

原著

井上 淳¹・高原 光²・千々和一豊³・吉川周作¹：滋賀県曾根沼 堆積物の微粒炭分析による約17,000年前以降の火事の歴史

Jun Inoue¹, Hikaru Takahara², Kazutoyo Chijiwa³ and Shusaku Yoshikawa¹:
Fire history since 17,000 yr BP reconstructed from charcoal particles analysis
of the Sonenuma Swamp sediments, Shiga Prefecture, Japan

要旨 森林火災などの火事の歴史を明らかにする目的で、堆積物中の微粒炭の研究が進められている。本研究では、滋賀県曾根沼堆積物中の小微粒炭 (microscopic charcoal particles) と大微粒炭 (macroscopic charcoal particles) の含有量分析を行い、17,000年前以降の火事の歴史を解明した。分析の結果、小微粒炭と大微粒炭の含有量変化の傾向は異なっていた。小微粒炭は、深度7.6～6.8 m (13,000～10,000年前に相当) で連続して多産した。大微粒炭は、深度7.0 mより上位 (約10,000年前以降) で、しばしば突発的に多くなる傾向が認められた。以上のことから、13,000年前から10,000年前には、広い範囲で頻繁に火事が起こったのに対し、近隣の火事は、10,000年前以降に少なくとも数度、起こったものと考えられた。これまでの微粒炭研究からも、更新世末期から完新世初頭に火事が頻繁に起こったことが指摘されており、同時期に少なくとも近畿地方において火事が広域に起こっていたと考えられる。さらに、微粒炭の反射率測定を行った。その結果、深度300 cm (約4000年前) の微粒炭は、比較的高温 (約500°C) で生成されたと考えられ、これらは樹木の燃焼によって生成したものと推測された。

キーワード：火事の歴史、完新世初頭、更新世末期、曾根沼、微粒炭

Abstract Charcoal particles in sediments have been examined to clarify fire history such as forest fire history. To reconstruct fire history since 17,000 cal BP in central Japan, we quantified microscopic and macroscopic charcoal particles in the sediments from Sonenuma Swamp located in Shiga Prefecture. The abundance of microscopic and macroscopic charcoal particles fluctuated differently. In sediments from 7.6 to 6.8 m deep (corresponding to 13,000–10,000 cal BP), microscopic charcoal particles abounded continuously. In sediments less than 7.0 m deep (after ca.10,000 cal BP), macroscopic charcoal particles often showed sudden increase. Thus, fires seem to have been extensive and frequent between 13,000 and 10,000 cal BP and local and occasional after 10,000 cal BP. Previous studies indicated that frequent fires occurred from terminal Pleistocene to incipient Holocene, and this study and studies in adjacent areas show that the fires were extensive at least in the Kinki district. Reflectance measurements of charcoal particles showed that charcoal particles in sediments at 300 cm deep (ca. 4000 cal BP) were formed at a high temperature (ca. 500°C), suggesting their probable formation through combustion of trees.

Key words: charcoal particles, fire history, incipient Holocene, Sonenuma Swamp, terminal Pleistocene

はじめに

森林火災や人為的な火入れなどは、植生の攪乱などを引き起こし、場合によっては植生変遷に大きな影響を与え、さらに現植生の成立過程にも影響している場合も考えられる。このような観点から、過去の森林火災などの火事は植生史を考える上で重要である。火事の歴史を研究する手法として、年輪中の火痕 (fire scar) の研究などと共に

最もよく行われているのが、堆積物中の微粒炭 (charcoal particles) 分析である。微粒炭分析は、現在から過去数千年もしくは数万年間の火事の変遷を明らかにできることから、ヨーロッパやアメリカ大陸を中心に世界的に活発に行われている。そして、微粒炭分析から復元された火事の増減が植生変遷や気候変化、人間活動の変遷と密接に関連していることが指摘されている。

¹ 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院理学研究科

Department of Geoscience, Graduate School of Science, Osaka City University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan

² 〒606-8522 京都市左京区下鴨半木町 1-5 京都府立大学大学院農学研究科

Graduate School of Agriculture, Kyoto Prefectural University, 1-5 Hangi-cho, Shimogamo, Sakyo-ku, Kyoto 606-8522, Japan

³ 〒753-8513 山口市吉田 1677-1 山口大学教育学部

Faculty of Education, Yamaguchi University, 1677-1 Yoshida, Yamaguchi 753-8513, Japan

日本では、堆積物中の微粒炭についての研究は少なく、主に完新世の堆積物をあつかった研究は、安田 (1982, 1996), 杉田・塚田 (1983), Tsukada et al. (1986), 井上ほか (2001), 小椋 (2002) などである。安田 (1982, 1996) などでは、遺跡の微粒炭分析結果を基に、遺跡の微粒炭が山焼き等の人間活動によって生成したことを述べている。杉田・塚田 (1983) は、沼原湿原の花粉分析と微粒炭分析の結果、完新世初期において、湿原周辺で頻繁に火事があったことを推定し、これによって大きく植生が破壊された可能性を指摘している。Tsukada et al. (1986) は宇生賀湿原の花粉分析と微粒炭分析を行い、7000年前頃からの微粒炭の急増を報告し、農耕との関連について指摘している。井上ほか (2001) は、琵琶湖湖底堆積物の約13万年前から現在に相当する層準について微粒炭分析を行い、完新世初期に微粒炭が多くなることを報告した。小椋 (2002) は、京都市深泥池の微粒炭分析を行い、縄文時代早期頃に微粒炭が増加することを報告している。近畿地方では、上述した井上ほか (2001) や小椋 (2002) などによって完新世初頭における微粒炭の増加が報告されているものの、火事の範囲や頻度がどの程度であったのか、また火事の要因など、まだ検討すべきことが多く残されている。

