

## 阿蘇カルデラ北西部, 蛇ノ尾火山の噴出物と噴火年代

宮 縁 育 夫\*

(2016年8月23日受付, 2016年11月21日受理)

Eruption History of Janoo Volcano in the Northwestern Part of  
Aso Caldera, Japan

Yasuo MIYABUCHI\*

Janoo Volcano (550–750 m in basal diameter; 150 m in height) is located in the northwestern part of the post-caldera central cones of Aso Volcano, central Kyushu, southwestern Japan. The volcano had been thought to be a cinder cone composed entirely of scoria-fall deposit and older than 7.3 ka. Fieldwork in and around the volcano has re-examined the detailed tephra stratigraphy and eruption age of Janoo Volcano. A black humic paleosol divides an upper pumice-fall deposit from a lower scoria-fall deposit. The upper pumice-fall deposit shows only two pure pumice bed sections with pumice clasts scattered in a brown massive ash elsewhere in the deposit. The deposit is composed mainly of light gray well-vesiculated dacitic ( $\text{SiO}_2 = 65.4\text{--}67.7\text{ wt.}\%$ ) pumiceous clasts containing biotite phenocrysts, and abundant banded pumices, suggesting a mixture of silicic and mafic magmas. Based on the phenocryst assemblage and age, the pumice-fall deposit is correlated to the Aso central cone pumice 1 (ACPI; 4.1 ka), which is the only pumice-fall deposit erupted from Aso Volcano during Holocene time. The lower scoria-fall deposit is more than 30 m thick and constitutes most of the Janoo cinder cone. It includes brownish black to brown well-vesiculated basaltic andesite ( $\text{SiO}_2 = 54.7\text{--}55.5\text{ wt.}\%$ ) scoriaceous clasts and cauliflower bombs with radially arranged cooling joints. The Akamizu lava ( $\text{SiO}_2 = 57\text{--}59\text{ wt.}\%$ ) distributed west of the Janoo cinder cone, whose source was previously unknown, is attributed to Janoo Volcano based on the lava's petrographic characteristics. A  $^{14}\text{C}$  age of  $3830 \pm 30$  years BP, which corresponds to 4.2–4.1 ka, was obtained from the humic paleosol interbedded between the ACPI and Janoo scoria. The stratigraphy and characteristics of the tephra deposits suggest the following eruption sequence. The initial eruption at Janoo Volcano occurred at 4.9–4.3 ka and was strombolian in style forming the Janoo cinder cone. After lying in repose for a few hundred years, Janoo Volcano erupted again, and produced the ACPI tephra containing abundant banded pumices and Akamizu lava at 4.1 ka. The southern half of the Janoo cinder cone was destroyed probably by the effusion of Akamizu lava. Volcanic activity forming Kishimadake, Ojodake, Komezuka and Kamikomezuka volcanoes in the northwestern part of post-caldera central cones at 4–3.3 ka was derived from basaltic to basaltic andesite magmas, whereas the eruption products of Janoo Volcano have a wide range in chemistry from basaltic andesite to dacite. Activity of Janoo Volcano is characterized by the presence of a dormant period (a few hundred years), allowing a paleosol to develop on the scoria-fall deposit, before ejection of both mafic and silicic magmas in the late eruption.

**Key words** : Janoo Volcano, Aso Volcano, tephra stratigraphy, eruption age, petrographic characteristics

## 1. はじめに

阿蘇火山中央火口丘群の北西部には杵島岳(標高 1326 m), 往生岳(標高 1238.1 m), 米塚(標高 954.3 m), 上米塚といった単成火山群(渡辺, 2001)が分布している(小野・渡辺, 1985). さらにその北西山麓には蛇ノ尾火山(標高 754.3 m)がある(Fig. 1A)が, その噴出物など

の詳細についてはこれまで不明であった. その理由は蛇ノ尾火山の噴出物を直接観察できる露頭が存在しなかったためである. しかし, 2013年以降の森林伐採などによって, 同火山斜面にいくつかの露頭が出現した. 過去の研究では, 蛇ノ尾火山の噴火年代は7300年前より古いとされていた(渡辺, 2001)が, 現地調査を進めていく

\*〒860-8555 熊本中央区黒髪 2-40-1

熊本大学教育学部

Faculty of Education, Kumamoto University, Kurokami

2-40-1, Chuo-ku, Kumamoto 860-8555, Japan.

e-mail: miyabuchi@gmail.com

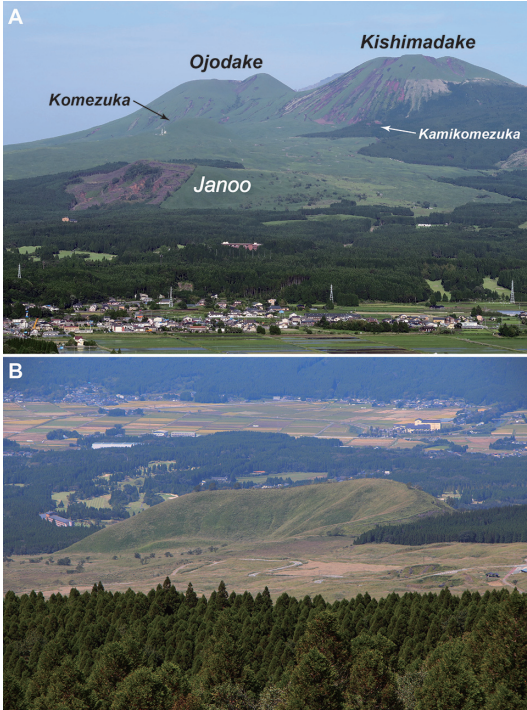


Fig. 1. (A) Photograph of Holocene cones in the north-western part of post-caldera central cones of Aso Volcano. (B) Janoo Volcano viewed from the southeast.

中で、そうした年代や噴出物層序を見直す必要が出てきた。

筆者は蛇ノ尾火山周辺域での現地調査によって同火山噴出物を含むテフラの層序関係を確認した。また、噴出物を採取して、その偏光顕微鏡観察や全岩化学組成分析を実施し、さらに埋没土壌試料の $^{14}\text{C}$ 年代測定も行った。本論では、それらの結果について報告するとともに、蛇ノ尾火山を形成した噴火の年代や特徴についても議論する。

## 2. 蛇ノ尾火山の地形地質概要

阿蘇火山における完新世の噴火活動は中岳を中心に起こっている (Ono *et al.*, 1995; Miyabuchi, 2009) が、中央火口丘群の北西部には杵島岳、往生岳、米塚、上米塚といった火山群 (渡辺, 2001) が存在する (Fig. 1A)。上米塚を除く3つの火山は玄武岩質～玄武岩質安山岩質のスコリア丘とその山麓に広がる溶岩流によって構成されている (小野・渡辺, 1985)。

それらの火山の北西方に位置するのが蛇ノ尾火山であり (小野・渡辺, 1985)、火砕丘状の地形を呈している (Fig. 1B)。この火砕丘は底面の大きさが  $750 \times 550 \text{ m}$  (北西-

南東よび北東-南西方向)、高さ  $150 \text{ m}$  程度で、山頂付近には直径  $300 \sim 350 \text{ m}$ 、深さ  $70 \text{ m}$  程度の火口を有しているが、火砕丘が残存しているのは北半分のみで、南側は何らかの原因で失われている (Figs. 1B, 2)。この火山はスコリアからなるとされているが、溶岩流は知られていない (小野・渡辺, 1985; 渡辺, 2001)。火砕丘の北西斜面にはいくつかの侵食谷が発達しているが、かつてはスギ・ヒノキの造林木や広葉樹に覆われていた。一方、山頂よりも南側の火口壁を含む斜面は阿蘇を代表する景観である草原植生となっている。

