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 29 年度業務目的

(2) 平成 29 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、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成 30 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 技術専門職員	安田　敦 外西奈津美	yasuda@eri.-tokyo.ac.jp hokanisi@eri.u-tokyo.ac.jp
学校法人早稲田大学	准教授 修士２年 修士２年 修士１年 修士１年 修士１年 修士１年	鈴木由希 坂井剛善 戸枝百合香 池田　航 木村　真也 田口　昂樹 田中　伶	yksuzuki@waseda.jp
学校法人常葉大学	准教授 学部４年 学部４年	嶋野岳人 佐藤竜馬 杉山千晴	shimano@fj.tokoha-u.ac.jp
国立大学法人静岡大学	准教授	石橋秀巳	shishib@ipc.shizuoka.ac.jp
国立大学法人熊本大学	教授 修士２年 修士１年	長谷中利昭 川口允孝 永石良太	hasenaka@sci.kumamoto-u.ac.jp
国立大学法人東北大学	教授	中村美千彦	nakamm@m.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 主任研究員	東宮昭彦 宮城磯治	a.tomiya@aist.go.jp miyagi.iso14000@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・解析プラットホーム」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・解析プラットホ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 か年の年次実施計画

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、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 環境を構築する。データ解析量の増加に応じて解析用 PC を 1 台追加する。項目（ウ）に対しては、前年度に引き続きデータサーバーの仕様について検討する。項目（エ）に対しては、該当する火山について、主としてマグマ溜りの環境（温度、圧力、酸素雰囲気、含水量）を明らかにするための研究をおこなう。

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、主としてマグマの上昇速度を明らかにするための研究をおこなう。

4）平成 31 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）平成 32 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）平成 33 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・解析プラットホーム利用の受け入れを開始する。

7）平成 34 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・解析プラットホーム利用を受け入れる。

8）平成 35 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・解析プラットホーム利用を受け入れる。

9）平成 36 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・解析プラットホ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）平成 37 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・解析プラットホーム利用を受け入れる。

(e) 平成 29 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、前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、基礎的な定量分析ルーチンの立ち上げを行い、火山噴出物の分析ができる環境を構築する。項目（イ）に対しては、データ解析用のプログラムの整備を行い、迅速なデータ解析が行える環境を構築する。項目（ウ）に対しては、メンバーで協議して公開するべき分析データの仕様について検討する。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、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。また、課題 C-1 の総合推進として、研究集会を実施する。

(2) 平成 29 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を実際に運転し、高精度な分析と迅速なデータ解析が可能な環境を構築する作業を行なった。また、エネルギー分散型（EDS)検出器を EPMA 装置に追加した。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。

(b) 業務の成果

1) 分析・解析プラットホームの構築（成果到達目標（ア）、（イ）に対応）

前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ついて、基礎的な定量分析ルーチンの立ち上げをするとともに、エネルギー分散型(EDS)検出器を追加し、迅速な分析が行えるようした（写真１）。また、分析装置とネットワークでリンクした解析用 PC 上で動かす様々な解析用スクリプトの作成を行い、効率的にデータ解析が行えるように整備した（写真２）。具体的には、次の a)-g)について作業を行った（東京大学）。

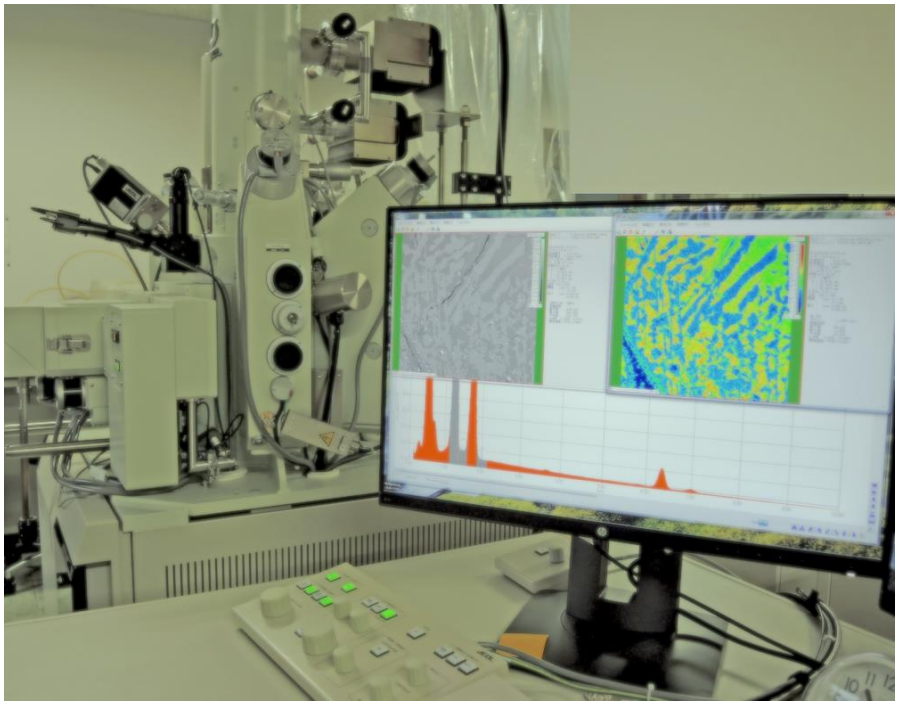


写真１　EDS 検出器を使った簡易定量と組成マップ作成

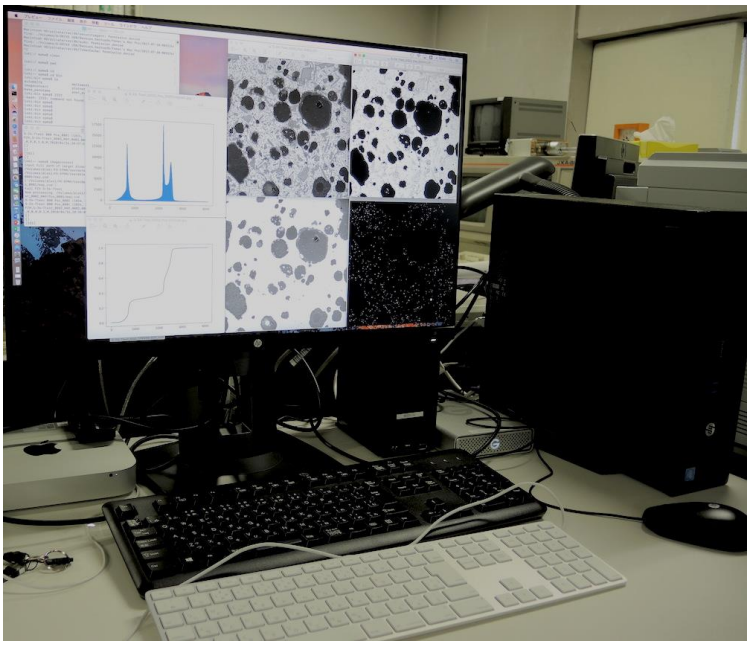


写真２　解析用 PC で反射電子像について画像処理し，情報抽出を行なったところ

a）標準的な定量分析ルーチンの制作

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、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。また、複数の定量分析結果ファイルを取りまとめた測定結果ファイルを出力するためのスクリプトを作成した。

b）相同定

定量分析結果を解析し、鉱物相やメルトの同定を自動で行うスクリプトを作成した。

c）分析値から基本的なグラフの出力

単相で作図可能な分析相については、データ解析のために必須となる基本的な散布図等を自動的に作成するスクリプトを作成した。分析時の Comment 欄の keyword に応じて凡例を分けて表示することができる。これにより、分析値の全体像の把握が容易になり、分析漏れなどが防げることが期待される。

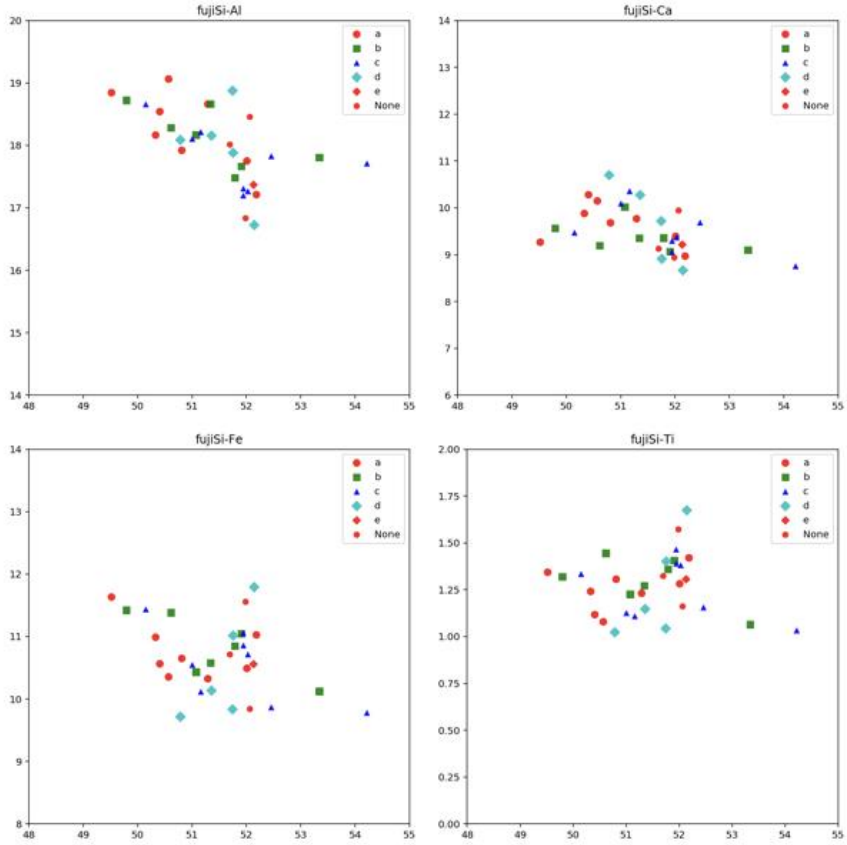


図１　自動で作成される散布図の例

d）データの品質管理

分析機器の安定性のチェックのため、標準試料強度値の時間変化グラフを作成するとともに、定量分析時に併せて測定するチェック用試料の値を自動的にグラフ化するスクリプトを作成した。グラフは WWW サーバー上に置かれ、いつでも参照できる。これにより、分析機器の状態が容易に把握でき、機器の不調による異常データの生産にいち早く気づき、それに対応できる環境を構築した。

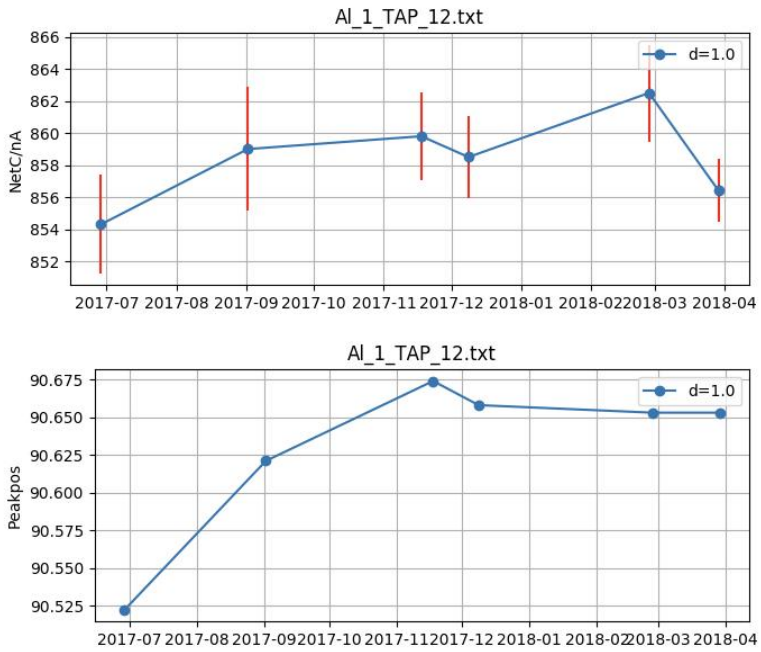


図２　標準試料の強度値とピーク位置の時間変化グラフの例（Al，Ch-1）

e）反射電子線像の自動処理

取得した反射電子線像の生データ加工し、着目鉱物の組成累帯やモードを把握する自動処理スクリプトを作成した。

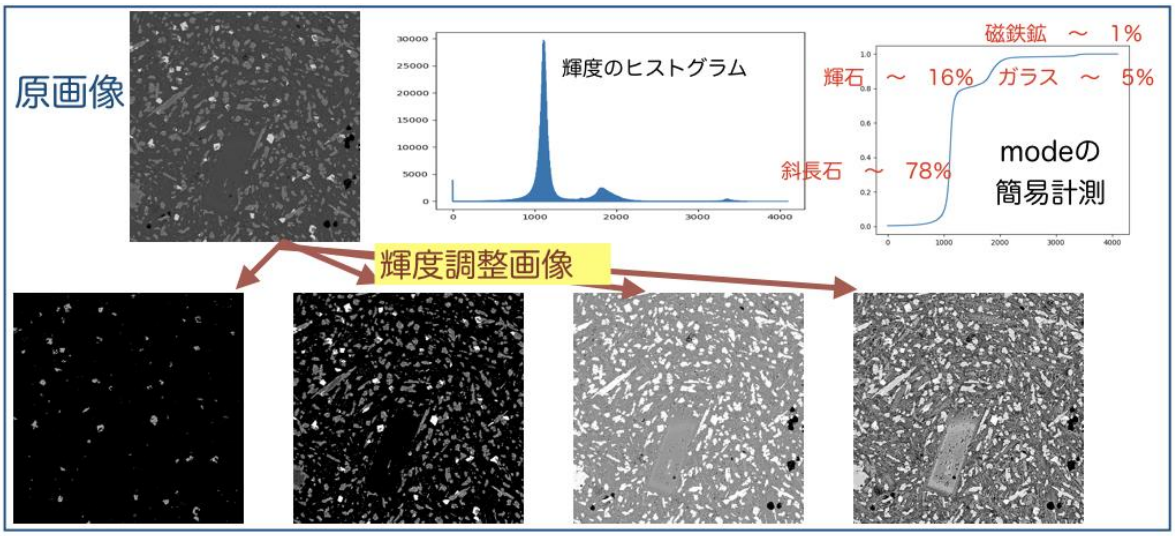


図３　反射電子戦像の加工例

f)分析点入り反射電子線像の作成

定量分析と反射電子線像撮影を連続して実施した場合に、反射電子線像に分析点の位置をマークした画像を作成する機能を付加した。また、定量分析結果に分析時のステージ座標をつけてデータベースに保存するようにした。この結果、反射電子線像の輝度情報と組成との対比が容易になるとともに，再利用可能な形式でデータ保存ができる仕組みがとと

のった（グラビア　図１参照）。これは次年度以降に本格的に実施するデータ公開（成果到達目標（ウ））に向けた準備を兼ねている。

g)蒸着膜厚の影響評価

炭素蒸着膜の品質が定量分析結果に与える影響を評価した。炭素による X 線の吸収のため、炭素蒸着膜が厚い場合には酸化物濃度合計が低く、薄い場合には酸化物濃度合計が高くなる。だが、さらに薄い場合には照射電子のチャージアップのため、酸化物濃度合計が逆に低くなる。岩石学的によく用いられる An 値(Ca/(Ca+Na)x 100)や Mg# (Mg/(Mg+Fe)x100)といった指標の場合、酸化物濃度合計が 95 wt% から 105 wt%程度の範囲にさえ入っていれば、これらの指標は有意な影響を受けないことを確認した。

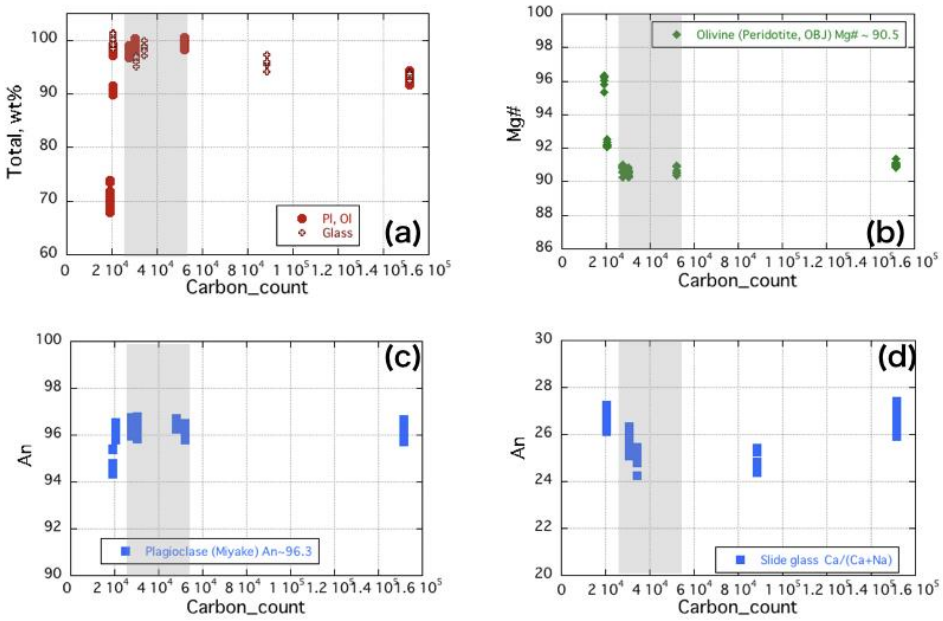


図４　炭素蒸着膜の厚さが定量分析に与える影響

蒸着膜の厚さを変えた幾つかの試料を用意しそれら測定した。(a) 酸化物重量、(b) かんらん石の Mg#、(c) An 値が高い斜長石の場合、(d) An 値が低いガラスの場合。灰色のハッチ部分が通常の炭素蒸着の厚さの範囲。

h) MELTS の自動実行環境を構築

定量分析結果を熱力学的に解析する補助機能として、MELTS の自動実行環境を構築した。Mac Mini (Intel Core i7, 3 GHz)を MELTS 実行の専用機として整備し、初期条件の作成スクリプト、自動実行スクリプト、結果の整理スクリプトを作成した。例えば 1200 度から 1000 度まで５度刻み冷却させながら安山岩の平衡結晶化の数値計算を実行する場合、１分間に圧力や含水量を変化させた５ないし６通りの初期条件についての計算を実行可能で、12 時間には約 4000 通りの初期条件についての計算を行える。

2）データ保存環境を整備（成果到達目標（ウ）に対応）

保存すべき分析データについての協議を課題参加機関とおこなうとともに、それらの必要項目を分析時に自動的に抽出する作業を行なった。具体的には、分析点座標と分析点を含む画像の紐つけ、分析点の相情報の抽出、これらのデータベース登録といった作業を自動化するスクリプトを作成した（東京大学）。

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）

1）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、数千年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[1)]。

2017 年度は、最も新しい 2000 年噴火の噴出物（デイサイト質軽石）について、既存の分析データの整理と、新たな分析を行った。具体的には、2000 年軽石中の斜長石斑晶について、ポスドクで来ていた大西里佳氏とともに、EPMA（電子線マイクロアナライザ）を用いて組織観察および主成分分析を、LA-ICP-MS（レーザーアブレーション ICP 質量分析計）を用いて微量成分分析を行った。これにより、噴火に至るマグマ過程を記録している斑晶累帯構造（ゾーニングプロファイル）を調べた。斜長石の主成分、特にアノーサイト成分（An=100×Ca/(Ca+Na+K)；Ca，Na，K 各元素のモル比で計算）の変動は、マグマの温度・含水量（圧力）・メルト組成の変化を反映する。一方、微量元素濃度の変動は、含水量の影響は少なく、メルト組成の変化に敏感である。このため、主成分と微量成分の解析を組み合わせることで、マグマ過程を推定することができる。さらに、微量成分分析結果については、1977-78 年噴出物（2000 年の 1 つ前の噴火）などの斜長石斑晶を SIMS（二次イオン質量分析計）で分析した結果（著者による未公表データ）と比較することも行った（グラビア　図２参照）。

これまでに得られた結果は以下の通りである。有珠火山の歴史時代の噴出物では、最初の 1663 年噴火から最新の 2000 年噴火に向けて、斜長石中の苦鉄質成分（Mg や Ti など）が増加し続けている（グラビア　図２）。これは全岩化学組成の変化[2)]と整合的である。たとえば、1663 年噴出物の斜長石は An=43～46 付近に集中し、Mg 濃度は最も低い。以後、結晶化する斜長石の Mg 濃度は、図中左の矢印のように 2000 年に向かって増加していく。一旦 An が減少するのは、マグマの含水量の減少（＝減圧）を受けたためと考えられている[3)]。また、1663 年噴火直前に混合した高温マグマからもたらされた高 An 斜長石のコアに着目してみると、Mg 濃度は斜長石中の元素拡散の影響も受けているとみられる（図中右の矢印）。このため、拡散モデル計算[4)]の適用によって、マグマ過程のタイムスケールを推定できる可能性が示された。また、今回行った LA-ICP-MS 分析からは、高性能な SIMS を用いた分析とほぼ同様の結果が得られており、SIMS よりも簡便な LA-ICP-MS 分析によっても十分なデータが得られる見通しが得られた。

これらの成果は、2018 年 5 月の JpGU2018 において学会発表する予定である。

2）榛名山（早稲田大学）

榛名山については，噴出物の記載岩石学的特徴や斑晶鉱物組成データを用いた、マグマ供給系や噴火誘発過程に関する検討例が少ない。例外は Suzuki and Nakada[5]による二ツ岳伊香保噴火（6 世紀後半～7 世紀初頭）の研究である。そこでは斜長石＋斜方輝石＋角閃石＋Fe-Ti 酸化物を有するマッシュ状珪長質マグマ（SiO_2=60.5～61.5 wt.％）に、ほぼ無斑晶質の苦鉄質マグマが注入し、マッシュが再流動化され噴火が誘発されたことが明らかにされた。過去の噴出物の岩石学的データを蓄積しておくことは、噴火初期に放出される火山灰に本質物質が含まれるかどうかを判定する上でも重要になることがある。以上の視点で、榛名火山の新期の活動の研究を進めている。新期の活動は榛名カルデラ噴火（45ka）で開始し、その後、二ツ岳を含む溶岩ドーム群（榛名富士・蛇ヶ岳（45～29ka）、相馬山（20～15ka）、水沢山（およそ 10ka））が生成した。二ツ岳では、5 世紀末～6 世紀初頭にもマグマ噴火（二ツ岳渋川噴火[6]）が起きている。H29 年度は、二ツ岳の２噴火の溶岩・火砕物[5]（および鈴木未公表データ）と、古い 4 つのドームの溶岩を、全岩化学組成・記載岩石学的特徴・斑晶組成の観点から比較し、全体傾向の把握を試みた。なお二ツ岳渋川噴火については、H30 年度にサンプルを大幅に追加する予定であり、暫定的な結果である。

二ツ岳を除く古い４つのドーム溶岩（SiO_2=59.5～64.5 wt.％）は、ほとんどが斜長石＋斜方輝石＋角閃石＋Fe-Ti 酸化物＋石英の斑晶を有し、SiO_2 含有量最小のサンプルではカンラン石斑晶も含まれる。まず石英が含まれる点で、二ツ岳での２噴火と異なっていることが確認された。記載岩石学的特徴と、斑晶の組成累帯構造から、古い溶岩ドーム噴火においても、マッシュ状珪長質マグマ（斜長石＋斜方輝石＋角閃石＋Fe-Ti 酸化物＋石英）に高温マグマが注入し噴火が誘発されたと推定された。溶岩試料の斑晶量は、全岩 SiO_2 量の増加とともに増加する傾向があり、二ツ岳伊香保噴火同様に高温端成分が斑晶に乏しかったことを示す。カンラン石斑晶を含むことから（高温マグマが珪長質マグマを加熱しただけではなく）マグマ混合が起きたことの確実な前述の１サンプルを除いて考えると、古い４つの溶岩ドーム噴火の際の珪長質端成分の全岩組成は SiO_2=60.9～64.5 wt.％の範囲にある。これは二ツ岳の２噴火の珪長質端成分（SiO_2=60.5～61.5 wt.％）よりも SiO_2 に富んでおり、石英斑晶の存在とも調和的である。しかし古い４つの溶岩ドームの活動（～10ka）と、二ツ岳の活動で、全く異なる珪長質マグマが活動したとは言えない。古い溶岩ドームの斜長石や斜方輝石のコア組成（苦鉄質マグマとの混合や、加熱を受ける前の部分）は、それぞれ、An50～80 と Mg#65 前後であり、Suzuki and Nakada[5]の二ツ岳の組成と類似している。したがって珪長質マグマの起源は共通であるが、噴火直前に高温マグマの注入を受けるまでの貯蔵圧力や温度が、活動年代により異なった可能性が有り、今後、さらなる分析で検証する必要がある。

3）富士山

a）玄武岩質マグマの減圧結晶作用に及ぼすプレ噴火温度の影響の検討（静岡大学）

島弧の玄武岩質マグマは水を多く含むため、減圧・脱ガスが進行することで結晶作用が駆動され、火道上昇中にマイクロライトが晶出する。マイクロライトの晶出は、マグマ中のメルト組成と結晶量を変化させ、マグマの粘性率と噴火ダイナミクスにも強い影響を及ぼすと考えられる。そこで本研究ではマグマの熱力学的相平衡計算プログラム rhyolite-MELTS を用いて、多様な温度・含水量の初期条件の下で玄武岩質メルトの減圧結晶作用シミュレーションを行い、火道上昇中におこるマグマの状態・物性の変化に及ぼすプレ噴火条件の影響を検討した。今回、富士山 1707 年噴火の玄武岩組成のメルトを対象とし、温度 1184-1094℃、含水量 0.5-3.0wt.%の初期条件範囲で計算を行った。シミュレーションの結果、減圧結晶作用のふるまいは初期温度条件のみに依存し、初期含水量条件は全く影響しないことがわかった。また、初期温度条件の低下に伴い、マグマが地表に到達するまでに晶出する結晶量が著しく増加し、同時にメルトの SiO_2 量も増加した。この結果として、マグマの初期温度が低下すると、減圧に伴うマグマの粘性率の増加率と、地表到達時のマグマの粘性率の両方が著しく増加することがわかった。マグマ中でのマイクロライトの増加と粘性率の増加はともに、マグマからの脱ガスを妨げる効果を持つため、その噴火様式をより爆発的なものへとシフトさせると予想できる。実際、まだサンプル数は少ないものの、富士火山のいくつかの噴出物について、より爆発的な噴火をおこしたマグマの方が系統的に高温であるという傾向が見られた。したがって、減圧結晶作用が速やかに進行するマフィックマグマの噴火ダイナミクスは、そのプレ噴火温度に強く影響をうけるものと考えられる。今後、マグマの噴火温度と爆発性の関係についての事例データを拡充することによって、本研究の仮説を検討することが課題である。

b) 湯船-2 スコリア生成噴火(早稲田大学)

最新の山頂噴火である湯船-2 スコリア生成噴火（2200 年前）を研究した。この噴火には、結晶量の異なる２端成分マグマが関与していることが、全岩化学組成データや鉱物組成データをもとに示されていた [7]。端成分は、いずれも、カンラン石と斜長石を有しており、結晶に乏しいマグマから、結晶に富むマグマが、閉鎖系にて（＝全岩化学組成をほとんど変化させずに）生成したことも示されていた。H29 年度には、２端成分マグマの貯蔵条件を探るため、カンラン石斑晶に含まれるメルト包有物の含水量を FT-IR 反射分光法 [8] にて測定した。分析可能なメルト包有物は、結晶に富む端成分のみから発見され、含水量は 1.1～1.6wt.%の範囲にあった。一方、結晶に乏しい端成分について、MELTS 計算により貯蔵条件を求めると（石基組成メルトが、リキダス近傍で、カンラン石と斜長石を晶出することを制約条件とした）、2.5kbar 未満の圧力、含水量 1.5～1.8wt.%、1100～1120℃という条件が求められた。以上をまとめると、結晶に乏しいマグマから、結晶に富むマグマを生成させる過程で、含水量は大きく変化しなかったこととなる。結晶に乏しいマグマは水に不飽和であったと MELTS 計算結果から言えるので、２端成分マグマの貯蔵深度の差については議論できなかった。

c) はんれい岩試料の分析による玄武岩質マグマ溜まり環境の推定(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はんれい岩試料の分析を行い、富士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 5km から 11 km あたりの複数箇所に平衡圧力が求まり、クリスタルマッシュ状態（メルトや気相が共存）の場が、この焼野西丸尾溶岩噴火の時代には富士山の地下に複数存在していたことが明らかになった。

d) 富士山大沢スコリアの分析(常葉大学)

既に採取を行った試料について、全岩化学組成の分析を行った。今後は、鉱物組成などのマグマだまり静的条件（温度、含水量など）推定のための岩石学的基礎データを取得する。

4) 伊豆大島(静岡大学)

伊豆大島 1986 年噴火のプレ噴火過程について検討した。伊豆大島で 1986 年に発生した B 火口サブプリニ―式噴火の噴出物中に含まれる斑レイ岩捕獲岩について、岩石組織観察と構成鉱物・ガラスの化学組成分析を行った。この斑レイ岩捕獲岩は、主に斜長石と少量のオリビン・斜方輝石から構成されるが、気泡を含む粒間ガラスが約 30 vol.%を占める。粒間ガラスは SiO_2～54.5－57.5 wt.%の安山岩質で、その組成範囲は B 火口マグマと一致した。また、斜長石 - オリビン - メルトの共存関係から見積もられた温度も、先行研究で B 火口マグマについて見積もられた温度と概ね整合的であった。このことより、この斑レイ岩は B 噴火のマグマだまり中のクリスタルマッシュ部の岩片であると考えられる。粒間ガラスには墨流し状の組成不均質が観察された。このことは、B 火口マグマの組成変動がメルト混合によることを示唆する。プレ噴火条件でのメルト含水量は～4 wt.%以上と見積もられ、その飽和深度は 6 km 以上と計算される。この深度は、従来考えられてきた B マグマだまりの深さ～4 kmよりも深い。斑レイ岩中に含まれるオリビンのリムに見られる組成ゾーニングの形成時間の最大値を見積もったところ、およそ 40 日の結果を得た。この結果は、粒間メルトの状態変化が開始してからおよそ 40 日以内に噴火に至ったことを示唆する。

5) 阿蘇山（熊本大学）

阿蘇はカルデラを形成するような巨大火砕噴火を 4 度起こし，現在は後カルデラ期と考えられている。阿蘇の火山活動の多くは珪長質マグマと苦鉄質マグマの相互作用、あるいは混合作用認められる。そこで端成分である、

a)珪長質マグマとして 3 万年前の阿蘇草千里ヶ浜火山のデイサイト軽石層、

b)苦鉄質マグマとして約 4,000～3,300 年の杵島岳火山、往生岳火山、上米塚火山の噴出物、

に含まれる鉱物中のメルト包有物の化学組成、含水量を測定し、噴火事象分岐予測に使える基礎データを取得した。

a) 阿蘇中央火口丘西部の南阿蘇村川後田で草千里ヶ浜軽石の５つのフォールユニットを見つけ、分析を行ったが、鉱物の組成に大きな違いは見いだせなかった。単斜輝石-直方

輝石間の Fe-Mg 交換平衡は成り立っていなかった。草千里ヶ浜軽石のメルト包有物の SiO_2 含有量、含水量はそれぞれ 68～71 wt.% 、最大 2.8 wt.%であり、山崎ほか[9]が推定した阿蘇 4 初期の小谷軽石、肥猪軽石のメルト包有物の測定結果（72～74 wt.% 、3～5 wt.%）よりどちらも低い値を示した。Cpx-melt の平衡関係から Putirka[10] の式を使って、約 6～8 Km の深度、900～930℃の温度を得た。

b）杵島岳火山、往生岳火山、上米塚火山の苦鉄質マグマのメルト包有物では、幅広い組成（47～68 wt.% SiO_2）が得られたが、かんらん石のメルト包有物が最も未分化な組成を示し、高い S 濃度を持つことが判明した。これらは深部起源マグマと浅部マグマの混合で解釈が可能である。pMELTS[11]の相平衡計算の結果（図５）、S に富むマフィックマグマはかんらん石に捕獲された段階で水に富んでいたと推定された。かんらん石の CaO 含有量が低いことも水に富むことと整合的であった。

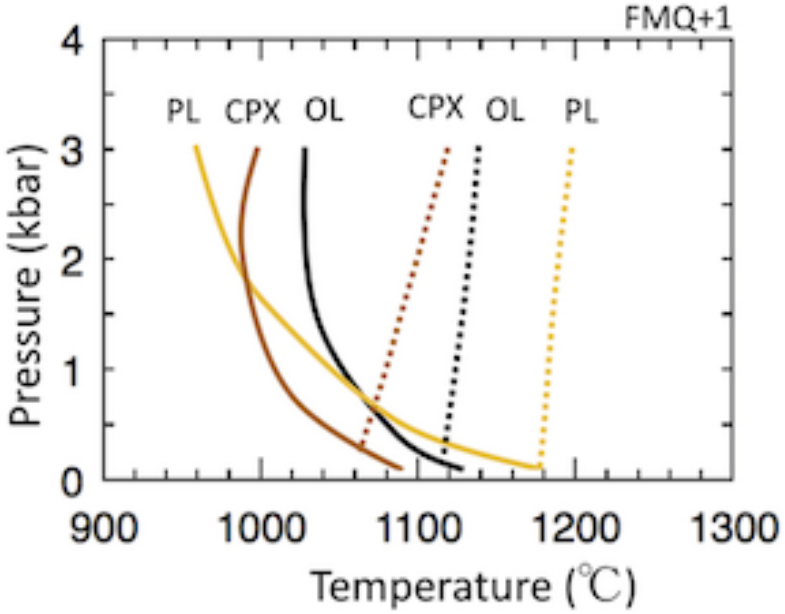


図５ かんらん石、斜長石、単斜輝石のリキダス温度の含水量依存性

実線：6 wt.% H_2O、 破線：1 wt.% H_2O。fO_2 は FMQ+1 を仮定。Pl：斜長石、Cpx：単斜輝石、Ol：かんらん石。

6）霧島山（新燃岳）（早稲田大学）

享保噴火（1716-1717 年）は、2011 年噴火よりも前の最新のマグマ噴火であり、マグマ供給系や噴火誘発過程の理解には欠かせない。この観点から、H28 年度末に代表的露頭で網羅的に採取してあった、享保噴火の降下軽石（茶・灰色軽石と、白色軽石；全ユニットで２タイプは共存）の、基礎的岩石学的解析を実施した。Suzuki et al.[12]で公表されている 2011 年噴火の特徴と比較すると、以下３つの点で、類似していることが判明した。 a）茶・灰色軽石は SiO_2=56.9～59.3wt.%、白色軽石は SiO_2=61.0～65.8 wt.%の全岩化学組成を有し、しかも 2011 年噴火のトレンドと重なること、b)軽石の形成には、温度・組成差のある２端成分マグマが関与し、低温端成分がそのまま白色軽石となり、２端成分の混合物

が茶色・灰色軽石となったこと、c)低温端成分マグマ由来の斑晶は、単斜輝石＋斜方輝石＋斜長石＋Fe-Ti 酸化物であること、である。一方、相違点として、高温端成分由来の斑晶は、2011 年噴火ではカンラン石＋斜長石であるのに対し、享保噴火は斜長石のみ、ということが見出された。2011 年噴火では、カンラン石斑晶は、高温マグマが深部より低温マグマ溜まりへと上昇していく際に成長したとされた[12)]。２噴火で同様のマグマシステムと、高温端成分の組成を仮定すると、享保噴火では高温マグマの上昇時間が短時間であった可能性がある。これは享保噴火の方が規模の大きい噴火であったこととも関連しているかもしれない。この他に、2011 年噴火のクライマックス期における火道でのマグマダイナミックスに関する研究成果を、国際誌へ公表する活動を行った[13)]。また、2017 年秋に起きた噴火の火山灰の解析に携わった。

7）桜島

a）噴火直前のマグマの定置深度（東北大学）

噴火直前のマグマの定置深度を求めるため、桜島の歴史時代以降の噴出物（文明・安永・大正噴火、昭和期のブルカノ式噴出物）のメルト包有物の揮発性元素を分析した。二酸化炭素は両面研磨薄片の透過法 FT-IR 分析でもほぼ検出限界（～50 ppm）以下であった。また含水量は、透過法 FT-IR との整合性を確かめた上で反射法 FT-IR で分析を行った。プリニー式噴火では三回の歴史時代噴火でほぼ系統的な差は無く、分析した 101 個のメルト包有物のうち 95%のデータが 1.4-3.0 wt%の範囲に、また 1975 年以降のブルカノ式噴火では、分析した 25 個のうち 92％が 0.7-1.9 wt%の範囲に入った。プリニー式噴火のメルト包有物含水量は、斜長石リムとガラス組成の平衡条件から計算した含水量と良い一致を示し、一方、ブルカノ式噴火の噴出物の含水量では、実測値よりも計算値が高くなった。このことは、プリニー式噴火ではマグマが上昇開始直前にマグマ溜りで化学平衡に達しており、メルト包有物が脱水しない短時間でマグマが上昇したのに対し、ブルカノ式噴火では、マグマはゆっくりと地表付近まで上昇したことによると解釈できる。火道極浅部～地表近傍でのマグマの上昇、滞留の時間スケールは、メルト包有物から斜長石・輝石の高速拡散路（劈開等）を通じて拡散脱水するものの、それに応答した斜長石リムの成長は追いつかない程度の時間であったと考えられる。

b)桜島昭和火口噴出物の検討（常葉大学）

噴出物の情報をリアルタイムで導出し、モニタリングを実現するための検討を行った。噴出物によるリアルタイムモニタリング実現の課題の一つは、データ導出にかかる時間の短縮であり、本課題では迅速な測定が可能な手法・観測項目の確立を目指している。本年度は特に迅速測定が可能なバルク試料の分光測色値について、噴火様式と測色値に対応関係があることを明らかにした。また、粒径により異なる情報を持つことから、抽出したい情報ごとに粒径を選別すべきことが分かった（図６）。すなわち、細粒部は赤色酸化などによる色変化が大きく、地下浅部の火道状態などが反映されやすいのに対し、粗粒部については新鮮な本質物質のガラス色などが反映されているため、地下深部からくるマグマに関する情報などが反映されていると考えられる。これらデータ導出のため、迅速に試料処

理する手順を再検討・改善した。今後は、降灰試料の連続採取を適宜行い、リアルタイムモニタリングを実現できる観測項目を絞り込むとともに、ひきつづき、迅速導出のための処理手順改善を行う。

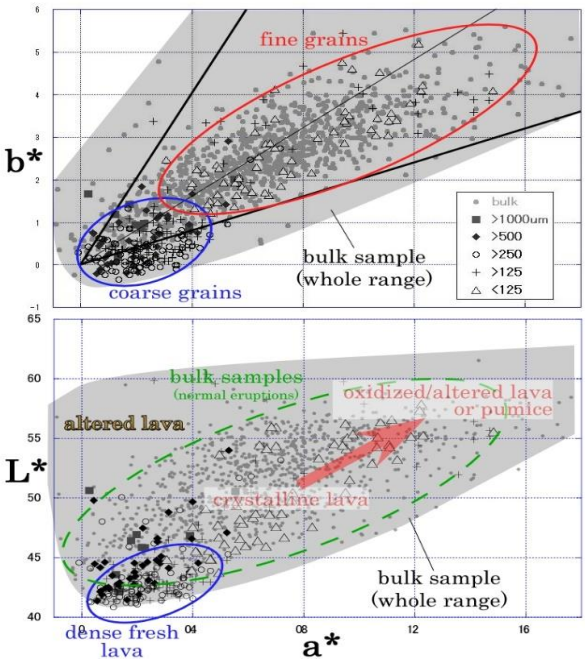


図６　粒径別測色値変化

8）諏訪之瀬島（常葉大学）

a)諏訪之瀬島 1813 年噴出物の分析

1813 年噴出物の測色測定を行った。特に噴火の本格化に至る前に噴出したと考えられる火山灰主体の堆積物について、層序を細分して採取し、火山灰粒子の構成比と測色値の関係を調べた（H30 年度継続中；図７）。今後は、1813 年噴火についてはより多項目の噴出物データを細分層序試料で導出し、噴火推移に伴う火山灰特性の変化を明らかにする。

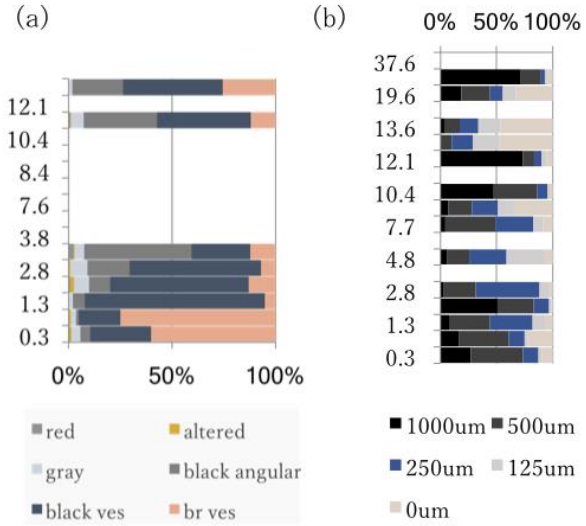


図７　諏訪之瀬島火山 1813 年噴火―本格化前の、(a)降灰試料粒子構成比の層序変化、及び、(b)降灰試料粒子粒径の層序変化（縦軸はいずれも相対層準）。

b)諏訪之瀬島 20 世紀以降の噴出物の採取・分析

1813 年噴火直後～現在に堆積した噴出物の採取を現地調査に基づいて行った。2014 年～15 年の噴出物については、メルト包有物の含水量測定を行い、斑晶鉱物の EPMA による分析に基づいて噴出温度の推定を行った。その結果、前年度の結果も踏まえると、少なくともスコリア・軽石噴火については、およそ１万年前以降からマグマの含水量・温度共に徐々に低下傾向にあることが示唆された（図８）。今後は、過去１万年の主な噴火について、マグマだまりに関する基礎データを揃える。更に数例の噴火について、FE-EMPA による斑晶組成分析を行い速度論的な評価を開始する。

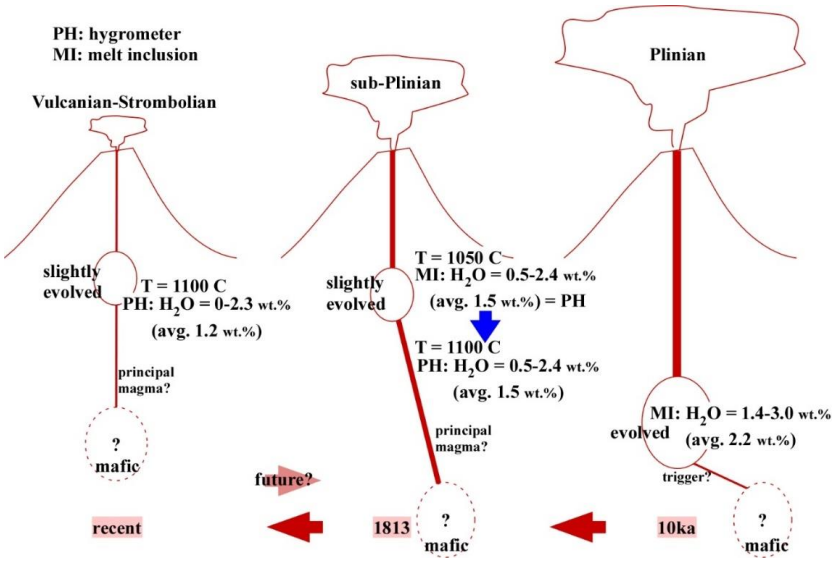


図８　諏訪之瀬島火山マグマだまりの含水量・温度変遷（暫定）

9）西之島（東京大学）

突発的な噴火への対応として、2017 年西之島噴火の試料（気象研の観測船が採取）の分析を行い、噴火前のマグマ温度圧力環境を求めた。2013-15 年の陸上や船上で採取された降下火砕物とほぼ同様の構成鉱物と組成であった。山体内部の深さ 1-2km あたりで噴火前のマグマが一旦滞留して脱ガスしており、そこでのマグマ温度が 1020-1050 度程度であることがわかった。

10）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エア（Rhyolite-MELTS[14]）の活用方法を継続して改良した。2017 年度は制御スクリプトを改良し、分別結晶モードの計算およびデータ集計機能を追加した。また、マグマの粘性の評価指標である RAI 値[15]の温度圧力変化を把握できるようにデータ集計スクリプトを改良した。天然で観察される斜長石斑晶には累帯構造があるため、完全な平衡を仮定するバッチ計算よりも分別結晶計算が適していることは明らかであったが、計算量の増加に対応できなかったためこれまではバッ

チ計算のみを行っていた。改良された計算スクリプトを利用して、4.1 ka に阿蘇の中央火口丘群の一つである蛇ノ尾火山から放出された阿蘇中央火口丘第一軽石（ACP1）[16]と、山形県大蔵村に小カルデラを 12 ka に形成した肘折火山の噴出物を対象に検討を行った[17]。その結果、肘折火山に関しては鉄チタン鉱物から推定されていたよりも高い温度環境で斜長石が晶出した可能性が示された。また、阿蘇の ACP1 については、RAI 値が温度・圧力・含水量によって複雑に変化することと、 RAI 値は圧力 8～9 kbar 温度 850～950℃付近と、圧力 0.4 kbar 温度 775℃付近の二箇所で極小をとり（粘性が上昇し）、逆に常圧 1050℃付近から 3 kbar700℃付近にかけた温度・圧力条件では増加し（粘性が低下して）マグマが流動し易くなることが示された。2017 年度までに得られた成果の一部は、2018 年 8 月の Goldschmidt 学会で発表する予定である。

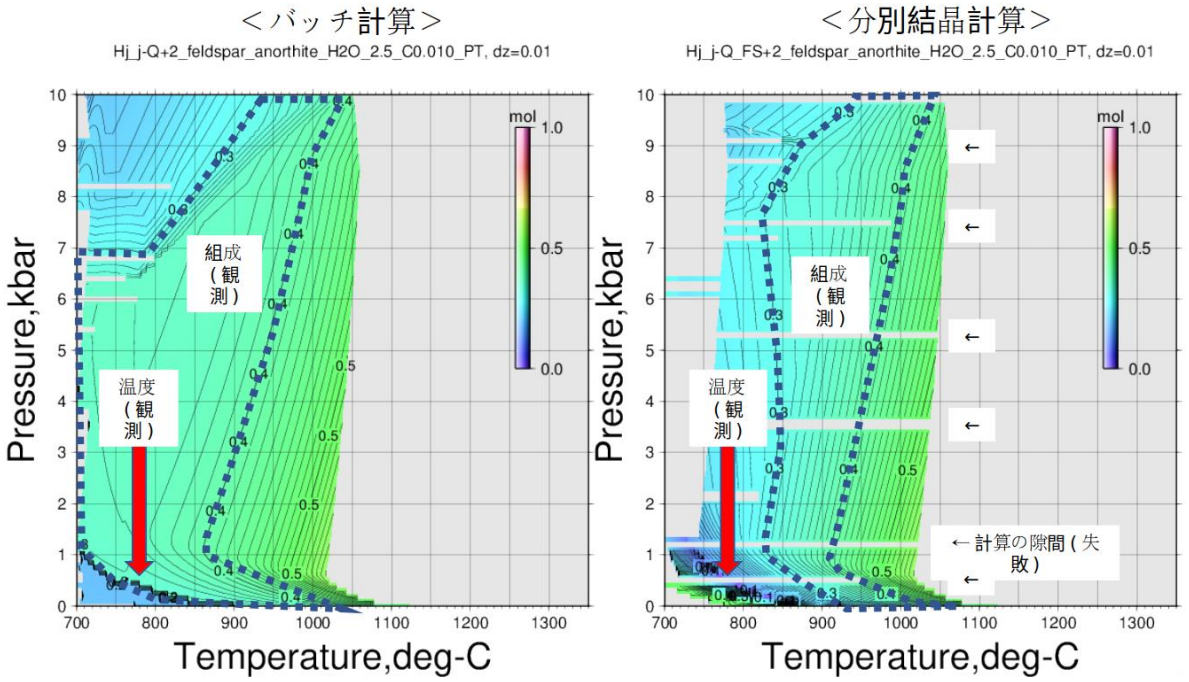


図 9　肘折火山噴出物の斜長石 An 組成の温度圧力依存性。

Rhyolite-MELTS を用いた。　a:バッチ計算結果、b:分別結晶計算結果。　縦軸は圧力（kbar）、横軸は温度（℃）、全岩含水量は Miyagi et al.[17]が求めた 2.5wt%H_2O に設定した。破線は観測された斜長石 An 組成、赤矢印は鉄チタン温度計から観測された噴出直前のマグマの温度を示す。分別結晶モードでは、鉄チタン鉱物から推定されたよりも高い温度環境で斜長石の An 組成が再現される。例えば深部から供給された高温マグマが低温マグマと混合した直後の環境などが、候補として考えられる。白抜きラベルの黒矢印は MELTS 計算の失敗により生じた隙間であり、これを無くすことは、今後の課題のひとつである。

(c) 結論ならびに今後の課題

平成 29 年度の目標はおおむね順調に達成できている。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・解析プラットホームの整備を進める。また今後はできるだけ早期に本格的な分析機器利用の受け入れを開始し、参加機関の火山噴出物分析をサポートしていく。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、解析方法についても検討が進んでいる。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、それまでに得られた成果の迅速な公表に務める。

(d) 引用文献

1) 曽屋龍典，勝井義雄，新井田清信，堺幾久子，東宮昭彦，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.，2007.

