

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5年度
成果報告書

令和6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5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5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 霧島連携研究キックオフ集会の様子。



写真 2 日本地球惑星科学連合 2023 年大会「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」セッションの様子。

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。

この報告書では、研究開始から 8 年目にあたる令和 5 年度の成果を報告する。令和 5 年度は、新型コロナ感染症 5 類移行に伴い制約がなくなったことで、各機関がよりいっそう精力的に研究を進めてきた。また、課題内連携研究の第 2 弾として、霧島火山を対象とし

た連携研究キックオフ集会を開催し、今後の連携研究の発展性について議論することができた。これらのことから、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、令和6年度以降も研究課題の達成に向けて、研究を着実に推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	4
(c) サブテーマ 3	9
(2) 研究実施日程	12
(a) サブテーマ 1	12
(b) サブテーマ 2	13
(c) サブテーマ 3	13
2. 研究成果の説明	15
(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	15
(a) 業務題目	15
(b) 担当者	15
(c) 業務の目的	15
(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）	16
(e) 令和 5 年度における業務の方法	18
(2) 令和 5 年度の成果	20
(a) 業務の要約	20
(b) 業務の成果	21
(c) 結論	52
(d) 引用文献	52
(e) 成果の論文発表・口頭発表等	56
(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定	56
(3) 令和 6 年度の業務計画案	57
(a) 分析・解析プラットホームの整備・運用、新手法の開発	57
(b) プロジェクトの総合推進と研究集会の調整・開催	57
(c) 火山噴出物の分析・解析	57
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	60
(1) 業務の内容	60
(a) 業務題目	60
(b) 担当者	60
(c) 業務の目的	61
(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）	61
(e) 令和 5 年度における業務の方法	66

(2) 令和 5 年度の成果.....	67
(a) 業務の要約.....	67
(b) 業務の成果.....	67
(c) 結論.....	157
(d) 引用文献.....	158
(e) 成果の論文発表・口頭発表等.....	167
(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定.....	167
(3) 令和 6 年度の業務計画案.....	167
(a) 火山の噴火履歴およびマグマ長期変遷に関する研究.....	167
(b) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発.....	169
(c) 大規模噴火データベースの整備.....	169
(d) 課題 C-2 のとりまとめと研究成果の発信.....	169
(e) 課題 C 全体のとりまとめと総合推進.....	170
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.....	171
(1) 業務の内容.....	171
(a) 業務題目.....	171
(b) 担当者.....	171
(c) 業務の目的.....	171
(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）.....	172
(e) 令和 5 年度における業務の方法.....	175
(2) 令和 5 年度の成果.....	177
(a) 業務の要約.....	177
(b) 業務の成果.....	177
(c) 結論ならびに今後の課題.....	202
(d) 引用文献.....	203
(e) 成果の論文発表・口頭発表等.....	203
(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定.....	203
(3) 令和 6 年度の業務計画案.....	204
(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.....	204
(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.....	204
3. 会議録.....	207
(1) 霧島火山連携研究 キックオフ集会.....	207
(2) 霧島連携研究準備 WG 第 1 回打ち合わせ.....	207
(3) 霧島連携研究準備 WG 第 2 回打ち合わせ（ワークショップ）.....	207
(4) 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.....	207
4. むすび.....	208

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一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・准教授	安田 敦	<p>〈総合推進〉 簡略化したマグマ供給系モデルをもとにした噴火予測の仕組み作りを継続した。研究集会の開催を補助した。</p> <p>〈分析解析プラットホーム構築〉 分析補助ツールや解析ツールを改修した。</p> <p>〈噴出物解析〉 富士山等の試料を分析し、噴火予測につながるマグマ供給系モデルについて検討するとともにデータの取りまとめをおこなった。また、テフラの同定作業を補助する手法を考案した。</p>	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	8, 205, 472	1, 893, 570
学校法人早稲田大学・教育・総合科学学術院・教授	鈴木 由希	〈噴出物解析〉 新燃岳享保噴火について、噴火に関わったマグマと、その時間変化を検討した。2011年噴火と同等の2端成分マグマが関わったが、マグマの温度圧力条件に僅かな差異があった可能性を指摘した。また同噴火では、火道のマグマの上昇速度が大きい時期ほど、縞状軽石の生成が顕著になったことを、軽石タイプや見かけ密度の変化から議論した。榛名火山二ツ岳渋川噴火については、火砕流堆積物中の軽石の見かけ密度分析も進めた。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	1, 032, 993	238, 383
学校法人常葉大学・大学院環境防災研究科・教授 (R5. 9. 30まで)	嶋野 岳人	〈噴出物解析と手法開発〉 反射電子像を用いた火山灰粒子構成比の客観迅速導出システムの開発をすすめた。また富士火山では引き続き、噴火推移に伴うガラス・鉱物組成のデータ蓄積を進めた。新燃岳の2018年噴火の噴出物については、系統的な分光測色測定に基づいて噴火推移を明らかにした。	R5. 4. 1～ R5. 9. 30	4, 628, 000 (計画変更により)	1, 068, 000 (計画変更により)
学校法人常葉大学・社会環境学部・教授 (R5. 10. 1から)	石田明生	〈噴出物解析〉 伊豆大室山噴出物中に含まれる斜長石斑晶と流紋岩質メルト包有物の微量元素組成分析をおこない、隠れた流紋岩質マグマの成因について検討した。 伊豆大島1986年B噴火の深成岩捕獲岩について岩石学的分析をおこない、カルデラ下ごく浅	R5. 10. 1～ R6. 3. 31	3, 822, 427)	882, 098)
国立大学法人静岡大学・理学部・准教授	石橋 秀巳		R5. 4. 1～ R6. 3. 31	1, 038, 349	239, 619

		部のマグマ供給系について検討した。 富士山宝永噴火の斑れい岩捕獲岩中の Fe-Ti 酸化物について分析をおこない、噴火前におこったマグマ供給系の温度・ f_{O_2} 条件の変化とその時間スケールを検討した。			
学校法人福岡大学・理学部・教授	三好雅也	<噴出物解析> 阿蘇外輪山に分布する溶岩および岩脈の K-Ar 年代測定、全岩および鉱物化学組成分析をおこなった。その結果、最初のカルデラ形成噴火に至る前 (0.6 Ma 以降) には多様な安山岩マグマの活動があつたことを明らかにした。また、普通角閃石斑晶を含む安山岩のマグマ溜り深度が約 11~20 km であったことを推定した。	R5. 4. 1~ R6. 3. 31	1, 037, 592	239, 444
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	<噴出物解析と手法開発> 桜島火山における歴史時代の大規模噴火マグマ上昇過程の時系列、および南岳山頂火道活動期の火道浅部でのマグマ結晶化速度を解明し、プリニ一式噴火やブルカノ式噴火の分岐過程の理解を進めた。 また、富士火山宝永噴火噴出物の X 線 CT 装置による精密組織解析、福德岡ノ場噴出物に見られるマグマ混合過程の解析、霧島火山 2017~2018 年噴火火山灰に含まれる磁性鉱物の記載岩石学的研究などをおこなった。	R5. 4. 1~ R6. 3. 31	6, 254, 549	1, 443, 357
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	<噴出物解析> 有珠火山 1977~78 年噴出物の岩石学的解析をおこなった。その結果、噴火の推移に伴い磁鉄鉱の累帯構造や石基組織に系統的な変化がみられた。同時に起こった潜在ドームの上昇とも考え合わせると、1977 年の噴火初期はマグマ溜まりから直接もたらされた加熱マグマにより準プリニ一式噴火が引き起こされたのに対し、1978 年噴火は浅部に貫入し冷却されたマグマによってマグマ水蒸気噴火が引き起こされたと考えられる。	R5. 4. 1~ R6. 3. 31	1, 934, 035	332, 349
同・主任研究員	宮城磯治	<噴出物の解析手法開発> マグマの熱力学計算によって得られた、カルデラ噴火の準備過程に関する成果を、AGU で発表した。また、計算結果を JVDN サイトで公開するための検討をした。有珠火山 2000 年 3 月 31 日噴出物の石基ガラスの脱水が不完全であることを、NanoSIMS を用いた追加分析で確認した。NanoSIMS 分析法の改良に関する論文を Earth	R5. 4. 1~ R6. 3. 31		

		Planets and Space で発表した (4月6日公開)。			
国立大学法人 鹿児島大学・ 大学院理工学 研究科・教授 (R5. 11. 1 か ら)	嶋野 岳人	〈噴出物解析〉 諏訪之瀬島火山と桜島の噴火 推移に伴うガラス・鉱物組成の データ蓄積を進めた。反射電子 像を用いた火山灰粒子構成比の 客観迅速導出スキームを桜島火 山の 2000 年以降の噴出物に応 用した。	R5. 11. 1 ～ R6. 3. 31	0 (計画変 更により 805, 573)	0 (計画 変更に より 185, 902)
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	〈噴出物採取〉 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。	R5. 4. 1～ R6. 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、桜島のマグマ 供給系の変遷について、物質 科学的手法により解析した。 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。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	49, 749, 9 96	11, 480, 768
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・利尻山・秋田駒 ヶ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。さらに、階段図 の作成指針・手法についての ワーキンググループを主導 してまとめ、報告書として出 版した。また、ボーリング掘 削調査をとりまとめ、アトサ	R5. 4. 1～ R6. 3. 31		

		ヌプリで実施した。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。			
同 助教	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。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31		
同 技術専門職員	松本 亜希子	摩周・アトサヌヌプリ・秋田駒ヶ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。有珠山について階段図の試作を行い、報告書として公表した。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。	R5. 4. 1～ R6. 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・阿蘇山の地質・岩石・同位体地球科学的研究を行い、活動史、マグマ供給系進化、硫黄同位体の地表での挙動が明らかになった。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	2, 900, 00 1	669, 231
同 助教	星出 隆志	岩手山の溶岩の特徴について研究し、その生成過程に関する成果が得られた。			
山形大学 理学部 教授	伴 雅雄	蔵王山・鳥海山・吾妻山の噴火履歴及びマグマ供給系解明の研究を行った。蔵王山ではトレンチ、露頭調査を行い、また、階段図の作成及び噴火系統図の試作を行った。鳥海山では、西鳥海山カルデラ内の完新世溶岩の研究を進めた。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。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	3, 800, 00 0	876, 923
同 助教	井村 匠	吾妻山・蔵王山の噴火履歴解明の研究を行った。吾妻山で	R5. 4. 1～ R6. 3. 31		

		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。			
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、最新マグマ噴火ユニットの投出岩塊について調査を進めた。蔵王山では、1895年噴火の投出岩塊及び火山灰の分布と噴出条件について研究を進めた。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31		
茨城大学 理工学研究科 准教授	長谷川 健	那須山・吾妻山・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。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	3, 100, 00 0	715, 384
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に関する知見を得た。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	4, 400, 00 0	1, 015, 3 84
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の実態解明のための地質データを蓄積した。山体崩壊の規模や方向に関する情報が得られた。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	2, 000, 00 1	461, 538
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。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31		
富山大学	石崎 泰男	鷲羽池火山・白山・志賀火山（草津白根火山群）の地質調査・年代測定を行い、各火山	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	3, 500, 00 0	807, 692

学術研究部都市デザイン学系 教授		の噴火履歴（活動年代、噴火様式、噴火規模等）に資する成果を得た。			
同 教授 同 准教授	石川 尚人 川崎 一雄	白山・志賀火山（草津白根火山群）の噴出物の古地磁気測定を行い、同火山の活動年代についてデータを取得した。	R5. 4. 1～ R6. 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、火碎流堆積物の分布と層序を修正し、中部域の溶岩の活動の見直しを行った結果に基づき、階段図を作成した。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	1, 200, 00 0	276, 923
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。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	2, 900, 00 1	669, 231
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。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	9, 000, 00 1	1, 546, 5 84
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。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31		
同 主任研究員	山崎 誠子	御嶽山・秋田焼山の研究成果取りまとめを行った。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。	R5. 4. 1～ R6. 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。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31		
同 研究員	谷内 元	岩木山・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。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31		
同 首席研究員 同 研究グループ長 同 主任研究員 同 研究員	石塚 治 井上 卓彦 川邊 穎久 有元 純	伊豆大島の研究成果取りまとめを行った。	R5. 4. 1～ R6. 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 活断層・火山研究部門 研究員	伊藤 順一 南 裕介	秋田焼山の研究成果取りまとめを行った。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31		
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 同 上級主任研究員 同 主任研究員	下司信夫 宝田晋治 山崎 雅	大規模噴火データベースの整備を行った。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31		
北海道教育大学旭川校 准教授	佐藤 錠一	雌阿寒岳の噴火履歴に関する研究を行い、噴出量階段図や1,000年前噴火に対するマグマ供給系の検討を行った。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	—	—

筑波大学 大学院生命環境科学研究科 名誉教授 同 准教授	荒川 洋二 池端 慶	新島における元素・Sr 同位体比に関する結果を整理し、マグマの化学的特徴やその時代変化の傾向を確認した。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	—	—
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。特に伽藍岳について、これまで報告例のない火山性堆積物を確認し、溶岩の化学組成と噴火活動との関係について検討した。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	—	—
電力中央研究所 サステナブルシステム研究 本部 地質・ 地下環境研究 部門 主任研究員	上澤 真平	羊蹄山麓のテフラ調査とその岩石学的分析を行い、Y44～Y51までの羊蹄山起源のテフラ層を新たに認識し、その成果を取り入れて、マグマ噴出量階段図を試作した。	R5. 4. 1～ R6. 3. 31	—	—
同 主任研究員	石毛 康介	大雪山の長期噴火履歴の成果取りまとめを行った。	R5. 4. 1～ R6. 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。階段図の作成指針・手法についての報告書のとりまとめを行った。	R5. 4. 1～ R6. 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	秋田駒ヶ岳の噴火履歴調査を行い、新たな見解が得られた。	R5. 4. 1～ R6. 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	間接 経費
国立研究開発法人 防災科学技術	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。	R5. 4. 1 ～ R6. 3. 31	31,892,580	7,359,826

研究所火山研究 推進センター 上席研究員		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。 ①a. 噴火機構シミュレーション、および、b. マグ マ移動過程シミュレーションで火道流モデルの開 発を行った。 ①c. マグマ物性モデルの 構築で結晶化モデル構築 のための室内実験と火道 流モデルへの適用の検討 を行った。 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。			
同 副センター 長	小園誠史	①a. 噴火機構シミュレー ション、および、b. マグ マ移動過程シミュレー ションで火道流モデルの開 発を行った。 ①c. マグマ物性モデルの 構築で結晶化モデル構築 のための室内実験と火道 流モデルへの適用の検討 を行った。 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。	R5. 4. 1 ～ R6. 3. 31		
同 主任研究員	三輪学央		R5. 4. 1 ～ R6. 3. 31		
同 契約研究員	長井雅史		R5. 4. 1 ～ R6. 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。	R5. 4. 1 ～ R6. 3. 31	2,231,80 8	515,03 2
同 准教授	奥村 聰	①a. 噴火機構シミュレー ション技術開発および① c. 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。	R5. 4. 1 ～ R6. 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。	R5. 4. 1 ～ R6. 3. 31	2,910,86 7	671,73 8
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。	R5. 4. 1 ～ R6. 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 地震・地殻変動データに による評価を行った。	R5. 4. 1 ～ R6. 3. 31	—	—
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。	R5. 4. 1 ～ R6. 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。	R5. 4. 1 ～ R6. 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。	R5. 4. 1 ～ R6. 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、落下火碎物の形状・密度の粒径依存性を明らかにした。 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。	R5. 4. 1 ～ R6. 3. 31		
同　主任研究官	石井憲介		R5. 4. 1 ～ R6. 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。	R5. 4. 1 ～ R6. 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。	R5. 4. 1 ～ R6. 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、火山ハザード評価システムの開発を実施した。	R5. 4. 1 ～ R6. 3. 31	—	—
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。	R5. 4. 1 ～ R6. 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立ち上げ 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 学校法人常葉大学 火山噴出物の分析・解析	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→
④ 国立大学法人静岡大学 火山噴出物の分析・解析	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→
⑤ 国立大学法人熊本大学 火山噴出物の分析・解析	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→
⑥ 国立大学法人東北大学 火山噴出物の分析・解析	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→
⑦ 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	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→
⑧ 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	准教授 技術補佐員 特任研究員	安田 敦 今野紗世 池永有弥
学校法人早稲田大学	参加機関	教授	鈴木由希
学校法人常葉大学	参加機関	教授 教授 学部4年 学部4年 学部4年 学部4年	嶋野岳人 石田明生 大石かよ 落合駿 河野瑠平 太田良陸
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 特任研究員 博士3年 修士2年 修士2年 修士1年 修士1年 修士1年 修士1年 修士1年	中村美千彦 無尽真弓 藤田和果奈 荒尾眞成 浮田泰成 新谷竹望 Aulia Syafitri 黒木徹也 堀田修平 渡辺詩文
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 (R5.11.1から)	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力年で実施する。(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ニ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。ウェブブラウザによって、これまでに取得した画像データを一覧することができるようとした。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、マグマ供給系の画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な要素を、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ることにより、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る。項目（イ）（ウ）（エ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（オ）に対しては、前年度に引き続き研究組織外からの分析・解析プラットホーム利用を受け入れる。前年度の利用者の意見を取り入れ、より使いやすい装置環境の構築に努める。

10) 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 5 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、課題 A、B、D、B2-2 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おこなう。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おこなう。

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、雲仙火山、伊豆大島、西之島において火山噴出物についての研究を実施する。富士火山については、協力機関の富士山科学研究所と共同して業務を遂行する。

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、隨時、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おこなう。

3) 学校法人常葉大学

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、富士火山、霧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おこなう。

4) 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、隨時、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おこなう。

5) 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、隨時、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おこなう。

6) 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、隨時、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おこなう。

7) 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

熱力学解析に関わる計算結果をよりコンパクトに集計して公開する方法を検討するとともに、活火山の斑晶ガラス包有物や石基ガラスの揮発成分量を分析し、MELTSの結果と比較する。

8) 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おこなう。

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

また、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5年度の成果

(a) 業務の要約

分析・解析プラットホームの構築については、ユーザーインターフェイスの改良をおこない、火山噴出物の分析・解析ツールとしての機能向上がはかられた。噴出物の解析については、前年度に引き続き、各火山でマグマ供給系像を精密化し噴火前のマグマの挙動についての知見を蓄積し、それぞれの火山ごとの噴火事象分岐予測で注目すべき指標についての検討がおこなわれた。

例えば、有珠山と桜島では、噴火前のマグマについて数日のタイムスケールでの挙動が詳細に明らかにされ、噴火予測にどのようにつなげるかの検討がおこなわれている。伊豆大島や伊豆東部火山群では、隠れマグマ溜まりとも呼ぶべき珪長質マグマの存在が明らかにされ、予測への重要性が議論された。霧島山や阿蘇山ではマグマ供給の時間変化という視点から噴火予測のための観測すべき重要事項の探究がおこなわれた。加えて、火山灰試料の連續サンプリングによっていち早くマグマ供給系の変化を捉える試みが桜島や諏訪之瀬島で試行された。熱力学計算による火山活動予測手法の高度化についても、データベースの構築や計算結果の応用に関して大きな進展が見られた。さらに、前年度に引き続き単純なマグマ供給系モデルに基づいて噴出量階段ダイアグラムなどの観測事象を読み解し、噴火予測につなげる手法の開発が進められた。

(b) 業務の成果

1) プロジェクト（課題 C-1）の総合推進（東京大学）

課題 C-1 参加機関の担当者と適宜意見交換をして、計画の推進と進行管理をおこなった。2023 年 4 月 6 日には、課題 C-2 主導のもと、課題間連携研究「火山学は噴火予測・推移予測に貢献できるか：霧島火山を例として」キックオフ研究集会を東京大学地震研究所で開催した。また、課題 C 内および他の課題との連携や研究成果の公開のため、JpGU の次世代火山プロジェクトのセッションで課題 C-1 の目標やこれまでの成果についての発表をおこなった。加えて、2023 年 12 月には次世代火山プロジェクトの合同研究集会が 5 日から 7 日までの 3 日間にわたって開催され、課題 C-1 への 2 時間の発表時間枠の提供を受け、課題参加者からの計 8 件の発表を調整した。

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、常葉大、鹿児島大から利用を受け入れるとともに、硫黄島噴火と関連して課題外の防災科研からの利用を受け入れた。反射電子画像データの収集とデータベース化と公開をおこなった。7 月に JVDN システム管理者と課題 C-1 からのデータ提供の方法について協議し、9 月の意見交換会で報告した。

b) Rhyolite-MELTS(産業技術総合研究所)

マグマの熱力学計算ソフトウェア (Rhyolite-MELTS)¹⁾で網羅的な計算をおこなうスクリプトの移植性について検討した結果、移植には様々な問題があることが明らかになったが、問題の回避法を見出すことができた。当該スクリプト (PERL 言語) を一般に公開するには、MELTS の計算条件などが記述されているコードを直接編集する必要があるため(例：図 1)、この言語の文法を知らない多くの使用者にとっては敷居が高い。えに、言語の習得は非生産的である。また、当該スクリプトは様々なデータ処理を複数のライブラリやプログラムに孫請けさせているため、それらの実行環境の整備も、一般的な使用者にとっては敷居が高い。そのため、当該スクリプトを様々な電算機環境に移植することは、得策でないと結論した。そこで、予め網羅的な計算をおこない、計算結果を汎用的なデータベース形式に変換し(例：図 2)、ソフトで閲覧させる(例：図 3)方法が有効だと考えた。これらのデータベースファイルを一般的な web サイトに置くことにより、熱力学計算結果を公開することができる。ファイルを置くサイバースペースとしては、JVDN(<https://jvdn.bosai.go.jp/portal/ja/>) のように公的な火山関係のデータレポジトリが最適と思われる。

```

sub initialize(){
    $folder=$ARGV[0];
    @waterToDo= qw(0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.6 2.8 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0);
    @carbonToDo= ("0.001","0.003","0.010","0.030","0.100","0.300","1.000","3.000");
    @carbonToDo= ("0.001","0.010","0.100","1.000");
    @phaseAmountToDo= qw(amphibole biotite olivine quartz clinopyroxene rhmoxide spinel corundum muscovite garnet feldspar orthopyroxene apatite meltsliquid fluid);
    &makegmtconf();

    foreach my $thePhaseAmount (@phaseAmountToDo){
        `mkdir -p "$folder/PT_sh/$thePhaseAmount"`;
        `mkdir -p "$folder/PT_txt/$thePhaseAmount"`;
        `mkdir -p "$folder/PT_png/$thePhaseAmount"`;
    }

    #above three lines OK
    %phaseMassToDo= qw(amphibole/massgm 99/0/15/0.1/gram
biotite/massgm 99/0/15/0.1/gr
olivine/massgm 99/0/15/0.1/gr
quartz/massgm 99/0/50/0.5/gr
clinopyroxene/massgm 99/0/20/0.1/gr
rhmoxide/massgm 99/0/10/0.1/gr
spinel/massgm 99/0/10/0.1/gr
corundum/massgm 99/0/10/0.1/gr
muscovite/massgm 99/0/10/0.1/gr
garnet/massgm 99/0/20/0.5/gr
feldspar/massgm 99/0/50/1.0/gr
);
}

```

「計算条件設定のコード」

図1 Rhyolite-MELTS¹⁾を制御するための PERL スクリプトの計算条件設定部。含水量、酸素分圧、温度・圧力平面にプロットする相の名称などが記述されている。

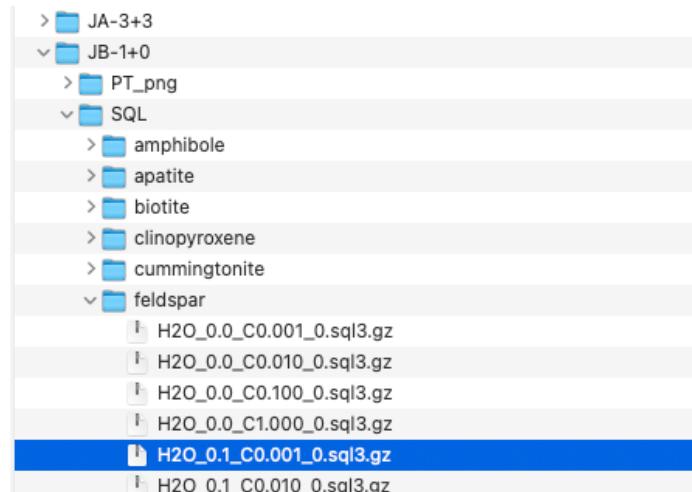


図2 Rhyolite-MELTS¹⁾の計算結果をまとめたデータベースファイル。第一階層の名前「JB-1+0」は、試料の化学組成名が JB-1(地質調査総合センターの地球化学標準試料のひとつ)で、酸素分圧が FMQ(かんらん石・磁鉄鉱・石英)バッファーであることを示している。第二階層の名前「feldspar」は、長石に関する計算結果であることを示している。データベースファイル名「H2O_0.1_C0.001_0.sql3.gz」は、計算条件が含水量 0.1 重量%、二酸化炭素量 0.001 重量%、酸素分圧 FMQ+0 ログユニットであることを示している。拡張子「sql3」はデータベースファイルが sqlite3 形式であること、「gz」はそれが gzip で可逆圧縮されていることを示している。

sqlite3では、容易に温度・圧力等の条件で絞り込む

13万行コードもある

図3 Rhyolite-MELTS¹⁾の計算結果をまとめたデータベースファイルの閲覧例。データベース(sqlite3)ファイルの閲覧やデータの切り出しには、sqllite3のコマンドラインのほか、無料で配布されているアプリケーションソフト「DB Browser for SQLite」を使用する。

3) 火山噴出物の分析・解析

- a) 解析方法の刷新・新手法の開発
 - i) テフラ層の対比手法(東京大学)

噴火の規模を正確に評価するためには、火山噴出物の等層厚線図の作成など異地点で採取された火山灰の同定・対比作業が必要である。しかし、同一火山を給源とする火山灰の場合には異なる噴火であっても噴出物組成や組織が似通っているため、堆積物から関係する噴火を正確に特定することは難しい場合が多い。これまで露頭での観察に基づいて、火碎物構成粒子のサイズ、形状、色、異質岩片の有無、構成鉱物といった情報を定性的に用いることや、いくつかの微量元素濃度など限られた定量的な情報を加えることによって、層の同定が行われていた。我々は山梨県富士山科学研究所と共同で、層の同定の信頼性を高める方法を開発している。具体的には、定性的な情報を階層化して定量化するとともに、層序の上下関係情報を含めた露頭どうしの比較をおこなうことにより個々の層の同定の精度を高めるというもので、ヒートマップを用いて層序の相関の程度を一瞥できるというところに最大の特徴がある。

図4は富士山の東側の籠坂峠で採取したテフラの連続堆積層の試料と山中湖南の東大演習林内で山梨県富士山科学研究所がトレーナー掘削で採取したテフラの連続堆積層の試料について、噴出物の各層の類似性を残差のヒートマップの形式で表現したものである。計測項目としては、XRF分析によって得られた主元素組成10元素(Si、Ti、Al、Fe、Mn、Mg、Ca、Na、K、P)、微量元素組成18元素(Sc、V、Cr、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Rb、Y、Sr、Zr、Nb、Ba、Pb、La、Ce、Th)を用いている。残差の算出においては、同じXRF装置による分析のため機器の系統誤差は考慮しておらず、機器の分析誤差での規格化のみを適用している。層の連続性や上下関係を加えて残差情報をヒートマップ

プロとして可視化することによって、2つの露頭で対応する層を明瞭にすることができた。

ただし、化学組成だけでは、完全に層の同定ができない場合があることも事実である。このため、異質岩片の含有量、気泡量、気泡サイズといった情報を加えて、より対比の精度を定量的に高める取り組みを継続している。

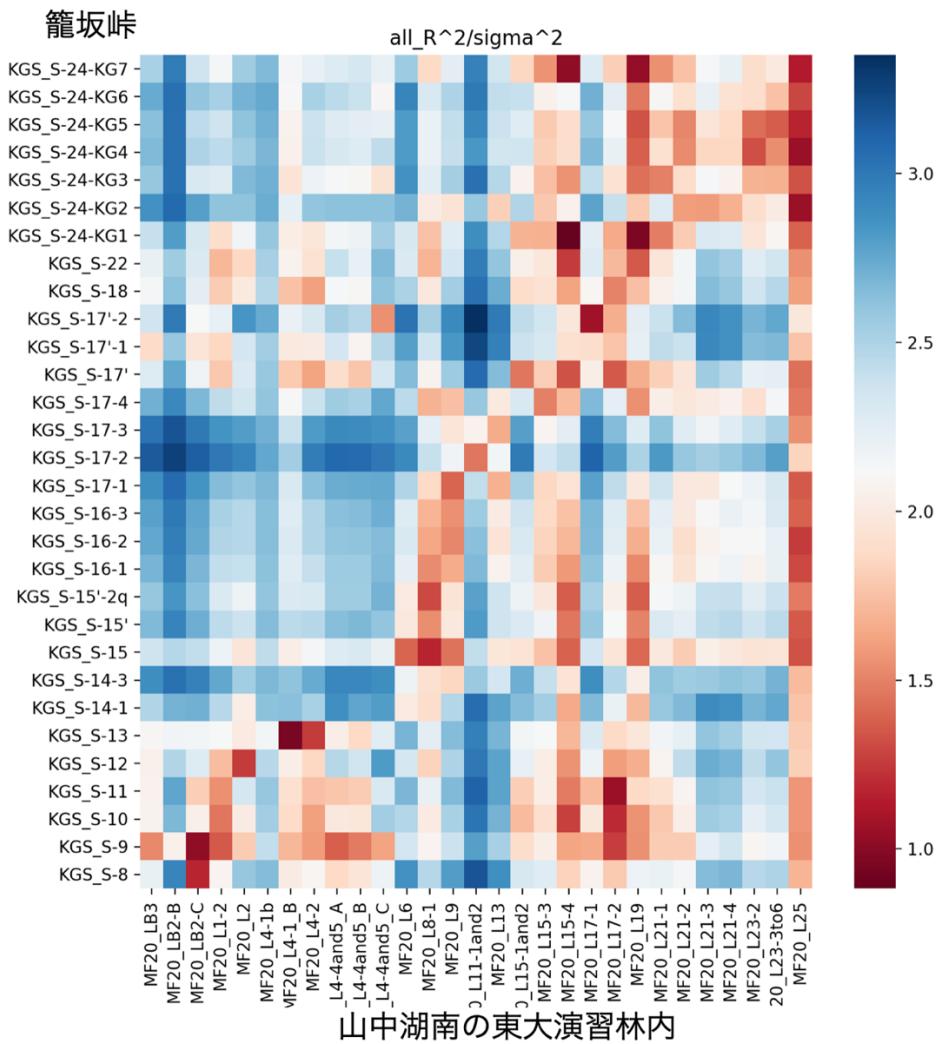


図4 2つの露頭で見られるテフラ層の類似性のヒートマップ形式での表現。色が赤いほど化学組成の類似性が高い。似通った組成の層が複数あっても、上下関係や堆積の連続性を勘案することによって、層の対比が容易かつ明確になる。

ii) NanoSIMS 分析の精度向上(産業技術総合研究所)

マグマの熱力学解析に用いる化学組成(含水量)の分析技術の改良として、NanoSIMSの分析上の問題を解決した。本研究では噴火前のマグマ含水量を推定する目的で直径数 μm の斑晶ガラス包有物を NanoSIMS で分析する。その際には $1\mu\text{m}$ 程度の精度で NanoSIMS の照準を合わせる必要があるが、従来法では複数の理由により、困難だった。この問題を解決するため、NanoSIMS のビームで試料表面に幾何学模様を描き、模様と斑晶ガラス包有物の位置関係を別途把握する工夫を発案した(図 5)。その結果、十分

正確な照準合わせが可能になった。この成果を Earth Planets and Space 誌に投稿したところ、2023 年 3 月 28 日に受理された(4 月 6 日オンライン公開)。²⁾

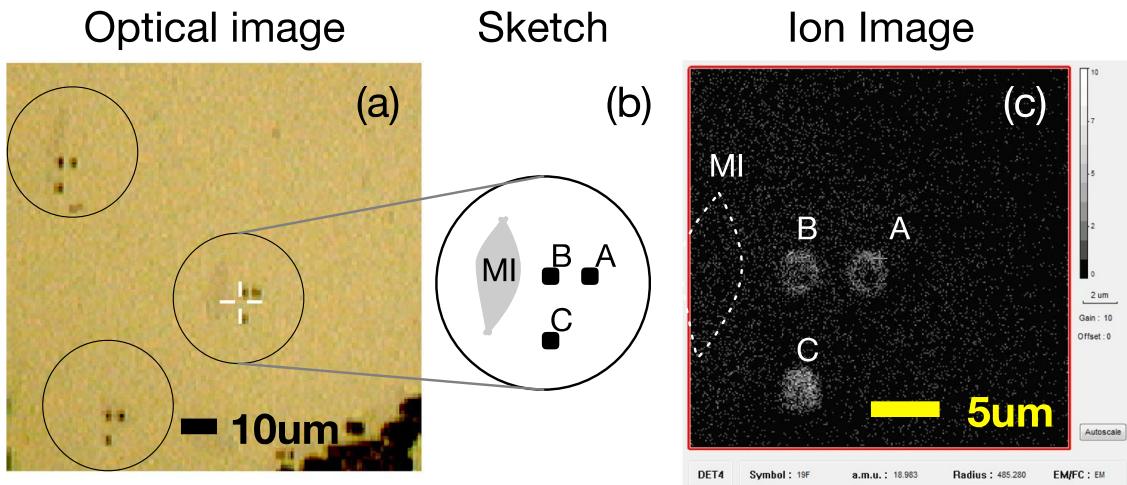


図 5 NanoSIMS で斑晶ガラス包有物に正確迅速に照準を合わせる工夫。²⁾ (a) : 光学像。(b) : 光学像のスケッチ。MI は測定ターゲットである斑晶ガラス包有物。A、B、C は試料表面に一次イオンビームで描いた 3 つのスポットであり、これらを星座のようにつなげて「 Γ (ガンマ)」マークと呼ぶ。光学像で、 Γ マークと斑晶ガラス包有物の位置関係を把握する。(c) : フッ素の二次イオン像。導電性コーティングのため斑晶ガラス包有物は見えない。 Γ マークとの位置関係にもとづきステージを移動させることで、斑晶ガラス包有物を正確に狙い撃つことができる。 Γ マークを用いることで、導電性コーティングを剥しながらイオン像を観察する従来法に比べ、分析に要する時間が 5~10 分の 1 に短縮された。

b) 有珠山 (産業技術総合研究所)

i) NanoSIMS による含水量分析

令和 4 年度にひきつづき、2000 年 3 月 31 日火山灰の石基ガラスの含水量を NanoSIMS で分析した。爆発的な噴火においては、マグマの減圧が急速かつ短時間に冷却固化することから、マグマの脱水が不完全になると考えられる。NanoSIMS による分析の結果、実際に石基ガラスの脱水が不完全であることを、確認できた。

ii) 1977 年、1978 年噴火の解析

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³⁾を対象として、噴火過程が既知である歴史時代の噴出物の解析をおこなっている。

令和 5 年度は、有珠火山で最新の準プリニー式噴火である 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、特に元素拡散の速い磁鉄鉱に着目して、その累帯構造の分析データの取得を進めた。これにより噴火直前の数日~数十日程度の時間スケールのマグマ過程を岩石学的に読み取ることが目的である。1977~1978 年噴火は一連のマグマ活動であり、

全岩化学組成も類似しているが、その活動の様子から第1期（1977年8月7～14日）と第2期（1977年11月16日～1978年10月27日）に分けられている^{4),5)}。それによると第1期噴火は4回の準プリニー式の軽石噴火（それぞれUs-1977-I、II、III、IV）を主とする激しい活動の後、発泡度の悪い爆発（Us-1977-SB）で終わった。第2期噴火は小規模な水蒸気爆発を繰り返す活動から始まり、1978年8月～9月に規模の大きなマグマ水蒸気～マグマ噴火（たとえば8月16日・8月24日・9月12～13日）で軽石・火山弾の放出や低温火碎流を発生させたのち、収束した。また、第1期活動終了後、地下のマグマのゆっくりとした上昇に伴う潜在ドーム形成が1982年3月まで続いている。第2期噴火は潜在ドーム上昇中に発生している。1977～78年噴火の一連の噴出物の詳細な解析をおこなうことで、地下のマグマの上昇と、噴火開始、準プリニー式噴火、マグマ水蒸気噴火、といった活動の推移や分岐過程の理解が進み、将来の噴火の推移・様式の予測に資することが期待される。

前年度までの分析結果により、2000年噴火と1977年噴火の噴火様式の違いは磁鉄鉱の累帯構造の違いにも反映されており、2000年噴火はマグマ上昇中に顕著な冷却過程/期間が存在していたのに対し、1977年噴火はむしろ噴火直前に加熱されており、この違いが噴火様式・規模・推移の違いを生じたことが推定されている。一方、1977年噴火は累帯構造のバリエーションが豊富であり、さらに詳細な検討が必要なことも明らかになった。そこで令和5年度では、1977年噴火に1978年噴火も加えた一連の噴出物において、噴火推移に伴って噴出物にどのような時間変化が見られ、それがいかなるマグマ過程によるものかを調べることを目的として、同噴出物の岩石学的分析をおこなった。分析には産総研地質調査総合センターのFE-EPMAを用いた。

今回得られた分析結果により、1977～78年の磁鉄鉱の累帯構造は時間（噴火ユニット）とともに系統的に変化しており、地下のマグマの上昇過程を反映している可能性があることがわかった。図6は、Us-1977-I、II、III、IVの4回の準プリニー式噴火、Us-1977-SB、1978年噴火（Us-1978）の中でも本質物を特に多く含み規模の大きかった8月24日と9月12～13日噴火、にそれぞれ含まれる磁鉄鉱のゾーニングプロファイルである。ここでは、マグマの組成や温度を強く反映して拡散も速く、数日～数十日程度の短い時間スケールのマグマ過程を読み取るのに適しているMgO濃度を示す。

一連の活動の最初期噴出物（Us-1977-I 最初期相）では、冷却を示唆するノーマルゾーニングが卓越する（図6(a)）。噴火開始時にマグマ上昇の先端部（マグマヘッド）が冷却を受けたことを反映していると考えられる。そのあとのUs-1977-I主相、-II、-IIIは、Us-1977-I 最初期相とも共通する比較的類似した特徴を持つ（図6(b、c、d)）。すなわち、ノーマルゾーニング（冷却）、リバースゾーニング（加熱）、それ以外の累帯構造が混在し、斑晶内部の大部分は均質でMgOは1.4～1.7wt%程度である。リバースゾーニングの存在は前述のように2000年噴火に見られない特徴で、噴火直前の高温マグマの注入・加熱を示唆する。このリバースゾーニングの存在度は、Us-1977-I、II、IIIと次第に低下しているようにもみえるが、これについては分析数をもっと増やす必要があるだろう。次のUs-1977-IVは一転してリバースゾーニングが卓越する（図6(e)）。Us-1977-IVは、I、II、IIIとは離れた全く別の場所に火口が開いており、出発したマグマ溜まりは共通でも上昇経路の異なるマグマバッチであったことが考え

られる。Us-1977-SB は Us-1977-III と同じ火口から 5 日後に噴火したもので、ノーマルゾーニングが卓越するとともに、ゾーニングの幅が広がっている（図 6(f)）。幅の広がりは拡散時間が長いことを意味し、5 日間の冷却期間を反映していると考えられる。

1978 年噴出物の磁鉄鉱は、1977 年（第 1 期）と明瞭に異なる。1978 年 8 月 24 日噴出物では、磁鉄鉱の MgO 量が 1.0 wt% 程度と低く、これは Us-1977-SB の磁鉄鉱のリム組成並みである（図 6(g)）。9 月 12～13 日噴出物ではさらに MgO 量が低下しており、全体としてノーマルゾーニング（冷却）の特徴を示す（図 6(h)）。これらは、1978 年噴火をもたらしたマグマは 1977 年第 1 期より低温であったことを示唆する。8 月 24 日噴出物の磁鉄鉱のプロファイルが平坦であることは、この低温条件に一定時間（数ヶ月以上）置かれていたと考えられる。

1978 年噴出物が低温環境にあったことは石基組織からもわかる（図 7）。1978 年噴出物では石基にシリカ鉱物が多く晶出しており（図 7(c, d)）、これは 1977 年 8 月（第 1 期）噴出物にはみられない特徴である（図 7(a, b)）。珪長質マグマの相平衡関係からシリカ鉱物の晶出は低温 and/or 低圧を意味している。

第 2 期噴火が潜在ドーム形成中に起きたことを考慮すると、一連の噴出物の特徴は以下のように考えられる。1977 年 8 月（第 1 期）噴火は、マグマ溜まりから直接もたらされたマグマにより引き起こされた。噴火の直前には高温マグマの注入・加熱があり、これが激しい準プリニー式噴火のトリガーになった可能性がある。Us-1977-I, II, III および SB はマグマ溜まりから上昇してきた一連のマグマが引き起こしたのに対し、Us-1977-IV は異なる上昇経路を辿ったマグマであったと考えられる。第 1 期噴火のあと、マグマ溜まりから上昇してきたマグマバッチは浅部に貫入・上昇を続け、地表では潜在ドームを形成した。1978 年噴火をもたらしたマグマは、マグマ溜まりから直接もたらされたのではなく、この浅部に貫入・上昇したマグマが引き起こした。1978 年噴火のマグマは、マグマ溜まりを出発して 1 年経過する間に浅所で冷却が進んだため低温で、準プリニー式噴火を引き起こすほどのエネルギーと揮発性物質をもたなかつたため、マグマ水蒸気爆発を中心とする活動となった。

今回得られた画像は定性的なものに留まるため、今後は温度・圧力・時間スケールの定量的な解析をおこない、より具体的なモデルの構築を目指す必要がある。

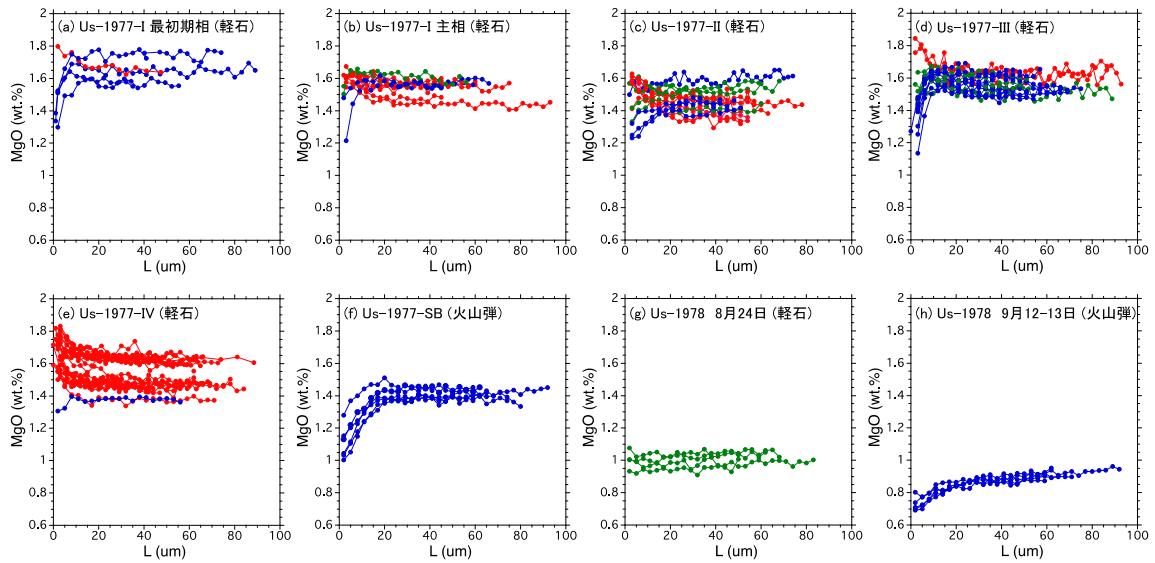


図 6 有珠 1977~78 年噴出物中の磁鉄鉱の MgO 濃度の zoning profile。磁鉄鉱中の MgO 濃度はマグマの組成や温度を強く反映するほか、拡散が速いため、数日～数十日程度の短い時間スケールのマグマ過程を読み取るのに適している。青=ノーマルゾーニング（リムに向かって Mg が低下）、赤=リバースゾーニング（同・Mg が増加）、緑=どちらでもないもの。詳細は本文参照。

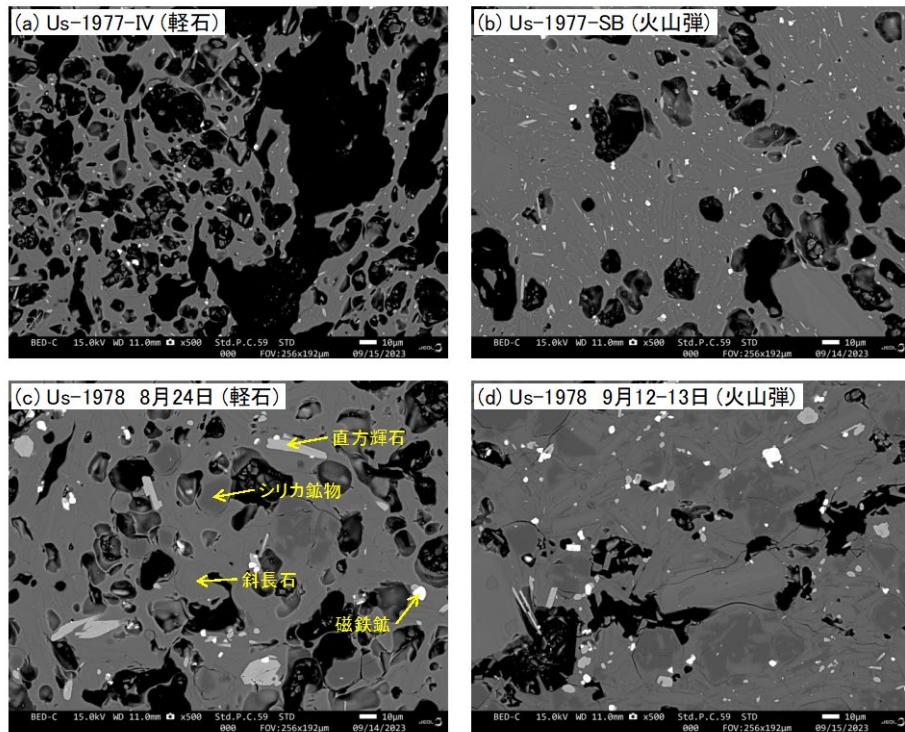


図 7 有珠 1977~78 年噴出物の石基組織の反射電子像。倍率・スケールはすべて同じ。1978 年噴出物 (c, d) にはシリカ鉱物（暗灰色）が特徴的にみられる。

c) 榛名山 (早稲田大学)

最新の噴火活動は二ツ岳で発生している。噴火活動は2度起きており、いずれも爆発的噴火を伴うものであった。二ツ岳伊香保噴火（6世紀後半～7世紀初頭）のクライマックスは準プリニー式噴火と噴煙柱崩壊型火碎流であった。一方、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はない状況で、火碎流を発生させている。既存の層序学的データは噴火の推移を知る上で重要なものであるが、火碎流を発生させた活動のタイプ（メラピ型～スフリエール型）を知る上で十分なものではない。この観点から、二ツ岳渋川噴火の火碎流で生成した各種の堆積物（無層理の厚い堆積物、火碎サージ堆積物）や、様々なサイズの火碎物の組織学的・色彩学的検討をおこない、さらに噴火観測のあった近年の珪長質マグマの噴火活動と比較することで、噴火の実像に迫ろうとしている。この検討の基礎として、火碎物の岩石学的検討を済ませている⁶⁾。この噴火の軽石には、灰色・白色や、それらの混在した縞状のものが確認されるが、それらを生成したマグマの特徴には相違はない。今年度は、無層理の厚い火碎流堆積物に含まれる、比較的大きな軽石（～30 cm）の組織学的検討の第一歩として、見かけ密度測定を実施した。サンプルは北東麓と南東麓の3露頭（下川島・中野・松之沢）から採取したものである。軽石の体積測定には上述のA-2（新燃岳・享保噴火の研究）と同じ方法を用いた。合計36試料は、0.87～1.99 g/cm³の見かけ密度を示す。また相互の重複はあるものの、白色軽石は灰色軽石に比べ、見かけ密度が小さい傾向が確認された。鈴木・他⁶⁾で明らかにしてあった岩石密度や斑晶・石基のモード値や、そこから算出された岩石密度を用いることで、軽石のバルクの発泡度は25～70 vol%の範囲にあることが判明した。

d) 富士山

i) 富士山宝永噴火の斑れい岩捕獲岩から探るマグマ供給系の温度- f_{O_2} 変化（静岡大学）

富士山宝永噴火の噴出物中にはしばしば斑れい岩が含まれており、そのうち～20%は鉱物粒間にガラスを含むことから、これらの捕獲岩はクリスタルマッシュの欠片と考えられる。そこで我々はこれまで、粒間ガラスを含む斑れい岩捕獲岩を中心に研究を進めてきた⁷⁾。一方で捕獲岩の～80%は粒間ガラスを含まない斑れい岩であるが、富士山地下のマグマ供給系の全貌を理解するうえで、これらの捕獲前における状態に関する情報も重要である。Fe-Ti酸化物は、温度- f_{O_2} 条件に依存して化学組成が変化する鉱物であり、特に磁鉄鉱とイルメナイトが共存する場合には平衡温度- f_{O_2} 条件を制約することができる。そこで、粒間ガラスを含まない斑れい岩捕獲岩のうち、磁鉄鉱とイルメナイトの共存が確認できるものについてそれらの化学組成を分析し、Fe-Ti酸化物の平衡温度- f_{O_2} 条件を見積もった。

分析した試料は、安井・他⁸⁾の定義に従って0グループとPグループに分類した。0グループの試料の温度- f_{O_2} 条件は、T～800±20 °C、ΔQMF～2.2±0.2の狭い範囲に収束した。これに対し、Pグループでは全体としてT～770 °C、ΔQMF～2.6からT～1,020 °C、ΔQMF～1.1の幅広い範囲で変化する、負の勾配を持つバリエーションが見られた。このバリエーションは個々の試料中でも見られたため、Fe-Ti酸化物について

て元素濃度マッピングをおこなったところ、イルメナイトと接する磁鉄鉱のリムのみで Ti の濃度変化が確認できた。そこで、Ti 濃度マップの画像解析をおこない、イルメナイトとの界面に垂直な方向での濃度プロファイルを定量化し、これについて拡散クロノメトリー解析をおこなった。この際、温度は磁鉄鉱のリムとイルメナイトの組成から計算される値を用いた。その結果、誤差を考慮して 1 日～1 ヶ月の拡散タイムスケールを得た。これらの捕獲岩が宝永噴火初期に噴出した⁸⁾ものと仮定すると、噴火開始の最大 1 ヶ月前には地下のマグマ供給系で温度-f_{O₂}条件の変化が始まっていた可能性が考えられる。そこで今後、粒間ガラスを含む試料も含めて、磁鉄鉱の組成ゾーニングの有無の確認、定量分析と拡散クロノメトリー解析をおこなう予定である。

ii) 宝永噴火噴出物の X 線 CT 装置による精密組織解析（東北大学）

富士火山東麓の自衛隊東富士演習場敷地内で採取された宝永噴火噴出物の X 線 CT 装置による精密組織解析とおこなった。

iii) 大淵降下スコリアの分析（常葉大学）

前年度に引き続き、大淵降下スコリアについて、鉱物組成分析をおこなった（図 8）。また、前年再調査を実施し採取した大沢スコリアの層序試料については、鉱物化学分析をおこなった。

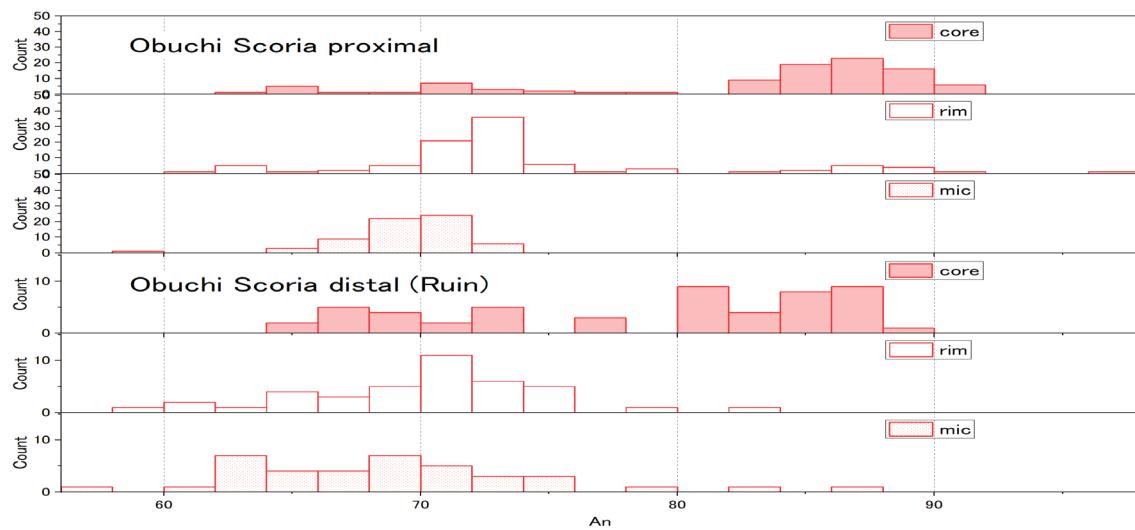


図 8 富士火山大渕スコリアの斜長石組成。（上）火口近傍（標高 1,200 m）、（下）火口から 10 km（富士市比奈）。それぞれ上から斑晶コア、斑晶リム、石基。いずれも正累帯でピーク位置もほぼ同じであった。

e) 伊豆大島

i) 安永噴火の噴出物の解析（東京大学）

課題 C-2 と連携して安永噴火の噴出物の解析をおこなった。爆破的な噴火の原因をさぐるため、石基ガラスの含水量測定に着手した。

ii) 深成岩捕獲岩から探る伊豆大島の浅部マグマ供給系（静岡大学）

近年の火山学では、マグマだまりの大部分はクリスタルマッシュから構成され、その中の様々な深さにおいて噴火可能なマグマだまりが形成していると考えられている⁹⁾。火山噴出物中にはしばしばクリスタルマッシュの破片が含まれており、これらは現在活動中のマグマ供給系に関する情報源として有用である。伊豆大島 1986 年噴火の B 火口噴出物中にも、クリスタルマッシュの欠片と考えられる、結晶粒間にメルト（ガラス）を含む深成岩捕獲岩が含まれており、これらを調べることで B マグマの供給系に関する情報が得られると期待できる。そこで我々は、伊豆大島 1986 年 B 噴火の深成岩捕獲岩について岩石組織観察と化学分析をおこない、その形成過程について検討を進めてきた。前年度までの研究¹⁰⁾では、伊豆大島 1986 年 B 噴火の深成岩捕獲岩がその構成鉱物の組み合わせと量比に基づいて 3 グループ（主にかんらん石と斜長石から構成され、磁鉄鉱と石英を含まない Group-I、主に斜長石と輝石、磁鉄鉱から構成され、カンラン石と石英を含まない Group-II、斜長石、輝石、磁鉄鉱に加えてイルメナイトと石英を含む Group-III）に分類できること、また、それぞれのグループによって、鉱物粒間を埋めるガラスの化学組成が異なること（Group-I は 1986B 噴火マグマと類似の玄武岩質安山岩組成、Group-II は安山岩～デイサイト質組成、Group-III はデイサイト～流紋岩質組成）を明らかにした。そして、Group-I と II の深成岩がそれぞれ、玄武岩質安山岩組成とデイサイト組成のマグマだまりに由来するクリスタルマッシュの欠片であり、また、伊豆大島浅部に未噴火の流紋岩質マグマが存在する可能性があると議論した。今年度は、これらの深成岩捕獲岩に含まれる構成鉱物の化学分析をおこない、各グループの深成岩とマグマの成因的な相互関係を検討するとともに、そのマグマだまりの物理化学条件の検討を試みた。

構成鉱物の化学組成分析の結果、まず、Group-III の深成岩がさらに 2 つのサブグループ（Group-IIIA と Group-IIIB）に細分できることがわかった。Group-IIIA は普通輝石を含み、石英は粗粒鉱物の粒間のみに見られる。一方で Group-IIIB は Fe に富むピジョン輝石を含み、石英は鉱物粒間だけでなく粗粒な単独結晶としても見られる。各グループの深成岩中に含まれる斜長石の化学組成を図 9 に示す。Group-I の斜長石は An# の低下に伴って FeO 量が増加するのに対し、Group-II では An# も FeO 量もほぼ一定、Group-IIIB では An# の低下に伴って FeO 量が単調に低下した。Group-IIIA の斜長石の振る舞いはやや複雑で、An# > 80 では Group-A と重なる組成バリエーションを示すのに対し、An# < 80 では An# の低下とともに FeO 量が減少する。An# ~80 で FeO 量が増加から減少に転じるのは、Fe-Ti 酸化物が晶出を開始することが原因と考えられる。An# > 80 で Group-III の斜長石組成が Group-I と一致することは、両者の成因の直接的な関連を示唆する。また、Group-IIIB の斜長石のうち An# が最も高いものの組成が Group-II の斜長石と一致することは、Group-II の Group-IIIB の成因的関連を示唆する。Group-IIIA に比べて IIIB の方が An# の最低値が低いことは、後者の方がより分化していたことを示唆し、これは Group-IIIB の方が石英の含有量が多いこととも整合的である。輝石では、Group-I、II、IIIA は普通輝石 + 直方輝石の組み合わせであるのに対し、Group-IIIB は Fe に富むピジョン輝石 + 直方輝石であるという違いが見られる。さらに、Group-I と IIIA では普通輝石の化学組成が一致する。この結果

は、Group-I と IIIA が成因的に関係あること、また IIIA に比べて IIIB の方がより分化しているという考えを支持する。Group-III A の輝石には、粒間メルトとの界面付近で組成ゾーニングが確認できる。また Group-III B の輝石は、粒間メルトとの界面付近で細粒の輝石+Fe-Ti 酸化物+石英+ガラスからなるシンプレクタイトに分解している。これらの組織は、IIIA、IIIB のクリスタルマッシュ中において、粒間メルトの入れ替わりによる非平衡が発生したことを示唆する。

これらの深成岩の捕獲前の温度は、Group-I でおよそ 1,050 °C より高温（磁鉄鉱のリキダスからの制約）、Group-II でおよそ 1,070 °C（二輝石温度計）、Group-III A で 680~830 °C 程度、Group-III B で 750~970 °C 程度（Fe-Ti 酸化物温度計）と見積もられる。Group-III の温度のばらつきは、粒間メルトの入れ替わりによる温度変化を反映していると考えられる。一方で深成岩捕獲岩の由来深度については、Group-II の試料のみについて輝石温度計と斜長石リキダス温度含水量計の組み合わせから、およそ 2 km より浅いという結果が得られた。Group-I と III については温度の誤差が大きいため、由来深度の精密な見積もりが困難であったが、ホストマグマの由来深度が 2~4 km と推定されるため¹¹⁾、これより浅部に由来すると考えられる。

以上の結果から、伊豆大島 1986 年 B 噴火の深成岩捕獲岩は深さ 4 km より浅部のマグマ供給系に由来し、以下のような過程で形成したと考えられる。Group-I は、1986 年噴火の際に B・C 火口列から噴火した玄武岩質安山岩マグマと共に存するクリスタルマッシュに由来する。Group-II は、Group-I とは別の、より分化したデイサイト質マグマだまりに由来するクリスタルマッシュである。Group-III A は、Group-I と同じ（または類似の）クリスタルマッシュが、後に結晶粒間への流紋岩質メルトの流入を受けて変質したものである。Group-III B は、Group-II と共に存するデイサイト質マグマがさらに分化する過程で形成したクリスタルマッシュが、後に結晶粒間への流紋岩質メルトの流入を受けて変質したものである。このような様々な分化程度のマグマだまりが、伊豆大島山頂カルデラの地下 4 km までの深さに複数存在し、その中には噴火可能な珪長質マグマも存在する可能性があると考えられる。そこで今後、1986 年噴火の際に少量であるが噴出したデイサイト質軽石¹²⁾について岩石学的分析をおこない、その噴火準備過程および深成岩捕獲岩との関係について検討する予定である。

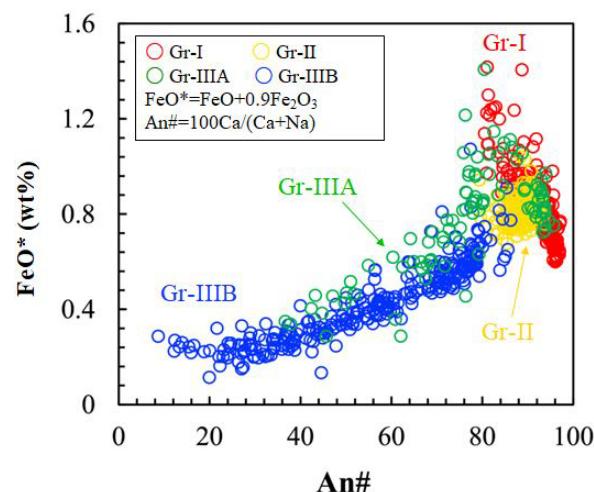


図 9 伊豆大島 1986 年 B 噴火の深成岩捕獲岩中に含まれる斜長石の化学組成

f) 東伊豆単成火山群（静岡大学）

伊豆大室山の流紋岩質メルト包有物の微量元素組成

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 3,100 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 3,100 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。これについて Koyama and Umino ¹³⁾ は、伊豆高原近傍の単成火山の苦鉄質マグマが周縁部の単成火山に比べて全岩 SiO_2 量がやや高いことに着目し、同地域の地下に安山岩質-流紋岩質のマグマが形成していると議論した。さらに Hatada et al. ¹⁴⁾ は、伊豆高原でおよそ 4,000 年前（カワゴ平より 900 年程度古い）に噴火した大室山の苦鉄質マグマに含まれる斜長石斑晶とそのメルト包有物の化学分析をおこない、斜長石中のメルト包有物が流紋岩質組成を有すること、また、そのホスト斜長石の主成分化学組成 ($\text{An} \# = 100\text{Ca}/\text{Ca+Na}$ および FeO 含有量) が流紋岩質メルトと共存できるものであることを示した。これらの結果から Hatada et al. ¹⁴⁾ は、大室山噴火時、その地下に既に流紋岩質マグマが存在し、より深部から上昇してきた苦鉄質マグマと混合して噴出したと議論した。それでは、この流紋岩質マグマはどこでどのように形成・蓄積していたのだろうか？また、カワゴ平流紋岩とは成因的に関連があるのだろうか？これを検討するため、JAMSTEC の LA-ICP-MS を用いて、大室山の斜長石斑晶およびそれらに含まれるメルト包有物の微量元素組成分析をおこなった ¹⁵⁾。

大室山の斜長石斑晶中に含まれるメルト包有物の化学組成は、石基ガラスと同じ玄武岩質安山岩組成から流紋岩質組成まで変動する。これについて Hatada et al. ¹⁴⁾、ハーカー図上で直線的な組成バリエーションを示すことと、ホスト斜長石組成がメルト包有物組成に相関して変化ないことから、本来のメルト包有物組成は流紋岩質で、ホスト斜長石が完全に閉じていない場合に石基メルトがメルト包有物に浸透・混合するためこの組成バリエーションが生じたと議論した。今回、性質の異なる 32 種類の微量元素でも同様のバリエーションが見られたことから、Hatada et al. ¹⁴⁾ の議論が裏付けられた。

流紋岩質メルト包有物とそのホストの低 $\text{An} \#$ 斜長石の微量元素組成を分析し、これらの値から各元素について分配係数を求めた。その結果、求められた分配係数はほとんどの元素について、先行研究 ^{16), 17)} で実験的に求められた値と一致した。このことから、流紋岩質メルトとそのホストの低 $\text{An} \#$ 斜長石が化学的に平衡であったことが示された。なお、石基メルトと高 $\text{An} \#$ の斜長石（微斑晶や斑晶のリム）についても同様の検討をおこなったところ、このペアも平衡値を示した。この結果は、低 $\text{An} \#$ 斜長石を含む流紋岩質マグマが苦鉄質マグマと混合した後、混合後の苦鉄質石基メルトから晶出した高 $\text{An} \#$ 斜長石が斑晶のリムや微斑晶を形成したという Hatada et al. ¹⁴⁾ の議論を支持する。

流紋岩質メルト包有物の微量元素組成を、かんらん石斑晶中のメルト包有物、石基メルトおよび大室山溶岩の全岩化学組成と比較したところ、後三者は互いに類似していたが、流紋岩質メルト包有物はこれらに比べて LILE に富み、HREE に乏しいことが

分かった。一方で、この流紋岩質メルト包有物をカワゴ平流紋岩と比較したところ、両者の微量元素組成はほぼ一致した（図 10）。そこで、伊豆東部火山群の玄武岩を初期物質とした高温高圧・含水平衡実験¹⁸⁾の結果と比較したところ、部分溶融度が 10～20%程度のときのメルトの主成分元素組成が大室山の流紋岩質メルトと似ていることがわかった。更に、同じ実験¹⁸⁾の試料中に含まれる各相の量比と大室山・カワゴ平のマグマ中の鉱物の微量元素組成分析値を用いて部分溶融メルトの微量元素組成を推定したところ、大室山の流紋岩メルトと整合的であることが示された。これらの結果から、大室山およびカワゴ平の流紋岩質メルトの化学組成は、主に玄武岩の部分溶融もしくは玄武岩質メルトの結晶作用によって説明可能と考えられる。この流紋岩質メルトの形成深度は、ホスト斜長石との平衡関係からおよそ 10±5 km と見積もられている¹⁴⁾。玄武岩質メルトと流紋岩質メルトの混合比率と低 An#斜長石の量の関係から、混合時の流紋岩質マグマの結晶量はおよそ 10%以下だったと推定される。

以上の結果より、大室山噴火のタイミングで、その地下にカワゴ平と似た流紋岩質マグマが存在したことが示唆された。カワゴ平のマグマはプリニ一式噴火を引き起こし、広域に火山灰を飛散させるとともに火碎流も発生している。このような噴火が伊豆高原でも発生する可能性があるかどうかについては、今後の検討課題である。また、伊豆高原地下における流紋岩質マグマの時間的・空間的分布も明らかにすべきであり、このために今後、大室山周辺の 10 万年前～2,700 年前に噴火した複数の単成火山についても調べていく予定である。

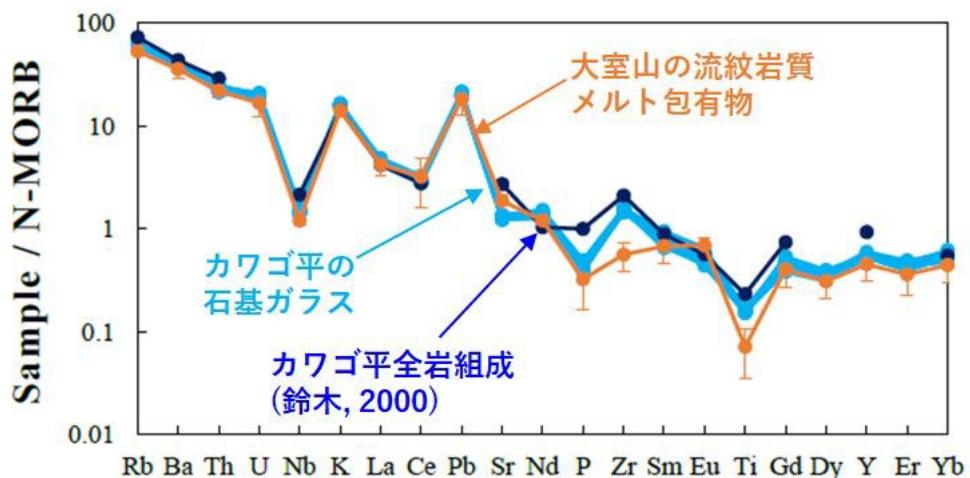


図 10 大室山の流紋岩質メルト包有物とカワゴ平流紋岩の微量元素組成の比較

g) 雲仙（東京大学）

令和 4 年度に引き続き、1663 年噴火、1792 年噴火、1991～1995 年噴火の比較研究を継続した。斑晶内部の元素拡散プロファイルに基づき、浅部マグマ溜まりへのマグマの注入と噴火発生の時間差について検討をおこなった。

h) 阿蘇（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 K-Ar 年代

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が生じたことが分かってきている^{19), 20)}。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 Ma²¹⁾) 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。そのため前年度に引き続き、阿蘇外輪山に分布する先カルデラ期の火山岩類の K-Ar 年代測定をおこなった。その中で、西外輪山立野地域の工事現場において新たに岩脈を見出したので、この試料については偏光顕微鏡下での岩石記載、全岩化学組成分析もおこなった。全岩化学組成分析には蛍光 X 線分析装置（国立科学博物館）を用いた。K-Ar 年代測定は、岩石から分離した石基試料に対しておこなった。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 同位体分析をおこない、K-Ar 年代を算出した。

分析の結果、今回新たに発見した岩脈は直方輝石单斜輝石安山岩 ($\text{SiO}_2=61 \text{ wt\%}$) であることが分かった。本試料は SiO_2 vs. K_2O 図上において High-K の領域にプロットされ、カルデラ形成期以降の噴出物の組成範囲内にプロットされる（図 11）。この岩脈試料から得られた K-Ar 年代値は 0.27 Ma であった（図 12）。この年代値は Aso-1 火碎流堆積物の年代報告値²¹⁾と一致する。以上の結果から、西外輪山で新たに発見した岩脈は Aso-1 とほぼ同時期に貫入した、先カルデラ期とは異なる特徴を有するマグマの固化物であると考えられる。

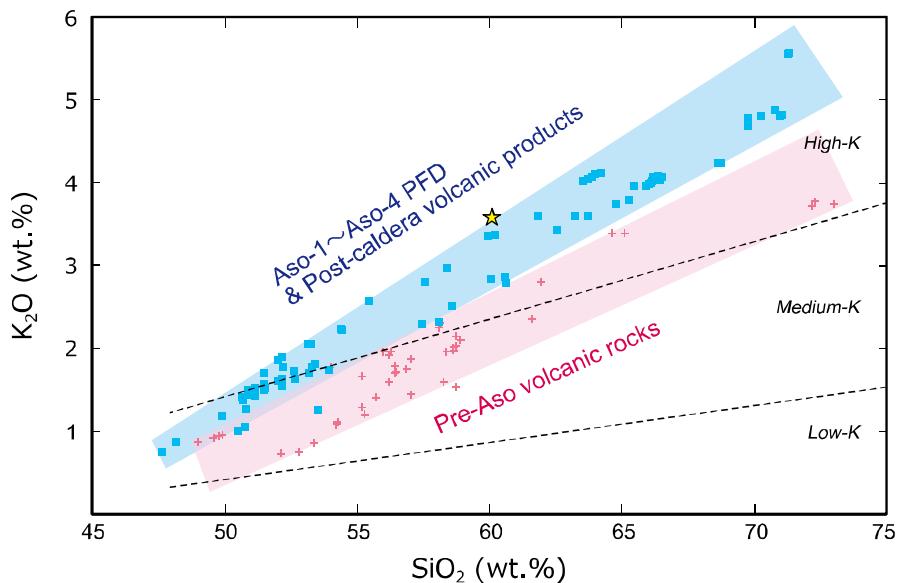


図 11 阿蘇火山噴出物の SiO_2 vs. K_2O 図。星印は西外輪山の岩脈試料組成。Aso-1～Aso-4 火碎流堆積物、後カルデラ期火山噴出物のデータはそれぞれ Hunter²²⁾、三好・他²³⁾。先阿蘇火山岩類のデータは三好・他²⁴⁾。Low-K、Medium-K、High-K 系列の境界線（点線）は Maitre et al.²⁵⁾。

西外輪山立野地域の岩脈の他に、今年度は南西～北外輪山に分布する輝石安山岩および普通角閃石安山岩溶岩および岩脈 5 試料について K-Ar 年代測定をおこない、0.44

~0.49 Ma の年代値が得られた（図 12）。これまでに得られた K-Ar 年代と化学組成の間に明瞭な系統性は確認できないが、特に Aso-1 噴火前の 0.6 Ma 以降には多様な安山岩質マグマの活動が卓越したと考えられる（図 13）。

今後は北および南外輪山についても分析点を増やすことで、先カルデラ期の火山活動史を俯瞰できるようになると考えられる。また、年代値が明らかになった噴出物の岩石学的データを充実させることで Aso-1 に至る前のマグマ供給系が明らかになることが期待され、このことが延いては超巨大噴火の予測に貢献しうると考えられる。

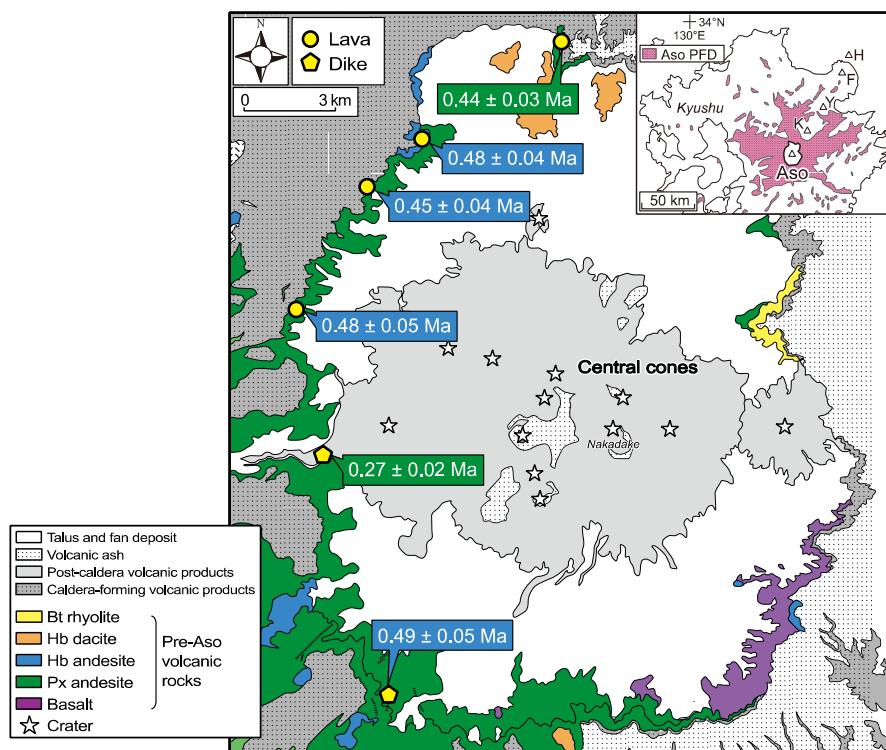


図 12 試料採取地点と得られた K-Ar 年代。地質図は小野・渡辺¹⁹⁾を改変。

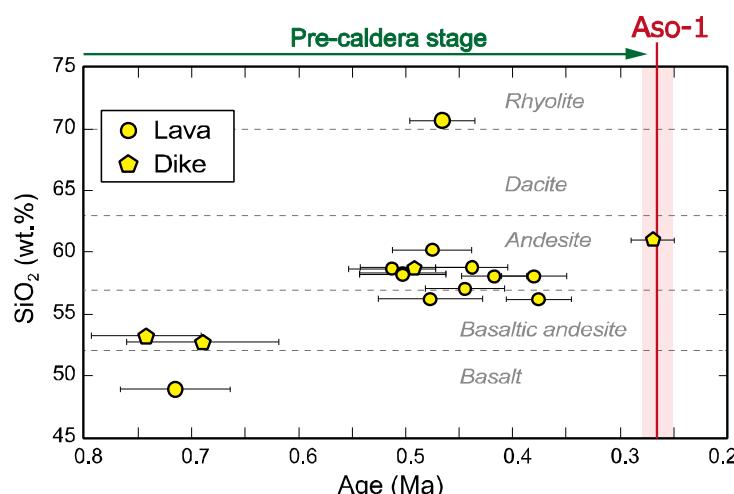


図 13 これまでに得られた阿蘇外輪山の溶岩および岩脈試料の K-Ar 年代 vs. SiO_2 図

ii) 先阿蘇火山岩類に含まれる角閃石斑晶の分析

先阿蘇火山岩類に含まれる角閃石の化学組成分析をおこない、角閃石の晶出温度と圧力、共存メルトの主成分化学組成および含水量の推定をおこなった。阿蘇火山において角閃石を含む安山岩質溶岩の存在は先カルデラ期に特徴的で、それらの多くは Medium-K に分類される²⁴⁾。他方、Aso-1 噴火の珪長質噴出物は High-K に分類され、角閃石を含まない²²⁾。Aso-1 噴火直前には High-K マグマに分類される噴出物の存在が報告されており²⁶⁾、岩石種変化の要因および両者の生成場に関する情報はカルデラ形成期への移行過程を理解する上で重要な制約条件になる。本年度は阿蘇カルデラ西部の立野地域に露出する安山岩質溶岩^{24), 27)}を対象として斑晶鉱物の化学分析をおこなった。分析した試料は 55.2~57.7 wt% SiO₂ の普通角閃石両輝石安山岩 (Hb-2Px) またはかんらん石普通角閃石両輝石安山岩 (01-Hb-2Px) である。斑晶の分析には国立科学博物館の電子線プローブマイクロアナライザー (EPMA) を使用した。分析した角閃石斑晶は magnesiohastingsite または tschermakitic pargasite に分類され、溶岩のフローユニット間で化学組成に系統的な変化はみられない。得られた角閃石の組成に Zhang²⁸⁾ の式を適応して推定した共存メルトの主成分元素組成を図 14 に示す。角閃石と平衡なメルトは 58~66 wt% SiO₂ の Medium-K に属する安山岩質~デイサイト質マグマで、先阿蘇火山岩類の全岩報告値と一部重複するがより珪長質な組成である。Aso-1 の High-K マグマとは組成が明瞭に異なり、High-K マグマが殆ど角閃石を含まないことと調和的である。

今回得られた角閃石の化学組成に Ridolfi and Renzulli²⁹⁾ の単相温度圧力計を適用すると、温度と圧力はそれぞれ 855~997 °C、276~492 MPa となる。約 2,500 kg/m³ の地殻密度を仮定すると、先カルデラ期の角閃石を含む安山岩質マグマは約 11~20 km の深さに蓄積していたと考えられる。

