

(原著論文)

丹後半島大フケ湿原周辺における最終氷期以降の植生変遷

高原 光¹⁾・植村 善博²⁾・壇原 徹³⁾・竹村 恵二⁴⁾・西田 史朗⁵⁾¹⁾ 京都府立大学農学部附属演習林 〒606-8522 京都市左京区下鴨半木町1-5²⁾ 佛教大学文学部史学科 〒603-8301 京都市北区紫野北花ノ坊町96³⁾ 京都フィッシュントラック 〒603-8832 京都市北区大宮南田尻町44-4⁴⁾ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町⁵⁾ 奈良教育大学教育学部地学教室 〒630-8528 奈良市高畑町

(1999年5月10日 受付, 1999年6月12日 受理)

Vegetation History since the Last Glacial around Oofuke Moor,
in the Tango Peninsula, Western JapanHikaru TAKAHARA¹⁾, Yoshihiro UEMURA²⁾, Toru DANHARA³⁾,
Keiji TAKEMURA⁴⁾ and Shiro NISHIDA⁵⁾¹⁾ *University Forests, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University,
1-5, Hangi-cho, Shimogamo, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8522 Japan*²⁾ *Department of history, Faculty of Literature, Bukkyo University,
96, Kitahananobo-cho, Murasakino, Kita-ku, Kyoto, 603-8302 Japan*³⁾ *Kyoto Fission-Track Co., Ltd.**44-4, Minamitajiri-cho, Omiya, Kita-ku, Kyoto, 603-8832 Japan*⁴⁾ *Division of Earth and Planetary Science, Graduate school of Science, Kyoto University,
Oiwake-cho, Kitashirakawa, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8502 Japan*⁵⁾ *Department of Earth Science, Faculty of Education, Nara University of Education,
Takahata-cho, Nara, 630-8528 Japan*

Fossil pollen from a core taken from the Oofuke Moor (alt. 550m) in the Tango Peninsula, northern Kyoto Prefecture, revealed the history of the surrounding vegetation since the last interstade. Four key tephra layers and four radiocarbon datings were used for the chronology of the sediment. During the interstade (before about 30,000 yr B.P.), the forests were composed of *Cryptomeria japonica*, *Fagus crenata*, and *Quercus* (*Lepidobalanus*), with *Tsuga sieboldii* and *Pinus* (*Haploxyton*). From 30,000 to 12,000 yr B.P., the forests were dominated by boreal (subalpine) conifers in the Pinaceae, such as *Tsuga diversifolia* and *Picea jezoensis*, with *Betula* trees. During the full glacial, the maximum development of pinaceous conifers occurred. The coniferous forests gradually diminished after 14,000 yr B.P., and were abruptly replaced by cool-temperate broad-leaved forests composed of *F. crenata* and *Quercus* (*Lepidobalanus*) around 12,000 yr B.P. *Cryptomeria japonica* increased gradually after 12,000 yr B.P. and expanded

dramatically in the early postglacial (10,000 yr B.P.). In the Tango Peninsula it spread from the lowlands to mountain areas throughout the postglacial. Secondary forests of *Pinus densiflora* have expanded since 900 yr B.P., reflecting human disturbance of the original forests.

Key words : Pollen analysis, Tephra, Last glacial, Postglacial, vegetation history

はじめに

これまで、近畿地方における花粉分析学的研究は、多くの地点で行われてきた。琵琶湖⁽¹⁾や大阪湾^(2, 3)では第四紀後期における氷期・間氷期の繰り返しに対応した植生変遷が、三方低地⁽⁴⁻⁷⁾では、最終間氷期以降の詳細な植生変遷が解明されてきた。また、最終氷期以降については、これまでの公表された多くの資料を総合して、近畿地方における植生変遷がかなり明らかにされている^(8, 9)。近畿地方は地理的には西日本の東部にあたり、植生の拡大・縮小過程を解明するためには、重要な位置にある。特にスギ林の植生史を解明するためには、最も重要な地域の一つである。なぜなら、近畿地方から北陸地方日本海側の若狭湾沿岸は、最終氷期最盛期におけるスギの逃避地の一つと考えられているからである⁽¹⁰⁾。近年、若狭湾沿岸域で最終氷期以降の連続した植生変遷が解明され、詳細なスギ林の変遷が解明されてきた^(4-7, 11)。

本研究は、上記の若狭湾西部に位置する丹後半島に

おける植生変遷を解明し、スギを始め、照葉樹林、ブナ林などの分布の拡大・縮小過程を明らかにしようとするものである。これまで、丹後半島では乗原⁽¹²⁾、下岡、矢田⁽¹³⁾、木子⁽¹⁴⁾などで花粉分析による植生変遷に関する研究が行われてきた。しかし、連続した最終氷期以降の植生変遷に関する資料はなかった。ここに報告する大フケ湿原(上記の木子と同一地点)の堆積物は、少なくとも30,000年間の植生変遷を記録しており、丹後半島の植生史を解明する上で貴重な資料を提供するものである。

調査地の概況

大フケ湿原は京都府北部の丹後半島南東部に位置し(京都府宮津市上世屋北緯35°39'50", 東経135°11'00"), 標高550m, 面積約2.0haである(Fig. 1)。

上世屋、木子の小起伏面周辺には大規模な地すべり地塊が多く、そこには湧き水によって低湿地が分布している⁽¹⁵⁾。大フケ湿原は、このような低湿地の一つ

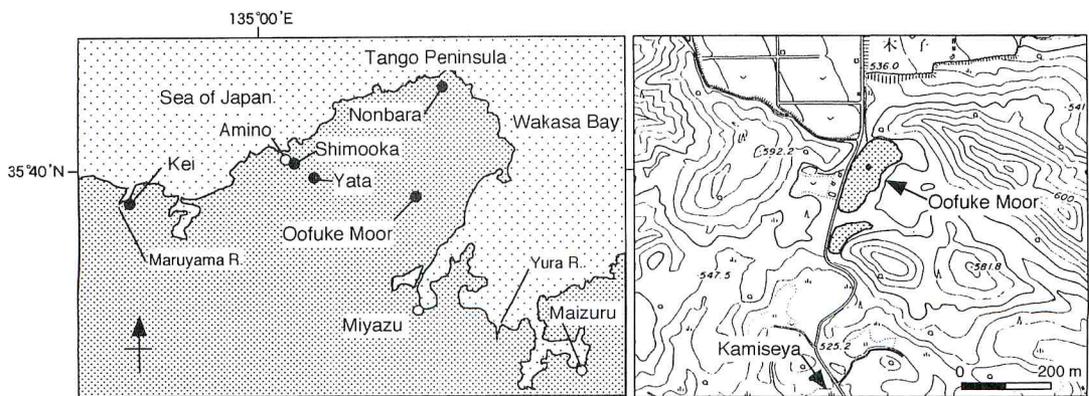


Fig. 1. Location map of the Oofuke Moor, Kyoto Prefecture, Japan.

The right-hand map is part of 1 : 10,000 topographical map of Miyazu City issued by the Miyazu City. A solid circle in the right-hand map shows the boring point. Solid circles in the left-hand map show the sites that are used in correlation between local pollen assemblage zones in Fig. 6.

