

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4年度  
成果報告書

令和5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4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4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

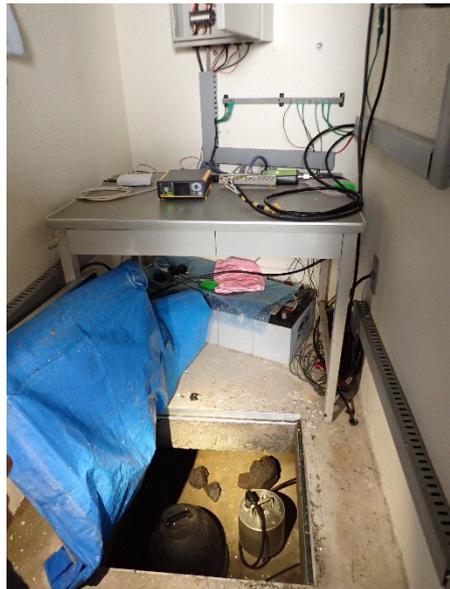


写真 1. 伊豆大島研究集会および現地検討会の様子。

## はじめに

火山列島である日本には、全国各地に 110 の活火山があり、ほぼ毎年、複数の火山で噴火が起こっている。これらの火山噴火による災害を軽減するには、個々の火山について、将来の噴火や噴火推移を予測することが必要である。そしてこの噴火予測手法を確立することが、現在の火山研究の重要課題の 1 つであり、同時に国民から期待されていることでもある。短期的に火山噴火を予測するためには、地球物理学的観測により噴火直前の前兆現象を捉えることが有効である。いくつかの火山では、噴火前の様々な前駆現象を捉えることができおり、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を期待できる。

この報告書では、研究開始から 7 年目にあたる令和 4 年度の成果を報告する。令和 4 年度は新型コロナウイルス感染症も落ち着きを見せ始めたので、各機関の活動の制約も少なくなり、それぞれが精力的に研究を進めてきた。また、コロナ禍により滞っていた、伊豆大島を対

象とした課題内連携研究も実施できるようになり、対面とオンラインを組み合わせた研究集会および現地検討会を開催することができた。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、本課題・本事業が社会へ資する役割を念頭において、令和5年度以降も研究課題の達成に向けて、研究を確実に推進していきたいと考える次第である。

## 目次

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	10
(2) 研究実施日程	12
(a) サブテーマ1	12
(b) サブテーマ2	14
(c) サブテーマ3	14
2. 研究成果の説明	16
2. 1 火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発	16
(1) 業務の内容	16
(a) 業務題目	16
(b) 担当者	16
(c) 業務の目的	16
(d) 10か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）	17
(e) 令和4年度における業務の方法	19
(2) 令和4年度の成果	21
(a) 業務の要約	21
(b) 業務の成果	21
(c) 結論	54
(d) 引用文献	55
(e) 成果の論文発表・口頭発表等	58
(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定	58
(3) 令和5年度の業務計画案	59
(a) 分析・解析プラットフォームの整備・運用、新手法の開発	59
(b) 火山噴出物の分析・解析	59
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	62
(1) 業務の内容	62
(a) 業務題目	62
(b) 担当者	62
(c) 業務の目的	63
(d) 10か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）	63
(e) 令和4年度における業務の方法	67
(2) 令和4年度の成果	68
(a) 業務の要約	68

(b) 業務の成果.....	69
(c) 結論.....	174
(d) 引用文献.....	174
(e) 成果の論文発表・口頭発表等.....	181
(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定.....	181
<b>(3) 令和5年度の業務計画案.....</b>	<b>182</b>
(a) 火山の噴火履歴およびマグマ長期変遷に関する研究.....	182
(b) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発.....	184
(c) 大規模噴火データベースの整備.....	184
(d) 課題C-2のとりまとめと研究成果の発信.....	184
(e) 課題C全体のとりまとめと総合推進.....	185
<b>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.....</b>	<b>186</b>
<b>(1) 業務の内容.....</b>	<b>186</b>
(a) 業務題目.....	186
(b) 担当者.....	186
(c) 業務の目的.....	186
(d) 10か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）.....	187
(e) 令和4年度における業務の方法.....	189
<b>(2) 令和4年度の成果.....</b>	<b>192</b>
(a) 業務の要約.....	192
(b) 業務の成果.....	192
(c) 結論.....	213
(d) 引用文献.....	214
(e) 成果の論文発表・口頭発表等.....	214
(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定.....	214
<b>(3) 令和5年度の業務計画案.....</b>	<b>215</b>
(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.....	215
(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.....	216
<b>3. 会議録.....</b>	<b>218</b>
(1) サブ課題C-2 研究打ち合わせ.....	218
(2) 伊豆大島連携研究 研究集会および現地検討会.....	218
(3) サブ課題C-2 研究集会.....	218
(4) サブ課題C-1 研究集会.....	218
<b>4. むすび.....</b>	<b>219</b>
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・解析プラットフォームを整備し、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、主として地質学のおよび物質科学的手法に基づいて長期的な噴火履歴を明らかにし、さらに個々の噴火の様式とその推移を可能な限り詳細に解明する。また最重点火山として5火山を選定し、ボーリング掘削やトレンチ調査を集中的に実施して、より高精度の噴火履歴を解明する。このような作業を経て各対象火山について高精度の時間-積算噴出物量図を作成するとともに、噴火履歴に対応する噴出物の物質科学的解析に基づいたマグマプロセスの解明を行い、個々の火山で中長期噴火予測、および事象分岐確率の入った噴火事象系統樹の作成を目指す。

### (3) サブテーマ3: シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発

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

## (1) 研究者別の概要

### (a) サブテーマ1

所属機関・ 部局・職名	氏名	分担した研究項目 及び研究成果の概要	研究 実施 期間	配分を 受けた 研究費	左記の うち、 間接 経費
国立大学法人 東京大学・地 震研究所・准 教授	安田 敦	<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。 研究集会を企画し開催した。 <分析解析プラットフォーム構 築> 分析補助ツールや解析ツ ールを改修した。 <噴出物解析> 富士山、雲仙、西之島の試 料を分析し、マグマ供給系に ついて検討とデータの取り まとめを行った。	R4. 4. 1～ R5. 3. 31	5,750,14 3	1,326,9 56
学校法人早稲 田大学・教育 ・総合科学学 術院・准教授	鈴木 由希	<噴出物解析> 榛名山の最新の2噴火につ いてマグマ供給系と噴火誘 発過程を比較し、噴火規模の 違いを考察した。 霧島山新燃岳の享保噴火 試料について、石基結晶組織 の予察的解析を行い、2011年 噴火と比較した。	R4. 4. 1～ R5. 3. 31	1,045,20 0	241,200
学校法人常葉 大学・大学院 環境防災研究 科・教授	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 出スキームを諏訪之瀬島の 1813年噴火および2000年以 降の噴出物に応用した。 諏訪之瀬島、桜島、富士山 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。	R4. 4. 1～ R5. 3. 31	1,040,00 0	240,000

<p>国立大学法人 静岡大学・理 学部・准教授</p>	<p>石橋 秀巳</p>	<p>&lt;噴出物解析&gt; 伊豆大島のマグマに含まれる代表的な化学組成のメルトについて、H<sub>2</sub>O 飽和条件下での斜長石リキダスを使ってプレ噴火深度を検討した。また、1986年B噴火の噴出物中に含まれる深成岩捕獲岩の成因を検討した。 富士山宝永噴火の Ho-II 安山岩質スコリアを分析し、噴火過程を考察した。</p>	<p>R4. 4. 1～ R5. 3. 31</p>	<p>1, 038, 32 3</p>	<p>239, 613</p>
<p>国立大学法人 熊本大学・く まもと水循環 ・減災研究教 育センター・ 特任教授</p>	<p>長谷中 利 昭</p>	<p>&lt;噴出物解析&gt; 阿蘇カルデラ外輪山に分布する溶岩と岩脈について K-Ar 感度法による年代測定を行った。 後カルデラ期最大規模の草千里ヶ浜火山噴火およびその直前の玄武岩質マグマ活動の噴出物について化学分析を行い、噴火直前のマグマ溜まり深度および噴火準備過程を検討した。 阿蘇カルデラ西方に分布する先阿蘇火山岩類（先カルデラ期）の調査を行い、周辺地域の火山岩類との対比を検討した。</p>	<p>R4. 4. 1～ R5. 3. 31</p>	<p>6, 238, 13 1</p>	<p>1, 439, 5 68</p>
<p>国立大学法人 東北大学・大 学院理学研究 科・教授</p>	<p>中村 美千 彦</p>	<p>&lt;噴出物解析と手法開発&gt; 軽石に含まれるマイクロライトと斑晶の組成の比較から、マイクロライトの成因と浅間天明噴火のメカニズムを検討した。 X線 CT 画像を用いて、富士山宝永噴火噴出物の破砕メカニズムの研究を行った。</p>	<p>R4. 4. 1～ R5. 3. 31</p>	<p>6, 238, 17 7</p>	<p>1, 439, 5 79</p>

		桜島の大規模ブルカノ式噴火の駆動力の検討を行った。			
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	<p>&lt;噴出物解析&gt;</p> <p>有珠山 1977 年準プリニー式噴火の噴出物について化学分析を行ない、マグマの上昇の過程の考察に必要なデータを得た。</p> <p>有珠山 2000 年噴出物の石基ガラスの揮発分量を分析し、当該マグマ水蒸気噴火におけるマグマ破碎過程に必要なデータを得た。</p>	R4. 4. 1～ R5. 3. 31	1, 920, 026	320, 670
同・主任研究員	宮城 磯治	<p>&lt;噴出物の解析手法開発&gt;</p> <p>マグマの熱力学解析によって得られた膨大な計算結果を、sqlite3 と動画を用いることにより、コンパクトに集計可能にした。</p>	R4. 4. 1～ R5. 3. 31		
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	<p>&lt;噴出物採取&gt;</p> <p>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行った。</p>	R4. 4. 1～ R5. 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、八丈島のマグマ供給系についての成果を公表した。伊豆大島連携研究では、物質科学分野の課題を提示し貢献した。さらに、マグマ変遷解析センターの	R4. 4. 1～ R5. 3. 31	50, 683, 997	11, 696, 307

		統括および分析技術開発を行った。			
同 特任教授	中川 光弘	課題C全体のとりまとめ、特に課題間連携研究の企画・推進を行った。また、アトサヌプリ・摩周・秋田駒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た。また、ボーリング掘削調査をとりまとめ、蔵王山・吾妻山・那須岳で実施した。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。	R4.4.1～ R5.3.31		
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。	R4.4.1～ R5.3.31		
同 技術専門職員	松本 亜希子	摩周・アトサヌプリ・秋田駒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った。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。	R4.4.1～ R5.3.31		
秋田大学 大学院国際資源学 研究科 教授 同 助教	大場 司 星出 隆志	鳥海山および栗駒火山の地質・岩石学的研究を行い、鳥海山の活動史、マグマ供給系、栗駒山の火山熱水系に関する結果が得られた。	R4.4.1～ R5.3.31	2,900,001	669,231
山形大学 理学部 教授	伴 雅雄	蔵王山、鳥海山及び吾妻山の噴火履歴及びマグマ供給系解明の研究を行った。蔵王山ではボーリング、トレンチ、露頭調査を行い、また、最新	R4.4.1～ R5.3.31	4,000,001	923,077

		期の階段図を作成した。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。吾妻山ではボーリング、トレンチ、露頭調査を行い、テフラ層序解明を進めた。			
同 助教	井村 匠	吾妻山、蔵王山の噴火履歴解明の研究を行った。吾妻山ではボーリング、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。	R4. 4. 1～ R5. 3. 31		
同 准教授	常松 佳恵	蔵王山、吾妻山の噴火履歴解明の研究を行った。吾妻山では、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。	R4. 4. 1～ R5. 3. 31		
茨城大学 理工学研究科 准教授	長谷川 健	東北・関東の火山（吾妻山・那須岳・三宅島）の噴火履歴調査を実施した。特に那須岳・吾妻火山では、ボーリング・トレンチ調査などを行い、未記載噴出物などを記載・分析した。	R4. 4. 1～ R5. 3. 31	3, 100, 00 0	715, 384
東京大学 地震研究所 准教授	前野 深	九州・関東の火山（鬼界火山、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。また、伊豆大島連携研究において企画・運営に従事するとともに、伊豆大島	R4. 4. 1～ R5. 3. 31	4, 400, 00 0	1, 015, 3 84

		噴火シナリオの改訂を行った。			
日本大学 文理学部地球 科学科 教授 同 准教授	安井 真也 金丸 龍夫	浅間火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1万年前以前の火山活動について地質調査をすすめた。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。	R4.4.1～ R5.3.31	2,100,000	484,615
日本大学 文理学部自然 科学研究所 上席研究員	高橋 正樹	浅間火山の噴火史の研究を行い、階段図および噴火事象系統樹を試作した。	R4.4.1～ R5.3.31		
富山大学 学術研究部都 市デザイン学 系 教授	石崎 泰男	鷲羽池火山、白山火山、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。	R4.4.1～ R5.3.31	3,500,000	807,692
同 教授	石川 尚人	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の成果を得た。	R4.4.1～ R5.3.31		
同 准教授	川崎 一雄	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の成果を得た。	R4.4.1～ R5.3.31		
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。	R4.4.1～ R5.3.31	2,900,001	669,231
産業技術総合 研究所 研究部門長	伊藤 順一 石塚 治 川邊 禎久 井上 卓彦	伊豆大島において沿岸部海底観察及び底質採取を実施し、海底地形判読を検証することを可能にする映像と底	R4.4.1～ R5.3.31	9,800,000	1,636,734

同 首席研究員 同 主任研究員 同 研究グループ長 同 研究員	有元 純	質サンプルの採取に成功した。陸上では暫定版地質図を作成するとともに、新期大島層群と神津島・新島由来の降下火砕堆積物との対比・年代測定を行い、噴火時期を整理した。			
産業技術総合研究所 主任研究員	及川 輝樹	御嶽山・白馬大池・岩木山において地質調査を実施するとともに、 $^{14}\text{C}$ ・K-Ar・Ar/Ar年代測定を行い、長期噴火活動履歴や完新世の活動履歴の詳細および噴出年代を明らかにした。御嶽山においては、噴出量データの見直しも行った。	R4.4.1～ R5.3.31		
産業技術総合研究所 主任研究員	山崎 誠子	御嶽山・白馬大池において地質調査を継続するとともに、 $^{14}\text{C}$ ・K-Ar・Ar/Ar年代測定を行い、長期噴火活動履歴や完新世の活動履歴の詳細および噴出年代を明らかにした。	R4.4.1～ R5.3.31		
産業技術総合研究所 主任研究員	草野 有紀	白馬大池において山体西側に分布するテフラの分布調査を行い、約8千年前頃に火砕流が発生したことを明らかにした。	R4.4.1～ R5.3.31		
産業技術総合研究所 研究グループ長 同 研究員 同 研究員	古川 竜太 谷内 元 南 裕介	岩木山において野外調査および $^{14}\text{C}$ 年代測定を行い、完新世の噴火履歴及び活動様式に関する地質データを入手した。また次年度の手掘りトレンチ調査の候補地点を選定した。	R4.4.1～ R5.3.31		
産業技術総合研究所 研究グループ長	下司 信夫 宝田 晋治 山崎 雅 松本 恵子	目撃記録・観測に基づく大規模爆発的噴火の時間推移データを収集し、VUCを導入して噴火推移パターンの直接比較を可能にした。また、地	R4.4.1～ R5.3.31		

同 上級主任 研究員 同 主任研究 員 同 研究員		質記録に基づく大規模爆発的噴火活動データを収集し、VEI6-7 クラスの大規模噴火を引き起こした火山の中長期的な活動傾向をまとめた。得られた結果はデータベースとして公開した。			
北海道教育大 学旭川校 准 教授	佐藤 鋭一	雌阿寒岳の噴火活動履歴に関する研究を行い、噴出量階段図などを作成した。	R4.4.1～ R5.3.31	—	—
筑波大学 大学院生命環 境科学研究科 名誉教授 同 教授	荒川 洋二 池端 慶	新島火山の約 10 万年以降のマグマ変遷を検討するために、Sr 同位体比に注目し、流紋岩質（及び玄武岩質等）マグマの特徴や時間変化が確認できた。	R4.4.1～ R5.3.31	—	—
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は、これまで報告例のない約 6,500 年前の火山性堆積物を確認した。また約 1 万 2 千年前に火砕流噴火を起こしていた可能性があることが分かった。	R4.4.1～ R5.3.31	—	—
山口大学 大学院創成科 学研究科 教授 同 助教	太田 岳洋 辻 智大	九重火山に関する噴火履歴調査、噴火推移調査を行い、54 ka の飯田噴火では 2 回のマグマサイクルがあったこと、九重火山群沓掛山火山の飯田噴火前後の形成史、飯田噴火後の活動である中岳火山の形成史、約 11 万年前の下坂田火砕流堆積物の一部が飯田火砕流堆積物と判断されること、を明らかにした。	R4.4.1～ R5.3.31	—	—

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	羊蹄山の長期噴火活動履歴を明らかにするために、今年度はトレンチ掘削調査を新たに実施し、最初期の噴火堆積物を発見した。	R4. 4. 1～ R5. 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。	R4. 4. 1～ R5. 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。	R4. 4. 1～ R5. 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。	R4. 4. 1～ R5. 3. 31	—	—

(c) サブテーマ3

所属機関・部局・職名	氏名	分担した研究項目及び研究成果の概要	研究実施期間	配分を受けた研究費	左記のうち、間接経費
国立研究開発法人防災科学技術研究所火山研究推進センター 副センター長	藤田英輔	サブテーマ3全体の取りまとめを実施した。 ①b. マグマ移動過程シミュレーション技術開発で粒子法の検討、 ②c. ハザード評価システムの検討でシステム開発を進めた。	R4. 4. 1～ R5. 3. 31	32,285,909	7,450,594
同 主任研究員	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。	R4. 4. 1～ R5. 3. 31		
同 主任研究員	三輪学央	①c. マグマ物性モデルの構築で結晶化モデル構築の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。	R4. 10. 1～ R5. 3. 31		

同 契約研究員	黒川愛香	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を実施した。	R4. 4. 1 ～ R4. 12. 31		
同 契約研究員	長井雅史	①c. マグマ物性モデルの構築で結晶化モデル構築のための室内実験を実施した。	R4. 4. 1 ～ R5. 3. 31		
同 契約研究員	志水宏行	②c. ハザード評価システムの検討で火砕流シミュレーションの開発、火山ハザード評価システムの開発を実施した。	R4. 4. 1 ～ R4. 12. 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。	R4. 4. 1 ～ R5. 3. 31	2, 245, 86 3	518, 276
同 准教授	奥村聡	①a. 噴火機構シミュレーション技術開発および①c. マグマ物性モデルの構築で、結晶化実験と火道流モデルの結合を検討した。	R4. 4. 1 ～ R5. 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。	R4. 4. 1 ～ R5. 3. 31	2, 705, 72 3	624, 397
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。	R4. 4. 1 ～ R5. 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・地殻変動データによる評価を行った。	R4. 4. 1 ～ R5. 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。	R4. 4. 1 ～ R5. 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。	R4. 4. 1 ～ R5. 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新しい移流拡散モデル(JMA-ATM)の改良を検討した。	R4.4.1 ～ R5.3.31		
同 主任研究官	佐藤英一	②a. 降灰ハザード予測モデルの開発で、JMA-ATMの初期条件を適切に与えることを目的として、降下火砕物の形状・密度の粒径依存性を明らかにした。	R4.4.1 ～ R5.3.31		
同 研究官	石井憲介	②a. 降灰ハザード予測モデルの開発で新しい1次元噴煙モデル(NIKS-1D)の開発を進めた。	R4.4.1 ～ R5.3.31		
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。	R4.4.1 ～ R5.3.31		
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。	R4.4.1 ～ R5.3.31		
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。	R4.4.1 ～ R5.3.31		
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。	R4.4.1 ～ R5.3.31		

## (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・解析プラットフォームの立ち上げ	←											→
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												
	←											→

(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

### 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

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務題目

火山噴火の予測技術の開発「火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発」

##### (b) 担当者

所属機関	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 技術専門職員	安田 敦 外西奈津美
学校法人早稲田大学	参加機関	准教授	鈴木由希
学校法人常葉大学	参加機関	教授 学部 4 年 学部 4 年 学部 4 年 学部 4 年	嶋野岳人 稲垣沙南 鈴木治親 宮島優奈 小林佳菜
国立大学法人静岡大学	参加機関	准教授	石橋秀巳
国立大学法人熊本大学	参加機関	特任教授 特別研究員	長谷中利昭 川口允孝
国立大学法人東北大学	参加機関	教授 助教 PD 博士 2 年 修士 2 年 修士 2 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 飯田 司 高階悠貴 浮田泰成 新谷竹望
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
山梨県富士山科学研究所	協力機関	主幹研究員	吉本充宏

##### (c) 業務の目的

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

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

(ウ) 分析データや解析結果を随時取り出して再利用可能とするようなデータ保存環境を整備し、データの有効利用を促進する。加えて、主要な火山噴火については噴出物や噴火の特徴を一覧できるカタログ機能を付加する。上記の分析及び解析環境（以下、「分析・解析プラットフォーム」という。）を使って、(エ) 噴火の過程が既知である歴史時代の噴火の

噴出物の解析を 11 火山についておこない、深度（圧力）・温度・含水量といったマグマ溜まりの状態、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・解析プラットフォームを広く火山研究者や学生に開放するための利用環境の整備をおこなう。

(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 28 年度：

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

2) 平成 29 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、分析効率の向上のためエネルギー分散型（EDS）検出器を EPMA 装置に追加した。前年度に引き続き、最適な分析条件と分析手順の確立について作業し、12 kV および 15 kV の加速電圧で標準的な ZAF 補正法定量分析がおこなえるようにした。項目（イ）に対しては、相同定、グラフの自動作成、反射電子線像の自動処理等の解析用プログラムを作成し、分析から解析までを連続して実行できる PC 環境を構築した。項目（ウ）に対しては、分析データから公開するデータの仕様を満たすような必要項目を、自動的に抽出する環境を構築する作業をおこなった。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にした。項目（エ）に対しては、該当する火山について、主にマグマ混合から噴火に際の上昇速度を記録している石基組織を解析するとともに、前年度に引き続きマグマ供給系の全体像把握と精密化のための研究をおこなった。

5) 令和2年度：

成果目標項目（ア）に対しては、分析効率の向上のため分光器1台をEPMA装置に追加した。前年度に引き続き、最適な分析条件と分析手順の確立のための作業をおこなった。COVID-19対応としてリモート分析のための手順書と作成するとともに、補助のためのツールを作成した。項目（イ）に対しては、前年度に引き続き画像解析プログラムの拡充をおこなった。項目（ウ）に対しては、定量分析データのデータベースへの受け入れを開始した。また、インターネット経由で画像データベースにアクセスできるように整備した。項目（エ）に対しては、各火山について、マグマ供給系の描像を精密化するためのデータを拡充するとともに、4年次までに得られた分析・解析結果を統合して整理し、噴火事象分岐予測をする基準について検討した。また、噴火事象分岐予測に資するデータ取得方法や解析方法の開発をおこなった。項目（オ）に対しては、装置の利用規約を整備した。

6) 令和3年度：

成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の整備をおこなった。加えて、蒸着装置を更新し分析精度の向上をはかった。項目（イ）に対しては、前年度に引き続き解析プログラムの整備をおこなった。項目（ウ）に対しては、前年度に引き続き画像データベースの拡充と利用環境の整備をおこなった。項目（エ）に対しては、5年次までに得られた分析・解析結果を統合して整理し、マグマシステムの類型化をおこなうとともに、噴火事象分岐予測の鍵となる観測項目の整理を試みた。引き続き、11火山に加えて噴火発生中の火山の試料の分析を継続し、マグマ供給系の精密化や噴火推移を迅速に把握する手法の開発をおこなった。項目（オ）に対しては、装置の利用者環境の整備はしたものの、Covid-19影響で、研究組織外からの分析・解析プラットフォーム利用の受け入れ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影響のため研究組織外からの分析・解析プラットフォーム利用を受け入れ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、最適な分析条件、分析手順の確立に努める。項目（イ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（ウ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなうとともに、データベースの仕様を再検討し項目（エ）との連携性の向上を図る。項目（エ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこない、「簡略化したマグマ供給系」に集約する形で得られた成果の取りまとめを継続する。項目（オ）に対しては、研究組織外からの分析・解析プラットフォーム利用の受け入れを開始する。

9) 令和 6 年度 :

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

10) 令和 7 年度 :

成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努める。項目（イ）（ウ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（エ）に対しては、本事業で選定した 11 の火山については代表的な噴火の火山噴出物の特徴や噴出物から推定される噴火の特徴を概観し、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・解析プラットフォーム利用を受け入れる。

(e) 令和 4 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・解析プラットフォームの整備、運用

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

c) 研究集会の調整・開催

課題 C-2 及び C-3 と連携し、課題 C 全体研究集会を実施する。課題 C-1 の研究集会を開催し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、雲仙火山、富士火山、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、随時、分析・解析プラットフォームのシステム構築に関する助言を行う。

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・解析プラットフォームのシステム構築に関する助言や、噴出物分析の迅速な特徴把握に関する技術開発を行う。

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、随時、分析・解析プラットフォームのシステム構築に関する助言を行う。

5) 国立大学法人熊本大学

火山噴出物の分析・解析

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

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・富士火山の噴火についての検討を進める。同じ安山岩質マグマの同規模の噴火である課題 C-2 の浅間火山天明噴火について、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などにより岩石学的に検討し、桜島火山との比較を行う。また、随時、分析・解析プラットフォームのシステム構築に関する助言を行う。

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。

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1)から7)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あるいは緊急観測に協力することを可能とする。

#### 8) 自発的な研究活動等

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

## (2) 令和4年度の成果

### (a) 業務の要約

分析・解析プラットフォームの構築については、前年度までに実装した機能についてさらなる改良が行われ、本研究での火山噴出物の分析・解析ツールとして、いっそう活用がはかられた。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が精密化されるとともに、噴火直前のマグマの挙動についての知見が集積しつつあり、それぞれの火山ごとに、噴火事象分岐予測で注目すべき指標が次々と明らかにされてきている。例えば、榛名山と雲仙では、噴火前のマグマの状態や噴火時のマグマ混合の程度によって、噴火の規模や様式が変わることが示された。伊豆大島や富士山では、様々な噴出物解析の視点からマグマ供給系像の更新がはかられた。阿蘇山では、カルデラ噴火の前後のマグマ供給系が詳しく調べられた。また、元素拡散に着目した噴火直前現象のタイムスケールについての検討が、有珠山と阿蘇山の噴火について行われた。加えて、火山灰試料の連続サンプリングに基づく噴火様式の時間変化の原因の検討が、諏訪之瀬島や桜島で進行している。さらに、組織観察に基づく噴火事象分岐予測のための新手法の開発や、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、着実に進展がみられている。一方、研究全体をまとめる形で、マグマ供給系を類型化して整理する作業、及び、単純なマグマ供給系像に基づいて観測事象を読解する作業が着手された。

### (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。課題 C 内および他の課題との連携のための伊豆大島連携研究集会を課題 C-2 主導のもと 10 月に、東京大学地震研究所で 2 日間にわたって開催した。2023 年 3 月 31 日には課題 C-1 研究集会をオンライン開催し、課題 C-1 外からも含め 45 名の参加があった。また、COVID-19 の影響で東京大学地震研究所に来所して分析を行うことができない業務参加者のために依頼分析を受け付けた。噴火事象分岐予測のための作業としては、3) で後述する各参加機関の噴出物の解析結果を統合したマグマ供給系の類型化についての検討を継続した。

#### 2) 分析・解析プラットフォームの整備、運用（東京大学、常葉大学）

解析用 PC 上で動かす様々な解析用スクリプトの整備を継続した。定量分析データの取り出し方法を整備し、分析者が容易に定量分析データファイルを取得できるようにした。また、R1、R3 年度に作成した「反射電子線画像の自動解析による火山灰粒子の分類機能」について改良を加え、ユーザーが作成した設定ファイルを使って複数画像の一括処理が可能にした。この機能を用いて常葉大学と共同で諏訪之瀬島の火山灰試料に対して火山灰粒子の自動分類を試みた結果については、3)-k) で詳細を報告する。分析・解析プラットフォームに立ち上げた画像解析のための諸機能を JDR 誌で紹介した (Yasuda and Hokanishi, 2022)<sup>1)</sup>。

### 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) X線CT解析による噴出物の組織解析と地表水の関与の検討(東北大学)

マグマ供給系の理解や噴火推移把握のための新手法の開発として、噴出物の発泡・急冷・破碎組織のX線CT解析により宝永噴火初期のマグマ破碎に対する地表水の関与を検討した。

はじめに 発泡度や粒径、表面形態といった火山噴出物の組織には、マグマが生成し火道上昇から噴火に至るまでの情報が刻まれている。したがって、噴出物の組織を観察することが最終的な噴火様式を決定づけたマグマの破碎条件の解明につながることを期待される。

本研究の対象である富士火山の宝永噴火は1707年(宝永4年)に起こったプリニー式噴火で、噴煙は上空15 km以上に達したと推測され、当時の江戸にも降灰をもたらしたとされている。宝永噴火は玄武岩質火山で起こった大規模なプリニー式噴火として世界的にも特異な例である。その噴出物はMiyaji et al. (2011)<sup>2)</sup>による気泡サイズや発泡度に基づく組織の7分類に代表されるように非常に多様である。また、Schmincke(2004)<sup>3)</sup>は宝永噴火の噴出物に角張った発泡度の低い岩片が含まれることから、マグマ水蒸気爆発の寄与を示唆している。さらに、飯田(2021, 学士論文)<sup>4)</sup>ではHo-IからIVを通して角張った発泡度の低いdense scoriaが発見された。Ho-IIにおいては等方的な急膨張・急冷を示唆するパン皮状やカリフラワー状スコリアがみられ、ブルカノ式噴火に近い破碎メカニズムが示唆された。特にカリフラワー状火山弾は、マグマが大きな湖沼や地下帯水層のような水中環境で噴出した際に急冷され、緻密な組織とともに表面の発泡に起因する複雑な割れ目をもったものと考えられている(Fisher and Schmincke, 1984)<sup>5)</sup>。このことと、連続噴煙が形成されたことを考えると、宝永噴火の特に前半において地下水が関与した可能性がある。以上のような可能性を検討するためには噴出物の内部構造を含めた形態の分類をし直し、噴火推移に伴う噴出物の形態変化を明らかにする必要がある。

X線CTを用いた試料形態の定量的評価 外形が異なる試料をHo-I~IVの4層(宮地, 1984)<sup>6)</sup>から計33個選別した。このうち18個は2014年6月に富士山科学研究所の吉本氏の案内により水土野より採取されたもので、残りは2022年12月に同じく富士火山研究所の吉本氏・亀谷氏により大日堂で採取された試料である。大日堂の方が水土野よりも宝永火口に近いが、それぞれ試料の組織形態の傾向は一致し

ていることが認められた。今回選別した 33 個の試料は外形や噴火ステージのバリエーションを確保するよう選んだため、統計的な代表性はない。

選別した試料は東北大学理学部自然史標本館の高出力 X 線 CT、ScanXmate-D180RSS270 を用いて試料内部の組織を観察した。管電圧 120kV、管電流  $200 \mu A$  を基本として撮影を行い、再構成とアーチファクトの除去を機器付属のソフトウェア、cone CT express を用いて行った。取得した CT データを用い、発泡度・気泡サイズ分布・連結度を測定した。画像処理ソフトとして画像解析ソフト ImageJ (ver. 1.53t, National Institute of Health, USA) と Slice software package (中野・他, 2006)<sup>7)</sup> を用いた。発泡度は試料表面の凹凸を無視した概形が占める体積と、実際の固相部分の体積の差を概形体積で割って算出した。この手法は泡が試料の外部に接している場合、発泡度が低く見積もられてしまうことを避けるために選択した。概形は三次元 CT 画像を X、Y、Z 軸それぞれの方向から ImageJ の “Fill Holes” 処理を行うことで求めた。この処理により、外部と連結していて且つ試料内部で入り組んだ形状を持つ気泡を発泡度の計算に含めることが可能となった。表面形態の定量化には、実際の固相表面を構成するボクセル数を概形表面のボクセル数で割った、Shape factor を用いた。このパラメータは表面形状が複雑なほど大きな値を取り、滑らかなほど 1 に近い値を取る。連結度は試料内部中の最大気泡体積を合計気泡体積で割ることで求めた。

**分析結果** 図 1 は水土野から採取された試料の気泡サイズ分布である。全試料にわたって最も多い気泡サイズは  $0.004 \text{ mm}^3$  よりも小さく、 $0.1 \text{ mm}^3$  を超える気泡は一つの試料に多くて数個程度であった。

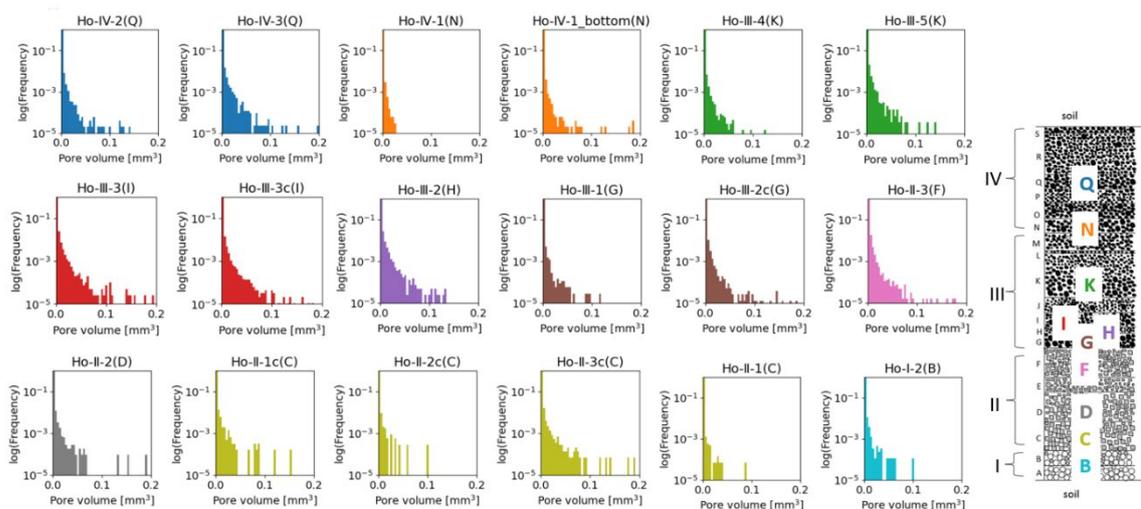


図 1. 水土野試料の気泡サイズ分布。図の色は有賀卒論 (2015) による層序分類に対応する。

図2は各試料の比重を示している。比重の算出には概形の体積を用いた。Miyaji et al. (2011)<sup>2)</sup>に習った分類タイプ毎に傾向の違いがみられた。比重はLithic(2.6 g/cm<sup>3</sup>)、Dense scoria(1.6-2.6 g/cm<sup>3</sup>)、Vesiculated-small bubble(1.6-2.1 g/cm<sup>3</sup>)、Vesiculated-large bubble(0.8-1.6 g/cm<sup>3</sup>)、Spiky scoria(0.9-1.2 g/cm<sup>3</sup>)の順に大きく、発泡度が高く大きな気泡を含むVesiculated-large bubbleやSpiky scoriaで比重が小さな傾向が見られた。しかしながら、複雑な表面形態を持つことの多いSpiky scoriaについては、今回用いた概形算出手法では体積が過大に見積もられ実際よりも発泡度が高い結果となってしまふことが分かった。

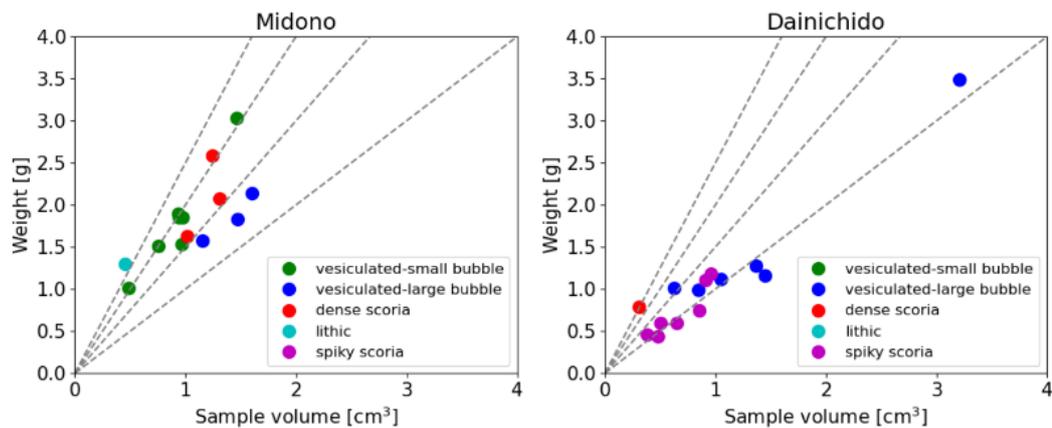


図2. 各試料の比重。破線は比重1.0-2.5 (g/cm<sup>3</sup>)を表す。

図3は発泡度とShape factorの関係を示す。Shape factorは比重とは逆にLithic(1.0)、Dense scoria(1.0-1.1)、Vesiculated-small bubble(1.1-1.5)、Vesiculated-large bubble(1.2-1.8)、Spiky scoria(1.3-2.3)の順で小さい傾向があった。特にSpiky scoriaは試料によるShape factorの値に幅があり、最も大きな値を持つものは概形の2倍以上の表面積を持っていることが分かった。

連結度は発泡度との相関は見られず全試料で20%以下に収まる結果となった(図4)。これは発泡度が高くなるほど大きな気泡が外部と連結しているからである。連結度は試料の特徴を捉えられておらず、検討が必要である。

連結度を除き、比重とShape factorにおいてはMiyaji et al. (2011)<sup>2)</sup>による分類に沿った傾向を定量的に評価することができた。

3次元組織解析に関する今後の方針 本研究の最終的な目的は宝永噴火の特に前半において地下水が関与した可能性を検討することである。これまでに行ってきたCT撮影によってHo-IからIVの多くの試料の内部構造のデータが集まってきた。今回の33個の試料を対象に行った分析結果を踏まえ、内部構造を含めて噴火試料を分類し噴火推移とともにどのように変化していくのか調べる。

具体的には、今回採った手法を元にSpiky scoriaなど複雑な形態を持つ試料の概形をより正確に見積もることのできる手法へとブラッシュアップする。概形の算出は発泡度の正確な見積もりに必要である。また、試料内部構造の情報を含めてMiyaji et al. (2011)<sup>2)</sup>の分類を再検討する。外見と内部構造の対応付けを行い、層

序ごとの噴出物タイプの構造比をカウントし、噴出物の系統的な変化を求める予定である。

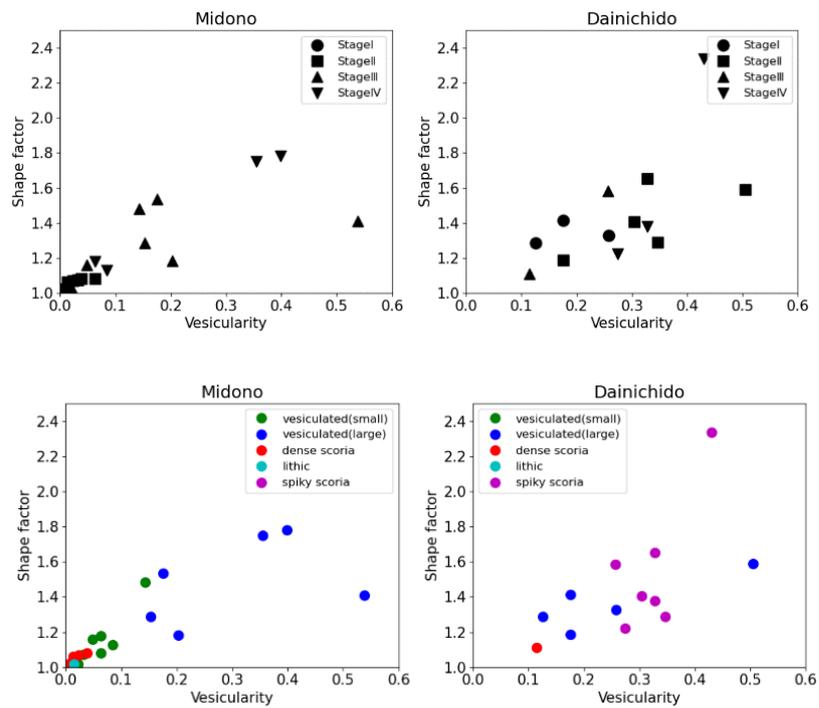


図3. 発泡度と Shape factor の関係。上は層序毎に、下は Miyaji et al. (2011)<sup>2)</sup> の分類ごとに図示している。

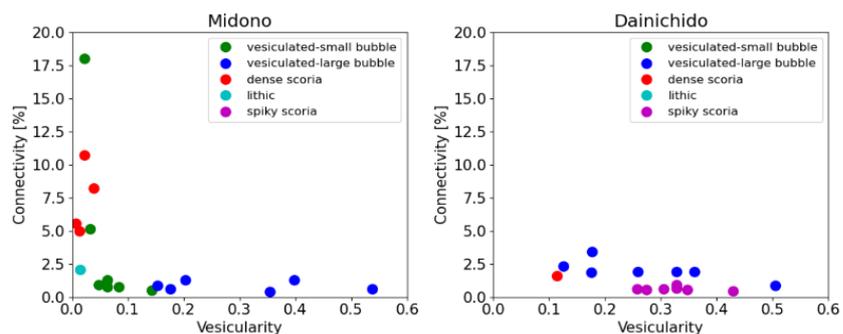


図4. 発泡度と気泡連結度の関係。

ii) 熱力学計算ソフトウェア (Rhyolite-MELTS) の実行環境の整備と応用 (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: Gualda et al., 2012)<sup>8)</sup> が出力する大量のデータを、データベースソフトウェア (sqlite3) に集約し、さらに、岩石学的に有用なパラメータを温度・圧力平面に等高線図として sqlite3 のファイルから自動生成できるようにした。また、MELTS の計算結果を地球物理・地球化学分野の成果に連携させる取り組みとして、阿蘇、有珠、桜島への応用を試みた。

阿蘇火山については、別予算によって得られた斑晶ガラス包有物の水・二酸化炭素濃度分析値の解釈に、本研究で得られた MELTS 計算結果を連携させた。その結果、超巨大噴火をひきおこした珪長質マグマが、阿蘇中岳で日常的に見られるような噴気活動を通じて生産されるきわめて大量の脱ガス玄武岩マグマが水に不飽和な環境で結晶化することによって生じた可能性(Miyagi et al., 2023)<sup>9)</sup>が示された(図 5)。MELTS で求めた脱ガス前後のマグマの比重(図 6)は、玄武岩マグマが浮力により地表付近に上昇するが、これが脱ガスすると重くなるため地下深く(例えば数十 km)まで戻る可能性があること(図 7)を示した。すなわち火道内マグマ対流脱ガスモデル(Kazahaya et al., 1994)<sup>10)</sup>において、脱ガスマグマが大深度まで戻りうる事が裏付けられた。本成果は、火山ガスの放出量観測にもとづいて、脱ガスマグマの生産量の推定と、その脱ガスマグマから生じる珪長質マグマの生成量を見積る方法のひとつを示した。この成果は J. Petrol. 誌で公開済み(Miyagi et al., 2023)<sup>9)</sup>である。

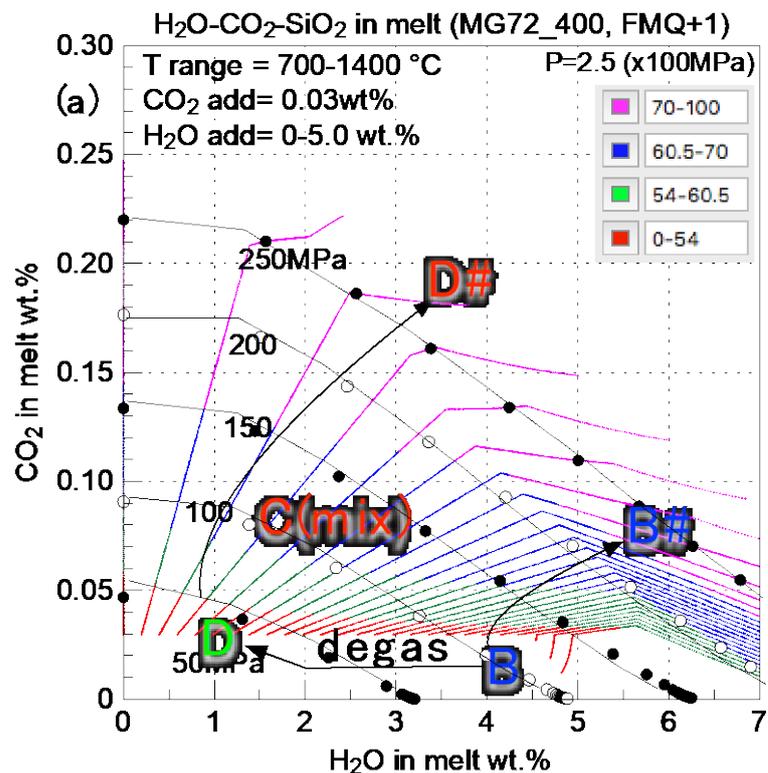


図 5. Rhyolite-MELTS (Gualda et al., 2012)<sup>8)</sup>によって計算された、脱ガス玄武岩(D)の結晶化にともなうマグマの水、二酸化炭素、シリカ濃度の変化。原点から放射状に広がる複数の線の色は、ガスに不飽和なマグマが結晶化した際に、結晶化前の水/二酸化炭素比を保ったままメルトに濃縮するとともに、シリカ濃度が増加することを示している。これらの線は原点から離れたところで折れ曲がっている。この折れ曲がり、は、200~250MPa で D から生じた珪長質メルト(D#)がガスに飽和することに対応している。

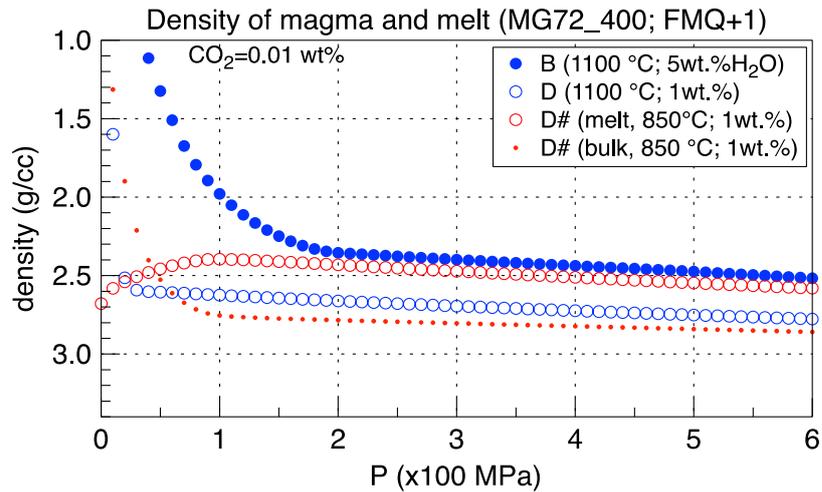


図6. Rhyolite-MELTS (Gualda et al., 2012)<sup>8)</sup>によって計算された、揮発性成分に富む玄武岩マグマ、脱ガス玄武岩マグマ、脱ガス玄武岩マグマの結晶化によって生じる珪長質マグマの密度の深さ変化(Miyagi et al., 2023)<sup>9)</sup>。揮発性成分に富む始原的な玄武岩マグマ(B)は、浮力により地表付近まで上昇できる。Bが浅所で脱ガスして生じる揮発性成分に乏しいマグマ(D)は、密度が高いため地下深部に下降できる。Dの結晶化で生じる珪長質マグマ(D#)も比較的密度が高いため地表に上昇し難いが、少量含まれるガス成分が濃縮し飽和することで浮力が獲得されると考えられる。

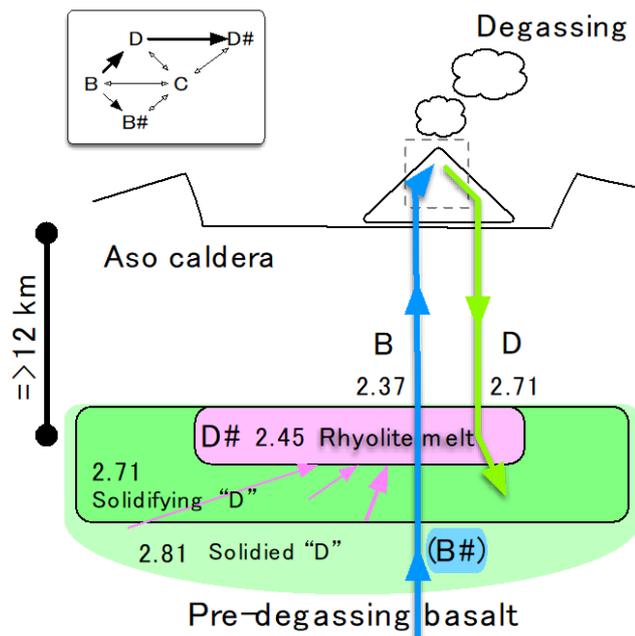


図7. 阿蘇カルデラにおける珪長質マグマの生成モデル(Miyagi et al, 2023)<sup>9)</sup>。揮発性成分に富む始原的な玄武岩マグマ(B)が、浮力によって地表付近まで上昇・脱ガスすることで揮発性成分に乏しいマグマ(D)が生じ、ガスに不飽和な環境下で結晶化することによって珪長質マグマ(D#)が生じる。Bが脱ガスせずに結晶化すれば揮発性成分に富む珪長質岩(B#)が生じる。なお、これらB, B#, D, D#は空間的に隣接しているため、混じり合う可能性がある。

有珠火山については、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(図8)。爆発的な噴火においては、マグマの減圧が急速であるから、マグマが冷却固化するまでの時間も限られ、マグマの脱水は不完全になる。石基ガラスの含水量分析結果と、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することにより、噴火の際にマグマが破碎して急速に上昇した時点の圧力の推定ができると思われる。この試みについては、結果のとりまとめ中である。

桜島火山については、大柳氏が行なった重力観測結果(1975年～1992年の桜島の質量変動)と、同火山における火山ガス観測結果に、MELTS で計算したマグマ密度やガス組成結果を連携させることを試みた。その結果、マグマの密度差によって駆動される「火道内マグマ対流脱ガス」によって観測結果が説明できる可能性(大柳・他, 2022)<sup>11)</sup>が示された。この成果については、Earth Planet Space 誌に投稿中である(Oyanagi et al., 2023)<sup>12)</sup>。

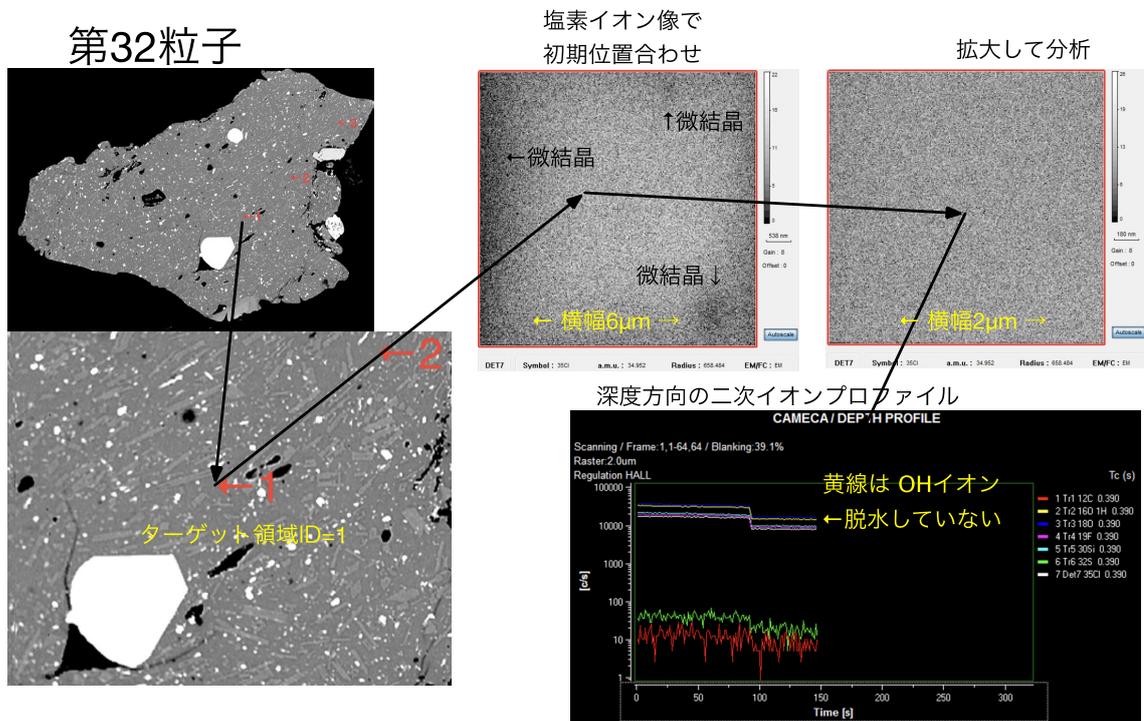


図8. NanoSIMS を用いた有珠火山 2000 年 3 月 31 日火山灰の石基ガラス分析の様子。NanoSIMS の空間解像度を活用し、石基に晶出している微細で多数の鉱物を避けガラスに含まれる水、二酸化炭素、その他揮発性成分の濃度を分析できた。

### iii) モニタリング手法の開発 (常葉大学)

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、測色データ解析を行った。FE-EPMA の反射電子像の画像解析システムを用いた粒子分類については、昨年度検討した基準をもとに、諏訪之瀬島 1813 年噴火および 2000 年以降の噴火への応用を行った(3)k)節参照)。

b) 有珠山（産業技術総合研究所）

噴火事象分岐判断手法の開発に向け、噴火前のマグマ過程やそのタイムスケールを明らかにするため、日本有数の活火山である有珠火山(曾屋・他, 2007)<sup>13)</sup> を対象として、噴火過程が既知である歴史時代の噴出物の解析を行っている。

令和4年度は、有珠火山で最新の準プリニー式噴火である1977年噴火を例として、その噴出物である有珠1977年輕石中の鉱物、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から噴火中という数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年噴火とその次の(有珠火山で最新の噴火である)2000年噴火を比較してみると、両者でマグマ組成はほとんど同じであり、マグマ供給系も共通であったと考えられている。しかし、噴火開始時の噴火様式は大きく異なった。つまり、2000年噴火はマグマ水蒸気爆発で火砕物の放出は少量だったのに対し、1977年は準プリニー式の軽石噴火で広域に多量の火砕物が放出された。これは、マグマ上昇中に何らかの事象分岐過程があって、両噴火の様式に違いが生じたことを意味する。よって、この分岐過程を理解することができれば、噴火の推移・様式を予測できるようになることが期待される。

前年度までの分析結果により、2000年噴火の噴出物(Us-2000pm; 東宮・宮城(2002), 東宮・他(2001))<sup>14), 15)</sup> 中の磁鉄鉱の累帯構造には、全ての結晶の周縁部(リム)の数十 $\mu\text{m}$ でMg濃度が顕著に低下するという特徴が見出されていた(図9)。そして、Mg濃度の空間分布は元素拡散プロファイルで説明されること、Mg濃度の低下は噴火直前にマグマ温度が低下する何らかのイベントがあったことが原因であることが推定されている。そこで令和4年度は、2000年と1977年の噴火で磁鉄鉱の累帯構造にどのような違いが見られるかを調べることを目的として、主に1977年噴出物の分析をおこなった。分析には産総研地質調査総合センターのFE-EPMAを用いた。

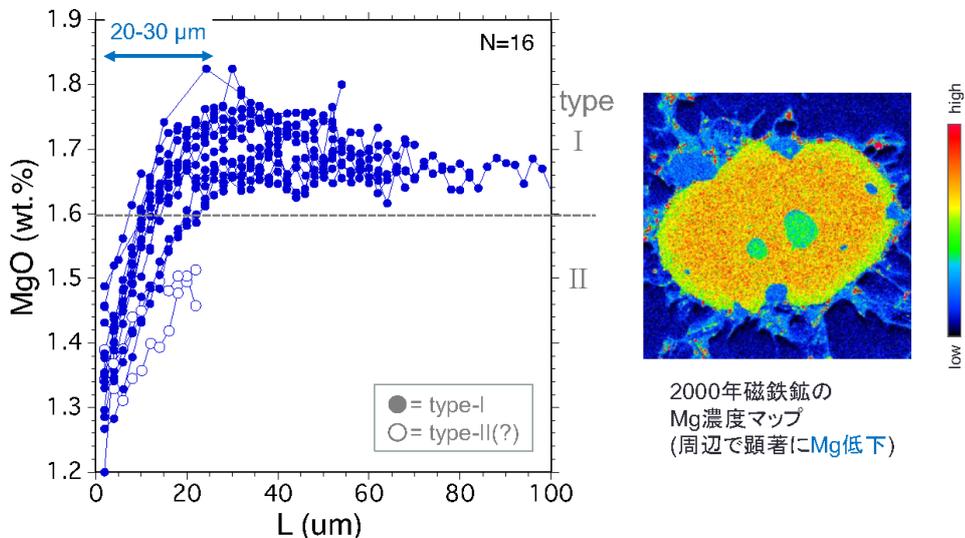


図9. 有珠2000年輕石中の磁鉄鉱。(左) MgO濃度の zoning profile。全ての結晶において周縁部の数十 $\mu\text{m}$ でMg濃度が顕著に低下する(正累帯構造)という特徴を持つ。(右) Mg元素濃度マップと濃度のカラーバー。赤いほど高濃度。

今回得られた分析結果により、1977年の磁鉄鉱の累帯構造は多様であることがわかった（図10）。そして、2000年噴出物ではみられなかった逆累帯構造、つまりリム付近でMg濃度が増加するタイプの結晶が比較的多く含まれることが初めて明らかになった。これは、全ての粒子でMg濃度の低下を示した2000年噴火との大きな違いである。このことは、噴出物に含まれる軽石の多様性とも関係していると考えられる。2000年噴火の軽石は細かく発泡した白色軽石1種類のみであり、含まれる磁鉄鉱の組成も1種類であった。一方、1977年噴火の軽石には白色のものから灰色のものまであり、色と発泡度にバリエーションがある。また、含まれる磁鉄鉱の組成にも大きく2種類があった（化学組成のバイモーダル分布；type-Iおよびtype-II）（Tomiya and Takahashi, 2005）<sup>16</sup>。さらに、2000年噴火ではマグマ（本質物）を多量に噴出した噴火は1日で終わったが、1977年噴火では軽石を放出した第1期に限っても1週間に4回の大きな噴火が発生した（Us-1977-I, II, III, IV；曾屋・他（2007），Katsui et al.（1978））<sup>13, 17</sup>。このことから、2000年噴火にくらべて1977年噴火のマグマ過程は複雑であること、逆累帯構造が観察されたことから噴火直前の高温マグマの注入が想定されること、が本研究で分かった。また、zoningの幅も1977年のほうが狭い傾向があり、噴火直前過程が短時間であったように見える。これは、噴火前兆地震の期間が2000年では4日間に対して1977年では30時間と短かったことに対応している可能性がある。

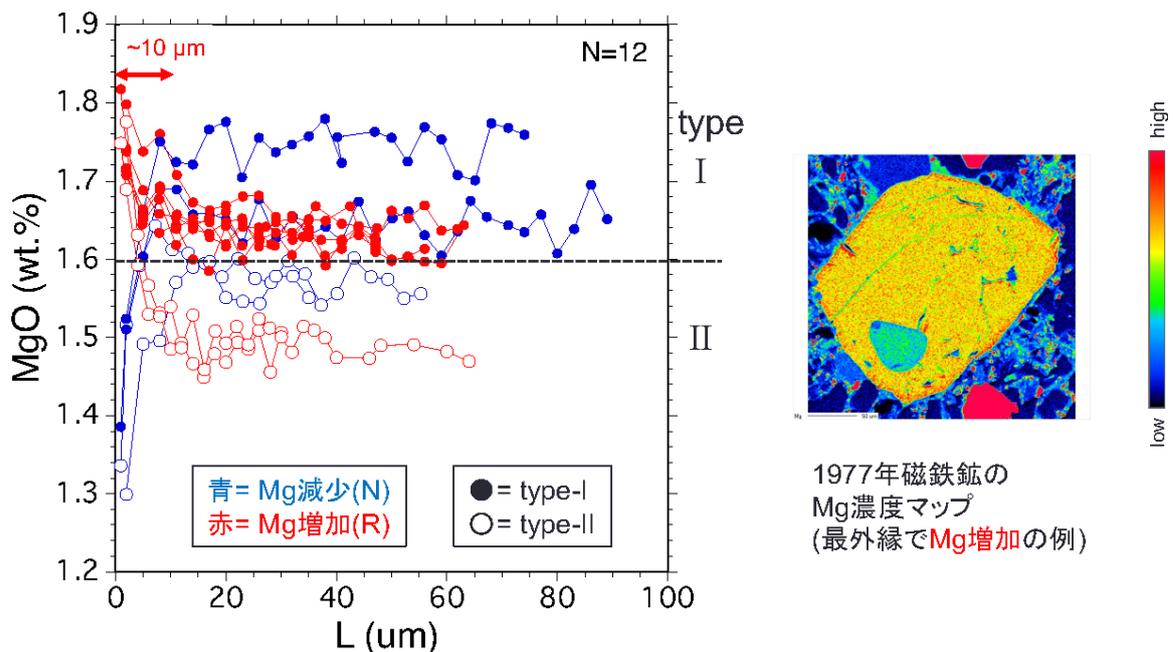


図10. 有珠1977年輕石中の磁鉄鉱。(左) MgO濃度のzoning profile。正累帯構造以外に、2000年噴火では見られない逆累帯構造（周縁部でMg濃度が増加）を持つものが多くみられ、噴火直前の加熱イベントが想定される。zoningの幅も2000年より狭い傾向がある。(右) Mg元素濃度マップと濃度のカラーバー。

これまでの解析結果からは、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年噴火は冷却が限定的で、むしろ加熱されたように見え、こうした違いが2つの噴火の様式・規模・推移の違いを生じたことが考えられる。今後は引き続き分析数を増やしていき、たとえば Us-1977-I, II, III, IV という噴火推移に伴って累帯構造のバリエーションがどのように変化していったかを調べ、地下のマグマ過程がどのように噴火推移と関連していたかを明らかにしていく予定である。

#### c) 榛名山 (早稲田大学)

はじめに 本プロジェクトにおいて榛名火山の新时期活動を研究してきた。Suzuki et al. (2022)<sup>18)</sup>では、45~10kaの4つの溶岩ドーム噴火を検討すると共に、その結果を Suzuki and Nakada (2007)<sup>19)</sup>による二ツ岳伊香保噴火(6世紀後半~7世紀初頭)の結果と比較した。これにより45ka以降の噴火の共通点と噴火年代による差異を明らかにした。噴火に関与したマグマの特徴は、噴火年代・噴火規模によらず類似している。一つはマッシュ状の低温マグマである。もう一つは、玄武岩~玄武岩質安山岩組成の、無斑晶質もしくはそれに近いマグマである。マッシュは粘性が高く自力噴出が難しいため、高温マグマとの相互作用(マグマ混合、高温マグマによる加熱)により粘性が低下することが噴火誘発において重要であった。低温マグマのバルクのSiO<sub>2</sub>量は、古い4噴火に比べ二ツ岳伊香保噴火で低い。同火山のマグマ供給系や噴火誘発過程についてのモデルの向上を図ることを目指し、今年度は二ツ岳渋川噴火(5世紀後半~6世紀初頭)に焦点を当てた。Suzuki and Nakada (2007)<sup>19)</sup>の研究から時間が経っているため二ツ岳伊香保噴火については斑晶鉱物のみ再分析をした。

二ツ岳渋川噴火のサンプル・全岩組成・記載岩石学的特徴 今回の検討では、無層理で厚い火砕流堆積物に含まれる軽石を検討した。軽石が大型(~30cm)であるので全岩組成分析とそれに基づくマグマのバルク組成の推定に有利である。軽石は榛名火山北東麓の2露頭と南東麓の2露頭で採取された。軽石ブロックは、どの露頭でも白色~灰色の多様性があり、異なる色彩の部分が混在しているブロックも確認される。4露頭の合計31試料の全岩組成を東大地震研のRIGAKU ZSX Primus IIにて分析したところSiO<sub>2</sub>量が60.6-61.6 wt.%の狭い範囲に集中した(図1-1)。産出露頭と軽石の色彩を網羅する16試料の薄片を観察したところ、どのサンプルでも角閃石+斜方輝石+斜長石+石英+Fe-Ti酸化物(磁鉄鉱・イルメナイト)の斑晶が確認された。石英は非常に少量で融食形を示す。石英を除き斑晶は互いに集斑晶を形成しており平衡晶出したと推測される。斜長石には汚濁帯が観察されることがある。角閃石の分解反応縁は灰色軽石のみで確認されることがある。

二ツ岳渋川噴火の斑晶鉱物組成と、推定されるマグマプロセス 代表的な4サンプルについて分析を実施した(図1-2)。斑晶の組成像撮影と定量分析は各々、東大地震研のFE-EPMA(JXA-8530FP1us)とEPMA(JXA-8800R)で実施した。石英を除く鉱物相を分析した。全岩組成・軽石色彩・露頭分布域による斑晶組成の系統差はない。斑晶の組成累帯構造や組織に基づき、石英を含む全斑晶鉱物は同じマグマで晶出したと推定する。斑晶のコア組成は、角閃石(Si 6.7-7.2, Mg# 0.70-0.79)・斜方輝石(Mg# 63.0-67.0, Wo 0.8-2.0)・斜長石(An 50-90, MgO ~0.04 wt.%, FeO 0.2-0.4 wt.%)・磁鉄

鉍 ( $X'_{usp}$  0.17–0.20, Mg/Mn 4.1–6.8)・イルメナイト ( $X'_{ilm}$  0.57–0.60, Mg/Mn 8.0–11.0) の範囲にある。軽石の色彩差は、マグマの組成差ではなく、噴火に際した火道での上昇過程で発生した石基結晶量の差で発生したと考える。

斑晶のコアからリムに向けての組成累帯は斑晶鉍物種により多様である。斜長石・斜方輝石には共存メルトが未分化になったことを示す組成累帯構造がある。斜方輝石における Mg# と Wo 値の上昇、斜長石における FeO 量の上昇である (図 1 2)。メルトが未分化になるイベントとして、これら結晶を含むマグマに比べ高温なマグマ (ただし無斑質) が混合したり、あるいは、高温マグマによる加熱を受けた可能性がある (どちらの可能性が高いかは後述)。Fe-Ti 酸化物には組成累帯構造がないが、これは鉍物内での元素拡散の速度が大きいため、上記イベントで生成した組成累帯構造がマグマの噴出・固結までの間に均質化してしまったためだと考える。Fe-Ti 酸化物に対し、Andersen and Lindsley (1988)<sup>20)</sup> の温度計・酸素分圧計を適用すると 840–900°C と  $\text{NNO} + 2\sim 3$  を示す。角閃石でもコア・リム間の組成差を認めない。加熱・混合等のイベントの直後に噴火が発生したのであれば、マグマの浅所への移動に伴う減圧脱水により角閃石が不安定となり、イベントの記録が残らないということは有り得る。Putirka (2016)<sup>21)</sup> の角閃石温度計・メルト組成計を結晶全体に適用すると 770–820°C と  $\text{SiO}_2$  71–73 wt.% を算出する。角閃石と Fe-Ti 酸化物の示す温度に差があることの説明の一つは、Fe-Ti 酸化物については減圧脱水による不安定化が起こらず、しかも鉍物内の元素拡散の速度が大きいため、噴出時のマグマの最終温度を示している、というものである。

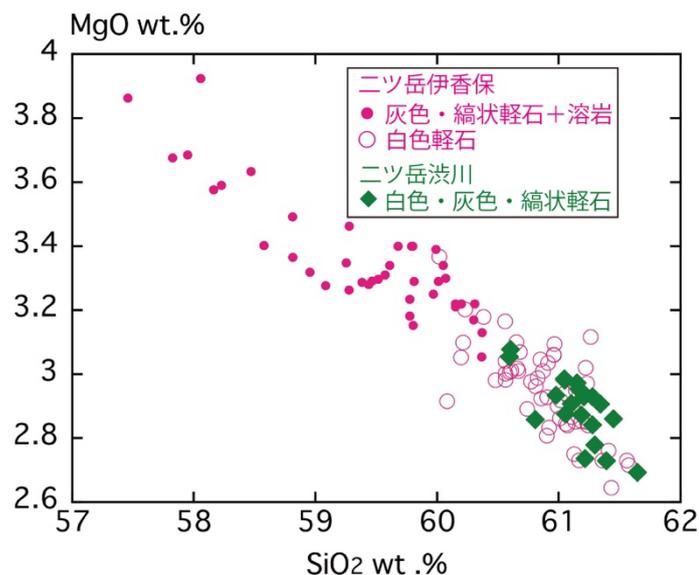


図 1 1. 全岩組成データ。二ツ岳伊香保噴火の灰色・縞状軽石と溶岩はマグマ混合産物、白色軽石には、加熱を受けた低温マグマと、加熱等の変化の無かった低温マグマに相当する 2 種類の噴出物を含む。

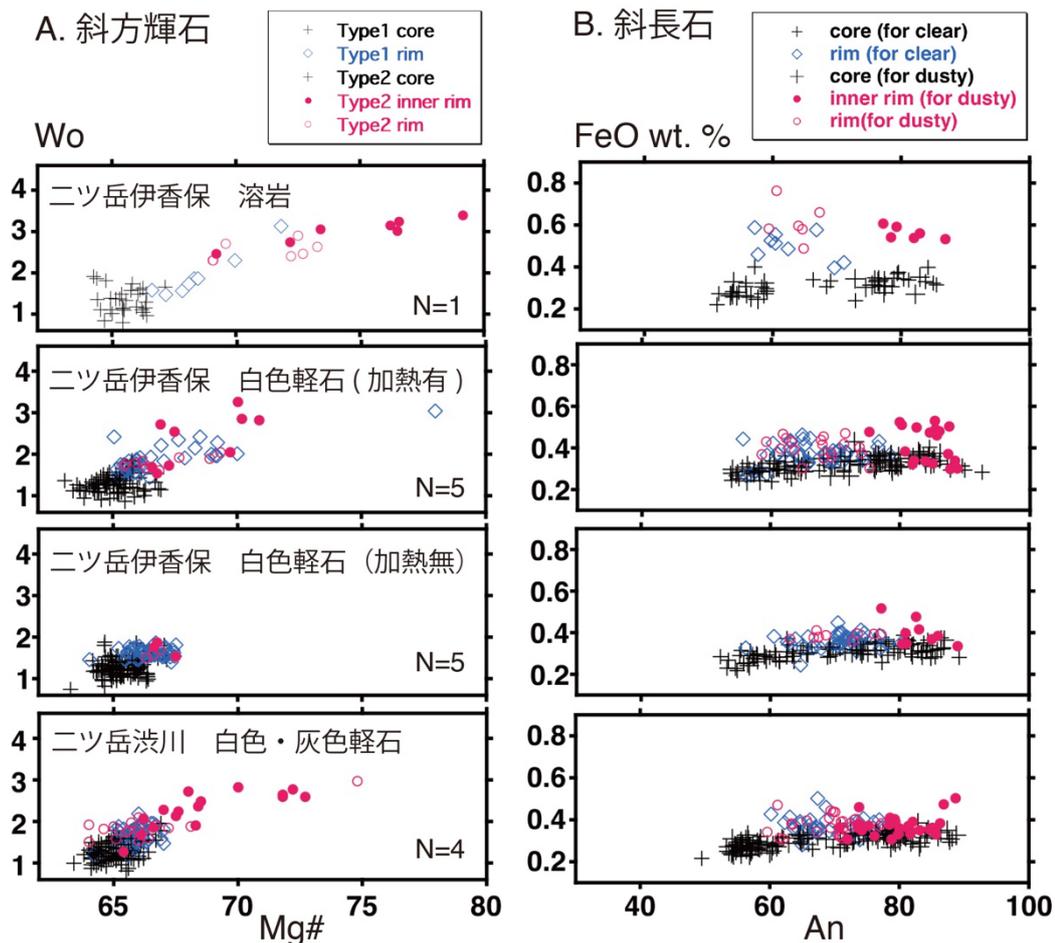


図 1 2. ニツ岳の 2 噴火の斑晶組成の比較。左右の同じ段は同じサンプル群のデータであり、一つのサンプル群のプロットに使用したサンプル数も示している。ニツ岳伊香保噴火については、溶岩（マグマ混合産物）、白色軽石（加熱記録あり）、白色軽石（加熱記録なし）の 3 グループに分けプロットしている。斑晶タイプや分析ポイントの定義は、Suzuki and Nakada(2007)<sup>19)</sup>と Suzuki et al. (2022)<sup>18)</sup>に準ずる。

ニツ岳の 2 噴火の比較 ニツ岳伊香保噴火では、混合マグマ・加熱を受けた低温マグマ・変化のない低温マグマの各々に相当する噴出物が生成した（図 1 3）。変化のない低温マグマに相当する噴出物を活用し、低温マグマのバルク組成・結晶度が明らかにされた。ニツ岳渋川噴火の噴出物は、混合マグマ、もしくは、加熱を受けたマグマに相当するため、低温マグマの特徴の全てを噴出物からダイレクトに知ることはできない。伊香保噴火を含めたデータを総合的に検討し、渋川噴火について最も可能性の高いシナリオを提案する。

