

原 著

井原佑弥^{1*}・林 尚輝^{1,2,3}・井上 淳^{1*}：
和歌山県生石高原における植生の歴史と火入れの履歴
—累積性土壌中の植物珪酸体と微粒炭分析を用いて—

Yuya Ihara^{1*}, Naoki Hayashi^{1,2,3} and Jun Inoue¹：
History of vegetation and fire on the Oishi Plateau, central Japan,
reconstructed from phytolith and macrocharcoal records in cumulative soils

要 旨 和歌山県生石高原のススキ草原において、累積性土壌中の植物珪酸体と微粒炭の分析、放射性炭素年代測定を行い、約2000年前頃から現在までの植生変遷と火の歴史について明らかにした。2000年前から900年前頃の土壌層にはススキ属やメダケ属由来の珪酸体が見られ、樹木起源の珪酸体が上位の層より多産していた。900年前から400年前頃の土壌層ではススキ属やメダケ属を含むイネ科植物由来の珪酸体が増加とともに多産し、400年前頃以降の土壌層では主にススキ属に由来する珪酸体が多産した。微粒炭は表層付近でのみ高い含有量が認められた。以上のことから、本調査地では900年前頃までススキ属やメダケ属を伴う疎林環境にあり、900～400年前頃にかけて草原環境へ推移し400年前頃から現在のようなススキ草原が広がっていたと推察される。また、微粒炭量の変化、微粒炭の放射年代測定値と調査地の火入れの記録から、生石高原での継続的な火入れは最近の約20年間に限定され（記録では火入れは西暦2003年からとされる）、それ以前には継続した火入れは行われず、主に刈り取りにより草原が維持されていたことが明らかとなった。こうした刈り取りのみによって草原が成立・維持された背景には、近代までは一定の草材の利用とともに、同地域特有の地質により土壌が発達しにくく樹木の生育に適さず、草地が発達しやすい環境にあったためと考えられる。

キーワード：生石高原、植物珪酸体、草原、火入れ、微粒炭

Abstract The vegetation and fire history over the past 2000 years on the Oishi Plateau, Wakayama Prefecture, central Japan, was reconstructed from phytolith and macrocharcoal records, together with radiocarbon dating of cumulative soils. Phytolith assemblages from soil strata dated to 2000–900 years ago indicate Poaceae-dominated grassland, including *Miscanthus* and *Pleioblastus*, with sparse tree covers that subsequently declined. From 900 to 400 years ago, the percentages of phytoliths from *Miscanthus* and *Pleioblastus* increased, suggesting a transition toward a more open grassland. Since approximately 400 years ago, *Miscanthus*-derived phytoliths have predominated, reflecting an existence of a *Miscanthus*-dominated grassland similar to the present landscape. Elevated macrocharcoal concentrations are confined to the modern surface horizons, implying that fire activity was negligible during earlier periods. Radiocarbon-dated soil charcoal, along with documentary records, indicate that regular burning began in AD 2003, and has been practiced for about two decades. Prior to this period, the grassland was primarily maintained by mowing. This mowing-based maintenance can be attributed to the historical demand for grass materials and the region's unique geological conditions, which hinder soil development, limit tree growth, and thus promote grassland persistence.

Keywords: grassland, grassland burning, macrocharcoal, Oishi Plateau, phytolith

¹ 〒558-8585 大阪市住吉区杉本3丁目3-138 大阪公立大学大学院理学研究科地球学専攻
Department of Geosciences, Graduate School of Science, Osaka Metropolitan University, Sugimoto 3-3-138, Sumiyoshi-ku,
Osaka 558-8585, Japan

² 〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1-21-30 鹿児島大学法文学部
Faculty of Law, Economics and Humanities, Kagoshima University, 1-21-30 Korimoto, Kagoshima, 890-0065, Japan

³ 日本学術振興会特別研究員

Research Fellowships for Young Scientists, JSPS

* 責任著者 (Corresponding authors)：井上 淳 (J. Inoue), e-mail: inouej@omu.ac.jp, 井原佑弥 (Y. Ihara), e-mail: nuharai22@gmail.com



は じ め に

草原の利用方法は畜産や観光、採草場など多岐にわたる。特に近代までは、草本植物は田畑の肥やしや家屋の材料、家畜の飼料などに用いられており、草原は採草場として管理維持されていたとされる(水本, 2003)。現在では、草本植物の需要は小さく、日本の国土における草原の占める面積はごくわずかである。しかし、近代には、現在の 10 倍ほどの草原が存在したと推定されている(小椋, 2012)。草原の維持方法としては刈り取りや火入れなどがあり、火入れは省力的かつ低頻度で草原を維持するため現在でも広く用いられている(高橋, 2004; 須賀, 2008)。各地の草原の歴史や維持管理については、文献などを用いた調査が行われているが、江戸時代以前の文献はほとんどなく不明な点が多い。こうした草原の成立や、過去の維持方法を明らかにすることは、人と植生の関係や各地の植物利用を考える上で重要な知見を提供する。このため、日本各地で累積性土壌や堆積物の自然科学的研究による研究が広く進められている(Sasaki et al., 2004; 高岡・吉田, 2011; Kawano et al., 2012; Miyabuchi et al., 2012; Okunaka et al., 2012; Inoue et al., 2016; 渡邊ほか, 2018; Hayashi et al., 2019)。

和歌山県に位置する生石高原もそうした近畿地方の数少ない草原を有する地域の一つである。かつて同地域のススキ原は、茅取場として人々の生活と密接に関係していたとされる(和歌山県, 2008)。しかし、現在ではススキの利用はなくなり、それに伴い森林が拡大した。そのため、2003 年からは草原維持を目的に火入れが行われている(小

