

3. 研究報告

3.1 火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 10か年の年次実施計画
- (e) 平成30年度業務目的

(2) 平成30年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 令和元年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

火山噴火の予測技術の開発

「火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立大学法人東京大学 地震研究所	准教授	安田 敦	yasuda@eri.-tokyo.ac.jp
	技術専門職員 修士1年	外西奈津美 岩橋くるみ	hokanisi@eri.u-tokyo.ac.jp
学校法人早稲田大学	准教授	鈴木由希	yksuzuki@waseda.jp
	修士2年	戸枝百合香	
	学部4年	大河内駿	
	学部4年	岡野百花	
	学部4年	木谷悟郎	
	学部4年	高瀬正義	
	学部4年	福島涼人 丸山照頼	
学校法人常葉大学	教授	嶋野岳人	shimano@sz.tokoha-u.ac.jp
	学部4年	上山尋暉	
国立大学法人静岡大学	准教授	石橋秀巳	ishibashi.hidemi@shizuoka.ac.jp
国立大学法人熊本大学	教授	長谷中利昭	hasenaka@kumamoto-u.ac.jp
	修士2年	川口允孝	
	修士2年	永石良太	
	修士1年	谷崎咲織	
	修士1年	十川翔太	
国立大学法人東北大学	教授	中村美千彦	michihiko.nakamura.e8@tohoku.ac.jp
国立研究開発法人産業 技術総合研究所	主任研究員	東宮昭彦	a.tomiya@aist.go.jp
	主任研究員	宮城磯治	miyagi.isol4000@aist.go.jp
山梨県富士山科学研究 所	主任研究員	吉本充宏	myoshi@mfri.pref.yamanashi.jp

(c) 業務の目的

火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発のために、以下の5項目を10カ年で実施する。(ア) 効率良くかつ正確に火山噴出物を分析できる分析装置環境を整備する。

(イ) 分析データから様々な物理量を迅速に取り出すためのデータ解析環境を整備する。

(ウ) 分析データや解析結果を随時取り出して再利用可能とするようなデータ保存環境を整備し、データの有効利用を促進する。加えて、主要な火山噴火については噴出物や噴火の特徴を一覧できるカタログ機能を付加する。上記の分析及び解析環境(以下、「分析・解析プラットフォーム」という。)を使って、(エ) 噴火の過程が既知である歴史時代の噴火の噴出物の解析を11火山についておこない、深度(圧力)・温度・含水量といったマグマ溜りの状態、噴火に先立つマグマ混合から噴火までのタイムスケール、マグマの上昇開始から噴火開始までのタイムスケールを明らかにするとともに、噴出物の特徴や噴出物から推定される噴火の特徴を概観できるカタログを作成し公開する。得られたデータを整理し、噴火事象分岐を判断する可能性の検討をおこなう。(オ) 分析・解析プラットフォームを広く火山研究者や学生に開放するための利用環境の整備をおこなう。

(d) 10カ年の年次実施計画

1) 平成28年度：成果目標項目(ア)に対応して、火山噴出物の分析にすぐれた、迅速・高精度・高分解能のフィールドエミッション型電子線マイクロプローブ装置を設置し、装置の立ち上げ作業を実施した。項目(イ)に対して、解析用PCに整備する解析プログラムの選定と解析用PCの立ち上げをおこなった。項目(ウ)に対して、データサーバーの仕様について課題参加者間で協議をおこなった。項目(エ)に対して、噴火の鍵となる要素の抽出に適した11火山を選び、先行研究を参照しつつそれら火山についての現状での理解を整理し、今後必要となる作業の検討をおこなった。いくつかの火山については、試料採取と分析を開始した。

2) 平成29年度：成果目標項目(ア)に対しては、分析効率の向上のためエネルギー分散型(EDS)検出器をEPMA装置に追加した。前年度に引き続き、最適な分析条件と分析手順の確立について作業し、12kVおよび15kVの加速電圧で標準的なZAF補正法定量分析が行えるようにした。項目(イ)に対しては、相同定、グラフの自動作成、反射電子線像の自動処理等の解析用プログラムを作成し、分析から解析までを連続して実行できるPC環境を構築した。項目(ウ)に対しては、分析データから公開するデータの仕様を満たすような必要項目を、自動的に抽出する環境を構築する作業を行なった。項目(エ)に対しては、有珠山、榛名山、富士山、伊豆大島、阿蘇山、桜島、霧島山、諏訪之瀬島について火山噴出物の解析に着手し、噴火事象分岐の鍵となる要素として着目しているマグマ溜り環境やマグマの上昇速度についてデータを集めるとともに、解析方法についての検討も行った。

3) 平成30年度：成果目標項目(ア)に対しては、分析効率の向上のため分光器1台をEPMA装置に追加した。前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努めた。項

目（イ）と（ウ）に対しては、前年度に引き続き作業を行った。項目（エ）に対しては、該当する火山について、主としてマグマの上昇速度を明らかにするためにマグマ溜り環境やマグマの上昇速度についてのデータを収集した。加えて、噴火の特徴を噴火発生時に迅速に把握するための手法開発を継続し、桜島と霧島新燃岳での試験を実施した。

4) 令和元年度：成果目標項目（ア）に対しては、分析効率の向上のため分光器1台をEPMA装置に追加する。前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努める。項目（イ）と（ウ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（エ）に対しては、該当する火山について、主としてマグマ混合から噴火に到る時間間隔を明らかにするための研究をおこなう。

5) 令和2年度：成果目標項目（ア）に対しては、分析効率の向上のため分光器1台をEPMA装置に追加する。前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努める。項目（イ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（ウ）に対しては、データベースにデータの受け入れをおこなうとともに、インターネット経由でデータベースにアクセスできるように整備する。項目（エ）に対しては、4年次までに得られた分析・解析結果を統合して整理し、噴火事象分岐予測をする基準について検討する。項目（オ）に対しては、装置の利用規約を整備する。

6) 令和3年度：成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努める。項目（イ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（ウ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなうとともに、データベースにデータの受け入れをおこなう。利用規約に基づき、データベースのデータ公開を開始する。項目（エ）に対しては、5年次までに得られた分析・解析結果を統合して整理し、噴火事象分岐予測をする基準について検討する。初年度に選定した11火山の中で、計画前半で取り扱わなかった火山噴火の試料や課題Cサブテーマ2による採取試料の分析を開始する。項目（オ）に対しては、装置の利用者環境を整備する。研究組織外からの分析・解析プラットフォーム利用の受け入れを開始する。

7) 令和4年度：成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努める。項目（イ）と（ウ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（エ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなうとともに、6年次までに得られた分析・解析結果を統合して整理し、噴火事象分岐予測をする基準について検討する。データベースに設けたカタログ機能を用いて、噴火の特徴を概観できるカタログを作成する。本事業で研究対象とした火山噴火のうち、少なくとも5つの火山の代表的な噴火についてカタログを完成させる。項目（オ）に対しては、前年度に引き続き研究組織外からの分析・解析プラットフォーム利用を受け入れる。

8) 令和5年度：成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、

分析手順の確立に努める。項目（イ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（ウ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなうとともに、噴火の特徴を一瞥できるカタログのフォーマットを検討し、カタログを自動作成する機能を付加する。項目（エ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（オ）に対しては、前年度に引き続き研究組織外からの分析・解析プラットフォーム利用を受け入れる。

9) 令和6年度：成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努める。項目（イ）（ウ）（エ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（オ）に対しては、前年度に引き続き研究組織外からの分析・解析プラットフォーム利用を受け入れる。前年度の利用者の意見を取り入れ、より使いやすい装置環境の構築に努める。

10) 令和7年度：成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努める。項目（イ）（ウ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（エ）に対しては、本事業で選定した11の火山については代表的な噴火の火山噴出物の特徴や噴出物から推定される噴火の特徴を概観できるカタログを完成させ、成果のとりまとめをおこなう。項目（オ）に対しては、前年度に引き続き研究組織外からの分析・解析プラットフォーム利用を受け入れる。

(e) 平成30年度業務目的

火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法を開発するには、分岐の鍵となる要素を理解し、対象とする火山の大量の火山噴出物の分析を通じて、それらの要素を読み出す作業が必要となる。このための業務として、成果到達目標（ア）に対しては、平成28年度に東京大学地震研究所に設置されたフィールドエミッション型電子線マイクロプローブ装置に対して、分析効率の向上のため分光器1台を追加し、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努める。項目（イ）に対しては、データ解析用のプログラムの整備を継続する。項目（ウ）に対しては、メンバーで協議して機器利用と分析データの公開に関するデータポリシーを策定する。項目（エ）に対しては、有珠山、榛名山、富士山、伊豆大島、伊豆東部火山群、雲仙普賢岳、阿蘇山、桜島、霧島山、諏訪之瀬島について、適当な火山噴出物について分析を行い、マグマ溜りの環境（温度、圧力、酸素雰囲気、含水量）を明らかにするとともに、これらの火山でのマグマの上昇速度の検討を開始する。また、課題C-1の総合推進として、研究集会を実施する。

なお、研究期間中に国内の火山で、噴火の予兆が把握された場合もしくは噴火が発生した場合において、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトのプロジェクト・リーダーが当該火山を対象とした緊急観測の実施を決定した際は、必要に応じてその火山噴出物の分析・解析も実施する。

(2) 平成 30 年度の成果

(a) 業務の要約

火山噴出物の迅速かつ高精度分析環境の構築（目標項目(ア)と(イ))に対しては、平成 29 年 3 月に東京大学地震研究所に導入されたフィールドエミッション型電子線マイクロプローブ装置に波長分散型分光器 1 台を追加し、分析効率の向上を図った。データ解析用のプログラム整備の一環として、熱力学温度計の計算と図化機能の整備を行った。項目(ウ)に対しては、公開するデータ項目を分析データから自動的に抽出する環境を構築する作業を行なった。項目(エ)に対しては、有珠山、榛名山、富士山、伊豆大島、伊豆東部火山群、雲仙普賢岳、阿蘇山、桜島、霧島山、諏訪之瀬島について火山噴出物を分析し、噴火事象分岐の鍵となる要素として着目している、マグマ溜り環境やマグマの上昇速度についてのデータを収集した。また、熱力学計算によって個々の火山についてマグマ状態を得るためのソフトウェアを活用する環境の整備を行った。加えて、噴火の特徴を噴火発生時に迅速に把握するための手法開発を継続し、桜島と霧島新燃岳での試験を実施した。

(b) 業務の成果

1) 分析・解析プラットフォームの構築（成果到達目標(ア)、(イ)に対応）（東京大学）

平成 28 年度に設置したフィールドエミッション型電子線マイクロプローブに、波長分散型 (WDS) 検出器を追加し、より迅速な分析が行えるようにした。また、解析用 PC 上で動かす様々な解析用スクリプトおよびデータ保存用スクリプトの作成を行い、効率的にデータ解析を行うとともに、Web によるデータ管理等、適切にデータ保存が行える環境を構築した。具体的には、次の i)-v) の作業を行った。

i) 標準的な定量分析ルーチンの最適化

新たに波長分散型検出器を追加したことに対応して、標準的な定量分析ルーチンの最適化を行った。具体的には、12 kV の加速電圧で標準的な ZAF 補正法定量分析が行えるように、分光結晶配置と分析時間を決定し、標準試料の強度測定を行った。

ii) 多数の画像の連結

電子線マイクロプローブで多数の電子線像を連続的に撮影した際に、複数画像の連結を行い 1 枚のパノラマ画像（図 1）にまとめるスクリプトを作成した。大きなサイズの気泡など 1 枚の写真ではとらえられないような全体的な噴出物粒子の特徴把握に有効であり、利用例は iv) で紹介する。前年度に作成した分析点座標と分析点を含む画像の紐つけを行う機能とあわせて (ウ) のデータ保存環境の整備も兼ねている。