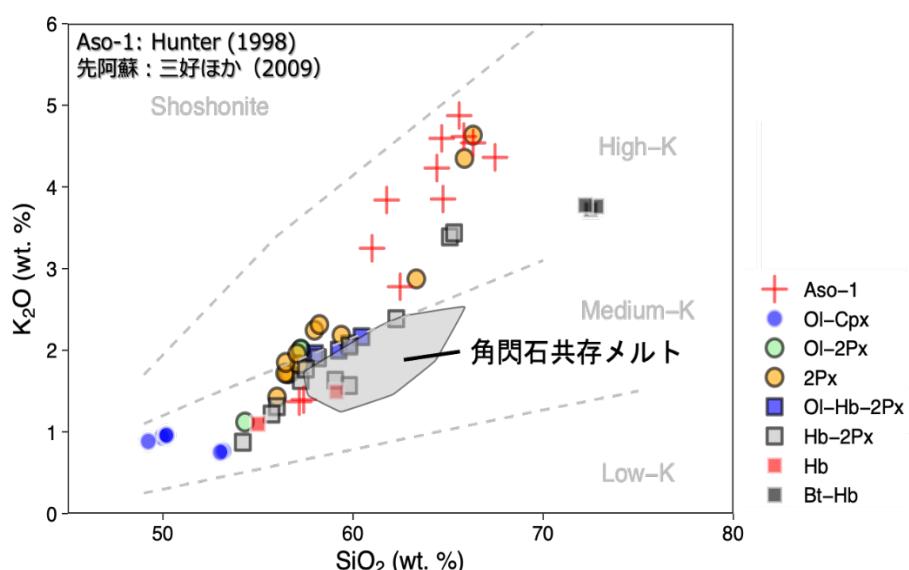


図 14 先阿蘇火山岩類に含まれる角閃石斑晶の化学組成から推定した共存メルト組成

i) 霧島・新燃岳

 i) 享保噴火の検討（早稲田大学）

はじめに 新燃岳では 2011 年や 2017~2018 年の噴火において、地球物理・地球化学を含む多項目観測がなされた。新燃岳のマグマ供給系や噴火機構の詳細を理解するには、複数噴火を比較し、それらの共通点と噴火間の差異を整理することが不可欠である。特に規模の異なる噴火間の差異は、噴火規模の分岐過程と関連している可能性がある。ここでは、2011 年噴火と、1716~1717 年の享保噴火の比較に焦点を当てる。2 つの噴火のクライマックス期（爆発的噴火期）の噴出率は、2011 年噴火（VEI3）に比べ享保噴火（VEI4）で一回り大きいことが、降下軽石の分布や噴出物の総量から示唆される^{30), 31)}。2011 年噴火については論文公表済みであるため^{32), 33)}、享保噴火の解析を新規に進めた。噴火規模の分岐は、マグマ溜まり深度と、マグマ溜まりからの上昇過程の両方で起きる可能性がある。マグマ溜まりからの上昇過程が噴火様式や噴火規模を左右することは良く知られている。一方、噴火に関わったマグマのマグマ溜まりでの特徴（バルク組成、温度、結晶度）や、複数のマグマの相互作用の条件も、噴火規模と関わりを持つ。ここでは個々のマグマプロセスを研究する際の研究手法を各セクションの見出しにつけ、岩石学と石基組織学として記述していく。

享保噴火の研究露頭とサンプル 享保噴火の降下火碎物は SmKP-1~SmKP-7 の 7 ユニットに分類される³⁰⁾。分担者らは過去に、前述の井村・小林³⁰⁾の露頭 No. 5 にて研究を試みた³⁴⁾。しかし現在は SmKP-3 よりも上位層しか観察できない問題があった。そこで 2020 年度に田島・他³⁵⁾の Loc. 8 の露頭を調査した。今年度は、その露頭のサンプルを岩石学と石基組織学の両方で使用した。SmKP-1 と SmKP-3 以外のユニット内では構成物や粒径に変化が見られるため、各々をサブユニットに細分した（図 15(a)）。今年度は火山礫サイズ以上の火碎物を扱った。

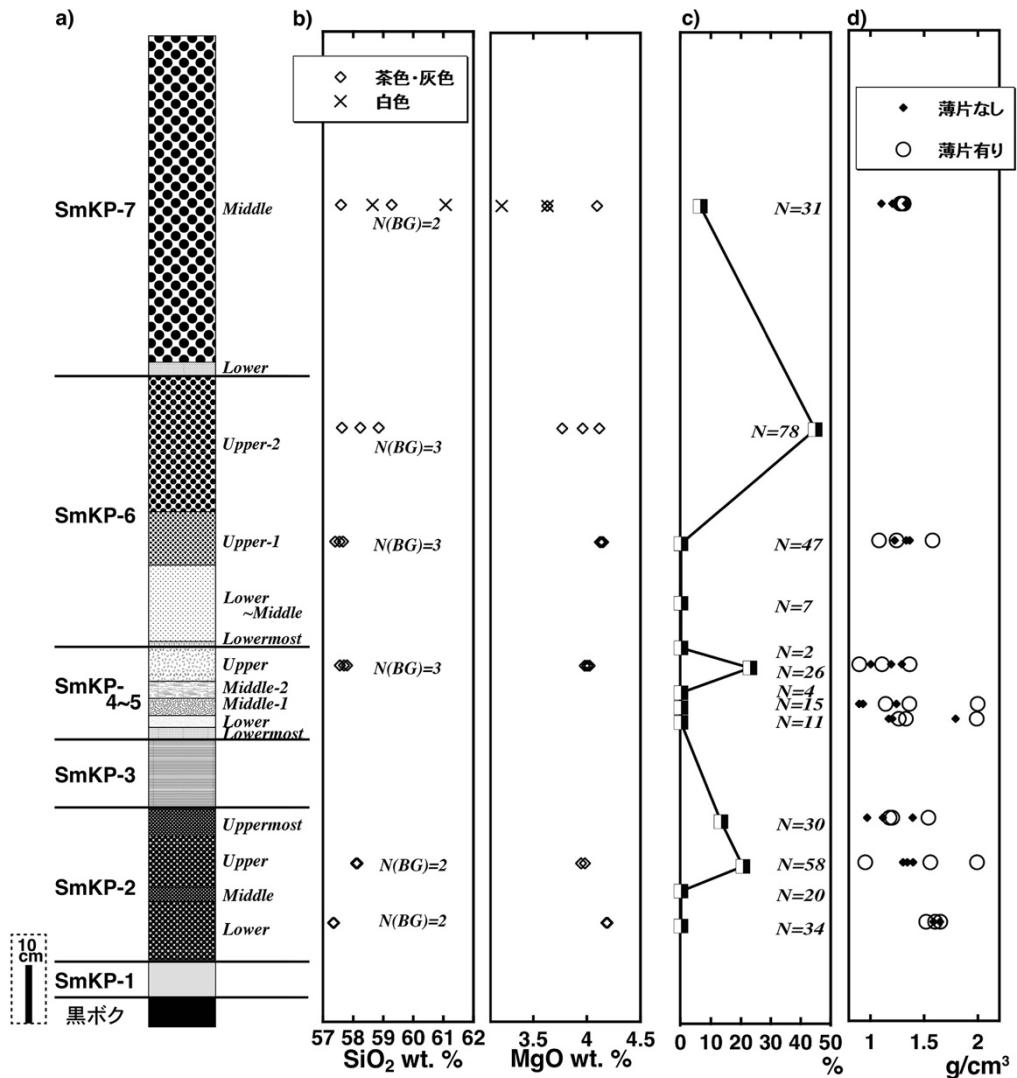


図 15 (a) 新燃岳・享保噴火の調査地点の柱状図。(b) 岩石学的検討をおこなった軽石の全岩組成、(c) 軽石全体に占める縞状軽石の比率、(d) 灰色・茶色軽石の見かけ密度。(a) の柱状図の模様は、層準ごとの構成物の粒径を示す。(b) $N(BG)$ が灰色・茶色軽石の分析数を示す。(c) の縞状軽石とは、軽石の表面全体の 10 パーセント以上が白色であるものである。数字は観察軽石数を示す。(d) は各層準 5~6 サンプルのデータである。(b)、(c)、(d) のいずれにおいても火山礫サイズ以上を対象としたため、SmKP-1、SmKP-3、SmKP-4~5 の Lowermost、SmKP-7 の Lower についての解析結果はない。

享保噴火の降下火碎物の軽石は、色彩が均質なものについては茶色と灰色が大多数であり、白色は極少数である。また茶色・灰色部と白色部が混在した縞状軽石も存在する(図 15(c))。新燃岳では、白色軽石は低温端成分マグマそのものに、茶色・灰色軽石は 2 端成分マグマの混合マグマに、各々由来する傾向がある^{32), 34)}。これを踏まえ岩石学的検討では、茶色・灰色軽石の他に白色軽石も検討の対象にした(図 15(b))。石基組織学においては、どの層準でも多数存在する茶色・灰色軽石を解析した。縞状

軽石については個々の色彩の部分を分離して処理することが難しいことが多いので、現段階では扱っていない。サンプル採取の仕方は岩石学的検討と組織学的検討で異なる。岩石学的検討では、薄片作成のほかに、岩石粉碎による各種検討も行えるよう、各層準から比較的大きい軽石を選択的に取り出し、その中の 17 サンプルを優先的に検討した（図 15(b)）。白色軽石は SmKP-7 Middle のみで、合計 2 サンプル検討された（図 15(b)）。石基組織学では、各層準からバルク採取した大量の軽石を縮分し、少なくとも数十個を検討対象にすることにした。

岩石学

17 サンプルの全岩の SiO_2 量と MgO 量を図 15(b) に示す。 SiO_2 量と MgO 量には負の相関がある。茶色・灰色軽石は全体として SiO_2 は 57.3~59.3 wt% の範囲にあるが、SmKP-2~SmKP-6 Upper1 までは層準毎に非常に均質であるのに対し、SmKP-6 Upper2 と SmKP-7 Middle ではサンプル間の相違が大きくなる。白色軽石の SiO_2 は 58.6~61.1 wt% の範囲にある。17 サンプルの各々について 3 枚以上の薄片を観察した。斑晶の組み合わせは、茶色・灰色軽石で单斜輝石 + 斜方輝石 + 斜長石 + Fe-Ti 酸化物土かんらん石であり、ユニットによる系統差は認めない。白色軽石では单斜輝石 + 斜方輝石土角閃石 + 斜長石 + Fe-Ti 酸化物土かんらん石であるが、全岩 SiO_2 量が高い方のサンプルのみでかんらん石が、全岩 SiO_2 量が低い方のサンプルのみで角閃石が確認された。以上の多くは 2011 年噴火と類似するものの、いくつか違いがある。2011 年噴火と比べかんらん石斑晶のサイズが小さいことは坂井・鈴木³⁴⁾でも指摘したが、SmKP-2 を含む噴火初期についても確認した。白色軽石が角閃石斑晶を含むことがある点も、2011 年噴火とは異なる。2011 年噴火前に火口で観察された溶岩が角閃石斑晶を含むこと³⁵⁾と何らかの関係を持っている可能性がある。

各層準の軽石全体に占める縞状軽石の比率は、層準毎に差異がある（図 15(c)）。SmKP-2、SmKP-4~5、SmKP-6 の各々について、上位に向けて縞状軽石の比率が上昇する傾向がある。縞状軽石は、新たなマグマのマグマ溜まりへの注入や、噴火開始後の火道でのマグマの上昇の途中等の、様々な状況で発生する。いずれの場合も、縞状軽石の比率の変化は、享保噴火全体の中に噴火の盛衰の複数のサイクルがあったことを示唆する。

石基組織学

代表的層準について、比較的大きい 5~6 個の茶色・灰色軽石について、予察的な見かけ密度測定を実施した（図 15(d)）。体積測定には、キーエンス社製 3D スキナ型三次元測定機（早稲田大・地球科学専修所有）を使用した（図 16）。体積既知の物体を用いたテストにより、体積測定の相対誤差は、およそ $\pm 2.5\%$ と判明している。3D データの処理には、測定機付属のソフトウェア（2 方向から得たスキヤンデータの合体まで）と ZEISS Quality Suite の Inspect Optical 3D（3D データの穴埋めと体積計測）を使用した（図 16）。茶色・灰色軽石の見かけ密度の範囲は享保噴火全体で 0.9~2.0 g/cm^3 の範囲にある。Suzuki et al.³³⁾ で報告した 2011 年の準プリニー式噴火の値と比べると、2011 年噴火の最初と 2 番目の準プリニー式噴火の軽石と同等の範囲にあるが、3 番目の準プリニー式噴火の軽石の最大値（2.5 g/cm^3 ）よりも小さい。現段階では測定数が限られるが、ユニット毎に系統的な変化を示すことがある。例え

ば SmKP-2 と SmKP-4~5 の各々では、上位ほど、見かけ密度が小さくなる傾向がある（図 15(d)）。均質なマグマから見かけ密度の異なる火碎物を生み出す最も一般的な過程は、火道上昇過程での脱ガス程度差である。SmKP-2 と SmKP-4~5 の活動では、後のステージで噴出したマグマほど、火道での上昇速度が大きかった可能性がある。またこのことは上述の縞状軽石の比率の変化（図 15(c)）とも整合的といえる（縞状軽石を発生させたマグマ混合が火道内で発生している場合）。各ユニットについて、見かけ密度を網羅するような代表 3 試料ずつ、合計 24 枚の薄片作成も進め（図 15(d)）、次年度に備えた。

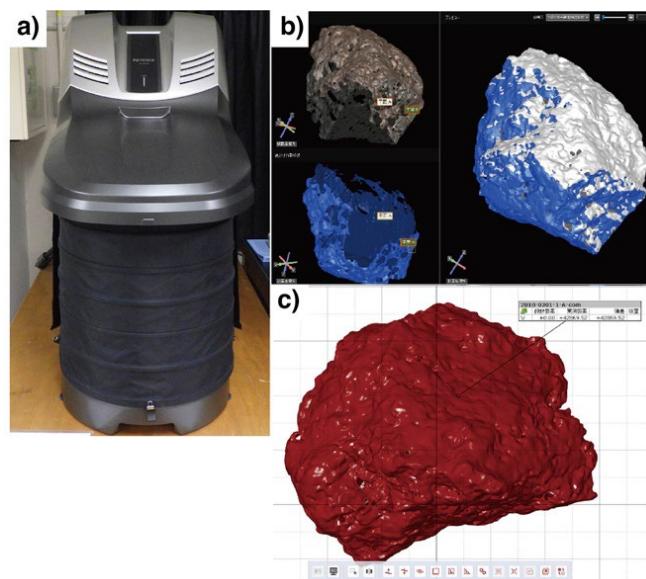


図 16 軽石の体積測定。(a)3D データの取得に用いたキーエンス社製 3D スキヤナ型三次元測定機。(b)スキヤナ付属ソフトウェアを用いた 3D データの合体作業。(c)Inspect Optical 3D での体積計測。

ii) 2017~2018 年噴火の解析（東北大学）

霧島火山 2017~2018 年噴火火山灰に含まれる磁性鉱物の記載岩石学的研究などをおこなった。

iii) 2018 年噴火の解析（常葉大学）

前年度までにおこなった 2018 年噴火の時系列採取試料についての解析結果をもとに、論文作成をおこない、論文の投稿をおこなった。

j) 桜島

i) 桜島火山の歴史時代大規模噴火のマグマ上昇過程の解明（東北大学）

桜島火山では 15 世紀以降、VEI4 のプリニ一式噴火に続き、それを上回る大量の溶岩を流出させる大規模噴火が 3 回繰り返し発生している。1955 年以降、活発な活動が継続しており、始良カルデラ下の主マグマ溜まりには、1914~1915 年の大正噴火直前

にほぼ匹敵するマグマが既に蓄積されているとされており³⁶⁾、将来の大規模噴火の前駆過程を捉えることは防災上の喫緊の課題である。これまでの分担者らの研究によつて、文明・安永・大正の過去3回の大規模噴火では、噴火の規模（噴出物体積）や噴火様式の推移に加えて、マグマの上昇過程にも共通性が見られることが明らかとなつている³⁷⁾。とりわけ特徴的なのは、プリニー式噴火開始時に、マグマは始良カルデラ下の主マグマ溜まりから地表まで一気に上昇して噴火するのではなく、南岳直下の浅部マグマ溜まりから火口までの間の火道にいったん滞留（precharge）したのち、噴火に至るということである。そこで本研究では、マグマに含まれる磁鉄鉱と直方輝石斑晶の組成累帯構造を解析し、マグマ溜まりから噴火に至る時間経過を明らかにした。

マグマ溜まりへの、より深部からのマグマの再充填（recharge）は、しばしば、火山噴火の引き金（trigger）になると言われている。しかし、始良カルデラ下の主マグマ溜まりの測地学的な観測によれば、マグマの再充填は頻繁に観測されており³⁸⁾、個々のマグマ注入が直接的に噴火に結び付いているわけではないことは明らかである。深部から上昇してくるマグマはマグマ溜まりで滞留していたマグマよりも高温のため、再充填が起こると斑晶鉱物には逆累帯構造が形成される。実際、直方輝石斑晶はしばしば温度上昇イベントを記録するMg値の逆累帯構造が記録されていた（図17左³⁹⁾）。そして逆累帯構造は様々な程度に均質化しており、その均質化時間は数年～数百年以上であることが明らかとなった。つまり、大規模噴火に先立つ深部マグマ溜まりへのマグマ注入は長期間にわたって何度も繰り返し発生しており、十分な量のマグマの蓄積が必要という意味で噴火を起こす必要条件ではあっても、十分条件ではないことが確認された。直方輝石とは対照的に、磁鉄鉱斑晶には殆ど組成累帯構造が見られなかった（図17中、図18³⁹⁾）。マグマの再充填に伴う混合では、磁鉄鉱にも逆累帯構造が形成されたはずであるが、直方輝石よりも元素拡散速度がはるかに速い磁鉄鉱は、最後のマグマ再充填・混合イベント以降のマグマの停滞（温度・圧力・酸素分圧・マグマ組成に変化が無い状態）によって均質化が起こったと考えられる。その停滞期間は、拡散均質化時間の計算によると、少なくとも約40日以上になることがわかった。磁鉄鉱斑晶の組成が均質化していることは、Araya et al.³⁷⁾で見出された、メルト包有物中の含水量が浅部火道でリセットされていることと調和的であり、本研究で磁鉄鉱の拡散から制約された時間は、プレチャージ期間に対応すると考えられる。マグマは火道浅部まで上昇して滞留している間に減圧脱水結晶作用を起こすはずであり、それにより放出された水が発生する過剰圧は、地殻の岩石の破壊強度を十分に上回ると見積もられる。これが、プレチャージ後の最終的な噴火の引き金となった可能性がある。

一部の斑晶磁鉄鉱には、最終的な噴火時のマグマ上昇に対応すると考えられる累帯構造が記録されており、その時間は最大でも54時間以内と見積もられる（図17右³⁹⁾）。すなわち、浅部火道で滞留したのち、マグマが再び上昇を開始してから約2日以内に噴火に至ったことになる。本研究はJournal of Geophysical Research Solid Earth誌に投稿し、修正後再投稿中である。

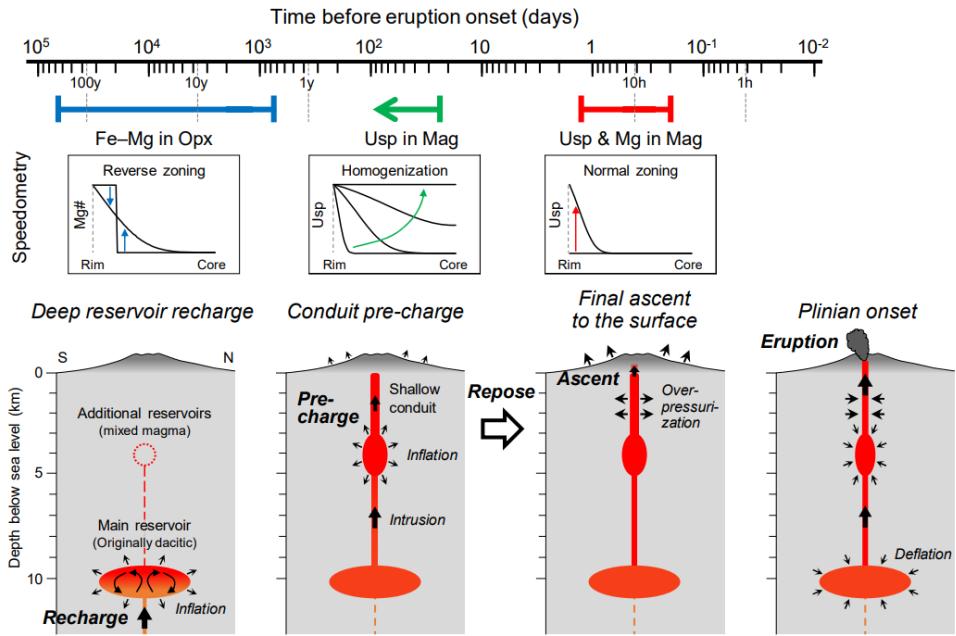


図 17 桜島火山歴史時代大規模噴火の開始に至るマグマプロセス、および各イベントの起こった時期を制約した直方輝石と磁鉄鉱の累帯構造の模式図

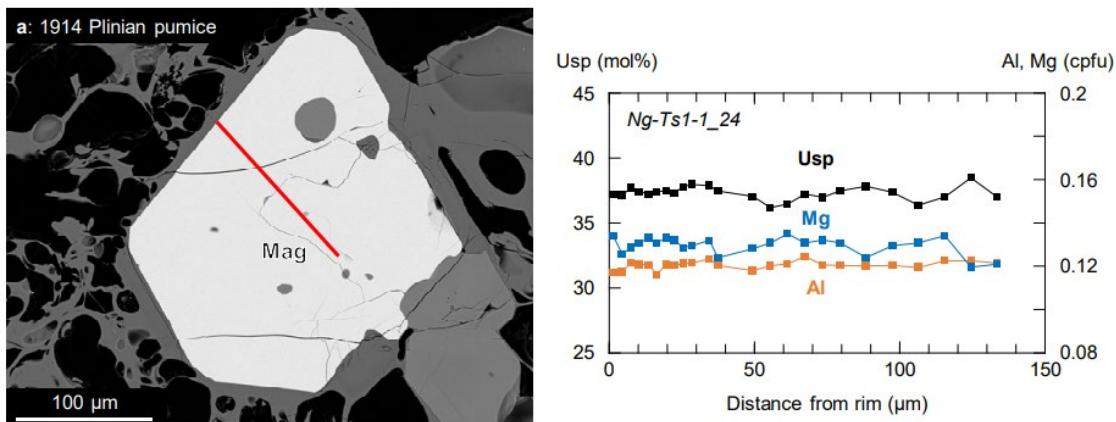


図 18 1914 年大正噴火軽石に含まれる磁鉄鉱斑晶累帯構造の例。Usp: ウルボスピネル成分。Al、Mg は 0=4 とした場合のイオン数。

ii) 桜島火山ブルカノ式噴火時のマグマ結晶化速度の決定（東北大学）

1970～1990 年代の桜島火山の南岳山頂火口活動期には、ブルカノ式噴火が繰り返し発生した。マグマ組成が一定であるため、京大防災研火山活動研究センターが採取した噴火日時が判っている噴出物を時系列に従って解析することで、実際のマグマの時間変化を解析することができる。この時期の活動に対しては、地球物理学的観測によって、ストロンボリ式噴火からブルカノ式噴火、火山灰放出に至る一連の活動モデルが確立され、ブルカノ式の爆発で放出される溶岩片は、それに先立って浅部まで上昇・貫入したマグマが固結したものであることが示されている⁴⁰⁾。爆発に先立つ貫

入イベントの発生日時は、ある程度、観測から推定をすることが可能である。すなわち、爆発に先立ち、火山性地震が明瞭に増加した期間がある場合には、その期間にマグマ貫入が起こったと仮定すれば、そこから爆発発生までの時間を、同じマグマの貫入から噴出までの火道浅部滞留時間だと想定することは合理的だろう⁴¹⁾。しかしながら、この貫入時期の推定方法は不確定性を伴い、かつ貫入した時点でのマグマの初期条件（結晶度）も推定に頼ることになる。そこで本研究では、1976年5月13日7時38分、5月17日13時42分の連続した2回のブルカノ式噴火に着目した。5月13日の噴火は、とりわけ大規模ではないものの、通常のブルカノ式噴火とは異なり、主として溶岩片ではなく発泡した軽石が噴出していることが特徴である。一方5月17日の噴火では発泡度が低く結晶化が進んだ溶岩片が噴出している。よって、5月17日の噴出物は、5月13日の軽石と同様の結晶度を持ったマグマが火道内に留まり102時間4分の間に結晶化したものだと推定できる。また、5月13日の噴火に先立ち、5月11日12時28分に爆発が発生しているので（噴出物は採取されていない）、5月13日の軽石は、5月11日の爆発で、ガス溜まりよりも上位の緻密な溶岩（いわゆる蓋、cap rock）部分が吹き飛ばされたのち、43時間10分後の爆発で破碎・噴出したものだと解釈できる。

1976年5月13日、17日の噴出物に含まれる斜長石斑晶は、それぞれ75、80%が破碎した面を持つ。その割合が高いことから、破碎した斑晶はアクシデントルに取り込まれたものではないと考えられ、さらに破碎面のそれぞれ34、65%に、薄い再成長リムが形成されていた（図19）。よってこのような斑晶の破碎面は、最終噴火時の破碎に先立つ1回前の爆発の際の減圧波が下部のマグマ伝播したことで形成されたと考えられる。そこで、再成長リムの厚さを上記の噴火間隔で割り、当該期間の斜長石の平均成長速度を、5月11～13日に $1.5\sim6.1\times10^{-2}\text{ }\mu\text{m}/\text{hour}$ 、5月13～17日に $0.6\sim1.7\times10^{-2}\text{ }\mu\text{m}/\text{hour}$ と見積もることが出来た。また再成長リムの反射電子像の輝度から見積もられるAn値と、接するガラスとの分配から求めた斜長石含水量⁴²⁾に基づく圧力は、5月13日、17日噴火でそれぞれ18～42 MPa、2～18 MPaとなった。以上のように、間隔の短い一連のブルカノ式噴火で斑晶鉱物のリムに記録されている圧力が漸次低下していることは、本研究で想定しているマグマプロセスと整合的であり、さらに石基の全結晶度が28%から51%へと増加していることとも調和的である。求まった斜長石の結晶成長速度は、斜長石含水量計で求めた含水量下における珪長質メルト中のSiとAl（斜長石の主要構成成分のうちメルト中の拡散が遅い網目構成元素）の拡散律速だと考えて矛盾の無い値である。このことも本研究の想定しているマグマプロセスの妥当性を支持する。

噴火の事象分岐を支配するマグマのレオロジーに重要な役割を果たす、全石基の結晶度は、既存の結晶の成長に加え、ナノライトの晶出により増加する。後者は過冷却度、即ち先立つ爆発に伴う浅部マグマの減圧量に依存すると予想される。南岳山頂噴火において、これらを総合した、経験的な結晶度の上昇率は、5月13日から17日にかけて $0.2\sim0.7\text{ vol\%}/\text{hour}$ であり、5月11日に貫入した時点での石基結晶度を0%と仮定すると、11日～13日の期間が $0.2\text{ vol\%}/\text{hour}$ と制約された。そこで石基のバルク粘性の時間変化を計算すると、ちょうど5月13日から17日にかけての間に、石基

の粘性が過剰圧条件によるマグマの破碎に必要な粘性 ($10^7 \sim 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s}$:マグマの引張強度 5 MPa、発泡度 20~60 vol%に対する見積もり)⁴³⁾ を超えることがわかる(図 20)。マグマの破碎には、空隙構造の変化による浸透率の低下⁴⁴⁾ およびガスの析出によるガス溜まり圧力の蓄積と、マグマ粘性が破碎条件を満たすことの両方が必要であり、本研究は、後者の条件に関し、5月 11 日の貫入時点から 4 日間程度が必要だったことを示す。

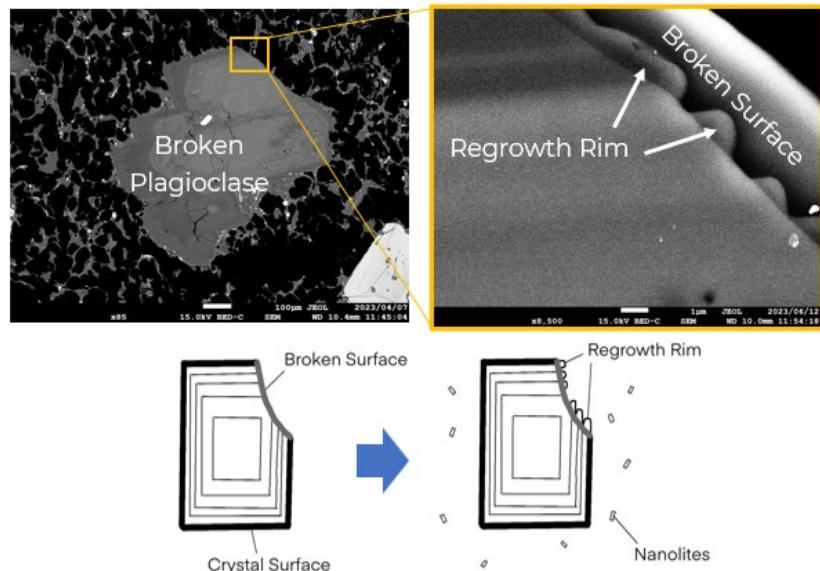


図 19 1976 年 5 月 13 日噴出物に含まれる斜長石斑晶の例。破碎面に薄い再成長リムが見られ、直近の 5 月 11 日噴火時の爆発で破碎したのちに成長したと解釈される。

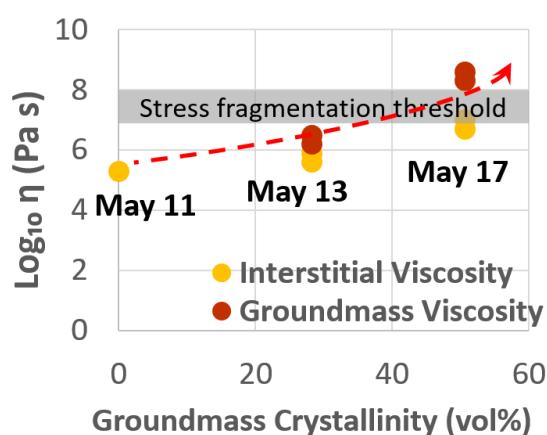


図 20 マイクロライト・ナノライトを含む全石基(赤)とマイクロライト・粗粒ナノライトナノライトの粒間部分(細粒のナノライト・ウルトラナノライトを含む)について計算した粘性。斜線部はマグマの発泡度を 20~60 vol%とした場合の気泡過剰圧条件による粘性の破碎閾値⁴³⁾。

iii) 火山灰試料の連続採取と解析(鹿児島大学)

前年度までに引き続き、桜島では火山灰試料の連続採取を継続するとともに、測色データ解析をおこなった。FE-EPMA の反射電子像（図 21）の画像解析システムを用いた粒子分類については、昨年度諏訪之瀬島において検討した基準を参考に、桜島火山 2000 年以降の噴火による噴出物についての分類基準を作成し（表 1）、火山灰構成比の導出の応用をおこなった。同一の定量基準を用いたため、火山灰粒径により構成比が系統的に異なることが明らかとなった（図 22、図 23）。一方、反射電子像の撮影条件を一定に保たないと構成比も系統的に差が出てしまうことから、他の分類手法同様、粒径や測定条件を一定に保つことが重要であることも明らかとなった。

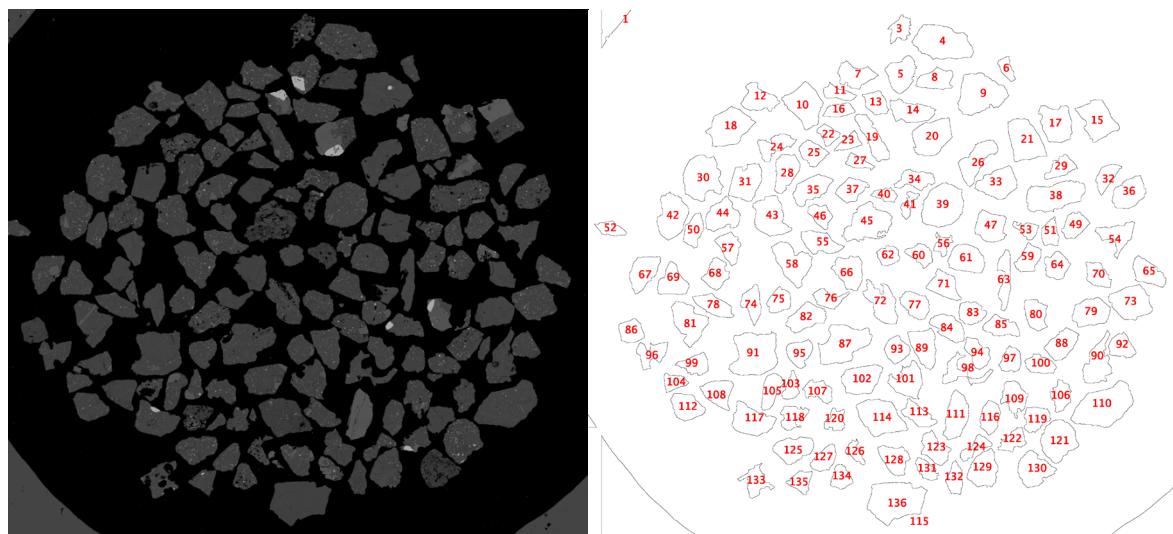


図 21 桜島火山 2012 年 9 月 28 日の噴出物試料の反射電子像（粒径 250~500 μ m）



図 22 桜島火山 2012~13 年の噴出物試料（一部）の反射電子像自動分類による粒子構成比。（上）粒径 125~250 μ m、（下）250~500 μ m。表の分類基準による詳細分類結果（凡例は図 23 参照）。



図 23 桜島火山 2014~17 年の噴出物試料（一部）の反射電子像自動分類による粒子構成比。（上）粒径 125~250 μm 、（下）250~500 μm 。表の分類基準による詳細分類結果（凡例は表 1 に対応）。

表 1 反射電子像を用いた桜島火山最近の火山灰試料についての構成粒子種の分類基準

	高輝度粒子の面積	輝度 mode	Ox数 < OPx数	気泡面積	球形気泡数	高輝度粒子数	粒子外形	輝度3 σ dev	Ox数	OPx数	高輝度粒子平均サイズ指數	class分けの概要	
class1	$>=0.6$	$>=150$										OX	
class2	$>=0.6$	$150 > >= 90$										OIPX	
class3	$>=0.6$	$90 >= OIPX$										Ox agg	
class4	$>=0.6$	>90	$Ox < OIPX$									OIPX agg	
class5	<0.6												
class6													
class7													
class8													
class9													
class10													
class11	<0.6												
class12	<0.6												
class13	<0.6												
class14	<0.6												
class15	<0.6												
class16	<0.6												
class17	<0.6												
class18	<0.6												
class19	<0.6												
class20	<0.6												
class21	<0.6												
class22	<0.6												
class23	<0.6												
class24	<0.6												
class25	<0.6												

石基ガラス組成と斜長石組成が類似するため、識別ができない。したがって、分類基準は各粒子ごとに、石基ガラス + 斜長石、輝石、鉄チタン酸化鉱物、気泡の 4 相を輝度分布から振り分け、粒子外形、各相のサイズ、専有面積率、個数から、斑晶、石基鉱物などを見分類している。機械学習による画像分類に比べてプラックボックス的要素がない反面、基準は恣意的である。

k) 諏訪之瀬島（鹿児島大学）

令和4年度に引き続き、これまでに高時間分解で採取・分析した火山灰試料について、EPMAによる鉱物化学組成分析をおこなった。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・構成比導出を進めるため、粒径ごとに分級をおこなった試料の薄片作成をおこなった。

l) 西之島（東京大学）

令和5年度は試料採取が行われるような活発な新たな噴火活動は発生しなかった。このため、これまでの噴火の分析データを整理する作業をおこなった。

m) 福徳岡ノ場（東北大学）

福德岡ノ場噴出物に見られるマグマ混合過程の解析をおこなった。

n) 硫黄島（東京大学）

防災科研と連携して2023年10月と11月の噴火の噴出物のXRFによる化学分析とEPMAによる組織観察をおこない、マグマ供給系の状態や時間変化について検討した。

o) MELTSを用いた応用研究（産業技術総合研究所）

マグマの熱力学計算ソフトウェア（Rhyolite-MELTS）¹⁾を用いた応用研究をおこなった。令和3年度に報告した、カルデラ噴火の準備過程に関する検討内容に計算を追加し、とりまとめた。この成果を米国地球物理学連合2023年秋季大会で発表したところ、海外の複数の研究者から高い評価を受けた。概要は以下のとおりである。巨大噴火は、頻度こそ少ないものの、ひとたび発生すれば日本全体に甚大な被害をもたらす。そのため、噴火の前にどのような現象が発生し、どのような場合には巨大噴火へと分岐するのかしないのか、なぜ分岐するのか、といった知見が重要である。しかしながら現時点では、巨大噴火をひきおこす巨大なマグマ溜りが地下に生じるメカニズムや、巨大噴火に至るプロセスに関する理解は全く不十分である。そこで、既存の地質学的知見（巨大噴火のクライマックスの前には比較的小規模な噴火がある^{45), 46), 47)}）、岩石学的知見（巨大噴火のマグマ溜りは比較的浅く地下4～5km⁴⁸⁾や地下2～4km⁴⁷⁾である）、計算による知見（地下約7km以浅に大量のマグマを溜めるのは困難である）⁴⁹⁾を踏まえ、地下深部から浅部にマグマが上昇した際に予想されるマグマの体積膨張を、マグマの熱力学計算ソフトウェア（Rhyolite-MELTS）¹⁾で求めた。その結果、もしもストーピング（マグマ溜りの天井が落下すること；容積一定）によって、深部から浅部にマグマが上昇する際に生じた体積膨張の約半分が噴出するならば、地質学的知見をうまく説明できた⁵⁰⁾。

p) 噴火の推移・様式予測の仕組みの検討（東京大学）

前年度に引き続き、可能な限りパラメータを減らした簡単なマグマ供給系モデルを使った噴火予測手法について検討した。これは物質的あるいは観測によって実用的な精度で決定できるパラメタは多くはなく、あまり複雑なマグマ供給系を考えても実際の

噴火予測には活用できないためである。前年度は一定のマグマ供給率でマグマの注入がある体積一定のマグマ溜まりの時間発展を考え、実際の富士山の噴出量階段ダイアグラムとの比較をおこなった。このモデルは、マグマの注入によってマグマ溜まりの過剰圧は次第に高まり、ある過剰圧を超えると噴火が発生し、過剰圧が火道閉塞圧まで低下すると噴火は停止、残ったマグマに再びマグマの注入が継続し過剰圧を超えると次の噴火が発生するという時間発展モデルであった。しかしながらこのモデルでは、噴出量をコントロールする要素が、マグマの圧縮率、マグマ溜まりの体積、マグマ溜まりの破壊が発生する過剰圧の3つしかなく、富士山で見られるような噴出量が桁で変化するような噴火の時間発展は再現することが困難であった。深部マグマ溜まりの活動が主体の富士山の場合、深部マグマは揮発性成分には飽和していない。このため、マグマの圧縮率が桁で変わることとは起こりえない。また、マグマ溜まりの破壊が発生する過剰圧についても、岩石の物性の検討からせいぜい factor 3 から 5 程度の変化しか見込めない。加えて、噴火によって地表に出たマグマの組成が大規模噴火の前後でほとんど変化しないことから、大きくサイズが異なる複数のマグマ溜まりが深部に存在するような状況も考えにくい。したがって、噴出量に大きな変動幅が生じ得るようマグマ供給系モデルを修正する必要があった。

そこで今年度は、注入したマグマによる過剰圧の発生に加えてマグマ自身の浮力による過剰圧も考慮するモデルについて検討した。この場合、浮力はマグマ溜まりの周囲の岩石が変形することによってはじめて有効になるため、マグマ溜まりの変形の時定数がパラメタとして新たに付け加わる。さらに、マグマの浮力項の時間発展を考えるため、結晶分化やマグマの注入に伴う組成と温度の変化を簡単な関数としてモデルに組み込んだ。この新たなマグマ供給系モデルの概念図を図 24 に示す。

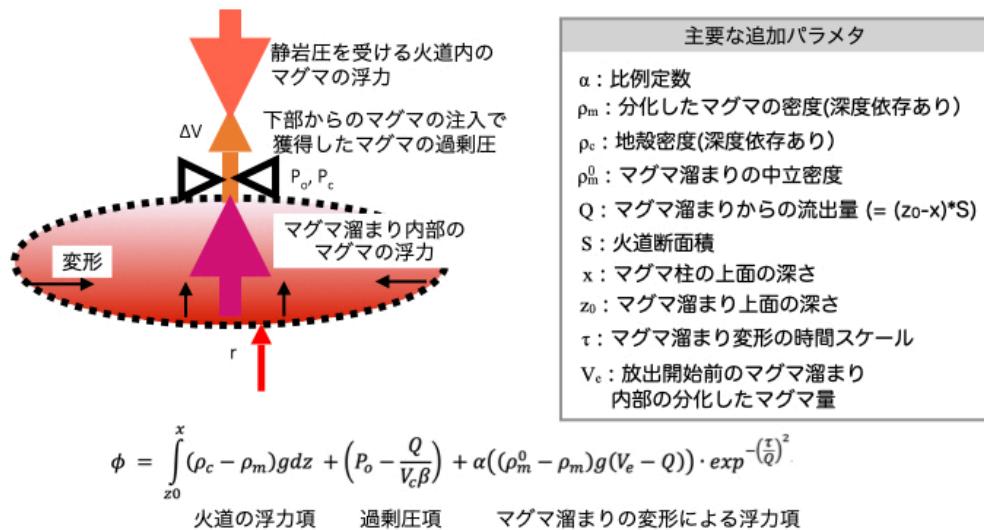


図 24 マグマ溜まりの変形を考慮したマグマ上昇モデル。 ϕ が火道全域で正となることが地表に噴出するためには必要。

修正モデルは、2つの点で先の単純モデルとは異なる特徴を呈す。まず、上昇開始時の破壊過剰圧が同じでも、注入による過剰圧の獲得と浮力の獲得による過剰圧の獲得では、マグマ上昇開始後の過剰圧の減少過程に差がある点である。マグマ溜まりからの上昇開始時に獲得していた過剰圧は、火道形成に伴う体積分づつ減少していくとともに、マグマと周辺岩石との密度差に応じた浮力あるいは負の浮力を受ける。このため、浮力の獲得による過剰圧の割合が高いほど、マグマは浅部まで上昇しやすい。言い方をえれば、上昇開始時に獲得していた過剰圧のうち注入による過剰圧の割合が大きい場合には、過剰圧分を火道形成で失ってしまい、マグマの上昇が途中で停止する場合が起こりやすい。次に、マグマの上昇がゆっくりで噴火が長期間に及ぶほど、マグマ溜まりの周辺岩石が変形する時間が確保できるため、マグマの浮力による噴火が継続可能となり、最終的には大量のマグマを噴出できる。

図25に計算結果の例を示す。左側(a-c)は修正前のマグマ溜まりの変形がないモデル、右側(d-g)は修正後のマグマ溜まりの変形があるモデルによる計算結果である。マグマ溜まりの変形による浮力項を導入することによって、噴出量のレンジが大きく拡大するとともに、噴火周期も変化幅が大きくなつた。噴出量階段ダイアグラムの形式で見ると、噴出量の大きなステップや長期間にわたる休止期が実現している。さらに、マグマ溜まりからマグマが上昇開始する時間間隔と実際の地表に噴出する時間間隔には大きな乖離が生じており、噴火未遂が無視できないほど発生している可能性が示唆される結果となつた。

この修正後のモデルについては、噴出物の化学組成の時間変化の観点から実際の噴火の噴出物と比較することによってモデルの妥当性が検証可能であるため、その作業を今後進めていく計画である。

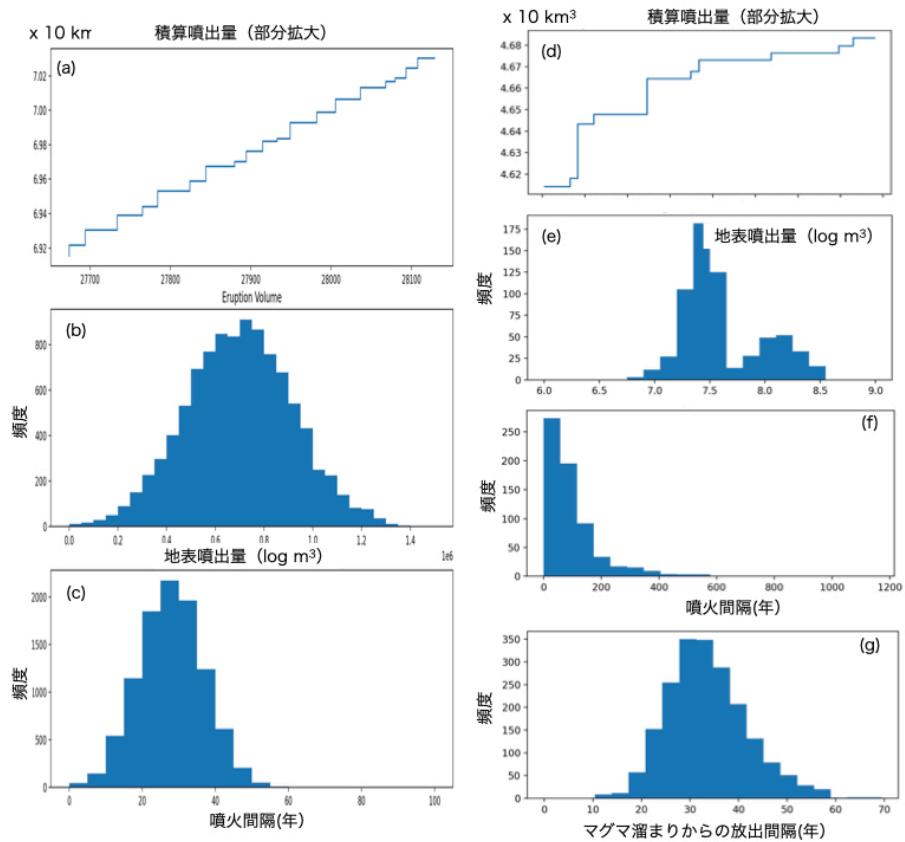


図 25 計算結果。(a)–(c)はマグマ溜まりの変形がおこらない場合。(d)–(g)はマグマ溜まりの変形がおこる場合。

(c) 結論

令和 5 年度の目標はおおむね順調に達成できている。個別の火山噴火について噴火過程の詳細が明らかになるとともに、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が検討された。とりわけ、噴火直前のマグマの状態や移動速度について、新たな知見が集まりつつある。また、得られた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の検討も始まった。噴火の推移予測に資する手法の開発や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、従来よりも高い時間・空間分解能で噴火前のマグマの挙動が明らかにできるようになり、予測のための指標として期待されている。噴火の様式や推移の予測のための仕組みについては、モデルによる数値計算の結果と噴出量階段ダイアグラムとの比較から地下深部のプロセスモデルの修正が行われるなど、単純化モデルを用いた検討が進展しつつある。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、分析・解析手法の開発や作業の迅速化に取り組んでいきたい。

(d) 引用文献

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

- 2) Miyagi, I.: Gamma mark: an ingenuity to ease the aiming of melt inclusions in phenocrysts with NanoSIMS. *Earth, Planets and Space*, 76(52), pp. 1-3, 2024.
- 3) 曽屋龍典, 勝井義雄, 新井田清信, 塙幾久子, 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.
- 4) Katsui, Y., Oba, Y., Onuma, K., ほか19名: Preliminary Report of the 1977 Eruption of Usu Volcano. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV*, Vol. 18, No. 3, pp. 385-408, 1978.
- 5) Niida, K., Katsui, Y., Suzuki, T., and Kondo, Y.: The 1977-1978 eruption of Usu volcano. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV*, Vol. 19, No. 3, pp. 357-394, 1980.
- 6) 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, p. 91, 2022.
- 7) 大塚芽久, 石橋秀巳, 田中佑希子, 外西奈津美, 安田敦: 富士火山の珪長質マグマだまり: 宝永噴火のマッシュ状斑れい岩捕獲岩からの制約. 日本火山学会 2021年秋季大会講演要旨, 2021.
- 8) 安井真也, 富樫茂子, 下村康裕, 坂本晋介, 宮地直道, 遠藤邦彦: 富士火山・1707年降火碎堆積物中の斑れい岩質岩片の岩石学的性質とその起源. *火山*, Vol. 43, pp. 43-59, 1998.
- 9) Cashman, KV., Sparks, RSJ., Blundy, JD.: Vertically extensive and unstable magmatic systems: A unified view of igneous processes. *Science*, Vol. 355, 1280, 2017.
- 10) 吉田那緒, 石橋秀巳, 千葉達朗, 外西奈津美, 安田敦, 針金由美子: 斑れい岩捕獲岩から探る伊豆大島 1986 年 B 噴火のマグマ溜まり. 日本火山学会 2022 年秋季大会講演要旨, 2022.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) Koyama, M., Umino, S.: Why Does the Higashi-Izu Monogenetic Volcano Group Exist in the Izu Peninsula? *Journal of physics of the Earth*, Vol. 39, pp. 391-420, 1991.
- 14) 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.
- 15) 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: 伊豆大室山の斜長石中の流紋岩質メルト包有物の微量元素組成. 日本火山学会 2023 年秋季大会講演要旨, 2023.

- 16) Bindeman, I. N., Davis, A. M., & Drake, M. J. : Ion microprobe study of plagioclase-basalt partition experiments at natural concentration levels of trace elements. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 62, pp. 1175-1193, 1998.
- 17) Bédard, J. H. : Trace element partitioning in plagioclase feldspar. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 70, pp. 3717-3742, 2006.
- 18) Kawamoto, T. : Experimental constraints on differentiation and H₂O abundance of calc-alkaline magmas. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 144, pp. 577-589, 1996.
- 19) 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.
- 20) 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.
- 21) 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碎流試料への適応—, 日本火山学会 1991年秋季大会講演予稿集, p73, 1991.
- 22) 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.
- 23) 三好雅也・長谷中利昭・佐野貴司 : 阿蘇カルデラ形成後に活動した多様なマグマとそれらの成因関係について, *火山*, Vol. 50, No. 5, pp. 269-283, 2005.
- 24) 三好雅也・古川邦之・新村太郎・下野まどか・長谷中利昭 : 阿蘇カルデラ外輪山に分布する先阿蘇火山岩類の岩石記載と全岩化学組成, *地質学雑誌*, Vol. 115, No. 12, pp. 672-687, 2009.
- 25) Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., LeBas, M. J., Sabine, P. A., Zanettin, B. : *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms*, Oxford, Blackwell, 193p., 1989.
- 26) 田島靖久・星住英夫・松本哲一・廣田明成・小屋口剛博, 阿蘇火山 : Aso-1火碎流堆積物に関する新知見と Aso-1噴火に先駆けて噴出した古閑溶岩, *火山*, Vol. 62, No. 4, pp. 177-188, 2017.
- 27) 十川翔太・長谷中利昭・鳥井真之・森 康・佐野貴司 : 南阿蘇村立野に分布する先阿蘇火山岩類の岩石学的特徴, *月刊地球*, Vol. 43, pp. 437-442, 2021.
- 28) Zhang, J., Humphreys, M. C. S., Cooper, G. F., Davidson, J. P., Macpherson, C. G. : Magma mush chemistry at subduction zones, revealed by new melt major element inversion from calcic amphiboles, *Am. Mineral.*, Vol. 102, pp. 1353-1367, 2017.
- 29) Ridolfi, F. and Renzulli: A., Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1,130° C and 2.2 GPa, *Contrib. Mineral. Petrol.*, Vol. 163, pp. 877-895, 2012.
- 30) 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.
- 31) Maeno, F., Nagai, M., Nakada, S., Burden, R. E., Engwell, S., Suzuki, Y. and Kaneko, T. : Constraining tephra dispersion and deposition from three subplinian

- explosions in 2011 at Shinmoedake volcano, Kyushu Japan, Bull Volcanol., Vol. 76, article number 823, 2014.
- 32) 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, No. 1, pp. 184–204, 2013.
- 33) Suzuki, Y., Maeno, F., Nagai, M., Shibutani, H., Shimizu, S. and Nakada, S.: Conduit processes during the climactic phase of the Shinmoe-dake 2011 eruption (Japan) : Insights into intermittent explosive activity and transition in eruption style of andesitic magma. J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol. 358, No. 1, pp. 87–104, 2018.
- 34) 坂井剛善, 鈴木由希:新燃岳享保噴火(1716-1717)の岩石学, 日本火山学会講演予稿集, p. 224, 2017.
- 35) 田島靖久, 及川純, 小林哲夫, 安田敦:霧島火山, 新燃岳の中・長期のマグマ噴出活動と供給系 一噴出物解析と地球物理観測の統一的理解を目指して一, 火山, Vol. 67, No. 1, pp. 45–68, 2022.
- 36) Yamashina, K.: The inflation-deflation history of Aira caldera for the last 120 years and the possibility of a forthcoming large eruption at Sakurajima volcano. Bull. Volcanol. Soc. Japan, 58, pp. 103-114, https://doi.org/10.18940/kazan.58.1_103, 2013.
- 37) Araya, N., Nakamura, M., Yasuda, A., Okumura, S., Sato, T., Iguchi, M., Miki, D., Geshi, N.: Shallow magma pre-charge during repeated Plinian eruptions at Sakurajima volcano. Scientific Reports, 9, 1979, <https://www.nature.com/articles/s41598-019-38494-x>, 2019.
- 38) 井口正人, 高山鐵朗, 山崎友也, 多田光宏, 鈴木敦生, 植木貞人, 太田雄策, 中尾茂 : GPS 観測から明らかになった桜島のマグマ活動, 京都大学防災研究所年報, 51(B), pp. 241–246, 2008.
- 39) Araya, N., Nakamura, M., Matsumoto, K., Okumura, S.: Magnetite record of repose after recharge leading to the Plinian eruptions at Sakurajima, [https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2138256/v1\(preprint\)](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2138256/v1(preprint)), 2022.
- 40) Iguchi, M., Yakiwara, H., Tameguri, T., Hendrasto, M., Hirabayashi, J.: Mechanism of explosive eruption revealed by geophysical observations at the Sakurajima, Suwanosejima and Semeru volcanoes, Jour. Volcano. Geotherm. Res., 178, pp. 1–9, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.10.010>, 2008.
- 41) 坂内野乃, 中村美千彦, 安田敦, 奥村聰, 新谷直己, 井口正人, 味喜大介, 下司信夫 : 桜島火山ブルカノ式噴火前のマグマプロセス: 岩石学・地球物理学の連携研究, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SVC37-05, 2019.

- 42) Waters, L. E., Lange, R. A.: An updated calibration of the plagioclase-liquid hygrometer-thermometer applicable to basalts through rhyolites, *Am. Mineral.*, 100, pp. 2172-2184. <https://doi.org/10.2138/am-2015-5232>, 2015
- 43) Mujin, M., Nakamura, M.: Late-stage groundmass differentiation as a record of magma stagnation, fragmentation, and rewelding, *Bull. Volcanol.*, 82, 48, <https://doi.org/10.1007/s00445-020-01389-1>, 2020.
- 44) Otsuki, S., Nakamura, M., Okumura, S., Sasaki, S.: Interfacial tension-driven relaxation of magma foam: An experimental study, *Jour. Geophys. Res.*, 120(11), pp. 7403-7424, <https://doi.org/10.1002/2015JB012391>, 2015.
- 45) Takarada, S., Nishihara, A., Hoshizumi, H., Yamasaki, T., Kaneda, Y., and Geshi, N.: Explanatory text of Distribution map of Ito ignimbrite and associated deposits, Aira caldera, Japan. Distribution map of large-volume ignimbrites in Japan, (1), pp. 1-32, 2022.
- 46) 小林哲夫, 早川由起夫, 荒牧重雄: 始良カルデラ大隅旗下軽石堆積物の層厚・粒度分布. *火山*, 28(2), pp. 129-139, 1983.
- 47) 宮城磯治: 肘折火山: 噴出物の層序と火山活動の推移. *火山*, 52(6), pp. 311-333, 2007.
- 48) 安田敦, 吉本充宏, 藤井敏嗣: 始良火碎噴火のマグマ溜り深度. *火山*, 60(3), pp. 381-397, 2015.
- 49) Huber, C., Townsend, M., Degruyter, W., and Bachmann, O.: Optimal depth of subvolcanic magma chamber growth controlled by volatiles and crust rheology. *Nature Geoscience*, 12(9), pp. 762-768, 2019.
- 50) Miyagi, I.: Role of stoping in preceding giant caldera eruptions: A magma volume expansion mechanism. 2023 Fall meeting of the American Geophysical Union, V33E-0206, 2023.

(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、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 令和 6 年度の業務計画案

令和 6 年度も基本的には令和 5 年度の作業を継続する。個別の火山噴火事象については噴火の詳細を明らかにして、噴火事象分岐を予測するのに有効な要素を引き続き明らかにする。また、これまで得られた個別の成果を国際学会・国際誌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。

(a) 分析・解析プラットホームの整備・運用、新手法の開発

分析解析プラットホームについては、引き続き装置の利用促進に向けた取り組みに重点をおきつつ、解析プログラムの更新をはかっていく。JVDN システムへのデータ提供について、内容や手法についての詰めの作業をおこなう。**(東京大学)**

Rhyolite-MELTS の計算結果の共有に関しては、代表的なマグマ組成の計算結果をとりまとめ、JVDN などのデータレポジトリで公開するために必要な手続きと、それに要する時間について検討をおこなう（可能ならプロトタイプを公開する）。Rhyolite-MELTS の応用研究として、①巨大噴火のマグマ溜りの成因ならびに巨大噴火に先行する小噴火のメカニズムに関する成果を、国際誌の投稿原稿としてとりまとめる。②有珠火山 2000 年 3 月 31 日噴火でマグマが破碎して急速に噴出したプロセスを明らかにするため、有珠火山 2000 年 3 月 31 日噴火の際にマグマが急速に噴出した過程を明らかにするため、NanoSIMS で得られた石基含水量分析値と、Rhyolite-MELTS を用いて求めたメルトの含水量・圧力・発泡度の関係を組み合わせて解析し、国際誌の投稿原稿としてとりまとめる。これらの原稿の完成に必要なデータがあれば追加で分析・計算をおこなう。**(産業技術総合研究所)**

(b) プロジェクトの総合推進と研究集会の調整・開催

課題間連携として C-2 主導のもと霧島火山をテーマとした研究集会を令和 6 年秋に実施予定。12 月には全体研究集会での C-1 からの発表を調整する予定。**(東京大学)**

(c) 火山噴出物の分析・解析

各火山については、令和 5 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・分析をおこなう。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を検討する。**(各機関)**

1) 有珠山

有珠火山 1977～1978 年および 2000 年噴出物の岩石学的観察から得られる知見を、MELTS 計算をはじめとする熱力学的解析や、元素拡散モデリング、地球物理学的観測結果などと組み合わせることで、より定量的で多角的な検討をおこない、噴火直前のマグマ過程の理解の高精度化をはかる。**(産業技術総合研研究所)**

2) 榛名山

榛名火山・二ツ岳渋川噴火の組織学的研究に関しては、火碎サージ堆積物に含まれる軽石の見かけ密度測定をおこなう他に、同噴火の火山灰試料中の軽石粒子について画像解析による発泡度解析も進める。(早稲田大学)

3) 富士山

令和5年度に引き続き、1707年噴火の火碎物・深成岩捕獲岩の化学分析と組織解析をおこない、地下の珪長質マグマだまりの状態について検討する。(静岡大学)

山梨県富士山科学研究所と連携し、新富士期の火山噴出物の分析を継続する。特に、噴火規模や組成の時間変化について精度の高いデータの収集に注力し、そのデータに基づいて時間発展するマグマ溜まりモデルを用いた噴火予測の可否についての検討をおこなう。

(東京大学)

富士火山大日堂トレーナーで採取した宝永噴火噴出物の岩石学的分析をおこない、マグマ溜まりのタッピングプロセスを検討する。(東北大学)

4) 伊豆大島

令和5年度に引き続き、1986年噴火の火碎物・深成岩捕獲岩の化学分析と組織解析をおこない、地下浅部でのマグマ供給系について検討する。(静岡大学)

5) 伊豆東部火山群

令和5年度に引き続き、単成火山の噴出物中に含まれる鉱物・ガラスの化学分析と組織解析をおこない、同火山群のマグマ供給系について検討する。(静岡大学)

6) 雲仙

爆発的な噴火と非爆発的な噴火が共存する有珠山の噴火事象と比較するため、非爆発的な噴火を繰り返している雲仙火山に関する情報を収集する。(産業技術総合研究所)

7) 阿蘇山

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おこなう。野外採取試料に加えて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おこなうことで、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。先～後カルデラ期の噴出物の岩石・地球化学的データの解析を進めることによって、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について検討し、先カルデラ期からカルデラ形成期への噴火様式の変化の要因について考察する。(福岡大学)

8) 霧島

新燃岳享保噴火の岩石学的検討に関しては、前年度に全岩組成分析を済ませた代表的な軽石の斑晶鉱物組成分析を実施する。これにより、噴火に関わった低温・高温マグマの特徴や貯蔵条件、並びに、2端成分マグマの相互作用を明らかにする。噴火の初期から末期までを網羅するサンプルを用いることで、これら特徴の噴火時期による変化も明らかにする。新燃岳享保噴火の組織学的検討に関しては、見かけ密度を代表するサンプル(薄片作成済み)について石基結晶組織解析を実施する。またその結果を2011年噴火のものと比較する。解析にあたっては、本プロジェクトで開発された石基マイクロライト自動解析ツールを用いる。(早稲田大学)

霧島火山や桜島火山噴出物に含まれる磁性鉱物に着目し、水蒸気噴火からマグマ噴火への推移と噴出物と火山灰供給源との対応関係を明らかにする。(東北大学)

9) 桜島

桜島火山のストロンボリ式噴火噴出物の岩石学的研究をおこない、ブルカノ式噴火・灰噴火と比較し噴火様式の分岐条件を調べる。(東北大)

令和5年度に引き続き、桜島火山での連続採取試料解析を実施し時系列データの蓄積をおこなう。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実施し、噴火の推移と火山灰構成比の関係について考察をおこなう。(鹿児島大学)

10) 諏訪之瀬島

令和5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をおこない、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について制約を与える。また、歴史に残る最大の噴火である文化噴火(1813年)の細分層序試料の鉱物および石基ガラス組成の分析を引き続き継続する。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・分析をおこなうことで、現活動状況の火山史上の位置づけを明らかにするための基礎データを取得する。(鹿児島大学)

11) その他の火山

十和田火山御倉山を例に、マグマの結晶作用と溶岩ドームの爆発性を支配する浸透率との関係を明らかにする。浅間火山における中間型火碎流のメカニズムの解明に向け、噴出物から浅部火道内プロセスを調査する。福德岡ノ場噴出物に含まれるナノライト晶出条件を実験岩石学的手法で調べるなどにより、浅海底噴火の事象分岐条件を調べる。地殻深部からごく短時間でマグマが上昇しマグマ水蒸気爆発を起こす火山として、噴出物の条件が優れているドイツ・アイフェル火山を例にマグマ上昇速度や破碎過程を明らかにする。また、隨時、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おこなう。(東北大)

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	栗谷 豪
		特任教授	中川 光弘
		助教	吉村 俊平
		技術専門職員	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	大場 司
		助教	星出 隆志
山形大学理学部	参加機関	教授	伴 雅雄
		准教授	常松 佳恵
		助教	井村 匠
茨城大学大学院理工学研究科	参加機関	准教授	長谷川 健
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	安井 真也
		准教授	金丸 龍夫
		上席研究員	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	石崎 泰男
		教授	石川 尚人
		准教授	川崎 一雄
山口大学大学院創成科学研究科	参加機関	教授	太田 岳洋
		講師	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	伊藤 順一
		研究グループ長	古川 竜太
		研究グループ長	下司 信夫
		研究グループ長	井上 卓彦
		首席研究員	石塚 治
		上級主任研究員	宝田 晋治
		主任研究員	川邊 暎久
		主任研究員	及川 輝樹
		主任研究員	山崎 誠子

		主任研究員 主任研究員 研究員 研究員 研究員	草野 有紀 山崎 雅 南 裕介 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 錠一
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	主任研究員 主任研究員	上澤 真平 石毛 康介
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一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ト掘削調査を、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・トレント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 か所でのトレーニング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、予察的にトレーニング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ーニング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ハル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ーニング掘削調査を実施し、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ーニング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ーニング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ーニング掘削調査を実施し、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」に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。秋田駒ヶ岳・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一式噴火の噴火推移 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・秋田駒ヶ岳・鳥海山・藏王山・吾妻山・那須岳・浅間山・阿蘇山において人力トレントまたは重機トレント掘削調査を実施し、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。藏王山・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 クラス以上の火碎噴火について、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・藏王山・吾妻山・浅間山・阿蘇山において人力トレントまたは重機トレント掘削調査を実施し、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ーニチまたは重機トレーニ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する。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。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う。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。また、桜島・北海道駒ヶ岳・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。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う。そして新たな連携研究を展開することを目指す。

10) 令和 7 年度：

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

(e) 令和5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

各参加・協力機関において、国内の活動的火山の中長期噴火予測および噴火事象系統樹作成のための、噴火履歴・様式およびマグマ長期変遷に関する基礎的データ収集に努める。最重点・重点火山の摩周・アトサヌプリ（屈斜路）においては、ボーリング掘削調査を実施し、長期噴火活動履歴および完新世の噴火活動履歴の詳細を明らかにする。岩木山・吾妻山をはじめとする7つの最重点・重点火山について、重機および人力トレーニング掘削調査を実施し、噴火履歴の解明を目指す。その他の重点火山については引き続きこれまでの調査結果を整理し、必要に応じ野外調査を行う。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、物質科学的解析を行うことで、長期マグマ変遷の解明を目指す。そして、研究が進んでいる対象火山については、噴火事象系統樹の試作や階段図を用いた中長期噴火予測の試行について検討する。

2) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発

「マグマ変遷解析センター」では、引き続き既存装置を整備し、分析ルーチン手法の確立を行うとともに、参加・協力機関の研究者・大学院生の利用を受け入れる。

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、大規模カルデラ形成噴火及びプリニー式噴火について、噴火推移文献データの収集を継続する。コンパイルした情報から噴火推移データ集の作成し、ウェブサイト上で閲覧可能なデータベースとして作成する。桜島・北海道駒ヶ岳・樽前山などの国内の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、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う。

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

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重機・人力トレーニング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、サブ課題C2参加機関の参画の企画・調整を行う。

b) 課題C-2の研究成果の発信に向けた取り組み

階段図および噴火事象系統樹の作成手法およびそれにかかるデータベース作成のためのワーキンググループを発足させ、データベースのフォーマットと階段図・事象系統樹の作成手法を議論し決定する。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。

5) 課題C全体のとりまとめと総合推進

サブ課題C1・C3および課題B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、キックオフ集会を開催する。そこでは、個々のサブ課題での連携研究の成果とそのアウトプットについて議論するとともに、関連する他課題・他分野の研究

者も招き、次世代火山研究の連携研究の方向性についても意見交換を行う。そして新たな連携研究を展開することを目指す。

(2) 令和5年度の成果

(a) 業務の要約

重点火山であるアトサヌプリ（屈斜路）では、ボーリング・トレンチ掘削調査および地表踏査を行い、新たな火碎噴火堆積物を認識し、アトサヌプリ火碎噴火の全貌を明らかにすることに成功した。また、過去6.7千年間の活動履歴を明らかにし、これまで認識されていない複数の火口や水蒸気噴火堆積物を発見した。また、利尻山・岩木山・蔵王山・吾妻山・浅間山・阿蘇山において、トレンチ調査と地表踏査を実施した。特に吾妻山では、鎌倉噴火以降のテフラ層序を再検討し、これまで認識されていなかった火口を給源とするテフラ層を認定し、複数の火口からの同時期の活動が示唆される結果を見出した。また利尻山では、これまで曖昧な根拠のもと活火山と認定されていたが、トレンチ掘削調査の結果、完新世の複数のテフラ層を認識し、最新の活動が4~3千年前であることを明らかにした。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ことができた。特に、活火山の再評価のために風吹火山（白馬大池火山）の調査を行い、完新世のテフラ層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。そして、7火山において次年度のボーリング掘削・トレンチ掘削地点を選定した。

また、大規模噴火データベースの整備として、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碎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」については、既に公表を開始しており、拡充のためにデータ収集を行うとともに、様々なデータの図示機能を充実させた。

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、作成指針を決定し、13火山について試作し報告書として公表した。

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キックオフ集会を開催し、霧島山の火山研究の現状と課題を議論した。そしてコアメンバーによるWGを立ち上げ、ワークショップを開催し、連携研究のために必要なマグマ供給系・噴火シナリオについて議論した。

(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5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）：アトサヌプリ火山の噴火活動履歴の再検討（北海道大学・茨城大学）

北海道東部には、屈斜路カルデラ火山の後カルデラ火山として、摩周火山とアトサヌプリ火山が隣接して存在する（図1）。両火山は、約4万年前の屈斜路火碎流噴火I（KpI）の直後から活動したと考えられている¹⁾²⁾が、遠方テフラ層からの推定によるところが大きく、山体構造については不明な点が多い。また、アトサヌプリ火山については、過去2.7千年間の噴火活動履歴について曖昧な点があり、再検討を必要としている。そのため本事業では、地表踏査のほか、トレンチ掘削調査・ボーリング掘削調査を駆使し、噴火活動履歴解明に取り組んでいる。令和5年度は、特に成果のあったアトサヌプリ火山についての概要を述べる。

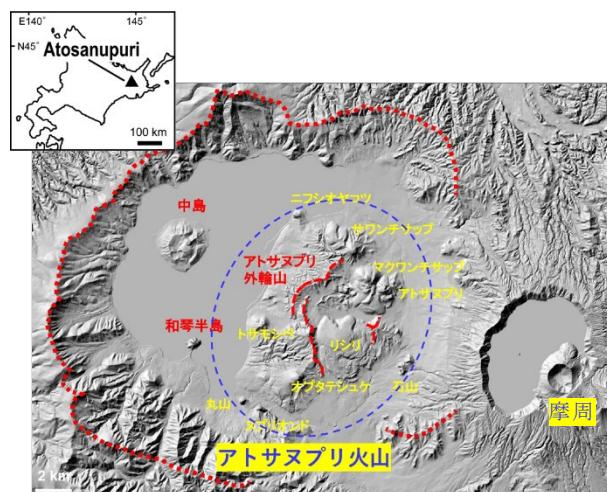


図1 アトサヌプリ火山および摩周火山の位置図(ベースマップは国土地理院陰影起伏図)。

i) アトサヌプリ火碎噴火の活動推移の再検討

アトサヌプリ火山では、約2万年前のアトサヌプリ火碎噴火により、アトサヌプリカルデラが形成されたと考えられてきた²⁾。一方、遠方相において複数のテフラ層が確認されている³⁾が、近傍相との対比がなされておらず、アトサヌプリ火碎噴火の活動履歴・推移についてはよく分かっていない。また、最近の研究により、アトサヌプリカルデラは約4万年前の屈斜路カルデラ形成噴火I（KpI）のリサーチェントドーム（外輪山溶岩）の隆起に伴い形成されたグラーベンであるという解釈が報告されている⁴⁾。このように、アトサヌプリ火碎噴火の活動推移およびアトサヌプリカルデラの形成過程については未だ不明な点があるため、我々は、アトサヌプリ火碎噴火の全貌を明らかにすべく、調査研究を行ってきた。そして、令和4年度までにアトサヌプリ火碎噴火の近傍相が複数の火碎流堆積物で構成されることを認識し、遠方相との対比を行った。令和5年度は、地表踏査により新たな火碎噴火堆積物を認識した。また、近傍火碎流堆積物の全貌解明のためのトレンチ掘削・ボーリング掘削調査を実施した。

新たな火碎噴火堆積物：美留和火碎岩

令和4年度までの調査により、アトサヌプリ火碎噴火の近傍相として、石狩別火碎流 (Is-pfl)、砂湯火碎流 (Sn-pfl)、池の湯火碎流 (Ik-pfl: 令和4年度のトサモシベ南火碎流を改名) の3タイプを認識した(図2)。これら火碎流に含まれる軽石の全岩化学組成・火山ガラス組成はタイプごとで異なっている(図3)。この特徴を用いて遠方テフラ層(下位より Nu-g・Nu-e・Nu-c・Nu-a・Ch-c)との対比を行ったところ、Nu-e~Nu-a が池の湯火碎流に、Ch-c が石狩別火碎流に対比されることが分かった。しかしながら、最下位の遠方テフラ層 Nu-g と対比される近傍堆積物は発見できていなかった。

令和5年度は、アトサヌプリ火山東部を中心に地表踏査を実施し、外輪山溶岩上部に火碎岩を発見した(美留和火碎岩と命名する)。従来の研究²⁾により報告されていた弱溶結の火碎岩であり、最上部ではやや発泡し縞状構造を示している(図4)。この美留和火碎岩は、全岩化学組成において、遠方テフラ層 Nu-g とほぼ対比されるが分かった(図3)。なお、これまで Nu-g テフラは中島火山由来であるとされてきた³⁾⁵⁾が、全岩化学組成は一致しないことが分かる。

以上より、アトサヌプリ火碎噴火の近傍堆積物と報告されている遠方テフラ層全ての対比に成功した。アトサヌプリ火碎噴火の活動は、少なくとも外輪山溶岩噴出の末期(約3万年前頃)には始まり、約1万年間に亘って活動した複数のマグマ系による火碎噴火であったことが分かった。このことは、アトサヌプリカルデラが複数の火口様地形の重なりで構成されていることと調和的であり、アトサヌプリカルデラはグラーべンではなく、火口であると可能性が高いといえる。

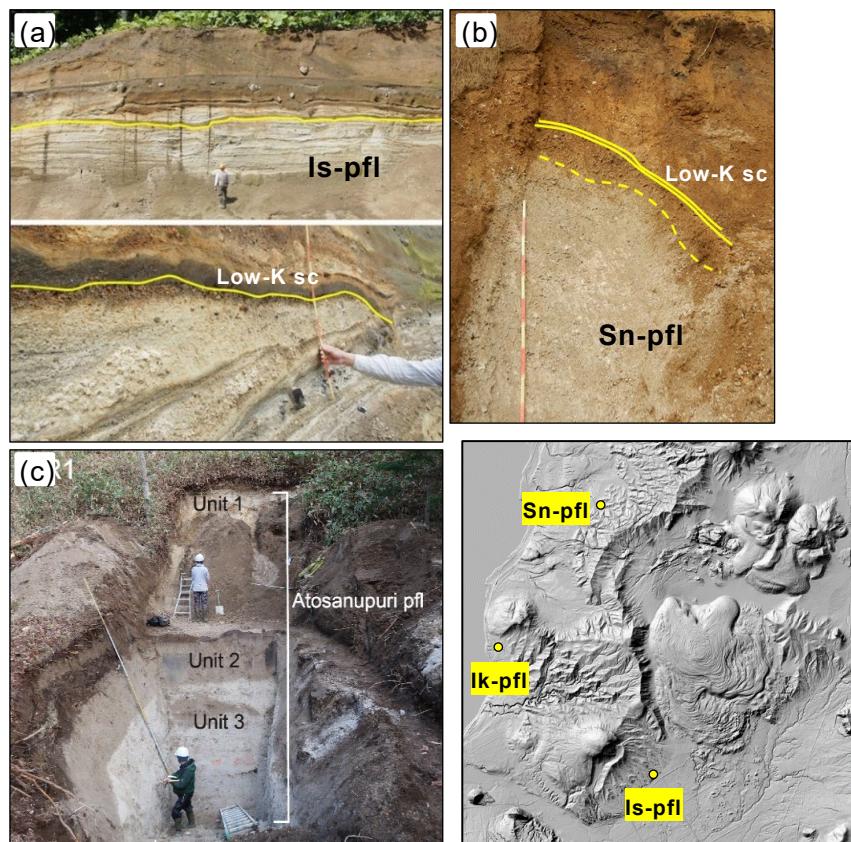


図2 アトサヌプリ火碎流近傍相の露頭写真と模式地点。

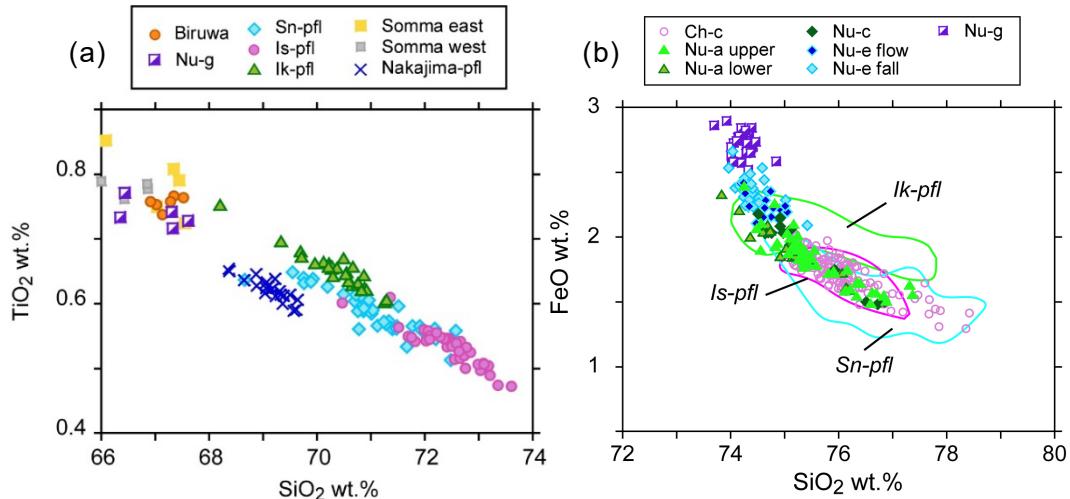


図3 アトサヌプリ火碎噴火堆積物中の軽石の全岩化学組成(a)および火山ガラス組成(b)。

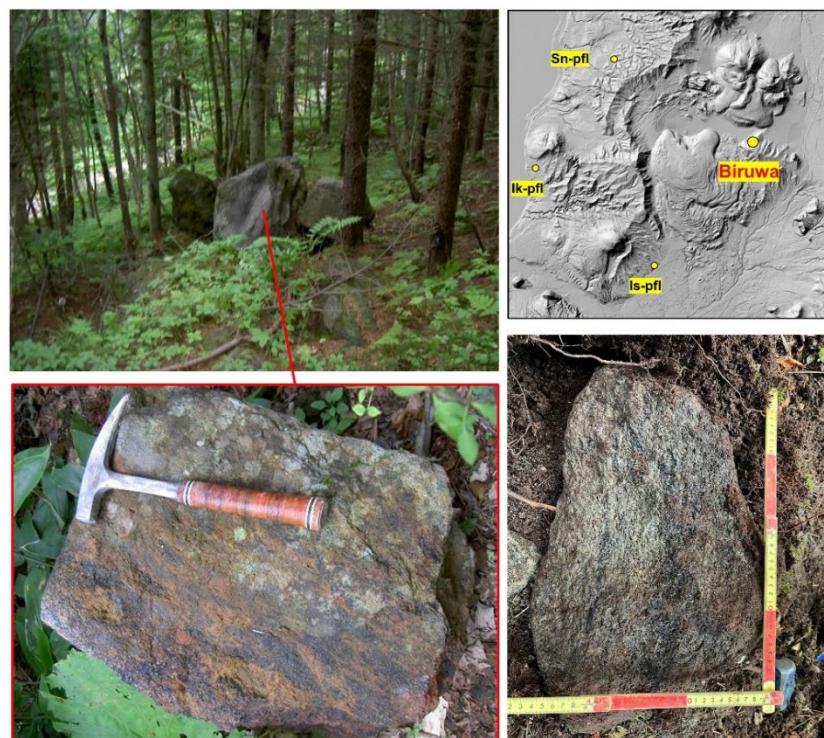


図4 美留和火碎岩の産状。

アトサヌプリ火碎噴火の活動推移の再検討

令和4年度までの調査により、アトサヌプリ火碎噴火の大よその活動推移は明らかになったが、砂湯火碎流については遠方相との対比が出来ていないという問題があった。また、屈斜路湖中央部の中島火山でも火碎噴火が起きており、島内で大規模な火碎サージ堆積物を確認しているが、アトサヌプリ火碎噴火との前後関係はよく分かっていない。そこで、これらの課題解決のために、アトサヌプリ火山の西部において、トレーナー掘削調査およびボーリング掘削調査を実施した(図5)。