串, 2009; 山戸ほか, 2013; 和歌山県, 2023)。1800 年代の和歌山県の景勝地を描いた『紀伊国名所図会の後編 卷ノ三』(1851)には、生石高原を含む生石ヶ峰が描かれており、その絵からは当時の生石高原にはすでに草原が広がっていたことが伺える。しかし、それ以前の生石高原における草原を含めた植生の歴史や、当時の草原の維持方法については明らかでない。そこで本研究では、生石高原の累積性土壌中の植物珪酸体と微粒炭を分析し、あわせて放射性炭素年代測定を行うことにより、これらを明らかにすることを試みた。

植物珪酸体は高等植物の細胞に形成される生体鉱物である(近藤, 2004)。生産性が豊富で風化に強く(河野, 2008)、移動性に乏しいため現地性が高く、局所的な植生復元に有効である(近藤・佐瀬, 1986)。特に、その形態からイネ科を主とした草本植物を属レベルまで分類できる(近藤・佐瀬, 1986)。微粒炭は植物燃料が燃焼することで発生する炭化物粒子で、100 μm 以上のもの(macro-charcoal: マクロチャーコール)は現地性の火を反映するとされる(Whitlock & Larsen, 2001)。本研究では、生石高原内の植生と火入れの歴史を明らかにするため、現地性が高く、局所的な植生や火を反映するこれらの指標物を用いた。

調査地の概要

本研究の調査地は、和歌山県北部の紀美野町と有田川町にまたがる生石高原(生石高原県立自然公園 426 ha)の稜線に分布するススキ原である(図 1. およそ北緯 $34^{\circ} 6' 14'' \sim 34^{\circ} 6' 21''$, 東経 $135^{\circ} 19' 22'' \sim 135^{\circ} 20' 9''$ の範囲)。標高は約 820–870 m で、約 20 ha の面積を持つ(小串, 2009; 山戸ほか, 2013)。調査地から約 15 km 南東方向に位置する清水観測所(北緯 $34^{\circ} 5' 14''$, 東経 $135^{\circ} 25' 34''$, 標高 233 m)における 1991–2020 年の年平均気温は 13.9°C 、年平均降水量は 2097.3 mm である(気象庁, 2024)。周辺はスギ *Cryptomeria japonica*、ヒノキ *Chamaecyparis obtusa* の植林地が大半を占めるが、部分的にコナラ *Quercus serrata* やアカマツ *Pinus densiflora* などの二次林が分布する。

ススキ原は、戦前まで茅場として広く利用されていたが、戦後、その利用はわずかになったとされる(小串, 2009)。また、1955 年に行われた植生調査では、当地域の草原はススキ *Miscanthus sinensis*・チガヤ *Imperata cylindrica* が 75% 以上を占められていたとされる(佳山, 1956)。1960 年頃までは不定期な山火事があったが、1960 年頃から 2001 年までは、山焼きや山火事がなかったことにより(小串, 2009)、第 3 回自然環境保全基礎調査(環境庁, 1987)では低木の侵入が多く見られたことが報告されてい

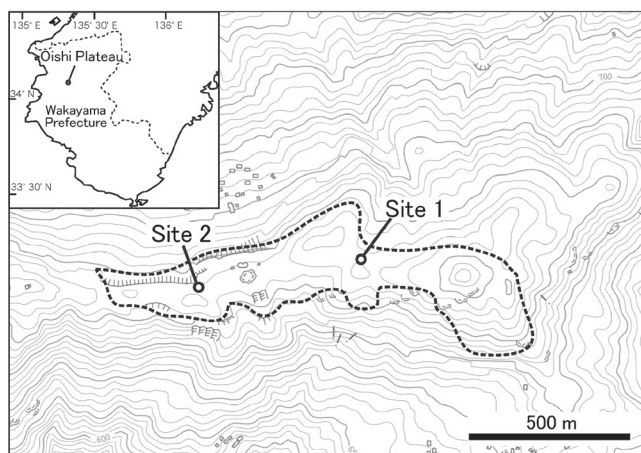


Fig. 1 A topographic map showing the location of the sampling sites on the Oishi Plateau, Wakayama Prefecture, central Japan, along with a small-scale map indicating the location of the plateau. A dotted line on the topographic map outlines the area of Japanese pampas grass (*Miscanthus sinensis*) grassland on the plateau.

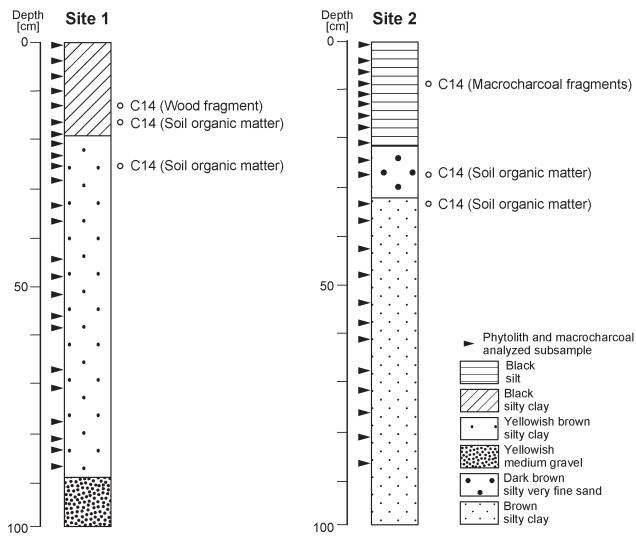


Fig. 2 Columnar sections of the soil profiles at the two sites on the Oishi Plateau.

