

桜島火山，横山コアから見出された火砕堆積物の 岩石化学的特徴

山元孝広*・下司信夫*・小林哲夫**

(2012 年 12 月 10 日受付, 2013 年 10 月 16 日受理)

Geochemical Features of Pyroclastic Deposits in the Yokoyama Core, Sakurajima Volcano, SW Japan

Takahiro YAMAMOTO*, Nobuo GESHI* and Tetsuo KOBAYASHI**

Sakurajima volcano is the most active volcano in Japan. The Yokoyama core (JMA-V44) was drilled on the western foot of this volcano in 2009. This core consists of volcanic soil (0 to -1.30 m in depth), volcanic fan deposits (-1.30 to -49.60 m), marine sediments (-49.60 to -59.60 m), non-welded normal-graded dacite pumice lapilli tuff (PFD1; -59.60 to -69.34 m), marine sediments (-69.34 to -73.22 m), and weakly-to-non welded dacite pumice lapilli tuff (PFD2; -73.22 to -100.60 m). Geochemical features of essential pumice in PFD1 coincide with ones of the 12.8-ka Sakurajima-Satsuma tephra (P 14), that is the largest product of Sakurajima volcano in 11 km³ of volume and erupted at the beginning of the Younger Kitadake stage. On the other hand, essential pumice in PFD2 differs from the products of Sakurajima volcano in major and trace element contents. PFD2 pumice has lower Ti, P and heavy REE contents than Sakurajima ones. PFD2 presumably belongs to basement formations of Sakurajima volcano and Aira caldera and topographically forms the wall of Aira caldera.

Key words: Sakurajima, Yokoyama core, JMA-V44, Satsuma tephra

1. はじめに

気象庁による平成 21 年度のボアホール型火山観測施設の整備に伴い採取された全国 47 地点のコア試料については、火山噴火予知連絡会に設置されたコア解析グループのもとで記載が実施されている(火山噴火予知連絡コア解析グループ, 2011)。本報告では、これらのうちの桜島火山で掘削された横山コア (JMA-V44) 中の火砕堆積物の地球化学的特徴を明らかにし、桜島火山の地下地質を検討する。火山活動を理解する上で最も基礎となるものは対象とする火山の成り立ちであり、ボーリング掘削の優れた点は、地表では露出しない試料を直接入手可能なことにあることは言うまでもない。特に火山では形成最初期の噴出物が、山体の成長に伴い地下に埋没して

しまうことが常であり、ボーリング掘削なしには火山形成史全体の復元は難しい。

桜島火山は、日本のみならず、世界を代表する活火山である。1955 年以降、南岳山頂火口での爆発的噴火が続き、2006 年からは昭和火口での噴火も再開し、現在 (2013 年) でも、ほぼ連日、爆発を繰り返している。また 100 年前の大正噴火をはじめ、歴史時代にも大噴火を繰り返してきた。今回掘削された横山コアは、これまで知られていなかった桜島火山形成初期の活動や基盤の形態を知る上で重要な鍵であることが試料の検討から明らかになったので、報告するものである。

* 〒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, Higashi 1-1-1 Central
7, Tsukuba 305-8567, Japan

〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-35

** 鹿児島大学大学院理工学研究所

*** Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima
University

Corresponding author: Takahiro Yamamoto
e-mail: t-yamamoto@aist.go.jp

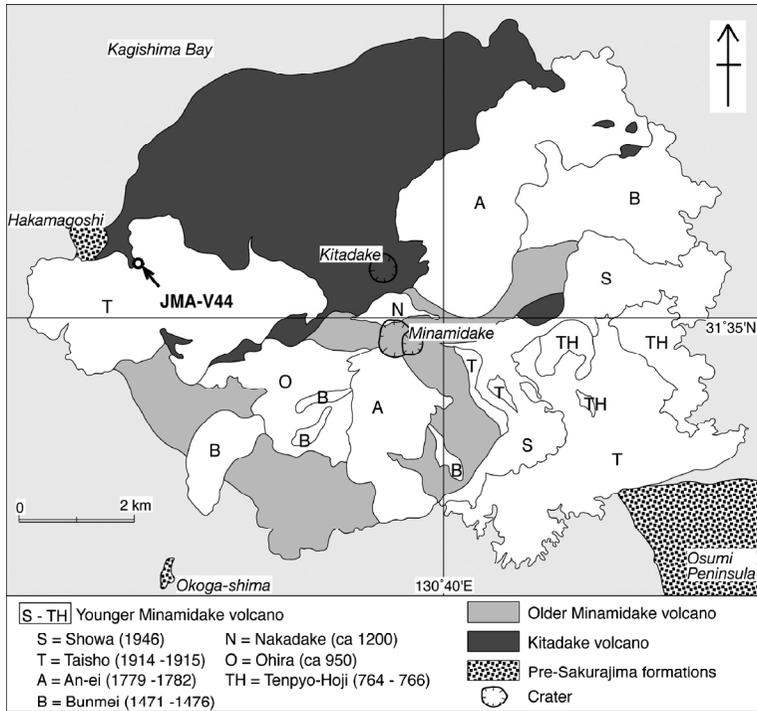


Fig. 1. Simplified geological map of Sakurajima volcano, showing location of the Yokoyama core site (JMA-V44). Simplified from Kobayashi *et al.* (2013).

