西内李佳^{1*}・百原 新¹・塚腰 実²: 三木茂標本の大型植物化石と花粉化石から復元した 最終氷期最寒冷期の中国地方北西部の針葉樹林

Rika Nishiuchi^{1*}, Arata Momohara¹ and Minoru Tsukagoshi²: Reconstruction of the last glacial maximum coniferous forest in the northeastern Chugoku District, southwestern Japan, based on macrofossil and pollen samples from the Prof. Shigeru Miki collection

要 旨 三木茂博士が採取した島根県大田市白杯高津 (標高 220 m)の大型植物化石標本について、AMS¹⁴C 年代測定, 大型植物化石の再同定,大型植物化石に付着していた堆積物を用いた花粉分析を行い,最終氷期最寒冷期の中国地方 北西部の古植生を復元した。最終氷期最寒冷期の白杯高津の谷にはコメツガとトウヒが優占し,シラビソ,チョウセン ゴヨウ,トウヒ属バラモミ節,ヒノキを含む針葉樹林が分布していた。最終氷期最寒冷期の中国地方の日本海側の低 標高域には温帯性針葉樹林が分布していたと考えられてきたが,現在の亜高山帯域と共通の組成の亜高山帯針葉樹林 が分布していたことが明らかになった。中国地方の最終氷期最寒冷期の花粉化石群資料を整理すると,低標高域でも 斜面の多い場所には亜高山帯針葉樹が多く,高標高域でも湿原や緩斜面が広がる場所では温帯落葉広葉樹が分布する といった,標高差よりもむしろ後背地の地形の差で植生が異なっていた。博物館で保管されている大型植物化石を利 用することで,高精度の年代値に裏付けられた詳細な古植生復元ができることが明らかになった。 キーワード:大型植物化石,花粉分析,最終氷期最寒冷期,中国地方,博物館標本

Abstract Based on AMS ¹⁴C dating, re-identification of plant macrofossil, and pollen analysis of samples that were collected at Shirotsuki-Takatsu, Ooda, Shimane Pref. (200 m a.s.l.) by Dr. Shigeru Miki, paleovegetation in the last glacial maximum (LGM) in the northeastern Chugoku District, southwestern Japan, was reconstructed. A coniferous forest dominated by *Tsuga diversifolia* and *Picea jezoensis* var. *hondoensis* with *Abies veitchii, Pinus koraiensis, Picea* sect. *Picea* and *Chamaecyparis obtusa* was distributed in a valley in Shirotsuki-Takatsu during the LGM. According to the earlier studies, temperate coniferous forest was reconstructed as the most dominant forest biome during the LGM in low altitude areas along the Sea of Japan in the Chugoku District. Besides, the present fossil record indicates that a subarctic coniferous forest common with that of the present subalpine zone in central Japan was distributed in low altitude areas. A review of last glacial maximum pollen profiles from the Chugoku District showeded that vegetation was affected by geomorphology surrounding research sites rather than by altitudinal gradient, and subalpine trees dominated often in areas at lower altitudes surrounded by slopes, and temperate broadleaved trees occurred commonly in areas at higher altitudes surrounded by wetland and gentle slopes. Our research demonstrates that a re-investigation of plant macrofossil collections stored in museums enables detailed paleovegetation reconstruction with high resolution dating.

Key words: Chugoku District, the last glacial maximum, museum collection, plant macrofossil, pollen analysis

はじめに

最終氷期最寒冷期の近畿地方から中国,四国,九州中部 までの西南日本には、マツ科針葉樹が優占する森林が広く 分布していたことが、主に花粉分析の結果から明らかにさ れている(Tsukada, 1985;高原, 2011)。この地域の大 型植物化石群には、コメツガ Tsuga diversifolia やチョウ センゴヨウ Pinus koraiensis といった亜高山帯針葉樹に加 え、ウラジロモミ Abies homolepis やハリモミ Picea polita, ツガ Tsuga sieboldii といった温帯性の針葉樹が含まれる ことから、Tsukada (1983, 1985) は現在の中間温帯から 冷温帯の山地域には亜高山帯針葉樹林が分布し、内陸低地 には温帯針葉樹林、沿岸低地には温帯針葉樹と温帯落葉広

1〒271-8510 千葉県松戸市松戸648 千葉大学大学院園芸学研究科

2 〒 546-0036 大阪市東住吉区長居公園 1-23 大阪市立自然史博物館

Graduate School of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo, Matsudo, Chiba 271-8510, Japan

Osaka Museum of Natural History, 1-23 Nagai Park, Higashi-Sumiyoshi-ku, Osaka 546-0036, Japan

^{*} 連絡先 Corresponding author: 西内李佳 Rika Nishiuchi (r-nishiuchi@chiba-u.jp)

葉樹の混交林が分布したと考えた。しかし, Tsukada(1983, 1985)が参考にした大型植物化石群の産出地点は少なく, しかも最終氷期最寒冷期(約 30,000 ~ 19,000 cal. BP; Lambeck et al., 2002; Clark et al., 2009)に確実に対比で きる化石群は極めて少ない(津村・百原, 2011)。最終氷 期最寒冷期の西南日本の温帯針葉樹林と亜高山帯針葉樹 林の境界を明確にし,それぞれの樹種の分布立地を明らか にするには,種レベルの同定が可能な大型植物化石の資料 の蓄積が必要である。

Miki (1956) は、本州から九州南部にかけての 24 地点 のチョウセンゴヨウを含む大型植物化石群を記載し、更新 世の氷期に現在の亜高山帯に分布する植物群が低地に分 布拡大したことを明らかにした。Miki (1956, 1957) が 記載した島根県中部, 大田市水上町の白杯高津(標高 220 m)の大型植物化石群には、トウヒ Picea jezoensis var. hondoensis, シラビソ Abies veitchii, チョウセンゴヨウ, コメツガといった亜高山帯針葉樹が含まれる。更新世の氷 期の化石群の中でもきわめて寒冷な気候条件を示すと考え られるため、白杯高津の化石群は最終氷期最寒冷期のもの である可能性が高い。そこで著者らは、粉川ほか(2006) によって整理され、大阪市立自然史博物館に保存されて いる大型植物化石標本の AMS¹⁴C 年代測定をおこなった。 詳細は後述するが、得られた年代値から最終氷期最寒冷期 の化石群であることが明らかになった。白杯高津の大型植 物化石群は、最終氷期最寒冷期の西南日本の低地にも亜高 山帯針葉樹林が分布しており、最終氷期の中部日本から西 南日本への植生や植物相の変化が現在の亜高山帯から山地 帯への変化に必ずしも対応していない可能性を示す。した がって、Tsukada (1983, 1985) が考えたような標高によ る植生の変化ではなく、地形などの他の要因を検討する必 要がある。そのためには、同じ地層から得られた大型植物 化石群と花粉化石群の比較にもとづいて、古植生の空間分 布を明らかにすることが重要である。

本研究では、三木茂が採取した白杯高津の大型植物化石 標本の年代測定結果を報告するとともに、大型植物化石標 本の再検討をおこなった。ツガ属の球果の形態はよく似て おり、白杯高津の標本の中で Miki (1956)ではツガと記 載されているものが、Miki (1957)ではコメツガと記載さ れている。本研究では白杯高津産の全ての大型植物化石標 本を調べ、それぞれの形態記載とともに報告する。さらに、 大型植物化石標本に堆積物がわずかに付着していることに 着目し、この堆積物の花粉分析をおこない、大型植物化石 群と花粉化石群との対応関係にもとづいて古植生を復元す る。最後に、これまでに中国地方から報告された花粉化石 群や大型植物化石記録との比較にもとづき、中国地方の最 終氷期最寒冷期の植生分布を明らかにする。最終水期の大 型植物化石が産出する露頭は現在では極めて少なく,化石 を採取する機会は限られている。西南日本のように大型植 物化石群の報告の乏しい地域で化石データを蓄積するため には,既に報告され博物館に保存されている標本の活用が 重要である。本研究は,博物館に保管されている大型植物 化石標本を用いて堆積年代と花粉化石群を検討する初めて の試みであり,博物館標本の新たな活用法を提示するもの である。