トレーナー掘削調査では、5 m深までの掘削面を観察することができ(図6a)、上位より摩周bテフラ・リシリ火碎流・摩周fテフラ・中島軽石⁶⁾・砂湯火碎流が堆積

していることが確認された。中島軽石は、これまで降下火碎物と考えられていたが、基質支持構造を示しており、シルト質の黄褐色火山灰基質中に白色軽石が認められる火碎サージ堆積物であることが分かった。砂湯火碎流は、シルト～砂質の灰白色火山灰基質中に灰色・白色・縞状軽石と岩片が散在し、緩い成層構造も認められる。中島軽石および砂湯火碎流堆積物中の軽石の全岩化学組成（図 7）をみると、中島軽石は島内の火碎サージ堆積物とは一致しない。また、砂湯火碎流は石狩別火碎流と良い一致を示す。これらのことから、中島軽石は島内の火碎サージ堆積物ではないこと、砂湯火碎流と石狩別火碎流は同じ時期に発生したマグマ的にも類似した火碎流である可能性が高いことが示された。

ボーリング掘削調査においても、同様のテフラ層序が確認され、砂湯火碎流相当層は層厚 65 m 以上堆積していることが分かった（図 6b）。現在解析中であり、詳細は令和 6 年度以降に報告する予定である。

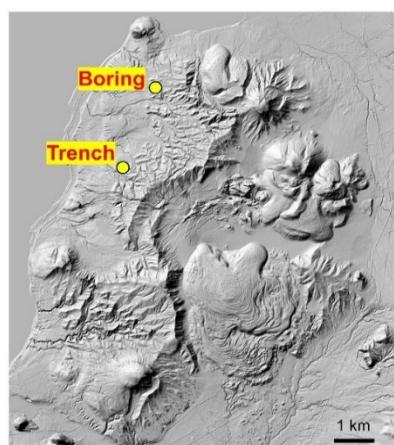


図 5 トレンチ掘削調査およびボーリング掘削調査地点。



図 6 トレンチ掘削孔の写真(a)およびボーリング掘削調査の様子とコア写真(b)。

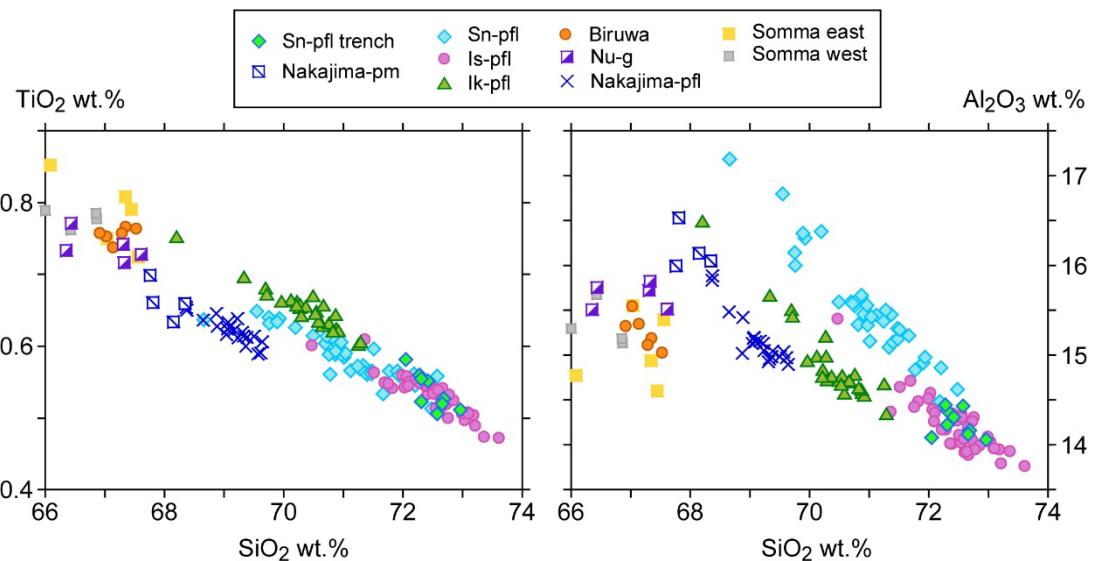


図 7 トレンチ掘削調査により採取した砂湯火砕流および中島軽石テフラの軽石の全岩化学組成。

ii) アトサヌプリ溶岩ドームの過去 7.6 千年間の噴火活動履歴の解明のための、短深度ボーリング掘削調査

アトサヌプリ火山の最新の噴火活動は、アトサヌプリ溶岩ドームでの水蒸気噴火活動であり過去 2.7 千年間のテフラ層序が報告されている⁷⁾。しかしながら、その給源火口については不明であり、報告されたテフラ層も分布が限られていることから、再検討する必要があった。我々は令和 4 年度までに、赤色立体地図によるアトサヌプリ溶岩ドーム周辺の地形判読とそれに基づく野外調査により、アトサヌプリ溶岩ドームに山頂の熊落とし火口のほかにも複数の火口様地形・火口列が存在しており、北麓から東麓にかけて水蒸気噴火堆積物の層相が地域によって異なることを明らかにした。しかしながら地表踏査では露出状況に依存し観察できる堆積物に限界がある。そこで令和 5 年度は、北麓から東麓の 3 か所で短深度 (10~15 m) のボーリング掘削調査を実施した (図 8)。

その結果、約 7.6 千年前の摩周 f テフラから上位の堆積物を観察することができた。最新の水蒸気噴火とされている At-ph1 相当層の層相に地域性が認められるほか、これまで確認されていなかった水蒸気噴火堆積物を見出すことができた (図 8)。現在、コア試料を解析中であり、詳細については、令和 6 年度以降に報告する予定である。

謝辞

本地域を調査するにあたり、環境省阿寒摩周国立公園管理事務所、根釧西部森林管理署および弟子屈町・清里町役場の方々には多大なるご協力を賜った。弟子屈町の平田氏および玉川大学の皆様には、ボーリング・トレンチ掘削調査において土地の使用許可をいただいた。以上の方々に深く御礼申し上げます。

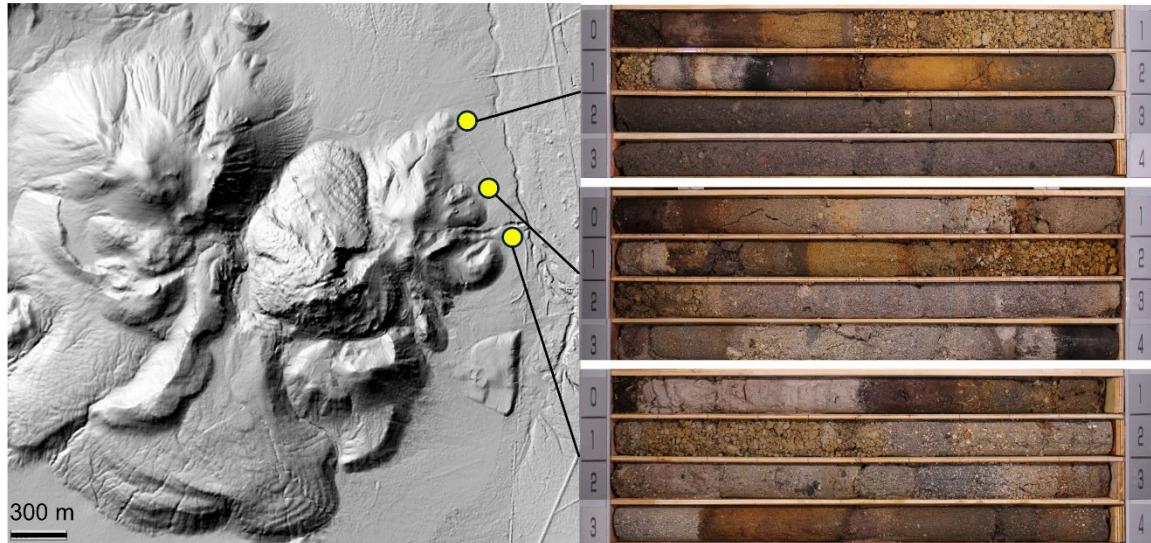


図 8 アトサヌプリ溶岩ドーム周辺で実施したボーリング掘削調査の調査地点とコア写真。

b) 雌阿寒岳：雌阿寒岳の噴出量階段図の作成とポンマチネシリ 1,000 年前噴火のマグマ供給系について（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、少なくとも 8 箇所の噴出中心から噴火を繰り返し、現在の姿に至った。雌阿寒岳 14,000 年前以降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⁸⁾、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、¹⁴C 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⁹⁾、そして、最近 2,500 年間の噴火活動の詳細¹⁰⁾¹¹⁾が明らかとなった。

令和 5 年度は、特に噴火活動全体のマグマ噴出量階段図を作成し¹²⁾、さらに、ポンマチネシリ 1,000 年前噴火のマグマ供給系を推定した¹³⁾。

ii) マグマ噴出量階段図

雌阿寒岳の噴火の概要は次の通りである（表 1）。まず、噴火開始をおよそ 5 万年前として、ステージ I では、南岳、1,042 m 峰、東岳、中マチネシリの山体を形成した。ステージ II は、中マチネシリの山体頂部で火碎噴火活動が生じた時期であり、火碎流および降下火碎物を広く堆積させた。ステージ III は、西山、ポンマチネシリ、北山を形成した時期である。この時期には、山麓に火碎サージも流出させた。ステージ IV は、阿寒富士の形成、その後のポンマチネシリの火口を形成した時期（Pon-1 ~ Pon-4）、そして、現在までの活動を含む。

以上の活動について、噴出量階段図を作成した（図 9）。噴出量は全体で 2.4 km^3 (DRE) である。最大の噴火はステージ II の 14,000 年前の噴火で、噴出量は約 0.7 km^3 である。活動期間の平均噴出率は $0.048 \text{ km}^3/\text{kyrs}$ であるが、最近 1,000 年間の噴出率は $0.0063 \text{ km}^3/\text{kyrs}$ と非常に小さい。

表 1 雌阿寒岳の噴火史のまとめ (佐藤ほか¹²⁾より引用)。

噴火期	データ ランク	噴火年代	噴火名	噴火様式・推移	山体形成
ステージIV	A	CE 2008	2008 年	水蒸気噴火	なし
	A	CE 2006	2006 年	水蒸気噴火	なし
	A	CE 1998	1998 年	水蒸気噴火、マグマ 水蒸気噴火	なし
	A	CE 1996	1996 年	水蒸気噴火	なし
	A	CE 1988	1988 年	水蒸気噴火	なし
	A	CE 1964-1966	1964-1966 年	水蒸気噴火	なし
	A	CE 1962	1962 年	水蒸気噴火	なし
	A	CE 1955-1960	1955-1960 年	水蒸気噴火	なし
	B	約 200 年前以降	Pon-4	水蒸気噴火	なし
	B	約 400 年前	Pon-3	水蒸気噴火	なし
	B	約 700 年前	Pon-2	降下火碎物	なし
	B	約 1 千年前	Pon-1	降下火碎物	なし
	B	約 2.5 千年前～1 千 年前	阿寒富士	溶岩・降下火碎物	阿寒富士
ステージIII	C	約 9.5 千年前～2.5 千 年前	西山・ポンマチ ネシリ・北山	溶岩、火碎サージ	西山・ポンマチネ シリ・北山
ステージII	B	約 9.5 千年前	中マチネシリ II - 2	火碎流	なし
	B	約 1.1 万年前	中マチネシリ II - 1	火碎流	なし
	B	約 1.4 万年前	中マチネシリ I	火碎流・降下火碎物	なし
ステージI	C	約 5 万年前～1.4 万 年前	南岳・1042m 峰・東岳・中マ チネシリ	溶岩	南岳・1042m 峰・ 東岳・中マチネシリ

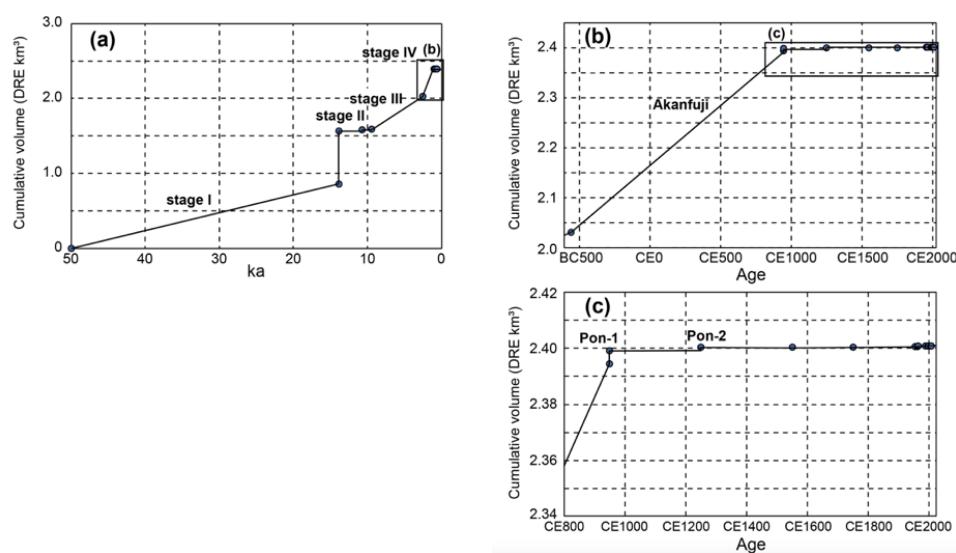


図 9 雌阿寒岳のマグマ噴出量階段図 (佐藤ほか¹²⁾より引用)。

iii) ポンマチネシリ 1,000 年前のマグマ供給系

ポンマチネシリ 1,000 年前噴火 (Pon-1) は、1,000 年前以降最大のマグマ噴火であるにもかかわらず、岩石学に基づくマグマ供給系の構築が行われていない。したがって、岩石学的な手法を用いて検討した¹³⁾。

噴出物の採取は、先行研究¹¹⁾を基に噴出物が厚く堆積している地点で行った。噴出物の層厚は約 15 m であり、降下スコリア堆積物からなる。本研究では噴出物の粒径をもとに、下位層から順に A～H 層に分類した。

主成分元素の化学組成分析は、北海道大学理学部の蛍光 X 線分析装置 (XRF: スペクトリス社製 MagiX PRO) を用いて行った。主成分元素組成をみると、どの元素においても明瞭に 3 つのグループに分けられる (図 10)。各グループは、それぞれ A 層、C～F 層、B・G・H 層で構成される。

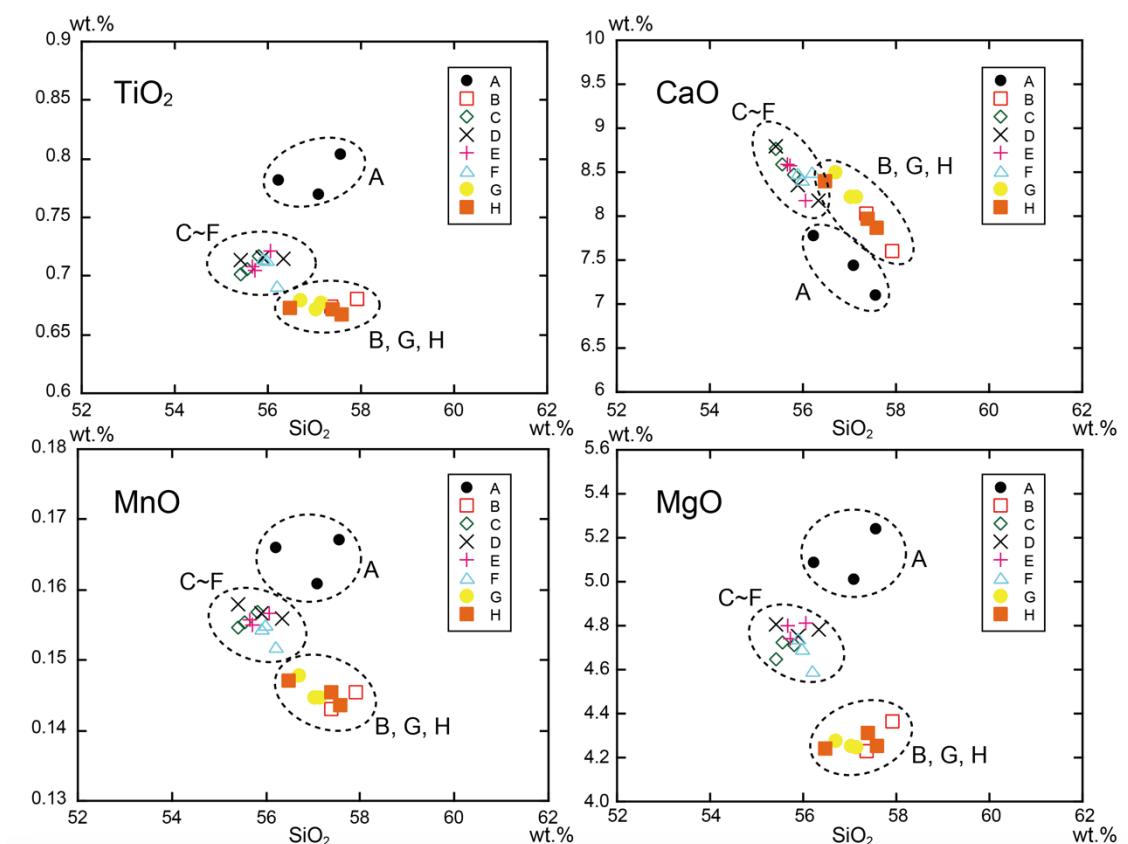


図 10 ポンマチネシリ 1,000 年前噴火噴出物の主成分化学組成。

現段階で推定したマグマ供給モデルを図 11 に示す。全岩化学組成が他の噴出物と異なることから A 層は異なるマグマシステムで噴出したと考えられる。その後、B 層が噴出するマグマ系に移行した。C～F 層が噴出した時は、さらにマグマ系が別に移行したが、G・H 層が噴出する時は、再び B 層が噴出した時と同じマグマ系に戻ったと考えられる。ポンマチネシリ 1,000 年前噴火は短期間でマグマ系が移行するシステムだったと考えられる。

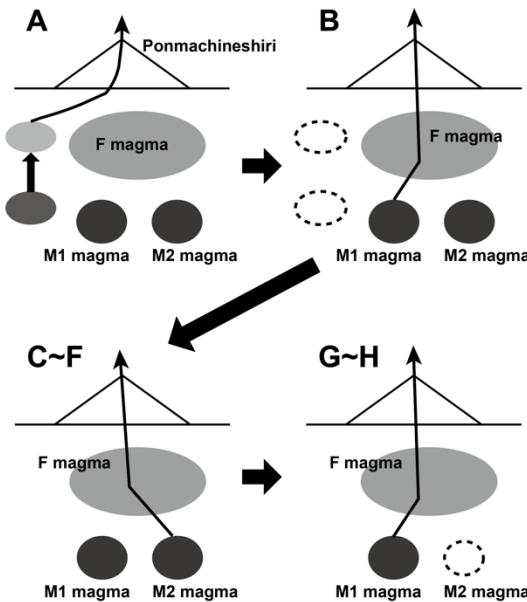


図 11 ポンマチネシリ 1,000 年前噴火のマグマ供給系。

c) 利尻山：完新世噴火履歴の再検討（北海道大学・産業技術総合研究所）

i) はじめに

本火山については、従来の研究で完新世の中頃まで活動を続けていた可能性が指摘された¹⁴⁾。また、その後の研究で島内の湖沼からのコア中の堆積物から、本火山の完新世の噴火堆積物を議論した研究も公表されている¹⁵⁾。それらの結果を受けて、気象庁は本火山を活火山に指定している。しかしながら、従来の研究¹⁴⁾では噴火年代が確定できた完新世の噴火堆積物を明らかにはしておらず、湖沼のコアで 3,000 ~4,000 年前とされたテフラは¹⁵⁾、湖沼以外の場所では確認されていない。そのため、これらの研究成果については再検討が必要であるとして、気象庁の火山噴火予知連絡委員会では「1 万年以内の活動が疑わしい活火山」の一つに本火山を選定している。このような状況の中で、本火山の完新世の噴火履歴を明確にすることは、火山学的な意義だけではなく、火山監視の必要性の有無や住民・観光客などへの啓発活動の点からも重要であると考える。そこで、我々は利尻火山について令和 3 年度から本格的研究に着手し、完新世の可能性のある噴火堆積物を複数地点で見出した。そして令和 5 年度には重機トレーニング調査を実施した。その結果、3,000 年前頃まで噴火活動が起こっていたことが明らかになったので、その概要を示す。

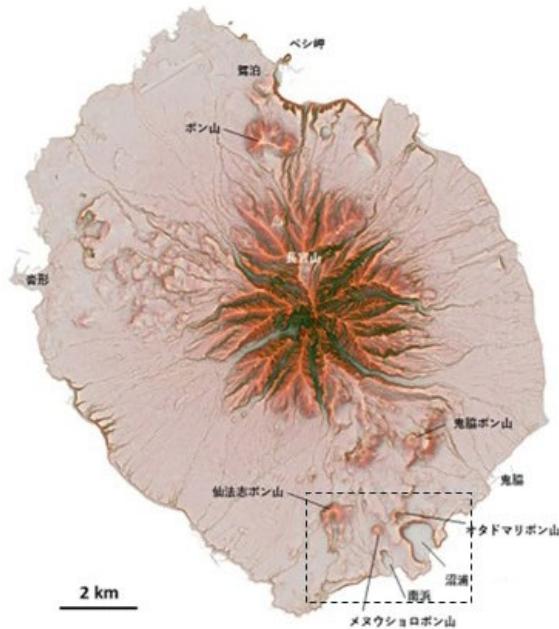


図 12 利尻火山の赤色立体図。点線四角は図 13 で示した部分。赤色図は本研究で新たに作成した。

ii) 手法

本研究では完新世に噴火した可能性のある火口や堆積物を探索するために、地形解析を重視した。そのために新たに、赤色立体地図を作成した。地表踏査ではテフラの探索を南東山麓で行った。さらに、利尻由来のテフラが分布する北海道北部の豊富地域でも調査を行った。これら地形解析や地表踏査の結果に基づき、重機トレーニチ地点を選定してトレーニチ調査を実施した。

iii) 地形解析

従来の研究では、山体南東部では沼浦マール形成後に、利尻火山最新期の活動があったと考えた。それらはオタドマリボン山、メヌウショロボン山そして仙法志ボン山である¹⁴⁾。新たに作成した赤色立体図（図 12）でそれらを中心として地形解析を行った。その結果、従来は指摘されていない、火山性の原地形の特徴を残す、新しい火口および溶岩流の地形を認識した。それらについて新たに、沼浦北火口群と仙法志南部溶岩と命名する（図 13）。

沼浦北火口群は、沼浦マールの北斜面に認められる複数の火口地形の総称であるが、その地形の規模と現地形の保存状況から、東側の沼浦北火口旧期火口群と同新期火口群の2つに大別した。旧期火口群は直径 250 m 程度の北側に開口した火口や、その下位の火口と考えられる複数の火口から構成されている。一方の新期火口群は旧期火口群が作る火砕丘の西斜面に形成された直径が 100 m 以下の、少なくとも 3 つの小火口から構成される。堆積物の被覆関係からは形成順序は明らかであるが、火口壁の保存状態からは両者の形成時期にはかなり大きな時間差があると考えられる。

仙法志南溶岩については、従来の研究では仙法志ボン山から流出したと考えられていた溶岩流¹⁶⁾を、新たに区分したものである。この溶岩流は溶岩堤防やロープな

どの微地形が良く保存されている。従来の研究でも仙法志ポン山から流出した溶岩を大きく東側と西側の2枚に区分しており、両者の溶岩流の表面微地形の保存状態に大きな差があることを指摘している。そして、東側の溶岩流（本研究による仙法志南溶岩）が先に流下した後に、スコリア丘を破壊しつつ西側の溶岩流が流下したと考えた¹⁶⁾。しかしながら、赤色立体地図によると、仙法志南溶岩は仙法志ポン山の南山麓から溶岩堤防が南に向かって伸びており、ここを噴出源として流下し、西側の溶岩を覆っているように見える。その場合、仙法志南火口および仙法志南溶岩は、仙法志ポン山火碎丘および西側の溶岩よりもかなり新しい時期の活動で形成されたと推定できる。

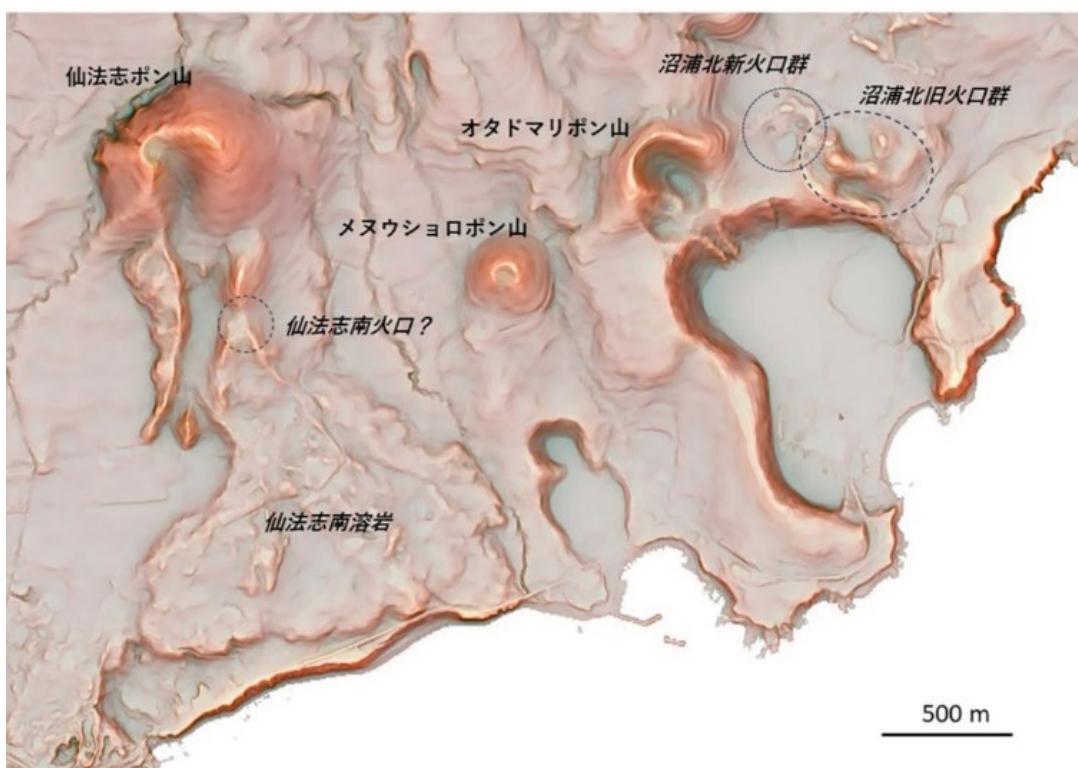


図 13 利尻火山南東山麓の赤色立体図。新しい火口・溶岩流地系として、沼浦北新・旧期火口群および仙法志南火口・南溶岩を新たに認めた。

iv) テフラ調査およびトレーニング調査

北海道北部、豊富地域

利尻火山由来のテフラ層序が確立されている北海道北部の豊富地域では、利尻由来の最新のテフラ層である、利尻-豊徳テフラ (Rs-Ho) 上位の土壤および利尻-ワシコの沢テフラ (Rs-Wn) を精査した（図 14）。この地域では Rs-Ho の上位の土壤層からは 13~8 ka の年代が得られている¹⁷⁾¹⁸⁾。新たな調査においても Rs-Ho テフラの上位のローム層や土壤層からは、明瞭な利尻由来の可能性のあるテフラ層は見出されなかった。今回、地点 23WK-02 において Rs-Ho テフラの直上のローム層から 11,600 y BP の年代値を得た（図 15）。よって、利尻火山では対岸の北海道北部まで

テフラが到達する規模の噴火は更新世末までは続いたが、完新世にはなかったことが確認できた。Rs-Wn テフラは利尻火山ではまれな珪長質マグマによるプリニー式噴火の産物である。層序的には、Rs-Ho テフラの下位であり、南西北海道の支笏火山由来の Sp-1 テフラ¹⁹⁾の上位である。噴火年代については 24 ka の OSL 年代が報告されている¹⁸⁾。今回、地点 23WK-04において、Rs-Wm テフラ直下の土壌から 18,200 y BP の年代値を得た。

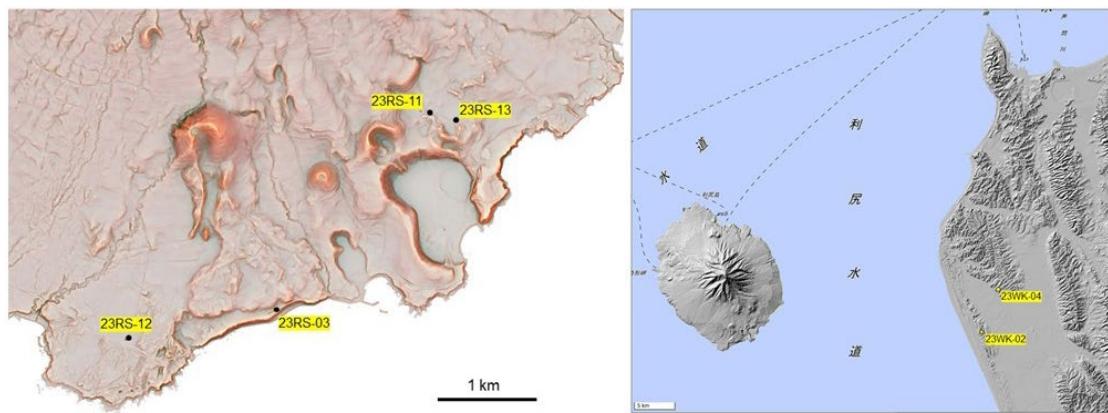


図 14 テフラ露頭およびトレーナー掘削地点の位置図。

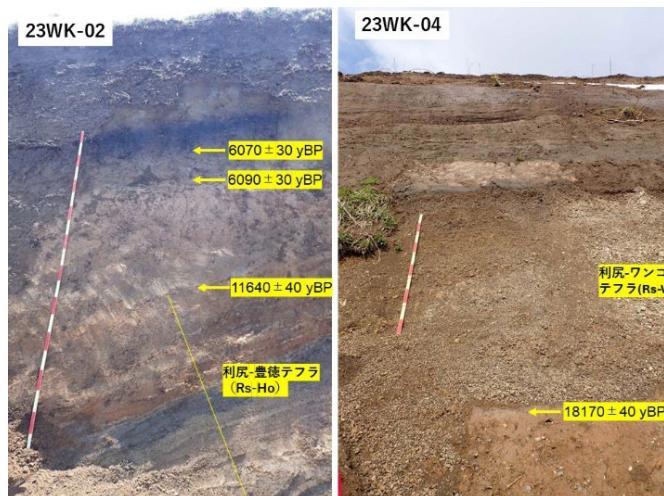


図 15 北海道北部、豊富地域での露頭写真。

利尻島南部のテフラ層

今回、利尻火山南東山麓において完新世の年代を示すテフラを、2 地点の露頭において確認した。まず、島南端の海食崖の表層部において (23RS-03)、20~14 ka のローム層の上位に、土壌層を介在して大きく 2 層のテフラ層を認識した (図 16)。下位の B 層は複数のテフラ層から構成されており、それらの間には明瞭な土壌層は認められないが、風化帶と考えられる薄層が介在している。B 層の上位には比較的明瞭な土壌層を挟んで、A 層としたテフラ層が認められる。この層は細粒火山灰層の上位に降下軽石層、さらに上位に火山灰にコーティングされた降下軽石層と、シルト質火山灰中に軽石が散在する火碎流あるいはサージ層が成層している。これら

の間には大きな時間間隙を示す証拠はなかった。今回はこの露頭において、特に重要な層準である B 層直下の土壤からは 2 試料、A 層直下の土壤では 3 試料を採取して測定を行った。その結果、B 層直下では 15,200~12,900yBP、A 層直下では 8,160~7,130yBP の年代を得た。そして A 層直上のローム層からは 5,200yBP の年代を得た。これらの結果から、B 層は更新世最末期、A 層は暦年補正前の年代で 7,000 年前頃の完新世のテフラであることが明らかになった。新たに認識した A 層については、産出地点の地名と、主要な本質物が白色から灰色の軽石であることから、「野中軽石層」と仮に呼ぶことにする。

次に仙法志ポン山から流出した溶岩上の表土で (23RS-12 地点)、表層近くで 2 層のテフラ層を認めた (図 16)。それらのテフラは層厚 15 cm のローム層を介して、仙法志ポン山溶岩を覆う。両方のテフラとも細粒の火山灰層である。下位の D 層直下のローム層からは 4,300yBP、上位の C 層と D 層に介在される土壤層からは 3,500yBP、そして C 層直上の土壤からは 2,600yBP の年代値が得られた。これらのことから D 層は 4,000 年前頃、C 層は 3,000 年前頃であると推定でき、共に完新世テフラであることが明らかになった。本研究ではこれらのテフラを仙法志南テフラ群と仮称する。



図 16 南東山麓での露頭写真。

沼浦北旧期火口群

沼浦北旧期火口群でのトレンチ調査では (23RS-13 地点)、表層から 40 cm 以深で、旧期火口群由来のテフラ層が見出された。これは大きく 2 層に区分され、上位層は累層厚 120 cm で火山礫凝灰岩層の互層で、構成物は玄武岩質のスコリア主体である。スコリアはシルト質火山灰にコーティングされている。これらは降下スコリアおよびサージの互層と考えられるが、連続性が悪く再堆積物の可能性があり、層間には土壤の可能性がある複数の薄層が挟まれている。この下位に土壤を挟んで下位層がある。まず、層厚 80 cm のシルト質火山灰に厚くコーティングされた平均粒径 2 cm 程度のスコリアからなる、成層した火山礫凝灰岩層が認められる。層中には、径 25 cm に達する ballistic block や、スコリアに富む層がレンズ状に認められる。

さらに下位に土壤を挟まずに、層厚 50 cm 以上の降下スコリア層が認められた。層中のスコリアは粗粒で、最大粒径 20 cm で平均粒径は 5 cm 程度であり、火山灰にコーティングされていない。層中には径 30 cm に達する ballistic bomb が含まれている（図 17）。これらの下位の堆積物は、それらの粒径と層厚から火口近傍堆積物と判断でき、沼浦北旧期火口群のいずれかが給源の、ベースサージ堆積物と推定できる。さらにスコリアの火山灰コーティングの有無から、噴火後半に水の関与が強くなった噴火推移が推定できる。

上位層直上のローム層から 12,100 yBP、下位層と上位層の間の土壤から 13,700 yBP の年代が得られた。そして上位層中に認められた、土壤の可能性のあると判断した層からは 10,700 yBP の値が得られた（図 17）。このことから下位のベースサージは 13,700 yBP 以前の更新世末期であることが明らかになった。上位層については年代値の逆転も認められ、初生的な堆積物かどうかも含めて更なる検討が必要である。

沼浦北新期火口群

トレーニングは地形的に推定した火口の北側（23RS-11）で行った。ここでは表層から層厚 50 cm の土壤層および火山灰交じり土壤層の下位に、火口近傍堆積物と思われるテフラ層が認められる。これらは層厚 10~50 cm の降下スコリア層の互層で、累層厚は 150 cm 以上である。各層のスコリアは玄武岩質で、平均粒径は数 cm 程度で発泡度は悪く、シルト質火山灰にコーティングされている。層中には径 10~30 cm の溶岩片が散在しており、サグ構造を示すことがある。層厚及び粒径から、このテフラ層は沼浦北新期火口群のひとつで、トレーニング地点の南にある直径 80 m の火口形成に伴う堆積物と考えられる。上位の土壤層についてはその層相の違いをもとに、テフラ直上から上方に試料を採取して年代測定を行った。その結果、6,100 yBP から 3,700 yBP まで、徐々に上位に向かって測定値が新しくなっており、この地点では土壤は安定して成長したと考えられる。よって、テフラ直上の年代値がこのテフラの噴火年代に近いと考えてよいであろう。以上から、このテフラ年代は約 7,000 年前と推定できる。



図 17 沼浦北新・旧期火口群近傍でのトレーニング掘削断面。

v) 完新世噴火履歴と給源火口

本研究によって完新世の噴火堆積物が、3層準で認められた。これらは噴出源（火口）も違うと考えられる。まず、地形的に新しいと考えられた沼浦北火口群のうち、旧期火口群形成に関係したテフラは 13,000 y BP より古い年代であり、更新世末期の利尻豊徳テフラの時期に対比される。この火口群は沼浦マール火口形成の末期の活動で形成されたのであろう。一方で、沼浦北新期火口群に関連したテフラは 7,000 年前頃の年代であり、沼浦マールそして沼浦北旧期火口群の活動時期とは、5,000 年以上の時間間隙がある。よって、この火口群は沼浦マールの活動とは無関係で、完新世の小規模なマグマ噴火により形成されたと考えられる。

野中軽石層は 7,000 年前頃の珪長質なテフラである。噴火年代は先に述べた沼浦北新期火口群と同時期であるがマグマ組成が異なり、別の給源火口に由来すると考えられる。周辺では珪長質マグマを噴出した火口はなく、類似した組成を示す Rs-Wn テフラは利尻南東沖の海底の火口が給源であると考えられている。野中軽石も同様に海底火口を起源とする可能性がある。この軽石は Rs-Wn と比べると規模が小さいので、給源火口径も Rs-Wn テフラの推定火口よりは小さいと考えられ、その存在が見落とされている可能性が高い。今後の利尻島周辺の海底地形調査が必要であろう。

今回確認された完新世のテフラの中で、最新のものは仙法志南テフラ群であり、これらは 4,000 年前頃と 3,000 年前頃の 2 層準である。これらのテフラと同一層準で類似した層相を示すテフラは、利尻島内でこれまで認識されていない。これらのテフラは砂質火山灰で細粒であるが、層厚は薄くない。さらに分布が限局的である可能性が高いことから、本テフラ群は、その給源火口は近傍で、かつ溶岩流出のような非爆発的噴火に伴った可能性がある。その観点からは、模式地（23RS-12）に近く、かつ溶岩表面微地形の保存が良好な仙法志南溶岩を流出した仙法志南火口が給源となる可能性が高いと考えられる（図 13）。

本研究によって完新世のテフラが複数認識され、それらの年代は 7,000 年前頃と、4,000～3,000 年前であることが明らかになった。これにより利尻火山は活火山であることが確定した。今後はこれらテフラの分布や給源火口、そして岩石学的性質について検討する必要がある。また今回は検討しなかったが、沼浦北火口群や仙法志ポン山以外にも、利尻火山南東部には新しい火山地形や火口が認められる（例えば、ギボシ沼火口列および溶岩流など）。さらなる調査によって、完新世の利尻火山の噴火活動の全貌を解明する必要があろう。

d) 羊蹄山：羊蹄火山山麓テフラの再検討とマグマ噴出量階段図の試作（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 18）。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～数千年まで活動したことが明らかにされてきた²⁰⁾²¹⁾。その後、Amma-Miyasaka et al.¹⁹⁾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。令和 4 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碎流（約 10 万年前²²⁾）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碎流堆積物（異凝灰岩層と仮称）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²³⁾。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測定を実施し、噴出物の対比と噴火イベント回数について整理した。また、これまでの成果をまとめ、噴火イベントデータベースの作成とマグマ噴出量階段図を試作した²⁴⁾ので以下にその結果を報告する。

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（図 19）。また、尻別川沿いの露頭（地点 3）では、洞爺火碎流堆積物の上位に羊蹄火山起源の降下火碎物を発見し、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を用いて対比することが出来た。

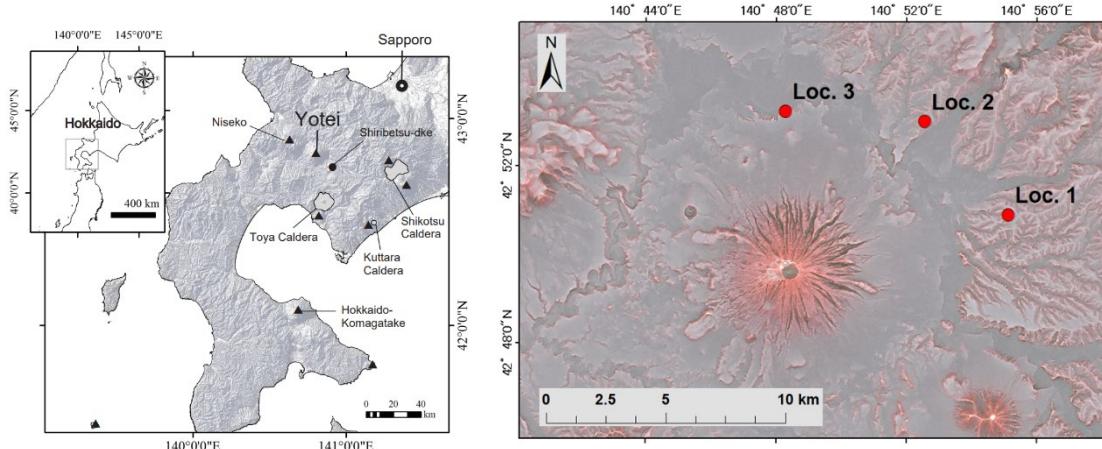
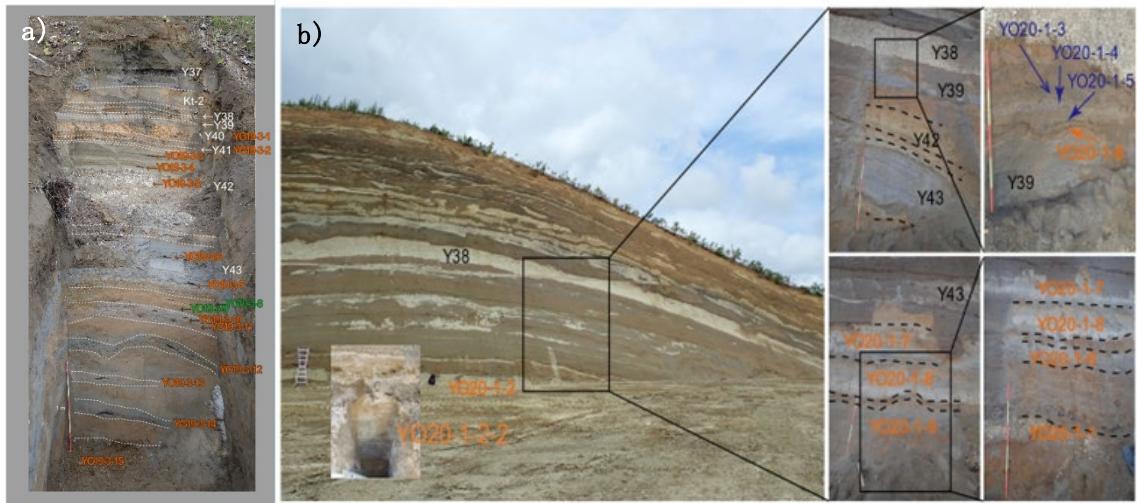


図 18 羊蹄山の位置と調査地点。ベースマップの赤色立体地図は、国土地理院提供の 10 m DEM を用いてアジア航測（株）により作成された。



iv) ガラス組成

採取した試料のガラス組成を図 20 に示した。高い K_2O 値を示すテフラは尻別岳起源、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。遠方の火山灰層と近傍層で概ね組成は一致するが、鉱物組み合わせで対比可能なテフラでも、ガラス組成の K_2O 値でやや合わないものがあるなど課題が残った。

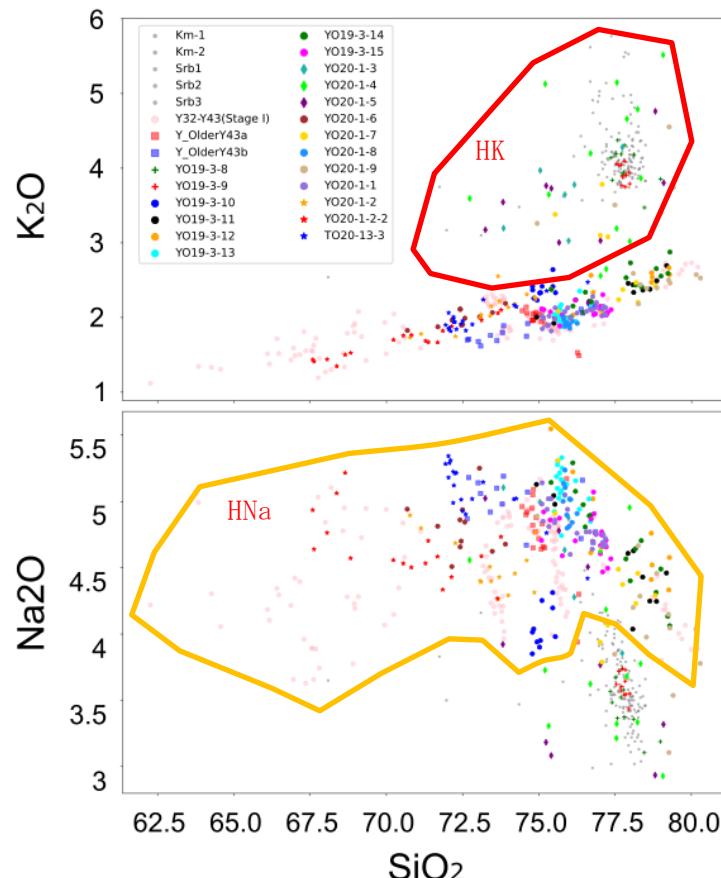


図 20 代表的な火山ガラス組成。尻別岳起源火山灰のガラス組成 (Km-1, Km-2, Srb1~3)¹⁹⁾を灰色の点で示した。また、既往報告の羊蹄山起源のテフラ (Y32~Y43: Stage I)²¹⁾のガラス組成を薄いピンク色で示した。尻別岳起源と考えられるテフラは K_2O が相対的に高いのに対し、羊蹄火山起源のテフラは Na_2O が相対的に高いことで、両者を区別できる。

v) 対比と噴火イベントの整理

記載岩石学的特徴とガラス組成から露頭間のテフラを対比し整理すると、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他、これまで最下位と考えられていた Y43 の下位に、Y44~Y51 の 8 層のテフラを新たに認識した (表 3)。T020-13-3 は洞爺火砕流堆積物の上位にあることが直接確認されている他、Y020-1-2-2 と対比される可能性のある遠方火山灰である>Y43b が洞爺テフラより上位にあることから、羊蹄火山の最下位のテフラを火口近傍でも確認できたと考えられる。

表3 露頭間での対比。

噴火ユニット	Loc. 1	Loc. 2	Loc. 3	東部石狩低地帯 ³⁾
Y39'		Y020-1-6		
Y44	Y019-3-10			
Y45	Y019-3-11	Y020-1-7		
Y46	Y019-3-12			
Y47	Y019-3-13	Y020-1-8		
Y48		Y020-1-9		
Y49	Y019-3-14	Y020-1-1		>Y43a?
Y50	Y019-3-15	Y020-1-2	T020-13-3	
Y51		Y020-1-2-2		>Y43b?

vi) 羊蹄火山の噴出量階段図の試作

著者らがこれまでに調査した結果を総合して、羊蹄火山のマグマ噴出量階段図を試作した²⁴⁾（図21）。羊蹄火山はテフラ噴出の停滞期と岩石学的特徴により、活動ステージが下位より古羊蹄火山（OY）、新羊蹄火山1～3（YY1～3）に区分できる。最近2万年間は低い噴出率で推移していることが示された。

a) 羊蹄山全体の階段図

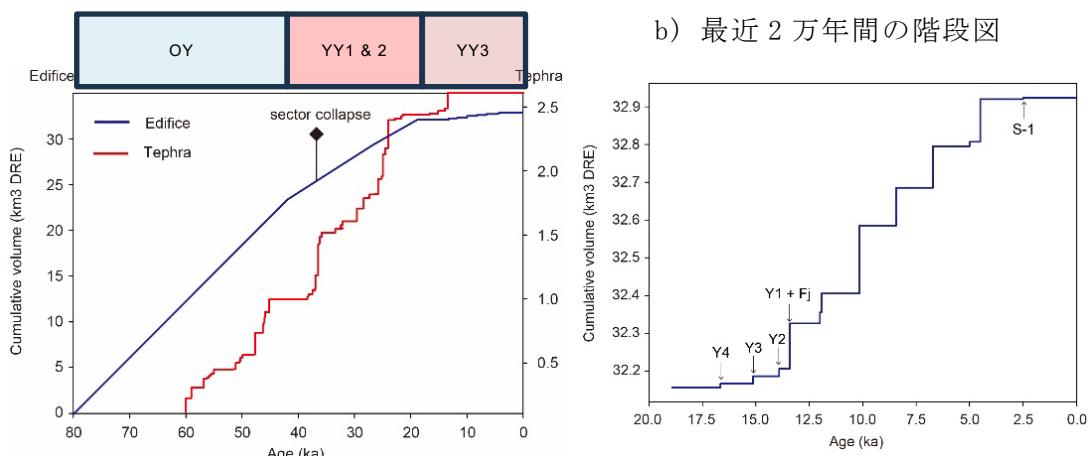


図21 羊蹄火山のマグマ噴出量階段図（上澤ほか²⁴⁾に加筆）。a)活動全体：山体と山麓テフラに分けてマグマ噴出量階段図を作成した。b)噴出率が低く変化する最近2万年間：山体と山麓テフラを合算した。

vii) 今後の課題とまとめ

今後は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、火山灰の対比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。

e) 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²⁵⁾。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、溶岩と火碎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²⁶⁾²⁷⁾。また歴史時代の活動としては、1600 年、1782～1783 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²⁸⁾。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碎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令和 4 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碎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

令和 5 年度は、のべ 20 日の現地調査を実施した。目的 1 および 2 について、鳥海山溶岩ドーム、岩木山頂西溶岩ドーム、岩木山中央溶岩ドーム、岩木山頂溶岩ドーム、鳥ノ海溶岩ドームの溶岩試料の採取を継続して実施し、全岩化学組成を分析した。また、岩木山の山頂付近 5 地点において人力によるピット掘削調査を実施し(図 22)、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。その結果、最近約 1 万年間の主要なマグマ活動が 11 ka、7.3～7.7 ka、3.5～3.7 ka 頃にあったこと、その他に地層記録として残される比較的小規模なマグマ水蒸気噴火及び水蒸気噴火が、少なくとも 2.4～2.7 ka、1.5～1.9 ka、1.3 ka、0.5～0.7 ka に 4 回あったことが明らかとなった。

溶岩ドームの形成時期については、各降下テフラの分布や、テフラ中に含まれる本質物と石質岩片そして溶岩ドーム試料の全岩化学組成の結果などから、11 ka 噴火前には既に鳥海山溶岩ドームと岩木山頂西溶岩ドームが形成されており、11 ka

の噴火で中央ドームが、7.3～7.7 ka の噴火の前後に山頂ドームが、そして 3.5～3.7 ka の噴火の前後に鳥ノ海溶岩ドームが形成されたと考えられる。

降下テフラの研究から、最近約 3,000 年間に岩木山の山頂周辺で比較的小規模なマグマ水蒸気噴火や水蒸気噴火が繰り返し発生していたことも判明した。これは、地形判読と現地調査によって明らかになった、山頂周辺における 10 以上の中規模な火口地形の存在と矛盾しない。従来から指摘されているように、最近約 3,000 年間は比較的小規模なマグマ水蒸気噴火及び水蒸気爆発の活動が主であるものの、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などを考慮すれば、火山防災上、これらの小規模噴火についても十分考慮する必要があろう。

目的 3 について、火山体全域において溶岩および降下火碎物を中心とした試料を昨年度からの合計で約 240 個採取し、全岩化学組成分析を行った。その結果、第一期・第二期の活動から第三期への移行と同時に、例えば $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ のハーカー図において組成トレンドが大きく変化することが明らかとなった。変化が生じた詳細な時期や、変化の過程については、来年度以降に溶岩の年代測定を実施することで明らかにする。いずれにせよ、第一期と第二期には火山体を大きく成長させたのに対し、第三期では溶岩ドームの形成が主たる活動であった。このような活動の変化は対極的には地下のマグマプロセスの変化によって生じており、岩木山の今後の活動を考慮する上では、第一期や第二期よりも、基本的に第三期に生じた火山現象に類似した現象が発生するとみるべきである。第三期には約 3,000 年から 4,000 年の間隔をおいて比較的規模の大きいマグマ噴火が複数回発生していることも考慮すれば、小規模な水蒸気噴火やマグマ水蒸気噴火のみならず、山腹までテフラを降下させる火碎噴火や溶岩ドームの形成と、それに伴う溶岩ドーム崩壊型火碎流の発生の可能性は考慮しておくべきであろう。

iii) まとめ

- ・最近約 1 万年間の主要なマグマ活動は約 11 ka、7.3～7.7 ka、3.5～3.7 ka であった。
- ・最近約 3,000 年間には、比較的小規模なマグマ水蒸気噴火および水蒸気噴火が、少なくとも 2.4～2.7 ka、1.5～1.9 ka、1.3 ka、0.5～0.7 ka に 4 回あった。

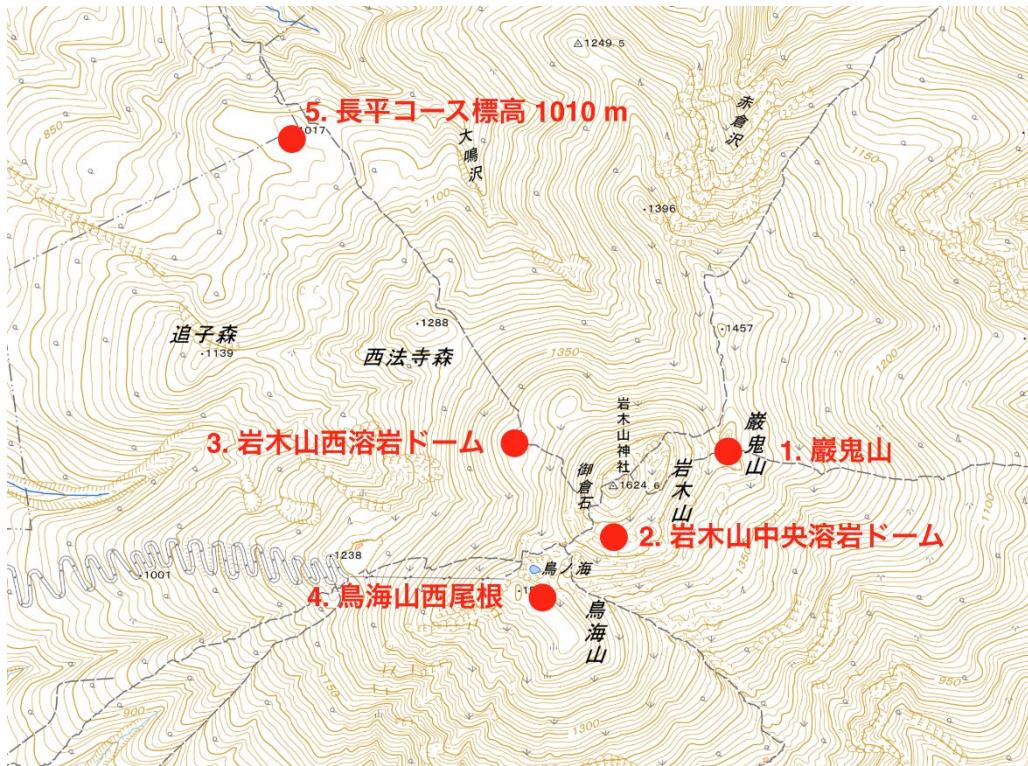


図 22 令和 5 年度に実施した、降下火碎物調査の主たる地点。

f) 秋田駒ヶ岳：1932 年噴火の噴火様式の再検討（北海道大学・（株）エンバイオ・エンジニアリング）

i) はじめに

本火山では過去約 2,500 年間は山体南斜面に形成された南部カルデラ²⁹⁾内で噴火活動が続いている³⁰⁾³¹⁾³²⁾。これらの活動では、玄武岩～玄武岩質安山岩マグマによるテフラ放出と溶岩流出が続いていた³²⁾。南部カルデラ内での 10 世紀から 19 世紀以前の噴火活動の確実な記録は見出されていないが、20 世紀に入ると 1932 年と 1970 ～1971 年（1970 年噴火と呼ぶ）に噴火が起こった³³⁾。そのうち 1970 年噴出物は、これまで 2,500 年間の南部カルデラ内の女岳及び小岳の玄武岩～玄武岩質安山岩の噴出物とは異なり、一転して安山岩組成を示した³²⁾³⁴⁾。これはマグマ系が最近になって変化して、本火山が新たな活動ステージに移った可能性を示唆するものである。一方、1932 年噴火についてはこの噴火が水蒸気噴火であったと考えられているが³⁰⁾³³⁾、そのように判断した根拠は明確ではない。1970 年の噴火とマグマ系の変化を考えるうえでは、1932 年噴火の様式と本質物の有無に関して再検討が必要である。そこで我々は 1932 年噴火口周辺の地質調査と噴出物の岩石学的検討を行った。

ii) 手法

まず 1932 年火口を中心に南部カルデラ内について、赤色立体図による地形判読を行った。そして地形判読で得られた結果をもとに地質調査を行った。1932 年火口周辺は登山道も河川もなく、夏季には植生が密であり調査は困難である。そこで 5 月初旬の残雪期に地表踏査を実施した。野外で採取した試料は岩片にシルト質な火

山灰が厚く付着していたので、流水と超音波洗浄で付着物を除去し、肉眼および実体顕微鏡下で構成物を観察した。このうちスコリアと石質岩片について薄片の鏡下観察と、主成分全岩化学組成分析を実施した。代表的な試料について斑晶モード組成分析を、モードカウンターを用いて行った。全岩化学組成分析は、スコリアについては粒径 1 cm 以上の複数個を合わせて 1 つの粉碎試料とした。その後、粉碎試料を溶融剤 ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$) と 1:2 の割合で希釈してガラスピードを作成し、主要・微量元素組成を北海道大学理学部所有の XRF (スペクトリス社製 MagiX PRO) で測定した。

iii) 地形および地質

南部カルデラ内の北部には、女岳・小岳の 2 つの火碎丘が形成されており、カルデラ内はこれら火碎丘と、これらに由来する溶岩流がカルデラ底を埋積している。そして、1932 年噴火の噴火口は、女岳噴出物の分布域に形成されている (図 23a)。赤色立体地図で判読できる噴火口の形状や配置は、既存研究による火口分布図³⁵⁾と概ね一致するため、その火口名を踏襲し各凹地形を、南から第 I～第 XI 火口と呼ぶ (図 23b)。今回の調査では第 I 火口から第 XI 火口までを踏査した。火口周辺は植生が密に発達しているが、大型の火口である第 I と II 火口周辺では、火口縁から 10～20 m 程度の範囲の植生が未発達で、そこには地表面に径数十 cm 以上の岩塊が点在していた (図 24a)。岩塊は火口に近づくほど大きくなる傾向が見られ、最大で径 1.5 m ほどに達した。

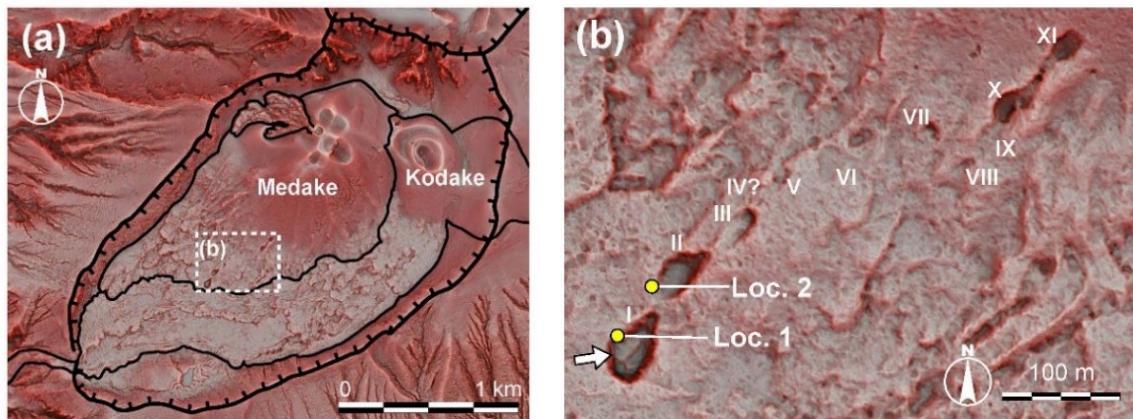


図 23 (a) 秋田駒ヶ岳、南部カルデラの赤色立体地図。過去 3,000 年間に形成された女岳と小岳の火碎丘が形成されている。図中の点線を (b) 図に拡大している。 (b) 1932 年火口群の赤色立体図。火口名と図 24 で示した地点 1 と 2 の場所も示している。

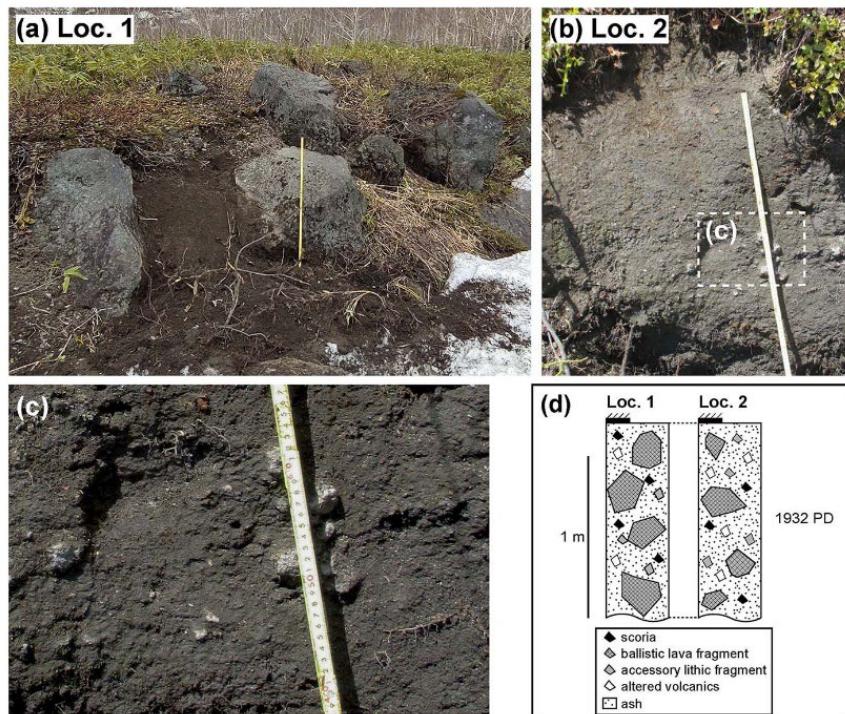


図 24 (a) 地点 1 での火口壁周辺に分布する ballistic block の産状。 (b) 地点 2 での火口壁に露出する 1932 年噴出物。図中の (c) を拡大した。 (d) 地点 1 と 2 の柱状図。

比較的規模の大きな第 I および第 II 火口では、火口壁面の上部が観察できた。そこでは厚さ 2~3 cm の表土の直下に、茶褐色~青灰色のシルト質火山灰中にラビリから block サイズの礫が散在する凝灰角礫岩で、Loc. 1 では層中から表層にメートルサイズの巨礫が散在している。層厚は 2~3 m 以上であり、下面是残雪のため 2 地点では観察できなかった。この産状は、噴火直後に観察した層相³⁵⁾と一致しており、これらは 1932 年の噴火堆積物と判断できる (図 24b)。礫はシルト質火山灰が厚く付着しており、これらが複数個集合して、全体としてより大型の集合体を形成している (図 24c)。そして、これら火山灰が付着した礫どうしが、礫支持している産状を示している。これらの層相から、この堆積物は降下堆積物、そして、この層中に含まれる大型の岩塊は爆発により火口から放出された ballistic block であると判断できる (図 24d)。

礫は発泡度の良好な黒色スコリアと石質岩片からなる (図 25)。石質岩片は、黒灰色の斑状で比較的新鮮な玄武岩質溶岩片と、茶褐色~赤褐色を呈する変質岩片が認められた。スコリアは平均粒径約 3 mm、最大粒径約 1.5 cm であり、亜角礫の形状を示し、表面や気泡内壁にも火山灰が付着しているが、スコリアそのものは変質を受けていない (図 25b)。石質岩片のうち斑状の溶岩片は ballistic block と同質であり、角がわずかに取れた亜角礫状を示している (図 25c)。溶岩片は、黒灰色で緻密な玄武岩質であり、遅延発泡や破断面など、着地時の高温状態を示す証拠は認められない。

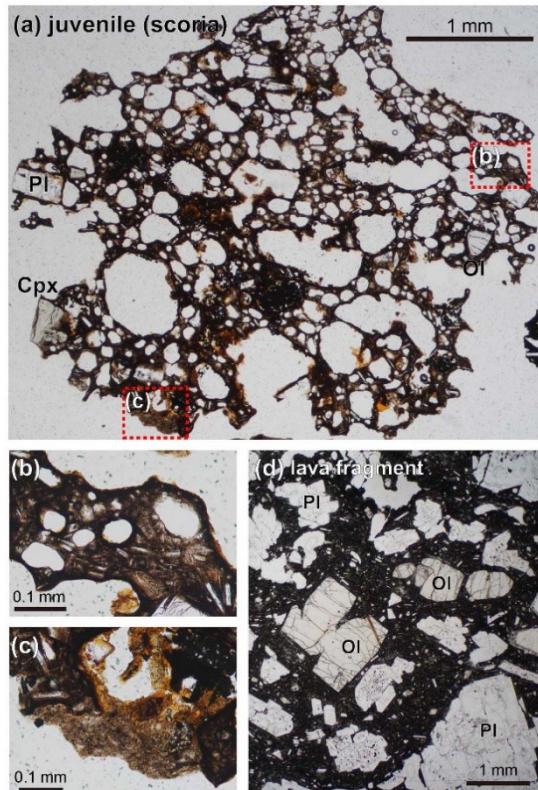


図 25 1932 噴出物の顕微鏡写真 (開放ニコル)。(a) 本質物と判断できるスコリア。図中の (b) と (c) の部分を拡大して示している。(d) 類質物と判断できる溶岩片。

iv) 岩石学的特徴

1932 年噴火の噴出物中のスコリアは斑状で斑晶量 15%程度、斑晶鉱物として斜長石、かんらん石、単斜輝石を含み、石基はハイアロピリティック組織であり、茶褐色ガラス中に針状の斜長石が点在する、単斜輝石かんらん石玄武岩質安山岩である (図 25a)。玄武岩質溶岩片は黒色緻密で、スコリアと比べて高い斑晶モードを示し (約 34%)、斑晶鉱物として斜長石、かんらん石で、そしてごく微量の単斜輝石も含み、石基はハイアロピリティック組織で、短冊状の斜長石を陰微晶質の基質が埋める、単斜輝石含有かんらん石玄武岩である (図 25d)。

スコリアは SiO_2 量が約 53.5 wt% の玄武岩質安山岩の組成を示し、AK1 テフラの組成範囲に示される (図 26)。しかし、1932 年噴火の後の 1970 年噴出物は $\text{SiO}_2 = 59 \sim 59.5$ wt% で、異なる組成を示す。一方で、玄武岩質溶岩片は SiO_2 量が 51.4~51.8 wt% の玄武岩組成を示し、1932 年火口の基盤をなす女岳の溶岩類、および AK2 テフラと組成が一致する (図 26)。

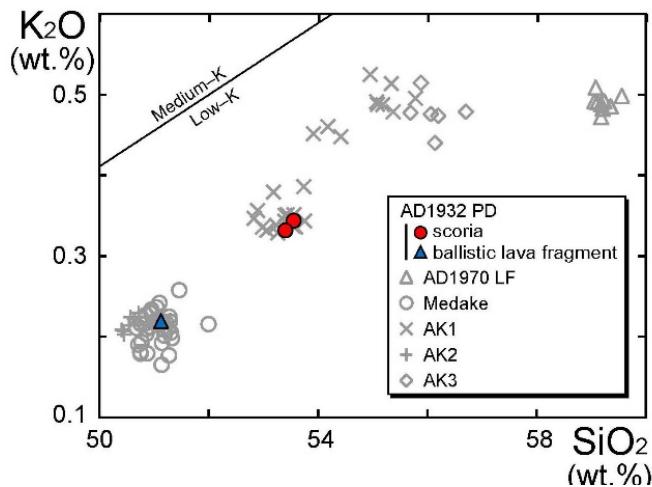


図 26 過去 3,000 年間の秋田駒ヶ岳噴出物の SiO_2 - K_2O 図。AK1～3 はテフラユニット³¹⁾で、AK1 は小岳由来と考えられている。AK2 は女岳火碎物と一致する。

v) 1932 年噴火様式の再検討

1932 年堆積物中のスコリアは、ガラス質の光沢を持ち、鏡下においても清澄な茶褐色ガラスを保持するなど、未変質であることから 1932 年噴火における本質物質と判断できる。このスコリアは単斜輝石かんらん石玄武岩質安山岩であり、火口の基盤を構成する女岳溶岩（単斜輝石含有かんらん石玄武岩）とは斑晶モードおよび全岩組成で区別される（図 26）。さらにスコリアとともに、表層部を構成する女岳溶岩や変質岩片などの類質岩片も放出されている。この噴火ではこれら岩片とともに、粘土質の火山灰も共に放出されており、堆積物は淘汰のやや悪い層相を示すなど、水の関与を示す特徴³⁶⁾が顕著である。上記のことから、1932 年噴火はマグマ水蒸気噴火であったと判断できる。

vi) マグマ供給系の変化の可能性

本研究の結果、1932 年噴火に関与したマグマは $\text{SiO}_2=53.5\%$ の玄武岩質安山岩であることが判明した。このマグマは、 $\text{SiO}_2=59$ wt%である 1970 年のマグマとは大きく異なるものである。図 26 に 1932 年および 1970 年噴出物を含めた、過去 3,000 年間の南部カルデラ内で活動した本質物の組成を示した。それによると、1970 年以前の噴出物は SiO_2 - K_2O 図で 1 本の直線的な組成トレンドを形成し、1932 年スコリアもこのトレンド上に図示される。しかしながら 1970 年噴出物は、 SiO_2 量が高いだけでなく、1932 年以前の噴出物が作るトレンドから K_2O 量が大きく外れている。このことから、1932 年まで 3,000 年間続いたマグマ供給系が変化し、1932 年以降、40 年足らずの時間間隙の間に、新たなマグマ供給系が活動を始めた可能性を指摘できる。近年、秋田駒ヶ岳では女岳で熱活動などの高まりが認められており、将来の噴火に備えて監視が強化されている³⁷⁾。活発化しているであろう本火山のマグマ供給系を理解するには、1932 年までのマグマ系と 1970 年のマグマ系を物質科学的に検討し、1932 年以降のマグマ供給系の変化を理解することが必要である。

g) 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）

前年度、本プロジェクト開始当初から継続的に実施してきた鳥海火山（東鳥海山）の完新世後期火山活動史と事象分岐シナリオに関する成果をとりまとめて論文を公表した³⁸⁾が、残された課題がいくつかあり、2023年度はそれらの課題に取り組んだ。論文公表段階では、2,800年前から現在までに発生した比較的規模の大きな噴火に焦点を絞って噴火活動史と噴火事象分岐について検討した。課題だったのは、規模の小さな噴火の実態が不明であること、文書記録の残る歴史時代と3,000年より前の噴火の情報がほとんど得られていないこと、それに2,800年前の噴火を除き、噴出物量の90%以上を占める溶岩流の活動史が未確定であることの三つである。歴史時代噴火のほとんどは小規模噴火のために広範囲に厚い堆積物を残すことがなく、地質学的な情報が得られていなかった。2,500年前以降の溶岩噴出は東鳥海山北側斜面で発生しているが、アクセスの悪さから調査が進んでいなかった。また、西鳥海山カルデラ内噴出物が約2万年前より前に形成されたと考えられてきた³⁹⁾⁴⁰⁾が、最近になって少なくともその一部は完新世のものである可能性が考えられるようになり、そちらについても再検討する必要があった。

そこで、令和5年度は、次の3つの研究を行った。(1)歴史時代の小規模噴火と3,000年より古い噴火について、テフラ調査を行った。そして火山灰試料の成分分析を行い、噴火様式を検討した。(2)東鳥海山北側斜面の2,500年前以降の溶岩の調査を行った。地形分類によりロープを細分し、記載岩石学的特徴と主成分化学組成分析結果を基にロープ間の岩石学的対比を行い、ユニットを区分した。(3)西鳥海カルデラ内の約2万年前からの噴火活動について、再検討を行った。以下にそれぞれの概要を述べる。

i) 東鳥海山、歴史時代の小規模噴火と3,000年より古い噴火

山体南斜面の滝ノ小屋付近（図27: CH02）にて、To-a火山灰の上位に複数のテフラ層を産する露頭を発見した。その柱状図を図28(a)に示す。この露頭では、To-aテフラの上位に、有機質土壌層を介して5層、To-a直下に1層のテフラ層が産する。露頭最上部には厚く再堆積性暗色火山灰層が産する。To-aより上位の5層のうち最下層は厚さ18mmであるが、それ以外の4層は1~2mmである。To-a直下の火山灰は、西暦871年噴火による火山灰と考えられる³⁹⁾⁴¹⁾。

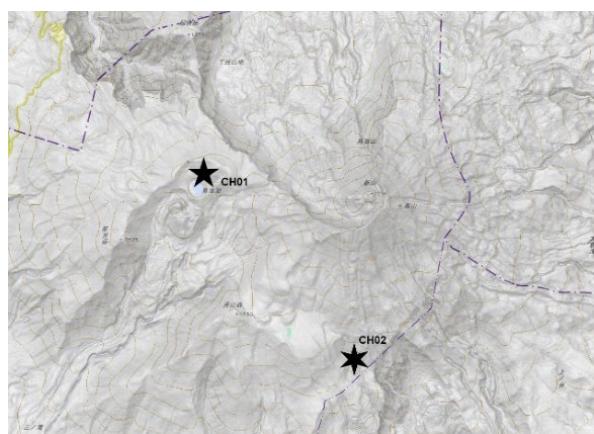


図27 令和5年度鳥海山テフラ観察地点。

To-a 直下火山灰の下の土壤の放射性炭素年代は $1,172 \pm 20$ yrBP であり、西暦 871 年は 1σ 暗年範囲内である。To-a 上位の火山灰のうち、上位から 1、3、4、5 層の直下土壤の年代を測定した。それぞれ 819 ± 20 、 869 ± 20 、 973 ± 20 、 887 ± 20 yrBP の年代値が得られた。一部逆転もみられるが、おおむね上位若い年代値であり、To-a との関係性にも矛盾がない。これらの年代値から、十和田平安噴火の後、10 世紀から 13 世紀の間に、鳥海山にて少なくとも 5 回の小規模噴火が生じたことが示唆される。

5,000 年より古いテフラ層

鳥海湖火口壁北斜面の露頭（図 27 : CH01）にて複数のテフラ薄層を見出した。図 28(b)に柱状図を示す。露頭基底にスコリア角礫層（鳥ノ海スコリア）、その上位に土壤とスコリアが混合した再堆積層、その上位には厚い有機土壤中に 7 ユニットのテフラ層が狭在する。層内変化が著しいものもある。放射性炭素年代測定値は、土壤とスコリアが混合した再堆積層より $7,887 \pm 28$ 、第 7 層直下より $7,620 \pm 20$ 、第 5 層直下より $7,195 \pm 26$ 、第 3 層直下より $6,186 \pm 25$ 、第 1 層直下より $6,009 \pm 29$ yrBP が得られた。東鳥海火山では 5,000 年より古い時代のテフラ層序は得られておらず³⁸⁾、一方、この露頭では 6,000 年前より新しい年代のテフラが産しない。同様の年代値は鳥海湖対岸鍋森付近のテフラ層からも得られており、西鳥海山で生じた小規模噴火を記録している可能性がある。

