

阿蘇火山南西麓のテフラ累層における 最近約3万年間の植物珪酸体分析

宮 縁 育 夫* 杉 山 真 二**

A 30,000-year Phytolith Record of a Tephra Sequence at the Southwestern Foot of Aso Volcano, Japan

Yasuo MIYABUCHI * and Shinji SUGIYAMA **

Abstract

A 30,000-yr record of vegetation history has been constructed using a phytolith analysis of a tephra sequence located at the Kawahara No.3 archaeological site, southwestern foot of Aso Volcano, central Kyushu, southwestern Japan. The sequence was divided into three zones: Zone 3 (>ca. 31 cal ka), Zone 2 (31-13.5 cal ka), and Zone 1 (13.5-0 cal ka) in ascending order. Gramineae phytoliths were predominately detected at most horizons, whereas a small amount of arboreal phytolith was observed mainly at Late Holocene horizons. Zone 3 was dominated by a phytolith of *Sasa* (mainly *Sasa* sect. *Crassinodi*), a cool-temperature dwarf bamboo. However, vegetation composed mainly of *Sasa* dwarf bamboo had declined slightly in Zone 2, which corresponds to the Last Glacial Maximum. During the Holocene (Zone 1) the *Sasa* grassland dominated consistently, but phytolith of *Pleiolblastus* (a warm temperature dwarf bamboo) and arboreal such as *Distylium* increased from 7,300 years ago.

Key words : Aso Volcano, phytolith, vegetation history, Gramineae, dwarf bamboo

キーワード : 阿蘇火山, 植物珪酸体, 植生変遷, イネ科草本, ササ類

I. はじめに

阿蘇火山は、南北約 25 km、東西約 18 km のカルデラを有する火山である。カルデラ周辺域には約 220 km² に及ぶわが国最大級の草原が広がっており、その大部分はススキ草原、ネザサ草原、シバ草原といった半自然草地（野草地）からなっている。こうした雄大な草原の景観は、西暦 720 年に成立した『日本書紀』にも記載されていることから、阿蘇の草原は“千年の草原”といわれて

きた。しかし、その草原の歴史については科学的な根拠に乏しく、不明な点が多い。

阿蘇火山周辺域においては、カルデラ内湖沼堆積物の花粉分析により、最終氷期以降の植生変遷に関する研究が行われている（長谷・岩内, 1992; 岩内・長谷, 1992）。しかし、花粉分析による研究は、花粉の保存性の問題から湖沼や低湿地、山間の高層湿原などに限定されるという欠点がある。現在草原が存在する阿蘇火砕流台地のような乾燥した環境での植生を直接的に推定するために

* 森林総合研究所九州支所

** 古環境研究所

* Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

** Paleoenvironment Research Co., Ltd.

は、植物が枯れて分解した後もガラス質の微化石となって長期間土壌中に残留している植物珪酸体(プラント・オパール)を使用した分析方法が有効である(杉山, 2000)。

こうした観点から、山田ほか(1997)は阿蘇火山西麓の土壌断面において植物珪酸体分析を行い、過去約3万年間にわたって草原植生が続いていたことを報告している。さらに、宮縁・杉山(2006)は阿蘇カルデラ東方域のテフラ断面で植物珪酸体分析を実施して、火山西麓と同様に過去約3万年間イネ科草本を主体とする植生が継続していることを明らかにするとともに、最近約13,500年間は一貫してスキ草原が優占する草原植生が続いていたという結果を得ている。これらの研究により、“千年の草原”といわれてきた阿蘇の草原が“万年オーダー”のものである可能性が出てきている。しかし、植物珪酸体分析は花粉分析のような広域の植生推定が難しいという問題点があるため、阿蘇カルデラ周辺域という広い面積の植生変遷を明らかにするためには、多数の地点で分析を行う必要がある。

そこで、本研究では宮縁・杉山(2006)の分析地点とカルデラを挟んだ反対側にあたる阿蘇火山南西麓の河原第3遺跡におけるテフラ断面を対象に、土層の観察・採取と植物珪酸体分析を行った。それらの結果から同地域における最近約3万年間の植生変遷を明らかにするとともに、カルデラ東方域との植生構成種の違いについて考察する。

II. 試料採取地点のテフラ層序

調査および試料採取を行った地点(32°48'02" N, 130°55'28" E, 標高 512 m)は、阿蘇カルデラ南西方に位置する熊本県阿蘇郡西原村大字河原字大野の河原第3遺跡である(図1)。この遺跡は、先阿蘇火山岩類の一つである高畑山(標高 796 m; 田村ほか, 1983)から西側に下った谷部に近い斜面に立地している。周辺地域には後期旧石器時代～縄文時代を中心とした多数の遺跡が存在しており、本遺跡を含む旧石器時代の遺跡に関しては緑川水系に広がる大矢野原遺跡群として捉

えられている(木崎, 1985)。

河原第3遺跡は、1980年代の農道開通に伴って発見されてから、複数の遺物包含層の存在を予想させる多くの石器が採取されていた。そのような状況を受けて、熊本大学文学部考古学研究室が2000～2005年にかけて6次にわたる発掘調査を行っている。そうした発掘調査(調査面積 90 m²)により、旧石器時代～縄文時代にかけて多層位にわたる文化層が認められ、剥片尖頭器・ナイフ型石器・台形石器などの遺物が発見された。また、細石刃石器群ブロックの存在が確認されたことも大きな特徴といえる(芝・小畑, 2007)。

筆者らは、第2次調査で掘削された土層確認トレンチにおいて、2002年3月28日および4月1日に土層およびテフラ層の観察と試料採取を実施した。また、第3次調査中の2002年9月11日にも第3トレンチ断面(図2)で層序の確認を行った。基本的な土層層序は宮本(2003)や芝・小畑(2007)などに示されているとおりであるが、以下にその概要を述べる(図3)。

I層からVc層までは全体的に黒色味が強く腐植に富む黒ボク土層となっている。表土のI層は黒色(10YR1.7/1; マンセル方式の標準土色帖による色調)、II層は褐色(10YR4/6)を呈している。III層には広域テフラである明黄褐色(10YR6/8)の鬼界アカホヤ火山灰(長友・庄子, 1977; 町田・新井, 1978, 2003; 略称 K-Ah)がブロック状に存在し、IV層は暗褐色(10YR3/3)土層となっている。V層は暗褐色(10YR2/1～2/2)を呈するが、中央に礫を含み二次堆積物の可能性がある暗黄褐色(10YR4/3)のVb層が挟在している。阿蘇カルデラ周辺部における、この黒ボク土層基底部(Vc層基底部)の年代は約13.5 cal ka (¹⁴Cの較正暦年代)と報告されている(宮縁ほか, 2004)。VI層からX層は褐色土層が主体となっている。灰黄褐色(10YR4/2)のVI層と黄褐色(10YR5/6)のVII層は堅くしまっており、クラックが発達している。とくにVII層は堅くしまっているという産状から、中岳活動初期にあたる噴出物(火山灰とスコリアの厚い互層; 山崎第15～