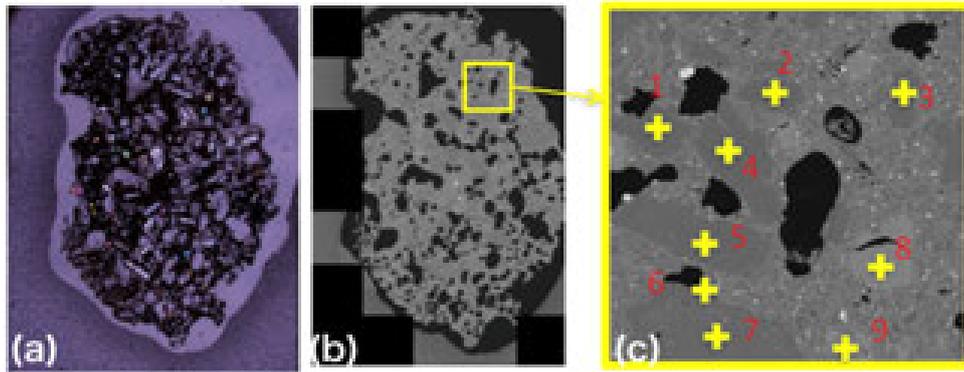


図1 パノラマ画像の例。(a)光学顕微鏡による岩石薄片の cross nicol 像。(b) 同じ試料の反射電子線像。倍率 40 倍で撮影した画像を継ぎ目無く連結することによって、数ミリサイズの気泡や斑晶の形状が正確に把握できる。(c) 写真(b)の一部の拡大画像。個々の画像は十分な空間分解能（1ピクセルの大きさが約2ミクロン）を有するので、定量分析を行った分析点の記録に利用できる。黄色十字線と数字は、定量分析点位置を、反射電子線像に重ね書きしたもので、反射電子線像と定量分析を連続して実施した場合には、このような分析点の記録画像が自動的に作成される。

iii) スライドマップの作成と画像のデータベース化

分析データを適切に保存し、後年においてもデータの利用が適宜行えるようにするために、電子線画像と薄片上の位置情報の紐つけを行うスクリプトの開発を行った。具体的には、ii)で作成したパノラマ画像をインデックスとして個別の画像にアクセスしたり、個別に取得した電子線画像の位置を薄片上に投影したりする（図2）。データアクセスの利便性を考慮し、webブラウザで閲覧するようにデータインデックスを生成するスクリプトを作成した。これにより、保存データとしての質を大きく向上させることができた。これは、成果到達目標項目（ウ）のデータ保存環境の整備にも関連している。

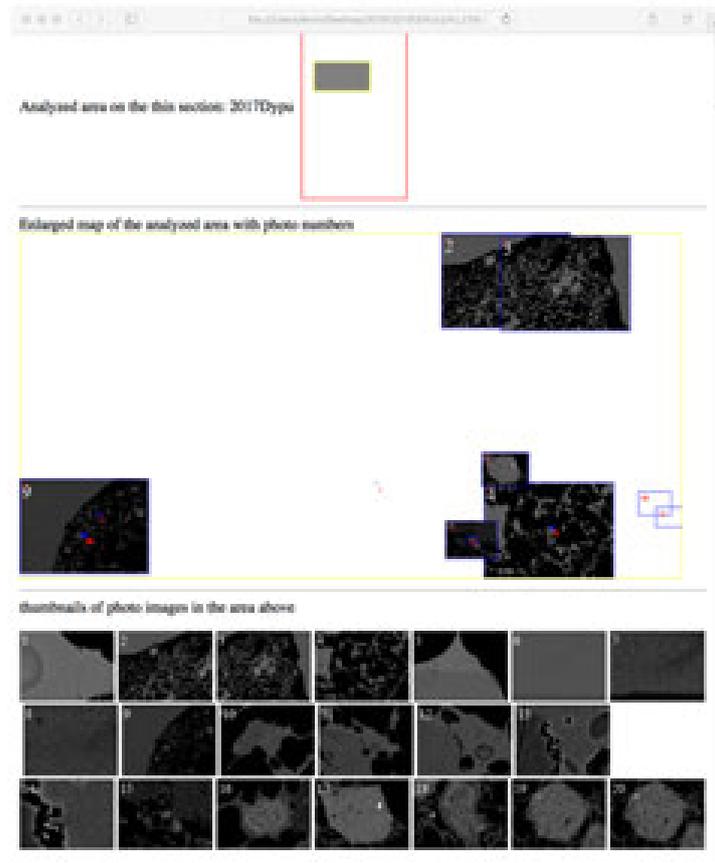


図2 Web 閲覧用のデータインデックスの例。画面上部に薄片内部での画像撮影範囲を表示。画面中部には画像撮影範囲内での各画像の撮影場所を表示（一部は画像のサムネイルを表示）、画面下部には撮影した個別の画像を一定サイズで表示するとともに、拡大画像を別ページで表示するためのリンクを付け加えている。

iv) 反射電子線像の自動処理による火砕物の特徴量抽出

噴火の特徴を火山噴出物の電子線像解析から迅速に捉えることができるよう、様々な特徴量を抽出するスクリプトを作成した。気泡量、気泡サイズ分布、石基の結晶度などの諸量は、マグマの上昇速度や破砕深度などを反映して変化すると考えられており、これらを画像から定量的に読み出すことによって、噴火の特徴や推移の把握に役立てられる(図3)。

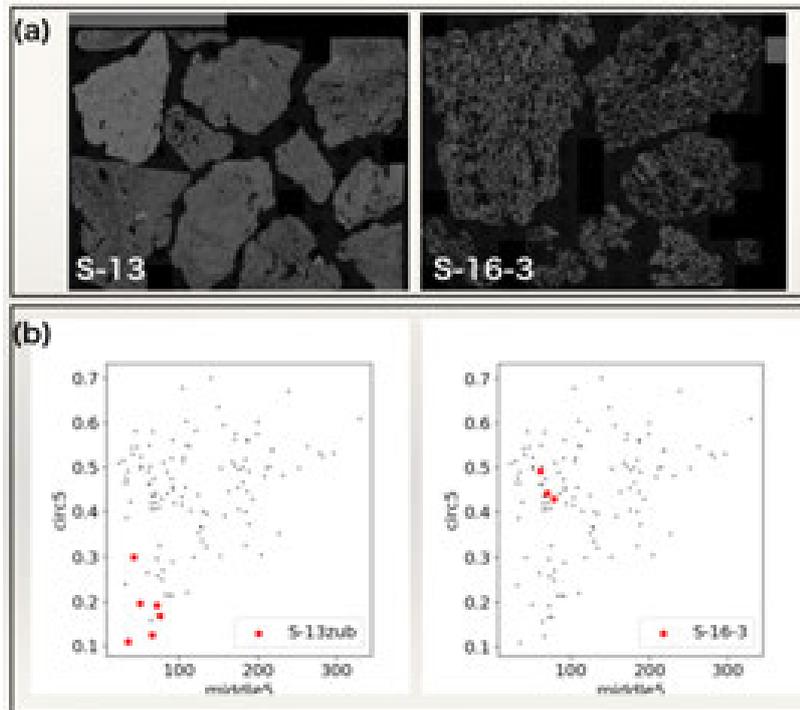


図3 特徴量抽出の例。新富士火山のSシリーズと呼ばれる降下火砕物17枚を分析し、その中でS-13 砂沢噴火の噴出物とS-16-3 噴火の噴出物を取りだしてそれらの特徴を比較している。(a) S-13 噴火噴出物とS-16-3 噴火噴出物の反射電子線像。これらを自動解析して、(b) に特徴量抽出を行った。(b) 横軸：気泡径の中央値、縦軸：気泡の真円度。

v) 熱力学温度計の整備と評価

同じデータセットを使っても、適用する熱力学温度計が異なるとマグマの温度評価も変わってしまう。使用する温度計の違いから生じるこうした「系統誤差」を防ぐため、本プロジェクトでは分析から温度評価までを自動的に行うシステムを構築している。ただし、どの温度計がより正確かについては、この分野での評価が定まっていないこともあり、一つの温度計に絞って利用環境を整備するのではなく、比較的良好に用いられている複数の温度計を使って、それらの結果を一望して比較できるようにグラフ化して表示する機能を設けている(図4)。例えば、磁鉄鉱とイルメナイトの平衡を用いて温度を計算する手法としては ILMAT(Lepage, 2003)^[1]と QUILF(Anderson et al., 1993)^[2]という2つのプログラムが普及しているが、両者の指示温度は微妙に異なる。鉱物の分析値の同じセットを2つの計算方法で温度に換算すると、およそ900℃あたりでは2つの方法で求められた温度には差がないが、それより低温になるに従って、ILMATのほうが高温の評価を与える。こうした作業に伴い、個々の温度計の性質や適用上の注意点などが明らかになってきている。

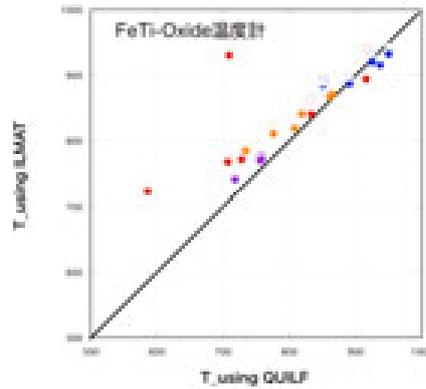


図4 熱力学温度計の計算値の比較例。点の色は試料を採取した火山噴火の違いを表し、系の全岩組成が異なる。

2) データ保存環境の整備（成果到達目標（ウ）に対応）（東京大学）

装置利用者および課題参加者と協議して、「次世代火山研究・人材育成プロジェクトにおける岩石・鉱物分析データの取り扱いに関する基本方針（データポリシー）」を策定した。このデータポリシーは、分析・解析データの公開内容とデータの著作権について定めたもので、今後、次世代火山研究プロジェクトが生産する火山噴出物の分析・解析データが有効利用される仕組みを立ち上げるとともに、プロジェクト外部の火山研究者にも分析装置の利用を公開する際のルールとなるものである。

3) 火山噴出物の解析と手法の検討（成果到達目標（エ）に対応）

i) 有珠山（産業技術総合研究所）

噴火事象分岐判断手法の開発に向け、噴火前のマグマ過程やそのタイムスケールを明らかにするため、日本有数の活火山である有珠火山を対象として、噴火過程が既知である歴史時代の噴出物の解析を行っている。有珠火山の歴史時代の活動は、1 万年以上という長い休止期間の後、1663 年の大規模噴火（プリニー式；流紋岩質マグマ）で始まり、以後数十年おきに爆発的噴火（典型的には、準プリニー式噴火、火砕流噴火、溶岩ドーム形成；デイサイト質マグマ）を繰り返している（曾屋・他, 2007^[3]; Goto et al., 2019^[4] など）。

2018 年度は、最も新しい 2000 年噴火の噴出物（デイサイト質軽石 Us-2000pm; 東宮・宮城, 2002）^[5] について、噴火直前のマグマ溜まりの温度・圧力（深さ）・含水量等を実験岩石学的に推定することを行った。この手法では、高温高压実験装置によって実際のマグマ溜まりと同様の温度・圧力において試料（岩石粉末+水）を融解・相平衡させたのち、試料を急冷・回収する（例えば Tomiya et al., 2010）^[6]。高温高压下で実験産物中に晶出した結晶は天然の岩石試料では斑晶に相当し、実験産物中で融解していた部分（ガラスとして回収される）は天然試料では石基に相当する。実験の温度・圧力等が実際のマグマ溜まりと同じであれば、実験産物中の結晶は天然試料中の斑晶と同じ相と化学組成を再現し、また実験産物中のガラスの組成は天然試料の石基組成と一致するはずである。このようにして、さまざまな条件で実験を行い、実験産物と天然試料を比較することで、マグマ溜まりの温度・圧力を推定できる。有珠火山 2000 年噴出物に関する高温高压岩石融解相平

平衡実験は、東宮 (2002) [7] や Suzuki et al. (2007) [8] によって行われている。しかし、マグマ溜まりの温度・圧力条件はうまく制約できていなかった。そこで、これら実験結果を再検討し、追加実験も行った。

今回得られた解析結果をもとに作成した、有珠火山 2000 年噴出物 (デイサイト) の相図を図 5 に示す。これにより、有珠火山 2000 年噴火直前のマグマ溜まりの圧力・温度は約 100~125MPa (深さ 4~5 km 程度)・900~930°C、含水量は 4 wt.% 程度と推定された (水に飽和していることを仮定)。得られたマグマ溜まりの深さは、2000 年噴火当時の様々な地球物理学的観測結果とも整合的である。

これらの成果は、2018 年 9 月の火山学会秋季大会において学会発表した (大西・東宮, 2018) [9]。

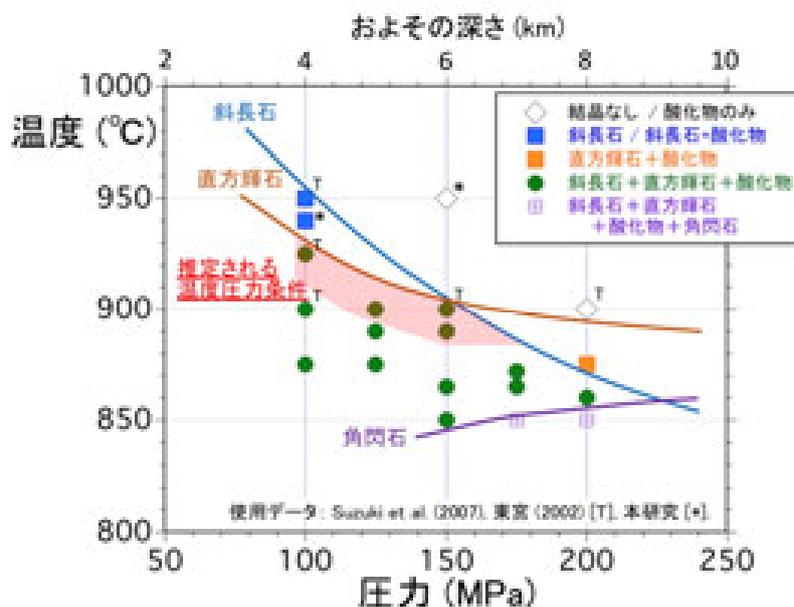


図 5 高温高压岩石融解相平衡実験の結果をもとに作成した有珠火山 2000 年噴出物 (デイサイト) の相平衡図。2000 年噴火直前のマグマ溜まりの圧力・温度は、約 100~125MPa (深さ 4~5 km 程度)・900~930°C と推定される。

ii) 榛名山 (早稲田大学)