低温マグマ由来の斑晶鉱物の組み合わせとコア組成は、2 噴火で同様であるので（図 1 2 は鉱物組成）、低温マグマの結晶部分は互いに良く似ていたものと考えられる。Suzuki and Nakada (2007)<sup>19)</sup>ではニツ岳伊香保噴火について低温マグマに由来した石英を記載していなかった。しかし今回、FE-EPMA により薄片全体の BSE 像を撮影した結果、一部の試料で少量かつ小さな石英を確認したため、この点をアップデートする。一方、

2 噴火の噴出物の全岩組成を見ると、二ツ岳渋川噴火の軽石は二ツ岳伊香保噴火の白色軽石の領域(加熱された低温マグマ+温度上昇のなかった低温マグマの両方に相当)に入る。仮に低温マグマのバルク組成が2 噴火で共通であるのならば、渋川噴火の斜方輝石や斜長石斑晶に認められた組成累帯構造は、伊香保噴火の加熱産物相当であるはずである。実際に、そのような関係が確認される(図 1 2)。以上のことから、二ツ岳渋川噴火では加熱を受けた低温マグマが噴出しており、2 噴火のマッシュ状低温マグマは、鉱物組み合わせと組成、バルク組成の全てにおいて非常に類似しているものと結論づける(図 1 3)。低温マグマのバルク組成に関しては、二ツ岳渋川噴火についても、10ka 以前の噴火(>63 wt.% SiO<sub>2</sub>)とは明瞭な差があるという結論になる。マスバランス計算で求めた軽石の斑晶量は、二ツ岳伊香保噴火における温度上昇の記録のない白色軽石において約 50 vol.%であるのに対し、渋川噴火の温度上昇の記録のある軽石で 47.6 vol.%である。これは上記モデルと矛盾するものではなく、加熱によりマグマ中で結晶が溶融したため、渋川の軽石では斑晶量が低く出ているものと推察する。

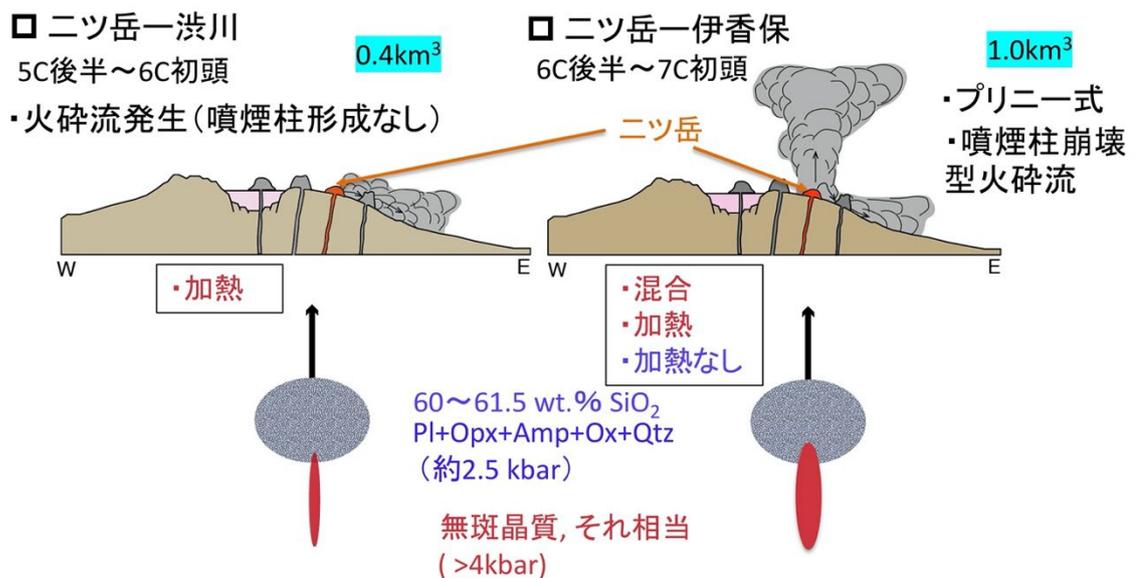


図 1 3. 二ツ岳の2 噴火のマグマ供給系。2 噴火の各々に関わった低温・高温マグマは、バルク組成・含有鉱物種・結晶度において互いに良く似ている。低温マグマ(マッシュ)の貯蔵深度は図 1 4 の相図に基づき決定した。高温マグマの結晶化深度は Suzuki and Nakada (2007)<sup>19)</sup>の結果。四角の枠内には、個々の噴火での噴出物の多様性を示す。二ツ岳伊香保噴火では高温マグマの供給量が多く、相対的に規模の大きい噴火につながった可能性がある。噴出物の総量は山元 (2013)<sup>22)</sup>によるもの。

約 50 年の時間を置いて発生した二ツ岳の 2 噴火の間には、噴火の規模と噴火様式に相違がある(図 1 3)。2 噴火の低温マグマが良く似ているという今回の研究成果を踏まえて、地表での噴火現象の差異がマグマ溜りの段階で、どう決定されているか考えた。二ツ岳伊香保噴火では混合マグマも噴出しているのに対し、二ツ岳渋川噴火では加熱を受けたマグマの噴出に留まっている(図 1 3)。このことから、マッシュ状マ

グマ溜まりへの高温マグマの供給の量が二ツ岳伊香保噴火の方で多く、その結果としてマッシュ全体の粘性変化も顕著となり、より規模の大きい噴火になった可能性があると考えられる。2噴火の低温マグマの貯蔵深度をMELTS計算により推定した。MELTS計算により得た相平衡図を図14に示す。750~790°C、1.5~3kbarの範囲で、斑晶鉱物組み合わせが再現される(図14の薄灰色の領域; 石英は融食形を示すので制約条件に加えていない)。この温度は角閃石温度計で求めた温度とも重なる。50 vol.% (57.5 wt.%) という結晶度も満たすには、圧力は2~2.5kbar、温度は上述の範囲で比較的高い必要がある。この圧力は二ツ岳伊香保噴火の高温マグマについて推定された結晶化の圧力(>4kbar)よりも低い(図13)。以上のことから、榛名火山では、浅所にある低温マグマ溜まりに対する、高温マグマの深部からの供給開始と供給量のモニタリングが、噴火予測において重要であるといえる。

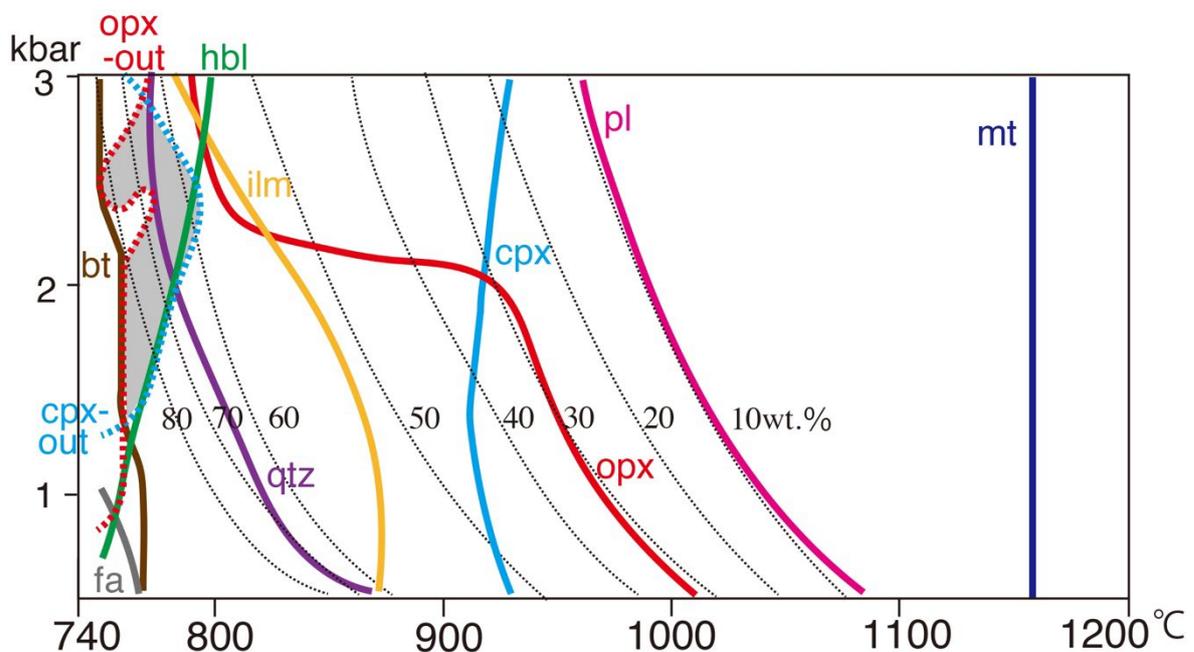


図14. Rhyolite-MELTSにより決定した二ツ岳の2噴火の低温マグマの相平衡関係。バルク組成として渋川噴火の1軽石の組成(SiO<sub>2</sub> 61.5 wt.%)を使用した。マグマの水への飽和を仮定した。各鉱物が安定化・不安定化する温度・圧力条件を、実線と点線(ボールド)でそれぞれ示す(不安定化は輝石類のみ)。細い点線は結晶度(wt.%)の等値線を示す。この図はFMQ+3のものであるが、FMQ+2でもほぼ同等の結果を得た。mt, 磁鉄鉱; pl, 斜長石; cpx, 単斜輝石; opx, 斜方輝石; ilm, イルメナイト; hbl, ホルンブレンド; qtz, 石英; bt, 黒雲母; fa, ファヤライト。

#### d) 浅間火山(東北大学)

課題C-2との連携研究を実施した。浅間火山天明噴火軽石に含まれるマイクロライト組成を斑晶と比較したところ、マイクロライトはほぼマグマ溜まりで晶出したもので、火道上昇時の減圧結晶作用によるものではないことがわかった。マグマ全体の粘

性を支配する低温マグマが火道内混合で加熱されて減圧分のリキダス低下を相殺し爆発的噴火に至った可能性があり、MELTS 計算でも支持される。このメカニズムは、沈み込み帯で中間組成の混合マグマの噴出頻度が高いことも説明し得る。これはマグマ混合の深さとタイミングが噴火様式に影響を与えることを示す。

e) 富士山

i) 全岩化学組成による宝永噴火のマグマ溜まり間相互作用の検討（東北大学）

宝永噴火におけるたまりマグマ溜まり間相互作用を調べるため、噴火ユニットの切れ目での組成変化を詳細に分析した。

水土野で採取した細粒の富士火山宝永噴火軽石・スコリアの XRF 全岩化学組成分析を行うため、東北大学において、通常より少量の試料で精度を確保できる試料：フラックス比=1:10 の検量線を作成した。分析の結果、Ho-II 最上部から採取したサンプルに、一連の噴出物の中で最も SiO<sub>2</sub>含有量が低い試料 (Ho-II-4b) が発見された (図 15 左)。この試料は、他の元素においても Ho-III, IV 堆積物と比較して最も MgO に富み、これまで報告された宝永噴出物組成の中でも最も未分化である (図 15 右)。Ho-III 噴出開始時に、珪長質なマグマとの混合を経験していない玄武岩マグマが噴出したこと (Miyaji et al., 2011)<sup>2)</sup>を考えると、より上位に堆積した Ho-III の下部堆積物の一部がサンプリング時または降下時に混入したものの可能性がある。

従来の宝永噴火モデル (Miyaji et al., 2011)<sup>2)</sup>では、玄武岩質マグマが、その上位にあった安山岩質マグマを、続いて珪長質マグマを bottom up で玉突き状に刺激し噴火に至ったことと想定されている。しかし、安山岩マグマと玄武岩マグマの間には組成ギャップがあり、Ho-III では、混合を経験していない玄武岩質マグマから噴火を開始している。今回、最も未分化な玄武岩マグマが Ho - II と III の間に発見されたことは、玄武岩質マグマが安山岩やデイサイト質マグマ溜まりを通過せずに噴火してきたことをより強く示唆している。

この点を説明するために、Miyaji et al. (2011)<sup>2)</sup>では、『玄武岩質マグマは安山岩質マグマ溜まりに注入し上昇をトリガーしたものの、そのままでは噴火せず、途中から脇にそって未混合のマグマとして噴出する』というモデルが提案されている。これは不可能ではないかもしれないが、少々無理があるように思われる。粘性の低い玄武岩質マグマが、より粘性の高いマグマを追い抜いて先に噴出する可能性はあるが (Koyaguchi, 1985)<sup>23)</sup>、Ho - III, IV では後から混合マグマが噴火しているわけではなく、この説明も難しい。

以上から、宝永噴火のプロセスについて次のような可能性が示唆される。

(1) 宝永噴火では、デイサイト質・安山岩質・玄武岩質マグマの順に地殻の浅部から深部に向けてそれぞれ個別のマグマ溜まりが形成されていたと考えられている (Miyaji et al., 2011)<sup>2)</sup>。地震による地殻応力変化の影響は、浅部マグマ溜まりほど受けやすい。Ho- I, II の噴出物に、発泡度が極めて低い角礫状の軽石や、水冷破碎組織を示す軽石が多く含まれることは、浅部に蓄えられていたデイサイト質マグマは、宝永地震によって上昇がトリガーされたが、それ自体では爆発的噴火に至るほど急速

に上昇する能力を持っておらず、まず浅部帯水層で地下水との反応によりマグマ水蒸気爆発を起こし、その減圧効果によってマグマ噴火に移行することができたことを示唆する。これは宝永噴火が宝永地震の直後には発生せず、噴火開始まで 49 日を要したことや、冷却結晶化の進んだ斑レイ岩質の捕獲岩を伴うこととも調和的である。なお、中深度にあったより粘性の低い安山岩質マグマが最初に宝永地震によって上昇を開始し、珪長質マグマ溜まりに貫入して珪長質マグマの上昇をトリガーした可能性はある。

(2) 珪長質マグマの噴火による減圧が top down で伝播し、(安山岩質マグマ)・玄武岩マグマの上昇を誘起した。最深部に由来する玄武岩質マグマは減圧を感じて、岩脈状の火道を作って噴出したが、先んじて噴出した珪長質マグマの火道を使う一致する必要はなく、雁行状にずれた。これは Miyaji et al. (2011)<sup>2)</sup>で示された宝永噴火における火口移動とも整合的である。

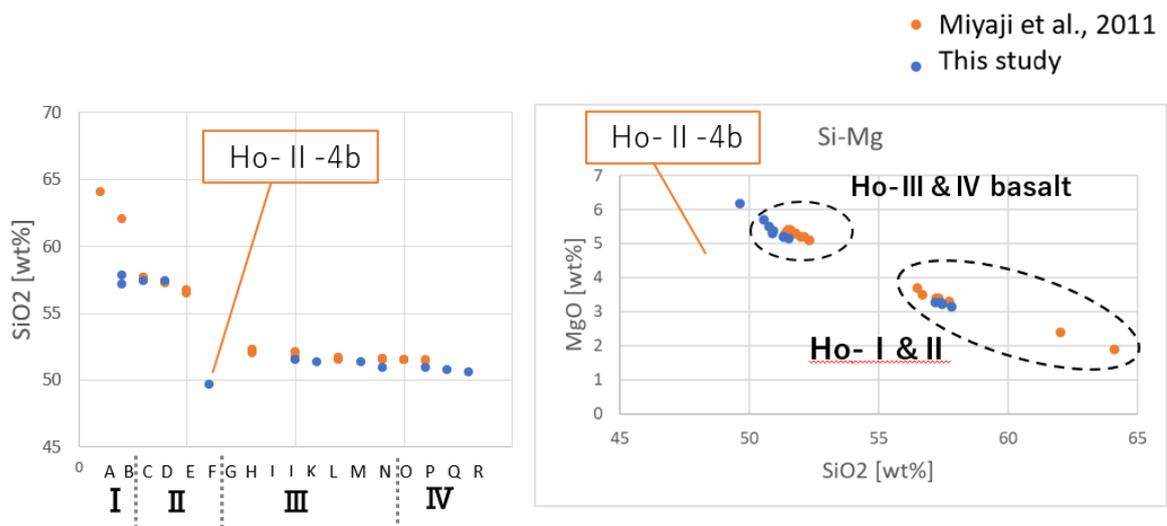


図 15. 水土野で採取した宝永噴火噴出物の全岩化学組成。

ii) 富士山 1707 年宝永噴火の珪長質端成分マグマ (静岡大学)

富士山はおよそ 10 万年前から活動を続ける火山であるが、その活動史を通して噴出したマグマの大部分が玄武岩質であったことが知られている。しかし、最新のマグマ噴火である 1707 年宝永噴火では、その初期においてデイサイト質マグマを噴出した (Miyaji et al., 2011)<sup>2)</sup>。富士山で安山岩質より分化したマグマが噴出したことが知られるのは、宝永噴火と約 3000 年前の砂沢噴火のみである (荒井・小山, 1999)<sup>24)</sup>。宝永噴火で噴出したマグマの量は、デイサイト質の Ho-I マグマのみでも  $\sim 0.04\text{km}^3$  と見積もられ (Miyaji et al., 2011)<sup>2)</sup>、それ単体でも伊豆大島 1986 年噴火の総マグマ噴出量  $\sim 0.032\text{km}^3$  (遠藤・他, 1988)<sup>25)</sup> より多い。このことは、富士山の地下に珪長質マグマだまりが発達していることを示唆する。近年、マグマの  $\text{SiO}_2$  量の増加に伴い、発生する噴火の規模の上限が大きくなることが示された (Takeuchi et al., 2021)<sup>26)</sup>。このことから、富士山の地下のどこに、どのような状態で珪長質マグマが貯蔵されているか (マグマのプレ噴火条件) を明らかにすることは、火山噴火の危険性を評価するうえで重要といえる。しかし、宝永噴火の珪長質マグマは、斑晶鉱物をほとんど含まな

い点と、噴火直前に複数のマグマが混合したもの（混合マグマ）であるため、そのプレ噴火条件を明らかにすることは容易でなかった。一方で、宝永噴火の噴出物は粒間メルト（ガラス）を含む斑レイ岩捕獲岩を含むことが知られている（安井・他, 1998）<sup>27)</sup>。そこで我々は、宝永噴火の噴出物中に含まれる斑レイ岩捕獲岩に注目し、研究を進めてきた。その結果、これらの斑レイ岩の中には流紋岩質の粒間メルトを含むものがしばしばあること、また、化学組成の検討からそのメルトが宝永噴火の珩長質端成分と考えられることを示した（大塚・他, 2021）<sup>28)</sup>。しかし、斑レイ岩中の流紋岩質粒間メルトの間には組成ギャップがあることから、この粒間メルトが安山岩質-デイサイト質マグマの形成に関与していない可能性も排除できなかった。宝永噴火の安山岩質-デイサイト質マグマ中に、粒間メルトと同じ組成の流紋岩質メルトの痕跡が見つけられれば、この可能性を否定できる。そこで我々は、Ho-IIの安山岩質スコリアの石基組織観察と化学分析を行い、珩長質端成分マグマの痕跡を探索した。

組織観察の結果、Ho-IIの安山岩質スコリアの石基中にはしばしば、帯状の無色部分がみられることがわかった。Ho-IIスコリアの石基は著しくマイクロライトに富むが、この無色の帯にはほとんど結晶が含まれない。元素濃度マッピングを行ったところ、この帯を構成するガラスは周辺領域に比べてSiとKに富むことが明らかとなった（図16）。そこで、このガラスの化学組成を分析したところ、SiO<sub>2</sub>~72wt%の流紋岩質組成であることがわかった。更に、これを宝永噴火の噴出物および斑レイ岩中の粒間メルトと比較したところ、斑レイ岩中の流紋岩質粒間ガラスと組成がほぼ一致した。この結果は、宝永噴火の珩長質端成分マグマが流紋岩質であること、また、これと同組成の粒間メルトを含む斑レイ岩は、この端成分マグマと共存するクリスタルマッシュに由来することを示唆する。この流紋岩質メルトと斑レイ岩の鉱物化学組成から由来深度を見積もったところ、~10kmの値を得た。

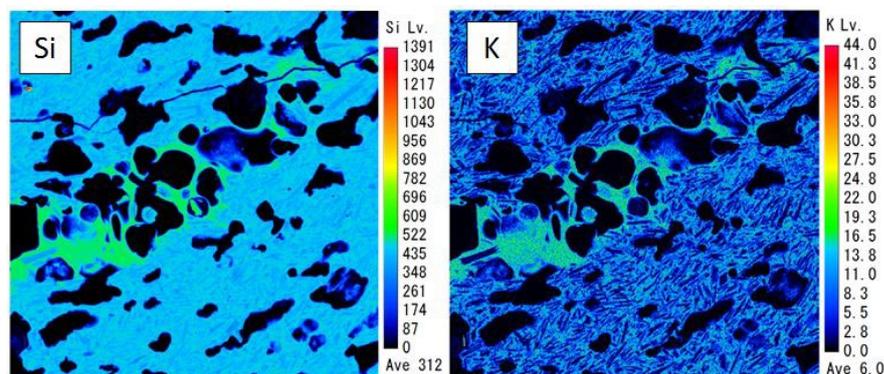


図16. Ho-IIスコリアの石基のSi・K濃度マップ。Si・Kの濃度が高い帯が流紋岩質メルト。

Ho-Iデイサイト質マグマが、流紋岩質端成分マグマとHo-II安山岩質マグマの混合でできたと仮定すると、その混合比は3:1と見積もられる。この場合、Ho-Iマグマの形成に関与した流紋岩質端成分メルトの体積は~0.03km<sup>3</sup>と計算される。貯蔵されていた流紋岩質メルトの10%以上がHo-Iマグマの形成に関与したと仮定するなら、噴

火可能な流紋岩質メルトだまりの体積は $<0.3\text{km}^3$ となる。このサイズより大きくなると地球物理学的な手法で検出が可能になるが、実際には深さ $\sim 10\text{km}$ 付近でマグマだまりと考えられる領域は検出されていないことから、流紋岩質メルトだまりの体積はこれより小さいと考えられる。

今後、Ho-IIのサンプルの分析数を増やすとともに、Ho-I軽石についても分析を行い、富士山地下の珪長質マグマの状態について検討していく予定である。

iii) 大淵スコリア・大沢スコリアの分析 (常葉大学)

前年度に引き続き、大淵降下スコリアについて、鉱物組成分析を行った。大沢スコリアについては、前年度に従来の層序に対して細分化を行ったため、その分布の再調査を行った。

iv) 御殿場山体崩壊に伴うマグマ供給系の変化 (東京大学)

令和2年、3年度に引き続き、協力機関である山梨県富士山科学研究所との共同研究として、東山麓に連続して堆積した新富士期の爆発的噴火による堆積物について分析した。昨年度までの研究から、およそ2900年前に発生した御殿場山体崩壊の直後からしばらくの期間にわたって深部マグマ溜まりから直接地表に達する噴火が連続し、この時のマグマは水に乏しいことが判明していたが、マグマの結晶分化が深部マグマ溜まりで起きている現象なのか、マグマが上昇中におきているのか、については決定できていなかった。どちらの過程でマグマが結晶分化するかは、マグマ溜まりの大きさを制約するために重要な情報となりうる。そこで令和4年度は、噴出物の斑晶組成、石基ガラス組成、メルト包有物(MI)組成についての分析を行い、どちらの過程が実現していたのかを検討した。

御殿場山体崩壊の直後の噴火S-14-3からS-17-3までの試料では、斜長石斑晶のコア組成 ( $An=(Ca/(Ca+Na)\times 100)$ )、および、かんらん石斑晶コア組成 ( $Mg\#=(Mg/(Mg+Fe)\times 100)$ ) が有意に前後の期間よりも低い(図17、図18)。これは低含水量下および低温下での結晶化を示唆しており、マグマが上昇してマグマ溜まり環境よりも減圧し温度低下したと考えることができる。加えて、斜長石斑晶かんらん石斑晶共に、コア組成とリム組成がほとんど変わらない。これは、斜長石斑晶とかんらん石斑晶が上昇中のマグマの中で結晶化しており、噴火までの期間が短かったことを強く示唆している。さらに、斜長石斑晶に捕獲されたメルト包有物組成は石基組成ときわめて類似しており(図19)、メルト包有物の捕獲の完了が地表への噴出の直前であったと推定できる。これらの観察事実から、御殿場山体崩壊直後の一連の噴火では、マグマは噴火時の火道での上昇中に結晶分化をしており、マグマ溜まりの段階では結晶分化をほとんどしていないと考えることができる。

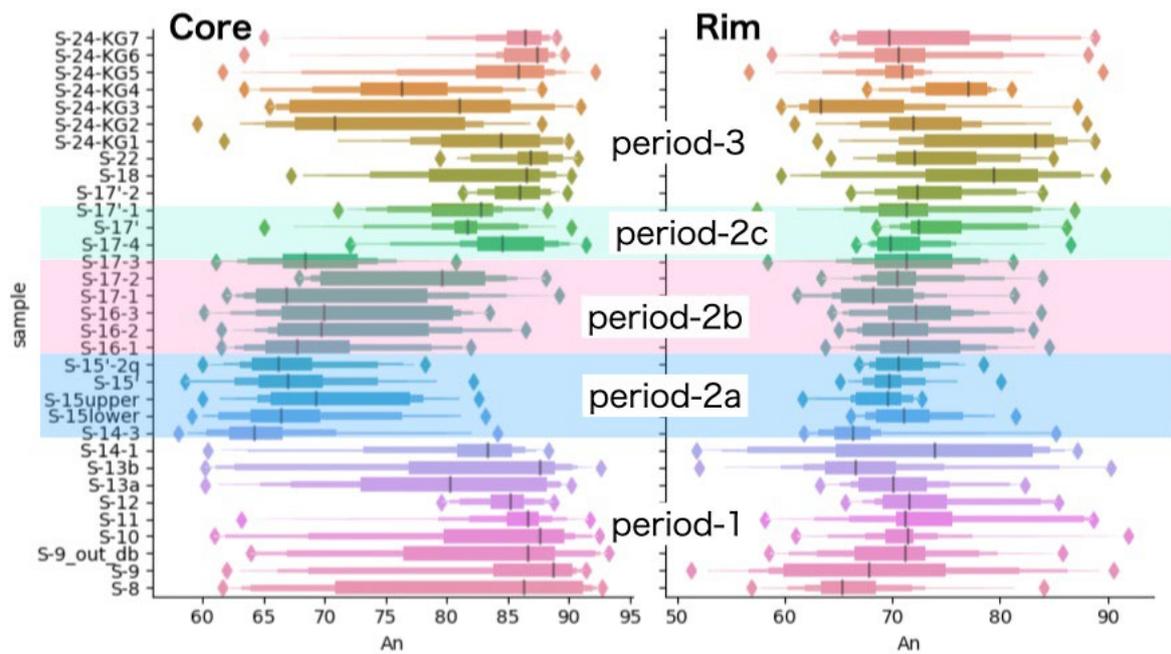


図 17. 斜長石斑晶のコア、リム組成の時代変化。縦軸は露頭の下位から上位、横軸は An 値。

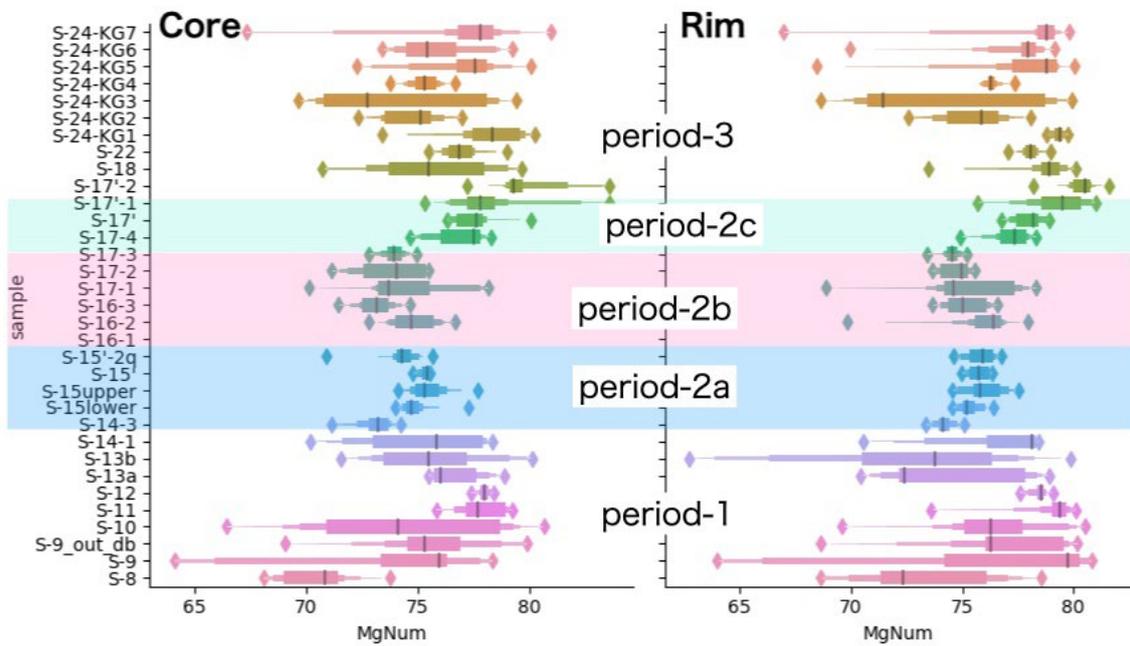


図 18. かんらん石斑晶のコア、リム組成の時代変化。縦軸は露頭の下位から上位、横軸は Mg#。

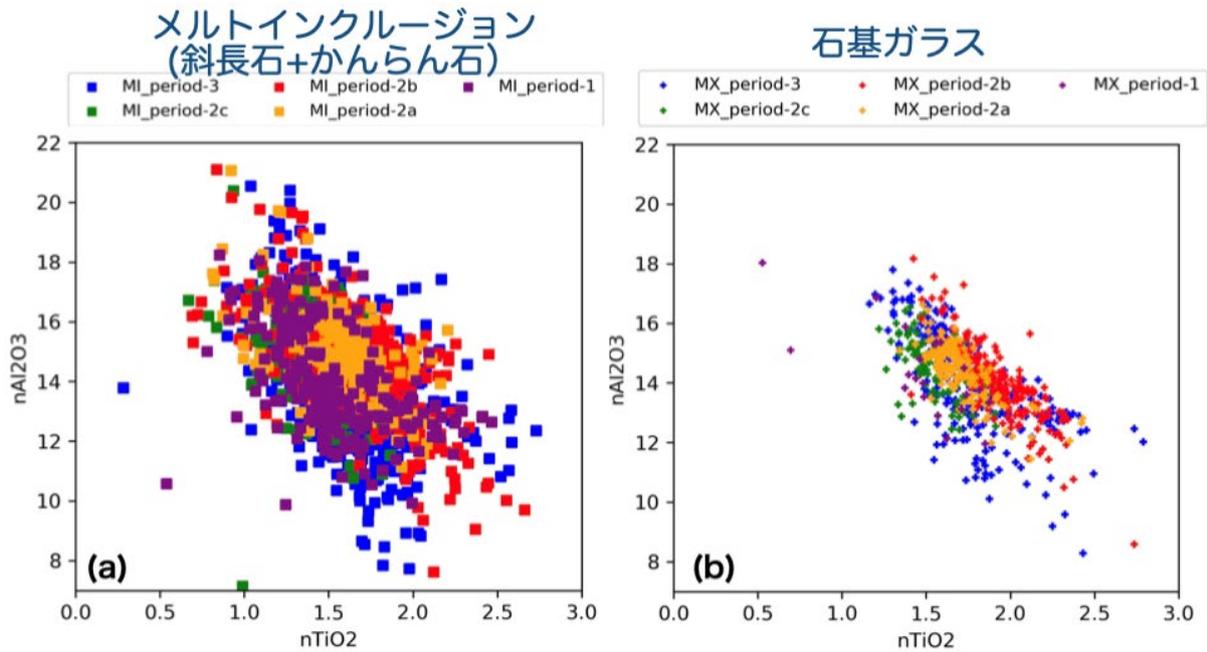


図 1 9. メルトインクルージョンと石基ガラスの組成。

この時期の噴出物の全岩化学組成の連続的な変化と上述の結晶分化過程とを合わせると、御殿場山体崩壊前後のマグマ供給系について以下のような描像が描ける(図 2 0)。(1) 山体崩壊前(Period-1)：砂沢噴火(S-13)までは、浅部で分化したマグマとの混合の痕跡が顕著に見られる。(2) 御殿場山体崩壊後\_前期(Period-2a:S-14-3～S-15-2')：この期間は、全岩化学組成変化の方向は斜長石分別のトレンド上にあり、斑晶組成とMI組成はいずれもマグマの上昇中に斑晶の結晶化とMIの捕獲を示唆している。結晶分別の程度が時間と共に低下していることから、上昇中の火道で結晶化する割合が低下してきており、時間とともに、マグマの噴出経路が確立し容易に噴火しやすくなったものと思われる。(3) 御殿場山体崩壊後\_中期(Period-2b: S-16-1～S17-3)：全岩化学組成変化の方向と斑晶・MI組成がマグマの上昇中に斑晶の結晶化と分別が起きている点は(2)と同様だが、時間経過とともに次第に火道で結晶化する割合が増加しており、マグマが容易には噴火できなくなっていることが示唆される。おそらく、それまでの噴火の堆積物の影響により、御殿場山体崩壊による荷重減少の影響が低下してきたためであろう。(4) 御殿場山体崩壊後\_後期(Period-2c: S17-4～S17'-1)：斑晶組成の特徴から、深部マグマたまりで結晶分化がおきていることが示唆される。このため、深部マグマ溜まりへの新たなマグマの供給による過剰圧獲得だけでは地表に噴火するには上昇力不足で、深部マグマ溜まりにおいて結晶分化によってある程度の浮力を獲得していることが、地表への噴火に必要なのだろう。このことは、御殿場山体崩壊による荷重減少の影響がほとんどなくなったことを示唆する。(5) 完治期(Period-3: S17'-2以降)：斑晶組成は深部マグマ溜まりでの斑晶形成を示唆する一方で、全岩化学組成の分布方向が低圧下での結晶分別の影響を受けたものになっている。噴火未遂のマグマあるいは噴火後にドレインバックしたマグマが、浅部に小さなマグマポケットを多数形成しており、深部から上昇したマグマはほぼ必ずそれらの

マグマポケットと混合してから噴火に到るため、このような全岩化学組成の特徴が作られたと解釈できる。

### 富士山のマグマ供給系の変遷のモデル

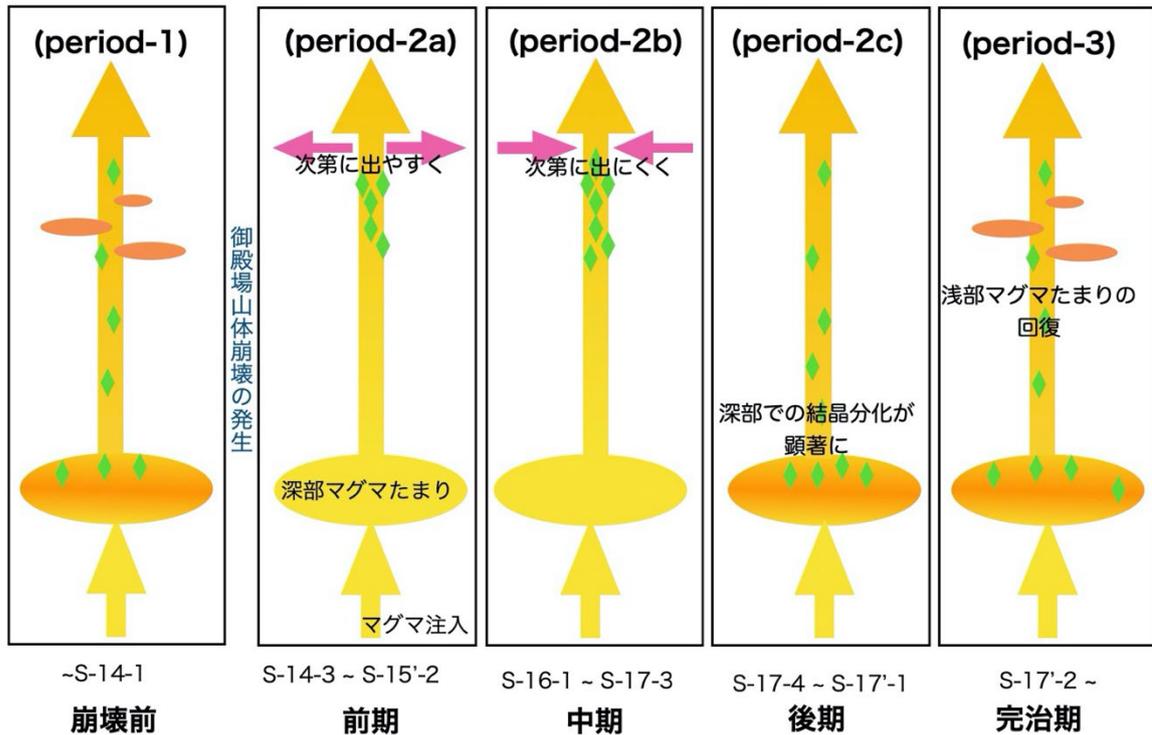


図 2 0. 御殿場山体崩壊前後のマグマ供給系の変化の模式図。

今回明らかになったことは、富士山の深部マグマ溜まりの挙動と噴火のトリガーについて重要な制約を与える。すなわち、富士火山深部のマグマ溜まり環境では、マグマは含水量が低く結晶分化程度も低いため、マグマは噴火の駆動力となる十分な浮力を獲得することができない。したがって、噴火のトリガーとしては、より深部からのマグマの供給による過剰圧の獲得にもとめざるを得ない。このことは、噴火の発生予測には深部マグマ溜まりへのマグマの注入を地震観測等によってモニターすることの重要性を示唆している。また、(2)(3)の期間は、深部マグマ溜まりでは結晶分化はほとんど起きておらず深部マグマ溜まりへの新たなマグマの供給による過剰圧の獲得によって噴火がトリガーされているものと思われるのに対して、(4)の時期には深部での結晶分化による浮力獲得も噴火発生には必要になっており、マグマの上昇経路の状態とマグマのわずかな密度変化とが密接に関連して噴火発生に影響していることもうかがえる。すなわち、噴火の予測には、深部マグマの組成、特に密度への影響が大きな含水量、の時間変化を捉えて現在の富士山深部マグマ溜まりの状態を推測するとともに、地下の詳細な密度構造を明らかにしておくことが重要であると言える。

f) 伊豆大島 (静岡大学)

i) H<sub>2</sub>O 飽和斜長石リキダスから制約する伊豆大島の浅部マグマ供給系

伊豆大島 1986 年 B 噴火の安山岩質メルトの高温高压平衡実験 (Oida et al, 2022)<sup>29)</sup> の結果、斜長石リキダス温度計 (Putirka, 2008)<sup>30)</sup> と VolatileCalc モデル (Newman and Lowenstern, 2002)<sup>31)</sup> の組み合わせ (PNL 法と呼ぶ) によって、苦鉄質メルトの H<sub>2</sub>O 飽和斜長石リキダスをうまく再現できることが示された。そこで、伊豆大島で噴出する代表的な化学組成の玄武岩質メルトに PNL 法を適用し、それらのプレ噴火貯蔵深度を見積もった。

伊豆大島で噴出するマグマは 3 グループに分けられ、そのうち Group-I のマグマが主要である。Group-I のマグマは、斑晶に乏しいことと比較的狭い組成範囲で特徴つけられるが、その中でも Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に富むもの (高 Al/Si) と乏しいもの (低 Al/Si) が存在する (Hamada and Fujii, 2007)<sup>32)</sup>。1986 年噴火の A マグマや 1777-78 年の安永溶岩、Hamada and Fujii (2007)<sup>32)</sup> の MA44 などが低 Al/Si、同じく MA43 が高 Al/Si にそれぞれ相当する。1986 年噴火の A マグマや 1777-78 年の安永溶岩はわずかであるが斜長石斑晶を含んでおり、また 1986 年 A マグマについてはプレ噴火温度が 1100-1150°C と見積もられている (藤井・他, 1988)<sup>33)</sup>。そこで、メルトが H<sub>2</sub>O と斜長石に飽和しており、その温度は 1100-1150°C であると仮定し、PNL 法によって代表的なメルトの噴火前貯蔵深度を見積もった。その結果、低 Al/Si のメルトについては約 2.6km 以下、高 Al/Si のメルトについてはおよそ 2.6-6.5km の深さを得た (図 2 1)。低 Al/Si メルトについて見積もられた深さは、1986 年 B 噴火の玄武岩質安山岩メルトについて見積もられた深さ (Oida et al, 2022)<sup>29)</sup> とほぼ一致した。一方で高 Al/Si のメルトについて見積もられた深さは、主マグマだまりがあると考えられる深さ ~8-10km ではなく、浅部マグマだまりが存在すると考えられる深さと一致した。そこで、1100-1150°C・H<sub>2</sub>O 飽和条件で、深さ 8-10km で斜長石と共存できるメルト組成を検討したところ、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が ~18wt% 程度含むことが必要であることがわかった。このような Al に富むメルトは、伊豆大島では報告されていないが、三宅島では噴出物としても見られる (Geshi et al., 2019)<sup>34)</sup>。この結果は、伊豆大島で噴出する Group-I マグマが ~8-10km のマグマだまりから直接上がってきたものではなく、噴火前に深さ 6.5km より浅部のマグマだまりで一旦停止し、結晶分化を経験していることを示唆する (石橋・安田, 2023)<sup>35)</sup>。特に低 Al/Si メルトについては、更に深さ 2km 付近でも再度停止し、結晶分化したと考えられる。この ~2km という深さは、伊豆大島の H<sub>2</sub>O に飽和した玄武岩質安山岩メルトと周囲の地殻で密度が釣り合う深さに相当し、また伊豆大島を北西 - 南東方向に貫くダイクの上限深度とも概ね一致する (Oida et al, 2022)<sup>29)</sup>。このことは、低 Al/Si メルトが噴火前に ~2km 付近に停止していたという考えと調和的である。ただし、PNL 法による深さの見積もりは温度に大きく依存するので、今後、マグマのプレ噴火温度について精密な検討を行う必要がある。

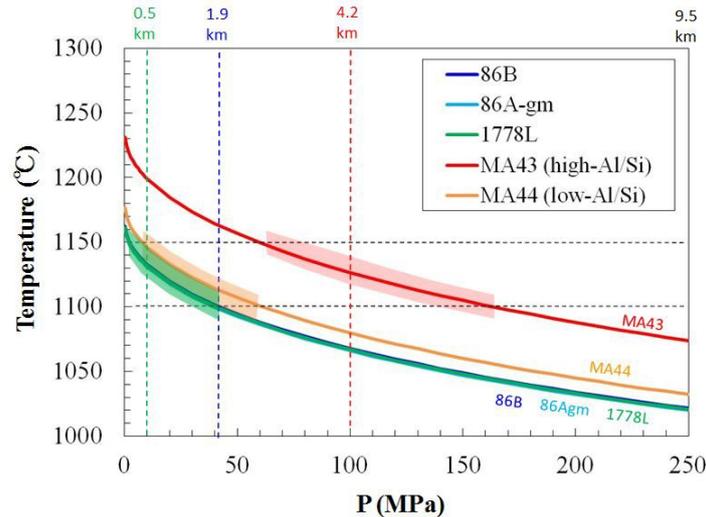


図 2 1 . 伊豆大島の Group-I メルトについて見積もられた貯蔵圧力・深度。86B, 86A-gm, 1778L, MA44 は低 Al/Si、MA43 は高 Al/Si のメルトである。

ii) 伊豆大島 1986 年 B 噴火の深成岩捕獲岩から探る浅部マグマ供給系

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おり (Cashman et al., 2017)<sup>36)</sup>、その破片が火山噴出物中にしばしば含まれている。伊豆大島 1986 年噴火の B 火口噴出物中にも、結晶粒間にメルト(ガラス)を含む深成岩捕獲岩が含まれる。このような捕獲岩はクリスタルマッシュの欠片と考えられ、これを調べることで 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、伊豆大島 1986 年 B 噴火の噴出物に含まれるクリスタルマッシュ状深成岩捕獲岩について岩石学的記載と鉱物・ガラスの化学分析を行い、これらの深成岩の由来するマグマだまりについて検討した(吉田・他, 2022)<sup>37)</sup>。

B 噴出物中の深成岩捕獲岩は、その鉱物組み合わせから 3 グループに分けられる。Group-A は主に斜長石とかんらん石から構成され、磁鉄鉱を含まない。Group-B は斜長石と輝石から構成され、かんらん石を含まず、磁鉄鉱を含む。Group-C は斜長石、輝石、磁鉄鉱、イルメナイトに加え、石英を含む(図 2 2)。いずれのグループの深成岩も、結晶粒間にガラスを含む。粒間ガラスの化学組成を分析したところ、Group-A は玄武岩質安山岩-安山岩質組成、Group-B は安山岩-デイサイト質組成、Group-C はデイサイト-流紋岩質組成を示した。特に、Group-A と B の粒間メルトの化学組成は、1986 年 B 噴火で噴出した玄武岩質安山岩マグマおよびデイサイト質マグマとそれぞれ一致した。このことから、Group-A と B の深成岩はそれぞれ、B 噴火の玄武岩質安山岩マグマおよびデイサイト質マグマと共存したクリスタルマッシュに由来すると考えられる。また、この玄武岩質安山岩マグマとデイサイト質マグマの間には組成ギャップがみられたことから、両者はクリスタルマッシュ中の互い隔たった領域に蓄積されていると考えられる。一方で Group-C の深成岩は、鉱物と粒間ガラスの両方で組成バリエーションがみられるが、その一部は Group-B と重複した。このことから、Group-B と C の深成岩は成因的に連続である可能性が高い。

B マグマの噴火前貯蔵深度(Oida et al, 2022)<sup>29)</sup>を考慮すると、デイサイト-流紋岩質メルトを含むクリスタルマッシュは、伊豆大島山頂カルデラ下の浅部 (< 2-4 km) に存在すると考えられる。今後、これらのクリスタルマッシュの温度・深さなどの条件や形成過程について検討していく予定である。

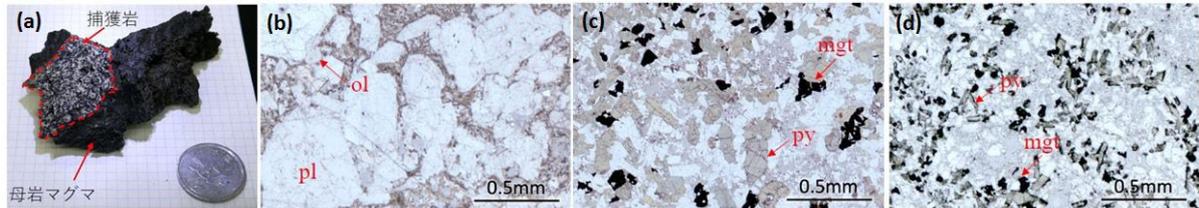


図 2.2. (a) 伊豆大島 1986 年 B 噴火の深成岩捕獲岩。(b-d) 深成岩捕獲岩の顕微鏡写真；(b) Group-A, (c) Group-A, (d) Group-A。

g) 雲仙（東京大学）

1663 年噴火、1792 年噴火、1991-1995 年噴火の比較研究をおこなった。それぞれのマグ溜まりの状態（深度、温度、組成）が定量的に明らかにされるとともに、深部からのマグマが供給された際の浅部マグマの状態（結晶量、粘性）や深部マグマとの混合具合によって、噴火の様式が異なることが確認された。

h) 阿蘇（熊本大学）

i) 先阿蘇火山岩類の K-Ar 年代

阿蘇火山の先カルデラ火山活動史を明らかにするため、外輪山に分布する先阿蘇火山岩類の K-Ar 年代測定を行った。東外輪山に分布する黒雲母流紋岩 1 試料、玄武岩 2 試料、普通角閃石安山岩 1 試料、西外輪山に分布する輝石安山岩 6 試料(古川・他, 2009)<sup>38)</sup>を分析対象とした。岩石から分離した石基試料に対し、蛍光 X 線分析装置（国立科学博物館）を用いた K 定量と希ガス質量分析装置（東京大学）を用いた感度法による Ar 同位体分析を行い、K-Ar 年代を算出した。各試料の年代測定結果を図 2.3 に示す。今回調査した範囲においては、カルデラ南東壁（高森）の玄武岩および普通角閃石安山岩が比較的古い年代値 (0.74~0.69 Ma) を示し、カルデラ西壁（立野）の輝石安山岩が最も若い年代値 (0.38 Ma) を示すことが明らかになった。また、得られた K-Ar 年代と化学組成の間に系統性は確認できなかった。Aso-1 噴火の直前には安山岩質マグマの活動が卓越した可能性がある。今後さらに分析点を増やすことで最初のカルデラ形成噴火に至る活動史の詳細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。

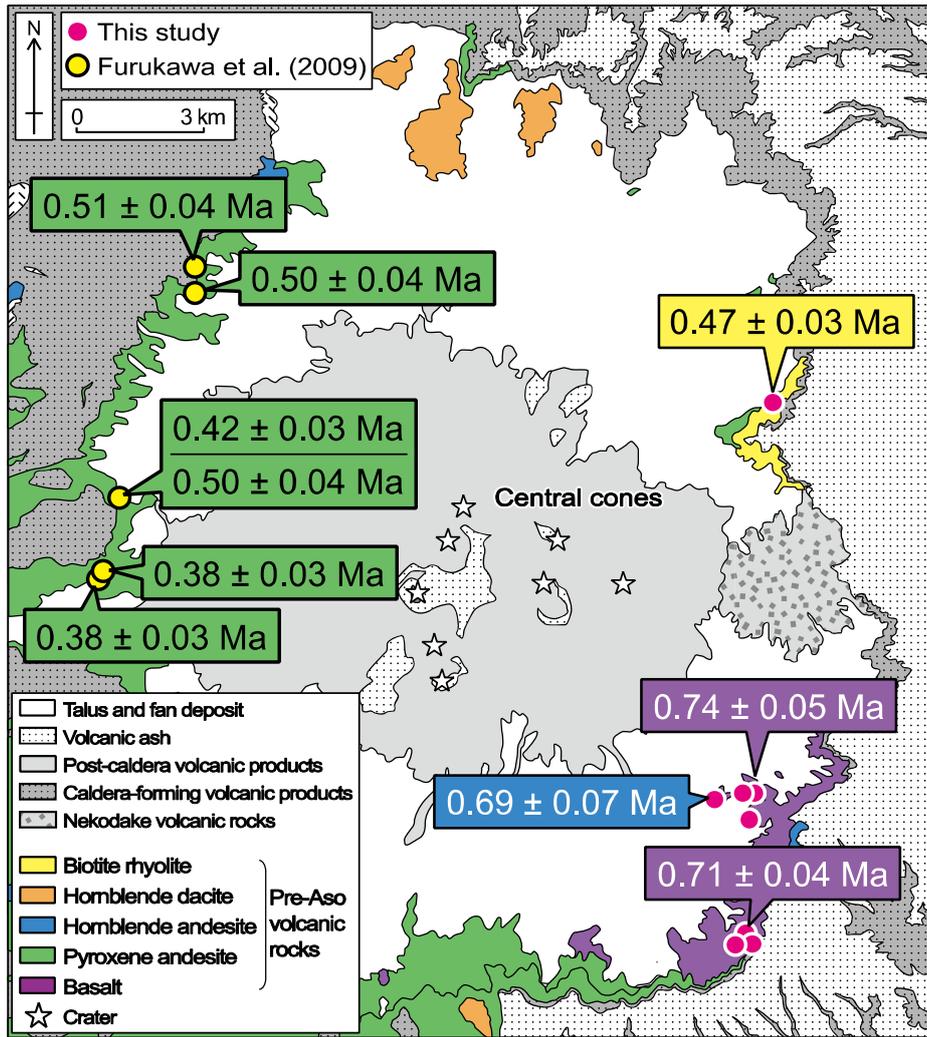


図 2.3. 試料採取地点と得られた K-Ar 年代。地質図は小野・渡辺 (1985)<sup>39)</sup> を改変。

ii) 阿蘇カルデラ西部、北向山地区の先阿蘇火山岩類

阿蘇カルデラ壁の開口部に露出する先阿蘇火山岩類 (図 2.4) は噴出年代が若いものが多い (三好・他, 2009)<sup>40)</sup>、阿蘇 1 大規模火砕流噴火への変遷を明らかにする上で重要である。白川左岸の北向山には凝灰角礫岩および 10 枚近くの先阿蘇溶岩が産する。布田川断層を挟んで西側には先阿蘇火山岩とそれを覆う外牧溶岩、阿蘇火砕流堆積物が分布する。試料の全岩分析は国立科学博物館の蛍光 X 線装置を用いた。全ての試料は 53~59 wt.% SiO<sub>2</sub> の安山岩組成を示し (図 2.5)、SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 図では、三好・他 (2013)<sup>41)</sup> の先阿蘇、カルデラ形成期 後カルデラ期、全てのステージに対応する K<sub>2</sub>O の組成幅が認められた。角閃石安山岩は低カリウム、輝石安山岩は高カリウムが多く、前者は鉄、チタンに乏しい。またマグネシウムが増加後、減少するトレンドも興味深い。立野地域ではショショナイトの産出もあり、従来のマグマ組成変遷モデルの再検討が必要である。先阿蘇全体として安山岩が卓越し、その後、カルデラ形成噴火が起こったことは重要な制限事項だと考える。

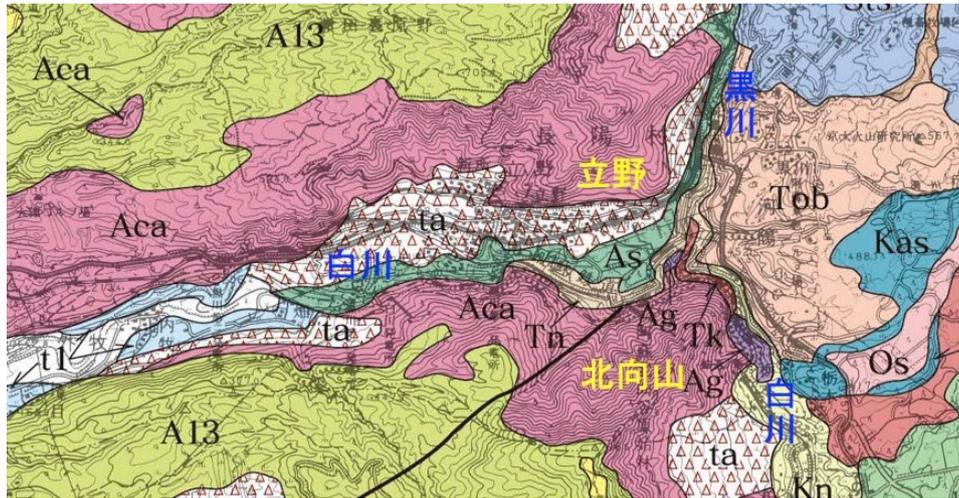


図 2 4. カルデラ西部の先阿蘇火山岩類調査地域（熊本県地質図を引用）。Aca（ピンク）がカルデラ壁に露出する先阿蘇火山岩類。カルデラ壁開口部（カルデラ内の黒川と白川の合流地点）の西、立野溪谷の北岸を立野地区、南岸を北向山地区と呼ぶ。A13：阿蘇1～阿蘇3火砕流堆積物、ta：崖錐、Ag：鮎返滝溶岩、Tk：析ノ木溶岩、Tob：高野尾羽根溶岩、Tn：立野溶岩、As：赤瀬溶岩。

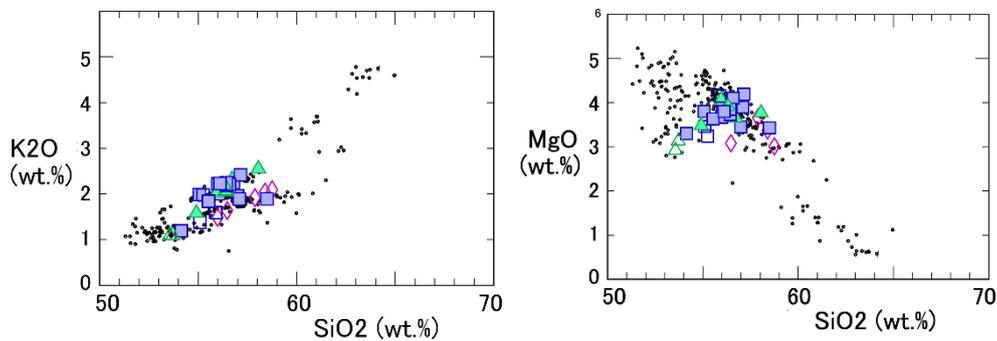


図 2 5. 北向山先阿蘇火山岩類の化学組成図。斑晶組合せ：△かんらん石，単斜輝石，▲かんらん石，両輝石，□かんらん石，角閃石，両輝石，■両輝石，◇角閃石，両輝石。小さいドットは立野地域およびその周辺の先阿蘇火山岩。

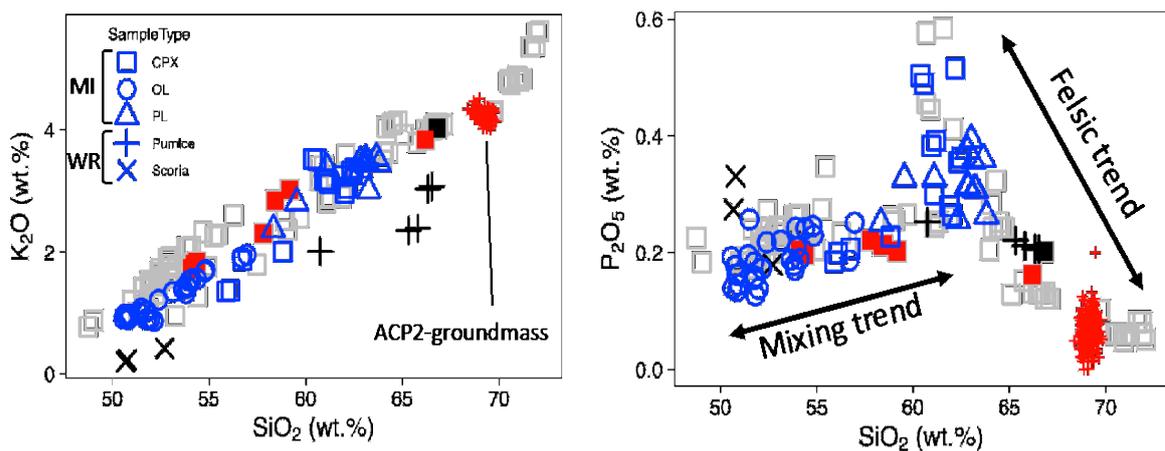
### iii) 元素拡散プロファイルの解析に基づくマグマ混合時期の見積り

完新世に活動した杵島岳火山、往生岳火山の噴出物を対象として斑晶鉱物内の元素拡散プロファイルの解析を行い、マグマ混合から噴火に至るまでの経過時間を見積もった。試料は昨年度解析に用いたものと同様だが、本年度はこれまで未解析であったかんらん石斑晶を分析対象とした。両試料のかんらん石には逆累帯した浅部マグマ溜り由来のものと、正累帯した深部マグマ溜り由来のものが存在することが明らかになっている (Kawaguchi et al., 2021)<sup>42)</sup>。分析には東京大学地震研究所の SEM-WDS を使用し、斑晶のコアからリムにかけてライン分析を行なった。本年度は両タイプのかんらん石斑晶から 30 個の化学組成プロファイルを得ることができた。得られた組成プロファイルは Girona and Costa (2013)<sup>43)</sup> のモデリングソフト DIPRA で解析し、かんらん石斑晶内での Fe-Mg 相互拡散に基づき拡散時間を見積もった。今回はライン分析

を行なった結晶軸方向を予め制約できていない為、解析は拡散係数の変化の最も大きい a 軸方向と c 軸方向の両ケースについて実施した。その結果、拡散時間として数十日から約 10 年の結果が得られた。この結果は昨年度単斜輝石から得られた結果の約 80%が 20 年以内であったことと整合的であり、噴火の約 15 ~20 年前に深部マグマ溜りからの高温マグマの供給量が増加したとする昨年度の解釈をサポートする結果となった。

iv) 草千里ヶ浜火山およびその前駆噴火噴出物の解析

後カルデラ期最大規模であった草千里ヶ浜火山の噴火およびその直前の活動期の噴出物を対象に全岩、石基ガラス、斑晶鉱物および斑晶メルト包有物の化学組成分析を行い、マグマ溜りの温度や深さ、マグマ過程について検討した。今年度分析を行なった試料は草千里ヶ浜軽石 (ACP2) の降下ユニット全体を代表する E1~E6 のユニットとその直前の活動期 (約 31-40 ka) に噴出した中久保第 1 テフラ (NbT1) である。ACP2 の全降下ユニット E1~E6 の石基ガラス組成は均質で、68-70 wt.%  $\text{SiO}_2$  と同様の組成であった。石基ガラスと斑晶のリム組成から求めた噴火直前の温度と含水量はそれぞれ 950-975°C、1.9-2.3 wt.%  $\text{H}_2\text{O}$  と、噴火の初期とクライマックスとで大きな違いは見られない。他方、NbT1 の斑晶メルト包有物の化学組成は玄武岩質~デイサイト質と多様で対照的であった。斑晶鉱物の組成累帯パターンから、デイサイト質メルトをもつ安山岩質マグマに苦鉄質マグマが混合して噴火に至ったと考えられる。また、NbT1 から見出されたデイサイト質マグマは ACP2 マグマとは化学組成が異なる (図 2 6)。



- + : ACP2石基ガラス (本研究)
- +x : テフラ全岩 (本研究)
- : 後カルデラ期噴出物 (全岩, 三好ほか, 2005)
- : 草千里ヶ浜火山噴出物 (全岩, 三好ほか, 2005)
- : 草千里ヶ浜噴火前駆噴出物 (全岩, 三好ほか, 2005)

図 2 6 . 草千里ヶ浜軽石および中久保第 1 テフラの全岩、石基ガラスおよび斑晶メルト包有物の化学組成。三好・他(2005)<sup>44)</sup>による分析値を合わせて表示。

これらの観察事実は約3万年前の草千里ヶ浜火山の噴火を起こした均質な大規模珪長質マグマ溜り(噴出量  $2\text{km}^3$ )が約1万年以内に準備された可能性を示唆する。噴火予測を実現する上で、「現在の中岳の玄武岩質マグマが大規模珪長質マグマの噴火に発展するとしたならば、どのような物理化学過程の観測が予想されるのか?」は重要な課題である。

i) 霧島(東京大学、早稲田大学、常葉大学、東北大学)

新燃岳の2011年噴火、2018年噴火、享保噴火の噴出物の分析と比較を継続するとともに、課題間連携研究として、霧島火山全体のマグマ供給系についての検討に着手した。

j) 桜島

i) ブルカノ式噴火とサブプリニー式噴火の分岐条件の考察(東北大学)

京大防災研・桜島火山観測所との共同研究により、桜島火山の昭和期の活動で特に大規模であった、1987年11月17日、1995年8月24日噴火の前駆過程(傾斜変動等)を復元するとともに、噴出物の解析と併せて、ブルカノ式噴火とサブプリニー式噴火の分岐条件を考察する。

1987年11月17日20時56分の爆発、および1995年8月24日0時35分頃からの連続的噴火活動は、1955年以降の南岳の活動期においても最大級の顕著な活動であり(京大防災研, 2020)<sup>45)</sup>、この二つの噴火を桜島南岳・昭和火口の通常期の活動や、大正噴火と比較することは、桜島における噴火様式の変遷の理解に有用と考えられる。一方で、前者が強い爆発から始まった典型的なブルカノ式噴火であったのに対し、後者は空振を伴わず9時間におよび噴煙を出し続けた点でサブプリニー式に近いとも言え、これら二つの噴火活動は対照的である。噴火に先立つ活動状況も対照的であり、BL型地震の発生回数から見ると、1995年8月24日の前は3か月にわたって低調で(図27左: 矢印は、マグマ貫入に伴うと想定されるBL型地震発生回数のピーク)、噴火の4時間ほど前にあたる23日19時ころから山体膨張が始まったのに対し、1987年11月17日噴火では、14日前の11月3日にBL型地震の顕著な増加があり(図27右)、この段階でマグマが貫入し、いわゆる“蓋”(キャップロック)を形成したと考えられる。

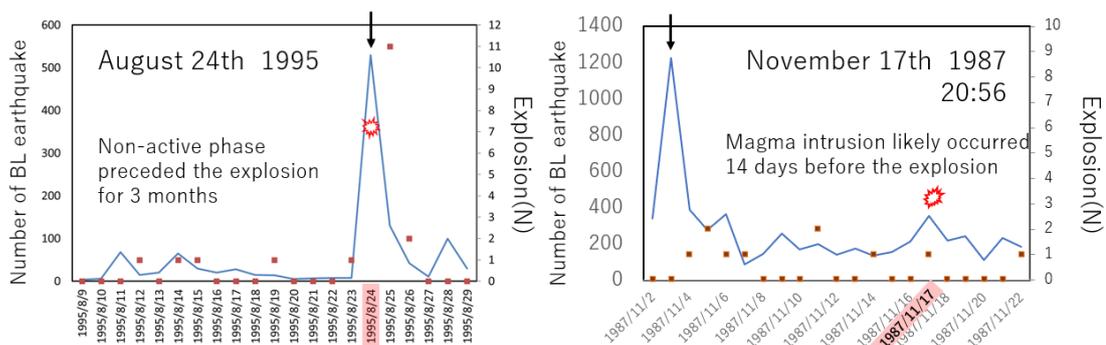


図27. 噴火前後のBL型地震の回数。

マグマの上昇・減圧から噴火までの時間を表す斜長石斑晶メルト包有物の含水量（脱水の程度）においても、両者の違いは明瞭に検出された。1995年8月24日噴火は大正噴火プリニー式軽石(Araya et al., 2019)<sup>46)</sup>と同程度であることがわかった(図28左)。このことは、マグマの上昇直後に噴火に至ったことに加え、マグマの上昇速度以外の要因が、プリニー式噴火との分岐を決定していることを示している。

一方、1987年11月17日噴火では、通常期のブルカノ式噴火噴出物よりはメルト包有物含水量は高いものの1995年8月24日ほどではなく、先行貫入して脱水したマグマ(立尾・井口, 2009のマグマA)<sup>47)</sup>と、爆発の直前に供給されたマグマ(同、マグマB)<sup>47)</sup>に対応すると考えられる二つのピークが検出された(図28右)。通常のブルカノ式噴火では、爆発を引き起こす深部のマグマBは噴出せず、1955年以降の南岳噴火で最大級であった1987年11月17日噴火で初めて明瞭に検出されたと言える。マグマBからAへの変化が14日間と制約されたことで、今後、桜島浅部でのマグマの結晶化速度や脱ガス率・ガスの収支の制約につなげたい。

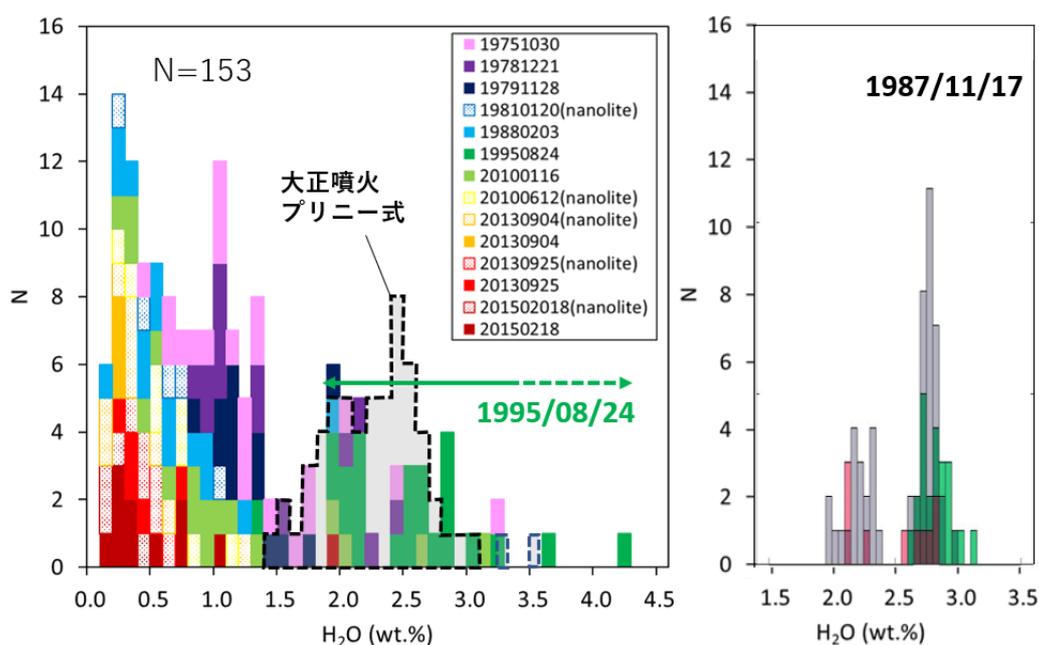


図28. メルト包有物の含水量の噴火による違い。

ii) 火山灰試料の分析 (常葉大学)

前年度までに引き続き、自動火山灰採取装置により火山灰試料の連続採取を継続し、測色データを獲得した。また、k)に記述する諏訪之瀬島火山と同様の反射電子像を用いた火山灰構成比導出を行った。

k) 諏訪之瀬島 (常葉大学)

今年度は、これまでに高時間分解で採取・分析した1813年噴火および2021年の連続火山灰試料について、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を行い、それらの構成比の導出を進めた(図29、30)。その結果、

石基ガラス組成のみならず、粒子構成比についても 1813 年噴火では大幅に変動していたのに対し、2021 年の活動期では比較的变化が小さく、低発泡・高結晶の傾向を示すことが明らかとなった。

今年度の噴火活動に際しては、昨年度に引き続き島民の協力を得て降灰試料を入手した。それらの試料に加えて、過去約 300 年の火山灰土のガラス組成分析を進めた結果、石基ガラス組成は昨年度同様、最近 20 年間を通じて、1813 年噴火時あるいは直前のような急激かつ大幅な苦鉄質化は起こっていないことが確認された (図 3 1)。

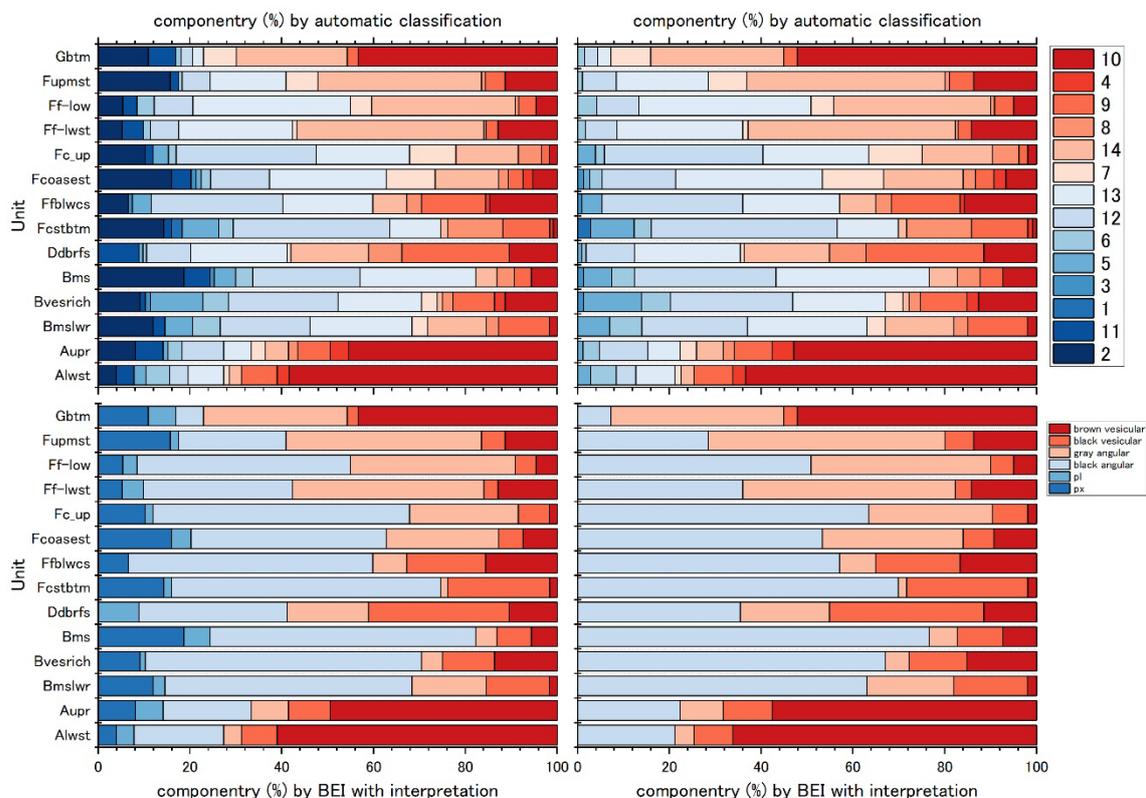


図 2 9. 諏訪之瀬島火山 1813 年噴火の噴出物試料の反射電子像自動分類による粒子構成比 (粒径  $250\text{--}500\ \mu\text{m}$ )。上図：詳細分類、下図：目視分類に対応づけてカテゴリー数を減じた分類 (左図：遊離結晶含む、右図：遊離結晶除く)。下位 (Unit Alwst) から上位 (Unit Gbtm) に向かって層序順に表示。青系色が高結晶度・低発泡、赤系色が低結晶度・高発泡で、その程度が強いほど濃色。

