

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——

宇都浩三*・味喜大介・内海 茂*・石原和弘

*地質調査所地殻化学部

要 旨

桜島火山の黒神、ハルタ山両観測井掘削コアについて 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。黒神観測井の3枚の溶岩流は全て AD764 年長崎鼻溶岩とほぼ同時期に噴出したと考えられ、その下に始良カルデラ形成前後の火山岩類が分布する。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。両手法の複合的組み合わせにより、数万年以内の火山噴出物の直接年代推定がより正確に行えると期待される。

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

1. はじめに

活動的火山の過去数万年間における火山噴火の歴史を正しく知ることは、火山噴火の中長期予測及び噴火災害予測のために重要である。これまで、そのような火山噴火史の定量化は、主に噴出物の上下に存在する有機炭素の ^{14}C 年代測定から噴出物の年代を推定することでなされてきた。この手法は、爆発的噴火により火山砕屑物（テフラ）が放出される火山において有効であり、特に最近の加速器質量分析計を用いた ^{14}C 年代測定法の開発・応用により約5万年前までの年代測定が精度良く行われるようになった。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 (Okuno, 1997)。しかし、火山噴火で常に多量のテフラが放出されるわけでもなく、また噴出量的に大きな割合を占める溶岩流とテフラ層序との関係が明確であるとも限らない。当然のごとく、火山噴出物中に有機炭素は含まれないので、溶岩噴火の歴史を知ることは、これまで大変に困難であった。何故なら、数万年より若い火山噴出物を直接用いて正確に年代測定する年代測定法がなかったからである。

高岡 (1989)、松本ほか (1989)、Matsumoto and Kobayashi (1995) などの試みにより、2-3 万年より古い溶岩流については、誤差 10-20% で K-Ar 年代測定が可能になり、蔵王火山、御岳火山などの最近数十万年間の火山活動史に細かい時間の目盛が入った。また、雲仙火山の最近数万年間の溶岩について、フィッシュントラック年代測定法、熱ルミネッセンス法により年代測定されている。しかし、最近 1-2 万年間の噴出物の正確な年代測定は、依然として非常に困難で、何か新しい試みを考えるべき時期に来ている。

一方、放射性同位体元素の放射壊変現象などを用いて直接数字としての年代を測定するのではなく、過去数万年間の地球の変動現象を利用して、間接的あるいは相対的に過去の年代推定を行う相対年代測定も、利用する変動事象の経時変化が明らかであれば大変有効である。例えば、浮遊性有孔虫の酸素同位体比から推定される過去の海水温変動を用いて年代推定する方法は、深海堆積物などの年代測定法として大変有効に行われている。しかし、この場合、繰り返される古海水温変動のどこに当たるのかは、別の情報と組み合わせなければ同定することができない。

地球磁場は、永年変化と呼ばれるゆるやかな経年変動を繰り返している。地磁気極は双極子場を保ちながら緩やかに移動しており、磁場の強度も同時に時間変化を行っている。もし、過去の地球磁場の時間変化を正確に知ることができれば、過去に獲得した磁化を現在まで保存している物質の磁化方位、強度を測定し、それと比較することで、磁化を獲得した時期を推定することができる。日本においては、考古遺物や火山岩あるいは堆積物の古地磁気測定から、過去約1万年間の地磁気永年変化が概ね明らかになっている。Hirooka (1971) は、日本各地の時代の分かった遺跡の窯跡から採取した焼土の古地磁気を測定し、過去約2000年間の日本における地磁気方位の永年変化を明らかにした。広岡は、さらにその永年変化曲線（以下、広岡カーブと呼ぶ）を用いて、時代未詳の遺跡の年代推定を試みている（例えば広岡，1988）。また、Sakai and Hirooka (1986) は、土器片などの試料を用いて、過去約6000年間の地磁気強度の永年変化を明らかにした。古地磁気測定による年代推定法のメリットは、伏角、偏角、さらに古地磁気強度という3つのパラメーターの時間変化曲線を用いることで、未知試料の年代推定において、3つのパラメーターとも変化曲線上で一致することを要求するため、推定年代の絞り込みが比較的容易なことである。

