

# 桜島で連続採取した火山灰の分光測色による活動評価指標の検討

嶋野岳人\*・井口正人\*\*・味喜大介\*\*

\* 富士常葉大学大学院環境防災研究科

\*\* 京都大学防災研究所

## 要 旨

2008年2月から約4年間にわたって連続採取した桜島火山昭和火口における噴火の降下火山灰の色を分光測色計により測定した結果を示した。様々な特質の粒子からなる火山灰試料はそれらの構成比によって大きくばらつくものの、火口の大規模な拡大や供給マグマの組成変化など、比較的顕著な表面現象の変化については、 $L^*a^*b^*$ 値の違いとしてある程度認識できることが分かった。

**キーワード:** 桜島火山, 噴出物観測, 活動指標, 分光測色

## 1. はじめに

活動的火山において連続データを取得することは活動の逐次予測を行う上で不可欠のものとなっている。桜島火山は我が国で有数の活火山で、歴史時代にもたびたび大規模の噴火をしているが、一方で、これらの噴火の間には、休止期を挟みつつ断続的に灰放出を行ってきたと考えられている。このような小規模噴火から大規模噴火への移行過程の理解は中長期的活動予測を行う上で必須の課題である。2006年に58年ぶりに活発化した昭和火口の活動は、活発化から数年で溶岩流出に至った昭和噴火の場合と同様の経緯を辿ったことが指摘されてきたが(井口ほか, 2008), 今のところ顕著な活発化傾向は認められていない。今後、昭和噴火レベルの活動へ移行するのかどうかを見極め、よりの確に対処するには、数年の時間スケールでの将来予測が必要である。

これまで桜島火山では、様々な地球物理学的手法に基づく連続観測によって、マグマの蓄積・移動量、蓄積深度等の推定が行われ、短期的な爆発予測や上昇過程や爆発メカニズムについての成果が得られた(Tameguri et al., 2002; Iguchi et al., 2008 など)。しかし、マグマあるいは噴出物の特性については、降灰量を除いて、連続的かつ多角的な解析体制の整備には至っていない。筆者らは、火山近傍の悪条件下でも十分に動作する自動火山灰採取システムを完成させ、約4年間の連続採取に成功した(現在も継続中)。これらの試料の石基ガラス組成分析等が行われ、マグマ供給系やマグマ上昇過程に関する議論が行われている(嶋野・井口, 2011)。

一方で、噴出物の連続観測をいち早く活動予測につなげるには、このような複雑な作業を伴わない、より迅速にデータ提供ができる簡便な手法を用いることが望ましい。しかし、噴火活動の尺度となりうる観測量で、容易かつ客観的に(できれば定量的に)評価できるものは何か、という点は必ずしも明らかではない。筆者らはこれまでいくつかの火山活動指標を検討してきた(嶋野ほか, 2008, 2010a, 2010b, 2011)。ここでは新たに、比較的時間的な変化が捉えられてきたバルク火山灰の分光学的な測色法(Yamanoi et al., 2008; 宮城他, 2010)を採用し、日毎連続採取試料に対して実施した。ここではその活動指標としての可能性について予察的な考察を行う。

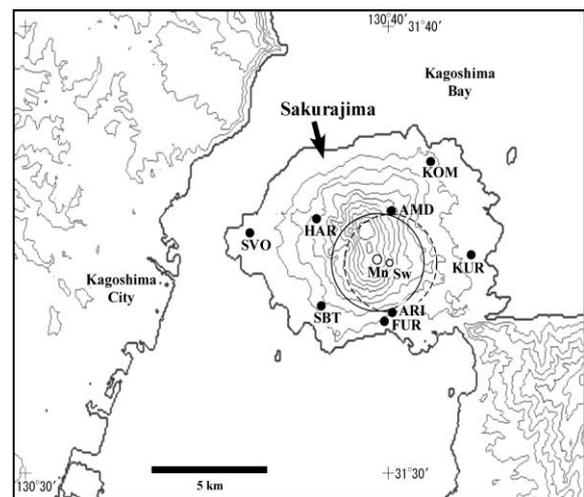


Fig. 1 火山灰試料採取地点。試料は主に南部の有村 (ARI) で採取。実線、破線の円はそれぞれ南岳 (Mn), 昭和火口 (Sw) から 2km の範囲を示している。

