

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) 令和1年度業務目的

(2) 令和1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2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2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1年	岡野百花	
	修士1年	木谷悟郎	
	修士1年	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	宇佐美友基	
	学部4年	北村雅也	
	学部4年 学部4年	杉田知優 植松 桜	
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 博士2年	長谷中利昭 川口允孝	hasenaka@kumamoto-u.ac.jp
国立大学法人東北大学	教授	中村美千彦	michihiko.nakamura.e8@tohoku.ac.jp
	助教	無尽真弓	
	博士3年	新谷直己	
	修士1年	安川宙葵	
	修士1年 修士1年	荒尾眞成 津島直哉	
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、12 kVおよび15 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おこなった。

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おこなった。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、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、分析手順の確立のための作業をおこない、定量分析データの安定性向上をはかった。項目（イ）と（ウ）に対しては、画像データの解析プログラムの作成と取得した画像のデータベース化を進めた。ウェブブラウザによって、これまでに取得した画像データを一覧することができるようにした。項目（エ）に対しては、該当する火山について、主にマグマ混合から噴火に際の上昇速度を記録している石基組織を解析するとともに、前年度に引き続きマグマ供給系の全体像把握と精密化のための研究をおこなった。

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、前年度に引き続き画像解析プログラムの拡充をおこなう。項目（ウ）に対しては、定量分析データのデータベースへの受け入れを開始するとともに、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) 令和1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。特に、マグマの上昇過程を記録している石基組織を定量的に理解するための解析環境の整備をおこなう。項目（ウ）に対しては、電子線マイクロプローブ装置で撮影した画像データをデータベース化して、容易に検索可能な仕組みを構築する。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おこない、マグマ溜りの環境（温度、圧力、酸素雰囲気、含水量）の精密化をはかるとともに、これらの火山でのマグマの上昇速度やマグマ混合から噴火に至る時間間隔についての解析を進める。また、課題Cの総合推進として、研究集会を実施する。項目（オ）に対しては、分析・解析プラットフォーム利用のためのマニュアル作りを開始する。

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) 令和 1 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 H 型波長分散型分光器 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、反射電子線画像の自動解析プログラムを整備した。このプログラムは、火山噴出物の自動分類による噴火推移の迅速な把握や石基組織の解析による噴火の特徴把握に有効である。項目(ウ)に対しては、電子線マイクロプローブ装置で取得した全ての画像データを自動的にデータベースに登録するとともに、画像データに容易にアクセス可能なようにインデックスを付加する機能を設けた。項目(エ)に対しては、有珠山、榛名山、富士山、伊豆東部火山群、雲仙普賢岳、阿蘇山、桜島、霧島山（新燃岳）、諏訪之瀬島、西之島について火山噴出物を分析し、マグマ溜り環境やマグマの上昇速度などの噴火事象分岐の鍵となる要素を収集するとともに、データの有効性についての検討をおこなった。また、前年度に引き続き、熱力学計算によって個々の火山のマグマ状態を得るためのソフトウェアを活用する環境を整備するとともに、着目すべきパラメータについての検討をおこなった。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、H 型波長分散型（WDS）検出器 1 台を追加し、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おこない、効率的にデータ解析をおこなうとともに、ウェブブラウザ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)-iii)の作業をおこなった。

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おこなった。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おこなった。標準試料の測定ログを図化し機器の長期変動が確認できる機能を設けた。

ii) 反射電子線画像の自動解析による火山灰粒子の分類機能の作成

反射線電子線像の輝度情報をもとにして、火山灰粒子を自動的に分類するスクリプトを作成した。具体的に、スライドガラス上に粒径 100-250 ミクロン程度の多数の火山灰粒子

のマウントされた試料の反射電子線画像を撮影し、輝度情報をもとにして、粒子のサイズ、平均輝度、輝度の偏差を画像処理ソフト ImageJ^[2]で解析する。さらに ImageJ で認識された個々の粒子について、その内部の輝度変化から構成鉱物のうち輝石と磁鉄鉱の量やサイズ情報を得る。これらの定量データをもとにして、個々の火山灰粒子の種類分けを自動的におこない、分類結果に基づいて反射電子線像に色付き輪郭線をつけたものを作成する。反射電子線画像を撮影後の作業が一つのスクリプトの実行にまとめられており、処理時間数分で結果の画像と特徴量をまとめた図表が得られるようになった（図 1，および，グラフィア 1）。千個程度の火山灰粒子の種類分けが反射電子線画像撮影にかかる時間も含めて 1-2 時間で終わるので、噴火推移の迅速な把握に有効であろう。今後、前年度に作成した気泡の特徴量把握のプログラムと合わせて、火山灰粒子分類のしきい値についての検討を継続し、種類分けの精度を高めていく。

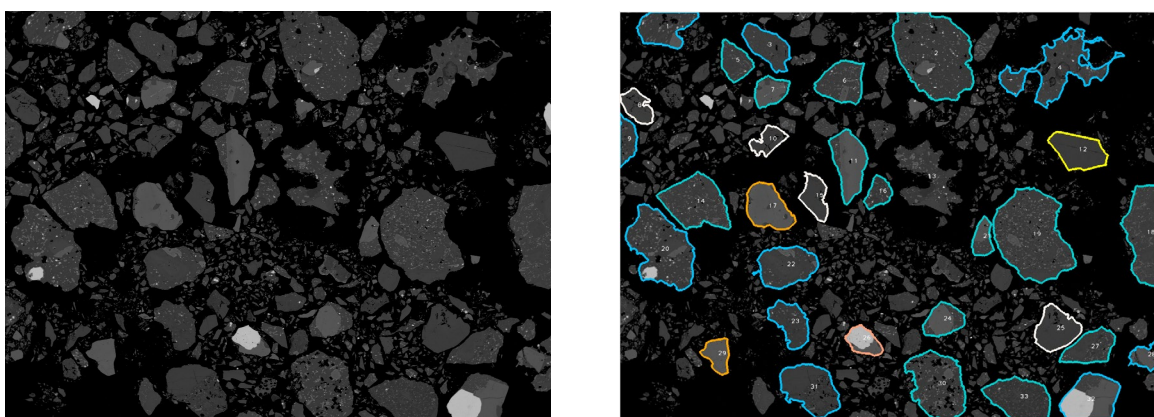


図 1 反射電子線像を用いた火山灰粒子の分類の例。（左）元になる反射電子線像。（右）分類結果を色付きの枠線で表現しこれを元画像に重ねたもの。

iii) X線情報に基づく組成マップ作成と石基粒子解析

マグマの上昇速度に関する情報を得るために石基組織を定量的かつ迅速に把握するための解析スクリプトを作成した。具体的には、Si、Ng、Fe、Ca など石基鉱物の分類に必要な元素の組成マップを電子線マイクロプローブで取得する。それらの x-y 平面上の X 線カウントデータを合成して、存在する鉱物相を特定するとともに、それらのサイズや形状に関する情報も定量的に取得し図化する（図 2）。こうした作業はこれまでも火山噴出物の解析では日常的に行われていたが、一連の作業として自動的におこなうことはなされていなかった。今回、自動分析が行えるようにしたことによって、作業時間が大幅に短縮されるとともに、特別な知識や経験が無くても一定水準の定量的解析が行えるようになり、大量の火山噴出物を解析して噴火時の情報を得る素地がととのった。

得られた解析結果（グラフや表）は WWW ページから閲覧できるように HTML 言語で成型してある。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。

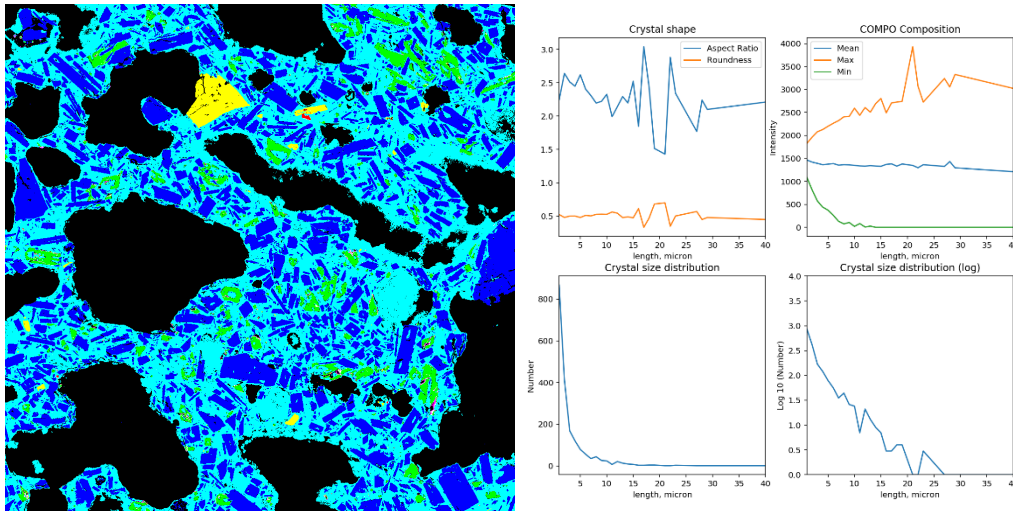


図2 石基の解析例。(左)組成マップ、(右)石基結晶(斜長石)の形状、組成(輝度)とサイズとの関係。

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)

前述の石基粒子解析結果と火山灰粒子分類結果をウェブブラウザで閲覧可能にした。現在はまだ、ローカルネットワーク内の閲覧のみであるが、今後はグローバルネットワークにWWWサーバーを移し、外部からの閲覧も可能な環境構築をすすめる予定である。

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 (曾屋・他, 2007)^[3] 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。

2019年度は、有珠火山最新の噴火であり各種観測データも充実している2000年噴火 (東宮・宮城, 2002)^[4] を例として、マグマ溜まりの温度や圧力(深さ)の推定精度の評価などをおこなった。以下では、去年度までに得られている、2000年噴出物 (デイサイト; $\text{SiO}_2 = 69.74 \text{ wt. \%}$) についての高圧高温岩石融解相平衡実験の結果 (東宮, 2002)^[5]; Suzuki et al., 2007^[6]; 大西・東宮, 2018^[7]) と、熱力学的計算ソフト MELTS (rhyolite-MELTS; Gualda et al., 2012)^[8]; Ghiorso and Gualda, 2015^[9]) の計算結果とを比較し、その相違について検討した結果を報告する。

従来、マグマ溜まりの温度・圧力の岩石学的推定には高温高圧岩石融解相平衡実験が一般に用いられてきたが、1枚の相図を描くために(各温度・圧力において出現する鉱物の種類や組成を求めるために)多くの時間的・金銭的労力を必要とした。一方、近年ではMELTSの計算によって短時間・安価で相図を描くことが可能となり、広く利用されるようになってきた。MELTSモデルは、既存の高温高圧岩石融解相平衡実験結果にフィットするように各パラメータが最適化されている。よって、理想的には、実験結果とMELTS計算結果は比較的よく合うはずである。しかし実際には、あらゆる化学組成に対してMELTSモデルが最適化されているわけではないこと、角閃石は組成が複雑なためうまくモデル化できていないこと、などから、MELTS計算結果が常に正しい結果を出力するとは限らない。

図3は、Rhyolite-MELTSによる計算結果を、高温高压岩石融解実験結果と比較した例である。計算は、含水量8 wt.% (図中範囲ほぼ全域で水に飽和)、酸素フュガシティはQFM+1 (≒NN0)、バッチ融解、で行なっている。なお、Rhyolite-MELTSにはいくつかの version があり、どの version を使うべきかのガイドラインが示されている (Ghiorso and Gualda, 2015^[9]; MELTS ウェブサイト <http://melts.ofm-research.org>)。有珠 2000 年デイサイトのように、シリカに飽和な化学組成の場合は、version 1.1.0 を使うのが望ましい。