最近、味喜 (1999) は、桜島火山の歴史溶岩およびそれよりやや古い時代未詳南岳溶岩について系統的な古地磁気測定を行った。その結果、歴史溶岩については基本的に広岡カーブに一致すること、従って広岡カーブを用いて噴火時代未詳の溶岩の年代推定が原理的に可能であることが明らかになった。時代未詳南岳溶岩のうち、長崎鼻溶岩は、古文書から推定される西暦764年（小林，1982）と矛盾がないこと、宮元溶岩、観音崎溶岩は各々約4千年前と約3千年前であることも明らかとなった。

以上の最近の進歩を受けて、我々は、最近数万年の火山噴出物、特に溶岩流の噴出年代をK-Ar年代測定と古地磁気測定を組み合わせることでより正確に推定しようという試みを開始した。以下では、桜島火山での現状を紹介し、今後の展望を概観する。

2. 火山観測井コア概要

桜島ではいくつかの火山観測井が掘削され(Fig. 1), その際に回収された掘削コアが保存されており、桜島火山の地下構造、発達史を知る上で貴重な岩石試料となっている。

今回、測定対象としたのは、桜島東部の黒神観測

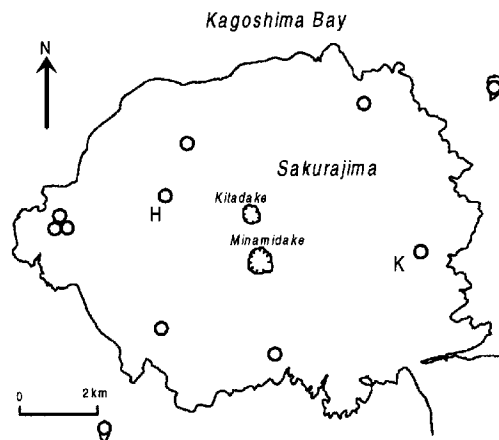


Fig. 1 Location of observation wells in Sakurajima Volcano. K: Kurokami, H: Harutayama.

井（標高 62m, 掘進長 381m）と、桜島西部のハルタ山観測井（標高 342m, 掘進長 306m）の掘削コアである。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 黒神

黒神観測井は、鹿児島市黒神にあり、側火山である鍋山の東、昭和溶岩流原のすぐ南に位置し、福山・小野 (1981) の火山地質図においては、降下軽石層分布域とされている。同井の南東側には前述のように西暦764年噴出と推定される長崎鼻溶岩が分布しており、その地形分布を北側に外挿すると、観測井の周辺にも軽石層に覆われて分布するようにも見える。黒神観測井のコア、即ち同井の地下地質

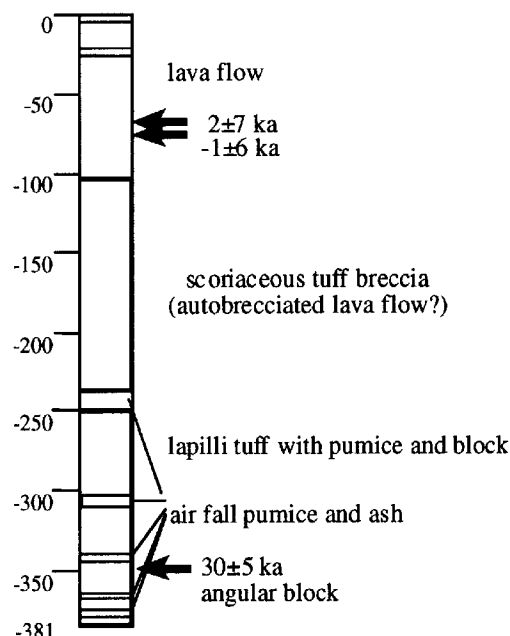


Fig. 2 Schematic columnar section of the Kurokami observation well

の概要は以下の通りである。

まず、地表から-4.9mまでは降下軽石・火山灰で、その下-104.6mまでの約100mは、厚い3枚の安山岩溶岩が分布する。各溶岩とも上下面はがさがさのクリンカーとなり、その間のマッシュな溶岩は内側に向かい次第に気泡が小さく少なくなるという、安山岩溶岩流の典型的な構造が認められる。3枚の溶岩流の間は一部コアが欠落しており、相互の間に休止間隔があったのか連続して流れたのかなどの時間関係は不明である。

