

桜島から噴出する火山灰の構成鉱物に関する研究(2017年3月～10月)

—地域の自然環境を深く正確に理解した力量ある理科教員の養成—

教育学部 松井 智彰・足立 稜太

1. はじめに

鹿児島県下には11の活火山が存在する。このうち5つの火山（霧島山、桜島、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島）は、近年、噴火活動を繰り返しており、火山噴火予知連絡会によって「火山防災のために監視・観測体制の充実等が必要な火山」として選定されている。平成29年4月の時点で、これらの火山の周辺（桜島、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島の各島内、および霧島山においては新燃岳、御鉢の各火口から6km以内）に学区を有する鹿児島県内の学校は、小学校が9校（児童数331名）、中学校が8校（生徒数333名）存在する（鹿児島県, 2017）。学校教員は地域の防災リーダーとなりうるため、火山について正しく深い知識を持った教員の養成は防災教育の基礎であり、教育現場においても火山災害に対してレジリエントな地域社会を実現することを目的とした防災教育は非常に重要な意味をもつと考えられる。一方、リアルタイムで活動する火山について日常の生活体験として最も身近に意識されるのは「火山灰」であると言っても過言ではない。

こうした現状を踏まえ、鹿児島大学教育学部理科専修で開設している「地学概論Ⅰ」、「地学実験Ⅰ」、「地学野外実験Ⅰ」の授業（標準的には2年次に履修）では、内容を互いに関連付けて、学習指導要領（文部科学省, 2008a, b）に記載された事項をカバーし、尚且つ火山活動に関する基本的知識や概念を高等学校時に「地学基礎」や「地学」の授業を未履修の学生でも系統的に学習できるように配慮している。更にこれらの授業内容を基礎として開設された「鉱物学」、「地球物理学」の授業では、卒業研究時に必要となる発展的な内容を用意し、火山活動や噴出物に関する専門的な知識の定着を図っている。3年次に履修する「地学演習Ⅰ」、「地学演習Ⅱ」では、より実践的な内容として、理科系での論文・レポートの書き方、データのまとめ方や分析の方法、実験器具や分析装置の取扱方法等を学ぶ。4年次で取り組む卒業研究では、希望者に対して、桜島から噴出する「火山灰」に着目したテーマを提示し、火山活動を物質科学的に監視する調査・研究を平成25年度から継続して行っている（松井ほか, 2017）。

今年度は、一昨年度までの調査結果に基づき、より火山噴火に対応した火山灰を採取するために、桜島南岳昭和火口に対して年間を通して卓越する西風の風下に位置する鹿児島市立黒神中学校の協力をいただいた。観察・分析は、火山灰を構成する鉱物の中で最も割合が高い斜長石について行い、粉末X線回折実験によって得たデータに基づいて推定される斜長石の構造状態を火山活動（噴火回数）と対比した。本報では、鹿児島大学教育学部理科専修地学分野における防災教育への取り組みとして、開設授業の内容を簡潔に紹介し、併せて今年度の調査で新たに明らかになった事柄について要点を報告する。

2. 地学分野開設授業の概要

鹿児島大学教育学部理科専修における担当授業の中で、学生が火山に関係した卒業研究に取り組むことも考慮して授業計画を立てたものについて以下に概要を抜粋して紹介する。

「地学概論Ⅰ」（初等教育コース：選択必修科目，中等教育コース：必修科目）

次年度以降に開講する「鉱物学」，「地球物理学」，「気象学」の序論として，基礎的な概念を最新の話題などを紹介しながら講述する。内容：(1) 鉱物の性質，(2) 鉱物の結晶構造，(3) 鉱物の分類，(5) 地球内部の構造，(6) プレートテクトニクス，(7) 火山とその噴出物，(7) 地震。カッコ内の数字は授業の順番を示す（以下同様）。

「地学実験Ⅰ」（選択必修科目）

「地学概論Ⅰ」の講義内容の理解を深めるために，鉱物学，地球物理学，気象学に関する基礎的な事柄について分析・検討する方法及び技術を養成する。内容：(1) 鉱物の観察（肉眼による観察の基本），(2) 鉱物の観察（ケイ酸塩鉱物），(3) 結晶構造模型の作成，(4) X線回折パターンからの鉱物種判定，(5) 粉末X線回折実験，(6) 岩石・鉱物の比重測定，(7) 火山灰の観察，(8) 地震波の解析（走時曲線による地球内部の探究）。

