# 桜島火山の噴火活動様式とマグマ供給系の 20 世紀からの変化とその意義

中川光弘\*・松本亜希子\*・宮坂瑞穂\*・富樫泰子\*・井口正人\*\*

# \* 北海道大学大学院理学研究院\*\* 京都大学防災研究所

#### 要旨

15世紀以降,大規模噴火を繰り返していた桜島火山は,西暦 1914~1915年の大正噴火 の後,西暦 1946年の溶岩流出(昭和噴火)を経て,西暦 1955年から山頂でブルカノ式噴 火を繰り返すようになった。我々は,15世紀以降現在までの噴出物の岩石学的特徴から, マグマ供給系の構造と変遷,噴火様式との関係を検討した。その結果,西暦 1471~1476 年の文明噴火,西暦 1779年の安永噴火では,デイサイト質マグマと安山岩質マグマの2 端成分マグマ混合が起きていたが,大正噴火以降,玄武岩質マグマが新たに加わったこと が明らかになった。20世紀の活動では,噴火の規模が大きいほど,噴出物における玄武 岩質マグマの割合が増加する傾向がみられる。このことから,20世紀になって中~小規 模噴火を繰り返すようになったのは,玄武岩質マグマが頻繁に貫入していることが原因で あると考えられる。今後の桜島の活動予測では,玄武岩質マグマの動きにも注意を払う必 要がある。

キーワード: 桜島火山, マグマ供給系, マグマ混合, 噴火予測, 噴火活動様式

#### 1. はじめに

噴火活動が続く桜島は,地球物理学的手法による 観測と、噴出物や火山ガスなどの物質科学的解析と いう異なる手法で、噴火現象の研究が行える稀有な 火山である。特に,2006年から再活発化して以来, 繰り返し集中観測の実施など観測が強化されている だけでなく、火山灰の連続サンプリングの実施とそ の解析 (Shimano et al., 2011), 噴出物の岩石学的検 討(松本ら, 2011) あるいは火山灰付着成分の地球 化学的監視(佐藤・野上, 2011)が実施され、マグ マの蓄積・移動過程やマグマプロセス、噴火現象と マグマプロセスの関連などの研究成果が公表されは じめている。しかし,現在の噴火活動を理解するた めには、その活動をできるだけ過去に遡って、マグ マ系がどのように変化して現在に至ったかという時 間変化を把握しておくことが重要である。その場合, 地質学的手法による噴火履歴と個々の噴火推移の復 元, それに加えて噴出物の物質科学的解析が唯一の 手法となる。

桜島火山では過去 1000 年以上にわたり噴火に関 する記録がある。それに加えて地質学的研究も進ん でおり,噴火履歴だけでなく主要な噴火の推移も明 らかになっている。岩石学的には活動期毎のマグマ 組成差が明らかになっているだけでなく(荒牧・小 林,1986;宇都ら,2005),15世紀からの主要な噴火 (文明から昭和噴火)の解析から,過去 500 年間は 苦鉄質マグマと珪長質マグマの2端成分マグマ混合 が継続していること,さらに混合マグマにおける苦 鉄質マグマの比率が,時間とともに増加しているこ とが明らかにされた(Yanagi et al., 1991)。

一方, 桜島は 20 世紀初めの大正噴火以降, 西暦 1946年の溶岩流出の噴火(昭和噴火)を経て, 西暦 1955年からは中~小規模のブルカノ式噴火が頻発す るようになり, その活動は現在まで継続している。 しかしながら,何故最近 50年間で中~小規模の噴火 が頻発しているのかについて, これまでの研究だけ では明らかにすることはできない。

我々は桜島の活動の現況の解明と将来予測を行う ために、桜島火山噴出物の物質科学的解析を行って

year(AD)	eruptive style	vent	volume
1955-	vulcanian eruption	summit	
1946	la∨a flow	flank (East)	0.18km <sup>3*</sup>
1914-15	plinian eruption $\rightarrow$ lava flow	flank (East, West)	1.5km <sup>3**</sup>
1779	plinian eruption $\rightarrow$ lava flow	flank (NE, South)	1.8km <sup>3**</sup>
1471-76	plinian eruption $\rightarrow$ lava flow	flank (NE, SW)	0.8km <sup>3**</sup>
764-66	phreatomagmatic eruption → lava flow	flank (East)	0.3km <sup>3**</sup>

Table 1Summary of historical eruptive activity ofSakurajima volcano.

