

古地磁気と全岩化学組成からみた 桜島火山観測井ボーリングコア中の溶岩の対比

味喜大介・宇都浩三*・周藤正史**・石原和弘

*産業技術総合研究所

**ポツダム大学

要 旨

桜島火山の観測井ボーリングコア中の溶岩や地表に露出する溶岩について蛍光 X 線法による主要元素組成分析を行った。これらの溶岩の主要元素組成は、コアの全長にわたって一様であったハルタ山観測井を除いて、コア内での古地磁気学的な区分および対比された地表溶岩ごとにより一致を示す。桜島北東に位置する新島観測井下部の溶岩の化学組成は、地表に噴出した安永溶岩よりは安永諸島溶岩に近い。また、リンやチタンの含量の多寡には噴出時期によって一定の傾向が見られる。

キーワード：全岩化学組成，古地磁気学，火山活動史，桜島火山，ボーリングコア

1. はじめに

活動的な火山において、過去数万年間における噴火の歴史を明らかにすることは、火山噴火の中長期予測および噴火災害予測のために重要である。桜島火山においても、このような研究は、主として火山砕屑物（テフラ）層の層序学的研究や、噴出物中あるいはその上下に存在する炭化木片や土壌の ^{14}C 年代測定を基に進められてきた（例えば Okuno, 1997）。しかし、溶岩を流出するような噴火については、噴出物（溶岩）中に ^{14}C 年代測定を適用できる炭化木片などを発見できることはまれで、また、溶岩試料を直接用いる他の放射年代測定法では、数万年より若い年代を正確に測定することは困難であった。味喜（1999）は、桜島の地表に露出する南岳の溶岩流について古地磁気方位・強度測定結果と既知の地磁気永年変化との比較による年代推定を行い、最近 1 万年程度の若い溶岩の噴出年代の推定にこの方法が有効であることを示した。

桜島火山では、いくつかの火山観測井が掘削されており、桜島火山の発達史や地下構造を知る上で貴重な岩石試料が得られている。Fig.1 にこれらの観測井の位置を示した。近年、我々は、これらのボーリ

ングコア試料について、K-Ar 年代測定と古地磁気学的年代推定の組み合わせによって高精度の年代決定や地表溶岩との対比を行うことを試みている。これまでに、桜島東部の黒神観測井（標高 62m、掘進長 381m）、桜島南部の古里観測井（標高 100m、掘進

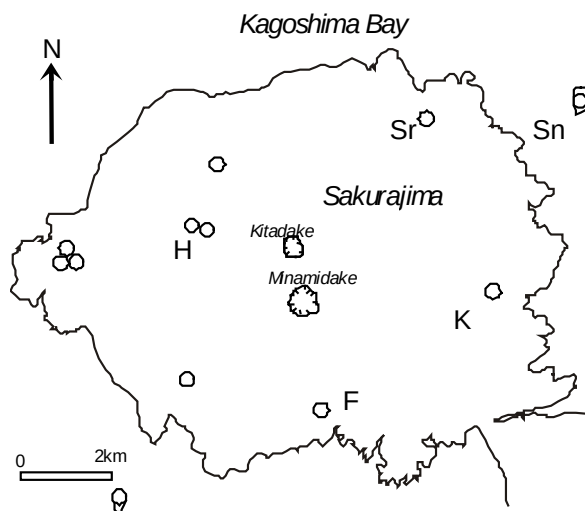


Fig. 1 Location of observation wells in Sakurajima volcano. Sr: Shirahama, K: Kurokami, F: Furusato, H: Harutayama, Sn: Shinjima

長 102m), 桜島北西部中腹のハルタ山観測井(標高 342m, 掘進長 305m)とその東南方約 180m に位置するハルタ山ガス観測井(標高 407m, 掘進長 408m), および桜島北部の白浜観測井(標高 126m, 掘進長 122m)のコア中の溶岩試料について, 古地磁気測定や K-Ar 年代測定を行い, 噴出年代の推定やコアと表層地質の対比を試みてきた(宇都ら, 1999; 味喜ら, 2000; 味喜ら, 2001 など)。今回, これらのコアや地表に露出する溶岩のいくつかについて蛍光 X 線法による全岩化学組成分析を行い, その結果を併せてこれまでに得られた知見を再検討したので報告する。

