

溶岩流とテフラとの層序関係からみた
阿蘇火山中央火口丘群西部地域の発達史

宮 縁 育 夫*・増 田 直 朗**・渡 辺 一 徳***

(2003年10月2日受付, 2004年8月29日受理)

Geologic History of the Western Part of Post-caldera Central Cones of Aso Volcano,
Southwestern Japan, Based on Stratigraphic Relationships
between Lava Flows and Airfall Tephra Layers

YASUO MIYABUCHI*, NAOAKI MASUDA** and KAZUNORI WATANABE***

The western part of post-caldera central cones of Aso Volcano, southwestern Japan, is characterized by wide chemical variation of lava flows ($\text{SiO}_2=49-73 \text{ wt.}\%$) and complicated topography. Geologic history of the area was reconstructed by stratigraphic relationships between lava flows and airfall tephra layers. Stratigraphy and chronology of lavas and tephra distributed on the western slope of the central cones are as follows: Ayugaerinotaki lava, Matsuhata pumice (MhP), Tochinoki lava ($73\pm 10 \text{ ka}$; K-Ar age), Aso central cone pumice 4 (ACP4), Tateno lava, Aso central cone pumice 3 (ACP3), Takanoobane lava ($51\pm 5 \text{ ka}$), Eboshidake lava, Karisako lava, Akase lava (30 cal ka ; calibrated ^{14}C age), Sawatsuno lava ($27\pm 6 \text{ ka}$), Kusasenrigahama pumice (Kpfa; 31 cal ka), Otagase lava and Aso central cone pumice 1 (ACP1; 4 cal ka), in ascending order. Between about 70,000 to 50,000 years ago Tochinoki lava, Tateno lava and Takanoobane lava accompanied precursor pumice-fall deposits. A catastrophic eruption occurred in and around the Kusasenrigahama crater at 31 cal ka . The eruption was initiated by the dacite Sawatsuno lava flow and produced the largest plinian pumice-fall deposit (Kpfa; 1.2 km^3 in DRE volume). In the western part of post-caldera central cones of Aso Volcano, total discharge volumes of felsic and mafic magmas from about 70,000 to 30,000 years ago were estimated to be about 2.4 km^3 and 0.47 km^3 , respectively.

Key words: Post-caldera central cones, Aso Volcano, lava flows, tephra, geologic history

1. はじめに

阿蘇火山中央火口丘群西部地域は、玄武岩から流紋岩までさまざまな組成をもつ溶岩流や火砕岩が分布しており、地質的にも地形的にも複雑な構造をもつ地域である(小野・渡辺, 1985)。この地域の地表に存在する溶岩とその層序関係については、本間・迎 (1938) や渡辺 (1972) が最初に報告し、その後、小野・渡辺 (1985) および渡辺 (2001) が詳しくまとめた。阿蘇火山中央火口丘群噴出物のうち5つの溶岩についてはK-Ar年代が得

られている(松本・他, 1991)。最近になって、カルデラ周辺域におけるAso-4火砕流以降の降下テフラ層序が確立されつつあり、テフラ直下土壌層の ^{14}C 年代や層位から、鍵層となる軽石層の噴出年代が推定されている(宮縁・他, 2003a)。

筆者らは、阿蘇カルデラ西部地域における溶岩流と降下テフラとの層序関係に関する調査を行った。その過程において、これまで報告されている一部の溶岩の分布域を見直す必要があることも判明した。このことも含め、

* 〒860-0862 熊本市黒髪 4-11-16

森林総合研究所九州支所

Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Kurokami 4-11-16, Kumamoto 860-0862, Japan.

** 〒869-2225 熊本県阿蘇郡阿蘇町大字黒川 1266

阿蘇中学校

Aso Junior High School, Kurokawa 1266, Asomachi,

Kumamoto 869-2225, Japan.

*** 〒860-8555 熊本市黒髪 2-40-1

熊本大学教育学部

Faculty of Education, Kumamoto University, Kurokami 2-40-1, Kumamoto 860-8555, Japan.

Corresponding author: Yasuo Miyabuchi

e-mail: yasuo@affrc.go.jp

本論では溶岩流と降下テフラの層序関係を明らかにして、阿蘇火山中央火口丘群西部地域の発達史について議論する。

なお、本論では年代表記の単位として、 ^{14}C 年代を ^{14}C yrs BP, 較正暦年代を cal ka, K-Ar年代を ka (誤差範囲を付記)で示す。そして、5,000~10,000年程度の誤差範囲をもつ K-Ar年代を含め、層序関係から推定された年代を述べる際には万年単位で表記する。

2. 調査地域の地形地質概要

調査を実施したのは、阿蘇カルデラ唯一の河川流出口である立野火口瀬 (Tateno Gorge) から中央火口丘群西側斜面にかけての地域である (Fig. 1)。この付近は、地表に存在している阿蘇火山中央火口丘群の噴出物の中で、比較的古い溶岩が分布する地域である (小野・渡辺, 1985)。調査地域東端の草千里ヶ浜火口西縁 (標高 1,140 m) からは緩やかに続く斜面 (平均傾斜は $7\sim 14^\circ$ 程度) が広がっており、草千里ヶ浜火山溶結火砕岩 (溶結した降下軽石堆積物) と一部に吉岡溶岩が分布している。それより下部の斜面はやや起伏に富んでおり、沢津野溶岩とドームを形成する高野尾羽根溶岩 (渡辺, 2001; 旧火山研究所溶岩)、それらの南側には栃ノ木溶岩と烏帽子岳溶岩が分布している。さらに西側の白川・黒川に下刻された河床には鮎返ノ滝岩がみられ、それを覆って立野溶岩と赤瀬溶岩が分布している (小野・渡辺, 1985)。

最近、調査地域においては新たな岩屑堆積物 (濁川および乙ヶ瀬岩屑なだれ堆積物、濁川ラハール堆積物) や若い年代を示す流紋岩質溶岩 (乙ヶ瀬溶岩) が発見されるなど、地質学的新知見が得られている (岡本, 2003; 宮縁・他, 2003b; 増田・他, 2004)。さらに、この地域には温泉変質地帯が存在しており、湯の谷温泉では 1816 (文化 13) 年に水蒸気爆発による災害が発生している (池辺・藤岡, 2001)。これは中岳以外では唯一の噴火記録である。このように、調査地域は広い化学組成をもつ溶岩・火砕岩が分布するだけでなく、古い時代からごく最近まで火山活動が活発に起こっている地域である。

調査を行ったのは、道路やレジャー施設等の工事に伴って出現した露頭や河川沿いの斜面などであり、それらの露頭では堆積物の特徴や層序関係を詳細に記載した (Figs. 1, 2)。また、2001~2002年にかけて京都大学火山研究センター (以下、火山研とよぶ) がある高野尾羽根火山で実施された 4本のボーリング (深さ 145~200 m) のうち 2本のコア観察も加えた (Fig. 2の AVL1 および AVL4)。これらの結果判明した調査地域西端から中央部付近の地質断面図 (Fig. 1の X-X'断面) を作成した

(Fig. 3)。

本論で述べる溶岩流やテフラの層序関係の概要は Fig. 4に示すとおりである。主な岩石やテフラについては試料を採取して鏡下で鉱物組成等の岩石学的特徴を観察するとともに、九州沖縄農業研究センター所有の蛍光 X線分析装置 (理学電機工業株式会社システム 3070) を使用して全岩化学組成を測定した。

3. 溶岩流の記載

調査地域に分布する溶岩は、下位より鮎返ノ滝溶岩、栃ノ木溶岩、立野溶岩、高野尾羽根溶岩、赤瀬溶岩、沢津野溶岩であり、それらと直接の層序関係は得られていないものとして吉岡溶岩、烏帽子岳溶岩がある (小野・渡辺, 1985; 渡辺, 2001)。また、最近の調査で中野野溶岩、長野溶岩、乙ヶ瀬溶岩が発見されている (増田・他, 2004)。さらに今回、菊迫溶岩という新しい溶岩が認められた。これまでの研究や筆者らの調査によって判明した層序関係 (一部、推定も含む) で古いものから順に、それぞれの特徴を記載する。なお、各溶岩の斑晶組合せや石基組織などの観察結果を Table 1にまとめた。

3-1 鮎返ノ滝溶岩

鮎返ノ滝溶岩は、白川に懸かる鮎返ノ滝を構成する溶岩であり、そこから栃木温泉付近までの河床と、白川・黒川の合流点付近 (A0312地点) の河床に露出している。地表で観察できる中央火口丘群溶岩の中で最も古いものとされている (小野・渡辺, 1985; 渡辺, 2001)。この溶岩は、緻密で黒色を呈しており、斜方輝石をごく少量含む単斜輝石カンラン石玄武岩 ($\text{SiO}_2=53\text{ wt.}\%$) で、斑晶量は 15% 程度である。

鮎返ノ滝溶岩は、地表では白川・黒川が下刻した河床面にしか露出していないが、火山研で掘削されたボーリングコア AVL4 の最下位に存在することが確認された (Figs. 2, 3)。そのコアでの層厚は 18.2 m 以上であり、クリンカーを挟んで 2枚のフローユニットがみられた。このことは、渡辺 (1972) が鮎返ノ滝溶岩が 2枚の溶岩からなるとした地表の観察事実と一致している。

3-2 栃ノ木溶岩

栃ノ木溶岩は、栃木温泉から長陽村戸下までの河床および河岸斜面、さらに長陽村栃木 (標高約 350 m) から東北東へ 3 km 付近までの斜面に分布している (小野・渡辺, 1985)。この溶岩は、前述した鮎返ノ滝溶岩よりも上位にあり、両溶岩間には南郷谷 (阿蘇カルデラ南半分) の湖成堆積物である久木野層 (林, 1958; 小野・渡辺, 1985) が挟在している (渡辺, 2001)。

