

# 桜島火山から噴出する火山灰を構成する斜長石の構造状態 —火山灰構成鉱物から火山活動を監視するための予備的研究—

松井智彰\*・丸本啓介\*\*・中村美勇\*\*・戸高京介\*\*

(2016年10月25日 受理)

Structural state of plagioclases within volcanic ash from Sakurajima Volcano:  
Preliminary investigation of monitoring volcanic activity by constituent mineral

MATSUI Tomoaki, MARUMOTO Keisuke, NAKAMURA Miyu, TODAKA Keisuke

## Abstract

Structural state of plagioclases within volcanic ash erupted from Sakurajima volcano was preliminarily investigated for monitoring the volcanic activity. Samples were collected for about one and a half years from May 2013 at Higashi-Sakurajima Junior High School and for 8 months from May 2015 at the Faculty of Education, Kagoshima University, which are located about 4 km southwest and 11 km west of Minamidake crater of Sakurajima volcano respectively. X-ray powder diffraction data for the plagioclase suggests gradual change in degree of order in the crystal structure during this period.

**Keyword** : Sakurajima, volcanic ash, plagioclase, X-ray powder diffraction, structural state

### 1. はじめに

桜島火山では、半世紀以上にわたって断続的に噴火が多発し、特に数年前から桜島昭和火口からの噴火が頻発し活動が活発化していた。こうした中、昨年(2015年)8月15日には南岳直下付近を震源とする火山性地震の多発や桜島島内に設置されている傾斜計と伸縮計で山体膨張を示す急激な地殻変動が観測され、噴火警戒レベルが3(入山規制)から、4(避難準備)に上げられた(福岡管区気象台・鹿児島地方気象台, 2015)。その後、南岳の地下に貫入したマグマの浅部への上昇は停止し、新たなマグマの貫入も生じていないと考えられることから、9月1日に

\* 鹿児島大学教育学系

\*\* 鹿児島大学教育学部



図1. 桜島昭和火口，火山灰採取地点，鹿児島地方気象台の位置（国土地理院地図 電子国土 Web に加筆）

は噴火警戒レベルは3に引き下げられた。その後の桜島の火山活動は、表面的にはここ数年にない小康状態にあると思われる。

こうした最近の桜島火山の活動の推移については、主として地震波や地殻変動に着目した地球物理学的な解析がおこなわれてきている（例えば、Iguchi, 2013; Hickey et al., 2016）。火山活動の直接的な産物である火山噴出物に関する物質科学的手法を用いた解析は、地球化学的手法を用いた火山ガスの観測（例えば、森, 2010; Kazahaya et al., 2013）や、火山灰や火山弾の記載岩石学的全岩組成分析や鉱物組成分析がマグマの活動と関連付けておこなわれている（例えば、Matsumoto et al., 2013; 松本・他, 2016）。しかしながら、火山灰構成鉱物の結晶構造から火山活動を解明しようという試みはこれまでなかった。

火山灰構成鉱物には生成された温度や圧力を記録した情報が潜在する。このため化学組成と結晶構造を決定することによって、現在噴火を引き起こしている火山直下のマグマの様子（温度や圧力の条件）が直接的に解明されることが期待される。その成果を地球物理学的な手法による観測データと対応させることによって、火山直下のマグマの活動をより精密に記述することが可能になるとと思われる。噴火を予測し火山噴出物による災害に備えるために必要な基本情報として火山灰構成鉱物の結晶構造に関するデータは非常に重要である。

本研究では、桜島火山の昭和火口から噴出する火山灰の構成鉱物のうち最も構成比の高い斜長石に注目して、採取量が多かった期間の試料を用いて粒径による化学組成と結晶構造の違いを検討した結果と全期間を通じた構造状態の変化について検討した途中経過を報告するとともに、火