2. 桜島火山の地質

桜島は東西 12 km, 南北 9 km で, その中央部には北岳・中岳・南岳の火口が南北に並んでいる。始良カルデラの後カルデラ期成層火山で, ほぼカルデラの南縁沿いに形成されている。地質学的には北岳よりも南岳が新しく, 2つの成層火山が重なった構造を持っている (Fig. 1; 福山・小野, 1981; 小林・他, 2013; 山口, 1975)。なお, 中岳は南岳の側火山である。北岳主成層火山体は溶岩と火砕岩の互層からなり, 山腹から山麓にかけては顕著な溶岩末端崖を持つ溶岩流が分布している。南岳主成層火山体は溶岩が卓越する成層火山で, その形成史は古期と新期に分けられる。南岳の古期の溶岩は流動性に富み, 南から東山麓に広く分布している。これに対し, 歴史時代の噴火に対応する新期の溶岩はやや粘性が高く, 比高の大きな溶岩^{じわ}皺や溶岩堤防を持つ凹凸した形態となっている。

桜島火山噴出物のテフラ層序では, 17層のプリニー式降下軽石層と少なくとも3層のブルカノ式噴火の火山砂層が認められ, 4つのステージ(古期北岳・新期北岳・古期南岳・新期南岳)に区分されている (Fig. 2; 小林, 1986; 小林・他, 2013; 森脇, 1994; Okuno *et al.*, 1997; 奥野,

2002)。古期北岳の活動期間は始良 Tn テフラの噴火 (2.9 万年前) 直後から 2.4 万年前頃までで, 3層のテフラ (Sz-P17~P15) が島外において確認できる。次の新期北岳の活動開始は 1.28 万年前で, 古期北岳期との間には約 1 万年間の休止期間が存在した。新期北岳の初期の軽石噴火は大規模なものが多く, 特に 1.28 万年前の Sz-P14 (桜島薩摩テフラ) の噴火は, 桜島火山では最大規模であった (火砕物の見かけ体積は約 11 km³; 小林・溜池, 2002)。Fig. 2 に示したように他の桜島火山起源のテフラで火砕物噴出量が 2 km³ をこえるものはないので, Sz-P14 は他のテフラとくらべ桁違いに大きい。新期北岳最後の噴火は Sz-P5 の噴出で, 北岳主成層火山体の表層を覆う武火砕流 (Kobayashi *et al.*, 1988) を伴っていた。古期南岳の活動は約 4500 年前からで, この時期からブルカノ式噴火の降下火山灰からなる南岳火山砂 (Sz-Mn; Fig. 2; 小林・他, 2013) の堆積が山体周辺で始まった。南岳主成層火山体の大半はこの時期に形成され, 約 1600 年前まで継続した。新期南岳の活動は, Sz-P4 を噴出した天平宝字噴火 (764~766 年) から始まり, 古期南岳では起こらなかったプリニー式噴火の活動が再開している。

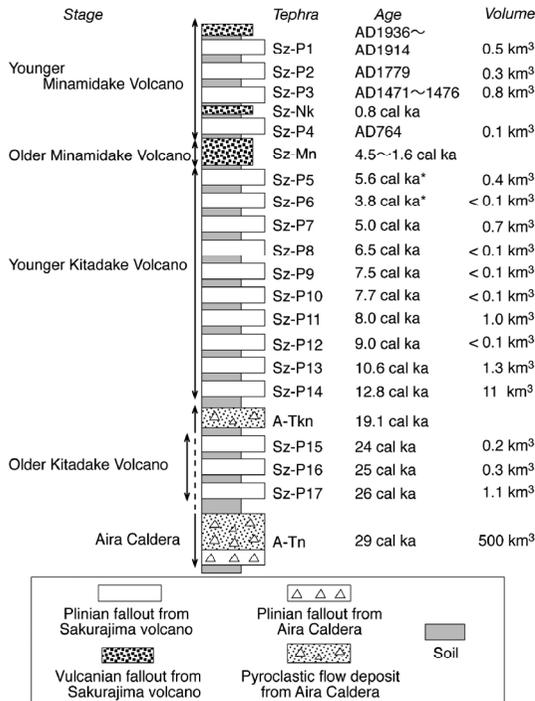


Fig. 2. Stratigraphy, ages and volumes of the tephra units from Sakurajima volcano. Tephra stratigraphy is mainly based on Kobayashi (1986). Eruption ages are taken from Okuno *et al.* (1997), Okuno (2002) and Kobayashi *et al.* (2013), and *cal ka* means a calibrated calendar age in 1,000 years ago. The age with * is inconsistent with the stratigraphy. The volume is apparent one for the tephra unit. *Sz-Nk* = Sakurajima-Nakadake; *Sz-Mn* = Sakurajima-Minamidake; *Sz-P1* ~ *Sz-P17* = Sakurajima-P1 ~ Sakurajima-P17; *A-Tkn* = Aira-Takano; *A-Tn* = Aira-Tn. After Kobayashi *et al.* (2013)

3. 桜島・横山コアの層序

鹿児島市横山 (31° 35' 27.9" N, 130° 36' 43.1" E; Fig. 3) の標高 40.5 m 地点において深度 100.6 m のコア (JMA-V44) が気象庁により 2009 年に掘削されている。掘削位置は、桜島火山の西端に近く、大正溶岩に囲まれた北岳扇状地の末端上にある (Fig. 1)。掘削地点の更に西側には、先始良カルデラの堆積物からなる袴腰の台地が位置している。コアは産総研のコアライブラリーに保管されており、記載も産総研のコア作業スペースで実施した。コアの岩相の詳細は火山噴火予知連コア解析グループ (2011) に記載されており、以下にはその概略を記述する。