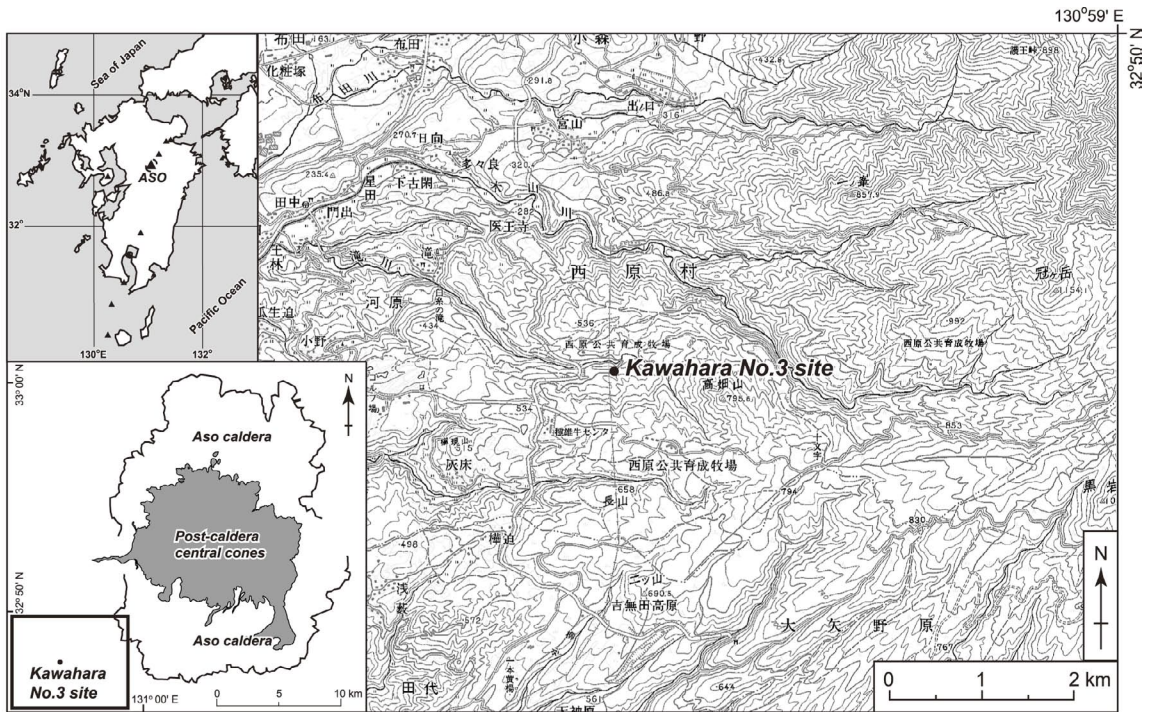


図 1 河原第 3 遺跡の位置。

国土地理院発行 1 : 50,000 地形図「御船」の一部を使用。経緯度は WGS84 による。

Fig. 1 Location of the Kawahara No.3 archaeological site, Nishihara village. Part of the 1 : 50,000 topographic map entitled "Mifune" and published by the Geographical Survey Institute was used. Longitude and latitude are shown as WGS84.

20 スコア; 宮縁ほか, 2004) の遠方相と考えられ, その基底部の年代はカルデラ東方域の地点で約 22 ~ 21 cal ka とされている。VIIIa 層と VIIIb 層は黄褐色 (10YR5/8) で, 上位に比べてやわらかい土層である。灰黄褐色 (10YR4/2) の IX 層にはバブルウォール型の火山ガラスが多数混在しており, これは約 29 cal ka (奥野, 2002) の始良 Tn 火山灰 (町田・新井, 1976, 2003; 略称 AT) に対比できる層準である。この対比は, IX 層に含まれる炭化物から得られた ^{14}C 年代値 ($24,570 \pm 200$ yrs BP; 芝・小畑, 2007) からみても問題はない。また, 黄褐色 (10YR5/7) の X 層中には橙色を示す軽石 (最大径 1.5 cm) が散在しており, これは阿蘇火山起源の鍵テフラである約 31 cal ka (宮縁ほか, 2003) の草千里ヶ浜軽石 (渡辺ほか, 1982; 略称 Kpfa) と判断される。

X 層下部は礫を含んでおり, 二次的に移動した堆積物かもしれない。XI 層から XIII 層にかけては暗色帯となっている。XI 層は灰黄褐色 (10YR4/2), XIII 層は黒色 (10YR2/1) を呈しているが, その間の暗黄褐色 (10YR4/3) の XII 層は礫を含む二次堆積物あるいは人為による攪乱層と考えられる。Kpfa 直下付近に黒ボク土層が存在することは, 阿蘇カルデラ周辺域に共通した特徴である (渡辺・高田, 1990; 山田・久保寺, 1996; 宮縁ほか, 2003)。その基底部 (本地点では XIII 層基底部) の年代はカルデラ東方域の地点において約 32 cal ka と報告されている (宮縁ほか, 2003)。その下位の XIV 層は暗灰黄褐色 (10YR4/2 ~ 4/3), XV 層は明褐色 (7.5YR5/6) を呈する土層であった。

以上のようなトレンチ断面の土層から 26 点の

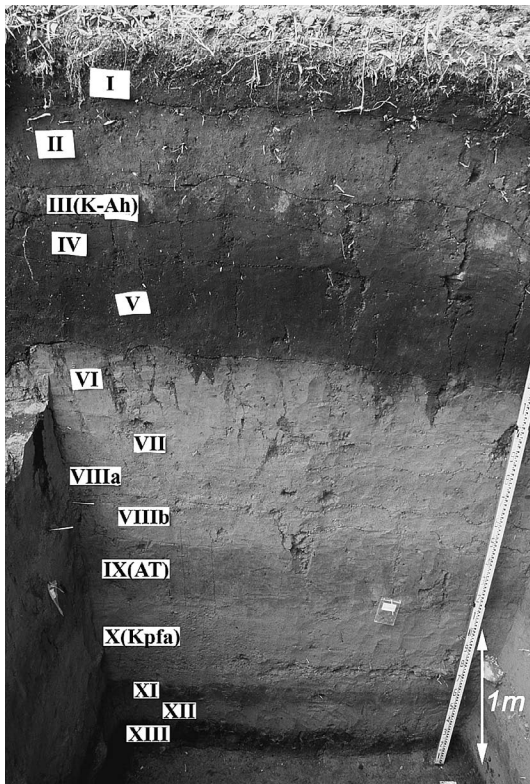


図 2 河原第3遺跡におけるテフラ断面.

Fig. 2 Photograph of the tephra sequence at the Kawahara No.3 archaeological site.

試料を採取した。基本的には各土層から一つの試料を採取したが、土層の層厚が20 cmを超えるとときには5～10 cm間隔でサンプリングを行った。

今回の調査地から最も近い(西北西7.7 km)気象観測点である益城(熊本空港測候所; 標高193 m)での2003～2006年の観測データによれば、年平均気温は15.7℃、最寒月(1月)と最暖月(8月)の平均気温はそれぞれ3.6℃と26.5℃、また年降水量は2,315 mmと多雨であり、梅雨末期の7月には500 mm/月以上の降雨がある。調査地はこの気象観測点よりも300 m程度高標高に位置するため、さらに冷涼で多雨であると考えられる。なお、河原第3遺跡における現在の植生はススキやネザサを主体とし、発掘

区のまわりにはクスギなどの樹木も認められ、約10 m 東側にはヒノキ人工林も存在している。

III. 分析方法

前述の断面から採取した26点の試料について、粒度組成、炭素含有量を測定するとともに、21試料の植物珪酸体分析を行った。また、現地においては試料を採取した層準の土壌硬度を測定した。

1) 粒度組成

採取した土壌試料0.5～1.0 g程度をピーカーにとり、少量の水を加えた後、過酸化水素水(30%)を加えて攪拌した。そして、ほとんど反応がみられなくなるまで過酸化水素水の添加を繰り返した(約1週間)。こうして有機物の分解を行った試料を、レーザー回折式粒度分布測定装置(Malvern社製 Mastersizer S)を用いた超音波照射下での湿式分散法(分散剤未使用)で粒度分析を行った。なお、分析結果は碎屑性堆積物の粒度階区分(Wentworth, 1922)を使用して粘土(< 1/256 mm)、シルト(1/256～1/16 mm)、砂(1/16～2 mm)画分の割合を算出した。