2) 中川光弘，松本亜希子，田近　淳，広瀬　亘，大津　直，有珠火山の噴火史の再検討：寛文噴火（1663 年）と明和噴火（1769 年）に挟まれた 17 世紀末の先明和噴火の発見．火山，vol.50，39-52，2005.

3) Tomiya, A. and Takahashi, E., Evolution of the magma chamber beneath Usu volcano since 1663: A natural laboratory for observing changing phenocryst compositions and textures. Jour. Petrology, vol.46, 2395-2426, 2005.

4) Costa, F., Chakraborty, S., and Dohmen, R., Diffusion coupling between major and trace elements and a model for the calculation of magma chamber residence times using plagioclase. Geochim. Cosmochim. Acta, 67, 2189-2200, 2003.

5) Suzuki, Y., Nakada, S., Remobilization of highly crystalline felsic magma by injection of mafic magma: Constrains from the middle sixth century eruption at Haruna Volcano, Honshu, Japan., Jour. Petrol., 48, 1543-1567, 2007.

6) 早田　勉，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(4)，297-312，1989.

7) 鈴木由希，最新の山頂噴火産物(湯船第二スコリア)から見た富士火山のマグマ供給系，日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会，2017.

8) 安田 敦，顕微 FT-IR 反射分光法による斑晶ガラス包有物の含水量測定，火山，56(2)，41-49，2011.

9) 山崎秀人，長谷中利昭，安田敦，斜長石およびメルト包有物組成からみた阿蘇-4 火砕流マグマ溜りの層構造，日本地球惑星科学連合 2015 年大会，2015.

10) Putirka, K. D., Thermometers and Barometers for Volcanic Systems, Rev. Mineral. Geochem., 69 69 (1): 61-120.DOI:https://doi.org/10.2138/rmg.2008.69.3, 2008

11) Ghiorso, M. S., Hirschmann, M. M., Reiners, P. W. and Kress III, V. C., The pMELTS: A revision of MELTS for improved calculation of phase relations and major element partitioning related to partial melting of the mantle to 3 GPa, Geochem. Geophys. Geosyst., 3(5), 10.1029/2001GC000217, 2002.

12) Suzuki, Y., Yasuda, A., Hokanishi, N., Kaneko, T., Nakada, S. and Fujii, T., Syneruptive deep magma transfer and shallow magma remobilization during the 2011

eruption of Shimoe-dake, Japan-Constraints from melt inclusions and phase equilibria experiments-, J. Volcanol. Geotherm. Res., 257, 184-204, doi:10.1016/j.jvolgeores.2013.03.017, 2013.

13) Suzuki, Y., Maeno, F., Nagai, M., Shibutani, H., Shimizu, S. and Nakada, S., Conduit processes during the climactic phase of the Shinmoe-dake 2011 eruption (Japan): insights into intermittent explosive activity and transition in eruption style of andesitic magma, Journal of Volcanology and Geothermal Research, published online, https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.02.008, 2018.

14) Gualda, G. A. R., Ghiorso, M. S., Lemons, R. V. and Carley, T. L., Rhyolite-MELTS: a Modified Calibration of MELTS Optimized for Silica-rich, Fluid-bearing Magmatic Systems. J. Petrol., 53(5):875-890, 2012.

15) Genova, D. D., Kolzenburg, S., Wiesmaier, S., Dallanave, E., Neuville, D. R., Hess, K. U. and Dingwell, D. B., A compositional tipping point governing the mobilization and eruption style of rhyolitic magma. Nature, 552:235–238 (doi:10.1038/nature24488), 2017.

16) 宮縁育夫, 阿蘇カルデラ北西部,蛇ノ尾火山の噴出物と噴火年代.火山,62,1-12, 2017.

17) Miyagi, I., Kita, N. T. and Morishita, Y., The geochemical and petrological characteristics of prenatal caldera volcano: a case of the newly formed small dacitic caldera, Hijiori, Northeast Japan. Contrib. Mineral. Petrol., 172(79):1-17, 2017.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等　（論文 10 編，発表 40 件）

著者	題名	発表先	発表年月日
Y. Suzuki, F. Maeno, M. Nagai, H. Shibutani, S. Shimizu and S. Nakada	Conduit processes during the climactic phase of the Shinmoe-dake 2011 eruption (Japan): insights into intermittent explosive activity and transition in eruption style of andesitic magma	Journal of Volcanology and Geothermal Research, published online, https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.02.008	2018
Y. Yanagida, M. Nakamura, A. Yasuda, T. Kuritani, M. Nakagawa and T. Yoshida	Differentiation of a hydrous arc magma recorded in melt inclusions in deep crustal cumulate xenoliths from Ichinomegata Maar, NE Japan.	Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 19, 838-864. https://doi.org/10.1002/2017GC007301	2018
長谷川健・松本亜希子・東宮昭彦・中川光弘	大規模カルデラ形成噴火と活動的後カルデラ火山　―北海道南西部，洞爺カルデラと有珠火山の地質概説および露頭紹介―	地学雑誌，127(2), 289-301	2018
石橋秀巳・天野大和	玄武岩質マグマの減圧結晶作用と噴火ダイナミクスに及ぼすプレ噴火条件の影響：富士山 1707 年噴火玄武岩質マグマの例	静岡大学地球科学研究報告, vol.44,p.17-29,	2017
菅野拓矢・石橋秀巳	斑晶鉱物の元素拡散モデリングに基づく噴火準備タイムスケールの研究の現状	静岡大学地球科学研究報告，vol.44, p.47-64,	2017
I. Miyagi, N.T. Kita and Y. Morishita	The geochemical and petrological characteristics of prenatal caldera volcano: a case of newly formed small dacitic caldera, Hijiori, northeast Japan	CONTRIBUTIONS TO MINERALOGY AND PETROLOGY, vol.172, no.79, p.1-17,	2017
Y. Tajima, T. Hasenaka and T. Torii	The effects on Aso volcanic edifice by 2016 Kumamoto earthquakes	Earth, Planets and Space. (2017) 69:63. DOI 10.1186/s40623-017-0646-y.	2017
杉山芙美子・長谷中利昭・安田敦・	阿蘇３，阿蘇４間テフラに含まれる鉱物中のメルト包有物　ーカル	号外地球　国際火山噴火史情報研究-II	2017

外西奈津美・森康	デラ噴火前のマグマ供給系の推定ー	ー噴火史とその関連研究ー, vol.68, p.74-79,	
椎原航介・長谷中利昭・安田敦・外西奈津美・森康	阿蘇４火砕噴火直前に噴火した大峰火山	号外地球　国際火山噴火史情報研究-II ー噴火史とその関連研究ー, vol.68, p.80-85,	2017
川口允孝・長谷中利昭・安田敦・外西奈津美・森康	メルト包有物からみた阿蘇崋山における玄武岩質マグマの揮発性成分含有量	号外地球　国際火山噴火史情報研究-II ー噴火史とその関連研究ー, vol.68, p.86-91,	2017
安田敦	古富士期－新富士期の鉱物組成の変化から読み解くマグマ供給系の変化	「富士山噴火事象系統樹試作のための研究集会：富士山研究の到達点と課題」, 東京大学	2018 年 3 月 28 日
鈴木由希	湯船第２スコリア噴火のマグマ供給系	「富士山噴火事象系統樹試作のための研究集会：富士山研究の到達点と課題」, 東京大学	2018 年 3 月 28 日
吉本充宏	富士山科学研究所における噴火履歴調査の概要と成果	「富士山噴火事象系統樹試作のための研究集会：富士山研究の到達点と課題」, 東京大学	2018 年 3 月 28 日
嶋野岳人	富士火山南麓 3200 年前以前の噴火履歴について	「富士山噴火事象系統樹試作のための研究集会：富士山研究の到達点と課題」, 東京大学	2018 年 3 月 28 日
石橋秀巳	噴出物から探る富士山の噴火	「富士山噴火事象系統樹試作のための研究集会：富士山研究の到達点と課題」, 東京大学	2018 年 3 月 28 日
安田敦・嶋野岳人	揮発性成分定量による活火山爆発	災害の軽減に貢献す	2018 年

	力ポテンシャル評価とマグマ溜まり深度の再決定	るための地震火山観測研究計画　火山部会,東京大学	2 月 19 日
永石良太・長谷中利昭・鳥井真之・安田敦・外西奈津美・森康	阿蘇火山草千里ヶ浜軽石の鉱物組成	国際火山噴火史情報研究集会,熊本大学	2018 年 1 月 27 日
安田敦	地震研の FE-EPMA に付加した機能の紹介	次世代火山研究プロジェクト課題 C 研究集会,北海道大学	2017 年 12 月 16 日
嶋野岳人・安田敦・井口正人	桜島火山の火山灰モニタリングにおける測色値と粒径の関係	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
辻原諒, 石橋秀巳, 外西奈津美, 安田敦	箱根火山 60ka カルデラ形成噴火の準備過程	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
諏訪由起子・石橋秀巳・外西奈津美・安田敦	伊豆半島, カワゴ平火山における噴火の準備過程： 溶岩流中の角閃石斑晶からの制約	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
井上智未・石橋秀巳・外西奈津美・安田敦	斜長石斑晶の化学的組織的特徴が示す富士火山のマグマ供給系の異方性	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
菅野拓矢・石橋秀巳・安田敦・外西奈津美	富士火山, 2500 年前の S-18 サブプリニー式噴火のプレ噴火プロセス	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
石橋秀巳・種田凌也・千葉達朗・外西奈津美・安田敦	伊豆大島 1986 年 B 火口噴火のガブロ捕獲岩にみられる粒間メルト混合	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
菅野拓矢・石橋秀巳	斑晶の元素拡散モデリングに基づく噴火準備タイムスケール研究の現状	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
石橋秀巳	減圧過程における玄武岩質マグマの粘性率変化：等温過程 vs. 断熱過程	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
馬場章・藤井敏嗣・吉本充宏・安田敦・外西奈津美	富士火山, 焼野西丸尾溶岩流に捕獲された斑れい岩岩片	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
原田智代・飯塚毅・浜田盛久・安	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	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月

田敦・吉本充弘			21-24 日
永石良太・長谷中利昭・安田敦・外西奈津美・森康	阿蘇・草千里ヶ浜火山のマグマだまりの温度圧力条件：鉱物・メルト包有物組成による推定	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
川口允孝・長谷中利昭・安田敦・外西奈津美・森康	かんらん石に捕獲された阿蘇玄武岩質マグマの揮発性成分含有量	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
安田敦・前野深・中田節也・外西奈津美・馬場聖至・武尾実・高木朗充	西之島近海の海底から採取されたガラス質の火砕物について	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
宮城磯治・星住英夫・宮縁育夫	阿蘇 4 火砕流噴火前のマグマ供給系	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
鈴木由希	噴火時のマグマプロセスを噴出物組織から探る手法	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
坂井剛善・鈴木由希	新燃岳享保噴火(1716-1717)の岩石学	日本火山学会 2017 年秋季大会,熊本大学	2017 年 9 月 21-24 日
I. Miyagi	An improved surface plate to obtain flat polished sections for NanoSIMS and EPMA	The 7th International NanoSIMS user meeting , NanoSIMS & correlative microscopy: exploring physical and biochemical boundaries,ドイツ・ライプツィヒ″	2017 年 8 月 22 日
T. Shimano, M. Iguchi, S. Nakada, Y. Suzuki, F. Maeno, M. Yoshimoto, A. Zaennudin, N. Hokanishi and A. Yasuda	Detection of transition in eruption style by spectrophotometric colorimetry of time-series ash samples during long-lasting eruptions	IAVCEI 2017 scientific assembly,Portland (USA)	2017 年 8 月 14-18 日
M. Kawaguchi, T.	High-sulfur basalt hosted in	IAVCEI 2017	2017 年

Hasenaka, Y .Mori, N. Hokanishi and A. Yasuda	olivine as an indicator of magma supply beneath Aso, central Kyushu, Japan	scientific assembly,Portland (USA)	8 月 14-18 日
F. Maeno, S. Nakano, M. Yoshimoto, T. Ohminato, A. Watanabe, A. Yasuda, T. Kaneko, S. Nakada and M. Takeo	Emplacement of lava flows in the sea and creation of a new volcanic island at Nishinoshima, Ogasawara, Japan, revealed from first landing and survey	IAVCEI 2017 scientific assembly,Portland (USA)	2017 年 8 月 14-18 日
Y.Suzuki	Magma plumbing system of Fuji volcano inferred from product of latest summit eruption (Yufune-2 scoria)	IAVCEI 2017 scientific assembly,Portland (USA)	2017 年 8 月 14-18 日
T. Hasenaka, K. Shiihara, Y. Mori, N. Hokanishi and A. Yasuda	Petrological constraints on the precursory event of Aso-4 caldera-forming eruption	IAVCEI 2017 scientific assembly,Portland (USA)	2017 年 8 月 14-18 日
I. Miyagi	An improved surface plate for hand polishing to obtain flat polished sections for micro-chemical analysis	Goldschmidt2017,フランス，パリ	2017 年 8 月 16 日
石橋秀巳・ 種田凌也・千葉達朗・外西奈津美・安田敦	伊豆大島 1986 年噴火の安山岩質メルトを含む斑レイ岩ゼノリス	日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会,幕張メッセ	2017 年 5 月 20-24 日
石橋秀巳・ 天野大和	減圧結晶作用に伴う玄武岩質メルトの粘性率変化：富士山宝永噴火玄武岩質マグマの例	日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会,幕張メッセ	2017 年 5 月 20-24 日
鈴木由希	最新の山頂噴火産物（湯船第二スコリア）から見た，富士火山のマグマ供給系	日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会,幕張メッセ	2017 年 5 月 20-24 日
坂内野乃・中村美千彦・安田敦・奥村聡・下司信夫	Estimation of the re-equilibrium depths of the Sakurajima vulcanian eruption magma from 2010 to 2015,	日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会,幕張メッセ	2017 年 5 月 20-24 日
永石良太・長谷中	阿蘇・草千里ヶ浜軽石の鉱物・メ	日本地球惑星科学連	2017 年

利昭・安田敦・外西奈津美・森康	ルトの化学組成 - Aso-4 との比較 -	合大会 2017 年大会,幕張メッセ	5 月 20-24 日
川口允孝・長谷中利昭・安田敦・外西奈津美・森康	阿蘇における浅部マグマ溜りへの高硫黄濃度玄武岩質マグマの注入	日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会,幕張メッセ	2017 年 5 月 20-24 日
椎原航介・長谷中利昭・安田敦・外西奈津美・森康	阿蘇-4 火砕噴火直前に噴火した大峰火山メルト包有物組成からみるマグマ供給系の変遷	日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会,幕張メッセ	2017 年 5 月 20-24 日
C. Harada, T. Iizuka, M. Hamada, M. Yoshimoto and A. Yasuda	Constraints on the chemical evolution of magma at Fuji volcano from plagioclase phenocrysts	日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会,幕張メッセ	2017 年 5 月 20-24 日
前野深・中野俊・吉本充宏・大湊隆雄・渡邉篤志・安田敦・金子隆之・中田節也・武尾実	上陸調査で明らかとなった新たな西之島の地質および噴火プロセス	日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会,幕張メッセ	2017 年 5 月 20-24 日

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 30 年度業務計画案

(a) 分析・解析プラットホームの構築

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。また、これに対応した分析手順を確立する。加えて、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付加する。さらに、前年度に引き続き、定量分析値から温度や圧力等を熱力学的に算出する自動計算機能を強化する（東京大学）。

MELTS 計算結果等の膨大なデータの保管方法を改良し、実測データに類似した組成を、計算結果から検索できるようにする。また、MELTS 計算方法の改良を行う（産業技術総合研究所）。

(b) データの保存と利用環境の整備

分析・解析データの再利用しやすい保存形式を参加機関全体で検討する。また、分析・解析プラットホームの自動機能にその形式のデータ変換機能を組み込む（東京大学）。

(c) 火山噴出物の解析

前年度に引き続き主としてマグマ溜まりの状態（温度・圧力環境、組成）について調べる。それらが明らかな噴火については、さらにマグマの上昇速度についての検討を加える。

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

前年度に引き榛名火山溶岩ドーム群の試料分析・解析を行う。平成 29 年度に明らかにしたこれらの珪長質マグマの相違に、斑晶組成データ加えてさらに検討することで、マグマ貯蔵条件の違いを含む、相違の実態を明らかにする。また、榛名火山渋川噴火、榛名カルデラ噴火について噴出物を網羅的に採取し、それらのバルク組成を調べ、噴火を代表するようなサンプルを選別に着手する（早稲田大学）。

3) 富士山

新富士の代表的なテフラ試料について、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）。

はんれい岩試料の分析を行い、マグマの滞留する深度やマグマの分離過程を検討する（静岡大学）。

前年度に引き続き富士火山湯船噴火の試料分析・解析を行う（早稲田大学）。

富士山北東麓にてトレンチ調査を行い、試料を採取する（山梨県富士山科学研究所）。

4）伊豆東部

大室山の噴出物の試料分析・解析を行う（静岡大学）。

5）雲仙岳

雲仙平成噴火試料と歴史時代の噴火試料の比較解析を行い、マグマ溜まりの状態変化を検討する（東京大学）。

6）阿蘇山

阿蘇４噴火およびその前後の噴火について、試料分析・解析を行う。また、阿蘇地震による崩壊地の調査と試料採集を行い、マグマ活動の変化記録をより精度の高いものにする（熊本大学）。

7）霧島山

前年度に引き続き新燃享保噴火の分析・解析を行うとともに、1716 年噴火試料を分析対象に加える。これらにより 1716 年～1717 年噴火を通じたマグマ溜りでのマグマプロセスの時間変化を詳細に検討する。また、噴火に際したマグマの火道でのダイナミックスの理解に向けて、降下火砕堆積物に加え、火砕流堆積物なども必要に応じて調査・サンプリングする（早稲田大学）。

8）桜島

桜島火山の昭和・平成期のブルカノ式噴火噴出物の記載岩石学的研究により、噴火直前のマグマ過程について制約を与える。また、傾斜計などの地球物理学的記録と、噴出物の定置深度との相関を調べる（東北大学）。

最近の噴火の試料の分析・解析を通じて、噴火の特徴を迅速に把握する手法を検討する（常葉大学）。

9）諏訪之瀬島

前年度に引き続き、諏訪之瀬島火山の試料分析・解析を行う（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

秋に課題 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。冬に開催予定の課題 C 全体集会に向けた準備を行う。

３．２　噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成

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２９年度業務目的

(2)　平成２９年度の成果
(a) 業務の要約
(b) 業務の成果
1) 火山の噴火履歴及びマグマ長期変遷に関する基礎的研究
2) 火山体トレンチ調査による噴火履歴解析および大規模噴火 DB の整備
3) ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築
4) マグマ変遷解析センターの立ち上げと分析技術開発
(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、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

(3)　平成３０年度の業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

「噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立大学法人北海道大学大学院理学研究院	教授 准教授 助教 技術職員 博士研究員 学術研究員	中川　光弘 栗谷　豪 吉村　俊平 松本　亜希子 南　裕介 石毛　康介	mnakagawa@sci.hokudai.ac.jp kuritani@sci.hokudai.ac.jp shumpyos@sci.hokudai.ac.jp a-matsu@sci.hokudai.ac.jp
国立大学法人秋田大学国際資源学部	教授	大場　司	t-ohba@gipc.akita-u.ac.jp
国立大学法人秋田大学教育文化学部	教授	林　信太郎	shayashi@gipc.akita-u.ac.jp
国立大学法人山形大学理学部	教授	伴　雅雄	ban@sci.kj.yamagata-u.ac.jp
国立大学法人茨城大学理学部	教授 准教授	藤縄　明彦 長谷川　健	akihiko.fujinawa.volcano@vc.ibaraki.ac.jp takeshi.hasegawa.paul@vc.ibaraki.ac.jp
国立大学法人東京大学地震研究所	准教授	前野　深	fmaeno@eri.u-tokyo.ac.jp
学校法人日本大学文理学部	教授 教授 助教	高橋　正樹 安井　真也 金丸　龍夫	takahashi.masaki@nihon-u.ac.jp yasui.maya@nihon-u.ac.jp kanamaru.tatsuo@nihon-u.ac.jp
国立大学法人熊本大学教育学部	准教授	宮縁　育夫	miyabuchi@gmail.com
国立研究開発法人産業技術総合研究所	副研究部門長 主幹研究員 研究グループ長 研究グループ長 研究員 研究員 研究員	伊藤　順一 山元　孝広 下司　信夫 石塚　吉浩 宝田　晋治 山崎　誠子 草野　有紀	itoh-j@aist.go.jp t-yamamoto@aist.go.jp geshi-nob@aist.go.jp y.ishizuka@aist.go.jp s-takarada@aist.go.jp yamasaki.seiko@aist.go.jp y.kusano@aist.go.jp

	主任研究員 主任研究員 主任研究員	古川　竜太 宮城　磯治 東宮　昭彦	furukawa-r@aist.go.jp miyagi.iso14000@aist.go.jp a.tomiya@aist.go.jp
国立研究開発法人防災科学技術研究所	契約研究員	長井　雅史	mnagai@bosai.go.jp
国立大学法人筑波大学大学院生命環境科学研究科	教授	荒川　洋二	yaraka@geol.tsukuba.ac.jp
国立大学法人富山大学大学院理工学教育学部	准教授	石崎　泰男	ishizaki@sci.u-toyama.ac.jp
国立大学法人山口大学大学院創成科学研究科	准教授	太田　岳洋	takohta@yamaguchi-u.ac.jp

(c) 業務の目的

課題Ｃの最終目標である「火山噴火予測技術開発」のために、本サブテーマでは、複数の火山について、特に過去の噴火活動を対象とし、以下を実施する。（１）主として地質学的および物質科学的手法により、個々の火山における長期間かつ高精度の噴火履歴を復元する。（２）その成果に基づき高精度の時間－噴出物量図を作成する。（３）噴出物の物質科学的解析を詳細に行うことで、個々の噴火のマグマの挙動、および長期にわたるマグマ変遷・進化について解明する。そして（２）時間－噴出物量図と（３）マグマ長期変遷をもとに中長期噴火予測手法の開発を行い、実際に個々の火山で中長期噴火予測を行う。また、個々の噴火についても噴火推移を詳細に明らかにし、個々の火山でできるだけ多くの事例を蓄積することで、事象分岐確率の入った噴火事象系統樹の作成を目指す。さらに、最終的には噴火事象の火山毎の特徴と、共通する事象を明らかにして、火山噴火事象のモデル化に必要なパラメータ、例えば噴出量、噴火推移（噴出率変化）、マグマ物性（組成、斑晶量、温度）などを連携する課題、特に課題 C-1 や課題 C-3 に提供する。また、社会科学などの分野も巻き込み、噴火発生確率の社会への提示方法や活用方法について、検討を行っていく。

(d) １０か年の年次実施計画

1) 平成２８年度：

全国各地にある重点火山・最重点火山について、これまでの研究成果の取りまとめと基礎的な地質調査を行い、浅間山についてはトレンチ掘削調査を、南西北海道において浅深度のボーリング掘削を実施した。また、6 火山において次年度のボーリング掘削・トレンチ掘削地点を選定した。そして、気象庁コアをベースとした全国各地の火山の噴火履歴の

解明を行った。さらに、大規模噴火データベースの構築に向けて、国内で過去約 15 万年間に発生した「大規模噴火」の噴火推移や噴出物の分布に関する情報を収集した。また、北海道大学では、防災科学技術研究所とともにボーリングコア試料の保管・管理システムの構築準備を行った。さらに、北海道大学の既存施設にフーリエ変換赤外分光光度計を導入し、「マグマ変遷解析センター」を立ち上げ、整備した。

2) 平成２９年度：

最重点火山の鬼界および浅間山での調査を本格的に開始した。まず鬼界において深深度のボーリング掘削を２ヵ年計画で行う予定で、平成３０年１月より掘削を開始した。また、浅間山では山体周辺 10 ケ所でのトレンチ掘削集中調査を実施した。また、最重点・重点火山を中心とした 4 火山（鳥海山・蔵王山・日光白根山・恵山）について、予察的にトレンチ掘削調査を実施した。その他の最重点・重点火山については、引き続き野外調査を行い、ボーリング掘削およびトレンチ掘削の調査地点を選定した。また重点火山に見落としがないかの検討を全国で実施し、次年度計画に組み込んだ。さらに、海外での噴火事例および噴火事象系統樹との比較研究として、ロシア・カムチャツカのアバチンスキー火山の地質調査を開始した。これら地質調査により得られた高精度噴火履歴に基づいて噴出物を採取し、物質科学的解析を開始する。「マグマ変遷解析センター」では、他機関の研究者・大学院生の利用受け入れを開始した（３機関９名）。また、前年度に導入したフーリエ変換赤外分光光度計に、真空顕微システムを導入して揮発性成分分析システムを完成させる。さらに複数の対象火山の地元において、啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催する。

3) 平成３０年度：

平成 30 年度は、平成 29 年度までに行った調査結果をもとに、雌阿寒岳・ニセコ・鳥海山・蔵王山・浅間山・白山・御嶽山・阿蘇山においてトレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴を詳細に明らかにする。さらに、平成 29 年度でより解析が進んだ浅間山では、東南東麓でのボーリング掘削調査も実施し、テフラの主軸においてトレンチ掘削調査では確認できないより古い堆積物について層序の確立を目指す。鬼界ではボーリング掘削を継続して 330m まで掘削する。そして、有珠山では噴火開始時期および山体崩壊発生時期特定のためにボーリング調査を実施する。その他重点火山については、引き続き地表踏査を中心とした調査を行うとともに、重点火山に見落としがないかの検討を全国で実施する。さらに、ロシア・カムチャツカのアバチンスキー火山を対象に引き続き海外での噴火事例および噴火事象系統樹の比較研究を行う。個々の火山において、噴火履歴や噴火様式の明確な試料について基礎的な物質科学的データを収集するとともに、代表的で重要な試料を選択し、「マグマ変遷解析センター」でより高度な物質科学的データを求める。得られた噴火履歴、噴火様式およびマグマの物質科学的性質とその時間変遷についてデータベース化をはかる。また、噴火系統樹の作成に用いる噴火履歴調査として、大規模噴火の活動推移に関するデータを得るために、特に国内外の VEI>5 クラスの噴火の活動推移についてデータ収集を行う。さらに、対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催する。

4) 平成３１年度：

最重点火山では研究の進捗を考慮し追加のボーリングを実施する。浅間山については噴火履歴と代表的噴火の噴火推移をとりまとめ、さらにマグマ変遷を明らかにする。阿蘇山、鳥海山についても噴火履歴と噴火様式について検討する。また重点火山に見落としがないかの検討を全国で実施する。さらに、海外での噴火事例および噴火事象系統樹との比較研究を行う。鬼界および摩周においては、それぞれの巨大噴火の推移と先行噴火の実体を明らかにし、その間のマグマ系の構造と変遷について復元する。重点火山については、引き続き地表踏査を中心とした調査を行い、必要があればトレンチ調査も実施する。個々の火山において、基礎的な物質科学的データを収集するとともに、代表的で重要な試料を選択し、「マグマ変遷解析センター」でより高度な物質科学的データを求める。得られた噴火履歴、噴火様式およびマグマの物質科学的性質とその時間変遷についてデータベース化をはかる。対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催する。

5) 平成３２年度：

最重点火山および重点火山の見直しを行う。新たに選定した最重点火山において、地表踏査に加えてトレンチ掘削およびボーリング掘削を実施して、噴火履歴および噴火推移を明らかにする。重点火山については、引き続き地表踏査を中心とした調査を行い、必要があればトレンチ掘削およびボーリング掘削も実施する。最重点火山および研究が進展した重点火山において、中長期噴火予測を行い、結果を公表する。また噴火事象系統樹の試作を行う。阿蘇山、鬼界および摩周では特にカルデラ噴火も考慮した噴火事象系統樹を作成する。また重点火山に見落としがないかの検討は引き続き全国で実施する。さらに、海外での噴火事例および噴火事象系統樹との比較研究を行う。個々の火山において、基礎的な物質科学的データを収集するとともに、代表的で重要な試料を選択し、「マグマ変遷解析センター」でより高度な物質科学的データを求める。得られた噴火履歴、噴火様式およびマグマの物質科学的性質とその時間変遷についてデータベース化をはかる。対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催する。

6) 平成３３年度：

最重点火山において、地表踏査、トレンチ掘削およびボーリング掘削を実施して、噴火履歴および噴火推移を明らかにする。重点火山については、地表踏査を中心とした調査を行い、必要があればトレンチ掘削およびボーリング掘削も実施する。阿蘇山および北海道のカルデラ火山においてトレンチおよびボーリングにより調査研究を行う。また重点火山に見落としがないかの検討は引き続き全国で実施する。さらに、海外での噴火事例および噴火事象系統樹との比較研究を行う。個々の火山において基礎的な物質科学的データを収集するとともに、代表的で重要な試料を選択し、「マグマ変遷解析センター」でより高度な物質科学的データを求める。得られた噴火履歴、噴火様式およびマグマの物質科学的性質とその時間変遷についてデータベース化をはかる。重点火山で研究が進展した火山において、中長期噴火予測を行い、結果を公表する。また噴火事象系統樹の試作を行う。対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催する。

7）平成３４年度：

最重点火山では、地表踏査、トレンチ掘削およびボーリング掘削を実施して、噴火履歴および噴火推移を明らかにする。重点火山については、地表踏査を中心とした調査を行い、必要があればトレンチ掘削およびボーリング掘削も実施する。重点火山に見落としがないかの検討は引き続き全国で実施する。さらに、海外での噴火事例および噴火事象系統樹との比較研究を行う。個々の火山において基礎的な物質科学的データを収集するとともに、代表的で重要な試料を選択し、「マグマ変遷解析センター」でより高度な物質科学的データを求める。得られた噴火履歴、噴火様式およびマグマの物質科学的性質とその時間変遷についてデータベース化をはかる。重点火山で研究が進展した火山において、中長期噴火予測を行い、結果を公表する。また噴火事象系統樹の試作を行う。試作した中長期噴火予測と噴火事象系統樹は関係機関や各火山の火山防災協議会に示し、評価を受けて改善点を探る。対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催する。

8）平成３５年度：

最終的に最重点火山および重点火山の見直しを行う。最重点火山では、地表踏査、トレンチ掘削およびボーリング掘削を実施し、噴火履歴および噴火推移を明らかにする。重点火山については、地表踏査を中心とした調査を行い、必要があればトレンチ掘削およびボーリング掘削も実施する。個々の火山において基礎的な物質科学的データを収集するとともに、代表的で重要な試料を選択し、「マグマ変遷解析センター」でより高度な物質科学的データを求める。得られた噴火履歴、噴火様式およびマグマの物質科学的性質とその時間変遷についてデータベース化をはかる。研究が進展した重点火山において、中長期噴火予測を行い、結果を公表する。また噴火事象系統樹の試作を行う。試作した中長期噴火予測と噴火事象系統樹は関係機関や各火山の火山防災協議会に示し、評価を受けて改善点を探る。対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催する。

9）平成３６年度：

最重点火山では、地表踏査に加えてトレンチ掘削およびボーリング掘削を実施し、噴火履歴および噴火推移を明らかにする。重点火山については、地表踏査を中心とした調査を行い、必要があればトレンチ掘削およびボーリング掘削も実施する。個々の火山において基礎的な物質科学的データを収集するとともに、代表的で重要な試料を選択し、「マグマ変遷解析センター」でより高度な物質科学的データを求める。得られた噴火履歴、噴火様式およびマグマの物質科学的性質とその時間変遷についてデータベース化をはかる。研究が進展した重点火山において、中長期噴火予測を行い、結果を公表する。また噴火事象系統樹の試作を行う。対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催する。

10）平成３７年度：

研究成果のとりまとめと追加調査および分析を行い、研究成果と、中長期噴火予測と噴

火事象系統樹を公表する。参加機関および協力機関の研究者により研究集会を開催し、特に個々の火山の中長期噴火予測と噴火事象系統樹について総括的な議論を行う。そして北海道、東北、関東、中部日本および九州で、中長期噴火予測および噴火事象系統樹に関する公開講演会を行う。また成果物は各火山防災協議会に提供する。

(e) 平成２９年度業務目的

この年度では中長期噴火予測および噴火事象系統樹作成のための基礎的データ収集に努める。それは個々の対象火山での噴火履歴と個々の噴火様式を高分解能で明らかにすること、そしてその地質データに基づき、マグマの長期変遷と個々の噴火での深部プロセスを明らかにすることである。まず最重点火山の鬼界および浅間山での調査を本格的に開始する。まず鬼界において深深度のボーリング掘削を２ヵ年計画で行う予定で、年度後半より掘削を開始する。また、浅間山では山体周辺 10 ケ所でのトレンチ掘削集中調査を実施し、噴火履歴の解明を目指す。また、最重点・重点火山を中心とした 4 火山（鳥海山・蔵王山・日光白根山・恵山）について、予察的にトレンチ掘削調査を実施する。その他の最重点・重点火山については、引き続き野外調査を行い、ボーリング掘削およびトレンチ掘削の調査地点を選定する。さらに、海外での噴火事例および噴火事象系統樹との比較研究として、ロシア・カムチャツカのアバチンスキー火山の地質調査を開始する。これら地質調査により得られた高精度噴火履歴に基づいて噴出物を採取し、物質科学的解析を開始する。「マグマ変遷解析センター」では、参加・協力機関の研究者・大学院生の利用受け入れを開始する。また、高度な物質科学的データを得るためにフーリエ変換赤外分光光度計に真空顕微システムを１台導入し、分析ルーチン手法の確立を行う。さらに、産業技術総合研究所では、海外の大規模噴火の活動推移に関するデータを得るために、海外における歴史噴火事例（ピナツボ山、クラカタウ、カトマイ等）データを収集する。また、課題責任機関である北海道大学は、防災科学技術研究所（協力機関）とともに、ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築準備を行う。そして、随時対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催する。

(2) 平成２９年度の成果

(a) 業務の要約

最重点火山である浅間山においてトレンチ掘削の集中調査を行い、前年度のトレンチ調査およびこれまでの地表踏査の結果をあわせて、浅間山の完新世の噴火履歴をこれまで以上に高精度で解明した。また、鬼界についてはカルデラ形成噴火に専攻する火山活動を明らかにするために、深深度のボーリング掘削調査を開始した。今年度ではほぼ予定どおり掘削が進行している。その他の重点火山・最重点火山を中心とした活火山についても、トレンチ掘削調査や基礎的な地質調査を行った。そして、9 火山において次年度のボーリング掘削・トレンチ掘削地点を選定した。また、大規模噴火データベースの構築に向けて、海外における歴史噴火事例について時系列データを収集し噴火推移パターンおよび時間推移のバリエーションの種類わけを実施した。また北海道大学では、防災科学技術研究所と

ともにボーリングコア試料の保管・管理システムの構築準備を行った。さらに、北海道大学の「マグマ変遷解析センター」ではフーリエ変換赤外分光光度計に真空顕微システムを新たに導入し、高精度揮発性成分分析システムを構築し、ルーチン分析手法の確立を行った。また同センターでは、参加・協力機関の研究者の受け入れを開始した。

(b) 業務の成果

次に今年度の業務の成果について、4 つの研究・検討項目毎に報告する。それらの項目は以下のとおりである。

1) 火山の噴火履歴及びマグマ長期変遷に関する基礎的研究（大学連合）

2) 火山体トレンチ調査による噴火履歴解析および大規模噴火 DB の整備（産業技術総合研究所）

3) ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築（防災科学技術研究所・北海道大学）

4) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発（北海道大学）

1) 火山の噴火履歴及びマグマ長期変遷に関する基礎的研究

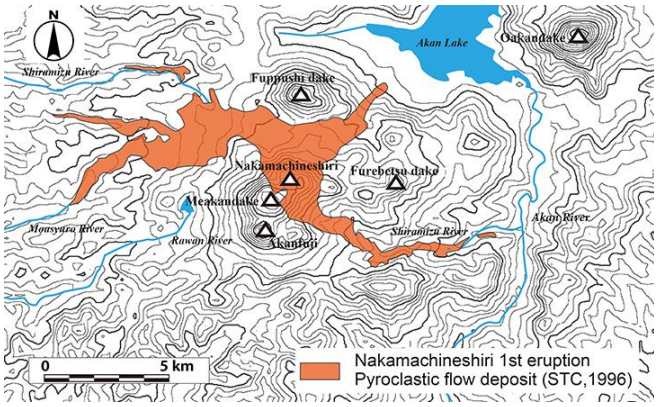
平成 29 年度は、最重点火山・重点火山を中心とした全国の活火山において、野外調査、トレンチ掘削を実施し、噴火層序を明らかにした。また、噴火履歴の解明が進んでいる火山については、物質科学的解析も開始した。さらに、次年度掘削調査対象として、９火山（ボーリング掘削：鬼界・浅間山・有珠山、トレンチ掘削：雌阿寒岳・ニセコ・鳥海山・蔵王山・浅間山・御嶽山・阿蘇山）を選定した。以下に、主な成果のあった火山について、その概要を述べる。

○雌阿寒岳：地質学的調査による噴火履歴解明（北海道大学）

雌阿寒岳は阿寒カルデラの南西壁上に形成した複成火山であり、８つの火山体から構成される。その中でも中マチネシリは、雌阿寒岳火山の中で最も爆発的な噴火を行った火山体であり、特に約14,000年前の中マチネシリ火口活動期１噴火では火砕流や降下火砕物を山麓から遠方へ広く分布させた（図１）。そこで平成２９年度は、中マチネシリ火口活動期１噴火に注目し、噴火推移およびマグマ変遷を明らかにするために、地質学的・物質科学的検討を行った。その結果、（１）中マチネシリ火口活動期１噴火堆積物は、4つのユニットに分けられること、（２）その活動は、２つの活動ステージ及び４つの噴火フェーズに分けられ、フェーズ３を除いてマグマ水蒸気噴火が支配的であったこと、（３）噴火フェーズによって火口が移動していたことが明らかになった。以下にその概要をまとめる。

中マチネシリ火口活動期１噴火堆積物は、層相、構成物変化および時間間隙より、４つのユニット（ユニット 1～4）に区分される（図１）。ユニット１は山麓及び遠方では火砕サージ堆積物及び降下火砕物、火口近傍では火砕サージ堆積物からなり、全体的に変質し、岩片が多いのが特徴である。また、火砕流堆積物中に含まれる炭化木片より、12,180±40 yrBPおよび12,330±40 yrBPの放射性炭素年代値が得られた。ユニット２は火口近傍では溶結火砕岩や火砕サージ堆積物、火砕流堆積物からなり、ユニット１のガス抜けパイプ構造

を切る(図２)。また､山麓及び遠方ではユニット１と浸食間隙を挟んで火砕サージ堆積物、火砕流堆積物及び降下火砕物からなる（図３)。これら火砕サージおよび火砕流堆積物中には溶結火砕岩主体の石質岩片濃集層が特徴的に認められる。ユニット３は軽石とスコリアからなる降下火砕物で、火口近傍では降下火砕物の間に火砕サージを挟む（図４)。ユニット４は火口近傍のみ認められ､火砕サージ堆積物からなり､構成物はスコリアが卓越する。中マチネシリ火口活動期１の本質物質は、軽石とスコリア、そして両者の縞状構造をもつものからなる。軽石は、単斜輝石・斜方輝石安山岩～デイサイトであり、斑晶量は11-29 vol.%である。一方、スコリアは、かんらん石含有単斜輝石斜方輝石玄武岩質安山岩～安山岩であり、軽石よりやや斑晶に乏しい（6-17 vol.%)。全岩化学組成ハーカー図をみると、MgOやK_2Oなど全体として1本の直線トレンドを描く元素もあるが、P_2O_5やSrでは苦鉄質側で発散しており、各ユニットで異なるトレンドを描く。また、ユニット２火砕流の石質岩片濃集層に含まれる溶結火砕岩は、ユニット１のスコリアと類似した組成を示す。



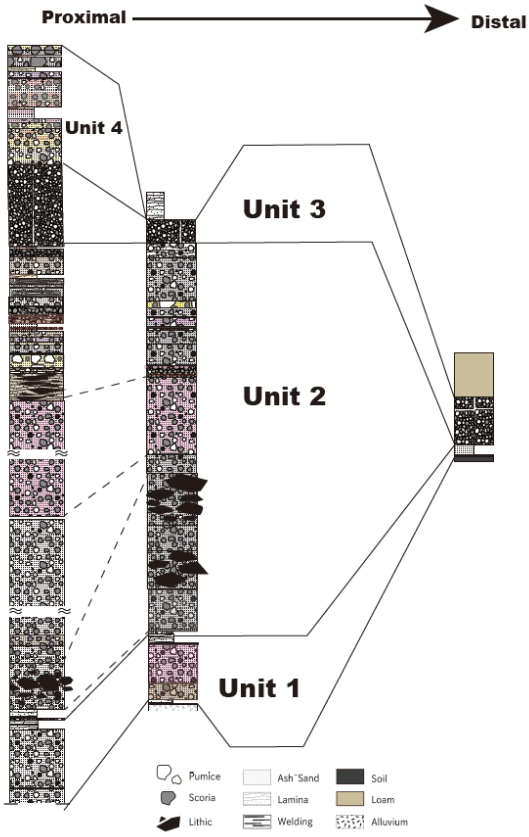


図１　約 14,000 年前の中マチネシリ火口活動期１噴火の火砕流堆積物の分布（左)（砂防地すべりセンター, 1996) と噴出物の総合柱状図（右)。

本研究では、中マチネシリ火口活動期１噴火を、特徴的な噴火様式の変化を基に４つの噴火フェーズ（フェーズ１～4）に区分した。また、一連の噴火を一つのステージとし、ユニット１と２の間の浸食間隙を境に２つのステージに区分した。そして、堆積物の分布などから、それぞれの噴火フェーズの活動中心についても考察した。

○ステージ１/フェーズ１(ユニット１):中マチネシリ火口活動期１噴火の最初期であり、マグマ水蒸気噴火で特徴づけられる。この噴火によって南東に主軸をもつ小規模な噴煙柱を形成し、ベースサージを発生したと考えられる。また、火口近傍に溶結火砕岩を堆積さ

せた。現在の中マチネシリ火口内及びその近傍に認められず、ユニット２の火砕流中の安山岩質岩片として確認される。ユニット１の火口近傍堆積物が北東部のみに認められることから、フェーズ１は中マチネシリ第１火口の北東側で発生したと考えられる。この噴火の後、遠方に噴出物を分布させるような活動は一時期休止した。その間隙の長さは、火砕サージ堆積物が堆積後に削り取られる程度の時間であるが、土壌が生じるほどの長さではない。またこの時間間隙の間には地層が侵食される事象が起こったと推定できる。

〇ステージ２/フェーズ２（ユニット２）：一時休止した後の活動であり、マグマ水蒸気噴火とマグマ噴火を繰り返した。火口近傍の堆積物は溶結火砕岩と火砕サージ堆積物及び火砕流堆積物からなる。山麓の堆積物は火砕流堆積物及び火砕サージであり、特に後半の火砕流は四方の山麓へ流下した。ユニット2に含まれる溶結火砕岩がユニット１噴出物と類似すること、ユニット２の層厚が北東～北で最も厚くなることから、フェーズ２もまた第1火口の北東側で発生した可能性が高い。

〇ステージ２/フェーズ３(ユニット３):マグマ水蒸気爆発に対してマグマ噴火が卓越し、プリニー式噴火を行った活動である。堆積物は火口近傍では降下火砕物と火砕サージ堆積物及び火砕流堆積物であり、降下火砕物は南東に主軸をもって分布した。降下火砕物の間には火砕サージ堆積物が互層する。マグマ噴火になるかマグマ水蒸気噴火になるかは、帯水層の規模とマグマ供給率によって支配されると考えられる。すなわち、山体の場所による帯水層の規模に相違がないとした場合、フェーズ３ではマグマ供給率が他のフェーズに比べて高く、噴煙中を維持できるようなマグマ噴火を断続的に続けたと考えられる。ユニット３の火口近傍堆積物の層厚及び本質物質の最大粒径が北東から南東にかけて増加することから、フェーズ３は第１火口南東部から発生したと考えられる。

〇ステージ２/フェーズ４(ユニット４):中マチネシリ火口活動期１の最後の活動であり、フェーズ３との時間間隙を示す証拠は確認されていない。マグマ水蒸気噴火によって、火口東縁に火砕サージを堆積させた。堆積物が中マチネシリ第１火口の東縁中央部に主に分布していることから、第1火口中央部のやや東側で活動したと考えられる。