栃ノ木溶岩は両輝石デイサイト ($\text{SiO}_2=66\text{ wt.}\%$) であるが、斑晶量が極めて少なく (1~5%)、他の溶岩と異

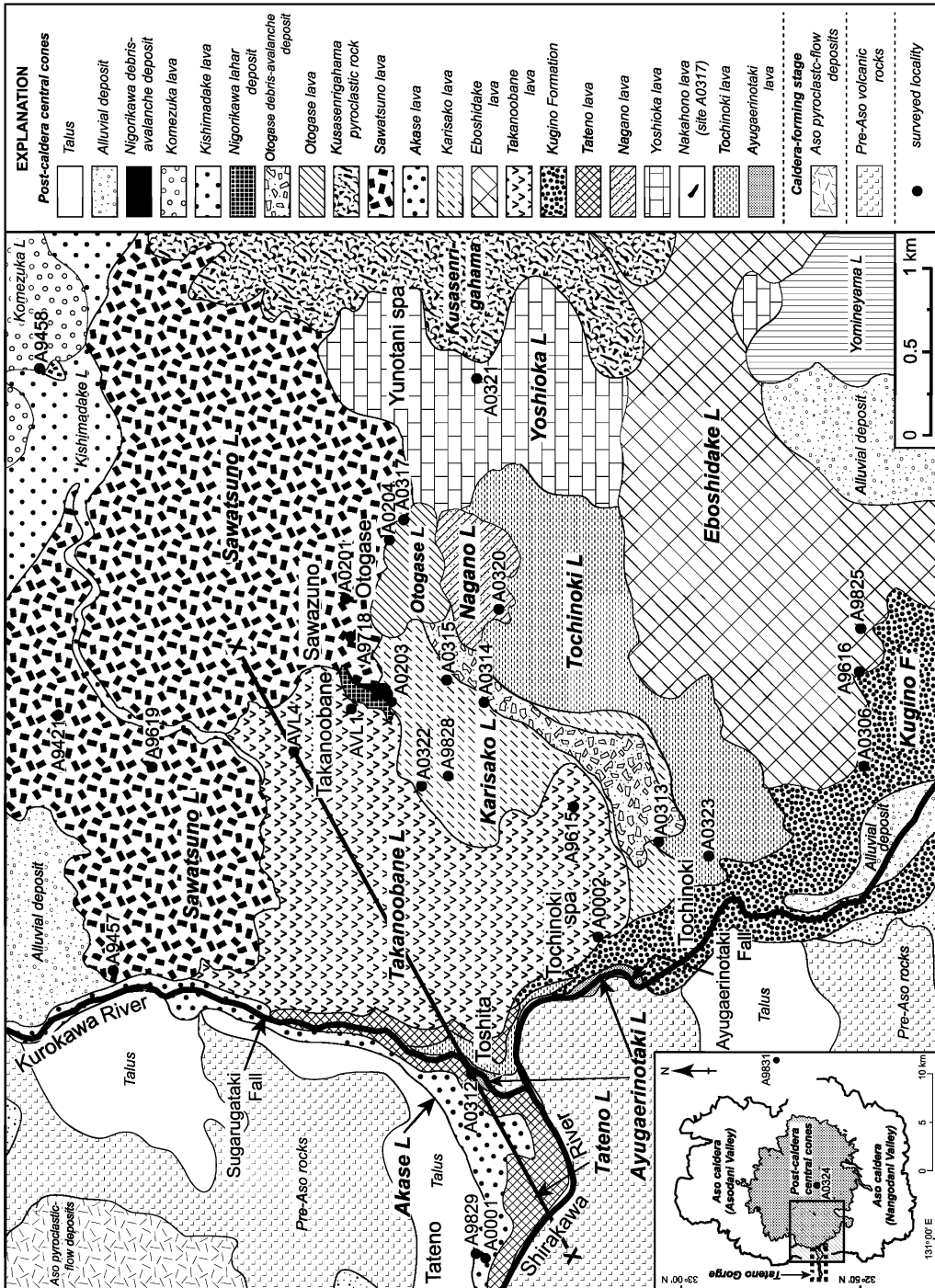


Fig. 1. Geologic map of the western part of post-caldera central cones of Aso Volcano, with the surveyed localities. Distribution of most lava flows was revised after Ono and Watanabe (1985). Nakahono lava, Nagano lava, Otogase lava and Otogase debris-avalanche deposit are from Masuda et al. (2004).

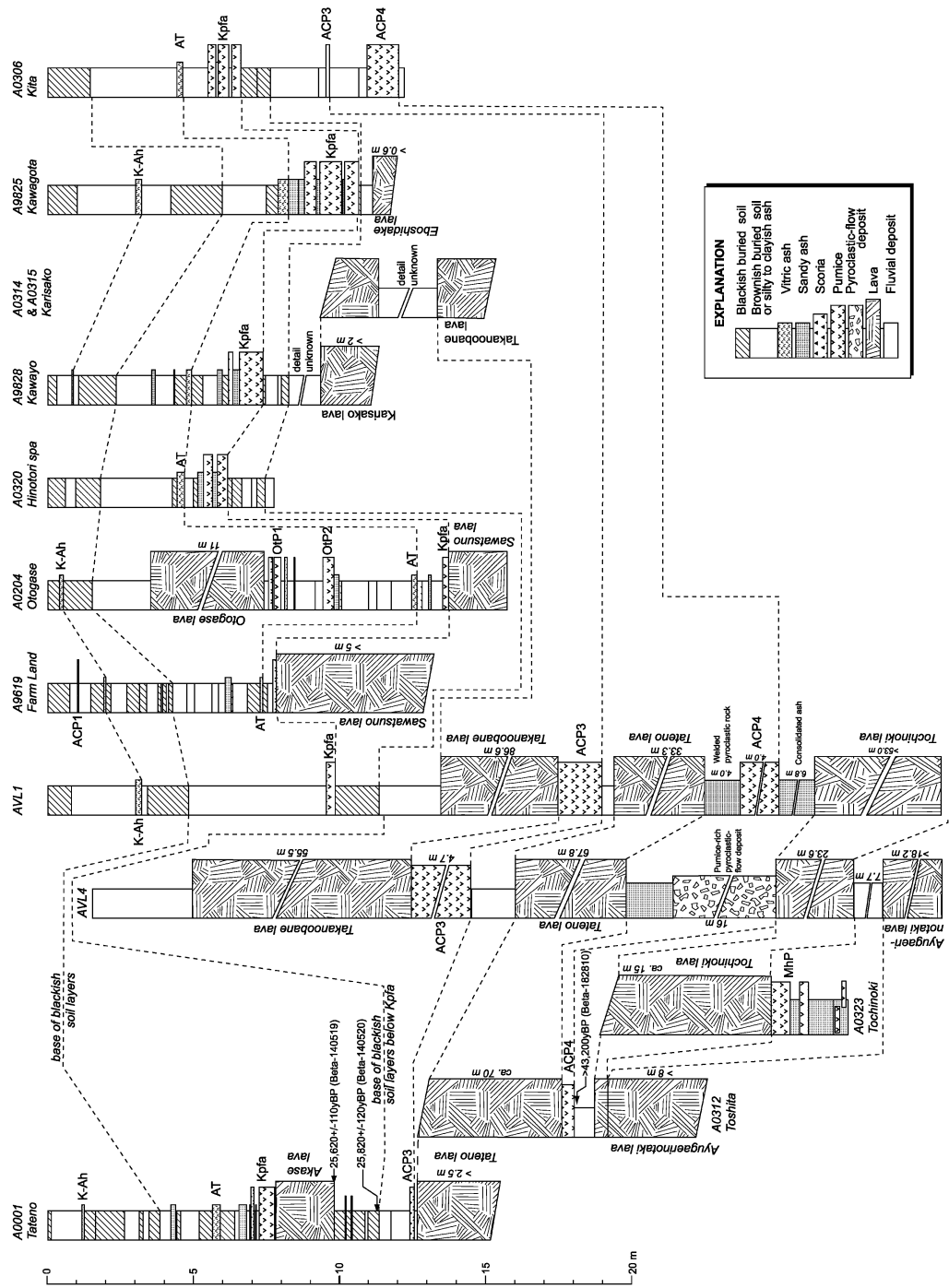


Fig. 2. Stratigraphic relations of lava flows and tephra layers in the western part of Aso caldera. See Fig. 1 for locations of the sites. ¹⁴C age of ACP4 is from Miyabuchi *et al.* (2004 b).

なった特徴を有している。また、露頭では幅数 cm の板状節理が発達することも特徴である。

上記の分布域以外に、栃ノ木溶岩は火山研のボーリングコアで存在が確認され (Figs. 2, 3), その厚さは 53 m 以上であった (Fig. 2 の AVL1)。長陽村戸下付近の栃ノ木溶岩の SiO₂ 量は 62 wt.% と報告されている (小野・渡辺, 1985) が、今回、長陽村栃木 (A0323 地点) で採取した試料の SiO₂ 量は 66 wt.%, 火山研ボーリングコアで

は 64~66 wt.% (増田・渡辺, 未公表データ) であり、違いがある。しかし、これら採取した溶岩はすべて岩相や組織などは共通しており、栃ノ木溶岩以外のものとは考えにくい。小野・渡辺 (1985) の分析値は長陽村戸下の旧国道沿いで採取した試料によるものであるが、今回の分析値を考慮すれば、火山研ボーリングコアの岩石とは別のフローユニット、または組成に幅がある可能性もある。

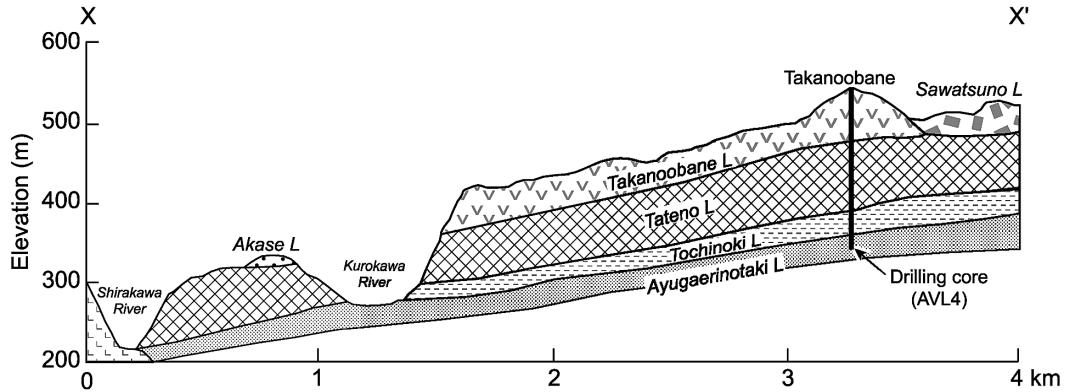


Fig. 3. Geologic cross section of the study area from Tateno to Takanoobane (X-X' line; Fig. 1).