であり、緩斜面上の小規模な盆地状の地形に形成されている。周辺の地質は、第三紀中新統の豊岡累層に属しており、上世屋頁岩砂岩層、内山礫岩層が広く分布している⁽¹⁶⁾。

付近の気象状況は、年降水量 2,300mm 以上、最深積雪深約 2 m⁽¹⁷⁾、暖かさの指数約 86°C・月（峰山観測所の気象観測値⁽¹⁸⁾ から推定）であり、冷温帯と暖温帯の境界に位置している。

湿原周辺の植生はコナラ、クリ、ミズナラ、イヌシデ、クマシデ、ホオノキ、イタヤカエデなど落葉広葉樹の二次林である。湿原内はヨシが優勢であり、オオミズゴケが一面に繁茂し、サワオグルマ、ミゾソバ、ゴウソ、ヤマドリゼンマイなど湿地性の植物が生育している。また、やや乾燥したところには低木状にノリウツギ、レンゲツツジ、ツノハシバミ、アカマツなどが認められる。

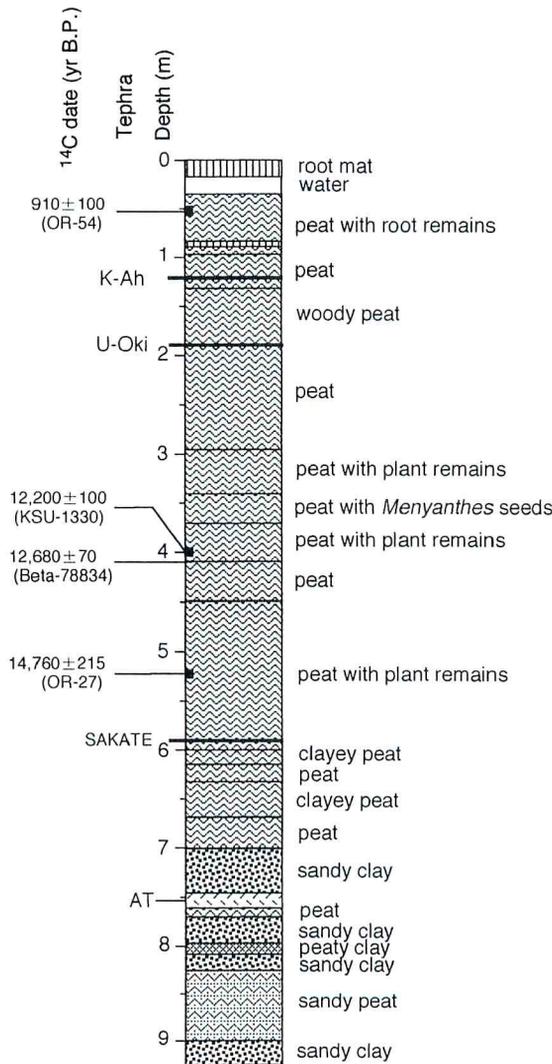


Fig. 2. Lithology of the core from the Oofuke Moor, Kyoto Prefecture.

Detailed descriptions of radiocarbon dates are shown in Table 3. The ages of K-Ah, U-Oki, SAKATE, and AT were estimated at ca. 6,300^(25, 26), 9,300^(26, 27), 16,000⁽⁷⁾, and 25,000⁽²⁸⁾ yr B. P., respectively.

試料と分析方法

湿原の中央部 (Fig. 1) において、深度 5.36m まではシンウォールサンプラーを、それ以下についてはヒラー型ハンドボーラーを用いて、深度 923cm までの堆積物を採取した。

堆積物中には後述するように火山灰層が認められた。火山灰については、火山ガラスの屈折率測定を温度変化型屈折率測定装置^(19, 20)によって、化学成分分析をエネルギー分散型マイクロアナライザー (EDX)⁽²¹⁾によって行った。

また、深度 46 - 58cm, 390 - 400cm, 520 - 530cm の泥炭試料および深度 410cm から採取したミツガシワの種子を、放射性炭素年代測定用の試料に用いた。

花粉分析用試料として、上記堆積物の柱状試料から、2 cm の厚さで 61 試料を採取した。堆積物から化石花粉を抽出する方法は、Takahara *et al.*⁽²²⁾ に示した方法によった。光学顕微鏡による検鏡は、通常 400 倍の倍率で行い、必要に応じて 1000 倍の倍率も用いた。化石花粉の検鏡はプレパラートの全面にわたって行い、出現した花粉の分類群を記録した。計数は、各試料ごとに高木花粉総数が 350 個以上になるまで行った。各試料における総花粉胞子数では約 450 - 1800 粒

を計数した。また、花粉分布図における各分類群の出現率は、高木花粉総数に対する百分率として算出されている。

結 果

堆積物と年代

堆積物の層相は、Fig. 2 に示したように、深度 7 m まではほとんどが未分解の植物遺体を含む泥炭あるいはよく分解の進んだ泥炭、それ以下の深度では粘土質泥炭、砂質粘土、砂質泥炭で構成されている。

堆積物には明瞭な火山灰層が 4 枚存在していた。また、試料の洗い出しによって、2 枚の火山灰が確認された。これらのうち明瞭な 4 枚の火山灰については、屈折率 (Table 1) と化学組成 (Table 2) に基づき、深度 120 - 121cm の火山灰は鬼界 - アカホヤ火山灰 (K-Ah), 184 - 188cm の火山灰は麓陵 - 隠岐火山灰 (U-Oki), 760 - 764cm (堆積物中では 746 - 764cm に火山ガラスが集中していた) の火山灰は始良 Tn 火山灰 (AT) と同定された。深度 591 - 592cm の火山灰は屈折率から阪手火山灰 (SAKATE) と同定され、三方低地の水月湖、三方湖、黒田低地で認められたもの^(7, 23)あるいは琵琶湖堆積物の BT6⁽²⁴⁾に対比され

Table 1. Refractive index of volcanic glass shards in the sediment from the Oofuke Moor.

Depth (cm)	Minimum	Maximum	Mean	St. dev	Count*
120 - 121	1.5101	1.5142	1.5120	0.0007	30
184 - 188	1.5193	1.5214	1.5204	0.0008	30
591 - 592	1.4972	1.5009	1.4994	0.0008	30
760 - 764	1.4978	1.5008	1.4996	0.0008	30

*Count of glass shards

Table 2. Major element compositions of volcanic glass shards in the sediment from the Oofuke Moor. Each result is determined by 20 glass shards analysis except the sample from 184 - 188cm that is by 2 glass shards.

Depth (cm)		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO
120 - 121	Mean	2.684	1.066	10.894	76.358	2.152	2.639	0.403	3.804
	St. dev.	0.773	0.258	0.369	0.676	0.099	0.339	0.058	0.409
184 - 188	Mean	5.000	0.945	16.625	65.975	5.190	1.900	0.240	4.120
	St. dev.	0.050	0.125	0.045	0.255	0.090	0.020	0.050	0.050
591 - 592	Mean	2.238	0.934	11.164	79.980	2.409	1.914	0.093	1.271
	St. dev.	0.442	0.251	0.217	0.568	0.358	0.224	0.029	0.158
760 - 764	Mean	2.322	0.747	10.490	80.369	2.618	1.432	0.097	1.924
	St. dev.	0.328	0.226	0.123	0.420	0.126	0.092	0.022	0.108

Table 3. Radiocarbon dates for the samples from the Oofuke Moor.

Depth (cm)	Material	Age (^{14}C yr. B.P.)	Lab. number*	Note
46 - 58	Peat	910 \pm 100	OR-54	Radiometric
395 - 405	Peat	12,200 \pm 100	KSU-1330	Radiometric
410	<i>Menyanthes</i> seeds	12,680 \pm 70	Beta-78834	AMS
520 - 530	Peat	14,760 \pm 215	OR-27	Radiometric

Radiocarbon dates are based on the 5,568 year half-life of ^{14}C .

*OR : Research Center of Radioisotopes, Osaka Prefecture University.

KSU : Kyoto Sangyo University. Beta : Beta Analytic Inc.

