution and palaeoecology of the Mesozoic wood genus *Xenoxylon*: palaeoclimatological implications for the Jurassic of Western Europe. *Review of Palaeobotany and Palynology* 91: 353–370.
- Philippe, M., G. Zijlstra and M. Barbacka. 1999. Greguss' morphogenera of homoxyleous fossil woods: a taxonomical and nomenclatural review. *Taxon* 48: 667–676.
- Seward, A. C. 1919. Fossil plants, Ginkgoales, Coniferales, Gnetales, vol. 4. Cambridge University Press, London, 543 pp.
- 柴田正輝・後藤道治. 2008. 福井県勝山市における第三次恐竜化石発掘調査報告(2007年度). 福井県立恐竜博物館紀要 7: 109–116.
- Shilkina, I. A., and R. H. Khudaiberdyev. 1971. Reappraisal of genera *Protocedroxylon* and *Xenoxylon*. *Paleobotanica Uzbekistana* 2: 117–133**.
- 島倉巳三郎. 1934. 化石木に関する研究雑記III. V. 東亜に於ける *Xenoxylon latiporosum* (Cramer) Gothan. 地質学雑誌 41: 9–13.
- Shimakura, M. 1936. Studies on fossil woods from Japan and adjacent lands, I. Some Jurassic woods from Japan and Manchoukuo. *Science Reports of Tohoku Imperial University, Series 2 (Geology)*, 18: 267–298.
- Shimakura, M. 1937. Studies on fossil woods from Japan and adjacent lands contribution II. The Cretaceous woods from Japan, Saghalien, and Manchoukuo. *Scientific Reports of the Tohoku Imperial University, Series 2 (Geology)*, 19: 1–73.
- Skog, J. E. 2003. Report of the committee for fossil plants: 4. *Taxon* 52: 341.
- Spicer, R. A., and J. T. Parrish. 1990. Latest Cretaceous woods of the central North Slope, Alaska. *Palaeontology* 33: 225–242.
- Stopes, M. C. 1915. Catalogue of the Mesozoic plants in the British Museum (Natural History). II The Cretaceous flora, Part a. British Museum. Trustees, London. 360 pp.
- 鈴木三男・後藤道治・赤羽久忠. 1982. 富山・新潟両県の来馬層群産の材化石. 金沢大学教養部論集(自然科学) 19: 43–61.
- Suzuki, M., and K. Terada. 1992. *Xenoxylon* fossil woods from the Lower Cretaceous Akaiwa Subgroup of Shiramine, Central Japan. *Journal of Phytogeography and Taxonomy* 40: 91–97.
- 高橋 清. 1991. 北陸上部白亜紀大道谷層の花粉群集—特に triprojectate と oculata 花粉について. 日本花粉学会会誌 37: 129–136.
- Terada, K. 2002. Revision of the Mesozoic paleofloristic provinces in East Asia based on the discovery of tree fern fossils from the Tetori Group. *Journal of Plant Research* 115: 50.
- 寺田和雄. 2008. 日本から産出する珪化木について. 化石 83: 64–77.
- Terada, K., K. Nakagawa and M. Fujita. 2004. *Xenoxylon* fossil woods from the Lower Cretaceous Tetori Group in Toyama Prefecture, Central Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 3: 31–38.
- Terada, K., and H. Nishida. 2004. Preliminary notes on Cretaceous and Tertiary woods from Heilongjiang River Area of China; pp. 33–38 in G. Sun, Y. W. Sun, M. A. Akhmetiev and R. A. Ashraf (eds.), *Proceedings of the 3rd Symposium on Cretaceous Biota and K/T Boundary in Heilongjiang River Area*, Research Center of Palaeontology & Stratigraphy, Jilin University, Changchun.
- 寺田和雄・関戸信次・東野外志男. 2002. 石川県尾口村目附谷の手取層群から産出した木材化石; pp. 31–37, 石川県白山自然保護センター(編), 手取川流域中生代手取層群調査報告書. 石川県, 金沢.
- 寺田和雄・関戸信次・西田治文. 2001. 初めて手取層群(下部白亜系)から発見された木生シダ化石. 日本植生史学会第16回大会講演要旨集: 37.
- Torrey, R. E. 1923. The comparative anatomy and phylogeny of the Coniferales, Part 3: Mesozoic and Tertiary coniferous woods. *Memoir of the Boston Society of Natural History* 6: 39–106.
- Tsubamoto T., G. W. Rougier, S. Isaji, M. Manabe and A. M. Forasiepi. 2004. New Early Cretaceous spalacotheriid “symmetrodont” mammal from Japan. *Acta Palaeontologica Polonica* 49: 329–346.
- 塚野善三. 1969. 福井県地質図(15万分の1)並びに同説明書. 福井県. 117 pp.
- Tsunada, K., and S. Yamazaki. 1987. Distribution of Mesozoic Coniferous Woods in Eurasia; pp. 201–221 in A. Taira and M. Tashiro (eds.), *Historical Biogeography and Plate Tectonic Evolution of Japan and Eastern Asia*. Terrapub, Tokyo.
- Vaudois, N., and C. Privé. 1971. Révision des bois fossiles de Cupressaceae. *Palaeontographica Abteilung B* 134: 61–86.
- Vogellehner, D. 1965. Untersuchungen zue Anatomie und Systematik der verkieselten Hölzer aus dem frankischen und sudthuringischen Keuper. *Erlanger Geologische Abhandlungen* 59: 1–76.
- Vogellehner, D. 1967. Zur Anatomie und Phylogenie mesozoischer Gymnospermenhölzer, Beitrag 5: Prodrum zu einer Monographie der Protopinaceae, I. Die protopinoiden Hölzer des Trias. *Palaeontographica Abteilung B* 121: 30–51.
- Vogellehner, D. 1968. Zur Anatomie und Phylogenie