地表面から深度 1.30 m までは、大正軽石を含む淘汰の悪い砂質火山灰土からなる。

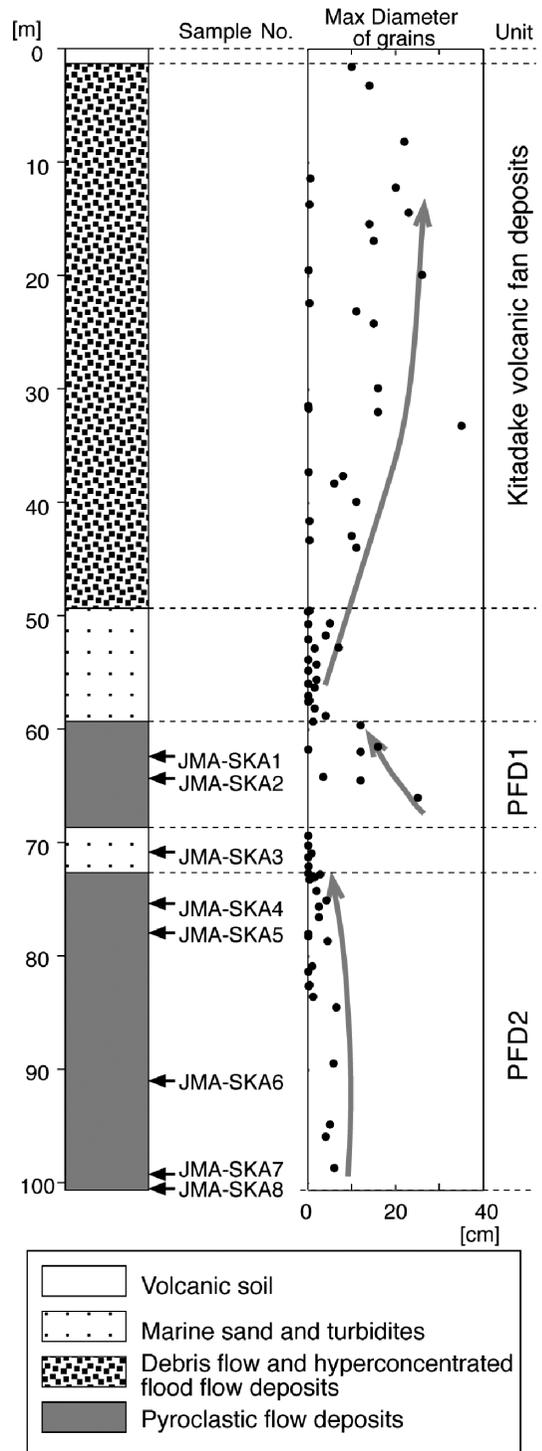


Fig. 3. Lithofacies of the Yokoyama core (JMA-V44). Arrows show sampling positions.

Table 1. Characteristics of pumices. *Ap* = apatite; *Cpx* = clinopyroxene; *Opx* = orthopyroxene; [] = minor component.

Unit	Sample	Mineral composition	Refractive index mode	
			Glass (n)	Opx (η)
PFD1	SKA02 (63.9m)	Opx > Cpx, [Ap]	1.507-1.508 (90%)	1.710-1.713 (100%)
PFD2	SKA05 (78.7m)	Opx > Cpx, [Ap]	1.501-1.503 (90%)	1.705-1.709 (90%)
PFD2	SKA07 (98.85m)	Opx > Cpx, Ap	1.5085-1.5094 (100%)	1.707-1.710 (90%)

深度 1.30 m から 49.60 m までは、土石流・高密度洪水流堆積物からなる北岳の扇状地堆積物である。土石流堆積物は、岩片支持で、火山灰基質を持つ塊状の凝灰角礫岩からなる。灰色のデイサイト亜角～亜円礫を含んでいる。礫径は 30 cm 以下で、下部よりも中・上部の方が粗い。基質は淘汰の悪い中粒～粗粒砂サイズの火山灰で、弱く固結している。高密度洪水流堆積物は、不明瞭な平行層理を持つ淘汰のやや悪い中粒砂～細礫からなる。

深度 49.60 m から 59.60 m までは、固結度の低い砂・礫互層からなる。良く円磨されたデイサイト溶岩や軽石が含まれ、鹿児島湾底の海成層とみられる。

深度 59.60 m から 69.34 m までは、水底位置の火砕流堆積物と見られる塊状のデイサイト軽石火山礫凝灰岩～凝灰角礫岩 (PFD1) からなる。堆積物は、岩片支持で軽石細礫に富む火山灰基質を持ち、下部は安山岩質の石質角礫に、上部はやや円磨された軽石に富む密度級化が顕著である。また、粒径は 25 cm 以下で、上方に向かって最大粒径が小さくなる (Fig. 3)。堆積物の淘汰は、降下軽石堆積物ほどには良くないものの、密着した軽石間を埋める基質には中粒砂サイズ以下の火山灰が含まれず、陸上の軽石流堆積物よりも明らかに淘汰が良い。この堆積物の基底部のコアには硫黄の昇華物が認められる。本質軽石は有色鉱物として、斜方輝石と単斜輝石を含み、微量のアパタイトを伴っている (Table 1)。

深度 69.34 m から 70.23 m までは、固結度の低い塊状の砂層からなる。

深度 70.23 m から 73.22 m までは、円磨されたデイサイト軽石を含む再堆積した火山砕屑物からなり、高密度洪水流もしくは高密度タービダイトとみられる。

深度 73.22 m から孔底の 100.60 m までは一連の火砕流堆積物 (PFD2) からなる。深度 73.22 m から 81.33 m までは、灰色～暗灰色デイサイト軽石を含む火山礫凝灰岩・凝灰岩互層から構成される。火山礫凝灰岩は基質支持で、結晶片に富む基質の火山灰は良く固結し、軽石には扁平化が認められ、部分的に弱溶結している。深度 81.33 m から孔底の 100.60 m までは、白色デイサイト軽石に富む火山礫凝灰岩・石質岩片に富む火山礫凝灰岩の互層から構成される。どちらの火山礫凝灰岩も基質支持で、淘汰は悪い。深度 81.33 m を挟んで PFD2 の岩相自

体は連続しており、上下層間に時間間隙を示す堆積物は認められない。また、上下の本質軽石は有色鉱物として、斜方輝石と単斜輝石を含み、小～微量のアパタイトを伴うものの、色調の違いに応じて火山ガラスの屈折率が異なり (Table 1)、下位の方が珪長質である。しかしながら、後述するように、上下の本質軽石の化学組成は主成分で連続し、微量成分では同一である。

4. 全岩化学組成

横山コア中の軽石試料 (SKA1～SKA8) の全岩化学組成分析は、Activation Laboratories 社に依頼し、主成分元素及び Sc, V, Ba, Sr, Y, Zr については Thermo Jarrell-Ash ENVIRO II ICP、これら以外の微量成分については Perkin Elmer SCIEX ELAN 6000 ICP-MS で測定された。Sr-Nd 同位体比は Finningan MAT 261 8-collector mass spectrometer で分析されている。分析試料については、SKA1 と SKA2 は PFD1 の本質軽石、SKA4～SKA8 は PFD2 の本質軽石、SKA3 は両火砕流堆積物の間にある再堆積した軽石円礫である。