## 3. 蛇ノ尾火山噴出物の層序

阿蘇火山における完新世テフラ層序は、中岳火口の北北東約  $4 \text{ km}$  に位置するテフラ断面 (A9418 地点; Fig. 2) をもとに構築されている (渡辺, 1991; 宮縁・渡辺, 1997)。活動の休止期あるいは静穏期に形成された埋没黒ボク土層によって、完新世の活動は上位より N1 期～N19 期という 19 の活動期に区分されており、主要テフラとしては N2 期の中岳 N2 スコリア (N2S)、N4 期の往生岳スコリア (OjS; 中村・渡辺, 1995)、N6 期の杵島岳スコリア (KsS; 中村・渡辺, 1995)、N7 期の阿蘇中央火口丘第 1 軽石 (ACP1; 高田, 1989) があり、 $7.3 \text{ ka}$  (奥野, 2002) ( $^{14}\text{C}$ 年代の暦年較正結果, 以下同様) の鬼界アカホヤテフラ (K-Ah; 長友・庄子, 1977; 町田・新井, 1978, 2003) は N13 期の埋没黒ボク土壌層中に認められる。各テフラの下位にある黒ボク土層の $^{14}\text{C}$ 年代から、N2S は  $1.5 \text{ ka}$ 、OjS は  $3.6 \text{ ka}$ 、KsS は  $4 \text{ ka}$ 、ACP1 は  $4.1 \text{ ka}$  に噴出したことがわかっている (宮縁・渡辺, 1997; Miyabuchi, 2009)。また、溶岩直下の $^{14}\text{C}$ 年代から、米塚火山は  $3.3 \text{ ka}$  (N4 期に相当) に形成されたことが明らかになっている (宮縁, 2010)。

蛇ノ尾火山については遠方域にまで達する降下テフラが発見されていないため、他の中央火口丘群噴出物との層序関係が不明であった。ただ、米塚からの溶岩流が蛇ノ尾火山の地形的高まりを避けるように流下していること (Fig. 2; 小野・渡辺, 1985) から、噴火年代は  $3.3 \text{ ka}$  より古いと考えられる。さらに蛇ノ尾火山の山体はスコリアからなり、そのスコリアは K-Ah に覆われているという調査結果が報告されている (渡辺, 2001)。

蛇ノ尾火山周辺域には噴出物を観察できるような露頭はかつて存在しなかったが、2013 年後半から 2016 年初めにかけて火砕丘北斜面の森林が伐採され、その伐出作業に伴っていくつかの露頭が出現した。また、2016 年 4 月 16 日未明の熊本地震本震 ( $M_j 7.3$ ) によって火口壁の急斜面に 2 箇所の崩壊と、火砕丘の北～北西斜面の侵食谷沿いにも複数の崩壊が発生した (宮縁, 2016)。筆者は、

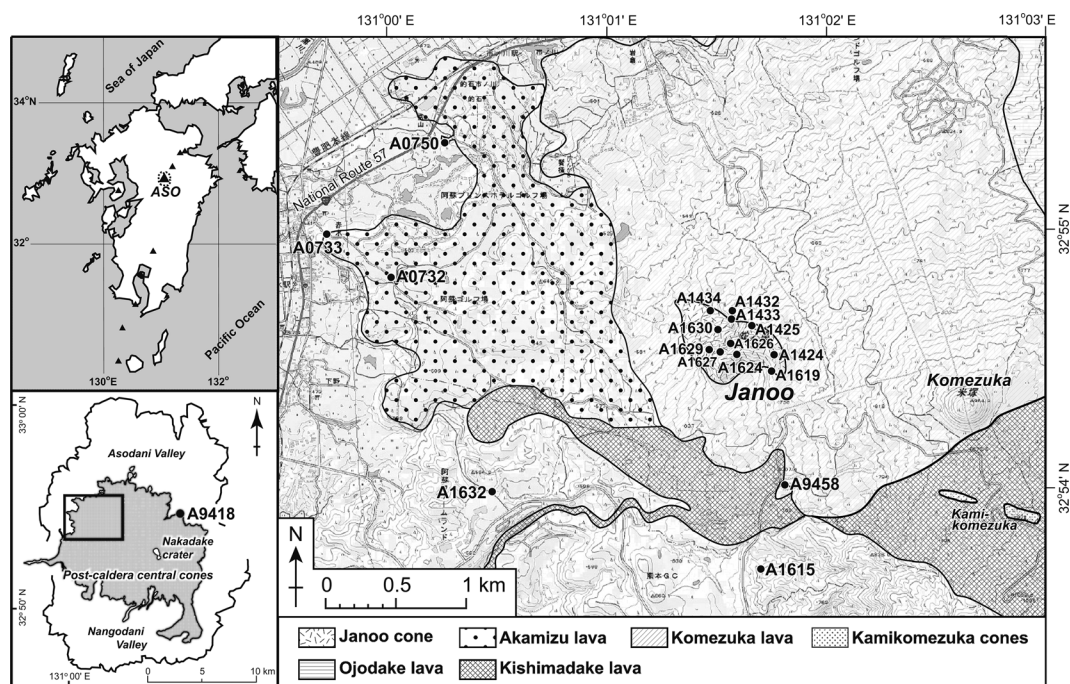


Fig. 2. Distribution map of products of Late Holocene volcanic activity in the northwestern part of the post-caldera central cones of Aso Volcano; modified from 1: 25,000 topographic map “Asosan” and “Tateno” published by Geospatial Information Authority of Japan. Solid circles show localities of measured stratigraphic sections. The distribution of volcanic products is taken from Ono and Watanabe (1985).

それらの伐採によって生じた露頭や崩壊の滑落崖などを調査し、蛇ノ尾火山噴出物とそれを覆うテフラや土壌層の観察を行った。代表的な観察地点のテフラ対比柱状図を Fig. 3 に示す。

蛇ノ尾火山の火砕丘は主にスコリアによって構成されている (渡辺, 2001) が, その上位には全層厚 1.3~4.7m のテフラや土壌層が存在している (Fig. 3). 表層の 0.6~1m 程度には最近約 1000 年間に主に中岳から噴出したと考えられる N1 期の黒色~暗褐色火山灰 (シルト質~砂質) 累層がある. その直下には厚さ 10~70 cm の顕著な黒ボク土層 (N2 期~N4 期の黒ボク土層が合体) があり, さらに下位には赤褐色の OjS や KsS が混在する暗褐色シルト質火山灰 (20~30 cm 厚) がある. そして, この火山灰層から暗褐色土壌層 (15~20 cm 厚) を挟んだ下位に蛇ノ尾火山起源と考えられる噴出物が認められる.

今回の現地調査によって, 蛇ノ尾火山起源と推定される噴出物は火山灰および埋没黒ボク土層 (全層厚 15~60 cm 程度) を挟んで, その上位の軽石層と下位のスコリア層の 2 つのユニットからなることが判明した (Fig. 4A). 後述するように, 上部の軽石層は岩相・斑晶鉱物組合せ

や年代から阿蘇中央火口丘第 1 軽石 (ACPI; 高田, 1989) に対比されるが, 下部のスコリア層はこれまで記載されていないテフラであるため, 本論では蛇ノ尾スコリアと命名する. それぞれのテフラについて, 以下で詳しく述べる.