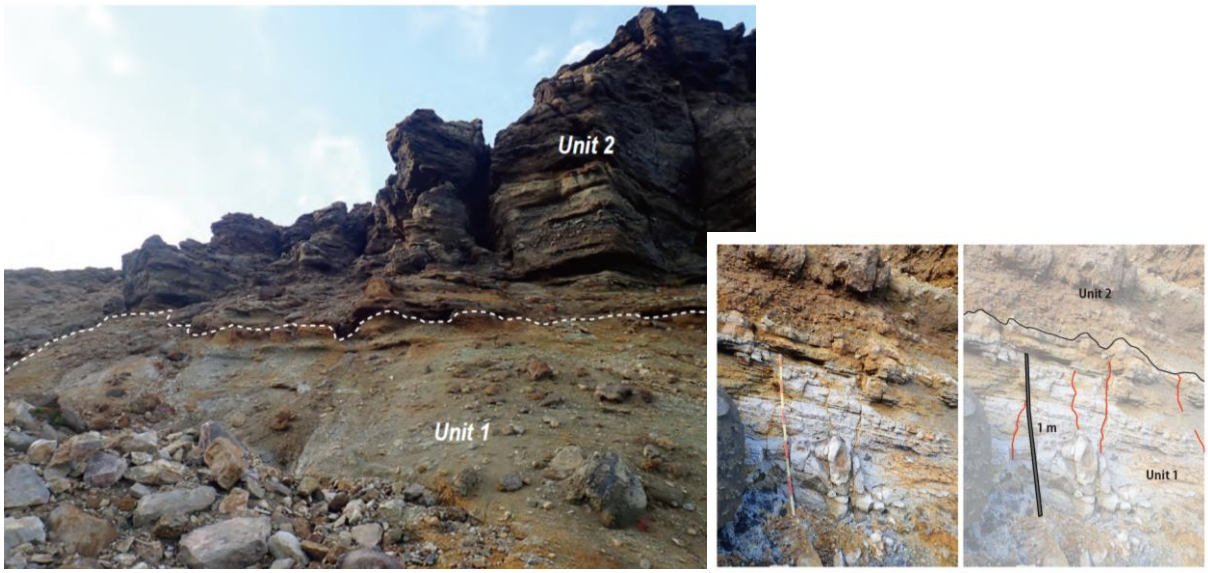


図２　火口近傍におけるユニット１・２堆積物（左）とその境界（右）。

図３　山麓におけるユニット２堆積物。

図４　火口近傍におけるユニット３堆積物。

○摩周：地表踏査による７．６千年前のカルデラ形成噴火推移の検討（茨城大学）

北海道東部に位置する摩周火山において約 7,600 年前に発生した最大規模（噴出量約 20 km^3）のカルデラ形成噴火について詳しい噴火推移を明らかにした。従来の研究によるカルデラ形成噴火の層序は、先行する降下火砕物（下位から Ma-j～Ma-g）とそれを直接覆う火砕流堆積物 Ma-f からなる。Ma-f はさらに 3 層に区分されていたが、本研究では、これらを岩相の違いにより 7 層に細分した（上位から Ma-f1～Ma-f7）（図５）。Ma-f7 および f6 は、岩相・分布の類似する２つのフローユニットであり、ともに灰色で、谷を埋めるように堆積する軽石流堆積物である。本質物質は灰色軽石や灰色と白色の縞状軽石であり、安山岩質の石質岩片に富む。Ma-f5 は層厚数十 cm 以下の白色火山灰層で、火山豆石を多く含む。Ma-f4 は白色で層厚数十 cm の火砕流堆積物であり、Ma-f7 および f6 よりも白色軽石に富む。Ma-f3 は全体に暗灰色で、白色軽石のほかにデイサイト質溶岩の角礫を大量に含む。Ma-f2 は円摩された白色軽石に富み、しばしば斜交層理を伴う火砕サージ堆積物である。

Ma-f1 は、広域に分布する褐色火山灰で軽石が点在する。Ma-f1～f3 は、ほとんど例外なくセットで認められ、これらは分布域の広さから見て Ma-f の体積の大部分を占める(図６)。

Ma-f の中でも、Ma-f3 はデイサイト質角礫を多量に含む特徴的な層相を示す。層厚は 2 m 以下で、細粒火山灰を著しく欠く礫支持の構造を持つ。下部ほど角礫が多く、上部ほど白色軽石に富む。分布は摩周カルデラ西方～南方に偏る。南は 30 km 以上、西は比高 400 m 以上の障壁を超えて 30 km 以上離れた地点でも発見できる。下位層を著しく削り込み、ブロック状に取り込む、あるいは捲り上げるような構造も見られる（図７)。また、給源から 10 km 以内の地点では、最大径 1 m 弱におよぶデイサイト質角礫が下位層に沈み込むインパクト・サグ構造を示す。サグ構造の方向と角度から、これらは摩周火山から弾道軌道を描いて着弾したと判断できる。デイサイト質角礫は、新鮮で、下位の Ma-f7、 f6 で優勢な灰色軽石と化学組成（SiO_2=68～72%、K_2O=0.58～0.75%）が類似する（図８)。これらデイサイト質角礫を定方位サンプリングし、段階熱消磁により古地磁気測定を行った結果、高温成分の磁化方位は揃わず、高温で定置した証拠は認められなかった。

上記のデータから次のような噴火推移・様式が推定できる。まず、Ma-f3 に大量に含まれるデイサイト質角礫は、Ma-f3 発生時に山頂部に存在した溶岩ドーム由来である可能性がある（Ma-f7、 f6 にはデイサイト質岩片は含まれない)。これら角礫には弾道軌道を描いて着弾したと判断できるものがあること、分布に指向性を持ち比高 400 m の障壁を超えて堆積することなどから、Ma-f3 は激しい爆発力を持つ Blast の堆積物と考えられる。また、下部と上部の構成物が密度の違いでよく振るい分けられていることや、Ma-f2 および Ma-f1 とセットで認められることなどから、Ma-f3 は流動性のある高速の流れで、Ma-f2 と Ma-f1 はその流れに伴う Ash cloud による堆積物と思われる。ただし古地磁気分析から、デイサイト質角礫は、Ma-f3 の爆発時には、十分に冷却していたと判断できる。Ma-f 直下の降下火砕物に目を向けると、下位から上位（Ma-j～Ma-g）に向かって、優勢な本質物質が白色軽石から灰色軽石（＋縞状軽石）へと変化する。続いて灰色軽石の割合は Ma-f6 で最大となり Ma-f5 以降では再び白色軽石が優勢となる。

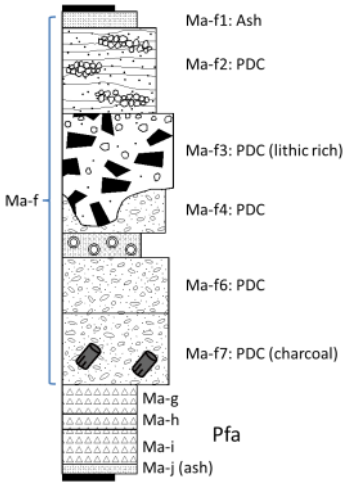
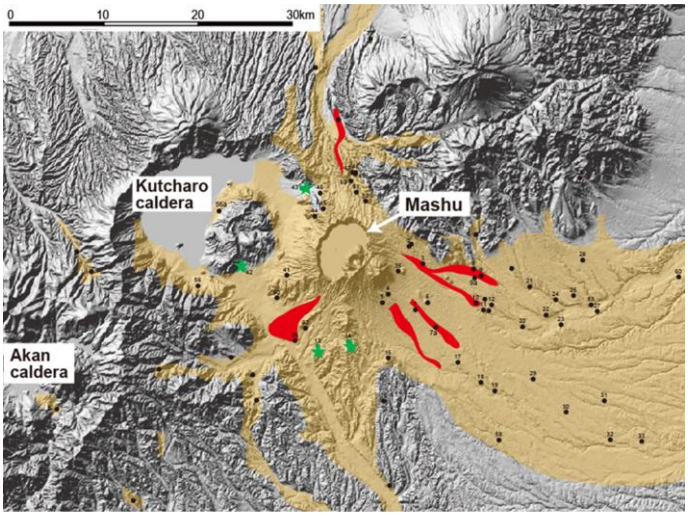


図５　摩周カルデラ形成噴火の堆積物の模式柱状図。



赤：Ma-f7&f6　オレンジ：Ma-f3&f2　★：Ma-f3 弾道岩塊の露頭

図６　露頭地点と Ma-f を構成する各層の分布図。

図７　Ma-f3 の特徴的な堆積構造が見られる露頭写真（図６の地点 43）。

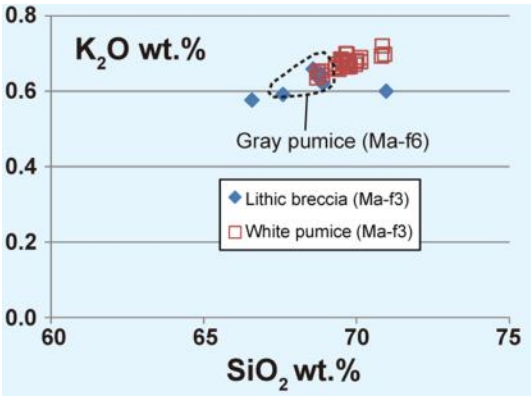


図８　Ma-f3 の軽石とデイサイト質角礫および Ma-f6 の灰色軽石の全岩化学組成。

以上のことから、摩周カルデラ形成噴火では、Ma-f6 と Ma-f5 の間に、マグマ系の変化や溶岩ドームの成長～冷却を必要とするような時間間隙があったと推定できる。つまり、摩周火山のカルデラ形成噴火は、従来考えられていたような、単純な成層マグマ溜りや単純な噴煙柱の形成～崩壊といった推移では説明できないことが明らかとなった。

なお、摩周火山の東麓で得られたボーリングコア試料を予察的に観察した結果、降下火砕物である Ma-i の上位に二次堆積物（軽石質砂礫層）があり、それを Ma-f4～f1 が覆う関係が見られた。この観察結果も、上記で記した時間間隙の存在を支持する。

○ニセコ：イワオヌプリ火山の噴火履歴の解明（北海道大学）

北海道南西部に位置するイワオヌプリ火山はニセコ火山群の中で最も新しい火山体であり、活火山（ランク C）に指定されているが、イワオヌプリ火山の形成史については研究が少なく、いまだ不明な点が多い。そこで本年度はイワオヌプリ火山の形成史を明らかにするために、地質学的検討を行った。イワオヌプリ火山は、標高 1,116mの溶岩ドームを有する火山体であり（図９）、その周辺では、比較的平坦な溶岩が南北に広がっている。その上位には、西部に長径約 1km の火口地形がみられ、隣接するニトヌプリ溶岩類を切っていることが分かる。この火口の中には小イワオヌプリ溶岩類が、その東方に大イワオヌプリ溶岩類が存在する。イワオヌプリ山頂付近および南麓には複数の火口地形がみられ、南麓では五色温泉に代表されるように熱水活動が盛んである。これまでイワオヌプリ火山の定義は様々であったが、本研究では、地形判読に加えて岩石学的特徴を考慮し、イワオヌプリ火山の定義の再検討を行った。その結果、多くの全岩化学組成ハーカー図上で、ニトヌプリ火山とイワオヌプリ下部の平坦溶岩の大部分が、上部の小イワオヌプリ・大イワオヌプリ溶岩、および一部の平坦溶岩とは異なる組成トレンドを描くことが分かった。よって、ニトヌプリと下部平坦溶岩の大部分の岩体はニトヌプリ火山噴出物、そしてニトヌプリ火山噴出物より上位の噴出物を「イワオヌプリ火山」と定義する。

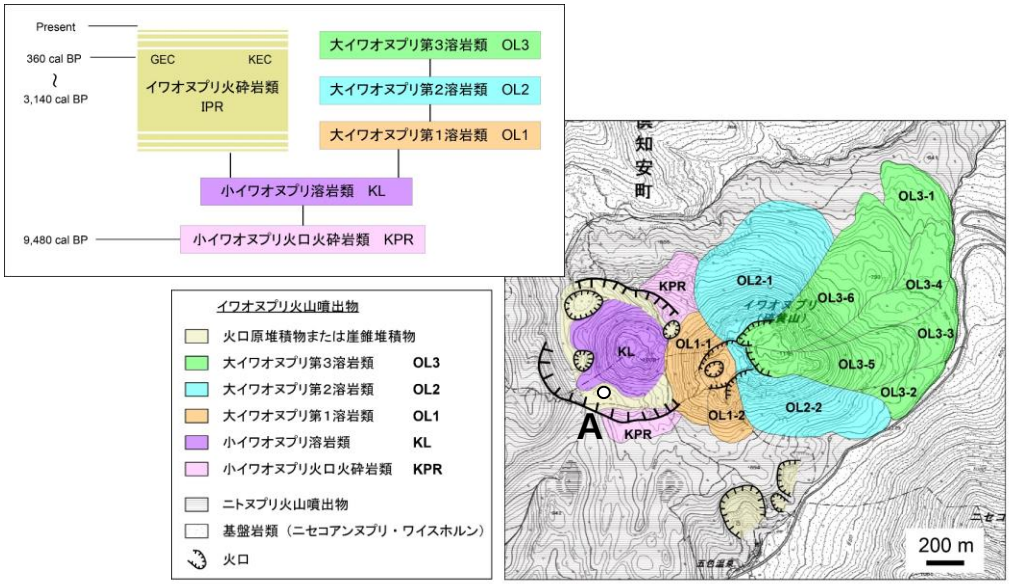


図９　イワオヌプリ火山地質図と活動ユニットのブロック図。地図中の A は後述の露頭地点を示す。

イワオヌプリ火山は、被覆関係、噴火様式、噴出中心の違いから以下の大きく 6 つのユニットに区分される（図９）。

小イワオヌプリ火口火砕岩類（KPR）：本層はイワオヌプリ火山西部に位置する小イワオヌプリ火口を給源とする火砕岩であり、北部～東部で確認することができる。奥野(2003)が記載したテフラ堆積物に相当し、東麓約２km の露頭では下位より、水蒸気噴火堆積物、降下スコリア堆積物、火砕流堆積物、降下スコリア堆積物から構成される（図１０）。明瞭な時間間隙を示す証拠はなく、一連の活動による噴出物であると考えられる。この降下スコリア層は西方にむかって層厚および構成物の粒径が増大し、小イワオヌプリ火口の近傍では、層厚～10m の堆積物が確認できる。また、最下部の水蒸気噴火堆積物は、小イワオヌプリ火口近傍において層厚約 30m の降下火砕物として確認できる。水蒸気噴火堆積物直下の土壌および火砕流中の炭化木片の放射性炭素年代値は、それぞれ 10,910 cal BP、9,480 cal BP である（松尾・中川, 2017：図１０）。

小イワオヌプリ溶岩類（KL）：本層は、基底直径約 500m、比高約 160m の溶岩ドームである。前述の小イワオヌプリ火口形成後に、その火口内に形成された。ほぼ同心円状の円錐形を示しており、一連の活動によるものであると考えられる。

大イワオヌプリ第１溶岩類（OL1）：本層は、イワオヌプリ火山中央部に位置する、基底直径約 600m、比高約 130m の溶岩ドームである。前述の小イワオヌプリ火口および小イワオヌプリ溶岩類を覆っており、これまで大イワオヌプリ溶岩類の下部に相当する。また後述する大イワオヌプリ第２溶岩類も含めて、山頂部に複数の爆裂火口が確認できる。

大イワオヌプリ第２溶岩類（OL2）：大イワオヌプリ第１溶岩類を覆うように、大イワオヌプリ第２溶岩類が存在する。本層は、大イワオヌプリ第１溶岩類より噴出中心がやや東にある溶岩ドームである。溶岩ドームのサイズは基底直径約 1.3km に及ぶと推定される。また前述したように、山頂部に複数の爆裂火口が確認できる。

大イワオヌプリ第３溶岩類（OL3）：本層は、大イワオヌプリ第２溶岩類の上位に存在する複数枚の溶岩流から構成され、東～北東麓に分布する。これらは、山頂部の火口から流出したとみられ、それら火口は前述の爆裂火口を切っている。

イワオヌプリ火砕岩類（IPR）：本層は、小イワオヌプリ火口火砕岩類の上位に位置する、小イワオヌプリ火口内、五色温泉周辺および登山道沿いで広く認められる凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩、ラピリーストーンおよび凝灰岩からなる複数の層の総称である。これらはマグマ噴火、マグマ水蒸気噴火および水蒸気噴火による、降下火砕岩および火山泥流であり、一部は小イワオヌプリ溶岩類および大イワオヌプリ溶岩類の活動と対比できるものもあると考えられるが、対比が不十分であるのでここでは一括した。その中でも五色温泉周辺の火山角礫岩は表層部を構成しており、変質岩片および粘土質火山灰からなる爆発角礫岩と判断でき、ごく最近の水蒸気噴火堆積物であると考えられる。また地点Ａでは、複数枚のマグマ水蒸気噴火～水蒸気噴火堆積物が認められる（図１１）。これら堆積物は明瞭な土壌を挟んでおり、ある一定期間の断続的な活動によって堆積したと思われる。これら堆積物の直下の土壌および泥流堆積物中の木片から、3,140～360 cal BP の放射性炭素年代値が得られている。

以上の結果から、イワオヌプリ火山の活動は、次のようにまとめられる。約 9,500 年前、西部において爆発的噴火が起き、イワオヌプリ火山の活動が始まった。初期は水蒸気爆発であったが、その後マグマ噴火に移行し、降下スコリア噴火から火砕流流出、そして再び降下スコリア噴火と、爆発的噴火を継続した。この活動で長径 1,000m 短径 700m の小イワオヌプリ火口が形成された。小イワオヌプリ火口の爆発的噴火の後、現山体の大部分を構成する溶岩類の活動がはじまった。まず、小イワオヌプリ火口内に小イワオヌプリ溶岩類ドームが形成された。その後、中央部～東部の大イワオヌプリ溶岩類の活動に移行した。大イワオヌプリ溶岩類の活動では、複数の溶岩ドームが形成され、活動の後半には溶岩流の流出も起きた。また、溶岩を流出した火口がその他の山頂部の爆裂火口を切っていることから、これらの溶岩噴出の活動と並行して水蒸気爆発が起きていたと考えられる。イワオヌプリ火山の最新の活動では、イワオヌプリ火山全域で水蒸気爆発が起きた。その結果、山体だけでなく基盤のニトヌプリ溶岩類にあたる五色温泉周辺においても複数の爆裂火口が形成され、現在も地熱活動が活発である。

引用文献

松尾良子・中川光弘（2017）北海道南西部ニセコ火山群，イワオヌプリ火山の形成史と活動年代．日本地球惑星科学連合 2017 年大会要旨集，SVC50-P13.

奥野充（2003）ニセコ・イワオヌプリ，大雪山・旭岳，屈斜路・アトサヌプリにおける最新噴火の年代学的研究.北海道における完新世火山の火山活動特性の評価.平成 12 年度～平成 14 年度科学研究費補助金研究成果報告書.

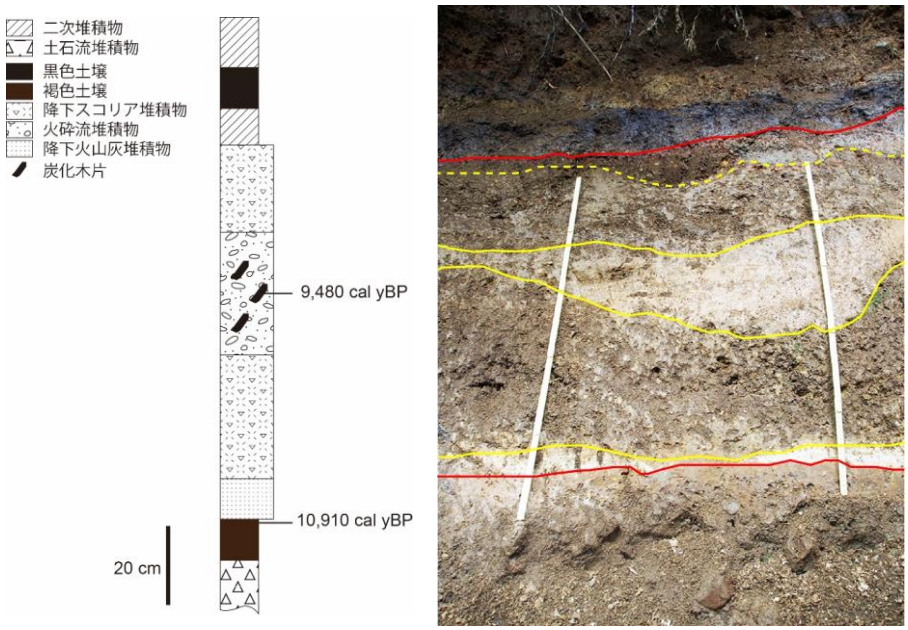


図１０　東麓約２ km における小イワオヌプリ火口火砕岩類（KPR）の露頭写真と柱状図。

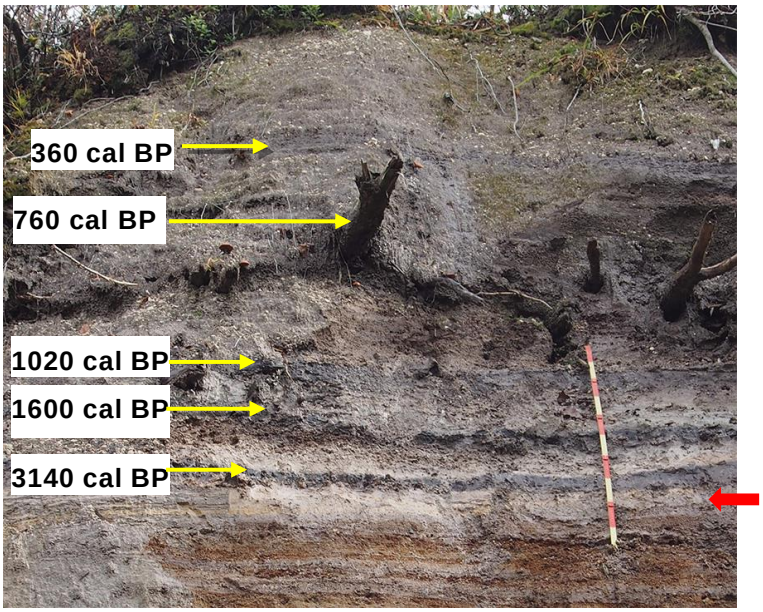


図１１　地点 A（小イワオヌプリ火口内）における最近の水蒸気爆発由来のイワオヌプリ火砕岩類（IPR)。木片が含まれる層は泥流堆積物。赤矢印の層は降下軽石堆積物。

○鳥海山：トレンチ掘削および野外調査による噴火履歴の解明（秋田大学・山形大学）

平成２９年度は、鳥海火山を対象に（１）小規模噴火を含む完新世における噴火活動史の構築、(２)鳥海火山南麓における火山泥流・土石流（ラハール）の履歴解明、および（３）

西鳥海カルデラ形成後の噴火履歴の解明のための地質調査を実施した。

（１）小規模噴火を含む完新世における噴火活動史を構築するための地質調査(秋田大学)

鳥海火山は溶岩噴出を主体とし、テフラがほとんど認められない火山であると考えられていたが、林他（２０００）や大場他（２０１２）により、多数の完新世小規模噴火テフラ層が報告された。しかしながら、いずれの報告も一地点（山体北側七合目御田湿原）での報告にとどまっているため、噴火規模や降灰分布を含む詳細な噴火活動史を構築することはできていない。御田湿原での研究結果から、鳥海山起源の火山灰は山麓に分布することがほぼ期待できない。そのため、火山灰層の分布が期待できる山体上部をくまなく探索する必要がある。そこで、本年度はトレンチ調査一か所を含め、火山体上部に分布するテフラ層の探索と記載を実施した。

既往研究の露頭を含め、8 ヶ所の露頭を見いだした。しかしながら標高 1500m 以上では急傾斜のために堆積環境が悪く、最新噴出物（1974 噴火）以外のテフラが保存されている箇所は見いだされなかった。これら 8 ヶ所について予察的な柱状図記載(図１２)を実施し、試料の採取をおこなった。鳥海山のテフラは単層厚が薄いうえに、泥炭中や黒色土壌中の黒色火山灰層は識別が難しいため、時間をかけた露頭観察が必要である。また、鳥海山南西山腹月山森の東側の湿地においてトレンチ掘削調査を実施した。その結果少なくとも 12 層のテフラを確認することができた。地表より 500mm、625mm で木片を採取し、放射性炭素年代測定を行った。その結果、両試料共に同一の年代（2500±30 yBP、 788-537 cal BC）が得られた。この年代値は多数の既往研究で報告されている象潟岩屑なだれ（東鳥海山の山体崩壊）の年代と一致する。よって、625mm 深の試料の直上に堆積する砂礫質火山灰層がこの山体崩壊と関連する噴出物と考えられる。この火山灰について実体顕微鏡および偏光顕微鏡観察をおこなった結果、安山岩質の本質物質からなる火山灰であり、ストロンボリ式～ブルカノ式噴火であった可能性がある。鳥海山の山体崩壊にはマグマ噴火が関与したものと考えられる。

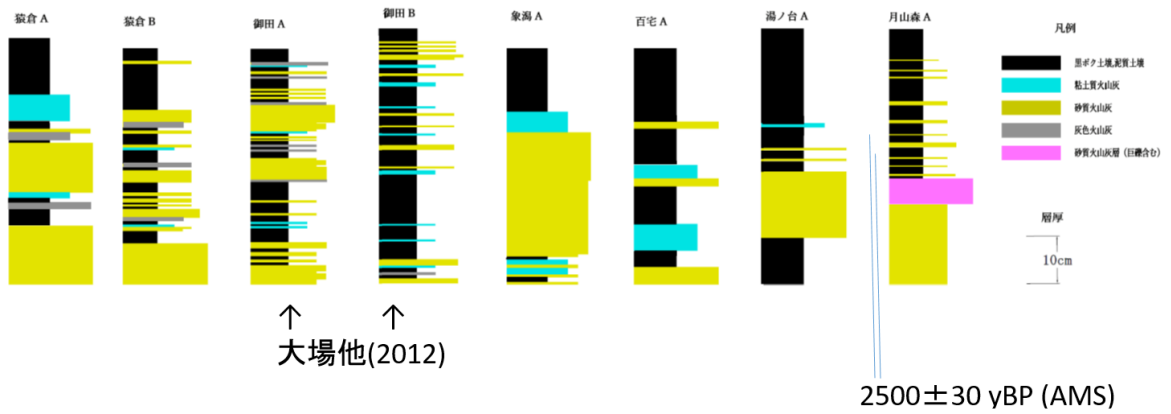


図１２　各調査地点の柱状図と年代測定結果。

（２）鳥海火山南麓における火山泥流・土石流（ラハール）の地質調査（秋田大学）

鳥海火山ではテフラが遠方まで達することが少ないが、噴火時にラハールが発生し、山

麓まで到達することがあるようである。実際に、1801 年噴火ではラハールが山麓まで到達し、にかほ市の平野に氾濫した実績がある。鳥海山北麓におけるラハール到達の実績は、すでに南ほか（2015）により報告されているが、その他の山麓については研究がおこなわれていない。そこで、火山麓扇状地が認められ、火山防災マップ上にも火山泥流の危険性が示唆されている南麓部における調査を実施した。その結果、南麓の火山麓扇状地は、主に土石流堆積物からなり、この扇状地の形成年代は 2 万年前以前であることが判明した。

（３）西鳥海カルデラ形成後の噴火履歴の解明（山形大学）

鳥海山は約６０万年前から活動を続けている活火山であり、成長と崩壊を繰り返している（図１３）。最新の崩壊は紀元前４６６年に発生し、その後に馬蹄形カルデラ（東鳥海カルデラ）内での噴火が多発している。そのひとつ前の崩壊によって西鳥海カルデラが形成された（約９万年前）と考えられており、そのカルデラを埋積した噴出物は約２万年前より古いと推定されていたが、最近の地形学的調査によって、それらの一部が完新世のものである可能性が指摘された。このため噴出物の層序や物質学的特徴を解明するために、地質調査を実施した。

西鳥海カルデラ内には、下位から、鳥の海スコリア、扇子森溶岩、中の沢溶岩、前鍋森山溶岩、鍋森山溶岩が分布する。H29 年度の調査によって、鳥の海スコリアの上には約 20cm のロームが堆積しており、その上に黒色土壌が重なっていることが明らかになった。黒色土壌の最下部の ^{14}C 年代を行ったところ、約 2,700 年前の年代値が得られた。ローム層の厚さも考えると鳥の海スコリアの形成時期は完新世の可能性は低い。中の沢溶岩は上部と下部で岩質が異なる。上部の溶岩の溶岩微地形は非常に明瞭に残されており、形成時期が完新世である可能性がある。

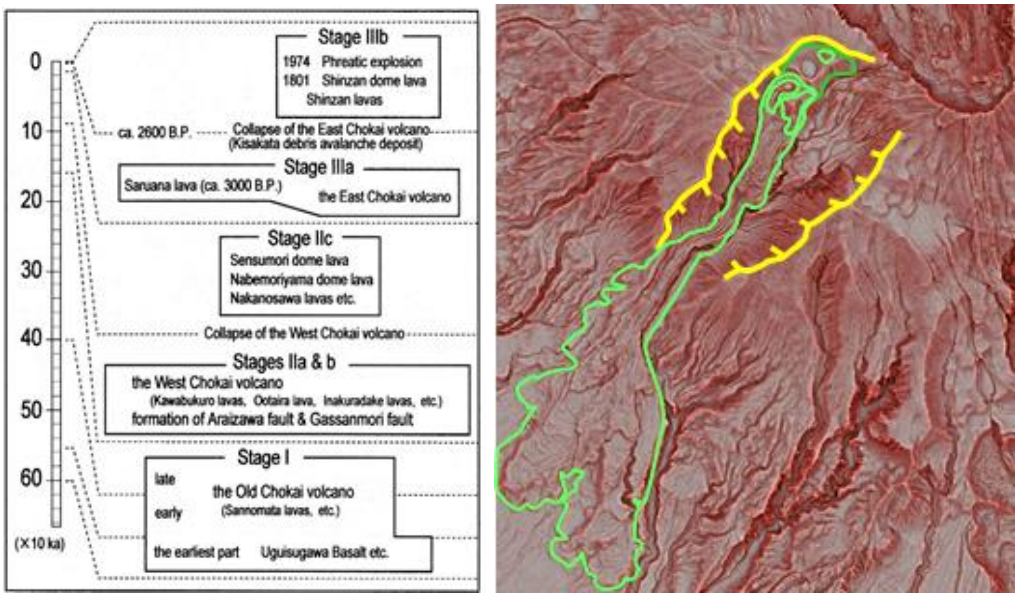


図１３　（左）鳥海山の形成史概要（伴ほか，2001）と（右）西鳥海カルデラ内噴出物の分布。

○蔵王山：トレンチ掘削および野外調査による五色岳の噴火履歴の解明（山形大学）

蔵王山最新の五色岳の活動を対象に、テフラ層序学的手法による活動フェーズの回数、時期、各々のフェーズの活動の特徴を解明、近傍噴出物とテフラ層の対比を行い、またマグマ組成の変化を検討した。以下に各項目について結果を以下に記す。

〈蔵王山約 2 千年間の活動フェーズ〉

これまでの研究成果に本年度のものも加えてテフラ層序学的に検討し、五色岳の活動を 9 つのフェーズに分けた。それらは、約 2 千年前からおよそ西暦 8 百年の間の 2 フェーズ（Za-Gs1、 2 テフラに対応)、およそ西暦 900 年から 1894～1897 噴火までの 7 フェーズ（Za-Ok1~7 テフラに対応）である。Za-Ok1~7 は御釜を噴火口とし、Za-Gs1、 2 は御釜よりもやや東に存在した火口からのものと推定される。五色岳活動期のテフラの総合柱状図を図１４に示す。

古記録と層序関係から Za-Ok7 は 1894～1897 噴火によるものと推定されている。それ以外のテフラについて、これまで行ってきたテフラ層に挟在される古土壌やテフラ層中に含まれる葉片の 14C 年代測定結果をまとめ直し､また一部新たに測定した結果を合わせると、Za-Gs1 は約 2 千年前～7 世紀、 Za-Gs2 は 9～11 世紀、Za-Ok1～4 は 13～16 世紀、Za-Ok5 は 17 世紀、Za-Ok6 は 18 世紀末～19 世紀の噴火によるものと推定した。

〈活動フェーズ（テフラ）の特徴〉

Za-Ok1～3、 5、 6 は各々の最下部に水蒸気爆発によるテフラ層が認められ、その上にマグマ噴火によるテフラ層が複数累重している。Za-Ok4 は上記の場合の最下部の水蒸気爆発によるテフラ層が明瞭に認められない。マグマ噴火によるテフラ層は、ブルカノ式～マグマ水蒸気噴火によるものが主体である。Za-Ok1～3 にはサブプリニー式によるものも含まれる。また Za-Ok4 のマグマ噴火によるテフラ層には土壌が混じっていることが多く、Za-Ok6 のマグマ噴火によるテフラ層は古土壌の中に火山砂が混じっているといった産状であり､個別の噴火の規模は Za-Ok1～5 のマグマ噴火に比べると小さかったと推定される。Za-Ok7 は水蒸気爆発によるテフラ層のみから成る。Za-Gs1、 2 共に最下部に水蒸気爆発によるテフラ層が認められ、その上にマグマ噴火によるテフラ層を主体とする層が多数累重している。特に Za-Gs1 については上位の部分は 2 次的な移動などにより層内が複雑に変形している場合が多く詳細を解析するのは難しい。マグマ噴火によるもの他に水蒸気噴火によるものと思われる薄層や、薄い古土壌層も認められる。以上の特徴は、特に今回トレンチ調査を行った結果観察された層序（図１５左）によって再認識された。トレンチ調査の様子を図１５（右）に示す。Za-Ok5～7 の水蒸気噴火噴出物が累徴している様子が馬の背中央部で発見された（図１６)。噴出部の構成物質は変質を被った物質（図１７上）が主体であるが、５～２０％の割合で、本質あるいは類質物質（図１７下）が含まれることが明らかとなった。

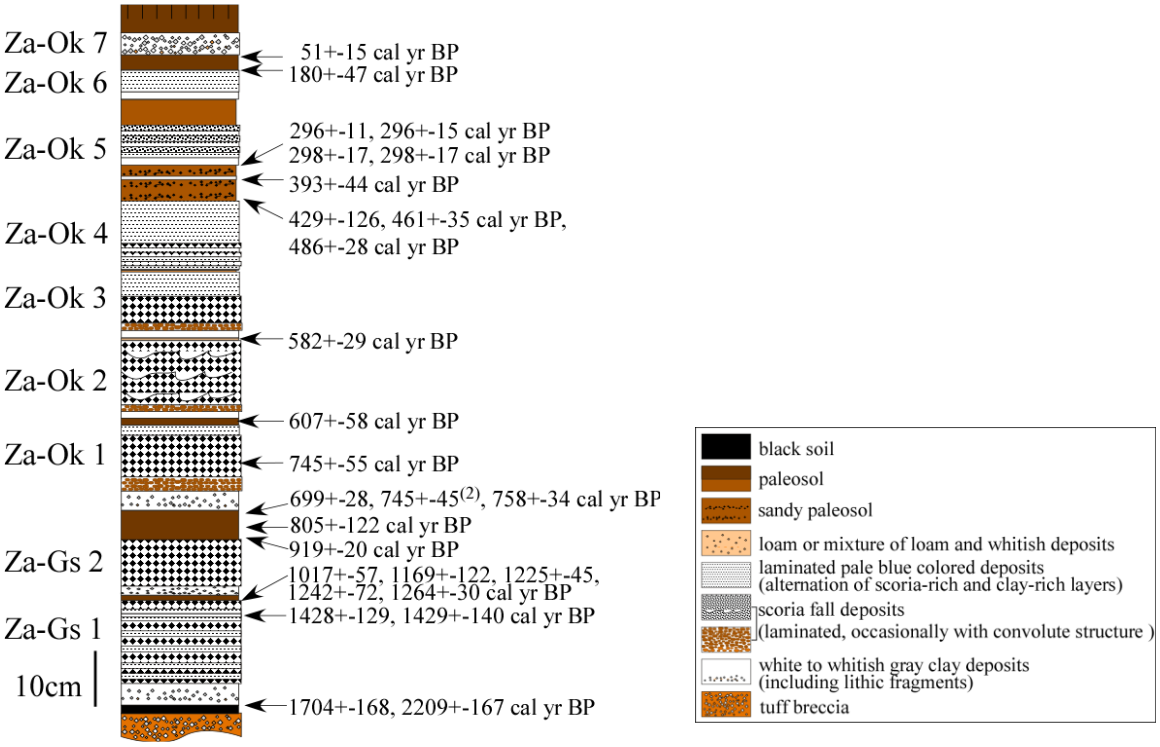


図１４　五色岳活動期のテフラの総合柱状図。

図１５　トレンチ調査による模式的層序（左）とトレンチ調査の様子（右）。

図１６　馬の背中央部で見られる Za-Ok5～7 の水蒸気噴火噴出物。

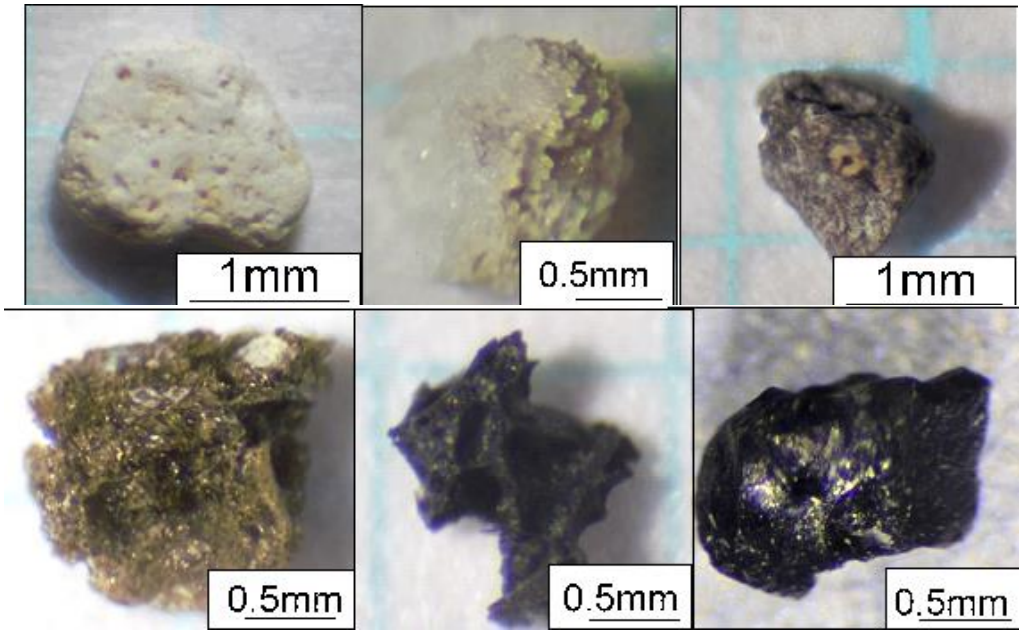


図１７　Za-Ok5～7 の水蒸気噴火噴出物に含まれる変質物質（上）と本質物質（下）。

〈近傍噴出物とテフラ層の対比〉

岩相や層序を基に、近傍噴出物とテフラ層の対比を行った。近傍噴出物は御釜を取り巻く崖に良く露出している。それらは傾斜不整合によって unit1～5 に大きく分けられる。このうち unit4 と 5 が御釜を火口とする噴出物と推定される。また、unit4 は２次堆積物、水蒸気噴火噴出物を境に unit4-1～4-5 に細分できる。unit4 と 5 について岩相や層序を基に Za-Ok1～7 との対比を行った結果、Za-Ok1 は unit4-1、Za-Ok2 は unit4-2、Za-Ok3 は unit4-3、Za-Ok4 は unit4-4、Za-Ok5 は unit4-5、Za-Ok7 と Za-Ok6 は unit5 に対比された。

〈蔵王山約 2 千年間の各フェーズの物質科学的特徴〉

五色岳形成初期を代表する Za-Gs1、御釜を火口とし水蒸気噴火からマグマ噴火に推移したフェーズを代表する Za-Ok5、水蒸気噴火のみであった Za-Ok7 について、対比される近傍相から試料を採取し、地球物質科学的分析・解析を行った。その結果、マグマ噴火によ

る噴出物については、いずれも浅部低温マグマに深部由来高温マグマが注入・噴火したものであること、浅部マグマ溜りは地下約 5～6km に存在したこと、高温マグマの注入は噴火より 20 年ほど前から断続していたことなどが明らかとなった。また水蒸気噴火噴出物については、主に熱水変質を受けた物質からなるが、本質物質も確実に存在することが明らかとなった。この場合、水蒸気噴火にマグマが直接関与した可能性がある。

○吾妻山：野外調査および物質科学的解析による最新期噴火活動の水蒸気爆発の噴火タイプとマグマ組成の関係（茨城大学）

吾妻小富士山体構成物の地質学的・岩石学的調査研究を行い、吾妻小富士形成期におけるマグマ噴火タイプの変遷とマグマ水蒸気噴火、あるいは水蒸気爆発との関係を調査し、マグマの物性変化と水蒸気爆発発生との関係を検討した。

約 5,000 年前（約 6,000 年前から 4,750 年前までの千年余りの期間）に行われた吾妻小富士の形成は、活動休止期の存在を示唆するレスの挟在や、推定噴火口の移動により、4 ステージに細分できる（図１８）。堆積物の岩相上の特徴を元に噴火タイプを推定すると、噴火タイプ（フェーズ）の変化は、第 1 及び第 4 ステージで確認できる。第 1 ステージでは、マグマ水蒸気噴火→ストロンボリ式噴火→ブルカノ式噴火へと、第 4 ステージではブルカノ式噴火→ストロンボリ式噴火→水蒸気爆発へと遷移する。なお、第 2・3 ステージはいずれもブルカノ式噴火であった。

小富士形成初期に噴出した、マグマ水蒸気噴火をもたらしたマグマ（本質物の全岩）組成は SiO_2 量が約 60wt%と、当該時期の噴出物の中では高い値を示す。また、本期に噴出したブルカノ式、ストロンボリ式噴出物では、全岩の SiO_2 量と斑晶量の間に、大まかな正の相関が認められる（図１９）。おおよそ SiO_2 量 58-59wt％、斑晶量 33-40％付近を境に、高 SiO_2（斑晶量）側にブルカノ式噴出物が点示され、平均的には 2.5-3%、ブルカノ式噴火堆積物が高い値を示す（図１９）。第 1、第 4 ステージともに噴火タイプの変化は、概ねマグマ組成がこの境界線を横切るあたりで起こったことが分かる。

第 4 ステージ後期のストロンボリ式噴火堆積物は、SiO_2 量が 58.5-59.5wt％とやや高い全岩シリカ量を示す。これとほぼ同じ全岩 SiO_2 量のブルカノ式噴火堆積物は、小富士構成噴出物内でも認められる。ただしこの場合、ブルカノ式噴火堆積物の方が系統的に斑晶に富む傾向があり、最大で 5%程度高い値を示すことが分かった。

含水量や温度をほぼ同じと仮定して、安山岩組成ではマグマ噴出時の粘性率が 10^3Pas 程度であったとし、同一ステージ内での噴火タイプの変化を生み出した粘性率の差を、Takeuchi (2011)に基づいて見積もった。その結果、SiO_2 量が平均 2.5wt%高い場合には 1 ないし 2 桁、ブルカノ式噴火時の方がマグマ粘性率が高かったことになる。また、同じ全岩 SiO_2 量で斑晶（結晶）量が 5%程度増加すると、 1～2 桁の粘性率上昇が見積もられる事も判った。

つまり、今回の結果は、同一ステージ内の噴火タイプの変化は、主にマグマ組成の変化に起因する粘性率の変化で概ね説明可能である事を示している。また、ブルカノ式噴火時

のマグマに等しい SiO_2 量を有したにもかかわらず、ストロンボリ式噴火タイプが認められた際には、噴火時のマグマに含まれた斑晶（結晶）量が有意に低かったことが、マグマの粘性を低く抑えた要因であったと考えられる。

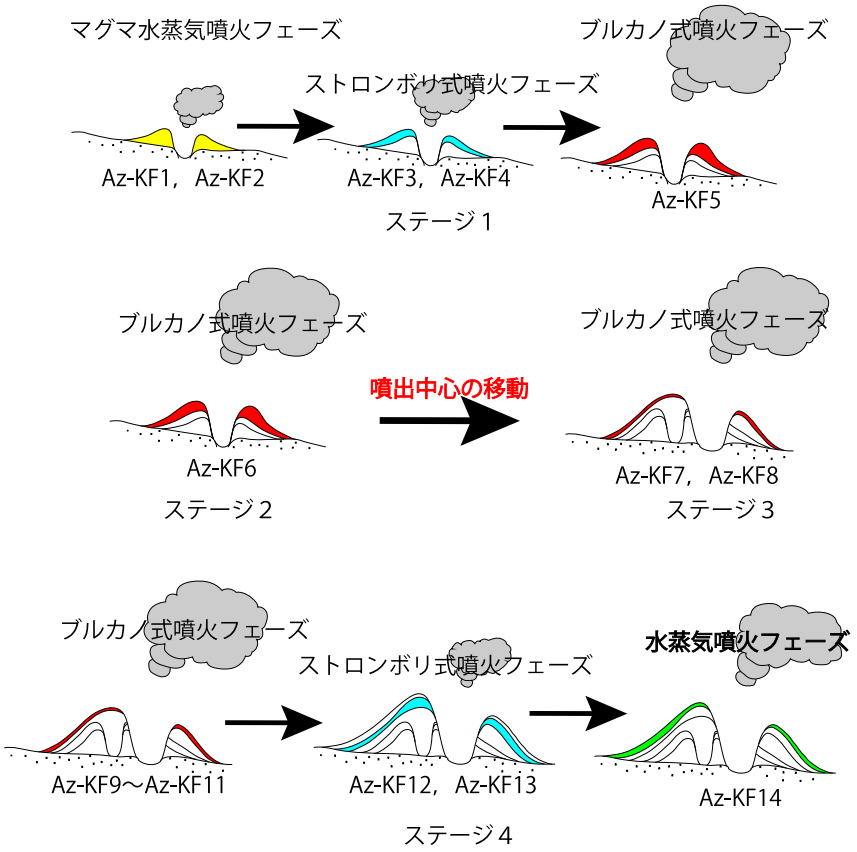


図１８　吾妻火山の最新期活動の噴火推移のイメージ図。

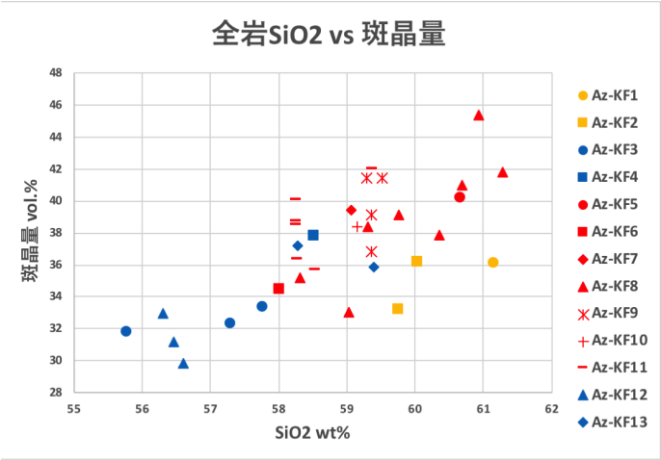


図１９　吾妻火山最新期活動の本質物質の全岩化学組成 SiO_2 量と斑晶量の関係。

○高原火山：野外調査によるカルデラ形成噴火の噴火推移の解明（茨城大学）

栃木県北部に分布する大田原火砕流堆積物(OT-pfl)と、同時期の降下火砕物とされるSo-OT は、高原火山北麓に認められる塩原カルデラ形成時に噴出したとされる。本研究では、露頭記載、本質物質の火山ガラスや鉱物の主化学組成を用いることにより、塩原カルデラ噴出物の層序の確立と、噴出年代および分布域を明確にすることを目的に地質調査および物質科学的検討を行った。その結果、OT-pfl を地質学的・岩石学的特徴から３ユニットに区分した(図２０)。ユニット間にはローム層が挟在し、顕著な時間間隙が認められる。また各ユニットは本質物質の火山ガラス組成や含まれる磁鉄鉱の化学組成が異なることが分かった。