4-1 主成分組成

PFD1 の本質軽石 (SKA1・SKA2) は、100 wt% 換算の SiO₂ 含有量が 65.2～65.9 wt% のデイサイト、PFD2 の本質軽石 (SKA4～SKA8) は、SiO₂ 含有量が 67.8～69.0 wt% のデイサイト、SKA3 の軽石円礫は SiO₂ 含有量が 68.1～68.8 wt% のデイサイトである (Table 2)。さらに細かく見ると、PFD2 上部の黒色軽石 (SKA4・SKA5) は SiO₂ 含有量が 67.8～68.1 wt%、下部の白色軽石 (SKA6～SKA8) は SiO₂ 含有量が 68.2～69.0 wt% と、色調に対応して組成に違いが認められる。ただし、両者の組成変化はハーカー図上で一つのトレンドを形成しており (Fig. 4)、一連の噴火の産物として問題はない。Fig. 4 では比較のため、他の桜島起源の軽石の組成 (高橋・他, 2011) も示している。

4-2 微量成分組成

Fig. 5 はコンドライト組成で規格化した希土類元素 (REE) 組成である。いずれの軽石試料も軽 REE に富み、平らな重 REE で特徴付けられる島弧火山岩に標準的なパターンを示している。しかしながら、細かく見ると PFD1 の本質軽石 (SKA1・SKA2) に比べると、SKA3 の

Table 2. Whole rock chemical compositions.

Major- and trace-elements are measured by ICP optical and mass spectrometry.

LOI = loss of ignition, Total Fe as Fe₂O₃.

Sample depth (m)	SKA01	SKA02	SKA031	SKA032	SKA04	SKA051	SKA052	SKA06	SKA07	SKA08
Material	pumice	pumice	pebble	pebble	pumice	pumice	pumice	pumice	pumice	pumice
<i>Major elements (%)</i>										
SiO ₂	63.71	64.33	65.48	65.82	65.66	65.68	66.05	66.94	65.71	65.99
Al ₂ O ₃	15.76	15.79	14.79	14.66	15.27	14.64	15.15	15.39	15.29	14.56
Fe ₂ O ₃ (T)	4.89	4.49	4.38	3.90	3.95	4.32	4.22	3.48	3.46	3.46
MnO	0.129	0.123	0.095	0.091	0.089	0.095	0.091	0.090	0.089	0.088
MgO	1.80	1.59	1.45	1.34	1.25	1.28	1.26	1.26	1.23	1.23
CaO	5.11	4.79	3.73	3.66	4.35	4.00	4.21	4.09	4.01	3.85
Na ₂ O	3.53	3.58	3.45	3.44	3.56	3.54	3.58	3.59	3.70	3.53
K ₂ O	1.99	2.09	2.22	2.23	2.19	2.29	2.24	2.39	2.32	2.33
TiO ₂	0.675	0.659	0.489	0.473	0.472	0.476	0.490	0.456	0.465	0.452
P ₂ O ₅	0.15	0.13	0.11	0.11	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11
LOI	1.95	2.28	3.96	3.77	2.69	2.68	2.69	2.46	4.14	3.92
Total	99.70	99.86	100.20	99.49	99.58	99.09	100.10	100.20	100.50	99.53
<i>Trace elements (ppm)</i>										
Sc	20	19	13	13	12	12	12	11	11	11
V	102	98	97	95	86	89	92	79	73	69
Rb	63	64	67	69	67	70	69	71	70	72
Sr	244	239	205	197	220	207	217	212	216	204
Y	24	26	27	28	19	20	19	20	19	19
Zr	127	134	145	146	140	145	144	145	146	148
Nb	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6
Ba	325	343	361	363	355	366	362	368	368	370
Cs	5.0	5.2	5.6	5.7	5.2	5.2	5.2	5.5	5.6	5.7
La	19.8	20.7	19.7	19.9	18.8	19.1	19.2	20.1	19.3	19.5
Ce	43.0	44.6	40.9	41.8	39.1	39.6	39.6	41.3	40.0	40.4
Pr	4.59	4.84	4.27	4.38	4.03	4.11	4.11	4.26	4.17	4.18
Nd	18.9	19.6	16.8	17.0	15.9	16.1	16.2	16.7	16.0	16.3
Sm	4.3	4.5	3.7	3.8	3.3	3.4	3.4	3.5	3.4	3.4
Eu	1.12	1.14	0.88	0.90	0.85	0.80	0.84	0.87	0.83	0.84
Gd	4.3	4.5	3.9	4.1	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.3
Tb	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5
Dy	4.3	4.6	4.2	4.5	3.3	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3
Ho	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Er	2.6	2.7	2.6	2.8	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0
Tm	0.39	0.41	0.39	0.42	0.30	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31
Yb	2.7	2.8	2.6	2.8	2.1	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2
Lu	0.44	0.45	0.42	0.45	0.36	0.38	0.36	0.38	0.37	0.38
Hf	3.3	3.5	3.5	3.6	3.5	3.6	3.5	3.6	3.6	3.6
Ta	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5
Tl	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4
Pb	14	16	12	12	15	18	16	14	16	16
Th	6.6	6.9	7.1	7.3	6.9	7.2	7.1	7.4	7.3	7.4
U	1.5	1.7	1.7	1.8	1.7	1.8	1.7	1.8	1.8	1.8

軽石円礫は Eu の負の異常が大きいいし、PFD2 の本質軽石 (SKA4~SKA8) は全体に重 REE に乏しい傾向が認められる。これらは、3 者が異なる起源物質に由来することを意味するのであろう。PFD2 の本質軽石 (SKA4~SKA8) は主成分では層序方向の組成変化が顕著なもの