本研究における主目的は、井上ほか (2001) の琵琶湖湖底堆積物の分析結果が明らかにした完新世の琵琶湖周辺における火事の増加すなわち微粒炭の増加が、琵琶湖内湖の堆積物でも認められるかを検討することである。また近年、堆積物中のおよそ 100 μm 以上の微粒炭の研究が海外で進められている (MacDonald et al., 1991; Millspaugh & Whitlock, 1995; Carcaillet et al., 2001 など)。一般に約 100 ~ 数 100 μm 以上の微粒炭は、大微粒炭 (macroscopic charcoal particles), 一方それ以下の微粒炭は、小微粒炭 (microscopic charcoal particles) と区別されている。

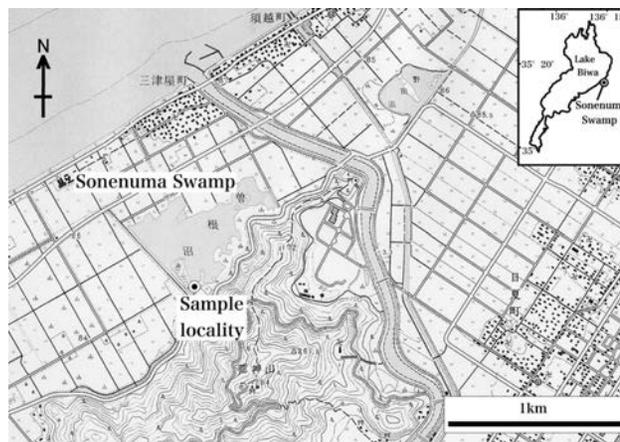


Fig. 1 試料採取位置図. 国土地理院発行 1/25,000 地形図「能登川」の一部に加筆.

Whitlock & Larsen (2001) などによると、一般に小微粒炭は長距離飛散することがあるのに対し、大微粒炭は飛散せず近隣に沈積すると考えられている。このため、堆積物中の大微粒炭の増加は主に集水域内など近隣の火事を反映し、堆積物中の小微粒炭の供給地域はほぼ花粉と同じで、その増加は広い地域における火事の増加を反映するものと一般に考えられている。日本においては、微粒炭の分析は主に花粉分析の際に検出される小微粒炭について研究したものがほとんどで、大微粒炭については詳しく研究されていない。大微粒炭と小微粒炭の増減傾向が異なれば、それは過去の火事の位置や規模を示している可能性があり、火事の歴史を復元する上でもその空間スケールの大きさに合わせて、大微粒炭と小微粒炭の研究を使い分ける必要があると考えられる。そこで本研究では、堆積物中の大微粒炭と小微粒炭の増減傾向や含有量などを比較・検討し、火事の変遷を空間的に明らかにすることを目的とした。以上の

Table 1 放射性炭素年代測定に用いた試料とその年代値

Depth (cm)	Material	^{14}C age (yr BP)	Calendar year (yr BP)	Laboratory number
178–179.5	Seed	1230 \pm 40	1170 (1230–1210, 1190–1080)	Beta-149298
243–244	Wood	2600 \pm 60	2750 (2770–2730)	Beta-149299
544–546	Seed	4850 \pm 40	5600 (5610–5590)	Beta-172932
844–848	Wood	13,680 \pm 60	16,420 (16,750–16,120)	Beta-172931

Calendar year のカッコ内は 1 σ の範囲での暦年代値.

目的のため、本研究では琵琶湖周辺に分布する内湖のうち、琵琶湖東岸に位置する曾根沼の堆積物を用いて、大微粒炭・小微粒炭分析を行った。また近年、古生界・中生界に含まれる炭の反射率測定を行い、炭の燃焼温度（炭化温度）を推定し、さらにその燃焼温度を基に当時の燃焼形態を復元しようとする試みが行われている (Jones et al., 1991; Scott & Jones, 1994; Jones & Lim, 2000 など)。本研究では、大微粒炭が多産した層準の微粒炭について反射率測定を行い、それを基に炭化温度を推定した。そして、推定された炭化温度から燃焼形態についても議論した。