試料と分析方法

分析に用いた標本は島根県大田市水上町白杯高津(標高 220 m) で採取された大型植物化石である (Miki, 1956)。 高津は「Takadzu」(Miki, 1956) または「Takazu」(Miki, 1957)と表記されているが、本論文では現在の地名の呼び 名に従い Takatsu と呼ぶ。Miki (1956) は詳細な採取地 点を記録していないが、標高を220mと記載しており、地 名と標高からおおよその採取地点を推測できる。大田市水 上町白杯は、静間川の支流の忍原川上流域にあり、忍原川 本流の南側の標高 200 ~ 500 m の中国山地の山間地に位 置する(図1)。白杯北部の高津集落は忍原川から南にの びる谷の中に位置する。この谷は、忍原川との合流地点の 標高が約180 mで,高津集落の南側では標高200~220 mにわたって幅100m程度の比較的なだらかな谷底面を もつ谷頭部となっている(図1B太線内)。高津の集落とそ の北側の忍原川との合流地点付近の標高 220 m の場所は, 基盤岩が露出する谷壁斜面にあたり(鹿野ほか,2001), そこには大型植物化石を含む堆積物が分布していたとは考 えにくい。谷底部に大型植物化石が堆積、保存されやすい ので、Miki (1956)の試料採取地点は、標高 220 m に大 型植物化石が堆積、保存されやすい谷底部が位置する、高 津の集落の南側の谷底部 (35°4′51″N, 132°27′35″E付 近)と考えられる。この谷は、標高 250 ~ 270 m の稜線(図 1B 点線)をもつ山の斜面に囲まれている。

Miki (1956, 1957) が記載した白杯高津の標本は, 1 本のガラス瓶の中にエタノール液浸で保管されていた標 本で,三木茂博士自筆のラベルには「Takazu in Siratuki, Mizukamimura, Pref. Shimane, March 1944」と記録され ている。この標本は他の液浸標本と同様に,粉川ほか(2006) によって整理される際にガラス瓶が新しいものに交換され, 70% エタノール溶液に液浸保存されている。中に含まれ ている化石には種類別に番号 (F18991 ~ F18999) がつ けられ,大阪市立自然史博物館に保管されている。

本研究では、この液浸標本に含まれる植物遺体の形態を 実体顕微鏡下で観察し、計測・計数をおこなった後、写真 撮影装置(ニコン DS-Ri1)と焦点合成ソフトウェア(三 谷商事 Sensiv Measure)を使用して写真撮影をおこなっ



図1 島根県白杯高津の大型植物化石採取地点.A:忍原川の流域周辺の地形.国土地理院の基盤地図情報数値標高モデル(10 mメッシュ)を用いてカシミール 3D で作成.B:試料が採取されたと考えられる地点周辺の地形.国土地理院 Website の2万5千分の1地形図を使用.実線は標高220 m の等高線,点線は集水域の範囲.

Fig. 1 Sampling site of plant macrofossils in Shirotsuki-Takatsu, Shimane Prefecture. A, Topography around the Oshibara River basin. The map was made by the Kashmir 3D based on the 10 m mesh altitude data (the Geospatial Information Authority of Japan); B, Topography in and around the assumed sampling site based on the 1:25000 digital topographic map on the website of the Geospatial Information Authority of Japan. Solid line, contour of 220 m a.s.l.; broken line, range of catchment of the valley.

た。マツ属単維管束亜属の葉は、カミソリで切り出した 横断面を落射蛍光装置(ニコン C-FGHI)と蛍光フィル ター(ニコン GFP-L)を装着した実体顕微鏡(SMZ18) 下で、160 倍で観察し、樹脂道の位置や表皮細胞の構造 に基づいて同定した。¹⁴C 年代測定にはコメツガの球果鱗 片(F18994-2)を用い、測定をパレオラボ(株)に委託し た。得られた¹⁴C 年代の暦年較正には、IntCal13(Reimer et al., 2013)に 基 づ い た OxCal version 4.2(Bronk Ramsey, 2009)を用いた。

試料採取地点周辺の古植生を復元するために,大型植物 化石に付着した堆積物から花粉を抽出して花粉分析をおこ なった。瓶の中に含まれている大型植物化石には,比較的 淘汰のよい無機物粒子からなる有機質のシルトが付着して いた。有機質シルトが付着した大型植物化石を選び,軽く 表面を水洗した後,水を張ったシャーレに移し,実体顕微 鏡下で面相筆を用いて化石の表面に付着した堆積物を落 とした。シャーレに溜まった堆積物を水ごと遠沈管に移し, 遠心分離して堆積物だけを集めた。標本整理やエタノール 溶液を交換する際,空気中に大量に浮遊しているスギ花粉 が混入し,大型植物化石に付着した可能性がある。そこで, 花粉分析の薬品処理前の堆積物を水で封入した簡易プレパ ラートを数枚作り,細胞質が残存している現生スギ花粉の 混入の有無を確認した。 花粉分析は、10 %KOH 処理–傾斜法–HF 処理–アセ トリシス処理の順でおこない、残渣をグリセリンゼリーで 封入してプレパラートを作成した。検鏡は光学生物顕微鏡 を用いて 600 倍でおこない、プレパラート内の花粉の偏り の影響を防ぐために、プレパラート全面にわたって出現し た花粉・胞子を同定・計数した。同定・計数した高木花粉 の総数は 289 粒であった。高木花粉の出現率は高木花粉 総数を基数とし、低木花粉、草本花粉および胞子の出現率 は花粉・胞子総数を基数として算出した。検鏡したプレパ ラートは、千葉大学大学院園芸学研究科に保管されている。

ッガ属花粉は、花粉本体の周囲をとりまく環状のヒダ (marginal fringe)の幅の大小により、ツガタイプとコメツ ガタイプに区別できる(高原, 1992)。高原(1992)は花 粉本体の直径(B)に対する marginal fringe を含んだ花 粉粒径(A)の割合(A/B)が、アセトリシス処理直後で は、ツガは1.25以下、コメツガは1.15以上にそれぞれの 90%以上の花粉が含まれるとした。そこで、接眼ミクロ メーターを装着した光学顕微鏡下でプレパラート中の全て のツガ属花粉を観察し、赤道面上の marginal fringe を含 んだ花粉粒径(A)と花粉本体の直径(B)を計測し、A/B が1.25以下をツガタイプ、1.15以上をコメツガタイプと した。観察したツガ属花粉 66粒のうち A と B を計測でき なかったものについては、計測できたツガ属花粉の測定値

表1	三木茂博	尊士の白杯高	津產大型植物	勿化石標本か	ら得られた A	MS ¹⁴ C 年代	〔値		
Table	1 AMS ¹	⁴ C dating o	f Miki's plan	t macrofossil	collection in	Shirotsuki-	Takatsu,	Shimane	Pref

Lab Cada	Material	δ ¹³ Ο (‰)	AMS ¹⁴ C Age	Calibrated Age (cal BP)		
Lab. Code			(yrs BP $\pm 1\sigma$)	1σ (68.2%)	2σ (95.4%)	
PLD-29580	Tsuga diversifolia cone scale	-26.01 ± 0.22	19,600 ± 70	23,741-23,493	23,881-23,366	