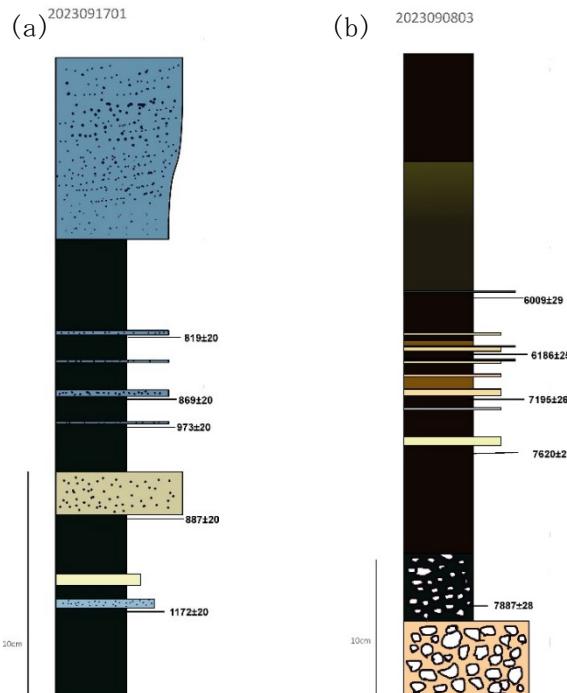


図 28 鳥海火山のテフラ柱状図。
(a) CH02 地点。貞觀噴火以降のテフラ層が墨重する。(b) 鳥海湖北岸の露頭。8,000 ~6,000 年前のテフラ層が保存される。

Ohba et al.³⁸⁾の火山灰成分分類に基づき、二つの露頭から採取した火山灰試料について成分分析を行った。結果を図 29 に示す。CH02 地点で採取された平安時代～鎌倉時代のテフラ層は、西暦 872 噴火および To-a を除き、スコリア火山灰とブロック状暗色火山灰、石質火山灰が卓越する。小規模ブルカノ式噴火であり、新鮮で

やや苦鉄質なマグマを放出している。西暦 872 噴火では軽石質火山灰と変質岩片が卓越し、比較的分化したマグマによるマグマ水蒸気噴火と考えられる。

CH01 の古い時代の火山灰の特徴は多様であり、3 層目は下部で変質物が卓越しつ少量のスコリア火山灰を含み、丈夫でスコリア火山灰が増加する。水蒸気噴火からマグマ噴火への変化を示す。4 層目はブロック状暗色火山灰と変質火山灰が卓越する。6、7 層は変質物、石質火山灰が卓越し、水蒸気噴火・熱水卓越型マグマ水蒸気噴火の可能性が高い。

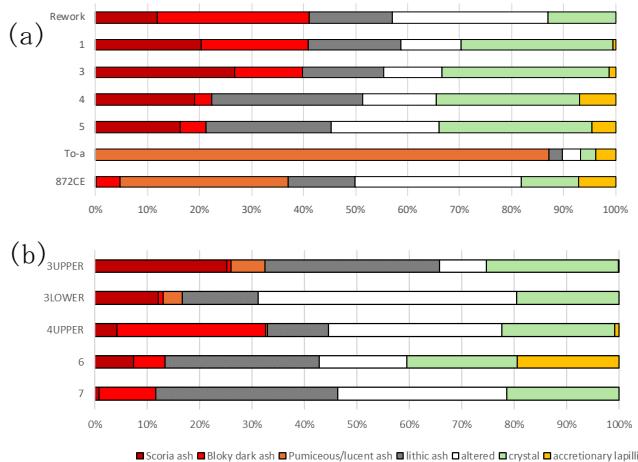


図 29 鳥海火山のテフラ成分分析結果。(a) CH02 地点。番号は図 2 の上位からの順番。(b) CH01 地点。番号は上位からの順番。UPPER と LOWER はユニット内での上部、下部を意味する。

ii) 2,500 年前以降の溶岩層序

東鳥海火山の東鳥海馬蹄形カルデラ内に分布する溶岩の地形分類、踏査、顕微鏡観察、全岩化学組成分析を行い、溶岩層序を構築した。

層序関係が明らかとなる露頭が少ないため、地形を基にロープ区分とその重なりを検討した。斑晶鉱物組み合わせと全岩化学組成をもとに、近接時期のロープどうし対比した。苦鉄質斑晶鉱物組み合わせには四種類ある。すべての岩石に单斜輝石と直方輝石が含まれる。これにかんらん石が加わるもの、普通角閃石が加わるもの、かんらん石と普通角閃石両方が加わるものに分類される。各ロープが一定の全岩化学組成範囲を示すが、範囲が重なるものを同一ユニット、不連続に変化するものどうしを別ユニットと仮定して分類した。その結果、最上位の歴史時代噴火溶岩（西暦 872 年溶岩、1801 年溶岩）を除き、11 ユニットに区分された（図 30）。

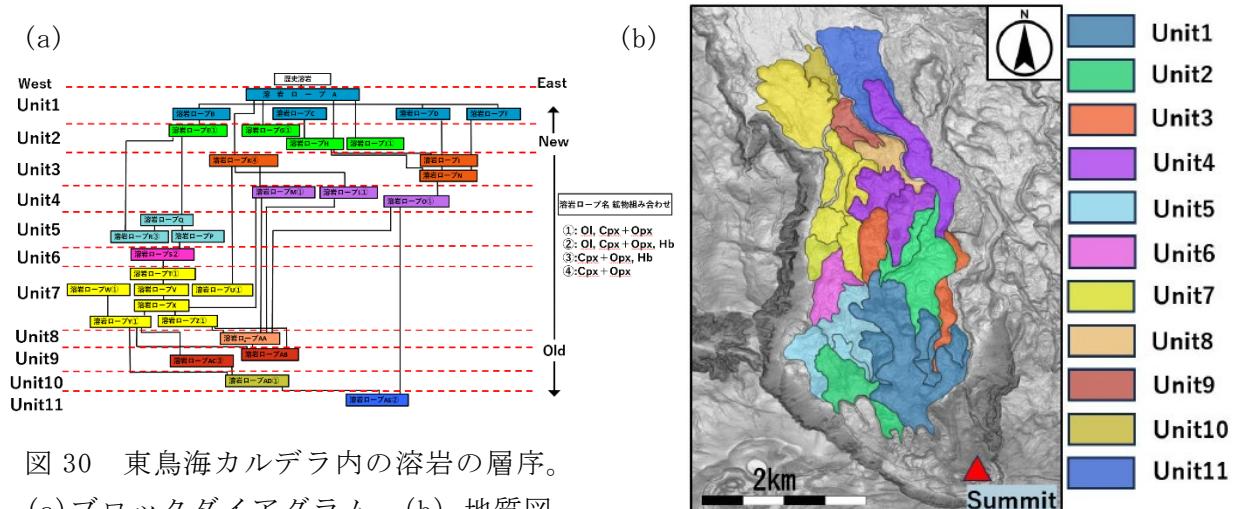


図 30 東鳥海カルデラ内の溶岩の層序。
(a) ブロックダイアグラム、(b) 地質図。

iii) 西鳥海山、カルデラ内噴出物の層序の再検討

今年度は一連の溶岩の年代を解明するために溶岩の下部、上部に存在する古土壤の探索を行った結果、従来の研究³⁹⁾による中ノ沢溶岩の末端部分が崩壊し移動して堆積したと考えられる岩塊の割れ目をロームが埋めているものが発見された。このロームから採取した試料について、約1.7万年前の¹⁴C年代暦年較正年代が得られた。中ノ沢溶岩は多数のユニットからなっており、今回対象にしたものは、そのうちの下位のものに相当し、より上位のものに比べて溶岩の微地形の保存状態が悪い。従って、より上位のものは今回得られた年代よりも新しく、特に最上位の微地形の保存状況が非常に良いものは完新世のものである可能性が高まったと考えられる。

h) 栗駒山：完新世の噴火活動履歴の解明（秋田大学）

栗駒火山の北側登山道沿いに分布する露頭群にはテフラ層が多数含まれる。これらの一部の露頭を予察的に調査し、火山灰直下の土壤層の炭素年代測定（山形大学高感度加速器質量分析センター）を行った。多くの露頭で To-a 火山灰が観察され、鍵層となつた（図 31）。To-a 直下の土壤の年代も、知られている To-a 火山灰の年代値と矛盾しない。それ以外のテフラの対比が未実施だが、To-a より上位には少なくとも 5 層のテフラ層が堆積する。細粒粘土質火山灰や細粒粘土を基質とする火山礫、火山岩塊を含むテフラ層からなる。最も古い年代値が約 2,900 年であることから、最も古いものでも 3,000 年前程度と考えられる。

この結果は予察的であり、今後もテフラ層の調査を継続し、年代、分布、噴出源、噴火推移、噴火様式の詳細を解明する。

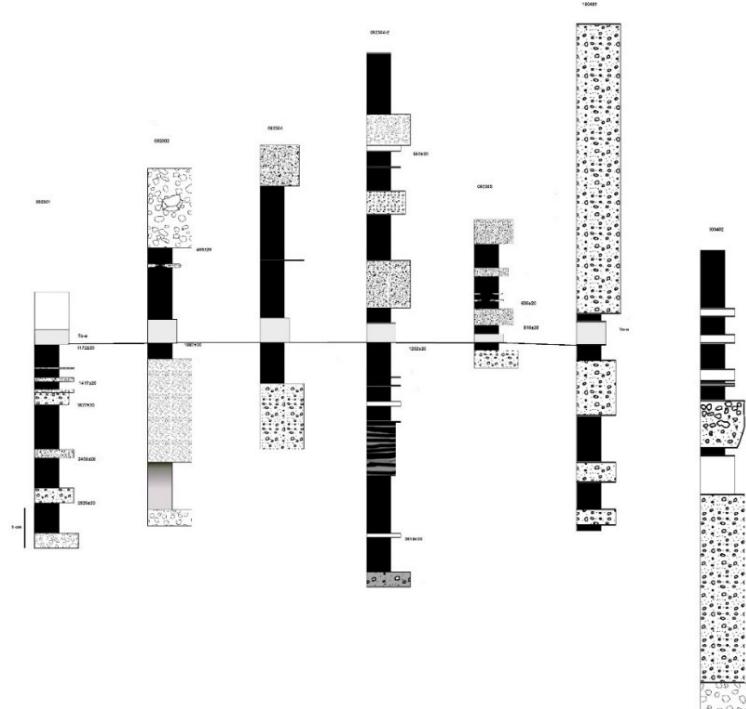


図31 粟駒山北斜面に分布するテフラの対比柱状図。

i) 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）

蔵王山最新の活動期は、約 3.5～1.3 万年前、約 9～3 千年前、約 2 千年前以降に分けられてきた⁴²⁾が、本プロジェクトでの成果を基に、細分を約 3.5～1.3 万年前、約 9～4.5 千年前、約 4.5～2.8 千年前、約 2 千年前以降へと変更した。これら 4 つの活動期についてテフラ層序の詰めの作業を行い、得られた結果を基にマグマ噴出量階段図（以下、階段図）の作成及び噴火系統樹の試作を行った。以下に、階段図の作成、噴火系統樹の試作、ラハール堆積物の調査について記す。

i) 蔵王山のマグマ噴出量階段図の作成

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、階段図を作成した。その結果は、本プロジェクトの研究成果集である防災科学技術研究所研究資料第 500 号⁴²⁾に公表された。階段図は、蔵王山の活動全体、活動期 VI 及び過去約 1 万年間について作成したが、活動期 VI 及び過去約 1 万年間のものについて記す。両者を図 32 に示す。この活動期 VI についてのマグマ噴出量階段図から以下の主な特徴が読み取れる。まず、マグマ噴火主体の時期（約 3.3～1.3 万年前、約 5.8～4.5 千年前及び約 2 千年前以降）と、熱水系が関与したマグマ水蒸気噴火主体の時期（約 9～5.8 千年前と 4.5～2.8 千年前）が交互に起こってきたことである。その入れ替わりの周期は判然としない。次に、マグマ噴火が卓越する際には噴出率が高く、そうでない場合は低い傾向が認められたことである。マグマ噴火の場合の噴出率は、蔵王山全体の活動の中で最も噴出率の高い活動期 III～IV の時期に匹敵する時期（例えば約 6～5 千年前）も認められる。最後に、御釜火口の活動の噴出率や様式の推移を基にした現状についてである。約 800 年前に御釜火口の活動開始以降数百年間は高噴出率で、その後噴出率が低下した。また、約 2 千年前以降の活動はマグマ噴火主体であるが、西暦 1894～1897 年の噴火は熱水系の関与したマグマ水蒸気噴火であったと推定されている⁴³⁾。以上を考えると、西暦 1894～1897 年の噴火活動以降は活動の転換期に入っている可能性も考えられる。

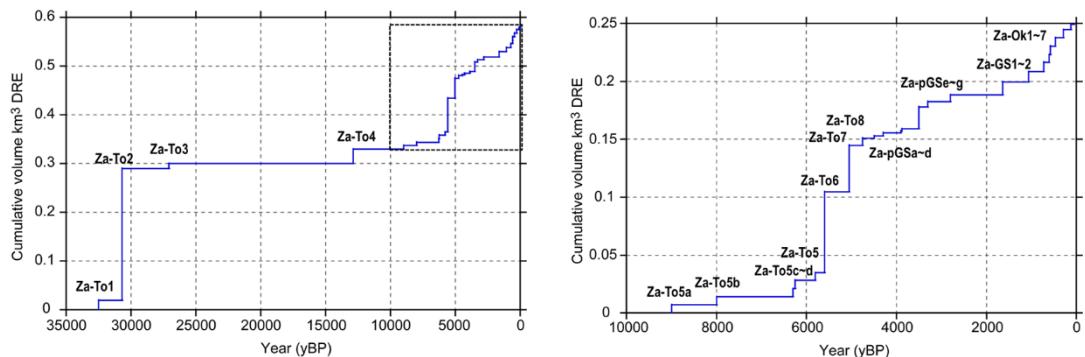


図 32 蔵王山のマグマ噴出量階段図⁴²⁾。（左）過去 3.5 万年、（右）過去 1 万年のもとの。テフラの名称などについては、伴ほか⁴²⁾を参照されたい。

ii) 蔵王山の噴火事象系統樹の試作

サブ課題 C2 の噴火事象系統樹ワーキンググループに議長から示された、作成指針案に従って、蔵王山の噴火事象系統樹の試作を試みた（図 33）。

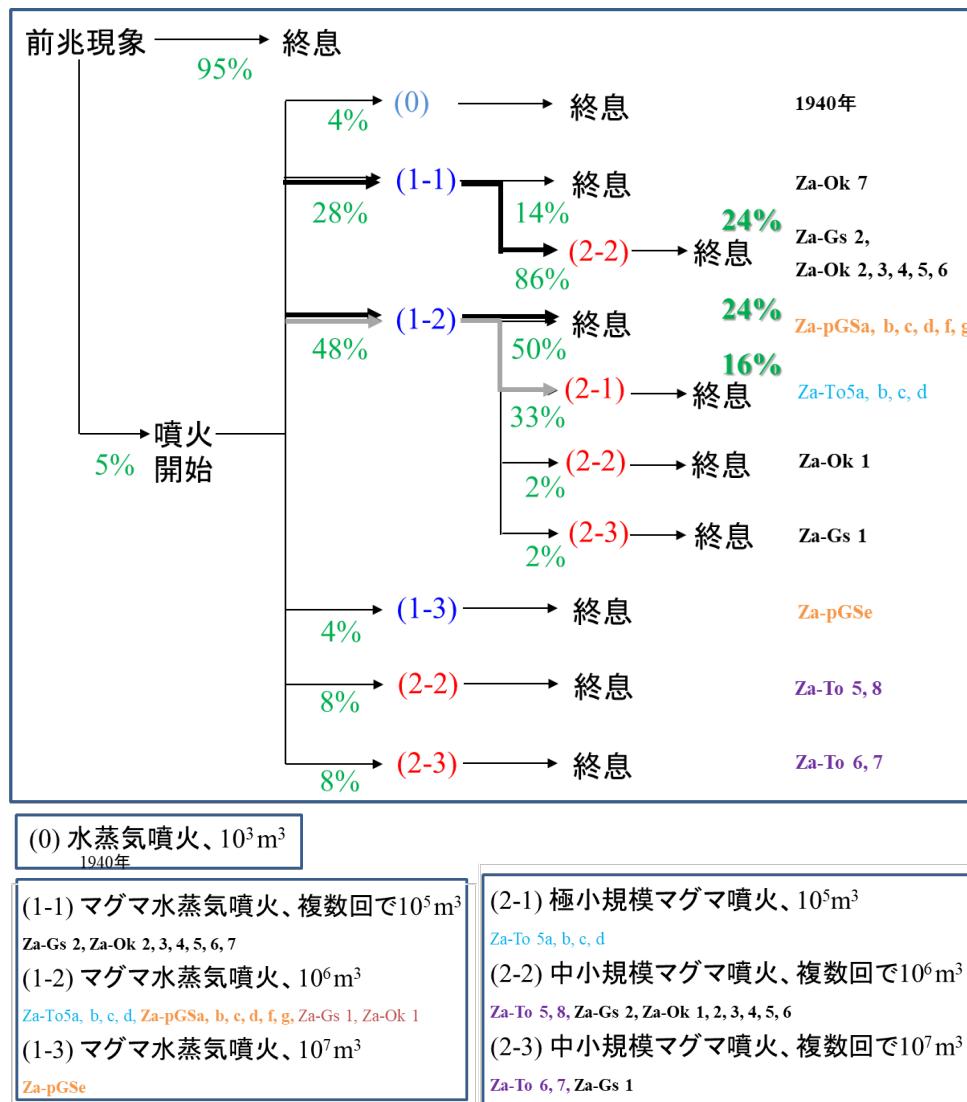


図 33 蔵王山の噴火事象系統樹（試作）。

まず、階段図を基に対象とする噴火履歴の期間を過去約 1 万年間に設定した。この期間では噴出率は一定ではないが、噴火履歴数が多く、また完新世の範囲とも一致するということを根拠とした。想定火口については、蔵王山山頂に存在する約 3.5 万年前に形成されたと考えられる馬の背カルデラの内部とした。これは、過去約 1 万年間の火口位置が馬の背カルデラ内にほぼ限られていることを基にした。噴火タイプについては噴出物の情報より水蒸気噴火、マグマ水蒸気噴火及びマグマ噴火に分け、後 2 者については規模を基に各々を 3 つに細分した。以上のようにして、各テフラから読み取った噴火推移を基に噴火タイプの推移パターンの種類を洗い出し、それらを系統樹として表現した。図 33 には、各コースを辿った事例も付してある。分岐の確率については、前兆現象から噴火と終息の分岐については、前兆現象が記

録されている過去約100年間の前兆現象の発生数を基に、対象期間の過去1万年間（休止期間を除く）も同じ率で発生したと仮定してその間の発生数を見積もり、噴火に至った回数との割合として求めた。噴火開始後の分岐確率については、各コースを辿った事例の数の割合で求めた。結果を見ると、まず、前兆現象が発生した後には、終息に至る場合が、噴火に至る場合より圧倒的に確率が高いことがわかる。また、噴火に至った場合は、マグマ水蒸気噴火（複数回で 10^5 m^3 規模）から中小規模マグマ噴火（複数回で 10^6 m^3 規模）に推移し終息に至る場合と、マグマ水蒸気噴火（ 10^6 m^3 規模）の噴火が起こり終息に至る場合が噴火に至った場合の全体の24%の確率であること、マグマ水蒸気噴火（ 10^6 m^3 規模）から中小規模マグマ噴火（複数回で 10^5 m^3 規模）に推移し終息に至る場合がそれらに次いで多く16%という結果になった。

iii) 蔵王山山麓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7千年間に少なくとも15回ラハールが発生したことなどを明らかにしてきた⁴⁴⁾。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來していた。令和5年度は、遠刈田北方の比較的平坦な地形を呈するエリアのほぼ中心部（図34）で重機トレント掘削調査を行い、複数のラハール堆積物を見出した（図35）。今後、これまでに河川沿いで認められていたものとの対比を行うと共に、重機トレント箇所を増やし、平坦な地形を呈するエリアを形成したラハールの規模と特性を解明する予定である。



図34 重機トレント掘削調査の実施位置図。

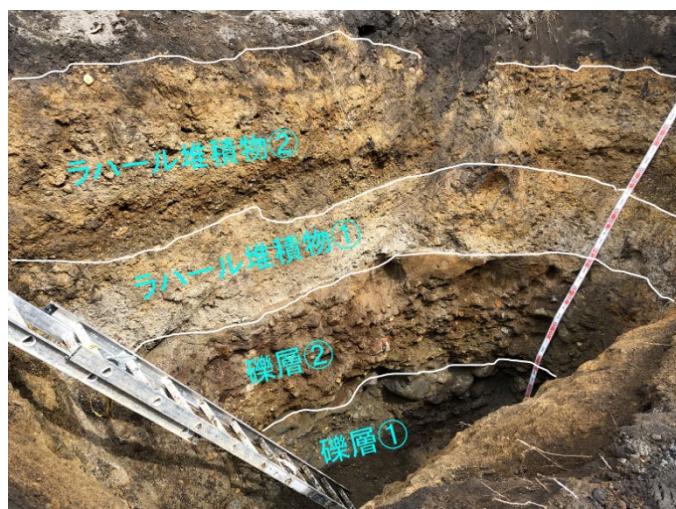


図35 重機トレントによって現れたラハール堆積物の写真。

j) 吾妻山：最新の噴火活動の再検討（山形大学・秋田大学・茨城大学）

i) テフラ層序の再検討

先行研究⁴⁵⁾によって、過去約7千年間にマグマ噴火噴出物が6ユニット、水蒸気噴火噴出物が7ユニット認められている。前者の最新のマグマユニットである大穴ユニット（1331年と推定）より若い水蒸気噴火噴出物は1ユニット（1711年と推定）のみである。一方で、最近の研究⁴⁶⁾によって大穴ユニットのテフラ層の上位に複数のテフラ層が存在することが指摘されており、一昨年よりこの期間のテフラ層序の再検討を進め、令和5年度はトレンチ調査箇所を追加し、ほぼ完成に近い成果が得られた。これまでに行ったトレンチ及びボーリング地点を図36に示す。

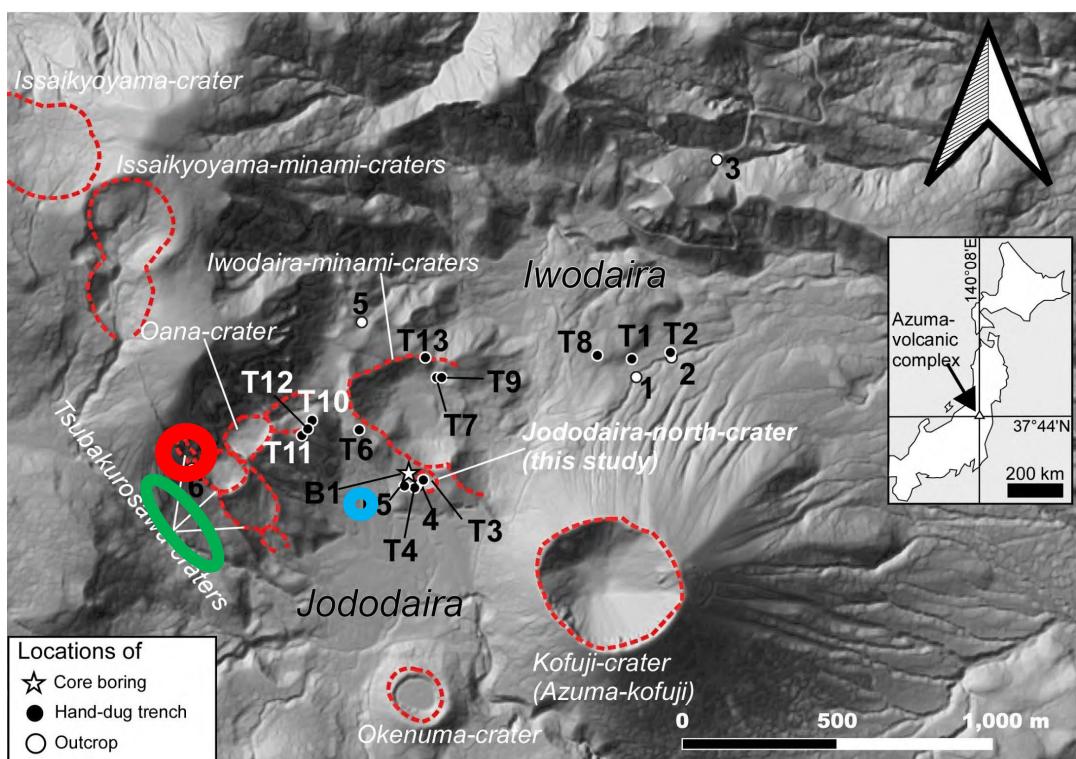


図36 吾妻山鎌倉噴火以降の調査のためのトレンチ及びボーリング地点。赤・緑・青は各々、大穴火口・燕沢火口列・浄土平北火口の位置を示している。

令和5年度までに行ったトレンチ調査による各個柱状図及び総合柱状図を図37に示す。本研究により、0A1-1～0A2-2を含む21枚の降下火碎物が認定された。また、それらを5つの噴火時期によるものに区分した。各テフラをもたらした給源火口は従来から認識されていた大穴火口と燕沢火口列の他に、浄土平の北（浄土平北火口）にも存在していたことが推定された。これらの火口は同時期に活動していた可能性も指摘された。

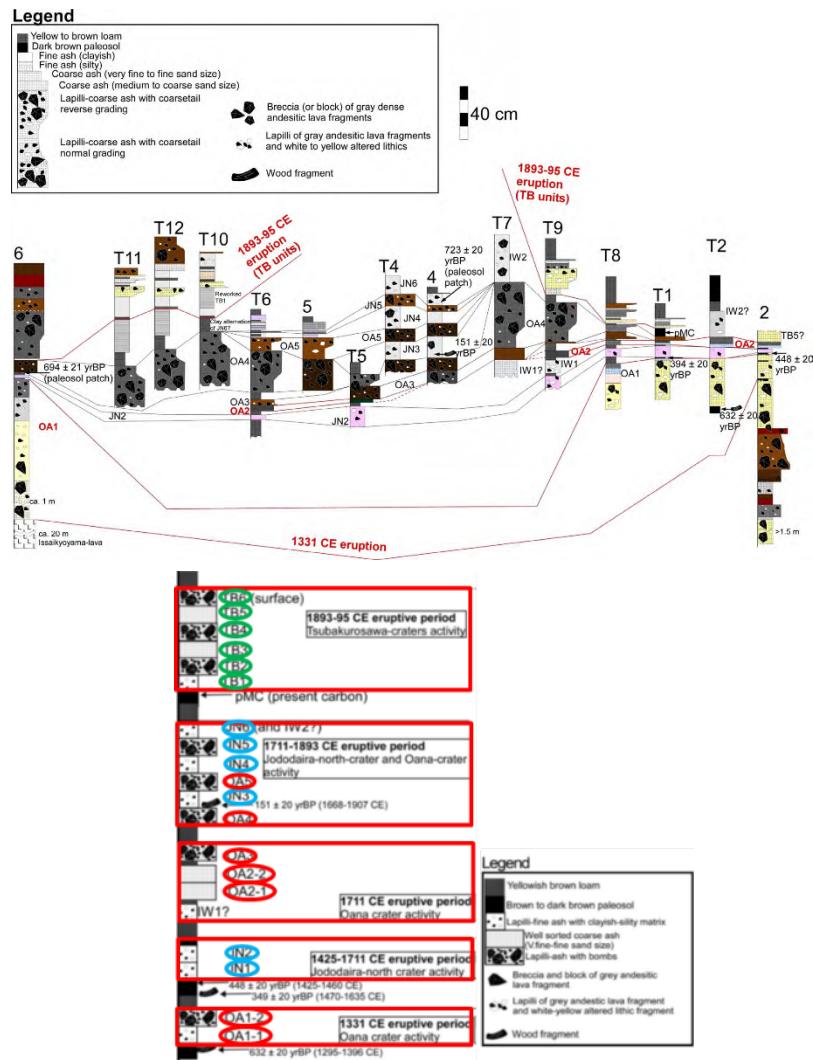




図 38 南西上空から撮影した大穴火口・燕沢火口列と 5 つの火山弾(A~E)の位置および試料採取写真。Monument は殉職者の碑。

野外調査

燕沢火口列周辺の表層に認められる火山弾およびそれを含む地層の地質調査を行った。本地域表層部には、層厚数十 cm~2 m 程度で暗灰色の火山岩塊層が認められる(図 39: Meiji eruption unit)。本層は 1 m 以上の火山弾が含まれたり、崖錐性堆積物に覆われたりするため、水平方向の層厚変化が著しい(図 39a)。下部はやや赤色を呈する場合が多い(図 39)。構成物は、大半が、ガラス質で暗灰色の角張った火山岩塊および火山礫からなり、これらは斜長石斑晶や輝石斑晶のほかに径数 mm 以上のカンラン石斑晶に富む特徴を持つ。火山岩塊は、しばしば放射状急冷節理を有する。火山岩塊は、径 1 m 以上のパン皮状火山弾として、サグ構造を形成したり、本層の表面に突き出したりする場合もある。



図 39 a) 北東上空からの燕沢火口と周辺露頭。b) 図 38 の「Authors」付近を北東から空撮。

試料採取と古地磁気分析

上記径 1~3 m のパン皮状火山弾を 5 つ (A~E) 選定し、それぞれから 6 個の定方位コア試料を採取した。計 30 の試片について、630°Cまで段階熱消磁実験を行って古地磁気方位を測定した結果、いずれの消磁曲線も 150°C前後から原点へ向かって直線的に減衰する傾向を示し、570°Cまでにほぼ消磁された。これらに対して主成分解析を適用し、得られた方位 (特徴的残留磁化方位: ChRM) から、サイト (火山弾) ごとの平均方位とその 95%信頼限界 (α_{95}) を算出した。

火山弾の平均方位は、偏角 (Dm) が $350.6^\circ \sim 358.0^\circ$ 、伏角 (Im) が $48.9^\circ \sim 50.8^\circ$ と、ほぼ同様の値を示し、信頼限界 ($\alpha_{95} < 2.4$) を考慮すると互いに区別できない (図 40a)。このことから、いずれの火山弾も高温 (300°C前後以上⁵⁰⁾) で定置し、磁化獲得後は二次的な移動や目立った被熱を受けていないと判断できる。30 試片から求めた全平均方位は、Dec = 355.5° 、Inc = 50.1° 、 $\alpha_{95} = 1.9^\circ$ であり、この方位がほぼ火山弾堆積時の地磁気方位を示すと考えられる。

古地磁気年代測定

全平均方位と過去 2,000 年間の地磁気永年変化曲線⁴⁹⁾を比較すると、西暦 1850 年~1900 年で重なることが分かる (図 40b)。吾妻火山では、歴史時代に少なくとも三回の噴火 (西暦 1331 年、1711 年、1893~1895 年) が発生したと考えられている⁴⁸⁾。史料記述によると、1893 年の噴火 (明治噴火) では、燕沢火口列から噴石と火山灰が放出し、火口付近を調査していた 2 名が殉職した (図 38)。この噴火は、マグマの噴出を伴わない水蒸気噴火と考えられていたが⁴⁸⁾、史料には「大きな噴石は着弾後も激しい熱で周囲の水を蒸発させた」、「表面に溶融の跡を残す噴石が冷却時に亀裂を生じた」など、高温の火山弾が噴出・着弾したと思われる様子が記述されている。以上のデータ・記述を統合すると、本研究で採取した火山弾は明治噴火の噴出物であり、明治噴火はマグマ噴火であったと結論できる⁵¹⁾。

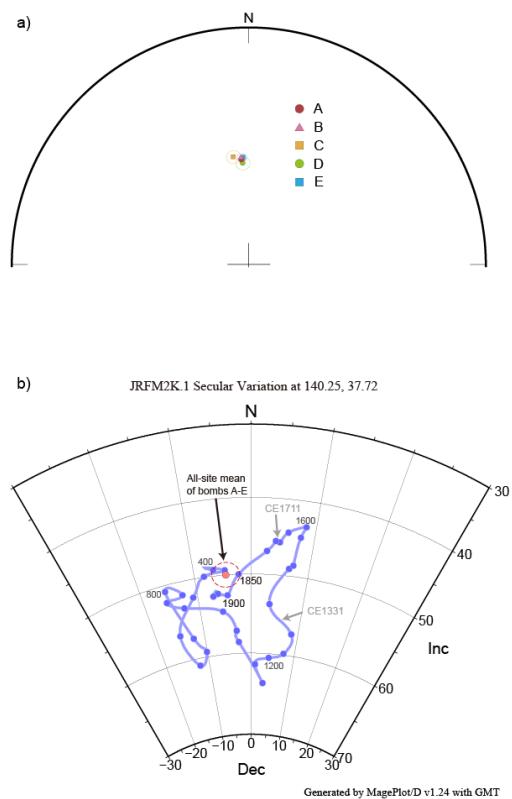


図 40 a) 5 つの火山弾 (A~E) の平均方位プロット。b) 本地域における最近 2,000 年間の永年変化曲線と a) の全平均方位との比較。

k) 那須岳：茶臼岳のマグマ噴出量階段図

i) はじめに

那須火山群は、東北日本弧火山フロントに位置する第四紀の火山群である。本火山群の活動は、甲子旭岳（0.54～0.42 Ma）に始まり、噴出中心を南下させながら、三本槍岳（0.36～0.27 Ma）、南月山（0.21～0.08 Ma）、朝日岳（0.17～0.07 Ma）を形成し⁵²⁾、現在は活火山である茶臼岳（20 ka～現在）で活動が認められる（図41）⁵³⁾。令和5年度は、本サブテーマ（課題C2）の指針に従い、これまでに得られた成果を統合して、茶臼岳およびその周辺火山群のマグマ噴出量階段図（以下、階段図）を作成した。以下、その概要を述べるが、詳細は防災科学技術研究所研究資料⁵⁴⁾を参照されたい。

ii) 階段図作成に用いるデータの対象範囲

火山の定義と対象活動期間の設定

那須火山群は、マグマ活動の時空変遷からみて、北方から古い順に「甲子旭岳」、「三本槍岳」、「南月山・朝日岳・茶臼岳の集合火山体」の三つの火山体と、これらから独立して形成された二岐山に分けられる（図41）⁵²⁾。今回は、那須火山群南部で最新の活動を行った「南月山・朝日岳・茶臼岳の集合火山体」を対象に長期の階段図（約0.2 Ma～現在）を作成し、次に、気象庁の定義で活火山とされる茶臼岳に焦点をあてて、より高解像度の中期階段図（20 ka～現在）を作成した。

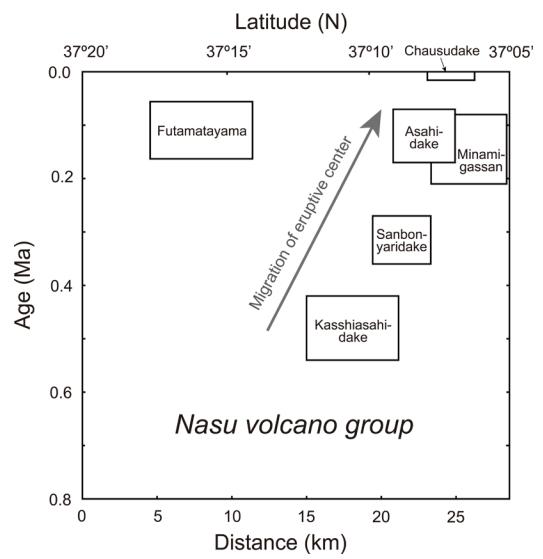


図41 那須火山群の活動史。

噴火と噴出物

南月山と朝日岳については、ある程度の噴出物区分や岩屑なだれ（那珂川岩屑なだれ（NDA: 0.17 Ma）、御富士山岩屑なだれ（ODA: 40～30 ka）⁵⁵⁾）の認定などが行われているが⁵²⁾、一つ一つの噴出物の年代や噴出量には不明点が多いため階段図の解像度は低くなる。

茶臼岳のマグマ噴火ユニットは、下位から CH1 (19.5 cal ka)、CH2 (12.9 cal ka)、CH3 (8.9 cal ka)、CH4 (7.1 cal ka)、CH5 (2.7 cal ka) そして CH6 (15世紀初頭) に区分される⁵³⁾。CH6 は、¹⁴C 年代と古記録から、180名以上の犠牲者を出したとされる室町時代（1408年～1410年）の噴火堆積物と考えられている⁵³⁾。マグマ噴火ユニットの間には、水蒸気噴火のみからなる堆積物も挟在し、特に CH5 以降でその数が顕著に増加する⁵³⁾。CH4 以降のテフラ（上位から Ns-1～Ns-17）については、より詳しい体積見積もりおよび¹⁴C 年代測定も行われており⁵⁶⁾、水蒸気噴火堆積物の中では、約 1.8 cal ka の弁天テフラが比較的大規模である（見かけ体積約 0.01 km³）。茶臼岳西麓には、13世紀ごろに発生したとされる深山岩屑なだれ堆積物（MDA）も認められる⁵³⁾。近現代の観測では、山頂北西側の火口を形成した 1881 年噴火が比較的顕著な水蒸気噴火として知られ、それ以降は、1953 年、1960 年、1963 年に少量の降灰を伴う噴火が認められている⁵⁷⁾。

火碎物と山体構成物の対比および噴出量

南月山および朝日岳では、山体を構成する溶岩流を中心とした記載が報告されており、火碎物の存在やそれらと溶岩流との対比関係はほとんど不明である⁵²⁾。那須山麓に分布する降下テフラ群の記載からは、同時期に噴出したと考えられる溶岩流に比べて、明らかに体積が小さいことが分かっている⁵⁸⁾。以上のことから、今回は、既報の溶岩流の噴出量のみを用いて南月山と朝日岳の階段図を作成した。南月山から朝日岳にわたる火山体の体積は、17.8 km³と見積もられている⁵²⁾。

茶臼岳では、ほとんどのマグマ噴火ユニットで、水蒸気噴火から始まりブルカノ式噴火そして溶岩流出で終息する一連の噴火推移が報告されているが、ブルカノ式噴火による火碎堆積物と、溶岩流の直接の層序関係は必ずしもすべてのユニットで確認されているわけではない。火碎物と溶岩の詳しい対比関係は今後の課題とし、今回は、基本的に先行研究⁵³⁾⁵⁶⁾の対比と噴出量に基づいて階段図を作成した。噴出量（体積）は、CH1 が最大であり（VEI=5：約 1.2 km³）、続く CH2～CH4 が VEI=4（約 0.1 km³）、CH5 と CH6 では VEI=3（0.03～0.04 km³）である。水蒸気噴火堆積物については、CH4 と 1881 年噴火の間⁵⁵⁾は、それぞれの体積に 0.3 を乗じて DRE 換算した。1881 年噴火は、 1.5×10^{-3} km DRE と報告されている⁵⁷⁾。1881 年より後については、同じ露頭における 1881 年噴火堆積物とのおおよその層厚比で体積を求めたが、1950 年代以降の噴火は堆積物が残っていない。これらを含め、情報が乏しすぎるものは、便宜的に本報告における最小の体積（0.0001 km³）を用いた。

階段図の作成

上記の情報を表 4 にまとめ、階段図を作成した（図 42）。年代不明の水蒸気噴火については、便宜的に、年代の分かっている噴出物間の土壤（堆積速度一定と仮定）のおおよそ層厚比から内挿して求めた。最も注目すべき新知見は、CH4 と CH5 の間に、土壤層を挟んで新たなブルカノ式降下火碎物ユニット（CH5'）を複数地点で発見したことである。CH5' 直下から得られた土壤層の¹⁴C 年代は 3.1 cal ka を示し、この年代は CH4 (7.1 cal ka) よりも CH5 (2.7 cal ka) に近いことから CH5' と呼ぶ。また、本火山山頂部でトレンチ調査を行った結果、CH6 の噴火に付随して発生したラハール堆積物が、層厚 1 m 以上で認められた。同様のラハール堆積物は、那須ロープウェイ山麓駅駐車場で行ったボーリングおよびトレンチ調査でも見つかっており、歴史記録に記述される CH6 噴火時の埋没災害は、山頂部から東方に流れたこのラハールが原因である可能性が高い。また、CH6 の上位には、1881 年（水蒸気）噴火の堆積物が層厚 10 cm で認められるが、さらに、CH6 と 1881 年噴火の間に、新しく 2 層の水蒸気噴火堆積物が見出された。歴史記録や直下の土壤の¹⁴C 年代から、下位層は 1846 年、上位層は 1500 年～1600 年代の噴火と考えられる。

長期の階段図では、南月山と朝日岳の噴出物全体を、年代幅を持つ溶岩流として、斜線で表現している。同じく那須火山群を構成する二岐山では、活動前期から後期にかけてマグマ組成の変化とともに噴出率が急激に減少して活動が終息する傾向が読み取れるが⁵⁹⁾、同様の変化傾向は、朝日岳から茶臼岳の活動にかけても認められる。二岐山では、マントルダイヤピルモデルでこの火山活動の消長が説明されてお

り⁵⁹⁾、両火山（二岐山と朝日岳～茶臼岳）に見られる階段図とマグマ組成の変化傾向の類似性から、今後茶臼岳を中心とした火山活動は減衰傾向に向かう可能性があると指摘できる。このように、長期階段図は、解像度こそ高くないが、マグマ変遷などの情報と組み合わせることで、大局的な火山活動評価に有用となり得る。

中期の階段図では、CH1 から CH6 に向かって、時間とともに一回の噴火の噴出量が減少する傾向が明瞭である⁵³⁾。この点は、長期階段図で認められた減衰傾向と調和的といえる。今後は岩石学的検討をはじめとする、より詳細な活動評価が必要であろう。また、水蒸気噴火も含めた噴火事象系統樹は、この中期階段図を基に将来作成することになる。

表 4 南月山・朝日岳・茶臼岳の階段図データベース。

データ ランク	噴火（ステージ）名	噴火年代	噴火様式	噴火堆積物（噴出量 DRE km ³ ）				噴出量 (DRE km ³)
				降下 火碎物	溶岩流	火碎流	岩屑 なだれ	
C	南月山・朝日岳	0.01-0.07 Ma ^b	マグマ噴火 (マグマ水蒸気噴火)		17.8 ^a			17.8
C	那須川岩屑なだれ	0.17 Ma ^b	山体崩壊				<1	0
C	御嶽土山岩屑なだれ	35 ka ^b	山体崩壊				<0.5	0
B	大沢ユニット(CH1)	19.5 ka ^c	マグマ噴火 (マグマ水蒸気噴火)	0.25 ^c	0.35 ^c	0.64 ^c		1.24
B	墨寺ユニット(CH2)	12.9 ka ^c	マグマ噴火 (マグマ水蒸気噴火)	0.049 ^c	0.071 ^c	0.0012 ^c		0.1212
B	11.6 ka水蒸気噴火	11.6 ka ^c	水蒸気噴火	0.0001				0.0001
B	八幡ユニット(CH3)	8.9 ka ^c	マグマ噴火 (マグマ水蒸気噴火)	0.025 ^c	0.071 ^c	0.0009 ^c		0.0969
B	8.0 ka水蒸気噴火	8.0 ka ^c	水蒸気噴火	0.0001				0.0001
B	大丸ユニット(CH4)	7.1 ka ^c	マグマ噴火 (マグマ水蒸気噴火)	0.022 ^c	0.082 ^c	0.0014 ^c		0.1054
B	Ns-16 ^d	5.7 ka ^c	水蒸気噴火?	0.0009 ^c				0.0009
B	Ns-15 ^d	4.4 ka ^c	水蒸気噴火?	0.0009 ^c				0.0009
B	CH5' (Ns-14 ^d ?)	3.1 ka	マグマ噴火 (マグマ水蒸気噴火)	0.013				0.013
B	峰の茶屋ユニット(CH6)	2.7 ka ^d	マグマ噴火 (マグマ水蒸気噴火)	0.026 ^c				0.026
B	Ns-12 ^d	2.5 ka	水蒸気噴火	0.00027 ^c				0.00027
B	Ns-11 ^d	2.3 ka	水蒸気噴火	0.00045 ^c				0.00045
B	Ns-10 ^d	2.1 ka	水蒸気噴火	0.003 ^c				0.001
B	Ns-9 ^d	2.0 ka	水蒸気噴火	0.00078 ^c				0.00078
B	弁天池噴火 (Ns-8) ^d	1.8 ka ^d	水蒸気噴火	0.0033 ^c				0.0033
B	Ns-7 ^d	1.6 ka	水蒸気噴火	0.00033 ^c				0.00033
B	Ns-6 ^d	1.4 ka	水蒸気噴火	0.00036 ^c				0.00036
B	Ns-5 ^d	1.2 ka	水蒸気噴火	0.00036 ^c				0.00036
C	深山岩屑なだれ	CE 1250 ^e	山体崩壊				0.01 ^c	0
A	室町ユニット(CH6)	CE 1408 ^e	水蒸気噴火	0.0029 ^c				0.0029
A	室町ユニット(CH6)	CE 1410 ^e	マグマ噴火 (マグマ水蒸気噴火)	0.028 ^c	0.0062 ^c	0.0072 ^c		0.0414
A	1580年噴火	CE 1580	水蒸気噴火	0.00015				0.00015
A	1750年噴火	CE 1750	水蒸気噴火	0.0002				0.0002
A	1846年噴火	CE 1846	水蒸気噴火	0.0001				0.0001
A	1881年噴火	CE 1881 ^e	水蒸気噴火	0.0015 ^c				0.0015
A	1953年噴火	CE 1953 ^e	水蒸気噴火	0.0001				0.0001
A	1960年噴火	CE 1960 ^e	水蒸気噴火	0.0001				0.0001
A	1963年噴火	CE 1963 ^e	水蒸気噴火	0.0001				0.0001

Reference of the eruption ages and the distribution of tephra: a: 1); b: 4); c: 2); d: 5); e: 6). The other taken from this study.

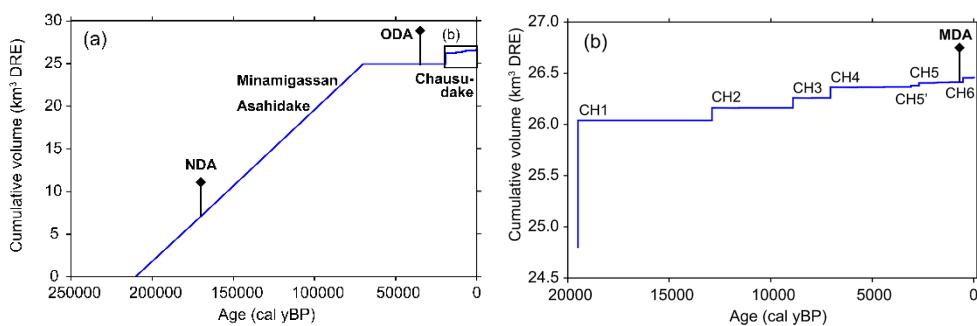


図 42 那須火山の階段図。(a)南月山・朝日岳・茶臼岳の長期階段図。(b)茶臼岳（20 ka から現在）の階段図。

1) 浅間山：トレント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、掘削調査（重機トレント 30 か所とボーリング 1 か所）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 万年噴火史の復元を試み⁶⁰⁾、その階段ダイアグラムを試作した⁶¹⁾⁶²⁾。令和 5 年度は詳細な階段図の事例紹介と階段図の限界について、2023 年 12 月の地震・火山噴火予知研究協議会・火山計画推進部会のシンポジウムで報告を行った⁶³⁾。

本プロジェクト後半では、火山防災対策に寄与するための最近 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碎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。過年度より次の①と②に注目して調査を行っているが、本年度も図 43 の 3 地点でトレント掘削を行った。

- 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 1.6 万年前頃以降の仏岩火山のクライマックス噴火の噴火推移

令和 5 年度は新型コロナウイルスの影響が少なくなり、地元の協力も得て、掘削場所の選定など早めに調査に取り掛かることができた。3 か所で実施した掘削調査（図 43）では、のべ 100 名以上の見学があり、解説と意見交換を行った。特にトレント 28 では自治体防災担当職員、気象庁浅間山火山防災連絡事務所職員、東京大学地震研究所浅間火山観測所の元技官、住民、日本大学学生など多くが集まり、3 日間にわたり活発な見学会となった。また令和 5 年度軽井沢町の浅間山火山の学校などにおいて啓蒙普及を行った。以下では令和 5 年度の重機トレント地点 28~30 について報告する。

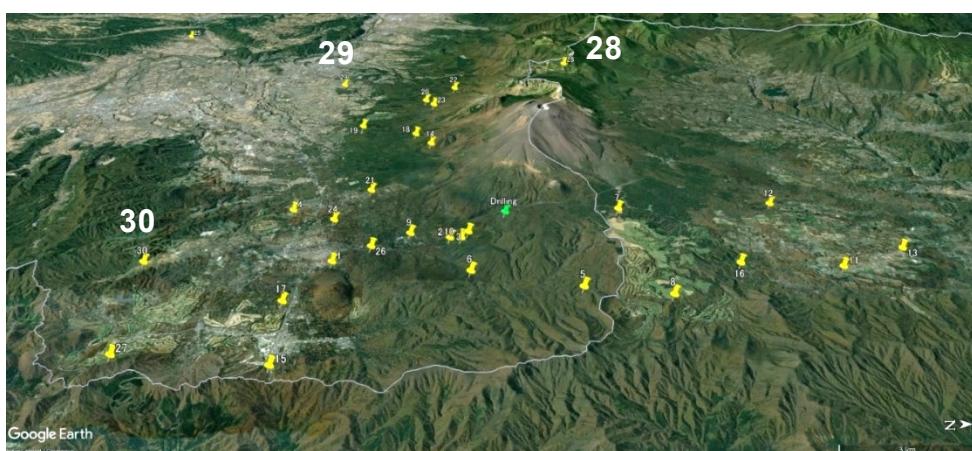


図 43 東方より見た浅間火山群の鳥瞰図(Google Earth 使用)。本プロジェクトによる浅間火山山麓での掘削調査地点と令和 5 年度の調査地点（28~30）を示す。

ii) 調査結果

トレンチ 28(群馬県嬬恋村鎌原・高峰高原 山頂火口の西北西約 4.9 km)

水ノ塔火山東山腹の標高 1,897 m 地点で、既存の法面の下を掘削し、約 7 m の断面の観察を行った(図 44)。周辺の地表踏査も行った結果、高峰高原の地形的低所は、岩屑なだれ堆積物とその上位の軽石流堆積物が厚く埋めていることが確認された。岩相記載や年代測定結果から、前者は黒斑・仙人火山の山体崩壊による堆積物、後者は仏岩火山に由来すると考えられた。この結果を含めて、黒斑・仙人火山の大規模山体崩壊について 2023 年日本火山学会(秋季大会)で発表した⁶⁴⁾⁶⁵⁾。

トレンチ 29(長野県小諸市八満 山頂火口の南南西約 9.2 km)

この地点では最下部に円レキ層が出現した。蛇掘川に由来するとみられる火山麓扇状地堆積物の上位に軽石流堆積物が厚く載ることが確認された(図 45)。掘削面の詳しい岩相記載を行い、2 枚の軽石流ユニット間の土壤の¹⁴C 年代測定を実施した。

トレンチ 30(長野県北佐久郡軽井沢町上発地地区 山頂火口の南東約 12.6 km)

発地地区の農地において掘削調査を行った。発地地区は、北部は畠地、南部は水田が広がる広大な平坦地であり、埋没した流れ山の頂部の微地形が数か所で認められる。周囲の基盤山地の斜面に分布する堆積物も含め、地質の確認を行った。発地地区南部のトレンチ掘削地点は発地川に近く、表層には湿地性の葦ヨシが見られる。掘削断面では 1.1 万年前以降の湿地性の堆積物が見られ、河川堆積物の挟在が確認された。これらの堆積物は基質が暗灰色を呈し、基盤山地由来の火山岩の円レキを多く含む。レキ種は無斑晶質・緻密な安山岩や溶結凝灰岩の扁平な岩片が多い。周囲の基盤山地には仏岩火山の軽石流堆積物に関連するとみられる細粒火山灰と、岩屑なだれ堆積物が山地にアバットしているのが確認されるが、これらの堆積物は発地地区の平坦地では湿地性堆積物に覆われていることがわかる。仏岩火山に由来する火碎流堆積物の分布および時代の決定が今後の課題として残される。

iii) 今後の課題

令和 5 年度は主に浅間火山の南麓～西麓での地質調査をすすめたが、北西麓の地質に関して不明瞭な点が多いため、継続して調査を行う必要がある。特に小諸第 1 軽石流堆積物と小諸第 2 軽石流堆積物を始めとする仏岩火山の火碎流堆積物の分布と層序が明確でない。これは、境界部が認められる露頭が非常に少なく、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。規模が大きく、広範囲に分布することから、炭化木片の放射性炭素年代を含めさらなるデータの蓄積が必要である。また関連する降下火碎堆積物を含めた層序関係をおさえるための地質調査も継続して行う予定である。

謝辞：掘削調査にあたり、お世話になった浅間山麓国際自然学校関係者、軽井沢町住民の方々、長野原町職員および南木山サービス有限会社の方々に深く感謝いたします。



図 44 トレンチ 28 における調査と説明会の様子。A: 全景、B:掘削断面、C, D:見学会の様子、E:掘削された岩屑なだれ堆積物中の多様な岩片。



図 45 トレンチ 29 の掘削断面（左）とトレンチ 30 の全景と掘削断面（右）。

m) 志賀火山および草津白根火山：テフラの物質科学的解析（富山大学）

i) はじめに

志賀火山は、長野県東部に位置する第四紀火山である。その南方には活火山の草津白根火山が位置している。草津白根山を構成する主な火山体は、2018年に水蒸気噴火を起こした本白根火碎丘群と、有史以降、明治時代まで水蒸気噴火を繰り返している白根火碎丘群である。昨年までの調査により、志賀火山の最新の水蒸気噴火が 457~304 cal BP に発生したことがわかっている⁶⁶⁾。本年度は、志賀火山の水蒸気噴火テフラについて XRD 分析および薄片観察をおこない、これまでに分析した草津白根火山の水蒸気噴火テフラの特徴と比較した。

ii) 新たに得られた知見

XRD を用いて、バルク試料の不定方位分析および水簸試料の定方位分析を実施した。その結果、スメクタイト、パイロフィライト、カオリン鉱物、みょうばん石、クリストバライト、石英が同定されたことから（図 46）、志賀火山の地下には硫酸酸性熱水による変質帶が存在すると考えられる。これらの熱水変質鉱物は草津白根火山の水蒸気噴火テフラにも普通に含まれる。個々の火山体（志賀火山、本白根火碎丘群、白根火碎丘群）でみると、シリカ鉱物である石英とクリストバライトの X 線強度比 (Qtz/Crs) に差異が見られ、志賀火山と本白根火碎丘群の水蒸気噴火テフラは Qtz/Crs が高く (≥ 5)、白根火碎丘群の水蒸気噴火テフラは Qtz/Crs が低い

(<5)。また、各テフラに含まれる1~2 mmの粒子を鏡下観察すると、志賀火山と本白根火碎丘群のテフラは未変質~弱変質火山岩片やモザイク状石英が多く含まれるのに対し、白根火碎丘群のテフラは隠微晶質な変質岩片が多いという特徴がある。このことは、志賀火山や本白根火碎丘群の熱水系が類似していることを示唆し、白根火碎丘群とは熱水系の発達度の違いや水蒸気噴火の発生深度が異なることを反映していると考えられる。

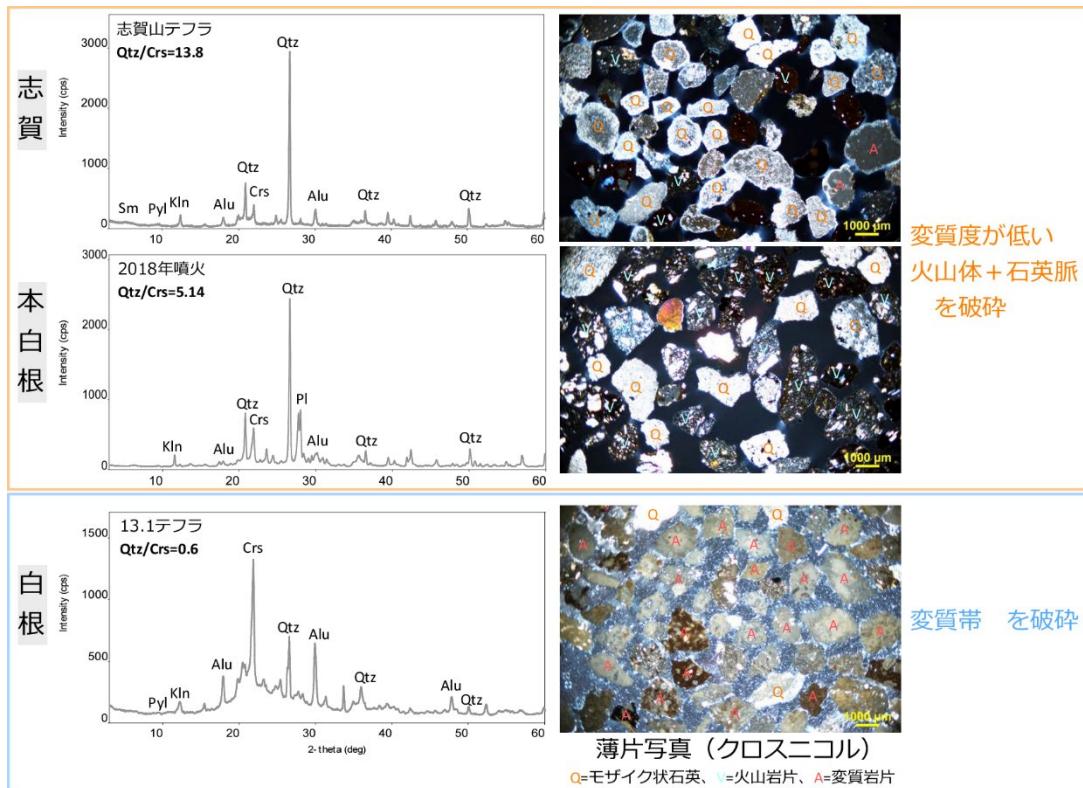


図 46 志賀火山と草津白根火山（本白根・白根火碎丘群）の水蒸気噴火のX線回折ピークと薄片写真。Sm: スメクタイト、Pyl: パイロフィライト、Kln: カオリン鉱物、Qtz: 石英、Crs: クリストバライト、Pl: 斜長石。

n) 新島・神津島・式根島：物質科学的解析による長期マグマ変遷の解明—元素、Sr同位体比からの検討—（筑波大学）

令和5年度は、昨年までの研究成果等について再度整理し、伊豆、新島および周辺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、また鉱物・全岩化学組成やの時代変化等について岩石学的・地球化学的再検討を行った。

i) 流紋岩の噴火区分（比較、再検討）

噴火ユニット区分は、昨年の報告書記載にもすでに述べているが、地内島の噴火（100 ka 以降）に始まり、いくつかの噴火を経て、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⁶⁷⁾⁶⁸⁾。また、最近の新島の流紋岩質火山におけるテフラ層序や噴出年代の再検討が実施され、宮塚山（12.8 ka）以降の噴火について噴火順序や年代の一部修正案も提示されている⁶⁹⁾。研究を実施してきた流紋岩類（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き、4つのタイプに区分した：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）。

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）をまとめると以下のようになる。

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⁷⁰⁾。また、今までの全岩化学分析の結果からは、流紋岩類は73～78 wt%（多くは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、K₂O・Na₂O wt%に乏しい傾向があるが、同じタイプごとでも、データ列が異なることが明らかにされてきた（図47b）。同様な傾向は微量元素組成等でも確認される。また、溶岩中に含まれる各種包有物（安山岩質、玄武岩質）も示してあるが、それわずかに異なったデータ列が確認される（図47a）。

iii) Sr同位体比

また、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（⁸⁷Sr/⁸⁶Sr）について、今回、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48）。流紋岩の⁸⁷Sr/⁸⁶Sr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。また、阿土山流紋岩に多く包有される玄武岩質包有物は若郷玄武岩に比べて同じかわずかに低い傾向が認められる。

これらの結果から、流紋岩質マグマの組成の年代変化は均一な同位体組成を持った起源マグマからの分化作用では説明が困難であり、わずかに異なった同位体を有する物質（マグマ、crystal mushあるいは深成岩など）の混合が含まれていた可能性がある。玄武岩質、安山岩質岩のSr同位体比が同年代（後期）の流紋岩類の値と比較し同じかわずかに高く、また前期～中期の流紋岩の値より高い傾向にある。この傾向は各マグマの起源物質の違いを示している可能性があるが、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など）を反映している可能性もある。これらの全体的傾向や、地域的な同位体比の違いについては各種データも含め比較検討が必要である。

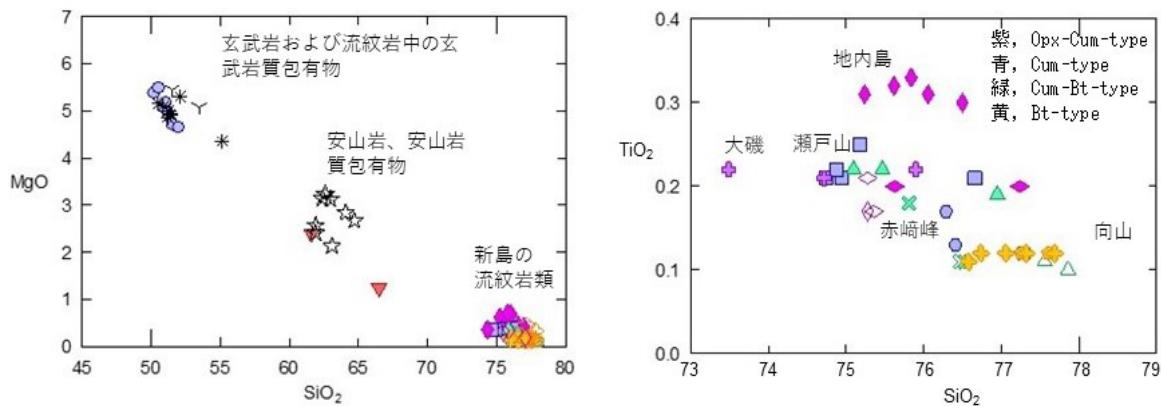


図 47 新島火山の噴出物の元素組成図。

(a) SiO_2 -MgO、(b) SiO_2 - TiO_2 図 (Arakawa et al.⁷⁰⁾に追加分析データを含む。包有物データの一部は Koyaguchi⁷¹⁾・一色⁶⁷⁾より引用)。

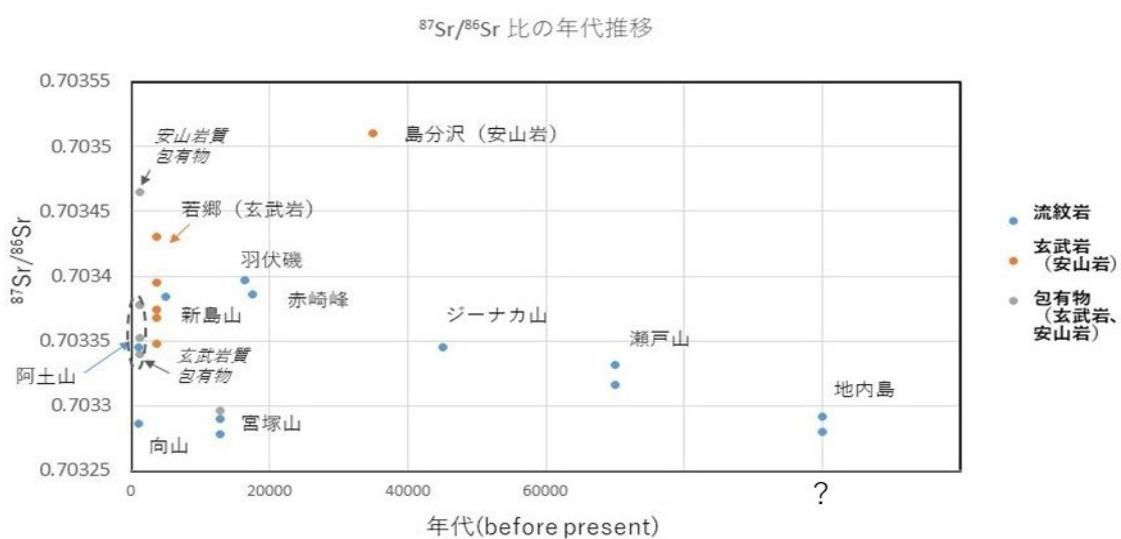


図 48 新島火山の噴出物の年代- $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 図。

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は、Arakawa et al.⁷⁰⁾に一部追加。年代は一色⁶⁷⁾・吉田⁶⁸⁾・小林ほか⁶⁹⁾を参照。

- o) 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）
伊豆大島において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碎物物性・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進めた。これまでの研究により安永噴火 (Y1) の爆発的噴火ステージの堆積物は大きく 3 つのユニット (Unit A, B, C) に区分でき、斜長石斑晶に乏しいマグマがしだいに斜長石斑晶に富むようになること、岩石組織が噴出量や噴出率に対応して変化することなど、噴火様式と噴火推移、噴出マグマの関係を明らかにしてきたが、この研究成果を論文としてまとめ出版した（図 49）⁷²⁾。安永噴火以外にも大規模噴火の際に時間とともに斜長石斑晶量が増加するという推移パターンがあることを明らかにし、伊豆大島における大

規模噴火の推移予測や噴火シナリオの改訂に繋がる成果を得た。また、1回の大規模噴火の推移で見られる斜長石斑晶量の増加と同様に、中規模噴火から小規模噴火へと数十年かけて推移していく過程で、斜長石斑晶量がしだいに増加していることも明らかとなった。この観察事実は、大規模噴火では短時間でマグマが上昇し爆発的になるのに対し、中規模噴火から小規模噴火への推移ではマグマが時間をかけて上昇し、脱ガスが進むことを示唆する。斜長石斑晶量、噴火規模、時間の関係性を見出したことは、伊豆大島の噴火の中長期予測に貢献する⁷²⁾。

さらに、伊豆大島の大規模噴火には石基結晶度が高い噴出物が多く、それらの噴火ではマグマ上昇（減圧）時の結晶化に伴う粘性増加が爆発性の増加に寄与した可能性がある一方、安永噴火 Unit C のように噴出率が高い（爆発的）にも関わらず発泡度が低く、石基結晶度が低いという特異な噴出物が存在することも明らかとなつた（図 50）。このことは、爆発的な玄武岩質噴火の際のマグマ上昇パターンには複数のタイプがあることを示唆する。

既存研究の成果をもとに噴火履歴をまとめて階段図データベースを作成し、それを用いて長期、中期、短期のマグマ噴出量階段図を作成した（図 51）⁷³⁾。特に、1.8 ka 以降の活動に関する最新の知見を階段図に反映した。その結果、活動期ごとに長期マグマ噴出率が異なる可能性があること、新しい活動期には一定の長期マグマ噴出率の下で大規模噴火と中規模噴火が恒常に繰り返されること、そして 1.8 ka のカルデラ形成を境にして、マグマ噴出率が変化した可能性があることがより明瞭になった。これらのことから、噴火事象系統樹の作成にはデータが豊富な 1.8 ka よりも新しい活動期間に焦点を当てることが適切と考えられる。

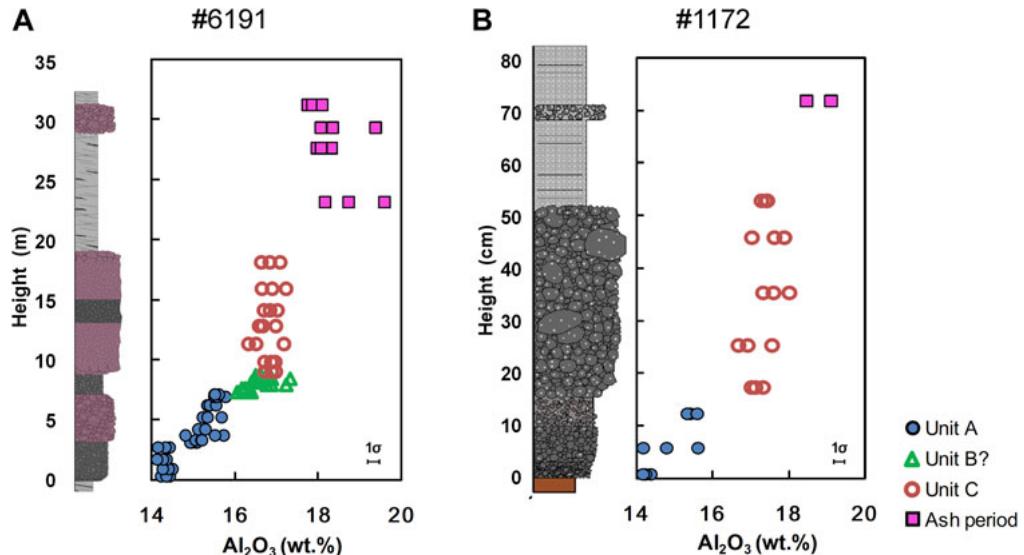


図 49 伊豆大島安永 (Y1) 噴火における化学組成 (斜長石斑晶量に相当) の系統的変化⁷²⁾。
A : 遠方テフラ、B : 火口近傍テフラ。

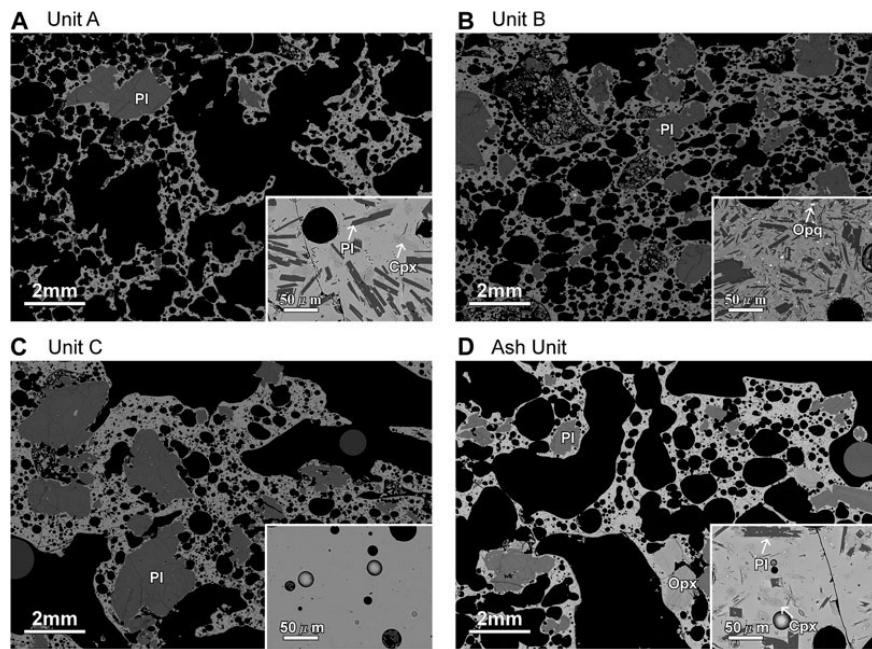


図 50 伊豆大島安永 (Y1) 噴火の 4 つのステージにおける噴出物組織⁷²⁾。ユニット毎に斑晶量、マイクロライト量、発泡組織に違いがある。

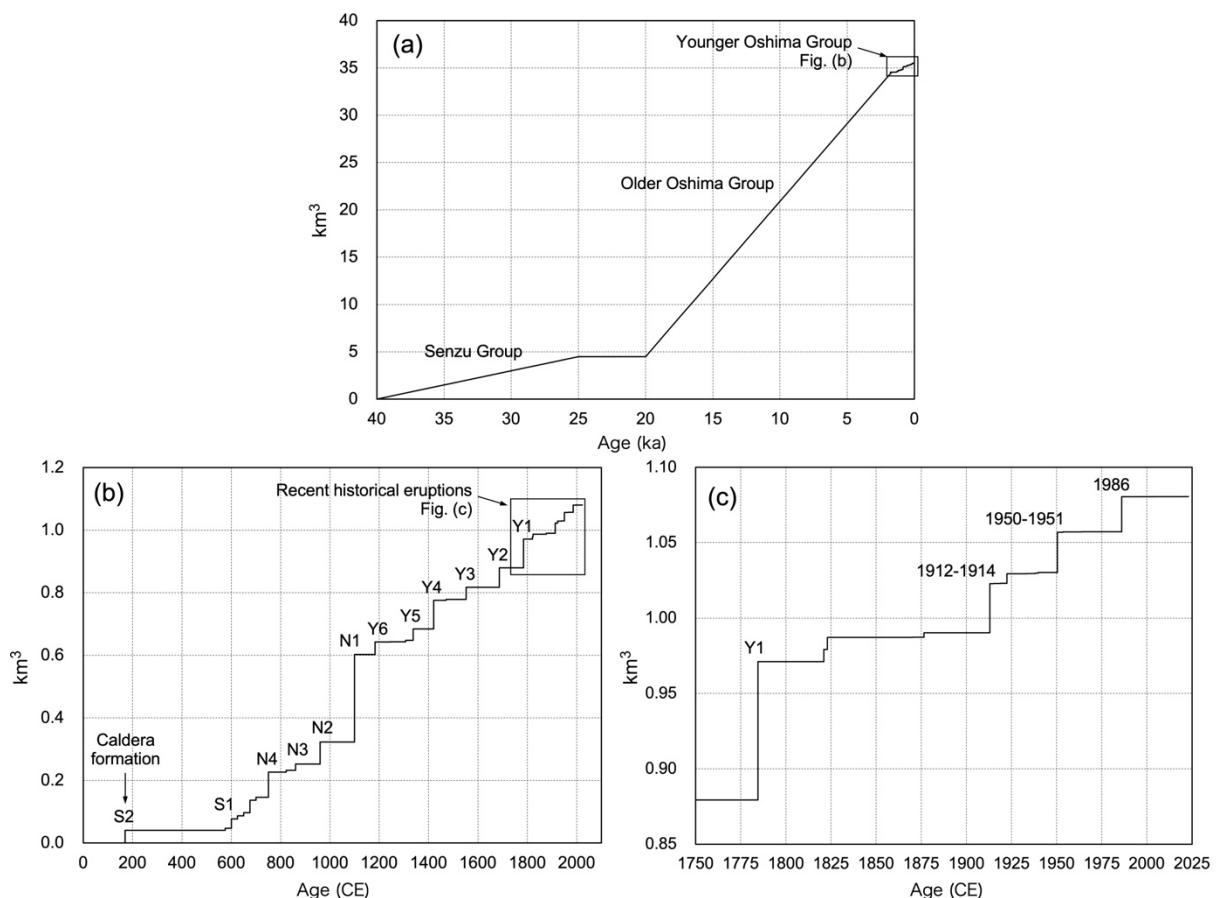


図 51 伊豆大島の噴出量階段図。(a) 長期階段図(約 4 万年間)。(b) 中期階段図(約 2,000 年間)、(c) 短期階段図(18 世紀以降)⁷³⁾。

p) 三宅島：八丁平噴火（カルデラ形成噴火）噴出物の全岩化学組成（茨城大学）

三宅島火山では、2000年噴火で山頂に径1.6 kmのカルデラが形成され、その形成過程や噴火推移が詳細に報告されている⁷⁴⁾。一方、2,500年前前後に発生したとされる八丁平噴火でも山頂にほぼ同じ大きさのカルデラが形成され、その噴出量は本火山の過去1万年間で最大（約0.4 km³）と考えられているが⁷⁵⁾⁷⁶⁾、その噴火推移やカルデラ形成過程には不明点が多い。これまでに報告されている放射性炭素年代値は、2,200 cal ka～3,100 cal kaと幅広く⁷⁶⁾⁷⁷⁾、八丁平噴火は時期の異なる複数の噴出物を一括している可能性が指摘できる。令和5年度は、三宅島島内全域を調査し、八丁平噴火堆積物の主要構成層である八丁平スコリア層を中心に記載とサンプリングを行った（図52）。先行研究で八丁平スコリア層が記載されている各地点で得た試料の全岩化学組成を決定し、地点間対比を検討した。

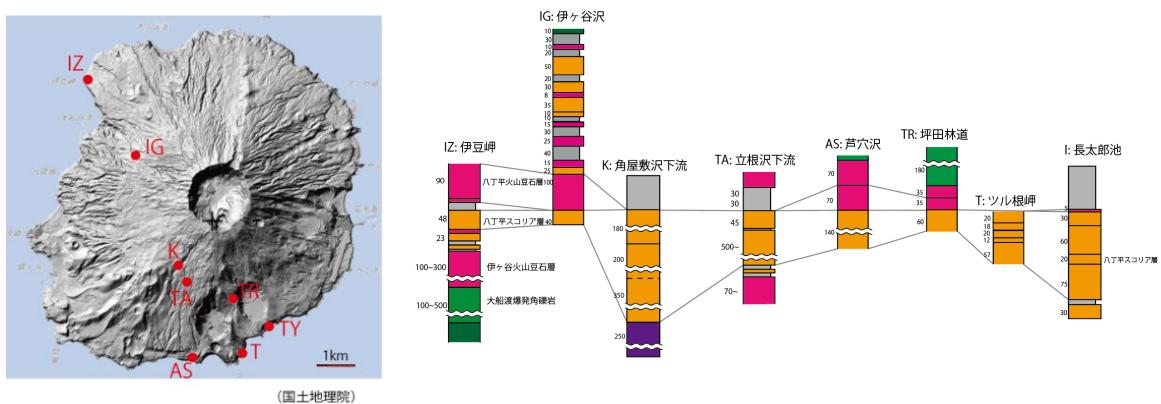


図52 露頭地点（左）と柱状図。八丁平スコリア層をオレンジ色で示す。

その結果、全8地点のうち、三宅島北西に位置する2地点（伊豆岬と伊ヶ谷沢）で得られた八丁平スコリアが $SiO_2 = 58\%$ 前後の安山岩質、その他の三宅島南部で得られた試料は $SiO_2 = 52\sim53\%$ 前後の玄武岩質安山岩の組成を示す傾向が明らかとなつた（図53）。分析数は十分とは言えないが、この傾向や既報の年代値などから、八丁平噴火は複数のマグマが関与した時期の異なる噴火からなつていた可能性が高いと考えられる。従来の年代値は、すべて南部で得られていることから、今後は北西部を重点的に調査し、これらの層相、年代や化学組成から、より詳細な噴火層序・推移を復元する。