### 3-1 阿蘇中央火口丘第 1 軽石 (ACPI)

蛇ノ尾火山噴出物の上部にあたる軽石が純層として観察できるのは東側火口壁の A1619 地点と蛇ノ尾山頂から南南東 1 km の A9458 地点のみで, それ以外の地点では褐色シルト質火山灰層中に軽石が散在する産状を示す (Fig. 4B). A1619 地点での全層厚は 113 cm で, 下部の軽石層 (69 cm), 中部の成層した火山灰層 (33 cm), 上部の軽石層 (11 cm) に分けられる (Fig. 3). 下部の軽石層はさらに 4 つのフォールユニットに区分することができるが, 全体的に下位ほど粗粒な軽石が含まれる. その最下部付近の軽石の最大粒径 (最大の軽石 3 個の長径平均値) は 19 cm である. 軽石はデイサイト質 ( $\text{SiO}_2 = 65.4 \sim 67.7 \text{ wt.} \%$ ) で灰白色 (5Y8/2; Munsell 方式の標準土色帖による色調) を呈して全体的に発泡が良く, 他の阿蘇火山中央火口丘群起源の軽石 (宮緑・他, 2003) に比べると斑晶量がやや多く, 斑晶鉱物として, 斜長石, 単斜輝



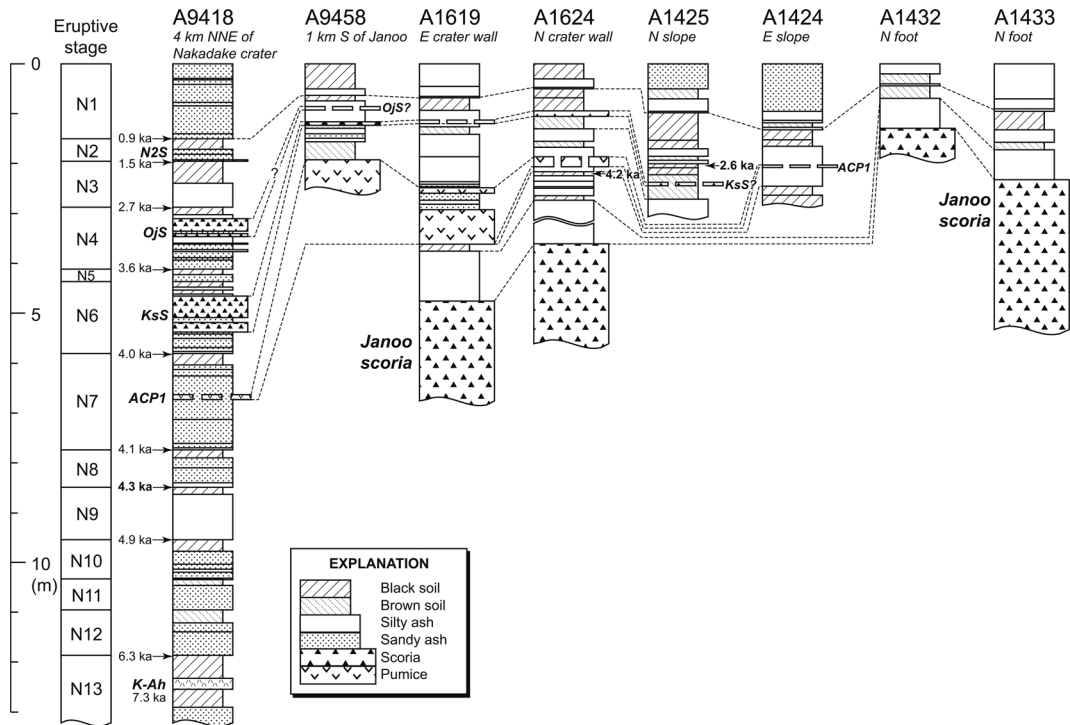


Fig. 3. Stratigraphic relations of tephra layers in and around Janoo Volcano. See Fig. 2 for locations of the sites. Ages in the figure are shown as calibrated  $^{14}\text{C}$  ages (ages in bold letters are obtained by this study). Tephra stratigraphy and ages at the A9418 section (except for the age of top of N9 stage paleosol) are from Miyabuchi and Watanabe (1997), Miyabuchi (2009) and Miyabuchi and Sugiyama (2012). ACP1: Aso central cone pumice 1, K-Ah: Kikai Akahoya tephra (vitric ash), KsS: Kishimadake scoria, N2S: Nakadake N2 scoria, OjS: Ojodake scoria.

石、斜方輝石、黒雲母、不透明鉱物を含む。

また、本テフラの最大の特徴は、発泡の良い縞状軽石が多量に含まれることである。A1619地点での縞状軽石の最大粒径は35 cmである。縞状軽石には全体的に軽石部分とスコリア部分（黒褐色；2.5Y3/1）が混在するもの（Fig. 4C）と、外側が軽石（ $\text{SiO}_2=62.5\text{ wt.}\%$ ）で、内部がスコリア（ $\text{SiO}_2=59.5\sim 59.7\text{ wt.}\%$ ）からなるものが認められる（Fig. 4D）。さらに、この軽石層には緻密なガラス質岩片（ $\text{SiO}_2=65.9\text{ wt.}\%$ ）が存在しており、A1619地点での最大粒径は47 cmであり、どの地点においてもこうした岩片は軽石層中あるいは軽石を含む火山灰層の下部に多く観察される。このガラス質岩片に含まれる斑晶鉱物は斜長石、単斜輝石、斜方輝石、黒雲母、不透明鉱物であり、少量のかんらん石も認められた。

本テフラは斑晶鉱物組合せや後述する年代から、阿蘇中央火口丘第1軽石（ACP1: 高田, 1989）に対比される。ACP1は阿蘇火山において完新世では唯一の降下軽石であり、N7期（4.1 ka）の火山灰層中に散在する産状を示し、阿蘇カルデラ東方域まで追跡できる良い鍵層となっ

ている（小野・他, 1995; Miyabuchi, 2009）。古澤・梅田（2000）によると、ACP1は発泡した無色透明の火山ガラスを主体とし、重鉱物として斜方輝石、単斜輝石、黒雲母が含まれる軽石であり、その直上には斜長石、斜方輝石、単斜輝石斑晶を含む淡褐色スコリアが存在するとされている。こうした軽石の特徴は蛇ノ尾火山噴出物上部の軽石層のそれとも一致している。大部分の地点でACP1はN7期の火山灰層中に散在する産状を示すことから、古澤・梅田（2000）が記載している淡褐色スコリアはACP1直上に存在するというよりも、縞状軽石のスコリア部分が軽石（ACP1）に混在すると考えて問題はない。ACP1は、その分布から噴出源は米塚溶岩に覆われる地域と推定されていた（小野・他, 1995; 渡辺, 2001）が、具体的な火口位置は特定されていなかった。しかし、本研究により蛇ノ尾火口付近に厚く堆積し、最大粒径もとくに大きいことが確認されたこと（Fig. 5）から、ACP1の噴出源は蛇ノ尾火山であると考える。