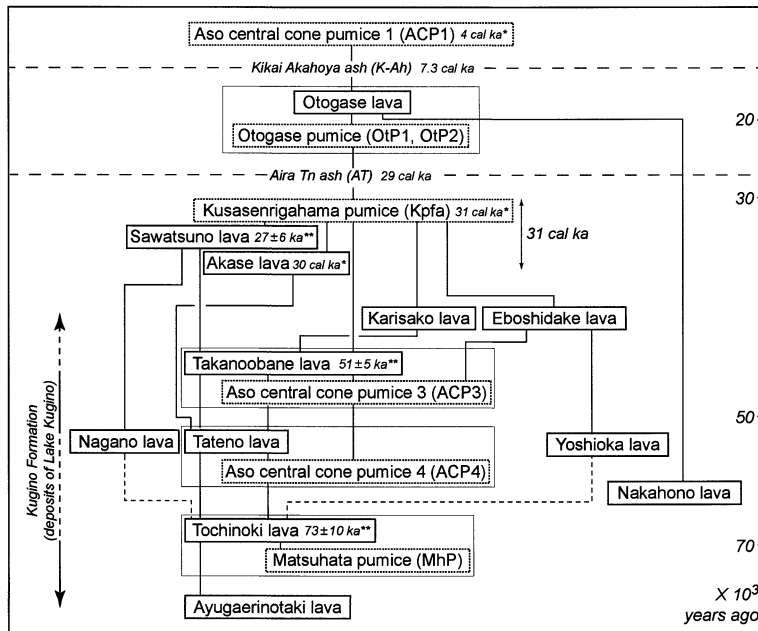


Fig. 4. Stratigraphy and chronology of lava flows and airfall tephra layers distributed in the study area. Solid tielines show stratigraphic relationships confirmed at outcrops and drilling cores. Broken tieline denotes estimated relationship. * Calibrated ¹⁴C ages from Miyabuchi and Watanabe (1997) and Miyabuchi *et al.* (2003 a). ** K-Ar ages (Matsumoto *et al.*, 1991).

Table 1. Petrography of rocks distributed on the western part of post-caldera central cones of Aso Volcano.

Rock unit	Rock type	Phenocrystal minerals*	Groundmass minerals**	Groundmass texture
Otogase lava	Rhyolite	Pl (1.7), Opx (0.2), Cpx (0.2)	not identified	Cryptocrystalline
Sawatsuno lava	Dacite	Pl (2.1), Opx (1.0), Cpx (0.3)	Pl, Cpx, Opx, Sm, glass	Hyalopilitic
Akase lava	Andesite	Pl (3.0), Ol (1.4), Cpx (1.7), Opx (1.2)	Pl, Opx, Cpx, Ol, glass, Sm	Hyalo-ophitic
Karisako lava	Andesite	Pl (4.0), Opx (2.0), Cpx (1.2)	Pl, Cpx, Opx, glass	Hyalopilitic
Eboshidake lava	Andesite	Pl (3.0), Cpx (1.5), Opx (1.2)	Pl, Cpx, Opx, glass, Sm	Hyalopilitic or hyalo-ophitic
Takanoobane lava	Rhyolite	Pl (2.0), Bi (1.0), Cpx (1.0), Opx (0.3)	Pl, Bi, Cpx, Opx, Sm, glass	Cryptocrystalline to felsitic
Nagano lava	Dacite	Pl (2.2), Cpx (1.0), Opx (0.3)	Pl, Opx, Cpx, Sm, glass	Hyalopilitic
Tateno lava	Dacite	Pl (3.3), Cpx (1.5), Opx (1.3)	Pl, Opx, Cpx, Sm, glass	Hyalopilitic
Yoshioka lava	Basalt	Pl (2.0), Ol (1.6), Cpx (3.5)	Pl, Cpx, Ol, Opx, glass	Intergranular or intersertal
Nakahono lava	Rhyolite	Pl (1.5), Bi (1.2), Cpx (0.4), Opx (0.4)	Pl, Cpx, Sm, glass	Hyalopilitic
Tochinoki lava	Dacite	Pl (1.0), Cpx (0.7), Opx (0.3)	Pl, Cpx, Opx, Sm, glass	Hyalo-phitic or hyalopilitic
Ayugaeriotaki lava	Basalt	Pl (4.5), Cpx (1.0), Ol (0.3), Opx (0.5)	Pl, Ol, Cpx, glass	Intersertal

*, ** Phenocrystal and groundmass minerals; Bi: biotite, Cpx: clinopyroxene, Ol: olivine, Opx: orthopyroxene, Pl: plagioclase, Sm: silica mineral. All rocks include opaque minerals as phenocrysts or groundmass.

* Maximum grain size (length of long axis; mm) of each phenocrystal mineral is shown in parenthesis.

3-3 中方野溶岩

中方野溶岩は、乙ヶ瀬川の上流部の河床（標高 600～610 m; A0317 地点）でのみ観察できる灰白色～暗灰色の流紋岩質（ $\text{SiO}_2=73 \text{ wt.}\%$ ）溶岩であり、斑晶鉱物として黒雲母を含むことが特徴である（増田・他, 2004）。この溶岩は高野尾羽根溶岩（小野・渡辺, 1985; 渡辺, 2001）と似た岩相を示すが、両者の分布域は明らかに異なり、別の溶岩流である。露出地点が限られているため、詳細な層序関係の解明には至っていないが、少なくとも沢津野溶岩および乙ヶ瀬溶岩よりも下位にあることはわかっている（増田・他, 2004）。

3-4 吉岡溶岩

吉岡溶岩は、湯の谷温泉とその南方の長陽村吉岡（A0321 地点）付近に分布する単斜輝石かんらん石玄武岩（ $\text{SiO}_2=49 \text{ wt.}\%$ ）である（小野・渡辺, 1985）。地表で観察できる中央火口丘群溶岩の中で最も苦鉄質である。全体として弱い熱水変質を受けているため、やや緑かかった黒色をしており（渡辺, 2001）、斑晶量は 15% 程度である。この溶岩の分布域東端では、草千里ヶ浜の溶結火砕岩に覆われること以外は、他の溶岩流との層序関係や年代、噴出源はわかっていない（渡辺, 2001）。

3-5 立野溶岩

立野溶岩は、立野火口瀬に流れ込んだ溶岩の中では最も厚い溶岩である（渡辺, 2001）。数鹿流ヶ滝より下流の黒川両岸、さらに長陽村戸下（A0312 地点）より下流の白川右岸に露出しており、高さが 80～100 m にも達する崖を構成しており、柱状節理が発達している。

この溶岩は、斑晶が比較的大きい斜方輝石単斜輝石デイサイト（ $\text{SiO}_2=68 \text{ wt.}\%$ ）である。色調は黒色～灰黒色を呈しており、全体的にガラス質であることが特徴である。

立野溶岩は、長陽村戸下より東方では他の溶岩に覆われるために分布は知られていなかったが、火山研のボーリングコアにおいて存在が確認された（Figs. 2, 3）。コアでの層厚は 33.3 (AVL1)～67.8 m (AVL4) で、全体的に黒色ガラス質の溶岩であるが、一部に風化して赤褐色を呈する部分も認められる。

3-6 長野溶岩

火山研（高野尾羽根）の南東約 1.5 km に位置する、北側に開いた火口地形をもつ火砕丘あるいは小型の成層火山体状の小丘（標高 620 m）は、かつて沢津野溶岩からなるとされていた（小野・渡辺, 1985）が、実際には別のデイサイト質（ $\text{SiO}_2=68 \text{ wt.}\%$ ）溶岩によって構成されていることが判明した。増田・他（2004）は、その火山体を長野火山、火山体を構成するデイサイト質溶岩を長野溶岩と命名した。

3-7 高野尾羽根溶岩

高野尾羽根溶岩は、黒雲母と単斜輝石、ごく少量の斜方輝石を含む流紋岩（ $\text{SiO}_2=72 \text{ wt.}\%$ ）であり、かつて火山研究所溶岩（小野・渡辺, 1985）と呼ばれていた。しかし、噴出源には溶岩ドーム（京都大学火山研究センターのある丘; 標高 567 m）が形成されており、独立した火山であることが明らかであるため、ドームを含めた給源火山については高野尾羽根火山、溶岩は高野尾羽根溶岩と改称された（渡辺, 2001）。この溶岩は、白川・黒川合流点（長陽村戸下）付近まで分布しており（小野・渡辺, 1985）、地表に露出している白川右岸斜面での層厚は 40～50 m 程度である。給源付近の火山研ボーリングコアでは、55.5～86.6 m (AVL1 および 4) の層厚を有する。それらのコアでは溶岩の上部と基底付近がガラス質で、中心付近は結晶化が進んでいることが観察され、多量の黒雲母の斑晶が含まれている。

前述した立野溶岩との間には久木野層が挟在しており、高野尾羽根溶岩が久木野層と接する部分では、偽枕状溶岩が認められている。このことは、高野尾羽根溶岩噴出時には、久木野層を形成した湖（久木野湖）が存在しており、溶岩が水中に流入したことを意味している（渡辺, 2001）。

3-8 烏帽子岳溶岩

草千里ヶ浜火口南隣にそびえる烏帽子岳（標高 1,337 m）は、単斜輝石・斜方輝石を含む安山岩質（ $\text{SiO}_2=57$ wt.%）の溶岩（斑晶量 20% 程度）と火砕岩からなる成層火山である（渡辺, 2001）。山体全体の地形や開析状況、北側斜面に草千里ヶ浜溶結火砕岩がアバットしていることから、烏帽子岳の北側山体は草千里ヶ浜火山の噴火で大きく失われたと考えられる。烏帽子岳火山の溶岩流は山体から南西方向へ流下し、南阿蘇鉄道の加勢駅付近まで分布しており（小野・渡辺, 1985）、分布面積は約 7 km^2 と推定される。

