

[原著]

鮮新統古琵琶湖層群上野層および伊賀層の材化石群集

南澤 修*・松本みどり**・山川千代美***・布谷知夫***・寺田和雄****

Fossil wood assemblages from the Pliocene Ueno and Iga Formations,
Kobiwako Group, Mie Prefecture, Japan

MINAMISAWA, Osamu *, MATSUMOTO, Midori **,
YAMAKAWA, Chiyoimi ***, NUNOTANI, Tomoo *** and TERADA, Kazuo ****

Abstract

The fossil plant assemblages of the late Pliocene in and around the Ueno Basin, Mie Prefecture, central Japan were reconstructed based on wood fossils from the Ueno and Iga Formations (ca.3.5 Ma) of the Kobiwako Group. In total, five genera in four families were identified from the two formations, plus another three taxa of undetermined genera in two other families. This includes two conifer families, namely Pinaceae (*Abies* and *Picea*) and Cupressaceae (Taxodioid type and Cupressoid type), and four dicotyledonous taxa (*Buxus*, Hamameridaceae, *Zelkova* and *Alnus*). In the upper part of the Ueno Formation three of these families, including the two conifer families and one dicotyledonous family were present (represented by *Picea*, Taxodioid type and Cupressoid type, and *Alnus*). The lower part of the Iga Formation yielded representative specimens of all the taxa, including one genera of broad leaf tree (*Buxus*), and the two types of Cupressaceae, typical wetland taxa. Cupressoid type, Hamameridaceae and other major components such as fruits of *Trapa* and rhizomes of Nymphaeaceae were dominant taxa in the upper layer of this formation.

As ripples and laminae are absent from the peaty silt that included the macro-fossils from the upper part of the Ueno Formation, the sedimentary facies was probably a back marsh environment. The Iga Formation, which conformably covers the Ueno Formation, includes alternating sand, mud and silt with current ripples, parallel laminae and trough cross-stratification. These sediments indicate that the lower part of the Iga Formation was firstly deposited in a river and then in lentic water, such as a lake containing water plants.

Key words : fossil wood, Ueno Formation, Iga Formation, Kobiwako Group, late Pliocene

2009年12月3日受付, 2010年7月9日受理

*〒381-2283 長野県長野市丹波島1-1-12 ミヤマ株式会社環境地質事業部
Miyama Co., 1-1-12 Tanba-jima, Nagano, 381-2283, Japan

**〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33 千葉大学理学研究科・地球生命圏科学専攻・地球科学
コース
Graduate School of Science, Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage, Chiba, 263-8522, Japan
E-mail: midori@earth.s.chiba-u.ac.jp

***〒525-0001 滋賀県草津市下物町1091 滋賀県立琵琶湖博物館
Lake Biwa Museum, 1091 Oroshimo, Kusatsu, Shiga, 525-0001, Japan

****〒911-8601 福井県勝山市村岡町寺尾51-11 福井県立恐竜博物館
Fukui Prefecture Dinosaur Museum, 51-11 Terao, Moroko, Katsuyama, 911-8601, Japan

1. はじめに

古琵琶湖層群は鮮新—更新統の湖沼性および河川成堆積物からなり、基盤岩類を不整合に覆い、三重県上野盆地から滋賀県の近江盆地にかけて（南北約100 km, 東西約50 km）広く分布している。古琵琶湖層群は、積算層厚1500 m以上に及び、南から北に向かって上野層、伊賀層、阿山層、甲賀層、蒲生層、草津層、堅田層、高島層と上位の地層が露出する（Kawabe, 1989）。これまでに地質学的な研究が数多くある古琵琶湖層群は、岩相・火山灰・古地磁気による層序が確立しており、広域対比が可能な地層群といえる（Takaya, 1963；林, 1974；横山ほか, 1979；古琵琶湖団体研究グループ, 1983；Yoshikawa, 1984；Kawabe, 1989；山崎ほか, 1996；里口ほか, 2005；里口・服部, 2008など）。また、同層群中には材、葉、果実、種子などの大型植物化石が豊富に含まれており、過去約400万年前から40万年前までの約360万年間の古環境および古植生の変化を連続して追うことができる、日本でも数少ない地層群である。

古琵琶湖層群の大型植物化石についての研究は、三木（1948）が先駆的な研究を行い概報した。それ以後地質調査に伴って植物化石の産出記録が報告されているが（Takaya, 1963；林, 1974；古琵琶湖団体研究グループ, 1980；南澤ほか, 2008など）、材化石群集による古植生の検討を行った研究は化石林に限定されている（伊東, 1993；百原ほか, 2001；Yamakawa *et al.*, 2008）。植物化石は材、葉、種実類、枝条、花粉など多様な部位の形態が地層中に保存されているが、同一地層中に含まれる各部位の化石群集の組成が全て一致することはない。そのため古植生・古環境を復元する上で、様々な部位を対象として群集の組成をとらえることが重要となる。

日本の鮮新世の材化石の報告が少ないのは、珪化など鉱化した状態で保存されているものが少なく、地層中で圧縮を受け細胞組織が変形し、樹種の識別が困難であることが要因の1つと考えられる。しかしながら、古琵琶湖層群下部の上野層・伊賀層中には、樹種の識別可能な保存状態の材化石が多数含まれている。

三木（1948）が報告した、上野盆地に分布する古琵琶湖層群下部から産出している大型植物化石は、第三紀型の遺存種を含むメタセコイア植物群に属する植物組成で構成されるとされ（市原, 1960）、その後も追隨する研究報告がなされている（奥山, 1981–1990；塚腰, 1996；此松, 2004）。さらに、古琵琶湖層群では伊賀層の層準以降、第三紀型の遺存種であるヌマミズキ属（*Nyssa*）やカリヤグルミ属（*Carya*）などが消滅していることが報告されている（木田, 1997）。古琵琶湖層群と同時代に堆積した大阪層群では、約

300万年前以降に両属の消滅が報告されている（Momohara, 1994）。このことから、前期から後期鮮新世にかけての時代は、日本の植物相の変遷をとらえる上で極めて重要な時期と考えられる。

本研究では、古琵琶湖層群上野層上部から伊賀層下部にかけての材化石を中心とした植物化石群集を報告し、古植生と古環境についても合わせて考察する。

2. 上野盆地周辺の上野層および伊賀層の地質

古琵琶湖層群の上野層・伊賀層は、琵琶湖の東南に位置する上野盆地に分布している。上野層の分布域の南端である上野盆地の平田地域から真泥地域には、水平方向に連続性の悪い礫層や砂層とシルト、粘土層の互層からなる地層が基盤の白亜紀後期の花崗岩を不整合に覆って分布している（Kawabe, 1989；川辺ほか, 1996）。本研究では、新真泥橋の東300 mの地点から真泥橋の200 m西までの約1500 mにわたり、服部川河床に露出する古琵琶湖層群上野層上部–伊賀層下部を調査した（図1, 2）。走行はN24°EからN74°Eで北西に緩く傾斜し、最大でも8°Nで、概ね5°N以下で推移し、服部川下流に行くに従い上位の地層が露出する。上野層と伊賀層の境界は服部川Ⅱ火山灰層（Hattorigawa Ⅱ）の上位の砂礫層とされ（Kawabe, 1989）、調査地域では上野層の上位に伊賀層が整合に重なる。

上野層上部の岩相は主に塊状無層理のシルト層からなり、服部川Ⅰ（Hattorigawa Ⅰ）と服部川Ⅱの2枚の火山灰層が挟まれている（図2, 3）。イガタニシ（*Igapaludina sticta*）やドブガイ類（*Andonta* sp.）の化石を大量に含んでおり、部分的に弱い平行葉理がみられる。また、シルト層中にはシンシュウゾウ（現在はミエゾウ *Stegodon miensis* とされる）やワニの足跡化石が発見されている（服部川足跡化石調査団, 1996）。

伊賀層最下部は粗粒砂、淘汰の良い細粒砂、中粒砂、シルト、粘土の互層からなり、砂層中に小規模なトラフ型斜交層理や平行葉理、カレントリップル葉理などが発達する河川成の堆積物である（図2, 3）。上野層上部と同じく、動物の足跡化石を含むが（服部川足跡化石調査団, 1996）、タニシなどの軟体動物化石は上野層より少ない。調査地域内の、伊賀層下部の最上部付近（Ⅰ–12, 13）の層準ではシルトなどの細粒堆積物が主体となる。ここでは、水生植物であるヒシ属の果実やハス科の地下茎などが多産し、静水域が出来ていた可能性が示唆される。