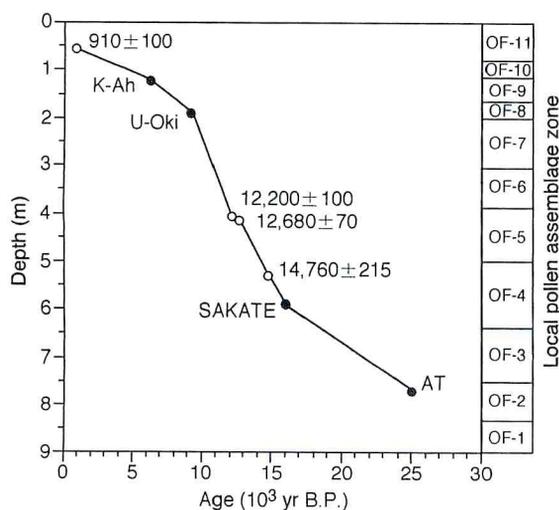


Fig. 3 Age-depth relationship of the core from the Oofuke Moor. Local pollen assemblage zones on the right are indicated in Fig. 4.

たが、化学組成からは阪手火山灰に同定できなかった。また、深度 622 - 630cm および 682 - 690cm からはそれぞれ大山上のホーキ、大山下のホーキが火山ガラスの屈折率から確認された。これらの火山灰については、現在、検討中であるので、火山灰層序について別途詳細に報告の予定である。

以上の確認された火山灰の堆積年代は、K-Ah 火山灰が約 6,300 年前^(25, 26)、U-Oki 火山灰が約 9,300 年前^(26, 27)、阪手火山灰が約 16,000 年前⁽⁷⁾、始良 Tn 火山灰が 25,000 年前⁽²⁸⁾ である。

堆積物の放射性炭素年代は Table 3 に示したように、深度 46 - 58cm で 910 \pm 100 yr B.P.、390 - 400cm で 12,200 \pm 100 yr B.P.、410cm で 12,680 \pm 70 yr B.P.、520 - 530cm で 14,760 \pm 215 yr B.P. である。

以上の火山灰および放射性炭素年代測定によって得られた年代をもとに、深度と年代の関係を Fig. 3 に示した。晩氷期から後氷期初期にかけては堆積速度約 0.060cm / 年であるが、後氷期には約 0.016cm / 年と堆積速度が遅くなっている。

花粉分析

大フケ湿原堆積物の花粉分析を行った結果、検出された各花粉、孢子の消長を Fig. 4 の花粉分布図に示した。本文中では、花粉分布図中の *Quercus* subg. *Cyclobalanopsis*, *Q.* subg. *Lepidobalanus* は、それぞれ *Cyclobalanopsis*, *Lepidobalanus* と、*Pinus* subg. *Haploxyylon* は *Pinus* (*Haploxyylon*) と記述する。

また、*Tsuga* 花粉は花粉を統計的に計測すれば、ツガ (*Tsuga sieboldii*) とコメツガ (*T. diversifolia*) の識別が可能である。すなわち、現生のツガとコメツガ花粉の marginal fringe を含む直径 (A) と本体の直径 (B) の比 A / B はグリセリンジェリー中で 1 年間保存後には、前者では 1.25 以下、後者では 1.20 以上になる傾向にある⁽²⁹⁾。そこで *Tsuga* 花粉の出現率が高い深度 9.0 ~ 3.8m では、*Tsuga* 花粉の A, B を測定し、A / B 比の度数分布を調べた (Fig. 5)。

Fig. 4 の花粉分布図によると、最下層の 9.0 ~ 8.4 m では *Cryptomeria*, *Lepidobalanus*, *Fagus crenata* の花粉が、8.4 ~ 3.8m では *Abies*, *Tsuga*, *Picea*, *Pinus* (*Haploxyylon*) のマツ科針葉樹と *Betula* が、3.8 ~ 2.0m では *Fagus crenata*, *Lepidobalanus*, *Cryptomeria* が、2.0m 以上では *Cryptomeria* がそれぞれ最も優勢となっている。また、0.8m 以上の表層付近では *Pinus* 花粉の増加が認められた。以上の優勢な樹木花粉とこれに伴う樹木花粉の消長に基づき、次の OF-1 ~ 11 の局地花粉帯を

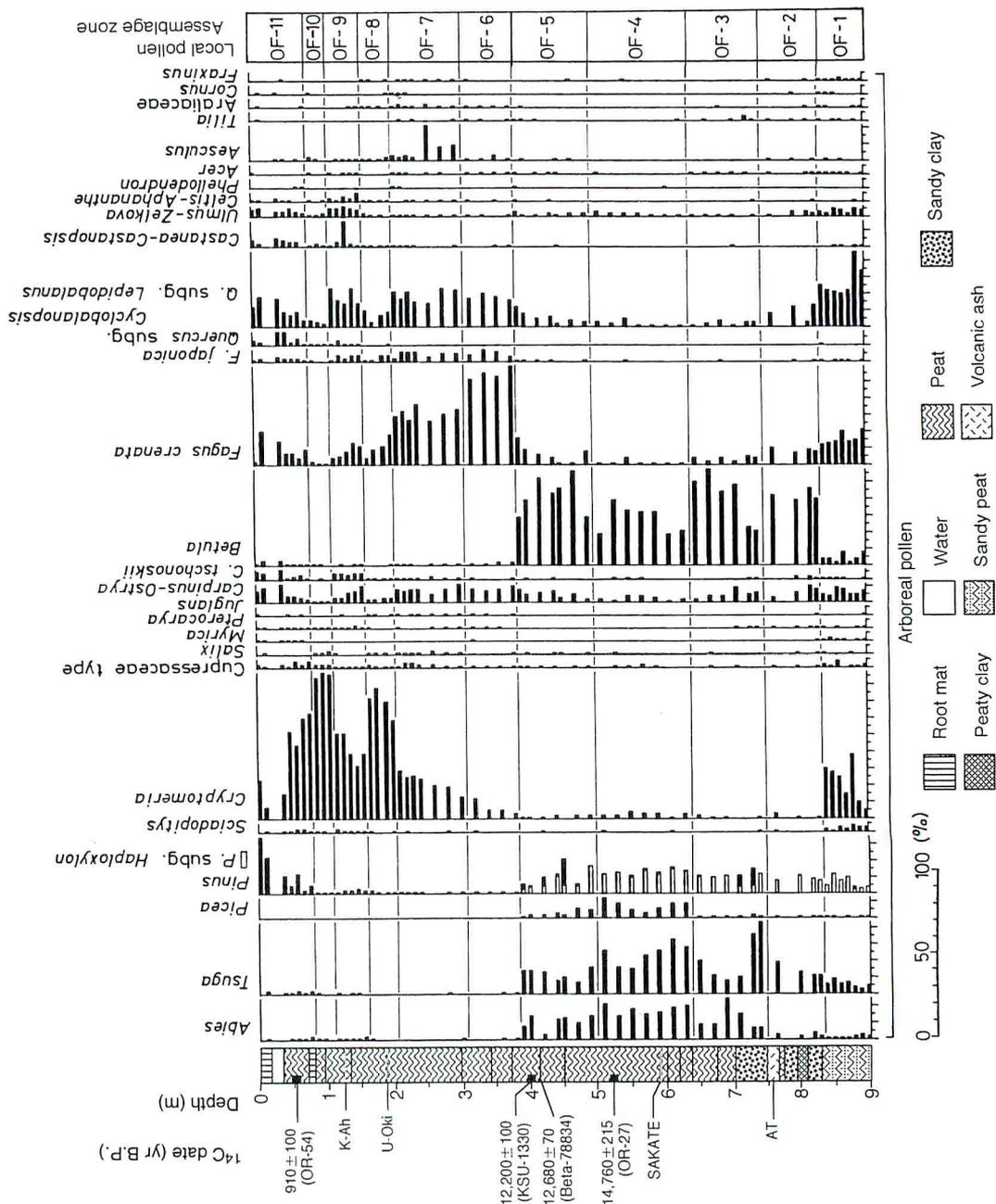


Fig. 4. Percentage pollen diagram of the core from the Oofuke Moor. The percentage values of each taxon are based on the sum of arboreal pollen grains in each sample.

