

2009 年気象庁阿蘇山ボーリングコアの層序

宮 縁 育 夫*・星 住 英 夫**

(2013 年 8 月 14 日 受 付, 2013 年 11 月 7 日 受 理)

Stratigraphy of the 2009 Japan Meteorological Agency Borehole Core
Obtained at Aso Volcano, Japan

Yasuo MIYABUCHI* and Hideo HOSHIZUMI**

The Asosan core (JMA-V40) was drilled at a site 1.2 km WSW of Nakadake crater, Aso Volcano in 2009. The core consists of the following nine units: 1) alternating beds of ash-fall deposits and buried soil layers (0-3.49 m in depth); 2) alternating beds of ash including Nakadake N2 scoria (N2S; 1.5 ka) (3.49-4.46 m); 3) scoria-fall deposits from Kishimadake scoria cone (4 ka; 4.46-9.00 m); 4) a basaltic andesite lava (lava 1, 9.00-23.72 m); 5) alternating beds of ash, soils and lahar deposits including the Kikai Akahoya tephra (K-Ah; 7.3 ka) (23.72-31.00 m); 6) a basaltic andesite lava (lava 2, 31.00-76.11 m); 7) lahar deposits (76.11-86.47 m); 8) a basaltic andesite lava (lava 3, 86.47-91.64 m); 9) lahar deposits (91.64-100.00 m). The three lavas recognized in units 4, 6 and 8 are quite similar in lithofacies, petrography and major element composition ($\text{SiO}_2=52.1-53.4$ wt.%). This suggests that at least two compositionally homogeneous basaltic andesite lava flows were erupted from Nakadake Volcano around 8-5 cal ka and another similar one erupted somewhat earlier, but still in Holocene time.

Key words: Aso Volcano, Nakadake, borehole core, stratigraphy, basaltic andesite lava

1. はじめに

火山噴火予知連絡会火山活動評価検討会は、2009 年に中長期的に監視を強化すべき火山として全国 47 火山を選定した。気象庁はこのことを受け、それらの火山を対象に平成 21 年度 (2009~2010 年) 補正予算による多項目火山観測施設の整備を実施した。47 火山に含まれる阿蘇火山では、ボアホール型地震計と傾斜計の設置が計画された。それに先立ち、深度 100 m の調査孔掘削 (JMA-V40) によるボーリングコア採取と各種検層が行われた。

阿蘇火山中岳はわが国で最も活発な火山の一つであり、西暦 553 年以来、現在まで多数の噴火記録がある (福岡管区气象台, 1990; 気象庁, 2005)。最近約 1 万年間の噴火活動は黒色砂状の本質火山灰を噴出する灰噴火 (小野・他, 1995; Ono *et al.*, 1995) が主体であるが、約 5000

年前には溶岩流出も起こっている (小野・渡辺, 1985)。今回のボーリングコア掘削地点は中岳火口の西南西約 1.2 km に位置している。この地点には中岳起源の噴出物が厚く堆積しているため、コアには従来の地表調査では認められなかった噴出物が含まれる可能性がある。したがって、このコアは中岳の噴火活動史を解明する上で重要な情報を有するといえる。

筆者らは、このボーリングコア採取直後から観察と記載を行い、そのユニット区分や層序の概要をすでに報告している (火山噴火予知連絡会コア解析グループ, 2011) が、その後さらにコア層序やユニット区分の再検討、溶岩試料の岩石記載および全岩化学組成分析を実施した。本論ではそれらの結果を述べるとともに、溶岩の噴出年代や中岳の噴火史における意義について考察する。

* 〒860-8555 熊本市中央区黒髪 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.

** 〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1, 中央第 7
産業技術総合研究所地質情報研究部門

Geological Survey of Japan, AIST, Central 7, Higashi
1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan.

Corresponding author: Yasuo Miyabuchi
e-mail: miyabuchi@earth.email.ne.jp

2. 調査地域とコア採取地点の概要

阿蘇火山中央火口丘群の中で現在唯一活動を継続している中岳は、約 22~21 cal ka (^{14}C 年代の暦年較正結果) に活動を開始したと考えられており (宮縁・他, 2004), 古期山体・新期山体・最新期火砕丘という 3 つの山体を形成した (小野・渡辺, 1985). 中岳では、活動のごく初期にあたる 22~21 cal ka にスコリアと火山灰を放出する激しい噴火活動があり、カルデラ周辺域に厚い降下テフラ累層 (スコリアと火山灰の互層; 山崎第 20~第 15 スコリア; YmS20-15) を堆積させた (宮縁・他, 2004). これとはほぼ同時期に、古期山体の玄武岩質溶岩が流出した (馬場, 1999). その後、18~16 cal ka には主に降下スコリア (山崎第 10~第 1 スコリア; YmS10-1) を放出する爆発的な噴火が間欠的に発生した (宮縁・他, 2004). それらの中間の時期にあたる 19 cal ka 頃には火山弾に富む玄武岩質火砕流が北東斜面を流下している (Miyabuchi *et al.*, 2006a; 宮縁・他, 2006b).