る。その後、2003 年以降は、草原維持を目的に継続的に火入れが行われている。なお、山焼き開始以降の植生相調査で 110 の植物種が報告されているが、ササ属、メダケ属の出現は報告されていない（山戸ほか、2013）。また、本研究の 2023 年の試料採取時にも草原内にタケ亜科の植物は確認されなかった。

分析試料

土壌試料は Site 1, Site 2 の 2 地点にて、ライナー採土機（大起理化学工業株式会社製）を用いて柱状試料を約 1 m 採取した（図 2）。両地点ともススキ群落内に位置するが、Site 2 は、ススキ群落の縁辺部に位置する。層相は、両地点とも概ねシルト質粘土で、Site 1 の約 90 cm 以深では主に中礫、Site 2 の約 30 cm 以浅では部分的にシルトや極細砂質シルトからなる（図 2）。Site 1 では深度約 20 cm 以深で、Site 2 では深度約 30 cm 以深で、細礫～中礫がしばしば含まれた。

2 地点それぞれについて、3 試料の放射性炭素年代測定

を株式会社加速器分析研究所に依頼した。Site 1 では炭化木片（深度 14–15 cm から採取）と土壌有機物（深度 15–16 cm, 25–26 cm）、Site 2 では微粒炭（深度 8–9 cm から抽出）と土壌有機物（深度 27–28 cm, 33–34 cm）を測定に用いた。なお、土壌有機物については、以下の手順により加速器分析研究所により抽出されたものを年代測定に用いた。まず、年代測定試料を超純水の中に入れ、超音波で分散させた後、106 μm のふるいにかけて根や礫等の混入物を除去した。次にふるい通過分を乾燥させた後に 1N HCl 溶液を用いて不純物を除去した後に、中性になるまで希釈し乾燥させた。

^{14}C 年代値の計算は IntCal20 較正曲線（Reimer et al., 2020）を用い、OxCalv4.4 較正プログラム（Bronk Ramsey, 2009）を使用し暦年代補正を行った。現代（Modern：1950 年以降）の年代が得られた Site 2 の深度 8–9 cm については、Post-bomb atmospheric NH_2 較正曲線（Hua et al., 2022）により年代を求めた。年代測定結果を表 1 に示す。

Site 1 における深度 14–15 cm 中の炭化木片の年代値は 790–915 cal BP であり、深度 15–16 cm の土壌中有機物の年代値（340–514 cal BP）よりも古い年代値を示している。後述する植物珪酸体分析結果からは、Site 1 の深度 14–15 cm の土壌が生成された当時は、ススキ原環境下にあったと考えられる。また、同様の年代値（790–915 cal BP）が得られた深度 25–26 cm は疎林環境下にあったと推察される。以上を踏まえると、深度 14–15 cm 中の炭化木片は、800–900 年前頃の疎林環境時に生成したものが、再堆積をして上位の土壌に含まれた可能性が高い。このため、本研究では深度 14–15 cm 中の炭化木片の年代値は、考察には用いないことにした。

土壌中からの植物珪酸体の抽出は以下の手順で行った。1 cm^3 キューブを用いて土壌試料 1 cm^3 を採取し、その試料にガラスビーズ約 20 万個を加えた。その後に 30% H_2O_2 水溶液を加え 250°C で加熱し、試料中の有機物を分解した。その後、250 μm のふるいを用いて 250 μm 以上の粒子を除去した。ふるい通過分について、3N HCl

Table 1 Radiocarbon and calibrated ages of samples collected from cumulative soils

Sampling site	Sampling depth (cm)	^{14}C date	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	Calibrated ages (2 σ)*	Sample material	Code
Site 1	14–15	939 \pm 21	–24.18 \pm 0.17	88.97 \pm 0.24	915–790 cal BP	Wood fragment	IAAA-240964
Site 1	15–16	415 \pm 20	–15.40 \pm 0.17	94.96 \pm 0.25	514–340 cal BP	Soil organic matter	IAAA-240968
Site 1	25–26	936 \pm 21	–15.39 \pm 0.17	88.99 \pm 0.23	914–790 cal BP	Soil organic matter	IAAA-240965
Site 2	8–9	Modern	–24.04 \pm 0.18	107.12 \pm 0.27	1957 cal AD, 2002–2005 cal AD	Macrocharcoal fragments	IAAA-240966
Site 2	27–28	1248 \pm 21	–19.12 \pm 0.20	85.61 \pm 0.23	1273–1075 cal BP	Soil organic matter	IAAA-240967
Site 2	33–34	1994 \pm 23	–20.26 \pm 0.17	78.01 \pm 0.23	1994–1843 cal BP	Soil organic matter	IAAA-240969

*Calibrated ages expressed as cal BP and cal AD were obtained using the IntCal20 calibration curve (Reimer et al., 2020) and the Post-bomb atmospheric NH_2 curve (Hua et al., 2021), respectively. The calibrated ages represent the maximum and minimum bounds of 2 σ error ranges.

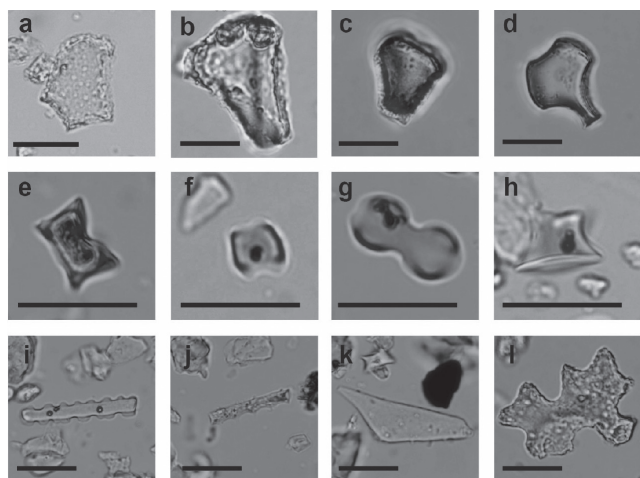


Fig. 3 Microphotographs of representative phytolith morphotypes extracted from the soil samples in this study. All scale bars represent 20 μm . a. *Sasa* type, b. *Pleioblastus* type, c. *Miscanthus* type, d. *Zoysia* type, e. SADDLE (Bambusoideae-type), f. SADDLE (Chloridoideae-type), g. BILOBATE, h. RONDEL, i. CRENATE, j. ELONGATE, k. ACUTE BULBOSUS, l. Jigsaw puzzle type.