上野層と伊賀層の境界から約25 m上位に挟まれている火山灰層は、花ノ木丘陵に分布する七本木Ⅰ火山灰層（Shichihongi Ⅰ）に対比されていたが（Kawabe,

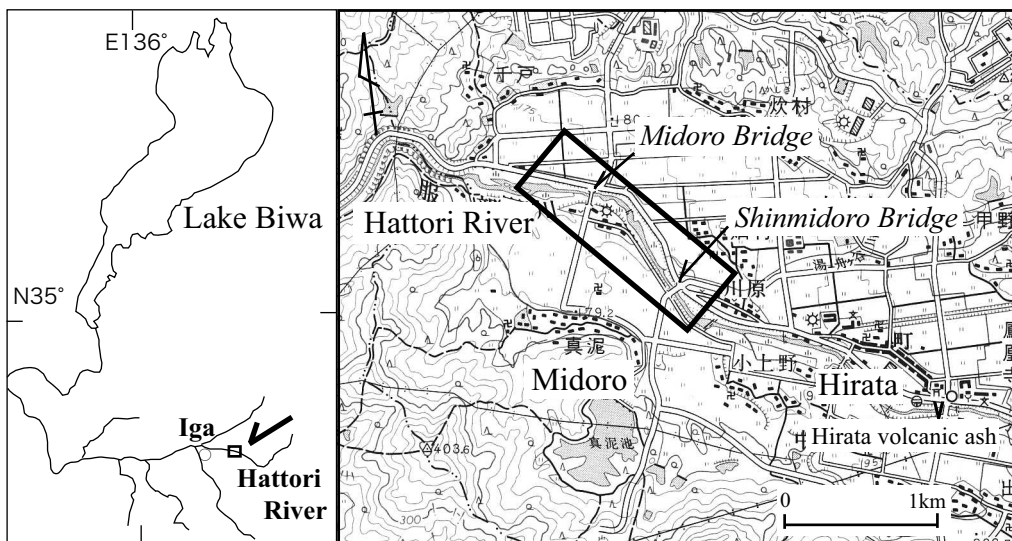


図1 三重県上野盆地周辺の地形図と資料採取地域（国土地理院平成20年3月発行5万分の1地形図「上野」を使用）。
Fig.1 Locality map of Ueno Basin, Mie Prefecture, and sampling sites adopted from the topographical map “Ueno” scale 1 : 50,000 published by Geographical Survey Institute, March, 2008.

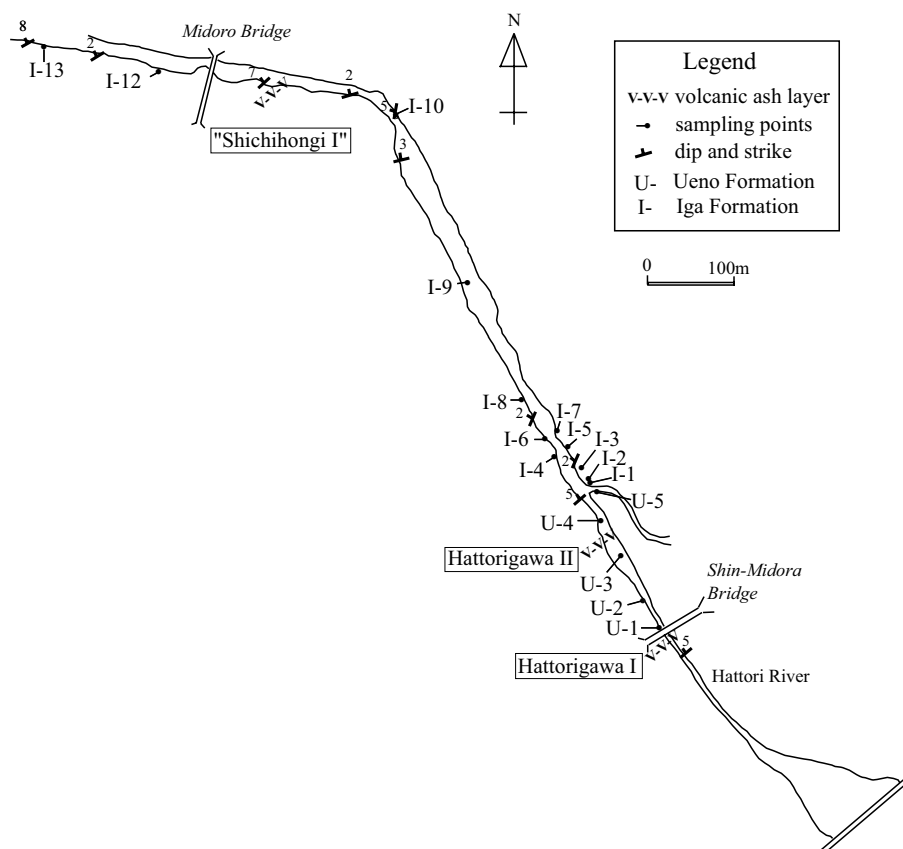


図2 服部川河床の材化石と大型植物化石採取地点
Fig.2 Geological map of the Ueno and Iga Formations, Kobiwako Group and sampling locations of wood fossils and plant macrofossils in the Hattori River, Ueno Basin, Mie Prefecture.

1989；服部川足跡化石調査団, 1996), この2つの火山灰は火山ガラスの形状や屈折率などの違いがみられることから, 異なる火山灰層であると指摘されている(里口, 2005). 本研究においては, Kawabe(1989)に従って, いわゆる“七本木Ⅰ火山灰層”として, 柱状記載を行った(図2, 3).

古琵琶湖層群上野層上部・伊賀層下部の堆積年代

は, 主に火山灰層のフィッシュントラック年代や古地磁気層序により求められている(里口ほか, 2005). 新真泥橋から南東約1.8km 上流の服部川河床で確認されている平田火山灰層と(図1)服部川Ⅱ火山灰層(図2, 3)の間の磁極の変化は, ガウスクロン／ギルバートクロン境界に対比されることから, その直上にある上野層と伊賀層の境界はおおよそ3.5Ma と考え

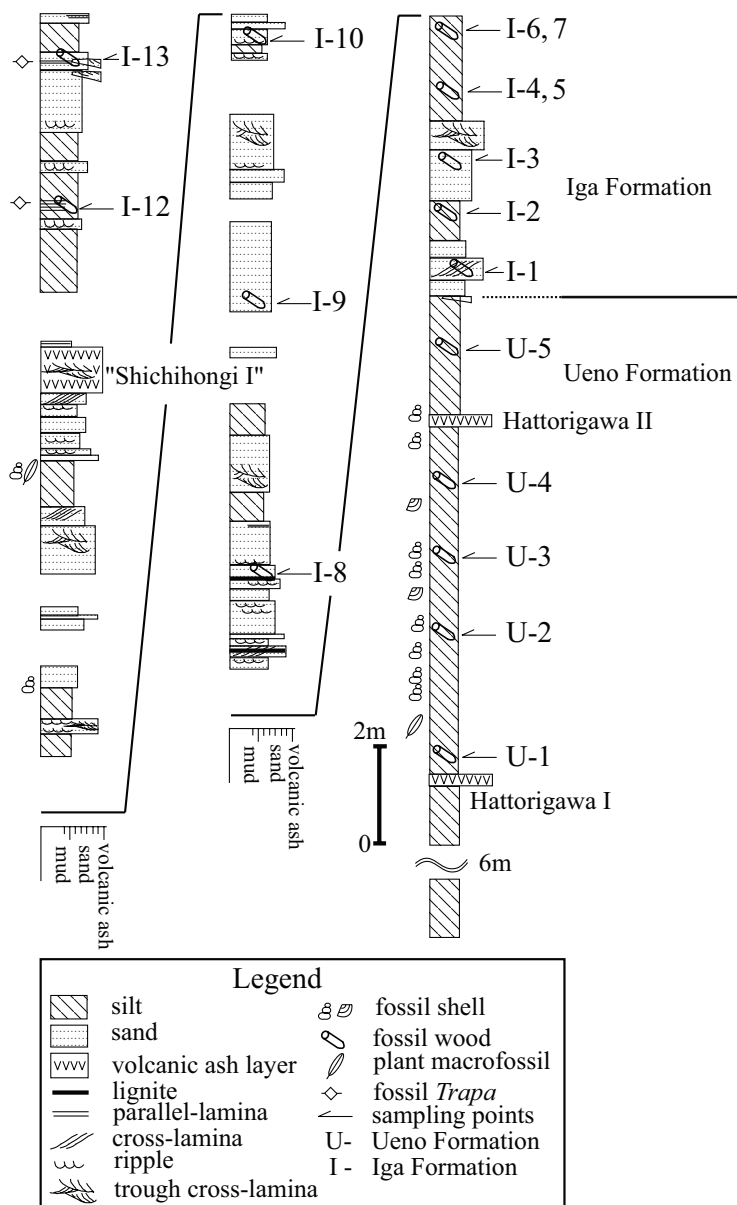


図3 上野層・伊賀層の柱状図と材化石および大型植物化石採集層準

Fig.3 Columnar section of the Ueno and Iga Formations showing the horizons of wood fossils and plant macrofossils at the bed of the Hattori River, Ueno Basin, Mie Prefecture.