完新世に入ってから活動は、黒色砂状の本質火山灰 (玄武岩質安山岩) を噴出する灰噴火 (小野・他, 1995; Ono *et al.*, 1995) が主体であり、その堆積物は活動の休止期あるいは静穏期に形成された黒ボク土層と互層をなしている (渡辺, 1991). その黒ボク土層によって最近 15,000 年間は新しい方から N1~N19 期という 19 の活動期に区分されている (宮縁・渡辺, 1997). N11 期にあたる約 5 cal ka には新期山体の溶岩 (玄武岩質安山岩; 小野・渡辺, 1985) が流出し、N2 期の約 1.5 cal ka にはやや規模の大きなマグマ水蒸気爆発が起こった (宮縁・渡辺, 1997). 中岳以外のテフラとしては、N6 期および N4 期の火山灰層中にそれぞれ杵島岳スコリア (KsS) と往生岳スコリア (OjS) が挟在している (中村・渡辺, 1995).

ボーリング試料の採取を行った地点 ($32^{\circ} 52' 49.6''\text{N}$, $131^{\circ} 04' 23.9''\text{E}$, 標高 1142.6 m) は、阿蘇火山中岳第 1 火口の西南西約 1.2 km に位置する気象庁旧阿蘇山測候所山上庁舎の西端付近である (Fig. 1). ボーリングコア掘削は 2009 年 9 月 30 日から 11 月 26 日にかけて実施され、2009 年 11 月 12 日、2010 年 1 月 7 日および 9 月 7 日にコアの観察と記載が行われた。

3. ボーリングコアの層序

阿蘇山ボーリングコア (JMA-V40) は岩相の違いから、以下に示す 9 つのユニットに区分することができる (Fig. 2).

ユニット 1 (深度 0~3.49 m) は、埋没黒ボク土層や人為攪乱層を含む降下火山灰累層となっている。このユニットは暗褐色~褐色の火山灰 (大部分シルト質) の互層からなり、岩相から N1 期 (最近約 1000 年間) の火山

灰層であると考えられる。

ユニット 2 (深度 3.49~4.46 m) もシルト質降下火山灰の累層である。深度 3.71~3.78 m に存在する赤褐色スコリアを含み、変質岩片に富む黄褐色火山灰層は、その特徴からマグマ水蒸気爆発の産物である約 1.5 cal ka の中岳 N2 スコリア (N2S; 宮縁・渡辺, 1997) に同定される。この地域では N1 期の火山灰層と N2S 間に明瞭な黒ボク土層が挟在しているが、本コア中にはそれが認められないため、深度 3.49 m に不整合があつて一部のテフラ層が欠落していると考えられ、この不整合を境にユニット区分を行った。

ユニット 3 (深度 4.46~9.00 m) は黒色の降下スコリア層で、挟在する 2 層の黒色砂質火山灰層 (上位が 4 cm 厚、下位が 31 cm 厚) を境に 3 つに区分される。いずれのスコリア層も径 1 cm 以下の発泡の良い黒色スコリアを主体としているが、上部 (深度 4.46~4.61 m) と中部 (深度 4.65~6.13 m) の最大粒径は 2~3 cm 程度である。一方、下部 (深度 6.34~9.00 m) には最大粒径 6 cm 程度のスコリアが含まれている。こうした特徴から、この黒色スコリアと火山灰の互層は、約 4 cal ka (Miyabuchi, 2009) に降下した杵島岳スコリア (KsS; 中村・渡辺, 1995) と判断される。ユニット 2 中の N2S と本ユニットの KsS との間に挟在するはずである約 3.6 cal ka (Miyabuchi, 2009) の往生岳スコリア (中村・渡辺, 1995) などのテフラ層が認められないことから、ユニット 2 とユニット 3 の境界付近に不整合が存在する可能性が高い。

ユニット 4 (深度 9.00~23.72 m) は、主に黒色~暗灰色の緻密~やや発泡した玄武岩質安山岩溶岩 ($\text{SiO}_2 = 52.1\sim 53.3 \text{ wt.}\%$, 溶岩 1) であり、最上部 (9.00~9.68 m 深) に溶岩塊を含む再堆積物と黒ボク土層・火山灰層を伴う。この溶岩 1 は、3 つの塊状部 (厚さ 0.98~2.67 m) とそれぞれの上に破砕部 (厚さ 0.4~5.74 m) が存在していることから、少なくとも 3 つのフローユニットからなる。