榛名火山新期活動と、前年度までの研究状況: 新期の活動 (45ka~) は、古期の活動後、約 20 万年間の休止期を経て開始した (下司・竹内, 2012) [10]。4 万 5 千年前の榛名カルデラを形成する爆発的噴火の後、1 万年前までの間に、榛名富士・蛇ヶ岳、相馬山、水沢山の溶岩ドームが生成した。最新の活動は二ツ岳の 2 回の爆発的噴火・溶岩ドーム形成噴火である。それらは 5 世紀末~6 世紀初頭の渋川噴火と、6 世紀後半~7 世紀初頭の伊香保噴火である。榛名火山の活動史の理解は、下司・竹内 (2012) [10] の地質図幅の研究と年代測定 (下司・大石, 2011) [11] で進展した。しかし鉱物組成分析を伴う詳細な岩石学的研究は、二ツ岳伊香保噴火を対象とした Suzuki and Nakada (2007) [12] を除き存在していなかった。さらに新期噴出物の全岩組成は下司・竹内 (2012) [10] や高橋・他 (2016) [13] が報告したが、噴火毎・火山体毎の特徴は理解されているとはいえなかった。

H29年度までは45～10kaの溶岩を検討した。その結果、この時期にも、二ツ岳伊香保噴火と同様に、マッシュ状珪長質マグマが活動していたこと、それが高温マグマと混合、もしくは高温マグマに加熱されることで噴火に至ったことが判明した。珪長質マグマの含有する鉱物は、45～10kaで斜長石+斜方輝石+角閃石+Fe-Ti 酸化物+石英であるのに対し、二ツ岳伊香保噴火では石英が存在しない。このことは珪長質マグマのバルクのSiO₂含有量が、二ツ岳伊香保噴火で相対的に低いこととも調和的であった。これに対し、高温マグマのバルク組成の新期の活動を通じた変化は不明であったので、これをH30年度の課題の一つにした。また、未着手であった榛名カルデラ形成噴火と二ツ岳渋川噴火について、網羅的に野外調査・サンプリングを実施することをH30年度の別の課題とした。合計17日間の野外調査を実施した。

二ツ岳渋川噴火：既報の露頭に加え、研究代表者が新たに発見した露頭や、研究協力者から紹介された露頭も含め、合計18露頭を調査した(図6)。そのうち9露頭にてサンプルを採取した。早田(1989)^[14]は、二ツ岳渋川噴火は、水蒸気マグマ噴火で始まり、水蒸気爆発を挟みつつ火砕流の発生を繰り返し、終期に無層理の厚い火砕流堆積物を発生させる活動があったとした。この研究においては、無層理の厚い火砕流堆積物は二ツ岳の東麓～北東麓のみに分布するとされていた。下司・大石(2011)^[11]の年代測定により南東麓の榛名白川沿いにも無層理の厚い火砕流堆積物の存在が確認されたので、この地域の露頭も検討した。

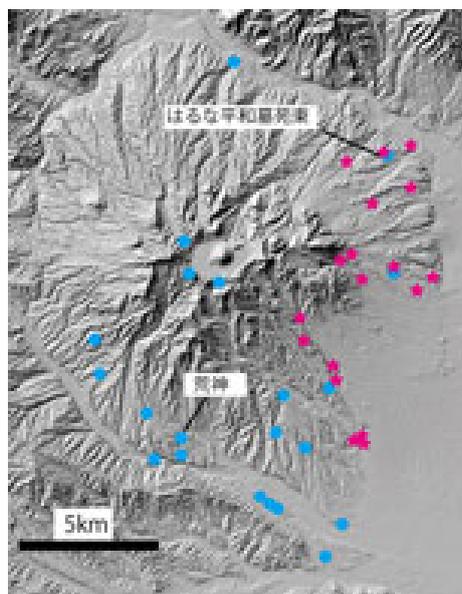


図6 調査地点

9露頭は、A)ブロック・アンド・アッシュ・フロー主体で火山灰を一部挟在させる露頭と、B)細粒火砕物(火山灰～火山礫)の露頭、に分類される。前者が河谷に近い箇所、後者が離れた箇所に分布する。細粒火砕物の露頭については、合計3箇所を基底部を確認することができた。ブロック・アンド・アッシュ・フローのブロック(軽石状)や、細粒火砕物露頭の火山礫サイズの軽石は、双方とも、白色・灰色・縞状の色彩を呈していた。

火山礫～ブロックサイズの軽石、合計44個の全岩組成は $\text{SiO}_2=60.6\sim 61.9$ wt.%にある(45ka～10kaの溶岩に比べ狭い範囲に集中；図7)。また軽石の色彩・露頭・層位による系統差はない。斑晶組み合わせは、斜長石+斜方輝石+角閃石+Fe-Ti 酸化物であり、斑晶の体積比が高い。全ての斑晶種は集斑晶で共存するので、それらは同一のマッシュ状珪長質マグマからもたらされたといえる。斑晶の組織より、珪長質マグマは噴出前に高温マグマの影響を受けたことが推定された。ブロック・アンド・アッシュ・フローの露頭と細粒火砕物の露頭との間で、本質物質の岩石学的特徴は全く同じである。このことは2種類の堆積物が、共通の火砕流から同時に生成したことを示唆する。雲仙普賢岳の噴火では、流走する火砕流内部での密度成層の発達や、その結果生じる火砕物の層相の側方変化が議論された(Fujii and Nakada, 1999) [15]。

榛名カルデラ形成噴火：白川火砕流堆積物(広義)と八崎降下軽石を噴出した。大石・他(2011) [16]は斜長石の屈折率に基づき、火砕流堆積物を、白川火砕流堆積物(狭義)と里見火砕流堆積物に分類した。H30年度の調査では、既報で記載のある20露頭(うち八崎降下軽石1露頭)を調査し(図6)、そのうち12露頭(八崎降下軽石を含む)にてサンプルを採取した。火砕流堆積物については、大多数の地点において、植生やその他の理由により、一部の層準でしか堆積物を観察することができない。例外は、基底と最上部を含む多くの層準を観察することのできる、火山体南麓の荒神露頭(図6)である。H30年度は、白川火砕流堆積物(広義)の本質軽石を検討した。軽石には白色に加え灰色のものも確認された。合計55個の軽石の全岩化学組成分析を行ったところ、 $\text{SiO}_2=61.9\sim 66.3$ wt.%であった。また軽石の色彩・露頭・層位による系統差は確認されなかった。斑晶組み合わせは、斜長石+斜方輝石+角閃石+カミングトン閃石+石英+Fe-Ti 酸化物であり、斑晶の体積比は高い。二ツ岳渋川噴火と同様の理由により、斑晶は全てマッシュ状珪長質マグマからもたらされたものである。また同様に、噴火の誘発において高温マグマが関与したことも推定された。さらに上記の岩石学的データにより、白川火砕流堆積物(狭義)と里見火砕流堆積物とを、互いに区別することはできないことも明らかになった。

北東麓、はるな平和墓苑東方(図6)にて発見した火砕流堆積物：二ツ岳渋川噴火の堆積物の下位に存在し、白川火砕流堆積物(広義)と岩相が類似していた。上部は侵食を受けているが、コンパクトな露頭であるために基底部から連続観察が可能で、構成粒子の粒径等の岩相変化もある。そのため、この火砕流堆積物の起源を層序学的に検討した。火砕流堆積物の上位約1.8mにバブルウォール型ガラス含む層準を確認した。ガラスの組成は始良Tn火山灰(29ka)の報告値と一致した。始良Tn火山灰の直上でAs-BP(浅間板鼻褐色軽石；20-25ka)も確認した。始良Tn火山灰から火砕流堆積物最上部までの層厚は、火山体南麓の高崎市十文字付近での結果(下司・竹内, 2012) [10]とも似ている。以上のことから、この火砕流堆積物を白川火砕流(広義)と結論づけた。この露頭の本質軽石は変質が顕著で斜長石が消滅していたが、斜方輝石+角閃石+Fe-Ti 酸化物+石英といった白川火砕流堆積物(広義)と共通する斑晶を確認した。前述の荒神露頭の検討により、榛名カルデラ噴火について噴出マグマの時間変化を確認した場合には、その裏付けを取るのに、この露頭を活用できる可能性がある。

45～10ka 噴火の溶岩に含まれる暗色包有物：榛名富士・水沢山の溶岩4サンプルに確

認められた。暗色包有物には様々な成因がある。この暗色包有物については、高温マグマから形成された苦鉄質包有物であることが、ホストより未分化なバルク組成 ($\text{SiO}_2=50.9\sim 55.1$ wt. %) や、カンラン石斑晶の存在などにより確認された。またマッシュ状珪長質マグマに由来する結晶が含有されていることや、その体積比に応じて暗色包有物のバルク組成が系統的に変化することも明らかになった。

まとめと今後の課題：ニッ岳渋川噴火の本質軽石の組成は、ニッ岳伊香保噴火における珪長質端成分マグマの組成と非常に良く似ている（図7）。2噴火が50～100年以内に起きたことを考慮すると、2噴火の珪長質マグマは、マグマ供給系の全く同一の領域に起源を持つ可能性が高い。これが正しいとすると、ニッ岳渋川噴火の本質軽石は、珪長質マグマが高温マグマに加熱され発生したか、もしマグマ混合が発生していれば高温マグマの混合比は非常に低かったということになる。これはニッ岳伊香保噴火において、高温マグマの混合の顕著な灰色軽石や溶岩（ ~ 58 wt. % SiO_2 ；図7）が噴出していることと対症的である。ニッ岳における2度の爆発的噴火は、ニッ岳伊香保噴火でプリニー式噴火、ニッ岳渋川噴火でスフリエール型の火砕流発生というように、様式が異なり、また噴出物の総量は伊香保噴火が2倍程度大きい（山元, 2013）^[17]。今後、斑晶鉱物組成の分析により、50～100年間のマグマ供給系の進化を調べる。Suzuki and Nakada (2007)^[12]は、伊香保噴火の噴出物について、珪長質マグマ-高温マグマの相互作用は伊香保噴火の直前に起きたと考えた。しかし今後、斑晶鉱物の元素拡散記録を解読することで、伊香保噴火の産物に記録された相互作用の発生時期を決定し、50～100年前の渋川噴火との時間的關係も考える。

H30年度の研究により、ニッ岳渋川火砕流堆積物と白川火砕流堆積物（広義）の本質軽石は、全岩組成により区別が可能であることが初めて分かった。45～10ka 噴火の溶岩の暗色包有物のうち、マッシュ由来の結晶の影響のないものの組成は $\text{SiO}_2=50.9\sim 52.8$ wt. % であり、それは Suzuki and Nakada (2007)^[12]がニッ岳伊香保噴火に対して推定した高温マグマの組成 ($\text{SiO}_2=51.4\sim 52.7$ wt. %) とほぼ一致する。約5万年に渡り、供給されている高温マグマの組成に大きな変化がなかった可能性を示唆する。

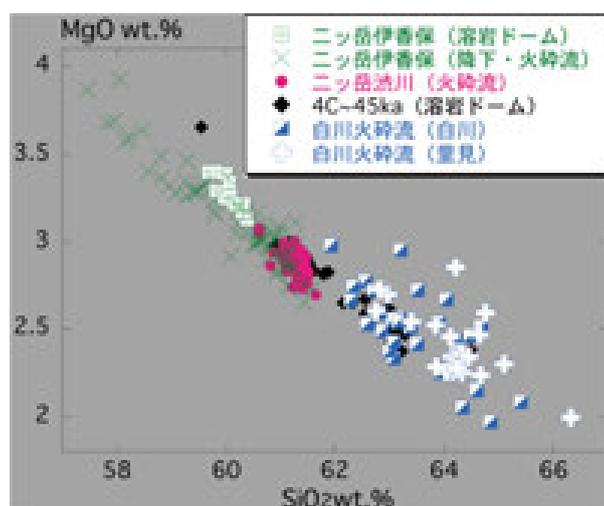


図7 新期榛名火山の噴出物の全岩化学組成

マッシュ状の珪長質マグマに高温マグマが供給され、噴火が誘発されるという現象は、過去約5万年に渡り継続的に起きている。Suzuki and Nakada (2007) [12]は二ツ岳伊香保噴火について、粘性の低下した混合マグマ・加熱された珪長質マグマが、そうでない元のマッシュ状珪長質マグマ本体よりも先に噴出したことを発見した。二ツ岳渋川噴火や榛名カルデラ噴火に関しても、基底部から上位層に向けて連続的に観察できる露頭の試料を(火山灰を含め)を丹念に解析し、似たような時間変化があるのかを確認していく必要がある。

