

火山灰による桜島火山の噴火活動評価手法の検討

富士常葉大学環境防災学部 嶋野 岳人・花田 泰裕
京都大学防災研究所 井口 正人

1. はじめに

桜島火山は、鹿児島市中心部の東方数 km にある安山岩質の活火山である。歴史時代でも文明噴火、安永噴火、大正噴火のようなプリニー式噴火が知られており、島民に多大な被害をもたらしてきた。一方、1955年からの活動では、ブルカノ式噴火を主とする活動を行っている。これらのブルカノ式噴火では、プリニー式噴火などに比べると噴出量や噴火による災害の程度も比較的小さいが、長期間にわたって火山灰を噴出し、鹿児島市内では降灰、さらに島内では火砕流や土石流の被害を受けている。桜島火山では、上記の大噴火の堆積物の間に火山灰を含む土壌などが確認できる。このような火山灰を多く含む堆積物は最近半世紀の活動による堆積物と同様のものであり、過去にも比較的短期に大量のマグマを噴出する大規模噴火と長期にわたる小規模噴火を繰り返してきたことを物語っている^{1), 2)}。しかし、大、小規模噴火の関係については不明な点が多く、また、小規模噴火の噴出物については大規模噴火に比べてまだ十分に解析がなされていない。今後の活動を長期・短期的に予測する上でも現在の火山活動について理解することが重要である。火山活動の予測とは、噴火活動の時間推移を予測することに他ならない。したがって、この予測を行うためには、噴火活動の時間変化を調べ、そこから活動の時間変化を支配するメカニズムを理解する必要がある。現在、地球物理学的手法としては地震、地殻変動をはじめとして現象のリアルタイムモニタリングが実用化されている。一方、物質科学的手法については、火山ガス観測手法が近年急速に整備されてきたが、マグマそのものあるいは固体物質の時系列試料採取手法、更にその解析手法は未だ確立されていない。

噴出物(特に火山灰)の解析はこれまで、各粒子毎に記載、鉍物・火山ガラス分析、岩石組織解析等を行って、これらをいくつかのタイプに分類し、各タイプの含有量を噴火毎に比較するという手法がとられてきた³⁾。この手法は試料それぞれの詳細を調べ、噴火個々の特徴、更にそのメカニズム等を議論する上では極めて有用である。一方、この手法は試料準備、試料分析、データ整理等、議論に至るまでほぼ全ての過程で時間のかかる作業を必要とした。長期間にわたる定常サンプリングによる試料の解析では多数の試料を継続的に解析する必要があり、このような煩雑な手法を継続することは困難である。そのような観点から、火山灰試料全体をそのまま粉碎し蛍光 X 線分析法によって分析する方法を有珠火山 2000 年噴火噴出物に適用し、本質物

質の含有量の検出を行った例がある⁴⁾。しかし、桜島火山の現在の活動のようにほぼ同一の全岩化学組成の噴出物を放出し続ける活動では、このような手法によって噴出物の有意な時系列変化を見いだすことは困難であろう。簡便であると同時に、噴火活動の変化を確実にとらえることが可能な手法の確立が望まれる。

