

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)

味喜大介・宇都浩三*・内海 茂*・石原和弘

*地質調査所地殻化学部

要 旨

桜島南岳南麓の古里, および桜島北西部中腹のハルタ山において, 掘削コア中の溶岩試料について K-Ar 年代測定と古地磁気測定を行ない, 噴出年代推定を試みた。古里観測井の上部の溶岩は 2ka または 3ka 頃に噴出した可能性が高い。同観測井最下部の安山岩溶岩からは 38 ± 12 ka の K-Ar 年代が得られ, この溶岩が始良カルデラ形成前後に噴出した可能性を示す。ハルタ山およびハルタ山観測井のコアの 4 枚の溶岩は, 5 千年より最近の複数回の噴火により流出した。

キーワード: K-Ar 年代測定, 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。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。桜島の成長史についても, テフラ層序と加速器質量分析計 ^{14}C 年代測定法の組み合わせによって詳細な研究が行われている(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。

最近, 我々は, 桜島火山の噴火活動史をより詳細に知るために, 桜島火山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精度の高い年代決定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コア上部の3枚の溶岩流が, 同観測井南西の地表に露出する長崎鼻溶岩とほぼ同時期(8世紀後半)に噴出したことを明らかにし, また, 同観測井最下部の安山岩塊から始良カルデラ形成前後を示す 30 ± 5 ka の K-Ar 年代値を得た。さらに, 桜島北西部中腹のハルタ山観測井コアについて, 予想的な測定結果を報告した(宇都ら, 1999)。その後我々は, ハルタ山観測井コアおよび同観測井の火口より約 180m に位置するハルタ山ガス観測井コアについてより詳細な古地磁気測定を行い, また, 桜島南部の古里観測井コアについて K-Ar 年代測定と古地磁気測定をおこなった。本稿ではその結果について報告する。

2. 火山観測井コア概要

Fig. 1 に火山観測井の分布を示す。今回, 測定対象としたのは, 桜島北西部のハルタ山観測井(標高 342m, 掘進長 305m), ハルタ山ガス観測井(標高 407m, 掘進長 408m), および桜島南部の古里観測井(標高 100m, 掘進長 102m)の掘削コアである。

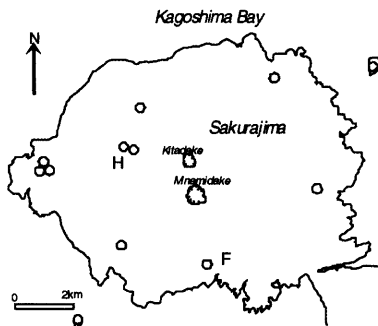


Fig. 1 Location of observation wells in Sakurajima volcano. F: Furusato, H: Harutayama.

両観測井のコア柱状図の概略を Fig. 2 および Fig. 3 に示す。

2.1 ハルタ山およびハルタ山ガス観測井

ハルタ山観測井およびハルタ山ガス観測井は、桜島西部中腹のハルタ山と呼ばれる丘にある、火山活動研究センターハルタ山観測室および同観測坑敷地内に掘削された。ハルタ山を作る高まりは、福山・小野 (1981) では軽石丘と考えられていたが、小林 (1986) は溶岩円頂丘と考えている。ハルタ山観測井コアについては宇都ら (1999) で既に述べたが、概略は以下の通りである。

地表から-12.0m までは降下軽石・火山灰で、その下孔底の-305.8m までの約 280m は、ほぼ連続して安山岩溶岩からなる。これらには、多孔質なクリンカー部や溶岩流上下部に多く見られる自破砕部が存在し、また、気泡の分布形態が系統的に変化する。このような特徴から、この安山岩溶岩は 4 枚の溶岩流により構成されていることが確認される。

同観測井から約 180m 火口よりのハルタ山頂上部に位置するハルタ山ガス観測井では、-23m から-353m まで安山岩溶岩が分布し、ハルタ山観測井で見られた 4 枚の溶岩流に対応する岩相変化が認められる。溶岩の下は、孔底まで火山砕屑物層である。

2.2 古里観測井

古里観測井は桜島南部の有村部落にあり、その地表には南岳の先史溶岩のうち比較的若い溶岩（以下では南岳新期溶岩と呼ぶ）が分布する (Kobayashi, 1988; 福山・小野, 1981)。同観測井コアにおいては、-9m 以深に安山岩溶岩があらわれ、-54.1m から-60.8m には主に火山砕屑物から成る堆積層が存