分析試料

滋賀県彦根市三津屋町の曾根沼は、琵琶湖湖岸から東方約 800 m に位置する。現在の大きさは、縦長約 800 m、幅長約 500 m である (Fig. 1)。分析試料には、北緯 35 度 14 分 09 秒、東経 136 度 11 分 46 秒において 2000 年に滋賀県立大学と京都府立大学 (科研費基盤研究 (C) 10660065) によって採取された堆積物を用いた。採取地点は、現在ヨシ群落が浮島状の湿地を形成している。深度 0 ~ 593 cm までは、シンウォールサンプラーを用いて、深度 600 ~ 1175 cm についてはヒラー型ボーラーを用いて採取した堆積物を分析試料とした。なお試料は、ほぼ欠落することなく採取できた。また、深度 51 ~ 90 cm は

水の層であった。堆積物は、深度 113 cm 以浅と深度 850 cm 以深を除き、主に泥炭層からなる (Fig. 2)。また、4 層準について材もしくは種子が認められた。これらの放射性炭素年代測定を Beta Analytic 社に依頼した (Table 1)。また、深度 580 ~ 600 cm 前後にかけて火山ガラスが多く含まれていた。火山ガラスについて分析したところ、ガラスの形状は扁平型が主体で中間型 (吉川, 1976) を含んでいた。また、褐色ガラスを含んでおり、ガラスの屈折率は、1.507 ~ 1.514 であった。上下層準の放射性炭素年代値とこれらのガラスの特徴に基づく、深度 580 ~ 600 cm 前後にかけて多く含まれていた火山ガラスは、主に K-Ah (鬼界アカホヤ) 火山灰に相当するものと考えられる。

今回の研究では、採取された試料のうち、深度 865 cm 以浅について分析を行った。分析試料は平均約 20 cm 間隔、層厚 1 ~ 2 cm で採取した。また、堆積物の推定年代については、放射性炭素年代を暦年代に補正後、深度と年代の近似線を描いて求めた (Fig. 3)。これに基づく、深度 865 cm 以浅の堆積物は、約 17,000 年前以降に堆積したものと考えられる。

分析方法

分析方法は、小微粒炭分析については花粉スライド法 (pollen slide method. Swain, 1973; Faegri et al., 1989; 井上ほか, 2001)、大微粒炭分析には篩い分け法 (sieving method. Whitlock & Larsen, 2001 など) を適用した。ま

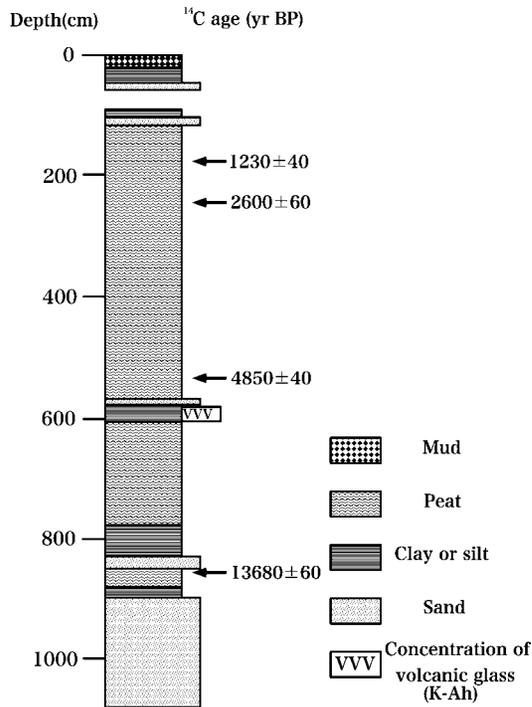


Fig. 2 曾根沼堆積物試料の柱状図。柱状図右の数字は、放射性炭素年代値。

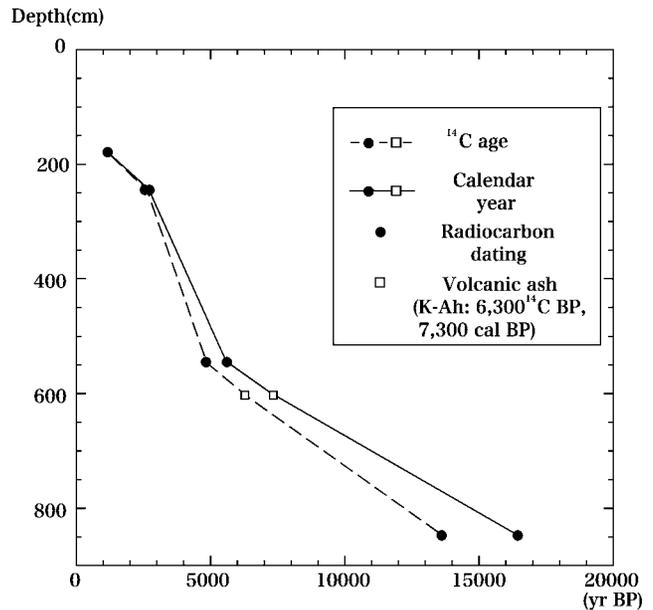


Fig. 3 深度と推定堆積年代 (放射性炭素年代と暦年代) の関係。K-Ah 火山灰の年代は、(町田・新井, 2003) による。

た、反射率測定は、Jones et al. (1991) を参考に千々和ほか (1998) のシステムを用いて井上 (2003), Inoue & Yoshikawa (2003) と同様の手順で行った。