溶液を加え脱鉄し、超音波照射を行った後に沈降法処理で微小粒子を除去し、残渣を乾燥機 (105°C) で乾燥させた。乾燥させたものについて、オイキットを封入剤として観察用スライドを作成した。作成したスライドについて光学顕微鏡を用いて 400 倍で観察し、ガラスビーズ 300 個を計数するまで植物珪酸体の同定・計数を行った。ガラスビーズを 300 個計数した際に植物珪酸体の総計数が 50 個未満であった場合には、植物珪酸体総数が少なくとも 50 個を超えるまで観察を継続した。

植物珪酸体の分類は近藤 (2010), ICPT (2019) を参考にし、機動細胞起源のものは *Sasa* type (ササ型), *Pleioblastus* type (メダケ属型), Bambusoideae type (タケ亜科型), Andropogoneae type (ヒメアブラススキ連型), *Miscanthus* type (ススキ属型), Panicoideae type (キビ亜科型), *Zoysia* type (シバ型) の 7 形態, 短細胞起源のものは SADDLE (Bambusoideae-type) (鞍型, タケ亜科), SADDLE (Chloridoideae-type) (鞍型, ヒゲシバ亜科), BILOBATE (ダンベル型), RONDEL (円錐台形型), POLYLOBATE (複合ダンベル型), CROSS (十字型), CRENATE (長台型) の 7 形態, その他の細胞起源のものは ELONGATE (棒型), ACUTE BULBOSUS (ポイント型) の 2 形態, 樹木起源の Jigsaw puzzle type (ハメパズル型) の計 17 形態に分類した。代表的な植物珪酸体の写真を図 3 に示す。これら 17 タイプ以外の形態 (例えば, ICPT (2019) の分類タイプでの Blocky など) については, others (その他) として一

括した。すべての形態の個数を基数として各形態の割合を算出するとともに、秤量したガラスビーズ重量から見積もられるガラスビーズ量と計数したガラスビーズ量の比率を基に土壌試料 1 cm^3 あたりの珪酸体総数を算出した。

微粒炭分析は 125 μm 以上の微粒炭を対象とし、以下の手順で分析を行った。0.5 cm^3 計量スプーンを用いて土壌試料 0.5 cm^3 を採取し、その土壌試料に 10% KOH 水溶液を加え、試料中の有機物を分解した。125 μm のふるいを用いてふるい分けし、7.5% HCl 水溶液を加え放置した。その後 125 μm , 250 μm , 1000 μm でふるい分けし、それぞれの残留物をシャーレ上で完全に乾燥させた。微粒炭は 10 ~ 50 倍の実体顕微鏡下で土壌試料 0.5 cm^3 に含まれる微粒炭全てを計数し、それに基づき土壌試料 1 cm^3 あたりの個数を算出した。

結 果

植物珪酸体と微粒炭の分析結果を図 4・5 に示す。Site 1 の深度 20 cm 以浅の層準, Site 2 の深度 21 cm 以浅と 27–28 cm, 54–55 cm の層準は、100 個以上の植物珪酸体を観察・分類した結果であり、それ以外の層準は、50 ~ 100 個の植物珪酸体を観察・分類した結果である。

植物珪酸体群集組成は両地点とも概ね類似しており、各形態の出現傾向から 3 つの帯に区分した (Site 1: 1-1 帯, 1-2 帯, 1-3 帯; Site 2: 2-1 帯, 2-2 帯, 2-3 帯)。特に 1-1 帯と 1-2 帯, 2-1 帯と 2-2 帯の区分については、産出量が少ないが本植物の有無や多少を反映する樹木由来のハメパズル型の多少に基づき区分した。

1-1 帯と 2-1 帯では短細胞の鞍型 (タケ亜科) が 9–23%, 11–36% と優占し、機動細胞は 1-1 帯ではタケ亜科型 (0–4%), ヒメアブラススキ連型 (0–6%), ススキ属型 (0–6%) が、2-1 帯ではヒメアブラススキ連型 (0–4%), メダケ属型 (0–4%) が断続的に見られた。また樹木由来のハメパズル型は上位の帯より多産したが (0–12%, 2–15%), 1-1 帯と 2-1 帯上部では下部より割合が小さい (約 1%)。1-2 帯と 2-2 帯では短細胞は円錐台形型が 24–45%, 16–32% と優占し、機動細胞はヒメアブラススキ連型 (0–2%, 0–2%), ススキ属型 (0–2%, 0–1%) がほぼ継続して認められた。1-3 帯と 2-3 帯では短細胞はダンベル型が 35–47%, 30–36% と優占し、次いで円錐台形型が多かった (23–39%, 12–23%)。特に Site 2 では鞍型 (タケ亜科) や鞍型 (ヒゲシバ亜科) もそれぞれ 12–19%, 6–14% の割合でみられた。機動細胞はヒメアブラススキ連型が 0.1–0.3%, 0.2–0.6% と最も出現し、次いでススキ属型が断続的に見られた (0–0.4%, 0–0.3%)。植物珪酸体含有量は 1-1 帯, 2-1 帯では乏しく (8.1×10^3 – 2.6×10^4 / cm^3 , 2.5×10^4 – 7.7×10^4 個 / cm^3), 1-2 帯, 2-2