山灰構成鉱物の結晶構造から火山活動を監視するための効率的な調査方法の検討を試みる。

## 2. 実験方法

火山灰試料は、2013年5月4日から2014年11月4日までは、桜島南岳昭和火口の南西約4kmに位置する鹿児島市立東桜島中学校において採取し、2015年5月1日から同年12月29日まででは同火口の西約11kmに位置する鹿児島大学教育学部管理棟・理系研究棟屋上において採取した(図1)。いずれも数日から1ヶ月の間隔で試料を回収した。

質量測定、縮分、水洗、乾燥の作業を施した火山灰試料から磁石を用いて磁性鉱物を取り除いた後、一部を光学特性観察用に確保し、残りをメノウ乳鉢で粉末化した。粉末化した試料について、リガク製X線回折装置Ultima IV Protectus(管電圧40kV;管電流40mA;モノクロメータ(グラフィット)使用;発散スリット・散乱スリット1°;受光スリット0.15mm;スキャンスピード10°/min;サンプリング幅0.02°)を用いてCuK $\alpha$ 線によって2 $\theta$ が3°~70°の範囲を測定し、回折線データ(XRD図形)を得た。引き続き、測定されたXRD図形について統合粉末X線解析ソフトウェアPDXLを用いたICDD(International Center for Diffraction Data)とのコンピューター照合により鉱物同定を行なった。更に、同装置を用いてCuK $\alpha$ 線によって2 $\theta$ が21°~33°の範囲をより精密な条件(スキャンスピード0.1°/min;サンプリング幅0.001°)で測定し、斜長石の構造状態を推定するために必要な回折線データを得た。2015年に採取した火山灰中の斜長石の化学組成は鹿児島大学自然科学教育研究支援センター機器分析施設の日本電子製電子マイクロアナライザ(EPMA)JXA-8230(電子銃:LaB $_6$ ,加速電圧:15kV,照射電流:2.5 $\times 10^{-8}$ A,プローブ径:10 $\mu$ m)を用いて決定した。

## 3. 結果

### 試料採取

火山灰試料の採取期間、採取量(1m $^2$ あたりに換算)を表1に示す。試料の回収は概ね正午前後におこなった。2015年9月以降の採取量は極少量である。鹿児島市立東桜島中学校と鹿児島大学教育学部における採取量は、昭和火口から西南西に約11kmの位置する鹿児島地方気象台(鹿児島市東郡元町4-1)における降灰量の傾向に概ね対応しているが、爆発回数との相関は相対的に低く、降灰量が風向に依存することが再確認された(福岡管区気象台・鹿児島地方気象台,2016)。

### 粉末XRD分析

今回採取した火山灰試料の代表的な回折線図形(試料番号303)を図2に示す。火山灰の構成鉱物としては灰長石(斜長石)、斜方輝石、単斜輝石が確認された。斜長石は、地殻を構成する鉱物の中で最も一般的な鉱物であり、桜島から噴出した大正溶岩や昭和溶岩の主要構成鉱物でもある。回折線図形(図2)に見られるように、斜長石が大部分を占めていることがわかる。なお、