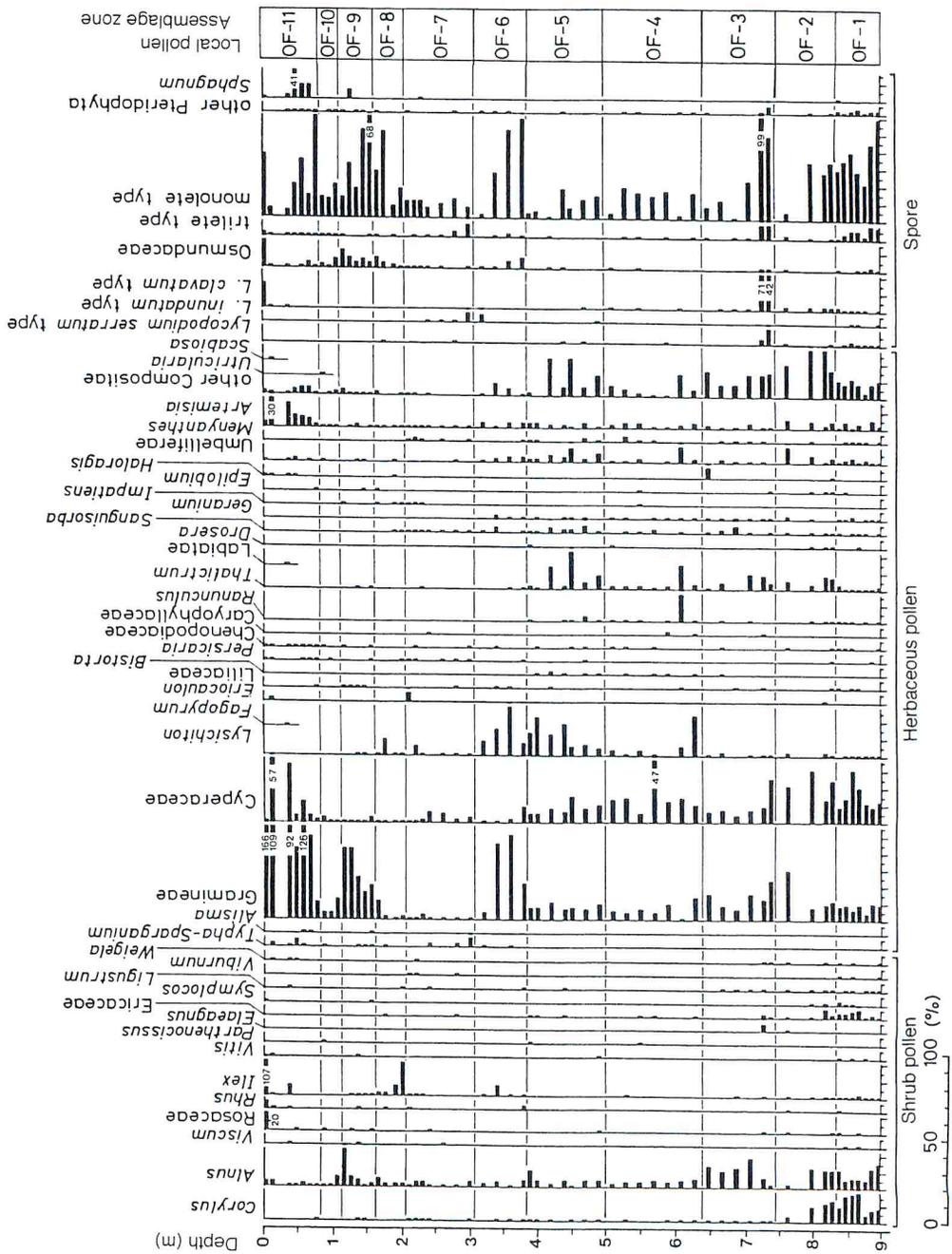


Fig. 4. continue

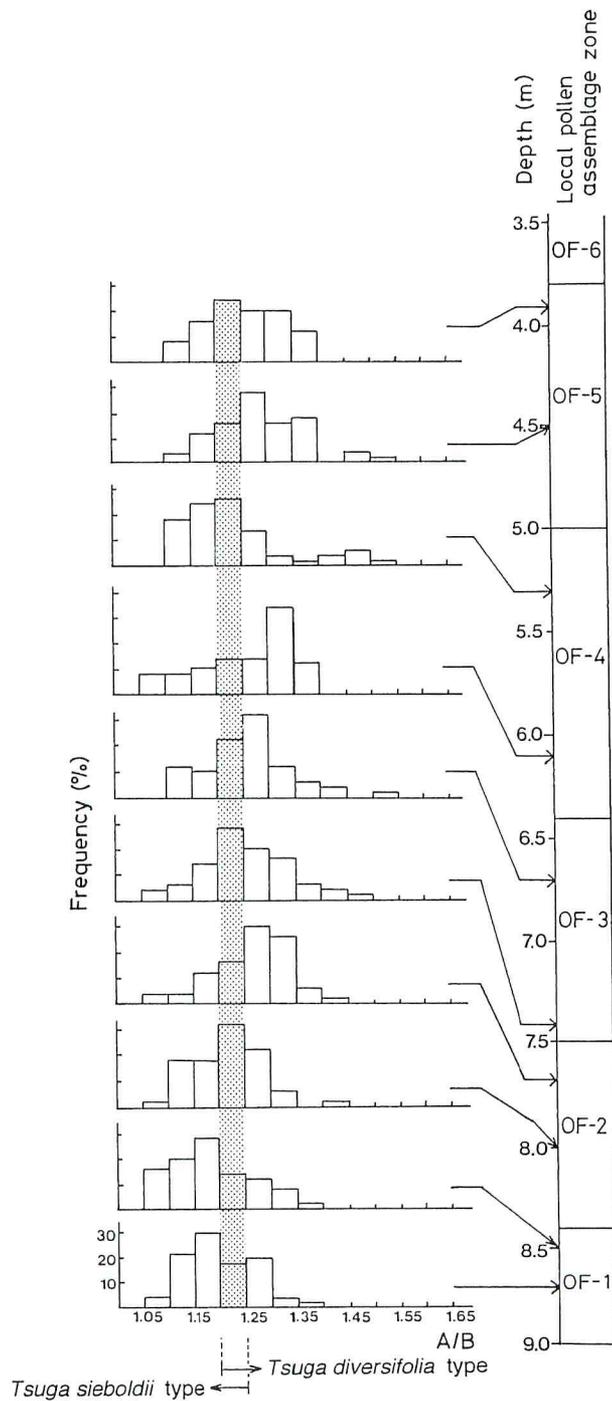


Fig. 5. The frequency distribution of the A / B ratio of fossil *Tsuga* pollen in layers where Pinaceae pollen was abundant.

A, the diameter including marginal fringe ; B, the diameter of the pollen body⁽²⁹⁾.