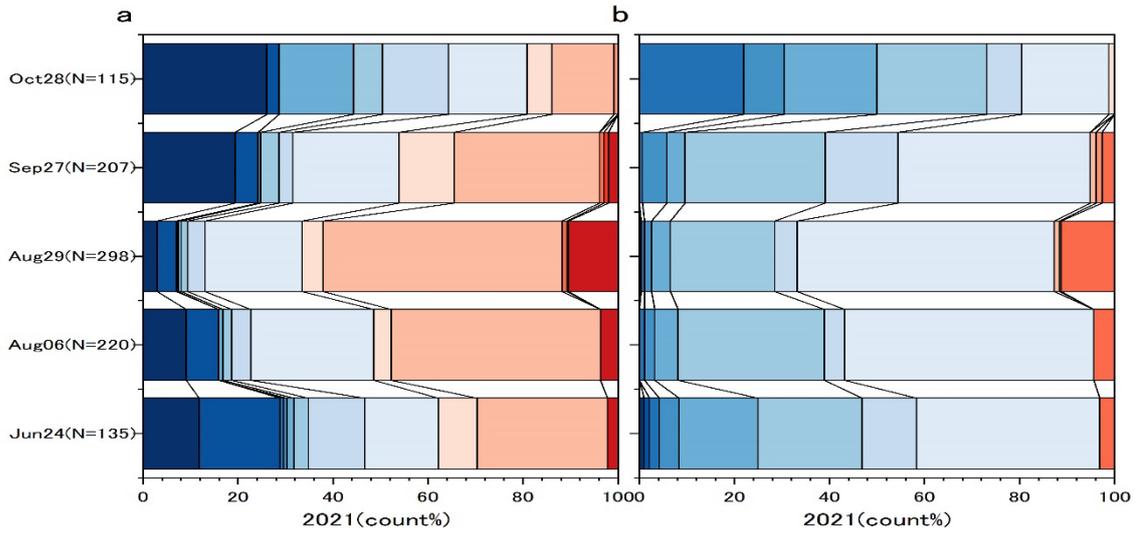


図 30. 諏訪之瀬島火山 2021 年噴火の噴出物試料の反射電子像自動分類による粒子構成比 (粒径 250-500  $\mu\text{m}$ )。図 29 の詳細分類と同基準による詳細分類結果 (凡例も同じ ; a : 遊離結晶含む, b : 遊離結晶除く)。

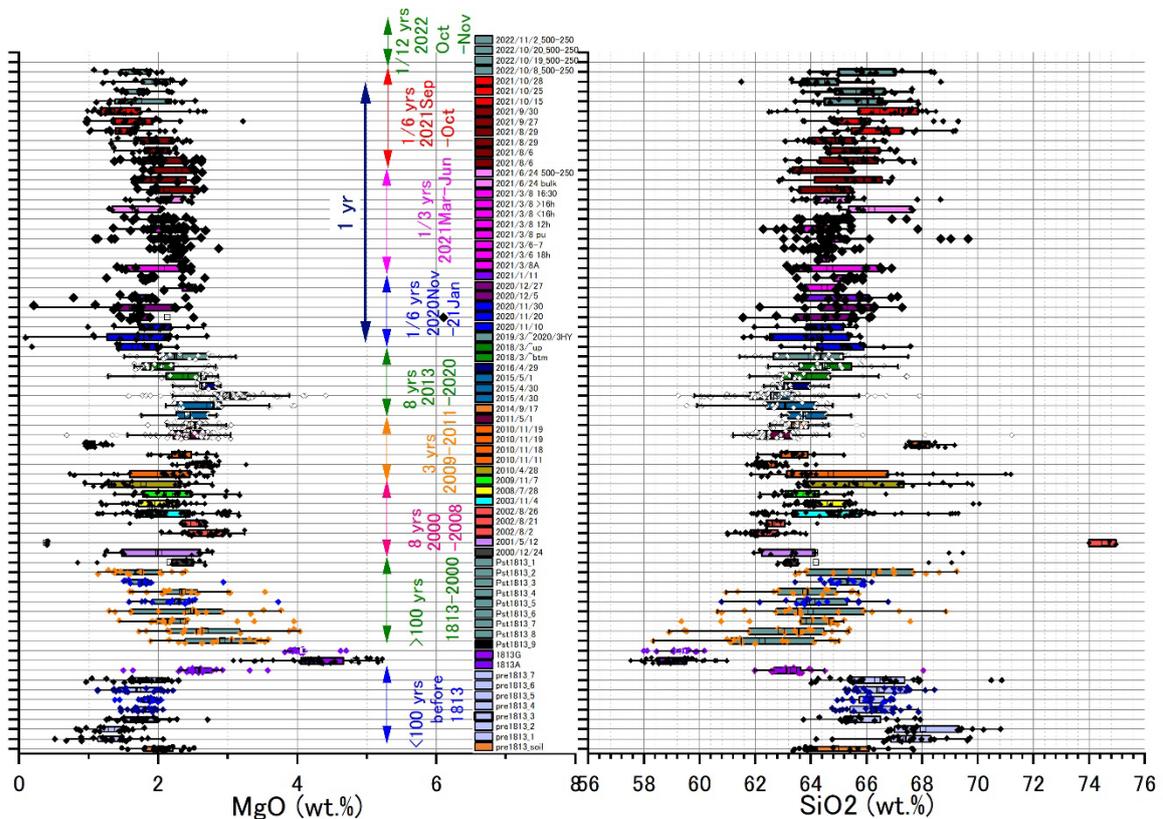


図 31. 諏訪之瀬島火山過去約 300 年の噴出物ガラス組成 (一定間隔試料ではない点留意)。1813 年噴火前から急激に苦鉄質化傾向を示すが、2022 年末時点の過去数年間でこうした苦鉄質化傾向は認められない。

1) 西之島（東京大学）

西之島については、昨年度に引き続き課題 C-2 と連携してこれまでの噴火噴出物の分析値のとりまとめをおこない、次回の噴火時には採取した噴出物と過去噴火のデータ比較が迅速にできるように整理した。

m) 噴火の推移・様式予測の仕組みの検討（東京大学）

e) iv) 節で富士山マグマ供給系像が明らかになったことを受けて、前年度から取り組んでいる単純なマグマ供給系モデルを適用しての噴出量階段ダイアグラムの読解を試みた。

長期間にわたるマグマの供給量を知り火山の中・長期活動予測に役立てるために、噴出量階段ダイアグラムが国内の主要な火山に対して作成が精力的にすすめられているが、これを適当なマグマ供給系モデルと組み合わせることによって、次期噴火のタイミングあるいは規模の予測もできると考えられている(小山・吉田, 1994)<sup>48)</sup>。ただし、どのようなタイミングでマグマの上昇が始まるのか、マグマの上昇がいつ停止するのか、を考えるためには、適当なマグマ溜まりの物理モデルが必要であり、考慮する物理モデルによって同じ噴出量階段ダイアグラムをから導ける火山噴火のパラメタが異なってくることに注意を払う必要がある。ここでは、本研究で得られた富士山マグマ供給系像に基づき、図 3 2 のような単純なモデルを使って、富士山の噴出量階段ダイアグラム(石塚・他, 2021)<sup>49)</sup>の解釈を試みた。

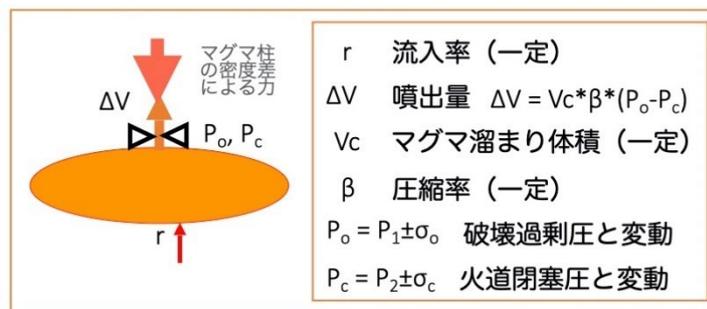


図 32 過剰圧解放による噴火モデル。

御殿場山体崩壊直後の富士山マグマ供給系は、e) iv) 節で明らかにしたようにマグマが火道途中で固化する量は少なく、マグマ溜まりに供給されたマグマの大部分はタイムラグがあるものの最終的には地表に噴出していると見なせる。加えて、マグマ溜まりを1つだけ考慮すれば良い。さらに、マグマ溜まりでの結晶分化や浮力の獲得は無視できる。これらのマグマ供給系の特徴は、少ないパラメタでモデルを記述できるので、噴出量階段ダイアグラムの解釈を試みる上で非常に有利である。すなわち、図 3 2 に示すように、マグマの注入によって過剰圧が生じ、それが閾値を超えると噴火が発生し、マグマの流出によってマグマ溜まりの過剰圧が火道閉塞の閾値以下になると噴火が終了する、という単純なモデルで噴火を記述できる。このモデルの未知数は、マグマ溜まりの破壊過剰圧、火道の閉塞過剰圧、マグマ溜まりの体積、地下深部からのマグマの流入率、マグマと周囲の地殻の圧縮率である。これらの未知数の中で、マグマと周囲の地殻の圧

縮率は 10 GPa 程度と物質科学的に仮定できるし、マグマ溜まり破壊過剰圧もさまざまな岩石破壊実験の結果から 10-30 MPa 程度と見積もられている(例えば、Huppert and Woods, 2002)<sup>50)</sup>。このモデルに、破壊過剰圧と閉塞過剰圧の不確定性を与えて噴火の繰り返し計算を行うと、噴出量階段ダイアグラムがつくることができる(図 3 3)。

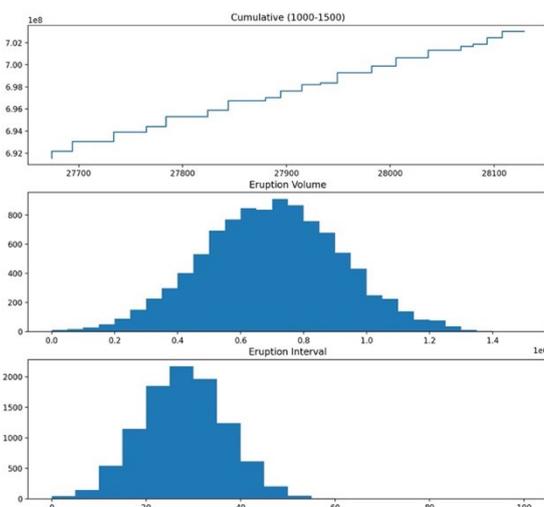


図 3 3. モデル計算の一例。(上) 噴出量階段ダイアグラム、(中) 噴出量の頻度分布、(下) 噴火間隔の頻度分布。マグマ溜まりの体積と流入率を変化させると、階段ダイアグラムの平均噴出量と平均噴火間隔が変化する。これは、マグマ溜まり体積は  $1 \text{ km}^3$ 、流入率は  $0.025 \text{ km}^3/\text{ky}$ 、破壊過剰圧  $10 \pm 2 \text{ MPa}$ 、火道閉塞圧  $3 \pm 1 \text{ MPa}$  での計算結果。

一方、実際の富士山の噴出量階段ダイアグラムからは、御殿場山体崩壊直後の噴火発生平均時間間隔、平均噴出量をそれぞれ 50 年と 4700 万  $\text{m}^3$  と読みとることができる。これらの平均時間間隔、平均噴出量をモデル計算で再現するためには、深部からのマグマの流入率は  $1 \text{ km}^3/\text{ky}$ 、マグマ溜まりの体積は  $50 \text{ km}^3$  程度を与える必要がある。破壊過剰圧と圧縮率の不確定性が factor 2~3 であることを考慮しても、マグマ溜まりの体積は  $15 \sim 150 \text{ km}^3$  に収まる。物質科学的に富士山の深部マグマ溜まりの大きさを推定したのは、本研究が初めてであり、今後富士山の火山活動の推移を考える上で重要な、マグマ溜まりの大きさというパラメタについて制約を与えることができた。

だが、こうした単純なマグマ供給系モデルでは、噴出量が 2 桁大きい宝永噴火や、同様に大きな噴出量であるとともに長期間にわたって噴火が続いた貞観噴火のような噴火を再現することはできないことも明らかになった。したがって、このような大量のマグマを出す噴火や長期間にわたる噴火を発生させるメカニズムについて、今後検討を進める必要がある。

### (c) 結論

昨年度同様に COVID-19 の影響で当初の計画から若干変更はあったものの、令和 4 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、同じ火山でもマグマ溜まりの状態やマグマ混合の程度によって噴火

の規模や様式が大きく変わることが見出されてきており、予測のために必要な物質科学的なデータや物理観測項目が明確化されつつある。また、噴火の推移予測に資する新しい手法の開発や解析の迅速化についても着実に成果がでてきている。加えて、これまで得られてきた知見を統合して、噴火の様式や推移の予測のための仕組み、すなわち類型化や単純化モデルによる現象の理解、についての検討が始まった。今後も引き続き火山噴火についてのデータを集めて噴火の鍵となる要素を整理するとともに、有効な噴火事象分岐予測が行えるよう、分析手法の開発や分析・解析の迅速化に取り組んでいきたい。

(d) 引用文献

- 1) Yasuda, A. and Hokanishi, N.: Introduction to automated tools for the analysis of volcanic ejecta built on an analysis platform developed in the INeVRH project, *J. Disaster Res.*, Vol.17, No.5, pp.683-693, 2022.
- 2) Miyaji, N., Kan'no, A., Kanamaru, T. and Mannen, K.: High-resolution reconstruction of the Hoei eruption (AD 1707) of Fuji volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol.207, pp.113-129, 2011.
- 3) Schmincke, H.-U.: *Volcanism*, Springer, Berlin, 324pp., 2004.
- 4) 飯田司: 富士火山宝永噴火スコリアの組成・組織の時間変化, 東北大学理学部学士論文, 2021.
- 5) Fisher, R.V. and Schmincke, H.-U.: *Pyroclastic rocks*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag, 472pp., 1984.
- 6) 宮地直道: 富士火山 1707 年火砕物の降下に及ぼした風の影響, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, Vol.29, pp.17-30, 1984.
- 7) 中野司, 土山明, 上杉健太郎, 上相真之, 篠原邦夫: "Slice" -Softwares for basic 3-D analysis-, Slice Home Page (web), <http://www-bl20.spring8.or.jp/slice/>, 財団法人 高輝度光科学研究センター, 2006.
- 8) 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.*, Vol.53, No.5, pp.875-890, 2012.
- 9) Miyagi, I., Hoshizumi, H., Suda, T., Saito, G., Miyabuchi, Y. and Geshi, N.: Importance of Long-Term Shallow Degassing of Basaltic Magma on the Genesis of Massive Felsic Magma Reservoirs: a Case Study of Aso Caldera, Kyushu, Japan, *J. Petrol.*, Vol.64, No.3, pp.1-24, <https://doi.org/10.1093/petrology/egad009>, 2023.
- 10) Kazahaya, K., Shinohara, H. and Saito, G.: Excessive degassing of Izu-Oshima volcano: magma convection in a conduit, *Bull. Volcanol.*, Vol.56, pp.207-216, <https://doi.org/10.1007/BF00279605>, 1994.
- 11) 大柳諒, 風間卓仁, 山本圭吾, 風早 竜之介, 宮城 磯治, 井口正人: 1975 年~1992 年の相対重力データで明らかになった桜島火山直下の質量増加: 火山ガス観測データに基づく考察, 日本測地学会第 138 回講演会, 2022 年 10 月, 2022.
- 12) Oyanagi, R., Kazama, T., Kazahaya, R., Miyagi, I., Yamamoto, K. and Iguchi, M.: Magma mass increase under Sakurajima Volcano during the eruptive period

from 1975 to 1992, as revealed by repeated relative gravity measurements, (Submitted to Earth Planet Space, 2023).

- 13) 曾屋龍典, 勝井義雄, 新井田清信, 堺幾久子, 東宮昭彦: 有珠火山地質図 (第2版) 1:25,000. 火山地質図 2, 産総研地質調査総合センター, 9pp., 2007.
- 14) 東宮昭彦, 宮城磯治: 有珠火山 2000 年 3 月 31 日噴火の噴出物とマグマプロセス, 火山, Vol.47, No.5, pp.663-673, 2002.
- 15) 東宮昭彦, 宮城磯治, 星住英夫, 山元孝広, 川辺禎久, 佐藤久夫: 有珠火山 2000 年 3 月 31 日噴火とその本質物, 地質調査研究報告, Vol.52, No.4/5, pp.215-229, 2001.
- 16) Tomiya, A. and Takahashi, E.: Evolution of the magma chamber beneath Usu volcano since 1663: A natural laboratory for observing changing phenocryst compositions and textures, J. Petrol., Vol.46, No.12, pp.2395-2426, 2005.
- 17) Katsui, Y., Oba, Y., Onuma, K., ほか 19 名: Preliminary Report of the 1977 Eruption of Usu Volcano, J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV, Vol.18, No. 3, pp.385-408, 1978.
- 18) Suzuki, Y., Toeda, Y., Kimura, S. and Tanaka, R.: Temporal changes of magmas that caused lava-dome eruptions of Haruna volcano in the past 45,000 years, J. Disaster Res., Vol.17, pp.694-715, 2022.
- 19) Suzuki, Y. and Nakada, S.: Remobilization of highly crystalline felsic magma by injection of mafic magma: constraints from the middle 6th century eruption at Haruna volcano, Honshu, Japan, J. Petrol., Vol.48, pp.1543-1567, 2007.
- 20) Andersen, D.J. and Lindsley, D.H.: Internally consistent solution models for Fe-Mg-Mn-Ti oxides, Am. Mineral., Vol.73, pp.714-726, 1988.
- 21) Putirka, K.: Amphibole thermometers and barometers for igneous systems and some implications for eruption mechanisms of felsic magmas at arc volcanoes, Am. Mineral., Vol.101, pp.851-858, 2016.
- 22) 山元孝広: 栃木—茨城地域における過去約 30 万年間のテフラの再記載と定量化, 地質調査研究報告, Vol.64, pp.251-304, 2013.
- 23) Koyaguchi, T.: Magma mixing in a conduit, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.25, pp.365-369, 1985.
- 24) 荒井健一, 小山真人: 富士火山砂沢スコリア噴火の堆積物の特徴, 日本火山学会 1999 年秋季大会講演要旨, 1999.
- 25) 遠藤邦彦, 千葉達朗, 谷口英嗣, 隅田まり, 太刀川茂樹, 宮原智哉, 宇野リベカ, 宮地直道: テフロクロロジーの手法に基づく 1986-1987 年伊豆大島噴火の経緯と噴出物の特徴, 火山, Vol.33, pp.S32-51, 1988.
- 26) Takeuchi, S., Toshida, K., Miura, D., Ito, H. and Uesawa, S.: Relationships between magmatic properties and eruption magnitude of explosive eruptions at Japanese arc volcanoes during the last one hundred thousand years, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.419, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107345>, 2021.

- 27) 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年降下火砕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.
- 28) 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レイ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.
- 29) Oida, R., Ishibashi, H., Tomiya A., Ushioda, M., Hokanishi, N. and Yasuda, A.: Experimental Constraints on the H<sub>2</sub>O-Saturated Plagioclase Liquidus and the Storage Depth of the Izu-Oshima 1986B Basaltic Andesite Melt, J. Disaster Res., Vol.17, No.5, pp.716-723, 2022.
- 30) Putirka, K.: Thermometers and Barometers for Volcanic Systems, Rev.Mineral. Geochem., Vol.69, pp.61-120, 2008.
- 31) Newman, S. and Lowenstern, J.B.L.: VolcatileCalc: a silicate melt-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> solution model written in Visual Basic for excel, Computers & Geosciences, Vol.28, pp.597-604, 2002.
- 32) Hamada, M. and Fujii, T.: H<sub>2</sub>O-rich island arc low-K tholeiite magma inferred from Ca-rich plagioclase-melt inclusions equilibria, Geochem. J., Vol.41, pp.437-461, 2007.
- 33) 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.
- 34) Geshi, N., Nemeth, K., Noguchi, R. and Oikawa, T.: Shift from magmatic to phreatomagmatic explosions controlled by the lateral evolution of a feeder dike in the Suoana-Kazahaya eruption, Miyakejima Volcano, Japan. Earth and Planetary Science Letters, Vol. 511, pp. 177-189, 2019.
- 35) 石橋秀巳, 安田敦: 伊豆大島火山の浅部マグマ供給系—H<sub>2</sub>O飽和斜長石リキダスからの制約—, 防災科学技術研究所研究資料, Vol.487, pp.36-40, 2023.
- 36) Cashman, K.V., Sparks, R.S.J. and Blundy, J.D.: Vertically extensive and unstable magmatic systems: A unified view of igneous processes, Science, Vol.355, DOI: 10.1126/science.aag3055, 2017.
- 37) 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: 斑レイ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.
- 38) 古川邦之・三好雅也・新村太郎・柴田知之・荒川洋二: 阿蘇カルデラ北西壁に分布する先阿蘇火山岩類の地質学・岩石学的研究: 先カルデラ火山活動における噴火活動とマグマ供給系, 地質学雑誌, Vol.115, pp.658-671, 2009.
- 39) 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.
- 40) 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, pp.672-687, 2009.

- 41) 三好雅也・宮縁育夫・新村太郎・角野浩史：中部九州阿蘇地域における長期的な火山活動変遷，月刊地球，62，168-176，2013.
- 42) Kawaguchi, M., Hasenaka, T., Koga, K.T., Rose-Koga, E.F., Yasuda, A., Hokanishi, N., Mori, Y., Shimizu, K. and Ushikubo, T.: Persistent gas emission originating from a deep basaltic magma reservoir of an active volcano: the case of Aso volcano, Japan, *Contrib. to Mineral. Petrol.*, Vol.176, No.6, 2021.
- 43) Girona, T. and Costa, F.: DIPRA: A user - friendly program to model multi - element diffusion in olivine with applications to timescales of magmatic processes, *Geochem. Geophys. Geosystems*, Vol.14, No.2, pp.422-431, 2013.
- 44) 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.
- 45) 京都大学防災研究所，国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所委託事業実績報告書「桜島火山の地盤変動データを用いた長期的予測精度の高度化に関する委託」2020年3月，2020.
- 46) Araya, N., Nakamura, M., Yasuda, A., Okumura, S., Sato, T., Iguchi, M., Miki, D. and Geshi, N.: Shallow magma pre-charge during repeated Plinian eruptions at Sakurajima volcano, *Scientific Reports*, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38494-x>, 2019.
- 47) 立尾有騎・井口正人：桜島におけるBL型地震群発活動に伴う地盤変動，火山，Vol.54, No.4, pp.175-186, 2009.
- 48) 小山真人・吉田浩：噴出量の累積変化からみた火山の噴火史と地殻応力場，火山，Vol.39, pp.177-190, 1994.
- 49) 石塚吉浩・山元孝広・中野 俊・吉本充宏：富士火山、須走期噴出物の噴出量見積もり，地質調査総合センター研究資料集，no.715，産総研地質調査総合センター，6pp.，2021.
- 50) Huppert, H.E. and Woods, A.W.: The role of volatiles in magma chamber dynamics, *Nature*, Vol.420, pp.493-495, 2002.

(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5年度の業務計画案

令和5年度も基本的には令和4年度の作業を継続し、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・解析プラットフォームの整備・運用、新手法の開発

分析解析プラットフォームについては、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。加えて、装置の稼働状態とCovid-19の感染状況を見ながら、可能ならば課題C-2や研究組織外からの分析・解析プラットフォーム利用の受け入れをおこなう。(東京大学)

熱力学シミュレーションMELTSについては、計算結果を視覚的に表現したきわめて大量の図の中から、地球物理や地球化学観測結果と連携しそうなものを即座に取り出せるように相互リンクを張り、利便性を向上させる試みに取り組む。(産業技術総合研究所)

マグマ供給系の理解や噴火推移把握のための新手法の開発として、令和4年度に引き続き、X線CT解析により噴出物の発泡度・形状・気泡サイズ分布などを3次的に定量化する手順を確立し、宝永噴火初期のマグマ破碎に対する地表水の関与を検討する。(東北大学)

噴出物の特徴の迅速な把握については、令和4年度に引き続き、桜島火山での連続採取試料解析を行い時系列データの蓄積を行う。特に令和5年度は、反射電子像に基づく構成粒子種分類プログラムを用いた構成粒子比導出データの時間変動解析を行って、噴火の推移と火山灰構成比の関係について考察を行う。(常葉大学)

#### (b) 火山噴出物の分析・解析

各火山については、令和4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行い、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計算や地球物理学的観測結果などと組み合わせるとともに、多角的な観察・観測・計算結果に基づき、噴火直前のマグマ過程の高精度化をはかる。(産業技術総合研究所)

##### 2) 榛名山

二ツ岳で発生した2噴火(渋川噴火・伊香保噴火)の噴火誘発過程を比較する。昨年度取得した2噴火の斑晶鉍物組成データを元に、代表的な斑晶について化学組成の線分

析を実施し、低温マグマ-高温マグマ間の相互作用（マグマ混合や低温マグマ側の温度上昇）から噴火までのタイムスケールを検討する。（早稲田大学）

### 3) 富士山

令和4年度に引き続き、1707年噴火の火砕物・深成岩捕獲岩の化学分析と組織解析を行い、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）

富士火山大沢降下スコリア、大淵降下スコリアの層序細分試料について、引き続き鉍物組成分析を進め、温度などのパラメータ推定を行う。（常葉大学）

新富士期の火山噴出物の分析を継続し、噴火が爆発的か非爆発的かという視点から、それぞれの噴出物の特徴を整理する。（東京大学）

### 4) 伊豆大島

令和4年度に引き続き、1986年噴火の火砕物・深成岩捕獲岩の化学分析と組織解析を行い、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4年度に引き続き、単成火山の噴出物中に含まれる鉍物の化学分析と組織解析を行い、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

令和4年度に引き続き、歴史時代の噴火の特徴と噴出物の特徴を整理し、噴火様式や規模の違いの原因を探る。（東京大学）

### 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岩石・地球化学的分析および放射年代測定を行うことで、先～後カルデラ期のマグマの成因とその変遷に関する研究を進める。

加えて、昨年度に引き続き、後カルデラ期の珪長質噴出物およびその前駆噴火の噴出物を中心に岩石学的な解析を進め、大規模珪長質マグマ活動の供給系モデルについて検討する。（福岡大学）

### 8) 霧島山

新燃岳享保噴火について、既に採取済みの軽石サンプル（SmKP-1～SmKP-7）の全岩・鉍物組成分析を網羅的に実施する。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について、噴火ユニットによる差異も含め、明らかにする。2011年噴火同様、低温マグマ（マッシュ）への高温マグマの注入が噴火を誘発した可能性が高い。そのため高温マグマにおいて深部からの上昇時に晶出した結晶の組織・組成に注目する。また、低温マグマに含まれていた結晶の組成累帯パターンについても整理する。

また、新燃岳の 2011 年噴火と享保噴火の石基結晶組織を比較し、噴火規模・様式による変化を整理する。享保噴火については、上述のサンプル (SmKP-1～ SmKP-7 の軽石) を使用する。既に論文として公表されている 2011 年噴火も含め、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て組織解析を実施する。(早稲田大学)

#### 9) 桜島

京大防災研・火山活動研究センターとの共同研究により、桜島南岳・昭和火口のブルカノ式噴火噴出物について、マグマの貫入から噴出急冷までの時間と石基結晶度の増加量の関係を調べ、桜島の浅部マグマ供給系におけるマグマの結晶化速度と、マグマの減圧脱ガス速度を計算する。この値と、ブルカノ式・ストロンボリ式・灰噴火それぞれで観測される 1 日あたりのマグマの貫入率 (井口ほか, 2017)、火口から噴出するマグマ/ガス比、キャップロックの存在を統合し、火道浅部での脱ガス挙動 (収支) に着目して噴火様式の分岐条件を整理する。さらに、マグマが既存の火道を上昇してくるブルカノ式噴火等の場合と、新たな岩脈を作って発生するプリニー式噴火の場合とについて、マグマの平均上昇速度・火道断面積と、井口ほか(2017)のマグマ貫入率からマグマ貫入の継続時間を計算し比較する。これによって、マグマの上昇速度にマグマ溜まりの過剰圧を加味したプリニー式噴火の発生条件を明らかにする。(東北大学)

#### 10) 諏訪之瀬島

令和 4 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行い、マグマの噴出温度やマグマ混合における複数端成分の関与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・分析を行うことで、現活動状況の火山史上の位置づけを明らかにするための基礎データを取得する。(常葉大学)

#### 11) 噴火の推移・様式予測の仕組みの検討

令和 4 年度に引き続き、単純なマグマ供給系モデルによる噴火予測の仕組みについての検討をおこなう。(東京大学)

## 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

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

#### (b) 担当者

所属機関	機関種別	役職	氏名
北海道大学大学院理学研究院	課題責任機関	教授 特任教授 助教 技術専門職員	栗谷 豪 中川 光弘 吉村 俊平 松本 亜希子
秋田大学大学院国際資源科学研究科	参加機関	教授 助教	大場 司 星出 隆志
山形大学理学部	参加機関	教授 准教授 助教	伴 雅雄 常松 佳恵 井村 匠
茨城大学大学院理工学研究科	参加機関	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 准教授 上席研究員	安井 真也 金丸 龍夫 高橋 正樹
富山大学学術研究部都市デザイン学系	参加機関	教授 教授 准教授	石崎 泰男 石川 尚人 川崎 一雄
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	研究部門長 研究グループ長 研究グループ長 研究グループ長 首席研究員 上級主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員	伊藤 順一 古川 竜太 下司 信夫 井上 卓彦 石塚 治 宝田 晋治 川邊 禎久 及川 輝樹 山崎 誠子 草野 有紀 山崎 雅

		研究員 研究員 研究員 研究員	松本 恵子 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 鋭一
筑波大学大学院生命環境科学研究科	協力機関	名誉教授 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
山口大学大学院創成科学研究科	協力機関	教授 助教	太田 岳洋 辻 智大
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	特別研究員	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)主として地質学のおよび物質科学的手法により、個々の火山における長期間かつ高精度の噴火履歴を復元する。(2)その成果に基づき高精度の時間-積算噴出物量図(以下、階段図)を作成する。

(3)噴出物の物質科学的解析を詳細に行うことで、個々の噴火のマグマの挙動、および長期にわたるマグマ変遷・進化について解明する。そして(2)階段図と(3)マグマ長期変遷をもとに中長期噴火予測手法の開発を行い、実際に個々の火山で中長期噴火予測を行う。また、個々の噴火についても噴火推移を詳細に明らかにし、個々の火山でできるだけ多くの事例を蓄積することで、事象分岐確率の入った噴火事象系統樹の作成を目指す。さらに、最終的には噴火事象の火山毎の特徴と、共通する事象を明らかにして、火山噴火事象のモデル化に必要なパラメータ、例えば噴出量、噴火推移(噴出率変化)、マグマ物性(組成、斑晶量、温度)などを連携する課題、特に課題C-1や課題C-3に提供する。また、社会科学などの分野も巻き込み、噴火発生確率の社会への提示方法や活用方法について、検討を行っていく。

### (d) 10か年の年次実施計画(過去年度は、実施業務の要約)

#### 1) 平成28年度:

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

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

2) 平成29年度：

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

3) 平成30年度：

平成30年度は、平成29年度までに行った調査結果をもとに、雌阿寒岳・蔵王山・浅間山・阿蘇山においてトレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴を詳細に明らかにした。さらに、平成29年度でより解析が進んだ浅間山では、東南東麓でのボーリング掘削調査も実施し、テフラの主軸においてトレンチ掘削調査では確認できないより古い堆積物について層序を確立した。鬼界ではボーリング掘削を継続して330mまで掘削し、先行活動を含めたカルデラ形成噴火全体の履歴を明らかにした。また、有珠山では噴火開始時期および山体崩壊発生時期特定のためにボーリング調査を実施した。その他重点火山については、引き続き地表踏査を中心とした調査を行うとともに、重点火山に見落としがないかの検討を全国で実施した。個々の火山において、噴火履歴や噴火様式の明確な試料について基礎的な物質科学的データを収集するとともに、代表的で重要な試料を選択し、「マグマ変遷解析センター」でより高度な物質科学的データを取得した。また、噴火系統樹の作成に用いる噴火履歴調査として、大規模噴火の活動推移に関するデータを得るために、特に国内外のVEI>5クラスの噴火の活動推移についてデータ収集を行った。さらに、対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会やトレンチ掘削調査の説明会を開催した。

4) 平成31年度（令和元年度）：

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

過去数万年間の噴火履歴解明に着手した。その他の重点火山については、引き続き地表踏査を中心とした調査を行った。また、4年間の成果を踏まえ、最重点火山・重点火山の見直しを行った。個々の火山において、確立された噴火履歴・噴火推移に基づいて採取された噴出物の基礎的な物質科学的データを取得するとともに、「マグマ変遷解析センター」でより高精度な物質科学的解析を実施した。それらデータより長期マグマ変遷を明らかにし、噴火履歴との関連の検討も進めた。得られた噴火履歴、噴火様式およびマグマの物質科学的性質とその時間変遷についてデータベース化をはかり、可能な火山については階段図の作成にも着手し始めた。さらに、中長期噴火予測手法および噴火事象系統樹の作成手法について、より研究の進んでいる複数の火山を対象に、試作を通して手法を検討した。また、噴火事象系統樹の作成に用いる噴火履歴調査として、大規模噴火の活動推移に関するデータを得るために、特に国内外の VEI>5 クラスの噴火の活動推移についてデータを収集した。さらに、対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催した。

5) 令和2年度：

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

6) 令和3年度：

令和3年度は、アトサヌプリ・十和田・秋田焼山・蔵王山・栗駒山・吾妻山・那須岳・浅間山・阿蘇山において人力トレンチまたは重機トレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴および噴火推移を明らかにした。伊豆大島については、沿岸域の地形地質探査を実施し、未知の側火山体や断層系や堆積層の分布と層序などの有益なデータが得られた。陸上沿岸部の調査も実施し、暫定の地質図を作成した。秋田駒ヶ岳・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。福岡ノ場 2021 年噴火など国内及び海外のプリニー式噴火の噴火推移 20 事例を収集し、噴火推移データ集の作成を行うとともに、これらのデータをウェブサイトで閲覧可能なデータベースシステム構築を進めた。さらに、ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築準備を進め、既存コアの集約を継続した。対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会の実施は大幅に制限されたが、可能な範囲で開催した。

7) 令和 4 年度：

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

8) 令和 5 年度：

令和 5 年度は、岩木山・蔵王山・吾妻山・浅間山・阿蘇山において人力トレンチまたは重機トレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴および噴火推移を明らかにする。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。また重点火山に見落としがないかの検討を引き続き全国で実施する。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。高精度解析を必要とした場合は、北海道大学の「マグマ変遷解析センター」で行う。また個々の火山について、これまでの噴火履歴・噴火活動推移履歴をとりまとめ、可能な火山については階段図およびその作成に係るデータベースを作成し、一部成果を公表する。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、噴火事象系統樹作成の指針をまとめる。また、大規模カルデラ形成噴火及びプリニー式噴火について、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する。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。さらに、対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催する。

9) 令和6年度：

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

10) 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4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

引き続き、各参加・協力機関が分担あるいは共同研究として、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。まず重点火山の蔵王山・吾妻山・那須岳において、山頂・火口近傍でのボーリング掘削調査を実施し、近傍堆積物を観察することで完新世の噴火活動履歴の詳細を明らかにする。さらに、課題C連携研究の対象である伊豆大島については沿岸域の備船調査により海底地形の詳細を明らかにし、側噴火を含めた噴火活動履歴の詳細解明を目指す。そして、秋田駒ヶ岳・吾妻山をはじめとする9の最重点・重点火山について、トレンチ掘削調査を実施し、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の整理と必要に応じ野外調査を行うと共に、ボーリング掘削およびトレンチ掘削の調査地点を選定する。また、見落と

し火山の解消のために、特に中部日本の更新世火山について検討を行う。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。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

実施責任機関である北海道大学は、課題 C-2 分担者と連絡を密にし、課題 C-2 プロジェクトの総合推進を行う。各分担者が担当する火山及び地域でのトレンチやボーリング調査の調整と実施を行い、分担者と共同して解析を行う。また、国立研究開発法人防災科学技術研究所と協力して、ボーリングコアの保存と管理、そして広く公開できるシステムを引き続き構築する。そして、各機関は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随時開催する。

##### 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

課題 C-1・C-3 との連携研究の対象である伊豆大島について、年度内に課題 C 全体の研究集会を開催する。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し、年度内に成果をとりまとめる。また、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。

## (2) 令和 4 年度の成果

### (a) 業務の要約

重点火山である蔵王山・吾妻山・那須岳では、ボーリング・トレンチ掘削調査および地表踏査を行い、これまでに報告されていないテフラ層の認識など多くの発見があった。伊豆大島では、小型 ROV による海底観察映像を取得し、昨年度までの探査結果との整合性を確認した。また海底試料の採取に成功した。トレンチ調査と地表踏査に関しては、アトサヌプリ・羊蹄山・鳥海山・秋田駒ヶ岳・浅間山・阿蘇山で実施した。このうち、アトサヌ

プリでは、野外調査とトレンチ掘削調査を実施し、アトサヌプリ溶岩ドームおよび周辺域で新たな複数の火口とそれらに関連する噴出物を認識し、それら火口の形成年代について明らかにした。その他の活動的火山では地表踏査を実施した。さらにいわゆる見落とし火山の可能性のある鷲羽池火山の調査を行い、完新世の2枚のテフラ層の詳細を明らかにして、活火山であることを明らかにした。その他の重点火山を中心とした活火山についても、ボーリング・トレンチ掘削調査や基礎的な地質調査を行い、噴火活動履歴の詳細を明らかにすることができた。そして、6火山において次年度のボーリング掘削・トレンチ掘削地点を選定した。

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」を構築した。また、近現代に発生した VEI5 クラス以上の記録の残る火砕噴火について、噴火活動と地震等の関連する活動を取りまとめた「噴火推移データベース」を作成した。これらデータベースを「日本の火山データベース」の一部として公開した。

また北海道大学の「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、サブ課題の成果公表のために、階段図および噴火事象系統樹作成のためのワーキンググループを立ち上げ、階段図作成のためのデータベースと作成手法について議論し、試作を開始した。

そして、課題C連携研究対象である伊豆大島について、他課題・他分野の研究者も招き、課題間連携研究集会を開催し、伊豆大島の火山研究の現状と課題を議論し、認識を共有した。

## (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4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) アトサヌプリ：地表踏査・トレンチ調査に基づく噴火活動履歴の再検討（北海道大学・茨城大学）

アトサヌプリ火山は北海道東部にある活火山であり（図1）、気象庁の常時監視火山に指定され、地元の火山防災に関する意識も高まっている。一方で、本火山の形成史に関しては古くから研究が行われているが<sup>1)2)3)</sup>、未解決の点が残されている。そこで我々はアトサヌプリ火山を重点火山とし、大きく2つの観点から研究を進めている。それはアトサヌプリカルデラの形成過程に関する研究と、完新世の噴火履歴や噴火様式に関する研究である。以下にそれらの成果を報告する。

i) アトサヌプリ溶岩ドームの火口分布と噴火履歴

1. はじめに

アトサヌプリ火山の完新世の噴火履歴については、最近 2,500 年間のテフラ層序が報告され<sup>4)</sup>、少なくとも 7 回の水蒸気噴火があったことが明らかにされた。しかしながらそれぞれの噴火がどの火口で起きたのかなど、防災上の観点から重要な情報についてはあまり分かっていない。そこで本事業による研究によって、最大の火口である熊落とし火口を形成した時期を検討している。今年度は、アトサヌプリドーム（硫黄山）には熊落とし火口以外に多くの火口が形成されていること、またそれらの複数の火口について形成年代が推定できたので、その概要を報告する。

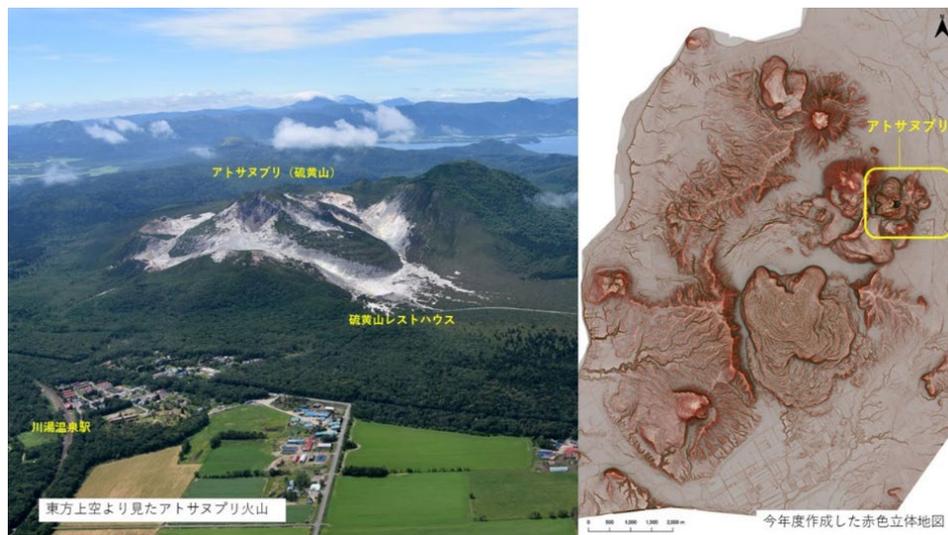


図 1. アトサヌプリ（硫黄山）の空撮写真（左）とアトサヌプリ火山の赤色立体地図（右）。

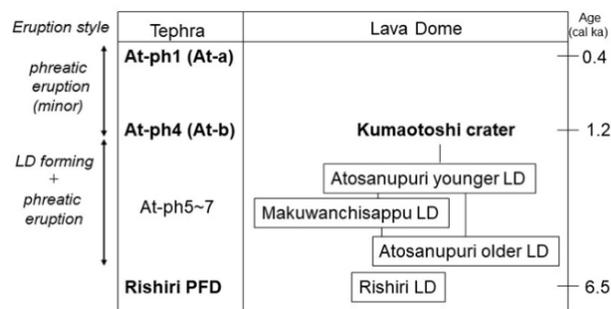


図 2. 最近 6,500 年間のテフラ層序と関連したドームおよび火口（R03 年度までの成果）。アトサヌプリドームは、地形的に新・旧のドームに区分される。

2. アトサヌプリ（硫黄山）ドームの火口分布

新たに、1 m DEM により作成した赤色立体地図により、アトサヌプリ溶岩ドームの火口地形と考えられる場所を抽出した（図 3）。アトサヌプリ溶岩ドームは被覆関係と微地形の保存状況から、新旧の 2 つのドームに区分される（図 2・3）。特に新期アトサヌプリドームは、ローブ地形と溶岩じわが明瞭に認められる（図 3）。火口地形として最大規模で明瞭に認められるのは、新期ドームの東部に形成された、熊落とし

火口（K-c：Kumaotoshi crater）である。この火口は、地形的にはアトサヌプリドームで最後に形成された溶岩ローブを切っており、溶岩ドーム流出後に形成された火口であることがわかる。この他に、新期アトサヌプリドームに形成されている火口としては、熊落とし火口から北西に伸びる割れ目火口列（6-c）と北麓の噴気地帯（1-c 火口：F1 噴気と気象庁が命名）がある。一方、東部の古期アトサヌプリドームには複数の小火口や割れ目火口が形成されている（図 3）。中でも東麓から東方東に約 400m にわたり伸びる割れ目火口（4-c：東麓割れ目火口）が明瞭である（図 3）。

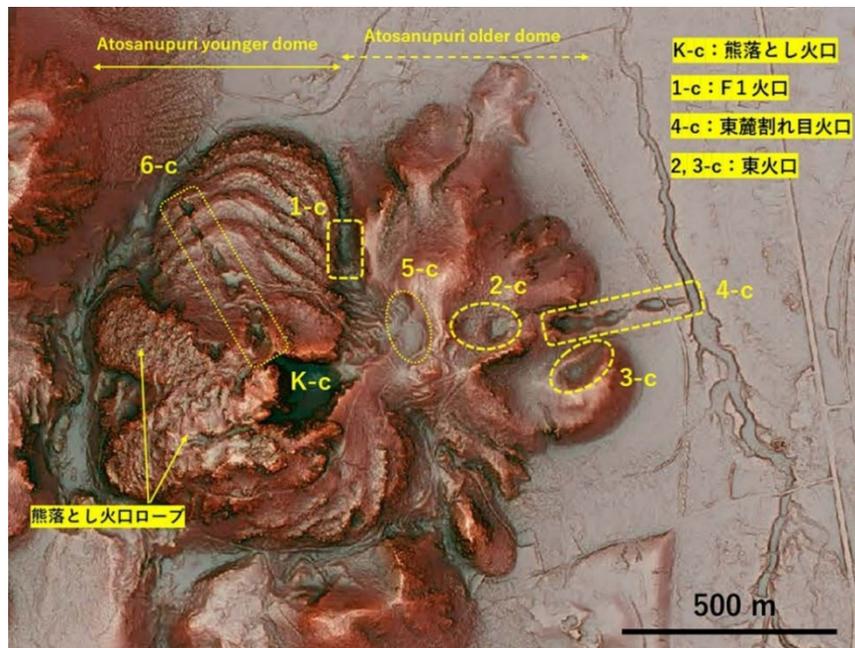


図 3. 新期および旧期アトサヌプリ溶岩ドームの地形と火口地形。熊落とし火口（K-c 火口）以外は本研究で認識した。

### 3. テフラ層序から見た火口形成時期

アトサヌプリ火山では 6.5 ka のリシリ溶岩ドーム形成噴火により発生した火砕流（リシリ火砕流）の被覆関係により、溶岩ドームの形成年代が明らかになってきた。そして現時点までの知見によると、6.5 ka 以降に形成されたドームはマクワンチサップおよび新旧アトサヌプリドームと考えられている（図 2）。一方、テフラからはリシリ火砕流以降、マグマ噴火のテフラは確認できず、全て水蒸気噴火のテフラであり、これまで At-a と At-b の 2 層が認識されていたが<sup>5)6)</sup>、その後、長谷川ほか<sup>4)</sup>により上位から At-ph1 から 7 までの 7 枚のテフラが認識された。その他に本地域では広域テフラとして、上位から樽前火山からの Ta-a (AD 1739)、摩周火山からの Ma-b (ca. 1 ka)、白頭山からの B-Tm (ca. AD 940)、そして樽前火山からの Ta-c (ca. 2.5 ka) が認められている（図 4）。

アトサヌプリ溶岩ドームの山麓部では上野・中川<sup>7)</sup>によってテフラ調査が行われており、図 5 に示した地点 A～C の 3 地点でその概要が明らかにされている。それに加えて、R04 年度では、火口地形が多く認められる古期アトサヌプリドームの東麓を中心にトレンチ調査を行った（図 5）。

この地域では熊落とし火口近傍の地点 A において、At-ph1 (At-a) が薄い降下火山灰層として認められるのに対して、At-ph4 (At-b) が層厚 40 cm 以上で、径 30 cm に達する火山岩片を含む凝灰角礫岩層認められることから、At-ph4 が熊落とし火口形成に関連するテフラ層であることを明らかにしている<sup>7)</sup>。しかしながら、At-ph1 (At-a) を含めて他のアトサヌプリ起源とされるテフラについては、給源火口は明らかになっていない。以下に 3 地域に分けて、調査結果を報告する。

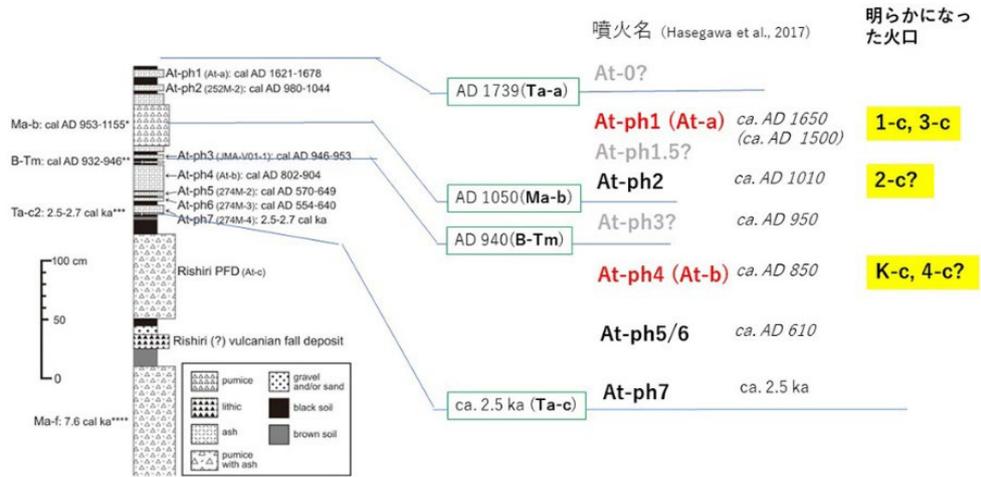


Fig. 9. Stratigraphy of tephra layers with calibrated ages (above Ma-f) from (\*) Katsui et al. (1975), (\*\*) Sakamoto and Imamura (2012), (\*\*\*) Furukawa et al. (2006), and (\*\*\*\*) Yamamoto et al. (2010). Ma: Mashu; At: Atosanupuri dome; B: Bai tou shan; Ta: Tarumai; Rishiri: Rishiri dome. 長谷川ほか(2017)

図 4. 長谷川ほか<sup>4)</sup>によるアトサヌプリ火山の最近 6,500 年間のテフラ層序 (左)。これに加えて At-ph0, ph1.5 のテフラを新たに見出した可能性がある。一方で、At-ph3 については確認できなかった。本研究によってテフラの給源となった火口を右側に示した。

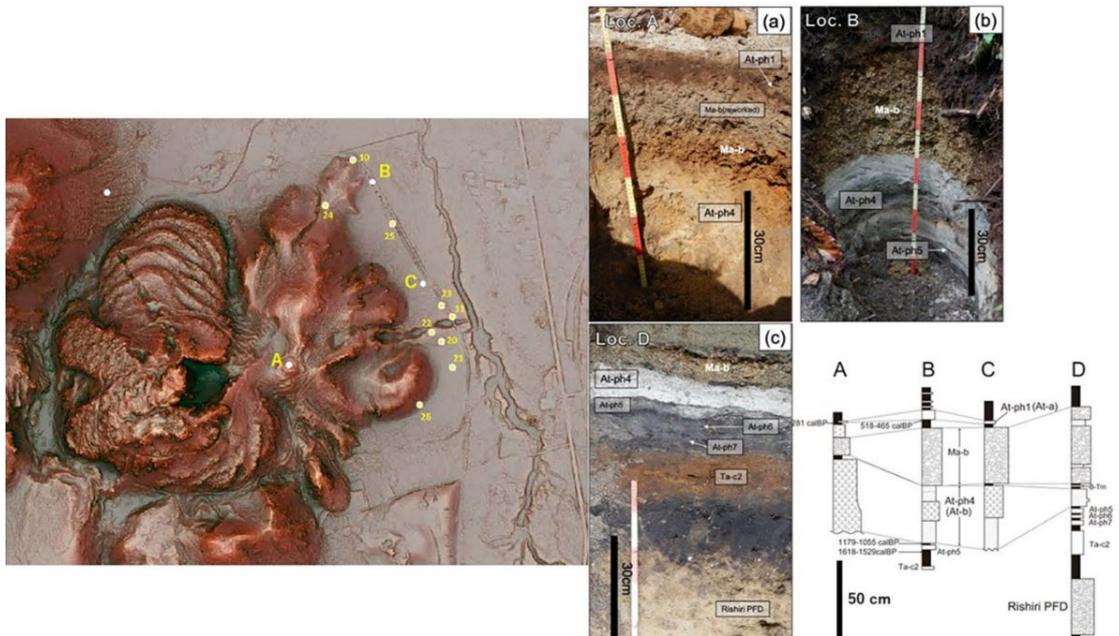


図 5. アトサヌプリドームおよびその周辺における主要な露頭観察地点。この中の地点 A~D は R03 年度までの調査での重要露頭位置。D 地点は左側地図の西方の範囲外にある。地点 A~D の柱状図と 3 地点の露頭写真も示した。

### 3-1. 北麓

この地域では表層近くの Ta-a と Ma-b テフラの間に、白色を呈し中粒から細粒砂サイズの粘土質の火山灰層が存在する。粒子は変質火山岩および鉱物粒である。このテフラは At-ph1 に対比できる (図 6)。層厚は北山麓の地点 10 では 5 cm で薄い、北東方向の地点 B および 25 では厚くなり 10 cm に達する。さらに東方向の地点 C では 5 cm 以下と薄くなる。一方、地点 10 から山体に近い地点 24 では、このテフラは層厚が厚くなり、北東に向かうと層厚は 10 cm を超え、構成物の粒径もやや大きくなり、小礫サイズの岩片も含まれるようになる。しかしながら古期アトサヌプリドームの山頂に近い地点 A では、層厚が薄くなる。これらの層厚の変化を考えると、図 3 に示した火口では At-ph1 テフラ (At-a) の給源は 1-c 火口である可能性が高い。今回、給源と推定した 1-c 火口はアトサヌプリドームの中では現在、最も噴気活動が活発であり、そのことも新しい活動である At-ph1 噴火の給源であることを示唆していると考えられる。At-ph1 の年代は既往研究<sup>2)4)</sup>では約 400 年前とされている。今回、地点 24 でテフラ層の上下の土壌の年代を測定した。その結果、At-ph1 は約 550 calBP の年代が得られた。

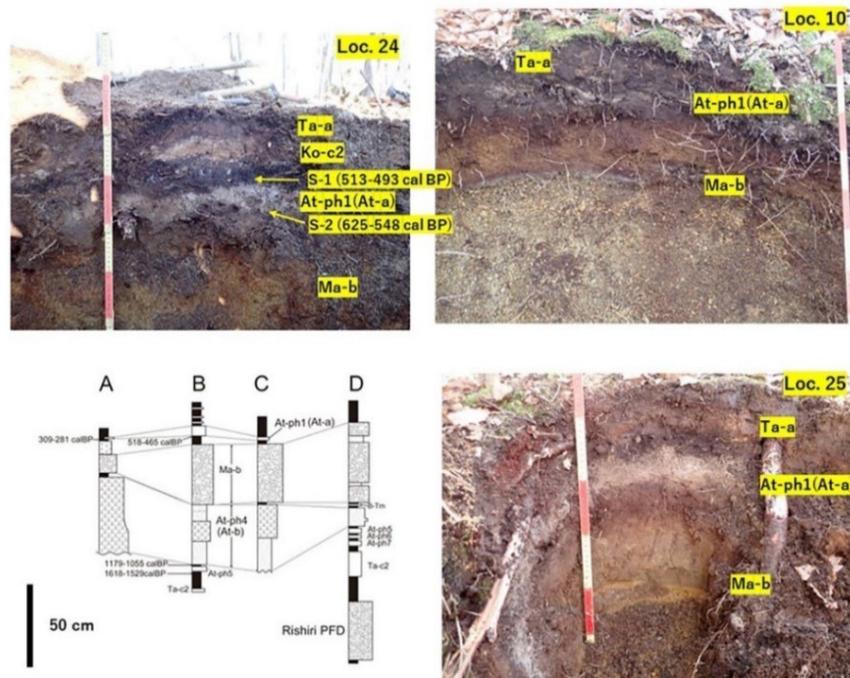


図 6. アトサヌプリドームの北～北東山麓での露頭写真。この地域にある地点 C の柱状図も示した。露頭地点は図 4 に示した。

### 3-2. 東麓割れ目火口 (4-c 火口) 南方

東麓割れ目火口南側の高まりである地点 22 および地点 20 では、表層近くに Ta-a が認められ、その下位に土壌を挟んで層厚 5-10 cm の白色火山灰層、そしてその下位には、土壌を挟んで Ma-b テフラが認められる (図 7)。Ma-b と Ta-a の間にあるこの白色火山灰層は、その層序から判断すると At-ph1 (At-a) に対比できる可能性がある。地点 20 でこのテフラ層直下の土壌年代を測定したところ、500-460 calBP の年代が得られた。一方で、東麓割れ目火口形成時に放出されることが期待できる大型の

火山岩塊を含むテフラ層は、Ma-b の上位には認められなかった。従って、東麓割れ目火口は Ma-b 噴火以前に形成されたと考えられる。

地点 20 から約 100 m 南方の地点 21 では Ta-a テフラは認められるが、その下位には近くの地点 20 および地点 22 で認められた、At-ph1 に対比できる厚さ 5-10 cm の白色火山灰層は認められない。しかしながら、Ta-a テフラの下位には薄い土壌を挟んで、層厚 60 cm 以上の白色の火山礫凝灰岩層が存在する（図 7）。この層は、最大で径数 cm の白色を呈する変質火山岩片とその間を白色火山灰が埋めており、火山泥流堆積物と考えられる。この火山泥流の下面は認められないが、Ma-b の上位に位置することは明らかである。したがってこの火山泥流は層序的には地点 20 および地点 22 で認められた、At-ph1 に対比可能なテフラ層と同層準である。

これら地点 20～22 の 3 地点での観察結果から、At-ph1 噴火の時期（約 400～500 年前）に水蒸気噴火が発生したと考えられ、その噴火では同時に火山泥流（ラハール）も発生したと考えられる。火山泥流は東麓火口周辺の高まり（地点 20 および地点 22）を避けて、南側の低地を流下した。一方で、噴火による降下火山灰層は火口周辺の高まりに残ったと考えられる。この泥流の供給源であるが、地形的に見て 3-c 火口である可能性が高い。この噴火は年代的には先に議論した 1-c 火口形成噴火と同時期であるが、この地域で認められた白色火山灰層が北麓の At-ph1 と同一かは明らかではない。現時点では約 400～500 年前の同時期か、あるいは近接した時期に、北麓では 1-c 火口、東麓では 3-c 火口で水蒸気噴火が発生したと結論づけられる。

なお、地点 21 および地点 22 では層厚 2 cm 青灰色の細粒砂サイズの降下火山灰層が、Ta-a テフラの上位に認められた。このテフラ層はアトサヌプリ起源のテフラ層と考えられるが、Ta-a の上位にはこれまでアトサヌプリ起源のテフラ層は報告されていない。今回のこのテフラ層に At-ph0 と命名した。給源は不明である。



図 7. アトサヌプリドーム東麓、東麓割れ目火口の南方の露頭位置と露頭写真。

### 3-3. 東麓割れ目火口（4-c 火口）北方

4-c 火口北側の火口壁に近い地点 11 では、上位から Ta-a、アトサヌプリ起源と考えられる白色火山灰層、そして Ma-b テフラが見出された。火口南側と同じで Ma-b の上位に、4-c 火口形成に関与したと考えられる堆積物は認められなかった（図 8）。そのことから、この割れ目火口形成は Ma-b の噴火以前と考えられる。

火口から北方に離れた地点 23 では、Ta-a の下に 2 層の白色火山灰層が認められ、その下位に層厚約 80 cm の火山泥流と考えられる白色の火山礫凝灰岩層、120 cm の層厚の Ma-b テフラ、そして最下位に層厚 50 cm 以上の青灰色の凝灰角礫岩層が、それぞれの間に土壌層を介在して墨重していた（図 8）。これらのうち白色火山灰層は層序的には、上位から At-ph1 および At-ph2 に対比できる可能性がある。この間の年代を測定したところ、430-310 calBP の年代が得られた。

Ma-b の上位の火山泥流は現在までのところ、この地点 23 のみで見出されており、火口壁近くの地点 11 や約 250 m 北方の地点 C では見出されていない。このことから 4-c 火口の北方の狭い流路を流れたと推定できる。直下の土壌の年代は、780-730 calBP の年代であり、4-c 火口南方で認められた泥流（400～500 年前）とは別の泥流と考えられる。その給源は、地形から考えて 2-c 火口であろう。

Ma-b の下位の凝灰角礫岩は層状、岩相を考慮すると At-ph4 テフラ（At-b）に対比されると考えられる。At-ph4 はこれまでは山体の北東麓の地点 B あたりを模式地としており北東方向に主軸を持つテフラと考えられていた（図 2・5）。その後、熊落とし火口で最大層厚を持ち、そこを給源とすることが明らかになった。今回、我々の調査によると山麓部では地点 C および地点 23 で層厚が厚くなっており、その層厚は確認されていない。また地点 23 では径 20 cm を超える岩塊も含まれていた。このことから地点 23 での At-ph4 は熊落とし火口から北東～東方向の広範囲にテフラを放出したことになる。あるいはこの地点が東麓割れ目火口の近傍であることから、この堆積物と割れ目火口形成噴火との関係も考慮する必要があるだろう。

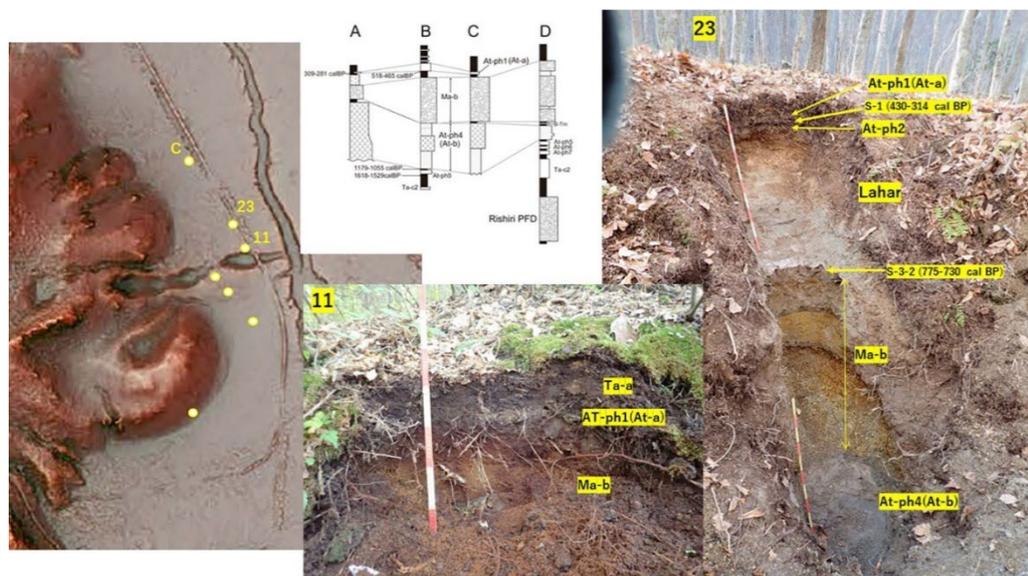


図 8. アトサヌプリドーム東麓、東麓割れ目火口の北方の露頭位置と露頭写真。

#### 4. まとめと今後の課題

R04年度の研究によって、これまで知られていた熊落とし火口以外に、多くの火口が新・旧アトサヌプリ（硫黄山）ドームに形成されていることが明らかになった（図3）。またこれらのいくつかの火口についてもその形成年代について推定できた（図4）。また今回の調査により未知テフラを見出したが（At-ph0）、長谷川ほか<sup>4)</sup>で記載されたAt-ph3については確認できなかった（図4）。またAt-ph1やAt-ph4に関しては、その分布が広範囲であることが明らかになり、給源が異なり時期の接近した複数のテフラからなる可能性が明らかになった。今後、重機トレンチやボーリング調査を実施した、さらに噴火履歴・様式を解明する必要がある。

#### ii) アトサヌプリ火砕流噴火の活動推移の再検討

##### 1. はじめに

アトサヌプリ火山の最大規模の噴火であるアトサヌプリ火砕流噴火は、約2万年前に起き、現在のアトサヌプリカルデラを形成したと考えられてきた<sup>2)</sup>。一方で遠方層では複数枚のテフラが確認されており、その活動も長期間に亘っていることが報告されている<sup>8)</sup>。しかしながら、アトサヌプリカルデラの地形がグラベンであるとの指摘もあることから<sup>3)</sup>、アトサヌプリ火山の活動変遷を理解するためには、アトサヌプリ火砕流噴火の実態を明らかにする必要がある。本事業では、野外調査および物質科学的解析に基づいてアトサヌプリ火砕流噴火の特徴を明らかにすべく取り組んでおり、近傍堆積物からの知見については令和3年度に報告した。令和4年度は近傍層のデータを再整理し、遠方層との対比を行ったので、その結果を報告する。

##### 2. アトサヌプリ火砕流近傍堆積物の特徴

昨年度の報告から更にデータを精査し、近傍堆積物を以下の3タイプに整理した。  
**石狩別火砕流(Is-pf1)**：アトサヌプリ火山の南部、オプタテシユケおよびリシリ溶岩ドーム付近およびアトサヌプリ火山の北東方向で観察される火砕流堆積物である。昨年度の六十七線火砕流を統合した。模式地では、上位には再堆積層を挟んで摩周火山由来と考えられる低カリウム系列の降下スコリア層が堆積する。全体としては白色を呈し、成層構造が明瞭で、シルト～砂サイズの火山灰基質中に白色軽石と岩片が散在する（図9a）。また模式地近くのボーリング掘削コア（令和2年度実施）では、層厚80m以上確認されており、径10cm以上の白色軽石が含まれる。

**砂湯火砕流(Sn-pf1)**：アトサヌプリ火山の西部、砂湯付近を中心とした一帯で確認される火砕流堆積物である。模式地では、再堆積層を挟んで、上位に摩周火山由来と考えられる低カリウム系列の降下スコリア層と摩周fテフラが堆積する。塊状無層理で灰白色を呈しており、シルト～砂サイズの火山灰の基質中に白色・灰色軽石と岩片が散在する（図9b）。

**トサモシベ南火砕流(Tss-pf1)**：アトサヌプリ火山西部のトサモシベ溶岩ドームの南方の火砕流台地のトレンチ調査で観察された火砕流堆積物である。少なくとも3ユニットから構成され、下位より白灰色・褐灰色・白色と異なる色調を呈する。緩い成

層構造を示し、シルト～砂サイズの火山灰の基質中に白色・灰色・綿状軽石と岩片が散在する。特に最下層では急冷被膜をもつ軽石が特徴的に含まれる（図 9c）。

これら 3 タイプの火砕流堆積物に含まれる本質物は、全岩化学組成において明瞭に区分することができる（図 10a）。また白色軽石に限定すると、石基ガラス組成においても各々で特有の組成範囲を示す（図 10b）。なお、Tss-pfl のユニット 2 には Is-pfl と類似した化学組成を示す本質物も含まれる。

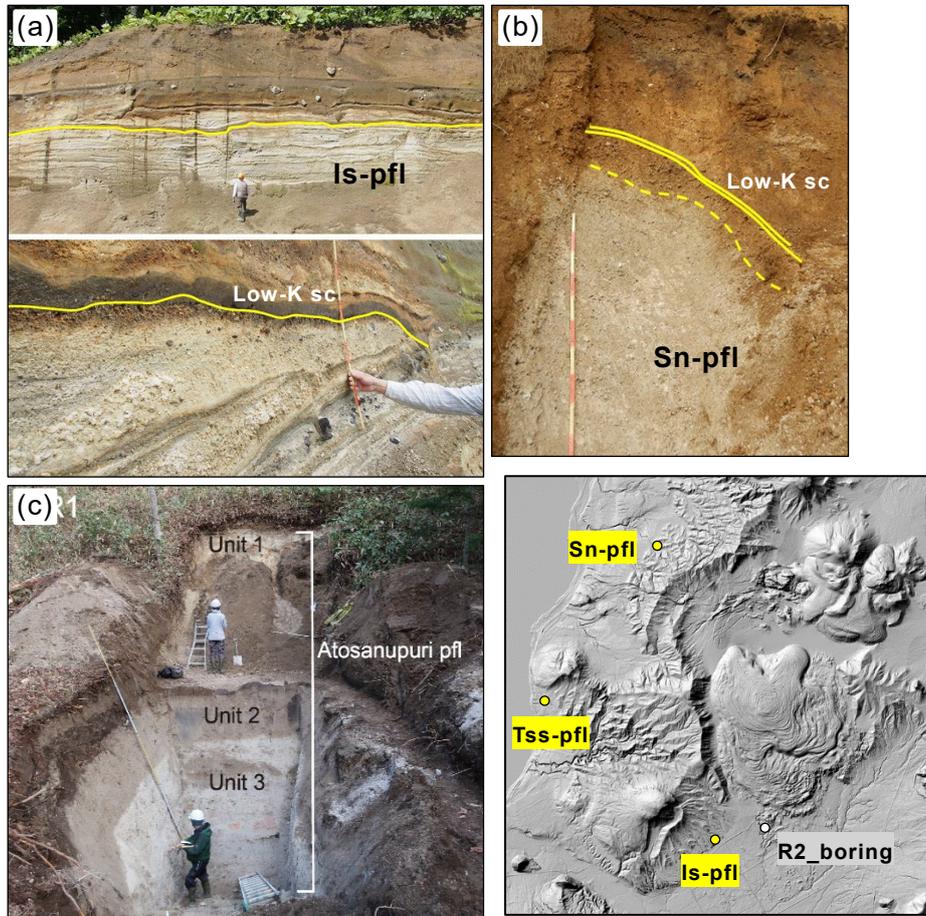


図 9. アトサヌプリ火砕流近傍層の露頭写真と模式地点（国土地理院陰影起伏図に加筆）。

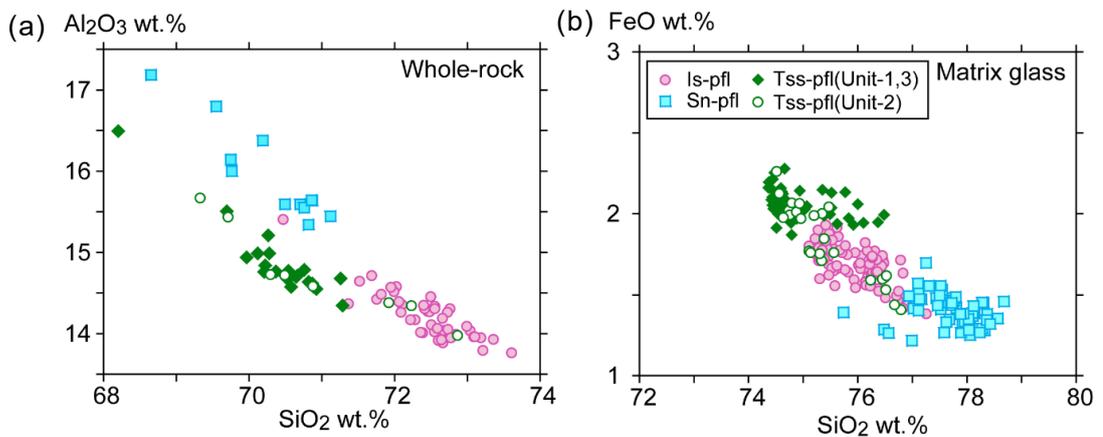


図 10. アトサヌプリ火砕流近傍層の本質物の全岩化学組成 (a) および石基ガラス組成 (b)。

### 3. 遠方層との対比

#### 3-1. 摩周カルデラ東壁

ここでは、外輪山形成期の M1 シリーズ・茶内テフラ (Ch) および上部中春別テフラ (Nu) の上部に該当すると思われる溶岩および降下スコリア・軽石層が観察される。そのスコリア・軽石層の間に、岩相の異なる白色～黄白色を呈する火山灰の互層が認められた (図 11a)。総層厚は約 70 cm、斜交葉理が発達しており、砂～シルトの火山灰基質中に径～1 cm の軽石が稀に含まれる。上位の降下スコリア層直下の土壌から約 1.7 万年前の放射性炭素年代値が得られた。

#### 3-2. 中標津町

従来の研究<sup>8)</sup>で記載された模式的露頭 (No. 60) である。現在は、上半分のみ露出しており、アトサヌプリ火山由来のテフラが 4 枚 (下位より Nu-e・Nu-c・Nu-a・Ch-c) 観察された (図 11b)。最下層の Nu-e は、総層厚約 50 cm、下位より淡灰色細粒火山灰・降下軽石・火砕流・火砕サージの順に累重している。下部の降下軽石層は主に白色軽石 (最大粒径 3 mm) から構成され灰色岩片も少量含まれる。上部の火砕流・火砕サージ層は淡灰色を呈しており、シルト～砂サイズ火山灰基質中に白色軽石 (最大粒径 1 cm) が少量含まれる。Nu-c は層厚 2 cm のシルト質白色火山灰層である。Nu-a は、総層厚 13 cm の火山灰層で、下部が白色、上部が灰色を呈し、シルト～砂サイズの火山灰基質の中に最大粒径 1 cm の白色軽石を含む。Ch-c は、新期摩周テフラ Ma-1 の下位にスコリア層を挟んで堆積する層厚 45 cm の火砕流堆積物である。褐色～白色を呈し、シルト～砂サイズの火山灰基質の中に褐色軽石 (最大粒径 1 cm) が少量含まれる。

#### 3-3. 中春別町

ここでは、新期摩周テフラ層の下位に Ch-c テフラ相当層が観察される (図 11c)。このテフラ層は約 9 cm の古土壌を挟んで Ch-d テフラの上位に堆積している。総層厚約 70 cm の降下軽石と火砕流～火砕サージの互層からなり、前者は白色～淡褐色を、後者は淡灰色を呈している。含まれる軽石の最大粒径は 1.5 cm である。直下の土壌から約 1.9 万年前という放射性炭素年代値が得られた。

#### 3-4. 近傍層との対比

これら調査で確認されたテフラ層と近傍堆積物との対比を行った。全岩化学組成分析ができる十分な試料量が確保できなかったので、全て火山ガラス組成による対比である。その結果、摩周カルデラ東壁で確認されたテフラおよび Ch-c テフラは Is-pf1 (または Sn-pf1) と一致することが分かった (図 12c)。層序的にも矛盾はなく、遠方層で得られた放射性炭素年代値も既往の報告と一致することから、約 1.9 万年前に Is-pf1 噴火が起きたと考えられる。

Nu-e・Nu-c は Tss-pf1 と概ね一致している (図 12a)。一方 Nu-a については Tss-pf1 と Is-pf1 の両方の組成範囲にまたがっており、下部の多くが Tss-pf1 と、上部の多くが Is-pf1 と一致しているようである (図 12b)。この特徴は近傍トレンチ露頭でも確認されており、岩相の色調変化も一致することから、Nu-a テフラはトレンチ露頭の火砕堆積物に対比されるといえる。

