次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト
次世代火山研究推進事業

課題Ｃ：火山噴火の予測技術の開発

令和６年度
成果報告書

令和７年５月
文部科学省研究開発局
国立大学法人北海道大学

本報告書は、文部科学省の令和６年度科学技術試験研究委託事業による委託業務として、国立大学法人北海道大学が実施した令和６年度「課題Ｃ：火山噴火の予測技術の開発」の成果を取りまとめたものです。

グラビア



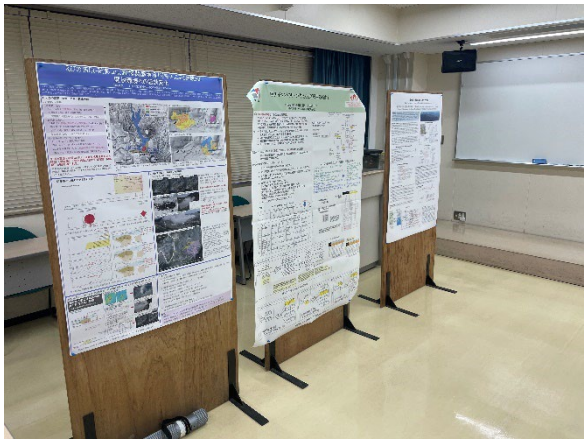
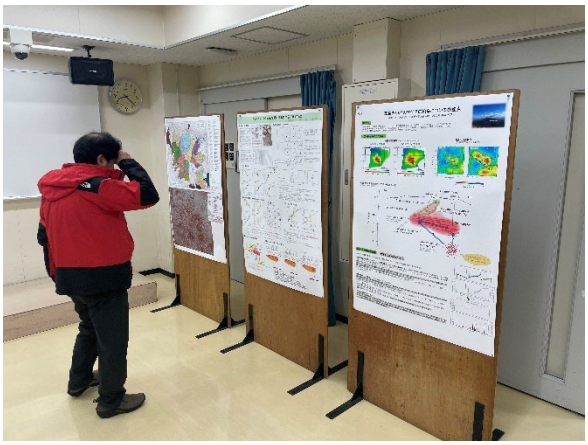



写真 1　霧島連携研究集会の様子。




写真 2　霧島連携研究集会現地検討会の様子。

はじめに

火山列島である日本には、全国各地に 110 の活火山があり、ほぼ毎年、複数の火山で噴火が起こっている。これらの火山噴火による災害を軽減するには、個々の火山について、将来の噴火や噴火推移を予測することが必要である。そしてこの噴火予測手法を確立することが、現在の火山研究の重要課題の 1 つであり、同時に国民から期待されていることでもある。短期的に火山噴火を予測するためには、地球物理学的観測により噴火直前の前兆現象を捉えることが有効である。いくつかの火山では、噴火前の様々な前駆現象を捉えることができており、火山噴火の短期的な予測についてはある程度の実績があると言えるであろう。一方で、噴火活動が開始し、その活動がどのように推移するのかという、噴火推移予測のための研究については、まだ多くの課題が山積している状態である。それに加えて、個々の火山での数年から数十年間、あるいはそれ以上の期間における活動予測、いわゆる中長期予測については科学的な検討がほとんどの火山で行われていない。

火山観測・研究の歴史は火山活動の時間スケールに比べると明らかに短く、多くの火山での噴火事例の観測データが不足しているのが現状である。そのため個々の火山において、将来の噴火やその推移を予測することは難しい。さらに地球物理学的観測では、現在のマグマの蓄積や移動についての情報を得る事はできるが、中長期的な活動予測については無力である。噴火推移や火山活動の中長期予測を行うためには、個々の火山に対して、過去の噴火堆積物の層序を読み解き、過去にどのような噴火が起きたのか、それぞれの噴火はどのような推移を辿ったのか、そしてその噴火活動の推移・変遷は何が原因となっているのか、について明らかにする必要がある。このような地質学的・物質科学的アプローチによる過去の噴火活動の解析をもとに、個々の火山での将来の噴火の可能性やその噴火様式・推移、そして可能性のある噴火災害についてシミュレーションに基づく予測を行うことが重要である。そのことによって、将来の噴火確率の提示に結びつく基礎を築くことができるであろう。

本課題「課題 C：火山噴火の予測技術の開発」では、地質学的手法を用いて個々の火山の長期噴火履歴を明らかにし、それらに基づき採取した地質学的情報を有する噴出物の物質科学的解析によって、マグマ長期変遷を解明する。その結果を基に「中長期噴火予測」を実施するとともに、事象分岐確率の入った「噴火事象系統樹」を作成する（サブテーマ 2)。そして、代表的な噴火について、詳細な物質科学的解析を行い噴火事象の分岐判断基準を明確にすることで、「火山噴火の分岐予測手法」を開発する（サブテーマ 1)。さらに、これらの成果および他課題の地球物理学的観測データを踏まえ、地下のマグマ移動から噴火に至るまで、そして噴火災害に対するシミュレーションを実施し、噴火予測・噴火ハザード予測手法を開発・提案する（サブテーマ 3)。本課題の成果は、火山の監視、噴火対応等で活用されるだけでなく、噴火シナリオの検討や避難計画などの防災対策の基礎資料になることが期待される。また、噴火確率算定手法の確立に向けての、基礎的な研究と位置づけられる。また研究の進展と並行して、地元住民への普及講演や防災教育を実施することで、火山研究への理解と火山防災への意識の向上に繋がることが期待できる。令和 6 年度は研究開始から 9 年目にあたり、各サブ課題の研究の推進・成果とりまとめだけではなく、最終年度におけるプロジェクト全体としての研究成果のとりまとめと、そのアウトプットの社会への発信を意識して、研究を進めた。それに加えて、課題 C を中心として課題

B と協力して取り組んで行ってきた課題間連携研究について、令和 6 年度では課題 D も加え、人材育成コンソーシアムとも連携して実施し、年度末に霧島火山を対象とした研究集会および現地検討会を実施できた。そして霧島火山における火山学研究の到達点と課題を明らかにするだけではなく、火山防災や噴火対応における問題点についても議論できたことは有意義であった。

この報告書では、研究開始から 9 年目にあたる令和 6 年度の成果を報告する。令和 6 年度は、最終年度に向けて、各機関の成果のとりまとめだけでなく、研究成果のアウトプットも意識して研究を行った。その結果として、サブ課題 C-1 では噴火分岐の予測のための「鍵」を明らかにして、その解明のための手法を提案した。サブ課題 C2 では達成目標であるマグマ噴出量階段図・噴火事象系統樹について作成指針を示すとともに、代表的な活火山での試作に精力的に取り組んだ。サブ課題 C-3 では、最終年度あるいはポスト PJ を見据えて、火山ハザード評価システムの整備と関連した各コードの妥当性・適用範囲の客観的整理を行った。これらの成果に加えて、霧島火山を対象とした課題間連携研究についてもまとめた。これらの研究成果・活動報告を考えると、課題 C では、全体として研究が順調に進んでいると判断している。これら研究成果をもとに、最終年度では火山 PJ 全体の研究成果のとりまとめと社会への発信に向けて、課題 C としても邁進していきたいと考える次第である。

目次

グラビア

はじめに

１．　研究概要の説明 1
(1) 研究者別の概要 2
(a) サブテーマ１ 2
(b) サブテーマ２ 5
(c) サブテーマ３ 10
(2) 研究実施日程 13
(a) サブテーマ１ 13
(b) サブテーマ２ 14
(c) サブテーマ３ 14

２．　研究成果の説明 16
(1) ２．１　火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発 16
(a) 業務題目 16
(b) 担当者 16
(c) 業務の目的 16
(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約） 17
(e) 令和６年度における業務の方法 19
(2) 令和６年度の成果 21
(a) 業務の要約 21
(b) 業務の成果 21
(c) 結論 57
(d) 引用文献 58
(e) 成果の論文発表・口頭発表等 62
(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定 62
(3) 令和７年度の業務計画案 63
(a) 東京大学 63
(b) 早稲田大 63
(c) 静岡大学 64
(d) 福岡大学 64
(e) 東北大学 64
(f) 産業技術総合研究所 65
(g) 鹿児島大学 65

２．２ 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 66
(1) 業務の内容 66
(a) 業務題目 66

(b) 担当者 66
(c) 業務の目的 67
(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約） 67
(e) 令和６年度における業務の方法 72
(2) 令和６年度の成果 73
(a) 業務の要約 73
(b) 業務の成果 74
(c) 結論 161
(d) 引用文献 162
(e) 成果の論文発表・口頭発表等 171
(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定 171
(3) 令和７年度の業務計画案 171
(a) 火山の噴火履歴およびマグマ長期変遷に関する研究 171
(b) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発 174
(c) 大規模噴火データベースの整備 174
(d) 課題 C-2 のとりまとめと研究成果の発信 174
(e) 課題 C 全体のとりまとめと総合推進 174

２．３ シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発 175
(1) 業務の内容 175
(a) 業務題目 175
(b) 担当者 175
(c) 業務の目的 175
(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約） 176
(e) 令和６年度における業務の方法 179
(2) 令和６年度の成果 181
(a) 業務の要約 181
(b) 業務の成果 181
(c) 結論ならびに今後の課題 206
(d) 引用文献 207
(e) 成果の論文発表・口頭発表等 207
(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定 207
(3) 令和７年度の業務計画案 207
(a) 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 207
(b) 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 208

３． 会議録 210
(1) サブ課題Ｃ２研究集会 210
(2) 令和６年度次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト　合同研究集会 210
(3) 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト　課題間連携研究集会：霧島山 ... 210

４．　むすび 211

別添１　学会等発表実績（サブテーマ１）
別添２　学会等発表実績（サブテーマ２）
別添３　学会等発表実績（サブテーマ３）

１．研究概要の説明

課題Ｃでは国内の主要な活火山を対象に噴火履歴の解明と噴火事象の解析を行い、得られた情報を数値シミュレーションで解析することによって噴火の予測技術を開発する。そして事象分岐判断基準が伴った噴火事象系統樹を整備するとともに、噴火発生確率の算出に向けた検討を行う。本課題は、サブテーマ１:「火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発」、サブテーマ ２:「噴火履歴調査による中長期噴火予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成」、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」の３つのサブテーマの研究が並行して、かつ密に連携しながら実施される。

（1）　サブテーマ１：火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発

本サブテーマでは、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行い、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時間スケール、マグマの上昇開始から噴火開始までの時間スケールを明らかにする。この際、本研究で新たに得るデータに加えて、既存の研究成果も適宜参照して、火山噴出物から噴火事象分岐予測判断を行う基準を検討する。プロジェクト期間中に 10 火山について研究を行うとともに、それ以外に課題Ｃサブテーマ２と連携して噴火履歴調査で収集した試料の一部の解析も行う。さらに、より多くの火山噴出物の分析データを収集し噴火事象分岐予測に資するため、分析・解析プラットホームを整備し、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行う。

（2）　サブテーマ２:噴火履歴調査による中長期噴火予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成

本サブテーマでは、活動的であることや噴火した際の社会的影響が大きいこと等を考慮して選定した 26 の重点火山を中心に、主として地質学的および物質科学的手法に基づいて長期的な噴火履歴を明らかにし、さらに個々の噴火の様式とその推移を可能な限り詳細に解明する。また最重点火山として５火山を選定し、ボーリング掘削やトレンチ調査を集中的に実施して、より高精度の噴火履歴を解明する。このような作業を経て各対象火山について高精度の時間－積算噴出物量図を作成するとともに、噴火履歴に対応する噴出物の物質科学的解析に基づいたマグマプロセスの解明を行い、個々の火山で中長期噴火予測、および事象分岐確率の入った噴火事象系統樹の作成を目指す。

（3）　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

本サブテーマでは、火山噴火発生確率の定量化に向けて、演繹的（決定論的）手法による確率計算手法の開発を行う。本事業の７年目までは、火山噴火予知・火山災害評価のための個別の事象についてのモデル化と数値シミュレーション技術を開発する。その際、それぞれの事象を支配するパラメータの洗い出しと、その感度解析を行う。なお、特に火山現象を直接的に支配する物性パラメータの把握が不十分であるため、実験的手法を用いて物性モデルの開発も実施し、その成果を数値シミュレーションに取り込む。本事業の 8～10 年目では、各事象の発生条件について、感度解析の結果を踏まえて、もっともらしいパラメータ範囲での事象発生条件を抽出し、火山ハザード評価システムおよびマグマ移動過程評価システムを開発する。また、多パターンの数値シミュレーションの実施を踏まえた、事象分岐確率の提示を行い、一元化システムでの運用に移行する。

(1) 研究者別の概要

(a) サブテーマ 1

所属機関・部局・職名	氏名	分担した研究項目及び研究成果の概要	研究実施期間	配分を受けた研究費	左記のうち、間接経費
国立大学法人東京大学・地震研究所・教授	安田敦	総合推進については、噴火予測の鍵要素についてとりまとめを行った。研究集会の開催を補助した。 分析解析プラットホーム構築については、分析補助ツールや解析ツールを改修し、利用者の利便性を高めた。 噴出物解析については、噴火予測につながるマグマ供給系モデルと予測システムの試案を作成した。テフラの同定作業を補助する WWW サーバーを構築した。	R6.4.1～R7.3.31	4,093,850	944,734
学校法人早稲田大学・教育·総合科学学術院・教授	鈴木由希	新燃岳享保噴火に関わった 2 端成分マグマと、この噴火のマグマ供給系の特徴を明らかにした。高温マグマの噴出物に対する寄与率は、準プリニー式噴火のイベント内にて時間とともに変化しており、初期で高いことを明らかにした。また磁鉄鉱斑晶を用いて噴火準備過程とその時間スケールを推定した。	R6.4.1～R7.3.31	5,770,440	1,331,640
国立大学法人静岡大学・理学部・准教授	石橋秀巳	伊豆大島の噴出物について解析を行い、深部マグマだまりに蓄積されるマグマの化学組成を推定した。富士山貞観噴火の玄武岩質溶岩について分析を行い、その噴火時のマグマの状態と定置過程について検討した。伊豆東部火山群の単成火山の斜長石斑晶について分析を行い、地下	R6.4.1～R7.3.31	1,062,451	245,181

		に隠れた流紋岩質メルトが存在したことを示した。			
学校法人福岡大学・理学部・教授	三好雅也	阿蘇外輪山に分布する火山岩類の K-Ar 年代測定、Sr 同位体分析を行った。その結果、先カルデラ期の多様なマグマの成因は玄武岩マグマの地殻同化作用であることが明らかになった。また斑晶鉱物の化学組成分析結果からマグマの温度に関する制約が得られた。	R6.4.1～R7.3.31	1,028,326	237,306
国立大学法人東北大学・大学院理学研究科・教授	中村美千彦	桜島・霧島・富士・福徳岡ノ場火山・浅間・十和田・アイフェル火山の噴出物の分析と実験的研究を行い、噴火直前のマグマ定置深度や火道上昇過程、溶岩ドームの脱ガスメカニズム、単成火山噴火に至るマントルでの準備過程等についての岩石学的な制約をさらに進めることができた。またマグマ溜まりの熱進化計算を行い、カルデラ噴火に至るマグマ貫入率や、マグマ溜まりのメルト分率変化の時間スケールを評価することができた。	R6.4.1～R7.3.31	4,230,942	976,371
国立研究開発法人産業技術総合研究所・活断層･火山研究部門・主任研究員	東宮昭彦	1977 年の有珠火山噴火（第 1 期）と 1978 年の噴火（第 2 期）における軽石・火山弾中の鉱物分析・熱力学的解析から、両期のマグマ上昇過程が異なることが明らかになった。第 1 期はマグマが深部から短時間で上昇し、多くの揮発性物質を含んだまま準プリニー式噴火を起こした。第 2 期は浅い場所に数ヶ月以上滞留し、揮発性物質が抜けてから水蒸気噴火となった。この違いは噴火前のマグマ蓄積状	R6.4.1～R7.3.31	2,728,990	535,268

		態に起因すると考えられ、噴火様式の予測に役立つ可能性がある。			
同・主任研究員	宮城 磯治	マグマの熱力学計算結果をまとめたデータベースを「AIST Repository」で公開し、DOI 付きで世界中の研究者が利用・引用できるようにした。これにより、ユーザーは鉱物相やメルトの再現から噴火前のマグマの条件（温度・圧力・含水量）を推定できる。これらの条件が分かれば、比重や粘性など他の重要な変数も導き出せ、噴火の理解や予測に役立つ。データの事前整備は、将来の噴火対策にも有効と考えられる。	R6.4.1～ R7.3.31		
国立大学法人鹿児島大学・大学院理工学研究科・教授	嶋野 岳人	新燃岳 2018 年噴火の時系列火山灰試料の解析から、噴火の活発化に至る火道浅部プロセスを解明した。桜島昭和火口 2009-2015 年の活動について、バルク火山灰の測色値の主成分分析と分級試料の測色値との比較から噴火活動と火山灰色の関係を解明した。また、南岳火口 2018 年以降の活動について、火山灰色および粒子毎の顕微可視分光による構成比変化から、顕著な噴火を伴わない地盤変動（NED）がガスに富むマグマの少量の上昇によることを明らかにした。一方、諏訪之瀬島火山においては、火山灰の反射電子像を用いた火山灰粒子分類を進めた。また、引き続き、過去 3 万年間の噴出物の鉱物組成分析を継続した。	R6.4.1～ R7.3.31	4,940,000	1,140,000

山梨県富士山科学研究所・富士山火山防災研究センター・主幹研究員	吉本 充宏	富士山の噴出物について、解析に適切な試料の選定について助言するとともに試料採取をおこなった。	R6.4.1～R7.3.31	-	-

(b) サブテーマ 2

所属機関・部局・職名	氏名	分担した研究項目及び研究成果の概要	研究実施期間	配分を受けた研究費	左記のうち、間接経費
北海道大学 大学院理学研究院 教授	栗谷　豪	サブテーマ2の研究課題の総合推進およびとりまとめを行った。また、桜島の完新世のマグマ変遷を解析し、マグマ系の起源と進化を明らかにした。さらに、マグマ変遷解析センターの統括および分析技術開発を行った。	R6.4.1～R7.3.31	49,699,998	11,469,230
同　特任教授	中川　光弘	課題C全体のとりまとめ、特に課題間連携研究の企画・推進を行った。また、アトサヌプリ・摩周、秋田駒ケ岳について噴火活動履歴の研究を行い、その詳細を明らかにした。霧島山について物質科学的解析によりマグマ供給系像を明らかにした。さらに、階段図の作成指針・手法について学術誌で公表した。噴火事象系統樹の作成指針・手法を提案し、その公表準備を行った。また、ボーリング掘削調査をとりまとめ、霧島山で実施した。そして、ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築を行った。	R6.4.1～R7.3.31	-	-

同　准教授	吉村　俊平	マグマ変遷解析センターにおいて、FT-IR 分析に関する技術開発を行った。また、マグマ変遷解析センターのユーザーの受入れを行った。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
同　技術専門職員	松本　亜希子	摩周・アトサヌプリ、秋田駒ケ岳について噴火活動履歴の研究を行い、その詳細を明らかにした。霧島山について物質科学的解析によりマグマ供給系像を明らかにした。また、マグマ変遷解析センターのユーザー受入れを行った。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
秋田大学 大学院国際資源学研究科 教授	大場　司	鳥海山、栗駒山、岩手山のテフラ層序、溶岩層序、年代、マグマ供給系の研究を行なったほか、インドネシアの類似火山との比較研究を行い、各火山での成果を論文と学会発表により公表した。	R6.4.1～ R7.3.31	2,800,001	646,154
同　助教	星出　隆志	鳥海山、栗駒山、岩手山のマグマ供給系の研究を行なったほか、国内外の斑レイ岩体との比較研究を行い、その成果を論文と学会発表により公表した。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
山形大学 理学部 教授	伴　雅雄	蔵王山、鳥海山及び吾妻山の噴火履歴及びマグマ供給系解明の研究を継続した。蔵王山ではトレンチ、露頭調査を行い、テフラ層序の補強、溶岩層序の解明、ラハール/岩屑なだれ堆積物調査を進めた。鳥海山では、西鳥海山カルデラ内の鳥海湖由来噴出物の研究を進めた。吾妻山ではトレンチ、露頭調査を行	R6.4.1～ R7.3.31	3,600,000	830,769

		い、テフラ層序解明を進めた。			
同　助教	井村　匠	吾妻山、蔵王山の噴火履歴解明の研究を継続した。吾妻山ではトレンチ、露頭調査を行い、テフラ層序解明を進めた。蔵王山では、熱水系が関与する地熱地帯や噴出物について物質科学的研究を進めた。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
同　准教授	常松　佳恵	蔵王山、吾妻山の噴火履歴解明の研究を行った。吾妻山では、明治噴火の投出岩塊について再調査を進めた。蔵王山では、1895年噴火の投出岩塊の分布について再調査を進めた。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
茨城大学 理工学研究科 教授	長谷川　健	那須岳、吾妻山、摩周、三宅島で調査を行い、採取試料の分析および成果公表等を行った。	R6.4.1～ R7.3.31	3,000,000	692,307
同　学振PD 研究員	柴田　翔平	アトサヌプリ・摩周をはじめとする北海道東部の火山の研究補助を行った。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
同　基礎自然科学野研究員	Aka Festus Tongwa	那須岳、吾妻山、三宅島で採取した試料の分析と成果論文執筆の補助を行った。	R6.10.1 ～ R6.11.30	-	-
東京大学 地震研究所 准教授	前野　深	鬼界、伊豆大島、霧島山における地質学的・岩石学的研究を進め、噴火事象系統樹や階段ダイアグラム作成の基礎となる、従来よりも高精度の噴火履歴や噴火推移、マグマ供給系に関する知見を得た。	R6.4.1～ R7.3.31	4,400,000	1,015,384
日本大学 文理学部地球科学科 教授	安井　真也	浅間山の噴火史の研究を行い、主にトレンチ掘削による地質調査と年代測定に基づき、主に仏岩火山の大規模噴火と黒斑火山の山体崩壊期	R6.4.1～ R7.3.31	1,900,000	438,461

		の実態解明のための地質データを蓄積した。噴出物の詳細な層序に関する情報が得られた。			
同　准教授 同　上席研究員	金丸　龍夫 高橋　正樹	浅間山の噴火史の研究を行い、仏岩火山の大規模噴火の地質調査を実施した。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
富山大学 学術研究部都市デザイン学系 教授	石﨑　泰男	草津白根山、志賀火山、鷲羽池火山、白山の噴火履歴調査を立案・実施し、噴出物層序、噴火年代、噴火様式に関する研究成果が得られた。	R6.4.1～ R7.3.31	3,400,000	784,615
同　教授 同　教授	石川　尚人 川崎　一雄	志賀火山噴出物の古地磁気分析を分担し、同火山の最後のマグマ噴火の年代に関する研究成果が得られた。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
山口大学 大学院創成科学研究科 教授 同　講師	太田　岳洋 辻　智大	九重山に関する噴火履歴調査、噴火推移調査を行い、噴出物の分布と層序、噴出量、推移を明らかにし、形成史を見直した。	R6.4.1～ R7.3.31	1,900,000	438,461
熊本大学 くまもと水循環・減災研究教育センター 教授	宮縁　育夫	阿蘇山の火山活動と噴火履歴に関する研究を行い、最近数100年間の噴火活動の概要が明らかになり、またトレンチ調査等によって噴火活動史についての知見が得られた。	R6.4.1～ R7.3.31	2,800,001	646,154
産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門 研究グループ長	古川　竜太	御嶽山、雌阿寒岳、秋田焼山の研究成果取りまとめを行った。また岩木山の現地調査及び分析を行い、噴火履歴に関する情報を取得した。霧島山については、現地調査及び分析を行い、噴火履歴に関する情報を取得した。	R6.4.1～ R7.3.31	9,000,000	1,765,273
同　主任研究員	及川　輝樹	御嶽山の研究成果取りまとめを行った。また、岩木山・白馬大池（風吹）火山・霧島	R6.4.1～ R7.3.31	-	-

		山の現地調査及び分析を行い、噴火履歴に関する情報を取得した。			
同　主任研究員	山﨑　誠子	御嶽山および秋田焼山の研究成果取りまとめを行った。雌阿寒岳の放射性年代測定および研究成果のとりまとめを行った。霧島山の現地調査及び分析を行い、噴火履歴に関する情報を取得した。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
同　主任研究員	草野　有紀	秋田焼山の研究成果取りまとめを行った。岩木山の現地調査及び分析を行い、噴火履歴に関する情報を取得した。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
同　研究員	谷内　元	岩木山および利尻山の現地調査及び分析を行い、噴火履歴に関する情報を取得した。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
同　首席研究員 同　研究グループ長 同　研究員 同　キャリアエキスパート	石塚　治 井上　卓彦 有元　純 川邉　禎久	伊豆大島の研究成果取りまとめを行った。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
同　上級主任研究員	宝田　晋治	大規模噴火データベースの整備を行った。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
産業技術総合研究所 地質調査総合センター センター長補佐	伊藤　順一	秋田焼山の研究成果取りまとめを行った。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
北海道教育大学旭川校 准教授	佐藤　鋭一	雌阿寒岳の噴火履歴に関する研究を行い、噴火事象系統樹の作成や噴火履歴の再検討を行った。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
筑波大学 大学院生命環境科学研究科	荒川　洋二 池端　慶	新島（及び式根島）火山における岩石の元素・Sr 同位体比の結果を整理し、マグマの化	R6.4.1～ R7.3.31	-	-

名誉教授 同　准教授		学的特徴や起源、生成過程等について推定を行った。			
信州大学 理学部 教授	斎藤　武士	焼岳、横岳、由布鶴見岳（伽藍岳）について、噴火履歴調査およびこれまでの成果とりまとめを行った。特に焼岳の下堀沢溶岩の古地磁気学的年代推定を行った。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部　研究統括室　上席研究員	上澤　真平	羊蹄山山麓のテフラを対象として、岩石記載、ガラス組成、ジルコン U-Th 年代測定を実施し、テフラ層序の再検討を行った。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
防災科学技術研究所 特別研究員	長井　雅史	ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築を行った。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-
株式会社エンバイオ・エンジニアリング 技術部長	和知　剛	秋田駒ケ岳の噴火履歴調査を行い、新たな見解が得られた。	R6.4.1～ R7.3.31	-	-

(c) サブテーマ 3

所属機関・ 部局・職名	氏名	分担した研究項目 及び研究成果の概要	研究 実施 期間	配分を 受けた 研究費	左記の うち、 間接 経費
国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域 副領域長	藤田英輔	【サブテーマ 3】 サブテーマ 3 全体の取りまとめを実施した。 ①b．マグマ移動過程シミュレーション技術開発で粒子法の検討、 ②c．ハザード評価システムの検討でシステム開発を進めた。	R6．4．1 ～ R7．3.31	30,854,545	7,120,279
国立研究開発法人防災科学技術	三輪学央	①c．マグマ物性モデルの構築で結晶化モデル構築の	R6．4．1 ～ R7．3.31		

研究所巨大地変災害研究領域火山研究推進センター　主任研究員		ための室内実験と火道流モデルへの適用の検討を行った。			
同　主任専門研究員	長井雅史	①c．マグマ物性モデルの構築で結晶化モデル構築のための室内実験を実施した。	R6．4．1 ～ R7．3.31		
同　契約研究員	丸石崇史	②c．ハザード評価システムの検討で、溶岩流シミュレーションを実施し、噴出条件と流長の関係を定量的に明らかにした。	R6．4．1 ～ R7．3.31		
同　契約研究員	瀧下恒星	②c．ハザード評価システムの検討で、Ash finger 現象を考慮した降灰シミュレーションを行った。	R6．4．1 ～ R7．3.31		
国立大学法人東北大学大学院理学研究科　教授	西村太志	①a．噴火機構シミュレーション技術開発で、事象分岐の検知可能性評価を行った。	R6．4．1 ～ R7．3.31	2,234,382	515,626
同　准教授	奥村　聡	①a．噴火機構シミュレーション技術開発および①c．　マグマ物性モデルの構築で、結晶化実験と火道流モデルの結合を検討した。	R6．4．1 ～ R7．3.31		
国立大学法人東京大学 地震研究所火山噴火予知研究センター　准教授	鈴木雄治郎	②b．噴煙柱ダイナミクスモデルの開発で噴煙ダイナミクスと火山灰輸送をカップリングしたSK-3Dモデルによる大規模シミュレーションを実施した。	R6．4．1 ～ R7．3.31	2,909,228	671,360
同　准教授	前野　深	②c．ハザード評価システムの検討で各シミュレータの導入の検討を行った。	R6．4．1 ～ R7．3.31		
気象庁気象研究所火山研究部　室長	鬼澤真也	①b．マグマ移動過程シミュレーション技術開発で地	R6．4．1 ～ R7．3.31	―	―

		震・地殻変動データによる評価を行った。			
同　主任研究官	川口亮平	①b．マグマ移動過程シミュレーション技術開発で境界要素法により地形を考慮した火山周辺の地殻変動計算システムの開発を進めた。	R6．4．1 ～ R7．3.31		
同　研究官	入山　宙	②a．降灰ハザード予測モデルの開発で新しい１次元噴煙モデル(NIKS-1D)の開発を進めた。	R6．4．1 ～ R7．3.31		
同　室長	新堀敏基	②a．降灰ハザード予測モデルの開発で気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）の改良を検討した。	R6．4．1 ～ R7．3.31		
同　主任研究官	佐藤英一	②a．降灰ハザード予測モデルの開発で、JMA-ATM の初期条件を適切に与えることを目的として、降下火砕物の形状・密度の粒径依存性を明らかにした。	R6．4．1 ～ R7．3.31		
同　主任研究官	石井憲介	②a．降灰ハザード予測モデルの開発で新しい１次元噴煙モデル(NIKS-1D)の開発を進めた。	R6．4．1 ～ R7．3.31		
国立大学法人静岡大学理学部地球科学科 准教授	石橋秀巳	①c．マグマ物性モデルの構築火山性流体のレオロジーモデル構築のための実験結果による構成則のシミュレーションへの適用の方向性を検討した。	R6．4．1 ～ R7．3.31	―	―
国立大学法人山形大学理学部 准教授	常松佳恵	②c．ハザード評価システムの検討で、火山ハザード評価システムの開発を実施した。	R6．4．1 ～ R7．3.31	―	―
国立大学法人神戸大学先端融合研究環　講師	清杉孝司	②c．ハザード評価システムの検討で、火山ハザード	R6．4．1 ～ R7．3.31	―	―

		評価システムの開発を実施した。			
山梨県富士山科学研究所　主任研究員	石峯康浩	②c．ハザード評価システムの検討で、火山ハザード評価システムの開発を実施した。	R6．4．1 ～ R7．3.31	―	―

(2) 研究実施日程

(a) サブテーマ 1

研究実施内容	実施日程											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
①　国立大学法人東京大学												
ａ．プロジェクトの総合推進	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
ｂ．分析・解析プラットホームの整備・運用	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
ｃ．研究集会の調整・開催	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
ｄ．火山噴出物の分析・解析	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
②　学校法人早稲田大学												
火山噴出物の分析・解析	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
③　国立大学法人静岡大学												
火山噴出物の分析・解析	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
④　学校法人福岡大学												
火山噴出物の分析・解析	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
⑤　国立大学法人東北大学												
火山噴出物の分析・解析	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
⑥　国立研究開発法人産業技術総合研究所												
ａ．火山噴出物の分析・解析	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
ｂ．熱力学解析に関わる研究開発	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
⑦　国立大学法人鹿児島大学												
火山噴出物の分析・解析	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→

(b) サブテーマ 2

研究実施内容	実施日程											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
火山の噴火履歴及びマグマ長期変遷に関する研究	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
大規模噴火データベースの整備	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
課題C-2のとりまとめと研究成果の発信	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
課題C全体のとりまとめと総合推進	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→

(c) サブテーマ 3

研究実施内容	実施日程											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発												
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	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
ｂ．マグマ移動過程シミュレーション技術開発	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
ｃ．マグマ物性モデルの構築	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
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	←											→
b．噴煙柱ダイナミクスモデルの開発	←											→
c．ハザード評価システムの検討	←											→

２．研究成果の説明

(1) ２．１　火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発

(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	機関種別	役職	氏名
国立大学法人東京大学地震研究所	共同実施機関	教授 技術専門職員 技術補佐員	安田　敦 外西奈津美 今野紗世
学校法人早稲田大学	参加機関	教授	鈴木由希
国立大学法人静岡大学	参加機関	准教授	石橋秀巳
学校法人福岡大学	参加機関	教授	三好雅也
国立大学法人東北大学	参加機関	教授 助教 助教 特任研究員 博士１年 修士２年 修士２年 修士１年 修士１年	中村美千彦 無盡　真弓 新谷　直己 荒尾眞成 浮田泰成 黒木徹也 Aulia Syafitri 阿部遥斗 名郷達哉
国立研究開発法人産業技術総合研究所	参加機関	主任研究員 主任研究員	東宮昭彦 宮城磯治
国立大学法人鹿児島大学	参加機関	教授	嶋野岳人
山梨県富士山科学研究所	協力機関	主幹研究員	吉本充宏

(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まりの状態、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（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 28 年度：

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

2) 平成 29 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、分析効率の向上のためエネルギー分散型（EDS)検出器を EPMA 装置に追加した。前年度に引き続き、最適な分析条件と分析手順の確立について作業し、12 kV および 15 kV の加速電圧で標準的な ZAF 補正法定量分析がおこなえるようした。項目（イ）に対しては、相同定、グラフの自動作成、反射電子線像の自動処理等の解析用プログラムを作成し、分析から解析までを連続して実行できる PC 環境を構築した。項目(ウ)に対しては、分析データから公開するデータの仕様を満たすような必要項目を、自動的に抽出する環境を構築する作業をおこなった。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まり環境やマグマの上昇速度についてデータを集めるとともに、解析方法についての検討もおこなった。

3) 平成 30 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、分析効率の向上のため分光器 1 台を EPMA 装置に追加した。前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努めた。項目（イ）と（ウ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなった。項目（エ）に対しては、該当する火山について、主としてマグマの上昇速度を明らかにするためにマグマ溜まり環境やマグマの上昇速度についてのデータを収集した。加えて、噴火の特徴を噴火発生時に迅速に把握するための手法開発を継続し、桜島と霧島新燃岳での試験を実施した。

4) 平成 31 年度（令和元年度）:

成果目標項目（ア）に対して、分析効率の向上のため分光器 1 台を EPMA 装置に追加した。前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立のための作業をおこない、定量分析データの安定性向上をはかった。項目（イ）と（ウ）に対しては、画像データの解析プログラムの作成と取得した画像のデータベース化を進めた。ウエブブラウザによって、これまでに取得した画像データを一覧することができるようにした。項目（エ）に対しては、該当する火山について、主にマグマ混合から噴火に際の上昇速度を記録している石基

組織を解析するとともに、前年度に引き続きマグマ供給系の全体像把握と精密化のための研究をおこなった。

5）令和 2 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、分析効率の向上のため分光器 1 台を EPMA 装置に追加した。前年度に引き続き、最適な分析条件と分析手順の確立のための作業をおこなった。COVID-19 対応としてリモート分析のための手順書と作成するとともに、補助のためのツールを作成した。項目（イ）に対しては、前年度に引き続き画像解析プログラムの拡充をおこなった。項目（ウ）に対しては、定量分析データのデータベースへの受け入れを開始した。また、インターネット経由で画像データベースにアクセスできるように整備した。項目（エ）に対しては、各火山について、マグマ供給系の描像を精密化するためのデータを拡充するとともに、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した。また、噴火事象分岐予測に資するデータ取得方法や解析方法の開発をおこなった。項目（オ）に対しては、装置の利用規約を整備した。

6）令和 3 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の整備をおこなった。加えて、蒸着装置を更新し分析精度の向上をはかった。項目（イ）に対しては、前年度に引き続き解析プログラムの整備をおこなった。項目（ウ）に対しては、前年度に引き続き画像データベースの拡充と利用環境の整備をおこなった。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、マグマシステムの類型化をおこなうとともに､噴火事象分岐予測の鍵となる観測項目の整理を試みた｡引き続き、11 火山に加えて噴火発生中の火山の試料の分析を継続し、マグマ供給系の精密化や噴火推移を迅速に把握する手法の開発をおこなった。項目（オ）に対しては、装置の利用者環境の整備はしたものの、COVID-19 の影響で、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はかなり限定されたものになり、東京大学地震研究所内の課題 C2 関係者のみにとどまった。

7）令和 4 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努めた｡項目（イ）と（ウ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなった｡項目（エ）に対しては、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した。本事業で研究対象とした火山の代表的な噴火事例をもとに、噴火の予測に対して重要となる要素を、前年度に提案した「簡略化したマグマ供給系」に集約する形で整理する方向で作業を開始した。項目（オ）に対しては、COVID-19 の影響のため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はおこなわなかった。組織内の研究者の分析作業の利便のため、依頼分析を引き続き受け入れた。

8）令和 5 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、標準試料の測定など装置の利用環境向上に努めた。項目（イ）と（ウ）に対しては、データベースへのデータ受け入れとデータ検索機能の拡充にむけた作業をおこなった。項目（エ）に対しては、前年度に引き続き火山噴出物の解析から噴火事象分岐予測のための鍵となる要素の抽出をおこなうととも

に、「簡略化したマグマ供給系」に集約する形で整理して、「予測手法」の実体化のための作業をおこなった。項目（オ）に対しては、硫黄島噴火などの突発的なの噴出物解析のために、装置の利用可能時間枠が組織内利用で埋まったことにより、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はおこなわなかった。組織内の研究者の分析作業の利便のため、依頼分析を引き続き受け入れた。

9）令和 6 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努めた。項目（イ）（ウ）（エ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなった。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た。こうした利用者の意見を取り入れ、より使いやすい装置環境の改修をおこなった。

10）令和 7 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努める。項目（イ）（ウ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（エ）に対しては、本事業で選定した 11 の火山については代表的な噴火の火山噴出物の特徴や噴出物から推定される噴火の特徴を概観し、予測につなげられる機能を完成させ、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) 令和６年度における業務の方法

1）国立大学法人東京大学

a）プロジェクト（課題 C-1）の総合推進

課題 C-1 分担者と連絡を密にし、課題 C-1 の総合推進を図る。課題 C-2 事業責任者及び C-3 分担責任者と連絡を密にし、課題 C の総合推進を図る。また、JVDN システム担当者、B、D の事業責任者と連携し「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト次世代火山研究推進事業」全体の推進を図る。

b）分析・解析プラットホームの整備、運用

FE-EPMA の利用環境を整備し、プロジェクト関係者の利用をサポートする。前年度に引き続き解析機能の強化とデータベース連携プログラムの整備を行う。分析・解析プラットホームで取得したデータの部分的な公開を行う。

c）研究集会の調整・開催

課題 C-2 及び C-3 と連携し、研究集会を実施するとともに成果の公開を促進する。

d）火山噴出物の分析・解析

噴火事象分岐予測手法の開発のため、富士火山の火山噴出物について、協力機関の富士山科学研究所と共同して研究を実施する。

2）学校法人早稲田大学

火山噴出物の分析・解析

噴火事象分岐予測手法の開発のため、榛名火山や霧島火山において地質調査や火山噴出物についての研究を実施する。 また、随時、分析・解析プラットホームのシステム構築に関する助言を行う。

3）国立大学法人静岡大学

火山噴出物の分析・解析

噴火事象分岐予測手法の開発のため、富士火山、伊豆大島の火山噴出物についての研究を実施する。また、随時、分析・解析プラットホームのシステム構築に関する助言を行う。

4）学校法人福岡大学

火山噴出物の分析・解析

噴火事象分岐予測手法の開発のため、阿蘇火山の火山噴出物についての研究を実施する。また、随時、分析・解析プラットホームのシステム構築に関する助言を行う。

5）国立大学法人東北大学

火山噴出物の分析・解析

噴火事象分岐予測手法の開発のため、桜島火山・霧島火山・富士火山・福徳岡ノ場火山・浅間火山・十和田火山・アイフェル火山の噴出物の分析を進める。噴火直前のマグマ定置深度や火道上昇過程を、噴出物の斑晶や石基鉱物の分析やマグマ結晶化実験などにより岩石学的に検討する。また、マグマ溜まりの熱進化計算を行う。随時、分析・解析プラットホームのシステム構築に関する助言を行う。

6）国立研究開発法人産業技術総合研究所

a）火山噴出物の分析・解析

噴火事象分岐予測手法の開発のため、有珠火山において火山噴出物についての研究を実施する。

b）熱力学解析に関わる研究開発

マグマの熱力学解析の網羅的な集計結果を JVDN で公開するとともに、活火山の斑晶ガラス包有物や石基ガラスの揮発成分量の追加分析を行い、熱力学解析の結果と比較する。

7）国立大学法人鹿児島大学

火山噴出物の分析・解析

噴火事象分岐予測手法の開発のため、桜島火山、諏訪之瀬島火山の火山噴出物についての研究を実施する。また、分析・解析プラットホームのシステム構築に関する助言や、噴出物分析の迅速な特徴把握に関する技術開発を行う。

8）自発的な研究活動等

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動等を推進する。

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、火山調査研究推進本部による火山活動の総合的な評価に資する機動的な調査観測が緊急的に実施される場合は、前記の 1)から 8)で実施する現地調査について、その一部もしくはその全てに代えて緊急観測を実施することを可能とする 。

(2) 令和６年度の成果

(a) 業務の要約

分析・解析プラットフォームを改修し利用者の利便性を向上させた。噴火活動推移把握のために、熱力学計算結果に容易にアクセスできる環境や火山灰分析システムを構築し実際の火山噴火への適用を試みた。噴出物解析では、有珠、富士山、伊豆大島、雲仙、阿蘇、霧島、桜島などの火山に関する研究を行い、噴火活動の解明や噴火事象分岐予測の鍵項目の迅速かつ正確な取得方法や閾値についての研究をおこなった。加えて、総合推進として噴火予測の鍵要素についてとりまとめや予測システムの試案作成をおこなった。

(b) 業務の成果

1) プロジェクト（課題 C-1）の総合推進および研究集会の調整・開催（東京大学）

プロジェクトの出口戦略などについて課題 C-1 参加機関の分担者と情報共有をはかり計画の推進と進行管理をおこなった。また、成果として JVDN システムに公開するデータについて担当者と協議をおこなった。令和 6 年 12 月 3 日から 5 日にかけて開催された次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの全体集会とフォーラムに関して課題 C 内の分担者と相談し話題提供者の調整をおこなった。令和 7 年 3 月 15 日から 18 日には、課題 C-2 の主導のもと、課題 B、C、D、 人材育成の関係者らが参加して課題間連携研究霧島集会を開催した。会議は火山学会等を通じて広く周知され ZOOM で広く公開された。

2) 分析・解析プラットホームの整備、運用

a) FE-EPMA **（東京大学）**

前年度に引き続き FE-EPMA の利用環境を整備し、機器利用者のサポートをおこなった。組織内からは静岡大、早稲田大、鹿児島大から利用を受け入れるとともに、課題 C-2 関係者や硫黄島噴火と関連して防災科研からの利用を受け入れた。分析・解析プラットホームで取得したデータのうち、反射電子線像については、外部からサーバーにアクセスし、加工データに参照できる環境をととのえた。

b) 熱力学解析環境**（産業技術総合研究所）**

前年度までに、マグマの熱力学計算ソフトウエア(Rhyolite-MELTS)[1)]に網羅的な計算を行なわせグラフにまとめるためのスクリプトを MacOS 以外のプラットホームに移植する方法を検討したが、様々な問題が明らかになった。それらの問題を回避するには、ユーザー自身が計算を行なうためのスクリプトを共有するよりも、計算結果を汎用的なデータベースファイルに束ね公的なサイバースペースに置いて共有するほうが現実的である、という結論に到達した。但し、Rhyolite-MELTS の出力データは、様々な温度・圧力・含水量・酸素分圧の条件をそろえた場合、巨大な容量になり、一般的

なウェブサイトには置けない。以上を踏まえ今年度は「AIST Repository」での公開を試み[2)]、良好な結果を得た。

AIST Repository は、2024 年に運用を開始した、産業技術総合研究所の研究活動によって発生した電子情報をインターネットに公開するためのウェブサイトであり、多量かつ大容量のデータを扱うことができる。AIST Repository には DOI が付与されるため、世界中の研究者などが利用・引用することが可能である。また、AIST Repository はウェブサイトでの公開であるから、URL を参照することにより、JVDN のような外部の公的サーバーからリンクを張って利用することも可能である。

今年度 AIST Repository で公開したものは、本プロジェクトの成果の一環として 2017 年に Contributions to Mineralogy and Petrology 誌に公開された、肘折のマグマ供給系に関する岩石学的検討結果[3)]の根拠となった熱力学データ[2)]である。Repository の DOI は https://doi.org/10.57765/2003341 である。この DOI を辿ると、該当するデータのトップページが表示される(図 1)。ユーザーはこのページの「Name/File」コラムのリンク(index.html)から、目的のデータの入口(図 2)に到達できる。そのページには関連する論文の情報や、Rhyolite-MELTS での計算条件が示されているほか、「Click here to start」のリンクを辿ることにより、個々の熱力学計算結果のグラフ(温度・圧力平面に、各パラメータを等高線として表現したもの)を閲覧できる(図 3)。今回公開した熱力学計算結果には、3462 枚ものグラフが含まれる。これら多数のグラフは、ハイパーテキストで系統的に相互リンクされている。ユーザーは当該ページ中のリンクをクリックするだけで、マグマ中に生じる各鉱物・メルトの組成や量が、マグマの水と二酸化炭素量の変化によってどのように変化するか、容易に把握することができる(図 4)。例えば図 4 は、肘折火山のデイサイトマグマに生じるシリカ鉱物の量(重量%)が、マグマ含水量を 0.2 重量%(図 4 左；H_2O=0.2 のリンクで表示される)、1.0 重量%(図 4 中央;H_2O=1.0 のリンク)、5.0 重量%(図 4 右;H_2O=5.0 のリンク)と変化させることで、劇的に変化することを示している。

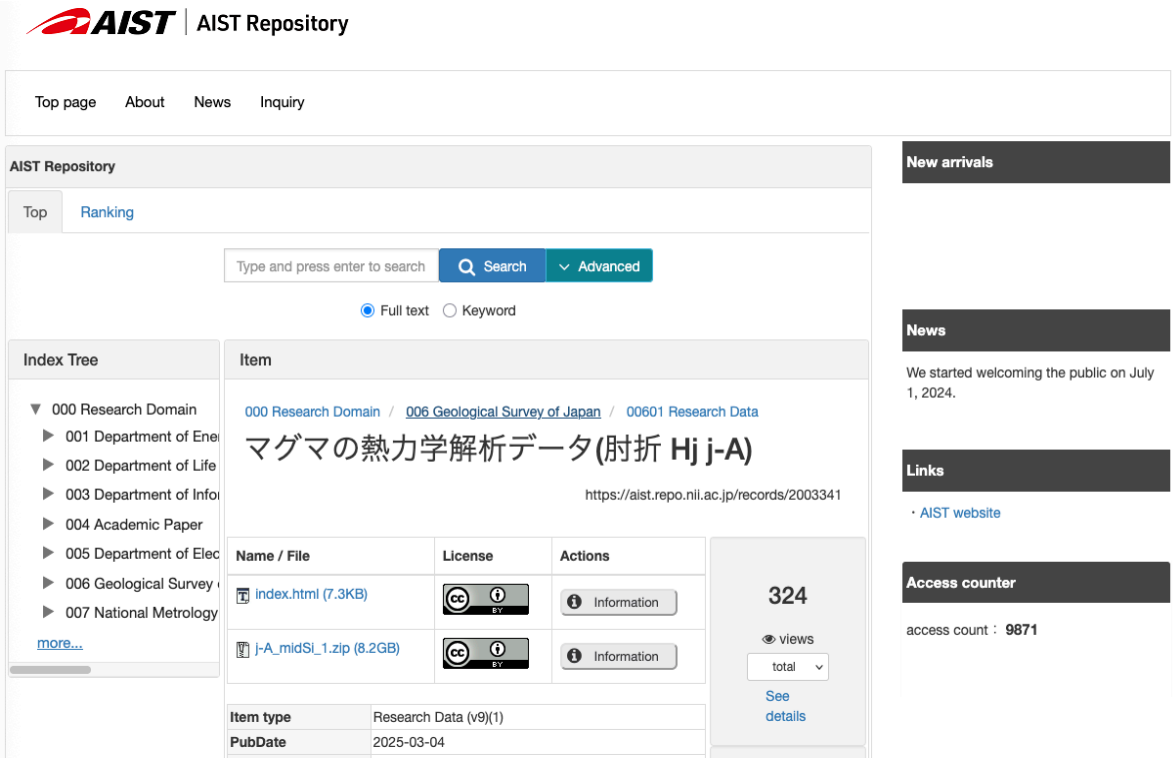


図 1　AIST Repository の該当データのトップページ。

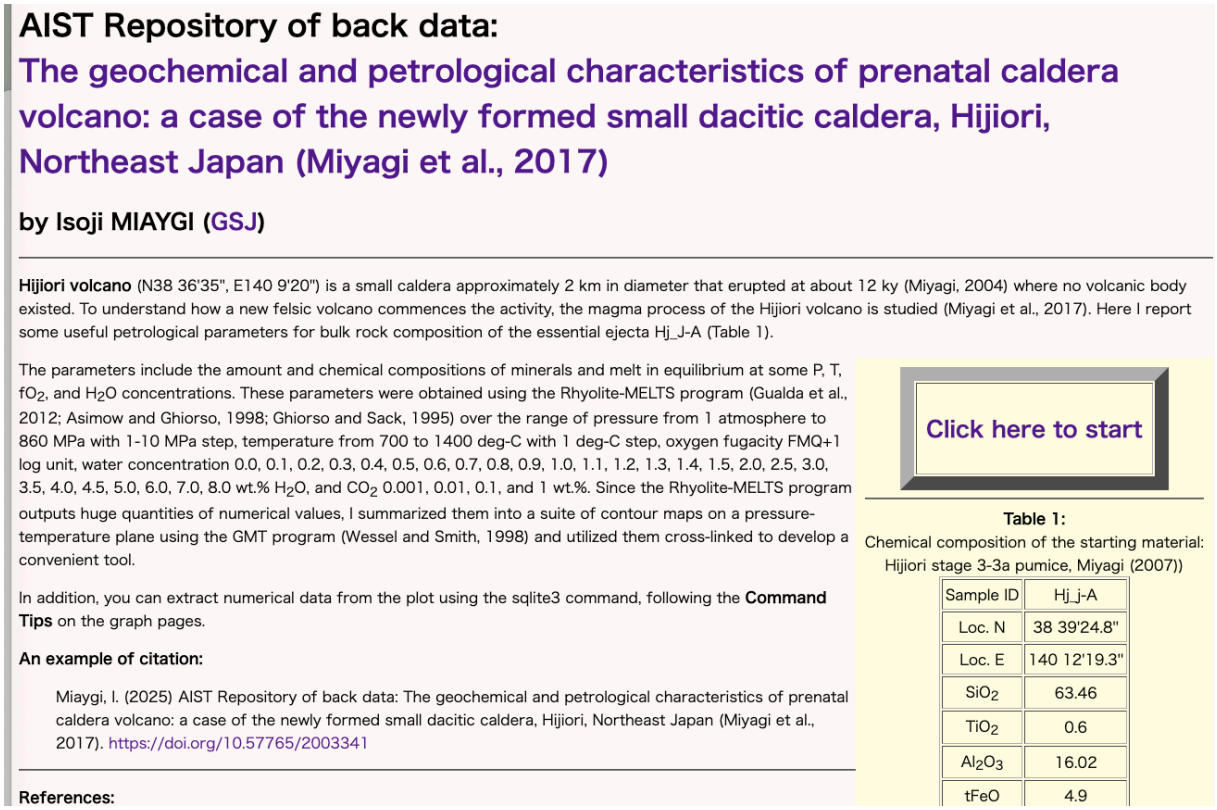


図 2 マグマの熱力学データの入口ページ。計算条件や関連文献等が記述されている。

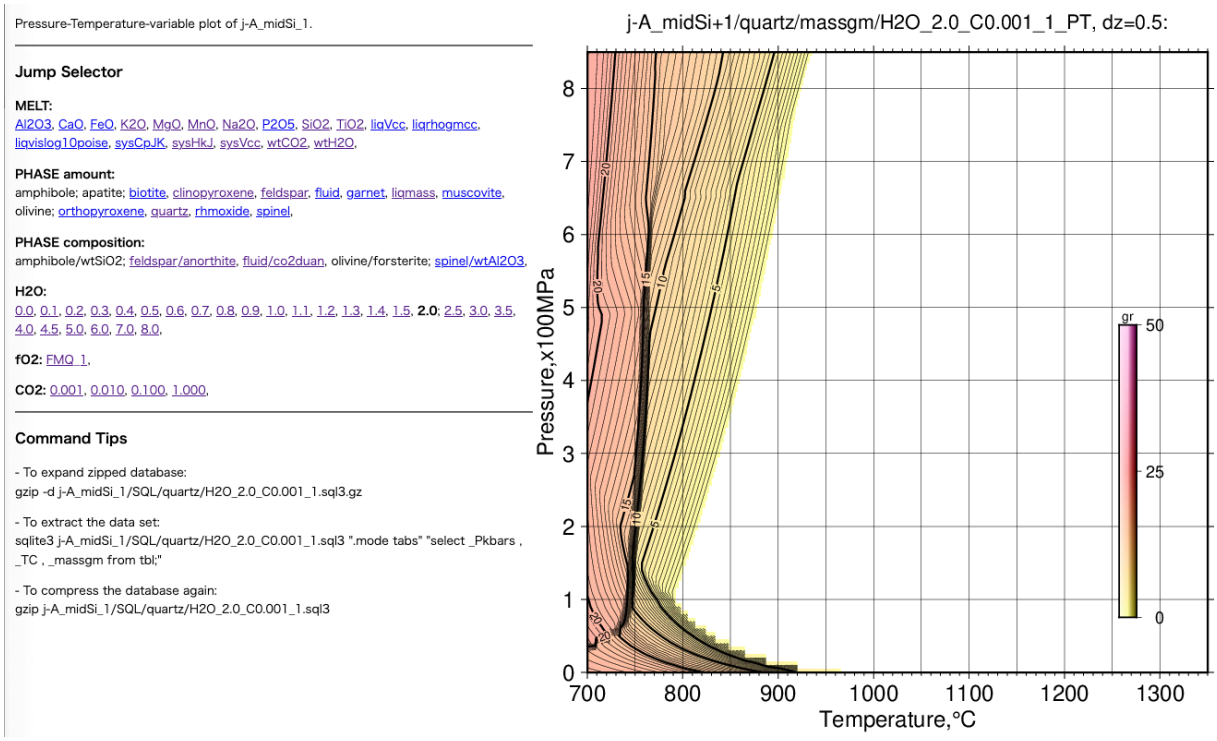


図 3　熱力学計算結果のグラフの例。温度・圧力平面上に、各変数が等高線として表現されている。この例では、肘折火山のデイサイトに生じる石英の量が示されている。

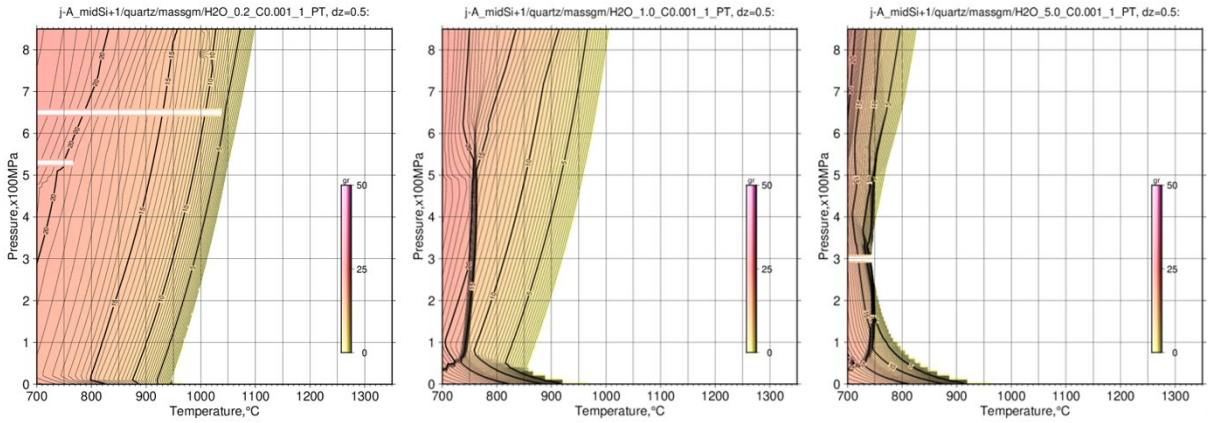


図 4　肘折火山のデイサイトマグマに生じるシリカ鉱物の量(重量%)を、温度・圧力平面上に等高線として示したもの。マグマ含水量は 0.2 重量%(左の図)、1.0 重量%(中央の図)、5.0 重量%(右の図)である。マグマの含水量が異なるとシリカ鉱物の晶出量が劇的に変化することがわかる。

更に、各グラフのページの「Command Tips」には、グラフ作成に用いたデータの操作方法のヒントが記述されている。データベースのファイルは圧縮されているので、ユーザーは最初に下記のコマンドで、ファイルを解凍する必要がある。

```
> gzip -d j-A_midSi_1/SQL/quartz/H2O_2.0_C0.001_1.sql3.gz
```

次に、ユーザーは下記のようなコマンドにより、データベースファイルから特定の情報を抽出し、タブ区切りテキストとして出力することができる。このコマンドはSQLと呼ばれる標準的な仕様であるから様々な応用が効き、ユーザーは興味のあるデータを切り出し任意のグラフ作成ソフトウエアで再描画することができる。下記の例では、温度が750℃、圧力が1kbarと2kbarの範囲において、マグマから晶出する石英の量を、温度・圧力とともに出力させている。

```
> sqlite3 j-A_midSi_1/SQL/quartz/H2O_2.0_C0.001_1.sql3 ".mode tabs" "select _Pkbars , _TC , _massgm from tbl where _Pkbars between 1 and 2 and _TC is 750;"
1.0	750.0	8.9029
1.1	750.0	8.2599
1.2	750.0	7.6397
1.3	750.0	7.3456
1.4	750.0	7.1603
1.5	750.0	6.9751
1.6	750.0	7.2717
1.7	750.0	8.1758
1.8	750.0	9.0125
1.9	750.0	9.7891
2.0	750.0	10.5118
```

これらのデータ抽出操作後、下記のコマンドにより、ユーザーはデータベースファイルを圧縮し記憶媒体の使用容量を節約することができる。

```
> gzip j-A_midSi_1/SQL/quartz/H2O_2.0_C0.001_1.sql3
```

ユーザーは、天然の噴出物で観察される鉱物相やメルトの量が再現できる条件を見付けることにより、噴火前のマグマの温度・圧力・含水量を推定する、あるいは制限を与えることが可能となる。ここで重要なことは、ひとたびマグマの温度・圧力・含水量を特定・断定すると、そのマグマの比重、メルトの粘性、メルト量、気泡の量、といった変数が芋弦式に得られることである。これらの変数は、マグマ供給系の深度や物性に関する知見を深め、噴火事象分岐を考えるうえでも重要であろう。マグマの熱力学データを火山ごとに事前に整備しておくことは、将来の噴火への有効な備えになると考えられる。

来年度は今年度と同様の方法で、次世代火山プロジェクト「分析・解析プラットホームの整備、運用」の一環として得られた、姶良[4)]、御岳[5)]、葛根田[6)]、阿蘇[7)]の論文の根拠となった熱力学計算データを、順次AIST Repositoryに公開してゆく予定である。

3）火山噴出物の分析・解析

a）有珠火山噴出物の岩石学的解析による爆発的噴火のマグマ過程の研究**（産業技術総合研究所）**

i）はじめに

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[8]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きている。

なお、有珠火山の歴史時代（1663年以降）の噴火はもっぱら珪長質マグマが活動しているが、プリニー式／準プリニー式の軽石噴火や水蒸気・マグマ水蒸気噴火といった爆発的噴火を繰り返すのが特徴である。一方、同じく1663年から珪長質マグマが活動している雲仙火山は、プリニー式噴火を起こさず溶岩流・溶岩ドーム噴火を繰り返している。この違いがどのようなマグマ過程の違いに基づくかを知ることは、噴火事象分岐を考えるうえで重要であろう。雲仙火山のマグマ供給系に関する研究については、章を改めて報告する。

ii）研究方法とその背景

令和6年度も前年度に引き続き、有珠火山で最新の準プリニー式噴火が発生した1977年噴火とそれに引き続いて発生した一連のマグマ水蒸気噴火である1978年噴火を例として、軽石・火山弾中の鉱物の組成・累帯構造分析結果の検討を進めた。前年度までに、準プリニー式噴火を主体とした第1期（1977年8月7～14日）とマグマ水蒸気噴火を主体とした第2期（1977年11月16日～1978年10月27日）[9),10)]とでは、磁鉄鉱の累帯構造や石基の鉱物・組織に大きな違いがあることを明らかにしている。この違いは、第1期噴火ではマグマ溜まりから上昇してきたマグマが短時間（数日以内）で噴火したのに対し、第2期噴火ではマグマが浅部で数ヶ月以上滞留したのちに噴火した、というマグマ過程の違いを反映していると推定されている。

今回は、この推定を定量的なものにするために、熱力学的解析プログラム「Rhyolite-MELTS」[1)]を用いて数値計算により相平衡図を作成し、これを用いて岩石学的分析結果を解釈することを行った。用いたのは有珠 1977 年軽石の代表的な全岩化学組成に相当するX7-6（Us-1977-II, unpublished data）である：SiO_2=70.101、TiO_2=0.424、Al_2O_3=15.135、FeO=3.759、MnO=0.166、MgO=0.914、CaO=3.937、Na_2O=4.459、K_2O=0.944、P_2O_5=0.161（それぞれ100%再計算したwt.%）。なお、1977～1978年を通じ、噴出した本質物の組成はほぼ一定である[10)]。MELTSのバージョンは、本研究の平成元年度報告書の結果に従い、version 1.1.0を用いた。fO_2は岩石学的解析[11)]に基づきNNOとした。

iii）熱力学的計算と岩石学的分析の結果から得られたマグマ蓄積条件

Rhyolite-MELTSによる熱力学的計算により得られた相図を図5に示す。

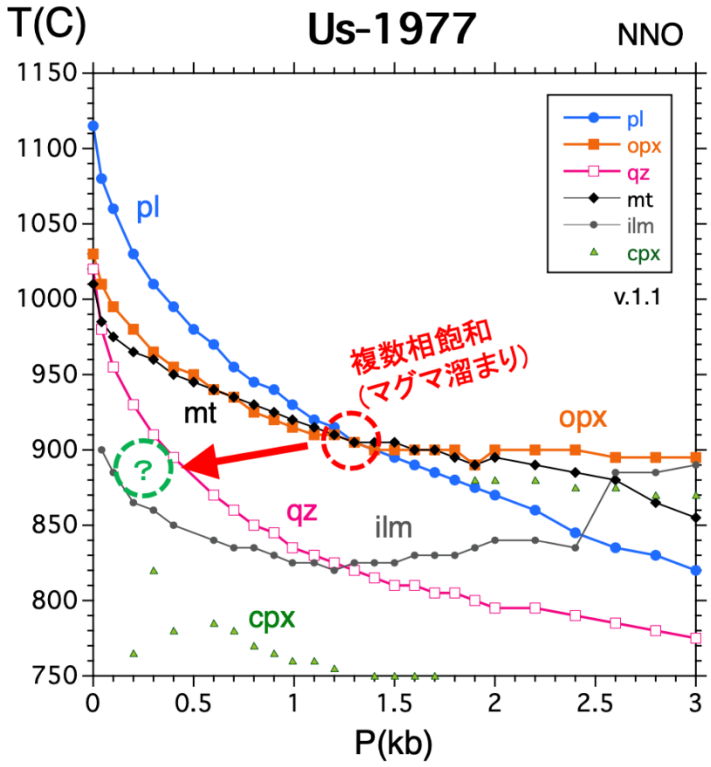


図 5　有珠 1977 年噴出物（SiO2=70.1 wt.%; 斑晶量数%）についての Rhyolite-MELTS 計算結果。各鉱物の晶出開始温度を示す。1977 年噴出物の斑晶組み合わせである pl+opx+mt は 130 MPa・900 ℃付近で複数相飽和となっていることから、これが 1977 年噴火直前のマグマ溜まり条件と考えられる。一方 1978 年噴出物には qz が晶出していたことから、噴火直前には 30 MPa 程度（緑色の丸）の低圧（浅部）で滞留していたと考えられる。横軸の圧力 P の単位は 1 kb=98 MPa。pl: 斜長石、opx:直方輝石、cpx:単斜輝石、qz:石英、mt:磁鉄鉱、ilm:イルメナイト。

iii -1) 1977 年噴火直前のマグマ蓄積条件

Us-1977-II は斑晶が数%以下と少ないので、主な斑晶組み合わせである斜長石(pl)+直方輝石(opx)+磁鉄鉱(mt)の複数相飽和点（各相の晶出開始温度の線が交わる点）はマグマ溜まり条件にほぼ対応すると考えられる。今回の計算により、複数相飽和点すなわち 1977 年噴火直前マグマ溜まり条件は、約 130 MPa・900 ℃と求められた。これは、岩石学的解析 [11]や実験岩石学的解析 [12] による推定とも整合的である。130 MPa は深さ約 5 km に相当する。

iii-2) 1978 年噴火直前のマグマ蓄積条件

1978 年噴出物では石英が晶出していることから、浅所でマグマが一旦滞留し、そこで結晶化を経たのちに噴火したことがこれまでの研究で推定されている。また、磁鉄鉱の累帯構造と拡散時間計算から、滞留時間は数ヶ月以上と見積もられている。これは、1977 年第 1 期噴火の際に上昇したマグマが浅部に滞留し、翌年の第 2 期噴火の際にこの浅所滞留マグマが活動した、と考えて矛盾しない。

そこで、この浅所滞留条件を図 5 の相図から推定する。石英が晶出していることから、石英の晶出開始温度より低温である。イルメナイトは見つかっていないのでその晶出温度よりは高温である。また、磁鉄鉱の累帯構造（特に Mg 量）からは、マグマ溜まり条件から少し冷却を受けたこともわかっている。以上から、図 5 の緑色の丸付近、すなわち 30 MPa 付近の圧力が推定される。この圧力は深さ 1〜2 km に相当する。

iv）有珠火山の 1977 年噴火と 1978 年噴火のマグマ上昇過程の違い

以上の結果から、有珠 1977 年噴火（第 1 期）と 1978 年噴火（第 2 期）におけるマグマ上昇過程の違いは、図 6 のように推定される。

第 1 期は、深さ約 5 km のマグマ溜まりから数日以内の短時間に上昇し、揮発性物質を多く含んだまま準プリニー式の軽石噴火を起こした。なお、噴火開始直前には高温マグマの注入と加熱があり、これが噴火をトリガーした可能性が前年度までの研究で示されている。一方の第 2 期では、第 1 期で上昇してきたマグマが深さ 1〜2 km の浅所に数ヶ月以上滞留し、揮発性物質が抜けて結晶化が進行した後に、水蒸気〜マグマ水蒸気噴火を起こした。

このように、両者の噴火様式の違いは、噴火直前のマグマ上昇過程あるいはマグマ蓄積状態の違いがもたらしていたと考えられる。そうであれば、噴火直前のマグマ蓄積状態を知ることで、起こりうる噴火様式を制約できることが期待されるであろう。

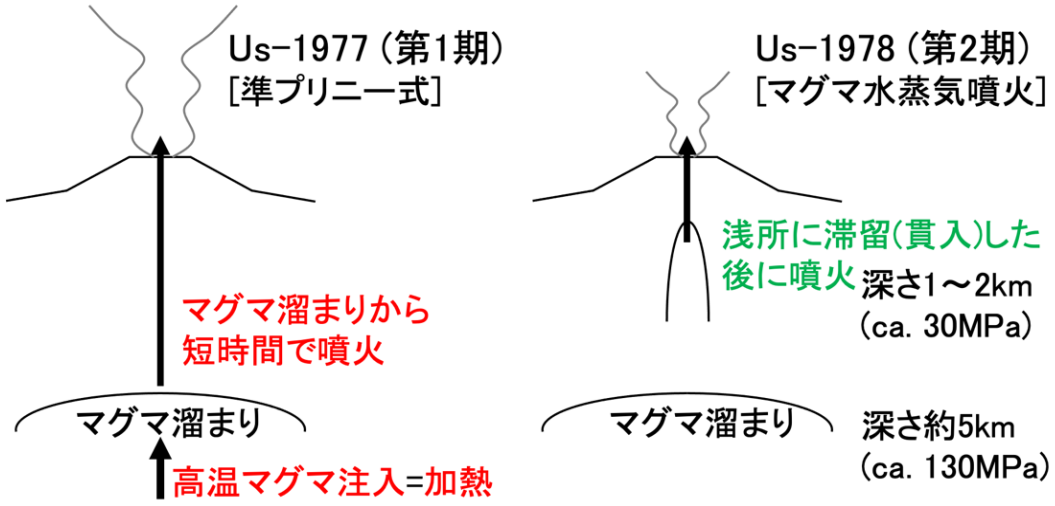


図 6　有珠 1977 年噴火（第 1 期）と 1978 年噴火（第 2 期）のマグマ上昇過程の違いを示すモデル図。第 1 期は、深さ約 5km のマグマ溜まりから数日以内の短時間に上昇し、揮発性物質を多く含んだまま準プリニー式の軽石噴火を起こした。一方第 2 期は、深さ 1〜2km の浅所に数ヶ月以上滞留し、揮発性物質が抜けて結晶化が進行した後に水蒸気〜マグマ水蒸気噴火を起こした。

b) 榛名火山（**早稲田大学**）

新期活動(45 ka 以降)では、珪長質マグマの活動と関連し、様々なタイプの火砕流が発生している。二ツ岳・渋川噴火（5 世紀後半～6 世紀初頭）では、プリニー式噴火を伴わないタイプの火砕流（メラピ型～プレー型）が発生した。この噴火の実像に迫るため、多様な堆積物に含まれる、サイズの異なる火砕物の組織学的・色彩学的検討を行っている。基礎として岩石学的検討は済ませてあり[13]、色彩の異なる軽石の全てがマグマ溜まりで同等のマグマから発生したことが判明している。前年度は、無層理の厚い火砕流堆積物（火砕流全体の岩塊流相当部）に含まれる火山岩塊サイズの軽石(～30 cm; N=35; 3 露頭)の見かけ密度測定を行った。令和 6 年度は層理のある薄い堆積物（火砕流全体の火砕サージ相当部）の中の火山礫サイズの軽石(～5 cm; N=39; 1 露頭)の分析を行った。両者の比較の結果、軽石の見かけ密度は、いずれの堆積物においても 0.9～2.0 g/cm^3 の範囲にあり、また白色軽石に比べ灰色軽石で見かけ密度が高い点においても互いに似ていることが判明した。

c) 富士山貞観噴火の玄武岩質溶岩の流動時の物質的状態（**静岡大学**）

富士山は過去 5600 年間に 165 回以上の噴火を発生してきた活発な火山である[14]。このうち、2250-3450 年前の 1200 年間を除いて、爆発的噴火よりも溶岩流噴火の方が卓越していたことが示されている[15]。溶岩流は一般に、その流下範囲の建造物・山林・農地・インフラなどを消失・埋没させるために社会的・経済的被害は甚大となりうる。その反面、速やかに避難すれば人的被害を抑えられる現象であり[16]、故にその挙動の事前予測が重要と言える。溶岩流の挙動は、その物質的状態（化学組成・温度・結晶量など）を反映したレオロジーに強く支配される。しかし、富士山では流動時の溶岩の物質的状態があまりわかっていない。そこで本研究では、活動史が比較的よく分かっている近 5500 年間で最大級の噴火である貞観噴火を対象とし、流動時の溶岩の物質的状態を検討した。

貞観噴火は西暦 864-866 年に富士山北麓で発生した噴火で、約 1.4 km^3 の玄武岩質溶岩を流出し、約 30 km^2 に及ぶ溶岩原を形成した[14]。この噴火では 3 つの溶岩流が流出したが、このうち最大である長尾山溶岩を生じた噴火は、長尾山スコリア丘を形成するとともに、当時存在したせの海を溶岩で埋め立て、精進湖と西湖を形成した[14]。本研究では、長尾山スコリア丘で採取されたガラス質スコリアと精進湖に流入・急冷した溶岩を試料とし、電子顕微鏡を用いて石基の組織観察とガラスの化学分析を行った。なお、長尾山スコリアと精進湖の急冷溶岩の試料はそれぞれ、神戸大学の佐藤博明名誉教授とアジア航測の千葉達朗氏にご提供いただいた。

精進湖の溶岩試料では、水中急冷されたガラス質部分が確認できた（図 7(a)）。この部分は、火口から約 8 kmの距離を流動し、精進湖に到達した直後の溶岩の状態を保存すると考えられる。図 7(b),(c)にそれぞれ、精進湖の溶岩のガラス質急冷部と長尾山のガラス質スコリアの石基の後方散乱電子像を示す。石基の鉱物組み合わせはいずれも斜長石＋かんらん石＋単斜輝石＋磁鉄鉱で同じであるが、結晶量は精進湖の溶岩で 27±3 vol%、長尾山スコリアで 13±2 vol%と前者の方が多い。いずれの試料でもガラスの SiO_2 量は約 54 wt%だが、MgO 量が長尾山スコリアで 4.9 wt%から精進湖溶岩

で 4.3 wt%まで低下していた。そこで、PNL 法とかんらん石リキダス温度計[17]を適用し、温度・メルト含水量条件を見積もったところ、長尾山スコリアで 1127 ℃・0.5 wt%H_2O、精進湖溶岩の急冷部で 1122 ℃・0.2 wt%H_2O の値を得た。以上の結果から、富士山貞観噴火のマグマの噴火温度はおよそ 1127 ℃であり、およそ 100 m より浅い深さで破砕してスコリアを形成したと考えられる。また、長尾山溶岩は約 8 kmの距離を流れて精進湖に到達するまでほとんど冷却しなかった。これは、溶岩トンネル中を流動したためと考えられる。今後、これらの溶岩の粘性率を検討する予定である。

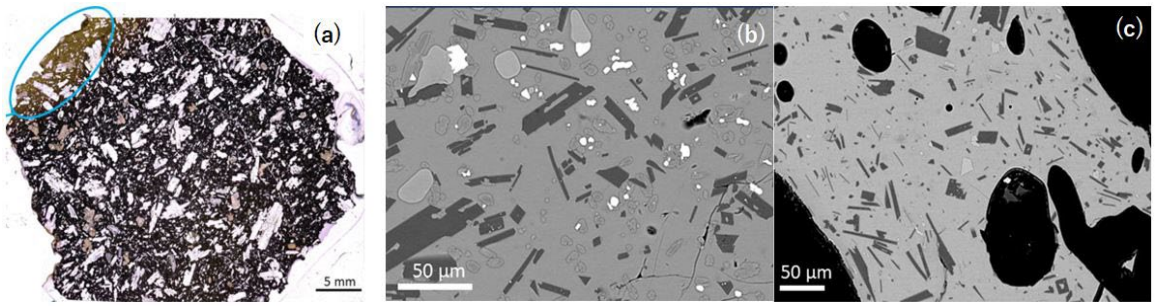


図 7（a）精進湖の急冷溶岩の薄片写真。青線で囲んだ部分がガラス質部分。(b) 精進湖の急冷溶岩のガラス質部分の後方散乱電子像。(c)長尾山のガラス質スコリアの後方散乱電子像。

d) 伊豆大島の深部マグマだまりに蓄積されるマグマ組成の推定**（静岡大学）**

伊豆大島で噴出するマグマは、斑晶に乏しく、玄武岩質安山岩組成(SiO_2～53 wt%)で比較的均質なマグマ（グループ 1)、斑晶に乏しく、SiO_2 量＞54 wt%の“分化トレンド”を示すマグマ（グループ 2)、斜長石斑晶に富み、グループ 1 メルトに斜長石を加えたような組成バリエーションを示すマグマ（グループ 3）の 3 種類に分類されている[18]。このうち、グループ 1 マグマは伊豆大島で最も主要なマグマで、1986 年 A 火口噴火や 1777-78 年 Y1 噴火などの噴火事例が知られる。一方でグループ 2 マグマの噴火は、1986 年 B・C 火口噴火や Y5.2 噴火のような山腹からの割れ目噴火に限られる。噴火前のマグマの温度は先行研究により[19]、グループ 1 で 1100 ℃以上、グループ 2 で 1070-1100 ℃と見積もられている。これらのマグマがどこに蓄積され、どのように噴火準備するかを解明することは、伊豆大島火山の噴火準備過程を考える上で重要である。

伊豆大島ではおよそ 4-5 kmと 8-10 km の深さにマグマだまりが存在することが、地球物理学的研究[20),21)]から示されている。以後、前者を浅部マグマだまり、後者を深部マグマだまりと呼ぶ。従来のマグマ供給系モデルでは、グループ 1 マグマは深部、グループ 2 マグマは浅部マグマだまりにそれぞれ蓄積されていると考えられてきた[19),22)]。このモデルについて著者らは近年、H_2O 飽和斜長石リキダスの制約に基づき、その妥当性の検証を進めてきた。

グループ 1・2 のマグマは少量であるが斜長石斑晶を含むこと、また、先行研究の斜長石斑晶の含水量測定[23)]の結果から、これらのマグマはマグマだまり中で H_2O と斜長石に飽和していたと考えられる。このことは、これらのマグマの温度・圧力・メルト

含水量条件が H_2O 飽和斜長石リキダスに制約されることを意味する。そこで、伊豆大島 1986 年 B 火口噴火の玄武岩質安山岩を出発物質とした H_2O 飽和高温高圧平衡実験を行ったところ、既存の斜長石リキダスモデル[17]とメルト H_2O 溶解度モデル[24]の組み合わせにより H_2O 飽和斜長石リキダスをうまく記述できることが示された[25]。本手法を以後、PNL 法と呼ぶ。主成分化学組成が既知のメルトが H_2O 飽和斜長石リキダス上の条件にある場合、温度・圧力・メルト含水量のうち 1 つが決まれば、残り 2 つの変数も自動的に決定する。そこで著者らは、グループ 2 の玄武岩質安山岩メルトに PNL 法を適用して H_2O 飽和斜長石リキダスを決定し、先行研究によって見積もられた噴火前温度[19]を与えた結果、およそ 0.5-3.8 km の深さに相当する圧力を得た[25]。更に同じ手法をグループ 1 の代表的組成のメルトに適用したところ、低 Al/Si 比のメルトでおよそ 0.1-2.6 km、高 Al/Si 比のメルトでおよそ 2.6-6.5 km の深さに相当する圧力をそれぞれ得た[26]。以上の結果は、グループ 1・2 の両マグマとも噴火前、浅部マグマだまりと同等またはより浅い深さで蓄積されていたことを示唆する。

この結果を受けて著者は本年度、深部マグマだまりに蓄積するメルト(以後、メルト X と呼ぶ)の化学組成を推定した[27]。伊豆大島の過去 1500 年間の噴出物では Nd-Sr 同位体比および微量元素濃度パターンの変動は小さい[22]。これより、グループ 1・2 のメルトは、メルト X の結晶分化により形成した残液メルトと考えられ、この場合、グループ 1 メルトに適切な化学組成・量の鉱物成分を加えることでメルト X の化学組成を復元できる。本研究では、グループ 1 メルトの代表組成として 1778 年噴火の溶岩(78L)の全岩組成を採用し、更に加える鉱物成分として An_{90} 斜長石と Fo80 かんらん石を仮定した。ここで斜長石の化学組成は、深部マグマだまり条件で期待される含水量の斜長石の平均組成[23]に、かんらん石の化学組成は伊豆大島で既報の Fo 値の最大値[28]に基づく。メルト X は、深部マグマだまりの圧力条件下で H_2O と斜長石に飽和しており、その温度は 1100 ℃以上であると考えられる。そこで、78L メルトに様々な量の An_{90} 斜長石と Fo_{80} かんらん石を加えたメルト組成をまず計算し、これに PNL 法とかんらん石リキダス温度計[17]を適用することでその温度・メルト含水量条件を決定した。そして、見積もられた温度・メルト含水量の値が深部マグマだまりの条件を満たす結晶添加量の条件と、そのときのメルト組成を検討した。その結果、深部マグマだまりの条件を満たすには、78L メルトに相対重量で 55 wt%以上の斜長石と 15 wt%以上のかんらん石を加える必要があり(ただし、加える斜長石が多すぎると条件を満たさなくなる（図 8)。結晶添加量が最小で深部マグマだまりの条件を満たすメルト組成は、SiO_2～50.2 wt%、Al_2O_3～19 wt%、MgO～6.5 wt%であった。このメルト組成は近 1500 年間の伊豆大島の噴出物には見られないが、同火山の活動初期に噴出した泉津層群の無斑晶質玄武岩の化学組成[29]と概ね一致した。更に、三宅島の 7 世紀の噴出物中にも類似の組成をもつものがみられた[30]。

本研究によるメルト X の化学組成の見積もりが妥当である場合、メルト X とグループ 1 マグマの間で温度差が小さいということになる。このことは、メルト X からグループ 1 マグマへ分化する際、メルトの脱ガスによって結晶作用が駆動されていたことを示唆する。これにより、メルト X からグループ 1 マグマへの分化は比較的短時間で実現できたと考えられる。また、グループ 3 マグマの成因についても以下の示唆が得

られる。斜長石はメルトに比べて高密度ではあるが、その差は小さい。これに対し、かんらん石とメルトの密度差はその数～10 倍程度大きい。この結果、かんらん石が優先的に分別することで、残されたマグマ（＝残液メルト＋斜長石）の化学組成がグループ 3 マグマと同等になりうる。グループ 3 のマグマは、グループ 1 マグマに斜長石斑晶が集積することで形成すると従来考えられてきたが [31]、メルト X からのかんらん石の優先的な分別によるものも一部含まれるかもしれない。これについては今後、斜長石斑晶やそのメルト包有物の化学分析から検証する必要がある。更に本研究の結果は、泉津層群の時代から深部マグマだまりのマグマ組成が大きく変化していない可能性を示唆する。

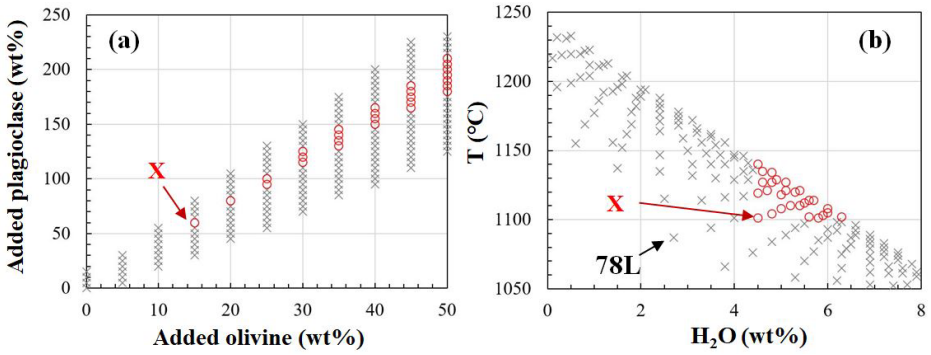


図 8 （a）添加したかんらん石・斜長石の量と、深部マグマだまりの条件を満たすか否かの関係。〇は条件を満たす場合、×は満たさない場合。（b）温度とメルト含水量の関係。

e）伊豆東部火山群の単成火山の溶岩中に含まれる斜長石斑晶の微量元素組成（**静岡大学**）

伊豆東部火山群は、伊豆半島東部でおよそ 15 万年前から活動を継続し、70 以上もの単成火山を抱える独立単成火山群である。この火山群で噴火するマグマの化学組成は、およそ 3100 年前までは全岩 SiO_2 量＜58 wt%の苦鉄質組成であった。しかし、およそ 3100 年前に発生したカワゴ平流紋岩噴火以降、珪長質のマグマも噴火するようになった。そこで著者らは、およそ 5000 年前に噴出した大室山の噴出物に含まれる斜長石斑晶を調べた結果、その中に流紋岩質メルト包有物を発見した [32]。更に微量元素組成から、流紋岩質メルト包有物とホスト斜長石が平衡共存していること、また、このメルト包有物の微量元素組成がカワゴ平流紋岩とよく似ていることを示した [33]。ところで、大室山周辺にはおよそ 100～2.7 ka にかけて形成した単成火山が複数存在する。これらの単成火山の噴出物中に含まれる斜長石斑晶から、地下に隠れた流紋岩質マグマの時間的・空間的分布に関する情報を得られる可能性がある。そこで本研究では伊雄山、赤窪、小室山、茶野、内野、門野の 6 火山について、溶岩中の斜長石斑晶の主要・微量元素組成分析を行った。

大室山で見られた流紋岩質メルト包有物を含む斜長石は、An#[=100Ca/(Ca+Na)]が 35-55 程度で FeO 含有量が 0.5 wt%より低い特徴を持つ [32]。これと同様の特徴を持つ低 An#斜長石斑晶が 6 火山全てで見られた。更に、これら 6 火山の低 An#斜長石斑晶

の微量元素組成は、大室山のものとほぼ一致した[33]。ただし、低 An#斜長石斑晶の量は火山間で大きく変動し、伊雄山、小室山、内野では斜長石斑晶のおよそ半数以上を占めるのに対し、門野、茶野、赤窪では少量であった。以上の結果は、伊豆高原の地下において、単成火山の噴火前に流紋岩質マグマが存在することを可能にする普遍的なメカニズムがおよそ 10 万年前から機能していることを示唆する。そして、この地域の単成火山のマグマは、地下に隠れた流紋岩質マグマと多かれ少なかれ混合してから噴出すると考えられる。この流紋岩質マグマの成因については今後検討する予定である。また、本研究の結果は、地下に隠れた珪長質マグマの有無を検討する際、斜長石斑晶の化学組成が有効な指標になりうることを示唆する。

f）雲仙火山噴出物の岩石学的解析による非爆発的噴火のマグマ過程の研究**（産業技術総合研究所）**

i）概要

雲仙火山は、50 万年前に現在の活動を開始した。この間、雲仙火山は主に溶岩流の流出や溶岩ドームの形成といった、非爆発的な噴火を繰り返してきた。本研究では、雲仙火山の 50 万年前から現在にかけての 7 噴火の噴出物試料から、主にジルコンの分析を通じて、そのマグマ供給系の化学組成の変遷、および再構築の履歴を明らかにした。

研究に使用した試料は、平成噴火、眉山(七面山)、 吹越、猿葉山、龍石海岸、高岩山、鮎帰の滝である。これらの試料はいずれも斑晶として主に斜長石、角閃石、輝石、鉄チタン酸化物を主に含み、まれに石英やカンラン石もみられる。加えて、いずれの試料もジルコンを豊富に含む（10^3 〜 10^4 個/ 0.2 kg)。これらの試料について、京都フィッショントラック株式会社にジルコン分離を依頼し、その後分離されたジルコンをエポキシ樹脂にマウントした後、分析を実施した。試料の作成および分析・データ解析は、スイス連邦工科大学チューリッヒ校にて実施した。

ii）ジルコン U-Th 年代測定

7 試料のうち、より若い年代が予想される 3 試料(平成噴火、眉山、吹越)については、個々のジルコン結晶および石基部分について U-Th 年代測定を実施した。U-Th の同位体分析は､スイス連邦工科大学チューリッヒ校のレーザーアブレーション ICP 質量分析法（LA-ICP-MS）で実施した。この LA-ICP-MS は、Resonetics Resolution S155 レーザーアブレーションシステムを、Thermo Element XR セクターフィールド型質量分析計に接続したものである。ジルコン分析の際は、レーザー径は 29μm、ショット周波数 5 Hz、 ガス流量約 2 Jcm^{-2} で分析を実施した。石基の分析の際は、レーザー径は 163μm、ショット周波数 5 Hz、 ガス流量約 3 Jcm^{-2} で分析を実施した。

得られたデータに対して、SILLS ソフトウェア[34]および iolite ソフトウェア[35]を用いてデータリダクションを実施した。分析の手順およびその後のデータリダクションの手順は、Guillong et al.(2016) [36]の手順に従った。データリダクションの過程の中で、各ユニットの分析点のうち、一部が放射平衡に達していることが明らかになったため、それらについては、再度 U-Pb 年代測定を実施し、年代を決定した。得られ

た年代分布に対して、i-MSWD 法[37]を適用し、それぞれの噴火年代を推定した。その結果、得られた年代は、平成噴火と眉山について、それぞれ 47±3.2 ka 、36±2.7 ka であり、噴火が観測された年および先行研究の年代見積もり値よりも古い年代値を示した。一方で、吹越については概ね整合的な噴火年代となった。見積もり値が実際の噴火年代よりも古くなる理由については、現在検討中である。

iii) ジルコン U-Pb 年代測定

6 試料のうち、より古い年代が予想される 4 試料(猿葉山、鮎帰の滝、龍石海岸、高岩山)中の個々のジルコンおよび ii)の分析の際に放射平衡が確認されたジルコンについては、U-Pb 年代測定を実施した。分析に使用した LA-ICP-MS は、ii)で使用したものと同じ装置である。レーザーのビーム径は 29 μm、ショット周波数 5 Hz、ガス流量は約 2 Jcm^{-2} で分析を実施した。ii)と同様に、U-Pb 年代測定の結果得られた年代に対しても、i-MSWD 法を適用し、噴火年代を推定した。

ii)および iii)の年代測定の結果、得られたジルコンの年代をまとめたものが、図 9 である。得られたジルコンの年代はバイモーダルな分布を示し、300-400 ka 付近でその量が減少していることが分かった。この時期は先行研究で新期雲仙火山と古期雲仙火山の境の時期とされている時期[38]と概ね一致している。加えて、新期雲仙火山の噴出物中のジルコンには、400 ka 以前のものがほとんど含まれていなかった。そのため、地質学的に決定された活動時期の境目に、マグマ供給系への新たなマグマの貫入量に変化があったこと、400 ka 以降、雲仙火山下のマグマ供給系が再構築されたことが示唆される。

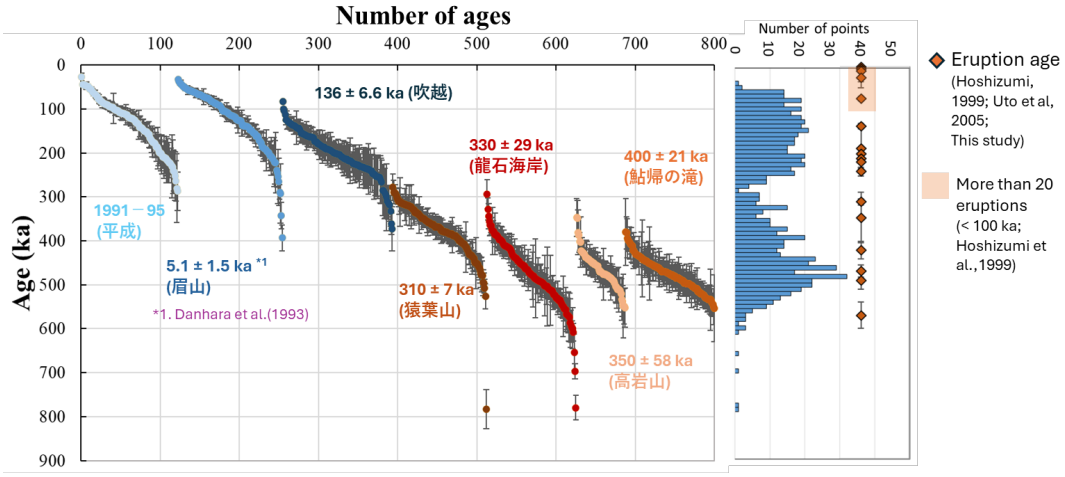


図 9　各試料中のジルコンから得られた年代の分布を示す図。縦軸に個々の分析点から得られた年代を示す。それぞれのプロットと同じ色で、プロット近傍に各試料名と噴火年代を示す。平成と眉山については観測年および先行研究で得られた噴火年代を示す。ヒストグラムは、すべての試料中のジルコンから得られた年代をコンパイルしたものである。オレンジ色のダイヤのプロットは、先行研究および本研究で得られた過去の雲仙火山の噴火年代を示している。100 ka 以降については、20 以上の噴火が報告されている。

iv) ジルコン微量元素組成分析

すべてのユニットのジルコンに対して、ii)、iii)の分析で使用したものと同じ LA-ICP-MS による微量元素組成分析を実施した。その結果得られた微量元素の分布の例を図 10 に示す。分析値の中には、ウラン(U)の分析値が 2000 ppm を超えるものも見られたが、これらの明らかにウランの含有量が多い試料については、ジルコン中の包有物の影響を受けている可能性[39]を考慮し、今回の議論には使用していない。本分析で得られた微量元素の分布は、ジルコンの形成年代に依らず、セリウム（Ce）と U の値が正の相関を示し、ハフニウム（Hf）とチタン(Ti)は負の相関を示す。これらは、いずれもマグマの結晶分化トレンドを示している可能性がある。