ユニット 5 (深度 23.72~31.00 m) は、砂質~シルト質火山灰層・黒ボク土層の互層とそれらの二次堆積物で構成されている。深度 27.20~27.39 m には水蒸気爆発堆積物と考えられる変質岩片に富む白色シルト質火山灰層が認められる。また、深度 28.37~28.45 m にバブルウォール型火山ガラスを多量に含む黄褐色砂質火山灰層が存在し、7.3 cal ka (奥野, 2002) に降下堆積した広域テフラの鬼界アカホヤ火山灰 (略称 K-Ah; 長友・庄子, 1977; 町田・新井, 1978, 2003) に対比される。

ユニット 6 (深度 31.00~76.11 m) は、厚さ 40 m を越える黒色~暗灰色の緻密~やや発泡した玄武岩質安山岩溶岩 (溶岩 2) からなる。上下に破砕部 (厚さ 0.11~6.4 m)

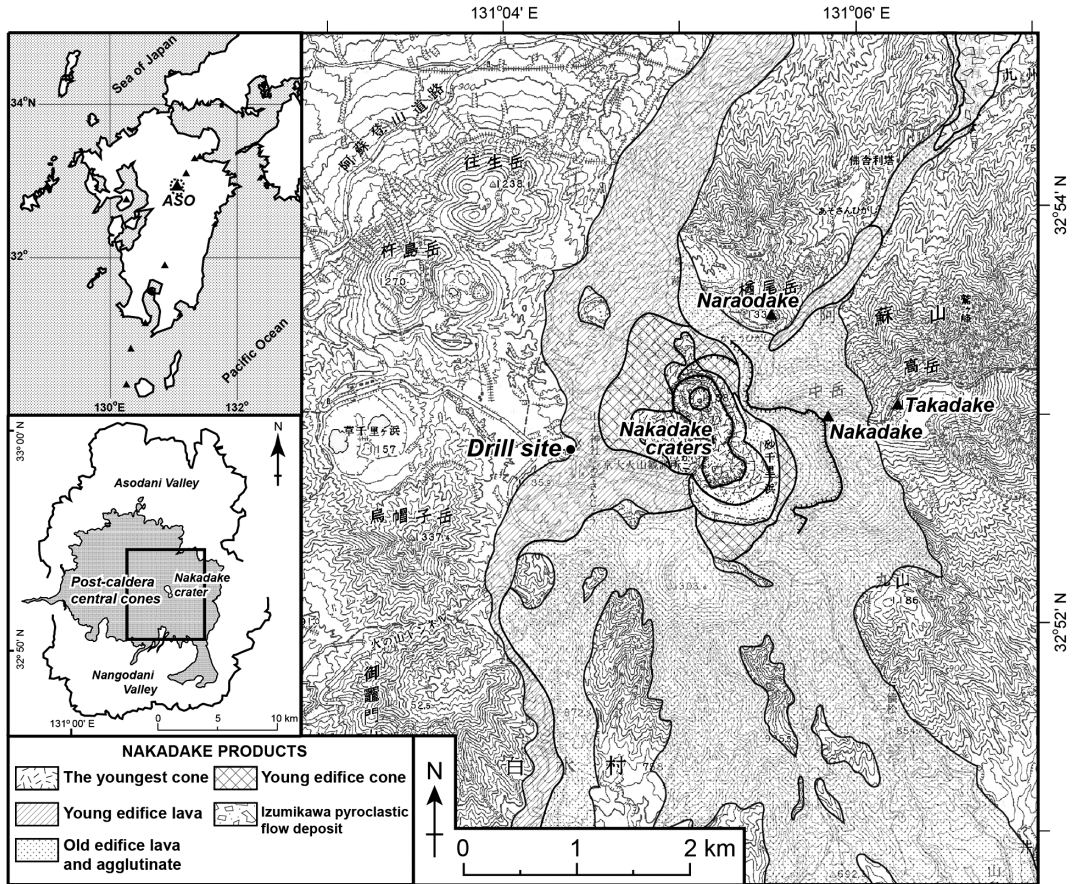


Fig. 1. Location of the 2009 Japan Meteorological Agency (JMA) drill site near Nakadake crater, Aso Volcano. Base map is a part of 1:50,000 topographic map "Asosan" published by the Geospatial Information Authority of Japan. Distributions of lavas and agglutinate are from Ono and Watanabe (1985) and Baba (1999). Longitude and latitude are shown as WGS84.