3-9 苅迫溶岩（新称）

これまで沢津野溶岩の分布域（小野・渡辺, 1985）とされていた地域である長陽村苅迫（A0315 地点）とその西方の A0322 地点、長陽村栃木（A0313 地点）には、デイサイト質の沢津野溶岩とは異なる単斜輝石斜方輝石安山岩（ $\text{SiO}_2=58$ wt.%）が存在している（Figs. 1, 2）。火山研の東方から長陽村栃木にかけて輝石安山岩が分布することは、すでに渡辺（1972）によって報告されており、栃木-4 溶岩と呼ばれていた。しかし、その後の研究（小野・渡辺, 1985; 渡辺, 2001）で栃木-4 溶岩はデイサイト質の沢津野溶岩に一括されていた。

この溶岩の斑晶量は約 20% と多く、斜長石斑晶は最大 4 mm 程度と大きいなど、岩石学的特徴も沢津野溶岩とは明らかに異なっている。むしろ、この溶岩は斑晶鉱物組合せや化学組成（Table 2）の点で、前述した烏帽子岳溶岩とよく似ている。しかし、烏帽子岳溶岩に比べて石基部分がややガラス質であること、斑晶の大きさのばらつき程度など、異なった特徴も有している。また、烏帽子岳溶岩より谷を隔てた西方に分布することから、本論では苅迫溶岩と新称を与えた。

3-10 赤瀬溶岩

赤瀬溶岩は、長陽村赤瀬付近の黒川河床にみられる斑晶量約 20% の斜方輝石単斜輝石かんらん石安山岩（ $\text{SiO}_2=55$ wt.%）である（渡辺, 2001）。黒川の数鹿流ヶ滝は、この溶岩に懸かっており、さらに白川・黒川合流点の約 2.8 km 下流まで分布している（Fig. 1）。

3-11 沢津野溶岩

沢津野溶岩は、長陽村沢津野（A9718 地点付近）を中心に分布する斑晶量 10% 程度の単斜輝石斜方輝石デイ

サイト（ $\text{SiO}_2=67$ wt.%）である（小野・渡辺, 1985）。露頭では塊状溶岩の産状を呈することが多い。

地表で観察できる最東端では草千里ヶ浜溶結火砕岩に覆われること、さらに草千里ヶ浜降下軽石（ $\text{SiO}_2=67$ wt.%）と類似した化学組成を有すること（Tables 2, 3）から、噴出源は草千里ヶ浜付近と推定される。

また、沢津野溶岩は南西方向には長陽村栃木付近まで分布するものとされていた（小野・渡辺, 1985）が、増田・他（2004）や今回の調査によって、長陽村乙ヶ瀬付近より南西域については複数の別の溶岩であることが判明した。このことについては、前述の中方野溶岩・長野溶岩・苅迫溶岩の節で記載したが、次の乙ヶ瀬溶岩の節でも詳しく述べる。

3-12 乙ヶ瀬溶岩

乙ヶ瀬溶岩は、それまで沢津野溶岩の分布域とされていた標高約 550~600 m の乙ヶ瀬川左岸の崖（A0204 地点）で発見された単斜輝石・斜方輝石を含む流紋岩である（増田・他, 2004）。この溶岩は黒色を呈し、極めてガラス質であることが特徴である。乙ヶ瀬溶岩の SiO_2 含有量は 73 wt.% であり、これまで中央火口丘群溶岩の中で最も珪長質な溶岩とされていた高野尾羽根溶岩よりもさらに SiO_2 に富む。

この溶岩は、乙ヶ瀬川南側の台地状地形を形成して分布している。また、同質の溶岩塊が長陽村栃木（A0313 地点）まで認められ（Fig. 1）。その途中には流れ山地形が存在することから、本溶岩の一部は岩屑なだれとなって流下した可能性が指摘されている（増田・他, 2004）。

4. 降下テフラの記載

阿蘇火山中央火口丘群は膨大な量の降下テフラを噴出しており、それらが最も厚く堆積するのはカルデラ東方の地域であるが、カルデラ西部においても全体的に厚さは薄いものの、鍵層となるテフラが存在している。今回、調査地域において、下位より阿蘇中央火口丘第 4 軽石および同第 3 軽石、草千里ヶ浜軽石、始良 Tn 火山灰、鬼界アカホヤ火山灰と阿蘇中央火口丘第 1 軽石という鍵テフラが確認された。長陽村喜多（A0306 地点）は、調査地域における降下テフラモード露頭の一つである。その地点ではカルデラ東方域で大量に存在するスコリア層はほとんど認められないが、軽石層の層序関係は一致しており、阿蘇中央火口丘第 4 軽石より上位のほとんどの軽石層を観察することができる（Fig. 2）。カルデラ東方域を中心に確認されている鍵テフラの特徴については宮録・他（2003a）で詳しく述べられている。したがって、本論では調査地域のテフラモード露頭である A0306 地点における産状を中心に述べる。また、最近の研究（増田・他、

Table 2. Whole rock chemical compositions of lavas distributed on the western part of post-caldera central cones of Aso Volcano.

Lava	Ayugaerinetaki lava	Tochinoki lava	Nakahono lava	Yoshioka lava	Tateno lava	Nagano lava
Sample site	A0312	A0323	A0317	A0321	A0001	
SiO ₂	52.86	66.44	72.67	49.00	67.68	68.18
TiO ₂	0.83	0.74	0.42	0.86	0.67	0.73
Al ₂ O ₃	18.35	16.46	14.75	18.27	16.17	15.34
Fe ₂ O ₃	9.26	4.34	1.89	11.13	3.44	3.81
MnO	0.15	0.12	0.09	0.15	0.10	0.11
MgO	3.37	1.00	0.24	5.64	0.92	1.03
CaO	10.81	3.06	0.94	11.91	2.86	2.54
Na ₂ O	2.63	4.06	4.12	2.00	4.11	4.03
K ₂ O	1.56	3.56	4.85	0.92	3.95	4.12
P ₂ O ₅	0.18	0.21	0.01	0.12	0.10	0.11
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Lava	Takanoobane lava	Eboshidake lava	Karisako lava	Akase Lava	Sawatsuno lava	Otogase lava
Sample site	A0002	A9825	A0315	A0001	A9619	A0204
SiO ₂	72.32	57.22	58.16	54.85	67.18	73.43
TiO ₂	0.43	0.92	0.99	1.01	0.75	0.37
Al ₂ O ₃	15.06	17.84	16.18	17.61	16.10	13.76
Fe ₂ O ₃	1.90	7.74	8.57	9.36	3.87	1.98
MnO	0.08	0.14	0.14	0.15	0.12	0.05
MgO	0.36	3.48	3.46	4.24	0.98	0.37
CaO	1.17	7.46	6.78	8.25	2.88	1.26
Na ₂ O	4.10	3.10	2.85	2.70	4.28	3.11
K ₂ O	4.56	1.94	2.69	1.64	3.70	5.66
P ₂ O ₅	0.03	0.16	0.17	0.18	0.14	0.02
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.01

Note: values are normalized on the basis of total = 100 %

Data for Nakahono, Nagano, Otogase lavas are from Masuda *et al.* (2004).

2004) で乙ヶ瀬溶岩直下に軽石層が発見されており、さらに今回の調査によって栃ノ木・立野・高野尾羽根溶岩の直下にも軽石層の存在が確認されたので、それらについても記載する。

4-1 阿蘇中央火口丘第4軽石 (ACP4)

阿蘇中央火口丘第4軽石 (高田, 1989; 略称 ACP4) は、阿蘇カルデラの全周域で認められる最も良い指標となるテフラの一つである。カルデラ東方域においては多数のフォールユニットからなるが、A0306地点を含め調査地域の露頭では顕著なフォールユニットは認められず、全体的に正級化構造をしている。

A0306地点におけるACP4の層厚は107cmであり、最大粒径 (MP; 各露頭における最大の軽石3個の長径平均値) は4.3cmであった。軽石中の苦鉄質鉱物は斜方

輝石と単斜輝石であり、黒色や灰色の軽石や縞状軽石も混在している。また、暗赤褐色 (7.5R3/3; マンセル方式の標準土色帖による色調; 以下同様) のスコリア (最大粒径2cm) が含まれることも特徴である。カルデラ東方域 (宮縁・他, 2003a; A9831地点) で採取された試料のSiO₂含有量は67wt.%である (Table 3)。ACP4の見かけ体積は0.43km³程度と報告されている (宮縁・他, 2003a)。

4-2 阿蘇中央火口丘第3軽石 (ACP3)

阿蘇中央火口丘第3軽石 (略称 ACP3) は黒雲母斑晶を含む特徴的なテフラである (高田, 1989)。A0306地点ではACP4の約1.3m上位に存在しており、この2層のテフラの組合せが認定の手がかりとなっている。A0306地点における層厚は約12cmであるが、大部分の軽石は風化して粘土化している。形状が残存している軽石で測

Table 3. Whole rock chemical compositions of pumice in and around Aso caldera.