#### 4. まとめ

今年度の調査によって、アトサヌプリ火砕流の近傍層と遠方層を対比することができた。その結果、アトサヌプリ火山では、約 1.9 万年前に大規模な火砕噴火が起きたこと、それ以前に複数回の火砕噴火が起きていたことがより確実となった。特に Nu-e テフラは規模が Ch-c テフラに匹敵しており、同程度の大規模噴火が起きた可能性が高い。その火砕噴火に直接対比される近傍層は確認できていないが、現在観察される堆積物の下位に厚く堆積していることは容易に想像される。また既往研究<sup>8)</sup>では、Nu-e テフラより下位に、同規模の Nu-g テフラが存在しており、大よそ 3 万年前と推測されている。これらのことから、アトサヌプリ火山では約 1 万年間に大規模火砕噴火を複数回繰り返したといえる。現在のアトサヌプリカルデラは、単純な円形ではなく、複数の凹地形が重なり「く」の字に曲がったように見えるが(図 9)、これら複数の大規模火砕噴火によってできた「複合カルデラ」であると考えれば矛盾はない。

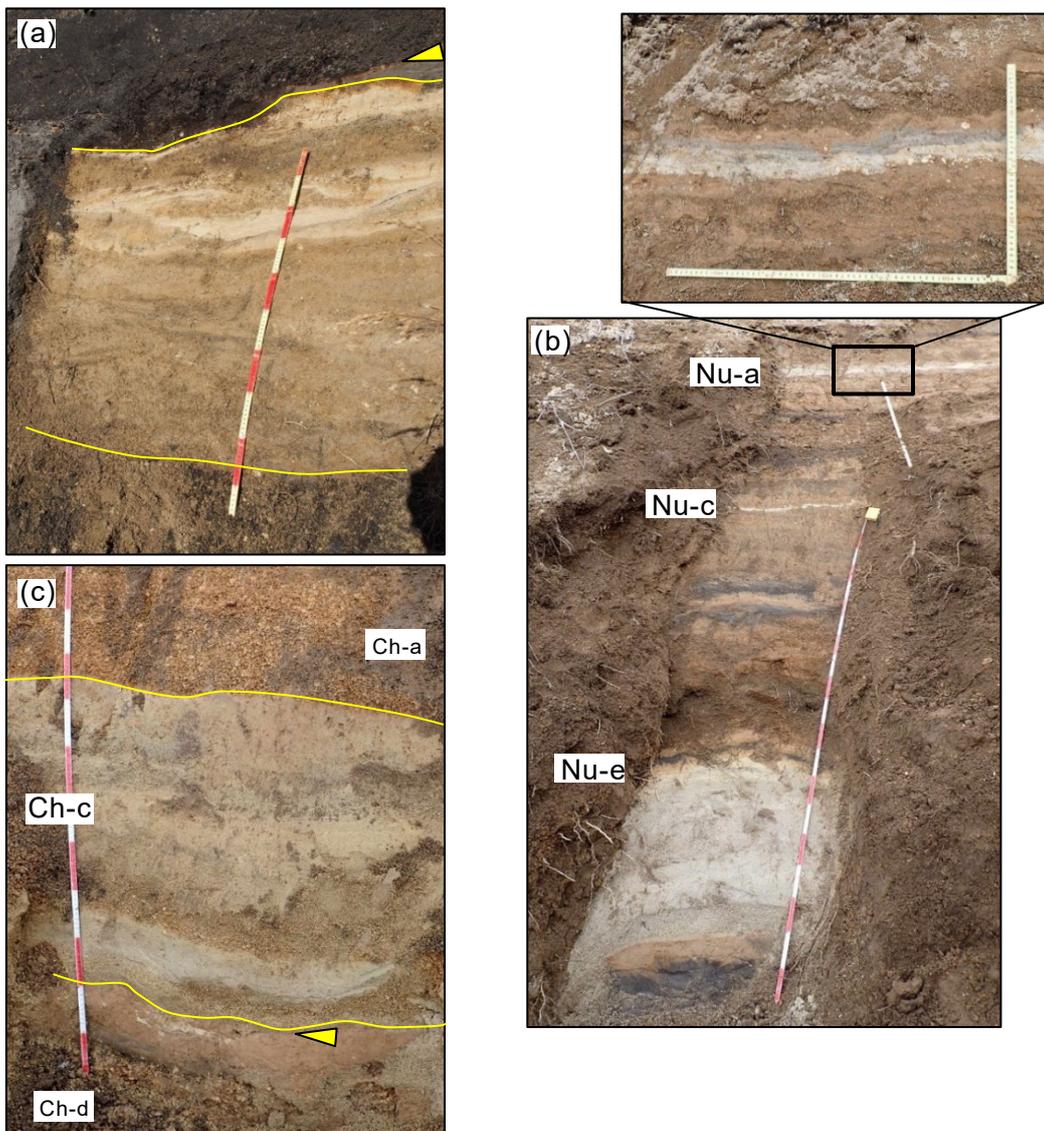


図 11. アトサヌプリ火山東方で確認されるアトサヌプリ火砕流相当のテフラ層。(a) 摩周カルデラ東壁、(b) 中標津町、(c) 中春別町。写真の三角は放射性炭素年代測定試料を採取した部分を示す。

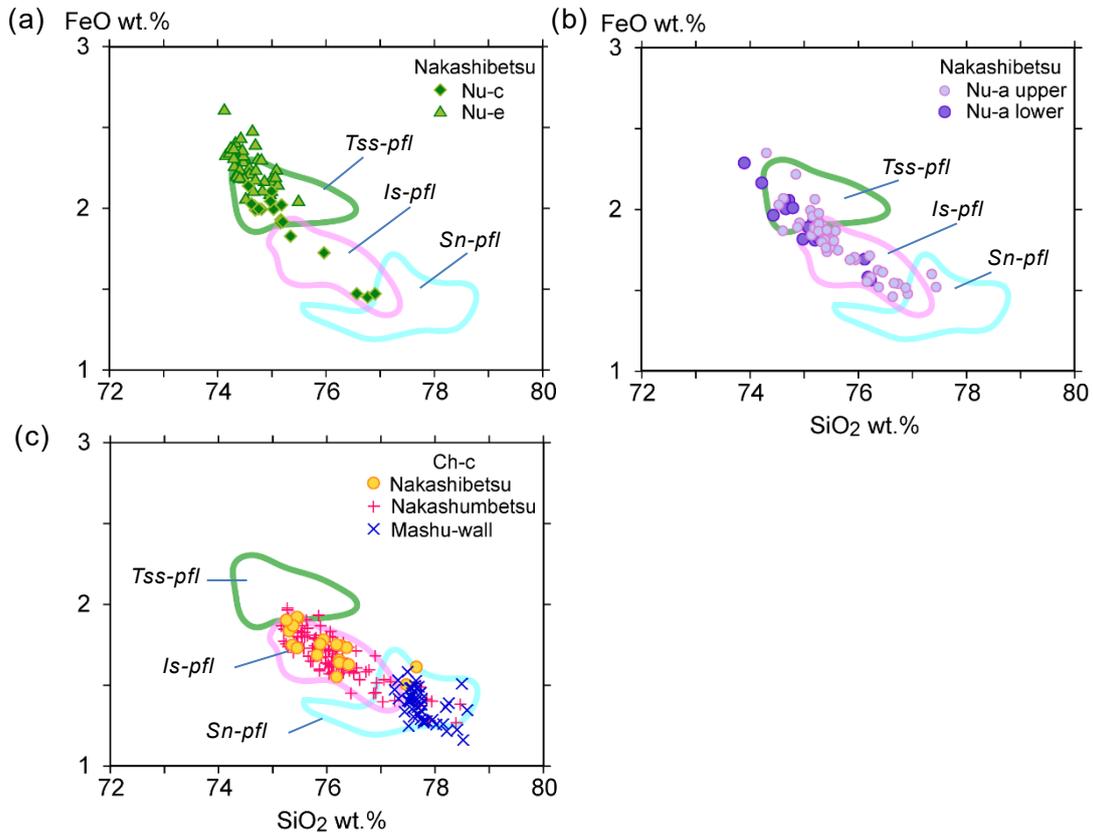


図 12. 火山ガラス組成によるアトサヌプリ火砕流と遠方層テフラとの対比。(a)Nu-e・Nu-c、(b)Nu-a、(c)Ch-c。

### 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。

b) 雌阿寒岳：時間－積算噴出量階段図の試作と 2,500 年前以降の活動のマグマ供給系の検討（北海道教育大学旭川校・産業技術総合研究所・北海道大学）

#### 1. 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、その後、少なくとも 8 箇所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～Ⅲに区分された<sup>9)</sup>。しかし、各ステージを特徴付ける堆積物について、山頂部と山麓部での対比が十分ではなく、また分布についても十分には明らかになっていない。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、<sup>14</sup>C年代値を基に 14,000 年前以降の噴火活動の再検討を行ってきた。その結果、雌阿寒岳の全体的な噴火活動<sup>10)</sup>、そして最近 1,000 年間の噴火活動の詳細<sup>11)</sup>が明らかとなった。

令和 4 年度は、噴火活動全体の噴出量階段図を作成した。また、2,500 年前から 1,000 年前に活動した阿寒富士の詳細を明らかにし<sup>12)</sup>、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。

## 2. 噴出量階段図

地質調査および <sup>14</sup>C 年代測定から得られた噴火活動史を図 13 に示す。噴出量階段図は、噴出物の分布範囲に平均的な層厚を乗じることで推定した (図 14)。噴火活動全体では、中マチネシリ I (14,000 年前) と阿寒富士 (2,500 年前～1,000 年前) の噴出量が多く、2 万年間での積算体積がおよそ 1.8 km<sup>3</sup> となった。

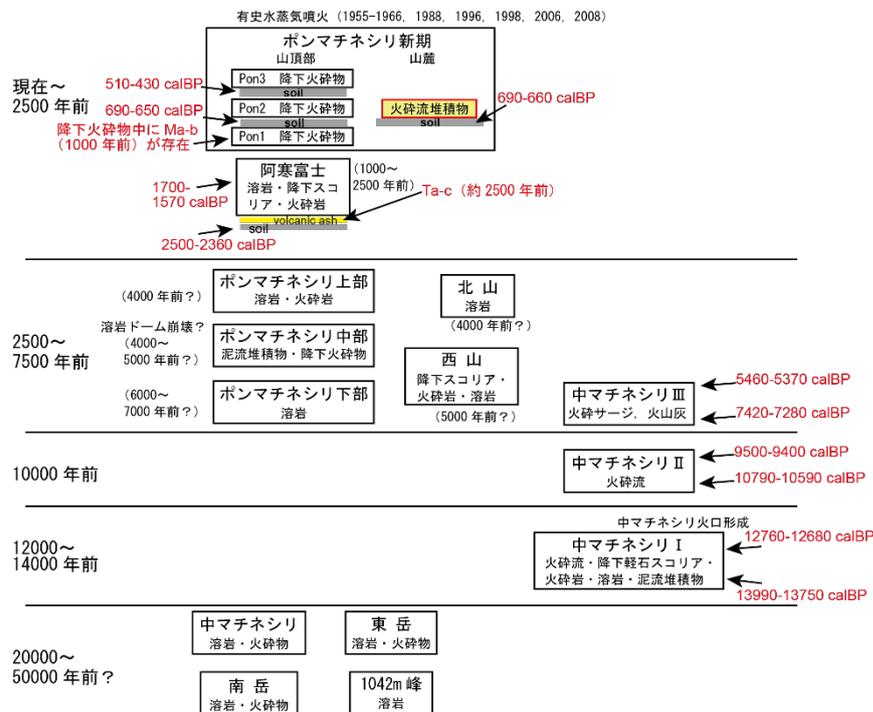


図 13. 再検討した雌阿寒岳の噴火活動史<sup>10)</sup>。

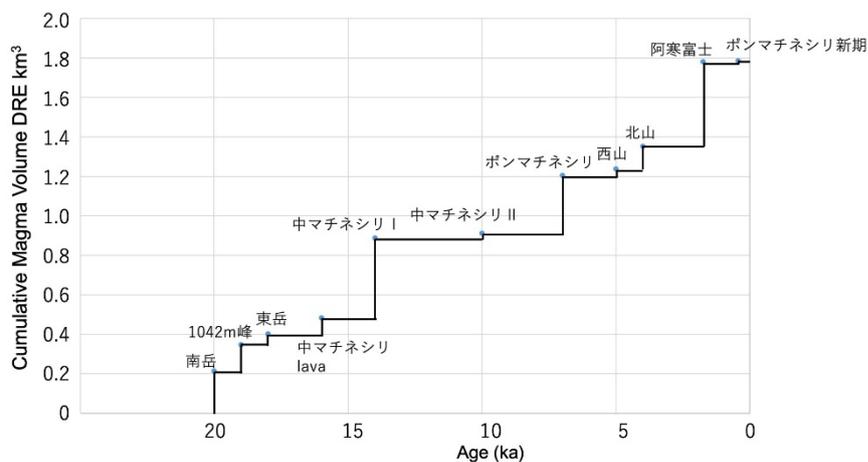


図 14. 雌阿寒岳噴出物の時間－積算噴出量階段図 (試作)。

### 3. 阿寒富士の噴火活動

令和4年度は、阿寒富士の噴火活動について再検討した<sup>12)</sup>。その結果、活動開始の噴出物(Akf-1)の直下の火山灰から樽前山由来の広域火山灰(Ta-c)が見出された。Ta-cはおよそ2,500年前であることが明らかにされている。また、Ta-cの直下の土壌の<sup>14</sup>C年代がおよそ2,500年前であることから、噴火開始年代が2,500年前と推定された。また、最後の噴出物(Akf-17)には薄い土壌を介してポンマチネシリの噴出物(Pon-1)が堆積しているが、その中に摩周火山由来の広域火山灰(Ma-b)がパッチ状に含まれていた。Ma-bの年代が1,000年前であることから、阿寒富士の活動は、1,000年前までには終了したことが明らかとなった。また、活動期間中の噴出率は0.12 km<sup>3</sup> DRE/kaであることも推定された。

### 4. ポンマチネシリ 1,000 年前噴火のマグマ供給系

ポンマチネシリ 1,000 年前以降の噴火は、先行研究によって Pon-1 (1,000 年前)、Pon-2 (700 年前)、Pon-3 (400 年前)、Pon-4 (200 年前～現在) に分けられたが、マグマの大半は Pon-1 で噴出したことが明らかになっている<sup>11)</sup>。令和4年度は、Pon-1 のマグマ供給系について、岩石学的な手法を用いて検討した。

#### 4-1. 試料採取

先行研究の分布域をもとに噴出源に近く、噴出物が厚く堆積している旧火口北側壁において試料採集を行った。層厚は約 15 m であり、降下スコリア堆積物からなる(図 15)。本研究では噴出物の粒径をもとに、下層から A～H に分類した。また、A と B の間には二次堆積物が確認できた。

#### 4-2. 全岩化学組成

噴出物の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(スペクトリス社製 MagiX PRO)を用いて行った。主成分元素組成は、A を除き大きく 2 種類のトレンドに分けられる(トレンド I・II)(図 16)。トレンド I は B・G・H、トレンド II は C・D・E・F からなる。両者は珪長質側(SiO<sub>2</sub>量が大きくなる方向)で収束している。

#### 4-3. マグマ供給系

A を除き、トレンド I・II とともに直線的なトレンドを示すことからマグマ混合が生じたことが推測できる。また、珪長質側で収束することから、マグマ混合に関与した珪長質マグマは 1 つであったと考えられる(F マグマ)。一方で、苦鉄質側はトレンド毎に存在していた可能性がある(M1 マグマ、M2 マグマ)。

今回推定したマグマ供給系モデルを図 17 に示す。まず A が噴出するが、全岩化学組成から他の噴出物と異なることから独自のマグマシステムで噴出したと考えられる。その後、B では M1 マグマと F マグマが混合し噴出した。C～F では M2 マグマと F マグマが混合し噴出したが、G～H では再び M1 マグマと F マグマが混合することで噴出したことが明らかになった。短期間でマグマシステムが変わる特異な状況だったことが明らかになった。

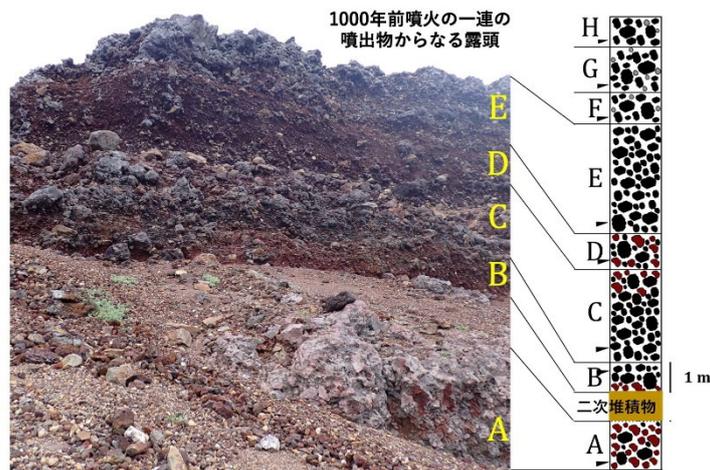


図 15. ポンマチネシリ 1,000 年前噴火噴出物の露頭写真。

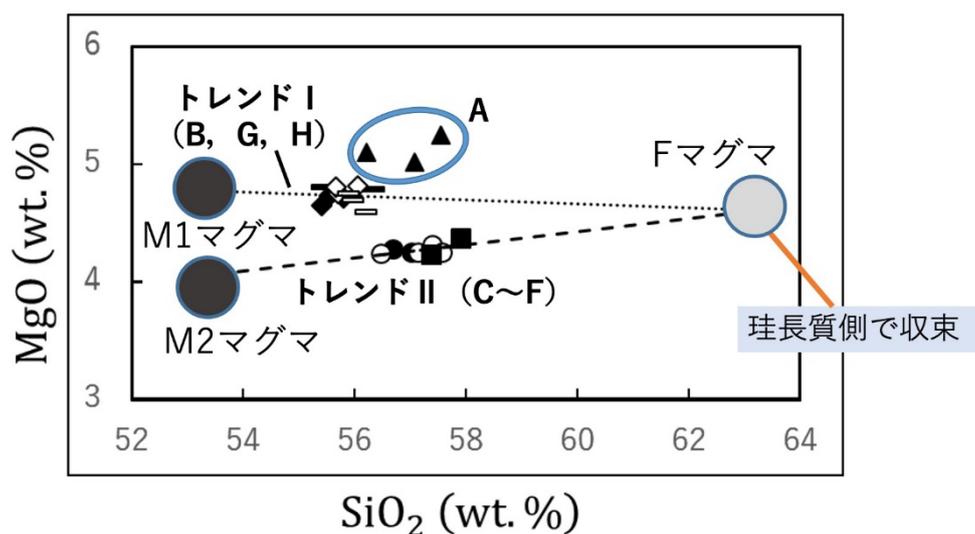


図 16. ポンマチネシリ 1,000 年前噴火噴出物の全岩化学組成。

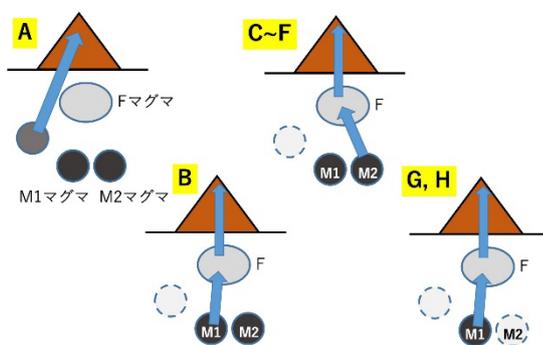


図 17. ポンマチネシリ 1,000 年前噴火のマグマ供給系。

## 5. まとめ

令和 4 年度は、噴火活動全体の噴出物階段図を作成した。また、阿寒富士の噴火史およびポンマチネシリ 1,000 年前噴火のマグマ供給系を岩石学的に明らかにすることができた。今後、噴火系統樹を作成し、雌阿寒岳全体の岩石学的な進化についても検討する予定である。

c) 有珠山：山体崩壊発生時期の検討と階段図の改訂（北海道大学）

1. はじめに

有珠山は国内有数の活火山であり、その形成史および噴火履歴については多くの研究がなされ、2000年噴火の後、それまでの噴火履歴研究成果が火山地質図改訂版<sup>13)</sup>にまとめられた(図18)。ここでは、有珠山の活動は大きく、成層火山形成期、山体崩壊、そして歴史時代活動期に区分され、この中の山体崩壊と歴史時代活動期の間には長い休止期があると考えられている。この時点でさらなる検討の余地があったのは、有珠山の活動開始時期、成層火山形成史、山体崩壊時期、そして歴史における溶岩ドームの形成時期であった。

この中で活動開始時期については、Goto et al.<sup>14)</sup>により有珠山最初期のテフラの年代が明らかにされ、活動開始は約1.9万年前であることが示された。その後、北海道大学では火山PJなどのプロジェクトにおいて、有珠山の階段図・事象系統樹の作成のために研究を進めてきた。その過程でまず、歴史時代活動期での溶岩ドーム形成年代や火口形成史について詳細を明らかにした<sup>15)</sup>。しかしながら、成層火山形成史の詳細は明らかではなく、山体崩壊時期については近年でも多くの研究が行われているが、見解の一致には至っていない。

時代	地質層序			火山活動	
	(火砕物層序)	(火砕物体積)	(新たに生じた山体)	(噴火年代)	(その他)
完 新 世 火 山	火山泥流 Us-2000降下軽石・火山灰	0.001 km <sup>3</sup>	2000年隆起域 (潜在ドーム)	2000年	降灰・火山泥流・地殻変動により 災害
	Us-1978降下火山灰 Us-1977降下軽石・火山灰	0.09 km <sup>3</sup>	有珠新山潜在ドーム	1977~78年	降灰・地殻変動により災害、 土石流により犠牲者3名
	Us-Ia降下火山灰	0.001 km <sup>3</sup>	昭和新山溶岩ドーム	1943~45年	降灰・地殻変動により災害、 幼児窒息死1名
	火山泥流 Us-IIa降下火山灰	0.003 km <sup>3</sup>	明治新山潜在ドーム	1910年	降灰により災害、 火山泥流により犠牲者1名
	嘉永(立岩)火砕流 Us-IIIa降下軽石・火山灰	0.35 km <sup>3</sup>	大有珠溶岩ドーム	1853年	住民避難、 赤く光る溶岩ドーム出現
	文政火砕流 Us-IVa降下軽石・火山灰	0.28 km <sup>3</sup>	オガリ山潜在ドーム	1822年	火砕流により南西麓で1村全焼、 死者82名
	明和火砕流 Us-Va降下軽石・火山灰	0.11 km <sup>3</sup>	小有珠溶岩ドーム (※)	1769年	火砕流により南東麓で家屋火災
	先明和火砕物	?	?	17世紀末	記録なく詳細不明
	Us-b <sub>1</sub> b <sub>2</sub> 降下火山灰 火砕サージ	2.5 km <sup>3</sup>	?	1663年	多量の降灰により家屋埋積・焼失、 死者5名
	Us-b降下軽石				
	休止期			若生貝塚 2,860±950 y.B.P. (GaK-4199) 縄文早期-晩期人類遺跡	
後 期 更 新 世	外輪山形成期	善光寺岩層なだれ堆積物			山体崩壊、外輪山形成
	ドッコロ山スコリア丘				側火山(スコリア丘)形成
	有珠外輪山溶岩				成層火山形成
中 期 更 新 世 鮮 新 世	段丘堆積物				
	(中島火山溶岩)				(中島火山形成)
	洞爺火砕流堆積物				洞爺カルデラ形成 112-115 ka
	上長和層				
	滝ノ上火砕流堆積物				
	壮誓火砕流堆積物				
	新第三紀火山岩類				

(※) 小有珠溶岩ドームの形成時期は従来1663又は1769年のいずれかと考えられてきたが、岩石学的特徴が1769年の火砕物と良く一致する一方1663年のものとは全く異なることから、1769年噴出物の可能性が高い。

図18. 有珠山の形成史<sup>13)</sup>。

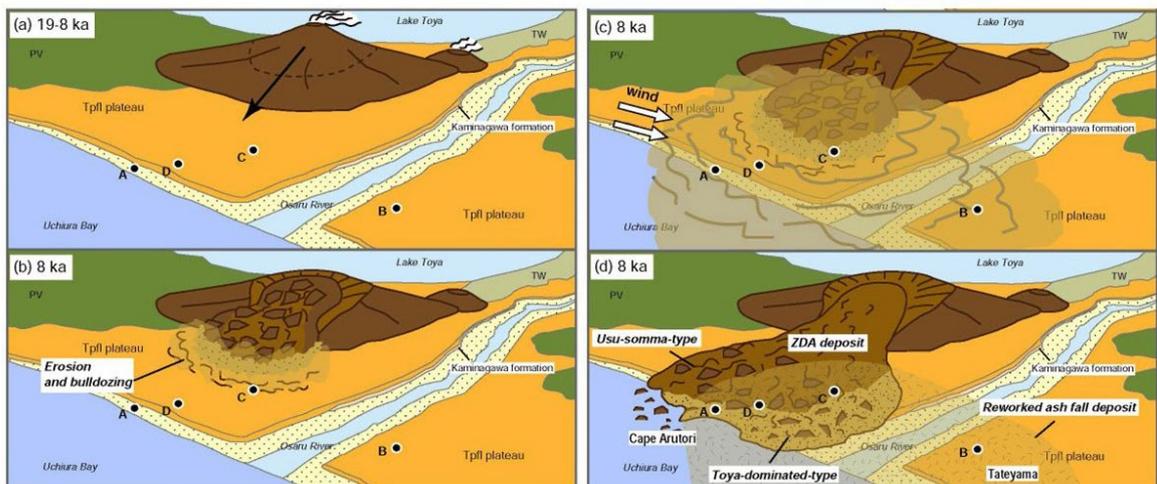
山体崩壊時期については大島<sup>16)</sup>により 6,000-9,000 年前であると指摘され、近年まで多くの研究者によって支持されてきた。そして改訂された火山地質図においても 7,000-8,000 年前との見解が示された。しかしながら藤根ほか<sup>17)</sup>は、岩屑なだれ堆積物の流れ山の中の低地で実施されたボーリングコアの解析から、山体崩壊は約 2 万年前と考えた。この考えは Miyabuchi et al.<sup>18)</sup>においても支持された。さらに最近になって、Goto et al.<sup>19)</sup>は流れ山を約 1.5 万年前の濁川テフラが覆うこと、そして流れ山中の炭化木片が 1.6 万年前の年代を示すことから、山体崩壊は約 1.6 万年に起きたと結論付けた。以上のように、山体崩壊年代は現時点で 6,000 年前から 2 万年前の年代が提案されている。この年代を確定させることは火山体の成長と山体崩壊との関連を議論する上でも、また火山防災上も重要であり、更なる検討が必要であった。

## 2. 善光寺岩屑なだれの発生時期の再検討

R03 -04 年度に善光寺岩屑なだれ分布域および近隣地域のテフラ調査を行い、加えて年代測定とテフラの物質科学的解析を行った。その結果、善光寺岩屑なだれ直上には、この地域に広く分布する洞爺火砕流（11 万年前）を主成分とし、それに 1 万年前よりも古い堆積年代を示すテフラが混入した、混合テフラが堆積していることが明らかになった。また岩屑なだれ分布域の東方でも、それらの混合テフラが厚く堆積している。これらの混合テフラ層は岩屑なだれが有珠山麓を流下するときに、基盤で非溶結の洞爺火砕流を侵食・破砕することによって形成された、いわゆる灰神楽起源の再堆積テフラであると議論された(図 19)。この再堆積テフラの上下の土壌層の年代測定結果から、有珠山の山体崩壊は 8,000 年前であると結論付けた<sup>20)</sup>。

8 ka (a) 山体崩壊発生

(c) 低温灰神楽の発生



(b) 流路の浸食、洞爺火砕流の変形・破砕

(d) アルトリ火山灰と館山火山灰の堆積

図 19. 有珠山の山体崩壊による善光寺岩屑なだれの流下と、再堆積テフラ層の発生モデル<sup>20)</sup>。

## 3. 有珠山の階段図の改訂

最近の我々の研究<sup>20)</sup>では、山体崩壊の発生年代に加えて、有珠山の成層火山形成期のテフラに関して、その上部から土壌を見出し、その年代が約1.1万年であることを明らかにした。このことから、有珠成層火山体は1.9万年の活動開始から、少なくとも1.1万年前頃までは活動していたことが明らかになった。

これらの成果と個々の噴出物の体積の見直しも実施して、階段図を改訂した(図20)。従来と比較して、成層火山体の体積が大幅に増えたこと、そして休止期が約7,000-8,000年間程度であることが明らかになった。この階段図に関してはデータベースと共に、R05年度に公表予定である。

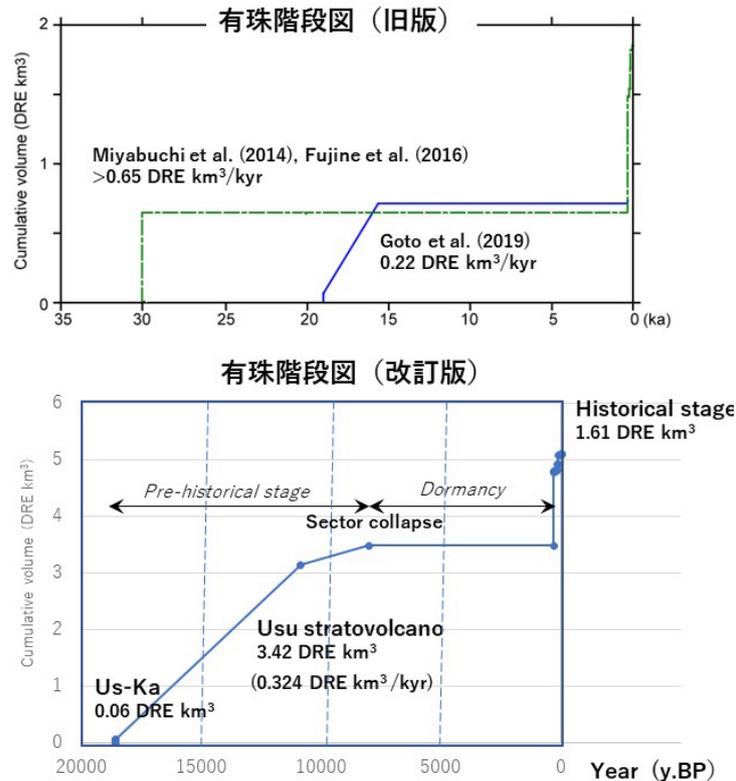


図20. 有珠山の階段図。従来版(上)と改訂版(下)。

d) 羊蹄山：噴火履歴再検討のための露頭下部掘削(電力中央研究所・北海道大学)

1. 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。本火山の火山活動は、これまでに山頂周辺の噴出物や山麓のテフラ層序・年代の研究により、少なくとも約5万年前～数千年前まで活動したことが明らかにされてきた<sup>21)22)</sup>。その後、Miyasaka et al.<sup>23)</sup>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、羊蹄火山の最初期の爆発的噴火活動を確かめる必要が生じた。2021年度までの調査・検討によって、これまで知られていた噴出物より下位で洞爺火砕流(約10万年前)<sup>24)</sup>より上位の層準に羊蹄火山起源の噴出物が新たに8層発見された。また、尻別川沿いで層位や給源が不明な火砕流堆積物(異凝灰岩層と仮称)が発見され、U-Pb年代測定を行った結果、約1.2 Maと洞爺火

砕流より古い火砕流堆積物であることが判明した<sup>25)</sup>。今年度は、一昨年(2019年)に露頭を調査し課題として残されていた、羊蹄山北東麓(北岡)の露頭(図21)の下部を掘削し、最下位層の再検討を行った。その結果、羊蹄火山では最初期で最大規模の降下軽石層を発見したので、報告する。

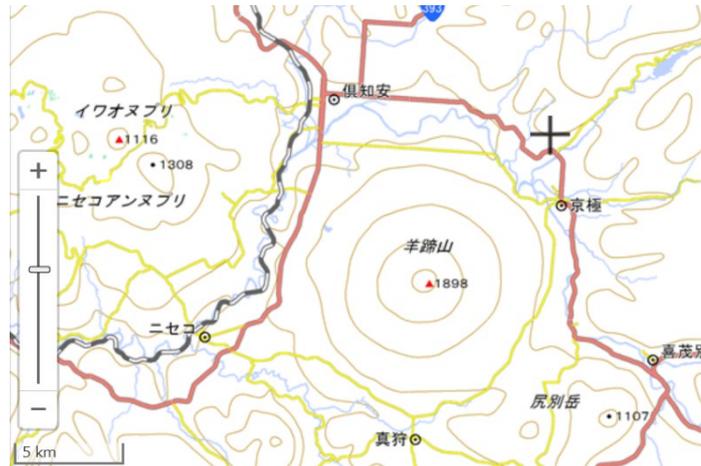


図21. 北岡露頭の位置(+印)。地理院地図 GIS Maps により作成した。

## 2. 掘削地点の層位・層相

掘削地点の露頭では、既存のテフラの他、羊蹄火山起源のテフラの純層が6層発見されていた。これらのテフラは、既知のテフラ年代(約50 ka)から約60 ka頃の噴出物と推定される。今回その下部をさらに3 mほど掘削したところ、層厚約2 m、最大粒径約15 cmの降下軽石層が発見された(図22)。上部96 cmは粘土化していたが、下部97 cmは比較的新鮮な発砲の良い軽石層である。色調は、青灰色~明灰色である。角閃石、斜長石が多く含まれる。上部と下部で時間間隙を示す土壌層や浸食面は認められず、構成物も殆ど同じことから、これらは一連の噴出物であると判断した。

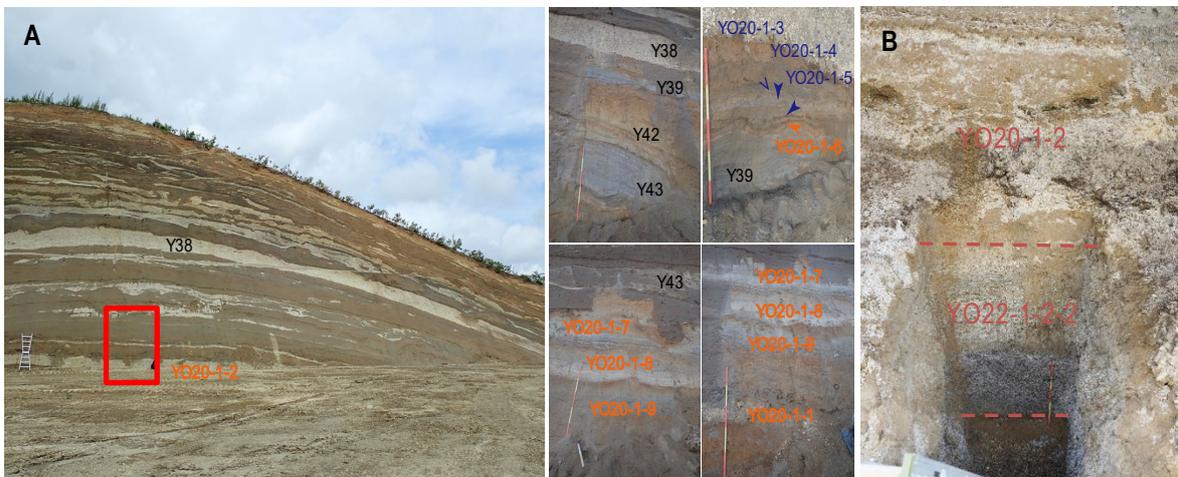


図22. A: 下部を掘削した露頭写真。赤枠が掘削地点。B: トレンチの写真。破線に挟まれた部分が今回発見された降下軽石層。テフラに重ねて示した文字のうち、黒が既知の羊蹄火山起源テフラ、オレンジが新発見の羊蹄火山起源テフラ、青が他火山起源テフラ。

### 3. 今後の予定

今後は、得られた試料を詳細に分析し、他の近傍層が観察される露頭や遠方テフラとのテフラ対比を行う。また、テフラに含有されるジルコンの U-Th、U-Th/He 年代測定などを実施し、一般に年代値を得ることが困難な 5~10 万年前の噴出物年代を得ることに挑戦する予定である。さらには、新たに得られた知見を基に、羊蹄山の噴出量積算階段図の試作を行う。

#### e) 岩木山：最近約 3 万年間の噴火履歴調査（産業技術総合研究所）

##### 1. 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およ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<sup>26)</sup>。このうち第一期と第二期では類似した化学組成のマグマが活動し、溶岩と火砕物が成層火山体を形成した。それに対し、完新世を含む第三期では第一期と第二期とは異なるタイプのマグマが溶岩ドームを形成する噴火をしたことが知られている<sup>27)28)</sup>。また歴史時代の活動としては、1600 年、1782-83 年、1845 年、1863 年など安土桃山時代末期から江戸時代以降の水蒸気爆発が古文書の記録として残されている<sup>29)</sup>。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 合目まではリフトが敷設されており、夏季には多くの登山客と観光客が火口のごく近傍を散策する。そのため、溶岩ドームの形成とドーム崩壊型火砕流の発生というマグマ活動のみならず、歴史時代に発生したような小規模な水蒸気爆発であったとしても災害発生リスクは高いと言える。

産業技術総合研究所では、岩木山の活動のうち、特に最新の第三期に着目した噴火履歴調査を 2022 年度より開始した。本調査では特に、(1) 第三期における溶岩ドームの形成時期および降下火砕物の堆積時期を明らかにし、両者の関係を検討すること、(2) 第三期における水蒸気爆発の年代およ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、の 3 点を主たる目標とした噴火履歴調査を開始した。

##### 2. 調査結果

令和 4 年度はのべ 25 日の現地調査を実施した。

目的 1 について、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、鳥海山溶岩ドームについて K-Ar あるいは Ar/Ar 年代測定用の溶岩試料を採取し、処理を進めた。年代測定は 2023 年度以降に実施予定である。降下火砕物については、伴ほか<sup>30)</sup>が識別した 2 枚のテフラのうち Iw-c について火山体東斜面の数カ所で追認し、その堆積年代を推定するために火砕物中に含まれる炭化木片の <sup>14</sup>C 年代を実施し

た。その結果、炭化木片からは  $3,367 \pm 24$  yrBP と  $3,391 \pm 24$  yrBP の年代が得られた。また、この Iw-c とは別に、山頂周辺で実施した複数の予察的な人力ピット調査の結果、給源が比較的近いと考えられ、直下の土壌の年代が  $1,200$ – $1,700$  yrBP に集中する火山灰層を 2 枚見出した。これらの火山灰層の給源や噴火の規模は今後より詳細に調査する必要があるが、岩木火山は最近 4,000 年間の間に少なくとも 3 回のマグマ噴火を行なったと考えられる。

目的 2 について、山頂周辺において複数の人力によるピット調査を行い、複数の水蒸気爆発堆積物を見出した。例えば、水蒸気爆発堆積物が 2 枚観察された嶽登山道において、堆積物直下の土壌からは  $2,434 \pm 23$  yrBP と  $856 \pm 21$  yrBP の  $^{14}\text{C}$  年代が得られた (図 23)。また、鳥海山山頂では  $592 \pm 21$  yrBP、岩木山スカイライン道路脇の露頭では Modern の  $^{14}\text{C}$  年代が水蒸気爆発堆積物直下の土壌から得られた。これら堆積物の存在および直下の土壌の放射性炭素年代は、岩木山の山頂周辺で水蒸気爆発が繰り返し発生していたことを示す。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 以上の小規模な火口地形の存在と矛盾しない。また、今年度の調査の結果、約 2,000 年前にも水蒸気噴火が発生していたことが明らかとなった。従来から指摘されているように最近約 1,000 年間は水蒸気爆発の活動が主であるものの、マグマ噴火と水蒸気爆発が共存していた時期の存在、あるいは水蒸気爆発主体の活動の後にマグマ噴火が発生した可能性も指摘できる。このことは、岩木火山が再びマグマ噴火を伴う活動へ移行する可能性についても火山防災上、十分考慮する必要があることを意味する。



**水蒸気爆発堆積物**  
 $856 \pm 21$  yrBP

**水蒸気爆発堆積物**  
 $2434 \pm 23$  yrBP

図 23. 嶽登山道周辺のピット調査の例。この地点では、水蒸気爆発堆積物が 2 枚確認された。また、直下の土壌について、放射性炭素年代を測定した。

目的 3 について、火山体全域において溶岩および降下火砕物を中心とした約 170 試料を採取し、全岩化学組成分析のための岩石パウダーを作成した。全岩化学組成 (主要元素および微量元素) の分析は 2023 年度以降に実施することを予定している。

### 3. まとめ

- ・岩木火山は最近 4,000 年間に少なくとも 3 回マグマ噴火したと考えられる。
- ・岩木火山は最近 2,500 年間に複数回の水蒸気爆発を起こしていると考えられる。

f) 秋田駒ケ岳：カルデラ形成噴火と山体崩壊の関係について（北海道大学・株式会社エンバイオ・エンジニアリング）

#### 1. はじめに

秋田駒ケ岳は秋田県と岩手県の県境に位置する、東北地方では最も活動的火山のひとつであり、山頂部に 2 つの小型のカルデラ地形（北部および南部カルデラ）を有している（図 24）。その活動は後期更新世から始まり、主成層火山形成期、カルデラ形成期そして後カルデラ活動期の 3 つに大別でき、さらに後カルデラ活動期は、北部火山体形成期および南部火山体形成期に細分できる<sup>31)32)</sup>。一方、主成層火山形成期の途中で 2.6 万年前頃に山体崩壊が発生し北部カルデラが形成され<sup>33)</sup>、南部カルデラは 1.5 万年前頃の大規模噴火により形成されたと考えられている<sup>34)</sup>。これらの成果を受け、本火山の形成史がまとめられている<sup>35)36)</sup>。

我々は 2019 年度から本火山を重点火山に指定して研究を開始し、形成史や噴火様式の再検討を行うと共に、これまで不十分であったマグマ長期変遷の解明を目指している。その中で、今年度はカルデラ形成期の活動履歴および噴火様式を明らかにし、その成果を学術誌に投稿した。また、北部カルデラを形成した山体崩壊の発生時期の再検討を行い、南部カルデラ形成直後に山体崩壊が発生したという、従来とは異なる結果を得た。ここでは山体崩壊時期の再検討結果を中心に報告する。



図 24. 秋田駒ケ岳の位置と山体中心部の地形図。

#### 2. 従来の山体崩壊時期の解釈と問題点

本火山の形成史については以下のように考えられていた。活動開始は、主成層火山体下部の K-Ar 年代から、10 万年前頃の後期更新世と考えられている<sup>32)</sup>。カルデラ形成期については、15 ka 頃と 13 ka 頃の 2 回の大規模な噴火によって、南部カルデラ

が形成されたことが、本研究で明らかにされている（田次ほか，投稿中）。そしてそれぞれの噴火では、AK13 および AK12 と呼ばれるテフラを噴出し、AK13 では生保内火砕流<sup>31)</sup>そして AK12 では国見火砕流（新称）が発生している。一方、土井ほか<sup>33)</sup>は山体北麓から北西麓にかけて分布する岩屑なだれ堆積物を先達川岩屑なだれと命名し、その中に含まれている木片の年代から、2.6 万年前に秋田駒ヶ岳主成層火山体が崩壊したと主張した。このことにより、本火山の形成史と地質図は図 25 のようにまとめられる。

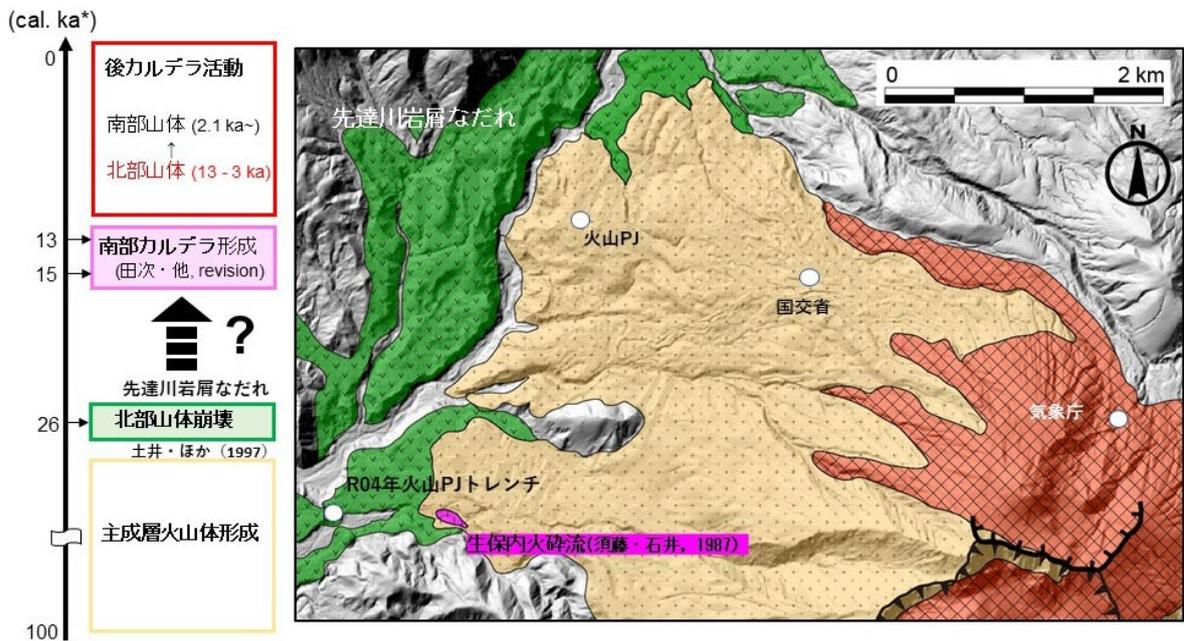


図 25. 秋田駒ヶ岳の北部の従来の研究成果（既往研究<sup>1)3)4)5)</sup>および田次ほか，投稿中）をもとにしたブロック図（左）と地質図（右）。地質ユニットの色はブロック図の各ユニットの色と同じである。白丸はボーリング実施地点で、標高の高い地点から気象庁、国交省そして火山 PJ で実施した。

図 25 に示した本火山の形成史が正しいとすると、カルデラ形成期の生保内火砕流は本火山の北 - 西麓でも広く分布しているはずである。しかしながら実際には西麓で、水沢沿いの標高 490 m 付近で部分的に火砕流堆積物が確認されているだけである（図 25）。それに加えて地質図幅に示されていないが、水沢下流の小先達川の標高 400 m 付近で露出が報告されている<sup>31)</sup>。その後の調査<sup>34)35)</sup>や我々の地表踏査でも、北麓から西麓にかけて生保内火砕流の新たな露頭は確認されていない。一方、北西麓で実施した 3 本のボーリングのうち、中腹で実施した国交省のコアで岩屑なだれ堆積物が認められたが、その上位には火砕流堆積物はなく、田沢湖高原溶岩<sup>31)</sup>に対比された堆積物が記載されている<sup>37)</sup>。この生保内火砕流が本火山の北 - 西側で広く露頭が認められないことは、火砕流堆積物が削剥されたためと解釈されてきた<sup>31)</sup>。しかしながら南西麓から南麓にかけては、生保内火砕流が広く分布しており<sup>35)</sup>、山体の北 - 西方が選択に削剥されたことになり、不自然である。

カルデラ形成期の生保内火砕流の分布に加え、後カルデラ活動の活動履歴に関しても図 25 の形成史では説明が難しい点がある。本火山の後カルデラ期では、南部カ

ルデラが形成された後に、山体崩壊で生じた北部カルデラ内で後カルデラ活動が始まり、その後に約 1 万年間にわたり活動が継続した<sup>34)</sup>。通常は、後カルデラ活動は形成されたカルデラ内あるいはカルデラ周辺で起きるのが一般的であり<sup>38)</sup>、本火山のように噴火により生じた南部カルデラとは無関係に、北部カルデラ内で後カルデラ活動が起こったことは解釈が困難である。

さらに 2.6 万年前頃に山体崩壊したとすると<sup>33)</sup>、1.5 万年前の南部カルデラ形成（田次ほか，投稿中）まで 1 万年の間隙がある。主成層火山体が山体崩壊後、カルデラ形成噴火までの間にどのような活動を行ったかについては明らかではない。ただ北西山腹で行った国交省のボーリング（図 26）では、岩屑なだれ堆積物の上位に田沢湖高原溶岩が存在する。これにより、山体崩壊後も主成層火山体は活動を続けたと考えられており、その分布は図 25 のように考えられている<sup>36)</sup>。

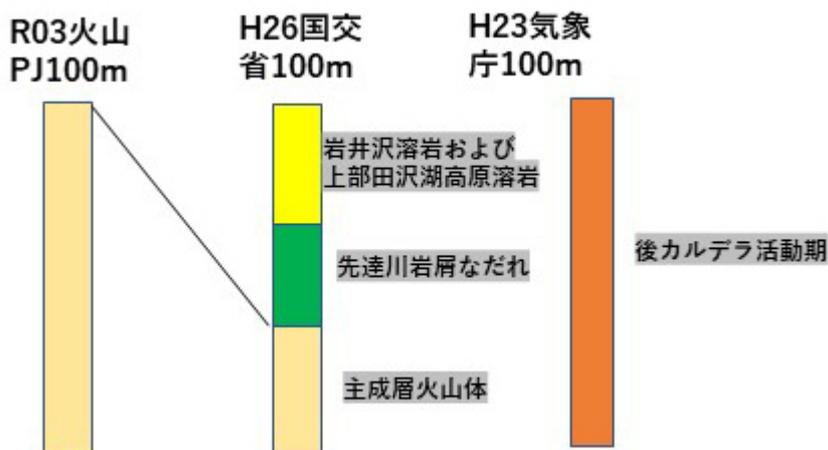


図 26. 秋田駒ヶ岳火山の北西斜面での 3 本のボーリングコアの概念的な柱状図。いずれのコアも本研究によって岩質の再検討を行っている。

### 3. 山体崩壊の発生年代の再検討

以上のことから、山体崩壊に伴う先達川岩屑なだれ堆積物の発生年代と南部カルデラ形成に関与した生保内火砕流との層序関係の再検討が必要と考え R03 年度から調査を開始した。まず、先達川岩屑なだれ堆積物分布域での地表踏査を行い、生保内火砕流の層序関係と、岩屑なだれ堆積物を覆う土壌層の調査を行った。その結果、山体の北 - 西山腹から山麓部で生保内火砕流が確認できたのは、水沢および小先達川流域で須藤・石井<sup>31)</sup>が記載した場所のみであった。ここでは火砕流と岩屑なだれ堆積物の両者の関係を露頭で観察することはできず、地形と堆積物の関係からも層序関係を確定することはできない。岩屑なだれを覆う土壌の調査を行ったが、良好な土壌層を見出すことはできなかった。

生保内火砕流と先達川岩屑なだれの両者の層序関係を明らかにするために、須藤・石井<sup>31)</sup>でも記載されている小先達川沿いの標高 400 m 付近（図 25）で重機トレンチを行った。ここでは表層は先達川岩屑なだれの岩塊が点在している場所である。トレンチの結果、表層は厚さ 30 cm の土壌、その下位に層厚が約 4 m の岩屑なだれ堆積物があり、その下位に層厚 1 m 以上の発泡度の悪いスコリアが同質の火山灰マトリ

クス中に散在する、無層理・無淘汰の火砕流堆積物が存在することが分かった。本質物の岩石学的性質を検討した結果、この火砕流は生保内火砕流であることが明らかになった。火砕流の表層は岩屑なだれによって浸食されていた（図 27）。

南部カルデラは 15 ka の生保内火砕流が生じた AK13 テフラの噴火と、13 ka の AK12 テフラの 2 回の噴火で生じた複合カルデラである（田次ほか，投稿中）。今回の重機トレンチ掘削により、先達川岩屑なだれは生保内火砕流を覆っていることが明らかになったので、山体崩壊は AK13 噴火よりも新しいことは言えるが、AK12 との前後関係は不明である。仮に、山体崩壊の後に AK12 が噴出した場合、AK12 が先達川岩屑なだれ堆積物を覆う可能性があるが、これまで山体北 - 西部で AK12 は確認されていない<sup>(34)35)</sup> および本研究)。また北部で山体崩壊が起こった後に、南部カルデラ内で AK12 の噴火があったとすると、その後の後カルデラ活動が、山体崩壊で生じた北部カルデラ内で発生するのは不自然である。それよりは AK13 と AK12 の 2 回の噴火でカルデラが生じ、おそらく噴火に伴う地震動により、山体北部が崩壊して北部カルデラが形成され、山体崩壊による封圧の解放で後カルデラ活動が北部カルデラ内で起こったと考える方が自然である。図 27 のトレンチ地点では AK12 の特徴を示す堆積物は見出されなかった。仮にトレンチ地点に AK12 が堆積していても、細粒で薄いテフラ層である可能性が高く、この場合には岩屑なだれにより浸食されるであろう。実際にトレンチ壁面でも AK13 に対比される生保内火砕流は岩屑なだれ堆積物により浸食されていた。以上から、AK13 と AK12 の噴火によって主成層火山体南山腹に南部カルデラが形成された直後に、主成層火山体の山頂部が北側に崩壊したと推定される。



図 27. 秋田駒ヶ岳火山西麓で実施した重機トレンチ掘削調査の断面の写真。先達川岩屑なだれ堆積物が生保内火砕流を直接に覆うことを確認した。

#### 4. 秋田駒ヶ岳形成史の改訂

R03年度からR04年度までの研究により明らかにされた、本火山の噴火史と地質図を図28に示した。今回、南部カルデラ形成後に山体崩壊したことが明らかになり、従来の噴火史(図25)から大きく改訂された。この結果により、15-13kaのカルデラ形成噴火は山体崩壊も引き起こしたことになる。そして山体崩壊によって生じた山体北部での質量欠損のために、後カルデラ活動が南部カルデラ内ではなく、北部カルデラ内で起こったと考えられる。

一方、平成26年度に実施された国交省のボーリングコアで出現した岩屑なだれ堆積物を覆う上部田沢湖溶岩および岩井沢溶岩は、後カルデラ期の活動であることになり、山体を構成する溶岩類の噴出時期も見直す必要がある。R04年度の高解像度の赤色立体地図を用いた地形解析と噴出物の岩石学的検討によって、特に後カルデラ活動期の噴出物の分布が以前の地質図から大きく改訂された。これまでは後カルデラ期の北部山体の溶岩流は、沢筋で標高950~850m程度まで到達していると考えられていたが(図25)、実際にはさらに広く分布し沢筋では標高700m付近まで到達していることが明らかになった(図28)。今後はこの改訂された噴火史に基づいて、マグマ変遷について検討する計画である。

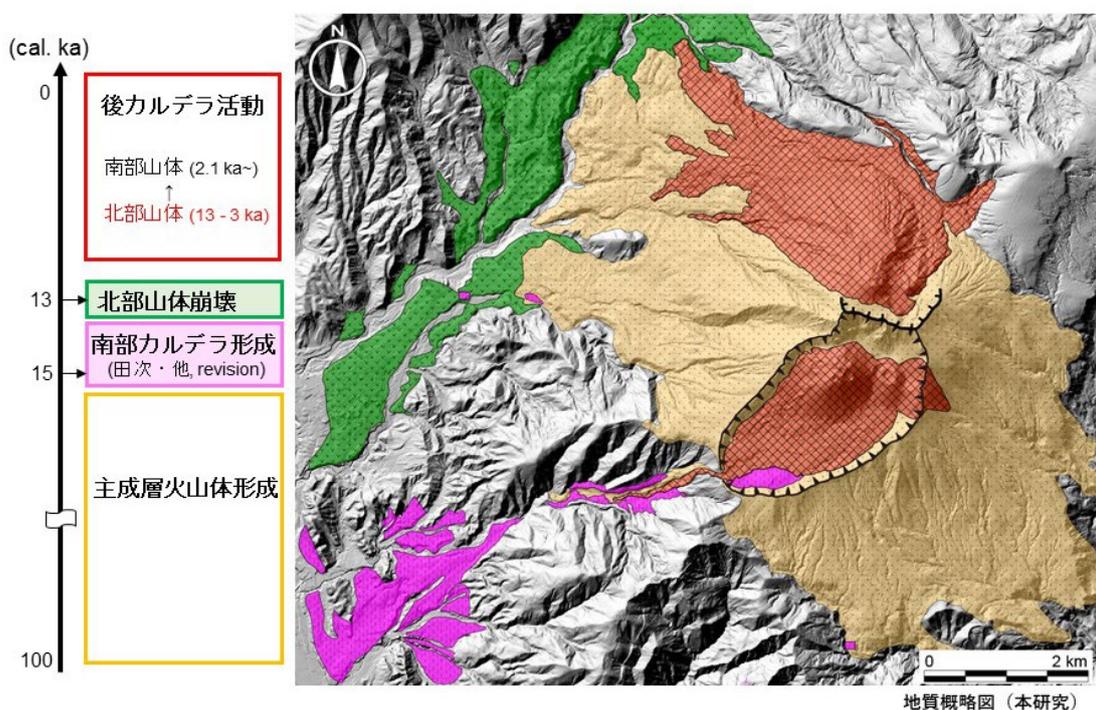


図28. 改訂された秋田駒ヶ岳火山の噴火史ブロック図(左側)と地質図(右側)。地質図の凡例とブロック図の枠の色は同じ。山体南側は田次ほか(投稿中)を、山体北部については今年度の研究成果をもとにしている。

g) 鳥海山：噴火活動履歴の解明と噴火事象分岐シナリオ(秋田大学・山形大学・産業技術総合研究所)

i) 噴火活動史と事象分岐シナリオのとりまとめおよび成果公表

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の完新世後期火山活動に関する成果をとりまとめ、論文を公表した<sup>39)</sup>。2017年から2021年に実施した手

掘りトレンチ調査、露頭調査、年代測定、成分分析の結果をもとに、次の成果を取りまとめた。(1) 過去約 5,000 年間の活動史を構築した。特に 2,500 年前の山体崩壊から歴史時代までの活動史が解明された。(2) 噴火の事象分岐モデルを構築した。5,000 年前以降には、追跡可能な火山灰層が残る程度の規模の噴火(概ね VEI 2 程度)が数回発生している。火山灰層が確認されたのは 4.6 ka、4 ka、3 ka、2.8 ka、2.5 ka、2 ka(1.9-2.1 の間)、1.8 ka、1.6 ka、西暦 871 年噴火である。この他に信憑性の高い歴史噴火として西暦 1659 年、1740 年、1800-1804 年、1974 年噴火がある。この中でも 2,500 年前から西暦 871 年までの噴火によるテフラはよく追跡でき、Minami et al.<sup>40)</sup>によるラハール堆積物とも対比できた。なお、上記の他にもテフラ薄層が幾つかのトレンチで認められた。より小規模な噴火が発生していた証拠である。1974 年噴火程度の小規模な噴火では地質調査により追跡可能な厚さのテフラが残されず、地層からの解析は困難である。

鳥海火山では休止期間中に顕著な地表現象が認められない。噴火の前兆現象として、地熱異常、噴気の出現などの地表現象が数日から数カ月間継続する。水蒸気噴火もしくは熱水系由来物質が優勢なマグマ水蒸気噴火から噴火が開始し、次第にマグマの寄与が増大することがある(1801 年噴火など)。そのまま継続して収束する場合もある(1974 年噴火など)。マグマの寄与が増大した際に、多量の溶岩の流出を伴う。ごくまれに山体崩壊を伴う。VEI 2 程度の噴火では山麓まで大規模なラハールが到達する。

#### ii) 西鳥海火山 2,800 年前噴火の調査

鳥海火山は東鳥海山と西鳥海山の二つの山体からなり、最近の火山活動は主に東鳥海山で発生している。しかしながら、西鳥海山には極めて新鮮な溶岩地形が幾つか残されており、完新世の噴出物であると考えられてきた。しかしその年代は不明であった。このうち、西側斜面の猿穴火口から日本海に到達する溶岩(猿穴溶岩)は特に地形が明瞭である。令和 4 年度、猿穴溶岩の側端崖にて重機掘削を行い、下盤土壌層試料について放射性炭素年代測定を行い、溶岩の年代を決定した。掘削は側端崖南側(山形県遊佐町女鹿付近)にて二度実施した(図 29)。一回は 6 月 17 日に溶岩直下の土壌層まで掘削したものの、両者の明瞭な境界を確認できなかった。この際、トレンチ内から縄文時代早期(約 7,000 年前)の土器と牡蠣殻が出土した。牡蠣殻について山形大学高感度加速器質量分析センターにて年代測定を行った結果、 $495 \pm 20$  yrBP、暦年代 1826AD (95.4%) の江戸時代の年代が得られた。2 度目は 7 月 28 日に実施し、ブロック状溶岩の下盤の有機質土壌を採取した(図 30)。この試料についても山形大学高感度加速器質量分析センターにて年代測定を行い、 $2,795 \pm 20$  yrBP、暦年代 1011 ~ 897BC (94.9%) の結果を得た。この年代値をもって猿穴溶岩の噴出年代とした。i) の報告の中で、同一の年代を示すマグマ噴火によるテフラ層が確認されている。このテフラ層は東鳥海火山上部で追跡できるため、東鳥海山起源のテフラである。一連の噴火活動の中で、東鳥海山にて爆発的噴火が発生し、西鳥海山西側斜面上での側噴火により猿穴溶岩が流出した可能性がある。



図 29. 猿穴溶岩の地形を示す陰影地図（地理院地図を使用）。掘削地点を星印で示す。



図 30. 猿穴溶岩のブロック状溶岩と下盤土壌との境界。溶岩直下の土壌を採取。

### iii) 猿穴溶岩噴火以降の階段図

本年度の調査結果を含むこれまでの成果を基に、過去 2,800 年間の階段ダイアグラムを作成した。テフラ噴出量の推定には Bonadonna and Costa<sup>41)</sup>の方法を用いた。溶岩流については、厚さと面積を基に体積を計算した。溶岩重複部は山頂の新山付近に向かって境界を内挿し、下位溶岩の厚さを推定した。セントヘレンズ火山の地形を参考に山体崩壊時の基底面を仮定している。871CE 噴火は林ほか<sup>42)</sup>に基づき分布を決定した。2.8 ka 噴火の溶岩は猿穴溶岩のみとし、地形からその体積を算出した。先史時代の 2.5 ka、2 ka、1.8 ka、1.6 ka 噴火については、すべて馬蹄形カルデラ内に流出したとし、歴史時代噴火より地形的に古い溶岩流を地形的重なりから 4 つに分類し、それぞれ下位から 2.5 ka、2 ka、1.8 ka、1.6 ka とした。

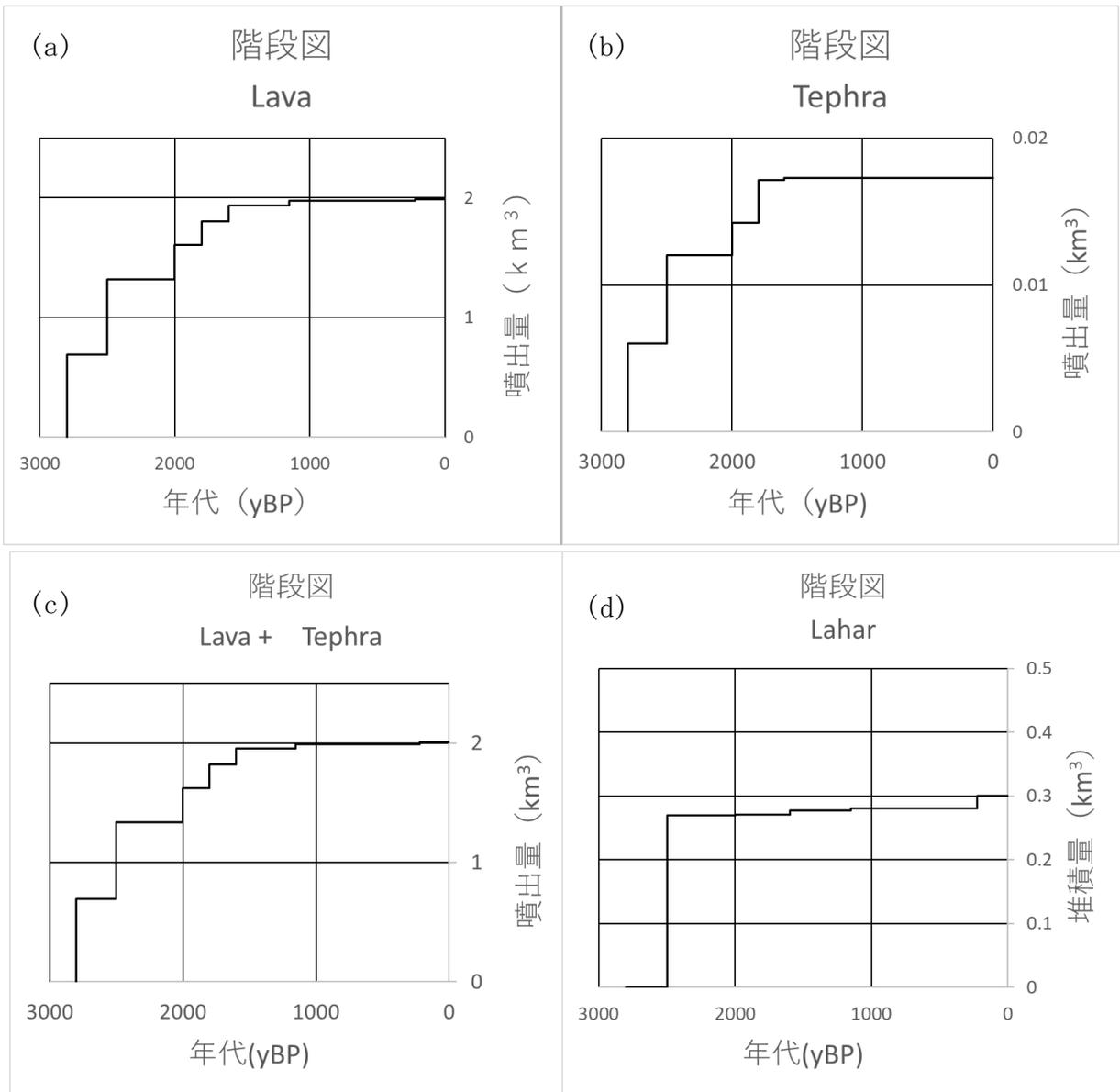


図 31. 2,800 年間の階段ダイアグラム。(a)溶岩、(b)テフラ、(c)溶岩+テフラ、(d)ラハール<sup>40)</sup>。

溶岩流の体積は  $10^{-1} \sim 10^{-2}$  km<sup>3</sup> オーダーであり、一方、テフラの体積は  $10^{-3} \sim 10^{-4}$  km<sup>3</sup> オーダーである。すなわち、溶岩流はテフラの 100 倍程度の噴出量である。鳥海山は従来から考えられている通り、溶岩流主体の火山といえる。全体の噴出量に関する階段ダイアグラムは、主に溶岩流に由来するものであり、テフラは微々たる割合である。図 31 に階段ダイアグラムを示す。図 31 (d) には Minami et al.<sup>40)</sup> によるラハールの階段図を示す。2.8 ka から 1.5 ka 頃まではほぼ一定の噴出率またはわずかに噴出率が低下しているようにみえるが、1.5 ka 以降は明瞭に噴出率が低下しているようである。この間に活動期から静穏期に遷移した可能性がある。

iv) 西鳥海カルデラ内の噴火活動履歴の解明

鳥海山の西鳥海カルデラ内噴出物は約 2 万年前より前に形成されたと考えられてきた<sup>43)44)</sup> 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再検討を進めてきた。前年度までに層序及び岩石学的特徴の時間変遷を明らかにし、本年度は西鳥海カルデラ内噴出物をもたらしたマグマ供給系の解明を行った。今年度は完新世のものであると考えられるユニットの一つである中ノ沢上部溶岩類について地形及び地質調査を行い、複数のローブに細分した。ローブ毎に全岩組成などに違いが認められる。

h) 栗駒山：完新世噴火に関わる火山熱水系の構造（秋田大学）

栗駒火山では、完新世において熱水系由来の水蒸気噴火が繰り返されている。この間に、マグマ噴火（剣岳溶岩）も発生している。本年度は、水蒸気噴火噴出物の成分分析を詳細に行い、熱水系の地下構造を推定し、完新世の水蒸気噴火との関連性を検討した。

水蒸気噴火を構成する火山灰は、変質岩、未変質の石質岩片、結晶である。未変質の火山岩片は結晶度が高く、ガラス光沢を欠くことから未変質既存溶岩の破片と考えられる。ここでは変質岩を代表的な変質鉱物種によりタイプ分けした。シリカ型、パイロフィライト型、ミョウバン石-カオリン型、セリサイト型、緑簾石型、緑泥石型、曹長石-カリ長石型に分類された。SEM-EDS を用いて成分分析を行い、火山灰の構成量比を決定した（図 32）。

シリカ型は普遍的かつ多量に含まれ、ミョウバン石-カオリン型とパイロフィライト型も普遍的に含まれる。これらは浅所に広く分布する高度粘土化変質帯に由来すると考えられる。ただしパイロフィライト帯は地表付近に分布せず、数 100 m 程度の深度に分布するのが一般的である。それ以外の変質火山灰は、パイロフィライト帯よりも深所に由来すると考えられる。高度粘土化変質帯以外の変質岩タイプの組み合わせは多様であり、セリサイト型を欠くもの、緑簾石型を欠くもの、曹長石-アルカリ長石型を欠くものなどがあり、組み合わせは複雑である。

栗駒山北斜面の電磁気学的地下構造を小林ほか<sup>45)</sup>が推定しており、浅所に幅広く、深所には南に傾斜した低比抵抗帯を見出している。熱水卓越型火山である栗駒火山の地下には熱水系が広く分布していると考えられるため、この低比抵抗帯は熱水系の構造を表している可能性が高い。そのような観点に基づき成分分析結果から地下の熱水系構造を推定した（図 33）。栗駒山の水蒸気噴火火口は広範囲に分布していることが地形から推定できることから、火口位置によって火道沿いの変質帯組み合わせが異なると考えられる。成分分析結果を満足するように推定した変質帯分布が図 33 である。なお、この構造の推定には一般的な斑岩銅鉱床における変質帯分布を考慮している。各火山灰層の分布が明確ではないことから、それぞれの噴火の噴出源の決定には至っていない。そのため、このモデルの検証には、テフラ層の給源火口の設定が必要である。

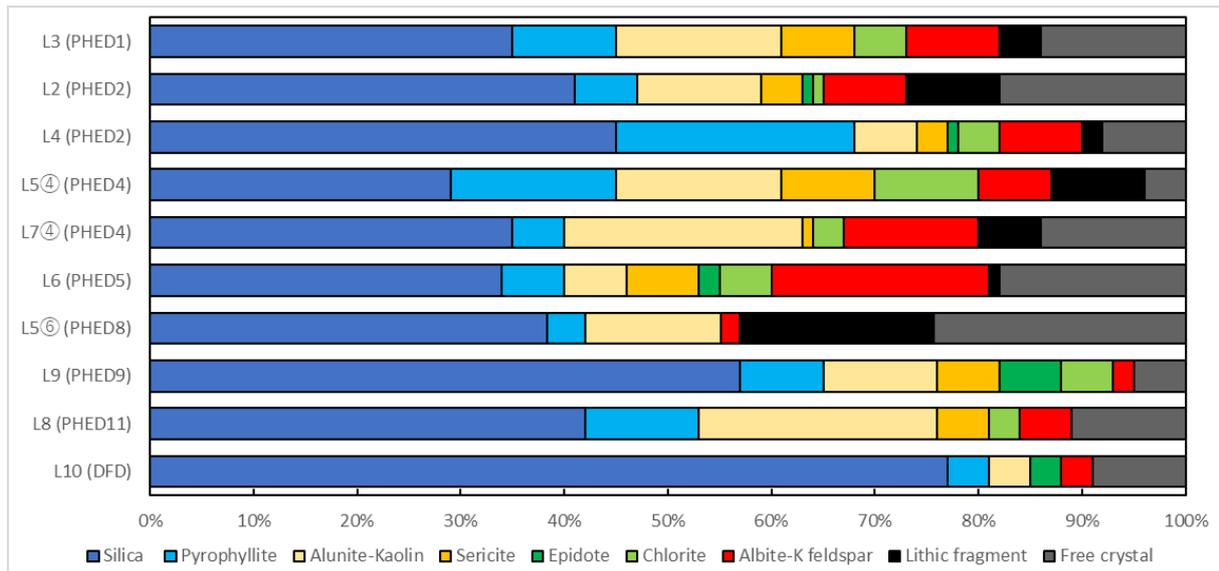


図 32. 栗駒山火山水蒸気噴火噴出物を構成する火山灰粒子の成分分析結果。

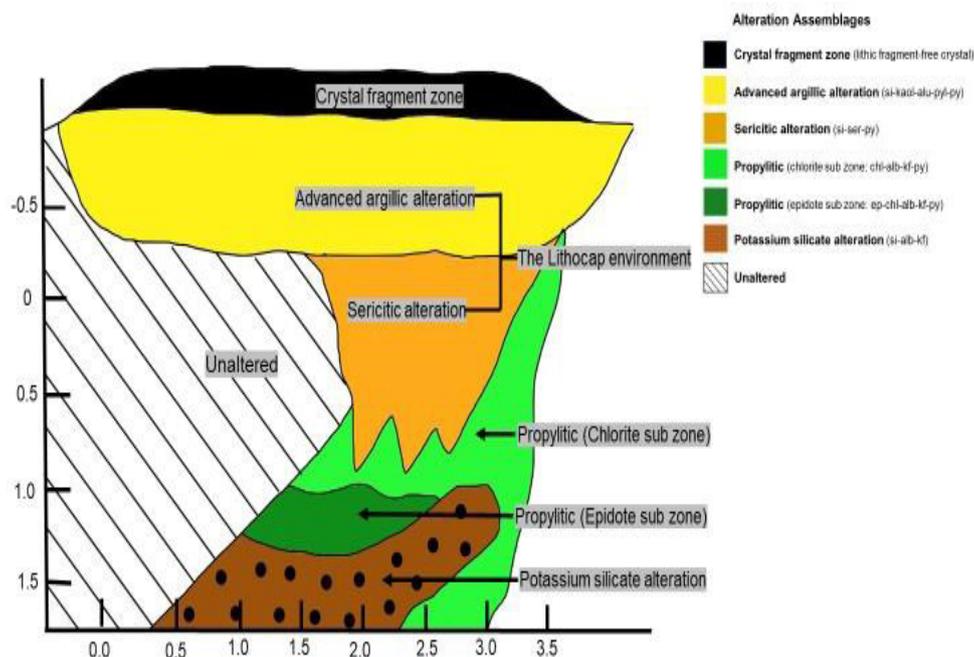


図 33. 栗駒山火山水蒸気噴火噴出物の成分分析結果から推定した熱水系の構造。

i) 蔵王山：噴火活動履歴の解明と時間-積算噴出量階段図の試作（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<sup>46)</sup>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 千年前以降に変更する。これら 4 つの活動期について実施したことを活動フェーズ毎に以下に記す。また、最新活動期全体の噴出量積算図も最後に記す。

i) 蔵王山約 3.5～1 万年前の活動フェーズ

**噴火史:** 昨年度まで行ってきたテフラ層序学的研究をまとめた。該当期間のテフラ層は 4 枚 (Za-To1～4) ある。Za-To1, 2, 4 について作成した等層厚線図を図 34 に示す。Za-To1, 2 の主分布軸は東北東である。Za-To4 の主分布軸は北北東と考えられる。等高線図を基に推定した DRE 換算の噴出量は、Za-To1～4 について各々  $0.02 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $0.27 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $0.01 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $0.03 \times 10^8 \text{ m}^3$  である。なお、各テフラ層の年代は、Za-To1～4 について先行研究<sup>47)</sup> の年代値を踏襲した。