2) 土壌硬度

土壌硬度の測定は、山中式土壌硬度計(山中・松尾, 1962)を、各土層断面に対して垂直に押し込み、指標硬度といわれる貫入量(mm)を読みとった。各層準において得られた5回程度の測定値を平均して、その土層の硬度として採用した。土壌硬度は堆積物の粒度組成、孔隙量、乾燥密度、有機物や結合物質、水分状態等を複合的に反映するとされている(土壌環境分析法編集委員会, 1997, p.33)。

3) 炭素含有量

風乾した試料をメノウ乳鉢で粉碎した後、50～70 mg程度スズ箔に封入し、九州沖縄農業研究センター所有の全自動元素分析装置(Elementar社製 vario EL)を用いた乾式燃焼法で、全炭素含有量(%)を定量した。さらに、その分析値は105℃で絶乾して求めた乾物率で補正を行った。

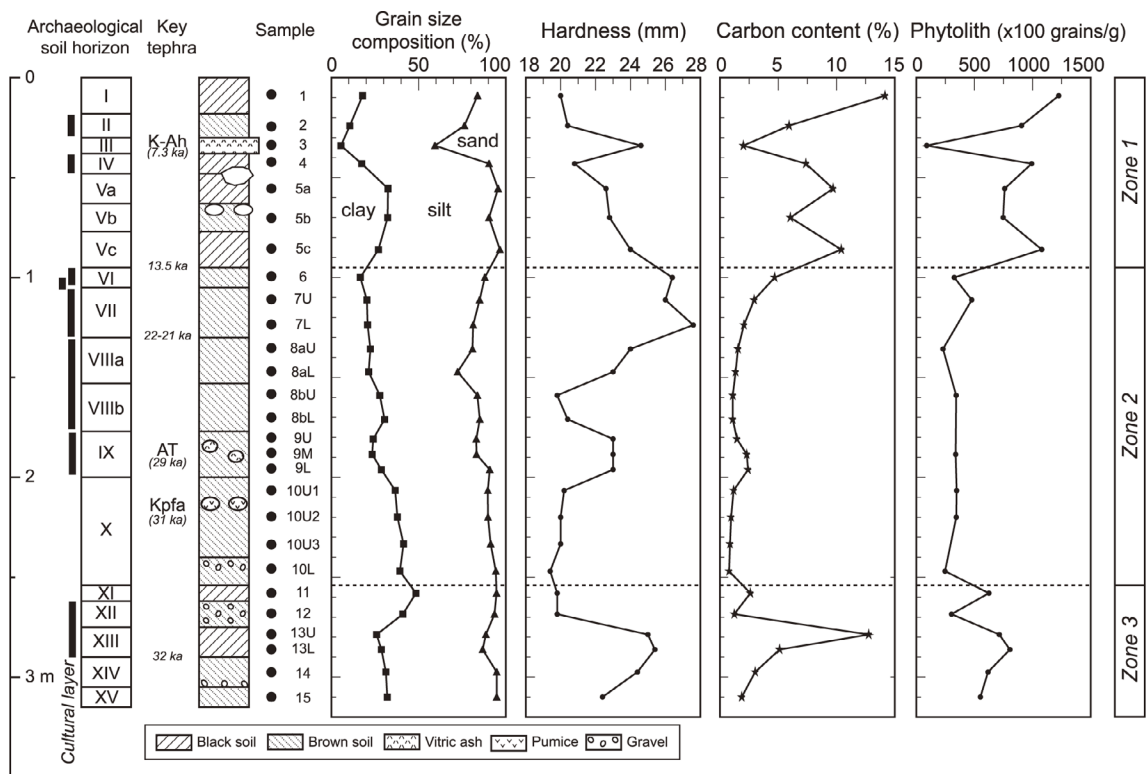


図 3 調査断面におけるテフラ層序と粒度組成，土壤硬度，炭素含有量，植物珪酸体総数の鉛直方向の変化。粒度組成は Malvern 社 Mastersizer S を用いた湿式分散法による分析値で，土壤硬度は山中式土壤硬度計（山中・松尾，1962）による測定値である。テフラの年代（ ^{14}C の較正暦年代）は奥野（2002），宮縁ほか（2003, 2004）による。

Fig. 3 Tephra stratigraphy of the section and vertical variations of grain size, soil hardness, carbon content, and phytolith concentration of sampled soil layers. Grain size compositions were determined by laser light scattering under wet dispersion conditions, using Malvern Instruments Mastersizer S. Soil hardness was measured with a Yamanaka cone penetrometer (Yamanaka and Matsuo, 1962). Ages of key tephra layers (calibrated ^{14}C dates) are from Okuno (2002) and Miyabuchi *et al.* (2003, 2004).

4) 植物珪酸体

植物珪酸体の抽出と定量は，プラント・オパール定量分析法（藤原，1976）に従って，つぎの手順で行った。(1) 試料を 105°C で 24 時間乾燥（絶乾），(2) 試料約 1g に対し直径約 $40\ \mu\text{m}$ のガラスビーズを約 0.02g 添加（電子分析天秤により 0.1 mg の精度で秤量，約 30 万個），(3) 電気炉灰化法（ 550°C で 6 時間）による脱有機物処理，(4) 超音波水中照射（300 W，42 KHz，10 分間）による分散，(5) 沈底法による $20\ \mu\text{m}$ 未満の微粒子除去，(6) 乾燥，(7) 封入剤（オイキット）

中に分散してプレパラート作成，(8) 検鏡・計数。

同定と計数は，400 倍の偏光顕微鏡下で，ガラスビーズ個数が 400 以上になるまで行った。これは，ほぼプレパラート 1 枚分の走査に相当する。試料 1g あたりのガラスビーズ個数に，計数された植物珪酸体とガラスビーズ個数の比率をかけて，試料 1g 中の植物珪酸体個数を求めた。なお，本研究における植物珪酸体の主な分類基準等については，藤原(1976)，藤原・佐々木(1978)，近藤・佐瀬(1986)，杉山・藤原(1986)，杉山

ほか (1988), 杉山 (1999) を参照されたい。また, タケ亜科植物の分類に関しては, 鈴木 (1996) にしたがった。

IV. 結 果

採取した土層の各種分析結果を図3に示す。土層の産状, 植物珪酸体総数などの変化から, 調査断面を下位から Zone 3 (試料 11 ~ 15), Zone 2 (試料 6 ~ 10L), Zone 1 (試料 1 ~ 5c) の3つの植物珪酸体帯に区分した。Zone 3 は黒ボク土層と褐色土層, Zone 2 は褐色土層が発達している。また Zone 1 は全体として黒ボク土層 (K-Ah が挟在) からなっている。Zone 2/3 間および Zone 1/2 間境界の年代は, それぞれ約 31 cal ka (Kpfa の降下年代から推定) と約 13.5 cal ka (カルデラ東方域の黒ボク土層基底部で得られた ¹⁴C 年代の暦年較正結果) である (宮縁ほか, 2003, 2004)。以下, 各種分析結果について述べる。

1) 粒度組成と土壤硬度

調査断面における土層の粒度組成は, シルト画分を主体として構成されているが, 各画分の割合については Zone によって差が認められた (図3)。Zone 3 においては, 粘土画分の割合が XI 層および XII 層で 40% 以上を占めているが, それ以外の層準では 30% 前後であった。砂画分の割合は 5 ~ 13% 程度であった。Zone 2 での粒度組成はシルト画分が 52 ~ 71% で推移していた。粘土画分の割合は上部の VI 層で 17% であったが, 下位ほど漸増して X 層で 40% 程度の割合に達していた。砂画分は VIIIa 層で 19 ~ 28% の割合を示したが, 全般的には下位ほど減少する傾向がみられた。Zone 1 でも, 粘土画分の割合が下位ほど増加する傾向にあり, V 層では 30% 程度の割合であった。砂画分の割合は III 層の鬼界アカホヤ火山灰の層準で約 40% と最も高く, 全般的には下位ほど割合が減少する状況であった。