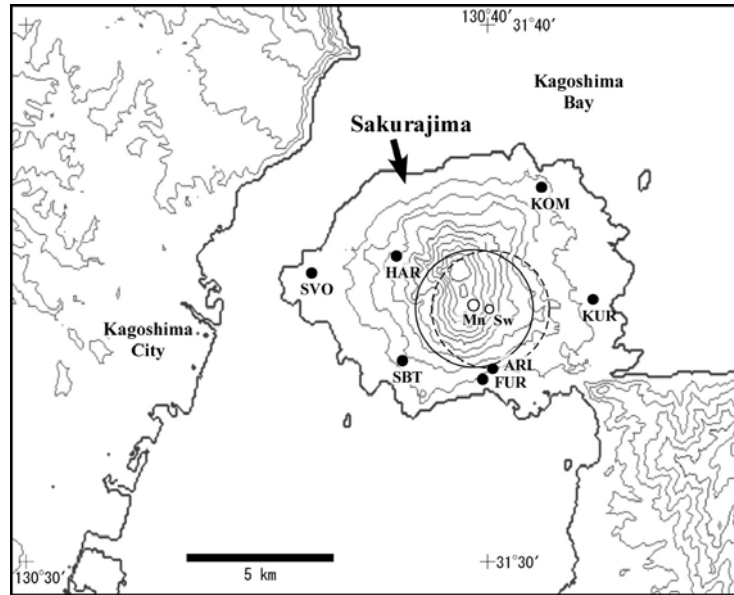


図 1. 火山灰試料採取地点。ARI, KOM は常時観測点である。実線、破線の円はそれぞれ南岳、昭和火口から 2km の範囲を示している。

近年、桜島火山や浅間火山など、玄武岩～安山岩質マグマの噴出を継続して行う火山で

は、しばしば結晶度の異なる同一全岩組成マグマの噴出が確認されており、石基結晶度や発泡度と活動様式とに相関が認められている³⁾。そこで本稿では、桜島火山の 2006-2007 年の活動で噴出した火山灰について、比較的簡便な作業で継続が可能な手法として、粉末エックス線回折法による火山灰の分析、火山灰の片面研磨薄片の電子顕微鏡写真を用いた粒子形状解析を試みた結果を報告する。また、定常的に火山活動を監視するために開発した自動火山灰採取装置の概要を紹介する。

2. 噴火活動概要

2006 年 6 月から翌年 6 月の桜島火山における活動は、主に昭和火口、南岳火口、昭和火口における活動の 3 期に分けることが出来る。2006 年 6 月 4 日には、58 年ぶりに昭和火口(図1の Sw)での活動が確認された(Sk01)。その後、6 月 6 日、7 日(Sk02)に噴火が発生し、12 日以降は昭和、南岳両火口で噴火が発生した(Sk03, 04)。7 月以降は南岳火口での活動に移行し、月に数回、爆発を伴う噴火や連続的に火山灰を放出する噴火を行った。2007 年 5 月 16 日には再び昭和火口で噴火が発生し、6 月 22 日まで活動した。この間、南岳火口でも数回活動が確認されている。その後は両火口とも活動が沈静化した。2008 年 2 月初めには昭和火口で再び噴火が発生し(数回)、火砕流の発生が確認された。現在、火山活動は沈静化している(2008 年 2 月末)。

表 1. 分析した火山灰試料の採取日時, 地点

試料番号	噴出火口	採取年	採取日時	場所	降灰量 g/m ²	記載	降灰範囲等
Sk01	Sw	2006	6/5 9:30	SBT	240.0	灰白色細粒	東桜島-赤水
Sk02	Sw		6/8 9:00	HAR	4.0	灰白色極細粒、やや wet	北西方向中心
Sk03	Sw/Mn		6/13 17:20	HAR	126.0	灰白色細粒	北西方向
Sk04	Sw/Mn		6/19 17:15	SBT	44.0	灰白色極細粒	南-南西方向
Sk05	Mn		8/8 14:00	HAR	29.0	灰白色細粒	西北西方向
Sk06	Mn		8/23 16:45	SBT	27.5	灰色細粒	南西方向中心
Sk07	Mn		9/21 8:45	SVO	12.8	灰白色細粒、やや wet	赤生原南部-横山
Sk08	Mn		10/5 10:00	SBT	2.0	灰白色極細粒	南西方向
Sk09	Mn		10/30 9:50	HAR	28.4	灰色細粒	北西方向
Sk10	Mn		11/6 11:50	HAR	10.5	灰白色細粒	北西方向
Sk12	Sw	2007	5/16 11:00	KUR	58.1	灰白色細粒	東および北方向
Sk13	Sw		5/24 14:30	HAR	42.0	灰白色極細粒	北西
Sk14	Sw		5/31 13:00	FUR	44.8	灰白色極細粒、灰色中-粗粒 (最大径 2mm)	南
Sk15	Sw		6/5 12:00	SVO	3.2	灰白色極細粒-細粒	西
Sk11	Sw		6/6 12:00	HAR	47.3	灰白色極細粒-細粒	北東