表 1. 火山灰試料採取期間と採取量

試料番号	採取開始日*	採取終了日*	採取量 (g/m <sup>2</sup> )	1日当たりの採取量 (g/m <sup>2</sup> )
101	20130504	20130518	56.6	4.04
102	20130518	20130524	92.0	15.33
103	20130524	20130601	34.0	1.89
104	20130601	20130615	25.5	1.82
105	20130615	20130712	2.8	0.10
106	20130712	20130720	1.4	0.18
107	20130720	20130802	4.2	0.32
108	20130802	20130823	221.0	10.52
109	20130823	20130830	33.0	4.71
110	20130830	20130914	1103.3	73.53
111	20130914	20130921	365.0	52.14
112	20130921	20131001	930.0	93.00
113	20131001	20131015	1091.0	77.93
114	20131015	20131018	740.0	246.67
201	20131207	20131214	14.2	2.03
202	20131214	20131227	62.3	4.79
203	20131227	20140111	14.2	1.01
204	20140111	20140125	39.6	2.83
205	20140125	20140207	192.5	14.81
206	20140207	20140308	65.1	2.24
207	20140308	20140315	18.4	2.63
208	20140315	20140331	99.1	6.19
209	20140331	20140510	52.4	1.31
210	20140510	20140608	573.2	20.47
211	20140608	20140615	324.1	46.30
212	20140615	20140623	201.0	25.13
213	20140623	20140718	101.9	4.08
214	20140718	20140802	1.4	0.09
215	20140802	20140823	9.9	0.47
216	20140823	20140911	369.4	19.44
217	20140911	20140928	629.9	37.05
218	20140928	20141004	171.3	28.55
219	20141004	20141104	322.7	10.76
301	20150501	20150515	36.3	2.59
302	20150515	20150529	468.1	33.44
303	20150529	20150612	90.0	6.43
304	20150612	20150703	5.7	0.27
305	20150703	20150717	24.3	1.74
306	20150717	20150731	54.7	3.19
307	20150731	20150815	3.0	0.20
308	20150815	20150904	1.1	0.06
309	20150904	20151013	5.1	0.13
310	20151013	20151107	0.8	0.03
311	20151107	20151204	1.1	0.04
312	20151204	20151229	0.2	0.01

\* : 例えば2015年5月1日は 20150501 と表記する。

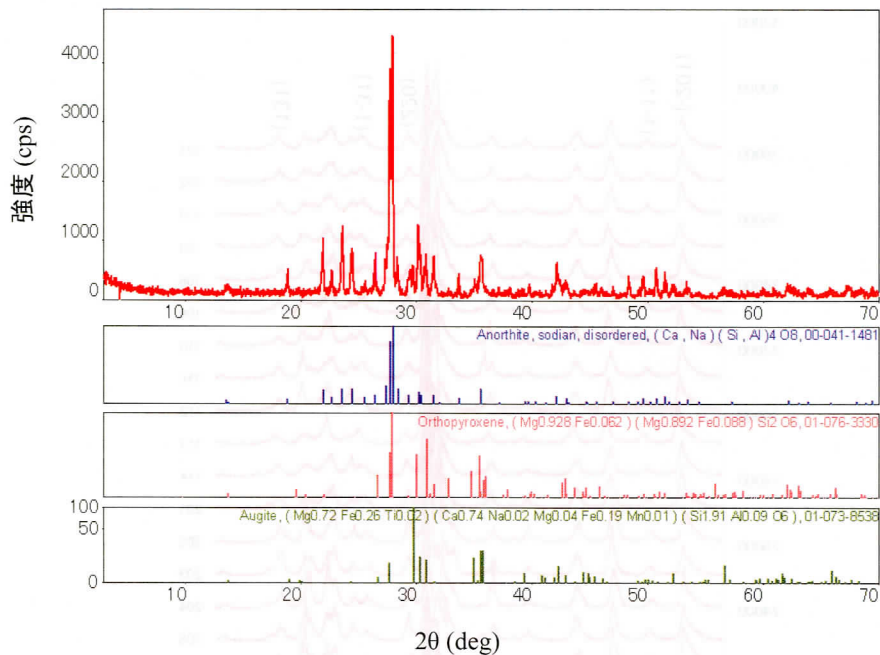


図2. 粉末 XRD 図形 ( $3^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$ , 試料番号303)