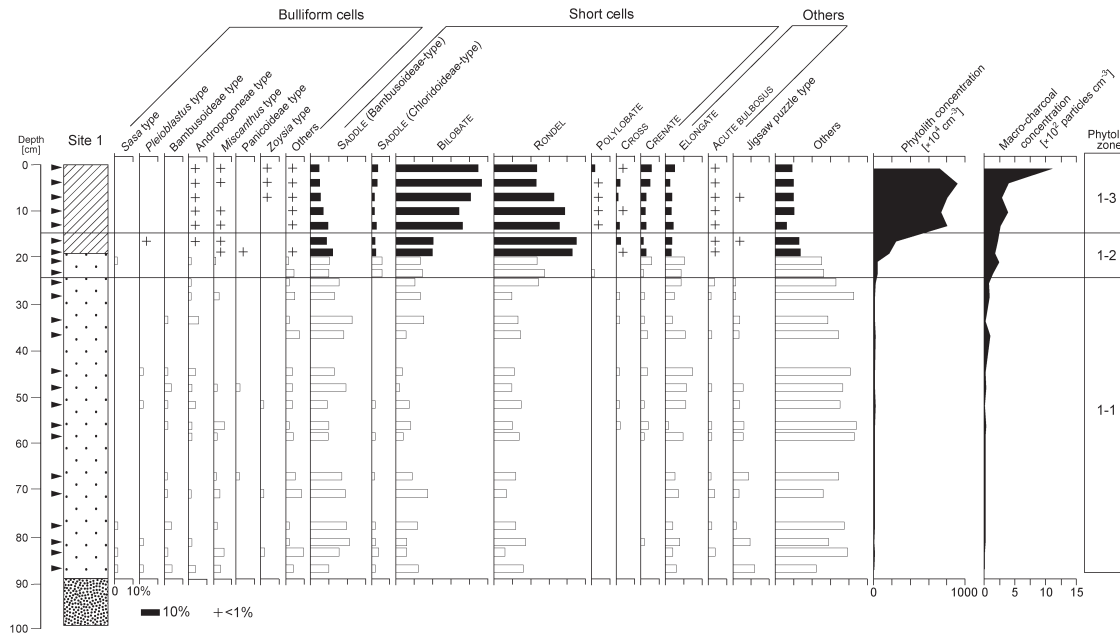


Fig. 4 The percentage occurrences of phytolith morphotype with phytolith and macrocharcoal concentrations at Site 1. Black bars indicate samples that yielded more than 100 observed phytoliths, whereas white bars indicate those that yielded 50–100 phytoliths.

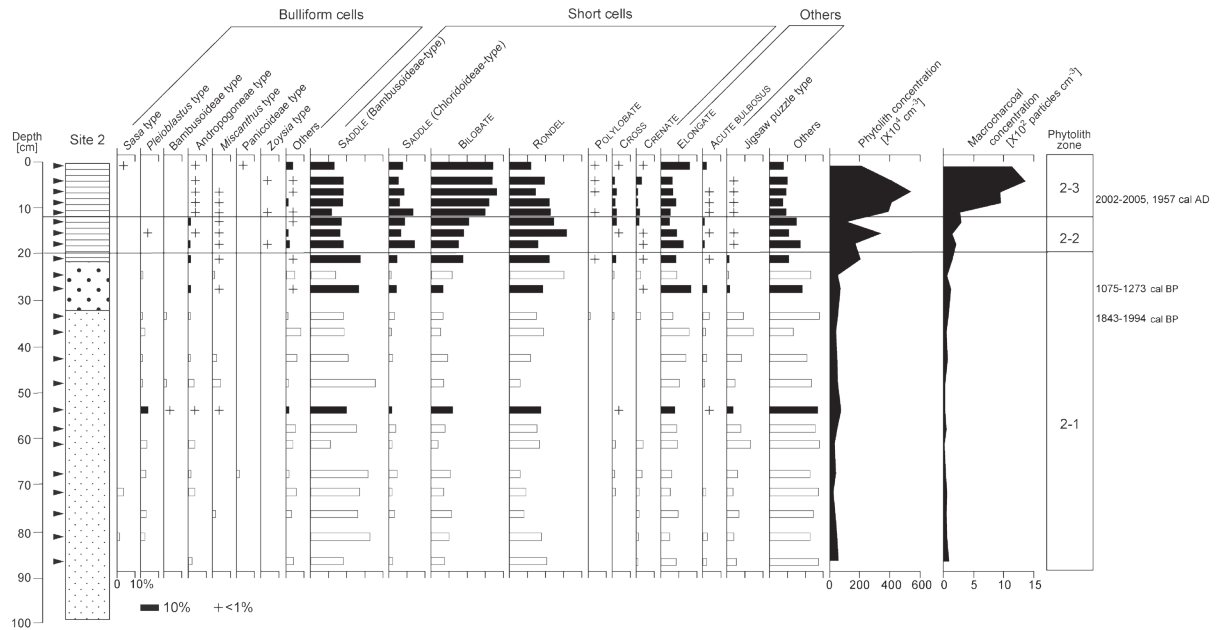


Fig. 5 The percentage occurrences of phytolith morphotype with phytolith and macro-charcoal concentrations at Site 2. Black bars indicate samples that yielded more than 100 observed phytoliths, whereas white bars indicate those that yielded 50–100 phytoliths.

