

古第三系神戸層群の材化石（予報）

寺田和雄¹・半田久美子²

¹福井県立恐竜博物館 福井県勝山市村岡町寺尾 51-11
²兵庫県立人と自然の博物館 兵庫県三田市弥生ヶ丘 6 丁目

要　旨

兵庫県南東部に分布する古第三系の上部始新統～下部漸新統神戸層群の材化石を検討した。兵庫県立人と自然の博物館所蔵の珪化木標本のうち、15点から薄片を作成し、樹種同定をおこなった。そのうち針葉樹は4点で、マツ科(Pinaceae)と広義のヒノキ科(Cupressaceae)の2分類群が認められた。広葉樹は11点で、ブナ科のクリ属(Castanea sp.)、シイ属(Castanopsis sp.)、コナラ属コナラ節(Quercus Sect. Prinus sp.)、ニレ科(Ulmaceae)、所属科不明のParaphyllanthoxylon kobense および散孔材(タイプ1)(Diffuse porous wood (Type 1))の6分類群が認められた。このうち、材化石としては、*Paraphyllanthoxylon kobense*以外は、神戸層群から最初の報告になった。

キーワード：神戸層群、材化石、珪化木、古第三紀、*Castanea*, *Castanopsis*, *Paraphyllanthoxylon*

TERADA, Kazuo and Kumiko HANNA (2009) Fossil woods from the Paleogene Kobe Group in Hyogo Prefecture, Japan (Preliminary report). Mem. Fukui Pref. Dinosaur Mus. 8 : 17-29.

Fossil woods from the Paleogene (Upper Eocene to Lower Oligocene) Kobe Group in Hyogo Prefecture of Japan were examined. 15 specimens deposited in the Museum of Nature and Human Activities, Hyogo, were identified with their thin microscopic slides. We recognized eight taxa: two coniferous taxa (Pinaceae and Cupressaceae) and six dicotyledonous taxa (*Castanea*, *Castanopsis*, *Quercus* Sect. *Prinus*, *Paraphyllanthoxylon* *kobense* M. Suzuki and diffuse porous wood (Type 1)). Except *Paraphyllanthoxylon* *kobense*, these taxa are firstly reported here from the Kobe Group.

はじめに

神戸層群は兵庫県南東部の三田盆地、神戸地域、淡路島北部の3つの地域に分かれて分布し(図1)，一部に海成層を含むものの大部分は陸成層で河川成の堆積物からなる、泥岩、砂岩、礫岩の互層に凝灰岩を挟む地層である(藤田, 1961; Huzita et al., 1971; 小山ほか, 1996など)。この地層は、古くから保存の良い葉化石などの植物化石が産することが知られており(鹿間, 1938; 小畠, 1961; 藤田・笠間, 1983; 堀, 1976, 1983, 1987; 松尾, 1987など),

さらに、貝化石や哺乳類化石等の产出が報告されている(鹿間, 1938; 糸魚川, 1983; 糸魚川・柴田, 1992; 小山ほか, 1996; Tsubamoto et al., 2007など)。

神戸層群の時代論に関しては、従来、岩相や植物化石、貝化石などによって新第三紀中新世と考えられていた(鹿間, 1938; 藤田, 1961; Huzita et al., 1971; 藤田・笠間, 1983; 藤田・前田, 1984; 糸魚川, 1983; 糸魚川・柴田, 1992)。その後、松尾(1987)が、神戸地域の藍那層の凝灰岩のフィッショントラック年代(以下、FT 年代)測定で、古第三紀の値を報告し、さらに、尾崎・松浦(1988)は三田図幅の中で、三田盆地における神戸層群の凝灰岩のFT 年代とカリウム-アルゴン年代(以下、K-Ar 年代)を報告し、古第三紀の可能性を示唆した。一方、植物化石の方からも、神戸層群の植物群に古第三紀のものと思われる種が含まれていることがわかつてきた(棚井, 1992; Tanai and Uemura, 1994)。そして、尾崎ほか(1996)により、神戸層群各地の K-Ar 年代と FT 年代測定などから、三田

2009年4月24日受付、2009年11月6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@にしてご入力ください)

盆地および神戸地域の神戸層群が始新世後期から漸新世前期前半に位置づけられ（小山ほか, 1996），その後も，追隨する年代値が出されている（木村, 2002；尾崎・原山, 2003；松原ほか, 2006；Tsubamoto et al., 2007など）。さらに，淡路島北部に分布する神戸層群岩屋層は，石灰質ナノおよび渦鞭毛藻化石の解析から，始新世中期とされた（山本ほか, 2003）。

神戸層群の古植物学的な研究に関しては，葉や果実化石などの植物化石の多数の報告がある（鹿間, 1938；小畠, 1961；堀, 1976, 1983, 1987；松尾, 1987；宮津・松尾, 1996；米阪・山本, 1999など）。神戸層群の中部層と上部層の植物群は，それぞれ白川植物群と藍那植物群と呼ばれており，主に常緑広葉樹と落葉広葉樹からなる白川植物群は台島型植物群に，落葉広葉樹が卓越する藍那植物群は三徳型植物群に対比されていた（小畠, 1961；堀, 1976, 1983, 1987；松尾, 1987など）。神戸層群が古第三系と認められてからは，中部層から上部層に見られる暖温帯－亜熱帯から温帯気候への寒冷化は始新世後期から漸新世前期の世界的な古気候変化を反映しているものと考えられた（尾崎, 1992；尾崎ほか, 1996）。また，島倉（1959）は，神戸層群の中から9試料を採集し，花粉化石群集を調べ，神戸層群は，ヌマミズキ属(*Nyssa*)－フウ属(*Liquidamber*)の特徴のあるフロラで，各層準でほぼ同様の組成であるとしている。

神戸層群からは，葉や果実化石などの大型植物化石以外に，珪化木などの材化石も産することが知られていた（大賀, 1955, 1964；山本・米阪, 1999など）。大賀（1955, 1964）は，神戸地域の開発工事などで露出した原生性と考えられる立木状の樹幹化石について観察記録した。また，宮津・松尾（1997）は，神戸地域の神戸層群の凝灰岩層の特徴を示し，その凝灰岩の下位に立木状樹幹の有無を記録した。さらに，山本・米阪（1999）は神戸地域の立木状樹幹化石の産状から，堆積環境を推定し，木村（1997）は，凝灰岩直下の泥岩から凝灰岩にかけて立木状の珪化木が見られるなどを報告しているなど立木状樹幹の層位に着目した報告がなされている。このように神戸層群の材化石の存在についての報告があるにもかかわらず，その樹種については，Suzuki（1984a）が報告した *Paraphyllanthoxylon kobense* M. Suzuki の1試料しかない（植村, 1999；寺田, 2008）。そこで，神戸層群の材化石フロラを明らかにするため，兵庫県立人と自然の博物館（以下，人と自然の博物館と呼ぶ。）の所蔵標本を対象に調査を実施した。本報では，そのうち15点について検討し，新知見が得られたので報告する。

試料と方法

地質概要

神戸層群は兵庫県南東部の三田盆地，神戸地域，淡路島北部の3つの地域に分かれて分布する（図1）。下位から下部（累）層，中部（累）層，上部（累）層に区分され（小山ほか, 1996），神戸地域では，それぞれ多井畑・白川・藍那（累）層，三田盆地では，それぞれを有野・吉川・淡河（累）層と命名されていた（藤田・笠間, 1971, 1983；

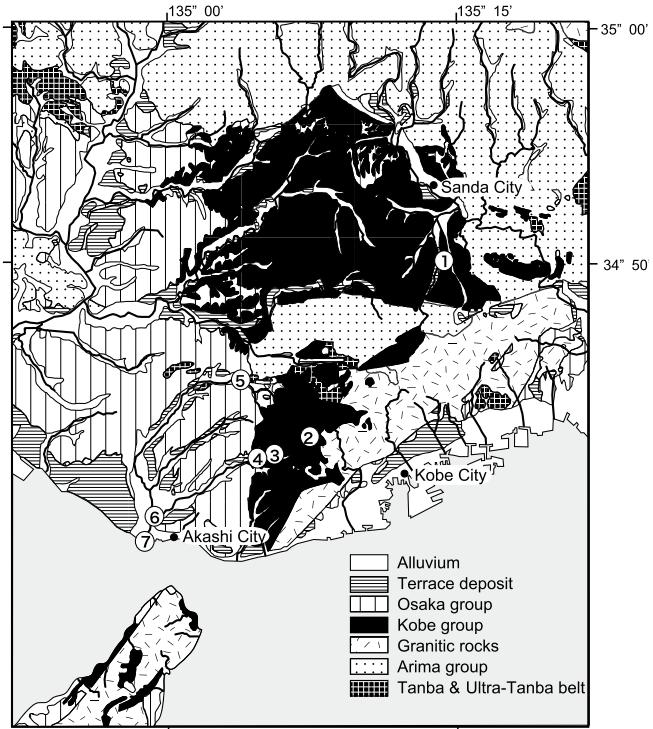


図1. 神戸層群の分布と材化石採集地点（番号は表1に対応する）。（尾崎・松浦（1988）の地質概略図を改変後加筆）。

Huzita et al., 1971；藤田・前田, 1984；小山ほか, 1996など）。この層序区分では凝灰岩層を区分の基準とし，凝灰岩の少ない下部と多い上部をあわせて一つの（累）層とされていた。一方，尾崎・松浦（1988）は，三田図幅の中で岩相に基づいて区分し，下位より三田・吉川・細川（累）層と命名した。その後，北条図幅（尾崎ほか, 1995）や高砂図幅（尾崎・原山, 2003）などの神戸層群もこの地層区分を使っている。しかし，坂本ほか（1998）は吉川層中の凝灰岩層を詳細に追跡し，尾崎・松浦（1988）の凝灰岩層の対比に関する異なる見解を出している。本報では，Huzita et al. (1971) に従い，神戸地域では下位から多井畑・白川・藍那層を，三田盆地では下位から有野・吉川・淡河（累）層を使う事とする（表1）。