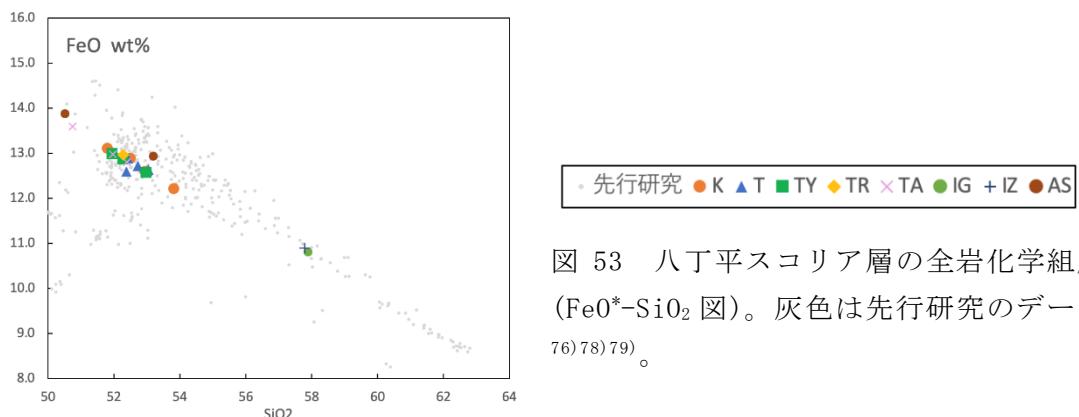


図53 八丁平スコリア層の全岩化学組成（ FeO^* - SiO_2 図）。灰色は先行研究のデータ⁷⁶⁾⁷⁸⁾⁷⁹⁾。

q) 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⁸⁰⁾⁸¹⁾⁸²⁾は、長野県北西部から新潟県南西部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（2,469 m）で、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。火山体の頂部に火山名の由来となった白馬大池（2,379 m）と風吹大池（1,778 m）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54）。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よぶ⁸⁰⁾。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⁸³⁾⁸⁴⁾。新たな活火山の発見は、防災上も重要であるため、令和3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。

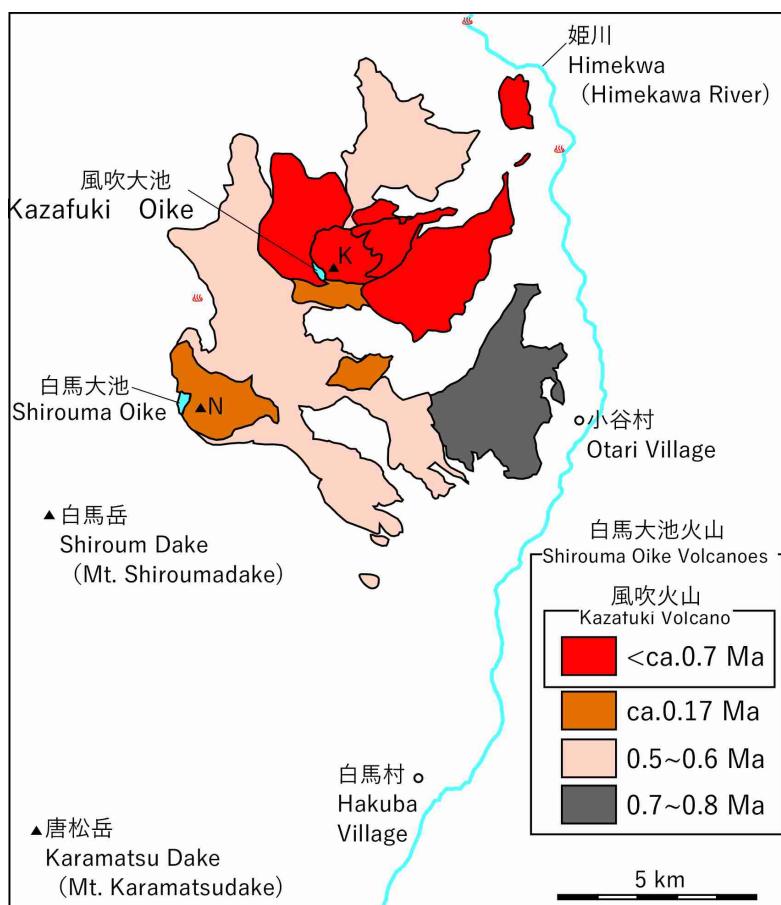


図54 白馬大池火山の地質略図。中野ほか⁸²⁾、及川ほか⁸¹⁾を基に作成。N：（白馬）乗鞍岳、K：風吹岳。

ii) 調査結果

本年度は、昨年度までの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 55）の作成と、完新世テフラのまとめ（図 56）を行った。以下、そのあらましを述べる。

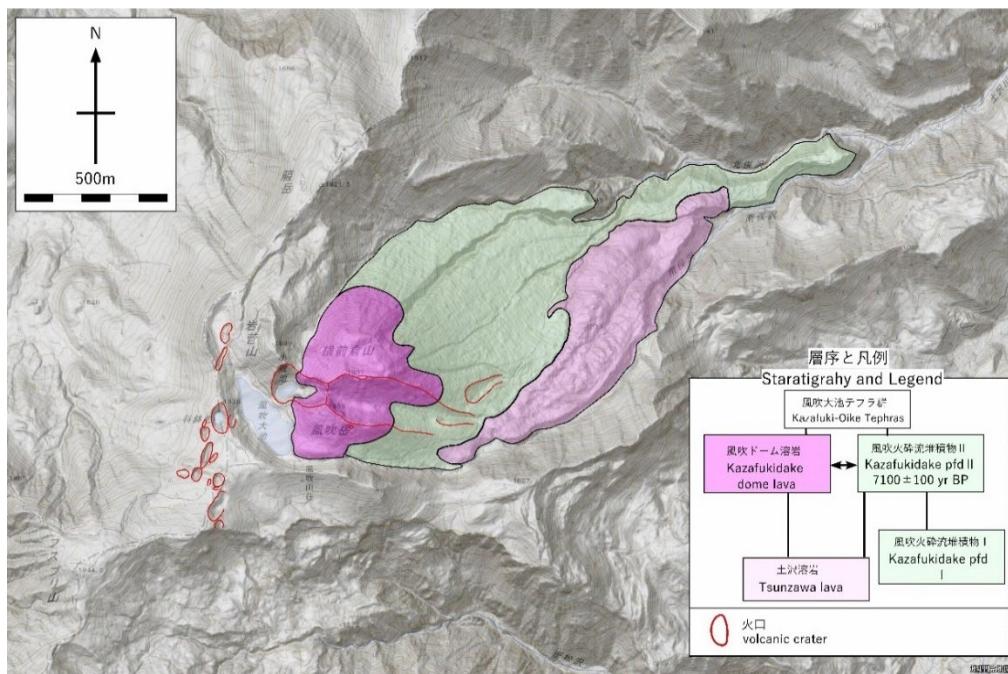


図 55 風吹火山の完新世噴出物の地質図。基図に国土地理院の地理院地図を使用（標準地図および陰影図）。

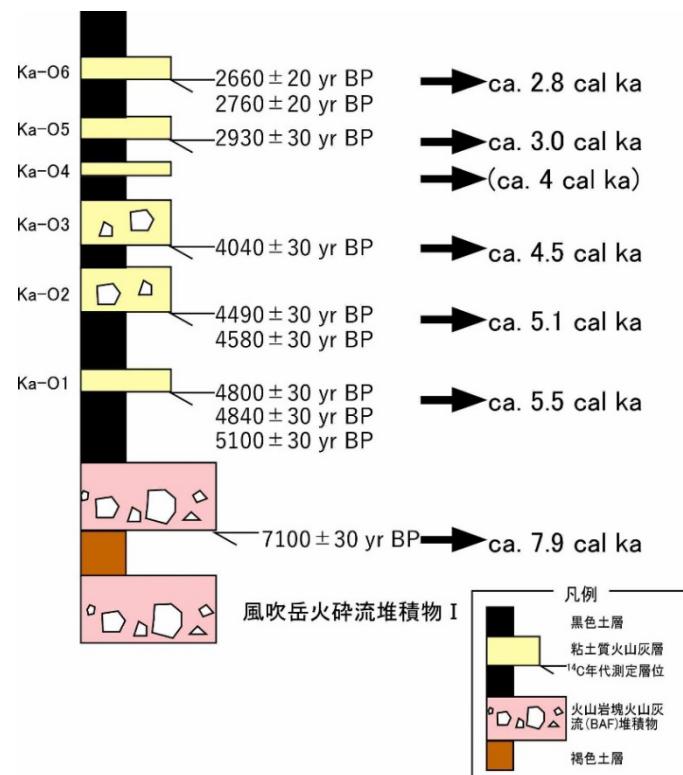


図 56 風吹火山の完新世のテフラ総合柱状図。

風吹火山は、 $\text{SiO}_2 = 57\text{--}65\text{ wt\%}$ の安山岩からデイサイトで構成される火山で、斑晶としてかんらん石、単斜輝石、直方輝石、角閃石、黒雲母、石英を含む複雑な斑晶組み合わせを持つ岩石からなる⁸⁰⁾⁸²⁾。風吹火山は約7万年前の巖岳溶岩⁸²⁾の噴出に始まり、その溶岩がつくる馬蹄形の崩壊壁の中に複数の溶岩・溶岩ドームが成長した。なお、姶良Tn火山灰(AT)と大山倉吉軽石(DKP)のほぼ中間の層位に白馬大池火山起源の土倉火山砂とよばれる火山灰層が知られているが⁸²⁾⁸⁵⁾⁸⁶⁾、それは時期から本火山起源と考えられる。最後に成長した溶岩ドームは風吹岳溶岩で構成されるもので、その成長に従って東側に火山岩塊火山灰流堆積物(block and ash flow: BAF)である風吹岳火碎流堆積物を形成した。風吹岳火碎流堆積物は、表面の微地形が新鮮な^{つんざわ}土沢溶岩を覆い、さらに褐色土層を境に2層(風吹岳火碎流堆積物Ⅰ、Ⅱ)に分けられる。上位の風吹岳火碎流堆積物Ⅱ直下には、黒色の炭質物が濃集した薄層が認められ、そのヒューミンの¹⁴C年代値は7,100±30 yr BP(約7.9 cal ka)であった。そのため、風吹岳火碎流堆積物Ⅱは、完新世の火碎流堆積物であり、地形の新鮮から土沢溶岩も完新世溶岩と考えられる。なお、中野ほか⁸²⁾は、岩菅山、^{よこまえくらやま}横前倉山、風吹岳を構成する溶岩すべてを風吹岳溶岩としたが、岩菅山を構成する溶岩は、横前倉山および風吹岳のものと比べて表面地形の保存が悪いので、別の時代のものと考え分けて示している。風吹岳溶岩の上や周囲には、新鮮な火口地形が複数認められ、特に風吹岳を東西に横切るように並ぶ火口群は規模が大きい。完新世のテフラは、風吹岳火碎流堆積物Ⅱの上位、約5.5~2.8 cal kaの間に噴出した6層のテフラ層が確認される(図56)。いずれもいわゆる粘土質テフラであり本質物を含まないため水蒸気噴火テフラである。そのうち一番下位のテフラ層(Ka-01)は風吹火山の南側にのみ確認されることから、風吹火山起源でなく蓮華温泉などの火山周囲の地熱地帯起源の可能性がある。しかし、それ以外のテフラ層は風吹火山にむかって層厚が増す傾向が認められるため、風吹火山である可能性が高い。個々のテフラと給源火口については明確ではないが、Ka-02および03は層厚も厚く火山礫や火山岩塊サイズの火山岩片を含むことから、風吹岳溶岩を東西にきる大きな火口群を給源とする可能性が高い。このように風吹火山は完新世にマグマ噴火を含めて複数回活動したことが明らかとなった。しかし、個々のテフラの分布や規模については不明な点が多いため、それらは次年度以降の課題である。

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に、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。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⁸⁷⁾。これら地震活動と完新世の噴火が認められるることは、気象庁の常時観測火山とする条件を満たす⁸⁸⁾。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。

r) 鷲羽池火山：地表調査によるテフラの分布・噴火年代の解明（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⁸⁹⁾、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⁹⁰⁾、再噴火も危惧される。令和4年度までの調査により、本火山の周辺に広範囲に2層の橙白色粘土質テフラが分布することが明らかにされ、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5年度の研究では、未踏査であった黒部五郎岳周辺域と黒部川源頭域でテフラ層序・分布調査を行った。

ii) 本研究で得られた新たな知見

令和5年度に行った調査のうち、黒部川源頭域での調査結果について述べる。本域において水蒸気噴火によるテフラ層を計5層確認した（図57）。いずれも1cm以上の層厚をもつことや、近辺に鷲羽池火山のほかに第四紀火山が無いため、鷲羽池火口もしくは最近も蒸気爆発を頻繁に起し、鷲羽Aテフラの噴出源と推測されている湯俣川上流域（鷲羽池火山の南麓）からもたらされたテフラ層であることは間違いない。4層のテフラについて直下の土壤の放射性炭素年代を測定し、最下位のテフラ層（層厚3cm）からそれぞれ約5,100 cal. BP、下位から2層目（同1cm）と3層目（同3cm）のテフラ層からそれぞれ約2,900 cal. BP、約2,900 cal. BP、最上位（同12cm）のテフラ層から約2,800 cal. BPの暦年が得られた。最上位のテフラ層の下部には層厚約4cmの火碎サージ層も見られる。暦年及び火碎サージ堆積物を伴うという岩相の類似性から、最上位のテフラ層は鷲羽Bテフラに多比されると推測される。一方、鷲羽Aテフラに対比されるのは、暦年の類似性から最下位もしくはその直上のテフラ層と推測される。

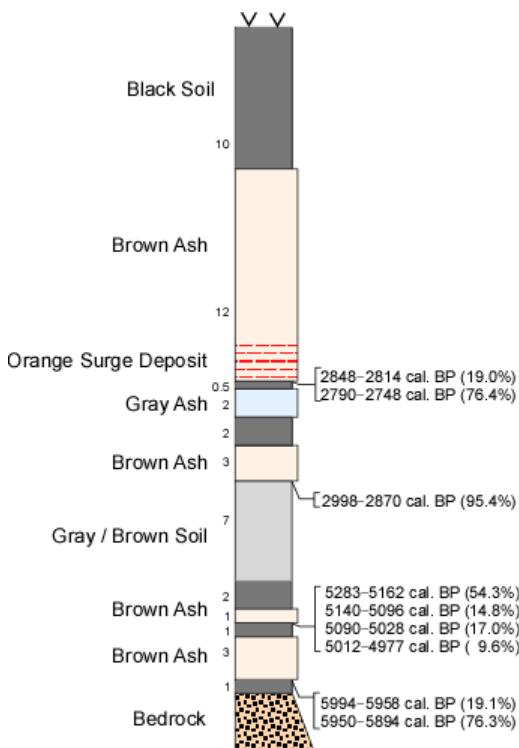


図57 黒部川源頭で見出されたテフラ層の柱状図と年代。

s) 白山：テフラの層序・分布・噴火様式・年代の解明（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⁹¹⁾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）が確認されていたが、近年の調査で新たなテフラ層が確認されるなど層序は未確定のままである。他にもテフラ層の噴出年代や火口位置、噴出規模、噴火様式の解明は不十分である。令和 5 年度は、これらの問題点を解決するためテフラ層の層序・年代・噴出源・噴火様式の解明を行った。

ii) 本研究で得られた新たな知見

本研究では、先行研究⁹¹⁾によって報告されていないテフラ層を 3 層（仮称 Hm-4'、仮称 Hm-9' 及び大倉山降下スコリア⁹²⁾）確認した。3 層のうち Hm-4' と Hm-9' は本研究で新たに見いだされたテフラ層である。したがって、過去 1 万年間に、白山火山では少なくとも 18 回の噴火活動が発生した可能性がある。また、堆積年代が不明であったテフラ層について放射性炭素年代測定を行い、Hm-4' から約 8,100 cal. BP、Hm-5 から約 7,500 cal. BP、Hm-7 から約 6,500 cal. BP、Hm-9' から 3,300 cal. BP、Hm-11 から約 2,000 cal. BP という暦年が得られた。

構成粒子観察・分析から、各テフラ層を形成した噴火様式を検討した。その結果、本質物（スコリア、黒色岩片）を有するテフラ層が計 7 層、含まないテフラ層が計 8 層であった。したがって、7 層がマグマ噴火、8 層が水蒸気噴火の産物であると判断される。また、マグマ噴火では、①細粒粒子に富むテフラ層、②緻密な石質岩片などの類質物に富む層、③スコリアに富む層に分けられた。①はマグマ水蒸気噴火、②はブルカノ式噴火、③はストロンボリ式噴火のテフラに見られる特徴であり、白山火山では多様な噴火様式が起きていたことが明らかとなった。

マグマ噴火のテフラのうち、最も岩相変化も顕著な Hm-10（南龍火山灰層；2,400 cal BP⁹⁰⁾⁹²⁾）について構成物分析を行った。本層は下部が細粒粒子に富む層とスコリアに富む礫層の互層からなり、上部は類質物（灰色岩片）に富み、下部は本質物（スコリア）に富む（図 58）。このような岩相の多様性から、本層形成時の噴火がマグマ水蒸気噴火とストロンボリ式噴火を繰り返した後、ブルカノ式噴火に移行したと推測できる。また等層厚線図から、噴出量が約 $5 \times 10^7 \text{ m}^3$ (VEI3)、火口位置が現山頂のやや南方であることが明らかになった。現山頂南方には直径約 300 m の凹地とその内部にスコリア丘の残骸がみられ、Hm-10 とスコリア丘の本質物が類似した組成をもつことから、酒寄ほか⁹²⁾でも指摘されたように、この凹地が Hm-10 の火口と推測される。この他にも、水屋尻沢火碎流堆積物と白水滝溶岩が類似した噴出年代・化学組成をもつことから、Hm-10 を形成した噴火では、テフラ層のほかに火碎流・溶岩流も形成した可能性が高い。

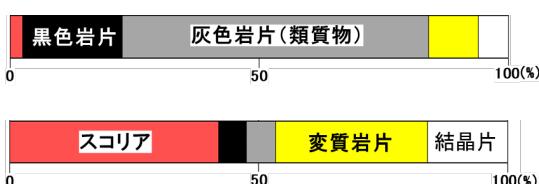


図 58 Hm-10 の代表的な構成物組成（2 mm～1 mm の構成物約 200 粒を 5 つのタイプに分類して算出した個数百分率）。上：Hm-10 上部、下：Hm-10 下部。

t) 伽藍岳：火山性堆積物層序と伽藍岳溶岩の岩石学的分析による噴火史の再検討（信州大学）

i) はじめに

伽藍岳は大分県別府市と由布市にまたがって分布する活火山で、南に位置する由布岳、鶴見岳と合わせて由布・鶴見火山群を構成している。中部九州の豊肥火山地域の中でも最も新しい火山群の一つとされ⁹³⁾、その中でも伽藍岳は活発な噴気活動が特徴的な火山である⁹⁴⁾。伽藍岳は約 10.5 cal ka BP 以前に噴出したとされる伽藍岳溶岩からなり、その他には複数枚の降下テフラ層が知られているものの⁹⁵⁾⁹⁶⁾、研究例が乏しく、その噴火史には不明な点が多い。令和 4 年 7 月には、導入以降初めて噴火警戒レベルが 2 へ引き上げられ、現在でも活発な火山活動が継続しており、噴火史の解明が待たれる火山の一つである。我々は令和 3 年度から野外調査と試料分析をもとに伽藍岳の噴火史を再検討する研究に着手した。令和 5 年度は、令和 4 年度に引き続き山頂周辺から南麓にかけての野外調査を行うとともに、伽藍岳の山体を構成する伽藍岳溶岩の岩石学的検討を行った。また現時点でのデータを元に階段ダイアグラムの試作を行った。

ii) 伽藍岳周辺に分布する火山性堆積物に関する先行研究

伽藍岳は、約 10.5 cal ka BP より若干古い年代に噴出した伽藍岳溶岩によって主に構成され⁹⁵⁾、南麓には複数のテフラが堆積していることが知られている⁹⁶⁾。伽藍岳起源ではないテフラとしては、下位から鶴見火山の内山由来の中釣火山灰 (T-Nzf)、鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah)、由布岳火山灰 (YA1) が分布する。それ以外に伽藍岳起源のテフラが、藤沢ほか⁹⁵⁾及び筒井ほか⁹⁶⁾によって、約 1,300 年前に噴出した T-Ga2 から T-Ga0 など 10 枚以上報告されており、その多くが最近約 2,000 年間の水蒸気噴火に由来すると考えられている。伽藍岳溶岩から T-Ga2 までの約 1 万年間の伽藍岳の活動は知られておらず、また伽藍岳の活動は溶岩と火山灰の放出のみが報告されており、火碎流噴火をした例は知られていない。

iii) 山頂周辺の火山性堆積物

令和 4 年までの調査で、伽藍岳東峰の南約 500 m 付近でこれまで報告例のない火山碎屑物層 (T-GaP と命名) と白色の降下火山灰層 (T-GaW) を確認した。T-GaP の基底部に点在する炭化木片から 12.1 ± 0.15 cal ka BP の放射性炭素年代が、T-GaW の上下の土壤から $6,700 \pm 50$ 、 $6,250 \pm 50$ cal BP の年代値が得られた。

iv) 伽藍岳溶岩

山体全体を構成する伽藍岳溶岩はユニット分類などされず、包括して伽藍岳溶岩と識別されている。本研究では、伽藍岳溶岩が複数のユニットに区分できるかどうか、東峰と西峰、山頂南側の登山道沿いから溶岩試料を採取し、全岩化学組成分析と角閃石の鉱物化学組成分析を行った。

全岩化学組成分析の結果、 K_2O ・ Rb ・ Ba ・ Al_2O_3 が SiO_2 の変化に伴って異なる傾向を示す 2 グループに分かれることが分かった (図 59)。2 グループは試料の採取地点の違いを反映しており、伽藍岳山頂から北側斜面で採取したグループ (Ga-N と命名) と、山頂南側斜面から採取したグループ (Ga-S) に分けられる。 K_2O に関しては、Ga-N は SiO_2 の変化に対してほとんど変化しないのに対し、Ga-S は SiO_2 の減少に伴つ

て K_2O が減少する。T-GaP に含まれる岩片は Ga-S と同じ領域にプロットされ、Ga-S と同じ起源と考えた。

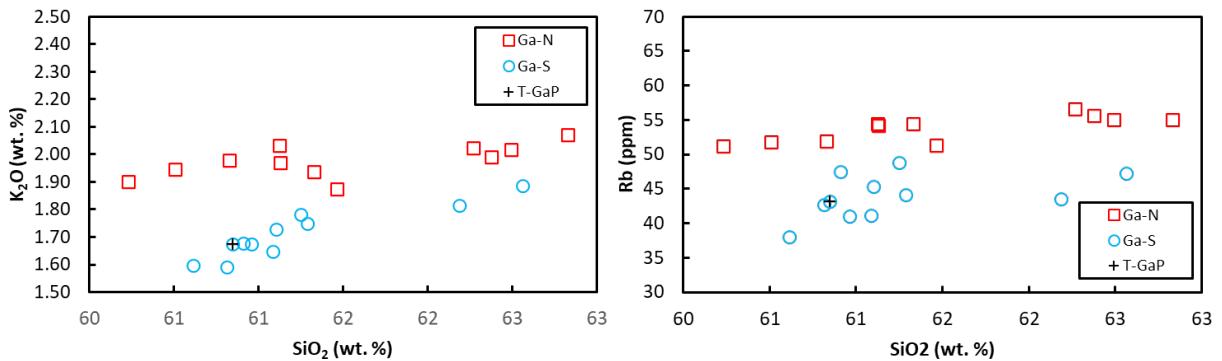


図 59 全岩化学組成分析結果。

角閃石の化学組成も Ga-N と Ga-S とで異なる特徴を示した（図 60）。Ga-N は、斑晶が高 Si 値を示し、Si 値も集中するのに対し、Ga-S は幅広い Si 値を示した。角閃石温度・圧力計^{97,98)}で推定された温度・圧力条件は、Ga-N の斑晶温度が約 800 度に集中するのに対し、Ga-S は 800~1,000 度と広い値を示した。Ga-N の斑晶から推定された圧力は~200 MPa と、深度に換算すると 5 km 以浅を示すのに対し、Ga-S は 300~500 MPa と約 16 km に求まった。これらは、Furukawa⁹⁹⁾ 及び Oda and Ushio¹⁰⁰⁾ で議論された浅部マグマだまり（~6.4 km）と深部マグマだまり（~16~17 km）の深度におおよそ一致し、Ga-N は浅部マグマだまりの影響を強く受け、Ga-S は新部マグマだまりの影響を強く受けた可能性がある。

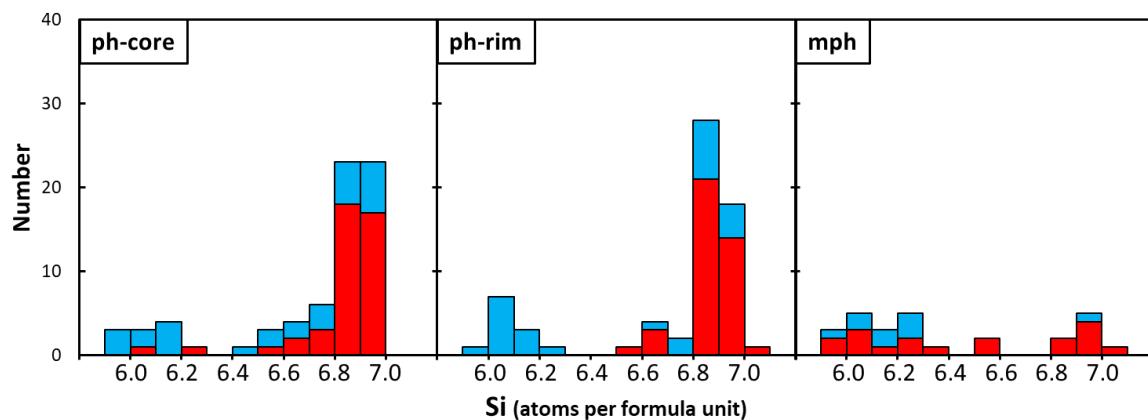


図 60 角閃石の化学組成。Ga-N（赤）、Ga-S（青）。

Ga-S と対比される T-GaP から約 12.1 cal ka BP の値が得られ、T-GaP が T-Nzf（約 11.0 cal ka BP⁹⁵⁾）に覆われるのに対し、Ga-N の分布域ではその上位に T-Nzf は確認できず、K-Ah が堆積している。以上のことから、約 1 万 2 千年前に溶岩流噴火（Ga-S）が発生し、その過程で T-GaP が堆積し、その後、K-Ah 噴火までの間に Ga-N 溶岩が噴出したと推察した。

v) マグマ噴出量階段図

先行研究のデータと今回の我々の研究結果を合わせて、鶴見岳・伽藍岳のマグマ噴出量階段図を試作した（図 61）。Ga-N、Ga-S の噴出量は、伽藍岳の形を円錐台形に近似し、鶴見基底溶岩が伽藍岳活動以前の地形を形成していたと考えて、鶴見基底溶岩と想定される地形の体積を差し引いて計算した。過去 6 万年間の平均的な噴出率は $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{ km}^3/\text{ky}$ と日本の活火山の平均的な噴出率¹⁰¹⁾ と比較すると 1~2 衡小さい値となる。約 1 万年前付近は伽藍岳溶岩と鶴見山頂溶岩の活動のため $10^{-1} \text{ km}^3/\text{ky}$ と高い噴出率が得られた。

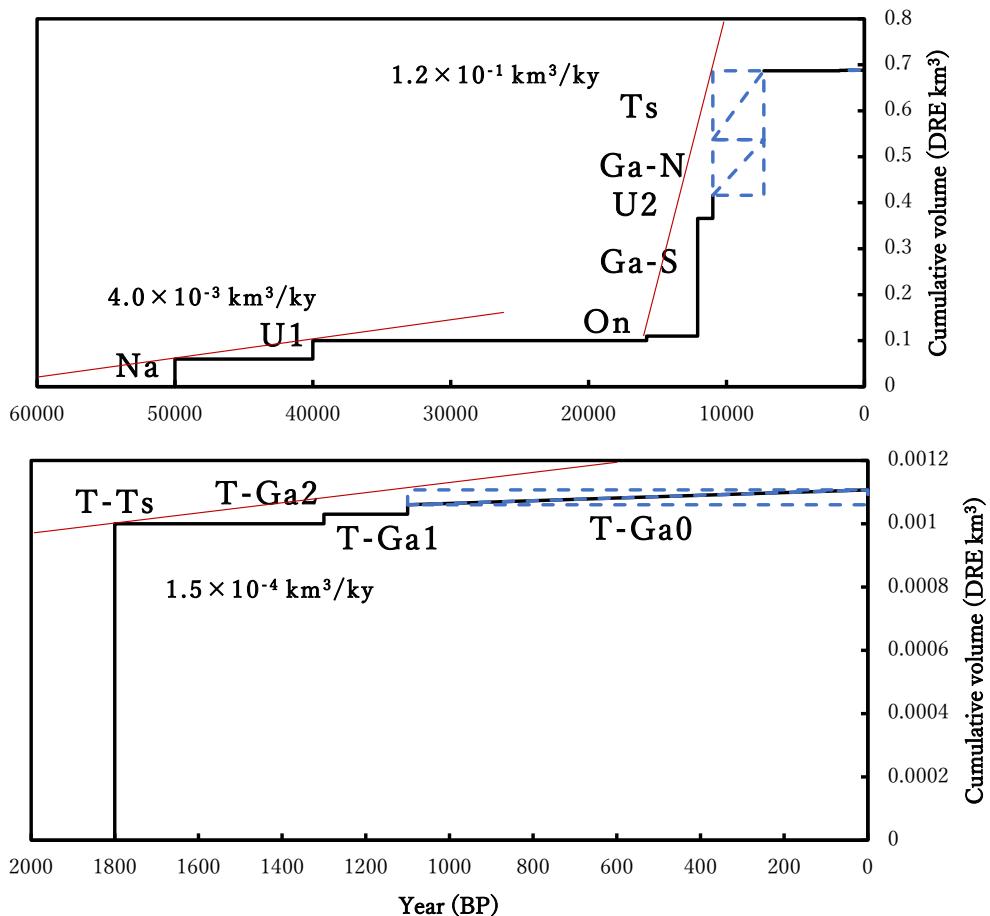


図 61 過去 6 万年間と過去 2 千年間の鶴見岳・伽藍岳のマグマ噴出量階段図。赤線は平均的な長期噴出率。噴出年代に幅がある噴出物については斜線（青）で示した。Na：南平台溶岩、U1：内山溶岩、On：鬼箕山溶岩、U2：内山南溶岩、Ts：鶴見山頂溶岩、T-Ts：鶴見岳火山灰、T-Ga2：伽藍岳火山灰 2、T-Ga1：伽藍岳火山灰 1、T-Ga0：伽藍岳火山灰 0。

u) 九重山：火山層序と噴出量の再検討（山口大学）

i) 火碎流堆積物の噴出量の再検討

下坂田火碎流堆積物の分布域、噴出量の見直し

下坂田火碎流堆積物は小野ほか¹⁰²⁾により上坂田一下坂田地域に分布するとされていた。しかしながら、下坂田地域の層序が確定していないため、本調査で地表地

質踏査を行なった。その結果、下坂田地域において、Aso-3 火碎流堆積物の上位に下坂田火碎流堆積物を介さず、直接 Aso-4 火碎流堆積物（以降 Aso-4 と表記）が見られた。また、九重起源火碎流堆積物と Aso-4 が高角度の境界をもって直接接する露頭も見られた（図 62）。この地点では Aso-4 は溶結し、九重起源火碎流堆積物との境界付近に Aso-4 の非溶結部が見られない。このことから上坂田一下坂田地域で見られる九重起源火碎流堆積物（小野ほか¹⁰²⁾ の下坂田火碎流堆積物）は Aso-4 上位の飯田火碎流堆積物である可能性が高い。そのため、本研究ではこれを飯田火碎流堆積物とみなして噴出量に含めた。長岡・奥野¹⁰³⁾ では下坂田火碎流堆積物の見かけ体積が 0.5 km^3 、Appendix で示す方法で DRE 換算した場合、 0.25 km^3 (DRE) となる。また下坂田火碎流堆積物について、3 地域（今村、巣原南部、豊後大野市大野町宮迫）で確認された。これらの地点と下坂田火碎流堆積物と考えられる 1 地点（朝地町梨小）から推定される分布域（約 158 km^2 ）と推定平均層厚（約 5 m）から Appendix で示す方法で噴出量（DRE）を求めるとき、約 0.40 km^3 (DRE) であった。この値は長岡・奥野¹⁰³⁾ の値よりも 1.6 倍程度大きい。今回、噴出量を求める上で加味していないが、本調査で下坂田もしくは宮城火碎流堆積物と考えられるものが久住町仏原の中峰火碎流堆積物の台地上で確認された。今後はこれも含めて噴出量の検討を行なう予定である。

また、今回、層序から下坂田火碎流堆積物と考えられる地域で採取した試料と加えて宮城火碎流堆積物の試料を（財）電力中央研究所、伊藤久敏博士に委託し、ジルコンの U-Pb 年代により測定した。その結果、宮城火碎流堆積物は $0.28 \pm 0.06 \text{ Ma}$ 、下坂田火碎流堆積物は $0.26 \pm 0.09 \text{ Ma}$ であった。これらの年代値は Aso-2 以前の年代を示し、層序と一致しない。この原因に関しては今後詳細に検討する必要がある。



図 62 Aso-4、九重起源火碎流堆積物（飯田火碎流堆積物）の境界（下坂田地域）。

54 ka 飯田噴火の噴出量の見直し

飯田噴火による噴出物は、九重 D 火山灰、飯田火碎流堆積物、九重第一降下軽石に分類してきた。飯田火碎流堆積物のうち北側と南側に流下したものの見かけ体積は、松本¹⁰⁴⁾ によりそれぞれ 1.3 km^3 および 5 km^3 以下と見積もられた。これら

を合計すると 6.3 km^3 となる。この値を Appendix で示す方法によって DRE 換算すると 3.15 km^3 となる。

長岡・奥野¹⁰⁵⁾ は、九重 D 火山灰、飯田火碎流堆積物、九重第一降下軽石の見かけ体積を 0.41 km^3 、 5 km^3 、 6.2 km^3 と見積もり、それらの DRE 体積を 0.084 km^3 、 2 km^3 、 2 km^3 と見積った。これら 3 つの噴出量を合計すると、 4.08 km^3 となる。尚、長岡・奥野¹⁰⁵⁾による見かけ体積を Appendix で示す方法によって DRE 換算すると、九重 D 火山灰、飯田火碎流堆積物および九重第一降下軽石の DRE 体積はそれぞれ 0.12 km^3 、 2.5 km^3 、 1.9 km^3 となる。これら 3 つの DRE 体積を合計すると 4.5 km^3 となる。

辻ほか¹⁰⁶⁾は、飯田火碎流堆積物を飯田 1・2・3 火碎流堆積物に分類し、それらの間に九重 D 火山灰が挟まることから、これらが交互に噴出したと考察した。そしてこれらを放出した活動を前期フェーズとした。辻ほか¹⁰⁶⁾はさらに、飯田火碎流堆積物の堆積後にさらに九重 D 火山灰が堆積し、その後に九重第一降下軽石が噴出したことを明らかにし、九重第一降下軽石の下部層、上部層および瀬の本高原火碎流堆積物を放出した活動を後期フェーズとした。辻ほか¹⁰⁷⁾は、九重第一降下軽石の下部層および上部層をあわせた見かけ体積を $2.00\sim3.26 \text{ km}^3$ と見積もった。この値を Appendix で示す方法によって DRE 換算すると $0.60\sim0.98 \text{ km}^3$ となる。

本論では飯田火碎流堆積物を一括したものとして、鎌田¹⁰⁸⁾、小野¹⁰⁹⁾、小野ほか¹¹⁰⁾で示された分布域と上述した上坂田一下坂田地域の火碎流堆積物を含めて噴出量を推定した。まず、これらの結果から分布面積は 281.7 km^2 と推定した。次に飯田火碎流堆積物の平均層厚は長岡・奥野¹⁰³⁾の値とほとんど同様であるとして Appendix で示す方法によって噴出量を求めた。その結果、 2.5 km^3 (DRE) となり、長岡・奥野¹⁰³⁾の噴出量と同一の結果となった。

ii) 中部山体（沓掛山火山）の噴出量の再検討

沓掛山火山¹¹⁰⁾の形成史は、飯田噴火より古いということを除き、これまでの地質学的研究ではあまり明らかにされていない¹⁰⁸⁾¹¹⁰⁾¹¹¹⁾。この火山体は全体的に地形が開析されており、南～南西の山麓には 2 km 以内に流下した溶岩流が数本認められる¹¹¹⁾。山崎ほか¹¹²⁾は、山頂部と南～南西へ流下した溶岩流に対して約 $160\sim150 \text{ ka}$ の K-Ar 年代を報告し、沓掛山火山が宮城火碎流噴火前後に活動したと考えた。一方で、福岡ほか¹¹³⁾は沓掛山の北側斜面に比較的新鮮な溶岩地形を複数枚認めたため、沓掛山火山は地形の保存状態から大きく 2 つの活動期があると考えた（古いものから沓掛山溶岩（約 155 ka ）¹⁰⁸⁾¹¹²⁾および沓掛山上部溶岩（新称））。沓掛山上部溶岩の噴出時期は明らかにされていないため、今後検討する必要がある。今回は沓掛山上部溶岩の形成時期を長岡・奥野¹⁰³⁾に従い、飯田噴火の直前期である約 $91\sim54 \text{ ka}$ に含めた。

沓掛山上部溶岩の噴出量は、断面図から平均層厚を推定し、QGIS で算出した表面積と乗じた結果、 0.03 km^3 (DRE) となった。沓掛山溶岩の噴出量は長岡・奥野¹⁰³⁾により 2.8 km^3 (DRE) と言われているが、今回はこの値から沓掛山上部溶岩の噴出量を差し引き、 2.77 km^3 (DRE) とした。

iii) 東部域の火山層序の再検討

九重火山東部域の火山層序については多くの報告^{103) 105) 110) 111) 114)}がなされているが、詳細については見解が異なっている。そこで、九重火山東部域の噴出物が堆積し、その保存状態がよいと想定される南東山麓の台地において、2024年2月16日～24日に複数の露頭観察を行った。その結果、以下のことが明らかとなつた。

二次堆積物あるいは土壤層の上位に、本地域での最新期の活動による噴出物と考えられる黒岳火山灰 (Kj-KdA)¹⁰³⁾が堆積する。

層厚 55 cm 以上の米窪降下スコリア層 (Kj-KS)¹¹¹⁾ が、大船山火山灰層 (Kj-Ta)¹¹⁰⁾ を直接覆う (図 63: 写真①)。Kj-Ta は淡褐色火山灰、灰色火山灰、暗灰色火山砂からなり、11 枚の降下火碎物が確認され、層厚は約 20 cm である (図 63: 写真①及び②)。

Kj-Ta の下位には、土壤層を挟んで Kj-DS1 スコリア層¹¹¹⁾ が堆積する。Kj-DS1 は層厚が約 25 cm で間に暗灰色火山灰層を挟む (図 63: 写真②および③)。

Kj-DS1 層の下位には、Kj-A0 火山灰層¹¹⁰⁾、Kj-DS2 スコリア層¹¹¹⁾、黒色火山灰層 (未報告)、Kj-DS3 スコリア層¹¹¹⁾、黒色火山礫層 (未報告)、Kj-DS4 スコリア層、黒色火山礫層 (未報告)、が堆積し、その下位に土壤層を挟んで Kj-A1 火山灰層¹⁰⁸⁾ が分布する。Kj-DS2 の層厚は 20 cm、それより下位のスコリア層、黒色火山礫層・火山灰層の合計層厚は 40～45 cm である。Kj-A1 層は層厚が約 1.5 m で、淡褐色、褐色、褐灰色、灰色、暗灰色を呈する少なくとも 10 枚の火山灰層からなる (図 63: 写真④および⑤)。

Kj-A1 層の下位には鬼界アカホヤ火山灰層 (K-Ah) が分布し、その下位に平治岳降下スコリア層 (Kj-HS)¹⁰⁸⁾ が分布し、その下位に火山灰層 (未報告) を挟んで、七里田降下石質岩片層 (Kj-SL)¹⁰⁵⁾ が分布する (図 63: 写真⑥)。

Kj-SL 層の下位には始良 Tn 火山灰層 (AT)、火山灰層 (未報告)、赤褐色を呈する長湯スコリア層 (Kj-NS)¹¹⁰⁾ が分布する (図 63: 写真⑥)。Kj-NS 層はその下位に土壤層を挟んで九重第 1 降下軽石層 (Kj-P1)¹⁰⁹⁾ を覆う。

Kj-P1 層の下位には、Kj-D 火山灰層¹⁰⁹⁾、有氏降下石質岩片層 (Kj-AL)¹⁰⁵⁾、柚柑子降下火山灰層 (Kj-Y)¹¹⁵⁾ が分布し (図 63: 写真⑦)、その下位に約 1 m のローム層を挟んで宮廻野スコリア層 (Kj-MS)¹¹¹⁾ が堆積する。

Kj-MS 層は最大で層厚約 2 m 認められ、供給源が比較的近傍であることを示唆する。また、Kj-MS 層の最下位に灰白色細粒の水蒸気噴火による火山灰層が確認された (図 63: 写真⑧)。Kj-MS 層は九重火山東部域を供給源としていることとなり、九重火山東部域の活動が 54 ka の Kj-P1 などの活動以前に開始したことを見ている可能性がある。

iv) Appendix: 火碎流堆積物、降下火碎物の噴出量 (DRE) の見積り方法

九重火山のテフラは非溶結の火碎流堆積物と降下火碎物で構成される。これらの噴出量の大半は先行研究で見かけ体積が求められている。これに「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」で定義された係数 (非溶結の火碎流: 0.5; 降下火碎物: 0.3) を乗算したものを噴出量 (DRE) として使用した。

下坂田・飯田火碎流堆積物に関しては基底部から上位に堆積するテフラが見られる地域の層厚を参考にしてその火碎流堆積物全体の平均層厚をおおよそ求めた。こ

れと分布域から推定した堆積当時の推定分布域の面積を乗算し、さらに本プロジェクトで定義されている火碎流堆積物のマグマ密度 0.5 を乗算した体積を噴出量(DRE)として使用した。

謝辞

年代測定をするにあたって、伊藤久敏博士（電力中央研究所）に委託した。ここに感謝の意を示す。

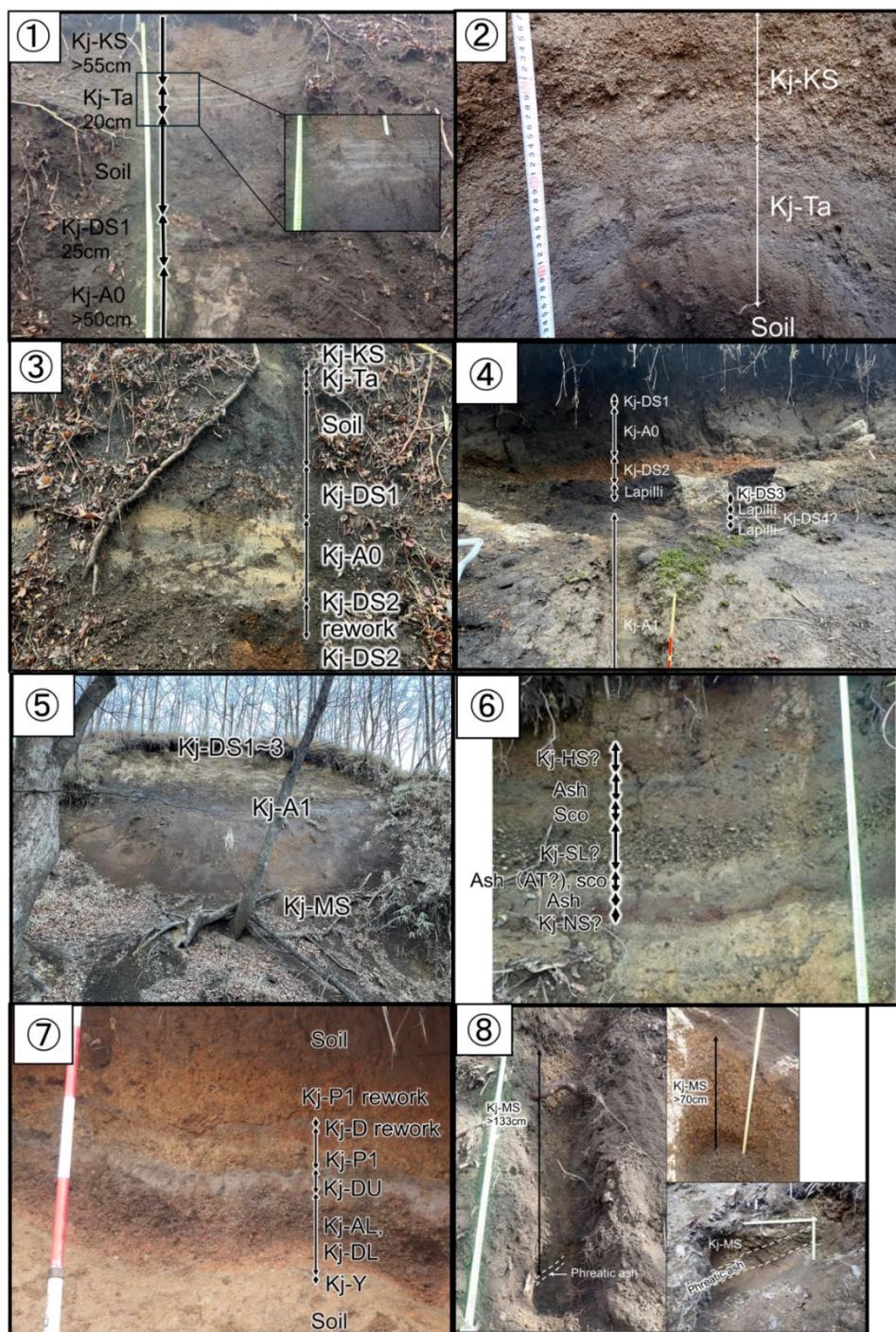


図 63 東部域における降下火碎物の露頭写真。

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

i) 阿蘇火山中岳第1火口 2021年10月20日噴火に関する火口近傍域の現地調査

阿蘇火山中岳第1火口では、2021年10月14日4時43分頃の噴火に引き続き、10月20日11時43分にも爆発的噴火が発生し、火口周辺に火碎流が流下するとともに、噴煙が火口縁上3,500mまで上昇し、同火口南東方の広範囲で降灰が確認された。熊本大学は、防災科学技術研究所・産業技術総合研究所と協力して、噴火発生直後の10月20日16時～22日10時頃に、中岳第1火口から南東方の熊本県高森町・南阿蘇村、さらに遠方にあたる山都町、宮崎県高千穂町・五ヶ瀬町にかけての地域で噴出物の分布状況を調査し、降下火山灰の量が15,000トン程度と概算されたことを令和3年度に報告した。その後、噴火警戒レベルが1に下げられたため、中岳火口近傍域での現地調査が可能となった。本年度はその調査結果について報告する。

まず中岳第1火口から南へ0.9～1.2km付近に位置する砂千里ヶ浜で気象庁とともに行った現地調査では、木道上や2020年以前の火山灰上に厚さ1cm程度の灰色火山灰が明瞭に認められ、砂千里ヶ浜南端の尾根付近での堆積量は10～14kg/m²程度であった。この堆積量データに、噴火発生直後に阿蘇カルデラ南東部で得られたデータを加えて、等質量線を描き直した結果を図64に示す。

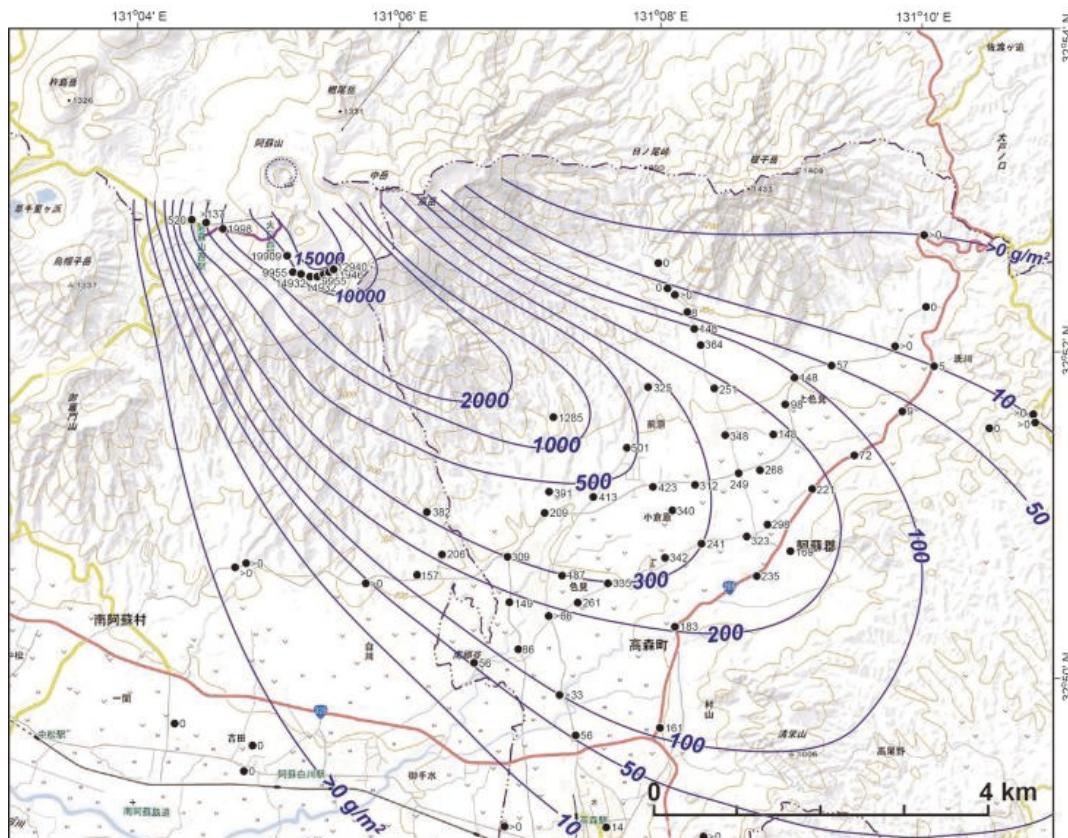


図64 阿蘇カルデラ南東部における2021年10月20日噴火に伴う火山灰の分布（単位g/m²）。地理院地図レベル14を使用。宮緑ほか¹¹⁶⁾を改変。

0～15,000 g/m² の 14 本の各等質量線が囲む面積と質量等の関係を用いて再計算した結果、降下火山灰の量は 47,000 トン程度となった¹¹⁶⁾。これは噴火直後に概算した結果（約 15,000 トン）の 3 倍程度の値である。このように、遠方域だけの調査結果から見積もった降下テフラの総量は、火口周辺域の調査結果を加えた場合に比べて大幅に少なくなる事例は、中岳第 1 火口の 2014～2015 年の噴火活動時の降灰調査でも報告されている¹¹⁷⁾。小規模で噴煙高度も火口縁上 3,500 m 程度と低い噴火時の降下テフラの総量を正確に見積もるために、近傍域での堆積量を把握することが重要であることがわかる。今回の噴火において特筆すべき点は、噴石が放出されるとともに火碎流が発生し、それらによって火口近傍域に甚大な被害が出たことである（図 65）。まず噴石については、噴出源である中岳第 1 火口から第 4 火口にかけての周辺域において径

数 cm～数十 cm の噴石が多量に観察された。その中で最大のものは第 1 火口中心から南西 300 m 付近に存在するもので、長径が 2.8 m であった（図 66）。噴石はすべて玄武岩質安山岩質の類質岩片であり、新しいマグマに由来するような岩石ではなかった。また、第 1 火口西～南西側縁の噴石はインパクトクレーターを形成しているものが多数発見された。さらに、この噴火に伴う噴石は第 1 火口中心から 1.2 km 付近にまで飛散していることがわかった。

2021 年 10 月 20 日噴火で発生した火碎流は中岳火口周辺の全方位に広がっており、第 1 火口西側から第 2 火口南側縁にかけての地点で厚さ 20～30 cm 程度の堆積物が認められた（図 67）。その堆積物は全体的に灰色を呈し、シルト・粘土画分を 10～40% 程度含むが、礫画分も 10～30% 程度含まれるなど、淘汰が悪いことが特徴である。中岳第 1 火口から 1 km ほど離れると、火碎流堆積物は厚さ数 cm と次第に薄



図 65 中岳第 1 火口南方における被害状況（熊本大学撮影、阿蘇火山防災会議協議会提供）。



図 66 中岳第 1 火口南西縁で認められた最大級の噴石（熊本大学撮影、阿蘇火山防災会議協議会提供）。噴石の右上に置かれた黄色いスケールの長さは 30 cm。

くなるが、北方へは 1.5 km 程度、また南方へは 1 km 付近まで到達していることがわかった（図 68）。

その分布と厚さから、火碎流堆積物の量は 25 万 m^3 程度と概算され、実測した堆積物密度を考慮すると、約 25 万トンとなる。前述した降下火山灰の量をあわせると、2021 年 10 月 20 日噴火による噴出物総量は 30 万トン程度となり、これは直前の 10 月 14 日噴火に伴う噴出物量（2,500 トン、降下火山灰のみ）¹¹⁸⁾ の 120 倍、さらに類似した噴火と考えられる 2015 年 9 月 14 日噴火による堆積物量（7.9 万トン、火碎流堆積物と降下火山灰）¹¹⁹⁾ の 4 倍程度の値である。

火碎流堆積物および降下火山灰試料を湿式でふるい分けし（-3~5 ϕ 、1 ϕ 間隔）、3~2 ϕ （0.125~0.25 mm）画分の粒子について、デジタルマイクロスコープ（Leica 社製 DMS1000）によって観察した結果、ガラス片が 10% 程度含まれるもの、構成物の 4~5 割程度は灰色～白色の岩片であった。ガラス片には、ごく一部に新鮮に見えるものもあるが、顕微鏡観察や化学分析の結果から大部分のガラス片は変質したものであることがわかった。

以上の結果から、阿蘇火山中岳第 1 火口で 2021 年 10 月 20 日に発生した噴火は、直前の 10 月 14 日噴火¹¹⁸⁾とともに水蒸気噴火であった可能性が高いが、10 月 14 日に比べて規模がかなり大きなものであったことがわかる。

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。



図 67 中岳第 1 火口南西縁の地表面を覆う 2021 年 10 月 20 日の火碎流堆積物（熊本大学撮影、阿蘇火山防災会議協議会提供）。

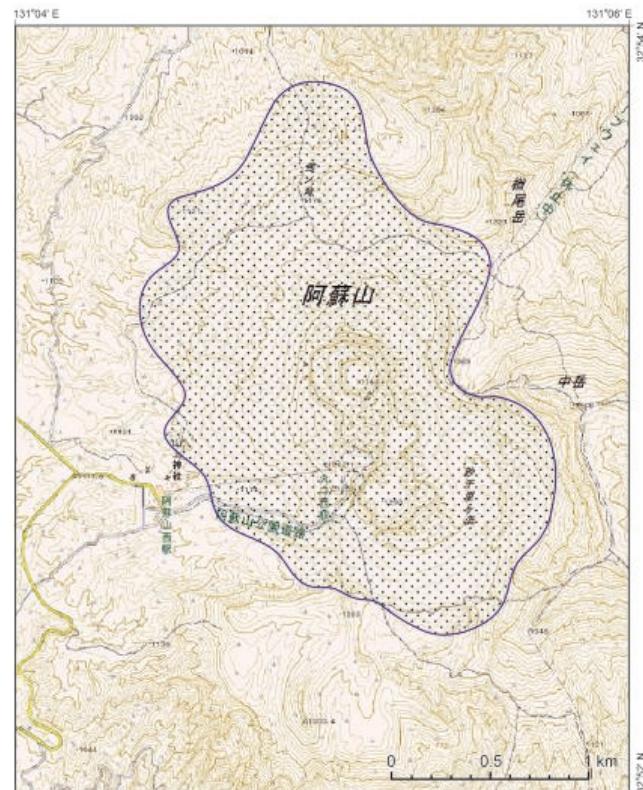


図 68 2021 年 10 月 20 日噴火に伴う火碎流堆積物の分布範囲（地理院地図レベル 16 を使用）。

ii) 阿蘇山における令和5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方約3km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¹²⁰⁾、掘削地点はこ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18m程度である。

表層から約2m深に厚さ1.9m程度の赤褐色の降下スコリア層、さらに

約6m深に厚さ約1.5mの黒色の降下スコリア層が認められ（図69）、それぞれ往生岳および杵島岳から飛来した噴出物と考えられる。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13m深（表層から）には広域テフラである鬼界アカホヤ火山灰¹²¹⁾（K-Ah：層厚20cm）が存在していた。K-Ahより下位の断面は固く締まった火山灰層と埋没土壌層の互層であった。

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1万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4km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¹²²⁾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



図69 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；K-Ah：鬼界アカホヤ火山灰）。

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黒川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。

w) 霧島山：年代測定法による長期噴火履歴解明および噴出物からみる噴火推移履歴の解明（産業技術総合研究所・東京大学地震研究所）

i) 年代測定法による長期噴火履歴解明

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^{123) 124) 125)}。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 万年前の入戸火碎流堆積物、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^{124) 125)}、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、調査の初年度として、試料採取の候補地決定のための予備調査を実施し、試験的に採取した試料について年代測定を開始した。対象ユニットとして、基本的には井村・小林¹²⁴⁾の区分を元に、約 33~2 万年前とされる 8 つのユニットから 15 試料を採取した（図 70）。

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 15 試料について、全岩の主成分元素組成や灼熱減量を測定とともに、薄片観察により試料の風化度を評価し、新鮮で緻密な 8 試料を年代測定用として前処理を実施した。試料を粉碎し、0.18~0.25 mm サイズの粒子について、磁性分離・重液分離・ハンドピックにより石基のみの試料を調製し、酸および純水によ

り洗浄後に乾燥させた。約3~2万年前の試料の年代測定は手法の測定限界に近いため、3試料のAr/Ar年代測定は若い火山岩の年代測定の実績のあるオレゴン州立大学に依頼し、約33~3万年と予想される5試料の感度法K-Ar年代測定は産業技術総合研究所で実施中である。通常の手順では分離が困難で精度良い測定のための十分な量の調製ができず、現在は予備測定の段階であるが、今後試料量を増やして年代を確定する。

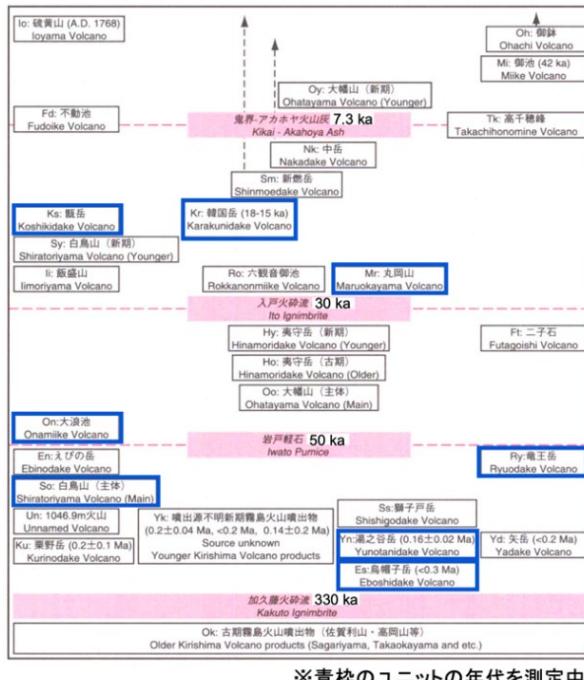


図70 従来の火山地質図による霧島火山のユニット区分と今年度Ar/ArおよびK-Ar年代測定の対象としたユニット（井村・小林¹²⁴⁾を修正）

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予備調査を実施し、Ar/ArおよびK-Ar年代測定を開始した。

試料前処理後に、約3~2万年前と予想される3試料のAr/Ar年代測定はオレゴン州立大学に依頼し、約33~3万年と予想される5試料の感度法K-Ar年代測定は産業技術総合研究所で実施中であり、今後試料量を増やして年代を確定する。

ii) 噴出物からみる噴火推移履歴の解明

霧島火山群の中でも活動的な新燃岳、御鉢、えびの高原硫黄山、韓国岳について、歴史時代の個々の噴火の推移や中長期履歴を明らかにするための地質調査を行い、噴出物の物性・化学分析を進めた。

新燃岳については2017~2018年噴火の表面現象・噴火様式推移を、噴火時の調査観察（踏査およびドローン）と火山灰の全岩化学組成分析、軽石の物性および組織

分析にもとづき詳細に明らかにした。その結果、観測された噴火様式とその変遷は、山頂火口直下の地質構造とマグマ上昇速度の影響を強く受けたこと、爆発と溶岩ドーム形成を同時に発生するハイブリッド噴火により、2011年噴火には認められない高結晶度の軽石が生じたことなどがわかった（図71）¹²⁶⁾。高結晶度の軽石は、準プリニー式噴火には至らない程度のゆっくりとしたマグマ上昇速度を反映した噴出物と考えられ、ハイブリット噴火特有の噴出物の可能性がある。この研究は、噴出物組織の迅速な解析の重要性を示すとともに、安山岩質マグマの噴火様式多様性の原因の理解を進めるに貢献する。

また、新燃岳、御鉢、えびの高原硫黄山、御池の起源マグマの共通性を明らかにするために、全岩主要、微量元素、Sr-Nd-Pb同位体比組成分析を行った。その結果、新燃岳、御鉢、えびの高原硫黄山は同位体3元素それについてほぼ同様の組成比を有することから共通の起源物質に由来すること、御池は前二者と異なり、地殻物質の混染の影響を強く受けた起源物質に由来することなどを明らかにした。新燃岳、御鉢、えびの高原硫黄山の深部苦鉄質マグマが共通であることは、地球物理学的手法によりこれらの山体直下（深さ9~15km）に広域に広がるマグマ蓄積領域がイメージされていることと矛盾しない。先行研究^{例えば127)128)}と最新の知見を踏まえて霧島火山群のマグマ供給系モデルを提案した（図72）。

さらに、噴火履歴やマグマ供給系に関するこれまでの成果にもとづき、霧島火山群全体の火山活動推移モデルについて検討した。まず、完新世の噴火履歴を整理するとともに、1回の噴火の規模や噴火様式の変化の共通性等を考慮し、噴火推移パターンをType AからGの7タイプに分類した。そして、この噴火推移パターンと近年や歴史時代の観測・観察事例（新燃岳、えびの高原硫黄山、御鉢）、マグマ供給系モデルにもとづき、霧島火山群全体に対する火山活動推移モデルの試案を作成した（図73）。

この試案では、深部および浅部マグマの蓄積や移動に関する観測情報を含む先行現象ステージ、火口位置（新火口または既存火口）や帶水層に起因する水蒸気爆発の有無に関する情報を含む噴火発生ステージ、噴火開始後の噴火様式分類（Type A~G）の情報を含む主噴火ステージの3つの段階に分けて（図74）、可能性のある噴火事象を網羅的に整理した。また、各噴火事象の発生頻度をもとに分岐確率についての評価も行った。この評価手法では、既存火道を使う噴火ではおよそ60%が水蒸気噴火で開始し、40%は水蒸気噴火を起こさずにマグマ噴火に至る。また、水蒸気噴火で始まる噴火のうち85%がそのまま終息し、14%がマグマ噴火、残りの1%は山体崩壊に至る。ただしこの手法の問題点として、記録の漏れと休止期の区別や噴火未遂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。

韓国岳16ka大規模火碎噴火の降下軽石堆積物および火碎密度流堆積物の分布、層序、構成物の調査を、宮崎県小林市を中心に行い、噴火様式および推移の解明を念頭に置いた地質データの取得を行った。また、複数のユニットから試料を採取し、マグマ供給系解明のための物質科学的データの取得も行った。

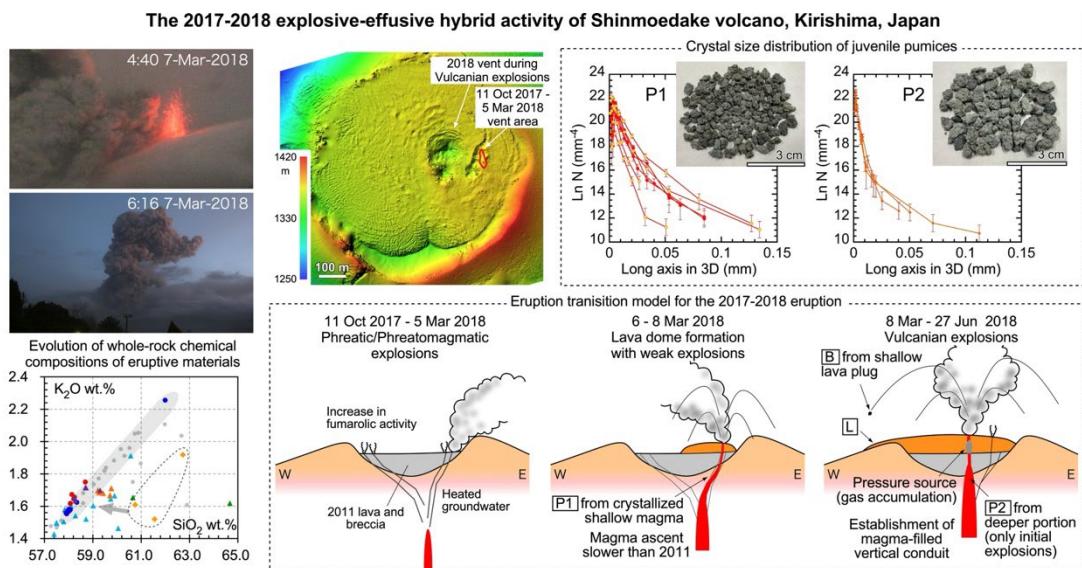


図 71 霧島新燃岳 2017~2018 年噴火の表面現象・噴火様式推移のまとめ¹²⁶⁾。

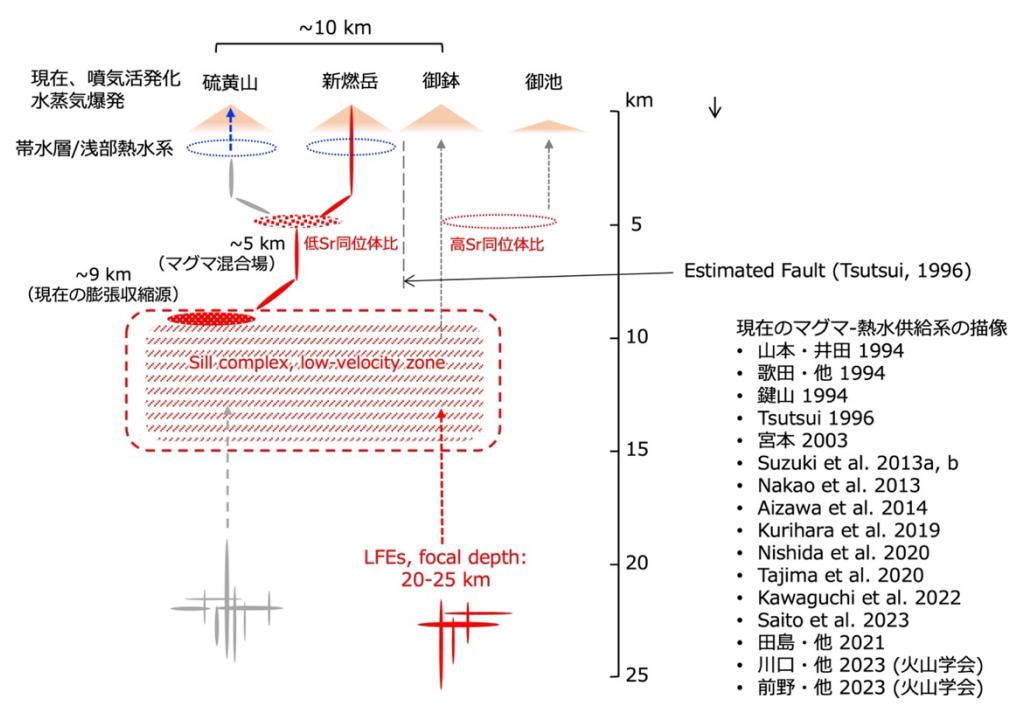


図 72 本プロジェクトの成果と先行研究とを合わせて考察した霧島火山群のマグマ供給システムの模式図。

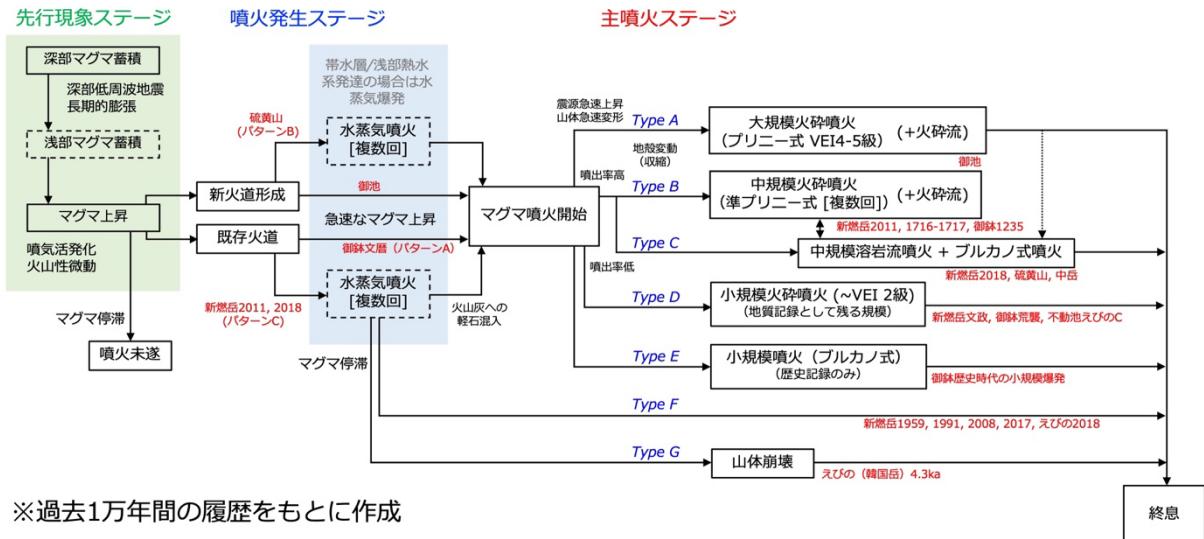


図 73 完新世の活動履歴およびマグマ供給システムをもとに構築した霧島火山群全体の噴火推移モデルの試案。

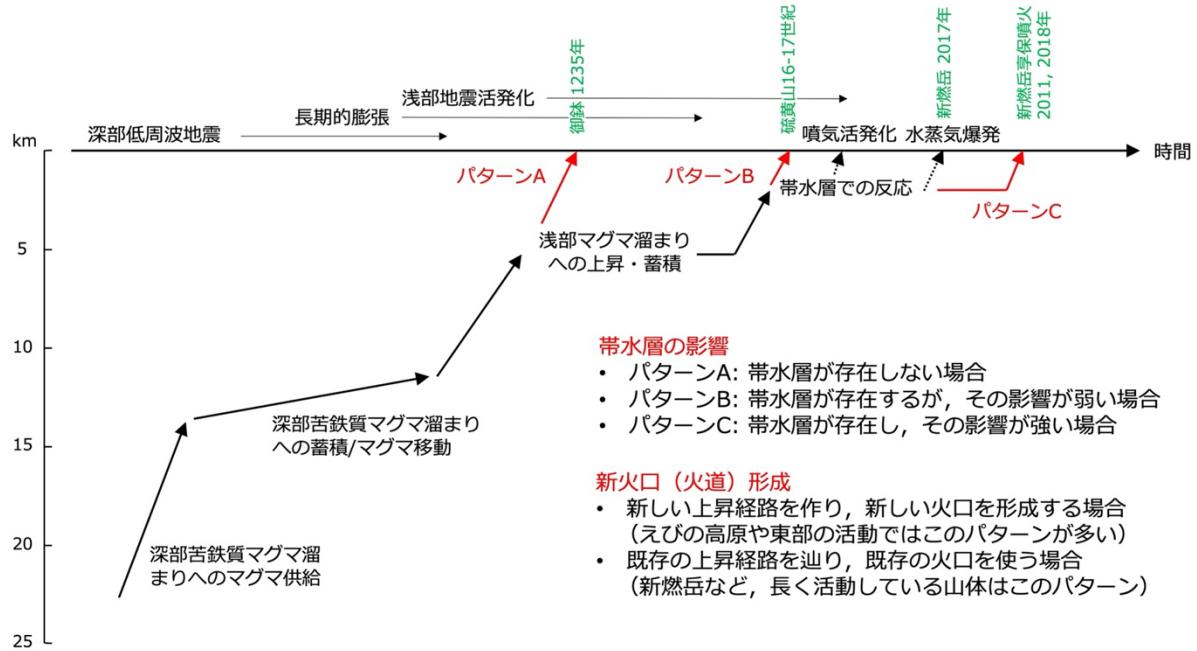


図 74 霧島火山群の近年の噴火および完新世の活動履歴にもとづくマグマ上昇パターン A ~C とそれらに関連する事象。図 73 作成の上で考慮した。

x) 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 鬼界アカホヤ噴火前半のプリニー式噴火フェーズについて、従来よりも詳細な噴火推移と噴出率の変遷を明らかにするため、層序の細分化と噴出物の解析を進めた。アカホヤ噴火のプリニー式噴火フェーズでは、幸屋降下軽石 (Unit A) やイントラプリニアン火碎流 (Unit B) が噴出したことが明らかにされているが^{129) 130)}、広域地質調査にもとづいて Unit A、B について従来よりも精密な把握を行い、地質学的解析によって得られたデータとモデリングを組み合わせることで噴火パラメー

タを推定した。まず、昨年度からの薩南諸島・薩摩半島・大隅半島での地質調査を継続し（図 75）、アカホヤ噴火の初期フェーズの堆積物層序や構成物を明らかにした（図 76）。Unit Aについては、サブユニットごとの層厚と最大粒径の分布図を作成した（図 77）。得られた層厚分布を複数の経験的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、誤差の大きい近傍と遠方の堆積分布がフィッティングに与える影響を評価するため、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。最大粒径分布からは、噴煙モデルを用いて実際のデータを説明できるマグマ噴出率を求めた。このモデルは、風による噴煙の屈曲を考慮した定常1次元噴煙モデルと粒子形状を考慮した粒子軌道計算を組み合わせたものである。推定された噴出量とマグマ噴出率から、噴火イベントごとの噴火継続時間を算出した。

地質学的解析の結果、アカホヤ噴火の初期フェーズ堆積物はわずかな浸食によって大きく3つの噴火イベント堆積物に分けられることが明らかになった（図 76）。下位層（噴火イベント1）には、鬼界カルデラ近傍のみに分布する降下火山灰層（Unit A0）が認められた。中位層（噴火イベント2）として、降下軽石層（Unit A1）が大隅半島南部まで分布し、鬼界カルデラ近傍ではその上位に薄い火碎密度流堆積物（Unit A2）が存在した。上位層（噴火イベント3）の層相は鬼界カルデラ近傍とそれ以外の地域で顕著に異なった。鬼界カルデラ近傍では、数枚の降下軽石層（Unit A3、A4a）とその上位の火碎密度流堆積物（Unit B）が認められた。一方、大隅半島南部では、最大11枚の降下軽石層と火山灰濃集層が認められた。このうち、最上位の降下軽石層（Unit A4b）は上方粗粒化の特徴を示し、他の降下軽石層よりも広範囲で認められた。以上の観察データと解析をもとに推定した火碎降下堆積物の噴出量およびマグマ噴出率は以下のようになった。下位層： $0.0021\sim0.012\text{ km}^3$ 、中位層： $0.18\sim1.4\text{ km}^3$ 、 $3.5\times10^7\sim1.2\times10^8\text{ kg/s}$ 、上位層： $4.1\sim17\text{ km}^3$ 、 $5.4\times10^8\sim1.8\times10^9\text{ kg/s}$ 。初期フェーズにおける火碎降下堆積物の総体積は $4.6\sim17\text{ km}^3$ となり、先行研究による推定値（ $20\sim40\text{ km}^3$ ）に比べ有意に小さい値となった。

以上の結果から、アカホヤ噴火のカルデラ形成に先行するフェーズは時間間隙によって区別される3つの噴火イベントで説明される。噴火イベント1は小規模かつ爆発的なマグマ噴火であった。噴火イベント2は安定した噴煙柱を形成するプリニ一式噴火に始まり、小規模な火碎密度流の噴出に移行した。噴火イベント3は継続的な部分崩壊を伴うプリニ一式噴火であり、噴火強度は時間とともに増大した。このように、アカホヤ噴火の初期フェーズでは噴火の推移に伴って噴火規模と噴火強度が顕著に増大したと推定される。また、この初期フェーズのマグマ噴出量は、同程度のカルデラを形成した破局噴火の事例に比べて顕著に小さい。本成果は、日本地球惑星科学連合2024年大会にて発表予定である。