「地学野外実験Ⅰ」（選択科目）

「地学概論Ⅰ」の講義内容の理解を深めるために，鉱物学，地球物理学，気象学に関する基礎的な事柄について野外で観察・調査する方法及び技術を養成する。内容：土曜日に3回に分けて集中講義（終日）。(1) 鉱物（花崗岩と安山岩の構成鉱物）の観察及び採取，(2) 火山噴出物の観察及び採取、火山地形の観察。

「鉱物学」（選択科目）

固体地球の環境を語るうえで欠かせない基礎知識として、固体地球構成物質の最小単位である鉱物の構成原理と生成原理を理解することを目的として、おもな造岩鉱物、特にケイ酸塩鉱物の結晶構造と化学組成について講述する。内容：1. 総論 (1) 鉱物と造岩鉱物，(2) 鉱物の記載と分類，(3) 地球外物質の鉱物，(4) 地球の鉱物（火成岩），(5) 地球の鉱物（堆積岩），(6) 地球の鉱物（変成岩），(7) 鉱物の相変化，(8) 鉱物の微細組織，2. 各論 (9) オリビン族，(10) 輝石族，(11) 角閃石族およびパイリボール，(12) 雲母族，(13) 長石族，(14) シリカ鉱物。

「地球物理学」（選択科目，隔年開講）

火山をめぐる諸現象を題材として、固体地球を物理学的視点から概観し、最新の話題などを紹介しながら講述する。固体地球に関わる物理学的諸現象を支配する物理法則を明らかにし、現象の本質の理解を深める。内容：(1) 序論（地学概論Ⅰの復習），(2) 火山の概観，(3) マグマ，(4) 火山活動と火山帯，(5) 火山の噴火現象，(6) 噴出物とその堆積物，(7) 火山の内部構造と深部構造，(8) 火山岩，(9) 地熱と温泉，(10) 噴火と気候，(11, 12) 火山観測，(13, 14) 火山災害と防災対応。

「地学演習Ⅰ」（選択科目）

地学に関する実験器具・分析装置等の実習を通して卒業論文作成に至るまでに必要な事項を学ぶ。内容：(1) イントロダクション，(2) 理科系での論文・レポートの書き方、文献検索，(3) 岩石・鉱物試料の写真撮影，(4) X線装置の安全取扱い，(5-8) 粉末X線回折実習（原理の説明，粉末試料作製，測定，鉱物種の同定），(9, 10) 鉱物の単体分離（電磁分離機，重液），(11, 12) モード組成（岩石プレートと薄片を使用），(13) ノルム計算，(14) 各種実験データの処理方法。

「地学演習Ⅱ」（選択科目）

「地学演習Ⅰ」に引き続き、地学に関する実験器具・分析装置等の実習を通して卒業論文作成に至るまでに必要な事項を学ぶ。内容：(1) イントロダクション、(2) 理科系での論文・レポートの書き方、文献検索、(3) 実験ノートの書き方、(4) 火山灰試料の観察方法、(5-7) 火成岩構成鉱物の偏光顕微鏡観察（斜長石、アルカリ長石、シリカ鉱物、その他）、(8, 9) 電子線微小部分分析装置(原理、鉱物の化学分析)、(10, 11) 各種実験データの処理方法(端成分分解、格子定数計算)、(12) 図表類の作成、(13) プレゼンテーション技術、(14) 卒業研究に向けて。

上記以外にも、卒業研究の途中経過や関連する文献を紹介するセミナーを毎週1回開き、作業の進捗状況や最新の情報・研究について確認をする機会を設けている。

3. 桜島から噴出する火山灰を構成する斜長石の構造状態

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行われてきた（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; 松本ほか, 2016）。こうした中、筆者らの研究室では、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と全期間を通じた構造状態の変化についてデータを収集・蓄積するとともに、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を検討した（松井ほか, 2017）。

以下は、先に本報で紹介した地学分野開設授業等の内容を基盤として行われた今年度の調査・研究の概要である。

(1) 試料採取

火山灰試料は、桜島南岳の東に位置する鹿児島市立黒神中学校に協力を依頼して採取した。採取期間は、2017年3月30日から10月30日までの7か月間で、約10日に1回の頻度で回収した。採取した火山灰の量と2017年桜島噴火観測表（鹿児島地方気象台, 2017[URL1]）の噴火回数のデータを図1に示す。採取量と噴火回数の相関は明瞭であり、採取地点を桜島南岳の東に変更したことにより、噴火に対応した火山灰が採取されたと考えられる。