られている(内山, 1996)。これらの結果から, 本研究で取り扱う大型植物化石を含む地層群の堆積年代は, 約350万年前の鮮新世後期と考えられる。

3. 試料と方法

三重県伊賀市大山田地区上野盆地の服部川河床の上野層上部U-1~U-5と伊賀層下部I-1~10, 12, 13の17地点, 15層準から主に材化石からなる大型植物化石を採集した(表1, 2; 図2, 3)。産出した大型植物化石のうち, 材化石は鉾化しておらず生木に近い状態で保存されている。伊賀層下部の最上部(I-12, 13)には種実化石と根茎化石が密集した状態で泥層に含まれ, いずれも露頭から直接採集した。材化石は層理面にほぼ平行に挟まれており, 材の大きさは, ほとんどが直径10cmに満たない小型のものである(表1)。長さは10cm内外のものが多いが, 30cm以上のものも含まれ, また外側が磨耗したものが多い。これらのことから, 周辺より流入した化石の可能性を示していると考えられる。伊賀層に含まれる材化石群集は, 上野層のものに比べて産出数と種数が増加し, 外側が磨耗したものだけでなく角ばったものや樹皮が付いたままのものも見られ, 長距離を流れてきた材だけでなく比較的堆積場に近い所からもたらされたものも含まれていると考えられる。さらに, 材の内部組織の保存状態も上野層より良好である。今回の材化石のうち, 直径が10cmに満たない小型のものは枝材や根材の可能性もある。また, 上野層最下部や伊賀層“七本木I火山灰層”の下位より葉化石が認められたが, 保存が悪く種類を特定することは出来なかった。

採取した化石は, 上野層上部から材化石20点, 伊賀層下部から材化石121点と, I-12とI-13層準からヒシ属(*Trapa*)の果実136点, スイレン科(Nymphaeaceae)の地下茎6点である。材化石は採取後, スライディングマイクロトームを使い, 木口(横断面)・柁目(放射断面)・板目(接線断面)の3面の切片を切り出し, 脱水後, カナダバルサムにより封入し, 永久プレパラート標本を作成した。植物化石標本は, すべて滋賀県立琵琶湖博物館に保管してある(表1, 材プレパラート標本: LBM0492000051~69, LBM0492000071~173, LBM0492000175~193, *Trapa* sp.: LBM0112002455, Nymphaeaceae: LBM0112002863)。

4. 結果

1) 大型植物化石群集

上野層上部から産出した材化石は, 針葉樹類2科1属2型で, マツ科(Pinaceae) トウヒ属(*Picea*)が1点, ヒノキ科(Cupressaceae) スギ型(Taxodioid

type)が5点, ヒノキ型(Cupressoid type)が2点である(表1, 2)。分類群不明の針葉樹類は3点である。被子植物は1科1属で, カバノキ科(Betulaceae) ハンノキ属(*Alnus*)が2点である。分類群不明の被子植物は5点である。他に分類群不明の材化石は2点であった。

伊賀層下部の材化石は, 針葉樹類は2科2属2型で, マツ科(Pinaceae)モミ属(*Abies*)が11点, トウヒ属(*Picea*)が4点, ヒノキ科(Cupressaceae) スギ型(Taxodioid type)が16点, ヒノキ型(Cupressoid type)が40点である(表1, 2)。分類群不明の針葉樹類は4点である。被子植物は4科3属で, ツゲ科(Buxaceae) ツゲ属(*Buxus*)1点, マンサク科(Hamamelidaceae)20点, ニレ科(Ulmaceae) ケヤキ属(*Zelkova*)1点, カバノキ科(Betulaceae) ハンノキ属(*Alnus*)7点, 分類群不明の被子植物は10点である。他に分類群不明の材化石は7点算出した。

伊賀層のI-12とI-13層準からは, 材化石以外にジョウゴビシ(*Trapa deformata*) (Miki, 1952)を含むヒシ属(*Trapa*)の果実化石が密集して産出し, 136点を採取した。I-12層準では, ヒシ属の化石と共にスイレン科(Nymphaeaceae)の地下茎と思われる化石が産出した。

2) 材化石の記載

上野層上部および伊賀層下部から産出した材化石の材構造に関する記載を行い, 同定の根拠を示す(図4-6)。試料番号で太字のものは図に示した標本である。

***Abies* sp.** モミ属 マツ科(図4A-D)

試料: LBM0492000092, **096**, **097**, 099, 100, 102, 115, 119, 121, 123, 143。

材構造: 軸方向・放射細胞間(樹脂)道を欠く針葉樹材。早材から晩材への移行はゆるやかで, 軸方向柔細胞は年輪界周辺に存在することがある。仮導管の内壁には螺旋肥厚は見られない。放射組織は単列で7細胞高(2~15)ほど, 放射柔細胞のみからなる。分隔壁孔はヒノキ型-スギ型で, 1分野に1~4個存在する。以上の形質から, モミ属と同定した。日本にはモミ属は5種自生しているが, それぞれの材構造は類似しているので, モミ属としておく。

***Picea* sp.** トウヒ属 マツ科(図4E-H)

試料: LBM0492000061, 078, 081, 090, **124**。

材構造: 軸方向・放射細胞間(樹脂)道を有する針葉樹材。早材から晩材への移行は比較的急である。厚壁のエピセリウム細胞をもち, 放射組織は10細胞高

表1 上野層 (U-1~5)・伊賀層 (I-1~10, 12) の層準別の材化石組成表
Table 1 List of wood fossils from the Ueno (U-1~5) and Iga (I-1~10, 12) Formations.