\*: Ishihara et al. (1991); \*\*: Kobayashi and Tameike (2002)

いる。本報告では15世紀から現在までの噴火につい て,個々の噴火のマグマ供給系の構造,およびその 時間変化について明らかにする。それらの結果から, 20世紀からこれまでとは別なマグマがマグマ系に加 わり,そのために噴火様式も変化した可能性がある ことを議論する。

#### 2. 歴史時代噴火活動

桜島では8世紀の噴火から古記録に残っており, 特に西暦 1471 年から始まった文明噴火からは詳細 が明らかになっている(Table 1)。西暦 764~766 年 の噴火と 15 世紀以降の噴火を比較すると,15 世紀 からの噴出物は時間とともに苦鉄質に変化する傾向 が明瞭であるが,西暦 764~766 年噴火の噴出物はそ の傾向とは非調和的であり,西暦 1471~1476 年の文 明噴火・西暦 1779 年の安永噴火の噴出物よりも苦鉄 質であることが分かっている(富樫ら,2007)。この ことから8世紀の噴火以降,桜島火山のマグマ系は 変化した可能性があり,また15世紀からはマグマ系 に大きな変化はない可能性がある。そこで,本報告 では15世紀からの噴火活動に注目して検討を行う。

15世紀以降, 桜島では, 西暦 1471~1476年の文 明噴火, 西暦 1779年の安永噴火, そして西暦 1914 ~1915年の大正噴火と, VEI (火山爆発指数)で5 ~4の大噴火が発生した。これらの噴火はプリニー 式噴火で周辺に降下軽石・火山灰を堆積させ,その 後に溶岩流出へと移行している。大正噴火以降は中 ~小規模の爆発的噴火が起きるようになり, 西暦 1946年には溶岩が流出した(昭和噴火)。昭和噴火 は VEI 4で,それ以前の大噴火と比べると規模は一 桁程度小さくなる。昭和噴火の後, 西暦 1955年から は山頂火口においてブルカノ式噴火が頻発するよう になり,現在に至っている。

15世紀からの噴火履歴と個々の噴火の規模・様式 を見ると(Fig. 1a),大正噴火までの,文明および安 永の大噴火の前後は,噴火活動は低調であった。つ まり,休止期あるいは穏やかな活動状況が続いた後 に,大噴火が発生している。しかしながら,大正噴 火以降は噴火活動が活発になって,特に西暦 1955 年 から中~小規模噴火が多発する噴火活動期が 50 年 以上継続している(Fig. 1b)。この最近 50 年間の活 動は,過去 500 年にはなかった活動である。むろん, 古記録の場合には,記録もれの可能性はあるが,桜 島周辺は薩摩地方の中心地であり,最近の活動のよ うに周辺に降灰があるような噴火が記録に残らなか



Fig. 1 (a) Temporal change of eruptive activity of Sakurajima volcano since the 15th century. (b) Number of explosions at Minamidake crater since AD 1955. Data are taken from Japan Meteorological Agency HP.

った可能性は低いであろう。以上から, 桜島火山で は20世紀になってから, あるいは大正噴火から噴火 活動のパターンが変化していると結論づけられる。

#### 3. 試料採取および物質科学的解析手法

文明噴火からの3回の大噴火および昭和噴火については、降下軽石および溶岩流から試料を採取した。 サンプルは降下軽石層の下位から上位まで、複数の 層準毎に区別して採取した。溶岩流は噴出口の違い に留意し、さらに一つの溶岩流でも複数の地点から 試料を採取した。西暦1955年以降の試料については、 京都大学防災科研桜島観測所および鹿児島大学理学 部が採取した試料を対象とした。

