# 上部三畳系成羽層群における 日本最古の化石林の発見 ---堆積環境復元および古植生復元における意義----

## The oldest fossil forest in Japan discovered from the Upper Triassic Nariwa Group, Okayama Prefecture, SW Japan -Implication for reconstruction of depositional environment and paleovegetation-

湯川弘一(Hirokazu YUKAWA)<sup>\*</sup> 寺田和雄(Kazuo TERADA)<sup>\*\*</sup> 孫 革(Ge SUN)<sup>\*\*\*,\*\*\*\*</sup> 鈴木茂之(Shigeyuki SUZUKI)<sup>\*</sup>

Erect fossil stumps were found from the outcrop of the Upper Triassic Hinabata Formation, the uppermost part of the Nariwa Group at Hinabata, Nariwa-cho, Takahashi City, Okayama Prefecture, SW Japan. They are evidence of the oldest fossil forest in Japan. The Upper Triassic Nariwa Group is mostly composed of non-marine deposits except the marine Jito Formation and characterized by the abundance in plant fossils. The marine Jito Formation is characterized by occurrence of Norian *Monotis ochotica*. On the basis of detailed observation of the occurrence of erect fossil stumps, as well as sedimentary facies of fossil-bearing unit, the fossil forest was interpreted to have grown on the top of the natural-levee units. One of the erect fossil stumps was identified as *Xenoxylon* sp.

Keywords: erect fossil stump, fossil forest, Nariwa Group, Upper Triassic, Xenoxylon.

## I. はじめに

岡山県高梁市成羽町から川上町周辺には上部三畳 系成羽層群が分布している.成羽層群は層序学的, 古生物学的研究が数多くなされており(赤木,1925; 小林・堀越,1937; Kobayashi and Ichikawa,1952; 寺 岡,1959; 大藤,1985; 鈴木ほか,1990など),特 に,植物化石は保存の良いものを多産することから, Yokoyama (1905)をはじめ,Oishi (1930,1931,1932, 1938,1940)やOishi and Yamasita (1935,1936),Oishi and Huzioka (1938) などの古植物学的研究がなされ てきた.またOishi (1932)は産出する植物化石の組成 から,成羽層群の植物群はヨーロッパやグリーンラ ンドの Rhaetic 植物群(Harris, 1931)とほぼ同時期の ものであると指摘している.その後の古植物学的研 究報告もあわせると、成羽層群の植物化石は 114 種 (成羽層群からの新種 38 種を含む)が報告されてい る (Kobatake, 1954; Kon'no, 1962; Huzioka, 1970; 沼野・土屋、1990; Kimura and Ohana, 2000). また成羽層群からは珪化木を産することが知られ ており(寺岡, 1959), それらの樹種に関しては、島 倉・藤山 (1962)や, Yamazaki et al. (1980), Yamazaki and Tsunada (1982)によって検討され、5 分類群が報 告されている.

今回,高梁市成羽町日名畑 (Fig.1) において立木化 石を含む化石林と考えられる露頭を発見した.これ まで報告されている珪化木はすべて運搬されて地層 中に残ったもので,原地性の状態での報告は初めて

\* 岡山大学大学院自然科学研究科 〒700-8530 岡山市北区津島中3丁目1番1号

\* Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Okayama University, Okayama 700-8530, Japan

\*\* 福井県立恐竜博物館 〒911-8601 福井県勝山市村岡町寺尾第51号11番地

\*\* Fukui Prefectural Dinosaur Museum, Fukui, 911-8601, Japan

\*\*\* 遼寧古生物博物館 〒110034 瀋陽市黄河北大街253号,中国

- \*\*\* Paleontological Museum of Liaoning, Shenyang 110034, China
- \*\*\*\* 瀋陽師範大学 〒110034 瀋陽市黄河北大街253号, 中国

\*\*\*\*\* College of paleontology, Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China

のものである.本報では,発見された露頭における 産出植物化石や堆積構造などの層相解析をし,化石 林の産出状況について考察を行った.また立木化石 の樹種についても検討した.



Fig. 1. Locality maps of the Nariwa area. **A**, Distribution map of the Nariwa Group. **B**, Outcrop site (green star) of fossil forest on topographic map (1:25000 scale map of Miyama published by the Geospatial Information Authority of Japan).