1. 花粉スライド法

小微粒炭分析のための花粉スライド法の手順は以下のとおりである。まず、湿潤試料を約 1 cm^3 採取し、風乾させた後、濾過水に溶解させた。これに一定濃度 (約 20 万個/ml) の Microsphere (直径 $25 \mu\text{m}$ の球形プラスチック) 懸濁液 (Ogden III, 1986) を 1 ml 添加した。微粒炭を抽出するため、各試料に水酸化カリウム処理、フッ化水素酸処理およびアセトリシス処理を行った。また、水酸化カリウム処理後、 $250 \mu\text{m}$ の篩に通し、大型の植物遺体・異物を除去した。以上の処理後に、グリセリンゼリーを封入剤としてプレパラートを作成し、対物レンズ 20 倍、接眼レンズ 10 倍の落射光・透過光装置を備えた顕微鏡を用いて検鏡を行った。微粒炭の同定基準は、透過光観察時に完全に黒色で鋭角的なもので、照射光での観察時に植物組織がみられ、光反射が認められる物を微粒炭とした。各層準の試料についてマーカーである Microsphere が少なくとも 200 個に達するまで検鏡を行った。微粒炭量は、それぞれ

の微粒炭の面積を測定し、湿潤試料 1 cm^3 中の微粒炭の総面積量を算出した。

2. 篩い分け法

大微粒炭分析のための篩い分け法は以下の手順で行った。湿潤試料を約 1 cm^3 秤量後、濾過水に溶解させた。その後、植物遺体などの分解・漂白・分散のため約 6% になるように過酸化水素水を加えた。約 50°C で約 48 時間放置した後、 $125 \mu\text{m}$ の篩に通し、 $125 \mu\text{m}$ 以上の残渣物についてシャーレ上にひろげ、乾燥後、実体顕微鏡を用いて全面検鏡した。微粒炭の同定基準は、黒色で植物組織と光反射が認められる物を微粒炭とし、紛らわしい物についてはピンセットで触れ、その壊れ方などを観察することにより吟味した。そして、花粉スライド法と同様に、個々の微粒炭の面積量を測定し、湿潤試料 1 cm^3 中の微粒炭の総面積量を算出した。

なお、花粉スライド法・篩い分け法の微粒炭の面積測定にあたっては、顕微鏡画像を CCD カメラでパーソナルコンピュータ (Macintosh) に取り込み、アプリケーションソフト NIH Image 1.61 (National Institute of Health, USA) によって画像処理を行うシステム (高原, 1995; 井上ほか, 2001) を用いた。