を伴う7つの塊状部(厚さ0.82~6.15m)が存在するため、溶岩2は少なくとも7つのフローユニットからなる。

ユニット7(深度76.11~86.47m)は、全体的に亜円礫~円礫を含む基質支持のやや固結した堆積物で構成される。このユニットは、径10cm超の火山岩塊を含む無層理の堆積物、径数cmの火山礫を含む無層理~弱い成層構造を示す堆積物、成層した砂質堆積物の3つに区別されるが、大部分はラハール堆積物と考えられる。深度83.48~83.81mにはカリフラワー状火山弾に富む部分が存在するが、その部分は火山弾を放出する噴火の直後に発生したラハールの堆積物である可能性がある。なお、このユニット中には長い時間間隙を示す土壌層は認められない。

ユニット8(深度86.47~91.64m)は、黒色~暗灰色の緻密~やや発泡した玄武岩質安山岩溶岩(溶岩3)で構

成される。この溶岩の塊状部(厚さ4.73m)の下位には破砕部(厚さ0.44m)が認められることから、溶岩3は1つのフローユニットからなると推察される。

ユニット9(深度91.64~100.00m)は、最上部がやや成層したシルト質降下火山灰層と、その下位の火山礫や火山岩塊を含む基質支持の堆積物およびやや成層した砂質堆積物からなる。93.00m以深はラハール堆積物と考えられ、93.25~97.38m深の部分は変質岩片に富むことが特徴である。

4. 溶岩の岩石学的特徴

ボーリングコア中に認められた3つの溶岩の岩石学的特徴について検討を行った。ユニット4の溶岩1からは12.92mおよび21.24m深の2試料、ユニット6の溶岩2からは34.24m、37.33m、42.52m、48.82m、54.73m、