認めることができた。

局地花粉帯の特徴

OF-1帯：深度9.0～8.4mでは、*Cryptomeria*は10～40%、*Lepidobalanus*は20～45%、*Fagus crenata*は15～20%の出現率を示し、これらの3属の花粉が優勢である。また、*Tsuga*、*Pinus* (*Haploxyylon*)の針葉樹花粉がそれぞれ3～9%、3～12%を示している。*Tsuga*花粉のA/B比の度数分布 (Fig. 5) をみると、*T. sieboldii*型の側に分布の中心があった。

OF-2帯：深度8.4mからAT火山灰の降灰面の7.64mまでではマツ科花粉の中で*Tsuga*、*Pinus*の出現率が高い。広葉樹花粉では*Betula*が最も高く40～50%、*Fagus crenata*と*Lepidobalanus*は約10%を示している。

OF-3帯：深度7.46～6.4mでは、下層のOF-2帯から増加していた*Tsuga*、*Pinus*に加え*Abies*の出現率が増加する。これらのマツ科針葉樹と*Betula*が、全体の80%以上を占めている。AT火山灰層準直上で、*Tsuga*は急増し、*Abies*が増加を始めている。また、*Fagus crenata*と*Lepidobalanus*は2～5%に減少した。さらに、*Lycopodium*などのシダ植物の胞子が急増した。

OF-4帯：深度6.4～5.0mでは、これまで低率であった*Picea*が3～10%に増加し、*Betula*はやや減少し20～30%を示す。マツ科針葉樹と*Betula*の合計は80～95%に達している。*Fagus crenata*の出現率は、ほとんどの層で1%以下の低率を示した。また、深度5.96mの層準から針葉が検出された。この針葉の横断面は扁平であることから、トウヒ節の*Picea jezoensis*と同定された。

OF-5帯：深度5.0～3.8mでは、マツ科針葉樹花粉は減少傾向にあり、*Betula*は約50%まで増加する。また、上層へ向かって*Fagus crenata*、*Lepidobalanus*、*Carpinus-Ostrya*などの落葉広葉樹の花粉が増加している。

なお、上述のOF-2～5帯における*Tsuga*花粉は、*T. diversifolia*型が多く認められた (Fig. 5)。

OF-6帯：深度3.8～3.1mでは、*Fagus crenata*が50～60%を示し、最も優勢である。また、*Lepidobalanus*が15～20%の出現率を示している。*Cryptomeria*は3%から10%まで増加傾向にある。

OF-7帯：深度3.1～2.0mでは、*Fagus crenata*はやや減少し30～35%、*Lepidobalanus*は約20%

示している。一方、*Cryptomeria*は13%からしだいに増加し30%に達している。また、この層の下部では*Aesculus*の花粉が8～20%を示している。

OF-8帯：深度2.0～1.6mでは、*Cryptomeria*が60～80%を示し最も優勢である。また、*Fagus crenata*と*Lepidobalanus*の出現率は約10%を示すが減少傾向にある。

OF-9帯：深度1.6～1.1mでは、*Cryptomeria*が下層のOF-8帯よりもやや減少し30～50%を、*Fagus crenata*が10～5%、*Lepidobalanus*が15～20%を示している。また、*Carpinus-Ostrya*、*Carpinus tschonoskii*、*Ulmus-Zelkova*、*Celtis-Aphananthe*などの主に暖温帯性の落葉広葉樹花粉が約5%であるが増加している。暖温帯の代表的な常緑広葉樹である*Cyclobalanopsis*の花粉は低率ながら、この花粉帯から連続して認められるようになった。

OF-10帯：深度1.1～0.8mでは、*Cryptomeria*の出現率が約85%を示し、極めて優勢である。他の針葉樹や広葉樹花粉は5%以下に減少している。

OF-11帯：深度0.8～0mでは、*Cryptomeria*は下部の60%から表層付近の10～20%まで減少し、一方、*Pinus*は5～35%まで増加している。また、*Fagus crenata*と*Lepidobalanus*は5～20%を示している。また、草本花粉ではGramineae、Cyperaceae、*Artemisia*の出現率が高くなっている。

考 察

以上の結果に示した各局地花粉帯の花粉組成に基づき、各時代における森林植生について考察する。

最下層のOF-1帯の花粉組成から、この時代にはスギ、コナラ亜属、ブナを中心とする冷温帯性の森林が形成されていたと考えられる。また、これらにツガ属、マツ属単維管束亜属の樹木を伴っていた。ツガ属の樹種について、花粉形態からツガが多かったことが認められる。また、OF-1とOF-2帯の境界において、*Cryptomeria*の急減、*Betula*が急増が起り、堆積物も砂質泥炭から砂質粘土に変化している (Fig. 2) ことから、この境界には堆積物の不連続面があると考えられる。しかし、OF-1帯は、*Cryptomeria*と*Lepidobalanus*花粉が優勢であることから、三方湖^(4,5)のMG IとMG II帯、黒田低地のIW1⁽⁶⁾とKL12帯⁽⁷⁾ (KL12帯は約40,000～30,000年前)に對比できる。したがって、この時代は、亜間氷期 (お

そらく亜間氷期の間の40,000～30,000年前)に相当すると考えられる。

OF-2～5帯の堆積物はAT火山灰層と放射性炭素年代から判断して、少なくとも25,000年前以前(堆積速度からおそらく30,000年前)から12,000年前までの最終氷期亜氷期に相当する。これらの花粉帯を通して、マツ科針葉樹と*Betula*花粉の出現率を合計すると60～95%を示している。このような花粉組成およびOF-4帯で亜寒帯性樹種である*Picea jezoensis*の葉が検出されたことから、この時代には亜寒帯性針葉樹林が大フケ湿原周辺に形成されていたと考えられる。しかし、OF-2～5の各花粉帯において、マツ科針葉樹の各分類群は出現傾向が異なっており、これらに伴う*Fagus crenata*や*Lepidobalanus*の出現率にも増減がある。

OF-2帯の花粉組成から、この花粉帯に対応する時代はツガ属(コメツガが多い)、マツ属を中心とし、カバノキ属を伴う亜寒帯性針葉樹が分布域を拡大したことが認められる。また、*F. crenata*や*Lepidobalanus*の出現率が約10%を示すことから、ブナ、コナラ亜属を中心とする冷温帯性落葉広葉樹林が近辺に存在したと考えられる。このような森林構成から、大フケ湿原周辺は冷温帯上部から亜寒帯下部に位置していたと推定される。気候的には、寒冷であり、さらにブナの存在から、湿潤であったと考えられる。

OF-3帯の花粉組成は、AT火山灰の降灰後、植生が大きく変化したことを示している。冷温帯性落葉広葉樹林は後退し、モミ属、ツガ属、マツ属単維管束亜属のマツ科を中心とする亜寒帯性針葉樹林が発達した。特に、*Tsuga*花粉はAT火山灰降灰直後に急増する。また、*Tsuga*、*Abies*などのマツ科針葉樹花粉がAT火山灰降灰後OF-4帯まで増加傾向にある。このような針葉樹林への変化は、寒冷化が進む中で起こったものであるが、始良カルデラの巨大噴火の植生への影響も無視することはできない。上記のツガ属急増は大量の火山灰降灰による環境変化に起因している可能性がある。辻・小杉⁽⁹⁰⁾は、気候の寒冷化に伴ってAT降灰までにはすでに針葉樹林化が進行し、AT降灰によってその傾向が一気に促進されたことを指摘している。また、*Fagus crenata*花粉は数%～5%の出現率を示すことから、OF-3帯の時代にはブナが周辺に存在していたと考えられる。

OF-4帯では、*Picea*花粉が増加したことから、OF-3帯の時代におけるモミ属、ツガ属、マツ属単維管束亜属に加えてトウヒ属によって構成される亜寒帯

性針葉樹林が発達したことが認められる。このように亜寒帯性針葉樹林の発達とブナなどの落葉広葉樹の減少から、この時代には、最も寒冷な気候に支配されたものとみられる。AT火山灰と放射性炭素年代測定値から推定して(Fig. 3)、この時代の年代は約18,000～14,000年前と推定される。

OF-5帯におけるマツ科針葉樹花粉の減少と落葉広葉樹花粉の増加は、前時代に安定して優勢であったマツ科針葉樹が減少傾向を示して不安定になり、ブナをはじめとする冷温帯性落葉広葉樹が増加し始めたことを示している。OF-5帯の時代は放射性炭素年代測定値(Fig. 3)から約14,000～12,000年前であり、晩氷期初期に相当する。

OF-6～7帯の堆積物は、放射性炭素年代とU-OkI火山灰層から判断して、約12,000～10,000年前の晩氷期後期に相当する。これらの花粉帯では、*Fagus crenata*と*Lepidobalanus*の出現率が高く、ブナ、コナラ亜属を中心とする冷温帯性落葉広葉樹林が形成されたと考えられる。また、スギがOF-6帯の時代の初期の約12,000年前から増加し始めたことが認められる。OF-7帯での*Cryptomeria*、*Aesculus*の増加は冷温帯性落葉広葉樹林においてスギやトチノキが増加したことを示している。スギやトチノキは湿潤な環境を好む性質をもつことから、湿潤な立地が形成されたことが認められる。