土壤硬度の変化も各 Zone 間で差異がみられた。Zone 3 では, XIII ~ XIV 層で土壤硬度の値 (指標硬度) が 25 mm 前後であったが, 上部の XI と XII 層では 20 mm 程度の値であった。Zone 2 での土壤硬度は最も変化が激しく, 上位ほど漸増

して VI ~ VII 層付近で 26 mm 以上の値を示していた。一方, Zone 1 においては III 層の K-Ah 火山灰を除くと, 上位ほど土壤硬度が漸減する傾向にあり, 最表層の I 層の硬度は 20 mm であった。このように調査断面では土壤硬度の変化がみられたが, 全体的には指標硬度の値が 20 mm 以上を示す比較的堅くしまったシルトから粘土質の土層が連続していた。

2) 炭素含有量

調査断面における炭素含有量の鉛直方向の変化を図3に示した。炭素含有量も Zone によって変化の違いが認められた。Zone 3 での炭素含有量は黒色を呈する XIII 層で約 13% と高い値を示し, それ以外は 1 ~ 5% 程度であった。Zone 2 においては, 下部の X 層で 1% 以下の値であったが, 上位ほど炭素含有量が漸増する傾向にあり, VI 層では 6% 程度であった。全般的に黒色を呈する Zone 1 での炭素含有量はおおむね 5% 以上の値を示し, 他の Zone よりも顕著に高い傾向がみられた。III 層 (K-Ah) では 2% と低かったが, 最表層の I 層では約 14% という最大値を示していた。調査断面全体でみると, 炭素含有量は褐色を呈する Zone 2 で低い値となっていたが, 黒ボク土層を主体とする Zone 3 と Zone 1 では高い傾向にあった。

3) 植物珪酸体総数と組成

植物珪酸体総数は, 上述した炭素含有量と調和した変化傾向が認められた (図3)。Zone 3 と Zone 1 では変動がみられるが, 一部の層準を除いておおむね 50,000 個/g 以上の値を示していた。なお, 最表層の I 層では本断面における珪酸体総数の最大値 (約 122,000 個/g) が認められた。一方, Zone 2 では 24,000 ~ 35,000 個/g 程度と他の Zone に比べて, 植物珪酸体総数が低い傾向で推移していた。

鏡下での観察によって検出されたのは, イネ科 Gramineae 起源の機動細胞珪酸体, 表皮毛起源, 棒状珪酸体, その他未分類のものほか, 樹木起源の植物珪酸体である (図4)。

最下位の Zone 3 では, ミヤコザサ節 *Sasa* sect. *Crassinodi* 型などササ属を主体とするタケ

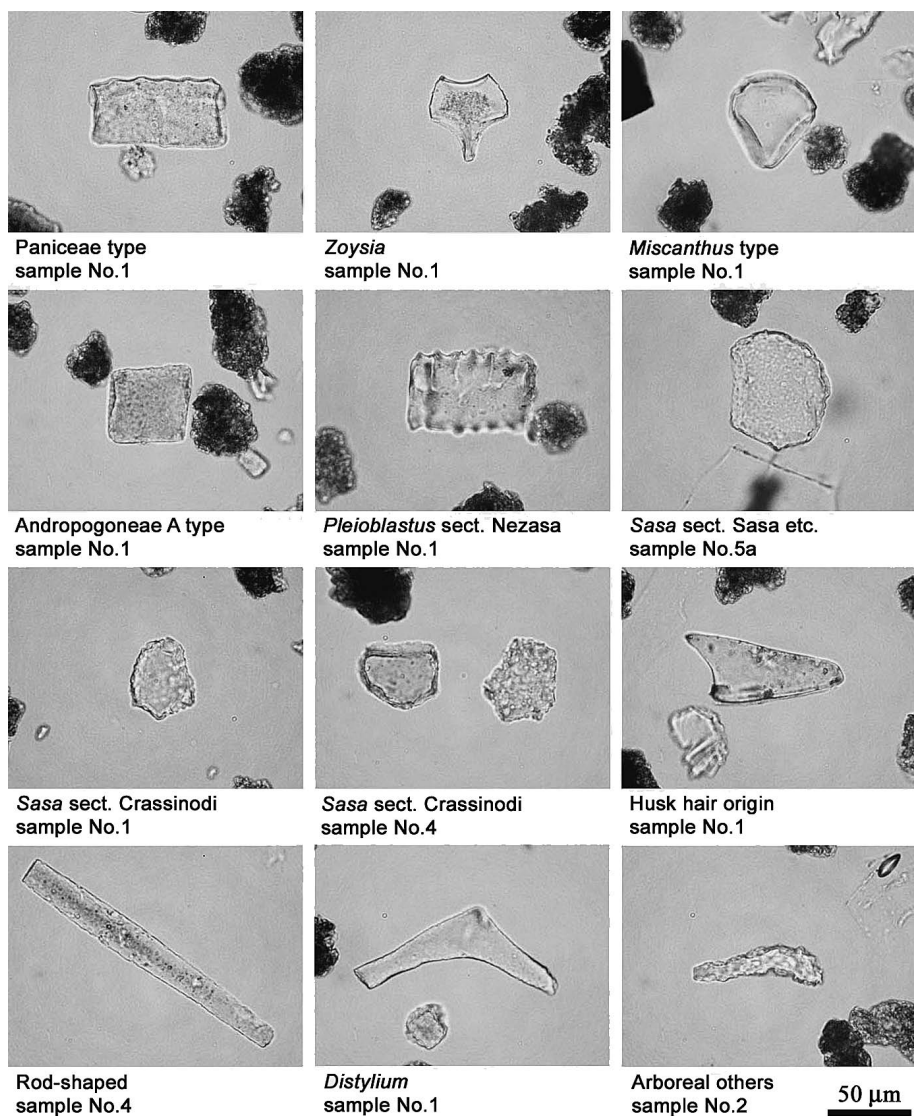


図 4 検出された植物珪酸体の顕微鏡写真。

Fig. 4 Micro-photographs of the phytolith morphotypes distinguished in this study.

亜科 Bambusoideae の植物珪酸体が多量に認められた (図 5)。その他、ネザサ節 *Pleioblastus* sect. *Nezasa* 型やウシクサ族 *Andropogoneae* A 型、棒状珪酸体なども検出された。樹木起源の珪酸体は XIII 層でわずかにみられたのみであり、Zone 3 においてはイネ科草本の植物珪酸体が大多数を占めていた。

Zone 2 で検出される植物珪酸体の量は他の Zone に比べて少なかったが、すべての試料でミヤコザサ節型の珪酸体が多く含まれていた。ネザサ節型や樹木の珪酸体は一部の試料でごく少量認められる程度であった。