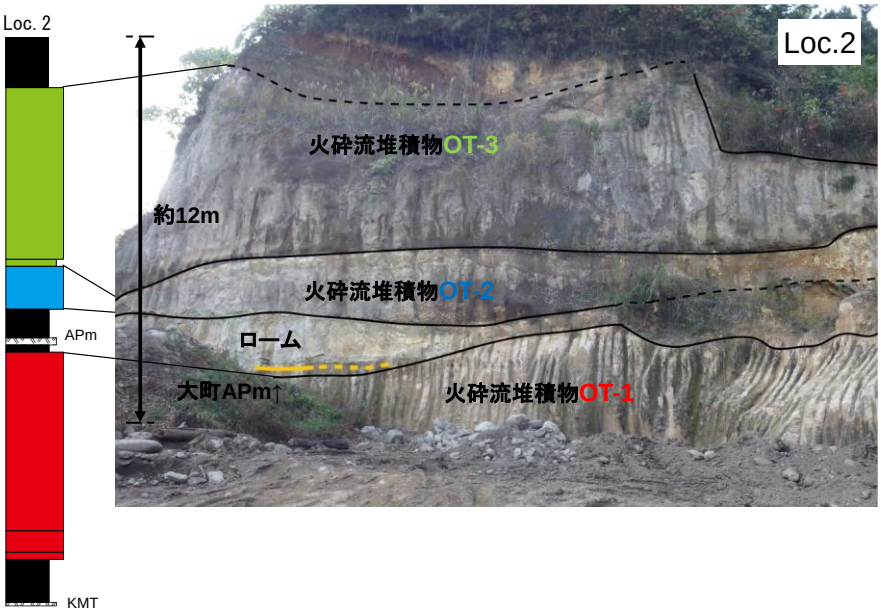


図２０　模式地の柱状図と露頭写真。

○浅間山：トレンチ集中掘削調査による浅間前掛火山の高精度噴火履歴復元（日本大学）

１．はじめに

約１万年前より現在まで活発な活動を続ける浅間前掛火山の過去の噴火活動を対象とし、主として地質学的および物質科学的手法により、長期間かつ高精度の噴火履歴を復元することを目的とする。まず高精度の噴火履歴復元を行う上での研究背景と、手法について以下に述べることとする。

最新の大規模噴火である天明噴火（1783 年）のように、地質単位として降下軽石の堆積物を残す規模の噴火では、一連の活動において多くの降下単位がもたらされる傾向がある。天明噴火の降下火砕堆積物（As-A）は、地質調査により火口の３方向に分布することがわかっている（安井・他，1997 など)。江戸時代の噴火で古記録が多く残されているため、As-A は３方向の堆積物が同じ噴火に由来することが古記録からわかる唯一の例である。ま

た個々の噴火（および噴煙）に対応する降下単位は細長い分布を示す場合が多く、噴煙が風に強く流される場合が多かったことを示している。堆積物の分布軸の火口からの方位は噴火時の上空の風向を示すが、実際の分布軸方向は様々であるため、観察地点により出現する層が変化する。つまり任意の地点の層序は噴火史の全貌を表さない。従って、高精度の噴火履歴を復元するためには、卓越風の風下のみならず、広範囲にわたる緻密な調査が必要である。ここでは平成 28 年度および 29 年度に、浅間火山の東麓の 180 度 13 ヶ所でトレンチ掘削集中調査を実施し、放射性炭素年代測定を組み合わせることで長期間かつ高精度の噴火履歴復元を試みた。

平成28年度は、噴煙由来の降下火砕堆積物が数多いと予想される方角の東南東山麓を中心に、3か所においてトレンチ掘削による予察的な地質調査を実施した。掘削法面の観察により、浅間山の過去約1 万年間の大規模噴火によってもたらされた降下火砕堆積物を多数確認することができ、6,300 年前や8,300 年前頃に起きた噴火の堆積物からは、天明噴火のように断続的な噴火を繰り返した痕跡を見出すことができた。火口に近い地域には多くの堆積物の存在が予想されるが、新しい時代の堆積物が厚く堆積しているため、従来の地表踏査のみでは、古い時代に関する情報は極めて乏しかった。平成28年度の予察的調査からは、火山体に比較的近い山麓斜面でのトレンチ調査がこの問題解決に有効であることがわかった。そこで平成29年度は、噴煙由来の降下火砕堆積物が数多いと予想される東南東以外の方向にも調査範囲を拡大して10カ所の掘削を行い、合計13カ所（図２１）の調査結果に基づいて検討を行った。

２．浅間前掛火山の活動史に関する従来の研究の概要

浅間前掛火山の総括的な火山灰層序を最初に提案したのは Aramaki（1963）である。Aramaki(1963)は浅間前掛火山東麓の降下軽石堆積物層序の調査を行い、上位から、A,A’, B, C, D-1, D-2, E, F, G の 9 層に区分した。その後、竹本・久保（1995）は層序の再検討を行い、上位より A、A’、粕川テフラ、B、C、D2、千ヶ滝軽石、御代田軽石、六合軽石、熊川軽石、藤岡軽石の 11 層を識別した。また、六合と熊川の間に広域テフラであるアカホヤ火山灰を認めている。高橋・安井（2013）では、基本的層序は竹本・久保（1995）に準拠しつつ、千ヶ滝地区の火山灰層断面における黒色土壌の厚さなどを考慮して、試作的な階段ダイヤグラムを作成した。それによれば、浅間前掛火山の降下軽石噴火には 3 回の活動期とその間の 2 回の静穏期があり、かつ C 以降の第 3 活動期になって噴出量が著しく増大したことが示された。安井（2015）は C 以降の降下軽石層の分布を単層単位で明らかにし、1 回の大規模噴火でも、風向によって単層単位での降下軽石層の分布が変化するため、少ない露頭の調査では大規模噴火の全体像を明らかにできないことを主張した。いずれにしても、これまでの研究結果では、浅間前掛火山の火山灰層序に一致がみられず、正確な火山灰層序を確立するためには、火口から東側 180 度の範囲の様々な場所で年代を含めた火山灰層序を明らかにし、さらにそれらを統合する必要があった。

３．結果および考察

3-1　代表的な地点における調査結果

調査地点（図２１）のうち、ここではトレンチ８の例を中心に調査結果を述べる。なお、分析結果の詳細や考察については、別途、学会や学術雑誌にて報告予定である。

トレンチ８：

トレンチ８は火口の東北東 9.4km に位置し、4.3 メートルの深度まで掘削を行った（図２２）。全景と柱状図を図２４に示す。全体に成層構造が顕著で、黒色土壌に多くの降下火砕堆積物が挟まれている。最下部には細粒の黄褐色火山灰が出現した。安井（2015）などの従来の研究による岩相の特徴と、層厚の変化傾向から、上方より３層までは As-A、 B’ および B に対比された。As-A は東南東の層厚が大きい地点とは産状が異なり、この地点では厚さ 5cm 前後で、水平方向にレンズ状に現れる。As-B 以深の黒色土壌に挟まる降下軽石や降下火山灰の層について PR-1~ PR-6 の名称を与え、詳細な記載と試料採取を行った。PR-1 は淘汰が悪く、軽石と火山灰から成る。PR-2~6 は淘汰のよい降下軽石の層を主とし、PR-5 は粒径の違いから少なくとも７枚の降下単位に分けられる。PR-5 の下位の黒色土壌は厚く（図２５）、中央部に軽石粒子が 3cm 幅で同じレベルに散る（PR-6）。このような産状は他地点でもしばしば認められる。 PR-6 の直上の黒色土壌からはバブルウォール型の火山ガラスが検出された（図２９左）。この火山ガラスは、平成 28 年度のトレンチ調査や安井（2015, 2017）で報告されているアカホヤ火山灰と同様の形態であるため、これに同定でき、約 7,300 年前の時間軸とみなせる。PR-1～PR-6 それぞれ直下の黒色土壌の ^{14}C 年代測定を行ったところ、較正年代で 3,900 年～7,500 年前頃の年代を示すため、PR-1～PR-6 はこの期間の噴火でもたらされたとみられる。PR-6 直下の土壌の年代と、直上のアカホヤ火山灰の層位的位置は矛盾しない。以上を総合すると、トレンチ８の断面は浅間前掛火山初期から天明噴火までの噴火の痕跡を記録しているといえる。

トレンチ４およびトレンチ 13：

トレンチ４は火口の南南東 9 km、トレンチ 13 は火口の北北東約 11.7km に位置し、地表直下に顕著な黒色土壌の層が認められる（図２６，２７）。それぞれ土壌層の基底上数 10cm のレベルからアカホヤ火山灰が検出された（図２９中央、右）。黒色土壌に挟まれる浅間前掛火山の降下火砕堆積物は、ともに数枚以内である。黒色土壌の下位には仏岩火山の堆積物が出現する。図２６には軽石流堆積物中に含まれる炭化木片が見られ、その ^{14}C 較正年代は約 1.5 万年前を示した。図２７では、法面の下半分に火山灰互層が見られた。以上をまとめると、過去 1 万年以内の黒色土壌が堆積した期間には、これらの方角には前掛火山の噴火の影響がほとんど及ばなかったとみられる。

トレンチ 12：

火口の北東 7.9km の古瀧に近い地点で、溶結した火砕流堆積物の直下を掘削し（図２８）、火砕流堆積物の噴出年代などに関する情報が得られた。

トレンチ７：

火口の東北東 5.4km の地点で、天仁噴火の追分火砕流堆積物が 5m以上堆積していることを確認した（図２３）。

トレンチ調査のまとめ：

全体を通して、東麓における浅間前掛火山の降下火砕堆積物の厚さや枚数に関する情報が多く得られた。特に東から北東麓の範囲は従来の調査が不十分であったため、今回のト

レンチ掘削調査により理解がすすんだ。最北部のトレンチ 13 と最南部のトレンチ 4 では、表層より約 1 メートルまでの黒色土壌中に挟まる前掛火山由来の降下火砕堆積物は非常に少なかった。一方、東麓のトレンチ８から南東麓のトレンチ９の範囲では降下火砕堆積物の枚数、厚さともに多く、東南東のトレンチ３では 6.5m以上掘削しても黒色土壌の基底（前掛火山と仏岩火山の堆積物の境界）が出現しなかった。以上より、過去１万年間、東南東から東方向の山麓が、噴煙の風下になる場合が最も多く、堆積量も多かったものと考えられる。

3-2　浅間前掛火山の降下火砕堆積物の分布

調査地点が増えたことにより、安井(2015)が示した As-A、B’、B、C の等層厚線図がより詳しく描けることとなった（(Yasui(2018)参照)。As-C より古い時代については、トレンチ８の事例のように多くの堆積物の存在が示されるが、観察地点が少ないため、個々の分布図の作成までは至らない。ただし、10km 以遠での地表踏査では確認される堆積物の枚数が少ないため、10km 以内にのみ地質単位を残す規模の堆積物が多いことが予察的に考察される。

3-3　噴火年代と噴火史

平成 29 年度の本プロジェクトでは、降下火砕堆積物直下の黒色土壌 24 試料について ^{14}C 年代測定を実施し、噴火年代に関する情報を得た。これまで実施してきた測定結果ともあわせて総合的に検討した結果、２で前述した、複数の活動期と静穏期から成るという前掛火山の噴火史の全貌(高橋・安井(2013)と概ね矛盾がないことが確認された。さらに従来、実態がよくわからなかった 5000 年前頃の時代は、10km 以遠には地質単位を残さない規模の噴火を繰り返していたらしい描像が見えてきた。またトレンチ 12（図２８）のように、時代のよくわかっていなかった山麓の火砕流堆積物についても、層序や年代からの制約条件が得られ始めた。

４．今後の課題

火口の東方約 180 度の広範に及ぶ多数のトレンチ掘削集中調査による高分解能での噴火史復元を試みた例は世界的にも稀で、地表踏査のみでは得られない多くの情報が得られた。地質調査の成果に基づいて高精度の時間－噴出物量図を作成する上で、時間軸に関しては高精度での復元がすすみ、浅間前掛火山の活動史の全貌がみえてきたといえる。しかしながら、噴出物量に関しては、時代の古い堆積物の体積見積りに依然として多くの課題があるため、さらに調査地点を増やすなど、今後の検討が必要である。また、地層に残らない規模の噴火活動についての検討は平成 29 年度までには行えなかった。1930 年代のようなブルカノ式噴火や灰噴火が頻発する“連続噴火期”の実態解明のため、黒色土壌中の岩片など、地質学的な記録を詳細に読み解く作業を行うことも今後の課題である。

謝　辞

浅間火山におけるトレンチ掘削調査において以下の機関や地権者の方々に大変お世話にな

りました。
林野庁・東信森林管理署、万座自然保護官事務所、佐久地方振興局、嬬恋村、長野原町、軽井沢町教育委員会、(株) プリンスホテル、石田観光農園、古瀧花木野草苑、その他個人の方々および (株) 大日建設。ここに記して深く感謝いたします。

引用文献

Aramaki, S. (1963) Geology of Asama Volcano. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo* sec.2, **14**, 229-443.

高橋正樹・安井真也(2013)浅間前掛火山プロキシマル火山地質学及び巡検案内書―浅間前掛火山黒豆河原周辺の歴史時代噴出物―. 火山,**58**,311-328.

Takahashi M, Yasui M, and Kanamaru T. (2018) High resolution stratigraphy of pyroclastic fall deposits of Asama-Maekake volcano since 10 ka based on trenching and 14C dating: 2 Eruptive history and type of pumice eruption. 2018 JpGU meeting, abstract

竹本弘幸・久保誠二 (1995) 群馬の火山灰, みやま文庫

安井真也 (2015)降下火砕堆積物からみた浅間前掛火山の大規模噴火.火山.**60**, 211-240.

安井真也(2017)浅間前掛火山 12 世紀以前の噴火履歴復元の手がかり-御代田軽石を中心とした新知見-,火山, vol. 62 p. 117-134

Yasui, M.(2018)Textures of the Eruptive Products of Asama-Maekake Volcano from the 12th Century- Indicator of Eruptive Processes.Proceedings of the institute of natural sciences, Nihon University, vol. 53, p. 37-50

安井真也・小屋口剛博・荒牧重雄 (1997) 堆積物と古記録からみた浅間火山 1783 年のプリニー式噴火. 火山, 41, 281-297.

Yasui M, Takahashi M, and Kanamaru T. (2018) High resolution stratigraphy of pyroclastic fall deposits of Asama-Maekake volcano since 10 ka based on trenching and 14C dating: 1 Result of trenching and tephra-stragtigraphy. 2018 JpGU meeting, abstract

図２１　浅間火山山麓におけるトレンチ掘削地点図（地理院地図使用）。
（平成 28 年度の掘削：地点１～３、平成 29 年度の掘削：地点４～１３）。

図２２　トレンチ８の掘削風景。

図２３　トレンチ７の掘削風景。

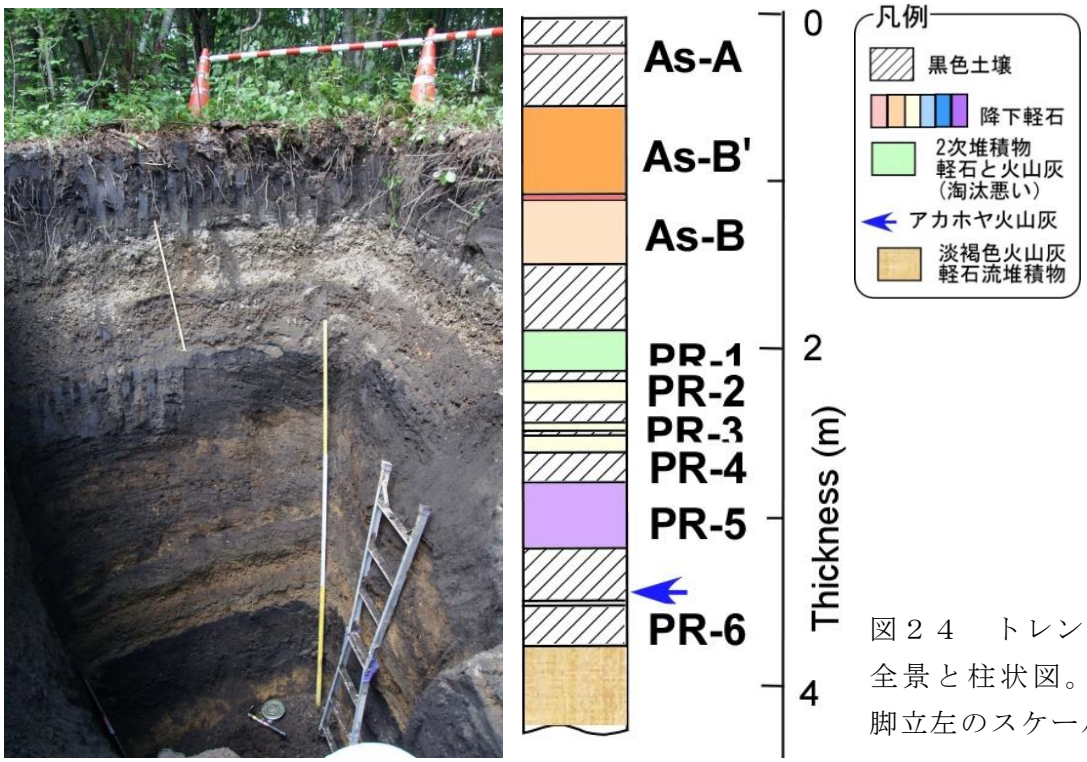


図２４　トレンチ８の全景と柱状図。写真中脚立左のスケール：3m

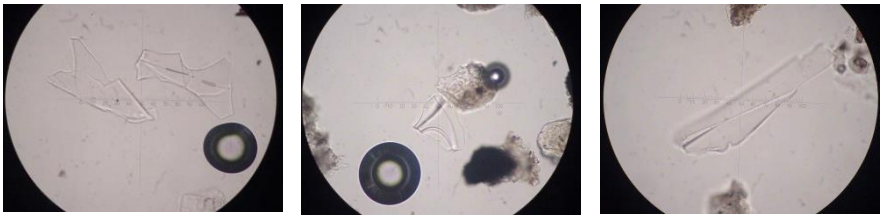
図２５　トレンチ８の PR-5 下位の厚い黒色土壌。中央のラベルの上位がアカホヤ火山灰検出層準。スケール：１ｍ

図２６　トレンチ４の全景と炭化木。スケール：3ｍ

図２７　トレンチ 13 全景。スケール：3m

図２８　トレンチ 12 古滝火砕流堆積物の下位の掘削現場。スケール：1m

図２９　黒色土壌から検出された極細粒砂サイズのバブルウォール型火山ガラスの顕微鏡写真。



左：トレンチ８　中央：トレンチ４　右：トレンチ 13　　（視野直径 1.1mm）

○白山：野外調査および物質科学的解析による白山火山群の噴火履歴の解明（富山大学）

白山火山群は、石川・岐阜県境に位置する活火山である。史料に残る本火山群の最後の噴火は 1659 年であり、表面的には 350 年以上静穏期を続けている。しかしながら、1999 年にモホ面付近で低周波地震が発生していることや、震源分布と地震トモグラフィーの解析から現在の本火山の地下にはマグマ溜りが存在すると推測されることから(平松,2006)、近い将来にこのマグマ溜りが噴火する可能性もある。

本火山群の最近の噴火履歴、特に史料が残っている歴史時代の噴火履歴については、各噴火の噴火地点や規模・様式（マグマ噴火か水蒸気噴火か）が明確になっていない、などの問題点が残されている。本火山群全体の噴出物の分布・層序にも不明な点が多く、数点報告されている K-Ar 年代値についても測定試料の層序が明確でないものが多い(東野ほか, 1984；山崎ほか, 1987；酒寄ほか, 1999；北原ほか, 2000；Hasebe et al., 2016)。地下のマグマ供給系の描像を目的とした岩石学的研究も、一部の噴出物で行われているものの（例えば、東野ほか, 1995)、白山火山群全体のマグマの進化についてはほとんどわかっていないのが実情である。

そこで富山大学では、本火山プロジェクトの期間に、以下のような計画で研究を行う。

（１）平成 30 年度中に白山火山群全体の地質層序を確立し、全ての噴出物ユニットについて岩石記載と全岩化学組成分析を行い、本火山群の形成史とマグマ進化の全容を明らかにする。

（２）平成 30 年度から、約 5000 年前の山体崩壊イベント後の噴出物について重点的に調査を開始する。具体的には、山体崩壊後に噴出した現山頂部の溶岩・火砕堆積物の形成年代、山頂部の爆裂火口群の形成時期、爆裂火口形成時に飛散した火山弾や火砕堆積物の分布・定置温度・給源火口を明らかにする。また、噴出物について岩石学的解析を行い、現在に至るまでの最近 5,000 年間のマグマ供給系進化の描像を行う。

平成２９年度は、白山火山群の地質と形成史及びマグマの長期的進化の解明を目的に、現地調査、航空写真判読、顕微鏡観察、全岩化学組成分析を行った。現在までに得られた成果を以下で報告する。なお、従来、“白山火山”は、活動期ごとに加賀室火山、古白山火山、新白山火山と区分されていたが（例えば、長岡ほか (1985))、本研究により、“白山火山”が活動場・マグマ組成を異にする、独立した 3 つの火山体から構成されることが明ら

かとなった。従って、従来の古白山火山、新白山火山はそれぞれ、“火の御子峰火山”、“白山火山”と新たに定義し，これらに加賀室火山を加えた 3 火山の集合体を総称して “白山火山群”と呼ぶことにする。

（１）白山火山群の地質と形成史

本研究により作成された白山火山群の地質図と噴出物の層序関係を示したブロックダイアグラムを図３０に示す。本火山群が直接覆う基盤は、飛騨変成岩類、手取層群、濃飛流紋岩類である。基盤の最高点が 2,500 m に達するため、本火山群は標高が高いものの、火山群の規模（噴出量）は大きくない。本火山群の活動年代は、古いものから順に、加賀室火山（0.43～0.22 Ma）、火の御子峰火山（新称：0.14～0.06 Ma）、白山火山（0.06 Ma～現在）である（活動年代は既存の K-Ar 年代値に基づく）。

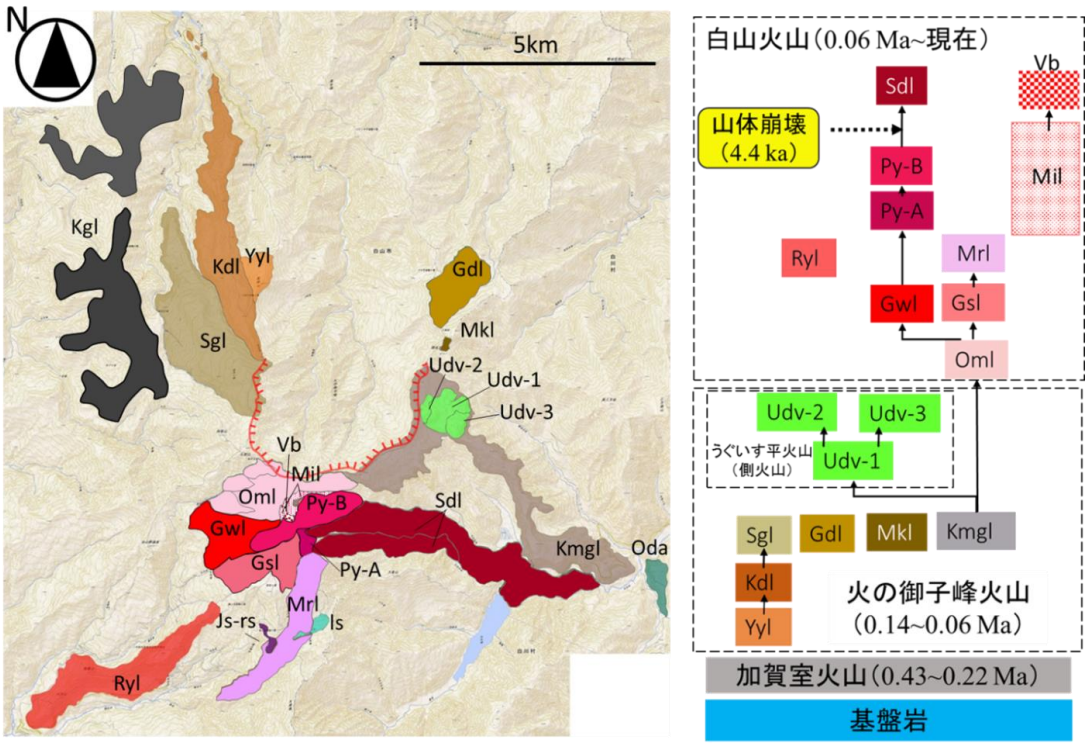


図３０　白山火山群の火山地質図（左）とブロックダイアグラム（右）。
地すべり堆積物（Js-rs/ls）、表層部火山弾層（Vb）、白水滝溶岩（Sdl）、大白川岩屑なだれ堆積物(Oda)、翠ヶ池溶岩類(Mil)、御前峰火砕岩層 B(Py-b)、御前峰火砕岩層 A(Py-a)、御前ヶ峰西部溶岩（Gwl）、御前ヶ峰南部溶岩（Gsl）、六万山溶岩（Ryl）、南竜ヶ馬場溶岩類（Mrl）、大汝峰溶岩類（Oml）、うぐいす平火山噴出物 1~3（Udv-1~3）、北弥陀ヶ原溶岩類（Kmgl）、間名古の頭溶岩（Mkl）、ゴマ平溶岩（Gdl）、清浄ヶ原溶岩（Sgl）、小桜平溶岩（Kdl）、薬師山溶岩（Yyl）、加賀室火山溶岩類（Kgl）

加賀室火山は、溶岩流と火砕岩の互層により構成され、かつては成層火山体を形成して

いたと考えられる。航空写真判読では、一部の緩斜面を除き、山体の大部分は侵食により失われていることが分かる。

火の御子峰火山は、溶岩流主体の火山体をもち、少量の火砕岩を伴う。本火山の中央部には直径約 3.5 km の侵食カルデラが形成され、噴出物の大部分が失われている。山麓や尾根には溶岩流が現存し、溶岩末端崖等の原地形も保存されている。カルデラ内には岩脈や岩頸の存在が確認されており（長岡ほか，1985)、溶岩流の流下方向も考慮すると、カルデラ内の岩頸“火の御子峰”付近に噴出中心が存在したと推測される。本火山東斜面には、溶岩流をともなう溶岩ドームもしくは火砕丘で構成されるうぐいす平火山が存在する。うぐいす平火山は、全岩化学組成の類似性から火の御子峰火山の一部（側火山）と考えられる。

白山火山は、複数の溶岩ドームと火砕丘および溶岩流から構成される。溶岩流には溶岩じわや溶岩堤防などの微地形が明瞭に保存されている。また、山頂付近は、NE-SW に互いに並行な 2 列で配列した計 12 個の爆裂火口が見られる。東麓には、約 5,000 年前（山崎ほか，1987）に発生した山頂部の崩壊に由来する岩屑なだれ堆積物も見られる。

（２）岩石学から見たマグマ供給系の進化

白山火山群の噴出物は、苦鉄質包有岩を含めると斑状の玄武岩質安山岩～デイサイト（全岩 SiO_2 量 52.8～65.0 wt.%）である。斑晶組合せは、加賀室火山噴出物が斜長石、角閃石、単斜輝石、斜方輝石、石英、不透明鉱物であり、火の御子峰火山と白山火山の噴出物にはこれらの組合せにかんらん石（Ol）が加わる。白山火山噴出物のかんらん石の量には、活動時期と対応する形で変化が見られ、初期に噴出した御前ヶ峰西部溶岩（Gwl）と山体崩壊後の噴出物は Ol 石斑晶に富み、その他の噴出物では Ol 斑晶をほとんど含まない。

全岩化学組成には火山ごとに明瞭な違いが見られ、同じ SiO_2 量で比較すると、加賀室火山や火の御子峰火山より白山火山の噴出物の方が CaO や Sr 量が高い（図３１）。このような全岩化学組成の特徴から、白山火山群では構成火山体ごとに固有のマグマ溜まりが存在し、独自にマグマ組成を変化させコントロールしていたと考えられる。また、白山火山においても、同じ SiO_2 量で比較したとき、Gwl→Gwl を除く崩壊前の噴出物→崩壊後の噴出物の順に Sr 量が増加する。このことから、白山火山では、低 Sr 量のマグマと高 Sr 量のマグマ溜りがそれぞれ山体崩壊前に活動し、崩壊後はより高 Sr 量のマグマが活動を開始しており、山体崩壊がマグマ溜まりをリセットさせる要因になった可能性が示唆される。

引用文献

北原哲郎・堀新三郎・小川義厚・前川秀和・石田孝司（2000）新白山火山の層序区分―年代測定結果による検討―日本火山学会講演予稿集，153.

Defant. M. J., Richerson. P.M., De. Boer. J.Z., Stewart. R. H., Maury. R.C., Bellon. H., Drummond. M. S., Feigenson. M. D. and Jackson. T.E.（1991）Dacite genesis via both slab melting and differentiation: petrogenesis of La Yeguada Volcanic Complex, Panama. J. Petrol., 32, 1101-1142.

平松良浩（2006）地震から探る白山火山の地下．白山自然保護センター「はくさん」，33,

2-7.
Hasebe, N., Nakano, Y., Miyamoto, H., Higashino, T., Tamura A., Arai, S.and Kim Ju-Yong.（2016）A multi - geochronological study of the Hakusan volcano, central Japan. Island Arc, 25, 111-125.
東野外志男（1995）白山火山噴出物の汚濁帯を有する斜長石斑晶と汚濁帯を有しない斜長石斑晶の化学組成の比較．石川県白山自然保護センター研究報告，22，1-10
東野外志男・長尾敬介・板谷徹丸・坂田章吉・山崎正男（1984）白山火山及び大日ヶ岳火山の K-Ar 年代．石川県白山自然保護センター研究報告，10，23-29.
長岡正利・清水智・山崎正男（1985）白山火山の地質と形成史．石川県白山自然保護センター研究報告，12，9-24.
酒寄淳司・東野外志男・梅田浩司・棚瀬充史・林信太郎（1999）古白山火山の溶岩の K-Ar 年代．石川県白山自然保護センター研究報告，26，7-11.
山崎正男・富樫茂子・守屋以智雄・清水智（1987）白山火山大白川岩屑流堆積物中の ^{14}C 年代．火山，32，123-124.

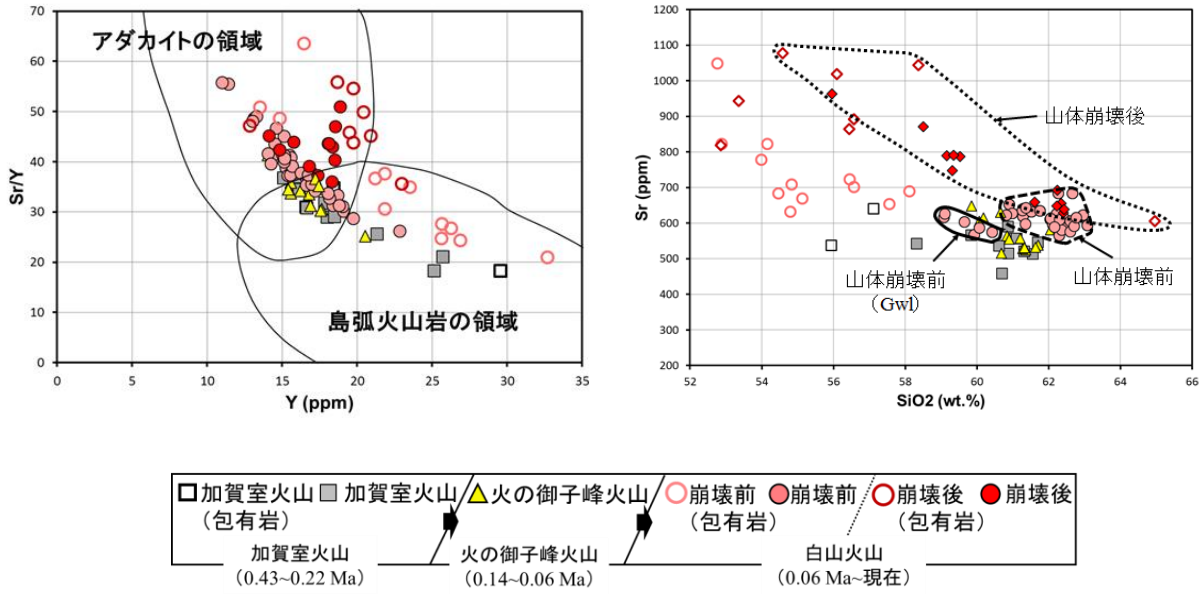


図３１　白山火山群噴出物の Y-Sr/Y 図（左）および SiO_2-Sr 図（右）。アダカイトと島弧火山岩の境界は Defant et al.（1991）による。

○阿蘇山：野外調査による蛇ノ尾火山の噴火履歴の解明（熊本大学）

１．はじめに

阿蘇火山中央火口丘群の北西部には杵島岳、往生岳、米塚、上米塚といった単成火山群

（図３２a）が分布している（渡辺，2001）。さらにその北西山麓には蛇ノ尾火山（標高 754.3 m）が存在する（小野・渡辺，1985）が、その噴出物などの詳細についてはこれまで不明であった。そこで、周辺域の現地調査によって、蛇ノ尾火山の噴出物層序や噴火年代を明らかにし、他の火山群との噴火活動の違いを検討した。

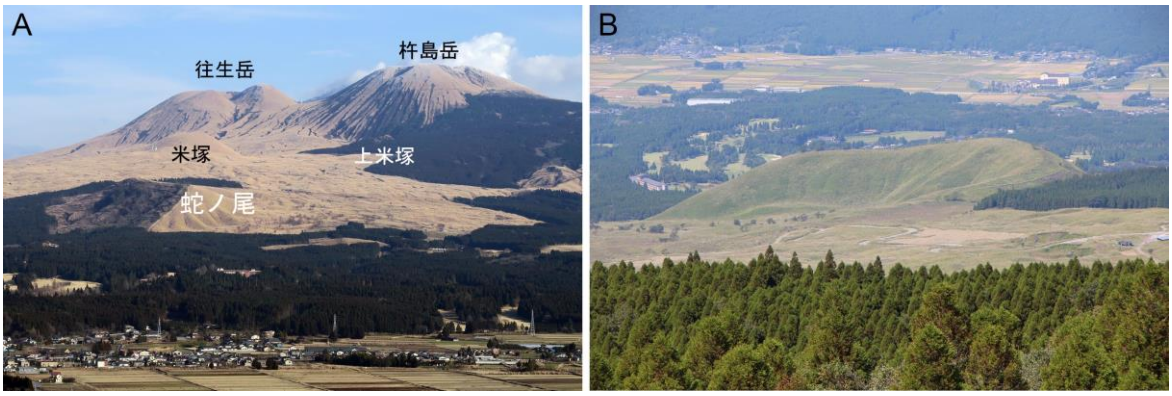


図３２　(a) 阿蘇火山中央火口丘群北西部の火山群、(b) 南側からみた蛇ノ尾火山の火砕丘。

２．蛇ノ尾火山の概要と噴出物層序

蛇ノ尾火山（小野・渡辺，1985）は阿蘇カルデラの北西部に位置し、火砕丘状の地形を呈している（図３２b）。この火砕丘は底面の大きさが 750×550 m（北西－南東および北東－南西方向）、高さ 150 m 程度で、山頂付近には直径 300～350 m、深さ 70 m 程度の火口を有しているが、火砕丘が残存しているのは北半分のみで、南側は何らかの原因で失われている（図３２b）。

蛇ノ尾火山の火砕丘はおもにスコリアによって構成されている（渡辺，2001）が、その上位には全層厚 1.3～4.7 m のテフラや土壌層が存在している。蛇ノ尾火山起源と推定される噴出物は火山灰および埋没黒ボク土層を挟んで、その上位の軽石層と下位のスコリア層の２つのユニットからなる。蛇ノ尾火山噴出物の上部にあたる軽石が純層として観察できるのは東側火口壁の地点と蛇ノ尾山頂から南南東 1 km の地点のみで、それ以外の地点では褐色シルト質～砂質火山灰層（中岳 N7 期火山灰層；宮縁・渡辺，1997）中に軽石が散在する産状を示す。東側火口壁での全層厚は 113 cm で、下部の軽石層、中部の成層した火山灰層、上部の軽石層に分けられる。軽石はデイサイト質（SiO_2=65.4～67.7 wt.%）で灰白色を呈して全体的に発泡が良く、斑晶鉱物として斜長石、単斜輝石、斜方輝石、黒雲母、不透明鉱物を含む。また、発泡の良い縞状軽石が多量に認められる（図３３a）とともに、最大粒径 47 cm に達する緻密なガラス質岩片も存在する。本軽石層は斑晶鉱物組合せや年代から、阿蘇中央火口丘第１軽石（ACP1；高田，1989）に対比される。ACP1 は、その分布から噴出源は米塚溶岩に覆われる地域と推定されていた（渡辺，2001）が、具体的な火口位置は特定されていなかった。しかし、蛇ノ尾火口付近に厚く堆積し、最大粒径もとくに大きいことが確認されたことから、ACP1 の噴出源は蛇ノ尾火山と考えられる。

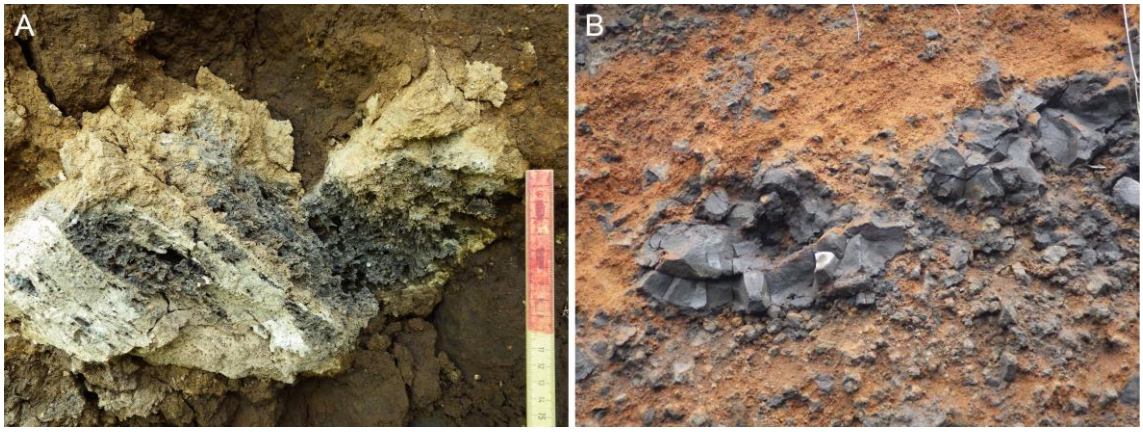


図３３　(a) 阿蘇中央火口丘第１軽石（ACP1）に含まれる縞状軽石。(b) 蛇ノ尾スコリア中の緻密な火山弾。

下部のスコリア層は火砕丘の主構成物であり、蛇ノ尾スコリア（JnS）と命名した。火砕丘北麓の地点では 3 m 以上の層厚を有しているが、火口壁内では少なくとも厚さ 30 m 程度のスコリア層として観察できる。JnS は、径 1～5 cm 程度の発泡した黒褐色～褐色の玄武岩質安山岩（SiO_2=54.7～55.5 wt.%）スコリアを主体としており、カリフラワー状の外形を有し、内部がやや緻密な火山弾も含まれる（図３３b)。スコリア中の斑晶鉱物は斜長石、単斜輝石、かんらん石、斜方輝石、不透明鉱物であり、大部分の斜長石には蜂の巣構造が認められる。また、蛇ノ尾火山西方に分布する安山岩質（SiO_2=56.8～59.5 wt.%）の赤水溶岩（小野・渡辺, 1985）は噴出源や詳細な年代が不明であったが、有色鉱物組合せ（単斜輝石>斜方輝石>かんらん石>>黒雲母）と化学組成などから、蛇ノ尾火山が給源であることが明らかとなった。

３．蛇ノ尾火山の噴火年代

これまで蛇ノ尾火山の噴火年代は、火砕丘を構成するスコリアの上位に鬼界アカホヤ火山灰が認められたという調査結果から 7.3 ka よりも古いと考えられていた(渡辺,2001)。しかしながら、テフラ層序の再検討を行った結果、その年代を見直す必要が生じた。そこで、同火山の詳細な噴火年代を明らかにするため、テフラ層間に挟在する埋没黒ボク土層を採取し、加速器質量分析（AMS）法による ^{14}C 年代測定を実施した。

ACP1 を含む火山灰層直下の土壌層から 3,800±30 年 BP という ^{14}C 年代が得られ、それを暦年較正すると 4.2～4.1 ka となる。この年代は他地点で報告されている ACP1 の噴出年代（4.1 ka; 宮縁・渡辺, 1997; Miyabuchi, 2009）とほぼ一致している。一方、JnS については下位の ^{14}C 年代が得られなかったため、噴火年代は上位の黒ボク土層が示す 4.2～4.1 ka より古いということしかいえないが、他地点とのテフラ層序の対比等から、その噴出年代は 4.9～4.3 ka 頃と推察された。しかしながら、7.3 ka 以前に蛇ノ尾火山で噴火活動の有無については今後検討する必要がある。

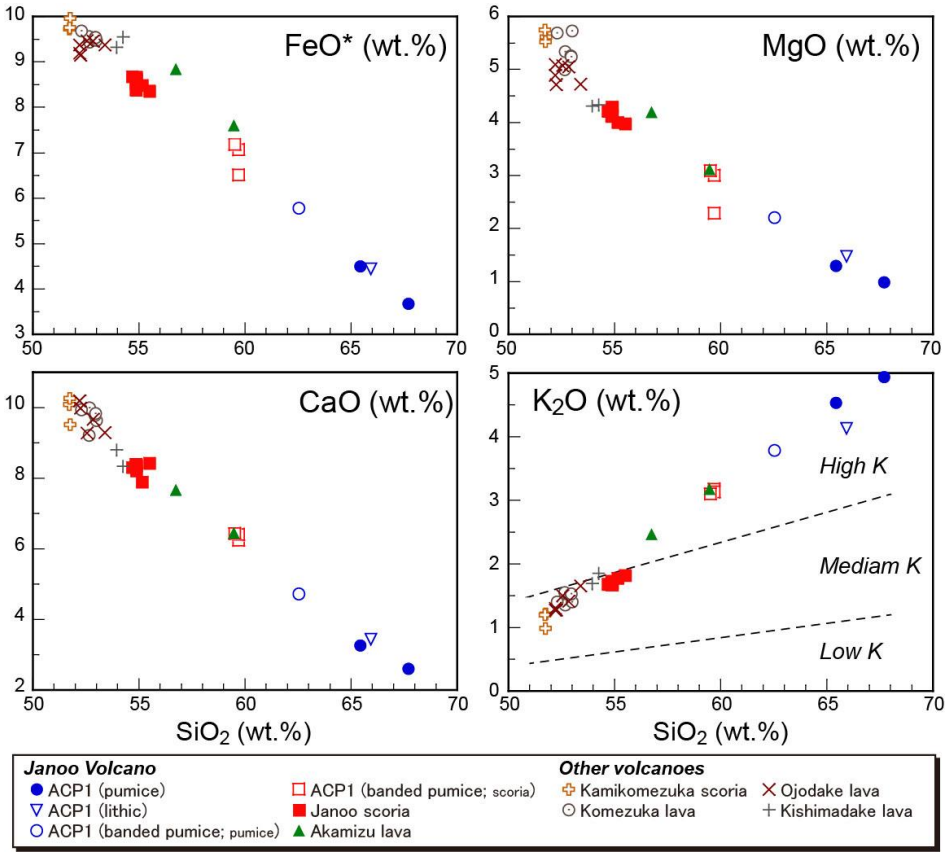


図３４　蛇ノ尾火山噴出物の全岩化学組成。

４．蛇ノ尾火山を形成した噴火と中央火口丘群北西部の完新世火山活動の特徴

蛇ノ尾火山の活動は、4.9～4.3 ka の玄武岩質安山岩マグマの噴火によって始まった。その噴火は、多量の降下スコリアを噴出するストロンボリ式噴火であったと考えられ、蛇ノ尾火砕丘が形成された。数 100 年間の休止期をおいた後期の噴火（4.2～4.1 ka）では、縞状軽石を多量に含む阿蘇中央火口丘第 1 軽石（ACP1）が噴出するとともに、赤水溶岩も流出した。その溶岩の流出によって火砕丘の南半分が破壊された可能性がある。

阿蘇中央火口丘群北西部に位置し、4～3.3 ka に活動した火山群（杵島岳・往生岳・米塚・上米塚）の噴出物は、玄武岩～玄武岩質安山岩マグマに由来するものである（三好ほか，2005；宮縁，2010）のに対し、蛇ノ尾火山噴出物は玄武岩質安山岩～デイサイトという幅広い化学組成を示す（図３４）。蛇ノ尾火山は活動の間に土壌層が形成されるような休止期（数 100 年程度）を挟むことや苦鉄質マグマだけでなく珪長質マグマも噴出していることなど、他の中央火口丘群北西部の火山群とは異なる特徴を有することがわかった。

引用文献

Miyabuchi, Y. (2009) A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan. Sedimentary Geology, 220, 169-189.

宮縁育夫（2010）阿蘇火山，米塚の噴火年代．火山，55，219-225.

宮縁育夫・渡辺一徳（1997）埋没黒ボク土層の^{14}C年代からみた完新世阿蘇火山テフラの噴

出年代．火山，42，403-408.
三好雅也・長谷中利昭・佐野貴司（2005）阿蘇カルデラ形成後に活動した多様なマグマとそれらの成因関係について．火山，50，269-283.
小野晃司・渡辺一徳（1985）阿蘇火山地質図（5万分の1）．火山地質図4，地質調査所.
高田英樹（1989）阿蘇中央火口丘群のテフラ概報．熊本地学会誌，90，8-11.
渡辺一徳（2001）阿蘇火山の生い立ち－地質が語る大地の鼓動－．一の宮町史編纂委員会編「一の宮町史 自然と文化阿蘇選書7」，一の宮町，241p.