微量元素のトレンドが年代に依らず同様であることは、雲仙火山のマグマ供給系は、過去 50 万年間に大きな時系列変化を経験しなかった、化学組成が安定した系であったことを示唆する。

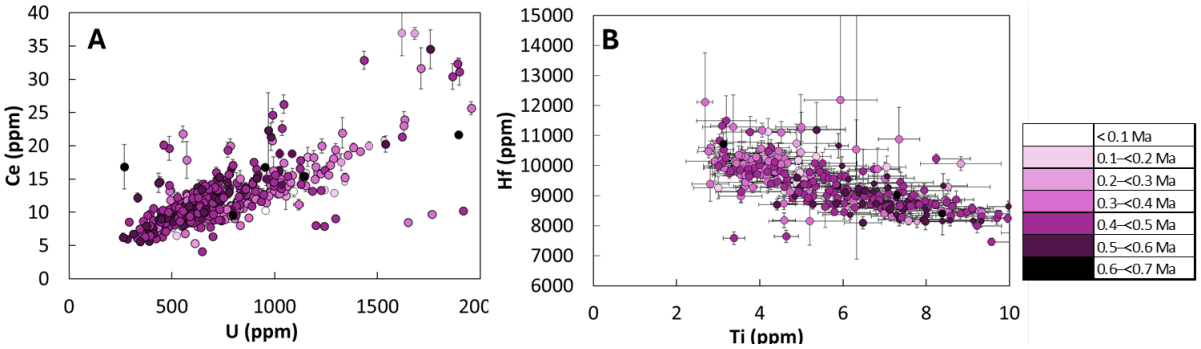


図 10　ジルコン年代に対する微量元素組成の例。色の濃淡（またはグラデーション）は、平成噴火を除く各試料中のジルコンの結晶化年代を示す。(A) 雲仙火山噴出物中のジルコンに含まれる Ce および U の濃度、(B) 雲仙火山噴出物中のジルコンに含まれる Hf および Ti の濃度。

v) Hf 同位体分析

ii)、iii)の年代測定手法の結果年代が得られたジルコンに対して、スイス連邦工科大学チューリッヒ校の MC-ICP-MS で Hf 同位体比分析を実施した。MC-ICP-MS は、ASI (Resonetics) RESolution S-155 193 nm ArF excimer laser ablation system connected to a Nu plasma 2 multicollector sectorfield mass-spectrometer 分析の際は U-Th もしくは U-Pb 年代測定を実施した点の直上に分析点を設定し、各年代に対応した Hf 同位体比を得た。データリダクションは、Iolite ソフトウェアおよび ETHZurich のデータリダクションの手順に従って実施した。分析条件の詳細は[40]に記されている。

分析の結果、各ジルコンの年代値に対応したジルコンの Hf 同位体比を得ることができた(図 11)。その結果、過去 50 万年の間、雲仙火山のマグマ供給系は、期間全体を通じて、試料に依らずおおよそ 4—10 の値をとることがわかった。このことから、過去 50 万年の間は、雲仙火山下のマグマ供給系はマントル由来のマグマの寄与が継続的に大きく、かつ地殻の溶融等による化学組成の変化を経ていないと考えられる。このことは、マグマ供給系が 50 万年前以降、継続的にマントル由来のマグマの供給を受けていることを示唆する。

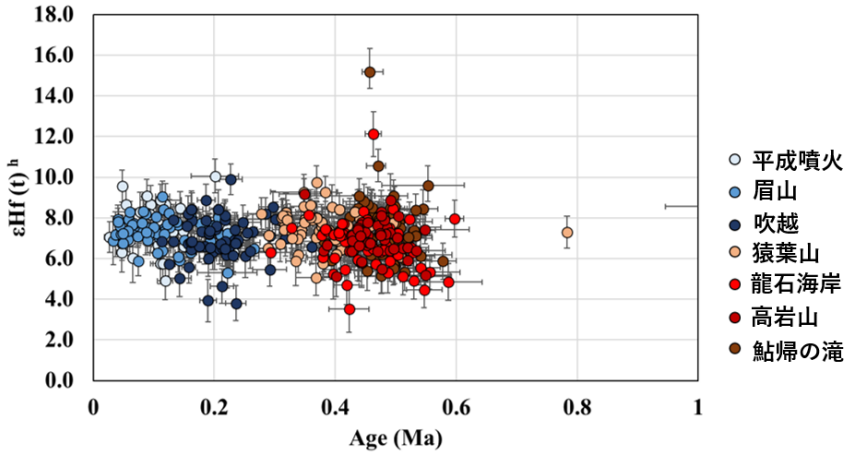


図 11　Hf 同位体比とジルコンから得られた年代。

vi) 得られた成果

本研究では、非爆発的噴火を繰り返してきた過去 50 万年間の雲仙火山下のマグマ供給系の化学組成の時間変化を明らかにした。ジルコンの年代測定、微量元素分析、Hf 同位体比分析の結果、雲仙火山は、過去 50 万年間継続的にマントル由来のマグマの供給を受け続けており、その間過去 30 万年前から 40 万年前を境に、マグマ供給系の更新があったと考えらえる。一方で、マグマ供給系内のマグマの分化の程度および化学組成は、過去 50 万年間、大きな変化が無かった。

本成果は、非爆発的噴火を繰り返す活動的火山が、過去 50 万年の間、同様の化学組成のマグマ供給系をもち、同様の Hf 同位体比を持つマントル由来のマグマの貫入を受け続けてきたことを示した。このことは、過去の噴出物や噴火の記録から将来の噴火事象の中長期予測および分岐の推定を推定するために、重要な成果と言える。

g) 阿蘇火山 **(福岡大学)**

i) 阿蘇カルデラ外輪山に分布する溶岩および岩脈の Sr 同位体比

阿蘇火山の先カルデラ期からカルデラ形成期（Aso-1～Aso-4）の間には噴火様式の劇的な変化（溶岩流主体から大規模火砕噴火）が生じたことが分かってきている [41), 42)]。この噴火様式の変化の要因を噴出物の岩石学的データから明らかにするためには、最初のカルデラ形成噴火である Aso-1 噴火（0.27 Ma [43)]）に至るまでのマグマ供給系の変化を明らかにする必要がある。前年度までの研究に引き続き、阿蘇外輪山南部～南東部に分布する先カルデラ期の溶岩および岩脈の K-Ar 年代測定を行った。さらに、

先カルデラ期のマグマの成因について制約を与えるため、K-Ar 年代が明らかになった溶岩・岩脈試料を中心に 18 試料（玄武岩～流紋岩）について Sr 同位体分析を行った。この中には外輪山西部で新たに発見した Aso-1 と同時期の年代（0.27 Ma）を示す直方輝石単斜輝石安山岩岩脈試料（前年度報告）も含まれる。K-Ar 年代測定は、岩石から分離した石基試料に対して行った。蛍光 X 線分析装置（国立科学博物館）を用いた K 定量と希ガス質量分析装置（東京大学）を用いた感度法による Ar 同位体分析を行い、K-Ar 年代を算出した。Sr 同位体比の分析には、九州大学比較社会文化研究院の Neptune Plus を使用した。

今回新たに玄武岩溶岩 1 試料と輝石安山岩および普通角閃石安山岩岩脈各 1 試料（合計 3 試料）について K-Ar 年代測定を行った結果、それぞれ、0.61 Ma、0.42 Ma、0.64 Ma の年代値が得られた（図 12）。前年度までに得られた結果と合わせると、Aso-1 噴火に至るまでの岩質の時間変化として、0.45 Ma より前では普通角閃石安山岩の活動、0.45 Ma より後では輝石安山岩の活動が卓越する傾向がみられることが分かってきた。また、先カルデラ期における玄武岩の活動は比較的古い年代（0.6～0.7 Ma）に限られる可能性がある（図 13）。

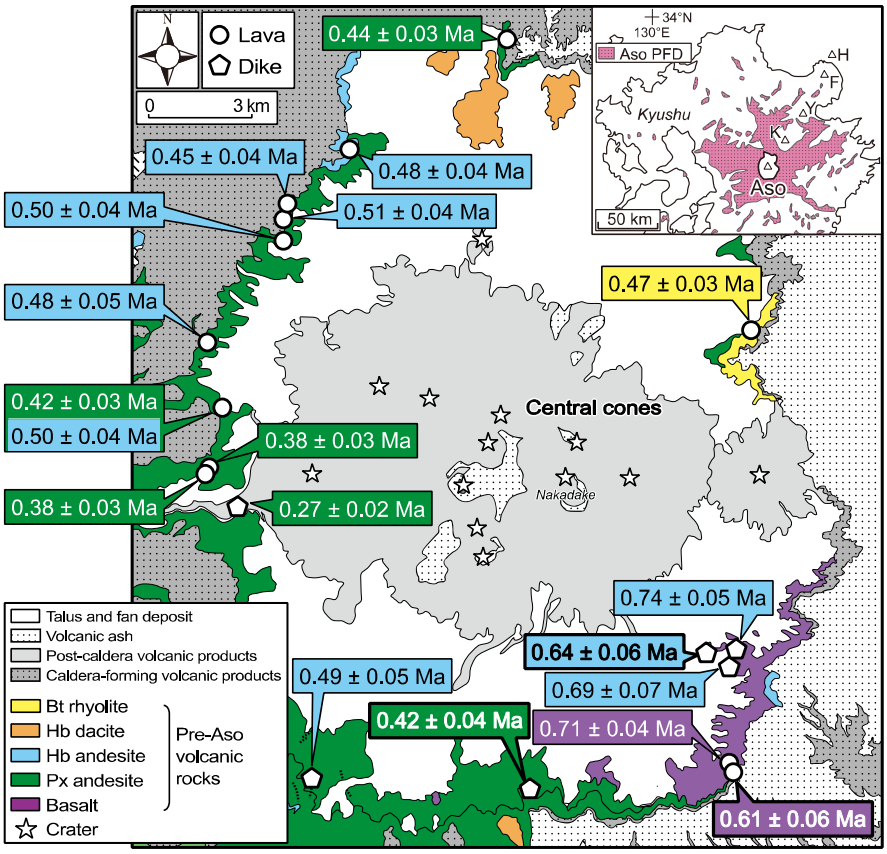


図 12　試料採取地点と得られた K-Ar 年代。太字は新たに得られた年代値。地質図は [41] を改変。

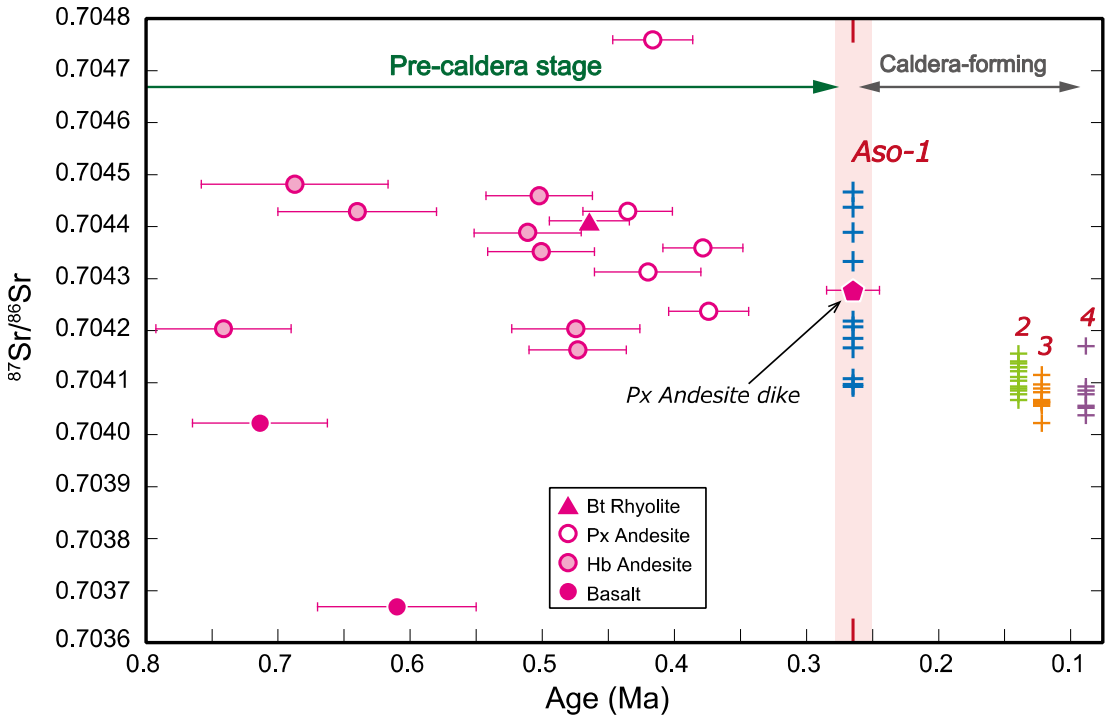


図 13　K-Ar 年代 vs. Sr 同位体。Aso-1～4 のデータは [43), 44)]。

Sr 同位体分析の結果、先カルデラ期の溶岩および岩脈試料は幅広い Sr 同位体比（0.7039～0.7048）を示すことが分かった（図 13）。外輪山西部の輝石安山岩岩脈（0.27 Ma）は Aso-1 火砕流堆積物の組成範囲内にプロットされる。

図 14 において、先カルデラ期の玄武岩～流紋岩は、最も低 $^{87}Sr/^{86}Sr$ の玄武岩と地殻岩石の部分溶融メルトの混合によって生じる組成の領域内にプロットされる。このことから、阿蘇先カルデラ期では主に玄武岩マグマによる地殻同化作用によってマグマの化学組成の多様性が生じていたと考えられる。これは先カルデラ期の安山岩中にしばしば地殻の捕獲岩が含まれることと調和的である。また、先カルデラ期安山岩～流紋岩の組成は Aso-1 火砕流堆積物の組成と一部重複する。したがってマグマの起源は先カルデラ期と Aso-1 で類似している可能性がある。

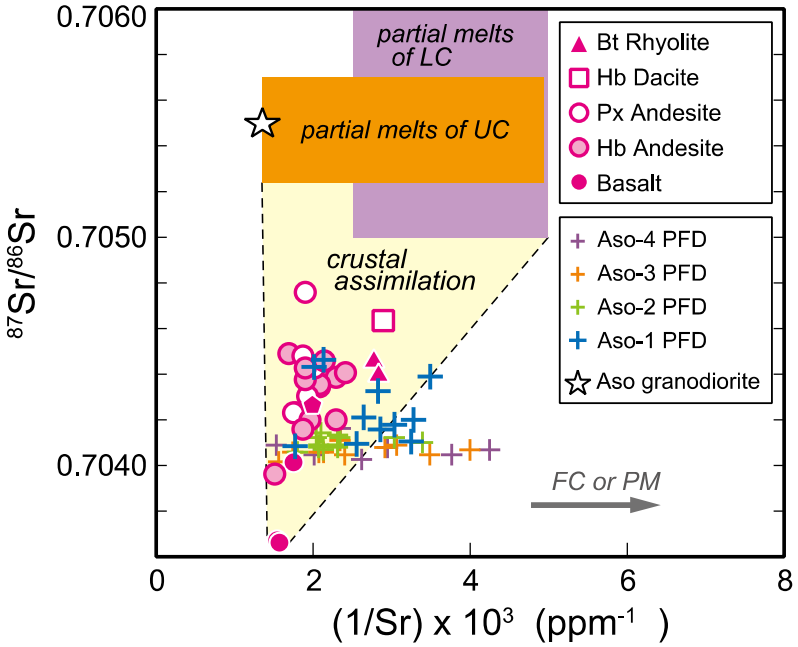


図 14　先カルデラ期火山岩類の 1/Sr vs. $^{87}Sr/^{86}Sr$ 図。橙色と紫色の範囲はそれぞれ上部地殻（UC）と下部地殻（LC）の部分溶融（1～100%　バッチ溶融）で生じるメルトの組成領域[45]。星は阿蘇カルデラ内の内牧で得られたボーリングコアの花崗閃緑岩のデータ[46]。Aso-1～4 のデータは[44]。

ii）先阿蘇火山岩類における苦鉄質斑晶鉱物の晶出温度

先阿蘇火山岩類のうち角閃石安山岩および両輝石安山岩を対象として、年代値が得られている岩脈試料の研磨薄片を作成し、東京大学地震研究所の FE-EPMA で組織観察および斑晶鉱物化学組成の分析を行った。今年度分析に用いた試料は 0.47±0.04　Ma の年代が得られている角閃石安山岩と 0.27±0.02 Ma の年代が得られている両輝石安山岩である。それぞれの試料に含まれる苦鉄質鉱物（輝石・角閃石）の鉱物化学組成に基づき、地質温度計を適用して晶出温度を推定した。

まず両試料に共通して含まれる輝石斑晶に注目して温度を推定した。Fe/Mg 比の化学平衡に基づいて、各試料のコア同士またはリム同士でとりうる全ての組成ペアで平衡関係を精査し、平衡ペアのみに Putirka[17]の両輝石温度計を適用した。その結果、角閃石安山岩が 960 ℃以下（コアで 805 - 940 ˚C、 リムで 913 - 954 ˚C）であるのに対し、両輝石安山岩は 960 ℃以上（コアで 965 - 1007 ˚C、リムで 986 - 991 ˚C）と晶出温度に違いがみられた。

角閃石からは Ridolfi[47]の単相温度計を適用して 936 - 989 ˚C の結晶化温度が得られた。分析試料の角閃石はどれも分解によるオパサイト化が進行した magnesiohastingsite であり、一部に残存している新鮮なコア部分のみを分析対象とした。今回得られた角閃石の晶出温度は両輝石温度計の結果よりもやや高く、角閃石が不安定化する以前のマグマ溜り環境を反映していると考えられる。

h）霧島火山・新燃岳（**早稲田大学**）

新燃岳は 2011 年の他に 2017-2018 年の噴火でも多項目観測がなされるなど、火山の統合的理解をはかる上で重要な研究対象である。この火山におけるマグマ供給系や噴火準備・誘発過程について、複数噴火で見た普遍的特徴と噴火間の差異を明らかにしておく必要がある。一回り規模の大きい 1716-1717 年享保噴火（VEI4）を取り上げ、2011 年噴火（VEI3）と比較している。2011 年噴火については報告者らの論文[48)]のデータを使用し、享保噴火を新規に検討している。ここでは享保噴火噴出物として、準プリニー式噴火やそれと付随した降下火砕堆積物（SmKP-1～SmKP-7[49)]）に焦点を当てる。

前年度は SmKP-1～SmKP-7 の全ユニットが観察できる火口縁から南東に 3 km の露頭について、基礎的な岩石学的検討（全岩組成分析と薄片観察）のほかに、噴火推移の解釈に関わる物質科学的解析も実施した（図 15)。SmKP-1～SmKP-7 の各ユニットをサブユニットに分類し時間分解能を高めた。色彩の異なる軽石（茶色・灰色軽石、白色軽石、縞状軽石）の堆積物に占める割合と、軽石見かけ密度の分布の、層準による変化を解析した。茶色軽石・灰色軽石は白色部が 10 %未満のものである。白色軽石はどの層準でも非常に稀である。SmKP-2・SmKP-4～5・SmKP-6 の各々のイベント内では、上位ほど縞状軽石の比率が増える。また SmKP-2 と SmKP-4～5 の各々では、上位ほど軽石の見かけ密度が小さいため、上位の方が噴火最盛期である。

令和 6 年度は特に斑晶鉱物組成データを追加し、噴火に関わったマグマの特徴と、噴火の誘発過程に関わる理解を深めた。全岩組成データが直線的トレンドをなすことと、複数サンプル間で斑晶コア組成が類似していること（図 16）に基づき、噴火を通じて共通の 2 端成分マグマが関与していることを見出した。白色軽石と茶色・灰色軽石の全てがマグマ混合産物であるが、後者において高温端成分の混合比が高く、全岩組成も SiO_2 に乏しい。縞状軽石は、白色軽石と茶色・灰色軽石に相当する 2 種のマグマがミングリングしたものである。SmKP-2・SmKP-4～5・SmKP-6 の各々のイベント内では、上位の層準ほど低温端成分の寄与率が高い。このことは上位において、1）縞状軽石の比率が増大すること、2）茶色・灰色軽石で観察されるマイクロメータースケールの微細ミングリング組織における白色軽石相当部の比率が増大すること（図 17)、により示される。微細ミングリング組織は地震研で開発された薄片全体の組成像撮影法[50)]によって確認された。微細ミングリング組織を構成する 2 種類の部位は、やはりミングリングの産物である縞状軽石の灰茶部と白色部と同等の岩石学的特徴を持つ。SmKP-2 と SmKP-6 の茶色･灰色軽石について､上位層ほど全岩 SiO_2 量が高くなるのは、上位層の軽石の方が白色軽石相当部の比率が高いためである。

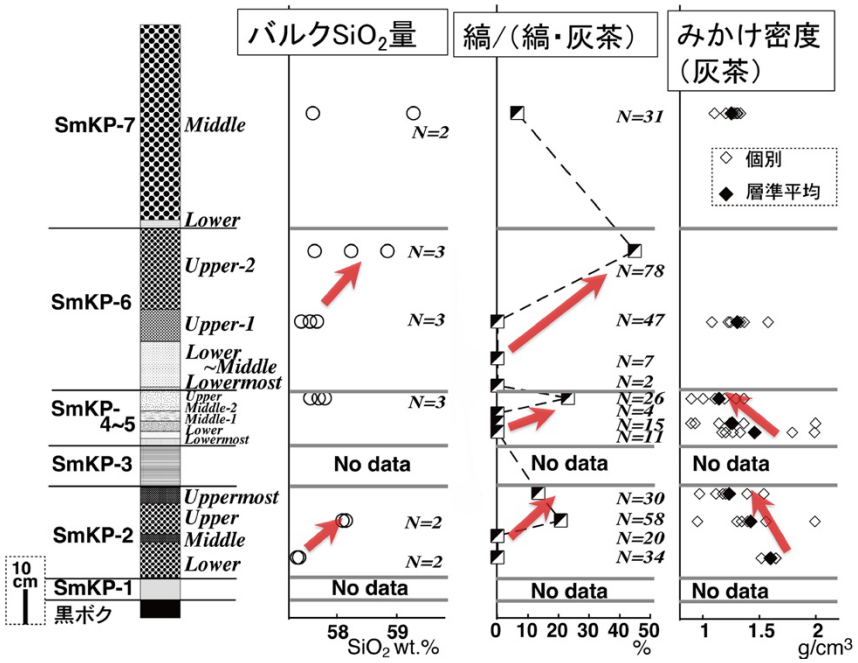


図 15　新燃岳・享保噴火の調査地点の柱状図と各種データ。データは左より順に、軽石の全岩 SiO_2 量、軽石全体（縞状軽石＋灰色・茶色軽石）に占める縞状軽石の比率、灰色・茶色軽石の見かけ密度。全岩 SiO_2 量は灰色・茶色軽石で 57.3~59.3 wt. %、白色軽石で 61.1 wt. %。

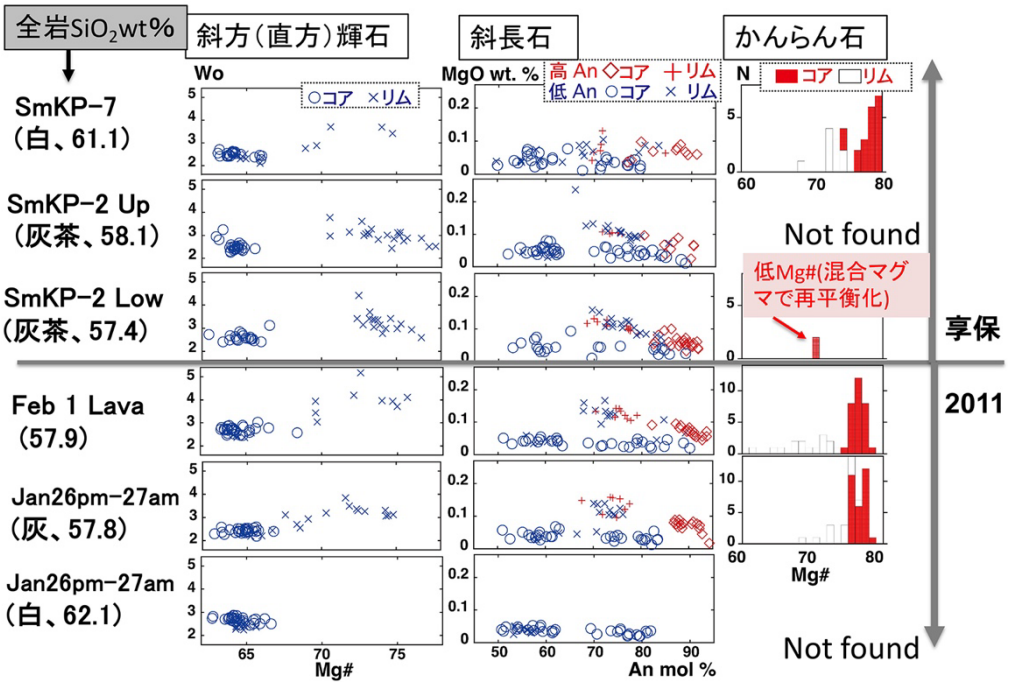


図 16　新燃岳・享保噴火と 2011 年噴火の斑晶組成の比較。

享保噴火の 2 つの端成分マグマのバルク組成・鉱物組成・メルト組成・結晶度は、2011 年噴火のそれら(SA と BA[48])と良く似ている（図 16 は斑晶組成)。バルク組成が同じマグマについて、その鉱物組成と結晶度は、マグマの温度や貯蔵深度によって変化する。以上より、2011 年噴火に対し、相平衡実験や計算などに基づき提案したマグマ供給系モデル[48]は、享保噴火についても成り立っているといえる。

低温端成分マグマは結晶に富むマッシュ状である。高温マグマとの混合によりマッシュの粘性が低下するという準備過程を経て噴火に至った。このことを踏まえて、噴火準備･誘発過程を､低温端成分由来の磁鉄鉱斑晶の MgO プロファイルから検討した。低温端成分における MgO 値として、2011 年噴火の白色軽石の磁鉄鉱の値（1.8 wt.%）を設定した。今年度は SmKP-2 を検討した（図 17)。Lower と Upper のサブニットの灰色・茶色軽石、合計 2 サンプルを検討した。サンプル毎に約 10 個の磁鉄鉱の線分析を実施した。それらは逆累帯構造か平坦なプロファイルを持つ。また結晶全体の MgO 値は低温端成分の値より高く、混合で発生した未分化メルトへの再平衡化が進んでいたことを示す｡磁鉄鉱のリムの MgO 値は結晶が存在する石基の組成を概ね反映している。微細ミングリング組織における白色軽石相当部の比率の高かった Upper の軽石では、10 個の結晶のリムの MgO 量がバイモーダルな分布を示した。MgO 量の低いものは白色軽石相当部に存在することが多い。

逆累帯構造を持つ磁鉄鉱のコア部は比較的均質である。球体における拡散モデル[51]を考えた場合、この特徴を、一回のマグマ混合に伴うリムの成長と、リムとコアの元素拡散で形成することは難しい｡代わりに多段階のマグマ混合モデルを提案する(2011 年噴火の著者らの研究[48]と同等のモデル)。先行的なマグマ混合イベントの後、十分な時間が経過したため、結晶は一旦、コアからリムまで均質化した。その後、高温端成分マグマとの混合イベントが再度あり、マグマのメルト部分はさらに未分化なものに変化した。そのイベントから噴出・固結までの時間が結晶毎に多様であったため、噴出物において、逆累帯構造を持つ結晶と、コアからリムまで均質化した結晶の 2 種類が共存することになった。

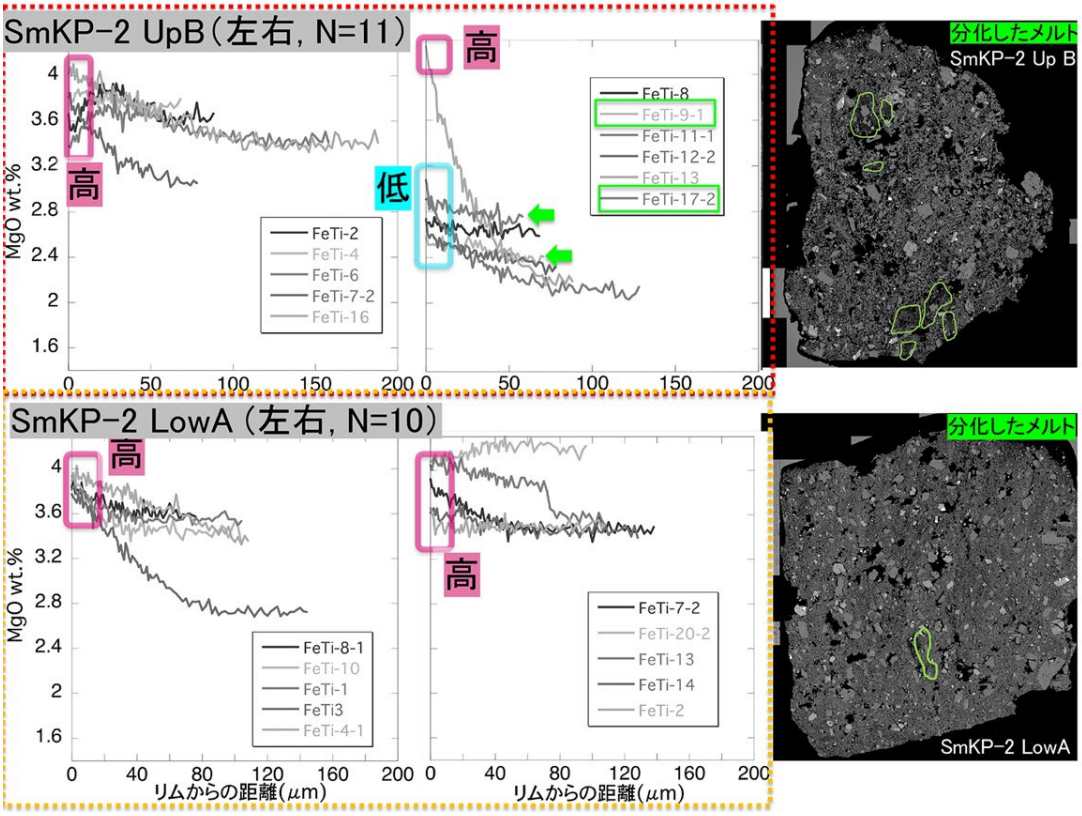


図 17　新燃岳・享保噴火の SmKP-2 の灰色・茶色軽石の磁鉄鉱斑晶の線分析結果。下部の 2 つのグラフは下部のサブユニットの、上部の 2 つは上部のサブユニットのもの。磁鉄鉱のリムの MgO 値は上部のサブユニットではバイモーダルである。MgO 値の低い結晶は、微細ミングリング組織の中の白色軽石相当部に存在することが多い。グラフの右側には、薄片全体の BSE 像を参考として付す。

最初のマグマ混合後、結晶が完全に均質化するための時間を見積もった。球体における拡散モデル [51] において $Dt/a^2=0.4$ となれば結晶が均質化するものとした（D は拡散係数、t は拡散時間、a は球の半径）。a は 100～150 μm の範囲にあるものとした。拡散係数の鉱物組成依存性と温度依存性 [52] を考慮し、$D = 7.9\times10^{-15}$ m^2/s を使用した。結果として 5.9～13.2 時間が見積もられたが、これは最短時間であり、実際には、さらに長かった可能性もある。

上述の 2 度のマグマ混合イベントの後で、マグマ溜まり内には、高温マグマとの混合が顕著であった部分（灰色・茶色部になる部分）と顕著でなかった部分（白色部になる部分）が存在していた（図 18）。その後、火道内にて 2 つがミングリングし噴出物を生成した。マグマがマグマ溜まりから火道に移動する際、粘性の低い部分が優先的に移動できた（図 18）。そのため噴出物全体に対する高温マグマの寄与率は、個々の噴火イベント（＝SmKP-2・SmKP-4～5・SmKP-6 の各々）の開始時に高く、その後、低下したとみられる。

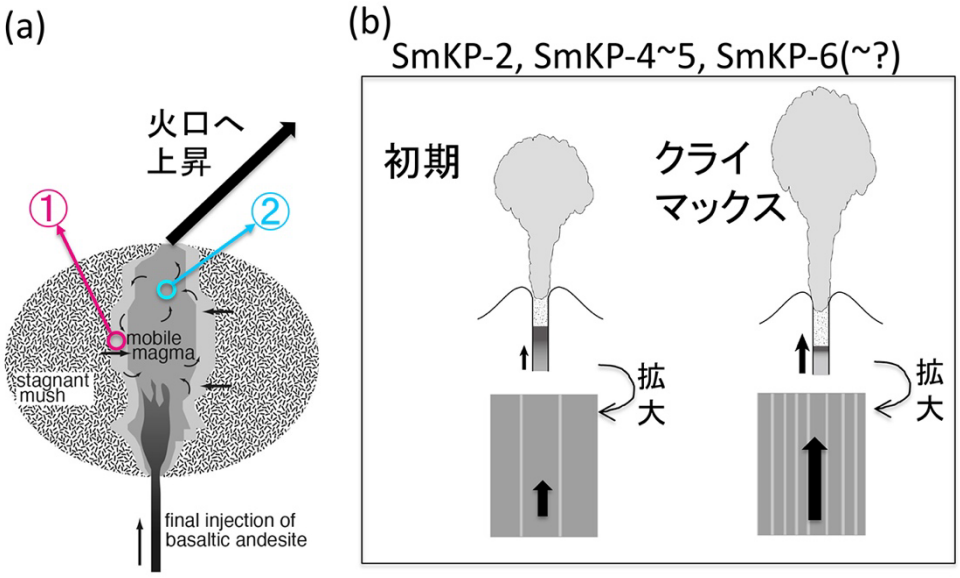


図 18　個々のイベント内における端成分マグマの寄与率の変化。(a) 2 度目のマグマ混合の直後のマグマ溜まり内の状態。2 度のマグマ混合は磁鉄鉱斑晶の観察から提案した。マグマ溜まり内には高温端成分マグマの影響の顕著でない部分（①）と顕著な部分（②）があり、各々が後に軽石の白色部と灰・茶色部になる部分。磁鉄鉱斑晶のリム組成は、①や②の組成差を反映している。マグマ溜まりからの上昇時に①と②はミングリングした。(b) 端成分マグマの寄与率の時間変化。イベント初期には、粘性が低くマグマ溜まりから上昇しやすかった②の比率が高い。

2 度目のマグマ混合イベントからマグマの噴出・固結までの時間を結晶毎に推定した。逆累帯構造を持つ磁鉄鉱を対象にした。結晶全体が最終産物のコア組成相当であるような結晶にリム組成相当の結晶がオーバーグロースし、コアとリムとの間で元素拡散が起こったものとして、分析で得られたプロファイルが再現される時間を見積もった。その時間は Lower と Upper のサブニットの両方で、数時間～30 時間程度の範囲に集中する。また磁鉄鉱リムの MgO 値により系統的に変化しない。2011 年噴火の観測によると、一つの準プリニー式噴火のイベントは、2～3 時間程度の継続時間である。したがって噴火直近のマグマ混合は、マッシュ状マグマ溜まりに存在したマグマの組成や、最終的な噴出・堆積のタイミングと関係なく、同時期に発生した可能性がある。今後、磁鉄鉱斑晶を用いた解析を、SmKP-4～5 や SmKP-6 といった他の噴火イベントについても実施してみる必要がある。また元素拡散の速度の遅い元素・斑晶鉱物種も検討し、噴火から見て古い時期の高温マグマとの混合履歴を解析してみる必要がある。

i）霧島新燃岳の連続火山灰試料の解析と噴火推移のモニタリング（**鹿児島大学**）

令和５年度に投稿を行った論文について、査読者との議論を踏まえて議論の明確化を行った（Earth Planets and Space に掲載[53]）。ここでは、霧島新燃岳 2018 年噴火の初期活発化時に採取した連続火山灰試料の解析を行った。特に、バルク試料測色値、分級試料測色値、粒子毎の顕微可視分光スペクトルを用いた「色」に基づく火山灰のシステマティックスを構築して、客観基準に基づく噴火推移のモニタリング、素過程の解釈を行った（図 19）。さらに、これらの結果を霧島連携集会において、今後の噴

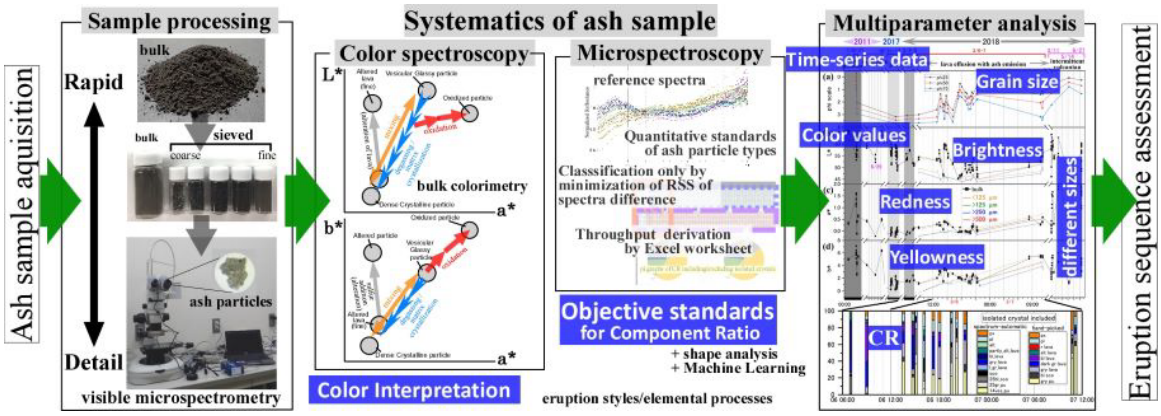


図 19　火山灰色のシステマティックス構築に基づく新燃岳 2018 年噴火の最盛期への推移過程解明。

火推移に伴う噴出物モニタリングの方策として提案した[54]（図 20；プロシーディングスとして投稿）。

j）桜島火山におけるブルカノ式噴火に至るマグマ定置深度の定量化（**東北大学**）

桜島南岳山頂火口では、1955 年以降爆発的なブルカノ式噴火が繰り返し発生している。1987 年 11 月 17 日には、山頂火口の活動期の中でも最大規模のブルカノ式噴火が

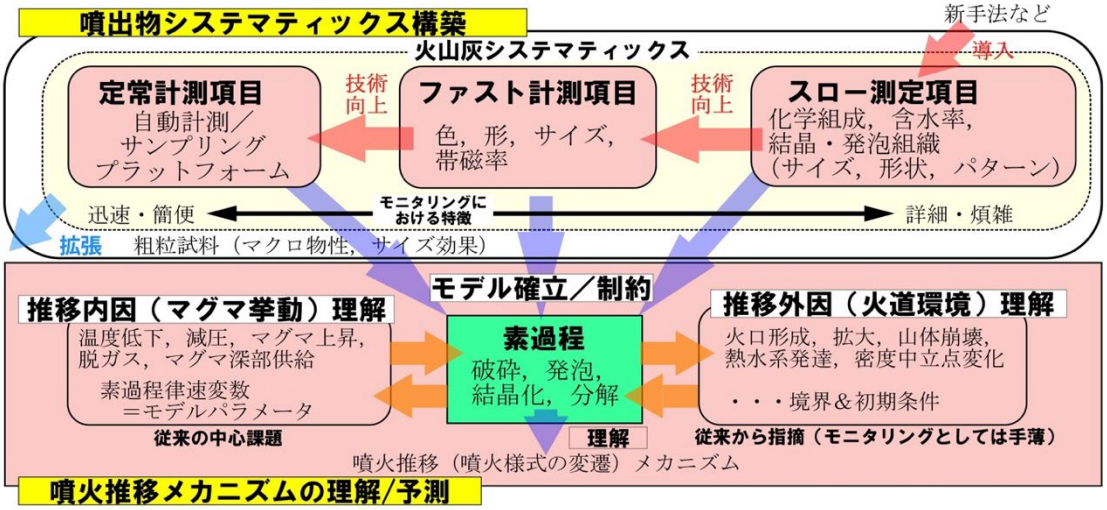


図 20　火山灰のシステマティックス構築に基づく持続的な噴出物モニタリング技術推進の方策の提案。

発生し、火山灰噴出量は 40 万トンに達した。本研究ではこの大規模ブルカノ式噴火に注目し、山腹まで噴出物を飛ばした山頂火口のブルカノ式噴火としては通常規模の 1975 年 10 月 30 日の噴火と比較して、噴出物の主要元素組成分析、メルト中の含水量・マグマ定置深度の計算を行い、火道の有効半径や噴火規模の支配要因を明らかにした。

1987 年の大規模噴火では石基ガラスの SiO_2 濃度がマイクロライト量に対応して系統的に変化することが確認され、大部分を占める低結晶度領域から一部の高結晶度領域に向けて 65.9 wt.%から 76.3 wt.%まで増加した。1975 年噴火の軽石は全体に高結晶度で、石基ガラスの SiO_2 濃度は 71.2-73.1 wt.%であり、1987 年噴火の高結晶度領域と近い組成を示した。1987 年噴火における低結晶度領域、高結晶度領域（1975 年噴火の軽石）、溶岩片の石基ガラス組成は一連の分化トレンドを示し、それぞれ噴火直前に火道深部に貫入したマグマ B、火道浅部に滞留していたマグマ A[55]、火道最上部のキャップに相当するものと考えられる。2 回の噴火を対象とした斜長石含水量計の計算結果と、溶解度モデルより静岩圧を仮定し求めたマグマ定置深度は、マグマ B で 2.0-2.6 wt.%と 1.6-2.6 km、マグマ A で 1.4-2.0 wt.%と 0.80-1.7 km、キャップで 0.91-1.7 wt.%と 0.38-1.1 km として求められた。この結果から、立尾・井口（2009）[55]によって推定された火道内における鉛直構造を、噴出物の物質科学的な側面からも再現することができた（図 21）。

以上の岩石学的圧力推定から求まったマグマ定置深度幅で火山灰噴出体積を割ることで、各噴火の実効的な火道断面積を推定した。その結果 1987 年噴火では 110 m^2、1975 年噴火では 83 m^2 となった。さらに、この火道断面積の値と各噴火の火山灰噴出量、メルト中の含水量・マグマ定置深度の計算結果を用いて、ブルカノ式噴火時の火道内の揮発性成分収支を求めた。ブルカノ式噴火直前にマグマ溜りから上昇するマグマは、溶解度低下に伴い揮発性成分(H_2O)を放出(脱水)する。現在、上記の数字の確認・精密化を行うとともに、この総脱水量がマグマ中の気泡量、横方向(火道と直行方向)の脱ガス量、縦方向(火道伸長の方向)の脱ガス量という 3 成分に分かれるという質量保存より、揮発性成分収支における横方向脱ガスの割合を計算している。

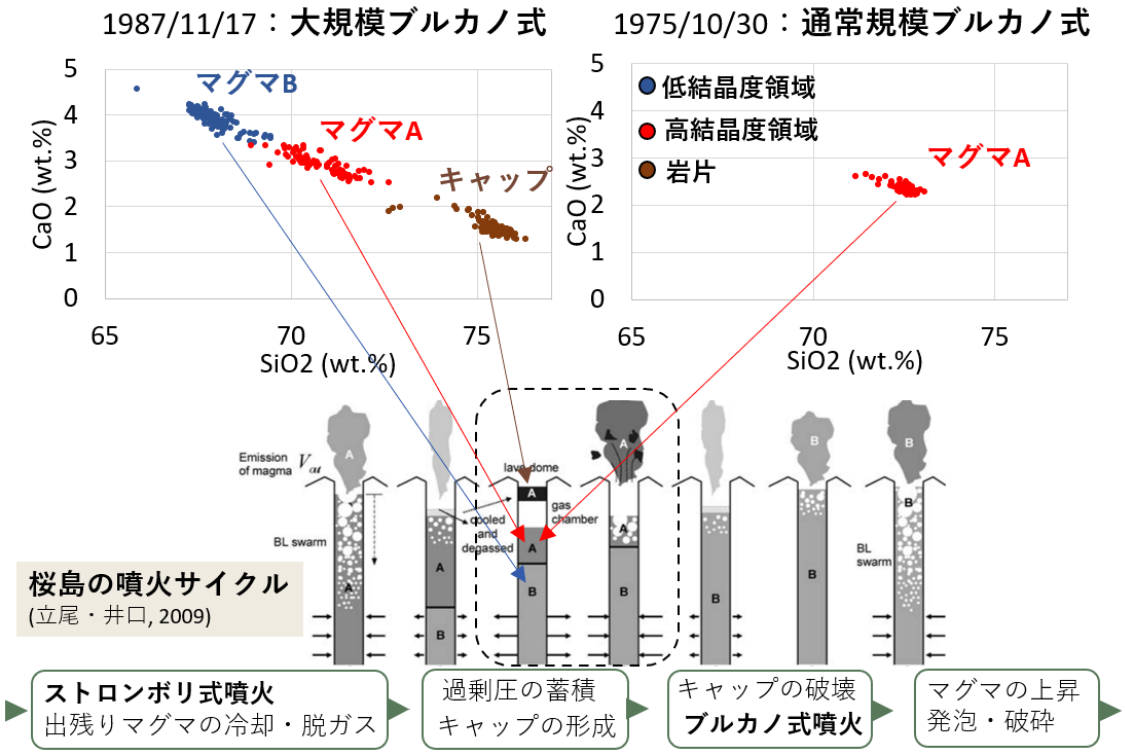


図 21　桜島火山における地球物理学的噴火サイクルモデルと噴出物の対応。

k）桜島火山灰試料の連続採取と測色分析（**鹿児島大学**）

前年度に引き続き、桜島では火山灰試料の連続採取を継続するとともに、測色データ解析を行った。

昭和火口 2009-2015 年の活動については、これまでに取得した連続試料のバルク測色値について主成分分析を行った。測色値データは色彩をきめる彩度・色相・明度を表す 1）L*a*b*値そのものに加えて、2）それらの変化傾向を示す比値や 3）試料の不均質を表す標準偏差なども加えて主成分分析を行ったところ、測色データのうち第一主成分となるものが、1)、2）のケースでは測色値そのものに対応したのに対して、3）のケースでは標準偏差すなわち試料のばらつきに対応することを明らかにした（図 22)。このことは、約 7 年間の一連の活動を通じて、一般にブルカノ式噴火とひとくくりされる活動の中でも火山灰を構成する粒子種とその量比が大きく変動したことを示した、特に、測色値の粒径依存（図 23）なども考慮することで、火孔拡大時等に不均質の拡大が発生する傾向やマグマの新規貫入に伴う活発化開始時に火山灰色が暗色化するなど、噴火活動推移と火山灰色の関係を明らかにした。

一方、南岳火口 2018 年以降の活動については、Iguchi et al.（2022）[56]により、顕著な地盤変動を伴うのにもかかわらず、ほとんど噴火を伴わない NED（Non-Eruptive Deflation；非噴火性収縮）の存在が見出され、地盤変動の要因となる現象としてガスのみの放出が提唱されている。こうした活動ではほとんど噴出物が採取されてこなかったが、われわれの連続自動採取装置を用いた時系列試料の獲得により、同時期の非 NED 時の試料とともに、複数の NED 発生時に対応する試料の解析が可能となった。ま

た、これらの分光測色測定、さらに分級後の粒子毎の顕微可視分光測定により、火山灰試料の特徴比較を行ったところ、NED 発生時の試料には系統的に発泡した粒子が多いこと、さらに特に NED が活発で頻発していた時期の試料は他の時期と比べてガラス質粒子が多いことが分かった。これにより、物質科学的にも NED がガスに富むマグマの貫入上昇に伴って発生していることが明らかとなった。火山灰試料の粒子構成比の導出は、粒子分類基準に属人性があり、その客観性の担保が課題であったが、あとで述べる新燃岳 2018 年噴出物の解析でも用いた顕微可視分光測定によって、この基準を共有することが可能になり客観性が格段に向上した。

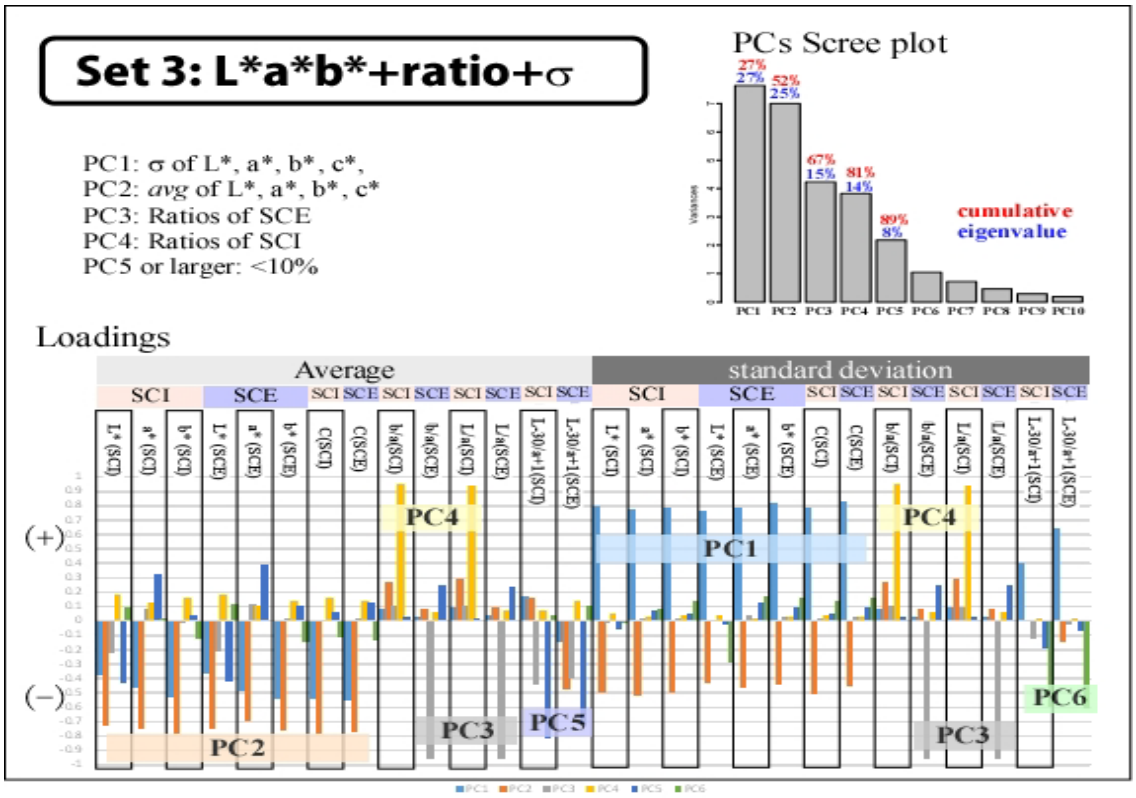


図 22　桜島火山昭和火口 2009-2015 年のバルク火山灰試料の測色値の主成分分析結果（第一主成分 PC1 が測色値のばらつきを表す標準偏差に対応した）。

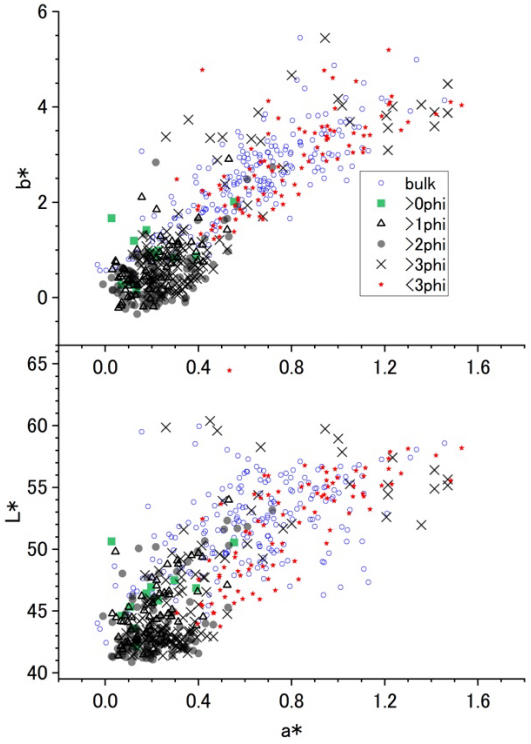


図 23　桜島火山昭和火口 2009-2015 年の分級火山灰試料の測色値（粗粒粒子は暗色を呈し、顕著な粒径依存を示した）。

1）諏訪之瀬島火山の噴出物分析**（鹿児島大学）**

令和５年度に引き続き、反射電子像の輝度・ピクセル数をもとに構成鉱物種と量を基準に火山灰粒子種の分類・構成比導出を進めた。

また、マグマ供給系と噴火・休止様式の変遷のメカニズムを理解するため、本業務を通じて継続している約 3 万年前以降の大規模・中規模噴火による噴出物の斑晶鉱物組成、石基ガラス組成の測定を行った（データ蓄積の継続）。

m）ドイツ西部・Eifel 火山群 Meerfelder Maar 噴火の岩石学的研究:単成火山の噴火過程の解明**（東北大学）**

単成火山の噴火活動は一度限りで終わり、その噴火規模は小さいものの、突発的に噴火する危険性が高い。居住地や観光地の近傍で噴火した場合、避難に必要な十分な時間が確保できず、人的・経済的損失が大きくなる可能性がある。したがって将来の単成火山噴火の前駆過程や時間スケールを明らかにすることは、防災上の喫緊の課題である。

単成火山の噴出物中には、しばしばマントルや地殻由来の岩片が捕獲岩として含まれている。これらは、マグマが地下深部から上昇する過程で、マントルあるいは下部地殻の一部を取り込み形成される岩石で、捕獲岩と呼ばれる。先行研究では、捕獲岩の最大サイズとマグマの粘性率からマグマの上昇時間を見積もる方法[57]や、化学的非

平衡を用いてマントル捕獲岩がマグマに取り込まれてから急冷されるまでの時間を推定する方法[58]などが行われてきた。しかし、マントル捕獲岩が上昇の途中にマグマ溜りで滞留する場合などが指摘されており[59]、これらの時間推定の結果は、実際の値とはかけ離れている可能性がある。また、マントル捕獲岩はしばしば平面で囲まれたブロック状の形態を示すが、この平面がマグマへの取り込み時に形成されたオリジナルな破断面であるか[60]、取り込み後に二次的に形成されたものか[61]の判別は困難である。このような不明確さは捕獲岩表面での化学的非平衡を用いた上昇時間の推定や、上昇するマグマによるマントル捕獲岩の捕獲メカニズムの解釈に大きな影響を及ぼす。

そこで、本研究では、ドイツ西部・アイフェル火山地域に位置する単成火山であるMeerfelder Maarのマントル捕獲岩に注目し、形態的特徴と化学分析を通じて、この火山での捕獲岩の形成過程を明らかにし、単成火山の噴火過程について検討を進めた。

Meerfelder Maarで採取されたマントル捕獲岩の多くは、肉眼および偏光顕微鏡観察から以下の特徴が見られた。1)捕獲岩とそれを取り囲むアルカリ玄武岩質マグマ(メリライトを含むカンラン石ネフェリナイト）との境界が平面的で構成される(図 24 (1)) 2)平面的な境界面付近には、境界面と平行なマイクロクラックが卓越しており(図 24 (2))、その傾向は捕獲岩内部では弱まる(図 24 (2'))、3) マイクロクラックに沿って流体包有物が存在する(図 24 (3))。Eifel Meerfelder Maar マントル捕獲岩表面に見られた上記 1)～3)の特徴は、平面的な破砕面は水圧破砕の力学モデルを用いたChen et al. (2022)[62]のクラック形成モデルで説明可能であり、捕獲岩表面の破断面は CO_2 に富む超臨界流体による水圧破砕の痕跡であり、マグマへの取り込み前のオリジナルな破断面の証拠だという仮説を立てた。

仮説を検証するためにマイクロクラック中の流体包有物に含まれる残留圧力をYamamoto et al.(2002)[63]の方法に従い測定したところ、捕獲岩 5 試料中の 71 点の流体包有物の内 16 点で 1 GPa を超える圧力を保持していることが明らかとなった。この結果は、捕獲岩が CO_2 流体による水圧破砕で破砕された後に、マグマに取り込まれたことを示唆する。クラックの閉鎖時間について明確な推定はできていないが、クラックの閉鎖には計算から[64]数時間～数十日を要すると推定され、圧力の低い包有物は閉鎖前に流体が脱出した可能性がある。

さらに、捕獲岩がマグマに取り込まれてから噴出に至るまでの時間スケールを推定するため、水圧破砕で形成されたと予想されるオリジナルの破断面の化学的非平衡に伴う元素拡散の有無を調査した。捕獲岩表面にあるカンラン石は長時間マグマと接触すると化学的非平衡に伴って Mg の組成累帯構造などが記録される。マントル捕獲岩表面のカンラン石の BSE 像および元素マッピング分析を行った結果、12 試料中 7 試料で拡散帯構造が観測されなかった。すなわち、マントル捕獲岩はマグマによる取り込み後、ごく短時間(3 時間程度)で地表まで上昇・急冷されたと推定された。

以上の結果から、Meerfelder Maarは、マントル領域での CO_2 超臨界流体による水圧破砕、深部マグマの上昇に伴うマントル捕獲岩の取り込みと短時間での地表までの上昇という過程を経て噴火が起きたことが明らかとなった。本研究で明らかとなった、

噴火時の深部からの急速なマグマ上昇は、単成火山噴火における防災対応を極めて難しいものにすると考えられる。

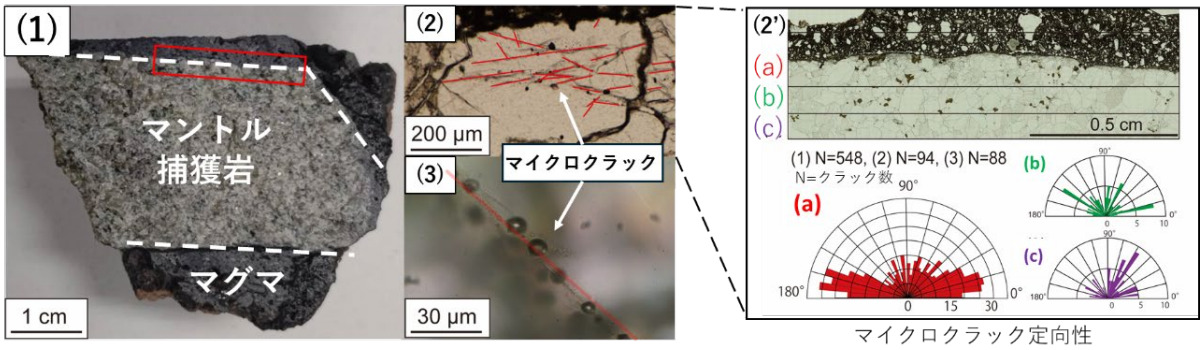


図 24　Meerfelder Maar マントル捕獲岩表面の形態と流体包有物の特徴。

n）その他の火山（**東北大学**）

桜島火山の火道浅部におけるマグマの結晶化速度と粘性変化率を明らかにし（R5 年度に詳しく報告）、論文を投稿して現在査読中である[65]。霧島火山新燃岳 2017-2018 年噴火火山灰の帯磁率変化の鉱物学的な原因を特定し、含まれる磁鉄鉱等の不透明鉱物に基づくマグマ物質の新しい判定指標を開発した。富士火山では自衛隊東富士演習場から宝永噴火の高時間分解能のサンプルを取得して全岩化学組成を分析し、噴火に至るマグマプロセスのモデル化を進めた。福徳岡ノ場火山では、特徴的な黒色軽石の生成条件を実験的に解明し、既存の噴火モデルの再考が必要なことを見出した。浅間火山では天明噴火の噴火様式分岐を支配する火道/火口内プロセスを解明する研究を行っている。十和田火山では、御蔵山溶岩ドームの空隙構造と浸透率を調べ、溶岩ドームの爆発が抑制されるメカニズムが判明した。

o）解析方法の刷新・新手法の開発

i）面分析から元素拡散プロファイルを取得するツールの開発（**東京大学**）

鉱物やメルト中の元素拡散の解析からマグマ供給系に関する様々な経過時間を読み出すために、面分析の２次元データを１次元プロファイルに縮退させるアプリケーションを作成した。取得した画像から任意の領域を切り出してノイズ除去を行ったうえで１次元のラインプロファイルとして画像化とデータ書き出しをおこなえる。

このアプリケーションは javascript と python を使った複合プログラムで、FE-EPMA で取得した画像データを取り扱う WWW サーバー上にある。ユーザーは 2 次元画像データファイル（txt 形式）を指定ウィンドウに Drag-Drop することによって解析作業を始めることができる。WWW ブラウザに表示された画像上の任意の２点をマウスクリックするとともに解析する領域幅を指定すると、選択した２点を結ぶ直線上にその領域幅のデータを投影して１次元プロファイルとして、画像とテキストデータとして取り出すことができる（図 25）。

領域幅を広げることによって拡散プロファイルの S/N 比を向上できる一方、解析領域内のクラックやインクルージョンなどの存在によって拡散プロファイルの正確さが損なわれる恐れがあるが、このアプリケーションでは異常値除去処理を施すことによって正確性を失わずにノイズ低減を実現した。また、解析するために選んだ 2 点がきちんと元素拡散の方向に沿っているかを視覚的にチェックできる機能も設けてある。これによって、解析ラインと元素拡散の方向のわずかなずれも把握できるため、拡散距離の決定精度を高めることが可能である（図 26）。

このアプリケーションは、分析・解析プラットホームとリンクした WWW サーバーに置かれているため、過去にこのプラットホームを使って取得した約 2000 枚のすべての X 線マップの画像データについて、リモートで解析をおこなうことが可能であり、マグマの上昇速度の決定のためのデータ解析に多数の利用が期待される。

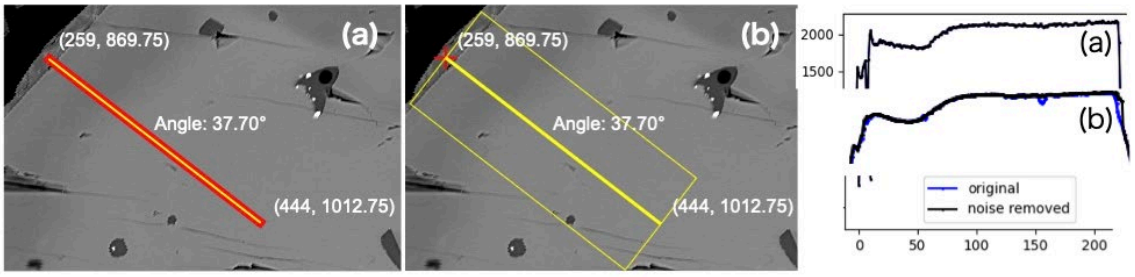


図 25　元素拡散の面情報から直線への投影例。(a) 2 点を結ぶ直線だけの場合、(b) 黄色枠内の値の平均値の場合。右図がそれぞれの範囲の輝度プロファイル。青はノイズ処理をおこなう前。黒はノイズ除去処理後。

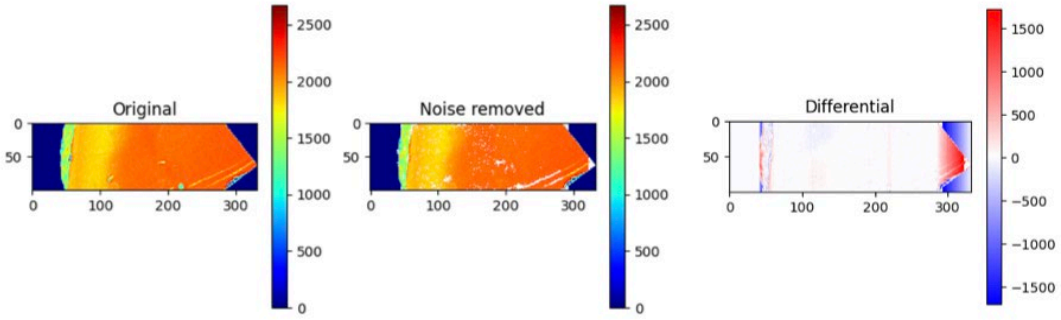


図 26　輝度の面情報。輝度値をカラーバーで表現している。白部分はノイズとしてプロファイル計算から除去した部分。右端の Differential の図は、line profile と領域内の line profile と垂直な各点との差分を作成したもの。拡散方向と line profile が並行していないと、この図のように図の上下で赤-青の非対称な模様が出現する。

ii）火山噴出物（テフラ）の対比・同定のための WWW データベースの作成**（東京大学）**

過去の噴火履歴の詳細に明らかにしてマグマ供給系の特徴をとらえるためには、個々の噴火の分布範囲を的確に把握する必要がある。このためには、火山噴出物を正確に対比・同定することが不可欠である。しかしながら、同一火山を給源とする似通った火山噴出物を正確に対比・同定することは困難な場合が多い。そこで協力機関の富士山科学研究所と共同して、火山噴出物（テフラ）の対比・同定のための WWW データベースを作成した（安田・他，2024）[66]。テフラの組成だけではなく、形状や色、斑晶組成など多種のデータを使って定量的に対比・同定することを目指しており、任意のテフラについて特徴の比較や一致度の検討が図・表を使ってオンラインで行うことができる（図 27，28）。現在は、東京大学地震研究所で XRF 分析を行った富士火山の黒土層形成期以降の 194 層のテフラと山梨県富士山科学研究所で粒子形状解析を行ったテフラに加えて須走期以降の文献値データを取り込んで対比データの拡充をはかっている。WWW データベース自体は汎用性があるので、霧島や伊豆大島などの他の火山についてもデータ収集の範囲を広げていくことを計画している。

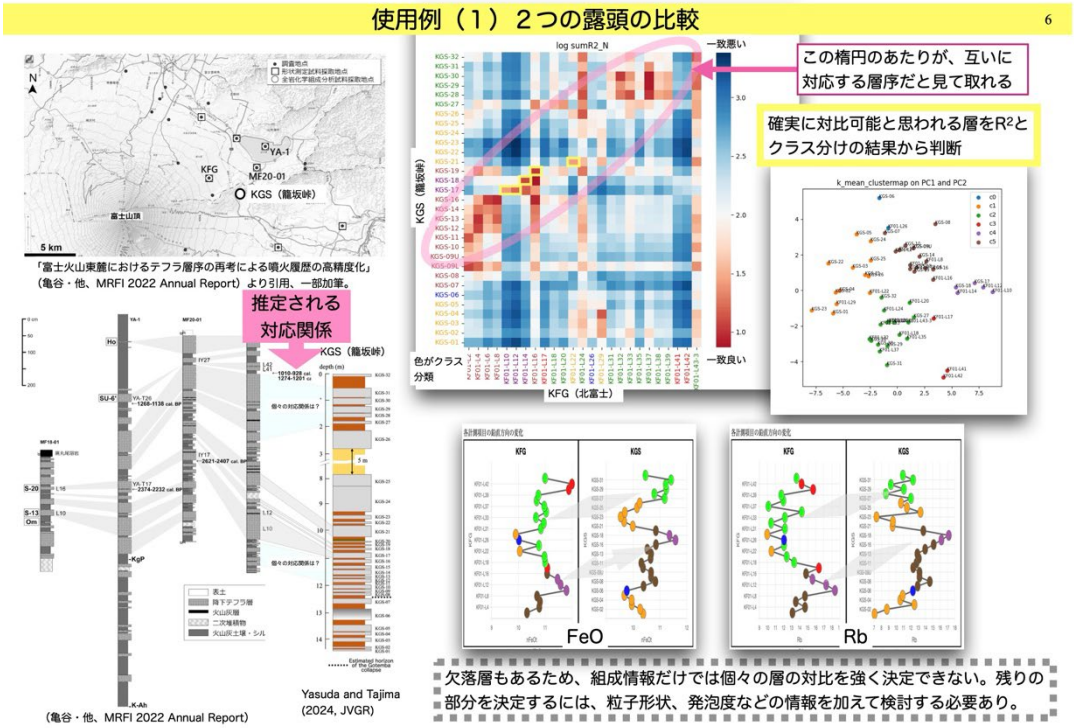


図 27　対比・同定用データベースの出力例１。２つの露頭を比較する場合。縦軸に比較する露頭の層序、横軸に任意の計測項目をとった図や、多項目での一致度をヒートマップで表現した図、それぞれの層の PCA によるクラスタ分類結果などが表示される。

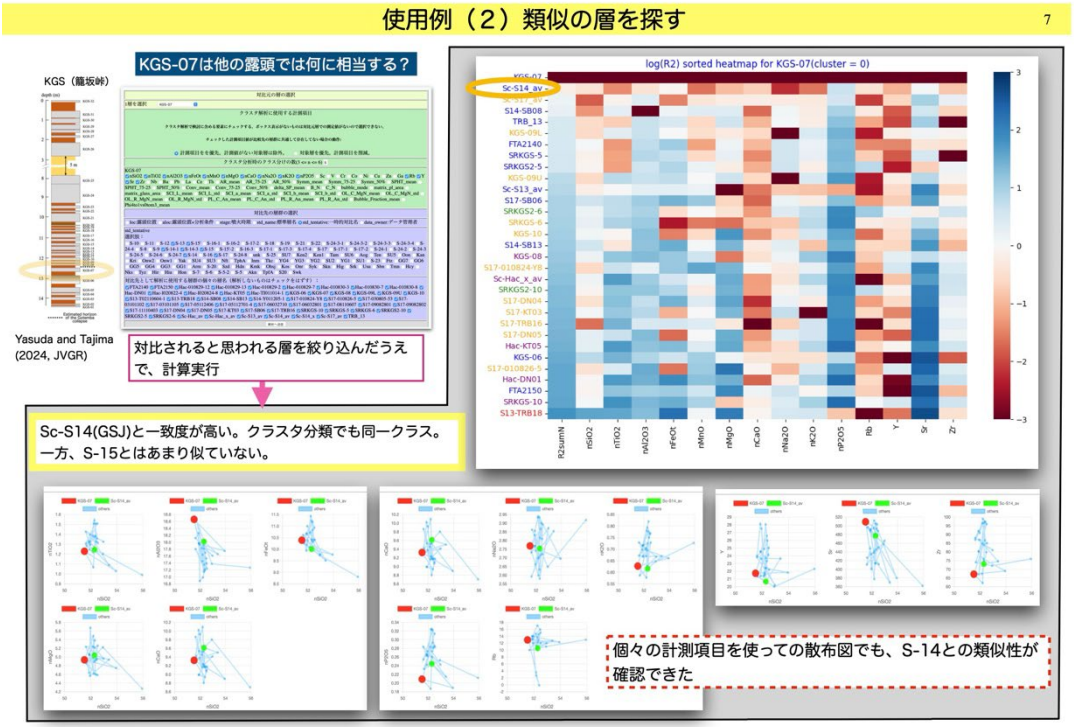


図 28　一つのテフラ層と類似するテフラ層を探す場合の例。クラスタ分類、計測項目での一致度、散布図での類似性の検討が行える。

iii）噴火予測の鍵要素についてとりまとめと予測システム構築の提案（**東京大学**）

課題 C-1 では、「マグマ溜りの位置と状態を知る」と「噴火前後のマグマの状態と動きを知る」という２つに焦点をあてて、”噴火事象分岐の鍵” を探してきた。それと同時に、予測手法開発という観点から、”鍵” を有効利用するための方法について検討し、分析・解析環境の構築を試みてきた。これらの成果を他の課題と共有し、噴火予測の実現を目指すため、噴火の予測の”鍵”について、「何に使えるのか」、「いつ使うのか」、という観点から、他分野にも理解しやすい形を目指してとりまとめをおこなったものが図 29 である。図の上側は噴火事象分岐の鍵となる要素についてまとめたもので、左は模式的なマグマ供給系における分岐の鍵の位置、右はそれぞれの鍵が噴火のタイムラインどの場面でどのように使われることを示している。赤字は主要な分岐について定性的に記載したものである。予想される分岐の鍵について、噴火の前駆現象観測や噴火中の観測で具体的な値が制約できた際には、その値を噴火予想に役立てることを目指している。

例えば、「マグマの上昇速度」という鍵は、火山ごとの特徴として情報収集しておくことによって、噴火前には、前兆観測から噴火発生までのリードタイム予測として使えるし、さらに、噴火切迫時において地震の震源移動や地殻変動データから実際の上昇速度の推定が行えた場合には、プレアナリシスとして行なったシミュレーション結果の参照や過去の噴火事例との比較によって、噴火様式や噴火規模の推定が可能であ

る。加えて、実際に噴火が開始したあとも、随時、観測や噴出物解析から得られた上昇速度を使って火道の状態を検討し今後の推移予測につなげられる。

図 29 の下側には、噴火予測システムがうまく機能するための鍵要素についてまとめた。すなわち、課題 C-1 でこれまで取り組んできた噴火発生後に現象を迅速に把握して状況判断が行えるようにするための仕組みである「火山灰粒子色相分析法」、「火山灰粒子構成比自動分類」、「XRF・EPMA と連動した解析システム」、「熱力学シミュレーション補助システム」の実用化である。これらは噴火発生後に、マグマ混合の有無や火道の状態、マグマの組成・温度などを迅速に明らかにして、それらを過去事例と比較・参照して事前予測を修正したり、プレアナリシスで推定した噴火現象の発生頻度の修正を行うために使われることを想定して開発をすすめており、ポスト次世代火山にも引き継がれることを念頭においている。

上記は定性的な予測と予測システムの骨格にすぎない。実際に噴火推移予測を有効に機能させるためには、鍵要素のどの程度の変化が、噴火にどの程度の影響を与えるのかといった定量的検討が不可避である。そこで、定量的な予測システムを実用化するための３つのポイントを提案し令和 6 年度の報告とする。第一は、決定論的な予測計算を行うシステムにしないということ。マグマ供給系は不確定要素が多いので、それらの不確定な要素については値を振って膨大な量のプレアナリシス計算を行い、その後、不確定だった要素が地下で進行する噴火前駆現象の観測などによってある程度制約ができた時点でプレアナリシスの結果の絞り込みを行うというアンサンブル予測的な手法が適していると考えられる。第二に、多数のプレアナリシス計算を行うためには、計算時間の短縮のため、できるだけ単純なシステムにすることである。なにもかもシステムの中で計算するのではなく、先行研究の知見を適宜取り入れて簡略化することが必要である。マグマ貫入率と噴火様式・規模の関係や流量と噴火様式の関係など適宜、先行研究から得られた閾値を利用するようにする。マグマの物性については、Rhyolite-MELTS [1)]などを事前に使って火山噴出物の組成範囲に応じた近似式を作成するなどして、計算の簡略化をおこなうことが重要である。第三は、マグマ溜まりから噴火までを連続して扱い、観測可能な要素がプレアナリシス計算への入出力に含まれるようにモデル化を行うとともに、噴火の切迫あるいは噴火発生の後には、事態の進行を要素の観測から的確に捉えて、プレアナリシス計算結果の絞り込みを行えるような観測体制を構築しておくことである。

実際にプレアナリシス計算結果をどのように噴火予測に使うのかについての概念図を霧島火山を例にして図 30 に示す [67)]。図中の青虫眼鏡は、計算の入出力要素であるとともに観測項目でもある。図の上から下に向けて、噴火の前駆現象が進行し地下で様々な現象が観測されたとすると(赤虫眼鏡、および、緑枠の事象)、それらに応じて、プレアナリシス計算結果の絞り込みを行い、噴火発生予測、様式予測、規模予測の結果を次々と更新していく。社会に向けた噴火予測としては、この新たな観測値の取得に伴い時々刻々と予測を更新していくという部分が極めて重要である。一方、研究者の視点からは、予測を定量的に行うという点が重要で、定量的に扱うことによって、様々な因子が結果にどの程度影響を与えるかについて的確に評価することを迫られるため、予測システムの改修が継続的に行われることが期待できる。

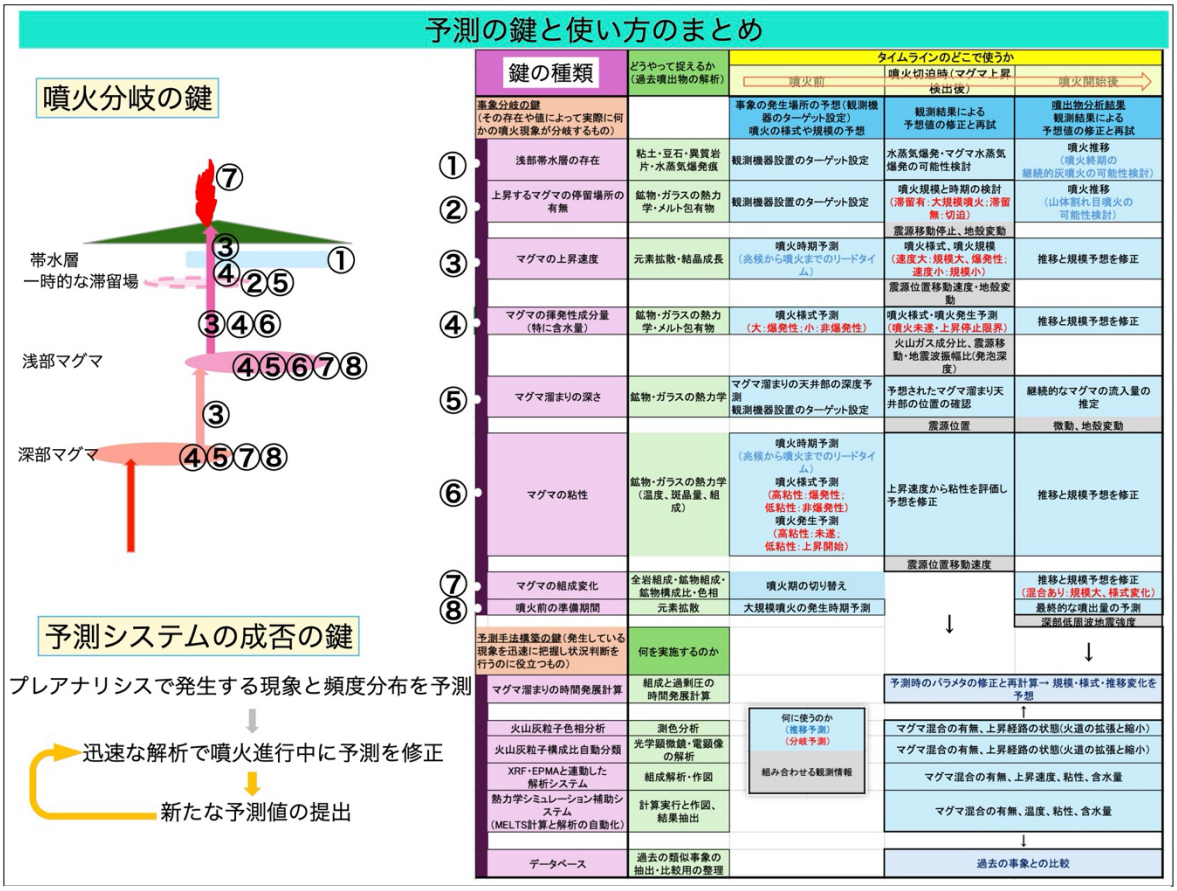


図 29　予測の鍵と使い方のまとめ[67]。上はマグマ供給系のどの位置にどのような鍵が存在し、その鍵を予測のためにどのように使うかをまとめた図表。下は予測システムを機能させるために鍵となる技術。

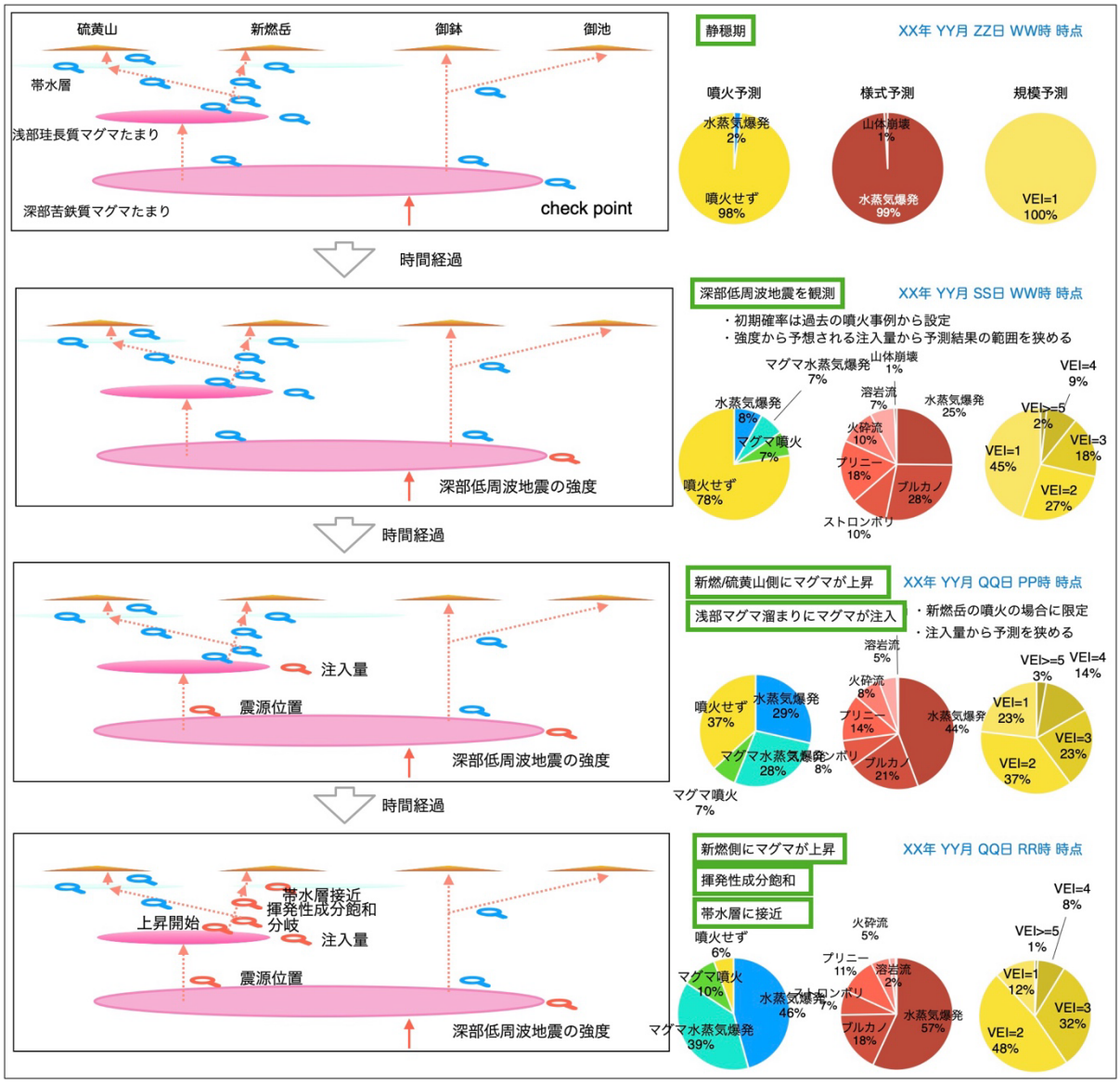


図 30　定量的な噴火予測システムの概念図。観測によって新たな情報が得られるたびに、プレアナリシスの結果を絞り込んで予測を更新していく。

(c) 結論

令和 6 年度の目標はおおむね順調に達成できている。個別の火山について最近の噴火過程やマグマ溜まりの時代変化とその噴火の規模や様式への影響の点から、噴火事象分岐の鍵要素が明らかにされるとともに、対象とする火山全体についてのとりまとめの過程で噴火事象分岐の鍵の一般化が試みられた。また、噴火直前のマグマの状態や移動速度についても重要な知見が集積しつつあるとともに有効なデータを取得する新手法の開発がおこなわれた。これらの様々な情報をどのように噴火の推移予測に組み込むかについて、噴火予測システム構築についての提案がおこなわれた。この噴火予測システムを実効的なものにするためには噴火と同時進行で噴火の様相が把握されることが必要であるが、分析・解析の迅速化についても、これまでの取り組みが着実に成果を出して

きており、いくつかの取り組みは実用的な段階に差し掛かった。今後も引き続き火山噴火についてのデータを集めて噴火の鍵となる要素を整理するとともに、有効な噴火事象分岐予測が行えるよう、噴火予測システムの構築と、分析・解析手法の継続的な開発や作業の迅速化に取り組んでいく。

(d) 引用文献

1) Gualda, G. A. R., Ghiorso, M. S., Lemons, R. V., 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.
2) Miyagi, I.: AIST Repository of back data: The geochemical and petrological characteristics of prenatal caldera volcano: a case of the newly formed small dacitic caldera, Hijiori, Northeast Japan (Miyagi et al., 2017), 2025.
3) Miyagi, I., Kita, N., 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, 2017.
4) Geshi, N., Yamada, I., Matsumoto, K., Nishihara, A., Miyagi, I.: Accumulation of rhyolite magma and triggers for a caldera-forming eruption of the Aira Caldera, Japan. Bulletin of Volcanology, 82(44):1–18, 2020.
5) Miyagi, I., Geshi, N., Hamasaki, S., Oikawa, T., Tomiya, A.: Heat source of the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake, Japan. Bulletin of Volcanology, 82:33:1–17, 2020.
6) Miyagi, I.: A preliminary assessment of the abundance of supercritical geothermal fluid using petrological methods: Cases of Kakkonda geothermal field and Aso volcano. Grand Renewable Energy, 2:48, 2022.
7) Miyagi, I., Hoshizumi, H., Suda, T., Saito, G., Miyabuchi, Y., Geshi, N.: Importance of Long-Term Shallow Degassing of Basaltic Magma on the Genesis of Massive Felsic Magma Reservoirs: a Case Study of Aso Caldera, Kyushu, Japan. Journal of Petrology, 64(3), 2023.
8) 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.
9) Katsui, Y., Oba, Y., Onuma, K., ほか 19 名: Preliminary Report of the 1977 Eruption of Usu Volcano. J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV, Vol. 18, No. 3, pp.385-408, 1978.
10) Niida, K., Katsui, Y., Suzuki, T., Kondo, Y.: The 1977-1978 eruption of Usu volcano. Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV, Vol. 19, No. 3, pp.357-394, 1980.
11) Tomiya, A., Takahashi, E.: Evolution of the magma chamber beneath Usu volcano since 1663: A natural laboratory for observing changing phenocryst compositions and textures. J. Petrol., Vol.46, No.12, pp.2395-2426, 2005.
12) Tomiya, A., Takahashi, E., Furukawa, N., Suzuki, T: Depth and evolution of a silicic magma chamber: melting experiments on a low-K rhyolite from Usu volcano, Japan. J. Petrol., Vol.51, No.6, pp.1333–1354, 2010.
13) 鈴木由希,福島涼人,外西奈津美,安田敦:榛名火山二ツ岳渋川噴火のマグマと噴火誘発過程,日本火山学会講演予稿集, pp.91, 2022.

14) 富士山火山防災対策協議会:富士山ハザードマップ(改訂版)検討委員会報告書, 2023.
15) Yamamoto, T., Nakanoi, S., Ishizuka, Y.: Temporal variations of magma composition, eruption style and rate at Fuji volcano, Japan, Earth, Planets and Space, Vol. 73, 169, 2021.
16) 厚井高志, 権田豊 : 溶岩流による火山災害とその対策の方向性－キラウエア 2018 年噴火時の溶岩流出実体とその対策を踏まえて－, 砂防学会誌, Vol. 73, pp. 27-38, 2021.
17) Putirka, K.： Thermometers and Barometers for Volcanic Systems. Reviews in Mineralogy G Geochemistry, Vol. 69, pp. 61-120, 2008.
18) 浜田盛久:岩石学的にみた伊豆大島火山のマグマ供給系，地震研究所彙報，Vol. 91, pp. 41-54, 2016.
19）藤井敏嗣, 荒牧重雄, 金子隆之, 小沢一仁, 川辺禎久, 福岡孝昭：1988 伊豆大島火山 1986 年噴火噴出物の岩石学的特徴．火山, Vol. 33, pp. S234-254, 1988.
20) Ida, Y.: Magma chamber and eruptive processes at Izu-Oshima volcano, Japan: buoyancy control of magma migration, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 66, pp. 53-67, 1995.
21) Mikada, H., Watanabe, H., Sakashita, S.: Evidence for subsurface magma bodies beneath Izu-Oshima volcano inferred from a seismic scattering analysis and possible interpretation of the magma plumbing system of the 1986 eruptive activity, Physics of the Earth and planetary Interiors, Vol. 104, pp. 257-269, 1997.
22) Kuritani, T., Yamagushi, A., Fukumitsu, S., Nakagawa, M., Matsumoto, A., Yokoyama, T.: Magma plumbing system at Izu-Oshima volcano Japan：Constraints from petrological and geochemical analyses, frontiers in Earth Science, vol.6, 178, 2018.
23）Hamada, M., Kawamoto, T., Takahashi, E., Fujii, T.: Polybaric degassing of island arc low-K tholeiitic basalt magma recorded by OH concentrations in Ca-rich plagioclase, Earth and Planetary Science Letters, Vol. 308, pp. 259-266, 2011.
24) Newman, S., Lowenstern, JBL. : VolcatileCalc: a silicate melt-H2O-CO2 solution model written in Visual Vasic for excel. Computers & Geosciences, Vol. 28, pp. 597-604, 2002.
25) Oida, R., Ishibashi, H., Tomiya A., Ushioda, M., Hokanishi, N., Yasuda, A. : Experimental Constraints on the H2O-Saturated Plagioclase Liquidus and the Storage Depth of the Izu-Oshima 1986B Basaltic Andesite Melt, Journal of Disaster Research, Vol. 17, No. 5, pp. 716-723, 2022.
26) 石橋秀巳, 安田敦：伊豆大島火山の浅部マグマ供給系―H2O 飽和斜長石リキダスからの制約―．防災科学技術研究所研究資料, Vol. 487, pp. 36-40, 2023.
27) 石橋秀巳： 伊豆大島火山のマグマ供給系：H2O 飽和斜長石リキダスからの制約，日本鉱物科学会 2024 年年会要旨，2024.
28) 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 年秋季大会要旨，2017
29) 川辺禎久：伊豆大島火山の岩石学的発達史，火山, Vol. 36, pp. 297-310, 1991.
30) Geshi, N., Nemeth, K., Noguchi, R., Oikawa, T.：Shift from magmatic to phreatomagmatic explosions controlled by the lateral evolution of a feeder dike in the Suoana-Kazahaya

eruption, Miyakejima Volcano, Japan. Earth and Planetary Science Letters, Vol. 511, pp. 177-189, 2019.

31) Nakano, S., Yamamoto, T.: Chemical variations of magmas at Izu-Oshima volcano, Japan : plagioclase-controlled and differentiated magmas, Bulletin of Volcanology, Vol. 53, pp. 112-120, 1991.

32）Hatada, R., Ishibashi, H., Suwa, Y., Suzuki, Y., Hokanishi, N., Yasuda, A. : Plagioclase-hosted melt inclusions as indicators of inhibited rhyolitic melt beneath a mafic volcano. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, Vol. 115, pp. 322-331, 2020.

33) 野澤僚真，石橋秀巳，上木賢太，常青，羽生毅，外西奈津美，安田敦：伊豆東部火山群の隠れた珪長質マグマ:斜長石斑晶の微量元素組成からの制約, JpGU 2024 meeting 要旨(SCG54P01), 2024.

34) Guillong, M., Meier, D. L., Allan, M. M., Heinrich, C. A., Yardley, B. W.: Appendix A6: SILLS: A MATLAB-based program for the reduction of laser ablation ICP-MS data of homogeneous materials and inclusions, Mineralogical Association of Canada Short Course, 40, pp.328-333, 2008.

35) Paton, C., Hellstrom, J., Paul, B., Woodhead, J., Hergt, J.: Iolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data, J. Anal. At. Spectrom., 26, pp.2508–2518, 2011.

36) Guillong, M., Sliwinski, J. T., Schmitt, A., Forni, F., Bachmann, O.: U–Th zircon dating by laser ablation single collector inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS), Geostandards and Geoanalytical Research, 40(3), pp.377-387, 2016.

37) Popa, R.-G., Guillong, M., Bachmann, O., Szymanowski, D., Ellis, B.: U–Th zircon dating reveals a correlation between eruptive styles and repose periods at the Nisyros–Yali volcanic area, Greece, Chemical Geology, 555, 2020.

38) 寺井邦久: 島原半島南部における先雲仙火山から雲仙火山への移行期 (1.9～0.3 Ma) の火山層序, 火山, 67(3), pp.319-333, 2022.