最上位の Zone 1 でも、下位の Zone 同様にミヤコザサ節型の珪酸体がすべての試料で多量に検

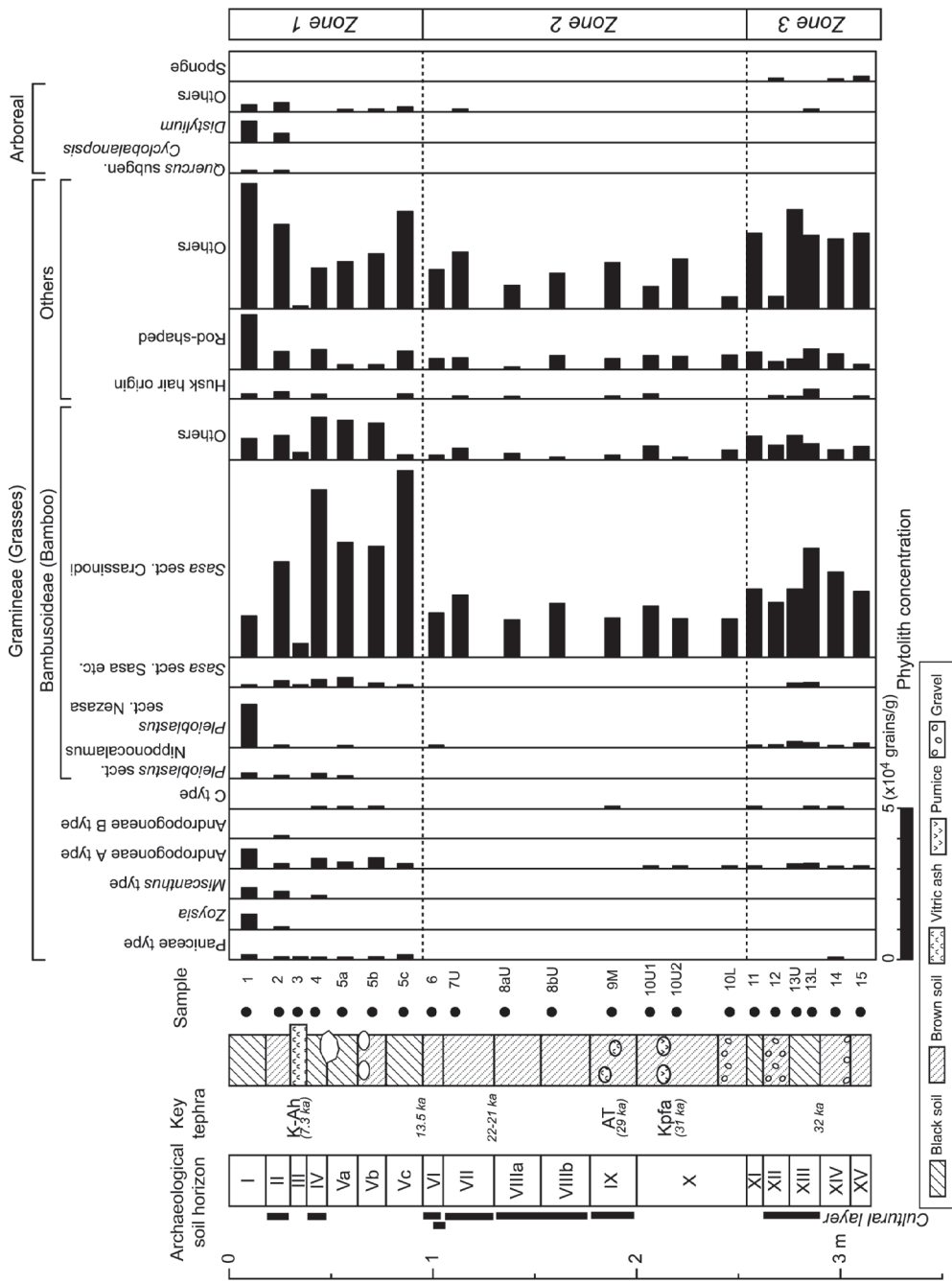


図 5 河原第3遺跡の調査断面における土壌層の植物珪酸体ダイアグラム.

Fig. 5 Phytolith diagram of soil layers in the studied section at the Kawahara No.3 archaeological site.

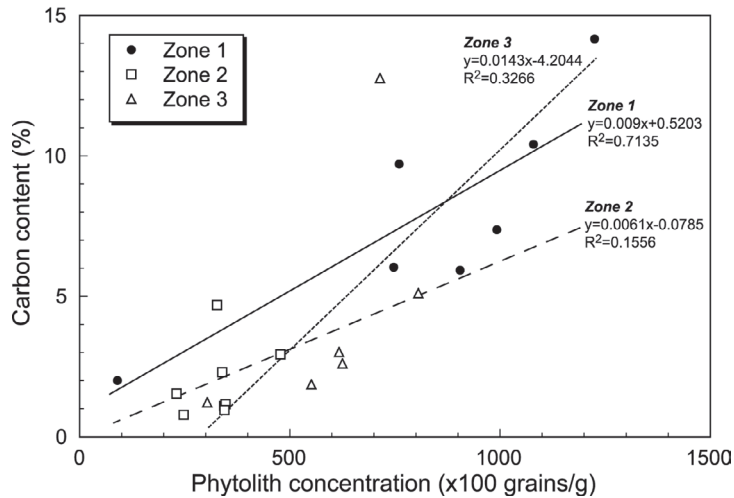


図 6 炭素含有量と植物珪酸体総数との関係。

Fig. 6 Relation between carbon content and phytolith concentration.

出され、チマキザサ節 *Sasa sect. Sasa etc.* 型、ウシクサ族 A 型やキビ族 *Panicaceae* 型の植物珪酸体も連続して認められた。また、Va 層より上位ではメダケ属（メダケ節 *Pleiblastus sect. Nipponocalamus* 型とネザサ節型）の珪酸体が観察された。とくにネザサ節型の珪酸体は最上部の I 層に多量に含まれていた。その他、ススキ属 *Miscanthus* 型の珪酸体が K-Ah 火山灰直下層 (IV 層) より上位に、シバ属 *Zoysia* 珪酸体が K-Ah 直上層 (II 層) から上位に検出された。一方、樹木起源の植物珪酸体も少量ではあるが、III 層と IV 層を除いてほぼ連続的に存在しており、K-Ah の上位ではマンサク科（イスノキ属）*Distylium* が顕著に認められ、ブナ科（アカガシ亜属）*Quercus* subgen. *Cyclobalanopsis* の珪酸体も含まれていた。

このように、調査断面で検出された植物珪酸体の大部分はイネ科起源のものであり、樹木起源のものはわずかであった。各 Zone における植物珪酸体総数と炭素含有量との関係を図 6 に示した。黒ボク土層を主体とする Zone 1 においては他の Zone と比較して、より高い正の相関が認められた。

V. 考 察

1) 植物珪酸体分析からみた阿蘇火山南西麓の植生変遷

河原第 3 遺跡での植物珪酸体分析から、阿蘇火山南西麓における最近約 3 万年間の植生および環境の変遷を考察すると、以下のようになる。

約 32 cal ka 以前より Kpfa 降下直前の 31 cal ka 頃までの間、この地域ではミヤコザサ節などササ属が優占する植生が存在したものと考えられる。樹木由来の植物珪酸体のごくわずかししか検出されないことから、この時期に樹木はほとんど存在しなかったようである。また、ミヤコザサ節が卓越していることから、当時は寒冷で降水量の比較的少ない乾燥した環境下にあったのであろう。

約 31 ~ 13.5 cal ka の時期にも前述したササ属が優占する植生が続いたが、この時期の土層中に含まれる植物珪酸体総数は少ないことから、13.5 cal ka 頃まで本地域は植被密度が低い環境下にあったと推察される。日本列島における酸素同位体変動（町田・新井, 2003）や九州南部で得られた植物珪酸体分析結果（杉山, 2004）などから、九州中部でも 29 ~ 15 cal ka 頃に最も寒冷化したものと考えられる。したがって、約 31 ~

13.5 cal ka における植生の衰退は、最終氷期末期の寒冷化によるものであろう。また、阿蘇火山では約 22 ~ 16 cal ka の時期に中岳とその周辺域で爆発的な噴火が間欠的に発生し、カルデラ東方域を中心に多量のテフラ（スコリアと火山灰）が堆積している（宮縁ほか、2004）。気候の寒冷化とともに、急速なテフラの堆積によって、阿蘇カルデラ西方域においても植生が衰退傾向にあった可能性が考えられる。