OF-8～10帯では*Cryptomeria*が急増し最も優勢であることから、スギの優勢な森林が形成されたと考えられる。また、ブナ、コナラ亜属などの冷温帯性の樹種も森林を形成していた。OF-9帯の時代には、イヌシデ、ケヤキ、エノキ、ムクノキなどの暖温帯性の落葉広葉樹も増加した。OF-10帯における*Cryptomeria*以外の各樹木花粉の減少は、湿原周辺における*Cryptomeria*花粉の急増による相対的な減少であると考えられるが、湿原周辺にはスギの極めて優勢な森林が形成されていたことは明らかである。

深度1.2mにはK-Ah火山灰(約6,300年前)が認められ、また、深度46～58cmの泥炭の年代は910±100yr B.P.である。この2時点の間に対応する堆積物が薄いことと、OF-9帯とOF-10帯の境界では花粉出現率が急激に変化することから、堆積物に不連続面のある可能性があり、OF-10帯の正確な年代は明らかでない。しかし、このOF-10帯前後の年代と花粉組成から、後氷期中期から後期にかけてスギの優勢な森林が存在していたと考えられる。

OF-11帯では*Pinus*花粉が増加し、Gramineae

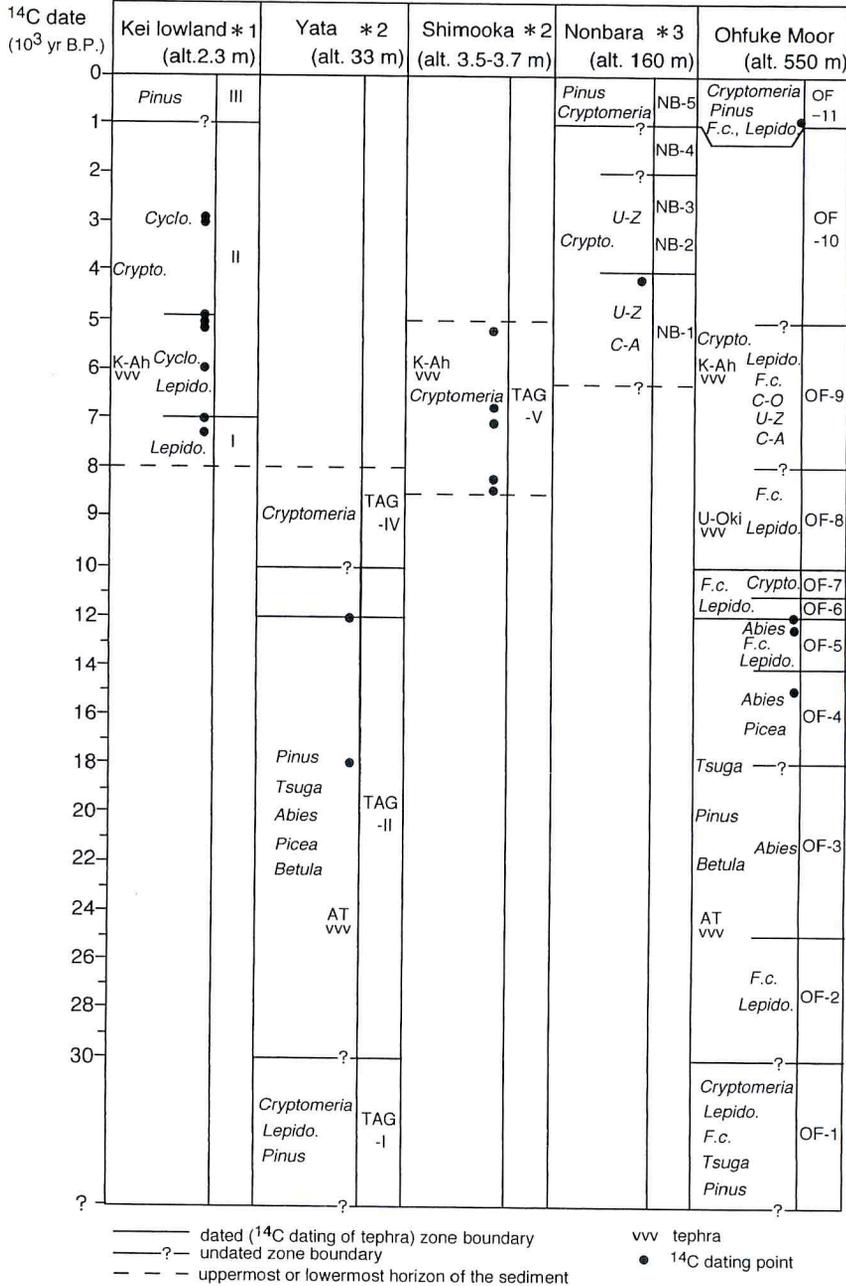


Fig. 6. Correlation between local pollen assemblage zones since the last inter-stade in the Tango Peninsula, against a time scale of radiocarbon dates yr B.P. In each zone, principal fossil pollen taxa are shown. * 1 : Maeda *et. al.* ⁽³¹⁾, * 2, 3 : Sugiyama *et. al.* ⁽¹³⁾.
C-A : *Celtis-Aphananthe*, *C-O* : *Carpinus-Ostrya*, *Crypto.* : *Cryptomeria*, *Cyclo.* : *Cyclobalanopsis*; *F. c.* : *Fagus crenata*, *Lepido.* : *Lepidobalanus*, *U-Z* : *Ulmus-Zelkova*.

花粉, *Artemisia* 花粉の出現率が高く, さらに *Fagopyrum* 花粉が認められた. これらのことから, 人の活動が活発になり自然林の破壊が行われ, アカマツ林が拡大し, 陽性植物であるイネ科, ヨモギ属などが生育できる疎林あるいは草地が広がったと考えられる. 大フケ湿原の南西約 2 km に位置する大宮町の湿地における花粉分析結果でも, 約 900 年前以降に *Pinus* 花粉が増加を始め, 堆積物中の炭化片含有濃度が増加し, 大フケ湿原と同様に *Fagopyrum* 花粉が検出され, 人の活動による森林の変化が認められる(中村・高原, 未発表). 表層直下において *Fagus crenata* の花粉出現率が 20% を示していることは, 比較的最近まで, 周辺にブナが存在していたことを示している.

以上に述べた, 各局地花粉帯の花粉組成から考察された大フケ湿原周辺における森林変遷をまとめると次のとおりである.

最終氷期の約 40,000 ~ 30,000 年前には, スギ, コナラ亜属, ブナを中心とする冷温帯性の森林が広がった. 30,000 年前以降には, マツ科針葉樹とカバノキ属を中心とする亜寒帯性針葉樹林へ変遷した. 亜寒帯性針葉樹林は約 18,000 ~ 14,000 年前に最も発達した. 約 12,000 年前以降の晩氷期には, ブナ・コナラ亜属を中心とする冷温帯性落葉広葉樹林へ移行した. 後氷期初期から後期にかけて, スギの最も優勢な森林が形成された. 後氷期後期末には, アカマツの優勢な二次林が広がった.

丹後半島における最終氷期以降の森林変遷

以上に述べた大フケ湿原の花粉分析結果と乗原⁽¹²⁾と網野町下岡, 矢田⁽¹³⁾, 丹後半島の西に位置する気比低地⁽¹³⁾の花粉分析結果を対比して, Fig. 6 に示した. これを基に丹後半島における森林変遷について考察する.

この図に示したように, 丹後半島においては大フケ湿原の堆積物が最終氷期からほぼ連続している. したがって, 大フケ湿原の分析結果を中心に他の 4 地点の結果と比較し, 考察を加える.