実験結果と計算結果は、大まかな傾向としては合っている。斜長石・直方輝石の晶出条件は、数十℃・数十 MPa 程度の違いで再現できているように見える。一方、角閃石の晶出条件は 100℃ くらいの差があるようである。また、計算結果には不自然な不連続 (晶出温度のジャンプ) がみられ、そうした箇所では計算結果の解釈に注意が必要である。MELTS 計算結果は、大まかな傾向を見るには有効であるが、精度の高い温度・圧力の議論のためには、実験も併用することが必要と考えられる。

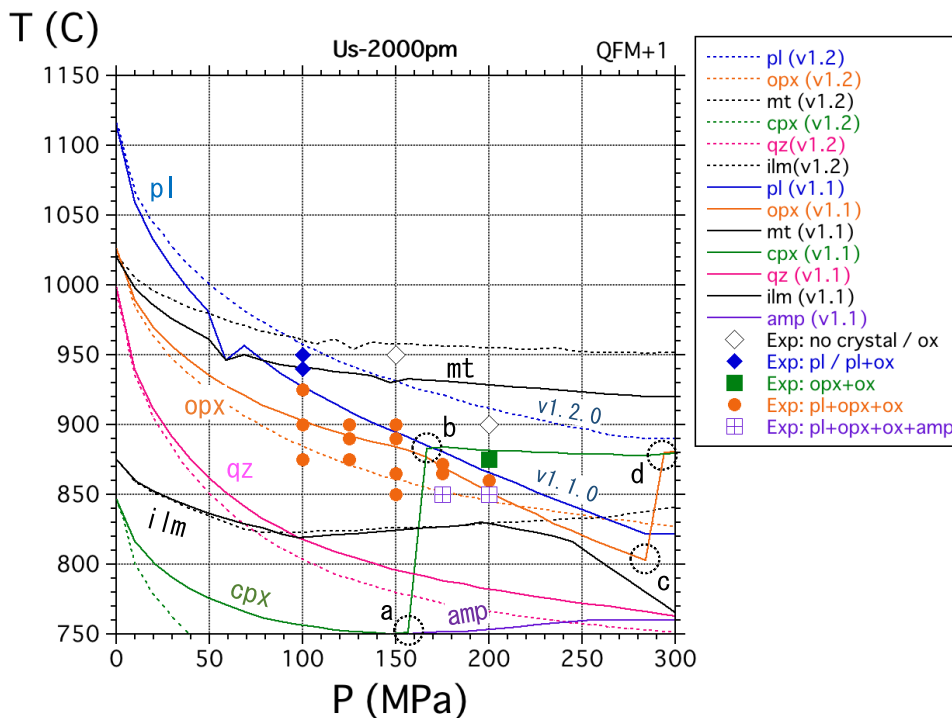


図3 有珠 2000 年噴出物について、Rhyolite-MELTS (Gualda et al., 2012^[8]) の計算結果と高温高压岩石融解相平衡実験結果を比較した例 (Tomoya et al., in prep.). MELTS 計算は、rhyolite-MELTS の version 1.1.0 (v1.1; 実線) と version 1.2.0 (v1.2; 破線) の 2 通りを示す。version によって計算結果がやや異なり、各相の晶出温度に数十℃程度の差が見られる。実験結果 (Exp) と計算結果は、大まかな傾向は合う。有珠 2000 年噴出物の場合、version 1.1.0 の計算結果のほうが実験結果にやや近い。計算結果には、図の a 点-b 点や c 点-d 点のような不連続が発生している。点 b-d 間の cpx 晶出は、現実を反映しておらず、実際には opx が晶出することが実験からは示唆される。amp の晶出温度は計算と実験とで全く合っていない。pl: 斜長石、opx:直方輝石、cpx:単斜輝石、qz:石英、amp:角閃石、mt:磁鉄鉱、ilm:イルメナイト、ox:磁鉄鉱 and/or イルメナイト。

ii) 榛名山（早稲田大学）

(ア) 榛名火山新期活動（45ka～）と前年度までの研究状況

新期の活動は4万5千年前の榛名カルデラを形成する爆発的噴火で始まり、その後1万年前までに榛名富士・蛇ヶ岳・相馬山・水沢山の溶岩ドームの生成が続いた。最新の活動は二ツ岳の2回の噴火であり、そこでは爆発的な活動と溶岩ドームの形成の両方が起きた。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)^[1]を除き存在しなかった。

前年度までに、上記の噴火・火山体のほとんどについてサンプル採取を完了させた。これに基づき、噴火毎・火山体毎の全岩組成の特徴や、薄片上での記載岩石の特徴を明らかにしていた。結晶に富む珪長質マグマ（珪長質安山岩～デイサイト質）に苦鉄質マグマが注入し、マグマ混合や加熱を経て、噴火が誘発されている点が全てに共通する。苦鉄質マグマが単独で噴出することはなく、また、高温マグマ由来の斑晶が確認できない噴出物も多いが、榛名富士や水沢山の溶岩には苦鉄質包有物（玄武岩～玄武岩質安山岩）が含まれることがある。苦鉄質包有物の組成は、Suzuki and Nakada (2007)^[1]が二ツ岳伊香保噴火のマグマ混合産物に対してマスバランス計算に基づき推定した苦鉄質マグマの組成と、多くの主成分元素において類似している。以上を踏まえ今年度は主に3つの観点で研究を進めた。

(イ) 45～10kaの溶岩ドーム噴火と二ツ岳伊香保噴火の比較

ここでは珪長質端成分の比較に絞って報告する。つまり苦鉄質包有物を含むサンプルではホスト部分のみの結果である。斑晶の組成分析をおこなうにあたり、榛名富士・蛇ヶ岳・相馬山・水沢山の溶岩の全岩組成（ $\text{SiO}_2=59.5\sim 64.5$ wt.%； $N=24$ ；図4）を網羅する7試料を代表として選びだした。二ツ岳伊香保噴火については、Suzuki and Nakada (2007)^[1]のかなり前のデータを用いず、今年度改めて分析した。二ツ岳伊香保噴火を通して珪長質マグマの特徴に時間変化はないので（Suzuki and Nakada, 2007)^[1]、噴火の最後に噴出した溶岩を用いることで45～10ka噴火とサンプルタイプを揃えた。また溶岩は $\text{SiO}_2=59.7\sim 60.4$ wt.%という狭い範囲に集中するので（図4）、1試料（ $\text{SiO}_2=59.8$ wt.%）のみを分析対象とした。

珪長質端成分からもたらされた斜長石・斜方輝石・角閃石に対しEPMA分析をおこなった（Fe-Ti酸化物は全サンプルで離溶；分解のため角閃石の分析の行えないサンプルもあり）。コア組成は45～10kaの4つの溶岩ドーム噴火と同様であり、また二ツ岳の溶岩とも似ている。二ツ岳を含む合計8試料において、以下の組成範囲にある。斜長石はAn 50～85、0.2～0.35 wt.% FeO、～0.03 wt.% MgO。斜方輝石はMg# 63.5～67.5、Wo 0.8～1.9。角閃石はSi 6.42～7.16、Mg# 0.73～0.84である（図5）。角閃石コアにPutirka(2016)^[12]の温度計・共存メルト SiO_2 量計を適応すると、<850℃、 $\text{SiO}_2=68\sim 72$ wt.%となった（図5）。温度は、Suzuki and Nakada(2007)^[1]が二ツ岳伊香保噴火の低温端成分マグマ（白色軽石）に対しFe-Ti酸化物温度計より見積もったもの（820～850℃）とおおよそ一致する。斜長石・斜方輝石についてはリムの分析も行えた（角閃石リムは全サンプルで分解）。

サンプルの全岩の SiO₂ 量が低いほど、リムでの Mg# や Wo 値の上昇（斜方輝石）や FeO や MgO の上昇（斜長石）が顕著であるとともに、上昇を示す斑晶の比率も増加する。バルクの SiO₂ 量が 63 wt.% に近づくと、これらの上昇はほとんど見られなくなる。

珪長質端成分マグマのバルク組成は、45～10ka の 4 つの溶岩ドーム噴火と、二ツ岳伊香保噴火で異なる。二ツ岳伊香保噴火では SiO₂=60.5～61.5 wt.% である（同噴火の白色軽石の分析値）。古い 4 つの溶岩ドーム噴火については、前述の理由で SiO₂ 量が 63 wt.% 程度以上と推定される。このことは珪長質端成分由来の斑晶の組み合わせが、45～10ka の溶岩では斜長石+斜方輝石+角閃石+石英+Fe-Ti 酸化物であるのに対し、二ツ岳では、この中の石英がほぼ観察されなくなることとも調和的である。しかし珪長質端成分由来の斑晶のコア組成は全ての噴火で類似していることから、珪長質端成分の源物質は全てで共通した性質である可能性がある。その後噴火直前に至るまでの温度を含む条件差が、端成分のバルク組成や鉱物組み合わせの差を作り出したものと推測する。

サンプルの全岩組成と珪長質端成分由来の斑晶のリム組成との関係から、噴火直前の高温マグマの影響の程度により、最終産物の全岩組成が決定されているものと推定される。45～10 ka の溶岩ドーム噴火と二ツ岳の噴火の間には、前述のとおり低温端成分にわずかなバルク組成差があるが、その差が無視できる程度に二ツ岳伊香保噴火では高温マグマの混合比が顕著に大きい噴出物が見られる（灰色軽石; SiO₂ 量が 57 wt.% 程度まで; 図 4）。この項目で扱った噴火のうち爆発的噴火を伴うのは二ツ岳伊香保噴火のみであり、これは高温マグマの注入量と噴火活動の爆発度に関係があることを示唆するのかもしれない。