-104.6mから-240mまでの約130mは、未固結で淘汰が悪い凝灰角礫岩層である。全体に同質の火山物質からなり、直径1-5cmのスコリアを多数含む。基質も、スコリアとほぼ同質である。水による急冷を受けたことを示す積極的証拠は認められない。定置様式は、今のところ不明であるが、弱く水の作用を被った自破碎溶岩流である可能性がある。

-240mから孔底までの約140mは、やはり未固結で淘汰が悪い凝灰角礫岩層であるが、径数cmから数十cmの緻密な多種類の火山岩塊、軽石を含み、基質は砂質で、結晶片、スコリア片、岩片よりなる。厚さ数十cmから百数十cmの淘汰の良い降下軽石・火山灰層が多数挟在する。この凝灰岩層の定置様式も今のところ不明であるが、マグマ水蒸気爆発の産物であると推定される。コアの欠落が多いため、これらの噴出物が1回の噴火によるものか、複数回の噴火の産物かは不明である。

2.2 ハルタ山

ハルタ山観測井は、桜島西部の火山活動研究セン

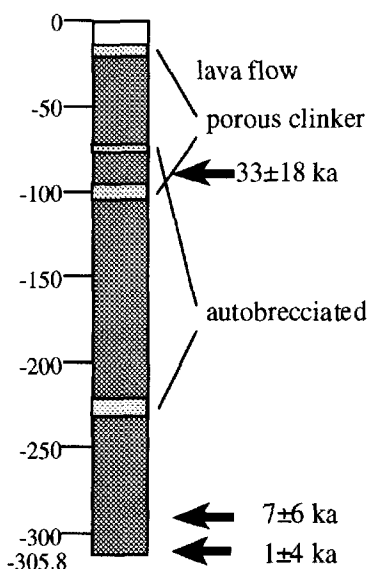


Fig. 3 Schematic columnar section of the Harutayama observation well

ターハルタ山観測室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。ハルタ山観測井のコアの概要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。しかし、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碎部の存在、さらには気泡の分布形態から、最低でも4枚の溶岩流により構成されることが確認される。即ち、-12.0mから-72.8mまで、-74.0mから-90.0mまで、-92.0mから-236.5mまで、-236.5mから孔底の-305.8mまで、の4枚である。いずれの溶岩流も中央部は緻密で重く気泡は殆ど認められないが、上方および下方に向かい次第に気泡が増え、クリンカー部および自破碎部へと続く。従って、溶岩流のユニットの識別は容易に行うことができる。いずれの溶岩流も、斜長石斑晶に富む普通輝石斜方輝石安山岩であり、肉眼および顕微鏡観察では良く類似している。

3. K-Ar 年代測定

若い火山岩の K-Ar 年代測定は、従来困難を極めた。その一番の理由は、放射起源 ^{40}Ar が十分な量蓄積しておらず、岩石中の全 ^{40}Ar のわずか数%以内しかないからである。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; 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。この手法を、黒神、ハルタ山両観測井のコアに適用して年代測定を行った。以下に実験方法を簡単にのべ、測定結果を考察する。

新鮮な溶岩試料約 50g を粗砕きのあと、ダブルロール粉碎器で粉碎し、32-60 メッシュ (0.5-0.25mm) のサイズにふるい分けする。アルゴンの分析にはそのサイズのものを用い、カリウムの分析には約 5g を分取し、めのう乳鉢にて細粉碎したものを用いた。

上記粒度の試料を約 1.5g 秤量して銅箔につつま、超高真空アルゴン抽出装置のガラス製クリスマスツリーに取り付け、真空中で約 48 時間、約 120°C の温度で焼きだしを行い、試料表面に付着する大気アルゴンの除去を行った。アルゴン測定においては、まず試料を 1 ないし 2 包み、マグネットを用い真空中で抵抗加熱炉のろつばに落下させ、試料を 2 時間

かけて 1500°C まで加熱融解する。試料から発生するガスは、Ti-Zr ゲッターを用いて 1 段目の精製を行った後、抽出ライン側の活性炭フィンガーを液体窒素温度に冷却して捕集する。加熱炉ラインとを仕切るバルブを閉め、活性炭フィンガーを加熱して捕集したガスを追い出し、400°C と室温の二つの Zr-Al ゲッターを用いて活性ガスを吸着し、希ガスの精製を行う。精製された希ガスは、抽出装置とオンラインでつながれた VG1200C 型アルゴン用質量分析計に導入され、 ^{36}Ar 、 ^{38}Ar および ^{40}Ar の同位体比分析を行った。分析法の詳細は、Matsumoto *et al.* (1989) を参照されたい。