試料の処理および解析は全て北海道大学大学院理 学研究院で行った。試料のうち,径2cm以上のもの については試料1個ずつ,径2cm以上のものについ ては複数個を合わせて,全岩化学組成分析用の粉末 試料を作成した。各粉末試料について1:2希釈のガ ラスビードを作成し,蛍光X線分析装置(スペクト リス社製 MagiX PRO)を用いて測定した。また,代 表的な試料について薄片を作成し,鏡下観察を行っ た。斑晶モード組成は,オートマチックポイントカ ウンターを用いて測定した(>3000 カウント/1 薄 片)。鉱物化学組成は,JEOL 8800 波長分散型 EPMA で ZAF 補正を適用して測定した。分析条件は,加速 電圧が15kV,電流値は10nA(斜長石),20nA(斜 方輝石・単斜輝石・かんらん石・磁鉄鉱)で,各元 素 30~100 秒間カウントした。

### 4. 岩石記載および鉱物化学組成

15世紀からの噴出物は斑晶鉱物組み合わせによっ て、単斜輝石斜方輝石デイサイトおよび安山岩と、 かんらん石単斜輝石斜方輝石安山岩に大別できる。 かんらん石斑晶を含まない岩石は、文明および安永 噴火の全ての噴出物、その他に大正噴火の降下軽石 および西山腹から流出した溶岩が該当する。一方、 かんらん石を含む安山岩は、大正噴火で東山腹から 流出した溶岩と昭和噴火の溶岩が該当し、西暦 1955 年以降の南岳火口噴出物、西暦 2006 年からの昭和火 口噴出物の殆どがこのタイプの岩石である。

単斜輝石斜方輝石デイサイトおよび安山岩:この タイプの噴出物は、斜長石、斜方輝石、単斜輝石お よび Ti 磁鉄鉱を斑晶として含む。斑晶量は 10 vol. % 前後(文明噴出物)から 25~30 vol. %(大正噴出物) と、噴火年代が新しくなると増加している。集斑晶 も含まれるが、そのサイズは 3 mm 前後(文明)か ら 5 mm 前後(大正)と次第に大きくなる傾向があ る。斜長石斑晶は清澄なものから塵状包有物を含む ものや溶融したコアを持つものまで様々であるが、 清澄な斜長石斑晶の比率は噴火年代が新しくなるに つれて減少する。

かんらん石単斜輝石斜方輝石安山岩:このタイプ の噴出物は、少量のかんらん石斑晶の存在を別にす ると、その他の斑晶鉱物組み合わせや量比、そして



Fig. 2 Histograms of core compositions of phenocrystic minerals in the historical juvenile materials of Sakurajima volcano. pl: plagioclase; opx: orthopyroxene; cpx: clinopyroxene; mt: magnetite; and ol: olivine. On magnetite, the occurrence of samples is also shown.



Fig. 3 Harker diagrams of major elements for whole-rock chemistry of the historical juvenile materials of Sakurajima volcano.



Fig. 4 SiO<sub>2</sub> vs.  ${}^{87}$ Sr/ ${}^{86}$ Sr plot of the historical juvenile materials of Sakurajima volcano.

それぞれの斑晶の特徴は、かんらん石を含まない大 正噴出物と類似している。一部の試料では、かんら ん石斑晶は細粒のピジオン輝石の反応縁に取り囲ま れている。大正噴出物と比べて、昭和噴出物ではか んらん石斑晶は微斑晶サイズになり、量も少なくな る。西暦 1955 年以降の南岳火口噴出物では、かんら ん石斑晶は更に少なくなり、分厚い反応縁を持つも のの割合が増える。しかし 1970 年代後半の一部の試 料には、反応縁を持たないかんらん石斑晶が少量含 まれ、また 1980 年代の噴出物中には、周縁部が溶融 した斜長石斑晶が認められるようになる。2006 年以 降の昭和火口噴出物も、西暦 1955 年以降の南岳火口 噴出物と特徴が類似し、反応縁を持たないかんらん 石斑晶も少量認められる。

Fig. 2 には、それぞれの噴火での噴出物の斑晶コアの組成分布を示した。文明噴火(西暦 1471~1476 年)から昭和噴火(西暦 1946 年)噴出物では、複数の試