の、REE 組成ではその違いが認められない。

5. 火山ガラスの主成分化学組成

桜島火山のテフラのうち、特に下位層準のものは風化が進んでおり、全岩化学組成分析に適した軽石試料が採

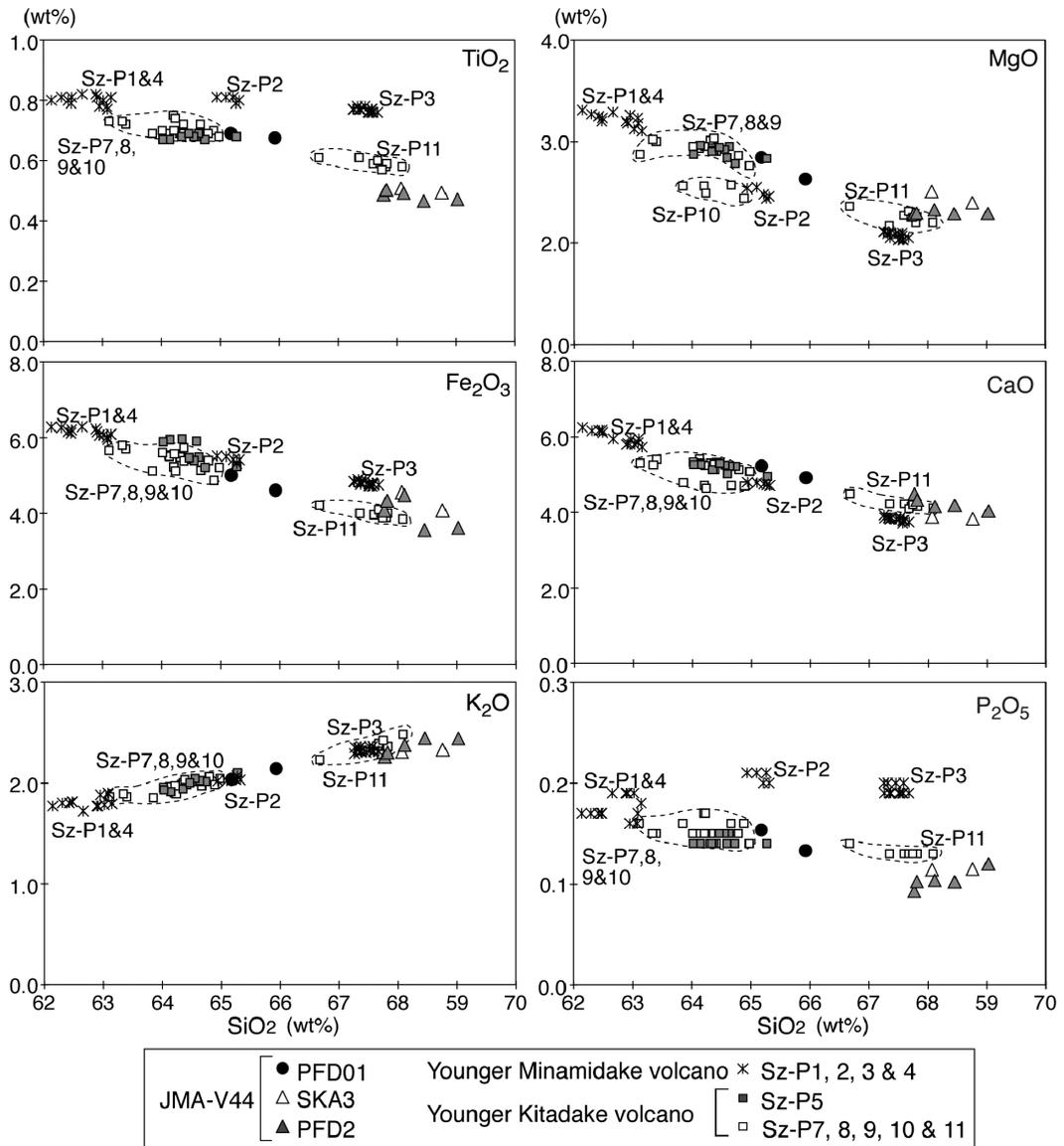


Fig. 4. Bulk major element variations of pumices in the Yokoyama core (JMA-V44). SiO_2 versus TiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , CaO , K_2O and P_2O_5 . Data for the pumices of Younger Minamidake and Younger Kitadake volcanoes are taken from Takahashi *et al.* (2011).

取できないものもある。そこで、このようなテフラについては含まれる火山ガラス片の主成分組成をエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 (EDX) によって分析し、粉碎した PDF1 の本質軽石 (SKA1・SKA2) との組成との比較を行った (Table 3)。Sz-P14 (桜島薩摩テフラ) の露頭は鹿児島市吉野町 (31° 38' 54" N, 130° 34' 14" E; Fig. 6) にあり、良く成層した層厚 130 cm の P14 を 7 層準に対して試料を採取している。Sz-P7, P13, P17 の露頭は垂水市堀

木の高峠 (31° 31' 10" N, 130° 46' 32" E; Fig. 6) にあり、同露頭の詳細は森脇 (1996a) により記載されている。

6. 考 察

6-1 化学組成の特徴

桜島火山から噴出した溶岩・火砕物は、中カリウム系列の安山岩～デイサイトからなる。その組成は噴出時期により明瞭に異なっており、新期北岳火山はデイサイト、

Table 3. Chemical compositions of volcanic glasses.

Major-elements are measured by EDX. Ave = average; n = number of measured grains; σ = standard deviation.