にもとづいて marginal fringe の幅のそれぞれのタイプの 境界を 7 µm に設定し, marginal fringe の幅が 7 µm 以下 で花粉本体の大きさに対して明らかに狭いものをツガタイ プ, marginal fringe の幅が 7 µm 以上で花粉本体の大きさ に対して明らかに広いものをコメツガタイプとし, 判断が 困難なものは中間型とした。

1. AMS¹⁴C 年代測定結果

コメツガの球果鱗片 (F18994) の¹⁴C 年代は 19,600 ± 70 yrs BP で, 暦年較正年代は 23,741–23,493 cal BP (1 σ), 23,881– 23,366 cal BP (2 σ) であった (表 1)。

結

果

2. 大型植物化石標本の組成と形態記載

大型植物化石標本の再検討の結果,シラビソ球果鱗片 およびモミ属 Abies の葉,トウヒ球果,トウヒ属バラモミ 節 Picea sect. Picea の葉とトウヒ属 Picea の枝条および種 子,コメツガ球果およびツガ属 Tsuga の葉,枝条,チョ ウセンゴヨウ種子および短枝,葉,ヒノキ Chamaecyparis obtusa の枝条を同定した(表 2)。このうち,Miki (1956, 1957)にはトウヒ属バラモミ節は報告されていない。粉川 ほか (2006)によって整理され,記載された植物の分類群・ 部位(F18991 ~ F18999)以外に,トウヒ属バラモミ節葉 (F24953)のほか,ツガ属葉(F24952),トウヒ属種子

表2 三木茂博士の白杯高津の大型植物化石標本一覧表

Table 2 Miki's plant macrofossil collection from Shirotsuki-Takatsu, Shimane Pref.

Taxon	Plant	Count	Specimen
	part*		no.
Abies veitchii Lindl.	CS	1	F18999
Abies	L	4	F18998
Picea jezoensis Carr. var. hondoensis Rehd.	CS	13	F18992
	L	40	F18993
Picea sect. Picea	L	8	F24953
Picea	Sh	11	F18991
	S	4	F24954
Tsuga diversifolia Mast.	С	58	F18994
Tsuga	Sh	61	F18995
	L	16	F24952
Pinus koraiensis Siebold et Zucc.	S	8	F18996
Pinus subgen. Haploxylon	Sh	2	F24955
	L	5	F18997
Chamaecyparis obtusa (Siebold et Zucc.) Endl.	L	3	F24956

*C, cone; CS, cone scale; L, leaf; S, seed; Sh, shoot.

(F24954), チョウセンゴヨウ短枝 (F24955) が今回新た に見つかった。ヒノキ (F24956) は Miki (1956) に記載 されていたが,粉川 (2006) のリストには含まれていなかっ た。粉川 (2006) のリストに含まれていなかった分類群・ 部位には,今回新たな標本番号 (F24952 ~ F24956) を つけて整理した。白杯高津産のツガ属球果は Miki (1956) ではツガと記載されたが, Miki (1957) のマツ科化石記 録ではコメツガとして記載された。今回標本を検討した結 果,ツガ属球果はすべてコメツガであった。

最も個数の多い分類群はコメツガを含むツガ属で、球果, 葉,短枝を含めると全個体の約58%を占めていた。次い で、トウヒ属が約32%を占めており、その多くがトウヒで、 球果と葉をあわせて全体の約22%を占めていた。次に植 物化石の形態を記載する。

シラビソ Abies veitchii Lindl. 球果鱗片 (F18999) 図 2-1

扇形の球果鱗片の基部から中央部先端を含む破片が産出 した。種鱗は高さ1.0 cm,種鱗上部の開出部の高さは0.6 cmと,幅(片側で0.7 cm以上)に比べて低く,種鱗先端 は肥厚したまま縁に達し,向軸側に屈曲する。苞鱗は高さ 1.0 cm,種鱗先端近くにまで達し,上部の幅は広く片側の 幅0.3 cm,先端はやや窪み,中央で突出する。他の本州 産モミ属とは,種鱗が小型で開出部の高さが低いことでモ ミ Abies firma,オオシラビソ Abies mariesii と区別され, 種鱗先端が肥厚することと苞鱗が種鱗先端近くにまで達す ることで,種鱗先端が薄く苞鱗が短いウラジロモミと区別 される。

モミ属 Abies 葉 (F18998) 図 2-2

長さ 1.3 mm,幅 1.8 mmの線形で先端は丸く中央に浅い切れ込みがある。葉身下部は徐々に細くなり,基部はやや肥厚し円形の着点となる。葉身は扁平で,裏面に気孔条が見られる。

トウヒ *Picea jezoensis* Carr. var. *hondoensis* Rehd. 球 果 (F18992) 図 2-3, 葉 (F18993) 図 2-4

球果は長楕円状円柱体で,すべて基部が破損していた。 高さは比較的完全なもので 3.4 cm,幅 1.0 ~ 1.4 cm (平 均 1.2 cm)。球果鱗片は楕円形で高さ 0.6 ~ 1.0 cm (平均



0.9 cm),幅0.5 ~ 0.7 cm (平均0.6 cm)で,上部は薄く なって長く伸び,先端は鈍頭で反り返らない。球果鱗片が 小型で上部が薄く長く伸びることで,先端が丸くなる他の トウヒ属と区別される。葉は長さ0.8 ~ 1.2 cm (平均1.0 cm),幅1.2 mmで先端は急に細くなり鋭頭,基部は切形, 横断面はレンズ形で,上面には気孔条がなく中肋がやや丸 く出っ張る。下面には気孔条がある。横断面が菱形の4面 すべてに気孔条があるトウヒ属バラモミ節とは区別される。 トウヒは現在北海道に分布するエゾマツ Picea jezoensis の 本州型の変種で,葉や球果の形態だけで両者を区別する ことは困難であるが,本化石群は中国地方に位置しており, 現在の本州中部でトウヒとともに亜高山針葉樹林を構成す るコメツガやシラビソを伴うことから,本論文ではトウヒ に分類する。

トウヒ属バラモミ節 *Picea* sect. *Picea* 葉(F24953)図 2-5

葉は長さ 0.9 ~ 1.1 cm (平均 1.0 cm), 幅 1.0 ~ 1.2 mm で先端は徐々に細くなり, 鋭頭, 基部は切形。横断面 は菱形で 4 面すべてに気孔条がある。先端が尖らないこと と細いことから, 日本産トウヒ属バラモミ節の中でも, 先

図2 白杯高津産の三木茂採取大型植物化石標本 1, シラビソ球果鱗片 (F18999);2, モミ属葉 (F18998); 3、トウヒ球果(F18992-1);4、トウヒ葉(F18993-1); 5, トウヒ属バラモミ節葉(F24953-1);6, トウヒ属 枝 (F18991-1);7, トウヒ属種子 (F24954-1);8, コ メツガ球果 (F18994-1);9, ツガ属葉 (F24952-1); 10, ツガ属枝 (F18995-1); 11, チョウセンゴヨウ種 子 (F18996-1);12, チョウセンゴヨウの葉のついた短 枝 (F24955);13, ヒノキ枝条 (F24956). スケール=5 mm (3, 8, 11), 2 mm (1, 2, 4–7, 9, 10, 12, 13). Fig. 2 Plant macrofossils collection from Shirotsuki-Takatsu, Shimane Prefecture, by Shigeru Miki. 1, Abies veitchii cone scale; 2, Abies leaf; 3, Picea jezoensis var. hondoensis cone; 4, Picea jezoensis var. hondoensis leaf; 5, Picea sect. Picea leaf; 6, Picea shoot; 7, Picea seed; 8, Tsuga diversifolia cone; 9, Tsuga leaf; 10, Tsuga shoot; 11, Pinus koraiensis seed; 12, Pinus koraiensis short shoot with leaves; 13, Chamaecyparis obtusa shoot. Scales for 3, 8, 11 are 5 mm; those for 1, 2, 4-7, 9, 10,

12, 13 are 1 mm.