場所は図1の観測点を示す。

3. 試料・分析手法

解析に用いた火山灰試料は、京都大学防災研究所火山活動研究センターによって、2006年6月から2007年6月に島内各点で採取されたものである(図1, 表1)。採取時の遠望観測等から、2006年6月および2007年5-6月の火山灰は主に昭和火口(Sw)の活動、2006年8-10月の火山灰については主に南岳火口(Mn)の活動によるものと考えられる。噴出時の風向きや噴煙高度により降灰分布地域は異なるが、試料は全て火口から約2-6kmの地点で採取された。多くの試料は乾燥状態で採取されているが、いくつかについては濡れた状態あるいは降雨の後に採取されている。試料は主に灰白色細粒の火山灰からなるが、凝集した豆石状の産状のもの、シルトサイズ以下の細粒粒子が乏しいものも認められる。火山灰の粒径は南岳火口の噴出物に比べて、昭和火口の噴出物の方がやや粗い傾向が認められた。

粉末エックス線回折法分析は、結晶の回折現象を用いた鉱物の同定手法として一般に用いられている手法である。本研究では、佐野(2004)⁵⁾

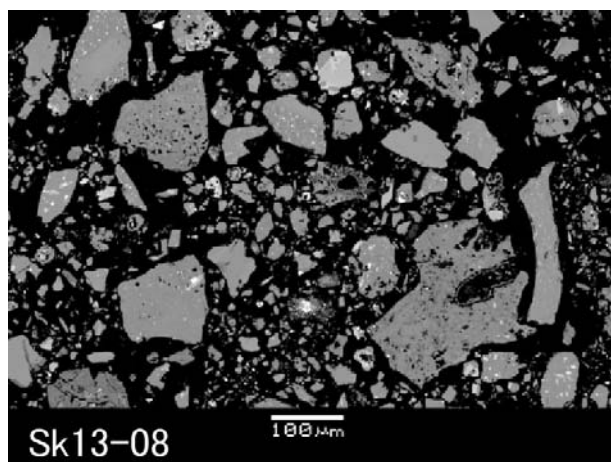


図 2. 2006-2007 年噴火による火山灰の薄片走査顕微鏡写真

に基づき、富士常葉大学環境防災学部のエックス線回折装置(リガク製 MiniFlex)を用いて行った。火山灰試料は採取した乾燥試料を鉱物分別等をすることなく、そのまま、めのう乳鉢で粉砕した。また、電子顕微鏡写真撮影は同学部の走査電子顕微鏡(日本電子社製 JSM5600 型)を用いて行い、粒子形状解析は長軸 100 μm 以上の粒子について長軸と短軸の長さを測定した。

4. 分析・解析結果

期間中に採取された火山灰試料は、いずれの試料についてもさまざまな結晶度、発泡度、形状の火山灰粒子によって構成される(図 2)。発泡度の高い粒子は比較的複雑な形状を持つものに対して、発泡度の低い粒子は多角形状の粒子が多い。気泡径は 100 μm 程度の大きいものから数 μm 程度のもので様々である。小さいものほど球状を呈し、大きいものは扁平ないし複雑な形状を呈する。石基はほぼ完晶質のものが多く、石基結晶には斜長石、輝石、鉄チタン鉱物などが認められる。これらの石基結晶のサイズは、火山灰粒子毎に異なり、数十 μm 程度のものから、数 μm 未満のものまで様々である。