Fig. 2. Geological map of the Nariwa and Kawakami area (modified from Suzuki and Asiedu, 1995). Green star is the outcrop site of the fossil forest.

#### Ⅱ. 地質概要

岡山県高梁市成羽町から川上町周辺には主に上部 三畳系成羽層群が分布しており,その東西には古生 層が分布している(Fig.2).

古生層は石炭系及びペルム系堆積岩であり,複雑 な褶曲構造をなしている.それらを不整合に成羽層 群が覆っている.

成羽層群は酸性凝灰岩の追跡などを利用した地質 構造の解析,層相の観察をもとに、下位より仁賀層, 地頭層,最上山層,日名層,日名畑層と区分される (鈴木・Asiedu, 1995).成羽層群の時代は、地頭層よ り二枚貝の Monotis ochotica (KEYSERLING)を産する ことから上部三畳系 Norian とされている.しかし上 下の陸成層からは時代決定の証拠となるものが見つ かっていないため、上下限は詳しくわかっていない.

仁賀層:本層群の最下部に位置し,成羽層群分布 域の西部及び北部に分布している.粗粒砂岩から泥 岩へと移化する厚さ10m程度の上方細粒化シーケン スの繰り返しからなり,河川成層であると考えられ る.また炭層が多く,植物化石を産する.

地頭層:分布域の西部から北部に連続的に分布している.淘汰の良い粗粒砂岩,泥岩,砂岩泥岩互層,酸性凝灰岩からなり, Monotis ochotica を多産する海成層である.

最上山層:分布域の中央部から東部へと地頭層に 囲まれるように分布している.下位より礫岩を伴う 砂岩,砂岩泥岩互層,泥岩からなる厚さ10m程度の 上方細粒化シーケンスの繰り返しからなり,河川成 層であると考えられる.

日名層:分布域の東部に、日名畑層を囲んで分布 する.礫岩と砂岩が優勢の河川成層だと考えられる.

日名畑層:本層群の最上部に位置し,分布域の東 部に分布する.炭層を所々挟み,泥岩優勢で砂岩層 を伴う,氾濫原が発達した河川で堆積した地層であ ると考えられる.また保存の良い植物化石を多産す る.

#### **Ⅲ. 日本最古の化石林について**

日本の中生代の化石林に関しては、下部白亜系手 取層群の化石林が知られている.小林(1951)は石 川県白山市白峰地域の調査で、通称"桑島の化石壁" と湯の谷地域に化石林が存在することを明らかにし、 当時、日本最古の化石林として「手取化石林」と呼 んだ. Ogura et al. (1951)は、この化石林の立木化 石を含め、19地点から採集された珪化木を Xenoxylon latiporosum (CRAMER) GOTHAN と同定した.また、前 田 (1954)は、高山市荘川の尾上郷東俣の手取層群 に X. latiporosum の化石林があることを報告してい る.さらに、前田は手取層群に見られる化石林の産 状から堆積環境について議論し(前田、1955a)、手取 層群の堆積相として Xenoxylon 相を認識し、さらに 立株状の産状をする化石壁型と倒木状の産状をする 赤岩型の2タイプに分けている(前田、1955b).

ジュラ紀の化石林に関しては、小林ほか(1957) において、来馬層群榀谷層にトクサ類(*Equisetites*?) の化石林があると報告しているが、これはトクサ類 の原地性の産状であって、*Equisetites*は二次木部を 持たないことから、化石林というには難しいと思わ れる.

以上のことから今回発見した化石林は,上部三畳 系のものであり,日本最古の化石林となる.