2. 古地磁気からみた観測井コア中の溶岩

桜島火山の観測井ボーリングコア中の溶岩の古地磁気測定や K-Ar 年代測定の結果から, これまでに得られた成果を Table.1 に示した。

黒神観測井の-105m 以浅は, 3 枚のフローユニットからなる溶岩である。宇都ら(1999)は, この溶岩

の古地磁気伏角・強度が深度によらず約 50° および約 58 μ T と互いによく一致することを見だし, 8 世紀後半または 2 世紀頃という古地磁気学的推定年代を得た。この古地磁気伏角・強度は, 地表に露出する長崎鼻溶岩(AD764)とよく一致することから, 同観測井-105m 以浅の溶岩は長崎鼻溶岩と一連の噴出物であると考えられる。また, 同観測井最下部の-352m の安山岩質角レキから 30 $\pm$ 5ka の K-Ar 年代が得られた。

白浜観測井は安永溶岩の分布域に位置し, 表層約 2m の火山灰層の下は, 深度-102m から-109m までのコア未回収の部分をはさんで孔底まで溶岩が分布する。上部の-102m 以浅の溶岩は 3-4 枚のフローユニットからなり, ユニット境界部で乱れがあるが, いずれも約 40°の古地磁気伏角を示す。下部の-109m 以深の溶岩の古地磁気伏角は約 59°であった。これらはそれぞれ地表に露出する安永溶岩および割石崎溶岩の古地磁気伏角とよく一致する(味喜ら, 2001)。

ハルタ山観測井コアおよびハルタ山ガス観測井コアは, 300m を超えるコアのほぼ全長が 4 枚の溶岩

Table 1 Characteristics of lavas of borehole cores in Sakurajima volcano

Borehole		Paleomagnetism	K-Ar age	Chemical composition	Correlatable lava on geosurface
Kurokami altitude 62m depth -382m	<105m	inc. ~50° int. ~58 μ T (late 8c, 2c)	1 $\pm$ 6ka (73m) 2 $\pm$ 7ka (75m)	SiO ₂ 62.9wt% P ₂ O ₅ 0.17wt% (24m) TiO ₂ 0.80wt%	Nagasakibana lava (AD764)
	>105m rubble		30 $\pm$ 5ka (352m)	SiO ₂ 63.6wt% P ₂ O ₅ 0.18wt% (227m) TiO ₂ 0.75wt%	(near caldera formation ?)
Furusato altitude 100m depth -102m	<54m	inc. ~44° int. ~40 μ T (2 or 3 ka)		SiO ₂ 62.2-62.8wt% P ₂ O ₅ 0.14-0.15wt% TiO ₂ 0.72-0.74wt%	Minamidake Younger lava ?
	>61m	inc. ~30° (>10ka?)	38 $\pm$ 12ka (98m)	SiO ₂ 63.9-64.2wt% P ₂ O ₅ 0.19-0.20wt% TiO ₂ 0.80-0.82wt%	(near caldera formation ?)
Shirahama altitude 126m depth -122m	<102m	inc. ~40°		SiO ₂ 65.0-66.7wt% P ₂ O ₅ 0.19-0.21wt% TiO ₂ 0.80-0.84wt%	An'ei lava (AD1771-1779)
	>109m	inc. ~59°		SiO ₂ 65.7wt% P ₂ O ₅ 0.14wt% (113m) TiO ₂ 0.68wt%	Wriishizaki lava
Shinjima altitude 9m depth -393m	>332m			SiO ₂ 63.9wt% P ₂ O ₅ 0.21wt% (347m) TiO ₂ 0.86wt%	An'ei Islands lava (AD1771-1779)
Harutayama altitude 342m depth -305m		varied inc. (~45-60°)	33 $\pm$ 18ka (84m) 7 $\pm$ 6ka (289m) 5 $\pm$ 5ka (306m)	SiO ₂ 66.6-67.6wt% P ₂ O ₅ 0.14-0.16wt% TiO ₂ 0.61-0.65wt%	
Harutayama Gas altitude 407m depth -408m		relatively uniform inc. (~51-58°)			

流で占められ、ハルタ山観測井コアでは約 $45\text{--}60^\circ$ の古地磁気伏角が得られた。ハルタ山ガス観測井コアではハルタ山観測井ほど大きな伏角の差は見られなかったが (Table 1), 味喜ら (2000) は、ハルタ山観測井で見られた大きな伏角の差を重視し、これらの溶岩流は少なくとも 100 年程度以上の間に複数回にわかれて流出したものと考えた。また、同観測井の-306m からは $5\pm 5\text{ka}$ の K-Ar 年代が得られ、これらの溶岩は過去 1 万年以内に噴出したと考えられる (味喜ら, 2000; 周藤ら, 2001)。