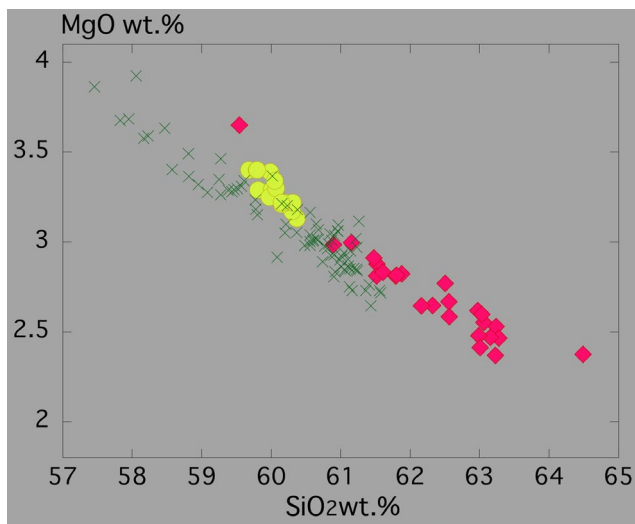


図 4 全岩化学組成。ピンク，45～10 ka の溶岩；黄緑，二ツ岳溶岩；緑，二ツ岳伊香保噴火の軽石（白色軽石+灰色軽石+縞状軽石）。

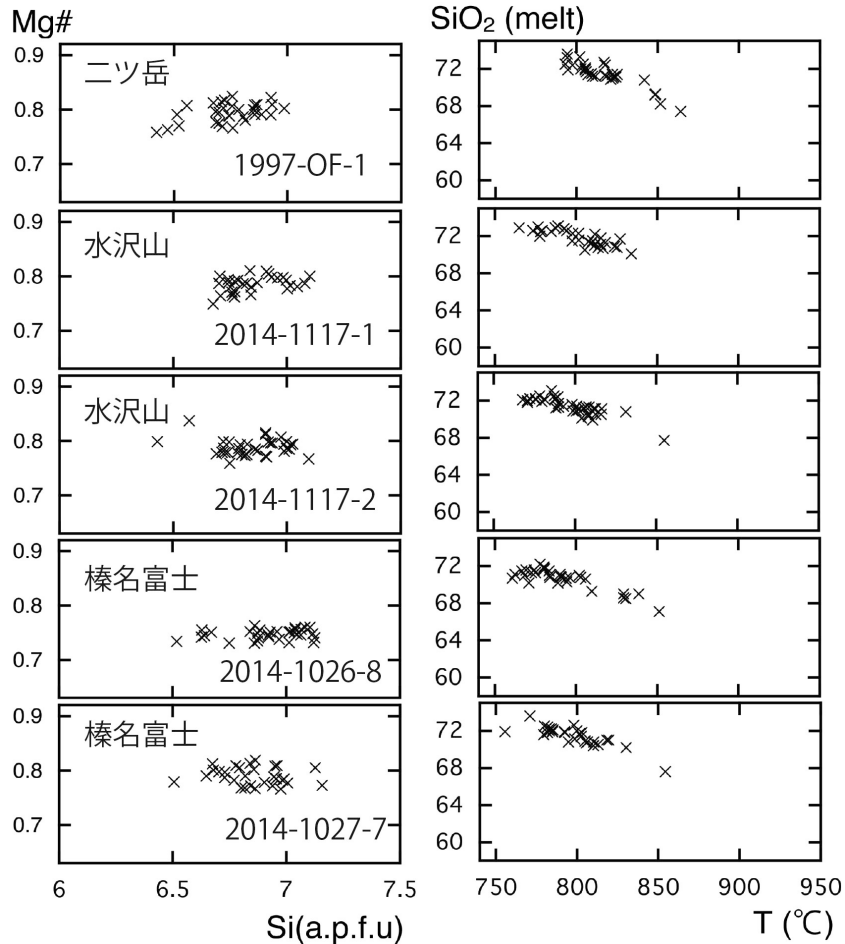


図5 角閃石斑晶コアの組成（左）と、Putirka (2016)^[12]の温度計・共存メルト SiO₂ 量計の適応結果（右）。

(ウ) ニツ岳洪川噴火、ならびに、榛名カルデラ噴火の斑晶モード分析

榛名カルデラ噴火については白川火砕流堆積物と里見火砕流堆積物を扱った。全岩組成をもとに代表サンプルを選んだ。全サンプルで苦鉄質マグマ由来の斑晶は存在しないので、サンプルの斑晶量から珪長質端成分マグマのおおよその結晶量を推測した。結晶量が 40 vol.%以上であることを確認した(岡野・鈴木, 2019^[13,14]; 木谷・他, 2019^[15]; 木谷・鈴木, 2019^[16]; 丸山・鈴木, 2019^[17,18])。

(エ) 八崎降下軽石の調査・サンプリング

八崎降下軽石は、白川火砕流堆積物や里見火砕流堆積物と同様、45 ka の榛名カルデラ噴火の産物である。カルデラ噴火のマグマ供給系を厳密に調査するには、降下軽石を含めて検討することが必要である。2020年3月に八崎降下軽石を赤城山西麓～南麓にて採取した。軽石の粒径等に基づき複数のユニットに分け採取したので、今後、同降下軽石について岩石学的特徴の時間変化を解明する。

謝辞：研究実施にあたり修士学生3名と学部生3名の協力があつた。全岩組成分析ならびに鉱物組成分析においては東大地震研の装置を使用させていただいた。産総研の山元孝広博士と下司信夫博士には、八崎降下軽石の露頭情報をご提供いただいた。

iii) 富士山

(ア) 富士山宝永噴火の斑レイ岩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。これらの斑レイ岩の中には、粒間にガラスが見られるものがあり、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。我々の研究グループによる斜長石中のメルト包有物の先行研究(田中・他, 2016)^[19]の結果から、これらの斑レイ岩は富士山地下に存在するケイ長質マグマだまりと成因的に関連するものと考えられる。そこで今年度の研究では、前年度までに作成した宝永噴火の斑レイ岩捕獲岩 300 試料の薄片から鉱物粒間にガラスを含む試料を選別し、その粒間ガラスの化学組成分析をおこなった。そして、その結果に基づき、富士火山のケイ長質マグマだまりの実態について検討した。

今回分析した斑レイ岩は、斜長石+斜方輝石+単斜輝石+磁鉄鉱+イルメナイト±オリビンの鉱物組み合わせを示し、最大で 40 vol.%程度の粒間ガラス(+気泡)を含む。このうち、粒間ガラスを 20 vol.%以上含むものでは、1 試料中での粒間ガラスの化学組成が比較的均質で、流紋岩質であった。また、粒間ガラスの化学組成は、斜長石中のメルト包有物のうち最も分化したものの化学組成を一致した。したがって、これらの試料中の粒間ガラスは、固化しつつあるクリスタルマッシュの残液メルトと考えられる(これをメルト A とよぶ)。一方で粒間ガラス量が 20 vol.%以下の斑レイ岩では、1 試料中の粒間ガラス組成が安山岩質からデイサイト質まで変動し、さらに粒間ガラスに化学的な縞模様が見られるものも確認できた(図 6)。このような組成縞模様は、異なる組成のメルトのミングリングによるものであり、浸透流として斑レイ岩外部からメルトが流入した痕跡と考えられる。更に、粒間メルトよりも斜長石中のメルト包有物の方が分化した組成を示すことから、流入したメルトは苦鉄質であったと考えられる。粒間メルトの組成バリエーションのうち、苦鉄質端成分の組成は 1707 年噴火の玄武岩に比べて Al_2O_3 に乏しく、むしろ Kaneko et al. (2010)^[20]で報告されたオリビン中のメルト包有物組成に近い。このことから、斑レイ岩の粒間に浸透した苦鉄質メルトは 1707 年噴火の玄武岩質メルトではなく、1707 噴火以前にやや分化の進んだ苦鉄質メルトの流入があったと考えられる。一方で粒間メルトの組成バリエーションには SiO_2 の増加とともに Al_2O_3 が減少するものと、増加するものがみられた。このうち、前者の高 SiO_2 端成分組成はメルト A と一致した。それに対し、後者の高 SiO_2 端成分メルトは、粒間メルトおよびメルト包有物の組成関係から、 Al_2O_3 に富むデイサイト質メルトと考えられる(メルト B とよぶ)。メルト A と B の間には組成ギャップがあるため、両者は異なるマグマだまりに由来すると考えられる。今後、これらの端成分メルトの温度や深さ、形成過程について検討していく予定である。この内容は、JPGU-AGU joint meeting 2020 で発表予定である。

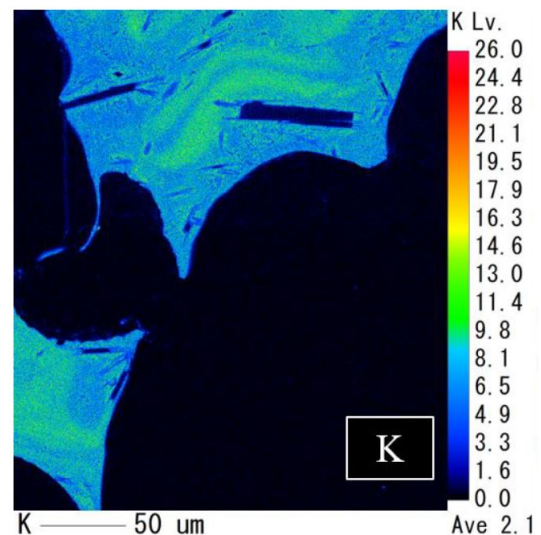


図 6 粒間ガラスの組成縞模様 (K)。

(イ) 石基組織とマグマ上昇経路の時代変化 (東京大学・山梨県富士山科学研究所)

石基微結晶の数密度はマグマの冷却速度と関連が深いとされている。特に斜長石の微結晶はマグマの減圧に伴う含水量変化によって実効的なリキダスが上昇し、その結果として結晶化が進行するので、マグマの上昇速度と微結晶の数密度に有意な相関関係があることが知られている。そこで、今年度に分析・解析プラットフォームに整備した石基組織解析機能を使って、富士火山の東側の籠坂峠で採取された S-8 以降の爆発的噴火の試料 33 層について解析をおこなった。

分析は、試料内部の不均質の影響を低減するため、各試料で 0.5mm 四方の領域 3 箇所についておこない、斜長石微結晶およびかんらん微結晶のサイズ分布と数密度、および石基ガラス量を求めた。図 7 に結果の一部を示す。興味深いことに、斜長石微結晶の数密度や石基ガラス量のシステムティック変化が、S-8 噴火 (約 4000 年前) 以後に 2 回ほど観察できる。一つの大きな変化は、S-14-1 と S-14-3 の噴火の間で発生しているが、この時期はちょうど御殿場泥流 (山体崩壊) の時期(宮地, 1988)^[21]に相当し、マグマの上昇経路に大きな変化が起こったことが示唆される。そうした外的要因の変化がその後の数百年間のマグマの上昇に影響を与えたとすれば、噴火推移予測にも重要な発見である。今後の噴火においても過去の噴出物から噴火推移を制約できる可能性がある。今後、斑晶組成や発泡度などの諸量も加えてマグマシステムの時代変化についての検討をおこなう予定である。

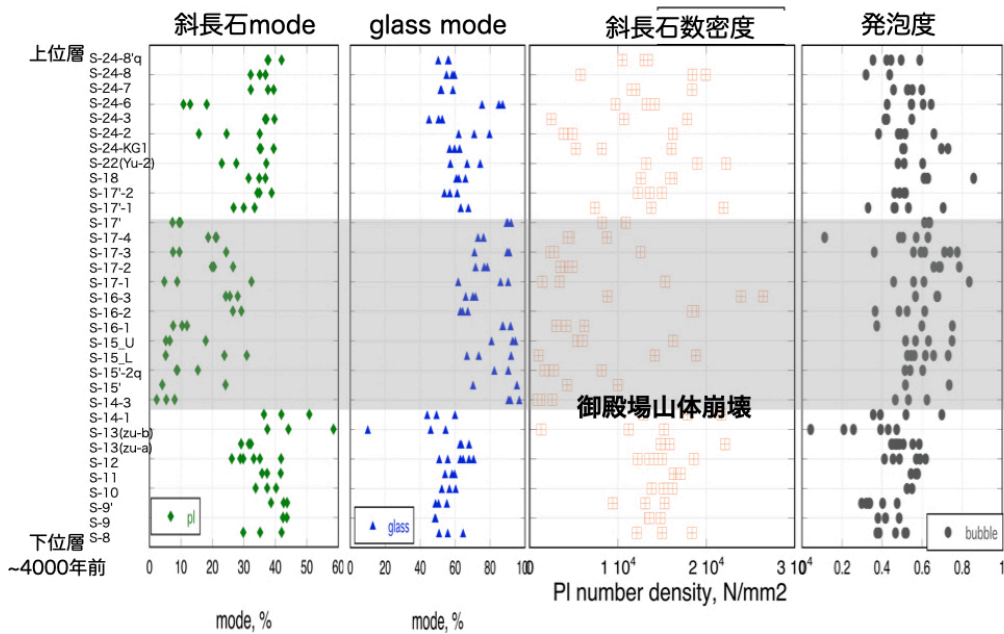


図 7 石基組織の時間変化の例。斜長石と石基ガラスの mode、斜長石の数密度、石基の発泡度を時代順に並べた。御殿場山体崩壊の時期を境に、石基はガラス質に変わり、その傾向は数百年間継続しているように見える。