○鬼界：深深度ボーリング掘削調査の開始、および噴火推移・時間間隙の検討（東京大学地震研究所・北海道大学）

南九州鬼界カルデラで7.3 kaに発生した超巨大噴火（アカホヤ噴火）は、完新世における地球上最大規模の噴火である。鬼界火山の活動履歴やアカホヤ噴火の推移・周囲への影響については、近年次第に理解が進んでいるが、未解決の問題も多く残されている。今年度この鬼界火山において、アカホヤ噴火および前後の噴火履歴解明を目指し、(1) ボーリング掘削と (2) 露頭に基づく地質調査を実施した。ボーリング掘削は、鬼界アカホヤ噴火に先行する前駆的流紋岩溶岩（長浜溶岩）の活動とそれ以前の活動の実態を明らかにすることを目的としている。この掘削調査は2018年1月から薩摩硫黄島で開始し、2018年5月にかけて継続予定である。一方、露頭に基づく地質調査では、鬼界アカホヤ噴火の Stage 1（プリニー式噴火）と Stage 2（クライマックス）間の時間間隙へ制約を与えることを目的とし、踏査やドローンを活用して実施した。以下に、(1)、(2) の成果概要を述べる。

（１）鬼界アカホヤ噴火に先行する活動を明らかにするためのボーリング掘削

薩摩硫黄島の西側台地の基盤を構成する長浜溶岩は、上位の鬼界アカホヤ噴火の一連の堆積物との層序関係から、鬼界アカホヤ噴火に先行する活動で生じた可能性が従来の研究により指摘されている。長浜溶岩は、海水面上に現れている部分だけでも最大層厚100 m に達する流紋岩質溶岩である。ボーリング掘削は、溶岩流の厚さが薄くなり、溶岩流直下の堆積物を掘削できる可能性が高い、島西端部の大浦港付近で実施した（図３５）。掘削地点は、海抜約60 m、海底地形を基にした溶岩の海水面下の推定層厚は約100 mである。2018年1月に開始した掘削は、3月24日時点で地表から185 mの深度に達している。地表から約11 mまでは鬼界アカホヤ噴火およびそれ以降の若いテフラからなるが、それ以深は塊状緻密で、灰色石質の流紋岩質溶岩（図３５右下）で、長浜溶岩に相当すると考えられる。ただし149 m以深では黒色ガラス質で所々スフェルライトが晶出し、破砕部主体の流紋岩溶岩となり、水冷を示唆する構造が認められることから、溶岩流の基底付近に相当すると考えられる。掘削はさらに百数十m進める予定であり、今後、溶岩流の厚さや構造の詳細な解明に加えて、下位に存在する堆積物の実態がはじめて明らかになることが期待される。また薩摩硫黄島島内には、この流紋岩溶岩の活動に伴い噴出したと考えられるテフラが存在しており、それらとの対比により噴火活動の特徴がより明確になることも期待される。

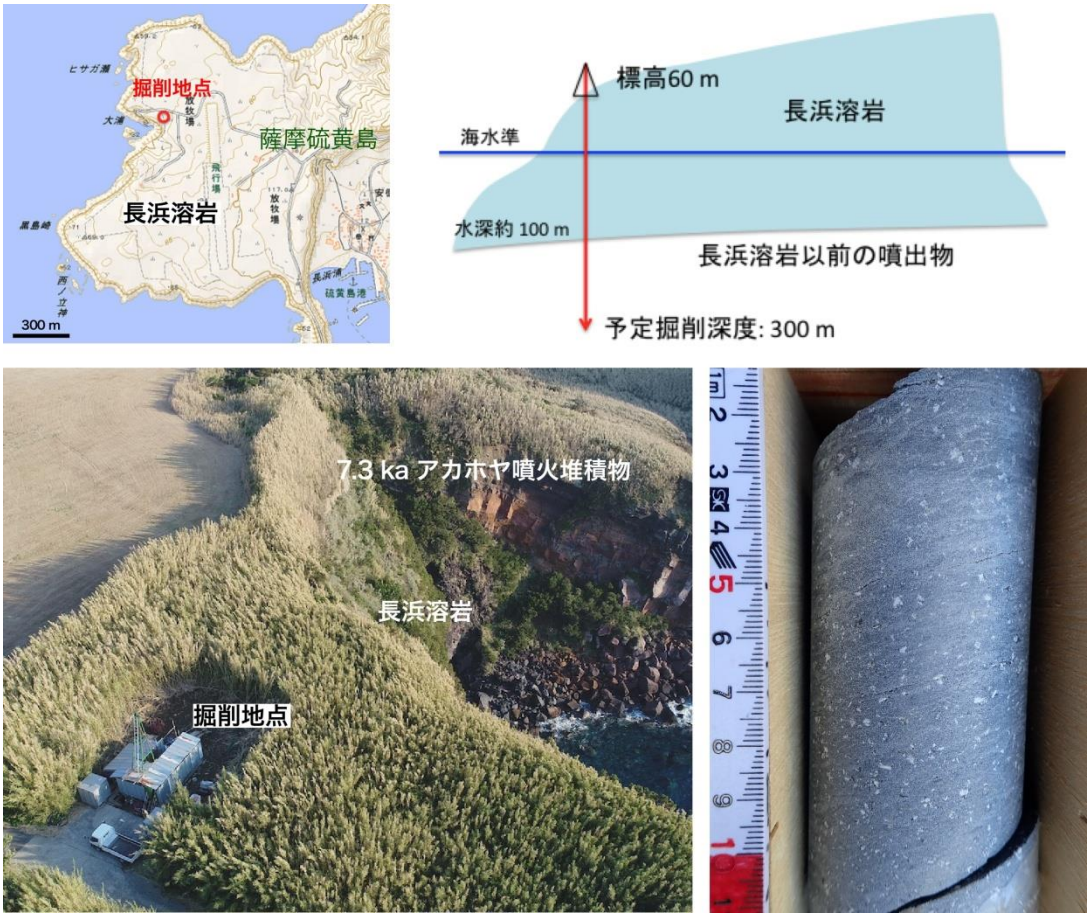


図３５　ボーリング掘削地点と長浜溶岩の模式断面図（上）。掘削地点は薩摩硫黄島西端の大浦付近で実施している（左下）。流理が発達した溶岩が採取されている（右下）。

（２）鬼界アカホヤ噴火の推移を明らかにするための地質学的研究

鬼界アカホヤ噴火の推移に関する研究では、噴火堆積物の層序や構成物の特徴を整理し、この噴火イベントの推移について考察するとともに､その中でもとくにクライマックス(カルデラ崩壊）に至るまでのイベントとその時間スケールに着目して研究を進めている。アカホヤ噴火の堆積物は大きく２ステージ４つのユニット（Unit A: 降下軽石堆積物、B: 火砕物密度流堆積物、C: 火砕物密度流堆積物、D: 降下火山灰堆積物）に区分される（Maeno and Taniguchi, 2007; 2009)。Unit A・Bは、２回のプリニー式噴煙柱形成とそれに続く噴煙柱崩壊があったことを示す（ステージ１)。Unit Bは近傍の島々にのみ認められるが、最大流走距離10 km以上、最大層厚20 m に達する比較的規模の大きな火砕物密度流の堆積物である。また斜交層理が発達し、層厚数m程度でも溶結するなど、高速・高温の流れに由来する特徴を有する。Unit C・Dはカルデラ崩壊を伴う噴火のクライマックス・ステージの堆積物に相当し、九州本土や種子島・屋久島まで拡がった大規模火砕物密度流（幸屋火砕流）とそれに伴う広域火山灰（アカホヤ火山灰）を含む（ステージ２)。近傍ではいずれのユニットも複数のサブユニットに区分でき、各ステージにおいては多段階で噴火が進行したと考えられる。

これらの層序の中で注目すべき点は、Unit B-C 間に時間間隙を示唆する地質痕跡が存在

することである。その痕跡の一例として、Unit Bの溶結ブロック（長径 >1 m）がUnit C基底部に取り込まれている構造が挙げられる（図３６右）。この構造は、ステージ１のUnit B堆積後に溶結・冷却が十分に進むだけの時間が存在し、その後ステージ２の火砕物密度流によりUnit Bの一部が脆性的に破壊・侵食され、Unit C中に取り込まれたことを示す。また地表踏査及びドローンによる詳細な調査の結果、Unit B-C間には場所によって二次的作用により形成されたと考えられるチャネル構造が認められることが明らかとなり（図３７）、噴火ステージ間にある程度の時間間隙があったことが示唆される。

実際の堆積構造・構成物データと溶結現象の理論研究（e.g., Riehle et al. 1995; Quane et al. 2009）をもとに、高温で定置した堆積物が自重により変形し、十分冷却して層厚や堆積構造（溶結度）が決まるまでの時間スケールを推定できる。噴出物データをもとにして様々な条件を仮定して計算した結果、観察される堆積物の構造や溶結度を説明するためには、堆積後数日から一週間以上の時間を要するという結果が得られた。つまり、ステージ１と２の間には少なくとも日、週のオーダーかあるいはそれ以上のギャップがあった可能性がある。多くのカルデラ形成噴火では、先行するプリニー式噴火（ステージ１）とそれに続く大規模火砕流の噴出（ステージ２）という２段階のステージを経て噴火が進行していくことが知られている（e.g., Druitt and Sparks, 1984）が、具体的にどの程度の時間スケールで現象が進行していくかについては、歴史時代に観測・目撃された例を除きほとんどわかっておらず、本研究の成果はカルデラ形成噴火の推移を理解する上での重要な制約になると考えられる。

一方、クライマックス・ステージ（Unit C）の近傍堆積物は、礫質及び軽石質堆積物の互層からなる複数のユニットに区分でき（図３６右、図３７）、最上位の軽石質層が最も厚い。このことから、単に１回の大規模火砕物密度流が発生したわけではなく、火道形成・拡大とともに段階的に火砕物密度流が発生し、最大規模のものが鹿児島本土や種子島・屋久島に到達したと考えられる。ステージ１のプリニー式噴火で始まったアカホヤ噴火は、噴煙柱崩壊後にやや静穏なステージを挟み、その後ステージ２が始まった。そして終盤に幸屋火砕流の噴出及びカルデラ崩壊に至ったと考えられる。

実際に観測されたカルデラ形成噴火（1815年タンボラ、1883年クラカタウなど）では、初期のプリニー式噴火ステージの後、クライマックスとの間に明瞭な時間間隙は存在せず、また、クライマックスはカルデラ崩壊とともに一気に進行したようである。これらの事例よりも噴火規模が大きい鬼界アカホヤ噴火でどのような噴火推移を経たのかについて、今後さらに検討する必要がある。一方、アカホヤ噴火では噴火と同時期の巨大地震や巨大津波の発生が示唆されている。地震・津波のタイミングや、それらの噴火との関係や発生メカニズムについても今後検討していく必要がある。

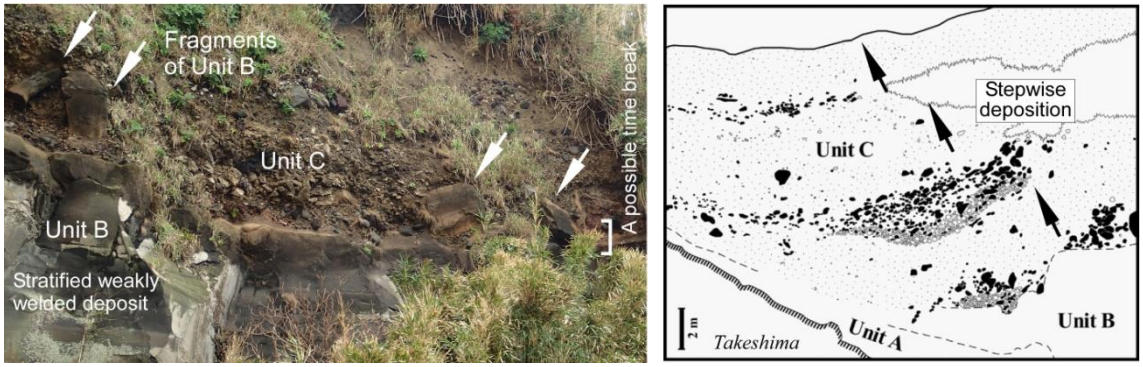


図３６　鬼界アカホヤ噴火噴出源近傍域における堆積物の状況（薩摩竹島）。弱溶結した Unit B のブロックが Unit C 基底部に取り込まれている（左、矢印）。Unit C は複数のサブ堆積ユニットに区分でき、それぞれの基底部には岩塊や軽石の濃集部が認められる（右）。

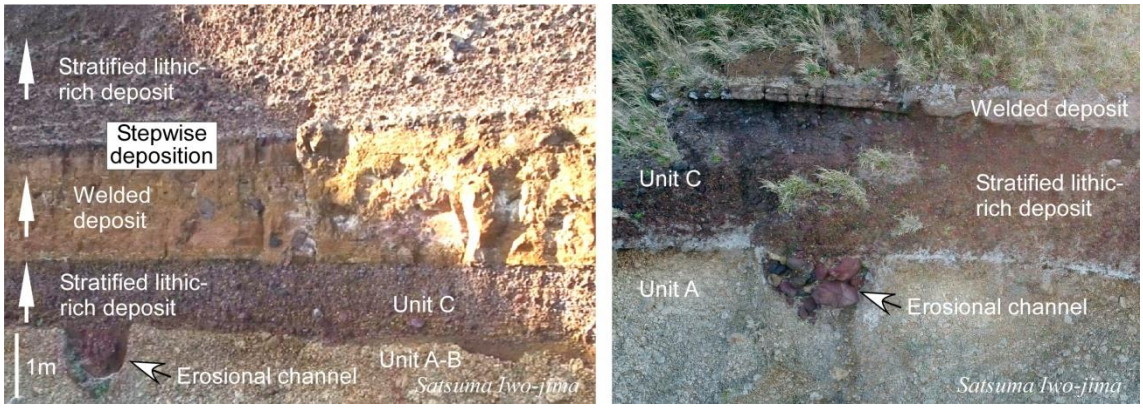


図３７　鬼界アカホヤ噴火噴出源近傍域における Unit A から C にかけての層序と堆積構造（薩摩硫黄島）。Unit C は侵食面上に堆積している。堆積構造の詳細は、ドローンによる接写により明らかになった。

○九重山：山体内部構造推定に向けた地下水の起源と水質形成に関する検討（山口大学）

１．はじめに

九重火山、特にその東部域は、開析が進んでおらず火山地形がよく保存されている。そのため、地表面に分布するような新規の噴出物を供給した新しい噴火履歴を精度良く求めることができ、地表地形とそこに堆積するテフラ層序から噴火履歴の編年が行われている（例えば、太田，1991、伊藤ほか，2014）。しかし、地表地形を構成する噴出物に覆われたより古い時代の噴出物の露出は悪く、山体を構成する噴出物の形態を把握することは困難である。一方、火山体山麓では地下水が豊富に湧出している場合が多く、九重火山においても、いくつかの地下水の湧出地点が知られている。これらの地下水は、降水が山体に涵養されて地下水となり、山体内部を流下して湧出しており、山体内を流下する際に山体構成物質との水-岩石反応により、水質が形成されると想定される。したがって、涵養される

降水の水質と湧出する地下水水質の相違から、山体内部で生じる水-岩石反応を推定し、山体内部を構成する物質の透水性や構成鉱物を推定できる可能性が考えられる。そこで、2017年度は九重火山の東部域を対象として、主に山麓に湧出する地下水について、主要イオン濃度分析、酸素水素同位体比分析、溶存無機炭素濃度と無機炭素同位体組成分析を行い、地下水水質の特徴を把握し、水-岩石反応過程を推定した。

2.九重火山東部域における湧水水質の特徴

九重火山東部域の湧水10か所、地表水3か所、ボーリング孔内水1か所について、それぞれ複数時期に採水し、水質を分析した（図３８）。湧水のうち6か所は遊離炭酸を多く含む、いわゆる炭酸泉である。分析項目は、pH、EC（電気伝導率）、水温、ORP（酸化還元電位）および主要イオン濃度（Na+、 K+、 Ca2+、 Mg2+、 $SO_4$2-、 HCO_3-、 Cl-）である。

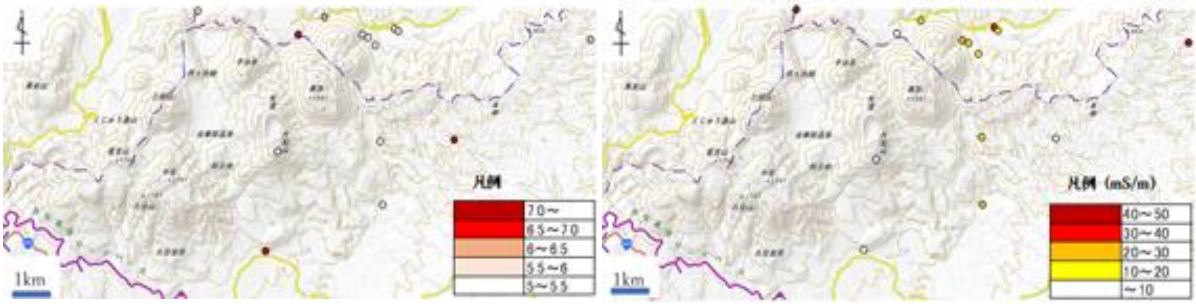


図３８　湧水等の pH （左）、EC（右）の分布。

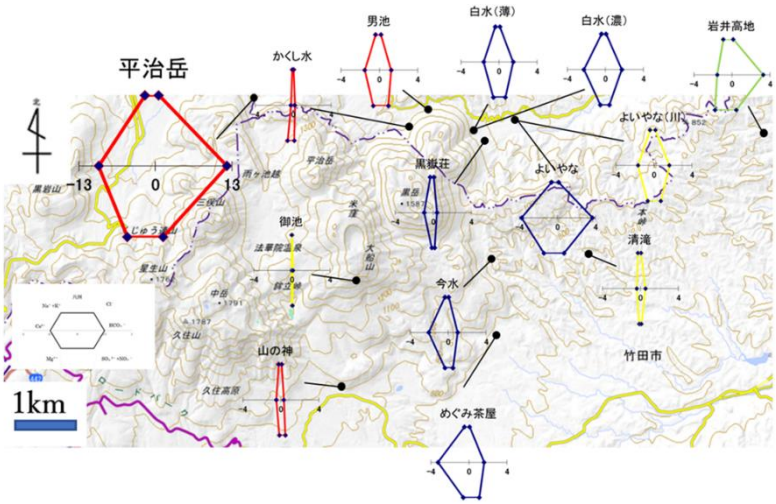


図３９　湧水等のヘキサダイアグラム（青：炭酸泉、赤：その他の湧水、黄：地表水、緑：ボーリング孔内水）。

pHについて、湧水のうち炭酸泉は4.61～6.1、それ以外は5.4～7.82を示した。河川水、池は5.45～7.89、ボーリング湧水は6.07～6.55を示した。炭酸泉のpHは季節を問わず、他の試料水よりも酸性を示す。ECについて、湧水のうち炭酸泉は7.87～33.5（mS/m）、それ以外は3.73~129.1（mS/m）、河川水は1.49～25.8（mS/m）、ボーリング湧水は36.5～43.7（mS/m）を示した。主要イオン濃度の特徴を表すヘキサダイアグラムを図３９に示す。図に示した結果は2017年12月における各地点の水質である。いずれの湧水等もおおむねCa-HCO_3型の水質を呈する。図中の「平治岳」と記した湧水以外は、水質に顕著な時間変化を認められな

かった。主要イオン濃度の分析結果を取りリニアダイアグラムとして図４０に示す。ほぼすべての試料がⅡ型（循環性地下水）に分類された。このことから、九重火山東部域の湧水（地下水）は、温泉水や海水などの混入の影響がほとんどないことが推定される。

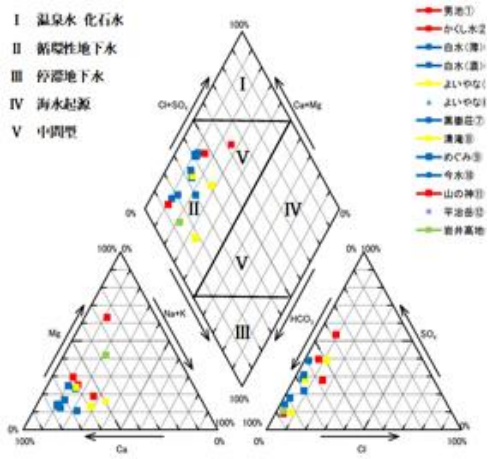


図４０　湧水等のトリリニアダイアグラム。

３．酸素水素同位体比による地下水の起源の推定と火山ガス混入の可能性

九重火山東部の山体内地下水の起源を推定するために、3、4、8月に採水した湧水試料について酸素水素同位体比を測定した。湧水のδD値及びδ^{18}O値はそれぞれ-61.45～51.88‰、-9.91～-8.5‰の範囲にあり、日本の天水線(Matsubaya et al. 1973)にほぼ沿っており、かつ秋田の降水で観測された季節変動の領域内（松葉谷・川原谷，2014）に沿ってプロットされる（図４１）。したがって、当地域の湧水等は天水起源であると考えられる。また、マグマ性水蒸気のような深部流体が混入した場合、δ^{18}O値が高い方へシフトする事が知られている（酒井・松久，1996）が、今回の同位体分析の結果をみるとこのような挙動は見られなかったため、本調査地域の試料に対してマグマ性水蒸気の混入はないと考えられる。

また、九重火山東部域の地下水へのマグマ起源のCO_2ガスの混入の有無を検討するために、湧水中の溶存無機炭素(DIC)濃度と炭素同位体比を測定した。炭酸泉、炭酸泉以外の湧水、河川水、ボーリング湧水から採取した水のDIC濃度はそれぞれ、97～472.4mg/L、2.3～458.0mg/L、6.5～26.9mg/L、82.9mg/L(サンプル数は一か所）であり、δ^{13}C値はそれぞれ、-8.16～7.64‰、-7.99～-4.46‰、-10.99～-1.16‰、-7.33‰（サンプル数は一か所）であった。示した（図４２）。1/DIC－δ^{13}C図上において、九重火山東部域の多くの地下水中の炭素は土壌起源とマグマ起源との混合線上に位置し、火山性CO_2が地下水に混入していることが示唆される。酸素水素同位体比の結果からは、マグマ性水蒸気が混入していないことが推定されることから、火山性CO_2は水蒸気をともなわない気相状態で混入したことが推定される。

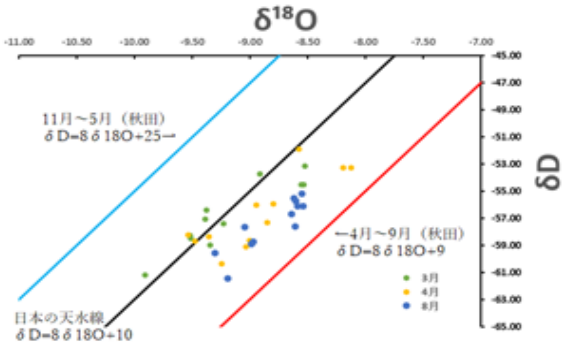


図４１　九重火山東部域の湧水のデルタダイアグラム。

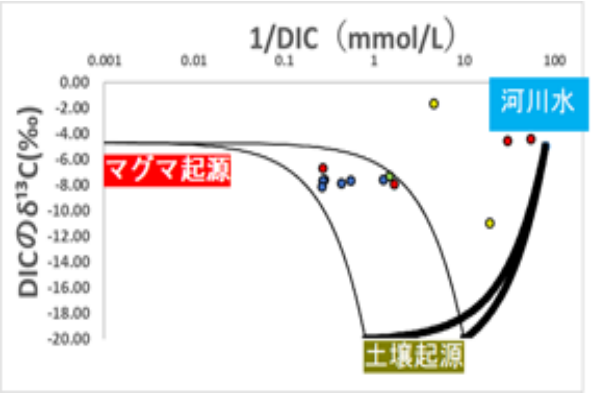


図４２　九重火山東部域の地下水等の溶存無機炭素濃度と炭素同位体比（青：炭酸泉、赤：その他の湧水、黄：地表水、緑：ボーリング孔内水）。

５．水‐岩石反応モデルの解析的な検証

九重火山東部域北麓の男池湧水について、黒岳溶岩円頂丘の岩石学的データを用いて、山体内部での平衡状態での水質形成モデルをPHREEQCにより検証した。PHREEQCの改易条件は太田ほか（2013）に従った。また、今回の解析では、天水起源の地下水が山体内部の岩石と反応することによる水質形成をモデル化するため、地下水中のCO_2分圧を大気平衡とした。溶存イオン濃度に関する計算結果から、実測された湧水のイオン濃度は黒岳溶岩円頂丘の岩石と固液比30~50%で平衡状態にあった場合に相当することが分かった（図４３）。しかし、pHの実測値が5.0~5.5を示すのに対して、計算値は9.0前後を示し、大きく異なる（図４４）。このpHの相違は、4周夫で述べた火山性CO_2ガスの混入の可能性が示唆すると考えられる。

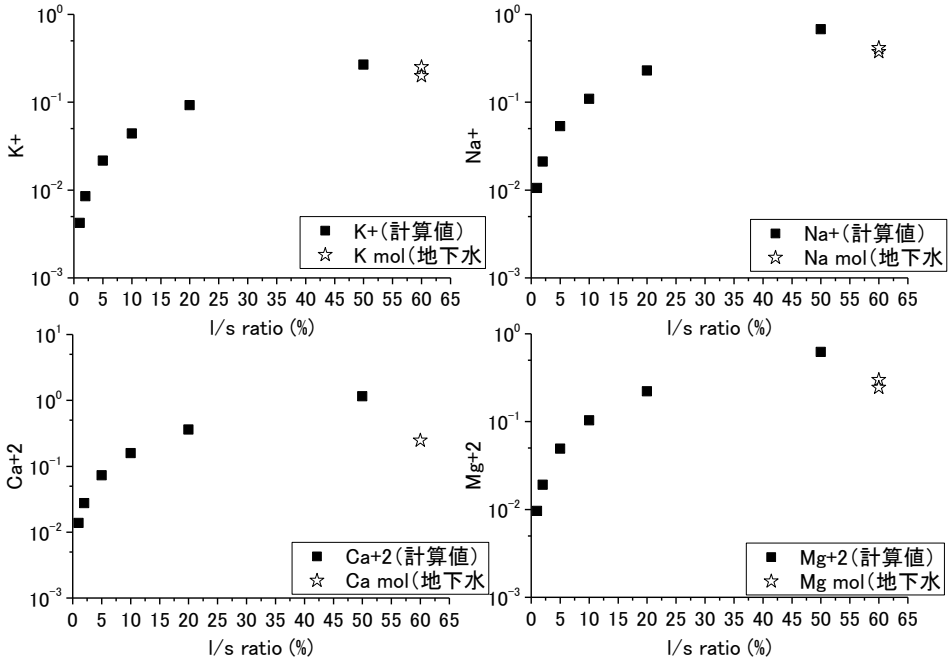


図４３　イオン濃度の平衡状態の計算値と実測。

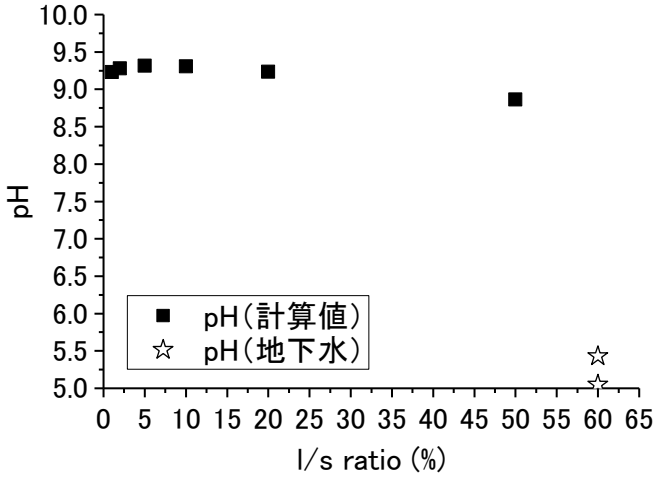


図４４　pH の平衡状態における計算値と実測値。

６．まとめと今後の課題

九重火山東部域に湧出する地下水等について、水質分析、同位体比測定等を行った結果、以下のことが明らかとなった。

① 九重火山東部域の地下水は、おおむね Ca-HCO_3 型の循環型地下水である。

② 地下水の起源は天水である。

③ 地下水に火山性水蒸気をともなわない火山性 CO_2 ガスが混入していると考えられる。

④ 地下水のイオン濃度は火山体を構成する岩石と水との反応で説明でき、pH はその反応に火山性 CO_2 ガスの混入を考慮することで説明できる可能性がある。

2018 年度以降は、男池湧水以外の湧水についても、水 - 岩石反応に関する解析的検討を進め、特に CO_2 ガスの混入による pH 低下を検証する。平治岳湧水については、採水時期により水質が大きく変動することから、その変動要因について検討する。これらの検討結果を基に、地下水水質による火山体内部の構成物推定手法を検討する。

引用文献

平林純一・大場武・野上健治(1996)：九重山 1995 年 10 月噴火と地球化学的究成果報告書「1995 年 10 月九重火山の水蒸気爆発の発生機構と火山活動推移の調査･研究」63-73.

伊藤順一・星住英夫・川辺禎久 (2014)：最近 5000 年間の九重火山における水蒸気噴火の発生履歴. 火山, Vol.59, No.4, 241-254.

Matsubaya,o., Sakai,H., Kusachi,I., and Satake,H.(1973) : Hydrogen and oxygen isotopicratios and major element chemistry of Japanese thermal water system. Geochemical Journal, Vol.7, 123-151.

松葉谷治・川原谷浩 (2014)：水素・酸素同位体比から見た地下水、河川水及び降水の関係―秋田における若干の観測結果についての考察―. 地下水学会誌, Vol.56, No.4, 309-320.

水谷義彦 (1995)：地下水の地化学的特性 放射性廃棄物と地質. 東京大学出版会, 123-146.

水谷義彦・山本晃一（1993）：富山県砺波平野浅層地下水中の溶存炭酸の起源．地下水学会誌，Vol.35，No.2，77-861.
太田岳洋(1991)：九重火山群,東部及び中部域の形成史．岩鉱，Vol.86，243-263.
太田岳洋・丸茂克美・熱田真一（2013）：土壌･岩石のバッチ式溶出試験の熱力学的解析．岩の力学国内シンポジウム＆第６回日韓ジョイントシンポジウム講演論文集(CD-ROM).
酒井均・松久幸敬(1996)：安定同位体地球化学　（財）東京大学出版会 p5，p111，p403.

○新島：伊豆弧、新島火山における噴火の変遷と長期予測（筑波大学）

伊豆弧北部における新島は、背弧に位置し、式根島、神津島などと同様な流紋岩を主体とする火山であり、玄武岩質マグマの噴火を一部に伴っている。新島火山本体と付随する式根島、地内島を含めると 15 の噴火ユニット（単成火山）に区分できる（一色，1987；齋藤，2008 など)。この研究では、先行研究における噴火区分等を元に、噴火の時系列（概略）と地域的なマグマの違い、また斑晶鉱物の化学組成や全岩組成などを元にマグマの時代変化等について比較検討を行った。

１.噴火区分と斑晶鉱物組み合わせ

噴火ユニット区分については、時代の古いほうから、地内島、瀬戸山、丸島峰、ジーナカ山、大磯、峰路山、羽伏磯、旗城鼻、赤崎峰、宮塚山、式根島、新島山、(若郷玄武岩)、阿土山、向山のそれぞれ単成火山の噴火が時代と共に生じた。最も古い地内島火山の噴火の時期は明確ではないが、100 ka 前後から活動が開始され、阿土山火山（856 y)、向山火山(886-887 y)まで断続的な噴火により形成されてきたと推測されている（図４５)。また流紋岩の斑晶鉱物は主に、斜長石、石英、斜方輝石、カミングトン閃石、普通角閃石、黒雲母から成り、それらの組み合わせから、４つのタイプに区分した。それらは、斜方輝石―カミングトン閃石タイプ（Opx-Cum-type)、カミングトン閃石タイプ(Cum-type)、カミングトン閃石―黒雲母タイプ(Cum-Bt-type)、黒雲母タイプ(Bt-type)である。また普通角閃石も黒雲母タイプ以外の岩石に含まれる場合がある。またイルメナイト、マグネタイトも不透明鉱物として全ての岩石に含まれる。

２.噴出の時系列と場所

新島火山は南北に長い分布を示し、式根島は南西の延長方向に位置する。新島、式根島の噴火は、大まかに、Opx-Cum-type から始まり、Cum-type の噴出、Cum-Bt-type、最後に Bt-type の噴火が生じる傾向がある。時代や噴出の順番は必ずしも上記の順番でない場合もある。また、噴出の地域差もあり、Opx-Cum-type、 Cum-type が中央部からの噴出になるが、Cum-Bt-type 北側にのみ認められ、また後期の Bt-type の流紋岩の噴出は、ほぼ同時期に北と南に噴火中心を持つ形になっている（図４５)。これらの地域差は、それぞれの火山噴火が、少なくとも噴火前には異なったマグマ溜りを形成した可能性を示している。さらに玄武岩質マグマの噴出（若郷）が 3.6 ka に北端で生じており、また阿土山溶岩中に

は玄武岩質包有物が存在することから、深部由来のマグマの存在・関与は全ての流紋岩マグマの生成・噴出と関係があるものと思われる。

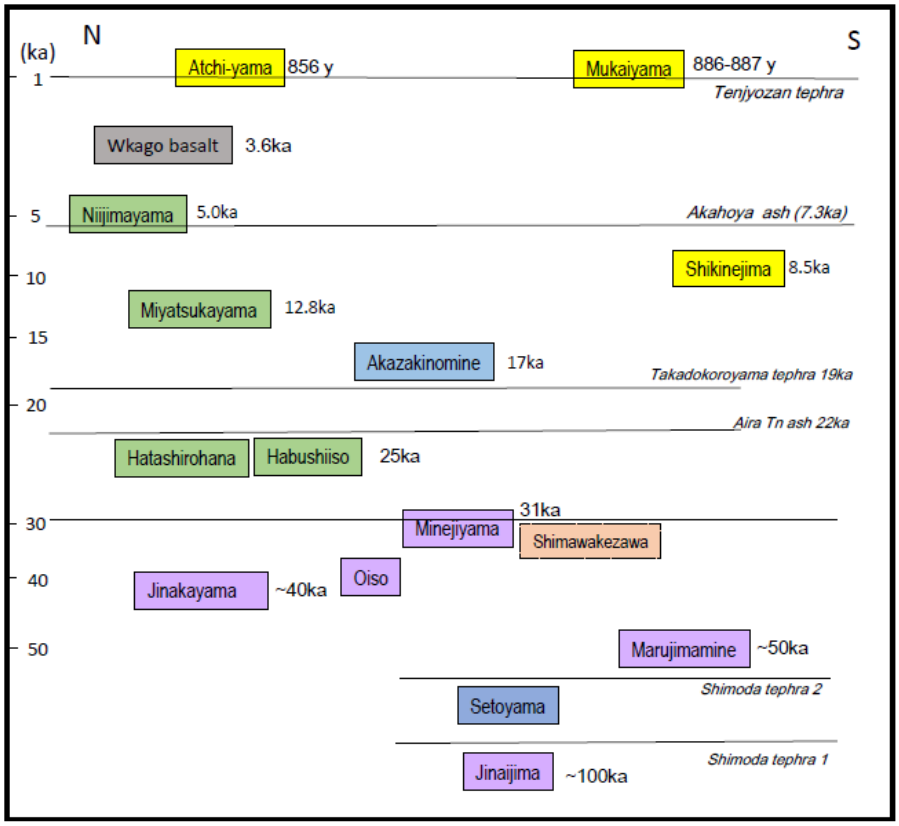


図４５　新島、式根島火山の噴出の時系列変化および分布（一色、1987；齋藤，2008 他より参照)。紫：斜方輝石―カミングトン閃石流紋岩；　青：カミングトン閃石流紋岩；　緑：カミングトン閃石―黒雲母流紋岩；　黄色：黒雲母流紋岩；　赤：安山岩質火砕物；　灰色：玄武岩質溶岩、火砕サージ。分布（南北）は概略的。

３．斑晶鉱物の化学組成の特徴

噴出の順序を踏まえ、流紋岩類のユニットごとの斑晶鉱物（斜長石、カミングトン閃石、黒雲母、普通角閃石、斜方輝石の EPMA 分析による化学組成の特徴を図４６に示した。
斜長石のコア、マントル、リムの An mol.%は、地内島火山(opx-Cum-type)で 30-45 にピークを持つが、徐々に An %は下がり、向山火山(Bt-type)で、18-22%となる。ただし、初期の火山では、比較的高い An%を持つ斜長石の存在も認められる。同様な傾向はカミングトン閃石と黒雲母の Mg#にも現れ、噴出の順序（あるいは組み合わさる鉱物種）と共に、減少傾向を示す。一方、斜方輝石や普通角閃石の Mg#は、含まれるユニットが限られていることもあり、必ずしも明瞭な変化は見られない。

４．流紋岩質溶岩の全岩化学組成

合計 13ユニットの火山と１つの玄武岩ユニットの全岩化学組成分析を行った。その結果、玄武岩は SiO_2 %がおおよそ 50%の組成を示すが、流紋岩類は 73～78%（多くは 75～78%）

の高く、また組成幅が狭い結果となった。流紋岩をユニットごとに元素―元素図（ハーカー図等）で見た場合、それぞれのユニット（単成火山）が異なったデータ分布を示すことが明らかとなった。全体的には Opx-Cum-type、Cum-type では Bt-type と比較し、MgO、FeO、CaO%に富み、K_2O、 Na_2O に乏しい傾向があるが、同じタイプごとでも、データ列が異なることが明らかとなった。同様な傾向はトレース元素等でも見られることが多かった。希土類元素パターン等でも、流紋岩類は多くは類似のパターンを示すが、タイプごと、また火山ごとにわずかな違いがあることが明らかとなった。

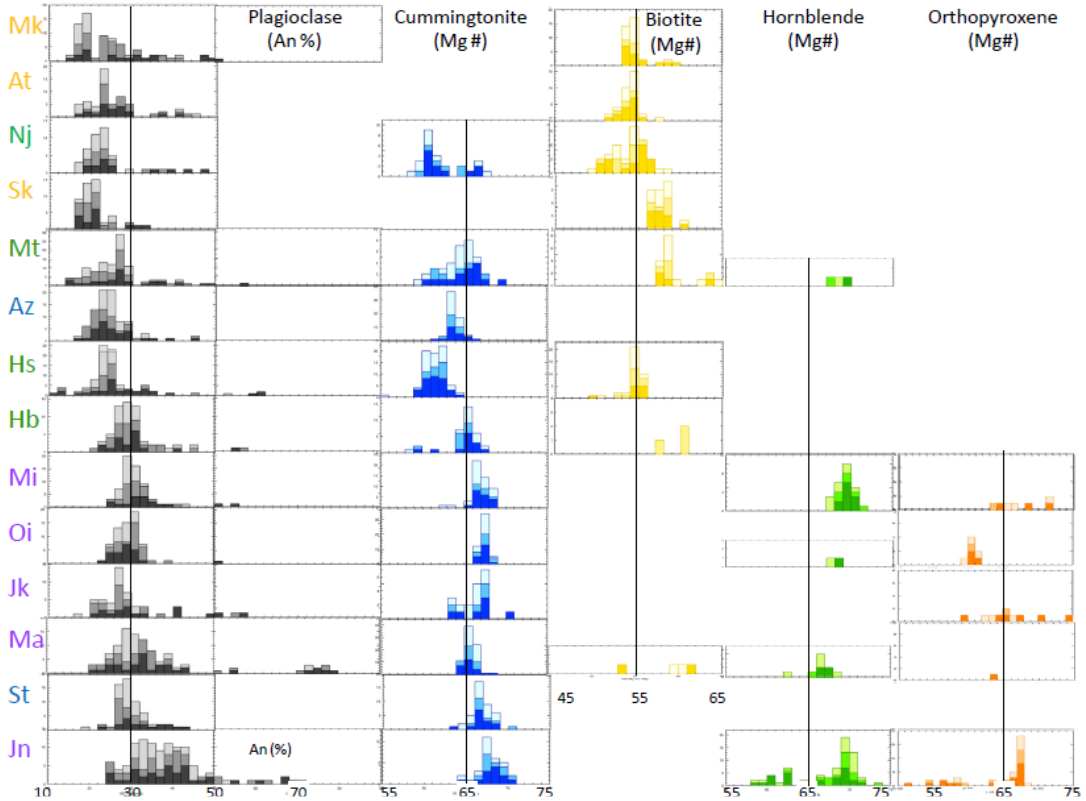


図４６　新島、式根島流紋岩の斜長石の An mol. %、 カミングトン閃石、黒雲母、普通角閃石、斜方輝石斑晶の Mg#のヒストグラム（遠藤，2012 に加筆）。各火山名（イニシアル）は図１と対応。濃淡で、コア、マントル、リムの組成を表示。

5.　マグマの長期的な変動など

新島火山の最初のマグマの活動が、いつ始まったのかは不明であるが、少なくとも 50 ka 以前には始まっており、それ以降、断続的に噴火を続けてきた。特に 10 ka 以降には時間軸が明確になった部分もあり、噴出物の噴出率（190 x 10^9 kg/ka）なども提示されてきている（吉田，1992）。流紋岩質溶岩に含まれる、斑晶鉱物などの組み合わせや平衡温度の推定などから、新島および近辺の流紋岩類は、低温（および低圧）の条件で生成されたと考えられ、浅所のマグマ溜りからの噴出が推定される。これは、新島の流紋岩質マグマの組成変化とも関連し、時代と共に、わずかずつ浅所で低温のマグマの生成・噴出が生じたものと考えられる。

○伊豆大島：物質科学的検討によるカルデラ形成期以降のマグマ供給系の解明（北海道大学）

伊豆大島火山は近年約 30-40 年ごとに噴火活動を繰り返しており、最後の 1986-87 年噴火から 30 年以上が経過していることから、近い将来に活動が再開することが予想されている。これまでの研究から、主要な玄武岩質マグマの供給系は、深さ約 8-10 km に位置するマグマ溜りとそれより深部に位置するマグマ溜りによって構成される一方、1986 年の B・C 火口噴出物に代表される玄武岩質安山岩マグマは、深さ約 4 km に位置するマグマ溜りに由来することなどが明らかとなっている（e.g., 藤井ほか, 1988; Mikada et al., 1997; 気象庁, 2008)。そこで主要な玄武岩質マグマの供給系の時間変遷をより詳細に理解するため、カルデラ形成以降の噴出物を対象に、岩石学的な解析を行った。

従来の研究によって既に報告されているように、玄武岩質噴出物の斑晶量は多様である（0～20%)。また全岩化学組成はハーカー図上で明確なトレンドを示さず、ばらついた特徴をもつ（図４７)。そこで噴出物組成の多様化の要因を探るため、試料の全岩主要元素組成を対象に、主成分分析を行った。その結果、PC1（寄与率 63%）は斜長石の分別、PC2（寄与率 13%）は苦鉄質鉱物の分別に対応することが明らかになった（図４８)。また図４８において、無斑晶質な試料は PC1 と PC2 が高く、PC1 と PC2 がともに低くなるにつれ、斑晶量が増加する傾向があることが分かった。斑晶質な安永噴火の噴出物、1950-51 年噴出物、1986 年 A 火口噴出物に含まれる両輝石から圧力条件を推定した結果、これらの斑晶は全て深さ約 16 km のマグマ溜りに由来する可能性が示唆された。

これらの情報、および地球物理学的研究の結果（Mikada et al., 1997）を統合すると、伊豆大島の主要なマグマ供給系は、無斑晶質マグマが滞留する深さ約 8-10 km のマグマ溜りと斑晶質マグマが滞留する深さ約 16 km のマグマ溜りから構成されること、無斑晶質なマグマは 7 世紀頃から現在にかけて組成の分化が徐々に進行していること、近年の玄武岩質マグマの多様性は、(組成が時間変化する）無斑晶質マグマと斑晶質マグマの異なった混合比による混合で説明できること、などが示唆された（図４８)。なお、1986 年 A 火口噴出物の組成から予想される無斑晶質端成分マグマの組成（図４８の★）は、1950-51 年噴出物の組成から予想される端成分マグマの組成（☆）よりも未分化である。このことは、深さ約 8-10 km のマグマ溜り内において、無斑晶質マグマは組成勾配を形成した可能性が考えられる（図４９)。

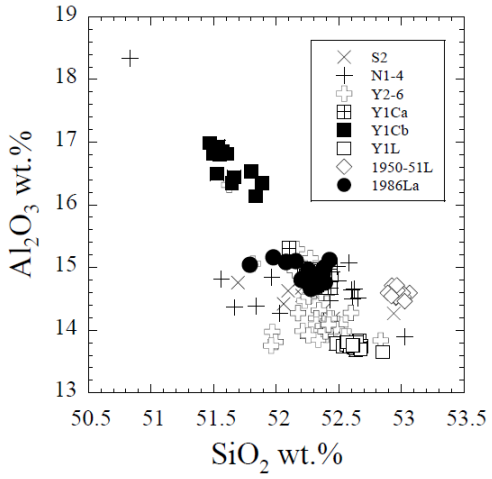


図４７　カルデラ形成期以降の玄武岩質噴出物の全岩化学組成。データは本研究、藤井ほか(1988)、川辺 (1991, 1998)、Ishizuka et al. (2015)。

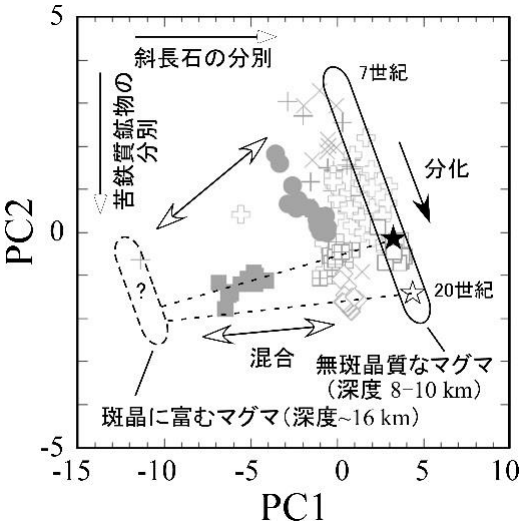


図４８　玄武岩質噴出物の全岩主要元素を対象とした主成分分析の結果。

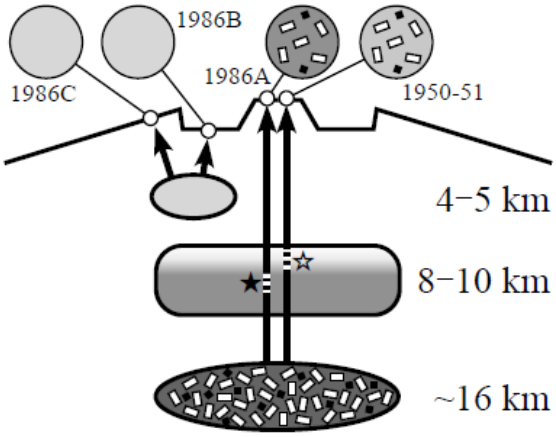


図４９　伊豆大島の最近のマグマ供給系のモデル図。

2)　火山体トレンチ調査による噴火履歴解析および大規模噴火 DB の整備（産業技術総合研究所）

１．はじめに

本年度は、国内の活火山に対する噴火系統樹作成時に活用される噴火履歴情報を得るために、恵山火山及び日光白根火山でトレンチ調査を実施した。また、大規模噴火の活動推移に関するデータベースの整備に向けて、海外における歴史噴火の事例として、9 火山、10 噴火事例についての噴火時系列データの収集を行った。以下に、それぞれの成果について報告する。