古里観測井コアは-54m から-61m に堆積層をはさみ、その上下は溶岩である。上部の-54m 以浅の溶岩は約 44° の古地磁気伏角と約 $40\mu\text{T}$ の古地磁気強度を示し、2 または 3ka という古地磁気学的推定年代が得られた (味喜ら, 2000)。一方、同観測井の-61m 以深からは過去約 1 万年の地磁気永年変化にはみら

れない約 30° の低伏角と $38\pm 12\text{ka}$ の K-Ar 年代を得た。これは黒神観測井最下部の安山岩レキから $30\pm 5\text{ka}$ の K-Ar 年代が得られたこととともに、始良カルデラ形成前後に安山岩質の火成活動があったことを示すものである。

3. 全岩化学組成

前述のコアと地表溶岩、および桜島北東の新島に位置する新島観測井の-347m の溶岩、また鹿児島市北部の吉野台地域に分布する竜ヶ水安山岩や大崎鼻安山岩など先始良カルデラ火山岩類 (宇都ら, 1997) のうちの安山岩類の合計約 40 試料について、粉末蛍光 X 線法による全岩主要元素組成分析を行った。Table 2 および Fig.2 にその結果を示す。以下では分析結果は合計が 100% になるように規格化した酸化

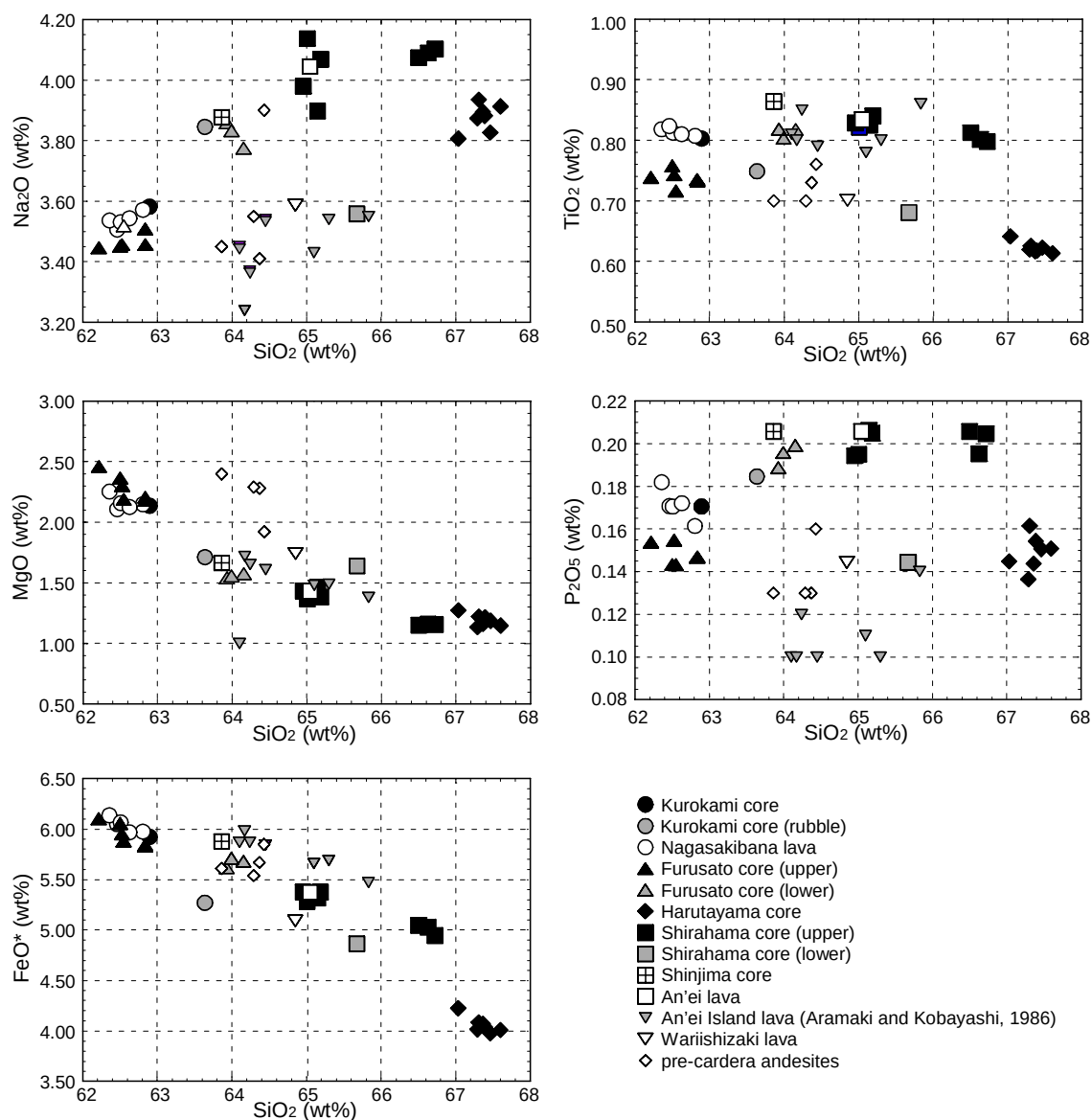


Fig. 2 Chemical compositions of lavas around Sakurajima volcano