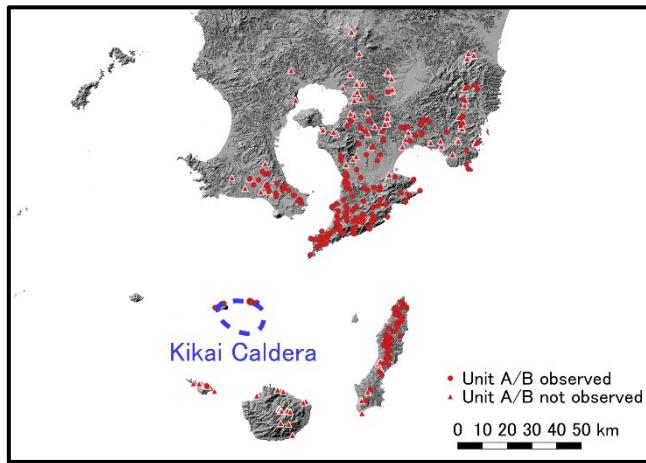


図 75 7.3 ka 鬼界アカホヤ噴火堆積物の調査地点図。

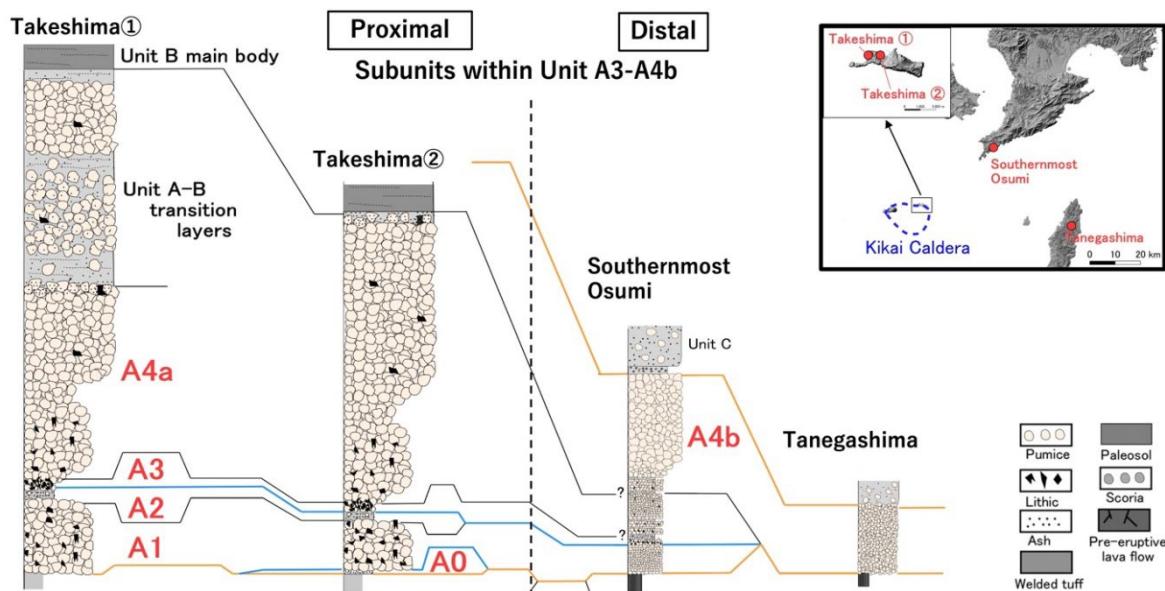


図 76 鬼界アカホヤ噴火プリニ一式噴火フェーズ堆積物の近傍から遠方にかけての代表的な 4 箇所における柱状図の対比。

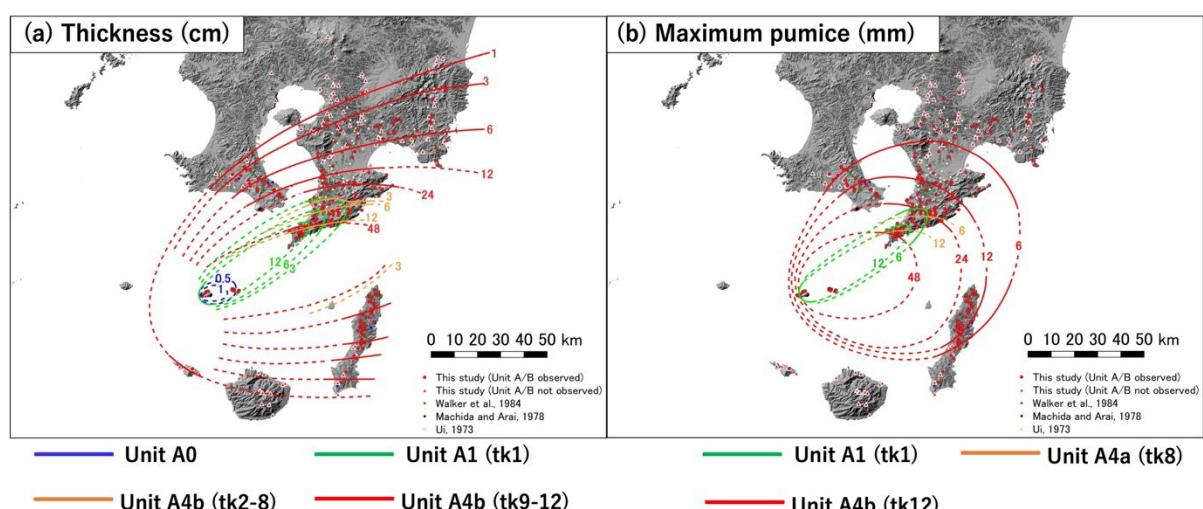


図 77 鬼界アカホヤ噴火プリニ一式噴火フェーズ堆積物の (a) 層厚分布と (b) 最大粒径分布。

y) 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5にまとめた。

表5 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
摩周	摩周カルデラ壁を中心に野外調査を行い、これまでに報告されていない複数のテフラ層を認識した。	北海道大学・茨城大学
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作成のために、これまでの成果をとりまとめ、十勝岳北西火口域とヌッカクシ火口域の噴火履歴を整理し、マグマ噴出量階段図の試作を開始した。	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行い、階段図作成手順とともに学術誌に投稿した。	北海道大学
十和田	十和田火山歴史噴火に関連する考古学分野の資料調査を行った。また、考古学分野研究者と研究打ち合わせを行い、遺跡と噴火の関連を詳細に調査するチームを立ち上げた。そして、歴史噴火とピナツボ1990噴火との共通性、特にラハール発生過程について文献調査と考察を行った。	秋田大学
八幡平	前森山の最新噴火について、従来の研究とこれまでの調査結果をとりまとめ整理した。	北海道大学
岩手山	西岩手火山噴出物の物質科学的解析およびシミュレーションを含むデータ解析により、カルデラ活動期のマグマ供給系の構造とその進化を解明した。その成果は火山学会秋季大会で公表した。	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。完新世の噴火活動をまとめ、誌上発表した。	産業技術総合研究所
伊豆東部火山群	カワゴ平噴火（3.2千年前）について、その噴火プロセスを明らかにするために、物質科学的解析を継続して実施し、加熱実験サンプルとの比較を行った。	北海道大学
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、物質科学的解析を行った。	北海道大学
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
焼岳	古地磁気年代推定、TL年代推定、14C年代測定を行い、3-4千年前といわれている下堀沢溶岩流の噴火年代を再検討した。	信州大学
阿蘇山	硫黄同位体と噴火の推移やメカニズムとの関係を解明するために、2021年噴火噴出物の堆積後の風化の影響評価を目的とした化学分析を行った。	秋田大学

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、デジタルマイクロスコープを導入し、高速・高精度な物質科学的解析を行うことができる環境を整備した。そして、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11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および技術開発事例を報告する。

a) 桜島火山における完新世噴出物の地球化学的特徴

各活火山において、過去から現在に至るマグマ供給系の変遷を把握しておくことは、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、桜島のマグマ系の進化を解明することを念頭に、まずは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実施した。

桜島は始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。桜島の噴出物（図78）については、これまで数多くの全岩化学組成データ（XRFデータ）が出され¹³¹⁻¹³³⁾、マグマ系の変遷やマグマプロセスの検討などが行われてきた。また、マグマの成因や、マグマと地殻の相互作用、始良カルデラの珪長質マグマとの成因関係などの検討を目的として、噴出物の放射性同位体比も測定されてきた^{132) 134-137)}。しかしながら、比較的古い噴出物（>1 ka）についてはデータ数が少なく、また Sr-Nd-Pb 同位体比が全て揃ったデータセットは Shibata et al.¹³⁶⁾の7試料のみであるなど、データ量は十分とは言えない状況である。そこで完新世の噴出物を中心とした約100試料を対象にXRF分析を行い、さらに代表的な約30試料を対象に、ICP-MSによる微量元素濃度分析およびMC-ICP-MSによるSr-Nd-Pb 同位体比分析を行った。

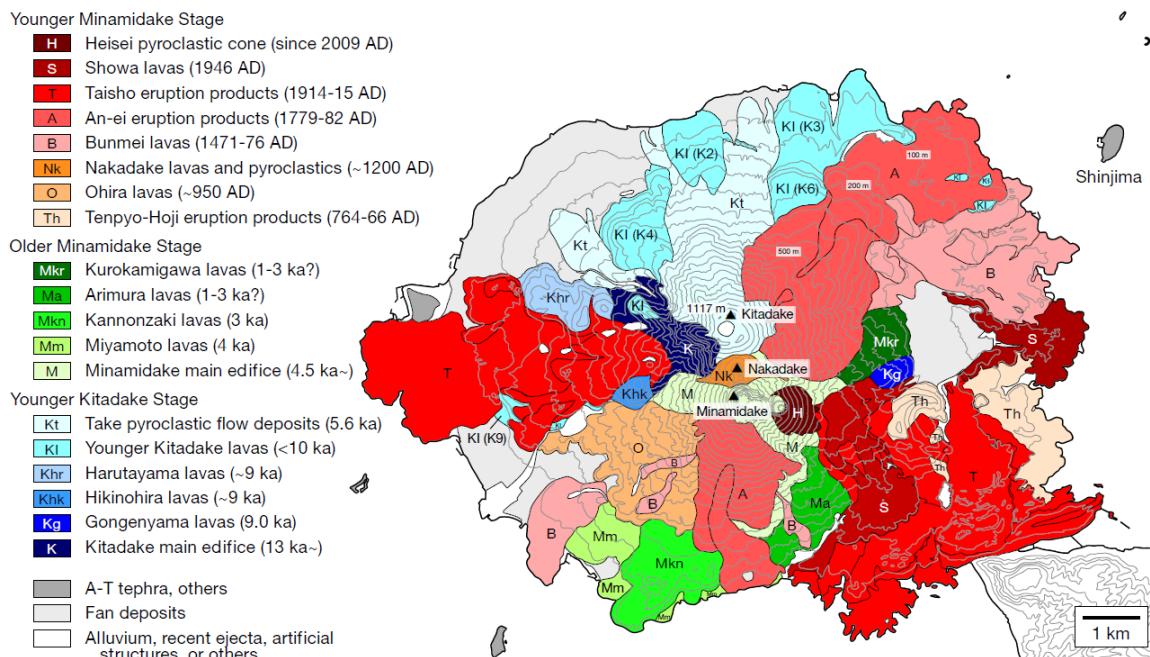


図78 桜島の火山地質図（小林ほか¹³⁸⁾を一部改変）。

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+单斜輝石 (+かんらん石)、デイサイト質な試料では斜長石+直方輝石+单斜輝石である。本研究で得られた噴出物の全岩 SiO_2 量は概ね 58~69 wt%であるが、転石として採取された 1 試料が約 54 wt%を示した (図 79)。桜島の噴出物の全岩化学組成は、姶良カルデラ噴火の流紋岩 (灰色軽石を除く) とは明瞭に区別される。先行研究^{131) 133) 136)}で指摘されたように、桜島の噴出物は大きく高 P_2O_5 グループと低 P_2O_5 グループに分けられ、前者は歴史時代噴出物を含む 1 ka より新しい噴出物、後者は古期南岳 (1~4.5 ka) および新期北岳 (>4.5 ka) の噴出物が該当する。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 グループの試料は低 P_2O_5 グループの試料と比較して、 TiO_2 や Y の含有量も高い (図 79・80)。

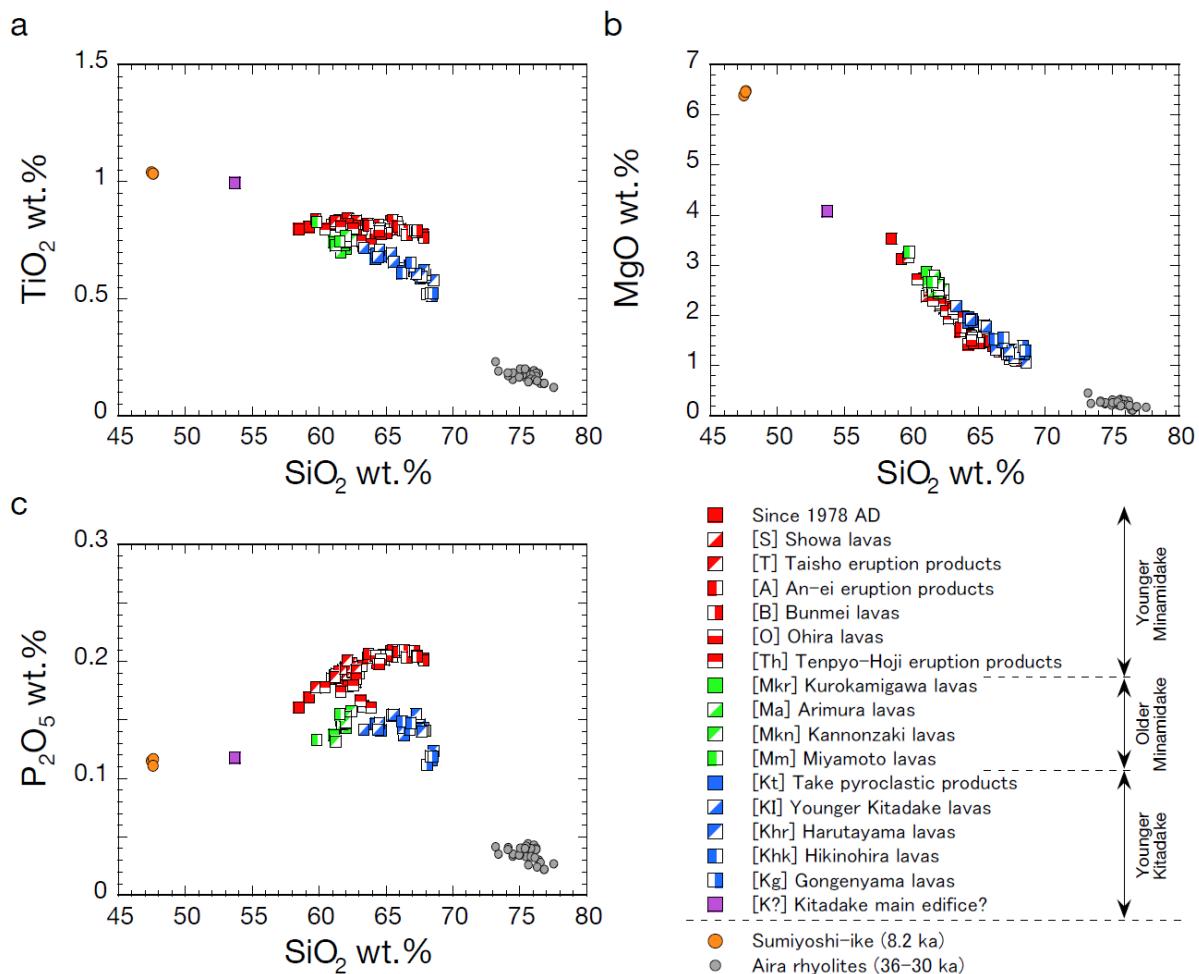


図 79 桜島火山の完新世噴出物の全岩主要元素組成。姶良カルデラ噴出物 (灰色軽石を除く流紋岩) のデータは文献¹³⁹⁾による。

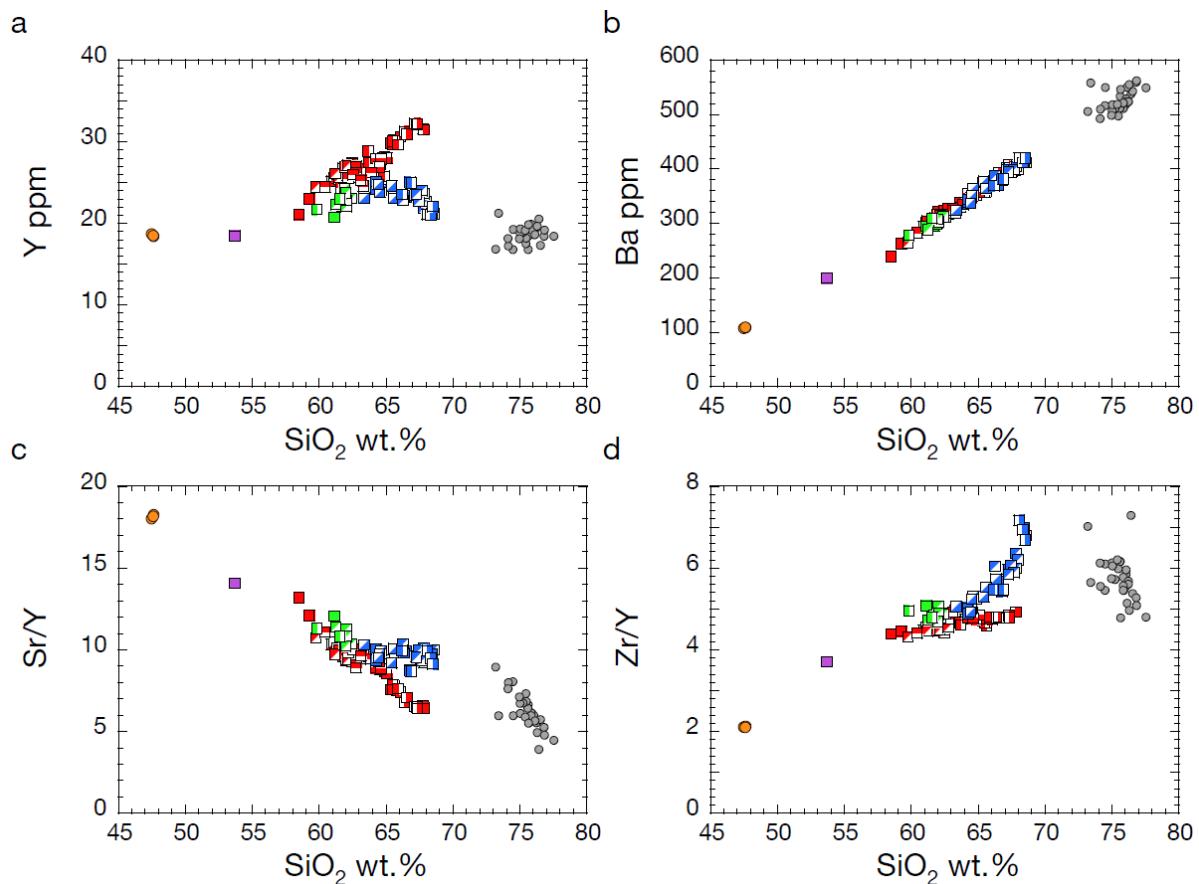


図 80 桜島火山の完新世噴出物の全岩微量元素組成。始良カルデラ噴出物（灰色軽石を除く流紋岩）のデータは文献¹³⁹⁾による。

放射性同位体比については、北岳の噴出物は南岳新期の噴出物よりも高い⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比をもつことが報告されていたが^{1), 6)}、本研究でも古期南岳および新期北岳の噴出物（=低 P₂O₅ グループ）は、新期南岳の噴出物（=高 P₂O₅ 量グループ）よりも高い⁸⁷Sr/⁸⁶Sr、²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 比、低い¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 比をもつことが示された（図 81）。ただし低 P₂O₅ グループ試料の中で最も SiO₂ 量が高い Kg の試料の鉛同位体比は、高 P₂O₅ グループの鉛同位体組成と重なる。先行研究^{131) 132)}により、南岳新期の噴出物の⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比が SiO₂ 量の増加とともに系統的に増加することが報告されていたが、本研究でも同じ結果が得られ、さらに¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 比や鉛同位体比についても SiO₂ 量に対する系統的变化が見られた。低 P₂O₅ グループの大部分の試料についても、Sr、Nd、Pb 同位体比は SiO₂ 量に対して系統的变化を示した。始良カルデラ噴火の流紋岩マグマの鉛同位体比は、高 P₂O₅ 量グループの試料の鉛同位体比と類似しているが、分析誤差を超えた有意な差がみられる（図 81(b)）。

次年度は引き続き、古期南岳や新期北岳の試料を対象とした鉱物化学組成分析や、完新世の代表的試料を対象とした U-Th 放射非平衡分析を行い、マグマ系が大きく異なることが示唆される高 P₂O₅ グループと低 P₂O₅ グループのそれぞれのマグマの成因および両者の関係、始良カルデラ噴火のマグマや、それらのソース物質である下部地殻との関係などについて、検討を行う予定である。

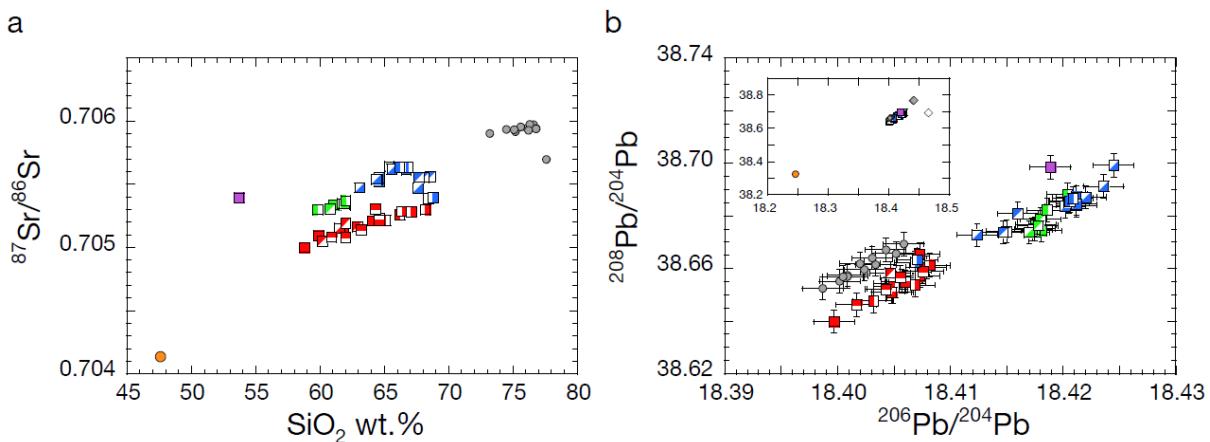


図 81 桜島火山の完新世噴出物の Sr および Pb 同位体組成。始良カルデラ噴出物（灰色軽石を除く流紋岩）のデータは文献¹³⁹⁾による。

b) ケイ酸塩メルトに溶解する水の化学種の計算方法

i) はじめに

北大のマグマ変遷解析センターに配備されている FT-IR（フーリエ変換型顕微赤外分光光度計）は、メルト包有物や石基ガラスの含水量の分析に利用され、マグマだまりの圧力や脱ガス過程などの研究に役立てられている。しかし、FT-IR は含水量を測定するだけでなく、水の溶存化学種に関する情報を得る上でも有用である。含水メルトには H_2O 分子と OH 基の両方が含まれていることが知られている。高温ではこれらの化学種が平衡状態となり、図 82 のように、横軸に全含水量、縦軸にそれぞれの化学種の濃度をとったグラフでは特徴的なループが描かれる。温度が低下するとループは小さくなつてゆくが、あまりに温度が低くなると反応が追い付かず、平衡状態が維持されなくなる。そのため、噴出物の水の溶存化学種を測定し、平衡状態のループと比較することで、噴火後の水和の程度を評価したり¹⁴⁰⁾、マグマの冷却履歴を推定したりする研究¹⁴¹⁾が行われてきた。水の溶解の熱力学については、Stolper によって整備された後¹⁴²⁾、いくつかの学派により発展され、現在では主に Zhang の業績によりほぼ完成された状態にある^{143) 144)}。しかし、ループの計算手順は必ずしも明示的に示されておらず、いきなり取り組もうとするとハードルは高い。そこで本年度はこの計算手順をまとめた。

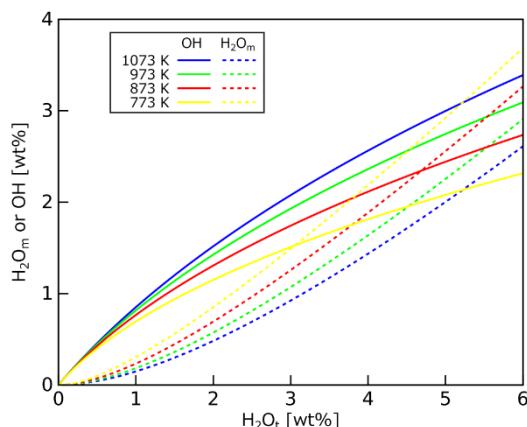


図 82 流紋岩質メルト（ガラス）に溶存する H_2O の化学種。横軸には全含水量 (H_2O 分子 + OH 基)、縦軸は H_2O 分子または OH 基の濃度がとつてある。本稿の手順で計算。

ii) 水の溶解の熱力学

ケイ酸塩メルトに水を溶解させると、水の一部はそのまま H_2O_m 分子 (H_2O_m と書く) として溶解し、残りはメルトの構造を形成している酸素 (O と書く) と反応して 2 つの OH 基 (OH と書く) を形成する：



この溶解反応で関与するのは、 H_2O_m 、OH、O だけである。そこで、以下ではメルトを H_2O_m 、OH、O だけの混合物と考える。すると、これらのモル分率 X の和は 1 であるので

$$X_{H20m} + X_{OH} + X_O = 1 \quad (2)$$

となる。また、メルトに溶解した水の全量を H_2O_t と呼ぶことにする。 H_2O_t の物質量は、 H_2O_m の物質量と OH の物質量の半分の和であるから、 H_2O_t のモル分率はこのようになる：

$$X_{H20t} = 0.5X_{OH} + X_{H20m} \quad (3)$$

メルトに溶解した H_2O_t が C_{H20t} [wt%] であるとき、そのモル分率 X_{H20t} は次のように表される：

$$X_{H20t} = (C_{H20t}/M_{H20}) / ((C_{H20t}/M_{H20}) + (100 - C_{H20t})/W) \quad (4)$$

ここで、 M_{H20} は水のモル質量 (18.02 g/mol)、W は酸素 1 mol あたりのメルト質量である。W はメルトの化学組成に依存し、メルトを構成する各酸化物の濃度 C_i [wt%]、モル質量 M_i [g/mol]、各酸化物の 1 つの化学式に含まれる酸素の個数 n_i^{oxygen} を用いて次のように計算される：

$$W = \sum C_i / (\sum (n_i^{\text{oxygen}} \times C_i / M_i)) \quad (5)$$

流紋岩質メルトの場合、W = 32 g/(1-mol oxygen) くらいになる。

反応(1)の平衡定数 K は

$$K = X_{OH}^2 / (X_{H20m} X_O) \quad (6)$$

と表される。 K は温度の関数であるため、温度が変化すると H_2O_m と OH バランスは変化する。ここでは、 K に関する信頼度の高いモデルの 1 つである Ihinger のモデル¹⁴⁵⁾を用いる。このモデルでは K は温度 T [K] の関数として次のように与えられている：

$$\ln K = A + B/T \quad (7)$$

ただし、A=1.89、B=-3120 である。

iii) 具体的な計算手順

温度 T において、ある化学組成のメルト (ガラス) に H_2O_t が濃度 C_{H20t} [wt%] で溶解しているとする。このとき、 C_{H20t} の内訳 (H_2O_m と OH の濃度) を計算する手順を示す。

手順 1：式(7)を用いて K を計算する。**手順 2**： C_{H20t} とメルトの化学組成 (水を含まない状態) を用い、式(4)と(5)から X_{H20t} を計算する。**手順 3**： X_{H20m} を $X_{H20m} = (-b - \sqrt{(b^2 - 4ac)}) / (2a)$ (ただし $a=4-K$ 、 $b=-8X_{H20t}-K+2KX_{H20t}$ 、 $c=4X_{H20t}^2$) として計算する。これは、式(2)、(3)を式(6)に代入することで得られる 2 次方程式の正の解である。**手順 4**：式(3)に X_{H20m} を代入し、 X_{OH} を計算する。**手順 5**： H_2O_m と OH の濃度をそ

それぞれ $C_{\text{H20m}} = X_{\text{H20m}}C_{\text{H20t}} / (X_{\text{H20m}} + 0.5X_{\text{OH}})$ 、 $C_{\text{OH}} = 0.5X_{\text{OH}}C_{\text{H20t}} / (X_{\text{H20m}} + 0.5X_{\text{OH}})$ として計算する。

T を一定に保ったまま C_{H20t} を変化させれば、図82を描くことができる。これを計算するMS Excelのシートもあるので、必要に応じてお問い合わせください。なお、本報告は、修士課程学生の長尾月野氏からの指摘により修正することができた。深く感謝いたします。

c) デジタルマイクロスコープの導入

噴出物の物質科学的解析を行う際に、構成物の観察は非常に重要である。特に、近年日本国内で発生している小規模噴火については、噴出物の構成物解析によって、マグマの関与を有無だけでなく火山爆発時の環境を推定することができ、噴火メカニズムの解明に繋がる。しかしながら、それら構成物は非常に細粒であり、解析に膨大な時間がかかる。そこで令和5年度は、マグマ変遷解析センターにキーエンス社製デジタルマイクロスコープ(VHX-8000)を導入した(図83)。この設備により、ミクロンオーダーの物質を高解像度画像で観察することができる。鮮明な画像で観察・解析することで個人差のない質の高いデータを迅速に取得することができる。今後は、本設備を用いて、火山噴出物の構成物解析を行い、過去の噴火活動の履歴・推移を明らかにし、高精度な噴火事象系統樹作成に取り組んでいく予定である。



図83 導入したデジタルマイクロスコープ(左)とマグマ水蒸気噴火堆積物の撮影画像の例(右)。スケールは0.2 mm。

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」を構築し、「日本の火山データベース」の一部として令和4年より公開している(図84)。大規模データベースには、摩周、屈斜路、支笏、洞爺、濁川、十和田、姶良、阿多、

池田及び鬼界カルデラの 10 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。令和 5 年度は、屈斜路及び鬼界カルデラのデータを新たに公開した。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 85・86）。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。また、データベースの次期更新に向けて、阿蘇、三瓶、大山、御嶽、クレーターレーク、サントリーニ等の火山について情報収集を行った。



図 84 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/>

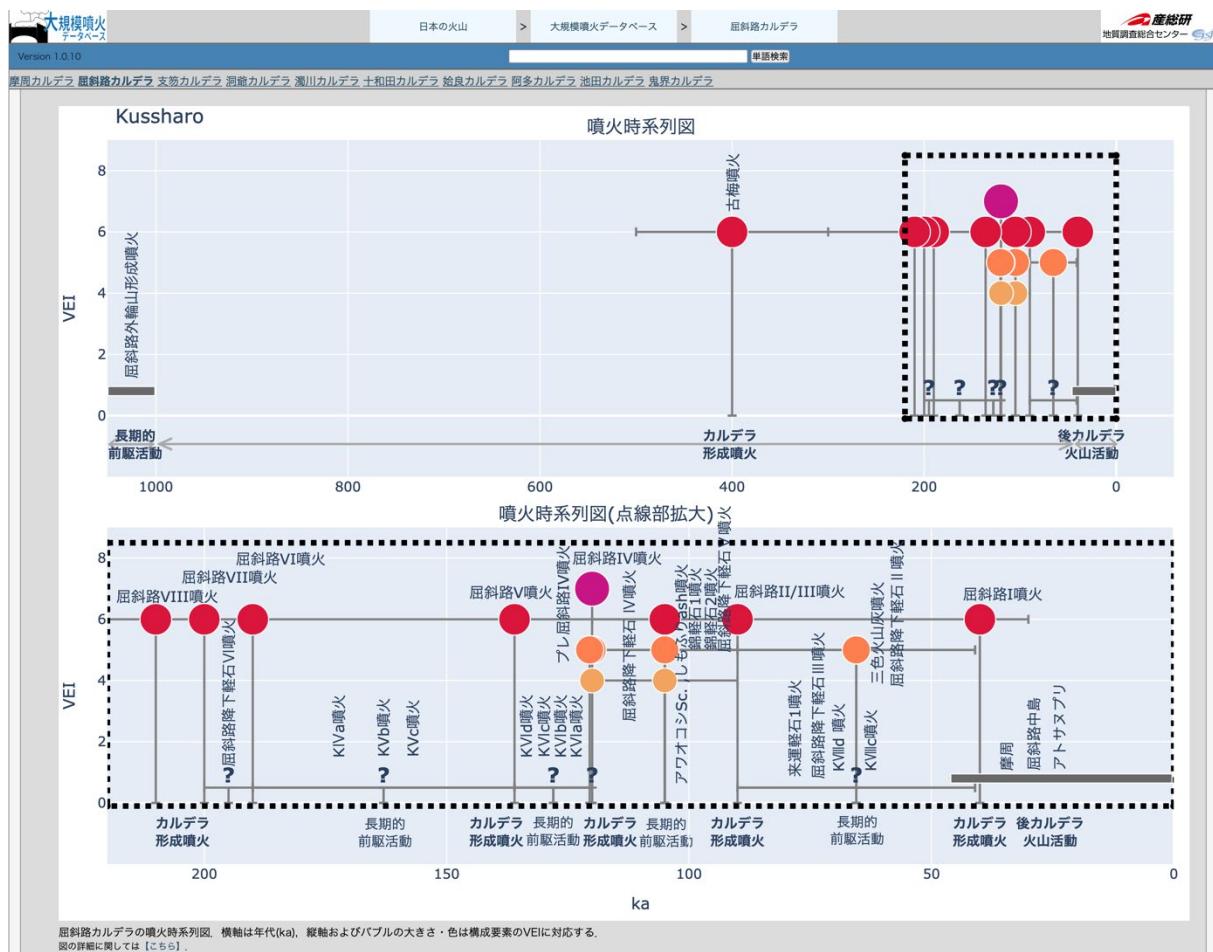


図 85 大規模噴火データベースのコンテンツ。

屈斜路火山における噴火時系列図などが掲載されている。



図 86 大規模噴火データベースのコンテンツ。

屈斜路 I 噴火の事例。統一基準・表現による層序概念図。

b) 噴火推移データベース

近現代に発生したおおむね VEI5 クラス以上の火碎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」を作成し、「日本の火山データベース」の一部として令和4年より公開を行っている（図87）。現在、福徳岡ノ場 2021年噴火、アグン 2017～2019年噴火、ケールト 2014年噴火、プロジェウエーコルドン・カウジエ 2011年噴火、グリムズヴォトン 2011年噴火、チャイテン 2008年噴火、ピナツボ 1991年噴火、エルチチヨン 1982年噴火、有珠山 1977～1978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 1955～1956年噴火、キサブ 1932年噴火、北海道駒ヶ岳 1929年噴火、桜島大正 1914年噴火、ノヴァラプラ・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、ヴェスピウス 79年噴火の21の噴火が掲載されている。また、次期公開にむけて、セントビンセント・スリエール 2020年噴火、クラカ

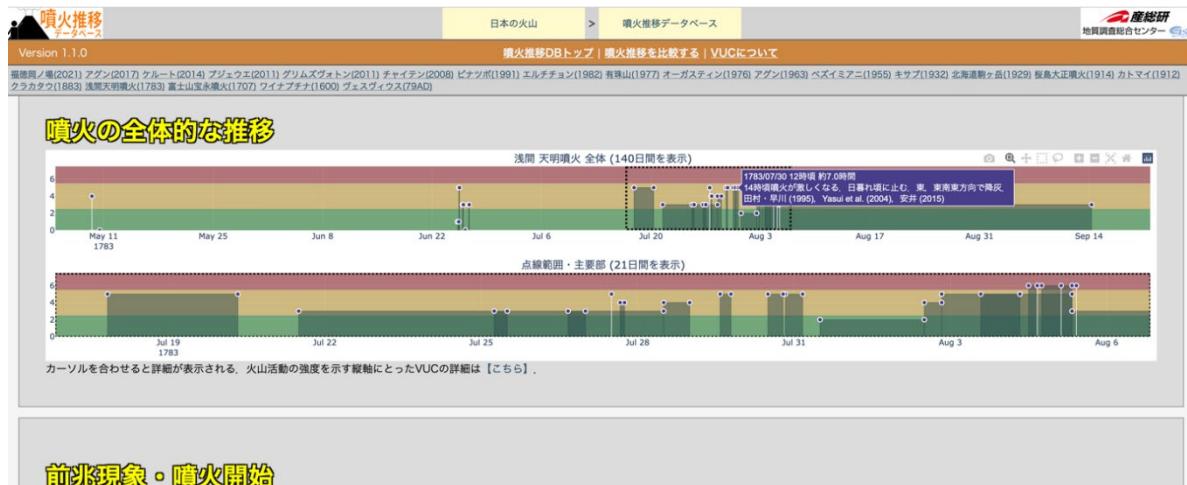
タウ 2018 年噴火、メラピ 2010 年噴火、ラバウル 1994 年噴火などの噴火推移情報を収集した。

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 88)。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 89)。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 90)。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(図 91)。



図 87 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 21 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/>



前兆現象・噴火開始

浅間前掛火山では、B 軽石を噴出した1128年噴火以降、1783年噴火までの間、山麓に顯著な堆積物を残す規模の噴火は記録されていない。しかし、信頼できる歴史記録が残る16世紀末以降では、1783年噴火までの間に数年～10数年おきに山頂火口からの小規模な噴火が記録されている。これらの噴火は、噴出物の特徴からブルカノ式噴火が卓越していたと考えられる。

噴火推移

1783年噴火は浅間前掛山頂火口から発生した。その噴火推移は歴史記録およびそれに対応した地質記録からまとめられている。Aramaki (1956, 1957)により噴火推移がまとめられたのも、田村・早川 (1995) やYasui and Koyaguchi (2004)などにより再解釈が行われた。このまとめは主にこの二つの文献による。それらによると、1783年5月9日 (田村・早川1995では8日) に小噴火が発生し、その後静穏状態を経て6月25日午前10時ごろやや規模の大きなブルカノ式噴火が発生した。その後小規模な噴火があるものの小康状態を経て、7月18日夜にサブブリニー式噴火が発生し、北～北西に軽石が降下した。21日ごろから断続的な噴火に推移し、27日には断続的なサブブリニー式噴火が発生し、北東方向に軽石が降下した。その後31日ごろまで断続的に小～中規模の噴火が発生した。8月2日午前まで比較的静穏な状況で推移したが、午後になって噴火が激化した。噴火規模が断続的に変化しながら、大量の降下軽石を東南東方向に降下させた。4日夕から5日未明にかけて噴火規模は極大となり、大量の降下軽石を東南東方向に降下させた。ブルニー式噴火に伴い、火口周辺には釜山火碎丘が成長し、その一部は北麓にむけて流下し鬼押出溶岩となつた。同時に北麓に吾妻川火碎流が数次にわたり流下した。5日朝には噴火は小康状態となった。5日午前、北麓の鬼押出溶岩の先端部から鎌原岩屑なだれが発生し、吾妻川から利根川沿いに泥流となって流下した。その後9月中旬ごろまで小規模な噴火が断続的に発生した。

図 88 噴火推移図上での噴火状況のデータの表示例。

1783年浅間天明火山噴火の表示例。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。

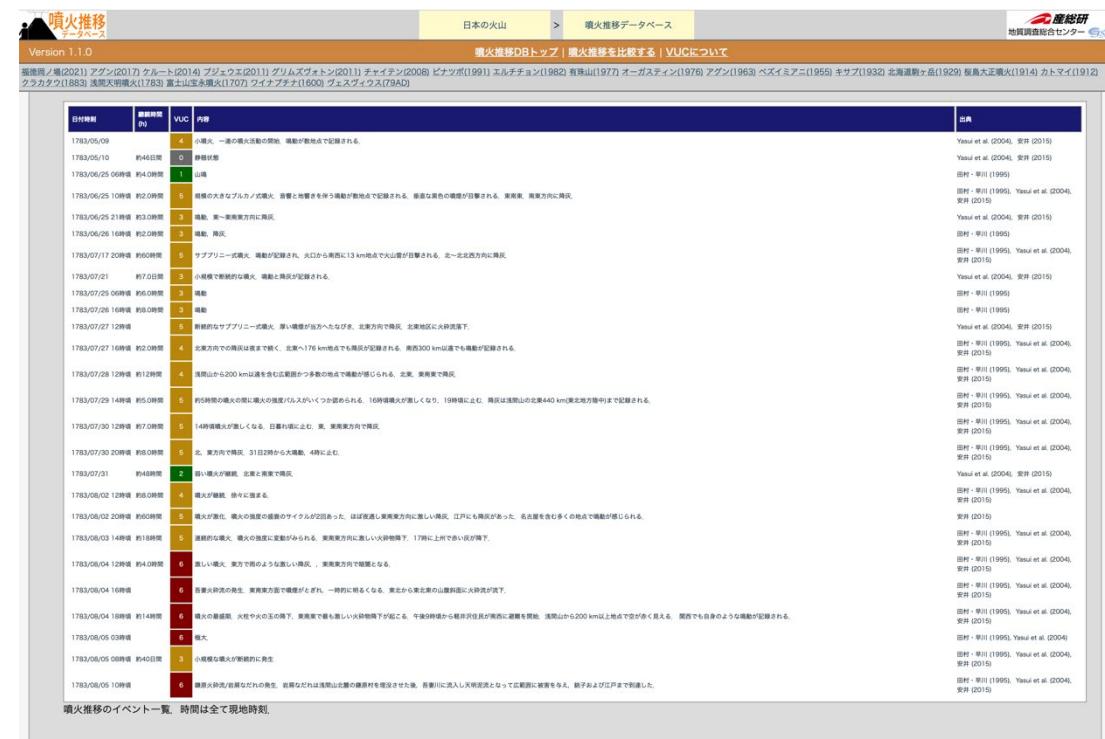


図 89 1783年浅間天明噴火の噴火推移のイベント一覧。

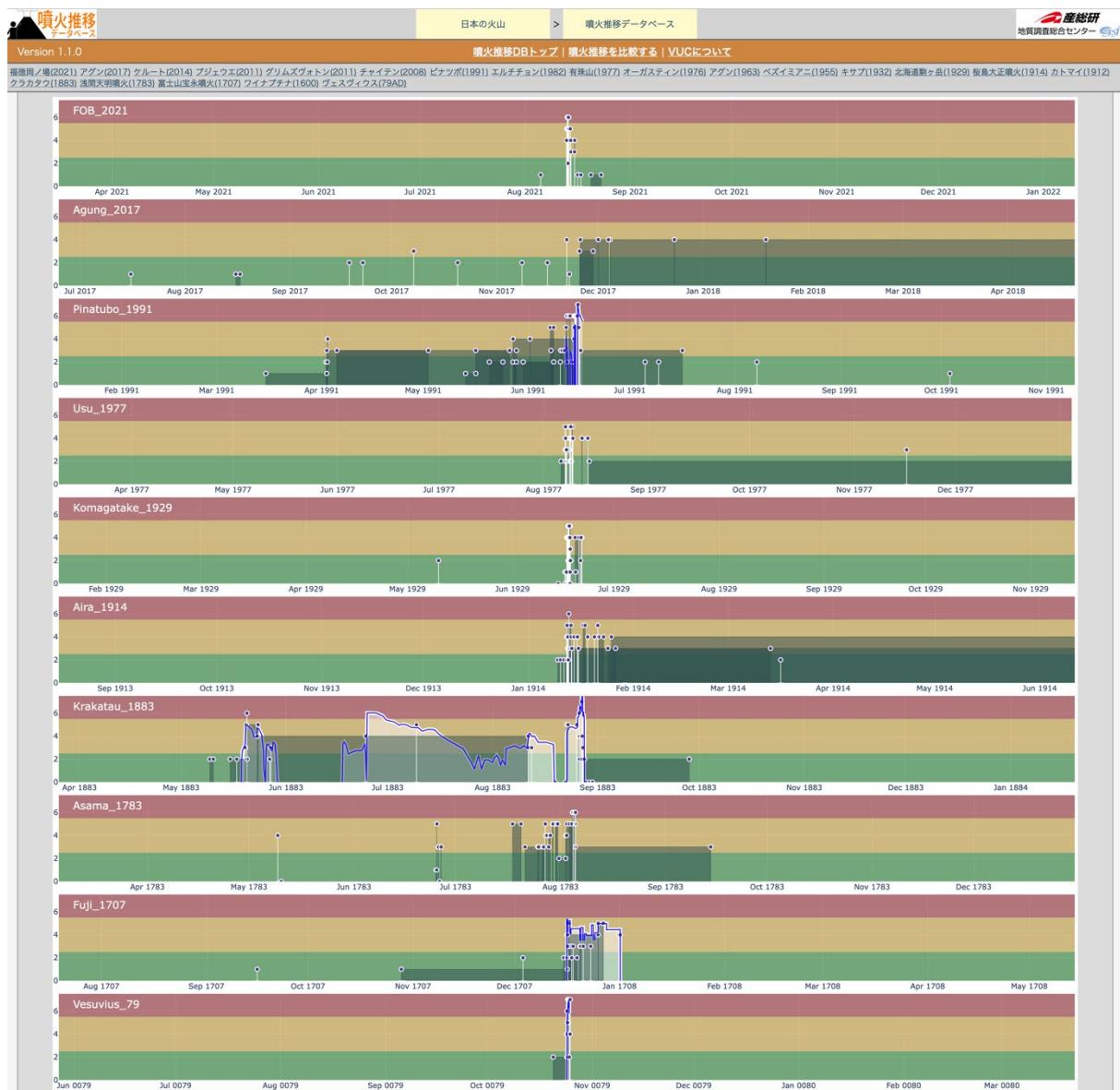


図 90 福徳岡ノ場 2021 年、アグン 2017~2019 年、ピナツボ 1991 年、有珠 1977~1978 年、北海道駒ヶ岳 1929 年、クラカタウ 1883 年、浅間天明 1783 年、富士宝永 1707 年、ヴェスビウス 79 年の 150 日間の噴火推移図比較。噴火毎に前駆活動、噴火開始後のパターン、継続期間などに特徴が見られる。

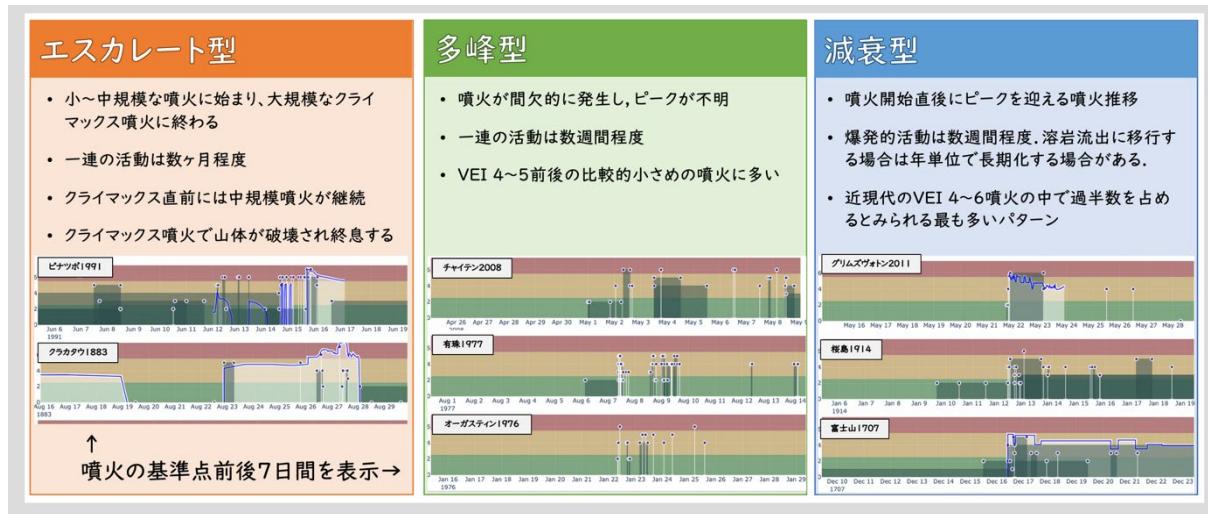


図 91 噴火推移傾向の類型化。

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、アトサヌプリ（屈斜路）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 5 年 12 月の火山 PJ 合同研究集会において、サブ課題 C2 の各機関の進捗状況を共有し、今後のとりまとめ・公表の方針について議論した。

b) 課題 C-2 の研究成果の発信に向けた取り組み

令和 5 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一積算噴出量階段図（以下、マグマ噴出量階段図）の作成について、令和 4 年度に作成した指針とデータベースフォーマットに基づき、各機関でマグマ噴出量階段図を作成し、防災科学技術研究所の研究資料に報告書としてとりまとめ、出版した（図 92）。作成手順については、学術誌において公表予定である。また、噴火事象系統樹の作成のためのワーキンググループを立ち上げ、令和 5 年 6 月に打ち合わせを行い、作成指針案を確認した。令和 5 年 7 月には試作を通して作成指針案の修正点等を議論した（各成果の詳細は、1) 火山の噴火履歴及びマグマ長期変遷に関する研究を参照）。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。

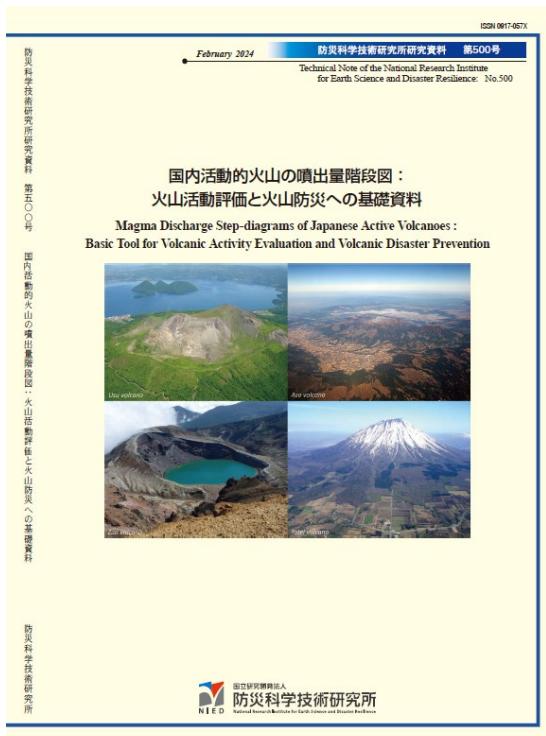


図 92 令和 5 年度に出版されたマグマ噴出量階段図の報告書。

https://nied-repo.bosai.go.jp/search?search_type=2&q=1708414238810

5) 課題 C 全体のとりまとめと総合推進

日本地球惑星科学連合 2023 年大会において、「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」のセッションを提案し、各課題のこれまでの成果や取り組みを紹介し、今後の事業展開について議論した（令和 5 年 5 月 23 日）。また、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、課題 C だけでなく、課題 B や気象研究所などの研究者も参画した火山 PJ 課題間連携研究キックオフ集会「火山学はどのように噴火予測・推移予測に貢献できるか：霧島火山を例として」を令和 5 年 4 月 6 日に開催した（表 5・図 93）。観測・研究の到達点と課題を共有し連携研究の進め方について議論し、連携研究準備ワーキンググループを発足させた。令和 5 年 5 月に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を作成する方針を確認し、令和 5 年 7 月 7 日にコアメンバーによるワークショップを開催した（表 6）。この取り組み・進捗状況については、令和 5 年 12 月の火山 PJ 合同研究集会において公表し、多くの研究者と議論した。

表5 霧島火山連携研究キックオフ集会のプログラム。

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「火山学は噴火予測・推移予測に貢献できるか：霧島火山を例として」キックオフ研究集会 日時：2023年4月6日（金）10:00～17:00 場所：東京大学地震研究所（zoomハイブリッド形式） 参加者：約50名			
時間	講演タイトル	所属	講演者氏名
10:00～10:05	本連携研究のねらい	北海道大学	中川 光弘
10:05～10:20	霧島火山、新燃岳を主とした完新世の噴火史概要とハザードマップ	日本工営株式会社	田島 靖久
10:20～10:35	霧島火山の噴火史研究の現状と問題点	産業技術総合研究所	及川 輝樹
10:35～10:50	霧島火山での地盤変動や電磁場観測の成果	九州大学	相澤 広記
10:50～11:05	霧島火山におけるGNSS連続観測	鹿児島大学	中尾 茂
11:05～11:20	衛星SARによる霧島新燃岳噴火に前駆する地殻変動	東京大学地震研究所	姫松 裕志
11:20～11:35	地殻変動・地震活動・地震波速度構造から見る霧島火山のマグマ供給系	東京大学地震研究所	青木 陽介
11:35～11:50	霧島火山群における火山ガスのヘリウム同位体比の時空間変動	東京大学理学部	角野 浩史
11:50～13:00	昼 食		
13:00～13:15	岩石学からみた新燃岳2011年噴火の準備過程	産業技術総合研究所	東宮 昭彦
13:15～13:30	ナノスケール火山岩岩石学からみた新燃岳2011年噴火の上昇過程	東北大学	無盡 真弓
13:30～13:45	霧島火山・新燃岳における2011年噴火と享保噴火の比較研究	早稲田大学	鈴木 由希
13:45～14:00	霧島火山群における硫黄山溶岩の噴出プロセス	東京大学地震研究所	前野 深
14:00～14:15	測地学的手法による霧島・硫黄山の浅部圧力源の推定	九州大学	松島 健
14:15～14:30	霧島硫黄山の2018年水蒸気噴火における表面現象とその後の推移	東京大学地震研究所	村松 弾
14:30～14:45	霧島・硫黄山西火口で確認された間欠的熱水噴出現象に対する多項目観測	九州大学	田辺 暖恵
14:45～15:00	休憩		
15:00～15:15	霧島火山新燃岳2018年噴出物からみた噴火のトリガー	東京大学地震研究所	川口 允孝
15:15～15:30	新燃岳2018年噴火の爆発メカニズム	産業技術総合研究所	松本 恵子
15:30～15:45	霧島山新燃岳における噴火様式即時把握の可能性と課題	防災科学技術研究所	小園 誠史
15:45～16:45	総合討論：霧島研究の課題と今後（連携研究をどのように進めるか）		



図 93 霧島火山連携研究 キックオフ集会の様子。

表 6 霧島火山連携研究 コアメンバーワークショップのプログラム。

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「火山学は噴火予測・推移予測に貢献できるか：霧島火山を例として」コアメンバーワークショップ 日時：2023年7月7日（金）12:45～17:00 場所：防災科研東京会議室			
マグマ供給系モデルについて			
12:45～13:05	霧島火山の3次元Vsv、Vsh構造とS波鉛直異方性	温泉地質学研究所	長岡 優
13:05～13:25	深部低周波地震の活動から解明するマグマ供給系プロセス	温泉地質学研究所	栗原 亮
13:25～13:50	主に地下構造に基づく霧島火山のマグマ供給系－他火山の知見も入れて－	九州大学	相澤 広記
13:50～14:15	霧島火山群歴史時代噴火の地質・物質科学的分析に基づくマグマ供給系	東京大学地震研究所	前野 深
14:15～14:30	簡略化したマグマ供給系モデルの霧島への拡張	東京大学地震研究所	安田 敦
14:30～15:00	討論		
15:00～15:10	休 息		
噴火シナリオ・状態遷移図について			
15:10～15:35	霧島火山における噴火推移の特徴－観測に基づく制約－	防災科学技術研究所	小園 誠史
15:35～16:00	霧島火山の噴火様式・推移の特徴－完新世の活動を中心に－	産業技術総合研究所	及川 輝樹
16:00～16:15	霧島山新燃岳の状態遷移図について	防災科学技術研究所	藤田 英輔
16:15～17:00	総合討論		

(c) 結論

本年度は、新型コロナ感染症5類移行に伴い制約がなくなったことで、調査・室内実験における共同研究や、研究集会や学会などの複数の機関による対面での議論など、より精力的に研究を遂行することができた。また、個々の機関の研究成果も纏まってきており、多くの火山において噴火履歴・様式の解明が進展した。そして、サブ課題の主要な目的の

ひとつである階段図の試作は、予定通り報告書として取り纏めることができた。もう一つの目的である、主要な火山における噴火事象系統樹の作成については、その作成指針の検討と試作が進みつつあることから、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、霧島火山連携研究において、複数回の打ち合わせやワークショップ開催を経て、非常に充実した内容となりつつある。次年度以降も更なる議論により連携研究を強化するだけではなく、人材育成コンソーシアム事業との連携をこれまで以上に進めることで、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) 勝井義雄:5万分の1地質図幅「屈斜路湖」および同説明書, 北海道開発庁, 42p., 1962.
- 2) 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, Vol. 10, 北海道防災会議, 105p., 1986.
- 3) 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3万5千~1万2千年前のテフラ層序と後屈斜路カルデラ火山の噴火史, 地質学雑誌, Vol. 115, pp. 369-390, 2009.
- 4) Goto, Y. and McPhie, J. : Tectonics, structure, and resurgence of the largest Quaternary caldera in Japan: Kutcharo, Hokkaido. The Geological Society of America Bulletin, 130, pp. 1307-1322, 2018.
- 5) 佐藤博之:東北海道斜里地域における洪積世後期の火山灰と段丘, 地調月報, 59, pp. 47-58, 1968.
- 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, 地学雑誌, 127, pp. 157-173, 2018.
- 7) 長谷川健, 中川光弘, 宮城磧治:北海道東部, アトサヌプリ火山における水蒸気噴火の発生履歴:炭素年代および気象庁ボーリングコアからの検討, 地質学雑誌, 123(5), pp. 269-281, 2017.
- 8) 和田恵治:雌阿寒岳, 日本地質誌「北海道地方」, 日本地質学会編, 朝倉書店, 東京, pp. 324-325, 2010.
- 9) 佐藤銳一, 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, 02-02, p. 26, 2020.
- 10) Sato, E., Wada, K., Minami, Y., Ishizuka, Y. and Nakagawa, M.: Reexamination of Eruptive Activity of Akanfujii in the Me-Akan Volcano, Eastern Hokkaido, Japan. Journal of Disaster Research, 17, pp. 745-753, 2022.
- 11) 南裕介, 中川光弘, 佐藤銳一, 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, 66, pp. 211-227, 2021.
- 12) 佐藤銳一, 和田恵治, 南裕介, 石塚吉浩, 中川光弘:北海道東部, 雌阿寒岳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, 500, pp. 11-16, 2024.

- 13) 小嶋久美子, 佐藤銳一, 和田恵治, 松本亜希子, 中川光弘: 雌阿寒岳, ポンマチネシリ 1000 年前噴火のマグマ供給系, 日本火山学会講演予稿集 2023 年度秋季大会, A3-11, p. 41, 2023.
- 14) 石塚吉浩: 北海道北部, 利尻火山の形成史, 火山, 44, pp. 23-40, 1999.
- 15) 佐藤雅彦, 近藤玲介, 百原新, 西内李桂, 紺野美樹, 五十嵐八枝子, 重野聖之, 長井雅史, 小杉和樹, 遠藤邦彦, 入野智久: 利尻島の湿原の生態系保全と自然史教育のための環境史・植生史に関する研究—ボーリング調査で探る南浜湿原の生い立ち—, プロ・ナトウーラ・ファンド助成第 21 期助成成果報告書, pp. 101-116, 2013.
- 16) 小林哲夫: 利尻火山の地質, 地質学雑誌, 93, pp. 749-760, 1987.
- 17) Miura, H. : A proposal for the source vent of the Rishiri-wankonosawa tephra (Rs-Wn), the late Pleistocene marker tephra in northern Hokkaido. Geol. Rep. Tokyo Metrop. Univ., 30, pp. 133-145, 1995.
- 18) Kondo, R., Tsukamoto, S., Tachibana, H., Miyairi, Y. and Yokoyama, Y. : Age of glacial and periglacial landforms in northern Hokkaido, Japan, using OSL dating of fine grain quartz, Quaternary Geochronology, 2, pp. 260-265, 2007.
- 19) Amma-Miyasaka, M., Miura, D., Nakagawa, M., Uesawa, S. and Furukawa, R. : Stratigraphy and chronology of silicic tephras in the Shikotsu-Toya Volcanic Field, Japan: Evidence of a Late Pleistocene ignimbrite flare-up in SW Hokkaido, Quaternary International, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.11.019>
- 20) 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, 56, pp. 51-63, 2011.
- 21) Uesawa, S., Nakagawa, M. and 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, 325, pp. 27-44, 2016.
- 22) 東宮昭彦, 宮城磯治: 洞爺噴火の年代値, 火山, 65, pp. 13-18, 2020.
- 23) 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業界岩相のジルコン U-Pb 年代, 日本地質学会 128 年学術大会講演要旨, 2021.
- 24) 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, 500, pp. 17-22, 2024.
- 25) 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.
- 26) 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.
<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/nakada/tokuteiB/sasaki.pdf>
- 27) 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.
- 28) 青森県史編さん自然部会: 青森県史自然編地学, 青森県, 625p., 2001.

- 29) 田次将太, 中川光弘, 和知剛: 東北日本, 秋田駒ヶ岳南部カルデラの形成史, 火山, 68, pp. 207-228, 2023.
- 30) 須藤茂, 石井武政: 霊石地方の地質, 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 142p., 1987.
- 31) 和知剛, 土井宣夫, 越谷信: 東北日本, 秋田駒ヶ岳南部カルデラの形成史, 火山, 42, pp. 17-34, 1997.
- 32) 藤繩明彦, 巖寄正幸, 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, 49, pp. 333-354, 2004.
- 33) 諏訪彰: 秋田駒ヶ岳の噴火活動史, 火山, 16, pp. 103-106, 1971.
- 34) 加納博: 秋田駒ヶ岳 1970 年の溶岩噴出について, 地質学雑誌, 77, pp. 47-51, 1971.
- 35) 大塚弥之助: 秋田駒ヶ岳火山爆裂調査記, 地震, 4, pp. 593-607, 1932.
- 36) Walker, G. P. L.: Explosive volcanic eruptions - a new classification scheme, Geol. Rundsch., 62, pp. 431-446, 1973.
- 37) 気象庁: 日本活火山総覧 (第4版), I. 北海道一東北編, pp. 406-420, 2013.
- 38) Ohba, T., Hayashi, S., Ban, M., Imura, T., Minami, Y., and Endo M.: Late Holocene tephrostratigraphy at Chokai volcano, northern Japan, and contribution to hazard assessment, Journal of Disaster Research, 17 (5), pp. 724-735, 2022.
- 39) 林信太郎: 鳥海火山の地質, 岩鉱, 79, pp. 249-265, 1984.
- 40) 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, 46, pp. 317-333, 2001.
- 41) 林信太郎, 毛利春治, 伴雅雄: 鳥海火山東部に分布する十和田 a 直下の灰色粘土質火山灰-貞觀十三年 (871 年) の火山灰?, 歴史地震, 16, pp. 99-106.
- 42) 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: 藏王山, 防災科学技術研究所研究資料, 500, pp. 37-43, 2024.
- 43) 伴雅雄: 藏王火山, 日本地質学会巡検案内書, 地質学雑誌, 119, 補遺, pp. 120-133, 2013.
- 44) Ban, M., Kawashima, K., Tsunematsu, K., Kataoka, K.S. and 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., 432, 107685, 2022.
- 45) 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, 111, pp. 91-111, 2004.
- 46) 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, J. Volcanol. Geotherm. Res., 416, 107274, 2021.
- 47) 長谷川健, 藤繩明彦, 伊藤太久: 磐梯・吾妻・安達太良: 活火山ランク B の三火山, 地質学雑誌, 117, pp. 33-48, 2011.

- 48) 山元孝広: 福島県, 吾妻火山の最近 7 千年間の噴火史, 地質学雑誌, 111, pp. 94-111, 2005.
- 49) 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)
- 50) Hasegawa, T. et al.: Paleomagnetism and paleomagnetic dating to large volcanic bombs: An example from the historical eruption of Azuma-Jododaira volcano, NE Japan, Earth, Planets and Space, 75, 172, 2023.
- 51) 長谷川健, 他: 福島県, 吾妻一浄土平火山の 1893 年明治噴火はマグマ放出を伴っていた, 火山, 68, pp. 189-196, 2023.
- 52) 伴雅雄, 高岡宣雄: 東北日本弧, 那須火山群の形成史, 岩鉱, 90, pp. 195-214, 1995.
- 53) 山元孝広: テフラ層序からみた那須茶臼岳火山の噴火史, 地質学雑誌, 103, pp. 676-691, 1997.
- 54) 長谷川健, 渡部将太, 北原遼太, 吉川洸希, 井上結莉乃: 那須火山群, 茶臼岳のマグマ噴出量階段図—長期から中期の活動評価—, 防災科研研究資料, 500, pp. 45-53, 2024.
- 55) 藤田和久: 那須火山最近 4 万年間の地形発達, 金沢大地理報, 4, pp. 111-123, 1988.
- 56) 奥野充: 降下テフラから見た水蒸気噴火の規模・頻度, 金沢大地理報, 7, pp. 1-23, 1995.
- 57) 山元孝広, 伴雅雄: 那須火山地質図, 火山地質図 9, 地質調査所, 8p., 1997.
- 58) 鈴木毅彦: 那須火山のテフロクロノロジー, 火山, 37, pp. 251-263, 1992.
- 59) 渡部将太, 長谷川健, 小畠直也, 豊田新, 今山武志: 福島県南部, 二岐山火山の噴火史とマグマ供給系, 地質学雑誌, 129, pp. 307-324, 2023.
- 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噴火履歴復元, 火山, 66, pp. 293-325, 2021.
- 61) Takahashi, M., Yasui, M., Kanamaru, T. and Nakagawa, M.: Eruptive Volume and Age of Large-Scale Pumice Eruptions of the Asama-Maekake Volcano, Central Japan, as Revealed by Detailed Trench Surveys: Implications for Future Volcanic Hazards, Journal of Disaster Research, 17(6), pp. 1080-1089, 2022.
- 62) 安井真也, 高橋正樹, 金丸龍夫: 浅間前掛火山の 1 万年間の高分解能噴火履歴復元に基づく階段図と噴火事象系統樹の作成, 日本地球惑星科学連合 2023 年大会要旨, 2023 年 5 月 23 日 (幕張メッセ) .
- 63) 安井真也: 詳細な階段図の事例紹介と階段図の限界, シンポジウム「火山噴火の中長期的予測に向けた研究の現状と今後の課題」 地震・火山噴火予知研究協議会 火山計画推進部会, 2023 年 12 月 23 日 (東京大学地震研究所) .
- 64) 安井真也, 大林博美, 萩野涼資, 日川紗香, 金丸龍夫, 佐藤幸信, 奥井眞人, 高橋正樹: 浅間黒斑火山および仙人火山の大規模かつ複雑な山体崩壊, 日本火山学会秋季大会要旨, 2023 年 10 月 20 日 (鹿児島市・オンライン) .
- 65) 高橋正樹, 安井真也: 浅間火山群の新しい見方 仙人・前掛火山系, 日本火山学会秋季大会要旨, 2023 年 10 月 20 日 (鹿児島市・オンライン) .

- 66) 村上翔大, 石崎泰男:長野県東部、志賀火山の形成史(2), 日本火山学会 2020 年度 秋季大会要旨集, P08.
- 67) 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.
- 68) 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.
- 69) 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, 65, pp. 21-40, 2020.
- 70) Arakawa, Y., Endo, D., Oshika, J., Shinmura, T. and 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*, 330-331, pp. 223-237, 2019.
- 71) 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.
- 72) Ikenaga, Y., Maeno, F. and Yasuda, A.: Temporal change in eruption style during the basaltic explosive An'ei eruption of the Izu-Oshima volcano, Japan: insights from stratigraphy and chemical composition analyses, *Frontiers in Earth Science*, Vol. 11, 172615, doi:10.3389/feart.2023.1172615, 2023.
- 73) 前野深, 池永有弥:伊豆大島のマグマ噴出量階段図, 防災科学技術研究所研究資料, 500, pp. 71-77, 2024.
- 74) Geshi, N., Shimano, T., Chiba, T. and Nakada, S.: Caldera collapse during the 2000 eruption of Miyakejima volcano, Japan, *Bull. Volcanol.*, 64, pp. 55-68, 2002.
- 75) 津久井雅志, 鈴木祐一:三宅島火山最近 7000 年間の噴火史, 火山, 43, pp. 149-166, 1998.
- 76) Geshi, N., Oikawa, T., Weller, DJ. and Conway, CE.: Evolution of the magma plumbing system of Miyakejima volcano with periodic recharge of basaltic magmas, *Earth, Planets and Space*, 74:20, 2022.
- 77) 川辺禎久, 津久井雅志, 新堀賢志:三宅島八丁平噴火の噴火年代, 日本火山学会講演予稿集, 2, p. 126. 2002.
- 78) Niihori, K., Tsukui, M. and Kawanabe, Y.: Evolution of magma and magma plumbing system of Miyakejima volcano in the last 10,000 years, *Bull. Volcanol. Soc. Jpn.*, 48, pp. 387-405, 2003.
- 79) Yokoyama T., Kobayashi K., Kuritani T. and Nakamura E.: Mantle metasomatism and rapid ascent of slab components beneath island arc, *J. Geophys. Res.*, 108, B7, 2003.
- 80) 櫻山雅則:白馬大池火山の地質, 地質学雑誌, Vol. 86, pp. 265-274, 1980.
- 81) 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.

- 82) 中野俊, 竹内誠, 吉川敏之, 長森英明, 莢谷愛彦, 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.
- 83) 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.
- 84) 竹内誠, 長森英明, 吉川竜太, 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.
- 85) 小疋尚, 杉原重夫, 清水文健, 宇都宮陽二朗, 岩田修二, 岡沢修一: 白馬岳の地形学的研究, 駿台史学, 35, pp. 1-86, 1974.
- 86) 町田洋, 新井房夫: 大山倉吉軽石層分布の広域性と第四紀編年上の意義, 地学雑誌, vol. 88, pp. 33-50, 1979.
- 87) 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.
- 88) 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.
- 89) 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.
- 90) 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.
- 91) 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.
- 92) 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, 44, pp. 1-10, 2018.
- 93) 小林哲夫: 由布・鶴見火山の地質と最新の噴火活動, 地質学論集, no. 24, pp. 93-107, 1984.
- 94) 大沢信二, 大上和敏, 由佐悠紀: 1995年伽藍岳塚原鉱山跡に出現した泥火山, 火山, 41, pp. 103-106, 1996.
- 95) 藤沢康弘, 奥野充, 中村俊夫, 小林哲夫: 九州北東部, 鶴見火山の最近3万年間の噴火活動, 地質学雑誌, 108, pp. 48-58, 2002.
- 96) 筒井正明, 奥野充, 藤沢康弘, 小林哲夫: 九州北東部, 伽藍岳における最近約2200年間の水蒸気噴火, 福岡大学理学集報, 49, pp. 89-97, 2019.
- 97) Putirka, K.: Amphibole thermometers and barometers for igneous systems and some implications for eruption mechanisms of felsic magma at arc volcanoes, American Mineralogist, 101, pp. 841-858, 2016.
- 98) Ridolfi, F. and Renzulli, A.: Calcic amphiboles in calc-alkaline and magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1,130°C and 2.2 GPa, Contrib. Mineral. Petrol., 163, pp. 877-895, doi:10.1007/s00410-011-0704-6, 2012.

- 99) Furukawa, Y. : Temperature- and fluid-controlled seismicity in the Beppu graben, Kyushu, Japan, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 181, pp. 61-66, 2009.
- 100) Oda, H. and Ushio, T. : Topography of the Moho and Conrad discontinuities in the Kyushu district, Southwest Japan. *Journal of Seismology*, 11, pp. 221-233, 2007.
- 101) 小野晃司 : 火山噴火の長期的予測, *火山*, 34, S201-214, 1990.
- 102) 小野晃司, 松本徳夫, 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.
- 103) 長岡信治, 奥野充 : 九州中部, 九重火山群の噴火史, 地形, 36, pp. 141-158, 2015.
- 104) 松本徳夫 : 九重火山群の火山地質学的研究, 山口大学理学部地質学鉱物科学教室, 91p., 1983.
- 105) 長岡信治, 奥野充 : 九重火山のテフラ層序, *月刊地球*, 36, pp. 281-296, 2014.
- 106) 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 : 九重火山飯田噴火による噴出物の層序および噴火経緯, *火山*, 68, pp. 129-160, 2023.
- 107) 辻智大, 岸本博志, 藤田浩司, 三浦大助, 池田倫治, 西坂直樹, 大西耕造 : 九重山 54ka 大規模噴火による噴出物の層序および噴火パラメータの推定, *日本火山学会講演予稿集*, p. 71, 2017.
- 108) 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.
- 109) 小野晃司:久住, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 106p, 1963.
- 110) 川辺禎久, 星住英夫, 伊藤順一, 山崎誠子 : 九重火山地質図, *火山地質図* no. 19, 産総研地質調査総合センター, 8p., 2015.
- 111) 太田岳洋 : 九重火山群, 東部及び中部域の形成史, 岩鉱, 86, pp. 243-263, 1991.
- 112) 山崎誠子, 星住英夫, 松本哲一 : 九重火山群西～中部の発達史, *火山*, 61, pp. 519-531, 2016.
- 113) 福岡仁至, 太田岳洋, 辻智大 : The growth History before and after the 54 ka Handa eruption at Kuju volcano, *日本惑星科学連合大会 2023 年大会予稿集*, SVC36-P11, 2023.
- 114) Kamata, H. and Kobayashi, T. : The eruption rate and history of Kuju volcano in Japan during the past 15,000 years, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 76, pp. 163-171, 1997.
- 115) 福岡仁至, 太田岳洋, 辻智大 : 九重火山 54 ka 噴火の前駆的な活動によるテフラの特徴(予報), *月刊地球*, 43, pp. 443-449, 2021.
- 116) 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 ク里斯, 伊藤順一 : 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－, *火山*, Vol. 69, 印刷中, 2024.
- 117) Miyabuchi, Y. and Hara, C. : Temporal variations in discharge rate and component characteristics of tephra-fall deposits during the 2014-2015

- eruption of Nakadake first crater, Aso Volcano, Japan, *Earth Planets Space*, Vol. 71, 44, 2019.
- 118) 宮縁育夫, 飯塚義之, 大倉敬宏: 阿蘇火山中岳第1火口における2021年10月14日噴火, *火山*, Vol. 67, pp. 441-452, 2022.
- 119) Miyabuchi, Y., Iizuka, Y., Hara, C., Yokoo, A. and Ohkura, T.: The September 14, 2015 phreatomagmatic eruption of Nakadake first crater, Aso Volcano, Japan: Eruption sequence inferred from ballistic, pyroclastic density current and fallout deposits, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 351, pp. 41-56, 2018.
- 120) Miyabuchi, Y.: A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan, *Sedimentary Geology*, Vol. 220, pp. 169-189, 2009.
- 121) 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.
- 122) 宮縁育夫, 渡辺一徳: 埋没黒ボク土層の14C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.
- 123) 井村隆介: 霧島火山の地質, 地震研究所彙報, Vol. 69, pp. 189-209, 1994.
- 124) 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.
- 125) 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.
- 126) Maeno, F., Shohata, S., Suzuki, Y., Hokanishi, N., Yasuda, A., Ikenaga, Y., Kaneko, T. and Nakada, S.: Eruption style transition during the 2017-2018 eruptive activity at the Shinmoedake volcano, Kirishima, Japan: surface phenomena and eruptive products, *Earth, Planets and Space*, Vol. 75, 76, doi:10.1186/s40623-023-01834-3, 2023.
- 127) 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.
- 128) Kawaguchi, M., Koga, K.T., Rose-Koga, E.F., Shimizu, K., Ushikubo, T. and Yoshiasa, A.: Sulfur isotope and trace element systematics in Arc magmas: seeing through the degassing via a melt inclusion study of Kyushu Island Volcanoes, Japan, *Journal of Petrology*, Vol. 63, pp. 1-31, 2022.
- 129) Maeno, F. and Taniguchi, H.: Spatiotemporal evolution of a marine caldera-forming eruption, generating a low-aspect ratio pyroclastic flow, 7.3 ka, Kikai caldera, Japan: Implication from near-vent eruptive deposits, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 167, pp. 212-238, 2007.
- 130) Maeno, F. and Taniguchi, H.: Sedimentation and welding processes of dilute pyroclastic density currents and fallout during a large-scale silicic eruption, Kikai caldera, Japan, *Sediment. Geol.*, Vol. 220, pp. 227-242, 2009.

- 131) 宇都浩三, 味喜大介, Hoang Nguyen, 周簾正史, 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.
- 132) 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.
- 133) 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, 1, pp. 19-42, 2013.
- 134) 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.
- 135) 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.
- 136) 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.
- 137) 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.
- 138) 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.
- 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) Yokoyama, T., Okumura, S. and Nakashima, S.: Hydration of rhyolitic glass during weathering as characterized by IR microspectroscopy, Geochim. Cosmochim. Acta, 72, pp. 117-125, 2008.
- 141) Xu, Z. and Zhang, Y.: Quench rates in air water, and liquid nitrogen, and influence of temperature in volcanic eruption columns, Earth. Planet. Sci. Lett., 200, pp. 315-330, 2002.
- 142) Stolper, E.: The speciation of water in silicate melts, Geochim. Cosmochim. Acta, 46, pp. 2609-2620, 1982.
- 143) Zhang, Y.: H₂O in rhyolitic glass and melts: Measurement, speciation solubility and diffusion, Rev. Geophys., 37, pp. 493-516, 1999.
- 144) Zhang, Y., Xu, Z., Zhu, M., and Wang, H.: Silicate melt properties and volcanic eruption, Rev. Geophys., 45, 2006RG000216, 2007.

145) Ihinger, P. D., Zhang, Y. and Stolper, E. M.: The speciation of dissolved water in rhyolitic melt, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63, pp. 3567-3578, 1999.