(ウ) 大沢火砕流と大沢スコリア (常葉大学)

富士火山大沢火砕流の噴出物と対比するため、同時期の噴出物である大沢スコリアの層序細分試料の採取をおこなった。

iv) 伊豆東部火山群(静岡大学)

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

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り、この噴火を“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たと考えられ、その噴出物には形成初期のマグマ供給系の情報が記録されていると期待できる。また、大室山噴火は、伊豆東部で発生した多数の単成火山噴火に典型的な噴火様式であるため、そのメカニズムの解明はこのタイプの噴火の推移予測に役立つと期待できる。前年度の研究において、大室山スコリア中の斜長石斑晶に流紋岩質メルト包有物が含まれることを発見した。そこで今年度は、この斜長石と共存する流紋岩質メルトの噴火前の状態について検討した。また、大室山スコリアの石基ガラス組成分析と石基鉱物の組織解析をおこない、大室山火山のストロンボリ式噴火時の火道浅部プロセスについても検討した。

まず、前年度に発見された大室山地下の流紋岩質メルトについて、その存在状態を検討した。いくつかの仮定の下、流紋岩質メルト包有物の化学組成とスコリアの全岩組成、斑晶量から、大室山噴火の玄武岩質安山岩マグマの形成に寄与した流紋岩質メルト・斜長石の割合を見積もったところ、混合したケイ長質端成分マグマの結晶量は約 36 vol.%以下という結果を得た。また、この噴火に寄与したケイ長質端成分マグマの体積は 0.02-0.05 km³以上と見積もられた。したがって、4000 年前の噴火の時点で、ややまとまった量の噴火可能な流紋岩質マグマが大室山の地下に貯蔵されていたと考えられる。また、そのマグマだまりは少なくとも深さ 4.5 kmより深部に存在すると考えられる。

一方で、流紋岩質マグマと混合した後、噴火するまでのマグマの火道上昇過程を、石基ガラス組成および石基鉱物組織から検討した。大室山スコリアの石基には粒径 100 μm 以上の微斑晶とその間隙を埋めるマトリクスから形成される。更にマトリクスはほぼガラス質のものから結晶質のものまで結晶度に変動が見られる。そこで、マイクロライトをほとんど含まない石基ガラスの化学組成からメルト-微斑晶の共存条件を見積もったところ、温度が約 1055°C、メルト含水量が約 2.5 wt.%と見積もられた。メルトが水に飽和していたと考えると、メルト-微斑晶の共存深度は約 3 kmと見積もられる。したがって、4.5 kmより深部で混合したマグマが約 3 kmの深さで停滞し、微斑晶を形成したと考えられる。また、様々な量のマイクロライトを含むマトリクス中の石基ガラスの組成バリエーションと、MELTS による結晶作用シミュレーション結果を比較したところ、マイクロライトの形成は深さ約 400mより浅部でおこったことが示唆された。更に、大部分のスコリアの石基に含まれる斜長石量が約 40 vol.%を超えることから、これらのスコリアは深部より直接上昇してきたマグマではなく、火道浅部での結晶化によって形成したプラグの一部が吹き飛ばされたものと考えられる。今後、石基の結晶量サイズ分布を調べ、火道浅部（プラグ内）過程を検討する予定である。なお、昨年度および今年度の成果の一部をまとめた論文は既に受理され、印刷中である。

v) 雲仙（東京大学, 静岡大学）

前年度に引き続き、平成噴火の噴出物の分析を進めた。角閃石とクリスタルクロットに着目した解析をおこない、低温マグマの液組成を決定するとともに、低温マグマの滞留した深度を決定した。さらに低温マグマの斑晶量と液組成を用いてマグマの粘性の見積もり

をおこなった。現在、低温マグマがどのように噴火に関与したのかについての検討を進めている。

vi) 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詳細な追加地質調査をおこない、溶岩試料の化学分析を実施した。分析試料数が 200 以上になり、現在データ整理中である。大部分は輝石安山岩あるいは角閃石安山岩であるが、少数のかんらん石玄武岩～玄武岩質安山岩（高アルミナ玄武岩を含む）、粗面デイサイト、粗面岩が見つまっている（図 8）。かんらん石+角閃石や汚濁斜長石+清透斜長石など非平衡斑晶組み合わせを示す試料が目立つ。当地域の新たな K-Ar 年代測定から 30 万年前より若い火山岩が発見され、50～60 万年前に活動ピークがある可能性を見出した。

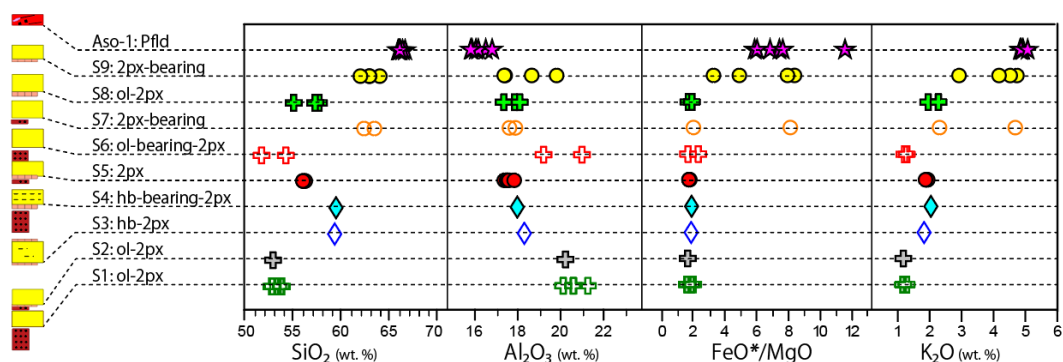


図 8 阿蘇カルデラ西縁に分布する先阿蘇火山岩類の模式柱状図、鉱物組合せ、層位に対する全岩化学組成 (SiO_2 , Al_2O_3 , FeO^*/MgO , K_2O) の変化。Pfld: 火砕流堆積物、鉱物名の略号: px=pyroxene, ol=olivine, hb=hornblende。Aso-1 Pfld の組成は田島・他 (2017) [22] より。

(イ) 阿蘇 4 小谷軽石に含まれる鉱物中のメルト包有物組成の再検討、およびマグマ溜り深度の推定

阿蘇 4 火砕流初期の肥猪火山灰流堆積物と小谷軽石流堆積物のメルト組成を再検討した。阿蘇 4 層状マグマ溜りを仮定すると、肥猪火山灰流はマグマ溜り最上部、小谷軽石流はその下の層を吸い出したことが推察される。この視点で小谷軽石流堆積物に稀に含まれる縞状軽石の鉱物中のメルト包有物を再分析した（図 9）。これまでの分析通り、二つの組成に集中が見られるが、 SiO_2 に富む部分は斜長石の、 SiO_2 に乏しい部分は角閃石、直方輝石のメルト包有物が多いことを見出した。マトリックスガラスは両者と同様の組成をもつ。少数であるが、さらに SiO_2 に乏しく、カリウムに富むメルト組成が見つかったことは注目に値する。総じて SiO_2 に富むメルトは S に乏しい傾向がある。

各メルト包有物およびマトリックスガラスに対して推定した温度・圧力を図 10 に示す。角閃石、直方輝石中のメルト包有物と斜長石中のメルト包有物から求めた温度・圧力は明らかに異なる値を示し、斜長石が角閃石、直方輝石より低圧・低温で晶出した可能性が図から読み取れる。また低圧で捕獲されたメルトほど SiO_2 に富む傾向がある。Ishibashi et al. (2018) [23] が議論したように、角閃石がより深部、おそらく 10～15 km で晶出し、より浅部のマグマおよびマグマから晶出した鉱物と混合したことを示す。また圧力推定値は、

鉱物がマグマ溜りの異なる深さ、あるいは火道上昇中の異なる深さで polybaric に晶出したことを示唆する。

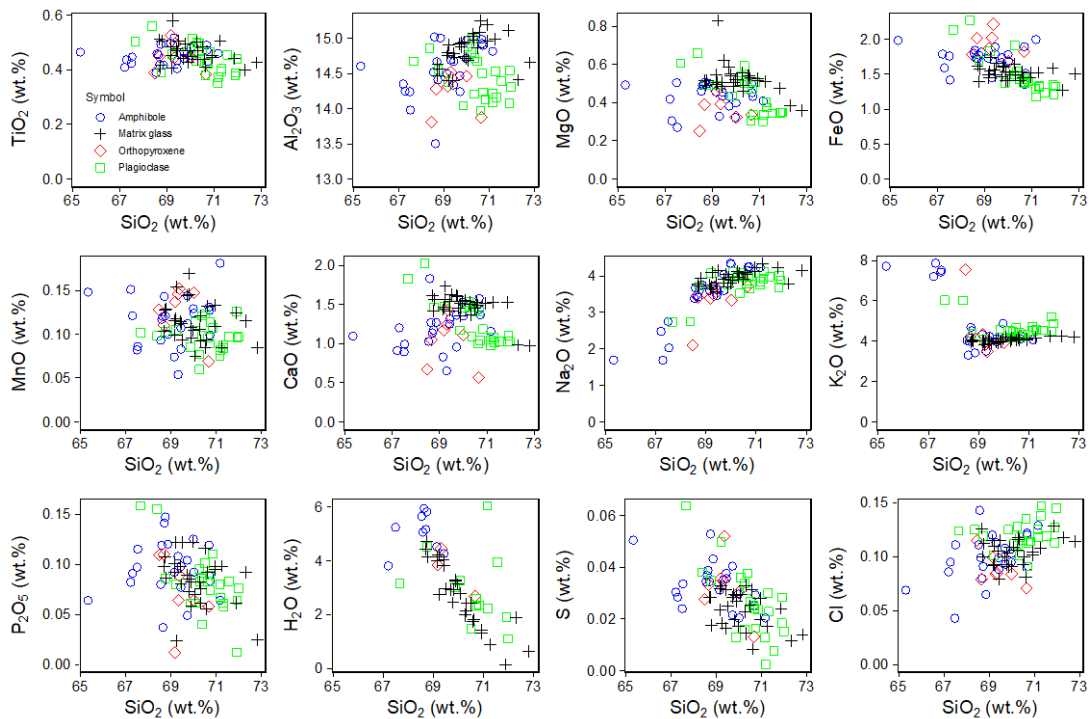


図9 阿蘇4小谷縞状軽石に含まれる鉱物中のメルト包有物組成。マトリックスガラスの含水量は分析値の Total から算出した。○=角閃石、+ =マトリックスガラス、◇=直方輝石、□=斜長石