端が針状に鋭く尖り太い葉を持つハリモミとは区別される。

トウヒ属 *Picea* 短枝 (F18991) 図 2-6,種子 (F24954) 図 2-7

短枝は長さ 0.6 ~ 2.5 cm, 幅 0.8 ~ 2.6 mm (平均 1.6 mm) の線形で,高さ約 0.5 mm の枝から開出する葉枕が らせん状に配列し,先端の落葉痕は菱形で斜め上ないし横 を向いている。種子は高さ約 2.0 mm で左右非対称の倒卵 形,薄褐色で膜質の外種皮が下面を覆う。

コメツガ Tsuga diversifolia Mast. 球果 (F18994) 図 2-8

球果は楕円体で,高さ 1.0 ~ 1.8 cm(平均 1.5 cm),幅 0.7 ~ 1.3 cm (平均 1.0 cm)。球果鱗片の先端は丸く出っ張り, 先端が平坦になるツガとは区別される。

ツガ属 *Tsuga* 枝 (F18995) 図 2-9, 葉 (F24952) 図 2-10

枝は長さ0.5~4.5 cm,幅0.8~1.4 mm(平均1.0 mm)の線形で、枝から上向きに出っ張る葉枕がらせん状 に配列し、その先端には上方に向いた落葉痕が見られる。

先端にはしばしば茶色の薄い鱗片からなる冬芽がつく。コ メツガの当年枝には表面に微細な毛があることで無毛のツ ガから区別されるが、標本の多くは多少摩耗し、毛を確認 することができなかったためツガ属とした。葉は長さ0.5 ~1.1 cm (平均0.8 cm),幅1.3 mmで葉身は長楕円形 ないし広線形で、先端は丸く、中央に浅い切れ込みがある。 葉身基部は急に細くなり、長さ約1.5 mmの細い葉柄が斜 めに出る。葉身は扁平で、裏面に気孔条がある。

チョウセンゴヨウ *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc. 種子 (F18996) 図 2-11, 葉のついた短枝 (F24955) 図 2-12, 葉 (F18997)

種子はすべて破片で産出した。最大の破片で高さ1.1~ 1.2 cm,幅0.8 cmの倒卵形で,種皮は厚さ約0.8 mmで 硬い。短枝は直径1.8 mmで高さ1.2 mmの円柱形で,側 面下部には細かい横皺があり,頂部には5本の葉が付着 していた。葉は線形で長さは2.8 cm以上,幅0.6~1.1 mm(平均0.9 mm)で横断面は正三角形,先端は鋭頭で ある。向軸側の2葉面の中央にはそれぞれ1~2列の気 孔列がある。横断面(図3)には中央に内皮に囲まれた通 道組織があり,3本の樹脂道が,綾の先端と内皮の中間の 位置に1本ずつ配列する。表皮細胞は1層。他の本州産 マツ属単維管束亜属のゴヨウマツ*Pinus parviflora*やハイ マツ*Pinus pumila*は樹脂道が表皮細胞に接し,樹脂道が 表皮細胞から離れた位置にあるチョウセンゴヨウと区別さ れる(Minaki, 1983)。



図3 チョウセンゴヨウの葉 (F18997-1)の横断面 (落射蛍 光顕微鏡下の蛍光像). 1:樹脂道, 2:内皮, 3:表皮細胞, 4: 気孔.

Fig. 3 Fluorescent image of a cross section of *Pinus koraiensis* leaf under an epifluorescence microscope. 1, resin canal; 2, endodermis; 3, epidermal cell; 4, stoma.

ヒノキ Chamaecyparis obtusa (Sieb. et Zucc.) Endl. 枝条 (F24956) 図 2-13

枝条は,長さ 1.0 ~ 2.0 mm,幅 1.5 mm で扁平の小さ な鱗片葉が十字対生する。葉の先端は尖らない。気孔条が 葉縁付近と基部にのみ分布する。

3. 花粉分析結果

花粉分析処理前に作成した簡易プレパラートの観察の結 果,細胞質を含むスギ花粉は確認されなかったため,現生 スギ花粉の混入はないと判断した。

検出された花粉・胞子化石は、高木花粉が15分類群, 低木花粉が3分類群,草本花粉が11分類群,胞子が4 分類群であった(表3)。マツ科針葉樹が高木花粉の約78 %と大半を占めていた。このうち、ツガ属 Tsuga,マツ

表3	白杯高津の大型植物化石標本に付着していた花粉化石
一覧表	

Table 3 Fossil pollen in the sediment that adhered to plant macrofossils from Shirotsuki-Takatsu

Taxa	Count	Percentage (%)
Tree pollen*		
Abies	15	5.2
Picea	63	21.8
Tsuga	66	22.8
(Tsuga diversifolia type)	(55)	
(Tsuga sieboldii type)	(31)	
Pinus subgen. Haploxylon	65	22.5
Pinus subgen. Diploxylon	3	1.0
Pinus	14	4.8
Cryptomeria	1	0.3
Taxaceae-Cephalotaxaceae-Cupressaceae	4	1.4
Alnus	18	6.2
Betula	27	9.3
Carpinus-Ostrya	2	0.7
Juglans-Pterocarya	1	0.3
Ouercus subgen. Lepidobalanus	2	0.7
Ulmus-Zelkova	2	0.7
Fraxinus	6	2.1
Total tree pollen	289	100.0
Shrub pollen**		
Corylus	1	0.3
Salix	1	0.3
Araliaceae	2	0.5
Herb pollen		
Persicaria-Echinocauron	1	0.3
Chenopodiaceae-Amaranthaceae	2	0.5
Thalictrum	6	1.6
Other Ranunculaceae	2	0.5
Fabaceae	1	0.3
Apiaceae	4	1.1
Artemisia	15	4.1
Other Asteroideae	5	1.4
Liliaceae	1	0.3
Gramineae	3	0.8
Cyperaceae	23	6.3
Spores		
Monolete type	4	1.1
Lycopodium	1	0.3
Huberzia	1	0.3
Other trilete type	4	1.1
Total pollen and spores	366	100.0

* Percentages based on the total tree pollen counts*

** Percentages based on the total pollen and spore counts.

属単維管束亜属 Pinus subgen. Haploxylon およびトウヒ 属 Picea はいずれも高木花粉の 22 % 前後の高率で出現し, モミ属 Abies は約 5 % であった。スギ Cryptomeria 花粉 は 1 粒だけ (0.3 %) が含まれており, イチイ科–イヌガヤ 科–ヒノキ科 Taxaceae-Cephalotaxaceae-Cupressaceae 花 粉は 1.4 % であった。

落葉広葉樹花粉は高木花粉の約 20 % を占めていた。カ バノキ属 Betula が約9%, ハンノキ属 Alnus が約6%, トネリコ属 Fraxinus が2%を占めるほかは、クルミ属-サワグルミ属 Juglans-Pterocarya, クマシデ属-アサダ属 Carpinus-Ostrya, コナラ属コナラ亜属 Quercus subgen. Lepidobalanus, ニレ属-ケヤキ属 Ulmus-Zelkova がそれ ぞれ1%未満の出現率であった。低木花粉は花粉・胞子 総数の約1%と極めて低率で、ハシバミ属 Corylus とヤ ナギ属 Salix が1粒ずつ, ウコギ科 Araliaceae が2粒(0.7 %)含まれていた。草本花粉は花粉・胞子総数の約17%で, カヤツリグサ科 Cyperaceae が約6%と最も多く,ヨモギ 属 Artemisia が約4%と次いで多かった。そのほか、カラ マツソウ属 Thalictrum, セリ科 Apiaceae, ヨモギ属以外 のキク科キク亜科 Other Asteroideae 花粉が1~2%の 出現率を示した。胞子は花粉・胞子総数の約2%と低率で, ヒカゲノカズラ属 Lycopodium とトウゲシバ属 Huperzia が1粒ずつ含まれていた。