#### N. 化石林露頭の地層

化石林の露頭の全体写真と露頭スケッチを Fig.3 に示す.ここでみられる地層は成羽層群最上部の日 名畑層である.これらは河川によって堆積した地層 であり,大きく二つの堆積相に分けることができる. 一つは地層の形態が上に凸のレンズ状をなし,中粒 から細粒砂岩主体で成層している,自然堤防に堆積 したと考えられる堆積物(自然堤防堆積相:Facies I)で,もう一つは泥岩が主体で砂岩を伴う,氾濫 原に堆積したと考えられる堆積物(氾濫原堆積相: Facies II)である(Fig. 4-1, 4-2).Facies II はさらに 2つの Subfacies (II a, II b) に分けられる. Subfacies II a の層は, 塊状であまり植物片を含まない泥岩と 平板状の細粒砂岩からなる. その砂岩中からは保存 の良い植物化石を産出することがある. Subfacies II b の層は下に凸のレンズ状をなし, 植物片を多く含み

有機物に富んだ炭層を伴う泥岩や、中粒砂岩から泥 岩への上方細粒化を示す厚さ 15 cm程の層の繰り返 しからなる.

化石林をなす立木化石は Facies I の堆積物ユニットの最上部に確認できる.



Fig. 3. A, Photograph of the outcrop of the fossil forest. **B**, Sketch of the outcrop. There are two erect fossil stumps and fossil wood fragments.



composed

#### 1. 自然堤防堆積物(Facies I)

細粒砂岩および中粒砂岩からなり一部極細粒砂岩 を含む堆積物で,泥岩は含まない.平行ラミナの発 達した部分を伴い,全体的に淘汰は普通の砂岩から なる.下限の Facies II との境界部は明瞭である.平 行ラミナの発達した砂岩からは所々植物片を多く含 むが保存状態の良い植物化石は得られなかった.ま た上限面では立木化石が確認できた.立木化石が確 認できる層の砂岩中にも断片的な植物片が所々観察 できる.

Facies I の堆積環境: 平行ラミナの発達した細粒砂 岩主体の堆積物で,淘汰も Facies II より良い事,泥 岩を含まないことから,比較的常に水の流れの影響 を受けていた環境であることがうかがえる.上に凸 の地層の形態に沿って平行ラミナの砂岩が堆積して いることから,盛り上がった微地形が復元できる. これらの堆積物と立木化石の存在,復元された微地 形から Facies I は自然堤防の堆積物だと考えられる.

#### 2. 氾濫原堆積物 (Facies II)

泥岩主体の堆積物であるが、中粒から極細粒の砂 岩を挟む.単層の形態(平板状かレンズ状であるか) や岩相(炭質層の有無や砂岩の特徴)により、さら に2つの Subfacies(IIa, IIb)に分けた.

Subfacies II a: 泥岩及び極細粒砂岩からなる. 泥岩 は塊状で植物片はあまり含まない. 極細粒砂岩から シルト質泥岩の層を挟むが,砂岩の淘汰は悪く,単 層の厚さは10~20 cm程度である. その層の一部には 根の痕がみられる. これらの層は平板状をなす. ま た Facies I との境界部直下のシルト質泥岩中では保 存の良い植物化石が多産する. 産出したリストを Table 1,写真を Fig.5 に示す. ここでは裸子植物が ほとんどであり,特にソテツの仲間である Nilssonia splendens SUN を多く産する. 球果類の Podozamites と思われる葉の化石も比較的多くみうけられるが, シダ植物は稀で, Cladophlebis と思われる小羽片の破 片のみが確認できた.

Table 1. Plant fossils list collected from Subfacies I a at the outcrop of the fossil forest.

Species	Quantity
Nilssonia splendens SUN	8
Phoenicopsis ? sp.	4
Pityophyllum sp.	5
Podozamites distaus (PRESL) BRAUN	2
Podozamites lanceolatus (LINDLEY et HUTTON) BRAUN	1
Podozamites ? sp.	5
Czekanowskia rigida HEER	4
Glossophyllum ? sp.	4
Carpol sp.	2
Total	35

Subfacies II b: 中粒砂岩から泥岩への上方細粒化を 示す厚さ 15 cm程の層の繰り返しと, 炭質層を含む泥 岩からなる.繰り返しを示す層は,塊状で葉理など の堆積構造は認められない.また各単層は緩やかに 下に凸な形態をなし,底の部分ほど中粒砂岩が厚く なる傾向がある.これらの地層の下限はやや明瞭で あり,下位の泥岩部を削って堆積していると考えら れる.炭質層を含む泥岩は,厚さ 10 cm程であり,有 機物に富む.細かい植物片も含むが,保存の良い植 物化石は得られなかった.