4. 1. X 線回折法による分析結果

分析結果を図 3 に示した。いずれの試料についても斜長石に相当する回折ピークが確認され

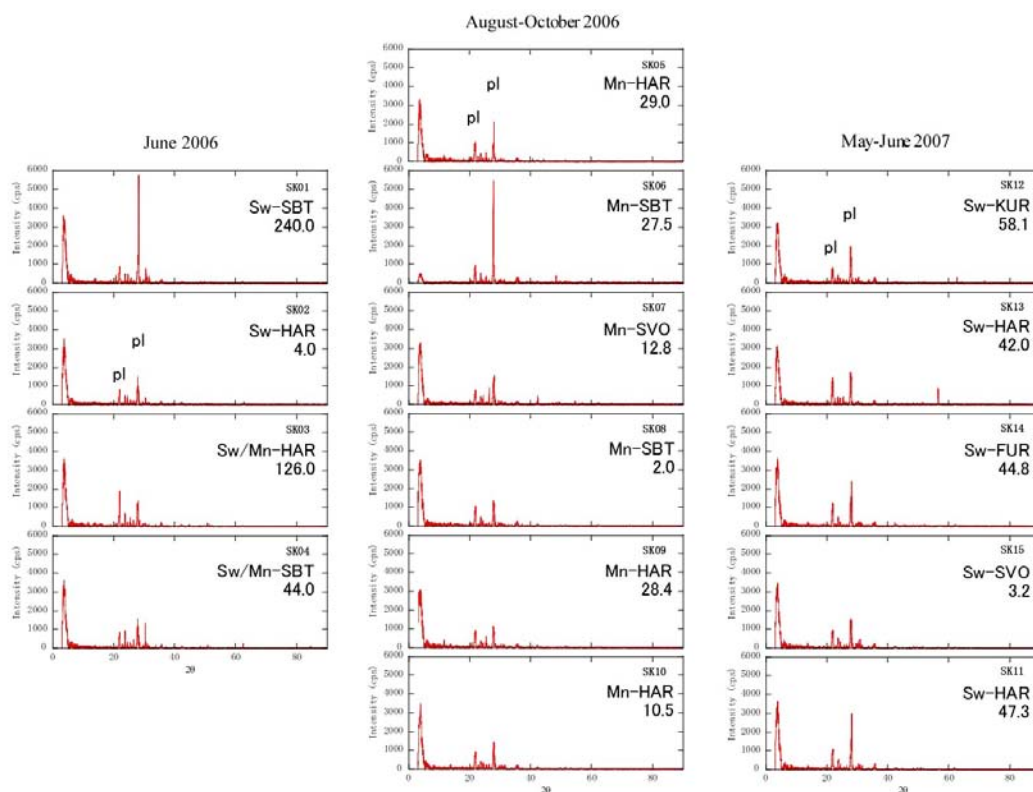


図 3. 2006-2007 年噴火による火山灰の粉末 X 線回折分析結果。plは斜長石の回折ピークを示す。

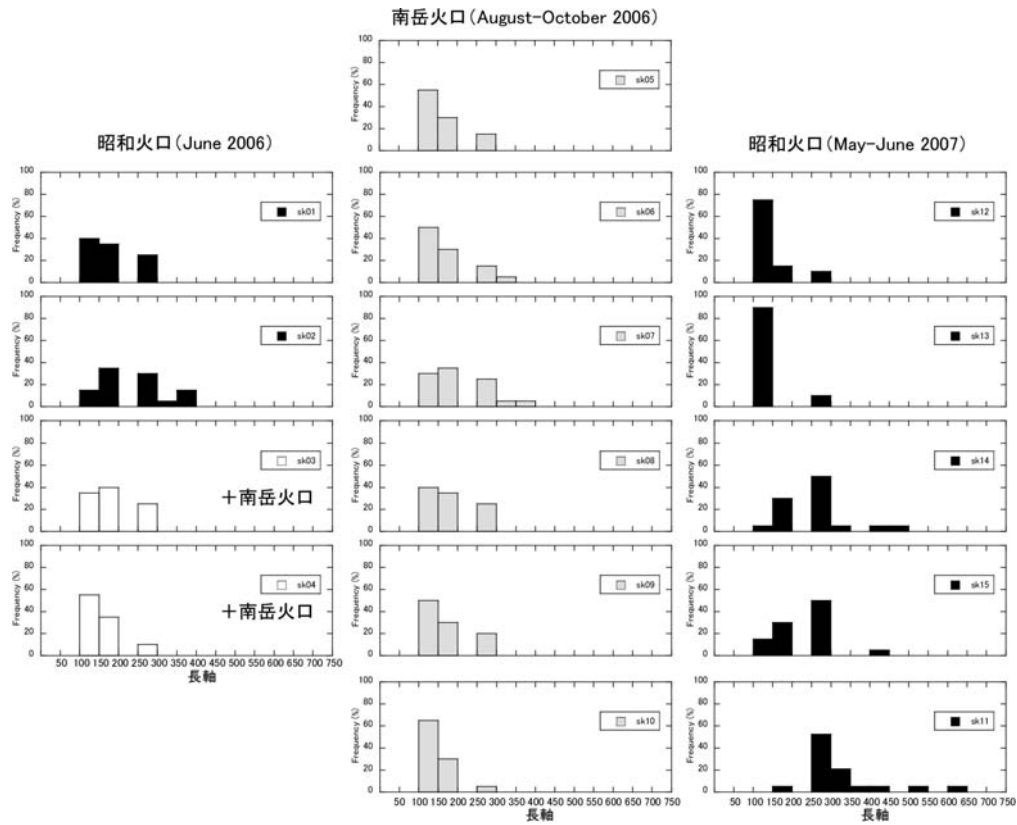