39) Troch, J., Ellis, B. S., Schmitt, A. K., Bouvier, A.-S., Bachmann, O.: The dark side of zircon: textural, age, oxygen isotopic and trace element evidence of fluid saturation in the subvolcanic reservoir of the Island Park-Mount Jackson Rhyolite, Yellowstone (USA), Contrib. Mineral. Petrol., 173, 2018.

40) Sun, Y., Galli, A., Szymanowski, D., Guillong, M., Rosskopf, R., Simon, J., Shipandeni, A., Bachmann, O.: High-precision zircon geochronology and geochemistry of evolved magmatic centres in the Paraná-Etendeka LIP: Temporal placement and tectono-magmatic origin of the Damaraland complexes, Namibia, Lithos, 480–481, 2024.

41) 小野晃司・渡辺一徳: 5 万分の 1 阿蘇火山地質図，地質調査所，1985.

42) 渡辺一徳: 阿蘇火山の生い立ち―地質が語る大地の鼓動―，一の宮町史自然と文化 阿蘇選書 Vol. 7，一の宮町，241p，2001.

43) 松本哲一・宇都浩三・小野晃司・渡辺一徳: 阿蘇火山岩類の K-Ar 年代測定―火山層序との整合性と火砕流試料への適応―，日本火山学会 1991 年秋季大会講演予稿集，p73，1991.

44) Hunter, A.G.: Intracrustal controls on the coexistence of tholeiitic and calc-alkaline magma series at Aso Volcano, SW Japan, J. Petrol., Vol., 39, No. 7, pp.1255-1284, 1998.
45) Miyoshi, M., Shibata, T., Yoshikawa, M., Sano, T., Shinmura, T., Hasenaka, T.: Genetic relationship between the post-caldera and caldera-forming magmas of Aso volcano, SW Japan: Constraints from Sr isotope and trace element compositions, J. Mineral. Petrol. Sci., Vol. 106, No. 2, pp.114-119, 2011.
46) 三好雅也・湯口貴史・新村太郎・森康・荒川洋二・豊原富士夫: 阿蘇カルデラ内北西部ボーリングコア基盤岩類の岩石学的特徴および K-Ar 年代, 地質学雑誌, Vol. 117, No. 10, 2011.
47) Ridolfi, F.: Amp-TB2: An updated model for calcic amphibole thermobarometry, Minerals, Vol. 11, No. 3, pp. 324, 2021.
48) Suzuki, Y., Yasuda, A., Hokanishi, N., Kaneko, T., Nakada, S., Fujii, T.: Syneruptive deep magma transfer and shallow magma remobilization during the 2011 eruption of Shinmoe-dake, Japan - Constraints from melt inclusions and phase equilibria experiments, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.257, pp.184-204, 2013.
49) 井村隆介,小林哲夫: 霧島火山群新燃岳の最近 300 年間の噴火活動, 火山, Vol.36, No.2,pp.135-148, 1991.
50) Yasuda, A., Hokanishi, N.: Introduction to Automated Tools for the Analysis of Volcanic Ejecta Built on an Analysis Platform Developed in the INeVRH Project, J. Disaster Res., Vol. 17, No.5, pp.683-693, 2022.
51) Crank, J.: The mathematics of diffusion, Oxford University Press, London. pp. 414, 1975.
52) Van Orman, J.A., Crispin, K.L.: Diffusion in Oxides, Rev. Mineral. Geochem., Vol. 72, pp.757-825, 2010.
53) Shimano, T., Suzuki, Y., Yasuda, A., Maeno, F., Miwa, T., Nagai, M., Nakada, S., Nakamura, M.: The color systematics of volcanic ashfall samples in estimating eruption sequences: a case study of the 2017–2018 eruption at Shinmoe-dake, Kirishima volcano, Southwest Japan, Earth. Planets and Space, 76, 1, 103, https://doi.org/10.1186/s40623-024-02040-5, 2024.
54) 嶋野岳人: 霧島新燃岳 2018 年噴火活発化時における火山灰モニタリング, 次世代火山研究・人材育成プロジェクト「霧島火山に関する課題間連携研究集会」プロシーディングス, 2025.
55) 立尾有騎, 井口正人 : 桜島における BL 型地震群発活動に伴う地盤変動, 火山, Vol. 54, No.4, pp175-186, 2009.
56) Iguchi, M., Yamada, T., Tameguri, T.: Sequence of Volcanic Activity of Sakurajima Volcano, Japan, as Revealed by Non-Eruptive Deflation. Front. Earth Sci. 10:727909. doi: 10.3389/feart.2022.727909, 2022.
57) Spera, F. J.: Aspects of magma transport. In: Physics of Magmatic Processes. Edited by Hargraves, R. B., Princeton University Press, the United States of America, 265-324, 1980.
58) Peslier, A.H., Woodland, A.B., Wolff, J.A.: Fast kimberlite ascent rates estimated from hydrogen diffusion profiles in xenolithic mantle olivines from southern Africa, Geochimica

et Cosmochimica Acta, 72, 2711–2722, 2008. https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.03.019
59) Klügel, A.: Reactions between mantle xenoliths and host magma beneath La Palma (Canary Islands): constraints on magma ascent rates and crustal reservoirs, Contrib. Mineral. Petrol, 131, 237–257, 1998. https://doi.org/10.1007/s004100050391
60) Basu, A.R.: Jointed blocks of peridotite xenoliths in basalts and mantle dynamics, Nature, Vol. 284, 612-613, 1980. doi:10.1038/284612a0
61) Wolff, J.A.: Peridotite xenoliths in basalts and mantle dynamics, Nature, Vol. 288, pp. 103, 1980. doi:10.1038/288103a0
62) Chen, H., Niu, J., Zhai, M.: An Evaluation Index of Fracability for Reservoir Rocks Based on Fracture Process Zone, Materials, 15, 8485, 2022. https://doi.org/10.3390/ma15238485
63) Yamamoto, J., Kagi, H., Kaneoka, I., Lai, Y., Prikhod'ko, V.S., Arai, S.: Fossil pressures of fluid inclusions in mantle xenoliths exhibiting rheology of mantle minerals: implications for the geobarometry of mantle minerals using micro-Raman spectroscopy, Earth Planet. Sci. Lett. , 198, 511-519, 2002. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(02)00528-9
64) Wanamaker, B.J., Wong, T-F., Evans, B., Decrepitation and Crack Healing of Fluid Inclusions in San Carlos Olivine, J. Volcanol. Geotherm. Res. 95, 15623-15641, 1990.10. https://doi.org/1029/jb095ib10p15623
65) Syafitri, A., Nakamura, M., Araya, N., Mujin, M., Miki, D., Iguchi, M., Rates of Plagioclase Growth, Nanolite Nucleation, and Viscosity Increase During Vulcanian Activity of Sakurajima Volcano, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res.(under review), Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=5193766 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5193766
66) 安田 敦, 亀谷伸子, 嶋野岳人, 田島靖久, 吉本充宏: 富士山のテフラ対比・同定のためのオンラインデータベースの紹介, 火山学会 2024 秋季大会アブストラクト, 2024.
67) 安田　敦: 噴火推移予測をどうやって実現するか, 次世代火山研究・人材育成プロジェクト「霧島火山に関する課題間連携研究集会」プロシーディングス, 2025.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

別添「学会等発表実績」のとおり。

(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

名称	機能

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 令和７年度の業務計画案

令和７年度も基本的には令和６年度の作業を継続する。個別の火山噴火事象については、令和６年度までに得られた分析・解析結果を統合して整理するとともに、引き続き不足するデータについて追加の調査・分析をおこない、噴火事象分岐を予測するのに有効な要素を明らかにする。また、これまで得られた個別の成果を学会等で公表して専門家の意見を仰ぐことにより、本プロジェクトの成果の普遍化をはかる。加えて、噴火の実体把握のための新手法の開発や迅速な分析・解析の実現に取り組み、噴火事象分岐予測の実現を目指す。その際、マグマ供給系についてできるだけ類型化をおこない、噴火事象分岐の一般的法則の抽出をおこなう。加えて、物理観測結果を取り込んだ予測のための仕組み作りを検討する。

(a) 東京大学

1) 分析・解析プラットホームの整備・運用、新手法の開発

解析プログラムの更新と利用者の利便性向上のためのツール制作をおこなう。プラットホームで得られたデータを公開するための仕組みについて JVDN システムへのデータ提供も含めた詰めの作業をおこなう。

2) プロジェクトの総合推進と研究集会の調整・開催

噴火事象分岐の鍵項目について、C-1 で得られたこれまでの成果を課題外研究者が理解と利用がしやすい形にとりまとめる。課題間連携として 12 月に開催予定の全体研究集会での C-1 からの発表を調整する。

3) 火山噴出物の分析・解析

協力機関の山梨県富士山科学研究所と共同して富士火山の火山噴出物についての研究を実施するとともに、本プロジェクトに関連して収集した岩石試料の長期保管に向けた作業を行う。火山噴出物の分析・解析の成果を取りまとめ、火山噴火予測システムのプロトタイプの作成をおこなう。事象分岐の閾値については火山ごとに異なるため、今後も事例の収集を継続する。

(b) 早稲田大

1) 霧島山

新燃岳享保噴火に関しては、前年度に SmKP-2 について実施した磁鉄鉱斑晶の解析を、SmKP-4～5 や SmKP-6 といった他の噴火イベントについても実施する。これによりマグマ溜まりにおける 2 端成分マグマの相互作用が、準プリニー式噴火の噴火イベント毎に発生していたのか、それとも享保噴火の活動の中の特定の時期に集中して発生していたのかを区別する。また元素拡散の速度の遅い元素・斑晶鉱物種を用いた解析も併せて行い、噴火から見て古い時期に発生した高温マグマとの混合履歴も解読する。以上により、享保噴火の噴火準備・誘発過程の理解を向上させる。また 2011 年噴火の結果と比較することで、新燃岳において普遍的である事象と、噴火毎に固有の事象を整理する。

2) 榛名火山

榛名火山・二ツ岳渋川噴火の組織学的研究に関しては、堆積物から採取された火山灰サンプル（火砕流堆積物のマトリックス部や、挟在火山灰層）も解析の対象にする。噴火観測のあった近年の珪長質マグマ噴火のデータと比較することで、渋川噴火の火砕流発生過程の特徴を明らかにする。また将来の噴火に備え、火山灰サンプルの特徴をデータベース化する。

(c) 静岡大学

1) 富士山

主に 1707 年噴火の火砕物・深成岩捕獲岩を対象として必要な化学分析・組織解析を行い、令和 6 年度までの成果と合わせて、地下の珪長質マグマだまりの状態について検討する。

2) 伊豆大島

主に 1986 年噴火の火砕物・深成岩捕獲岩を対象として必要な化学分析・組織解析を行い、令和 6 年度までの成果と合わせて、地下 10 ㎞以浅のマグマ供給系について検討する。

(d) 福岡大学

阿蘇カルデラ形成前・後のマグマ供給系の変遷過程、メカニズムの解析を行う。

実施方法：令和 6 年度までに採取済の試料および新たに得られたボーリングコア試料に対して、偏光顕微鏡観察、全岩・鉱物化学組成分析、放射年代測定などを行うことで、先～後カルデラ期のマグマの成因とその変遷に関する研究を進める。

目標とする成果：カルデラ形成前・後のマグマの活動史を明らかにする。また、最初のカルデラ形成噴火（Aso-1）に至るまでのマグマ供給系モデルを検討し、噴火様式の変化の要因について考察する。得られた結果について、学会発表などを行うことで公表する。

(e) 東北大学

噴火事象分岐予測手法の開発のため、以下については執筆中の論文原稿を完成させることを目指す。1) ナノスケール結晶の生成条件の実験的解明、2) ナノスケール結晶の非古典的成長プロセスのその場観察実験、3) 桜島火山ブルカノ式噴火に至るマグマ定置深度、4) 十和田火山御倉山溶岩ドームの空隙構造・浸透率と脱ガスメカニズム　5) 水圧破砕に先導される単成火山のマグマ上昇と準備過程の時間スケール（アイフェル火山の例)。

以下についてもデータを追加しつつ論文を開始することを目指す。6) 桜島火山における揮発性成分収支と火道の浸透率計算、7) ナノスケール結晶の岩石磁気マッピング　8) 不透明鉱物を用いたマグマ物質の新しい判定指標　9) 富士火山宝永噴火のトリガープロセス　10) 福徳岡ノ場火山黒色軽石生成条件の実験的研究　11) 東北・西南日本弧におけるマグマ溜まりの熱進化モデル。その他、浅間火山天明噴火の火道内プロセスに関する岩石学的研究などを進める。

(f) 産業技術総合研究所

1) 有珠山

有珠火山の 1977-78 年噴火など歴史時代噴出物について、これまでの岩石学的分析や実験岩石学的・熱力学的(MELTS)解析の結果をとりまとめ、物理学的観測事例(文献情報)とも比較し、それらを統一的に説明できる噴火直前マグマ過程を提案する。

2) 雲仙火山

前年度得られた成果をまとめ、非爆発的噴火をする雲仙火山の過去 50 万年間のマグマ供給系の変遷についてのモデルを提示する。平成、眉山について、追加の微量元素組成および年代値の分析結果の解析を実施し、モデルに組み込む。今年度、成果を国際誌に投稿することを目標にする。

3) 熱力学計算

来年度は、今年度と同様の方法で、次世代火山プロジェクト「分析・解析プラットホームの整備、運用」の一環として得られた論文(姶良、御岳、葛根田、阿蘇)の根拠となった大量の熱力学計算データを、順次 AIST Repository に公開してゆく予定である。

(g) 鹿児島大学

1) 桜島火山

令和６年度に引き続き、桜島火山での連続採取試料解析を行い時系列データの蓄積を行う。反射電子像を用いた分類プログラムによる構成粒子比導出データの時間変動解析を行って、噴火の推移と火山灰構成比の関係について考察をまとめる。

2) 諏訪之瀬島火山

令和６年度に引き続き、諏訪之瀬島火山の 3 万年前以降の主な噴出物の鉱物組成分析結果のまとめを行い、マグマの噴出温度やマグマ混合における複数端成分の関与などについて制約を与える。また、文化噴火（1813 年）の細分層序試料の鉱物および石基ガラス組成の分析結果をまとめる。一方、1813 年噴火直前および 2020 年末以降の活発化による噴出物の採取・分析を行うことで、現活動状況の火山史上の位置づけを明らかにする。

3) 噴出物モニタリング

上記の成果を系統的に整理して、噴出物モニタリングのための手法構築・データベース整理についての考え方について取りまとめる。

２．２　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

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

火山噴火の予測技術の開発「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	機関種別	役職	氏名
北海道大学大学院理学研究院	課題責任機関	教授 特任教授 准教授 技術専門職員	栗谷　豪 中川　光弘 吉村　俊平 松本　亜希子
秋田大学大学院国際資源科学研究科	参加機関	教授 助教	大場　司 星出　隆志
山形大学理学部	参加機関	教授 准教授 助教	伴　雅雄 常松　佳恵 井村　匠
茨城大学大学院理工学研究科	参加機関	教授 学振 PD 研究員 研究員	長谷川　健 柴田　翔平 Aka Festus Tongwa
東京大学地震研究所	参加機関	准教授	前野　深
日本大学文理学部地球科学科	参加機関	教授 准教授 上席研究員	安井　真也 金丸　龍夫 高橋　正樹
富山大学学術研究部都市デザイン学系	参加機関	教授 教授 准教授	石﨑　泰男 石川　尚人 川崎　一雄
山口大学大学院創成科学研究科	参加機関	教授 講師	太田　岳洋 辻　智大
熊本大学くまもと水循環・減災研究教育センター	参加機関	教授	宮縁　育夫
産業技術総合研究所	参加機関	センター長補佐 研究グループ長 研究グループ長 首席研究員 上級主任研究員	伊藤　順一 古川　竜太 井上　卓彦 石塚　治 宝田　晋治

		キャリアエキスパート 主任研究員 主任研究員 主任研究員 研究員 研究員	川邊　禎久 及川　輝樹 山﨑　誠子 草野　有紀 有元　純 谷内　元
北海道教育大学旭川校	協力機関	准教授	佐藤　鋭一
筑波大学大学院生命環境科学研究科	協力機関	名誉教授 准教授	荒川　洋二 池端　慶
信州大学理学部地球学コース	協力機関	教授	斎藤　武士
電力中央研究所	協力機関	上席研究員	上澤　真平
防災科学技術研究所	協力機関	主任専門研究員	長井　雅史
株式会社エンバイオ・エンジニアリング	協力機関	技術部長	和知　剛

(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－積算噴出物量階段図（以下、階段図）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) 階段図と (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（過去年度は、実施業務の要約）

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 か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 か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た。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した。

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・蔵王山・浅間山・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した。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を確立した。鬼界ではボーリング掘削を継続して 330 m まで掘削し、先行活動を含めたカルデラ形成噴火全体の履歴を明らかにした。また、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した。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した。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取得した。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った。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やトレンチ掘削調査の説明会を開催した。

4）平成 31 年度（令和元年度）：

平成 31 年度（令和元年度）は、平成 30 年度に行った調査結果をもとに、雌阿寒岳・羊蹄山・鳥海山・秋田焼山・蔵王山・新潟焼山・浅間山・日光白根山・草津白根山・白山・御嶽山・阿蘇山において重機またはトレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴を詳細に明らかにした。さらに、摩周およびアトサヌプリでは、ボーリング掘削調査を実施し、

過去数万年間の噴火履歴解明に着手した。その他の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った。また、4 年間の成果を踏まえ、最重点火山・重点火山の見直しを行った。個々の火山において、確立された噴火履歴・噴火推移に基づいて採取された噴出物の基礎的な物質科学的データを取得するとともに、「マグマ変遷解析センター」でより高精度な物質科学的解析を実施した。それらデータより長期マグマ変遷を明らかにし、噴火履歴との関連の検討も進めた。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り、可能な火山については階段図の作成にも着手し始めた。さらに、中長期噴火予測手法および噴火事象系統樹の作成手法について、より研究の進んでいる複数の火山を対象に、試作を通して手法を検討した。また、噴火事象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を収集した。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した。

5) 令和 2 年度：

令和 2 年度は、雌阿寒岳・羊蹄山・秋田焼山・鳥海山・蔵王山・栗駒山・浅間山・草津白根山および志賀火山・白山・阿蘇山において人力トレンチまたは重機トレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴および噴火推移を明らかにした。伊豆大島については、沿岸域の地形地質調査も実施し、未知の側火山体の存在などを新たに発見した。アトサヌプリ・有珠山・阿蘇山については、ボーリング掘削調査を行い、長期の噴火履歴と噴火推移を明らかにした。その他の火山についても、引き続き地表踏査を中心とした調査を行った。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、物質科学的解析を実施した。特に、高精度解析については北海道大学の「マグマ変遷解析センター」で行った。また個々の火山について、これまでの噴火履歴・噴火活動推移履歴をとりまとめ、可能な火山については階段図の試作を行った。さらに、中長期噴火予測手法および噴火事象系統樹の作成手法について、より研究の進んでいる複数の火山を対象に、試作を通して手法の検討を行った。また、大規模噴火データベースの整備として、歴史時代噴火の推移と、カルデラ形成を伴うクラスの大規模噴火の前駆活動と噴火推移をとりまとめた。そして、大規模噴火データベースの閲覧検索システムのプロトタイプを作成し、主要噴火降下テフラの分布データの GIS 化を進めた。さらに、ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築準備を進め、既存コアの集約を開始した。一方で、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の実施は大幅に制限されたが、可能な範囲で開催した。

6) 令和 3 年度：

令和 3 年度は、アトサヌプリ・十和田・秋田焼山・蔵王山・栗駒山・吾妻山・那須岳・浅間山・阿蘇山において人力トレンチまたは重機トレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴および噴火推移を明らかにした。伊豆大島については、沿岸域の地形地質探査を実施し、未知の側火山体や断層系や堆積層の分布と層序などの有益なデータが得られた。陸上沿岸部の調査も実施し、暫定の地質図を作成した。秋田駒ケ岳・阿蘇山については、ボーリング掘削調査を行い、火山体構造や長期噴火履歴を明らかにした。その他の火山についても、引き続き地表踏査を中心とした調査を行った。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、物質科学的解析を実施した。特に、高精度解析については北海道大学の「マグマ変遷解析センター」で行った。また個々の火山について、これまでの噴火履歴・噴火活動推移履歴をとりまとめ、可能な火山については階段図を試作した。さらに、より研究の進んでいる複数の火山を対象に、中長期噴火予測手法および噴火事象系統樹の作成手法について検討した。また、大規模噴火データベースの整備として、大規模カルデラ形成噴火 11 事例の噴火推移及び前駆活動の特徴を取りまとめた。また主要噴火の降下テフラの分布の数値化を進めた。福徳岡ノ場 2021 年噴火など国内及び海外のプリニー式噴火の噴火推移 20 事例を収集し、噴火推移データ集の作成を行うとともに、これらのデータをウェブサイトで閲覧可能なデータベースシステム構築を進めた。さらに、ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築準備を進め、既存コアの集約を継続した。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の実施は大幅に制限されたが、可能な範囲で開催した。

7）令和 4 年度：

令和 4 年度は、アトサヌプリ(屈斜路)・羊蹄山・秋田駒ケ岳・鳥海山・蔵王山・吾妻山・那須岳・浅間山・阿蘇山において人力トレンチまたは重機トレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴および噴火活動推移履歴を明らかにした。伊豆大島では、小型 ROV による海底観察および海底試料採取を実施し、陸上調査結果と合わせて、長期噴火履歴を明らかにした。また、Y シリーズ噴火の活動推移と噴出物の特徴の相関からマグマ上昇過程について考察した。蔵王山・吾妻山・那須岳では、山頂・火口近傍においてボーリング掘削調査を実施し、完新世の噴火活動履歴の詳細を明らかにすることができた。その他の火山についても、引き続きこれまでの調査結果の整理を行い、必要に応じて野外調査を行った。また重点火山に見落としがないかの検討も進めた。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実施した。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」で行った。またこれまでの噴火履歴・噴火活動推移履歴をとりまとめ、可能な火山については階段図を試作検討した。さらに、階段図および噴火事象系統樹の作成のためのワーキングループを発足させ、個々の火山で質の揃ったデータベースおよび階段図を作成・公表するための指針をまとめ、進捗の良い火山について試作にとりかかった。また、低頻度・大規模噴火の事象分岐判断の基礎データとして、大規模カルデラ形成噴火および近現代に発生した VEI5 クラス以上の火砕噴火について、噴火推移文献データの収集を継続した。コンパイルした情報からデータ集を作成し、ウェブサイト上で閲覧可能なデータベースとして公表した。対象火山の地元での啓蒙および研究成果普及のための講演会等を可能な範囲で開催した。

8）令和 5 年度：

令和 5 年度は、利尻山・アトサヌプリ（屈斜路)・岩木山・蔵王山・吾妻山・浅間山・阿蘇山において人力トレンチまたは重機トレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴および噴火推移を明らかにした。摩周・アトサヌプリ（屈斜路）では、ボーリング掘削調査を実施し、長期噴火活動履歴の詳細を明らかにした。その他の火山についても、引き続きこれまでの調査結果の整理を行い、必要に応じて野外調査を実施した。また重点火山に見落としがないかの検討を行った。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、物質科学的解析を実施した。その中で、高精度の物質科学的解析を必要とした場合は、それを北海道大学の「マグマ変遷解析センター」で行った。また個々の火山について、これまでの噴火履歴・噴火活動推移履歴をとりまとめ、可能な火山については階段図およびその作成に係るデータベースを作成し、13 火山については報告書として公表した。また、噴火事象系統樹作成のためのワーキングループを編成し、試作を通して噴火事象系統樹作成の指針を議論した。大規模カルデラ形成噴火及びプリニー式噴火については、噴火推移文献データの収集を継続し、コンパイルした情報から噴火推移データ集を作成し、ウェブサイト上で閲覧可能なデータベースとして公開した。そして国内のプリニー式噴火が発生した火山においては、噴出物と噴火推移との対応を調査し、先史時代の噴火についての噴火推移解析手法を開発するとともにデータベースへの収録を行った。また、ボーリングコア保管・管理システム構築のために、コア試料の集約を行った。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した。

9）令和 6 年度：

令和 6 年度は、岩木山・蔵王山・吾妻山・浅間山・九重山・阿蘇山において人力トレンチまたは重機トレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴および噴火推移を明らかにした。連携研究対象である霧島山では、ボーリング掘削調査を実施し、長期噴火活動履歴の詳細を明らかにした。その他の火山についても、引き続きこれまでの調査結果の整理を行い、必要に応じて野外調査を行った。また重点火山について見落としがないかの検討を引き続き実施した。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、物質科学的解析も実施した。その中で高精度の物質科学的解析を必要とした場合は、それを北海道大学の「マグマ変遷解析センター」で行った。また個々の火山について、これまでの噴火履歴・噴火活動推移履歴をとりまとめ、可能な火山については階段図を作成した。さらに、中長期噴火予測手法および噴火事象系統樹の作成手法について、より研究の進んでいる複数の火山を対象に、試作を通して手法を検討し、作成手順の公表に向けて準備に取り掛かった。また、国内及び海外の大規模噴火及びプリニー式噴火が発生した火山において、噴出物と噴火推移との対応を調査し、大規模噴火データベース及び噴火推移データベースとして公開した。そして、データベースの内容から、前駆活動及び噴火推移のパターン解析を進めた。また、国立研究開発法人防災科学技術研究所と協力して、ボーリングコアの保存と管理、そして広く公開できるシステムを引き続き構築し、コア試料の集約を進めた。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した。この研究集会ではサブ課題 C1・C3 および課題 B に加えて、今回は課題 D および人材育成コンソーシアムの受講生も加えて、連携研究の対象である霧島火山（安山岩質マグマ火山）について、連携研究集会を開催し、関連する他課題・他分野の研究者も招いて議論し、次世代火山研究の連携研究の方向性について意見交換を行った。

10）令和 7 年度：

令和 7 年度は、近年火山活動履歴が調査された活火山および活火山の定義に該当する可能性のある火山について、これまでの調査結果および既往研究の整理を行い、必要に応じて野外調査等を実施する。また、これまでに行った調査結果をもとに、トレンチ掘

削調査による噴火履歴の解明、ボーリング掘削調査による山体崩壊事象の発生時期の解明、完新世の噴火活動履歴の詳細を明らかにするための短深度ボーリング掘削調査等を実施する。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、物質科学的解析も実施する。その中で高精度の物質科学的解析を必要とした場合は、それを北海道大学の「マグマ変遷解析センター」で行う。また個々の火山について、これまでの噴火履歴・噴火活動推移履歴をとりまとめ、可能な火山については階段図を作成する。さらに、中長期噴火予測手法および噴火事象系統樹の作成手法について、より研究の進んでいる複数の火山を対象に、試作を通して手法の確立を目指す。大規模噴火データベース及び噴火推移データベースについては更新拡充を進める。また、データベースを用いた前駆活動及び噴火推移のパターン解析を進める。また、国立研究開発法人防災科学技術研究所と協力して、ボーリングコアの保存と管理、そして広く公開できるシステムを引き続き構築する。さらに、サブ課題 C1・C3 および課題 B との連携研究（霧島火山：安山岩質マグマ火山）について、総括を行い、本事業終了後の連携研究のあり方について議論する。

(e) 令和６年度における業務の方法

1) 火山の噴火履歴及びマグマ長期変遷に関する研究

令和６年度は、以下の火山（利尻山・摩周・アトサヌプリ（屈斜路）・雌阿寒岳・大雪山・十勝岳・ニセコ・羊蹄山・支笏火山（樽前山・風不死岳・恵庭岳含む）・有珠山・岩木山・岩手山・秋田焼山・秋田駒ケ岳・栗駒山・鳥海山・蔵王山・吾妻山・那須岳・草津白根火山群（志賀火山含む）・浅間山・伊豆大島・八丈島・三宅島・新島・神津島・式根島・白馬大池火山・鷲羽池火山・横岳（八ヶ岳）・焼岳・御嶽山・白山火山群・由布鶴見岳（伽藍岳）・九重山・阿蘇山・霧島山・桜島・鬼界）について、引き続きこれまでの調査結果の整理を行い、必要に応じて野外調査を実施する。また、これまでに行った調査結果をもとに、岩木山・蔵王山・吾妻山・浅間山・九重山・阿蘇山においてトレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴の詳細を明らかにする。さらに、連携研究対象である霧島山では、ボーリング掘削調査を実施し、長期噴火活動履歴の詳細を明らかにする。

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、物質科学的解析も実施する。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。また個々の火山について、これまでの噴火履歴・噴火活動推移履歴をとりまとめ、可能な火山については時間－噴出量階段図を作成する。さらに、中長期噴火予測手法および噴火事象系統樹の作成手法について、より研究の進んでいる複数の火山を対象に、試作を通して手法の確立を目指す。

2) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発

北海道大学大学院理学研究院の関連した分析装置等を集中管理する分析実験室を「マグマ変遷解析センター」として引き続き整備し、分析手法の開発に取り組む。また、個々の装置のルーチン分析手法を確立し、参加機関・協力機関の研究者・大学院生を随時受け入れる。

3) 大規模噴火データベースの整備

産業技術総合研究所（再委託）では、桜島・北海道駒ケ岳・樽前山などの国内及び海外の大規模噴火及びプリニー式噴火が発生した火山において、噴出物と噴火推移との対応を調査し、大規模噴火データベース及び噴火推移データベースとして公開する。また、データベースの内容から、前駆活動及び噴火推移のパターン解析を進める。

4) 課題 C-2 のとりまとめと研究成果の発信

実施責任機関である北海道大学は、課題 C-2 分担者と連絡を密にし、課題 C-2 プロジェクトの総合推進を行う。各分担者が担当する火山及び地域でのトレンチやボーリング調査の調整と実施を行い、分担者と共同して解析を行う。また、国立研究開発法人防災科学技術研究所と協力して、ボーリングコアの保存と管理、そして広く公開できるシステムを引き続き構築する。「次世代火山研究者育成プログラム」においては、特に地質学・物質科学分野での教育に関して、課題 C-2 参加機関の参画の企画・調整を行う。

5) 課題 C 全体のとりまとめと総合推進

課題 C-1・C-3 との連携研究の対象である霧島火山（安山岩質マグマ火山）についての研究集会を開催する。そこでは、関連する他課題・他分野の研究者も招いて議論し、次世代火山研究の連携研究の方向性について意見交換を行う。そして新たな連携研究を展開することを目指す。

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、火山調査研究推進本部による火山活動の総合的な評価に資する機動的な調査観測が緊急的に実施される場合は、前記の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に代えて、緊急観測を実施することあるいは緊急観測に協力することを可能とする。

(2) 令和６年度の成果

(a) 業務の要約

連携研究の対象でもある霧島山では、ボーリング掘削調査を実施し、完新世の噴火堆積物の詳細な情報を得ることができた。また、岩木山・蔵王山・吾妻山・浅間山・九重山・阿蘇山において、トレンチ調査と地表踏査を実施した。その他の対象火山では、これまでのデータを整理するとともに、必要に応じて地表踏査を実施した。噴火活動履歴の詳細を明らかにすることができた。特に、秋田駒ケ岳火山を例に、テフラ層と山体構成物の対比について新たな物質科学的手法を提案することができた。また、霧島山については、過去の噴火推移事例をとりまとめ、噴火シナリオ案を提示するとともに、年代測定からの長期噴火履歴解明、物質科学的検討によるマグマ供給系像の解析など、多くの進展があった。そして、活火山の再評価のために志賀火山・鷲羽池火山・風吹火山（白馬大池火山）の調査を行い、完新世の噴火活動の詳細を明らかにし、留意すべき活火山であることを指摘することができた。

また、大規模噴火データベースの整備として、大規模カルデラ形成噴火の長期的活動推移や大規模噴火の推移などをとりまとめた「大規模噴火データベース」と、近現代に発生した VEI5 クラス以上の記録の残る火砕噴火の噴火活動と地震等の関連する活動をとりまとめた「噴火推移データベース」について、データ収集を継続し、拡充を図った。

北海道大学の「マグマ変遷解析センター」では、引き続き既存装置の整備および分析手法の確立を行うとともに、参加・協力機関の研究者を受け入れた。そして北海道大学では、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進めた。さらに、サブ課題の成果目標の１つである階段図については、作成指針を学術誌で公表した。

そして、課題Ｃ連携研究対象である霧島山について、他課題・他分野の研究者も招いた連携集会を開催し、霧島山の火山研究の現状と課題、そしてどのように噴火様式・推移の予測を行うか、について議論した。

(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研究

令和６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、ボーリング掘削・トレンチ掘削調査を実施し、詳細な噴火履歴・噴火活動推移を明らかにした。また、噴火履歴の解明が進んでいる火山については、物質科学的解析も実施し、長期マグマ変遷についても検討した。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。

a) 摩周・アトサヌプリ（屈斜路）：噴火活動履歴の再検討（北海道大学・茨城大学）

i) 摩周火山（茨城大学）

はじめに

北海道東部の摩周火山は、九州の鬼界カルデラに並び、国内の完新世で火山爆発指数（VEI）６以上の噴火を発生したカルデラ火山である[1)]。R6 年度に行った本研究では、7.6 ka に発生した主カルデラ形成噴火（Ma-f~Ma-j：22.2 km^3）、および 12 ka に発生した大規模噴火（Ma-l：6.6 km^3）の[1)]、それぞれの噴出物の直下から、未記載の小規模噴火堆積物を発見し、それらの年代や化学組成の特徴を明らかにしたので報告する。

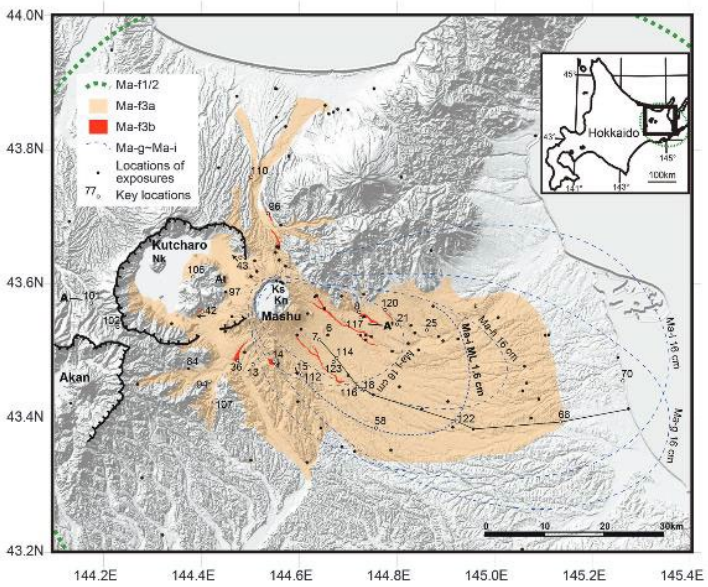


図１　摩周カルデラ噴出物の分布と露頭地点（長谷川ほか[1)]の Fig.1）。

層序・層相と年代

摩周カルデラ南方～南東方 10 km の 2 地点（図 1 の地点 7 と 14）で露頭記載を行った。地点 7 では、上方粗粒化する Ma-l の下位約 15 cm に青灰色で層厚 7 cm 程度の火山灰層（新称 Ma-m）が認められた（図 2 左）。Ma-m は主に灰色のガラス質な石質岩片からなり、その化学組成は、低カリウムで特徴づけられる摩周火山噴出物のそれと重複する（詳細は続報する）。Ma-m 直下から採取した土壌の ^{14}C 年代は約 12.5 ka を示す。同様の層相を示す Ma-m は、地点 14 においても Ma-l の下位に約 1 m の再堆積層を挟んで認められる（図 2 中央）。さらに地点 14 では、Ma-j 直下の黒色土壌層中にパッチ状の火山灰（図 2 右の赤矢印）が認められ、その周縁には数 mm の炭化木片が点在する。この炭化木片の ^{14}C 年代は約 8.0 ka を示した。

大規模噴火の前兆噴火の可能性

Ma-m と Ma-j 直下土壌中のパッチ状火山灰層は、いずれも大規模カルデラ形成噴火（Ma-l および Ma-f~j）の数百年前の年代を示すごく小規模な噴火に由来する点で共通する。今後は、これらのマグマ組成を詳しく検討することでカルデラ噴火の中長期的予測や前兆現象の理解に資するデータが得られることが期待できる。



図 2　地点 7 と 14 の露頭写真（スケールの縞は 10 cm）。赤矢印は炭化木片採取位置を示す。

ii）アトサヌプリ火山：溶岩の表面微地形の保存状態とテフラ層序に着目した山体形成史解明（北海道大学）

はじめに

アトサヌプリ火山は北海道東部に位置し、約 4 万年前[2)]の屈斜路火砕流噴火 I(KpI)の直後から活動を開始した、屈斜路カルデラの後カルデラ火山である[3)]。山体は頂部にアトサヌプリカルデラを有するアトサヌプリ外輪山[3)]（屈斜路デイサイト溶岩[4)]）と、カルデラの内外に散在する溶岩ドームなどの 10 個の火山体から構成される（図 3）。本火山ではこれまで、成層火山（アトサヌプリ外輪山）を形成した後に約 2.5 万年前～1.9 万年前にアトサヌプリ火砕流を噴出し[5)]、完新世以降に溶岩ドーム群の形成に移行したと考えられてきた[3)]。しかしながら、特に溶岩ドーム群の山体形成史は摩周火山由来の約 7,600 年前[2)]の Ma-f テフラを鍵層として大まかに二分されたのみであり、大部分は不明であった。

そこで、本研究では初めに高解像度地形図を用いた地形解析により、溶岩の表面微地形の保存状態に着目して山体の大まかな層序を推定した。その後、野外調査で

指標となるテフラと山体との層序関係を確認し、山体の形成年代を推定した。その結果、従来研究と大きく異なる山体形成史を復元できたほか、アトサヌプリ火山を構成する個々の火山体の詳細な火山体発達史を解明することができたので、その概要を報告する。

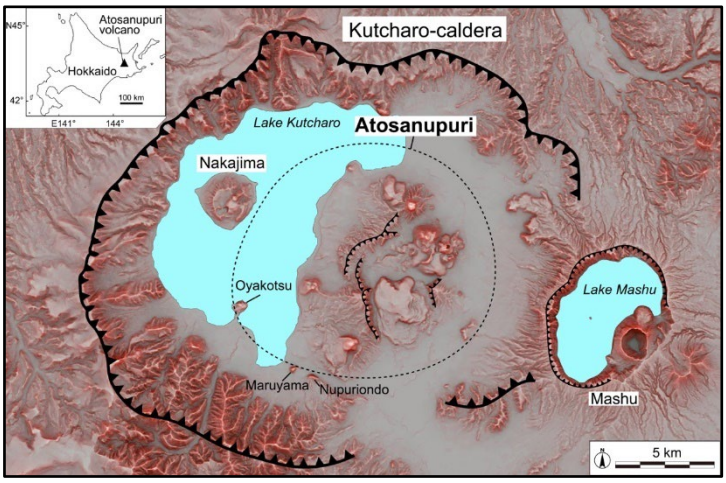


図 3　屈斜路カルデラ周辺の地形図。

手法

本研究ではまず、1 m 解像度 DEM から新たに作成した赤色立体地図を用いて、火山体を構成する溶岩の表面微地形および個々の火山体の構造を解析した。さらに、各山体とテフラとの被覆関係を確認し、山体形成史を復元することを目的に野外調査を実施した。特に溶岩の表面微地形により区分した各グループの山体の表層を被覆するテフラを手掘りトレンチを掘削することで重点的に探索した。

地形解析結果

溶岩の表面微地形による分類

地形解析の結果、火山体を構成する溶岩の表面微地形は山体によりその保存状況に大きな差異が認められた（図 4）。それに基づき、火山体を微地形が不明瞭であるものから順に、グループ I～III の 3 つのグループに区分した。グループ I はアトサヌプリカルデラ周縁部に分布する山体（トサモシベ、ニフシオヤコツ、サワンチサップ、オプタテシュケ、石山、274m 山）が該当する。これらの山体を構成する溶岩の表面微地形については大部分が不明瞭である。 グループ II はカルデラ内側のマクワンチサップ山体が該当する。溶岩の表面微地形はグループ I と後述するグループ III の中間的な特徴を示す。グループ I と比較すると溶岩微地形が多く認められるが、連続性に乏しくやや不明瞭である。 グループ III はカルデラ内側のリシリおよびアトサヌプリ山体が該当する。これらの山体は溶岩の表面微地形が極めて明瞭に確認できる。

上記のような溶岩の表面微地形の特徴から、はじめに最も表面微地形が不明瞭なグループⅠの山体が形成され、その後、グループII、IIIの順に山体が形成されたと推測できる。

火山体の発達史

個々の火山体の構造に着目すると、各山体の複雑な発達史を読み取ることができた。サワンチサップ、オプタテシュケおよびマクワンチサップ山体では新たに火砕丘が見出された。これらの火砕丘はいずれもその頂部および火口内に流出した溶岩に被覆される。このことから、山体形成時には火砕丘形成が先行し、その後溶岩流出に移行する共通の噴火推移を辿ったと考えられる。

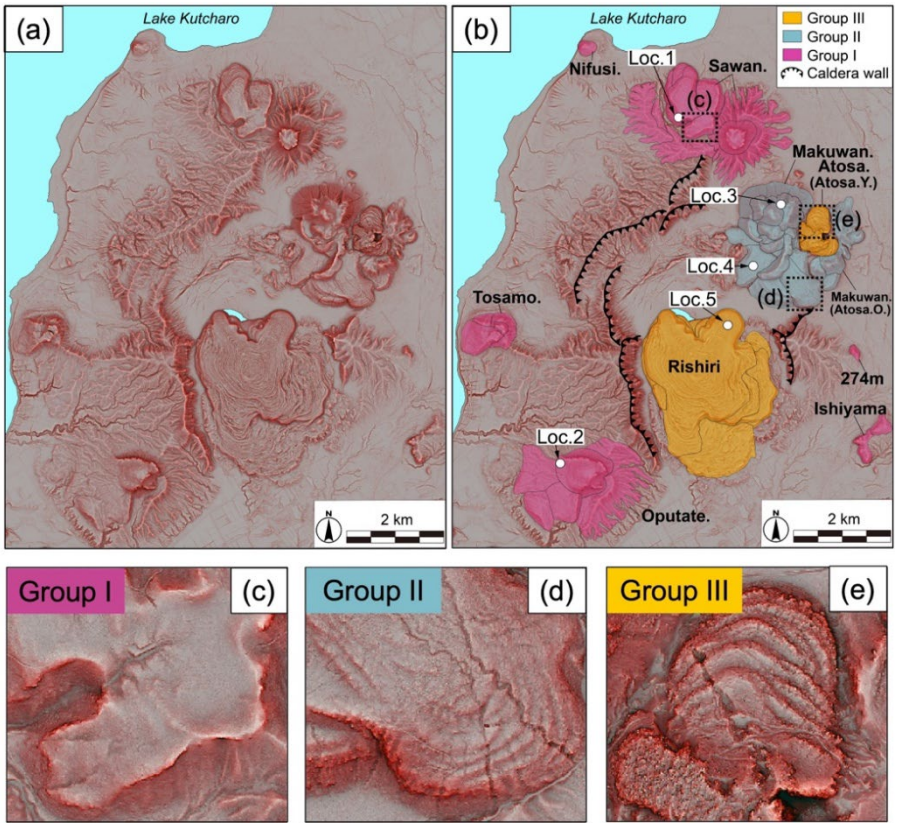


図4　アトサヌプリ火山の赤色立体図および微地形による分類。

テフラ層序

野外調査では、Ma-fに加えて、アトサヌプリ火山由来のアトサヌプリ火砕流（Ap：25-19 ka[5]）およびリシリ火砕流（Rs-pfl：6.5 ka[6]）の３つの火砕流堆積物を探索した。テフラの同定・対比は層相、層序関係（図5）および火山ガラス組成（図6）から判断した。その結果、グループⅠおよびグループIIの山体がそれぞれ異なる火砕流堆積物に被覆されることが確認できた。一方、グループIIIの山体では、これらは確認されなかった。

グループⅠの山体のうち、サワンチサップ（Loc.1）およびオプタテシュケ山体上（Loc.2）で地質記載を行ない、アトサヌプリ火砕流およびその再堆積物に被覆されることが確認できた（図7a・b）。グループIIのマクワンチサップ山体では、山体

頂部（Loc.3）および南部（Loc.4）の2地点で地質記載を行なった。その結果、Loc.3では最下位にMa-fが確認され（図7c）、Loc.4では最下位にリシリ火砕流堆積物が確認できた（図 7d）。このことから、マクワンチサップ山体はアトサヌプリ火砕流には被覆されず、Ma-fおよびリシリ火砕流に被覆されることが確認できた。一方で、グループIIIのリシリ山体上のLoc.5では上記の火砕流堆積物は確認されず、山体溶岩を直接被覆して、摩周火山由来の約900年前[7]のMa-bが確認された。

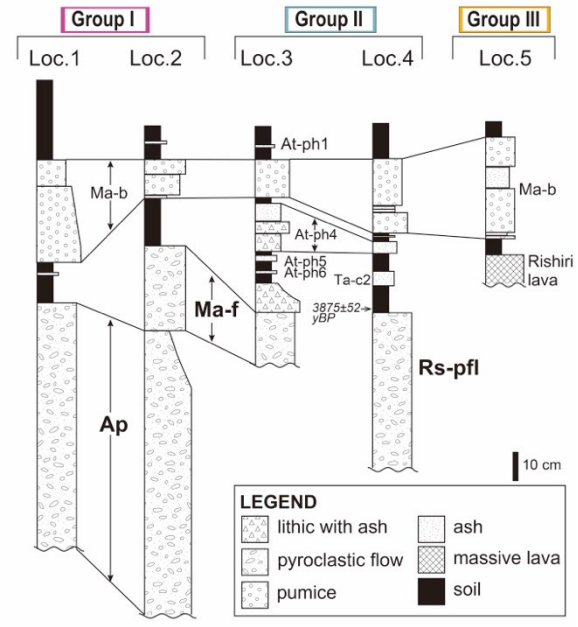


図5　対比柱状図。

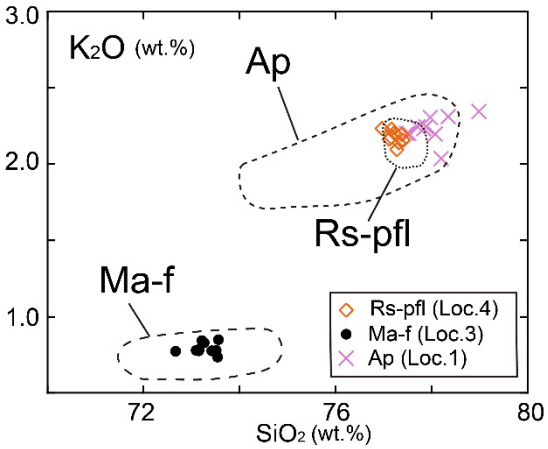


図6　火山ガラス組成。各組成領域は従来研究による（Ap[7]，Rs-pfl[8]，Ma-f[9]）。

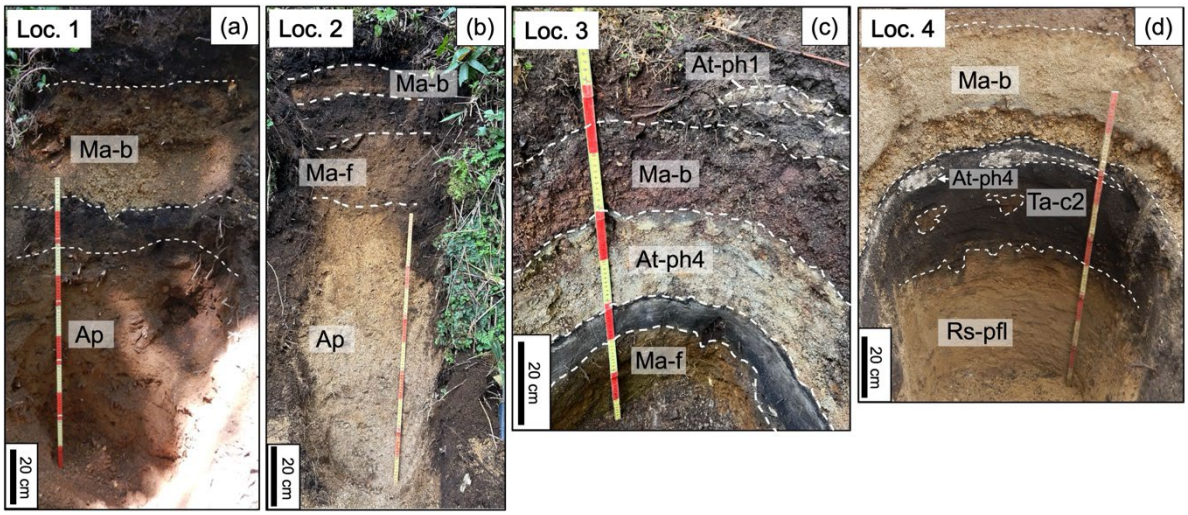


図7　露頭写真（グループI・IIの山体を被覆する火砕流堆積物）。

山体形成史および火山活動の特徴

以上の地形解析および野外調査から、表面微地形の保存状態はテフラとの被覆関係を反映していると考えられる。このことから、テフラとの被覆関係が直接確認できていない山体であっても、表面微地形の保存状態からそれを推測することができ

る。すなわち、グループⅠに分類されるカルデラ周縁部山体はアトサヌプリ火砕流に被覆され、カルデラ内側の山体のうち、グループⅡに分類されるマクワンチサップ山体はMa-fおよびリシリ火砕流に被覆されると推測できる。なお、グループⅠの火山体はこれらがアトサヌプリ火砕流に被覆される一方で、サワンチサップ山体がアトサヌプリカルデラの火口壁を地形的に切ることから、アトサヌプリカルデラの形成活動と並行して形成されたものと考えられる。

このような検討の結果、復元できたアトサヌプリ火山の山体形成史は以下の通りである。まず初めに約3.5万年前に溶岩流出を主体とする活動が開始し、屈斜路デイサイト溶岩(勝井ほか[3])のアトサヌプリ外輪山)およびオヤコツ山体を形成した。その後、約2.5万～1.9万年前にかけて、複数回の火砕噴火(アトサヌプリ火砕流)を引き起こし、アトサヌプリカルデラを形成した。さらに、火砕噴火と同時期には、アトサヌプリカルデラ周縁部に火山体を形成した。アトサヌプリカルデラの形成以降はカルデラ内部での山体形成を主体とする活動が開始し、まず約7,600年前のMa-f噴火前までにマクワンチサップ山体を形成した。その後、カルデラ内の南側で約6,500年前にリシリ火砕流を噴出し、リシリ山体が形成された後に、最新のアトサヌプリ山体が形成された。上記のような山体形成史および火山活動様式の時間変化から、本論ではアトサヌプリ火山の活動期を先火砕噴火期(約3.5万～2.5万年前)、火砕噴火期(約2.5万～1.9万年前)、後火砕噴火期(約1.9万年前以降)の3つに大別した。後火砕噴火期のうち、最新のアトサヌプリ山体はそれ以前に活動したマクワンチサップ、リシリ山体と岩石学的特徴が異なる。アトサヌプリ山体の溶岩は斑晶鉱物として特徴的に石英を含み、全岩化学組成ではマクワンチサップ、リシリ山体と比較してSiO_2に富む。このことから、本研究ではマクワンチサップ、リシリ山体の活動をⅠ期(約1.9万～6,500年前)、アトサヌプリ山体の活動をⅡ期(約6,500年前以降)として細分した。本研究による地質図を図8、ブロック図を図9に示す。

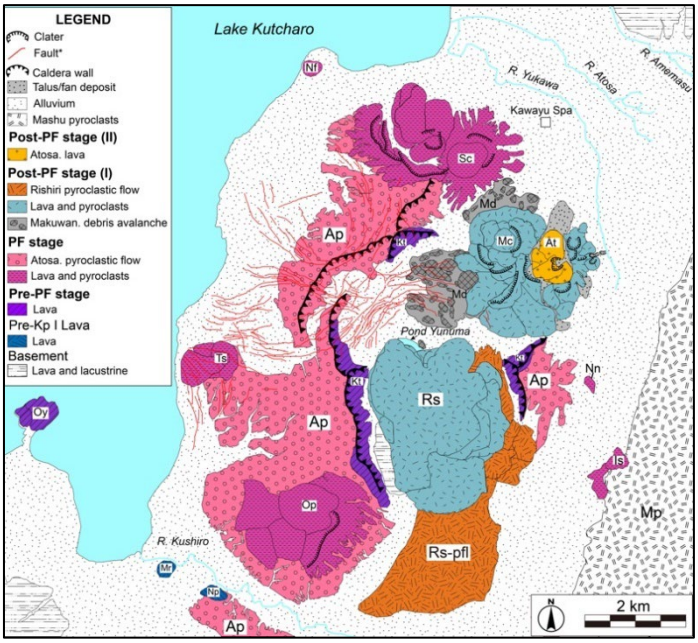


図8　本研究による地質図。ユニット名はブロック図に記載した。

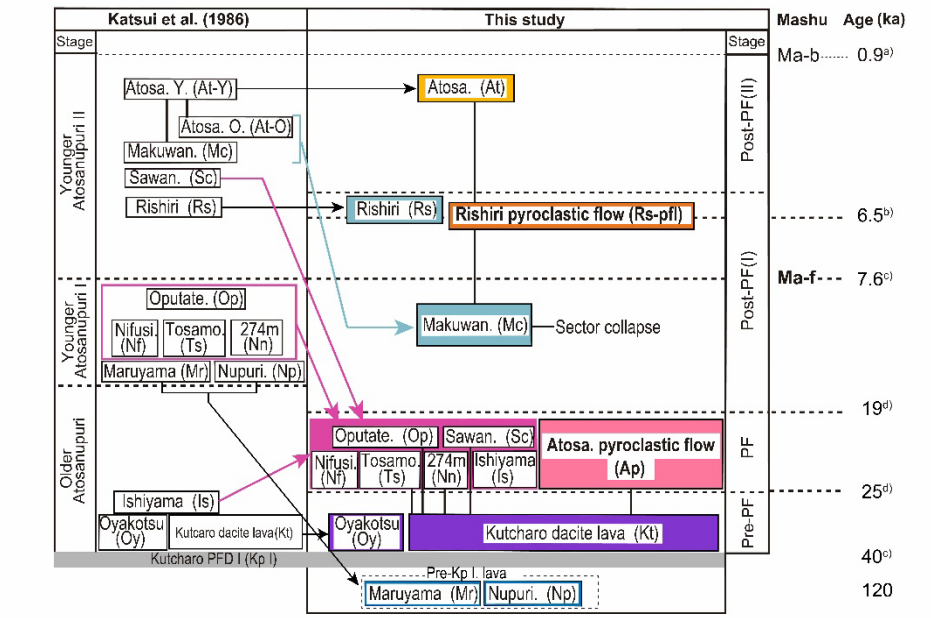


図 9　本研究によるブロック図。PF：火砕噴火期。年代値の引用：a) 勝井 [7]；b) 後藤・和田 [6]；c) 山元ほか [2]；d) 松本ほか [5]。

アトサヌプリ火山では従来、成層火山の形成後に爆発的噴火に移行してカルデラを形成し、後カルデラ火山活動で溶岩ドーム群を形成したと考えられてきた。本研究で山体形成史を再検討した結果、従来とは大きく異なる火山活動様式の特徴が見出された。アトサヌプリ火山では溶岩流出を主体とする先火砕噴火期の活動後、火砕噴火以降の大部分の活動で爆発的噴火から溶岩流出に移行する推移の噴火を繰り返してきたことが明らかになった。

さらに、本研究において噴出物の体積を算出し、新たに解明した山体形成史に基づいて噴出量階段図を作成した（図 10）。アトサヌプリ火山では先火砕噴火期の活動後、火砕噴火期にマグマ噴出率が急激に上昇して最大値を示し（1.6 km^3/ky）、全体の約 7 割を噴出した。その後、後火砕噴火期には大幅に噴出率が低下する（0.13 km^3/ky）。特に最新期（後火砕噴火 II 期）のマグマ活動はアトサヌプリ山体の形成に関連したものに限定され、従来研究と比較して極めて低調であったことが解明できた。

このように本研究では、新たに溶岩の表面微地形の保存状態とテフラ層序との関係に着目して山体形成史を検討したことで、従来と比較してより詳細な山体形成史を解明することができた。さらに、このことで従来と異なる火山活動様式の特徴やマグマ噴出率の時間変化を明らかにすることができた。今後は、新たな山体形成史に基づいたマグマタイプの時間変化の詳細や、最新期の詳細な噴火履歴について検討する必要がある。

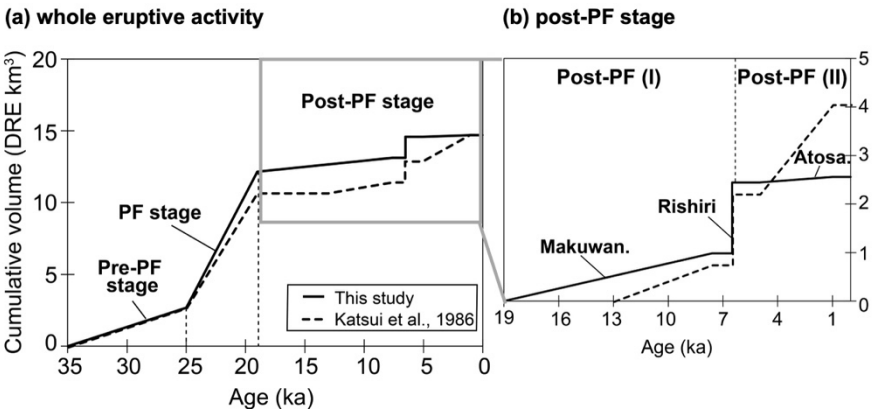


図 10　本研究による階段図。

b）雌阿寒岳：噴火推移の再検討と噴火事象系統樹について（北海道教育大学旭川校・産業技術総合研究所・北海道大学）

i）はじめに

雌阿寒岳は北海道東部の阿寒火山地域にある活火山である。雌阿寒岳の噴火活動は数万年から開始したと考えられており、現在でも活発な噴気活動が行われている。雌阿寒岳の噴火史については、地質学的見地からステージⅠ～Ⅳに区分されたが[11]、各ステージでの噴出物の層序の再検討が必要である。我々は平成 30 年度から通常の地質調査に加え、人力トレンチおよび重機トレンチ調査を行い、^{14}C 年代値を基に 14,000 年前以降の噴火活動の再検討を行ってきた。その結果、雌阿寒岳の全体的な噴火活動[12]、そして、最近 2,500 年間の噴火活動の詳細[13][14]が明らかとなった。令和 6 年度は、特に中マチネシリ火砕噴火期 1 の噴火推移の再検討と噴火事象系統樹の作成を試みた。

ii）噴火推移の再検討

雌阿寒岳の噴火において、最も規模の大きい噴火は、中マチネシリ火砕噴火期 1（Nak-1）である（図 11)。この噴火では、広範囲に降下物を堆積させ、さらに全方位に火砕流を流下させた。本研究では噴出物の層序の再検討を行った。

Nak-1 の一連の噴出物が最もよく観察できるのは、中マチネシリ火口から南東 6 km の露頭である。調査の結果、降下物と火砕流が短時間に繰り返されることが分かった（図 12)。

また、火砕流の中には溶岩破片に富む火砕流堆積物が複数枚あり（図 12 の M1～M8)、初期に流出した溶岩を破壊し、火砕流が流出したと考えられる。ただし、この溶岩片については、溶結火砕岩との指摘もある[15]。

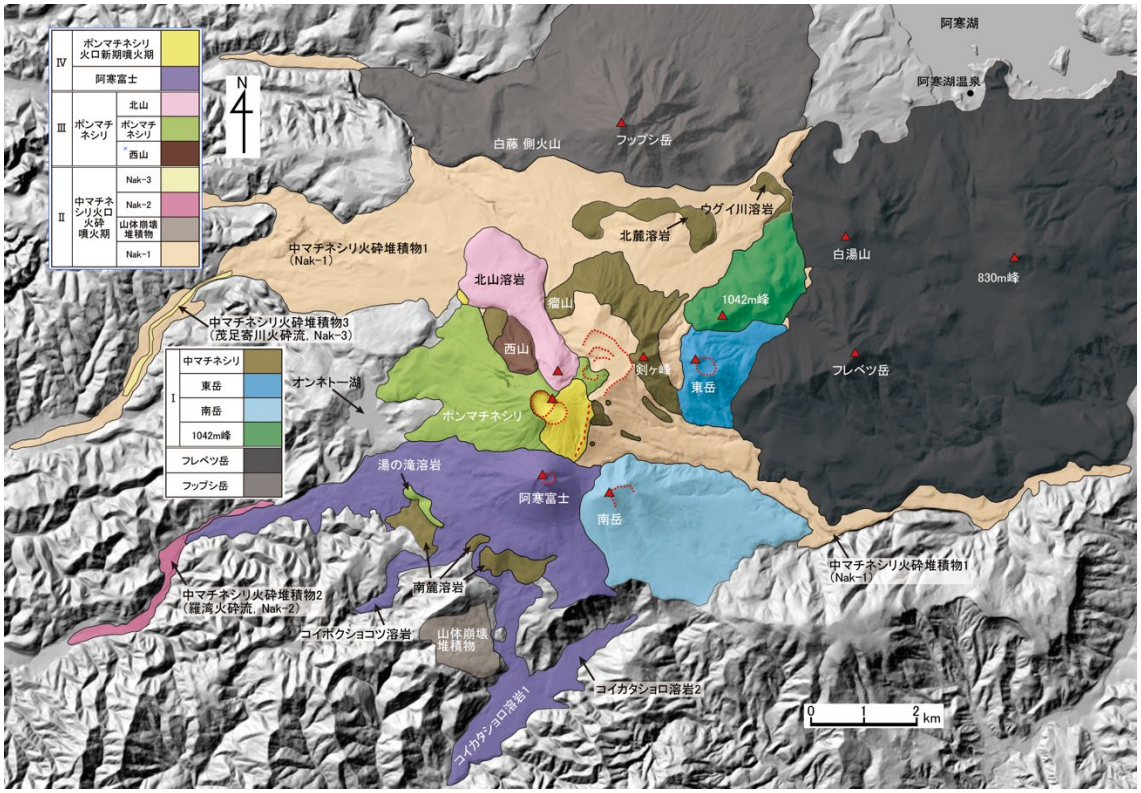


図 11　雌阿寒岳の地質概略図（和田・佐藤[11]を一部改変）。

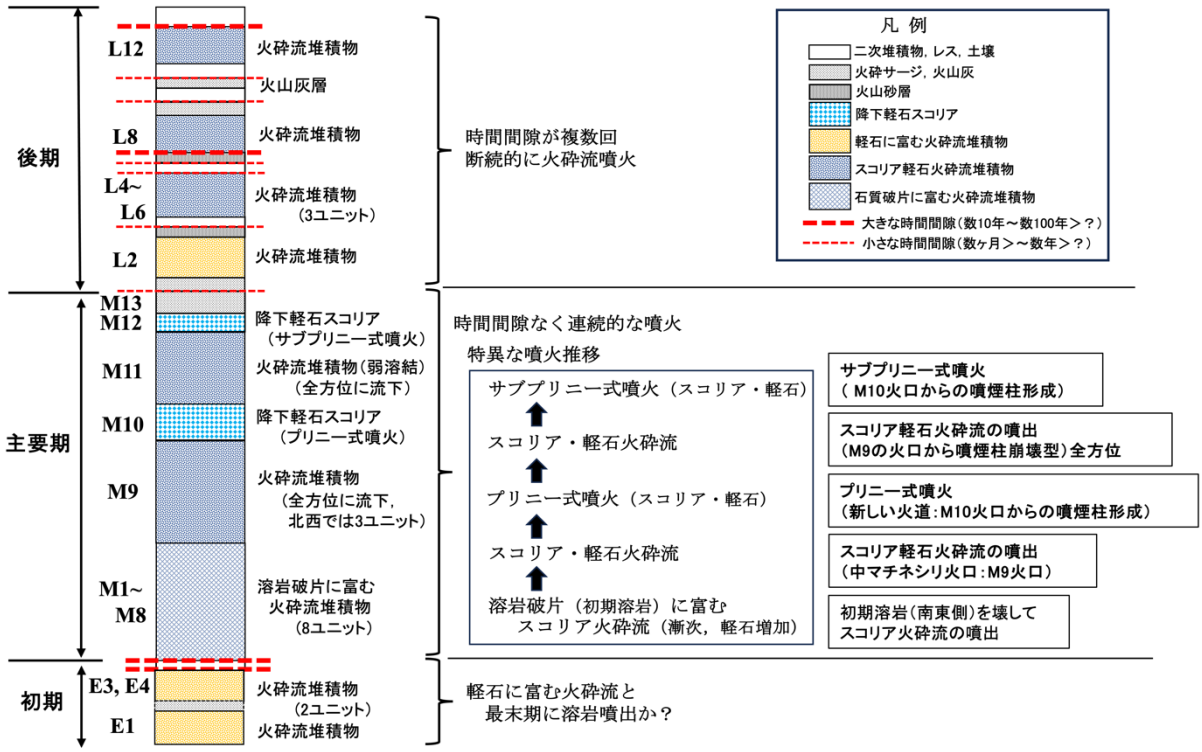


図 12　中マチネシリの火砕噴火期 1（Nak-1）の模式柱状図（和田・佐藤[11]より引用）。

iii）噴火事象系統樹

雌阿寒岳の最近 1,000 年間について、噴火事象系統樹の作成を試みた。

まず、1955 年～2024 年の期間で、ポンマチネシリで 6 回の噴火（水蒸気噴火 5 回、マグマ水蒸気噴火 1 回)、中マチネシリで 3 回の噴火（すべて水蒸気噴火）が生じている。これを 1,000 年間に換算すると、ポンマチネシリで 87 回の噴火（水蒸気噴火 73 回、マグマ水蒸気噴火 14 回)、中マチネシリで 44 回の水蒸気噴火となる。

雌阿寒岳において 1973 年以降の火山性地震の回数をみると、月に 400 回以上発生したのが 11 回あり、その後 1 年以内に噴火に至ったのが 4 回（36 %）で、7 回（64 %）は噴火未遂である。これを 1,000 年間に換算すると、月に 400 回以上の火山性地震が生じた後、1 年以内に噴火が生じる可能性は、ポンマチネシリで、87 回/（87 回+44 回）×36 %=24 %（水蒸気噴火のみは 20 %、マグマ水蒸気噴火は 4 %）となる。また、中マチネシリでは 44 回/（87 回+44 回）×36 %=12 %となり、すべて水蒸気噴火である。これらの結果を基にまとめたのが図 13 である。今後、より精度を上げ、噴火事象系統樹を作成する予定である。

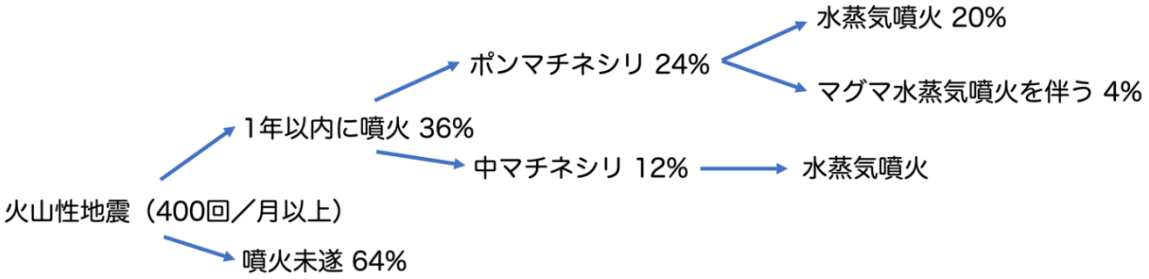


図 13　雌阿寒岳の噴火事象系統樹の試作。

c）羊蹄山：羊蹄火山山麓テフラの再検討（電力中央研究所・北海道大学）

i）はじめに

羊蹄火山は、南西北海道中央部に位置する第四紀の成層火山（標高 1,898 m）である(図 14)。本火山の火山活動は、これまでに山頂周辺の噴出物や山麓のテフラ層序・年代の研究により、少なくとも約 5 万年前～数千年前まで活動したことが明らかにされてきた[16)17)]。その後、Amma-Miyasaka et al.[18)]により、羊蹄火山起源と考えられる 7～8 万年前の火山灰層が東部石狩低地帯に存在することが報告されたため、山麓の火山灰層で対応するテフラ層の存在を検討し、羊蹄火山の爆発的噴火がいつから始まったのかを確かめる必要が生じた。2022 年度までの調査・検討によって、これまで知られていた噴出物より下位で洞爺火砕流（約 10 万年前[19)]）より上位、Y38 より下位の層準に羊蹄火山起源の噴出物が少なくとも 9 層発見された。また、尻別川沿いで、層位や給源が不明な火砕流堆積物（巽凝灰岩層と仮称）が発見されジルコンの U-Pb 年代測定を実施した結果、約 1 Ma に噴出した堆積物であることが分かった。さらにその火山ガラス組成測定を実施したが、給源特定には至らなかった[20)]。今年度は、昨年度発見した羊蹄起源と考えられる噴出物の記載岩石学的特徴とガラス組成の再検討と、Y20-1-2-2 のジルコン U-Th 年代測定[21)]を実施し、噴出物の対比と噴火イベント回数について再整理した。

ii）調査地点、噴出物の層位・層相

今回の研究では、羊蹄火山の噴火開始年代を明らかにすることを目的としているため、本報告では主に Y43 より下位の噴出物について検討した。特に地点 1 、2 では、掘削調査により多数のこれまで未認識であった灰色～白色の降下軽石と降下火山灰を発見した。また、尻別川沿いの露頭（地点 3）では、洞爺火砕流堆積物の上位に羊蹄火山起源の降下火砕物を発見し、地点 1・2 のテフラと層相・記載岩石学的特徴及びガラス組成、ジルコン U-Th 年代測定を行うことで対比できた。

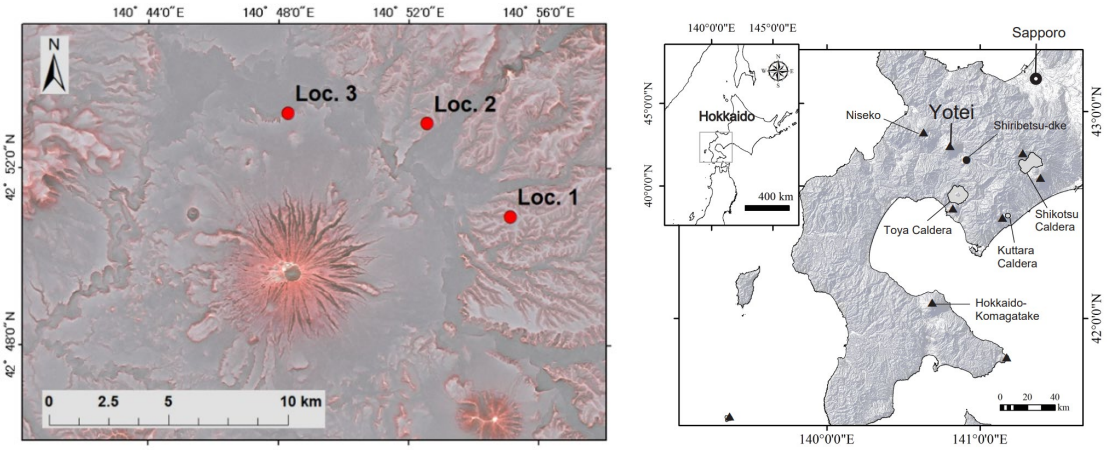


図 14　羊蹄山の位置と調査地点の位置。ベースマップの赤色立体地図は、国土地理院提供の 10m DEM を用いてアジア航測（株）により作成された。

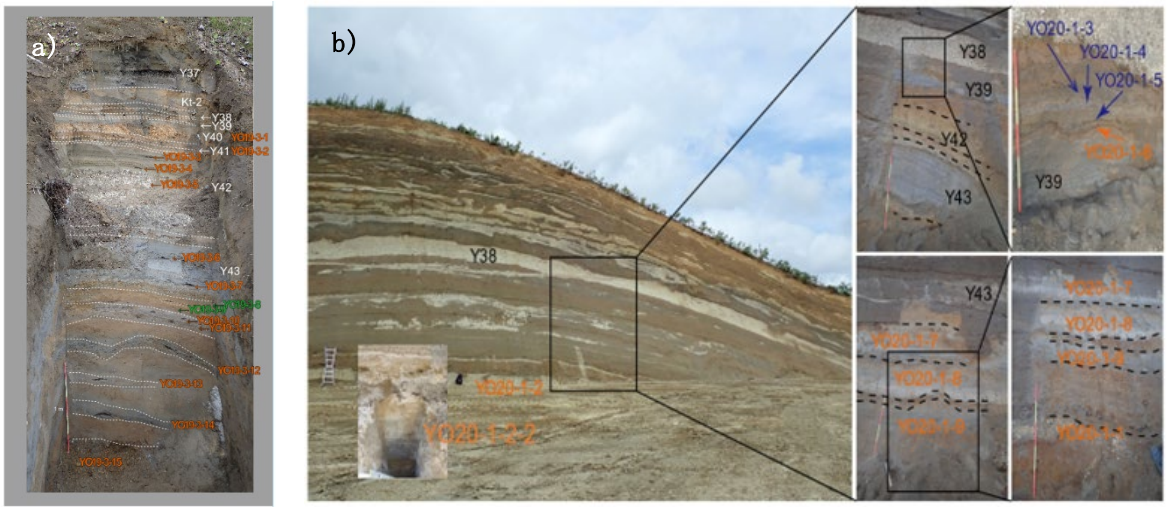


図 15　露頭の写真と試料番号。a)京極町大富（Loc.1）、b)京極町北岡の露頭(Loc.2)。オレンジで示した試料番号が羊蹄火山起源、緑、青で示した資料番号が他火山起源（尻別岳と推定される）。

iii）記載岩石学的特徴

表 1 に各露頭で発見されたテフラの記載岩石学的特徴を示す。ガラス組成が高カリウム系列のテフラ（表 1 ・図 16）は尻別岳起源の火山灰であると考えられ、それ以外は羊蹄山起源である。

iv) ガラス組成

採取した試料のガラス組成を図 16 に示している。高い K_2O 値を示すテフラは尻別岳起源のほか、ニセコ火山起源の可能性も考えられる。一方、高い Na_2O 値を示すテフラが羊蹄火山起源のテフラであると考えられる。

v) ジルコン U-Th 年代値の測定と噴火イベントの再整理

今年度は、YO20-1-2-2 について U-Th 年代測定を行い、さらに記載岩石学的特徴とガラス組成による対比の再検討を行った。その結果、YO20-1-2-2 に含まれるジルコンの U-Th 年代を測定したところ 66.2±9.3 ka (n=18)であると判明し、東部石狩低地帯の>Y43a(61-75 ka[18])に対比される可能性が高いことが分かった。そのため、同じく遠方火山灰である>Y43b は、Y20-1-2-2 より下位で、洞爺テフラより上位となる。以上のことから、羊蹄山起源のテフラは、Y39 の上位に Y39’が新たに認識されたほか、これまで発見された中で最下位だった Y43 の下位に、Y44～Y52 の 9 層のテフラが存在すると認識しなおされた。したがって、昨年度作成した噴火イベントのデータベース[22]を更新する必要がある。

表 1　羊蹄山麓テフラの記載とガラスタイプ。CP：結晶に乏しい、CR:結晶に富む、CM：中程度の結晶量、Wp：白色軽石、Gp：灰色軽石、PGp:青灰色軽石、Bnp：縞状軽石、pl:斜長石、opx:直方輝石、cpx:単斜輝石、am:角閃石、bt:黒雲母、qz:石英、HK:カリウム濃度が高いガラス、HNa:ナトリウム濃度が高いガラス。

サンプル名	層相、岩石タイプ	鉱物組み合わせ	ガラス組成タイプ
YO19-3-8	ash	pl, opx, am, qz > cpx, bt	HK
YO19-3-9	CR?, Wp	pl, am, opx > cpx, qz 大	HK
YO19-3-10	ash	pl, opx > cpx >> qz	HNa
YO19-3-11	CP-CR, Wp	pl, am > cpx >> qz	HNa
YO19-3-12	CP, Gp and Wp	pl, opx >> qz	HNa
YO19-3-13	CP-CR, Wp, Bnp	pl, opx	HNa
YO19-3-14	CP, Gp	pl, opx	HNa
YO19-3-15	CP-CR, Wp	pl, hb > opx, cpx	HNa
Y20-1-3	ash	pl, cpx, opx, am?	HK
Y20-1-4	ash	pl, cpx, opx, am >> qz	HK
Y20-1-5	ash	pl, opx, am, bt >> cpx	HK
Y20-1-6	CP, Wp	pl, am >> cpx >> qz	HNa
Y20-1-7	CP, Wp	pl, am, cpx	HNa
Y20-1-8	CP, Wp	pl	HNa
Y20-1-9	ash (lava lithic?)	pl, cpx >> am	HNa
Y20-1-1	CP, Wp	pl, am, opx	HNa
Y20-1-2	CM, Gp	pl, am >> opx	HNa
TO20-13-3	CM, PGp	pl, am >> opx ± cpx	HNa
Y20-1-2-2	CR, PGp	pl, am >> K-feld	HNa

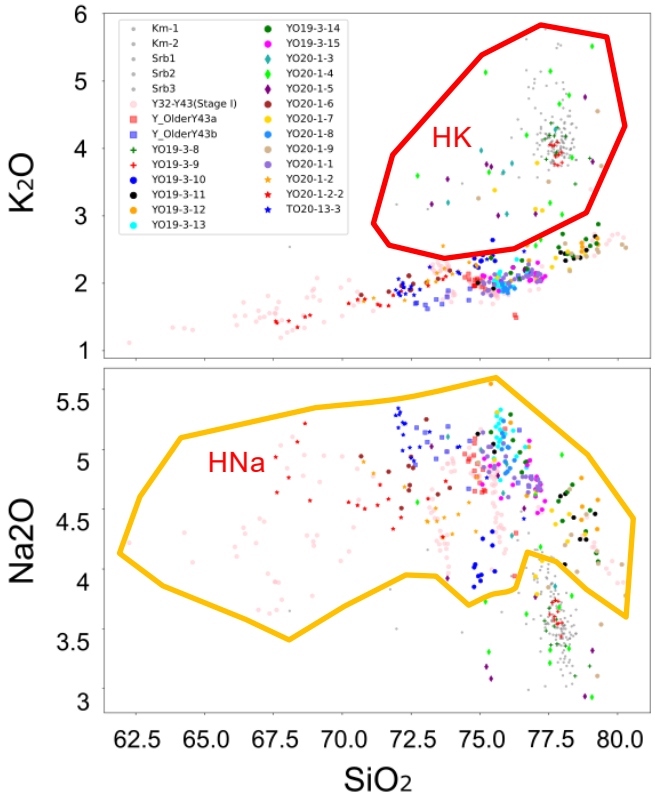


図 16　代表的な火山ガラス組成を示した。尻別岳起源火山灰のガラス組成（Km-1、Km-2、Sr1～3）[18]を灰色の点で示した。また、既往報告の羊蹄山起源のテフラ（Y32～Y43、StageI）[17]のガラス組成を薄いピンク色で示した。尻別岳起源と考えられるテフラは K_2O が相対的に高いのに対し、羊蹄火山起源のテフラは Na_2O が相対的に高いことで、両者を区別できる。

表 2 露頭間での対比。赤太字が新たに別の噴火と認識したテフラ。

噴火ユニット	Loc. 1	Loc. 2	Loc. 3	東部石狩低地帯 [18]
Y39'		YO20-1-6		
Y44	YO19-3-10			
Y45	YO19-3-11	YO20-1-7		
Y46	YO19-3-12			
Y47	YO19-3-13	YO20-1-8		
Y48		YO20-1-9		
Y49	YO19-3-14	YO20-1-1		
Y50	YO19-3-15	YO20-1-2	TO20-13-3	
Y51		YO20-1-2-2		>Y43a?
Y52				>Y43b?

vi）今後の課題とまとめ

今後も可能な範囲で噴出年代不明の噴出物の噴出年代を明らかにすること、岩石学的検討を進めることにより、テフラ間の対比、山体とテフラの層位関係の精度向上を目指し、マグマ噴出量階段図に反映させる。さらには、最近 2 万年の個々の噴火イベントの噴火推移についてできる限りの検討を加え、噴火事象系統樹の試作を行う [22]。

d) 岩木山：岩木山における噴火履歴調査（産業技術総合研究所）

i) 目的と調査位置

岩木火山は青森県弘前市中心部の西方約 15 km に位置し、火山体の直径が約 10 km、最高点の標高が 1,625 m の複成火山である。岩木火山の活動は、現在の火山体の成長が開始したと考えられている約 35 万年前から大規模な岩屑なだれが発生したと考えられている約 20 万年前までを第一期、約 20 万年前の岩屑なだれ発生から約 3 万年前までの火山体の成長期を第二期、そして約 3 万年前から現在に至るまでの山頂周辺における溶岩ドーム群の形成及び水蒸気爆発の活動を第三期と 3 つのステージに大別されている[23]。このうち第一期と第二期では類似した化学組成のマグマが活動し、溶岩と火砕物が成層火山体を形成した。それに対し、完新世を含む第三期では第一期と第二期とは異なるタイプのマグマが溶岩ドームを形成する噴火をしたことが知られている[24)25)]。また歴史時代の活動としては、1600 年、1782-83 年、1845 年、1863 年など安土桃山時代末期から江戸時代以降の水蒸気爆発が古文書の記録として残されている[26]。現在では、岩木火山周辺における噴気活動等は低調であるものの、8 合目までは岩木山スカイライン道路、9 合目までは登山用リフトが敷設されており、夏季には多くの登山客と観光客が火口のごく近傍を散策する。そのため、溶岩ドームの形成とドーム崩壊型火砕流の発生というマグマ噴火活動のみならず、歴史時代に発生したような小規模な水蒸気爆発であったとしても災害発生リスクは高いと言える。

産業技術総合研究所では岩木山の活動のうち、特に最新の第三期に着目した噴火履歴調査を 2022 年度より開始した。本調査では特に、1) 第三期における溶岩ドームの形成時期及び降下火砕物の噴出時期を明らかにすること、2) 第三期における水蒸気爆発の年代及び規模を明らかにすること、3) 第一期から第三期までの試料を網羅的にサンプリングすることで、第一期・第二期の活動から第三期への移行の時期とマグマプロセスを明確にすること、以上の 3 点を主たる目標とした噴火履歴調査を開始した。

ii) 調査の結果

2024 年度は、のべ 15 日の現地調査を実施した。

目的 1 および 2 に対して、2024 年度は岩木山の山頂付近 6 地点において、人力によるピット掘削調査を実施し、試料の採取及び降下テフラの堆積年代を明らかにするための年代測定を実施した。昨年度までの調査ですでに得られていた結果と 2024 年度に新たに得られた結果を総合すると、岩木山では完新世の間に地質記録として残る主要な噴火が 0.4 ka（ka は 1,000 年前を意味する。以下同じ。）、1.5 ka、2.7 ka、3.6 ka、5.5 ka、7.5 ka、9.3 ka、11.5 ka 頃に発生していたことが明らかとなり、これらの噴火によって堆積したテフラを新しい方からそれぞれ IW-A から IW-H と命名した。これらの噴火のうち、IW-D・IW-F・IW-G・IW-H はマグマ物質の放出を主体とした噴火であった一方、IW-A・IW-B・IW-C・IW-E はマグマ水蒸気噴火あるいは水蒸気噴火であったと考えられる。

さらに溶岩ドームとテフラの被覆関係や全岩化学組成から、岩木山中央溶岩ドームの形成は IW-H、岩木山山頂溶岩ドームの形成は IW-G、御倉石溶岩ドームの形成は

IW-F、大沢源頭火砕丘の形成はIW-Dの各テフラと対比可能であることが判明した。この対比結果に、溶岩ドーム表面の侵食程度なども考慮すれば、西方寺森・鳥海山・岩木山西の各溶岩ドームは後期更新世、岩木山中央・岩木山山頂・御倉石の各溶岩ドームおよび大沢源頭火砕丘は完新世に形成された可能性が高いと結論される。

我々の調査の結果、溶岩ドームあるいは火砕丘を形成するような噴火活動は約3,500 年前を最後に終了し、その後はマグマ水蒸気噴火あるいは水蒸気噴火が活動の主体となったことが判明した。この結果は、赤色立体地図の解析から明らかとなった、山頂周辺の溶岩ドーム上に存在する 10 を超える小火口の存在とも矛盾しない。本年度までの結果は、最近数千年間で見れば岩木山の火山活動度は低下しつつあることを示唆する。しかし小規模なマグマ水蒸気および水蒸気噴火が最近（数百年前頃）まで継続していた点、さらには山頂周辺域まで道路や登山リフトが敷設されており無雪期には大勢の人が火口のごく近傍まで訪れることを考慮すれば、火山防災上、小規模噴火について特に考慮する必要があろう。

目的3に対して、2024年度はこれまで明らかにされていなかった側火山の形成年代を明らかにするために、Ar/Ar年代測定に供する試料のサンプリングを実施した。採取した試料については、薄片観察と全岩化学組成を分析したのちに、粉砕・洗浄・鉱物分離といった年代測定の実施に必要な事前処理を行なった。事前処理を行ったこれら試料の年代測定は、2025年度に実施する。

iii）まとめ

我々の調査と研究の結果、完新世における岩木山の火山活動史を従来に比べ高精度で明らかにするに至った。具体的には、完新世に岩木山は0.4 ka、1.5 ka、2.7 ka、3.6 ka、5.5 ka、7.5 ka、9.3 ka、11.5 ka頃に地質記録として残るような比較的規模の大きな噴火を発生させていたこと、また岩木山中央・岩木山山頂・御倉石の各溶岩ドームおよび大沢源頭火砕丘を形成したことが明らかとなった。

e）秋田駒ケ岳：テフラと山体構成堆積物との対比手法の検討（北海道大学・(株）エンバイオ・エンジニアリング）

i）はじめに

テフラ層序学は、火山体から離れた地域でのテフラの重なりを記述することにより、個々の噴火の様式とそれらの噴出順序を明らかにできる。さらにテフラに挟まれた土壌層の年代を測定することにより、時間軸が刻まれた火山噴火史を編むことができる。ただし、山体から離れた場所で構築されたテフラ層序は、小規模噴火や大規模なテフラ放出を伴わないか溶岩流出噴火を見落とす可能性が高い。そのため、火山体形成史の全貌を明らかにするには、火山体を構成する火口近傍の火砕物や溶岩の層序を明らかにすることも重要である。そしてテフラ層序と山体構成物との対比させることによって、時間軸と噴出量が完備された火山体形成史を構築することができる。

我々は秋田駒ケ岳火山の山体構造とその発達史を検討してきた。同時に、既存のテフラ層序[27)]の再検討を行った。そして山体構成物とテフラの対比を行い、これまでより高解像度の火山体形成史を構築できた。この過程では、これまでの火山地質

学的研究では用いられることの少ない手法を積極的に導入した。ここでは、その結果を報告する。

ii）秋田駒ケ岳形成史の概要

従来の研究によると、本火山は後期更新世から活動が開始したと考えられる[28)]。そして更新先末期に2回の爆発的噴火により山体南斜面にカルデラ（南カルデラ）が形成され[29)]、その直後に山体北斜面が大規模に崩壊して北部カルデラが形成された[30)]。後カルデラ期の活動は北部カルデラ内で活動が始まったようで[31)]、その後に南カルデラ内の活動に移行し、1932年にマグマ水蒸気噴火[32)]、1970年にマグマ噴火[33)]が発生している。テフラは古い方から、AK13からAK1までの13ユニットに区分され、それぞれのテフラの等層厚線とテフラが覆う土壌から年代値も得られている[27)]。この中でAK13・12がカルデラ形成期のテフラであることが明らかにされている[29)]。一方、山体構造と山体発達史の議論や[28)31)34)]、テフラと山体構成物の対比も試みられているが[31)]、確実な対比の根拠は示されていない。

iii）研究手法

本研究ではテフラの再調査、山体構造と発達史の解明、そしてテフラと山体構成物の対比を行った。テフラに関しては、再調査を行い既存研究で示されている等層厚線の高精度化を行い、またテフラの直下および直上の炭素年代測定も行った。また物質科学的解析のためのテフラ試料も組織的に採取した。山体構造と発達史の解明のためには、まず1m解像度のDEMを用いた赤色立体地図により地形を検討した。そして、先カルデラ期と後カルデラ山体の区分と噴出物の分布、そして後カルデラ山体の溶岩や火砕岩を地形的に細分した。その際に、細分された地質ユニットを火口位置や被覆関係に注目してグループ化し、後カルデラ期の山体として区分した。そして地形区分に基づき地表踏査や新規あるいは既存のボーリングコアの検討を行い、物質科学解析のための試料を採取した。テフラユニットと山体構成物の対比は、多項目の物質科学的データを用いることとし、主・微量成分化学組成だけではなくSr-Nd-Pb同位体組成も測定した。対比は、テフラを山体構成ユニットとの1：1の対比ではなく、テフラおよび山体構成物を物質科学的特徴からマグマタイプに区分し、同じマグマタイプを有するテフラグループと複数のユニットからなる山体構成物を対比することとした。

iv）結果

テフラ

図17に本研究で得た、テフラ層序および本研究で得た年代値、そして改訂した等層厚線を示した。その結果、AK5中には本質物は見出せず水蒸気噴火であることが確認できたが、AK4からは本質物が確認され、マグマ水蒸気噴火であることが明らかになった。また、新たに得た年代値によると、カルデラ形成噴火は従来考えていたよりも短い間隔で起こっていたこと、またAK6とAK5の間には、少なくとも2,000年以上休止期が存在していることが分かった。等層厚線からそれぞれのテフラの給

源火口を推定すると、AK13・12 は南部カルデラ内、AK9～4 は北部カルデラ内、そして AK3～1 は南部カルデラ北部であることが明らかになった。

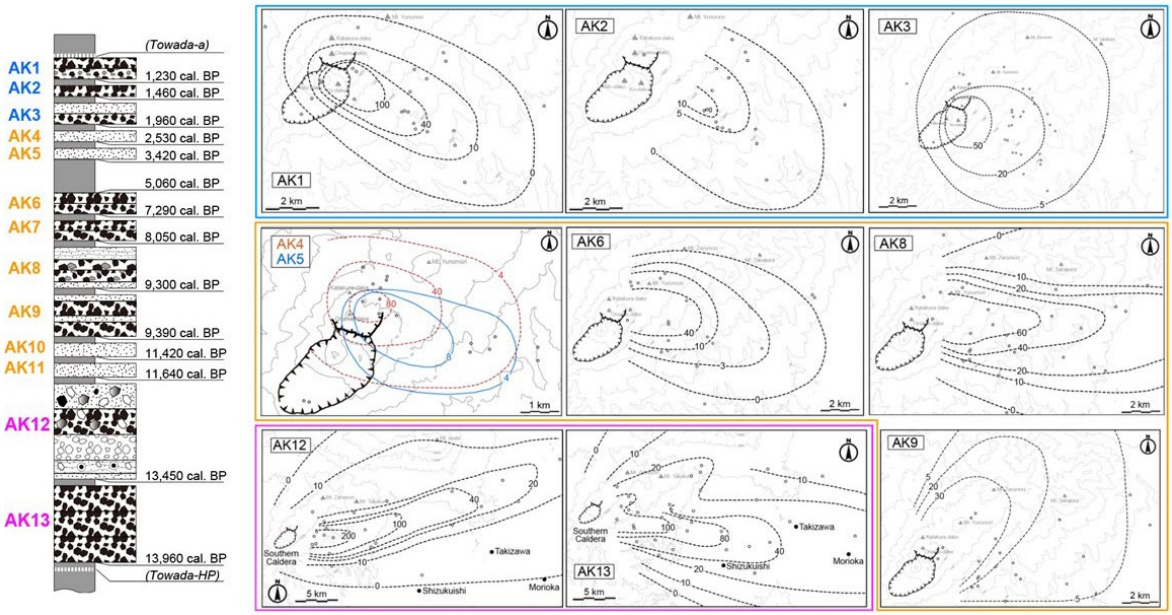


図 17　秋田駒ケ岳起源のテフラの模式柱状図と主要なテフラの等層厚線図。それぞれ和知ほか [27] を本研究の追加調査で改訂した。柱状図の暦年補正年代は本研究によるデータ。