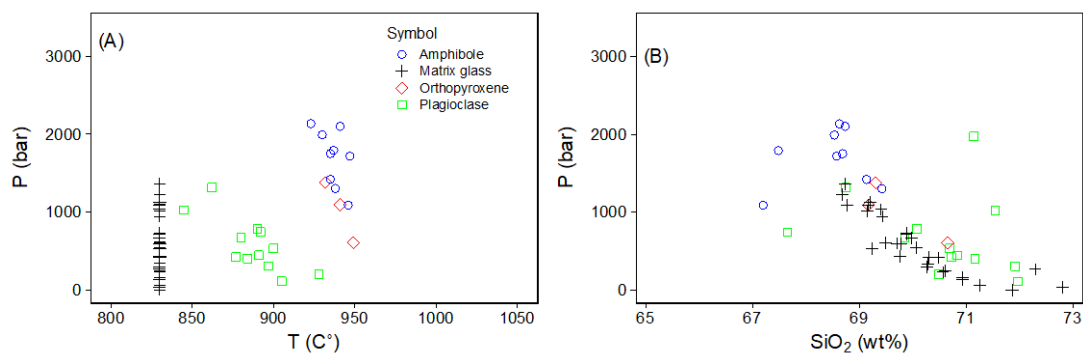


図10 A) 各メルトに対する温度-圧力の推定図。Putirka (2008, 2016)^[24, 12]の式を用いメルト-ホスト組成から計算した温度(斜長石, 直方輝石)およびホスト角閃石組成から計算した温度に対して、メルト包有物のH₂O飽和圧力をプロット。マトリックスガラスはKaneko et al. (2007)^[25]が報告した鉄チタン鉱物の平衡温度から830 °Cを仮定し、分析値の Total から算出した含水量をもとに推定 (VolatileCalc, Newman and Lowenstern 2002)^[26]。B) 各メルトのSiO₂含有量とH₂O飽和圧力。両図とも比較のためにホスト角閃石の組成から計算した圧力を表示(●)。圧力はRidolfi and Renzulli (2012)^[27]の式(1b, 1c)を用いてIshibashi et al. (2018)^[23]に従い両者の平均値をプロット(1σ = 850 bar, Nagasaki et al. (2017)^[28])。

vii) 霧島山（新燃岳）

(ア) 2017年噴火の火山噴出物の分析（常葉大学）

霧島新燃岳の火山灰については、前年度に引き続き、2017-18年噴火の火山灰の粒子構成比について、データ蓄積を続けた。

(イ) 享保噴火試料の分析（早稲田大学）

2017年度まで享保噴火の岩石学的研究を行っていたが、噴火初期の噴出物（SmKP 1-3）が未採取のままであった。2020年3月に再調査を実施し、噴火全体の噴出物（SmKP 1-7）が連続観察できる露頭にて、サンプルの採取を実施することができた。

viii) 桜島

(ア) 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）

桜島火山の1955年以降の11のブルカノ式噴火噴出物中の斑晶メルト包有物を分析した。その結果、以下のことが明らかになった。

- ・溶岩質噴出物（石質岩片）に含まれるメルト包有物の含水量(wt.%)は、0%から1.9%の低い範囲に集中して分布する。一方、軽石質噴出物に含まれるメルト包有物は、0%から4.3%に分布し、範囲が広い。また下限は両者でほぼ一致する（図11）。このことから、石質岩片を形成したマグマは火道の浅部で形成され、メルト包有物は、脱水・再平衡したと考えられる。

- ・軽石を形成したマグマに含まれていたメルト包有物の含水量は、爆発によって異なる値を示す。このことは、マグマが破碎・急冷した深度が、爆発によって異なっていたか、あるいは浅部での滞留時間が爆発によって異なっていたことを表す。現時点ではこの両者を区別することは難しい。

- ・石質岩片と同程度に低濃度の含水量のメルト包有物を含む軽石は、マグマ溜りからの上昇開始後、火道浅部まで上昇したのち、岩片として噴出したマグマに比べて圧密せずに破碎・急冷したと考えられる。破碎深度の下限（定置位置の上限）は、ほぼ石質岩片の形成深度に等しい。通常のブルカノ式噴火では、マグマの最終定置深度は、1.5km以下と求まった。これはBL型地震の震源域とおよそ一致する。

- ・メルト包有物の含水量は、全般に、昭和火口の活動期噴出物より南岳山頂火口活動期のもののほうが高かった。これは、南岳活動期のほうが、一般に、前駆過程におけるマグマの上昇速度が速く（かつ/または浅部での滞留時間が短く）爆発的であったことを示している。

- ・1995年8月24日の噴火の際には、プリニー式噴火に匹敵する含水量のものが含まれ、深さ3km以浅の浅部火道でほとんど滞留することなく噴火したことがわかった。このことは、同噴火、及び昭和期の類似の激しいブルカノ式噴火における、地球物理学的観測記録を調べることで、ブルカノ式噴火前駆過程での地殻変動の経験的な上限値が把握できる可能性を示す。

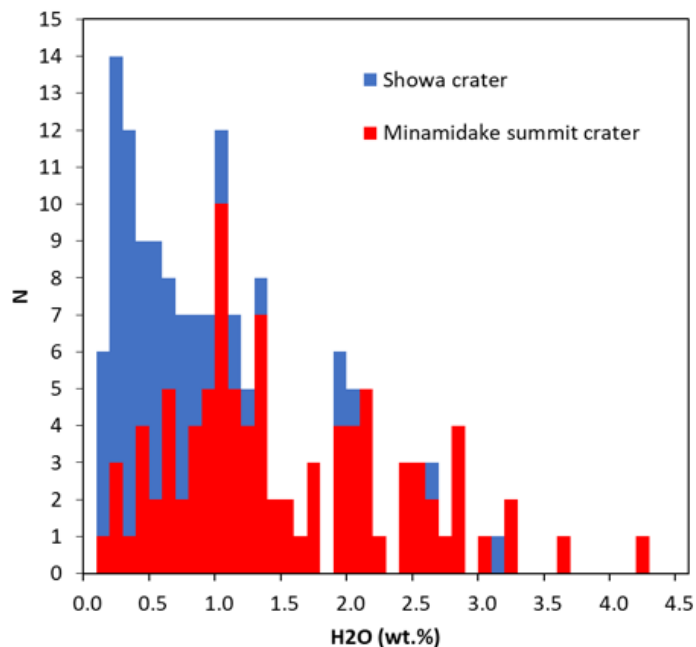


図 1 1 1955 年以降の南岳および昭和火口からのブルカノ式噴出物に含まれる斑晶メルト包有物の含水量。

(イ) 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おこなった。特に、分級試料の測色測定を進め、粒径 1φ 毎の測色値時系列データの導出をおこなった。桜島の火山灰については、Fe-EPMA の反射電子像の迅速画像解析システムを用いて、粒径サイズ、形状、輝度分布に着目した粒子形状・組織の分類を試行的におこなった (図 1 2)。

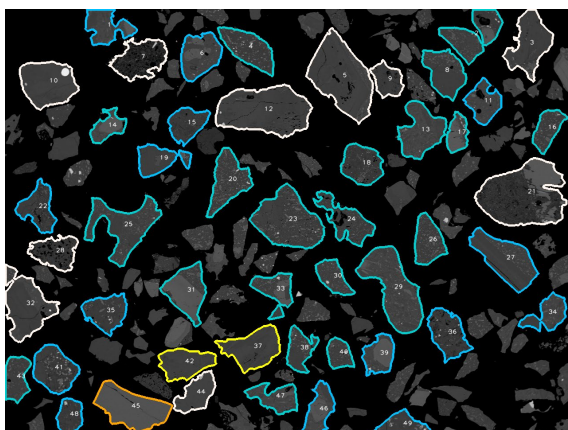


図 1 2 桜島昭和火口 2010 年 3 月 5 日火山灰試料の BEI 画像解析結果。色の違いは形状、輝度分布などに基づく分類結果 (等径 100 μ m 以上の粒子のみ解析)。

ix) 諏訪之瀬島 (常葉大学)

諏訪之瀬島火山におけるマグマ供給系と噴火・休止様式の変遷のメカニズムを理解するため、昨年対象とした大規模噴火に加え、中規模噴火による堆積物の再調査及び噴出物の採取をおこなった (図 1 3)。特に 1813 年噴火については、前年度の分析を踏まえ、更に

必要な層序を可能な限り細分化して採取した。

また、前年度に引き続き、斑晶鉱物組成の測定をおこなうとともに、石基ガラス組成の測定をおこなった（図14）。約4千年前を境に組成変化傾向が大きく変化しており、全岩組成、斑晶鉱物組成と同様、石基ガラス組成の変化傾向からも、約4千年前頃にマグマシステムが大きく変化したことが示唆された。

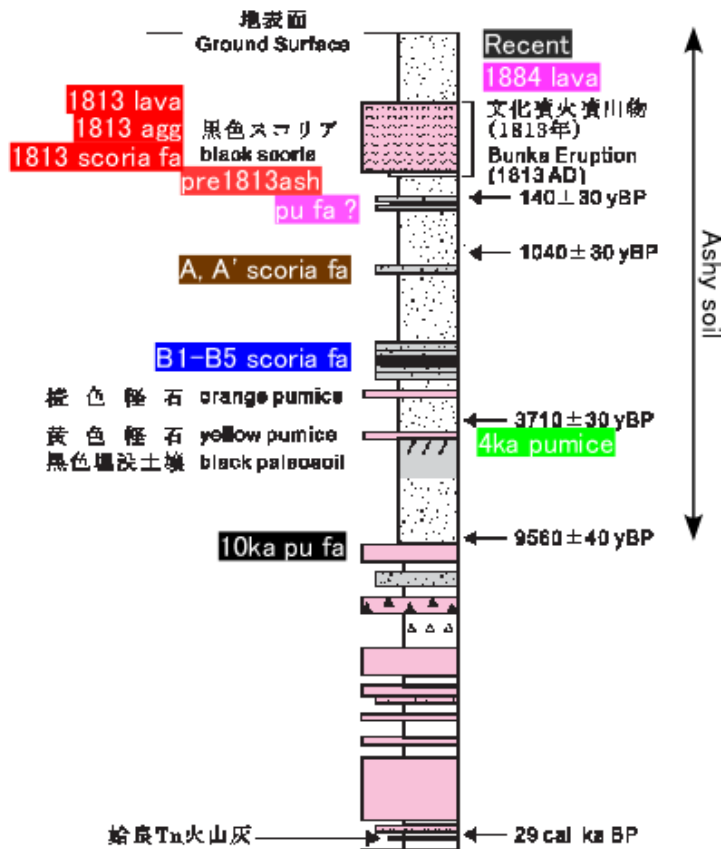


図13 諏訪之瀬島火山約3万年の噴火史と採取噴出物試料。

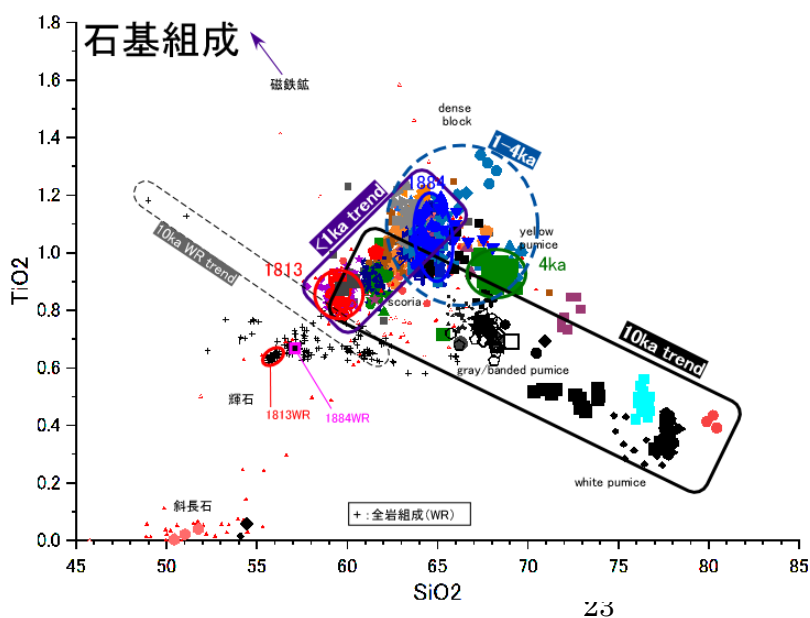


図14 諏訪之瀬島火山の石基ガラス分析結果（重量%）。4千年前以降珪長質端成分の関与が減退した。

x) 西之島（東京大学）

2019年9月に実施の上陸調査で採取された2017年噴火の噴出物の分析をおこない、それ以前の噴出物との比較をおこなった。2017年噴火の噴出物（島の西側に流れた溶岩）の全岩組成は2014年噴火の全岩組成よりもわずかにSiO₂に乏しく、1973-74年噴火の試料に近づいている。しかし、斑晶鉱物組成を調べると、2014年噴火の試料とほとんど違いが見られない（図15）。2019年12月から2020年3月にかけて西之島は再噴火して再び大量の溶岩を流出したが、そうした再噴火の兆候、例えば、火山深部での高温マグマの注入を示唆するような鉱物組成の特徴は、2017年噴火の噴出物には明瞭ではない。2019年噴出物入手して比較することによって噴火の準備期間についての情報が得られる可能性があり、今後の課題である。