ッガ属花粉 48 粒の A/B (marginal fringe を含む花粉 粒径/花粉本体の直径)の値を 0.05 間隔の階級で区分し, 各階級の割合を度数分布グラフで表現した(図 4)。度数 分布は A/B が 1.25 ~ 1.30 の階級が約 33 % と最も多く, 次いで 1.20 ~ 1.25 が約 23 % と多かった。25 粒がツガ タイプ, 39 粒がコメツガタイプに分類され, 16 粒が両タ イプの重複する階級(1.15 ~ 1.25)に含まれていた(図 4,図 5)。欠けていたり折れていたりしたことで赤道面上の A/B を計測できなかった 18 粒は marginal fringe の幅の程 度のみで判断した結果, 2 粒はツガタイプ, 12 粒はコメツ ガタイプに分類され, 4 粒はその中間型に分類された。4 粒の中間型の個数を両タイプに加えると,検出された 66 粒のツガ属花粉は,ツガタイプの花粉に 31 粒, コメツガ タイプの花粉に 55 粒が分類され, コメツガタイプの花粉 がツガタイプの花粉よりも多かった。

考 察

1. 最終氷期最寒冷期の化石採取地点周辺の古植生復元

白杯高津の大型植物化石標本には多数の葉や枝条が含 まれており、球果は主に現地で採取されたと考えられるが、 現地で拾い上げることが難しい葉や枝条は植物化石を含む 堆積物の水洗篩分によって採取されたと考えられる。球果 で産出個数の多いコメツガとトウヒは、それらに対応する



図4 白杯高津産大型植物化石標本に付着していた堆積物中 のツガ属花粉化石の A/B 比の度数分布. A は花粉周囲の環状 のヒダを含む花粉直径を, B は花粉本体の直径を示す. Fig. 4 Frequency distribution of the A/B ratio of fossil *Tsuga*

pollen in the sediment that adhered to plant macrofossils from Shirotsuki-Takatsu. A, the diameter of pollen with marginal fringe; B, the diameter of pollen body.



図5 白杯高津産ツガ属花粉化石. a, コメツガタイプ; b, ツガタイプ. スケールは 20 µm. Fig. 5 Fossil *Tsuga* pollen from Shirotsuki-Takatsu. a, *T. diversifolia* type; b, *T. sieboldii* type. Scale, 20 µm.

葉や枝条の産出個数が多いことから,植物化石標本中の球 果や葉,枝条の分類群組成比は堆積物中の大型植物化石 群の組成をある程度反映していると考えられる。しかしな がら,大きさ数 mm 以下のカバノキ属果実や草本の種実 類が含まれていないことは,もともと堆積物中に含まれて いなかったことも考えられるが,採取に用いた篩の目が大 きく,針葉以上の大きさの植物化石だけが選択的に採取さ れた結果かもしれない。

高津集落が位置する谷の谷底面の化石採取地点(標高 220 m)から谷を囲む標高250~270 mの稜線までの谷 壁斜面が,大型植物化石をもたらした古植生の主な範囲で ある。大型植物化石標本に付着した堆積物は主に有機質の シルトからなり,粗粒の無機物粒子が含まれていなかった ことから,大型植物化石群は谷底をとりまく植生からもた らされた比較的原地性の高い化石群だと考えられる。大型 植物化石群でコメツガとトウヒの産出割合が最も多く,花 粉化石群でもコメツガタイプとトウヒ属が高率を占めるこ とから、当時の調査地点とその上流の谷底から谷壁斜面下 部にはコメツガとトウヒが優占する針葉樹林が分布してい たと考えられる。そこには、大型植物化石群に含まれるシ ラビソ、トウヒ属バラモミ節、チョウセンゴヨウ、ヒノキが 混じっていた。大型植物遺体でのチョウセンゴヨウの産出 割合に比べてマツ属単維管束亜属花粉の割合が大きいのは、 この樹種が大型植物化石群に反映されやすい上流域の谷 沿いの植生ではなく、斜面上部やより広域の植生中に多く、 その花粉だけが飛来してきたことを示している。花粉化石 群にのみ含まれ、花粉産出割合が比較的大きいツガやハン ノキ属、カバノキ属、トネリコ属も、化石採取地点付近の 谷筋から離れた場所に分布していた可能性が高い。高津の 谷は化石採取地点から約 600 m 下流で,現在は幅数百 m の広い谷底面がある忍原川に合流する。ハンノキ属のハン ノキとトネリコ属のヤチダモは、現在の冷温帯域の湿地林 の構成樹種であるので、忍原川の谷底にそれらの湿地林が あり, 化石採取地点に花粉が飛来した可能性がある。湿地 林の周囲にはツガやナラ類、イヌシデ属といった温帯性樹 種が分布していたと考えられる。

カヤツリグサ科を含む湿地生植物由来の花粉は比較的低 率で、川沿いには開けた後背湿地があまり発達せず、川の すぐ近くに針葉樹林が分布していたことを示している。カ ヤツリグサ科花粉は、スゲ属ヌカスゲ節などの針葉樹林林 床の中湿-乾性立地の群落構成種由来の可能性もある。ヨ モギ属やその他のキク科、アカザ属-ヒユ科、カラマツソ ウ属花粉の存在は、谷壁斜面もしくは下流の忍原川沿いに 中湿-乾性の草原が分布していたことを示している。

コメツガ,トウヒ,シラビソは,現在の中部日本から西 南日本に分布する亜高山帯針葉樹林の主要構成種で、チョ ウセンゴヨウは四国北西部と中部日本の限られた地域の亜 高山帯針葉樹林に分布する。これらの樹種の中部地方にお ける温度分布範囲は、分布の中核部の温量指数で表すとシ ラビソが 42 ~ 20° C・月,チョウセンゴヨウ 40 ~ 22° C・ 月、トウヒ44~25°C・月、コメツガ48~26°C・月で あり、吉良(1948)による気候帯区分の亜寒帯の気温範 囲 (45~15°C・月, 吉良, 1948) にほぼ含まれる (吉 良・吉野、1967)。一方、温帯針葉樹のトウヒ節バラモミ 節イラモミ Picea alcoquiana の分布中核部の温度範囲は 50 ~ 34 ℃・月で分布限界気温は 24° C・月, ヒノキの分 布の中心は 77~42°C・月で分布限界気温は 25°C・月と, 亜高山帯針葉樹の分布域と広い範囲で重なる(吉良・吉野, 1967)。大型植物化石で産出数の多い種類が周囲の森林で も多かったと仮定すると、花粉化石群の散布植物は、モミ 属についてはシラビソ、ツガ属の大半がコメツガ、トウヒ 属の大半がトウヒ,マツ属単維管束亜属がチョウセンゴヨ

ウとなり,花粉組成の大半が亜高山帯針葉樹林の構成樹 種からの花粉である可能性が高い。一方,温帯性樹種は高 木花粉の約5%と極めて少ないことから,白杯高津の谷 底から谷壁斜面には,針広混交林や温帯針葉樹林ではなく, 亜高山帯針葉樹林が広がっていたと考えられる。