### 3-2 蛇ノ尾スコリア（JnS; 新称）

蛇ノ尾スコリア（略称 JnS）は蛇ノ尾火砕丘の主構成



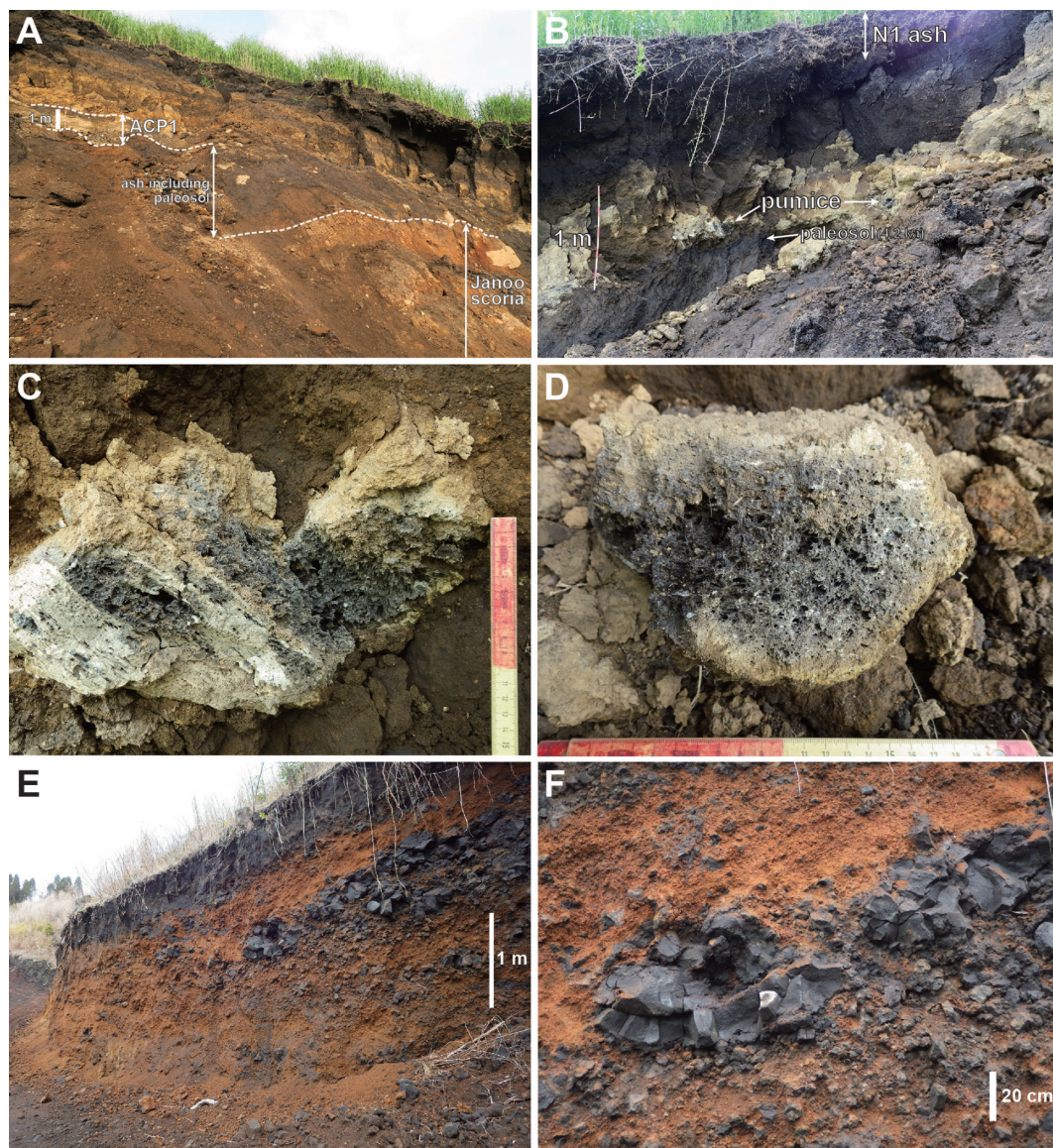


Fig. 4. (A) Stratigraphic relationship between Aso central cone pumice 1 (ACP1) and Janoo scoria at locality A1619. (B) Aso central cone pumice 1 scattered in an ash layer at site A1624. (C) Banded pumice at site A1624. Scale is in centimeters. (D) Banded pumice clast (scoriaceous part covered by pumiceous part) at locality A1624. (E) Janoo scoria at site A1433. (F) Scoriaceous bombs showing radially arranged cooling joints at A1433 site.

物であり、火砕丘北麓に位置する模式露頭の A1433 地点では 3 m 以上の層厚を有している (Fig. 4E) が、火口壁内に生じた 2 箇所の崩壊面 (A1619 および A1624 地点) では少なくとも厚さ 30 m 程度のスコリア層として観察できる。A1433 地点における JnS は、径 1~5 cm 程度の発泡した黒褐色 (2.5Y3/1)~褐色 (10YR4/6) スコリアを主体としており、最大粒径は 53 cm である。また、カリ

フラワー状の外形を有し、内部がやや緻密な火山弾 (最大のものの長径 170 cm) も含まれ、そのような火山弾には放射状の冷却節理が発達している (Fig. 4F)。こうしたスコリアの  $\text{SiO}_2$  含有量は 54.7~55.5 wt.% で、含まれる斑晶鉱物は斜長石、単斜輝石、かんらん石、斜方輝石、不透明鉱物である。

蛇ノ尾火砕丘の東方域は後に噴出したと考えられる米

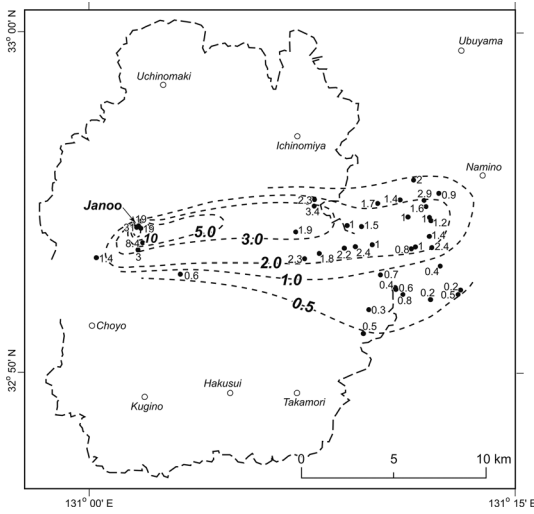


Fig. 5. Distribution of the maximum size of pumice (average long-axis diameter of the three largest pumice clasts at each locality) for Aso central cone pumice 1 (ACP1).

塚溶岩に覆われるため、JnSは観察できない。なお、JnSはどの地点においても、スコリアが散在する厚さ60~100 cm程度の褐色~赤褐色のシルト質火山灰に覆われている。この火山灰層中にはJnSと同質のスコリアが含まれる。

### 3-3 赤水溶岩

赤水溶岩は蛇ノ尾火山西方の標高600 m付近から北西方向に扇状に広がっており、阿蘇市の石市ノ川から赤水にかけての国道57号線付近まで分布している(小野・渡辺, 1985)。北側の末端付近のA0750地点での層厚は6 m以上で、数10 cm間隔で節理が発達するmassiveな単一ユニットの溶岩が観察できる。他地点においてもクリンカーはほとんど認められず、全体的にblock lava状の産状を呈する安山岩質( $\text{SiO}_2=56.8\sim59.5\text{ wt.}\%$ )溶岩である。溶岩には発泡した部分と緻密な部分があり、斜長石・単斜輝石・斜方輝石・かんらん石などの斑晶に富むことが特徴で、少量の黒雲母斑晶も認められる。

赤水溶岩を覆うテフラ層および土壌層の厚さは極めて薄く(1 m以内)、溶岩が地表に露出している地点も多い。溶岩上位にK-Ahなど鍵テフラ層も全く観察できないことから、同溶岩は7.3 ka以降に噴出したと考えられている(小野・渡辺, 1985; 渡辺, 2001)。また、上流部は米塚の溶岩やKsS(4 ka)と同時期に噴出したと考えられている杵島岳の溶岩(渡辺, 2001)に覆われていること(小野・渡辺, 1985)から、赤水溶岩の給源はこれまで不明であったが、噴出年代は7.3~4 kaの間であることがわか

る。筆者は溶岩の分布や年代のほか、斑晶組合せと後述する化学組成が蛇ノ尾火山噴出物とほぼ一致することから、赤水溶岩の給源を蛇ノ尾火山と考える。

### 4. 蛇ノ尾火山噴出物の岩石学的特徴

蛇ノ尾火山噴出物の岩石学的特徴を検討するため、代表的な噴出物の岩石薄片を作成し、偏光顕微鏡下で観察した。阿蘇中央火口丘第1軽石(ACP1)の斑晶量は10~20 vol.%程度であり、斑晶鉱物が多い順に斜長石(<4 mm)、斜方輝石(<1.3 mm)、単斜輝石(<0.8 mm)、黒雲母(<0.4 mm)、不透明鉱物(<0.3 mm)で、石基部分はハイアロピリティック組織を示す(Fig. 6A)。ACP1中に認められる緻密なガラス質岩片には斜長石(<3 mm)、単斜輝石(<1 mm)、斜方輝石(<1.5 mm)、黒雲母(<0.6 mm)、かんらん石(<0.5 mm)、不透明鉱物(<0.3 mm)の斑晶が20 vol.%程度含まれ、石基部分はハイアロオフィティック組織を呈している(Fig. 6B)。また、縞状軽石の軽石部分とスコリア部分にはそれぞれ10~20 vol.%、20 vol.%程度の斑晶が含まれ、斑晶鉱物として斜長石(<2 mm)、単斜輝石(<1.3 mm)、斜方輝石(<0.5 mm)、黒雲母(<0.4 mm)、かんらん石(<0.5 mm)、不透明鉱物(<0.4 mm)が認められる。石基は、軽石部でハイアロピリティック組織、スコリア部でハイアロピリティック~ハイアロオフィティック組織を示す(Figs. 6C, 6D)。