図 4. 火山灰粒子の長軸の長さ。左: 主に昭和火口の活動(2006 年 6 月)。中: 南岳火口の活動(2006 年秋)。右: 昭和火口の活動(2007 年 6 月)。

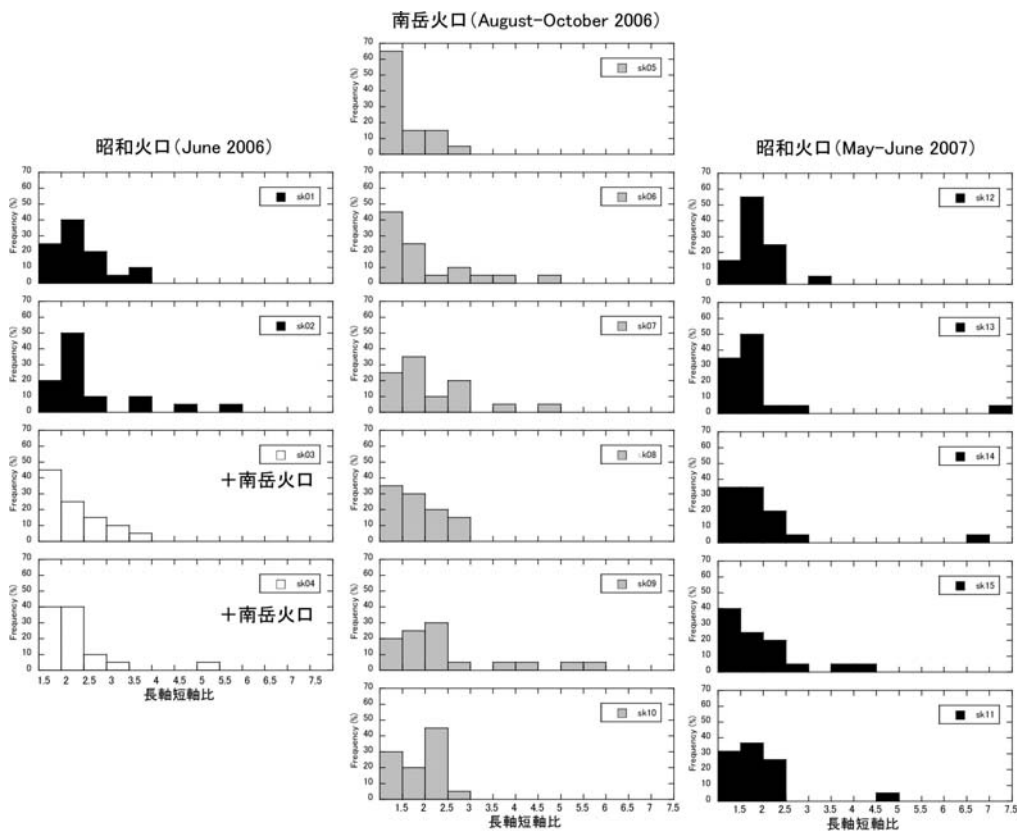


図 5. 火山灰粒子の長軸/短軸比。左: 主に昭和火口の活動(2006 年 6 月)。中: 南岳火口の活動(2006 年秋)。右: 昭和火口の活動(2007 年 6 月)。