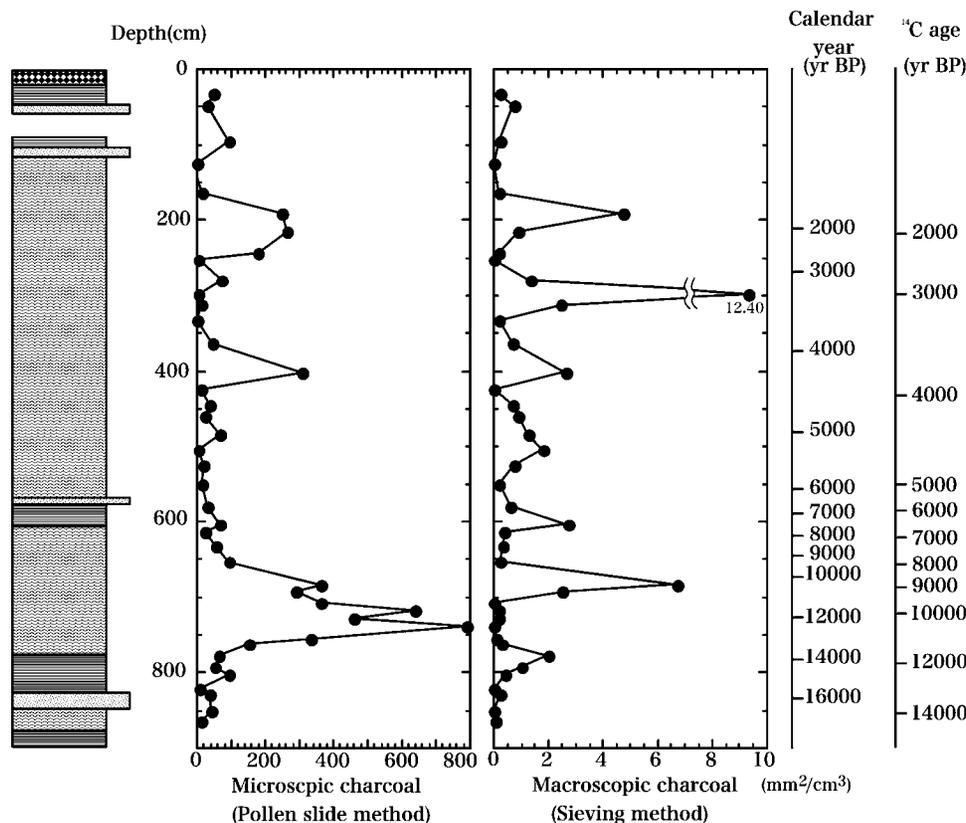


Fig. 4 曾根沼堆積物の大微粒炭と小微粒炭の含有量分析結果。

3. 反射率測定

大微粒炭が最も多産した 298 ~ 300 cm の層準では、含有する大微粒炭について反射率測定を行った。まず、篩い分け法による 125 μm 以上の残査物を実体顕微鏡で観察し、大微粒炭を取り出した。取り出した大微粒炭をポリエステル樹脂に埋め込み、ブリケットを作成した。そして、樹脂が固化した後に、自動研磨機を用いて十分に研磨した。作成したブリケット中の微粒炭について顕微測光装置 (Leitz MPV combi) および光電子倍增管を内蔵した MPV compact 測定ヘッド (Leica 社製) を用いて、微粒炭 1 粒子につき 1 点について反射率測定を行い、51 粒子を測定した。

結 果

1. 小微粒炭分析結果 (花粉スライド法) (Fig. 4)

花粉スライド法による小微粒炭の測定結果の傾向は以下のとおりである。微粒炭量は、深度 865 ~ 778 cm では、 $100 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ 以下と少ない。深度 764 ~ 738 cm では、増加傾向が認められ、深度 738 ~ 740 cm で約 $800 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ と分析層準のうち最大値を示す。ここから 653 cm までは減少傾向を示す。これより上層の深度 635 cm ~ 253 cm では、ほとんど $100 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ 以下と小さい値を示す。そのうち深度 403 ~ 405 cm の層準では、部分的に約 $300 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ と大きい値を示す。深度 244 ~ 191 cm では、再び約 $180 \sim 260 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ と比較的大きい値を示す。また、165 cm 以浅では、 $100 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ 以下に減少する。

2. 大微粒炭分析結果 (篩い分け法) (Fig. 4)

篩い分け法による微粒炭量は、深度 708 cm 以深では、深度 778 ~ 780 cm の層準における約 $2 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ を除いて約 $1 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ 以下と少ない。深度 695 ~ 683 cm では、比較的微粒炭量は多く、特に深度 685 ~ 683 cm の層準では、約 $7 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ と高い数値を示す。深度 655 ~ 424 cm にかけては、603 ~ 605 cm, 505 ~ 507 cm, 485 ~ 487 cm における急増を除いて $1 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ 以下である。403 ~ 192 cm では、増減が激しい。特に、深度 279 ~ 281 cm の層準で約 $12 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ 、深度 191 ~ 192 cm の層準で約 $5 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ と高い値を示す。深度 165 cm 以浅では、 $1 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ 以下と連続して少ない傾向にある。

3. 反射率測定結果 (Fig. 5)

深度 298 ~ 300 cm に含まれていた大微粒炭 51 粒子の反射率を測定した結果、最低値は 1.98%、最大値は 3.78%、平均値は 2.77% であった。また、0.3 間隔のヒストグラムのモードは 2.55% で、ヒストグラムの分布の型は単峰型を示した。

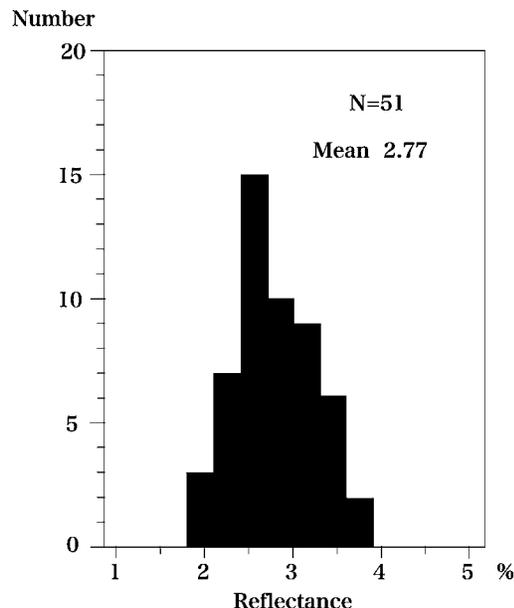


Fig. 5 深度 298 ~ 300cm に含まれていた大微粒炭の反射率測定結果。

考 察

1. 微粒炭量からみた火事の歴史

微粒炭量の変遷を年代軸に沿ってみると、小微粒炭が最も多かった時期は、約 13,000 年前 ~ 10,000 年前 (深度 683 ~ 764 cm) である。また、4000 年前頃 (403 ~ 405 cm) にも一時的に多くなり、3000 年前から 2000 年前頃 (191 ~ 245 cm) にも小微粒炭は多くなっている。一方、大微粒炭のピーク ($> 2 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$) は、10,000 年前頃 (683 ~ 695 cm), 8000 年前頃 (603 ~ 605 cm), 4000 年前頃 (403 ~ 405 cm), 3000 年前頃 (298 ~ 300 cm), 2000 年前頃 (191 ~ 192 cm) に認められる。このような微粒炭量の多い時期は、「大微粒炭のみが多い時期」、「小微粒炭のみが多い時期」、「大微粒炭も小微粒炭も多い時期」の 3 つに大別される。大微粒炭のみが顕著に多い時期は、約 3000 年前で、小微粒炭をほとんど伴わない。また、8000 年前頃も大微粒炭のみが比較的增加する。一方、小微粒炭のみが特に多い時期は、約 13,000 年前から 11,000 年前頃である。また、約 3000 年前から 2000 年前頃にも小微粒炭のみが増加している。小微粒炭・大微粒炭ともに多い時期は、10,000 年前、4000 年前頃、2000 年前頃である。このように大微粒炭と小微粒炭の増減傾向は必ずしも一致しない。