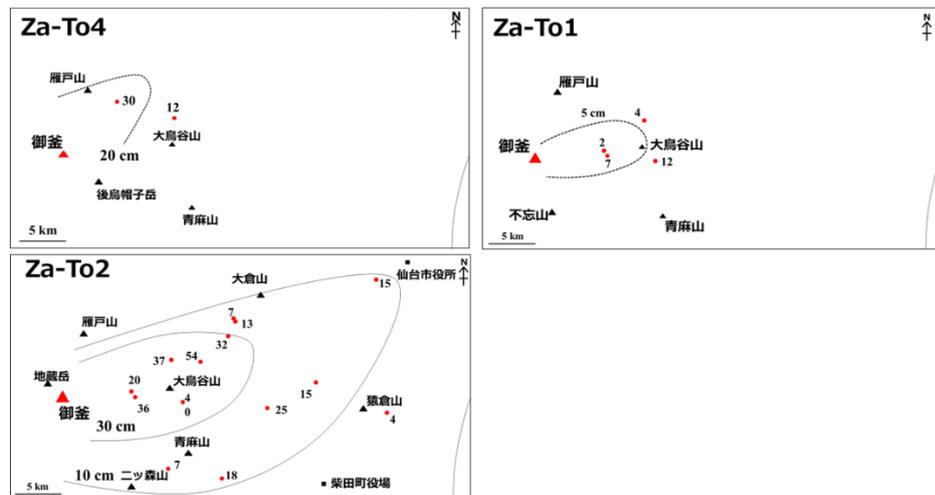


図 34. Za-To1～4 の等層厚線図。

**岩屑なだれ堆積物:** 蔵王山の山頂部には、最新期活動開始時に形成されたと考えられてきた馬の背カルデラが存在し、山体崩壊によって形成されたと考えられてきた<sup>48)</sup>。しかし、それに対応する岩屑なだれ堆積物については、その存在が指摘されていたものの研究が不十分であった<sup>49)</sup>。今回、山体崩壊堆積物によって形成されている可能性がある段丘について分布範囲全体を網羅するように調査を行った結果、この段丘は岩屑なだれ堆積物によって構成されていることが明らかとなった。段丘の分布と岩屑なだれ堆積物が認められた地点を図 35 に示す。また、その分布や礫種から馬の背カルデラの形成に伴い発生した可能性が高いことが示された。

1980 年代の先行研究<sup>50)</sup>によれば、当該段丘を構成する堆積物は礫岩と記載されていたが、その堆積物中から発見された木片の  $^{14}\text{C}$  年代値は暦年更正年代にして約 3.5 万年前という値が得られている。今回、上記木片が発見されたとされる付近の調査を隈なく行ったところ、分布している地層は岩屑なだれ堆積物であることが判明した。しかし、今回の調査では木片は発見できなかった。さらなる検証が必要であるが、現在のところ先行研究<sup>50)</sup>によって得られた  $^{14}\text{C}$  年代値を岩屑なだれの発生年代と考える。

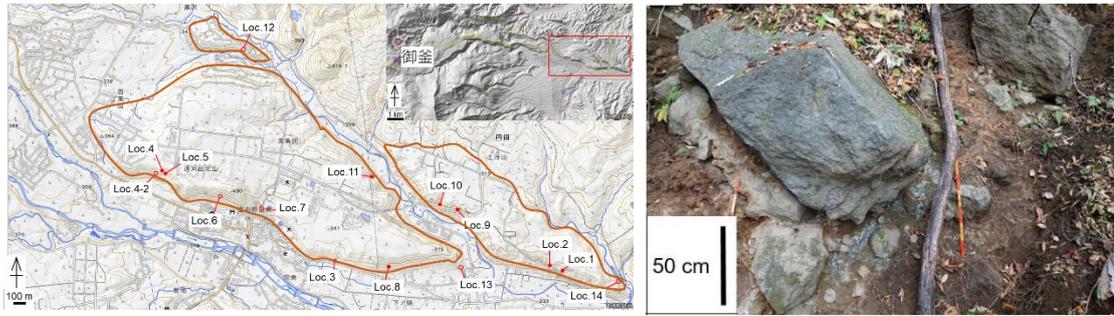


図 35. 岩屑なだれ堆積物が確認された位置図と岩屑なだれ堆積物の代表的露頭写真。

ii) 蔵王山約 9～4.5 千年前の活動フェーズ

**噴火史：**今年度は地表踏査での確認作業を進めると共に、御釜の東方約 5 km 付近でボーリング調査を行った（図 36）。その結果、山麓および山頂付近で見られるテフラ層のうち Za-To5b, 5c, 5d, 6, 7 に対比されると考えられる層が確認された。



図 36. 御釜の東方約 5 km 付近のボーリング調査の様子とコアの写真および柱状図。

これまでの結果を以下にまとめる。山麓～中腹に広く分布するものは主に 3 層である。何れもスコリア質火山灰主体のラミナの発達した層である。これに加え北部の中腹に分布する特徴的なスコリア層も再確認された。前者は Za-To6, 7, 8、後者は Za-To5 とされているものに対応する。ここではこれらの名称を踏襲する。年代は、従来報告されていた値と今回の調査で得られたものを総合すると、Za-To5, 6, 7, 8 は各々約 5.8 ka, 5.6 ka, 5.0 ka, 5～4.5 ka と考えられる。なお、Za-To6, 7 については内部に古土壌の薄層が認められ、形成にある程度の期間を要した可能性がある。また、これまでの研究では Za-To5 の下位に 5 層が認められていた。今回の調査によって、このうちの最上位層が Za-To6 の下部に対比されること、また主に北部に分布するとされてきたその他の 4 層が南部の刈田岳周辺に広く分布することが判明した。Za-To6 の下部に対比された最上位層以外は、下部は白色粘土質火山灰層であり上部は黒色スコリア質火山灰層である。下部の方が上部よりも厚い。名称は従来の研究に従い下

位から Za-To5a, 5b, 5c, 5d とする。Za-To5a 及び 5c の下位の古土壌から各々約 8.5～9 ka 及び約 6.5 ka の年代値が得られている。

iii) 蔵王山約 4.5～2.8 千年前の活動フェーズ

**噴火史：**約 3 千年前のテフラについてはこの間の調査によって 7 層からなることが判明した。代表的露頭の写真を図 37 に示す。五色岳活動前のものと考えられるため下位から Za-PGS (Zao-pre Goshikidake) a～g と呼称する。Za-PGS b 以外は粘土質白色火山灰層で、e, f は火口に近い地点ではやや砂質火山灰の様相を示し火山礫も含む。Za-PGS b は青灰色火～灰色粘土質火山灰層である。Za-PGS a 及び g 直下の古土壌から各々約 4.5 ka 及び約 2.8 ka の  $^{14}\text{C}$  年代値が得られている。図 37 には Za-PGS g の等層厚線図も示している。円形に近い形状を示している。

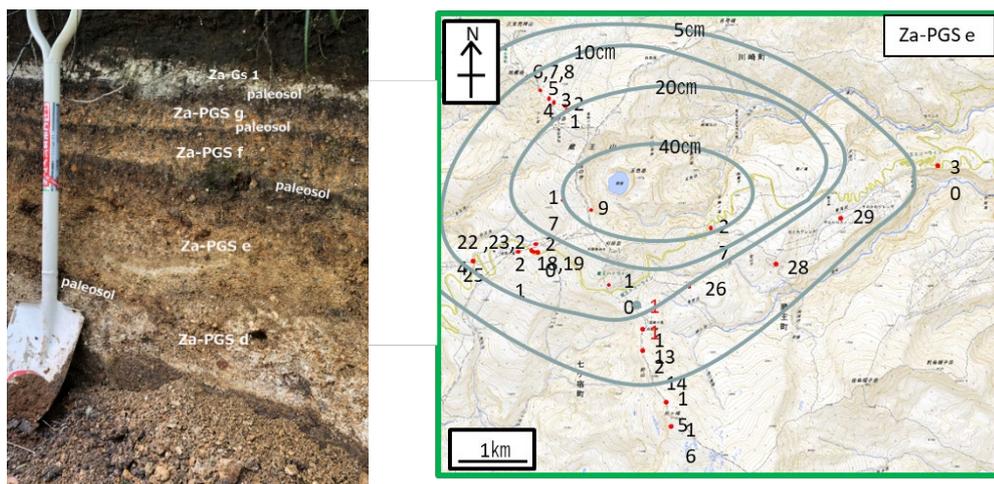


図 37. Za-PGS テフラの代表的露頭写真と Za-PGS の等層厚線図。

iv) 蔵王山約 2 千年間の活動フェーズ

**噴火史：**テフラ層の数の認定 (Za-Gs1～2, Za-0k1～7) と各テフラ層の形成時期の推定はほぼ完了した。各テフラ層の山頂近傍での等層厚線図はほぼ完成し、噴出量の推定もほぼ完了した。各テフラをもたらしした噴火の推定するために、各テフラ層を構成する単層の構成物解析、構成物のうちのスコリアの細分と特徴の解明、粘土質火山灰を基質とするテフラ層の XRD 分析を進めた。

**マグマ供給系：**Za-0k1～7 に対比される山頂近傍に分布する五色岳火砕岩類の一部のマグマ供給系の構造と噴火に至るプロセスについての研究成果が国際誌に掲載された。地下約 6 km 付近に位置する安山岩質マグマ溜りに深部由来の玄武岩質マグマが注入し噴火に至るものであるが、輝石の組成累帯構造分析を多く行い、様々な組成の帯を形成したマグマの種類を推定し、主体をなすマグマと副次的なマグマの配置や出現のタイミングなども考察した。

v) 蔵王山、最新活動期の時間－積算噴出量図

昨年度の報告で示した時間－積算噴出量図を部分的に改訂したものを図 38 に示す。約 3.5～1 万年前はマグマ噴火で特徴づけられる。休止期は長い。約 9～6 千年前はマ

グマ水蒸気噴火主体でマグマ噴火はそれに付随する。休止期はやや長い。約 6~4.5 千年前はマグマ噴火主体に戻る。休止期間はやや長い。約 4.5~2.8 千年前はマグマ水蒸気噴火主体で、休止期間はやや短い。約 2 千年前以降は、水蒸気噴火に始まりマグマ噴火に移行することが多い。休止期間短い。図 38 の青枠、赤枠で示したところは、熱水系が関与した噴火卓越時期、マグマ噴火卓越時期とみることができる。特に約 9 千年前以降は 2~3 千年置きに、両者が入れ替わっているようにも見える。また、後者の時期の方が前者の時期よりも噴出率が高いように見える。

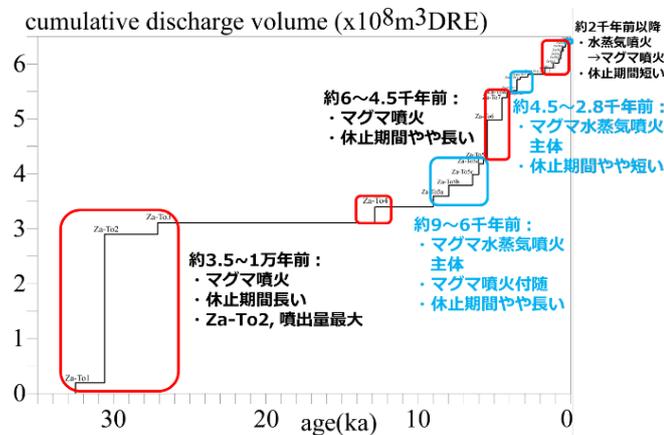


図 38. 蔵王山、最新活動期の時間－積算噴出量図。

j) 吾妻山：火口近傍ボーリング掘削およびトレンチ掘削調査による噴火履歴解明（山形大学・茨城大学・秋田大学）

i) 14 世紀以降の噴火活動履歴の再検討

先行研究<sup>51)</sup>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<sup>52)</sup>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いる。そこで、大穴ユニット噴出物の上位に焦点を当て、硫黄平周辺においてテフラ層の調査を行った。これまでに行ったトレンチ及びボーリング地点を図 39 に示す。本年度に本プロジェクトの茨城大学主担当で行われたボーリング地点の位置も示している。

**噴火史：**本研究では、1331 年の噴出物の上位に焦点を当て、硫黄平周辺にて既往研究で定義されていた 1711 年ユニットの岩相対比を行い、これを鍵層とすることによって 1331 年（鎌倉噴火）－1893 年（明治噴火）間の火山層序を構築し、1331 年以降の階段図の作成を目的としている。今年度までに行ったトレンチ調査による各個柱状図を図 40 に示す。構築した層序からは、1331-1711 年の間にマグマ水蒸気噴火によるテフラ層が 1 層、1711-1893 年の間にマグマ水蒸気噴火及びマグマ噴火（ブルカノ式）によるテフラ層が複数枚認められた。

また、本年度山形大学主担当で 1 箇所についてボーリング調査を行った。この地点は大穴火口から約 500 m 東方にあり、小火口のリムのマウンドに当たる地点である

(図 41)。ボーリングコアの柱状図を図 42 に示す。図に示すように 38 ユニットに分けられた。このうちユニット 27 に含まれる木片について、校正年代で 15 世紀末～17 世紀初頭という  $^{14}\text{C}$  年代値が得られている。今後は各ユニットについて記載を進め、トレンチ調査で観察された層との対比を進める。

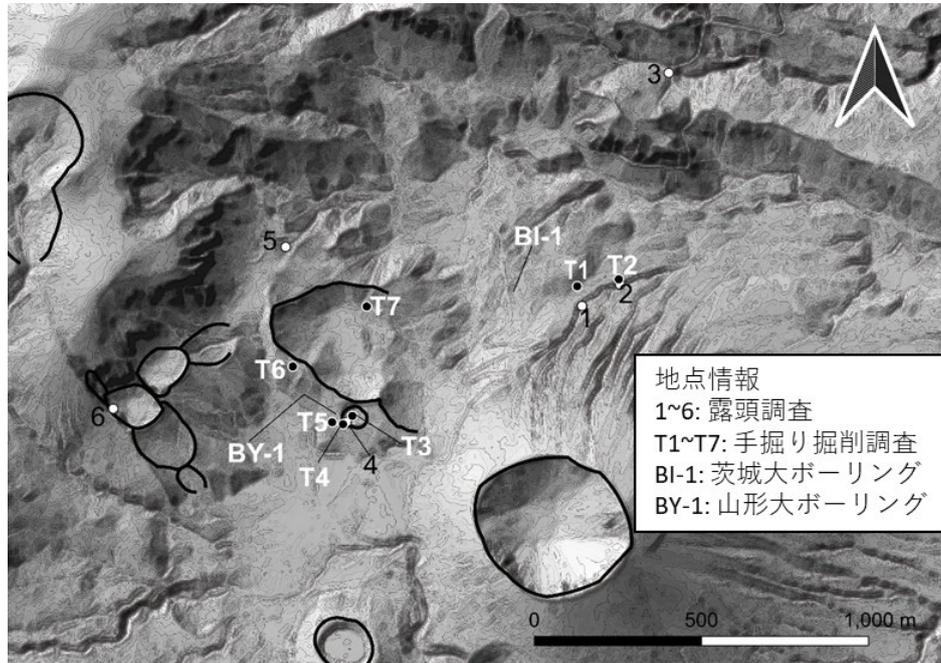


図 39. トレンチ及びボーリング調査地点。

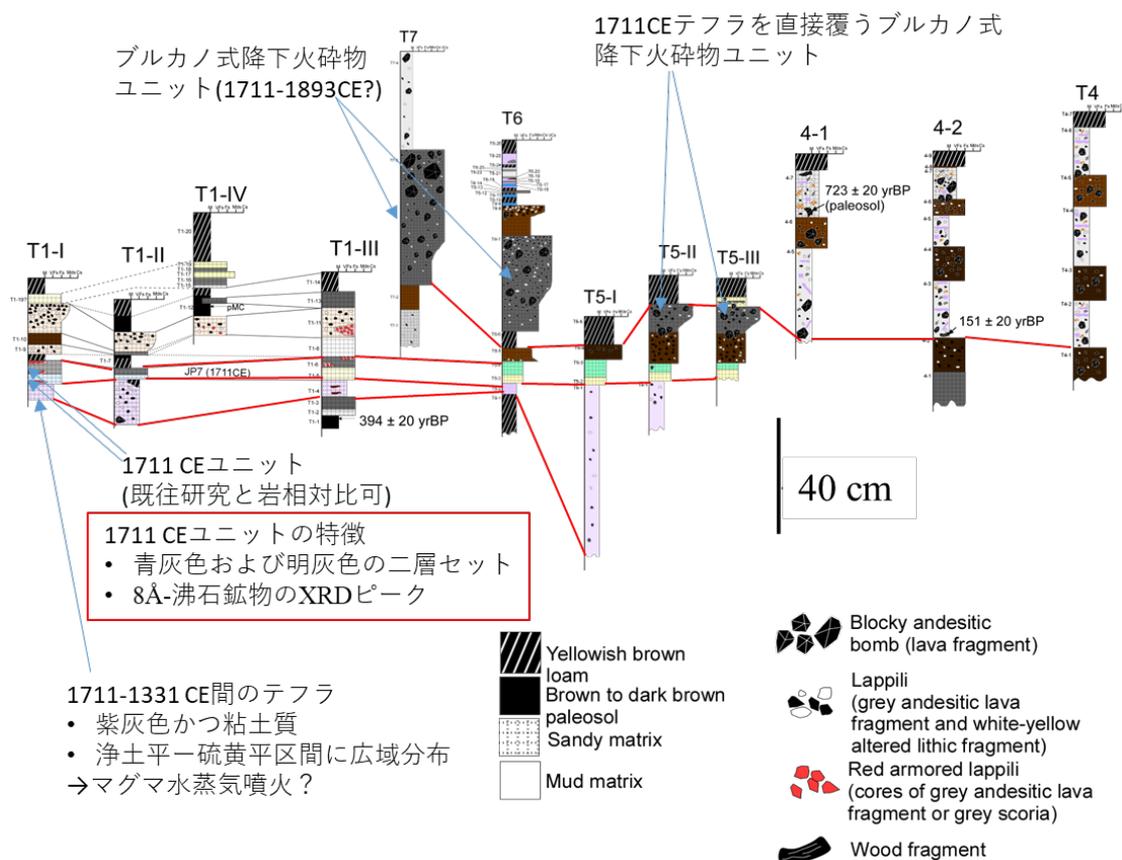


図 40. トレンチ調査による各個柱状図。

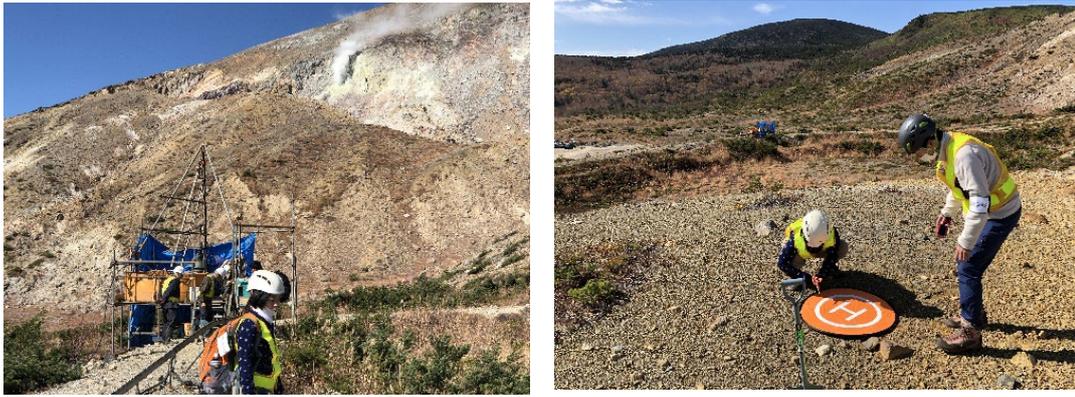


図 41. ボーリング調査のやぐら。左写真の遠方に大穴火口からの噴気が見える。右の写真は遠景で、小火口のマウンド部分にやぐらがある。

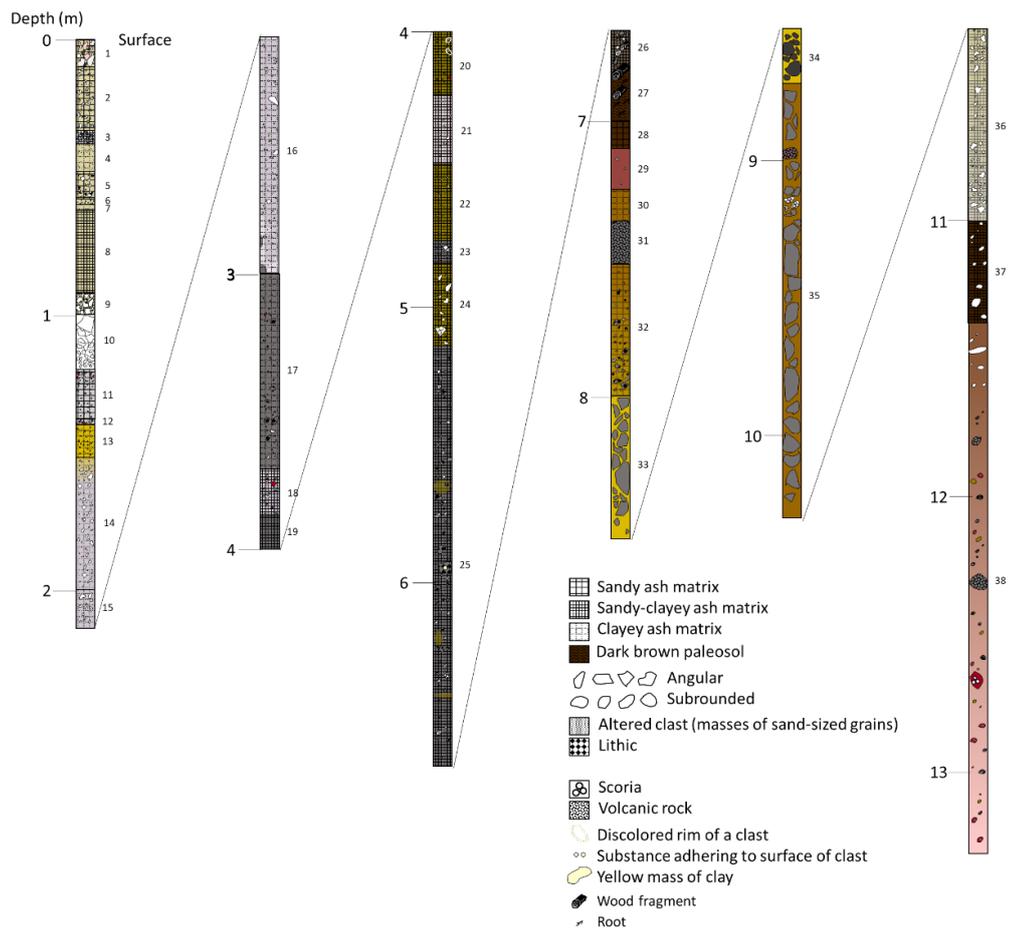


図 42. 大穴火口近傍で掘削したボーリングコアの柱状図。

#### ii) 明治噴火の投出火山岩塊の分布と噴出条件の推定

当該投出岩塊の分布を野外調査と空中写真判読から求め、その分布を再現する噴出条件を推定する研究を進めている。

### iii) 吾妻小富士の形成史の解明

吾妻火山群最新期の浄土平火山は、完新世に活動した複数の火口と火砕丘からなる<sup>51)</sup>。吾妻小富士（以下、小富士）は浄土平火山最大の火砕丘であり、底部からは東方へ流下する大量の溶岩流地形が認められる。本研究では、小富士火口由来の噴出物（小富士ユニット；Az-KF）について詳細な層序を構築し、その火砕丘形成過程を明らかにした。

地質調査、地形判読により Az-KF を、火砕丘を構成する小富士火砕岩ユニット (Az-KFp1~Az-KFp4；以下、KFp1~KFp4) と、2つの根無し溶岩である小富士溶岩 (Az-KF1-E・Az-KF1-S) に区分した。小富士火口内に露出する KFp の層相は次の通りである。KFp1 はストロンボリ式噴火に由来する溶結スコリア層、KFp2 はマグマ水蒸気噴火に由来する凝灰角礫岩および火山角礫岩、KFp3 はストロンボリ式噴火に由来する強溶結火砕岩および火砕成溶岩、KFp4 はブルカノ式噴火に由来する火山角礫岩および凝灰角礫岩である (図 43・44)。火砕丘の内部は KFp1~KFp3 までの堆積物で構成されており、KFp4 は火砕丘を被覆し、浄土平周辺にも広く分布する。また、従来、Az-KF と同時期の噴出物と考えられていた溶岩流 (浄土平溶岩；JD1, 新称) は、KFp に被覆され、全岩化学組成も異なることから、両者は噴出時期が異なると結論できる。

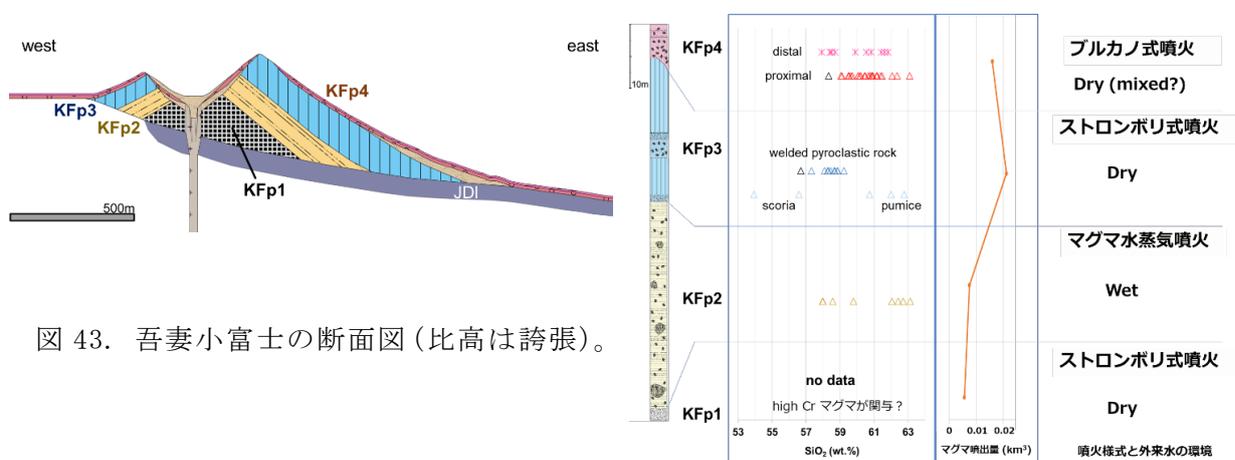


図 43. 吾妻小富士の断面図 (比高は誇張)。

図 44. 吾妻小富士噴出物の特徴と噴火様式の変遷。

KFp の全岩化学組成は、ユニットごとに異なる傾向がみられる。KFp2 は直線的なトレンドを示し、KFp3 では苦鉄質側が発散した扇形のトレンドを示す (図 45)。KFp4 では SiO<sub>2</sub>=59~62wt.% の珪長質な範囲に収束する。KFp2 は苦鉄質マグマと珪長質マグマの二端成分マグマ混合、KFp3, 4 は二種類の苦鉄質マグマと珪長質マグマの三端成分マグマ混合を示唆している。以上から、吾妻小富士の火砕丘形成噴火を考察すると次のようになる。①KFp1: ストロンボリ式噴火により初期のスコリア丘を形成。②KFp2: 外来水との反応によりマグマ水蒸気噴火に移行してタフコーンを形成し、KFp1 を被覆。この時のマグマ系は Cr に富む苦鉄質マグマと珪長質マグマの二端成分マグマ混合系。③KFp3: ストロンボリ式噴火によりスコリアを多量に噴出し、スコリア丘を大きく成長。この時 Cr に乏しい苦鉄質マグマも混合 (三端成分系)。④KFp4: マグマ系

全体に珪長質・高粘性に変遷し、ブルカノ式噴火を頻発。このときの火砕流やテフラは東遠方にも到達した。

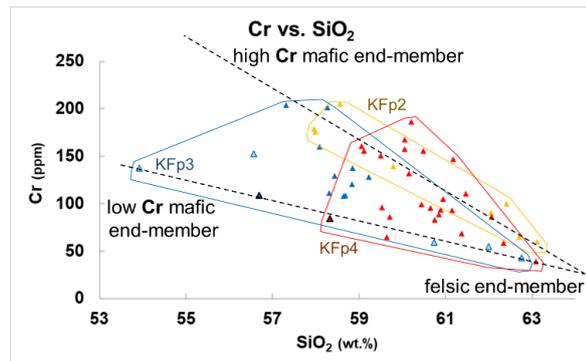


図 45. 吾妻小富士噴出物の全岩化学組成  $\text{SiO}_2$ -Cr 図。

iv) ボーリング調査およびトレンチ調査：浄土平火山の総合的階段図

浄土平から北北東方約 0.8 km 地点（図 46 赤星）で、深度 25 m のボーリング調査を行った。その結果、浄土平火山の中でも噴火史に不明点が多い硫黄平南火口（水蒸気噴火のみの活動とされておりマグマ噴火堆積物は報告されていない<sup>51)</sup>）に由来する 2 枚の溶岩流を認識できた（図 47）。浄土平で過去に掘削されたボーリングコア（地点は図 46 赤線星）とも対比を行い、炭素年代を測定した結果、硫黄平南火口の活動は約 12 ka に遡ることが分かった。また、ボーリングコアと野外調査により硫黄平南火口周辺は火砕丘で構成されることも明らかとなった。さらに、微温湯温泉（浄土平から東方約 3.4 km 地点）で重機トレンチ調査を行った結果、江戸時代（JP7）以降の噴火層序の一部が明らかとなった。

以上の結果から、浄土平火山の階段図を作成した（図 48）。浄土平溶岩の直接の年代は得られていないが火山灰編年により 10 ka~7 ka とした。先行研究<sup>51)</sup>では、浄土平溶岩を小富士ユニットに含めていたため、小富士ユニットが本火山の噴出量の 99%以上を占めていたが、両者は年代・マグマ組成などから明確に区別される。また従来、浄土平火山の活動開始は 7 ka より新しいとされていたが、硫黄平南火口の活動を考慮すると、12.6 ka から活動していたことが分かった。

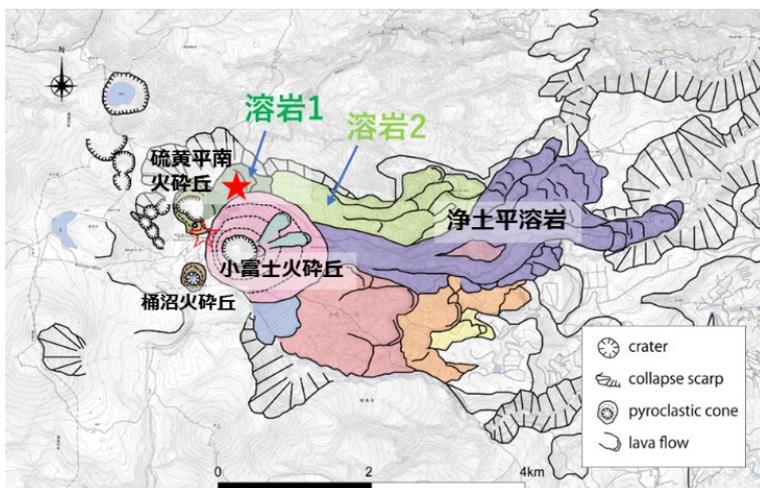


図 46. 浄土平火山の地形分類図。★は本事業で実施したボーリング掘削地点、☆は過去に実施されたボーリング掘削地点を示す。

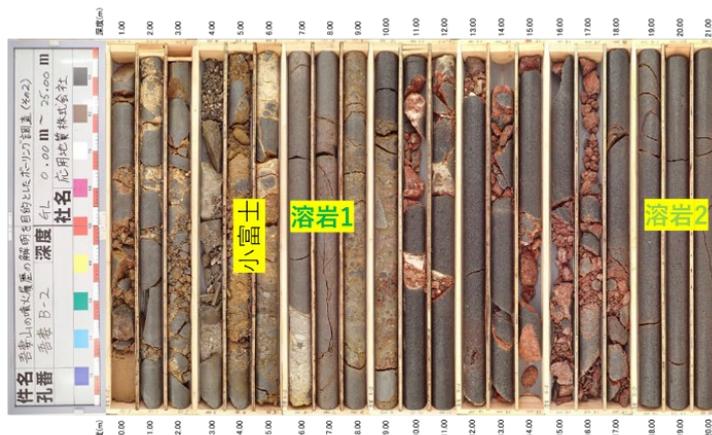


図 47. 本事業で掘削したボーリングコアの写真。

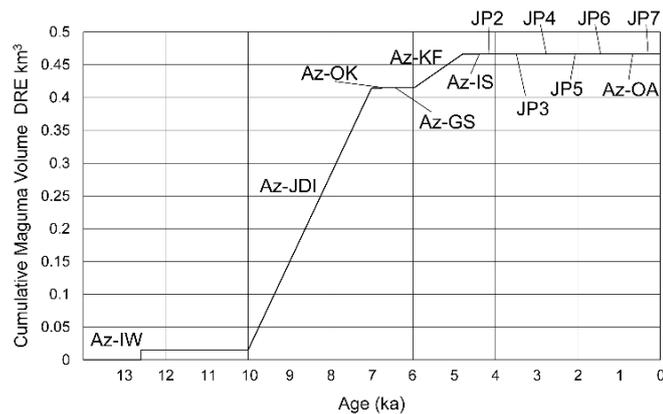


図 48. 浄土平火山の時間-積算噴出量図。

k) 那須岳：マグマ変遷からみる茶臼岳の中長期予測（茨城大学）

i) 活動を終えた二岐山との比較研究

那須火山群は噴火史の観点から、甲子旭岳、三本槍岳、南月山・朝日岳・茶臼岳からなる3つの火山と二岐山に分類でき、各火山はそれぞれ異なるマンテルダイアピルを起源とする可能性が指摘されている<sup>53)</sup>。二岐山火山の噴火史とマグマ供給系について検討し、那須火山群全体の中長期マグマ時空変遷に関係する新知見を得たので報告する。

二岐山火山は那須火山群の最北部に位置する比高約 600 m の成層火山であり、約 1.4~1.0 Ma の間に繰り返し噴出した白河火砕流堆積物群を被覆する。本火山の活動はステージ 1 とステージ 2 に大別される<sup>54)</sup>。ステージ 1（約 16~9 万年前、約 3.56 km<sup>3</sup> DRE）では、主に溶岩流噴火を繰り返した。その後のステージ 2（約 9~5 万年前の間、約 0.09 km<sup>3</sup> DRE）では、山体中央部に小規模な溶岩ドームが形成され、それに伴う火砕流も発生した<sup>54)</sup>。噴出率は約 16~9 万年前で低く、約 9~8 万年前で最大、その後低くなる特徴があり、単一のマンテルダイアピルを起源として火山活動が引き起こされた可能性がある。

本火山の全ての噴出物ユニットには苦鉄質包有物が認められる。記載岩石学的特徴および全岩化学組成に基づくと、主要な岩石タイプは 4 タイプに区分できる（F-1・F-2・M-1・M-2）。F-1 と F-2 は安山岩~デイサイト、M-1 と M-2 は玄武岩~玄武岩

質安山岩である。全岩化学組成では、ステージごとに異なる直線的な組成変化トレンドを示すことから、ステージ 1 では M-1 と F-1 が、ステージ 2 では M-2 と F-2 がそれぞれ混合したと考えられる (図 49)。

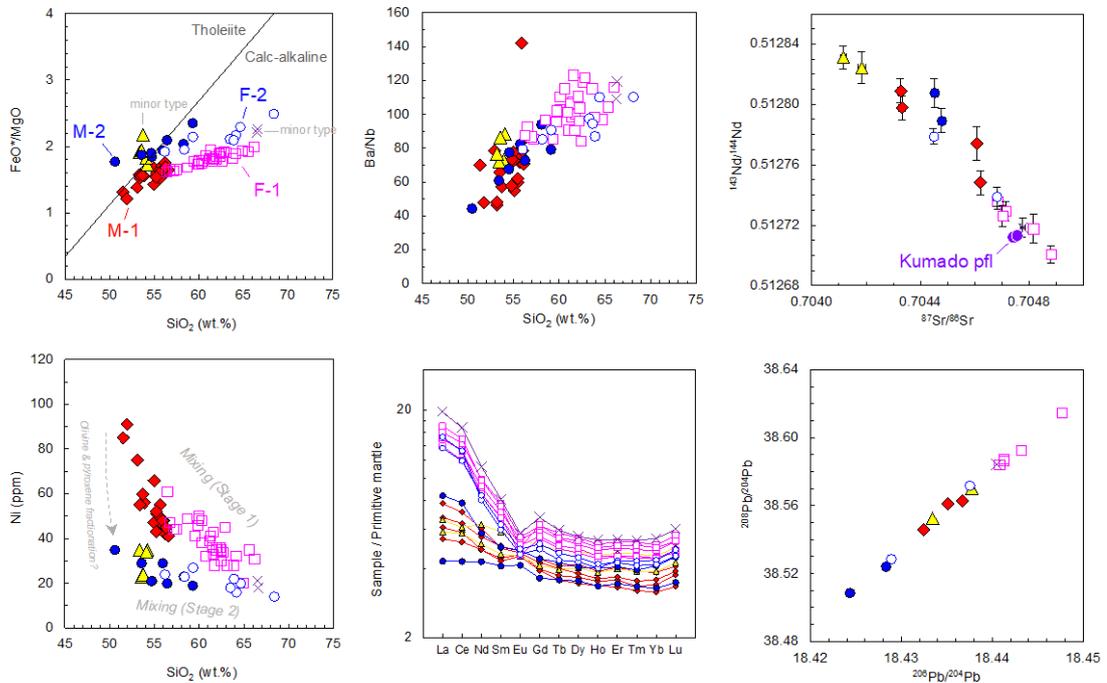


図 49. 二岐山火山噴出物の全岩化学組成。

苦鉄質マグマ (M-1・M-2) は、比較的枯渇した Sr-Nd 同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7043 \sim 0.7046$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.51275 \sim 0.51281$ ) を示し、Pb 同位体比は変質海洋地殻・堆積物・枯渇マントルを端成分とする領域内にプロットされ、高い Ba/Th、低い Zr/Sm を示す (図 49)。これらは、マントル由来の島弧玄武岩マグマの特徴<sup>55)</sup>と一致する。M-1 と M-2 の最も  $\text{SiO}_2$  に乏しい試料は、類似した液相濃集元素比 (例えば、Ba/Nb、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Rb}$ ) を示すことから、両者は共通のマントル物質から生成されたと考えられる (図 49)。また、M-1 が高い Cr・Ni 含有量 ( $\text{SiO}_2 = 50 \text{ wt.}\%$  のとき Cr = 200 ppm、Ni = 90 ppm) を示すのに対し、M-2 は低い含有量 (Cr = 30 ppm、Ni = 40 ppm) を示すため、M-2 は M-1 と共通の初生玄武岩マグマから、カンラン石・輝石をより結晶分別することで生成可能である。

珪長質マグマ (F-1・F-2) は、高い Zr/Sm、低い  $\text{K}_2\text{O}/\text{Rb}$ 、Eu/Eu\* を示すことから、角閃石・斜長石を残存固相とした下部地殻の部分溶融で説明可能である。F-1 の Sr-Nd 同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7047 \sim 0.7049$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.51270 \sim 0.51274$ ) は、白河火砕流堆積物群のひとつである隈戸火砕流<sup>56)</sup>と類似し、F-2 の Sr-Nd 同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7045 \sim 0.7047$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.51274 \sim 0.51278$ ) は、M-1 と類似する。ステージ 1 では、M-1 が下部地殻に貫入して古い地殻物質 (隈戸火砕流と同源) を溶融させて F-1 を生成し、M-1 は結晶化して下部地殻に集積岩 (角閃岩または角閃石含有斑れい岩) を形成したと考えられる。ステージ 2 では、M-1 よりも分化した苦

鉄質マグマ(M-2)がこの集積岩を再溶融することでF-2が生成されたと考えられる。各ステージでは苦鉄質・珪長質の端成分マグマが混合して噴出した。

二岐山のステージ1とステージ2の関係は、朝日岳(17~7万年前<sup>53)</sup>)と茶臼岳(1.6万年前~現在<sup>57)</sup>)の関係に類似している(図50)。Rb/Y-FeO\*/MgO図では、二岐山ステージ1からステージ2にかけてFeO\*/MgOが上昇する方向へ平行移動しており、朝日岳から茶臼岳にかけてこれと同様の変化を示す。噴出量は、二岐山ステージ1で3.6 km<sup>3</sup> DRE、ステージ2で0.1 km<sup>3</sup> DREと減少して活動が終了するが、朝日岳では6 km<sup>3</sup><sup>53)</sup>、茶臼岳で1.6 km<sup>3</sup><sup>57)</sup>と同様に減少することから、今後茶臼岳やその周辺での火山活動は減衰しつつある可能性が高い(図51)。

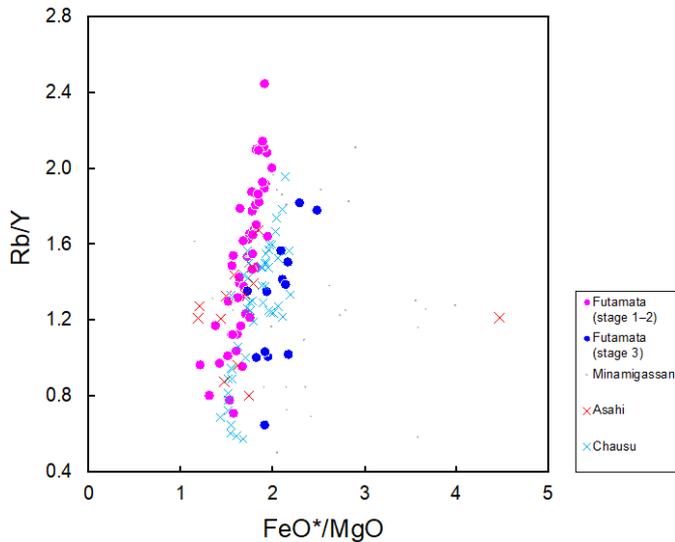


図50. 二岐山・茶臼岳火山噴出物の全岩化学組成比較図。

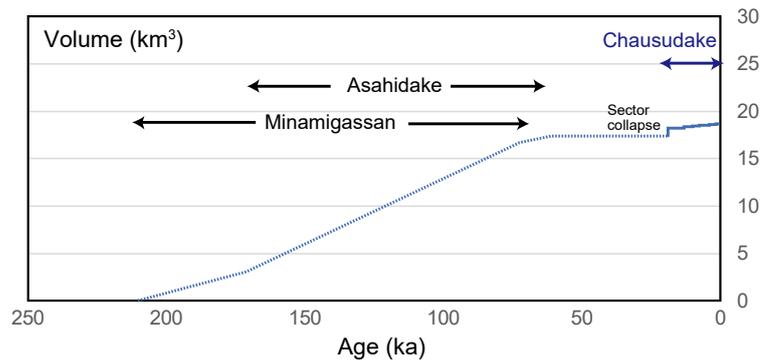


図51. 南月山・朝日岳・茶臼岳の統合階段図。

#### ii) 茶臼岳火山のマグマ変遷

茶臼岳火山のマグマ噴火ユニットは下位からCH1~CH6に区分され、噴出量(DRE)はCH1が1.2 km<sup>3</sup>と最大で、CH2~CH4が約0.1 km<sup>3</sup>、CH5とCH6が<0.05 km<sup>3</sup>と減少する<sup>57)</sup>。先行する岩石学的研究<sup>58)</sup>はCH1~CH6を供給した一連のマグマ系を珪長質端成分と苦鉄質端成分の単純な2端成分混合モデルで説明している。上記の研究により得られたデータは多くが溶岩試料によるものであるため、本研究では露頭あるいはボーリングコアで明確に層位関係を確認できるテフラ層のみに着目した。テ

フラ層を下位から上位まで連続的に記載・試料採取することで得られた岩石鉱物学的データから本火山のマグマ供給系変遷の再検討を行った。

鍵層などを用いて複数のマグマ噴火ユニットの層位関係が確認できる 3 つの露頭で CH1~CH6 のテフラ層の地質記載と試料採取を行った。その過程で CH4 と CH5 の間に新たなマグマ噴火ユニット CH5' を発見した。CH5' は、直下の土壌の放射性炭素年代から 3.1 ka と推定できる。また、次に述べるボーリングコアでも CH2~CH6 の連続試料を得ることができた。これらの試料を用いて全岩化学組成分析や斜長石・輝石・カンラン石を対象にした鉱物化学組成分析を行った。

## 1. 茶臼岳火山山頂部のボーリング調査とトレンチ調査

茶臼岳山頂部（山頂から東方約 1.4 km 地点）で、ボーリング調査を行った。掘削深度は 25 m である。噴火の休止期を示す土壌層・風化帯などをもとに噴火堆積物を区分し、指標テフラや噴火堆積物の層相・岩質の解析を行った結果、既報の CH2（約 11,000 年間）から CH6（約 600 年前）までの一連の噴出物が認識できた（図 52）。掘削終了が 11 月であったため、現在も、詳細な記載と分析を実施中である。また、ボーリングコアの 0~5 m 深は盛土であり詳細が不明であったため、同様の地点で手掘りトレンチ調査を行った。その結果、CH6 の上位にラハール堆積物（と、その上位に水蒸気噴火堆積物 3 層）を発見した。これにより、CH6 で発生したラハールの流路が山頂東麓に確定できた。歴史記録にある土石災害は、従来の説である西麓ではなく、東麓で発生したことが明らかとなった。

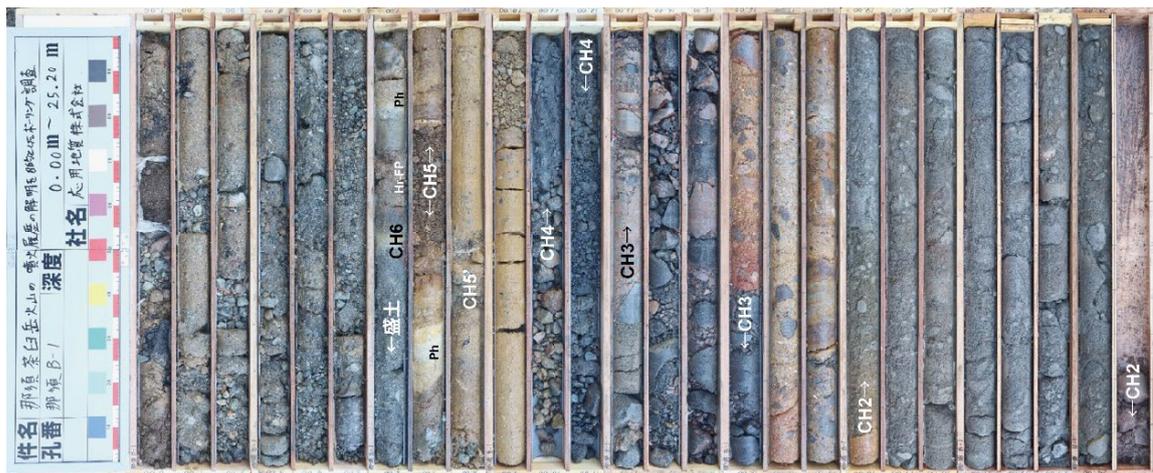


図 52. 茶臼岳ロープウェイ山麓駅駐車場のボーリングコア写真。

## 2. 全マグマユニット連続サンプルの全岩・鉱物化学組成からの考察

茶臼岳火山噴出物は共通して斜長石・直方輝石・単斜輝石・不透明鉱物を斑晶に含み、試料によっては石英やカンラン石が認められる。全岩化学組成は  $\text{SiO}_2 = 57 \sim 63$  wt% で、苦鉄質包有物は  $\text{SiO}_2 = 54.5 \sim 56.5$  wt% である。これらは不適合元素のハーカー図では一本の直線的な組成変化トレンドを示すが、適合元素では苦鉄質側に発散したトレンドを持ち、特に  $\text{MgO} \cdot \text{Cr} \cdot \text{Ni}$  のハーカー図で顕著である（図 53）。斜長石コアは幅広い An 値を持ち、化学組成と鏡下の特徴から Clear Type と Complex Type

に分けられ、それぞれ苦鉄質と珪長質端成分由来と考えられる。直方輝石及び単斜輝石は CH1~CH6 を通じてコア組成は変わらず、一部を除き共通して高 Mg# (=  $100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ ) リムを有し、珪長質端成分由来と考えられる。苦鉄質端成分由来であるカンラン石は CH2~CH4 と CH5 の一部に認められ、ユニットごとに組成が異なる特徴を持つ (図 54)。

ハーカー図に見られる苦鉄質側に開く組成変化トレンドは複数の苦鉄質端成分マグマの存在を示唆する。また苦鉄質試料は、REE パターンがユニット間で変化しないことから、すべて同源であると考えられる。MgO・Cr・Ni のハーカー図について同 SiO<sub>2</sub> 量で比較すると、CH2~CH4 に比べて CH5' ~CH6 は MgO・Cr・Ni に乏しくなる傾向が認められる。また、カンラン石斑晶は CH2~CH4 に多く含まれ、CH5' ~CH6 では減少する傾向が認められる。An 値が 85 以上のコアを持つ斜長石も CH5' 以降で減少する傾向が見られる。

これらのデータから、本火山の苦鉄質端成分はカンラン石や高 An 斜長石を分別し、次第に分化していると考えられる。本火山において噴出量の減少や、苦鉄質端成分の分化傾向が見られることから、マグマ活動が終息に向かっている可能性を指摘できる。

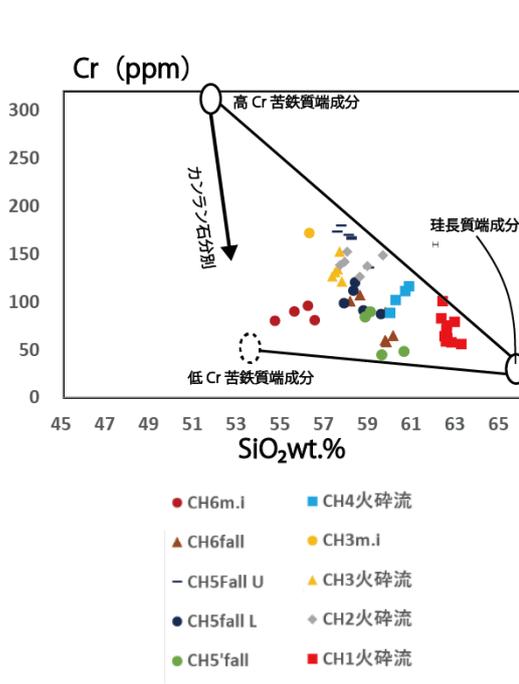


図 53. 茶臼岳噴出物の SiO<sub>2</sub>-Cr 図。

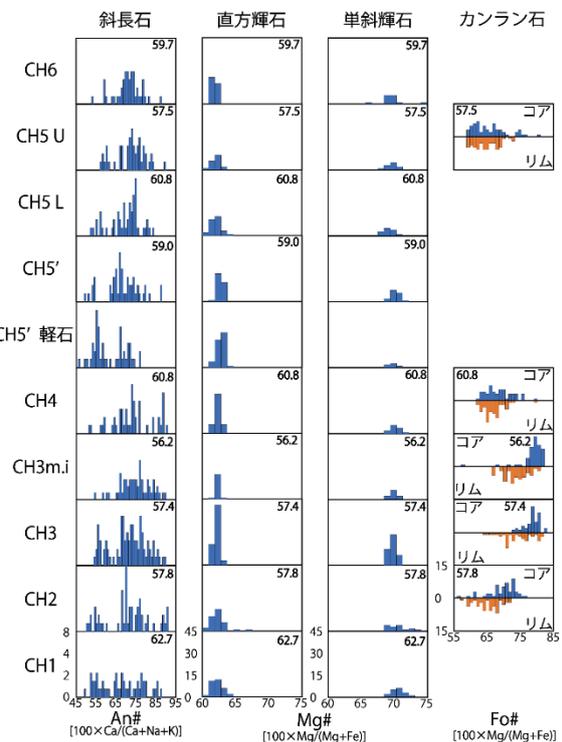


図 54. 茶臼岳噴出物の鉱物化学組成。

1) 志賀火山：地表調査、噴出物の年代測定による噴火履歴の解明 (富山大学)

1. 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。昨年度までの調査により、本火山のマグマ噴火の噴出物が、旧新の順に、現在の鉢山付近から噴出した旭山溶岩 (AL)、鉢山溶岩 (HL)、鉢山火砕堆積物 (HP) と現在の志賀山頂付近から噴出した

志賀山溶岩 1~3 (SL1~3) から構成されることが明らかになっている (図 55)。マグマ噴火終了後には水蒸気噴火が卓越する活動期に移行し、現在の志賀山山頂域に複数の爆裂火口列が形成され、その周囲に水蒸気噴火による粘土質テフラ (志賀山テフラ) が分布する (志賀山テフラの枚数は現時点では不明)。

本年度の研究では、①熱ルミネッセンス (TL) 法及び古地磁気方位と地磁気永年変化<sup>59)</sup>との対比により、AL と SL2 及び 3 の年代を決定し、②QGIS による噴出量計測を行い、積算マグマ噴出量階段ダイアグラムを作成した。

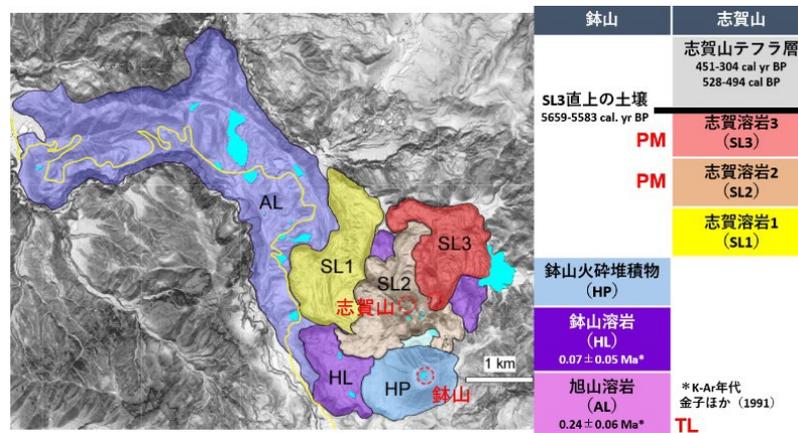


図 55. 志賀火山の地質図と噴出物ユニットの層序。地質図中の赤破線丸は、推定される噴出中心の位置を示す。TL と PM はそれぞれ TL 年代と古地磁気法による年代測定を行った噴出物ユニット。

## 2. 新たに得られた知見

本研究で得られた年代は、AL が  $27.3 \pm 1.7$  kyr (TL 法)、SL2 と SL3 の年代が 6,380-6,400 cal. yr BP である。AL から得られた年代は先行研究<sup>60)</sup>の K-Ar 年代 ( $0.24 \pm 0.06$  Ma) より若い、その上位の HL の K-Ar 年代 ( $0.07 \pm 0.05$  Ma) とは誤差の範囲で一致する。鉢山から噴出した AL、HL、HP は、化学組成が同一のマグマ混合線上に点示され、AL→HL→HP の順に規則的に全岩 SiO<sub>2</sub> 量が減少することから、約 27,000 年前に 1 回の噴火 (もしくは比較的短期間で終了した一噴火期) で順次噴出した可能性が考えられる。SL2 と SL3 から得られた年代も、SL3 直上の土壌の年代 (5,656-5,583 cal. yr BP) より古い年代を示し、層序的に矛盾はない。SL1~SL3 は、表面の微地形が極めてよく保存されていることや岩質が類似することから、いずれも約 6,400 年前に 1 回の噴火で順次噴出した可能性が高いと考えられる。

QGIS を用いて算出した噴出量 (溶岩換算体積 DRE) は、AL が 0.96 km<sup>3</sup>、HL が 0.13 km<sup>3</sup>、HP が 0.02 km<sup>3</sup>、SL1 と SL2 が 0.09 km<sup>3</sup>、SL3 が 0.04 km<sup>3</sup> である。積算マグマ噴出量階段図から見積もられた本火山の長期マグマ噴出率は 0.05~0.02 km<sup>3</sup>/kyr である (図 56)。

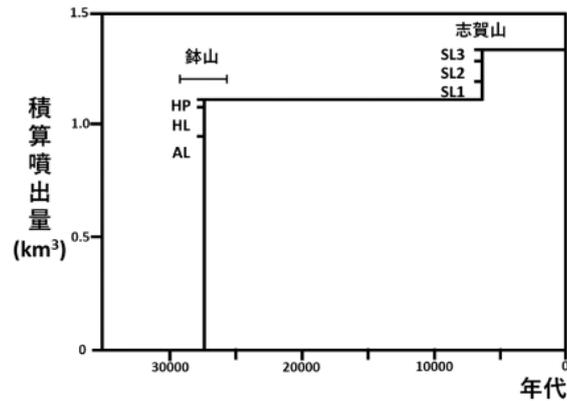


図 56. 志賀火山の積算マグマ噴出量階段図。

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

### 1. はじめに

浅間火山では、これまでの地表踏査と本プロジェクトによる掘削調査（27 か所の重機トレンチと1か所のボーリング掘削）および、降下火砕堆積物直下の土壌や火砕流堆積物中の炭化木片の放射性炭素年代測定を組み合わせた手法により浅間前掛火山の高分解能での噴火履歴復元を実施している。これに基づいて、本プロジェクト開始前より試作している階段ダイヤグラムの精度を高めたものを Journal of Disaster Research 誌上で報告した<sup>61)</sup>。

また本プロジェクト後半の目標として、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が挙げられる。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（合計の人口約20万人）の範囲は、過去3万年間の時間スケールで見ると、黒斑火山の山体崩壊による岩屑なだれと仏岩火山の大規模噴火による火砕流などの影響を受けている。これらは低頻度大規模災害ではあるものの、火山防災上、影響範囲の把握や活動の実態解明は重要である。過年度より次の①と②に注目して調査を行っているが、今年度も図57の3地点でのトレンチ掘削を行った。

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

②1.6万年前頃の仏岩火山のクライマックス噴火の噴火推移

令和4年度も新型コロナウイルス感染症第7波の影響で、調査開始時期が大幅に遅れた。しかしながら、掘削場所の選定などにおいて地元住民の方々の協力も得て、掘削調査をすすめることができた。3か所で合計約30名の地元住民の見学者に対して解説を行い、トレンチ26では自治体防災担当職員や気象庁浅間山火山防災連絡事務所の職員との意見交換も行った。また軽井沢町の浅間山火山の学校や令和4年度小諸市浅間山火山防災講演会などにおいて啓蒙および研究成果普及を行った。以下では令和4年度の重機トレンチ地点25～27について報告する。

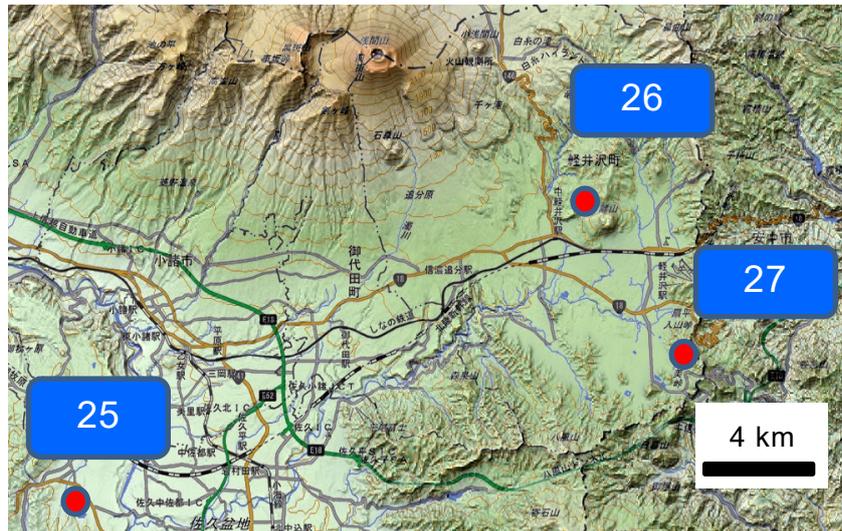


図 57. 浅間火山群南麓におけるトレンチ掘削地点。

## 2. 調査結果

**トレンチ 25(佐久市浅科地区) :** 千曲川左岸の五郎兵衛新田の平坦面と八ヶ岳北方の尾根地形が会う付近の微高地で約 5 m の掘削を行った (図 58)。濃褐色土壌の下位に、ほぼ無構造の細粒の堆積物が観察された。図 58 の上中下の 3 ケ所の粒度分析結果では、中央部は数ミリ大のレキに富むのに対し、上部と下部が 1/16 mm 未満の泥サイズの粒子が 70 % 前後と非常に細粒である。肉眼および顕微鏡下での構成粒子の観察結果では、風化の顕著な軽石、極少量の火山ガラス、角閃石、直方輝石、単斜輝石が認められた。濃褐色土壌の  $^{14}\text{C}$  年代は約 8,200 年前を示したが、構成粒子の特徴からその下位の堆積物は仏岩火山の小諸軽石流堆積物やその 2 次堆積物ではないと考えられる。小諸軽石流の分布範囲を正確に把握する上で、こうした縁辺部での調査の重要性が確認された。

**トレンチ 26(軽井沢町野鳥の森付近) :** この地点は流れ山地形が発達する地域にあるが、前掛火山の時期の黒色土壌が予想外に厚く、岩屑なだれ堆積物に到達しなかった (図 59)。前掛火山の堆積物は過年度のトレンチ 9 とほぼ同様の層序が確認された。黒色土壌の最下部付近に風化の顕著な軽石層が見られ、その直下の土壌の  $^{14}\text{C}$  年代が約 1.3 万年前を示した。その下位に火山灰互層が認められた。

**トレンチ 27(軽井沢町扇平南方) :** 浅間火山の基盤山地の西側斜面の平坦地上で約 5 m の掘削を行った (図 60)。仏岩火山の時期の降下軽石と軽石流堆積物の下に、軽石層と火山灰層の互層からなる降下火砕堆積物が見られた (図 60)。層序から仙人火山の板鼻褐色軽石 (BP) に相当するものとみられる。多数の降下単位からなり、細粒な火山灰層も挟在するが、時間間隙を示す証拠はみられないようである。板鼻褐色軽石 (BP) の露頭は一般に多くはないが、どの方角でも岩相が類似するため、異なる地点間の対比が困難である。またこれまでの前掛火山の調査と異なり、黒色土壌が見られないため年代測定ができず、一回の噴火の認識が困難であるという問題点を再認識した。

### 3. 今後の課題

前年度に引き続き令和4年度も浅間前掛火山の南東麓～南西麓での地質調査をすすめた。トレンチ掘削以外では南麓の御代田町塩野付近から佐久平にかけて地質調査を行い、主に岩相記載をすすめた。小諸第1軽石流堆積物と小諸第2軽石流堆積物の境界部が認められる露頭は非常に少なく、個々の地点では無構造の厚い堆積物であり、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。堆積物中の炭化木片と、境界部の土壌試料の放射性炭素年代測定値を蓄積している段階であるが、今年度の掘削では試料が得られなかった。対象の規模が大きく、広範囲に分布することから、さらなるデータの蓄積が必要である。今年度は、これまでの露頭記載データを模式的な柱状図にして地図上に配置し、方角別に確認された堆積物の種類と年代の検討を行ったところ、不明瞭ながら方角別の層序の傾向がみえてきたため、次年度は層序の予想をしながら調査を継続していく予定である。



図 58. トレンチ 25 の掘削断面。



図 59. トレンチ 26 の掘削断面。



図 60. トレンチ 27 の掘削面と下部の拡大（右）。

n) 伊豆大島:伊豆大島の噴火事象系統樹作成のための噴火履歴・噴火推移履歴調査(東京大学地震研究所・産業技術総合研究所)

i) 伊豆大島の噴火履歴・噴火推移に関する研究

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粒子物性・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。伊豆大島の山頂からの大規模噴火の代表である安永噴火 (Y1) 主噴火期は、堆積物の保存が良いこと、古記録との対応が可能なことなどから伊豆大島の大規模噴火の推移やマグマ供給系を理解する上で鍵となる噴火である。これまでの研究により、火砕堆積物については Unit A、B、C の順に噴出し、Unit C ほど爆発的でマグマ噴出率が高い可能性があることがわかった。同時に全岩化学組成が系統的に変化し、Unit A から C、さらには火山灰期にかけて斜長石斑晶 (P1) 量が増加することも明らかとなった。時系列で整理すると Unit C は Unit A を含む長い活動の後に急激に引き起こされた活動であり、複数のマグマ溜りから噴火が起きたと考えると噴出物の観察事実を説明しやすい。伊豆大

島では山頂からの大規模噴火時には、はじめは穏やかだった活動が急に激しくなる可能性があり、噴火推移を整理する上ではこの点を考慮する必要がある。Y1 噴火について新たに構築した噴火推移に関する論文は国際誌にて査読中である。

一方、伊豆大島の小中規模あるいは大規模噴火を通して認められる噴出量や P1 量の変化とそれらの相関を単一のマグマ溜まりで説明することは簡単ではない。むしろ 1 回の大規模噴火や中小規模噴火の周期の中で、P1 に富むマグマが P1 に乏しいマグマにしだいに加わるプロセスを考えた方がさまざまな観察事実を説明しやすい。大規模噴火ではこのようなプロセスが短時間のうちに進み爆発的現象に至るのに対し、中規模から小規模噴火への推移ではこのプロセスが数 10 年スケールのゆっくりとした時間スケールで進行していると考えられる。このことは小規模噴火ではマグマの上昇速度が遅い、あるいは停滞時間が長いため脱ガスが進み、その結果噴火規模が小さく（強度が弱く）なるという解釈ができる。

伊豆大島に限定せず、苦鉄質マグマによる比較的規模の大きな活動では噴火様式が急変する事例がある<sup>62)63)</sup>。伊豆大島では Y1 のように年単位の断続（継続）的かつやや弱い活動の後にそれまでとは異なるマグマによる高噴出率の爆発的活動が続くという推移が特徴的である。Y1 や他の例をもとにすると、継続性のある噴火の活動期は大きく 3 つに分けられ、図 61 のように噴火推移を整理することができる。噴火様式の急変の原因として、芋づる式のマグマ供給系の構造（少なくとも 2 つ以上のマグマ溜まりが存在する構造）が関係している可能性が挙げられる。これらの知見と従来の伊豆大島の噴火シナリオ<sup>64)</sup>をもとに、山頂噴火（とくに Y1 噴火と 20 世紀小中規模噴火）における噴火推移パターンを考慮した改訂版噴火シナリオ（図 62）を提案した<sup>65)</sup>。2022 年 10 月に開催された伊豆大島連携研究集会では、改訂版噴火シナリオについての議論を行い、問題点の洗い出しや今後進めるべき研究の方向性について整理した（図 63）。

### 玄武岩質大規模噴火の推移パターン

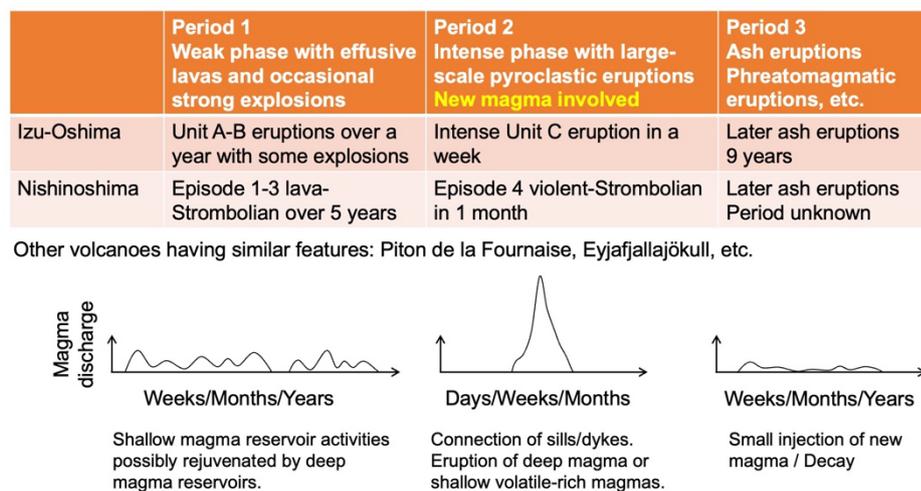


図 61. 伊豆大島 Y1 噴火を代表とする玄武岩質大規模噴火のパターンの整理。

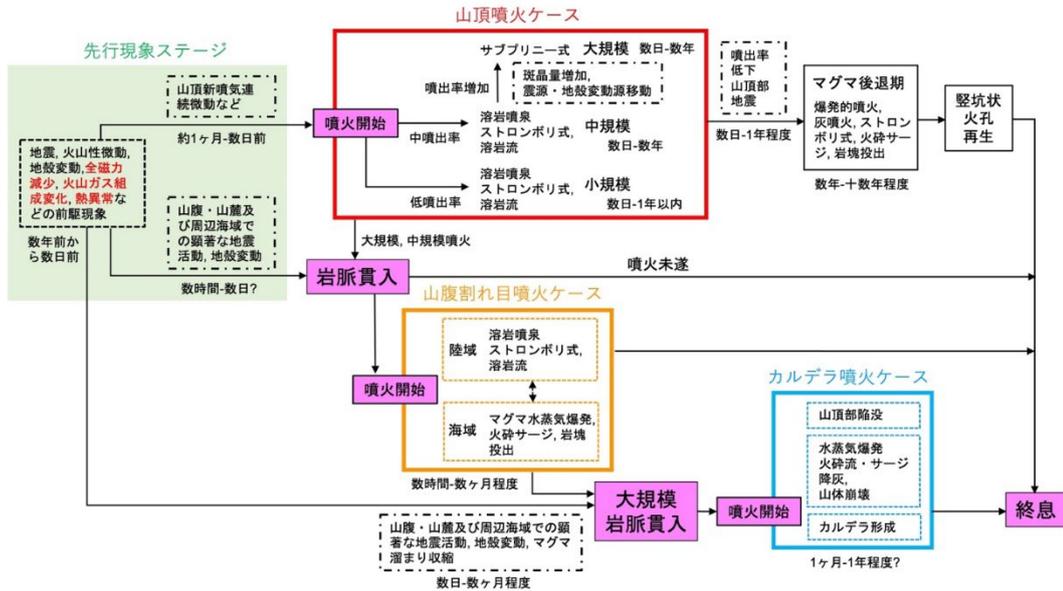


図 62. 伊豆大島噴火シナリオ改訂版。山頂噴火ケースを噴出率により再整理している。

論点:

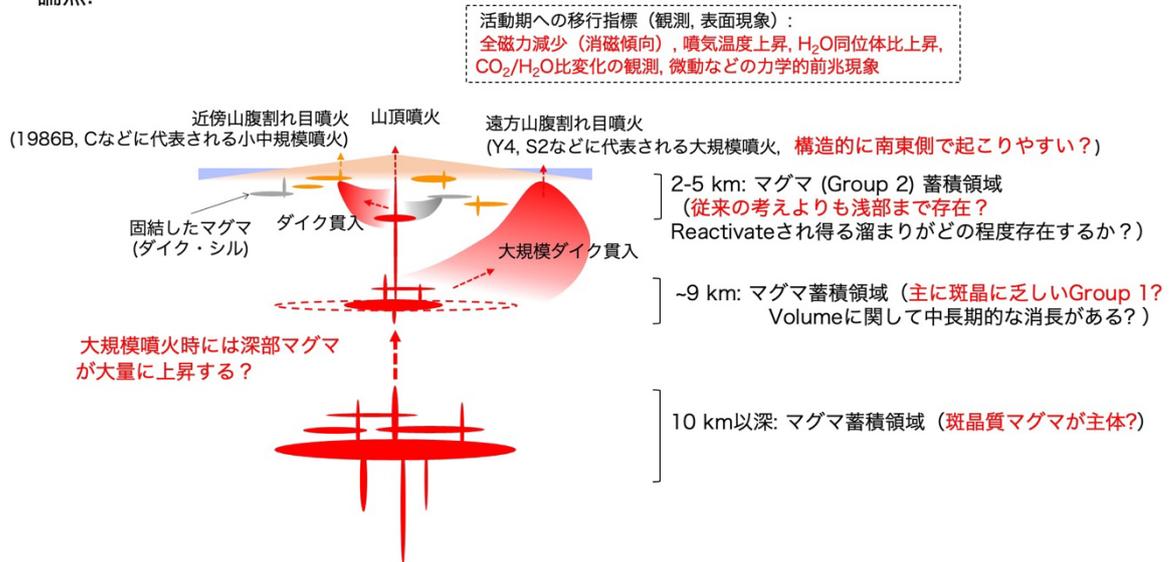


図 63. 伊豆大島連携研究集会における噴火シナリオに対する論点の整理と、これまでの調査・分析・観測研究にもとづく伊豆大島のマグマ供給系の描像。

ii) 沿岸域探査および地表踏査に基づく噴火履歴調査

1. 目的及び調査項目

伊豆大島火山は、伊豆諸島最北部、東京の南南西約 100 km に位置する火山であり、中央部に標高 764 m の三原山を擁する。過去数多くの噴火記録が残され、火山災害も繰り返されて来ており、1986 年 11 月の噴火では全島民避難という事態にいたった。伊豆大島火山では、これまでその火山活動史や岩石学的特徴に関する多くの研究が行われてきた。本調査では、伊豆大島沿岸海底部と海岸域を中心に地形、地質、火山

噴出物調査を行うことを計画している。それは、島嶼部では、海岸、沿岸域に生活や経済的基盤が存在するため、この地域での火山活動履歴の把握は重要と考えるためである。このため、1)沿岸域の火山噴出物の分布と給源の特定、2)沿岸域における火山、噴火活動の頻度と様式の把握、を行い、海底部分の火山体および噴出物の分布、体積等を明らかにし、沿岸海底部分の火山活動評価を行う。これを通じて陸上、海底部分を合わせた伊豆大島火山全体の噴火活動履歴の把握と、特に側火山に注目した伊豆大島火山のマグマ供給系の理解を目指す。

今年度は、昨年度までの精密海底地形調査及び反射法音波探査に続き、小型 ROV による海底観察及び海底試料採取のテストを行った。調査地点を図 64 に示す。本調査は、海底に分布する火山噴出物や露頭、特徴的な地形の観察を行うことで、過年度に得た海底地形データを用いた地形判読結果や、浅部地殻構造探査の解釈を検証し、信頼度を高めることを最大の目的とした。さらに、海底部の火山活動時期やマグマの特徴の解明と、海底に分布する噴出物と陸上沿岸域の噴出物の対比や連続性の検証を行う目的で、噴出物採取のテストを行った。

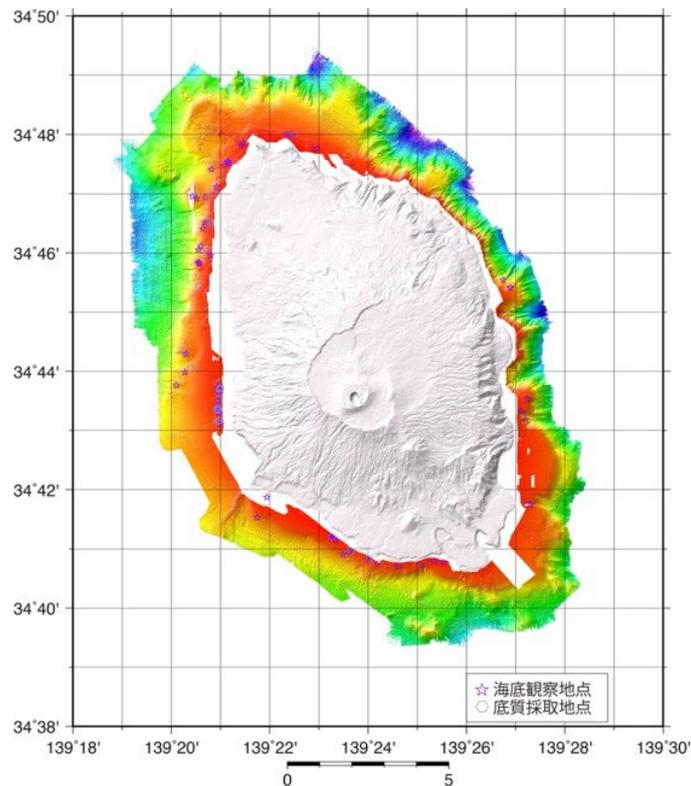


図 64. 伊豆大島沿岸海底部での海底地質調査実施点。

## 2. 沿岸域の小型 ROV による海底調査

本調査には、Blue Robotics 社の BlueROV2 を使用した (図 65:産総研所有)。本 ROV は、水深 300 m までの耐圧性能を有するが、現状保有しているテザーケーブル長が 150 m であるため、概ね水深 100 m までの海底を調査対象とした (図 64)。



図 65. 今年度調査に使用した機材。左：海底観察に使用した ROV。右：試料採取のテストに使用したスミスマッキンタイア式採泥器。

図 66 に示すのは伊豆大島北西部での取得データの例である。北西沿岸部では地形観測から側火山とみられる火山体や断層とみられる多数の北西―南東方向の崖が発見された。このため、おもに側火山の火山噴出物や、側火山を構成する火山体の一部が露出している可能性のある地点等で調査を実施した。

約 2,300 年前に活動したとみられる側火山群である三峰の沖合には、海底に流下したと考えられる溶岩流が地形調査により発見された。その溶岩流の水深約 80 m の部分で観察を行ったところ、枕状溶岩とみられる露頭を確認した（図 66）。堆積物の被覆はなく、三峰の噴出年代と調和的と考える。

一方、三峰と赤髯側火山の間の地域の沿岸海底部では、縄状の表面形態を示す溶岩流を確認した。この溶岩流については給源は特定できていないが、当地域の海岸部に露出する同様の溶岩流について、 $^{14}\text{C}$  年代からの制約により 2,200–2,300 年前の年代が得られていることから、この縄状溶岩流についても同様の時期に流下した溶岩流である可能性が高いと考えられる。

さらに赤髯沖の海底谷付近で行った調査では、図 66 に示すような成層した堆積物の露頭を確認した。この地域では、昨年度の浅部地殻構造探査により、連続性が悪いものの一部成層構造がみられる層が認識されており、粗粒な噴出物あるいはそれらを起源とする堆積物からなる可能性があるとしていたが、それに相当する可能性が高い。古い側火山あるいは伊豆大島本体を構成する古い山体の一部の可能性もある。

今後取得映像を地形判読や構造探査データの解釈にフィードバックすることで、沿岸海底部の火山噴出物の分布を解明、地質図等の形で公表する予定である。

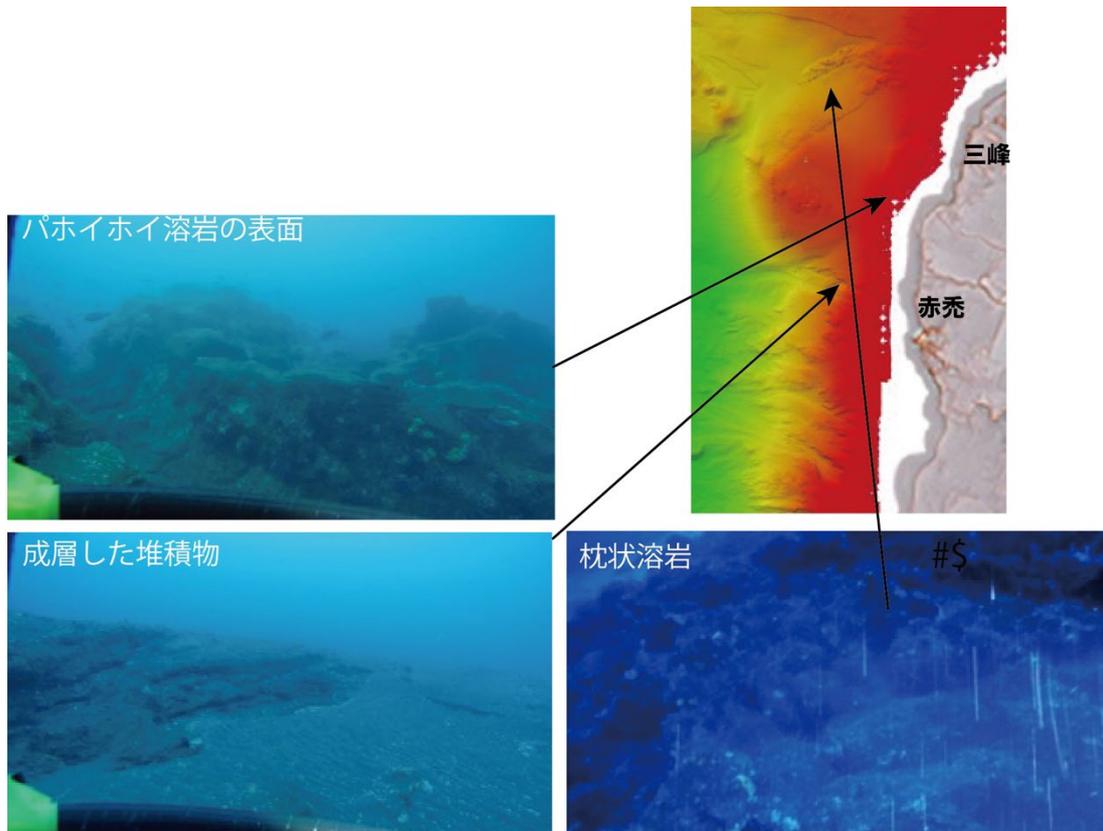


図 66. 伊豆大島北西沿岸部での海底映像の例（これらはリアルタイムの映像を保存後、再生時キャプチャーしたものである）。異なる形状の溶岩流や古い火山体を構成している可能性のある成層した堆積物を確認した。

### 3. 沿岸域海底試料採取の試み

海底観察結果をより信頼度の高いものとするためには、実際試料を採取することが必要である。また昨年度報告した、伊豆大島火山噴出物の微量元素組成の系統的時間変化を利用した噴出物の年代推定を行う上でも、直接噴出物を採取、分析できることが望ましい。しかし、ウインチ等重量機材を運用するための設備がない小型漁船で調査を行う沿岸域調査の場合、岩石採取は困難である。そこで本研究では、(1) 小型 ROV を用いた試料回収、(2) 採泥器を用いた試料回収の 2 種類の方法を試み、一部で堆積物、岩石試料の採取に成功した。

#### 3-1. 小型 ROV を用いた試料回収

小型 ROV BlueROV2 による試料回収テストでは、ROV の前面に試料採取用のネットを装着して海底面上の岩石や砂質試料の採取を試みた (図 67)。海底観察時に前面を海底面に着底させ、前進することで海底上の浮石や砂を採取するものである。海底面に少しでも平坦な部分が存在すれば、この方法で転石を回収することはある程度可能である (図 67 右)。現状大きな試料は回収できていないが、見ながら試料採取できる点で次に述べる採泥器より優れている。本 ROV に試料をつかむためのマニピュレータを装着することも可能ではあるが、極めて高価であるため実現していない。

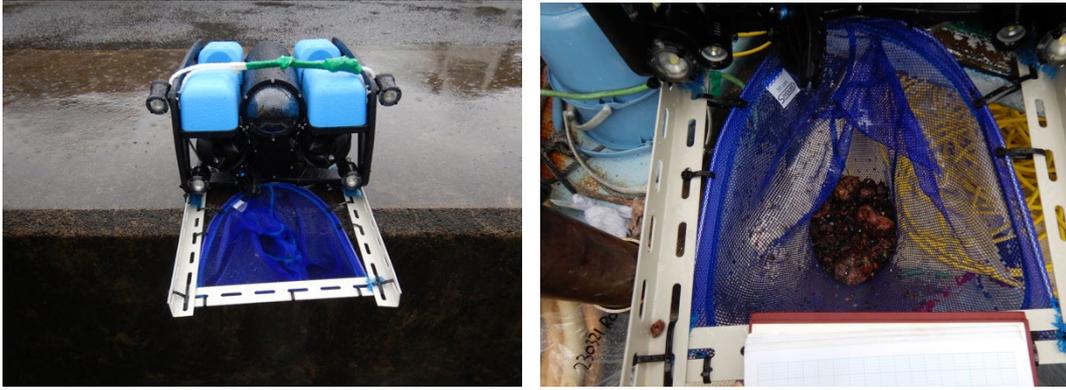


図 67. 小型 ROV での試料採取。左：試料採取用にネットを取り付けた様子。右：野増西方海底で試料採取に成功した様子。3-4 cm 程度の岩石を採取した。

### 3-2. 採泥器による試料回収

採泥器は砂泥等堆積物を採取するための道具であるが、しばしば礫や岩片も回収されるため、伊豆大島沿岸域でも岩石及び降下火砕物等の回収を目的として使用した（図 68）。船上からロープを使用して海底まで採泥器を下ろし、海底面での作動を確認したのち回収した。多くの地点で黒色砂、スコリア、玄武岩片の採取に成功した（図 68）。ROV に比べ、1 地点で採取できる試料の量は多めであり、適切な地点を選定すれば、噴出物層序を保持した試料を採取できる可能性も十分ある。ROV と使用目的を分けて活用することができる装置と考えられる。



図 68. 採泥器での試料採取。左：採泥器に砂質堆積物と岩片が入った様子。右：堆積物とともに採取された岩石。

### 4. 陸上噴出物調査による伊豆大島噴火年代の高精度化

これまで年代値が少なく、また外来火山灰との層序に問題があった伊豆大島新期大島層群 N 期噴出物について、伊豆大島ならびに新島において地質調査を行い、令和 4 年度は N3 期噴出物について放射性炭素年代測定を行った。N3 期噴出物は下位から降下スコリア（側噴火）・薄い土壌・黒色スコリア質火山灰・爆発角礫岩（側噴火）・暗灰色火山灰・白色流紋岩質火山灰（神津島 838 年天上山噴火火山灰）・土壌からなり、2 回の活動期に分けられる。波浮港火口を形成した側噴火は N3 期の後期、2 回目

の活動期に発生している。N3 期最下位降下スコリアの直下土壌及び同土壌中炭化木片の年代は 7 世紀から 8 世紀の年代を示し、838 年とされる神津島天上山噴火火山灰の層序と整合的な年代値が得られた。令和 3 年度に実施した伊豆大島 N1 期及び新島向山噴火の放射性炭素年代値と合わせ、層序と年代値は整合的であった。これまで西暦 886 年とされてきた新島向山噴火の年代は再検討する必要がある。

### 新期大島層群テフラ

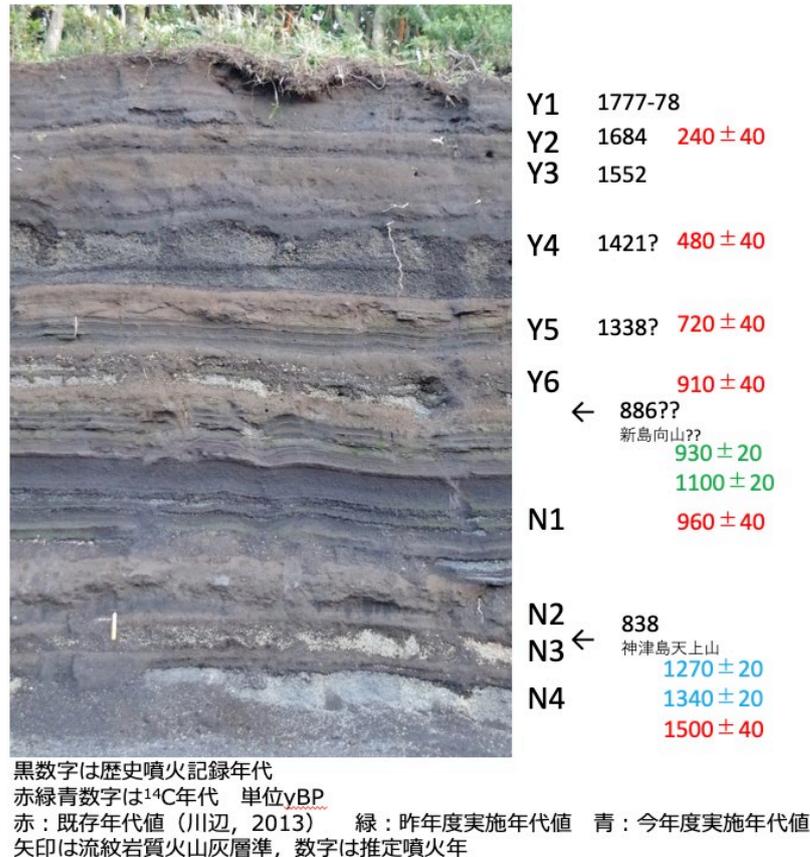


図 69. 新期大島層群テフラについて得られた新たな <sup>14</sup>C 年代。

#### 5. まとめ

- ・伊豆大島沿岸域の海底観察および試料採取テストを実施した。
- ・その結果、溶岩流等火山噴出物の産状や、成層した堆積物の露頭等の観察に成功した。
- ・過年度に取得した精密海底地形図や浅部地殻構造探査結果の解釈の確度を高める地質情報の取得に成功した。
- ・沿岸海底部の火山噴出物試料の採取方法について、検討、テストを実施した。その結果、ROVによる観察しながらの試料採取や、採泥器による岩石、堆積物採取にある程度目処をつけることができた。
- ・新期大島層群について N1 及び N3 期について層序に調和的な <sup>14</sup>C 年代が得られた。N3 期の 2 つの活動ステージについて年代の制約を得ることができた。

o) 三宅島：八丁平噴火（カルデラ形成噴火）の層序と年代（茨城大学）

三宅島火山 2000 年噴火では山頂に径 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<sup>66)</sup>。一方、約 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これと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 万年間で最大と考えられている<sup>67)68)</sup>。しかし、その噴火推移やカルデラ形成過程は十分検討されてない。本研究では、八丁平噴火堆積物に対比される新たな露頭を記載し、層序・年代・カルデラ形成のタイミングについて新知見を得た。

島内に広く分布する複数の鍵層<sup>67)68)</sup>を利用して、複数地点において八丁平噴火堆積物を記載し、その年代値のコンパイルと新たな炭素年代測定を行った。その結果、従来、八丁平噴火とされていた堆積物は、約 3,000 年前から 2,300 年前の幅を持つことが明らかとなった（図 70）。本研究で重点的に記載した角屋敷沢の露頭（地点 A）では、一連の噴出物であるスパターと成層した降下スコリアを直接覆って、変質岩片に富むスコリア質火山礫凝灰岩（スコリア流堆積物）が認められ、その基底部に含まれる炭化木片から約 2,300 年前の年代を得た。さらにこのスコリア流堆積物上部には石質岩片濃集層が認められ、カルデラ形成のタイミングを示唆する（図 71）。八丁平カルデラの形成は、従来考えられていた（2.8~2.7 ka）よりも若く 2.3 ka の可能性が指摘できる。

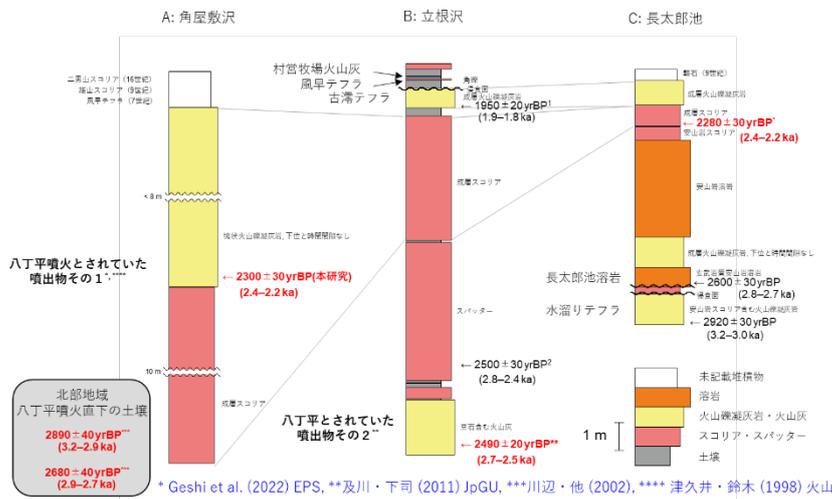


図 70. 八丁平噴火とされていた堆積物の層序（柱状図）と年代。

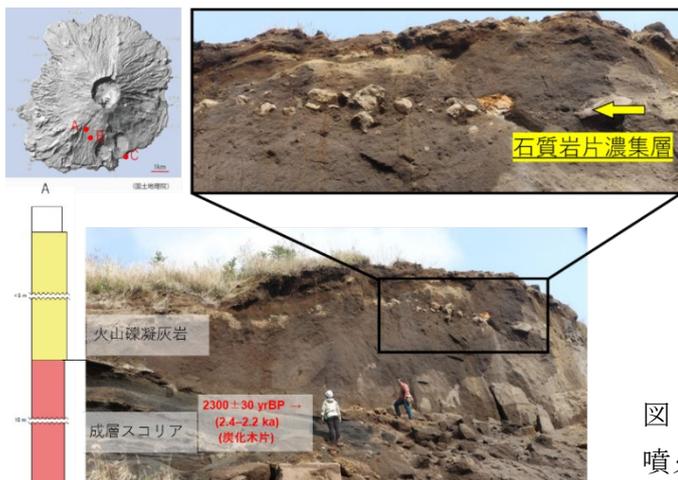


図 71. 地点 A 角屋敷沢の八丁平噴火堆積物。

p) 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（筑波大学）

昨年までの研究の継続として、伊豆弧北部、新島、式根島（および神津島）の流紋岩を主体とする火山について、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、また斑晶鉱物の化学組成や全岩組成などを元にマグマの時代変化等について岩石学的・地球化学的検討を行ってきた。

1. 流紋岩の噴火区分（比較、再検討）

噴火ユニット区分は、昨年 of 報告書記載にもすでに述べているが、地内島の噴火（～100 ka）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いる。また、最近の新島の流紋岩質火山におけるテフラ層序に基づいた研究が実施されており、それも考慮し、宮塚山（12.8 ka）以降の噴火について噴火順序の一部修正を行った（図 72）<sup>69)70)71)</sup>。

我々が研究を継続している流紋岩類（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（斜方）輝石、カミングトン閃石、普通角閃石、黒雲母が含まれ、それらの組み合わせから、4つのタイプに区分した：直方（斜方）輝石—カミングトン閃石タイプ（Opx-Cum-type）、カミングトン閃石タイプ（Cum-type）、カミングトン閃石—黒雲母タイプ（Cum-Bt-type）、黒雲母タイプ（Bt-type）<sup>72)</sup>。これらの噴火ユニット（火山）の多くにはカミングトン閃石及び黒雲母、普通角閃石などの含水鉱物斑晶が特徴的に含有している。

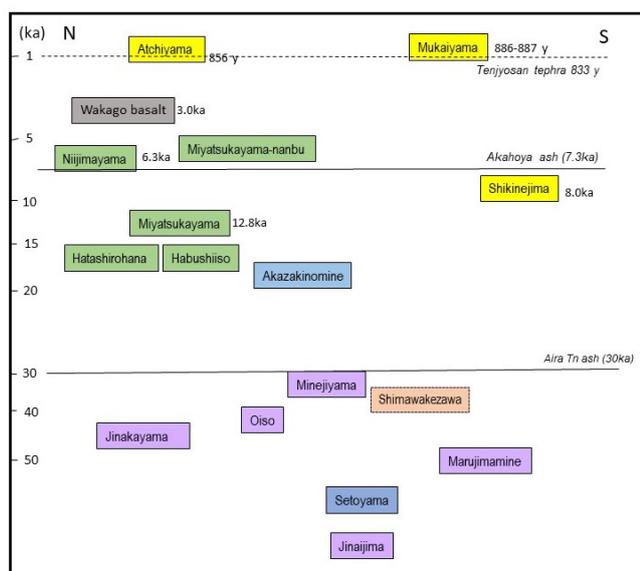


図 72. 各噴火ユニットの年代<sup>69)70)71)</sup>と分布。

流紋岩類：紫，直方（斜方）輝石—カミングトン閃石タイプ（Opx-Cum-type）；青，カミングトン閃石タイプ（Cum-type）；緑，カミングトン閃石—黒雲母タイプ（Cum-Bt-type）；黄，黒雲母タイプ（Bt-type）、安山岩（オレンジ）、玄武岩（灰色）

## 2. 全岩化学組成と Sr 同位体比

各噴火ユニットにおける斑晶鉱物の化学組成、および全岩化学組成の特徴については、今までの研究成果で明らかにしてきた。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。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 75~78 wt. %) が多く、また全体的に組成幅が狭い結果となった。全体的には Opx-Cum-type, Cum-type では Bt-type と比較し、 $MgO \cdot FeO \cdot CaO$  wt. % に富み、 $K_2O \cdot Na_2O$  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いる。同様な傾向は微量元素組成等でも確認される<sup>72)</sup>。

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 ( $^{87}Sr/^{86}Sr$ ) 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てみた (図 73)。流紋岩の  $^{87}Sr/^{86}Sr$  比は、地内島以降、わずかではあるが増加傾向が認められるが 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。島分沢安山岩では流紋岩質岩に比べやや高い値を示している。玄武岩、安山岩 (包有物も含む) は、前後の流紋岩質岩に比べて少し高い傾向がある。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多くは、やや低い傾向がある。これらの玄武岩質岩の同位体比の違いに関しては、マグマの起源物質あるいは分化の程度の違いを反映している可能性がある。

これらの結果は、流紋岩質マグマの組成の年代変化はマグマが均一な同位体組成を持った起源物質からの分化作用のみではなく、わずかに異なった同位体を有す物質 (マグマ、crystal mush あるいは深成岩など) の混合も含まれていた可能性も示唆している。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点は、両者の起源物質の違いを示していると考えられるが、同位体比のバリエーションや分析数なども含め、検討する必要がある。

更に、玄武岩質・安山岩質マグマの供給量、あるいは活動度 (少なくとも地表で確認できる範囲) に関しても、大半を占める流紋岩質マグマを含めたマグマ供給系の年代変化の観点から、更なる検討が必要である。

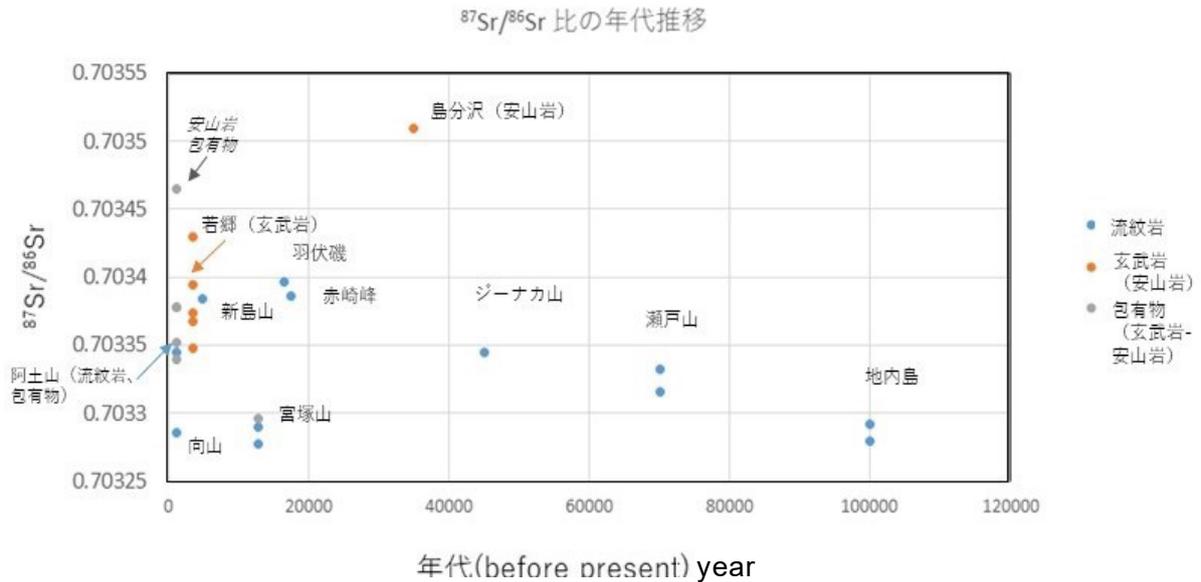


図 73. 新島の火山岩の年代— $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  図 (既往研究<sup>72)73)</sup>を含め比較)。

q) 白馬大池 (風吹火山) : 完新世の活動の再評価 (産業技術総合研究所)

1. 目的と調査位置

白馬大池火山<sup>74)75)</sup>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。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<sup>76)</sup>。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<sup>77)</sup>。新たな活火山の発見は、防災上も重要であるため、昨年度から完新世の活動史を解明するための調査を開始した。

2. 調査結果

本年度は、風吹火山における最後のマグマ噴火が発生した以降の水蒸気噴火堆積物について調査を行った。特に、今まで十分調査が行われていなかった、風吹岳西部の稜線を中心にテフラの分布などの調査を行った。また、テフラ直下の腐植質土壌のヒューミンの年代値から水蒸気噴火の発生時期を明らかにした。その結果、テフラの分布や給源火口などがまだ十分に把握できていないが、約 7,100 年前の火砕流堆積物の上に、約 4,800、4,500、4,000、4,000-2,900、2,900、2,700 年前の水蒸気噴火テフラがあること考えられる (図 74)。この結果、予察的だが、風吹火山は、5 千年以降現在までに堆積物に残る規模である水蒸気噴火を 5 回発生させたと考えられる。これは他の活火山と比べてもそれほど低頻度ではないので、防災上注意すべき火山

で可能性が高い。今後は、これら水蒸気噴火テフラが観察できる地点を増やして、分布や給源火口の情報などが得られるようにする必要がある。

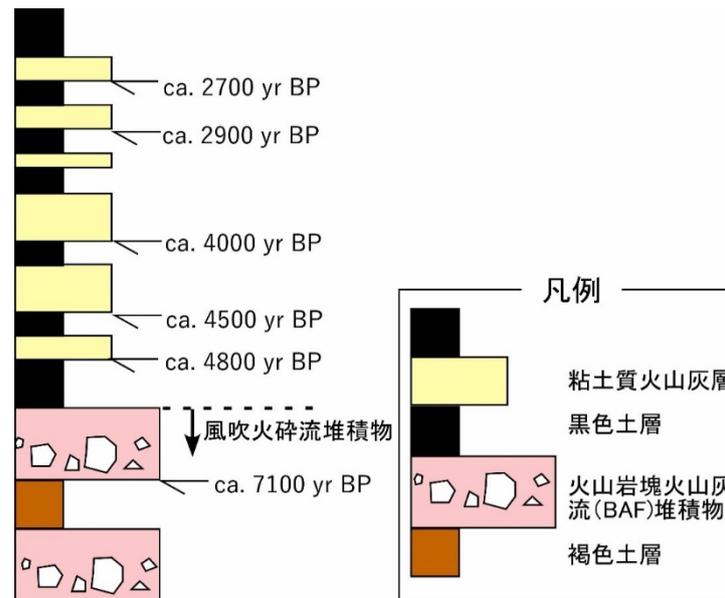


図 74. 風吹火山起源の完新世のテフラ模式柱状図。いずれの年代値も暦年較正をしていない  $^{14}\text{C}$  年代値。単位は yr BP。

r) 鷲羽池火山：地表調査による噴出物の分布・噴火年代の解明（富山大学）

1. 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<sup>78)</sup>、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<sup>79)</sup>、再噴火も危惧される。昨年度までの調査により、本火山の周辺に広範囲に橙白色粘土質テフラが分布することが明らかにされたが、 $^{14}\text{C}$  年代からテフラ層を形成した噴火が 2 回起きた可能性が高いことや、テフラの分布調査が不十分であり、噴出量を過小もしくは過大見積もりしている可能性が高い、などの問題点が残された。令和 4 年度の研究では、これらの問題点を解決し、2 層のテフラ層の分布・年代・噴出源を明らかにした。

2. 本研究で得られた新たな知見

本年度は、調査域を大幅に広げ、テフラ層の分布調査を実施した。この調査により、昨年度まで一括して鷲羽池テフラとしていたテフラ層が、形成時期と分布が異なる 2 層のテフラ層（下位の鷲羽 A テフラと上位の鷲羽 B テフラ）からなることが明らかになった（図 75）。いずれも橙白色の粘土質テフラであるが、鷲羽 A テフラには細粒ラピリサイズの花崗岩片が多産するのに対し、鷲羽 B テフラにはそれらが含まれないため野外では容易に識別できる。三俣蓮華岳周辺の数露頭で、鷲羽 A テフラの上位に土壌を挟んで鷲羽 B テフラが載ること、両テフラの下位に火山豆石を伴う火砕サージ堆積物が付随することを確認した。直下土壌の暦年から推測される堆積年代は、鷲羽 A テフラが 4,250 cal yr BP、鷲羽 B テフラが 1,950 cal yr BP である。

両テフラには本質物が見られないことから、水蒸気噴火により形成されたことは間違いがない。両テフラの粘土質部を水簸により抽出し XRD 分析を行ったところ、シリカ鉱物（石英、クリストバライト）、カオリン鉱物、ミョウバン石などの熱水変質鉱物が同定された。これらの鉱物種と組合せから、火山体地下の酸性熱水変質帯を伴う熱水系が両テフラを形成した噴火の発生源と推測される。

これまでに得られたテフラの層厚データをもとに、昨年度までに試作していた等層厚線図を修正した（図 76）。各テフラの分布主軸は、鷲羽 A テフラが北西方向、鷲羽 B テフラが南西方向である。分布主軸が大きく異なるため、両テフラが同時に産出する露頭は、三俣蓮華岳周辺の数地点に限られる。等層厚線図から推測される噴出源は、鷲羽 A テフラが硫黄沢周辺、鷲羽 B テフラが鷲羽池火口である。Hayakawa<sup>80)</sup>の簡便式を用いて算出された噴出量は、鷲羽 A テフラが  $1.8 \times 10^7 \text{ m}^3$ 、鷲羽 B テフラが約  $2.0 \times 10^7 \text{ m}^3$  であり、いずれも水蒸気噴火の噴出量としては国内最大規模である。

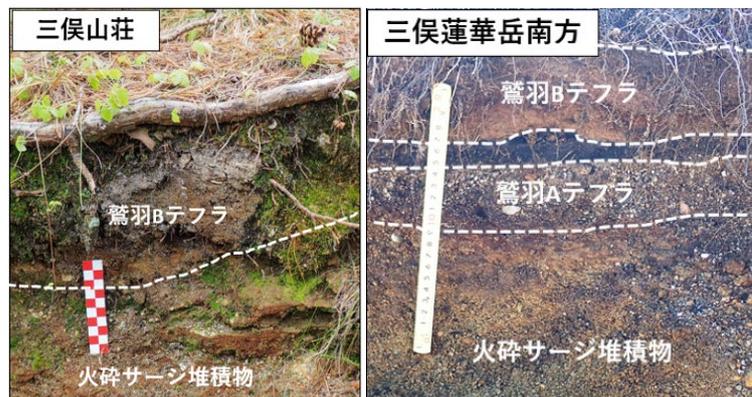


図 75. 三俣山荘と三俣蓮華岳南方での鷲羽 A・鷲羽 B テフラの産状。各テフラの下位には火砕サージ堆積物が見られる。

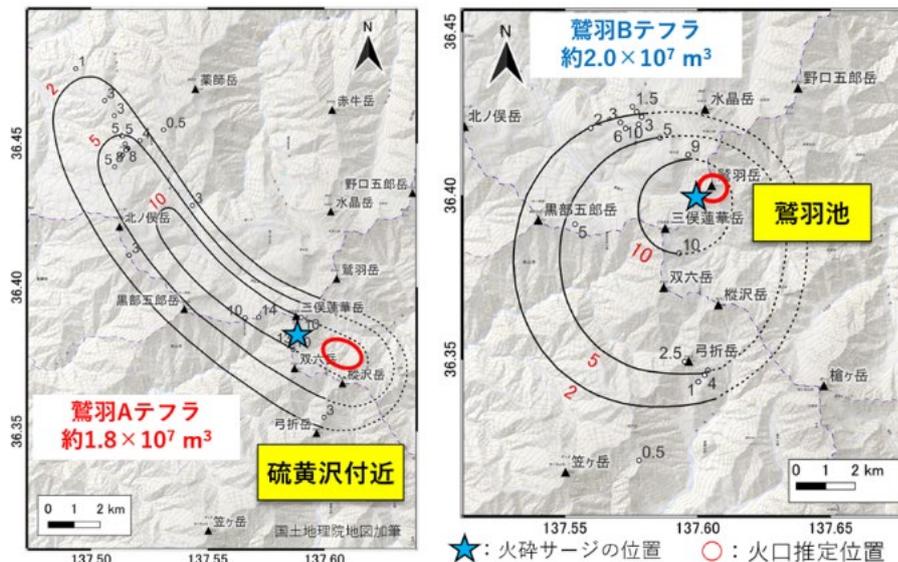


図 76. 鷲羽 A・鷲羽 B テフラの等層厚線図。各テフラに付随する火砕サージ堆積物が確認された地点と、等層厚線図から推測される火口位置と噴出量も示している。



の岩片が多く含まれており、斜交層理が見られることもある。各地点の本層直下の土壌からそれぞれ 1,389-1,308 cal. yr BP、1,541-1,412 cal. yr BP、1,299-1,176 cal. yr BP の暦年が得られた。この噴火堆積物に類似した堆積物は令和 2 年度に実施したトレンチ（地点 HK04）でも見られ、直下の土壌から 1,536-1,412 cal. yr BP の暦年が得られている。今回新たに得られた年代値と HK04 で得られた年代値はいずれも 1.2-1.5 ka の年代に収まり、層相が一致し、露頭も近接していることから、同一の噴火堆積物と判断される。また、本層中の安山岩片は翠ヶ池溶岩や現山頂一帯に広く分布する御前ヶ峰上部火砕岩と全岩化学組成が一致する。したがって、この噴火堆積物は、1.2-1.5 ka BP に翠ヶ池もしくはその近傍の火口群を噴出源とし、南南西へ流下した火砕サージの堆積物と推測される。

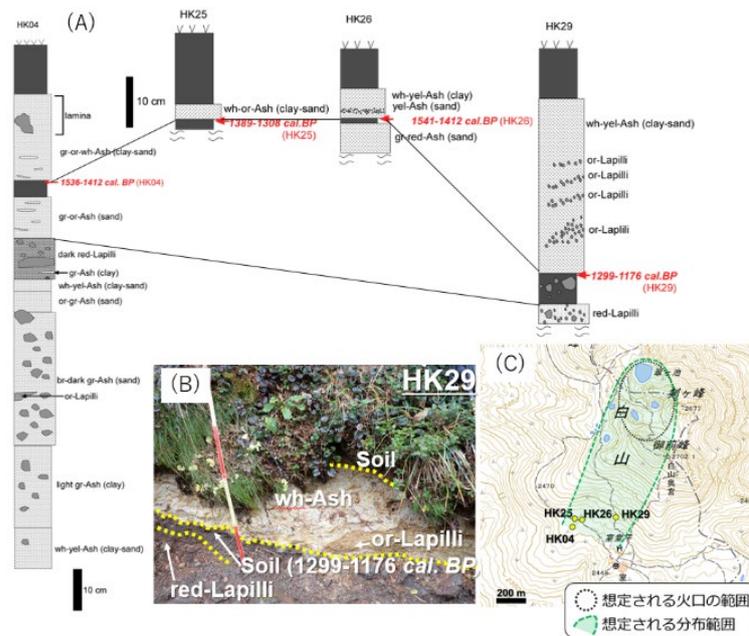


図 78. 1.2-1.5 ka BP 噴火堆積物の (A) 柱状図、(B) 地点 HK28 における産状及び (C) 推測される分布範囲と火口位置。

t) 御嶽山: 地表踏査・年代測定に基づく噴火活動履歴の解明・高精度化（産業技術総合研究所）

1. 目的と調査位置

中部地方の長野・岐阜県境に位置する御嶽山を構成する御嶽（御岳）火山は、直径 20 km あまり、標高 3,057 m（最高点は剣ヶ峰）の大型の成層火山である。その御嶽火山は、約 78 万年前から活動を開始し、約 78~42 万年前に活動した古期と約 11 万年前以前に活動した新期の活動に大別される。そのうち新期御嶽火山の活動は、現在も続いており、完新世にも複数回のマグマ噴火を含む活動を行っている<sup>84)85)</sup>。近年では 1979、1990、2007、2014 年に水蒸気噴火を行っており、1979、2014 年の噴火は VEI:2 の規模であった。そのため、近い将来も同程度の噴火を行う可能性が高く、活動履歴を基に火山活動のリスク評価を行う必要がある。

本研究では、御嶽火山の今後の活動評価に資するデータを得るために、火口近傍の山体上部において、最近数万年間の活動を対象とした地質調査を行うとともに、年代

測定を行う。その結果をもとに、完新世を含んだ最近数万年間の火山発達史を構築したうえで、完新世の噴火史を明らかにする。また、完新世の活動が、それ以前の御嶽火山の活動と比べて活動的か否かを検討する。一般に火山は万年オーダのスケールで多段階に成長することが知られている。また、それより短い千年オーダのスケールでも、噴火頻度や長期的マグマ噴出率の高い活動期と相対的に低い休止期を繰り返して成長することが知られている。そのため、現在の火山が活発期か低調期かを判断することは、噴火ポテンシャルの評価につながり、防災対策上重要である。

本年度は、野外調査の最終年度にあたるため、御嶽山全域で地質調査を行うとともに、年代測定を行い、火山層序の大枠を確立させた。また全体的なマグマ噴出率の算出に必要な、過去の大規模なテフラ噴火の分布調査も行った。その結果、新期御嶽火山の形成史の大枠が明らかとなった。

## 2. 新期御嶽火山の形成史

既研究間<sup>86)87)88)</sup>で大きく分布が異なる山頂部の地質ユニットについて、地表調査および航空機からの観察結果や航空レーザ測量結果を基にした高密度 DEM を使用した地形判読などを基に、新たに地質ユニット区分を行った。地質ユニットの区分は、噴出中心の変化や浸食間隙によるものと考えられる溶岩や火砕層の傾斜不整合やアバット不整合を目安に大きく区分した。その区分に従って、Matsumoto & Kobayashi<sup>89)</sup>及び松本・小林<sup>90)</sup>の感度法 K-Ar 年代値を整理した。なお、山麓に関しては、山田・小林<sup>86)</sup>及び竹内ほか<sup>88)</sup>の層序を、年代値を基に再整理した。さらに、既存の年代値が得られていない山頂部や南麓、北麓、東麓を中心に K-Ar 及び Ar/Ar 年代測定を行った。このうち本年度の研究では、9つの K-Ar・Ar/Ar 年代値の確定、約7千年前と9千年前の水蒸気噴火堆積物である可能性のある堆積物の発見、大規模なテフラの分布の再検討に基づく体積値の成果があった。

図 79 には、今までの K-Ar・Ar/Ar 年代測定結果と火山層序をまとめた。この図を基に御嶽火山の形成史をまとめると次のようになる。約10万年前の御岳第一軽石の噴出に始まる VEI=6~5 の大規模なプリニー式を頻発させ、流紋岩~デイサイト質の火山体(継母岳火山噴出物)を山体中央南西側に成長させるような火山活動が約8万年前まで続いた。その後の約8~5万年前に山体中央南側を噴出中心とする大きな安山岩質の火山体を形成した。この火山体は傾斜不整合の存在によって、約8~7万年前の奥ノ院火山噴出物と約7~5万年前の摩利支天火山噴出物に二分されるが、両火山噴出物の間には何万年間にもおよぶ時間間隙はなかったようである。この火山体の活動の後半の約6万年前には、大規模な山体崩壊が発生し、木曾川岩屑なだれ/泥流堆積物を山麓から木曾川沿いおよび濃尾平野に堆積させた。その後の約4~3万年前に北側の継子岳および四ノ池付近を中心とする火山体(四ノ池火山噴出物)が形成された。約3~1万年前には、一ノ池付近を中心とし今の最高峰である剣ヶ峰を含む火山体(一ノ池火山噴出物)を形成したことが明らかとなった。また完新世には三ノ池溶岩などの複数のマグマ噴火があり、最後のマグマ噴火は約6千年前である。以上の結果から、約3万年前以降から完新世に続く火山活動は、それ以前より低調であ

るが、完新世の噴火頻度は日本の平均的な火山と遜色がないことなども明らかとなった。

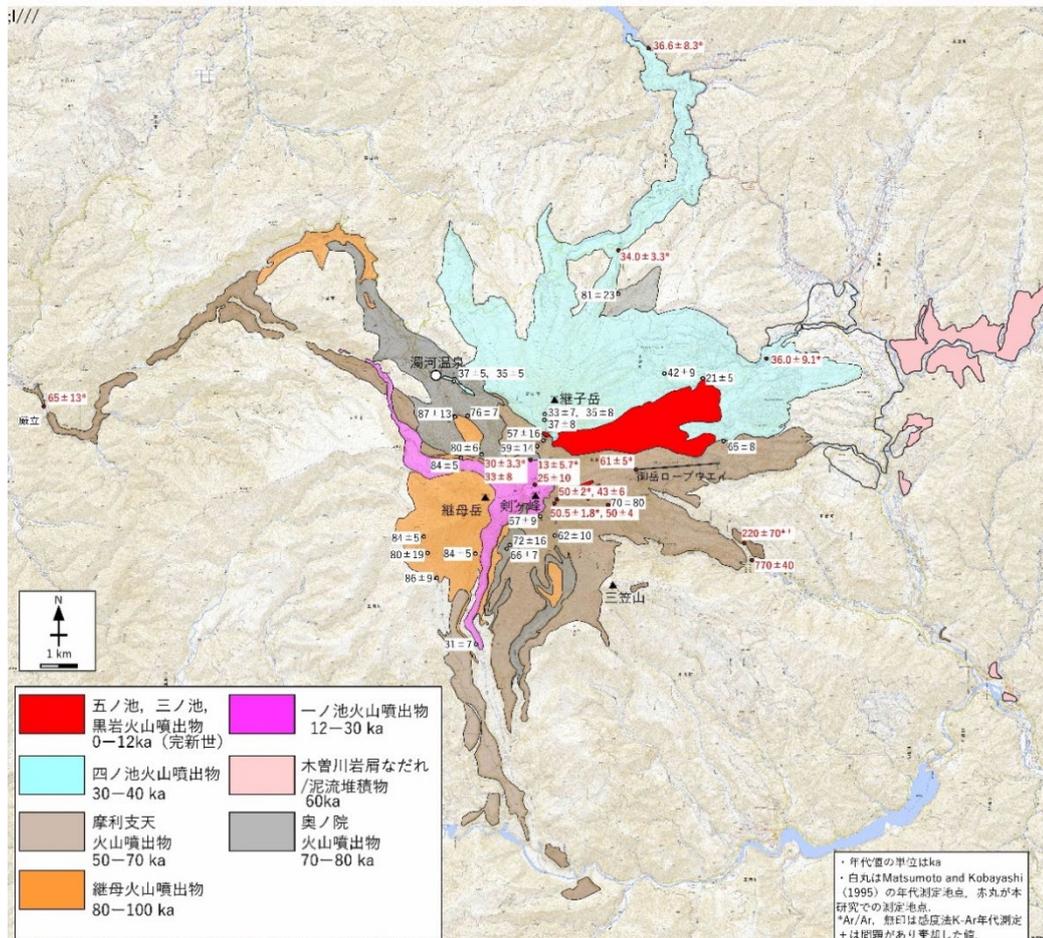


図 79. 新期御嶽火山の地質図（暫定版）と K-Ar・Ar/Ar 年代値。赤字は本研究で得られた年代値で黒字は Matsumoto & Kobayashi<sup>89)</sup> 及び松本・小林<sup>90)</sup> の年代値。背景の地図は国土地理院の地理院地図を使用。

### 3. まとめ

- ・ 地質調査を基に御嶽火山の山体の地質ユニット区分・分布の見直しや広域に分布するテフラの分布調査を行った上、新たに 9 試料の K-Ar・Ar/Ar 年代値を確定させ、2 試料から <sup>14</sup>C 年代値を得た。
- ・ 上記の結果をまとめ、新期御嶽火山の活動史をまとめた。その結果、約 3 万年前以降から完新世に続く火山活動は、それ以前より低調であるが、完新世の噴火頻度は日本の平均的な火山と遜色がないことが明らかとなった。

#### u) 伽藍岳：山頂周辺に分布する火山性堆積物について（信州大学）

##### 1. 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<sup>91)</sup>、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<sup>92)</sup>。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<sup>93)94)</sup>、研究例が乏しく、その噴火史には不明な点が多い。2022 年 7 月には、導入以来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 2021 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。2022 年度は 2021 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年代推定と岩石学的特徴による分類に取りかかった。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。

## 2. 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<sup>93)</sup>、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<sup>94)</sup>。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鈎火山灰 (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<sup>93)</sup>及び筒井ほか<sup>94)</sup>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、火砕流噴火をした例は知られていない。

## 3. 山頂周辺の火山性堆積物

伽藍岳東峰の南約 500 m の露頭 (Loc-5 : 図 80) で、T-Nzf、K-Ah、YA1 が下位から順に堆積していることを確認した。この露頭では、T-Nzf の下位に土壌を挟んで層厚約 150 cm の角礫質の岩片を含む火山砕屑物層 (T-GaP と命名) を確認した (図 81)。火山灰質の基質と最大 10 cm の様々に変質した溶岩片からなり、淘汰が悪く無層理である。層基底には数 cm サイズの炭化木片が点在し、炭化木片から  $12.1 \pm 0.15$  cal ka BP の放射性炭素年代が得られた。溶岩片は角閃石を特徴的に含み、軽度のオパサイト化は認められるが、概ね新鮮な結晶がほとんどである。鶴見火山の噴出物は角閃石の分解が顕著で<sup>95)</sup>、一方で伽藍岳溶岩の角閃石は新鮮なものに富む。これらのことから、T-GaP は伽藍岳由来の火砕流である可能性が高いと考える。また、溶岩との被覆関係から、T-GaP は伽藍岳溶岩の上位に位置すると考えられ、そうであれば伽藍岳溶岩の噴出年代は約 1 万 2 千年前以前と、これまでの値よりも若干古い年代が推定される。また、上記の露頭から南西約 100 m の地点 (Loc-6 : 図 80) で、K-Ah の上位に不整合を挟んで、層厚 30 cm 程の白色の降下火山灰 (T-GaW と命名) が堆積していることを確認した (図 82)。T-GaW は、層厚 0.5~5 cm のテフラ層 7 枚から成り、そのほとんどが著しく変質している。上下の土壌の放射性炭素年代測定を行い、 $6,700 \pm 50 \sim 6,250 \pm 50$  cal BP の年代値が得られた。

本研究の結果、伽藍岳が約 1 万 2 千年前に火砕流噴火を、また約 6,500 年前にも爆発的噴火を起こしていた可能性が示された。

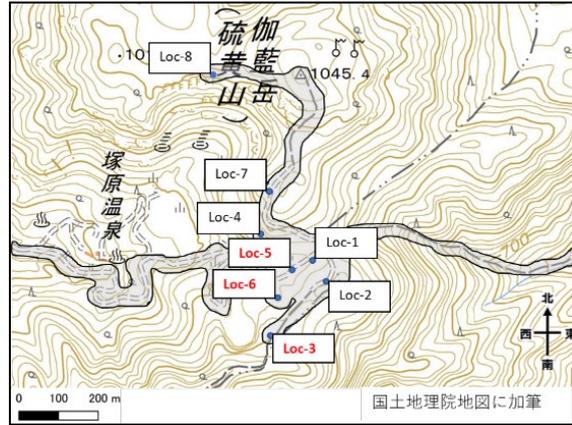


図 80. 伽藍岳山頂周辺の露頭位置図。



図 81. Loc-5 の火山碎屑物層 (T-GaP)。

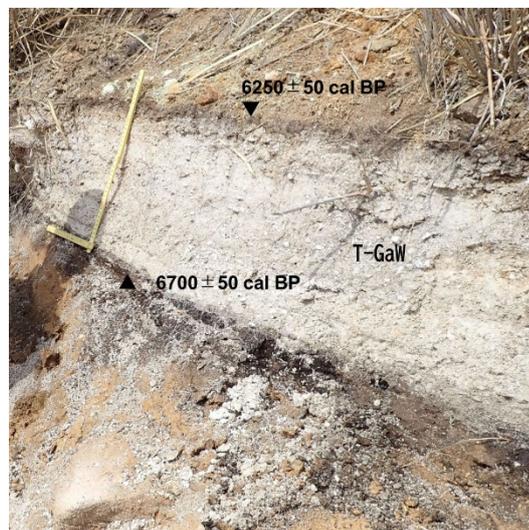


図 82. Loc-6 の火山性堆積物 (T-GaW)。

### 3. 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て検討した。また古地磁気学的手法を用いて年代推定を試みた。

伽藍岳溶岩は複輝石角閃石安山岩で、斜長石と角閃石斑晶に富む。モード組成は多少のばらつきを示すものの、系統的な違いを認めることはできなかった。

伽藍岳溶岩から 21 試料の古地磁気年代測定用の定方位試料を採取し、段階熱消磁実験と IZZI 法<sup>96)</sup>による古地磁気強度実験を行った。消磁実験では熱残留磁化起源と考えられる直線性のよい磁化成分を得ることができたが、方位の集中は認められなかった(図 83)。冷却後の運動によって方位が乱されたか、または活発な噴気活動の影響で、磁性鉱物に変質し、噴火当時の磁化方向が失われた可能性がある。強度実験の結果は、予想される VADM の 2 倍以上の値が得られた。方位と同様に、噴気による変質の影響か、あるいは落雷の影響を被ったのかもしれない。残念ながら現時点では古地磁気学的手法から年代を推定することができなかった。次年度も継続して研究を行い、年代推定の可能性を探りたい。

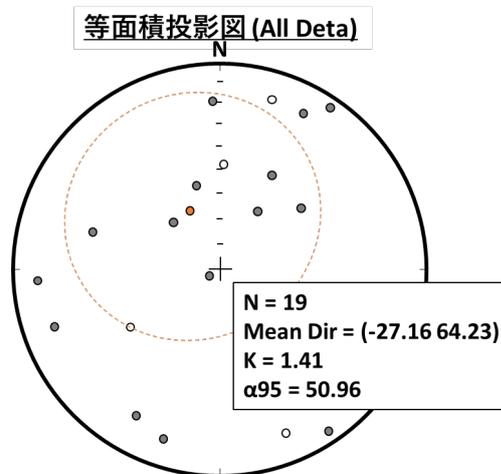


図 83. 段階熱消磁実験で得られた磁化方位のシュミットネット。

v) 九重山：九重火山の飯田噴火及びその前後の火山層序の再検討（山口大学・北海道大学）

i) 九重火山 54ka 飯田噴火における 2 回のマグマサイクル

1. はじめに

九州中部の九重火山は別府島原地溝帯内に位置する活火山であり、約 20 万年前に活動を開始した。山体は成層火山、溶岩円頂丘、溶岩流によって構成され、山麓には 3 回の大規模噴火による火砕流堆積物が分布している。そのうち、約 5.4 万年前<sup>97)</sup>の飯田噴火は九重火山で最大の噴火であることから、その層序や規模について研究がなされてきた。しかしながら、その噴火経緯については意見が一致しておらず、マグマの変遷も明らかになっていない。そこで、本研究では、飯田噴火の経緯およびマグ

マの変遷を論じるために、層序、記載岩石学検討およびガラスの主成分組成分析を実施した。

## 2. 層序

飯田噴火では、九重 D 火山灰および大規模火砕流である飯田火砕流が放出された前期フェーズと、プリニー式噴火による九重第一降下軽石が放出された後期フェーズに分けられる (図 84)。九重 D 火山灰は下部層 (九重 D-L) と上部層 (九重 D-U) に区分される。九重 D-U は、下位から順に D1~D7 に細分される。飯田火砕流堆積物は下位から、飯田 1, 2, 3 火砕流堆積物に細分される。飯田 1, 2, 3 はそれぞれ九重 D-U2, 4, 6 に対比される。飯田 3 火砕流堆積物の再堆積層を九重 D-U7 が覆い、さらにその上位を九重第一降下軽石が覆う。九重第一降下軽石は下部、上部に細分される。九重第一降下軽石と同層準に、これと同質の瀬の本火砕流堆積物が分布する。

## 3. 記載岩石学的特徴

飯田 1, 2, 3 火砕流堆積物は、非溶結軽石流・火山灰流堆積物であり、いずれも直方輝石角閃石デイサイト質で記載岩石学的特徴は類似する。九重 D-U2, U4, U6 は鉍物および火山ガラスに富む淡褐色火山灰で、角閃石、少量の直方輝石および黒雲母を含む。一方、九重 D-U1, U3, U5, U7 は青灰色を呈する石質火山灰で、単斜輝石、直方輝石、角閃石および微量の黒雲母を含む。

九重第一降下軽石最下部は輝石を含まない黒雲母含有角閃石デイサイト質の白色軽石を主体とし、基底部に岩片濃集層を伴う。一方、上部は直方輝石角閃石デイサイトであり、黄白色を呈する風化軽石を主体とする。

## 4. 主成分組成分析

下位の飯田 1 から上位の飯田 3 火砕流堆積物へ、火山ガラスの  $\text{SiO}_2$  (78.4 wt.% から 77.7 wt.% へ)、 $\text{K}_2\text{O}$  が減少し、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO} \cdot \text{CaO}$  が増加する。九重 D-U2 から U4, U6 にかけても同様の傾向が認められる。

九重第一降下軽石では、最下部から上部へ、火山ガラスの  $\text{SiO}_2$  (78.7 wt.% から 77.8 wt.% へ)、 $\text{K}_2\text{O}$  が減少し、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO} \cdot \text{CaO}$  が増加する。

## 5. 2 回のマグマサイクル

層序、記載岩石学的特徴および主成分組成に基づき、九重 D-U2, U4, U6 はそれぞれ、飯田 1, 2, 3 火砕流堆積物のコ・イグニブライト火山灰と解釈される。また、飯田 1 から飯田 3 火砕流堆積物へ、マグマの組成が相対的に苦鉄質に変化したことが読み取られる。九重第一降下軽石に関しても、最下部から上部へと相対的に苦鉄質に変化したと考えられる。このように、飯田噴火は前期および後期フェーズにおいて、マグマが珪長質から相対的に苦鉄質に変化するという、2 回のサイクルが認められた (図 85)。1 回目のサイクルでは、飯田 1~3 火砕流の放出と同期して、ブルカノ式噴火が発生し、両輝石角閃石デイサイト質の石質火山灰を放出した。この火山灰は単斜輝石

を含むことから、飯田火砕流および九重第一降下軽石を放出したマグマとは異なるものであった可能性がある。

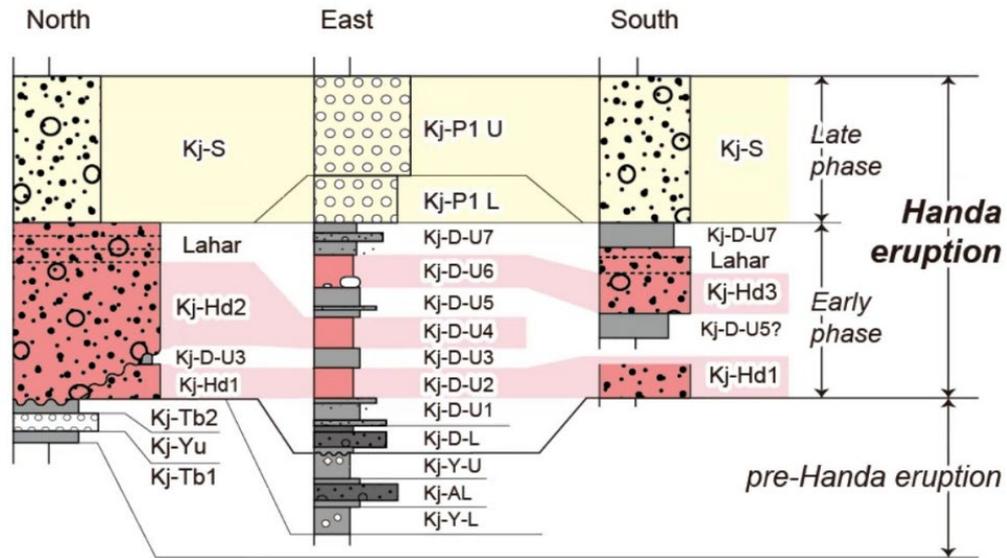


図 84. 九重火山 54 ka 飯田噴火による噴出物の層序。

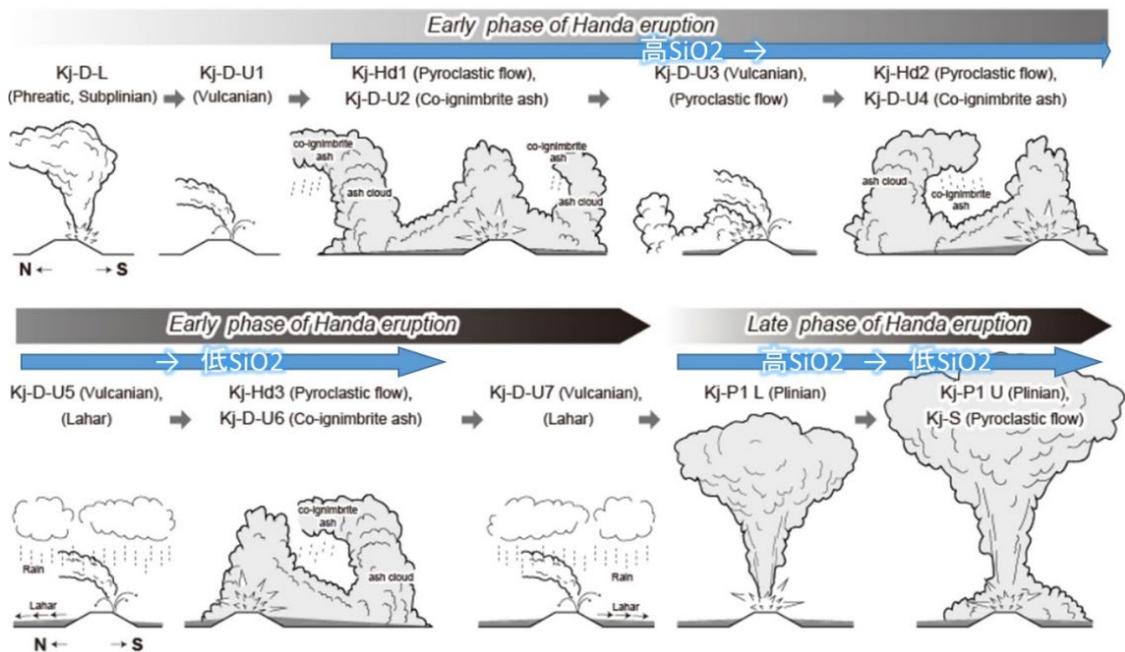


図 85. 復元された飯田噴火の推移とマグマサイクル。

ii) 九重火山における飯田噴火前後の形成史の検討—特に飯田噴火の噴出源の再検討—

1. はじめに

九重火山は約 20 万年の噴火史を有し、その活動地域は西部域から中部域、東部域へと推移する。そのうち、54 ka に生じた飯田噴火前後で本火山のマグマ噴出率<sup>98)</sup>が

変化することから、飯田噴火は九重火山のマグマ変遷に大きく影響したことが考えられる。飯田噴火の活動履歴やその前後の噴火史を詳細に復元することは、本火山群にける長期的なマグマの変遷の解明や今後の活動予測の上で重要である。しかし、飯田噴火と本火山群の層位関係は先行研究により検討されてきたが、見解は一致していない。さらに、i)の報告により飯田噴火の中でマグマが複数ある可能性があることから、飯田噴火の噴出源が複数ある可能性がある。これらのことから、飯田噴火前後の山体の形成史、及び飯田噴火の噴出源の推移をより詳細に検討することで、本火山群全体の活動パターンの解明に繋がることが考えられる。

以上のことから、本研究は飯田噴火前後である西部域、中部域において、地形判読、地表踏査、及び岩石記載の結果から、形成史、特に飯田噴火の噴出源を再検討することを目的とする。今回は特に成果の得られた沓掛山火山周辺、および中岳火山周辺の形成史について報告する。

## 2. 沓掛山火山周辺の形成史

### 2-1. 地形判読・地表踏査・岩石記載

沓掛山火山は本火山西部域から中部域にまたがる火山体である。全体的に地形が開析されているが、沓掛山北側斜面に比較的新鮮な溶岩地形が認められる(沓掛山上部溶岩(後述); 図 86)。山頂付近に直径最大 1.3 km の火口様地形、およびその地形が侵食されたと解釈される崩壊地形が認められ、これらの地形に沓掛山北側斜面の溶岩地形が切られることが解釈される(図 86)。この火山体は岩井川岳火山、扇ヶ鼻火山を構成する溶岩地形、溶岩円頂丘に覆われることが解釈される。岩井川岳火山の北側斜面は崩壊壁により切られることが解釈されるが、溶岩円頂丘の地形の末端崖が明瞭に認められる。扇ヶ鼻火山において、扇ヶ鼻北側から流下する溶岩地形が火口様地形を覆うことが確認できる(図 86)。

小田川に沿って本火山体の山麓から山腹は直方輝石単斜輝石角閃石安山岩、及び単斜輝石直方輝石角閃石安山岩が分布し、石英を少量含むものも認められる。さらに地形的高所である火口様地形周辺部において直方輝石角閃石デイサイト質の凝灰岩、及び単斜輝石含有直方輝石角閃石デイサイト質の火山岩が分布する。凝灰岩は全体的に無層理であり、しばしば灰色岩片が認められる。沓掛山火山を地形的に覆うと解釈される岩井川岳、および扇ヶ鼻南側を流下する溶岩地形は直方輝石単斜輝石角閃石安山岩であり、扇ヶ鼻山頂部の円頂丘の地形、および火口様地形へ流下する溶岩地形の岩質は、それぞれ石英単斜輝石含有直方輝石角閃石デイサイト、および石英含有直方輝石角閃石デイサイトである。

火口様地形付近において黄白色軽石の巨礫、および角閃石斑晶に富む灰白色火砕流堆積物がそれぞれ認められた。黄白色軽石の鉱物組み合わせは石英直方輝石含有角閃石デイサイトであり、九重第一降下軽石上部層の軽石と類似する。灰白色火砕流堆積物中の軽石の鉱物組み合わせは、角閃石を多く含み、少量の石英、黒雲母を含む。この鉱物組み合わせは飯田 1 火砕流堆積物の軽石と類似する。

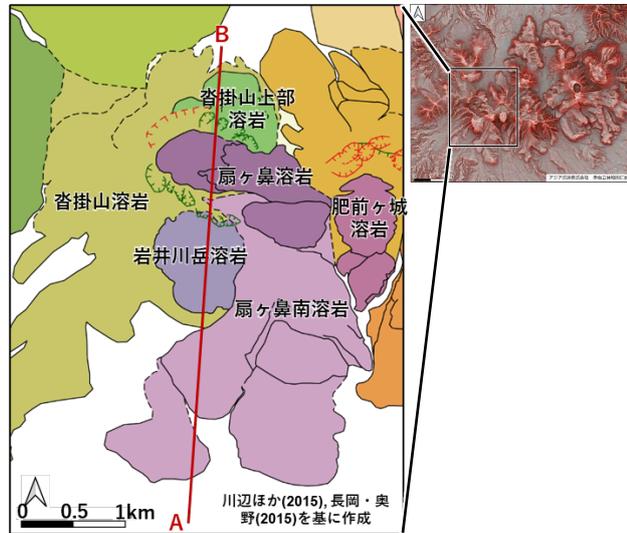
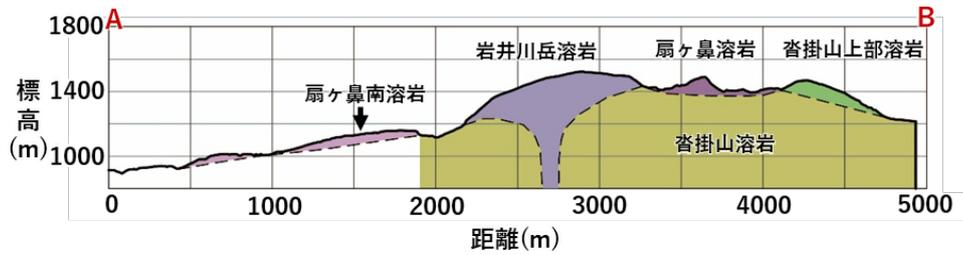


図 86. 沓掛山火山周辺の地質図(上)および断面図(下)。

## 2-2. 沓掛山火山周辺の形成史

地形判読結果から、沓掛山は全体的に地形が開析されているが、本火山体北側斜面に新鮮な溶岩地形が解釈された。このことから、沓掛山は沓掛山溶岩<sup>99)</sup>、および沓掛山上部溶岩(新称)の2つの活動期に区分できると考えた(図 86・87)。沓掛山溶岩に対して山崎ほか<sup>100)</sup>は約 150 ka、160 ka の K-Ar 年代を報告している。さらに、沓掛山上部溶岩は火口様地形に切られることが解釈されたこと、および火口様地形が飯田噴火により形成された可能性があることから(後述)、沓掛山上部溶岩の形成後に飯田噴火が生じたことが考えられる(図 86・87)。

沓掛山を地形的に覆うと解釈される岩井川岳火山、扇ヶ鼻火山において、岩井川岳火山は溶岩円頂丘の末端崖が明瞭であることから、飯田噴火のような厚いテフラがその上位に堆積していないことが考えられる。扇ヶ鼻火山において長岡・奥野<sup>98)</sup>は、テフロクロロジーの手法から飯田噴火以降の噴出物であると考えた(図 87)。本研究において、地形から扇ヶ鼻北側を流下する溶岩地形が沓掛山火口様地形を流下すると解釈できた。この火口様地形と北側を流下する溶岩地形の層序関係は、長岡・奥野<sup>98)</sup>の層序と調和的である。このため、扇ヶ鼻南溶岩および扇ヶ鼻溶岩は飯田噴火以降の噴出物と考えた(図 87)。

地表踏査および鏡下観察結果から、沓掛山の山麓から山腹にかけて両輝石角閃石安山岩が分布し、火口様地形を示す山体は主に直方輝石角閃石デイサイト溶岩、および凝灰岩が分布する。このことから、本火山体の初期の活動は角閃石安山岩質マグマ

の噴出であり、その後角閃石デイサイト質マグマの噴出が主となったと考えられる。凝灰岩は無層理であることから、火砕流堆積物であることが考えられる。

本火山体の火口様地形付近において、飯田噴火噴出物と鉱物組み合わせが類似する黄白色軽石の巨礫および灰白色火砕流堆積物が堆積することが認められた。このことから、火口様地形を形成するような大規模噴火は飯田噴火であったと考えられる(図 87)。

以上のことから、本火山体の形成史は以下のように考えられる。

- ①飯田噴火前：約 150 ka に沓掛山溶岩が形成され、両輝石角閃石安山岩溶岩の噴出の後、直方輝石角閃石デイサイト溶岩および類似した岩質の火砕流が噴出した。その後時間間隙を空けて沓掛山上部溶岩が形成した。
- ②飯田噴火：本火山体を給源として飯田噴火が生じ、飯田 1 火砕流および九重第一降下軽石上部層が噴出した。その際に火口地形が形成された。
- ③飯田噴火後：岩井川岳、扇ヶ鼻を構成する溶岩が噴出した。

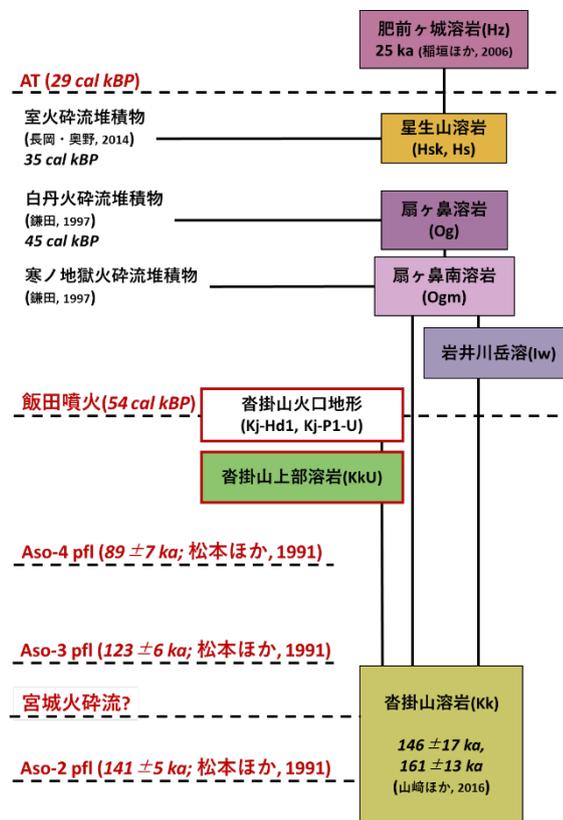


図 87. 沓掛山火山周辺のブロックダイアグラム。川辺ほか<sup>101)</sup>および長岡・奥野<sup>98)</sup>を基に作成した。

### 3. 中岳火山周辺の形成史

中岳火山は中岳、久住(くじゅう)山、稲星(いなぼし)山、白口(しらくち)岳等の峰々で構成される火山体である。この火山体は主に舌状の溶岩流地形の上位に中岳や久住山といった溶岩円頂丘の地形が覆うことが解釈される。しかし、今回稲星山山頂部において火砕流堆積物の成層構造を新たに確認し、この堆積物を稲星山火砕丘堆積物(InPc)と命名した(図 88)。InPc は久住山や中岳を構成する溶岩円頂丘の分布域に認められないことから、この火砕丘堆積物の形成時期は前述の溶岩円頂丘の形成より古いことが考えられる(図 89)。