謝辞：大石雅之博士と早田勉博士には、いくつかの重要な露頭を、ご案内いただいた。

iii) 富士山

(ア) 富士山宝永噴火の斑レイ岩に見られるカタクレーサイト状組織の分析による火山体深部構造の推定 (静岡大学)

富士山宝永噴火の噴出物中には斑レイ岩の捕獲岩が含まれることが知られている。これらの斑レイ岩には、粒間にガラスが見られるものもあり、富士山地下に存在する“生きたマグマだまり”の破片であると考えられる。本研究では、この宝永噴火の斑レイ岩捕獲岩300試料程度について薄片を作製し、その岩石組織観察を行った。その結果、ごく少数ではあるが明瞭なカタクレーサイト状組織を伴う斑レイ岩捕獲岩を発見した。

本研究の斑レイ岩捕獲岩には、カタクレーサイト化の程度にバリエーションが見られ、試料全体が破碎しているものから、試料を横切る割れ目に沿う一部分だけ破碎しているものまで確認できる。未破碎部の岩石学的特徴は、通常の斑レイ岩試料と同様であるのに対し、破碎した細粒部では斜長石にキンクバンドやジグソー状の割れ目が見られた。更に、鉱物粒子中に広がる割れ目には、発泡した流紋岩質ガラスが見られることがあり、加えてこのガラスとオリビンの境界には細粒の輝石が形成されていた。この組織は、斑レイ岩の変形の過程で流紋岩質メルトが流入し、鉱物の破碎と同時にメルトとの化学反応も進んでいたことを示唆する。流紋岩質メルトの化学組成は、田中・他 (2016) [18]で報告した斜長石中の流紋岩質メルト包有物の化学組成と一致し、宝永噴火のマグマとは組成が異なる。カタクレーサイト中に含まれる Fe-Ti 酸化物から見積もられた温度はおよそ 790°Cで、他の斑レイ岩捕獲岩と同程度の温度であり、かつ含水の流紋岩質メルトが安定に存在できる温度である。一方でこの温度は、テクトニックな地震が発生する一般的な温度(<~350°C)よりも高温である。この温度と粒間メルトの化学組成から見積もったメルト含水量は約 8wt.%であり、その H₂O 飽和深度は約 11 kmである。この深さは、富士山の地下で低周波微動の発生する領域の最浅部と概ね一致する。また、2011年3月15日に発生した静岡県東部地震の余震域の深さとも同等である。静岡県東部地震の余震域は北東-南西方向の走行を持っており (Fujita et al., 2013) [19]、その北東端は宝永火口直下に位置する。

カタクレーサイトは一般に、断層運動に伴うせん断によって岩石が脆性破碎することで形成されると考えられている。この考えに基づくと、本研究の結果は、富士山地下でマグマ供給系と断層が互いに切り合っている可能性を示唆する。一方で、この斑レイ岩について見積もられた平衡温度で脆性破壊がおこるためには、通常のテクトニック地震に比べて大きい歪応力が必要と考えられ、テクトニックな断層でこれを実現できるかには疑問が残る。カタクレーサイトを形成した断層の実態については、今後の継続研究での鉱物化学

組成分析と岩石組織解析によって検討を試みる。以上の成果は、JpGU Meeting 2019 で学会発表予定である。

(イ) 斑レイ岩試料の分析による玄武岩質マグマ溜まり環境とマグマの上昇速度の推定 (東京大学・山梨県富士山科学研究所)

協力機関である山梨県富士山科学研究所と共同で富士山の焼野西丸尾溶岩流中に捕獲された斑レイ岩試料の分析を行い、火山体の地下でマグマの滞留しやすい深度について検討した。深さ数 km 以浅にマグマが結晶化している場がある一方、深部マグマ溜まり近くの深さ 10km から 16 km あたりの複数箇所にもマグマが滞留する場があることがわかった。前者は噴火時に形成された岩脈、後者は深部マグマ溜まりから一旦上昇を開始したものの噴火には至らなかった噴火未遂マグマの存在する場であると考えられる。斑レイ岩が上昇するマグマに取り込まれて地表に現れる条件の計算から、マグマの上昇速度は毎時十数 m を下回らないことが明らかになった。

iv) 伊豆大島:伊豆大島 1986 年噴火の玄武岩質安山岩メルトの減圧結晶作用シミュレーション (静岡大学)

伊豆大島 1986 年噴火では、三原山山頂火口 (A 火口) と、カルデラ床および外輪山北麓に新しく開いた割れ目火口 (B・C 火口) からマグマが噴出したが、A 火口噴火は比較的穏やかなストロンボリ式噴火であったのに対し、B 火口噴火は激しいサブプリニー式噴火であった (A および B 火口からそれぞれ噴出したマグマを A および B マグマと呼称する)。A および B マグマは互いに似た玄武岩質安山岩質の全石基化学組成を有するが、一方で A マグマはマイクロライトに乏しく、B マグマはマイクロライトに富むという違いが見られる。近年の研究では、減圧結晶作用で形成するマイクロライトが火道上昇中のマグマのレオロジーに強い影響を及ぼし、その結果として苦鉄質マグマの破碎がおこり、爆発的噴火が引き起こされるという考えが提示されている (例えば Namiki and Tanaka, 2017^[20]; Moitra et al., 2018^[21])。これに基づくと、A および B マグマの噴火様式の違いは、マイクロライト結晶作用の過程違いを反映したものと考えられる。では、このマイクロライト結晶作用過程のちがいを引き起こした要因は何であろう? これを検討するため、マグマの熱力学相平衡シミュレーター “rhyolite-MELTS” (Gualda et al., 2012)^[22]を用いて、B マグマの全岩化学組成を出発組成とした等温減圧結晶作用シミュレーションを行った。シミュレーションの際、出発圧力は 200MPa、 f_{O_2} 条件は Ni-NiO バッファとし、初期メルト含水量を 1 ~ 4 wt.% の範囲で変動させ、温度は各含水量でのリキダス温度 (1132~1079°C) とした。マイクロライト結晶作用のふるまいは温度に依存して変化し、温度低下とともに結晶作用の開始圧力、減圧に対する結晶量増加率と最終的に到達する結晶量が増加した。最終的な結晶量と温度の関係は、A および B マグマそれぞれについて、実際の噴出物の特徴と概ね一致した。また、晶出する結晶相の組み合わせ、順序、晶出量も温度に依存して変化し、その結果として、残液メルトの SiO₂ 含有量が低温ほど増加する傾向がみられた。メルトの化学組成、結晶量と温度はいずれもマグマのレオロジーに強い影響を及ぼす要素である。減圧に伴うマグマの粘性率変化を見積もったところ、初期条件では各温度におけるマグマ

の粘性率の差はわずかで、より低温のマグマほど含水量が多いために低粘性であったが、結晶作用の進行とともに紺関係が逆転し、マグマの温度が低いほど粘性率が高くなり、1気圧では 1132℃と 1079℃のマグマの間で3ケタ以上の粘性率差が生じた（グラビア 図 1）。この粘性率差が、高温の A マグマと低温の B マグマの間での噴火様式の違いを生んだ原因であると考えられる。本研究のシミュレーション結果では、最も低温の場合でも、マイクロライト量が増加する圧力はおよそ 30MPa 以下であった。地殻密度を 2500kg/m³として静岩圧換算すると、この圧力は深さ約 1200m に相当する。本研究のシミュレーションは結晶作用のカイネティックな遅れや非平衡の効果を考慮していないので、実際の噴火の際には結晶作用の進行する圧力はより低圧側にシフトする可能性がある。したがって、火道上昇過程でマグマの物性が著しく変化するのは約 1200m よりも浅部に限られると考えられる。以上の結果は、石橋・種田(2018)^[23]にまとめて公表済みである。

v) 伊豆東部火山群: 斑晶鉱物とメルト包有物から探る伊豆大室山噴火のマグマ供給システム(静岡大学)

伊豆大室山は、約 4000 年前に発生した玄武岩質安山岩マグマの単成火山噴火で形成した、東伊豆単成火山群で最大の火砕丘である（大室山を形成した噴火を“大室山噴火”とよぶ）。大室山のような単成火山は、マグマ供給システムが形成してはじめての噴火で形成されると考えられ、したがってその噴出物中の斑晶は、形成初期のマグマ供給系の情報を有すると期待できる。そこで、大室山噴火の噴出物に含まれるメルト包有物とそのホスト斑晶鉱物について組織観察・化学組成分析を行い、この単成火山のマグマ供給システムについて検討した。

大室山噴火の噴出物中の斑晶はオリビン・斜長石と微量の石英からなり、輝石・磁鉄鉱斑晶はみられない。オリビン斑晶のほとんどはリム付近を除いて均質であり、リム付近ではノーマルゾーニングを示す。斜長石斑晶のほとんどはコアとリムの間に汚濁帯を持ち、リムはコアよりも An 成分に富む。斜長石コアは清澄なものから蜂の巣状のものまであり、融食構造をしばしば示す。石英は融食構造を示し、石基との境界は輝石で囲まれている。オリビンと斜長石はともに、コア部分にメルト包有物を含む。石基は、オリビン・斜長石の微斑晶と、その間を埋めるマトリクスから構成され、マトリクスはほぼガラス質のものから輝石・斜長石のマイクロライトに富むものまでバリエーションがみられる。オリビン・斜長石の微斑晶はともに粒内で均質であり、斜長石斑晶のリムと微斑晶の組成は同じである。オリビン中のメルト包有物は玄武岩質安山岩～安山岩質組成を示し、安山岩質メルト組成は石基ガラスとほぼ同等である。これに対し、斜長石中のメルト包有物のほとんどが流紋岩質であるが、一部のは安山岩質までバリエーションを示す。このバリエーションは、流紋岩質組成と石基メルト(安山岩質)組成を端成分とする混合で説明できる。加えて、ホスト斜長石の FeO と K₂O 量から見積もられたメルト組成は、流紋岩質メルト包有物組成と概ね一致することから、斜長石中のメルト包有物に見られる組成バリエーションは、もともと斜長石中に包有物として含まれていた流紋岩質メルトと、割れ目等を通して浸透した石基メルトとの混合によると考えられる。

本研究の結果は、大室山噴火の発生前から、その地下には流紋岩質メルトが存在してい

た可能性を示唆する。東伊豆単成火山群ではじめて珪長質マグマが噴出するのは、約 3100 年前のカワゴ平噴火であり、それ以前に噴出したマグマは玄武岩質～安山岩質のものに限られる。しかし、本研究の結果は、カワゴ平噴火より約 900 年前には既に、同火山群の地下で流紋岩質メルトが存在していたらしい。ただし、カワゴ平火山で噴出した流紋岩質マグマとは岩石学的・化学的性質がやや異なっていることから、その形成過程が異なると考えられる。以上の成果は、JpGU Meeting 2019 で学会発表予定である。

vi) 雲仙普賢岳（東京大学, 静岡大学）

1991-1995 年噴火の噴出物の EPMA 分析を実施した。この平成噴火は、従来は 2 つのマグマが混合した活動と考えられていたが、角閃石組成の組成頻度分布から噴火に関与したマグマが 3 種類あることが明らかになった。現在、3 つのマグマの混合した割合やそれぞれのマグマの温度や圧力についての検討を進めており、JpGU Meeting 2019 で発表予定である。

vii) 阿蘇山（熊本大学）

(ア) 先阿蘇火山岩類の岩石学的特徴および年代測定

阿蘇大橋の大崩壊地および周辺の地質、崩壊岩石の物質科学について現地踏査、試料採集、薄片観察、全岩および鉱物化学分析を行い、岩石、鉱物学的特徴を明らかにした。当地域の K-Ar 年代測定と公表値から 30 万年～80 万年前に先阿蘇の火成活動があったことがわかった。

当地域に産出する先阿蘇火山岩類は全て安山岩組成を示し、鉱物組合せから O1-Cpx タイプ、O1-2Px タイプ、O1-Hb-2Px タイプが認められた（O1=かんらん石、Cpx=単斜輝石、2Px=単斜輝石+直方輝石、Hb=角閃石）。本来、逆相関を示す MgO と SiO₂ の関係が成り立たない岩石グループがあった。通常の結晶分化作用で関連づけるのは難しく、多様な起源を持つマグマが活動したことが示唆された。