2. 白杯高津の化石群組成から復元される最終氷期最寒冷 期の植生地理

Tsukada (1983, 1985) は、花粉化石群の組成と大型 植物化石群の種組成に基づき、最終氷期最寒冷期の中部 および西南日本の大部分の地域はマツ科針葉樹が優占す る林に覆われており、現在の冷温帯落葉広葉樹林域や中 間温帯針葉樹林域は亜高山帯針葉樹林に、常緑広葉樹林 域は温帯針葉樹林に覆われていたとした。この亜高山帯 針葉樹林は現在の本州中部の亜高山帯針葉樹林を構成す るトウヒ, コメツガ, シラビソ, オオシラビソ, チョウセ ンゴヨウ,ダケカンバ Betula ermanii によって構成され る (Tsukada, 1985)。温帯針葉樹林域にはトウヒ属バラモ ミ節, モミ, ウラジロモミ, ツガ, ヒメコマツ Pinus parviflora var. parviflora, アカマツ Pinus densiflora などの温 帯針葉樹が優占し、ナラ類などの冷温帯の落葉広葉樹種が 混交する。中国地方中部での亜高山帯針葉樹林と温帯針 葉樹林との垂直分布境界は、Tsukada (1983) により標高 700~900 mに設定されたが、Tsukada (1985) では北 緯 35 度付近の地域での境界は標高 300 ~ 400 m とされ, Tsukada (1988) では若干低い標高約 300 m に修正され た。Tsukada (1988) が示した亜高山帯針葉樹林と温帯針 葉樹林の垂直分布境界は北緯37~38度で現在の標高0 mで,北緯 36 度から 35 度へと上昇し,北緯 34 度では標 高 400 m となる。高原(1994) もこの設定を支持し、近 畿地方と中国山地東部では現在の温帯針葉樹と亜高山帯針 葉樹が標高数 100 m の丘陵域で近接して分布したと考え た。さらに Tsukada (1985) は、日本海沿岸の現在の海 水面よりも標高の低い場所が針広混交林に覆われていたと した。一方,那須(1980)は中国山地の高標高域にだけ亜 高山帯針葉樹林が分布し、現在の瀬戸内海とその周辺の低 地から丘陵域はブナ Fagus crenata をほとんど伴わない落 葉広葉樹林、その他の地域はブナを伴う落葉広葉樹林が分 布するという古植生図を描いた。バイオームとその表層花 粉組成との対応関係にもとづく復元では、近畿・中国地方 の低地ないし低山帯には冷温帯針広混交林と冷温帯落葉広 葉樹林が分布していたとされている(Gotanda & Yasuda, 2008)

このように、これまで復元された中部日本から西南日本 にかけての植生の水平・垂直分布図では、より北方の高標 高域から南方の低標高域に向かって、亜高山帯針葉樹林か

ら温帯針葉樹林、さらに針広混交林へ、亜寒帯性樹種から 温帯性樹種へと変化する様子が示されている。しかしなが ら, 白杯高津では当時の日本海の海岸線から 30 km 程度 しか離れていない上,現標高220mと比較的低標高であ るにもかかわらず、亜高山帯針葉樹林が分布していた。こ のことは、温帯針葉樹林や針広混交林の分布域内でも、地 域的な気候や地形の違いによって亜高山帯針葉樹林が発 達していたことを示している。白杯高津の化石群に含まれ るマツ科針葉樹のうち、チョウセンゴヨウとヤツガタケト ウヒ Picea koyamae に近似のトウヒ属バラモミ節は福岡 県北九州市貫川(標高4m)の20,100±250 yrs BPの年 代値を示す泥炭層(畑中, 1994)から、トウヒ、シラビソ、 コメツガは宮崎県えびの市飯野(標高 300 m)の姶良 Tn 火山灰の下の最終氷期の地層(Miki & Kokawa, 1962) から産出している。えびの市の化石記録は最終氷期最寒冷 期以前の MIS3 に属するが、その化石記録からは最終氷期 最寒冷期には亜高山帯針葉樹の分布は九州南部にまで広 がっていたことがわかる。したがって,現在では気温によっ て分布域がわかれているトウヒ,シラビソ,コメツガ,チョ ウセンゴヨウといった亜高山帯針葉樹と、モミ、ウラジロ モミ、ツガ、ヒメコマツ、アカマツといった温帯針葉樹の 水平・垂直分布域は、最終氷期最寒冷期には現在よりも広 い範囲で重なっていたと考えられる。

最終氷期最寒冷期の植生の分布には、気候だけではな く地形の違いが大きく影響していたことが、関東地方の大 型植物化石群の検討により明らかになっている。西内ほか (2015) は関東地方とその周辺から報告された大型植物化 石群の組成と立地環境を比較し、トウヒ、コメツガ、シラ ビソ、ダケカンバといった現在の亜高山針葉樹林の優占種 は丘陵から山地域に主に分布し、トウヒ属バラモミ節、カ ラマツ属 Larix, チョウセンゴヨウは低地の湿地林とその 周辺で落葉広葉樹と混交していたことを明らかにした。一 方, Momohara et al. (2016) は, 関東平野東部を構成す る開析谷谷底から台地上にかけての植生配置を大型植物化 石群と花粉化石群の組成から復元し、現在よりも降水量の 少ない最終氷期最寒冷期には、気温条件だけではなく谷か ら尾根への乾湿の傾度が植生の分布に大きく影響していた と考えた。さらに、大型植物化石群を構成する植物の分布 温度範囲の比較にもとづき,温帯性樹種の分布が湿潤な谷 筋に限定されたことで、温帯性樹種との競争が緩和された 亜高山帯針葉樹が冷温帯の温度域に分布拡大したと考えた。 したがって, 西南日本でも亜高山針葉樹林構成種が温帯針 葉樹林や針広混交林の分布域に広く分布拡大し、地形によ る乾湿の度合いや降水量の変化に応じてその優占の度合い が変化していた可能性がある。

3. 最終氷期最寒冷期の中国地方の植生分布と地形との関係

これまで報告された中国地方の最終氷期最寒冷期の大 型植物化石記録は少なく、次に述べる2件の報告しかな い. 岡山県八東村花園(標高430 m, 図6の地点6)では, 21,710 ± 760 yrs BP の¹⁴C 年代値が得られた地層からヒ メバラモミ Picea maximowiczii とハコヤナギ属 Populus が報告されている(大西, 1974)。鳥取県日南町下花口(標 高 485 m, 図 6 の地点 5) では、22,030 ± 1240 yrs BP の ¹⁴C 年代値が得られた地層からコメツガ, チョウセンゴヨウ, トウヒ属,モミ属が産出している(大西ほか,1987)。一方, 花粉化石記録は中国山地の標高約400~1000 mの湿原 や盆地の堆積物を中心に報告されている(図6)。Tsukada (1985) が最終氷期最寒冷期の植生図に示したように、日 本海側海岸平野から中国山地へ向けての標高の変化に応じ て, 針広混交林から温帯針葉樹林, 亜高山帯針葉樹林へと 変化したかどうかを検討するために,隠岐島(図6の地点1) と瀬戸内海地域(図6の地点9)とともに、中国山地の7



図6 中国地方の最終氷期最寒冷期の植生分布 (Tsukada, 1985) と花粉分析地点.1, 隠岐島島後 (Takahara et al., 2001);2, 細池湿原 (Miyoshi, 1989);;3, 大沼湿原 (Miyoshi & Yano, 1986);4, 沼原湿原 (杉田・塚田, 1983);5, 日南町下花口 (大西, 1990);6, 八束村花園 (大西, 1974);7, 宇生賀盆地 (畑中・三好, 1980);8, 白杯高津 (本研究);9, 尾道造船所 (安田, 1985).

Fig. 6 Paleovegetation distribution (Tsukada, 1985) and sites of pollen analysis of the last glacial maximum sediments in Chugoku District. 1, Dogo Island, Oki (Takahara et al., 2001); 2, Hosoike Moor (Miyoshi, 1989); 3, Ohnuma Moor (Miyoshi & Yano, 1986); 4, Nonbara Moor (Sugita & Tsukada, 1983); 5, Shimohanaguchi, Nichinan (Onishi, 1990); 6, Hanazono, Yatsuka (Onishi, 1974); 7, Ubuka Basin (Hatanaka & Miyoshi, 1980); 8, Shirotsuki-Takatsu (This paper); 9, Shipyard in Onomichi (Yasuda, 1985).