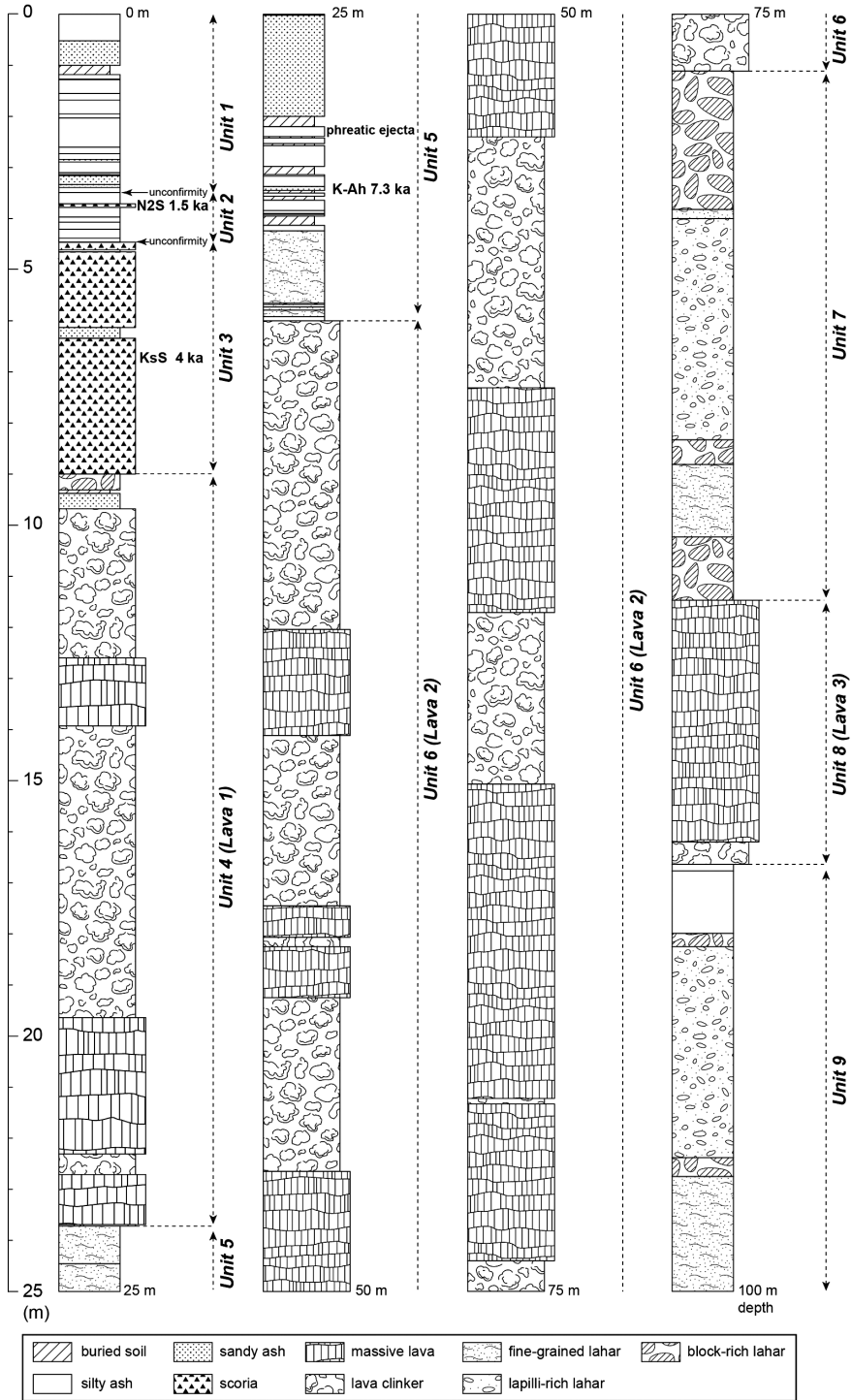


Fig. 2. Stratigraphy of the 2009 JMA drill core obtained near Nakadake crater, Aso Volcano. N2S: Nakadake N2 scoria, KsS: Kishimadake scoria, K-Ah: Kikai Akahoya tephra (vitric ash).

Table 1. Petrography and major element compositions of lavas in JMA drill core obtained at Aso Volcano in 2009.

Depth (m)	Whole rock chemical compositions (wt.%)										Phenocrystic minerals*	Groundmass texture	
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅			total
<i>Lava 1 (9.00-23.72 m depth)</i>													
12.92	52.10	0.94	17.75	9.39	0.17	5.14	10.20	2.70	1.41	0.21	100.00	pl, cpx, ol, opx, op	intersertal
21.14	53.30	0.91	18.07	8.75	0.16	4.44	9.66	2.86	1.62	0.22	100.00	pl, cpx, ol, op, opx	intersertal
<i>Lava 2 (31.00-76.11 m depth)</i>													
34.24	53.30	1.02	17.35	9.21	0.17	4.87	9.42	2.82	1.59	0.24	100.00	pl, cpx, ol, op, opx	intersertal
37.33	53.37	1.04	17.09	9.33	0.18	4.96	9.29	2.83	1.66	0.25	100.00	pl, cpx, ol, op, opx	intersertal
42.52	53.34	1.02	17.00	9.39	0.18	5.07	9.42	2.73	1.61	0.24	100.00	pl, cpx, ol, op, opx	hyalopilitic
48.82	53.19	1.01	17.21	9.25	0.18	5.01	9.54	2.76	1.60	0.24	100.00	pl, cpx, ol, op, opx	intersertal
54.73	53.22	1.02	17.39	9.19	0.17	4.83	9.50	2.81	1.63	0.25	100.00	pl, cpx, ol, op, opx	intersertal
58.00	53.17	1.03	17.06	9.37	0.18	5.04	9.53	2.76	1.62	0.24	100.00	pl, cpx, ol, op, opx	intersertal
61.00	53.16	1.02	17.17	9.34	0.17	5.03	9.51	2.75	1.61	0.24	100.00	pl, cpx, ol, op, opx	intersertal
64.25	53.19	1.02	17.19	9.30	0.18	4.99	9.60	2.71	1.59	0.25	100.00	pl, cpx, ol, op, opx	intersertal
68.00	53.37	0.99	17.57	8.98	0.17	4.71	9.55	2.83	1.58	0.24	100.00	pl, cpx, ol, op, opx	intersertal
72.00	53.16	1.03	17.30	9.32	0.17	4.90	9.51	2.77	1.59	0.25	100.00	pl, cpx, ol, op, opx	intersertal
74.00	53.40	1.02	17.41	9.18	0.17	4.78	9.33	2.81	1.64	0.25	100.00	pl, cpx, ol, op, opx	intersertal
<i>Lava 3 (86.47-91.64 m depth)</i>													
87.00	52.70	0.99	17.92	9.27	0.17	4.80	9.79	2.67	1.45	0.24	100.00	pl, cpx, ol, op, opx	intersertal
88.90	52.69	0.98	17.85	9.29	0.17	4.81	9.77	2.74	1.45	0.24	100.00	pl, cpx, ol, op, opx	intersertal

Values of whole rock chemical compositions are normalized on the basis of total = 100 wt.%.

* Abbreviations for phenocrystic minerals; cpx: clinopyroxene, ol: olivine, op: opaque mineral, opx: orthopyroxene, pl: plagioclase.