在しその下は孔底まで安山岩溶岩である。コアの連続性や岩相変化に乏しいため、フローユニットの判別は困難であるが少なくとも堆積層の上下の溶岩流の間にはある程度の時間間隔があるものと考えられる。

3. K-Ar 年代測定

従来、若い火山岩の K-Ar 年代測定は、放射起源 ^{40}Ar が十分な量蓄積しないことなどから困難であった。地質調査所においては、 ^{38}Ar スパイクを加えない感度法という手法を用い、さらに安定な $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比から初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比を推定する質量分別補正という手段により、より正確な年代測定を可能にした (Matsumoto *et al.*, 1989; 松本ら, 1989; 宇都, 1995)。これにより、2-3 万年より古い火山岩類について、誤差 10-20% 以内で年代を得ることが可能となった。カリウムの定量は、蛍光光度計を用いて行った (松本, 1989)。分析法の詳細は上記の文献や宇都ら (1999) を参照されたい。我々は、この手法を用いて、ハルタ山観測井および古里観測井のコア試料の年代測定を行った。

ハルタ山観測井コアの K-Ar 年代は宇都ら (1999) ですでに報告したとおり、一番下位の試料からもっとも分析誤差の小さい $1 \pm 4 \text{ ka}$ という値が得られ (Table 1)、同観測井の全ての溶岩は、95% 信頼限界を考えるならば最近の 1 万年以内に、しかし 65% の可能性では 5 千年以内に噴出したと推定することが可能である。

古里観測井コアからは、最下部の-97.8m の試料について K-Ar 年代測定を行った。大気混入率が 98.5% を超える高い値を示し、信頼性が高いとはいえないが、 $38 \pm 12 \text{ ka}$ という年代値を得た (Table 1)。

4. 古地磁気測定

以下では、各観測井のコア中の溶岩試料について行なった古地磁気測定について述べる。ボーリング・コアの場合、掘削時にコアが回転するため古地磁気偏角についての情報は失われてしまう。しかし、これらの観測井は主に地震計を設置する目的で掘削されたものであるため、コアの伸長方向の鉛直からのずれは 1° 以内と小さく、古地磁気伏角を精度良く求めることができる。今回、各観測井コアから採取した溶岩流試料について、段階消磁実験に基づく古地磁気伏角測定および古地磁気強度測定を行った。

Table 1 K-Ar ages for drilled cores from observation wells, Sakurajima volcano

KANo	Depth (m)	Sample ID	Weight (g)	K ₂ O (wt%)	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	³⁸ Ar/ ³⁶ Ar	⁴⁰ Ar/arrad (10 ⁻⁷ mlSTP/	Atm ⁴⁰ Ar (%)	Age(±1σ) (ka)
Harutayama observation well*									
98066	-83.6	HRT83.6	1.500	2.73	291.1± 0.4	0.1848± 0.0005	0.0283	99.3	32 ± 27
99002			1.584		291.3± 0.4	0.1848± 0.0005	0.0308	99.3	35 ± 26
								av.	33 ± 18
98064	-289.2	HRT289.2	1.504	2.64	299.7± 0.5	0.1868± 0.0015	0.0100	98.5	12 ± 12
99001			1.500		299.4± 0.6	0.1869± 0.0015	0.0045	98.7	5 ± 7
								av.	7 ± 6
98067	-305.6	HRT305.6	3.044	2.65	299.2± 0.4	0.1879± 0.0006	0.0011	99.8	1 ± 4
Furusato observation well									
98063	-97.8	FRS97.8	1.533	2.07	299.8± 0.4	0.1868± 0.0005	0.0261	98.5	39 ± 14
98065		FRS97.8	1.470	2.07	297.0± 0.4	0.1866± 0.0005	0.0223	99.2	33 ± 23
								av.	38 ± 12

$\lambda_K=4.962 \times 10^{-10}/y$, $\lambda_e=0.581 \times 10^{-10}/y$, $^{40}K/K=0.01167\%$ *Uto *et al.* (1999)