２．噴火系統樹の作成に用いる噴火履歴調査

２−１．恵山火山におけるトレンチ調査

a)調査位置と目的

トレンチ調査地点は、恵山火山南麓の火山麓扇状地（火砕流台地）上の２カ所で重機トレンチを実施した（図５０）。先行研究（Miura et al., 2013）により、完新世火砕流堆積物（元村火砕物密度流堆積物：EsMP）の分布が扇状地の西側と東側で異なることが示されていたため、西側の地点Aにおいては、完新世（EsMP）と後期更新世（EsHD1かEsHD2）の火砕物密度流堆積物の分布を把握すること、東側の地点Bにおいては、厚く堆積していると予想された完新世水蒸気爆発堆積物の層序、年代、噴出様式のデータ取得を主な調査目的とした。

図５０　(左)地点A、(右)地点Bの位置（地理院地図を使用)。

b）層序・対比と年代測定結果

トレンチ壁面の火山噴出物の特徴と本調査で得た ^{14}C 年代測定結果を用いて、先行研究（荒井 1998MS；Miura et al., 2013）において示された、恵山火山噴出物の層序と比較し、各噴出物の対比を試みた。地点A、Bのトレンチ壁面（図５１）に見られた火山噴出物の層序と対比結果を柱状図で示す（図５２）。

・地点A

地点Aでは、火山噴出物としてA-1～A-11の11枚の堆積物が確認された。このうち示標テフラ層準と考えられたものは、A-1（B-Tm)、A-5（Ko-g)、A-7（Ng?)、A-8（Ko-h?)の４つである。黒色古土壌下部に認められる厚さ0.6mの火砕物密度流堆積物（A-5層）は、層相・岩相と直下の ^{14}C 暦年較正値（10,239-9,965 cal yBP）から、EsMP層準（約8,600 cal yBP)に対比される。また、黒色古土壌の最下部に認められる降下火山灰堆積物（A-6層）は、EsMP層準より下位で、Ng（?）層準より上位に存在することから、EsMP噴火より早期の独立した水蒸気爆発堆積物と考えられる。これは本調査で発見されたこれまで未報告の完新世降下火山灰イベント層準である。火山灰下底面地殻の黒色古土壌から得られた ^{14}C 暦年較正値（11,605-11,264 cal yBP）から、約11,000年前に噴火が生じたと考えられる。ま

た、トレンチ壁面下部において、厚さ 1.7m 以上を持つ、火砕物密度流堆積物（A-11 層）は、本質岩片として緻密で斑晶質な安山岩礫を持つこと、細粒火砕サージ堆積物を挟在することから、EsHD2 火砕物密度流堆積物の層相に類似する。また炭化木片から得られた ^{14}C 暦年較正値（34,865-34,255 cal yBP）から、EsHD2 層準の火砕物密度流堆積物と考えられる。

・地点 B

地点 B では、火山噴出物として B-1～B-12 の 12 枚の堆積物が確認された。このうち示標テフラ層準と考えられたものは、B-11（Ko-g）のみである。先行研究では、Es-3 層準は、降下火山灰と火砕サージ堆積物からなる、一塊の噴火イベント層準と考えられていたが、今回のトレンチ調査における壁面観察により、火砕サージに先行する降下火山灰が 3 層準（下位より、Es-3a、 3b、 3c）、火砕サージ以降の降下火山灰が 1 層準（Es-3e）あることが明らかとなった。これらは、明瞭な古土壌に挟まれているため、明らかに別層準の噴火イベントである。

同様に、Es-1 層準は、降下火山灰と火砕物密度流からなる、一塊の噴火イベント層準と考えられていたが、今回のトレンチ調査における壁面観察と ^{14}C 年代測定により、火砕サージ層に先行する降下火山灰が 2 層準存在することが明らかとなった。このことから、Es-1a（降灰）、-1b（降灰）、-1c（サージ）に細分した。Es-2 降下火山灰（荒井 1998MS）の分布は火口原近傍に限定され、広域の分布は知られていなかったが、地点 B において同層準に厚さ 10cm ほどの水蒸気噴火堆積物が確認され、Es-2 層準に対比されるものと考えられる。

図５１　トレンチ壁面の全景。左側が地点 A、右側が地点 B。

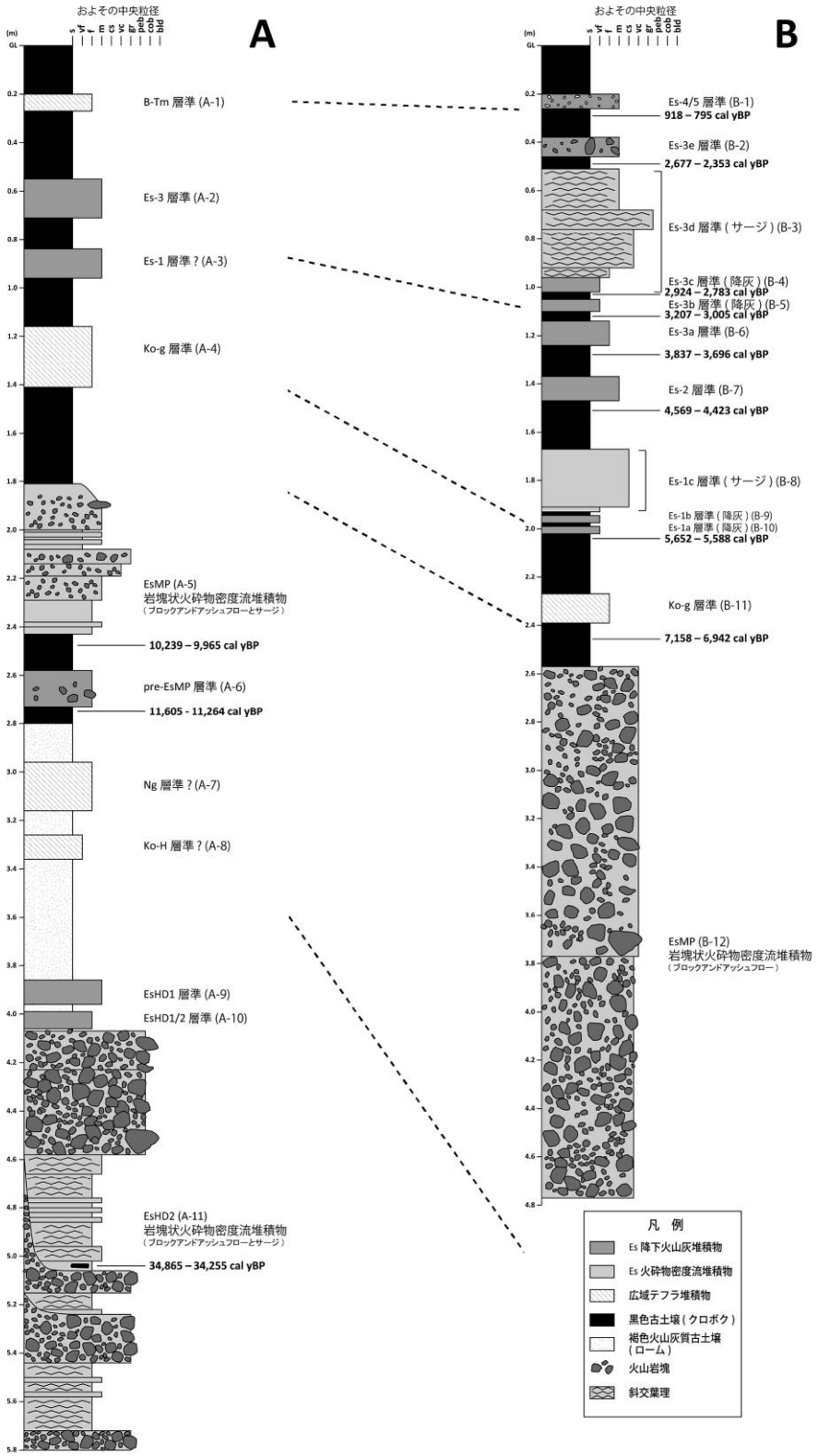


図５２　恵山トレンチ壁面の柱状図。(A) 地点 A （柏野町)。(B) 地点 B （恵山町)。EsMP 層準より下位に水蒸気爆発堆積物と考えられる降下火山灰を確認した（新知見)。地点 A 及び地点 B から想定した給源までの距離は、それぞれ約 2.6km 及び約 2.2km。

２−２．日光白根火山におけるトレンチ調査

a）目的と調査位置

群馬・栃木県境に位置する日光白根火山では、明治時代の 1872-73 年と 1889-90 年の水蒸気噴火、1649 年の噴火記録があるが、それ以前の記録はない(村山, 1979; 気象庁, 2005)。過去 6000 年間にさかのぼると、古記録にある噴火のほかに 5 回の噴火が認められており、そのうち 6 世紀以前の 3 回はマグマ噴火の可能性が指摘されている（奥野, 1993; 鈴木ほか, 1994)。しかし、これらの給源火口や噴火推移、マグマ噴火に伴った火口近傍堆積物や溶岩流については対比されていない。

日光白根火山では地表露頭がほとんど存在しない山頂部の 6 地点においてトレンチ掘削調査を行い、火砕堆積物層直下の土壌の放射性炭素年代および火砕堆積物中の火山灰構成物の観察結果を合わせて降下火砕堆積物を対比し、特に日光白根火山の 6 世紀以降の噴火についてその噴火年代と噴火様式を明らかにすることを目的とした。

日光白根火山山頂部の標高は 2,000m 以上で、重機を乗り入れられないため、トレンチ掘削は全て人力で行った。トレンチ掘削位置を図５３に示す。掘削地点は山頂から 4 方位を基準とし、地形が平坦で、火砕堆積物が再移動の影響を受けにくい場所を選定した。6 地点のうち 5 地点が日光国立公園の特別保護地区・地域内に位置するため、掘削深度は最大で 2m もしくは溶岩流に到達するまでとした。

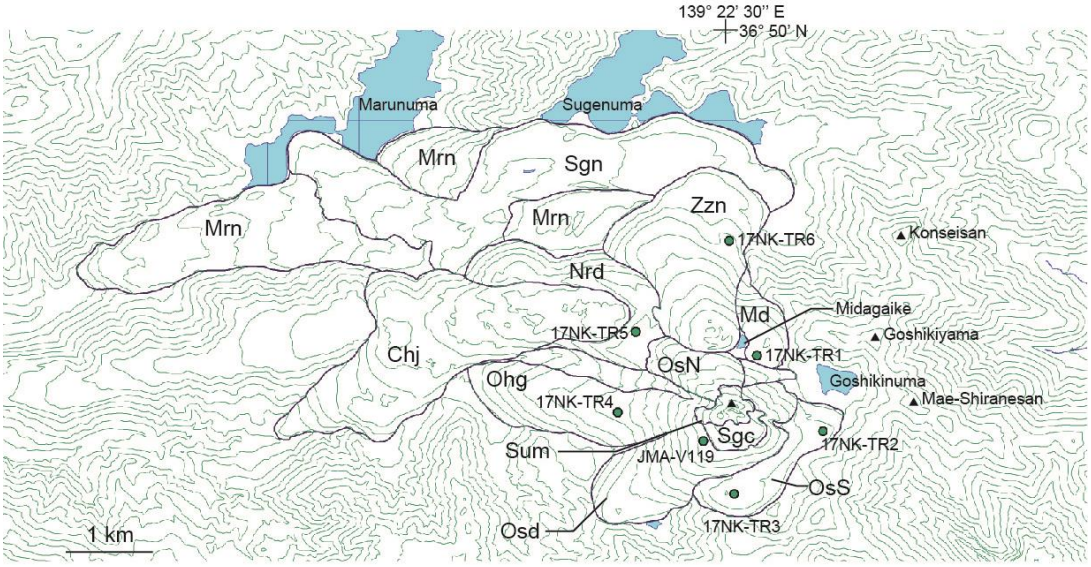


図５３　日光白根火山のトレンチ掘削位置。溶岩流の分布は高橋ほか（1995)を一部改変。丸はトレンチ掘削位置、三角は山頂を示す。

b）層序・対比と年代測定結果

今回、日光白根火山の噴火による合計 5 枚の降下火砕堆積物、及び 2 枚の広域火山灰：榛名二ツ岳伊香保テフラ (Hr-Fp; 町田・新井, 1992)・浅間 B テフラ (As-B; Aramaki, 1963) をトレンチ断面とボーリングコア試料で確認した。日光白根火山の火砕堆積物層序をこれ

らの広域火山灰に基づいて対比すると、As-Bの上位に2枚、As-BとHr-Fpの間に1枚、Hr-Fpの下位に2枚の火砕堆積物が認められた（図５４）。本報告では、Hr-Fpより上位の堆積物について、下位から日光白根火山C火砕堆積物、日光白根火山B火砕堆積物、日光白根火山A火砕堆積物と呼ぶ。Hr-Fpの下位に位置する火砕堆積物は、奥野ほか（1994）に従ってNks-2、 Nks-3と呼ぶ。

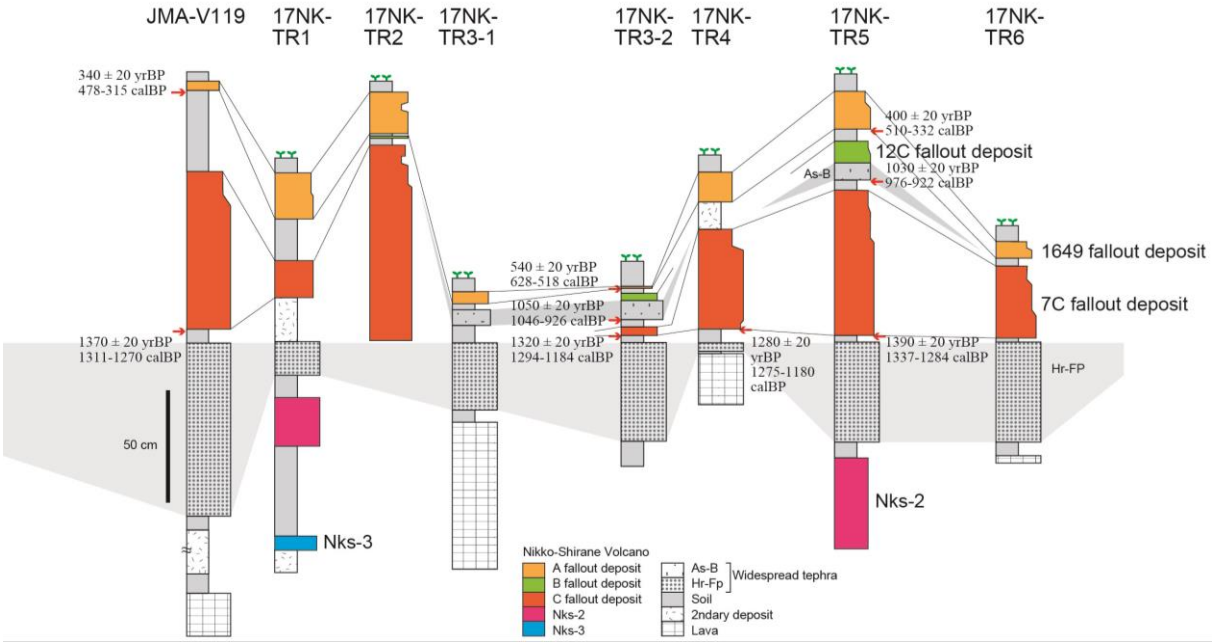


図５４　トレンチ掘削および気象庁火山観測点ボーリングコアの火砕堆積物対比柱状図。

日光白根火山C火砕堆積物は、6地点においてHr-FpとAs-Bの間に認められた（図５４）。層厚4-86 cmで、本調査で確認した日光白根火山の噴出物のなかで最も厚い。17NK-TR2、4、5、 6 地点では、下位から上位に向かって基質火山灰および角礫の粒径が小さくなる特徴を示す。堆積物中に含まれる角礫の平均最大粒径は2-28 cmで、山頂よりも北側で粒径が大きい。これらの直下の土壌の補正 ^{14}C 年代は、1,320±20 yrBP（1,294-1,184 cal BP; 17NK-TR3-2）、1,280±20 yrBP（1,275-1,180 cal BP; 17NK-TR4）、1,390 ± 20 yrBP（1,337-1,284 cal BP; 17NK-TR5）であった。この年代値は、2016年度の気象庁火山観測点ボーリングコア（JMA-V119）から見出された表土から2枚目の降下火砕物直下の土壌の放射性炭素年代1,370±20 yrBP（1,311-1,270 cal BP）と整合的である。以上の4試料の放射性炭素年代値は、約1,200-1,350 yrBPの範囲に集中するため、この時期に噴火があったことを支持する。したがって、日光白根火山C火砕堆積物は、7世紀の噴火でもたらされた日光白根火山7世紀噴出物と考えられる。

日光白根火山B火砕堆積物は、17NK-TR2、 3、 5の全3地点で確認した。このうち2地点ではAs-Bの直上に土壌を挟まず分布している。As-Bは浅間山1108 AD噴火の噴出物であり（新井, 1979）、本調査地域から得られた土壌の補正 ^{14}C 年代の 1,050±20 yrBP（1,046-926 cal BP; 17NK-TR3-2）、1,030±20 yrBP（976-922 cal BP; 17NK-TR5）も、

これに調和的である。したがって、B 火砕堆積物は、日光白根火山の 12 世紀噴火でもたらされた日光白根火山 12 世紀噴出物と考えられる。12 世紀噴出物の層厚は 1-10 cm で、山頂より西側でやや厚いが、観察地点が少なく、現段階で分布方向や噴出量を見積もることは困難である。

日光白根火山 A 火砕堆積物は、山頂から 0.4-1.7 km 範囲内の全 6 地点で、表土より 4-11 cm 下に分布する砂質の火砕堆積物である。これらの直下の土壌の補正 ^{14}C 年代は、540±20 yrBP（628-518 cal BP; 17NK-TR3-2)、400±20 yrBP（510-332 cal BP; 17NK-TR5）であった。この年代値は、気象庁火山観測点ボーリングコアから見出された A 火砕堆積物の年代：340 ± 20 yrBP（478-315 cal BP）よりもやや古いものの、Hr-Fp とロームの厚さから推定した年代（約 500 年前; 筒井ほか, 2005）や古記録「日光山志」の記述（西暦 1649 年、慶安 2 年）と矛盾しない。したがって、A 火砕堆積物は、日光白根火山 1649 年噴出物と考えられる。今回の調査により、1649 年噴出物は、山頂近傍ほど砂質の火山灰が主体で、火山岩片が増加し、山頂の東方 0.75 km の基底部には平均最大粒径 20 cm の角礫が分布することが明らかとなった。さらに、1649 年噴出物の山頂部および南方への降下火砕堆積物分布に制約を得ることができた。その結果、山頂祠周辺を火口として、日光白根火山 1649 年噴出物の分布の主軸は、東方―南東方向に延びる可能性が高い。

３．大規模噴火移データベース作成に向けた地質情報の整備

大規模火砕流の噴出と陥没カルデラの形成を伴うような巨大噴火の時間・空間的な分布及びその中長期的及び短期的推移を明らかにするため、二種類の情報の収集を実施した。一つは日本国内とその周辺における中期～後期更新世以降に発生した代表的な大規模噴火を対象として噴出物の地質情報からその噴火推移や噴出物分布などに関する既存文献情報を収集し、とりまとめた。もう一つは、大規模噴火のより定量的な時間推移を明らかにするために、歴史記録が残る VEI=4 程度よりも大きな火砕噴火の推移を文献情報から取りまとめ、前年度までの結果と合わせて解析を行った。また、国内の一部の噴火については、文献記録と噴出物の対応を確認するための現地調査を実施した。

３−１．中期～後期更新世の大規模噴火の地質情報の収集

平成 29 年度は、比較的研究が進んでおり文献情報が豊富な火山及びその噴火を選んで実施した。平成 29 年度には姶良・屈斜路、摩周、池田、阿多の大規模噴火について噴出物の分布・層序・特性などの情報を収集した。また、姶良カルデラ形成噴火・鬼界アカホヤ噴火については噴火推移の高精度復元のための噴出物の分布の確認を行った。

噴火地点からやや離れた姶良カルデラ形成噴火・鬼界アカホヤ噴火の噴出物層序を、噴出源である姶良カルデラから約 110 km離れた種子島中部、および鬼界カルデラから約 70 km離れた薩摩半島南部でそれぞれ観察した。いずれの噴出物でも、明瞭な上方細粒化する co-ignimbrite の堆積物が確認された。co-ignimbrite にみられる明瞭な上方細粒化は、噴煙への粒子の供給に比べて、沈降による粒子の除去が効果的に進行し、堆積物の定置初期に噴煙内からの粗粒な粒子の落下・定置が終了したことを示唆する。このことから、co-ignimbrite の火山灰雲は火砕物粒子の沈降に比べて短時間に形成されたことが推測さ

れる。火砕流の形成時間やそれに伴うカルデラの形成タイミング等への制約を与えることができた。

２．高時間分解能での噴火推移情報の収集

大規模噴火のより定量的な時間推移を明らかにするために、国内外で発生した歴史記録が残る比較的大規模な火砕噴火の推移を文献情報から取りまとめた。平成 29 年度は、主に国外の噴火推移がよく記録された噴火から、Calbuco 2015 年噴火、El Chichon 1982 年噴火、Vesuvius 1944 年噴火、Lassen Peak 1915 年噴火、Novarupta1912 年噴火、Tarawera1886 年噴火の噴火推移情報を集積し、これまでに収集した国内外の火山における噴火パターンとの比較検討を行った。また、桜島大正噴火の推移について、噴火最盛期以降の噴火活動の詳細を明らかにするために噴出物の野外調査を実施した。

これまでに収集した国内外の噴火推移と比較した結果、噴火の初期の推移が大まかに二つのパターンに分けられることが判明した。パターン１は噴火強度が次第に増大し、数日～数か月かけて最盛期を迎えるパターンである。このパターンには、浅間 1783 年噴火（図５５）や、Krakatau1883 年噴火、Vesuvius1944 年噴火、Pinatubo1991 年噴火、Calbuco2015 年噴火などが挙げられる。また噴火の初期には、小規模なマグマ水蒸気噴火などが認められることがある。小規模な水蒸気噴火～マグマ水蒸気噴火は、最盛期のプリニー式噴火の数年前から活発化する例も知られている。最盛期の後の噴火推移については記録が欠損している場合が多いため詳細なパターン分けは困難であるが、次第に噴火強度や頻度が低下して終息する場合や、顕著な噴火記録がなく比較的速やかに終息したと考えられる場合がある。噴火開始に先立つ異常現象（地震など）が比較的長期間にわたって継続する場合が多い。

パターン２は、噴火の開始直後（半日以内）に噴火の最盛期を迎え、その後噴火強度が減衰するパターンである。次第に噴火強度や頻度が低下して終息する場合や、顕著な噴火記録がなく比較的速やかに終息したと考えられる場合がある。富士宝永 1707 年噴火、Tarawera1886 年噴火、桜島大正 1914 年噴火（図５６）、北海道駒ケ岳 1929 年噴火、有珠 1977－78 年噴火などが挙げられる。これらの噴火の場合、先駆する前兆現象、たとえば群発地震の発生は噴火開始から比較的短い継続時間の場合が多い。たとえば、Tarawera1886 年噴火の場合、噴火箇所近傍で記録された有感地震の発生は、噴火開始の 1 時間前であった。

二つのパターンを比較すると、それまで比較的頻繁に噴火を繰り返していた山頂火口からの噴火の場合には、最盛期まで次第に噴火が活発化するパターン 1 の場合が多く、数 100 年以上の休止期を挟む活動や、新たに割れ目火口を形成して噴火する場合には、噴火開始後ただちに最盛期を迎えるパターン 2 の活動となる場合が多い。また、小規模なカルデラ形成に至った Kurakatau1883 年や Pinatubo1991 年の噴火も、パターン 1 に区分される。

今後、目撃記録の残る噴火については、噴火推移の時間変化を定量的に評価するとともに、先史時代の時間推移の定量化が困難な噴火については、降下火砕物の層序のパターンから噴火推移パターンを区分する作業を進め、噴火最盛期に至る事象パターンの整理を行う予定である。

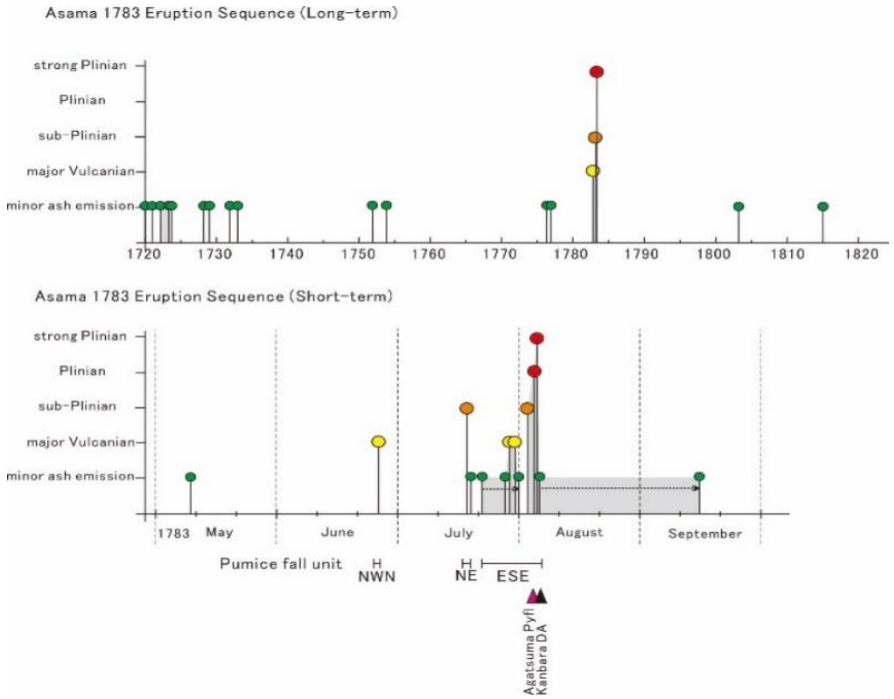


図５５　噴火パターン１の例。噴火最盛期に向かって噴火強度が次第に増加する例。 1783 年浅間天明噴火の長期的推移（上）と短期的推移（下）を示す。噴火最盛期の 8 月 4 日の約 3 か月前から小規模噴火が開始した。7 月半ば以降ほぼ連続噴火状態となり、約 2 週間かけて噴火最盛期を迎えた。

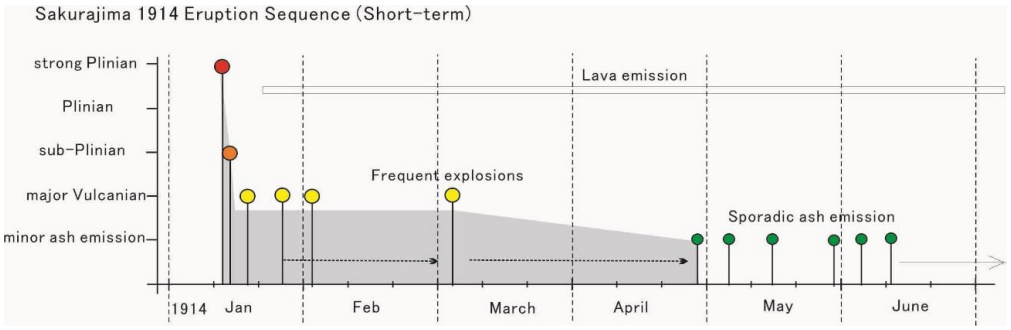


図５６　噴火パターン２の例。噴火初期に最盛期があり、その後噴火強度・頻度が次第に低下する例。1914 年桜島大正噴火の短期的推移を示す。1 月 12 日 10 時の噴火開始後、約半日で噴煙高度が最大となる噴火最盛期を迎え、その直後から噴火強度が顕著に低下し、溶岩流出噴火と断続的な噴火に以降した。

引用文献

Aramaki, S. (1963) Geology of Asama Volcano. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo* sec. 2, **14**, 229-443.

荒井健一(1998MS)　恵山火山の噴火史と火山災害評価-特に最近 1 万年間の活動に基づいて-.　1997 年度北海道大学大学院理学研究科修士論文, 71p.

新井房夫(1979)関東地方北西部の縄文時代以降の指標テフラ層.考古学ジャーナル,157, 41-52.
気象庁（2005）日本活火山総覧（第3版）．大蔵省印刷局，東京，635p.
町田　洋・新井房夫（1992）火山灰アトラス，東京大学出版会，東京，276p.
村山　磐（1979）日本の火山（II）．大明堂，東京，276p.
Miura, D. Arai, K., Toshida, K., Ochiai, T., Tanaka, M. and Iida, T. (2013) Eruption history, conduit migration, and steady discharge of magma for the past 50,000 yr at Esan volcanic complex, northern Japan. *GSA Bulletin*, **125**, 1503-1519, doi: 10.1130/B30732.1/
奥野　充（1993）日光白根山の噴火史．日本地理学会予稿集，**44**，66-67.
鈴木毅彦・奥野　充・早川由紀夫(1994)テフラからみた日光火山群の噴火史.月刊地球, **16**, 215-221.
髙橋正樹・小堀容子・矢島有紀子（1995）日光白根火山下マグマ供給システムの岩石学的モデル．月刊地球，17，113-119.
筒井正明・菊井稔宏・栃木県日光土木事務所（2005）日光白根山起源のテフラの噴火様式とその噴火年代．地球惑星科学関連学会合同大会予稿集，V055P-011.
Walker, G. P. L. (1971) Grain-Size Characteristics of Pyroclastic Deposits. *J. Geol.*, **79**, 696-714, doi: 10.1086/627699.

3)　ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築（防災科学技術研究所・北海道大学）

本課題の研究手法の1つであるボーリング掘削調査のために、国立研究開発法人防災科学技術研究所（協力機関）とともに、ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築準備を行った。そして関係機関による試料の保管・管理システムとその試料の利活用システム構築を目指した、「火山PJ地質学分野作業部会」を立ち上げ、第1回目の部会を平成30年2月9日に開催した。

4)　マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発（北海道大学）

昨年度に引き続き、北海道大学の既存設備を集約した「マグマ変遷解析センター」を整備し、電子顕微鏡での分析精度の向上、新しい試料作製法の開発、容易かつ完成度の高い研磨方法の導入などを行った。また、平成29年7月には全真空型フーリエ変換赤外分光光度計顕微システムを導入した。これにより、火山ガラスや鉱物結晶に溶存する揮発性成分を高精度で分析できるようになったほか、全真空という利点を活かし、極微小サイズの試料分析法や超低濃度揮発性成分の分析法など、今までにない分析技術についても現在開発を進めている。また、参加機関の研究者・大学院生の利用受入れを開始するとともに、平成29年12月の課題C研究集会の際には参加・協力機関向けに施設説明会を実施した。本年度は3機関計9名の利用があった。以下、全真空型フーリエ変換赤外分光光度計顕微システムの概要について述べる。

平成 29 年７月、マグマ変遷解析センターにフーリエ変換型顕微赤外分光光度計（顕微 FT-IR）が導入された（図５７）。本装置は、物質に赤外線を入射し、透過光または反射光のスペクトル解析を行うことで、分子構造の決定、化学種の特定、それらの濃度測定等を行うものである。火山物質科学の分野では、石基ガラスやガラス包有物を主たる分析対象とし、マグマ中の揮発性成分の濃度を測定する目的で利用されることが多い。揮発性成分は、マグマの発泡・膨張を引き起こし、噴火駆動力を発生するため、その挙動を解明することは、噴火の仕組みを理解する上で不可欠である。

今回導入された顕微 FT-IR は、試料室および光学系を完全に真空状態にすることができるという、全世界でも稀な機能を有する。これにより、大気に含まれる H_2O、 CO_2 の影響を完全に除外することができ、ごく微量の揮発性成分でも正確に分析できるようになる。

図５８は、光学系の真空引きをすることで、どれほどスペクトルが変化するかを比較したものである。通常は、光源から出たビームは、光学系を通過する間に大気中の H_2O と CO_2 による吸収を受けている。そのため、これらに対応する波数領域でエネルギーが低下している。一方、光学系を完全真空にした場合は、これらの吸収がほとんどない。また、赤外光の輝度（エネルギー）も全波数領域で向上しており、より誤差の少ない分析が可能となる。

現在、本装置を利用して様々な種類の石基ガラス、メルト包有物、斑晶鉱物、実験産物の測定を開始している（図５９）。今後は、低濃度でのノイズが除去される利点を生かし、火道浅部（低圧環境）での脱ガス現象や、マグマに溶けにくい CO_2 の挙動解析を詳細に行ってゆく計画である。それにより、噴火様式の分岐要因や溶岩自己爆発など、噴火予測や防災に直結した現象を解明できるようになるほか、深部マグマ溜まりでの CO_2 ガス輸送や、その結果生ずるマグマの結晶化、過剰圧発生など、噴火発生のトリガーについても理解が進むと期待される。

図５７　顕微 FT-IR の全体像。光源と干渉計を備えた本体（日本分光 FT/IR 6600）と顕微鏡ユニット（IRT5200VC）からなる。ステージは真空チャンバーとなっている。常圧使用の際は、干渉計には窒素ガスを導入する。

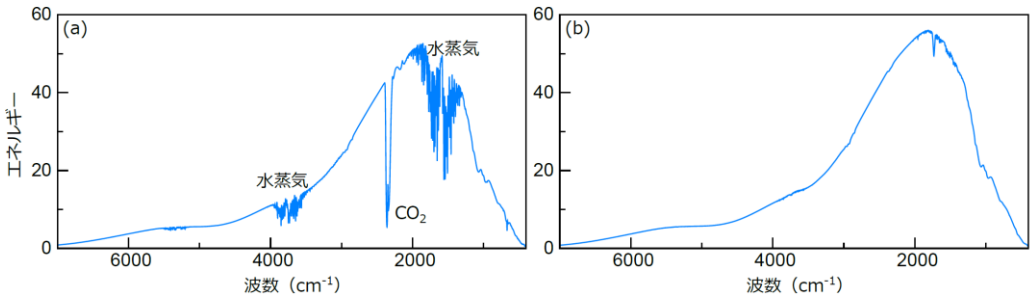


図５８　大気導入時(a)と光学系を真空状態（2.5×10^2 Pa）にしたとき(b)のシングルビームのパワースペクトル。真空引きをすることで、大気中の水蒸気と CO_2 による吸収の効果を除外するとともに、ビームエネルギーを高めることができる。

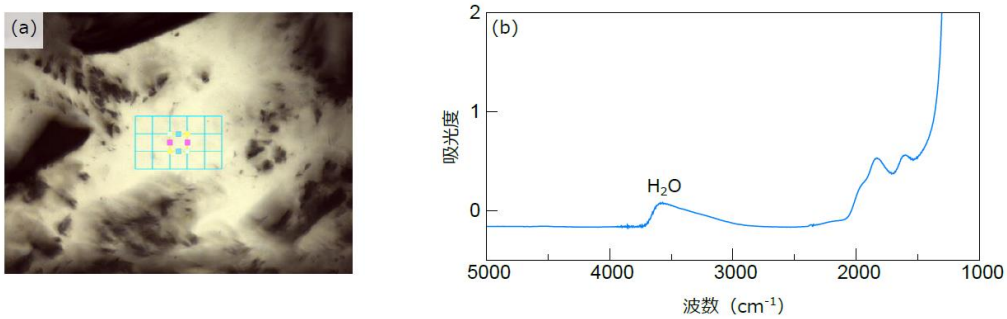


図５９　石基ガラス含水量の分析例。(a) 試料の CCD 顕微画像と測定領域。5×3 マス（一辺 30μm）を連続分析する。(b) 得られた赤外吸収スペクトル（大気モード）。H_2O の溶存が確認できる（0.2 wt%）。CO_2（2350 cm^{-1}）は含まれていない。

(c) 結論ならびに今後の課題

本年度、各参加機関および協力機関は、それぞれの研究課題について精力的に研究を行い、上記のとおり多くの成果を得ることができた。全体として予想どおりに、順調に研究が遂行していると考えられる。次年度以降も、まずは個々の機関の研究成果の積み重ねが必要であるが、対象火山が多く現状の研究体制ではそれぞれの火山で十分な成果を得ることは容易ではない。協力機関の追加や基礎的地質調査の外注などの検討に加えて、重点火山の見直しを行うことでの研究の集中が重要であろう。さらに人材育成コンソーシアムと連携し、地質・物質科学の博士課程大学院生を育て、RA として本サブ課題に参画させることも重要である。それに加え、今後は C-2 課題内での協力体制を更に強化するだけでなく、他課題と連携を具体的に実施することが必要となると考えている。

(d) 引用文献

各項末尾に記載。

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
七山太・中川正二郎・前野深・成尾英仁	南九州、屋久島において記載された過去の巨大地震津波を示唆する幾つかの証拠	月刊地球号外, 67, 99-106	2017 年 3 月
長谷川健	阿寒火山におけるカルデラの成り立ち	The Great Nature of Akan 阿寒の大自然誌 第 I 部 第 1 章, 釧路叢書, 釧路市	2017 年 3 月
Bergal-Kuvikas, O., Nakagawa, M., Kuritani, T., Muravyev, Y., Malik, N., Klimenko, E., Amma-Miyasaka, M., Matsumoto, A. and Shimada, S.	A petrological and geochemical study on time-series samples from Klyuchevskoy volcano, Kamchatka arc	Contributions to Mineralogy and Petrology 172, 35, doi:10.1007/s00410-017-1347-z	2017 年 5 月
長谷川健・中川光弘・宮城磯治	北海道東部、アトサヌプリ火山における水蒸気噴火の発生履歴：炭素年代および気象庁ボーリングコアからの検討	地質学雑誌, 123, 269-281	2017 年 5 月
Kuritani, T., Sakuyama, T., Kamada, N., Yokoyama, T. and Nakagawa, M.	Fluid-fluxed melting of mantle versus decompression melting of hydrous mantle plume as the cause of intraplate magmatism over a stagnant slab: implications from Fukue Volcano Group, SW Japan	Lithos, 282-283, 98-110	2017 年 6 月
安井真也	浅間前掛火山 12 世紀以前の噴火履歴復元の手がかり--御代田軽石を中心とした新知見--	火山, 62, 117-134	2017 年 6 月 5 日

西来邦章・石毛康介・島田駿二郎・中川光弘	北海道中央部、美瑛～上川地域に分布する十勝カルデラ周辺の火砕流堆積物の FT 年代及び U-Pb 年代	火山, 62, 83-94	2017 年 7 月 25 日
長谷川健・中川光弘・宮城磯治	北海道東部、アトサヌプリ火山における水蒸気噴火の発生履歴	地質学雑誌, 123, 269-281	2017 年 7 月 25 日
Geshi, N., Maeno, F., Nakagawa, S., Naruo, H. and Kobayashi, T.	Tsunami deposits associated with the 7.3 ka caldera-forming eruption of the Kikai caldera, insights for tsunami generation during submarine caldera-forming eruptions	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 347, 221-233	2017 年 10 月
石﨑泰男・森田考美・鳥山光	男体今市テフラとそれに付随するスコリア流堆積物を形成した爆発的噴火の推移とマグマ供給系	火山, 62, 95-116	2017 年 10 月 11 日
宮縁育夫・星住英夫	阿蘇カルデラ東壁斜面における完新世マスムーブメントの特徴と頻度	地学雑誌, 126, 581-593	2017 年 10 月 25 日
Liu, J., Xia, Q.-K., Kuritani, T., Hanski, E. and Yu, H.-R.	Mantle hydration and the role of water in the generation of large igneous provinces	Nature Communications, 8, 1824, doi:10.1038/s41467-017-01940-3	2017 年 11 月 28 日
Ahmadi, P., Ghorbani, M. R., Coltorti, M., Kuritani, T., Cai, Y., Fioretti, A. M., Braschi, E., Giacomoni, P. P., Aghabazaz, F., Babazadeh, S., and Conticelli, S.	High-Nb hawaiite-mugearite and high-Mg calc-alkaline lavas from northeastern Iran: Oligo-Miocene melts from modified mantle wedge	International Geology Review, doi:10.1080/00206814.2017.1416502	2017 年 12 月 22 日

橋本武志・長谷川健・小園誠史・萬年一剛・中道治久・隅田まり　鈴木由希・田島靖久・高木朗充・田中　良・上澤真平・山田大志	IAVCEI（国際火山学地球内部化学協会）2017 年大会参加報告	火山，62，189-196	2017 年 12 月
Miyabuchi, Y., Iizuka, Y., Hara, C., Yokoo, A., Ohkura, T.	The September 14, 2015 phreatomagmatic eruption of Nakadake first crater, Aso volcano, Japan: Eruption sequence inferred from ballistic, pyroclastic density current and fallout deposits	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 351, 41-56	2018 年 2 月
Festus Tongwa Aka, Takeshi Hasegawa, Linus Anye Nche, Asobo Nkengmatia Elvis Asaah, Mumbfu Ernestine Mimba, Isidore Teitchou, Caroline Ngwa, Yasuo Miyabuchi, Tetsuo Kobayashi, Boniface Kankeu, Tetsuya Yokoyama, Gregory Tanyileke, Takeshi Ohba, Joseph Victor Hell, Minoru Kusakabe	Upper Triassic mafic dykes of Lake Nyos, Cameroon (West Africa) I: K-Ar age evidence within the context of Cameroon Line magmatism, and the tectonic significance	Journal of African Earth Sciences, 141, 49-59	2018 年 2 月
Yanagida, Y., Nakamura, M., Yasuda, A.,	Differentiation of a hydrous arc magma recorded in melt	Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 19,	2018 年 3 月 15 日

Kuritani, T., Nakagawa, M., and Yoshida, T.	inclusions in deep crustal cumulate xenoliths from Ichinomegata maar, NE Japan.	doi:10.1002/2017GC007301	
Yoshimura, S.	Chlorine diffusion in rhyolite under low-H_2O conditions.	Chemical Geology, 483, 619-630	2018 年 3 月 18 日
吉村俊平	火山噴火を中枢制御するマグマの発泡とガス輸送の実態	可視化情報, 38, 16-20	2018 年 3 月
Álvarez-Valero, A.M., Burgess, R., Recia, C., de Matos, V., Sánchez-Guillamónd, O., Gómez-Ballesteros, M., Recio, G., Fraile-Nuez, E., Sumino, H., Flores, J.A., Ban M., Geyer, A., Bárcena, M.A., Borrajo, J., Compaña J.M.	Noble gas signals in coralspredict submarine volcanic eruptions.	Chemical Geology, 480, 28-34	2018 年 3 月
高橋正樹・菊池雅之・折戸功一・安井真也・金丸龍夫・竹本弘幸	浅間黒斑・仙人火山大規模山体崩壊堆積物に含まれる火山岩塊の全岩主化学組成	日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 53, 51-75	2018 年 3 月
高橋正樹・久保誠二・高杉直彰・河野保・安井真也・金丸龍夫	子持火山放射状岩脈群の全岩化学組成	日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 53, 77-96	2018 年 3 月
Yasui, M.	Textures of the Eruptive Products of Asama-Maekake Volcano from the 12th Century-Indicator of Eruptive	Proceedings of the instituteof natural sciences, Nihon University, 53, 37-50	2018 年 3 月

	Processes		
［取材対応者］ 草野有紀･石塚吉浩	[マスコミ報道] 日光白根山、1649 年噴火	下野新聞	2017 年 3 月 22 日　掲載
西勇樹・伴雅雄・及川輝樹	蔵王火山、五色岳旧火山体の形成史（ポスター発表）	日本地球惑星科学連合 2017 年大会，千葉幕張	2017 年 5 月 20 日 国内
松尾良子･中川光弘	北海道南西部ニセコ火山群、イワオヌプリ火山の形成史と活動年代　（ポスター発表）	日本地球惑星科学連合 2017 年大会，千葉幕張	2017 年 5 月 20 日 国内
榎枝竜之介･中川光弘	北海道滝川単成火山群及び暑寒別火山の岩石学的研究：島弧会合部におけるマグマの時空変遷　（ポスター発表）	日本地球惑星科学連合 2017 年大会，千葉幕張	2017 年 5 月 20 日 国内
山元孝弘･中川光弘	カルデラ陥没を起こすプリニー式噴火の特徴：支笏降下火砕物の例　（口頭発表）	日本地球惑星科学連合 2017 年大会，千葉幕張	2017 年 5 月 20 日 国内
谷内元・栗谷豪・中川光弘	北海道北部、利尻火山に産するカルクアルカリ安山岩の岩石学的成因（口頭発表）	日本地球惑星科学連合 2017 年大会，千葉幕張	2017 年 5 月 20 日 国内
中川光弘･松本亜希子・長谷川健	大規模珪長質マグマ系の多様性とその成因（口頭発表）	日本地球惑星科学連合 2017 年大会，千葉幕張	2017 年 5 月 20 日 国内
石毛康介・中川光弘・石塚吉浩	北海道中央部、旭岳の形成史：特に完新世の水蒸気噴火履歴および噴火様式について（口頭発表）	日本地球惑星科学連合 2017 年大会，千葉幕張	2017 年 5 月 20 日 国内
松本亜希子･中川光弘・小林恭平・前野深	九州南部、7300 年前の鬼界カルデラ形成噴火(K-Ah)の岩石学的研究（口頭発表）	日本地球惑星科学連合 2017 年大会，千葉幕張	2017 年 5 月 20 日 国内
宮坂瑞穂・中川光弘・三浦大助・上澤真平・古川竜太・松本亜希子	支笏－洞爺火山地域･後期更新世のテフラ層序の再検討（ポスター発表）	日本地球惑星科学連合 2017 年大会，千葉幕張	2017 年 5 月 20 日 国内