料の分析値をまとめて図示している。また磁鉄鉱で は降下軽石や溶岩など,分析試料の起源について示 している。<br />
斜長石斑晶は Yanagi et al. (1991) が示し たように、コアの An 値 [Ca/(Ca+Na+K)×100] が 50 ~60 の低 An 値の斑晶と, An 値が 80 前後の高 An 値の斑晶が共存するバイモーダルな組成分布を示す。 また、噴火年代が新しくなると、バイモーダルな組 成分布には変化はないが,高 An な斑晶の比率が増加 している。輝石斑晶の組成分布はユニモーダルで, 噴火年代が新しくなると、その Mg 値 [Mg/(Mg+Fe) ×100] は次第に増加している。磁鉄鉱斑晶の Mg/Mn 比は, 文明から大正までは, 次第に増加しているが, 昭和では大正と比べて Mg/Mn 比がやや低くなり, そ の後は一定となる。かんらん石は Fo 値 [Mg/(Mg+Fe) ×100] = 75~80の斑晶に富むが, Fo 値が低いものも 認められる。かんらん石斑晶の有無でみると、斜長 石斑晶の組成分布に差異は認められないが、輝石・ 磁鉄鉱斑晶では、かんらん石を含む試料において、 組成分布がやや広がるようである。

#### 5. 全岩化学組成

#### 5.1 主成分化学組成

既に指摘されているように、文明噴火から噴火年 代が新しくなるにつれて、噴出物は次第に苦鉄質に 変化している(Fig. 3)。全岩 SiO2量は、文明噴火で は 66-68 wt. %,安永噴火では 64-66 wt. %,大正噴 火では 59-64 wt. %,昭和噴火では 61-62 wt. %,そ して西暦 1955 年から 2010 年までは 58-62 wt. %で あり、個々の噴火での噴出物の組成幅は大正噴火を

#### 除いて小さい。

SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 図などでは文明から西暦 2010 年までほ ぼ直線的に変化しており,Yanagi et al. (1991)の文 明噴火から 2 端成分マグマ混合が昭和噴火まで進行 しているという解釈と調和的である。しかしながら, SiO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 図では文明・安永噴出物は SiO<sub>2</sub>の増加と ともに P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>が減少する傾向があるが,20 世紀の噴出 物は逆に SiO<sub>2</sub>の増加とともに P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>が増加している。 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,MgO,FeO\*や Na<sub>2</sub>O でも,一連の組成多様性 を示さず,文明・安永噴出物と 20 世紀噴出物で異な るトレンドを描くようである (Fig. 3)。

#### 5.2 Sr 同位体比

Sr 同位体比も文明・安永と20世紀からの噴出物で は異なる多様性を示す(Fig. 4)。文明・安永噴出物 は<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr = 0.70519~0.70528の狭い組成幅で,SiO<sub>2</sub> の変化に対してほぼ一定,あるいはSiO<sub>2</sub>が減少する と同位体比がわずかに減少する傾向がある。それに 対して,20世紀噴出物のSr 同位体比は 0.70520~ 0.70494の広い組成幅を示し,SiO<sub>2</sub>の減少とともに単 調にSr 同位体比が減少する。そのトレンドの高SiO<sub>2</sub> 側のSr 同位体比は,文明・安永の同位体比変化を低 SiO<sub>2</sub>側に外挿した値と一致している(Fig. 4)。

#### 6. 議論

#### 6.1 マグマ混合の証拠

Yanagi et al. (1991) は斜長石斑晶組成がバイモー ダルな分布を示すことから, 文明噴火以降のマグマ プロセスとして、2端成分マグマ混合が重要である と指摘した。斑晶コア組成分布に加えて,新たに文 明・安永および大正の3つの大噴火の噴出物につい て斑晶鉱物の累帯構造も検討した(Fig. 5)。いずれ の噴火噴出物でも,斜長石および輝石斑晶は,コア 組成が低 An あるいは低 Mg#の斑晶は逆累帯を示し, 逆に高 An あるいは高 Mg#のコア組成の斑晶は正累 帯を示す。正・逆の異なる組成累帯構造を示す斑晶 が共存することから,マグマ混合が主要なマグプロ セスであることがわかる。しかしながら噴出物中の かんらん石の斑晶の有無や, SiO,変化図で多くの元 素が文明噴火から現在まで単純な2端成分マグマの 混合線を描けないなど、Yanagi et al. (1991) が指摘 した単純な2端成分マグマ混合では説明できない岩 石学的特徴が多く存在する。

#### 6.2 混合端成分マグマの変化

文明・安永噴火では、かんらん石を含まず、斜長 石斑晶はバイモーダルな組成分布を示す(Fig. 2)。



Fig. 5 Core and rim compositions of plagioclase and pyroxene phenocrysts in the juvenile materials of the AD 1471-1476, AD 1779 and AD 1914-1915 eruptions.