LBM No.	horizon	l-φ	s-φ	length	family & taxa	genus & type	LBM No.	horizon	l-φ	s-φ	length	family & taxa	genus & type
492000051	U-1	7.2	3.3	60.0	Cupressaceae	Taxodioid	492000122	I-6,7	9.3	2.5	30.5	Cupressaceae	Taxodioid
52	U-2	5.5	0.7	8.7	Betulaceae	<i>Alnus</i> sp.	123	I-6,7	1.6	0.7	6.6	Pinaceae	<i>Abies</i> sp.
53	U-2	4.7	1.1	11.5	Betulaceae	<i>Alnus</i> sp.	124	I-6,7	7.5	0.6	10.1	Pinaceae	<i>Picea</i> sp.
54	U-3	10.3	5.3	12.5	Conifer		125	I-6,7	2.4	0.9	5.3	Cupressaceae	Taxodioid
55	U-3	10.3	5.3	12.5	Cupressaceae	Taxodioid	126	I-6,7	4.3	9.5	8.7	Angiosperm	
56	U-4	7.0	4.0	35.0	Cupressaceae	Taxodioid	127	I-6,7	2.5	0.7	7.3	Cupressaceae	Cupressoid
57	U-4	3.0	1.8	8.0	Angiosperm		128	I-6,7	3.6	0.6	11.1	Cupressaceae	Taxodioid
58	U-4	3.0	0.4	37.0	taxa indet.		129	I-6,7	2.5	0.4	10.9	Cupressaceae	Taxodioid
59	U-4	15.0	4.0	21.0	Conifer		130	I-8	7.0	3.5	19.0	Cupressaceae	Cupressoid
60	U-5	2.4	0.5	7.6	taxa indet.		131	I-9	6.0	4.3	13.0	Angiosperm	
61	U-5	4.1	3.2	6.7	Pinaceae	<i>Picea</i> sp.	132	I-9	1.2	1.2	5.3	Hamamelidaceae	genus indet.
62	U-5	4.7	1.9	8.2	Cupressaceae	Cupressoid	133	I-9	2.6	1.2	2.7	Hamamelidaceae	genus indet.
63	U-5	7.9	4.6	23.0	Cupressaceae	Taxodioid	134	I-9	2.5	1.4	5.7	Hamamelidaceae	genus indet.
64	U-5	3.5	1.5	10.1	Cupressaceae	Cupressoid	135	I-9	6.7	2.5	8.1	Hamamelidaceae	genus indet.
65	U-5	3.0	1.2	9.2	Angiosperm		136	I-10	4.0	2.2	8.5	Cupressaceae	Cupressoid
66	U-5	2.3	1.4	9.4	Cupressaceae	Taxodioid	137	I-12	2.0	1.0	3.9	Cupressaceae	Cupressoid
67	U-5	1.5	1.5	5.7	Angiosperm		138	I-12	7.4	4.0	14.8	Cupressaceae	Cupressoid
68	U-5	5.5	1.8	9.6	Angiosperm		139	I-12	2.3	1.1	7.3	Cupressaceae	Cupressoid
69	U-5	5.1	1.6	10.1	taxa indet.		140	I-12	2.3	1.2	7.9	Cupressaceae	Cupressoid
71	U-5	3.4	1.1	10.1	Angiosperm		141	I-12	1.8	0.6	5.4	Cupressaceae	Cupressoid
72	I-1	4.0	1.9	9.5	taxa indet.		142	I-12	3.9	0.5	7.8	Cupressaceae	Cupressoid
73	I-1	3.9	1.8	6.2	taxa indet.		143	I-12	3.1	1.2	12.1	Pinaceae	<i>Abies</i> sp.
74	I-1	3.0	1.1	9.1	taxa indet.		144	I-12	3.9	1.5	14.2	Cupressaceae	Cupressoid
75	I-1	3.7	1.2	6.8	taxa indet.		145	I-12	7.0	1.6	22.0	Ulmaceae	<i>Zelkova</i> sp.
76	I-2	4.2	0.8	10.0	Conifer		146	I-12	6.2	1.2	7.8	Hamamelidaceae	genus indet.
77	I-2	3.0	0.8	6.7	Cupressaceae	Taxodioid	147	I-12	2.0	0.9	5.8	Hamamelidaceae	genus indet.
78	I-2	6.7	0.9	12.0	Pinaceae	<i>Picea</i> sp.	148	I-12	3.5	2.0	10.8	Hamamelidaceae	genus indet.
79	I-2	3.5	1.7	5.8	Angiosperm		149	I-12	6.3	2.0	6.6	Hamamelidaceae	genus indet.
80	I-2	2.6	1.2	4.7	Angiosperm		150	I-12	2.5	0.5	7.3	Cupressaceae	Cupressoid
81	I-2	2.5	1.9	3.7	Pinaceae	<i>Picea</i> sp.	151	I-12	4.0	1.2	11.5	Hamamelidaceae	genus indet.
82	I-2	4.6	1.5	9.0	taxa indet.		152	I-12	2.0	1.5	5.6	Angiosperm	
83	I-2	7.2	2.5	13.6	Angiosperm		153	I-12	3.6	1.2	9.1	Angiosperm	
84	I-2	4.3	0.7	11.3	taxa indet.		154	I-12	1.9	0.3	3.4	Cupressaceae	Cupressoid
85	I-2	5.6	0.9	11.8	Angiosperm		155	I-12	4.4	2.1	13.9	Angiosperm	
86	I-2	4.5	0.6	13.0	Conifer		156	I-12	3.8	0.8	4.3	Hamamelidaceae	genus indet.
87	I-2	7.1	0.9	15.0	taxa indet.		157	I-12	12.7	3.5	10.4	Hamamelidaceae	genus indet.
88	I-2	4.6	0.6	2.8	Conifer		158	I-12	8.8	3.1	7.1	Hamamelidaceae	genus indet.
89	I-3	2.1	1.0	8.5	Cupressaceae	Taxodioid	159	I-12	8.0	2.2	14.7	Hamamelidaceae	genus indet.
90	I-3	9.7	5.4	16.4	Pinaceae	<i>Picea</i> sp.	160	I-12	16.0	12.0	18.0	Hamamelidaceae	genus indet.
91	I-3	1.3	0.6	7.1	Cupressaceae	Taxodioid	161	I-12	3.2	1.0	6.0	Cupressaceae	Cupressoid
92	I-3	2.6	1.4	14.8	Pinaceae	<i>Abies</i> sp.	162	I-12	4.0	2.3	6.4	Hamamelidaceae	genus indet.
93	I-3	2.1	0.9	10.2	Buxaceae	<i>Buxas</i> sp.	163	I-12	5.8	3.0	11.7	Cupressaceae	Cupressoid
94	I-3	4.5	1.9	11.5	Cupressaceae	Cupressoid	164	I-12	5.9	1.4	14.8	Cupressaceae	Cupressoid
95	I-4,5	9.6	3.8	21.0	Cupressaceae	Taxodioid	165	I-12	4.3	1.1	11.0	Cupressaceae	Cupressoid
96	I-4,5	2.4	1.0	9.7	Pinaceae	<i>Abies</i> sp.	166	I-12	5.5	2.0	9.6	Cupressaceae	Cupressoid
97	I-4,5	11.7	1.9	18.9	Pinaceae	<i>Abies</i> sp.	167	I-12	6.2	3.9	7.3	Hamamelidaceae	genus indet.
98	I-4,5	6.3	2.2	27.0	Cupressaceae	Taxodioid	168	I-12	4.2	1.5	16.5	Cupressaceae	Cupressoid
99	I-4,5	6.6	1.4	6.7	Pinaceae	<i>Abies</i> sp.	169	I-12	1.7	0.6	4.8	Hamamelidaceae	genus indet.
100	I-4,5	4.4	1.3	6.1	Pinaceae	<i>Abies</i> sp.	170	I-12	2.0	0.8	6.4	Cupressaceae	Cupressoid
101	I-4,5	16.3	3.6	23.4	Cupressaceae	Taxodioid	171	I-12	1.9	0.9	6.4	Cupressaceae	Cupressoid
102	I-4,5	3.4	0.7	6.4	Pinaceae	<i>Abies</i> sp.	172	I-12	5.0	1.5	6.9	Cupressaceae	Cupressoid
103	I-4,5	3.3	2.0	5.6	Betulaceae	<i>Alnus</i> sp.	173	I-12	3.2	0.6	8.3	Cupressaceae	Cupressoid
104	I-4,5	8.1	3.1	26.4	Betulaceae	<i>Alnus</i> sp.	175	I-12	2.4	0.5	3.4	Cupressaceae	Taxodioid
105	I-4,5	2.1	1.1	13.2	Betulaceae	<i>Alnus</i> sp.	176	I-12	8.0	0.5	19.0	Cupressaceae	Taxodioid
106	I-4,5	3.9	1.1	11.1	Cupressaceae	Taxodioid	177	I-12	2.0	0.8	5.4	Cupressaceae	Cupressoid
107	I-4,5	2.2	1.2	4.9	Betulaceae	<i>Alnus</i> sp.	178	I-12	3.9	2.2	13.9	Cupressaceae	Cupressoid
108	I-4,5	3.5	1.0	9.1	Cupressaceae	Taxodioid	179	I-12	6.2	1.3	8.5	Cupressaceae	Cupressoid
109	I-4,5	5.5	2.4	17.9	Conifer		180	I-12	4.9	1.5	10.5	Hamamelidaceae	genus indet.
110	I-4,5	1.8	1.8	5.5	Betulaceae	<i>Alnus</i> sp.	181	I-12	18.5	9.7	18.5	Cupressaceae	Cupressoid
111	I-4,5	3.3	0.6	6.5	Betulaceae	<i>Alnus</i> sp.	182	I-12	5.8	1.5	12.4	Cupressaceae	Cupressoid
112	I-4,5	2.5	0.7	5.0	Angiosperm		183	I-12	3.9	1.8	9.8	Cupressaceae	Cupressoid
113	I-4,5	2.1	1.4	4.7	Betulaceae	<i>Alnus</i> sp.	184	I-12	1.1	1.1	3.7	Cupressaceae	Cupressoid
114	I-4,5	2.7	0.5	5.1	Cupressaceae	Taxodioid	185	I-12	3.0	1.4	4.8	Cupressaceae	Cupressoid
115	I-4,5	1.9	0.9	5.9	Pinaceae	<i>Abies</i> sp.	186	I-12	1.8	1.0	10.3	Cupressaceae	Cupressoid
116	I-6,7	5.4	3.2	19.3	Cupressaceae	Taxodioid	187	I-12	3.1	1.4	7.8	Hamamelidaceae	genus indet.
117	I-6,7	4.7	2.8	21.9	Cupressaceae	Cupressoid	188	I-12	7.0	2.4	12.6	Cupressaceae	Cupressoid
118	I-6,7	2.2	1.3	4.5	Cupressaceae	Cupressoid	189	I-12	9.6	1.3	7.4	Cupressaceae	Cupressoid
119	I-6,7	5.9	1.2	9.3	Pinaceae	<i>Abies</i> sp.	190	I-12	7.1	4.9	13.1	Cupressaceae	Cupressoid
120	I-6,7	3.2	0.7	11.4	Cupressaceae	Cupressoid	191	I-12	2.4	0.7	8.3	Cupressaceae	Cupressoid
121	I-6,7	5.7	1.9	15.4	Pinaceae	<i>Abies</i> sp.	192	I-12	4.8	1.0	15.5	Cupressaceae	Cupressoid
							193	I-12	3.5	1.5	10.0	Hamamelidaceae	genus indet.