カリウムの分析は、約 150mg の粉末試料を過塩素酸、フッ酸を用いて分解干固したのち、塩酸溶液で希釈し、リチウム標準溶液を一定濃度添加したのち、炎光光度計を用いて定量を行った。分析法および信頼性は、松本 (1989) に詳しく述べられている。

黒神観測井からは、上から 3 枚目の溶岩から 2 試料 (-72.8m と -74.9m)、基底部近くの火山礫凝灰岩中に含まれる緻密な溶岩ブロック (-352.3m) の 1 試料の計 3 試料を測定した。一方、ハルタ山観測井からは、上から 2 枚目の溶岩から 1 試料 (-83.6m)、4 枚目の溶岩から 2 試料 (-289.2m と -305.6m) の計 3 試料を測定した。さらに、ハルタ山の 2 試料については、2 回の繰り返し測定を行った。K-Ar 年代測定結果を年代計算に用いた諸定数とともに、Table 1 に示す。なお誤差表記は、1 σ 、即ち 65%信頼限界の

値である。

黒神観測井基底部の溶岩ブロックを除き、溶岩試料は全て大気混入率が 98.5%以上と高く、そのため放射起源 ^{40}Ar を正確に求めることができなかった。従って、全てにおいて 100%をはるかに超える分析誤差がついており、測定年代値そのもののもつ意味は大きくない。しかし、いくつかの重要な知見を読みとることができる。まず、黒神観測井の溶岩は、 2 ± 7 ka および -1 ± 6 ka と分析誤差が大きいものの非常に若い溶岩であることが理解できる。誤差を考慮に入れても 1 万年よりは新しいことは確実である。次に、ハルタ山観測井のコアでは、一番下の試料がもっとも分析誤差の小さい年代を与えており 1 ± 4 ka という値が得られた。その上の試料からは 5 ± 7 ka という値が得られており矛盾はない。従って、ハルタ山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。

唯一、有意な年代が得られたのは、黒神観測井基底部の溶岩ブロックである。この試料については、十分な放射起源 ^{40}Ar が含まれており、そのため大気混入率も 91.6%と小さい。従って、得られた年代も 30 ± 5 ka と誤差が小さい。この試料は、桜島火山の安山岩とほぼ同様の鉱物組み合わせ、岩石組織、全岩化学組成を有している。始良カルデラの形成が 2 万 5 千年前であることから、このブロックは同カル

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

KANo	Depth	Sample ID	Weight (g)	K ₂ O (wt%)	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	$^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	$^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ (E-7mlSTP/g)	Atm ^{40}Ar (%)	Age($\pm 1\sigma$) (ka)
Kurokami observation well									
98041	-72.8 m	KAG9703	3.039	1.97	295.5 $\pm$ 0.4	0.1866 $\pm$ 0.0012	0.001	99.7	2 $\pm$ 7
98040	-74.9 m	KAG9704	2.980	2.22	296.4 $\pm$ 0.4	0.1873 $\pm$ 0.0007	0.000	100.1	-1 $\pm$ 6
98039	-352.3 m	KAG9705	2.981	1.62	322.4 $\pm$ 0.7	0.1868 $\pm$ 0.0015	0.016	91.6	30 $\pm$ 5
Harutayama observation well									
98066	-83.6 m	HRT83.6	1.500	2.73	291.1 $\pm$ 0.4	0.1848 $\pm$ 0.0005	0.0283	99.3	32 $\pm$ 27
99002			1.584		291.3 $\pm$ 0.4	0.1848 $\pm$ 0.0005	0.0308	99.3	35 $\pm$ 26
								av.	33 $\pm$ 18
98064	-289.2 m	HRT289.2	1.504	2.64	299.7 $\pm$ 0.5	0.1868 $\pm$ 0.0015	0.0100	98.5	12 $\pm$ 12
99001			1.500		299.4 $\pm$ 0.6	0.1869 $\pm$ 0.0015	0.0045	98.7	5 $\pm$ 7
								av.	7 $\pm$ 6
98067	-305.6 m	HRT305.6	3.044	2.65	299.2 $\pm$ 0.4	0.1879 $\pm$ 0.0006	0.0011	99.8	1 $\pm$ 4

$$\lambda_{\beta}=4.962 \times 10^{-10} / \text{y}, \lambda_{\epsilon}=0.581 \times 10^{-10} / \text{y}, {}^{40}\text{K} / \text{K}=0.01167 \%$$