試料は上下が判別できるようにして実験室に持ち帰り、1個の試料から6個の円柱形の試料片を整形し、これらの試料片について、自然残留磁化(NRM)を測定した後、段階消磁実験や古地磁気強度測定を行った。段階消磁実験においては、各深度から2個の試料片について最大220mTまで14-22ステップの段階交流消磁、および、1個の試料片について、最大580-700°Cまで21-27ステップの段階熱消磁をおこない、その結果から最終的に安定な磁化成分の方位を最小二乗近似(Kirshvink, 1980)によって求めた。古地磁気強度測定は、段階消磁実験の結果を参考にして、古地磁気強度が求められる可能性のある試料を選び、それぞれの試料から各1個の試料片について、改良テリエ法(Thellier and Thellier, 1959; Coe, 1967; Coe *et al.*, 1978)を用いて行った。実験手順は味喜(1999)および宇都ら(1999)に詳述されている。これらの測定結果は、Fig. 2 および Fig. 3 に各コアの柱状図とあわせて示した。

ハルタ山においては、宇都ら(1999)で報告したのもも含めてハルタ山観測井コアから22試料、同ガス観測井コアから34試料を採取し、古地磁気測定を行った。古地磁気傾角はややばらつきはあるものの、両観測井とも、全体として下位のユニットで深く、上位のユニットで浅い傾向を示す(fig. 2)。最下位と下位から2番目のユニットでは、ユニット内で古地磁気傾角が緩やかに変化しており、この変化

の傾向は両観測井の対応するユニットで互いに調和的である。また、コア全体で古地磁気傾角は約50°から60°の範囲にあり、10°程度の範囲で変化が認められる。古地磁気強度測定は、ハルタ山観測井で宇都ら(1999)で報告したのもも含めて9試料、ハルタ山ガス観測井で8試料について行ったが、古地磁気強度が得られたのはすでに報告した2試料を含めて3試料のみであった。これら3試料の古地磁気強度測定結果はCoe *et al.* (1978)の基準を一応満たすものの、自然残留磁化と部分熱残留磁化に直線関係が認められる区間が20%前後、quality factorが10以下で、データの信頼性は高いとはいえない。以下ではこれらの古地磁気強度データについては議論しない。

古里観測井では、最上部の10m前後は古地磁気傾角が深さごとに大きくばらつくが、堆積層の上部、-24mから-54mの範囲は約43-45°の古地磁気傾角を示す(fig. 3)。また、堆積層の下、-61m以深から求められた古地磁気傾角は約30°前後に集中する。古地磁気強度測定は7試料について行い、-25.2mと-35.5mから、いずれも59μT前後の古地磁気強度が得られた。これらについては、直線関係が認められる区間が40%以上、quality factorが12以上で、先に述べたハルタ山の古地磁気強度測定結果に比べ信頼性は高い。

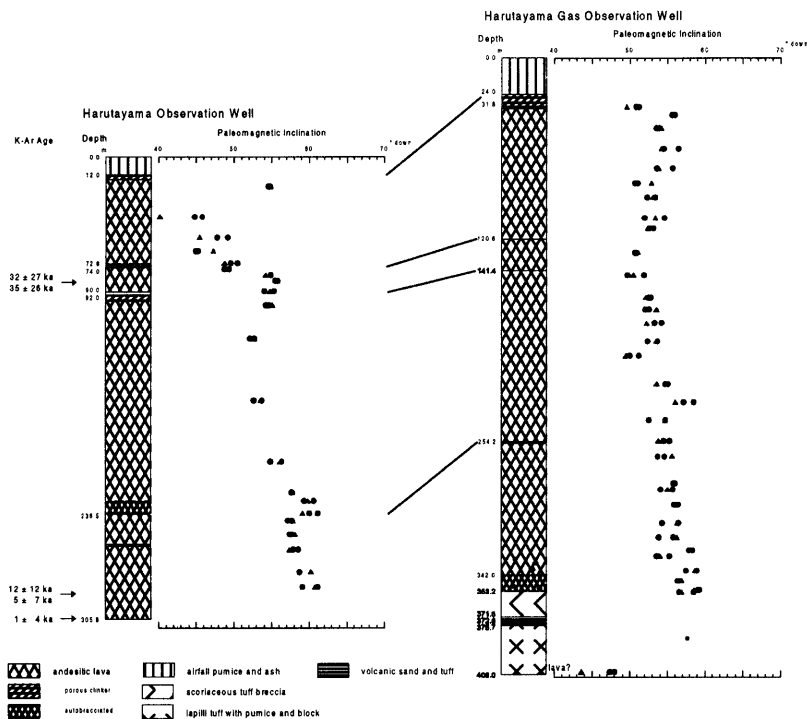


Fig. 2 Geological columns and paleomagnetism of the Harutayama and the Hrutayama-Gas observation wells, Sakurajima volcano.