## 2. 観測手法・解析手法

本研究では、自動火山灰採取装置（嶋野ほか, 2010）により、桜島火山南東麓の有村観測点（Fig. 1のARI）において2008年2月14日から24時間間隔で1試料採取し、およそ1ヶ月毎に回収した試料を用いた。装置上面の採取口は直径15 cm（開口面積0.177 m<sup>2</sup>）である。本稿では降灰量を1m<sup>2</sup>あたりの値（乾燥重量）として示した。

試料は実験室において乾燥後、秤量を行った（2010年10月以降、日毎の秤量は省略）。その後、試料はガラス製容器に封入し保存した。火山灰の色測定は富士常葉大学の分光測色計（コニカミノルタ社製CM-700d）を用い、ガラス容器中の火山灰をガラス底面を通して測定した。測定時は毎回ゼロ校正、白色校正を行った。なお、色変化の素過程を考察する上では直接火山灰の色を測定する必要があるが、本稿では迅速に色変化を捉えることを優先し、ガラス容器封入状態で各試料について3~5回の測定を行った（桜島の数試料についてはガラス容器未封入/封入時の結果が同様であることを確認）。なお、火山灰試料は2008年2月~現在まで何度かの欠測（最長1ヶ月程度）以外は観測地点に降灰があれば採取に成功している。ただし、2009年2月までは採取量が少なかったため、色測定は行えなかった。それ以降についても採取量が少ない場合は測定を行っていない。また2010年4月以降は、先行して毎月3個程度の試料をピックアップして分析を行ったが、それ以外の月日の試料については継続して測定中である。

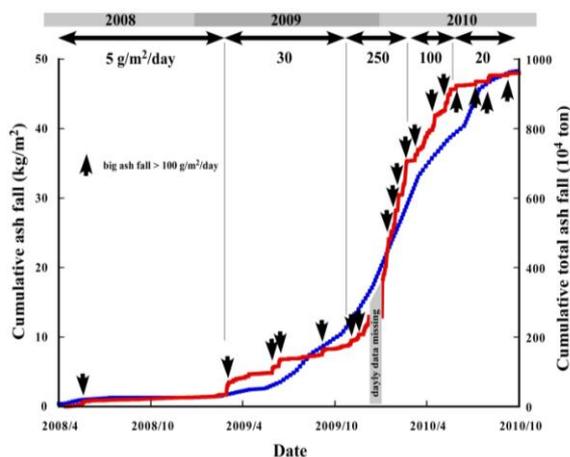


Fig. 2 有村観測点（Fig. 1のARI）の2008年4月から2010年10月までの日別積算降灰量（赤線）。月毎の平均降灰率は比較的大規模な噴火（矢印）の頻度に依存。総量は面的調査による月別降灰量（青線）とよく一致する。

## 3. 採取火山灰量

これまで4年間の有村観測点における火山灰採取量（乾燥重量）は、2010年初めまでは概ね加速的に増加した（Fig. 2）。これ以降は降灰率が徐々に低下した。2010年末からは、各爆発の規模は小さくなったが、爆発の頻度が上がり、その後、降灰量、爆発規模、頻度とも多少の増減を繰り返しているが、概ね同程度の活動レベルで推移している。

## 4. 測色計による測色結果

測定結果をL\*a\*b\*空間（国際照明委員会基準CIE1976）により示した。L\*は明度を表し、高い値ほど明るいことを示す。a\*は高い値（正）ほど赤色の強い傾向、低い値（負）ほど緑色の強い傾向、b\*は高い値（正）ほど黄色の強い傾向、低い値（負）は