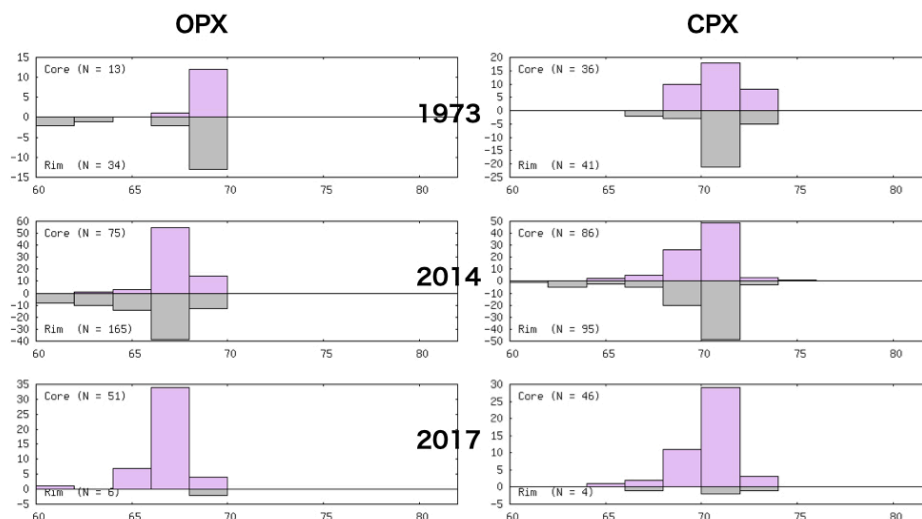


図15 輝石斑晶のコア、リム組成(Mg#=Mg/(Mg+Fe)*100)の比較。(左)OPX、(右)CPX。0値の水平線より上側がコア組成の頻度分布で、下側がリム組成の頻度分布。1973-74年噴火と比較すると、2017年噴火ではMg#が2程度低く、分化が進んだマグマであると考えられる。また、2014年の噴出物と2017年の噴出物は組成差がほとんど無い。

xi) 火山噴出物の分析・解析手法の検討（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^[8]）の活用方法を継続して改良した。2019年度はMELTSのソースコードに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」と「rhyolite-MELTS v. 1.1.0 (mixed fluid version that preserves the ternary minimum) - old H₂O model」の両方のバージョンにて、文字ユーザーインターフェースからMELTSの計算を直接制御できるようにした。これにより、異なる熱力学モデルによって出力される計算結果を比較できるようにした。また、出力結果のうちリキダス（各鉱物やfluid相が高温側で最初に出現した温度）をまとめるためのスクリプトを作成した。

MELTSの計算結果を実際の噴火に応用し、得られた成果がBulletin of Volcanology誌に出版された(Miyagi et al., 2020)^[29]。2014年9月27日に63名の犠牲者をだした御岳

山の水蒸気噴火の火山灰には、本質物質が微量に含まれる(図16 (d))。本質物質の鉱物およびガラスの化学組成分析結果と、MELTS 計算結果とを比較することにより(図17)、このマグマが山体直下の熱水変質帯とほぼ同じ4km以浅から由来していることが明らかになった。火山噴出物の分析・解析によって明らかになったこの事と、地球物理学観測の成果を組み合わせることにより、このマグマが熱水変質帯に注入した時期を2007年頃と推定した。このマグマが7年の歳月をかけて冷却・結晶化することによって、揮発性元素が濃集され、2014年の水蒸気噴火に至ったという考えを提唱した。本研究は、突発的な活動にみえる水蒸気噴火が、その熱源であるマグマの活動によってひきおこされている可能性を示した。すなわち、継続的な地球物理学観測を行なうことにより、これまでは予知が非常に難しいとされていた水蒸気噴火の危険が高まっている火山とそうでない火山を長期的に評価できる可能性が、本研究によって示された。

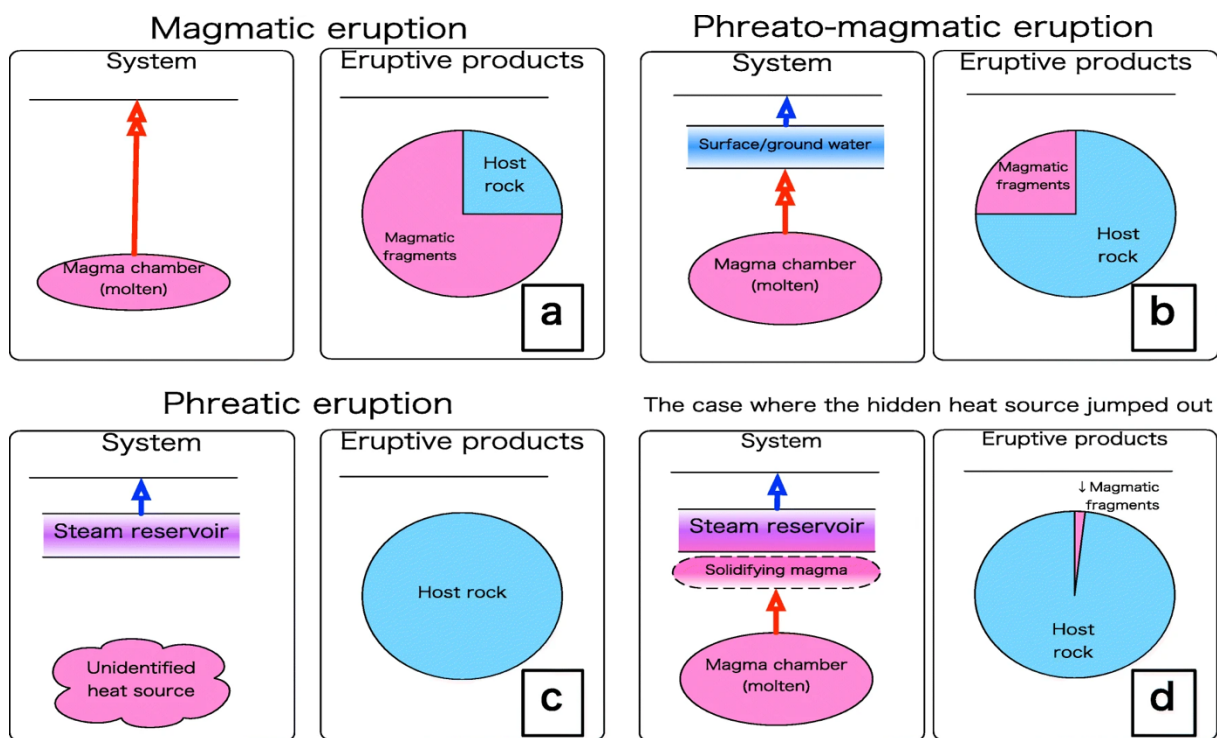


図16 噴火様式と噴出物の構成物に関する概念。(a) マグマ噴火の場合、(b) 水蒸気マグマ噴火の場合、(c) 水蒸気性噴火の場合、(d) 2014 御岳噴火の場合。赤い矢印の線はマグマの動きを示す。青い矢印は粉碎された母岩の動きを示す。この図の縮尺は現実を反映しておらず、マグマ溜まりの深さは4~12 km、水蒸気溜りの深さは最大4 kmと想定している (Miyagi et al., 2020)^[29]。