(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、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 令和 6 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 6 年度は前年度までに行った調査結果をもとに、最重点火山・重点火山を中心とした計 7 火山においてボーリング掘削およびトレーニング掘削調査を実施する。その他の火山についても引き続き噴火履歴調査を実施する。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 5 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。特に、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するために、アトサヌプリ溶岩ドーム周辺での調査を重点的に実施するとともに、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、既存のマグマ噴出量階段図を改訂する。また、その結果を基に、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。

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および手掘りトレンチ掘削調査を実施し、岩木山の噴火史を解明する。特に、土壤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) 鳥海山（秋田大学・山形大学）

東鳥海山の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を行い、噴火履歴を明らかにする。また、西鳥海山の完新世の噴火活動履歴を明らかにするために、野外調査を継続するとともに、物質科学的解析を進め、マグマ供給系の変遷を明らかにする。

5) 藏王山（山形大学）

藏王山の山麓に分布する比較的規模の大きいラハール堆積物の詳細を明らかにするために、追加の野外調査と重機トレンチ掘削調査を実施する。また、これまでの成果を基にマグマ噴出量階段図を改訂し、噴火事象系統樹の試作を継続する。

6) 吾妻山（山形大学・茨城大学・秋田大学）

西暦1331年以降の噴火活動履歴の詳細を明らかにするために、山頂火口付近での野外調査とトレンチ掘削調査を実施する。そして、その結果を基にマグマ噴出量階段図を試作する。

7) 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・仙人火山について、野外調査・トレンチ掘削調査を行い、大規模火碎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。

8) 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¹⁴C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。

9) 由布鶴見・伽藍岳（信州大学）

昨年度までの伽藍岳火山の成果をとりまとめ、公表準備を進めるとともに、マグマ噴出量階段図を試作する。また、調査範囲を鶴見岳に広げ、年代測定法も活用して噴火活動履歴の再検討を行う。

10) 九重山（山口大学）

5.4万年前飯田噴火とそれ以前の火碎流噴火について、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。野外調査だけでなく、トレンチ掘削調査も行うことで、より詳細に明らかにすることを目指す。

11) 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および重機トレント掘削調査を実施し、後カルデラ期の長期噴火活動史の解明を進める。また、中岳における最近の爆発的噴火についても現地調査を継続し、噴火様式や活動推移を検討する。また、火山灰噴出物については、近年の噴火活動直後に採取された噴出物を対象に、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の解明を目指す。

12) 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、硫黄山について、歴史時代の個々の噴火の推移や中長期履歴を明らかにするための噴出物調査を行う。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。また、ボーリング掘削を実施し、火山群全体の噴火履歴構築と、高千穂も含めた最近数百年間の歴史記録の再検討のためのデータを取得する。を行う。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。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。

13) その他の火山

上記の重点火山に加えて、利尻山・雌阿寒岳・大雪山・ニセコ・支笏火山（樽前山・風不死岳・恵庭岳含む）・有珠山・羊蹄山・岩手山・秋田焼山・栗駒山・那須岳・草津白根山（志賀火山含む）・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・御嶽山・横岳（八ヶ岳）・焼岳・桜島・鬼界についてもこれまでの調査結果を整理し、必要に応じて野外調査を実施することで、噴火履歴とマグマ変遷の解明を目指す。また、重点火山の見落としを避けるために、他の活火山についても噴火履歴やマグマ変遷に関して検討を行う。

(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・大学院生を隨時受け入れる。

(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、桜島・北海道駒ヶ岳・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。

(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ーニング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隨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

令和 6 年度中に、霧島火山を対象に新たな課題間連携研究テーマの連携研究集会を開催する。そこには人材育成コンソーシアム事業も参画し、大学院生の教育の場として提供する。

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 防災科学技術研究所 火山研究推進センター	共同実施機関	上席研究員 副センター長 主任研究員 契約研究員	藤田英輔 小園誠史 三輪学央 長井雅史
国立大学法人東北大学 大学院理学研究科	参加機関	教授 准教授	西村太志 奥村 聰
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	参加機関	准教授 准教授	鈴木雄治郎 前野 深
気象庁気象研究所火山研究部	協力機関	室長 主任研究官 研究官 室長 主任研究官 主任研究官	鬼澤真也 川口亮平 入山 宙 新堀敏基 佐藤英一 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・火碎流・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・火碎流・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 年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 28 年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

・噴火機構シミュレーション：

・マグマ移動過程シミュレーション：岩脈貫入に伴う応力場把握（マクロ）

・物性モデルの構築：結晶実験・レオロジー実験の環境整備

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル検討（首都圏影響対象）

・噴煙・火碎流シミュレーション：噴煙柱ダイナミクスモデル検討

・ハザード評価システム：噴煙評価システム検討（既往システム参照）

2) 平成 29 年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・噴火機構シミュレーション：

- ・マグマ移動過程シミュレーション：クラック進展シミュレーション（ミクロ）
- ・物性モデルの構築：実験の環境整備と、結晶化カイネティクスと火山性流体レオロジーのモデル検討

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル予備計算（プロトタイプ）
- ・噴煙・火碎流シミュレーション：噴煙柱ダイナミクスモデル高度化
- ・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術設計
- ・噴石シミュレーション：噴石評価システム検討
- ・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム設計

3) 平成 30 年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・噴火機構シミュレーション：

- ・マグマ移動過程シミュレーション：ミクロ・マクロモデルの統合
- ・物性モデルの構築：結晶化カイネティクスモデル検討・火山性流体レオロジーモデル検討

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル予備検証（プロトタイプ）
- ・噴煙・火碎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・火碎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・火碎流シミュレーション：既往火碎流モデル検討

- ・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・火碎流シミュレーション：噴煙・火碎流モデル高度化・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・火碎流シミュレーション：噴煙・火碎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・火碎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5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、地震・地殻変動観測から示唆される桜島のブルカノ式噴火における火口直下浅部でのマグマ蓄積・流動過程を、浅部マグマ溜りと火道からなるマグマ供給系の数値モデルに基づき再現する。そのモデル解析に基づき、地震・地殻変動をもたらす力源およびそのメカニズムを観測との比較によって実証的に明らかにする。また、前年度までに構築した桜島大正噴火におけるプリニー式噴火、溶岩流出噴火を再現する火道流モデルを高度化することで、マグマ物性や火道形状の効果に関する詳細な解析や、噴火様式間の遷移過程の再現に取り組む。

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る。岩脈貫入を想定した地殻変動の時間変化を求めるシミュレーションを実施し、その結果と実際の観測データとの比較を検討する。これらの内容について、2023年度日本火山学会秋季大会で発表を行う。

c) マグマ物性モデルの構築

マグマ上昇過程における結晶化モデル構築を進める。水熱合成減圧実験装置を用いた減圧結晶化実験を神津島 838 年噴火、桜島 1914 年噴火、新燃岳 2011 年噴火の噴出物を対象に実施する。実験結果として得られる結晶化速度と平衡結晶速度の関係に基づきモデルを構築する。

マグマレオロジーモデルについては、これまでの実験結果を整理し、噴火分岐と推移に関係する火道浅部での高粘性プラグ形成過程のモデル化を進める。

これら水熱合成減圧実験に基づく減圧結晶化モデル、およびマグマレオロジー実験に基づく高粘性プラグ形成モデルについて、それぞれ火道流モデルへの適用を検討し、噴火分岐に与える影響を調査する。東北大学及び静岡大学の協力を得てこれらを実施する。これらの内容について IUGG2023 で発表を行う。

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。

具体的には、大都市圏（特に首都圏）を対象とした降灰ハザード予測の評価のためのシステム開発を継続し、前年度に「b. 噴煙柱ダイナミクスモデル（SK-3D）」と精度比較をした1次元噴煙モデル（NIKS-1D）による初期条件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う。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、中～大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、いくつかの個別の噴火事例の再現シミュレーションを実施する。計算結果から得られる火山灰の大気中における存在領域や降灰分布の抽出方法と表現方法を検討する。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。これらの内容について、AGU Fall meeting 2023で発表する。

c) ハザード評価システムの検討

多様な火山ハザード現象を評価するシステムの設計を進め、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、火碎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。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行う。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。また、これらの成果について、IUGG2023で発表する。

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。

また、自発的な研究活動等について、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5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动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⁾ で計算した火山灰の放出分布を気象庁移流拡散モデル (JMA-ATM)²⁾ への入力値として、首都圏における降灰シミュレーションを行った。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への検討、火山ハザード評価システムの開発を進めた。

(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) 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、地震・地殻変動観測から示唆される桜島のブルカノ式噴火における火口直下浅部でのマグマ蓄積・流动過程について、ブルカノ式噴火前の火道内のマグマの状態を再現する一次元定常火道流数値モデル、及び浅部マグマの増圧による地殻変動を計算する数値モデルに基づく解析を実施し、地震・地殻変動をもたらす力源およびそのメカニズムを観測との比較によって実証的に明らかにした。また、前年度までに構築した桜島大正噴火におけるプリニー式噴火、溶岩流出噴火を再現する火道流モデルの高度化することで、マグマ物性や火道形状の効果に関する詳細な解析や、噴火の遷移過程の再現に取り組んだ。以下ではその業務の成果について詳細を説明する。

桜島で繰り返し発生するブルカノ式噴火前の準備過程においては、火口直下の浅部に固体のプラグが存在していることが地球物理学的・物質科学的観測によって示唆されている。そこで本研究では、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のメカニズムを調べた。モデルの構築において、粘性流体部は円筒火道内の気液固混相流としてモデル化し、平衡 H_2O ガス析出、平衡結晶化、および鉛直方向へのガス分離（脱ガス）過程を考慮した。マグマ物性を厳密に設定するために、桜島ブルカノ式噴火の火山灰試料の岩石学的分析データにより推定されたメルト組成や温度などを初期条件とする、rhyolite-MELTS に基づく等温減圧結晶化シミュレーションを実施した。その結果に基づき、火道内における結晶度、 H_2O 溶解度、メルト粘性を圧力の関数として定式化し、火道流モデルに組み込んだ。また、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た。固体プラグにつ

いては、定常状態における速度・状態依存摩擦則に基づく円筒プラグの摩擦運動を仮定した。粘性流体部から固体プラグへの遷移条件は、摩擦抵抗の連続性を満たすように設定した。

構築したモデルに基づき、本研究ではまず定常火道流におけるマグマ溜り圧力とマグマ流量の関係を調べた（図 1a）。次に、その関係が正の相関をもつ領域における安定な火道流の定常解を抽出した。また、安定な定常解のうち、マグマ溜り圧力がリソスタティックとなる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。その定常解には、固体プラグ直下に局所的な過剰圧が生じるという共通した特徴がみられた（図 1b）。この火道内の過剰圧は、マグマ発泡に伴いマグマ密度および圧力勾配絶対値が小さくなる効果によってもたらされる。このメカニズムを反映して、脱ガス浸透率が小さいほど脱ガスが抑制されて発泡が促進し、過剰圧が大きくなる傾向があることがわかった（図 1c、d）。本研究では、過剰圧が最大値に達する深さの脱ガス浸透率、火道半径、結晶のアスペクト比依存性を系統的に調べた。その結果、これらのパラメータの現実的な値の範囲のもとで、過剰圧が最大値をとる深さは 0.4 から 1 km 程度になることがわかった（図 2）。Nishimura et al. (2024) は、桜島のブルカノ式噴火に伴い発生する爆発地震の精密な震源決定を行った結果、3 つの噴火口の直下深さ 0.5 km の範囲に、噴火毎に空間的に分離した震源分布を明らかにした。このことは、火道内の過剰圧が最大値をとる領域の直上付近で爆発地震が発生していることを示唆する（図 3）。

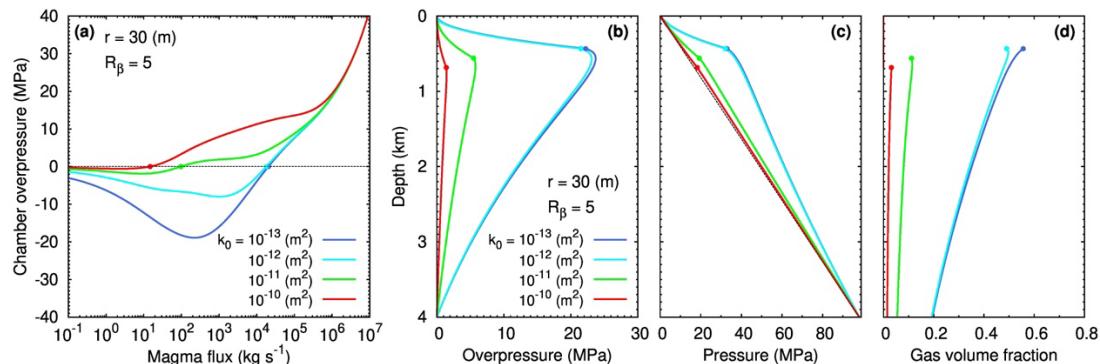


図 1 桜島ブルカノ式噴火前の準備過程を対象とした一次元定常火道流数値モデルの計算結果。(a) マグマ溜り過剰圧とマグマ流量の関係。噴火前の準備過程における火道流として選定された安定な火道流の定常解（安定解とよぶ）を丸点で示している。(b)、(c)、(d) は、(a)の安定解における火道内の過剰圧、圧力、発泡度分布を示す。r、R_b、k₀ はそれぞれ火道半径、結晶アスペクト比、脱ガス浸透係数を表す。

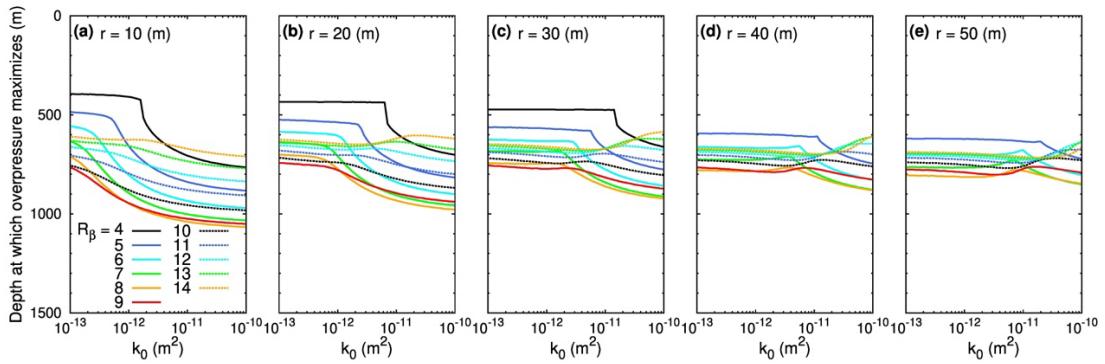


図2 一次元定常火道流数値モデルの安定解において火道内過剰圧が最大値に達する深さの r 、 R_b 、 k_0 依存性

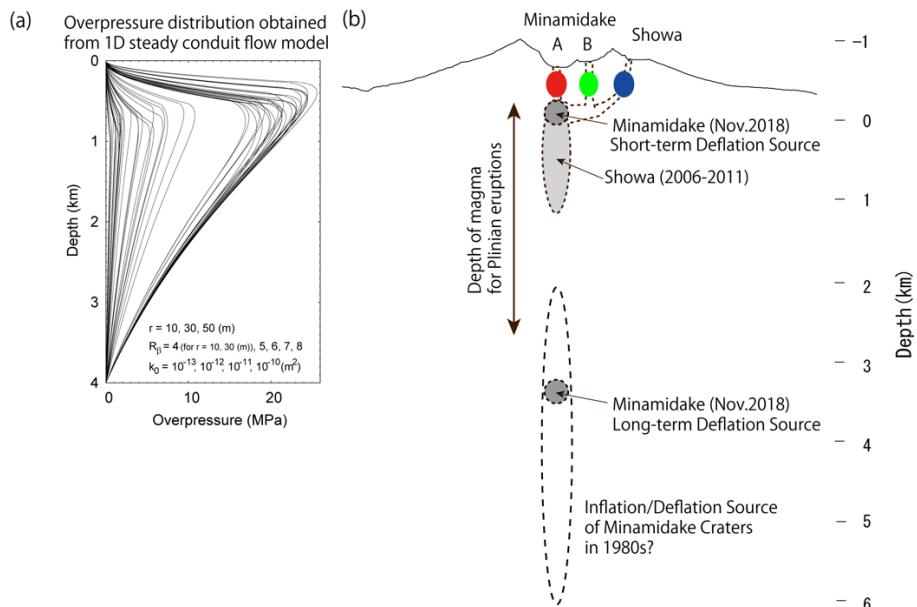


図3 (a) 一次元定常火道流数値モデルの安定解における火道内過剰圧分布。(b) 桜島における浅部マグマ供給系の概念図。先行研究で推定された地殻変動圧力源とともに、Nishimura et al. (2024)で推定された3つの異なる火口で発生した噴火に伴う爆発地震の震源域を赤、緑、青で色分けして示している。また、先行研究で推定された地殻変動圧力源を灰色で示している。

桜島ブルカノ式噴火を対象とした傾斜・歪データ解析の先行研究においては、球状圧力源・半無限弾性体を仮定した解析解に基づき、噴火に伴う短期的な地殻変動の圧力源深さを 0.5~1.5 km 程度と推定している (Iguchi et al., 2013; Hotta and Iguchi 2021)。これらの先行研究と本研究で求められた火道内過剰圧分布を精密に比較するために、桜島の山体地形を二次元軸対象で近似した有限要素法による地殻変動数値シミュレーションを実施した。山頂直下に、球状圧力源、または火道に相当する円筒形状の鉛直パイプの圧力源を設定し、山体表面における傾斜や歪を計算した。その結果、傾斜・歪観測点が設置されている火口から 2 km 以上の距離においては、数値解は半無限弾性体を仮定した解析解と大きな相違はないことがわかった (図4)。従って、先行研究で推定された圧力源深さは、山頂火口からの深さとしてそのまま換算さ

れることが確認された。以上の結果は、本研究で火道流数値モデルにより求められた火道内過剰圧の最大値深度が、先行研究における圧力源深さと整合的であることを示している（図3）。

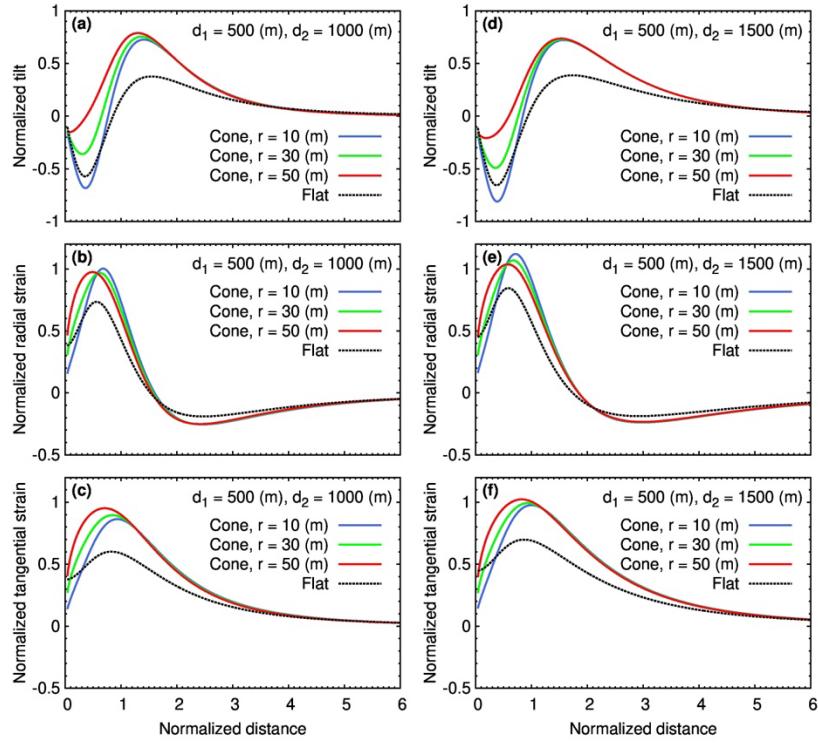


図4 桜島の山体地形を二次元軸対象で近似した有限要素法による地殻変動数値シミュレーション結果（実線）。山頂火口直下の円筒状閉鎖パイプを圧力源による地表での傾斜（a, d）、火口方向歪（b, e）、火口直行方向歪（c, f）を表す。点線で半無限均質弾性体の下での解析解（Bonacorso and Davis, 1999）を示している。d₁、d₂はパイプの上端と下端の深さ、rはパイプ半径を表す。

1914年桜島大正噴火を対象とした火道流数値モデル解析では、長時間継続して発生した大規模なプリニ一式噴火をもたらしたマグマ溜りと火道流の特性に制約を与えることを試みた。まず、プリニ一式噴火の強度を評価するために、一次元定常噴煙モデルを用いて噴煙高度の写真記録に基づく噴出率の推定を行った。次に、火道流の特性について制約を与えるために、桜島大正噴火における安山岩質マグマの物性やダイク状の扁平火道を考慮した1次元定常火道流数値モデルを用いた解析を実施した。その結果、噴煙モデルから推定された噴出率を再現するのに必要な火道断面積や扁平率を推定することに成功した。さらに、プリニ一式噴火中の噴出率の時間的減衰について調べるため、火道流の境界条件となるマグマ溜り圧力の時間変化を考慮した準定常火道流数値モデルを構築した。ここで、マグマ溜り圧力の変化はマグマ溜りへのマグマの流入率と流出率（噴出率）のバランスにより記述されると仮定し、噴煙および火道流の定常モデルから制約された噴出率と火道断面積・扁平率を初期条件として設定した。このモデルに対する多変量解析に基づき、噴出率減衰の時定数を再現するのに必

要な火道断面積とマグマ溜り体積の制約が可能となった。また、その時定数の再現には、噴火推移に伴う火道形状等の変化が必要であ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

地殻浅部にマグマが貫入する過程は、連続体力学で定式化しようとするとマグマと岩石の間で複雑な境界条件に対処する必要があり、上昇経路の選択などについてマグマ貫入過程を柔軟に追跡するのが難しい。多様な条件でマグマ貫入過程のシミュレーションをするには、定式化に幾何学的な制約の少ない粒子法が適している。その一つとして、計算に物性定数を直接用いる SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法を検討した。

マグマ貫入過程に SPH 法をどう適用するかについては計算方法が確立されていない。そのために物理的に妥当な方法を独自に考案する必要がある。特に、地球内部の状態を適切に表現する重力の扱い、マグマの粘性流動と岩石の弾性変形の共存、マグマ先端部で貫入速度を支配する岩石の破壊などについて、SPH 法に調和する計算方法を定める必要がある。

本年は、SPH 法を用いてマグマ貫入過程の計算プログラムを開発する準備として、計算の手順や計算に必要な機能を整理し、問題点への対応策を検討して計算プログラムを設計した。また、貫入に関する地球物理学的な素過程に対して妥当な定式化の方法を提示した。プログラムの設計や素過程の定式化は、物理的な扱いの優劣と SPH 法計算への適合性を評価して適切な方法を選択する設計とした。

まず、SPH 法を用いてマグマ貫入過程の計算プログラムを開発する準備として、定式化の各種問題点を拾いあげて対応策を検討した。

(1) 計算プログラムの設計

マグマ貫入過程のシミュレーションに必要な機能を集めてプログラムの構成案を作成し、実行の手順をまとめて計算の流れ図を作成した。プログラムはマグマ貫入過程に特有な機能を SPH 法の計算と分離した構成とした。

(2) 地球物理学的な素過程の定式化

マグマ貫入過程を構成する地球物理学的な素過程について、物理的な妥当性と SPH 法との調和を考慮して適切な計算方法を定式化した。計算方法の選択にあたっては、文献調査などを行って情報収集を進め、テストプログラムなどを作成して計算方法を検証した。

物質を微小な粒子に分割して運動を Lagrange 流に追跡する粒子法は、複合物質の流れなどを扱う上で連続体力学より柔軟性に富むと期待される。特に、物理過程を連続体力学と同じ物理法則に沿って定式化する SPH (smoothed particle hydrodynamics) 法は、計算に通常の物理定数を使うことができ、実現象との対応がつけやすい (Monaghan, 1988, 1992)。

SPH 法は宇宙で生ずる流れを解析する目的で開発されたが、その後多くの分野の様々な現象に活用されるようになった。流ればかりでなく破壊や熱伝導も解析の対象となっている。火山現象にも適用事例がある (Gray and Monaghan, 2004) が、マグマの貫入過程の解析には適用された実績はなく、解析方法には検討すべき課題が残されている。

プログラムを開発する準備として、マグマの貫入過程を SPH 法で解析する際に問題になりそうな課題を抽出し、関連する研究分野の動向も見ながら適切な対応策を検討した。作業はテストプログラムを作成して対応策の妥当性を確認しながら進めた。検討を進める過程でマグマ貫入現象を SPH 法で解析する上での問題点がいくつか浮かび上がった。特に、浮力を受けたマグマ粒子が岩石粒子の間をつけぬけばらばらに上昇する現象が見つかった。これは連続体力学では起こらない粒子法特有な問題である。この問題の解決策は粒子間の斥力を強めて粒子が過度に接近するのを阻むことであろう。個別要素法とは異なり、SPH 法では粒子間にはたらく力を直接設定できないので、弹性的な応力を導入してこの問題を解決する。粒子が接近するとその付近の圧力が高まるので、圧力勾配が粒子を離すように作用する。ただし、粒子は流れによって移動するため、弹性変形をなう変位は通常の弹性力学と同じ方法では定義できない。そこで、変位は着目する粒子と周辺の粒子の位置関係から独自な方法で導入した。この計算方法は、マグマ貫入過程に粒子法を適用する上での最大の問題点を解決するので、本作業で最も重要な成果である。

対象となるシステムが種類の異なる物質で構成されると、それぞれに対応して複数の粒子種が生まれ、運動を支配する法則やそれを担う変数が混在する。マグマの貫入過程については、岩石は変位を変数とする弹性変形をし、マグマは速度を変数とする粘性流動をする。ところが、この両者をそのまま取り入れると固体粒子の変形と流体粒子の流動は別な方法で計算することになり、2 つの方法の整合性が問題になる。また、境界付近の粒子にはたらく力の計算が難しくなる。

マグマの貫入過程では粘性流動によるマグマの上昇がシミュレーションの主要なテーマになるので、計算に粘性流動と弹性変形が混在するのを避けて、ここではシステム全体で粘性流動を計算の基礎にする。岩石は大きな粘性率をもつ流体であるとみなして運動を計算する。ただし、マグマの先端付近では岩石の破壊の可能性を評価するために応力の見積もりが必要になり、何らかの形で弹性変形の考慮が求められる。マグマ粒子が岩石粒子の間をつき抜けて上昇する現象も粒子間にはたらく弹性的な力で防げると期待される。その場合に弹性的な変形は粘性的な運動と調和させる必要がある。システム全体の境界は力を作用させる方法、粒子を反射させる方法、固定粒子をおく方法などで対処してきた (Monaghan, 1988)。ここでは側面と下面には壁となる固定粒子を 2 層程度の厚さにおいて対処する。上面は自由境界とするが、弹性応力の計算には表層の影響が入らないように工夫する。

マグマの温度は岩石内の熱伝導による熱輸送で降下する。温度はマグマと岩石が共通にもつ変数であり、温度変化の計算に使われる熱拡散率も違いが小さいので、熱伝導の計算は SPH 法でも容易に扱える。陽解法による熱伝導方程式の数値計算は時間刻

みを制約するが、その上限は十分に長く、粒子の運動を計算する上では障害にならない。各時間ステップで、熱伝導の計算は粘性流動で粒子の位置を定めた後で実行し、マグマの状態を決めるために活用する。

マグマの流動は地殻内部の高温状態では線形の構成方程式を満たす粘性流体 (Newton 流体) の流れで近似でき、粘性率が高いために渦の発生も無視できる。粘性流動は SPH 法が対処しうる基本的な問題 (Monaghan, 1988, 1992) であり、マグマの粘性流動の計算には問題が少ない。地殻内部はほぼ岩石の密度に支配される静水圧状態 (lithostatic state) にあり、その大きな静水圧はマグマや岩石の物性を支配する。しかし、運動方程式では重力の効果は岩石とマグマの密度差による浮力としてはたらくので、粒子の運動は標準的な密度の効果を差し引いて計算すればよい。応力の計算もこの静水圧の寄与を除いて実行する。マグマには水などの気体成分が溶解している。マグマが地殻浅部に達すると気体成分は発泡して気泡となり、マグマ全体の密度を下げる。さらに浅部まで上昇すると気泡の体積は著しく増大し、マグマは破碎されて気体状態の噴霧流をつくる。この現象はマグマ貫入過程を研究する上で重要なテーマになるが、密度や粘性率の温度圧力依存性に集約されるので、計算方法を開発する上ではマグマ粒子の性質に組み込むことができる。

岩石の弾性変形は構成方程式に Hooke の法則を用いることで SPH 法でも運動方程式で対処できる (Cray and Monaghan, 2004)。しかし、マグマの粘性流動と並立させる必要性から、ここでは岩石は高粘性率をもつ流体とみなす。その場合でも、マグマ先端部での岩石の破壊やマグマ粒子と岩石粒子の間にはたらく力を評価するために、弾性変形の考慮は必要になる。弾性変形を計算するには粒子に変位をもたせる必要がある。弾性体の力学にならえば変位は平衡状態からの位置のずれと定義されるが、マグマと岩石のシステムでは平衡位置は流れによって乱されて変位の基準にならない。そこで、変位は粘性流動とともに変化する粒子の配列を基準にして各時刻で独立に決めるにすることにする。ある粒子に着目したときに、周辺の適当な範囲内で粒子の配列を考慮して、分布の平均的な位置と着目する粒子の位置との関係から変位を定義するのである。変位が定義されれば、弾性体の構成方程式から応力が計算できる。弾性変形のこの取り扱いによってマグマの上端や下端付近に発生する応力集中が表現でき、圧力勾配に対応した粒子間の斥力も得られる。

マグマの貫入過程では、先端部で岩石がマグマの上昇を妨げるため、それを破壊によって除去する必要がある。このときに起こる破壊は、詳細には立ち入らず、簡略に対処することにする。固体粒子が受ける応力から差応力の最大値を求め、それが臨界値 (強度) を超えたときに固体粒子は破壊されて被破壊粒子に転移すると考える。ただし、被破壊粒子は岩石より容易に流動できるものとする。

マグマの貫入過程を記述するためにマグマを表すマグマ粒子、岩石を表す岩石粒子、岩石が破壊されて転移する被破壊粒子を導入する。これらの粒子は粘性率の異なる粘性流体として運動を記述する。さらに壁を築いてシステムの枠組みをつくる固定粒子

を加えて、システムは全体で4種類の粒子で構成される。粒子は相互に変換して種類を変えうる。岩石粒子は高い応力を受けると破壊されて被破壊粒子になり、マグマが移動する通路をあける。マグマ粒子は岩石の溶融物質であり、温度と融点の関係で岩石粒子との間で転移を起こす。数値計算の時間刻みは運動方程式にCFL条件が課されると極めて短くなるので、振動や弾性波の発生を抑えるような計算方法をとる。岩石粒子は高粘性の流体粒子として扱い、弹性的な応力は粒子の配列から計算する。温度は熱伝導の方程式に支配され、その収束条件も時間刻みを制約する。計算の時間刻みは実際には運動の追跡に必要な精度と熱伝導方程式の収束条件から決まる。岩石やマグマの熱拡散率は $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 程度の大きさなので、熱伝導方程式から制約される時間刻みは10日程度より小さければよい。マグマ粒子には一定の粘性率をもつNewton流体を仮定する。被破壊粒子は流体として扱い、その粘性率は貫入速度に關係する物理量とみなす。固体の破壊には腐食破壊と脆性破壊があるが、その違いは発生条件と拡大速度にあり、応力条件と粘性率の違いによって表現する。

数値計算の時間刻みが振動や波動に拘束されるのを防ぐために、弾性変形は運動方程式からではなく弾性平衡の条件から求める。一方で、弾性変形による変位は流れによる位置の変化と整合的でなければならない。そこで、弾性変形が粒子分布の歪を表現するように、変位は粒子の位置の分布から計算する。また、マグマを粘性流体だと仮定すれば、Newtonの構成方程式から応力を速度勾配の線形結合の形で書くことができる。温度 T は次の熱伝導の方程式に支配されて変化するものとする。

マグマの貫入過程をSPH法で計算するときの計算の流れ図を図5にまとめる。この流れ図に沿って計算の進め方を以下に述べる。

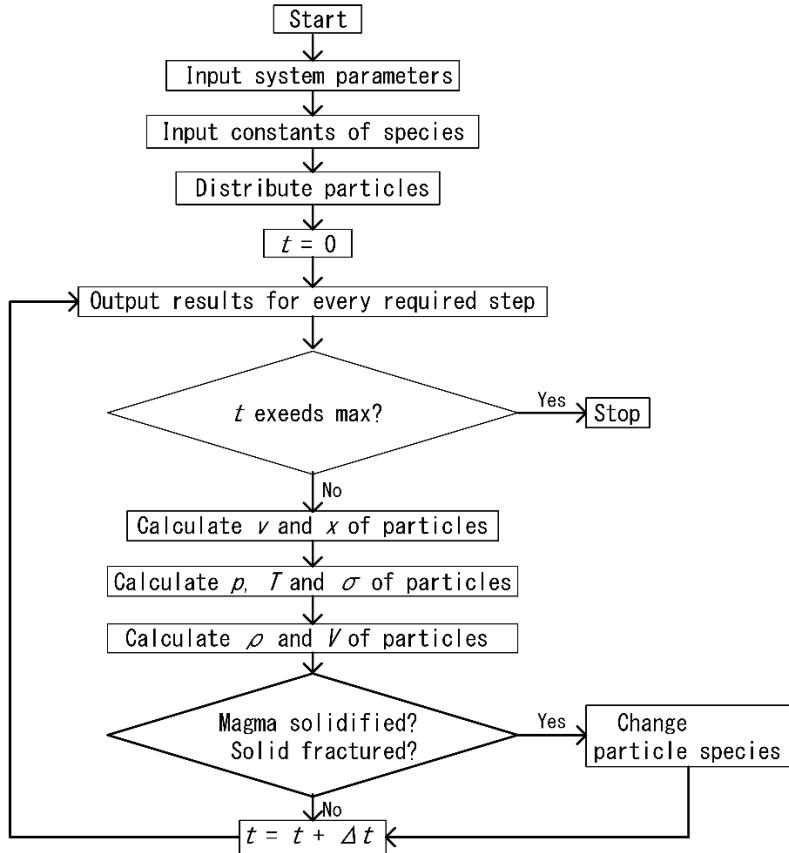


図 5 SPH 法によってマグマ貫入過程を計算する流れ図

準備としてまず計算環境を設定する。この計算では、マグマや岩石を表す粒子を直方体（2 次元の場合は長方形）の容器に入れて運動や状態変化を計算する。そのために容器や粒子の大きさを入力ファイルから読み込む。同時に計算の次元、kernel 関数の定数 h （粒子の相互作用が及ぶ範囲）を設定する。座標軸は原点を容器上面の中心、 x 、 y 、 z 軸を直方体の面に垂直、 y 軸を鉛直上向きになるように選び、入力に対応して座標の範囲が確定される。また、初期配列として粒子は等間隔におかれて番号がつけられ、3 方向の粒子数と粒子の総数が数えられる。次に、入力ファイルから粒子の種類と各々の基本的な定数が設定される。標準では粒子は 4 種類で、粒子種 0 が容器の壁となる固定粒子、1 が内部で大勢をしめる岩石粒子、2 がマグマ粒子、3 が被破壊粒子に割り当てられる。入力される定数は、粒子種の区分（0 が固定粒子、1 が弾性粒子、2 が流体粒子）、弾性や流れの定数、初期温度である。さらに壁の厚さとマグマ粒子の分布範囲が設定される。この情報によって粒子の初期配列と初期状態が決められる。続いて計算に用いられる時間 t の上限、時間刻み Δt 、結果の出力頻度を読み込む。 t を 0 から Δt ずつ増やしてステップを重ねながら粒子の位置や状態を計算する。この入力を終えると、ステップの反復に入る。

各ステップの冒頭では、 $t = 0$ では初期状態を出力し、ステップが所定の数だけ増えたときには計算結果を出力する。その後で t が上限に達したかどうかが判定され、上限に達したときは計算を終了し、まだのときは粒子の位置や状態の変化を計算する。

粒子の位置や状態の計算では、まず粒子の速度が計算され、新しい粒子の配列が定まる。次に粒子の状態の計算に移り、圧力が粒子の位置から、温度は熱伝導による変化が計算される。さらに粒子種に応じた状態方程式によって粒子の密度と体積が、また kernel 関数を用いて応力が計算される。この計算に対応して、岩石粒子については応力が臨界値を超えたときは粒子種を被破壊粒子に変更する。また、温度が融点より下がったマグマ粒子は粒子種を岩石粒子に変更する。最後に、時間 t を Δt だけ増やしてステップの冒頭にもどる。

テストプログラムで得られた注目すべき計算結果を以下に取り上げる。流体粒子の体積弾性率 K を 0 にして、弾性変形が運動に寄与しないようにする。また、固体粒子の破壊強度を固体の体積弾性率 K_e と同じにして ($f_s = 1$)、岩石の破壊を起こりにくくする。

計算結果は z 軸に垂直な断面に投影する。投影される粒子の範囲は指定した z の位置付近に分布するほぼ 1 層である。図 6 は時間 t が 0.4 s 経過したときの状態を z 方向の中心 $z = 0$ の断面でみる。左は粒子の位置と速度の分布で、粒子は円の中心にある。粒子の種類は円の色で区別し、灰色が壁をつくる固定粒子、緑が岩石粒子、赤がマグマ粒子である。 $t = 0$ ではすべての粒子が等間隔に配置されるが、この時間までにマグマ粒子は浮力を受けて少し上に移動している。粒子の速度は円の中心から引いた線分で示す。マグマ粒子には浮力に対応する上向きの速度成分がみられるが、岩石粒子の速度はずっと小さいので図では見分けられない。長さと速度のスケールは図上部の 2 行目に例示する。

図の右には粒子の各位置で応力を表示する。応力は 3 つの主成分に分解して各成分の大きさと方向で表現し、赤は張力、青は圧縮力である。マグマ粒子の上昇のために、その上端と下端の付近では粒子の間隔が顕著に変化して応力が集中している。応力の分布は粒子間隔の変化を抑えるセンスにある。変位と応力の計算方法はこの計算結果から物理的に妥当なものと判断できる。図 7 は同じ時刻の $z = 3$ の断面である。この断面は岩石粒子で占められるが、隣 ($z = 2$ の断面) の層には中心部にマグマ粒子がある。そのために、中心付近の岩石粒子にはマグマ粒子の運動に引きずられて上向きの速度成分が生じている。応力の分布は $z = 0$ の断面と似ているが、大きさは小さい。図 8 は時間を 1.2 s まで進めた粒子の状態である。マグマ粒子は岩石粒子にほとんど束縛されずに上昇を続けて岩石粒子の間に入りこんでいる。このような物質の重なりは連続体の力学からは想像できない現象であり、マグマの貫入過程に粒子法を適用する上で大きな障害になる。重なりを抑え込むのは粒子間にはたらく弾性的な反発力だが、ここでは $K = 0$ の仮定によってその効果ははたらかないように設定している。

2: $t = 0.4000$ s; 3D: $zc = 0.0000$
 — $1.00e+000$ m — $1.54e+000$ m/s
 — $5.90e+007$ Pa — $-5.90e+007$ Pa

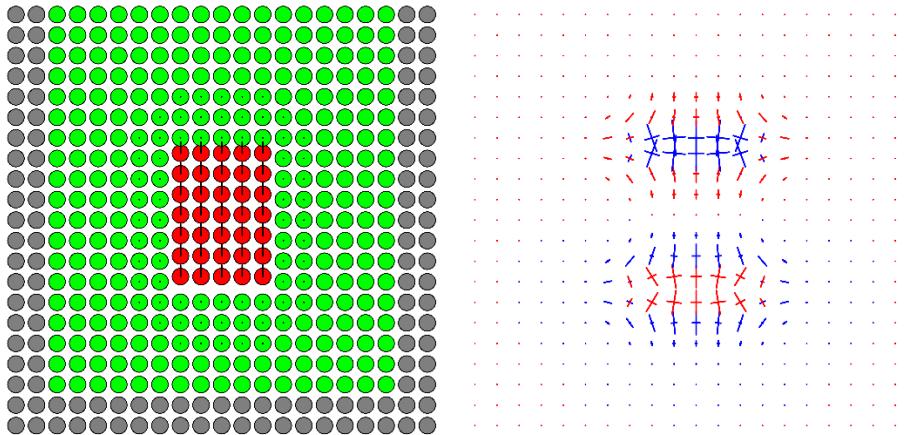


図 6 粒子の位置と速度（左）、応力（右）の分布。時間 t が 0.4 s のときの $z = 0$ における断面図。流体の圧力勾配を決める体積弾性率は 0 に、岩石の破壊強度を決める係数 f_s は 1 にしてある。浮力によってマグマ粒子が上昇し、その上端と下端付近に応力が集中している。

2: $t = 0.4000$ s; 3D: $zc = 3.0000$
 — $1.00e+000$ m — $2.77e-002$ m/s
 — $1.52e+007$ Pa — $-1.52e+007$ Pa

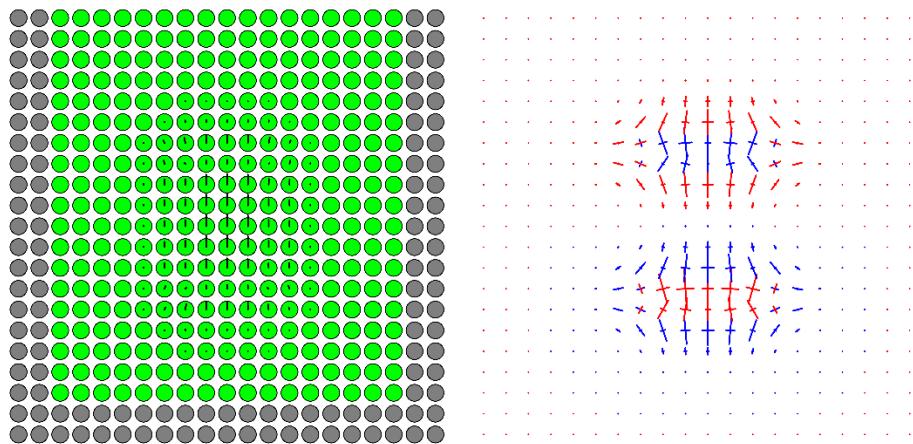


図 7 粒子の位置と速度（左）、応力（右）の分布。時間 t が 0.4 s のときの $z = 3$ m における断面図。図 6 と同じ計算結果を別な断面でみる。マグマ粒子に接する岩石粒子はマグマに引きずられて上向きの速度をもつ。

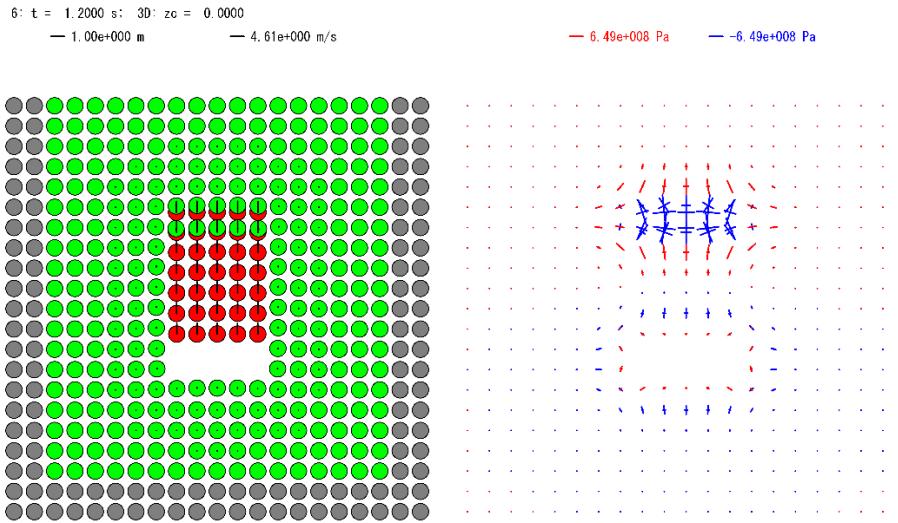


図 8 粒子の位置と速度（左）、応力（右）の分布。時間 t が 1.2 s のときの $z = 0$ における断面図。図 6 の計算で時間を進める間にマグマ粒子は上昇を続けて岩石粒子の間に入り込む。

前節では流体の体積弾性率と破壊強度に制約を加えたが、その制約をはずして計算を実行する。流体の体積弾性率 K は 10^6 Pa と大きくしてあり、そのために弾性的な応力が粒子の運動に重要な効果をもたらすようになっている。図 9 は $t = 0.95$ s の状態である。体積弾性率が正常な値に近づいたために、弾性的な応力が粒子の運動に明確な効果をもつ。マグマ粒子の上端付近では、岩石粒子との接近による圧力で粒子間に強い反発力がはたらいている。のためにマグマ粒子は図 8 のように岩石粒子の間をつきぬけられなくなり、岩石粒子を押しあげている。

マグマ粒子の下端付近では、圧力の減少のためにマグマ粒子の上昇は抑制され、逆に岩石粒子が引き上げられている。マグマ粒子は水平方向でも引き込まれて分布範囲が縮小気味になる。この状態では、マグマ粒子は浮力で上昇しようとするが、その運動は周辺の岩石粒子に抑えこまれている。しかし、さらに時間が進むと状況は変化する。図 10 にみるように、マグマ粒子の周辺では岩石粒子にはたらく強い応力のために岩石粒子が破壊され、被破壊粒子（青）に転移する。被破壊粒子は岩石より流動しやすいので、それを動かすことによってマグマ粒子が上昇できるようになっていく。変位と弾性的な応力を考慮することで粒子の間に正常な相互作用が生まれ、マグマ粒子が周囲の粒子をつきぬけることが回避された。マグマ粒子が岩石粒子を破壊しながら上昇する過程が表現できるようになったのである。

19: $t = 0.9500$ s; 3D: $zc = 0.0000$
 — 1.00e+000 m — 3.03e+000 m/s — 9.11e+006 Pa — -9.11e+006 Pa

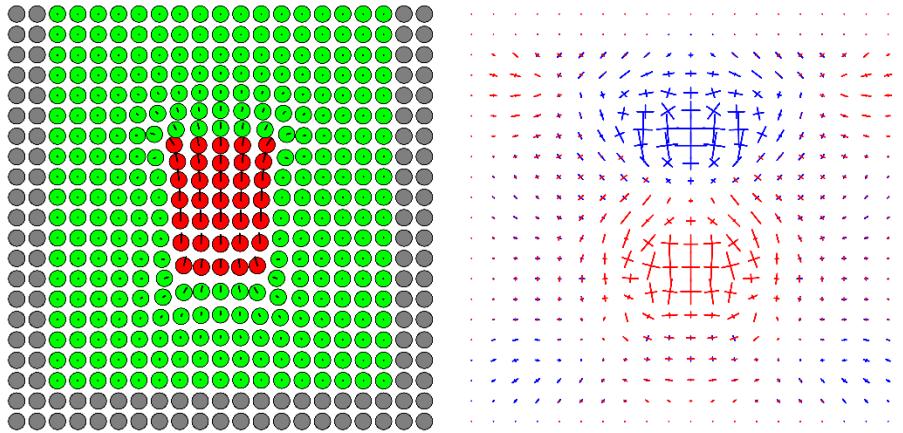


図 9 粒子の位置と速度（左）、応力（右）の分布。時間 t が 0.95 s のときの $z = 0$ における断面図。マグマ粒子の上昇は周辺の岩石粒子を移動させるが、圧力勾配に対応する粒子間の相互作用のために、マグマ粒子は岩石粒子の間を突き抜けて上昇することができない。

30: $t = 1.5000$ s; 3D: $zc = 0.0000$
 — 1.00e+000 m — 4.62e+000 m/s — 1.45e+007 Pa — -1.45e+007 Pa

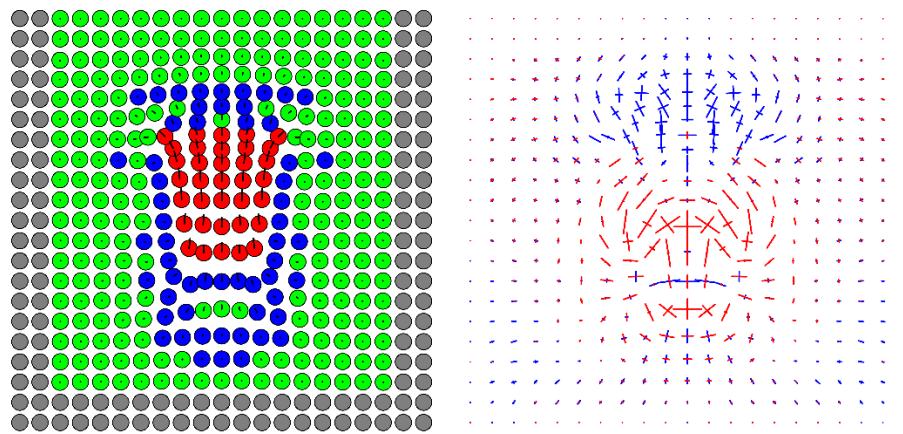


図 10 粒子の位置と速度（左）、応力（右）の分布。時間 t が 1.5 s のときの $z = 0$ における断面図。マグマ粒子の周囲では高応力のために岩石粒子が被破壊粒子（青）に転移し、マグマの上昇が可能な状態がつくられていく。

以上のことから SPH 法により、岩脈貫入シミュレーションについて下記知見が得られた。

- (1) マグマ貫入過程のシミュレーションを SPH 法で実行するプログラム開発の準備として、問題点をあげて対応策を検討し、計算方法を定式化したまた、計算の流れ図とプログラムの構成案を作成した。
- (2) 開発方針の妥当性を検証するために簡単なテストプログラムを作成した。

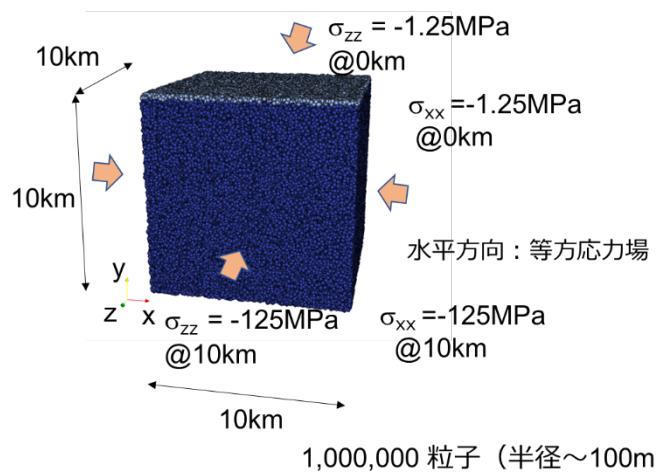
- (3) プログラムの開発にあたっては、マグマの上昇が中心課題であることを考慮して粒子の運動は粘性流動を基礎にする。岩石は高粘性の粘性流体として扱う。
- (4) 弹性的な応力を生み出すために、着目する粒子に対して周囲の粒子分布のずれを変位とみなす方法を考案した。この方法によって浮力で上昇するマグマの上端や下端の付近に応力集中が生じることを確認した。
- (5) 弹性的な応力に対応して粒子間には引力や斥力が生じ、岩石粒子はマグマ粒子の運動を抑制しながら一緒に運動する。マグマ粒子が固体粒子の間に侵入する現象は回避された。
- (6) マグマ粒子の周辺では応力集中によって岩石粒子が被破壊粒子に転移する。この転移によって岩石粒子は上昇経路から排除され、上昇が可能な状況がつくられる。

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）。

粒子の移動に伴う周辺の応力の変化に着目した。図 12 に噴火未遂の場合、図 13 に噴火に至る場合における岩脈シミュレーションの計算結果を示す。岩脈と周辺地殻の境界域に応力集中と開放が顕著であり、この付近での地震発生が起こっていることが分かる。この他、岩脈から離れた場所でもランダムに地震が発生する。100 万粒子の場合、1 粒子のサイズは 100 m 程度であり M2 程度に相当する。応力が増加している際にはこの粒子に応力集中が起こり、その後減少したところが地震発生による応力降下を表している。応力降下量は発生する地震の卓越周波数と関連しており、小さい場合が低周波、大きい場合は高周波に対応する (e. g. Brune, 1970)。岩脈貫入開始時、深部では低周波が卓越するが、上昇に伴って高周波が卓越する傾向があることが分かる。岩脈貫入による噴火／噴火未遂は、主に初期過剰圧量によって決まる。初期過剰圧が不十分で噴火未遂となる場合、深部のほぼ同じ地点で応力集中と降下を繰り返し、継続して低周波が卓越する地震が発生する事象も確認されている。

○応力場・過剰圧の設定

(a) 境界条件



(b) 初期条件

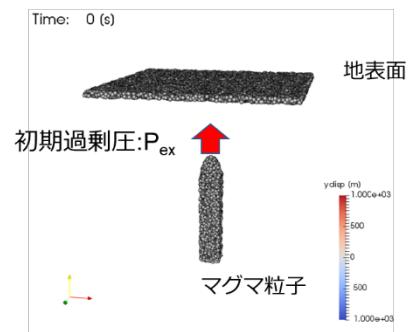


図 11 個別要素法による岩脈貫入シミュレーションにおける応力場・過剰圧の設定

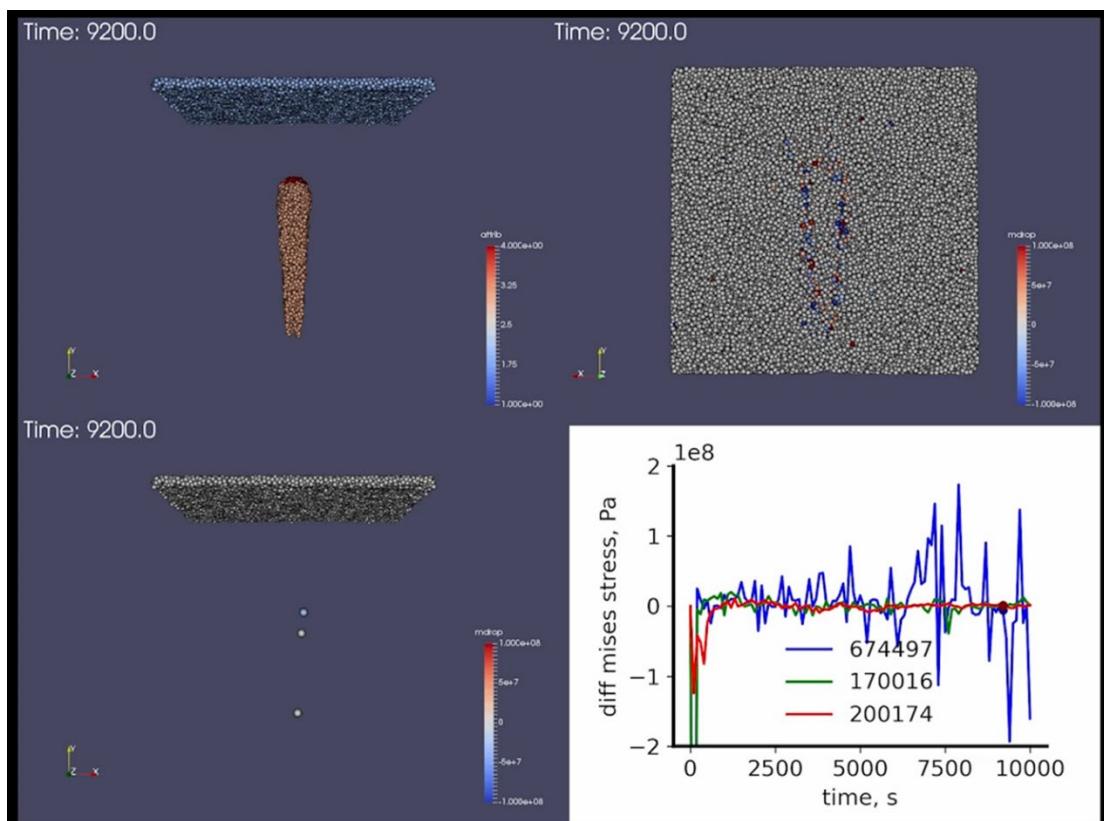


図 12 噴火未遂の場合における岩脈分布（左上）・Mises 応力変化量（右上）・参照粒子（左下）・参照粒子の Mises 応力量変化の時間変化（右下）

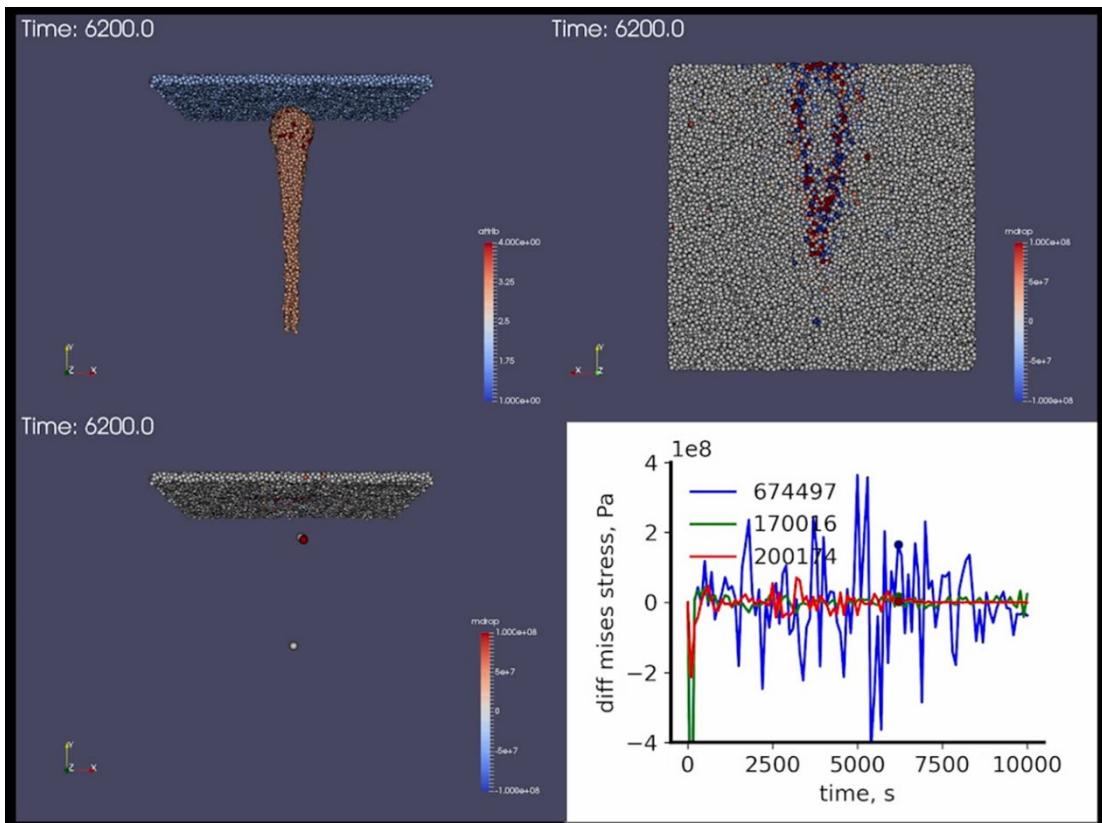


図 13 噴火に至る場合における岩脈分布（左上）・Mises 応力変化量（右上）・参照粒子（左下）・参照粒子の Mises 応力量変化の時間変化（右下）

今回は、1,000,000 粒子での計算に加え、30,000,000 粒子での計算も進めている。これはこれまで実施してきた 1,000,000 粒子の体系の 30 倍となっており、1 粒子の直径が 10 m 程度となり、より現実に近いスケールを評価できるようになっている。重力パッキングを行い、対象の体系の初期状態を作るが、粒子数が大規模で計算時間がかかるため、一定のステップ数を踏まえたうえで重力パッキングが不十分な粒子については削除し、最終的に 29,781,448 粒子による領域を作成した。1,000,000 粒子と同様の結果が得られている。

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 観測点に適用した。三原山（山頂の標高 758 m）の山頂直下に球状圧力源を設置し数値計算によって求めた変位量と、半無限均質弾性体を仮定した標高補正茂木モデルによる変位量を観測点ごとに比較した（図 14）。設置した圧力源の深さが海拔 0 m より高い場合、三原山周辺の観測点では、数値計算で求めた水平変位量と標高補正茂木モデルで求めた水平変位量の差が大きくなる。一方、圧力源の深さが深くなると、数値計算結果と標高補正茂木モデルの差はわずかとなることが分かった。次に、地殻変動データを用いた圧力源の推定結果への地形効果の影響を調べた。数値計算で求めた三原山山頂直下の球状圧力源の膨張による GNSS 観測点の水平変位量を観測データと仮定して、標高補正茂木モデルを用いたグリッドサーチにより圧力源の推定を行った。そ

の結果、圧力源の深さが海面下 400 m よりも深い場合、標高補正茂木モデルから推定される圧力源の深さは数値計算で設定した圧力源の深さとほぼ同じになった。圧力源の深さが浅くなると、標高補正茂木モデルによる解析で得られる圧力源の深さは数値計算で設定した圧力源の深さよりも浅くなる。設定する圧力源の深さが標高 100 m よりも浅い場合、推定される圧力源の深さは設定した深さより 100 m 以上浅くなることが分かった（図 15）。これは火山地形を考慮した場合の山頂周辺観測点の大きな水平変位を火山地形の影響を考慮しないモデルで説明しようとしたことによるものと考えられる。これらの結果は、地表付近のごく浅部に圧力源が想定されるような地殻変動データを用いた圧力源推定では、火山地形の効果を考慮することが重要であることを示している。

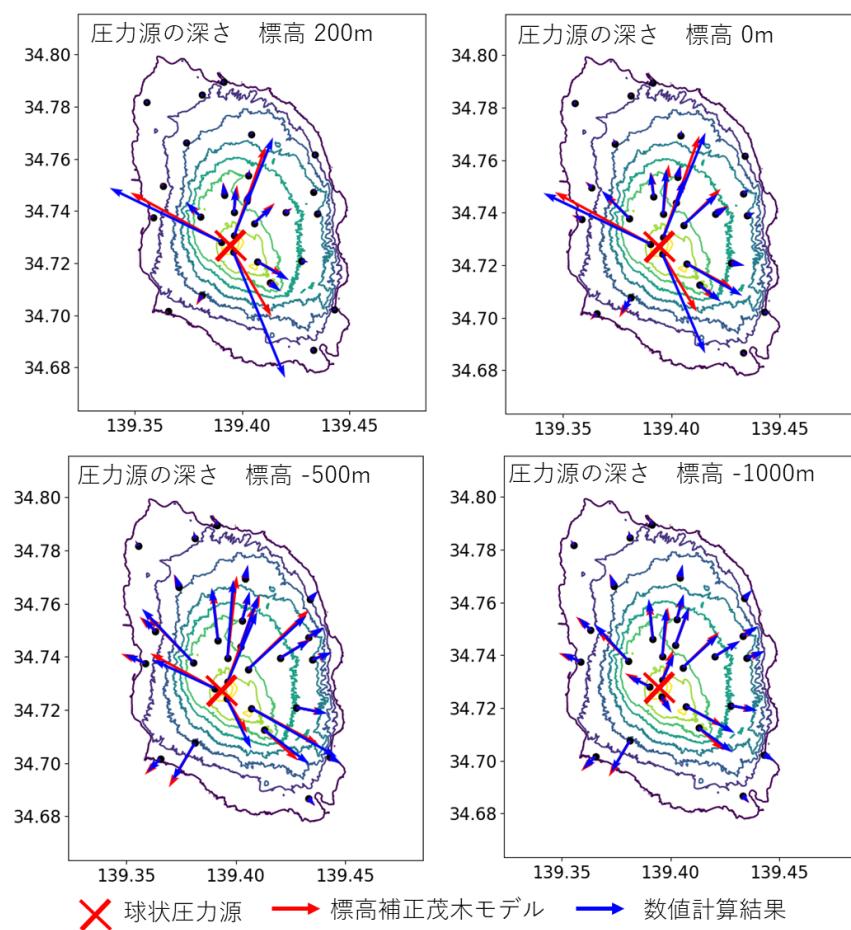


図 14 数値計算で求めた伊豆大島三原山の山頂直下の球状圧力源の膨張による水平変位（青）と標高補正茂木モデルから求めた水平変位（赤）の比較

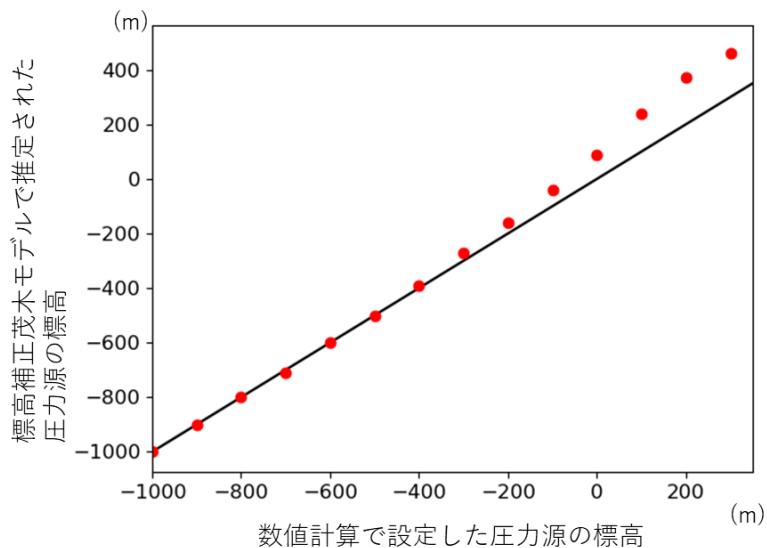


図 15 数値計算で設定した圧力源の深さと標高補正茂木モデルによる解析で推定された圧力源の深さの比較

c) マグマ物性モデルの構築

マグマ溜りから地表までの上昇過程における水熱合成減圧実験に基づく減圧結晶化モデル、およびマグマレオロジー実験に基づく高粘性プラグ形成モデルについて、それぞれ火道流モデルへの適用を検討し、噴火分岐に与える影響を調査した。東北大学及び静岡大学の協力を得てこれらを実施した。

マグマ上昇過程における結晶化モデル構築を進めた。水熱合成減圧実験装置を用いた減圧結晶化実験を神津島 838 年噴火、桜島 1914 年噴火を対象に実施し、先行研究の結果と合わせ、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（図 16）。マグマレオロジーモデルについては、これまでの実験結果を整理、先行研究の結果と比較し、噴火分岐と推移に関係する火道浅部での高粘性プラグ形成過程のモデル化を進めた。

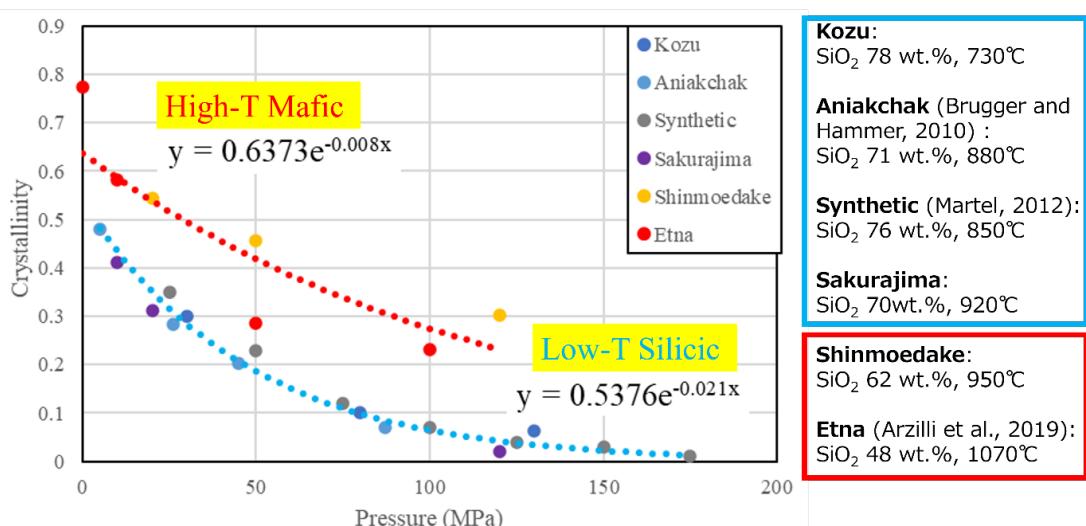


図 16 更新した平衡結晶度モデル。縦軸は平衡結晶度、横軸は圧力を示す。

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。

前年度に開発を進めた1次元噴煙モデル（NIKS-1D）¹⁾で計算した火山灰の放出分布を気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）²⁾への入力値として、首都圏における降灰シミュレーションを行った。想定する噴火は宝永噴火として、Miyaji et al. (2011)で報告されている噴出率の時系列を用いた。降灰分布の季節変化を見るために、1年分の気象場を用いて、毎日01UTCに噴火が開始した場合、すなわち、合計365個の降灰シミュレーションを行った（図17）。気象場には2021年の気象庁メソ解析を用いた。なお、この本計算の解析は来年度の課題としている。

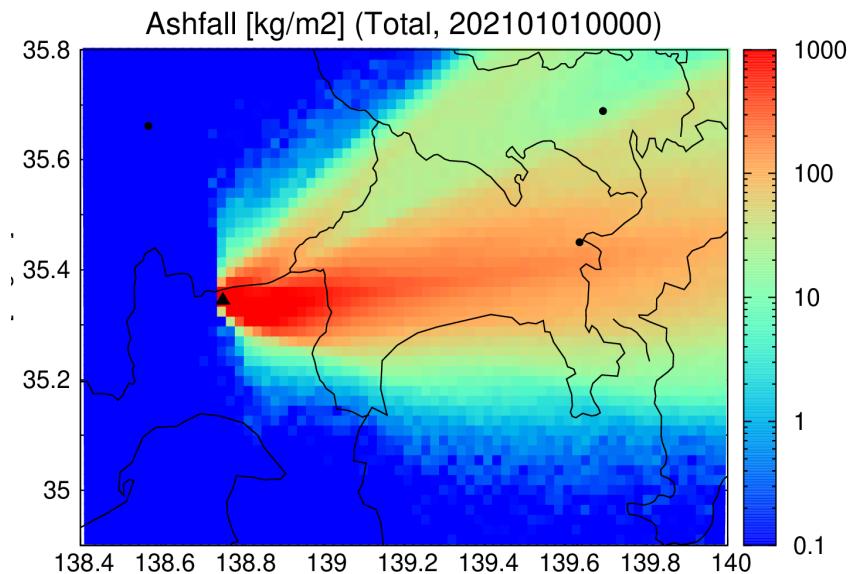


図17 宝永噴火相当の噴火の降灰シミュレーションの一例
(2021年1月1日01UTCに噴火が開始した場合)

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、中～大規模噴火事例のシミュレーションセットを揃えた。また、いくつかの個別の噴火事例の再現シミュレーションを実施した。

中～大規模噴火事例のシミュレーションでは、噴煙ダイナミクスに焦点をあて解析した。昨年度までに実施した計算に加え、新たに比較的小さい規模の噴火事例をシミュレーションしたところ、噴火強度（噴出率）によって噴煙最高高度や傘型噴煙面積が変化する様子をこれまで以上に定量的に捉えることができた（図18）。噴出率が高くなるほど噴煙高度と傘型噴煙面積は拡大する傾向を持つが、噴出率が 10^8 kg/s 程度

で変則的に変化することが確認された。これは流れの構造の変化と関連すると推定され、更に解析する必要がある。また、これらのシミュレーション結果の解析により、噴煙全体の体積流量や傘型噴煙拡大のべき乗則、噴煙が定常状態になるまでの時間スケールなど基礎的なデータセットを揃えた。

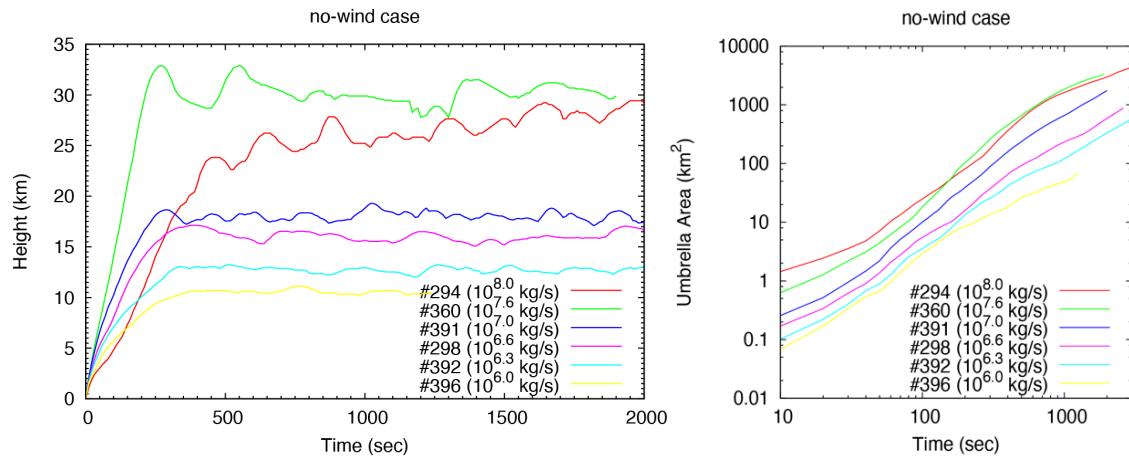


図 18 噴煙 3 次元シミュレーション結果。(左図) 噴煙最高高度の時間変化と(右図) 傘型噴煙面積の時間変化。

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。一般に、噴火規模が小さくなるほど現象の長さスケール幅が広がるため計算量が増加する。中規模噴火のなかでもより小規模噴火に近い噴出率が 2×10^6 kg/s の計算を実行した。これは、本課題で最も小さい噴火規模である。このシミュレーションには噴煙ダイナミクスモデル SK-3D を用いた。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 ITO 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。

噴出率を一定にして風速が異なる場合のパラメータスタディを実行した(図 19)。風速が異なる場合の噴煙高度や水平拡大といった噴煙挙動、粒子サイズ毎の大気中における火山灰粒子分布、地表での堆積分布データを取得した。これまでに行った噴出率が $10^7 \sim 10^9$ kg/s の噴火事例と合わせ、データベースを充実させた。これらのデータは、大気中の火碎物の分布と堆積分布の関係を求めるためにも重要なデータとなる。

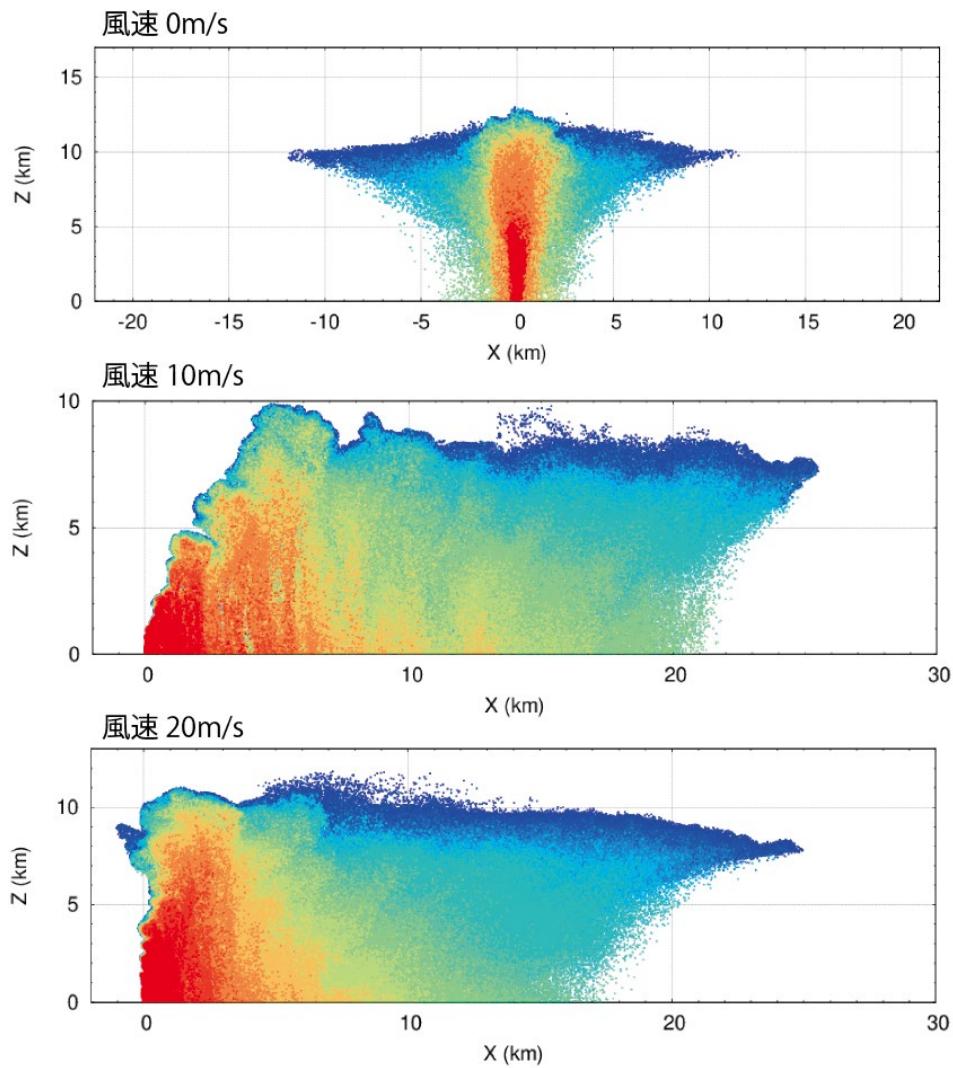


図 19 噴出率が 2×10^6 kg/s の 3 次元噴煙シミュレーション結果。大気の風速を 0、10、20 m/s の場合の大気中における火山灰粒子分布。色は火碎物のサイズ(φスケール)を表す。

モデル検証のため、2022 年 1 月 15 日に発生したフンガ・トンガ・フンガ・ハアパイ火山の爆発的噴火の再現シミュレーションを昨年度に引き続き実施した。

今年度は、噴火の条件を精度良く決定するために噴出条件を変えた計算を充実させた。マグマ噴出率と混合海水量を変えたパラメータスタディを実施した。その結果、混合海水量が流れのレジームを大きく支配することが分かった(図 20)。全噴出量のうち混合海水量が 25 wt% と多く占める場合には、ほぼ全ての噴出物は火碎流として海面上を流れ、成層圏へ達するような噴煙柱は形成しなかった。混合海水量が 22 wt% の場合は、火碎流が発生すると同時に噴煙柱・火碎流も発達する部分崩壊レジームとなつた。このような混合海水量が 20 wt% を超える場合では、火口から 50 km 以上まで火碎流が達した。実際のフンガ・トンガ火山噴火では、そのような大規模な火碎流の痕跡は観察されなかった。混合海水量が 12 wt% の場合は、すべての噴出物が噴煙柱として発達し、非常に高い噴煙柱と巨大な傘型噴煙が発達した。噴煙による大気の取り込

みが低いものの、火口で混入した海水が膨張するため高濃度で軽い噴煙が上昇した。混合海水量が 0 wt% とマグマ噴火を想定した場合には、再び火砕流が発生し部分崩壊レジームとなった。火砕流到達距離は火口から 10~20 km と比較的短くなった。