Facies II の堆積環境:炭質層を含む有機物に富んだ 泥岩を伴う,塊状の泥岩が優勢であることから,氾 濫原での堆積物と考えられる.

Subfacies II a: 泥岩中に挟まれるシルト質泥岩及び 極細粒砂岩は、淘汰が悪く平板状であることから堤 防決壊堆積物であると考えられる.また根の痕がみ られること、シルト質泥岩中に保存の良い植物化石 がみられることから、氾濫原および付近の自然堤防 に生えていた植物が流されてきたことが示唆される.

Subfacies II b:炭質層を含む有機物に富んだ泥岩は, 氾濫原でも水の流れの影響をほとんど受けない場で 植物遺体などの有機物が堆積してできたものである と考えられる.上方細粒化を伴う層は平行的なやや 連続性の良い地層をなし,塊状で葉理などの堆積構 造は認められないことから堤防決壊堆積物だと考え られる.ただ Subfacies II a の堤防決壊堆積物より粒 度が粗いこと,下位の泥岩部を削って堆積している こと, またスケッチ (Fig.3,4-1) に示されるように 自然堤防を削った谷に堆積していることから crevasse spray channel の堆積場が復元できる.



Fig. 5. Plant fossils collected from Subfacies II a at the outcrop of the fossil forest. A, *Nilssonia splendens* SUN, E-Hina-25; B, *Phoenicopsis*? sp., E-Hina-8; C, *Pityophyllum* sp., E-Hina-21; D, *Podozamites distaus* (PRESL) BRAUN, E-Hina-13; E, *Czekanowskia rigida* HEER, E-Hina-101; F, *Podozamites lanceolatus* (LINDLEY et HUTTON) BRAUN, E-Hina-16; G, *Carpol* sp., E-Hina-2; H, *Podozamites*? sp., E-Hina-36A; I, *Glossophyllum*? sp., E-Hina-7. The scale bar is 1cm long.

## 3. 化石林の産状と堆積環境

立木化石は2株確認でき、それぞれ自然堤防堆 積物最上部の細粒砂岩層に産する.これらは層理 面に対してほぼ垂直に埋もれ、根と判断される枝 分かれをし、細くなった炭化脈も確認できた (Fig.6).それ以外にも炭化した材化石の破片が 同層準で確認できた. 立木の上部は Facies II の中 粒砂岩に切られており,最長で 15 cm程である. 材 部のほとんどは炭化していたが一部組織が残って いるのが顕微鏡下で確認できた.

これら立木化石は自然堤防の高まりに生えてい

た木の一部であると考えられる. 自然堤防の微地 形の脇にあり, crevasse spray channel と考えられ る凹地を埋めて, Subfacies II b の炭質層を含む有 機物に富んだ泥岩が堆積している. この泥岩は自 然堤防に生えていた木の落ち葉などが微地形に沿 って落ちて堆積したものだと推測される.これは, 立木化石の一部がその泥岩に覆われていることか らも支持される.よって,この自然堤防の高まり の上には密な植生が形成されていたということが いえる.



Fig. 6. Enlarged photograph and sketch of the erect fossil stump. It is buried almost perpendicularly to the bedding plane.

## ▼. 立木化石の樹種

露頭中で確認できた2株の立木化石を採集し, 木口,板目,柾目の三方向の薄片を作成して顕微 鏡観察を行った.ほとんどの部分が炭化して観察 不可能であったが,露頭左側の立木化石の一部に おいて三方向における組織が確認できた(Plate 1). 以下にその記載内容を示す.

> 球果綱 科不明もしくは原マツ科(Protopinaceae) *Xenoxylon* 属 *Xenoxylon* sp.

試料:標本番号 E-Hina-P01, 露頭中の原標本高さ 14cm, 直径約 4cm である (Plate 1A).

材構造:材は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(樹脂道)を欠く(Plate 1B).木口面の変形が 激しく,明瞭な年輪界は確認できない.放射組織 は単列の1~10細胞高で,多くは2~6細胞高程度 と低い(Plate 1C, D).仮道管の放射壁には上下に 偏平な楕円形の有縁壁孔が密に接して1列に並ん でいる(Plate 1C, D).分野壁孔は大型の窓型で, 1分野に1個がほとんどである(Plate 1E).