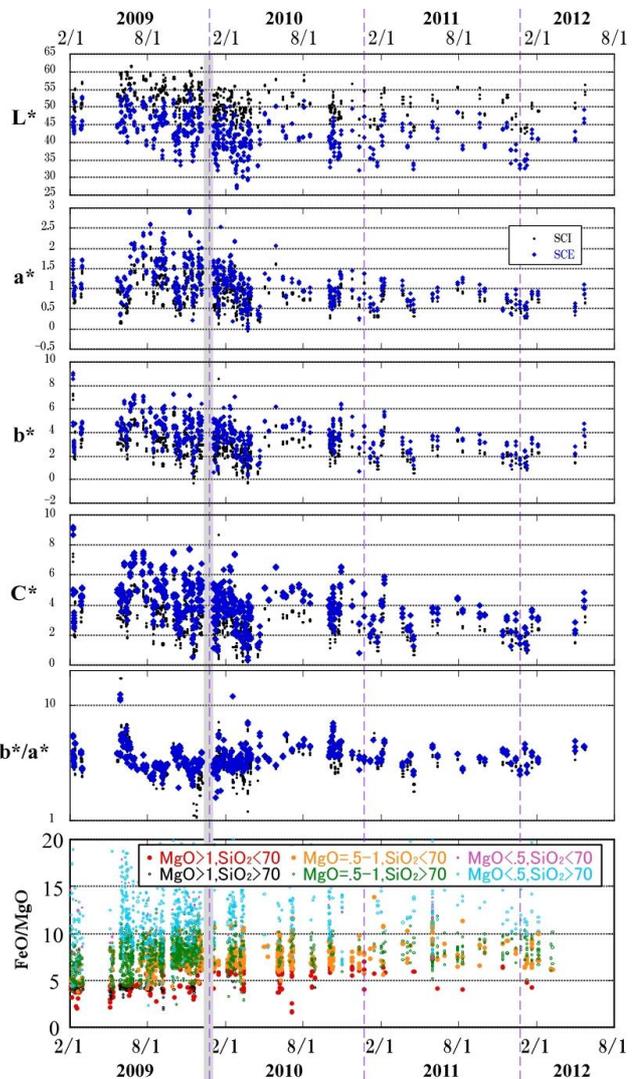


Fig. 3 2009年2月から2012年半ばまでの測色結果（L\*, a\*, b\*, C\*, b\*/a\*値）および火山灰粒子の石基ガラス組成（FeO/MgO比）。

ど青色の強い傾向を示す。また、 $C^*$ は彩度を表し、 $a^*$ 、 $b^*$ の二乗の和の平方根を取ったものである。SCIは照射光の正反射光を含む色、SCEは正反射光を除去した色を示し、それぞれ試料の素材の色、表面形態を含めた色（見かけの色）を反映している。本研究結果では、両者の絶対値には差が認められたものの、変化傾向はほとんど変わらなかった。

時系列変化については、全日測定を行った2010年4月までの試料では $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $C^*$ 、 $b^*/a^*$ それぞれについて、15、1、3、4、1-2程度のばらつき幅を有するものの、系統的な変化が認められた。たとえば、最もばらつきの小さい $a^*$ 値でみると、2009年5月ころから急激に上昇し、2009年8月から翌年4月にかけて徐々に減少した。この変化は、ちょうど昭和火口が拡大した時期およびガラス組成から新たなマグマ注入（高FeO/MgO比）が示唆された時期に対応している（嶋野・井口，2011）。2010年4月以降については、それ以前より色変化が小さい。測定数が少ないことが影響している可能性はあるが、火口の大きな拡大や顕著なマグマ注入などを示す他の観測報告もなく、活動に著しい変化がなかったことと調和的である。