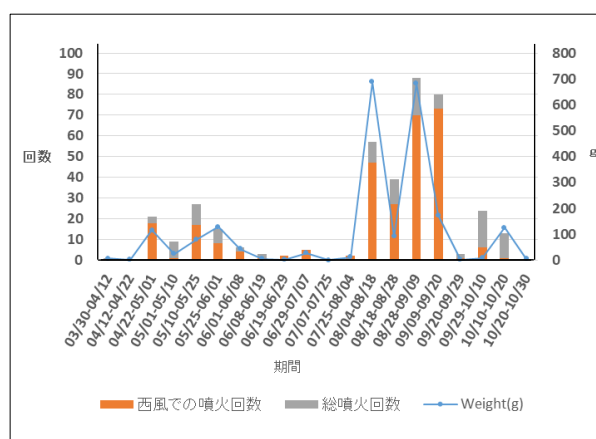


図1. 火山灰採取量と噴火回数

(2) 篩分け・実体顕微鏡観察

水洗、乾燥の処理を施した火山灰について、 $>500\mu\text{m}$ 、 $500\sim 250\mu\text{m}$ 、 $250\sim 120\mu\text{m}$ 、 $120\sim 63\mu\text{m}$ 、 $<63\mu\text{m}$ に篩分けした後に質量を測定した。全体的に粒径が $250\sim 120\mu\text{m}$ の試料が最も多く、次いで $250\sim 120\mu\text{m}$ が多かった。実体顕微鏡下で観察すると、斜長石には無色透明で2方向に顕著な劈開が見られた。

(3) 砂粒組成分析

伊原ほか (2016) に従い、実体顕微鏡下で形状に重点を置いて鉱物結晶の同定が可能な 250～500 μm の火山灰試料について砂粒組成分析を行った。その結果、約 50% をクロ岩片 (様々な岩片の集合体) が占め、次いで斜長石の割合が高く約 10～18% であった (図 2)。また、今回の調査期間では時間の経過とともにアカ岩片、シロ岩片の割合が減少する傾向が確認された。

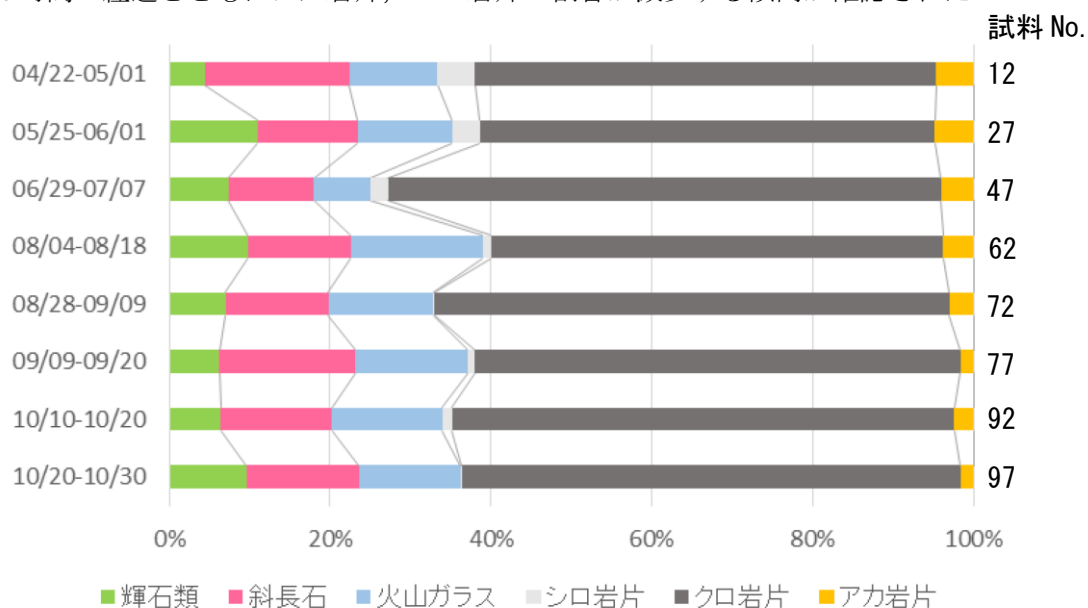


図 2. 桜島火山灰の砂粒組成分析 (250～500 μm)