類縁:本化石を,1)軸方向柔組織,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列に密に並び,3)分野壁孔は大 きな窓状である,という形質から,*Xenoxylon*属で あることがわかる.

成羽層群の材化石の樹種に関する初報告は,島 倉・藤山(1962)である.彼らは日本地質学会学 術大会の口頭発表で成羽層群産材化石1点を検討 し,*Xenoxylon latiporosum*(CRAMER)GOTHANとし て報告した(島倉・藤山,1962).その後,Yamazaki et al.(1980)とYamazaki and Tsunada(1982)によ って,*Protocedroxylon triassicum*YAMAZAKI et TSUNADA, *Araucariopitys japonica*YAMAZAKI et TSUNADA, *Xenoxylon nariwaense*YAMAZAKI et TSUNADA, *Xenoxylon cf. japonicum* VOGELLEHNER の 4分類群が報告された.これら4分類群はすべて 日名畑層から産したとされたが(Yamazaki et al., 1980;Yamazaki and Tsunada, 1982),我々の調査に よると Xenoxylon nariwaense のみ最上山層から産 した可能性が高い.

島倉・藤山(1962)の Xenoxylon latiporosum は 学会発表のみで詳細な報告はないため、本化石と の比較はできない.Yamazaki et al.(1980)と Yamazaki and Tsunada(1982)の Xenoxylon 属に関 してのみ比較出来る.本化石の放射組織は2~6 細胞高程度で低いことから、10~20細胞高を普通 に持つ Xenoxylon cf. japonicum ではないことは明 らかである.また,X. nariwaense の放射組織は2 ~6 細胞高と本化石の形質と類似している.しか しながら,X. nariwaense は仮道管の接線壁に1-3 列の小壁孔を有するが、本化石は保存が悪くその 形質が確認できない.従って本報では Xenoxylon sp. にとどめておく.

### Ⅴ. まとめ

 上部三畳系成羽層群から初めての化石林の 存在が確認された.この化石林は現在のとこ ろ日本最古の化石林である.

- この化石林は自然堤防の高まりに生えていたものの一部だと考えられる.
- 立木化石は, *Xenoxylon* sp.であると判明し, 自然堤防において少なくとも *Xenoxylon* 属の 木が生えていたことがわかった.

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり,岡山大学理学部の藤 原貴生技術職員には,珪化木の薄片製作に関する 数々の助言をいただいた.同自然科学研究科院生 の室井翔太君には位置図作成について助言をいた だいた.また同鈴木茂之研究室の稲田徳之君をは じめとする院生の方々には大変お世話になりまし た.心から感謝致します.

#### 引用文献

- 赤木健(1925):備中成羽附近の三疊紀層に就て(豫報). 地質學雑誌, **32**, 96-105.
- Huzioka, K. (1970): A new species of Sagenopteris from Nariwa, Southwest Honshu, Japan. Transactions and proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New series, 77, 229-234, pl. 24.
- Harris, T. (1931): Rhaetic Floras. Biological Review, VI, No.2
- Kimura, T. and Ohana, T. (2000): A unique Cycadocarpidium from the Upper Triassic Nariwa Group, West Japan. Bulletin of the Kitakyushu Museum of Natural History, 19, 111-116.
- 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.白山をめぐる地域の地質,1-20,石 川県.
- 小林貞一, 堀越義一, 昭和11年度東大地質學科中期生一 同(1937): 吉備高原の地史に就いて.地質學 雜誌, 44, 797-821.
- Kobayashi, T. and Ichikawa, K. (1952): Some Late Triassic fossils from the Nariwa district in the Province of Bitchu (Okayama Prefecture), Japan. Japanese

Journal of Geology and Geography, 22, 261-274, pl. 10.