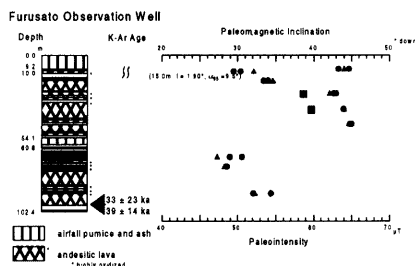


Fig. 3 Geological column and paleomagnetism of the Furusato observation well, Sakurajima volcano.

5. 考察

ハルタ山およびハルタ山ガス観測井の4枚の溶岩流から求めた古地磁気伏角の変化の特徴は両観測井で互いに似通っており、溶岩の記載の特徴による両観測井の対比と調和的である。しかし、信頼でき

る古地磁気強度が得られず、これらの溶岩の噴出年代を、K-Ar年代測定で明らかになったよりも詳細に古地磁気学的に推定することはできなかった。

両観測井コアの古地磁気伏角は、約 50° から 60° の範囲にあり、 10° 程度の範囲で変化が認められる。過去2000年間の地磁気永年変化 (Hirooka, 1971) をみると、伏角変化の速度は最大約 $10^{\circ}/100$ 年程度であり、約 10° の伏角差は少なくとも100年の時間差に相当する。今回求められた伏角が各溶岩ユニットの冷却当時の地磁気伏角を示しているとする、これら4枚の溶岩流は少なくとも100年程度の間にある程度の時間間隔をあけて噴出したと考えることができる。

古里観測井コア上部の南岳新期溶岩と考えられる溶岩からは、約 $43\text{--}45^{\circ}$ の古地磁気伏角と $59\mu\text{T}$ 前後の古地磁気強度が得られた。これらの古地磁気測定結果をこれまでに得られている日本の地磁気永年変化と比較すると、2ka (千年前)、3ka あるいは4ka 頃の地磁気永年変化が対比可能である (Fig.

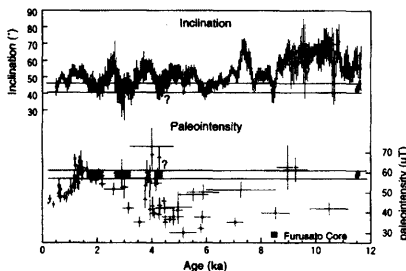


Fig. 4 Paleomagnetic inclinations and paleointensities of lava samples from the Furusato observation well, shown with paleosecular variation in Japan (after Hyodo *et al.*, 1973; Sakai and Hirooka, 1986; Hirooka and Sakai, 1991; and Tanaka, 1982, 1990).

4)。このうち、4ka については、4ka 頃の地磁気伏角が低伏角から高伏角へ変化しているのに対して、南岳新期溶岩より下位で味喜 (1999) により 4ka の古地磁気学的推定年代が得られている、宮元溶岩流の古地磁気伏角の値が今回得られたより高く (約 60°)、層序と伏角変化の傾向が矛盾する。したがって、古里観測井コア上部の溶岩の古地磁気学的推定年代は、2ka または 3ka ということになる。

また、同観測井コア下部の溶岩からは、約 30° の低伏角が得られた。このような低伏角は過去約 1 万年間の地磁気永年変化には認められない。また、最下部の -98m の溶岩からは、 38 ± 12 ka の K-Ar 年代が得られた。これらのことは、宇都ら (1999) が指摘したように、始良カルデラ形成前後に現在の桜島火山と同様の安山岩質マグマの活動があったことを示している可能性がある。

6. まとめ

桜島火山のハルタ山、ハルタ山ガス、および古里観測井から得られた掘削コアについて、K-Ar 年代測定および古地磁気測定を行い、溶岩の噴出時期を明らかにする試みを行った。その結果、

- [1] ハルタ山の 4 枚の溶岩流は、最近の 1 万年間、おそらくは 5 千年より最近に噴出した。
- [2] ハルタ山の 4 枚の溶岩流は、同時に噴出したものではなく、少なくとも百年程度の時間の間に繰り返し噴出した。
- [3] 古里観測井上部の南岳新期溶岩から、2 千年前または 3 千年前という古地磁気学的推定年代が得られた。

[4] 始良カルデラ形成前後に安山岩質マグマの活動が存在した可能性がある。

ことが明らかになった。

今後、さらに、桜島内の他の観測井コアについても K-Ar 年代測定、古地磁気測定を進め、噴火時期の特定や地表に露出する噴出物との対比などを試み、桜島火山の噴火史の定量化に貢献したい。