U: Ueno Formation; I: Iga Formation. indet.: indeterminated

l-φ: longer diameter; s-φ: shorter diameter; scale = cm. Taxodioid: *Taxodioxylon* sp. (Taxodioid type); Cupressoid: *Taxodioxylon* sp. (Cupressoid type).

LBM: Lake Biwa Museum

表2 上野層・伊賀層の材化石の層準別の組成と数

Table 2 List and numbers of wood fossils from the Ueno and Iga Formations based on Table 1.

horizon	Ueno Formation						Iga Formation													total
taxa	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	total	I-1	I-2	I-3	I-4,5	I-6,7	I-8	I-9	I-10	I-12	total	total			
Pinaceae																				
<i>Abies</i> sp.									1	6	3				1	11	11			
<i>Picea</i> sp.					1	1		2	1		1					4	5			
Cupressaceae																				
Taxodioid	1		1	1	2	5		1	2	6	5				2	16	21			
Cupressoid					2	2			1		4	1		1	33	40	42			
Conifer family indeterminated			1	1	1	3		3		1						4	7			
Buxaceae																				
<i>Buxus</i> sp.									1							1	1			
Hamameridaceae gen. <i>et</i> sp. indet.														4	16	20	20			
Ulmaceae																				
<i>Zelkova</i> sp.															1	1	1			
Betulaceae																				
<i>Alnus</i> sp.		2				2				7						7	9			
Angiosperm family indeterminated				1	4	5		4		1	1		1		3	10	15			
taxa indeterminated				1	1	2		4	3							7	9			
total	1	2	2	4	11	20	4	13	6	21	14	1	5	1	56	121	141			

U: Ueno Formation; I: Iga Formation

Taxodioid: *Taxodioxydon* sp. (Taxodioid type); Cupressoid: *Taxodioxydon* sp. (Cupressoid type)

(2~20)ほどで、放射柔細胞と放射仮導管からなる。放射柔細胞の末端壁は数珠状で水平壁には顕著な壁孔がある。分野壁孔はトウヒ型-ヒノキ型で、小さく、1分野に、2~4個存在する。試料 LBM 0492000124の仮導管の内壁には明瞭な螺旋肥厚が確認されたが(図4H)、これ以外の試料には螺旋肥厚は確認されなかった。このことから、この試料 LBM 0492000124のみヒメバラモミ(*Picea maximowiczii* Regel ex Mast.)の可能性があるが、トガサワラ属(*Pseudotsuga*)の可能性もあり、今後検討する必要がある。

Taxodioxydon sp.(Taxodioid type) タクソディオキシロン属スギ型 ヒノキ科(図4I-L)

試料: LBM 0492000051, **055**, 056, 063, 066, 077, 089, 091, **095**, 098, 101, 106, 108, 114, 116, 122, 125, 128, 129, 175, 176.

材構造: 仮導管と放射柔細胞、樹脂細胞からなる針葉樹材で、軸方向・放射細胞間(樹脂)道を欠く。早材から晩材への移行は急で、晩材部が厚い。樹脂細胞は早材から晩材の移行部分に接線方向に並んだように分布し、その水平末端壁は不規則に肥厚しているものの数珠状ではない。放射組織は単列(稀に2列を確認)で、細胞高は2~30で高いものが目立つ。分野壁孔はスギ型で大きく開孔部が広き、1分野に2個程度存在する。以上のことから、広義のヒノキ科の材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、ヒノキ科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、分野壁孔の形態や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て、孔口の幅が両側の壁孔縁の幅よりも狭い)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て、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がほとんどで(ネズコ属(*Thuja*)のみ例外)、ヒノキ属(*Chamaecyparis*)、アスナロ属(*Thujaopsis*)、ネズミサシ属(*Juniperus*)などが含まれ、スギ型には、以前のスギ科のほとんどが含まれ、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(*Thuja*)が含まれる。さらに、日本の第三紀から産する広義のヒノキ科の材化石は、*Taxodioxydon cunninghamioides* (Watari) Watari および *Taxodioxydon sequoianum* (Merckl.) Gothan と、九州地方の古第三系の筑豊炭田から産する *Taxodioxydon matsuiwa* Watari の3種が報告されており(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。

本化石は、タクソディオキシロン属スギ型に分類されるが、鮮新世後期ということから、前述したスギ型の分野壁孔を持つ現生属の可能性も考えられるため、種の同定はできない。

***Taxodioxylon* sp.** (Cupressoid type) タクソディオキシロン属ヒノキ型 ヒノキ科 (図5 A-D)

試料：LBM04920000 62, 064, 094, 117, 118,

120, 127, 130, 136~142, 144, 150, 154, 161, 163~166, 168, 170~173, 177~179, 181~186, 188~192.

材構造：仮導管と放射柔細胞，樹脂細胞からなる軸方向・放射細胞間樹脂道を欠く針葉樹材。晩材部が狭く1~数細胞程度である。樹脂細胞は散在もしくは幾分接線方向に並んだように分布し、その水平末端壁は不規則に肥厚しているものから数珠状。放射組織は単列で、細胞高は低く2~5細胞程度である。分野壁孔