山体構造と発達史

地形的特徴とボーリングを含めた地表踏査、そして物質科学的性質を検討した結果、後カルデラ活動は以下のようにまとめられた。北部カルデラ内では、まず片倉岳山体が形成され､その山頂火口内で男女岳に代表される複数の山体が形成された。片倉岳ではストロンボリ式噴火による山体成長と大量の溶岩が流出する時期と（片倉岳１期)、末期に火砕流が発生する爆発噴火の時期（片倉岳２期）に細分される。男女岳山体では溶岩流出を伴う山体成長の後、後半には水蒸気噴火主体の時期に移行し爆裂火口も形成された（男女岳１期)。その後に、爆裂火口内に小火砕丘が形成された(男女岳２期)｡南部カルデラ内は小岳と女岳の２つの噴出中心が認められる。小岳は複数の山体から構成されており、古期と新期に大別した。以上の山体区分に基づく地質図とブロック図を図 18 にまとめた。

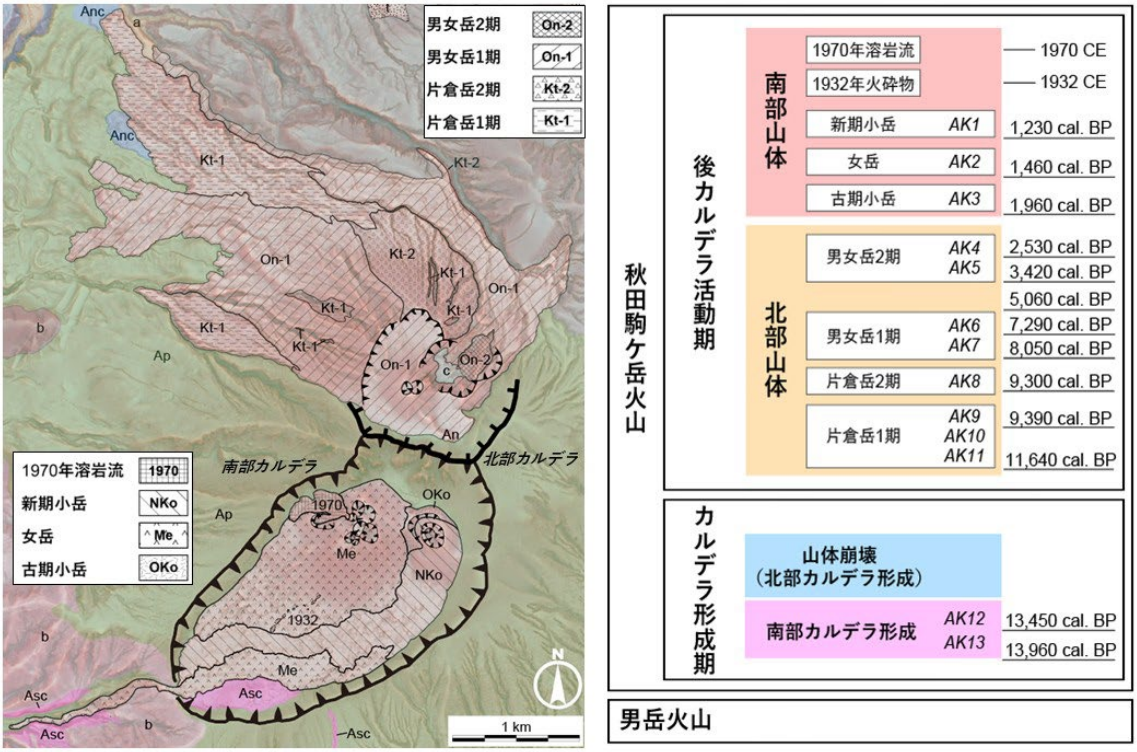


図 18　本研究による秋田駒ケ岳の地質図（左）とブロック図（右）。ブロック図には山体ユニットと対比されるテフラユニット（図 17）、そして年代値も示す。本研究では更新世末期のカルデラ形成期以降を狭義の秋田駒ケ岳火山とした。

マグマタイプ

カルデラ形成期以降の噴出物は玄武岩からデイサイトまでの多様性を示し、Nd-Sr-Pb 同位体に注目すると、Sr 同位体比が 0.70395-0.70406 の低 Sr タイプと 0.70409-0.70433 の高 Sr タイプに、そして Nd 同位体では 0.51282 前後より低い同位体比を示す低 Nd タイプ、そしてより高い同位体比を示す高 Nd タイプに区別できる（図 19）。テフラユニットのマグマタイプは AK13・12 は高 Sr、AK11-8 は低 Sr、AK7-1 は高 Sr になる。それに加えて Nd に注目すると、AK13・12 は低 Nd タイプであり、他のテフラは全て高 Nd タイプとなる。AK11 以降では複数のテフラが同じ同位体タイプであるが、LIL 元素の含有量に注目すると高 LIL タイプと低 LIL タイプに区分される。つまりマグマタイプに注目すると、カルデラ形成以降、単独あるいは連続する複数のテフラユニットは同じマグマタイプであり（図 19 左）、活動時期によりマグマタイプが変化していることが分かった。同様の検討を後カルデラ期の山体構成物で行ったところ、テフラと同様のマグマタイプに区分でき、例えば片倉岳期と男女岳期ではマグマタイプが異なることが分かった（図 19 右）。

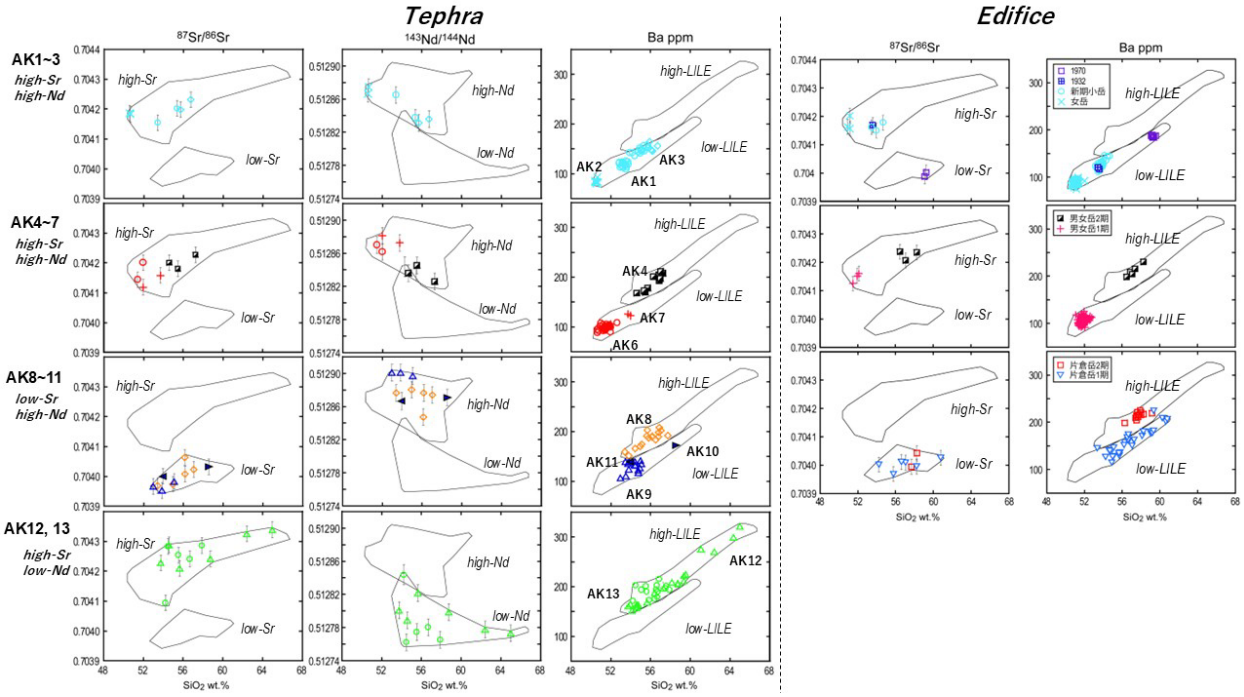


図 19　左：テフラユニットの SiO_2–$^{87}Sr/^{86}Sr$、$^{143}Nd/^{144}Nd$、Ba 図。給源火口の位置と同位体比に注目すると、テフラは４つのグループに細分される。AK11～8 および 7～4 は LIL 元素量によって、さらに細分できる。右：後カルデラ期の区分された山体の SiO_2–$^{87}Sr/^{86}Sr$、Ba 図。これらの山体はテフラと同様に異なるマグマタイプにされる。このことによりテフラと山体構成物が対比できる。

v）議論

テフラと山体構成物の対比

本研究ではまずテフラの等層厚線の形状により、それぞれのテフラ給源を推定した。次に、多項目の物質科学的データを用い、まずテフラのマグマタイプの多様性とその時間変遷を明確にした。そして山体近傍噴出物を個別の山体（火口）に大別してマグマタイプの特徴を検討することで、テフラユニットと山体近傍噴出物の対比は可能となった。その結果、AK11・10・7 を除いた、テフラの等層厚線の形状による給源火口の推定が妥当であることが明らかになった。また AK11・10・7 についても、それらのマグマタイプの特徴により、それらが AK9・8 と同じ給源と推定できる。南部カルデラ起源の３つのテフラユニットのうち、AK3 に対比できる山体構成物の試料は採取できていないが、全岩組成が新期小岳や AK1 に類似していることから、地形的に女岳にも覆われている古期小岳が AK3 に対比される可能性がある。それらの対比結果を、図 18 にまとめた。

秋田駒ケ岳形成史

本研究によって明らかになった秋田駒ケ岳の形成史は、以下のとおりである。まず、14-13 ka に 2 回にわたる大規模な爆発的噴火により、南部カルデラが形成された（AK13・12）。その直後、山体崩壊によって北部カルデラも形成された。後カルデラ活動は、北部カルデラ内で始まった。AK11-9 の時期（12-9.5 ka）には片倉岳火

砕丘が形成され、9 ka には爆発的噴火が発生し、火砕流が生じた（AK8)。8 ka 以降は、男女岳を代表とする複数の火砕丘が形成され、溶岩の流出が続いた。そして、7 ka には男女岳で爆発的噴火が発生し、火口が形成されるとともに火砕流が発生した（AK6)。その後、約 3.5 ka からは水蒸気噴火が頻発し（AK5)、最末期には小火砕丘が形成された（AK4)。約 2.5 ka には、北部カルデラ内の活動が終了し、その後は南部カルデラ内へと活動の場が移行した。2 ka には、南部カルデラの北東部付近でマグマ水蒸気爆発が発生し、火砕丘(古小岳火砕丘)が形成されたと考えられる(AK3)。その後 1.5 ka 頃には女岳が活動し（AK2)、引き続いて小岳が活動した（AK1)。それぞれの活動では火砕丘が形成され、溶岩も流出した。そして、約 1,000 年前までには主要な活動は停止した。しかし、19 世紀頃から活動が再開し [35]、1932 年にはマグマ水蒸気噴火 [32]、1970-71 年にはマグマ噴火 [33]が発生した。

秋田駒ケ岳のマグマ噴出量階段図

本火山については、テフラのみのマグマ噴出量階段図は公表されていた。今回、本研究によりテフラと山体構成物を対比できたので、山体の形成史に時間軸を刻むことに成功した（図 18)。それによりマグマ噴出量階段図を改訂することができた（図 20)。これまでは、カルデラ形成期の活動が極めて規模が大きいと考えられていたが、新たな階段図により後カルデラ期の最初の活動である片倉岳期(12-9.5 ka)も溶岩の噴出量が多いために、カルデラ形成期と同等の噴出量であることがわかった。今後は新たな階段図を基にした火山学的な研究だけではなく、防災面への適用も進めるべきである。

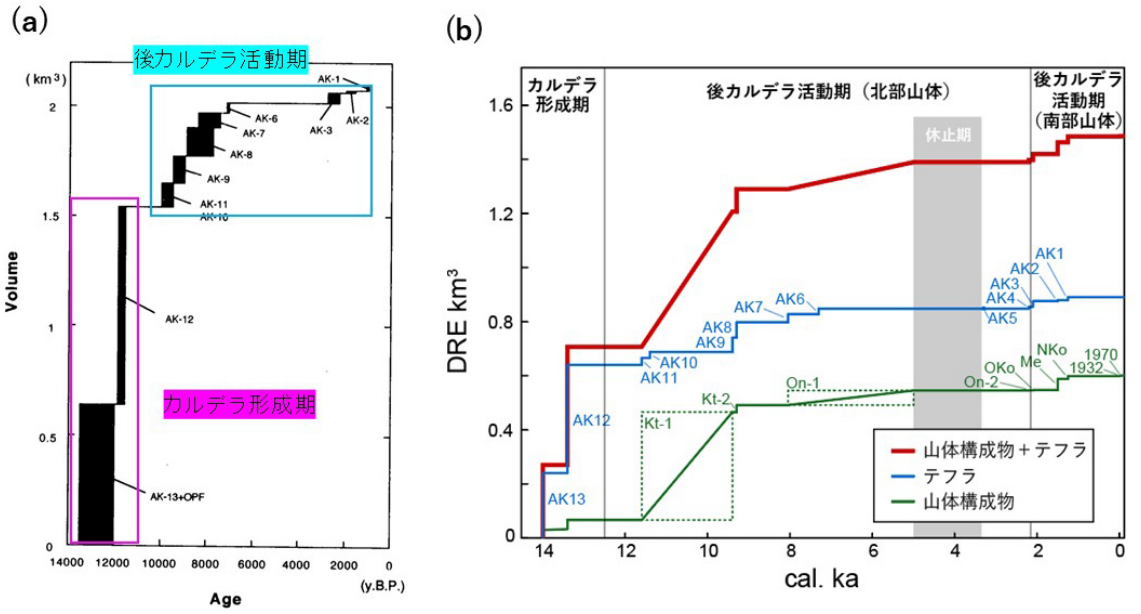


図 20　(a) テフラのみのマグマ噴出量階段図 [27]。(b) 本研究によるマグマ噴出量階段図。テフラと山体、そして両者を合算した３タイプの階段図を示している。

f）鳥海山：完新世の噴火活動履歴・噴火様式の解明（秋田大学・山形大学・茨城大学）

i）　西鳥海から東鳥海への活動移動時期の解明（秋田大学・山形大学）

鳥海火山の山体は東鳥海と西鳥海に大別され、活動時期は重複するものの、最近の活動は東鳥海に集中している[36)37)38)]。例外的に、猿穴溶岩はステージⅢb 再末期の 2,800 年前に噴火しているが、同時に東鳥海山でも爆発的噴火が発生している[39)]ことから、東鳥海山での噴火に伴う側噴火であった可能性が高い。これまで秋田大学は、山形大学と共同で、手掘りトレンチと露頭観察による火口近傍のテフラ調査を実施し、完新世後期、特に 3,000 年前から 1,000 年前の爆発的噴火の活動史を解明してきた。2024 年度は、未解明である 3,000 年より古い時代や 1,000 年前位以降のテフラに注目して調査を実施した。2019 年の山形大学からの本事業の報告によると、鍋森付近の露頭にて、10,000～5,000 年前の水蒸気噴火の累重が確認されている。鍋森は鳥海湖とともに西町会の噴火中心を成している。東鳥海の山腹では同時代の噴出物は確認されておらず、これらのテフラ群の位置付けが課題であった。

2023～2024 年度の調査では、鍋森～鳥海湖周辺に類似の年代を示すテフラ群を確認した。鳥の海スコリアの上位に土壌を挟んで堆積する。このラフラ群は、月山森付近では薄化し、それよりも遠方では認識できなくなる。東側は新しい噴出物に表われている可能性があるものの、分布は鳥海湖～鍋森周辺の局所に限られる。10,000～5,000 年前の期間は西鳥海の中心火口で小規模な水蒸気噴火が繰り返していたと考えられる。その後の噴火活動は猿穴溶岩を除いて東鳥海に集中する。多くはマグマ水蒸気噴火だが、3,400 年前のテフラはほとんどが本質物からなり、例外的にマグマ噴火が発生したようである。

2024 年の東鳥海山でのテフラ調査でも、それまでの調査と同様に最近 1,000 年間のテフラは少なく、1800-1804 年噴火と考えられるテフラを見出した。歴史噴火記録はほかにも残るものの、1800-1804 年噴火以外は、噴出量わずかだったと考えられる。

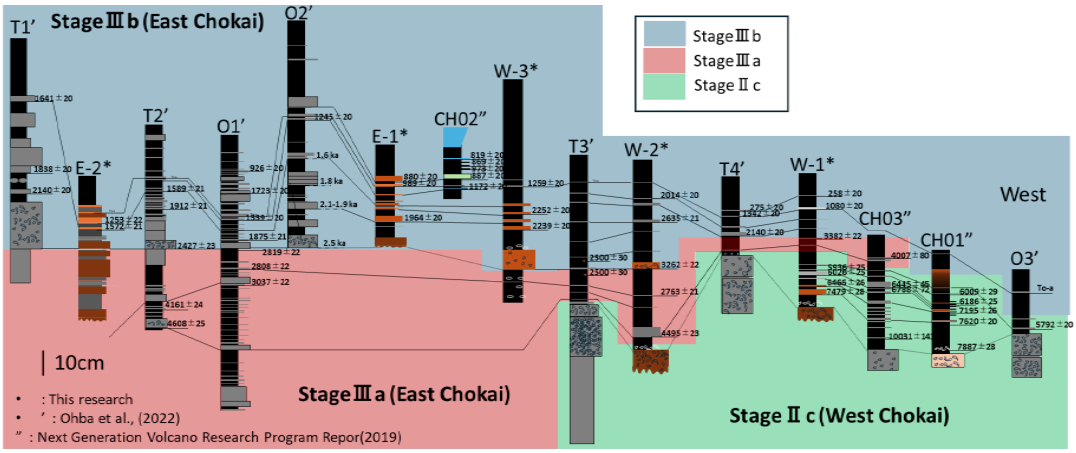


図 21　2024 年調査結果を加えた対比柱状図。

ii）2,500 年前以降溶岩の古地磁気年代測定予察的結果（秋田大学・茨城大学）

2,500 年前以降の噴火活動史はテフラ層序からある程度解明され、ラハール層序や年代[40)]とも整合的であることがわかっている[39)]。この期間にはテフラの 100 倍もの溶岩が噴出し、山体崩壊カルデラを埋積している。崩壊カルデラ内の溶岩の岩石学的対比を 2023 年に試み、層序を確立したものの、その溶岩の噴出年代の決定に

は至っていない。2024 年度に茨城大学と共同で古地磁気を用いた年代測定を試みており、その予察的結果によると、テフラ層やラハールと対比できる年代が得られている。2025 年度に更なる測定をおこなうとともに、随時測定結果を報告する。

iii) 西鳥海山の完新世の噴火履歴の再検討とマグマ供給系（山形大学・秋田大学）

西鳥海山カルデラ[36]内の最新の溶岩の年代を主に地形と地質情報から推定し、約１万年前以降のものが大半を占める可能性が高まった。また、最新溶岩をもたらしたマグマ供給系について再検討を行った。

g) 栗駒山：完新世の噴火活動履歴の解明（秋田大学）

栗駒山火山ではテフラ層序の調査を進めるとともに、AMS 年代測定による噴火年代決定をおこなった。また、成分分析による噴火様式決定をおこなった。To-a(十和田 a)および AMS 年代値により、複数のテフラ層が対比された。認識されたテフラの年代は、下位より約 2,900 年、約 2,300 年、約 1,600 年、約 1,400 年、約 1,300 年、To-a(915CE)を挟み、約 900 年、約 600 年、約 500 年、約 170 年である。既往報告[41)42)]では認識されていなかったテフラ層を認識した。

過去 3,000 年間のラフラ層は本質物を伴わない水変気噴火噴出物である。各噴火イベント由来のテフラユニット内での層相垂直変化は認められない。また、粗粒な堆積物では淘汰が悪い。熱水変質物が火山灰の大部分を占める。この特徴は単発の熱水系由来の水蒸気噴火(hydrothermal eruption)[43)]であり、御嶽山 2014 年噴火に類似する。すなわち、顕著な前兆現象を伴わず、短時間で噴火が終了する水蒸気火を繰り返していると考えられる。

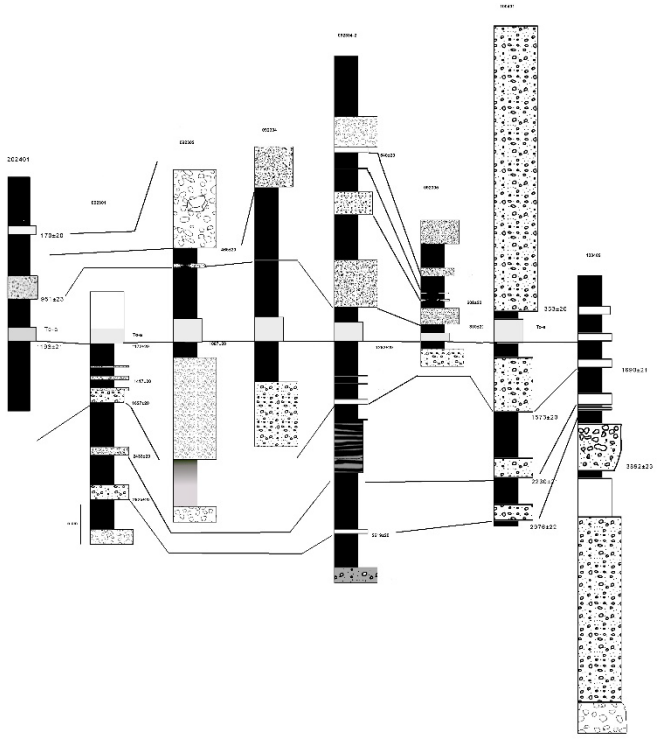


図 22　2024 年調査結果を加えた栗駒山完新世後期の対比柱状図。

h）蔵王山：マグマ噴出量階段図の作成、噴火事象系統樹の試作とラハール堆積物調査（山形大学）

蔵王山最新期（活動期 IV）について、テフラ層序の補強調査、最新期の溶岩の種類・層序再検討・岩石学的特徴の解明、約 8 千年前以降のラハール堆積物の調査及び最新期初頭に発生した山体崩壊による堆積物の調査を行った。また、マグマ供給系の変遷について、約 800 年前以降の噴出物をもたらしたマグマ供給系の構造について検討を深めた論文の原稿を作成した。

i）最新期のテフラ層序の補強調査

昨年度、本プロジェクトで得られた蔵王山の活動期 IV の噴火史を基に、マグマ噴出量階段図を作成した [44]。活動期 IV は約 3.5～1.3 万年前、約 9～3 千年前、約 2 千年前以降に細分されるが、その中の約 2 千年前以降の御釜火口由来テフラについて火口近傍にて手掘りトレンチ調査を含む層序調査を行った。

Za-Ok4 について

御釜由来テフラは Za-Ok1~7 に分けられている。今回、火口近傍の多数の箇所について手掘り掘削を行ったところ、Za-To4 が広く分布しており、また比較的厚く特徴的な岩相を示していることが判明した。火口近傍に分布している Za-To4 は主に降下スコリア層からなり、級化構造の特徴などからが幾つかのユニットに分けられる（図 23）。規模の比較的大きいストロンボリ式噴火によるものと考えられる。また、一か所において Za-To4 の直上から古土壌試料が得られ、^{14}C 年代測定の結果、西暦 1500 年前後の暦年較正年代値が得られた [45]。

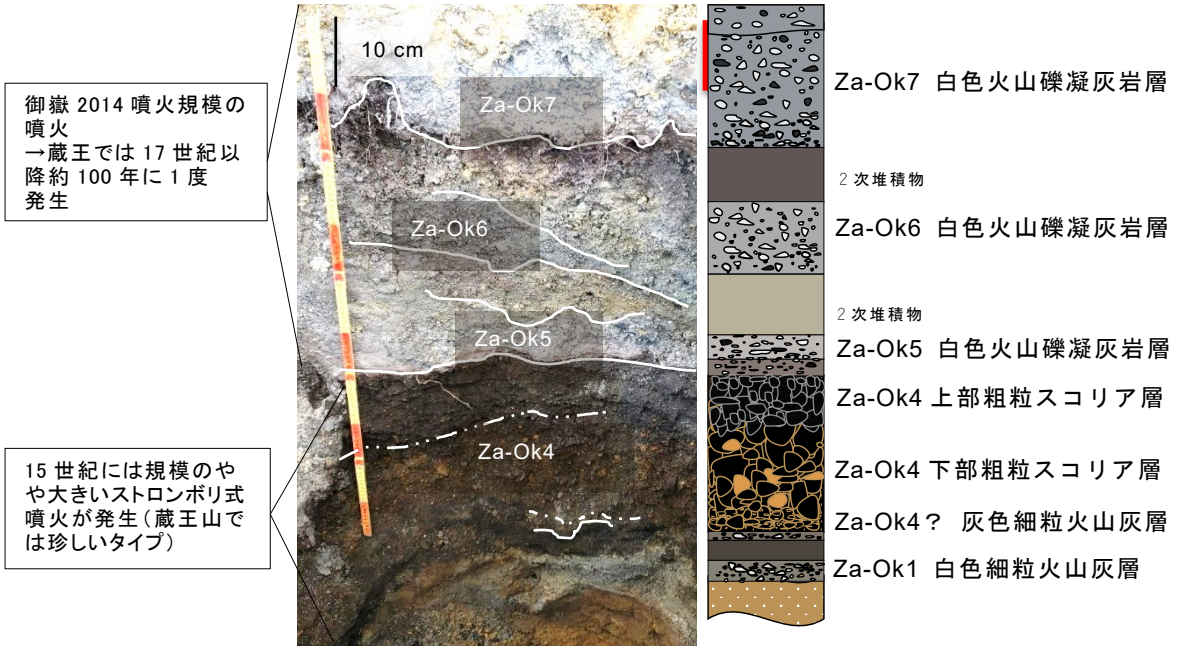


図 23　Za-Ok4～7 の代表的露頭写真と柱状図。

Za-Ok5，6 について

1895 年噴火噴出物である Za-0k7 については地表付近に広く分布しているため、これまでの調査によって、白色粘土質火山灰層からなる熱水系が関与したマグマ水蒸気噴火によるもので、規模は御嶽山 2014 年噴火と同等であったと推定されている。今回の手掘り調査によって、その下位に Za-0k5,6 の各々の下部を構成する白色粘土質火山灰層も広く分布していることが分かった（図 23）。Za-0k5,6 の各々の下部白色粘土質火山灰層は、火口近傍に分布している Za-0k7 と岩相や規模が同規模であることが判明した。Za-0k5,6 は各々主に 17 世紀、18～19 世紀のものと推定されているため、Za-0k7 も合わせると、蔵王山では御嶽山 2014 年噴火と同規模の噴火が過去約 3 百年間に 3 回発生してきたことが分かった [45]。

ii）最新期の溶岩の種類・層序・岩石学的特徴の解明

最新期に活動した溶岩は、古い方から濁川溶岩、濁川上流溶岩、五色岳東方溶岩、刈田岳北方溶岩、五色岳南方溶岩、振子滝溶岩に分けられる。2015 年に作成された産総研発行の火山地質図 [46]では濁川上流溶岩は認定されていなかったものである。今回、最新期に活動した年代既知の火砕岩類と溶岩との全岩化学組成の比較を行った結果、濁川溶岩は約 31 ka、濁川上流溶岩、五色岳東方溶岩、刈田岳北方溶岩は約 30～10ka とこれまでとやや異なるが矛盾はない結果となったが、五色岳南方溶岩、振子滝溶岩についてはこれまでよりやや古い推定年代となった [47]（図 24）。

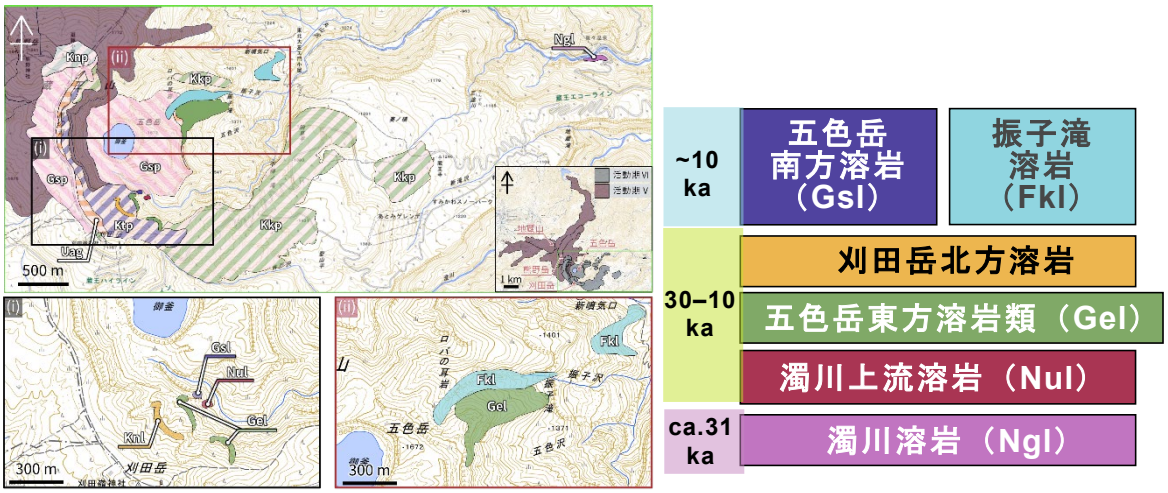


図 24 蔵王山の最新期溶岩の分布と層序図。

iii）約 8 千年前以降のラハール堆積物の調査

蔵王山東麓の河川沿いに露出している地層の調査を基に、過去のラハール堆積物の調査を進め、過去約 8 千年間に少なくとも 15 回ラハールが発生したことなどを明らかにしてきた [48]。しかし、山麓では地層が露出しているのは川沿いのみで、ラハール堆積物の分布を解明することに困難を来していた。昨年度に引き続き、川沿い以外で掘削可能な場所（図 25）で重機トレンチ掘削調査を行った結果、ラハール堆積物が 2 枚観察された（図 26）。

今回認められた堆積物は、川沿いで認められていたラハール堆積物のうちの約6.5千年前及び約8千年前とされたもの（M6とM7）に対比可能と推定された。この2枚は比較的広範囲に分布している可能性がある。最終年度には、これらの分布を追跡する予定である。



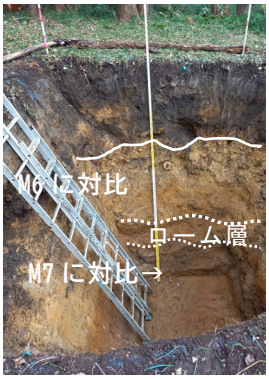


図25　重機トレンチ実施位置図。　図26　トレンチ掘削による堆積物の写真。

iv）最新期初頭に発生した山体崩壊による堆積物

蔵王山山頂付近には東方に開いた馬の背カルデラ[49]が存在する。このカルデラの成因は崩落型の可能性が考えられてきたが、その確かな証拠が見つかっていなかった。東麓の遠刈田地域北方には高位段丘が発達しており、これまでは段丘礫層から構成されていると考えられていた[50]。この地域一帯を調査した結果、岩屑なだれ堆積物の特徴を露頭が多くの箇所で確認された。地形観察の結果、高位段丘と同等の面が遠刈田地域の南方を流れる松川の対岸にも所々分布し、その地域でも岩石屑なだれ堆積物が認められた（図27）。

岩屑なだれ堆積物の発生源としては、馬の背カルデラの他に、南蔵王山の屏風岳東部のカルデラも考えられる。岩屑なだれ堆積物中の礫には、前者には存在し、後者には存在しない低カリウムソレアイト質のものも認められるため、発生源は前者であると推定された。なお、岩屑なだれ堆積物の下位に存在する泥岩試料について、約4万年前という^{14}C年代値が得られた。

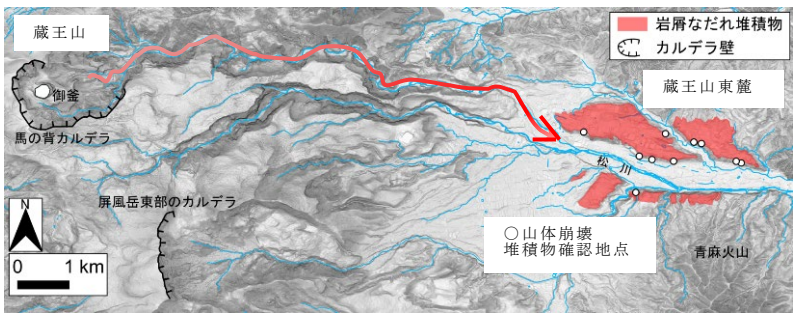


図27　蔵王山東麓の岩屑なだれ堆積物分布図。

v）約800年前以降の噴出物をもたらしたマグマ供給系の構造

蔵王山の約800年前以降のマグマ供給系については、これまでの研究によって、深部由来高温マグマが注入した結果、浅部安山岩質マグマが活性化され噴火に至ったこと、活性化は数年前より活発になったことが明らかとなっていた。活性化時期

について、これまでの研究では直方輝石斑晶内の元素拡散を用いて推定してきたが、今回は斜長石斑晶も用いた検討を行った。その結果、噴火につながる活性化は数年前から顕著になったことが追認されたことに加え、それより以前の活性化を記録した部分から得られた滞留時間にかなりのばらつきが認められた。同じ部分が活性化されているならば、噴火直前の活性化を記録している結晶は、活性化された時期を全て記録しているはずである。そうでないのは、浅部マグマ溜りの局所的部分が活性化されて噴火に至ってきた可能性が考えられる（図 28）。

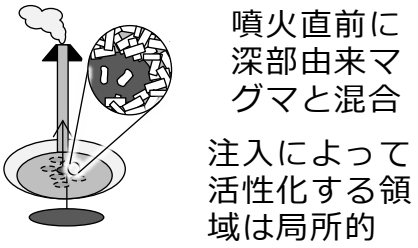


図 28　蔵王山御釜噴火マグマ供給系概念図。

i）吾妻山：噴火活動履歴の再検討（山形大学・秋田大学・茨城大学）

i）古地磁気学的手法を用いた噴出年代とマグマ噴出量階段図の試作（茨城大学）

はじめに

吾妻火山は福島県北部に位置する複合火山で、東部は一切経山、前大巓などからなり、その頂上部には直径 2 km 以上の凹地（浄土平）が存在する[53]。浄土平には、完新世に形成された吾妻小富士などの火砕丘および複数の火口群が形成され、これらは総じて吾妻―浄土平火山（以下、浄土平火山）と呼ばれる（図 29）[54]。浄土平火山は、約 6.7 ka の桶沼火口の活動に始まり、現在まで活動をする活火山である[54]。吾妻小富士（以下、小富士）は、浄土平火山の主要な火口の１つであり、火砕丘とその遠方相である降下テフラ、および溶岩流を噴出したとされる[54]。その活動年代は、遠方相の降下テフラに挟在する土壌の ^{14}C 年代から 5.9～4.8 ka とされる[54]。また、浄土平内の広範囲に広がる溶岩流（以下、浄土平溶岩）は、地形判読から、小富士か桶沼が給源であると考えられていたが[54]、新しい噴出物に覆われ、年代も含めてその詳細は不明である。R6 年度は、小富士、桶沼、浄土平溶岩の前後関係を検討し、年代の推定を行う目的で、地質調査および古地磁気方位の測定を行った。

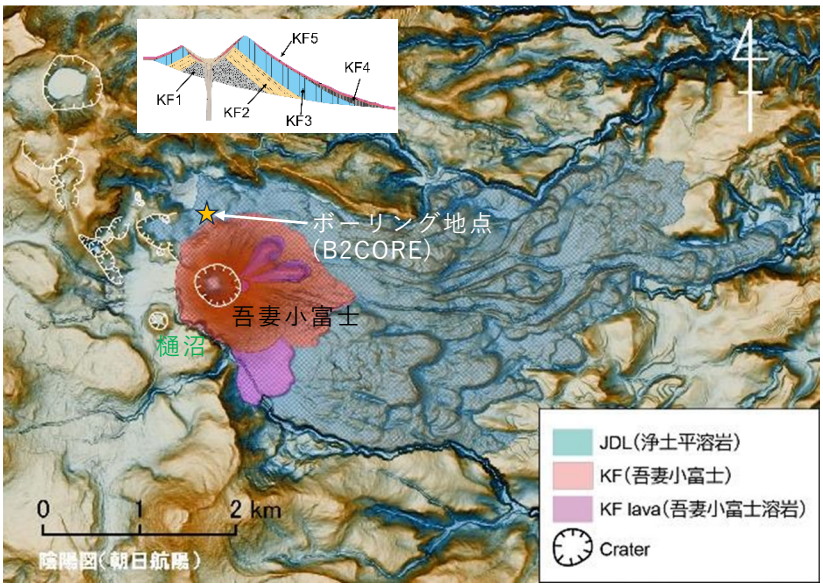


図 29　吾妻浄土平火山の地形と噴出物の分布。(上部挿入図は小富士の模式的断面図)

噴出物区分と古地磁気測定用試料採取

地質調査によって小富士噴出物のユニット区分および小富士と浄土平溶岩の層位関係を検討した。その結果、小富士噴出物を下位から KF1～KF5 の 5 ユニットに区分した(図 29:挿入図)。KF1 はアグルチネート、KF2 は火山礫凝灰岩から凝灰角礫岩、KF3 はアグルチネートおよび火砕成溶岩(図 29 の吾妻小富士溶岩)、KF4 は焼結スコリア層、KF5 は火口近傍では火山角礫岩～火山礫凝灰岩であり遠方では火山砂層として観察される。KF5 の遠方相には十和田中掫(とわだちゅうせり) テフラ(5.9 ka)が挟在し、これらが浄土平溶岩を被覆する関係が認められることから、浄土平溶岩の噴出は小富士の活動以前で、少なくとも 5.9 ka 以前と考えられる。

古地磁気測定用の試料は、小富士から 3 ユニット 7 サイト(KF3 aggl L, KF3 aggl U, KF4 scor, KF5 bomb, KF3 lava①, KF3 lava②, KF3 lava③)、浄土平溶岩から 4 サイト(JDL lava①, JDL lava②, JDL lava③, JDL baf)、桶沼から 1 サイト(OK)、各サイト 5～1 のコア 2 試料を採取した。また、R4 年度に行ったボーリング調査(図 29 の☆)で得られた溶岩のコア試料(B2CORE)も、伏角のみしか求められないが、分析に供した。古地磁気方位の測定においては、段階消磁実験を行い、特徴的残留磁化成分(ChRM)を求めたのち、サイトごとの平均方位と 95%信頼区間(α95)を算出した。

浄土平火山噴出物の層序と年代

古地磁気方位測定の結果、全てのサイトで、サイト内でまとまったChRMを求めることができた（α95≦5.6°）。サイトごとの平均方位は、小富士、浄土平溶岩、桶沼でそれぞれまとまり、3つのグループに分かれた（図30）。それらの全平均方位は、小富士グループ（KF Cone group：図30の赤文字のユニット）で偏角（Dm）= 8.8°、伏角（Im）= 51.8°、α95 = 4.0°、浄土平溶岩グループ（JD Lava group：青）でDm = 341.1°、Im = 59.5°、α95 = 3.4°、桶沼（OK：緑）でDm = 357.6°，Im = 62.9°，α95 = 5.0°であった。KF Cone groupとJD Lava groupとOKでα95を超えた古地磁気方位の明らかな差が認められることから、小富士、浄土平溶岩、桶沼の活動には、明確な時間間隙が存在することが示唆される。またB2COREはIm = 57.8°，α95 = 2.4°と、浄土平溶岩と整合的な値を示し、分布域的にも矛盾がない。

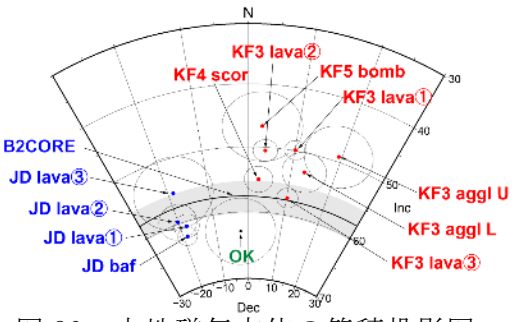


図30　古地磁気方位の等積投影図。点はサイト平均で円はそのα95（灰色帯はB2CORE平均伏角のα95）

次に、琵琶湖ボーリングコアから得られた過去1万年間の永年変化曲線（PSVC）[55]との比較から年代値の推定を行った。比較にあたっては、双極子磁場を仮定し、本研究で得られた方位を琵琶湖における方位に変換した。その結果、KF Cone groupとOKは、それぞれ5.9～4.8 kaと7.2～6.8 kaと見積もられ、先行研究の年代と整合的であった。一方、JD Lava groupは、9.8～9.4 ka、7.4 ka、7.2～6.8 kaの年代でPSVCと一致した。これらの年代は、KF Cone groupの年代よりも有意に古く、地質学的に判断した前後関係とも矛盾しない。これらの結果から、従来、小富士と同時期と考えられていた浄土平溶岩は、小富士の活動よりも千年以上古いことが明らかとなった。さらにKF Cone groupを構成する各サイトの方位を詳細に見ると、α95が重複するものとしないものが存在し（図30）、これらの変化は古地磁気永年変化を表していると考えられる。日本における過去1600年間の古地磁気方位の平均変化率は1年あたり0.06°程度である[56]。小富士火砕丘を構成する各ユニット間の角距離は、KF3からKF4で約6°、KF4からKF5で約8.3°であることから、それぞれの角距離を移動するのに、約100年と約140年を要する。上記の年代論を踏まえて、浄土平火山の（特に前半部の活動の）噴出量階段図を作成した（図31）。浄土平溶岩の体積は本火山噴出物の9割以上を占めることから、本火山は初期（9.8 ka～6.8 ka）に最盛期を迎え、小富士の形成から現在まで段階的に噴出率を減じてきている推移が明瞭となった。

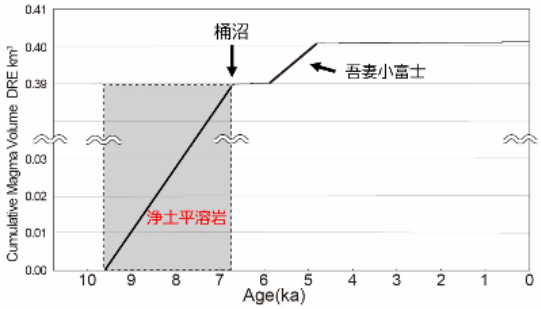


図31　吾妻―浄土平火山の前半活動の噴出量階段図。

ii）歴史時代噴火履歴の再検討（山形大学・秋田大学）

吾妻山の歴史時代の噴出物としては、マグマ噴火噴出物の大穴ユニット（1331 年と推定）と水蒸気噴火噴出物 1 ユニット（1711 年と推定）が従来認識されていた[54]。一方、最近の研究[57]では大穴ユニットのテフラ層の上位には複数のテフラ層が認められている。そこで、2022 年度より大穴ユニットより上位のテフラ層序の再検討を目的として露頭踏査・トレンチ調査・ボーリング掘削調査を行い、R６年度も露頭・トレンチ調査を行った（図 32）。これまでには、同期間のテフラ層序の刷新および各火口の活動評価に資する成果が得られている。

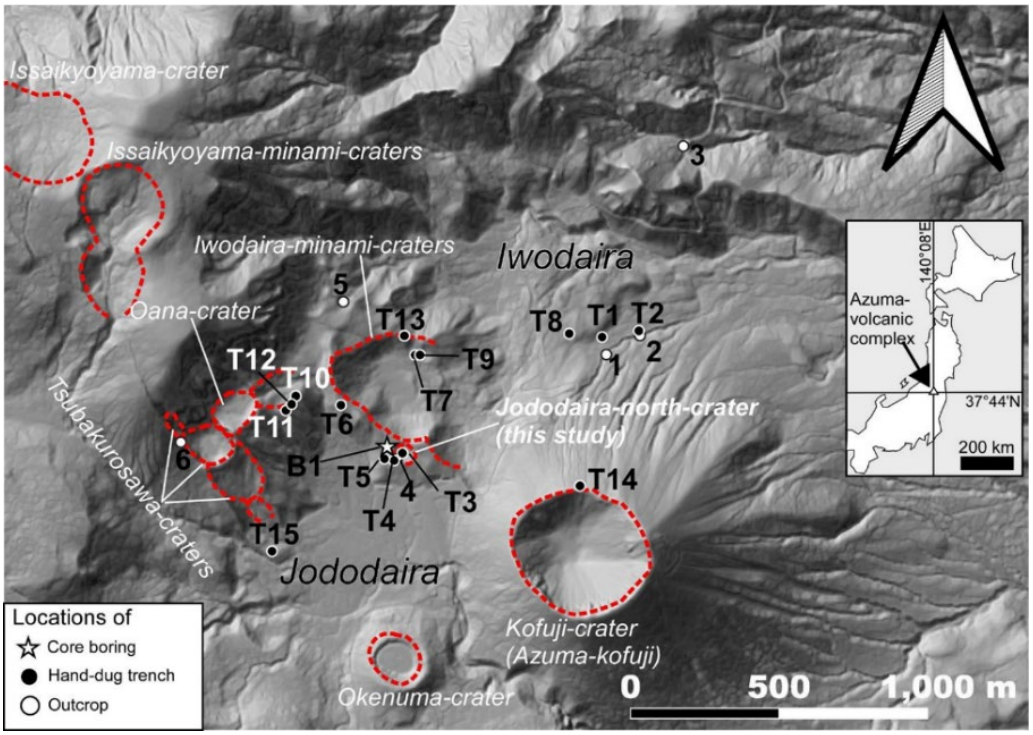


図 32　1331 年噴火以降の噴火履歴調査における各種調査地点。図中の 1～６は露頭観察地点、T1~T15 はトレンチ掘削地点、B1 はボーリング掘削地点。

これまでの調査結果より、OA1-1～OA2-2 を含む 21 枚の降下火砕物の存在を認めた（図 33）。挟在する各古土壌層の ^{14}C 年代値に基づき、1331 年以降の活動を 5 つの噴火時期に区分した。各テフラは、従来の大穴火口と燕沢火口列の他に、浄土平北方の陥没地形（浄土平北火口・火砕丘）からも噴出したことが明らかとなった。

浄土平北火砕丘斜面のボーリング掘削結果（図 34）からは、トレンチ結果で確認されていた JN2（図 33）に対比される粘土質テフラが 2 m と厚くなり、さらに JN2 の下位に層厚 2 m の粘土質テフラ JN1 が存在することが判明した。これらは浄土平北火砕丘の主な構成物である。同火口壁には JN2 よりも新しい噴出物（JN3-JN6）も認められており、これらには大穴火口由来の噴出物（OA3・OA4）が挟在することから、本火口ないし本火砕丘の活動は大穴火口の活動と連動していた可能性がある。

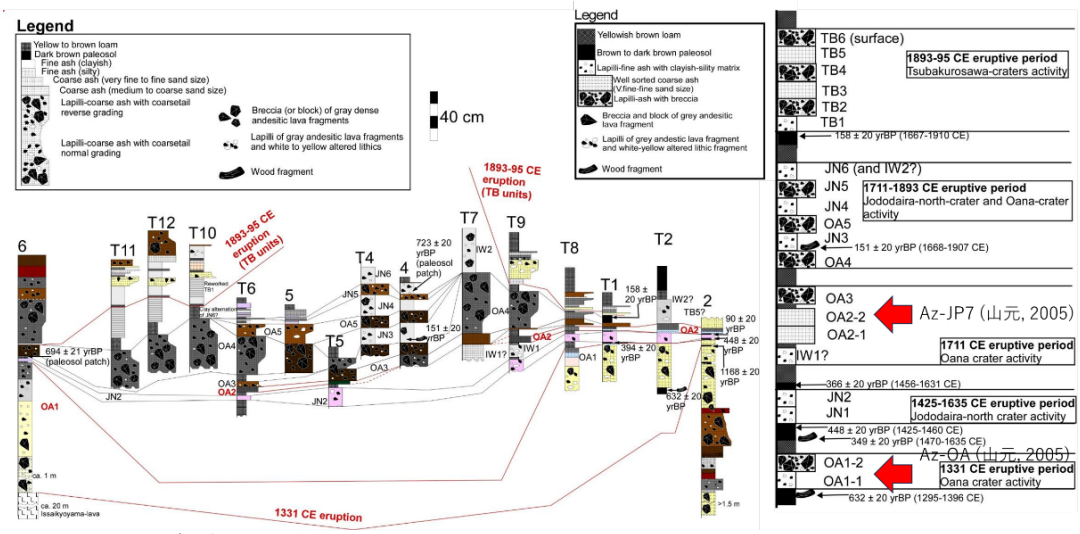


図 33　吾妻山鎌倉噴火以降のテフラ層トレンチ調査による各個柱状図と総合柱状図。

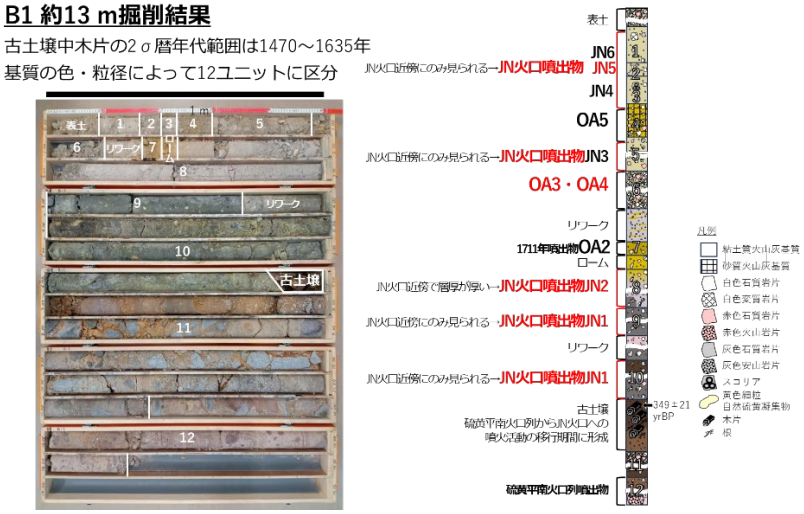


図 34　浄土平北火砕丘（B1 地点）ボーリングコア写真とボーリングコア柱状図。

iii）吾妻山、明治噴火の投出火山岩塊の分布と噴出条件の推定（山形大学）

当該投出岩塊の分布を野外調査と空中写真判読から求め、その分布を再現する噴出条件を推定する研究を本年度も継続して進めた。

j）那須岳：茶臼岳の噴火活動履歴の再検討と噴火事象系統樹の試作（茨城大学）

i）はじめに

那須茶臼岳（以下、茶臼岳）は、東北日本弧火山フロント南部に位置する那須火山群における唯一の活火山である。本火山の主要な噴出物は、約 20,000 年前から 600 年前に発生した 6 つのマグマ噴火ユニットからなるとされ、各ユニットは水蒸気爆発→ブルカノ式噴火→溶岩流出の一連の活動に由来すると考えられている [58]。しかしながら、これらのユニット内に見られる活動推移は露頭で直接確認できない場合が多い。さらに、茶臼岳の溶岩流は火砕物が溶結・流動した「火砕成溶岩」である可能性も指摘されており、噴火様式の再検討も必要である。以上の背景から、R6 年度の本研究では、噴火事象系統樹の作成に資するデータとして、茶臼岳の噴出

物層序と噴火様式を再検討し、山体形成史を再編することを目的とした。これらのデータを基に噴火事象系統樹の試作も行った。

ii) 那須茶臼岳の山体形成史再編

野外調査と室内分析の結果から、茶臼岳を構成する堆積物を、下位から順に、火砕成溶岩と火砕流を主体とする Cone-building stage 噴火堆積物(10.2 ~ 6.8 ka)、ブルカニアン降下火砕物を主体とする Vulcanian stage 噴火堆積物 (3.1~2.7 ka)、溶岩ドームを主体とする Dome-building stage 噴火堆積物 (0.6 ka) の 3 つに分類した (図 35)。山元 [58]によって記載されている CH1 の火砕流 (19.5 ka) と溶岩流は、規模の大きさ (1 km^3 以上) と岩質 (デイサイト) が他の噴出物と比べて特殊であり、現時点で十分な調査を行っていないため、今後の検討課題とする。以下にそれぞれの Stage 噴火堆積物の詳細を述べる。

茶臼岳山体の北と南の斜面は火砕丘の斜面と思われる安息角を示す地形が確認できる (図 36 左)。さらに、東斜面で見られる溶岩はこぶし大の火砕物が溶結した岩相を示しており火砕成溶岩と判断できる (図 36 右)。これらの結果から、茶臼岳山体の大枠は、火砕丘として形成されていると考えられる。また、2023 年度に行ったボーリング調査の結果等から、同じ時期 (活動初期) に火砕流を複数発生させていることも確認できた。これらを Cone-building stage 噴火堆積物として、下位から CL-1~4 の 4 枚の火砕成溶岩流と、CP-1~3 の 3 枚の火砕流堆積物を定義した(図 35)。CP-1 中の炭化木片から 10.2 ka、CP-2 の炭化木からは 6.8 ka の ^{14}C 年代値が得られた。

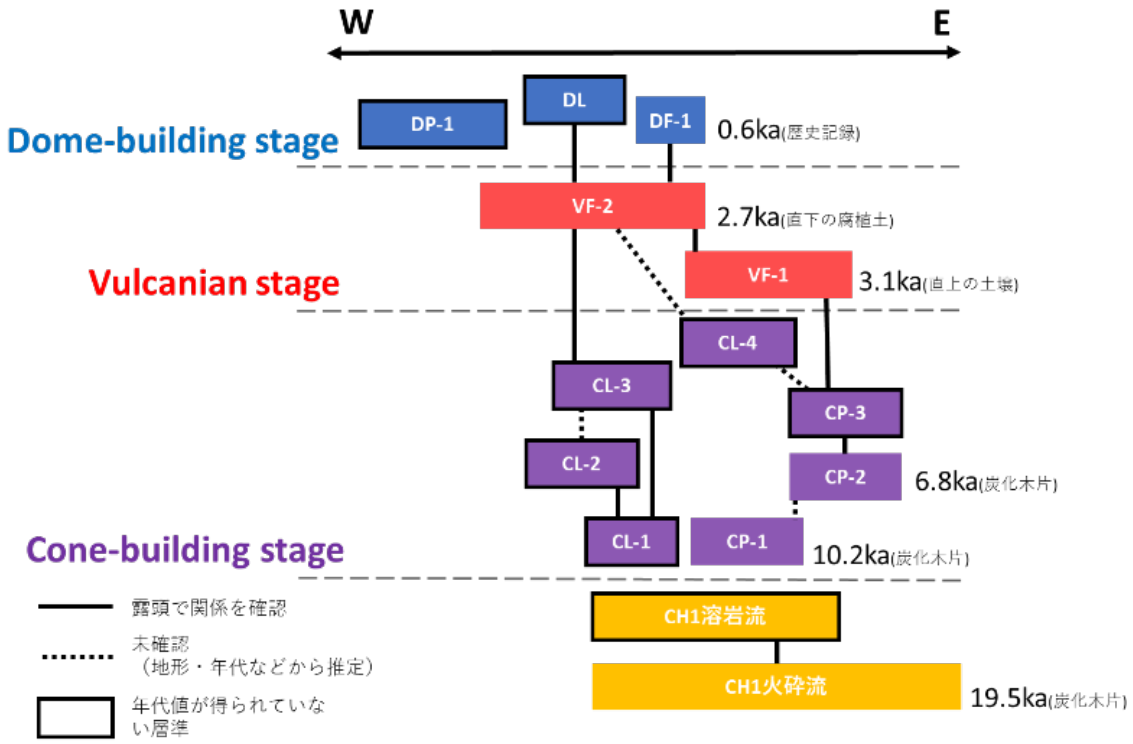


図 35　那須火山群の活動史 (年代はすべて暦年較正後の値)。



図 36　南西側から見た茶臼岳南斜面（左）と CL-2 火砕成溶岩の接写（右：スケールは 20 cm)。

火砕丘がつくる火口地形の内側と周辺斜面を覆うように薄く堆積する火砕物が認められ、これらを Vulcanian stage 噴火堆積物として下位から VF-1~2 の 2 枚を定義した。下位の VF-1 は VF-2 と同一露頭で確認でき、CP-3 の上位に見られる。上位の VF-2 は赤色で固結しており、溶岩ドームの基底部を取り囲むように広く分布するため鍵層として利用できる（図 36 左)。また、山体西部にて火砕成溶岩を直接覆う様子が確認できる。VF-1 からは 3.1 ka、VF-2 からは 2.7 ka の年代値が得られた。また、ボーリング調査の結果等から、この時期に水蒸気噴火の発生頻度が増すことが確認できた。

Dome-building stage 噴火堆積物として、山頂部を構成する溶岩ドームである DL、ドーム周縁部の狭い範囲に主に火山弾として認められるブルカニアン降下火砕物 DF-1、山体西部に流下する火砕流堆積物層 DP-1 の 3 層を定義した。これらは、広域テフラである榛名二ッ岳―伊香保テフラ（Hr-FP：1.4 ka）の上位に見られ、歴史記録から 1408～1410 年の噴火堆積物であると考えられる。また、山体東部の複数地点で、DF-1 の直上に同堆積物を母材としたラハール堆積物が認められる。

以上の結果から、茶臼岳は、山元 [58] で述べられたような水蒸気噴火→ブルカノ式噴火→溶岩流出というサイクルを 6 回繰り返して成層火山体を発達させたというより、活動様式の異なる３つのステージを経て形成された火砕丘と考えられる。その山体形成史は、次のように要約できる。活動初期（約 1 万年前）には火砕物を大量に噴出するような噴火（主にストロンボリ式噴火）が発生し火砕丘を形成、その東斜面は全体に溶結した火砕成溶岩をなした。この活動は約 7 千年前には終了し、その後、約 4 千年の休止期を挟んで、火砕丘頂部に形成された火口からブルカニアン噴火を 2 回発生させた（約 3 千年前)。その後、2 千年程度の休止期を経て、西暦 1408 年から、山頂部で比較的小規模な火砕噴火と溶岩ドームの形成を経て現在に至る。

iii）水蒸気噴火の推移予測

水蒸気噴火の発生後の中長期的推移は、①数か月以内で終息する、②半年～数十年間断続的に発生する、そして③規模の大きなマグマ噴火に移行するという 3 パターンに分けられる [59]。本研究では「最初の水蒸気噴火発生時点で①～③のどれに移行するかを物質科学的に予測する」ことを目的とし、茶臼岳において、各パターンの水蒸気噴火堆積物を採取し、それらの室内分析を実施した。試料は、本質物質を含まず青灰～黄白色に変質した粘土質火山灰層を水蒸気噴火噴出物と認定した。以降、パターン①・②のそれを「単一層」、③を「先行層」と呼ぶ。

得られた 17 試料について、細粒部に対しては粉末 X 線回折(XRD)分析を、粗粒部に対しては SEM-EDS 分析を行い熱水変質鉱物種の同定を行った。その結果、単一層よりも先行層にカルシウムに富むミョウバン石(フーアン石)が特徴的に多く含まれることが分かった(図 37)。フーアン石は 200℃以上のカルシウムイオン濃度が高い条件で生成することから、先行層は、単一層に比べより高温・酸性の熱水系に由来する可能性が高い。マグマは、熱水系の熱源であり、SO_2、H_2S など酸性成分の供給源でもあることから、先行層の噴火時は、単一層のそれよりもマグマが熱水系に接近していたと推測でき、このためマグマ噴火へ移行する確率も高いというモデルが考えられる。

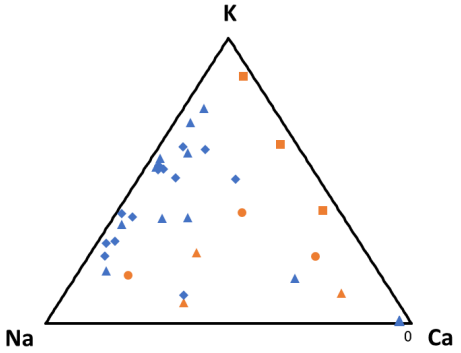


図 37　ミョウバン石の組成(Ca-Na-K)比。オレンジ色が先行層、青が単一層。

iv) 噴火事象系統樹の試作

以上の成果を踏まえて、那須茶臼岳の噴火事象系統樹を試作した(図 38)。最初の分岐条件(前兆→噴火するかどうか)は、1900 年代以降の地球物理学的観測事例を基に、前兆現象(火山性地震、噴気増大、鳴動等)後の噴火の有無で発生割合(%)を決定した。2 つ目以降の分岐条件と発生割合は、地質学的情報から復元した噴火推移を基に決定したが、水蒸気噴火で始まった噴火がマグマ噴火へ移行するかどうかについては、上記の物質科学的手法によって予測精度を向上させられることが期待できる。

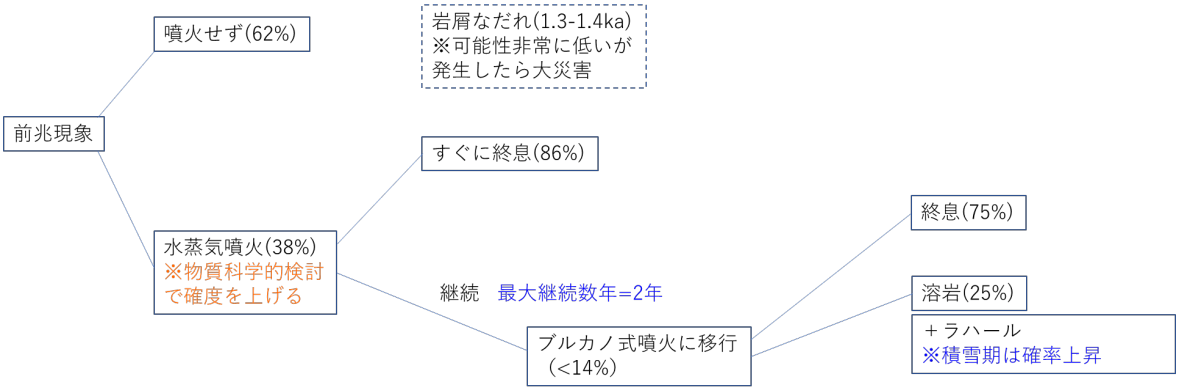


図 38　那須茶臼岳の噴火事象系統樹(試作)。

k) 浅間山:トレンチ掘削による浅間火山の噴火履歴復元および大規模噴火の実態解明(日本大学)

i) はじめに

浅間火山では、地表踏査、トレンチ掘削調査と多数の放射性炭素年代測定を組み合わせた手法により地質調査をすすめている。プロジェクト前半では浅間前掛火山の高分解能 1 万年噴火史の復元と階段ダイヤグラムの試作を行った。プロジェクト後半では、最近 3 万年以内の浅間火山群の最大規模噴火の実態解明を目標としてい

る。火山防災マップが配布されている浅間火山周辺の５市町村の範囲は、過去３万年間の時間スケールでみると、黒斑火山の山体崩壊による岩屑なだれと仏岩火山の大規模噴火による火砕流などの影響を受けている。これらは低頻度大規模災害ではあるものの、火山防災上、影響範囲の把握や活動の実態解明は重要である。後半は次の①と②に注目して調査を行っている：①約 2.8 万年前の仙人・黒斑火山の大規模山体崩壊と関連する活動②約 1.6 万年前以降の仏岩火山のクライマックス噴火の噴火推移と影響範囲。令和６年度は、従来調査があまりされていない山頂火口の北西～南麓の３地点でトレンチ掘削を行い、堆積物の確認・記載を行った（図 39)。

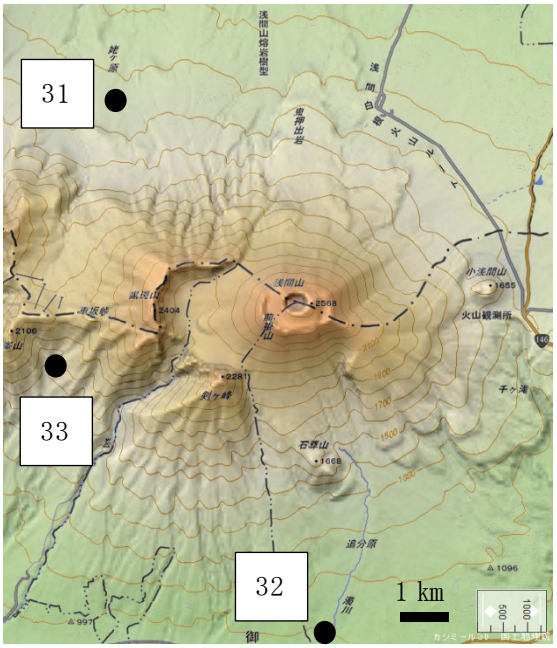


図 39　浅間火山群北西～南麓における令和６年度の重機トレンチ掘削調査地点（カシミール 3D により作成)。

ii）調査結果

トレンチ 31：群馬県嬬恋村鎌原・広川原（山頂火口の西北西約 5.4km)

本地点は標高 1,356ｍの緩傾斜地にあり、約５ｍの掘削断面に上方から黒色土壌、火山灰互層、降下軽石、火山灰互層、細粒火山灰層が認められた。岩相や粒径の違いから HG1～8 にわけた（図 40A)。1.6ｍの厚さの黒色土壌の中央部に灰色火山灰と褐色軽石から成る降下火砕堆積物 HG-2 が挟在する。その下位の土壌 HG-3 は褐色で、下位の黄褐色の風化火山灰 HG-4 と境界部が漸移する。HG-5 は火山灰互層で HG-6 の上に整合的に載る（図 40B)。層厚 1.4ｍの厚い降下軽石 HG-6 は粒径の異なる 4 つのサブユニットにわけられ、上方から粗粒(MP4.5cm)、中粒、粗粒、細粒と変化する。HG-7 は合計層厚 72 ㎝で少なくとも 32 枚の火山灰層にわけられるが（図 40C)、最上部は一部侵食されている。色調はさまざまで、淡桃色の細粒火山灰層も含まれる。最下層は中粒でとうたが悪く、灰白色の軽石や岩片から成り、炭化物（湿地性植物とみられる）を特徴的に含む。最下部の１ｍ以上（HG-8）は黄褐色の細粒火山灰か

ら成るが、極少量の丸い軽石粒子（最大径 5ｃｍ）が含まれる。細粒火山灰成分（1/16mm 未満）が 52%を占め、全体に細かい。

層位的に HG-2 は E グループの UG（姥ケ原軽石）に対比され、本地点での層厚は UG の等層厚線図[60]から予想される層厚とも矛盾しない。また HG-6 はこの方角に広く分布する嬬恋降下軽石 YPK であるが、ここでは最下部の降下単位が細粒であることが確認された。

トレンチ 32：長野県北佐久郡軽井沢町三ツ石地区（山頂火口の南約 13.6km）

石尊山南方の本地点（標高 1,008m）は濁川の西方 348mに位置する。岩相や粒径の違いにより上から MI-1～8 にわけた（図 41A)。地表から MI-5 の基底までが最大約 193 cmであるが、MI-2 は掘削面で 20～50 cmまで層厚が変化する。MI-1,3,5 は黒色土壌で MI-5 は泥炭質である。MI-2 はスコリア質のブロックと暗灰色の基質火山灰からなる非溶結の堆積物で、基底部に炭化材を含む厚さ 5cm の砂質部とその下位に厚さ 1cm の赤紫色の細粒火山灰層が認められる。MI-4 は上部 18 cmの橙色の軽石層（MP1.4cm）と下部 5cm の灰色火山灰層から成る。MI-6～MI-8 は基質支持の堆積物である（図 41B)。MI-6 と MI-７’は灰白色の基質火山灰と円磨された軽石から成り、MI-6 の途中から地下水が出た。淡灰色の MI-7 は MI-7’の上部が土壌化した部分とみられるが、1/16 mm未満粒子を 56%含み非常に細粒である。MI-7 は 12ka の ^{14}C 年代を示した。MI-8 は不均質な基質中に雑多なブロックが多数含まれる。ブロックの形状は亜角レキが多く、岩質は斜長石斑晶が細粒な溶岩片が多く、次いで赤灰色、粗粒輝石斑晶を含む灰色岩片も含まれる。

層位と層厚、岩相から MI-4 が As-E グループの御代田軽石（My）に対比される。My の分布[61]の主軸部に近い。本地点は分布域の外側で As-B は認められないが、MI-2 は周辺地質より天仁噴火の追分火砕流に対比される。周囲の地形は東方の濁川へ向かって低くなり、MI-2 は掘削面で東方へ向かって層厚が増える。東方の濁川の谷を埋めた追分火砕流堆積物が、西方の高まりにアバットして薄層化しているとみられる。MI-7 の土壌の年代より、MI-6 が小諸第２軽石流に、MI-7‘が小諸第１軽石流に対応するとみられる。岩相と層位から MI-8 は黒斑火山の岩屑なだれ堆積物であると考えられる。

トレンチ 33：長野県小諸市己・高峰高原の下方（山頂火口の西南西約 4.8km）

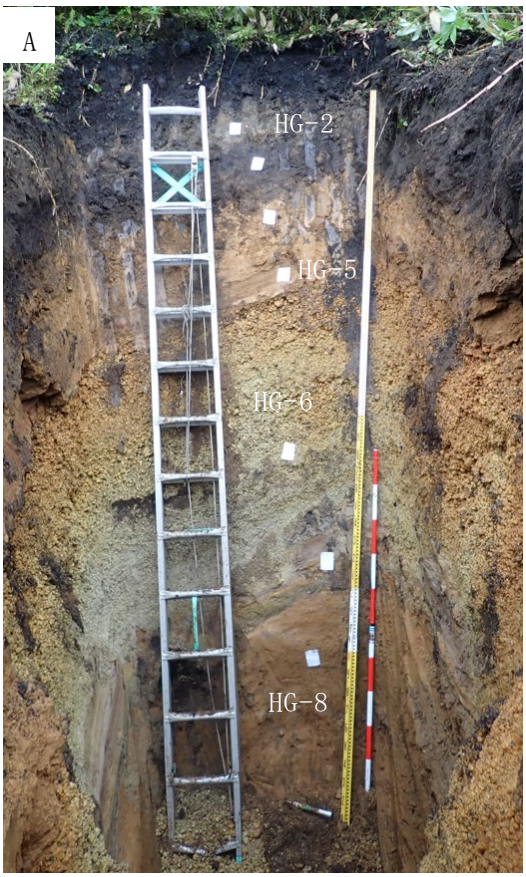
本地点は黒斑山の南西、標高 1685mの斜面に位置する。深度約 2.5mの掘削を行った。約 2.5mの掘削面の表層から約 70 cmは黒色土壌で、その下位に多数の軽石や火山灰の層が認められ、最下部からは数 10 cm大の火山岩塊が多数出現した。粒径や構成粒子の違いから上から KP-1～13 に分けた（図 42A)。黒色土壌（KP-1）は無構造であるが中央部やや下部に極少量の橙色の軽石が散る。KP2 は褐色土壌で KP-1 と漸移する。KP-4,6,8 は中～細粒の軽石と遊離結晶から成るレキ支持の層で、全体にゴマシオ状を呈する。KP-5 と 11 は淘汰の良いレキ支持の層で、数センチ大の軽石から成る。KP-11 の厚いところで立ち木の炭化木が認められ、直上の KP-10 では横倒しになっている産状が見られた（図 42B)。KP-3,7,9,10 は淘汰が悪く、軽石と同質の基質火山灰から成る。KP-3 には緻密で灰色の小浅間のドーム溶岩と類似した扁平な岩片が少量含まれる。KP-10 には炭化木片が多産する。KP-12 は下半部は紫色の

火山灰層、上半部は灰色の火山レキ層である。KP-13 は径が数 10 cmに及ぶ緻密な岩塊（亜角レキ）とローム質の火山灰が混在する。最上部は褐色で土壌化している。岩塊は多様な色調・組織の溶岩片から成る（図 42C）。

KP-11～KP-3 は降下軽石や火砕流の繰り返しによって形成されたらしい。KP-11 の軽石の降下によって根元が埋没した樹木は、KP-10 の火砕流によってなぎ倒され、火砕流堆積物の熱によって炭化したものとみられる。

iii）今後の課題

令和 6 年度は主に浅間火山の南麓～北西麓での地質調査をすすめたが、北西麓の地質に関してはまだ不明な点が多い。特に小諸第 1 軽石流堆積物と小諸第 2 軽石流堆積物の分布や火砕流の流下単位と嬬恋降下軽石や火山灰互層との層序関係が明確でない。これは、火砕流の規模が大きく、単一の露頭では境界部が認められる露頭が少ないことと、個々の地点では厚く無構造で特徴的な産状を示さないため、野外において判別をすることが難しいことによる。総合的な層序の把握や噴火推移復元のためには、地質調査を継続して行う必要がある。





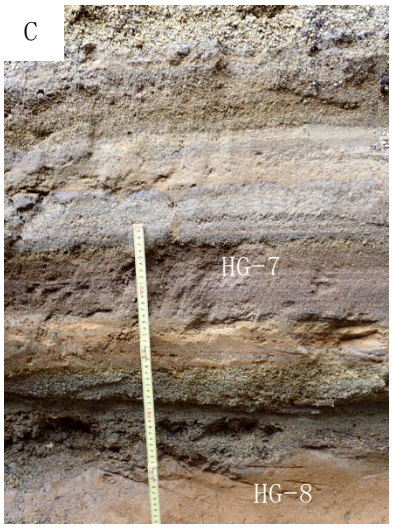


図 40　トレンチ 31。　A ：全景、
B:HG-5 と 6 の境界部、C HG-7 と 8 の境界部。

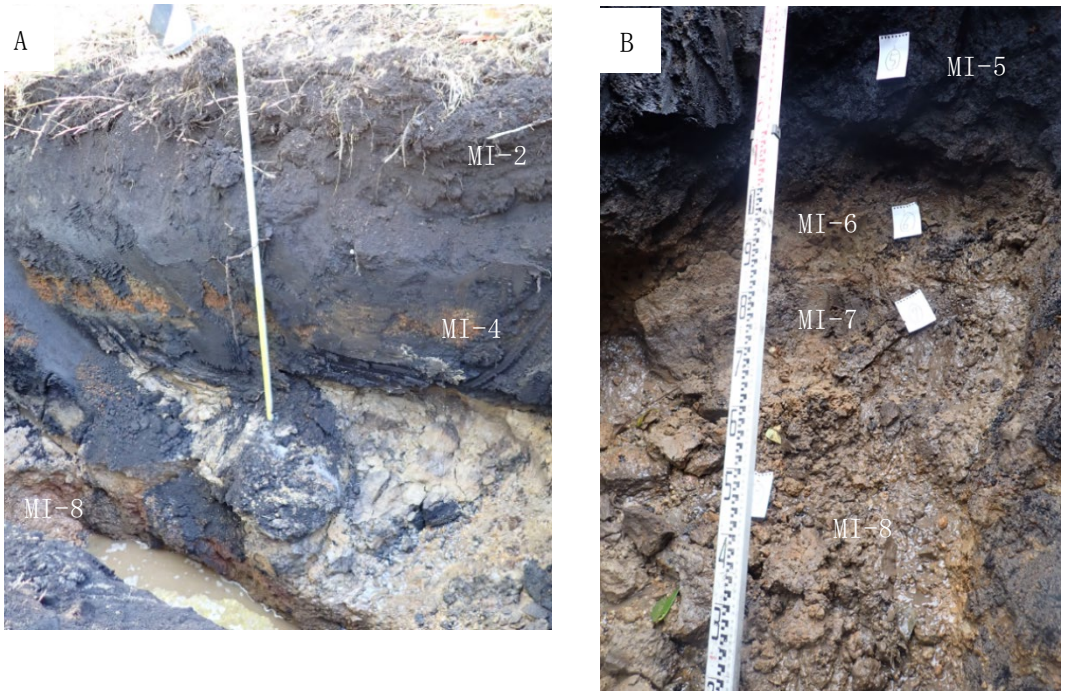


図 41　トレンチ 32。　A:全景、B：MI-5～8 の産状。

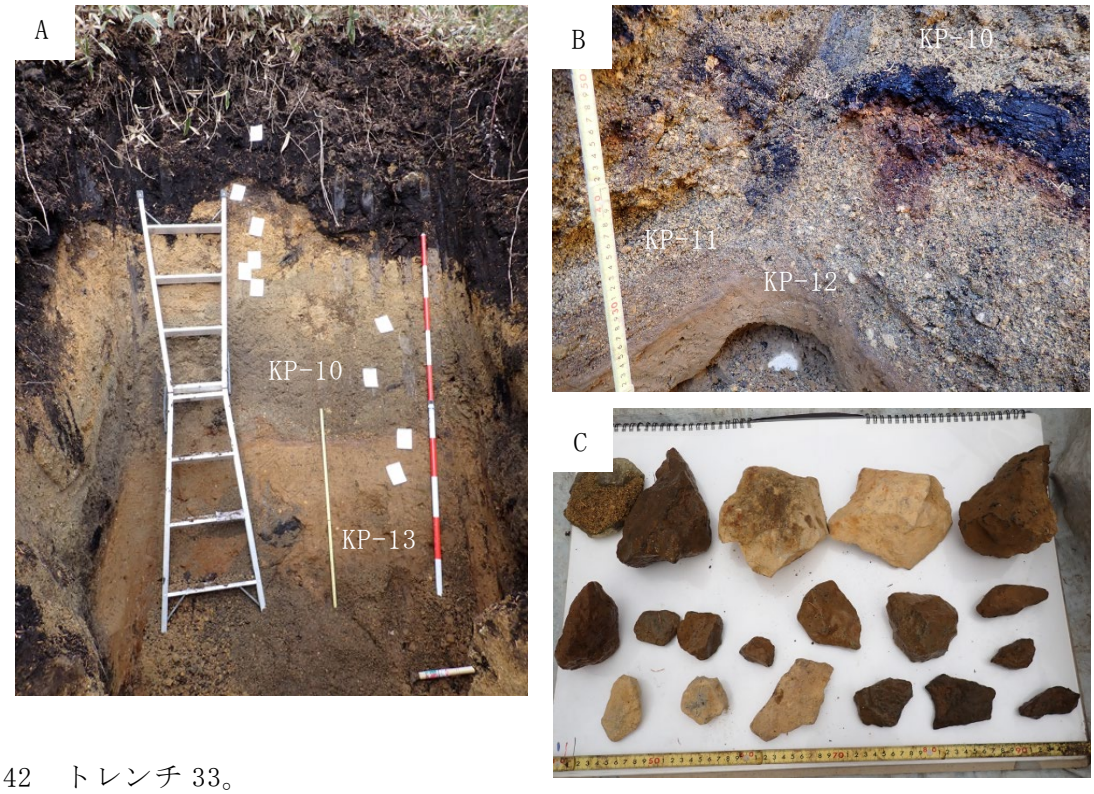


図 42　トレンチ 33。
A:掘削断面の全景、B:KP-10,11 に見られる炭化木片、C; KP-13 に含まれる多様な岩片。

1）志賀火山および草津白根火山：地表調査及び噴出物の年代測定による噴火履歴の解明（富山大学）

i）はじめに

草津白根火山と志賀火山は、群馬・長野県境付近に位置する活火山であり、草津白根火山群を構成する。令和 6 年度は、草津白根火山の各活動（旧新の順に第 1 噴火期、第 2 噴火期、第 3 噴火期[62]）の噴出物と、志賀火山の最初期のマグマ噴火の噴出物[63]（鉢山火口から噴出した旭山溶岩、鉢山溶岩）及び最新のマグマ噴火の噴出物[63]（志賀山火口から噴出した志賀溶岩２～３）について年代測定を行い、長期的マグマ活動の変遷を検討した。

ii）本研究で新たに得られた知見

草津白根火山の噴出物計 19 試料（石基濃集試料）について、東京大学地殻化学実験施設の希ガス質量分析装置（MS-IV）を使用して K-Ar 年代（感度法）を測定した。その結果、同火山の長期的マグマ活動変遷について以下の知見が得られた。第 1 噴火期は約 600 ka に始まり約 510 ka まで続いた。その後、第 2 噴火期が約 510 ka に始まり、少なくとも約 80 ka まで続いた。その後、約 3 万年間の休止期を挟み、約 50 ka に第 3 噴火期が始まり、現在までその活動期が続いている。本研究により、先行研究[62]で考えられていた長期間（約 20～30 万年間）の休止期が存在しないこと、各活動期のマグマ噴火が継続して起きていたことが明らかになった。

志賀火山の旭山溶岩と鉢山溶岩（図 43）については、熱ルミネッセンス年代を測定した。志賀火山の最初のマグマ噴出物である旭山溶岩から 51.3±3.0 kyr、それを覆う鉢山溶岩から 55.3±2.7 kyr という値が得られた。これらの年代値は先行研究[64]で得られている K-Ar 年代とほぼ一致し、志賀火山の活動が約 5 万年前に始まったことが明らかになった。また、この活動開始年代は、南側に隣接する草津白根火山の第 3 噴火期の開始年代とほぼ一致してする。

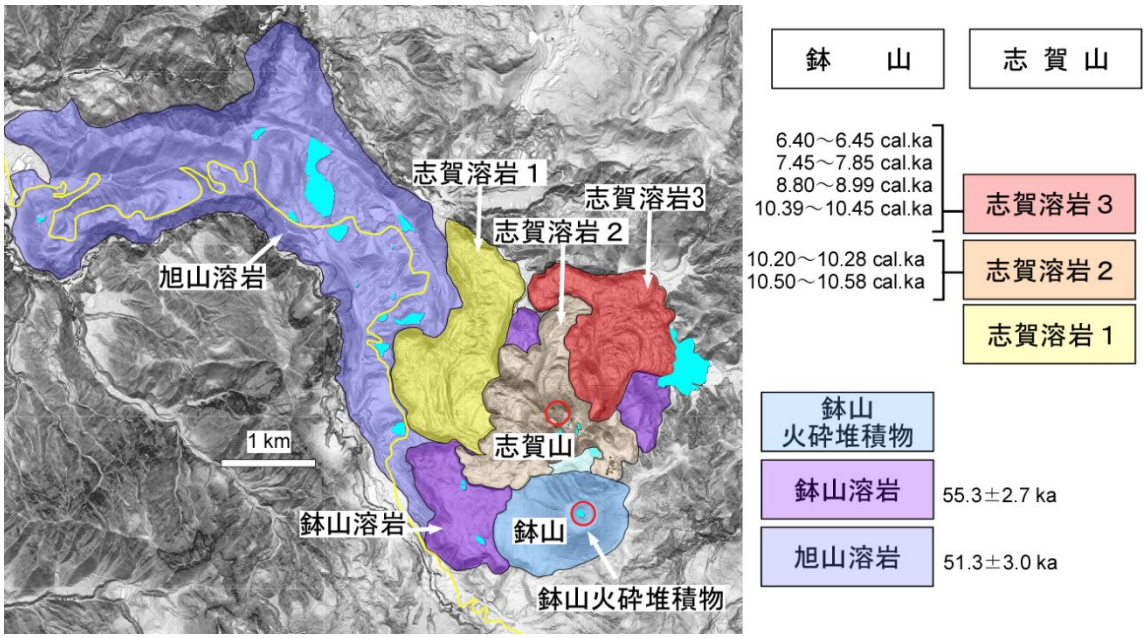


図 43　志賀火山の地質図と噴火年代。

志賀山から噴出した志賀溶岩 2 と志賀溶岩 3（図 43）に対して古地磁気による年代測定を行った。各溶岩の平均磁化方向を永年変化曲線[55]と比較した結果、志賀溶

岩 2 が 10.50～10.58、10.20～10.28 cal.ka、志賀溶岩 3 が 10.39～10.45、8.80～8.99、7.45～7.85、6.40～6.45 cal.ka のいずれかの年代範囲に噴出した可能性が高い。今後、浅間や草津白根、妙高などの近傍火山からもたらされた年代既知のテフラと各溶岩の層序関係を検討し、志賀山火口からの溶岩の年代を確定したい。

m) 新島・神津島・式根島：新島火山の物質科学的解析による長期マグマ変遷の解明：マグマの生成と起源について（筑波大学）

今年度は、昨年までの研究成果等について総合・整理し、伊豆、新島（および式根島火山）の流紋岩質噴出物について、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比較を行った。また鉱物・全岩化学組成結果やその時代変化等について再検討を行い、マグマの起源や生成過程等について考察を実施した。

i) 流紋岩の噴火区分（比較、再検討）

単成火山群を形成する噴火ユニットは（今までの報告書記載に記述済み）、地内島の噴火（100 ka 以降）に始まり、複数の噴火を経て、式根島、（若郷玄武岩）、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きた[65)66)]。また、宮塚山（12.8 ka）以降の噴火については、噴火順序や年代の一部修正案も提示されている[67)]。研究を行った流紋岩類（主に溶岩類）の斑晶鉱物は、斜長石、石英の他に、有色鉱物として直方輝石、カミングトン閃石、普通角閃石、黒雲母が含まれる。それらの組み合わせに基づいた 4 区分は、直方輝石―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[65)68)]。本研究では、式根島および神津島の一部の噴火ユニットの分析値も比較を行った。

ii) 鉱物および全岩化学組成

今までの研究成果で明らかになった点（各噴火ユニットの斑晶鉱物の化学組成、全岩化学組成など）を以下にまとめる。

斜長石の An mol.%、およびカミングトン閃石と黒雲母の Mg#は、噴出の年代と共に減少傾向を示す[68)]。また、今までの全岩化学分析の結果からは、流紋岩類は 75～79（wt.%）に集中し、全体的には Opx-Cum-type, Cum-type では Bt-type と比較し、MgO, FeO, CaO wt.% に富み、K_2O, Na_2O wt.% に乏しい傾向があるが、同じタイプ内でも、データ列が異なることが認められる（図 45a・b）。同様な傾向はトレース元素組成等でも確認される。また、式根島（Bt-type）と神津島の長浜（Cum-type）と 262m 山（Bt-type）は、K_2O などは新島の同タイプの岩石よりもやや高い傾向を示した。これらを考慮すると、流紋岩類については、それぞれのユニットが共通のマグマからではなく、別の浅所マグマに由来したことを示していると判断される（図 45a・b）。

iii) マグマの起源物質や生成過程に関する議論：Sr 同位体比との関連

新島火山の主体をなす流紋岩、また限られたユニットとして確認された玄武岩・安山岩、および流紋岩中の玄武岩質および安山岩質包有物の Sr 同位体比（$^{87}Sr/^{86}Sr$）について、以前測定したデータを含めて噴出年代に沿って比較を行った（図 46a）。流紋岩の $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比は、地内島以降、わずかではあるが増加傾向が認められるが

その後、12.8 ka の宮塚山溶岩で低くなり、その後の噴出物で同程度か、あるいは少し高い値に変化する傾向が読み取れる（図 46a)。このような Sr 同位体比の年代変化は、マグマの起源物質の違いに起因している可能性が示唆される。

また、図 46b は Sr 同位体比と SiO_2 wt.%との関係を示している。安山岩試料（２つ）を除くと、玄武岩類（若郷ユニットおよび阿土山の包有物）と流紋岩類のデータからは、重なりはあるものの違いが認められる。玄武岩類では 0.70334-0.70340 で、流紋岩類のデータ(0.70328-0.70340)に比べわずかに高い値を示している。この結果は、単成火山を形成した流紋岩質マグマは、新島北部に分布する玄武岩質マグマの結晶分化作用では説明が困難で、異なった同位体比を持つマグマからの生成が考えられる。珪長質マグマの生成の可能性としては、玄武岩質マグマの熱源を伴った地殻物質（下部―中地殻）の部分融解、あるいは玄武岩質マグマによる地殻物質の混合（AFC も含む）などが考えられる。この場合、Sr 同位体比の低い地殻物質が必要となる。また、地下のマグマ供給系に関する地域的な違い（例えば新島北部と南部、火山フロントからの距離など）を反映している可能性もある。これらの点については、式根島、神津島の先行研究のデータなども加えて比較・検討を進めている。

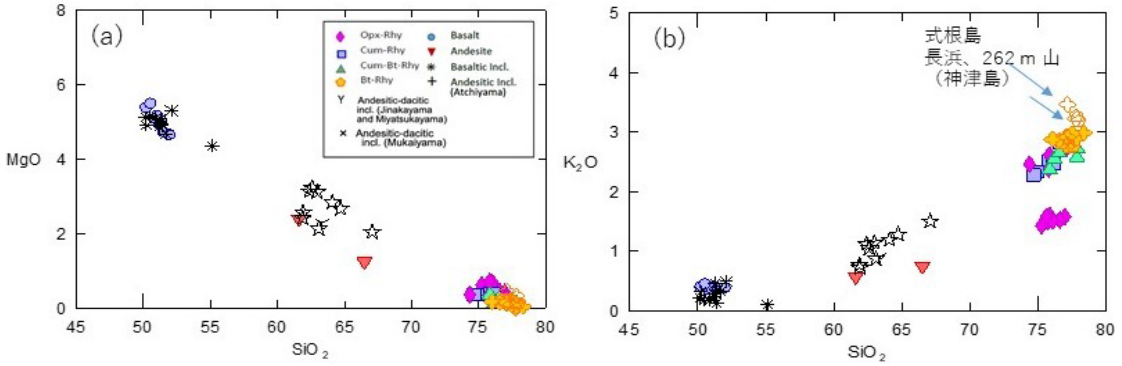


図 44　新島火山の噴出物の主要元素組成図。
(a)SiO_2-MgO, (b) SiO_2-K_2O 図 ：(Arakawa et al. [68]および追加データ（式根島、神津島の一部)。包有物データは Isshiki[65]，Koyaguchi [69]を参照。

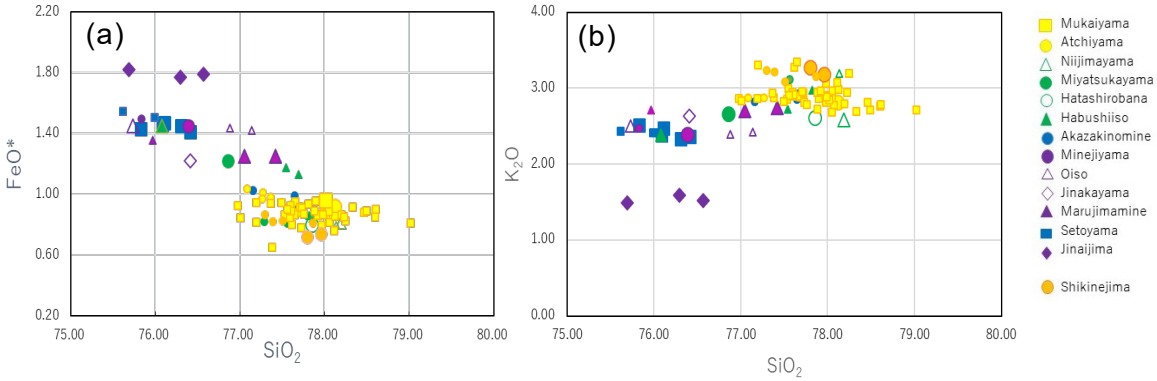


図 45　新島、式根島火山の流紋岩類の主要元素組成図:岩石タイプ、ユニットごとの比較。
(a) SiO_2-FeO*、(b)SiO_2-K_2O 図。記号（大）は Arakawa et al. [68]に新規データを加えたもの。記号（小）は荒牧・伊藤[70]より引用。