神戸地域の下部層の多井畑層は，主として須磨地域を中心に分布している泥岩，砂岩，礫岩の互層に凝灰岩を挟む地層で，一部に貝化石を含む海成層を挟在する。中部層の白川層は，保存の良い植物化石を多産する凝灰岩層を多数挟む砂岩・泥岩層で，最下部や中位に礫岩層を挟在する。上部層の藍那層は，主として神戸市西区木見峠付近から北側に分布している砂岩・礫岩・泥岩層で，数枚の凝灰岩層を挟む（小山ほか, 1996）。

三田盆地の下部層の有野層は，主として盆地南東部に分布し，有馬層群起源や花崗岩質の礫岩層からなり，最上部に連続する凝灰岩層を挟む。中部層の吉川層は，上部と下部に区分され，下部は盆地東部に，上部は盆地中央に分布する凝灰岩層を挟む砂岩・礫岩・泥岩層で，上部からは白川層に良く似た植物化石を産する。上部の淡河層は，

表1. 検討した神戸層群の材化石（地点番号は図1に対応する）。

地点番号	採集地点	採集状況	産出層	標本番号	樹種
1	西宮市山口町下山口 西宮北インター建設地	地層中	吉川層	D1-29312	Diffuse porous wood (Type 1)
2	神戸市北区山田町下谷上 しあわせの村建設地	地層から露出した転石	白川層／藍那層	D1-2727	<i>Quercus Sect. Prinus</i> sp.
				D1-2755	Cupressaceae
				D1-2759	Pinaceae
				D1-2766	<i>Paraphyllanthoxylon kobense</i>
				D1-2767	<i>Paraphyllanthoxylon kobense</i>
				D1-2769	<i>Castanopsis</i> sp.
				D1-2776	Ulmaceae
				D1-2784	Ulmaceae
3	神戸市西区伊川谷町布施畠 伊川	川の転石	白川層／藍那層	D1-29310	<i>Castanea</i> sp.
4	神戸市西区伊川谷町前開太山寺 伊川	川の転石	白川層／藍那層	D1-29092	Cupressaceae
5	神戸市西区押部谷町押部 明石川	川の転石	不明	D1-29099	Diffuse porous wood (Type 1)
6	明石市茶園場町 伊川・明石川合流点	川の転石	不明	D1-29094	Ulmaceae
7	明石市大観町 明石川河口	河口の転石	不明	D1-29095	<i>Castanea</i> sp.
				D1-29097	Pinaceae

盆地西部に分布している凝灰質砂岩を主とした泥岩・シルト層・礫岩の互層で数枚の凝灰岩層も挟む（小山ほか, 1996）。

淡路島北部に分布する岩屋層は、主として海成の砂岩・泥岩層で、従来、神戸層群に含まれていたが（鹿間, 1938；藤田, 1961）、神戸層群が古第三系とされた際に、貝化石（糸魚川, 1983）や底生有孔虫化石（Tai, 1959）などの資料から新第三紀中新世と考えられ、神戸層群から分離独立されていた時がある（尾崎ほか 1996；小山ほか, 1996など）。その後、石灰質ナンノおよび渦鞭毛藻化石の解析から始新世中期と訂正され、神戸層群に再度含められた（山本ほか, 2003）。

材化石試料の产地と処理

検討した材化石試料は、寄贈によって収集された、人と自然の博物館の所蔵標本130点のうち、比較的保存が良いと思われたものや肉眼やルーペの観察で異なる樹種と考えられたものの中から15点を選択した（表1）。すべて良く珪化した珪化木で、表面部分は白色から黄白色もしくは褐色から灰色、内部は褐色もしくは黒色である。

試料D1-29312は西宮市山口町下山口の西宮北インター チェンジ建設時に吉川層中から産出したもので（図1; 1）。中心部分も残り直径は約20cmで長さは約80cmある。

試料D1-2727, D1-2755, D1-2759, D1-2766, D1-2767, D1-2769, D1-2776, D1-2784の8点は、神戸市北区山田町下谷上（図1; 2）のしあわせの村建設時に採集されたものである。すべて地層中から産出したもので、母岩などが付着しているものもある。この周辺には白川層が広範囲に分布し、北西部に上位の藍那層が分布している。産出した層としては白川層もしくは藍那層である。

試料D1-29310は神戸市西区伊川谷町布施畠（図1; 3）、試料D1-29092は神戸市西区伊川谷町前開太山寺（図1; 4）

で、2点とも伊川の転石として採集されたものである。転石のため産出層準が不明であるが、2点ともほとんど円磨されておらず、周辺の地層から流れてきた可能性が高い。採集地点周辺および上流域に白川層、さらに上流域には藍那層が分布することから、白川層もしくは藍那層由来と考えられる。

試料D1-29099は神戸市西区押部谷町押部の明石川（図1; 5）、試料D1-29094は明石市茶園場町の伊川・明石川合流点（図1; 6）、試料D1-29095とD1-29097は明石市大観町の明石川河口（図1; 7）から転石として採集されたものである。これら4点は転石として採集され、母岩や産出地層を示すものは付着していない。しかし、良く珪化し、表面は白色で内部が黒色を呈していて、神戸層群産の珪化木と類似している。また、これらは神戸層群以外の大坂層群の礫岩層中もしくは段丘礫層などからの二次堆積の可能性もあるが、この周辺地域に珪化木を産する地層が見つからないことから、神戸層群起源である可能性が極めて高い。しかしながら、これら4点は、転石で産出地層が不明であるため、参考資料としておく。

以上の材化石から、木口・板目・柾目面の3方向の薄片を作成し、光学顕微鏡を用いて観察し検討を行なった。観察に用いたプレパラートは、すべて人と自然の博物館に保管されている。

結果

検討した15点のうち針葉樹は4点で、マツ科(Pinaceae)と広義のヒノキ科(Cupressaceae)の2分類群が認められた。広葉樹は11点で、ブナ科のクリ属(*Castanea* sp.)、シイ属(*Castanopsis* sp.)、コナラ属コナラ節(*Quercus Sect. Prinus* sp.)、ニレ科(Ulmaceae)、所属科不明の*Paraphyllanthoxylon kobense*および散孔材(Typ 1)(Diffuse porous wood (Type 1))の6分類群が認められた。