蛇ノ尾スコリアの斑晶量は20~40 vol.%程度で、斑晶鉱物が多い順に斜長石(<2.5 mm)、単斜輝石(<1.8 mm)、かんらん石(<1.5 mm)、不透明鉱物(<0.5 mm)、斜方輝石である。大部分の斜長石には蜂の巣構造が認められる(Fig. 6E)。また、蛇ノ尾火山噴出物では最も多くのかんらん石斑晶が含まれ、イディングサイト化したかんらん石も観察される。石基部分はハイアロピリティック~ハイアロオフィティック組織を示す。

赤水溶岩には斜長石(<3.3 mm)、単斜輝石(<3 mm)、斜方輝石(<2.8 mm)、かんらん石(<1.3 mm)、不透明鉱物(<1 mm)の斑晶が20~40 vol.%程度含まれ、ごく少量の黒雲母斑晶(<0.4 mm)も確認された(Fig. 6F)。石基部分はハイアロオフィティック組織を呈している。

また、蛇ノ尾火山起源の軽石、縞状軽石、スコリアと赤水溶岩の全岩化学組成を測定した(Table 1)。縞状軽石については、軽石部とスコリア部を取り出して、それぞれ分析した。試料はメノウ乳鉢で微粉砕後に電気炉を用いて450°Cで1.5時間加熱し(Yoshida, 1987)、1:10希釈のガラスビードを作成した。全岩化学組成の測定は、鹿児島大学自然科学教育研究支援センター機器分析施設の蛍光X線分析装置(株式会社リガクZSX100e)で行っ



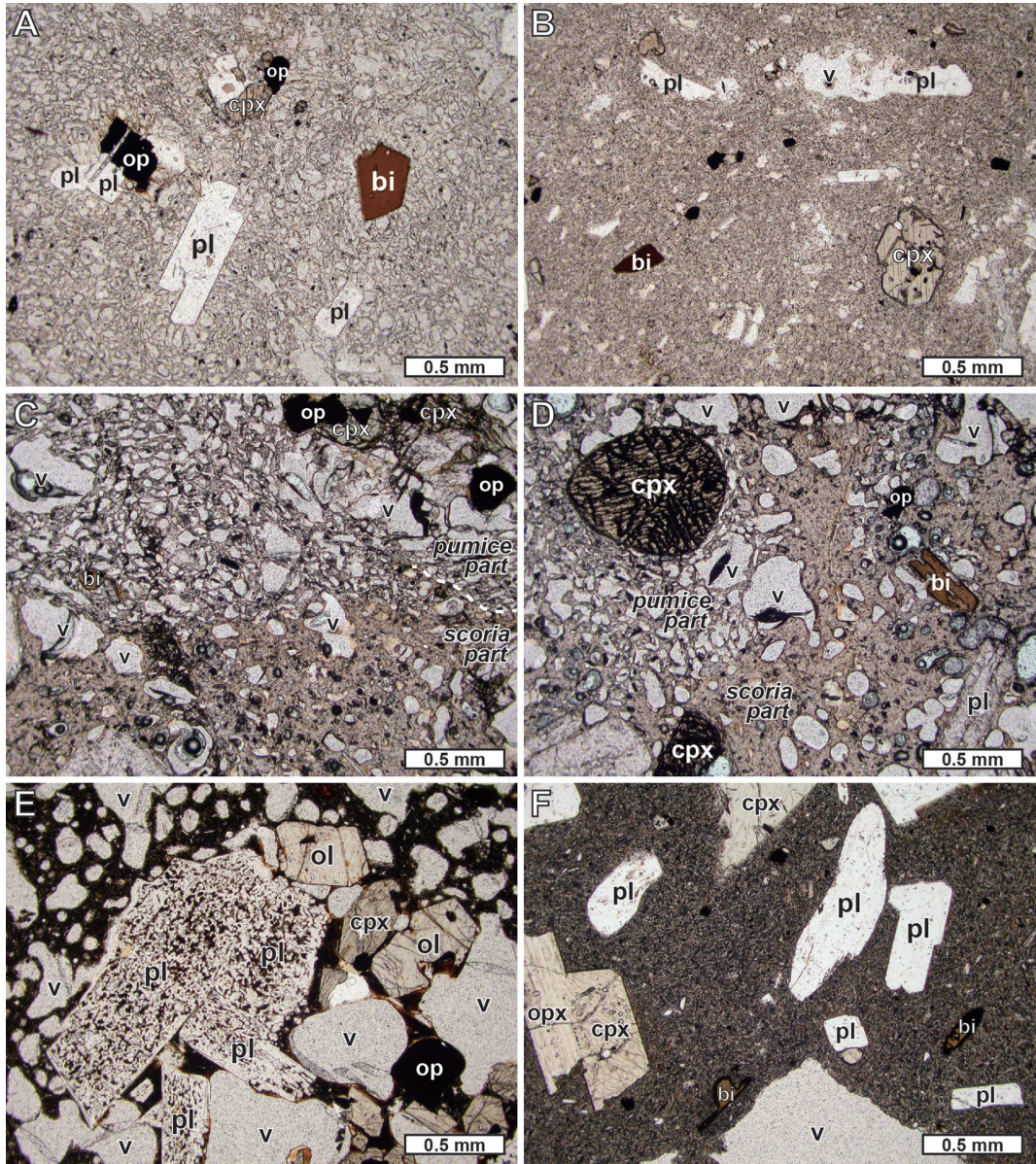


Fig. 6. Photomicrographs of eruption products from Janoo Volcano. (A) ACP1 at A1424 site. (B) Glassy lithic fragment included in ACP1 at A1424. (C) (D) Banded pumice contained in ACP1 at A1624 site. (E) Janoo scoria at A1433. (F) Akamizu lava at A0732. Abbreviations: bi=biotite; cpx=clinopyroxene; ol=olivine; op=opaque mineral; opx=orthopyroxene; pl=plagioclase; v=vesicle.

た。なお、分析手法の詳細については横瀬・根建 (2011) を参照されたい。

全岩化学組成の分析結果は Fig. 7 に示すとおりで、阿蘇火山中央火口丘群北西部の完新世噴出物とともに、比較的まとまった一定のトレンドが認められる。ただ、杵島岳・往生岳・土塚・上土塚の噴出物は、 $\text{SiO}_2$  含有量が

51~54 wt.% の玄武岩~玄武岩質安山岩質の比較的狭い範囲に集中するのに対し、蛇ノ尾火山噴出物は  $\text{SiO}_2$  含有量が 54~68 wt.% という幅広い化学組成を有している。初期に噴出した蛇ノ尾スコリアは  $\text{SiO}_2$  含有量が 54~56 wt.% の玄武岩質安山岩で、後期の ACP1 の軽石 (採取地点 A1424, A1619) は  $\text{SiO}_2 = 65\sim 68$  wt.% のデイ



Table 1. Whole-rock chemical compositions and phenocryst assemblages of eruption products from Janoo Volcano.

| Sampling locality              | A1619                            | A1424                            | A1424                            | A1624                            | A1624                            | A1433                | A0732                    | A0733                    |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Unit name                      | Aso central cone pumice 1 (ACP1) | Aso central cone pumice 1 (ACP1) | Aso central cone pumice 1 (ACP1) | Aso central cone pumice 1 (ACP1) | Aso central cone pumice 1 (ACP1) | Janoo scoria         | Akamizu lava             | Akamizu lava             |
| Occurrence                     | pumice                           | pumice                           | lithic fragment                  | banded pumice (pumice part)      | banded pumice (scoria part)      | scoria               | lava                     | lava                     |
| Phenocryst assemblage          | pl, opx, cpx, bi, op             | pl, opx, cpx, bi, op             | pl, cpx, opx, bi, ol, op         | pl, cpx, opx, bi, op             | pl, cpx, opx, bi, ol, op         | pl, cpx, ol, opx, op | pl, cpx, opx, ol, bi, op | pl, cpx, opx, ol, bi, op |
| SiO <sub>2</sub> (wt.%)        | 67.69                            | 65.41                            | 65.93                            | 62.53                            | 59.69                            | 54.87                | 59.47                    | 56.75                    |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.66                             | 0.72                             | 0.74                             | 0.81                             | 0.88                             | 1.04                 | 0.97                     | 1.04                     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16.19                            | 16.86                            | 16.18                            | 16.94                            | 16.62                            | 17.82                | 15.96                    | 16.04                    |
| FeO*                           | 3.68                             | 4.50                             | 4.44                             | 5.78                             | 7.07                             | 8.67                 | 7.61                     | 8.84                     |
| MnO                            | 0.08                             | 0.09                             | 0.09                             | 0.11                             | 0.13                             | 0.16                 | 0.14                     | 0.16                     |
| MgO                            | 0.98                             | 1.30                             | 1.48                             | 2.20                             | 3.00                             | 4.29                 | 3.11                     | 4.19                     |
| CaO                            | 2.61                             | 3.27                             | 3.45                             | 4.73                             | 6.41                             | 8.38                 | 6.45                     | 7.66                     |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.01                             | 3.13                             | 3.42                             | 2.91                             | 2.85                             | 2.83                 | 2.97                     | 2.71                     |
| K <sub>2</sub> O               | 4.95                             | 4.54                             | 4.13                             | 3.79                             | 3.13                             | 1.71                 | 3.17                     | 2.46                     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.14                             | 0.17                             | 0.13                             | 0.19                             | 0.22                             | 0.23                 | 0.15                     | 0.14                     |
| Total                          | 100.00                           | 100.00                           | 100.00                           | 100.00                           | 100.00                           | 100.00               | 100.00                   | 100.00                   |