帯で徐々に増加しはじめ (4.5×10^4 – 2.4×10^5 個 / cm^3 , 5.5×10^4 – 3.4×10^5 個 / cm^3), 1-3 帯, 2-3 帯から急激に増加した (7.2×10^5 – 9.2×10^5 個 / cm^3 , 2.1×10^5 – 5.4×10^5 個 / cm^3)。

微粒炭は両地点とも土壌の下位では含有量が少なく (6 – 136 個 / cm^3 , 16 – 130 個 / cm^3), 25 cm 深程度から上位に向かって微増した (172 – 242 個 / cm^3 , 68 – 298 個 / cm^3)。さらに上位においては, Site 1 は最表層で, Site 2

は 10 cm 深程度から急激に増加した (266–1114 個/cm³, 280–1360 個/cm³)。

考 察

1. 植物珪酸体組成と微粒炭に基づく植生と火の歴史

1-1 帯, 2-1 帯ではメダケ属やススキ属を起源とする植物珪酸体 (例えば, 機動細胞由来であるメダケ属型・ススキ属型や, 短細胞由来である鞍型 (タケ亜科) やダンベル型) が認められるとともに, 樹木由来のもの (ハメパズル型) は上位の帯より多産した (図 4, 5)。樹木由来の植物珪酸体は生産性が低く (近藤, 2010), 極めて局所的な植生を反映することから (河野, 2008), これらの帯の時期にはメダケ属やススキ属などの草本が樹木と共に生育していたと考えられる。しかしメダケ属やススキ属は主に日当たりのよい環境で生育するため (矢野, 1988; 浅井, 2015; 柴田, 2015), 当時の植生は疎林であったことが推察される。また 1-1 帯, 2-1 帯の上部ではハメパズル型の産出割合が少なくなることから, この帯の末期にはいくらか疎林化が進んだ可能性がある。

これらの帯の土壌有機物の年代値 (1-1 帯: 790–914 cal BP; 2-1 帯: 1075–1273 cal BP, 1843–1994 cal BP) より (図 4, 5), これらの帯は約 900 年前以前で, 少なくとも 2000 年前を含む時代の植生を反映していると考えられる。この帯の層準には礫が認められ, 年代の測定点も少ないため, 微粒炭量が直接, 火の頻度を反映しているかは不明である。しかし, それぞれ 1 つ上位の 1-2 帯, 2-2 帯と同様に微粒炭量は少なく, 1-3 帯, 2-3 帯の上部と比較して微粒炭量は著しく少ないため, 火の発生は 1-3 帯, 2-3 帯の時期よりかなり少なく, 植生への火の影響はなかったと考えられる。

1-2 帯, 2-2 帯はメダケ属やススキ属に由来する植物珪酸体や一般的なイネ科植物から産出する植物珪酸体が高い割合を占め, 樹木由来の植物珪酸体はほとんど産出しない。またこの時期から植物珪酸体含有量が上位に向かって徐々に増加し始める (図 4, 5)。一般的にイネ科植物は植物珪酸体の生産性が高いことが知られており (近藤, 2004), 植物珪酸体含有量の増加はそのような植物の生育量が増加したことを示す。つまり, この時期に生石高原はイネ科植物を中心とする草原環境へと次第に移行したことが推察される。植物珪酸体組成から, 1-2 帯と 2-2 帯は同時期の植生を反映していると考えられ, 1-2 帯の最上位の土壌中有機物粒子は 340–514 cal BP を示すことから, これらの帯は 900–400 年前頃の植生を反映していると考えられる。この時期の微粒炭含有量は下位の帯に比べて増加するものの少なく, 継続的に火は入っておらず植生への火の影響は小さかったと考えられる。

1–3 帯, 2–3 帯はヒメアブラススキ連を含むキビ亜科に

みられる短細胞のダンベル型が多産した。この短細胞の急増のため機動細胞の比率は減少したが, ススキ属やチガヤなどのヒメアブラススキ連に由来する機動細胞は 1% 未満ながら, 機動細胞の中では最も出現した。ススキ属型の機動細胞はほぼ継続して認められるとともに, ダンベル型など主にススキ属から産出する短細胞が多産し, 樹木起源のものはほとんど産出しなくなった。また, これらの帯全体の組成は, 現在の植生に由来すると考えられる土壌表層部の珪酸体群集組成と類似する (図 4, 5)。さらに上述の 1-2 帯の最上位の年代値 (340–514 cal BP) を踏まえると, これらの帯の群集組成は, 400 年前頃から現在と同様のススキ草原が広がっていたことを示している。ただし, 1–3 帯, 2–3 帯にはススキ属を含むヒメアブラススキ連以外の植物に由来する珪酸体も含まれた。現在, ススキ原内にタケ亜科は見られないが, タケ亜科の植物に由来すると考えられる鞍型 (タケ亜科) の存在は, 過去にはタケ亜科の植物も存在していたことを示している。鞍型 (ヒゲシバ亜科) は, 高原内で道路として整備されている所など踏圧の強い場所でみられるシバをはじめとしたヒゲシバ亜科の植物に由来すると考えられる。特に, Site 2 は, ススキ原の縁辺部に位置し, すぐ北側には通路があるため, 鞍型 (ヒゲシバ亜科) の割合が比較的高くなったものと考えられる。

微粒炭は, 1–3 帯, 2–3 帯の上部 (それぞれ深度 0–2 cm, 深度 0–10 cm) で多産する (図 4, 5)。また, Site 2 における微粒炭多産層の最下部層準 (深度 9–10 cm) の微粒炭は, その較正年代から西暦 2002 年～2005 年に生成された可能性が高い (表 1)。現在まで継続する火入れは西暦 2003 年から開始したことから, この層準中の微粒炭は, 近年の火入れ開始当初に生成されたものであり, 土壌表層部の微粒炭の多産は, 最近約 20 年間の火入れによるものと考えられる。以上を踏まえると, 400 年前頃から現在のようなススキ原は成立していたものの, 現在行われているような継続的な火入れは最近約 20 年に限定され, それ以前に火入れは行われていなかったと推察される。