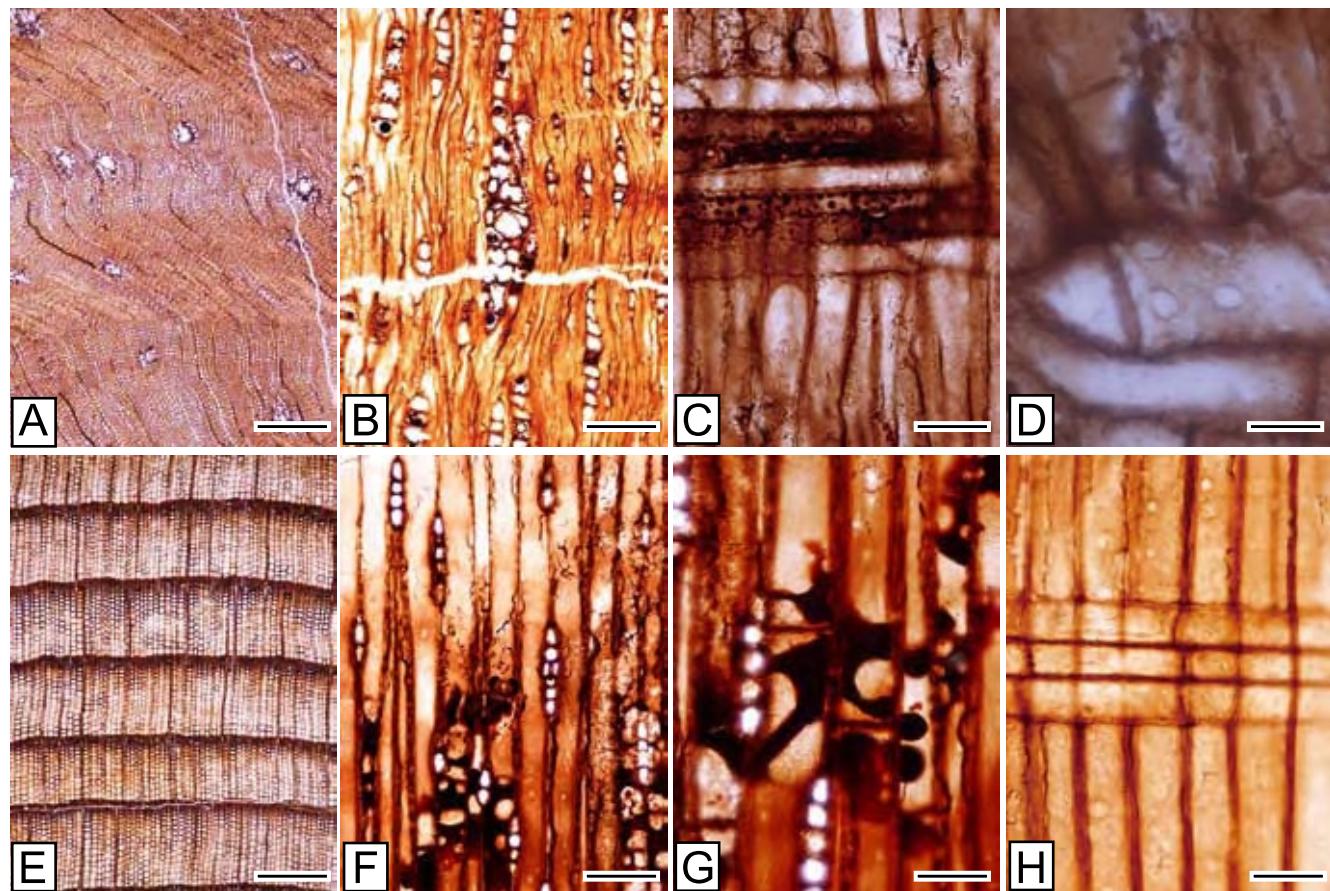


図2. 材化石の顕微鏡写真. A-D, マツ科 (Pinaceae) (標本:D1-2759). A, 木口面 (スケール: 500 μm) ; B, 板目面 (スケール: 100 μm) ; C, 桁目面 (スケール: 50 μm) ; D, 柱目面 (スケール: 20 μm). E-H, ヒノキ科 (Cupressaceae) (標本:D1-2755). E, 木口面 (スケール: 500 μm) ; F, 板目面 (スケール: 100 μm) ; G, 板目面 (スケール: 50 μm) ; H, 柱目面 (スケール: 50 μm).

以下に古生物学的記載を行なう。木材組織の専門用語に関しては、IAWA Committee (1989) および IAWA Committee (2004) に従い、それぞれの日本語訳として、日本木材学会ほか (1998) および日本木材学会ほか (2006) に従った。化石との類縁および比較には InsideWood (2004-onwards)などを参考にした。尚、植物の配列および科より上位ランクにある分類群の学名に関しては、裸子植物は Earle (2008-onwards) に、被子植物は APGII (2003) に従った。コナラ属の下位区分に関しては、Ohba (2006) を採用した。

古生物学的記載

マツ目 Order PINALES Dumortier, 1829

マツ科 Family PINACEAE Lindley, 1836

PINACEAE gen. et sp. indet.

(図2 A-D)

試料 : D1-2759, D1-29097

採集地点: 神戸市北区山田町下谷上 (図1:2) (D1-2759),

明石市大観町明石川河口 (図1:7) (D1-29097) .

産出層: 白川層もしくは藍那層 (D1-2759), 不明 (D1-29097) .

材構造と類縁: 仮道管と放射柔細胞、放射仮道管およびエピセリウム細胞からなる針葉樹材で、早材から晩材への移行は緩やかである (図2A)。垂直および水平樹脂道を持ち、エピセリウム細胞は比較的薄壁である (図2A, B)。D1-2759 の垂直樹脂道は早材から晩材にかけて散在し (図2A), D1-29097 は晩材部に偏る傾向が見られる。放射柔細胞の水平壁および末端壁には壁孔が見られる。放射仮道管の細胞壁の形状は、詳細は観察できないが、鋸歯状には見えない。分野壁孔に関しては、D1-2759 はスギ型から不定形なマツ型と見られ、1 分野に 2~4 個存在する (図2D)。D1-29097 の分野壁孔は詳細が観察できない。以上の形質からマツ科の樹種であることがわかる。

詳細に観察できた D1-2759 は、エピセリウム細胞や分野壁孔の形状から、マツ属 (*Pinus*) の可能性が高い。マツ属の場合、*Sylvestris* 節および *Stobus* 節では、窓状の分野壁孔を持つが、それ以外のマツ属はマツ型の分野壁孔を持つとされている (IAWA Committee, 2004)。しかしな

がら、D1-2759 は比較的径が小さい試料（径 10 cm 程度）で、中心部分に近い材であり（図 2A），年輪内に垂直樹脂道が散在している点や圧縮アテ材的で細胞壁が全体的に厚い点などから、この試料が根材の可能性もある。根材であった場合は、Denne and Turner (2009) が指摘しているように、分野壁孔の形状も、幹材のものと極めて異なるため、根材であるかどうか検討する必要がある。また、D1-2759 と D1-29097 は、垂直樹脂道の分布の様子が異なることから、異なった分類群になる可能性もあるが、D1-29097 は白色に良く珪化した試料であるため、内部構造が良く観察できない。以上のことから、2 試料は本報ではマツ科に止めておく。

マツ科の材化石は、第三紀中新統から、*Abies fimboides* Watari, *Keteleeria mabetiensis* (Watari) Watari, *Picea wakimizui* (Watari) Watari, *Picea cf. jezoensis*, *Picea palaeomaximowiczii* Watari, *Tsuga* sp. などが報告されている (Watari, 1956)。このうち、垂直樹脂道を持つことから、モミ属 (*Abies*) とツガ属 (*Tsuga*) とは本化石と区別でき、水平樹脂道を持つことから、ユサン属 (*Keteleeria*) とは本化石と区別できる。さらに、トウヒ属 (*Picea*) はトウヒ型の分野壁孔を持つことで、本化石と区別できる。以上のことから、本化石に類似した化石は報告されておらず、新種の可能性が高い。

ヒノキ科 Family CUPRESSACEAE L. C. Richard
ex Bartling, 1830
CUPRESSACEAE gen. et sp. indet.
(図 2 E-H)

試料：D1-2755, D1-29092

採集地点：神戸市北区山田町下谷上（図 1; 2）(D1-2755), 神戸市西区伊川谷町前開太山寺伊川（図 1; 4）(D1-29092)。

産出層：白川層もしくは藍那層 (D1-2755, D1-29092)。

材構造と類縁：整然と並んだ仮道管と樹脂細胞と放射柔細胞からなる針葉樹材で、年輪は極めて明瞭で早材から晩材への移行は極めて急である（図 2E）。2 試料とも年輪幅が極めて狭く、0.5 mm 程度である（図 2E）。仮道管壁孔は大部分が単列で時に 2 列（図 2F）。樹脂細胞は早材から晩材の境界付近に接線方向に帶状に分布し（図 2E），その水平壁末端壁は平滑からやや不規則に肥厚している（図 2G）。分野壁孔はヒノキ型が多く、時に小さなスギ型で 1 分野に 2～4 個存在する（図 2H）。以上の形質から、ヒノキ科であることがわかる。

ヒノキ科は世界的に広く分布し、以前は狭義のヒノキ科とスギ科（または亜科）の 2 つに分けられていたが、分子系統学的な研究から、現在はこれらを分ける必然性はないとしてまとめるのが普通である (Brunsfeld et al., 1994; Gadek et al., 2000; Farjon, 2005)。ヒノキ科の樹種の材構造は比較的類似しているが、現生材の属で典型的な材構造では、早材から晩材への移行の状態、晩材部の幅、樹脂細胞の頻度と配列、分野壁孔の形態、軸方向柔細胞の水平末端壁の形状などによって属レベルの区別ができることがある。特に、分野壁孔の形態は広義のヒノキ科の中では、ヒノキ型（孔口が長楕円形で壁孔縁の境界内に収まっている、孔口の幅が両側の壁孔縁の幅よりも

が狭い）とスギ型（孔口が大きく卵形から楕円形で壁孔縁の境界に収まっている、孔口の幅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）の 2 タイプがある。ヒノキ型には、主に狭義のヒノキ科のほとんど（ネズコ属 (*Thuja*) のみ例外）で、ヒノキ属 (*Chamaecyparis*), アスナロ属 (*Thujopsis*), ネズミサシ属 (*Juniperus*) などが含まれる。一方、スギ型には、以前のスギ科のほとんどで、スギ属 (*Cryptomeria*), ヌマスギ属 (*Taxodium*), メタセコイア属 (*Metasequoia*), セコイア属 (*Sequoia*), セコイアデンドロン属 (*Sequoiadendron*), スイショウ属 (*Glyptostrobus*), コウヨウザン属 (*Cunninghamia*) などと狭義のヒノキ科のネズコ属が含まれる。

広義のヒノキ科の材化石は、第三紀中新統から多産する *Taxodioxylon cunninghamioides* (Watari) Watari および *Taxodioxylon sequoianum* (Merckl.) Gothan と九州地方の古第三系の筑豊炭田から産する *Taxodioxylon matsuuiwa* Watari の 3 種が報告されている (Watari, 1966)。これら 3 種は、すべて大きなスギ型の分野壁孔を持つことから、ヒノキ型の分野壁孔を持つ今回の化石と明らかに異なっている。さらに、今回の 2 試料とも年輪幅が極めて狭く、1 mm に達しない。以上のことから、この化石は新種の可能性が高いが、本報ではヒノキ科に止めておく。

ブナ目 Order FAGALES Engler, 1892
ブナ科 Family FAGACEAE Dumortier, 1829
クリ属 Genus CASTANEA Miller, 1754
CASTANEA sp.
(図 3 A-D)

試料：D1-29310, D1-29095

採集地点：神戸市西区伊川谷町布施畑伊川（図 1; 3）(D1-29310), 明石市大觀町明石川河口（図 1; 7）(D1-29095)。

産出層：白川層もしくは藍那層 (D1-29310), 不明 (D1-29095)。

材構造と類縁：年輪のはじめに大道管が 4～9 列程度並び、晩材部では薄壁の角張った小道管が火炎状に多数配列する環孔材（図 3A, B）。道管の穿孔は单一で大道管はチローシスが顕著（図 3B, C）。放射組織は同性で平伏細胞のみからなり（図 3D），1～2 列で比較的 2 列幅のものが多い（図 3C）。軸方向柔細胞中に菱形結晶を持つ。道管放射組織間壁孔は小さめでふぞろいのものが多い（図 3D）。以上の形質も持つ樹種は、ブナ科のクリ属 (*Castanea*) と一部のシイ属 (*Castanopsis*) が考えられる。