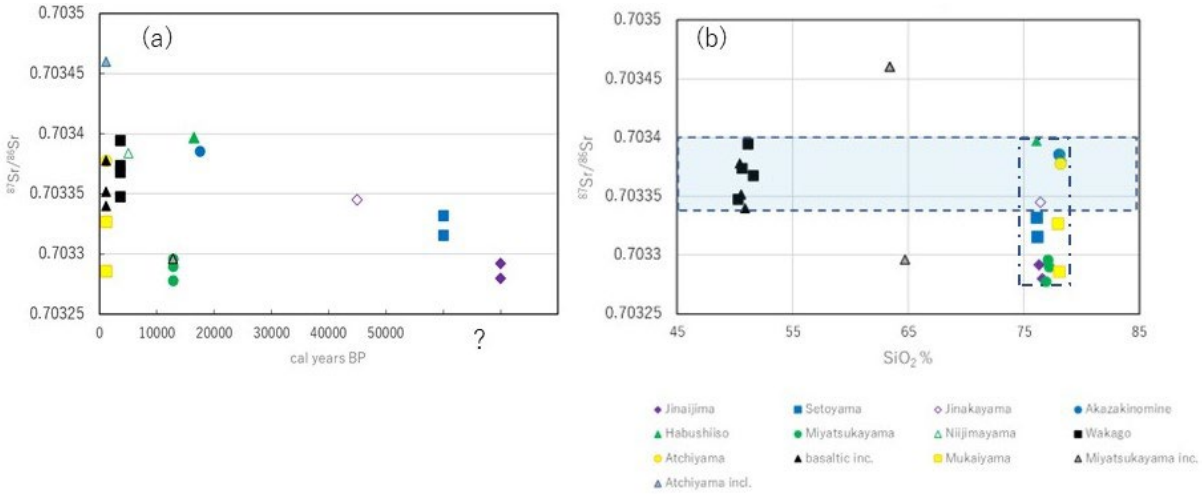


図 46　新島火山の噴出物の年代–$^{87}Sr/^{86}Sr$ 図(a)、および SiO_2 –$^{87}Sr/^{86}Sr$ 図(b)。$^{87}Sr/^{86}Sr$ は、 Arakawa et al.[68] に一部追加。年代は一色[65]吉田[66]小林ほか[67]を参照。

n）伊豆大島：伊豆大島の噴火履歴・噴火推移に関する研究（東京大学地震研究所）

伊豆大島については、中長期の噴火履歴解明のために、歴史時代の代表的な大規模噴火噴出物の化学組成、粒子物性、岩石組織の分析を進め、噴火毎のマグマ供給系やマグマ上昇過程についての考察をさらに進めた。また、産総研と協力し火山地質図作成のための基礎情報の整理、収集を行った。とくに、百数十年毎に繰り返す大規模噴火の噴出物の地質調査と火砕物物性・岩石組織の解析を進め、大規模噴火に共通の噴火推移やマグマ溜りの特徴、噴火毎のマグマ上昇過程を明らかにするための研究をさらに進めた。

o）風吹火山（白馬大池火山）:噴火履歴調査による活火山の再評価（産業技術総合研究所）

i）目的と調査位置

白馬大池火山[71)72)73)]は、長野県北西部の小谷村から新潟県南西部の糸魚川市にかけての飛騨山脈の北部に位置する第四紀火山である。最高点は白馬乗鞍岳(2,469m)で、稗田山（1,443m)、風吹岳（1,888m）などの山頂を持つ、南北 9 km、東西 11 km に広がるやや扁平な形をした安山岩－デイサイトの成層火山である（図 47・48)。火山体の頂部に火山名の由来となった白馬大池（2,379m）と風吹大池（1,778m）の二つの比較的大きな湖が存在する。この火山は、約 80 万年前に活動を開始した火山で、特に 7 万年前以降には火山体の北部の風吹大池周辺のみで火山活動がある(図 47)。風吹大池の周囲は「風吹」とよばれる場所であり、風吹岳などの地名もある。そのため、約 7 万年前以降に活動した白馬大池火山については風吹火山と呼ぶ[74)]。風吹火山の山頂周辺には浸食されていない新鮮な地形を持つ小火口群があり、最近も活動している疑いがもたれていたが、その活動年代などは不明であった。しかし、最近の研究によって風吹火山が完新世に活動したことが明らかになった[74)75)]。新たな活火山の発見は、防災上も重要であるため、2021 年度から本プロジェクトでも完新世の活動史を解明する層序・年代学的研究を開始した。

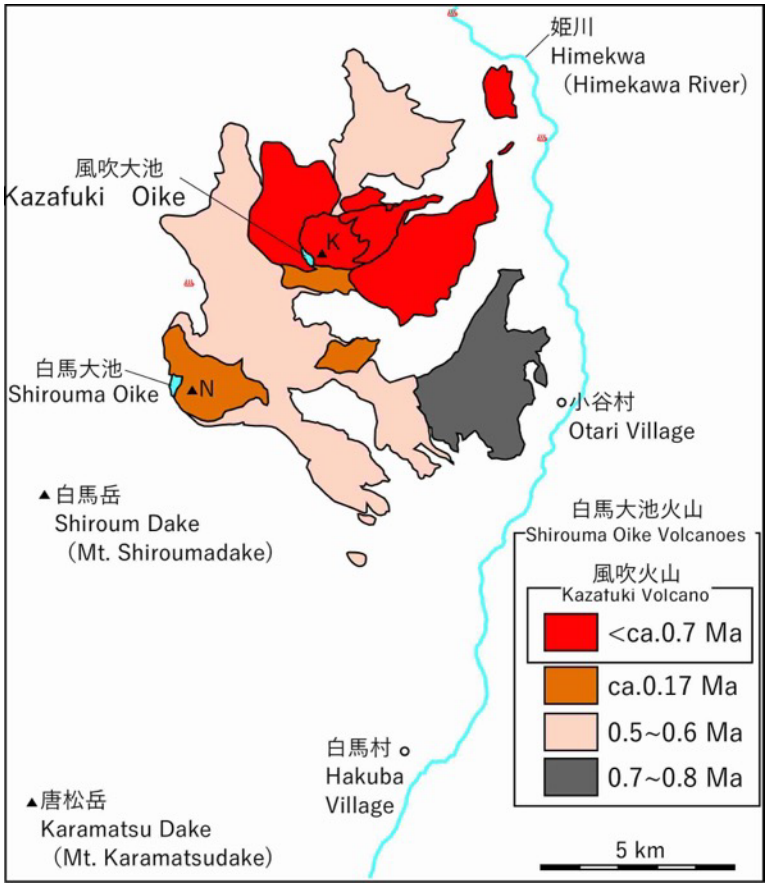


図 47　白馬大池火山の地質略図。中野ほか[73]、及川ほか[72]を基に作成。N：（白馬）乗鞍岳、K：風吹岳。

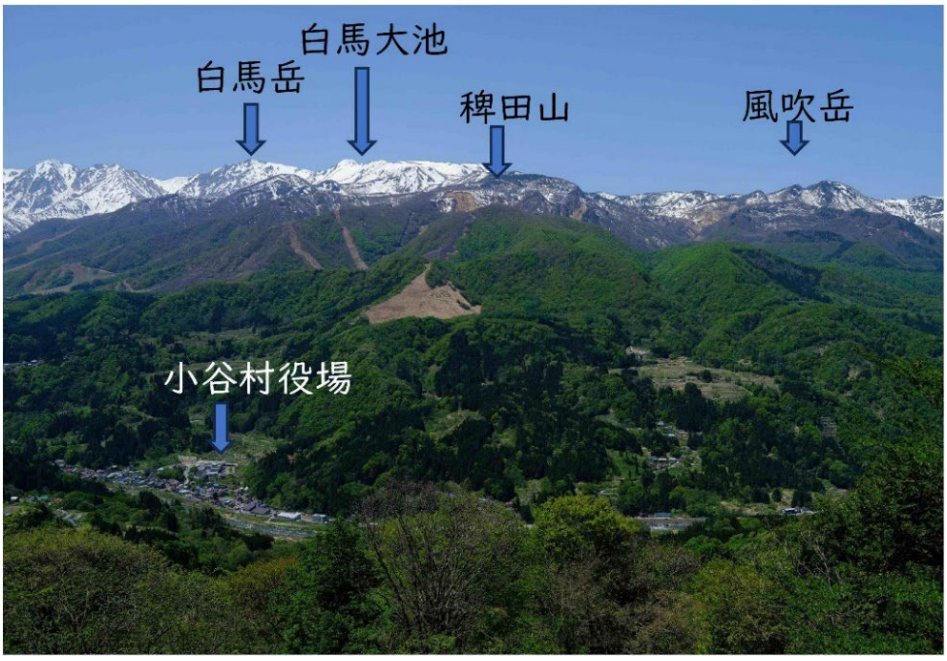


図 48　東側から望む白馬大池火山。

ii）調査結果

昨年度は調査結果のまとめを行い、風吹火山における完新世の噴出物の地質図（図49）の作成と、完新世テフラのまとめ（図50）を行い、約7,900年前（cal BP）のマグマ噴火で溶岩ドームや火山岩塊火山灰流を発生させるような噴火を行った後、約5,500年前から2,800年前にかけて7回の地層に残る規模の水蒸気噴火を繰り返したことを明らかにした。今年度は、いくつかのテフラの等層厚線図をまとめ、噴出物量の検討を行った。そのうち水蒸気噴火テフラである02および01テフラ（仮称）の等層厚線図を示す（図50）。この等層厚線を用いてFierstein and Nathenson[76]およびLegros[77]の方法で総噴出量を求めたところ、02テフラ層は2×10^5 m^3、03テフラ層は1×10^6 m^{3}と求まった。03テフラは、層厚・分布の比較から、風吹火山における最大の水蒸気噴火テフラである。水蒸気噴火テフラは、噴火後に地層として保存されるまでの間、浸食などによって層厚が減少することによって、総体積が数分の一から一桁程度ほど目減りする[59]ことを考慮しても、風吹火山で発生した水蒸気噴火の最大規模は100万m^{3}オーダで、1000万m^{3}に満たないと予想される。

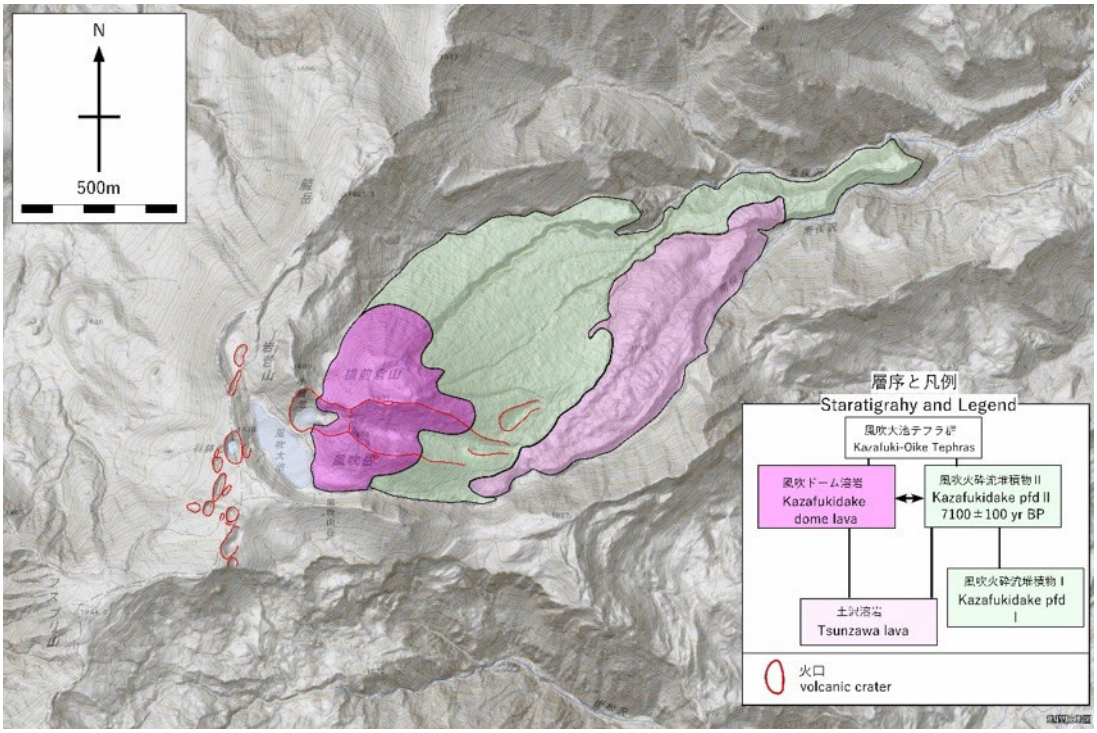


図49　風吹火山の完新世噴出物の地質図。基図に国土地理院の地理院地図を使用（標準地図及び陰影図）。

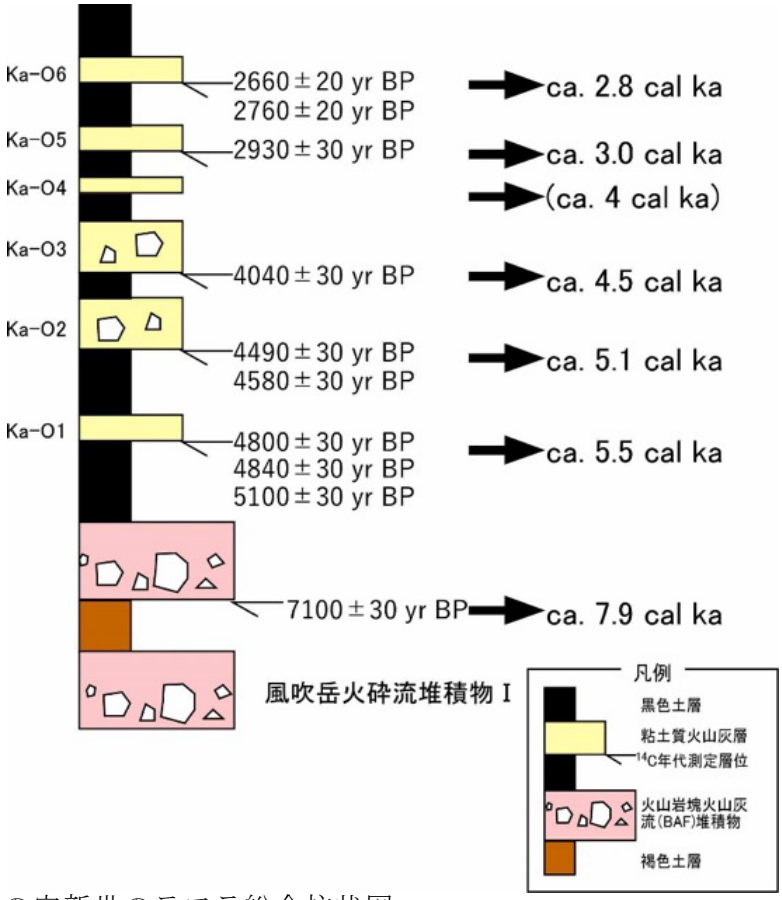


図 50　風吹火山の完新世のテフラ総合柱状図。

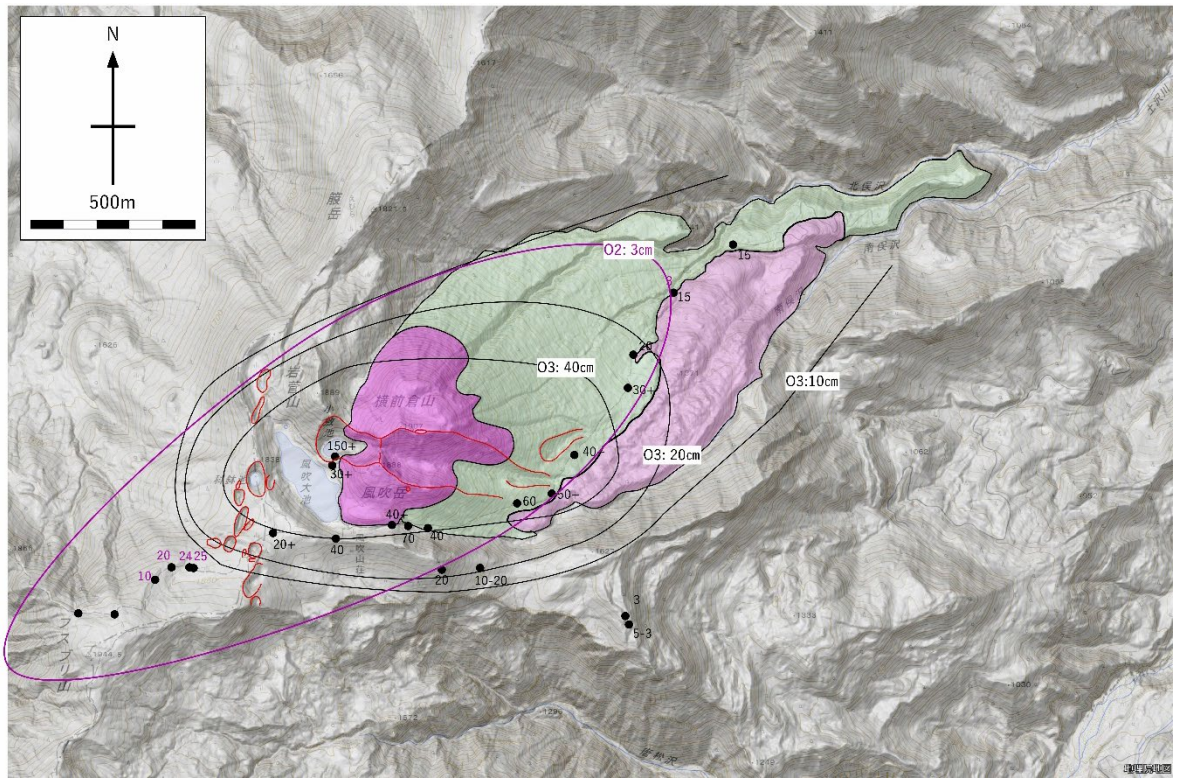


図 51　テフラ等層厚線図。

基図に国土地理院の地理院地図を使用（標準地図及び陰影図）。地質図は図 49 と同じ。

iii）まとめ

風吹火山は約 7,900 年前（cal BP）のマグマ噴火で溶岩ドームや火山岩塊火山灰流を発生させるような噴火を行った後、約 5,500 年前から 2,800 年前にかけて 7 回の地層に残る規模の水蒸気噴火を繰り返す活動を行った。これら水蒸気噴火は総噴出量 100～10 万 m^3 オーダの噴火であって、VEI＝１～2 程度の噴火であったと推定される。風吹火山では、約 2,800 年前より現在まで地層に残るほどの規模の噴火は発生していないが、火山体浅所での地震活動は活発で深部低周波地震も認められている[78)]。これら地震活動と完新世の噴火が認められることは、気象庁の常時観測火山とする条件を満たす[79)]。そのため、本火山は防災上注意すべき火山であるといえよう。

p）鷲羽池火山：地表調査による噴火履歴の解明（富山大学）

i）はじめに

鷲羽池火山は、北アルプス最深部に位置する第四紀火山であり[80)]、山頂部に明瞭な火口（鷲羽池火口）をもつ。最近、同火山の南麓の硫黄沢では大規模噴気活動が頻発しており[81)]、再噴火も危惧される。令和 5 年度までの調査により、本火山の周辺に水蒸気噴火による 2 層の橙白色粘土質テフラが分布することを明らかし、それぞれ鷲羽 A テフラ（噴出年代 5,000～4,000 cal yr BP)、鷲羽 B テフラ（噴出年代約 2,500～2,000 cal yr BP）と仮称した。令和 6 年度には、未踏査であった鷲羽池火口東方の高瀬川沿いと竹村新道(湯俣温泉～湯俣岳)でのテフラ分布調査を行い、採取したテフラ試料の物質科学的解析を行った。

ii）本研究で得られた新たな知見

高瀬川沿い及び竹村新道沿いでの地表調査では、テフラ層を全く確認できなかった。これは、踏査範囲（火口の東方）にテフラ層が堆積しなかった、あるいは、堆積したものの堆積場が河川沿いや急峻な山岳域であったため浸食され地層として定着しなかったためであろう。

テフラ試料の物質科学的解析からは、これまで調査してきた 2 層のテフラ層に火山岩由来のテフラ粒子が全く見らないことが明らかになった。鷲羽池火口は、火口内に溶岩が広く露出しており、もしこの火口で水蒸気噴火が発生したのなら、テフラ層中には必ず火山岩由来の粒子が含まれるはずである。したがって、鷲羽池近傍で見られる 2 層のテフラ層はいずれも鷲羽池火口からの噴出物ではないと結論される。R6 年度に改定したテフラ分布図（等層厚線図；図 52）からは、いずれのテフラ層も硫黄沢流域を給源にもつことが推測される。硫黄沢流域では近年も水蒸気爆発が繰り返し発生しており、今後は、この地域での火山活動モニタリングも視野に入れた調査・観測が必要になると思われる。

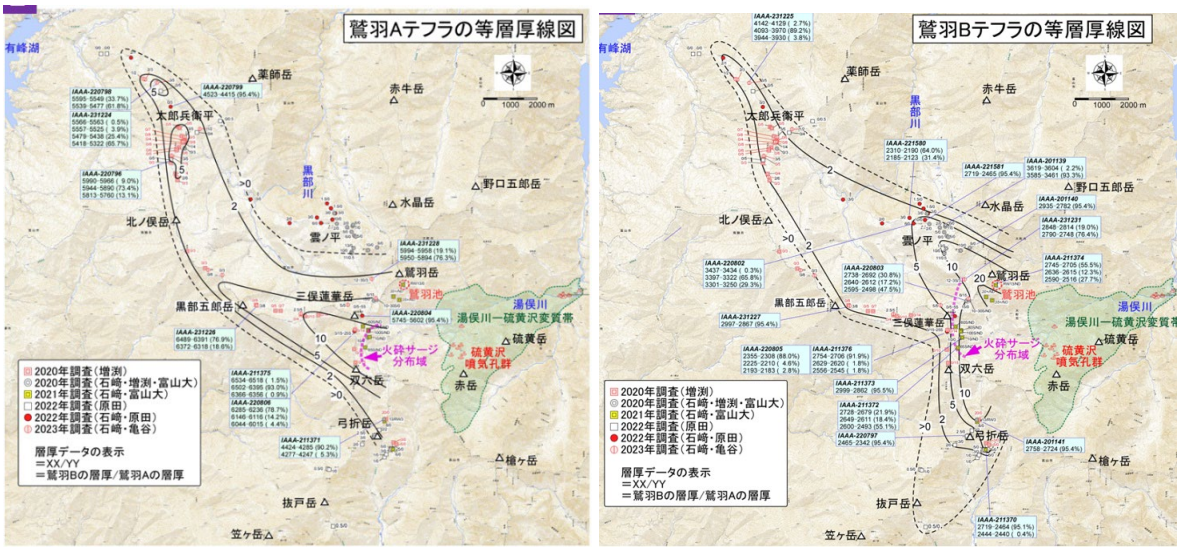


図 52　鷲羽 A 及び B テフラの等層厚線図。

q）焼岳：下堀沢溶岩の噴出年代と噴火史の再検討（信州大学）

i）はじめに

焼岳は長野県と岐阜県の県境に位置する活火山で、南に位置するアカンダナ火山などと合わせて焼岳火山群を構成している[82]。1962-63 年の水蒸気噴火を最後に噴火していないものの、地震活動がたびたび発生するなど[83]、次の噴火の可能性が懸念される活火山の一つである。焼岳の東麓と南麓に分布する下堀沢溶岩は焼岳の噴出物の総体積の 40-60%を占める最大の溶岩流であり[84]、焼岳の活動史を考えるうえで最も重要な噴出物である。東麓に流下した溶岩流の直上に堆積する中堀沢泥流堆積物中の木片の放射性炭素年代から噴出年代が 3,000-4,000 yBP と推定されているが[85]、溶岩そのものから得られた年代値の報告例がない。また流下方向の異なる複数の溶岩ローブから構成される可能性がある。そこで古地磁気学的手法を用いて溶岩流の年代推定を行い、ローブ区分の再検討を試みた。また現時点でのデータを基に階段ダイアグラムの試作を行った。

ii）古地磁気方位測定結果

下堀沢溶岩の 40 露頭から 109 個の溶岩試料を定方位で採取し、段階熱消磁実験を行い、古地磁気方位を求めた。その結果、南麓に流下した試料の平均古地磁気方位は Dec.=2.7°、Inc.=43.4°（α95=4.5°）、噴出口付近から採取した試料の平均古地磁気方位は Dec.=-3.9°、Inc.=50.4°（α95=4.8°）、東麓に流下した試料の平均古地磁気方位は Dec.=1.0°、Inc.=54.2°（α95=3.8°）と、東麓と南麓で測定誤差の範囲を超えて異なる古地磁気方位を示すことが分かった（図 53）。噴出口付近の値は両者の中間の値を示した。

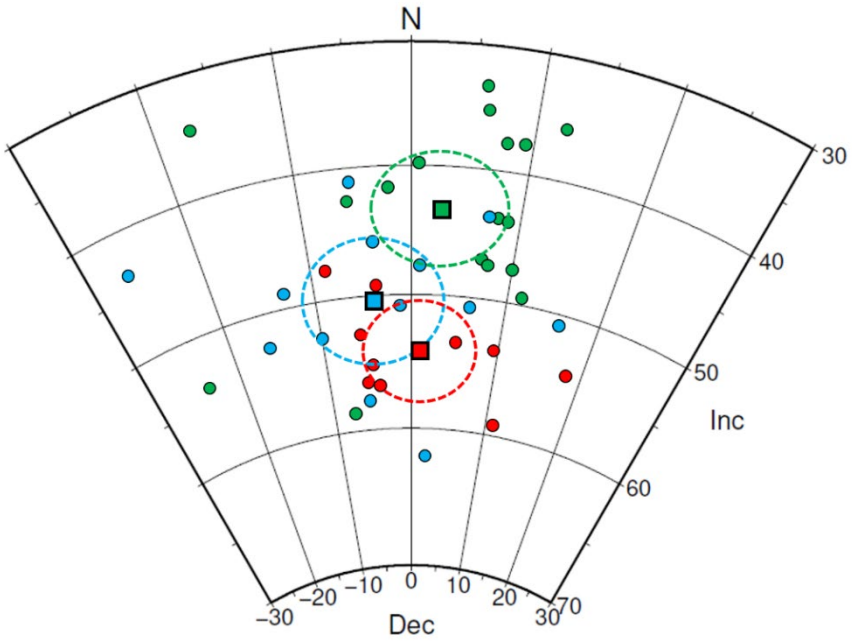


図 53　下堀沢溶岩試料の古地磁気方位の等面積投影図。赤：東麓の試料、青、噴出口付近の試料、緑：南麓の試料、□：平均方位、点線：α95。

iii）古地磁気強度測定結果

熱消磁実験結果を元に 54 試料を選定し、IZZI テリエ法[86]を行い、古地磁気強度を求めた。実験結果を Thellier GUI[87]を用いて解析し、CCRIT criteria[88]を満たした試料から強度値（VADM 換算）を算出した。その結果、南麓に流下した試料からは $6.9\pm0.6\times10^{22}$ Am^2、噴出口付近から採取した試料からは $6.7\pm0.5\times10^{22}$ Am^2、東麓に流下した試料からは $6.7\pm0.5\times10^{22}$ Am^2 の VADM 値が得られた（図 54）。方位結果とは異なり、強度値は東麓と南麓で大きく異なる値を示さなかった。

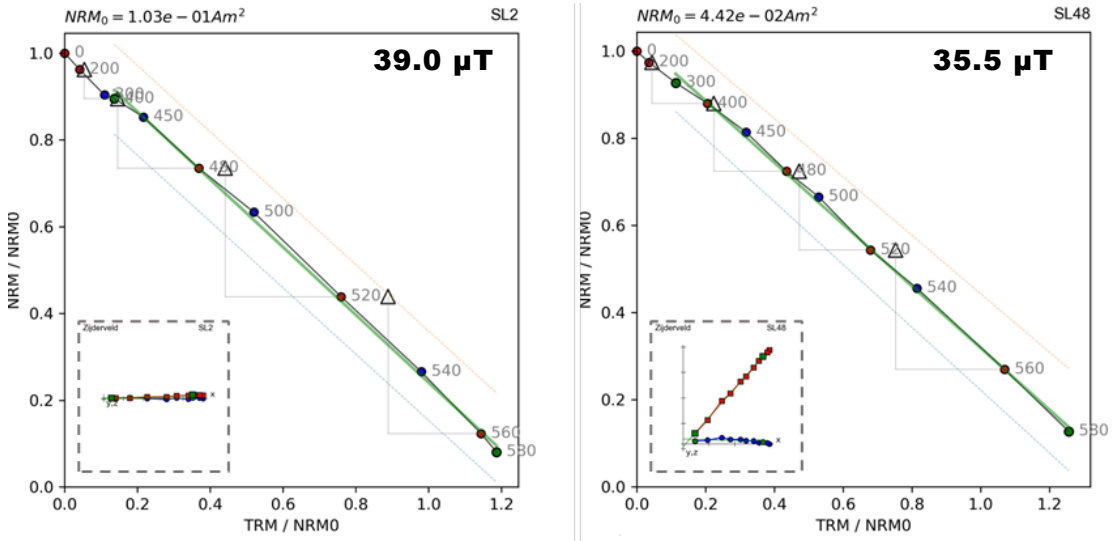


図 54　代表的な試料の強度実験結果。青丸：ZI steps、赤丸：IZ steps、三角：pTRM check、緑線：best fit line。

iv) 古地磁気学的年代推定

琵琶湖の堆積物から復元された古地磁気方位の永年変化曲線[55)89)]と、GEOMAGIA50データベースを用いた地磁気強度の永年変化曲線[90)]を用いて噴出年代推定を行った。上位の中堀沢泥流堆積物（4 ka）と下位の熊牧場火砕流堆積物（13 ka[91)]）の年代から、4-13ka の範囲内に噴出したと考え、その範囲内で年代を検討した。その結果、東麓からは 6.3-6.5 ka、12.3-12.4 ka、噴出口付近の試料からは 5.4-5.7 ka、6.6-6.8 ka、12.0-12.4 ka、南麓からは 10-12 ka の古地磁気年代が推定された。噴出口付近の溶岩の直上の土壌から得られた ^{14}C 年代が 2.1-2.3 ka であること、東麓の溶岩から得られた TL 年代値が 4-5 ka であること[92)]を踏まえると、東麓溶岩と噴出口付近の溶岩は約 5-6 ka に噴出した可能性がある。南麓の溶岩は東麓・噴出口付近溶岩より古い 10-12 ka に噴出した可能性がある。

v) 階段ダイアグラム

先行研究のデータと今回の我々の研究結果を合わせて、焼岳の積算マグマ噴出量階段図を試作した（図 55）。各溶岩の体積は溶岩分布と層厚から概算した。層厚は基盤岩を標高 1,600m の平坦面と仮定して標高の差分から算出した。黒谷源頭溶岩・白水谷火砕岩と細池円頂丘溶岩は噴出年代が不明なため、噴出期間を斜線で示した。算出された噴出率は 0.18 km^3/ky と、日本の活火山の平均的な長期噴出率 0.1-1.0 km^3/ky[93)]と同程度の値となった。これまで下堀沢溶岩は 1 度の噴火によって噴出したとされてきたが、本研究の結果、南麓（下堀沢溶岩 I）と東麓（下堀沢溶岩 II）の 2 回の噴火による可能性が示された。下堀沢溶岩が 2 度の噴出でもたらされたと考える方が、階段ダイアグラムの傾きも連続的になりもっともらしいと考える。本研究の結果、焼岳は過去約 2 万年間に噴出率を大きく変化させることなく活動を続けてきた可能性のあることが明らかとなった。

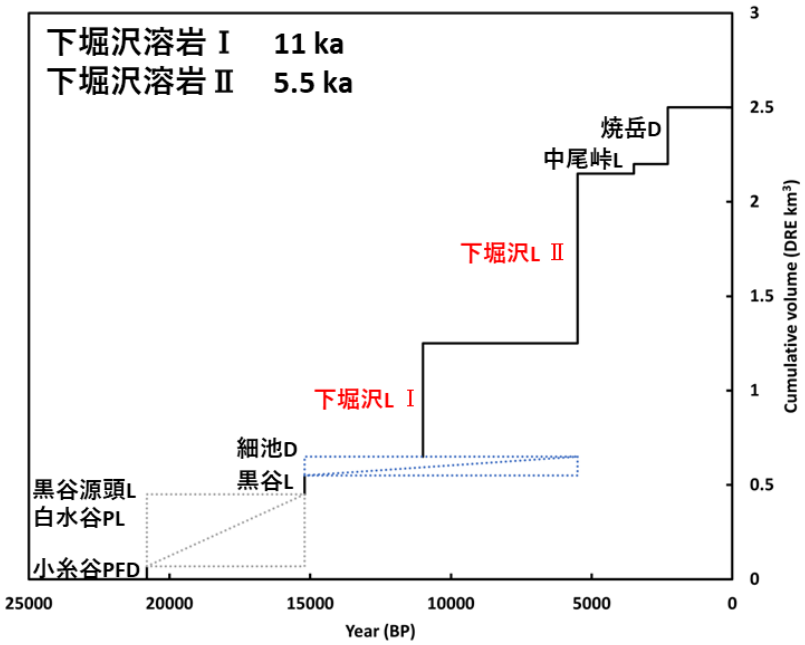


図 55　過去 2 万 5 千年間の焼岳の積算マグマ噴出量階段図。

r）白山：地表調査及びテフラ層序による噴火履歴の解明（富山大学）

i）はじめに

白山火山は、石川県と岐阜県の県境に位置する活火山である。先行研究では白山火山周辺には少なくとも 18 層のテフラ層（下位から Hm-1～Hm-16、このうち Hm-2 と Hm-6 はそれぞれ鬱陵島、鬼界カルデラからの広域テフラ）が確認されていた[94]。近年の調査で、これまで未報告であったテフラ層が新たに複数層確認された[95]が、それらの多くは層序や噴出年代、テフラを形成した噴火様式が未確定のまま残されている。本年度は、これらの問題点を解決するため、前年度に引き続き、白山山頂域とその東方～北方においてテフラ分布調査を行い、テフラ粒子の物質科学的解析から噴火様式について検討した。

ii）本研究で得られた新たな知見

本研究により、未報告のテフラ層が、Hm-4 より下位に２層、Hm-4 と Hm-10 の間に 3 層、Hm-10 の上位に 3 層の計 8 層見出された（図 56)。したがって過去 1 万年間に少なくとも 24 回の噴火が発生していた可能性が高く、約 420 年に 1 回の頻度で噴火していたこととなる。これら 8 層のテフラ層のうち 7 層は白色～灰色の白色ラピリ及び白色～灰色粘土質の基質からなり、水蒸気噴火またはブルカノ式噴火による産物であると考えられる。1 層については Hm-10 の上位に見られ、直下の土壌から 1,281-1,177 cal BP の年代値を得た。本層はスコリア・安山岩片に富む降下テフラであり、マグマ噴火による堆積物であると考えられる。層位とスコリアに富むという特徴から、本層は大倉山降下スコリア[95]に対比される可能性が高い。

白山火山起源のテフラ層のうち Hm-10 は、多くの地点で観察することができたため、正確な等層厚線図の作成を行うことができた。その分布は現山頂（御前峰）を中心とし、ほぼ同心円状の分布をもつ。このことから、Hm-10 の火口は現在の山頂近傍に位置し、噴火当時は無風に近い条件であったと考えられる。また簡便法[96]により等層厚線から算出された噴出量は 0.03 km^3 となり、VEI３に相当する。

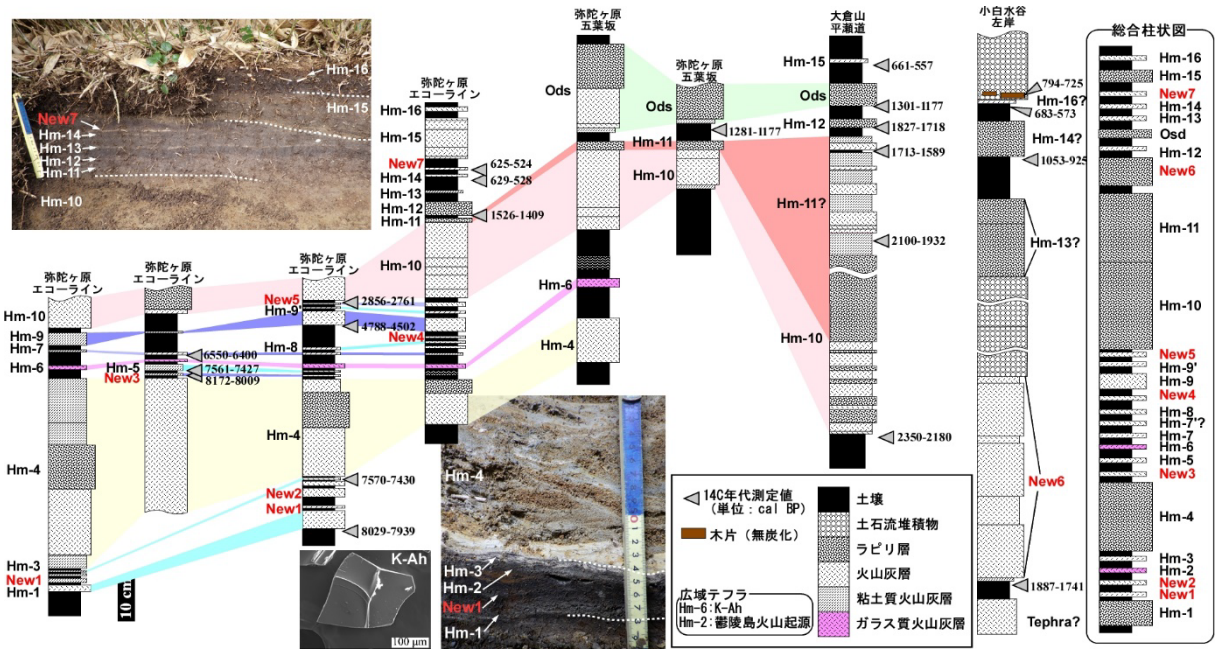


図 56　白山火山の山頂域のテフラ層序と総合テフラ柱状図。新たに見いだされたテフラ層には New＋番号という形で仮称した。

s）九重山：野外調査およびトレンチ掘削調査に基づく噴火履歴の再検討（山口大学）

i）九重火山起源の火砕流噴火の実態解明

下坂田火砕流堆積物の噴出量の推定

九重火山では、最大規模の噴火である約 54 ka の飯田火砕流噴火の他、約 140～150 ka の宮城火砕流噴火、約 110 ka の下坂田火砕流噴火の 3 回の比較的大規模な火砕流噴火が発生したことが知られている。これらの噴火によって発生した 3 枚の火砕流堆積物については、その岩相が酷似しており、野外での識別が困難であることが噴火史解明の障害になっていた[97]。下坂田火砕流堆積物については、九重火山の中心部から約 13 km 南東の下坂田地域（図 57）が模式地とされてきた。しかし、これまでの筆者らの調査により、本地域において Aso-3 と Aso-4 に挟まれる下坂田火砕流堆積物を認めることはできていなかった。令和 6 年度には下坂田地域にてトレンチ掘削調査を実施した。その結果、Aso-4 の下位に九重火山起源の角閃石デイサイト質軽石流堆積物が分布することを見出したが（図 58）、これが Aso-3 と Aso-4 に挟まれる下坂田火砕流堆積物であるという確証は得られなかった。一方、本地域で Aso-4 の上位に飯田火砕流堆積物が分布することが確認された[97]。これらのことから、下坂田地域に分布する九重火山起源火砕流は下坂田火砕流堆積物ではなく飯田火砕流堆積物である可能性が否定できないと判断された。一方で、九重火山中心部から約 9 km 南東の久住町今村地域にて掘削調査を実施した結果、明瞭に Aso-4/3 間に挟まれる下坂田火砕流堆積物を確認した（図 57・59）。これにより、今村地域において下坂田火砕流堆積物が分布することが確実となった。この地域での下坂田火砕流堆積物は層厚 3～7 m 程度であった。この結果から下坂田火砕流堆積物の噴出量（DRE）は 0.20 km^3 と推定された。

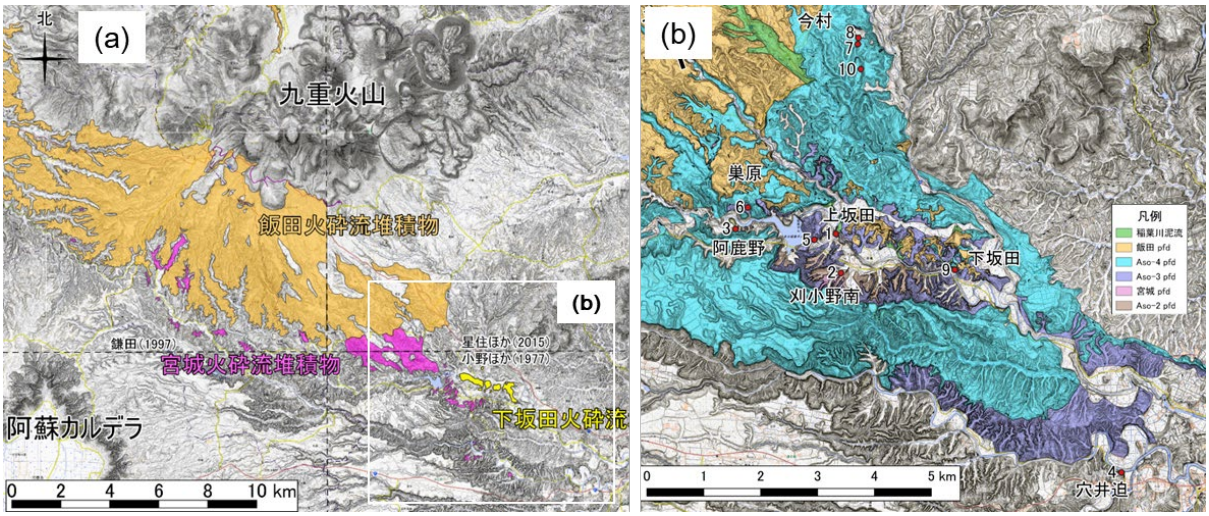


図 57　（a）先行研究による宮城、下坂田、飯田火砕流堆積物の分布図（小野ほか[98]、鎌田[99]、星住ほか[100]を基に作成）および（b）調査位置図。

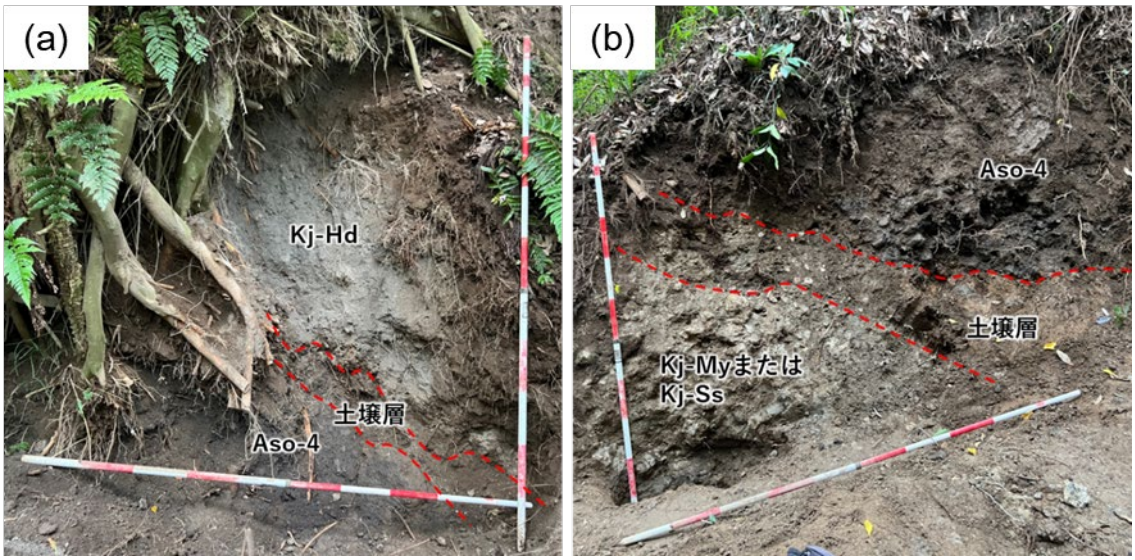


図 58　下坂田地域におけるトレンチ掘削調査により確認された露頭。(a) Aso-4 の上位の飯田火砕流堆積物、(b) Aso-4 の下位の九重起源角閃石デイサイト質軽石流堆積物。宮城火砕流堆積物（Kj-My）もしくは下坂田火砕流堆積物（Kj-Ss）である可能性がある。

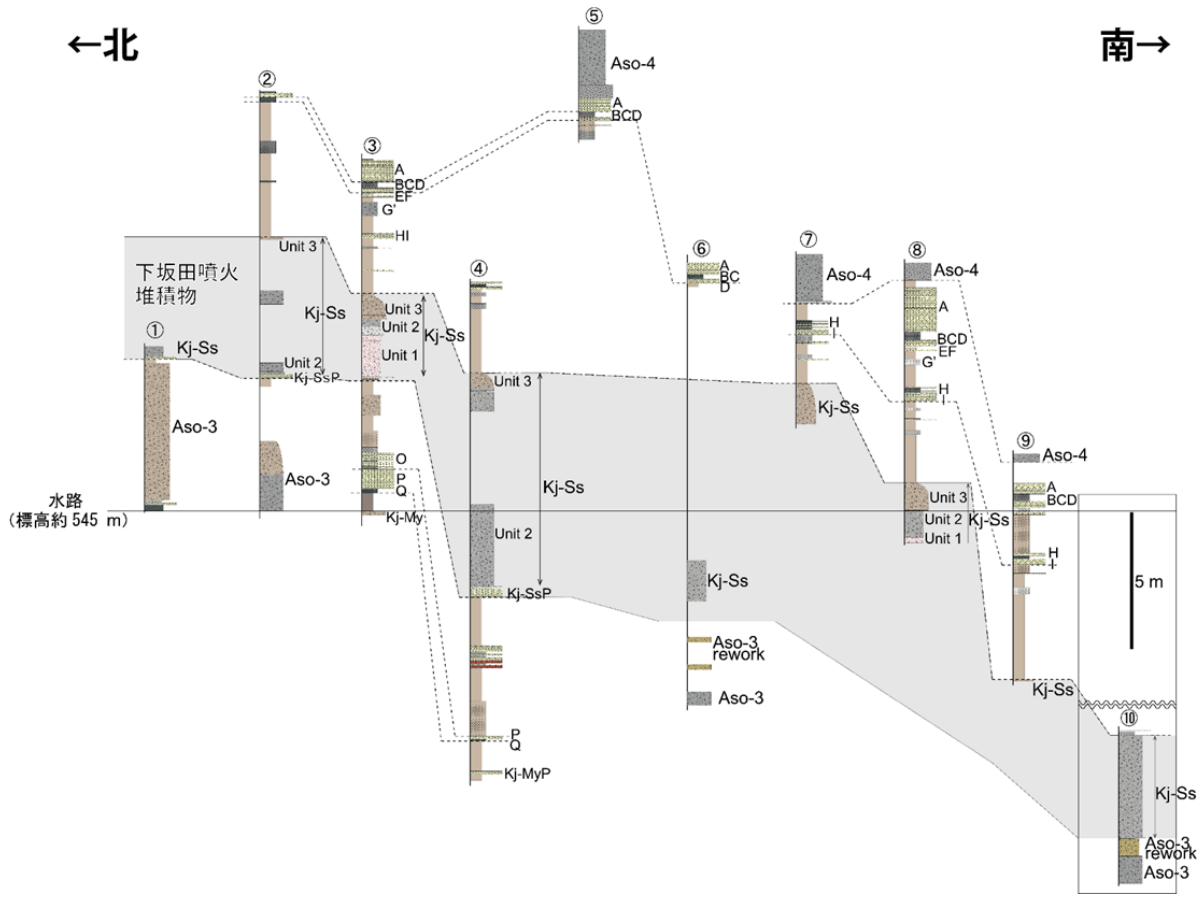


図 59　今村地域の掘削調査および地表踏査に基づき作成した下坂田火砕流堆積物（Kj-Ss）の対比柱状図。

九重火山起源の火砕流堆積物の噴出年代と化学組成の特徴

LA-ICP-MS を用いた U-Th 年代測定の結果は宮城火砕流堆積物から Turke’s biweight で求めた 134±39 ka（95% conf.）またはアイソクロン年代で求めた 131±24 ka(1σ)、下坂田火砕流堆積物からは Turkey’s biweight で求めた 114±21 ka（95% conf.）またはアイソクロン年代である 112±15 ka（1σ)の結果が得られた。これらの結果は松本ほか[101]によって K-Ar 年代で求められた Aso-2(141±5 ka)、Aso-3（123±6 ka)、Aso-4(89±7 ka)の年代と整合的な結果が得られた。層序から明らかな宮城、下坂田、飯田火砕流堆積物の LA-ICP-MS による微量元素組成分析ではいずれも類似した傾向を示すことが明らかになった。

九重火山における火砕流噴火の推移

下坂田火砕流堆積物の下位は九重火山起源の降下軽石層、降下火山灰層、サージ堆積物等のテフラが見られ（図 60)、下坂田火砕流噴火に至るまでの噴火経緯を明らかにした。また、九重火山の南麓の阿鹿野地域（九重火山の中心部から約 13 km）では Aso-3 下位に宮城火砕流堆積物の基底部が見られた。この火砕流堆積物の下位は九重火山起源の降下軽石層、サージ堆積物が見られた。飯田火砕流噴火前後のテフラ層序は辻ほか[102]で明らかにされている。これらの結果から、九重火山起源の比較的大きな火砕流噴火へと発展したテフラ層序のデータが整った。これらのデータから噴火事象系統樹を検討中である。

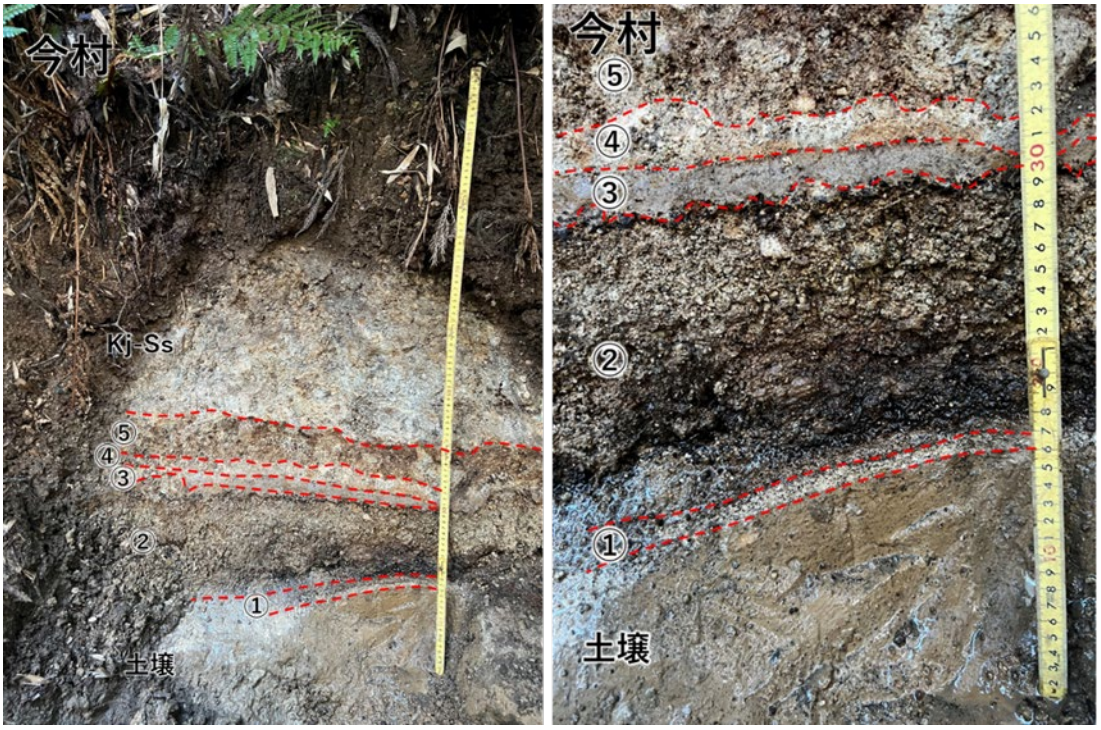


図 60　今村地域における掘削調査で確認された露頭。下坂田火砕流堆積物(Kj-Ss)の基底部のテフラ。

ii) 九重火山中西部の火山層序の解明―沓掛山火山の形成史―

九重火山中西部に分布する沓掛山火山は、約 15 万年前に活動したとされる[103]。この火山体に山頂部に環状の崩壊地形が分布するが、その形成史はあまり議論されていない。そこで、当該箇所において詳細な地形判読と地表踏査を行った結果、環状の崩壊地形の形成過程について、以下の通りの新たな知見が得られた。

① 沓掛山山頂部の崩壊地形内部において、火砕岩が厚く堆積することが認められた。さらに、崩壊地形内部の北東側では火砕岩の下位に泥層が分布する。泥層と火砕岩の特徴から、これらの層は水成堆積物である可能性が考えられる（図 61)。

② 火砕岩の給源は沓掛山火山周辺と推定される。

③ 地形判読より、扇ヶ鼻山頂から沓掛山の崩壊地形内部へ流下する溶岩地形が認められることから、この溶岩が流下した時期にはすでに崩壊地形が形成されていたことが考えられる。

以上の考察は、沓掛山における環状の崩壊地形の形成過程と、その前後の噴火パターンの解明につながることが期待される。

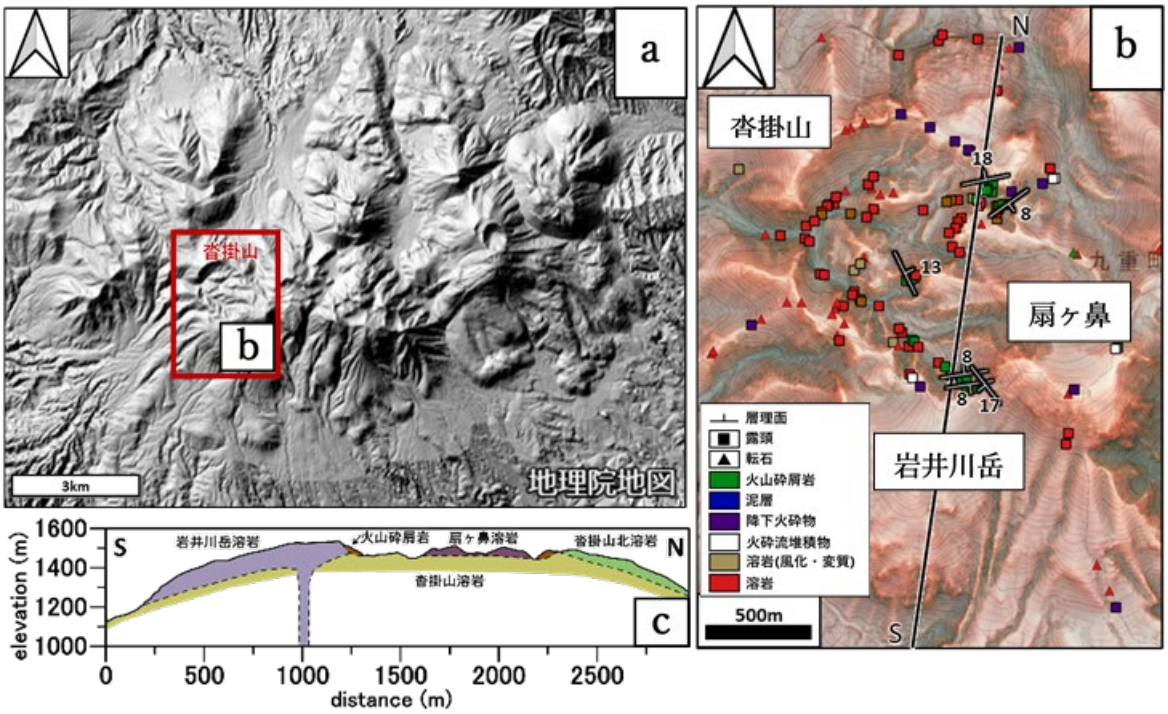


図 61　(a)沓掛山の位置。(b),(c)沓掛山周辺のルートマップと断面図。

iii) 宮処野スコリアの噴火推移の検討

九重火山では、苦鉄質マグマの活動は最近 15,000 年間で活発化したと考えられている [104]。一方で、約 5 万年前より古い宮処野スコリア層 [105]はかんらん石を含むことから [106]、この時期から苦鉄質マグマ活動が活発であった可能性がある。Kj-MS の噴火経緯および岩石学的特徴の解明は、九重火山における発達史の解明において重要である。しかし、Kj-MS についてはまだ未解明な点が多い。今回は、地表踏査および肉眼・鏡下観察結果を行い、Kj-MS の噴火推移と噴出源について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

① Kj-MS の噴火推移：地点 1～5 において、約 5 万年前の九重 D 降下火山灰層(Kj-D)の下位に Kj-MS が認められた(図 62)。本層は下位から灰白色火山灰(MS1)、暗灰色火山灰(MS2)および橙褐色スコリア(MS3)からなる。MS1、MS2 は山体近傍のみ分布するが、MS3 は大船山から 13 km 遠方まで追跡できる。このことから、Kj-MS は小規模な噴火から始まり、大規模な噴火へ推移した可能性がある。

② MS3 の噴出源：地表踏査により、MS3 の最大層厚は大船山近傍で 106 cm であったことから(図 62)、このスコリア層の給源は大船山周辺と推察される。さらに MS3 の最大層厚が既存研究より大幅に更新されたため、今後は噴出量の見直しが必要である。

③ MS3 のマグマ：地点 1 において、MS3 の下部および上部スコリアは鉱物組み合わせが異なるため、マグマの組成が変化した可能性がある。

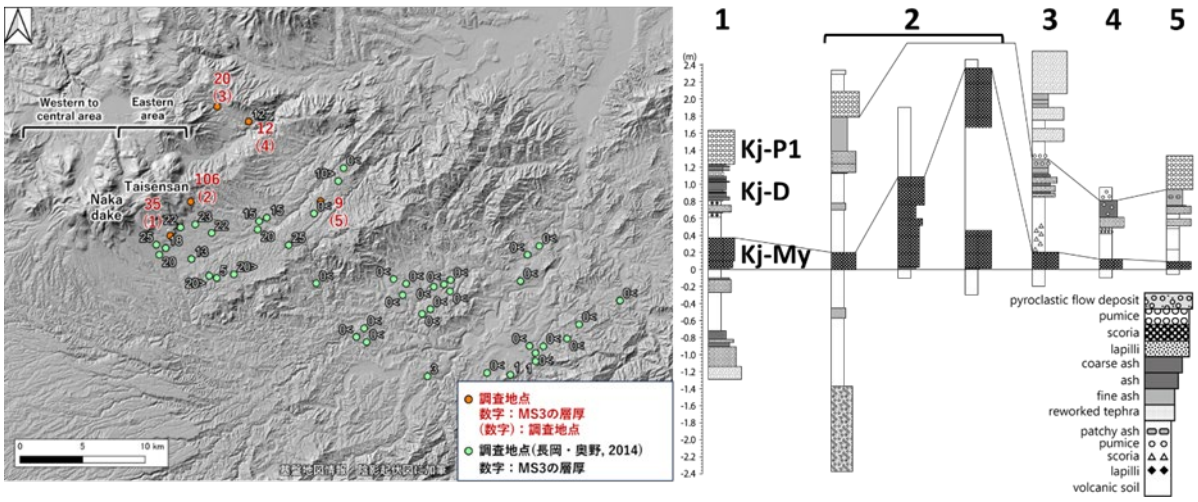


図 62　宮処野スコリア層の層厚分布図(左)と柱状図(右)。
Kj-P1，九重第一降下軽石層；Kj-D，九重 D 降下火山灰層；Kj-My，宮処野スコリア層。

iv) 九重火山東部今水地域のテフラ層序

九重火山東部では、九重火山のテフラが広く分布しており爆発的噴火史の解読が行われているが、見解の一致が見られていない部分がある。そこで、本業務では山麓の今水地域において地質調査、掘削調査および ^{14}C 年代測定を実施し、テフラ層序の再検討を行った。その結果、未記載のテフラを 4 枚記載することができた。それらは約 2 万年前の赤色スコリア層、未記載の段原降下スコリアおよびスコリア間の黒色火山灰と石質岩片層などである(図 63)。また、辻ほか [102]にて記載した九重火山南東麓の清水堤付近の露頭にて記載された宮処野スコリアより下位のラピリおよび火山灰についても掘削調査を実施し、再記載を行った。その結果、これらは未対比テフラであることを見出した。今後、これらの新記載の噴出物を含めて噴出量階段図を作成する。

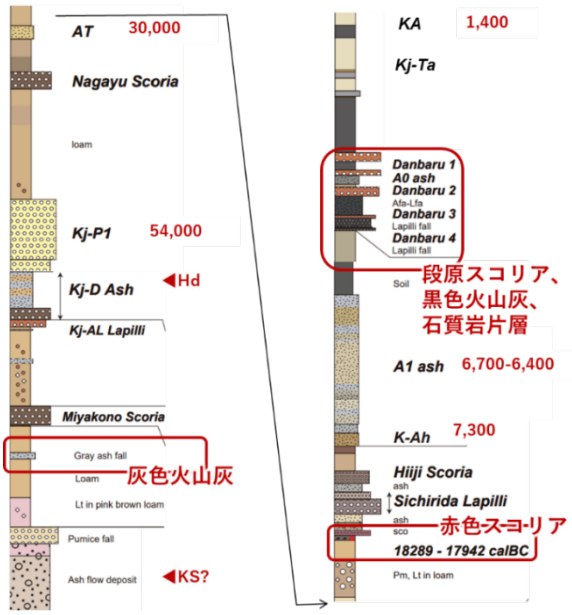


図 63　今水地域の掘削調査および地表踏査に基づき作成された九重火山東部～南東部の総合柱状図。

t）阿蘇山：野外調査およびトレンチ掘削調査による阿蘇山の噴火履歴の解明（熊本大学）

i）阿蘇火山中岳における最近800年間の噴火様式とその推移に関する現地調査

阿蘇カルデラのほぼ中央部に位置する中岳は、西暦553年以来の噴火記録が存在する[107]わが国で最も活発な火山の一つである。歴史時代の活動史の概要については、気象庁[35]等によってまとめられているが、各活動期間の噴火様式や推移などの詳細は、近年の活動を除いてほとんどわかっていない。そこで、最近数100年間の噴火堆積物が比較的良好な状態で保存されている中岳第1火口西方約1 km地点においてトレンチ調査を行い、噴出物層序の観察と試料採集を行った。本論では^{14}C年代測定や火山灰構成物観察、化学分析の結果を報告する。

文部科学省次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトによって2019年1月に掘削されたトレンチ断面には、N1期[108)109)]の噴出物が主に観察され、その総層厚は約6 mで339層の薄い火山灰層が認められた（図64）。その上部（0～1.6 m深）は黒褐色から黒色などの暗色火山灰層を主体とするが、中央部（1.6～3.3 m）は黄色や白色などの明色火山灰層が多数存在していた。また下部（3.4～6 m）は黒褐色から黒色の比較的固結した火山灰層からなっていた。それぞれの部分の間には薄い土壌層が認められ、その年代は18世紀頃と16世紀頃であった。N1期火山灰層の直下には層厚約10 cmの腐植に富む黒ボク土層が存在しており、その最上部の年代は12～13世紀であった。

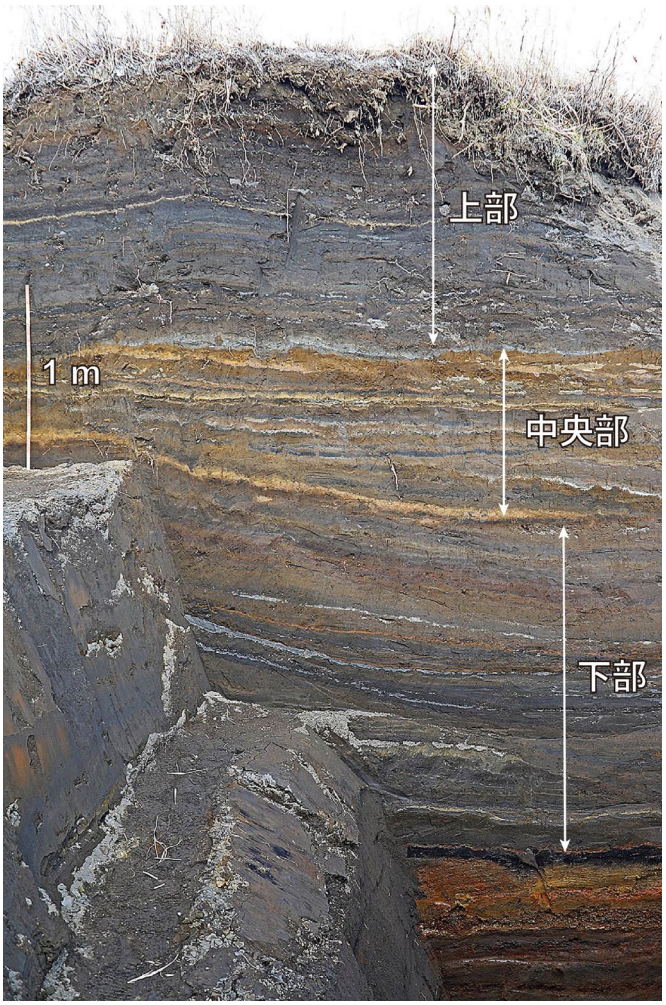


図64　中岳第1火口西方約1 km地点のトレンチ断面。

N1期火山灰層のうち125層の火山灰粒子（2～3 φ）をデジタルマイクロスコープで観察した結果、黒褐色から黒色の火山灰層はガラス片に富む（30～50%）のに対し、明色の火山灰層は岩片が大半を占めること（40～80%）がわかった（図65）。そのことを反映して、黒褐色～黒色火山灰層が



図 65　代表的な火山灰層の顕微鏡写真（2～3 ϕの粒子）。左写真は暗色火山灰、右写真は明色火山灰の例。

卓越する断面上部と下部はガラス片の割合が高く、一方、明色火山灰層が多く含まれる断面中央部は岩片に富んでいた。

X 線回折分析の結果、黒褐色～黒色火山灰層では斜長石と普通輝石が、明色火山灰層ではソーダ明礬石、明礬石、鉄明礬石などの粘土鉱物が検出された（図 66）。さらに 57 層の火山灰層を対象に、EPMA による化学分析を行った。ガラス片の SiO_2 含有量の平均値は 56～58 wt.%程度で、顕著な鉛直変化は認められなかった。また、直方輝石と単斜輝石の両斑晶を含む 26 層の火山灰層については輝石温度計によって 1030～1120° C というマグマ温度が見積もられ、暗色火山灰層でやや高い傾向にあった。

火山灰層の産状、構成物観察・化学分析結果から、暗色火山灰層は灰噴火やストロンボリ式噴火といったマグマ噴火による産物であり、明色火山灰層は水蒸気噴火あるいはマグマ水蒸気噴火に伴う噴出物と判断した。

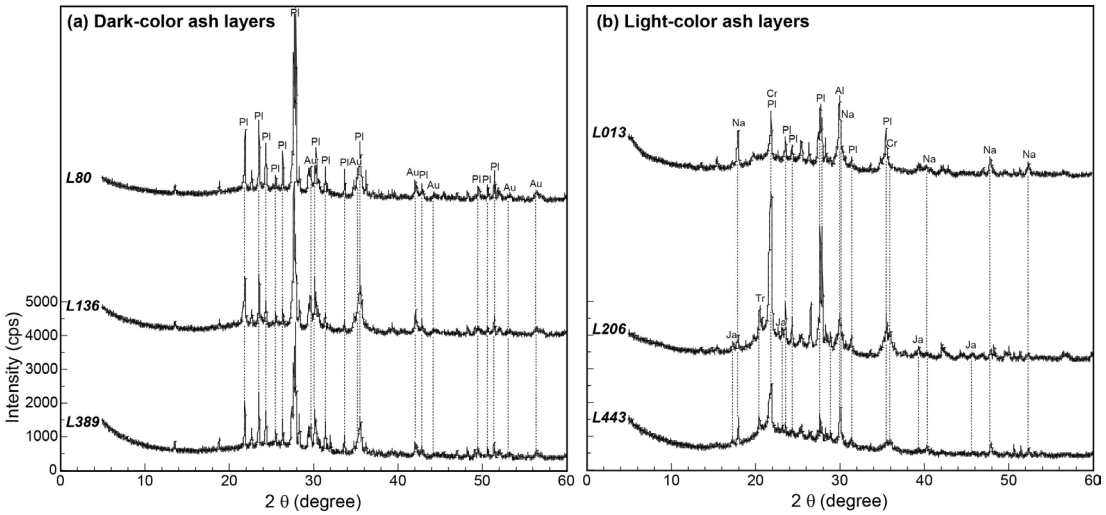


図 66　代表的な火山灰層の X 線開設分析結果。左図は暗色火山灰、右図は明色火山灰の例。

N1 期直下の土壌層の ^{14}C 年代と歴史記録から、今回観察した N1 期の火山灰層は西暦 1239 年から現在までの最近約 800 年間の中岳噴火による堆積物であると考えられる。西暦 1239 年から 16 世紀前半にあたるトレンチ断面下部は暗色火山灰層が卓越することから、その時期には灰噴火やストロンボリ式噴火といったマグマ噴火が主体であったと推定される。一方、16 世紀後半から 18 世紀の噴出物である断面中央部には明色の火山灰層が多数存在することから、水蒸気噴火などの爆発的噴火が多発したものと考えられる。また、19 世紀から現在までの時期は再びマグマ噴火が主体であったと判断されるが、この時期にも 15 年に 1 回程度の頻度で水蒸気噴火が起こっていたことが明らかとなった。

最近約 800 年間の N1 期における中岳からのテフラ総噴出量は 0.3 km^3 程度（0.1 km^3/ky DRE）と見積もることができる。この値は阿蘇火山における最近 6.7 万年間のテフラ噴出速度 [110] とほぼ同じである。中岳では歴史時代に溶岩流出は起こっていないが、テフラ噴出量からみて、最近 800 年間の活動は阿蘇火山の後カルデラ期の平均的活動に近いことがわかった。

なお、中岳火口周辺域での現地調査を実施する際には、阿蘇火山防災会議協議会にご理解とご配慮をいただいた。心から感謝いたします。

ii）阿蘇山における令和 6 年度トレンチ調査報告

阿蘇山の噴火履歴を明らかにするため、阿蘇火山中央火口丘群北斜面において、噴出物層序を観察するトレンチ調査を実施した。

今回掘削を行った地点は、最近約 1 万年間の火山灰の主要噴出源である中岳火口の北北東へ約 3.5 km 地点に位置している。また、阿蘇火山では 3,000～4,000 年前頃に杵島岳や往生岳といった火山も噴火しており [110]、掘削地点はそれらの火山群にも近接していることから、噴出物が良好に保存されていると期待された。今回の調査地点では、トレンチ部分の上位にも急崖があり、テフラが露出していたので、それらを含めて観察を行った。トレンチ部分を含めて、観察できた堆積物の全層厚は 15 m 程度である。

表層から約 2.5 m 深に厚さ 40 cm 程度の赤褐色の降下スコリア層、さらに約 5 m 深に厚さ約 90 cm の黒色～黄色の降下スコリア層が認められ（図 67）、それぞれ往生岳および杵島岳から飛来したテフラ [109] と考えられる。また、7 m 深付近の固結した火山灰層中には阿蘇中央火口丘第 1 軽石（ACP1）[111][112] が挟在していた。それら以外は、おおむね火山灰層と埋没土壌層の互層であったが、掘削した部分にあたる約 14.5 m 深（表層から）には広域テフラである鬼界アカホヤ火山灰 [113]（K-Ah、層厚 20 cm）が存在していた。K-Ah より下位の断面は褐色土壌層と固く締まった火山灰層であった。

周辺地域でのテフラ層序の対比から、トレンチ断面最下部付近は 8,000 年前頃の層準と考えられるため、本地点では完新世のテフラが良好に保存されていることがわかる。かつて中岳火口北北東 4 km 付近には完新世の噴出物が模式的に観察できる地点が存在した [112] が、崩落や植生によって現在はほとんど観察できない。今回掘削を行った地点のテフラ層序は、その模式断面の層序とほぼ整合的であるため、阿

蘇火山の完新世噴火史を検討するうえで重要である。調査断面からは多数のテフラ試料のほか、炭化物試料も採取している。現在、それらの試料の顕微鏡観察に着手しており、今後は年代測定も実施して、噴火活動史の解明を進める予定である。

今回の掘削調査を実施するにあたっては、環境省阿蘇くじゅう国立公園管理事務所と西町牧野組合の許可を得た。また、現地での掘削作業には有限会社栄産業にお世話になった。以上の方々に感謝の意を表します。



図 67　阿蘇火山中央火口丘群北斜面におけるトレンチ断面（KsS: 杵島岳スコリア; ACP1: 阿蘇中央火口丘第 1 軽石; K-Ah: 鬼界アカホヤ火山灰）

u）霧島山：噴火履歴解明・噴火推移履歴・マグマ供給系の解明（産業技術総合研究所・東京大学地震研究所・北海道大学）

i）K-Ar 年代法および Ar/Ar 年代法に基づく形成史の解明（産業技術総合研究所）

目的と調査位置

霧島火山は鹿児島・宮崎県境に位置し、最高峰の韓国岳（標高 1,700 m）をはじめ、新燃岳や御鉢、高千穂峰など、北西―南東方向に約 30×20 km の範囲に分布する 20 以上の火山体からなる火山群である。御鉢と新燃岳では歴史時代にも何度も噴火が起こっており、硫黄山では現在も活発な噴気活動が続いている。歴史時代で最も活動的な御鉢では 1923 年以降の噴火記録はないものの、新燃岳では最近 2011 年、2018 年にもマグマ噴出を伴う噴火を繰り返し、広範囲への軽石や火山灰の降下、噴石や空振による被害も発生した。近い将来もマグマ噴火を行う可能性が高く、詳細な活動履歴をもとにした火山活動のリスク評価を行う必要がある。

霧島火山の活動は約 60 万年前に始まり、約 33 万年前の加久藤カルデラ形成以前の古期と、約 33 万年前から現在までの新期に分けられている [114)115)116)]。新期の活

動で形成された火山体はさらに約 5 万年前の岩戸降下軽石、約 3 万年前の入戸火砕流堆積物、および約 7.3 千年の鬼界アカホヤ火山灰との上下関係でおおまかな年代制約が与えられているが [115)116)]、火山岩に対する直接的な年代測定データはこれまでほとんど報告されていなかった。

本研究では、霧島火山の今後の活動評価に資するデータを得るために、特に新期の活動を対象とし、これまで直接的に年代値が得られていない火山ユニットにおいて Ar/Ar および感度法 K-Ar 法による年代測定を行うことで、霧島火山の形成履歴を詳細に復元することを目的とする。

本年度は、昨年度に引き続き、井村・小林 [115)]の区分の上で約 33〜2 万年前とされる 8 つの火山ユニット（図 68）について、Ar/Ar 年代測定を進めるとともに、地質ユニット区分・分布の見直しや各火山体の活動期間の詳細化のための地質調査を実施した。

調査結果

これまで直接的に年代値が報告されていなかったユニットのうち、8 ユニットから採取した 9 試料について、Ar/Ar 年代測定を実施したところ、約 1.2〜21 万年前の年代値を得た。手法の測定限界に近い約 3 万年前より若いと考えられる火山ユニットについては、前処理についても再検討を行なったものの 3 試料中 2 試料は年代値が得られなかった。約 3 万年前より古い火山ユニットについては、ほぼ層序から推定された年代幅に合う結果が得られたが、一部テフラ年代との前後関係と逆転する結果も得られた。本研究ではテフラ層序と対比された噴出物を直接 Ar/Ar 年代測定したものではなく、年代測定に適した溶岩部分を採取し測定したため、単純に層序の前後関係として年代値を評価することができないが、霧島火山の各火山体がそれぞれ短期間で単成火山的に形成されたものではなく、ある程度の幅を持って複数回の活動で形成された可能性を示唆する。今後、各ユニットからの試料数を増やし、各年代値から再検討した結果を元に地質ユニット区分や分布を見直し、さらに形成史を詳細化することが重要である。

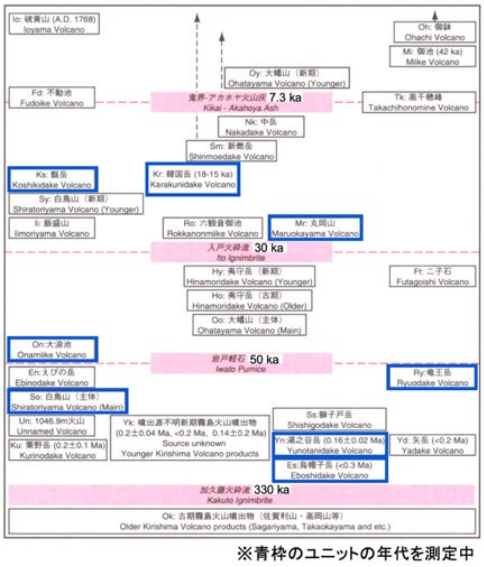


図 68　従来の火山地質図による霧島火山のユニット区分と今年度 Ar/Ar 年代測定の対象としたユニット（井村・小林 [115)] を修正）。

まとめ

詳細な時間軸を入れて霧島火山の形成史を再構築するために、これまで直接的に火山岩の年代値が得られていなかった霧島火山の 8 ユニットを対象として Ar/Ar 年代測定を実施した。

9 試料のうち、2 試料については測定限界より若く年代値としては得られなかったが、7 試料から約 1.2〜21 万年前の年代値を得た。

一部テフラ年代との前後関係と逆転する結果も得られたため、今後各ユニットからの試料数を増やすことで地質ユニット区分や分布を見直し、形成史を詳細化することが重要である。

ii）霧島火山群の噴火履歴・噴火推移に関する研究（東京大学地震研究所）

噴火履歴およびマグマ供給系

代表的な噴火活動の推移や中長期履歴を明らかにするための地質調査および噴出物分析を進めた。新燃岳、硫黄山、御鉢、御池の代表的噴出物の分析からは、マグマ供給系を理解する上で重要な幾つかの制約情報が得られた。地球化学的特徴からは、起源の異なる２つの珪長質端成分マグマ（SE1、SE2）の存在が認められ、それぞれ従来から報告されてきた CA 系列と TH 系列に対応することがわかった。また、両系列の苦鉄質端成分マグマの微量元素組成は類似している（ME）。SE1、SE2 における Sr-Nd-Pb 同位体比の違いは、CA 系列では同源物質由来マグマの混合が、TH 系列の一部では地殻の混染が支配的なマグマプロセスであることを意味する。さらに、岩石学的な複数の手法により見積もられたマグマ溜り深度は、地物観測に基づく供給系モデルと整合的であった。すなわち深さ約 5 km に見られる地震波減衰域には CA 系列の SE1 珪長質マグマが、深さ 10-15 km の地震波低速度域には ME 苦鉄質マグマが存在すると考えられる。御池で噴出した SE2 珪長質マグマの深さに対しては 4-10 km の値が得られているが、これまでの観測で御池周辺域にそのような溶融体の存在は検知されていない。ただし SE2 マグマの生成に地殻物質の混染が関与していることを踏まえると、浅部マグマ溜りが発達していない山体南東部域においてはマグマが地殻を効率的に溶かし込めたのかもしれない。中長期的にみると活動中心は時代と共に東進していることが指摘されており、新たに貫入してきたマグマの熱によって周辺地殻が溶融し SE2 マグマを生じた可能性が考えられる。

韓国岳については、過去にプリニー式大規模噴火を発生しているものの噴火推移やマグマ供給系に関する情報に乏しい状況にあったため、16 ka の大規模噴火（小林軽石噴火）について詳細に調べることとした。この噴火の堆積物の分布、層序、構成物の地質データの取得を行うとともに、複数ユニットから試料を採取し、斑晶モード組成分析、全岩・鉱物化学組成分析を行った。地質調査については、韓国岳北側から東側で露頭観察および試料採取を行った。降下軽石と火砕流堆積物中のスコリアについて、鏡下での組織や斑晶鉱物の観察、蛍光 X 線分析装置を用いた全岩化学組成分析、FE-EPMA を用いた斑晶鉱物、石基ガラス、メルト包有物の化学組成分析を行った。斑晶量はポイントカウンティング法で計測した。さらに両輝石温度

計・鉄チタン酸化物温度計・斜長石-メルト含水量計等を適用してマグマ蓄積場の温度・圧力条件を推定した。

降下軽石・火山灰は Unit A から K に区分でき、いずれも高斑晶量・高発泡度で、マイクロライトに乏しい石基を持っていたのに対し、火砕流スコリアは軽石と比較してやや低い斑晶量・低発泡度で、石基にマイクロライトが析出していた。斑晶鉱物は全 Unit に共通して斜長石・単斜輝石・直方輝石・鉄チタン酸化物が見られ、斜長石と両輝石の多くは累帯構造や融食形、蜂の巣状組織をもつ。風化の影響が少なかったスコリアの全岩化学組成と斑晶モード組成をもとに、マスバランス計算により推定した軽石の全岩化学組成はいずれも安山岩であった（SiO_2 で 60-63 wt.%）。斑晶鉱物組成ではスコリア中の両輝石が軽石と比較してやや Mg に富む組成を持っていた。ガラス組成については、降下軽石でも Unit B・I と Unit F で、斑晶鉱物の付着メルトやメルト包有物の組成が系統的に異なっていた。このメルト組成の違いを単一マグマ溜まり内での結晶分化のみで説明するのは難しいことから、少なくとも２つの珪長質マグマが噴火の比較的直前に混合したと考えられる。スコリアについてはガラス組成が軽石と異なっており、さらに別のマグマ溜まりに由来する可能性がある（図 69）。石基ガラス組成に対して両輝石温度計と斜長石-メルト含水量計を連立して推定した斜長石と単斜輝石または直方輝石のリキダス温度およびメルト含水量は、スコリアで 950±50 ℃、2.4-3.0 wt.%、軽石で 910±20 ℃、2.6-4.0 wt.%であった。水の飽和圧力と地殻の密度をもとに、マグマ溜りの深さはそれぞれ 3.5±0.3 km、3.9±0.6 km と推定された。以上の考察より、図 70 のようなマグマ蓄積場のモデルを構築した。

小林軽石噴火では、類似の条件下に存在する複数の珪長質かつ高結晶度のマグマバッチを有するマッシュ状マグマ溜りから、断続的にマグマが噴出することにより大規模噴火の発生に至ったと考えられる。また、珪長質かつ高結晶度のマグマ溜まりが深さ 4 km 程度に存在するという特徴は、現在の霧島火山下の浅部マグマ溜まりともよく似る。以上の成果を 2025 年 3 月の課題間連携研究集会にて発表したほか、日本地球惑星科学連合 2025 年大会でも発表予定である。

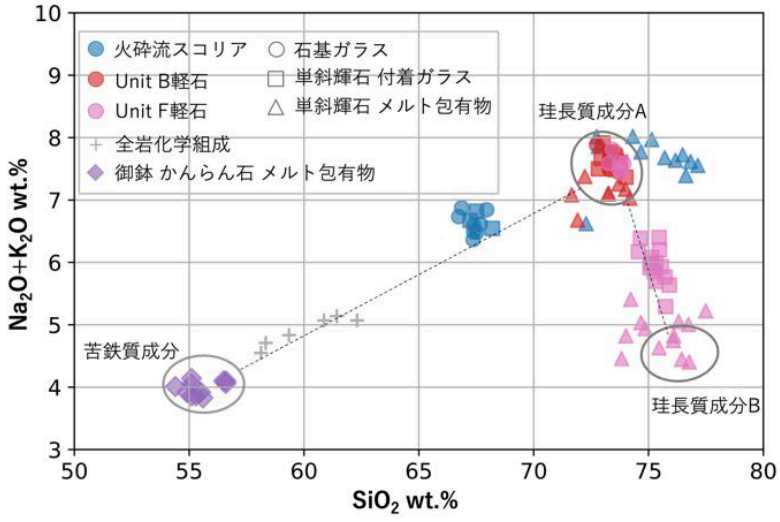


図 69　韓国岳小林軽石噴火噴出物の石基・付着メルト・メルト包有物の TAS 図。

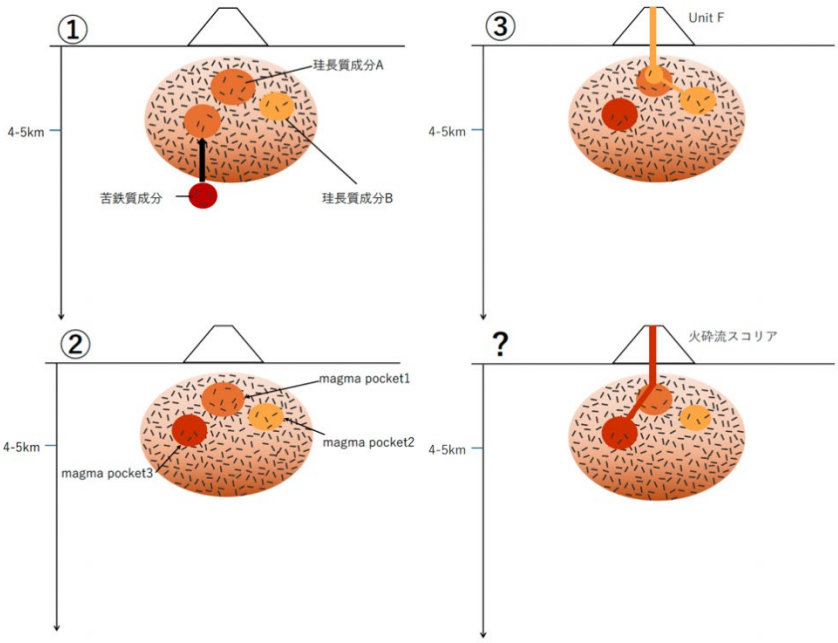


図 70　韓国岳小林軽石噴火のマグマ蓄積場モデル。

霧島火山群の噴火推移モデル

完新世に活動記録がある想定火口やマグマ供給系モデル、近年の噴火や歴史時代の活動推移に関する情報にもとづき、霧島火山群全体の火山活動推移モデルを作成した。このモデル作成において、まず霧島火山群における活動の事象とその推移を次の 3 つのステージに分けることにした（図 71）。

（１）先行現象ステージ: 深部マグマ蓄積領域（深さ 9-15 km）から浅部（5 km 以浅）へのマグマの移動・蓄積とそれに伴う観測量（深部低周波地震や基線長変化に現れるような長期的膨張）に関連する事象群、および浅部マグマ溜まりでマグマが停滞・蓄積するかどうかや噴火未遂に終わるかなど、深部から浅部にかけてのマグマの移動・停滞に関する事象分岐を含む。

（２）噴火発生（初期）ステージ: 新たな火口（火道）を形成するかどうかや、帯水層・浅部熱水系の影響を受けて水蒸気爆発が先行して発生するかどうかなど、ごく浅部での事象分岐を含む。例えば新燃岳の多くの噴火では、浅部マグマ溜まりでの停滞やマグマ混合、さらに帯水層・浅部熱水系での反応（複数回の水蒸気噴火）を経てようやくマグマが上昇・噴出すると考えられる。一方、御鉢などでは浅部マグマ溜まりや帯水層・熱水系がほとんど発達しておらず、マグマは上昇過程での停滞や反応をほとんど経ずに一気に上昇する可能性がある。

（３）主噴火ステージ: 噴出量（規模）や噴火様式など、主噴火の表面現象の特徴と推移に関する事象群と分岐を含む。

さらに、噴火の規模や様式の推移の共通性等を考慮し、噴火推移パターンを以下の Type A から G の 7 タイプに分類した。

Type A：噴出量 >1 km^3 DRE（VEI≧5）大規模火砕噴火（例：御池 4.6 ka）; Type B：噴出量 0.01-1 km^3 DRE（VEI~3-4）中規模火砕噴火＋溶岩流（例: 御鉢文暦、新燃岳享保、2011 年）; Type C：噴出量 0.01-1 km^3 DRE 溶岩主体噴火（例：新燃岳

2018、16-17 世紀えびの硫黄山）；Type D：噴出量 0.001-0.01 km^3 DRE（VEI~2）小規模火砕噴火（例：御鉢荒襲、不動池えびのC）；Type E：噴出量 <0.001 km^3 DRE（VEI≦1）ごく小規模噴火（例：御鉢歴史記録、地質記録には残らない規模）；Type F：水蒸気噴火のみ（例：新燃岳 1959 年、2008 年、硫黄山 2018 年）；Type G：山体崩壊（例：韓国岳 4.3 ka）。

以上の噴火履歴、活動事象の深部から浅部への推移、噴火推移パターンにもとづき、霧島火山群全体に対する火山活動推移モデルを作成した（図 72）。先行現象ステージ、噴火発生（初期）ステージ、主噴火ステージのように、時間順にステージ区分して情報を収集、整理したが、とくに防災上留意するべき新火口の形成の有無、水蒸気噴火発生の有無についても初期の段階で考慮した点がこのモデルの特徴である。ただし、古い時代の噴火履歴の不確実性、噴火未遂、記録の漏れと休止期の区別などの取り扱いについて十分に考慮できておらず、さらなる検討を要する。これらの成果を日本火山学会 2024 年秋季大会で発表するとともに、噴火推移モデルの改訂版を 2025 年 3 月の課題間連携研究集会で発表した。

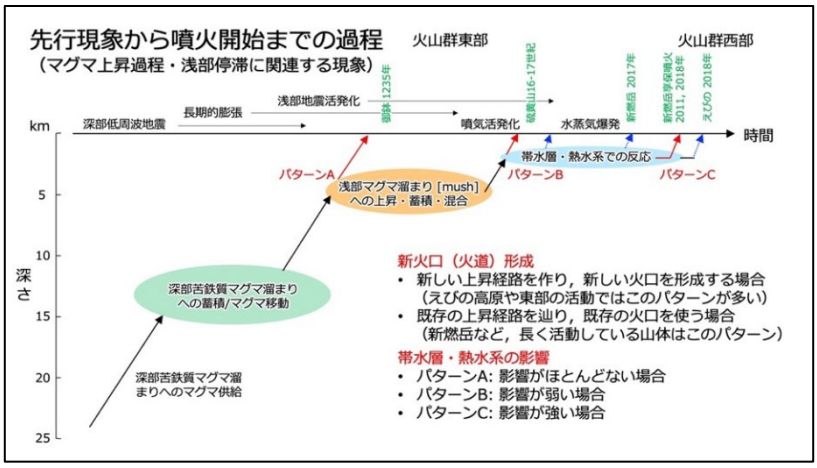


図 71　霧島火山群における、先行現象から噴火開始までの活動事象の推移の整理。

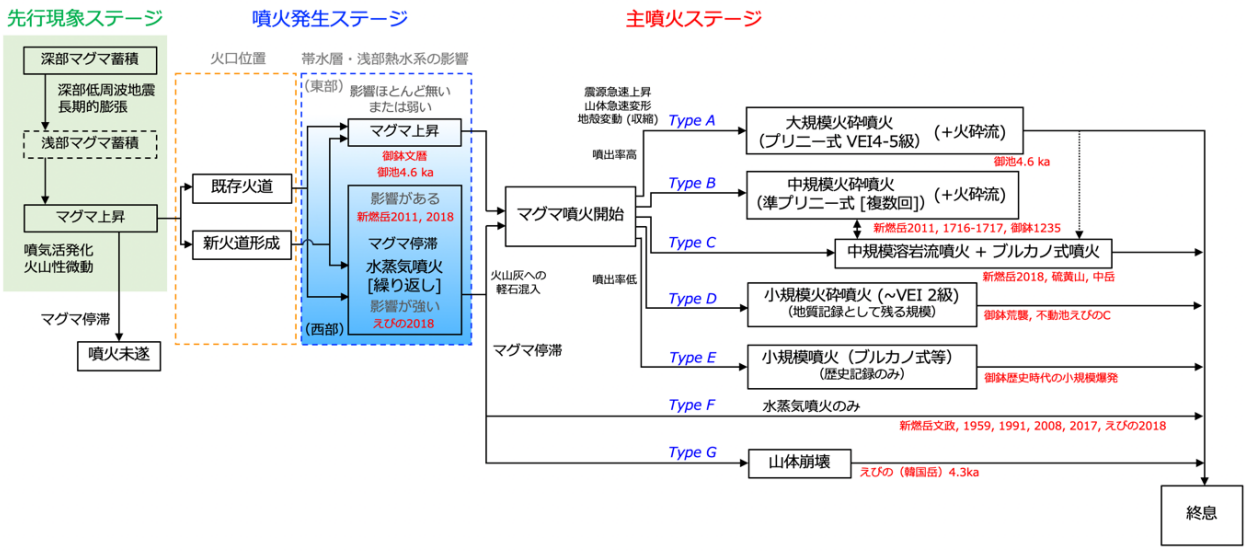


図 72　霧島火山群全体の噴火推移モデル。

iii）物質科学的解析による霧島火山群の完新世のマグマ供給系像（北海道大学）

はじめに

九州南部に位置する霧島火山群は、約 20 の火山体から構成される第四紀火山群である[115]（図 73）。約 2.9 万年前以降に韓国岳や新燃岳、高千穂峰といった成層火山体が形成され、約 6 千年前以降は御池や御鉢、新燃岳、硫黄山が活動を活発化させている。直近では、2018 年に新燃岳と硫黄山から噴火が起きた。このように、霧島火山群は現在も非常に活発であることから、将来噴火を予測するためにはマグマ供給系の現状を明らかにする必要がある。霧島火山は、地球物理学的・地球化学的観測が充実しており、それらデータからマグマ供給系像が提案されている（例えば[117)118)119)]）。物質科学的解析による供給系像も提案されているが、最近の噴火に焦点を当てた事例が多く（例えば[120)121)]）、3～4 の散在する活動中心から噴火が起きるという特徴があることを踏まえると、これらの活動を網羅した広域の物質科学的解析が必要不可欠である。そこで、北海道大学では、最近約 1.5 万年間（主に完新世）の噴出物を対象に物質科学的解析を行い、霧島火山群のマグマ供給系像を検討した。