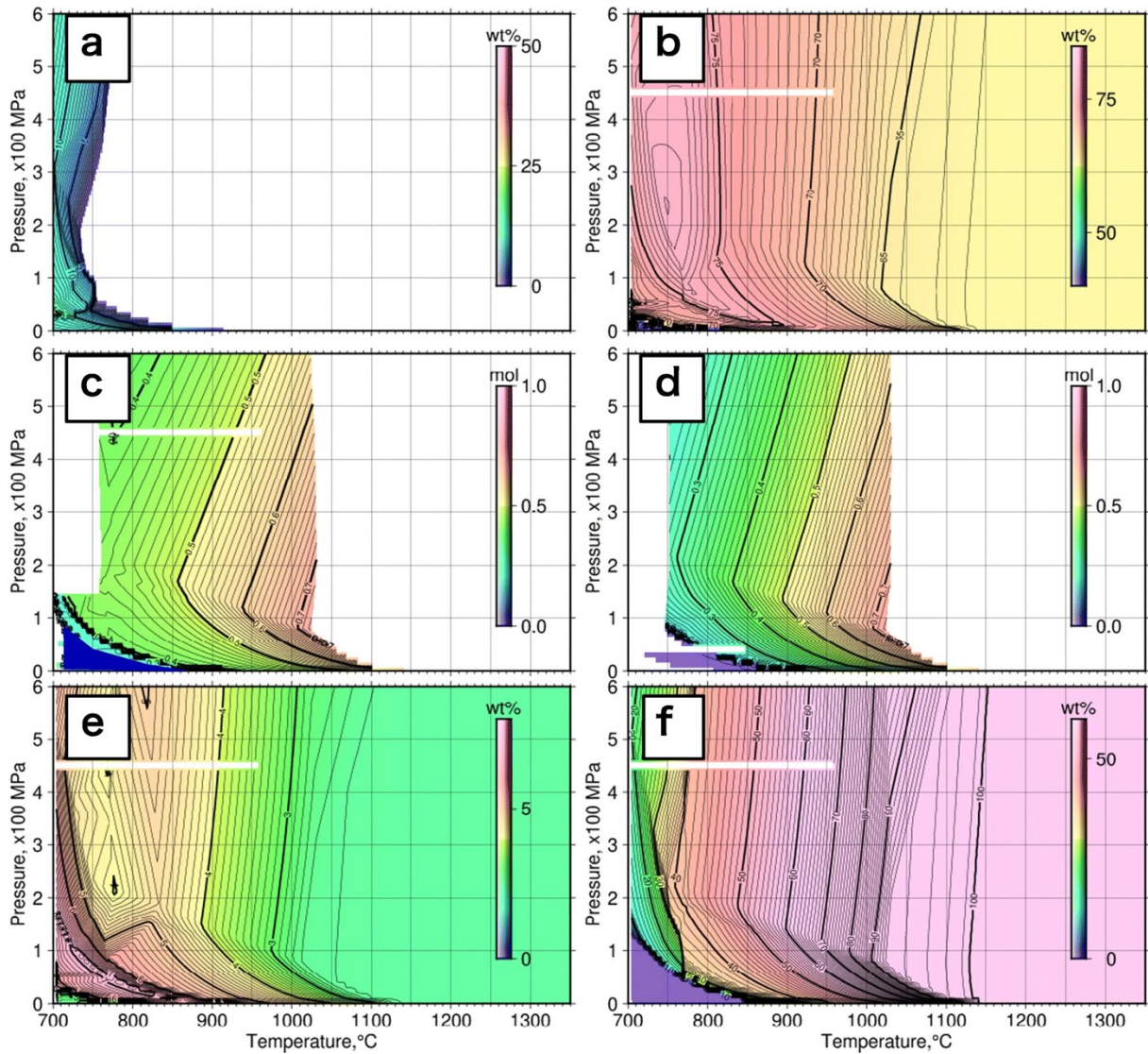


図 17 Rhyolite-MELTS (Gualda et al., 2012)^[8] 計算の結果の例 (Miyagi et al., (2020)^[29]。OT16 のバルク構成の場合の T-P 平面上の一連の等高線図を示す。OT16 は山田・小林 (1988)^[30] の三ノ池溶岩で、御岳火山の初期の噴火段階で最も珪質な噴火マグマである。Rhyolite-MELTS による含水量と酸素フガシティーは 3 wt.% H₂O と FMQ+2 ログユニットに設定した。この例では、圧力 200 MPa 以下の場合にはマグマが水で飽和しているため、含水量の変化による変数への影響はごくわずかである。ここで示した変数は次のとおり； (a) 石英の量(wt.%)、 (b) メルトの SiO₂ 含有量(wt.%)、 (c) 斜長石の灰長石のモル含有量 (0-1) 青色で塗りつぶされた領域は正長石が安定している P-T 条件を表す、 (d) 斜長石の灰長石のモル含有量(0-1; MELTS 計算中に固体が分別する場合)、 (e) メルトの K₂O 含有量(wt.%)、 (f) メルトの量(wt.%)。

(c) 結論ならびに今後の課題

令和1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、分析データのデータベース化を行っていく。調査対象とした11火山については順調にデータが集まっている。分析・解析プラットフォームの利用によるデータ生産も軌道に乗り始めた。また、解析手法についても検討が進んでおり、噴火の推移予測に有効な手法が確立しつつある。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、得られたデータを用いて実際に事象分岐予測をおこなってみるなど、実用性についての検証も開始すべきであろう。

(d) 引用文献

- [1] 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.
- [2] ImageJ (ver 1.52k), Wayne Rasband, National Institute of Health, USA, <http://imagej.nih.gov/ij>
- [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] 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.
- [5] 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, 75.
- [6] 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>.
- [7] 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, 146.
- [8] 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.
- [9] Ghiorso, M.S. and Gualda, G.A.R. (2015) An H₂O-CO₂ mixed fluid saturation model compatible with rhyolite-MELTS, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 169, 53, [doi:10.1007/s00410-015-1141-8](https://doi.org/10.1007/s00410-015-1141-8).
- [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] Putirka, K. (2016) Amphibole thermometers and barometers for igneous systems and some implications for eruption mechanisms of felsic magmas at arc volcanoes., *Am. Mineral.*, 101, 841-858.
- [13] 岡野百花・鈴木由希 (2019) 榛名カルデラ形成噴火のマグマ—里見火砕流堆積物からの示唆—, *JpGU2019 SVC36-P17*.
- [14] 岡野百花・鈴木由希 (2019) 榛名カルデラ形成噴火のマグマ—里見火砕流堆積物からの示唆—, *日本火山学会秋季大会 P035*.
- [15] 木谷悟郎・鈴木由希・大石雅之 (2019) 榛名カルデラ形成噴火のマグマ—白川火砕流堆積物からの示唆—, *JpGU2019 SVC36-P16*.
- [16] 木谷悟郎・鈴木由希 (2019) 榛名カルデラ形成噴火のマグマ—白川火砕流堆積物からの示唆—, *日本火山学会秋季大会 P037*.
- [17] 丸山照頼・鈴木由希 (2019) 榛名火山ニッ岳渋川噴火、細粒火砕物の産状と岩石学, *JpGU2019 SVC38-P04*.
- [18] 丸山照頼・鈴木由希 (2019) 榛名火山ニッ岳渋川噴火、細粒火砕物の産状と岩石学, *日本火山学会秋季大会 P025*.
- [19] 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 A1-07*, <https://doi.org/10.18940/vsj.2016.7>
- [20] Kaneko, T., Yasuda, A., Fujii, T. and Yoshimoto M. (2010) Crypto-magma chambers beneath Mt. Fuji. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 193, 161-170.
- [21] 宮地直道 (1988) 新富士火山の活動史, *地質学雑誌*, 94 (6), 433-452.
- [22] 田島靖久・星住英夫・松本哲一・廣田明成・小屋口剛博 (2017) 阿蘇火山, Aso-1 火砕流堆積物に関する新知見と Aso-1 噴火に先駆けて噴出した古閑溶岩, *火山*, 62 (4), 177-188, DOI https://doi.org/10.18940/kazan.62.4_177
- [23] Ishibashi, H., Suwa, Y., Miyoshi, M., Yasuda, A. and Hokanishi, N (2018) 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
- [24] Putirka K.D. (2008) Thermometers and barometers for volcanic systems, *Rev Mineral Geochemistry* 69, 61-120, <https://doi.org/10.2138/rmg.2008.69.3>
- [25] Kaneko, K., Kamata, H., Koyaguchi, T., Yoshikawa, M. and Furukawa, K. (2007) Repeated large-scale eruptions from a single compositionally stratified magma chamber: an example from Aso volcano, Southwest Japan, *J Volcanol. Geotherm. Res.*, 167, 160-180.
- [26] Newman S, and Lowenstern J.B. (2002) VolatileCalc: a silicate melt-H₂O-CO₂ solution model written in Visual Basic for excel, *Comput. Geosci.*, 28, 597-604, [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(01\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(01)00081-4)
- [27] Ridolfi, F. and Renzulli, A. (2012) Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid

up to 1,130° C and 2.2 GPa, Contrib. Mineral. Petrol., 163, 877-895,
<https://doi.org/10.1007/s00410-011-0704-6>

- [28] Nagasaki, S., Ishibashi, H., Suwa, Y., Yasuda, A., Hokanishi, N., Ohkura, T. and Takemura, K. (2017) Magma reservoir conditions beneath Tsurumi volcano, SW Japan: Evidence from amphibole thermobarometry and seismicity, Lithos, 278-281, 153-165.
- [29] Miyagi, I., Geshi, N., Hamasaki, S., Oikawa, T. and Tomiya, A. (2020) Heat source of the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake, Japan, Bull. Volcanol., 82(33), 1-17.
- [30] 山田直利・小林武彦 (1988) 御嶽山地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質 図幅), 地質調査所, 136p.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等 (論文 9 編 (査読つき 8 篇), 発表 34 件)

著者	表題	発表先	年
Miyagi, I., Geshi, N., Hamasaki, S., Oikawa, T., and Tomiya, A.	Heat source of the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake, Japan.	Bull. Volcanol. 82 (33) 1-17	2020
Hatada, R., Ishibashi, H., Suwa, Y., Suzuki, Y., Hokanishi, N., Yasuda, A.	Plagioclase-hosted melt inclusions as indicators of inhibited rhyolitic melt beneath a mafic volcano: a case study of the Izu-Omuoyama monogenetic volcano, Japan.	Journal of Mineralogical and Petrological Sciences (in press)	2020
Iwahashi, K., Ishibashi, H., Yasuda, A. and Hokanishi, N.	Evidence for a 'third' endmember of the Unzen 1991-1995 eruption from amphibole thermometry and crystal clots	J. Volcanol. Geotherm. Res., 396, https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.106833	2020
Hasenaka, T., Nagaishi, R., Torii, M., Yasuda, A., Hokanishi, N.	Transition of magma plumbing system of Aso volcano as deduced from mineral and melt inclusion data	Proceedings of the 2019 International Conference on Climate Change, Disaster Management, and Environmental Sustainability, Kumamoto, 273-281.	2019

Handini, E., Hasenaka, T., Torii, M., Okuno, M., Harijoko, A., Togawa, S., Bangun, A.S., Reka, D.S.	Pumice-Bearing Pyroclastic Density Current Deposits in the Southeastern Flank of Merapi Volcano: An Evidence for Past Violent Eruption.	Proceedings of the 2019 International Conference on Climate Change, Disaster Management, and Environmental Sustainability, Kumamoto, 246-253.	2019
Togawa, S., Hasenaka, T., Torii, M., Mori, Y., Yagi, K.	Geological and Chemical Composition of Pre-Aso Volcanic Rocks Distributed in Minami-Aso Village, Tateno District, Kyushu	Proceedings of the 2019 International Conference on Climate Change, Disaster Management, and Environmental Sustainability, Kumamoto, 857-863.	2019
Torii, M., Nagaishi, R., Hasenaka, T., Toda, S., Okuno, M.	Tephra Stratigraphy for Establishing Active Faults History in the Western Part of Aso Caldera, Sw Japan.	Proceedings of the 2019 International Conference on Climate Change, Disaster Management, and Environmental Sustainability, Kumamoto, 321-325.	2019
安田 敦・馬場 章・藤井敏嗣・外西奈津美	富士火山焼野溶岩に捕獲された斑れい岩について：その起源とマグマ供給系についての考察	火山, 64, 2, 83-101	2019
石橋秀巳	火成オリビン中の微量元素に関する近年の研究動向	静岡大学地球科学研究報告, 46, 9-17	2019
岡野百花・鈴木由希	榛名カルデラ形成噴火のマグマー里見火砕流堆積物からの示唆ー	JpGU (幕張メッセ)	2019
木谷悟郎・鈴木由希・大石雅之	榛名カルデラ形成噴火のマグマー白川火砕流堆積物からの示唆ー	JpGU (幕張メッセ)	2019
丸山照頼・鈴木由希	榛名火山ニッ岳渋川噴火、細粒火砕物の産状と岩石学	JpGU (幕張メッセ)	2019
鈴木由希・福島涼人	榛名火山ニッ岳渋川噴火、ブロック・アンド・アッシュ・フロー堆積物の産状と岩石学	JpGU (幕張メッセ)	2019
坂内野乃・中村美千彦・安田 敦・奥村 聡・新谷 直己・井口正人・味喜 大介・下司信夫	桜島火山ブルカノ式噴火前のマグマプロセス：岩石学・地球物理学の連携研究	JpGU (幕張メッセ)	2019