寒冷でやや衰退した植生環境は約 17,500 年間続いたが、約 13.5 cal ka を境にして、全体的に植物珪酸体総数が増加し、急速に植被密度の高い環境へと変化した。また、10 cal ka 頃からメダケ属も加わるようになり、7.3 cal ka の鬼界アカホヤ火山灰降下以降の時期にはミヤコザサ節などササ属の量が減少する一方で、ネザサ節の量が急増し、ススキ属やシバ属も出現している。さらに、完新世には樹木起源の植物珪酸体も連続して認められた。とくにイスノキ属は 7.3 cal ka 以降、急激に増加し、アカガシ亜属や他の樹木も顕著にみられるようになった。これらのことは 7.3 cal ka 以降に進んだ温暖化の影響によるものであろう。

完新世において、河原第 3 遺跡付近では初期にササ属（とくにミヤコザサ節）を主体としてキビ族やウシクサ族もみられる植生が存在したが、7.3 cal ka 以降はネザサ節（メダケ属）とササ属が優占してススキ属やシバ属もみられる植生に移り変わるようになり、さらにイスノキ属などからなる樹木も存在したことが明らかとなった。こうした完新世後期にみられた植生は、河原第 3 遺跡周辺の現植生ともおおむね類似している。

以上述べたように、調査地においては過去約 3 万年間にわたってササ属を主体とする植生下にあったと推定されたが、どのような植生景観を呈していたのであろうか。ササ属は草原の優占種である一方で、林床植生の主要構成要素でもある。したがって、ササ属が生育していたというだけでは、過去の植生が草原であったのか、あるいは森林であったのかを判断することは難しい。しかしながら、これまでの植物珪酸体による研究では、

黒ボク土層は草原植生下で生成されることが明らかになっている（佐瀬、1989; 細野・佐瀬、1997 など）。たとえ林床にササがあっても森林植生下では褐色森林土層が生成されるようである（河室・鳥居、1986）。一方、褐色土層は森林植生下だけでなく、草原植生であっても寒冷気候下や母材の堆積速度が速い場合に腐植の集積が起こらないために生成することが報告されている（井上、2002; 佐瀬ほか、2006; 宮縁・杉山、2006）。こうしたことから判断すると、河原第 3 遺跡周辺では褐色土層を主体とする Zone 2 の時期（31 ~ 13.5 cal ka）にはササ草原あるいは林床にササを伴う森林のいずれかの植生環境にあり、主に黒ボク土層からなる Zone 3 の 32 ~ 31 cal ka 頃（XI 層および XIII 層に相当する部分）と Zone 1（13.5 cal ka 以降）の時期にはササ草原が広がっていた可能性が考えられる。

2) 阿蘇カルデラ東方域と西方域における植生環境の違い

本研究により、阿蘇カルデラ南西方の河原第 3 遺跡周辺では最近約 3 万年間にわたってイネ科草本が優占する植生下にあったことが明らかになった。その植生構成種はミヤコザサ節などのササ属を主体としており、完新世後期にはネザサ節などのメダケ属が増加するという変化が認められた。このような気候の温暖化に伴うタケ亜科の中でササ属からメダケ属を主とする植生へ遷移は、わが国の他の地点での植物珪酸体分析によっても確認されている（杉山、2001 など）。ただ、今回の調査地点においてはメダケ属が増加する時期は、急激な気候の温暖化が生じたとされる完新世初頭ではなく、7.3 cal ka 以降である。このように、メダケ属珪酸体の増加時期が完新世の開始と一致しない現象は、九州南部の上野原遺跡（杉山、1999）や都城盆地（井上ほか、2000）のほか、関東地方の愛鷹山麓（佐瀬ほか、2006）や富士火山東麓（佐瀬ほか、2008）においても確認されている。その理由として、佐瀬ほか（2008）は種子繁殖ではなく、栄養体繁殖で分布を拡大するタケ亜科植物が気候変動に速やかに反応できなかったためではないかと考えている。今回の調査地では

ネザサ節珪酸体は 10 cal ka 頃から出現するが、最近 3,000 ~ 4,000 年間に急増している。ネザサは採草や放牧等による被圧に強いとされていること (伊藤, 1966; 沼田, 1966) から、完新世後期にみられるネザサ節の増加は人間活動の影響を示しているのかもしれない。

一方、阿蘇カルデラ東方域における植物珪酸体分析結果 (宮縁・杉山, 2006) でも、イネ科草本が優占する植生が最近約 3 万年間継続したということが報告されているが、最終氷期にササ属が存在しているものの、後氷期の温暖化に伴って出現する可能性があるメダケ属の増加が見出されず、完新世の時期には一貫してススキ草原が続いていたことが明らかとなった。このように、阿蘇カルデラの東方域と西方域の調査地点では、完新世における草原植生の構成種に明瞭な違いが認められた。両者の違いを生じた原因としては、両地点における標高差や火山活動による影響の違い、さらに人間活動の有無や程度の差などが考えられる。

まず標高の違いについてであるが、カルデラ東方域の分析地点の標高は約 800 m であり (宮縁・杉山, 2006)、今回分析を行った河原第 3 遺跡は約 510 m に位置している。つまり標高差は約 300 m ということになるが、中部九州において、その程度の標高差が植生種の違いを生じるほどの影響があるとは考えにくい。もしそうした影響があると仮定しても、ススキよりもミヤコザサなどのササ属の方が寒冷な気候に適応していることから、高標高域にササ草原が出現することになるが、阿蘇カルデラ周辺ではむしろ逆の結果となっている。したがって、2つの地点における植生構成種の違いを標高差で説明することは難しい。

つぎに火山活動の影響であるが、わが国は年間を通して西風が卓越するために、一般的に降下テフラなどの噴出物は風下側にあたる火山の東方域に多く分布する傾向がある。実際に阿蘇カルデラ東方域には Aso-4 噴火以降に膨大な量の降下テフラが堆積しているが、西方域ではテフラ層全体が薄い傾向にある (宮縁ほか, 2003)。つまり、カルデラの東方域と西方域では降下テフラの堆積

速度に著しい差が認められる。完新世 (13.5 cal ka 以降) における土壌層を含めたテフラ堆積速度は東方域 (宮縁・杉山, 2006 の分析地点) で 40 cm/ky、西方域 (河原第 3 遺跡) で 7 cm/ky と 6 倍程度の差がある。また、火山活動が相対的に活発であった 29 ~ 13.5 cal ka の時期には東方域で 60 cm/ky、西方域で 5 cm/ky と 10 倍以上の堆積速度の違いが認められた。こうしたテフラ堆積速度の著しい違いは、気候とともに植生量に大きな影響を及ぼしている。とくに 29 ~ 13.5 cal ka の時期には、今回分析した西方域では 24,000 ~ 35,000 個/g 程度の植物珪酸体が検出されたが、東方域では 1,000 個/g 以下とさらに少なく、かなり植被密度の低い状況が示唆された。一方、火山活動が比較的穏やかである完新世の時期にはいずれの地域でもおおむね 50,000 個/g 以上の植物珪酸体が検出され、想定される植生量に大きな違いは認められなかった。したがって、テフラ堆積速度という観点から、その速度が 10 倍以上の差がある 29 ~ 13.5 cal ka の時期には火山の東方域と西方域で植生量に大きな違いがみられたが、堆積速度に 6 倍程度の差しかない完新世には顕著な植生量の違いは生じていない。

火口から放出された火山ガスもテフラと同様の分布傾向を示すと考えられる。ススキは硫気孔原植物の一つで、火山ガスに対する抵抗性が強いといわれていること (根来, 1943) から、ススキの草原がカルデラ東方域に存在することは十分に予想される。しかし、カルデラ東方での調査地点が中岳火口 (最近約 2 万年間の主要活動地域) から約 10 km も離れており、火山ガスの影響を長期間強く受けてススキ以外の植物が繁茂できなかったとは考えにくい。したがって、テフラや火山ガスの放出といった火山活動の影響の違いが、完新世の草原構成種の差を生じさせている原因ではないと推察される。