試料番号 105, 106, 107, 214, 307, 308, 310, 311, 312 については、採取量が分析に必要な量に満たなかった。

引き続き斜長石の構造状態を決定するために、 $2\theta$  が  $21^\circ \sim 33^\circ$  の範囲をより精密な条件（スキャンスピード  $0.1^\circ/\text{min}$ ; サンプリング幅  $0.001^\circ$ ）で測定した。その結果を図 3 に示す。採取量が多かった試料番号 302 については、粒径を  $250 \sim 500\mu\text{m}$ ,  $125 \sim 250\mu\text{m}$ ,  $63 \sim 250\mu\text{m}$ ,  $\sim 63\mu\text{m}$  にふるい分けして測定した。Scheidegger (1973) に従って面指数 (1-11), (-201), (131), (220), (1-31) に対応する回折線の角度 ( $2\theta$ ) から  $B (= 2\theta_{(1-11)} - 2\theta_{(-201)})$  と  $\Gamma (= 2\theta_{(131)} + 2\theta_{(220)} - 4\theta_{(1-31)})$  を求めた。Ca に富む斜長石の場合、 $B/\Gamma$  プロットによって灰長石成分 (mol%) と構造状態、すなわち長石の結晶構造の T 席における Al と Si の秩序・無秩序配列をある程度推定することができる (図 4)。時期によりばらつきはあるものの全体的に化学組成は灰長石成分に富む傾向になり、秩序度は以前より狭い範囲に収まっているように見える。詳細については現在解析中である。

#### 化学組成

採取量が多かった試料番号 302 の火山灰について粒径ごとにふるい分けした後に電子プローブマイクロアナライザを用いて定量分析をおこなった。中性長石から亜灰長石まで組成幅が広いが、粒径による組成の偏りは認められなかった (表 2)。