Pumice	ACP6	ACP4	ACP4	ACP3	ACP3	Kpfa	ACP1
Sample site	A9831	A9831	AVL1	A9831	AVL1	A0324	A9458
SiO ₂	67.75	67.37	67.65	69.09	71.55	67.48	63.29
TiO ₂	0.73	0.71	0.68	0.53	0.44	0.77	0.80
Al ₂ O ₃	16.68	19.26	16.47	17.40	15.59	15.59	16.55
Fe ₂ O ₃	3.56	3.22	3.72	2.60	2.04	4.02	6.15
MnO	0.11	0.10	0.12	0.08	0.09	0.12	0.11
MgO	0.86	0.53	1.11	0.59	0.34	0.99	1.87
CaO	2.71	1.80	2.89	1.69	1.26	2.63	4.26
Na ₂ O	3.67	3.32	3.57	3.68	3.88	4.34	2.94
K ₂ O	3.81	3.62	3.68	4.28	4.77	3.93	3.87
P ₂ O ₅	0.12	0.07	0.11	0.05	0.03	0.13	0.15
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Note: values are normalized on the basis of total = 100 %

定したMPは2.2 cmであった。カルデラ東方域で採取された新鮮な軽石試料のSiO₂含有量は69 wt.%である(Table 3)。また、層厚分布からACP3の見かけ体積は0.07 km³程度と見積もられている(宮縁・他, 2003 a)。

4-3 草千里ヶ浜軽石 (Kpfa)

草千里ヶ浜軽石(渡辺・他, 1982; 略称 Kpfa)は、阿蘇カルデラ周辺域において最も重要な鍵層となっているテフラである。苦鉄質鉱物として斜方輝石および単斜輝石を含むデイサイト質(SiO₂=66 wt.%)軽石である(Table 3)。噴出源は草千里ヶ浜火口であり、その火口縁から南側(烏帽子岳北斜面)および西側斜面は、厚く堆積した軽石が溶結してできた火砕岩に覆われている(渡辺・他, 1982; 小野・渡辺, 1985)。この溶結火砕岩は、赤褐色と黒色の縞状構造を示すことが特徴である(渡辺, 2001)。

調査地域においてKpfaは5つのフォールユニットに区分することができ、下位よりユニットW1~W5と呼ぶ。A0306地点において、最下位のユニットW1はやや風化して黄橙色(10YR7/8)を呈する軽石層で、層厚は32 cm (MP2.3 cm)である。ユニットW2は黄褐色(10YR5/6)のシルト層(層厚10 cm)であり、多数の軽石が混入している。ユニットW3は同地域で最も厚いユニットであり(層厚36 cm)、MPも5.2 cmと大きい。ユニットW4は暗青灰色(5BG)を呈する層厚9 cmの細砂~中砂質の火山灰層である。最上位のユニットW5は層厚26 cmの黄褐色(10YR7/8)軽石層であるが、ユニットW3に比べるとやや細粒(MP3.3 cm)で淘汰が悪い。一方、カルデラ東方域では6つのユニットに区分されている(宮縁・他, 2003 a)が、今回の調査地域と完全にユニッ

ト対比できる段階にはなく、今後検討する予定である。この軽石の総層厚分布から求めた見かけ体積は2.39 km³とされており、KpfaはAso-4以降、最大級の噴火堆積物である(宮縁・他, 2003 a)。

Kpfaの直下には埋没黒ボク土層が存在することが特徴である(渡辺・高田, 1990; 山田・久保寺, 1996)が、調査地域では暗灰色および黄白色のシルト質火山灰層が挟まることがあり(A0320地点など)、全体が単純な黒ボク土層ではない可能性もある。

4-4 始良 Tn 火山灰 (AT)

A0306地点においてKpfaの上位1 m付近の土壤層には、広域テフラで約29 cal ka(奥野, 2002)の始良 Tn 火山灰(町田・新井, 1976, 1992; 略称 AT)が散在する。こうしたATとKpfaの層序関係は、阿蘇カルデラ周辺域で普遍的なものである。調査地域において純層をなす場合のATの層厚は10~20 cm程度であるが、幅数10 cmの範囲にパッチ状に散在することも多い。色調はにぶい黄橙色(10YR6/4)を呈し、最大粒径0.5 cm程度の軽石粒を含むが、大部分はバブルウォール型の火山ガラスからなる。なお、A0204地点付近で採取されたATを用いて、火山ガラスと斜方輝石の屈折率測定が実施され、町田・新井(1992)が示す標準値に一致することが確認されている(増田・他, 2004)。

4-5 鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah)

調査地域においては、地表から2~4 m程度の深さまでは、黒色味の非常に強い土壤層である黒ボク土層となっており、そのちょうど中央付近に広域テフラである鬼界アカホヤ火山灰(長友・庄子, 1977; 町田・新井, 1978, 1992; 略称 K-Ah)が挟在している。K-Ahの層厚

は10~20 cmであり、色調は橙色(7.5YR6/8)を呈している。大部分がバブルウォール型の火山ガラスからなっている。AT同様に、本火山灰層がK-Ahに同定されることが、火山ガラス・斜方輝石の屈折率測定により確かめられている(増田・他, 2004)。阿蘇火山周辺域においてK-Ahは黒ボク土層に挟まれることが一般的であるが、調査地域であるカルデラ西部では直上0.5~1 m程度が暗褐色(10YR3/4)土壌層となっていることが多い。

4-6 阿蘇中央火口丘第1軽石(ACP1)

阿蘇中央火口丘第1軽石(高田, 1989; 略称ACP1)は、K-Ahの上位に存在し、完新世では唯一の降下軽石である。この軽石は中岳N7期の火山灰層中に散在する産状を示す(渡辺, 1992; 宮縁・渡辺, 1997)。ACP1は、テフラ模式地点であるA0306地点には存在しないが、調査地域北東端付近では明瞭に認められる。とくに阿蘇登山道路沿いのA9458地点(Fig. 1)で純層をなすことから、この地点が給源に近いものと推定されるが、現在のところ具体的な噴出源はわかっていない。この軽石はデイサイト質($\text{SiO}_2=63 \text{ wt.}\%$)であり(Table 3)、苦鉄質鉱物としては黒雲母を含むことが特徴である(高田, 1989)。

4-7 栃ノ木溶岩直下の軽石層(松畑軽石; 新称)

長陽村栃木(A0323地点)では、栃ノ木溶岩直下に降下軽石層が存在する(Figs. 2, 5A)。この軽石全体の層厚は126 cmであるが、いくつかのフォールユニットが認められ、中央よりやや下部には層厚32 cmの軽石を含む明赤褐色(5YR5/6)火山灰層が挟在している。最下部のユニット(層厚30 cm)はMPが2.3 cmと最も粗粒で無層理な軽石層であり、最上部のユニット(層厚64 cm)は厚さ1~2 cm程度の黒色火山灰層がいくつか挟在するとともに、粒径の変化も認められる(MP2~2.5 cm)。軽石中に含まれる苦鉄質鉱物は単斜輝石と斜方輝石で栃ノ木溶岩と同じである。この軽石層は調査地域における鍵テフラとなる可能性があるため、観察地点の小字名をとって松畑軽石(略称MhP)と呼ぶことにする。

松畑軽石直下には層厚130 cm以上の軽石が散在する明赤褐色(5YR5/6)火山灰層があり、これらの軽石および火山灰層から栃ノ木溶岩までの間には時間間隙を示す土壌層は認められない。したがって、火山灰・軽石層(MhP)・溶岩はほぼ一連の噴火堆積物であると考えられる。前述したように、栃ノ木溶岩の直下には久木野層が存在することが報告されていること(渡辺, 2001)から、溶岩直下のMhPとさらに下位の火山灰層は久木野層の一部とされている堆積物であろう。

4-8 立野溶岩直下の軽石層

長陽村戸下(A0312地点)では、立野溶岩直下に層厚

60 cmの降下軽石層が存在している。この軽石層は全体的に淘汰が悪く、灰黄色(2.5Y7/2)軽石(MP3.2 cm)のほかに、暗赤褐色(7.5R3/3)のスコリア(最大粒径2 cm)が点在している。また、火山研のボーリングコアAVL1においても、立野溶岩の下位に溶結火砕岩(層厚4 m)を挟んで層厚4 mのデイサイト質($\text{SiO}_2=68 \text{ wt.}\%$; Table 3)降下軽石層が認められた。その直下には軽石層が挟在する固結火山灰層(層厚6.8 m)が存在している。この軽石層および固結火山灰層と同じ層準に、AVL4では、細粒のマトリックスをもつ淘汰の悪い軽石質の堆積物(層厚16 m)が確認された(Fig. 2)。

4-9 高野尾羽根溶岩直下の軽石層

火山研コアでは溶岩直下に時間間隙を示す堆積物を挟むことなく層厚1.5~4.7 mの降下軽石が認められ(Fig. 2)、これは現在まで地表では確認されていなかった新知見である。この軽石は流紋岩質($\text{SiO}_2=72 \text{ wt.}\%$)であり、上位の溶岩同様に多量の黒雲母斑晶を含んでいるだけでなく、化学組成も溶岩と酷似している(Tables 2, 3)。また、AVL1では溶岩最下部の10 m程度がユータキシティック構造をしており、上位の溶岩に漸移しているように見える。それゆえ、その部分は降下堆積物起源の溶結火砕岩である可能性もある。

4-10 乙ヶ瀬溶岩直下の軽石層(乙ヶ瀬軽石)

長陽村乙ヶ瀬(A0204地点)において、乙ヶ瀬溶岩の直下には白色軽石と火山灰の互層が存在しており(Fig. 2)、乙ヶ瀬軽石(略称OtP)と呼ばれている(増田・他, 2004)。その互層中には、層厚70 cmの土壌層が挟在することから、それより上位の軽石層を乙ヶ瀬第1軽石(略称OtP1)、下位の軽石を乙ヶ瀬第2軽石(略称OtP2)として区分されている。両者とも苦鉄質鉱物として斜方輝石と単斜輝石を含む流紋岩質の($\text{SiO}_2=73 \text{ wt.}\%$)軽石であり、それらの特徴は上位の乙ヶ瀬溶岩と酷似している。とくにOtP1は、時間間隙を示す堆積物を挟むことなく乙ヶ瀬溶岩に覆われるので、同溶岩と一連の噴火によって噴出したものである(増田・他, 2004)。

5. 溶岩流とテフラの層序関係および噴出様式

本章では、阿蘇火山中央火口丘群西部地域に存在する溶岩とテフラとの層序関係(Fig. 4)について、上位のものより詳しく述べる。

調査地域における最上位の溶岩流である乙ヶ瀬溶岩については、ATと黒ボク土層基底部(表層から約2 m深)間の褐色土層中に挟在することがわかっている(増田・他, 2004)。その溶岩直下の乙ヶ瀬軽石(OtP1およびOtP2)がカルデラ周辺域のどの軽石層に対比できるのかは、今回の調査で確定することができなかった。