Unit	(wt%)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	total
PDF1	Ave (n = 22)	74.22	0.45	13.11	2.15	0.41	2.07	4.01	3.59	100.00
	σ	0.67	0.05	0.37	0.25	0.15	0.28	0.16	0.15	
Sz-P14	Ave (n = 28)	74.35	0.40	13.13	1.87	0.43	2.22	4.10	3.50	100.00
	σ	0.14	0.03	0.15	0.06	0.02	0.05	0.10	0.06	
Sz-P7	Ave (n = 9)	72.60	0.62	13.75	2.76	0.56	2.53	3.92	3.26	100.00
	σ	0.69	0.05	0.84	0.08	0.03	0.09	0.11	0.13	
Sz-P13	Ave (n = 8)	72.60	0.54	14.10	2.38	0.57	2.53	4.13	3.15	100.00
	σ	0.57	0.05	0.67	0.12	0.05	0.15	0.10	0.10	
	Ave (n = 3)	67.25	0.52	20.67	2.25	0.48	2.80	3.68	2.35	100.00
	σ	1.31	0.13	3.07	0.48	0.04	1.53	0.87	0.07	
Sz-P15		67.20	0.85	14.44	5.12	1.31	4.27	4.36	2.45	100.00
		53.09	0.31	0.91	20.95	23.30	1.38	0.03	0.02	100.00
Sz-P17		70.91	1.03	12.54	5.03	0.95	2.89	3.74	2.91	100.00
		67.99	0.89	15.29	4.09	0.71	4.36	4.22	2.44	100.00
		68.44	0.81	15.39	3.83	0.50	4.23	4.38	2.42	100.00
		67.98	0.80	15.27	4.42	0.61	4.39	4.13	2.40	100.00

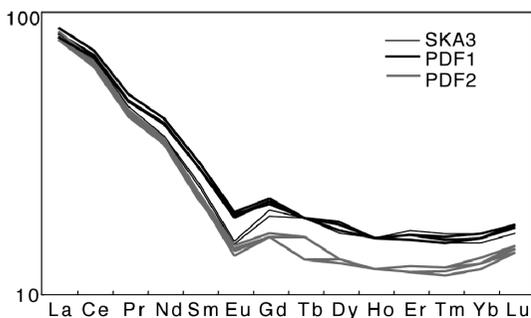


Fig. 5. Chondrite-normalized rare earth element patterns for pumices in the Yokoyama core. Chondrite-normalized values are after Sun and McDonough (1989).

古期南岳火山は安山岩, 新期南岳火山の天平宝字噴火では安山岩~デイサイト, 文明噴火で最も珪長質なデイサイトが噴出した後, 安永噴火からは噴出物の SiO₂含有量が減少するようになり, 大正・昭和噴火では安山岩が噴出している(山口, 1975). また, 同じ SiO₂量で比較した場合, 新期南岳火山噴出物は, 新期北岳火山・古期南岳火山噴出物に比べ, K₂O などの液相濃集元素には差は認められないものの, 系統的に TiO₂, FeO, Na₂O, P₂O₅に富む傾向が顕著である(高橋・他, 2011; Takahashi *et al.*, 2013; 宇都・他, 2005).

PDF1の本質軽石(SKA1・SKA2)の全岩主成分組成は, 他の桜島起源の軽石の組成(高橋・他, 2011)と比較すると, 明らかに低 Ti・P を示す新期北岳の組成トレンド

上にある(Fig. 4). ただし, P5~P11の組成はPDF1の本質軽石のそれとは一致せず, その SiO₂含有量は Sz-P5~P10 と Sz-P11 との間にある. 一方, 全岩化学組成分析の出来ない他の桜島テフラとの比較のために行った SKA1・SAK2 の粉砕火山ガラス片の SiO₂含有量は, 72.8~75.3 wt% と分散するものの, そのうち約 50% は SiO₂含有量 74.1~74.6 wt% 範囲に集中する(Fig. 7). 測定した地表のテフラでは, Sz-P14 火山ガラス片の SiO₂含有量が 74.0~74.6 wt% と SKA1・SAK2 と極めて良く一致するのに対して, Sz-P7, P13, P17 火山ガラス片の SiO₂含有量は 73.3 wt% 以下と, SKA1・SAK2 とは明らかに組成が異なっている(Fig. 7). SKA1 と SAK2 の組成範囲が Sz-P14 火山ガラス片よりも大きな理由としては, SKA1 と SAK2 の石基ガラス中にある微斑晶のためであろう. いずれにせよ, 火山ガラスの主成分化学組成からはコア中の PDF1 が, 地表に分布する Sz-P14 に対比可能であることを示唆している.

PDF2の本質軽石(SKA4~SKA8)とSKA3の軽石円礫は, 新期南岳や新期北岳噴出物よりも更に TiO₂, P₂O₅に乏しく, 逆に MgO に富んでいる(Fig. 4). 桜島南麓や東麓のボーリングコア試料を検討した宇都・他(2005)は, 地下に伏在する古期北岳火山噴出物の組成が, 新期南岳火山噴出物に類似することを示している. また, REE パターンも PDF1 と SKA3・PDF2 では明瞭に異なっている(Fig. 5). 従って, 今回のコアで捉えた PDF2の本質軽石とSKA3の軽石円礫は, 桜島火山の組成範囲からは大きく外れたものであることは明らかである.