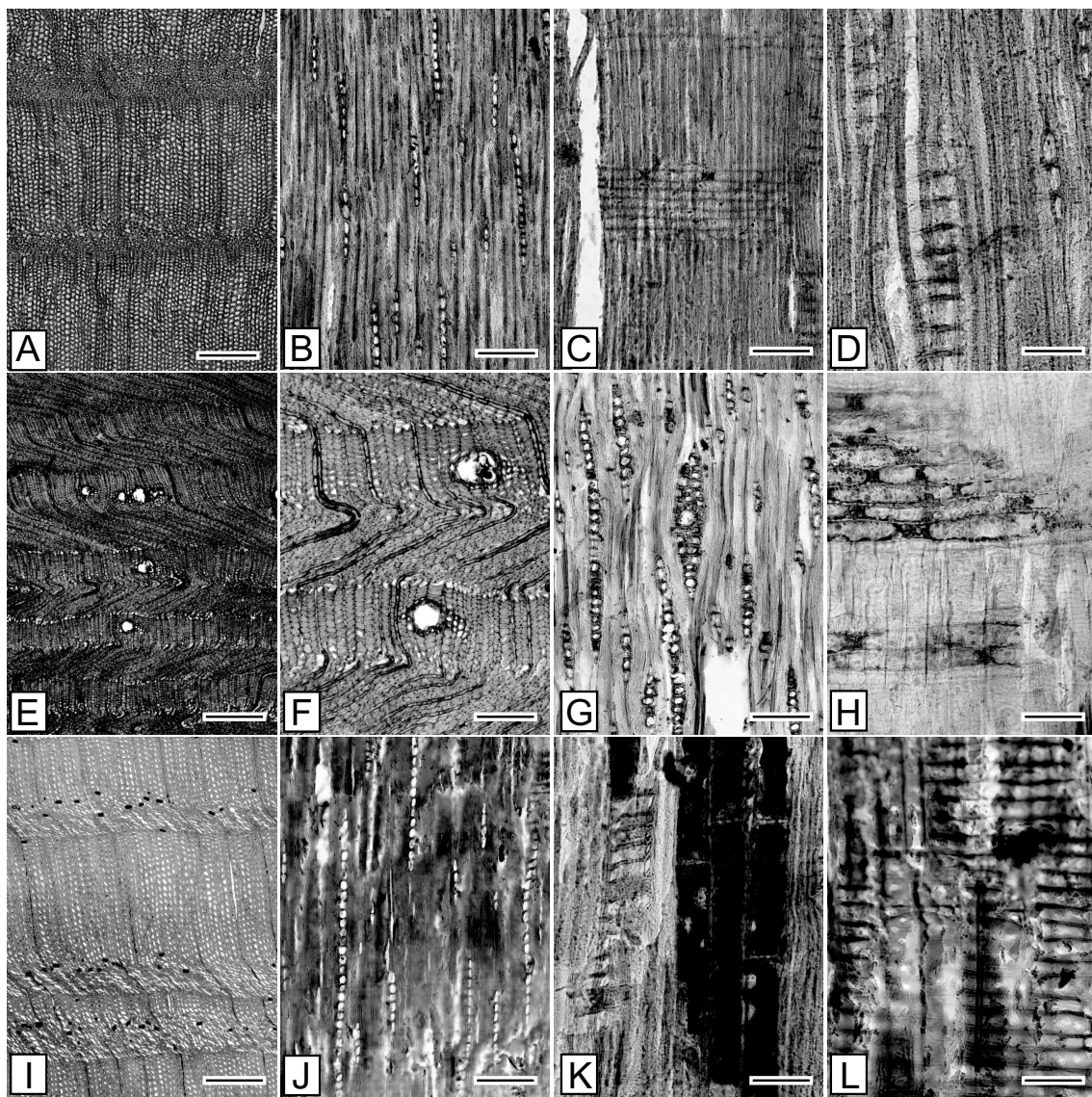


図4 材化石の顕微鏡写真

A-D: モミ属, E-H: トウヒ属, I-L: タクソディオキシロン属・スギ型。

Fig. 4 Fossil woods. A-D: *Abies* sp. (A-C: LBM0492000096, D: 097). E-H: *Picea* sp. (LBM0492000124). I-L: *Taxodioxylon* sp. (Taxodioid type) (I, J: LBM0492000055, K, L: 095). A, E, F, I: cross section; B, G, J: tangential section; D, H, K, L: radial section. Scale bars: A, F, I=20μm, B, C, G, J=10μm, D, H, K, L=5μm; E=50μm.

はヒノキ型で、2～3個存在する。仮導管の内壁には螺旋肥厚は見られない。以上のことから、ヒノキ科の材であることがわかる。前述したように、ヒノキ科の樹種のうち、ヒノキ型の分野壁孔を持つ現生属には、主に狭義のヒノキ科のほとんどで（ネズコ属（*Thuja*）のみ例外）、ヒノキ属（*Chamaecyparis*）、アスナロ属（*Thujiopsis*）、ネズミサシ属（*Juniperus*）などが含まれており、タクソディオキシロン属ヒノキ型としておく。

***Buxus* sp.** ツゲ属 ツゲ科（図5 E-H）

試料：LBM0492000093

材構造：年輪界は不明瞭で、年輪幅は極めて狭くほとんど0.5mm以下で、非常に小さな導管（約30-40μm）が多数、均一に分布する散孔材。導管は階段穿孔を有し、階段数は10以下。放射組織は普通2列（1～3列）で、比較的高く、多列部は放射径の小さい平伏細胞で、縁辺部は直立・方形細胞から構成される。軸方向柔組織は、板目面で5～8個程度の柔細胞で構

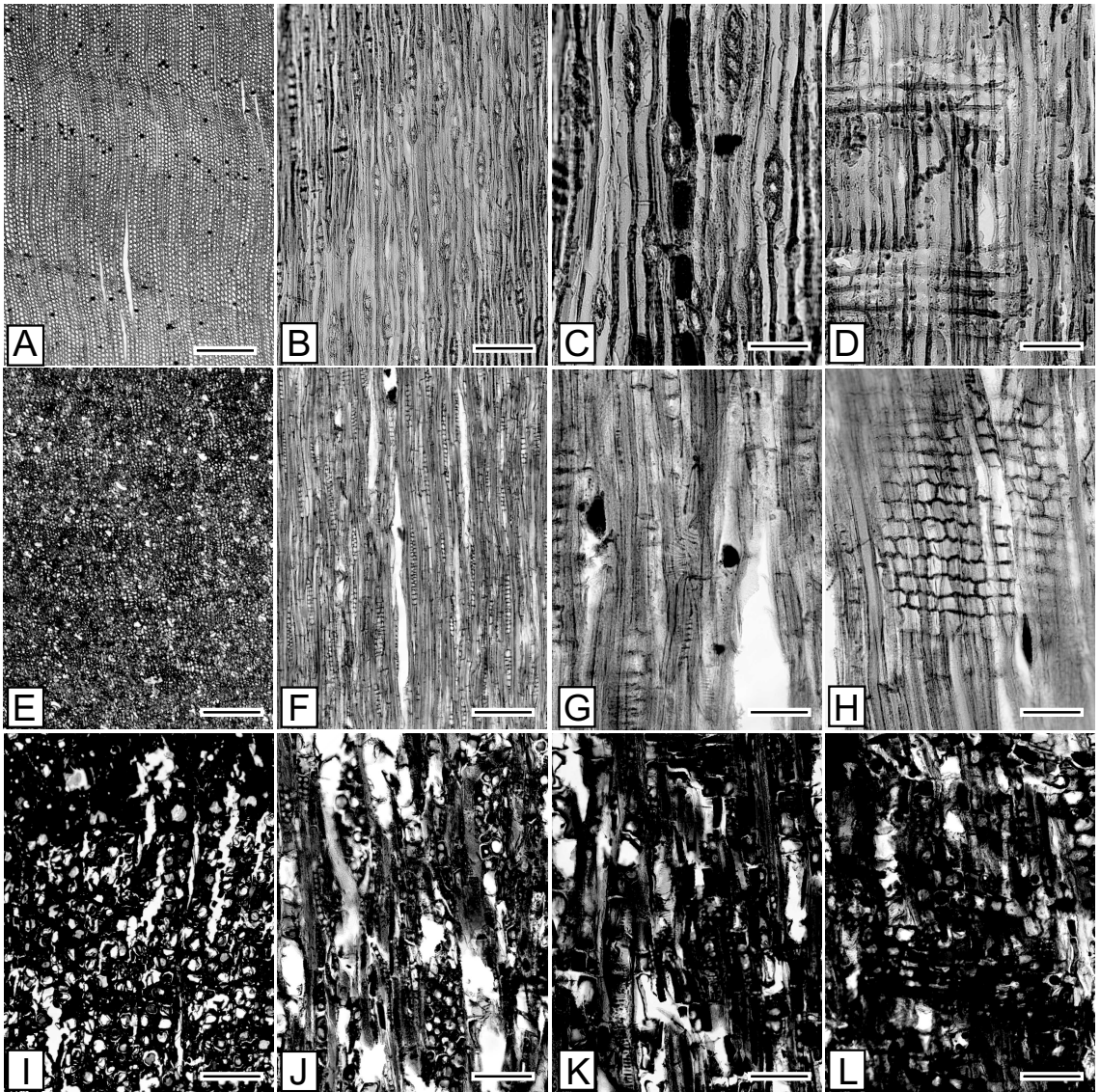


図5 材化石の顕微鏡写真（続き）

A-D：タクソディオキシロン属・ヒノキ型、E-H：ツゲ属、I-L：マンサク科。

Fig. 5 Fossil woods (continue). A-D: *Taxodioxylon* sp. (Cupressoid type) (LBM0492000062). E-H: *Buxus* sp. (LBM0492000093). I-L: Hamamelidaceae (I, K: LBM0492000132, J, L: 133). A, B, E, I: cross section; C, F, G, J, K: tangential section; D, H, L: radial section. Scale bars: A, F, I=20μm, B, I, J=10μm, C, D, G, H, K, L=5μm, E=50μm.

成されたストランドが確認されるが、木口面では導管や木繊維と区別が付きにくい。以上の形質から、ツゲ科ツゲ属と同定した。日本にはツゲ(*Buxus microphylla* var. *japonica* (Muell.-Arg.) Rehder et Wilson) の一種のみが生育しており、この試料も現生種になる可能性も高いが、同属内での形質の比較などを行っていないので、ツゲ属の一種としておく。

Hamamelidaceae gen. et sp. indet. マンサク科不明種 (図 5 I-L)

試料：LBM0492000132, 133~135, 146~149, 156~160, 167, 169, 180, 187, 193.