また,輝石斑晶はバイモーダルな組成分布を示さないが,正・逆累帯構造を示す斑晶が共存する(Fig. 5)。 さらに,全岩組成は SiO<sub>2</sub>変化図上で,Sr 同位体比を 含む全ての元素が文明・安永の噴出物では直線的に 変化する(Figs. 3 and 4)。このことから Yanagi et al. (1991)が指摘したように,これらの噴出物は同じ

2端成分マグマの混合で説明できる。

上記の2端成分マグマは、鉱物化学組成・全岩化 学組成を考慮すると、斜方輝石・単斜輝石・低 An 斜長石を含んだデイサイト質マグマ(Fマグマ)と、 斜方輝石・単斜輝石・高 An 斜長石を含み、かんらん 石を含まない安山岩質マグマ(もしくは、低 SiO<sub>2</sub>デ イサイト質マグマ)(Aマグマ)であると推定される (Fig. 6)。

一方,大正噴火からの20世紀噴出物では,かんらん石が認められるようになる(Fig. 2)。それ以外の斑晶組成分布は文明・安永と同じ,あるいは文明から安永の組成変化と調和的な組成分布変化を示している。かんらん石はFo=78~80の斑晶が多く認められるが,これらのかんらん石は,共存する斜方輝石あるいは単斜輝石よりも Mg に富み,鉱物-メルト間のFe-Mg 分配から考えると,両者は平衡共存できない。つまり,大正噴火からの20世紀の活動では,文明・安永の端成分マグマとは異なる,かんらん石を含んだ玄武岩質マグマの関与が示唆される。

全岩化学組成 SiO<sub>2</sub>変化図をみると,20世紀噴出物 は、文明・安永噴出物との間に明瞭な組成ギャップ



Fig. 6 Estimated end-member magmas in the eruptive activity since the 15th century, and their relationships.

を持ち,それらが描く組成トレンドとは異なる直線 トレンドを描く(Fig. 6)。また,その直線トレンド を外挿すると,高 SiO<sub>2</sub>側は文明・安永噴出物の組成 トレンドと SiO<sub>2</sub> = 64~65 wt.%付近で交わる。これ らの特徴から,大正噴火以降の20世紀の活動では,

Since AD 1914-1915



(b)

#### (a) AD 1471-1476 AD 1779

Fig. 7 Magma plumbing system model beneath Sakurajima volcano since the 15th century. (a) AD 1471-1476 and AD 1779 eruptions; (b) since AD 1914-1915 eruption.



Fig. 8 Assumed pressure sources of ground deformation on the basis of continuous GPS observation since AD 1978. *I* and *II*: AD 1978-1980 observation (Eto and Nakamura, 1986); *III*: AD 1991-1996 (Eto et al., 1998) and AD 1996-2007 (Iguchi et al., 2008). Iguchi et al. (2008) also suggests the inflated source of *IV* during AD 2003-2005.

文明・安永噴火の2端成分マグマの混合マグマに, 新たに第3のマグマ,玄武岩質マグマ(Bマグマ) が加わった,と結論できる。

#### 6.3 マグマ供給系の構造と時間変化

今回の岩石学的検討の結果,文明・安永噴火では デイサイト質マグマ(Fマグマ)と安山岩質マグマ (Aマグマ)の混合が起きたことが分かった。文明 より安永噴出物の方が,高An斜長石をより多く含み, 全岩 SiO2量が低いことから(Figs. 2 and 3),時間と ともに安山岩質マグマ(Aマグマ)の比率が増加し