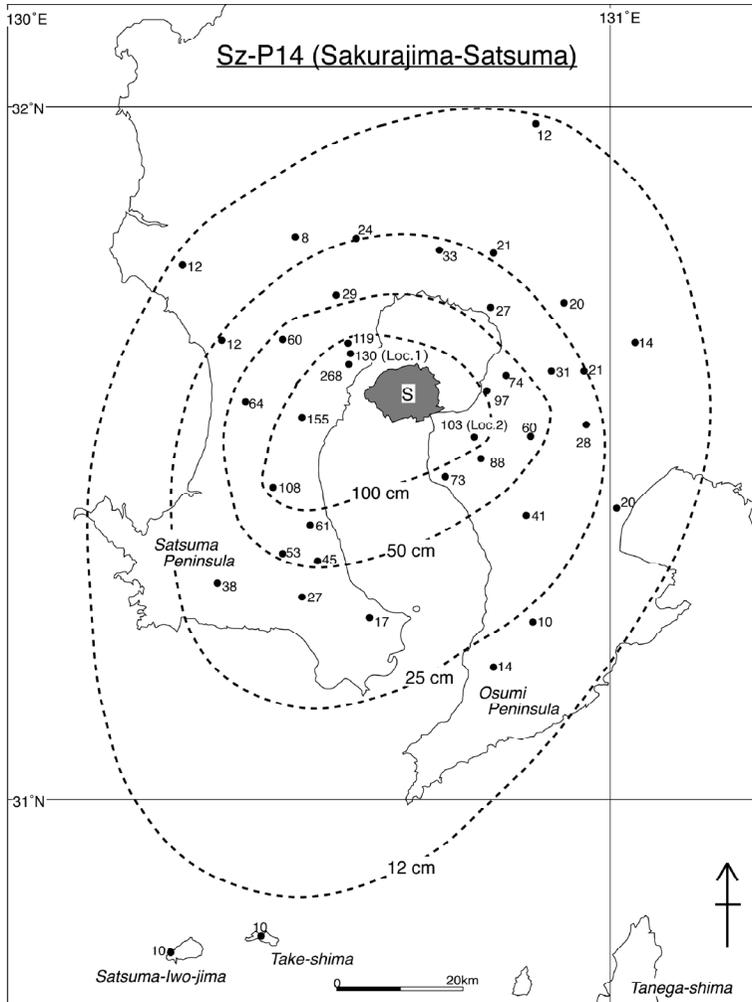


Fig. 6. Distributions of Sz-P14 (Sakurajima-Satsuma) tephra from Younger Kitadake volcano. Modified from Kobayashi and Tameike (2002) and Kobayashi *et al.* (2013). Numerals are thickness in cm. S = Sakurajima volcano.

6-2 コア層序の解釈

横山コアの層序は、上位から北岳扇状地堆積物、海成層、火砕流堆積物 (PFD1)、海成層、火砕流堆積物 (PFD2) からなる。PFD1 の層厚は約 10 m で粗粒な石質角礫を含むことから、比較的近傍で起きた爆発的噴火の産物であることは確実である。また、軽石と石質岩片が分離した密度級化構造が顕著であることと、基質に火山灰が少なく淘汰の良いことから、海底に定置したものと考えられる。PFD1 本質軽石の化学組成の特徴は、これが新期北岳のマグマに由来し (Fig. 5)、かつ Sz-P14 との一致が良い (Fig. 7) ことを示している。1.28 万年前の Sz-P14 は、新期北岳の最初の噴出物で、その見かけ体積は約 11 km³ と桜島火山では最大規模であった (小林・溜池、

2002)。桜島から 10 km の範囲には火砕サージが到達しているほか、降下火砕物は南九州だけでなく、沖合の薩摩硫黄島と竹島にも分布し (Fig. 6)、東シナ海で採取されたコア中 (Moriwaki *et al.*, 2011) にも見いだされている。PFD1 を Sz-P14 の給源近傍相と考えると、その上位から始まる扇状地の形成は (Fig. 3)、火山島としての新期北岳の成長を示すものとなる。また、PFD1 の岩相は水底定置を示していること、始良カルデラ周辺の Sz-P14 は火砕サージが卓越することから、この噴火は浅海もしくは海岸部で起きた可能性が大きい。PFD1 に多く含まれる安山岩の類質角礫は、宇都・他 (2005) が南麓や東麓のコアで確認した古期北岳の噴出物に由来するとみられ、Sz-P14 噴火前には今の桜島の位置にある程度の火山

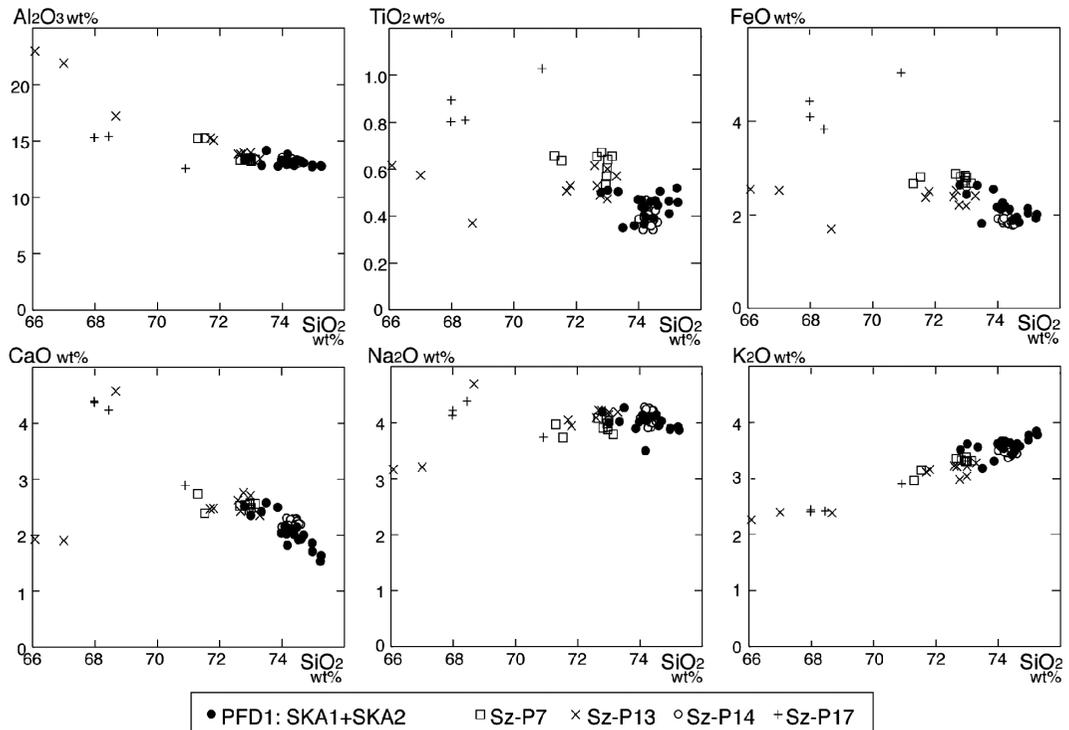


Fig. 7. Volcanic glass compositions for PFD1 in the Yokoyama core and the tephra units (Sz-P7, P13, P14 and P17) from Kitadake volcano. SiO_2 versus TiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O and K_2O . All data are normalized to 100 %.