シイ属のなかで環孔材である種の材構造は、クリ属の材構造と極めて類似しており、両属の区別が非常に難しい場合がある (Suzuki and Terada, 1996)。両属の区別が難しいため、ヨーロッパやインドを中心に、形態分類群の *Castanoxylon Navale* (1964) を使う傾向が今でもある (Selmeier, 1970a, b, 1972, 1991; Burgh, 1973; Crawley, 2001; Sakala and Teodoridis, 2001 など)。

Suzuki and Terada (1996) は、現生のクリ属とシイ属の材構造を比較し、以下のような点で両属は区別できるとした。クリ属は早材に連続的な孔圈部を持ち、その道管間には径が大きい薄壁の纖維状仮道管と散在柔組織からなる一方、環孔性のシイ属は孔圈部で道管相互の間隔は開

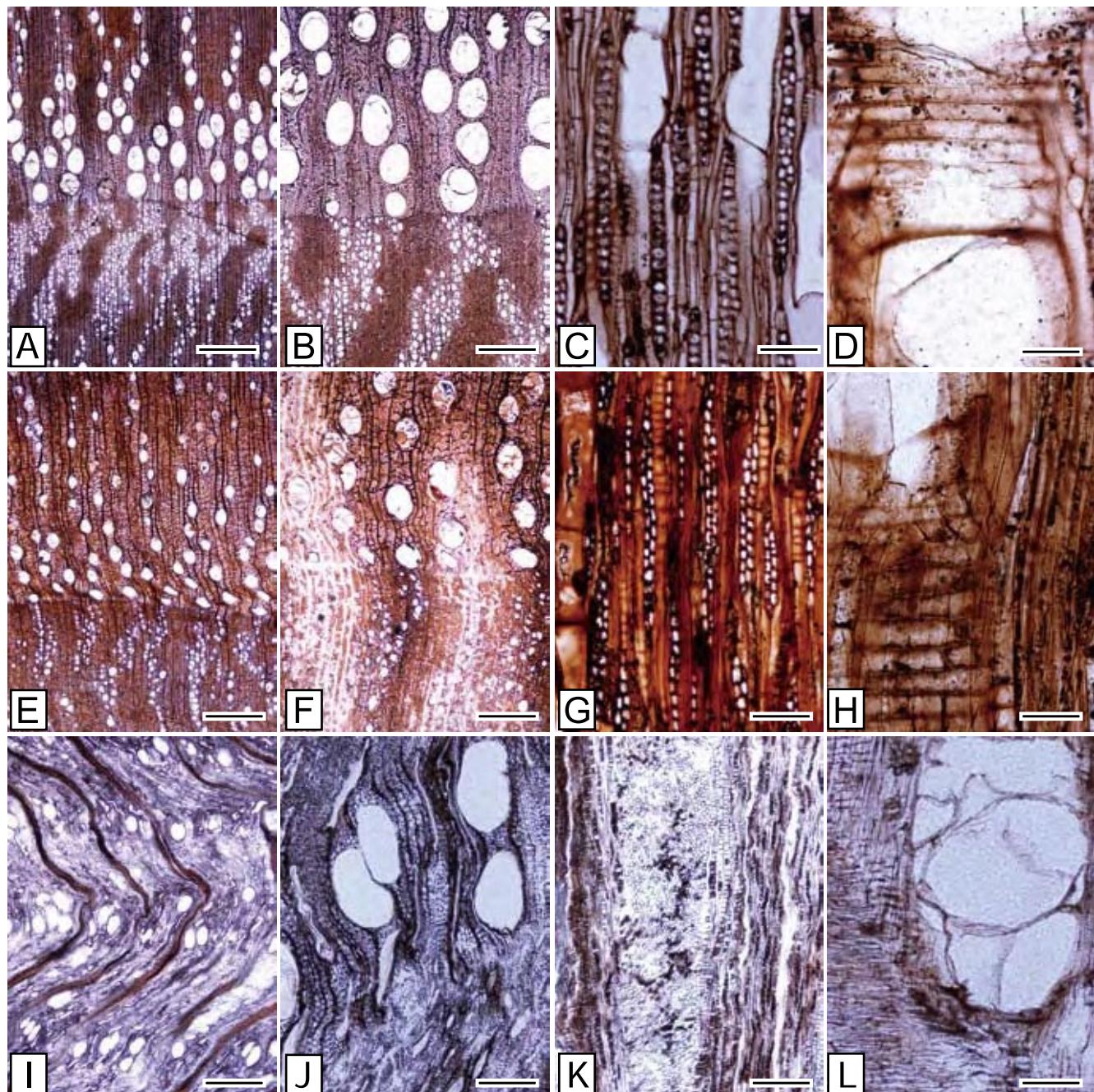


図3. 材化石の顕微鏡写真。A-D, クリ属 (*Castanea* sp.) (標本:D1-29310)。A, 木口面 (スケール: 1 mm); B, 木口面 (スケール: 500 μm); C, 板目面 (スケール: 100 μm); D, 柱目面 (スケール: 50 μm)。E-H, シイ属 (*Castanopsis* sp.) (標本:D1-2769)。E, 木口面 (スケール: 1 mm); F, 木口面 (スケール: 500 μm); G, 板目面 (スケール: 100 μm); H, 柱目面 (スケール: 50 μm)。I-L, コナラ属コナラ節 (*Quercus* Sect. *Prinus* sp.) (標本:D1-2727)。I, 木口面 (スケール: 1 mm); J, 木口面 (スケール: 200 μm); K, 板目面 (スケール: 100 μm); L, 柱目面 (スケール: 50 μm)。

き、ふつうその間は真正木纖維や帶状柔組織のような基礎組織で満たされている。また、シイ属には帶状柔組織が早材と晩材をとうして顕著であるのに対して、クリ属は晩材部でもあまり顕著ではない。さらに、道管放射組織間壁孔

が、シイ属では非常に大きく棚状であり、クリ属では小さめでふぞろいで、コナラ属のような棚状にはならないことで、両属を区別できることを明らかにした。

Suzuki and Terada (1996) の区別点により、本化石と

後述するシイ属の材化石 (D1-2769) は材構造で明らかに区別できる。本化石はシイ属の材化石に比べ、年輪の最初の道管が接線方向に連続的で、その道管間には径が大きい薄壁の纖維状仮道管と散在柔組織からなる、また、本化石は帯状柔組織がシイ属の材化石に比べあまり顕著ではない。さらに、道管放射組織間壁孔が、本化石では小さめでふぞろいである。以上のことから、本化石をクリ属と同定した。

クリ属の材化石は、宮城県仙台市広瀬川と長崎県長崎市神浦の海岸から採集された *C. antiqua* Watari et Kuroda (1949) と福岡県福津市津屋崎の古第三系下部漸新統津屋崎層から報告された *C. protoantiqua* M. Suzuki (1976)、さらに、Ogura (1949) が長野県長野市安茂里小市犀沢山から *Castanopsis makinoi* として報告した化石を Suzuki and Terada (1996) により組みかえられた *C. makinoi* (Ogura) M. Suzuki et K. Terada の3種がある。本化石は、放射組織が2列細胞幅のものを持つ点や軸方向柔細胞中に菱形結晶を持つ点などから、*C. antiqua* と *C. protoantiqua* の2種と類似している。しかしながら、大道管が多列配列し孔圈部が非常に広いことから、この2種とは区別できる。さらに、2列細胞幅の放射組織を多く持つことから、*C. makinoi* と区別され、新種の可能性はあるが、3種の材構造の変異なども含めて検討する必要がある。

シイ属 Genus *CASTANOPSIS* (D. Don) Spach, 1841
CASTANOPSIS sp.
 (図3 E-H)

試料：D1-2769

採集地点：神戸市北区山田町下谷上（図1；2）

産出層：白川層もしくは藍那層

材構造と類縁：年輪のはじめに大道管が4～7列もしくはそれ以上、放射状に多數配列する環孔材もしくは放射孔材で、晩材部では薄壁の円形もしくは幾分角張った小道管が放射状もしくは火炎状に配列する（図3E, F）。道管の穿孔は单一で大道管はチローシスが顕著。放射組織は同性で平伏細胞のみからなり（図3H）、1～2列で比較的2列幅のものが多い（図3G）。軸方向柔細胞中に菱形結晶を持つ（図3G）。帯状柔組織が早材と晩材を通して顕著（図3E, F）。道管放射組織間壁孔は一部に垂直な棚状のものも存在する（図3H）。以上の形質から、ブナ科のクリ属もしくは環孔性のシイ属が考えられる。さらに、前述した Suzuki and Terada (1996) の両属の区別点により、本化石は前述のクリ属の材化石に比べ、年輪の最初の道管が相互の接線方向に間隔が開き、その間は真正木纖維や帯状柔組織で満たされている。また、本化石は帯状柔組織が早材と晩材を通して顕著であり、道管放射組織間壁孔に棚状のものが観察できるなどのことから、シイ属と同定された。