ていることが分かる。また一般に、マグマは密度的 に安定する深度で定置・蓄積することから、デイサ イト質マグマの方が安山岩質マグマより浅部に存在 しやすい。従って, 文明・安永噴火では, 元々存在 していたデイサイト質マグマ溜まり (Fマグマ) に, より深部から安山岩質マグマ(A マグマ)が注入・ 混合したと解釈される (Fig. 7a)。また、これらの噴 火では, 噴火以前に長期の休止期(または低調期) があること(Fig. 1a), 噴出物中に含まれる斑晶鉱物 のリム組成は概ね均質であり, 直前のマグマ混合の 痕跡と思われるような顕著な逆累帯構造が認められ ないことから(Fig. 5),その混合マグマは桜島火山 下へ時間をかけてゆっくり移動・蓄積し、均質化し てから噴火に至ったと考えられる。一方、大正噴火 以降の20世紀の活動では、このマグマ系に新たに玄 武岩質マグマ(Bマグマ)が加わった(Fig. 7b)。大 正噴出物中に含まれる斑晶鉱物には顕著な逆累帯構 造が認められ、リム組成も幅広い(Fig. 5)。従って、 玄武岩質マグマ(Bマグマ)の混合は噴火直前であ り,均質化する前に噴火に至っていると解釈される。

これまでの姶良カルデラ周辺の GPS 観測データか ら,姶良カルデラ下に地殻変動の膨張圧力源があり, マグマが蓄積していると考えられている(例えば, 江頭ら,1998;井口ら,2008:Fig.8)。また,その 蓄積されたマグマの一部は噴火時に桜島火山下へ移 動していることも明らかになってきている(例えば, 江頭・中村,1986)。これら観測データから考えると, 姶良カルデラ下に蓄積しているマグマはデイサイト 質マグマ(Fマグマ)であり,安山岩質マグマ(A マグマ)が注入し,膨張していると解釈できる。そ



Fig. 9 Temporal change of the SiO<sub>2</sub> content for whole-rock chemistry of the juvenile materials since the 20th century.



Fig. 10 Olivine phenocrysts in the 1978 juvenile material showing the less silicic whole-rock composition in Fig. 9. *Top*: open nicol; *Bottom*: cross nicol. Horizontal width of photos is 2 mm.

の混合マグマが噴火時には桜島火山下へ移動してい ると考えられるが、20世紀以降はその途中で玄武岩 質マグマ(Bマグマ)が貫入し、噴火に至っている。 1970年以降の噴火前に観測されている火山性地震 (例えば、加茂、1978)は、この玄武岩質マグマの 動きを反映したものなのかもしれない。

# 6.4 20 世紀からの活動様式の変化とマグマ系 との関連

上述したように、桜島火山では、20世紀から中~ 小規模の噴火が頻発しており、これまでにない噴火 活動様式に変化しているといえる。ここでは、岩石 学的に噴火様式の変化とマグマ系の変化の関連につ いて考察する。20世紀以降の噴出物の全岩化学組成 SiO<sub>2</sub>量の時間変化をみると、全体としては、大正噴 火以降、時間とともに SiO<sub>2</sub>量が減少しており、玄武 岩質マグマの混合が進行していると考えられる (Fig. 9)。しかし、その傾向は単調ではなく、南岳火口で の爆発が激化した 1970 年代中盤から 1980 年代 (Fig. 1b) にかけて、SiO<sub>2</sub>量の乏しいマグマ物質が噴出し ていることが分かる (Fig. 9)。これらの噴出物を鏡 下で観察すると、反応縁を持たないかんらん石斑晶 や (1970 年代後半: Fig. 10)、周縁部が溶融した斜長 石斑晶が認められる (1980 年代)。このことから、 20世紀以降の活動では、噴火活動の規模が拡大して いる時期に玄武岩質マグマの関与が増大している、 ということが示唆される。この関係は、大正噴火の 場合も同じで、特に玄武岩質マグマの比率が高い。