Values of whole rock chemical compositions are normalized on the anhydrous basis of total = 100 wt.%.  $FeO^* = FeO + 0.8998 \times Fe_2O_3$ . Abbreviations for phenocrystic minerals; bi: biotite, cpx: clinopyroxene, ol: olivine, op: opaque mineral, opx: orthopyroxene, pl: plagioclase.

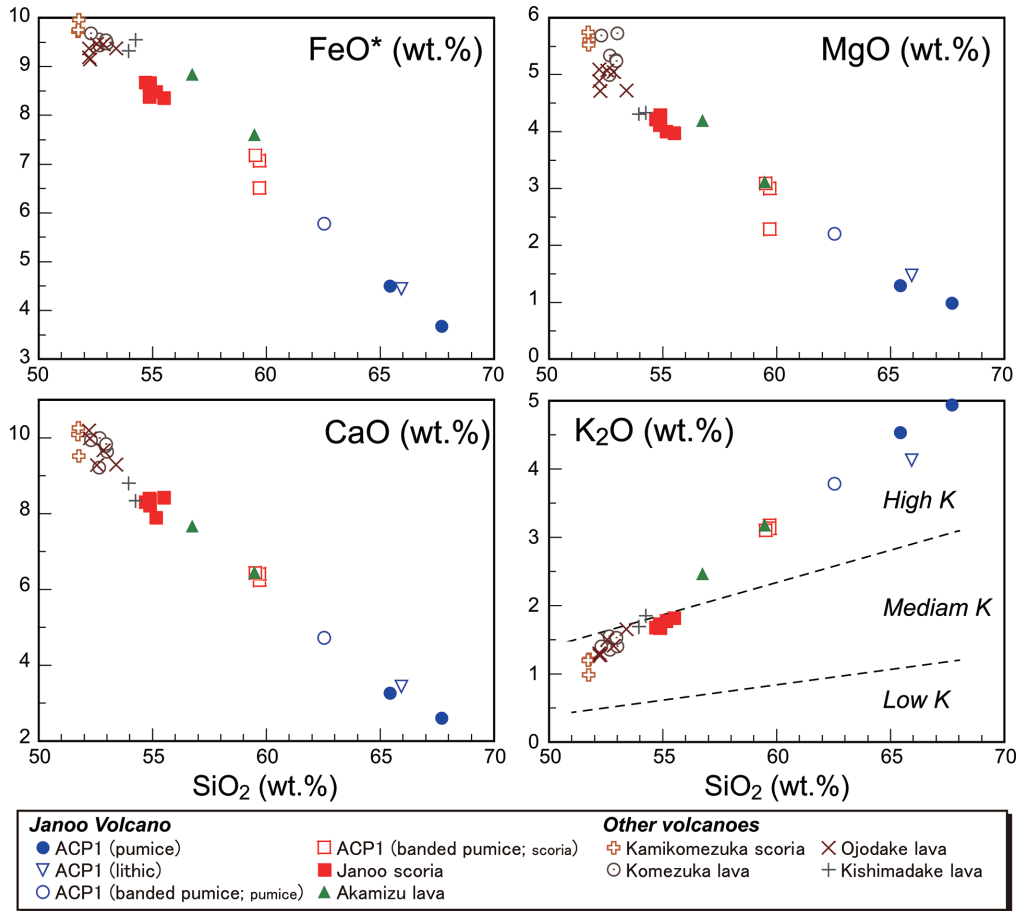


Fig. 7. Representative Harker diagrams of whole-rock chemistry for Janoo Volcano and Late Holocene volcanoes in the northwestern part of the post-caldera central cones. Lines in the K<sub>2</sub>O versus SiO<sub>2</sub> diagram show the Low-K, Medium-K and High-K rock series boundaries summarized by Le Maitre *et al.* (1989).

Table 2. Results of AMS  $^{14}\text{C}$  age determinations for paleosols in and around Janoo Volcano.

| Stratigraphic position   | Sampling site | Sample     | Measured $^{14}\text{C}$ age*<br>(years BP) | $\delta^{13}\text{C}$<br>(‰) | Conventional $^{14}\text{C}$ age**<br>(years BP) | Lab code     | Calibrated result***<br>(2 $\sigma$ : 95% probability)   |
|--|---------------|------------|---|------------------------------|--|--------------|--|
| Paleosol 30 cm above<br>Kishimadake scoria                                     | A1425         | humic soil | 2300 $\pm$ 30                               | -12.8                        | 2500 $\pm$ 30                                    | Beta- 407961 | 2735-2485 cal BP<br>2475-2470 cal BP                     |
| Paleosol underlying silty ash<br>including Aso central cone<br>pumice 1 (ACP1) | A1624         | humic soil | 3660 $\pm$ 30                               | -16.6                        | 3800 $\pm$ 30                                    | Beta- 439425 | 4285-4275 cal BP<br>4250-4140 cal BP<br>4130-4090 cal BP |
| Top of N9 stage paleosol   | A9418         | humic soil | 3720 $\pm$ 30                               | -14.4                        | 3890 $\pm$ 30                                    | Beta- 372145 | 4420-4240 cal BP   |

\*  $^{14}\text{C}$  ages were analyzed based on the Libby's  $^{14}\text{C}$  half life of 5,568 years.

\*\* Conventional  $^{14}\text{C}$  ages were corrected for isotopic fractionation using  $\delta^{13}\text{C}$  values.

\*\*\*Using the program (Talma and Vogel, 1993) based on the IntCal13 calibration database (Reimer *et al.*, 2013).

サイト質である。また、ACP1 中に含まれる緻密なガラス質岩片も ACP1 軽石とほぼ同じ化学組成となっている。さらに、縞状軽石は軽石 (ACP1) と蛇ノ尾スコリアとの中間的な化学組成を有している。赤水溶岩の  $\text{SiO}_2$  含有量は 57~59 wt.% で、ACP1 中に混在する縞状軽石のスコリア部分の化学組成とはほぼ一致している。これまで報告されていなかったが、赤水溶岩には少量の黒雲母斑晶が含まれることがわかり、斑晶組合せも ACP1 のそれと同じである。このように、岩石学的にみて赤水溶岩を蛇ノ尾火山噴出物と考えることに大きな問題はない。

## 5. $^{14}\text{C}$ 年代測定

蛇ノ尾火山の噴火年代を明らかにするため、同火山周辺域のテフラ層間に挟在する埋没黒ボク土層を採取し、加速器質量分析 (AMS) 法による  $^{14}\text{C}$  年代測定を実施した。