各日毎に見ると、個々の粒子の色、形態等との比較では、新鮮な黒い溶岩片の多い試料は低 $a^*$ 、低 $b^*$ 、硫黄変質した粒子の多い試料は中 $a^*$ 、高 $b^*$ となった。また、同質粒子については粒径の大きいものほど細粒粒子に比べて低 $a^*$ 、低 $b^*$ になる傾向が認められた。比較的細粒な火山灰は3回の測定ともほぼ同じ結果であったが、1/4ミリ程度より粗粒な粒子を含むようになると測定毎のばらつきが大きくなる傾向が見られた。粗粒な粒子のみからなる場合は比較的ばらつ

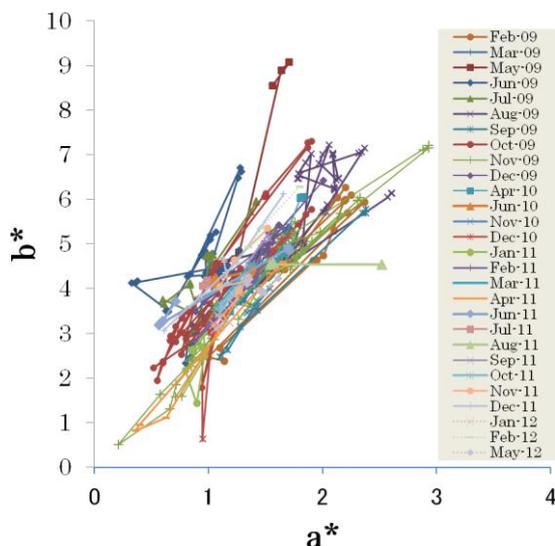


Fig. 4 2009年2月から2012年5月における火山灰の測色結果。粒子の表面形状や岩石学的特徴の他、粒径分布の違いによっても値が変化した。月毎に正の傾きを持つトレンドが認められる。

きの小さい結果となった。

更に月毎に見ると（図4）、月毎に絶対値は異なるものの、月毎に一つのトレンドを作ることが多い。例えば $a^*$ - $b^*$ 図についてみると、月毎に傾きや切片は異なるものの、正の傾きを持つトレンドが見られる。また、ほとんどの結果について $b^*/a^* > 2$ となり、とくに多くの試料では $b^*/a^* < 5$ であった。一方、マグマの組成が変化したと考えられる2009年後半前後では、これ以前に比べて、これ以降の方が低 $b^*$ を示すトレンドになる傾向が認められた。また、変質岩片の多い期間ではやや高 $b^*$ となる傾向が認められた。

## 5. 考察：活動指標としての火山灰の色

桜島で観測される降下火山灰は、それを構成する粒子それぞれを見ると、各日とも色変化に富むが、火山灰試料全体（バルク火山灰）としては顕著な違いは認められない。これは火山灰試料が結晶度や粒径、付着物質、発泡度、化学組成、構成鉱物、結晶組織など多くの要素の違いをもつ粒子の混合物であるためである。したがって、バルク火山灰の色とは、構成種と量比、サイズ分布の違いによって様々に変化することが予想される。また、本研究での測定は径8mmの測定範囲に置かれた火山灰について行っているため、火山灰の不均質性によってばらつく可能性も十分考えられる。

今回、色変化については、既にYamanoi et al. (2008) や宮城他 (2010) が指摘しているような赤色酸化や硫黄化合物の付着の他、結晶化に伴う色の変化が認められた。また、宮城他 (2010) が指摘しているとおり、粒径の異なる粒子で色が異なることも確認された。

一方、Yamanoi et al. (2008) や宮城他 (2010) は火山灰の赤色酸化実験の結果に基づき、酸化温度が高くなるほど $a^*$ - $b^*$ 図における傾きが緩やかになることや硫化物等の付着によって $a^*$ - $b^*$ 図における傾きが急になることを示している。本測定結果でも $a^*$ - $b^*$ 図において正の傾きを示す試料が多数認められ、一部には赤色酸化した粒子や硫黄の付着したものも含まれていた。したがって、本測定結果は火口における酸化温度やマグマのガス量の傾向を知る手掛かりになる可能性が考えられる。一方で、各天然試料は実験産物と異なり、上述のような様々な条件下で形成された粒子から構成される混合物である。したがって、むしろこれら天然試料の示すトレンドは色の異なる物質の混合線と考えるべきであり、酸化過程などの解明には同種の粒子のみを取り出して測定を行う必要があるだろう。