噴出条件の違いは噴煙高度にも反映された（図 21）。混合海水量が多い場合には、噴出物全体の温度が低いため噴煙高度は抑制された。また、混合海水量が少量でマグマ噴火に近い場合は、部分崩壊が起こり地表付近の大気を多量に混合した。そのため、混合大気を運搬するエネルギーが消費されることで噴煙高度は低下した。観測された高度 50 km を超すような噴煙柱は、混合海水量が 6~12 wt% で総噴出率が $3\sim 5 \times 10^9$ kg/s 程度であると見積もった。また、この噴出条件は、傘型噴煙の高度や半径も説明することができた。

昨年度と今年度のフンガ・トンガ火山噴火事例のモデル検証研究により、本研究で開発している噴煙ダイナミクスモデル SK-3D は実際の噴火事例を説明することが可能であり、それを用いたパラメータスタディによって噴火の条件を制約できることができた。

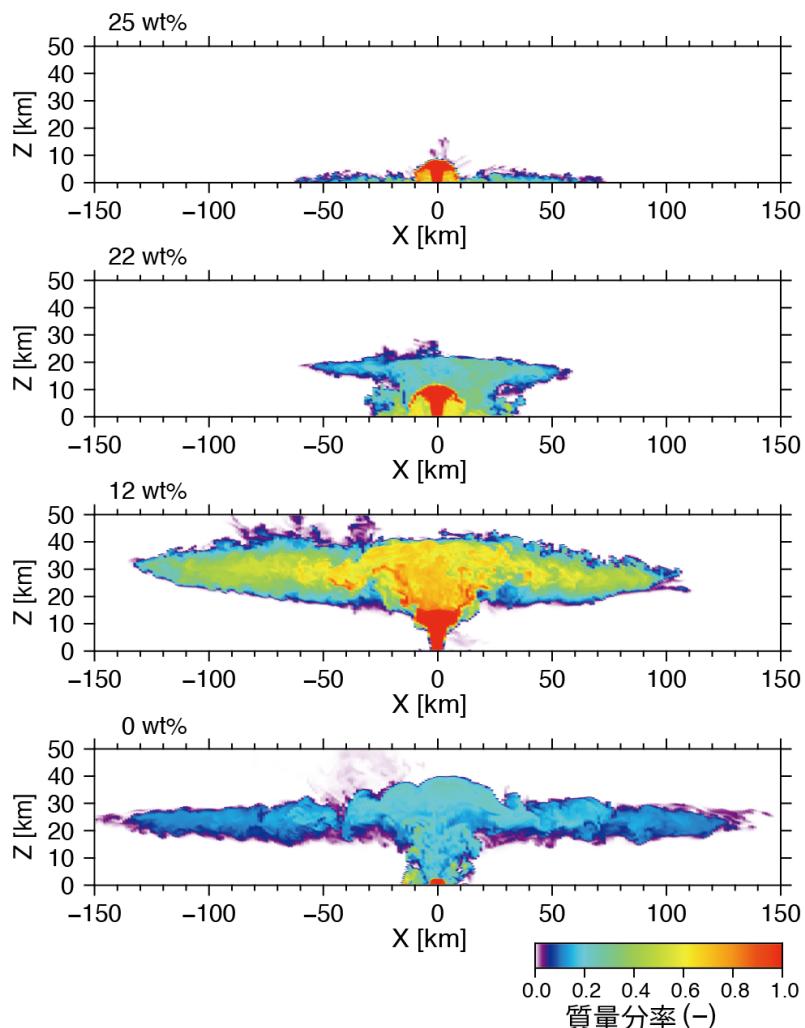


図 20 フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山 2022 年噴火の 3 次元数値シミュレーション結果。混合海水量が異なる場合の鉛直断面における噴出物質量分率分布。

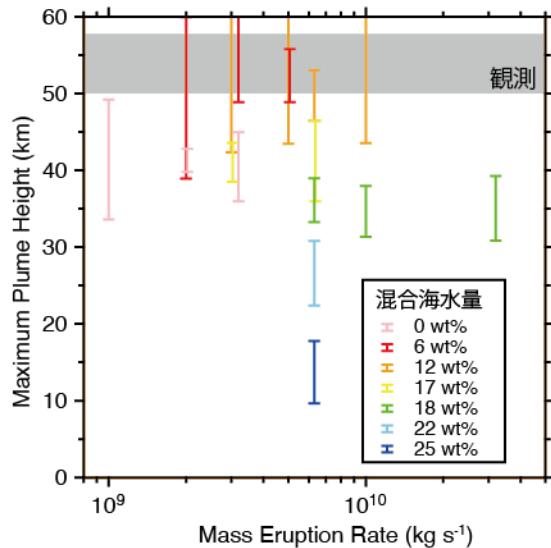


図 21 フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山 2022 年噴火の 3 次元数値シミュレーション結果。噴出率と混合海水量に対する噴煙最高高度の変化。

上記の火山噴煙ダイナミクス・火山灰輸送のフォワード計算に加え、火山灰の移流拡散モデル Fa113D による繰り返し計算を行い、火山灰輸送に関するインバージョン研究を実施した。イタリア・Campi Flegrei 火山の Campanian 大規模噴火を対象とし、野外調査で得られている堆積物分布を説明する噴出条件・大気条件を推定した。計算の結果、噴出率が 15 時間程度かけて増加し、そこから 15 時間程度の強い噴火の後、低下する様子を捉えた（図 22）。

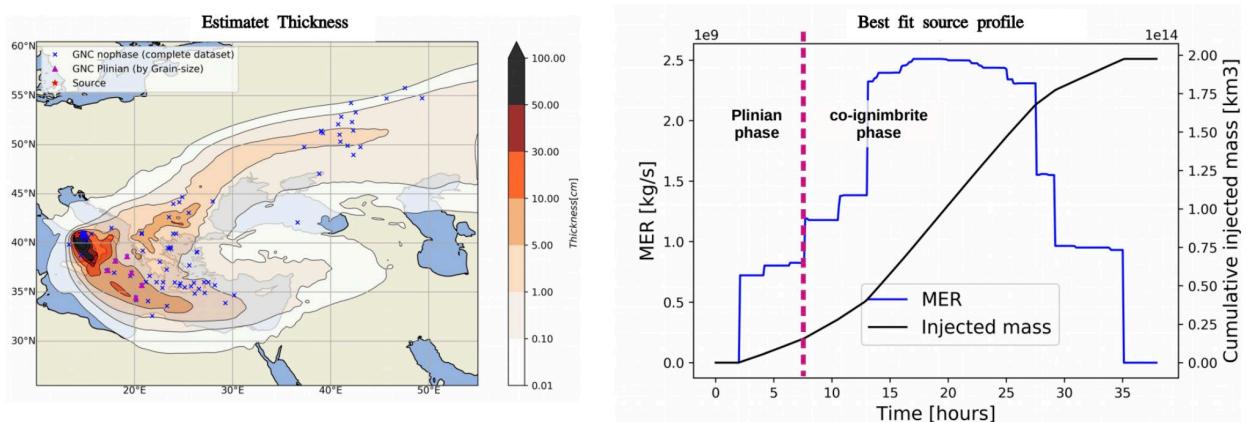


図 22 イタリア Campi Flegrei の Campanian 噴火における火山灰移流シミュレーション。インバージョン計算によって得られた（左図）火山灰堆積分布と（右図）噴出率の時間変化。

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、高濃度粒子流数値コード「faSavageHutterFOAM」に基づいた溶岩流シミュレーションが可能な数値コード「faSavageHutterFOAMLava」を開発した。この数値コードは、昨年度の数値コード「faSavageHutterFOAMIsothermLava」に対し、溶岩の冷却効果を新規実装したものである。溶岩の冷却効果を考慮するために、エネルギー保存則の導入および

温度変化に伴うマグマ粘性変化を表現するレオロジー則の導入を行った。本数値コードを用いたテスト計算を行い、水平面における溶岩の流出過程を安定に計算できることを確認した。以上のように、新規開発した本数値コードは、冷却と粘性変化を含む溶岩流の基礎方程式にもとづいて、長時間の溶岩流の進化を計算可能とするものである。

溶岩流の基礎方程式として、新たに温度変数を導入し、Costa & Macedonio (2005)によるエネルギー方程式を実装した。各計算ステップにおいて、溶岩の流速を参照しながら温度の移流処理を行いつつ、大気や地面への熱の流出も計算することで、溶岩流の熱エネルギーの輸送・損失を表現できる(図23)。冷却機構としては、輻射・熱対流・熱伝導を実装した。流速を決める粘性率は、温度が低下すると指数関数的に増大するというレオロジー則も実装した。溶岩は、冷却で温度が低下することで粘性増大し、それによって流速分布が複雑化する。その一方で、複雑化した流速分布によるエネルギー輸送によって温度も複雑に変化する。このフィードバックを数値的に安定に解くことはこれまで困難であったが、流速と温度の移流処理を陰的に解くことで対処できた。

平坦地形を用いたテスト計算を行い、冷却をともなう流動過程を解けていることを確認した。計算は冷却がある場合と冷却がない場合の2通りを行い、噴出率 $15 \text{ m}^3/\text{s}$ で30時間にわたる計算結果を比較した。ここで単純化のため、冷却は熱輻射の寄与だけを考慮した、地形傾斜角は0度と設定した。冷却あり/なしともに、溶岩は原点の噴出口から供給され時間とともに軸対称に広がった。図24は溶岩の厚み分布の時間発展を示しており、冷却なし(点線)は先端部に近づくほど薄くなり、冷却あり(実線)は先端部に近づくほど厚くなるという結果を得た。冷却ありの場合、先端部に近づくほど溶岩の温度は低下するため、先端部の粘性は中心部に比べて30倍ほどになっていた。そのため、先端部によって中心部からの流れがせき止められ、先端部は厚くなつたと考えられる。また、全体積と全熱エネルギーの時間発展もモニターし、計算結果は質量保存則・エネルギー保存則に整合的であることを確認した。

数値コードの並列性能もテストし、コア数を増やすほど計算時間が効率よく減ることを確認した。図25にコア数と計算時間の関係を示しており、8コア使うことで計算時間はおよそ1/7倍となっており良好に見える(=Speedup rate = 7.3)。しかし、コア数を増やした場合にはSpeedup rateは頭打ちになることが予想される。地形メッシュや物理量(速度、厚み、温度)のメモリ転送負荷が高いことが見積もられ、メモリ転送速度に律速されるかもしれない。そのため今後も、より多数のコアを用いた検証を行うことでコードの並列性能を詳しく検討する必要がある。

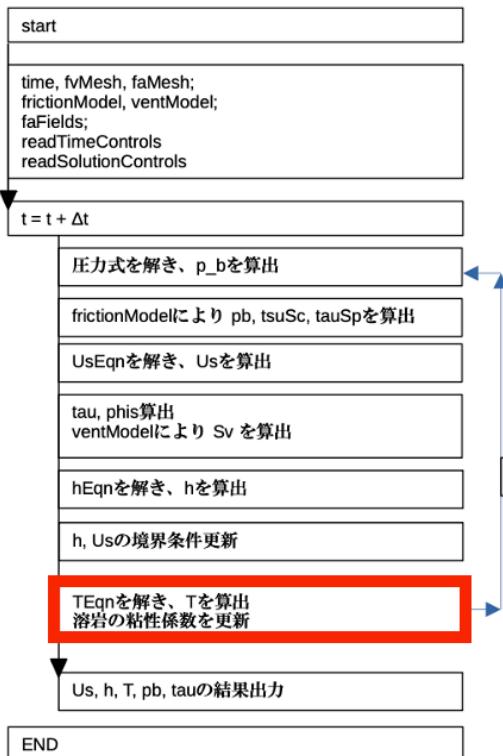


図 23 faSavageHutterFOAMLava の計算フローチャート。

今年度は冷却処理（赤四角）を新規実装した。青矢印部分を繰り返し実行して、溶岩流の時間進化を計算する。

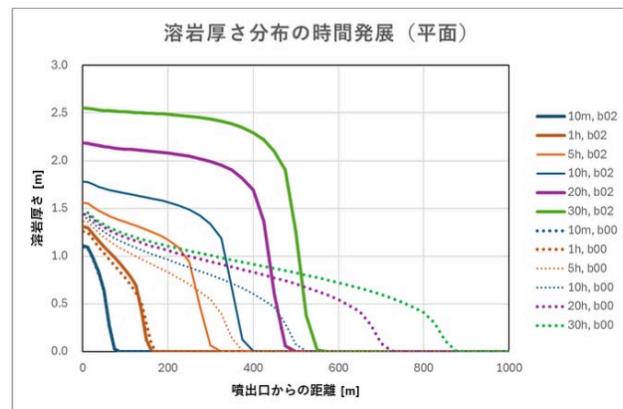


図 24 軸対称溶岩流の厚み分布。30 時間にわたる時間発展を示す。実線は冷却あり計算、点線は冷却なし計算を表す。

Core 数	計算時間 [s]	Speedup ratio	1 コアあたりセル数
1	1510	1.0	44,653
2	607	2.5	22,327
4	304	5.0	11,163
8	207	7.3	5,582

図 25 コア数と計算時間の関係。計算時間は、冷却ありの設定で物理時間 5 時間を計算するのにかかった時間を表す。Speedup ratio は計算時間を、Core 数 1 の計算時間で規格化した値である。

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 26）では、溶岩流シミュレーションコード LavaSIM、火碎流シミュレーションコード faSavageHutterFOAM を防災情報イノベーションプラットフォームの公開系クラウドと計算を実施するデータ解析基盤を連携する機能を実装するとともに、計算入力パラメータ GUI インターフェース (SIMPAC) と火山ハザード評価システムの連接設計をおこなった。SIMPAC については、溶岩流シミュレーションコード LavaSIM に加え、噴石シミュレーション Ballista、簡易版降灰シミュレーション Puff、地図変換用インターフェースを追加した。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 変換を行う機能を整備した。Puff については出力ファイルの可視化変換スクリプトの設計を行った。

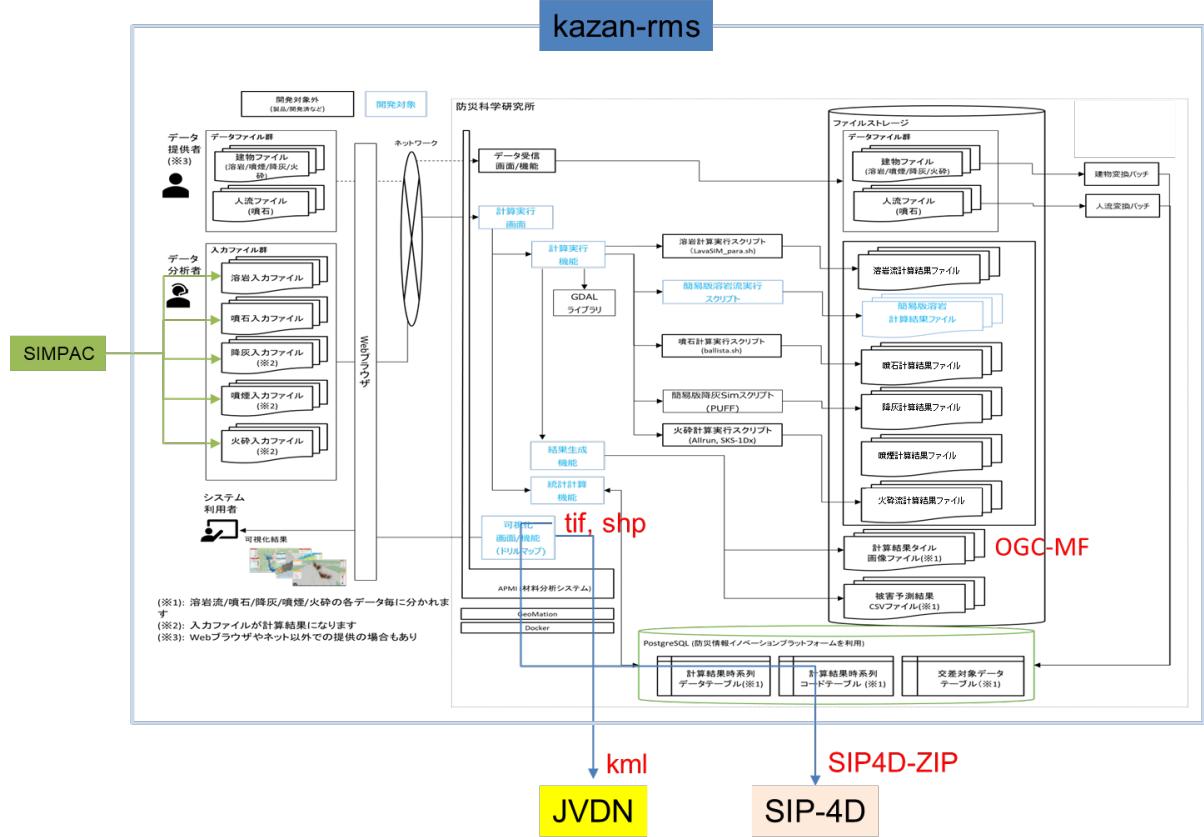


図 26 火山ハザード評価システム (kazan-rms) の処理フロー

(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、桜島のブルカノ式噴火前におけるマグマ蓄積・増圧過程およびそれによってもたらされる地殻変動を計算できる火道流・地殻変動数値モデルに基づくパラメータ解析を実施した。さらに、桜島の多数の噴火事例における地震・測地等の観測データとの定量的な比較を実施し、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。また、将来発生し得るより大規模なマグマ噴火の分岐メカニズム解明を目的として、桜島大正噴火におけるプリニ一式・溶岩流出噴火、伊豆大島 1986 年噴火における溶岩流出噴火を対象とした火道流数値モデルの開発および解析を実施した。マグマ移動過程シミュレーション技術開発では、貫入に加え、地表からの噴出過程を組み込むことによって噴火現象全体を統合的に取り扱う定式化を行った。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、マグマ溜りから地表までの上昇過程における水熱合成減圧実験に基づく減圧結晶化モデル、およびマグマレオロジー実験に基づく高粘性プラグ形成モデルについて、それぞれ火道流モデルへの適用を検討し、噴火分岐に与える影響を調査した。噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化では、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) の開発を進めた。また、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実施した。また、モデル検証を目的とした実際の噴火事例の数値シミュレーションを実施した。火山ハザード評価システムの開発において、各シミュレーション開発の高度化と、これらのハザード評価システムを統合的に実装するための要素技術の整備が大きく進展した。

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

(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、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

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6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。

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。

3) 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。

(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、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。

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、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。

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、火碎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。

3. 会議録

(1) 霧島火山連携研究 キックオフ集会

1. 日時：令和5年4月6日（木） 10:00-17:00
2. 場所：東京大学地震研究所（zoomハイブリッド）
3. 議事：
 - 議題1 霧島火山の観測・研究の現状と課題
 - 議題2 今後の連携研究についての総合討論

(2) 霧島連携研究準備WG 第1回打ち合わせ

1. 日時：令和5年5月19日（金） 11:00-12:00
2. 場所：zoomオンライン
3. 議事：
 - 議題1 今後の連携研究の方針について

(3) 霧島連携研究準備WG 第2回打ち合わせ（ワークショップ）

1. 日時：令和5年7月7日（金） 12:45-17:15
2. 場所：防災科研東京会議室
3. 議事：
 - 議題1 霧島火山における「マグマ供給系モデル」と
「噴火シナリオ・事象系統樹」の現状と課題
 - 議題2 今後の連携研究についての総合討論

(4) 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5年12月5日（火） 13:00-17:30
 - 令和5年12月6日（水） 9:00-17:00
 - 令和5年12月7日（木） 9:00-17:00
2. 場所：東京大学 弥生講堂 一条ホール
3. 議事：
 - 議題1 各参加機関・協力機関の研究成果報告（12月7日）

4. むすび

次世代火山研究推進事業の8年目にあたる令和5年度は、新型コロナ感染症の影響もなくなり、それぞれのサブテーマの参加機関および協力機関が各自の研究を順調に実施することができた。また各サブ課題では今後の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、課題内連携研究においては、新たな対象をテーマとした連携研究を開始し、他課題および関連分野の研究者との連携へ展開することができた。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構築について、ユーザーインターフェイスの改良を行い、火山噴出物の分析・解析ツールとしての機能向上をはかった。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、噴火直前のマグマの挙動についての知見の集約を進めた。例えば、有珠山・桜島では、噴火前数日のタイムスケールでのマグマの挙動の詳細が明らかにされつつあり、噴火予測に繋げる検討が進められている。伊豆大島や伊豆東部火山群では、玄武岩質マグマ主体の火山下における珪長質マグマの存在が明らかにされ、その重要性が議論された。さらに、熱力学計算による火山活動予測手法の高度化についてもデータベースの構築や計算結果の応用についての大きな進展が得られている。そして噴火様式・推移予測のための仕組みとして、モデルによる数値計算の結果と時間一積算噴出量階段図（階段図）との比較から地下深部のプロセスモデルの修正が行われるなど、単純化モデルを用いた検討が進展しつつある。

サブテーマ2では、多くの火山について、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ている。特に、重点火山のアトサヌプリでは、火口近傍における複数箇所の短深度ボーリング掘削調査により、地表踏査のみでは困難な最新の水蒸気噴火活動の履歴・推移等の特徴を明らかにすることができた。また利尻山や風吹火山では、活火山の再評価を目的として、山麓における重機トレンチ掘削調査や地表踏査を実施し、いずれも完新世に爆発的噴火が起きたことを明らかにした。そして、連携研究の対象である霧島火山群については、活動的な4火山（新燃岳・御鉢・えびの高原硫黄山・韓国岳）の歴史時代噴火の推移や物質科学的特徴に基づき、火山群全体のマグマ供給系モデルと火山活動推移モデルの試案を作成し、課題間連携研究の発展に資するデータを提示している。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積み上げている。中長期噴火予測のための階段図作成については、13火山で階段図を試作し報告書としてまとめ、公表することができた。噴火事象系統樹についても、試作を通して具体的な作成指針を検討しており、次年度以降に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、2つのテーマについて研究が進展した。まず、「マグマ移動シミュレーション」においては、引き続き桜島のブルカノ式噴火前における火道流・地殻変動数値モデルに基づくパラメータ解析を実施するとともに、観測データと定量的に比較することで、火道内マグマ流動過程の特徴を検討した。また、将来発生し得るより大規模なマグマ噴火の分岐メカニズム解明を目的として、桜島大正噴火および伊豆大島1986年噴火を対象とした火道流数値モデルの開発および解析を実施した。また、水熱合成減圧実験に基づくマグマ上昇過程における減圧結晶化モデル、およびマグマレオロジー実験に基づく高粘

性プラグ形成モデルについて、火道流モデルへの適用を検討し、噴火分岐に与える影響を調査した。次に、「噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化」では、移流拡散モデル（JMA-ATM）を改善するための1次元噴煙モデル（NIKS-1D）の開発を進めた。また、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実施した。また、モデル検証を目的とした実際の噴火事例の数値シミュレーションを実施した。火山ハザード評価システムの開発においては、各シミュレーションの高度化と、システムを統合的に実装するための要素技術の整備を進めた。

課題C全体としては、霧島山を対象とした連携研究について、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を招いて、課題間連携研究としてキックオフ研究集会を令和5年4月に開催した。そして連携研究準備WGを発足させ、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ついて議論した。この取り組みについては火山PJ合同研究集会において公表し、議論を重ねている。このように、令和6年度以降も更なる課題内外の連携研究が期待される。また、人材育成コンソーシアムとの連携も順調に進めており、多くの研究者がコンソーシアムの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きた。なお、前述の連携研究においても、人材育成コンソーシアム事業との連携を検討している。

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、順調に研究が進展しているだけでなく、課題内外の連携についても更に進めており、十分な成果・進捗があったと言える。今後は、この連携研究をさらに発展させるとともに、成果をとりまとめていくことが重要である。そのためにも、各参加機関および協力機関のより一層の研究推進が必要不可欠であると考えている。

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(全員フルネームで)	発表した場所(学会等名)	発表した時期	国内・外の別
霧島火山・新燃岳における2011年噴火と享保噴火の比較研究 [口頭]	鈴木由希	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「火山学は噴火予測・推移予測に貢献できるか:霧島火山を例として」キックオフ研究集会(東京大学)	2023年4月	国内
分光測色計によるラビリサイズ火山噴出物試料の特徴記載のすすめ [口頭]	嶋野岳人・安田 敦	JpGU 2023	2023年5月	国内
Comparison of redox states of volcanic glass and gas at Bromo volcano, Indonesia: Implications for the degassing process [口頭]	三輪学央・石橋秀巳・風早彦之介・奥村 聰・井口正人・斎藤元治・安田 敦・下司信夫・鍵 裕之	JpGU 2023	2023年5月	国内
角閃石斑晶の微量元素から推定する東伊豆单成火山群カワゴ平火山の流紋岩マグマの成因 [口頭]	上木賢太・石橋秀巳・諏訪由起子・常 青・羽生 毅	JpGU 2023	2023年5月	国内
高温高压実験に基づいた伊豆大島1986年B火口サブリニ一式噴火のマグマ上昇中の結晶化の温度・圧力の推定 [口頭]	松本一久・奥村 聰・中谷貴之・鈴木敏弘・東宮昭彦・石橋秀巳	JpGU 2023	2023年5月	国内
The pre-eruptive process of the Fukutoku-Oka-no-Ba 2021 eruption: constraints from the crystals in dark enclaves [ポスター]	野々山花梨・石橋秀巳・吉田健太・外西奈津美・安田 敦	JpGU 2023	2023年5月	国内
次世代火山PJ:課題C「火山噴火の予測技術の開発」サブC-1「火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発」の紹介 [ポスター]	安田 敦	JpGU 2023	2023年5月	国内
斑れい岩捕獲岩から探る三宅島火山すおう穴噴火の噴火準備過程 [ポスター]	橋本 咲・石橋秀巳・下司信夫・安田 敦・外西奈津美	JpGU 2023	2023年5月	国内
十和田火山御倉山溶岩ドームディクティカシティック組織部の浸透率と空隙構造 [ポスター]	関谷夏子・中村美千彦・新谷直己・竹内晋吾・諏訪由起子	JpGU 2023	2023年5月	国内
ドイツ・西アイエル火山地域におけるマントル捕獲岩の破碎・取り込みメカニズムとマグマの上昇時間 [口頭]	荒尾真成・中村美千彦・無盡真弓・新谷直己・中谷貴之・隅田まり・Hans-Ulrich Schmincke	JpGU 2023	2023年5月	国内
阿蘇カルデラ外輪山に分布する溶岩および岩脈のK-Ar年代 [ポスター]	三好雅也・畠中喜也・角野浩史・梅崎基考・佐野貴司・長谷中利昭	JpGU 2023	2023年5月	国内
阿蘇火山で○完新世準ブリ一口式噴火に先立ったマグマ供給のタイムスケール [口頭]	川口允孝・Chiara M. Petrone・長谷中利昭	国際火山噴火史情報研究集会(大阪)	2023年6月	国内
Heterogeneity of mushy magma reservoir and its role in the pre-eruptive process: a case study of Unzen historical eruptions [ポスター]	Kurumi Iwahashi, Atsushi Yasuda	Goldschmidt Conference 2023 (France)	2023年7月	国外
EPMAによる斜長石中のSr濃度定量分析手法の提案 [ポスター]	岩橋くるみ・安田 敦・西原 歩	2023 鉱物学会年会	2023年9月	国内
桜島火山における火山灰連続採取データの展開 [口頭]	嶋野岳人・井口正人・安田 敦	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
霧島火山岩類の Sr-Nd 同位体組成(速報) [口頭]	川口允孝・前野 深・安田 敦・田島靖久・佐野貴司・米田成一	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
桜島火山におけるマグマ上昇のガス收支と噴火様式 [口頭]	新谷竹望・坂内野乃・安川宙葵・Loïc MAINGAULT・新谷直己・無盡真弓・中村美千彦・味喜大介・井口正人・小林哲夫・安田 敦	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
伊豆大島 1986 年 B 噴火マグマの状態の時系列変化 [口頭]	宮下明典・石橋秀巳・安田 敦・外西奈津美	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
西南日本弧由布岳安山岩を生成した端成分マグマ [口頭]	岡田郁生・柴田知之・芳川雅子・石橋秀巳・杉本健・早坂康隆	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
伊豆大島 1986 年 B 噴火のマグマ供給系:深成岩捕獲岩からの制約 [口頭]	吉田那緒・石橋秀巳・千葉達朗・外西奈津美・安田 敦・針金由美子	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
富士山宝永噴火 Ho-II スコリアに含まれる流紋岩質ガラス [口頭]	石橋秀巳・大塚芽久・外西奈津美・安田 敦	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
ひまわり 8 号画像による 2018 年新燃岳噴火の高頻度熱観測 [ポスター]	金子隆之・安田 敦・市原美恵・堀内拓朗	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
霧島火山群えびの高原硫黄山溶岩の噴出過程 [ポスター]	前野 深・八坂泰河・外西奈津美・安田 敦	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
富士山のテフラ対比に役立つ鍵層について [ポスター]	安田 敦・亀谷伸子・嶋野岳人・田島靖久・吉本充宏・杉山浩平・西澤文勝・金子隆之・藤井敏嗣	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
富士火山北麓および東麓のテフラ層序の再検討 [ポスター]	亀谷伸子・吉本充宏・山本真也・安田 敦	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
富士火山の斜長岩 - 斑れい岩複合捕獲岩に見られるメルト脈 [ポスター]	西ヶ谷琴音・石橋秀巳・針金由美子・外西奈津美・安田 敦	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
伊豆大室山の斜長石中の流紋岩質メルト包有物の微量元素組成 [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	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
噴出物から探る三宅島火山すおう穴 - 風早噴火初期の噴火過程 [ポスター]	橋本 咲・安田 敦・石橋秀巳・下司信夫	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
小笠原硫黄島 2022 年噴火におけるマグマの温度圧力条件 [ポスター]	三輪学央・長井雅史・上田英樹・小園誠史・中田節也・安田 敦	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
不均質なマグマつまりがもたらす火山噴火様式への影響の検討:雲仙火山有史時代噴火の例 [ポスター]	岩橋くるみ・安田 敦	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
カルデラ火山における火道内マグマ対流脱ガスの重要性 [口頭]	宮城穣治	日本火山学会2023年度秋季大会	2023年10月	国内
桜島火山ブルカノ式噴火の減圧による斜長石成長速度とナノライト核生成率 [口頭]	Aulia Syafitri・新谷直己・中村美千彦・味喜大介・井口正人	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
緊急調査航海によって明らかになった福徳岡ノ場 2021 年噴火に伴う海底堆積物の特徴 [口頭]	谷健一郎・佐野貴司・石塚 治・及川輝樹・片山 勤・鈴木克明・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・Iona McIntosh	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
福徳岡ノ場 2021 年噴火でのマグマ混交と脱ガス 過程:KS-22-5 調査航海で採取された火砕性黒曜石からの制約 [ポスター]	浮田泰成・新谷直己・無盡真弓・藤田和果奈・荒尾真成・関谷夏子・中村美千彦・Iona McIntosh・谷健一郎	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
有珠火山1977年噴火と2000年噴火のマグマ上昇過程の違い [ポスター]	東宮昭彦	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
北海道有珠山金毘羅山の地質:シードビローの発見 [ポスター]	後藤芳彦・東宮昭彦	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内
北海道有珠山東丸山潜在ドームの形成年代 [口頭]	後藤芳彦・石川天晟・佐藤康大・東宮昭彦	2023年火山学会秋季大会	2023年10月	国内

「噴火予測のための簡単なマグマ供給系モデル」の階段図によるパラメタ推定 [口頭]	安田 敦	シンポジウム 「火山噴火の中長期的予測に向けた研究の現状と今後の課題」 (東京大学)	2023年12月	国内
マッシュ状マグマの関わる噴火の規模多様性発生プロセス [口頭]	鈴木由希	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、東京大学	2023年12月	国内
Role of Stoping in Preceding Giant Caldera Eruptions: A Magma Volume Expansion Mechanism [ポスター]	Isoji Miyagi	AGU23 Meeting(米国サンフランシスコ)	2023年12月	国外
Magma Ascent Processes and Bifurcation in Eruption Styles Deduced from Crystal Zoning: The 1977 and 2000 Eruptions of Usu Volcano, Japan [ポスター]	Akihiko Tomiya	AGU23 Meeting(米国サンフランシスコ)	2023年12月	国外
Magma plumbing system of Ioto volcano, Ogasawara, Japan: A petrological constraint [ポスター]	Takahiro Miwa, Masashi Nagai, Hideki Ueda, Tomofumi Kozono, Setsuya Nakada, Atsushi Yasuda	Cities on Volcanoes 12 (Guatemala)	2024年2月	国外
Eruptive history of Usu volcano, Hokkaido, Japan, as revealed by trench surveys of the Higashi-Maruyama cryptodome [ポスター]	Yoshihiko Goto, Akihiko Tomiya	Cities on Volcanoes 12 (Guatemala)	2024年2月	国外
阿蘇白水ボーリングコア溶岩のK-Ar年代 [口頭]	三好雅也・角野浩史・徳永 薫・佐野貴司	国際火山噴火史情報研究集会(福岡)	2024年2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(全員フルネームで)	発表した場所(学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別
Redox state of magma recorded in volcanic glass from an ash-forming eruption at Bromo volcano, Indonesia: Insights into the degassing process	Takahiro Miwa, Hidemi Ishibashi, Ryunosuke Kazahaya, Satoshi Okumura, Masato Iguchi, Genji Saito, Atsushi Yasuda, Nobuo Geshi, Hiroyuki Kagi	Bull. Volcanol., 85,48. https://doi.org/10.1007/s00445-023-01660-1	2023	国外
Temporal Change in Eruption Style During the Basaltic Explosive An'ei Eruption of the Izu-Oshima Volcano, Japan: Insights from Stratigraphy and Chemical Composition Analyses	Yuya Ikenaga, Fukashi Maeno, Atsushi Yasuda	Frontiers in Earth Science,11:1172615. doi: 10.3389/feart.2023.1172615	2023	国外
Eruption style transition during the 2017–2018 eruptive activity at the Shinmodake volcano, Kirishima, Japan: surface phenomena and eruptive products	Fukashi Maeno, Sayaka Shohata, Yuki Suzuki, Natsumi Hokanishi, Atsushi Yasuda, Yuya Ikenaga, Takayuki Kaneko, Setsuya Nakada	Earth Planets Space 75 (76). https://doi.org/10.1186/s40623-023-01834-3	2023	国外
Oxidation-induced nanolite crystallization triggered the 2021 eruption of Fukutoku-Oka-no-Ba, Japan.	Kenta Yoshida, Akira Miyake, Shota H. Okumura, Hidemi Ishibashi, Satoshi Okumura, Atsushi Okamoto, Yasuhiro Niwa, Masao Kimura, Tomoki Sato, Yoshihiko Tamura, Shigeaki Ono	Sci Rep. 2023 May 9;13(1):7117. doi: 10.1038/s41598-023-34301-w. PMID: 37160932; PMCID: PMC10170078.	2023	国外
Genesis of andesitic magma erupted at Yufu volcano, Kyushu, Island, Southwest Japan arc: Evidence from the chemical compositions of amphibole phenocrysts	Ikuko Okada, Tomoyuki Shibata, Masako Yoshikawa, Hidemi Ishibashi, Takeshi Sugimoto, Yasutaka Hayasaka	Journal of Petrology, 65(4) DOI:10.1093/petrology/egae018	2024	国外
Effect of pre-existing crystals and melt homogeneity on the decompression-induced crystallization of hydrous rhyodacite magma	Kazuhisa Matsumoto, Satoshi Okumura, Akihiko Tomiya	American Mineralogist, 108(12):2294–2307, DOI: https://doi.org/10.2138/am-2022-8723	2023	国外
Aso volcano, Japan: assessing the 100-year probability of a new caldera-forming eruption based on expert judgements with Bayes Net and Importance Sampling uncertainty analysis	Willy Aspinall, R.S.J. Sparks, Brittain E. Hill, Antonio Costa, Charles Connor, Hirohito Inakura, Toshiaki Hasenaka, Masaya Miyoshi, Koji Kiyosugi, Tomohiro Tsuji, Masashi Ushioda	Journal of Applied Volcanology, 12, 5. https://doi.org/10.1186/s13617-023-00131-8	2023	国外
「噴火予測のための簡単なマグマ供給系モデル」の階段図によるパラメタ推定	安田 敦	地震・火山噴火予知研究協議会 火山計画推進部会主催:シンポジウム「火山噴火の中長期的予測に向けた研究の現状と今後の課題」要旨集, 36-41.	2023	国内
Vapor-phase crystallization from a hydrous silicate melt: an experimental simulation of diktytaxitic texture	Ryosuke Sakurai, Michihiko Nakamura, Satoshi Okumura, Mayumi Mujin, Takayuki Nakatani	Contributions to Mineralogy and Petrology, 179(3), 1–20, DOI: 10.1007/s00410-024-02105-4	2024	国外
鉱物温度計によるマグマの温度推定	石橋秀巳	火山(印刷中)	2024年1月	国内
Gamma mark: an ingenuity to ease the aiming of melt inclusions in phenocrysts with NanoSIMS	Isoji Miyagi	Earth, Planets and Space(印刷中)	2024年4月	国外

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統樹の作成」

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
Magmatic response to the subduction initiation of Early Cretaceous Nidar Ophiolite complex, eastern Ladakh, NW Himalaya(ポスター)	Imayama, T., Sato, A., Driota, D., Kaneda, Y., Watanabe, S., Hasegawa, T., Minami, M., Wakasugi, Y., Wakaki, S., and Keewook, Y	EGU General Assembly 2023	2023年4月24日	国際
蔵王火山最新期溶岩類の岩石学的特徴(ポスター)	大木可夏子・伴雅雄	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月21日	国内
那須火山群、二岐山火山のマグマの起源：微量元素とSr-Nd-Pb同位体比からみた地殻・マントル相互作用の進化過程(口頭)	渡部将太・長谷川健・松本亜希子・Aka, F. T.・中川光弘	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月21日	国内
北海道東部、屈斜路火山における120 ka最大規模カルデラ形成噴火堆積物(KpIV)の石質岩片構成物分析(ポスター)	長田美里・長谷川健・柴田翔平	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月21日	国内
大規模水蒸気プリニー式噴火の発生機構とマグマ破碎過程：火山ガラス含水量からの考察(ポスター)	柴田翔平・長谷川健	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月21日	国内
見逃されていた活火山の発掘II：鷲羽池と硫黄沢で完新世に発生した大規模水蒸気噴火(口頭)	原田真尋・石崎泰男・沼田和佳子・増渕佳子	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月21日	国内
The growth History before and after the 54 ka Handa eruption at Kuju volcano. (ポスター)	福岡仁至・太田岳洋・辻智大	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月21日	国内
焼岳火山、下堀沢溶岩の噴出年代の再検討	大浦悠輝・齋藤武士・下岡順直	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月21日	国内
伽藍岳南麓に分布する火山性堆積物(ポスター)	大路颯人・齋藤武士	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月21日	国内
北八ヶ岳、横岳Y5・Y6溶岩の噴出年代と分布の再検討(ポスター)	中村柚月・齋藤武士・下岡順直	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月21日	国内
Paleomagnetic study of Pumice fall deposit of the 1783 eruption of Asama-Maekake volcano (口頭)	金丸龍夫・古川邦之	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月21日	国内
放射光分析と気泡組織解析に基づく北海道摩周火山約7600年前カルデラ形成噴火のマグマ上昇・酸化過程(ポスター)	佐野恭平・原田哲男・和田恵治・佐藤銳一	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月23日	国内
八丈島・西山火山におけるマグマ供給系とマグマプロセス(ポスター)	大岩和暉・栗谷豪・中川光弘・吉村俊平	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月23日	国内

福徳岡ノ場海底火山2021年噴火における漂着軽石・海底軽石の粒子物性と気泡組織(ポスター)	水野樹・前野深・谷健一郎	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月23日	国内
蔵王火山最新期のテフラ層序の再検討(ポスター)	伴雅雄・及川輝樹・井村匠・常松佳恵・神秀登・高橋由路	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月23日	国内
Water content in plagioclase-hosted melt inclusions of the Okama pyroclastics at Zao volcano, northeastern Japan: implications for magma ascent processes(ポスター)	Sato, M., Ban, M., Yoshimura, S. and Nakagawa, M.	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月23日	国際
時間-積算噴出量階段図の統一作成手順の提案: 次世代火山研究プロジェクト、サブ課題C-2の成果とりまとめに向け(ポスター)	中川光弘・宮縁育夫・長谷川健・古川竜太・上澤真平・長井雅史	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月23日	国内
積算噴出量階段ダイアグラムによる草津白根火山のマグマ噴火ポテンシャルの評価(ポスター)	沼田和佳子・亀谷伸子・石崎泰男・長谷部徳子・石川尚人	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月23日	国内
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(ポスター)	宮城汐李・石崎泰男・沼田和佳子・長谷部徳子・石川尚人	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月23日	国内
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(口頭)	宮縁育夫・佐藤英一	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月23日	国内
九重火山南麓における3大火碎流堆積物(飯田・下坂田・宮城)の差異と「下坂田火碎流堆積物」の層序(ポスター)	岡田将英・辻智大	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月23日	国内
八丈島・西山火山におけるマグマ供給系とマグマプロセス(ポスター)	大岩和暉・栗谷豪・中川光弘・吉村俊平	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月23日	国内
課題C 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(ポスター)	栗谷豪・中川光弘	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月23日	国内
時間-積算噴出量階段図の統一作成手順の提案: 次世代火山研究プロジェクト、サブ課題C-2の成果とりまとめに向け(ポスター)	中川光弘・宮縁育夫・長谷川健・古川竜太・上澤真平・長井雅史	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月23日	国内
課題C 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(ポスター)	栗谷豪・中川光弘	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月24日	国内
草津白根火山の噴火様式の検討: 岩石磁気学的アプローチ(ポスター)	澤田渚・亀谷伸子・川崎一雄・石崎泰男・寺田暁彦	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月24日	国内
浅間前掛火山の1万年間の高分解能噴火履歴復元に基づく階段図と噴火事象系統樹の作成(口頭)	安井真也	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月24日	国内
7.3ka鬼界カルデラ噴火におけるカルデラ形成に先行するフェーズ(口頭)	春田悠祐・前野深	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月25日	国内
40Ar/39Ar geochronology of the Yonger Ontake Volcano, Japan(ポスター)	山崎誠子・及川輝樹・Miggins, D., Koppers, A.	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月25日	国内

7.3 ka鬼界カルデラ形成噴火の時系列(ポスター)	前野深・春田悠祐	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月26日	国内
大規模火碎流分布図シリーズ2: 支笏火碎流堆積物分布図(口頭)	宝田晋治・中川光弘・宮坂瑞穂・山元孝広・山崎雅・金田泰明・下司信夫	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月26日	国内
北海道東部, 阿寒カルデラ噴出物ボーリングコア中に認められたMatuyama-Brunhes逆転境界(ポスター)	長谷川健・楠稚枝、岡田誠・平塚葵・西来邦章・佐藤勇輝	日本地球惑星科学連合 2023年大会, 千葉市幕張	2023年5月26日	国内
Unspiked K-Ar dating for Akita-Yakeyama Volcano, NE Japan(ポスター)	Yamasaki S. and Minami Y.	Goldschmidt Conference 2023, Lyon	2023年7月14日	国際
A preliminary rock magnetic results of the Kusatsu-Shirane volcano, Japan(ポスター)	Sawada N., Kametani N., Kawasaki K., Ishizaki Y., Terada A.	Asia Oceania Geosciences Society 2023, Singapore	2023年8月1日	国際
Stratigraphic sequence and geochemical characteristics of Lake Monoun Maar deposits, Noun Plain, Western part of the Cameroon Volcanic Line(ポスター)	Nche, L. A. Hasegawa, T., Aka, F. T., Miyabuchi, Y., Kaneda, Y., Watanabe, S., Ngwa, C. N., Ohba, T.	IAVCEI Commission 11th Workshop on Volcanic Lakes. São Miguel, Portugal	2023年8月30日	国際
The geological and petrological study for Biei and Tokachi pyroclastic flow deposits in the Furano-Asahikawa area, Japan(口頭)	Chiharu Tomijima, Ayaka Nakanishi, Eiichi Sato, Keiji Wada, and Mitsuhiro Nakagawa	8TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON COLLAPSE CALDERAS, Bolzano, Italia	2023年9月	国際
御嶽火山におけるMIS 2の氷河の発見—日本列島におけるlava-ice interactionの初めての報告—(口頭)	及川輝樹・山崎誠子	日本第四紀学会2023年大会, 所沢市	2023年9月1日	国内
東北日本、吾妻山の最新マグマ噴火噴出物をもたらしたマグマ供給系(口頭)	伴雅雄・菅野舜・佐藤初洋・井村匠・常松佳恵・長谷川健	日本地質学会第130年学術大会, 京都市	2023年9月19日	国内
茨城県大子・常陸大宮地域～栃木県茂木地域における中新世アダカイトの時空分布(ポスター)	小坂日奈子・長谷川健・内山玄基・田切美智雄・細井淳	日本地質学会第130年学術大会, 京都市	2023年9月19日	国内
北海道南西部、濁川カルデラ噴出物中の軽石に認められる高Ba異常とその原因: 変質を受けたリサイクル軽石の認定。(口頭)	金田泰明・長谷川健・井村匠	日本地質学会第130年学術大会, 京都市	2023年9月19日	国内
Paleomagnetic chronology for constraining the time scales of caldera-forming eruptions: case studies from Kutcharo ignimbrite I to II/III and Aso-4 tephra, eastern Hokkaido, Japan (口頭)	Shibata, S., Hasegawa, T., Tanimoto, A., Mochizuki, N. and Okada, M.	IAVCEI Commission 8th International Workshop on Collapse Calderas, Italy	2023年9月21日	国際
Preliminary results of paleomagnetic chronology for estimating the duration of the 2.08 Ma Huckleberry Ridge Tuff from Yellowstone (口頭)	Hasegawa, T., Shibata S., Kaneda, Y., Salazar, R., Kusu, C., Yamasaki, T., Madison, M., Wilson, C. J. N. and Okada, M.	IAVCEI Commission 8th International Workshop on Collapse Calderas, Italy	2023年9月21日	国際
桜島の完新世噴出物のSr-Nd-Pb同位体比分析に基づくマグマ系の進化についての検討(ポスター)	栗谷豪・中川光弘・松本亜希子	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月18日	国内

霧島火山岩類のSr-Nd同位体組成(速報)(口頭)	川口允孝・前野深・安田敦・田島靖久・佐野貴司・米田成一	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月18日	国内
吾妻-淨土平火山鎌倉噴火以降の爆発的噴火活動履歴(ポスター)	井村匠・伴雅雄・常松佳恵・井上朋紀・大津好秋・長谷川健・大場司	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月18日	国内
蔵王火山の最新期初期の山頂付近に分布する噴出物と山麓に分布するテフラ層の層序及び岩石学的特徴の比較(ポスター)	若林悠羽・伴雅雄	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月18日	国内
北海道南西部,濁川火山におけるカルデラ形成噴火の推移と小型カルデラの構造発達過程(ポスター)	金田泰明・長谷川健	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月18日	国内
1914年桜島火山噴火以降の姶良カルデラ下における地殻応力の変遷:測地・地物データで制約された粘弾性地殻変動モデルからの推定(口頭)	山崎雅・長谷川健・Siqi Li・Freysteinn Sigmundsson	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月18日	国内
新白山火山の最新噴火頻発期の噴出物の産状と年代(ポスター)	藤原寛・石崎泰男	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月18日	国内
九重火山の南麓,巣原地域の飯田火碎流堆積物の分布と下坂田火碎流堆積物の存在(ポスター)	岡田将英・辻智大	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月18日	国内
桜島火山2006年以降の噴出物の物質科学的解析からみる玄武岩質マグマの貫入と活動度の関連(口頭)	松本亜希子・中川光弘・井口正人	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月18日	国内
桜島ブルカノ式噴火前における火道内増圧過程-火道流モデルによる制約(口頭)	小園誠史・西村太志・松本亜希子・中川光弘・井口正人・三輪学央	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月18日	国内
霧島硫黄山噴火後の熱水化学組成の経時変動(IV)(ポスター)	石橋純一郎・宮本知治・松島健・山中寿朗・池端慶・及川純・田島靖久	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月18日	国内
吾妻山火山表層における火山弾・岩塊の分布と噴出条件の推定(ポスター)	常松佳恵・伴雅雄・井村匠・三浦太郎・阿部優大・ニルス・シュタイナウ	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月19日	国内
霧島火山群えびの高原硫黄山溶岩の噴出過程(ポスター)	前野深・八坂泰河・外西奈津美・安田敦	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月19日	国内
プリニー式噴火の推移を決める要因-浅間火山16 ka噴火の例(ポスター)	岡子田和典・前野深	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月19日	国内
吾妻山火山表層における火山弾・岩塊の分布と噴出条件の推定(ポスター)	大木可夏子・伴雅雄	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月19日	国内
那須火山群,二岐山火山の初生マグマとマントル溶融条件の予察的検討(ポスター)	渡部将太・長谷川健・Festus T. A.・松本亜希子・中川光弘	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月19日	国内
吾妻-淨土平火山鎌倉噴火以降の爆発的噴火活動履歴(ポスター)	井村匠・伴雅雄・大津好秋・井上朋紀・常松佳恵・長谷川健・大場司	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月19日	国内
カルデラ形成噴火中の時間間隙降下火碎物とそれを覆う火碎流堆積物の古地磁気方位に基づく考察(ポスター)	長谷川健・望月伸竜	日本火山学会2023年秋季大会,鹿児島市	2023年10月19日	国内

北海道東部、屈斜路軽石流堆積物II/III(Kp II/III)と広域テフラ阿蘇4(Aso-4)の古地磁気方位:カルデラ形成噴火の継続時間見積もりと同時発生の検証(口頭)	柴田翔平・長谷川健・谷元瞭太・望月伸竜・岡田誠	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月19日	国内
JVDNシステムを活用した阿蘇火山中岳2021年10月20日噴火後の降灰調査(口頭)	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	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月19日	国内
桜島火山薩摩テフラの層序(ポスター)	木尾竜也・西原歩・成尾英仁・下司信夫・宮縁育夫	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月19日	国内
溶結凝灰岩の柱状節理横断面における多角形の形態(ポスター)	手嶌隆一・宮縁育夫	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月19日	国内
阿蘇4火碎流分布図一大規模火碎流分布図シリーズ3(ポスター)	星住英夫・宝田晋治・宮縁育夫・宮城磯治・山崎雅・金田泰明・下司信夫	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月19日	国内
水蒸気噴火噴出物の変質組織の起源と意義(口頭)	南裕介・下司信夫	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月19日	国内
新聞報道に基づく秋田焼山における明治20(1887)年噴火の再評価(ポスター)	伊藤順一・南裕介	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月19日	国内
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、秋田駒ヶ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(口頭)	中川光弘・田次将太・松本亜希子・和知剛	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月19日	国内
北海道・渡島大島火山噴出物の全岩化学組成(ポスター)	谷内元・早川智也・中川光弘	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月19日	国内
那須火山群、二岐山火山の初生マグマとマントル溶融条件の予察的検討(ポスター)	渡部将太・長谷川健・Festus T. Aka・松本亜希子・中川光弘	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月19日	国内
火山防災のための火山ハザード情報システムの開発(口頭)	宝田晋治・Bandibas, J.・河野祐希・米谷珠萌・金田泰明・長田美里・池上郁彦	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月20日	国内
周辺海域を含めた伊豆大島側火山形成場の特徴と活動時期(口頭)	石塚治・井上卓彦・有元純・川邊禎久・及川輝樹・前野深	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月20日	国内
雌阿寒岳、ポンマチネシリ1000年前噴火のマグマ供給系(口頭)	小嶋久美子・佐藤锐一・和田恵治・松本亜希子・中川光弘	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月20日	国内
有珠山1663年噴火における珪長質マグマの起源(口頭)	高橋佳佑・栗谷豪・松本亜希子・中川光弘	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月20日	国内
浅間黒斑火山および仙人火山の大規模かつ複雑な山体崩壊(口頭)	安井真也	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月20日	国内
浅間火山群の新しい見方-仙人・前掛火山系(口頭)	高橋正樹・安井真也	日本火山学会2023年秋季大会, 鹿児島市	2023年10月20日	国内

Raman microspectroscopic study of corroded bronze fragments from an Assyrian period tomb at Yasin Tepe, Iraqi Kurdistan and clayey volcanic products from the 7 March 2012 phreatic eruption on Ioto Island, Japan(ボヌター)	Ikehata, K., Kurosawa, M., Anma, R., Nishiyama, S., Arakawa, Y. and Ishibashi, J.	Raman Fest 2023, Paris, France	2023年11月9日－10日	国際
蔵王火山の17世紀噴火の火山灰を用いた噴火推移の推定（口頭）	山名田慧亜・伴雅雄・井村匠・大場司	日本地質学会東北支部 2023年度究発表会, 福島	2024年3月16日	国内
東北日本、蔵王火山の13世紀と17世紀のテフラ層中の輝石斑晶拡散時間（口頭）	橋本かなえ・伴雅雄	日本地質学会東北支部 2023年度究発表会, 福島	2024年3月16日	国内
蔵王火山東麓、遠刈田北西の火山麓扇状地～高位段丘を構成するラハール堆積物（口頭）	藤原弘人・伴雅雄・橋本智雄	日本地質学会東北支部 2023年度究発表会, 福島	2024年3月16日	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	発表した時期	国内・外の別
		（学会誌・雑誌等名）		
次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトについて	中川光弘	北海道地区自然災害科学資料センター報告, 36, 63 - 72	2023年4月1日	国内
福島県南部、二岐山火山の噴火史とマグマ供給系	渡部将太・長谷川健・小畑直也・豊田新・今山武志	地質学雑誌, 129, 307-324	2023年4月6日	国内
Varying Ecological Successions in Lakes Subdivided by Volcanic Eruption at Akan Caldera, Japan	Wakana, I., Kadono, Y., Urabe, J., Tamura, Y., Suzuki, Y., Yamada, H., Oyama, Y., Wada, K., Hasegawa, T., and Ohara, M.	Hydrobiologia, 850, 3919-3933	2023年4月23日	国際
Geological constraints on volcanic-fluid pathways at the Maruyamasawa-Fumarolic-Geothermal-Area, and its relation to the present magmatic-hydrothermal activity in Zao Volcano, Tohoku, Japan.	Imura, T., Ban M., Tsunematsu, K., Goto, A., Okada, J. and Kuri, M.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 437, no. 107793	2023年5月1日	国際
Geochemical constraints on the evolution of the magmatic system leading to catastrophic eruptions at Aira Caldera, Japan	Kuritani, T.	Lithos, 450-451, 107208	2023年5月11日	国際
Eruption style transition during the 2017-2018 eruptive activity at the Shinmoedake volcano, Kirishima, Japan: surface phenomena and eruptive products	Maeno, F., Shohata, S., Suzuki, Y., Hokanishi, N., Yasuda, A., Ikenaga, Y., Kaneko, T. and Nakada, S.	Earth, Planets and Space, 75, 76	2023年5月11日	国際
New petrological and geochemical insights into the magma plumbing system of the 1991 Pinatubo eruption	Tamura, T. and Nakagawa, M.	Contributions to mineralogy and petrology 178 : 43	2023年6月22日	国際
史料からみた北海道駒ヶ岳1640年噴火	杉森玲子・前野深	火山, 68, 2, 59-73	2023年6月30日	国内

IAVCEI (国際火山学地球内部化学協会) 2023年大会参加報告 (その1) : セッションとワークショップの概況	長谷川健・松本恵子・橋本武志・畠真紀・岩橋くるみ・無盡真弓・村松彈・大橋正俊・三反畠修・嶋野岳人・田中良・安田裕紀	火山, 68, 105-113	2023年6月30日	国内
IAVCEI (国際火山学地球内部化学協会) 2023年大会参加報告 (その2) : 巡検と学会参加の感想	松本恵子・コンウェイクリス・畠真紀・伊藤久敏・岩橋くるみ・片岡香子・森田雅明・西原歩・三反畠修・渡部将大・山崎誠子・長谷川健	火山, 68, 115-123	2023年6月30日	国内
Early Cambrian high pressure/low temperature metamorphism in the southeastern Tarim craton in response to circum-Gondwana cold subduction	Liu, Q., Tsunogae, T., Zhao, G., Uthup, S., Takahashi, K., Yao, J., Wu, Y., Han, Y. and Ikehata, K.	Geoscience Frontiers, vol. 14(4), 101561	2023年7月1日	国際
日光白根及び三岳火山地質図」を刊行	草野有紀・及川輝樹・石塚吉浩・石塚治・山元孝広	GSJ地質ニュース, 12, 7, 196-199	2023年7月1日	国内
Multi-method constraints on the age and timescale of silicic small-volume eruptions of Puketerata Volcanic Complex, Taupō Volcanic Zone, New Zealand	Kósik, S., Hasegawa, T., Danišík, M., Németh, K., Okada, M., Friedrichs, B. and Schmitt, A.K.	Earth, Planets and Space 75: 107	2023年7月12日	国際
A machine learning based - approach to predict the water content of Mid - Ocean Ridge Basalts	Zhou, J., Liu, J., Xia, Q.-K., Su, C., Kuritani, T. and Hanski, E.	Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 24, e2023GC010984	2023年7月26日	国際
秋田焼山火山における過去6000年間の爆発的活動による降下火碎物の層序, 年代, 化学的特徴	南裕介・伊藤順一・草野有紀・及川輝樹・大場司	火山, 68, 39-57	2023年7月27日	国内
Review of bomb and ash flows: Genesis and case studies of a subset of block and ash flow deposits	Alvarado, G., Toulkeridis, T., Miyabuchi, Y. and Pérez, W.	Andean Geology, 50, 346-371	2023年9月1日	国際
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	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	火山, 68, 129-160	2023年9月1日	国内
Temporal change in eruption style during the basaltic explosive An'ei eruption of the Izu-Oshima volcano, Japan: insights from stratigraphy and chemical composition analyses	Ikenaga, Y., Maeno, F. and Yasuda, A.	Frontiers in Earth Science, 11, 172615	2023年9月15日	国際
Genesis and interaction of magmas at Nishinoshima volcano in the Ogasawara arc, western Pacific: new insights from submarine deposits of the 2020 explosive eruptions	Tamura, Y., Sato, T., Ishizuka, O., McIntosh, I. M., Yoshida, K., Maeno, F. and Chang, Q.	Frontiers in Earth Science, 11, 137416	2023年9月15日	国際

The sequence of the 2017-2018 eruptions and seismo-acoustic activity at Kirishima volcano group	Ichihara, M., Kobayashi, T., Maeno, F., Ohminato, T., Watanabe, A., Nakada, S. and Kaneko, T.	Earth, Planets and Space, 75, 144	2023年9月20日	国際
多量の漂流軽石を発生させる噴火-南西諸島における軽石の漂着記録とその給源火山の活動から	及川輝樹・池上郁彦・渡部将太	火山, 68, 171-187	2023年9月30日	国内
福島県、吾妻一浄土平火山の1893年（明治時代）噴火はマグマ放出噴火を伴っていた：燕沢火口列周辺に分布する巨大な火山弾の古地磁気年代測定による推察	長谷川健・菊池文太・柴田翔平・井村匠・伴雅雄・常松佳恵・山本裕二・大場司・鈴木和馬・戸丸淳晴・楠稚枝・岡田誠	火山, 68, 189-196	2023年9月30日	国内
東北日本、秋田駒ヶ岳南部カルデラの形成史	田次将太・中川光弘・和知剛	火山, 68, 207 - 228	2023年9月27日	国内
Magma fractionation and emplacement mechanism in a subvolcanic plumbing system in a continental region: constraints from the late Neoproterozoic Wadi Dib ring complex in the Eastern Desert, Egypt	Saad, E., Ozawa, K., Kuritani, T. and Khudeir, A. A.	Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 118, 018	2023年10月10日	国際
Carbon dioxide and water in the crust. Part 1: Equation of state for the fluid.	Yoshimura, S.	Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 118, 022	2023年11月9日	国際
Carbon dioxide and water in the crust. Part 2: Solubility in silicate melts.	Yoshimura, S.	Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 118, 023	2023年11月9日	国際
Paleomagnetism and paleomagnetic dating to large volcanic bombs: an example from the historical eruption of Azuma-Jododaira volcano, NE Japan.	Hasegawa, T., Kikuchi, B., Shibata, S., Yamamoto, Y., Imura, T., Ban, M., Tsunematsu, K., Kusu, C., Okada, M. and Ohba, T.	Earth, Planets and Space, 75, 172	2023年11月16日	国際
御嶽火山の10万年前より若い試料の40Ar/39Ar年代測定	山崎誠子・及川輝樹・Miggins, D.・Koppers, A.	フィッショントラックニュースレター, 36号, 27-28	2023年12月1日	国内
Dispersal and grain size characteristics of the May 14, 2018 Shinmoedake eruption deposit, Kirishima Volcano, Japan, based on post-eruption field survey and meteorological datasets	Miyabuchi, Y. and Sato, E.	Earth, Planets and Space, 75, 182	2023年12月5日	国際
北海道南西部、濁川火山カルデラ噴火の軽石礫に認められる高Ba異常とその成因：岩石組織および化学組成からの検討	金田泰明・長谷川健・井村匠	地質学雑誌 129, 615-631	2023年12月22日	国内
VolcAshDB: a Volcanic Ash DataBase of classified particle images and features	Benet, D., Costa, F., Widiwijayanti, C., Pallister, J., Pedreros, G., Allard, P., Aoki, Y. and Maeno, F.	Bulletin of Volcanology, 86, 9	2024年1月5日	国際

Olivine-hosted melt inclusions track progressive dehydration reactions in subducting slabs across volcanic arcs	Brahm, R., Coulthard, D., Zellmer, G. F., Kuritani, T., Sakamoto, N., Taniuchi, H., Yurimoto, H., Nakagawa, M. and Sato, E.	Journal of Petrology, 65, egae017	2024年2月29日	国際
「国内活動的火山の噴出量階段図：火山活動評価と火山防災への基礎資料」－ねらいと概要－	長井雅史・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	防災科学技術研究所研究資料, 500, 1	2024年2月29日	国内
有珠山のマグマ噴出量階段図	中川光弘・松本亜希子	防災科学技術研究所研究資料, 500, 3-10	2024年2月29日	国内
北海道東部、雌阿寒岳のマグマ噴出量階段図の試作	佐藤銳一・和田恵治・南裕介・石塚吉浩・中川光弘	防災科学技術研究所研究資料, 500, 11-16	2024年2月29日	国内
羊蹄火山のマグマ噴出量階段図の試作	上澤真平・中川光弘・松本亜希子	防災科学技術研究所研究資料, 500, 17-22	2024年2月29日	国内
樽前火山のマグマ噴出量階段図-火道安定型火山の例-	古川竜太	防災科学技術研究所研究資料集, 500, 23-28	2024年2月29日	国内
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-	大場司・林信太郎・伴雅雄・井村匠・池田柾道・平田碧・菊池瑛美	防災科学技術研究所研究資料集, 500, 29-36	2024年2月29日	国内
マグマ噴出量階段図の事例:藏王山	伴雅雄・及川輝樹・井村匠・常松佳恵・神秀登・高橋由路	防災科学技術研究所研究資料集, 500, 37-43	2024年2月29日	国内
那須火山群、茶臼岳のマグマ噴出量階段図-長期から中期の活動評価-	長谷川健・渡部将太・北原遼太・吉川洸希・井上結莉乃	防災科学技術研究所研究資料集, 500, 45-53	2024年2月29日	国内
日光白根火山のマグマ噴出量階段図-水蒸気噴火が活発な火山の例-	草野有紀・石塚治・石塚吉浩・及川輝樹・古川竜太	防災科学技術研究所研究資料集, 500, 55-60	2024年2月29日	国内
草津白根火山のマグマ噴出量階段図	石崎泰男・沼田和佳子・亀谷伸子	防災科学技術研究所研究報告, 500, 61-69	2024年2月29日	国内
伊豆大島のマグマ噴出量階段図	前野深・池永有弥	防災科学技術研究所研究資料, 500, 71-77	2024年2月29日	国内
浅間前掛火山におけるマグマ噴出量階段図の作成	高橋正樹・金丸龍夫・安井真也	防災科学技術研究所研究資料, 500, 79-84	2024年2月29日	国内
阿蘇火山における後カルデラ期のテフラ噴出量階段図の作成	宮縁育夫	防災科学技術研究所研究資料, 500, 85-92	2024年2月29日	国内
マグマ噴出量階段図：九重火山	太田岳洋・辻智大・福岡仁至・岡田将英	防災科学技術研究所研究資料, 500, 93-106	2024年2月29日	国内
Vulcanian eruptions at Sakurajima volcano: geophysical data, numerical modelling, and petrological evidence	Nishimura, T., Kozono, T., Matsumoto, A., Nakagawa, M., Iguchi, M.	Bulletin of Volcanology, 86, 27	2024年3月4日	国際
浅間火山群噴出物の全岩主化学組成一分析データ1,992個の総括一	高橋正樹・金丸龍夫・安井真也	日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 59, 47-108	2024年3月31日	国内

様式第21

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 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
伊豆大島1986年溶岩流出噴火におけるマグマ溜り・火道システムへの制約 (ポスター)	小園誠史	日本地球惑星科学連合2023年大会	2023年5月	国内
桜島ブルカノ式噴火前における火道内増圧過程—火道流モデルによる制約— (口頭)	小園誠史・西村太志・松本亜希子・中川光弘・井口正人・三輪学央	日本火山学会2023年秋季大会	2023年10月	国内
桜島 1914 年プリニー式噴火のマグマダイナミクス—噴煙・火道流モデルによる制約— (ポスター)	土屋彰登・小園誠史・奥村聰	日本火山学会2023年秋季大会	2023年10月	国内
Magma pressurization in conduit before Vulcanian eruptions at Sakurajima volcano inferred from conduit flow modeling (ポスター)	T. Kozono, T. Nishimura, A. Matsumoto, M. Nakagawa, M. Iguchi, T. Miwa	Citeis On Volcanoes 2023	2024年2月	国外
個別要素法による3 次元岩脈貫入シミュレーション : 岩脈周辺での地震活動 (口頭)	藤田英輔	日本火山学会2023年秋季大会	2023年10月	国内
3D Dike intrusion simulation using DEM: seismic activity around the dike (口頭)	Eisuke Fujita	INGV カタニア セミナー	2024年1月	国外
火山の地形を考慮した地殻変動計算システムの開発 (2) (ポスター)	川口亮平	日本地球惑星科学連合2023年大会	2023年5月	国内
GNSS観測データに基づく伊豆大島の地殻変動源解析 (ポスター)	川口亮平・鬼澤真也・成田冴理・安藤忍	日本火山学会2023年秋季大会	2023年10月	国内
Numerical investigation on the effect of solid particle size and concentration in a polydisperse gas-solid multiphase flows, (口頭)	Talukdar, D. and Suzuki, Y.	International Heat and Mass Transfer Conference	2023年12月	国外

Numerical study of pyroclastic material transport in explosive volcanic eruptions(ポスター)	鈴木雄治郎	American Geophysical Union 2023 Fall Meeting	2023年12月	国外
Numerical investigation of compressible monodisperse gas-solid flows in a supersonic under-expanded jet: Effect of particle diameter and concentration(口頭)	Deboprasad, T. and Suzuki, Y.	International Conference on Flow Dynamics	2023年11月	国内
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.	Asia Oceania Geosciences Society 2023	2023年8月	国外
火山噴煙中での火山灰・ガス反応に伴う硫酸塩生成の数値計算と噴煙からの硫黄除去への応用(ポスター)	渡辺詩文, 奥村聰, 鈴木雄治郎	日本地球惑星科学連合2023年大会	2023年5月	国内
Development of multiphase CFD model based on Eulerian approach for gas-solid simulations: Applications in volcanology(口頭)	Talukdar, D. and Suzuki, Y.	日本地球惑星科学連合2023年大会	2023年5月	国内
Reconstructing the 19 February 2018 Sinabung eruption column by a 3D numerical model(口頭)	Syarifuddin, M., Suzuki, Y. J., Oishi, S., Basuki, A., and Iguchi, M.	日本地球惑星科学連合2023年大会	2023年5月	国内
気象庁の火山灰拡散予測業務のための物理に基づく一次元噴煙モデルの開発(口頭)	石井憲介, 西條祥, 小屋口剛博, 鈴木雄治郎	日本地球惑星科学連合2023年大会	2023年5月	国内
Synergistic approach to robustly reconstruct eruption plume dynamics: application to Campi Flegrei(ポスター)	Martinez Montesinos, B., Suzuki, Y. J., Costa, A, and Mingari, L.	日本地球惑星科学連合2023年大会	2023年5月	国内
溶岩流の「噴出量—到達距離」関係式(口頭)	丸石崇史・小園誠史・藤田英輔	日本火山学会2023年秋季大会	2023年10月	国内
Relationship between lava length and lava volume(ポスター)	T. Maruishi, T. Kozono, E. Fujita	Cities On Volcanoes 2023	2024年2月	国外

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

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	発表時期	国際・国内の別
		(新聞名・TV名)		
Web連載による発信「日本海に浮かぶ絶海の孤島・渡島大島が噴火…江戸の世の松前を襲った悲劇はこうして起った」	前野深	講談社ブルーバックス Web版	2023年4月5日	国内
Web連載による発信「はるか沖合で起こる海洋火山の山体崩壊に注目すべき理由とは?…上陸してわかった噴火・崩壊現場と災害軽減が簡単でない現実」	前野深	講談社ブルーバックス Web版	2023年4月5日	国内
西之島の活動に関する取材・報道	前野深	NHK 首都圏NEWS	2023年4月10日	国内
「噴火しそうな火山はいくつ?」	川邊禎久	毎日小学生新聞	2023年4月11日	国内
「阿蘇4火碎流分布図」に関する取材対応および記事掲載	宮縁育夫	熊本日日新聞	2023年5月5日	国内
Web連載による発信「小さな離島からなる北マリアナ諸島…戦争から立ち直った小島「アナタハン島」を再び無人島に戻した災禍」	前野深	講談社ブルーバックス Web版	2023年6月5日	国内
Web連載による発信「世界有数のリゾート地に連なる小島「アナタハン島」…人々の生活や愛憎の痕跡を覆った火山灰の島はどうなったか?」	前野深	講談社ブルーバックス Web版	2023年6月5日	国内
浅間山大噴火～天明3年・驚きの復興再生プロジェクト～	安井真也	NHK BSP 英雄たちの選択	2023年7月5日	国内
トンガ海底火山 噴火をめぐる謎	前野深	NHK BSP/BS4K コズミック フロント	2023年7月27日	国内
Web連載による発信「なんと、マリアナ諸島と伊豆は一列に並んだ火山…零戦の飛行場をも飲みこんだ衝撃の噴火」	前野深	講談社ブルーバックス Web版	2023年8月18日	国内
Web連載による発信「「マリアナ諸島」じつは小笠原の目と鼻の先…いま大噴火したら、日本は無関係とはいかない衝撃の事実」	前野深	講談社ブルーバックス Web版	2023年8月18日	国内
2万年以上前の火山活動の影響? 浅間山の西側地中から大きな岩の塊 山麓全体での状況把握へ調査	安井真也	信濃毎日新聞デジタル	2023年8月19日	国内
地上の深さ5メートルに火山灰堆積、噴火の痕跡? 日大教授、小諸市で初めて掘削調査	安井真也	信濃毎日新聞デジタル	2023年8月29日	国内
(序破急) 尽きない課題、限りない探究 黒沢大陸	安井真也	朝日新聞デジタル	2023年8月30日	国内
プラタモリ事前取材「利尻島」	谷内元	NHKテレビ	2023年9月30日	国内
「御嶽山で氷河の痕跡を発見」(朝刊1面)	及川輝樹	信濃毎日新聞	2023年10月1日	国内
記事「蔵王山 噴火災害軽減へ」	伴雅雄	山形新聞	2023年10月2日	国内

弥陀ヶ原火山地獄谷の活動状況に関する観測結果の取材・放映	石崎泰男	北日本放送テレビ	2023年10月4日	国内
理科教育ニュース No. 1215	及川輝樹	理科教育ニュース (少年写真新聞社)	2023年10月18日	国内
志賀火山の噴火履歴に関する研究成果の取材・報道	石崎泰男	信濃毎日新聞	2023年10月20日	国内
小笠原諸島硫黄島沖噴火に関する取材・報道	前野深	毎日新聞	2023年11月1日	国内
「西之島新島出現から10年」に関する取材・報道	前野深	読売新聞	2023年11月5日	国内
志賀火山の噴火履歴に関する研究成果の取材・放映	石崎泰男	NHK長野 イブニング信州	2023年11月17日	国内
小笠原諸島硫黄島沖噴火に関する取材・報道	前野深	NHK 首都圏ナビ	2023年12月5日	国内
志賀火山の噴火履歴に関する研究成果の取材・報道	石崎泰男	NHK 首都圏ナビ	2023年12月6日	国内
ジオ・ジャパン 絶景100の旅 「大分 阿蘇の火碎流台地」出演	宮縁育夫	NHK BS	2024年2月27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	2023年5月2日	国内
樽前山の火山活動の中長期予測	中川光弘	北海道火山勉強会in樽前山 一般講演会「樽前山～最新の研究成果と火山活動の現状～」, 苫小牧市	2023年6月10日	国内
活火山のマグマ供給系とその活性化過程について:安山岩～デイサイト質火山の岩石学的事例研究	伴雅雄	地圏総合C技術発表会, 特別講演, 地圏総合コンサルタント, 東京都北区王子	2023年6月24日	国内
蔵王の地形・地質① (蔵王火山・青麻山の成り立ちなど)	伴雅雄	「蔵王の達人講座」再開催, 宮城県蔵王町	2023年7月16日	国内
月山の地質と岩石	伴雅雄	「月山」に学び、地域を知る講座」, 第3回 令和5年度 月山マイスター・月山フォーラム連携事業, 山形県戸沢村	2023年8月6日	国内
M2: Mt. Zao	Masao Ban	Water-Rock Interaction WRI-17/ Applied Isotope Geochemistry AIG-14 in Sendai 2023, Mid-Conference Tours	2023年8月20日	国際
蔵王山東麓におけるラハール堆積物の重機トレーニング調査	伴雅雄・藤原弘人・橋本智雄・蔵王樹氷火山総合研究会	異分野交流会, 山形大学	2023年8月29日	国内
Caldera volcanoes in Japan and Indonesia: Challenges to understanding unwitnessed super eruptions and related caldera-formation processes	Takeshi Hasegawa	Guest Lecture at Faculty of Geography Universitas Gadjah Mada	2023年10月10日	国際
阿蘇カルデラはどのような噴火でできたのか?	宮縁育夫	藤原ナチュラルヒストリー振興財団 九州シンポジウム「天変地異の時代～火山列島に生きる～」	2023年10月15日	国内

浅間山の噴火	安井真也	令和5年度軽井沢町 浅間山火山の学校	2023年10月16日	国内
弥陀ヶ原火山で想定される火山 災害	石崎泰男	富山県消防学校自然災 害科研修講演	2023年10月25日	国内
草津白根火山の形成史	石崎泰男	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－	2023年11月17日・18 日	国内
現地見学会「草津温泉と火山活 動」	石崎泰男・亀谷伸子・ 寺田暁彦	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－	2023年11月17日・18 日	国内
最新の研究成果から見た有珠山 の形成史	中川光弘	洞爺湖有珠山ジオパー ク講座	2023年11月25日	国内
Abrupt changes in eruption style in large-scale eruptions of mafic volcanoes	Fukashi Maeno	IAVCEI Commission on Tephra Hazard Modelling - Ashvances in Tephra Seminar Series (ATSS), Online	2023年11月29日	国際
最近の研究成果から見たアトサ ヌプリ火山の噴火史：特に完新 世噴火履歴と防災対応	中川光弘	令和5年度アトサヌプリ 火山防災協議会コア グループ会議	2023年12月14日	国内
内閣府技術動向WG における検討 内容の紹介	前野深	火山噴火の中長期的予 測に向けた研究の現状 と今後の課題（主催： 地震・火山噴火予知研 究協議会 火山計画推 進部会）	2023年12月23日	国内
文科省「次世代火山研究人材育 成総合プロジェクト」で進めて いる階段図作成とその活用	中川光弘	火山噴火の中長期的予 測に向けた研究の現状 と今後の課題（主催： 地震・火山噴火予知研 究協議会 火山計画推 進部会）	2023年12月23日	国内
詳細な階段図の事例紹介と階段 図の限界	安井真也	シンポジウム「火山 噴火の中長期的予測に 向けた研究の現状と今 後の課題」地震・火山 噴火予知研究協議会 火山計画推進部会	2023年12月23日	国内
階段図を用いたマグマ活動の評 価指標の提案	伊藤順一	シンポジウム「火山 噴火の中長期的予測に 向けた研究の現状と今 後の課題」地震・火山 噴火予知研究協議会 火山計画推進部会	2023年12月23日	国内
岩石・鉱物学的手法による中長 期火山活動予測	下司信夫	シンポジウム「火山 噴火の中長期的予測に 向けた研究の現状と今 後の課題」地震・火山 噴火予知研究協議会 火山計画推進部会	2023年12月23日	国内
伊豆諸島の噴火の特徴 ～三宅島 を中心～	及川輝樹	令和5年度東京都火山 防災シンポジウム、東 京都中央区	2024年1月21日	国内
福德岡ノ場2021年噴火および軽 石漂流イベントと国内の軽石漂 流イベント	及川輝樹	浮遊軽石災害セミ ナー、東京都新宿区	2024年2月9日	国内
Chronology of the 7.3 ka Kikai caldera-forming eruption, Japan	Maeno, F. and Haruta, Y.	International symposium 'Submarine caldera volcanoes'	2024年3月6日	国内

Pre-caldera-forming phases during the 7.3ka Kikai Caldera Eruption	Haruta, Y. and Maeno, F.	International symposium 'Submarine caldera volcanoes'	2024年3月6日	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
わが国最大の巨大噴火の全体像が明らかに —阿蘇4火碎流の詳細な分布図と地質情報を公開—	金田泰明（共著者として）	産総研、地質調査センター	2023年4月12日	国内
蔵王山東麓のラハール堆積物の分布と特性解明を目的とした重機トレンチ掘削調査	伴雅雄	山形大学	2023年8月3日	国内
国際的な学術誌に阿寒カルデラ湖沼群に関する論文を発表	長谷川健（共著者として）	釧路市、茨城大学	2023年9月6日	国内