デラの形成前後に噴出したと考えられる。始良カルデラ形成時に噴出したのは大量の流紋岩マグマであり、安山岩マグマの存在は知られていない。この岩石の存在は、始良カルデラのマグマ形成の化学プロセスを解明する上で重要であろう。

4. 古地磁気測定

以下では、黒神観測井およびハルタ山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、黒神観測井コアについては、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。また、ハルタ山観測井のコアについては、予察的な段階消磁実験を行った。

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た。その際、円柱の高さ方向はコアの伸長方向（鉛直方向）にとり、各試料片の相対的な偏角の差が分かるように水平方向のマーキングを行った。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、最大220mTまで14-19ステップの段階交流消磁、および、最大620-700°Cまで21-25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改良テリエ法（Thellier and Thellier, 1959; Coe, 1967）を用いた。これは、NRMの熱消磁と、既知の外部磁場の下での部分熱残留磁化の獲得を、低温から高温へと段階的に繰り返し行うことによって、外部磁場と熱残留磁化強度の比例関係を実験的に求める方法である。今回用いた実験手順は味喜（1999）に詳述されている。古地磁気強度測定を行った試料の一部には、部分熱残留磁化獲得実験の際に、化学残留磁化と思われる磁化の獲得が認められた。このような試料については、ある加熱段階で獲得された化学残留磁化はその次の（より高温の）加熱によって消去されない、という前提の下に化学残留磁化の補正を行った。測定結果は、Table 2 および Table 3 に示した。なお、Table 2 に示した偏角は、各深度において、各試料片の消磁前の NRM 方位の平均をゼロとした相対的な値である。

黒神観測井では、-104.6m 以浅に分布する3枚の溶岩について古地磁気測定を行なった。各深度において、得られた方位は消磁方法が異なっても互いによく一致し、これらが溶岩噴出時の地磁気方位を保

Table 2 Characteristic directions of NRM from the Kurokami and Harutayama observation wells.

Depth	Method	Range (mT or °C)	D (°)	I (°)	α_{95} (°)	k
Kurokami observation well						
-12.8m	AFD	120 - 220	0.5	49.8		
	AFD	100 - 220	-0.1	48.1		
	ThD	230 - 560	1.7	48.4		
		mean	0.7	48.8	3.9	5510
-19.1m	AFD	60 - 220	-1.0	50.3		
	AFD	60 - 220	-2.2	49.9		
	ThD	180 - 560	2.5	52.0		
		mean	-0.3	50.8	6.8	1822
-24.4m	AFD	40 - 220	1.3	50.0		
	AFD	40 - 130	-2.4	51.8		
	ThD	150 - 560	5.4	52.5		
		mean	1.4	51.5	9.7	878
-30.1m	AFD	15 - 220	-2.7	49.3		
	AFD	20 - 220	-1.5	50.4		
	ThD	420 - 610	-2.6	50.9		
		mean	-2.3	50.2	3.3	7711
-43.8m	AFD	20 - 220	1.5	49.8		
	AFD	20 - 220	7.9	48.7		
	ThD	180 - 540	1.6	50.2		
		mean	3.7	49.6	8.9	1042
-55.0m	AFD	10 - 220	-1.2	50.8		
	AFD	15 - 220	-0.5	49.7		
	ThD	260 - 610	-1.5	50.5		
		mean	-1.1	50.3	2.3	15222
-75.2m	AFD	25 - 220	-0.4	50.2		
	AFD	40 - 220	-0.8	50.0		
	ThD	290 - 610	-3.4	48.8		
		mean	-1.6	49.7	4.6	3877
Harutayama observation well						
-54.1m	AFD	15 - 220	1.3	49.6		
	ThD	510 - 660	2.8	44.1		
-71.1m	AFD	20 - 220	1.5	49.8		
	ThD	400 - 680	5.1	50.1		
-82.7m	AFD	10 - 220	3.0	55.5		
	ThD	290 - 700	2.2	55.8		
-222.3m	AFD	10 - 220	1.7	57.6		
	ThD	260 - 700	2.5	57.7		
-284.9m	AFD	10 - 220	-1.1	61.1		
	ThD	200 - 700	0.3	60.8		

D: relative declination, I: inclination, α_{95} and k: angle of 95% confidence and precision parameter (Fisher, 1953).