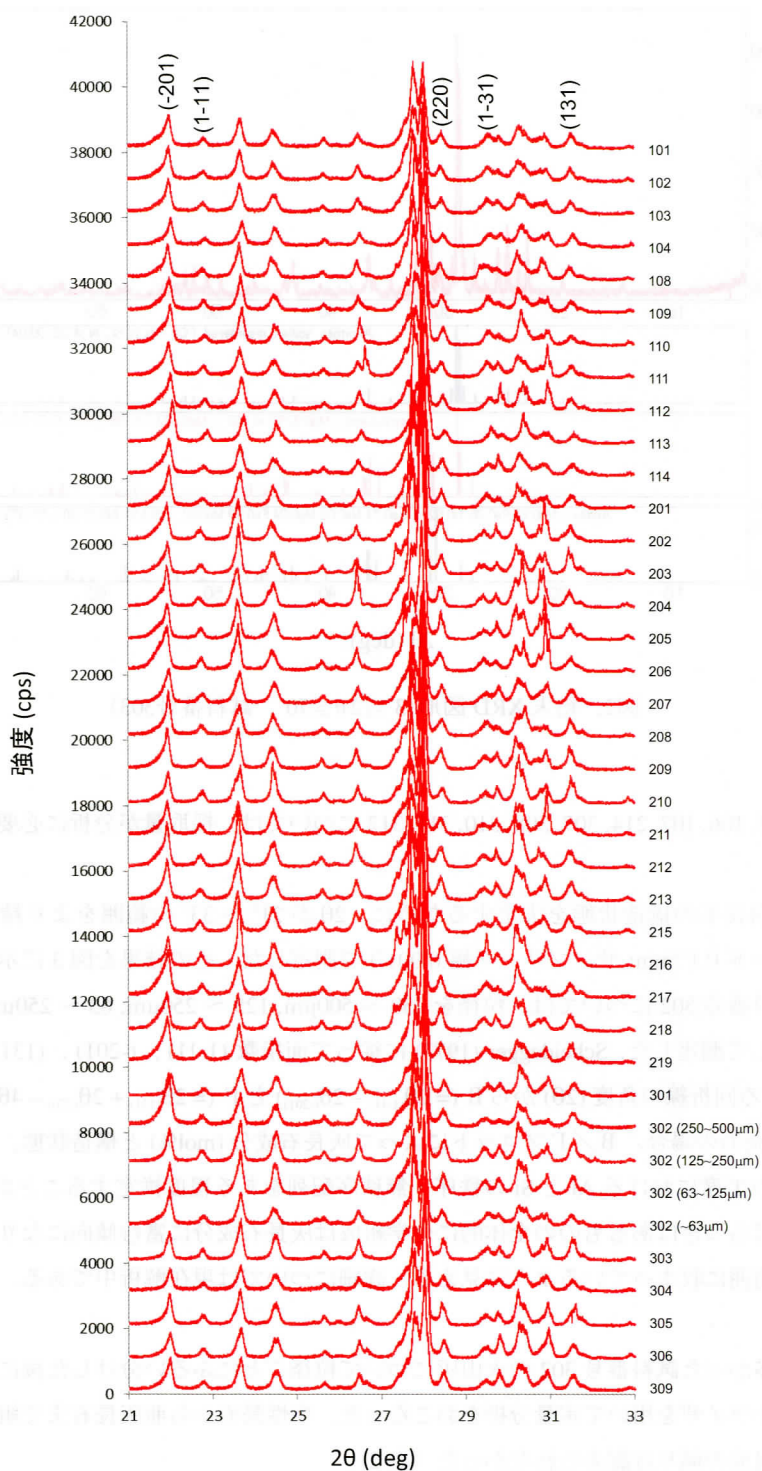


図3. 粉末XRD図形 ( $21^\circ \leq 2\theta \leq 33^\circ$ , 右側の数字は試料番号)

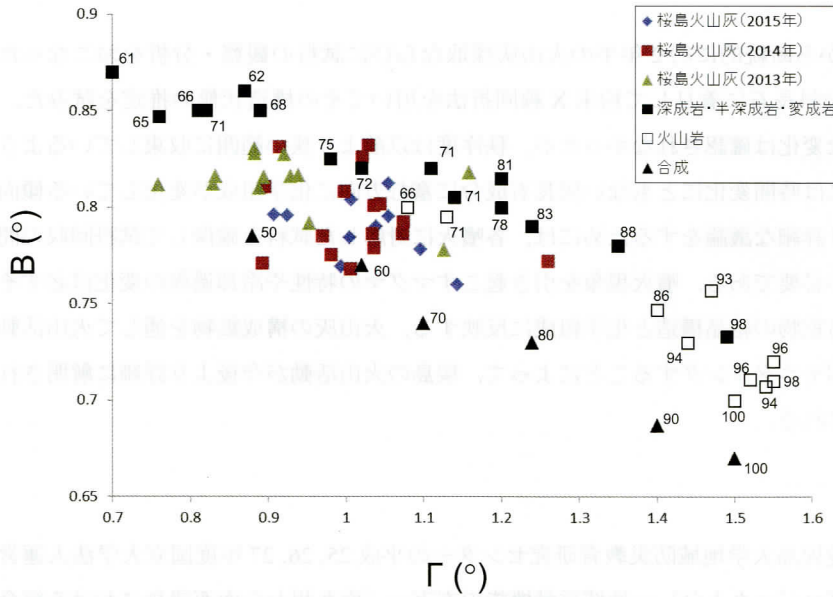


図4. 桜島火山灰を構成する斜長石のB/Γプロット・深成岩・半深成岩・変成岩，火山岩中の斜長石および合成斜長石のデータはSmith & Gay (1957)による．記号近くの数字は灰長石成分の割合を示す．

表2. EPMAによる代表的な化学分析値（試料番号302）

	250~500μm		125~250μm		63~125μm		~63μm	
	Ca-rich	Na-rich	Ca-rich	Na-rich	Ca-rich	Na-rich	Ca-rich	Na-rich
SiO <sub>2</sub>	46.78	56.81	47.87	55.76	45.92	55.31	48.56	60.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.65	27.50	32.81	27.78	32.33	27.05	33.04	24.90
FeO*	0.57	0.67	0.64	0.51	0.61	0.63	0.79	0.89
CaO	17.81	10.93	16.82	11.13	16.95	10.47	16.81	9.06
Na <sub>2</sub> O	1.24	4.88	1.69	4.90	1.38	4.79	1.76	5.43
K <sub>2</sub> O	0.03	0.21	0.04	0.21	0.02	0.22	0.05	0.49
Total	100.08	101.00	99.87	100.29	96.61	98.47	101.01	100.86
酸素原子8個に対する原子比								
Si	2.153	2.534	2.201	2.508	2.173	2.529	2.208	2.667
Al	1.825	1.446	1.778	1.473	1.804	1.458	1.771	1.303
Fe	0.022	0.025	0.025	0.019	0.024	0.024	0.030	0.033
Ca	0.878	0.522	0.829	0.536	0.859	0.513	0.819	0.431
Na	0.110	0.422	0.150	0.427	0.126	0.425	0.153	0.467
K	0.002	0.012	0.002	0.012	0.001	0.013	0.018	0.028
Total	4.990	4.961	4.985	4.975	4.987	4.962	4.999	4.929