2. 生石高原における草原の発達・維持とその背景

一般に, 日本で草原が維持されるには人為を含めた攪乱が必要とされている (岩城, 1971; 嶋田ほか, 1973)。このため, 本研究で明らかとなった生石高原における 900 年前頃からの草原化と 400 年前頃からのススキ原の成立と維持にも, 人為的な攪乱が影響したことが想定される。

生石高原やその周辺の歴史を見ると, 西暦 991 年には, 生石高原の約 1 km 東に位置する生石神社 (金屋町誌編集委員会, 1973) が造営され, また当時には, 複数の荘園があったことが知られている (小山ほか, 2015)。特に生石高原近辺では, 高原から北約 4 km を東西に流れる貴志川

と、その支流の流域一帯を占める神野荘・真国荘が、平安時代の後期にはすでに成立していた（紀伊国神野・真国荘絵図 1143 年）。これらのことから、生石高原周辺では 900 年前頃以降には人の営みが活発になったことが伺え、同時期から生活に必要な田畑の堆肥や屋根の材料などを得るため、採草場として生石高原が利用され始めたと推察できる。ただし、上述のように 900 年前頃の草原化と 400 年前以降の草原が維持された時期には、継続した火入れは行われておらず、主な攪乱は刈り取りによるものであったと考えられる。一般に、頻繁な火事がなく刈り取りなどの攪乱が主体の環境下では、ササ属やメダケ属などのタケ型の草地が成立しやすい（Inoue et al., 2016；渡邊ほか, 2025）。また、六甲山地東部の東お多福山のように管理放棄されたススキ優占型草原はササ優占型草原に遷移することがある（橋本ほか, 2012）。さらに、生石高原の近隣にはササ属が生育する地域もある（佳山, 1956）ことから、火入れが行われていなかった西暦 2003 年までは、タケ亜科の植物が伴っており、このため表層土壌にタケ亜科由来の植物珪酸体が含まれていたと考えられる。

日本において、現在も火入れを伴うススキ原の歴史が復元されたこれまでの研究を見ると、多くの地域でその歴史は 1000 年以上に及び、またその当初から火入れが行われていたことが想定されている（Kawano et al., 2012; Miyabuchi et al., 2012; Okunaka et al., 2012; Inoue et al., 2016）。一方で、近年を除く生石高原では、上述のように継続的な火入れなしでススキ原が成立・維持されてきたと考えられ、この点において他地域と異なる歴史を持つ。このような他地域との違いの要因には、生石高原特有の地質が関与している可能性がある。生石高原の基盤は三波川変成帯の石英片岩や節理を持つ玄武岩を伴う御荷鉾緑色岩類のため、透水性が高く有効水量が小さい（早川, 2002）。このため、生石高原では土壌の発達が不十分で、地表部にはこれら基盤岩が広く露出する。こうした樹木が生育しにくい地盤に生石高原が位置することが、長期間火入れを行わず刈り取りのみで草地を維持できた主な理由として考えられる。

一方で、現在の生石高原では、継続的に火入れが行われている。前述のとおり、高原では少なくとも戦後から 2003 年までは火入れが行われていなかったが、約 20 年前の 2003 年から現在まで実施されている（小串, 2009；和歌山県, 2023）。本研究の微粒炭多産層準最下層の年代値が約 20 年前を示すことから、継続的な火入れは最近の約 20 年間に限られ、これ以前にはなかったものと考えられる。以上を踏まえると、現在のような生石高原における継続的な火入れによる草原管理は、長い歴史の中では特異なものとして位置づけられる。

ま と め

本研究では、現在断続的な火入れによりススキ草原が維持されている和歌山県生石高原の累積性土壌中の植物珪酸体と微粒炭を分析し、その植生変遷と火の歴史を明らかにした。分析結果から、900 年前頃まではメダケ属やススキ属が存在する疎林環境にあり、900～400 年前頃にかけて疎林から草原環境へと移行し 400 年前頃から現在のようなススキ草原が維持されてきたことが明らかとなった。疎林環境から草原環境への移行、ススキ草原の成立の過程では、継続的な火入れは伴わなかったと考えられた。本研究結果と文書記録を合わせて考えると、継続的な火入れは近年の約 20 年間のみに限定されることが判明した。

謝 辞

本研究の遂行に当たっては、タカラ・ハーモニストファンド 2024 年度助成事業「和歌山県生石高原における草原の歴史と火入れの役割について—累積性土壌の植物珪酸体と微粒炭分析に基づいて」（代表者：井上淳）の支援を受けた。また、生石高原における土壌採取にあたっては、和歌山県、紀美野町、有田川町の関係各局に許可いただいた。本論文は 2 名の匿名査読者の助言、提案により大きく改善された。この場をお借りして皆様に厚く御礼申し上げます。

引 用 文 献

- 浅井元朗. 2015. 植調雑草大鑑. 357 pp. 株式会社全国農村教育協会, 東京都.
- Bronk Ramsey, C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51: 337–360.
- 橋本佳延・石丸京子・黒田有寿茂・増永滋生・横田潤一郎. 2012. ササ優占型に遷移した草原における刈り取りによる草原生植物種多様性の回復効果. ランドスケープ研究（オンライン論文集）5: 95–95.
- 早川康夫. 2002. 多雨極相林帯における安定草原成立の立地機構 1. 棚田と連携する草原・公共草地. *Grassland Science* 47: 624–629.
- Hayashi, N., Kawano, T. & Inoue, J. 2019. Long-term response of respective grass types to variations in fire frequency in central Japan, inferred from phytolith and microcharcoal records in cumulative soils deposited during the Holocene. *Quaternary International* 527: 94–102.
- Hua, Q., Turnbull, J. C., Santos, G. M., Rakowski, A. Z., Ancapichún, S., De Pol-Holz, R., Hammer, S., Lehman, S. J., Levin, I., Miller, J. B. & Palmer, J. G. 2022. Atmospheric radiocarbon for the period 1950–2019. *Radiocarbon* 64: 723–745.
- ICPT (Neumann, K., Strömberg, C. A. E., Ball, T., Albert, R. M., Vrydaghs, L. & Cummings, L. S.) 2019. International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. *Annals of Botany* 124: 189–199.
- Inoue, J., Okunaka, R. & Kawano, T. 2016. The relation-