(イ) メルト包有物分析による阿蘇、後カルデラ期のマグマ溜り深度の推定

上米塚、往生岳のかんらん石に捕獲されたメルト包有物から未分化で硫黄に富むマグマを発見した。完新世噴出物（中岳～米塚、往生～杵島岳）のメルト包有物の大部分が、分化して硫黄に乏しいのとは異なり、深部起源のマグマの存在を示す。これらの岩石が示す、かんらん石→単斜輝石→斜長石という晶出順序を再現するには、6 wt.% 近い高い含水量が必要であることがわかった。得られた含水量幅を与えて MELTS で斑晶鉱物の晶出深度を求めたところ 3～9 km に相当する圧力での結晶分化作用が起こったことが推定された（図 8）。

この結果は電磁気探査で得られた草千里ヶ浜火口直下の C1 異常域（2～6 km: Hata et al., 2016）^[24]地震波および測地データから求めた草千里ヶ浜火口直下の低速度域（3～9 km: Sudo and Kong, 2001）^[25]と整合的である。

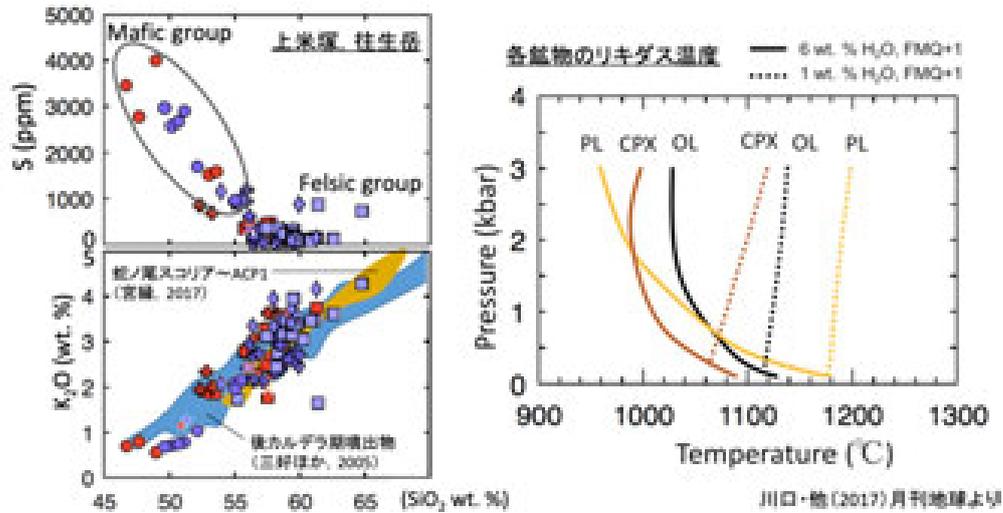


図8 左：阿蘇火山噴出物中の硫黄含有量 右：阿蘇火山噴出物中の鉱物のリキダス温度推定

(ウ) 後カルデラ期の珪長質テフラのメルト包有物組成の変遷

後カルデラ期の珪長質テフラ ACP1 から ACP4 (1.0, 3.0, 5.1, 5.4 万年前) について構成鉱物に含まれるメルト包有物およびホスト鉱物の EPMA 分析、FT-IR 分析を行い、メルト組成の変遷、他の時期のメルト組成との比較を行った (図9)。メルト包有物組成は以下の3パターンに分類できた。a) 非常にばらつくタイプ (ACP1)、b) 直線的なトレンドを示すタイプ、c) 狭い範囲に組成が集中するタイプである。

メルト組成の変遷は概ね c) → a) → b)、となり、c) 均質な組成で安定した珪長質マグマ溜り → a) 地下深部由来の玄武岩質マグマと浅部地殻の多様な反応 → b) 地下深部由来の玄武岩質マグマと浅部の珪長質マグマ溜りの安定した混合、と変わってきたことを示した。

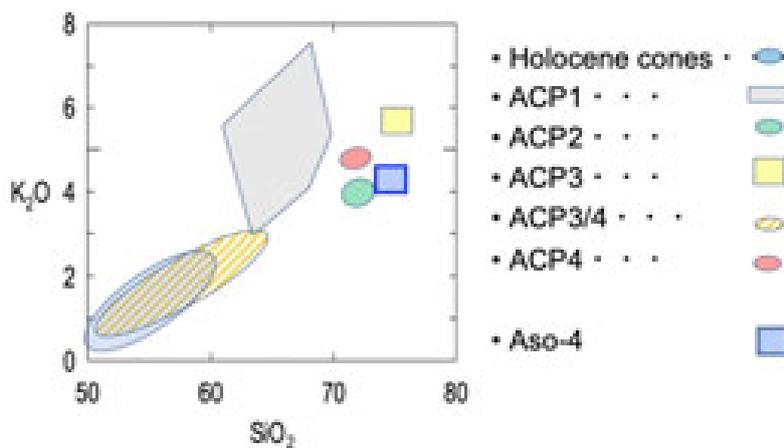


図9 メルト包有物組成の分布パターンの時間変化

viii) 霧島山（新燃岳）：2017年噴火の火山噴出物の分析（常葉大学）→ xiii)参照。

ix) 桜島：桜島火山の歴史時代プリニー式噴火に共通した噴火前駆過程（マグマの“Pre-charge”現象）の研究（東北大学）

桜島火山で歴史時代に発生した三回のプリニー式噴火（大正・安永・文明噴火）の噴出物について、斜長石・輝石斑晶に含まれるメルト包有物の含水量を、東大地震研究所において反射法 FT-IR により分析した。その結果、含水量は 1.5～3 wt%程度であり、想定されるマグマの初期含水量より明確に低かった(図 10)。これは、いずれの噴火でも、マグマがプリニー式噴火の直前に火道に相当する深さ（1～3 km）まで上昇したのち、その圧力で再平衡した結果であると考えられる。実際、斜長石斑晶のメルト包有物は、形成後の明瞭な母結晶の成長が見られ、この部分とメルト組成の化学平衡（分配係数）に斜長石含水量計を適用した圧力は、メルト包有物の飽和含水量の圧力依存性から見積もった値と良く一致する。

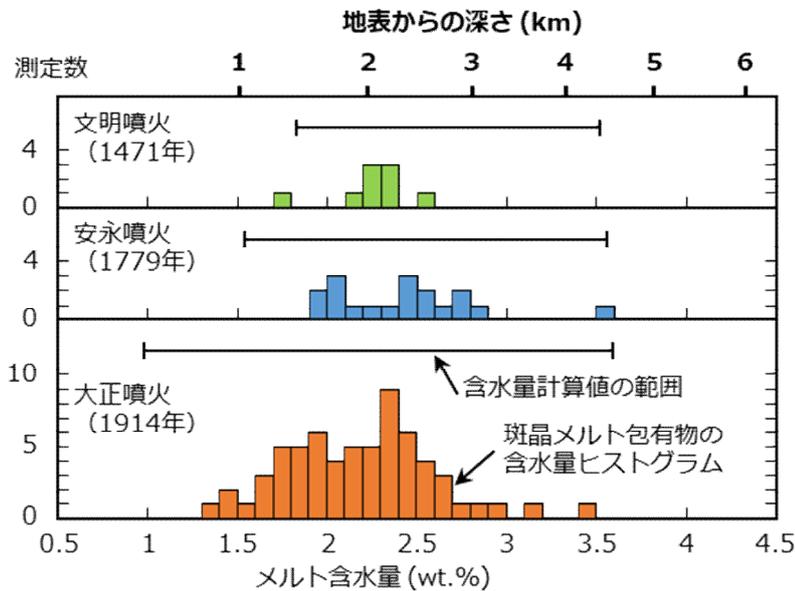


図 10 噴出物の分析から明らかにしたメルト包有物含水量の頻度分布と斜長石の化学組成から計算したメルト含水量の範囲。上側の横軸には含水量から換算した深さを示している。

この深さは始良カルデラ直下の主要マグマ溜まり（深さ約 10 km）や桜島直下の副次的なマグマ溜まり群（深さ 4～5 km）よりも明瞭に浅く、噴火直前に多量のマグマが火道相当深度に上昇して来る現象が、桜島のプリニー式噴火においては繰り返し発生していることが明らかとなった（グラビア 図 2）。この現象を“Pre-charge”と命名して、論文として発表した（Araya et al., 2019）^[26]。将来、プリニー式噴火がこれまでと同様のプロセスで発生する場合は、噴火に先立って桜島直下に想定される爆発地震の発生領域に相当する部分に多量のマグマが上昇して来る可能性があり、観測によってこの前駆現象が捉えられる可能性がある。

x) 諏訪之瀬島（常葉大学）

前年度に引き続き、斑晶鉱物の EPMA による分析を行った。より長期間にわたるマグマ供給系の時代変化を理解するため、前年度の試料に加えて、1884 年溶岩流、ほぼ同時期のスコリア、約 4 千年前および 2-3 万年前の軽石噴火の噴出物についても分析を進めた。

その結果、斑晶鉱物組成（斜長石、両輝石）の噴出物間の比較から、軽石噴火では著しいマグマ混合の認められる場合とほぼ珪長質端成分マグマのみが噴出する場合があることが明らかとなった。前年度の結果も踏まえて判断すると、およそ 1 万年前以降からマグマの含水量が徐々に低下傾向にあることが示唆された。一方で、数千年前までは混合マグマの組成差が大きく、特に珪長質側の寄与が大きかったのに対して、数千年前以降では珪長質側の寄与が減少したことが分かった（図 11）。すなわち、諏訪之瀬島火山の主要部を構成する御岳火山の数万年間の噴火史上で、An60 を下回るような斜長石を含まず、より Mg# の高い輝石を含む苦鉄質端成分組成に近いマグマが噴出するようになったのは、ちょうど現在のような断続的灰噴火活動を始めたと考えられる約 4 千年前以降であり、活動様式の変化とマグマ供給系の変化が同時期であったことが示唆された（分析は現在も継続中）。

2019 年度は、小規模な噴火により連続的に火山灰層を堆積させたと考えられる約 4 千年前以降のテフラ試料の分析を行い、より連続性の高いデータを用いてマグマ供給系の進化過程を解明する予定である。

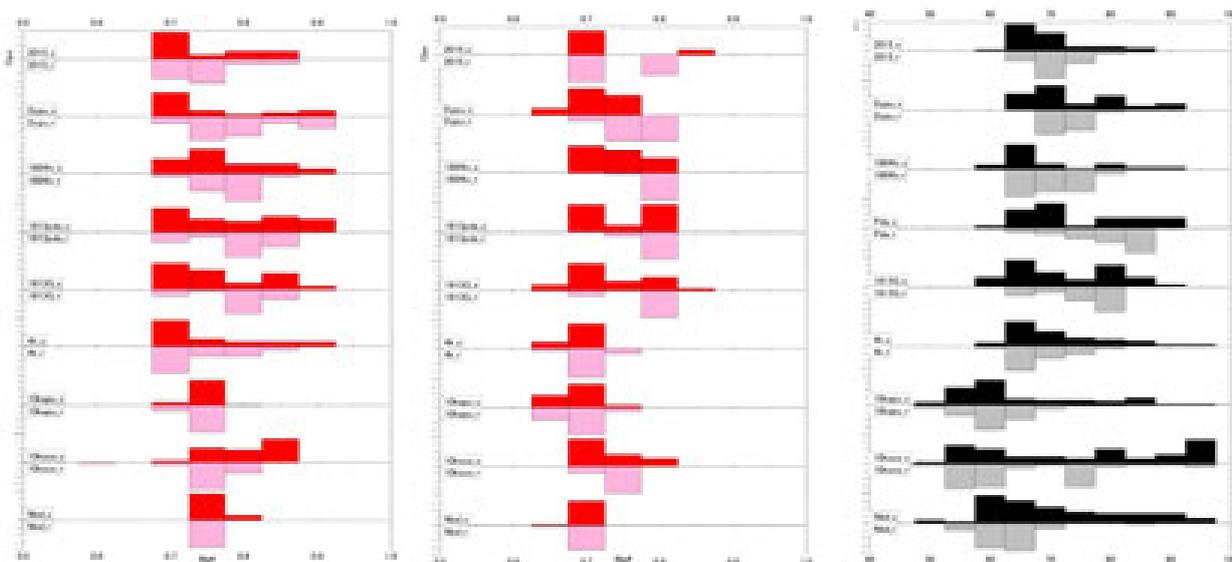
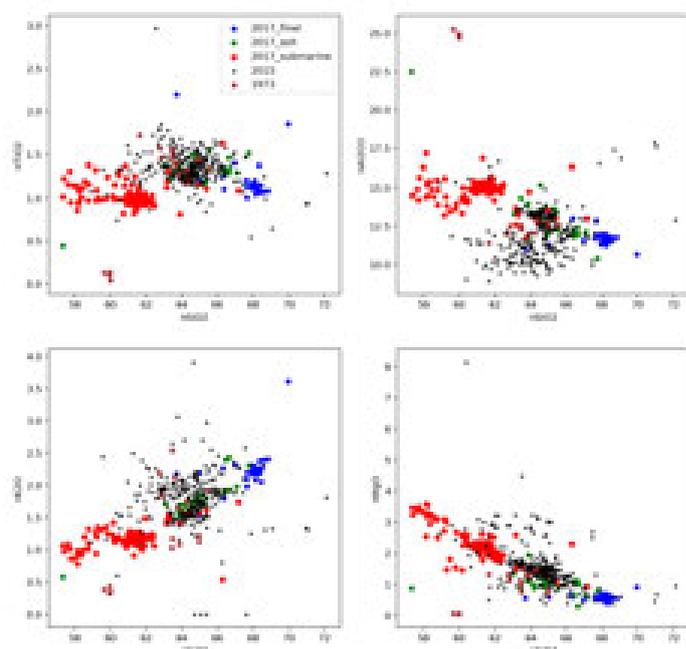