大微粒炭と小微粒炭の増減傾向の違いは、発生源の違いに由来している可能性がある。小微粒炭が広い地域における火事を、大微粒炭が近隣の火事を反映するものとする。

と、小微粒炭量のみが非常に卓越する約 13,000 年前から 11,000 年前頃には、広域で継続的もしくは断続的に火事があったものと推測される。また 10,000 年前、8000 年前頃、4000 年前頃、3000 年前頃、2000 年前頃の大微粒炭の顕著な増加は突発的である。特に、10,000 年前、3000 年前、2000 年前頃は、大微粒炭量が多く、面積量で $5 \text{ mm}^2/\text{cm}^3$ 以上、また粒子数で $50 \text{ 粒子}/\text{cm}^3$ 以上含まれていた。Whitlock & Larsen (2001) では、経験則から堆積物中の $50 \text{ 粒子}/\text{cm}^3$ 以上の大微粒炭は、たいてい過去の火事を反映することが述べられている。Whitlock & Larsen (2001) 等の研究とは、集水域・堆積盆の大きさや地理的背景、分析方法が異なるが、大微粒炭が $50 \text{ 粒子}/\text{cm}^3$ 以上と特に多く含まれる時期には近隣で火事が起こっていた可能性が高いと考えられる。また、近隣で火事があったと考えられる大微粒炭の多産時期のうち、小微粒炭の増加を伴う 10,000 年前、4000 年前頃、2000 年前頃には、近隣で多量の小微粒炭を産出するような比較的大きな火事が起こったか、もしくは近隣で起こった火事と同時期に、広域で火事が起こった可能性が考えられる。なお、更新世末期から完新世初頭の小微粒炭の増加は、琵琶湖湖底で掘削された高島沖ボーリングコア（井上ほか、2001）や京都市深泥池（小椋、2002）などの堆積物の微粒炭分析からも報告されていて、少なくとも近畿地方内の広い範囲においてこの時期に火事が多くなったと考えられる。

2. 反射率測定に基づいた燃焼タイプの推定

Jones & Lim (2000) によると、炭化温度と反射率の間には次の関係がある：炭化温度 ($^{\circ}\text{C}$) = $184 + 118 \times$ 反射率 (%)。深度 298 ~ 300 cm に含まれていた微粒炭の平均反射率 2.27% をこの式に当てはめると、炭化温度は約 500°C 程度であったと推定される。西ヨーロッパやアメリカ合衆国の研究例ではあるが、Scott & Jones (1994)、Jones & Lim (2000) では、草原火災から得られた炭の反射率は 0.5 ~ 2.8% を、雑木林 (scrubby forest) では 0.5 ~ 3.5% を、針葉樹林では 0.5 ~ 5.5% を示している。深度 298 ~ 300 cm の微粒炭の反射率は、1.98 ~ 3.78% で、これらの微粒炭は、樹木の燃焼によって生成されたものと考えられる。さらに火事の形態は、推定炭化温度が約 500°C と比較的高温であるため、一般に低温であるとされる地表火や地中火 (Scott, 2000 など) ではなかったと推測される。

また、同層準の微粒炭のヒストグラムは、単峰型である。同層準に含まれていた微粒炭の反射率のばらつきは、Scott et al. (2000) の現世の森林火災跡の一定区画から採取された炭のばらつきよりも小さい。このことから、同層準に含まれていた大微粒炭は、限定された範囲での 1 度の火事によって生成された可能性が考えられる。この推察は、同層

Table 2 曾根沼堆積物の花粉分析結果による花粉分帯 a ~ f (石田ほか、1984)。

^{14}C age (yr BP)	Pollen assemblage zone	Dominant vegetation
2,200	f	<i>Pinus-Cryptomeria</i> - <i>Quercus (Cyclobalanopsis)</i>
	e	<i>Quercus (Cyclobalanopsis)</i> - <i>Castanopsis-Cryptomeria</i>
5,200	d	<i>Quercus (Cyclobalanopsis)</i> - <i>Quercus (Lepidobalanus)</i> - <i>Celtis-Aphananthe</i>
	c	<i>Quercus (Lepidobalanus)</i> - <i>Fagus-Cryptomeria</i>
9,900	b	<i>Quercus (Lepidobalanus)</i> - <i>Betula-Carpinus-Fagus</i>
	a	<i>Pinus-Tsuga-Abies-Betula</i> - <i>Quercus (Lepidobalanus)</i>