- ship between past vegetation type and fire frequency in western Japan inferred from phytolith and charcoal records in cumulative soils. *Quaternary International* 397: 13–522.
- 岩城英夫. 1971. 草原の生態. 172 pp. 共立出版, 東京都.
- 金屋町誌編集委員会. 1973. 金屋町誌(下巻). 1574 pp. 金屋町, 和歌山県.
- 環境庁. 1987. 第3回自然環境保全基礎調査 植生調査報告書(和歌山県). 103 pp.
- 河野樹一郎. 2008. 日本に分布する主要樹木葉身中の珪酸体形態. 京都府大演習林報 49: 19–31.
- Kawano, T., Sasaki, N., Hayashi, T. & Takahara, H. 2012. Grassland and fire history since the late-glacial in northern part of Aso Caldera, central Kyushu, Japan, inferred from phytolith and charcoal records. *Quaternary International* 254: 18–27.
- 佳山良正. 1956. 和歌山県生石山高原の地勢並びに植生調査. 兵庫農科大学研究報告畜産学編 2: 48–52.
- 気象庁. 2024. 2020年平年値 第4.1版. <https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/>
- 小串重治. 2009. 二次草原の再生を支える社会システムの構築プロセス. 景観生態学 14: 23–31.
- 近藤鍊三. 2004. 植物ケイ酸研究. ペドロジスト 48: 46–64.
- 近藤鍊三. 2010. プラントオパール図譜. 387 pp. 北海道大学出版会.
- 近藤鍊三・佐瀬 隆. 1986. 植物珪酸体, その特性と応用. 第四紀研究 25: 31–63.
- 小山靖憲・武内雅人・柴原永遠男・弓倉弘年・笠原正夫・高嶋雅明. 2015. 和歌山県の歴史. 392 pp. 山川出版社, 東京都.
- Miyabuchi, Y., Sugiyama, S. & Nagaoka, Y. 2012. Vegetation and fire history during the last 30,000 years based on phytolith and macroscopic charcoal records in the eastern and western areas of Aso Volcano, Japan. *Quaternary International* 254: 28–35.
- 水本邦彦. 2003. 草山の語る近世. 99 pp. 山川出版社, 東京都.
- 小椋純一. 2012. 森と草原の歴史. 343 pp. 古今書院.
- Okunaka, R., Kawano, T., & Inoue, J. 2012. Holocene history of intentional fires and grassland development on the Soni Plateau, Central Japan, reconstructed from phytolith and macroscopic charcoal records within cumulative soils, combined with paleoenvironmental data from mire sediments. *The Holocene* 22: 793–800.
- Reimer, P. J., Austin, W. E. N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P. G., Ramsey, C. B., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., Heaton, T. J., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., Manning, S. W., Muscheler, R., Palmer, J. G., Pearson, C., Plicht, J. van der, Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Turney, C. S. M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S. M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A. & Talamo, S. 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal, kBP). *Radiocarbon* 62: 725–757.
- Sasaki, N., Kawano, T., Takahara, H. & Sugita, S. 2004. Phytolith evidence for the 700-year history of a dwarf-bamboo community in the sub-alpine zone of Mt. Kamegamori, Shikoku Island, Japan. *Japanese Journal of Historical Botany* 13: 35–40.
- 柴田昌三. 2015. 緑化植物としてのササ類. 草と緑 7: 20–29.
- 嶋田 饒・川鍋祐夫・佳山良正・伊藤秀三. 1973. 草地の生態学. 287 pp. 築地書館.
- 須賀 丈. 2008. 中部山岳域における半自然草原の変遷史と草原性生物の保全. 長野県環境保全研究所研究報告 No. 4: 17–31.
- 高橋佳孝. 2004. 半自然草地の植生持続をはかる修復・管理法. *Grassland Science* 50: 99–106.
- 高岡貞夫・吉田真弥. 2011. 植物珪酸体と微粒炭の分析から推定される箱根町仙石原におけるススキ草原の成立過程. 第四紀研究 50: 319–325.
- 和歌山県. 2008. 生石高原県立自然公園指定書及び公園計画書. 37 pp. 和歌山県.
- 和歌山県. 2023. 第2次生物多様性和歌山戦略. 69 pp. 和歌山県.
- 渡邊稜也・江口誠一・藏本隆博. 2018. 秋吉台北部における大シブリ・ドリーネ堆積物中の植物珪酸体からみた植生変遷—特に草地景観の成立時期について. 植生史研究 27: 31–36.
- 渡邊稜也・江口誠一・藏本隆博. 2025. 山口県秋吉台の真名ヶ岳ドリーネにおける植物珪酸体と微粒炭分析からみた植生景観の変遷. 植生史研究 33: 19–29.
- 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.
- 矢野悟道. 1988. 日本の植生: 侵略と攪乱の生態学. 226 pp. 東海大学出版会, 神奈川県.
- 山戸美智子, 江間薫, 武田義明. 2013. 近畿地方中部の半自然草原における面積と種多様性, 種組成の関係. 植生学会誌 30: 119–126.
- 役割分担
- 井原佑弥: 試料採取, 分析全般, 分析結果解析, 図表作成, 論文執筆
- 林 尚輝: 試料採取, 分析指導, 分析結果解析, 図表作成, 論文執筆
- 井上 淳: 研究構想, 試料採取申請, 試料採取, 分析結果解析, 論文執筆

(2025年7月29日受理)