1) 最終氷期亜間氷期

大フケ湿原の OF-1 帯と網野町矢田堆積物の TAG-I 帯は, AT 火山灰層よりも下位にあり, *Cryptomeria* と *Lepidobalanus* の優勢な花粉組成を示している. 前述のように, これらの点を三方低地の三方湖^(4, 5)および黒田低地^(6, 7)の花粉分析結果と対比すると, OF-1 帯は最終氷期亜間氷期の間の 40,000 ~

30,000 年前に相当する. TAG-I 帯も花粉組成から, この時代に相当するであろう.

標高 550m の大フケ湿原ではコナラ亜属, ブナ, スギを中心する冷温帯性の森林が形成され, ツガやマツ属単維管束亜属を伴っていた. また, 標高約 30m の矢田においてはスギ, コナラ亜属を中心とし, これにマツ属単維管束亜属を伴っていた. 両者を比較すると, 森林の構成に大きな違いは認められないが, 標高の高い大フケ湿原で *Fagus* の出現率は 15 ~ 20% であり, 矢田における 5 ~ 10%⁽¹³⁾ よりも高い値を示した.

2) 最終氷期亜氷期

この時代は約 30,000 ~ 10,000 年前に相当する. 大フケ湿原周辺ではこの最終氷期亜氷期を通じて, マツ科針葉樹とカバノキ属が優勢であった. また, 標高の低い矢田においてもマツ科針葉樹にカバノキ属を伴っていた. ほぼ連続的に森林変遷の詳細が明らかである大フケ湿原周辺について, この時期の森林変遷を以下に述べる.

AT 火山灰の降灰した 25,000 年前以前では, ツガ属, マツ属, カバノキ属を中心とする亜寒帯性針葉樹林が拡大し, また, ブナ, コナラ亜属によって構成される冷温帯性落葉広葉樹林が近辺に存在したと考えられる. また, これらの森林にはカバノキ属の樹木が多く認められた.

AT 火山灰の降灰後, 冷温帯性落葉広葉樹林は後退し, モミ属, ツガ属, マツ属のマツ科を中心とし, これにカバノキ属を伴う亜寒帯性針葉樹林へと変化していった.

約 18,000 ~ 14,000 年前はトウヒ属が増加し, モミ属, ツガ属(コメツガ), トウヒ属(トウヒなど), マツ属によって構成される亜寒帯性針葉樹林が最も発達した. 現在では積雪量の少ない太平洋側地域に分布の中心があるトウヒが, 大フケ周辺に存在していた. 三方低地帯の岩屋⁽⁶⁾においても約 18,000 年前以降に, トウヒ属を含むマツ科針葉樹の優勢な植生が認められている. また, この時代には *Fagus crenata* 花粉の出現率が, 大フケ湿原でも岩屋でも 1% 以下と最も低くなっている. これらのことから, この時代は寒冷で積雪量も少なく乾燥した気候であったと考えられる.

矢田では大フケ湿原周辺の森林構成と同様モミ属, ツガ属, トウヒ属, マツ属のマツ科針葉樹が中心であった. これにカバノキ属を伴っていたが, カバノキ属は大フケ湿原よりも少なかった. しかし, 標高の低い(約 30m) 矢田におけるこのような植生は, 大フケ湿原における亜寒帯性の植生とは異なり温帯性の可能性

がある。

晩水期初期の約 14,000～12,000 年前には、それ以前から安定して優勢であったマツ科針葉樹は減少傾向を示し、ブナ、コナラ亜属などの落葉広葉樹が増加し始めた。この森林構成の変化は晩水期に入り、気候がやや温暖化したことに起因していると考えられる。約 14,000 年前までは、低地から山地までマツ科の針葉樹林が優勢であり、気候は乾燥していたと考えられるが、これ以降、湿潤気候を好むブナが低率ながら増加し始めたことから、温暖化に加えて、湿潤化が始まったことが認められる。

晩水期後期の約 12,000～10,000 年前には大フケ湿原周辺においてブナ、コナラ亜属を中心とする冷温帯性落葉広葉樹林が形成された。また、スギが約 12,000 年前から増加し始め、分布を拡大した。スギの増加は降水量と積雪量の増加の気候的要因と、湿潤な立地の形成などの土壌的要因によるものと考えられる。また、晩水期から後水期前期におけるスギの急増は、丹後半島に最終氷期最盛期においてもスギが存在していたことを示している。このことと、三方低地^(4-6, 32)の晩水期から後水期前期におけるスギの急増は、丹後半島も含め若狭湾沿岸が、Tsukada⁽¹⁰⁾が指摘したように、最終氷期最盛期におけるスギの逃避地であったことを示している。

3) 後水期

大フケ湿原周辺では、晩水期後期の前半に最も優勢であったブナはしだいに減少し、約 10,000 年前以降の後水期に入ると、スギを中心とし、ブナ、コナラ亜属を伴う森林が形成された。矢田でもスギの優勢な森林が形成されていた。このように約 10,000 年前以降には、低地から山地までスギの優勢な森林が広がったと考えられる。

約 8,000～5,000 年前には大フケ湿原では引き続きスギが優勢であり、コナラ亜属、ブナを伴う森林であったが、イヌシデ、ケヤキ、エノキ、ムクノキ等の暖温帯性の落葉広葉樹も増加した。低地に位置する下岡における花粉組成⁽¹³⁾は、*Cryptomeria* が最も優勢で *Fagus*, *Lepidobalanus*, *Ulmus-Zelkova*, *Celtis-Aphananthe* を伴っている。また、丹後半島より西に位置する但馬海岸の気比低地⁽³¹⁾では、少なくとも 7,000 年前には *Cryptomeria* の優勢な花粉組成が示されている。これらのことから、低地においてもスギの優勢な森林が広がっていたことが認められる。

照葉樹林の主要構成要素である *Cyclobalanopsis* 花粉は、下岡においては約 7,500 年前以降から、大フ

ケ湿原でもほぼ同時期から低率ながら連続して認められた。標高 160m の乗原においても、約 6,000 年前以降に *Cyclobalanopsis* 花粉は 10% 以下ながら連続して認められた。このように、丹後半島では、アカガシ亜属は後水期中期以降に連続して認められるものの、照葉樹林は十分に発達しなかった。しかし、上述の丹後半島の西に位置する気比低地では、K-Ah 火山灰降灰時には、*Cyclobalanopsis* 花粉が *Cryptomeria* 花粉について優勢となり、照葉樹林が気比低地周辺で発達していたことが認められている⁽³¹⁾。この気比低地における照葉樹林の成立時期は、近畿地方の日本海側地域では最も早い時期である。

大フケ湿原周辺においては、約 5,000 年前以降の後水期中期以降にもスギの優勢な森林が存在していた。乗原周辺では約 6,000～4,000 年前の期間にスギが優勢で、ニレ属、ケヤキ、エノキ、ムクノキ、クマシデ属などが伴う森林が形成され、アカガシ亜属も周辺に分布していた。4,000 年前以降もスギが優勢であり、ニレ属、ケヤキ、クマシデ属などが伴う森林であった。

このように、後水期中期以降においても丹後半島は低地から山地までスギの優勢な森林が広がっていた。また、低地から丘陵地にかけてはケヤキ、クマシデ属などを、山地ではブナ、コナラ亜属を伴っていた。

大フケ湿原では約 900 年前以降、*Pinus* 花粉が増加した。乗原においても年代は明らかでないが *Pinus* 花粉の増加が認められた。これらのことから、丹後半島において、少なくとも約 900 年前には自然林の人為的な破壊が起こり、自然林はしだいにアカマツ林へ移行していったと考えられる。