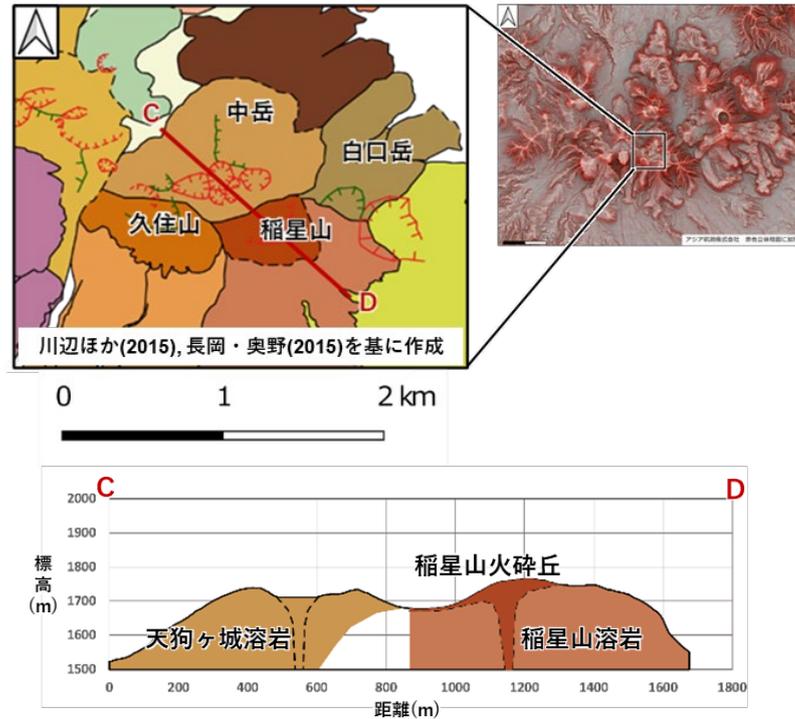


図 88. 中岳火山周辺の地質図(上)および断面図(下)。

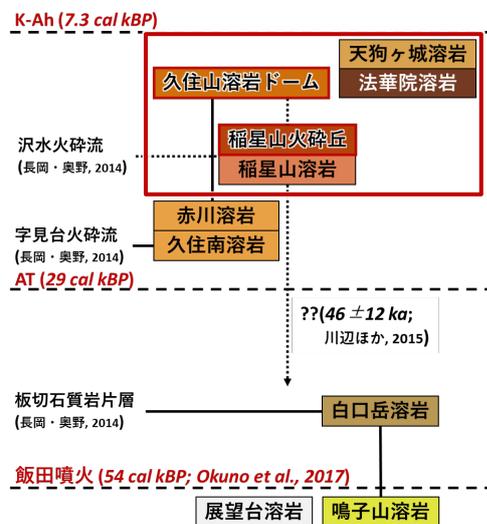


図 89. 中岳火山周辺のブロックダイアグラム。川辺ほか<sup>101)</sup>および長岡・奥野<sup>98)</sup>を基に作成した。

### iii) 九重火山南麓の上坂田一下坂田地域の飯田火砕流堆積物

#### 1. はじめに

小野ほか<sup>102)</sup>は屋外での判別は困難とされるほどの岩相のよく似た九重火山起源の火砕流堆積物を、阿蘇火砕流堆積物との関係から、3つの火砕流堆積物（Aso-3/2間に宮城、Aso-4/3間に下坂田、Aso-4の上位に飯田）として報告した。また、この3つの火砕流堆積物は、九重火山由来の大規模な火砕流堆積物<sup>101)</sup>として報告されている。しかし、Aso-4/3間に分布する下坂田火砕流堆積物は、上坂田一下坂田地域で、Aso-3火砕流堆積物の上位に分布することが確認されたものの、Aso-4火砕流堆積物との関係は分からない<sup>102)</sup>とされていた。工藤<sup>103)</sup>は、下坂田火砕流堆積物がAso-4の上位に分布すると報告したが、上坂田一下坂田地域においてAso-4/3間に九重火山起源の火砕流堆積物の有無を確認していないことから、Aso-4より上位の飯田火砕流堆積物を見ている可能性も考えられ、長年にわたって大規模火砕流堆積物の有無が不明瞭であった。

#### 2. 手法

地表地質踏査による各露頭での岩相区分及び層序関係から、上坂田一下坂田地域の地質構造を明らかにすることで下坂田火砕流堆積物とされている九重火山起源の火砕流堆積物とAso-4火砕流堆積物の層序を明らかにした。

#### 3. 上坂田一下坂田地域のAso-3、Aso-4、九重火山起源の火砕流堆積物の特徴

Aso-3火砕流堆積物の上部は、無斑晶の黒色スコリアを含むスコリア流堆積物で、溶結はしていない。しかし、基質はスコップでは容易に試料の採取ができないほど固い。また、基質は茶褐色の火山灰で構成されている。Aso-4火砕流堆積物は非溶結でスポンジ状に発泡したものと繊維状に発泡した2種類見られる。どちらの発泡形態も、数十cm以上のものが見られる。また、軽石の色調は必ずしも白色系ではなく、ほとんどが黒色を呈する軽石も見られる。軽石の発泡は比較的良い。数cm程度の軽石中に1～2個程度の少量の角閃石と斜長石斑晶を含む特徴をもつ。基質は灰色火山灰で構成される。九重火山起源の火砕流堆積物は溶結部は見られず、非溶結部のみである。発泡の程度は比較的悪いものから比較的良いものまであり、一定ではない。Aso-4火砕流堆積物と比較して、軽石、基質ともに多数の角閃石斑晶が含まれる特徴をもつ。このため、Aso-4非溶結火砕流堆積物と九重火山起源の火砕流堆積物は角閃石の量比で判別することができる。九重火山起源の火砕流堆積物の最大層厚は約30m程度である。

#### 4. 上坂田一下坂田地域、久住町今村地域の火砕流堆積物の層序と分布

上坂田一下坂田地域では、Aso-3火砕流堆積物の上位にAso-4火砕流堆積物、その上位に九重火山起源の火砕流堆積物が見られた（図90）。Aso-3火砕流堆積物の上位に接してAso-4火砕流堆積物が分布することから、Aso-4/3間には下坂田火砕流堆積物は分布しない。よって、小野ほか<sup>102)</sup>で「下坂田火砕流堆積物」とされた堆積物の下位にAso-4火砕流堆積物が分布することを確認できたことから、下坂田火砕流堆

積物ではなく、飯田火砕流堆積物に帰属を変更する。この結果、辻ほか<sup>104)</sup>で示されている飯田火砕流堆積物の範囲のさらに南方域では下坂田火砕流堆積物ではなく、飯田火砕流堆積物が分布する(図91)。また、久住町の今村地域(図91)では九重火山起源の軽石を含んだ火砕流堆積物が、Aso-4火砕流堆積物の下位にAso-3火砕流堆積物を挟まずに分布することから、Aso-4/3間の下坂田火砕流堆積物は少なくとも今村地域には存在すると考えた。

### 5. 階段ダイアグラムへの影響

長岡・奥野<sup>98)</sup>は詳細に示された階段ダイアグラムを報告しているものの、下坂田火砕流堆積物の分布域は示されていない。よって今回は、調査によって得られた上坂田一下坂田地域に分布する「下坂田火砕流堆積物」(本研究により、飯田火砕流堆積物に帰属を変更)の分布域や層厚の情報から噴出量を求め、これを長岡・奥野<sup>98)</sup>の下坂田火砕流堆積物の噴出量から差し引き、飯田火砕流堆積物の噴出量には加える方法をとった。その結果、iv)で後述するように長岡・奥野<sup>98)</sup>の階段ダイアグラムの下坂田火砕流堆積物の噴出量の一部を飯田火砕流堆積物の噴出量の一部に含める変更をおこなった。

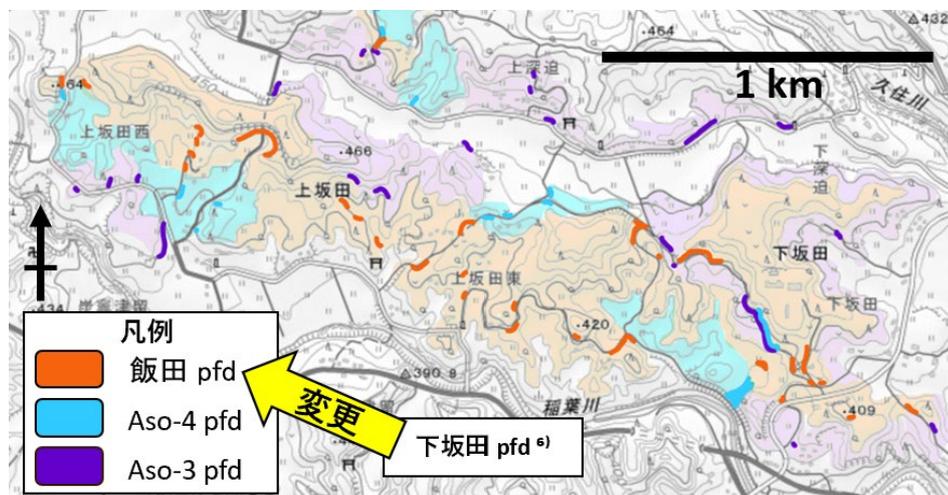


図90. 上坂田一下坂田地域の地質図。



図91. 下坂田火砕流堆積物の分布から飯田火砕流堆積物とした地域。

iv) 九重火山階段ダイアグラム

長岡・奥野<sup>98)</sup>の成果に今回の成果を組み込んだ階段ダイアグラムを図92・93に示す。主な変更点は以下の通りである。

- Stage2の下坂田火砕流堆積物の体積を、0.25 km<sup>3</sup> DRE から 0.24 km<sup>3</sup> DRE に変更した。
- Stage5の飯田火砕流堆積物の体積を、2.5 km<sup>3</sup> DRE から 2.51 km<sup>3</sup> DRE に変更した。
- 長岡・奥野<sup>98)</sup>は沓掛山溶岩を飯田噴火直前期であるStage4に含めているが、地形判読および山崎ほか<sup>100)</sup>のK-Ar年代から、沓掛山溶岩をStage1の噴出物と考え、沓掛山上部溶岩をStage4の噴出物と考えた。さらに、長岡・奥野<sup>98)</sup>は岩井川岳溶岩をStage4の噴出物の1つと考えたが、地形判読から岩井川岳溶岩は飯田噴火噴出物に覆われないことが考えられたため、この溶岩を飯田噴火以降であるStage6の噴出物と考えた。
- ii)の報告より、Stage13、Stage16における中岳火山周辺の形成史をより詳細に検討することができたが、体積の変遷は長岡・奥野<sup>98)</sup>とあまり差異が認められない。

この変更により、本火山群は宮城火砕流の噴火前後のStage1でマグマ噴出率が0.11 km<sup>3</sup> DRE/kaと活発に活動していたことが考えられ、飯田噴火直前期のStage4は0.009 km<sup>3</sup> DRE/kaと溶岩やテフラの噴出があまり行われなかったことが考えられた。時間スケールは異なるが、飯田噴火直後のStage6は0.081 km<sup>3</sup> DRE/kaであることから、飯田噴火を境に噴出率が上昇傾向にあることが考えられる。

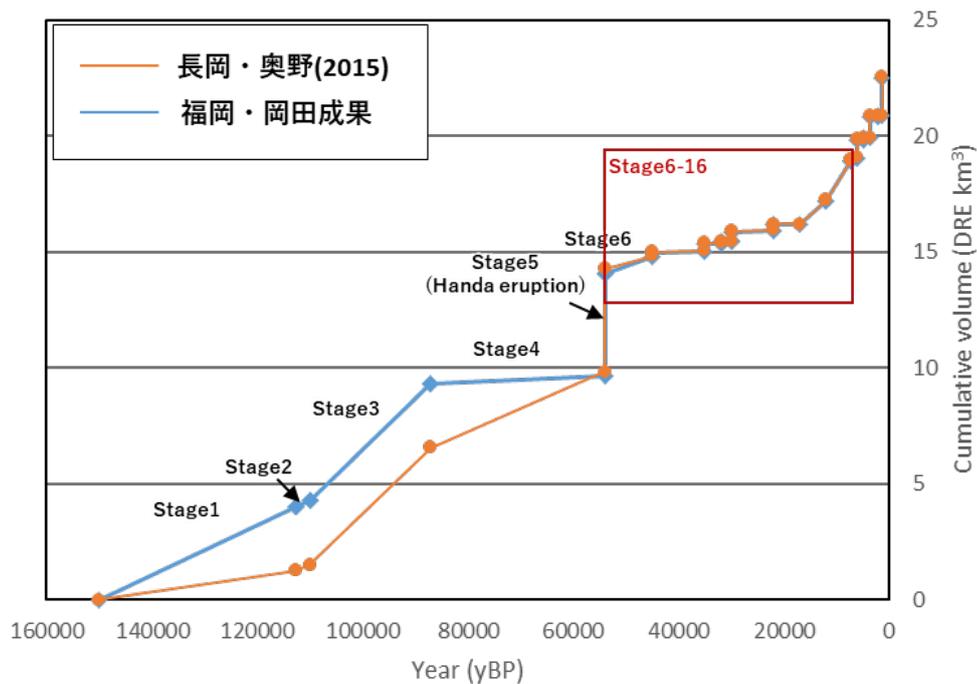


図92. 九重火山階段ダイアグラム。

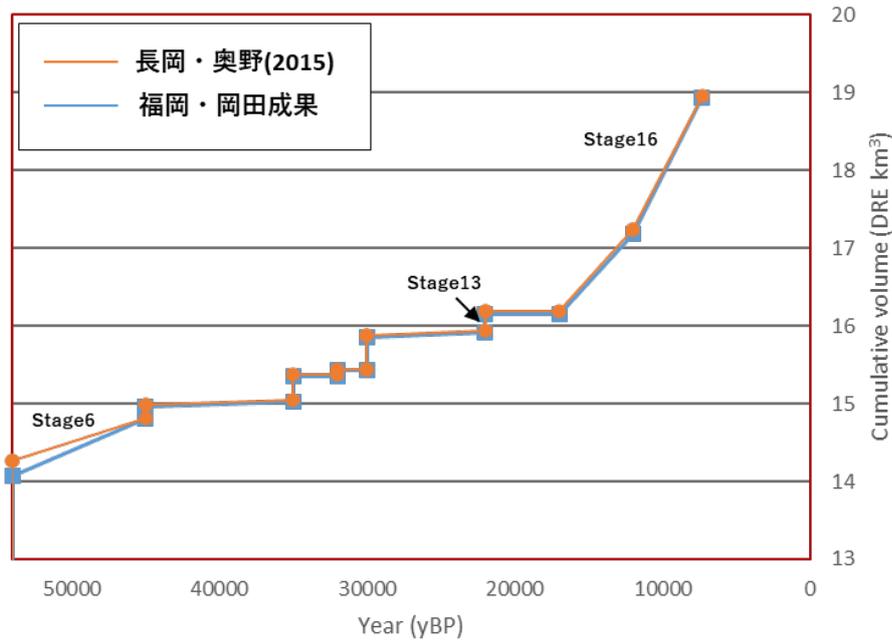


図 93. 九重火山階段ダイアグラムの Stage-6-16 拡大図。

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

i) 阿蘇火山中岳第 1 火口 2021 年 10 月 14 日噴火に伴う現地調査

阿蘇火山中岳第 1 火口において 2021 年 10 月 20 日 11 時 43 分に火砕流と噴石を伴う噴火が起こった。また、その噴火に先行して 10 月 14 日 4 時 43 分頃にも噴火が発生し、熊本県高森町・大分県竹田市・宮崎県高千穂町の一部で降灰が確認されている。熊本大学は京都大学と協力して、この 10 月 14 日噴火発生直後に火口周辺域や阿蘇カルデラ南東部において噴出物の分布・堆積状況を調査した。その調査時に採取した試料の顕微鏡観察や化学分析を実施し、それらの結果をもとに 10 月 14 日噴火の特徴を明らかにした<sup>105)</sup>。

熊本大学と京都大学は、2021 年 10 月 14 日 9 時半～18 時頃に中岳火口近傍域 12 地点と火口から南東方にあたる阿蘇カルデラ内（南郷谷）の 18 地点において建物や道路などの人工物上から定面積試料を採取することができた。定面積で採取した試料は、熊本大学に持ち帰って質量を測定し、1 m<sup>2</sup>当たりの質量に換算した。2021 年 10 月 14 日噴火に伴う火山灰の分布状況を図 94 に示す。

今回の噴出物は中岳第 1 火口から南東方向に主軸をもって分布していた。気象庁による調査でも宮崎県高千穂町付近まで降灰が確認できてされており、阿蘇カルデラ南東部での分布傾向と調和的である。中岳火口近傍域では第 1 火口南西縁の地点で厚さ 1 cm 以下の火山灰の堆積が観察され、堆積量は約 10 kg/m<sup>2</sup>であった。また第 2 火口南縁付近で 800～2,500 g/m<sup>2</sup>程度の火山灰が堆積していた。阿蘇カルデラ南半分の南郷谷内で火山灰が最も多かったのは、中岳第 1 火口南東約 6 km の地点であり、100 g/m<sup>2</sup>程度の堆積量であった。その他の地点では 5～70 g/m<sup>2</sup>前後の火山灰の堆積が観察された。

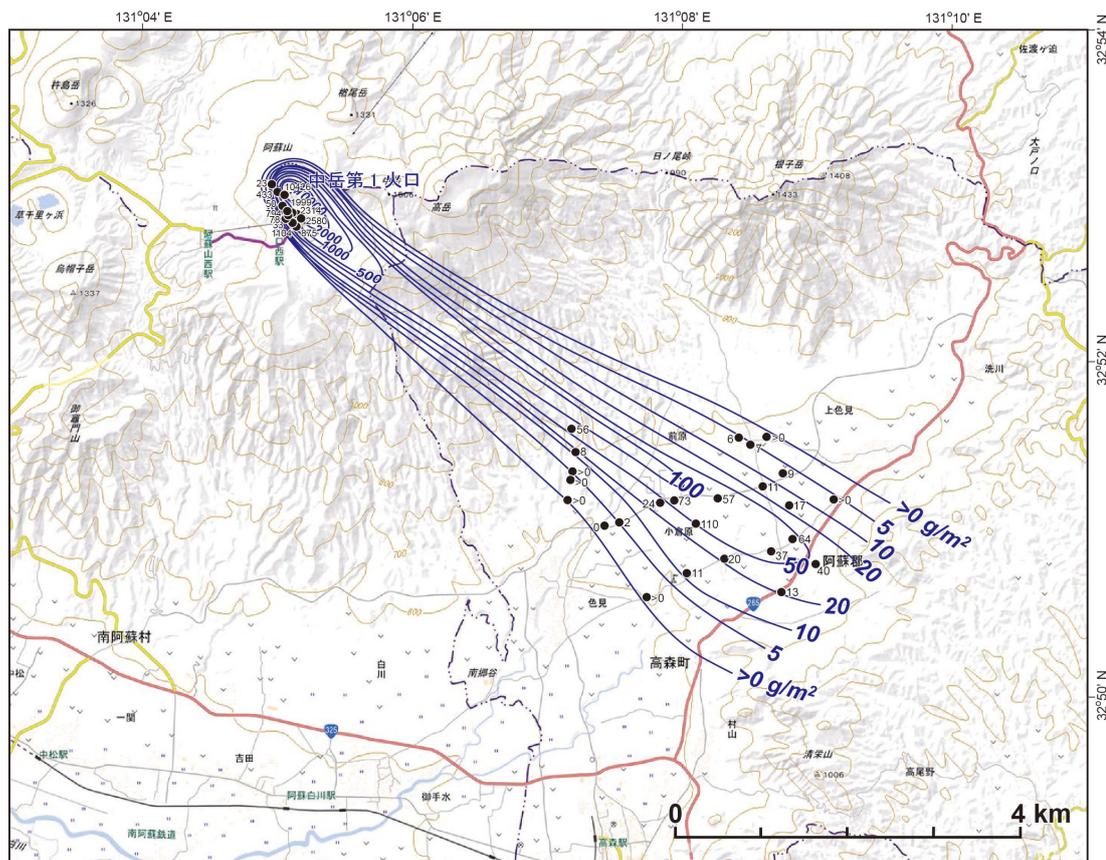


図 94. 阿蘇火山中岳における 2021 年 10 月 14 日噴火に伴う火山灰の分布（単位  $\text{g}/\text{m}^2$ ）。地理院地図レベル 14 を使用。

得られた降灰量データから 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1,000, 2,000, 10,000  $\text{g}/\text{m}^2$  の 9 本の等質量線を描くことができた。火山灰の各等質量線が囲む面積と質量との関係から、降下した火山灰の量は 2,500 トン程度と概算された。

今回の噴火において特筆すべき点は、噴石が放出されたことである。10 月 14 日午前の現地調査では、中岳第 1 火口西北西縁から第 2 火口南縁にかけて多数の噴石が存在することと中岳第 1 火口中心から 450 m 程度の範囲にまで噴石が達していることがわかった（図 95）。最大のものは  $70 \times 32 \times 31$  cm で、第 1 火口南西側で認められ、火口中心からの距離は約 300 m であった。すべての噴石の大きさを計測したわけではないが、中岳第 1 火口西北西～南西縁には長径 30～70 cm 程度の噴石が多数観察された（図 96）。この地域における噴石の密度は 10 m 四方に 20 個程度であった。

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（最大径 1.3 m）を形成しているものが多数発見されたが、2016 年 10 月 8 日噴火時のように、噴石周囲の火山灰が赤褐色に焼かれたような形跡は認められなかった。このことから噴石はそれほど高温ではなかったと推定される。

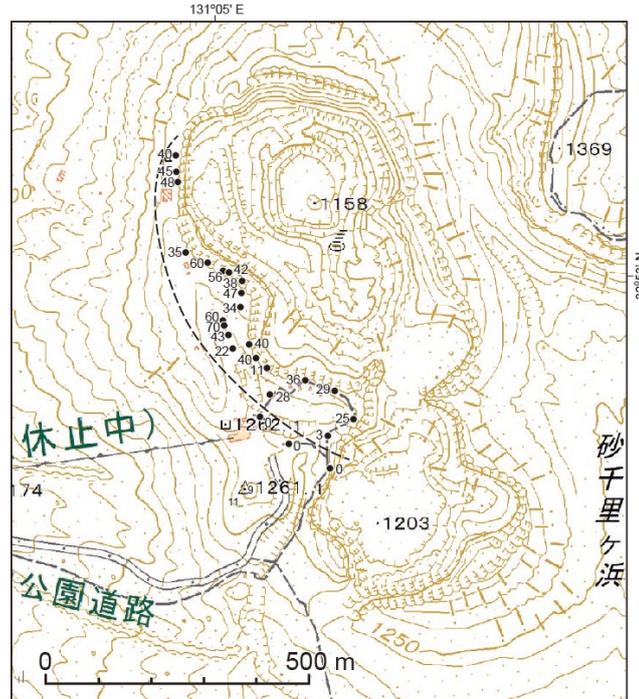


図 95. 2021 年 10 月 14 日噴火で放出された噴石の大きさ（長径）の分布（地理院地図レベル 15 を使用）。破線は噴石の分布範囲の限界（西南西～南端）を示す。



図 96. 中岳第 1 火口南西側縁で観察された噴石（写真中央下付近は最大の噴石、長径 70 cm）。

中岳火口近傍域には厚さ 1 cm 以下の降下火山灰が観察されたが、10 月 14 日午前の調査時に第 1 火口西～南西側縁と第 2 火口南側縁とでは火山灰の産状が異なっていた。まず第 1 火口西～南西側縁の火山灰は暗灰色を呈して、水分を含んだ状態で堆積していた（図 97）。一方、第 2 火口南側縁の火山灰は 1～3 mm 程度の厚さで、凝集はしているものの、現地調査時には乾燥した状態であった。一方、阿蘇カルデラ南東部における 10 月 14 日火山灰は、全体として灰色～灰白色を呈し、道路の路面や人工物上に明瞭に認められた。その堆積物は、わずかに礫画分を含むが、砂サイズ以下の粒子を主体とする火山灰であった。大部分の調査地点では、数 mm 程度の大きさに凝

集した粒子が認められるとともに、降灰域の構造物には、火山灰が泥雨（径 1 cm 以下）として降下した状況も観察できた。

中岳火口近傍域で採取した火山灰試料を湿式でふるい分けし（-3 $\phi$ 、1 $\phi$ 間隔）、3 $\sim$ 2 $\phi$ （0.125 $\sim$ 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）を用いた光学顕微鏡観察によって 200 個以上の粒子を確認し、構成物比を算出した。噴出した火山灰構成物の 4 $\sim$ 5 割程度は灰色 $\sim$ 白色の岩片であったが、ガラス片も 8 $\sim$ 16%ほど含まれていた。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。

さらに、採取した火山灰試料の 5 $\phi$ （1/32 mm）以下の細粒部分の X 線回折分析を行った結果、黄鉄鉱やソーダ明礬石の明瞭なピークが検出され、硬石膏や石膏、クリストバライト、自然硫黄も含まれることがわかった。このように、火山灰中の細粒物に硫酸塩鉱物、硫化鉱物、自然硫黄などの硫黄系鉱物が存在することは、マグマ上昇頻度が高い火山において熱水変質が起こった後に発生した水蒸気噴火の特徴<sup>106)</sup>と考えられる。したがって、中岳第 1 火口で 2021 年 10 月 14 日に発生した噴火は水蒸気噴火であったと推測される。



図 97. 中岳第 2 火口南縁における降下火山灰。

#### ii) 阿蘇山における令和 4 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、竹田市九重野において、噴火堆積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、阿蘇カルデラの中心から東方へ約 20 km 離れた地点に位置している。阿蘇カルデラ形成後に活動を開始した中央火口丘群から噴出したテフラはカルデラ東方域に厚く堆積しており<sup>107)</sup>、Aso-4 噴火（約 9 万年前）以降の全層厚は東側カルデラ縁で 100 m 程度に達している<sup>108)</sup>。本年度のトレンチ調査は、中央火口丘群初期の噴火史解明のために実施したが、その時期の噴出物はカルデラ壁に近い熊本県内にはほとんど露出していない。一方で、降下テフラ全体が薄くなる大分県竹田市九重野付近ではトレンチ調査によって中央火口丘群初期のテフラを観察できる可能性が考えられた。

本年度に調査を行った地点では、トレンチ掘削断面最下位に約9万年前のAso-4火砕流堆積物の上面付近が観察された(図98)。同火砕流堆積物の上位1.5 m付近には、黄白色火山灰層が挟在する厚さ約1.7 mの風化した降下軽石層が認められた。さらにその上位70 cm付近には別の風化した軽石層(層厚約10 cm)が存在していた。いずれの軽石層も降下スコリア層に直接覆われていた。

こうしたテフラ層はカルデラ縁から20 km程度離れた地点で10 cm以上の厚さを有することから、いずれもプリニー式噴火による産物と推定される。今回のトレンチ調査により、阿蘇火山中央火口丘群の活動初期に少なくとも2回のプリニー式噴火が発生したことが明らかとなった。今後は噴出物層序の詳細と噴火史について検討する予定である。



図98. 竹田市九重野におけるトレンチ断面。

x) 霧島：霧島火山群の噴火履歴・噴火推移に関する研究（東京大学地震研究所）

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。令和4年度はこのうち新燃岳および硫黄山について重点的に進めた。

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）と噴出物の物性および岩石組織解析にもとづき明らかにした。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率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な噴火により、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。この研究成果は国際誌に投稿し、査読・改訂中である。

硫黄山は16-17世紀頃の活動で形成されたが<sup>109)</sup>、詳細な地質および岩石学的特徴についてはこれまで未解明であった。そこで硫黄山の火口を含む山体および北側の溶岩流を南西から北東に縦断するように踏査を行い12箇所を試料を採取し(図99)、薄片観察、全岩化学組成分析、鉱物化学組成分析を実施した。その結果、薄片観察においては、斜長石、両輝石、カンラン石、鉄チタン酸化物が斑晶として含まれること、斑晶量が37-50%であることなど、記載岩石学的特徴が新燃岳とよく似ていることがわかった(図100)。なお、カンラン石は先行研究の報告にはなく、本研究により初めて発見されたことは特筆すべきである。さらにカンラン石斑晶には、厚さ400-500 $\mu\text{m}$ に達する反応縁が発達し逆累帯構造が認められるものと、反応縁が薄く正累帯構造が認められるものなど複数のタイプが存在することがわかった(図101)。全斑晶量およびカンラン石斑晶量は溶岩流先端部ほど多くなる傾向があることも明らかとなった。

全岩化学組成は $\text{SiO}_2$ 含有量60~63 wt. %で直線的トレンドを示す。硫黄山火口付近では $\text{SiO}_2$ 含有量はやや高く、北西に流下した溶岩ほど低い値を示すような系統的化学組成バリエーションが存在する(図102)。さらに、全岩化学組成は珪長質側で有史の新燃岳噴出物の組成範囲と重なるものの、苦鉄質側は新燃岳と異なる端成分を示し、新燃岳よりもさらに苦鉄質なマグマの関与が示唆される。微量元素では新燃岳と区別することは難しいものの、Zr/YやRb/Yなどの濃度比で御鉢とは区別できる可能性があることもわかった。

鉱物化学組成は、斜長石のバイモーダルで幅広い組成や、両輝石のMg値は新燃岳のそれらと類似するものの、カンラン石の化学組成は新燃岳<sup>110)111)</sup>を含む霧島火山群のどの火山においても報告がないMg値が90に達するものが含まれていることが明らかとなった(図103)。全岩化学組成の特徴や、カンラン石に認められる複数のタイプの累帯構造の特徴を踏まえると、硫黄山噴火には、御鉢の玄武岩質マグマとも異なる未分化な苦鉄質マグマが複数回にわたり関与したことが示唆される。また、高いMg値を有するカンラン石は、珪長質マグマと非平衡であるにも関わらず反応縁が発達していないことから、マグマの深部からの上昇や浅部マグマ溜まりにおける滞留の時間スケールは、カンラン石の再平衡化が十分進まないほど短かったことが示唆される。

硫黄山の噴火時期(16-17世紀)は、御鉢の噴火活動が活発な時期、かつ新燃岳の享保噴火(1717-1718年)に先駆ける時期でもある(図104)。このような霧島火山群全体が活発化した時期にこれまで知られていなかった未分化な苦鉄質マグマが火山

群下に注入されていたことは、地表活動と深部マグマ供給プロセスが密接に関係していることを示唆する。今後、硫黄山溶岩の噴出過程に加えて、噴火を引き起こしたマグマとその供給系について、岩石鉱物学的分析にもとづきより明確にするとともに、新燃岳と御鉢のマグマとの関係についても検討する。

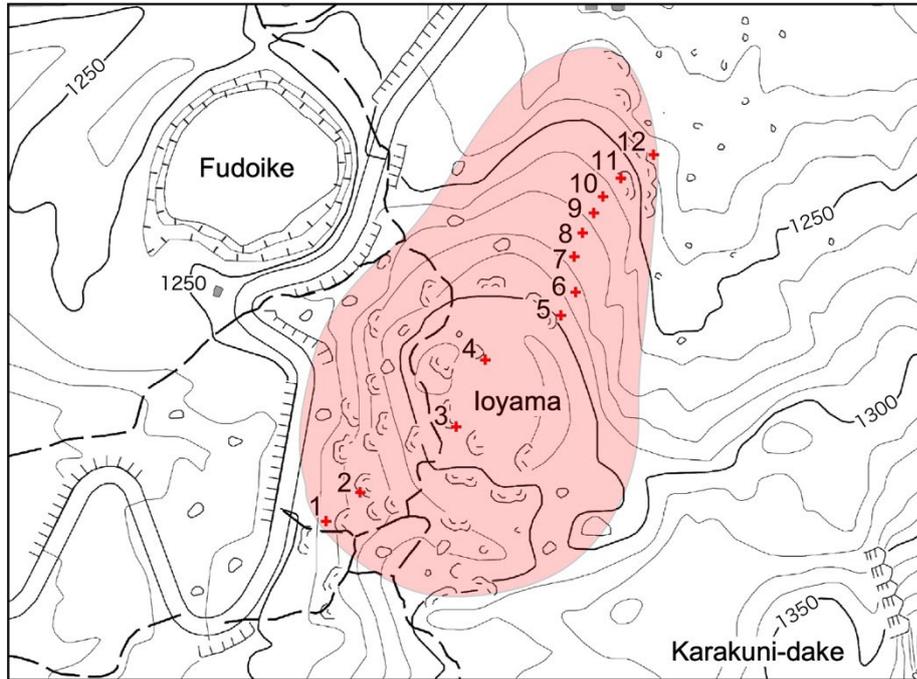


図 99. えびの高原硫黄山溶岩の分布と試料採取位置。

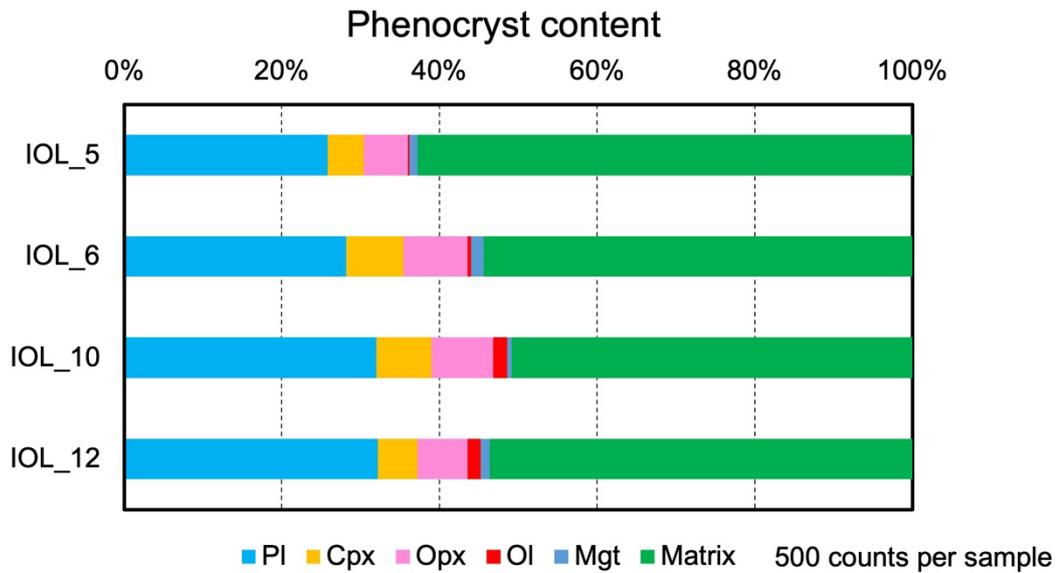


図 100. えびの高原硫黄山溶岩の代表的溶岩試料の斑晶モード組成。試料番号は図 99 に対応。

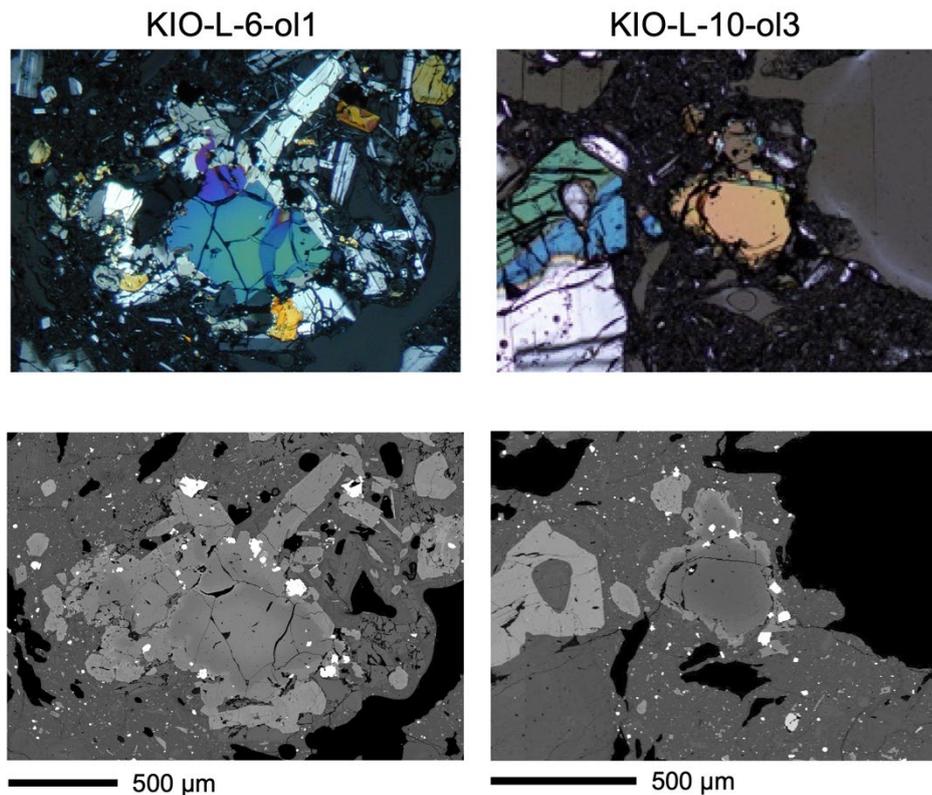


図 101. 硫黄山溶岩に含まれる代表的なカンラン石（上：偏光顕微鏡写真、下：電子顕微鏡による反射電子像）。左側のものには厚さ  $400\text{--}500\ \mu\text{m}$  に達する反応縁が発達し逆累帯構造が認められる一方、右側のものは反応縁が薄く正累帯構造が認められる。

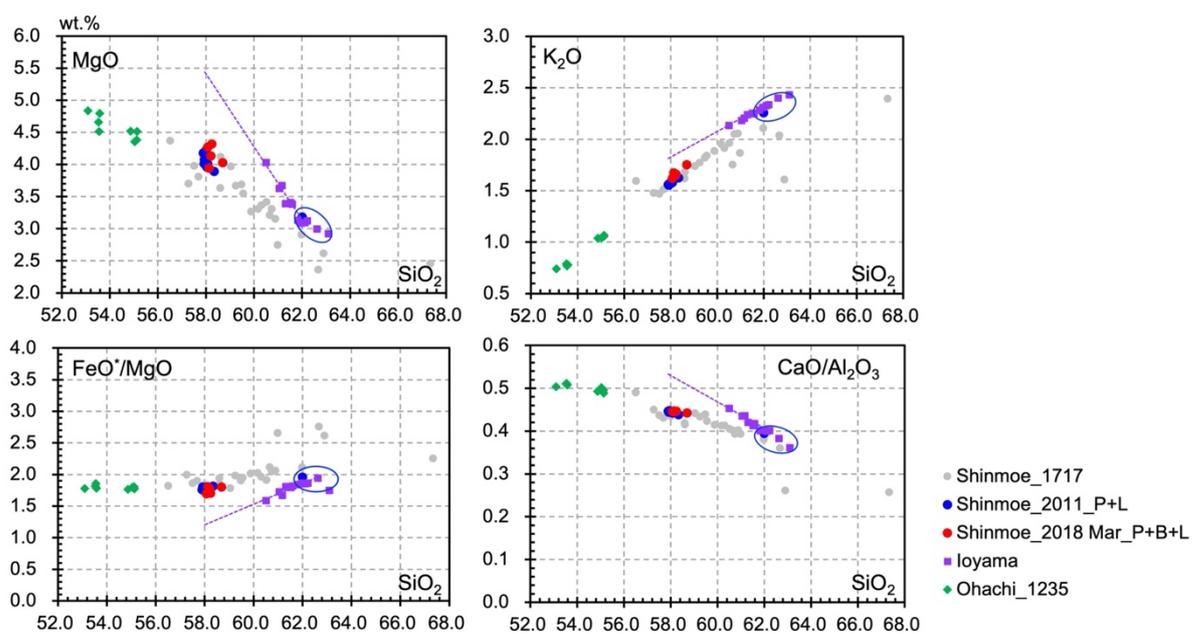


図 102. 硫黄山溶岩の全岩主要元素化学組成。硫黄山 (square) に加えて新燃岳 (circle) と御鉢 (diamond) のデータも同時にプロットしている。

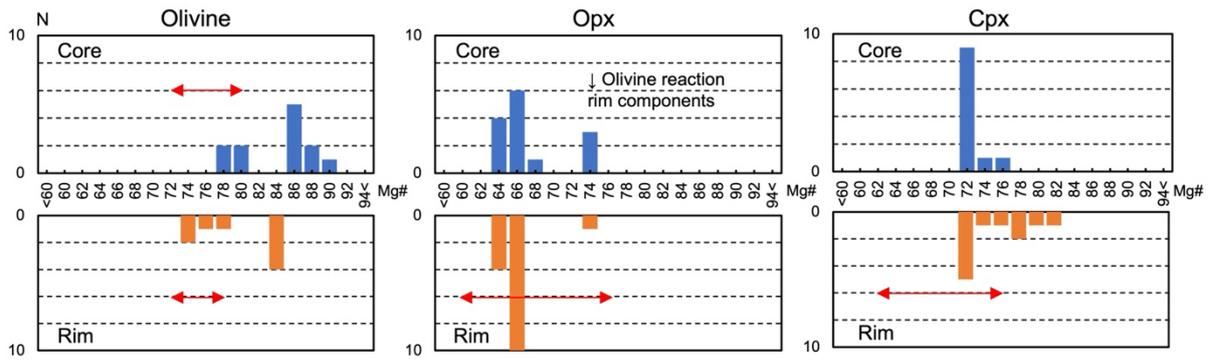


図 103. 硫黄山溶岩のカンラン石、直方輝石、単斜輝石の化学組成。赤矢印は、Tomiya et al.<sup>111)</sup>による新燃岳 2011 年噴火の噴出物に含まれる同鉱物の化学組成データ。

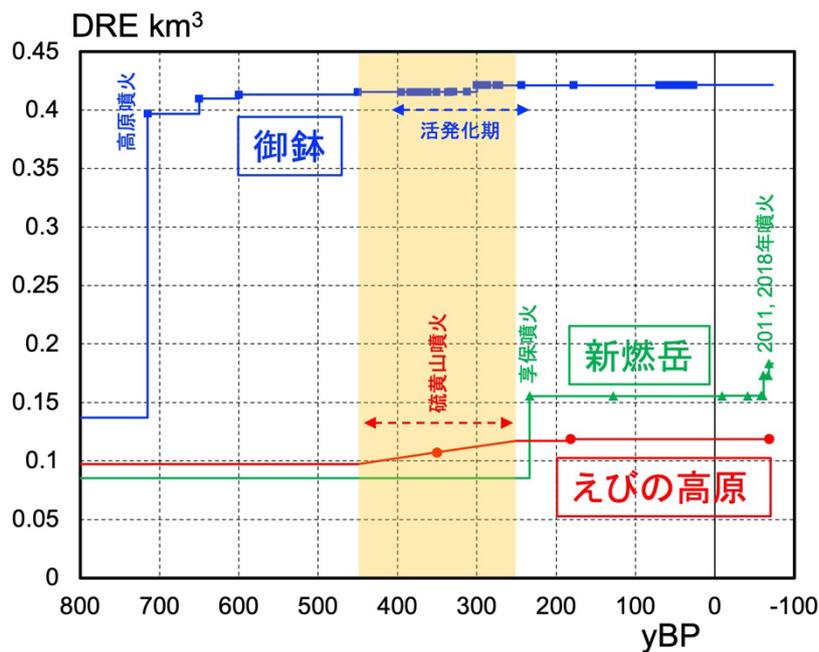


図 104. 霧島火山群における過去約 800 年間における噴火履歴を、各火山の階段ダイアグラムにより表現したもの。噴火年代および噴出量データは、活火山総覧<sup>112)</sup>および田島ほか<sup>109)</sup>にもとづく。黄色部分は硫黄山噴火発生の可能性のある時期。

y) 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）

南九州の鬼界火山において、長期的な噴火活動の履歴を明らかにするために地質学的、物質科学的研究を進めている。令和 4 年度は、昨年度から引き続き 7.3 ka アカホヤ噴火に先行する活動履歴を解明するために、長浜溶岩（7.3 ka 頃）より下位の堆積物（平成 30 年度実施ボーリング掘削試料）の分析を進め、陸上テフラとの対応関係について検討した。掘削試料からはすでに 12-15 ka のテフラ群（PN1-8）の存在を見出していたが、陸上の同時期の籠港テフラ群<sup>113)</sup>との関係を知るために、同テフラ群に挟在するスコリア層を調査し、直下の土壌の <sup>14</sup>C 年代を測定したところ 10-11 ka (2σ) の年代値が得られた（図 105）。籠港テフラ群のうち、少なくともこのスコリア層が掘削試料よりも若い噴出物であることを明確にした。スコリアの記載

岩石学的特徴は、蜂の巣状組織を有する斜長石斑晶に富むことなど、PN テフラと類似する。また、籠港スコリアの全岩化学組成はPNテフラよりもSiO<sub>2</sub>に乏しいものの、7.3 ka アカホヤ噴火の珪長質マグマを端成分とする、PNテフラと同一の直線的組成トレンドに乗る。この組成トレンドは、アカホヤ噴火とは異なる苦鉄質端成分で特徴づけられる。このことから、アカホヤ噴火より前の10-12 ka頃は、アカホヤ噴火とはやや異なるマグマ供給系であったことが示唆される。これらのマグマの特徴を明確にし、成因関係についてさらに調べるのが今後の課題である。

7.3 ka 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砕流(Unit B)が噴出したことが明らかにされているが<sup>114)</sup>、今年度は広域地質調査にもとづいてUnit A、Bの精密な把握を行うとともに、構成物組成の解析を通して鬼界カルデラ近傍地域(薩摩硫黄島および竹島)と遠方地域(大隅・薩摩半島、種子島および宮崎県南端部)との間での層序対比も進めた(図 106・107)。近傍地域におけるUnit Aは基本的に5つのサブユニット(下位からUnit A0-4)に分けられる。遠方地域のうち大隅半島北部や薩摩半島、種子島、宮崎県南端部ではUnit Aは単層であるが、大隅半島南部や南端部では複数のサブユニットからなる。大隅半島南端部におけるUnit Aは少なくとも7つの降下軽石層とその間の火山灰濃集層からなる。Unit A1、A3-4の見かけ噴出量は、経験式に基づく層厚分布のフィッティングによりそれぞれ~0.4 km<sup>3</sup>、~10 km<sup>3</sup>程度と推定された。一方、Unit Bは近傍地域のみで確認される谷埋め型の溶結凝灰岩で、最下部はUnit Aと指交関係にある。これらの堆積物の調査解析にもとづき、カルデラ形成に先行するフェーズについて次のような解釈を行った。Unit A0は最初期の小規模な噴火イベントにより形成された。それより上位のUnit Aは、新火口の開口や火道の急拡大を示すと考えられるUnit A3により2つのプリニー式噴火イベント(Unit A1、A3-4)に大別され、後者がより大規模である。Unit A2は火砕流に由来する堆積物と解釈でき、Unit A1イベント末期に噴煙柱崩壊が生じていた可能性がある。Unit Bはその全体がUnit A3-4イベントをもたらした噴煙柱の崩壊により生じた希薄かつ高温のイントラプリニアン火砕流堆積物と解釈できる。薩摩硫黄島におけるUnit B上部を降下火砕物とする先行研究の解釈<sup>114)115)</sup>は再検討を要する。近傍地域で見られるUnit Aの局所的異常、遠方地域との間におけるUnit A4のサブユニット数に関する考察などから、遠方地域におけるUnit A4の大部分はUnit Bと同時相と考えられ、噴煙柱の部分崩壊によるイントラプリニアン火砕流とプリニー式噴煙柱の共存状態がUnit A3-4イベント早期から生じていた可能性があることが明らかとなった。本内容については日本地球惑星科学連合2023年大会にて発表予定である。

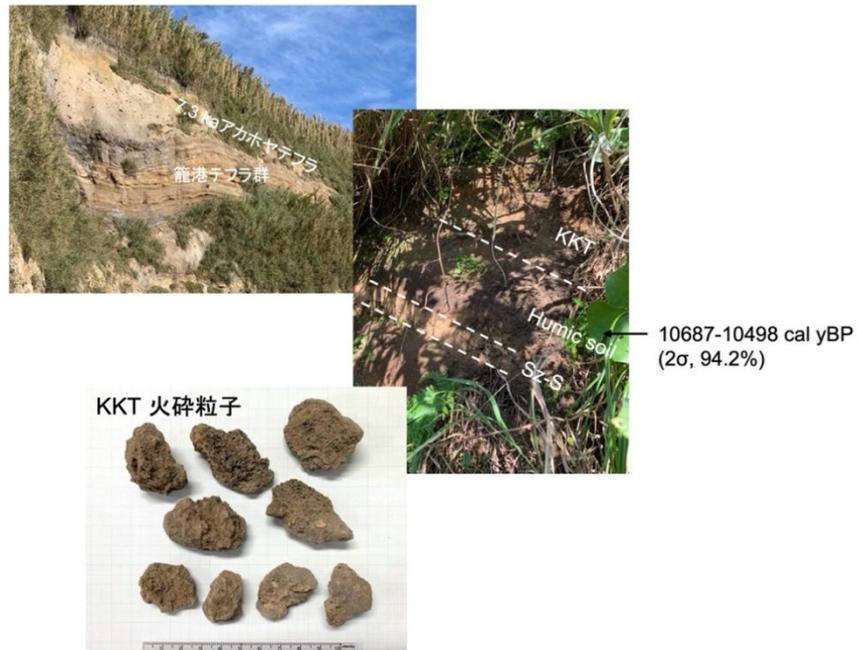


図 105. 鬼界カルデラ竹島における鬼界籠港テフラとその構成粒子。桜島薩摩テフラ (Sz-S) とスコリア層に挟まれる土壌の年代を測定したところ、およそ 10,500 cal yBP の値が得られた。



図 106. 大隅半島南部における鬼界アカホヤ噴火プリニー式噴火フェーズの堆積物とその層序区分。

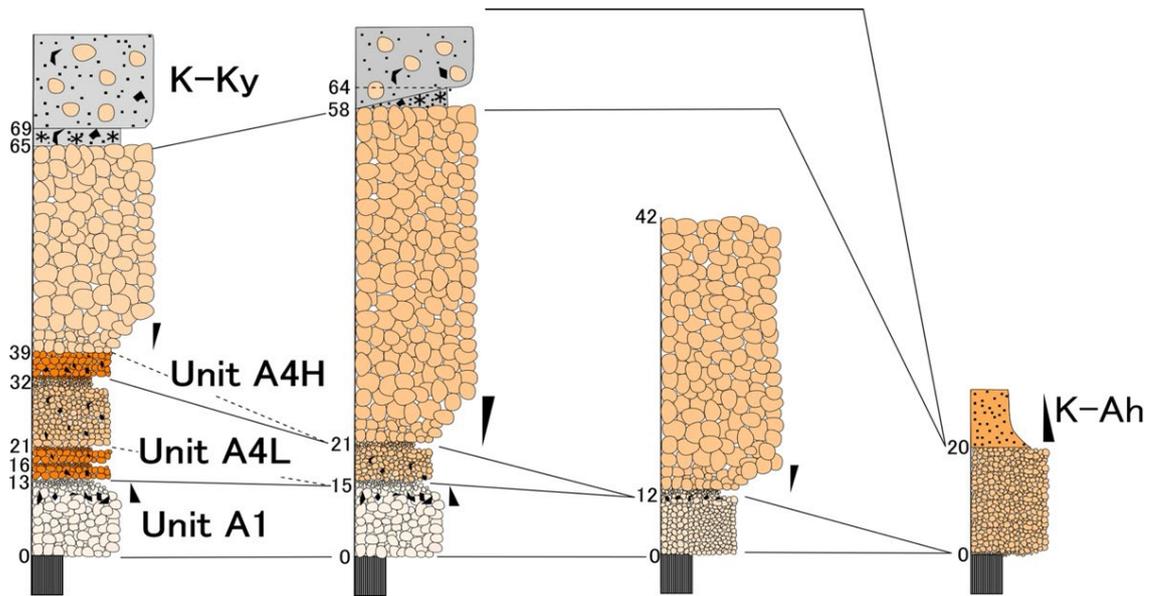


図 107. 大隅半島の 4 箇所における鬼界アカホヤ噴火プリニー式噴火フェーズの堆積物と代表的地点の対比。

z) 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 1 にまとめる。

表 1. その他の対象火山の実施内容のまとめ。

対象火山	実施内容	実施機関
利尻山	利尻火山最新の噴火活動履歴を再検討するために、これまでの成果を整理し、赤色立体地図による地形判読を行った。また、最新の珪長質噴火をもたらしたマグマ供給系解明のための物質科学的解析を継続した。	北海道大学
摩周	摩周カルデラおよび東方に分布するテフラ調査を行い、これまでの成果と合わせて、長期噴火活動履歴について整理した。	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た。	北海道大学
ニセコ	数百年前まで活動していたことが明らかになった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）	歴史時代噴火の噴火準備プロセスとその時間スケールを明らかにするため、鉱物化学組成を中心とした物質科学的解析を行った。	北海道大学
十和田	毛馬内火砕流を対象として、火砕流の再移動および堰き止め湖決壊によるラハールについて調査を行い、本火山で起こり得る現象とその社会的影響について検討した。	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て整理した。	北海道大学
岩手山	西岩手カルデラ形成期における火山活動の推移とマグマ供給系の進化過程を解明するため、加賀内スコリア・生出火山灰・雪浦軽石について、層序に沿った岩石学的調査を実施した。	秋田大学
秋田焼山	昨年度までの調査結果をとりまとめ、層序を確立し、火山地質図の作成を進めた。	産業技術総合研究所
新潟焼山・妙高山	これまでの調査結果を整理し、成果公表に向けた準備を進めた。	富山大学
草津白根山	野外調査結果および年代測定結果をとりまとめ、最近2万年間の噴出物層序を確立した。	富山大学
伊豆東部火山群	降下軽石・火砕流・溶岩流という推移を辿ったカワゴ平噴火（3.2千年前）について、その噴火推移とマグマプロセスの関係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た。	北海道大学
横岳（八ヶ岳）	古地磁気学的年代推定と岩石学的解析を行い、Y5・Y6 溶岩の年代と分布範囲の再検討を進めた。	信州大学
焼岳	古地磁気学的年代推定と岩石学的解析により、焼岳最大規模の下堀沢溶岩流の年代と分布の再検討を行った。	信州大学
阿武火山群	これまでの物質科学的データを整理し、単成火山群の噴火形態の規制要因について検討した。	山口大学・北海道大学
桜島	かんらん石斑晶の特徴が21世紀の噴火活動推移の指標になり得るといふ知見について成果公表に向けて準備し、国際会議で発表した。	北海道大学

## 2) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発

北海道大学では、マグマ変遷解析センターにおいて、引き続き電子顕微鏡・質量分析装置・全真空型フーリエ変換赤外分光光度計顕微システムの分析法の発展に取り組んだ。また、参加機関の研究者・大学院生の利用受入れを継続し、本年度は4機関計15名の利用があった。以下に、マグマ変遷解析センターを活用した事例および技術開発事例を報告する。

### a) 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の解明

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、八丈島西山火山の試料を対象に岩石学的・地球化学的解析を行い、マグマの多様化プロセスを含むマグマ供給系の検討を行った。

八丈島は伊豆－小笠原弧の火山フロント上に位置する活火山である。本研究対象の西山火山は島の北西部に位置し（図 108）、およそ1万年前から形成が開始したと考えられている<sup>116)</sup>。西山火山の噴出物を対象とした物質科学研究はいくつか行われており、全岩の主要元素組成の多様性は主に斜長石の集積作用によって支配されていること<sup>117)-120)</sup>、海底の噴出物（Hachijo NW chain）のなかには初生的な特徴をもつものが含まれること<sup>119)</sup>、などが明らかにされてきた。本研究では、2018年に発

行された八丈島の火山地質図<sup>121)</sup>に従い、西山火山の陸上噴出物（図 108）を高い時間分解能で採取し、物質科学的解析を行った。

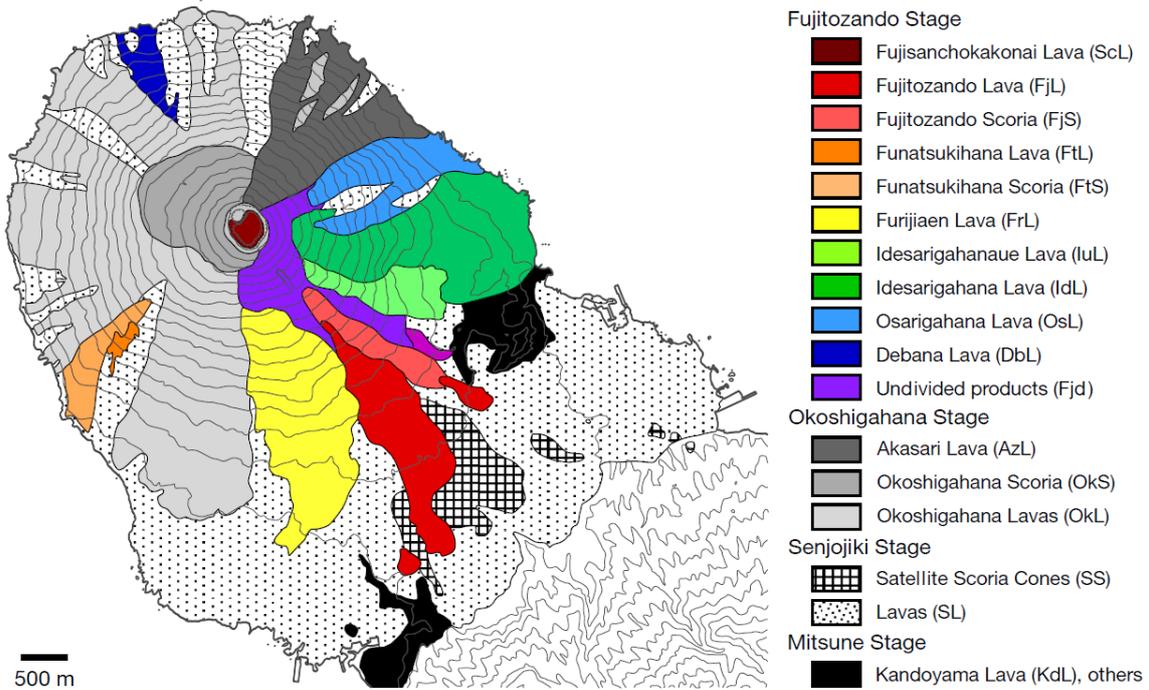


図 108. 八丈島の北西部の火山地質図<sup>121)</sup>。

噴出物の斑晶量は 1~40%程度と多様である。斜長石が主要な斑晶鉱物であり、有色鉱物の斑晶量は合算しても概して 2%以下である。斜長石斑晶は、リム部を除く内部は高 An 量 (>An80) であるが、それらは清澄なもの、ガラス包有物に富むもの、清澄なコア部とガラス包有物に富むマントル部から構成されるもの、に分けられる。西山噴出物の全岩の SiO<sub>2</sub> 含有量は 49.4-54.9 wt.% であり、53 wt.% 以下の玄武岩質なものとは 54 wt.% 以上の安山岩質なものに区分される（図 109）。Sr-Nd-Pb 同位体比は概して均質であるが、初期の噴出物（千畳敷ステージ；3-1 ka）の中には鉛同位体比が若干低いものが存在する（図 110）。それらの試料は西山噴出物の中でも La/Sm 比、Zr/Y 比、K<sub>2</sub>O 量が低い傾向がある。

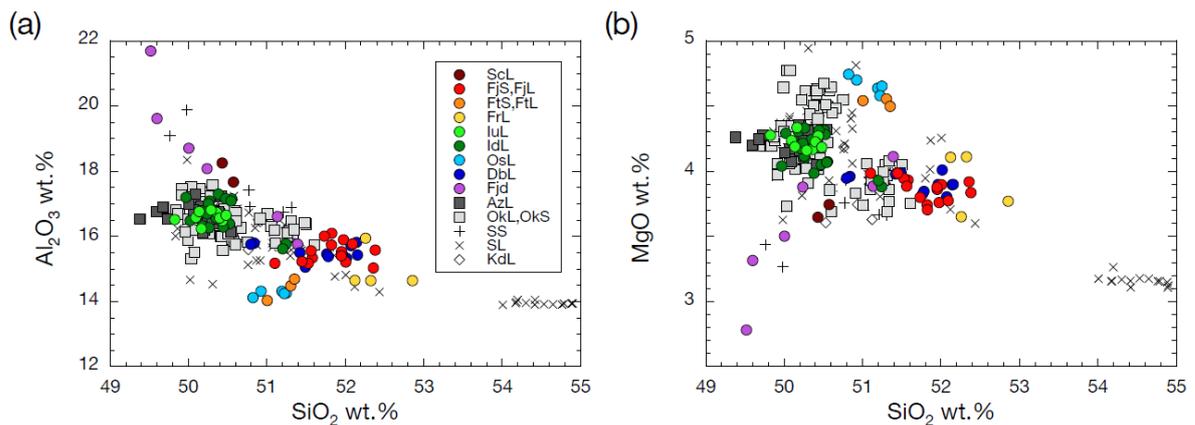


図 109. 八丈島西山火山の噴出物の全岩化学組成。

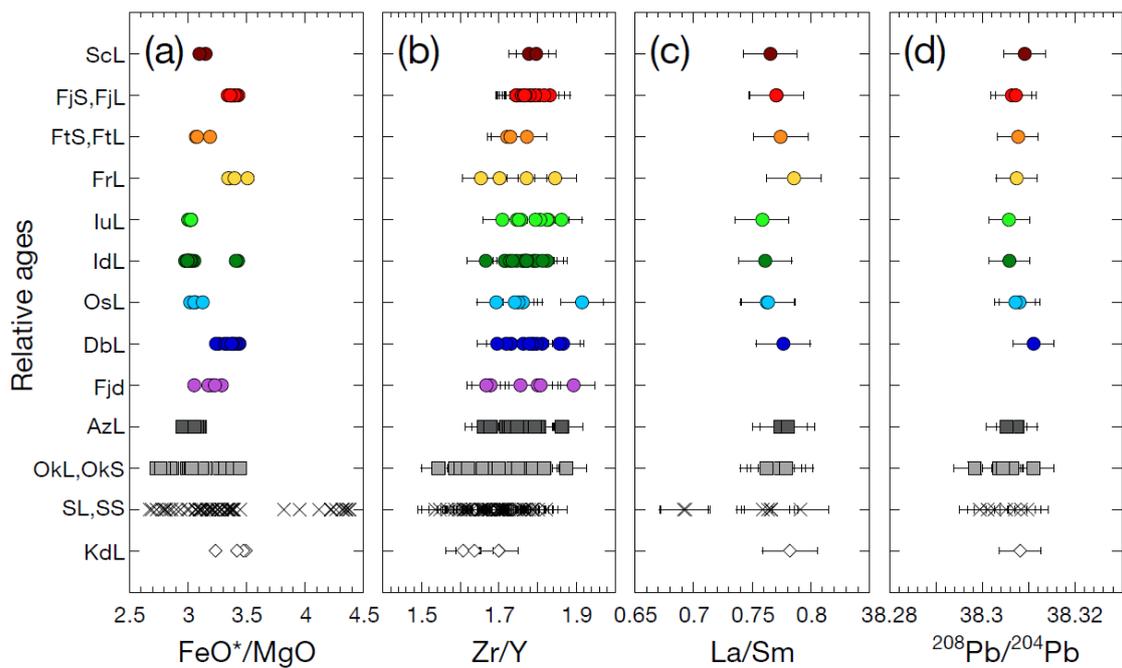


図 110. 八丈島西山火山の噴出物の地球化学的特徴についての時間変化。

最新期の噴出物（富士登山道ステージ；<0.7 ka）を含め、大部分の噴出物の Sr-Nd-Pb 同位体比は均質であることから、それらの噴出物は共通の親マグマに由来すると思われる。その一方で、千畳敷ステージの一部に鉛同位体比が低い噴出物が存在することから、1 ka 以前には別の親マグマ（低い鉛同位体比、La/Sm 比、Zr/Y 比、 $K_2O$  量）も西山火山のマグマ系に関与していたと考えられる。ちなみに Hachijo NW chain の初生的噴出物も低 La/Sm 比、Zr/Y 比、 $K_2O$  量の特徴をもつことから<sup>119)</sup>、後者の親マグマはそれらのマグマと共通している可能性が高いといえる。

均質な同位体比をもつ大部分の西山噴出物は共通の親マグマに由来するため、それらの噴出物の全岩化学組成の多様性は、結晶-メルト間の分離過程に支配されていたことになる。このため、結晶分化作用が進行したマグマ溜まりの存在が示唆される。両輝石地質圧力計<sup>122)</sup>を用いて、共存する単斜輝石と直方輝石のペアから圧力条件を推定したところ、マグマ溜まりの深度として 9-12 km の条件が得られた。この深度領域は、2002 年に発生した群発地震の深度<sup>123)</sup>と調和的である。

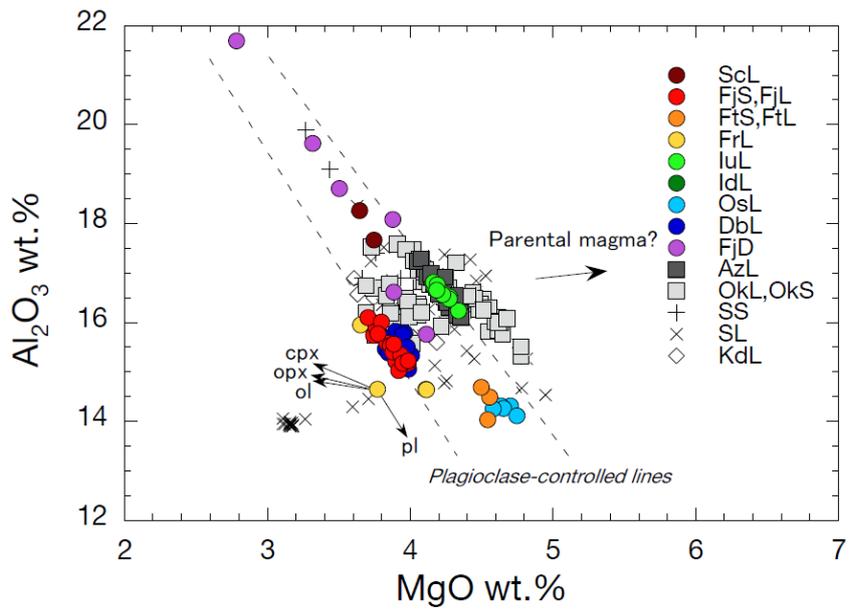


図 111. 八丈島西山火山の噴出物の全岩化学組成。

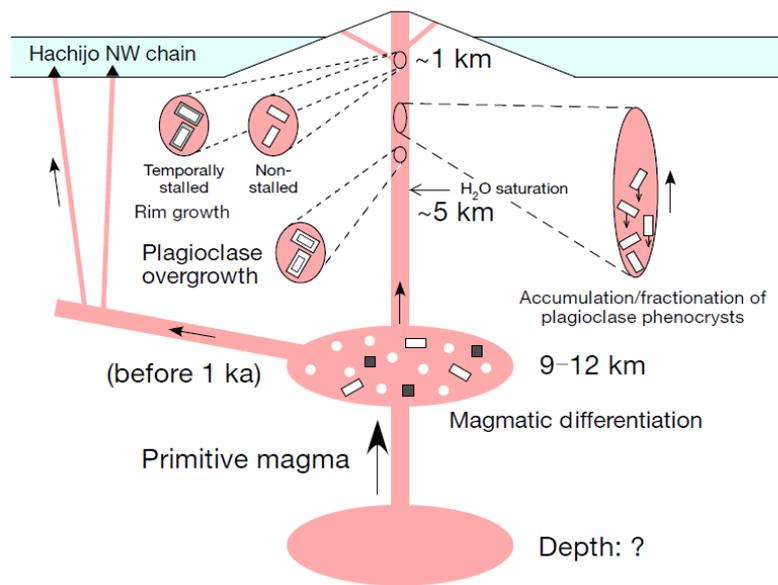


図 112. 西山火山におけるマグマ供給系とマグマプロセスのまとめ。

一部の斜長石斑晶の内部は、清澄なコア部とガラス包有物に富むマンテル部から構成されることから、それらの斜長石は、マグマ溜まり内での比較的な静穏な条件下での結晶化に引き続き、マグマ上昇中の急成長（減圧に起因する水の飽和溶解度の低下に伴うリキダス温度上昇）によって形成されたことが示唆される。また、いくつかの噴火ステージの噴出物は、それぞれ独立した斜長石集積トレンドを形成することから（図 111）、斜長石斑晶の濃集—分別過程は、定常的に存在したマグマ溜まりで起きていたとは考えにくい（定常的なマグマ溜まりが存在していれば、マグマ溜まり

内に存在する不均一なマグマと次のステージの貫入マグマとの間でマグマ混合が進行し、観察されるような直線的な斜長石集積トレンドが形成されるとは考えにくい(ため)。また、水に飽和した西山マグマのメルトは、常に斜長石斑晶の密度よりも低いことが明らかになった。このことから、斜長石斑晶の濃集—分別プロセスは、上昇中のマグマ内で相対的に斜長石斑晶が沈降することにより進行したと考えられる(図 112)。

b) FT-IR 分析用の両面研磨薄片の厚さ測定法について

マグマ変遷解析センターに配備されている顕微 FT-IR は、火山プロジェクトではメルト包有物の含水量の測定によく使用されている。メルト包有物とは、斑晶の内部に閉じ込められた小さなガラス玉であり(図 113)、斑晶がマグマ溜まりで成長する際に周囲のメルトを捕獲したものである。メルト包有物は斑晶に閉じ込められているため、噴火の際に脱ガスしにくく、マグマ溜まりでの揮発性成分を維持している可能性がある。そのためメルト包有物の含水量を測定し、 $H_2O$  の溶解度則(強い圧力依存性を持つ)と比較することで、マグマ溜まり圧力(深度)を推定することが可能である。

FT-IR による含水量の測定は、原理・手法ともに単純であるが、分析に必要な斑晶の両面研磨薄片の作製とその取り扱いで技術的に苦慮することが多い。両面研磨薄片の厚さは  $20\sim 80\ \mu m$  ほどと薄いため、作製途中で壊れやすい。また、両面研磨薄片が完成したとしても、その厚さをマイクロメータで測定する段階で壊れたり、失くしたりすることが多く、最後の分析までたどり着ける試料はさらに少なくなる。さらに、厚さ  $20\ \mu m$  以下の薄い薄片や、直径  $0.5\ mm$  以下の小さな試料の場合は、マイクロメータで軽く挟んだだけで粉碎されることもあり、厚さを測定するのが大変難しい。そこで本年度は、両面研磨薄片の厚さを、顕微 FT-IR に搭載されている CCD カメラの画像と薄片のフォーカス位置から見積もる方法の実現可能性を調査した。すなわち、両面研磨薄片の上面と下面でそれぞれフォーカスを合わせ、そのときのステージ高さの値( $Z$  値; ソフトウェア上で表示される)を読み取り、その差( $Z_{\text{上面}} - Z_{\text{下面}}$ )を厚さとする方法である。そこで、厚さが既知の試料(あらかじめマイクロメータで測定)を 3 種類用意し、それを顕微 FT-IR のステージに載せて上面と下面でフォーカスをあわせ、 $Z_{\text{上面}} - Z_{\text{下面}}$  を測定し、マイクロメータでの測定値と比較した。使用した機種は日本分光の IRT-5200VC であり、CCD カメラのデジタルズームは 2 倍に固定して行った。

図 114 に結果を示す。マイクロメータで測定した厚さと  $Z_{\text{上面}} - Z_{\text{下面}}$  の間には良好な直線関係があることが確認された。しかし、傾きは 1 ではないことから、 $Z_{\text{上面}} - Z_{\text{下面}}$  の値は真の厚さを表すわけではないことも判明した。検量線の傾きは  $1.648 \pm 0.032$  であった。したがって、厚さが未知の試料については、 $Z_{\text{上面}} - Z_{\text{下面}}$  の値に  $1.648$  を掛ければ、真の厚さを推定することができる。厚さの誤差は、検量線傾きの誤差と、 $Z$  値の読み取り誤差から、厚さの  $3\sim 4\%$  と推定される。ただし、検量線をより多くの試料で確立すれば、傾きの誤差が減る。また、フォーカス位置の読み取り精度も、ユーザーの訓練やリアルタイム画像解析技術で向上する可能性がある。この方

法では、マイクロメータによる試料の破損を避けることができるだけでなく、試料中のある点の厚さをピンポイントで知ることができるという利点がある。ただし、薄片の表面に傷が少ない場合には、フォーカスを合わせる事が困難であった。なお、この検量線は装置ごとに固有である可能性があることに注意が必要である。