物の重量%で表記する。

今回分析した桜島の試料の SiO₂ 含量は 62-68%で、ハルタ山観測井と白浜観測井の上部を除く前述のコアと地表に露出する溶岩の化学組成は、Table 1 に示した古地磁気学的区分ごとに分析誤差の範囲内で一様であった。白浜観測井の-40m から-84m に分布するフローユニットは、その上下のフローユニットに比べて、SiO₂ 含量が 1.5%程度高いなどやや異なる化学組成を示す。一方、ハルタ山観測井コア 7 試料の化学組成は、コアの全長にわたって一様であり、SiO₂ が約 67%と今回分析した中では最も高い。

また、新島観測井の-347m の溶岩の組成は、地表に露出する安永溶岩よりやや SiO₂ に乏しいなど、公表されている安永諸島溶岩の組成(荒牧・小林, 1986)により近い (Fig. 2)。

さらに、今回分析した溶岩には、その P₂O₅ や TiO₂ 含量が相対的に多いものと少ないものが認められる。例えば P₂O₅ では、白浜観測井上部や安永溶岩、古里観測井下部などの 0.20%前後に対し、ハルタ山観測井、古里観測井上部、白浜観測井下部や割石崎溶岩、および先カルデラ安山岩類では 0.15%前後であり、黒神観測井上部と長崎鼻溶岩は 0.17%前後と上の両

Table 2 Chemical compositions of lavas around Sakurajima volcano (wt.%)