- mesozoischer Gymnospermenhölzer, Beitrag 7: Prodrum zu einer Monographie der Protopinaceae, II. Die protopinoiden Hölzer des Jura. Palaeontographica Abteilung B 124: 125–162.
- Watari, S. 1960. On some structures and affinity of *Xenoxylon latiporosum*. Journal of Faculty of Sciences, University of Tokyo III 7: 511–521.
- Yabe, A., and K. Kubota. 2004. *Brachyphyllum obesum*, newly discovered thermophilic conifer branch from the Lower Cretaceous Kitadani Formation of the Tetori Group, Central Japan. Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum 3: 23–29.
- 矢部 淳・寺田和雄・Julien Legrand・西田治文. 2011. 手取層群最上部、北谷層の植物化石群集とその意義. 日本古生物学会2011年年会学会講演予稿集: 53.
- Yabe, A., K. Terada and S. Sekido. 2003. The Tetori-type flora, revisited: A review. Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum 2: 23–42.
- 山田一雄. 1988. 手取層群・足羽層群; pp. 26–37. 山下昇・鮎野義夫・糸魚川淳二(編), 日本の地質「中部地方 II」. 共立出版, 東京.
- 山田敏弘. 2009. ジュラ紀中期～白亜紀前期の日本における植物相の変遷. 分類 9: 115–121.
- Yamada, T., and K. Uemura. 2008. The plant fossils from the Kaizara Formation (Cretaceous, Jurassic) of the Tetori Group in the Izumi district, Fukui prefecture, Central Japan. Paleontological Research 12: 1–17.
- Zheng, S.-L., Y. Li, W. Zhang, L. Li, Y.-D. Wang, X.-J. Yang, T. Yi, J. Yang and X.-P. Fu. 2008. Fossil Wood of China. China Forestry Publishing House, Beijing, 356 pp.

* : in Chinese with English abstract

** : in Russian