Table 3 Paleointensities from the Kurokami observation well

Depth	Range (°C)	n	f	g	q	b	sb	F _L (μT)	F _E (μT)	note
Kurokami observation well										
-12.8m	180 - 270	4	0.28	0.64	6.4	-1.13	0.03	50.0	56.3 ± 1.4	
-19.1m	(180 - 240	3	0.16	0.49	6.4	-1.19	0.01	50.0	59.4 ± 0.6)	n < 4
-24.4m	180 - 300	5	0.39	0.71	10.4	-1.16	0.03	50.0	58.1 ± 1.3	
-30.1m	(- -	-	-	-	-	-	-	50.0	-)	no linear segment
-43.8m	180 - 300	5	0.24	0.74	2.0	-1.17	0.09	50.0	58.5 ± 4.4	CRM corrected
-55.0m	180 - 300	5	0.22	0.75	2.3	-1.18	0.07	50.0	59.1 ± 3.6	CRM corrected
-75.2m	(- -	-	-	-	-	-	-	50.0	-)	no linear segment

n is number of data of linear segment. f, g and q are NRM fraction, gap factor and quality index, respectively, defined by Coe *et al.* (1978). F_L and F_E are applied field strength during PTRM acquisition and paleointensity value, respectively. Un-acceptable data are shown by parentheses.

存していることを示す。古地磁気伏角は同深度で一致するだけでなく、全ての深度で+50°付近に集中し、互いに誤差の範囲で一致する。また、古地磁気強度も互いに誤差の範囲で一致する。3枚の溶岩の古地磁気伏角・古地磁気強度とも互いに極めてよく一致することは、これらの噴出がほぼ同時期に起こったことを強く示唆する。

黒神観測井の3枚の溶岩試料から得られた古地磁気伏角・古地磁気強度と過去2000年間の地磁気永年変化との比較をFig. 4に示した。図からわかるように、古地磁気伏角・古地磁気強度が共に地磁気永年変化と一致するのは8世紀後半頃および2世紀頃で、さらに、Fig. 4には示されていないが約3千年前および約4千年前にも同様の地磁気伏角・地磁気強度が認められる。このことから、これらの溶岩の噴出時期は上記のいずれかであると考えられる。一方、観測井の南東の地表に露出し西暦764年の噴出と推定されている長崎鼻溶岩の古地磁気伏角・古地磁気強度(味喜, 1999; Fig. 4の■印)は、今回の測定結果と誤差の範囲で一致する。この事実から考えて、これら3枚の溶岩は長崎鼻溶岩であるか、少

なくとも同溶岩と一連の噴火活動の産物である可能性が高い。

ハルタ山観測井の4枚の溶岩流については、今のところ、予察的な段階消磁実験を行なったのみであり、伏角の情報だけから溶岩の噴出年代を推定するのは不可能だが、それでも興味深い特徴を読みとることができる。

500°Cを超えるまで最も安定な磁化成分が分離できず方位決定の精度がやや劣る-54.1mの熱消磁を除いて、段階交流消磁と段階熱消磁から求められたNRMの方位は深度ごとによく一致する。また、下位の溶岩ユニットから上位に向かって、伏角が浅くなる傾向が認められ、最下位の-284.9mと最上位の-71.1m(または-54.1m)では、その差は約11°にもなる。

過去2000年間の地磁気永年変化(Fig. 4)をみると、伏角変化の速度は最大約10°/100年程度である。今回求められたNRMの伏角が各溶岩ユニットの噴出当時の地磁気伏角を示しているとする、この約11°の伏角差は少なくとも100年の噴出時期の差を表すものと考えることができる。

5. K-Ar年代測定と古地磁気測定の複合化

始良カルデラの後カルデラ火山である桜島火山の活動開始は2万5千年より新しい。このような火山の噴出物にK-Ar法を適応するのは困難であり、事実、有意な年代は1つしか得られなかった。しかし、噴出時期の上限を与えることは可能であった。一方、古地磁気は、連続する複数枚の溶岩流がほぼ同時に噴出したものか、あるいはある程度の時間間隔をおいて噴出したのかを知る上で重要な情報を与えることができた。しかし、伏角と古地磁気強度だけでは、噴出時期をひとつに絞り込むことはできなかった。