シイ属の材化石は、Ogura (1949) が報告した *Castanopsis makinoi* があつたが、Suzuki and Terada (1996) によりクリ属 *Castanea makinoi* に組みかえられたため、石川県能登町の新第三系中新統柳田層からの *Castanopsis uchiuraensis* M. Suzuki et K. Terada の1種だけである（寺田、2008）。*C. uchiuraensis* は、1試料で保存が悪いため、詳細な形質が確認できないが、本化石

は *C. uchiuraensis* に比べ、孔圈部が広く大道管が多列配列し、放射組織が2細胞幅のものが多いなどの特徴から区別でき、明らかに新種であると思われるが、本報では *Castanopsis* sp. としておく。

コナラ属 Genus *QUERCUS* Linnaeus, 1753
 コナラ亜属 Subgenus *QUERCUS* Linnaeus, 1753
 コナラ節 Section *PRINUS* Loudon, 1830
QUERCUS Sect. *PRINUS* sp.
 (図3 I-L)

試料：D1-2727

採集地点：神戸市北区山田町下谷上（図1；2）

産出層：白川層もしくは藍那層

材構造と類縁：年輪のはじめに大道管が1～2列程度並び、そこから道管径が徐々に減少していきながら、薄壁で幾分丸い単独の道管が放射状もしくは火炎状に配列する環孔材（図3I, J）。道管の穿孔は单一で、チローシスが顕著（図3L）。道管の周りには周囲仮道管が顕著、放射組織の大きさは明らかに2階級に分類され、单列同性のものと大きな複合放射組織からなる（図3I, K）。以上の形質から、ブナ科コナラ属であることがわかる。

ブナ科コナラ属の材構造は、道管の形態により3タイプに区別される。道管が放射配列するカシ（evergreen）型、環孔材で晩材部では厚壁で丸い単独の道管が放射方向に配列するred oak型、さらに、環孔材で晩材部では薄壁な小道管が火炎状に配列するwhite oak型である。本化石は、環孔材で晩材部では薄壁な小道管が火炎状に配列するwhite oak型であることから、コナラ節に属する樹種と考えられる。

Suzuki and Ohba (1991) は、日本産のコナラ属とそれに近縁な種の材化石の再検討を行ない、white oak型のコナラ属の材化石として、山形県最上郡舟形町から産した *Q. shimakurae* M. Suzuki et H. Ohba と宮城県大崎市三本木から産した *Q. miyagiense* M. Suzuki et H. Ohba の2種を報告した。*Q. shimakurae* は、年輪のはじめの大道管から道管径が急激に減少して薄壁で角張った道管が火炎状に配列することから、本化石とは明らかに区別できる。一方、*Q. miyagiense* は、年輪のはじめの大道管から道管径を徐々に減少していきながら、薄壁で幾分丸い単独の道管が放射状もしくは火炎状に配列しており、本化石と類似している。今後、この種と比較検討する必要がある。

バラ目 Order ROSALES Perleb, 1826
 ニレ科 Family ULMACEAE Mirbel, 1815
ULMACEAE gen. et sp. indet.
 (図4 A-D)

試料：D1-2776, D1-2784, D1-29094

採集地点：神戸市北区山田町下谷上（図1；2）(D1-2776, D1-2784)、明石市茶園場町明石川・伊川合流点（図1；6）(D1-29094)。

産出層：白川層もしくは藍那層 (D1-2776, D1-2784), 不明 (D1-29094)。

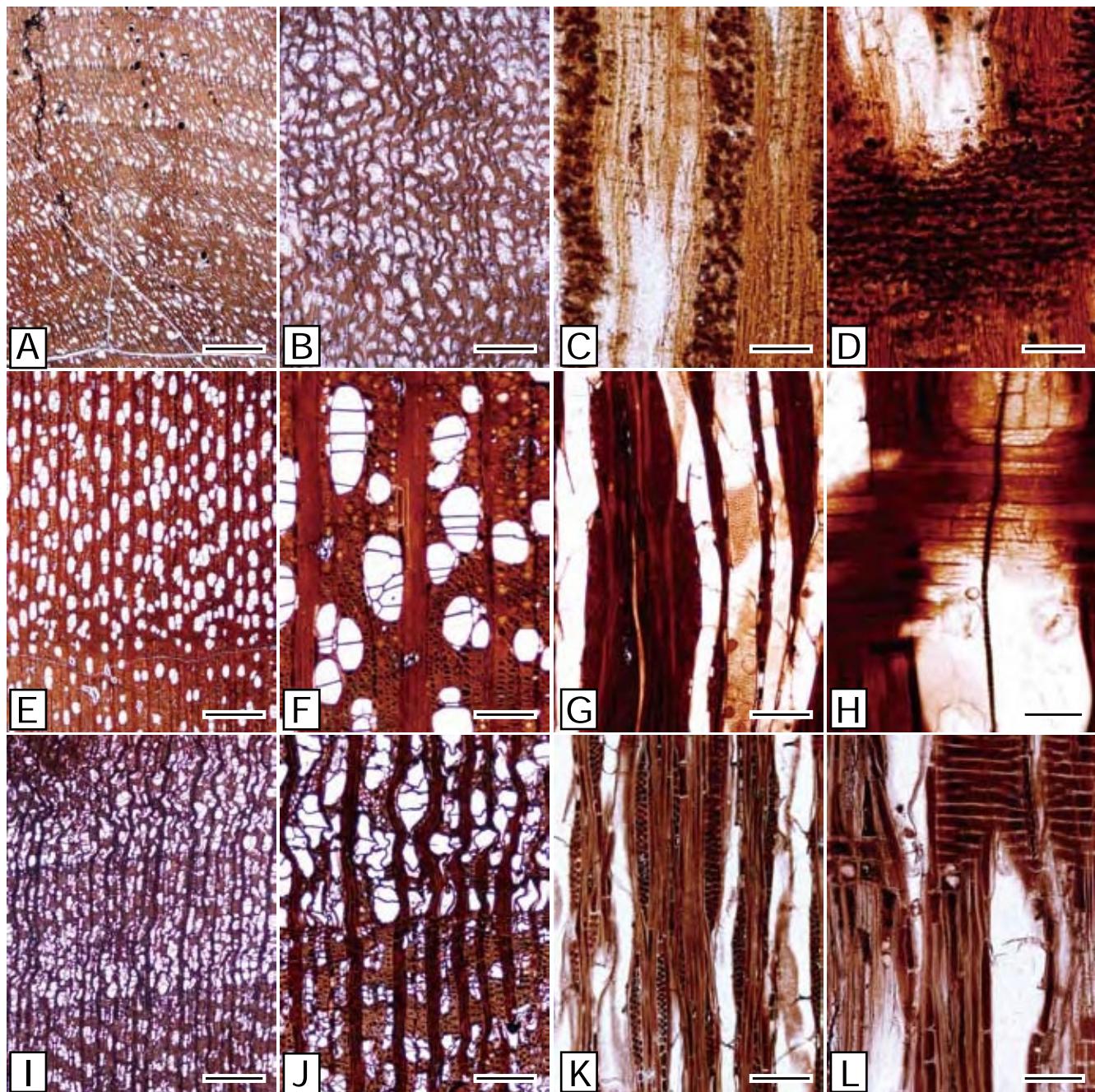


図4. 材化石の顕微鏡写真。A-D, ニレ科 (Ulmaceae) (標本:D1-2776)。A, 木口面 (スケール: 1 mm); B, 木口面 (スケール: 500 μm); C, 板目面 (スケール: 100 μm); D, 桿目面 (スケール: 100 μm)。E-H, *Paraphyllanthoxylon kobense* (標本:D1-2767)。E, 木口面 (スケール: 1 mm); F, 木口面 (スケール: 200 μm); G, 板目面 (スケール: 200 μm); H, 桿目面 (スケール: 100 μm)。I-L, 散孔材 (タイプ1) (Diffuse porous wood (Type 1)) (標本: D1-29312)。I, 木口面 (スケール: 500 μm); J, 木口面 (スケール: 200 μm); K, 板目面 (スケール: 200 μm); L, 桿目面 (スケール: 100 μm)。

材構造と類縁：年輪のはじめに1列もしくは数列 (D1-29094は5-6列) の大道管を持つ環孔材で、孔圈外の小道管は集団管孔を形成し、波うった接線状から斜線状配列する(図4A, B)。小道管の内壁には明瞭な螺旋肥厚を持つ(図

4C)。放射組織に同性と考えられる(図4C, D)。以上の形質から、ニレ科ニレ属 (*Ulmus*) である可能性が高いが、試料3点とも保存が悪いため、詳細な形質が確認できないので、ニレ科に止めておく。

所属科不明 Family indet.
パラフィラントキシロン属
Genus *PARAPHYLLANTHOXYLON* Bailey, 1924
PARAPHYLLANTHOXYLON KOBENSE M. Suzuki,
1984a
(図 4 E-H)

試料：D1-2767, D1-2766

採集地点：神戸市北区山田町下谷上（図 1；2）。

産出層：白川層もしくは藍那層

材構造と類縁：年輪界は不明瞭。幾分道管径の違いや道管頻度の違いがみられる（図 4E）。ほとんどの道管は 2-7 個放射方向に複合し、比較的均一に分布する散孔材（図 4E,F）。道管の穿孔は單一で、チローシスが顕著（図 4G）。道管相互壁孔は交互状で密（図 4G）。道管放射組織間壁孔は大きく、見かけ上単壁孔で円形から橢円形で顕著（図 4H），隔壁木纖維を持つ（図 4G）。放射組織は 1-4 列で多列部は平伏細胞で 1-2 細胞高の直立・方形細胞をもち時に菱形結晶を含む（図 4G, H）。以上の形質から，Suzuki (1984a) が、神戸市北区鈴蘭台の白川層から産出した材化石で報告した *Paraphyllumanthoxylon kobense* と同定した。