謝 辞

K-Ar 年代測定用の試料前処理および岩石薄片作成は、地質調査所大阪地域地質センター青山秀喜氏にお願いした。掘削コアの採取においては、鹿児島大学理学部上野宏共教授および同学生鹿田純君、九州大学大学院理学研究科学生武田哲一君、火山活動研究センター周藤正史博士、および京都大学大学院理学研究科学生為栗健君にご協力いただいた。筆者の一人、宇都が桜島火山活動センター滞在中は、同センター職員各位にお世話になった。以上の方々に記してお礼申し上げる。

参考文献

- 宇都浩三 (1995): 火山と年代測定: K-Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定法の現状と将来. 火山, 第 40 巻, pp. S27-S46.
- 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
- 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「火山噴火に伴う乾燥粉体流 (火砕流等) の特質と災害」報告書, pp. 137-163.
- 広岡公夫・酒井英男 (1991): 日本の考古地磁気永年変化とその地域差, 地球中心核, vol. 1, pp. 175-180.
- 福山博之・小野晃司 (1981): 桜島火山地質図 1:25000, 地質調査所.
- 松本哲一 (1989): K-Ar 年代測定におけるカリウム定量法の改良, 地調月報, 第 40 巻, pp. 65-70.
- 松本哲一・宇都浩三・柴田 賢 (1989): 歴史溶岩のアルゴン同位体比—若い火山岩の K-Ar 年代測定における初生値補正の重要性—, 質量分析, 第 37 巻, pp. 353-363.
- 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.

- Coe, R. S. (1967): Paleo-intensities of the Earth's magnetic field determined from Tertiary and Quaternary rocks, *J. Geophys. Res.*, vol. 72, pp. 3247-3262.
- Coe, R. S., Grommé, S., and Mankinen, E. A. (1978): Geomagnetic paleointensities from radio-carbon dated lava flows on Hawaii and the question of the Pacific nondipole low, *J. Geophys. Res.*, vol. 83, pp. 3247-3262.
- Hirooka, K. (1971): Archaeomagnetic study for the past 2000 years in southwest Japan, *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. Mineral.*, vol. 38, pp. 167-207.
- Hyodo, M., Itota, C., and Yaskawa, K. (1993): Geomagnetic secular variation from magnetizations of wide-diameter cores of Holocene sediments in Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, vol. 45, pp. 669-696.
- Kirschvink, J. L. (1980): The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data, *Geophys. J. Roy. Astro. Soc.*, vol. 62, pp. 699-718.
- Kobayashi, T. (1988): Geological map of Sakurajima Volcano, in *A guide book for Sakurajima Volcano*, Kagoshima prefectural government, Kagoshima, Japan.
- Matsumoto, A., Uto, K. and Shibata, K. (1989): K-Ar dating by peak comparison method - New technique applicable to rocks younger than 0.5 Ma, *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 40, pp. 565-579.
- 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.
- Sakai, H. and Hirooka, K. (1986): Archaeointensity determinations from western Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, vol. 38, pp. 1323-1329.
- Tanaka, H. (1982): Geomagnetic paleointensities for the period 6,000 to 3,000 years B.P. determined from lavas and pyroclastic flows in Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, vol. 34, pp. 601-617.
- Tanaka, H. (1990): Paleointensity high at 9000 years ago from volcanic rocks in Japan, *J. Geophys. Res.*, vol. 95, pp. 17517-17531.
- Thellier, E. and Thellier, O. (1959): Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique, *Ann. Géophys.*, vol. 15, pp. 285-376.

K-Ar dating and paleomagnetic measurements on drilled cores from the Sakurajima volcano: Part 2

Daisuke MIKI, Kozo UTO*, Shigeru UCHIUMI * and Kazuhiro ISHIHARA

Geochemistry Department, Geological Survey of Japan

Synopsis

K-Ar dating and paleomagnetic measurements were made on drilled cores from three observation wells in Sakurajima volcano. Four lava flows found in the Harutayama and Harutayama-Gas observation wells would have been erupted successively by the multiple eruptions within recent about 5,000 years. The upper lavas at the Furusato observation well is paleomagnetically correlated with 2ka or 3ka. Since K-Ar ages and paleomagnetism, eruption of andesitic lavas at the bottom part of the Furusato site is considered to be near to the formation of the Aira Caldera.

Keywords: K-Ar dating; paleomagnetism; volcanic history; Sakurajima volcano, drilled core