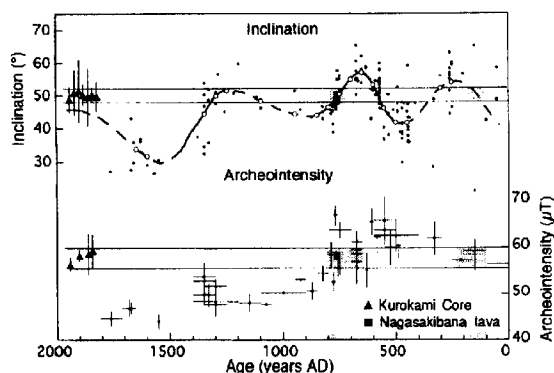


Fig. 4 Paleomagnetic inclinations and paleointensities of three lavas from the Kurokami observation well, shown with paleosecular variation in Japan.

今回、黒神観測井の3枚の溶岩については、地表に分布する長崎鼻溶岩と伏角、古地磁気強度とも一致すること、また、K-Ar年代も非常に若い溶岩であることを示唆する結果を与えることから、これらの3枚の溶岩をいずれも長崎鼻溶岩とほぼ同時期に噴出したと推定することができた。ハルタ山の溶岩については、現在古地磁気強度の測定を実施中であり、その結果を得ることで噴出時期の特定を行うことができると期待される。その際、5千年より若いというK-Ar年代測定からの制約が年代推定の手助けになるであろう。

今後両手法を用いて、古里など他の観測井のコアについても年代推定を行う予定である。観測井のコアには、地表には露出していない桜島火山の活動初期あるいは始良カルデラ形成直後の噴出物が存在している可能性が高い。両手法の得意、不得意を補い合うことで、より定量性の高い噴火活動史の解明ができると期待される。

6. まとめ

桜島火山の2つの火山観測井、黒神とハルタ山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]黒神観測井の上から3枚の溶岩流は、いずれも西暦764年の長崎鼻溶岩とほぼ同時期に噴出したと推定された。

[2]黒神観測井最下部の安山岩塊は 30 ± 5 ka の年代を与え、始良カルデラ形成前後にも桜島と同様なマグマが存在した。

[3]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。

[4]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ことが明らかになった。

今後、両掘削孔試料のK-Ar年代測定、古地磁気測定を繰り返して、より噴火時期の特定を試みると共に、桜島内の他の観測井コアについても適用し、桜島火山の噴火史の定量化に貢献したい。

謝 辞

本研究の大半は、宇都が平成10年度京都大学防災研究所非常勤講師である間に行われたものである。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。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、鹿児島大学理学部地球環境学科上野宏共教授および同大学院生松元拓朗君、京都大学総合人間学部周藤正史博士にご協力いただいた。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.
- 小林哲夫 (1982): 桜島火山: これまでの研究成果と今後の課題, 火山 第2集, 第27巻, pp. 277-292.
- 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.
- 高岡宣雄・今野幸一・大場与志男・今田正 (1989): 蔵王火山溶岩のK-Ar年代測定, 地質学雑誌, 第95巻, pp. 157-170.
- 広岡公夫 (1988): 古地磁気・考古地磁気編年による年代推定, 地質学論集, 第29巻, pp. 305-318.
- 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, 印刷中.
- 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.
- Fisher, R. A. (1953): Dispersion on a sphere, Proc. R. Soc. London, vol. 217, ser. A, pp. 295-305.
- 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.

- 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.
- 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, *Chem. Geol. (Isotope Geosci. Sec.)*, vol. 125, pp. 123-135.
- 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.
- 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
- Preliminary attempts to reveal the history of the volcanic activity -**

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

Geochemistry Department, Geological Survey of Japan

Synopsis

Preliminary K-Ar dating and paleomagnetic measurements were made on drilled cores from two observation wells in Sakurajima volcano to obtain the chronological information. Three lava flows found in the Kurokami observation well are considered to belong to AD764 Nagasakibana lava flow, and volcanic clastic below these lavas could have been erupted immediately before or after the formation of the Aira caldera at *ca.* 25,000 years ago. Four lava flows found in the Harutayama observation well would have been erupted successively by the multiple eruptions within recent about 5,000 years.

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