準に小微粒炭がほとんど含まれず、局所的な火事を示す大微粒炭が非常に多いことと調和的である。

以上のことから、深度 298 ~ 300 cm の大微粒炭は、曾根沼の近隣での小規模な火事によってもたらされた可能性が考えられる。

3. 火事と植生変遷との関連性について

石田ほか (1984) は、本研究とほぼ同地点で採取した曾根沼堆積物の柱状試料について花粉分析を行い、6 つの花分帯を設定した (Table 2)。本研究の微粒炭量の変遷と石田ほか (1984) による花粉帯とを比較すると、a 帯と b 帯の下部では小微粒炭量が少なく、b 帯の上部と c 帯がほぼ小微粒炭が連続して多産する時期に相当する。d 帯では、小微粒炭は少ない、e 帯では一部を除いて、全体的に小微粒炭量は少ない。f 帯では最下部を除いて微粒炭は少ない。また、大微粒炭の増加のピークが、c, d, e, f 帯で見られる。

小微粒炭が多産する時期に相当する b 帯上部と c 帯では、コナラ亜属の増加が報告されている。また、c 帯では木本花粉の相対含有量が少なく、イネ科、カヤツリグサ科花粉とシダ植物胞子が、総花粉・胞子数の約 80 パーセントを占める。微粒炭の多産と相対的な木本花粉の減少やコナラ亜属の増加には何らかの関連性、例えば火事による攪乱などの影響が考えられる。なお、ほぼ同時期に小微粒炭量の増加が認められる深泥池でも、微粒炭の増加期にイネ科花粉の増加、コナラ亜属花粉の増加などが指摘されており (小椋、2002)、同時期に火事による植生への広域的な影響が

あった可能性が考えられる。なお、f 帯では稲作などの人為的な影響が推察されている (石田ほか, 1984) が、同時期の堆積物中には、ほとんど微粒炭は含まれない。

4. 火事の原因について

火事の原因としては、雷などによる自然発生的な山火事や、人為的な火入れなどの人間活動等が考えられる。これらは、どれも微粒炭を発生させるものである。曾根沼近隣での局所的な火事は、すでに述べたように断続的なもので過去 1 万年間に、少なくとも数度起こっていたと考えられるが、それぞれの火事の原因については明らかではない。一方、広域的な火事は、小微粒炭の分析結果から更新世末期から完新世初頭に多かったと推測される。同時期における火事の増加は、琵琶湖湖底堆積物 (井上ほか, 2001) や深泥池の堆積物 (小椋, 2002) などでも報告されていて、広域で火事が起こっていたと考えられる。井上ほか (2001) では、これらの火事の増加が縄文時代の人間活動に関連した可能性を示唆している。しかしながら、火事の増加が少なくとも近畿地方の広域で起こった可能性があること、また微粒炭の増加時期には植生が大きく変化する時期にあたることも考慮に入れると、気候の乾燥化などが火事を促進させた可能性も考えられる。

ま と め

滋賀県曾根沼から得られた柱状堆積物試料について大微粒炭と小微粒炭の含有量分析、および微粒炭の反射率測定を行い、以下のことを明らかにした。

1. 広域における火事を示すと考えられる小微粒炭は、約 13,000 から 10,000 年前に特徴的に多産しており、同時期に広域に及ぶ火事が起こったものと推察した。また、主に近隣の火事を反映する大微粒炭量のピークは、過去 1 万年間の堆積物中の、いくつかの層準で認められた。曾根沼近隣で、過去 1 万年間に少なくとも数度の火事があったと考えられる。なお、更新世末期から完新世初頭の小微粒炭の増加は、琵琶湖湖底堆積物 (井上ほか, 2001) や京都市深泥池の堆積物 (小椋, 2002) などでも報告されており、少なくとも近畿地方の広域で火事が起こった可能性を指摘した。

2. 曾根沼堆積物の花粉分析結果 (石田ほか, 1984) と微粒炭分析結果との比較によって、小微粒炭が多産する時期には、木本花粉の相対含有量が減少することを指摘した。微粒炭の多産と木本花粉の減少には火事による疎林化など何らかの関連性が考えられる。

3. 約 4000 年前頃の大微粒炭が多産した堆積物中の微粒炭の反射率測定を行い、微粒炭の炭化温度を明らかにした。その結果、同層準に含まれていた微粒炭の推定炭化温

度は約 500°C であった。こうした高い炭化温度と微粒炭の反射率のばらつきが小さいことから、これらの微粒炭は曾根沼近隣の限定された範囲での 1 度の樹木の燃焼によって生成された可能性が考えられた。

以上のとおり、本研究では堆積物中の小微粒炭・大微粒炭含有量分析と微粒炭の反射率測定より、曾根沼周辺の過去の火事の歴史を明らかにした。従来、日本では主に小微粒炭のみから火事が復元されてきたが、より詳細な復元のためには、大微粒炭についての研究が必要であると考えられる。

謝 辞

大阪市立大学大学院の熊井久雄名誉教授、三田村宗樹助教授には、多くの御助言をいただいた。京都精華大学の小椋純一教授には、植物燃焼の実験について御教授していただいた。京都大学大学院生の佐々木尚子氏、京都府立大学大学院生の林龍馬氏には本研究を進めるにあたって、有益な意見をいただいた。大阪市立大学大学院理学研究科人類紀自然学研究室及び京都府立大学大学院農学研究科森林環境学研究室の教官・大学院生・学部生・卒業生の方には、ゼミなどで御指導・御助言をいただいた。以上の方々に、心よりの御礼を申し上げます。