た。しかし、ピーク強度の噴火日時、噴出火口、採取地点、活動様式による明瞭かつ系統的な違いは認められない。また、斜長石以外にもやや弱いピークがいくつか認められるが、対応する鉱物種は不明である。

4. 2. 電子顕微鏡写真による形状解析結果

各試料ごとの分析結果を図 4, 5 に示した。噴火日時、噴出火口、採取地点による明瞭な違いは認められないが、昭和火口、とくに 2007 年の活動による火山灰には粒径が $300\ \mu\text{m}$ を超えるものが多い。また、長軸/短軸比については多くの粒子は 1~3 程度に収まり、伸長した形状のものは少ないことがわかる(図 6)。

5. 考察と今後の課題

本稿では、結晶度の異なる噴出物を識別する方法として X 線回折法分析を行った結果を示した。また、発泡度の違いなどが火山灰粒子の形状に反映すると考え、異なる火山灰粒子を識別する方法として、長軸/短軸比等の解析結果の報告を行った。しかし、解析を行った桜島火山 2006-2007 年の噴火活動による火山灰の間では、いずれの手法でも噴火日時、噴出火口、採取地点等による明瞭な違いは認められなかった。このことは、この期間の活動が比較的よく似た活動であったこと、さらにそれらの噴出物が比較的似通っていたことを考えると整合的である。し

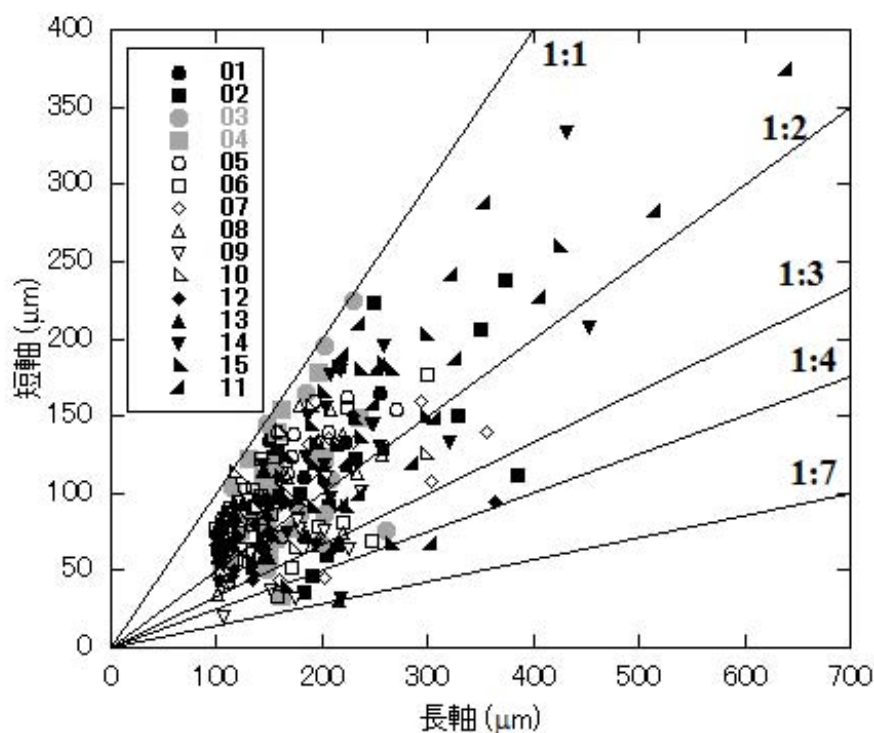


図 6. 火山灰粒子の長軸-短軸の関係。直線は短軸:長軸が一定の関係を示す。

かし、この間でも、昭和火口と南岳火口の 2 火口が別々に活動し、連続的噴火や爆発噴火というタイプの異なる噴火が数時間単位で変動しつつ発生していたことが報告されている。したがって、本稿で用いた手法では、少なくともこのようなわずかな噴火様式の違いや噴出火口の違いを火山灰から読み取ることが出来ていないことになる。