立野火口瀬付近に分布する沢津野溶岩と赤瀬溶岩は、ともにほとんど時間間隙なしに Kpfa に覆われている (Fig. 5B, 5C) が、両溶岩の上下関係については不明であった (渡辺, 2001)。まず Kpfa と沢津野溶岩との関係であるが、沢津野溶岩直上位の Kpfa は全体的に層厚が薄く (10~79cm)、塊状をなす溶岩の隙間に多量に落ち込んでいる産状が観察できる (Fig. 5B)。このことは、沢津野溶岩噴出後に土壌層が形成されるような時間間隙をおかず、Kpfa が堆積したことを意味している。一方、赤瀬溶岩については、長陽村立野 (A0001 地点) の露頭の一部で Kpfa と赤瀬溶岩との間に層厚 2~3 cm の土壌層が認められ、両者の間にはわずかな時間間隙が存在する可能性が示唆された。これらの事実から、沢津野溶岩と赤瀬溶岩の噴出時期は極めて近いが、沢津野溶岩の方が上位にある可能性が高いと考える。

烏帽子岳溶岩は、長陽村川後田 (A9825 地点) において、Kpfa の下位に黒色および褐色土壌層 (全層厚 48 cm) を挟んで存在している (Figs. 2, 5D)。この土壌層中

には指標テフラである ACP3 や ACP4 が認められないことから、烏帽子岳溶岩は ACP3 よりも上位にあるものと考えられる。また、長陽村苅迫 (A0315 地点) で今回新たに発見された苅迫溶岩より下位の堆積物が観察できる A0314 地点には高野尾羽根溶岩が存在している。さらに、A9828 地点および A0322 地点では、苅迫溶岩の上位に褐色および黒色土壌層を挟んで Kpfa が認められた。これらのことから、烏帽子岳溶岩と苅迫溶岩はほぼ同じ層準に存在し、ともに Kpfa と ACP3 および高野尾羽根溶岩の間に挟まることがわかった。前述したように、烏帽子岳溶岩と苅迫溶岩は岩相・化学組成が類似しており、さらに層準も近いことから、苅迫溶岩は烏帽子岳溶岩と同一あるいは近い時期の噴出物である可能性がある。しかしながら、両溶岩の上下関係については今回の調査で明らかにすることができなかった。

黒雲母斑晶を含む ACP3 が、黒雲母流紋岩である高野尾羽根溶岩に対比される可能性が高いことは、すでに高田 (1989) および宮縁・他 (2003 a) が述べている。今回、

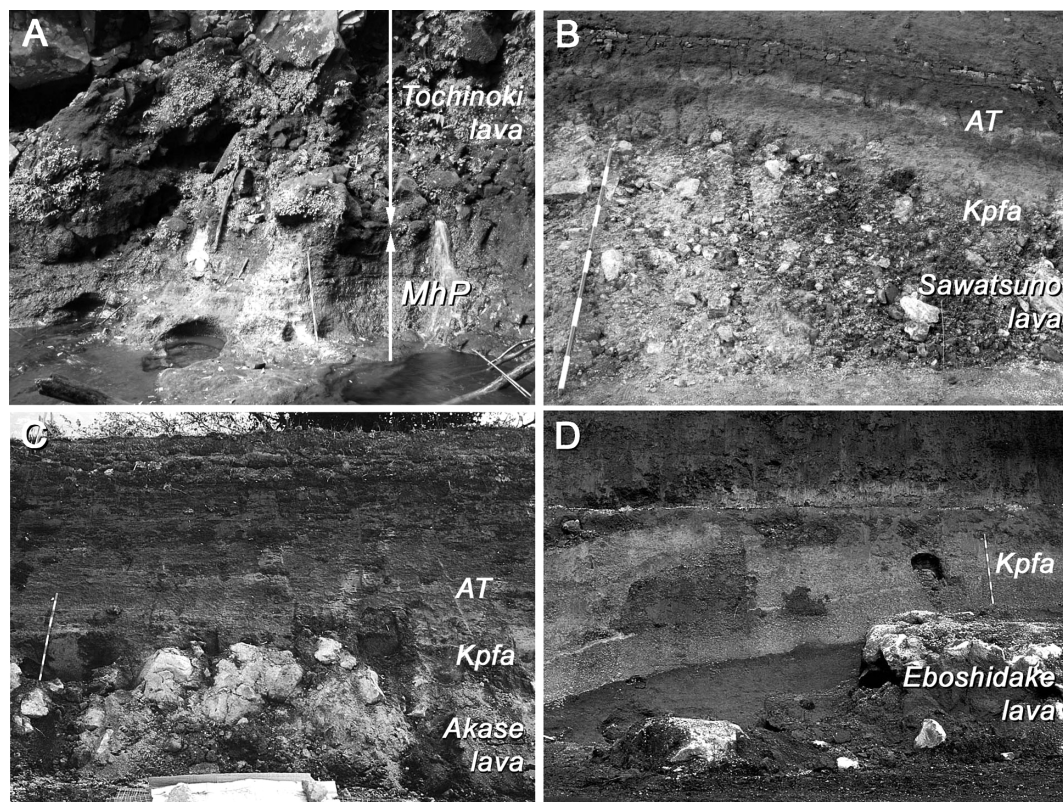


Fig. 5. Photographs showing stratigraphic relationships between lava flows and airfall pumice layers. (A) Tochinoki lava overlying Matsuhata pumice (MhP) at locality A0323. Scale is 1 m. (B) Sawatsuno lava overlain by Kusasenrigahama pumice (Kpfa) at locality A9619. Scale is 2 m. (C) Akase lava overlain by Kpfa at locality A9829. Scale is 2 m. (D) Eboshidake lava occurring below Kpfa at locality A9825. Scale is 2 m.

火山研ボーリングコアによって高野尾羽根溶岩直下に厚い降下軽石層（層厚 2~4.7 m）が存在することが初めて確認された（Fig. 2 の AVL1 と AVL4）。また、コア AVL1 では Kpfa と高野尾羽根溶岩間の土壌層には他の降下軽石が認められないこと、同コアの高野尾羽根溶岩上位のテフラ層序は、テフラ模式露頭である A0306 地点における ACP3 上位の層序と極めて調和していることから、ACP3 と高野尾羽根溶岩は給源が同じで同時期の噴出物であることが確実となった。

立野溶岩の下位には、時間間隙を示す地層を挟むことなく降下軽石層が認められることが、長陽村戸下（A0312 地点）や火山研コア AVL1（溶岩・軽石間には溶結火砕岩が挟在）でわかった。この軽石層中には暗赤褐色スコリアが散在しており、その特徴から ACP4 に同定することができる。このことは、火山研コアにおける高野尾羽根溶岩との層序関係、A0306 地点におけるテフラ層序、さらに軽石中の斑晶鉱物組合せ、化学組成の点からみても一切矛盾がない。したがって、カルデラ周辺域での鍵テフラである ACP4 と立野溶岩は、一連の噴火による堆積物である。また、火山研コア AVL4 で ACP4 に相当する層準に確認された淘汰の悪い軽石質の堆積物は、岩相からみて火砕流堆積物と判断される。このことから、軽石（ACP4）噴出中に噴煙柱の一部が崩壊して、火砕流が発生したようである。地上とコアの観察結果を総合すると、立野溶岩を含む一連の噴火は、火山灰噴出に始まった後、多量の降下軽石を噴出するとともに、噴煙柱が一部崩壊して火砕流が発生している。さらに火山灰噴出が続いた後に厚いデイサイト質溶岩を流出するという過程をたどったと推定される。

長野溶岩が、斑晶組合せ・斑晶量・全岩化学組成などの点で立野溶岩に対比される可能性があることは、増田・他（2004）によって示されている。長野溶岩によって構成される小丘（長野火山）の斜面上の露頭（A0320 地点）には、Kpfa とその直下の黒ボク土層（基底部の年代約 32 cal ka；宮縁・他，2003 a）が認められる。また、分布などから長野溶岩は栃ノ木溶岩と沢津野溶岩間に挟在するものと推定されている（増田・他，2004）。詳しい層準が断定されているわけではないが、長野溶岩を立野溶岩に対比することは層序的にみても矛盾はない。その対比が正しいとすると、立野溶岩の給源は長野火山と考えられる。

吉岡溶岩については、他の溶岩やテフラとの直接の層序関係は今回の調査で観察することができなかった。しかし、この溶岩が烏帽子岳溶岩よりも下位にあることはすでにわかっており、また吉岡溶岩は分布西端で栃ノ木溶岩を覆っているものと判断される（小野・渡辺，

1985）。高野尾羽根溶岩や立野溶岩との上下関係は確認できないが、吉岡溶岩は烏帽子岳溶岩と栃ノ木溶岩間に噴出していることは明らかである。

中方野溶岩の直上には黒雲母を含む降下軽石が認められる（A0317 地点）。増田・他（2004）は、その軽石の斑晶組合せから阿蘇中央火口丘第 5 軽石（高田，1989；略称 ACP5）あるいは ACP3 に対比されると考えているが、明確な同定には至っていない。

前述したように、長陽村栃木（A0323 地点）の栃ノ木溶岩直下には松畑軽石というテフラが存在している（Fig. 5A）。この軽石層は多数のフォールユニットからなることや明赤褐色の火山灰層が挟在するなどの特徴を有しており、これらのことはカルデラ東方域で認められる阿蘇中央火口丘第 6 軽石（高田，1989；略称 ACP6）の産状（宮縁・他，2003 a）と類似している。また、カルデラ東方域で採取された ACP6 と調査地域における栃ノ木溶岩は、化学組成の上でもよく似ている（Tables 2, 3）。しかし、松畑軽石はわずか 1 地点でしか観察できないこと、さらに苦鉄質鉱物として斜方輝石と単斜輝石を含む軽石は ACP6 の他にも多数存在していることから、現時点ではこの対比を可能性にとどめておく。いずれにせよ、高野尾羽根溶岩や立野溶岩と同様に、栃ノ木溶岩流出直前にも爆発的な軽石噴火が発生していることが明らかとなった。