Paraphyllumanthoxylon 属は、Bailey (1924) がアメリカ・アリゾナの白亜紀産の材化石を元に提唱した形態分類群 (morphotaxon) で、アメリカ (Cahoon, 1972; Thayn et al., 1983; Herendeen, 1991; Wheeler, 1991; Wheeler et al., 1987, 1995; Wheeler and Lehman, 2000 など)，メキシコ (Martinez-Cabrera et al., 2006)，ヨーロッパ (Meijer, 2000; Crawley, 2001 など)，インド (Dayal, 1968; Mädel, 1962 など)，アフリカ (Mädel, 1962) および日本 (Ogura, 1932; Watari, 1943; Suzuki, 1984a; Takahashi and Suzuki, 2003) の上部白亜系から第三系にかけて、現在までに 29 分類群が報告されている (Jakub Sakala 私信; Gryc et al., 2008 にて発表)。*Paraphyllumanthoxylon* 属の類縁に関しては、数多くの論文で議論されてきた (Bailey, 1924; Thayn and Tidwell, 1984; Herendeen, 1991; Wheeler, 1991; Martinez-Cabrera et al., 2006 など)。今までに議論された科は、トウダイグサ科 (Euphorbiaceae)，特にコミカンソウ亞科 (現在のコミカンソウ科 (Phyllanthaceae)) (APGII, 2003) やクスノキ科 (Lauraceae)，カンラン科 (Burseraceae)，ホルトノキ科 (Elaeocarpaceae)，ウルシ科 (Anacardiaceae)，タマツヅラ科 (Verbenaceae)，イイギリ科 (Flacourtiaceae)，ニガキ科 (Simaroubaceae) ニレ科 (Ulmaceae) およびスミレ科 (Violaceae) などがあり、未だに所属不明の分類群である。

日本では、福岡県福岡市東区名島の国指定天然記念物の「名島の檣石」のうち他から持てこられた 2 個の珪化木が、Ogura (1932) により報告され、*Paraphyllumanthoxylon pseudohobashiraishi* (Ogura) Mädel (1962) とされており、さらに北九州市戸畠区天籟寺町にある国指定天然記念物「夜宮の大珪化木」も、Watari (1943) により同種の *P. pseudohobashiraishi* とされている (寺田, 2008)。

世界中の *Paraphyllumanthoxylon* 属のうち、明らかに新第三系から産出したとされているのは、Martinez-Cabrera

et al. (2006) のメキシコの中中新統から報告されたものだけで、他はすべて上部白亜系から古第三系である。古第三系神戸層群からの産出は、この属の時代的産出傾向と矛盾なくなった。

散孔材（タイプ 1） Diffuse porous wood (Type 1)
(図 4 I-L)

試料：D1-29312, D1-29099

採集地点：西宮市山口町下山口（図 1；1）(D1-29312), 神戸市西区押部谷町押部谷明石川（図 1；5）(D1-29099)。

産出層：吉川層 (D1-29312), 不明 (D1-29099)。

材構造と類縁：年輪界は幾分不明瞭だが存在する（図 4I, J）。ほとんどの道管は 2-4 個程度放射方向に複合し、年輪のはじめは比較的道管径が大きく徐々に径が小さくなつて、晩材部では集団管孔になり接線状から斜線状に見える散孔材もしくは半環孔材（図 4I, J）。道管の穿孔は單一で、道管相互壁孔は交互状（図 4K）。道管放射組織間壁孔は小さく、見かけ上単壁孔の円形で目立たない（図 4L）。放射組織は 1-4 列で多列部は平伏細胞で 1-4 細胞高の直立・方形細胞を持ち、時に菱形結晶を含む（図 4K, L）。隔壁木纖維を持つ（図 4L）。以上のような形質を持つ樹種は、現生種では該当するものがない。放射組織が異性で、晩材部では集団管孔になり接線状から斜線状に見えることから、ニレ科ケヤキ属 (*Zelkova*) の可能性も考えられたが、年輪のはじめに明瞭な単独の大道管が全く確認できないことや小道管の内壁に螺旋肥厚が確認できないことから、現生のケヤキ属の材構造とは明らかに異なつている。また、Suzuki (1984b) が、福岡県福津市の古第三系下部漸新統津屋崎層から報告したサクラ属 (*Prunus*) の 4 種 (*P. ascendenterporulosa* M. Suzuki, *P. palaeozippeliana* M. Suzuki, *P. polyporulosa* M. Suzuki, *P. uviporulosa* M. Suzuki) とは、道管の配列等が類似しているが、本化石は、放射組織が異性で、道管の内壁には螺旋肥厚が確認されないので、サクラ属ではない。以上のことから、本化石の類縁は今のところ不明である。D1-29312 は保存も良く、材構造が詳細に観察でき、2 試料以外にもこの種と同種と思われるものが、薄片を作成していない材化石試料にも、ルーペ等の観察で確認できていることから、神戸層群では優占する樹種の一つの可能性もあるので、他の散孔材と区別するため、便宜的に散孔材（タイプ 1）としておく。

考 察

神戸層群からの材化石として、マツ科 (Pinaceae) とヒノキ科 (Cupressaceae), ブナ科の *Castanea* sp., *Castanopsis* sp., *Quercus* Sect. *Prinus* sp., ニレ科 (Ulmaceae), 所属科不明の *Paraphyllumanthoxylon kobense* および散孔材（タイプ 1）(Diffuse porous wood (Type 1)) の 8 分類群が認められた。このうち *P. kobense* 以外は、神戸層群からの材化石に関する最初の報告になる。さらに、少なくともマツ科、ヒノキ科、*Castanea* sp., *Castanopsis* sp. および散孔材（タイプ 1）は新種になる可能性が高いことがわかった。また、転石として採集され産出地層が不明な参考資料 4 点（試料：D1-29099, D1-

29094, D1-29095, D1-29097) は、それぞれ同種と考えられる材化石が他の採集地点でも見つかったことから、神戸層群の材化石である可能性が高いことが、樹種からも確認できた。

今回確認された8分類群のうち、所属がわかった6分類群と対応する既報の神戸層群産植物化石を検討した。まず針葉樹に関して、マツ科の大型植物化石は、マツ属(*Pinus*)、ユサン属(*Keteleeria*)、イヌカラマツ属(*Pseudolarix*)、トガサワラ属(*Pseudotsuga*)、ツガ属(*Tsuga*)の各種が報告されている(小畠, 1961; 堀, 1976, 1987など)。また、花粉化石では、トウヒ属(*Picea*)とマツ属(*Pinus*)を主体とし、モミ属(*Abies*)、ツガ属(*Tsuga*)を含む群集が報告されている(島倉, 1959)。これらの属のうち、今回のマツ科とした材化石は、垂直樹脂道を持つことからイヌカラマツ属やツガ属、モミ属と区別でき、水平樹脂道を持つことからユサン属と区別でき、仮道管壁の螺旋肥厚を持たないことからトガサワラ属と区別でき、マツ属以外に対応する属はない。神戸層群のマツ属は多様で、モミマツ(*P. deciduepis* Miki et Ohga)(大賀, 1962)やオオガフタバマツ(*P. protodiphylla* Miki)(大賀, 1959)、オホフタバマツ(*P. trifolia* Miki)(大賀, 1960)などが報告されている(Miki, 1939, 1957)。これらの分類群の亜属や節などの分類を含めて本材化石の類縁を検討する必要がある。

広義のヒノキ科の大型植物化石に関しては、スギ属(*Cryptomeria*)やコウヨウザン属(*Cunninghamia*)、スイショウ属(*Glyptostrobus*)、メタセコイア属(*Metasequoia*)、セコイア属(*Sequoia*)、ヌマスギ属(*Taxodium*)、ネズコ属(*Thuja*)が報告されている(小畠, 1961; 大賀, 1963; 堀, 1976, 1987; 松尾, 1987など)。また、花粉化石では、狭義のスギ科(Taxodiaceae)として報告されているだけである(島倉, 1959)。前述したように、広義のヒノキ科の分野壁孔の形態にはヒノキ型とスギ型の2タイプがあり、これらの属や狭義のスギ科の中には、ヒノキ型の分野壁孔を持つものではなく、すべてスギ型の分野壁孔を持つものである。今回ヒノキ科とした材化石は、ヒノキ型の分野壁孔を持つことから、既報の植物化石に報告がない新たな植物相の構成種の可能性もある。

クリ属の大型植物化石に関しては、クリ属と考えられる葉化石が神戸層群から多産することが知られている(鹿間, 1938; 小畠, 1961; 堀, 1976, 1983, 1987; 松尾, 1987など)。材化石でもクリ属が確認できたことは、既報の植物化石の結果と矛盾しない。神戸層群の葉化石などの植物化石に関して再検討がなされているが、クリ属とコナラ属クヌギ節の葉の形態が類似しており、両属の葉化石での区別が難しい。例えば、堀(1987)が*Castanea miomollissima* Hu et Chaneyとして報告した化石は、米阪・山本(1999)により、コナラ属クヌギ節に属するものとされている。今後の葉化石の研究で同定が変わる可能性もある。