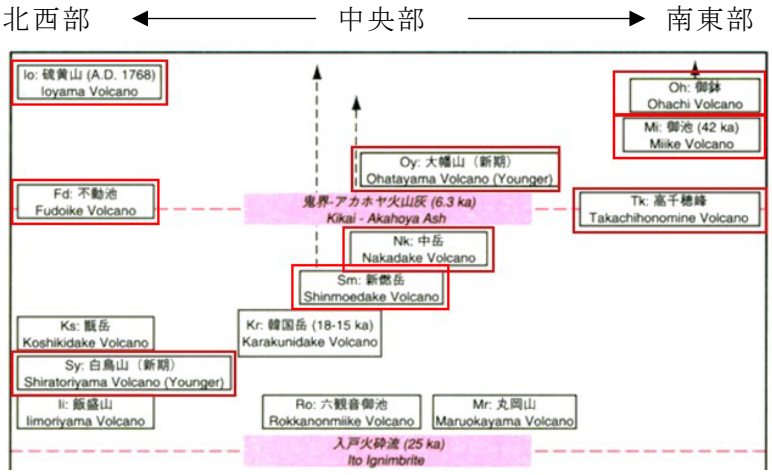


図 73　霧島火山群の噴火活動史のブロック図[115]。赤枠は今回対象とした火山を示す。

対象火山

今回、韓国岳（18-15 ka）の活動後に形成された、主に完新世に活動している火山を対象とした（図 73）。具体的には、北西部のえびの高原（硫黄山・不動池・白紫池（韓国岳より古いとされているが参考として））、中央部の新燃岳・中岳・大幡山、南東部の御鉢・御池・高千穂峰である。これらの火山から採取した溶岩またはアグルチネート（御池は軽石）を取り扱った。なお、御池以外の試料については、東北大学東北アジア研究センターの宮本毅氏から提供を受けたものである。

岩石記載および鉱物化学組成

今回対象とした岩石は、御池を除いて、いずれも斑晶に富んでいる。斑晶鉱物として、単斜輝石・直方輝石・斜長石・不透明鉱物が共通して認められるが、南東部の御鉢・高千穂峰において、不透明鉱物の量比が少ない傾向がある。また、いずれの火山体もかんらん石斑晶を含むが、南東部の御鉢はその量比が大きい。南東部の御池と中央部の中岳には角閃石が少量含まれる。

鉱物化学組成をみると、マフィック鉱物（輝石およびかんらん石）の特徴が地域ごとに異なる(図 74)。北西部のえびの高原と中央部の新燃岳は特徴が類似しており、輝石のコア組成が均質で多くが逆累帯構造を示し、Fo~80 のかんらん石を少量含む。南東部では、御鉢・高千穂峰は、輝石のコア組成が北西部・中央部より幅広く、正逆累帯構造を示す。また、御鉢は Fo~74 のかんらん石を比較的多く含むのに対し、高千穂峰は Fo~78 のかんらん石を少量含む。一方、御池は、他火山と類似したコア組成の輝石のほかに低 Mg#の輝石が含まれており、直方輝石がトリモーダル、単斜輝石がバイモーダルなコア組成を示す。その輝石の多くは逆累帯構造を示し、Fo~80 のかんらん石を少量含む。

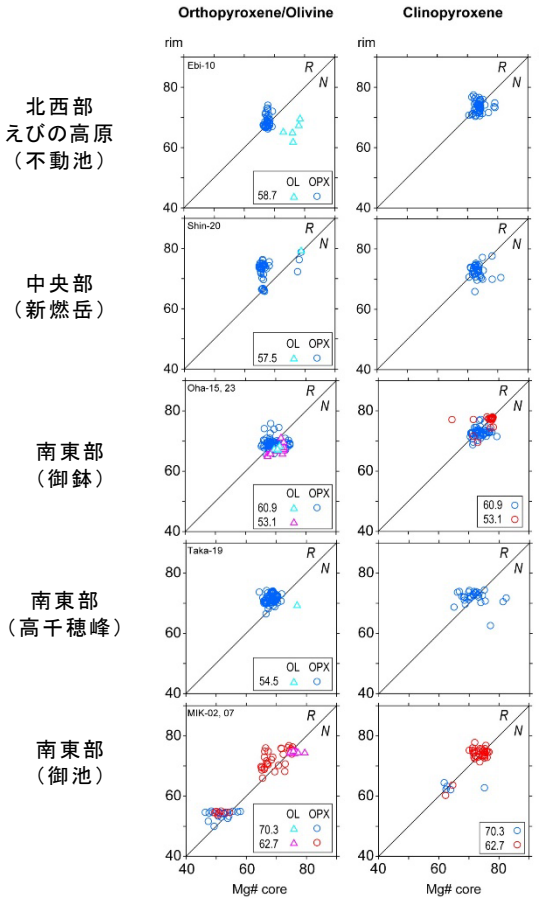


図 74　代表的な試料中の斑晶鉱物化学組成
コアーリム図。凡例の数字は全岩 SiO_2 量を示す。

全岩化学組成

全岩 SiO_2 量は北西部が比較的均質で、中央部・南東部の順に組成幅が広がる（図 75)。K_2O 量は北西部が最も高く、中央部・南東部の順に低くなる。北西部・中央部は地域ごとで大よそ 1 本の直線トレンドを描いているが、南東部は火山体ごとで異なる組成トレンドを描いている。同位体組成をみると、北西部・中央部はシリカ量に依らず、比較的均質な同位体組成を示すが、新燃岳は高シリカ試料において、高 Sr・低 Nd 同位体比を示す。南東部は、SiO_2＞55wt.%の試料において、北西部・中央部より高 Sr・低 Nd 同位体比を示し、御池のデイサイト試料が最も Sr 同位体比が高く、Nd 同位体比が低い。一方、SiO_2＜55wt.%の試料は比較的低 Sr・高 Nd 同位体比で、北西部・中央部の安山岩質試料と同程度の値を示す。

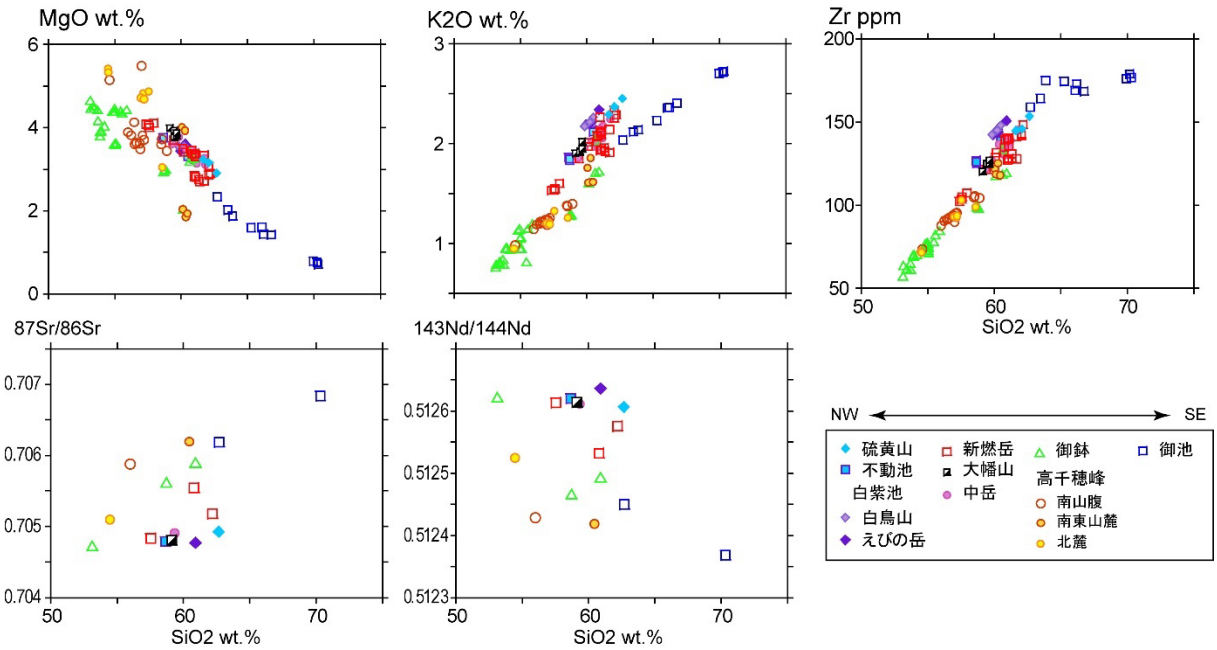


図 75　代表的な試料の全岩化学組成ハーカー図。

岩石学的特徴から見た山体区分と関連マグマ

以上の岩石学的特徴より、霧島火山群は以下の 3 つのグループに分けられる：北西部および中央部（NW+C）、南東部（御鉢・高千穂峰：SE）、御池（MI）（図 76）。それぞれのグループでは、NW+C と SE は、安山岩質マグマ（SA）と玄武岩質安山岩マグマ（BA）の 2 端成分マグマ混合が起きている。MI は、それらに加えてデイサイト質マグマ（D）が関与している。グループごとでこれら端成分マグマは異なる。以下に各グループのマグマ混合の特徴をまとめる。

NW+C：斑晶に富む SA-1 マグマと BA-1 マグマが混合しており、SA-1 マグマの割合が大きい。

SE：斑晶に富む SA-2 マグマと BA-2 マグマが混合しており、BA マグマの割合が大きい。また BA-2 マグマは複数存在する。

MI：斑晶に乏しい D マグマと SA-3 マグマ、そして BA-3 マグマの 3 端成分マグマ混合が想定される。

端成分マグマの成因関係

K_2O および Sr 同位体比組成のハーカー図において、NW+C と SE は苦鉄質側で収束する混合トレンドを示す。このことは、両地域の BA-1 と BA-2 マグマは共通の玄武岩質マグマ(B)を起源とし、B マグマの同化結晶分別作用によって、これらの BA マグマが生成された可能性が高いことを示唆している。一方、MI については、混合トレンドが収束しないことから、別の B’マグマが関与している可能性がある。SA マグマ・D マグマについては、B マグマとは同位体比が明らかに異なることから地殻物質が起源と考えられるが、グループによって同位体比が異なることから、地域によって地殻物質が異なることが示唆される。

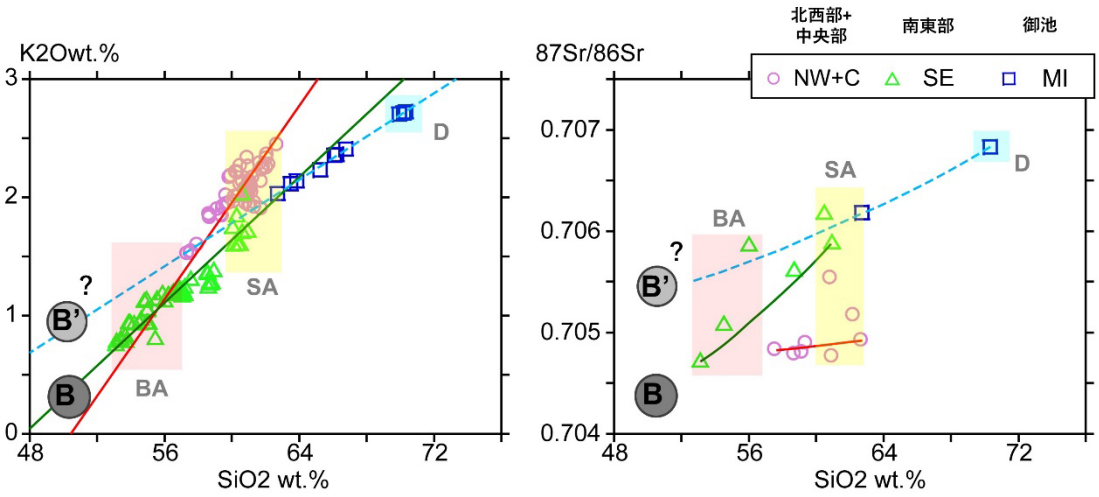


図 76　岩石学的グループに基づく全岩化学組成ハーカー図。実線および破線は、各グループのマグマ混合トレンドを示す。

霧島火山群のマグマ供給系像

以上の岩石学的特徴より、霧島火山群では 3 つのマグマ貯蔵系から構成されると考えられる。相澤ほか[122]の地球物理学的モデルと統合すると、以下のように整理できる(図 77)。

B マグマ系：20-25km 以深に貯蔵されており、霧島火山下に供給される。この B マグマは基本的に共通しているが、御池噴火の際は別の B’マグマが供給された可能性がある。

BA マグマ系：10-15km 深に貯蔵されている。深部より供給された B マグマの同化結晶分別作用によりマッシュを形成し、そこには多様な BA マグマが生成されている。BA-1 や BA-2 マグマがマッシュ内で独立したシル状に存在している可能性がある[118]。

SA マグマ・D マグマ系：中部～上部地殻に貯蔵されている。地殻物質由来のクリスタルマッシュが発達しており、BA マグマ系のように SA-1 や SA-2 マグマがシル状に存在していると考えられる。それらの化学組成・同位体比組成は地域によって異なる。

まとめ

岩石学的特徴から霧島火山群のマグマ供給系像の大枠は明らかになったが、B マグマがどこを通ってくるのか、なぜ南東部の方が苦鉄質なマグマが噴出しているのか、などは未だ不明である。これらを解決することが今後の課題である。

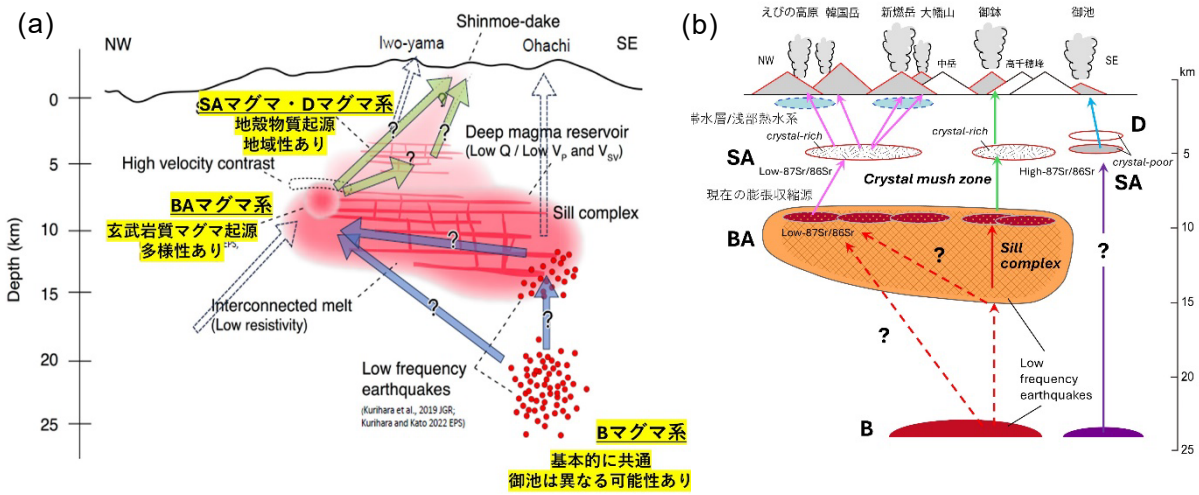


図 77　(a)霧島火山群の地球物理学的モデル（相澤ほか[122]に加筆）。(b)岩石学的モデルと地球物理学的モデルを統合した約 6 千年前以降の霧島火山群のマグマ供給系像(前野ほか[123]に加筆)。

iv）噴火履歴解明のためのボーリング掘削調査（東京大学地震研究所・北海道大学）

霧島火山群の噴火履歴の詳細を明らかにするために、令和 6 年度はボーリング掘削調査を 2 か所（えびの高原および高千穂峰南東麓）で実施した。いずれも既往研究で報告されている溶岩の上位に複数のテフラ層を認識することができた。詳細な解析結果については、令和 7 年度に報告する予定である。

v）鬼界：鬼界カルデラの噴火履歴・噴火推移に関する研究（東京大学地震研究所）

7.3 ka 鬼界アカホヤ噴火の中でも、特にアカホヤ火山灰の噴出量を明らかにするための研究を進めた。アカホヤ火山灰に代表されるコイグニンブライト火山灰の生成過程や物理パラメータの制約は、大規模カルデラ形成噴火の全体像を捉える上で不可欠である。とくに噴出量は、co-PDC 噴煙として上昇した火砕物粒子の絶対量を示す重要な物理パラメータである。本研究では、99 報の先行研究と九州南部における地質調査をもとに、合計 406 点の層厚データ（先行研究から 229 点、地質調査から 177 点）を収集した。これらの層厚データ群を用いて、人が作成した等層厚線図に基づく手法群と、層厚データのみを用いる統計学的手法群により噴出量を推定し、手法による結果の違いについて考察した。前者では等層厚線図を指数関数、べき関数、ワイブル関数にフィッティングすることで噴出量を推定した。この際、等層厚線図を最大・最小の 2 通り作成することによってその作成に伴う不確かさを表現し、Biass et al.[124]に基づきモンテカルロ法を用いて噴出量に関する確率分布を求めた。後者ではベイズ推定により求められた層厚減衰の特徴的パラメータを用いる手法[125]と、層厚データを最もよく説明する基底関数系を機械学習により推定する手法[126]を用いた。

新たに収集した層厚データ群によれば、アカホヤ火山灰は東北東もしくは東南東方向に分布軸を有し、琉球諸島から東北地方北部まで分布する（図 78）。とくに東

北地方におけるアカホヤ火山灰の分布はこれまでの推定よりも広い。また、機械学習による等層厚線図は他の手法に比べ西方に極端に大きく、東方に小さい。

噴出量に関しては、前者では不確かさを考慮した場合でも 180–360 km^3 の範囲に収まったが、後者では有意に小さい値（110–185 km^3）となった（表 3）。この差異には二次的な層厚変化に関する捉え方の違いや層厚データの地理的偏りが主に寄与していると考えられる。海域における層厚データや降下堆積物の二次的な層厚変化に関する知見の蓄積によって、上記で挙げた推定値の評価やより正確な噴出量推定が可能になると考えられる。今回推定されたアカホヤ火山灰の噴出量は、給源である幸屋火砕流の噴出量に比べて 1.5 倍以上大きい。このことが示唆するアカホヤ噴火絶頂期における co-PDC 噴煙の発生過程についても議論を進め、日本火山学会 2024 年秋季大会にて発表を行った。

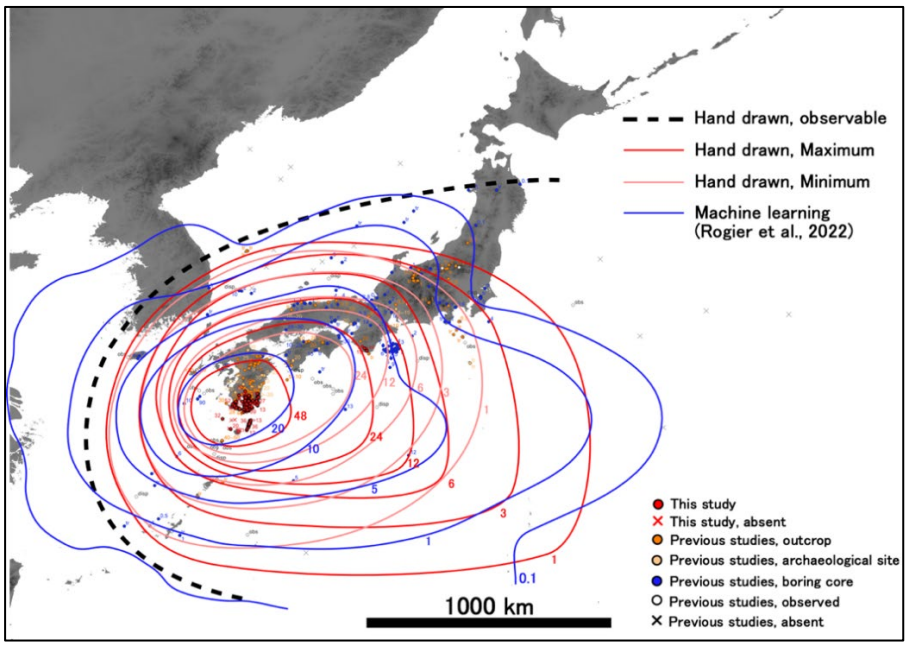


図 78　本研究で得られた 7.3 ka 鬼界アカホヤ火山灰の層厚分布。

表 3　推定した鬼界アカホヤ火山灰の噴出量。

Method	Exponential	Power-law	Weibull	Burden+ 2013	Rougier+ 2022
Bulk volume (km^3)	240^{+40}_{-30}	210^{+30}_{-30}	240^{+120}_{-40}	185	135 ± 25

w）その他の火山

その他の対象火山についても、これまでの調査結果の整理と必要に応じて追加の野外調査・物質科学的解析を実施した。一部の火山については、成果公表に向けた取り組みも行った。その概要を表 4 にまとめる。

表 4　その他の対象火山の実施内容のまとめ。

対象火山	実施内容	実施機関
利尻山	昨年度までの調査結果を整理し、成果公表のための投稿論文の準備を進めた。	北海道大学・産業技術総合研究所
大雪山	旭岳を含む大雪火山群の長期噴火活動履歴について、成果公表のための投稿論文の作成を進めた。	電力中央研究所
十勝岳	十勝岳火山の噴火事象系統樹の例に作成手順の公表に向けた投稿論文の準備を進めた。	北海道大学
ニセコ	イワオヌプリの活動史について、成果公表のための投稿論文の準備を進めた。	北海道大学
支笏火山（樽前山・風不死岳・恵庭岳含む）	支笏カルデラ形成後からのマグマ供給系の変遷を明らかにするために、風不死岳・恵庭岳・樽前山の物質科学的解析を行った。	北海道大学
有珠山	マグマ噴出量階段図の試作を学術誌で公表した。また噴火事象系統樹の試作に着手した。	北海道大学
岩手山	昨年度までの成果をとりまとめ、さらに分化シミュレーションを実施し西岩手火山のマグマ供給系の進化と構造のモデルを構築した。この成果を EPS 誌に論文として投稿した。	秋田大学
秋田焼山	これまでに取得したデータの取りまとめを行った。また火山地質図を公表した。	産業技術総合研究所
八丈島	長期マグマ変遷と山体形成史との関係を明らかにするために、三根ステージの噴出物に焦点を当て、物質科学的解析を継続した。	北海道大学
三宅島	八丁平噴火について、現地調査を行い、各堆積物の粒度分析と古地磁気学年代測定を行った。4.0 ka~2.3 ka の噴火層序およびマグマ系についての成果論文の執筆を進めた。	茨城大学
御嶽山	前年度までに取得したデータの取りまとめを行った。	産業技術総合研究所
横岳（八ヶ岳）	古地磁気学的観点と鉱物岩石学的分析から、溶岩の分布の再検討を行った。	信州大学
伽藍岳	昨年度までの調査結果をとりまとめ、成果公表のための投稿論文の準備を進めた。	信州大学
桜島	完新世のマグマ系の起源と進化についての成果論文を公表した。（後述）	北海道大学

2）マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発

北海道大学では、マグマ変遷解析センターにおいて、引き続き電子顕微鏡・質量分析装置・全真空型フーリエ変換赤外分光光度計顕微システムの分析法の発展に取り組んだ。また、参加機関の研究者・大学院生の利用受入れを継続し、本年度は 4 機関計 12 名の利用があった。以下に、マグマ変遷解析センターの活用例を報告する。

a）桜島火山における完新世のマグマ系の起源と進化

各活火山において、過去から現在に至るマグマ系の変遷とその要因を理解しておくことは、将来的な噴火活動予測にあたり極めて重要である。そこでマグマ変遷解析センターでは、R5 年度に桜島の完新世の噴出物を対象とした岩石学的記載および地球化学的分析を行い、引き続き R6 年度は、それら物質科学的データの解析に基づき、マグマ系の起源と進化の解明を試みた。

桜島は姶良カルデラの後カルデラ活動として形成された火山であり、国内で最も活動的な火山の一つである（図 79)。噴火活動は古期北岳（23-26 ka)、新期北岳（5.6-13 ka)、古期南岳（1.3-4.5 ka)、新期南岳（<1.3 ka）に区分される[127)]。このうち古期北岳の噴出物はテフラ層およびボーリングコア試料としてのみ産出し、また新期北岳初期の桜島薩摩噴火の噴出物もテフラ層としてのみ見出され、対応する溶岩は山体では見つかっていない[127)]。

桜島では、これまで歴史時代を含む新期南岳の噴出物を中心に、数多くの物質科学的研究が行われてきた[128-138)]。マグマ系に関する研究としては、Yanagi et al.[128)]は文明噴火以降の主要な噴出物を対象に岩石学的研究を行い、基本的に玄武岩質端成分マグマ（~52 wt.% SiO_2）とデイサイト質端成分マグマ（~69 wt.% SiO_2）の混合が起きていること、そして玄武岩質端成分マグマの寄与が次第に増加していること、などを明らかにした。中川ほか[129)]は、同じく文明噴火以降の噴出物について詳細な岩石学的解析を行い、15-18 世紀頃にはデイサイト質マグマ（~68 wt.% SiO_2）と安山岩質マグマ（~63 wt.% SiO_2）を端成分とするマグマ混合が起き、それ以降はその混合マグマ（~65 wt.% SiO_2）と玄武岩質マグマを端成分とする混合が進行したことを明らかにした。また Matsumoto et al.[130)]は 2006～2010 年の噴出物を詳細に解析し、マグマ溜まりへの玄武岩質マグマの注入が近年も継続していることを明らかにした。宮坂ほか[131)]は桜島全体の噴火活動をほぼ網羅するテフラ試料を対象に岩石学的解析を行い、例えば新期北岳のマグマの温度は新期南岳のマグマの温度よりも（同じ SiO_2 量で比較して）系統的に低いこと、また新期北岳のマグマ活動ではマグマ混合の影響が少ないこと、などを明らかにした。味喜ほか[132)]、宇都ほか[133)]、Takahashi et al.[134)]は、桜島の噴出物について数多くの全岩組成データを報告し、噴出物は大きく高 P_2O_5 グループと低 P_2O_5 グループに分けられることを示した。Takahashi et al.[134)]では、桜島の組成多様性の要因として、不均質な地殻物質の溶融、もしくは玄武岩質マグマと流紋岩質マグマの多様な比率の混合マグマからの結晶分化作用である可能性を示した。倉沢ほか[135)]、Arakawa et al.[136)]、宇都ほか[133)]、中川ほか[129)]では桜島噴出物の $^{87}Sr/^{86}Sr$ 同位体比を報告した。また Shibata et al.[137)]は、初めて Sr-Nd-Pb 同位体比が揃ったデータセットを報告し、それをもとに桜島のソースマントルの特徴について検討した。また桜島噴出物の親マグマは地殻物質の同化を被ったマントル起源マグマであり、結晶分化作用、マグマ混合、上部地殻物質の同化によってさらに組成の多様化が引き起こされたと考えた。Brown et al.[138)]は 13 試料に対して鉛同位体比を測定し、桜島噴出物の同位体比の多様性の要因として、地殻物質が同化したマントル起源マグマの結晶分化作用が重要であると指摘した。

このように、桜島の噴出物については多くの優れた先行研究が存在する一方で、長期的なマグマ系の進化の理解に不可欠な、古期南岳や新期北岳の噴出物の解析例が少なく、また桜島全体を通して Sr-Nd-Pb 同位体比が揃ったデータセットは Shibata et al.[137)]の 7 試料のみであるなど、データ量が不十分であった。そこで本研究では、新期北岳、古期南岳、および新期南岳の噴出物をできる限り広く網羅する形で選択した採取試料および北海道大学における保管試料を対象に、新たに約

110 試料についてマグマ変遷解析センターが管理する XRF によって全岩主要・微量元素濃度分析を、50 試料について ICP-MS による微量元素濃度測定・MC-ICP-MS による Sr-Nd-Pb 同位体比分析を、さらに 39 試料について U-Th 放射非平衡分析を実施した。

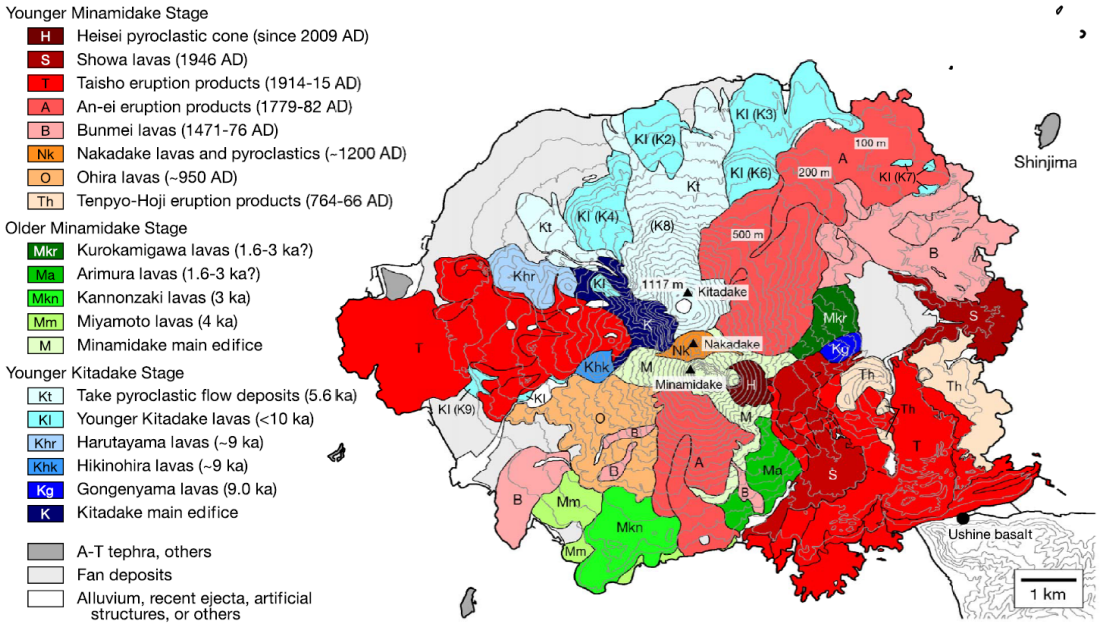


図 79　桜島の火山地質図（小林ほか[127]を一部改変）。

完新世の噴出物の斑晶量は 10～30%程度であり、斑晶組み合わせは、安山岩質な試料では斜長石＋直方輝石＋単斜輝石（＋かんらん石）、デイサイト質な試料では斜長石＋直方輝石＋単斜輝石である。本研究で得られた桜島の噴出物の全岩 SiO_2 量は 58-69 wt.%であった。先行研究[132-134]で指摘されたように、噴出物の全岩化学組成は大きく高 P_2O_5 グループと低 P_2O_5 グループに分けられ、前者は歴史時代噴出物を含む新期南岳の噴出物、後者は古期南岳および新期北岳の噴出物が該当する（図 80）。また低 P_2O_5 グループの中では、古期南岳の試料は SiO_2 量が低く、新期北岳の試料と区分される。高 P_2O_5 グループと低 P_2O_5 グループは放射性同位体比でも明瞭に区分され、低 P_2O_5 グループ（古期南岳および新期北岳）の噴出物は高 P_2O_5 量グループ(新期南岳)の噴出物(＝高 P_2O_5 量グループ)よりも高い $^{87}Sr/^{86}Sr$、$^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb/^{204}Pb$ 比、低い $^{143}Nd/^{144}Nd$ 比をもつ（図 81）。ただし低 P_2O_5 グループ試料の中で最も SiO_2 量が高い Kg の試料の鉛同位体比は、高 P_2O_5 グループの鉛同位体組成と重なる。

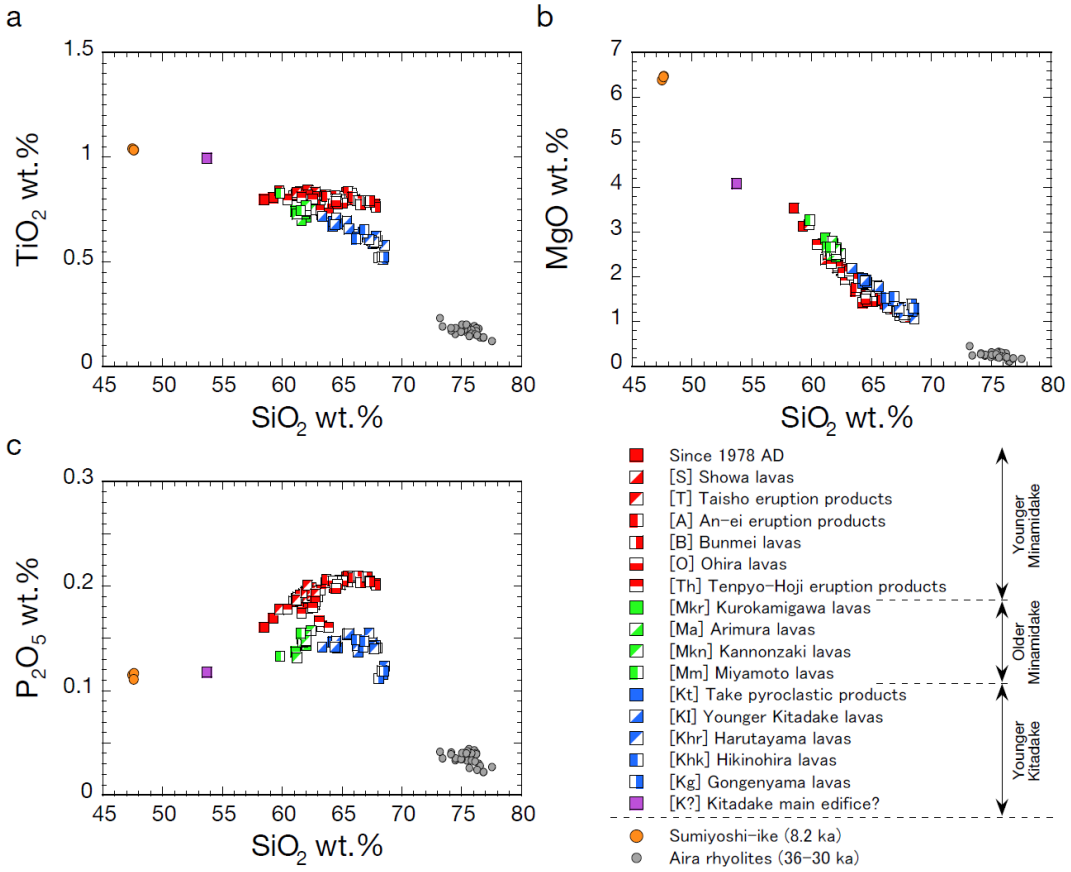


図 80　桜島火山の完新世噴出物の全岩主要元素組成。姶良カルデラ噴出物（灰色軽石を除く流紋岩）のデータは文献 [139] による。

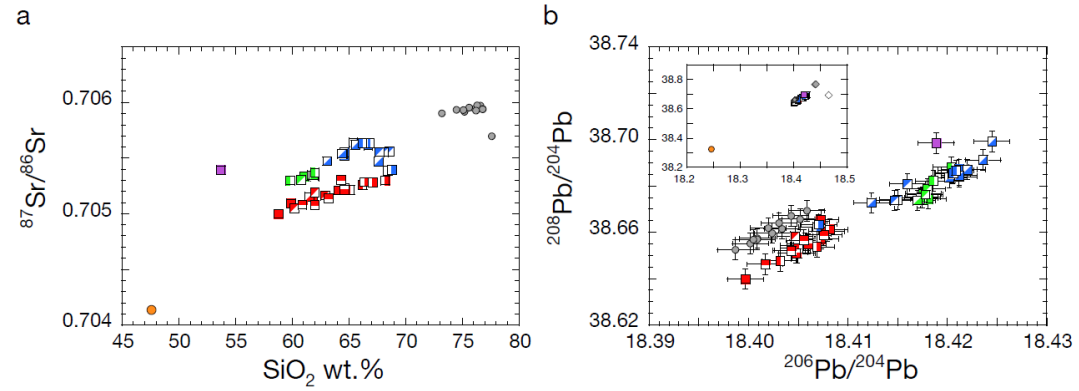


図 81　桜島火山の完新世噴出物の Sr および Pb 同位体組成。姶良カルデラ噴出物（灰色軽石を除く流紋岩）のデータは文献 [139] による。

低 P_2O_5 タイプの噴出物は、ハーカー図上において組成トレンドを示すことから、何らかの一連の過程で生成されたことが示唆される。可能性としては①AFC、②沈み込むスラブからの sediment diapir、③上部地殻の融解、④下部地殻の融解が考えられる。これらのうち②と③については、噴出物の放射性同位体比が、それぞれフィリピン海プレートの堆積物、上部地殻物質（近隣の花こう岩体・四万十帯堆積物）

と異なることから棄却される。また①についても、噴出物の $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比が SiO_2 量の増加とともに一度上昇して下がることから不適である。以上の検討結果から、低 P_2O_5 タイプのマグマは下部地殻起源と考えられ、全岩化学組成の多様性は部分融解度の多様性を反映していると解釈できる。

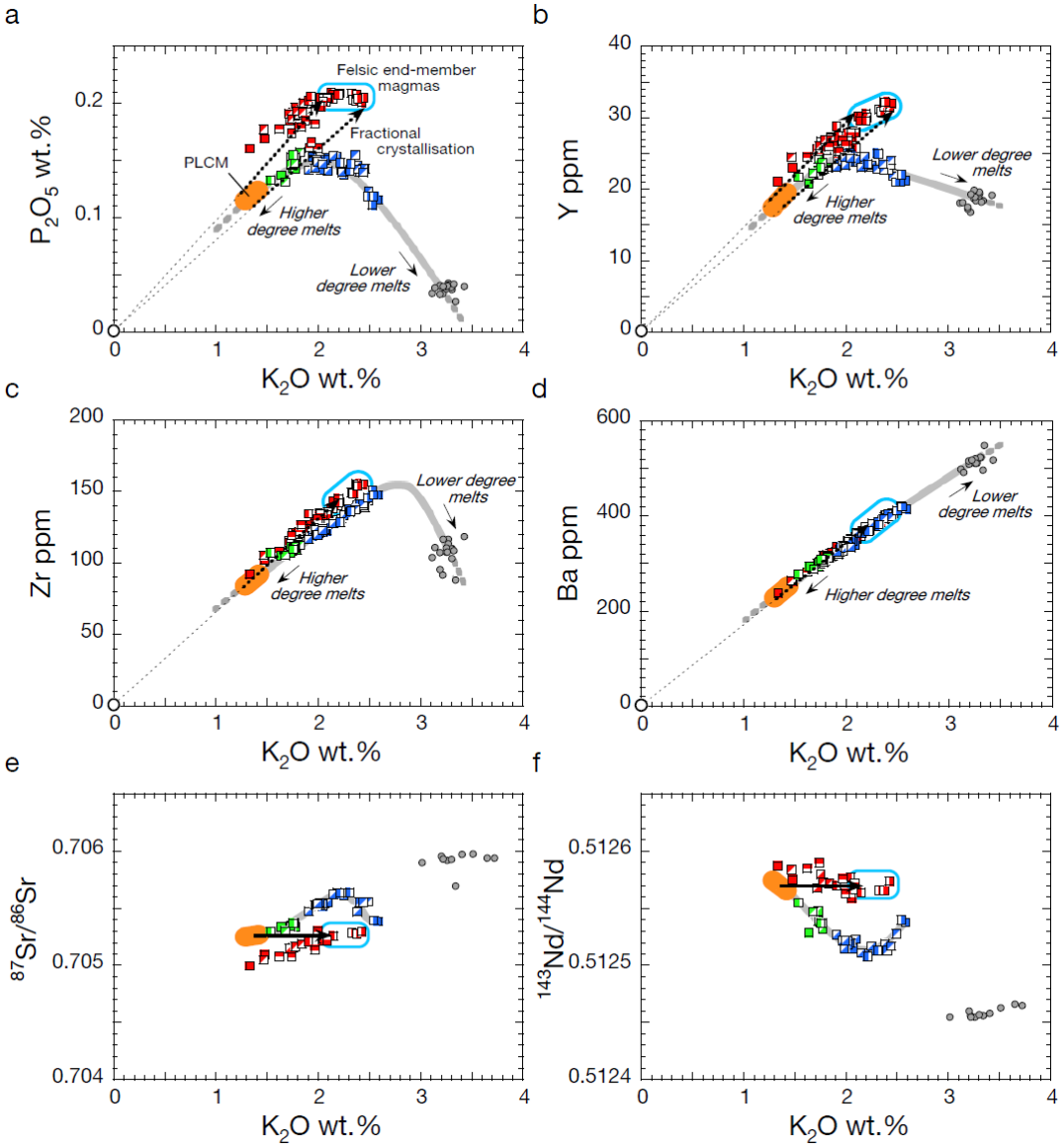


図 82　桜島火山の完新世噴出物の全岩主要元素組成。姶良カルデラ噴出物（灰色軽石を除く流紋岩）のデータは文献 [139] による。オレンジの領域は未噴出の下部地殻起源メルト（PLCM）、青で囲った領域は新期南岳の珪長質端成分マグマ（PLCM の分化物）、灰色の太線は下部地殻溶融メルトの模式的な組成トレンドを示す。

高 P_2O_5 タイプの全岩化学組成の多様性は、先行研究によって玄武岩質端成分マグマ（マントル起源）とデイサイト質端成分マグマの混合で説明されている [128)129)]。珪長質端成分マグマの成因としては、上記と同様に①AFC、②sediment diapir、③上部地殻の融解、④下部地殻の融解が考えられるが、②と③については低 P_2O_5 タイプと同様の理由で棄却される。また①についても、^{238}U-^{230}Th equiline 図上で、高

P_2O_5 タイプのデータが作るトレンドの珪長質側の延長上に下部地殻の組成が乗らないことから棄却される。以上から、珪長質端成分マグマも下部地殻起源と考えられる。ただしこの端成分マグマは、同じく下部地殻起源である低 P_2O_5 タイプよりも顕著に高い P_2O_5・Y 量を有するため（図 82)、下部地殻の部分溶融メルトそのものではあり得ない。このため、下部地殻が比較的高い溶融度で融解して生成された安山岩質マグマが、角閃石や燐灰石が晶出しない低圧条件下で結晶分化することによって P_2O_5・Y 量が高いデイサイト質端成分マグマが生成された、というシナリオが考えられる（図 82)。

低 P_2O_5 タイプの噴出物（9-1.6 ka）は、時間とともに概して K_2O 量が低下し、また高 P_2O_5 タイプ(<1.3 ka)のデイサイト質端成分の親マグマ(=下部地殻起源;PLCM)は、さらに低い K_2O 量を持つことが示唆される（図 83)。このことから完新世のマグマ系の進化は、大局的には徐々に高い融解度の下部地殻起源のマグマ（図 83）の、地殻浅部への間欠的な上昇によって説明できる。

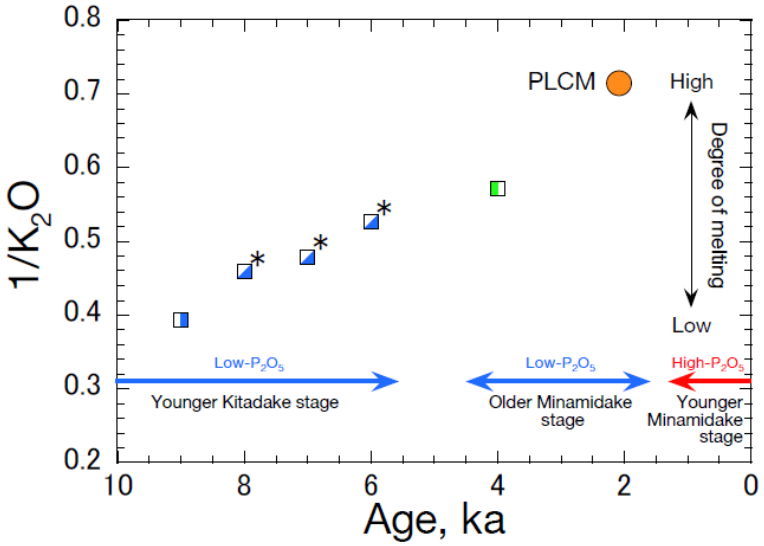


図 83　桜島火山の完新世噴出物の $1/K_2O$ 比（同一地殻物質の部分溶融度の指標）と噴出年代の関係。アスタリスクを付したデータは、噴出順序は正しいが、正確な噴出年代は未決定である。

b）偏光赤外光を用いた菫青石中の H_2O, CO_2 の分析（予察報告）

マグマや岩石の中で形成された鉱物は、その場に存在する揮発性成分を結晶構造に少量取り込む。そのため、鉱物中の揮発性成分を分析することで、地下の流体の上方を得ることが可能である [140]。ただし、その分析にはやや面倒な手続きが要る。すなわち、結晶中では揮発性成分の分子の向きは結晶構造により支配されるため、分光分析により揮発性成分を分析する際は、結晶の方位や入射光の振動方向などを注意することが求められる。今回は、菫青石を対象とし、マグマ変遷解析センターに配備されているフーリエ変換型赤外分光光度計（FT-IR）を用いて揮発性成分の分析を行った。

菫青石（$(Mg, Fe)_2Si_5Al_4O_{18}$）は無水鉱物であるが、チューブを束ねたような形状の結晶構造を持っており、その中に H_2O や CO_2 の分子を取り込む性質がある（図 84)。

菫青石中では、H_2O は、 分子の長い部分が c 軸と平行な H_2O-type I および長い部分が b 軸に平行な H_2O-type II として取り込まれる。CO_2 は長い方向が a 軸に平行な状態で取り込まれる。菫青石は火山岩にも産出し、例えば安達火山の噴火（約 8 万年前）では、軽石と同時に噴出した深成岩礫に含まれている[141]。この深成岩礫は軽石と同源と考えられており、クリスタルマッシュが噴出したものと提案されている[142]。そこで安達火山の深成岩礫から菫青石を取り出し、H_2O と CO_2 の分析から生成環境を推定した。

i）方法

採取した深成岩礫には、約 2 mm の菫青石の自形結晶が含まれており、これをハンマーと彫刻刀を駆使して取り出した。そして、結晶の方位を外形および多色性から判断し（図 85）、a-b 面、b-c 面、c-a 面の両面研磨薄片を作成した。分析には日本分光の FT-IR 装置 IR-5200VC を用い、直線偏光での赤外透過分析を行った。

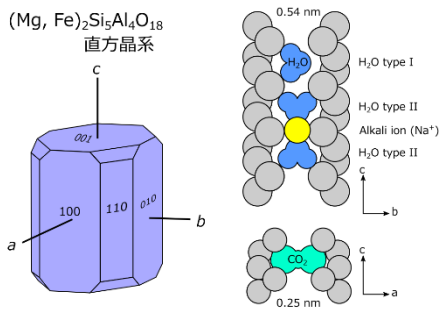


図 84　菫青石の外形（Nesse[143] を改変）と H_2O, CO_2 分子の取り込み方（Vry et al. [144] を改変）。

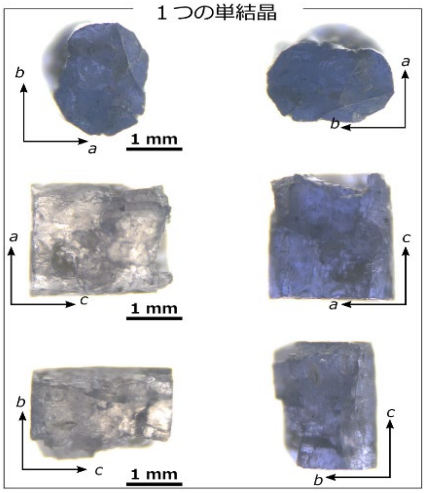


図 85　菫青石単結晶の方位と多色性。

ii）結果

菫青石は図 86 のようなスペクトルを示し、 H_2O-type I（H_2O 分子の長い部分が c 軸と平行な H_2O 分子）、H_2O-type II（長い部分が b 軸に平行な分子）、CO_2 の存在が確認された。モル吸光係数の値[145]を用いて濃度を計算すると、平均含水量は 0.88 wt%、CO_2 は 325 ppm となった。

iii）菫青石の生成圧力の推定

菫青石の CO_2/H_2O 比(=0.04)は非常に低く、流体はほとんど純粋な H_2O であったと考えられる。そこで、温度を 850 ℃と仮定し[142]、菫青石中の H_2O 溶解度則[146]と流体の状態方程式[147]を用いて平衡圧力を計算した結果、150 MPa という値が得られた。

iv）まとめ

以上のように、偏光赤外光を用いることで、鉱物中の水や二酸化炭素の分析を行うことができるようになった。これにより、例えば噴火直前に起こるとされる、高温流体によるクリスタルマッシュの解凍過程など、従来は確かめるのが難しかった現象を研究することができるようになり、火山研究がさらに進展するものと考えられる。

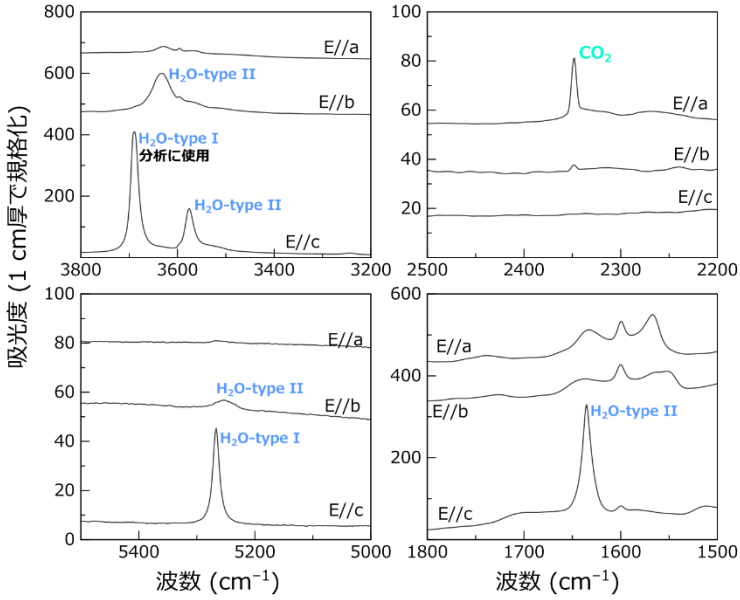


図 86　菫青石の赤外吸収スペクトル。

3）大規模噴火データベースの整備

産業技術総合研究所では、大規模噴火推移データベース作成に向け、地質情報を整備している。本年度の成果概要を以下に述べる。

a）大規模噴火データベース

後期更新世以降に大規模噴火を発生させたカルデラ火山について、その長期的な活動推移や大規模噴火の噴火推移などを取りまとめた「大規模噴火データベース」[148]を構築し、「日本の火山データベース」の一部として 2022 年より公開している（図 87）。大規模データベースには、萌消、屈斜路、摩周、支笏、洞爺、濁川、十和田、御嶽、大山、三瓶山、姶良、阿多、池田及び鬼界カルデラの 14 の火山について、カルデラ形成噴火を伴った噴火を対象に、その噴出物の特徴、噴火推移、長期・短期的前駆活動、文献等が掲載されている。R6 年度は、萌消カルデラ、御嶽山、大山、三瓶山のデータを新たに公開し、屈斜路及び姶良カルデラのデータ更新を行った。また、本データベースには、カルデラ形成噴火のみならず、先カルデラ形成期、および後カルデラ期の活動についても噴出量や噴火年代などのデータを収集し、カルデラ火山全体の活動推移データを網羅している（図 88）。噴火推移や噴出物についての文章による情報のほか、統一規格による層序概念図の提示により、噴火推移の直感的な把握が容易になった（図 89）。また、データベースの次期更新に向けて、阿蘇、秋田駒ヶ岳、クッタラ、肘折、クレータレーク、サントリーニ等の火山について情報収集を行った。



図 87　大規模噴火データベース（公開版）。

全国 10 のカルデラ火山の長期的・短期的な活動推移を掲載している。噴出物毎にその噴火推移や噴出物層序、噴出物の分布、露頭写真などの情報をとりまとめた。（https://gbank.gsj.jp/volcano/ledb/）

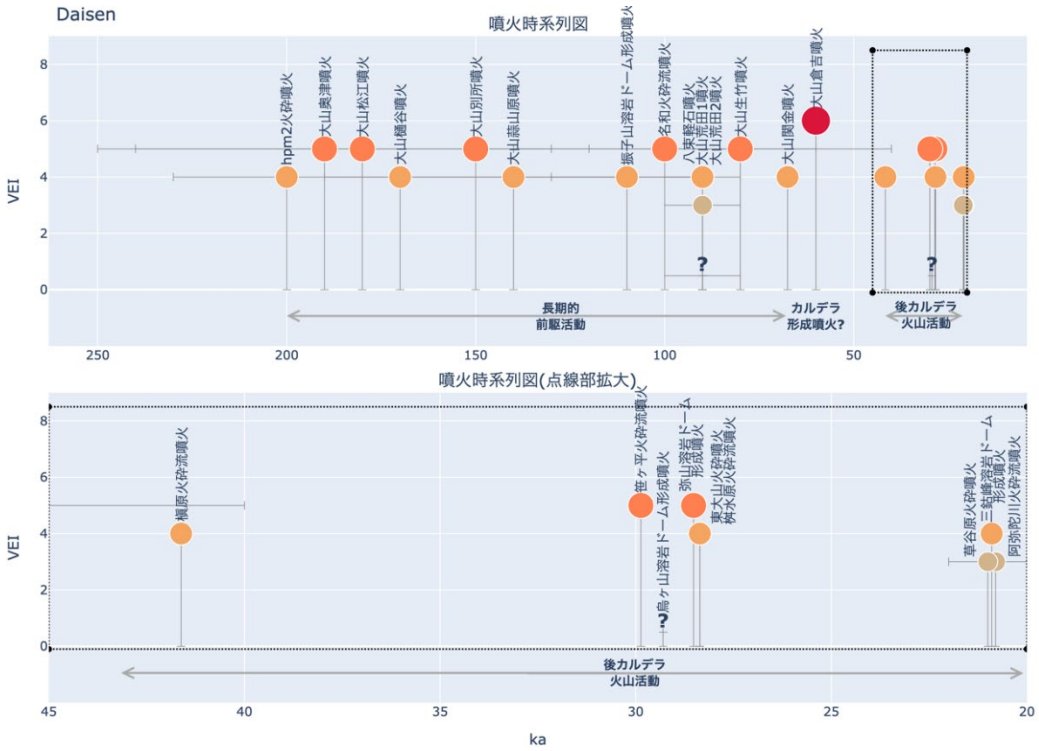


図 88　大規模噴火データベースのコンテンツ。
大山火山における噴火時系列図の表示例。

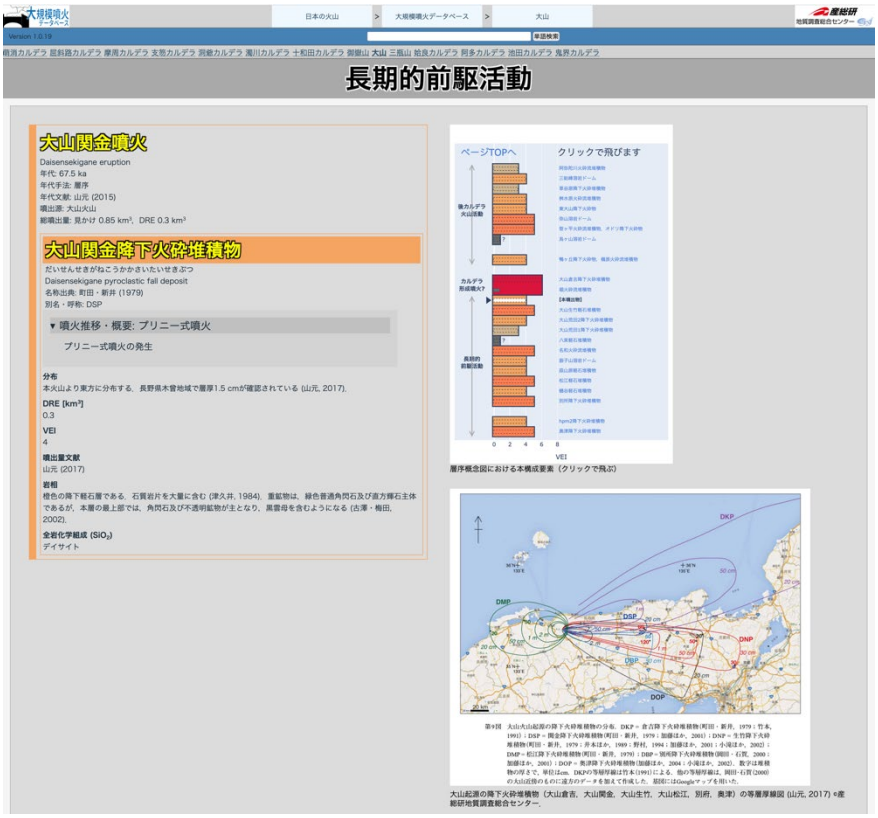


図 89　大規模噴火データベースのコンテンツ。
長期的前駆活動としての大山関金噴火の事例。統一基準・表現による層序概念図などを掲載。

b) 噴火推移データベース

近現代に発生したおおむね VEI5 クラス以上の火砕噴火のうち詳細な噴火推移の目撃記録が残る噴火事例について、噴火開始前から噴火終了後までの噴火活動及び関連する活動（地震活動など）推移収集した「噴火推移データベース」[149]を作成し、「日本の火山データベース」の一部として 2022 年より公開を行っている（図 90）。現在、フンガ・トンガ 2022 年噴火、福徳岡ノ場 2021 年噴火、クラカタウ 2018 年噴火、アグン 2017-19 年噴火、カルブコ 2015 年噴火、ケールト 2014 年噴火、グリムズヴォトン 2011 年噴火、プジェウエ-コルドン・カウジェ 2011 年噴火、チャイテン 2008 年噴火、ラバウル 1994 噴火、ピナツボ 1991 年噴火、エルチチョン 1982 年噴火、有珠山 1977-78 年噴火、オーガスティン 1976 年噴火、アグン 1963 年噴火、ベズイミアニ 1955-56 年噴火、キサプ 1932 年噴火、北海道駒ヶ岳 1929 年噴火、桜島大正 1914 年噴火、ノヴァラプタ・カトマイ 1912 年噴火、クラカタウ 1883 年噴火、浅間天明 1783 年噴火、富士山宝永 1707 年噴火、ワイナプチナ 1600 年噴火、ヴェスビウス 79 年噴火の 26 の噴火が掲載されている。また、次期公開にむけて、スフリエール 2020 年噴火、メラピ 2010 年噴火、北海道駒ヶ岳 1640 年噴火、コリマ 1913 年噴火などの噴火推移情報を収集した。

噴火推移データベースには、噴火推移として前兆現象や噴火開始の状況、噴火推移のほか、対象とする噴火に至る長期的な活動推移や、噴火後の活動についても文章で解説している。また、爆発的噴火の時系列を可視化し比較する上で、火山の活動状態を同一の基準で一般化する必要があるため本データベースでは、未噴火時から噴火中、歴史記録とから現代的観測データまでをシームレスに取り扱うことのできる火山活動の強度の定性的指標として、数値-1～7 で表される火山活動強度指数（Volcanic Unrest Classification ； VUC）を定義し、これを推移図として様々な時間スケールで表示できる機能を備えている（図 91）。また、噴火推移表として時系列順に VUC の変化が一目でわかるようになっている（図 92）。表示は、同一の噴火に対して異なる時間スケールのものを並列で表示することも可能であり、また複数の噴火を比較して行うことも可能である（図 93）。VUC の図示機能により、噴火間での活動の時系列変化を著館的に把握することが可能となった。また、噴火推移を、エスカレート型、多峰型、減衰型の 3 つに区分し、類型化を進めた。さらに、フンガ・トンガ 2022 年噴火、福徳岡ノ場 2021 年噴火、アグン 2017-19 年噴火、クラカタウ 2018 年噴火、ラバウル 1994-年噴火、ベズィミアニィ 1955-56 年噴火、北海道駒ヶ岳 1929 年噴火、ワイナプチナ 1600 年噴火の 8 つの火山噴火の他、大規模な改訂を行なった 3 つの火山噴火、アグン 1963 年噴火、浅間天明 1783 年噴火、ヴェスヴィウス西暦 79 年噴火について、地質調査総合センター研究資料集として公開した[150]。



図 90　噴火推移データベース公開版。

2022 年 1 月に発生したフンガ・トンガ火山噴火をはじめとする 26 の爆発的噴火の推移データを収録している。(https://gbank.gsj.jp/volcano/esdb/)



図 91 噴火推移図上での噴火状況のデータの表示例。
2022 年フンガ・トンガ火山噴火の表示例。データベースに収録された噴火状況を VUC 噴火推移図上で確認することができる。



日付時刻	継続時間 (h)	VUC	内容	出典
2021/12/19 11:01		0	Sentinel-2が島を撮影。山体・海水変色に特異な点なし。	Interpretation by F.I.
2021/12/20 09:30	約2.0時間	6	強い噴火。<50 km²の軽石いかだの発生。	Interpretation by F.I.
2021/12/20 11:30	約10時間	4	ひまわり8号。連続噴煙状態。	Interpretation by F.I.
2021/12/21 11:30	約4.2日間	4	ひまわり8号。連続噴煙状態が25日まで続く	Interpretation by F.I.
2021/12/25 17:00	約19日間	3	ひまわり8号。12/25-1/13 海水変色。稀に噴煙。	Interpretation by F.I.
2021/12/29 05:30	約2.5時間	4	ひまわり8号。やや連続的な噴煙。	Interpretation by F.I.
2021/12/30 12:00		4	弱いスルツェイ式噴火活動をしている動画がYoutubeにある。	Interpretation by F.I.
2022/01/14 04:20	約4.0時間	6	ひまわり8号およびGOES-16。強い噴火。オーバーシュート部分が見える。	Interpretation by F.I.
2022/01/14 08:20	約6.0時間	4	ひまわり8号およびGOES-16。連続噴煙状態。	Interpretation by F.I.
2022/01/14 14:20	約5.0時間	5	ひまわり8号およびGOES-16。強い連続噴煙状態が続く。	Interpretation by F.I.
2022/01/14 19:20	約11時間	4	ひまわり8号およびGOES-16。連続噴煙状態、次第に間欠的になり噴煙停止。	Interpretation by F.I.
2022/01/15 15:25		2	Planet社Skysatが島を撮影。噴火停止状態。火砕丘は破壊され、島は2つにわかれている。海峡部からは赤色い海水変色が湧き出している。	Interpretation by F.I.
2022/01/15 17:00	約60分間	7	ひまわり8号およびGOES-16。大気波動現象の発生・急速な笠雲の拡大(2.4 km/min.)・オーバーシュート部分の成長	Interpretation by F.I.
2022/01/15 17:33		2	これ以降連続的に津波が南方60kmのヌクアロファを襲う	Interpretation by F.I.
2022/01/15 18:00	約7.0時間	6	ひまわり8号およびGOES-16。大気波動現象は引き続き発生・オーバーシュート部分の成長の停止	Interpretation by F.I.
2022/01/16 01:30	約9.5時間	5	ひまわり8号およびGOES-16。オーバーシュート部分が火口を覆れる。傘雲は1/16 5時JST頃から消え始めた。	Interpretation by F.I.
2022/01/16 06:09		0	Sentinel-1がSARで島を撮影。2つの島が大幅に小さくなっている様子が判明。	Interpretation by F.I.
2022/01/16 10:40		4	GOES-16。小爆発。	Interpretation by F.I.
2022/01/16 22:20		4	GOES-16。小爆発。	Interpretation by F.I.
2022/01/17 03:00		4	GOES-16。小爆発。	Interpretation by F.I.
2022/01/17 06:20		4	GOES-16。小爆発。	Interpretation by F.I.
2022/01/17 09:30		4	GOES-16。小爆発?	Interpretation by F.I.
2022/01/18 11:01		0	Sentinel-2が周辺を撮影。半径100 kmの海が懸濁し、散り散りに軽石いかだが漂流。軽石いかだの面積はすべて足しても<50 km²程度。火口付近に変色域はなし。	Interpretation by F.I.

噴火推移のイベント一覧．時間は全て現地時刻．

図 92　2022 年フンガ・トンガ噴火の噴火推移のイベント一覧。

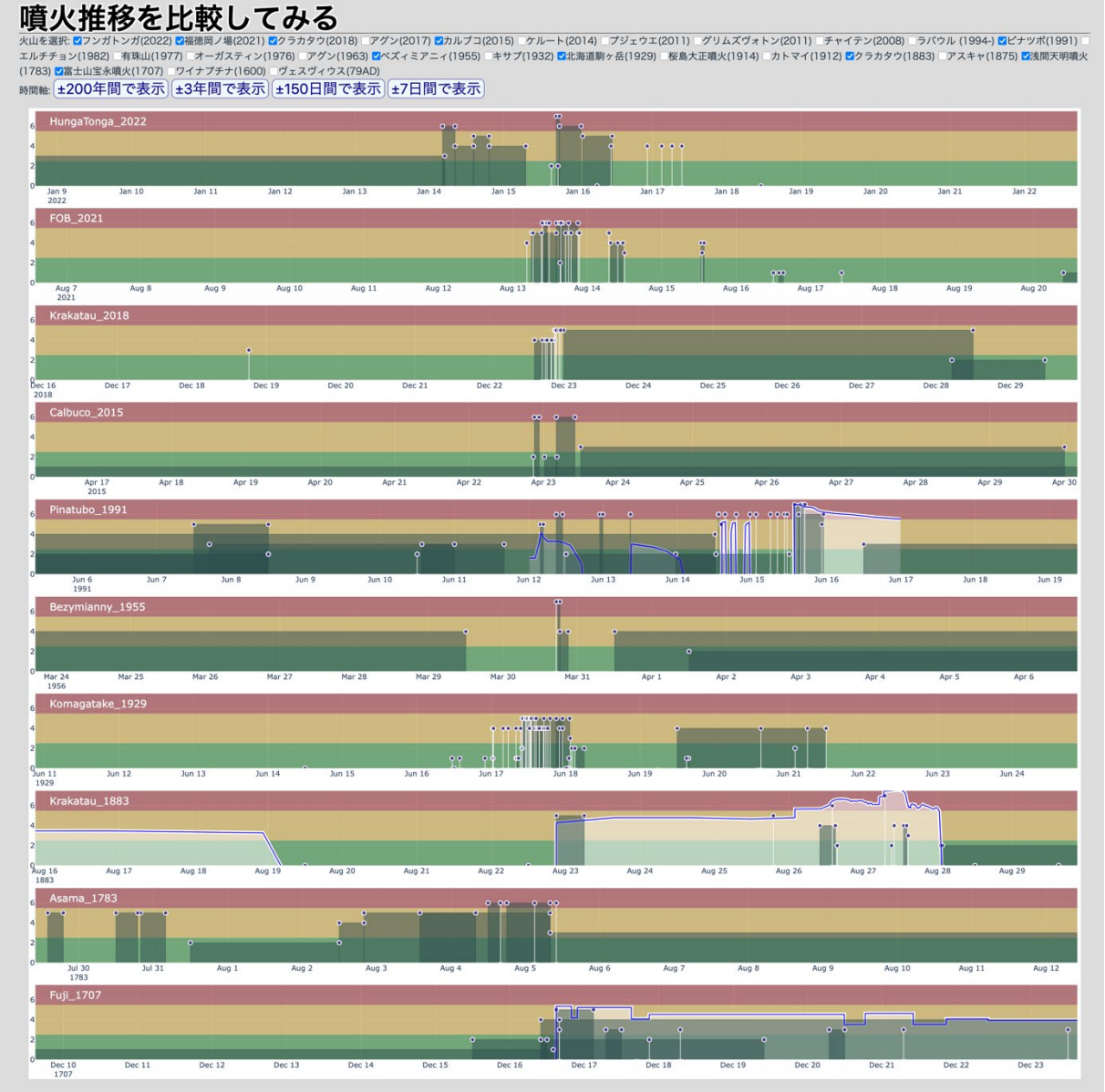


図 93　フンガ・トンガ 2022 年、福徳岡ノ場 2021 年、クラカタウ 2018 年、カルブコ 2015 年、ピナツボ 1991 年、ベズイミアニ 1955-56 年、北海道駒ヶ岳 1929 年、クラカタウ 1883 年、浅間天明 1783 年、富士宝永 1707 年の噴火前後±7 日間の噴火推移図比較。噴火毎に前駆活動、噴火開始後のパターン、継続期間などに特徴が見られる。

4）課題 C-2 のとりまとめと研究成果の発信

a）課題 C-2 全体のとりまとめ

実施責任機関である北海道大学では、サブ課題 C2 の各参加・協力機関と密に連絡をとり、研究の進捗状況等を把握し、円滑に研究が遂行されるように努めた。また、ボーリング掘削調査については、掘削地点の調整を行い、霧島山で実施した。そして、防災科学技術研究所と協力して、ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築を進め、コア試料を集約した。火山研究人材育成プログラムにおいても、参加機関の複数の研究者が講師として参画した。また、サブ課題 C2 の研究課題の一部を大学院生の

研究テーマとして遂行し、博士後期課程の学生については RA として雇用するなど、より実践的な教育に取り組んだ。また、令和 6 年 11 月にサブ課題研究集会を開催し、各機関の研究進捗状況の共有だけでなく、最終年度を見越した成果とりまとめの見通しや本事業全期間での成果などについて、意見交換を行った。そして、令和 6 年 12 月の火山 PJ 合同研究集会において、サブ課題 C2 の成果を他課題全体に共有した。

b) 課題 C-2 の研究成果の発信に向けた取り組み

令和 6 年度は、本事業の到達目標である、中長期予測のための時間―積算噴出量階段図（以下、マグマ噴出量階段図）の作成について、作成手順を学術誌で公表した。また、噴火事象系統樹については、作成指針を公表するために、投稿論文の準備に取り掛かっている。さらに、一般向け講演会や調査時の地元住民向け説明会など、社会への啓蒙活動や研究成果発信にも取り組んだ。

5) 課題 C 全体のとりまとめと総合推進

サブ課題 C1・C3 との連携研究の対象である霧島火山について、昨年度のコアメンバーによるワークショップで議論されたマグマ供給系像と噴火シナリオについて、相澤氏（九州大）・前野氏（東大地震研）が中心となってたたき台を作成し、日本火山学会秋季大会および令和 6 年 12 月に開催された合同研究集会で公表し、多くの研究者と議論した。また、そのたたき台を基に、「どのように噴火様式・推移の予測を行うか」という観点で、課題間連携研究集会を令和 7 年 3 月 15 日・16 日に開催した（表 5・図 94)。課題 C だけでなく、課題 B・D の研究者、他分野の研究者、そして人材育成コンソーシアムにも広く周知した結果、多くの参加者を得ることができ、非常に活発な議論が行われた。また、連携研究集会の後は、現地検討会も開催した（表 6・図 95)。

表 5　霧島火山連携研究集会のプログラム

次世代火山研究人材育成総合プロジェクト　課題間連携研究集会
「火山学はどのように噴火様式・推移の予測を行うか：霧島火山を例にして」
日時：2025 年 3 月 15 日（土）9：30～17：20
　　2025 年 3 月 16 日（日）9：00～16：30
場所：鹿児島大学理工学研究科理学専攻
　　理学部 2 号館　220 講義室（オーラル会場：オンライン配信あり）
　　211 講義室（ポスター会場）
参加者：110 名

時間	講演タイトル	所属	講演者氏名
3 月 15 日（土）			
09：30 ～ 09：40	次世代火山研究プロジェクト課題間連携研究「霧島火山」のねらいについて	北海道大学	中川　光弘
A. 静穏期			
09：40 ～ 10：20	霧島火山群の噴火推移モデル	東京大学地震研究所	前野　深
10：20 ～ 10：45	霧島山、歴史記録から見た御鉢から新燃岳・硫黄山への活動遷移と近年の活動およびハザード	日本工営株式会社	田島　靖久

10：45 ～ 11：10	地方自治体の火山防災訓練から見えたニーズと研究成果の活用について	富士山科学研究所	久保　智弘
11：10 ～ 11：30	討論　　話題提供：中田　節也（防災科学技術研究所）		
11：30 ～ 12：30	休憩（昼食）		
12：30 ～ 13：10	霧島火山群のマグマ供給系についての論点	九州大学	相澤　広記
13：10 ～ 13：35	霧島火山におけるマグマ生成過程および蓄積場に関する岩石学的制約	東京大学地震研究所	川口　允孝
13：35 ～ 13：50	霧島火山韓国岳のプリニー式噴火におけるマグマ蓄積場の状態の解明	東京大学地震研究所	鈴木　慈苗
13：50 ～ 14：15	斑晶から探る噴火準備・誘発過程―新燃岳享保噴火への応用―	早稲田大学	鈴木　由希
14：15 ～ 14：25	休憩		
14：25 ～ 14：55	希ガス同位体からみた霧島火山群におけるマグマ起源流体の供給系	東京大学先端科学技術研究センター	角野　浩史
14：55 ～ 15：15	2011 年噴火の斑晶ヘリウム同位体から見出される霧島火山マグマ供給系の特徴	東京大学理学系研究科	米田　羅生
B. Unrest 期			
15：15 ～ 15：40	火山監視の難しさ　～近年の火山活動_霧島山編～	鹿児島地方気象台	小枝　智幸
15：40 ～ 16：05	衛星 SAR による 2017・2018 年噴火前に観測された火口収縮の解釈	国土地理院	姫松　裕志
16：05 ～ 16：35	霧島火山の観測体制と噴火前、噴火時に予想されるシグナルについて	東京大学地震研究所	大湊　隆雄
16：35 ～ 17：20	討論（２）　＋　ポスター		
3 月 16 日（日）			
09：00 ～ 09：25	繰り返し地殻変動観測から推定される霧島・硫黄山直下の圧力源の変化	九州大学	松島　健
09：25 ～ 09：50	火山性地震発生の特徴と地殻変動から推定した霧島火山新燃岳の 2008 年～2011 年噴火の準備過程と噴火過程	東京大学地震研究所	及川　純
09：50 ～ 10：20	新燃岳 2011 年噴火から 2018 年噴火までに見られた火口内の地表変形	防災科学技術研究所	小澤　拓
10：20 ～ 10：30	休憩		
10：30 ～ 10：55	溶岩ドームの殻成長モデル	防災科学技術研究所	丸石　崇史
10：55 ～ 11：20	火山性流体の化学分析に基づく火山活動評価―霧島山（硫黄山）の熱水観測の例―	気象研究所	谷口　無我
11：20 ～ 11：45	えびの高原硫黄山の火山ガス中のヘリウム同位体比の時間変化から探る火山活動度	東京大学先端科学技術研究センター	福島　菜奈絵
11：45 ～ 12：00	討論（３）		
12：00 ～ 13：00	休憩（昼食）		
C．噴火開始期			
13：00 ～ 13：25	現地調査と気象データからみた霧島火山新燃岳 2018 年 5 月 14 日噴出物の空間・粒度分布の特徴	熊本大学	宮縁　育夫
13：25 ～ 13：50	小規模噴火の噴煙・火山灰輸送シミュレーションに向けて	東京大学地震研究所	鈴木　雄治郎

13：50 ～ 14：15	霧島新燃岳 2018 年噴火活発化時における火山灰モニタリング	鹿児島大学	
14：15 ～ 14：40	新燃岳 2018 年噴火における繰り返し爆発噴火のメカニズム	産業技術総合研究所	松本　恵子
14：40 ～ 14：50	休憩		
14：50 ～ 15：15	霧島山噴火時における上空からの地形計測手法―航空機と UAV の併用―	アジア航測株式会社	佐々木　寿
15：15 ～ 15：45	噴火推移予測をどうやって実現するか	東京大学地震研究所	安田　敦
15：45 ～ 16：30	総合討論　進行：藤田　英輔（防災科学技術研究所） 話題提供：中道　治久（京都大学防災研究所）		
ポスター発表			
	噴火イベントツリーの考え方と新燃岳での試行	防災科学技術研究所	中田　節也
	えびの高原―硫黄山における閉塞環境から噴火に至る熱観測と開放環境への活動変化	日本工営株式会社	田島　靖久
	霧島火山群、最近 1.5 万年間の噴出物の岩石学的特徴	北海道大学	松本　亜希子



図 94　霧島火山連携研究集会の様子。

表 6　霧島連携研究集会　現地検討会の概要

日程：2025 年 3 月 17 日（月）～3 月 18 日（火） 案内者：前野深・川口允孝（東京大学地震研究所） 参加者：16 名 主な巡検ポイント： 御鉢岳北麓、新湯温泉、えびの高原、硫黄山ボーリング掘削現場、御池、韓国岳テフラなど





図 95　霧島火山連携研究集会現地検討会の様子。

(c) 結論

本年度は、本事業終了まであと 2 年となり、各機関がより精力的に調査研究を行い、個々の火山の噴火履歴・様式の解明が進展した。また、対面のサブ課題研究集会を開催し、成果とりまとめを意識した今後の方針を深く議論することができた。そして、サブ課題の主要な目的のひとつである階段図については、その手法を学術誌として公表することができた。もう一つの目的である、噴火事象系統樹の作成については、試作を通して作成指針が

固まり、公表に向けての準備に着手していることから、全体として順調と考えている。今後は、可能な火山について順次噴火事象系統樹の試作と公表を、サブ課題全体として進めていくことが必要である。また、課題C内および他課題との連携についても、霧島火山連携研究集会を開催し、火山学が噴火予測・噴火推移予測にどう貢献できるのかについて議論し、非常に充実した内容となった。最終年度にあたる次年度は、本事業での連携研究を総括し、本事業終了後にどのような連携研究を進めることが必要かについて検討することが必要であろう。また、人材育成コンソーシアム事業との連携をより強化し、課題C分野の研究を推進でき、火山学・火山防災に資することに貢献できる人材を育てていくことができるであろう。

(d) 引用文献

1) 長谷川健, 柴田翔平, 小林哲夫, 望月伸竜, 中川光弘, 岸本博志：北海道東部, 摩周火山の 7.6 ka カルデラ形成噴火過程, 火山, Vol.66, pp.187-210, 2021.
2) 山元孝広, 伊藤順一, 中川光弘, 長谷川健, 岸本博志: 北海道東部, 屈斜路・摩周カルデラ噴出物の放射炭素年代値, 地質調査研究報告, Vol.61, pp.161-170, 2010.
3) 勝井義雄, 横山泉, 岡田弘, 西田泰典, 松本佳久, 川上則明: アトサヌプリ・摩周（カムイヌプリ）, 北海道における火山に関する研究報告書, 10, 北海道防災会議, 104p, 1986.
4) Goto, Y and McPhie, J.: Tectonics, Structure, and Resurgence of the Largest Quaternary Caldera in Japan: Kutcharo, Hokkaido, GSA Bull., Vol.130(7/8), pp.1307-1322, 2018.
5) 松本亜希子, 中川光弘, 岸本博志, 上野健太, 長谷川健: 北海道東部、アトサヌプリ火山の形成史：アトサヌプリカルデラの構造と関連火砕流, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会講演要旨, 2024.
6) 後藤芳彦, 和田恵治: 北海道屈斜路カルデラ中島火山の噴火年代 -中島軽石のテフロクロノロジー-, 地学雑, Vol.127(2), pp.157-173, 2018.
7) 勝井義雄, 佐藤博之: 5 万分の 1 地質図幅「藻琴山」および同説明書.北海道開発庁, 42p, 1963.
8) 長谷川健, 岸本博志, 中川光弘, 伊藤順一, 山元孝広: 北海道東部, 根釧原野および斜里平野における約 3 万 5 千年前～1 万 2 千年前のテフラ層序と後屈斜路カルデラ火山の噴火史, 地質雑, Vol.115(8), pp.369-390, 2009.
9) 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, 地質雑, Vol.123(5), pp.269-281, 2017.
10) 岸本博志, 長谷川健, 中川光弘, 和田恵治: 最近約 1 万 4 千年間の摩周火山のテフラ層序と噴火様式, 火山, Vol.54, pp.15-36, 2009.
11) 和田恵治, 佐藤鋭一：雌阿寒岳の地形・地質と噴火史, 北海道教育大学紀要（基礎研究編), Vol.75, pp.73-88, 2024.

12) 佐藤鋭一，和田恵治，南裕介，石塚吉浩，中川光弘：トレンチ調査による最近 14000 年間の雌阿寒岳の噴火史の再検討，日本火山学会講演予稿集 2020 年度秋季大会，Vol.02-02，p.26，2020.
13) Sato, E., Wada, K., Minami, Y., Ishizuka, Y. and Nakagawa, M.: Reexamination of Eruptive Activity of Akanfuji in the Me-Akan Volcano, Eastern Hokkaido, Japan, Journal of Disaster Research, Vol.17, pp.745-753, 2022.
14) 南裕介，中川光弘，佐藤鋭一，和田恵治，石塚吉浩：雌阿寒岳火山ポンマチネシリにおける過去 1000 年間の火山活動史，火山，Vol.66，pp.211-227，2021.
15) 石毛康介，中川光弘：北海道東部、雌阿寒岳、1.4 万年前の中マチネシリ噴火の噴火推移とマグマ供給系の変遷,日本地球惑星科学連合 2019 年大会要旨,SVC36-16,2019.
16) 上澤真平，中川光弘，江草匡倫： 南西北海道，羊蹄火山の完新世噴火史の再検討，火山，Vol.56，pp.51-63，2011.
17) Uesawa, S. Nakagawa, M., Umetsu, A.： Explosive eruptive activity and temporal magmatic changes at Yotei Volcano during the last 50,000 years, southwest Hokkaido, Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.325, pp.27-44, 2016.
18) Amma-Miyasaka, M., Miura, D., Nakagawa, M., Uesawa, S., Furukawa, R.: Stratigraphy and chronology of silicic tephras in the Shikotsu-Toya volcanic field, Japan: Evidence of a Late Pleistocene ignimbrite flare-up in southwestern Hokkaido, Quaternary International, Vol.562, pp.58-75, 2020.
19) 東宮昭彦，宮城磯治： 洞爺噴火の年代値，火山，Vol.65，pp.13-18，2020.
20) 上澤真平， 伊藤久敏， 中川光弘： 南西北海道，羊蹄火山北麓の尻別川沿いに露出する第四紀凝灰岩相のジルコンU-Pb年代，日本地質学会128年学術大会講演要旨，2021.
21) Ito, H.: Simultaneous U-Pb and U-Th Dating Using LA-ICP-MS for Young (<0.4 Ma) Minerals: A Reappraisal of the Double Dating Approach, Minerals, Vol.14, 436, 2024.
22) 上澤真平，中川光弘，松本亜希子：羊蹄火山のマグマ噴出量階段図の試作，防災科学技術研究所研究資料，Vol.500，pp.17-22，2024.
23) 佐々木実，小川洋，斎藤憲二，梅田浩司: 岩木火山の形成史，日本火山学会公演予稿集，p.165，1996.
24) 佐々木実，山本七代，鎌田慎也: 岩木火山の最新期活動噴出物の岩石学的特徴，東京大学地震研究所特定共同研究(B)2006-B-08 報告書， 2006. https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/nakada/tokuteiB/sasaki.pdf
25) 佐々木実，山本七代，鎌田慎也: 岩木火山，最近期活動噴出物の岩石学的研究，日本火山学会公演予稿集，p.36，2009.
26) 青森県史編さん自然部会，青森県史自然編地学，青森県，pp.625，2001.
27) 和知剛， 土井宣夫， 越谷信: 秋田駒ヶ岳のテフラ層序と噴火活動， 火山，Vol.42，pp.17-34，1997.
28) 須藤茂，石井武政: 雫石地方の地質，地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，142p，1987.

29) 田次将太，中川光弘，和知剛：東北日本，秋田駒ケ岳南部カルデラの形成史，火山，Vol.68，pp.207-228，2023.
30) 中川光弘，田次将太，松本亜希子，和知剛：爆発的噴火に関連した地震に誘発された山体崩壊：東北日本、秋田駒ケ岳火山の更新世末期のカルデラ形成噴火と関連した山体崩壊，日本火山学会 2023 秋季大会講演要旨，2023.
31) 藤縄明彦，巖嵜正幸，本田恭子，長尾明美，和知剛，林信太郎：秋田駒ヶ岳火山，後カルデラ活動期における噴火史:火山体構成噴出物と降下テフラの対比，火山,Vol.49，pp.333-354，2004.
32) 田次将太，中川光弘，和知剛：東北日本秋田駒ケ岳火山，1932 年噴火の噴火様式の再検討．火山，Vol.69，pp.183-190，2024.
33) 諏訪彰：秋田駒ヶ岳の噴火活動史，火山，Vol.16，pp.103-106，1971.
34) 柳澤妙佳，小畑大樹，杉田匠平，藤縄明彦：東北日本弧，秋田駒ケ岳火山成層火山体の形成史，火山，Vol.66，pp.83-100，2021.
35) 気象庁：日本活火山総覧（第 4 版），2013.
36) 林信太郎：鳥海火山の地質，岩石鉱物鉱床学会誌，Vol.79(6)，pp.249-265，1984.
37) 伴雅雄，林信太郎，高岡宣雄：東北日本弧，鳥海火山の K-Ar 年代：連続的に活動した 3 個の成層火山，火山，Vol.46(6)，pp.317-333，2002.
38) 大場司，林信太郎，伴雅雄，井村匠，池田柾道，平田碧，菊池瑛美：鳥海火山のマグマ噴出量階段図 －主に過去 2,800 年前以降の噴出量変化－，防災科学技術研究所研究資料，Vol.500，2024.
39) Ohba，T.，Hayashi，S.，Ban，M.，Imura，T.，Minami，Y.，Endo，M.：Late Holocene Tephrostratigraphy at Chokai Volcano，Northern Japan，and Contribution to Hazard Assessment，Journal of Disaster Research，Vol.17(5)，pp.724-735，2022.
40) Minami，Y.，Ohba，T.，Hayashi，S.，Saito-Kokubu，Y.，S.Kataoka，K.：Lahar record during the last 2500 years，Chokai Volcano，northeast Japan：Flow behavior，sourced volcanic activity，and hazard implications，Journal of Volcanology and Geothermal Research，Vol.387，106661.
41) 土井宣夫：栗駒山北山腹の東部水蒸気爆発火口群の噴火年代，JpGU 講演予稿集，SVC53-P09，2013.
42) 諏訪貴一，高橋尚志，市川玲輝，遠田晋次：東北地方、栗駒火山における完新世中期以降の水蒸気噴火に伴う降下テフラの空間分布と給源の推定，JpGU 講演予稿集，SVC31-P04，2023.
43) 大場司，井村匠，南裕介，シャレザ サイディナ アンカサ：火山灰中の鉱物からみた水蒸気噴火のメカニズム，地学雑誌，Vol.130(6)，2021.
44) 伴雅雄，及川輝樹，井村匠，常松佳恵，神秀登，高橋由路：マグマ噴出量階段図の事例：蔵王山，防災科学技術研究所研究資料，Vol.500，pp.37-43，2024.
45) 岩脇望，伴雅雄，井村匠：蔵王火山馬の背における過去 400 年間のマグマ水蒸気噴火噴出物の岩石学的特徴，日本火山学会 2024 年秋季大会，2024.
46) 伴雅雄，及川輝樹，山﨑誠子：蔵王火山地質図，火山地質図，no. 18，産業技術総合研究所地質調査情報センター，2015.

47) 大木可夏子，伴雅雄：蔵王火山、最新期溶岩類の直方輝石斑晶組織及び組成とマグマ供給系の変化，日本地球惑星連合大会，2024.
48) Ban, M., Kawashima, K., Tsunematsu, K., Kataoka, K.S., Imura, T.: Lahar deposits along the Nigorikawa River in the eastern foot of Zao Volcano, Japan, during the last 8000 years, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.432, 107685, 2022.
49) 酒寄淳史：蔵王火山の地質と岩石．岩鉱，Vol.87，433-444，1992.
50) 板垣直俊，豊島正幸，寺戸恒夫：仙台およびその周辺地域に分布する洪積世末期のスコリア層，東北地理，33，48-53，1981.
51) 大友迪人，伴雅雄：蔵王火山東麓地域における岩屑なだれ堆積物，日本火山学会 2024 年秋季大会，2024.
52) 佐藤初洋，伴雅雄，宋科翰，新城竜一：複数元素の拡散クロノメトリーを用いた斜長石滞留時間の推定：蔵王火山の浅部マグマ溜まりプロセスへの適用，日本火山学会 2024 年秋季大会，2024.
53) 長谷川健，藤縄明彦，伊藤太久：磐梯・吾妻・安達太良，地質雑，Vol.117，pp.33-48，2011.
54) 山元孝広：福島県，吾妻火山の最近７千年間の噴火史：吾妻―浄土平火山噴出物の層序とマグマ供給系，地質学雑誌，Vol.111，pp.91-111，2005.
55) Ali, M., Oda, H., Hayashida, A., Takemura, K., Torii, M.: Holocene palaeomagnetic secular variation at Lake Biwa, central Japan. Geophysical Journal International, Vol.136, pp.218-228, 1999.
56) 畠山唯達：日本考古地磁気データベース，2013. (mag.ifst.ous.ac.jp/comments/index)
57) Imura, T., Ohba, T. and Horikoshi, K.: Geologic and petrologic evolution of subvolcanic hydrothermal system: A case on pyroclastic deposits since the 1331 CE eruption at Azuma-Jododaira volcano, central Fukushima, North-Eastern Japan, JVGR, Vol.416, 107274, 2021.
58) 山元孝広：テフラ層序からみた那須茶臼岳火山の噴火史，地質雑，Vol.103，pp.676-691，1997.
59) 及川輝樹，他：水蒸気噴火の地質学的研究，地質雑，Vol.124，pp.231-250，2018.
60) 安井真也，高橋正樹，金丸龍夫，長井雅史:降下火砕堆積物層序に基づく浅間前掛火山の大規模噴火の高分解能履歴復元，火山，Vol.66，pp.293-325，2021.
61) 安井真也，小屋口剛博，荒牧重雄：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，Vol.42，no.4，pp.281-297，1997.
62) 早川由紀夫，由井将雄：草津白根火山の噴火史，第四紀研究，Vol.28，pp.1-17，1989.
63) 宮城汐李，石崎泰男，沼田和佳子，長谷部徳子，石川尚人：見逃されていた活火山の発掘Ⅰ：志賀火山のマグマ噴火履歴，日本地球惑星科学連合大会，S-VC35，2023.
64) 金子隆之，清水智，板谷徹丸：信越高原地域に分布する第四紀火山の K-Ar 年代と形成史，震研彙報，Vol.66，pp.299-332，1991.

65) 一色直記: 新島地域の地質: 地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 85p, 1987.
66) 吉田浩：新島火山の噴火史, 日本火山学会 1992 年秋季大会講演予稿集, A63, 1992.
67) 小林敦, 青木かおり, 村田昌則, 西澤文勝, 小林毅彦: 伊豆諸島、新島火山宮塚山イベント以降のテフラ層序と噴火史, 火山, Vol.65, pp.21-40, 2020.
68) Arakawa, Y., Endo, D., Oshika, J., Shinmura, T., Ikehata, K.: High-silica rhyolites of Niijima volcano in the northern Izu-Bonin arc, Japan: Petrological and geochemical constraints on magma generation and supply, Lithos, Vol.330-331, pp.223-237, 2019.
69) Koyaguchi, T.: Evidence for two-stage mixing in magmatic inclusions and rhyolitic lava domes on Niijima Island, Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.29, pp.71-98, 1986.
70) 荒牧重雄, 伊藤順一：新島およびその周辺に分布する火山岩の岩石学的特徴, 伊豆諸島における火山噴火の特質及び火山防災に関する調査研究資料集（地学編), 東京都総務局災害対策部防災計画課, pp.7-29, 1992.
71) 柵山雅則: 白馬大池火山の地質, 地質学雑誌, Vol.86, pp.265-274, 1980.
72) 及川輝樹, 原山智, 梅田浩司: 白馬大池火山の K-Ar 年代, 火山, Vol.46, pp.21-25, 2001.
73) 中野俊, 竹内誠, 吉川敏之, 長森英明, 苅谷愛彦, 奥村晃史, 田口雄作: 白馬岳地域の地質, 地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅）産総研地質調査総合センター, 105p, 2002.
74) 及川輝樹, 中野俊: 完新世火山である白馬大池火山の風吹火山, JpGU-AGU Joint Meeting 2020 Abstract, SVC47-P10, 2020.
75) 竹内 誠, 長森英明, 古川竜太, 及川耀樹, 坂野靖行, 宮川歩夢: 20 万分の 1 地質図幅「富山」（第 2 版）, 地質調査総合センター, 2023.
76) Fierstein, J. and Nathenson, M.: Another look at the calculation of fallout tephra volumes, Bull. Volcanol., Vol.54, pp.156-167, 1992.
77) Legros, F.: Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.96, pp.25-32, 2000.
78) 高橋浩晃, 宮村淳一: 日本列島における深部低周波地震の発生状況, 北海道大学地球物理研究報告, Vol.72, pp.177-190, 2009.
79) 火山噴火予知連絡会火山活動評価検討会: 中長期的な噴火の可能性の評価について－監視・観測体制の充実等の必要な火山の選定－, 気象庁, 17p, 2009.
80) 中野俊：北アルプス、鷲羽・雲ノ平火山の地質, 火山, Vol.34, pp.197-212, 1989.
81) 及川輝樹, 中野俊, 田村茂樹：火山噴煙に匹敵する噴気活動－大町市硫黄沢における突発的な噴気の発生－, GSJ 地質ニュース, Vol.10, No.2-3, 2021.
82) 原山智：上高地地域の地質, 地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅）, 地質調査所, Vol.175, 1990.
83) 大見士朗: 2018 年 11 月下旬以降の焼岳火山近傍の地震活動について, 京都大学防災研究所年報, Vol.62, pp. 310-317, 2019.