(4) 偏光顕微鏡観察

斜長石のみから成る粒子の他に、岩片中にも斜長石斑晶が確認された。ほぼ全ての斜長石に累帯構造が観察され、数 100 μm の大きさの鉱物粒子内部にも、成分の違いがあることが推測された。

(5) 粉末 X 線回折実験

採取量が比較的多かった 8 期間の試料について、篩分け後の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。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は、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 (グラファイト) 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 0.1°/min; サンプリグ幅 0.001°) を用いて CuK α 線によって 2θ が 21°～33° の範囲を測定し収集した。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 (2θ) 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/Γ 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 3)。今年度の試料は赤線で示した範囲に分布しており、2013 年や 2014 年と比較すると組成のバラツキは狭まっているように見られる。一方、噴火回数が多く降灰量も多い期間の試料 (試料番号 62, 72, 92) は、斜長石の構造状態は無秩序型の位置にプロットされることが判明した。このことから、噴火活動が特に活発なときは、地下深部の高温マグマが、その温度における結晶構造 (高温における無秩序型の構造状態) を保ったまま地上に噴出される斜長石の割合が体積比として高くなると推測される。

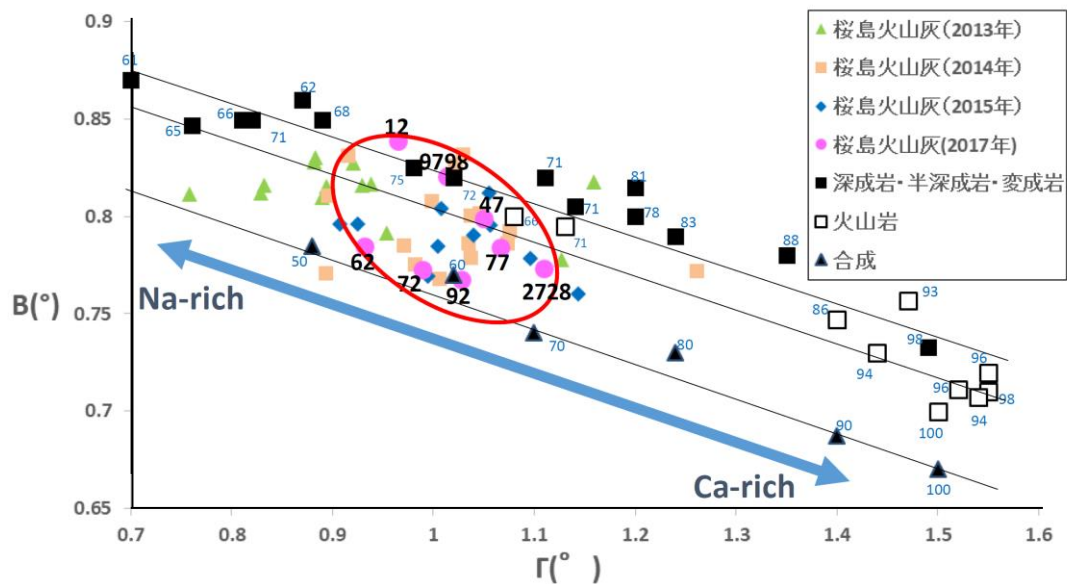


図3. 桜島火山灰を構成する斜長石のB/γプロット. 深成岩・半深成岩・変成岩、火山岩中の斜長石および合成斜長石のデータは Smith & Gay (1957)による (3本の斜線はそれぞれのデータの回帰直線). 黒色の数字は試料番号, 青色の数字は灰長石成分の mol%を示す.

(6) 化学組成分析

斜長石の化学組成は鹿児島大学研究推進機構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: LaB₆, 加速電圧: 15kV, 照射電流: 1.0×10⁻⁸A, プローブ径: 10μm) を用いて決定した. その結果, 今回の調査期間では採取期間の違いによる (時間の経過に伴う) 組成の変化は見られないが, 組成幅は中性長石から亜灰長石まで (Ab₅₀An₅₀~Ab₁₀An₉₀) 広いことが確認された (図4). これは, 後方散乱電子像 (BSE) における濃淡の違いとして明示される通り (図5), 斜長石斑晶が化学組成の累帯構造をもつためであり, 偏光顕微鏡下で観察された光学的累帯構造に対応している.