58.00 m, 61.00 m, 64.25 m, 68.00 m, 72.00 m, 74.00 m 深の 11 試料, ユニット 8 の溶岩 3 からは 87.00 m および 88.90 m 深から 2 試料を採取し, 岩石薄片の偏光顕微鏡観察を行った。また, これらの試料に対して全岩化学組成分析を実施した。メノウ乳鉢で粉砕後, 1:10 希釈のガラスビードを作成し, 産業技術総合研究所所有の蛍光 X 線分析装置 (PANalytical 社製 Axios PW4400) を用いて分析を行った。これらの結果を Table 1 に示す。

溶岩 1 の斑晶量は 20~30 vol.% 程度であり, 斑晶鉱物は多い順に斜長石 (<5 mm), 単斜輝石 (<4 mm), かんらん石 (<3 mm), 斜方輝石 (<0.5 mm), 不透明鉱物 (<0.5 mm) である。石基は斑晶と同種の微晶およびガラスからなるインターサータル組織を示す (Fig. 3A)。

溶岩 2 の斑晶量は 20~30 vol.% 程度であり, 斑晶鉱物は多い順に斜長石 (<5 mm), 単斜輝石 (<5 mm), 不透明鉱物 (<1 mm), かんらん石 (<3 mm), 斜方輝石 (<1 mm) である。石基は斑晶と同種の微晶およびガラスからなり, 大部分の試料はインターサータル組織をしているが, 深度 42.52 m から得られた試料はハイアロピリティック組織を示す (Figs. 3B, 3C)。

溶岩 3 の斑晶量は 20~30 vol.% 程度で, 斜長石 (<5 mm), 単斜輝石 (<4 mm), 不透明鉱物 (<0.5 mm), かんらん石 (<0.5 mm), 斜方輝石 (<0.5 mm) を斑晶鉱物として含む。また, 石基は斑晶と同種の微晶およびガラスからなるインターサータル組織を示す (Fig. 3D)。

溶岩 1, 2, 3 の SiO₂含有量は, それぞれ 52.1~53.3 wt.%, 53.2~53.4 wt.%, 52.7 wt.% で, いずれも玄武岩質安山岩であり, 記載岩石学的特徴も類似する (Table 1)。

今回のボーリングコア試料の溶岩 1~3 と中岳火山噴出物の全岩化学組成分析値 (宮緑・他, 2006b) を比較すると, 溶岩 1~3 は新期山体溶岩の組成範囲にプロットされ, 古期山体溶岩や泉川火砕流堆積物とは明らかに異なる組成を示す (Fig. 4)。とくに SiO₂ vs. K₂O 図において古期山体溶岩と泉川火砕流堆積物が中カリウム系列の領域にプロットされるのに対し, 溶岩 1~3 と新期山体溶岩は中カリウム系列と高カリウム系列の境界線付近にプロットされる。

5. 議論

5-1 溶岩の噴出年代

溶岩 1 は杵島岳スコリアと K-Ah テフラ間に存在することから, 小野・渡辺 (1985) の中岳新期山体溶岩 (渡辺, 1991 の仮川溶岩) に対比される。この溶岩は中岳の活動期の中で N11 期の火山灰層に挟在することが報告されており (渡辺, 1991), その噴出年代は火山灰層間に挟在する黒ボク土層の¹⁴C年代 (宮緑・渡辺, 1997) から 5 cal ka 前後と推定される。

溶岩 2 は, K-Ah テフラから火山灰層・黒ボク土層の互層を挟んだ 2.55 m 下位に存在する。K-Ah テフラと溶岩 2 との間には薄い埋没黒ボク土層が 3 層認められるが, いずれの土層の厚さも 8 cm 以下である。したがって, K-Ah と溶岩 2 との間には大きな時間間隙はなく, 溶岩 2 の噴出年代は 7.3 cal ka よりもわずかに古い, 8 cal ka 前後と考えられる。