図7 中国地方の最終氷期最寒 冷期堆積物の高木花粉化石組成. 地点番号は図6と同じ.

Fig. 7 Fossil tree pollen composition in the last glacial maximum sediments in Chugoku District. Locations are plotted in Fig. 6.

地点の花粉化石記録から高木花粉を抽出し標高順に並べた (図 7)。花粉化石が検出された堆積物から得られた¹⁴C 年 代値の範囲が,最終氷期最寒冷期である 30,000 ~ 19,000 cal BP (Lambeck et al., 2002; Clark et al., 2009) に相 当する約 27,000 ~ 17,000 yrs BP の範囲のデータを選び, 高木花粉割合を平均化した。マツ属については,マツ属が 亜属レベルで同定されている場合はマツ属複維管束亜属 *Pinus* subgen. *Diploxylon* をその他の温帯針葉樹に含めた。

カバノキ属とマツ属の産出割合の関係は Tsukada (1983) が指摘したように相補的で、カバノキ属が多いところでは マツ属が少なく、反対にマツ属が多いところではカバノキ 属が少ないという傾向が見られた。隠岐島島後(地点1, Takahara et al., 2001)のほか、中国山地東部の細池湿原 (地点2, Miyoshi, 1989)、大沼湿原(地点3, Miyoshi & Yano, 1986)、日南町下花口(地点5,大西, 1990)で カバノキ属が比較的多い。一方、中国山地西部の沼原湿原 (地点4,杉田・塚田, 1983)や宇生賀盆地(地点7,畑中・ 三好, 1980)では、白杯高津(地点8)と同様にカバノキ 属は比較的少ない。瀬戸内海地域の尾道造船所(地点9, 安田, 1985)の花粉化石群にはカバノキ属が含まれずマツ 属が高率で含まれており、Tsukada(1985)が図示した瀬 戸内海中部を中心とするマツ属が優占する温帯針葉樹林を 代表する組成となっている。

カバノキ属, ハンノキ属を除く落葉広葉樹花粉の出現率 は, 中国山地の標高 430 ~ 970 m に位置する地点 2, 3, 4, 6 では 15 ~ 23 % と, 低標高で海岸線に近い地点 1 (隠岐島島後) や 8 (白杯高津) よりも高い値を示している。 たとえば, 地点 2 の細池湿原 (標高 970 m) ではコナラ 属コナラ亜属が高木花粉の約 9%, ブナ属が約 2% を占め, 地点 6 の八束村花園 (標高 430 m) ではコナラ属コナラ 亜属が約7%, ブナ属が約5%出現する(大西, 1974)。 一方,日南町下花口(地点5,標高485m)や宇生賀盆地(地 点7,標高390m)では,白杯高津と同様に,標高500m 以下の地点であるにもかかわらずマツ科針葉樹やカバノキ 属が多く,コナラ亜属やブナ属といった落葉広葉樹が少な い。日南町下花口の大型植物化石群は,コメツガ,チョウ センゴヨウといった亜高山帯針葉樹を含むことで,白杯高 津の化石群に類似する。したがって,最終氷期最寒冷期の 中国地方の植生分布は,沿岸部から山地域へと標高が高く なるにつれてマツ科針葉樹が増え,温帯落葉広葉樹が減少 するという単純な変化ではないことがわかる。

比較的高標高域であるにもかかわらず、温帯性の落葉広 葉樹種の花粉の出現率が高い場所はいずれも、試料が採取 された湿原の周囲に緩斜面がある場所である。地点2は尾 根筋の緩斜面に発達した湿原,地点3,4,6は緩斜面に かこまれた湿原である。このような場所では、緩斜面下部 の湿原周囲には土壌が厚く堆積した中湿の場所があり、そ こがナラ類やブナ類の生育に適した立地環境であったと考 えられる。一方、日南町下花口周辺は、白杯高津と同様に 比較的急な斜面に囲まれた狭い谷沿いに位置する。した がって、高標高地でも広い水域のある湿原などの近辺には 落葉広葉樹が生育し、低標高地であっても急な斜面にはコ メツガを始めとする亜高山帯針葉樹が多く分布していたと 考えられる。以上のことから、最終氷期最寒冷期の中国地 方の植生分布は Tsukada (1985) の示したような沿岸部, 内陸低地、内陸高地へと温帯性樹種から亜寒帯性樹種へと 連続的に優占種が移り変わるのではなく、同じ標高域でも 温帯性樹種や亜高山帯針葉樹が地形に応じて棲み分けて いた可能性が高い。

地点1の隠岐島島後ではスギ花粉がおよそ5%の出現

率を示すことから、最終氷期最寒冷期のスギの逃避地が隠 岐島とその周辺にあったと考えられている(Takahara et al., 2001)。スギ花粉は、中国山地東部の大沼湿原と中国 山地西部の沼原湿原でも数%の出現率を示す(図7)。塚 田(1980)は最終氷期の日本海沿岸帯にスギが分布して いたと推測し、塚田(1987)は宇生賀盆地で1%以下な がら連続的にスギ花粉が出現することから、中国地方西部 にもスギがあったと考えた。高原(1998)は完新世の中期 になっても中国地方中部ではスギの分布拡大が見られない ことを指摘し、この地域は最終氷期最寒冷期に隠岐島まで 海岸線が及んだことによって内陸的な乾燥気候になり、ス ギの生育に適さなかったこと、晩氷期以降の海面上昇に よって逃避地である隠岐島周辺が水没し、隠岐島からの 分布拡大が困難であったことが原因であると推測している。 今回の白杯高津では隠岐島の地点1と同様に当時の海岸線 にきわめて近く低標高でありながら、検出されたスギ花粉 は1粒のみであり、近辺にスギの生育地があったとは考え られない。したがって、日本海の海岸沿いにスギの逃避地 が広く分布していたわけではなく、中国山地の西側と東側 に逃避地の分布が限定されていたため、中国地方中部への スギの分布拡大が遅れたと考えられる。

4. 博物館所蔵標本の再検討の意義

最終氷期に限らず、過去に大型植物化石が採取された 露頭のほとんどは現在消失してしまい、化石の再採集は困 難である。本研究では、博物館で保管されている大型植物 化石標本を再検討することで、標本のAMS¹⁴C年代を明 らかにし、大型植物化石に付着した堆積物の花粉化石群を 取り出し大型植物化石の産状と比較することで、採取地点 周辺の古植生をより詳細に明らかにした。近年、酸素同位 体比に基づいた最終氷期の気候変動が詳細に明らかになり, 気候変化と植生・フロラ変遷との関係を明らかにするため、 AMS¹⁴C年代に基づく精度の高い編年が必要不可欠になっ てきた。一方、これまで報告された最終氷期の大型植物化 石記録の¹⁴C年代値は,植物化石産出層に含まれる材化石 のベータ線計数法によることが多い。材化石は上下の地層 から混入する可能性があるため、これまでの最終氷期の大 型植物化石記録には年代値に疑問が残る。エタノールの液 浸が試料の年代値に及ぼす影響はなく(工藤ほか,2011), AMS 法では球果などの標本を大きく破損することなく年 代測定が可能なので、博物館などに保管されている植物化 石標本を使ってそのAMS¹⁴C年代を検討する意義は大きい。