Sample ID (depth)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Kurokami core										
-24.1m	62.90	0.80	16.60	5.92	0.13	2.14	5.90	3.58	1.86	0.17
-227.3m rubble	63.64	0.75	17.09	5.27	0.11	1.71	5.51	3.85	1.89	0.18
Furusato core										
-19.8m	62.22	0.74	16.83	6.10	0.14	2.46	6.12	3.45	1.81	0.15
-25.4m	62.50	0.76	16.75	6.06	0.14	2.37	5.94	3.45	1.87	0.14
-43.3m	62.55	0.72	17.03	5.88	0.13	2.19	6.04	3.52	1.79	0.14
-46.5m	62.53	0.74	16.88	5.95	0.14	2.30	6.02	3.46	1.83	0.15
-50.6m	62.84	0.74	16.80	5.83	0.15	2.21	5.93	3.51	1.86	0.15
-53.3m	62.84	0.73	16.88	5.84	0.15	2.18	5.93	3.46	1.84	0.15
-82.4m	63.93	0.82	16.72	5.62	0.15	1.54	5.34	3.86	1.84	0.19
-93.3m	64.16	0.82	16.49	5.68	0.15	1.57	5.32	3.77	1.86	0.20
-97.8m	64.00	0.80	16.49	5.71	0.14	1.56	5.42	3.83	1.85	0.20
Harutayama core										
-54.0m	67.46	0.62	16.13	3.98	0.11	1.18	4.21	3.83	2.34	0.15
-71.0m	67.39	0.62	16.03	4.04	0.12	1.21	4.21	3.88	2.34	0.15
-83.6m	67.03	0.64	16.04	4.23	0.12	1.27	4.37	3.81	2.35	0.14
-149.5m	67.31	0.63	16.02	4.09	0.12	1.22	4.20	3.94	2.33	0.16
-222.1m	67.60	0.61	15.94	4.01	0.11	1.15	4.14	3.91	2.37	0.15
-289.2m	67.36	0.62	16.03	4.07	0.11	1.16	4.22	3.89	2.37	0.14
-305.6m	67.29	0.62	16.26	4.01	0.10	1.13	4.20	3.87	2.37	0.14
Shirahama core										
-10.4m	65.15	0.83	16.06	5.32	0.14	1.46	4.76	3.90	2.19	0.21
-17.6m	65.19	0.84	15.92	5.38	0.13	1.38	4.79	4.07	2.10	0.20
-42.9m	66.50	0.81	15.57	5.05	0.13	1.15	4.21	4.07	2.30	0.21
-46.1m	66.63	0.80	15.51	5.03	0.13	1.16	4.10	4.09	2.34	0.20
-79.9m	66.72	0.80	15.50	4.95	0.13	1.16	4.11	4.10	2.33	0.20
-88.7m	65.01	0.82	16.14	5.28	0.13	1.37	4.80	4.14	2.10	0.20
-100.9m	64.95	0.83	16.20	5.38	0.14	1.43	4.80	3.98	2.11	0.19
-112.6m	65.67	0.68	16.27	4.86	0.13	1.64	4.80	3.56	2.24	0.14
Shinjima core										
-346.9m	63.86	0.86	16.32	5.88	0.15	1.67	5.28	3.88	1.91	0.21
Nagasakibana lava										
MIKI-NGB-N0	62.46	0.82	16.80	6.05	0.13	2.11	6.13	3.51	1.82	0.17
MIKI-NGB-N1	62.81	0.81	16.60	5.98	0.13	2.15	5.92	3.57	1.88	0.16
KOBA-NGB-1	62.36	0.82	16.72	6.14	0.13	2.25	6.04	3.54	1.82	0.18
KOBA-NGB-2	62.51	0.81	16.77	6.07	0.13	2.16	6.04	3.53	1.81	0.17
KOBA-NGB-3	62.63	0.81	16.74	5.97	0.13	2.13	6.06	3.54	1.82	0.17
An'ei lava										
KAG0105	65.04	0.83	16.00	5.37	0.14	1.43	4.84	4.05	2.11	0.21
Wariishizaki lava										
KAG0104A	64.85	0.70	16.59	5.09	0.13	1.74	5.03	3.59	2.13	0.14
Osakibana andesite										
KAG9803	64.43	0.76	15.74	5.85	0.12	1.92	5.41	3.90	1.71	0.16
Ryugamizu andesite										
KAG0101	64.37	0.73	16.38	5.67	0.11	2.28	4.73	3.41	2.17	0.13
KAG0102	64.29	0.70	16.10	5.54	0.11	2.29	5.13	3.55	2.14	0.13
KAG0103	63.86	0.70	16.42	5.61	0.11	2.40	5.26	3.45	2.06	0.13

者の中間的な値を示す。

4. 考察

これまで述べてきた、観測井ボーリングコア中の溶岩の古地磁気学および化学的特徴を Table 1 にまとめて示した。ハルタ山観測井と白浜観測井の上部を除いて、古地磁気から区分されたコア中溶岩やそれと対比された地表溶岩ごとにその化学組成が一致することは、これらの区分や対比の妥当性を支持する。白浜観測井の-102m 以浅では、中位のフローユニットの化学組成がその上下のフローユニットとやや異なるが、-102m 以浅全体にわたって様な古地磁気伏角を示すことから、これらは一連の、おそらく安永噴火の噴出物と考えられる。一方、ハルタ山観測井コアの化学組成が一様であることや、ハルタ山ガス観測井コアではハルタ山観測井ほど古地磁気伏角の変化がコアの全長にわたって大きくないことを考えると、同観測井の4枚の溶岩流は一連の噴火で形成された可能性がある。

また、新島観測井下部の溶岩の組成が安永諸島溶岩に類似していることは、安永噴火時の新島や安永諸島の形成が、桜島の南北山腹から流出した溶岩とは別に海洋部地下に貫入したマグマによるものである可能性を示唆する。