6. 溶岩・テフラの噴出年代

阿蘇火山中央火口丘群噴出物については、5 つの溶岩の K-Ar 年代測定が行われている（松本・他，1991）。この K-Ar 年代は、初生⁴⁰Ar/³⁶Ar 比推定法によって数万年前という若い火山岩にも層序関係に矛盾なく適応できることが実証された方法（Matsumoto and Kobayashi, 1995）によるものである。調査地域においては、沢津野溶岩 27±6 ka、高野尾羽根溶岩 51±5 ka、栃ノ木溶岩 73±10 ka という 3 つの K-Ar 年代が得られている（松本・他，1991）。

また、阿蘇カルデラとその周辺域では、降下テフラ直下の埋没土壌層を対象として、数多くの¹⁴C 年代測定が実施されてきた（宮縁・渡辺，1997；宮縁・他，2003 a；宮縁・他，2004 a）。本論で述べたテフラの中では、Kpfa について約 31 cal ka という年代が報告されたが、それより下位のテフラに関しては層序関係と整合する年代値が得られなかったため、層位から ACP3 が約 3.9 万年前、ACP4 が約 4 万年前という噴出年代が推定されていた（宮縁・他，2003 a）。しかし、ごく最近になって A0312 地点の ACP4 直下で発見された未炭化の樹木根の加速器質量分析（AMS）法による¹⁴C 年代測定が行われ、

Table 4. Results of AMS ^{14}C age determinations for buried soils.

Sample	Sample site	^{14}C age* (^{14}C yrs BP)	$\delta^{13}\text{C}$ ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio)	Conventional ^{14}C age** (^{14}C yrs BP)	Lab code	Calibrated result*** (cal ka)
Soil below Akase lava	A0001	25,490 ± 110	-16.9	25,620 ± 110	Beta- 140519	ca. 30
Base of buried blackish soil layer underlying Akase lava	A0001	25,700 ± 120	-17.5	25,820 ± 120	Beta- 140520	ca. 30

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

** Conventional ^{14}C ages were calculated using $\delta^{13}\text{C}$ values.

***Calibrated by data sets (Kitagawa and van der Plicht, 1998a, 1998b).

>43,200 ^{14}C yrs BP (>約 46 cal ka に相当) という結果が得られたこと (宮縁・他, 2004 b) から, 宮縁・他 (2003 a) によるテフラの層位推定年代を修正する必要が生じた。

今回新たに, 赤瀬溶岩の年代を明らかにするため, A 0001 地点において土壌試料を採取し, 米国 Beta Analytic 社に依頼して AMS 法による ^{14}C 年代測定を実施した。赤瀬溶岩の直下には埋没黒ボク土層 (層厚約 1.6 m) が存在するが, 溶岩直下と黒ボク土層基底部からそれぞれ試料を採取した (Fig. 2)。その結果, 溶岩直下から 25,620 ± 110 ^{14}C yrs BP (Beta-140519), 土層基底部から 25,820 ± 120 ^{14}C yrs BP (Beta-140520) という補正 ^{14}C 年代が得られた。これらは Kitagawa and van der Plicht (1998 a, 1998 b) が示した ^{14}C 年代較正曲線によると, いずれも約 30 cal ka となった (Table 4)。これらの年代値や, 前章で述べた層序関係から, 調査地域に分布する溶岩とテフラの噴出年代について議論する。

赤瀬溶岩・沢津野溶岩・Kpfa は, 大きな時間間隙を挟まない, ほぼ同時期の噴出物である。得られた較正年代である 31 ~ 30 cal ka は, 沢津野溶岩の K-Ar 年代 (27 ± 6 ka) の誤差範囲に含まれている。したがって, これら 3 つの噴出物の年代としては, 宮縁・他 (2003 a) が報告した約 31 cal ka と考えて問題ない。

烏帽子岳溶岩と苅迫溶岩は, とともに沢津野溶岩と高野尾羽根溶岩との間に挟在することから, おおよそ 4 万年前に噴出したものと推定される。

これまで ACP3 の噴出年代は, カルデラ周辺での Aso-4 以降のテフラの層位関係から約 3.9 万年前と推定されていた (宮縁・他, 2003 a)。しかし, ACP3 は高野尾羽根溶岩の下位に時間間隙を挟まずに存在しており, 同溶岩と同時期の噴出物であることが確認された。したがって, 本論では高野尾羽根溶岩の K-Ar 年代 (松本・他, 1991) から, ACP3 の噴出年代を約 5 万年前と修正する。

調査地域において高野尾羽根溶岩の下位には立野溶岩があり, さらにその直下に存在する軽石層は ACP4 に対比された。ACP4 については, 約 4 万年前という層位推

定年代が報告されていた (宮縁・他, 2003 a)。火山研ボーリングコアでは, ACP3 と立野溶岩の間には層厚 0.4 ~ 1.5 m の火山灰混じりの土壌層が認められる (Fig. 2) のみで, 両者の層準は近接している。また, カルデラ周辺域においては ACP3 と ACP4 間には層厚 0.2 ~ 2 m の砂質火山灰層 (層厚 2 ~ 20 cm の土壌層が挟在する場合あり) が存在している。これらの層序関係から, 高野尾羽根溶岩/ACP3 噴火と立野溶岩/ACP4 噴火間の時間間隙は, 数 100 年程度と推定されている (宮縁・他, 2004 b)。本論では, 立野溶岩および ACP4 の噴出年代を, 高野尾羽根溶岩/ACP3 噴火とほぼ同時期の約 5 万年前と考える。この年代は ACP4 直下で発見された樹木根の較正年代 >46 cal ka (宮縁・他, 2004 b) と調和したものである。

また, 鮎返ノ滝溶岩・中方野溶岩・吉岡溶岩については, 今回の調査で具体的な層序関係を確立することができなかった。鮎返ノ滝溶岩は栃ノ木溶岩 (73 ± 10 ka; 松本・他, 1991) より古く, また中方野溶岩は乙ヶ瀬溶岩 (約 2 万年前) より古い (増田・他, 2004) ということしかいえないが, 吉岡溶岩は烏帽子岳溶岩と栃ノ木溶岩間に挟在することがわかっているため, その噴出年代は 7 万 ~ 4 万年前の間と推定される。

7. 噴出物層序からみた阿蘇カルデラ西部地域の発達史

以上述べてきた溶岩とテフラの層序関係や噴出年代をもとにして, ここでは阿蘇火山中央火口丘群西部地域の発達史について考察する (Fig. 4)。なお, 各溶岩に関しては, 分布面積や平均的な層厚からおおよその体積 (山体密度 2.2 g/cm³ と仮定; 小野・他, 1993) を計算した。また, 降下テフラの体積は, 宮縁・他 (2003 a) が報告した値を使用し, 溶岩とともに体積を溶岩換算量 (DRE; 2.5 g/cm³) として示した。

玄武岩質の鮎返ノ滝溶岩は, 現在地表で観察できる中央火口丘群溶岩の中でも最も古いものである (小野・渡辺, 1985)。この溶岩は, 約 7 万年前より古いことは確実であり, 地下に多量に存在する中央火口丘群初期の岩体

(宇都・他, 1994) の一部である可能性がある (渡辺, 2001).

約7万年前にはデイサイト質の栃ノ木溶岩 (約0.15 km³) が噴出し、立野火口瀬付近まで流下している。この溶岩に先立っては爆発的な噴火があり、松畑軽石が放出されている。これらの噴出源は長陽村吉岡より東方の吉岡溶岩や草千里ヶ浜溶結火砕岩に覆われる地域と考えられる。

約5万年前にデイサイト質溶岩である立野溶岩 (約0.40 km³) が流出した。この溶岩は立野火口瀬に流れ込み、中央火口丘群溶岩の中で最も西方まで達している。古い火口瀬を厚く埋積し、堰き止めの主役となった溶岩と考えられる (渡辺, 2001)。立野溶岩流出の直前には阿蘇中央火口丘第4軽石 (ACP4; 0.21 km³) の噴出があり、その噴煙柱の一部が崩壊して火砕流も発生している。立野溶岩を含む一連の噴火の発生源は、高野尾羽根火山よりも南東約1.5 kmに位置する長野火山である可能性が考えられる。

ACP4 および立野溶岩噴出の後、わずかな時間をおいて高野尾羽根火山で噴火が起こり、流紋岩質の溶岩ドームを形成するとともに、西方へ1.5~2 km 付近まで溶岩が流下した (総体積0.14 km³)。前述した2つの溶岩とほぼ同様に、この溶岩の直前にも爆発的な軽石噴火が発生して、阿蘇中央火口丘第3軽石 (ACP3; 0.03 km³) を噴出している。

おおよそ4万年前には烏帽子岳で噴火が起こり、安山岩質の火砕岩・溶岩で構成される山体を形成し、南西方向へ5 km 以上の地点まで安山岩質溶岩が流下している (溶岩・火砕岩総体積; 0.18 km³)。山体が火砕岩からなることから降下火砕物を噴出しているものと考えられるが、対比できる降下テフラは現在のところわかっていない。また、ほぼ同じ時期には烏帽子岳溶岩と類似した特徴をもつ輝石安山岩の苜迫溶岩 (0.06 km³) が流出している。この溶岩も烏帽子岳の噴火による産物かもしれない。

31 cal ka 頃には、ほとんど時間間隙がなく、複数の噴火が発生している。まず安山岩質の赤瀬溶岩 (0.01 km³) が立野付近まで流下した。この溶岩は数鹿流ヶ滝より下流では黒川右岸および白川右岸に分布していることから、この溶岩の流下当時、白川の流路は現在よりも北側にあったものと推定される。次いで、デイサイト質の沢津野溶岩 (0.34 km³) が草千里ヶ浜付近から西北西へ約6 km 流れ下っている。その後、草千里ヶ浜で Aso-4 以降最大規模のプリニー式噴火が発生し、多量の降下軽石 (草千里ヶ浜降下軽石; Kpfa; 1.15 km³) を放出してカルデラ周辺域に厚く堆積させている。また、この爆発的な