溶岩 2 と溶岩 3 の間にはラハール堆積物を主体とする火山砕屑物 (ユニット 7) が存在し, その全層厚は 10.36

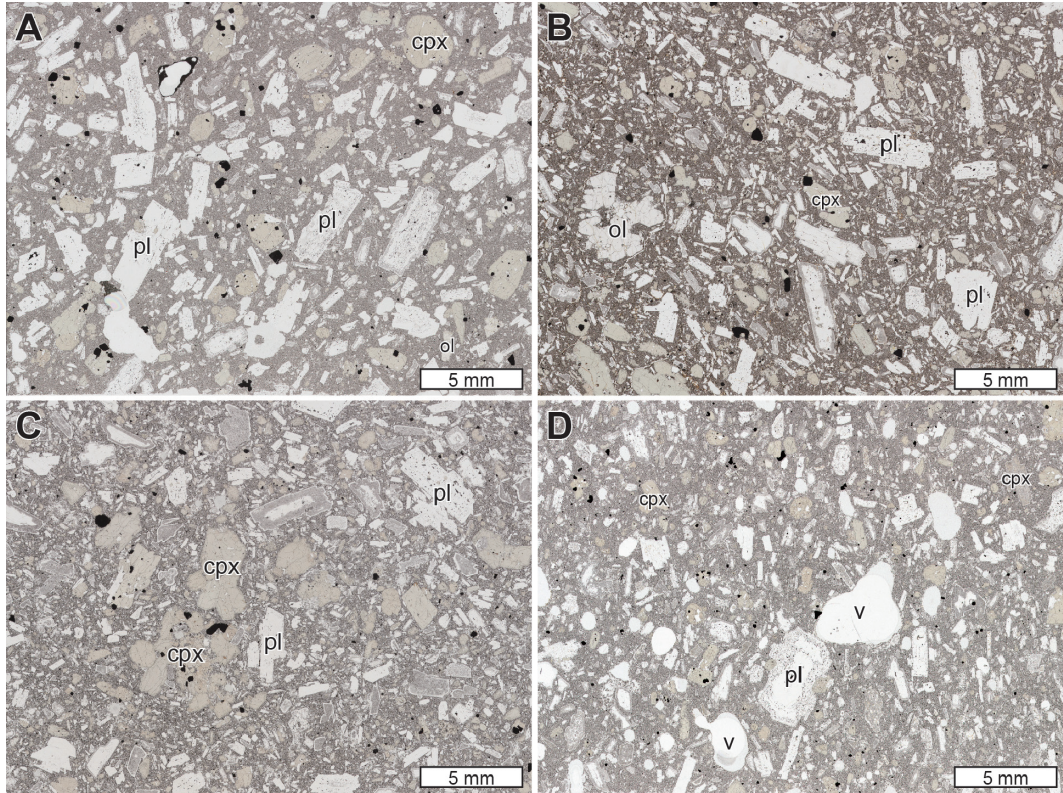


Fig. 3. Photomicrographs of lava units recognized in the 2009 JMA drill core: (A) lava 1 (21.14 m in depth); (B) lava 2 (42.52 m); (C) lava 2 (68.00 m); (D) lava 3 (88.90 m). Abbreviations: cpx=clinopyroxene; ol=olivine; pl=plagioclase; and v=vesicle.

mである。ユニット7中には土壌層と考えられる堆積物は認められないので、溶岩3の噴出年代は溶岩2のそれと近い可能性がある。ただ、ラハールによって堆積物が侵食され、両溶岩間のテフラや土壌層が欠落していることも考えられるので、溶岩3の噴出年代はさらに検討が必要である。

5-2 中岳の噴火活動史における今回の溶岩発見の意義

中岳新期山体溶岩（小野・渡辺，1985）に対比される溶岩1は、今回のコア掘削地点周辺のガリー谷壁斜面などに露出する溶岩である。一方、溶岩2と溶岩3はこれまでの地表調査では認識されなかった溶岩かもしれないが、侵食が進んだ谷底や谷壁には露出している可能性もある。今回のコア調査で認められた3つの溶岩は岩相や全岩化学組成が酷似していることから、小野・渡辺（1985）の阿蘇火山地質図では同一の溶岩として扱われていることも考えられる。しかし、黒ボク土層の年代値（宮縁・渡辺，1997）との対比から溶岩1と溶岩2間には少なくとも2000年以上の時間間隙が存在することがわかる。

溶岩2と溶岩3との間にも時間間隙が存在するものと推測される。小野・渡辺（1985）はK-Ahテフラ（7.3 cal ka）堆積以降に溶岩流出などで中岳新期山体が形成されたとしているが、今回のコア調査でK-Ahテフラ下位に溶岩2と溶岩3が発見されたことにより、中岳新期山体が7.3 cal ka以前から形成され、少なくとも2000年以上の時間をかけて成長した可能性が新たに示された。また、他の可能性として古期山体（約22~21 cal ka; 宮縁・他，2004）と新期山体の活動の間には別の山体が成長したと考えることもできる。このように、中岳の山体発達史と噴出物に関しては今後さらに検討が必要であるが、今回のボーリングコア調査により、中岳では8~5 cal kaとそれよりやや古い時期に、岩相の酷似した玄武岩質安山岩溶岩を少なくとも3回流出したことが明らかとなり、このことは火山地質学的にも防災的にも重要な事実である。