蛇ノ尾火山北斜面の A1425 地点においては、杵島岳スコリア (KsS) と考えられる赤褐色スコリアの上位約 30 cm にある厚さ 8 cm の埋没黒ボク土層上部から土壤試料を採取した。また、蛇ノ尾火山口の北壁に位置する A1624 地点では、ACP1 を含む褐色シルト質火山灰層 (層厚 49 cm) 直下の埋没黒ボク土層 (層厚 8 cm) の上部から土壤試料を採取した。さらに、蛇ノ尾火山の東北東 7.5 km に位置する完新世テフラ模式露頭 (A9418 地点) において N9 期の埋没黒ボク土層から試料を採取した (Fig. 3)。分析はすべて米国 Beta Analytic 社に依頼し、酸処理を行って炭酸塩を除去し、残存した全有機炭素を年代測定に使用した。 $^{14}\text{C}$  年代の算出には、Libby の半減期 5568 年を使用し、 $\delta^{13}\text{C}$  ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) による同位体分別効果の補正が行われている。また、暦年代較正には Beta Analytic 社製のプログラムを用いた。そのプログラムはデータセットとして IntCal13 (Reimer *et al.*, 2013) を使用し、Talma and Vogel (1993) による数学的近似を行っている。

A1425 地点の埋没黒ボク土層からは、それぞれ 2500  $\pm$

30 years BP (Beta-407961) という補正  $^{14}\text{C}$  年代が得られた (Table 2)。この年代値を暦年代較正すると約 2.5 ka となる。また、A1624 地点の ACP1 を含む褐色火山灰層直下の黒ボク土層の補正  $^{14}\text{C}$  年代は 3800  $\pm$  30 years BP (Beta-439425) で、約 4.2~4.1 ka に暦年代較正される。さらに、A9418 地点の N9 期の黒ボク土層最上部の補正  $^{14}\text{C}$  年代は 3890  $\pm$  30 years BP (Beta-372145) であった (較正暦年代約 4.3 ka)。

## 6. 議論

### 6-1 蛇ノ尾火山の噴火年代

テフラなどの火山噴出物直上の較正暦年代は、噴出物堆積後に土壤層が累積して新たな閉鎖系が成立した時の年代であるため、噴出年代と時間差が認められることが多い (奥野, 2005)。一方、噴出物直下の較正暦年代は噴出物が堆積して、直下の土壤層の閉鎖系が成立した年代、すなわち、噴出年代を示すと考えられている (Okuno *et al.*, 1997)。ACP1 を含む火山灰層直下の土壤層の較正暦年代が 4.2~4.1 ka であることから、ACP1 の噴出年代はそれと同じ年代と考えられる。この年代は蛇ノ尾火山の東北東 7.5 km に位置する完新世テフラ模式露頭 (A9418 地点) で得られている ACP1 の噴出年代 (4.1 ka) とほぼ一致している。

一方、蛇ノ尾スコリアについては下位の  $^{14}\text{C}$  年代が得られていないため、噴火年代は上位の黒ボク土層が示す 4.2~4.1 ka より古いということしかいえないが、ACP1 と蛇ノ尾スコリア間には 7.3 ka の K-Ah は認められないので、7.3 ka と 4.1 ka の間の約 3000 年間に噴出したことは確実である。しかしながら、蛇ノ尾スコリアの噴出年代が 7.3 ka に近いと仮定すると、ACP1 を含む火山灰層と蛇ノ尾スコリア間にもっと厚い火山灰と土壤の互層が存在するはずである (Fig. 3)。中岳北北東 4 km の完新世テフラ模式露頭 (A9418 地点) のテフラ層および埋没土層の厚さと比較すると、蛇ノ尾スコリアは N8 期あるいは N9 期付近の層準に含まれると仮定することができる。

る。その結果、蛇ノ尾スコリアの噴出年代は4.9~4.3 ka頃と推察される。

これまで蛇ノ尾火山の噴火年代は7.3 kaよりも古いと考えられていた。その根拠は、火砕丘を構成するスコリアの上位に7.3 kaの鬼界アカホヤ火山灰(K-Ah)が認められたというトレンチ調査の結果に基づいている(渡辺, 2001)。しかしながら、筆者は蛇ノ尾火砕丘の山頂から山麓にかけての18地点で観察を行ったが、蛇ノ尾火山噴出物の上位にK-Ahなどパブルウォール型火山ガラスを含むテフラを確認することができなかった。渡辺(2001)が具体的にどの地点で掘削を行ったのかは明らかではなく、蛇ノ尾火山のスコリア上位にK-Ahが観察できる露頭の存在を完全に否定することはできない。しかし、火砕丘を構成するスコリア層は相当に厚く、山麓部でない限り、その基底部や下位の堆積物を露頭で確認することは容易ではないと考える。したがって、本論では筆者が現地調査で得た結果をもとに、蛇ノ尾火山の噴火年代を4.9~4.3 kaおよび4.1 kaと推定する。7.3 ka以前に蛇ノ尾火山で噴火活動があったかどうかについては今後、山麓部や周辺域でボーリング調査を行うなどして検討する必要がある。

#### 6-2 蛇ノ尾火山を形成した噴火活動の推移

蛇ノ尾火山周辺域における噴出物の層序や産状、得られた年代値や化学分析結果から、同火山を形成した噴火の推移について述べる。

蛇ノ尾火山の活動は、4.9~4.3 kaの玄武岩質安山岩マグマの噴火によって始まった。この噴火では、多量の降下スコリア(蛇ノ尾スコリア)を噴出して、底面の大きさが750×550 m、比高150 m程度の火砕丘が形成された。この噴火によって遠方域まで飛散したテフラが確認できないことから、比較的穏やかなストロンボリ式噴火であったと考えられる。また、蛇ノ尾スコリア中には蜂の巣構造を有する斜長石が多量に含まれることから、2種類のマグマの混合が示唆され、高温マグマ側で斜長石の急冷成長が起こった可能性がある(Kawamoto, 1992)。

数100年間の休止期をおいた約4.1 kaに蛇ノ尾火山で再び噴火が発生した。その噴火は前回の噴火とは異なって珪長質マグマを主体とする活動で、黒雲母斑晶を含む鍵テフラである阿蘇中央火口丘第1軽石(ACPI; 高田, 1989)を噴出した。このテフラが純層で観察できる地点は少ないが、中岳N7期の火山灰層中に散在する産状でありながら、カルデラ東方域の阿蘇市波野付近まで追跡することが可能である(Fig. 5)。したがって、この珪長質噴火ではある程度高い噴煙中が形成されたものと考えられ、準プリニー式噴火であった可能性がある。

ACPIには多量の縞状軽石が含まれることが特徴であ

る。このことは低温の珪長質マグマと高温の苦鉄質マグマが噴火前に混合したことを示唆しており、軽石のSiO<sub>2</sub>含有量(65~68 wt.%)からみて、珪長質側端成分はデイサイト~流紋岩であった可能性がある。こうしたマグマの混合がどのような状態で起こって、噴火が発生したのかについては今後詳しく検討しなければならない。

さらに、この4.1 kaの噴火ではテフラの放出とともに安山岩質の赤水溶岩を流出した。蛇ノ尾火山の火砕丘は南半分がほとんど失われている。これは赤水溶岩の流出時に火砕丘の一部が崩壊したためかもしれない。この溶岩の岩石学的特徴はACPI中に含まれる縞状軽石のスコリア部分のそれとほぼ一致していることから、赤水溶岩も前述したマグマ混合の産物である可能性がある。このように、4.9~4.3 kaの苦鉄質マグマによるストロンボリ式噴火と数100年の休止期を挟んだ4.1 kaの珪長質マグマと苦鉄質マグマの混合による準プリニー式噴火と溶岩流出によって、蛇ノ尾火山の活動は終了した。