材構造：小さな導管が密に均一に分布している散孔材。導管は階段数が10~20程度の階段穿孔のみからなり、導管相互壁孔は階段状。放射組織は異性で、多列部は平伏細胞、縁辺部は直立・方形細胞から構成され、幅が1~3(4)細胞幅程度で、導管放射組織間壁孔は階段状である。以上のような形質を持つ樹種はツバキ科(Theaceae)、マンサク科、カツラ科(Cercidiphyllaceae)などに多く見られる。そのうち傷害樹脂道を持ち(図 5 I)、放射柔細胞に茶褐色の物質が詰まり(図 5 J-

L)、放射柔細胞中には結晶が確認されなく、軸方向柔細胞が顕著に見られるなどの形質から、マンサク科のイスノキ属(*Distylium*)、フウ属(*Liquidamber*)さらには *Altingia* 属などに非常に類似している。しかしながら、本化石は内部構造が変形しており、繊維状仮導管の形質や軸方向柔細胞の配列などが十分に観察できないため、マンサク科不明種としておく。

Zelkova sp. ケヤキ属 ニレ科 (図 6 A-D)

試料：LBM0492000145

材構造：大型の導管が年輪のはじめに1~2列程度に並ぶ明瞭な環孔材で、小導管が集団管孔し、接線状および波状配列する。導管の穿孔はすべて単一で、小導管の内壁には明瞭な螺旋肥厚が確認できる。放射組織の多列部は6~7列の平伏細胞で、縁辺部は異形細胞内に大きな結晶がある。以上の形質からニレ科ケヤキ属であるとした。

Alnus sp. ハンノキ属 カバノキ科 (図 6 E-H)

試料：LBM0492000052, 053, 103~105, 107, 110, 111, 113.

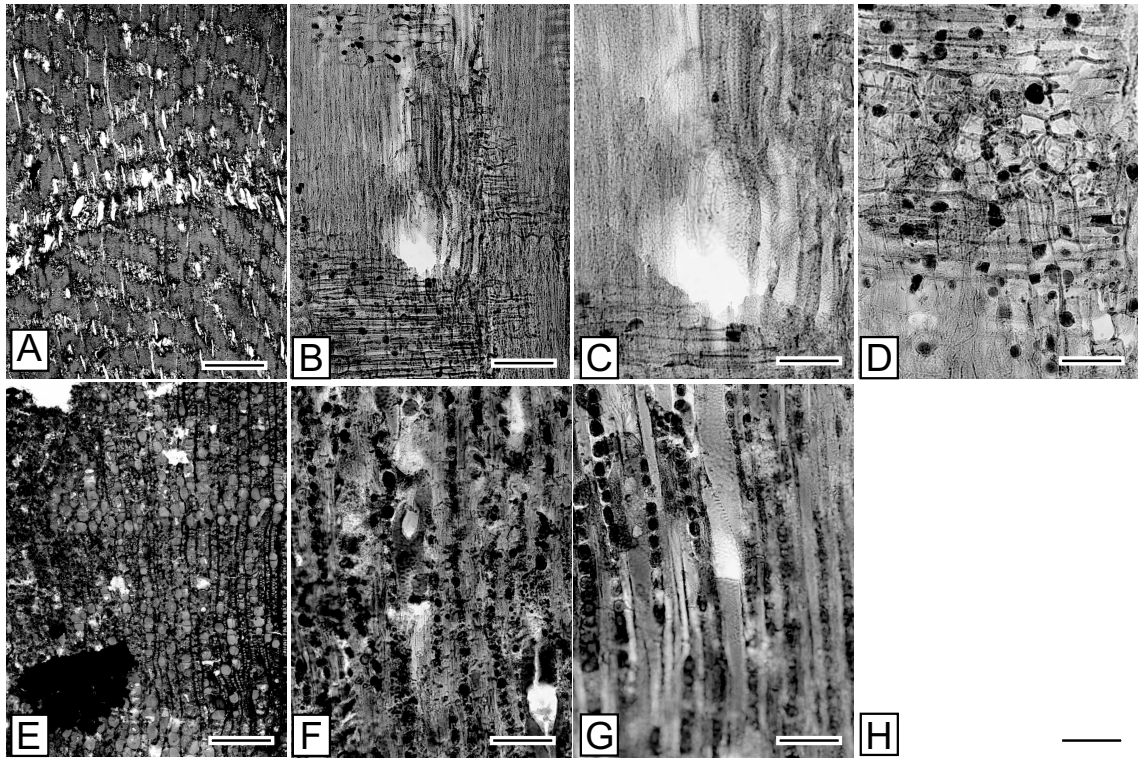


図 6 材化石の顕微鏡写真 (続き)

A-D: ケヤキ属, E-H: ハンノキ属

Fig. 6 Fossil woods (continue). A-D: *Zelkova* sp. (LBM 0492000145). E-H: *Alnus* sp. (E-G: LBM0492000107, H: 113). Scale bars: A=50μm, B, F=10μm, C, D, G, H=5μm, E=20 μm.

材構造：ほとんどが2～7個程度、放射方向に複合した小導管からなる散孔材。導管は20本程度の階段穿孔を持ち、1列幅の同性放射組織を持つ。導管相互の壁孔は対列もしくは交互である。以上のことから、カバノキ科ハンノキ属であると考えられる。ハンノキ属のヤシャブシ亜属 (subgenus *Alnobetula* (= *Alnaster*)) とハンノキ亜属 (subgenus *Alnus*) は集合放射組織の有無によって区別できる。この分類群にした試料には集合放射組織を有するものも含まれるが、観察した LBM0492000107, 113 (図6 E-H) では集合放射組織は見られなかった。この分類群の試料はすべて変形が激しく、また試料も小さいため、集合放射組織が確認できないものも含まれる可能性があるため、属以下の分類まではしなかった。

3) 大型植物化石群集

伊賀層の I-12 と I-13 層準 (図2, 3) からは、材化石以外にヒシ科のヒシ属の果実化石136点が密集して産出した。サイズは大型で、4刺性であり、8つのこぶのうち、外側と内側の大きさが異なり、頂環部が刺状を呈しているためジョゴビシ (*Trapa deformata* Miki (1952)) と認定した。伊賀層 I-12 層準 (図2, 3) では、スイレン科 (*Nymphaeaceae*) に類似した地下茎が産出した。

5. 考察

上野層上部の材化石は堆積構造に乏しい塊状無葉理の泥層やシルト層に含まれることから、湖沼や湿地に堆積したと考えられる (図3)。調査地域において採集した材化石の数は20本である。含まれていた材化石は長径が10cm以下の大きさのものが多く、外側が摩耗していること、材化石の保存があまりよくないことなどから、堆積地周辺から湖沼や湿地へ流入したとも考えられる。

伊賀層下部での植物化石は、砂層中に小規模なトラフ型斜交層理や平行葉理、カレントリップル葉理などが発達する河川成の堆積物に含まれている (図3)。しかしながら、本研究で扱った材化石群集を検討すると、磨耗度が低く保存の状態がよいものが多く含まれることから、堆積地の近隣の植生も反映していると思われる。上野層最上部に比べて伊賀層下部では、材化石の産出量が121本あり、約6倍に増加している。また、産出層準も5層準から12層準に増えており、層厚も3倍以上ある。伊賀層下部の岩相が粗粒砂岩などを多く含んでくことや、斜交層理やカレントリップルなどの発達する河川成の堆積相を示すことから、湖沼や湿地への材の流入が頻繁あるいは規模が大きかったと考えられる。

上野層上部・伊賀層下部ともに湖沼や湿地、河川の堆積環境であり、両層を通じて谷筋や湿潤な山地に生育するヒノキ科 (スギ型とヒノキ型) などの水辺を好む植物が多く産出していることと矛盾しない。

伊賀層下部から採集した材化石の数は121本である。優占するのはヒノキ科 (ヒノキ型) であり、モミ属、ヒノキ科 (スギ型)、マンサク科、ハンノキ属などが随伴する (表1, 2)。上野層上部の分類群とは、針葉樹組成において、モミ属が出現していること、ヒノキ科の中でヒノキ型が優占してくることが異なる。広葉樹組成ではマンサク科の産出量が顕著である点と、ツゲ属、ケヤキ属なども新たに出現してくることがあげられる。伊賀層下部の材化石組成は総じて山地から低地に成育する分類群であり、主に周辺山地の川沿いの植生を反映していると考えられる。伊賀層下部の I-2 層準から産出したトウヒ属2点は、明らかに円磨し、長距離運搬されたと考えられ、周辺山地に分布していたと考えられる。伊賀層下部の調査層準の最上部である I-12, I-13 では、水生植物のヒシ属やスイレン科が繁茂するような水深1m程度の静水域が存在したと考えられる。