Fig. 11 に、大正噴火以降の姶良カルデラ西縁の相 対上下変動の経年変化を示す。大正噴火において大 量のマグマを噴出した後、姶良カルデラ周辺は大き く沈降したが、その後は昭和噴火の後などの多少の 沈降はあるものの、噴火のない時期、もしくは噴火 の低調な時期には常に隆起している。つまり、桜島 火山のマグマ系では、定常的にマグマの蓄積が進行 していると言える。しかし、西暦 1955 年以降、中~ 小規模のブルカノ式噴火が頻発しており、岩石学的 には玄武岩質マグマの関与が認められる。これらの ことを考慮すると、20 世紀になって頻繁に中~小規 模の噴火を繰り返すようになったのは、玄武岩質マ グマが頻繁に上昇し、デイサイト質マグマ+安山岩 質マグマの混合マグマに注入していることが原因で あると考えられる。

20世紀以前の活動では、玄武岩質マグマの関与が なかった、あるいは非常に小規模であった為に、姶 良カルデラから桜島火山下に大量のマグマが蓄積さ れ、大規模な噴火に至った。一方、大正噴火以降、 20世紀からは玄武岩質マグマが頻繁に注入してくる 為に、桜島火山下に十分にマグマを蓄積できないま ま、噴火に至っていると考えられる。

これまでの GPS 連続観測データより,現在の姶良 カルデラ下のマグマは,大正噴火前のレベルまで蓄 積されている可能性がある (Fig. 11)。しかし,20世 紀からの活動は,玄武岩質マグマの比率が大きい時 に,噴火の規模が拡大していることから,現在の桜 島火山の噴火規模は玄武岩質マグマの注入の程度に 支配されているのかもしれない。今後の活動推移を 予測するためには,姶良カルデラから桜島火山下へ のマグマの移動だけでなく,より深部からの玄武岩 質マグマの動きにも注意を払う必要がある。また, 姶良カルデラ下のデイサイト質マグマ+安山岩質マ グマが現在どのような状態になっているのか,岩石 学的に更に検討し,詳細を把握しておくことも必要 である。

#### 7. まとめ

桜島火山 15 世紀から現在までの噴出物の岩石学 的検討を行った結果,以下のことが明らかになった。

 桜島火山では、文明・安永噴火では、デイサ イト質マグマと安山岩質マグマの2端成分マ グマ混合のマグマ系であったが、20世紀から



Fig. 11 Temporal change of relative heights of BM. 2474 referred to BM. 2469 (Iguchi, 2008: modified from Eto et al., 1997).

は, 第3のマグマ, 玄武岩質マグマが新たに 加わった。

- 2) 文明・安永噴火では、デイサイト質マグマと 安山岩質マグマの混合マグマが桜島火山下に 十分蓄積し、均質化してから噴火しているの に対し、20世紀の噴火活動では、その混合マ グマが十分蓄積しないうちに、玄武岩質マグ マが貫入し、噴火に至っている。
- 3) 20世紀以降の活動では、噴火規模が大きい時期に玄武岩質マグマの関与も増大しており、 玄武岩質マグマの貫入が噴火頻度と規模を 支配している、と考えられる。

#### 謝 辞

本研究を遂行するにあたり,火山活動研究センタ ーのスタッフの方々には,日頃より大変お世話にな っている。鹿児島大学の小林哲夫氏には,一部試料 を提供していただき,かつ有益なコメントをいただ いた。北海道大学理学部の野村秀彦氏・中村晃輔氏 には薄片作成において,池田昌隆氏には全岩組成・ 鉱物組成分析において,大変お世話になった。なお 本研究は,文部科学省による「地震及び火山噴火予 知のための観測研究計画」の研究費を一部使用した。 ここに記して,謝意を表します。

#### 参考文献

荒牧重雄・小林哲夫 (1986): 姶良カルデラ・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(昭和 57 年 10 月~12 月), pp. 115-129.