噴火によって烏帽子岳の北側山体は大きく破壊され、草千里ヶ浜火口南側と西側斜面には厚く降り積もった高温の軽石が溶結して火砕岩を形成している。

約29 cal ka の AT 火山灰以降も阿蘇火山中央火口丘群西部地域での火山活動は続き、約2万年前には乙ヶ瀬付近で中央火口丘群溶岩の中で最も珪長質である乙ヶ瀬溶岩 (0.002 km³) が流出して長さ約600 m、幅約200~300 mの台地状地形を形成した。また、この溶岩の一部は何らかの原因で崩壊して岩屑なだれが発生しており、その堆積物は南西方向へ約2 km 流動して、途中には流れ山地形も残している (増田・他, 2004)。

さらに、完新世に入った約4 cal ka (宮縁・渡辺, 1997) には今回の調査地域の北東端に近い蛇ノ尾付近でデイサイト質軽石を噴出する噴火があった。

本論で述べた溶岩と降下軽石のアルカリ-シリカダイアグラムを Fig. 6 に示した。このダイアグラムには、Aso-1~Aso-4 火砕流堆積物 (小野・他, 1977) および中央火口丘群西部地域以外で得られた溶岩・火砕岩のデータも表示している。阿蘇火山の岩石はアルカリ、とくに K に富む化学的に明瞭な性質を有していることが知られている (小野, 1989) が、中央火口丘群溶岩および軽石は阿蘇火砕流堆積物に比べて、アルカリが若干低いトレンドを示している。そのトレンドの中で、西部地域以外の中央火口丘群溶岩・火砕岩は SiO₂ 含有量が49~66%の範囲 (大部分は49~58%に集中) にあるのに対し、西部地域の溶岩は玄武岩から流紋岩までという広い範囲 (SiO₂=49~73%) に分散していることがわかる。

最後に、阿蘇火山中央火口丘群西部地域における最近約7万年間の噴出物量について考察する。この地域では、幅広い組成のマグマが噴出してきたが、5万年前頃

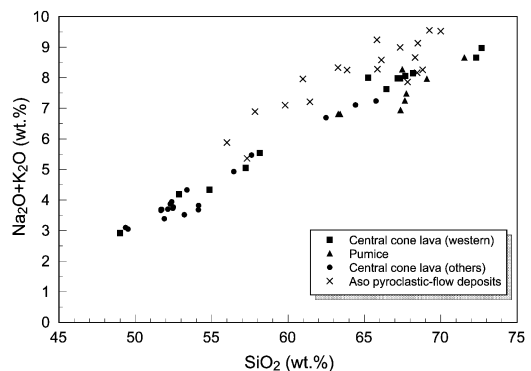


Fig. 6. Alkali versus silica variation diagram for rocks and pumice of Aso Volcano. Data for Aso pyroclastic-flow deposits (Aso-1, 2, 3, 4) are from Ono *et al.* (1977).

にわずかな時間間隙をおいて、立野溶岩/ACP4と高野尾羽根溶岩/ACP3という2回の噴火が発生し、それぞれ0.61 km³と0.17 km³の珪長質マグマが噴出している。さらに、約31 cal kaには草千里ヶ浜火口でAso-4以降最大規模の噴火により1.49 km³のデイサイトマグマの噴出(沢津野溶岩とKpfa)が起こった。これに栃ノ木溶岩を加えると、約7万~3万年前の約4万年間に約2.4 km³に及ぶ珪長質マグマが噴出したことになる。一方、同時期に噴出した苦鉄質マグマの合計(吉岡・烏帽子岳・苅迫・赤瀬溶岩)は約0.47 km³で、珪長質マグマの1/5程度の値である。また、調査地域では最近約2万年間においても、乙ヶ瀬溶岩(約2万年前)やACP1(4 cal ka)など珪長質マグマが関与する噴火が続いており、こうした珪長質なマグマに富む火山活動は阿蘇火山中央火口丘群西部地域における大きな特徴である。

8. ま と め

本論では、溶岩流と降下テフラの層序関係をもとにして、阿蘇火山中央火口丘群西部地域の発達史について考察した。小野・渡辺(1985)などによって明らかにされている岩体の形成順序に、増田・他(2004)や今回の調査結果を加えた結果、中央火口丘群西部地域における噴出物の層序関係と年代は、下位より鮎返ノ滝溶岩(>7万年前)、松畑軽石(MhP)・栃ノ木溶岩(ともに約7万年前)、阿蘇中央火口丘第4軽石(ACP4)・立野溶岩(ともに約5万年前)、阿蘇中央火口丘第3軽石(ACP3)・高野尾羽根溶岩(ともに約5万年前)、烏帽子岳溶岩・苅迫溶岩(約4万年前;上下関係不明)、赤瀬溶岩・沢津野溶岩・草千里ヶ浜軽石(ともに31 cal ka)、乙ヶ瀬溶岩(約2万年前)、阿蘇中央火口丘第1軽石(ACP1; 4 cal ka)である。

阿蘇火山中央火口丘群西部地域では、玄武岩から流紋岩まで幅広い化学組成をもつ溶岩やテフラが噴出されており、約7万~3万年前の約4万年間においては、約2.4 km³の珪長質マグマと約0.47 km³の苦鉄質マグマの噴出が起きていることがわかった。

謝 辞

京都大学火山研究センターの須藤靖明氏には、同センターで行われたボーリング試料を観察する機会を与えていただくとともに、その観察結果の公表を快く許していただいた。国土交通省立野ダム工事事務所の倉橋稔幸氏(現 土木研究所)には工事現場調査の許可をいただいた。西日本技術開発株式会社の西園幸久氏と大石博之氏にはボーリングコア観察の際に便宜を図っていただいた。蛍光X線分析を行う際には農業・生物系特定産業

技術研究機構九州沖縄農業研究センターの久保寺秀夫氏にご指導いただいた。阿蘇火山博物館の池辺伸一郎氏には、日頃から貴重な情報を提供していただき、現地においても熱心に議論していただいた。また、三宅康幸氏および匿名査読者によるコメントと伴 雅雄編集委員の尽力により本論の内容は大きく改善された。以上の方々に心から感謝いたします。

引用文献

- 林 行敏 (1958) 中部九州における化石珪藻群 (I) 阿蘇地域. 地学研究, **10**, 168-181.
- 本間不二男・迎三千壽 (1938) 阿蘇中央火口丘群地質構造概報. 火山, **4**, 45-76.
- 池辺伸一郎・藤岡美寿夫 (2001) 文化十三年(1816)の阿蘇「湯の谷大変」—古文書・絵図資料による水蒸気爆発記録—. 火山, **46**, 147-163.
- Kitagawa, H. and van der Plicht, J. (1998 a) A 40,000-year varve chronology from lake Suigetsu, Japan: extension of the ¹⁴C calibration curve. *Radiocarbon*, **40**, 505-515.
- Kitagawa, H. and van der Plicht, J. (1998 b) Atmospheric radiocarbon calibration to 45,000 yr B.P.: Late Glacial fluctuations and cosmogenic isotope production. *Science*, **279**, 1187-1190.
- 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 (1992) 火山灰アトラス—日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 276 p.
- 増田直朗・渡辺一徳・宮縁育夫 (2004) 阿蘇中央火口丘群西側斜面において新たに発見された流紋岩~デイサイト質溶岩流. 火山, **49**, 119-128.
- Matsumoto, A. and Kobayashi, T. (1995) K-Ar age determination of late Quaternary volcanic rocks using the "mass fractionation correction procedure": application to the Younger Ontake Volcano, central Japan. *Chemical Geology*, **125**, 123-135.
- 松本哲一・宇都浩三・小野晃司・渡辺一徳 (1991) 阿蘇火山岩類の K-Ar 年代測定—火山層序との整合性と火砕流試料への適応—. 日本火山学会 1991 年度秋季大会講演予稿集, 73.
- 宮縁育夫・渡辺一徳 (1997) 埋没黒ボク土層の ¹⁴C 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 a) 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.
- 宮縁育夫・渡辺一徳・岡本真也 (2003 b) 阿蘇中央火口丘群西側斜面で発見された岩屑堆積物とそれらの ¹⁴C 年代. 火山, **48**, 229-234.
- 宮縁育夫・星住英夫・渡辺一徳 (2004 a) 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.
- 宮縁育夫・増田直朗・渡辺一徳 (2004 b) 阿蘇火山において立野溶岩を流出した噴火サイクルの特徴と年代.

- 第四紀研究, **43**, 353-358.
- 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—アカホヤの土壤肥料学的研究 (第2報). 日本土壤肥科学雑誌, **48**, 1-7.
- 岡本真也 (2003) 河陽 F 遺跡. 熊本県文化財調査報告第209集, 熊本県教育委員会, 320 p.
- 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.
- 小野晃司 (1989) 阿蘇火山の岩石. 日本火山学会 1989年 秋季大会火山学セミナー「阿蘇火山」, 8-14.
- 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・駒澤正夫 (1993) 重力データからみた阿蘇カルデラの構造. 月刊地球, **15**, 686-690.
- 小野晃司・松本徂夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和 (1977) 竹田地域の地質. 地域地質研究報告, 5万分の1図幅, 地質調査所, 145 p.
- 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.
- 宇都浩三・阪口圭一・渋谷明貫・吉岡 恒 (1994) 阿蘇カルデラ内の深部ボーリングコアの K-Ar 年代測定: カルデラ形成直後の火山活動史の解明. 日本火山学会 1994 年度秋季大会講演予稿集, 211.
- 渡辺一徳 (1972) 阿蘇カルデラ西部の地質. 熊本大学教育学部紀要 (自然科学), **21**, 75-85.
- 渡辺一徳 (1992) 阿蘇火山. 日本地質学会第99年学術大会見学旅行案内書, 13-32.
- 渡辺一徳 (2001) 阿蘇火山の生い立ち—地質が語る大地の鼓動—. 一の宮町史自然と文化阿蘇選書7, 一の宮町, 241 p.
- 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.
- 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.

(編集担当 伴 雅雄)