図 11 過去数万年間の代表的な諏訪之瀬島火山噴出物の輝石および斜長石の組成層序変化（左：単斜輝石 Mg#、中：斜方輝石 Mg#、右：斜長石組成 An）の層序変化（上位ほど新しい）

xi) 西之島（東京大学）

突発的な噴火への対応として、2017年西之島噴火のスコリア試料（2018年5月にドローンを使って採取された2017年噴火の最終期のもの）のXRFによる全岩組成分析とEPMA



による局所分析を行った。全岩組成は、2013-15年時の試料とほぼ同じ組成で、同一のマグマ供給源の関与が示唆される。一方、スコリア試料の石基ガラス組成は、2013-15年時の試料と比べてSiO₂量が高く結晶化が進行しており、マグマが温度低下していることをうかがわせるものであった（図12）。

図12 石基ガラスの組成
青色が2018年5月に採取された2017年噴火の最終期の試料。

xii) 解析手法の検討（産業技術総合研究所）

噴火事象分岐予測手法の開発に向け、噴火前のマグマの温度・圧力・含水量を明らかにするための手法開発として、マグマの熱力学計算ソフトウェア(Rhyolite-MELTS; Gualda et al., 2012)^[22]の活用方法を継続して改良した。2018年度はMELTSのソースコードを入手し、若干手を加えることにより「rhyolite-MELTS v.1.2.0 (mixed fluid version optimal for mafic and alkalic melts) - new H₂O model」の計算を文字ユーザーインターフェースから直接制御できるようにした。従来のMELTSプログラムはX11ウインドウシステムのグラフィックユーザーインターフェースを介して起動・終了を行っていたため、数値の入力やメニュー選択などを擬似的に再現する制御スクリプトを使用していた。そのため、計算に使用しているPCのCPUの能力ではなく、X11ウインドウシステムのボトルネックが、MELTSの計算を律速していた。今回の改良によりこのボトルネックが回避されたため、複数のCPUコアを持つ高性能なPCの能力をフルに使うことが可能になった。

中川・他(1988)^[27]が記載した東北日本弧の代表的な第四紀玄武岩（12種類）を対象にMELTSの計算を行ったところ、完了まで8日を要した。これは従来の計算方法と比較して約10倍の速さである。したがって今年度の改良によりMELTSの計算は画期的に高速化されたと言える。X11ウインドウシステムの不具合に起因するトラブルも避けることができたことも、計算の高速化に寄与した。しかしながら、若干の不具合は残されているため（分別結晶モードの計算を行うとMELTSが落ちる）、引き続きこの問題の原因究明と修正を行う必要がある。中川・他(1988)^[27]による東北日本弧の代表的な第四紀玄武岩の計算結果を、温度・圧力平面上に等高線図に描いた（図13）。ほぼシリカ濃度が同じ（～50wt.%SiO₂）玄武岩質メルトのチタン濃度の温度圧力依存性が、東北日本弧のフロント側から背弧側に向け

て、系統的に変化していることが示された(図 13)。具体的には、メルトのチタン濃度が高まる圧力がフロント側の火山では高く、背弧側の火山では低い。これらの等高線図と、描画に用いた数値データのテキストファイルを 107881 個のハイパーテキストで相互リンクさせたものを、Nakagawa1988.dmg という名称のアーカイブにとりまとめた。このアーカイブファイルの容量は大きいので(46GB)、もし適切な配布方法があれば、提供を検討する。

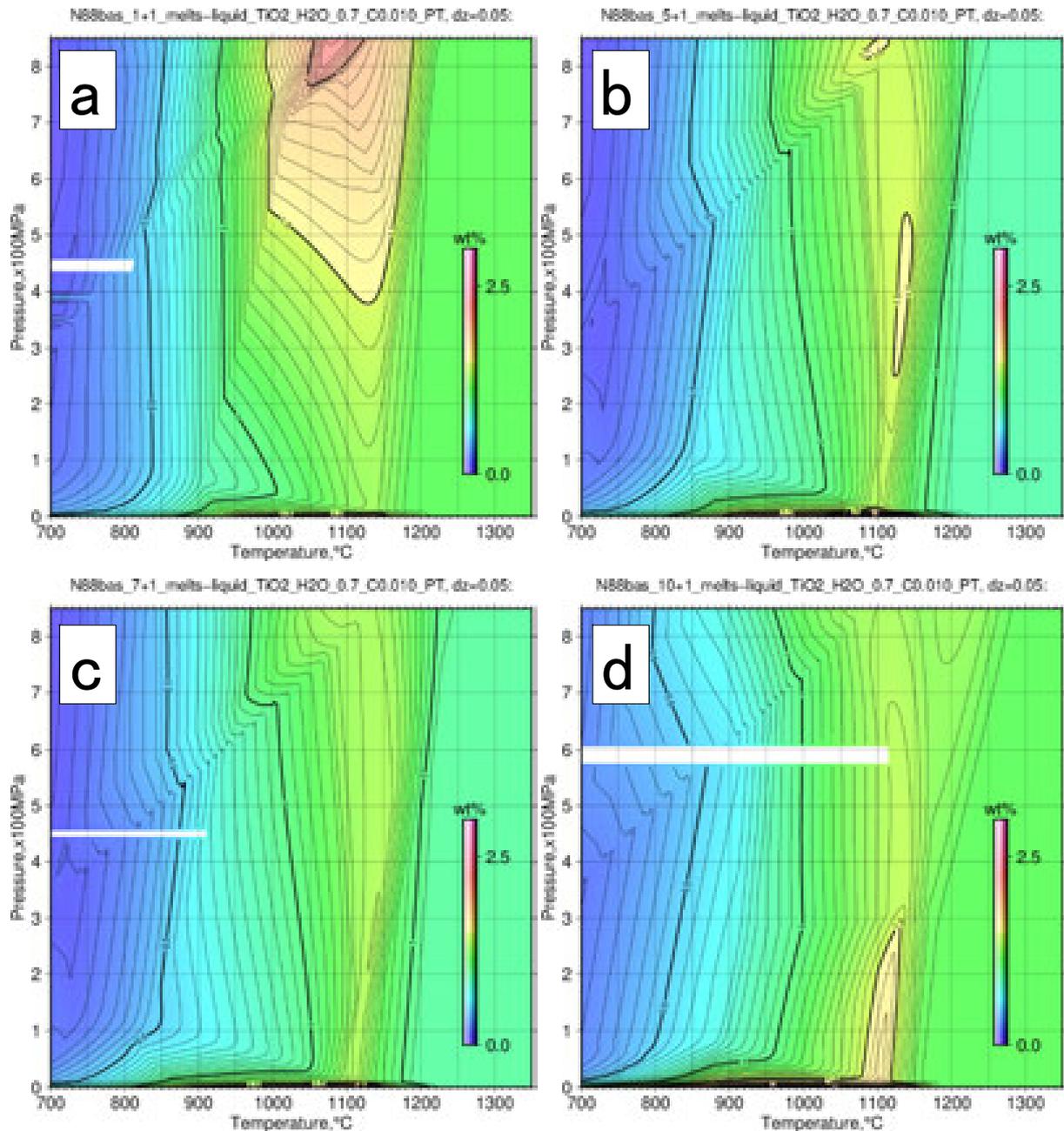


図 13 中川・他(1988) [27]による東北日本弧の代表的な第四紀玄武岩メルトのチタン濃度の温度圧力依存性。a:青麻火山(霜鳥・他, 1983) [28]、b:岩手山(石川・他, 1984) [29]、c:南蔵王火山(酒寄・他, 1984) [30]、d:目潟火山(Yoshida and Aoki, 1984) [31]について結果を示す。全岩含水量は 0.7wt%、酸素分圧は FMQ+1 ログユニットに設定した。縦軸は圧力(x100MPa)、横軸は温度(°C)である。

xiii) 噴火のモニタリング手法の開発 (常葉大学)

前年度に引き続き、桜島では火山灰試料の測色データ解析を行った。桜島の火山灰については、粒径分離を行って測色測定を行い、データの蓄積を進めた。

また、比較的粗粒な粒径 (500-250 μ) の測色値と肉眼鑑定に基づく粒子構成比の関係から、主要構成粒子種については、迅速なデータ取得が可能な分光測色分析によって構成比が推定できることを示した (図 14)。なお、今年度は前年度終盤に発生した霧島新燃岳の噴火による噴出物についても同様な解析を行った (火山学会秋季大会で発表、詳細な解析は継続中)。

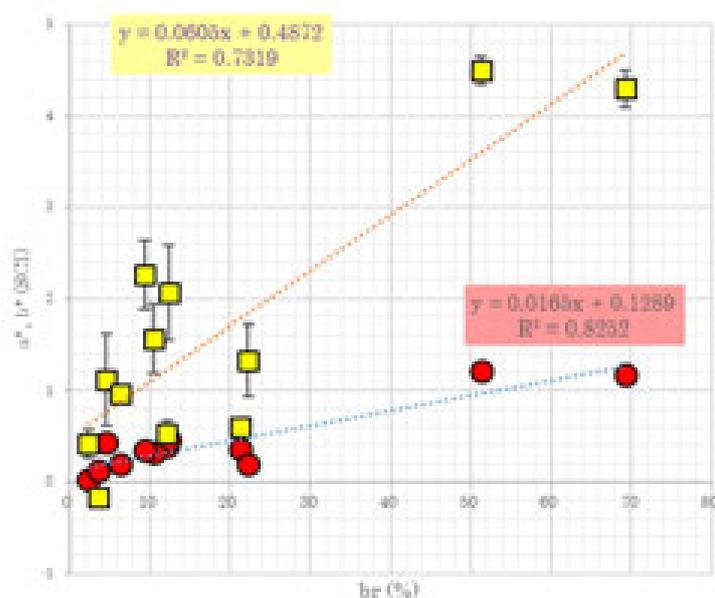


図 14 測色値と粒子比率の関係 (br : 褐色ガラス質発泡粒子; 赤丸:a*値、黄四角:b*値)

(c) 結論ならびに今後の課題

平成 30 年度の目標はおおむね順調に達成できている。今後も、様々な分析を正確かつ効率的に実施できるように、引き続き分析・解析プラットフォームの整備を進めるとともに、生産した分析データを活用するためのデータベース化に向けた取り組みを行っていく。調査対象とした 11 火山については順調にデータが集まりつつある。また、解析手法についても検討が進んでおり、計画当初では考慮していなかったデータ解析法が噴火の推移予測に重要なことが示された。今後は、各火山について噴火事象分岐予測手法の開発に向けたデータ検討や整理とデータの蓄積を継続するとともに、必要に応じて柔軟に作業内容を拡充して、より信頼性が高く迅速な事象分岐予測ができるよう手法の開発に務める。

(d) 引用文献

- [1] Lepage, L. D. (2003) ILMAT: an excel worksheet for ilmenite--magnetite geothermometry and geobarometry, Computers and Geosciences, doi:10.1016/S0098-3004(03)00042-6.