嶋野岳人・安田 敦	諏訪之瀬島火山における マグマ供給系と噴火・休 止様式の変遷	JpGU (幕張メッセ)	2019
岩橋くるみ・安田 敦	クリスタルクロットを用 いたプレ噴火プロセスの 制約：雲仙平成噴火の例	JpGU (幕張メッセ)	2019
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 先阿蘇溶岩の層序と化学 組成	JpGU (幕張メッセ)	2019
永石良太・長谷中利昭・鳥 井真之・安田 敦・外西奈 津美	阿蘇中央火口丘群起源の テフラに含まれる鉱物の メルト包有物から推定し たマグマ供給系の変遷	JpGU (幕張メッセ)	2019
田島靖久・中田節也・長井 雅史・前野 深・及川純・ 及川輝樹・宮縁育夫・長谷 中利昭・川口允孝	霧島火山, 2018 年新燃岳 噴火の EAI 法による火山 灰堆積量推定手法—数少 ない観測値からの分析方 法	JpGU (幕張メッセ)	2019
Hatada, R., Ishibashi, H., Yasuda, A., Hokanishi, N.	Melt inclusion study on the eruption process of Izu- Omuroyama monogenetic volcano, Japan.	JpGU (幕張メッセ)	2019
Oida, R., Ishibashi, H., Yasuda, A., Hokanishi, N.	Kinetic delay of crystal growth controls plagioclase- basaltic melt apparent disequilibrium.	JpGU (幕張メッセ)	2019
石橋秀巳, 針金由美子, 安田 敦, 外西奈津美	富士山宝永噴火の斑レイ 岩捕獲岩に見られるカタ クレーサイト状組織	JpGU (幕張メッセ)	2019
岡野百花・鈴木由希	榛名カルデラ形成噴火の マグマ—里見火砕流堆積 物からの示唆—	日本火山学会秋季大会(神 戸大学)	2019
木谷悟郎・鈴木由希	榛名カルデラ形成噴火の マグマ—白川火砕流堆積 物からの示唆—	日本火山学会秋季大会(神 戸大学)	2019
丸山照頼・鈴木由希	榛名火山二ッ岳渋川噴 火、細粒火砕物の産状と 岩石学	日本火山学会秋季大会(神 戸大学)	2019
鈴木由希・福島涼人	榛名火山二ッ岳渋川噴 火、無層理の厚い火砕流 堆積物の産状と岩石学	日本火山学会秋季大会(神 戸大学)	2019
嶋野岳人・安田 敦・井口 正人	火山灰採取装置 SATSUMA による噴出物モニタリン グの進展	日本火山学会秋季大会(神 戸大学)	2019
嶋野岳人・日野英逸・安田 敦・井口正人・上木賢太・ 桑谷 立	火山灰測色値と地球物理 データとの時系列相関解 析 — 桜島昭和火口	日本火山学会秋季大会(神 戸大学)	2019

	2009-2015 年活動についてー		
諸澤直香・安田 敦・外西奈津美	新富士火山の噴火準備アイテムスケールの制約	日本火山学会秋季大会(神戸大学)	2019
安田 敦・外西奈津美	次世代火山研究推進プロジェクト, 分析・解析プラットフォームの石基組織解析機能について	日本火山学会秋季大会(神戸大学)	2019
岩橋くるみ・安田 敦・石橋秀己	クリスタルクロットを用いたプレ噴火過程の制約: 雲仙平成噴火の例	日本火山学会秋季大会(神戸大学)	2019
川口允孝・長谷中利昭・安田 敦・外西奈津美・森康	阿蘇火山における玄武岩質マグマ存在深度の岩石学的制約	日本火山学会秋季大会(神戸大学)	2019
田島靖久・長谷中利昭	横ずれ断層端部に形成された阿蘇火山 熊本地震での断層変位と火山の関係	日本火山学会秋季大会(神戸大学)	2019
石橋秀己・針金由美子・安田 敦・外西奈津美	富士山宝永噴火の斑レイ岩からクレーサイト捕獲岩	日本火山学会秋季大会(神戸大学)	2019
種田凌也・石橋秀己・外西奈津美・安田 敦	玄武岩質メルトの結晶作用と分化の非平衡過程	日本火山学会秋季大会(神戸大学)	2019
金口洋子・石橋秀己・安田敦・外西奈津美	BSE 像解析に基づく OPX の Mg# ゾーニングの定量: 箱根東京軽石の例	日本火山学会秋季大会(神戸大学)	2019
鈴木由希	噴出物の岩石学・組織学から探る噴火準備過程・規模決定要因	次世代火山 PJ 令和元年度研究集会(東大地震研)	2020
鳥井真之・古市剛久・長谷中利昭・北園芳人・遠田晋次・西山賢一・奥野 充	地震に伴うテフラ層の変形パターンとその成因: 熊本地震と北海道胆振東部地震との比較	国際火山噴火史情報研究集会(2019, No. 1) (福岡大学)	2019
十川翔太・長谷中利昭・鳥井真之・大石博之・田村智弥・森 康	南阿蘇村立野地域における先阿蘇溶岩の連続性: 予察調査報告	国際火山噴火史情報研究集会(2019, No. 1) (福岡大学)	2019
十川翔太・鳥井真之・長谷中利昭・大石博之・田村智弥・森 康	阿蘇カルデラ壁西縁に分布する先阿蘇火山岩類の溶岩層序	国際火山噴火史情報研究集会(2019, No. 2) (福岡大学)	2019
十川翔太・長谷中利昭・鳥井真之・大石博之・田村智弥・森 康	阿蘇カルデラ壁西縁に分布する先阿蘇火山岩類溶岩の化学組成	国際火山噴火史情報研究集会(2019, No. 2) (福岡大学)	2019
川口允孝・長谷中利昭・岡村幸樹・磯部博志・細野高啓・松田博貴・森 康・池辺伸一郎	阿蘇黄土(リモナイト)の岩石学的特徴	日本地質学会第 126 年学術大会(山口大学)	2019

石橋秀巳・種田凌也・安田敦・外西奈津美・千葉達朗	伊豆大島 1986 年噴火の斑レイ岩捕獲岩中のメルト包有物	日本鉱物科学会 2019 年年会 (九州大学)	2019
--------------------------	-------------------------------	-------------------------	------

(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2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向上をはかる。具体的には、分析効率の向上のため分光器1台をEPMA装置に追加する。機器分析結果を熱力学的示強変数に変換する機能を整備し、熱力学シミュレーションによるマグマの状態計算結果と容易に比較可能にする。前年度に引き続き、画像解析機能の強化をおこない、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)

マグマの熱力学解析結果を天然試料の分析結果と比較する方法について、研究開発をおこなう。また膨大なデータの最適な保管や検索方法についての検討を継続する。(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をおこなうとともに、データベースの骨格を決定し、データの取り込みを開始する。引き続き課題A担当者と連携してデータの公開方法について検討する。(東京大学)

(c) 火山噴出物の解析

各機関とも、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に取り組む。

1) 有珠山

有珠火山の歴史時代噴火に関する分析・解析を引き続き実施するとともに、これまでに得られている岩石融解実験結果とも組み合わせた解釈を試みる。(産業技術総合研究所)

2) 榛名山

二ツ岳の2噴火(伊香保・渋川)と、榛名カルデラ噴火の2本柱で研究を進める。これまで実施できていない鉱物組成分析を重点的に進める。特に基底部から上位層までが連続観察できた露頭の分析に基づき、噴出物の時間変化を解明する。前年度末にサンプリングを開始した、カルデラ噴火に伴う八崎降下軽石については、軽石の全岩組成分析を実施する。これにより同一噴火の産物と考えられている白川火砕流堆積物と里見火砕流堆積物の軽石との比較をおこなう。(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、分析・解析プラットフォームに整備した石基分析機能を用いて、多数の噴出物の分析をおこなう。具体的には、堆積状況から噴火の規模や様式が異なると考えられる新富士期の幾つかの噴火噴出物について斑晶と石基組織の解析をおこない、斑晶と石基の分析だけから噴火の規模や様式が読み出せるかを検討する。

(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・解析をおこなう。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)

令和元年度に採取した富士火山大沢降下スコリア、大淵降下スコリアの層序細分試料について、分析を進める。(常葉大学)

4) 伊豆大島

伊豆大島 1986 年噴火の噴出物の試料分析・解析をおこなう。本年度は特に、1986 年噴火の B 火口および C 火口由来の噴出物について石基組織解析をおこない、マグマの火道浅部結晶化プロセスを検討する。(静岡大学)

5) 雲仙・普賢岳

前年度に引き続き平成噴火の噴出物の解析を進め、噴火前プロセス、特に、低温マグマとそれより高温のマグマの混合から噴火に至るプロセスの詳細を明らかにすることを目指す。必要に応じて比較対照のために雲仙新焼溶岩(1792 年噴火)の試料解析もおこない、どのような条件でマグマの流動が促進され噴火につながるのかを検討する。(東京大学)

6) 阿蘇山

阿蘇カルデラ噴火およびその前後の噴火に注目して、完新世玄武岩試料、先カルデラ期溶岩試料の分析・解析をおこない、マグマ供給系の変化について検討する。また、各ステージで活動するマグマの地球化学的特性および起源を明らかにし、現在のマグマ供給系におけるカルデラ噴火可能性の評価をおこなう。(熊本大学)

7) 霧島山

これまでに測色値および粒子構成比の分析をおこなった新燃岳 2017-2018 年噴出物について石基ガラス及び鉱物化学組成などの測定をおこない、必要に応じて 2011 年噴出物との比較をおこないつつ、噴火活動様式と噴出物の関係を明らかにする。(常葉大学)

2019 年度末に新燃岳享保噴火の研究を再開した。そこでは本プロジェクトの初期に未採取であった噴火初期の噴出物(SmKP 1-3)を追加し、末期(SmKP 7)までの噴出物を手元に揃えた。まず岩石学的検討として、SmKP1-3 について全岩組成や鉱物組成分析を実施し、SmKP 4-7 のデータ(坂井・鈴木, 2017)と比較する。組織学的検討においては、火砕物の見かけ密度データを噴火全体について揃えることを目標とする。(早稲田大学)

御鉢火山の噴出物について試料分析・解析をおこなう。本年度は特に、1235 年の準プリニー式噴火のスコリア中の斑晶に含まれるメルト包有物の化学分析をおこない、噴火前のマグマ条件について検討する。(静岡大学)

8) 桜島

令和元年度に引き続き、桜島火山のブルカノ式噴火、特に、南岳でも最大規模の 1987 年

11月17日噴火の噴出物について、斑晶メルト包有物の含水量を分析し、マグマの最終定置深度やマグマの上昇時間を制約する。これを歴史時代のプリニー式噴火や近年のブルカノ式噴火と比べて噴火様式の分岐条件を考察する。（東北大学）

令和元年度に引き続き、桜島火山において火山灰の連続採取をおこなう。また、粒径依存性を考慮して連続データの導出をおこなう。反射電子像を用いた構成粒子種分類プログラムを用いて構成粒子の比較については、令和元年度の結果を踏まえて改善をおこない、迅速に構成粒子比を導出できるようにする。（常葉大学）

9) 諏訪之瀬島

令和元年度に引き続き、諏訪之瀬島火山の3万年前以降の主な噴出物の鉱物化学組成分析をおこなう。令和元年度までに石基ガラスおよび斑晶鉱物については化学組成分析を一通りおこなったので、本年度はこれらの結果を吟味してデータ蓄積をおこなう。いずれの噴出物についても、これまでの分析から複数端成分でのマグマ混合が想起されるので、データ蓄積により裏付ける。これまでに示唆された、これらの端成分組成やその混合比の時代変化、火山体成長・崩壊などに関連性について、本年度は、これらのより詳細なデータから制約を与えていく。

一方、歴史に残る最大の噴火である文化噴火（1813年）の細分層序試料の鉱物および石基ガラス組成の分析を引き続き継続する。（常葉大学）。

10) その他

西之島については、前年度に引き続き2019年噴火の噴出物の解析を進め、2013-15年噴火や1973-74年噴火とのマグマの違いについて明らかにする。何らかの時代変化が確認できた場合には、今後起こりうる噴火の様式についての検討をおこなう。（東京大学）

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・解析をおこない、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。（各参加機関）

(d) 課題の総合推進

研究対象とする火山のマグマ溜まり環境（温度、圧力、組成、含水量）の情報を随時更新し、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月頃に課題C-1の研究集会を開催し、研究の進捗の確認、情報共有をおこなう。特定の火山や噴火様式を対象とした研究集会を課題C全体で共催する。