これまでに報告された最終氷期の植物化石の研究では, 同じ地点で大型植物化石と花粉化石の両方が検討されて いても,それらが同じ地層から採取された試料かどうかわ からない例も多い。今回,検討した大型植物化石標本は洗 浄済みの標本であるが、枝条や球果鱗片の表面や隙間に 付着した堆積物から、花粉化石群の組成を検討する上で十 分な個数の花粉粒が得られることが明らかになった。大型 植物化石標本に付着した堆積物に含まれる花粉化石群を調 べ、大型植物化石群と比較することで、大型植物化石、花 粉化石それぞれ単独でおこなうよりも詳細に古植生の空間 的分布と当時の植物相を復元することが可能になる。さら に、大型植物化石標本に付着した堆積物の粒度組成からは、 河道内で堆積した異地性の高い化石群か、後背湿地で堆積 した原地性の高い化石群かといった、堆積環境の推定も可 能である。このように、これまで報告され、保管されてい る大型植物化石標本の再検討によって、これまで蓄積され た日本の植生史情報をさらに精度の高いものに変えること ができる。

謝 辞

本研究は、日本学術振興会科研費課題番号 26292087 および 26282077 の助成により行われた。

引用文献

- Bronk Ramsey, C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51: 337–360.
- Clark, P. U., Dyke, A. S., Shakun, J. D., Carlson, A. E., Clark, J., Wohlfarth, B., Mitrovica, J. X., Hostetler, S. W. & Marshall McCabe, A. 2009. The Last Glacial Maximum. *Science* 325: 710–714.
- Gotanda, K. & Yasuda, Y. 2008. Spatial biome changes in southwestern Japan since the Last Glacial Maximum. *Quaternary International* 184: 84–93.
- 畑中健一・三好教夫. 1980. 宇生賀盆地(山口県)におけ る最終氷期最盛期以降の植生変遷. 日本生態学会誌 30: 239-244.
- 畑中健一・野井英明. 1994. 北部九州における最終氷期最盛 期の花粉群集. 北九州大学文学部紀要(人間関係学科)1: 9–13.
- 鹿野和彦・宝田晋治・牧本 博・土谷信之・豊 遥秋. 2001. 温泉津及び江津地域の地質.地域地質研究報告(5万分の 1地質図幅). 129 pp. 地質調査所,茨城.
- 吉良竜夫. 1948. 温量指数による垂直的な気候帯のわかちかた について. 寒地農学 2: 143–173.
- 吉良竜夫・吉野みどり. 1967. V 日本産針葉樹の温度分布-中部地方以西について-. 「自然 生態学的研究」(森下正 明・吉良竜夫編), 133-161. 中央公論社, 東京.
- 粉川昭平・塚腰 実・南木睦彦・百原 新,2006. 三木茂博 士収集植物化石および現生植物標本目録. 大阪市立自然史 博物館収蔵資料目録第 38 集. 254 pp. 大阪市立自然史博 物館,大阪.
- 工藤雄一郎・百原 新・中村俊夫. 2011. エタノール溶液で保存した植物遺体の¹⁴C年代測定について—¹⁴C年代に与える影響の有無に関する比較実験—. 植生史研究 18: 77–82.

- Lambeck, K., Yokoyama, Y. & Purcell, T. 2002. Into and out of the Last Glacial Maximum: sea-level change during Oxygen Isotope Stages 3 and 2. *Quaternary Science Reviews* **21**: 343–360.
- Miki, S. 1956. Remains of *Pinus koraiensis* S. et Z. and associated remains in Japan. *The Botanical Magazine*, *Tokyo* 69: 447–455.
- Miki, S. 1957. Pinaceae of Japan, with special reference to its remains. *Journal of the Institute of Polytechnics*, Osaka City University, Ser. D 8: 221–272, pls. 1–10.
- Miki, S. & Kokawa, S. 1962. Late Cenozoic floras of Kyushu, Japan. *Journal of Biology, Osaka City University* 13: 65–85, pls. 1–12.
- Minaki, M. 1983. Morphology of *Pinus armandii* aff. var. *amamiana* from the Middle Pleistocene of Japan. *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica* 34: 4–6.
- Miyoshi, N. 1989. Vegetational history of the Hosoike moor in the Chugoku mountains, western Japan during the Late Pleistocene and Holocene. *Japanese Journal of Palynology* **35**: 27–42.
- Miyoshi, N. & Yano, N. 1986. Late Pleistocene and Holocene vegetational history of the Ohnuma moor in the Chugoku mountains, western Japan. *Review of Palaeobotany and Palynology* 46: 355–376.
- Momohara, A., Yoshida, A., Kudo, Y., Nishiuchi, R. & Okitsu, S. 2016. Paleovegetation and climatic condition of a refugium of temperate plants in central Japan in the last glacial maximum. *Quaternary International* 425: 38–45.
- 那須孝悌. 1980. ウルム氷期最盛期の古植生について.「文 部省科学研究費補助金総合研究(A) 334049 ウルム氷期 以降の生物地理に関する総合研究 昭和 54 年度報告書」, 55–66.
- 西内李佳・百原 新・遠藤邦彦・大里重人・沖津 進.2015. 最終氷期最寒冷期末期の北関東丘陵域における古植生分 布—宇都宮市中里の植物化石群からの復元—.第四紀研究 54:185–201.
- 大西郁夫. 1974. 山陰地方の第四紀中・後期の植物化石. 島 根大学文理学部紀要(理科学編) 7: 101–115.
- 大西郁夫. 1990. 日本海西部沿岸地域の更新世中期以降の植 生変化. 第四紀研究 29: 223-234.
- 大西郁夫・赤木三郎・三好 環. 1987. 鳥取県産含チョウ センマツ泥炭層の¹⁴C年代—日本の第四紀層の¹⁴C年代 (166) —. 地球科学 41: 251–252.

- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Haflidason, H., Hajdas, I., Hatt, C., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. S. M. & van der Plicht, J. 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55: 1869–1887.
- 杉田真哉・塚田松雄. 1983. 山陰地方・沼原湿原周辺における過去 1.7万年間の植生変遷史. 日本生態学会誌 33: 225-230.
- 高原 光. 1992. 日本産ツガ属の花粉形態. 京都府立大学農 学部演習林報告 36: 45–55.
- 高原 光. 1994. 近畿地方および中国地方東部における最終 氷期以降の植生変遷. 京都府立大学農学部演習林報告 38: 89–112.
- 高原 光. 1998.3 スギ林の変遷.「図説日本列島植生史」(安田喜憲・三好教夫編),207-223.朝倉書店,東京.
- 高原 光. 2011. 日本列島とその周辺域における最終間氷期 以降の植生史.「環境史をとらえる技法」(湯本貴和編), 15-43. 文一総合出版,東京.
- Takahara, H., Tanida, K. & Miyoshi, N. 2001. The fullglacial refugium of *Cryptomeria japonica* in the Oki Islands, western Japan. *Japanese Journal of Palynology* 47: 21–33.
- Tsukada, M. 1983. Vegetation and climate during the last glacial maximum in Japan. *Quaternary Research* 19: 212–235.
- Tsukada, M. 1985. Map of vegetation during the Last Glacial Maximum in Japan. *Quaternary Research* 23: 369–381.
- Tsukada, M. 1988. Japan. "Vegetation History" (Huntley, B. & Webb, T. III, eds.), 759–518. Kluwer, Dordrecht.
- 塚田松雄. 1980. 杉の歴史:過去一万五千年間. 科学 50: 538-546.
- 塚田松雄. 1987. 第四紀後期の植生変遷史. 「日本植生誌 3 東北」(宮脇 昭編), 93–126. 至文堂, 東京.
- 津村義彦・百原 新. 2011. 植物化石とDNA からみた温帯 性樹木の最終氷期最盛期のレフュージア.「環境史をとら える技法」(湯本貴和編), 59–75. 文一総合出版,東京.
- 安田喜憲. 1985. 環日本海文化の変遷—花粉分析学の視点から—. 国立民族学博物館研究報告 9:761–798.

(2016年12月27日受理)