\* : FeOとして全鉄を表記

#### 4. まとめ

2013年5月から断続的に約2年半の火山灰採取ならびに試料の観察・分析をおこなった。火山灰構成鉱物の斜長石に着目して粉末X線回折法を用いてその構造状態の推定を試みた。結晶構造には明確な変化は確認されなかったが、秩序度は以前より狭い範囲に収束しているように見える。全体的には時間変化にともない灰長石成分に富む方向に化学組成が変化している傾向が確認された。より詳細な議論をするためには、各噴火に対応した試料を確保して試料回収の間隔を短くすることが必要である。噴火現象を引き起こすマグマの特性や冷却過程の変化は必ずその噴出物を構成する鉱物の結晶構造と化学組成に反映する。火山灰の構成鉱物を通して火山活動を物質科学的に長期モニタリングすることによって、桜島の火山活動が今後より詳細に解明されていくことが期待される。

#### 謝辞

本研究は、鹿児島大学地域防災教育研究センターの平成25, 26, 27年度国立大学法人運営交付金特別経費（プロジェクト分）—地域貢献機能の充実—「南九州から南西諸島における総合的防災研究の推進と地域防災体制の構築」の支援を受けました。本研究を遂行するにあたり、鹿児島市立東桜島中学校教諭の田中智博氏には火山灰試料の採取にご協力いただきました。また火山灰の化学組成分析では鹿児島大学自然科学教育研究支援センター機器分析施設の大倉寛一氏に大変お世話になりました。記して御礼申し上げます。

#### 引用文献

- 福岡管区気象台火山監視情報センター・鹿児島地方気象台 (2015) 桜島の火山活動解説資料(平成27年8月), 1-15.  
福岡管区気象台火山監視情報センター・鹿児島地方気象台 (2016) 桜島の火山活動解説資料(平成28年8月), 1-14.  
Hickey, J., Gottsmann, J., Nakamichi, H. and Iguchi, M. (2016) Thermomechanical controls on magma supply and volcanic deformation: application to Aira caldera, Japan. *Scientific Reports*, 6, 32691.  
Iguchi, M. (2013) Magma Movement from the Deep to Shallow Sakurajima Volcano as Revealed by Geophysical Observations. *火山*, 58, 1-18.  
Kazahaya, R., Mori, T. and Yamamoto, K. (2013) Separate Quantification of Volcanic Gas Fluxes from Showa and Minamidake Craters at Sakurajima Volcano, Japan. *火山*, 58, 183-189.  
Matsumoto, A., Nakagawa, M., Amma-Miyasaka, M. and Iguchi, M. (2013) Temporal Variations of the Petrological Features of the Juvenile Materials during 2006 to 2010 from Showa Crater, Sakurajima Volcano, Kyushu, Japan. *火山*, 58, 191-212.  
松本亜希子・中川光弘・井口正人 (2016) 火山灰中の本質ガラスの石基組織からなる桜島火山2012年7月24日南岳山頂火口噴火一特にマイクロライトの特徴について一. *火山*, 61, 545-558.  
森俊哉 (2010) 遠隔地 FT-IR 測定による昭和火口と南岳火口の火山ガス HCl/SO<sub>2</sub> 比. 京都大学防災研究所火山活動研究センター平成21年度報告書 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 2009年, 87-92.  
Schiedegeger, K.F. (1973) Determination of structural state of calcic plagioclases by an X-ray powder technique. *American Mineralogist*, 58, 134-136.  
Smith, J.V. and Gay, P. (1957) The powder patterns and lattice parameters of plagioclase feldspars. II. *Mineralogical Magazine*, 31, 744-762.