最後に人間活動との関わりについて検討する。宮縁・杉山 (2006) は阿蘇カルデラ東方域で約 13,500 年間ススキ草原が継続した理由について、つぎのように考察している。ススキの種子は風で飛散するため、裸地などに容易に侵入することが

可能であるが、一旦は定着したとしても、ススキ草原が自然状態で長期間継続することは難しいといわれている（山根, 1973）。阿蘇地域の採草地でも、野焼きの影響が弱まると、ススキが衰退してノリウツギなどの灌木が急速に成長するという調査結果が報告されている（大滝, 1997, p.29-31）。ススキ草原を長期間継続させるためには、定期的に刈り取りを行うか、雷・乾燥等により山火事が繰り返し発生することなどが必要である。しかし、自然状態で山火事が何度も繰り返し起こる可能性は低いと考えられる。実際に阿蘇地域の草原は、長年にわたる採草・放牧・火入れにより発達・維持されてきたとされている（宮脇, 1981, p.238-239）。なかでも野焼き（火入れ）は刈り取りなどよりも効率的に草原植生を維持できる方法であり、少なくとも15世紀中頃～16世紀末頃の下野狩（阿蘇社の宗教行事の一つとして阿蘇カルデラ北西部で実施された狩猟）時には火入れが行われていたことが指摘されている（阿蘇品, 1999, p.183-189）。阿蘇地域における具体的な野焼き開始時期は明らかではないが、北側カルデラ壁の大観峰付近では9.7～9.5 cal ka 頃より上位の土層中に草本植物起源と考えられる微粒炭が多量に存在するという報告（小椋ほか, 2002）もあり、阿蘇カルデラ東方域などでは1万年前頃より野焼きが行われてススキ草原が維持されていた可能性は十分に考えられる。

一方、カルデラ南西方の河原第3遺跡周辺域では、旧石器時代から縄文時代にかけて複数の文化層の発見など顕著な人間活動の痕跡が認められている（芝・小畑, 2007）が、火入れが行われるような機会は少なく、ススキ草原が長期に継続するような状態にはならなかったのかもしれない。ただ、今回の調査地でも完新世の時期にはチガヤなどウシクサ族A型、7.3 cal ka 以降にはススキ型の珪酸体が検出されたことから、高い頻度ではないものの火入れが行われた可能性もある。これらの点については今後、微粒炭分析などを行って検証しなければならない。

このように、完新世の主要植生構成種は異なるものの、阿蘇カルデラの東方域、西方域ともに最

近約3万年間にわたってイネ科草本を主体とする植生下にあったということになる。こうした結果は、阿蘇火山西麓で行われた植物珪酸体分析の結果（山田ほか, 1997）とも調和している。一方、阿蘇カルデラ内に位置する内牧では、ボーリングコア（深さ85.3 m）の花粉分析が行われている（長谷・岩内, 1992; 岩内・長谷, 1992）。そのボーリングコアの分析からは、全体を通してイネ科草本とともに樹木起源の花粉が多量に検出され、最終氷期末期から後氷期にかけて、針葉樹・落葉広葉樹混交林、針葉樹林、落葉広葉樹林、常緑広葉樹林へと森林植生が変化することが明らかになっている。彼らが示した結果は、筆者ら（宮脇・杉山, 2006; 本研究）や山田ほか（1997）が報告したカルデラ周辺の植生変遷とは大きく異なるものである。カルデラ周辺域での植物珪酸体分析では、完新世後期を除くと、樹木起源の珪酸体がほとんど検出されず、長谷・岩内（1992）や岩内・長谷（1992）が報告した森林植生の変化を見出すことはできなかった。このことは、植物珪酸体と花粉という分析手法の違いに起因するものかもしれないが、長谷・岩内（1992）、岩内・長谷（1992）の花粉分析結果がカルデラ内の植生を反映していると解釈すれば、カルデラ内とカルデラ周辺の阿蘇火砕流台地上とでは植生が大きく異なっていた可能性がある。珪藻分析によると、阿蘇カルデラ北部の阿蘇谷では8,200年前頃（¹⁴C年代）まで湖が存在し、その後も沼や湿地などの環境が続いたことがわかっている（長谷ほか, 2003）。そのことを反映して、阿蘇火山周辺の旧石器遺跡の大部分はカルデラ外に存在している（木崎, 1985; 阿蘇の狩人の会, 1998; 小畑ほか, 2001）。縄文時代になってもカルデラ壁の斜面などに遺跡が存在する程度で、阿蘇谷の中央部に遺跡が出現するのは弥生時代になってからである（隈, 1999, p.88 など）。カルデラ周辺域は古い時代から人間活動が認められるのに対し、カルデラ内への人々の進出は縄文時代晩期以降に限られるようである。人間活動の影響を強く受けたカルデラ周辺には草原が広がり、カルデラ壁などの急斜面やカルデラ底には森林が存在するなど、カルデ

ラ内外で植生が異なっていたことは十分に考えられる。このことを証明するためには、カルデラ内の地点でも植物珪酸体分析を行って、花粉分析の結果と比較検討することが必要である。

VI. おわりに

阿蘇火山南西麓の河原第3遺跡のテフラ断面において植物珪酸体分析を行った結果、ササ属などイネ科草本を主体とする植生が最近約3万年間にわたって継続したことが明らかとなり、少なくとも完新世においてはササ-メダケ属草原が存在した可能性が考えられた。このことは植生構成種が異なるものの、阿蘇カルデラ東方域での分析結果(宮緑・杉山, 2006)と調和するものであった。さらに、阿蘇火山西麓での調査報告(山田ほか, 1997)を加えると、阿蘇カルデラ周辺の少なくとも3地点で草原植生が1年以上続いていることになる。つまり、これまで“千年の草原”といわれてきた阿蘇の草原が“万年オーダー”のものである可能性がさらに高くなったといえる。阿蘇火山周辺に広がる草原の歴史を科学的に解明するため、筆者らは今後も多数の地点において調査を実施し、分析データを集積する予定である。

謝辞

河原第3遺跡の発掘調査は熊本大学文学部考古学研究室によって行われたものであり、小畑弘己准教授にはテフラ断面の観察と試料採取を快く許していただくとともに、懇切なご指導をいただいた。また、調査時には同研究室の院生・学生の方々に多大なご協力を得た。炭素含有量の測定では、九州沖縄農業研究センターの荒川祐介氏にお世話になった。分析試料の調製では牧 蓉子氏にご協力いただいた。熊本大学教育学部の渡辺一徳教授には日頃より阿蘇火山の地質についてご教示いただいている。佐瀬 隆氏と匿名査読者には本論を改稿する上で貴重なご意見をいただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

阿蘇の狩人の会 (1998): 阿蘇周辺地域における旧石器文化新資料の紹介—その1—. 肥後考古, **11**, 117-134.
阿蘇品保夫 (1999): 阿蘇社と大宮司—中世の阿蘇—。