今回結晶度の違いを検出するために用いた X 線回折装置は、簡便性を重視したため、卓上型の小出力型のものを用いた。しかし、本装置では 20 体積%以上含まれる結晶しか同定できないことが報告されており⁵⁾、電子顕微鏡写真でも明瞭な結晶量の違いが認められなかった今回のような試料においては、本回折装置で相違点を見いだすのは困難であった可能性がある。今後は、より高出力の回折装置等による分析を検討する必要がある。また、結晶度の違いを間接的に推定する方法として、火山灰の色測定を用いた手法を検討する価値もあるだろう。これは、色測定が比較的簡便かつ定量的な手法であり、最近、桜島火山でも噴火活動と色指数等とに相関関係が見出されているためである⁶⁾。

これまでも述べてきたように噴火活動を定常的にモニターし続けるためには、これまでの煩雑な手法に代わる簡便な手法を考案する必要がある。そこで今回は、火山灰粒子形状解析手法としても長・短軸の長さのみの測定を行った。しかし、火山灰粒子を詳しく観察すればわかるとおり、同一のアスペクト比を持つものでも、極めて複雑な形状を持ったものから比較的単純な矩形のものまでさまざまである。このような多様性には結晶組織や発泡組織を反映した要素が含まれていると考えられるが、これまで、これらの組織解析に関しては、画像処理が煩雑でありデータ量も多量になる結晶サイズ分布などを取得することが一般的であった。今後、これらの岩石組織と相関関係にあり、かつ測定が比較的容易な情報を抽出していく必要があるだろう。

最後に、桜島火山で定常的に噴出



図 7. 桜島南西有村川における自動火山灰採取装置の設置状況。F:採取口, S:試料保管部, B:電源部, W:防風壁。

物を採取するために開発した自動火山灰採取装置を簡単に紹介する(図7)。本装置は無人無電源地域で火山噴出物を自動採取するための装置である。任意の時間間隔で30試料の連続採取が可能である。これまでに駆動部の防水・防塵対策、火山ガスによる腐食対策等の火口周辺の特異環境においても耐久可能であるべく改良を行った。また、軽量化を行ったため、一人でも人力で運搬が可能である。現在は、桜島火山の北側の高免および南側の有村川で稼働中である。なお、2006年2月から試験運転を行ってきたが、本稿で分析に用いた火山灰は装置の稼働期間でなかったため、本装置で取得したものではない。

謝 辞

観測を実施するにあたり、国土交通省大隅河川国道事務所桜島砂防事務所、京都大学防災研究所火山活動研究センターの方々にご協力いただきました。また、自動火山灰採取装置の製作においては東北大学理学部技術部にお世話になりました。記してお礼申し上げます。なお、本研究費用の一部に文部科学省科学研究費補助金を使用した。

参 考 文 献

- 1) 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「火山噴火に伴う乾燥粉体流(火砕流等)の特質と災害」(代表者荒牧重雄)報告書, 137-163.
- 2) Imura, R. (1993): A reconstruction of small-scale eruptions using pyroclastic deposits, *Geograph. Rep. Tokyo Metropolitan Univ.*, Vol.28, 79-112.
- 3) 嶋野岳人・飯田晃子・吉本充宏・中田節也(2005): 浅間火山2004年噴火噴出物の岩石学的検討, *火山*, 第50巻, 第5号, 315-332.
- 4) 嶋野岳人・金子隆之・中田節也(2001): 火山灰のXRF化学組成分析に基づく本質物質寄与の見積もり—有珠火山2000年噴火を例として—, *震研彙報*, Vol. 76, No.4, 247-251.
- 5) 佐野貴司(2004): X線回折装置を用いた鉱物の同定, *富士常葉大学研究紀要*, 第4号, 57-64.
- 6) Yamanoi, Y., Takeuchi, S., Okumura, S., Nakashima, S., Yokoyama, T. (2008): Color measurements of volcanic ash deposits from three different styles of summit activity at Sakurajima volcano, Japan: Conduit processes recorded in color of volcanic ash, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2007.11.013

(Received on March 11, 2008)