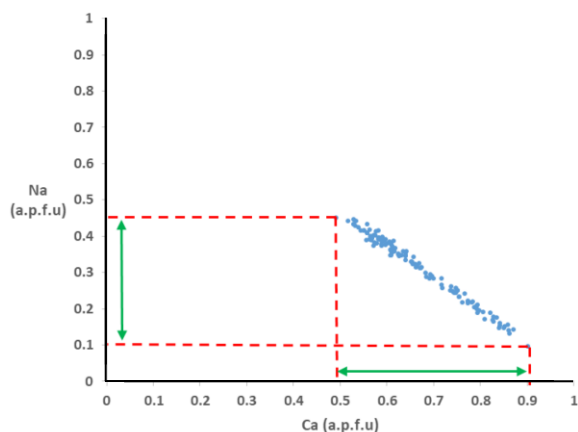


図4. M席を占有する陽イオンの相関関係.

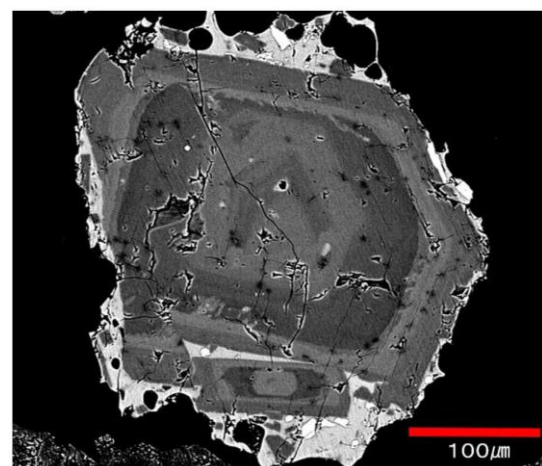


図5. 斜長石の後方散乱電子像 (BSE).

4. まとめ

火山噴火にレジリエントな地域社会を実現するためには、その地域の住民が火山噴火に関して正確な知識を習得するための防災教育が必要不可欠である。中でも学校は地域における防災教育の拠点となるべき存在であり、理科教員はその中核となる人材であると考えられる。小中学校における理科教育において、身近な自然の事物・現象の観察を導入として、科学的に探究する能力や態度を育てるとともに理解を深め、科学的な見方や考え方を養うことが学習の指針とされている通り（文部科学省，2008a, b），科学的根拠に基づく防災教育を効率的かつ効果的に実施し、地域の防災力を底上げするためにも、力量ある理科教員は欠かせない存在である。

本年度は、採取地点を桜島の東側に変更して火山灰に含まれる斜長石の構造状態のモニタリングを行った。これによってより噴火に対応した火山灰が採取され、火山灰に含まれる斜長石の構造状態が火山活動（噴火の規模・回数や降水量）に対応して、敏感に変動することが確認された。火山灰中の斜長石の構造状態が、火山活動の推移をモニタリングするための有力な指標として示されたことは大きな成果であったと言える。

火山災害と隣り合わせの日常生活を強いられ、高い防災意識が必要とされる鹿児島においては、本事業のような取り組みを活用し、学部教育の中で「火山」に関わる一連の学習機会を提供することを通して、地域の自然環境を深く正しく理解した理科教員を養成し教育界に送り出すことが教員養成学部としての使命であると考えられる。今後も調査・研究が継続されその成果が地域に還元されることが期待される。

謝辞

本調査を遂行するにあたり、鹿児島市立黒神中学校の皆様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研究推進機構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

- 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.
- 伊原美咲・久田健一郎・興野純 (2016) 火山灰学習“わんがけ法”から見えてくる鉱物の同定問題—赤城鹿沼テフラの場合—. *日本地学教育学会第70回全国大会徳島大会講演予稿集*, 75-76.
- 鹿児島県 (2017) 平成29年度鹿児島県の教育行政. 鹿児島県教育委員会編, 中央印刷, 鹿児島, 191 p.
- 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.
- 松井智彰・丸本啓介・中村美勇・戸高京介 (2017) 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—. *鹿児島大学教*

育学部研究紀要（自然科学編）, 68, 23-30.

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—特にマイクロライトの特徴について—. 火山, 61, 545-558.

文部科学省 (2008a) 中学校学習指導要領解説理科編. 大日本図書, 東京, 149 p.

文部科学省 (2008b) 小学校学習指導要領解説理科編. 大日本図書, 東京, 105 p.

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/SO₂ 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.

Scheidegger, K.F. (1973) Determination of structural state of calcic plagioclases by 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.

[URL1] 鹿児島地方気象台, 2017 年桜島噴火観測表, <http://www.jma-net.go.jp/kagoshima/index.html>.