一の宮町史編纂委員会編: 一の宮町史自然と文化阿蘇選書2. 熊本県一の宮町。
土壌環境分析法編集委員会編 (1997): 土壌環境分析法。博友社。
藤原宏志 (1976): プラント・オパール分析法の基礎的研究 (1) —数種イネ科栽培植物の珪酸体標本と定量分析法—。考古学と自然科学, **9**, 15-29。
藤原宏志・佐々木 章 (1978): プラント・オパール分析法の基礎的研究 (2) —イネ (*Oryza*) 属植物における機動細胞珪酸体の形状。考古学と自然科学, **11**, 9-20。
長谷義隆・岩内明子 (1992): 中部九州の湖成層を含む上部新生界の対比—熊本・大分地域—。熊本大学教養部紀要 (自然科学編), **27**, 69-95。
長谷義隆・打越山詩子・岩内明子・宮崎敬士 (2003): 熊本県阿蘇カルデラ阿蘇谷の最終氷期後期以降の水域環境変遷。熊本大学理学部紀要 (地球科学), **17** (2), 15-26。
細野 衛・佐瀬 隆 (1997): 黒ボク土生成試論。第四紀, **29**, 1-9。
井上 弦 (2002): 埋没土壌の生成機構—都城盆地の事例—。月刊地球, **24**, 798-802。
井上 弦・杉山真二・長友由隆 (2000): 都城盆地の累積性黒ボク土における有機炭素含量と植物珪酸体。ペドロジスト, **44**, 109-123。
伊藤秀三 (1966): わが国の山地草原におけるササおよびネザサの生態について。草地生態, **7**, 34-41。
岩内明子・長谷義隆 (1992): 熊本平野および阿蘇カルデラ地域における最終氷期以降の植生変遷。日本花粉学会会誌, **38**, 116-133。
河室公康・鳥居厚志 (1986): 長野県黒姫山に分布する火山灰由来の黒色土と褐色森林土の成因的特徴—とくに過去の植被の違いについて—。第四紀研究, **23**, 81-98。
木崎康弘 (1985): 遺跡の概観。肥後考古, **5**, 21-34。
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。
隈 昭志 (1999): 長目塚と阿蘇国造—原始・古代の阿蘇—。一の宮町史編纂委員会編: 一の宮町史自然と文化阿蘇選書1. 熊本県一の宮町。
町田 洋・新井房夫 (1976): 広域に分布する火山灰—始良 Tn 火山灰の発見とその意義。科学, **46**, 339-347。
町田 洋・新井房夫 (1978): 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。
町田 洋・新井房夫 (2003): 新編 火山灰アトラス—日本列島とその周辺。東京大学出版会。
宮緑育夫・杉山真二 (2006): 阿蘇カルデラ東方域のテフラ累層における最近約3万年間の植物珪酸体分析。第四紀研究, **45**, 15-28。
宮緑育夫・星住英夫・高田英樹・渡辺一徳・徐 勝 (2003): 阿蘇火山における過去約9万年間の降下軽石堆積物。火山, **48**, 195-214。
宮緑育夫・星住英夫・渡辺一徳 (2004): 阿蘇火山における更新世末期, AT 火山灰以降のテフラ層序。火山, **49**, 51-64。

- 宮本千恵子編 (2003): 河原第3遺跡2. 考古学研究室報告, **38**, 熊本大学文学部考古学研究室, 1-44.
- 宮脇 昭編 (1981): 日本植生誌 九州. 至文堂.
- 長友由隆・庄子貞雄 (1977): アカホヤ, イモゴ, オンジの対比ならびに噴出源について—アカホヤの土壤肥科学的研究 (第2報). 日本土壤肥科学雑誌, **48**, 1-7.
- 根来健一郎 (1943): 硫気孔原植物の研究. 生物学の進歩 (I), 東京共立出版, 151-192.
- 沼田 真 (1966): アズマネザサ型の草地. 富士竹類植物園報告, **11**, 59-64.
- 小畑弘己・岡本真也・古森政次・渡辺一徳・田口清行 (2001): いわゆる「阿蘇産黒曜石」の産地発見とその意義—阿蘇象ヶ鼻産ガラス質溶結凝灰岩露頭の発見—. 旧石器考古学, **62**, 63-76.
- 小椋純一・山本進一・池田晃子 (2002): 微粒炭分析から見た阿蘇外輪山の草原の起源. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, **13**, 236-240.
- 奥野 充 (2002): 南九州に分布する最近約3万年間のテフラの年代学的研究. 第四紀研究, **41**, 225-236.
- 大滝典雄 (1997): 草原と人々の営み—自然とのバランスを求めて—. 一の宮町史編纂委員会編: 一の宮町史自然と文化阿蘇選書10. 熊本県一の宮町.
- 佐瀬 隆 (1989): 黒色腐植層 (黒土層) の生成に関する覚書. 岩手県文化振興事業団埋蔵文化財センター紀要, **9**, 49-66.
- 佐瀬 隆・加藤芳朗・細野 衛・青木久美子・渡邊眞紀子 (2006): 愛鷹山南麓域における黒ボク土生成史—最終氷期以降における黒ボク土生成開始時期の解説—. 地球科学, **60**, 147-163.
- 佐瀬 隆・町田 洋・細野 衛 (2008): 相模野台地, 大磯丘陵, 富士山東麓の立川—武蔵野ローム層に記録された植物珪酸体群集変動—酸素同位体ステージ5.1以降の植生・気候・土壌史の解説—. 第四紀研究, **47**, 1-14.
- 芝 康次郎・小畑弘己編 (2007): 阿蘇における旧石器文化の研究. 熊本大学平成15年度発足「拠点形成研究B」平成18年度報告書: 世界的文化資源集積と文化資源科学の構築, 熊本大学.
- 杉山真二 (1999): 植物珪酸体分析からみた最終氷期以降の九州南部における照葉樹林発達史. 第四紀研究, **38**, 109-123.
- 杉山真二 (2000): 植物珪酸体 (プラント・オパール). 辻誠一郎編: 考古学と植物学. 同成社, 189-213.
- 杉山真二 (2001): テフラと植物珪酸体分析. 月刊地球, **23**, 645-650.
- 杉山真二 (2004): 西ガガラ遺跡における植物珪酸体分析. 広島大学東広島キャンパス埋蔵文化財発掘調査報告書II, 472-487.
- 杉山真二・藤原宏志 (1986): 機動細胞珪酸体の形態によるタケ亜科植物の同定—古環境推定の基礎資料として—. 考古学と自然科学, **19**, 69-84.
- 杉山真二・松田隆二・藤原宏志 (1988): 機動細胞珪酸体の形態によるキビ族植物の同定とその応用—古代農耕追究のための基礎資料として—. 考古学と自然科学, **20**, 81-92.
- 鈴木貞雄 (1996): タケ科植物の概説. 鈴木貞雄編: 日本タケ科植物図鑑. 聚海書林, 8-27.
- 田村 実・渡辺一徳・谷村洋征 (1983): 表層地質図「御船」および説明書. 土地分類基本調査 (5万分の1), 熊本県, 25-34.
- 渡辺一徳・高田英樹 (1990): 阿蘇カルデラ周辺域における火山灰層と黒ボク土の斜交. 熊本大学教育学部紀要 (自然科学), **39**, 21-27.
- 渡辺一徳・小野晃司・平塚勝一 (1982): 草千里ヶ浜火山の軽石噴火について. 火山, **27**, 337-338.
- Wentworth, C.K. (1922): A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, **30**, 377-392.
- 山田一郎・久保寺秀夫 (1996): 阿蘇外輪山およびその周辺地域における阿蘇4以降のテフラ層序と土壤層序. 九州農業試験場研究資料, **83**, 1-35.
- 山田一郎・佐瀬 隆・久保寺秀夫 (1997): 阿蘇外輪山及びその周辺の黒ボク土の生成年代と古植生. 日本第四紀学会講演要旨集, **27**, 154-155.
- 山中金次郎・松尾憲一 (1962): 土壤硬度に関する研究 (第1報) 土壤硬度と含水量との関係. 日本土壤肥科学雑誌, **33**, 343-347.
- 山根一郎 (1973): 黒ボク土の生成におけるススキの意義. ペドロジスト, **17**, 84-94.

(2008年1月7日受付, 2008年5月19日受理)