以上の結果を踏まえると、きわめて容易に測定が

可能な分光測色法は火山灰の連続モニターに適していると言える。特に顕著な火口拡大や新たなマグマの注入による強変質岩片やガラス質粒子の混入については、いち早く変化を捉えられる可能性がある。一方で、現段階ではバルク火山灰の色が様々な要素を包含した結果であることを十分認識しておく必要がある。

## 謝 辞

本研究で行った桜島での降下火山灰の採取は、京都大学防災研究所附属火山活動研究センター職員諸氏による支援を受けて実施した。自動火山灰採取装置の立案・設計・作製からトラブル対応までの全般については、東北大学理学部技術部の方々、同理学研究科の西村太志氏の御尽力による。分光測色測定については富士常葉大学学生有志に手伝って頂いた。以上の方々に厚く感謝いたします。

## 参考文献

- 井口正人・為栗 健・横尾亮彦 (2008) 火山活動の経過－1997～2007年－. 第10回桜島火山の集中総合観測, 1-18.
- Iguchi, M., Yakiwara, H., Tameguri, T., Hendrasto, M. and Hirabayashi, J. (2008) Mechanism of explosive eruption revealed by geophysical observations at Sakurajima, Suwanosejima and Semeru volcanoes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 178, 1-9.
- 宮城磯治・伊藤順一・篠原宏志・鹿児島地方気象台 (2010) 火山灰から見た2008年の桜島昭和火口の再活動過程. *火山*, 55, 21-39.
- 嶋野岳人・花田泰裕・井口正人 (2008) 火山灰による桜島火山の噴火活動評価手法の検討. *桜島火山の集中総合観測*, 9, 165-172.
- 嶋野岳人・横尾亮彦・井口正人・味喜大介 (2010a) 桜島昭和火口噴出物の連続サンプリングによる活動監視. 平成21年度京都大学防災研究所一般共同研究報告書, 29-36.
- 嶋野岳人・横尾亮彦・井口正人・味喜大介 (2010b) 粒径に着目した桜島昭和火口噴出物による活動評価指標の検討. 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究 (課題番号1809) 2009年報告書, 93-96.
- 嶋野岳人・井口正人 (2011) 桜島昭和火口噴出物の石基ガラス組成連続変化とひずみ変動の比較. 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究 (課題番号1809) 2010年報告書, 77-80.
- Tameguri, T., Iguchi, M. and Ishihara, K. (2002) Mechanism of explosive eruptions from moment tensor analyses of explosion earthquakes at Sakurajima volcano, Japan. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, 47, 197-215.
- 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.
- 横尾亮彦・井口正人・為栗健・園田忠臣 (2010) 2010年までの桜島昭和火口の噴火活動について. 平成21年度京都大学防災研究所一般共同研究報告書, 3-16.

## Spectrophotometry of Volcanic Ash by Time Series Sampling at Sakurajima Volcano

Taketo SHIMANO\*, Masato IGUCHI\*\* and Daisuke MIKI\*\*

\*Fuji Tokoha Univ., \*\*DPRI, Kyoto Univ., \*\*\*Present address: Tohoku Univ.

### Synopsis

Spectrophotometry of volcanic ash has been carried out for samples collected daily at Sakurajima volcano for four years since February 2008 by automatic ash sampling system. The temporal change of color shows systematic change, although the variation was smaller than that due to sample heterogeneity. Some of these changes are correlated with some events such as vent growth and fresh magma replenishment.

**Keywords:** Sakurajima volcano, monitoring of eruptive products, index of activity, spectrophotometry