- [2] Andersen, D. J., Lindsley, D.H. and Davidson, P. M. (1993) QUILF: A pascal program to assess equilibria among Fe-Mg-Mn-Ti oxides, pyroxenes, olivine, and quartz, *Computers and Geosciences*, 19 (9), 1333-1350.
- [3] 曾屋龍典・勝井義雄・新井田清信・堺幾久子・東宮昭彦 (2007): 有珠火山地質図 (第2版) 1:25,000. 火山地質図2, 産総研地質調査総合センター, 9p.
- [4] Goto, Y., Danhara, T. and Tomiya, A. (2019) Catastrophic sector collapse at Usu volcano, Hokkaido, Japan: failure of a young edifice built on soft substratum. *Bulletin of Volcanology*, in press.
- [5] 東宮昭彦・宮城磯治 (2002) 有珠火山 2000 年 3 月 31 日噴火の噴出物とマグマプロセス. *火山*: 47, 663-673.
- [6] Tomiya, A., Takahashi, E., Furukawa, N. and Suzuki, T (2010) Depth and evolution of a silicic magma chamber: melting experiments on a low-K rhyolite from Usu volcano, Japan. *Journal of Petrology*, 51: 1333-1354.
<https://doi.org/10.1093/petrology/egq021>.
- [7] 東宮昭彦 (2002) 有珠火山 2000 年噴出物の融解相平衡実験. 日本火山学会講演予稿集 2002 年度秋季大会, p. 75-75.
- [8] Suzuki, Y., Gardner, J.E. and Larsen, J.F. (2007) Experimental constraints on syneruptive magma ascent related to the phreatomagmatic phase of the 2000AD eruption of Usu volcano, Japan. *Bulletin of Volcanology*, 69: 423-444.
<https://doi.org/10.1007/s00445-006-0084-3>.
- [9] 大西里佳・東宮昭彦 (2018) 有珠火山 2000 年噴火の噴火準備過程. 日本火山学会講演予稿集 2018 年度秋季大会, p. 146-146.
- [10] 下司信夫・竹内圭史 (2012) 榛名山地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 79p.
- [11] 下司信夫・大石雅之 (2011) 榛名火山の後期更新世及び完新世噴出物から得られた炭素 14 年代. 地質調査研究報告, 62, 177-183.
- [12] Suzuki, Y. and Nakada, S. (2007) Remobilization of highly crystalline felsic magma by injection of mafic magma: Constraints from the middle sixth century eruption at Haruna Volcano, Honshu, Japan. *Jour. Petrol.*, 48, 1543-1567.
- [13] 高橋 正樹・渡辺 由美子・関 慎一郎・金丸 龍夫・竹本 弘幸 (2016) 榛名火山噴出物の全岩化学組成 — 分析データ 235 個の総括—. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 51, 179 -219.
- [14] 早田 勉 (1989) 6 世紀における榛名火山の 2 回の噴火とその災害. *第四紀研究*, 27, 297-312.
- [15] Fujii, T. and Nakada, S. (1999) The 15 September 1991 pyroclastic flows at Unzen Volcano (Japan): A flow model for associated ash-cloud surges. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 89(1), 159-172, DOI: 10.1016/S0377-0273(98)00130-9.
- [16] 大石 雅之・下司 信夫・下岡 順直 (2011) 斜長石斑晶の屈折率を用いた火山噴出物の識別—榛名火山南麓を中心に分布する噴出物を例に—. *第四紀研究*, 50(6), 295-308.

- [17] 山元孝広 (2013) 栃木—茨城地域における過去約 30 万年間のテフラの再記載と定量化. 地質調査研究報告, 64 (9/10), 283-288.
- [18] 田中佑希子・石橋 秀巳・外西 奈津美・安田 敦 (2016) 富士火山の斑レイ岩捕獲岩に含まれるメルト包有物. 火山学会秋季大会予稿,
<https://doi.org/10.18940/vsj.2016.7>
- [19] Fujita, E., Kozono, T., Ueda, H., Kohno, Y., Yoshioka, S., Toda, N., Kikuchi, A. and Ida, Y. (2013) Stress field change around the Mount Fuji volcano magma system caused by the Tohoku megathrust earthquake, Japan. *Bull Volcanol*, 75:679, DOI 10.1007/s00445-012-0679-9.
- [20] Namiki, A. and Tanaka, Y. (2017) Oscillatory rheology measurements of particle and bubble-bearing fluids: Solid-like behavior of a crystal-rich basaltic magma. *Geophys. Res. Lett.*, <https://doi.org/10.1002/2017GL074845>.
- [21] Moitra, P., Gonnermann, H. M., Houghton, B. F. and Tiwary, C. S (2018) Fragmentation and Plinian eruption of crystallizing basaltic magma. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 500, 97-104.
- [22] Gualda, G. A. R., Ghiorso, M. S., Lemons, R. V. and Carley, T. L. (2012) Rhyolite-MELTS: a Modified Calibration of MELTS Optimized for Silica-rich, Fluid-bearing Magmatic Systems. *J. Petrol.*, 53(5), 875-890.
- [23] 石橋秀巳・種田凌也 (2018) 苦鉄質マグマの温度が減圧結晶作用と噴火ダイナミクスに及ぼす影響: 伊豆大島 1986 年噴火の玄武岩質安山岩メルトの例. 静岡大学地球科学研究報告, 45, 55-66.
- [24] Hata, M., Takakura, S., Matsushima, N., Hashimoto, T. and Utsugi, M. (2016) Crustal magma pathway beneath Aso caldera inferred from three-dimensional electrical resistivity structure. *Geophys. Res. Lett.*, 43(20): 10,720-10,727, <http://hdl.handle.net/2115/65174>.
- [25] Sudo, Y. and Kong, L. (2001) Three-dimensional seismic velocity structure beneath Aso Volcano, Kyushu, Japan. *Bull. Volcanol.*, 63 (5), 326-344.
- [26] Araya, N., Nakamura, M., Yasuda, A., Okumura, S. Sato, T. Iguchi, M., Miki, D. and Geshi, N. (2019) Shallow magma pre-charge during repeated Plinian eruptions at Sakurajima volcano, *Scientific Reports*,
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-38494-x>.
- [27] 中川光弘・霜鳥洋・吉田武義 (1988) 東北日本弧, 第四紀玄武岩組成の水平変化. 岩鉱, 83, 9-25.
- [28] 霜鳥洋・吉田武義・青木謙一郎 (1983) 那須火山帯, 青麻火山の地球科学的研究. 東北大学核理研研報, 16, 301-308.
- [29] 石川賢一・吉田武義・青木謙一郎 (1984) 那須北帯, 第四紀岩手火山におけるマグマの結晶分化作用. 東北大学核理研研報, 17, 330-345.
- [30] 酒寄淳史・吉田武義・青木謙一郎 (1984) 那須北帯, 南蔵王火山噴出物の地球科学的研究. 東北大学核理研研報, 17, 346-355.

[31] Yoshida, T. and Aoki, K. (1984) Geochemistry of major and trace elements in the Quaternary volcanic rocks. Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. III, 16, 1-34.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等 (論文 12 編, 発表 43 件)

著者	題名	発表先	発表年月日
Y. Nakamura, H. Ishibashi, A. Yasuda N. Hokanishi, J. Yamamoto	Ultra-magnesian olivine-bearing ultramafic lava blocks within Cenozoic accretionary sediments at Shizuoka, Japan: Implications for young, hot plume activity beneath the western Pacific Plate	Lithos, 324-325, https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.11.009 , 315-324	2018
H. Ishibashi, Y. Suwa, M. Miyoshi, A. Yasuda, N. Hokanishi	Amphibole-melt disequilibrium in silicic melt of the Aso-4 caldera-forming eruption at Aso Volcano, SW Japan	Earth, Planets and Space, 70, 137, DOI: 10.1186/s40623-018-0907-4	2018
前野 深・安田 敦・中野 俊・吉本 充宏・大湊 隆雄・渡邊 篤志・金子 隆之・中田 節也・武尾 実	噴出物から探る西之島の新火山島形成プロセス	海洋理工学会誌, Vol. 24, No. 1, 35-44	2018
S.P. Obrochta, Y. Yokoyama, M. Yoshimoto, S. Yamamoto, Y. Miyairi, G. Nagano, A. Nakamura, K. Tsunematusu, L. Lamair, A. Hubert-Ferrari, B.C. Loughheed, N. Hokanishi, A. Yasuda, V.M.A. Heyvaert, M. De Batist, O. Fujiwara, the QuakeRecNankai Team	Mt. Fuji Holocene eruption history reconstructed from proximal lake sediments and high-density radiocarbon dating	Quaternary Science Reviews, 200, 395-405	2018
石橋秀巳・種田凌也	苦鉄質マグマの温度が減圧結晶作用と噴火ダイナミクスに及ぼす影響: 伊豆大島 1986 年噴火の玄武岩質安山岩メルトの例	静岡大学地球科学研究報告, 45, 55-66	2018
原田智代・飯塚毅・浜田盛久・安田敦・吉本充宏	微量元素・同位体地球化学から読み解く富士火山マグマの化学進化	月刊地球「島弧火山への沈み込んだスラブの影響(上)」, vol. 40, No. 4, 234-241	2018
ハンディニ, 長谷中利昭, 柴田知之, Agung Harijoko, 森康, 渡邊公一郎	島弧マグマのモデリングー島弧横断方向におけるスラブ痕跡の変化を解読するー	月刊地球「島弧火山への沈み込んだスラブの影響(下)」, vol. 40, No. 5, 295-301	2018
N. Araya, M. Nakamura, A. Yasuda, S. Okumura, T. Sato, M. Iguchi, D. Miki, N. Geshi	Shallow magma pre-charge during repeated Plinian eruptions at Sakurajima volcano	Scientific Reports, https://doi.org/10.1038/s41598-019-38494-x	2019
A. K. Kurokawa, T. Miwa, H. Ishibashi	A simple procedure for measuring magma rheology	Journal of Disaster	2019

		Research, vol.14, No.5, in press	
F. Maeno, S. Nakada, M. Yoshimoto, T. Shimano, N. Hokanishi, A. Zaennudin, M. Iguchi	Eruption Pattern and a Long-Term Magma Discharge Rate over the Past 100 Years at Kelud Volcano, Indonesia	Journal of Disaster Research, 14, 27-39	2019
S. Nakada, F. Maeno, M. Yoshimoto, N, Hokanishi, T. Shimano, A. Zaennudin, M. Iguchi	Eruption Scenarios of Active Volcanoes in Indonesia	Journal of Disaster Research, 14, 40-50	2019
Y. Goto, A. Tomiya	Internal Structures and Growth Style of a Quaternary Subaerial Rhyodacite Cryptodome at Ogariyama, Usu Volcano, Hokkaido, Japan	Frontiers in Earth Science, 7 (66), 1-14	2019
T. Shimano, A. Yasuda, S. Nakada, M. Iguchi	Spectroscopic colorimetry of volcanic ash for monitoring and reconstructing eruption style	Cities on Volcanoes, Nap oli, Italy	2018年9 月2-7日
嶋野岳人・鈴木由希・ 前野深・安田敦・ 三輪学央・長井雅史・ 中田節也	霧島火山新燃岳2018年3月の火山灰 測色値変化について	火山学会2018 年秋季大会	2018
諏訪由起子・石橋秀 巳・外西奈津美・安田 敦	角閃石-斜長石共存関係から探る流紋 岩質単成火山のマグマだまりプロセス： 伊豆カワゴ平火山の例	火山学会2018 年秋季大会	2018
石橋秀巳・種田凌也・ 安田敦・外西奈津美	苦鉄質マグマの噴火様式に及ぼす温 度の影響：伊豆大島1986年噴火の例	火山学会2018 年秋季大会	2018
原田智代・飯塚毅・ 清水健二・牛久保孝 行・浜田盛久・吉本充 宏・安田敦	斑晶鉱物から読み解く富士火山宝永 噴火のマグマ進化及び噴火過程	火山学会2018 年秋季大会	2018
安田敦・田島靖久・ 嶋野岳人・金子隆之・ 吉本充宏・西澤文勝・ 藤井敏嗣	新富士火山のテフラ対比用データベ ースの構築について	火山学会2018 年秋季大会	2018
長谷中利昭・十川翔太 鳥井真之・佐藤源之 田島靖久・中田節也・ 長井雅史・長谷中利 昭・川口允孝・宮縁育 夫・前野深・及川輝樹	南阿蘇村立野地区の先阿蘇火山岩 類：阿蘇大橋崩落の地質学的要因	火山学会2018 年秋季大会	2018
田島靖久・中田節也・ 長井雅史・長谷中利 昭・川口允孝・宮縁育 夫・前野深・及川輝樹	霧島火山, 2018年新燃岳噴火のEAI 法による火山灰堆積量	火山学会2018 年秋季大会、 P029	2018
F. Brouillet・長谷中 利昭・川口允孝・西山 忠男	Disequilibrium features found among Janoo scoria, Akamizu lava and ACPl tephra, precursory event of Holocene basaltic volcanism of Aso Volcano, SW Japan	火山学会2018 年秋季大会、 P071	2018
岩橋くるみ・安田 敦・石橋秀巳・外西奈 津美	角閃石斑晶・クリスタルクロットを用 いた雲仙平成噴火のプレ噴火過程の 制約	火山学会2018 年秋季大会	2018
川口允孝・長谷中利 昭・田島靖久・安田 敦・外西奈津美	霧島火山, 新燃岳2018年噴火噴出物 の岩石学的特徴	火山学会2018 年秋季大会、 P070	2018
永石良太・川口允孝・ 長谷中利昭・鳥井真 之・安田敦・外西奈 津美	阿蘇後カルデラ期約5万年前のカン ラン石に富む降下スコリア中の鉱 物・メルト包有物組成	火山学会2018 年秋季大会、 P072	2018
種田凌也・石橋秀巳・ 外西奈津美・安田敦	斜長石の組織・化学組成に及ぼす冷却 速度の影響：玄武岩質メルトの動的冷却 結晶化実験	火山学会2018 年秋季大会	2018
池永有弥・前野深・ 安田敦	伊豆大島安永噴火における層序の細 分化と噴火推移の再検討	火山学会2018 年秋季大会	2018
辻原諒・小木曾哲・佐 野貴司・石橋秀巳	箱根火山60kaカルデラ形成噴火に伴 う火砕流の噴火準備過程	火山学会2018 年秋季大会	2018
大西里佳・東宮昭彦	有珠火山2000年噴火の噴火準備過程	火山学会2018 年秋季大会	2018