本研究の結果で注目される点は350万年ほど前の上野盆地周辺では、ヒノキ科スギ型の後にヒノキ科ヒノキ型が急速に台頭してきている点があげられる。伊賀層下部の最上位で、湿潤な生育環境を好むスギ型からヒノキ型への古植生の変遷が起きた可能性がある。また、奥山 (1981-1990) や此松 (2004) らの報告によると、上野層・伊賀層からはフウ属 (*Liquidamber*) やアカガシ亜属 (*Quercus* subgenus *Cyclobalanopsis*) などの暖温帯に優占する種を含む、多様性の高い大型植物化石群集の存在が指摘されている。本研究の結果では伊賀層下部の最上部から多くのマンサク科が産出しているが、奥山 (1981-1990) や此松 (2004) で報告されている大型植物化石から、フウ属の可能性も考えられる。また、本研究の結果からは、常緑広葉樹はツゲ属だけが確認できたが、今後さらに上野層および伊賀層産の大型植物化石を検討し、後期鮮新世初頭の上野盆地周辺の陸上古植生および古環境を論じることが重要であると思われる。

6. まとめ

本研究では、古琵琶湖層群上野層・伊賀層において材化石を中心とした、大型植物化石組成を明らかにした。上野層上部は塊状無葉理の泥層やシルト層が堆積する湖沼・湿地に堆積したものである。伊賀層下部は細粒砂とシルトの互層からなる、トラフ型斜交層理やリップルが見られる河川の堆積物から次第に水深の浅い湖沼が存在する環境へ変化すると推定した。

上野層上部から産出した材化石は、針葉樹類では2科1属2型で、マツ科トウヒ属、ヒノキ科スギ型、ヒノキ型である。被子植物は1科1属で、カバノキ科ハンノキ属である。

伊賀層下部からは、針葉樹類は2科2属2型で、マツ科モミ属、トウヒ属、ヒノキ科スギ型、ヒノキ型である。被子植物は4科3属で、ツゲ科ツゲ属、マンサク科、ニレ科ケヤキ属、カバノキ科ハンノキ属である。伊賀層では材化石以外にI-12、I-13層準にヒシ属の果実が密集して産出し、スイレン科の地下茎の化石が産出した。伊賀層下部の堆積時には、水生植物が生育するような静水域が存在したと考えられ、堆積環境と化石から推定した古環境は矛盾しない。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、琵琶湖博物館学芸員の里口保文氏には、火山灰や堆積相に関してご指導いただいた。同博物館総括学芸員の高橋啓一氏ならびに学芸員の皆様には、本研究をまとめる際にご協力いただいた。同博物館主任学芸員のRobin James Smith氏には、英文校閲でご協力いただいた。大阪市立博物館の塚腰実氏には、内容の校閲や文献の提供などお世話になりました。国立科学博物館植村和彦氏には大型植物化石の同定などご助言をいただいた。財団法人国際湖沼環境委員会の方々には宿泊の際に便宜を図っていただいた。小論作成に際しては、編集委員長ならびに査読者の方々から有益なご指摘をいただきました。ここに謝意を込め、記して御礼を申し上げます。

引用文献

- Brunsfeld, S. J., Soltis, P. E., Soltis, D. E., Gadek, P. A., Quinn, C. J., Streng, D. D. and Ranker, T. A. (1994) Phylogenetic relationships among the genera of Taxodiaceae and Cupressaceae: evidence from *rbcL* sequences. *Systematic Bot.* **19**, 253-262.
- Gadek, P. A., Alpers, D. L., Heslewood, M. M. and Quinn, C. J. (2000) Relationships within Cupressaceae sensu lato: a combined morphological and molecular approach. *Amer. J. Bot.* **87**, 1044-1057.
- Farjon, A. (2005) *Monograph of Cupressaceae and Sciadopitys*. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, 650pp.
- 服部川足跡化石調査団編 (1996) 古琵琶湖層群上野累層の足跡化石。三重県立博物館, 121頁。
- 林 隆夫 (1974) 堅田丘陵の古琵琶湖層群。地質雑誌 **80**, 261-276.
- 市原 実 (1960) 大阪, 明石地域の第四紀層に関する諸問題。地球科学 **49**, 15-25.
- 伊東隆夫 (1993) 愛知川化石林の樹種。愛知川産化石林調査団編, 愛知川化石林—その古環境復元の試み—, 琵琶湖博物館開設準備室研究調査報告 **1**, 33-46.
- Kawabe, T. (1989) Stratigraphy of the lower part of the Kobiwako Group around the Ueno Basin, Kinki district, Japan. *J. Geosci. Osaka City Univ.* **32**, 39-90.
- 川辺孝幸・高橋裕平・小村良二・田口雄作 (1996) 上野地域の地質。地域地質研究報告, 地質調査所, 99頁。
- 木田千代美 (1997) 古琵琶湖層群の植物相の変遷。化石研究会誌 **30**, 7-12.
- 古琵琶湖団体研究グループ (1980) 瀬田～石部地域の古琵琶湖層群。地球科学 **35**, 26-40.
- 古琵琶湖団体研究グループ (1983) 水口丘陵・瀬田～石部地域の古琵琶湖層群。日本の鮮新・更新統, 地研専報 **25**, 67-77.
- 此松昌彦 (2004) 第4節古琵琶湖層群の古生物。上野市史編纂室, 上野市史第1章地形地質, 上野, 131-136頁。
- 三木 茂 (1948) 鮮新世以来の近畿並びに近接地域の遺体フロラに就いて。鉱物と地質 **9**, 105-144.
- Miki, S. (1952) *Trapa* of Japan with special reference to its remains with 14 text-figures and 2 plates. *J. Polytechnics, Osaka City Univ.*, Ser. D, **3**, 1-29.
- 南澤 修・松本みどり・百原 新・山川千代美 (2008) 古琵琶湖層群畑層から産出した前期更新世末の大型植物化石。植生史研究 **16**, 49-55.
- Momohara, A. (1994) Floral and Paleoenvironmental history from the late Pliocene to middle Pleistocene in and around central Japan. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* **108**, 281-293.
- 百原 新・斎藤 毅・木田千代美・布谷知夫 (2001) 滋賀県野洲川河床化石林から復元した後期鮮新世(約260万年前)の古植生の空間分布。日本生態学会熊本大会講演要旨集, 110頁。
- 奥山茂美 (1981a, b, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990) 伊賀盆地化石集。1-10, 鈴活印刷。
- 里口保文 (2005) 古琵琶湖層群最下部層序の再検討。日本地質学会第112年学術大会講演要旨集, 226頁。
- 里口保文・樋口裕也・黒川勝己 (2005) 東海層群に挟在する大田テフラ層と三浦層群のテフラ層との対比。地質雑誌 **111**, 74-86.
- 里口保文・服部 昇 (2008) 中部更新統古琵琶湖層群上部と上総層群上部の火山灰層の対比。第四紀研究 **47**, 15-27.
- Takaya, Y. (1963) Stratigraphy of Paleo-Biwa Group

- and paleogeography of Lake Biwa with special reference to the origin of the endemic species in Lake Biwa. *Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto, Ser. B* **30**, 81-119.
- 塚腰 実 (1996) 植物化石. 古琵琶湖層群上野累層の足跡化石, 服部川足跡化石調査団編, 53-54, 三重県立博物館.
- 内山 高 (1996) 古地磁気. 服部川足跡化石調査団編, 古琵琶湖層群上野累層の足跡化石, 33-37頁, 三重県立博物館.
- Watari, S. (1966) A new *Taxodioxylon*, *T. matsuiwa* Watari, from the Palaeogene of North Kyushu, Japan. *Bot. Mag. Tokyo*. **79**, 165-173.
- Yamakawa, C., Momohara, A., Nunotani, T., Matsumoto, M. and Watano, Y. (2008) Paleovegetation reconstruction of fossil forests dominated by *Metasequoia* and *Glyptostrobus* from the late Pliocene Kobiwako Group, central Japan. *Paleontol. Res.* **12**, 167-180.
- 山崎博史・吉川周作・此松昌彦・三矢信昭 (1996) 古琵琶湖層群高島累層白土谷部層の地質年代. 地質雑 **102**, 301-311.
- 横山卓雄・松岡長一郎・田村幹夫・雨森 清 (1979) 古琵琶湖層群. 滋賀県自然環境研究会編, 滋賀県の自然, 309-389頁, 滋賀県自然保護財団.
- Yoshikawa, S. (1984) Volcanic ash layers in the Osaka and Kobiwako Group, Kinki District, Japan. *J. Geosci. Osaka City Univ.* **27**, 1-40.