#### 6-3 阿蘇火山中央火口丘群北西部における完新世後期の火山活動の特徴

阿蘇火山中央火口丘群の北西部では、完新世後期に苦鉄質マグマによる火山活動があり(小野・渡辺, 1985; 三好・他, 2005)、約4 kaの杵島岳火山における玄武岩質安山岩質の噴火(準プリニー式噴火と溶岩流出)に始まり、約3.6 kaの往生岳火山の玄武岩質噴火(準プリニー式噴火と溶岩流出)へと続き(中村・渡辺, 1995; 宮縁・渡辺, 1997; Miyabuchi, 2009)、さらに約3.3 kaの米塚火山(ストロンボリ式噴火と溶岩流出)と上米塚スコリア丘群(ストロンボリ式噴火)の活動で終了したことがわかっている(宮縁, 2010)。それらの火山群に近接する蛇ノ尾火山はこれまで7.3 ka以前に形成されたと考えられていたが、本研究により4.9~4.1 kaの時期に活動した可能性が出てきた。蛇ノ尾火山の活動は、その間に土壌層が形成されるような休止期(数100年程度)を挟んでいる。後半の4.1 kaの活動では珪長質マグマが苦鉄質マグマとともに噴出しており、これは他の中央火口丘群北西部の火山群には見られない特徴である。その後半の活動では、混合したマグマが溶岩としても流出し、火砕丘の南半分を破壊した可能性がある。

4.1 kaという時期には完新世における主要活動火口である中岳の活動も活発で、多量の火山灰が噴出している(小野・他, 1995; 宮縁・渡辺, 1997)。同じ時期に中央火口丘群北西部において完新世で唯一珪長質マグマが噴出していることは非常に興味深い事実である。このように、阿蘇火山中央火口丘群北西部で完新世後半に起こった火山活動には少なくとも2つのタイプがあったことになり、そのマグマの形成・噴出過程など、今後詳しく検



討する必要がある。

## 7. ま と め

阿蘇火山中央火口丘群北西部に位置する蛇ノ尾火山は 7.3ka よりも古いスコリア丘と考えられていたが、新しい露頭の出現によって、噴火年代や活動史を見直す必要が生じた。筆者は蛇ノ尾火山とその周辺域において現地調査を行い、噴出物の層序や特徴を明らかにし、同火山を形成した噴火の推移や年代について検討した。

蛇ノ尾火山噴出物は埋没黒ボク土層を挟んで、その上位の軽石層と下位のスコリア層の2つのユニットからなる。上部の軽石層は岩石学的特徴や年代から阿蘇中央火口丘第1軽石(ACPI)に対比されたが、下部のスコリア層はこれまで記載されていないテフラであるため、本論では蛇ノ尾スコリア(JnS)と命名した。ACPIは黒雲母斑晶と多量の縞状軽石を含むことが特徴である。また、蛇ノ尾火山の西方に分布し、これまで給源が不明であった赤水溶岩が、その岩石学的特徴から同火山の噴出物であることがわかった。このことは赤水溶岩の推定噴出年代(7.3~4ka)とも矛盾しない。

ACPIおよび蛇ノ尾スコリア間に挟む埋没黒ボク土層の<sup>14</sup>C年代やテフラ層序の対比結果から、蛇ノ尾火山は4.9~4.3kaと4.1kaという2つの時期に活動したと推定された。最初の噴火は、多量の降下スコリアを噴出するストロンボリ式噴火であったと考えられ、蛇ノ尾火山砕丘が形成された。数100年間の休止期をおいた後期の噴火では、縞状軽石を多量に含むACPIが噴出するとともに、赤水溶岩も流出した。その溶岩の流出によって火山砕丘の南半分が破壊された可能性がある。

阿蘇中央火口丘群北西部に位置し、4~3.3kaに活動した火山群(杵島岳・往生岳・米塚・上米塚)の噴出物は、玄武岩~玄武岩質安山岩マグマに由来するものであるのに対し、蛇ノ尾火山噴出物は玄武岩質安山岩~デイサイトという幅広い化学組成を有している。蛇ノ尾火山は活動の間に土壤層が形成されるような休止期(数100年程度)を挟むことや苦鉄質マグマだけでなく珪長質マグマも噴出していることは他の中央火口丘群北西部の火山群には見られない特徴である。

## 謝 辞

蛍光X線分析を行う際には鹿児島大学自然科学教育研究支援センター機器分析施設の七村和彰氏にお世話になった。また、星住英夫氏と匿名査読者、担当編集委員の長谷川健氏の意見により本論の内容は大きく改善された。University of CanterburyのAlex Nichols氏には英文の校閲をしていただいた。これらの方々から感謝い

たします。なお、本研究の一部は東京地学協会による熊本地震関連緊急研究・調査助成金「2016年熊本地震によって発生した斜面災害の火山地質学的研究」の経費を使用して行った。

## 引用文献

- 古澤 明・梅田浩司(2000) 別府湾コアにおける最近7000年間の火山灰層序—ピストンコア中の火山灰と阿蘇、九重火山のテフラとの対比—。地質学雑誌, **106**, 31-49.
- Kawamoto, T. (1992) Dusty and honeycomb plagioclase: indicators of processes in the Uchino stratified magma chamber, Izu Peninsula, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **49**, 191-208.
- Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M. J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley A. R. and Zanettin, B. (1989) **A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms**. Wiley-Blackwell, Oxford, 204 p.
- 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, 336 p.
- Miyabuchi, Y. (2009) A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan. *Sediment. Geol.*, **220**, 169-189.
- 宮縁育夫(2010) 阿蘇火山, 米塚の噴火年代。火山, **55**, 219-225.
- 宮縁育夫(2016) 平成28年(2016年)熊本地震による被害状況(口絵)。地学雑誌, **125**, iii-vi.
- Miyabuchi, Y. and Sugiyama, S. (2012) Holocene vegetation history based on phytolith records in Asodani Valley, northern part of the Aso caldera, Japan. *Quatern. Int.*, **254**, 73-82.
- 宮縁育夫・渡辺一徳(1997) 埋没黒ボク土層の<sup>14</sup>C年代からみた完新世阿蘇火山テフラの噴出年代。火山, **42**, 403-408.
- 宮縁育夫・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.
- 三好雅也・長谷中利昭・佐野貴司(2005) 阿蘇カルデラ形成後に活動した多様なマグマとそれらの成因関係について。火山, **50**, 269-283.
- 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.
- 中村 武・渡辺一徳(1995) 阿蘇火山杵島岳・往生岳の噴出物と黒ボク土に関する知見について。熊本地学会誌, **110**, 2-5.
- 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.
- 奥野 充(2005) 最近10,000年間の噴火史編年と<sup>14</sup>C年代測定。火山, **50**, S209-S217.
- Okuno, M., Nakamura, T., Moriwaki, H. and Kobayashi, T.

- (1997) AMS radiocarbon dating of the Sakurajima tephra group, southern Kyushu, Japan. *Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res.*, **B123**, 470-474.
- 小野晃司・渡辺一徳 (1985) 阿蘇火山地質図 (5 万分の 1). 火山地質図 4, 地質調査所.
- 小野晃司・渡辺一徳・星住英夫・高田英樹・池辺伸一郎 (1995) 阿蘇火山中岳の灰噴火とその噴出物. 火山, **40**, 133-151.
- Ono, K., Watanabe, K., Hoshizumi, H. and Ikebe, S. (1995) Ash eruption of the Naka-dake crater, Aso volcano, southwestern Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **66**, 137-148.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Ramsey, C. B., Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Haflidason, H., Hajdas, I., Hatté, 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. and van der Plicht, J. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, **55**, 1869-1887.
- 高田英樹 (1989) 阿蘇中央火口丘群のテフラ概報. 熊本地学会誌, **90**, 8-11.
- Talma, A. S. and Vogel, J. C. (1993) A simplified approach to calibration  $^{14}\text{C}$  dates. *Radiocarbon*, **35**, 317-322.
- 渡辺一徳 (1991) 阿蘇火山中岳の火山活動. 熊本地学会誌, **98**, 2-13.
- 渡辺一徳 (2001) 阿蘇火山の生い立ち—地質が語る大地の鼓動—. 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 7」, 一の宮町, 241 p.
- 横瀬久芳・根建心具 (2011) 蛍光 X 線分析装置 (ZSX100e) による岩石試料の精密主成分分析. 鹿児島大学フロンティアサイエンス研究推進センター機器分析施設年報, **10**, 3-6.
- Yoshida, M. (1987) Preheating method for the determination of total phosphorus content in Andosols. *Soil Science and Plant Nutrition*, **33**, 501-505.

(編集担当 長谷川健)