84) 及川輝樹: 焼岳火山群の地質, 地質学雑誌, Vol.108, pp. 615-632, 2002.
85) 河内晋平, 小林武彦: 焼岳火山・中堀泥流の 14C 年代, 地球科学, 20, 42-43, 1966.
86) Yu, Y., Tauxe, L.: Testing the IZZI protocol of geomagnetic field intensity determination, Geochem. Geophys. Geosyst., 6, 2005.
87) Shaar, R., L. Tauxe, E., Ben-Yosef, V., Kassianidou, B., Lorentzen, J., Feinberg, M. and Levy T.E.: Decadal-scale variations ingeomagnetic field intensity from ancient Cypriot slag mounds, Geochem. Geophys. Geosyst., Vol.16, pp.195-214, 2015.
88) Cromwell, G., Tauxe, L., Staudigel, H., Ron, H.: Paleointensity estimates from historic and modern Hawaiian lava flows using glassy basalt as a primary source material, Physics of Earth and Planetary Interiors, Vol.241, pp.44-56, 2015.
89) Hayashida, H., Ali, M., Kuniko, Y., Kitagawa, H., Torii, M. and Takemura, K.: Environmental magnetic record and paleosecular variation data for the last 40 kyrs from the Lake Biwa sediments, Central Japan, Earth Planets Space, Vol.59, pp.807-814, 2007.
90) Knudsen, M., Riisager, P., Donadini, F., Snowball, I., Muscheler, R., Kurhonen, K., Pesonen, L.: Variations in the geomagnetic dipole moment during the Holocene and the past 50 kyr, Earth and Planetary Science Letters, Vol.272, pp.319-329, 2008.
91) 及川輝樹, 石崎泰男, 片岡香子: 焼岳火山群の大規模ラハール堆積物と火砕流堆積物, 地質学雑誌, Vol.116, pp.49-61, 2010.
92) 大浦悠輝, 齋藤武士, 下岡順直: 焼岳火山, 下堀沢溶岩の噴出年代の再検討, JpGU 2023, SVC36-P06, 2023.
93) 小野晃司: 火山噴火の長期的予測, 火山, Vol.34, S201-S214, 1990.
94) 遠藤邦彦：白山火山地域の火山灰と泥炭層の形成過程, 石川県白山自然保護センター編, 白山高山帯自然史調査報告書, pp.11-30, 1985.
95) 酒寄 淳史, 奥野 充, 田島靖久, 守屋 以智雄：白山火山における 1.9～2.4 cal kBP のマグマ噴火－岐阜県大倉山周辺にみられるテフラ層からの知見－, 石川県白山自然保護センター研究報告書, Vol.44, pp.1-10, 2018.
96) Hayakawa, Y.:Pyroclastic geology of Towada volcano. Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol.60, pp.507-592, 1985.
97) 岡田将英, 辻智大：九重火山南麓, 下坂田地域での地表地質踏査と手掘り掘削調査による九重火山起源の火砕流堆積物の層序, 日本火山学会 2024 年度秋季大会講演予稿集, 2024.
98) 小野晃司, 松本徰夫, 宮久三千年, 寺岡易司, 神戸信和：竹田地域の地質, 地域地質研究報告(5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 145p, 1977.
99) 鎌田浩毅： 宮原地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 127p, 1997.

100) 星住英夫，斎藤眞，水野清秀，宮崎一博，利光誠一，松本哲一，大野哲二，宮川歩夢：20 万分の 1 地質図幅「大分」（第 2 版），産総研地質調査総合センター，2015.
101) 松本哲一，宇都浩三，小野晃司，渡辺一徳：B03 阿蘇火山岩類の K-Ar 年代測定：火山層序との整合性と火砕流試料への適応，日本火山学会 1991 年度講演予稿集，1991.
102) 辻智大，岸本博志，藤田浩司，中村千怜，長田朋大，木村一成，古澤明，大西耕造，西坂直樹，池田倫治，太田岳洋，福岡仁至：九重火山 54 ka 飯田噴火による噴出物の層序および噴火経緯，火山，Vol.68，No.3，pp.129-160，2023.
103) 山﨑誠子，星住英夫，松本哲一：九重火山群中西部の発達史―感度法 K-Ar 年代に基づく再検討―，火山，Vol.61，No.3，pp.519-531，2016.
104) 川辺禎久，星住英夫，伊藤順一，山﨑誠子：九重火山地質図，火山地質図，No19，産業技術総合研究所 地質調査センター，7p，2015.
105) 太田岳洋：九重火山群，東部及び中部域の形成史，岩鉱，Vol.86，pp.243-263，1991.
106) 長岡信治，奥野充：九重火山のテフラ層序，月刊地球，Vol.36，No.8，pp.281-296，2014.
107) 福岡管区気象台：阿蘇山，九州地方の火山，福岡管区気象台要報，Vol.45，pp.1-46，1990.
108) 渡辺一徳：阿蘇火山中岳の火山活動，熊本地学会誌，Vol.98，pp.2-13，1991.
109) 宮縁育夫，渡辺一徳：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，Vol.42，pp.403-408，1997.
110) Miyabuchi，Y.：Post-caldera explosive activity inferred from improved 67-30 ka tephrostratigraphy at Aso Volcano，Japan. Journal of Volcanology and Geothermal Research，Vol.205，pp.94-113，2011.
111) 高田英樹：阿蘇中央火口丘群のテフラ概報，熊本地学会誌，Vol.90，pp.8-11，1989.
112) 宮縁育夫，星住英夫，高田英樹，渡辺一徳，徐勝：阿蘇火山における過去約 9 万年間の降下軽石堆積物，火山，Vol.48，pp.195-214，2003.
113) 町田洋，新井房夫：新編火山灰アトラス―日本列島とその周辺，東京大学出版会，336p，2003.
114) 井村隆介：霧島火山の地質，地震研究所彙報，Vol.69，pp.189-209，1994.
115) 井村隆介，小林哲夫：霧島火山地質図，火山地質図 11，地質調査所，8p，2001.
116) 長岡信治，新井房夫，檀原徹：宮崎平野に分布するテフラから推定される過去 60 万年間の霧島火山の爆発的噴火史，地学雑誌，Vol.119，pp.121-152，2010.
117) Aizawa，K.，Koyama，T.，Hase，H.，Uyeshima，M.，Kanda，W.，Utsugi，M.，Yoshimura，R.，Yamaya，Y. et al.：Three-dimensional resistivity structure and magma plumbing system of the Kirishima volcanoes as inferred from broadband magnetotelluric data，J. Geophys. Res. Solid Earth，Vol.119，pp.198-215.
118) Kurihara，R.，Obara，K.，Takeo，A. and Tanaka，Y.，Deep low-frequency earthquakes associated with the eruptions of Shinmoe-dake in Kirishima volcanoes，J. Geophys. Res. Solid Earth，Vol.124，pp.13079-13095.
119) Oba，T.，Yagushi，M.，Tsunogai，U.，Ito，M. and Shingubara，R.，Behavior of magmatic components in fumarolic gases related to the 2018 phreatic eruption

at Ebinokogen Ioyama volcano, Kirishima volcanic group, Kyushu, Japan, Eart, Planet. Space, Vol.73, 81, 2021.

120) 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 Shinmoe-dake, Japan- Constraints from melt inclusions and phase equilibria experiments, J. Volcanol. Geotherm Res, Vol.257, pp.184-204, 2013.

121) Tomiya, A., Miyagi, I., Saito, G. and Geshi, N.: Short time scales of magma-mixing processes prior to the 2011 eruption of Shinmoedake volcano, Kirishima volcanic group, Japan, Bull. Volcanol., Vol.75, 750, 2013.

122) 相澤広記，長岡優，栗原亮： 霧島火山群のマグマ供給系についての論点，日本火山学会 2024 年秋季大会予稿集，P88，2024.

123) 前野深，川口允孝，及川輝樹，小園誠史： 霧島火山群の噴火シナリオの試案，日本火山学会 2024 年秋季大会予稿集，P89，2024.

124) Biass, S., Bagheri, G., Aeberhard, W.H. and Bonadonna, C.: TError: towards a better quantification of the uncertainty propagated during the characterization of tephra deposits, Stat. Volcanol., Vol.1, pp.1-27, 2014.

125) Burden, R.E., Chen, L. and Phillips, J.C.: A statistical method for determining the volume of volcanic fall deposits, Bull. Volcanol., Vol.75, 707, 2013.

126) Rougier, J.C., Sparks, R.S.J., Aspinall, W.P. and Mahony, S.H.: Estimating tephra fall volume from point-referenced thickness measurements, Geophy. J. Inter., Vol.230, pp.1699-1710, 2022.

127) 小林哲夫，味喜大介，佐々木寿，井口正人，山元孝広，宇都浩三：桜島火山地質図（第2版），地質調査所，産業技術総合研究所，2013.

128) Yanagi, T., Ichimaru, Y. and Hirahara, S.: Petrochemical evidence for coupled magma chambers beneath the Sakurajima volcano, Kyushu, Japan, Geochem. J., Vol.25, pp.17-30, 1991.

129) 中川光弘，松本亜希子，宮坂瑞穂，富樫泰子，井口正人：桜島火山の噴火活動様式とマグマ供給系の 20 世紀からの変化とその意義，「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」2010 年度報告書，pp.85-94，2011.

130) Matsumoto, A., Nakagawa, M., Amma-Miyasaka, M. and Iguchi, M.: Temporal variations of the petrological features of the juvenile materials during 2006 to 2010 from Showa Crater, Sakurajima Volcano, Kyushu, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Jpn., Vol.58, pp.191-212, 2013.

131) 宮坂瑞穂，中川光弘，吉本充宏，小林哲夫，奥野充：桜島火山におけるマグマ供給系の変化　－姶良カルデラ形成噴火以降のテフラ噴出物からの解析－，「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」2012 年度報告書，pp.95-104，2013.

132) 味喜大介，宇都浩三，周籐正史，石原和弘：古地磁気と全岩化学組成からみた桜島火山観測井ボーリングコア中の溶岩の対比，京都大学防災研究所年報，Vol.46，pp.835-840，2003.
133) 宇都浩三，味喜大介，Hoang Nguyen，周籐正史，福島大輔，石原和弘：桜島火山マグマ化学組成の時間変化，京都大学防災研究所年報，Vol.48B，pp.341-348，2005.
134) Takahashi, M., Otsuka, T., Sano, H., Kawamata, H., Yasui, M., Kanamaru, T., Otsuki, M., Kobayashi, T., Ishihara, K. and Miki, D.: Temporal variation for magmatic chemistry of the Sakurajima Volcano and Aira Caldera region, southern Kyushu, southwest Japan since 61 ka and its implications for the evolution of magma chamber system, Bull. Volcanol. Soc. Jpn., Vol.58, pp.19-42, 2013.
135) 倉沢一，新井房夫，町田洋：Sr 同位体比による姶良 Tn 火山灰（AT）の同定，火山，Vol.29，pp.115-118，1984.
136) Arakawa, Y., Kurosawa, M., Takahashi, K., Kobayashi, Y., Tsukui, M. and Amakawa, H.: Sr-Nd isotopic and chemical characteristics of the silicic magma reservoir of the Aira pyroclastic eruption, southern Kyushu, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.80, pp.179-194, 1998.
137) Shibata, T., Suzuki, J., Yoshikawa, M., Kobayashi, T., Miki, D. and Takemura, K.: Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic constraints on the origin and magmatic evolution of Quaternary lavas of Sakurajima Volcano, southern Kyushu Island, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Jpn., Vol.58, pp.43-58, 2013.
138) Brown, J.R., Taylor, R.N. and Iguchi, M.: Using high-resolution Pb isotopes to unravel the petrogenesis of Sakurajima volcano, Japan, Bull. Volcanol., Vol.82, 36, 2020.
139) Kuritani, T.: Geochemical constraints on the evolution of the magmatic system leading to catastrophic eruptions at Aira Caldera, Japan, Lithos, Vol.450-451, 107208, 2023.
140) Rossman, G.R.: Analytical methods for measuring water in nominally anhydrous minerals, Rev. Mineral. Geochem., Vol.62, pp.1-28, 2006.
141) 蟹沢聡史: 仙台市および周辺に分布する愛島軽石とその中の深成岩質岩片について，岩石鉱物鉱床学会誌，Vol.80，pp.352-362，1985.
142) 蟹沢聡史: マグマ起源の菫青石・紅柱石　安達火山石質岩片の場合，月刊地球，Vol.14，pp.305-312，1992.
143) Nesse, W.D.: Introduction to optical mineralogy, fourth edition, Oxford University Press, New York, pp.1-361, 2013.
144) Vry, J.K., Brown, P.E., Valley, J.W.: Cordierite volatile content and the role of CO_2 in high-grade metamorphism, American Mineralogist, Vol.75, pp.71-88, 1990.
145) Ventura, G.D., Radica, F., Bellatreccia, F., Cavallo, A., Capitelli, F., Harley, S.: Quantitative analysis of H_2O and CO_2 in cordierite using polarized

FTIR spectroscopy, Contrib. Mineral. Petrol., 2012. doi:10.1007/s00410-012-0779-8
146) Harley, S.L., Carrington, D.P.: The distribution of H_2O between cordierite and granitic melt: H_2O incorporation in cordierite and its application to high-grade metamorphism and crustal anatexis, J. Petrol., Vol.40, pp.1595-1620, 2001.
147) Duan, Z., Zhang, Z.: Equation of state of the H_2O, CO_2, and H_2O-CO_2 systems up to 10 GPa and 2573.15 K: Molecular dynamics simulations with ab initio potential surface, Geochim. Cosmochim. Acta, Vol.70, pp.2311-2324, 2006.
148) 産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）:大規模噴火データベース, Version 1.0.19．産総研地質調査総合センター，2025．(https://gbank.gsj.jp/volcano/ledb/)
149) 産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）：噴火推移データベース，Version 1.1.2.産総研地質調査総合センター，2025．(https://gbank.gsj.jp/volcano/esdb/)
150) 池上郁彦，長田美里，河野裕希，米谷珠萌，宝田晋治：大規模火砕噴火推移時系列データ集 その3，産総研地質調査総合センター研究資料集，No.761，産総研地質調査総合センター，52p，2025.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

別添「学会等発表実績」のとおり。

(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) 令和7年度の業務計画案

(a) 火山の噴火履歴およびマグマ長期変遷に関する研究

令和7年度は、近年火山活動履歴が調査された活火山および活火山の定義に該当する可能性のある火山について､前年度までに行った調査結果をもとに､成果とりまとめを行い、必要に応じて、追加の野外調査、ボーリング掘削およびトレンチ掘削調査を実施する。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、物質科学的解析を進める。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。研究が進んでいる火山については、噴火事

象系統樹の試作およびマグマ噴出量階段図による中長期噴火予測の試行を継続する。主な火山の実施計画について、以下に示す。

1）アトサヌプリ（屈斜路）・摩周（北海道大学・茨城大学）

令和 6 年度までの調査結果をもとに、追加の野外調査を実施し、アトサヌプリ火山と摩周火山の長期噴火活動履歴を明らかにする。また、アトサヌプリ火山については、最近の水蒸気噴火活動の詳細を明らかにし、マグマ噴出量階段図の試作に取り組む。

2）十勝岳（北海道大学・産業技術総合研究所）

これまでの野外調査結果や物質科学的解析結果をとりまとめて整理し、北西火口域とヌッカクシ火口域を合わせた噴火事象系統樹の試作を行う。また、山体崩壊事象の発生時期を推定するために野外調査を実施し、必要に応じてボーリング・トレンチ掘削調査を実施する。

3）岩木山（産業技術総合研究所）

岩木山の山体周辺の野外調査を実施し、岩木山の噴火史を解明する。特に、土壌などの放射性炭素年代測定と溶岩の K-Ar 年代測定・Ar-Ar 年代測定を行い、後期更新世からの長期噴火活動履歴を明らかにすることを目指す。

4）八幡平（北海道大学）

火山調査推進本部で重点火山と位置付けられた八幡平について、野外調査（必要に応じて、ボーリング・トレンチ掘削調査）を実施し、最近の噴火履歴の再検討を行う。

5）鳥海山（秋田大学・山形大学）

東鳥海山においては、溶岩とテフラの対比を行い、噴火様式と規模について整理するために、1,000 年前以降および 3,000 年前以前の噴火活動に着目して野外調査・物質科学的解析を行う。また、西鳥海山カルデラ内の噴出物について、年代とマグマ供給系の変遷の取りまとめを行う。これらの成果ととりまとめ、マグマ噴出量階段図および噴火事象系統樹の試作・改訂を目指す。

6）蔵王山（山形大学）

完新世の活動のうち、不明瞭な点が残る約 1 万～4 千年前の噴出物の層序確認のための野外調査（必要に応じてトレンチ掘削調査）を行う。また、最新活動期の噴火履歴解明の研究を基にした、マグマ噴出量階段図と噴火系統樹を完成させる。

7）吾妻山（山形大学・茨城大学・秋田大学）

これまでの調査結果を整理し、西暦 1331 年以降の噴火活動履歴の詳細をまとめるために、山頂火口付近での野外調査を実施する。また、完新世の噴火活動についても、年代測定によって精度の高い年代軸を入れるとともに、噴出量の見直しを行う。そして、それらの結果を基にマグマ噴出量階段図を改訂し、噴火事象系統樹を試作する。

8）浅間山（日本大学）

前掛火山の前の活動期にあたる仙岩火山および黒斑・仙人火山について、野外調査（必要に応じてトレンチ掘削調査）を行い、大規模火砕噴火と山体崩壊事象を中心とした活動履歴を明らかにする。その結果を前掛火山と比較することで、浅間山の噴火活動の類似性を検証し、将来活動の可能性の検討に資するデータを収集する。そして、これまでの成果をとりまとめ、噴火事象系統樹の試作・改訂を行う。

9）白山火山群（富山大学）

昨年度までの調査により把握できた、山頂域での完新世の噴火活動について引き続き野外調査・赤色立体地図による地形判読を行い、層序・分布をより詳細に明らかにするとともに、各噴出物の年代を ^{14}C 法・K-Ar 年代測定法などで確定し、マグマ噴出量階段図の精度を上げて試作する。

10）横岳（信州大学）

横岳火山の噴火履歴の詳細を明らかにするために、野外調査を継続し、マグマ噴出量階段図の試作・改訂を行う。また、横岳最大規模のテフラ層 Yt-Pm4 をはじめとした岩石学的研究を進め、マグマ変遷についても明らかにすることを目指す。

11）九重山（山口大学）

5.4 万年前飯田噴火とそれ以前の火砕流噴火について、野外調査（必要に応じてトレンチ掘削調査）・年代測定により、層序の再検討を行う。また東部域についても、最新期のマグマ噴火の活動履歴の解明に取り組む。それらの結果をもとに階段図を精緻化し、噴火事象系統樹の試作を目指す。

12）阿蘇山（熊本大学・秋田大学）

阿蘇カルデラ周辺域における地質調査（必要に応じてトレンチ掘削調査）を実施し、完新世を中心とした後カルデラ期の噴火活動史をとりまとめる。また、中岳における 21 世紀に発生した噴火について、地球化学的・物質科学的解析を行い、噴火推移・噴火メカニズムの関係性、特に熱水系とマグマの相互作用のサイクルの解明を目指す。

13）霧島（東京大学地震研究所・産業技術総合研究所・北海道大学）

霧島火山群の中でも活動的な新燃岳、御鉢、硫黄山、韓国岳の中長期の噴火履歴やマグマ供給系に関する知見を集約する。また、昨年度実施したボーリング掘削コア試料のデータの解析を行う。また、山体近傍の地質調査を実施し、放射性炭素年代と K-Ar 並びに Ar/Ar 年代測定を組み合わせることで、後期更新世の噴火履歴および活動推移に関する地質データを入手する。同時に、後期更新世以降の既存試料の物質科学的および地球化学的解析を行い、個々の山体のマグマ供給系の構造と、その時空変遷を明らかにする。そしてそれらをもとに、階段図、噴火事象系統樹の作成についても進める。そして、これまでのデータをもとに、霧島火山群全体の階段図、噴火事象系統樹を完成させる。

(b) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発

北海道大学大学院理学研究院の関連した分析装置等を集中管理する分析実験室を「マグマ変遷解析センター」として引き続き整備し、分析手法の開発に取り組む。また、個々の装置のルーチン分析手法を確立し、参加機関・協力機関の研究者・大学院生を随時受け入れる。

(c) 大規模噴火データベースの整備

産業技術総合研究所（再委託）では、大規模噴火データベース及び噴火推移データベースの更新拡充を進める。データベースを用いた前駆活動及び噴火推移のパターン解析を進める。

(d) 課題 C-2 のとりまとめと研究成果の発信

1) 課題 C-2 全体のとりまとめ

実施責任機関である北海道大学は、サブ課題 C2 分担者と連絡を密にし、プロジェクトの総合推進を行う。各分担者が担当する火山及び地域でのトレンチやボーリング調査の調整と実施を行い、分担者と共同して解析を行う。また、防災科学技術研究所と協力して、ボーリングコアの保存と管理、そして広く公開できるシステムを引き続き構築する。次世代火山研究者人材育成プログラムにおいては、特に地質学・物質科学分野での教育に関して、サブ課題 C2 参加機関の参画の企画・調整を行う。

2) 課題 C-2 の研究成果の発信に向けた取り組み

本事業の目標の 1 つである噴火事象系統樹について、令和 6 年度中に作成指針とその事例について、サブ課題 C2 の成果として公表する。研究の進んでいる火山については、その手法に基づき、試作を行う。また、各機関は火山の地元において講演会等を随時開催し研究成果を発信する。

(e) 課題 C 全体のとりまとめと総合推進

課題 C 全体の研究集会を開催し、本事業における課題 C の成果と課題を総括する。また、本事業で実施した連携研究についても総括を行い、今後どのような連携研究を行う必要があるか、について検討する。

２．３　シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

火山噴火の予測技術の開発「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	機関種別	役職	氏名
国立研究開発法人	共同実施機関	上席研究員	藤田英輔
防災科学技術研究所		主任研究員	三輪学央
巨大地変災害研究領域		主任専門研究員	長井雅史
火山研究推進センター		契約研究員	
		契約研究員	丸石崇史
			瀧下恒星
国立大学法人東北大学	参加機関	教授	西村太志
大学院理学研究科		准教授	奥村　聡
国立大学法人東京大学	参加機関	准教授	鈴木雄治郎
地震研究所火山噴火予知研究センター		准教授	前野　深
気象庁気象研究所火山研究部	協力機関	室長	鬼澤真也
		主任研究官	川口亮平
		研究官	入山　宙
		室長	新堀敏基
		主任研究官	佐藤英一
		主任研究官	石井憲介
国立大学法人静岡大学理学部地球科学科	協力機関	准教授	石橋秀巳
国立大学法人山形大学理学部	協力機関	准教授	常松佳恵
国立大学法人神戸大学先端融合研究環	協力機関	准教授	清杉孝司
山梨県富士山科学研究所	協力機関	主任研究員	石峯康浩

(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：火道流内圧力変化解析

・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：地殻変動理論計算と検知可能性検証

・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：事象分岐を支配するパラメータの抽出

・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（令和元年度）：

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）令和 2 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）令和 3 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）令和 4 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：火道内マグマ流動過程、岩脈貫入シミュレーションの開発

・物性モデルの構築：減圧結晶化モデル・高粘性プラグ形成モデルの開発

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：新しい移流拡散モデル（JMA-ATM）の初期値の精度を改善するための 1 次元噴煙モデル（NIKS-1D）の開発

・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙・火砕流評価システムの開発

・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）令和 5 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：事象分岐判断のための火道流モデルの高度化

・マグマ移動過程シミュレーション：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、システム化

・物性モデルの構築：マグマ上昇過程における結晶化モデル構築

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：降灰ハザード予測の評価のためのシステム開発

・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の開発

・ハザード評価システム：火山ハザード現象を評価するシステムの設計・導入

9）令和 6 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）令和 7 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) 令和 6 年度における業務の方法

1) 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について、事象分岐をもたらすパラメータの抽出に関する国内の常時観測火山を対象としたシミュレーション研究を実施する。

具体的には、昨年度地震・地殻変動観測データの解析と火道流数値モデル解析から明らかにされた桜島のブルカノ式噴火前の火道内増圧過程について、その増圧がもたらす地殻変動の特徴を山体地形や地殻不均質性を厳密に考慮したシミュレーションによって明らかにする。また、桜島大正噴火を対象とした火道流モデルの数値解析を実施し、溶岩流出噴火における噴出率の時間変化の観測値との比較などによって、噴火推移のモデル化に必要な地下におけるマグマ物性や地質条件への制約を行う。

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、システム化への検討を行う。

具体的には、マグマ移動過程シミュレーションについて、岩脈進展に伴う観測量と対応する手法を開発し、分岐判断の定量化を進める。噴火・噴火未遂分岐判断のため、個別要素法・SPH 法により、各パラメータへの依存性の検討を継続して実施する。また、地殻変動のシミュレーション手法の開発として、境界要素法による地殻変動計算手法の開発を進め、②c で進めているハザード評価システムへの組み込みを行う。気象研究所の協力を得てこれらを実施する。

c) マグマ物性モデルの構築

噴火遷移をシミュレートする火道流モデルに適用可能なマグマの結晶化モデルを提案する。これまでの実験結果とレビューを併せて、平衡結晶度と結晶成長度に対するマグマ化学組成の効果を整理する。また、マグマの化学組成の効果をより網羅的に調べるため、流紋岩質マグマ(神津島 838 噴火)の水熱合成減圧実験を一部補強する。そして、得られた結晶化モデルを実際に火道流モデルへ適用することで、噴火遷移に対する結晶化の効果をマグマの化学組成の観点から調べる。マグマレオロジーモデルについては、溶岩流シミュレーションや火道流モデルに適用可能な、非定常マグマレオロジー則を提案する。伊豆大島 1986 年噴火溶岩に関するこれまでの実験結果を温度と停止時間の観点から整理する。そして、得られた構成則を実際に溶岩流シミュレーションに適用することで、流れに対する非定常性の効果を調べる。東北大学及び静岡大学の協力を得てこれらを実施する。

2) 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し、システム化への検討を行う。

前年度、１次元噴煙モデル（NIKS-1D）と新しい移流拡散モデル（JMA-ATM）を用いて富士山の宝永噴火を想定した噴煙の形成及び火山灰の移流拡散シミュレーションを長期間の気象場に対して行った。今年度は、その計算結果について統計的な解析処理をして、首都圏や関東近辺の各都市で予想される降灰量やその最大粒径について季節変化の傾向などを把握するとともに、各都市における予想降灰量の確率などのハザード評価に有用と思われる指標を計算する。東京大学地震研究所・気象研究所の協力を得てこれを実施する。

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、システム化への検討を行う。

具体的には、噴煙柱ダイナミクスと火山灰輸送を同時に解く SK-3D モデルを大型計算機において実行し、噴火条件と大気条件に関するパラメータスタディを継続する。噴煙挙動や火山灰粒子挙動の精度を向上させることを目的に、発生頻度の高い小～中規模噴火事例のシミュレーションセットを揃える。シミュレーションセットは火山ハザード評価システムに搭載する。また、より現実的な風速プロファイルを与えた数値実験と、個別の噴火事例の再現シミュレーションを実施する。計算結果に基づき、噴火条件と大気条件が火山灰輸送に与える影響について調べる。これらの火山灰粒子挙動を解析することによって降灰ハザード予測モデル開発と連携する。

c）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を進め、導入を進める。

具体的には、個別シミュレーションモジュールの開発として、火砕流ハザード評価および溶岩流ハザード評価の機能の高度化を行う。また、高濃度の細粒火山灰粒子が降下する際に個々の粒子の終端速度よりも高速に降下する現象を再現できるよう、移流拡散モデル Tephra4D の改良を試みるとともに、Puff の改良を進める。個別機能の火山ハザード評価システムへの統合・システム化においては、各モジュールで統一的に利用可能な計算パラメータインターフェースの整備、計算スクリプトの実装を進めるとともに、計算結果のデータベース化を進める。山形大学・神戸大学・東京大学地震研究所・富士山科学研究所の協力を得てこれを実施する。

全サブテーマにおいて、課題 C 連携対象である霧島山についての研究を進め、研究集会に参加する。

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、火山機動観測実証研究事業により緊急観測が実施される際は、前記の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に代えて、緊急観測を実施することあるいは緊急観測に協力することを可能とする。

自発的な研究活動等

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動等を推進する。

(2) 令和６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、観測データを再現し得る火道内マグマ流動過程の特徴を明らかにした。事象分岐をもたらすパラメータの抽出に関する国内の常時観測火山を対象としたシミュレーション研究を実施した。岩脈貫入から噴出に至る過程を網羅的にシミュレーションする粒子法（SPH および DEM）プログラムを開発するとともに、境界要素法による地殻変動計算システムを高度化した。マグマ物性モデルの構築では、噴火分岐に影響を与える結晶化速度および平衡結晶速度のモデルを更新した。

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、１次元噴煙モデル（NIKS-1D）[1] と気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）[2] の組み合わせによる宝永噴火を想定した降灰シミュレーション結果の事後解析を行い、首都圏における予測降灰量データベースの作成に着手した。また、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システム化、溶岩流シミュレーションコード、降灰シミュレーションコードの開発を進め、火山ハザード評価システムの検討を進めた。

(b) 業務の成果

1) 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) 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について、事象分岐をもたらすパラメータの抽出に関する国内の常時観測火山を対象としたシミュレーション研究を実施した。本年度は、昨年度地震・地殻変動観測データの解析と火道流数値モデル解析から明らかにされた桜島のブルカノ式噴火前の火道内増圧過程について、その増圧がもたらす地殻変動の特徴を山体地形や地殻不均質性を厳密に考慮したシミュレーションによって明らかにした。また、桜島大正噴火を対象とした火道流モデルの数値解析を実施し、溶岩流出噴火における噴出率の時間変化の観測値との比較などによって、噴火推移のモデル化に必要な地下におけるマグマ物性や地質条件への制約を行った。以下ではその業務の成果について詳細を説明する。

昨年度、火道深部、浅部がそれぞれ粘性流体、固体プラグからなる一次元定常火道流数値モデルに基づき、桜島のブルカノ式噴火前における火道内増圧過程を再現した。粘性流体部は、平衡 H_2O ガス析出、平衡結晶化、マグマ粘性変化、及び鉛直方向へのガス分離（脱ガス）過程を仮定した円筒火道内の気液固混相流としてモデル化し、マグマ粘性の結晶量および結晶アスペクト比依存性を記述するレオロジーモデルを導入している。また、このモデルに基づき、定常火道流におけるマグマだまり圧力とマグマ流量の関係が正の相関をもち、且つマグマだまり圧力がリソスタティックとなる安定な火道流の定常解をブルカノ式噴火前の準備過程における火道流として選定した。

図 1 は、選定された定常解のマグマ流量（a, d, g）や、火道内の過剰圧（b, e, h)、発泡度（c, f, i）が脱ガス浸透率係数や結晶のアスペクト比、火道半径に強く依存することを示している。図 1b, e, h に示されている火道内の過剰圧は火道周囲の地殻変動をもたらし、その変動を傾斜・歪観測によって捉えられる可能性があることから、本研究ではこの火道内過剰圧による地殻変動過程を厳密に計算した。具体的には、桜島の山体地形と山頂火口直下の火道、及び地震波速度構造推定結果（Miyamachi et al., 2013）に基づく不均質な地殻剛性率を考慮した二次元軸対称の弾性体を設定し（図 2)、火道流モデルから計算された過剰圧分布を火道壁面に入力することで、地表における変位や傾斜、歪を出力する有限要素法シミュレーションを実施した。

図 3 に、火道内過剰圧によってもたらされる傾斜変動を火口からの距離に対して示している。火道内過剰圧が脱ガス浸透率係数、結晶のアスペクト比、火道半径に依存する（図 1）ことを反映して、地殻変動もこれらのパタメータへの依存性があることがわかる。脱ガス浸透率が低いほど傾斜変動量が大きくなる傾向（図 3b-d）は、浸透率が低いほど火道内発泡度及び過剰圧が高くなる効果（図 1）を反映している。一方で、結晶アスペクト比が 1 の場合、火道内過剰圧が浸透率に依存しないという特徴（図 1b）を反映して、傾斜変動も浸透率に対する依存性が見られなくなる（図 3a)。火道半径の変化は、火道内過剰圧に対する依存性は小さい一方で（図 1e, h)、傾斜変動量への影響が大きく（図 3e-h)、これは過剰圧が同等の場合でも火道半径が大きいほど過剰圧が働く火道壁表面積が大きくなる効果を反映している。

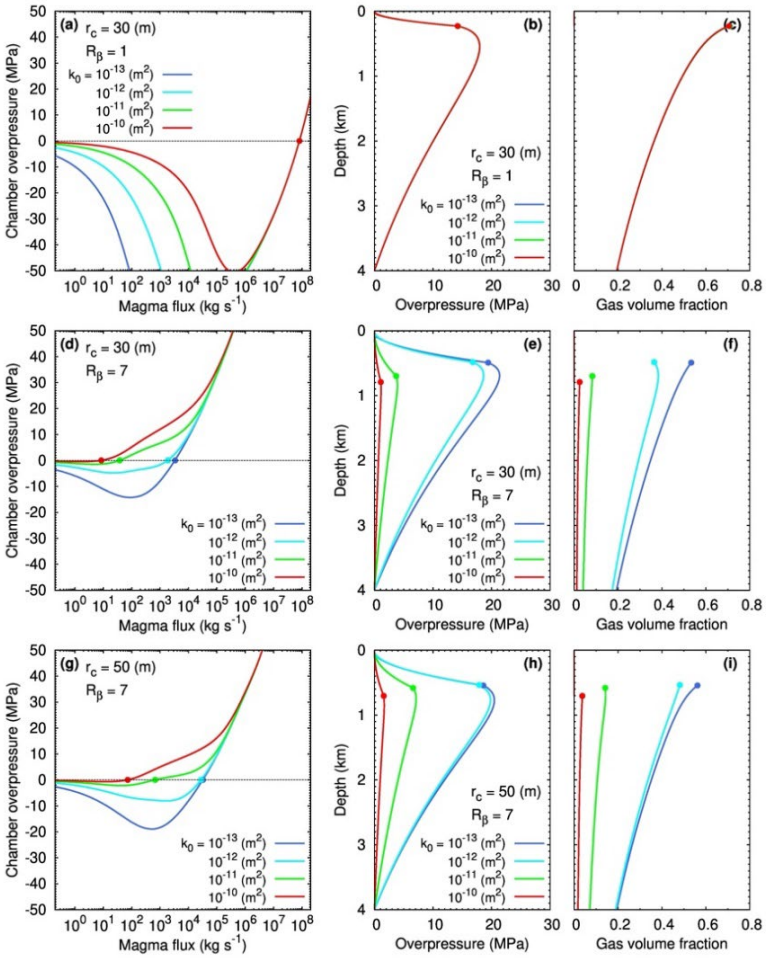


図 1　(a, d, g)桜島ブルカノ式噴火前の準備過程を対象とした一次元定常火道流数値モデルに基づくマグマだまり過剰圧とマグマ流量の関係。丸点は噴火前の準備過程における火道流として選定された安定な火道流の定常解を丸点で示しており、それらの定常解の火道内における過剰圧と発泡度の分布をそれぞれ (b, e, h)、(c, f, i)に示し、脱ガス浸透率係数 k_0、結晶アスペクト比 R_β、火道半径 r_c 依存性を示している。

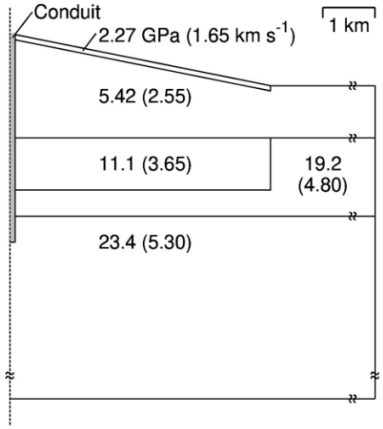


図 2　火道内過剰圧による地殻変動のシミュレーションで設定した二次元軸対称の弾性体構造。高さ 1 km、半径 5 km の円錐で桜島の山体形状を模擬し、地震波速度構造推定結果（Miyamachi et al., 2013; 括弧内の数字は P 波速度）から計算される空間的に不均質な剛性率を設定している。

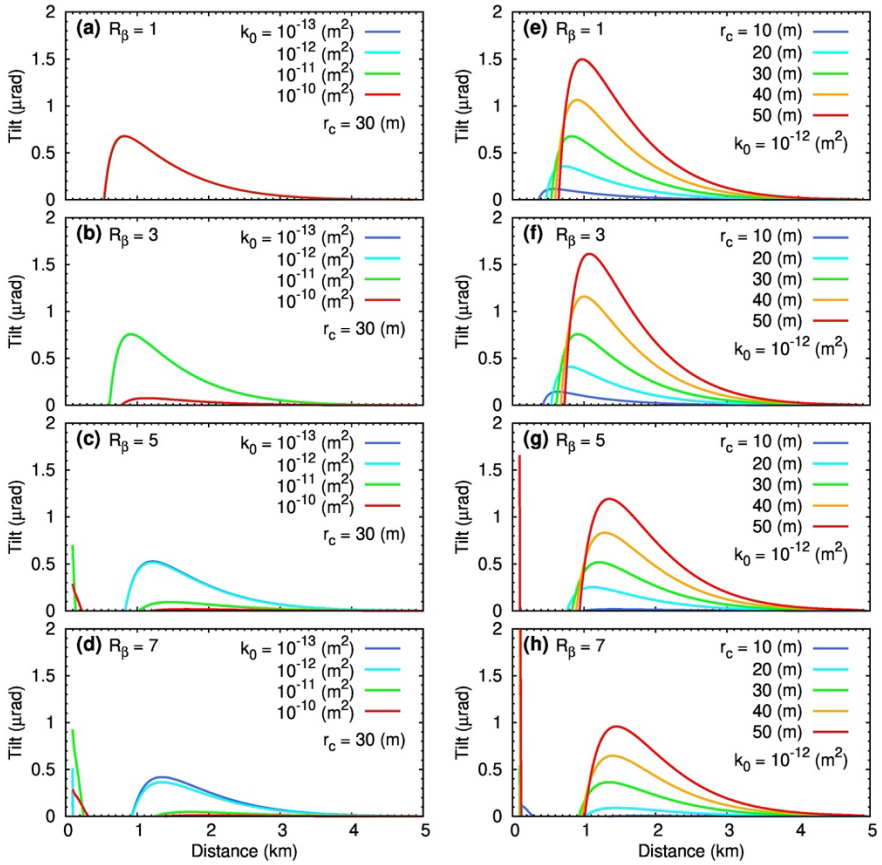


図 3　火道内過剰圧によってもたらされる傾斜変動（縦軸）と火口からの距離（横軸）の関係。脱ガス浸透率係数 k_0、結晶アスペクト比 R_β、火道半径 r_c 依存性を示している。

図 3 で示された傾斜変動の計算結果と桜島における実際の観測データとの比較を行うために、火口からの距離が約 2.7 km に位置する気象庁あみだ川観測点における傾斜データに着目した。この観測点では、ブルカノ式噴火に前駆して 10^{-8}〜10^{-7} rad 程度の傾斜変動が観測されることがある。図 4 は、火口からの距離 2.7 km における傾斜変動が 10^{-8} rad あるいは 10^{-7} rad となる火道流の安定定常解におけるパラメータの組み合わせを示している。実験から制約される現実的な脱ガス浸透率係数の範囲（10^{-13}〜10^{-10} m^2）のもとでは、火道半径が約 10〜80 m の範囲で傾斜変動の観測値を再現できることがわかった（図 4a, b)。一方で、結晶アスペクト比が 1 に近い場合、観測値を再現している定常解のマグマ流量は、10^6 kg s^{-1} 以上という噴火準備過程にとっては非現実的に高い値となることがわかった（図 4c)。桜島の火山灰試料に含まれる結晶の最大アスペクト比は 10 に達する針状のものが支配的であり、この場合には低流量のもとで傾斜変動の観測値を再現できる定常解が存在することがわかった（図 4d)。以上のように、噴火前の火道内の増圧過程とそれによってもたらされる地殻変動過程は測地学的・岩石学的データ等を整合的に説明できることが明らかになった。

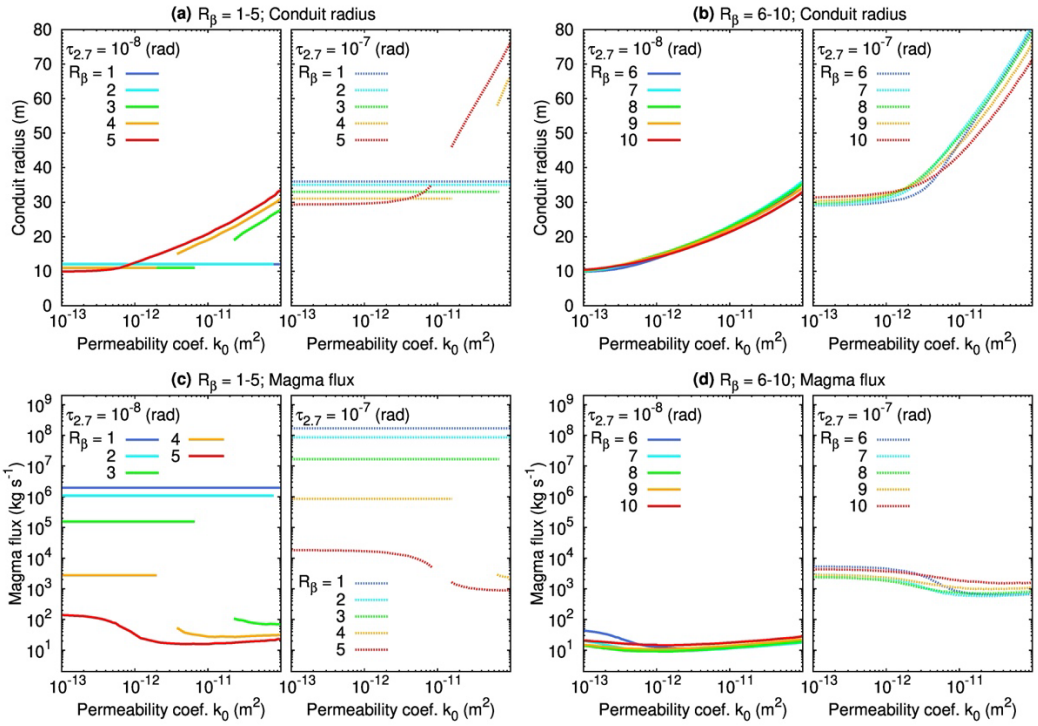


図 4　火口からの距離 2.7 km における傾斜変動量が 10^{-8} rad あるいは 10^{-7} rad となる火道流の安定定常解における、火道半径(a, b)及びマグマ流量(c, f)と脱ガス浸透係数の関係。各図において結晶アスペクト比 R_βを示している。

1914 年桜島大正噴火を対象とした火道流モデルの数値解析では、溶岩流出噴火における噴出率の時間変化の観測値との比較などによって、噴火推移のモデル化に必要な地下におけるマグマ物性や地質条件への制約を行った。溶岩流出期においてマグマ物性や火道形状などが火道流に与える影響を調べ、高流量の溶岩流出が継続する条件を明らかにした。具体的には、溶岩流出噴火に相当する火道流の定常解が存在し得る最大噴出率を、定常火道流におけるマグマだまり圧力と噴出率の関係（P-Q 曲線）から抽出し、その最大噴出率のパラメータ依存性を調べた。これまではこの 1 パラメータに対する P-Q 曲線の変化を調べるローカル感度解析を実施してきたが、本年度は平行座標プロットを用いたグローバル感度解析を実施し、これにより最大噴出率のパラメータ依存性を系統的に整理することが可能となった。解析の結果、最大噴出率が 1914 年の溶岩流出噴火で観測されている噴出率より小さくなるための溶岩流出機マグマ粘性に寄与する最密充填結晶度の上限値や、火道断面積の下限値が存在することが明らかになった。

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伸展と火山性地震・地殻変動の関連性は火山学の重要課題であるが、それを支配するマグマの貫入は弾性、粘性、破壊、熱輸送などの諸過程が複雑に絡み合う解析の難しい現象である。マグマの貫入には境界条件に柔軟に対応できる SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法の適用が有望視されるが、マグマ粒子と岩石粒子の相互作用などいくつかの問題点が浮かび上がっていた。

これらの問題点には昨年度の作業で基本的な対処方針が見出された。対処の中心となるのは、粒子の運動は粘性率の異なる粘性流体として扱い、粒子間に粒子配列の乱れに対応する弾性的な応力を考慮することであった。本年度はこの方針に沿って SPH 法を用いたマグマ貫入過程の計算プログラムを開発し、マグマ貫入過程の基本機能を有することを確認した。

開発した SPH 法を用いたマグマ貫入過程の計算プログラムは下記の機能を有する。なお、計算の基本性能確認のための初期配列を図５に示す。

・粒子には重力が、粒子間には弾性的な力がバランスよくはたらいて、粒子の運動を適切に維持する。

・岩石粒子は臨界値をこえる応力を受けると被破壊粒子に転移し、マグマ粒子の動きを助けて岩石粒子の間を上昇できるようにする。

・マグマ粒子が浅部まで上昇すると、圧力降下のために発泡や破砕が起こって密度や粘性率を下げる。

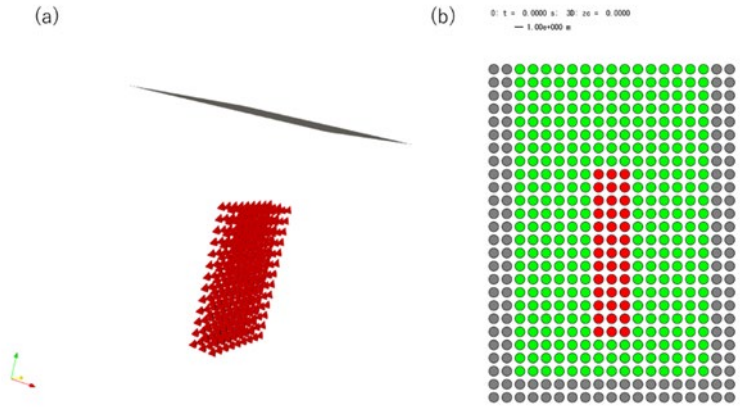


図５　基本機能の確認に用いる例題の粒子の初期配列。(a) ParaView による 3 次元表示でみるマグマ粒子の配置。灰色は表面。(b) z = 0 の断面でみるマグマ粒子（赤)、岩石粒子（緑)、固定粒子（灰色）の配置。

粒子には密度差で重力がはたらき､粒子の移動とともに弾性的な応力が生じる。 図 6 は時間 t が 0.4 だけ経過したときの粒子の状態を、岩脈の中心 z = 0 の断面で表示する。図の左は粒子の位置と速度である。粒子の位置につけた丸印にはマグマ粒子に赤、岩石粒子に緑、壁をつくる固定粒子に灰色が彩色されている。粒子の中心からは速度の方向にその大きさに比例する長さで線分が引かれている。浮力を受けるマグマ粒子は上向きの速度をもち、時間の経過とともに上に移動する。マグマ粒子の近くにある岩石粒子はこの運動に影響を受け、マグマ粒子のつくる岩脈より上では押し上げられ、下では引き上げられる。側面で接する岩石粒子にも粘性的な作用による上昇傾向がみられる。図 6 の右は粒子にはたらく応力で、応力の主軸方向が主値の大きさとともに示される。主軸方向に赤で引かれた線分が張力、青で引かれた線分が圧縮力である。マグマ粒子の上昇のために、岩脈の上では岩石粒子に強い圧縮力が、下では強い張力がはたらいている。さらに時間を進めて t = 0.8 になったときの状況が図 7 であ

る。マグマ粒子は上昇を続けようとするが、岩石粒子もゆずらずに反発力を強め、マグマ粒子の上昇はほとんど止められている。粒子の運動は膠着状態になっている。このように、マグマ粒子は浮力で上昇を始めるが、岩石粒子には上昇に反発する応力が次第に高まって、マグマ粒子がさらに上昇するのを阻む。粒子の間には重力と浮力が適切にはたらいて運動を制御することが認められる。

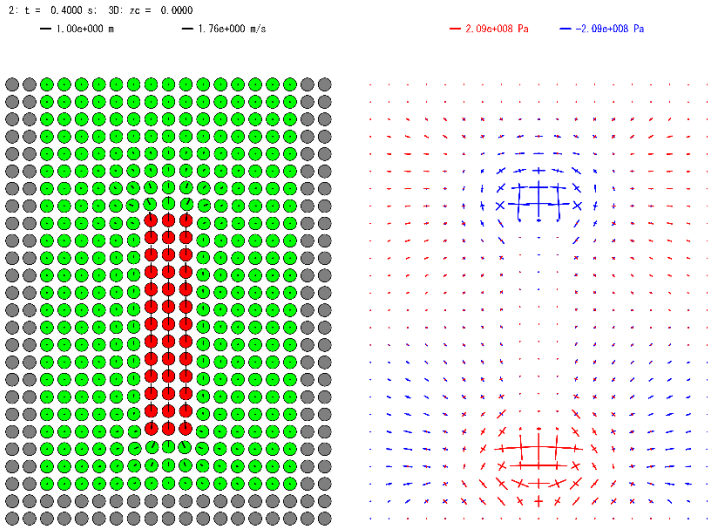


図 6　重力と粒子間の力の作用：t = 0.4 の状態。浮力によってマグマ粒子の上昇が始まり、その作用で近傍の岩石粒子は上では押し上げられ、下では引き上げられる。

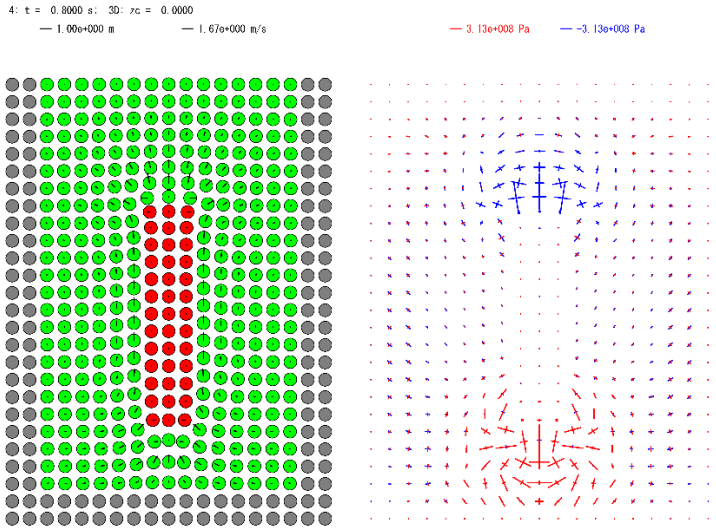


図 7　重力と粒子間の力の作用：t = 0.8 の状態。岩石粒子が動かないために、岩脈の上部と下部にある岩石粒子にはさらに強い応力が加わり、マグマ粒子の上昇はほとんど止められる。

浮力によるマグマ粒子の上昇のために、岩脈の上と下にある岩石粒子は弾性的な作用で強い応力を受ける。この応力が限界（破壊強度）に達すると、岩石粒子は破壊さ

れて被破壊粒子になり、マグマを上昇しやすくする。図 8 は時間 t が 1.4 だけ経過したときの状態で、岩脈の上と下で高い応力を受けた岩石粒子が一部破壊されて被破壊粒子（青で表示）に転移している。転移によって粘性率が低下して粒子は移動しやすくなる。その状態を反映して応力も低下する。

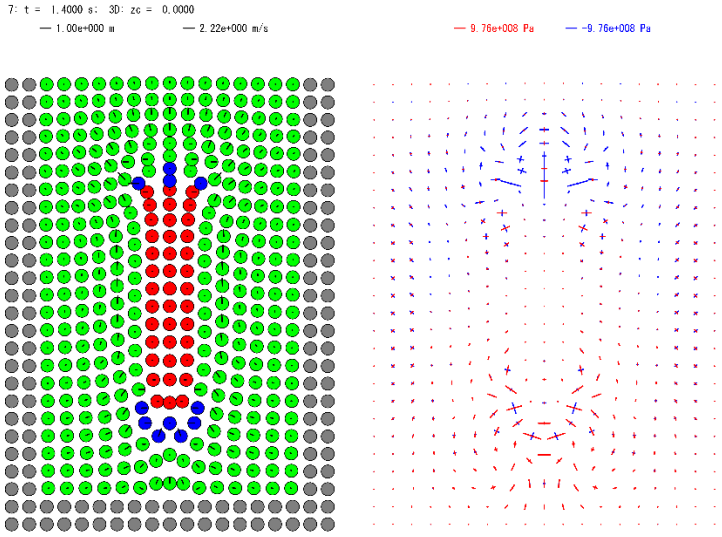


図 8　応力の高まりによる岩石粒子の破壊：t = 1.4 の状態。岩石粒子の一部が破壊されて被破壊粒子（青で彩色）に転移している。

岩石粒子の転移で動きやすくなったマグマ粒子は、先端で破壊をさらに進めながら岩石粒子の間を上昇するようになる。マグマ粒子は先端を広げながら上昇を続け、粒子のシステムの上端に達して表面を押し上げる。その最終状態を図 9 では z = 0 の断面で表示する。同じ状態を図 10 ではマグマ粒子と被破壊粒子について 3 次元的に描く。マグマ粒子は岩石粒子を被破壊粒子に変えながら岩石粒子の間をつきぬけて上昇する。

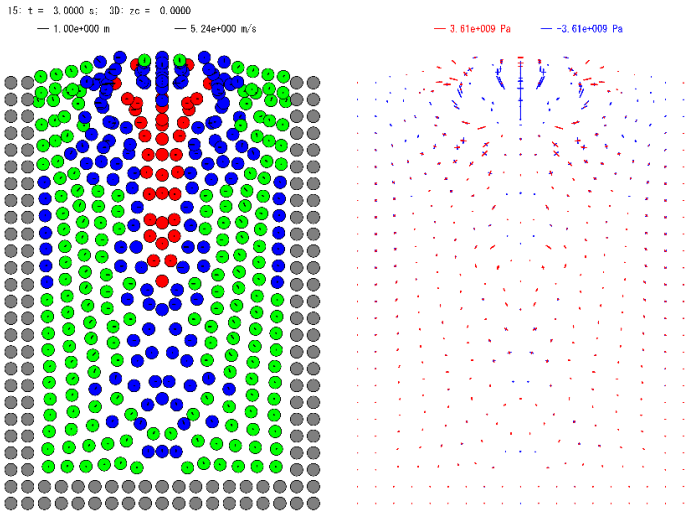


図 9　最上部が表面まで到達したマグマ粒子の上昇。マグマ粒子は岩石粒子を被破壊粒子（青）に変えながら浮力で上昇する。

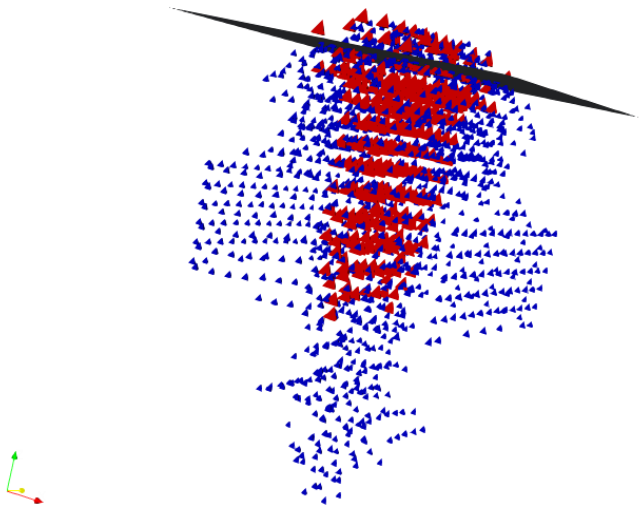


図 10　最上部が表面まで到達したマグマ粒子の上昇。マグマ粒子は岩石粒子を被破壊粒子（青）に変えながら浮力で上昇する。マグマ粒子と被破壊粒子の分布を 3 次元的にみる。

これまでの計算例は、マグマ粒子が気体成分を含まない場合であるが、開発したプログラムでは、気体成分の質量比 ϕ を有限の値にして気体成分の効果をみる。気体成分には H_2O を想定して分子量 Mg を 18 (g/mol)にし、溶解度の定数を設定する。マグマ粒子としては岩脈最上部中央に位置する粒子（粒子番号 4778）に着目する。

図 11 はこのマグマ粒子の状態変化である。まずマグマ粒子が気体成分を質量比で 1%含む場合（$\phi = 0.01$）を見る。この場合には時間 t が 0.5 をすぎるあたりから気体成分の発泡が始まり、その体積比 ϕ がマグマ粒子の上昇につれて増えていく。それに伴って密度 ρ が減少し、上昇が加速する。マグマ粒子は気体成分を含まない場合（$\phi = 0$）に比べて表面（y = 0）に早めに到達する。ただし、ϕ は表面に達するまで臨界値 0.75 を超えないので破砕は起こらない。

発泡は気体成分の量に非常に敏感で、ϕ のわずかな増加で状況は一変する。気体成分を $\phi = 0.011$ まで増やすと、発泡がずっと早く始まり、表面付近では破砕も起こる。破砕によって高さ y の変化に多少の加速も認められる。マグマ粒子の粘性率は破砕によって大きく変わるのに対し、加速が余り顕著でないのは、上昇が周辺の被破壊粒子に抑制されるためと解釈できる。また、先端のマグマ粒子が表面に達したときの粒子の配列を、$\phi = 0.011$ の場合について図 12 に、および 3 次元分布を図 13 に示す。岩脈上部のマグマ粒子は発泡と破砕を起こして素早く上昇するが、発泡しない下部の粒子は余り上昇できずに元の位置の近くに取り残されることが分かる。

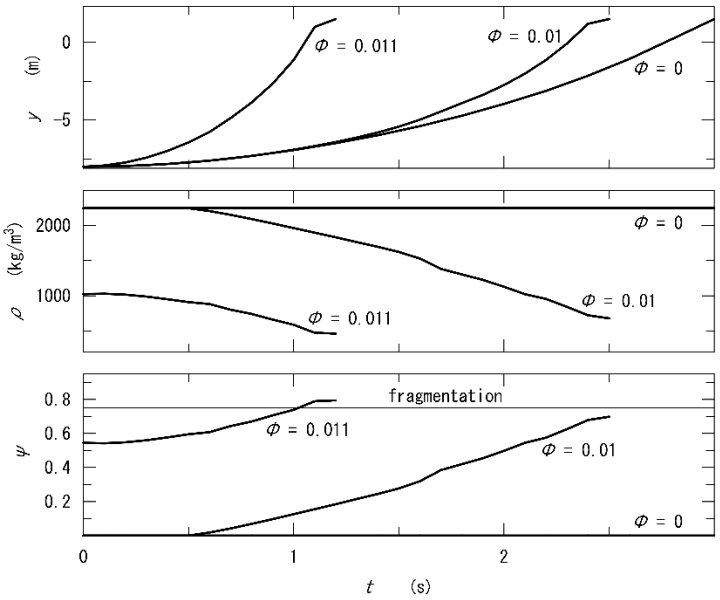


図 11　気体成分によるマグマ粒子の状態変化。岩脈最上部中央に位置するマグマ粒子（粒子番号 4778）に着目して、粒子の高さ y、密度ρ、気体成分の体積比ψの変化を時間 t とともに追跡する。気体成分は H_2O を想定し、質量比ϕが 0.01 と 0.011 の場合を、気体成分を含まない場合（$\phi = 0$）と比較する。

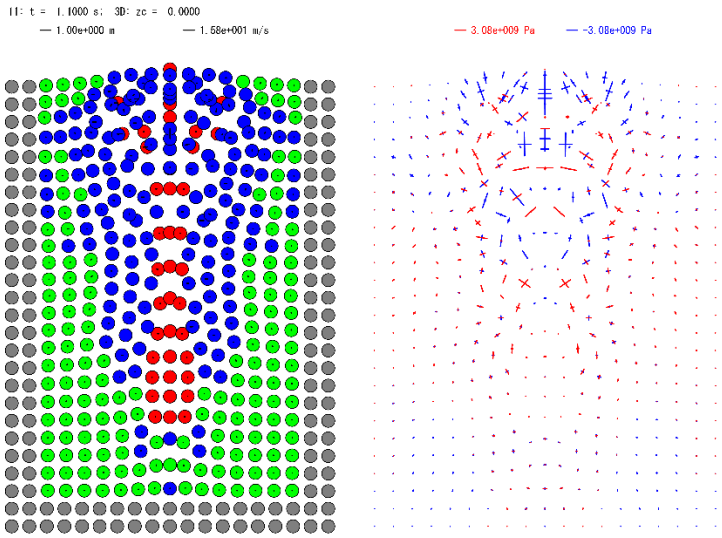


図 12　先端のマグマ粒子が発泡と破砕を起こす場合の最終段階における粒子の分布（z = 0 の断面）。

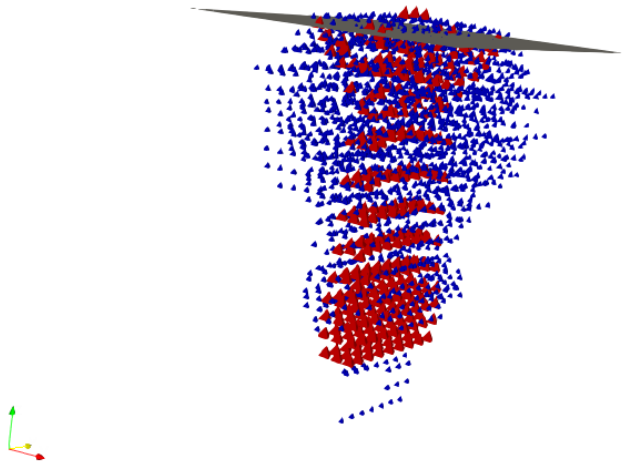


図 13　先端のマグマ粒子が発泡と破砕を起こす場合の最終段階における粒子の 3 次元分布。

以上のように、SPH 法を用いたマグマ貫入過程の計算プログラムを開発し、岩石粒子の破壊による被破壊粒子への転移や、発泡・破砕のモデルへの組み込みが再現できた。

個別要素法（DEM）による岩脈貫入シミュレーションについて、引き続き高度化を進めた。DEM では、地殻を粒子の集合体として表現する。粒子は間隙ばねで接合される。間隙ばねは normal 方向および shear 方向にそれぞれ弾性ばねとダッシュポットを設定し、normal 方向には閾値、shear 方向には Mohr-Coulomb 条件による破壊判定を組み込む。ミクロスケールでのばね定数はマクロスケールでの剛性率や粘性との対応がつくように圧縮数値試験により求められた値を用い、10 km x 10 km x 10 km の対象領域にランダムに粒子を生成し、重力パッキングを行い、この内部にマグマ領域を設定し、初期過剰圧を与えて岩脈貫入を再現する。なお、岩脈貫入のパターン（形状）は周辺の 3 次元応力場（差応力）を強く反映する。水平方向の境界に広域応力場を設定し、鉛直方向には静岩圧を設定する。今回、水平方向は等方的としている（図 11）。今年度は従来の 100 万粒子から 3000 万粒子に増加した。このため、1 粒子の半径が 10m 程度となり、岩脈貫入を模擬するうえで現実的なスケールとなった。図 14 に計算例を示す。岩脈貫入は張力場において進展し、特に初期過剰圧に応じて、噴火未遂あるいは噴火が決まる。おおよそ初期過剰圧が静岩圧の 8 倍程度以下の場合、噴火未遂となる。また、各タイムステップでの応力降下量に着目すると、岩脈貫入の先端部において応力降下量が大きいイベントが発生しやすい、すなわち火山性地震が発生しやすく、岩脈下部において応力降下量が小さいイベント、すなわち低周波地震が発生しやすい傾向がある。

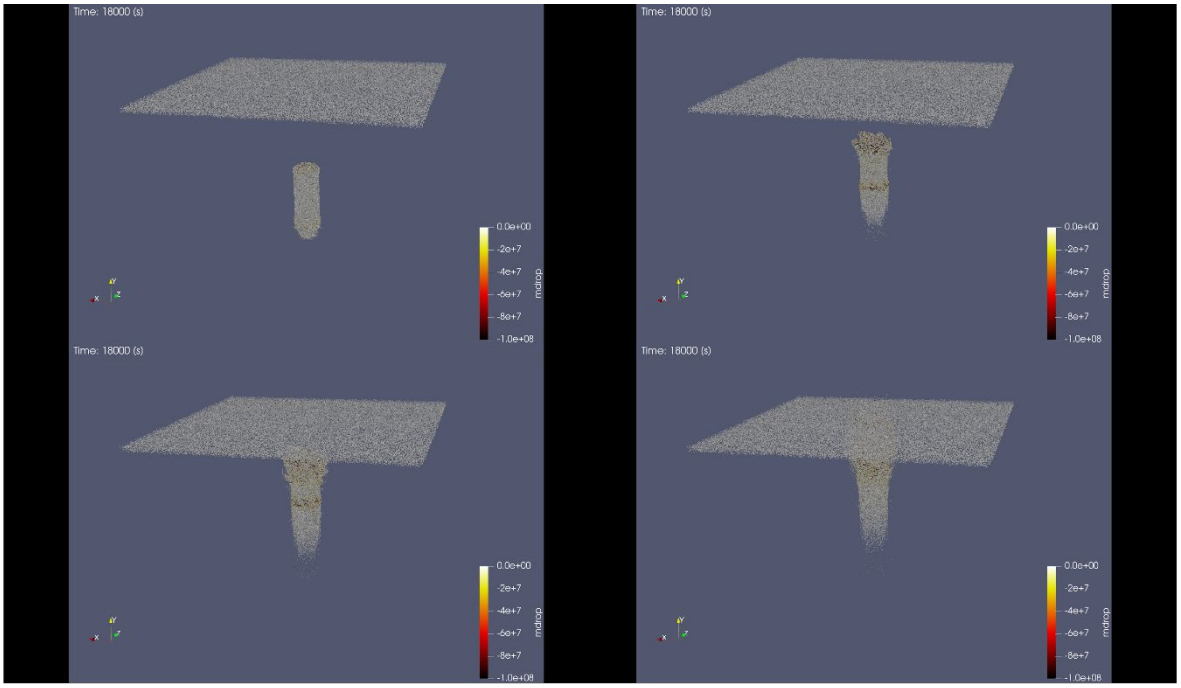


図 14　個別要素法による岩脈貫入シミュレーションの例。3,000,000 粒子で実施。初期過剰圧を 25MPa(左上)、 125MPa（右上)、 187.5MPa（左下)、 250MPa（右下）とした。カラーバーは各タイムステップにおける圧力降下量を示しており、黄色が低周波地震、黒が火山性地震に相当。

また、火山地形の効果を考慮した地殻変動を境界要素法による数値計算で求める手法の開発を進めた。本年度は、これまで開発してきたプログラムを伊豆大島の GNSS 観測データの解析に適用し、三原山（山頂の標高 758 m）の山頂浅部の地殻変動源を推定した。気象研究所が三原山の山頂周辺設置した 3 点の GNSS 観測点で得られる地殻変動データでは、観測点間の基線長の短縮およびカルデラ縁の観測点に対する比高の沈降といった局所的な地殻変動の傾向が一定の変化率で継続する様子が観測されている。この観測データの特徴を説明できる地殻変動源を求めた。地殻変動源の位置を三原山の山頂直下と仮定し、火山地形を考慮した地殻変動の数値計算結果から観測点間の基線長とカルデラ縁に対する比高の変化率を求め観測データと比較した。その結果、海面下 400 m の球状圧力源または海面下 300m のシル状圧力源によって観測データの基線長と比高の変化率を説明できた(図 15)。それぞれの圧力源で計算される三原山周辺の GNSS 観測点での変位量を比較すると、三原山山頂の局所的な地殻変動を説明するにはシル状圧力源がより適していることが分かった(図 16)。

また、開発してきたプログラムをハザード評価システムへ組み込むため、地形メッシュの作成など数値計算に必要なパラメータをまとめて仕様書を作成した。

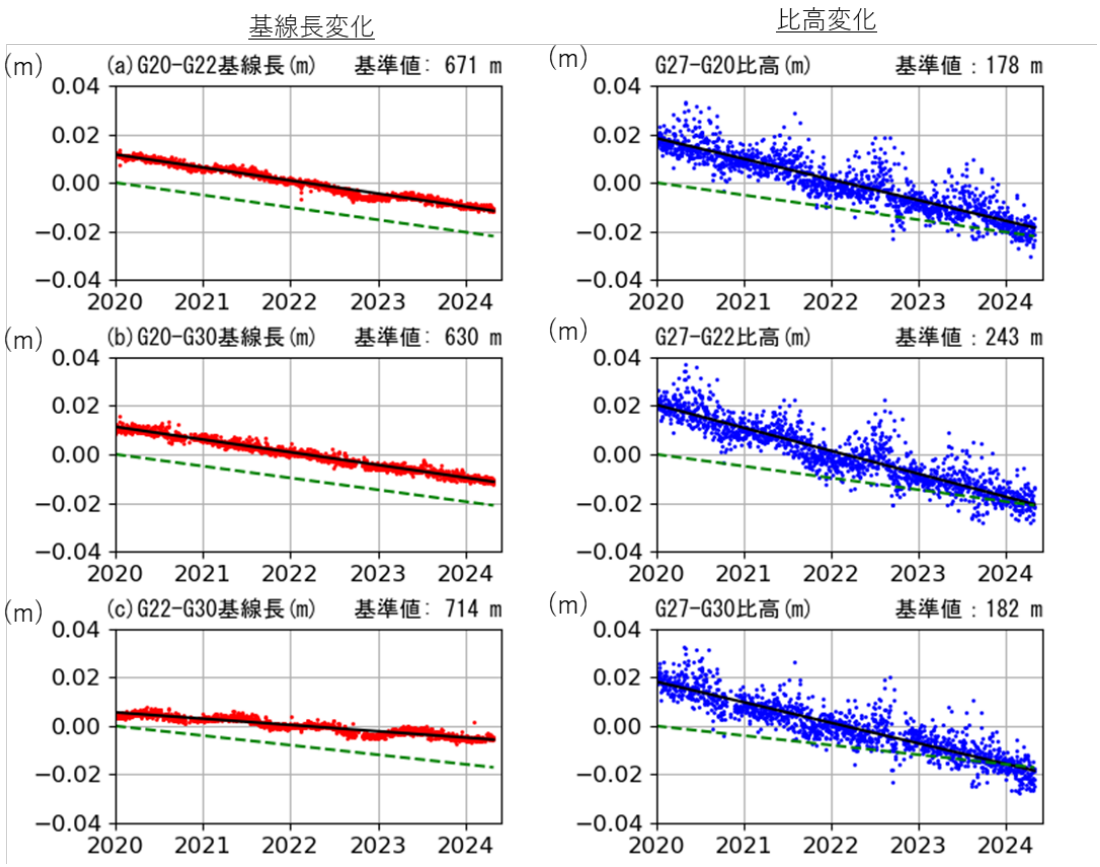


図 15　三原山の極的な地殻変動と数値計算結果の比較。伊豆大島三原山山頂周辺の GNSS 観測点(G20, G22, G39)における観測点間の基線長(赤丸)とカルデラ縁の観測点(G27)に対する比高(青丸)の時間変化と数値計算で求めた三原山山頂直下の圧力源による基線長と比高の変化率(緑破線)。

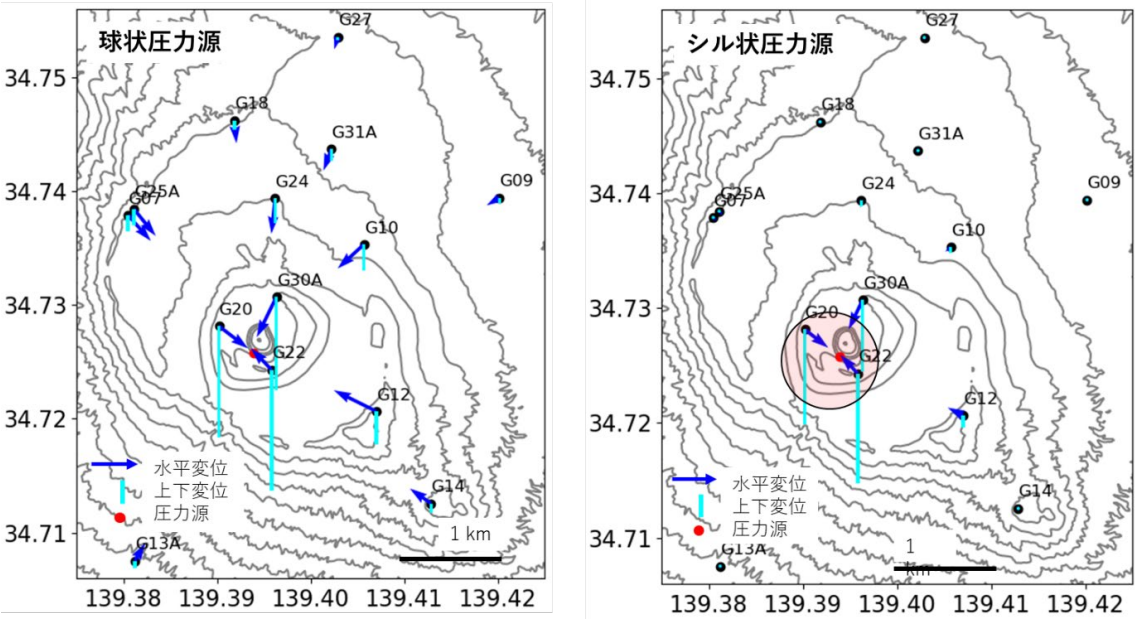


図 16　推定した球状圧力源(左)とシル状圧力源(右)による三原山と周辺の GNSS 観測点の水平変位と上下変位。赤丸は圧力源の位置を示す。

c）マグマ物性モデルの構築

火山噴火に伴うマグマの上昇をモデル化してシミュレートするために必要不可欠なマグマ結晶化モデルの構築を進めた。東北大学及び静岡大学の協力を得てこれらを実施した。

結晶化モデルは主に結晶化速度と、結晶化を駆動する過飽和度を定義するために必要な、ある圧力・温度条件における平衡結晶度から構成される。平衡結晶度については、昨年度までに温度・圧力・化学組成をパラメータとしたモデルが構築されており、新しい実験データなどを組み込むなどしてモデルの更新を進めた。

結晶化速度については以下のような検討を進めた。結晶化は核形成と成長により進行するため、結晶化の速度を表現するにはそれぞれの速度を決定する必要がある。しかしながら、核形成速度についての実験データは再現性がなく、それは珪酸塩メルトの複雑な分子構造などが原因であると考えられてきた。最近の理論的研究からもメルト中に存在する不均質構造などが核形成速度を支配し、最終的な結晶度や結晶組織を支配する可能性が示唆されている。そこで結晶化速度は、核形成・成長を厳密に取り扱わずに結晶量の時間変化（見かけ速度）として取り扱った。流紋岩組成から安山岩組成での結晶化速度をこれまでに行われている減圧結晶化実験データなどから抽出し整理した。ここでまとめられた平衡結晶モデルと結晶化速度を利用することで火道内を上昇するマグマの結晶量の変化を計算することができる。さらにこの結晶化モデルを温度・化学組成が仮定された条件下において火道流モデルと組み合わせれば、爆発/非爆発的噴火の分岐や噴出率の予測を行うことが可能である。

核形成や成長がマグマ上昇の時間スケールよりも早ければ、上述のように結晶化速度を利用したシミュレーションが可能となる。一方で、よりマグマ上昇速度が大きな場合には、結晶化はカイネティックに遅れるため、結晶が晶出しないか、わずかな結晶のみが晶出する。このような場合のマグマ上昇速度を推定する方法はこれまでほとんど存在せず、火道流シミュレーションの妥当性を評価することが難しかった。そこでマイクロライトの結晶面ごとの成長速度の違いを利用することで減圧率速度を推定する方法を提案し、減圧結晶化実験を用いて検証を行った。これにより、マグマ上昇速度が大きく、ほとんどマイクロライトが晶出していないような爆発的火山噴火においてもマグマ上昇速度を推定できるようになった。

2）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した。

今年度は、前年度に実施した 1 次元噴煙モデル（NIKS-1D）[1] と気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）[2] の組み合わせによる宝永噴火を想定した降灰シミュレーション結果の事後解析を行った。計算結果である 1 年分（365 個）の計算結果から、国内の主要都市ごとの降灰量及び最大粒径（図 17)、粒径毎の降灰量（図 18)、降灰量の階級別確率（図 19）などの統計指標を計算し、また、それらの季節変化も調査した。ここでの結果は、予測降灰量データベース（仮称）として次年度に外部に公開する予定である。

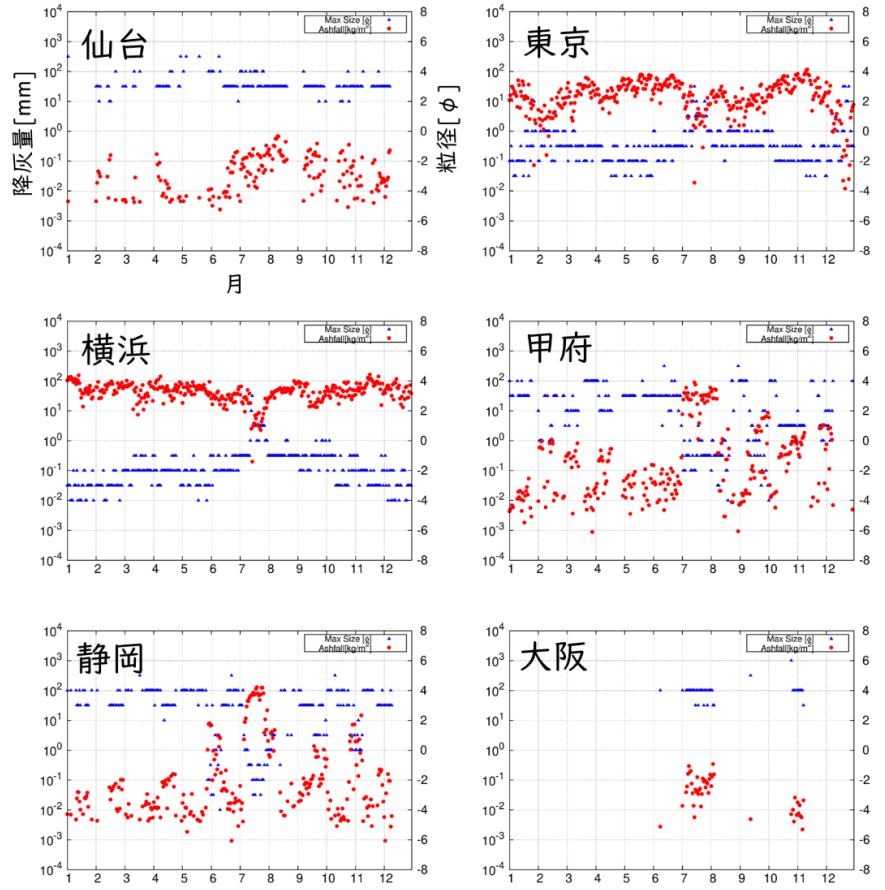


図 17　各都市における降灰量と最大粒径の季節変化（降灰量（●）、最大粒径（●））。

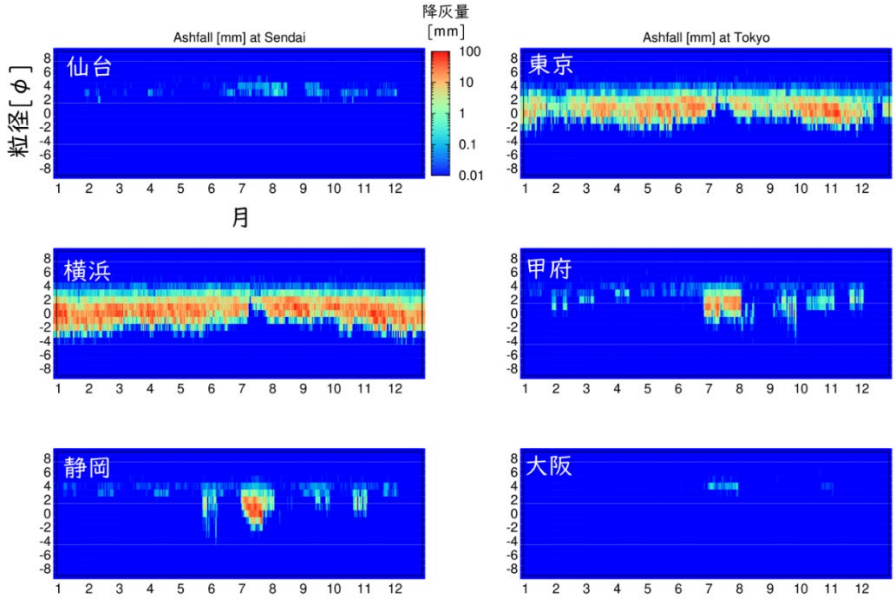


図 18　各都市における粒径毎の降灰量の季節変化。

	降灰量			
	0.1mm以上	1mm以上	10mm以上	100mm以上
仙台	15%	0%	0%	0%
東京	98%	96%	67%	1%
横浜	100%	100%	96%	6%
甲府	37%	18%	9%	0%
静岡	24%	14%	6%	1%
大阪	3%	0%	0%	0%

	最大粒径				
	0φ	1φ	2φ	3φ	4φ
仙台	0%	0%	0%	0%	0%
東京	93%	75%	35%	6%	0%
横浜	96%	93%	67%	33%	7%
甲府	21%	14%	5%	2%	1%
静岡	13%	8%	5%	2%	0%
大阪	0%	0%	0%	0%	0%

図 19　各都市における降灰量毎の確率、及び粒径毎の確率。

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、システム化への検討を行った。 噴煙柱ダイナミクスと火山灰輸送を同時に解く SK-3D モデルを大型計算機において実行し、噴火条件と大気条件に関するパラメータスタディを継続した。噴煙挙動や火山灰粒子挙動の精度を向上させることを目的に、発生頻度の高い小～中規模噴火事例のシミュレーションセットを揃えた。シミュレーションセットは火山ハザード評価システムに搭載した。また、より現実的な風速プロファイルを与えた数値実験と、個別の噴火事例の再現シミュレーションを実施した。計算結果に基づき、噴火条件と大気条件が火山灰輸送に与える影響について調べた。これらの火山灰粒子挙動を解析することによって降灰ハザード予測モデル開発と連携した。

小～中規模噴火事例のシミュレーションでは、噴煙の連続放出としては小規模クラスになる噴出率が 1×10^{6} kg/s のシミュレーションを実行した。本プロジェクトで最小規模の噴火条件である。数値モデルは噴煙柱ダイナミクスと火山灰輸送を同時に解く SK-3D を用いた。このような小規模噴火条件では火口半径も小さく、最小グリッドサイズは 2.7 m という空間分解能が非常に高い計算になった。空間分解能にしたがって時間ステップも 10^{-3} s のオーダーとなった。計算の実行には九州大学情報基盤研究開発センターのスーパーコンピュータシステム玄海と東京大学情報基盤センターの Wisteria を利用した。MPI 並列による 512～768CPU の計算高速化を行った。

シミュレーション結果は昨年度までのデータベースと合わせ、噴煙ダイナミクスに焦点をあて解析した。風がない場合、噴出率 1×10^{6} kg/s の条件では噴煙最高高度が約 10km で傘型噴煙高度は約 7.5 km となった（図 20）。一方、 噴出率 2×10^{6} kg/s の条件では噴煙最高高度が約 12 km で傘型噴煙高度は約 10 km となった。噴煙最高高度は 1.2 倍、傘型噴煙行動は 1.3 倍となる。噴煙高度は噴出率の 1/4 乗に比例するというスケーリング則を用いると $2^{1/4}$ = 1.2 倍となり、ほぼ一致した。大気風を入れた計算は風がない場合よりも噴煙高度が低下した。この結果は、これまでに提案されている解析モデル、1 次元噴煙モデル、3 次元シミュレーション結果と整合的である。噴出率が 1×10^{6} kg/s と 2×10^{6} kg/s の場合は、噴煙柱部分が単純な浮力プルームの様相となり、噴出率が異なってもほぼ相似形であることが確認された。

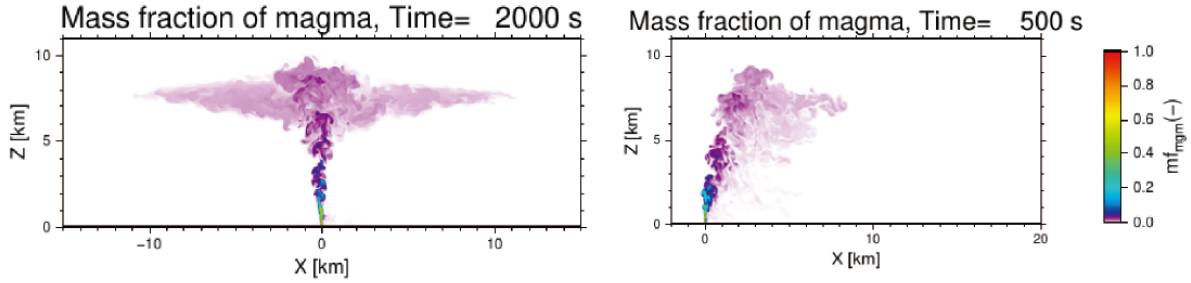


図 20　小規模噴煙３次元シミュレーション結果。共通する噴火条件に対し、（左）風がない場合と（右）風速 10 m/s の場合。

小規模噴火である噴出率 2×10^6 kg/s を対象に、より現実的な大気風条件を与えたシミュレーションを実行した。中緯度大気では対流圏と成層圏の界面である圏界面（高度約 11 km）で水平方向の風速が最高値を持ち、地表に向かって風速が急激に減少するプロファイルを持つ。そのようなプロファイルで圏界面での風速の最大値を変えたいくつかの計算を実施した（図 21）。地表から高度 6 km 程度までは風速が小さいため、いずれの場合もほぼ鉛直にのびる噴煙柱が形成された。それより上部では、風速が増すにしたがって噴煙は強くたなびいた。また、噴煙高度は数 km 程度低下した。一般に、風速が増すことで地表付近の大気が噴煙に取り込まれ、その大気を上空に運搬するエネルギーが消費されるために噴煙高度が低下すると考えられている。今回の計算からは、風の影響が上空だけの場合でも噴煙高度が低下することが確認された。

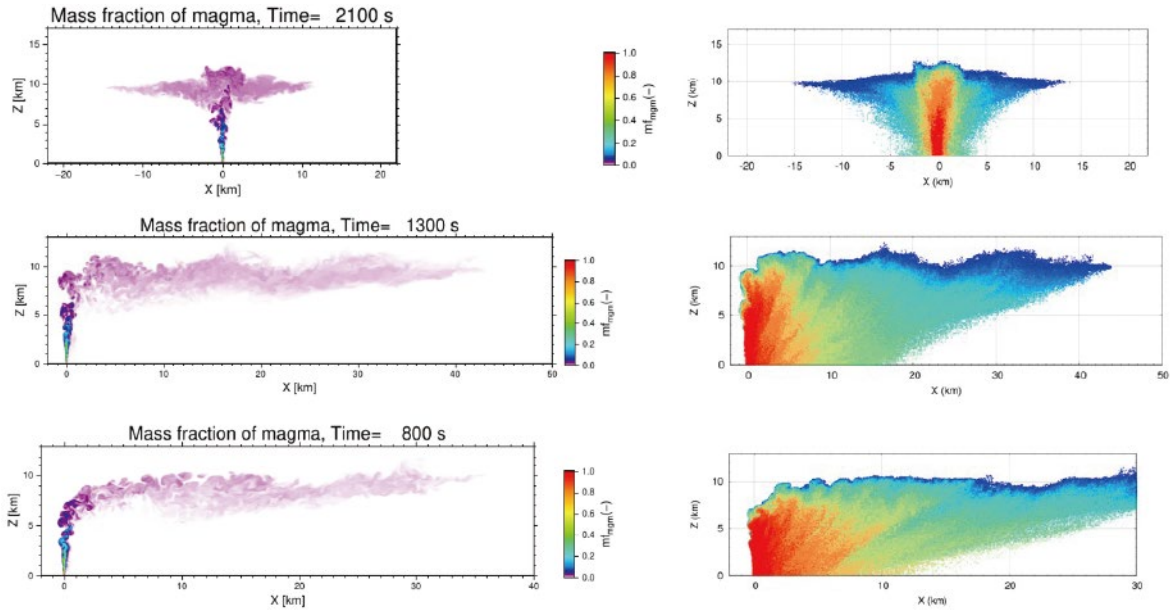


図 21　噴煙ダイナミクスモデル SK-3D による、現実的な大気風の条件を入れたシミュレーション結果。大気風のピーク風速が（上段）0 m/s，（中段）40 m/s，（下段）60 m/s の場合。火口を含む断面における（左列）噴出物質量分率と（右列）火山灰粒子分布。右列の色は φ スケールでの粒子サイズを表す。

火山灰輸送の３次元シミュレーション結果を火山ハザード評価システムに搭載するため、トレーサー粒子の位置情報を緯度・経度・高度に変換するスクリプトを作成した。シミュレーションでは数百万個のトレーサーを計算しているが、システムに掲載し可視化するには負荷が大きすぎるため、5,000 個もしくは 10,000 個程度に粒子数を減らして出力した。このスクリプトでは、KML もしくは KMZ ファイルとして出力するため、Google Earth 等で容易に可視化できるようになった（図 22)。

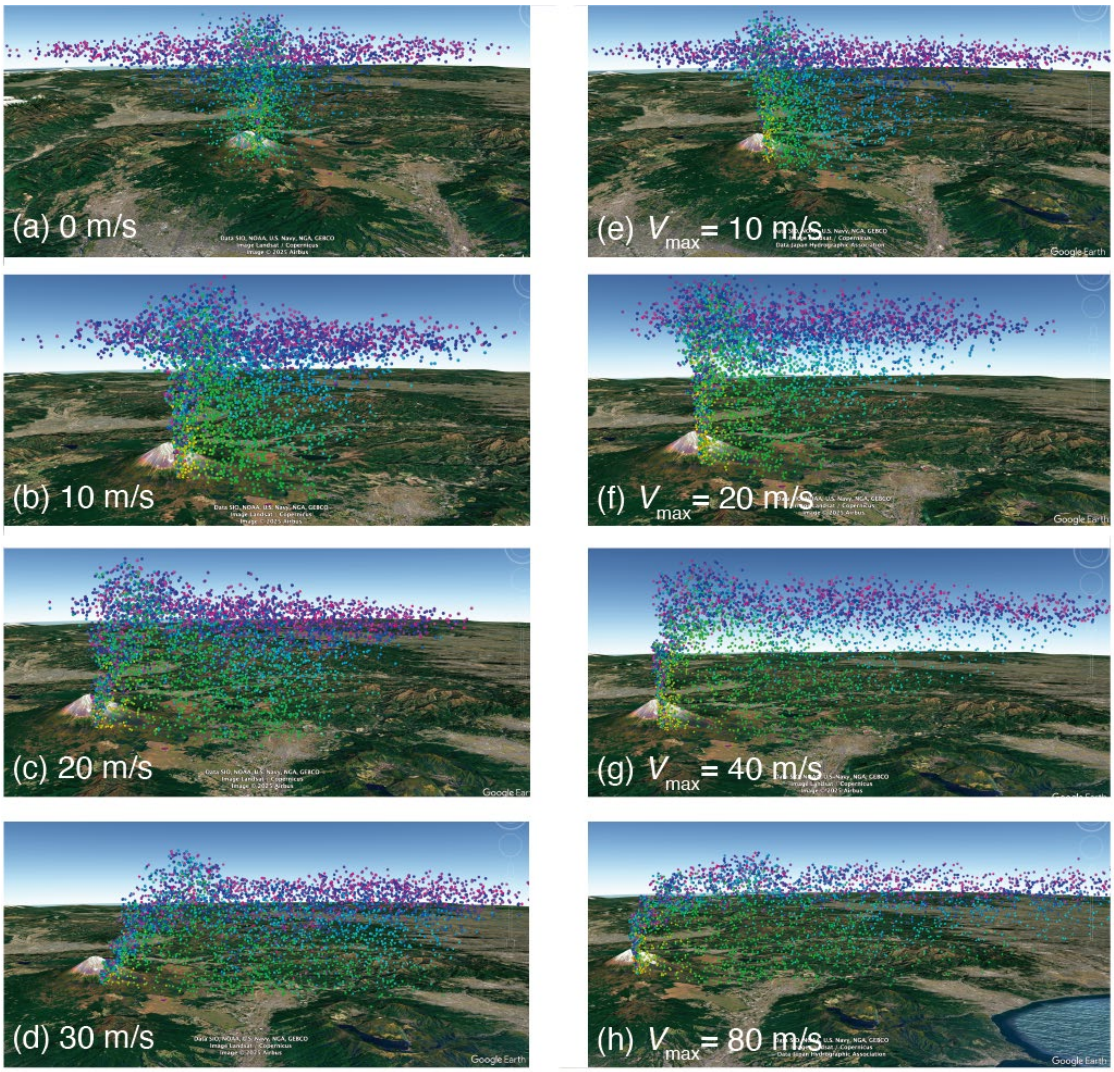


図 22　火山灰輸送シミュレーション結果の富士山宝永火口周辺における可視化。シミュレーション結果を KML(KMZ)ファイルに変換し、可視化した。大気の風速を(a)0 m/s, (b)10 m/s, (c)20 m/s, (d)30 m/s の場合と、圏界面で風速が(d)10 m/s, (e)20 m/s, (g)40 m/s, (h)80 m/s という最大値を取るプロファイルの場合。色は火砕物のサイズ（φスケール）を表す。