体を形成していたのであろう。

一方、PFD2には溶結構造が認められることから陸上に定置したものと考えることが出来る。その分布深度(海拔-33~-60m)を考えると、PFD2は氷期の低海面時に形成されたものか、定置後の沈降運動により、今の海面下に没したものと考えerる必要がある、更に今回行ったPFD2本質軽石の全岩化学組成分析の結果は、これが桜島火山噴出物とは別のマグマに由来するものであることを示唆している。横山コア掘削地点の直ぐ西には先始良カルデラの火砕流堆積物からなる袴腰の台地が位置しており(福山, 1978)、PFD2もこのような始良カルデラや桜島火山の基盤を構成する地層に属していると考えerるのもっともらしい。地表の袴腰には約24万年前の阿多鳥浜火砕流堆積物が露出するので(森脇, 1996b)、地下のPFD2は更に古いものであろうと予想されるが、具体的な噴出年代については分かっていない。一方、始良カルデラ底の平均水深は約140mであるので、基盤であるPFD2は地形的にはカルデラ壁の一部とみなせる。そうすると、カルデラの陥没構造の縁は袴腰と横山掘削地点を結ぶラインよりも北にあることが確実となろう。

7. まとめ

桜島西山麓で気象庁により掘削された横山コアの岩相と含まれる軽石の化学組成の特徴から以下のことを明らかにした。1) 横山コアの深度1.30mから49.60mまでは、土石流・高密度洪水流堆積物からなる新期北岳火山の扇状地堆積物である。2) 海成層を挟んで深度59.60mから69.34mまでは、新期北岳開始時のSz-P14(桜島薩摩テフラ)の給源近傍相である火砕流堆積物からなる。3) 海成層を挟んで深度73.22mから孔底の100.60mまでは、桜島火山や始良カルデラの基盤を構成する火砕流堆積物からなる。4) 基盤の地層は桜島西端の袴腰にも露出しており、カルデラの陥没構造の縁は袴腰と横山掘削地点を結ぶラインよりも北に伏在する。

謝 辞

ボーリングコアは気象庁から提供されたものであり、火山噴火予知連絡会コア解析グループ事務局の方々、産総研のコアライブラリー担当者にはコアの一次記載で便宜を図っていただいた。また、査読者である宮緑育夫さんと匿名の方のご意見は、本稿を改善する上で有益であった。ここに感謝いたします。

引用文献

- 福山博之 (1978) 桜島火山の地質. 地質雑, **84**, 309-316.
- 福山博之・小野晃司 (1981) 桜島火山地質図. 地質調査所.
- 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, 403 p.
- 小林哲夫 (1986) 桜島火山の形成史と火砕流. 文部省科学研究費自然災害特別研究, 計画研究成果報告書「火山噴火に伴う乾燥粉体流 (火砕流等) の特質と災害」, 137-163.
- Kobayashi, T., Ishihara, K., Hirabayashi, J. and Ohsumi Work Office of Ministry of Contraction (1988) Scientific guide for Sakurajima Volcano. In: Aramaki, S., Kamo, K., and Kamada, M. (eds) *A guide book for Sakurajima Volcano*. Kagoshima International Conference on Volcanoes, 1-73. An attached Geological map of Sakurajima volcano 1: 50, 000 by T. Kobayashi.
- 小林哲夫・溜池俊彦 (2002) 桜島火山の噴火史と火山災害の歴史. 第四紀研究, **41**, 269-278.
- 小林哲夫・味喜大介・佐々木 寿・井口正人・山元孝広・宇都浩三 (2013) 桜島火山地質図 (第2版). 産総研地質調査総合センター.
- 森脇 広 (1994) 桜島テフラ層序・分布と細粒火山灰の層位. 文部省科学研究費 (一般研究 C) 研究成果報告書「鹿児島湾周辺における第四紀後期の細粒火山灰に関する古環境学的研究」, 1-20.
- 森脇 広 (1996a) 大隅半島高峠に分布する後期更新世・完新世テフラ層—桜島火山起源のテフラ—. 日本第四紀学会第四紀露頭集編集委員会編, 第四紀露頭集-日本のテフラ. 日本第四紀学会, 310-310
- 森脇 広 (1996b) 桜島西袴腰台地を構成する更新世テフラ. 日本第四紀学会第四紀露頭集編集委員会編, 第四紀露頭集-日本のテフラ. 日本第四紀学会, 309-309.
- Moriwaki, H., Suzuki, T., Murata, M., Ikehara, M., Machida, H. and Lowe, D.J. (2011) Sakurajima-Satsuma (Sz-S) and Noike-Yumugi (N-Ym) tephra: New tephrochronological marker beds for the last deglaciation, southern Kyushu, Japan. *Quaternary International*, **246**, 203-212.
- Okuno, M., Nakamura, T., Moriwaki, H. and Kobayashi, T. (1997) AMS radiocarbon dating of the Sakurajima tephra group, Southern Kyushu, Japan. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **B123**, 470-474.
- 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.
- Sun, S.-s. and McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In *Migmatism in the Ocean Basins* (Saunders, A.D., Norry, M.J. eds.). *Geological Society Special Publication*, **42**, 313-345.
- 高橋正樹・大塚 匡・川俣博史・迫 寿・安井真也・金丸龍夫・大槻 明・島田 純・厚地貴文・梅澤孝典・白石哲朗・市来祐美・佐竹 紳・小林哲夫・石原和弘・味喜大介 (2011) 桜島火山および始良カルデラ噴出物の全岩化学組成—分析データ583個の総括—. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **46**, 133-200.
- Takahashi, M., Otsuka, T., Sako, H., Kawamata, H., Yasui, M., Kanamaru, T., Otsuki, M., Kobayashi, T., Ishihara, K. and Miki, D. (2013) Temporal variation for magmatic chemistry of the Sakurajima volcano and Aira caldera region, Southern Kyushu, Southwest Japan since 61 ka and its implications for the evolution of magma chamber system. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, **58**, 19-42.
- 宇都浩三・味喜大介・Nguyen, H.・周藤正史・福島大輔・石原和弘 (2005) 桜島火山マagma化学組成の時間変化. 京都大学防災研究所年報, **48 B**, 341-347.
- 山口鎌次 (1975) 桜島火山の研究. 日本地学教育学会, 東京, 128 p.

(編集担当 長谷部徳子)