なお、この研究に用いた堆積物は科学研究費補助金「琵琶湖内湖の底質に人間活動の記録を読む」(研究課題番号 10660065, 研究代表者: 久馬一剛) によって、採取と放射性炭素年代測定の一部が行われた。また、本研究の遂行にあたっては科学研究費補助金「微粒炭分析と花粉分析による古環境復元。特に縄文時代以降の人間活動の影響について」(平成 14, 15 年度特別研究員奨励費, 研究代表者: 井上 淳) の援助を受けた。

引 用 文 献

- Carcaillet, C., Bouvier, M., Fréchet, B., Larouche, A. C. & Richard, P. J. H. 2001. Comparison of pollen-slide and sieving methods in lacustrine charcoal analyses for local and regional fire history. *The Holocene* 11: 467-476.
- 千々和一豊・西村祐二郎・木場基之. 1998. 顕微測光システム Leitz MPV combi による反射率の測定. *山口地学会誌* 40: 9-16.
- Fægri, K., Kaland, P. E. & Krzywinski, K. 1989. *Textbook of Pollen Analysis*, 4th ed. 328 pp. Wiley, New York.
- 井上 淳. 2003. 千葉県多古町染井横穴墓堆積物から産出した微粒炭. *地団研専報* 50: 91-96.
- 井上 淳・高原 光・吉川周作・井内美郎. 2001. 琵琶湖湖底堆積物の微粒炭分析による過去約 13 万年間の植物燃焼史. *第四紀研究* 40: 97-104.
- Inoue, J. & Yoshikawa, S. 2003. Identification of charcoal in Quaternary sediment and estimation of the charred tem-

- perature by reflectance measurements, H/C ratio analysis and observation by polarizing reflectance and scanning electron microscopy. *Journal of Geoscience, Osaka City University* **46**: 127–134.
- 石田志朗・河田清雄・宮村 学. 1984. 地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅 京都 (11) 第 17 号 彦根西部地域の地質. 121 pp. 地質調査所, 茨城県.
- Jones, T. P. & Lim, B. 2000. Extraterrestrial impacts and wildfires. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **164**: 57–66.
- Jones, T. P., Scott, A. C. & Cope, M. 1991. Reflectance measurements at the temperature of formation of modern charcoals and implications for studies of fusain. *Bulletin of the Geological Society of France* **162**: 193–200.
- 小椋純一. 2002. 深泥池の花粉分析試料に含まれる微粒炭に関する研究. *京都精華大学紀要* **21**: 268–288.
- MacDonald, G. M., Larsen, C. P. S., Szeicz, J. M. & Moser, K. A. 1991. The reconstruction of boreal forest fire history from lake sediments: a comparison of charcoal, pollen, sedimentological and geochemical indices. *Quaternary Science Reviews* **10**: 53–71.
- 町田 洋・新井房夫. 2003. 新編火山灰アトラス. 336 pp. 東京大学出版会, 東京.
- Millsbaugh, S. H. & Whitlock, C. 1995. A 750-year fire history based on lake sediment records in central Yellowstone National Park, USA. *The Holocene* **10**: 587–601.
- Ogden III, J. G. 1986. An alternative to exotic spore or pollen addition in quantitative microfossil studies. *Canadian Journal of Earth Sciences* **23**: 102–106.
- Scott, A. C. 2000. The Pre-Quaternary history of fire. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **164**: 281–329.
- Scott, A. C., Cripps, J. A., Collinson, M. E. & Nichols, G. J. 2000. The taphonomy of charcoal following a recent heathland fire and some implications for the interpretation of fossil charcoal deposits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **164**: 1–31.
- Scott, A. C. & Jones, T. P. 1994. The nature and influence of fire in Carboniferous ecosystems. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **106**: 91–112.
- 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.
- Swain, A. M. 1973. A history of fire and vegetation in north-eastern Minnesota as recorded in lake sediments. *Quaternary Research* **3**: 383–396.
- 高原 光. 1995. 画像解析による炭素片分析法—Macintosh 用画像処理分析ソフト NIH Image を用いて—. *日本第四紀学会講演要旨集* **25**: 52–53.
- Tsukada, M., Sugita, S. & Tsukada, Y. 1986. Oldest primitive agriculture and vegetational environments in Japan. *Nature* **322**: 632–634.
- 安田喜憲. 1982. 気候変動. 「縄文文化の研究 1」(加藤晋平ほか編), 163–200. 雄山閣, 東京.
- 安田喜憲. 1996. 森の日本文化—縄文から未来へ—. 233 pp. 新思索社, 東京.
- Whitlock, C. & Larsen, C. 2001. Charcoal as a fire proxy. “Tracking Environmental Change using Lake Sediments, vol. 3. Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators” (Smol, J. P., Birks, H. J. B., & Last, W. M., eds.), 75–97. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.
- 吉川周作. 1976. 大阪層群の火山灰層について. *地質学雑誌* **82**: 497–515.

(2005 年 1 月 21 日受理)