材化石のコナラ属コナラ節と対比できる葉化石は、現生種の学名が付いたのも含めて、*Q. alba* L., *Q. crispula* Blume, *Q. glauca* Thunb., *Q. kobatakei* Tanai et Yokoyama, *Q. miocispula* Huzioka, *Q. protoserrata* Tanai et Onoe, *Q. serrata* Murrayなどがあり(鹿間, 1938; 小畠, 1961; Tanai and Yokoyama, 1975; 堀,

1976, 1983, 1987; 松尾, 1987など), 材化石が見つかったことと矛盾しない。また、シイ属やニレ科の材化石もそれぞれ対応する大型植物化石が報告されていた(鹿間, 1938; 小畠, 1961; 堀, 1976, 1983, 1987; 松尾, 1987など)。

以上のように、所属がわかった6分類群中ヒノキ科としたもの以外はすべて既報の大型植物化石と対応するものがあった。今後は、さらなる材化石試料の検討をおこない、古第三系神戸層群の材化石からみた植物相を明らかにしたいと考えている。

謝 辞

この研究を進めるにあたり、兵庫県立人と自然の博物館に材化石試料を寄贈していただいた北川美智子氏、竹内利長氏、丸山純一氏にお礼申し上げる。植村和彦博士および尾崎正紀博士には、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。特に、植村博士には多大なご教示を受け、本稿は著しく改善された。以上の方々に心より感謝申し上げる。

引用文献

- APGII. 2003. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APGII. Botanical Journal of the Linnean Society 141 : 399–436.
- Bailey, I. W. 1924. The problem of identifying the wood of Cretaceous and later dicotyledons: *Paraphyllanthoxylon arizonicense*. Annals of Botany 38 : 439–451.
- 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. Gedek, C. J. Quinn, D. D. Strenge and T. A. Ranker. 1994. Phylogenetic relationships among the genera of Taxodiaceae and Cupressaceae: evidence from rbcL sequences. Systematic Botany 19 : 253–262.
- Burgh, J. van der. 1973. Hölzer der niederrheinischen Braunkohlenformation, 2. Hölzer der Braukohlengruben "Maria Theresia" zu Herzogenrath, "Zukunft West" zu eschweiler und "Victor" (Aulpeich Mitte) zu Zulpich, nebst einer systematisch-anatomischen bearbeitung der gattung *Pinus* L. Review of Palaeobotany and Palynology 15 : 73–275.
- Cahoon, E. J. 1972. *Paraphyllanthoxylon alabamense* - a new species of fossil dicotyledonous wood. American Journal of Botany 59 : 5–11.
- Crawley, M. 2001. Angiosperm woods from British Lower Cretaceous and Palaeogene deposits. Special Papers in Palaeontology 66. The Palaeontological Association, London, 100 pp.
- Dayal, R. 1968. A new fossil wood of Euphorbiaceae from the Deccan Intertrappean Beds of Madhya Pradesh. The Palaeobotanist 16 : 148–150.

- Denne, P., and S. Turner. 2009. Ray structure differences between rootwood and stemwood in a range of softwood species. IAWA Journal 30 : 71–80.
- Dumortier, B. C. J. 1829. Analyse des families des plantes avec l'indication des principaux genres que s'y rattachent. J. Casterman, Tournay, 105 pp.
- Earle, C. J. (ed). 2008-onwards. The Gymnosperm Database. URL: <http://www.conifers.org/>.
- Engler, H. G. A. 1892. Syllabus der Pflanzenfamilien: Eine Übersicht über das gesamte Pflanzensystem mit Berücksichtigung der Medicinal- und Nutzpflanzen, zum Gebrauch bei Vorlesungen und Studien über Specielle und medicinisch-pharmaceutische Botanik. 1th ed. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Farjon, A. 2005. Monograph of Cupressaceae and Sciadopitys. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, 650 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.
- Gryc, V., H. Vavrcík, L. Nekardová, and J. Sakala, 2008. First report on permineralized angiosperm wood from the Bohemian Cretaceous Basin (Cenomanian, Czech Republic): morphogenus *Paraphyllanthoxylon*, its species and familial affinity. TERRA NOSTRA 2008/2 IPC-XII /IOPC-VIII Abstract Volume, No. 248 : 101–102.
- Herendeen, P. S. 1991. Lauraceous wood from the mid-Cretaceous Potomac group of eastern North America: *Paraphyllanthoxylon marylandense* sp. nov. Review of Palaeobotany and Palynology 69 : 277–290.
- 堀 治三朗. 1976. 神戸層群産植物化石－後期中新世・神戸層群の研究－. 日本地学研究会館, 京都, 293 pp.
- 堀 治三朗. 1983. 神戸の植物化石. 神戸新聞出版センター, 神戸, 206 pp.
- 堀 治三朗. 1987. 神戸層群産植物化石集. 兵庫県生物学会, 神戸, 215 pp.
- 藤田和夫. 1961. 神戸層群; pp. 76–80, 池辺辰生 (編), 17万分の1兵庫県地質鉱産図及び説明書. 兵庫県, 神戸.
- 藤田和夫・笠間太郎. 1971. 六甲山地とその周辺の地質－神戸市およびその隣接地域地質図 (5万分の1), 同説明書－, 神戸市企画局, 神戸, 58 pp.
- 藤田和夫・笠間太郎. 1983. 神戸地域の地質, 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 115 pp.
- 藤田和夫・前田保夫. 1984. 須磨地域の地質, 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 101 pp.
- Huzita, K., M. Kasama, M. Hirano, T. Shinoda and M. Tanaka-Yamashita. 1971. Geology and geomorphology of the Rokko Area, Kinki district, Japan, with special reference to Quaternary tectonics. Journal of Geosciences, Osaka City University 14 : 71–124.
- IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. IAWA Journal 10 : 219–332.
- IAWA Committee. 2004. IAWA list of microscopic features for softwood identification. IAWA Journal 25 : 1–70.
- InsideWood. 2004-onwards. Published on the Internet. <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search>.
- 糸魚川淳二. 1983. 濱戸内東部沿岸地域の中新世軟体動物群集. 瑞浪市化石博物館研究報告 10 : 29–39.
- 糸魚川淳二・柴田博. 1992. 濱戸内区の中新世古地理 (改訂版). 瑞浪市化石博物館研究報告 19 : 1–12.
- 木村一成. 1997. 神戸市西部の神戸層群の層序－特に白川累層および藍那累層について－. 日本地質学会学術大会講演要旨集 104 : 376.
- 木村一成. 2002. 神戸層群白川累層中の普通輝石を含む苦鉄質凝灰岩の発見. 地球科学 56 : 289–294.
- 小山彰・佐野正人・藤田和夫. 1996. 第4章被覆層 I. pp. 170–214, 兵庫県土木地質図編纂委員会 (編), 兵庫の地質—地質図解説書・地質編一, 財団法人兵庫県建設技術センター, 神戸.
- Lindley, J. 1836. A natural system of botany, or, A systematic view of the organization, natural affinities, and geographical distribution, of the whole vegetable kingdom: together with the uses of the most important species in medicine, the arts, and rural or domestic economy, Second edition, Longman, Rees, Orme, Brown, Green, and Longman, London, 526 pp.
- Linnaeus, C. 1753. Species Plantarum: A facsimile of the first edition. 2 volumes, Ray, Stockholm, 1200 pp.
- Loudon, J. C. 1830. Loudon's Hortus Britannicus: A catalogue of all the plants indigenous, cultivated in, or introduced to Britain. Part I. The Linnaean Arrangement, Part II. The Jussieuan Arrangement. Longman, Rees, Orme, Brown, and Green, London, 576 pp.
- Mädel, E. 1962. Die fossilen Euphorbiaceen-Hölzer mit besonderer Berücksichtigung neuer Funde aus der Oberkreide Süd-Afrikas. Senckenbergiana Lethaea 43 : 283–321.
- Martinez-Cabrera, H. I., S. R. S. Cevallos-Ferriz and I. Poole. 2006. Fossil woods from Early Miocene sediments of the El Cien Formation, Baja California Sur, Mexico. Review of Palaeobotany and Palynology 138 : 141–294.
- 松原尚志・三枝春生・加藤茂弘・岩野英樹. 2006. 兵庫県三田地域における古第三系神戸層群の哺乳類化石産出層準のF-T年代, 日本地質学会学術大会講演要旨集 113 : 67.
- 松尾裕司. 1987. 神戸層群の化石を掘る (神戸の自然 16), 神戸市立教育研究所, 神戸, 138 pp.
- Meijer, J. J. F. 2000. Fossil woods from the Late Cretaceous Aachen Formation. Review of Palaeobotany and Palynology 112 : 297–336.
- Miki, S. 1939. On the remains of *Pinus trifolia* n. sp. in the upper Tertiary from central Honshu in Japan. Botanical Magazine, Tokyo 53 : 239–246.
- Miki, S. 1957. Pinaceae of Japan, with special reference to