- 小林貞一,小西健二,佐藤正,速水格,徳山明(1957): 来馬層群(ジュラ系下部).地質學雑誌,63, 182-194.
- Kon'no, E. (1962): Some species of Neocalamites and Equisetites in Japan and Korea. Science Reports of the Tohoku University, 2nd Ser., Geology, 21-48.
- 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, 4, 293-299.
- 沼野忠之, 土屋新太郎 (1990): 岡山県高梁市玉川町玉 下切における上部三畳系成羽植物群新産地の 化石の産状および記載. 岡山大学教育学部研究 集録, 84, 193-218.
- Ogura, Y., Kobayashi, T. and Maeda, S. (1951): Discovery of erect stumps of *Xenoxylon latiporoum* in the Jurassic Tetori Series in Japan. *Transactions and Proceedings from the Palaeontological Society of Japan, New Series*, **4**, 113-119.
- Oishi, S. (1932): The Rhaetic Plants from the Nariwa District, Prov. Bitchû (Okayama Prefecture), Japan. Journal of the Faculty of Science, Hokkaido Imperial University, Ser. 4, Geology and mineralogy, 1, 3, 257-380.
- Oishi, S. (1938): The Japanese Equivalents of the Lepidopteris and Thaumatopteris Zones of East Greenland. *Proceedings of the Imperial Academy*, 14, 2, 77-80.
- Oishi, S. (1940): The Mesozoic Floras of Japan. Journal of the Faculty of Science, Hokkaido Imperial University, Ser. 4, Geology and mineralogy, 5, 2,

123-480.

- Oishi, S. and Huzioka, K. (1938): Fossil Plants from Nariwa. A Supplement. Journal of the Faculty of Science, Hokkaido Imperial University, Ser. 4, Geology and mineralogy, 4, 1, 69-101.
- Oishi, S. and Yamasita, K. (1935): On the Genus Swedenborgia Nathorst and its Occurrence in the Nariwa Bed, Okayama Pref., Japan. *Proceedings of the Imperial Academy*, **11**, 10, 438-440.
- Oishi, S. and Yamasita, K. (1936): On the Fossil Dipteridaceae. Journal of the Faculty of Science, Hokkaido Imperial University, Ser. 4, Geology and mineralogy, 3, 2, 135-184.
- 大藤茂(1985): 岡山県大賀地域の非変成古生層と上 部三畳系成羽層群との間の不整合の発見. 地質 學雑誌, **91**, 779-786.
- 島倉巳三郎, 藤山家徳(1962):成羽三畳紀層産 Xenoxylon latiporosum.地質學雜誌, 68, 418-419.
- 鈴木茂之, Asiedu, D. K. (1995): 岡山県成羽地域の中・ 古生界. 日本地質学会第 102 年学術大会見学 旅行案内書, 89-95.
- 鈴木茂之,小坂丈予,光野千春,昭和61年度岡山大学地 学科進級論文履修生一同(1990):岡山県川上 郡周辺の古生界および三畳系にみられる褶曲 の構造解析. 地質學雜誌,96,5,371-377.
- 寺岡易司(1959):岡山県成羽町南域の中・古生層,特 に上部三畳系成羽層群について.地質學雑誌, 65,494-504.
- Yamazaki, S. and Tsunada, K. (1982): Some fossil woods from the Upper Triassic Nariwa and Mine Groups, the innerzone of Southwest Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*, **88**, 595-611.
- Yamazaki, S., Tsunada, K and Koike, N. (1980): Some Fossil Woods from the Upper Triassic Nariwa Group, Southwest Japan. *Memoirs of the school of*

science & engineering Waseda Univ, 44, 91-131.

Yokoyama, M. (1905): Mesozoic Plants from Nagato and Bitchu. The Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo, Japan, **20**, 1-13.

## PLATE I

#### Xenoxylon sp.

Fig. A. Original erect stump in the outcrop at Hinabata, Nariwa-cho, Takahashi, Okayama Pref. Scale bar : 5 cm

Fig. B-E. Microphotographs of the fossil wood.

Fig. B. Cross section showing rectangular or polygonal tracheids. Scale bar : 250 µm

Fig. C. Tangential section showing the uniseriate rays, and contiguous and horizonrtally flattened bordered pits. Scale bar :  $50 \ \mu m$ 

Fig. D. Radial section showing contiguous and horizontally flattened bordered pits. Scale bar  $\div$  50  $\mu m$ 

Fig. E. Radial section showing window-like cross-field pit. Scale bar  $\div$  25  $\mu m$ 