高橋正樹・安井真也・中川光弘・武尾実	浅間前掛火山の噴火イベントと確率論的噴火事象系統樹の試作（口頭発表）	日本地球惑星科学連合2017年大会，千葉幕張	2017年5月20日 国内
馬場章・金丸龍夫・吉本充宏	古地磁気学的手法による富士火山の歴史時代噴火の再検討（ポスター発表）	日本地球惑星科学連合2017年大会，千葉幕張	2017年5月20日 国内
古川邦之・宇野康司・中井耕太郎・金丸龍夫	神津島、砂糠山流紋岩溶岩の岩相変化と構造発達過程（口頭発表）	日本地球惑星科学連合2017年大会，千葉幕張	2017年5月20日 国内
中井耕太郎・古川邦之・金丸龍夫・宇野康司	流紋岩溶岩のキュリー温度以下における回転運動--神津島砂糠山溶岩の例--（口頭発表）	日本地球惑星科学連合2017年大会，千葉幕張	2017年5月20日 国内
Yoshimura S., Nakagawa M., Matsumoto A.	Chlorine mapping as a new tool to investigate the degassing processes of silicic magma（口頭発表）	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba	2017年5月20日 国際
吉村俊平・谷口瑞帆	流紋岩質メルトの発泡実験と溶岩ドーム爆発条件の制約（ポスター発表）	日本地球惑星科学連合2017年大会，千葉幕張	2017年5月20日 国内
望月伸竜・宮縁育夫・渋谷秀敏	Paleomagnetic secular variation of 3-4 ka from lava flows around the post-caldera cones of Aso Volcano and its contribution to the volcanic stratigraphy（口頭発表）	日本地球惑星科学連合2017年大会，千葉幕張	2017年5月21日 国際
宮縁育夫・前野深・中田節也・長井雅史・飯塚義之・星住英夫・田中明子・伊藤順一・川辺禎久・大石雅之，横尾亮彦・大倉敬宏	阿蘇火山中岳における2016年10月7日～8日噴火とその噴出物（口頭発表）	日本地球惑星科学連合2017年大会，千葉幕張	2017年5月22日 国内
Haryo Edi Wibowo, Mitsuhiro	Petrological and geochemical study of Sundoro volcano, central	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba	2017年5月22日 国際

Nakagawa, Ryuta Furukawa, Akira Takada, Oktory Prambada	Java, Indonesia: Temporal variations in differentiation and source processes in the growth of an individual arc volcano（ポスター発表）		
Takeshi Kuritani, Tetsuya Sakuyama, Natsumi Kamada, Tetsuya Yokoyama, Mitsuhiro Nakagawa	Fluid-fluxed melting of the mantle as the cause of intraplate magmatism over a stagnant slab: implications from Fukue Volcano Group, SW Japan（ポスター発表）	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba	2017 年 5 月 22 日 国際
塚本すみ子・片岡香子・宮縁育夫	ルミネッセンス年代測定による阿蘇火山のカルデラ決壊洪水発生時期の推定（口頭発表）	日本地球惑星科学連合 2017 年大会，千葉幕張	2017 年 5 月 24 日 国内
Maeno, F., Nakada, S., Yoshimoto, M., Shimano, T., Hokanishi, N., Zaennudin, A. and Iguchi, M.	A sequence of plinian eruption preceded by dome destruction at Kelud volcano, Indonesia, on February 13, 2014: insights from tephra fallout and pyroclastic density current deposits（ポスター発表）	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba	2017 年 5 月 24 日 国際
横田彰宏・近藤玲介・重野聖之・金丸龍夫・右代啓視・冨士田裕子	北海道北部、頓別平野における樽前火山起源のテフラ（ポスター発表）	日本地球惑星科学連合 2017 年大会，千葉幕張	2017 年 5 月 25 日 国内
Futoshi Nanayama, Kiyoyuki Shigeno, Kazuaki Watanabe, Takeshi	Geomorphological evolution of Hashirikotan barrier spit controlled by seismotectonics along the southern Kuril	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba	2017 年 5 月 国際

Hasegawa, Yasuhito Uchida, Yasuo Ikeda	subduction zone（ポスター発表）		
Hidetoshi Shibuya, Nobutatsu Mochizuki, Takeshi Hasegawa and Makoto Okada	Connecting marine and on-land paleoinitensity studies（口頭発表）	2017 GSA Cordilleran Section Meeting, Honolulu (Invited)	2017 年 5 月 25 日 国際
産総研・東大地震研・気象庁地震火山部	霧島硫黄山 2017 年 5 月噴出物の構成物分析結果（資料提出）	第 138 回火山噴火予知連絡会	2017 年 6 月 20 日 国内
Sato S, Ban M, Nishi Y, Oikawa T, Yamasaki S	Temporal change of magma plumbing system in flourish time of Zao volcano, NE Japan（ポスター発表）	IAVCEI 2017 Scientific Assembly, Portland	2017 年 8 月 14 日 国際
Akiko Matsumoto, Mitsuhiro Nakagawa, Masato Iguchi	Petrological monitoring of eruptive activity since AD 2006 at Sakurajima volcano, southern Kyushu, Japan: Implication of the activation in AD 2015（ポスター発表）	IAVCEI 2017 Scientific Assembly, Portland	2017 年 8 月 14 日 国際
Mitsuhiro Nakagawa, Akiko Matsumoto, Takeshi Hasegawa, Fukashi Maeno	Diversity and origin of large silicic magma system: Comparative petrological studies of recent caldera-forming eruptions in Japan（ポスター発表）	IAVCEI 2017 Scientific Assembly, Portland	2017 年 8 月 14 日 国際
Shimpei Uesawa, Mitsuhiro Nakagawa, Akane Umetsu	Eruptive history, structure and magmatic change at Yotei volcano, southwest Hokkaido, Japan（ポスター発表）	IAVCEI 2017 Scientific Assembly, Portland	2017 年 8 月 14 日 国際

Reza Firmansyah Hasibuan, Tsuksa Ohba, Mirzam abdurrachman, Takashi Hoshide	Magma characteristics of Rajabasa volcanic complex inferred from petrological approach（ポスター発表）	IAVCEI 2017 Scientific Assembly, Portland	2017 年 8 月 15 日 国際
T, Ohba, T. Imura, K. Ito, Y. Minami	Interaction between volcanic fluid and magma, inferred from altered volcanic ash particles: examples from arc composite cones in Japan（ポスター発表）	IAVCEI 2017 Scientific Assembly, Portland	2017 年 8 月 17 日 国際
Takeshi Hasegawa, Hiroki Hasegawa, Tetsuo Kobayashi and Darren Gravley	Emplacement of highly mobile and ‘cool’ block-rich PDCs from the Mashu caldera-forming eruption, eastern Hokkaido, Japan（ポスター発表）	IAVCEI 2017 Scientific Assembly, Portland	2017 年 8 月 国際
Daisuke Sekina, Takeshi Hasegawa	Eruption history and magma processes of pyroclastic deposits around Kamafusayama, southern Fukushima, Japan（ポスター発表）	IAVCEI 2017 Scientific Assembly, Portland	2017 年 8 月 国際
Takeshi Kuritani, Tetsuya Sakuyama, Natsumi Kamada, Tetsuya Yokoyama, Mitsuhiro Nakagawa	Fluid-fluxed melting of the mantle as the cause of intraplate magmatism over a stagnant slab: evidence from Fukue Volcano Group, SW Japan（ポスター発表）	Goldschmidt Conference 2017, Paris	2017 年 8 月 17 日 国際
宮縁育夫	阿蘇カルデラ北西部、蛇ノ尾火山のテフラ層序と噴火年代（口頭発表）	日本第四紀学会 2017 年大会，福岡	2017 年 8 月 26 日 国内
太田岳洋	第四紀火山における応用地質学的問題－主に建設工事を対象として－（口頭	日本第四紀学会 2017 年大会，福岡	2017 年 8 月 28 日 国内

	発表）		
七山太・渡辺和明・重野聖之・石井正之・長谷川健・内田康人・石渡一人	野付崎バリアースピッツの現行過程の視点から読み解く現在・過去・未来（口頭発表）	日本第四紀学会 2017 年大会，福岡	2017 年 8 月 国内
伴雅雄・佐藤真・西勇樹・及川輝樹・山崎誠子	蔵王山、古熊野岳-中丸山火山体のマグマ供給系の変化（口頭発表）	日本鉱物科学会 2017 年年会，松山	2017 年 9 月 14 日 国内
吉村俊平	等化学ポテンシャルモデルから予想される地殻流体組成 ：堆積盆流体の例（ポスター発表）	日本鉱物科学会 2017 年年会，松山	2017 年 9 月 14 日 国内
竹内真司・金丸龍夫・安江健一・廣内大助,	岩石磁気学的手法を用いた活断層評価（口頭発表）	日本地質学会第 124 年学術大会，松山	2017 年 9 月 18 日 国内
川上源太郎・廣瀬亘・林　圭一・渡辺真人・長谷川健	5 万分の 1 地質図幅「網走」の概要（ポスター発表）	日本地質学会 124 年学術大会，松山	2017 年 9 月 18 日 国内
星住英夫・宮縁育夫・宮城磯治	Aso-4/3 降下テフラの層序と全岩化学組成（ポスター発表）	日本火山学会 2017 年秋季大会，熊本	2017 年 9 月 21 日 国内
長井雅史・高橋正樹・安井真也・金丸龍夫・外西奈津美・中田節也	浅間山小浅間火山観測井の岩石コア試料の層序と年代（口頭発表）	日本火山学会 2017 年度秋季大会，熊本	2017 年 9 月 21 日 国内
高橋正樹・安井真也・佐藤晃也・金丸龍夫・長井雅史	浅間前掛火山「4 世紀」大規模噴火の噴火推移（口頭発表）	日本火山学会 2017 年度秋季大会，熊本	2017 年 9 月 21 日 国内
田中明子・後藤秀作・山野誠	気象庁火山観測点ボーリングコアを用いた熱物性値測定（ポスター発表）	日本火山学会 2017 年度秋季大会，熊本	2017 年 9 月 21 日 国内
草野有紀・石塚吉浩	日光白根火山 1649 年噴火（ポスター発表）	日本火山学会 2017 年度秋季大会，熊本	2017 年 9 月 21 日 国内
伊藤直人・伴雅雄	蔵王火山、熊野岳山頂溶岩および馬の背溶岩における層序とマグマ供給系の解明　（ポスター発表）	日本火山学会 2017 年度秋季大会，熊本	2017 年 9 月 21,22 日 国内

西勇樹・伴雅雄・及川輝樹・山崎誠子	蔵王火山、五色岳形成開始前後のマグマ溜まりの構造について（ポスター発表）	日本火山学会 2017 年度秋季大会，熊本	2017 年 9 月 21,22 日 国内
星住英夫・宮縁育夫・宮城磯治	阿蘇火砕流及び降下火砕物の層序（口頭発表）	日本火山学会 2017 年秋季大会，熊本	2017 年 9 月 22 日 国内
宮城磯治・星住英夫・宮縁育夫	阿蘇 4 火砕流噴火前のマグマ供給系（口頭発表）	日本火山学会 2017 年秋季大会，熊本	2017 年 9 月 22 日 国内
平川泰之・宮縁育夫・園村道明	阿蘇火山・米塚溶岩における風穴の分布（ポスター発表）	日本火山学会 2017 年秋季大会，熊本	2017 年 9 月 22 日 国内
萬年一剛・清杉孝司・宮縁育夫・長谷中利昭・樋口篤志	噴煙の曲がりを考慮したシミュレーションによる新燃岳 2011 年噴火の噴煙（ポスター発表）	日本火山学会 2017 年秋季大会，熊本	2017 年 9 月 22 日 国内
佐野貴司・栗谷豪・栗岩薫・谷健一郎・中川光弘	西之島マグマへのスラブ影響（口頭発表）	日本火山学会 2017 年度秋季大会，熊本	2017 年 9 月 22 日 国内
谷内元・栗谷豪・中川光弘	利尻火山、カルクアルカリ安山岩の苦鉄質端成分（口頭発表）	日本火山学会 2017 年度秋季大会，熊本	2017 年 9 月 22 日 国内
亀谷伸子・石崎泰男・吉本充宏・寺田暁彦	草津白根火山の完新世噴火履歴（ポスター発表）	日本火山学会 2017 年度秋季大会，熊本	2017 年 9 月 22 日 国内
藤原 寛・石崎泰男・中野俊・山崎誠子	14 万年前以降の白山火山群の形成史（ポスター発表）	日本火山学会 2017 年度秋季大会，熊本	2017 年 9 月 22 日 国内
伊藤順一・長井雅史	西岩手火山、後カルデラ期の噴出物層序の再検討-気象庁観測点整備ボーリングコア(JMA-V122)解析ら基づく金沢火砕流の再評価（ポスター発表）	日本火山学会 2017 年度秋季大会，熊本	2017 年 9 月 22 日 国内
宮縁育夫	蛇ノ尾火山噴出物からみた阿蘇火山中央火口丘群北西部の完新世噴火活動の特徴（口頭発表）	日本火山学会 2017 年秋季大会，熊本	2017 年 9 月 23 日 国内

伊藤啓太・大場司	完新世における栗駒火山の噴火活動の推移と噴出物の起源（ポスター発表）	日本火山学会 2017 年秋季大会，熊本	2017 年 9 月 23 日 国内
前野深・吉本充宏・中道治久	噴火堆積物にもとづく噴出量・噴出率推定手法の進展（口頭発表）	日本火山学会 2017 年秋季大会，熊本	2017 年 9 月 23 日 国内
西野佑紀・長谷川健・藤縄明彦	栃木県、高原火山におけるカルデラ形成期の火砕堆積物の層序と年代（ポスター発表）	日本火山学会 2017 年度秋季大会，熊本	2017 年 9 月 国内
関根大輔・長谷川健・藤縄明彦	福島県南部、鎌房山における火砕堆積物のマグマ供給系（ポスター発表）	日本火山学会 2017 年度秋季大会，熊本	2017 年 9 月 国内
長谷川健・長谷川弘樹・小林哲夫・Gravley Darren	北海道東部、摩周火山で 7,600 年前に発生したカルデラ形成噴火の推移（口頭発表）	日本火山学会 2017 年度秋季大会，熊本	2017 年 9 月 国内
Reza Firmansyah Hasibuan, Tsuksa Ohba, Mirzam abdurrachman, Takashi Hoshide	Magma characteristics of Rajabasa volcanic complex inferred from petrological approach（ポスター発表）	Joint Convention Malang 2017, Makang, Indonesia	2017 年 9 月 27 日 国際
山下慧・太田岳洋	九重火山東部における地下水水質と火山地質との関係性について（ポスター発表）	日本応用地質学会，岡山	2017 年 10 月 12 日 国内
太田岳洋	火山岩分布域における地下水水質形成機構の検討（口頭発表）	日本応用地質学会，岡山	2017 年 10 月 13 日 国内
Suganuma, Y., Okuno, J., Kanamaru, T., Kaneda, H., Koyama, T.	Reconstruction of the East Antarctic ice sheet variability during the last 3 Ma in the central & eastern Dronning Maud Land, East Antarctica（口頭発表）	Past Antarctic Ice Sheet Dynamics Conference, Trieste, Italy	2017 年 9 月 12 日 国際
Kanamaru, T., Suganuma, Y.,	The weathering of granitic rocks in the Sør	Past Antarctic Ice Sheet Dynamics	2017 年 9 月 12 日

Oiwane, H., Miura, H., Miura, M., Okuno, J., Hayakawa, H.	Rondane Mountains, East Antarctica（ポスター発表）	Conference, Trieste, Italy	国際
Mitsuhiro Nakagawa, Mizuho Amma-Miyasaka	Tephrastratigraphy and tephrochronology of the Shikotsu-Toya volcanic field, Hokkaido, Japan: Beginning and development of silicic volcanism at an arc-arc Junction（ポスター発表）	The 2017 Geoscience Society of New Zealand Annual Conference, Auckland	2017 年 11 月 30 日 国際
Shibuya, H., Mochizuki, N., Miyabuchi, Y.	Paleomagnetic directions of 3-4 ka basaltic volcanoes in the Aso central cone, Kyushu Japan: Contributions to the paleosecular variation and the volcano-stratigraphic studies（口頭発表）	American Geophysical Union 2017 Fall Meeting, New Orleans	2017 年 12 月 12 日 国際
Kanamaru, T.	Mode of emplacement of the Kogarasuyama granodiorite inferred from magnetic fabric（ポスター発表）	American Geophysical Union 2017 Fall Meeting, New Orleans	2017 年 12 月 12 日 国際
Ban, M.	Eruption history of Zao volcano（口頭発表）	15th International Workshop on WATER DYNAMICS Deeper and Hotter in Frontier Earth, Sendai	2018 年 3 月 13 日 国際

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発
なし

3) 仕様・標準等の策定
なし

(3) 平成３０年度業務計画案

(a) 火山の噴火履歴およびマグマ長期変遷に関する研究

平成 30 年度は前年度に行った事前調査の結果をもとに、最重点火山・重点火山を中心とした計９火山において、ボーリング掘削およびトレンチ掘削調査を実施する。具体的には以下を実施する。

1) 鬼界（東京大学・北海道大学）

引き続き深深度ボーリング掘削を 330m まで行い、地表踏査だけでは困難であったカルデラ形成噴火の先行活動から最盛期までの詳細な噴火履歴の解明に取り組む。

2) 浅間山（日本大学）

平成 29 年度でより解析が進んだ浅間山では、東南東麓でのボーリング掘削調査も実施し、テフラの主軸においてトレンチ掘削調査では確認できないより古い堆積物について層序の確立を目指す。また、トレンチ掘削調査も実施し、浅間山の噴火履歴および噴火様式を解明する。それと同時に放射性炭素年代測定を多数行い、詳細な時間軸を入れることで、精密な時間－噴出物量図の作成を目指す。

3) 有珠山（北海道大学）

噴火活動の開始時期や山体崩壊イベントの時期を特定するために、ボーリング掘削調査を実施する。

4) 雌阿寒岳（北海道大学・神戸大学・産業技術総合研究所）

野外調査に加え、山体における手掘り掘削調査を実施し、最新期の活動（完新世）のより詳細な噴火履歴を明らかにすることを目指す。

5) ニセコ（北海道大学）

野外調査に加え、山体における手掘り掘削調査を実施し、イワオヌプリ火山の最新の活動の噴火履歴を明らかにする。

6) 鳥海山（秋田大学）

平成２９年度の成果を基に、最新の噴火履歴を明らかにするために、野外調査に加え、山体での手掘り掘削調査を拡充する。

7) 蔵王山（山形大学）

山体における手掘り掘削調査を増やし、より詳細な噴火履歴を明らかにすることを目指す。

8) 吾妻山（茨城大学）

野外調査を実施し、最近７千年間の活動について噴火履歴を解明することを目指す。

9) 御嶽山（産業技術総合研究所）

山体における手掘り掘削調査と野外調査により、完新世のより詳細な噴火履歴を明らかにすることを目指す。

10) 白山（富山大学）

山頂部を中心として野外調査または手掘り掘削調査により、最近の活動の噴火履歴を解明することを目指す。

11) 九重（山口大学）

野外調査により、テフラ層序の再検討を行うとともに、平成 29 年度に実施した火山体内部での水-岩石反応モデルを検討する。

12) 阿蘇山（熊本大学）

平成 29 年度に実施した蛇ノ尾火山の噴火史をより詳細に検討するため、同火山周辺域でトレンチ調査を実施する。さらに、平成 31 年度以降のボーリング調査の候補地選定に向けて、完新世に活動した阿蘇火山中央火口丘群の中央部あるいは北西部の地域において 1 箇所のトレンチ調査を行う。

13) その他の火山

上記の重点火山に加えて、以下の火山について地表踏査を新たに開始し、噴火履歴とマグマ変遷の解明を目指す。これらでは状況によっては手掘りトレンチも実施する可能性がある。それらは秋田駒が岳（北海道大学）、八丈島（北海道大学）、新潟焼山（富山大学）、新島（筑波大学）である。

また、特に最重点火山である摩周（北海道大学・茨城大学）・鳥海山（秋田大学・山形大学）・阿蘇山（熊本大学）については、ボーリング掘削およびトレンチ掘削の調査地点を選定する。また重点火山の見落としを避けるために、他の活火山についても噴火履歴やマグマ変遷に関して検討を行う。そして、地質調査により得られた高精度噴火履歴に基づいて噴出物を採取し、物質科学的解析を開始する。基礎的な解析は各参加機関で行うが、高精度解析を必要とした場合は、北海道大学の「マグマ変遷解析センター」で行う。

(b) 大規模噴火 DB の構築（産業技術総合研究所）

噴火系統樹の作成に用いる噴火履歴調査として、大規模噴火の活動推移に関するデータを得るために、特に国内外の VEI>5 クラスの噴火の活動推移についてデータ収集を引き続き行う。

(c) 海外における噴火事例との比較研究

平成 29 年度より開始したロシア・カムチャツカの ISV と共同研究である、アバチンスキー火山の比較研究を継続する。富士山や羊蹄山など巨大成層火山の活動履歴・推移と比較することで、ハザードマップおよび噴火事象系統樹の作成に関しての知見を得る。

(d) ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築（防災科学技術研究所・北海道大学）

本課題の研究手法の 1 つであるボーリング掘削調査のために、引き続き国立研究開発法人防災科学技術研究所（協力機関）とともに、ボーリングコア試料の保管・管理システム

の構築を行う。

(e) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発（北海道大学）

噴出物解析のために、北海道大学大学院理学研究院の分析装置等を管理する分析実験室を引き続き「マグマ変遷解析センター」として整備し、個々の装置のルーチン分析手法を確立する。また、課題の対象火山噴出物についての分析を開始するとともに、課題 C サブテーマ 2 の参加機関及び協力機関の利用を順次受け入れる。

(f) 課題全体のとりまとめと研究成果の発信

平成 30 年秋に C-2 課題の研究集会を開催する。計画 3 年目であることから、個々の火山の成果についてより深く議論を行い、成果のとりまとめや発信方法も含め、今後の研究方針を立てる。さらに課題 C 全体の連携に留意し、課題 C-1、C-3 を加えた課題 C の研究集会を開催する。そして、噴火事象系統樹や噴火事象分岐判断手法の開発に関して他課題と連携し、次世代火山研究推進事業全体のシンポジウム開催を呼びかけ、全課題共通の項目として検討を行うことを提案する。

３．３　シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発

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２９年度業務目的

(2)　平成２９年度の成果
(a) 業務の要約
(b) 業務の成果
サブテーマ①地下におけるマグマ移動シミュレーション
サブテーマ②噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
(d) 結論ならびに今後の課題
(e) 引用文献
(f) 成果の論文発表・口頭発表等
(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

(3)　平成３０年度の業務計画案

（1）業務の内容

(a) 業務題目

課題Ｃ　火山噴火の予測技術の開発

サブテーマ３　シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立研究開発法人	副センター長	藤田英輔	fujita@bosai.go.jp
防災科学技術研究所	主任研究員	三輪学央	miwao@bosai.go.jp
火山研究推進センター	契約研究員	黒川愛香	kurokawa@bosai.go.jp
	契約研究員	長井雅史	mnagai@bosai.go.jp
	契約研究員	入山　宙	iriyama@bosai.go.jp
国立大学法人東北大学	教授	西村太志	
大学院理学研究科	准教授	小園誠史	
	准教授	奥村　聡	
国立大学法人東京大学	助教	鈴木雄治郎	
地震研究所数理系研究部門			
気象庁気象研究所火山研究部	部長	山里　平	
	室長	徳本哲男	
	室長	山本哲也	
	主任研究官	新堀敏基	
	主任研究官	鬼澤真也	
	研究官	佐藤英一	
	研究官	石井憲介	
	研究官	川口亮平	
国立大学法人静岡大学	准教授	石橋秀巳	
理学部地球科学科			
山梨県富士山科学研究所	非常勤研究員	常松佳恵	
火山防災研究部			

(c)　業務の目的

火山噴火とそれに伴う火山災害は、複雑な物理的・化学的な要素の組み合わせにより発生する現象であり、これらを総合的に評価することによって、火山噴火予知・推移予測、災害推定などについて精度の高い情報発信が可能となる。複雑な現象を総括的に解明するために、数値シミュレーションは有効な手段である。火山観測データや実験データから得られる帰納的情報と理論から導出する演繹的情報を相互にフィードバックさせて、より高度で精度の高いモデルを構築する。

本委託業務では、サブテーマ①火山噴火予知・推移予測に資する「地下におけるマグマ

移動シミュレーション」及びサブテーマ②火山災害軽減のための「噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化」を実施する。

サブテーマ①では、地下におけるマグマの移動過程、気液二相系としての流動様式と噴火様式についての解釈を行い、噴火に至るまでの事象分岐の判断基準について体系的に整理する。特に火道流のモデル化、岩脈貫入現象のシミュレーションを開発し、噴火事象分岐判断のための基準を構築する。また、室内実験を実施し、マグマ移動過程に影響を与える物性についてのモデルを構築し、シミュレーション化する数値モデルの高度化を行う。

サブテーマ②では、噴火発生時における降灰・噴煙・火砕流・溶岩流・土石流・泥流・噴石などの多様な火山現象に対して一元的に定量化を行うとともに、現象を支配するパラメータを体系化し、噴火ハザードを高精度で評価可能なシステムを作成する。降灰ハザード予測モデルの開発においては、主に大都市圏などの広域における降灰シミュレーションと脆弱性データベースの融合によるリスクの定量評価が可能なものを目指す。これは本テーマ内の噴煙柱ダイナミクスモデルの開発から降灰シミュレーションの初期条件を取得することや、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの次世代火山研究推進事業課題 D サブテーマ 2（リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発）による、より稠密な降灰評価との連携を行うことにより精度の向上を図る。噴煙柱ダイナミクスモデルの開発では、過去の事象の検証を踏まえた上で高度化を行う。溶岩流シミュレーションでは、既存モデル(LavaSIM)を発展させ、クラスト移動の解析が可能なものを開発する。土石流・泥流・火砕流・噴石については既往モデルの検証とこれをもとにした高度化を検討する。

サブテーマ①・②を踏まえ、火山活動から火山災害発生までの事象系統樹の分岐に定量的パラメータを与え、火山噴火発生確率の算定に寄与する。事象系統樹の分岐判断については「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について（建議）（平成 25 年 11 月 8 日科学技術・学術審議会決定）に基づく地震火山観測研究」で創出されている成果、特に火山ごとの分岐についての観測事例をベースにして、数値シミュレーションによる予測と定量的な比較を進めるとともに、議論を通して知見を共有する。

数値シミュレーションにより作成する判断基準は、現象を支配するパラメータの整理と現象分岐の閾値の抽出により実現する。数値シミュレーションによるパラメータと、観測・実験により得られる情報を体系化し、事象系統樹の各分岐ノードにおける判断基準として取り込むことにより実装化を図る。

(d) １０か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成２８年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

・噴火機構シミュレーション：

・マグマ移動過程シミュレーション：岩脈貫入に伴う応力場把握（マクロ）

・物性モデルの構築：結晶実験・レオロジー実験の環境整備

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル検討（首都圏影響対象）

・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙柱ダイナミクスモデル検討

・ハザード評価システム：噴煙評価システム検討（既往システム参照）

2）平成２９年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

・噴火機構シミュレーション：

・マグマ移動過程シミュレーション：クラック進展シミュレーション（ミクロ）

・物性モデルの構築：実験の環境整備と、結晶化カイネティクスと火山性流体レオロジーのモデル検討

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル予備計算（プロトタイプ）

・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙柱ダイナミクスモデル高度化

・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術設計

・噴石シミュレーション：噴石評価システム検討

・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム設計

3）平成３０年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

・噴火機構シミュレーション：

・マグマ移動過程シミュレーション：ミクロ・マクロモデルの統合

・物性モデルの構築：結晶化カイネティクスモデル検討・火山性流体レオロジーモデル検討

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル予備検証（プロトタイプ）

・噴煙・火砕流シミュレーション：降灰モデルとの連携開始

・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術開発

・噴石シミュレーション：噴石評価システム設計

・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム開発

4）平成３１年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

・マグマ移動過程シミュレーション：観測データによる検証

・物性モデルの構築：結晶化カイネティクスモデル検討・火山性流体レオロジーモデル検討

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル改良（噴煙モデルとの連携）

・噴煙・火砕流シミュレーション：降灰モデルとの連携

・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術設計

・噴石シミュレーション：噴石評価システム開発

・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム運用

5）平成３２年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

・マグマ移動過程シミュレーション：空間分解能の高度化

・物性モデルの構築：観測データによる検証

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル本計算

・噴煙・火砕流シミュレーション：既往火砕流モデル検討

・土石流・泥流シミュレーション：既往土石流・泥流モデル検討

・ハザード評価システム：噴石・溶岩流評価システム運用

6）平成３３年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

・マグマ移動過程シミュレーション：パラメータ感度解析

・物性モデルの構築：観測データによる検証

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル本検証

・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙・火砕流モデル高度化・検証

・土石流・泥流シミュレーション：土石流・泥流モデル高度化・検証

・ハザード評価システム：火山ハザード評価システム運用・高度化（首都圏降灰・噴石・溶岩流）

7）平成３４年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

・マグマ移動過程シミュレーション：岩脈貫入・移動条件の定量化

・物性モデルの構築：システムへの組み込み

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル評価

・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙・火砕流評価システム

・ハザード評価システム：火山ハザード評価システム運用・高度化（降灰・噴石・溶岩流）

8）平成３５年度：

・火山ハザード評価システム運用・高度化（全事象）

・マグマ移動過程評価システム開発および事象分岐評価手法の開発

9）平成３６年度：

・火山ハザード評価システム運用・機能評価

・マグマ移動過程評価システム評価および事象分岐評価手法の開発

10）平成３７年度：
・一元化システム統合
・情報ツールでのコンテンツ提供

(e) 平成２９年度業務目的
サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション
ａ．噴火機構シミュレーション技術開発
噴火形態を支配する火道内流のメカニズムから事象分岐を支配するパラメータの抽出に関する研究を進める。
具体的には、火道内における気液固混相流マグマの上昇過程（火道流）に関する数値シミュレーションについて、爆発的噴火への分岐開始条件が、マグマ物性モデルや玄武岩質マグマ噴火を対象としたモデルに依存してどのように変化するのかを系統的に明らかにする。また、その分岐開始を地殻変動観測によって検知する方法を調べるために、火道流と地殻変動を統合した数値モデルのシミュレーションに着手する。

ｂ．マグマ移動過程シミュレーション技術開発
地下におけるマグマの移動に伴う破壊の進展と火山性地震・地殻変動との関連性を引き続き調べる。
具体的には、岩脈成長シミュレーションにて、腐食破壊・脆性破壊・粘性流動のカップリングについて研究を進める。また、噴火・噴火未遂の分岐を支配する観測パラメータの抽出を行う。さらに、気象庁気象研究所（以下「気象研」という。）の協力を得て火山性地殻変動モデル開発のための予備傾斜観測を伊豆大島において継続する。

ｃ．マグマ物性モデルの構築
マグマ溜りから地表までの上昇過程における結晶化モデルの構築のための環境整備を引き続き行う。また、火山性流体のレオロジーモデル構築の予備実験を開始する。
具体的には、1）マグマ上昇に伴う発泡・結晶化過程を再現するための自動減圧シリンジポンプを整備し、国内火山(神津島等)を例に一部実験を開始する。2）マグマ粘性測定については予備実験を開始し、実験装置の最適化を図る。東北大学及び静岡大学の協力を得てこれらを実施する。

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
ａ．降灰ハザード予測モデルの開発
大都市圏（特に首都圏）を対象とした降灰ハザード予測の評価のためのシステム開発を継続する。
具体的には、VRMS における脆弱性データベース作成について首都圏のデータを取り込むとともに、気象研で開発されている降灰シミュレーションのための領域移流拡散モデル(JMA-RATM)により首都圏への降灰評価を進める。気象研の協力を得てこれらを実施する。

ｂ．噴煙柱ダイナミクスモデルの開発

火山近傍の火山灰大気拡散と降灰を対象とした噴煙柱ダイナミクスモデルの開発を続ける。

具体的には、大型計算機を用いた大規模数値シミュレーションを行い、これまでに得られている人工衛星画像や野外調査データとの比較を行いモデルの検証を行う。特に、1991 年フィリピン・ピナツボ噴火、2014 年インドネシア・ケルート噴火、2015 年チリ・カルブコ噴火事例に関し、前年度に整理した比較可能な物理量について精査する。特に、1991 年ピナツボ噴火事例を対象に、数値シミュレーション結果を基にした噴煙拡大スケーリング則の抽出に着手する。また、噴煙柱・火砕流ダイナミクスモデルのモデルによる不確定性評価の研究を、イタリア地球物理火山研究所（INGV）の協力を得て実施する。

ｃ．ハザード評価システムの検討

多様な火山ハザード現象を評価するシステムの設計について検討する。

具体的には、溶岩流・噴石等のシミュレーション技術開発とそのハザード評価についての情報収集・研究打合せを行う。山梨県富士山科学研究所の協力を得てこれを実施する。

(2)平成２９年度の成果

(a) 業務の要約

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーションでは、噴火機構について、火道内における気液固混相流マグマの上昇過程（火道流）に関する数値シミュレーションを実施し、地殻変動観測での検知可能性について評価を行った。マグマ移動過程については噴火未遂事例について観測データとシミュレーションから解釈を行うとともに、伊豆大島において予備傾斜観測を開始した。また、岩脈成長について、先端での連続性・計算の安定性を確保するモデル化を行った。

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化では、富士山宝永噴火ケースの降灰シミュレーションと首都圏の建造物データベースと連携し、降灰リスク評価を行うシステム構築を開始した。噴煙柱のシミュレーションコードの高度化を進めるとともに、ハザード評価システム設計のため、溶岩流シミュレーションコード LavaSIM、噴石シミュレーションコード Ballista について検討を行った。

(b) 業務の成果

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

ａ．噴火機構シミュレーション技術開発

1 次元火道流数値モデル[1)]によって、非爆発的噴火から爆発的噴火への遷移過程を再現し、さらにその遷移過程が地殻変動観測によって検知できるかどうかを検討した。定常火道流においてマグマ溜まりの圧力と噴出率の関係に負性抵抗がある場合、火道流に不安定化が生じ、急激なマグマ噴出率増加を伴う火道流の急激な変動が生じる。この変動中には、火道内の発泡度や過剰圧も急激に変動し、これが爆発的噴火への遷移過程に相当すると考えられる。この遷移中には、マ-

グマ溜まり圧力がまず最大となってピーク値をとり、その後火道内の浅部における過剰圧がピーク値となり、再度に噴出率が急増するという特徴的な時系列変化が生じることがわかった。そこで、このような特徴的な圧力変動の時間変化がもたらす地殻変動過程を、有限要素法を用いて計算した(図１)。その結果、マグマ溜まり圧力変化の特徴は広域の傾斜観測によって、噴出率急増直前の火道内浅部圧力変化の特徴は火口直交方向歪の観測によって、それぞれ捉えられる可能性があることがわかった。火道径やマグマ溜まり深さを変化させた場合に、この傾斜と歪による圧力変動を検知できるかどうかをパラメータ解析によって検討し、マグマ溜まりが深い場合には、マグマ溜まり圧力変化の影響が少なくなり、傾斜のみを使用した場合でも、圧力変動の特徴を捉えることができるが、深さ 4km などの日本の活火山でもよく存在する浅いマグマ溜まりの場合には、その影響を無視できなくなり、近傍での歪観測が必要になってくることがわかった(図２)。

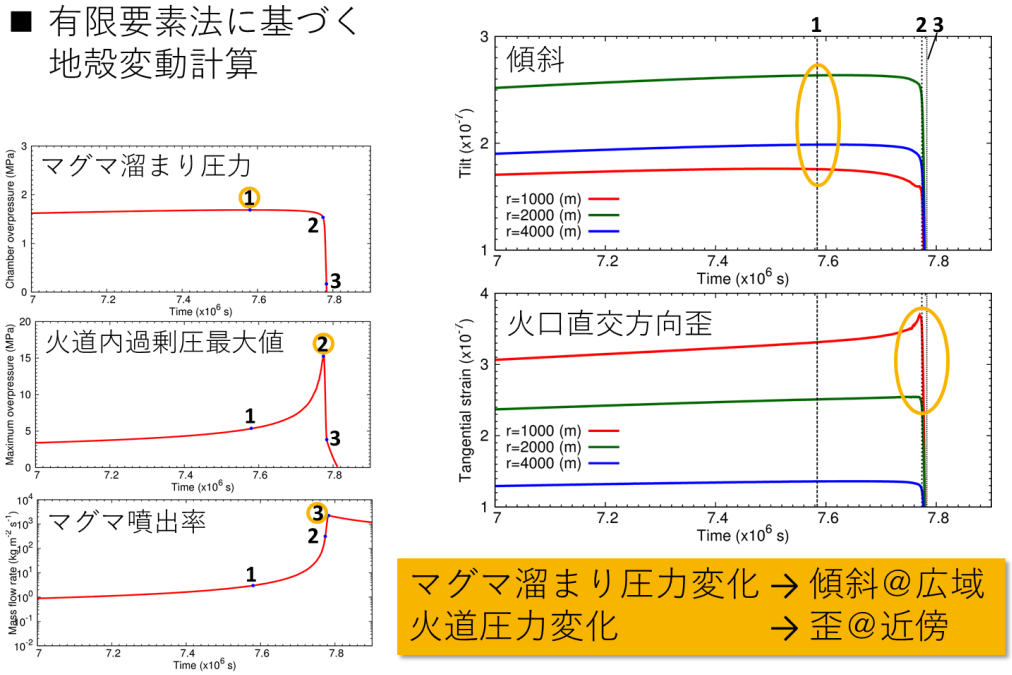


図１　火道流モデルに基づく噴火遷移中の地殻変動シミュレーション例

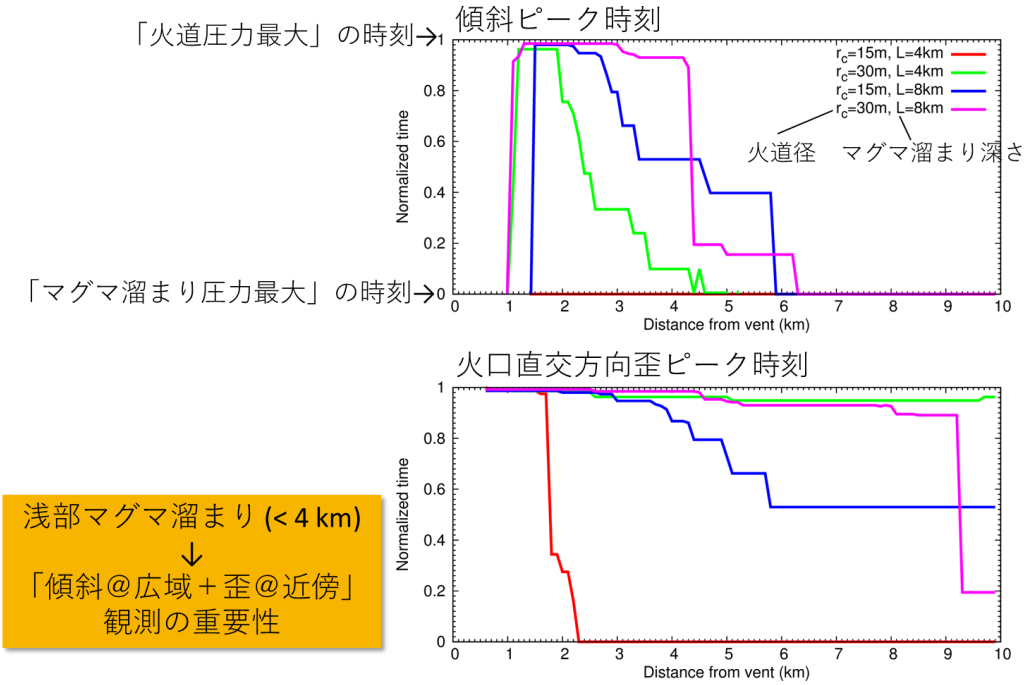


図２　火道流モデルに基づく噴火遷移の検知可能性評価

ｂ．マグマ移動過程シミュレーション技術開発

岩脈成長シミュレーション(ミクロモデル)について、昨年(H28 年)度までの開発段階で問題点としてあげられた、岩脈の先端での圧力勾配の発散の取扱いの改善を検討した。現状では岩脈先端においても岩脈内の流体について平行板間のポアズイユ流を仮定していたため上記の現象が発生していた。今回、岩脈に垂直な方向の流れ関数を導入し、岩脈先端付近での境界の形状を反映するものとなり、岩脈先端での発散は自動的に解消され、計算の安定性が得られることが分かった．以下に詳細を示す。

これまでの定式化は、岩脈先端での圧力 p の鉛直座標 y に対する勾配が次式のようになっており、これにより発散する問題点があった。

$$\frac{\partial p}{\partial y} = -g\rho - \frac{12\eta Q}{\rho a^3} \qquad Q = \frac{\rho a^3 A}{6} \tag{1}$$

ここで、g は重力加速度、ρはマグマの密度である。(1)でマグマの流量 Q が高さ y に無関係な定数であると仮定すると、マグマの先端で岩脈の幅 a が 0 になるので、圧力勾配は発散する。

今年度は、岩脈先端での発散を回避するため、マグマの流れを表現するポアズイユ流の解析解を拡張した次の解を考えた。

$$v_x = Bx \quad v_y = A(\frac{a^2}{4} - x^2) \tag{2}$$

ここで、v_x と v_y は岩脈と垂直および水平方向の流速であり、係数 A と B は一般には y に依存する定数である。前年度までの定式化は $B = 0$ とした解となる。

この解を詳しく調べてみると、yに依存せずに保存されるのは流量 Qではなく、流れの強さを決める係数 A であることが判明した。このときに、圧力勾配は、ηをマグマの粘性率として、単に

$$\frac{\partial p}{\partial y} = -g\rho - 2\eta A \qquad (3)$$

と書け、岩脈の先端での発散は自動的に除かれる。流量が保存されないのは v_x が存在するためで、この水平方向の流れによって岩脈の幅 a は時間とともに変化する。

上昇速度の平均値 v は次のようになる。

$$v = \frac{a^2 A}{6} \qquad (4)$$

マグマの密度ρを一定として質量保存則（連続の式）を適用する。この関係式が定数項と x^2 の項の各々で満たされるべきであることから、次の 2 条件が得られる。

$$\frac{\partial A}{\partial y} = 0 \quad B + \frac{A}{4}\frac{\partial a^2}{\partial y} = 0 \qquad (5)$$

なお、この第 2 式を導く際に第 1 式を使った。第 1 式から、yに依存せずに保存されるのは流量や平均速度ではなく、係数 A であることが分かる。

(4)式の流速に対応して、応力の 3 成分σ_{xx}、σ_{yy}、σ_{xy} は次のように得られる。

$$\sigma_{xx} = -p + \eta B \qquad \sigma_{yy} = -p + \frac{\eta A}{4}\frac{da^2}{dy} = -p - \eta B$$

$$\sigma_{xy} = \eta\left(\frac{\partial B}{\partial y} - 2A\right)x \qquad (6)$$

ここで、ηは粘性率、p は各深さのマグマと岩石の圧力差であり、粘性率は一定値であると仮定する。

(6)式から運動方程式が次のように得られる。

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \eta\frac{\partial^2 B}{\partial y^2}x = 0 \qquad -\frac{\partial p}{\partial y} - g(\rho - \rho_r) - \eta 2A = \qquad (7)$$

ここで、ρとρ_r はマグマと岩石の密度であり、ここではともに定数であると仮定する。この関係式が定数項と x の 1 次の項について成立する条件から

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = 0 \qquad -\frac{\partial p}{\partial y} - g(\rho - \rho_r) - \eta 2A = \qquad \frac{\partial^2 B}{\partial y^2} = 0 \qquad (8)$$

が得られる。この第 1 式から、圧力 p は y だけの関数（時間 t には依存する）になる。

なお、(5)と(8)が満たされれば、質量保存則と運動方程式が成立するため、この 2 つの条件を満たす係数について、(2)は粘性流体の条件を満たす解になることが保証される。

さて、 (6)の第 3 式から、B は y の 1 次式になる。すなわち、y に依存しない定数 B_0、

B_1を用いて次のように書ける。

$$B = B_0 + B_1 y \tag{9}$$

このときに(5)の第 2 式と、(8)の第 1 および第 2 式から

$$a^2 = C - \frac{4B_0}{A} y - \frac{2B_1}{A} y^2 \quad p = p_o - [g(\rho - \rho_r) + 2\eta A] y \tag{10}$$

水平方向の流れは境界でその位置を移動させ、割れ目の幅を変化させる。(2)の第 1 式で $x = a/2$ での v_x の値から、割れ目の幅は次のような時間変化をする。

$$\frac{\partial a}{\partial t} = aB \tag{11}$$

割れ目の幅 a の分布がほぼ同じ形状をとって速度 c_f で移動すると仮定すると、c_f は次のように表現される。

$$c_f = -\frac{\partial a}{\partial t}\frac{\partial a}{\partial y} \tag{12}$$

ここで(7)と(5)の第 2 式を使うと、(12)は次のように書き換えられる。

$$c_f = \frac{Aa^2}{2}\left(\frac{\partial a}{\partial y}\right)^2 = \frac{A}{8}\left(\frac{\partial a^2}{\partial y}\right)^2 \tag{13}$$

岩脈の先端が $y = y_t$ の位置にあるとすれば、そこで割れ目の幅 a はゼロとなる。従って、先端の近傍で割れ目の幅は、(10)の第 1 式と調和させて、次のように分布する。

$$a^2 = k^2 (y_t - y) \tag{14}$$

(13)を使って、先端が伸長する速度 c_f は次のように求められる。

$$c_f = \frac{k^4 A}{8} \tag{15}$$

これはマグマの流れから要求される割れ目先端の拡大速度である。

一方、割れ目先端での開口割れ目の拡大速度 c は先端付近の応力場を表現する応力拡大係数 K を用いて表現できる。腐食破壊については

$$c = c_s \left(\frac{K}{K_s}\right)^{n_s} \tag{16}$$

ここで、c_s、K_s、n_s は腐食破壊の定数で、温度や水蒸気量などの環境条件に依存する。
また、脆性破壊に対しては、c は次の条件を満たすように定まる。

$$\left(\frac{K_d}{K}\right)^2 = \frac{2\alpha^2}{\alpha^2 - \beta^2}\left(\frac{\beta^2}{c^2}\right)\left(1 - \frac{c^2}{\alpha^2}\right)^{-1/2}\left[\left(1 - \frac{c^2}{\alpha^2}\right)^{1/2}\left(1 - \frac{c^2}{\beta^2}\right)^{1/2} - \left(1 - \frac{c^2}{2\beta^2}\right)^2\right] \tag{17}$$

ここで、K_d は脆性破壊の定数、α と β は岩石の縦波（P 波）速度と横波（S 波）速度である。脆性破壊の関係式(17)に表れる定数 K_d は、破壊面を生み出すために必要な単位面積あたりの表面エネルギー γ と次の関係にある。

$$K_d{}^2 = \frac{\mu\alpha^2\gamma}{\pi(\alpha^2 - \beta^2)} \tag{18}$$

ここで μ は岩石の剛性率である。実際には、腐食破壊と脆性破壊の内で拡大速度の大きい方が亀裂の進展を支配する。

割れ目は応力拡大係数が小さい内は腐食破壊で、大きくなると脆性破壊で進展するようになる。一般に、同じ応力下では応力拡大係数は割れ目の長さとともに増加するから、岩脈は拡大の初期には腐食破壊でゆっくりと進展し、ある程度成長して応力拡大係数が大きくなったときに脆性破壊に移行して急速に進展することになる。