石橋秀巳・諏訪由起子・三好雅也・安田敦・外西奈津美	Aso4 珪長質マグマ中の角閃石-ホストメルト間非平衡	日本鉱物科学会	2018
長谷中利昭・鳥井真之・十川翔太・佐藤源之	南阿蘇村立野地域の先阿蘇火山岩類:構成物から推定した火山活動の特徴	国際火山噴火史情報研究集会(2018-1), 2-42	2018
鳥井真之・北園芳人・長谷中利昭・奥野充・遠田晋次・西山賢一・横田修一郎	南阿蘇村河陽地区における 2016 年熊本地震とテフラ層との関係	国際火山噴火史情報研究集会(2018-1), 2-09	2018
鳥井真之・長谷中利昭・永石良太・遠田晋次・奥野充	テフラ層序にもとづく阿蘇カルデラの活断層と斜面崩壊の編年:熊本地震を例として	国際火山噴火史情報研究集会(2018-1), 1-34	2018
永石良太・長谷中利昭・鳥井真之・川口允孝・安田敦・外西奈津美	阿蘇・後カルデラ期の約 5 万年前のカンラン石に富む降下スコリア層中の鉱物・メルト包有物化学組成	国際火山噴火史情報研究集会(2018-1), 1-35	2018
十川翔太・長谷中利昭・鳥井真之・森康	南阿蘇村立野地域の先阿蘇火山岩類:カルデラ期以降の阿蘇火山噴出物の化学組成との比較	国際火山噴火史情報研究集会(2018-1), 2-43	2018
長谷中利昭・鳥井真之・十川翔太	先阿蘇火山岩類の岩石と年代:カルデラ期への移行は何が要因となったか	国際火山噴火史情報研究集会(2018-2), 1-02	2018
十川翔太・長谷中利昭・鳥井真之・森康	南阿蘇村立野に分布する先阿蘇火山岩類の鉱物化学組成	国際火山噴火史情報研究集会(2018-2), 1-01	2018
永石良太・長谷中利昭・鳥井真之・安田敦・外西奈津美	阿蘇中央火口丘軽石(ACPI - 4) 組成の時間変化	国際火山噴火史情報研究集会(2018-2), 1-03	2018
川口允孝・長谷中利昭・安田敦・外西奈津美・森康	メルト含有物からみた阿蘇火山玄武岩質マグマの噴火準備過程と揮発性成分含有量	国際火山噴火史情報研究集会(2018-2), 1-04	2018
T. Hasenaka, K. Shiihara, A. Yasuda, N. Hokanishi, Y. Mori	Pre-eruptive magmatic processes leading to Aso-4 caldera-forming eruption	SVC39-03, JpGU	2018
A. K. Kurokawa, H. Ishibashi, T. Miwa	Rheological changes of aphyric basaltic magma based on laboratory experiments of 1986 Izu-Oshima lava	SCG63-P11, JpGU	2018
Y. Nakajima, H. Ishibashi, Y. Kakihata, N. Hokanishi, K. Michibayashi, A. Yasuda	An EBSD study of plagioclase glomerocrysts in Aokigahara lava flow from Fuji volcano, Japan: Implication for their formation process	SVC39-06, JpGU	2018
Y. Suzuki, Y. Toeda, S. Kimura, R. Tanaka	Temporal changes of magmas that caused lava dome forming eruptions in Haruna volcano in past 45,000 years	SVC39-P06, JpGU	2018
Y. Suzuki, K. Taguchi, A. Yasuda	Magma plumbing system in the Yufune-2 scoria eruption, Fuji volcano-Constraints from MELTS calculations and water contents in melt inclusions-	SVC39-05, JpGU	2018
Y. Yanagida, M. Nakamura, A. Yasuda,	Hydrous magma differentiation in deep crust recorded in melt	SVC39-P02, JpGU	2018

T. Kuritani, M. Nakagawa, T. Yoshida	inclusions in hornblende-bearing cumulate xenoliths from Ichinomegata Maar, NE Japan		
Y. Suwa, H. Ishibashi, N. Hokanishi, A. Yasuda	Pre-eruptive magmatic process of silicic monogenetic volcano inferred from amphibole phenocrysts: A case study of Izu-Kawagodaira volcano	SVC39-P04, JpGU	2018
N. Araya, M. Nakamura, S. Okumura, A. Yasuda, D. Miki, M. Iguchi, N. Geshi	Very shallow magma storage depths at Sakurajima Volcano revealed from melt inclusions and plagioclase-melt hygrometer	SVC39-P09, JpGU	2018
R. Oida, H. Ishibashi, T. Miwa, N. Hokanishi, A. Yasuda	Plagioclase-hosted melt inclusions of the 1986 eruption at Izu-Oshima volcano, Japan: Implication for pre-eruptive process	SVC39-P08, JpGU	2018
K. Iwahashi, H. Ishibashi, N. Hokanishi, A. Yasuda	Pre-eruptive process of the 1991-1995 eruption at Unzen volcano, Japan : constraints from amphibole phenocrysts	SVC39-P13, JpGU	2018
C. Harada, T. Iizuka, M. Hamada, A. Yasuda, M. Yoshimoto	Chemical evolution of magma at Fuji volcano constrained from geochemistry of the 1707 Hoei eruption	SVC44-P03, JpGU	2018
十川 翔太・長谷中 利昭・鳥井 真之・森 康	立野地域に分布する先阿蘇火山岩類の地質と岩石	SVC43-06, JpGU	2018
F. Brouillet, T. Hasenaka, M. Kawaguchi, T. Nishiyama	Petrological characteristics of Janoo products, a Holocene scoria cone, precursory to the 4-3.3 ka basaltic events in the NW part of Aso central cones, Kyushu	SVC39-P05, JpGU	2018
Y. Ikenaga, F. Maeno, A. Yasuda	Reconstruction of stratigraphy and time-series variation in composition of ejecta of the An' ei eruption, Izu-Oshima	SVC41-28, JpGU	2018
T. Shimano, A. Yasuda	Spectroscopic colorimetry of volcanic ash particles for estimating ash componentry and eruption styles	SVC41-30, JpGU	2018
S. Ohnishi, A. Tomiya	Magmatic conditions prior to the 2000 eruption of Usu volcano, Japan	SVC39-P11, JpGU	2018
安田敦・嶋野岳人	揮発性成分定量による活火山爆発力ポテンシャル評価とマグマ溜まり深度の再決定	災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画火山部会	2019年2月28日

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 令和元年度業務計画案

(a) 分析・解析プラットフォームの構築

前年度に引き続き、分析・解析プラットフォームの機能の向上をはかるとともに、分析・解析プラットフォーム及びデータベース公開の準備を進める。分析効率の向上のため分光器 1 台を EPMA 装置に追加し、分析効率の向上をはかる。前年度に引き続き、画像解析機能の強化を行い、マグマの上昇速度の定量的検討に必要な拡散プロファイルの解析機能、石基微結晶の組成とサイズを自動解析する機能を向上させる（東京大学）。

熱力学解析に関わる研究開発や膨大なデータ保管や検索方法についての検討を行う（産業技術総合研究所）。

(b) データの保存と利用環境の整備

前年度に引き続き、分析・解析プラットフォームのデータベース連携プログラムの整備とデータベース構築の準備を行う（東京大学）。

(c) 火山噴出物の解析

前年度に引き続き、各火山について火山噴出物分析を進め、マグマ溜り環境の実体化、マグマの上昇速度、マグマ混合から噴火に到る時間などの噴火事象分岐予測に必要な要素の取得を継続する。

1) 有珠山

前年度に引き続き、有珠火山の歴史時代噴火に関する追加分析を実施する（産業技術総合研究所）。

2) 榛名山

前年度に引き続き榛名火山のマグマ供給系の変化についての検討を行う。榛名火山二ツ岳の 2 つの噴火については、斑晶組成分析・メルト包有物含水量分析によって、マグマ貯蔵状態や噴火誘発プロセスの解明を行う。榛名カルデラ噴火については、斑晶組成分析・メルト包有物含水量分析に加え、八崎降下軽石の網羅的採取と、その全岩組成分析・薄片観察を行うとともに、新たに北東麓にて発見した火砕流堆積物と白川火砕流堆積物（広義）の比較を行い、榛名カルデラ噴火の推移について検討する（早稲田大学）

3) 富士山

連携機関の富士山科学研究所と共同して、新富士火山の代表的な溶岩試料について斑晶組成分析を行い、マグマ溜まりの温度と含水量を調べる（東京大学）。

前年度に引き続き、富士山 1707 年噴火のガブロ捕獲岩の分析・解析を行う。特に、ガブロ捕獲岩中の粒間ガラスの分析に重点を置き、富士山のケイ長質マグマの噴火準備過程について検討する（静岡大学）。

前年度に引き続き大沢火砕流本質岩塊の噴出条件の検討を行う。平成 30 年度分に加え

てデータ蓄積を行い、噴出温度等の推定を行う（常葉大学）

4) 伊豆東部火山群

前年度に引き続き、伊豆東部火山群の噴出物の試料分析・解析を行う。本年度は特に、伊豆大室山噴火のスコリアの石基組織解析を行い、マグマの火道上昇プロセスを詳細に検討する（静岡大学）。

5) 雲仙・普賢岳

雲仙平成噴火において、前年の研究によってこれまで知られていなかった第三のマグマの関与が明らかになった。そこで、試料の分析を継続し、噴火に関与したマグマ溜まりの温度・圧力環境について再検討を行うとともに、地球物理的手法で決定されたマグマ溜まり深度との対比を行う（東京大学）。

6) 阿蘇山

阿蘇4噴火およびその前後の噴火に注目して、一連の阿蘇中央火口丘軽石試料(ACP-1、2、3、4)、および、後カルデラ期、完新世玄武岩試料の分析・解析を行うとともに、先カルデラ期からカルデラ期へのマグマ供給系の変化について検討する。加えて、現在の後カルデラ期マグマ供給系におけるカルデラ噴火可能性の評価を行う（熊本大学）。

7) 霧島山

前年度に引き続き新燃岳 2018 年 3 月噴出物の解析を行う。桜島における測色値と構成比の関係およびその粒径依存性を参考に同様の分析を進め、噴火推移との対応関係を明らかにする。（常葉大学）。

8) 桜島

桜島火山のブルカノ式噴火噴出物のメルト包有物分析を継続し、昭和期（南岳火口）と平成期（主に昭和火口）の噴火の違いやその原因について、地球物理学的観測量もあわせて考察し、爆発のメカニズム（マグマの上昇速度と爆発強度の関係など）を明らかにする（東北大学）。

桜島火山での連続試料採取と噴火の特徴を迅速に把握するためのモニタリング手法の開発を継続する。噴火様式判定手法としてより迅速な測色データ導出法の検討を行う。粒径依存性についてさらに検討し、粒子構成比の連続推定のためのデータ整備を行う（常葉大学）。

9) 諏訪之瀬島

前年度に引き続き諏訪之瀬島火山のマグマ供給系の岩石学的検討を行う。約 3 万年、1 万年、4 千年前、1813 年、1884 年、20 世紀以降の噴出物の斑晶組成データを整備するとともに、これらを用いて、噴出温度等の推定を行う（常葉大学）。

10) その他

研究期間中に国内の火山で、噴火が発生した場合には、必要に応じてその火山噴出物の分析・解析を行い、火山噴出物と噴火形態や物理観測との対応関係についての知識の集積をはかる。

(d) 課題の総合推進

7月までに、幾つかの火山について先行してマグマ溜まり環境（温度、圧力、組成、含水量）のとりまとめを行い、課題 C-3 のシミュレーショングループと情報共有する。12月に課題 C-1 の研究集会を開催し、研究の進捗の確認、情報共有を行う。また、今後の研究の方法について意見交換する。12月に開催予定の課題 C 全体集会に向けた準備を行う。