要 約

京都府北部に位置する丹後半島の大フケ湿原から得られた約 9 m におよぶ堆積物の花粉分析学的研究および丹後半島における既往の花粉分析資料との比較によって、丹後半島における最終氷期亜間氷期以降の植生変遷が明らかになった。堆積物の編年は、4 点の放射性炭素年代と 6 枚の火山灰層に基づいた。植生変遷を要約すると以下のとおりである。最終氷期亜間氷期には山地でスギ、コナラ亜属、ブナが優勢で、ツガやマツ属を伴っていた。低地ではスギ、コナラ亜属の優勢な森林が発達した。最終氷期の約 30,000～12,000 年前には山地でマツ科とカバノキ属を中心とする亜寒帯性針葉樹林が広がり、約 18,000～14,000 年前には亜寒帯性針葉樹林が最も発達した。約 14,000 年前に

亜寒帯性針葉樹林が減少を始め、約 12,000 年前以降にブナ、コナラ亜属を中心とする冷温帯性落葉広葉樹林が形成された。後氷期の約 10,000 年前以降は低地から山地までスギの優勢な森林が発達した。また、丹後半島では照葉樹林の十分な発達は認められなかった。約 900 年前以降、人の活動の影響でアカマツ林が拡大した。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、終始ご指導いただいた京都府立大学竹岡政治名誉教授に厚くお礼申し上げます。また、京都府立大学農学部造林学研究室の方々には、試料採取に際してご助力いただきました。流通科学大学南木睦彦博士には、トウヒの針葉の同定に関してご教示いただきました。以上の方々には心からお礼申し上げます。なお、この研究の一部は文部省科学研究費基盤研究(C) (課題番号 09660170, 代表 高原 光) および平成 9 年度日本生命財団一般研究助成 (代表 宮崎 猛) によって行われた。

引用文献

- (1) Miyoshi, N., Fujiki, T. and Morita, Y. : Palynology of a 250-m core from Lake Biwa : a 430,000 - year record of glacial-interglacial vegetation change in Japan. *Rev. of Palaeobotany and Palynology* 104, 267-283 (1999).
- (2) 古谷正和 : 花粉化石調査 (泉州沖関西国際空港海底地盤の花粉層序). 中世古幸次郎編, 関西国際空港地盤地質調査. 災害科学研究所報告 pp.91-116 (1984).
- (3) Tai, A. : A study on the pollen stratigraphy of the Osaka Group. Pliocene-Pleistocene deposits in the Osaka Basin. *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ. Geol. & Mineral.* 39, 123-165 (1973).
- (4) 安田喜憲 : 福井県三方湖の泥土の花粉分析的研究 - 最終氷期以降の日本海の乾・湿の変動を中心として -. 第四紀研究 21, 255-271 (1982).
- (5) 安田喜憲 : 環日本海文化の変遷 - 花粉分析の視点から -. 国立民族学博物館研究報告 9, 761-798 (1984).
- (6) Takahara, H. and Takeoka, M. : Vegetation history since the last glacial period in the Mikata lowland, the Sea of Japan area, western Japan. *Ecological Research* 7, 371-386 (1992).
- (7) Takahara, H. and Kitagawa, H. : Vegetation and climate history since the last interglacial in Kurota Lowland, western Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 155, 123-134 (1999).
- (8) 前田保夫 : 花粉分析学的研究よりみた近畿地方の洪積 (更新) 世後期以降の植生変遷. 宮脇 昭編著, 日本植生誌 近畿 pp.87-100, 至文堂, 東京 (1984).
- (9) 高原 光 : 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. 京都大演習林報 38, 89-112 (1994).
- (10) Tsukada, M. : *Cryptomeria japonica* : Glacial refugia and late-glacial and post-glacial migration. *Ecology* 63, 1091-1105 (1982).
- (11) 高原 光 : 滋賀県山門湿原周辺における最終氷期以降の植生変遷. 日本花粉学会会誌 39, 1-10 (1993).
- (12) 高原 光・竹岡政治 : 丹後半島乗原周辺における森林変遷 - 特にスギ林の変遷について -. 日林誌 69, 215-220 (1987).
- (13) 杉山雄一・佃 栄吉・徳永重元 : 京都府丹後半島地域の更新世後期から完新世の堆積物とその花粉分析. 地質調査所月報 37, 571-600 (1986).
- (14) 竹岡政治・齋藤秀樹 : 京都府宮津市木子湿原周辺の森林変遷. 94 回日林論 pp.395-397 (1983).
- (15) 植村善博 : 宮津市地形分類図. 宮津市史資料編第五巻, 宮津市, pp.561-564 (1994).
- (16) 日本の地質「近畿地方」編集委員会編 : 日本の地質 6 近畿地方. 297pp, 共立出版, 東京 (1987).
- (17) 水越允治 : 気候 (近畿地方総論Ⅲ自然). 青野壽郎・尾留川正平編, 日本地誌 第 13 巻 近畿地方総論 三重県・滋賀県・奈良県 二宮書店, 東京. pp.40-59 (1976).
- (18) 気象庁 : 全国気温・降水量月別平年値表 観測所観測 (1941 - 1970). 気象庁観測技術資料第 36 号, 209pp (1972).
- (19) 横山卓雄・壇原 徹・山下 透 : 温度変化型屈折率測定装置による火山ガラスの屈折率測定.

- 第四紀研究 25, 21-30 (1986).
- (20) Danhara, T., Yamashita, T., Iwano, H. and Kasuya, M. : An improved system for measuring refractive index using the thermal immersion method. *Quaternary International* 13 / 14, 89-91 (1992).
- (21) 西田史朗: エネルギー分散型 EPMA 法 (EDS). 日本第四紀学会編, 第四紀試料分析法 2 研究対象別分析法. 東京大学出版会 pp.189-199 (1992).
- (22) Takahara, H., Yamaguchi, H. and Takeoka, M. : Forest Changes since the Late Glacial Period in the Hira Mountains of the Kinki Region, Japan. *J. Jpn. For. Soc.* 71, 223-231 (1989).
- (23) 竹村恵二・北川浩之・林田明・安田喜憲: 三方湖・水月湖・黒田低地の堆積物の層相と年代 - 三方低地の最終間氷期以降の堆積環境 -. 地学雑誌 103, 233-242 (1994).
- (24) 吉川周作・井内美郎: 琵琶湖高島沖ボーリングコアの火山灰層序. 地球科学 45, 81-100 (1991).
- (25) 町田 洋・新井房夫: 南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ - アカホヤ火山灰. 第四紀研究 17, 143-163 (1978).
- (26) 町田 洋・新井房夫: 広域テフラと考古学. 第四紀研究 22, 133-148 (1983).
- (27) 新井房夫・大場忠道・北里 洋・堀部純男・町田 洋: 後期第四紀における日本海の高環境 - テフロクロノロジー, 有孔虫群集解析, 酸素同位体比法による -. 第四紀研究 20, 209-230 (1981).
- (28) 松本英二・前田保夫・竹村恵二・西田史朗: 始良 Tn 火山灰 (AT) の ^{14}C 年代. 第四紀研究 26, 79-83 (1987).
- (29) 高原 光: 日本産ツガ属の花粉形態. 京都府大演習林報 36, 45-55 (1992).
- (30) 辻誠一郎・小杉正人: 始良 Tn 火山灰 (AT) 噴火が生態系に及ぼした影響. 第四紀研究 30, 419-426 (1991).
- (31) 前田保夫・中井信之・松本英二・中村俊夫・楠 聡・松島義章・佐藤裕司・松原彰子・熊野 茂・黒見充宏・額田雅裕・青木哲哉・古田 昇・小橋拓司・松井順太郎・河原典史・山下博樹: 完新世における山陰海岸東部気比低地 (兵庫県豊岡市) の古環境. 立命館地理学 1, 1-19 (1989).
- (32) Takahara, H. and Takeoka, M. : Postglacial vegetation history around Torihama, Fukui Prefecture, Japan. *Ecological Research* 7, 79-85 (1992).