岩脈の先端が進展する拡大速度はマグマの流れから(15)で、また岩石の破壊条件から(16)か(17)で求められる。実際の拡大はこの 2 つが一致するように起こるから、次の条件が要求される。

$$c = c_f \tag{19}$$

マグマの流れを決める未定の定数 A は、この条件から定まる。(15)で決まった拡大速度に対応して、岩脈の先端の位置 y_t は

$$\frac{dy_t}{dt} = c = c_f \tag{20}$$

に従って変化する。

これらのモデル化により、岩脈先端での流れと形状を考慮し、安定した解を求めることが可能となった。次年度以降にこれをもとにした岩脈貫入シミュレーションを遂行する。

データ解析からは、噴火・噴火未遂の分岐判断に資する観測パラメータとして、2015 年桜島噴火未遂・2000 年三宅島噴火未遂の観測データから岩脈貫入に伴う群発地震の発生間隔・振幅の時間変化に一定の傾向があることを把握した（図３）。また，気象庁気象研究所の協力のもと、伊豆大島にて気象研の二子山観測局舎に地表設置の気泡式傾斜計を設置して予備傾斜観測を継続した（図４～５）。気象条件のデータとの比較も進めて地殻変動成分の抽出の取り組みを今後進めていく。

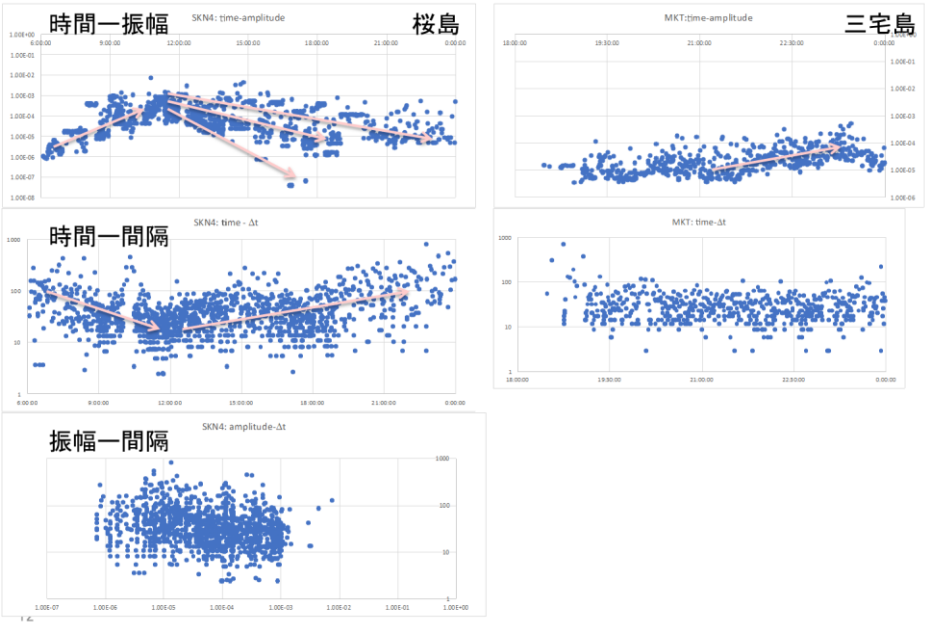


図３　2015 年桜島・2000 年三宅島の群発地震パターン

図４　伊豆大島気象庁二子山局舎内に設置した傾斜計

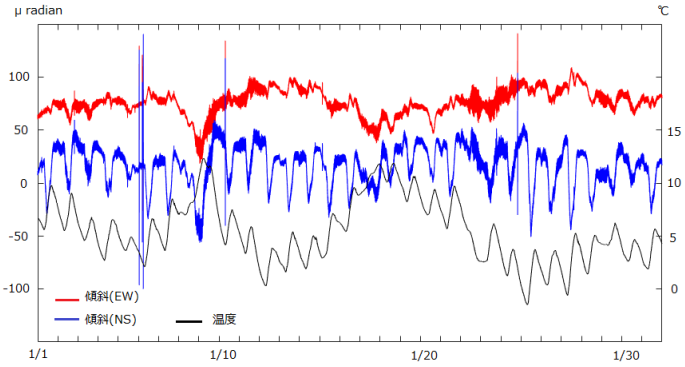


図５　伊豆大島で観測された傾斜計データ（2018 年１月）

ｃ．マグマ物性モデルの構築

水熱合成減圧実験装置に自動減圧シリンジポンプを設置し、神津島産噴出物を対象に減圧結晶化実験を開始した。まずはマグマ溜り内で結晶組織が平衡になるまでの時間を見積もった。神津島産噴出物を砕いたものを出発物質とし、730℃、130MPa の条件で 1，2，3，7 日間の静置実験を行った。その結果、神津島噴出物を用いた減圧結晶化実験では、初期条件での 3 日間の静置でほぼ平衡となり、その時点で斜長石と石英を計 10%以上含んでいることが分かった（図６）。このことは、神津島噴出物を用いた減圧結晶化実験の初期条件として少なくとも 3 日間の静置時間が必要ということ、さらに減圧結晶化に伴うマグマ物性変化のモデリングに向けて、初期条件によっては減圧前に存在する結晶の影響を差し引く必要があることを示す。

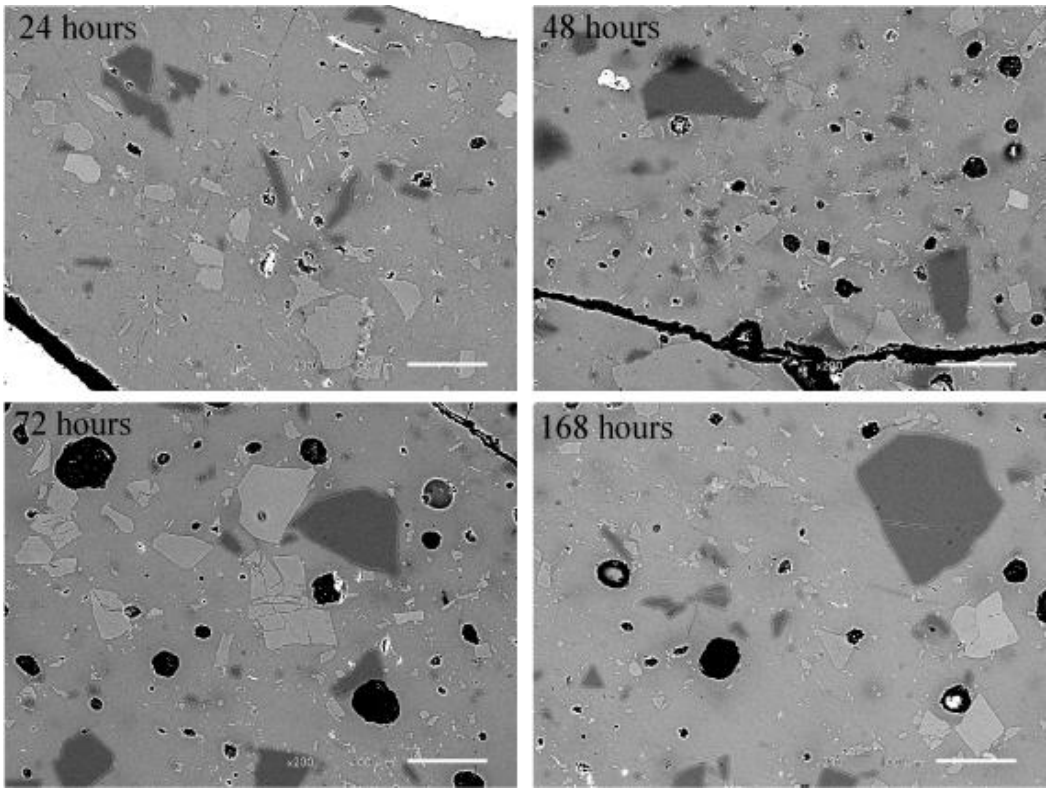


図６　実験産物の薄片に関する電子顕微鏡写真．左上の数字はアニール時間.

マグマ粘性測定装置を構築し、実際の 1986 年伊豆大島噴火の溶岩サンプルを用いた高温レオロジー測定を開始した。実験結果からは，測定前のマグマの静置時間（t_w）を長くすると、応力ピーク値の増加（図７a）や、より顕著なヒステリシス（図７b）が見られるなど、非線形的なマグマレオロジーの特徴が明らかにされつつある。これらの特徴の系統性を明らかにし、数式化してモデルに組み込むことで、より現実的なマグマ流動が再現できると期待される。特に今までにマグマの静置時間（t_w）に関して考慮されたモデルがないことから、非定常状態のマグマ流動の理解に繋がると考えられる。

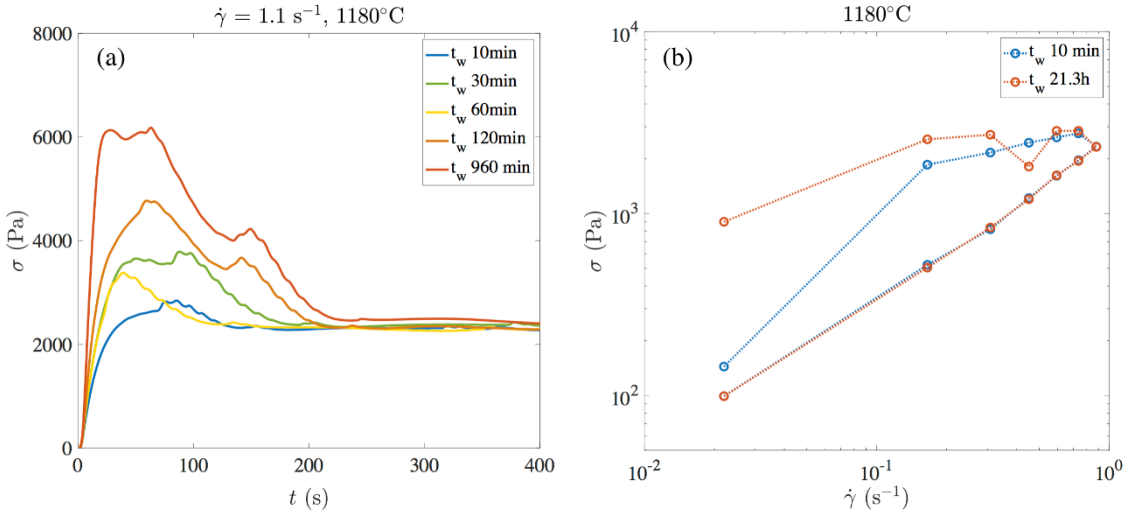


図７（a）一定せん断速度下でのせん断応力の時間変化。(b）せん断応力とせん断速度の関係。

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

ａ．降灰ハザード予測モデルの開発

また気象庁領域移流拡散モデル(JMA-RATM)[2)]により富士山宝永級噴火について、2015-2017 年の日々の気象場における計算を進めた。これによる降灰シミュレーションデータは OGS® Moving Feature Encoding Extension: Simple Comma Separated Values (CSV) 形式に変換した。また、火山リスク評価システム(VRMS)において、首都圏（東京都・神奈川県・千葉県・埼玉県・山梨県）の建造物データベースインポート作業を実施した。降灰シミュレーションデータと建物形状データとの交差判定を実行し、データベース化を進め、首都圏における被災建物数の時間変化を CSV 形式で出力できる機能を整備した。また、今後さらに実施するの降灰シミュレーションデータのインポートを可能とするスクリプトを整備した。

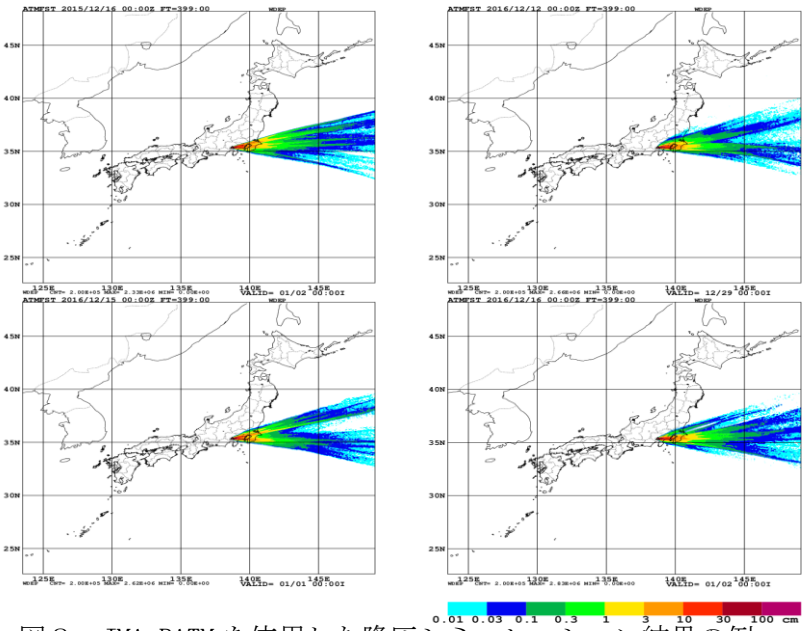


図８　JMA-RATM を使用した降灰シミュレーション結果の例

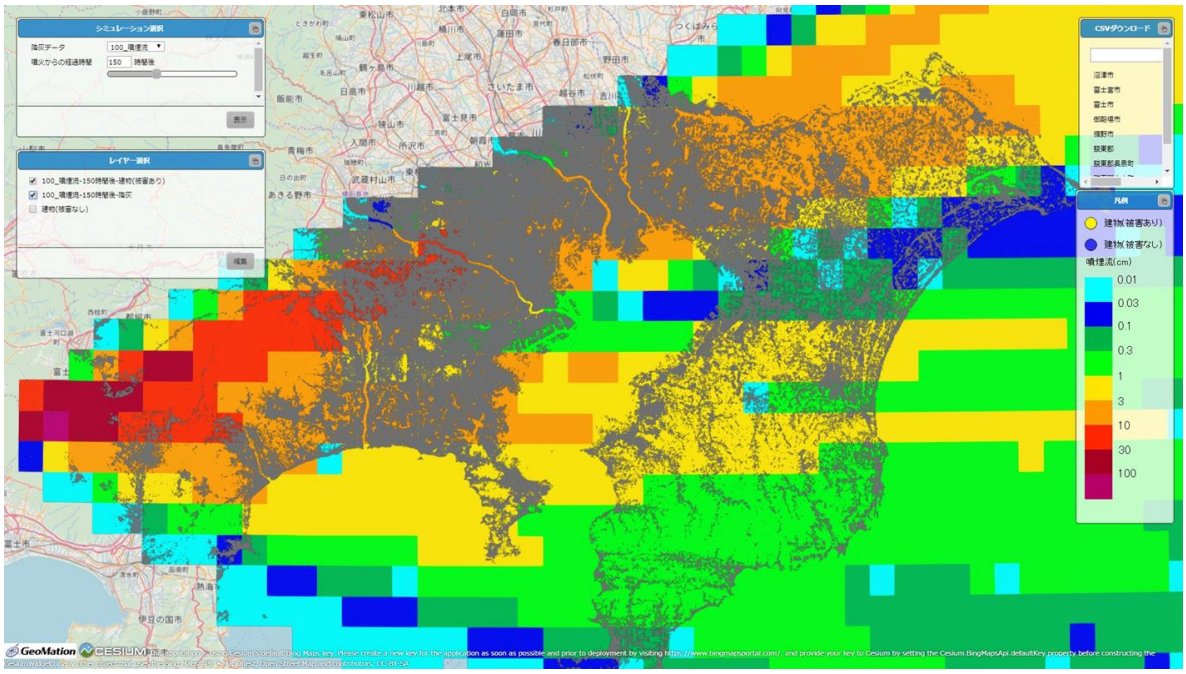


図９　宝永噴火ケースの降灰シミュレーションと首都圏建造物 DB との統合による影響評価（VRMS への導入）

また、降灰シミュレーションおよび噴煙シミュレーションで計算されるラグランジュ粒子の軌跡について、その妥当性を検証するため、地表での降灰観測と降灰当時の気象場によって推定される粒子軌跡を求めるモデルの作成に着手した。モデルでは、風向・風速の鉛直分布のデータを用いて、粒子が移流輸送する過程を計算により求める。降灰観測からは、観測時刻および地表での粒子の降下速度を観測する。高度にのみ依存する一様な気象場および一定の降下速度を仮定した際の粒子軌跡の計算結果例を図１０に示す。

図１０(a)は、気象観測によって得られた風向・風速の鉛直分布を示す。図１０(b)は、計算によって得られた粒子軌跡を示す。図１０(b)が示すように、降下速度が小さい粒子は、見かけ上の噴煙高度が火口位置付近に求まる一方、降下速度が大きい粒子は、観測された噴煙高度よりも高く見積もられることがわかる。観測された噴煙高度を用いると、降下時間が求まる。噴火開始から地表での観測までの輸送時間と降下時間の差から、降下速度が大きな粒子は、①降下することなく上空に滞留する期間があったこと、②凝集効果により、降下速度が降下とともに増加したことが示唆された。これらの結果は、降灰シミュレーションで一般に用いられる移流拡散モデルでは、粒子の滞留過程を表現できないことに問題があることを示す。つまり、噴煙シミュレーションにより、粒子の滞留過程まで計算することが重要であることが示唆された。今後、本効果のシミュレーションへの組み込み方について検討を進める。

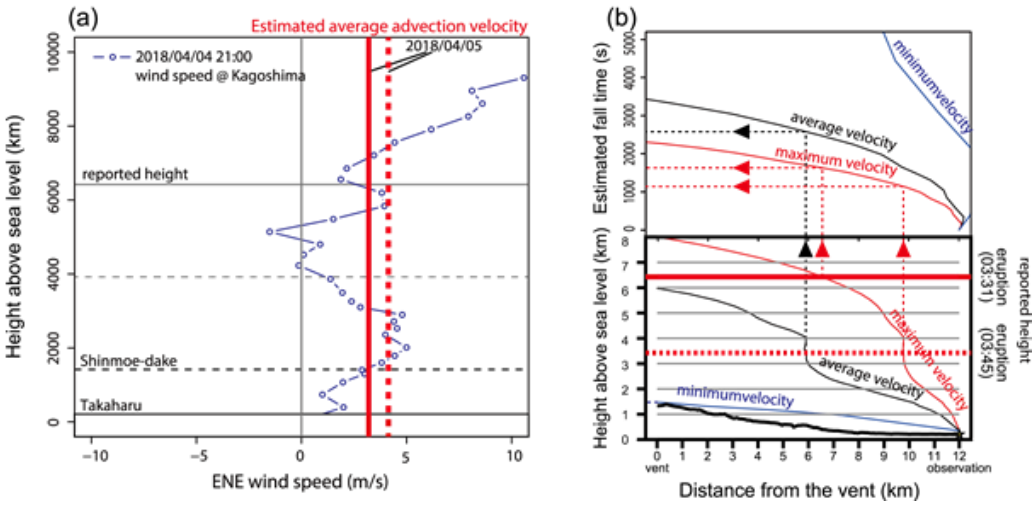


図１０　(a)観測された風向・風速分布の鉛直分布と推定された平均移流速度および(b)推定された粒子の軌跡（下）と降下に要した時間（上）を示した例。

b．噴煙柱ダイナミクスモデルの開発

SK-3D モデル[3)] を用い、1991 年ピナツボ噴火規模とその 10 倍以上規模の大きいカルデラ噴火事例について噴火開始から数時間の大規模数値シミュレーションを実施し、噴煙拡大スケーリング則を抽出した。また、富士山宝永級噴火の模擬検査を実施し、噴火開始から 20～30 分で首都圏まで噴煙が到達する様子を再現した。2016 年 12 月の気象場の 2 ケースを仮定し、大気中での粒子濃度および地表への堆積粒子分布の計算結果を取得した（図１１）。

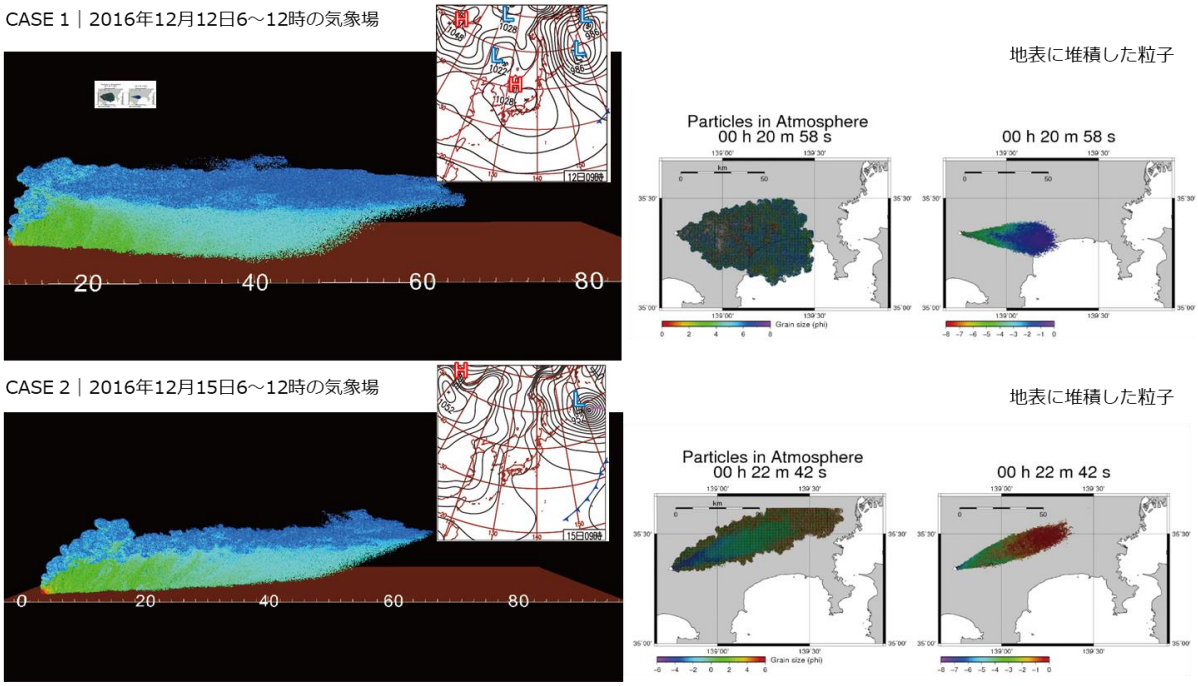


図１１　SK-3D モデルを使用した富士山宝永級噴火の大規模計算結果の例

ｃ．ハザード評価システムの検討

〇溶岩流シミュレーション

溶岩流シミュレーションでは、3 次元溶岩流シミュレーションコード LavaSIM[4] において、粘性関数の速度依存性効果の導入、および、溶岩トンネル計算のためのクラスト形成・移動効果導入のための予備調査を行った。

粘性関数の速度依存性効果の導入においては、まず、粘性を速度の関数とする定式化を行い、これを LavaSIM のサブルーチンの改修に適用した。従来の LavaSIM では、粘性μは温度の関数として組み込まれている。今回はこれに加えて、(x,y,z)方向の速度(u,v,w)の関数としてμ(u),μ(v),μ(w)とし、運動方程式に組み込むこととした。なお、運動方程式に組み込み後、2 次以上の微小項は評価しないこととした。

粘性関数の速度依存粘性関数として、ST-PS model (Shear Thinning with a positive slope) を使用した。

$$\dot{\gamma}=u/zc$$

$$\eta(\dot{\gamma})=31.33\dot{\gamma}-0.30$$

LavaSIM のソースコードの調査により、4 プログラム、1 ヘッダファイル内で修正個所を特定し、プログラムの変更を行い、機能評価に着手した。

溶岩トンネル計算のためのクラスト形成・移動効果導入のための予備調査では、現行 LavaSIM から修正が必要となる概念設計を行った。

・クラストの側方移動について

溶岩の厚みは粘性と表面張力のバランスにより、安息角よりも大きい場合は側方に拡大する。ここでは、さらに上方に積載した際の重力による横方向の圧力を考慮し、これに基づく側方移動を考える(図１２)。斜面を流下する溶岩流を考えると斜面に垂直な重力の成分（図１３の黄矢印）が側方移動を支配するパラメータとなる。

$$H_y=S_y/\rho g\cos\theta \quad (21)$$

$$S_y=C_1\log\eta-C_2 \quad (22)$$

ρ：溶岩の密度，　g：重力加速度，　θ：地面の傾斜，　S_y：降伏応力，　η：粘性係数

$$(\rho-\rho_a)gh\partial h/\partial r=S_y \quad (23)$$

$$\partial H/\partial X\leq\tan\alpha \quad (24)$$

$$\partial H/\partial Y\leq\tan\alpha \quad (25)$$

（α：安息角）

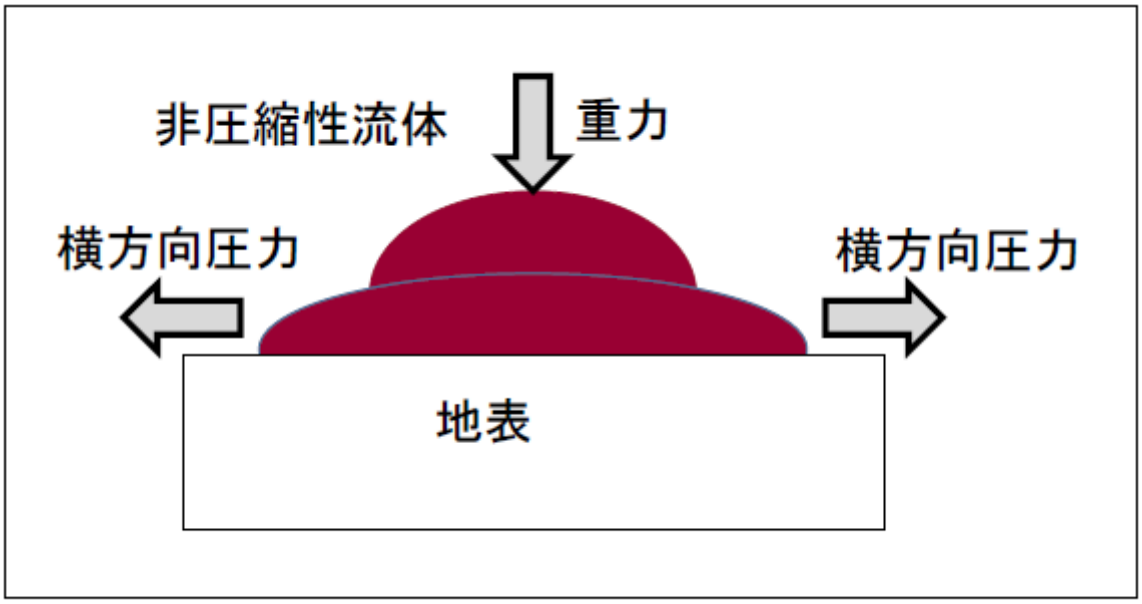


図１２　溶岩流の側方移動の概念図

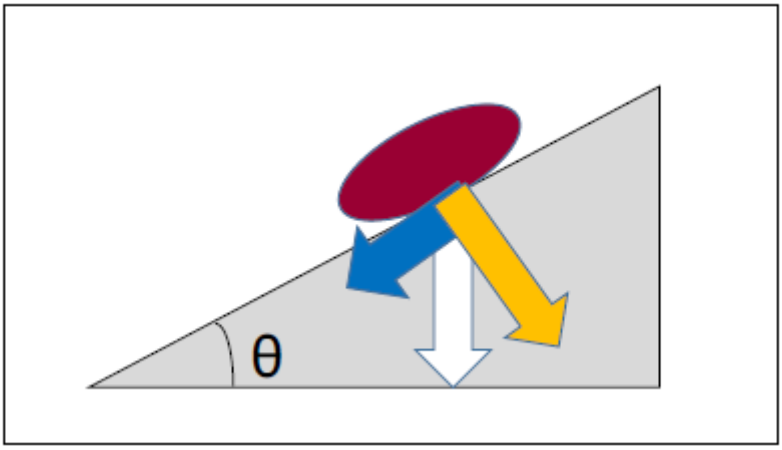


図１３　斜面を流れる溶岩流にかかる重力効果。黄色の矢印の成分が側方移動に寄与する。

また、LavaSIM では熱計算を実施しており、メッシュごとに固化率 b を定義している。一定値以上の場合、そのメッシュはクラストと定義する。従来の LavaSIM では、クラストメッシュは自動的に下方に移動し、流体メッシュの最上部に再配置するアルゴリズムを適用している。そこで、溶岩トンネルを再現するため、横方向にクラストメッシュが連続しているか否かの判定を組み込み、連続している場合は下方への移動を行わないアルゴリズムを検討することとした。

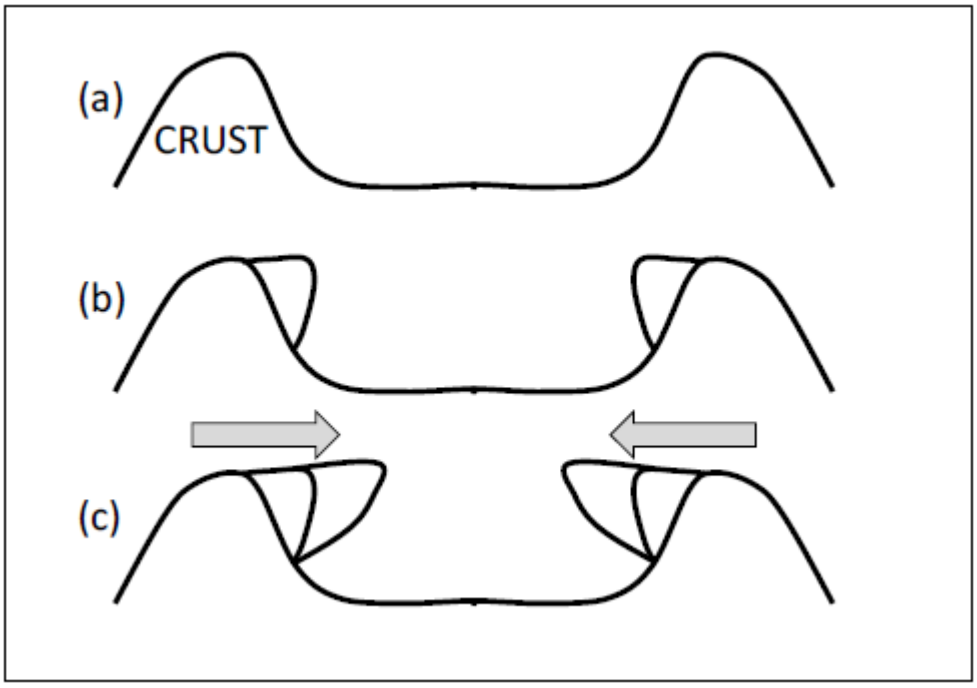


図１４　クラストの側方移動による溶岩トンネルの形成の概念図

〇噴石シミュレーション

噴石シミュレーションでは、オープンソースの火山岩塊シミュレータプログラム Ballista[5]の改良を行った。現状のソースコード分析を行うとともに、次期改修に向けた設計として、１）メモリーエラーハンドリング、２）入力パラメータの編集機能、３）画面遷移とその UML による設計、４）GIS 機能を用いたデータの入力と出力、５）言語環境とインストール、の各項目についての検討を行った。

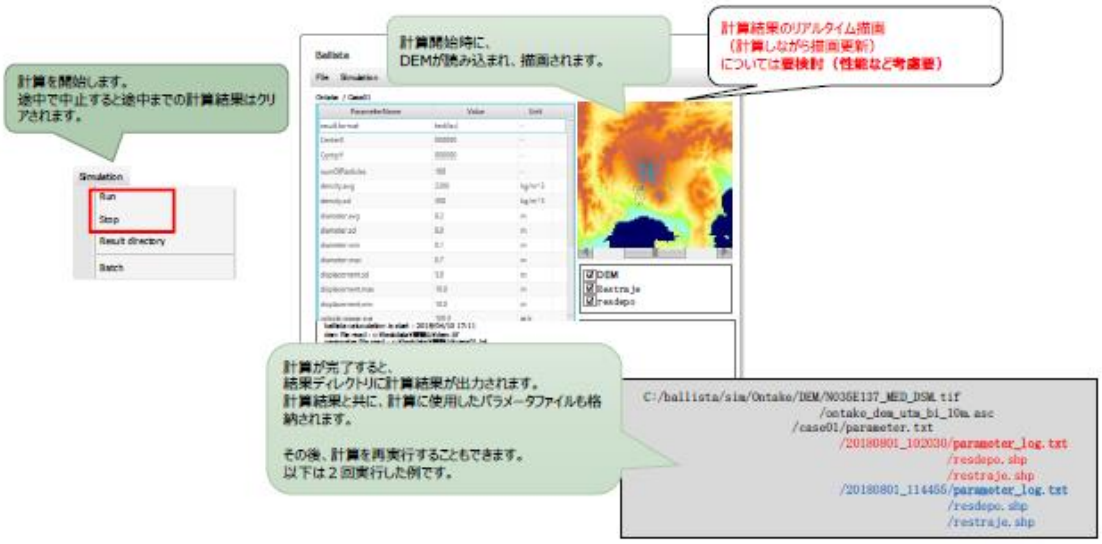


図１５　Ballista 改修による GUI 案（計算実行手順）

(d) 結論ならびに今後の課題

事業開始の2年目に入り、各テーマにおいて要素技術の開発が進んだ。地下におけるマグマ移動シミュレーションでは、噴火様式の遷移過程を再現する火道流モデルによる理論的な地殻変動量をシミュレーションにより求め、観測値との比較を行うことが可能となった。今後、 このモデルをもとに本課題における「マグマ物性モデルの構築」との連携を深め研究を推進していく。マグマ移動過程シミュレーション技術開発では、岩脈先端での発散を回避するための定式化を行った。今後は、観測を進めるとともに、ミクロ・マクロスケールでの岩脈貫入に関するシミュレーションの連携をもとに、事象分岐の基準となるパラメータの抽出を行う。マグマ物性モデルの構築では、整備した装置を活用した実験研究を進め、モデル化を推進する。

噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化では、首都圏降灰ハザード予測に着手できた。噴煙柱ダイナミクスのモデル化においては、基礎となる情報の収集や設計が実現された。これらを統合するハザード予測システムの検討についても、要素技術の開発が実施できた。

(e) 引用文献

1) Kozono, T., Koyaguchi, T., Effects of gas escape and crystallization on the complexity of conduit flow dynamics during lava dome eruptions, J. Geophys. Res., 117, B08204. doi: 10.1029/2012JB009343, 2012.

2) 新堀敏基, 火山灰輸送：モデルと予測, 火山, 61, 399-427, doi:10.18940/kazan.61.2_399, 2016.

3) Suzuki, Y. J., T. Koyaguchi, 3-D numerical simulations of eruption column collapse: Effects of vent size on pressure-balanced jet/plumes, J. Volcanol. Geotherm. Res., 221-222, 1-13, doi:10.1016/j.jvolgeores.2012.01.013, 2012.

4) Hidaka, M., Goto A., Umino, S. Fuijta E., VTFS project: Development of the lava flow simulation code LavaSIM with a model for three-dimensional convection, spreading and solidification, Geochem., Geophys. Geosystems, Vol.6: DOI: 10.1029/2004GC000869, 2014.

5) Tsunematsu, K., Chopard B., Falcone, J., Bonadonna, C., A numerical model of ballistic transport with collisions in a volcanic setting. Comput Geosci 63:62-69, 2014.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
Miwa, T., Nagai, M., and Kawaguchi, R.	Resuspension of ash after the 2014 phreatic eruption at Ontake volcano, Japan.（論文）	J. Volcanol. Geotherm. Res., 351, 105-114.	2018

Kurokawa, A., Miwa, T., Okumura, S., and Uesugi	Rheology of basaltic ash from Stromboli volcano inferred from intermittent compression experiments.（論文）	J. Volcanol. Geotherm. Res., 343, 211-219.	2017
Pioli, L., B.J. Azzopardi, C. Bonadonna, M. Brunet, and A.K. Kurokawa	Outgassing and eruption of basaltic magmas: The effect of conduit geometry. （論文）	Geology 45(8): 759-762.	2017
Iriyama, Y., A. Toramaru, and T. Yamamoto	Theory for deducing volcanic activity from size distributions in plinian pyroclastic fall deposits.（論文）	Journal of Geophysical Research: Solid Earth, vol. **123**, pp.2199-2213.	2018
Suzuki, Y., Maeno, F., Nagai, M., Shibutani, H., Shimizu, S., Nakada, S.	Conduit processes during the climactic phase of the Shinmoe-dake 2011 eruption (Japan): insights into intermittent explosive activity and transition in eruption style of andesitic magma. （論文）	Journal of Volcanology and Geothermal Research	2018
新堀敏基	風の影響を受ける火山灰・火山礫,（論文・査読無し）	日本風工学会誌, **42**, 261-272.	2017
藤田英輔	噴火事象イベントツリーの分岐判断の定量化に向けて－噴火・噴火未遂事象からの検討－ （論文・査読無し）	月刊地球, 40, 176-184.	2018
de'Michieli Vitturi, M., Esposti Ongaro, T., and Tsunematsu, K.	Phreatic explosions and ballistic ejecta: a new numerical model and its application to the 2014 Mt. Ontake eruption (口頭・国際学会)	IAVCEI Scientific Assembly 2017, VH23B-197, Portland, Oregon, U.S.A.	2017/8/15

Gomez, G.A., and Tsunematsu, K.	Finite Element Modeling of Volcanic Ballistic Impacts in Soft Ash and on Buildings - a Hazard Approach (口頭・国際学会)	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, HTT19-P04, Makuhari, Chiba	2017/5/23
Iriyama, Y., and Toramaru, A.	Temporal variation of the 2011 Shinmoe-dake subplinian eruption inferred from the stratigraphic GSD variation (口頭・国際学会)	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, MIS02-05, Makuhari, Chiba	2017/5/24
Ishii, K., Shimbori, T., Hayashi, Y., Sato, E., Tokumoto, T., and Hashimoto, A	A volcanic ash data assimilation system based on the three-dimensional variational method (口頭・国際学会)	IAVCEI Scientific Assembly 2017, VH13A-166, Portland, Oregon, U.S.A.	2017/8/14
Ishii, K., Shimbori, T., Hayashi, Y., Sato, E., Tokumoto, T., and Hashimoto, A.	Volcanic ash data assimilation system for atmospheric transport model (口頭・国際学会)	AGU Fall Meeting, VC13C-0394, New Orleans, U.S.A.	2017/12/11
Kawaguchi, R., Yamamoto, T., and Onizawa, S.	Modeling of gas bubbles rise in a magma chamber and its application to periodic ground deformation at Izu-Oshima volcano (口頭・国際学会)	IAVCEI Scientific Assembly 2017, ME41A-3, Portland, Oregon, U.S.A.	2017/8/16
Kozono, T.	Conduit flow dynamics during high-flux lava effusion events at Sakurajima volcano, Japan (口頭・国際学会)	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SVC46-P01, Makuhari, Chiba	2017/5/24
Kozono, T., Ueda, H., Ozawa, T.,	The dynamics of the 2011 Kirishima-Shinmoe-dake eruptions, Japan, revealed by	IAVCEI Scientific Assembly 2017, PE12C-2, Portland,	2017/8/14

Koyaguchi, T., Fujita, E., Tomiya, A. and Suzuki, Y.J.	tiltmeter, satellite, and weather radar observations (口頭・国際学会)	Oregon, U.S.A.	
Kurokawa, A.K., Miwa, T., Okumura, S., and Uesugi, K.	Viscoelastic behavior of basaltic ash from Stromboli volcano inferred from intermittent compression experiments (口頭・国際学会)	AGU Fall Meeting, V12C-04, New Orleans, U.S.A.	2017/12/11
Sato, E., Fukui, K., Shimbori, T., Ishii, K., Tokumoto, T., Maki, M., and Iguchi, M.	Fine structure of volcanic ash plume observed by advanced weather radars (口頭・国際学会)	(IAVCEI) Scientific Assembly 2017, VH12A-5, Portland, Oregon, U.S.A.	2017/8/14
Suzuki Y.J., Costa A., and Koyaguchi T.	Fluid dynamics of very large plumes generated by explosive super-eruptions (口頭・国際学会)	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, MIS02-02, Makuhari, Chiba	2017/5/24
Tsunematsu, K., Gomez, C.A., Fitzgerald, R.H., Kennedy, B.M., and Yamaoka, K.	Features of Numerical Model “Ballista”; the Ballistic Simulator of Explosive Volcanic Eruption (口頭・国際学会)	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SVC49-10, Makuhari, Chiba	2017/5/21
Tsunematsu, K., Fitzgerald, R.H., Kennedy, B.M.,	Open Source 3D Multiparticle Ballistic Simulator "Ballista" (口頭・国際学会)	IAVCEI Scientific Assembly 2017, VH23B-197, Portland, Oregon, U.S.A.	2017/8/15

Gomez, C.A., Falcone, J.L., and Chopard, B			
入山宙・寅丸敦志・山本哲生	鉛直１次元ソース一定モデルの開発と降下火砕堆積物への応用（口頭）	日本火山学会 2017 年度秋季大会, B3-19, 熊本県, 熊本市	2017/9/23
川口亮平	マグマ溜り内の気泡上昇による地殻変動－伊豆大島の周期的地殻変動への 適用―（口頭）	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SVC47-P05, Makuhari, Chiba	2017/5/22
川口亮平	マグマ溜り内の気泡上昇による地殻変動(2) －伊豆大島の周期的地殻変動との比較－（口頭）	日本火山学会 2017 年度秋季大会, P024, 熊本県, 熊本市	2017/9/22
黒川愛香・三輪学央・七山太	御嶽山と桜島における火山泥流レオロジーの比較（口頭）	JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SCG74-15, Makuhari, Chiba	2017/5/22
小園誠史	地下・地上現象の同時観測による噴火ダイナミクスの理解（口頭）	日本火山学会 2017 年度秋季大会, A1-01, 熊本県, 熊本市	2017/9/21
新堀敏基	火山灰輸送モデルの現状と今後―2016 年 10 月 8 日阿蘇山の降灰予報を例に―（口頭）	日本火山学会 2017 年度秋季大会, A1-05, 熊本県, 熊本市	2017/9/21
藤田英輔	噴火事象イベントツリーの分岐判断条件の定量化に向けて―噴火・噴火未遂事象からの検討―（口頭）	日本火山学会 2017 年度秋季大会, A3-03, 熊本県, 熊本市	2017/9/23
三輪学央・長井雅史・入山宙・上田英樹	ディープラーニングを用いた火山灰分類に関する試行分析（口頭）	日本火山学会 2017 年度秋季大会, B3-20, 熊本県, 熊本市	2017/9/23

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2)ソフトウエア開発

名称	機能
降灰に対する時空間データ検索システム	降灰シミュレーションによる計算結果を火山リスクマネジメントシステム（VRMS）上のHADBにインポートし、建造物データとの交差判定を行い、GIS上に表示する。

3）仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成30年度業務計画案

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

ａ．噴火機構シミュレーション技術開発

噴火形態を支配する火道内流のメカニズムから事象分岐を支配するパラメータの抽出に関する研究を進める。

具体的には、玄武岩質マグマ噴火を対象とした火道流数値モデルを開発する。「c．マグマ物性モデルの構築」と連携し、玄武岩質マグマ特有の物性や素過程を考慮して構築した火道流数値モデルを用いて、これまでの珪長質マグマ噴火を対象とした解析結果と比較して火道流の物理過程がどのように変化するのかを系統的に調べる。さらに、玄武岩質マグマ噴火における火道流の変動過程が観測可能量である周囲地殻変動に与える影響を評価する。

ｂ．マグマ移動過程シミュレーション技術開発

地下におけるマグマの移動に伴う破壊の進展と火山性地震・地殻変動との関連性を引き続き調べる。

具体的には、マグマ移動過程シミュレーションについて、ミクロモデル（岩脈進展）の高度化・安定化を行う。また、ミクロモデルとマクロモデル（個別要素法による地殻変動シミュレーション）を境界条件で結合して評価する手法を検討する。これらにより岩脈貫入に伴う地震発生と地殻変動について、観測データに照らし合わせて、分岐判断の定量化を進める。さらに伊豆大島における観測データをもとにしたマグマ移動過程と地殻変動シミュレーション手法開発を進める。イタリアで開催されるCoV10に出席し、マグマ移動過程シミュレーションに関する成果発表及び情報収集を行う。

ｃ．マグマ物性モデルの構築

マグマ溜りから地表までの上昇過程における結晶化モデルの構築のための環境整備を引き続き行う。また、火山性流体のレオロジーモデル構築の予備実験を引き続き実施する。

具体的には、水熱合成減圧実験装置を用い神津島838年噴火噴出物を対象に発泡・結晶化実験を行う。前年度までに決定された岩石組織のアニール時間を参考にマグマ溜まりで

の温度圧力条件を再現後、その温度圧力条件から 30MPa まで 0.01、 0.1、 1MPa/s の減圧速度で減圧実験を行う。そして得られた実験産物と天然の噴出物を比較することで、神津島 838 年噴火におけるマグマ上昇過程を推定する。

マグマ粘性測定については、1986 年伊豆大島噴火の溶岩サンプルを具体例として、モデル化に必要な結晶とメルトの混合物レオロジーの速度、温度、時間依存性を調べる。実験は一度 1250℃でサンプルを溶融させた後、固液二相が共存する 1130℃付近で行う。東北大学及び静岡大学の協力を得てこれらを実施する。

②噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

ａ．降灰ハザード予測モデルの開発

大都市圏（特に首都圏）を対象とした降灰ハザード予測の評価のためのシステム開発を継続する。

具体的には、大都市圏（特に首都圏）を対象とした降灰ハザード予測の評価のためのシステム開発を継続し､前年度までに行った JMA-RATM による降灰シミュレーションの予備計算結果の点検を行う。点検においては、堆積過程のモデル化・システムへのレーダーデータ利用の検討・首都圏降灰シミュレーションのデータ同化手法の検討を含む。イタリアで開催される CoV10 に出席し、噴火ハザードシミュレーションに関する成果発表及び情報収集を行う。平成 31 年度に向け、「b.噴煙柱ダイナミクスモデル」との連携のための設計を行う。

ｂ．噴煙柱ダイナミクスモデルの開発

火山近傍の火山灰大気拡散と降灰を対象とした噴煙柱ダイナミクスモデルの開発を続ける。

具体的には、大型計算機を用い様々な噴火タイプ・規模を対象とした大規模数値シミュレーションを行う。特に、ピナツボ級の噴火に伴う噴煙柱と降灰のシミュレーション結果をもとに堆積物分布のデータ解析に着手する。また、ブルカニアン噴火について，桜島を対象とする課題 D2 との連携を踏まえながら検討を行う。さらに、噴煙柱・火砕流ダイナミクスモデルのモデルによる不確定性評価の研究を、イタリア地球物理火山研究所（INGV）を訪問・議論を継続して行う。また、ワシントン DC で開催される AGU ミーティングに出席し、堆積物分布データ解析、噴煙柱・火砕流ダイナミクスモデルについての成果発表及び情報収集を行う。

ｃ．ハザード評価システムの検討

多様な火山ハザード現象を評価するシステムの設計について検討する。

具体的には、ハザード評価システムでは、富士山噴煙シミュレーションの首都圏降灰評価に対し、人流データの取り込みに着手する。また、溶岩流シミュレーション・噴石シミュレーションについて、予備調査の結果をもとに高度化を図るとともに、フォーミュレーションの見直しを実施し､新たなシミュレーションコードの作成の検討を行う。山形大学・神戸大学の協力を得てこれを実施する。

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、上記①、②に示される技術開発の一環として、その計画の一部もしくはその全てを、開発技術実装に向けた実地の場となる緊急観測の実施あるいは緊急観測への協力に代えて実施することを可能とする。