6. まとめ

阿蘇火山中岳火口西南西約1.2 km地点において気象

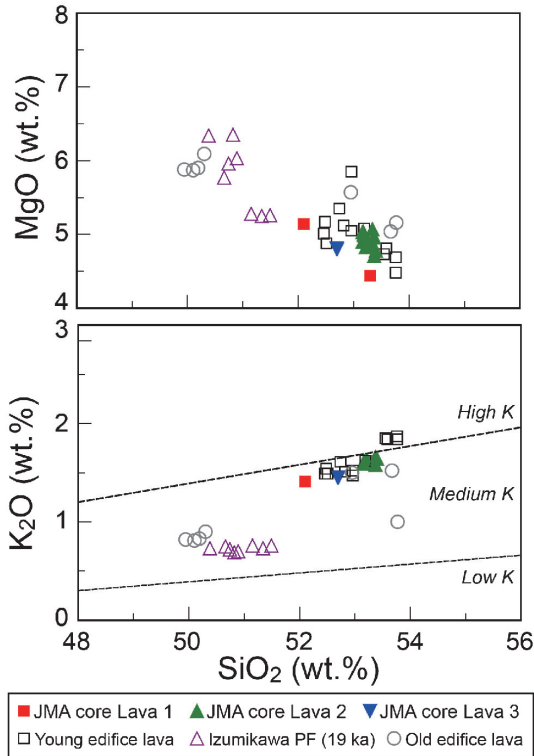


Fig. 4. MgO and K₂O vs. SiO₂ diagrams for the eruptive products from Nakadake Volcano. Data for the Izumikawa pyroclastic flow deposit and old edifice lava are from Miyabuchi *et al.* (2006b). Lines in the lower diagram show the Low-K, Medium-K and High-K rock series boundaries summarized by Le Maitre *et al.* (1989).

庁によって掘削された深度 100 m の阿蘇山ボーリングコア (JMA-V40) の肉眼観察と鏡下における岩石記載および全岩化学組成分析の結果から以下のことが明らかとなった。

ボーリングコアは岩相の違いにより 9 ユニットに区分され、ユニット 4 (溶岩 1; 深度 9.00~23.72 m)、ユニット 6 (溶岩 2; 深度 31.00~76.11 m) およびユニット 8 (溶岩 3; 深度 86.47~91.64 m) には、黒色~暗灰色の緻密~やや発泡した玄武岩質安山岩 (SiO₂ = 52.1~53.4 wt.%) 溶岩が認められた。これら 3 つの溶岩は岩相、記載岩石学的特徴および全岩化学組成が酷似していた。今回のボーリングコア中の溶岩の発見により、阿蘇火山中岳では 8-5 cal ka とそれよりやや古い時期に、岩質の酷似した溶岩を少なくとも 3 回流出したことが明らかになった。

謝 辞

今回観察を行ったボーリングコアは気象庁によって掘削され、提供されたものである。渡辺一徳先生には日頃より阿蘇火山の地質についてご教示いただくとともに、ボーリングコア観察時にも熱心に議論していただいた。応用地質株式会社熊本支店の内村雄一氏にはコア観察などでたいへんお世話になった。Judy Fierstein 氏には英文の校閲をしていただいた。査読者である山元孝広氏と三好雅也氏には原稿の細部にわたって貴重なご意見をいただいた。これらの方々には心から感謝いたします。

引用文献

- 馬場正弘 (1999) 阿蘇南郷谷に伏在する溶岩流. 熊本地学会誌, **120**, 2-8.
- 福岡管区気象台 (1990) 阿蘇山. 九州地方の火山, 福岡管区気象台要報, **45**, 1-46.
- 火山噴火予知連絡会コア解析グループ (2011) 気象庁火山観測点ボーリングコアの解析-成果報告書-. 気象庁, 403p.
- 気象庁 編 (2005) 日本活火山総覧 (第 3 版). 635p.
- 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, 204p.
- 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, 336p.
- Miyabuchi, Y. (2009) A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan. *Sediment. Geol.*, **220**, 169-189.
- 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・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.
- Miyabuchi, Y., Watanabe, K. and Egawa, Y. (2006a) Bomb-rich basaltic pyroclastic flow deposit from Nakadake, Aso Volcano, southwestern Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **155**, 90-103.
- 宮縁育夫・渡辺一徳・江川佳貴 (2006b) 阿蘇火山中岳北麓に分布する火砕流堆積物とその層序学的意義. 火山, **51**, 231-243.
- 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.

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, south-
western Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **66**, 137-148.

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.

(編集担当 渡辺 了)