モデル検証のため、インドネシア・ルアン火山で日本時間 2024 年 4 月 17 日と 30 日に発生した爆発的噴火の再現シミュレーションを実施した。噴火は陸上で発生し、噴煙高度が約 20km に達したことから水の接触がなくマグマ噴火であると考えられ、マグマ温度と揮発成分量はマグマ噴火に一般的な値を用いた。本プロジェクトでこれまでに蓄積した中緯度噴火シ

ミュレーション結果データベースに基づき、噴出率は 10^7〜10^8 kg/s のオーダーであることが推定できた。そのため、標準的な熱帯大気を初期条件として与え、噴出率を 1×10^7, 1×10^8, 2×10^8 kg/s に固定したシミュレーションを実行した。その結果、4 月 17 日と 4 月 30 日に人工衛星から撮影された傘型噴煙の拡大の様子を、数値シミュレーションによって再現することができた（図 23)。噴火強度が大きかったため、噴火から 1 時間程度は風の影響が小さくほぼ同心円状に傘型が拡大した。

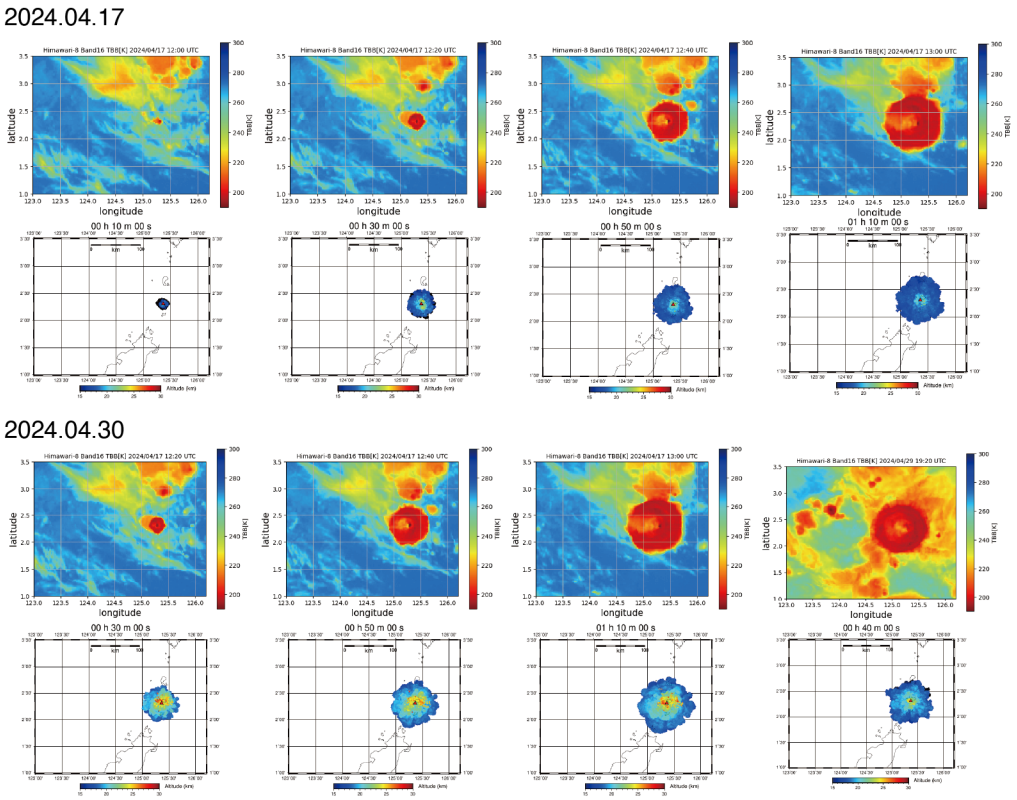


図 23　ルアン火山 2024 年噴火の人工衛星画像と 3 次元数値シミュレーション結果の比較。4 月 17 日噴火と 4 月 30 日噴火に関し、（上段）人工衛星による赤外画像と（下段）トレーサー粒子の水平分布。

傘型噴煙の拡大が顕著であったルアン火山 2024 年噴火のシミュレーション結果を用い、傘型噴煙面積のスケーリング則を検証した。次元解析に基づきスケーリング則が提案されている。

$$S \propto N^2 \dot{V}^{2/3} t^{4/3}$$

ここに、Sは傘型噴煙面積、Nは大気成層の強さを表すブラント・ヴァイサラ振動数、$\dot{V}$は傘型噴煙への体積流量、tは時間である。シミュレーションにおいて噴火から数百秒を過ぎると体積流量$\dot{V}$がほぼ一定値になることを確認した。その上で、傘型噴煙面積と時間、傘型噴煙面積と体積流量の関係がスケーリング則にしたがっているかを調べた（図 24)。データベースの結果も合わせて解析したところ、傘型噴煙面積に対する時間のべき乗則は必ずしも 4/3

乗ではないことが見えてきた（図 24A）。傘型噴煙面積と時間の関係はスケーリング則から外れているものの、$S/t^{4/3}$と体積流量$\dot{V}$の関係は、スケーリング則に近いことが分かった。更に、噴煙柱に関するスケーリング則の検証も試みた（図 24C, D）。噴出率と傘型噴煙への体積流量$\dot{V}$の関係はスケーリング則に近いものの（図 24D）、噴出率と噴煙高度の関係はスケーリング則では表現できないことが分かった（図 24C）。データベースと新たなシミュレーション結果を用いたスケーリング則に関する基礎的な解析は、実際の噴火現象に合致した修正スケーリング則の提案につながる。

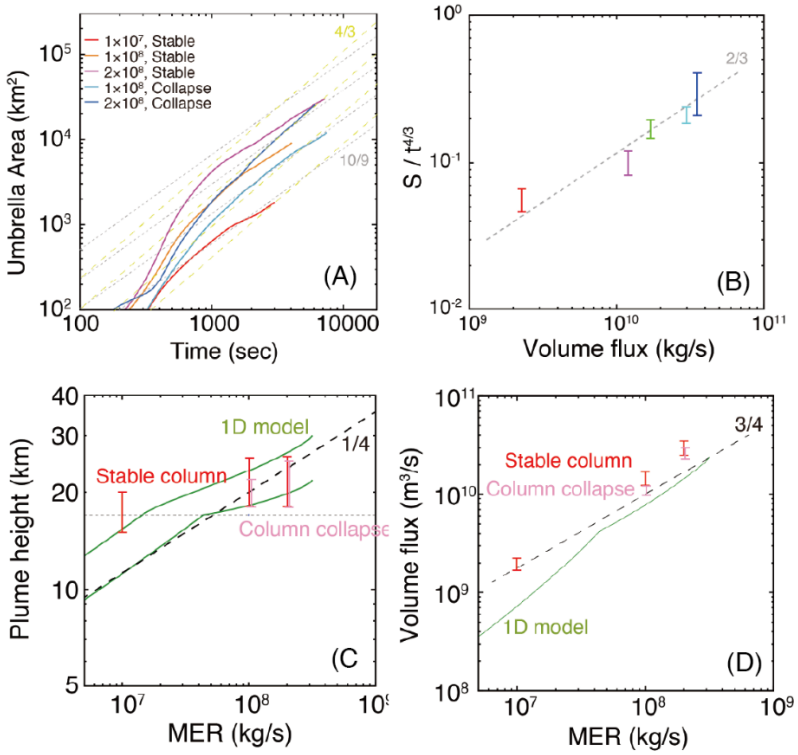


図 24　ルアン火山 2024 年噴火程度の中規模噴火のシミュレーション結果の解析。(A)傘型噴煙面積と時間、(B)傘型噴煙面積と体積流量、(C)噴煙高度と噴出率、(D)体積流量と噴出率、の関係を示す。

c) ハザード評価システムの検討

個別のハザードシミュレーションについて、溶岩流シミュレーションでは、昨年度、我々はオープンソースソフトウェア OpenFOAM 上で動作する溶岩流ソルバー「faSavageHutterFOAMLava」を開発し、レオロジー則による温度依存粘性と放射冷却を組み込んだ数値計算を実現した。しかしながら、その物理モデルは十分に検証されておらず、得られた流走範囲の正確性には不確実性が残っていた。そこで本年度は、観測データに基づくスケーリング則と数値モデルとを相互に照合し、噴出条件から予測される最終的な流長を定量的に明らかにすることでソルバーの妥当性を担保することを目的とした。

まず、我々の数値モデル（faSavageHutterFOAMLava と同一の定式化）を用いて代表的な計算ケースを検証した。モデルは厚みと深さ平均温度の二変量保存則を解き、地形勾配と冷却効率を調整パラメータとして最適化している。図 25 の左列三段パネルは、短時間噴火（1.7 時間）と長時間噴火（1.7×10³ 時間）の前線温度、流長、平均厚みの時間発展を比較したものであり、いずれも冷却制御が始まる時刻を境に前線温度の急激な低下と厚みの増大、そして流長の伸び鈍化が再現されている。右列には各時刻の厚み分布プロファイルおよび平面分布図を示し、短期噴火では薄い一様流が広がるのに対し、長期噴火では冷却した前線部に溶岩が堰き止められて厚みが集中する様子が視覚的に確認できる。

次に、マウナロア火山およびエトナ火山の文献・フィールド調査報告から総噴出量、噴出期間、最終流長という三つの基本指標を整理・集約した。マウナロアでは長時間にわたり大量の溶岩が噴出する事例が中心であるのに対し、エトナでは短期から中期の噴火事例が多数を占める。これら両データを対数プロットで解析した結果、噴出期間が一定の閾値以下では総噴出量の三分の二乗則に従って流長が増大する“体積制限型”挙動を示し、閾値を超えると放射冷却による温度低下が前線粘度を急激に増加させて流長の伸びを抑制する“冷却制限型”挙動へ転移することを定量的に把握した。図 26　左パネルでは総噴出量と流長の関係を、右パネルでは平均噴出率と流長の関係を示し、エトナでは 30 時間の噴出期間を境として支配メカニズムが切り替わる様子が分かる。

これらフィールド解析と数値計算の結果を統合し、噴出条件に応じて流長を予測するスケーリング則を導出した。噴出期間が短い領域では総噴出量の三分の二乗則、長い領域では平均噴出率のべき則が適用される。得られた溶岩流の流長のスケーリング則は、faSavageHutterFOAMLava の物理モデルの信頼性を向上させるものである。以上の結果は、Maruishi et al., (2025; GRL, doi: 10.1029/2024GL113426) として出版された。

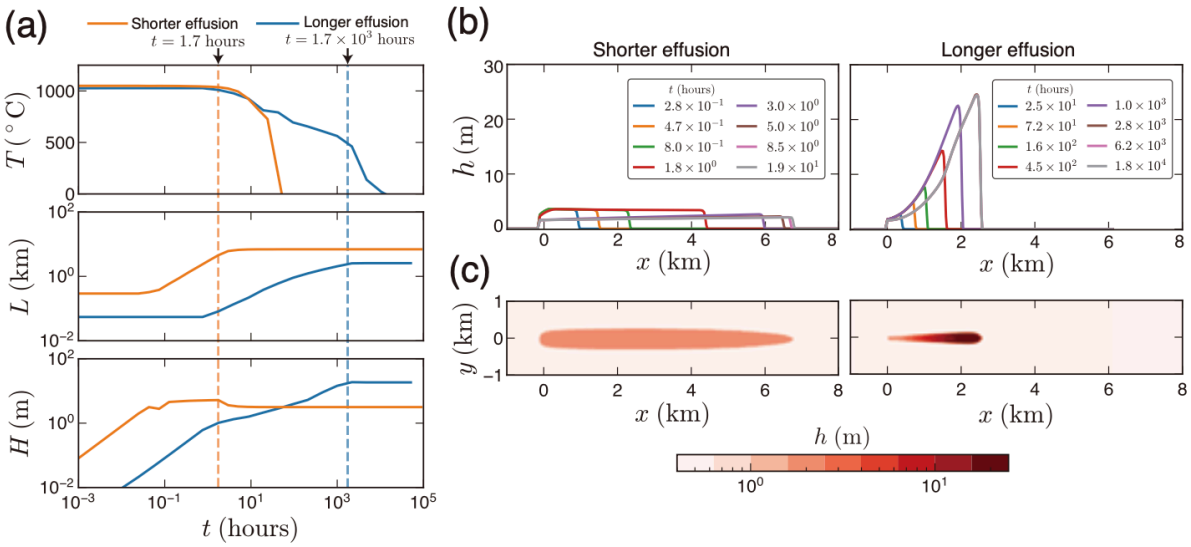


図 25 単純斜面上の溶岩流シミュレーションの結果。（a）噴出温度、流長、平均厚みの時間進化。（b）溶岩流最終形状の鉛直断面図。（c）俯瞰図。

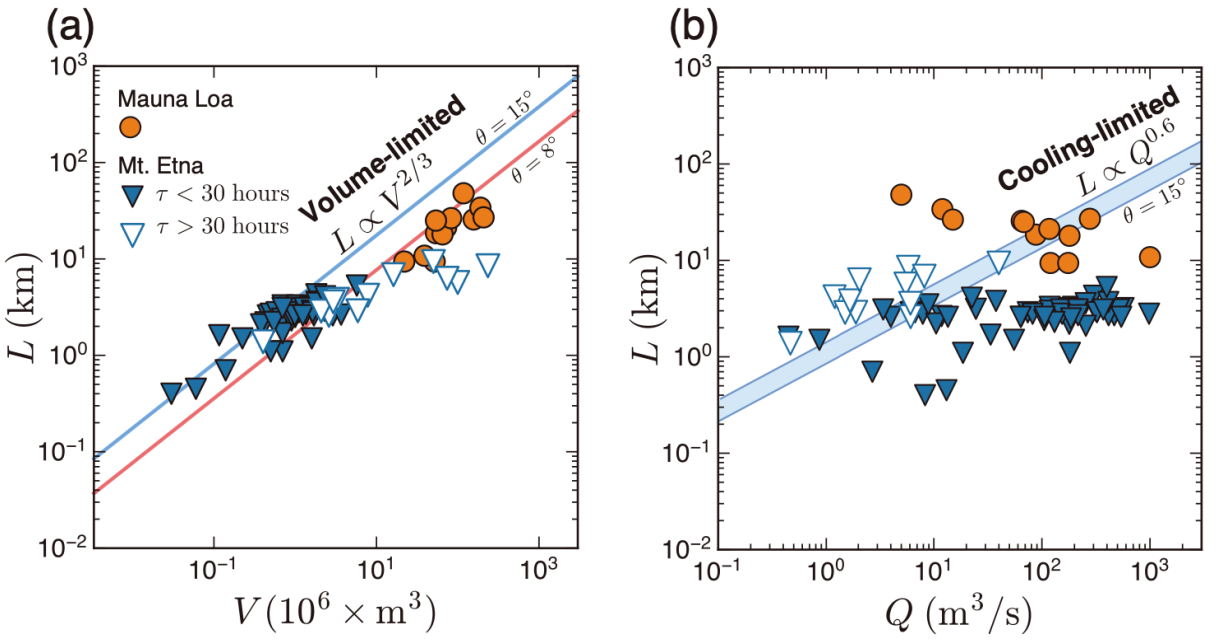


図 26 マウナロアとエトナの溶岩流形状データと流長スケーリング則。(a) 流長の噴出量依存性、(b) 流長の噴出率依存性。

降灰シミュレーションでは、細粒粒子の降下を促進し火口近傍に多量の細粒粒子を降下させる Ash Finger 現象を考慮した降灰シミュレーションを行った。FALL3D (Costa et al., 2006; Folch et al., 2020)の支配方程式を Python で再実装し、ash finger による火山灰降下の影響を組み込むかたちで移流拡散モデル $\mathrm{FALL3D_{PY+F}}$ を開発した。FALL3D は、1 次元噴煙柱ダイナミクスモデルから得られる火山灰の空間分布を初期条件として与え、格子点上で移流拡散方程式を解くことで大気中に浮遊する火山灰と地表に堆積する火山灰の時空間分布を求めるオイラー型の移流拡散モデルである。$\mathrm{FALL3D_{PY+F}}$ では、一次元噴煙柱ダイナミクスモデルに風の折れ曲がりを考慮したモデル (Woodhouse et al., 2013)を採用し、噴煙から分離する重量分布については、粒径にかかわらず Suzuki (1983)に k=8 を代入し、噴煙頂付近から大半の粒子が分離する分布とした。粒径分布は Costa et al. (2016)の経験式によって与え、-2 ϕ から 7.5 ϕ まで 0.5 ϕ 間隔で離散化したグループ (bin) に分類して計算した (ϕ の数字 p は粒径 d (mm)から $p=-\log_2 d$ と計算される)。Ash finger の影響を考慮するため、Ash finger の落下速度 v_f が各 bin の終端速度 v_t を上回るとき、その bin 内のすべての粒子は v_f で降下すると仮定した。v_f には、構成粒子の代表的な終端速度 v_{tr} および火山灰濃度で決まる経験式 (Hoyal et al., 1999) を用いた。各 bin の終端速度 v_t は Suzuki (1983)の式で与え、bin 毎の質量比で重み付けした平均値を v_{tr} とした。粒子が個別に降下するか ash finger の構成粒子として降下するかを表す上記の基準は、室内実験で確認されている (Fries et al., 2021; 2024)。

構築したモデルは、実際の桜島の地形データと大気構造を入れて数値的に解いた。計算の高速化のため、GPU を用いた Python の演算を行うことができるライブラリ Cupy

を用いた。典型的な夏季の桜島での大気を気象庁 MSM モデルの 5 km メッシュデータから選択し、山岳地形を考慮した 0.5 km メッシュのプロファイルを WRF モデル(Ver.4; Skamarock et al., 2019)による計算で作成した。得られた温度・圧力・密度・風速の鉛直プロファイルを大気条件とした。水平方向 15 km×15 km, 鉛直方向 5.8 km の直方体の計算領域を、水平 80 m, 鉛直 50 m のグリッドで分割した。時間ステップは、粒子の移動速度の最大値を入れた CFL 条件を満たし、実計算でも発散しないことを確認して3秒と決定した。グリッド間の流束はKurganov-Tadmor法で計算し、時間積分は 4 次のルンゲ・クッタ法を適用した。計算空間内に滞留する粒子の 9 割が高度数 km から終端速度で堆積する 1 時間で計算を停止した。

桜島の島内で多量の降灰が計測された事例でシミュレーションを行った。噴煙高度 2.5 km、総噴出量 1.7×10^7 kg の 2018 年 6 月 9 日噴火における降灰量の空間分布（図 27a)を見ると、島の対岸の西北西～西南西の陸上では、Finger を考慮しなければ 1g/m^2 以上の降灰がないが 31-310 g/m^2 の降灰が見積もられる領域が広範囲に広がった。一方, 噴煙高度 4.7 km, 総噴出量 4.4×10^7 kg の 2018 年 6 月 16 日噴火における降灰量の空間分布（図 27b）では Finger の考慮の有無による大小 2 倍以上の差異が計算領域内ではほぼ確認できなかった。6 月 9 日噴火における火口から 12 km 以内の重量分布を図 28 に示す。火口から 7-12 km に堆積する火山灰量が 2 倍以上増加した。粒径分布を見てみると、増加したのは 3ϕ (125μm)より細粒な粒子の降灰量であり、Finger は 3ϕ より細粒な粒子の堆積を促進することが示された。

このように、本年度の計算では Finger により効果的に地表への堆積が促進される粒径範囲がわかったが、今回解析対象とした噴火は島内 2-5 km の範囲で 1 kg/m^2 以上の降灰が観測されており、今回の計算結果はそれよりも少量なものである。今回行った計算は予備的な結果であり、モデル検証も含めてさらなる検討が必要である。

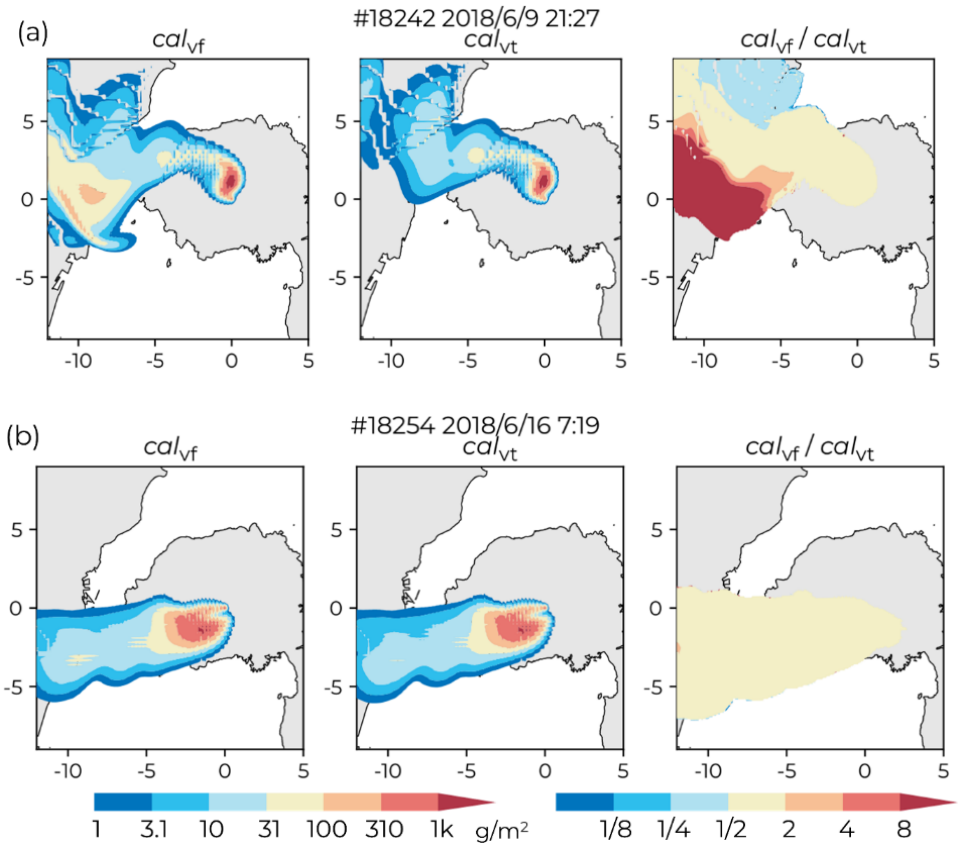


図 27　(a)　2018 年 6 月 9 日噴火、(b)同 6 月 16 日噴火について、Finger を考慮して計算された降灰量 cal_{vf}、しないで計算された降灰量 cal_{vt} およびその比の空間分布およびサンプル採取地点。x，y 軸は南岳山頂火口からの距離。

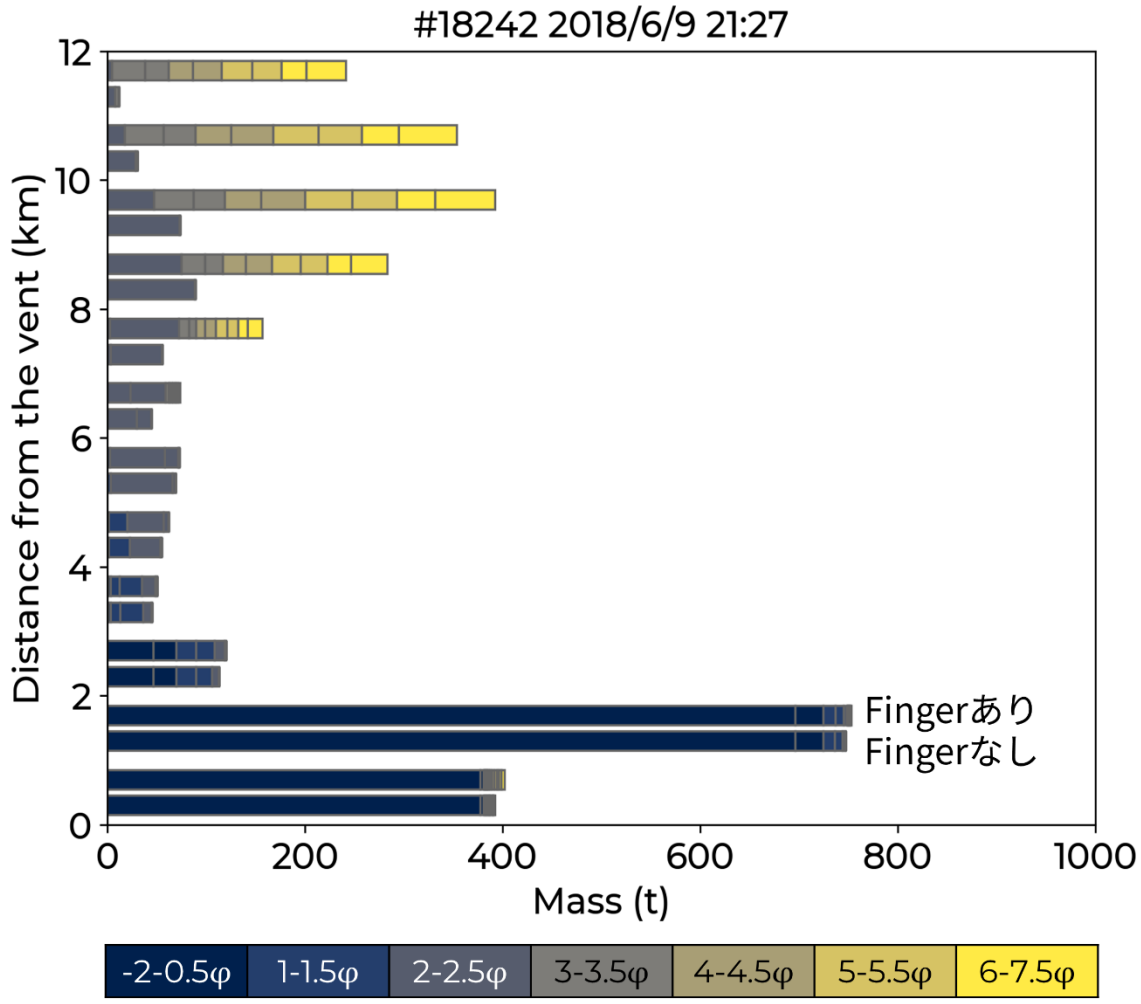


図 28　Finger を考慮した場合としない場合の距離ごとの降下火山灰重量分布。色は粒径を表し、暗い色ほど大きく明るい色ほど小さい。0.5φから 6φについては 0.5φごとに区切り、1φごとに色が変わっている。下ほど火口から近い距離範囲での分布を表し、1km ごとに Finger を考慮した結果を表す上段と Finger を考慮していない結果を表す下段がプロットされている。

これまでに開発を進めている火山ハザード評価システムの機能強化（図 29）では、溶岩流シミュレーションコード LavaSIM、火砕流シミュレーションコード faSavageHutterFOAM を更新、溶岩流シミュレーションコード FastLava の組み込みを実施した。SIMPAC については、地殻変動計算モジュール lin3dbem および溶岩流シミュレーションコード FastALava 用の GUI インターフェースを作成した。また、各シミュレーションコードの計算結果の可視化ファイルについて、下記のフォーマット 変換を行う機能を進めた。

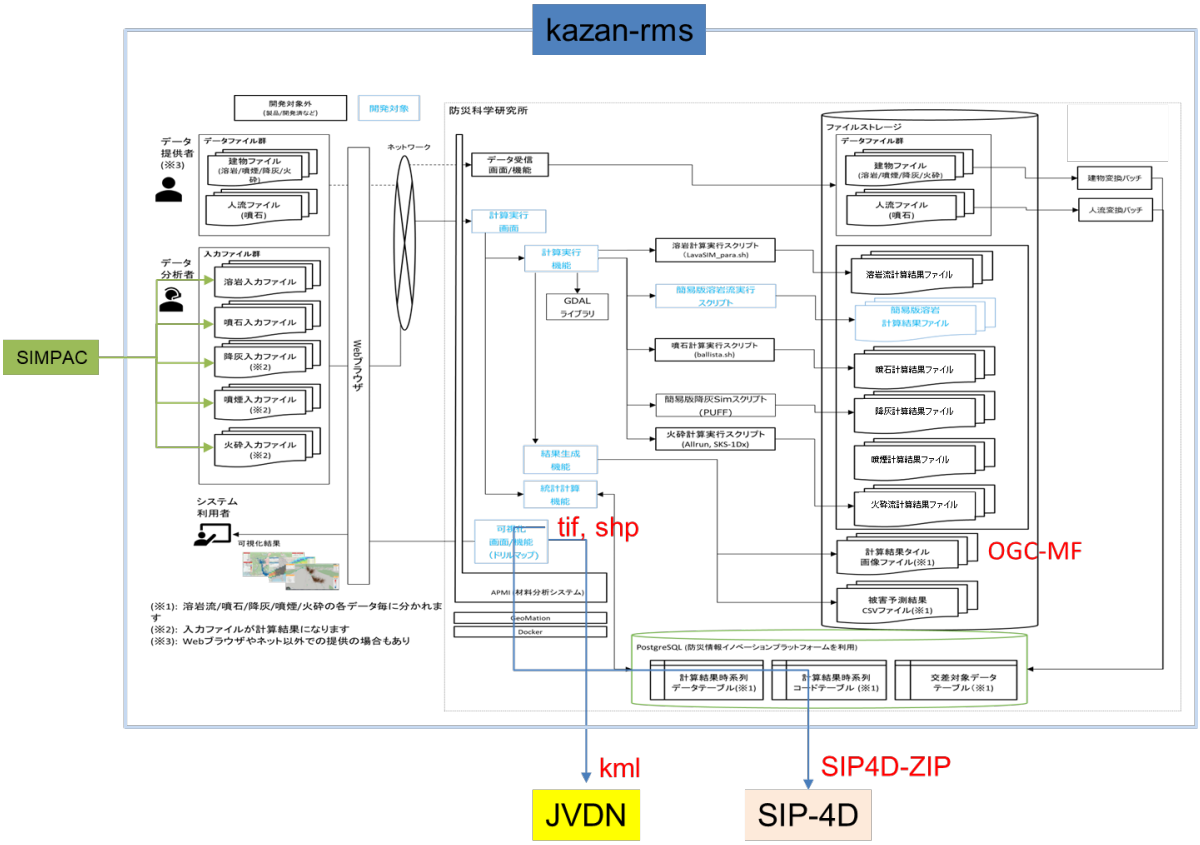


図 29　火山ハザード評価システム（kazan-rms）の処理フロー。

(c) 結論ならびに今後の課題

地下におけるマグマ移動シミュレーションでは、地震・地殻変動観測データの解析と火道流数値モデル解析から明らかにされた桜島のブルカノ式噴火前の火道内増圧過程について、その増圧がもたらす地殻変動の特徴を山体地形や地殻不均質性を厳密に考慮したシミュレーションによって明らかにした。また、桜島大正噴火を対象とした火道流モデルの数値解析を実施し、溶岩流出噴火における噴出率の時間変化の観測値との比較などによって、噴火推移のモデル化に必要な地下におけるマグマ物性や地質条件への制約を行った。マグマ移動過程シミュレーション技術開発では、SPH 法で破砕や発泡を粒子特性に組み込むコードを開発するとともに、個別要素法では 3,000 万粒子によるシミュレーションを実施し、より実スケールでの評価が可能となった。また、境界要素法による地形形状を考慮した地殻変動計算手法の開発を進め、伊豆大島噴火に対応可能な知見を創出した。マグマ物性モデルの構築では減圧結晶化モデルを進めた。噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化では、１次元噴煙モデル（NIKS-1D）[1] と気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）[2] の組み合わせによる宝永噴火を想定した降灰シミュレーション結果の事後解析を行い、首都圏における予測降灰量データベースの作成に着手した。また、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システム化、溶岩流シミュレーションコード、降灰シミュレーションコードの開発を進め、火山ハザード評価システムの検討を進めた。

最終年度に向け、これらのシミュレーションコードの体系化、シミュレーション結果のデータベース化を進める。

(d) 引用文献

1) Ishii, K., A. Nishijo, T. Koyaguchi, and Y. J. Suzuki, A physics-based source model for real-time tephra-dispersal forecasting for weak eruption plumes, J. Appl. Volcanol., 11:15, doi: 10.1186/s13617-022-00127-w, 2022.
2) 新堀敏基, 石井憲介, 気象庁移流拡散モデル設計書, 気象研究所技術報告, 84, 146 p, doi: 10.11483/mritechrepo.84, 2021.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

別添「学会等発表実績」のとおり。

(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

名称	機能
火山ハザード評価システム	噴石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、人流データとの交差判定を行い、GIS 上に表示する。
SK-3D.sh	噴煙柱シミュレーション SK-3D の出力データを JMA-ATM の入力条件へ変化するためのスクリプト
SIMPAC	溶岩流シミュレーションコード LavaSIM 実行のためのパラメータ生成 GUI プログラム

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 令和７年度の業務計画案

(a) 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

1) 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について、事象分岐をもたらすパラメータの抽出に関する国内の常時観測火山を対象としたシミュレーション研究を実施する。

具体的には、昨年度までに特定の火山を対象として開発された玄武岩質・安山岩質マグマ噴火やブルカノ式噴火前の火道内増圧過程を対象とした火道流数値モデルについて、国内の主要火山にも適用できるようモデルを汎用化する。具体的には、噴火事例毎

に異なる火道内のマグマ物性が火道流を強く支配することを示したこれまでの成果を踏まえ、国内の常時観測火山における物質科学的データに基づき、火道流モデルに適切なマグマ物性に関する条件を設定できる構成方程式系のパラメータを整理することで、常時観測火山を対象とした汎用的な火道流モデル解析環境を整備する。この解析環境に基づき、国内で大規模な火山ハザードを生じ得る玄武岩質・安山岩質マグマ噴火における火道流が噴火様式や事象分岐に与える影響を総括する。

2) 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、システム化への検討を行う。

具体的には、マグマ移動過程シミュレーションについて、岩脈進展に伴う観測量と対応する手法を開発し、分岐判断の定量化を進める。噴火・噴火未遂分岐判断のため、個別要素法・SPH 法により、各パラメータへの依存性を体系化し、閾値を提示する。また、地殻変動のシミュレーション手法の開発として、境界要素法による地殻変動計算手法の開発を進め、②c で進めているハザード評価システムへの組み込みを行う。開発してきた手法の観測データへの適用についてこれまでの成果をとりまとめる。気象研究所の協力を得てこれらを実施する。

3) マグマ物性モデルの構築

マグマ化学組成とそれに付随する平衡結晶度と結晶成長度の効果を含めた結晶化モデルを火道流シミュレーションへ適用することで、噴火遷移に対する結晶化の効果を整理する。伊豆大島 1986 年噴火溶岩を対象に構築した非定常マグマレオロジーモデルを、溶岩流シミュレーションに適用することで、流れに対する非定常性の効果を整理する。東北大学及び静岡大学の協力を得てこれらを実施する。

(b) 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

1) 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し、システム化への検討を行う。

前年度までで、１次元噴煙モデル（NIKS-1D）と新しい移流拡散モデル（JMA-ATM）を用いて富士山の宝永噴火を想定した噴煙の形成及び火山灰の移流拡散シミュレーションを長期間の気象場に対して行い、さらに、その計算結果について統計的な処理をして、首都圏や関東近辺の各都市で予想される降灰量やその最大粒径について季節変化の傾向などを把握するとともに、各都市における予想降灰量の確率などのハザード評価に有用と思われるいくつかの指標を計算した。今年度は、それらの計算結果や統計指標をデータベースとして外部に公開するための仕組みを実装する。東大地震研・気象研究所の協力を得てこれを実施する。

2) 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、システム化への検討を行う。

具体的には、噴煙柱ダイナミクスと火山灰輸送を同時に解く SK-3D モデルを大型計算機において実行し、大気中の火山灰分布と地表への堆積物分布のデータを取得する。前年度までのデータと合わせることにより、小～大規模噴火事例のシミュレーションセットを揃える。取得したシミュレーションセットを火山ハザード評価システムでのデータベース化について検討し、掲載する。また、実際の噴火事例のシミュレーションを実施し、噴煙柱ダイナミクスモデルの高度化を行う。本テーマによる火山灰粒子挙動の解析は、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）による降灰評価との連携を行い、降灰予測精度の向上を図る。

3）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開発を取りまとめ、汎用化を行う。

具体的には、開発した個別シミュレーションモジュールを火山ハザード評価システムへ統合する。各モジュールで統一的に利用可能な計算パラメータインターフェースを整備、計算スクリプトを実装し、計算結果のデータベース化を行う。降灰のラグランジェ形式の移流拡散モデルである Puff については、コードのアップデートや C++言語から python への書換と実装を進める。噴石の影響評価シミュレーションコード Ballista については、入力部分のインターフェースを改良し、大量の計算を自動で行えるように改良すると共に、システムをスーパーコンピュータ上で使用するために仮想環境をスーパーコンピュータ上で作成し、インストールする。開発した計算コードおよびモジュールの一部公開を行う。山形大学・神戸大学・東大地震研・富士山科学研究所の協力を得てこれを実施する。

全サブテーマにおいて、課題 C 連携対象である霧島山についての研究を進め、研究集会に参加する。

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、火山機動観測実証研究事業により緊急観測が実施される際は、前記の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に代えて、緊急観測を実施することあるいは緊急観測に協力することを可能とする。

自発的な研究活動等

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動等を推進する。

３．会議録

(1) サブ課題Ｃ２研究集会

１．日時：令和 6 年 11 月 14 日（火）　13：30-16：45
　　令和 6 年 11 月 15 日（水）　 9：00-16：15
２．場所：東京大学地震研究所 1 号館　会議室
３．議事：議題１　各参加機関・協力機関の研究成果報告
　　議題２　本事業での成果と最終年度に向けたとりまとめについて

(2) 令和 6 年度次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト　合同研究集会

１．日時：令和 6 年 12 月 3 日（火）　13：00-18：00
　　令和 6 年 12 月 4 日（水）　10：00-16：30
２．場所：東京大学地震研究所 2 号館　第一会議室　および　zoom
３．議事：議題１　各サブ課題の研究成果報告(課題 C：12 月 3 日)

(3) 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト　課題間連携研究集会：霧島山

１．日時：令和 7 年 3 月 15 日（火）　13：00-17：30
　　令和 7 年 3 月 16 日（水）　 9：00-17：00
２．場所：鹿児島大学理工学研究科理学専攻　および　zoom（聴講のみ）
　　理学部 2 号館 220 講義室（オーラル会場）　211 講義室（ポスター会場）

４．むすび

次世代火山研究推進事業の 9 年目にあたる令和 6 年度は、それぞれのサブテーマの参加機関および協力機関が各々の研究を順調に実施することができた。また最終年度に向けて、成果とりまとめを意識した取り組みを進めている。そして、課題内連携研究については、課題間連携研究へと展開し、本事業だけでなく関連分野の研究者との連携を進め、連携研究集会を開催することができた。以上のことから課題 C 全体としては着実な成果を上げていると評価できる。

サブテーマ 1 では、分析・解析プラットホームの整備・運用について、火山噴出物の分析・解析ツールの機能向上をはかるとともに、熱力学計算結果に容易にアクセスできる環境を整えた。また、火山の特定噴火の物質科学的解析を更に進め、マグマ供給系像の精密化や噴火直前のマグマの挙動についての知見を集約した。例えば、新燃岳では、享保噴火と 2011 年噴火のマグマ系の類似性を見出し、噴火直前のマグマ混合プロセス等の噴火予測に資するデータの収集が進められている。桜島では、1975 年・1987 年のブルカノ式噴火噴出物から火道内のマグマの鉛直構造を推定し、地球物理学的モデルとの統合を試みている。そして噴火様式・推移予測のための仕組みとして、噴火予測の「鍵」となる要素についてとりまとめ、予測システムの構築に取り組んでいる。

サブテーマ 2 では、引き続き野外調査に加えトレンチ掘削調査とボーリング掘削調査を展開し、噴火履歴や噴火様式・推移の解明に関して多くの成果が得られた。特に、アトサヌプリでは、火道不安定型火山の噴火履歴解明に向けて、地形判読と地表踏査を組み合わせた新たな手法を取り入れ、噴火活動履歴を明らかにすることができた。秋田駒ケ岳では、山体構成物とテフラの物質科学的・地球化学的特徴を用いた新たな対比手法により、精密な年代軸の入った山体形成史を構築し、マグマ噴出量階段図を精緻化することができた。また鷲羽池火山や風吹火山では、引き続き活火山の再評価を行い、完新世の活動についてより詳細に明らかにした。そして、連携研究の対象である霧島火山群については、歴史時代噴火の推移や物質科学的特徴に基づいた噴火シナリオの提案や、物質科学的解析による火山群全体のマグマ供給系の考察、年代測定法を駆使した長期噴火活動史の解明など、複数機関で精力的に取り組み、課題間連携研究の発展に資するデータを提示した。その他の火山についても各参加・協力機関が地質調査や物質科学的解析を実施し、多くの新知見が明らかになるなどの成果を得ている。中長期噴火予測のためのマグマ噴出量階段図については、作成指針を学術誌に公表することができた。また噴火事象系統樹についても、試作を通して作成指針が固まり、今後サブ課題の成果として、複数火山での試作を公表する予定である。

サブテーマ 3 では、「マグマ移動シミュレーション」において、地震・地殻変動観測データの解析と火道流数値モデル解析から明らかにされた桜島のブルカノ式噴火前の火道内の増圧がもたらす地殻変動の特徴を、山体地形や地殻不均質性を考慮したシミュレーションによって明らかにした。また、桜島大正噴火を対象とした火道流モデルの数値解析を実施し、溶岩流出における噴出率の時間変化の観測値との比較などによって、噴火推移のモデル化に必要な地下におけるマグマ物性や地質条件への制約を行った。マグマ移動過程シミュレーション技術開発では、SPH 法で破砕や発泡を粒子特性に組み込むコードを開発するとともに、個別要素法では 3,000 万粒子によるシミュレーションを実施し、より実スケー

ルでの評価が可能となった。また、境界要素法による地形形状を考慮した地殻変動計算手法の開発を進め、伊豆大島噴火に対応可能な知見を創出した。「噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化」では、1次元噴煙モデル（NIKS-1D）と気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）の組み合わせによる宝永噴火を想定した降灰シミュレーション結果の事後解析を行い、首都圏における予測降灰量データベースの作成に着手した。また、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システム化、溶岩流シミュレーションコード、降灰シミュレーションコードの開発を進め、火山ハザード評価システムの検討を進めた。

また、課題C全体として課題内および他課題との連携にも取り組んだ。まず、霧島火山を対象とした連携研究について、令和7年3月に連携研究集会を開催し、WGで議論した連携研究のためのマグマ供給系モデルと噴火シナリオのたたき台に基づいて、「火山学は噴火予測をどう行うか」について議論した。課題Cだけでなく他課題や本事業関係者以外からも研究者に加えて、人材育成コンソーシアム受講生も参加し、活発に意見が交わされた。人材育成コンソーシアムとの連携では、多くの研究者が実習や講義を担当するだけではなく、コンソーシアム修了院生をRAとして雇用し、研究の推進と火山研究人材の育成も図っている。

以上のように、各サブテーマにおいてそれぞれの研究課題を推進し、研究が進展しているだけでなく、課題内外の連携も更に広く展開しており、十分な成果・進捗があったといえる。本事業も残すところあと1年となった。今後は、各課題の成果とりまとめはもちろんのこと、ポスト火山プロジェクト研究に引き継ぐためにも、課題Cの成果と課題を整理し総括することが必要であると考えている。

別添１

学　会　等　発　表　実　績

委託業務題目　「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）」

機関名　国立大学法人東京大学

１．学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
Timescales of eruption preparation and magma ascent in west Eifel volcanos: constraints from mantle xenoliths from the Meerfelder Maa（口頭）	Arao, M., Nakamura, M., Mujin, M., Araya, N., Nakatani, T., Sumita , M., Schmincke, H.-U.	Asian Consortium of Volcanology The 7thField Camp	2024年3月	国外
Magma-water interaction during the 2022 shallow sea eruption at Ioto, Ogasawara, Japan（口頭）	Miwa, T., Nagai, M., Ueda, H., Kozono, T. , Nakada, S., Yasuda, A.	幕張メッセ（JpGU 2024）	2024年5月	国内
富士山1707年噴火のクリスタルマッシュ状斑レイ岩捕獲岩中の粒間メルト連結度（ポスター）	西ヶ谷琴音・石橋秀巳・大塚芽久・外西奈津美・安田敦	幕張メッセ（JpGU 2024）	2024年5月	国内
火山灰から探る西之島2020年バイオレントストロンボリ式噴火の火道浅部過程（ポスター）	森遥平・石橋秀巳・安田敦	幕張メッセ（JpGU 2024）	2024年5月	国内
伊豆東部火山群の隠れた珪長質マグマ：斜長石斑晶の微量元素組成からの制約（ポスター）	野澤僚真・石橋秀巳・上木賢太・常青・羽生毅・外西奈津美・安田敦	幕張メッセ（JpGU 2024）	2024年5月	国内
最小規模のカルデラ形成噴火の噴火準備過程：南九州，池田カルデラの例（ポスター）	佐藤月彦・石橋秀巳・安田敦・西原歩	幕張メッセ（JpGU 2024）	2024年5月	国内
安山岩質マグマの貫入による上部地殻マグマだまりの熱進化計算：東北日本弧への応用（口頭）	名郷 達哉・中村 美千彦	幕張メッセ（JpGU 2024）	2024年5月	国内
苦鉄質火砕物中にみられるスピノーダル分解とナノ結晶（口頭）	無盡 真弓・松本 恵子・三宅 亮・伊神 洋平・中村 美千彦・横尾 亮彦・吉本 充宏	幕張メッセ（JpGU 2024）	2024年5月	国内
Rock-magnetic characterization of fine-grained Fe-Ti oxides in volcanic rocks using the coercivity-unblocking temperature diagram below 300 K（口頭）	佐藤 雅彦・無盡 真弓・中村 美千彦	幕張メッセ（JpGU 2024）	2024年5月	国内
桜島火山ブルカノ式噴火に至る火道内マグマの揮発性成分収支と浸透率（口頭）	新谷 竹望・新谷 直己・マンゴー ロイック・無盡 真弓・*中村 美千彦・井口 正人・味喜 大介・小林 哲夫・安田 敦	幕張メッセ（JpGU 2024）	2024年5月	国内
August 2021 eruption of Fukutoku-Oka-no-Ba Volcano, Izu-Bonin Arc: Understanding the eruption and tephra dispersal mechanisms from rapid response seafloor surveys（口頭）	谷 健一郎・佐野 貴司・石塚 治・及川 輝樹・鈴木 克明・片山 肇・南 宏樹・長井 雅史・嶋野 岳人・中村 美千彦・浮田 泰成・前野 深・水野 樹・自見 直人・McIntosh Iona・池上 郁彦	幕張メッセ（JpGU 2024）	2024年5月	国内
含水ケイ酸塩メルトからの気相成長：ディクティタキシティック組織の再現実験（口頭）	櫻井 亮輔・中村 美千彦・奥村 聡・無盡 真弓・中谷 貴之	幕張メッセ（JpGU 2024）	2024年5月	国内
磁鉄鉱解析からみた有珠火山1977-1978年噴火におけるマグマ活動の推移（ポスター）	東宮昭彦	幕張メッセ（JpGU 2024）	2024年5月	国内
Continuous ash investigation trials for understanding eruption sequence in southern Kyushu, Japan（口頭）	嶋野岳人	幕張メッセ（JpGU 2024）	2024年5月	国内
阿蘇カルデラ形成前の多様なマグマとその活動史（ポスター）	三好雅也・角野浩史・仙田量子・佐野貴司・長谷中利昭	幕張メッセ（JpGU 2024）	2024年5月	国内
Variations in the temperature and composition of high-crystallinity magma reservoirs on the scale of hundreds of years to tens of thousands of years（ポスター）	Iwahashi, K., Yasuda, A.	1st International Conference of the IAVCEI Commission on Volcanic & Igneous Plumbing Systems (VIPS)	2024年6月	国外

小笠原硫黄島翁浜沖2023年10月以降の噴火の経緯と噴出物の特徴（口頭）	長井雅史・三輪学央・中田節也・角野浩史・上田英樹・安田敦・小園誠史・廣瀬　郁・南　宏樹・小林哲夫	山形大学(日本地質学会第131年学術大会)	2024年9月	国内
小笠原硫黄島2022年噴火のメカニズム（口頭）	三輪学央・長井雅史・中田節也・安田敦・小園誠史・上田英樹	山形大学(日本地質学会第131年学術大会)	2024年9月	国内
2023年10月の地震後に鳥島近海で採取された漂流軽石の岩石学的特徴（口頭）	岩橋くるみ・石塚　治・川口允孝・及川輝樹・西原 歩・前野深・安田　敦	山形大学(日本地質学会第131年学術大会)	2024年9月	国内
伊豆大島火山のマグマ供給系：H2O飽和斜長石リキダスからの制約（口頭）	石橋秀巳	名古屋大学(日本鉱物科学会)	2024年9月	国内
西部アイフェル火山地域のマントル捕獲岩を用いたマール噴火に至る深部プロセスの解明（口頭）	荒尾 眞成・中村 美千彦・無盡 真弓・新谷 直己・澤 燦道・中谷 貴之・隅田 まり・Schmincke Hans-Ulrich	名古屋大学(日本鉱物科学会)	2024年9月	国内
十和田火山御倉山溶岩ドームディクティタキシティック組織部の浸透率と空隙構造（口頭）	関谷 夏子・中村 美千彦・櫻井 亮輔・無盡 真弓・新谷 直己・竹内 晋吾・諏訪 由起子	名古屋大学(日本鉱物科学会)	2024年9月	国内
ウルトラナノライトの結晶化前駆現象：火山ガラス中に見られる液相不混和（口頭）	無盡 真弓・松本 恵子・三宅亮・伊神 洋平・中村 美千彦・横尾 亮彦・吉本 充宏	名古屋大学(日本鉱物科学会)	2024年9月	国内
2023年10月の地震後に鳥島近海で採取された漂流軽石の岩石学的特徴（口頭）	岩橋くるみ・石塚 治・川口允孝・及川輝樹・西原 歩・前野深・安田 敦	山形大学(日本地質学会第131年学術大会)	2024年9月	国内
富士山のテフラ対比・同定のためのオンラインデータベースの紹介（ポスター）	安田 敦・亀谷伸子・嶋野岳人・田島靖久・吉本充宏	北海道立道民活動センター（火山学会2024秋季大会）	2024年10月	国内
6.4ka 池田カルデラ噴火の噴火準備過程（ポスター）	佐藤月彦・安田　敦・石橋秀巳・西原　歩	北海道立道民活動センター（火山学会2024秋季大会）	2024年10月	国内
ひまわり・GCOM-C（しきさい）による西之島2021年から2023年の活動観測（ポスター）	金子隆之・森田雅明・安田 敦	北海道立道民活動センター（火山学会2024秋季大会）	2024年10月	国内
噴出物から探る三宅島火山すおう穴-風早噴火の噴火過程（口頭）	橋本咲・安田敦・石橋秀巳・下司信夫・外西奈津美	北海道立道民活動センター（火山学会秋季大会）	2024年10月	国内
西之島2020年噴火で噴出した火山灰の組織的多様性（ポスター）	森遥平・石橋秀巳・安田敦	北海道立道民活動センター（火山学会2024秋季大会）	2024年10月	国内
富士山1707年噴火のクリスタルマッシュ状斑レイ岩捕獲岩中の粒間相の組織解析（ポスター）	西ヶ谷琴音・石橋秀巳・大塚芽久・外西奈津美・安田敦	北海道立道民活動センター（火山学会2024秋季大会）	2024年10月	国内
顕微可視分光システムによる火山灰粒子分類の改良（口頭）	嶋野岳人・中村美千彦	北海道立道民活動センター（火山学会2024秋季大会）	2024年10月	国内
桜島火山におけるストロンボリ式噴火火山灰の記載岩石学（ポスター）	阿部遥斗・新谷直己・無盡真弓・中村美千彦・味喜大介・井口正人	北海道立道民活動センター（火山学会2024秋季大会）	2024年10月	国内
噴火開始時に新鮮なマグマの存在を示す新しい鉱物学的判定指標：新燃岳2017-18年活動による検証（口頭）	黒木徹也・無盡真弓・Ekky Reno Priyambodo・中村美千彦・松本恵子・井村隆介・嶋野岳人	北海道立道民活動センター（火山学会2024秋季大会）	2024年10月	国内
岩石学的にみた有珠火山1977-78年噴火のマグマ上昇過程（ポスター）	東宮昭彦	北海道立道民活動センター（火山学会2024秋季大会）	2024年10月	国内
有珠火山1977年噴火におけるマグマ上昇過程：噴出物解析と減圧結晶化実験による制 約（口頭）	堀田修平・奥村聡・松本一久・宮本毅・東宮昭彦・新井田清信	北海道立道民活動センター（火山学会2024秋季大会）	2024年10月	国内
斑晶の希ガス同位体に基づく霧島火山マグマ供給系への示唆（ポスター）	米田羅生・　角野浩史・　川口允孝・　長谷中利昭・田島靖久	北海道立道民活動センター（火山学会2024秋季大会）	2024年10月	国内
マグマの圧力(深度)推定精度の向上（口頭）	宮城磯治	北海道立道民活動センター（火山学会2024秋季大会）	2024年10月	国内
霧島火山新燃岳の享保噴火と2011年噴火の比較研究（口頭）	鈴木由希・外西奈津美・前野深・安田　敦	北海道立道民活動センター（火山学会2024秋季大会）	2024年10月	国内
マグマから放出される地熱流体量の地域変化（口頭）	宮城磯治	タワーホール船堀(地熱学会R6東京大会)	2024年11月	国内

C-1全体説明（口頭）	安田　敦	東京大学（次世代火山研究・人材育成プロジェクト合同研究集会）	2024年12月	国内
霧島火山御池プリニー式噴火のマグマ蓄積条件に関する岩石学的制約（口頭）	川口允孝・田島靖久・前野深・安田 敦・外西奈津美・佐野貴司・米田　成・三好雅也・大澤崇人・小林哲夫・長谷中利昭	福岡大学（国際火山噴火史情報研究集会）	2025年2月	国内
霧島火山におけるマグマ生成過程および蓄積場に関する岩石学的制約（口頭）	川口允孝・前野 深・田島靖久・安田 敦・外西奈津美・佐野貴司・ 米田成一・三好雅也・大澤崇人・小林哲夫・長谷中利昭	鹿児島大学（次世代火山研究・人材育成プロジェクト「霧島火山に関する課題間連携研究集会」）	2025年3月	国内
噴火推移予測をどうやって実現するか（口頭）	安田　敦	鹿児島大学（次世代火山研究・人材育成プロジェクト「霧島火山に関する課題間連携研究集会」）	2025年3月	国内
斑晶から探る噴火準備・誘発過程ー新燃岳享保噴火への応用ー（口頭）	鈴木由希・外西奈津美・前野深・安田　敦	鹿児島大学（次世代火山研究・人材育成プロジェクト「霧島火山に関する課題間連携研究集会」）	2025年3月	国内
霧島新燃岳2018年噴火活発化時における火山灰モニタリング（口頭）	嶋野岳人	鹿児島大学（次世代火山研究・人材育成プロジェクト「霧島火山に関する課題間連携研究集会」）	2025年3月	国内

２．学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
鉱物温度計によるマグマの温度推定	石橋秀巳	火山,69, https://doi.org/10.18940/kazan.69.1_3	2024年6月	国内
火山岩のストロンチウム同位体分析	三好雅也	火山, Vol.69, No. 2, 71-78. https://doi.org/10.18940/kazan.69.2_71	2024年6月	国内
火山性ケイ酸塩メルトのレオロジー：近年の研究動向	石橋秀巳	静岡大学地球科学研究報告, 51, https://doi.org/10.51053/shizuoka.51.0_35	2024年7月	国内
Changes in the magmatic plumbing system associated with the Gotemba sector collapse at Mount Fuji, Japan	Yasuda, A., Tajima, Y.	J.Volcanol. Geotherm. Res., 452, https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108117	2024年8月	国外
Time-Resolved Trigger Processes Leading to the Plinian Eruptions at Sakurajima Volcano, Japan	Araya, N., Nakamura, M., Matsumoto, K., Okumura, S.	Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 129, 9, e2023JB028558. https://doi.org/10.1029/2023JB028558	2024年9月	国外
Petrology and geochemistry of Mount Lurus lavas: evidence for alkaline to subalkaline transition in the rear arc of Java, Sunda Arc	Mumtaza, T.H, Handini, E, Hasenaka, T, Mori, Y., Khasanah, T.N.	IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1373, 012035 DOI 10.1088/1755-1315/1373/1/012035	2024年9月	国外
Imaging flow focusing and isolation of aqueous fluids in synthetic quartzite: implications for permeability and retained fluid fraction in deep-seated rocks	Fujita, W., Nakamura, M., Uesugi, K., Eichheimer, P., Thielmann, M., Golabek, G. J	Progress in Earth and Planetary Science. 11, 1, 40. https://doi.org/10.1186/s40645-024-00632-z	2024年12月	国外
The color systematics of volcanic ashfall samples in estimating eruption sequences: a case study of the 2017-2018 eruption at Shinmoe-dake, Kirishima volcano, Southwest Japan	Shimano, T., Suzuki, Y., Yasuda, A., Maeno, F., Miwa, T., Nagai, M., Nakada, S., Nakamura, M.	Earth, Planets and Space. 76, 1, 103. https://doi.org/10.1186/s40623-024-02040-5	2024年12月	国外

AIST Repository of back data: The geochemical and petrological characteristics of prenatal caldera volcano: a case of the newly formed small dacitic caldera, Hijiori, Northeast Japan (Miyagi et al., 2017)	Isoji MIYAGI	https://doi.org/10.57765/2003341 (AIST Repository)	2025年3月	国内
Principal Component Analysis of the color of bulk ash samples at Sakurajima volcano, Southwest Japan.	Shimano, T., Yasuda, A., Iguchi, M.	Journal of Disaster Research	2025年3月 Accepted	国外

別添２

学　会　等　発　表　実　績

委託業務題目「サブテーマ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
機関名　国立大学法人　北海道大学

１．学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
Rodingite Occurrence in Ciletuh Ophiolitic Mélange Complex (Indonesia): Evidence of Fluid-Rock Interaction in Subducted Oceanic Crust（ポスター）	Ikhram, R., Hoshide, T., Ohba, T., Rosana, M.F.	EGU General Assembly 2024 (Vienna, Austria)	2024年4月13日	国外
Formation of spinel-bearing layered gabbros by the reaction between the basaltic crystal mush and high-Mg andesitic melts in the lower oceanic crust, East Pacific Rise (IODP Exp. 345 U1415P)（ポスター）	Hoshide, T., Kondo, K	EGU General Assembly 2024 (Vienna, Austria)	2024年4月13日	国外
九重火山における火山岩の斑晶と石基のサイズ定義（ポスター）	福岡仁至，太田岳洋	2024年度山口応用地質研究発表会	2024年5月23日	国内
Preliminary textural studies of pumice and scoria from the Plinian eruption of Raung volcano, East Java, Indonesia（ポスター）	Mradipta Lintang Alifcanta Moktikanana, Ohba, T., Hoshide, T., Suhendro, I.	JpGU Meeting 2024, Chiba	2024年5月26日	国際
Hydrothermally altered mineral and sulfur isotope characteristic of Sibanteng acid crater in Dieng Volcanic Complex (DVC), Central Java, Indonesia（ポスター）	Mirai Suchayla Adiba, Ohba, T., Manalo, P., Nur Hamzah, W., Mradipta Lintang Alifcanta Moktikanana, Hirata, A., Sherinna Mega Cahyani, Elfina	JpGU Meeting 2024, Chiba	2024年5月26日	国際
東北日本小木ピクライト質ドレライトシルに産する2種類のかんらん石の起源（口頭）	千葉明・星出隆志・田邊哲史	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月26日	国内
マグマ水蒸気噴火火山灰に含まれる硫黄鉱物の起源および風化過程（ポスター）	平田碧・大場司	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月26日	国内
Tracing the subducting Pacific slab with hydrogen and sulfur isotopic ratios in olivine-hosted melt inclusions（ポスター）	Kuritani, T., Shimizu, K., Ushikubo, T., Xia, Q.-K., Liu, J., Nakagawa, M., Taniuchi, H., Sato, E., and Doi, N.	JpGU Meeting 2024, Chiba	2024年5月26日	国際
7.3ka鬼界カルデラ噴火（アカホヤ噴火）におけるカルデラ形成に先行するフェーズ：噴火堆積物と噴煙モデルを用いた解析（口頭）	春田悠祐・前野 深・鈴木雄治郎	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月28日	国内

全岩化学組成と熱水変質鉱物の産状から推定される雲仙地獄の酸性変質過程（ポスター）	坂本 光瑠・宮本 知治・池端 慶・石橋 純一郎・松島 健	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月28日	国内
浅間前掛火山12世紀噴火の推移と噴火様式（口頭）	安井真也・高橋正樹・金丸龍夫・長井雅史	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月29日	国内
蔵王火山、最新期溶岩類の直方輝石斑晶組織及び組成とマグマ供給系の変化（ポスター）	大木可夏子・伴雅雄	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月29日	国内
放射光分析と気泡組織解析から読み解く北海道摩周火山約7600年前噴火の噴火推移と火砕流の発生過程（ポスター）	佐野恭平・原田哲男・和田恵治・佐藤鋭一	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月29日	国内
北海道東部、アトサヌプリ火山の形成史：アトサヌプリカルデラの構造と関連火砕流（口頭）	松本亜希子・中川光弘・岸本博志・上野健太・長谷川健	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月30日	国内
本質物の多様性に注目した大規模火砕噴火の近傍相と遠方相の対比：南西北海道、洞爺カルデラ形成噴火の例（口頭）	宮坂瑞穂・中川光弘・松本亜希子	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月30日	国内
）宮城県北西部，鳴子・鬼首カルデラ噴出物の放射年代測定（ポスター）	中屋敷実春・長谷川健・伊藤久敏・上澤真平	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月30日	国内
福島県，吾妻―浄土平火山における歴史時代水蒸気噴火堆積物（JP7）の物質科学的研究（ポスター）	中島秀・長谷川健・井村匠・伴雅雄	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月30日	国内
古地磁気方位からみた，福島県，吾妻―浄土平火山の噴火史の再検討（ポスター）	戸丸淳晴・鈴木和馬・長谷川健	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月30日	国内
火口近傍プリニアン降下堆積物の基底に発達するフルートマークに似た侵食痕（ポスター）	安田裕紀・前野 深	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月30日	国内
玄武岩質マグマによる伊豆大島の大規模噴火のマグマシステムと火道ダイナミクス（ポスター）	池永有弥・前野 深・安田 敦	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月30日	国内
テフラ層序からみた草津白根火山の完新世の噴火様式の推移（ポスター）	亀谷伸子・石崎泰男	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月30日	国内
東北日本弧鳥海火山，東鳥海馬蹄形カルデラにおける溶岩の層序（口頭）	村山新・大場司	JpGU Meeting 2024, Chiba	2024年5月30日	国内
噴火推移データベースからみる大規模噴火の推移パターン（ポスター）	池上郁彦・長田美里・河野裕希・米谷珠萌・宝田晋治	日本地球惑星科学連合2024年大会，千葉	2024年5月31日	国内
Exploring the origins of igneous rocks on the southwestern edge of the Stable Fly Platform: Evidence of a Phreatomagmatic Eruption on Daru Island（口頭）	Moira Lunge, Tsukasa Ohba and Takashi Hoshide	GEOSCIENCE EXPLORATION AND EXTRACTION CONFERENCE, PORT MORESBY, PAPUA NEW GUINEA	2024年8月7日	国外

Mafic magmatic enclaves in Zao Volcano Stage III products, NE Japan: Evidence of conversion of magma feeding system. (口頭)	Masao Ban, Shin Sato	IGC2024, Busan	2024年8月27日	国外
Petrologic study of the youngest stage lavas of Zao Volcano, NE Japan. (ポスター)	Kanako Oki, Masao Ban	IGC2024, Busan	2024年8月28日	国外
那須火山群，二岐山火山における初生マグマの成因：メランジュダイアピルの上昇と溶融（口頭）	渡部将太・長谷川健	日本地質学会第131年学術大会，山形	2024年9月9日	国内
北海道東部、屈斜路カルデラ火山周辺地域のテフラ層序と爆発的噴火史の再検討（ポスター）	柴田翔平・長谷川健	日本地質学会第131年学術大会，山形	2024年9月9日	国内
海域での爆発的噴火による表面現象とハザードー国内外の事例比較にもとづく検討ー（口頭）	前野 深	日本地質学会第131年学術大会，山形	2024年9月9日	国内
岩木山の完新世火山活動史（口頭）	谷内元・古川竜太・及川輝樹・伴雅雄	日本地質学会第131年学術大会，山形	2024年9月9日	国内
北海道北部、利尻火山の完新世噴火履歴（口頭）	中川光弘・谷内元・石塚吉浩	日本地質学会第131年学術大会，山形	2024年9月9日	国内
蔵王火山1895年噴火における発生源となった火山熱水系の特徴と噴火推移に対応したマグマー熱水プロセス（ポスター）	井村匠・大場司・伴雅雄	日本地質学会第131年学術大会，山形	2024年9月9日	国内
蔵王火山の15世紀噴火テフラ層の地質学・岩石学的特徴（ポスター）	岩脇望・伴雅雄・井村匠	日本地質学会第131年学術大会，山形	2024年9月9日	国内
ボーリング掘削調査による吾妻ー浄土平火山，浄土平北火口の爆発的噴火活動史（ポスター）	大津好秋・井村匠・伴雅雄・常松佳恵・長谷川健	日本地質学会第131年学術大会，山形	2024年9月9日	国内
蔵王火山周辺の湖水・湧水からのマグマ起源希ガス同位体小異常の観測（ポスター）	佐藤佳子・熊谷英憲・岩田尚能・後藤章夫・伴雅雄	日本地質学会第131年学術大会，山形	2024年9月9日	国内
山形県温海・鈴地域の貫入岩と地殻起源捕獲岩の岩石学的研究（ポスター）	東條 壱優・星出 隆志	日本鉱物科学会2024年年会	2024年9月14日	国内
Cooling timescale and process of welded facies of Youngest Toba Tuff, North Sumatra, Indonesia（口頭）	Shibata, S., Bunga Naen, G.N.R., Kaneda, Y., Suhendro, I., Kusu, C., Hasegawa, T.	The 6th International Conference on Environmental Resources Management (ICERM) 2024	2024年9月24日	国外
Petrogenetic relationship of pre-caldera and caldera-forming magmas from Maninjau volcano, (口頭)	Kaneda, Y., Suhendro, I., Shibata, S., Bunga Naen, G.N.R., Kusu, C., Aka, F.T., Hasegawa, T.	The 6th International Conference on Environmental Resources Management (ICERM) 2024	2024年9月24日	国外
Origin of two types of olivine from the Ogi Picritic Dolerite Sill, northeast Japan（ポスター）	Akira Chiba, Takashi Hoshide, Satoshi Tanabe	AGU24 (Washington DC, USA)	2024年10月9日	国際
九重火山中～西部における地形の開析度による形成史の検討（口頭）	福岡仁至・太田岳洋・辻智大	日本応用地質学会中国四国支部令和6年度研究発表会，高松	2024年10月10日	国内

那須火山群，茶臼岳火山の活動史の再編（ポスター）	石射一希・渡部将太・長谷川健	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月16日	国内
浅間16 kaプリニー式噴火の気泡組織と減圧過程（ポスター）	図子田和典・前野 深	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月16日	国内
霧島火山群の噴火シナリオの試案 （ポスター）	前野 深・川口允孝・及川輝樹・小園誠史	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月16日	国内
浅間前掛火山マグマ溜りシステムの岩石学（口頭）	高橋正樹・安井真也・金丸龍夫	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月16日	国内
浅間前掛火山1783年噴火降下軽石の岩石磁気・古地磁気（ポスター）	金丸龍夫・古川邦之	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月16日	国内
複数元素の拡散クロノメトリーを用いた斜長石滞留時間の推定：蔵王火山の浅部マグマ溜まりプロセスへの適用（ポスター）	佐藤初洋・伴雅雄・宋科翰・新城竜一	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月16日	国内
十勝岳火山群、ヌッカクシ火口域の活動の特徴：噴火事象系統樹作成に向けて（ポスター）	松本亜希子・中川光弘・石塚吉浩	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月16日	国内
溶岩流地形保存と指標テフラ層序に注目した火道不安定型火山の形成史解 明:北海道東部，アトサヌプリ火山の例（口頭）	上野健太・中川光弘・松本亜希子	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月16日	国内
蔵王火山馬の背における過去400年間のマグマ水蒸気噴火噴出物の岩石学的特徴（ポスター）	岩脇望・伴雅雄・井村匠	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月16日	国内
ドローンを使用した十勝岳1988-1989年噴火の火山弾の分布範囲の検討（口頭）	佐藤鋭一・鷲頭悠我・若松航生・山﨑直樹	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月16日	国内
九重火山，沓掛山火山の崩壊地形の形成過程（ポスター）	福岡仁至・太田岳洋・ 辻智大	日本火山学会2024年度秋季大会，札幌	2024年10月16日	国内
東北日本弧・岩木火山における完新世火山活動とマグマ系（口頭）	谷内 元・古川 竜太・及川 輝樹・伴雅雄	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月16日	国内
テフラ層序から見た弥陀ヶ原火山の完新世噴火履歴 （ポスター）	中村文哉・石﨑泰男	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月16日	国内
次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト，課題間連携研究報告：どのように噴火様式・推移予測を行うか ―伊豆大島と霧島を例として―（ポスター）	中川 光弘・安田敦・栗谷 豪・藤田英輔・大湊 隆雄・前野 深・相澤 広記・松本 亜希子	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内
桜島における完新世のマグマ系の起源と進化（ポスター）	栗谷豪・中川光弘・松本亜希子・西原歩	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内
北海道東部，屈斜路カルデラ周辺のテフラ層序および岩石学的特徴（ポスター）	柴田翔平・長谷川健	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内
文献資料と野外調査に基づく，福島県，吾妻－浄土平火山1893年～1895年明治噴火の噴火推移復元（ポスター）	甲野藤ゆうな・長谷川健・及川輝樹	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内
那須茶臼岳 1408~1410年噴火堆積物の構成物分析および熱水変質鉱物の特徴（ポスター）	北原遼太・鈴木里玖・長谷川健	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内
鬼界アカホヤ火山灰の噴出量に関する再評価 （ポスター）	春田悠祐・前野 深	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内

蔵王火山東麓地域における岩屑なだれ堆積物（ポスター）	大友迪人・伴雅雄	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内
トレンチ調査にもとづく阿蘇火山中岳の最近約800年間の活動推移（口頭）	宮縁育夫・飯塚義之・緒方裕也	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内
阿蘇火山中岳南麓斜面でのテフラ層序（序報）（口頭）	星住英夫・下司信夫・宮縁育夫	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内
九重火山南麓，下坂田地域での地表地質踏査と手掘り掘削調査による九重火山起源の火砕流堆積物の層序（ポスター）	岡田将英・辻智大	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内
九重火山東部今水地域におけるテフラ層序（速報）（口頭）	辻 智大・太田岳洋・福岡仁至・岡田将英	日本火山学会2024年度秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内
焼岳火山に分布する火山性堆積物層序の再検討（ポスター）	西田光孝・齋藤武士	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内
鷲羽池火山の西域に分布する2層の水蒸気噴火テフラの噴出源（ポスター）	石﨑泰男・亀谷伸子	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内
地獄谷縞状湖沼堆積物を用いた弥陀ヶ原火山の完新世噴火履歴の精緻化 （ポスター）	金内亜紋・石﨑泰男・石川尚人・堀川恵司	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内
テフラ層序からみた白山火山の完新世の噴火履歴 （ポスター）	高山顕・石﨑泰男	日本火山学会2024年秋季大会，札幌	2024年10月17日	国内
Multi-level magma storage and continuous mafic recharge controlling explosive activity in Raung volcano, Indonesia: Evidence from thermobarometric estimate（ポスター）	Mradipta Lintang Alifcanta Moktikanana, Ohba, T., Harijoko, A., Wibowo, H.E.	EGU General Assembly 2024 (Vienna, Austria)	2024年11月14日	国外
Origin and weathering of sulfur-bearing minerals in phreatomagmatic volcanic ash -A case studies of the Aso 2021 eruption-（ポスター）	Hirata, A., Ohba, T.	AGU24 (Washington DC, USA)	2024年12月9日	国外

２．学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Molybdenum isotopic compositions in volcanic rocks from Northern Izu arc (Izu-Oshima, Niijima, and Kozushima).	Tamura, T., Yokoyama, T., Kuritani, T. and Ishikawa, A.	Geochemical Journal, GJ24005.	2024年4月2日	国外
Current situation of lead (Pb) exposure in raptors and waterfowl in Japan and difference in sensitivity to in vitro lead exposure among avian species.	Maruyama, M., Ushine, N., Watanabe, Y., Ishii, C., Saito, K., Sakai, H., Kuritani, T., Doya, R., Ogasawara, K., Ikenaka, Y., Yohannes, Y. B., Ishizuka, M. and Nakayama, S. M. M.	Environmental Pollution, 349, 123907.	2024年4月4日	国外

蔵王火山西部蔵王沢上流部，蔵王鉱山跡地周辺の火山・鉱床地質：かつて存 在した火山熱水系の痕跡	井村匠	地質学雑誌，130，247-257.	2024年4月5日	国内
Hydrous mantle plume promoted the generation of continental flood basalts in the Tarim large igneous province.	Bi, Y., Chen, H., Hanski, E., Kuritani, T., Wu, H.-X., Zhang, F.-Q., Liu, J., Gu, X.-Y., and Xia, Q.-K.	Scientific Reports, 14, 9514.	2024年4月25日	国外
火山噴火と防災および観光シンポジウム2023―草津白根山，御嶽山，箱根山―：火山危機におけるコミュニケーションの改善へ向けて	寺田 暁彦，小川 康雄，金 幸隆，萬年 一剛，石坂 恒久，萬代 洋信，石﨑 泰男，亀谷 伸子，阪本 真由美	火山、69、87-98	2024年4月25日	国内
Eocene mafic alkaline volcanism in north Central Iran; Signatures of development and subsequent melting of a pyroxenite mantle source.	Ahmadi, P., Ghorbani, M. R., Ghorbani, K., Anderson, J. L., Kuritani, T. and Akbari, M.	Lithos, 478-479, 107626.	2024年5月4日	国外
Evolution of a large-scale phreatoplinian eruption: Constraints from the 40 ka caldera-forming eruption of Kutcharo volcano, eastern Hokkaido, Japan	Shibata, S., Hasegawa, T.	Journal of Volcanology and Geothermal Research 452(3):108125	2024年6月24日	国外
第8回IAVCEI陥没カルデラワークショップ研究集会報告	下司信夫・後藤芳彦・金子克哉・三浦大助・長谷川健・富島千晴・柴田翔平	火山，69，79-86	2024年7月4日	国内
Machine learning reveals the influence of the Changbaishan mantle plume sourced from the mantle transition zone on Cenozoic intraplate magmatism in NE China.	Qi, Y., Chen, H., Wu, S., Kuritani, T., Du, Z., Xia, Q. and Liu, R.	Chemical Geology, 663, 122282.	2024年7月16日	国外
The color systematics of volcanic ashfall samples in estimating eruption sequences: a case study of the 2017-2018 eruption at Shinmoe-dake, Kirishima volcano, Southwest Japan.	Shimano, T., Suzuki, Y., Yasuda, A., Maeno, F., Miwa, T., Nagai, M., Nakada, S. and Nakamura, M.	Earth, Planets and Space, 76, 103	2024年7月31日	国外
雌阿寒岳の地形・地質と噴火史	和田恵治・佐藤鋭一	北海道教育大学紀要（基礎研究編），75，73-88	2024年7月31日	国内
Sulfur isotopic variations in the products of the 1895 CE eruption at Zao volcano (NE Japan): Implications for connecting eruption source and syn-eruptive magmatic-hydrothermal processes.	Imura, T., Ohba, T., Takahashi, R., Manalo, P., Sato, H., Ban, M., Hirata, A., Alvarez-Valero, A. M.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 452, 108127.	2024年8月1日	国外

Geology, chronology, and temporal evolution of basaltic to dacitic magma system in Raung volcano, East Java, Indonesia.	Mradipta Lintang Alifcanta Moktikanana, Tsukasa Ohba, Agung Harijoko, Haryo Edi Wibowo, Muhammad Andriansyah Gurusinga, Sherinna Mega Cahyani	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 452, 108126.	2024年8月1日	国外
天明三年浅間山噴火の実態―八月五日の天災地変の描像―	安井真也（書籍内論文　分担執筆）	「天明三年浅間山大噴火を語り継ぐ」雄山閣 146-157.	2024年8月5日	国内
蔵王火山山頂エリア	伴雅雄・北川桐香	地質学雑誌, 130, 329-335.	2024年8月30日	国内
JVDNシステムを活用した降灰調査―阿蘇火山中岳2021年10月20日噴火の事例―	宮縁育夫・長井雅史・中田節也. 小澤拓. 古川竜太・石塚治・南裕介・コンウェイ クリス. 伊藤順一	火山, 69, 61-70	2024年9月30日	国内
マグマ噴出量階段図の標準的な作成手法の提案と 有珠山での作成例	中川 光弘・松本 亜希子・宮縁 育夫・長谷川 健・古川 竜太・上澤 真平・長井雅史	火山, 69 ,101-114	2024年9月30日	国内
古地磁気学的手法を用いた年代測定	齋藤武士	火山、69、143-154	2024年10月28日	国内
Application of a recently developed method of oriented drill coring to accumulative tephra layers: identification of the Matuyama-Brunhes geomagnetic reversal in Akan caldera-forming eruption deposits	Hasegawa, T., Kusu, C., Okada, M., Hiratsuka, A., Nishiki, K., Sato, Y., Koshigai, M., Matsuzaki, T., Yamamoto, Y.	Earth, Planets and Space, 76, 139	2024年10月31日	国外
Origin of two types of olivine from the Ogi Picritic Dolerite Sill, northeast Japan,	Chiba, A., Hoshide, T., Tanabe, S.	Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, Volume 119, Issue 1. https://doi.org/10.2465/jmps.231002	2024年12月1日	国外
Variations in pore structure in subaerial lava flows at Nishinoshima, Japan, inferred from physical properties	Akamatsu, Y., Suzuki, T., Tada, N., Sawayama, K., Ichihara, H., Katayama, I., Sakamoto, G., Yamamoto, Y., Maeno, F. and Yoshida, K.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 458, 108262	2024年12月15日	国外
Paleomagnetic study of the 30 ka Aira caldera-forming eruption and 60-45 ka Iwato pyroclastic flow deposits, southern Kyushu, Japan	Hasegawa, T., Mochizuki, K., Shibuya, H., Nishihara, A., Kusu, C., Shibata, S., Okada, M., Nishiki, K., Sato, Y.	Earth, Planets and Space, 76, 161	2024年12月18日	国外

Origin and evolution of serpentinized peridotite from the Ciletuh Mélange in Sunda Arc, Indonesia: Evidence from petrography, mineralogy, and geochemistry	Ikhram, R., Hoshide, T., Ohba, T., Rosana, M.F., Hardiyono, A.	Journal of Asian Earth Sciences: XVolume 13, 1 100188	2025年1月3日	国外
大規模火砕噴火推移時系列データ集 その3	池上郁彦・長田美里・河野裕希・米谷珠萌・宝田晋治	地質調査総合センター研究資料集、no. 761, 52p.	2025年1月8日	国内
Volcanic history and magma systems of Lake Monoun Polygenetic Maar, Noun Plain, Western part of the Cameroon Volcanic Line: Constraints from stratigraphy, chronology and geochemistry	Nche, L.A., Hasegawa, T., Aka, F.T., Ohba, T., Mafany, G.T., Né meth, K., Miyabuchi, Y., Kaneda, Y., Asaah, A.N.E., Wajiba, P.M., Ngwa, C.N., Tchop, J.L., Nguet, P.W., Nfomou, N., Suh, C.E., Fantong, W.Y., Mouncherou, F.O.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 108265	2025年1月13日	国外
Origin and evolution of the Holocene magmatic system at Sakurajima Volcano, Japan	Kuritani, T., Nakagawa, M., Matsumoto, A. and Nishihara, A.	Journal of Petrology, 66, egaf010.	2025年2月3日	国外
Comprehensive orientation method using cross-line laser: A case study of paleomagnetic analysis on pyroclastic deposits from Asama Volcano (Japan)	Kanamaru, T., Furukawa, T., Maki, A.	Journal of Volcanology and Geothermal Research,461,108293	2025年2月13日	国外
Transition from magmatic to phreatomagmatic eruptions in Young Ciremai volcano, Indonesia: insights from stratigraphy, componentry, and textural analysis of tephra deposits	Wildan N Hamzah, Ohba, T., Muhammad Andriansyah Gurusinga, Mradipta LA Moktikanana, Jananda N Indriyanto, Hoshide, T., Abdurrahman, M., Idham A Kurniawan, Fadlin	Earth, Planets and Space 7, 1, 16	2025年2月14日	国外
Flute-like scours at the base of Plinian pumice-fall deposits at Ohachidaira caldera, Hokkaido, Japan	Yasuda, Y. and Maeno, F.	Bulletin of Volcanology	2025年2月15日	国外
秋田焼山火山地質図	南裕介・山﨑誠子・伊藤順一・大場司	火山地質図, no.23	2025年2月18日	国内
御嶽火山地質図	及川輝樹・山﨑誠子・竹下欣宏	火山地質図, no.24	2025年2月28日	国内
Cooling timescale and process of welded facies of Youngest Toba Tuff, North Sumatra, Indonesia	Shibata,S., Bunga Naen, G.N.R., Kaneda, Y., Suhendro, I., Kusu, C., Hasegawa, T.	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1443, 012016	2025年3月28日	国外

Petrogenetic relationship of pre-caldera and caldera-forming magmas from Maninjau volcano, West Sumatera, Indonesia	Kaneda, Y., Suhendro, I., Shibata,S., Bunga Naen, G.N.R., Aka, F.T., Hasegawa, T.	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1443, 012008	2025年3月28日	国外
日光火山群三岳の完新世火山活動	草野有紀・山元孝広・石塚吉浩・及川輝樹・中村洋一	火山, 70, 13-28	2025年3月31日	国内
九州中部金峰火山に分布する火山岩のSr同位体比	新村太郎・荒川洋二	熊本学園大学論集『総合科学』第30巻2号, p.55-66.	2025年3月31日	国内

別添3

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目「火山噴火の予測技術の開発（シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発）」
機関名 ： 国立研究開発法人防災科学技術研究所

1．学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）		発表者氏名	発表した場所（学会名等）	発表した時期	国内・外の別
Synergistic Approach to Robustly Reconstruct Eruption Plume Dynamics: Application to Campi Flegrei, Italy	口頭	Martinez Montesinos, B., Suzuki, Y. J., Costa, A, and Mingari, L.	EGU General Assembly 2024	2024年4月	国外
Synergistic approach for a robust reconstruction of eruption plume dynamics: Application to Campanian Ignimbrite super-eruption, Italy	口頭	Martinez Montesinos, B., Suzuki, Y. J., Costa, A, and Mingari, L.	Congresso Nationale Societa Italiana di Fisica	2024年9月	国外
Reconstructing the Campanian Ignimbrite super-eruption combining plume dynamics and tephra dispersion models	口頭	Martinez Montesinos, B., Suzuki, Y. J., Costa, A, and Mingari, L.	6a Conferenza A. Rittmann	2024年9月	国外
7.3ka鬼界カルデラ噴火（アカホヤ噴火）におけるカルデラ形成に先行するフェーズ：噴火堆積物と噴煙モデルを用いた解析	口頭	春田悠祐,・前野深・鈴木雄治郎	日本地球惑星科学連合2024年大会	2024年5月	国内
傘型噴煙の拡大シミュレーション噴火：ラウン火山2024年噴火の事例	口頭	鈴木雄治郎	日本火山学会2024年秋季大会	2024年10月	国内
火山灰による噴煙からの硫黄除去モデリング：異なる噴出率の噴火への応用	口頭	渡辺詩文・奥村聡・鈴木雄治郎	日本火山学会2024年秋季大会	2024年10月	国内
Ash fingerを考慮した火山灰輸送分散シミュレーション	口頭	瀧下恒星・鈴木雄治郎・丸石崇史	地震研究所共同利用研究集会「火山現象のダイナミクス・素過程研究」	2025年3月	国内
Morphological scaling laws for basaltic lava flo	口頭	Takafumi Maruishi, Tomofumi Kozono, Takahiro Miwa, Eisuke Fujita	AGU Fall Meeting 2024	2024年12月	国外
玄武岩質溶岩流の厚み分布に関する理論モデ	口頭	丸石崇史	日本火山学会2024年秋季大会	2024年10月	国内
粘塑性モデルによる固結した玄武岩質溶岩流の形状の物理的解釈	口頭	丸石崇史	日本地球惑星科学連合2024年大会	2024年5月	国内

2．学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Numerical investigation of multiphase feature in a polydisperse gas–solid flow: Effect of particle size, volume fraction and shape（論文）	Deboprasad Talukdar, Yujiro Suzuki	International Communications in Heat and Mass Transfer 159: 108151	2024年10月	国外

参考資料：その他実績

委託業務題目「サブテーマ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」

機関名　国立大学法人　北海道大学

１．マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果	対応者氏名	報道・掲載機関 （新聞名・TV名）	発表時期	国際・国内の別
6月トレンチ調査（九重火山の噴火史）についての取材	辻智大・岡田将英	大分合同新聞社	2024年8月26日	国内
火山防災の日の「浅間山火山の学校」での小浅間山登山の取材・報道	安井真也	信濃毎日新聞	2024年8月27日	国内
浅間山の噴火体験「信州火山防災の日」イベントの取材・報道	安井真也	信濃毎日新聞	2024年9月15日	国内
屈斜路湖の形成に関する講演会の取材・報道	長谷川健	北海道新聞	2024年9月21日	国内
秋田県内の活火山の活動に関するコメント	大場　司	秋田魁新報	2024年9月24日	国内
「吾妻山明治時代にマグマ噴火」に関する取材・報道	長谷川健	読売新聞	2024年9月25日	国内
鷲羽池火山の噴火履歴に関する研究成果の取材・報道	石﨑泰男	信濃毎日新聞 デジタル	2024年11月1日	国内
火山との共生を考えよう	伴雅雄	河北新報	2024年11月7日	国内
身近にある火山の災害リスクを考えるシンポジウム	伴雅雄	NHKニュース	2024年11月9日	国内
浅間山の特徴や自然など ふもとの子どもたちが学ぶ催し	安井真也	NHK信州 NEWS WEB	2024年11月10日	国内
鷲羽池火山の噴火履歴に関する研究成果の取材・報道	石﨑泰男	信濃毎日新聞	2024年11月10日	国内
秋田駒ケ岳火山の地震活動活発化に関するコメント	大場　司	秋田朝日放送	2024年11月12日	国内
Ep044　そもそも火山ってなに？　ラジオとポッドキャスト	安井真也	FMさくだいら あさま防災カル チャークラブ	2025年1月30日	国内
Ep045　火山の恵み　ラジオとポッドキャスト	安井真也	FMさくだいら あさま防災カル チャークラブ	2025年2月6日	国内

２．講演会等の普及活動

発表題目・活動内容	発表者氏名	講演会・展示名	開催時期	国際・国内の別
火山をみる話	前野 深	東京大学教育学部附属中等教育学校，東京大学	2024年5月2日	国内
松浦武四郎は何を見たか？：ヌッカクシ火口（安政火口）の最新の噴火史研究	中川光弘	北海道火山勉強会in十勝岳　一般講演会「十勝岳～最新の研究成果からみる火山活動の現状と防災～」，美瑛町	2024年6月1日	国内

火山の形成・噴火のプロセスを理解した上で、将来の火山災害を考える	前野 深	かわさき市民アカデミー2024年度前期交流館協力講座『さまざまな「災害」から明日を考える一気候・地震火山津波都市災害と人災ー』	2024年6月19日	国内
蔵王山で見られる火山噴出物	伴雅雄	ジオガイド養成講座（中級）	2024年6月22日	国内
蔵王山の地質の現地での説明	伴雅雄	認定ガイド研修会	2024年6月28日	国内
浅間火山の活動史と噴火メカニズム	安井真也	シンポジウム『火山災害考古学：地域社会の罹災とそのレジリエンス』明治大学	2024年6月30日	国内
蔵王山の地球物質科学的研究：最近の成果	伴雅雄・岩脇望・大友迪人	異分野交流会，山形大	2024年8月23日	国内
吾妻山の噴火	長谷川健	福島県火山防災シンポジウム	2024年8月26日	国内
小浅間山登山/日本大学軽井沢研修所の展示見学の講師	安井真也	令和6年度軽井沢町浅間山火山の学校	2024年8月26日	国内
美幌の地質学～屈斜路湖の大爆発でできた美しい火山灰台地	長谷川健	美幌博物館　博物館講座	2024年8月31日	国内
蔵王火山山頂エリア・巡検案内	伴雅雄・北川桐香	日本地質学会巡検コースA	2024年9月11日	国内
浅間山の噴火史と佐久平～火山活動の特徴を学ぶ	安井真也	「信州 火山防災の日」記念イベント基調講演　長野県危機管理部危機管理防災課	2024年9月14日	国内
Calderas: benefits and threats from the “special” volcanoes	Hasegawa, T.	The 6th International Conference on Environmental Resources Management (ICERM) 2024	2024年9月24日～2024年9月25日	国際
蔵王山の火山の特徴や想定される災害について	伴雅雄	令和６年度 防災・気候講演会	2024年11月9日	国内
グーグルアースで巡る地球上の火山と浅間火山の岩石探偵	安井真也	浅間山こども大学 浅間山麓国際自然学校　講師	2024年11月10日	国内
火山地域で発生する豪雨・地震に伴う斜面災害・基調講演	宮縁育夫	第43回地質調査総合センターシンポジウム「地質を用いた斜面災害リスク評価」	2024年12月20日	
我らは火山大国日本の住人	安井真也	世田谷区シニアスクール	2025年2月	国内
チョコレート・ゼラチン溶岩流、あま～い岩石	西東京私立大学火山岩石学連合（金丸龍夫・新正裕尚）	第３回全国火山実験研究交流会・火山実験フェスティバル	2025年3月2日	国内
やまがた百名山の火山（鳥海山、蔵王山、吾妻山など）のすごさ	伴雅雄	令和６年度やまがた夜話	2025年3月4日	国内
ハワイ島キラウエア火山の噴火と溶岩流災害	安井真也	火山工学セミナー/土木学会火山工学研究小委員会	2025年3月	国内

３.防災貢献

提出資料	対応者氏名	提供先	発表時期	国際・国内の別
2023年10月30日の硫黄島噴火について	東大地震研	火山噴火予知連絡会	2023年11月1日	国内
鳥島・孀婦岩沖で2023年10月27日に採取された漂流軽石の全岩化学組成	東大地震研	火山噴火予知連絡会	2023年11月7日	国内

４.プレスリリース

提出資料タイトル	対応者氏名	発信元	発表時期	国際・国内の別
「吾妻山の噴火」(2-7ページ)ー過去の噴火から考えるー吾妻山と御嶽山	長谷川健	福島県	2024年8月25日	国内
資料_調4-(2)薩摩硫黄島の現状の評価及び調査研究方策（案） 薩摩硫黄島2024年9月1日噴火による火山灰	防災科学技術研究所・日本大学文理学部	火山調査推進本部第4回火山調査委員会	2025年2月17日	国内