- its remains. Journal of Institute of Polytechnics, Ōsaka City University Series D 8 : 221-291.
- Miller, P. 1754. The gardeners dictionary. 4th editon, London.
- Mirbel, C. F. B. de. 1815. Éléments de physiologie végétale et de botanique. Magimel, Paris, 924 pp.
- 宮津時夫・松尾裕司. 1996. 神戸層群の植物化石層. 地学研究 45 : 3-10.
- 宮津時夫・松尾裕司. 1997. 神戸層群の凝灰岩層(白川地域). 地学研究 46 : 9-16.
- Navale, G. K. B. 1964. *Castanoxylon* gen. nov. from the Tertiary beds of the Cuddalore series near Pondicherry, India. The Paleobotanist 11 : 131-137.
- 日本木材学会 組織と材質研究会・伊東隆夫・藤井智之・佐伯 浩(日本語版監修). 1998. 広葉樹の識別 IAWAによる光学顕微鏡的特徴リスト. 海青社, 大津, 122 pp.
- 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.
- 小畠信夫. 1961. 神戸層群の植物化石; pp. 88-86, 図版 1-3, 池辺展生(編), 17万分の1兵庫県地質鉱産図及び説明書. 兵庫県, 神戸.
- Ogura, Y. 1932. On the structure of a silicified wood found near "Hobashiraishi" at Najima near, Fukuoka City. Journal of Japanese Botany 6 : 183-190, pl. 4.
- Ogura, Y. 1949. A fossil of *Castanopsis*- type from the Tertiary of Nagano Prefecture. Journal of Japanese Botany 24 : 15-18.
- Ohba, H. 2006. Fagaceae; pp. 42-60 in K. Iwatsuki, D. E. Boufford and H. Ohba (eds.), Flora of Japan, Volume IIa Angiospermae Dicotyledoneae Archichlamydeae(a). Kodansha, Tokyo.
- 大賀吉祐. 1955. 神戸層群の化石木について. 地学研究 8 : 91-92.
- 大賀吉祐. 1959. 神戸層群中に産する球果、果実等の化石について(1). 五葉と二葉亜属の中間の特性をもつオガフタバマツ(新称)について. 地学研究 11 : 61-64.
- 大賀吉祐. 1960. 神戸層群中に産する球果、果実等の化石について(2). オホミツバマツ(*Pinus trifolia* Miki)の新産地について. 地学研究 11 : 228-230.
- 大賀吉祐. 1962. 神戸層群中に産する球果、果実等の化石について(3). 白川産モミマツ(新称)(*Pinus deciduolepis* Miki et Ohga n. sp.)について. 地学研究 12 : 432-433, 図版 1.
- 大賀吉祐. 1963. 神戸層群中に産する球果、果実等の化石について(4). 白川産 *Metasequoia* 及びその他のスギ科植物. 地学研究 13 : 349-355.
- 大賀吉祐. 1964. 神戸層群、白川層群中に見られる生態を保存する化石について. 地学研究 15 : 142-145.
- 尾崎正紀. 1992. 日本における古第三紀植物群の変遷と古気候変化. 地質調査所月報 43 : 69-85.
- 尾崎正紀・原山智. 2003. 高砂地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産業総合研究所地質調査 総合センター, 87 pp.
- 尾崎正紀・松浦浩久. 1988. 三田地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 93 pp.
- 尾崎正紀・栗本史雄・原山智. 1995. 北条地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 101 pp.
- 尾崎正紀・松浦浩久・佐藤喜男. 1996. 神戸層群の地質年代. 地質学雑誌 102 : 73-83.
- Perleb, K. J. 1826. Lehrbuch der Naturgeschichte des Pflanzenreichs. Magner, 422 pp.
- Sakala, J. and V. Teodoridis. 2001. Fossil wood and foliage of *Castanea* (Fagaceae) from the Upper Oligocene of northern Bohemia. Věstník Českého geologického ústavu (Bulletin Czech Geological Survey) 76 : 23-28.
- 坂本龍馬・岩田英明・竹村厚司・西村年晴. 1998. 兵庫県河東郡東条町南西部における古第三系神戸層群の岩相層序および地質構造. 人と自然 9 : 9-18.
- Selmeier, A. 1970a. *Castanoxylon bavaricum* n. sp. aus jungtertiären Schichten Nordost-Bayerns (Basaltbruch Weidersberg). Geologische Blaetter fuer Nordost-Bayern und angrenzende Gebiete. Erlangen 20 : 17-38.
- Selmeier, A. 1970b. Ein *Castanopsis*-Holz aus jungtertiären Schichten Südbayerns (Schrobenhausen). Neues Jahrbuch fuer Geologie und Palaeontologie. Monatshefte. Stuttgart 1970 : 235-250.
- Selmeier, A. 1972. Ein *Castanopsis*-Holz aus oberchattischen Steigbachschichten des Allgäus. Mitteilungen der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und Historische Geologie 12 : 97-104.
- Selmeier, A. 1991. Verkieselte *Castanea*-Hölzer aus dem Neuburger Wald bei Passau (Niederbayern). Mitteilungen der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und Historische Geologie 31 : 149-165.
- 鹿間時夫. 1938. 神戸層群とその植物群. 地質学雑誌 49 : 481-497.
- 島倉巳三郎. 1959. 本邦新生代層の花粉層序の研究 III 神戸層群および明石層群. 奈良学芸大学紀要 8 : 65-75, 図版 1, 2.
- Spach, E. 1841. Revisio Betulacearum. Annales des Sciences Naturelles Series 2, 1115 : 182-212.
- Suzuki, M. 1976. Some fossil woods from the Palaeogene of northern Kyushu. Botanical Magazine, Tokyo 89 : 59-71.
- Suzuki, M. 1984a. A new fossil of *Paraphyllanthoxylon* (Euphorbiaceae) from the Miocene of Kobe. Journal of Japanese Botany 59 : 275-281, Pl. VI, VII.
- Suzuki, M. 1984b. Some fossil woods from the Palaeogene of Northern Kyushu, III. Botanical Magazine, Tokyo 97 : 457-468.
- Suzuki, M., and H. Ohba. 1991. A revision of fossil woods of *Quercus* and its allies in Japan. Journal of Japanese Botany 66 : 255-274.
- Suzuki, M., and K. Terada. 1996. Fossil wood flora from the Lower Miocene Yanagida Formation, Noto Peninsula, central Japan. IAWA Journal 17 : 365-392.

- Tai, Y. 1959. Miocene microbiostratigraphy of west Honshu, Japan. Journal of Science Hiroshima University, Series C, 2 : 265-395.
- Takahashi, K., and M. Suzuki. 2003. Dicotyledonous fossil wood flora and early evolution of wood characters in the Cretaceous of Hokkaido, Japan. IAWA Journal 24 : 269-309.
- 棚井敏雅. 1992. 東アジアにおける第三紀森林植生の変遷. 瑞浪市化石博物館研究報告 19 : 125-163.
- Tanai, T., and A. Yokoyama. 1975. On the lobed oak leaves from the Miocene Kobe group, western Honshu, Japan. Journal of the Faculty of Science, Hokkaido. University. Series 4, Geology and mineralogy 17 : 129-142
- Tanai, T., and K. Uemura. 1994. Lobed oak leaves from the Tertiary of east Asia with reference to the oak phytogeography of the northern hemisphere. Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan 173 : 343-365.
- 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.
- Thayn, G. F., and W. D. Tidwell. 1984. A review of the genus *Paraphyllanthoxylon*. Review of Palaeobotany and Palynology 43 : 321-335.
- Thayn, G. F., W. D. Tidwell, and W. L. Stokes. 1983. Flora of the Lower Cretaceous Cedar Mountain Formation of Utah and Colorado. I. *Paraphyllanthoxylon utahense*. Great Basin Naturalist 43 : 394-402.
- Tsubamoto, T., T. Matsubara, S. Tanaka and H. Saegusa. 2007. Geological age of Yokoyama Formation of the Kobe Group (Japan) on the basis of terrestrial mammalian fossils. Island Arc 16 : 479-492.
- 植村和彦, 1999. 神戸層群産植物群の研究史私見. 地学研究 48 : 55-63.
- Watari, S. 1943. Studies on the fossil woods from the Tertiary of Japan, III. A large silicified trunk of *Phllanthinium pseudo-hobashiraishi* Ogura from the Palaeogene of Tobata City. Japanese Journal of Botany 13 : 255-260.
- Watari, S. 1956. Some Abietinean woods from the Tertiary of Japan. Journal of Faculty of Science University of Tokyo, Section III (Botany) 6 : 419-437.
- Watari S. 1966. A new *Taxodioxylon*, *T. matsuwa* Watari, from the Palaeogene of North Kyushu, Japan. Botanical Magazine, Tokyo 79 : 165-173.
- Watari, S., and H. Kuroda. 1949. On a fossil wood of *Castanea* from the Tertiary of Japan. Journal of Japanese Botany 24 : 19-23.
- Wheeler, E. A. 1991. Paleocene dicotyledonous trees from Big Bend National Park, Texas: variability in wood types common in the Late Cretaceous and Early Tertiary, and ecological inferences. American Journal of Botany 78 : 658-671.
- Wheeler, E. A., and T. M. Lehman. 2000. Late Cretaceous woody dicots from the Aguja and Javelina Formations, Big Bend National Park, Texas. USA. IAWA Journal 21 : 83-120.
- Wheeler, E. F., M. Lee and L. C. Matten. 1987. Dicotyledonous woods from the Upper Cretaceous of southern Illinois. Botanical Journal of the Linnean Society 95 : 77-100.
- Wheeler, E. A., J. McClammer and C. A. LaPasha. 1995. Similarities and differences in dicotyledonous woods of the Cretaceous and Paleocene. San Juan Basin, New Mexico. IAWA Journal 16 : 223-254.
- 山本順一・米阪紀雄. 1999. 白川累層上部の植物化石とその産状から推定する古環境. 地学研究 48 : 65-88.
- 山本裕生・栗田裕司・松原尚志. 2003. 兵庫県淡路島北部の第三系岩屋層から産出した始新世石灰質ナンノ・渦鞭毛藻化石とその意義. 地質学雑誌 106 : 379-382.
- 米阪紀雄・山本順一. 1999. 下部漸新統の神戸層群植物化石. 地学研究 48 : 31-54.