今回主要元素組成分析を行った溶岩の P_2O_5 や TiO_2 含量が相対的に多いものと少ないものがあることはすでに述べたが、これらの噴出時期をみると、 P_2O_5 や TiO_2 含量が少ない古里観測井下部、ハルタ山や割石崎溶岩は、それぞれ南岳起源の先史溶岩や北岳の山体を構成する溶岩であり、始良カルデラ西縁の0.5-1Maの安山岩類も P_2O_5 や TiO_2 含量が少ない。一方、安永溶岩など桜島の歴史溶岩と、古里観測井下部や黒神観測井下部の安山岩レキなど、始良カルデラ形成前後の K-Ar 年代が得られた溶岩は比較的高い P_2O_5 や TiO_2 含量を示す。始良カルデラ周辺および桜島の火成活動は、 P_2O_5 や TiO_2 の多寡からみて、先カルデラ火山岩類、始良火砕噴火とその前後の安山岩質マグマ活動、桜島火山の先史時代、および有史時代の噴火活動、という4つのステージに区分できるかもしれない。

5. まとめ

桜島火山の観測井掘削コアについて、蛍光 X 線法による全岩主要元素組成分析を行い、これまでに古地磁気測定や K-Ar 年代測定から得られた知見を再検討した。その結果、

[1] ハルタ山観測井を除いて、古地磁気からみたコア中溶岩の区分や地表溶岩との対比はこれらの溶岩の化学組成と調和的であり、その妥当性を支持する、

[2] ハルタ山観測井の4枚の溶岩流は、様な化学組成を示すことから一連の噴出物であった可能性がある。

[3] 新島観測井下部の溶岩は安永諸島溶岩に似た組成を示し、安永噴火時の新島や安永諸島の形成が、海洋部地下に貫入したマグマによるものである可能性を示唆する、

[4] 始良カルデラ周辺および桜島の火成活動は、 P_2O_5 や TiO_2 の多寡からみて、4つのステージに区分できるかもしれない、
ことが明らかになった。

謝 辞

本研究にあたり、京都大学防災研究所附属火山活動研究センターのスタッフ諸氏との議論は有益であり、また、野外調査等の便宜を図っていただきました。鹿児島大学理学部的小林哲夫助教授には長崎鼻溶岩の試料を提供していただきました。ここに記して厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 荒牧重雄・小林哲夫（1986）：始良カルデラ・桜島火山の噴出物の全岩組成と安永噴火，第5回桜島火山の集中総合観測，pp. 115-129.
- 宇都浩三・坂口圭一・寺岡易司・奥村公男・駒澤正夫（1997）：20万分の1地質図幅「鹿児島」，地質調査所.
- 宇都浩三・味喜大介・内海茂・石原和弘（1999）：桜島火山ボーリングコアの K-Ar 年代と古地磁気測定 ―火山活動史解明への複合的取り組み―，京都大学防災研究所年報，第42号 B-1，pp. 27-34.
- 周藤正史・宇都浩三・味喜大介・石原和弘（2001）：始良カルデラ周縁部に分布する火山岩の K-Ar 年代測定（続報）―カルデラ西縁，北西縁部，及び桜島火山の活動史―，京都大学防災研究所年報，第44号 B-1，pp. 305-316.
- 味喜大介（1999）：古地磁気方位・強度測定による桜島の溶岩流の年代推定，火山，第44巻，pp. 111-122.
- 味喜大介・宇都浩三・内海茂・石原和弘（2000）：桜島火山ボーリングコアの K-Ar 年代と古地磁気測定（続報），京都大学防災研究所年報，第43号 B-1，pp. 1-6.
- 味喜大介・宇都浩三・内海茂・石原和弘（2001）：

桜島火山白浜観測井ボーリングコアの古地磁気,
日本火山学会講演予稿集 2001 年度秋季大会, pp.
132.

Okuno, M. (1997): Accelerator mass spectrometric
radiocarbon chronology during the last 30.000 years

of the Aira Caldera, Southern Kyushu, Japan,
Summaries of Researches Using AMS at Nagoya
Univ., vol. 8, pp. 183-221.

Correlation of Lavas on Drilled Cores from the Sakurajima Volcano, Inferred from Paleomagnetic and Chemical Features

Daisuke MIKI, Kozo UTO*, Masamumi SUDO** and Kazuhiro ISHIHARA

*National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

** University of Potsdam

Synopsis

Whole-rock chemical composition of lavas are measured on drilled cores from observation wells in Sakurajima volcano. Chemical features are consistent with previously obtained paleomagnetic correlation, except the Harutayama observation well, at which a uniform chemical composition was found. A lava sample from bottom part of the Shinjima observation well showed similar chemical composition to the An'ei Islands lava. Studied lavas are possible to be divided into four eruptive stages by their P_2O_5 and TiO_2 contents and ages.

Keywords: chemical composition, paleomagnetism, volcanic history, Sakurajima volcano, drilled core