- 江頭庸夫・中村貞美 (1986): 桜島火山周辺における 地盤変動-1974-1982年-, 第5回桜島火山の集中 総合観測(昭和57年10月~12月), pp.11-21.
- 江頭庸夫・高山鉄朗・山本圭吾・Hendrasto, M.・味 喜大介・園田忠臣・木股文昭・宮島力雄・松島健・ 内田和也・八木原寛・王彦賓・小林和典(1998): 桜 島火山周辺における水準測量結果について-1991 年12月~1996年10月-,第9回桜島火山の集中 総合観測(平成8年10月~平成9年4月), pp. 15-29. 江頭庸夫・高山鐵朗・山本圭吾・Hendrasto, M.・味 喜大介・園田忠臣・松島健・内田和也・八木原寛・ 王彦賓・木股文昭・宮島力雄・小林和典(1997): 姶 良カルデラの地盤の再隆起-1991年12月~1996年 10月-,京都大学防災研究所年報,第40号 B-1, pp. 49-60.
- 井口正人 (2008):総括,第10回桜島火山の集中総合 観測(平成19年6月~平成20年3月), pp. 195-202.
- 井口正人・高山鐵朗・山崎友也・多田光宏・鈴木敦 生・植木貞人・太田雄策・中尾茂 (2008): GPS 観測 から明らかになった桜島のマグマ活動,京都大学防 災研究所年報,第51号 B, pp. 241-246.
- 石原和弘・高山鐵朗・田中良和・平林順一 (1981): 桜 島火山の溶岩流 (I) - 有史時代の溶岩流の容積-,
- 京都大学防災研究所年報,第24号 B-1, pp. 1-10. 加茂幸介 (1978): 桜島における噴火の前駆現象と予 知,火山,第23巻,53-64.
- 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, 第 41 巻, pp. 269-278.

- 松本亜希子・中川光弘・宮坂瑞穂・井口正人 (2011): 桜島火山 2006 年以降の昭和火口噴出物の岩石学的 特徴の時間変化,日本地球惑星科学連合大会予稿集 2011 (CD-ROM), SVC050-23.
- 佐藤泉・野上健治 (2011): 桜島火山南岳における火 山噴火様式と火山灰水溶性成分,日本地球惑星科学 連合大会予稿集 2011(CD-ROM), SVC050-P16.
- 富樫泰子・中川光弘・宮坂瑞穂・福島大輔・小林哲 夫 (2007): 桜島火山,8 世紀からの歴史時代活動期 のマグマ供給系の構造と変遷,日本地球惑星科学連 合大会予稿集 2007(CD-ROM), V156-038.

宇都浩三·味喜大介·Nguyen, H.·周藤正史·福島大

輔・石原和弘 (2005): 桜島火山マグマ化学組成の時 間変化,京都大学防災研究所年報,第48号B, pp. 341-347.

- Shimano, T., Yokoo, A., Iguchi, M. and Miki, D. (2011): Petrological monitoring at Sakurajima volcano, SW Japan, Abstracts, International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly 2011 (in Melbourne), pp. 161.
- Yanagi, T., Ichimaru, Y. and Hirahara, S. (1991): Petrochemical evidence for coupled magma chambers beneath the Sakurajima volcano, Kyushu, Japan, Geochemical Journal, Vol. 25, pp. 17-30.

## Change of mode of eruptive activity and the magma plumbing system of Sakurajima Volcano since the 20th century

Mitsuhiro NAKAGAWA\*, Akiko MATSUMOTO\*, Mizuho AMMA-MIYASAKA\*, Yasuko, TOGASHI\* and Masato IGUCHI\*\*

> \* Graduate School of Science, Hokkaido University \*\* Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

#### **Synopsis**

Sakurajima volcano repeated large eruptions with dormant periods since the 15th century. After the 1914 eruption, however, frequent vulcanian eruptions have occurred since AD 1955 until now. We carried out petrological research of eruptive materials since the 15th century, to discuss the evolution of magma plumbing system and the relationship between the mode of eruptive activity and magma system. As a result, it is revealed that magma mixing between dacitic and andesitic ones occurred in the 1471-1476 and 1779 eruptions and that the basaltic magma has injected into these mixed magma since the 20th century. The larger scale of vulcanian eruptions in the 20th century is usually accompanied with increasing in ratio of basaltic magma in the eruptive materials. This suggests that temporal change of mode of eruptive activity of Sakurajima volcano is related with frequent injection of basaltic magma. In order to predict future eruptive activity, detecting of movement of the basaltic magma should be important.

**Keywords:** Sakurajima volcano, magma plumbing system, magma mixing, eruption prediction, mode of eruptive activity