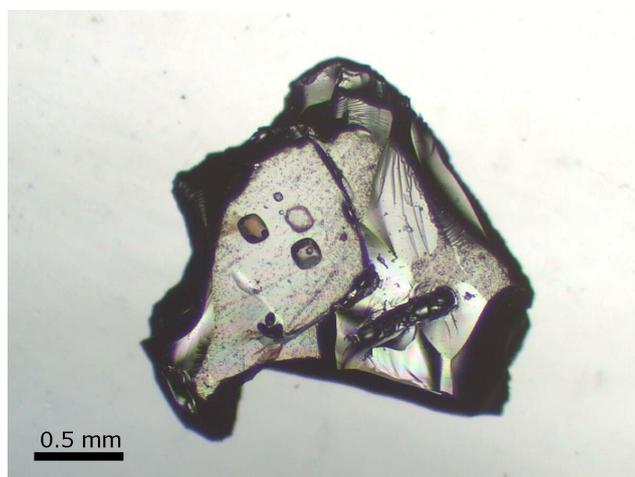


図 113. 石英の斑晶とメルト包有物。

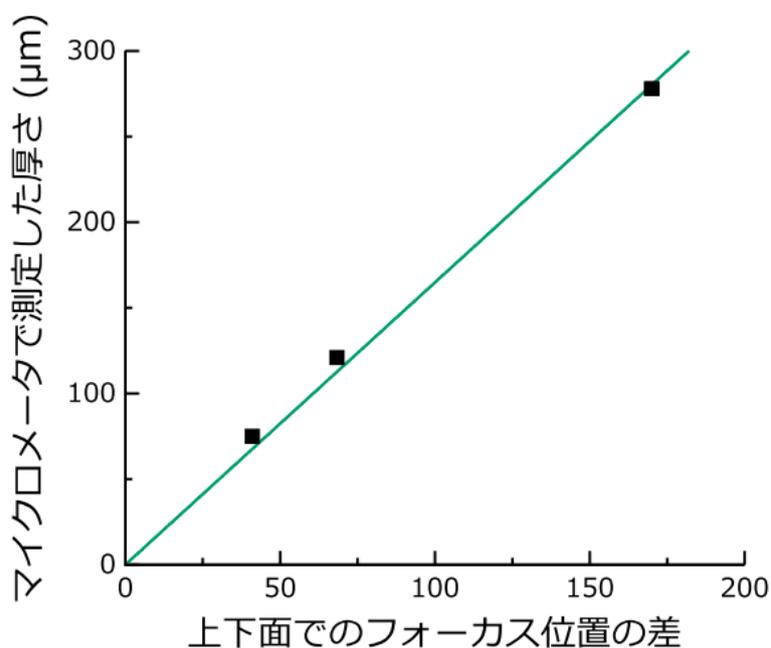


図 114. 両面研磨薄片をマイクロメータで測定した厚さと、薄片上下面でのフォーカス位置の差 ( $Z_{\text{上面}} - Z_{\text{下面}}$ ) との関係。直線の方程式は、 $y = (1.648 \pm 0.032)x$ 。

### 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2022年7月15日に公開した(図115)。公開したデータベースには、摩周、支笏、洞爺、濁川、十和田、始良、阿多および池田カルデラのカルデラ形成噴火及びその前後の活動推移情報が掲載されている。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た(図116・117)。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、阿蘇カルデラなどの噴火推移の情報収集を行った。

**大規模噴火データベース**

本データベースでは、後期更新世以降(過去約13万年間)に発生した大規模噴火のうち、数10~1,000 km<sup>2</sup>クラスの火砕物を噴出し、カルデラ形成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、後カルデラ活動をまとめています。カルデラ形成を伴う大規模噴火では、火砕流や降下テフラ等により、火山周辺地域から数1,000km離れた地域まで被害が発生する可能性があります。このため、大規模噴火の推移、長期・短期的前駆活動は、近年多くの分野で注目されています。大規模噴火の推移、数万年程度の長期的前駆活動・数千年~数百年程度の短期的前駆活動には、多様性が認められ、その詳細を明らかにし、大規模噴火の総合的理解を深めるためには、複数の火山の事例について比較検討することが重要です。そのため、産総研地質調査総合センターでは、複数の火山の事例について比較検討するため、統一した基準でデータを収録した大規模噴火データベースの構築を進めています。

**編集体制**

全体管理  
宝田晋治・金田泰明・池上郁彦・下司信夫

データ編集担当  
金田泰明・西野佑紀・宝田晋治・下司信夫

システム開発設計  
池上郁彦・金田泰明・宝田晋治

**更新履歴**

2023.03.17  
Ver. 1.0.8 池田カルデラの一部を修正。

2023.02.21  
Ver. 1.0.7 始良カルデラの一部を修正。

2022.03.22  
Ver. 1.0.6 阿多カルデラの一部を修正。

**収録データについて**

「大規模噴火データベース」に登録されているデータは、これまでの多数の調査研究結果を基に編集の上作成しています。内容の正確性については、可能な限り確認を行っておりますが、新しい研究結果、データの取違等が判明した場合は、適宜修正を行っていく予定です。本データベースのデータや図の詳細については【こちら】をご覧ください。

**引用例**

産業技術総合研究所地質調査総合センター(編)(2022)大規模噴火データベース、産総研地質調査総合センター。(https://gbank.gsj.jp/volcano/ledb/)

Geological Survey of Japan, AIST (ed.) (2022) Large-volume Eruption Database. Geological Survey of Japan, AIST. (https://gbank.gsj.jp/volcano/ledb/)

**ライセンス**

政府標準利用規約第2.0版(https://www.gsj.jp/license/)が適用されます。ただし、論文、報告書等の図表に關しては、各出版元への利用許諾が必要です。

図 115. 大規模噴火データベース(公開版)。全国8つ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、マグマ組成などの情報を取りまとめた。https://gbank.gsj.jp/volcano/ledb/



## b) 噴火推移データベース

近現代に発生したおおむね VEI5 クラス以上の火砕噴火のうち詳細な噴火推移の目撃記録が残る噴火事例について、噴火開始前から噴火終了後までの噴火活動及び関連する活動（地震活動など）推移収集した「噴火推移データベース」を作成し、「日本の火山データベース」の一部として2022年7月15日に公開した（図118）。また、次期公開にむけて、桜島1779年噴火、北海道駒ヶ岳1929年噴火、ベスビオ1944年噴火などの噴火推移情報を収集し、プロトタイプ版に収録した。

噴火推移データベース

Version 1.0.3

噴火推移DBトップ | 噴火推移を比較する | VUCについて

火山名をクリックで呼びます  
カーソルを火山に重ねてください

### 噴火推移データベース

VEI 3~6 (0.01~100 km<sup>3</sup>)に相当する火山噴火は歴史時代にたびたび発生し、大きな被害を引き起こしてきました。このような噴火の推移、長期・短期的前駆活動には、多様性が認められ、その詳細を明らかにする必要があります。本データベースでは国内外の噴火事例をシームレスに比較する目的で、国内及び海外の噴火のうち、時系列の目撃・観測記録が比較的良好に残っている火砕噴火を対象として、中長期的前駆現象、短期的前駆現象、及び噴火発生後の推移について取りまとめました。また、統一的な基準に基づいて、それらの記録を転記し、噴火がどのように推移したのかを一目で理解でき、他の噴火と比較検討することができる噴火推移図を作成しました。

#### 編集体制

全体管理  
下町徳夫・池上郁彦・宝田晋治

データ編集担当  
池上郁彦・下町徳夫・西原 歩

システム開発設計  
池上郁彦・下町徳夫・宝田晋治・金田藤樹

#### 更新履歴

2022年11月04日  
Version 1.0.3 福徳岡ノ場2021年噴火・フンガトンガ-ファンカハバイ2022年噴火を追加

2022年08月26日  
Version 1.0.2 氏名の修正・現地時刻である旨の明記

2022年08月05日

#### 収録データについて

「噴火推移データベース」に登録されているデータは、これまでの多数の調査研究結果を基に編集の上作成しています。内容の正確性については、可能な限り確認を行っておりますが、新しい研究結果、データの相違等が判明した場合は、適宜修正を行っていく予定です。

#### 引用例

産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）（2022）噴火推移データベース。産総研地質調査総合センター。  
(<https://gbank.gsj.jp/volcano/esdb/>)  
Geological Survey of Japan, AIST (ed.) (2022) Eruption Sequence Database. Geological Survey of Japan, AIST. (<https://gbank.gsj.jp/volcano/esdb/>)

#### ライセンス

政府標準利用規約第2.0版 (<https://www.gsj.jp/license/>)が適用されます。ただし、論文、報告書等の図表に関しては、各出版元への利用許諾が必要です。

図118. 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16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/>

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119）。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 120）。VUC の図示機能により、噴火間での活動の時系列変化を著しく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 121）。

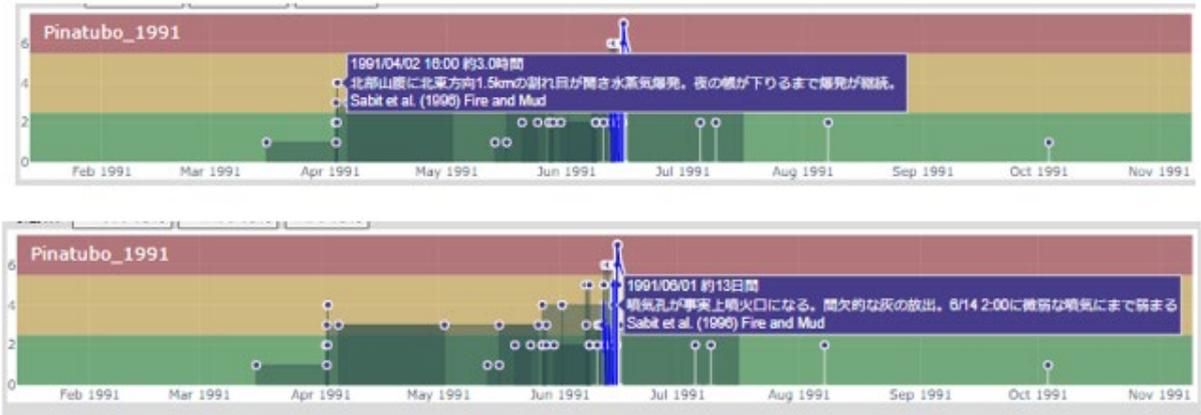


図 119. 噴火推移図上での噴火状況のデータの表示例。1991 年ピナツボ火山噴火の例。データベースに収録された噴火状況を VUC 噴火推移図上で確認することができる。

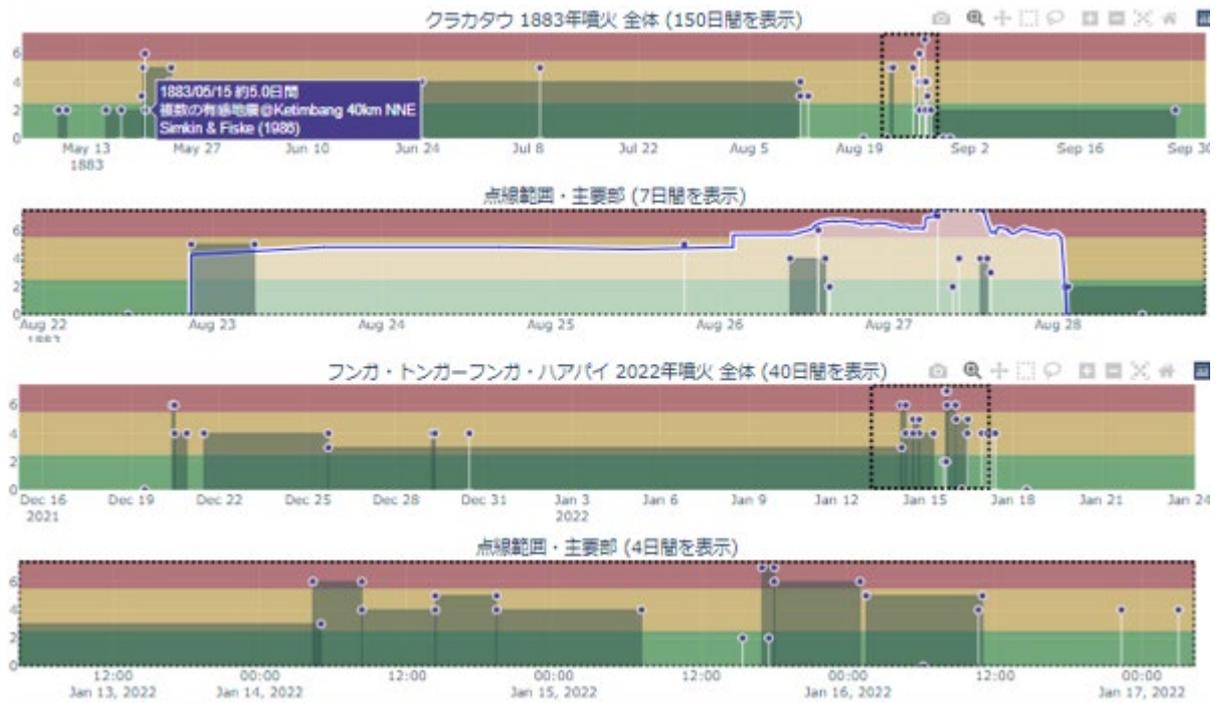


図 120. クラカタウ 1883 年噴火（上）およびフンガトンガ・フンガハアパイ火山 2021 - 2022 年噴火（下）の噴火推移図比較。両噴火とも噴火開始後次第に噴火強度が高まりクライマックスを迎えていることが読み取れる。

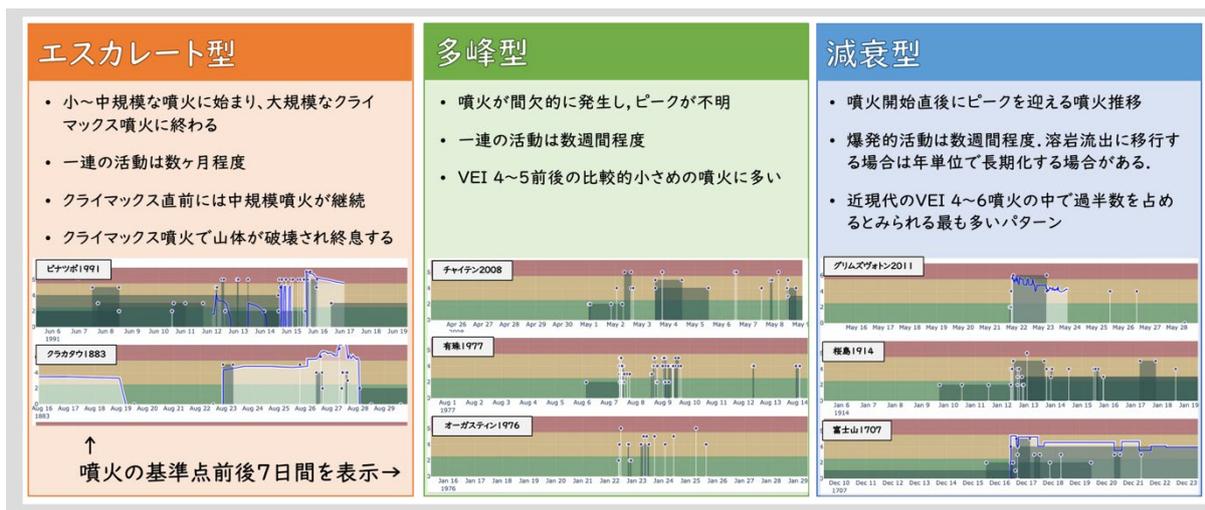


図 121. 噴火推移傾向の類型化。

#### 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、課題 C-2 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、蔵王山・吾妻山・那須岳で実施した。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、課題 C-2 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、課題 C-2 の研究集会を令和 4 年 8 月と令和 5 年 3 月に開催した。各機関の成果報告だけでなく、今後のとりまとめ・公表の方針（後述）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

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の作成および噴火事象系統樹作成の手法およびそれにかかる各種データの統一性を図るためのワーキンググループを立ち上げ、特に令和 4 年度は時間一積算噴出量階段図の作成方針とそれに係るデータベースのフォーマットを作成した。その指針に基づき、各機関で階段図の試作が行われた（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）。また、一般向け講演会や調査時の地元住民向け説明会など、社会への啓蒙活動や研究成果発信にも取り組んだ。

5) 課題 C 全体のとりまとめと総合推進

課題 C-1・C-3 との連携研究の対象である伊豆大島について、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 課題間連携研究集会「火山学はどのように噴火様式・推移の予測を行うか：伊豆大島火山を例にして」を令和 4 年 10 月 7 日～8 日に開催した（表 2）。新型コロナウイルス感染症の状況を鑑みてハイブリッド形式で開催し、本事業関係者だけでなく、大島町をはじめとする自治体関係者や火山学会会員などに広く周知し、139 名が参加した。

研究集会は、静穏期・Unrest 期・噴火期の 3 つの時期・状態（図 122）を想定した 3 部構成で、講演者にはそれぞれで設定したテーマでの講演を依頼した。総合討論では火山学が予測のために何ができるのか、現状何が足りないのかという観点で議論した。

また、研究集会終了後に、伊豆大島現地検討会 10 月 9 日～10 日に実施した。山頂カナルデラ内および周回道路沿いの巡検を行い、噴出物の観察や観測設備の見学を行った（図 123）。

本研究集会の講演内容および現地検討会の概要については、プロシーディングとしてとりまとめ、防災科学技術研究所の研究資料として公開されている（図 124）。

[https://nied-ir.bosai.go.jp/?action=repository\\_uri&item\\_id=3929](https://nied-ir.bosai.go.jp/?action=repository_uri&item_id=3929)

表 2. 令和 4 年度 火山 PJ 課題間連携研究集会プログラム。

火山 PJ 課題間連携研究「火山学はどのように噴火様式・推移の予測を行うか：伊豆大島火山を例にして」			
開催日時：2022 年 10 月 7 日（金）9：30～17：45			
2022 年 10 月 8 日（土）9：00～17：30			
開催場所：東京大学地震研究所（zoom ハイブリッド形式）			
参加者：139 名			
○10 月 7 日（金）9：30～17：45			
時間	講演タイトル	所属	講演者氏名
9：30～9：40	研究会開催にあたって	北海道大学	中川 光弘
<b>A. 静穏期：噴火シナリオの再評価と改訂、そして伊豆大島の噴火準備とは</b>			
<b>1. 伊豆大島噴火シナリオ（予知連版）の構想とやり残したこと</b>			
9：40～10：10	伊豆大島噴火シナリオ（予知連版）の構想と噴出物から見えること	千葉大学	津久井 雅志
10：10～10：40	伊豆大島噴火シナリオ作成の反省とそこから考え始めたこと	防災科学技術研究所	森田 裕一
<b>2. 地質・物質の研究から見た予知連シナリオの評価：推移・マグマ供給系の見直し</b>			
10：40～11：10	周辺海域を含めた伊豆大島側火山の活動とそのマグマ供給系	産業技術総合研究所	石塚 治
11：10～11：40	伊豆大島火山のマグマ供給系に対する物質科学的制約	北海道大学	栗谷 豪
11：40～12：10	安永噴火を中心とした伊豆大島の噴火推移とマグマシステム	東京大学	池永 有弥
12：10～13：00	昼 食		
13：00～13：30	伊豆大島の浅部マグマ供給系：斜長石リキダスからの制約	静岡大学	石橋 秀巳
<b>3. 最近の地物観測・研究から見た予知連シナリオの評価</b>			
13：30～14：00	電磁気連続観測からみる伊豆大島火山の推移	東京大学	小山 崇夫
14：00～14：30	既存知見に基づく伊豆大島噴火シナリオ改善に向けた検討	気象研究所	鬼澤 真也

14:30~15:00	噴火兆候として予測される火山ガスの組成変化について	東海大学	大場 武
15:00~15:15	休憩		
<b>4. 討論：シナリオをどのように改訂するか（できるか）</b>			
15:15~16:15	伊豆大島における噴火推移モデル	東京大学	前野 深
<b>B. Unrest 期：あるシナリオを想定したとして、どのような事象が観測されるか</b>			
<b>1. シミュレーション+実験</b>			
16:15~16:45	火山活動推移の定量的把握—マグマ移動モデルに基づく検討—	防災科学技術研究所	小園 誠史
16:45~17:15	マグマ移動シナリオに基づく地殻変動シミュレーション	気象研究所	川口 亮平
17:15~17:45	レオロジー実験から探る 1986 年伊豆大島割れ目噴火溶岩の時間依存性	防災科学技術研究所	黒川 愛香
○10月8日（土）9:00~17:30			
<b>2. 観測：大島だけでなく玄武岩質火山を対象に</b>			
9:00~9:30	多項目観測による火山活動推移の把握と現象理解	東北大学	山本 希
9:30~10:00	地球物理観測でみる玄武岩質火山噴火と噴火未遂の先行現象	東京大学	青木 陽介
10:00~10:30	土壌ガス観測から分かること	東京大学	森田 雅明
10:30~10:45	休憩		
<b>3. 討論：分岐判断時に観測データが間に合うか</b>			
10:45~11:45	伊豆大島の観測体制と噴火時に予想されるシグナルについて	東京大学	大湊 隆雄
11:45~12:40	昼食		
<b>C. 噴火開始期：小規模噴火からピークに向けての活動中にどのように対応するか（できるか）</b>			
<b>1. 観測体制の維持と推移予測のための重要な観測項目</b>			
12:40~13:10	伊豆大島の火山活動の推移予測に資する観測体制の維持と重要な観測項目	気象研究所	高木 朗充
13:10~13:40	衛星リモートセンシングによる伊豆大島の噴火推移観測	東京大学	金子 隆之
<b>2. 地質学的・物質科学的調査</b>			
13:40~14:10	諏訪之瀬島火山におけるマグマ供給推移のタイムスケールと噴出物データの実際と課題—開口型火山の一例として—	常葉大学	嶋野 岳人
14:10~14:40	火山灰を用いた噴火活動評価の実際と問題点	産業技術総合研究所	松本 恵子
14:40~15:00	休憩		
<b>3. ハザード評価：現在のハザードマップの評価と噴火シナリオの使われ方</b>			
15:00~15:30	伊豆大島避難計画策定時に噴火シナリオがどのように使われたか、何が足りないか	産業技術総合研究所	川邊 禎久
<b>4. 討論</b>			
15:30~17:00	推移予測にはどのような物質科学的データが必要か、間に合うか	東京大学	安田 敦
	噴火時におけるシミュレーションの活用について	防災科学技術研究所	藤田 英輔
<b>D. 総合討論</b>			
17:00~17:30	まとめと今後の取り組みについて	北海道大学	中川 光弘

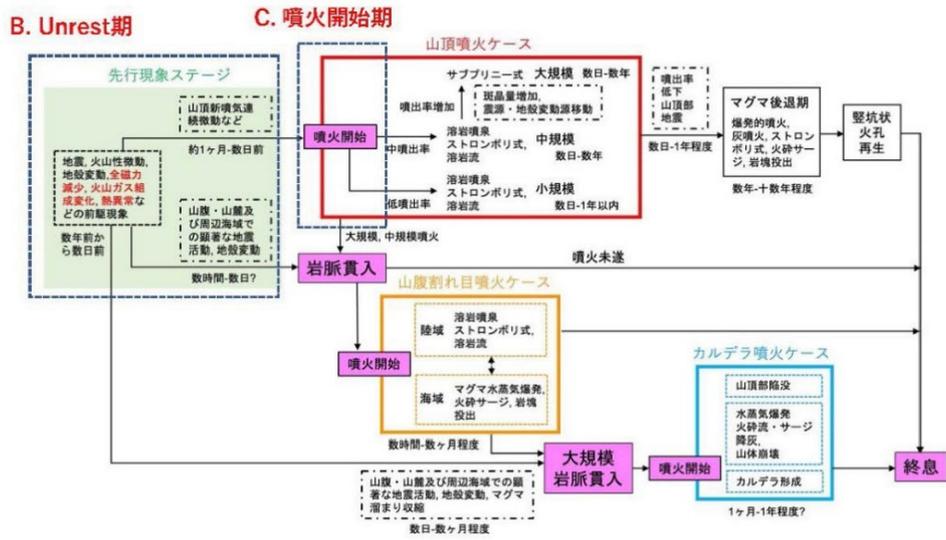


図 122. サブ課題 C-2 で試作した伊豆大島噴火事象系統樹。気象庁作成のイベントツリーを改変している。この事象系統樹(シナリオ)をもとに、静穏期(A)、Unrest期(B)と噴火開始期(C)の3つの時期を想定した。



図 123. 課題間連携研究集会の様子。



図 123. 伊豆大島現地検討会の様子。(左) Y1 噴火溶岩と降下スコリア。(右) 東山麓の地震計・傾斜計観測点。

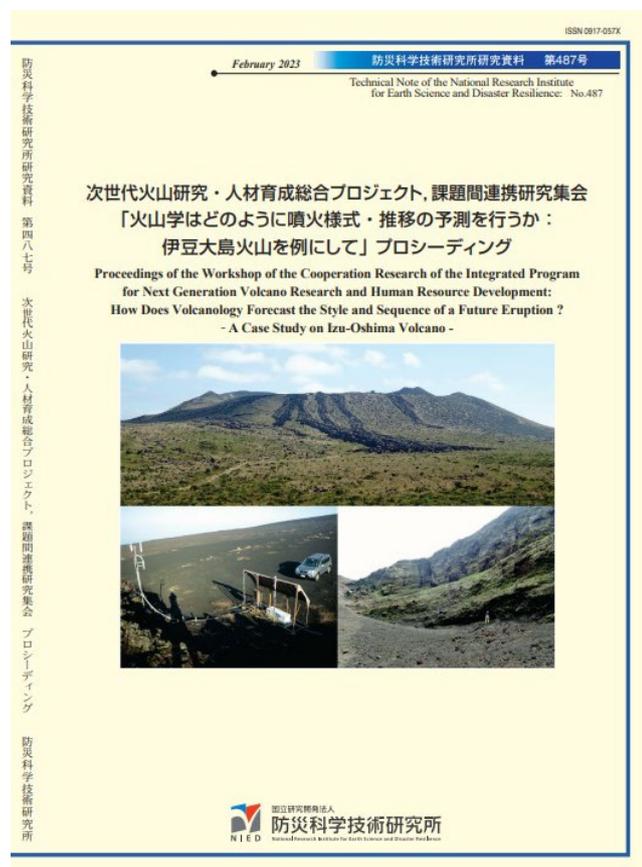


図 124. 令和 4 年度に出版された伊豆大島研究集会プロシーディング。オンライン公開されている ([https://nied-ir.bosai.go.jp/?action=repository\\_uri&item\\_id=3929](https://nied-ir.bosai.go.jp/?action=repository_uri&item_id=3929))

なお、課題 C および各サブ課題の取り組みや成果公表については、課題 C ホームページ上で随時公開している (<https://www.kadai-c.com/>)。

### (c) 結論

本年度は、昨年度に引き続き新型コロナウイルス感染症拡大の影響を受けたが、各機関は工夫しつつ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り始めており、サブ課題の目的である階段図の試作が進みつつあることから、全体として順調と考えられる。特に、各機関が担当する火山について統一された様式のもと、階段図を試作したことは評価できるであろう。今後は、多数の火山について階段図の作成を進めるとともに、噴火事象系統樹作成指針や作成手順について議論をまとめあげ試作を開始すること、これらの展開に向けて更なる連携を図り、サブ課題としての成果公表を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、これまでコロナ禍のため十分に進めることが出来ていなかったが、本年度ようやく研究集会を開催することができ、火山学の現状と課題を認識することができた。次年度以降も更なる連携を図り、火山学だけでなく火山防災に資するために何ができるのかを議論していくことが重要であろう。そのためには、人材育成コンソーシアムとの連携も必要不可欠であり、研究者の講師としての参画や博士課程大学院生の RA としての雇用などを継続し、将来の火山研究者を育てていくことが重要である。

### (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，42pp.，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，105pp.，1986.
- 3) Goto, Y and McPhie, J.: Tectonics, structure, and resurgence of the largest Quaternary caldera in Japan -Kutcharo, Hokkaido, GSA Bull., 130(7/8), pp.1307-1322, 2018.
- 4) 長谷川健，中川光弘，宮城磯治：北海道東部，アトサヌプリ火山における水蒸気噴火の発生履歴：炭素年代および気象庁ボーリングコアからの検討，地質雑，123(5)，pp.269-281，2017.
- 5) 本間宏樹：北海道東部、後屈斜路カルデラ、アトサヌプリ火山の火山活動史及び火山災害予測図，北海道大学大学院修士論文，2001.
- 6) 宇井忠英，勝井義雄，本間宏樹：アトサヌプリ火山防災マップ，弟子屈町，2001.
- 7) 上野健太，中川光弘：北海道東部、アトサヌプリ火山の過去 2000 年間の噴火履歴－特に熊落とし火口の形成年代について－，日本火山学会 2020 年度秋季大会講演要旨，2020.
- 8) 長谷川健，岸本博志，中川光弘，伊藤順一，山元孝広：北海道東部，根釧原野および斜里平野における約 3 万 5 千～1 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.
- 9) 和田恵治，稲葉千秋，根元靖彦：雌阿寒岳の最近 12000 年の噴火史，日本火山学会 1997 年度秋季大会講演予稿集，p.100，1997.

- 10) 佐藤鋭一, 和田恵治, 南裕介, 石塚吉浩, 中川光弘 : トレンチ調査による最近 14000 年間の雌阿寒岳の噴火史の再検討, 日本火山学会 2020 年度秋季大会講演要旨, 2020.
- 11) 南裕介, 中川光弘, 佐藤鋭一, 和田恵治, 石塚吉浩 : 雌阿寒岳火山ポンマチネシリにおける過去 1000 年間の火山活動史, 火山, 66, pp.211-227, 2021.
- 12) Sato, E., Wada, K., Minami, Y., Ishizuka, Y. and Nakagawa, M. : Reexamination of Eruptive Activity of Akanfuji in the Me-Akan Volcano, Eastern Hokkaido, Japan, *Journal of Disaster Research*, 17, pp.745-753, 2022.
- 13) 曾屋龍典, 勝井義雄, 新井田清信, 堺幾久子, 東宮昭彦 : 有珠火山地質図 (第 2 版), 火山地質図, 2, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2007.
- 14) Goto, Y., Sekiguchi, Y., Takahashi, S., Ito, H. and Danhara, T. : The 18-19 ka andesitic explosive eruption at Usu volcano, Hokkaido, Japan, *Bulletin of Volcanological Society of Japan*, 58, pp.529-541, 2013.
- 15) Matsumoto, A. and Nakagawa, M. : Reconstruction of the eruptive history of Usu volcano, Hokkaido, Japan, inferred from petrological correlation between tephra and dome lavas, *Island Arc*, 28, e12301, 2019.
- 16) 大島和雄 : 北海道有珠湾の後氷期の地史, *地質学雑誌*, 74, pp.1-8, 1968.
- 17) 藤根久, 遠藤邦彦, 鈴木正章, 吉本充宏, 鈴木茂, 中村賢太郎, 伊藤茂, 山形秀樹, Lomtadidze-Zaur, 横田彰宏, 千葉達朗, 小杉康 : 有珠山善光寺岩屑なだれの発生年代の再検討—有珠南麓の過去 2 万年間の環境変遷との関連で—, *第四紀研究*, 55, pp.253-270, 2016.
- 18) Miyabuchi, Y., Okuno, M., Torii, M., Yoshimoto, M. and Kobayashi, T. : Tephrostratigraphy and eruptive history of post-caldera stage of Toya volcano, Hokkaido, northern Japan, *J. Volcanol. Geotherm Res.*, 281, pp.34-52, 2014.
- 19) Goto, Y., Danhara, T. and Tomiya, A. : Catastrophic sector collapse at Usu volcano, Hokkaido, Japan: failure of a young edifice built on soft substratum, *Bulletin of Volcanology*, 81, 37, 2019.
- 20) Nakagawa, M., Matsumoto, A. and Yoshizawa, M. : Re-investigation of the sector collapse timing of Usu Volcano, Japan, inferred from reworked ash deposits caused by debris avalanche, *Frontiers in Earth Science*, 10:967043, 2022.
- 21) 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.
- 22) 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.
- 23) Amma-Miyasaka, M., Miura, D., Nakagawa, M., Uesawa, S. and Furukawa, R. : Stratigraphy and chronology of silicic tephra in the Shikotsu-Toya volcanic field, Japan: Evidence of a Late Pleistocene ignimbrite flare-up in southwestern Hokkaido, *Quaternary International*, 562, pp.58-75, 2020.
- 24) 東宮昭彦, 宮城磯治 : 洞爺噴火の年代値, 火山, 65, pp.13-18, 2020.

- 25) 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.
- 26) 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.
- 27) 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>.
- 28) 佐々木実, 山本七代, 鎌田慎也: 岩木火山, 最新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.
- 29) 青森県史編さん自然部会, 青森県史自然編地学, 青森県, p. 625, 2001.
- 30) 伴雅雄, 中川光弘, 佐々木実: 岩木山の噴火履歴とマグマ発達過程の解明に関する研究, 東京大学予知公募研究平成 22 年度年次報告書, 2011.
- 31) 須藤茂, 石井武政: 雫石地域の地質, 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 142p, 1987.
- 32) 藤縄明彦, 巖嵯正幸, 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: 火山体構成物と降下テフラ層の対比, 火山, 49, pp. 333-354, 2004.
- 33) 土井宜夫, 菅野康隆, 東野桂一, 越谷信, 矢内桂三: 秋田駒ヶ岳起源の先達川岩屑なだれ堆積物について, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, 807, 1997.
- 34) 和知剛, 土井宜夫, 越谷信: 秋田駒ヶ岳のテフラ層序と噴火活動, 火山, 42, pp. 17-34, 1997.
- 35) 国土地理院: 1:25,000 火山土地条件図「秋田駒ヶ岳」解説書, 19p, 2018.
- 36) 柳澤妙佳, 小畑大樹, 杉田匠平, 藤縄明彦: 東北日本弧、秋田駒ヶ岳火山成層火山体の形成史, 火山, 66, pp. 83-100, 2021.
- 37) アジア航測, 大日本コンサルタント設計共同体: 八幡平山系(秋田県側)大規模土砂災害危険度調査検討業務報告書, 2015.
- 38) Walker, G.P.L.: Downsag calderas, ring faults, caldera sizes, and incremental caldera growth, *Jour. Geophys. Res.*, 89, pp. 8407-8416, 1984.
- 39) 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.
- 40) Bonadonna C. and Costa A.: Estimating the volume of tephra deposits: A new simple strategy. *Geology*. 40(5), pp. 415-418, 2012.
- 41) Minami, Y., Tsukasa Ohba, T., Hayashi, S., Saito-Kokubu Y. and Kataoka, KS.: Lahar record during the last 2500 years, Chokai Volcano, northeast Japan: Flow behavior, sourced volcanic activity, and hazard implications, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 387, 106661, 2019.
- 42) 林信太郎, 伴雅雄, 大場司: 鳥海山 1800-1804 年噴火におけるマグマ性の爆発的噴火活動, 歴史地震, 28, pp. 85-90, 2013.
- 43) 林信太郎: 鳥海火山の地質, 岩鉱, 79, pp. 249-265, 1984.

- 44) 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.
- 45) 小林拓也, 坂中伸也, 筒井智樹, 井上雄介, ムハンマッド・ファイズル・ニザム・ビンザイヌディン, 加藤健太, 森脇知哉, 多田悠也: 栗駒火山山腹における AMT 観測, Conductivity Anomaly 研究論文集, pp.41-47, 2019.
- 46) 伴雅雄, 及川輝樹, 山崎誠子: 蔵王火山地質図, 産業総合研究所地質調査総合センター火山地質図, 18, pp.1-8, 2015.
- 47) Miura, K., Ban, M. and Yagi, H.: The tephra layers distributed around the eastern foot of the Zao volcano - Ages and volumes of the Za-T0 1 to 4 tephra -, Bull. Volcanol. Soc., Japan, 53, pp.151-157, 2008.
- 48) 酒寄淳史: 蔵王火山の地質と岩石, 岩鉱, 87, pp.433-444, 1992.
- 49) 大沢穠, 三村弘二, 久保和也, 広島俊男, 村田泰章: 20 万分の 1 地質図幅 仙台, 産業総合研究所地質調査総合センター, 1987.
- 50) 板垣直俊, 豊島正幸, 寺戸恒夫: 仙台およびその周辺地域に分布する洪積世末期のスコリア層, 東北地理, 33, pp.48-53, 1981.
- 51) 山元孝広: 福島県, 吾妻火山の最近 7 千年間の噴火史: 吾妻一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.
- 52) Imura, T., Ohba, T. and Horikoshi, K.: Geologic and petrologic evolution of subvolcanic hydrothermal system: A case on pyroclastic deposits since the 1331 CE eruption at Azuma-Jododaira volcano, central Fukushima, North-Eastern Japan, JVGR, 416, 107274, 2021.
- 53) 伴雅雄, 高岡宣雄: 東北日本弧, 那須火山群の形成史, 岩鉱, 90, 195-214, 1995.
- 54) 渡部将太, 長谷川健, 小畑直也, 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, 地質雑, 129, pp.307-324, 2023.
- 55) Kimura, J. and Yoshida, T.: Contributions of slab fluid, mantle wedge and crust to the origin of Quaternary lavas in the NE Japan arc. Journal of Petrology, 47, pp.2185-2232, 2006.
- 56) Yamamoto, T.: Origin of the sequential Shirakawa ignimbrite magmas from the Aizu caldera cluster, northeast Japan: Evidence for renewal of magma system involving a crustal hot zone, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 204, pp.91-106, 2011.
- 57) 山元孝広: テフラ層序からみた那須茶臼岳火山の噴火史, 地質雑, 103, pp.676-691, 1997.
- 58) Ban, M. and Yamamoto, T.: Petrological study of Nasu-Chausudake Volcano (ca.16 ka to Present), northeastern Japan, Bull. Volcanol., 64, pp.100-116, 2002.
- 59) Ali, M., Oda, H., Hayashida, A., Takemura, K. and Torii, M.: Holocene palaeomagnetic secular variation at Lake Biwa, central Japan, Geophys. Jour. Inter., Vol.136, pp.218-228, 1999.

- 60) 金子隆之, 清水智, 板谷徹丸, 信越高原地域に分布する第四紀火山の K-Ar 年代と形成史, 震研彙報, Vol.66, pp.299-332, 1991.
- 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) Maeno, F., Yasuda, A., Hokanishi, N., Kaneko, T., Tamura, Y., Yoshimoto, M. Nakano, S., Takagi, A., et al.: Intermittent Growth of a Newly-Born Volcanic Island and Its Feeding System Revealed by Geological and Geochemical Monitoring 2013-2020, Nishinoshima, Ogasawara, Japan, Front. Earth Sci., Vol.9, 773819, 2021.
- 63) Gansecki, C., Lee, R. L., Shea, T., Lundblad, S. P., Hon, K. and Parcheta, C.: The tangled tale of Kilauea's 2018 eruption as told by geochemical monitoring, Science, vol.366, 1212, 2019.
- 64) 気象庁: 伊豆大島の火山活動に関する勉強会報告書—伊豆大島噴火シナリオ—, 火山噴火予知連絡会伊豆部会, pp.1-46, 2008.
- 65) 前野深, 池永有弥: 伊豆大島における噴火推移モデル, 防災科学技術研究所研究資料, 487, pp.58-61, 2023.
- 66) 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.
- 67) 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.
- 68) Geshi, N., Oikawa, T., Weller, DJ. and Conway, C.E.: Evolution of the magma plumbing system of Miyakejima volcano with periodic recharge of basaltic magmas, Earth, Planets and Space, 74:20, 2022.
- 69) 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, 85pp., 1987.
- 70) 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.
- 71) 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, 第 65 巻第 2 号, pp.21-40, 2020.
- 72) 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, Lithos, Vol.330-331, pp.223-237, 2019.
- 73) Notsu, K., Isshiki, N. and Hirano, N.: Comprehensive strontium isotope study of Quaternary volcanic rocks from the Izu-Ogasawara arc, Vol.17, No.6, pp.289-302, 1983.
- 74) 柵山雅則: 白馬大池火山の地質, 地質学雑誌, Vol.86, pp.265-274, 1980.

- 75) 中野俊, 竹内誠, 吉川敏之, 長森英明, 苅谷愛彦, 奥村晃史, 田口雄作: 白馬岳地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)産総研地質調査総合センター, 105pp., 2002.
- 76) 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, 2003.
- 77) 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.
- 78) 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.
- 79) 及川輝樹, 中野俊, 田村茂樹: 火山噴煙に匹敵する噴気活動ー大町市硫黄沢における突発的な噴気の発生ー, GSJ地質ニュース, Vol. 10, No. 2-3, 2021.
- 80) Hayakawa, Y.: Pyroclastic geology of Towada volcano, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 60, pp. 507-592, 1985.
- 81) 東野外志男: 白山火山の歴史時代の活動に関連ある史料(再考), 石川県白山自然保護センター研究報告, Vol. 38, pp. 1-6, 2011.
- 82) 東野外志男: 『本朝年代記』記載の白山火山活動記録の検討, 石川県白山自然保護センター研究報告, Vol. 41, pp. 55-64, 2015.
- 83) Yamasaki, M., Nakanishi, N. and Kaseno, Y.: Nuée ardente deposit of Hakusan Volcano, Sci. Rep. Kanazawa Univ., Vol. 9, pp. 189-201, 1964.
- 84) 及川輝樹, 鈴木雄介, 千葉達朗: 御嶽山の噴火-その歴史と2014年噴火, 科学, Vol. 84, pp. 1218-1225, 2014.
- 85) 及川輝樹, 鈴木雄介, 千葉達朗, 岸本博志, 奥野充, 石塚治: 御嶽山の完新世の噴火史, 日本火山学会2015年度秋季大会講演予稿集, p. 102, 2015.
- 86) 山田直利, 小林武彦: 御嶽山地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 136pp., 1989.
- 87) 木村純一: 後期更新世の御岳火山: 火山灰層序学と火山層序学を用いた火山活動史の再検討, 地球科学, Vol. 47, pp. 301-321, 1993.
- 88) 竹内誠, 中野俊, 原山智, 大塚勉: 木曾福島地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 94pp., 1998.
- 89) Matsumoto, A. and Kobayashi, T.: K-Ar age determination of late Quaternary volcanic rocks using the “mass fractionation correction procedure”: application to the Younger Ontake Volcano, central Japan, Chemical Geology, Vol. 125, pp. 123-135, 1995.
- 90) 松本哲一, 小林武彦: 御嶽火山, 古期御嶽火山噴出物のK-Ar年代に基づく火山活動史の再検討, 火山, Vol. 44, pp. 1-12, 1998.
- 91) 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.
- 92) 大沢信二, 大上和敏, 由佐悠紀: 1995年伽藍岳塚原鉦山跡に出現した泥火山, 火山, 41, pp. 103-106, 1996.
- 93) 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.

- 94) 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.
- 95) Nagasaki, S., Ishibashi H., Suwa Y., Yasuda A., Hokanishi N., Ohkura T. and Takemura K.: Magma reservoir conditions beneath Tsurumi volcano, SW Japan: Evidence from amphibole thermobarometry and seismicity, *Lithos*, 278-281, pp.153-165, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.01.011>.
- 96) Yu, Y. and Tauxe L.: Testing the IZZI protocol of geomagnetic field intensity determination, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 6(5), Q05H17, 2005. doi:10.1029/2004GC000840.
- 97) Okuno, M., Nagaoka, S., Saito-Kokubu, Y., Nakamura, T. and Kobayashi, T.: AMS radiocarbon dates of pyroclastic-flow deposits on the southern slope of the Kuju volcanic group, Kyushu, Japan, *Radiocarbon*, 59, pp.483-488, 2017.
- 98) 長岡信治, 奥野充:九州中部, 九重火山群の噴火史, *地形*, 36(3), pp.141-158, 2015.
- 99) 鎌田浩毅:宮原地域の地質, 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 127p, 1997.
- 100) 山崎誠子, 星住英夫, 松本哲一:九重火山群中西部の発達史—感度法 K-Ar 年代に基づく再検討—, *火山*, 61, pp.519-531, 2016.
- 101) 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, 産業技術総合研究所 地質調査センター, 7pp., 2015.
- 102) 小野晃司, 松本徂夫, 宮久三千年, 寺岡易司, 神戸信和:5 万分の 1 地質図幅 竹田地域の地質, 地質調査所, 156p, 1977.
- 103) 工藤幸久:竹田市北西部の九重火山起源火砕流堆積物, *大分地質学会誌*, 1, pp.17-19, 1995.
- 104) 辻智大, 岸本博志, 藤田浩司, 中村千怜, 長田朋大, 木村一成, 太田岳洋, 福岡仁至, 古澤明, 大西耕造, 西坂直樹, 池田倫治:九重火山飯田噴火による噴出物の層序(投稿中).
- 105) 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.
- 106) 大場司:熱水変質鉱物に富む火山噴出物—火山直下熱水系との関係, 噴火機構, 繰り返し様式, *地質学雑誌*, Vol.117, pp.344-356, 2011.
- 107) Miyabuchi, Y.: A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan, *Sedimentary Geology*, Vol.220, pp.169-189, 2009.
- 108) 渡辺一徳, 藤本雅太郎:表層地質図「阿蘇山・竹田」および説明書, 土地分類基本調査(5 万分の 1), 熊本県, pp.15-28, 1992.
- 109) 田島靖久, 松尾雄一, 庄司達弥, 小林哲夫:霧島火山, えびの高原周辺における最近 15,000 年間の活動史. *火山*, Vol.59, pp.55-75, 2014.
- 110) 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.
- 111) Tomiya, A., Miyagi, I., Saito, G. and Geshi, N.: Short time scales of magma-mixing processes prior to the 2011 eruption of Shinmoedake volcano, Kirishima volcanic group, Japan, *Bull. Volcanol.*, vol.75, 750, 2013.
- 112) 気象庁: 87. 霧島山, 活火山総覧 (第4版), pp.1266-1309, 2014.
- 113) 奥野充: 南九州の第四紀末テフラの加速器 14C 年代 (予報), 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, Vol.VII, pp.89-109, 1996.
- 114) 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.
- 115) 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.
- 116) 津久井雅志, 森泉美穂子, 鈴木将志: 八丈島東山火山の最近 22,000 年間の噴火史, *火山*, Vol.36, No.3, pp.345-356, 1991.
- 117) 中野俊, 山元孝広, 一色直記: 八丈島, 西山火山噴出物の全岩化学組成, *岩鉱*, Vol.86, pp.72-81, 1991.
- 118) 津久井雅志, 星野希宜: 八丈島西山火山のマグマ分化, *火山*, Vol.47, No.2, pp.57-72, 2002.
- 119) Ishizuka, O., Geshi, N., Itoh, J., Kawanabe, Y. and TuZino, T.: The magmatic plumbing of the submarine Hachijo NW volcanic chain Hachijojima, Japan: long-distance magma transport?, *J. Geophys. Res.*, Vol.113, B08S08, 2008.
- 120) Aizawa, M., Saito, T., Imura, T. and Yasui, M.: Anorthosites in Nishiyama volcanic products from the Hachijo-jima island, Izu-Bonin arc: the direct evidence for 'plagioclase control' in shallow magma reservoir, *J. Mineral. Petrol. Sci.*, Vol.115, pp.375-390, 2020.
- 121) 石塚治, 下司信夫: 八丈島火山地質図 1:25,000, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2018.
- 122) Putirka, K.D.: Thermometers and barometers for volcanic systems, *Rev. Mineral. Geochem.*, Vol.69, pp.61-120, 2008.
- 123) 木俣文昭, Irwan Meilano, 深野慶太: GPS により観測された八丈島における地殻変動とそのダイク貫入モデルの推定, *火山*, Vol.49, No.1, pp.13-22, 2004.

(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 5 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 5 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 6 火山においてボーリング掘削およびトレンチ掘削調査を実施する。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時間 - マグマ積算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 4 年度までの調査結果をもとに山体近傍でのボーリング掘削調査を実施し、特にアトサヌプリ大規模火砕噴火以降の活動史についての詳細を明らかにする。さらに、追加の野外調査を実施し、隣接する摩周の活動との関連についても検討し、北海道東部地域の長期活動履歴の解明を目指す。

2) 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、土壌などの放射性炭素年代測定と溶岩の K-Ar 年代測定を行い、長期噴火活動履歴を明らかにすることを旨とする。

3) 秋田駒ヶ岳（北海道大学・(株)エンバイオ・エンジニアリング）

令和 5 年度は、最新の噴火活動に焦点を当て、南部カルデラ内の野外調査を重点的に実施する。特に 1932 年噴火に着目し、その噴火様式・規模・噴出マグマの特徴を明らかにすることを旨とする。

4) 鳥海山（秋田大学・山形大学）

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。また、2,800 年前に噴出した猿穴溶岩や西鳥海カルデラ内の噴出物について、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) 蔵王山（山形大学）

蔵王山の完新世の噴火活動履歴を明らかにするために、火口近傍のトレンチ掘削調査を実施する。また、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。

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。また、令和 4 年度に実施したボーリング調査のコア試料の解析をさらに進め、吾妻小富士・硫黄平南火砕丘の形成史を明らかにする。

7) 浅間山（日本大学）

引き続き野外調査とこれまでのデータの精査を行い、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、大規模火砕噴火と山体崩壊事象を中心とした活動履歴を明らかにする。その結果を前掛火山と比較することで、浅間山の噴火活動の類似性を検証し、将来活動の可能性の検討に資するデータを収集する。

8) 草津白根山・志賀火山（富山大学）

昨年度までの調査により、最近 2 万年間の噴火層序がほぼ確立できた。令和 5 年度は火山体全体の噴火史を明らかにするために、野外調査・年代測定を継続するとともに、最近 2 万年間の噴出物については物質科学的解析を行い、マグマ供給系の変遷についても検討する。

9) 由布鶴見・伽藍岳（信州大学）

伽藍岳山体周辺で地質調査を継続し、特に完新世の火山噴出物について噴火層序明らかにする。古地磁気学的手法を用いた年代推定や放射性炭素年代測定を活用し、精密な時間軸を入れた噴火活動史の確立を目指す。

10) 九重山（山口大学・北海道大学）

5.4 万年前飯田噴火とそれ以前の火砕流噴火について、引き続き野外調査を実施し、層序の再検討を行う。また東部域についても、野外調査を行い、最新期のマグマ噴火の活動履歴の解明に取り組む。

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チ掘削調査を実施し、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実施し、噴出物の特徴から水蒸気噴火発生に至る過程について検討する。また、火山灰噴出物について硫黄同位体分析を実施し、同位体と噴火推移・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）

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進める。新燃岳については最新噴火の時系列と噴出物の対応関係を明確にする。御鉢火山については、13世紀噴火の推移に関する成果をまとめる。硫黄山については、歴史時代に噴出した溶岩流の岩石鉱物の分析をさらに進め、霧島火山群の中での位置付けについて検討する。そして、階段図および噴火事象系統樹についての検討も始める。また、高千穂も含めた最近数百年間の歴史記録の再検討を行う。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。

## 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・十勝岳・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・十和田・八幡平・岩手山・秋田焼山・栗駒山・那須岳・伊豆東部火山群・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・白山・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・大学院生を随時受け入れる。

### (c) 大規模噴火データベースの整備

産業技術総合研究所（再委託）では、大規模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と掲載を継続する。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。

### (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、課題 C-2 分担者と連絡を密にし、課題 C-2 プロジェクトの総合推進を行う。各分担者が担当する火山及び地域でのトレンチやボーリング調査の調整と実施を行い、分担者と共同して解析を行う。また、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、課題 C-2 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

令和 4 年度から取り組んでいる時間一積算噴出量階段図およびデータベースについて、令和 5 年度中に一部の成果をとりまとめて、サブ課題 C-2 として公表する。噴火事象系統樹については、作成手法の統一化を図るためのワーキンググループを発足させ、噴火事象系統樹の作成指針を議論し決定する。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。また、各機関は火山の地元において講演会等を随時開催し研究成果を発信する。

## (e) 課題 C 全体のとりまとめと総合推進

令和 5 年度中に、課題 C 全体の研究集会を開催する。その中で、各サブ課題の成果を共有し、課題 C としての今後の連携の進め方について議論する。また、霧島火山を対象に新たな課題間連携研究テーマ（安山岩質マグマ火山）のキックオフ集会を開催する。個々の成果から霧島火山で現状分かっていることと今後の課題を明確にし、連携研究の方向性について意見交換を行う。

## 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	副センター長	藤田英輔
		主任研究員	小園誠史
		主任研究員	三輪学央
		契約研究員	黒川愛香
		契約研究員	長井雅史
		契約研究員	志水宏行
		契約研究員	西村太志
国立大学法人東北大学 大学院理学研究科	参加機関	教授	奥村 聡
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	鈴木雄治郎
気象庁気象研究所火山研究部	協力機関	准教授	前野 深
		室長	鬼澤真也
		主任研究官	川口亮平
		研究官	入山宙
		室長	新堀敏基
		主任研究官	佐藤英一
国立大学法人静岡大学理学部地球 科学科	協力機関	研究官	石井憲介
		准教授	石橋秀巳
国立大学法人山形大学理学部	協力機関	准教授	常松佳恵
国立大学法人神戸大学先端融合研 究環	協力機関	准教授	清杉孝司
山梨県富士山科学研究所	協力機関	主任研究員	石峯康浩

#### (c) 業務の目的

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

本委託業務では、サブテーマ①火山噴火予知・推移予測に資する「地下におけるマグマ移動シミュレーション」及びサブテーマ②火山災害軽減のための「噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化」を実施する。

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

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

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

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

(d) 10か年の年次実施計画(過去年度は、実施業務の要約)

1) 平成28年度:

サブテーマ①: 地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・噴火機構シミュレーション:
- ・マグマ移動過程シミュレーション: 岩脈貫入に伴う応力場把握(マクロ)
- ・物性モデルの構築: 結晶実験・レオロジー実験の環境整備

サブテーマ②: 噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

- ・降灰シミュレーション: 降灰ハザード予測モデル検討(首都圏影響対象)
- ・噴煙・火砕流シミュレーション: 噴煙柱ダイナミクスモデル検討

- ・ハザード評価システム：噴煙評価システム検討（既往システム参照）
- 2) 平成 29 年度：
- サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション
- ・噴火機構シミュレーション：
  - ・マグマ移動過程シミュレーション：クラック進展シミュレーション（マイクロ）
  - ・物性モデルの構築：実験の環境整備と、結晶化カインेटイクスと火山性流体レオロジーのモデル検討
- サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル予備計算（プロトタイプ）
  - ・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙柱ダイナミクスモデル高度化
  - ・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術設計
  - ・噴石シミュレーション：噴石評価システム検討
  - ・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム設計
- 3) 平成 30 年度：
- サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション
- ・噴火機構シミュレーション：
  - ・マグマ移動過程シミュレーション：マイクロ・マクロモデルの統合
  - ・物性モデルの構築：結晶化カインेटイクスモデル検討・火山性流体レオロジーモデル検討
- サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル予備検証（プロトタイプ）
  - ・噴煙・火砕流シミュレーション：降灰モデルとの連携開始
  - ・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術開発
  - ・噴石シミュレーション：噴石評価システム設計
  - ・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム開発
- 4) 平成 31 年度（令和元年度）：
- サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション
- ・マグマ移動過程シミュレーション：観測データによる検証
  - ・物性モデルの構築：結晶化カインेटイクスモデル検討・火山性流体レオロジーモデル検討
- サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル改良（噴煙モデルとの連携）
  - ・噴煙・火砕流シミュレーション：降灰モデルとの連携
  - ・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術設計
  - ・噴石シミュレーション：噴石評価システム開発
  - ・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム運用
- 5) 令和 2 年度：
- サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション
- ・マグマ移動過程シミュレーション：空間分解能の高度化
  - ・物性モデルの構築：観測データによる検証

- サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル本計算
  - ・噴煙・火砕流シミュレーション：既往火砕流モデル検討
  - ・土石流・泥流シミュレーション：既往土石流・泥流モデル検討
  - ・ハザード評価システム：噴石・溶岩流評価システム運用

6) 令和3年度：

- サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション
- ・マグマ移動過程シミュレーション：パラメータ感度解析
  - ・物性モデルの構築：観測データによる検証

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル本検証
- ・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙・火砕流モデル高度化・検証
- ・土石流・泥流シミュレーション：土石流・泥流モデル高度化・検証
- ・ハザード評価システム：火山ハザード評価システム運用・高度化（首都圏降灰・噴石・溶岩流）

7) 令和4年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・マグマ移動過程シミュレーション：岩脈貫入・移動条件の定量化
- ・物性モデルの構築：システムへの組み込み

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル評価
- ・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙・火砕流評価システム
- ・ハザード評価システム：火山ハザード評価システム運用・高度化（降灰・噴石・溶岩流）

8) 令和5年度：

- ・火山ハザード評価システム運用・高度化（全事象）
- ・マグマ移動過程評価システム開発および事象分岐評価手法の開発

9) 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4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、前年度までに開発した、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する。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する。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ー式・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する。

#### b) マグマ移動過程シミュレーション技術開発

地下におけるマグマの移動に伴う破壊の進展と火山性地震・地殻変動との関連性を引き続き調べ、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、各パラメータへの依存性の検討を継続して実施する。個別要素法では、課題 C 内の連携テーマである伊豆大島のスケールを対象としたシミュレーションを引き続き実施する。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 2022 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に向け、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 年噴火噴出物と桜島 1914 年噴火噴出物を対象に進める。圧力ラインを増設したことを生かし、より幅広い温度・減圧条件での実験を効率的に行い、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いたモデルの構築を進める。

マグマレオロジーモデルについては、実験装置を改造して応力制御下での 1986 年伊豆大島噴火の溶岩を用いたレオロジー実験を開始する。その結果を今まで行ってきた速度制御下での実験結果と比較し、天然系での非定常マグマ流動を把握、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。

### 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、新しい移流拡散モデル（JMA-ATM）を用いて、「b. 噴煙柱ダイナミクスモデル（SK-3D）」による初期条件からの再計算と、前年度から作成を始めた季節変化する気象場との相互作用などが考慮できる1次元噴煙モデル（NIKS-1D）による初期条件からの計算結果の比較を行う。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実施する。比較的頻度の高く降灰による災害につながる中規模噴火を対象に、噴煙挙動や火山灰粒子挙動の精度を向上させる。計算結果から火山灰の大気中における存在領域や降灰分布を抽出し、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。特に、降灰ハザード予測のシステム化に必要な供給関数の検討を行う。火山ハザード評価システムにSK-3Dモデルでの計算結果を搭載する。

#### 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、噴煙・降灰ハザード評価、噴石ハザード評価、火砕流ハザード評価、および溶岩流ハザード評価の機能の高度化を行う。特に火砕流ハザードシミュレーションの開発については、現有の1次元二層モデルの2次元化を進めるとともに、確率論的ハザードマップの検討を進める。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、溶岩流（簡易版）モジュールの追加、地殻変動（境界要素法版）の追加、計算パラメータインターフェース整備、計算スクリプトの実装を行う。また、シミュレーションデータを外部提供するためのデータ変換作業を行う。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火砕流国際ワークショップで発表する。

全サブテーマにおいて、課題C連携対象である伊豆大島についての研究を進め、研究会に参加する。

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4年度の成果

### (a) 業務の要約

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーションでは、観測データを再現し得る火道内マグマ流動過程の特徴を明らかにした。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ー式・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。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開発した。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。

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、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、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、前年度までに開発した、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ー式・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。以下ではその業務の成果について詳細を説明する。

前年度において、1次元火道流数値モデルに基づき、浅部に固体プラグが存在する低流量の火道流から、マグマ流量の急増に伴い高流量の火道流に遷移する間に、プラグが消滅するまでのプロセスを再現した。さらに、この火道流の変動によって生じる地殻変動を、山体地形を考慮した地殻弾性体シミュレーションによって調べた。本年度は、この地殻変動の特徴の火道流モデルにおけるパラメータ依存性を系統的に調べた。観測との比較のために、噴火前後において顕著な地殻変動が多数観測されている桜島のブルカノ式噴火を対象とし、火口から約 3-4.5 km の距離における観測点での傾斜変動の特徴に着目した。特に、噴火前の膨張が開始してからプラグが消滅して噴火が開始するまでの時間（噴火準備時間）、およびその間の傾斜変動量の最大値を代表的な特徴量として抽出した（図1右上）。数値解析に基づき、これらの特徴量がマグマ溜まりの体積、火道半

径、深部からマグマ溜まりへのマグマ供給率に依存してどのように変化するかを調べた(図1)。その結果、マグマ溜まり体積が大きいほど、あるいはマグマ供給率が小さいほど噴火準備時間が長くなることが確認された(図1a)。さらに、マグマ溜まり体積、マグマ供給率、火道半径が大きいほど傾斜変動量が大きくなることがわかった(図1b)。図1には、2020年6月に桜島の南岳で発生したブルカノ式噴火前における噴火準備時間と傾斜変動量の観測値の範囲を示している。これらの観測値を再現するためには、 $1 \text{ km}^3$ 程度のマグマ溜まり体積に対して、約 $2 \times 10^4 \text{ kg/s}$ のマグマ供給率が必要であることがわかった。この値は、井口ほか(2019)で報告されている南岳のブルカノ式噴火におけるマグマ貫入率の範囲( $1\text{--}8 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{day}$ )と整合的である。また、桜島のブルカノ式噴火に伴う爆発地震の高精度な震源決定に基づき、火口直下の極浅部に地震発生域が存在していることを明らかにした。地殻変動をもたらす圧力源は、この地震発生域よりも深部に位置している。これらの火道内における力学的描像は、浅部固体プラグを考慮した火道流モデルから得られる火道内流動分布と整合的であることがわかった。

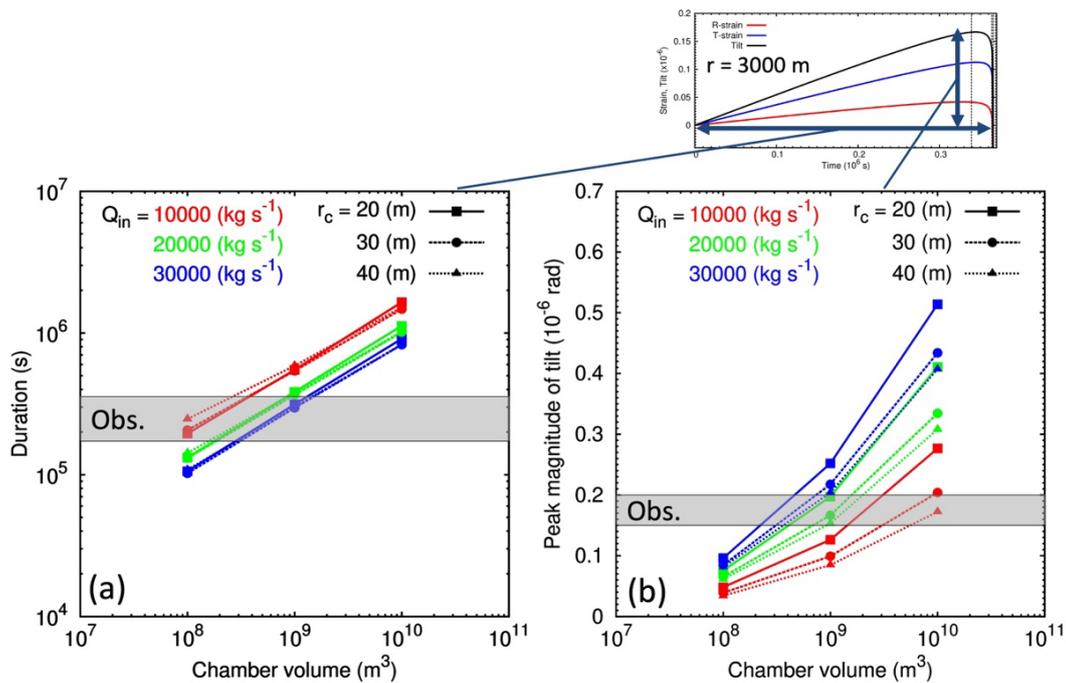


図1 一次元火道流数値モデルおよび山体地形地殻変動モデルから計算される、ブルカノ式噴火前の火道およびマグマ溜まりの増圧に伴う傾斜変動のパラメータ依存性。火口からの距離3 kmの観測点における、増圧開始から噴火開始までの噴火準備時間(a)および傾斜変動量の最大値(b)を特徴量として抽出し(右上図)、マグマ溜まり体積、火道半径( $r_c$ )、マグマ溜まりへのマグマ供給率( $Q_{in}$ )依存性を系統的に計算している。灰色の部分には2020年6月に桜島の南岳で発生したブルカノ式噴火前における観測値を示している。

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、桜島における安山岩質マグマ特有の物性を考慮するために、結晶化実験データに基づいて、マグマ上昇中の結晶化カインेटイクスのモデル化において必要な平衡結晶度および結晶成長率を適切に設定した。その上で、発泡、ガス分離、結晶化を考慮した一次元定常火道流モデルに基づき、火道流の安定性を評価できる定常火道流におけるマグマ溜まり圧力と噴出率の関係を調べた。その結果、溶岩流出噴火に相当する火道流が安定に存在できる噴出率の最大値 ( $Q_{\max}$ ) が、マグマ粘性の急増が生じる臨界結晶度に相当する最密充填結晶度 ( $\beta^*$ ) に強く依存していることが明らかになった。具体的には、 $\beta^*$  が小さいほどマグマ粘性が増加し、ガスの分離が促進されることで火道内の発泡度増加が抑制され、溶岩流出噴火が出現しやすくなる、すなわち  $Q_{\max}$  が大きくなる効果があることがわかった (図2)。この効果が、大正噴火における高流量の溶岩流出噴火をもたらした要因の一つになっていると考えられる。

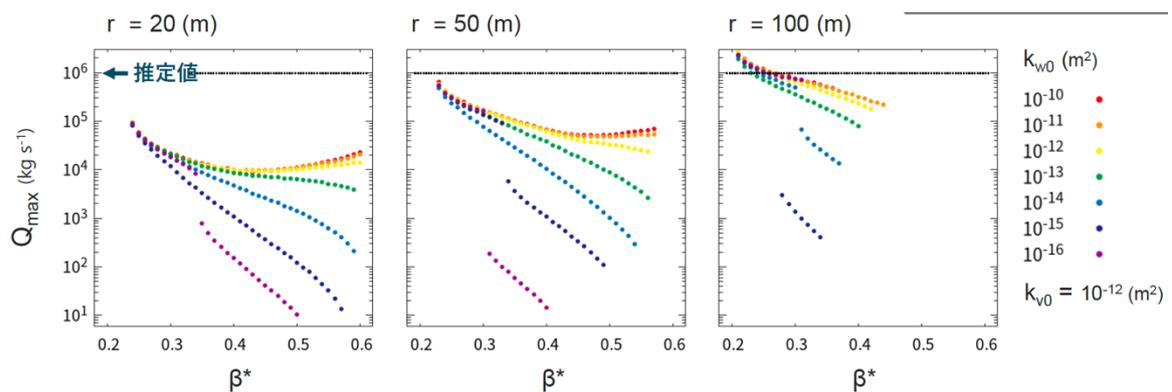


図2 1914年桜島大正噴火のマグマ物性を考慮した一次元定常火道流数値モデルに基づく、溶岩流出噴火に相当する火道流が安定に存在するマグマ噴出率の最大値 ( $Q_{\max}$ ) に関する解析結果。マグマ粘性の急増が生じる臨界結晶度に相当する最密充填結晶度 ( $\beta^*$ : 横軸) への強い依存性が確認された。 $r$  は火道半径、 $k_{w0}$ 、 $k_{v0}$  はそれぞれ横方向、縦方向へのガス分離浸透率を表す。

課題間連携研究のテーマとして設定されている伊豆大島を対象とした解析として、本年度は1986年の溶岩流出噴火における火道—マグマ溜まり供給系のダイナミクスに関する解析に取り組んだ。噴火初期にあたる11月15～21日の山頂火口 (A火口) からの溶岩流出噴火では、噴出率の指数関数的減少が確認された。この指数関数的減少は、弾性変形するマグマ溜まりから、噴火に伴いマグマが火道に流出するプロセスによって説明できる。そこで本研究は、火道—マグマ溜まり供給系の物理モデルに基づき、噴出率減少の時定数の観測値を再現できる条件を抽出することを試みた。物理モデルによると、時定数はマグマ溜まりの体積に比例し、火道におけるマグマの流れやすさを表す火道伝導度に反比例する。本研究では、円筒形状からダイク形状まで様々な火道形状を設定できる一次元定常火道流モデル (図3a) に基づき、マグマ溜まり圧力と噴出率の関係を求め、その関係における比例定数から火道伝導度を推定した (図3b)。図3cは、火道伝導度の火道形状依存性を系統的に調べた結果を示している。マグマ溜まりの現実的な過

剰圧の範囲を説明できるマグマ溜まり体積のもとでは、火道伝導度が  $0.01 \text{ kg s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$  程度である必要があり、この値は、水平断面のアスペクト比が 10 以下の円筒に近い火道形状を設定した場合に実現されることがわかった。以上の結果は、山頂 A 火口からの噴火期においては、B 火口からの割れ目噴火期とは対照的にダイク貫入に関連する地殻変動が検出されていなかったことと整合的である。

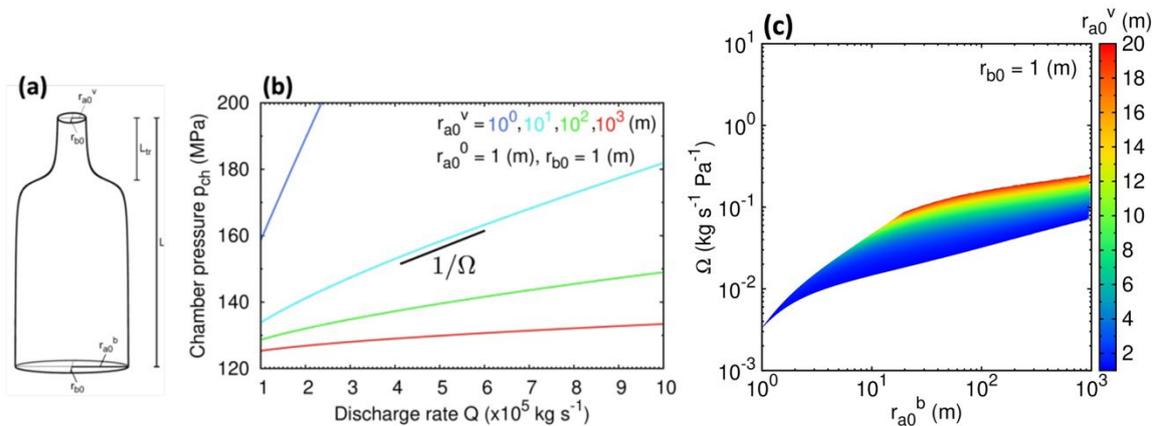


図 3 (a) 円筒形状からダイク形状まで様々な火道形状を設定できる一次元定常火道流モデルの概念図。(b) 定常火道流におけるマグマ溜まり圧力と噴出率の関係。勾配が火道伝導度 ( $\Omega$ ) の逆数に相当する。(c) 火道伝導度  $\Omega$  の火道形状依存性。  $r_{a0}^b$  : 火道底における長径、  $r_{a0}^v$  : 火口における長径、  $r_{b0}$  : 火道短径。

#### b) マグマ移動過程シミュレーション技術開発

マグマ貫入過程のシミュレーションは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との比較が可能になる。噴出過程の組み込み方についてはこれまで、様々な視点から検討を行った。この検討結果を踏まえて、本業務では噴出過程を実際にプログラムに組み込む作業を実施した。貫入過程のプログラムが保有する弾性変形や温度変化の機能は噴出過程にも活用し、既存のプログラムに含まれる関数は必要に応じて適当な修正をほどこして共有し、計算全体に整合性をもたせるようにした。そのため下記の手順を取った。

- (1) 貫入過程を計算するプログラムへの噴出過程を計算する機能の組み込み
- (2) 噴出に伴う割れ目の幅の変化を周囲の岩石の弾性変形に対応させて計算する機能の組み込み
- (3) マグマの温度や粘性率を計算する機能の組み込み
- (4) プログラムの性能評価

以下に具体的内容を示す。

##### (1) 噴出過程を計算する機能の組み込み

貫入過程の計算を実行するプログラム `dikelas` に噴出過程を計算する機能を組み込んだ。プログラム `dikelas.cpp` で計算の流れを制御する関数 `mgintr` に、噴出過程に対応する記述を加えた。この記述の中で噴出過程の計算結果を新しいファイル `efs_w.txt`

に書きこむようにした。噴出過程の計算は、噴出量の計算も含めて詳細を新設の関数 `effuse` で実行するようにした。

(2) 噴出に伴う割れ目の幅の変化を周囲の岩石の弾性変形に対応させて計算する機能の組み込み

プログラム `dikelas` では、貫入過程で割れ目の拡大速度の計算精度を上げるために割れ目先端での応力拡大係数を解析的に計算する。割れ目のまわりの弾性変形は解析解の重ね合わせで表現し、マグマと接する部分以外の地表、深部、遠方で課される境界条件は、弾性変形に数値解を重ね合わせて満たすように設定している。一方、噴出過程では割れ目は地表までつながるため拡大速度を計算する必要がない。解析解も必要なくなり、弾性変形はすべて数值的に計算することになる。貫入過程の計算では岩石の弾性変形の計算に関数 `deform` を使い、噴出過程の計算でもその機能を使うことができる。ただし、弾性変形に課される境界条件は貫入過程とは異なる。貫入過程の計算では真の境界条件から解析解の寄与を差し引いたものを数値解の境界条件とし、噴出過程の計算では弾性変形の計算に真の境界条件を直接課す。噴出過程について弾性変形を計算する際には、境界条件を上記のように変更してから関数 `deform` を用いた。

(3) マグマの温度や粘性率を計算する機能の組み込み

マグマの温度は周辺の岩石に熱が逃げていくために上昇につれて降下する。この温度降下は熱伝導の近似的な計算で見積もることができ、その機能は貫入過程の計算にはすでに組み込まれており、噴出過程の計算でも同じ機能を使うことができる。ただし、貫入過程の計算では割れ目先端での冷却も考慮しているため、噴出過程の計算では割れ目先端で課される対処をはずして温度変化を見積もる。粘性率の計算は、温度の関数として経験式から計算し、噴出過程の計算でもその機能をそのまま活用する。

(4) プログラムの性能評価

割れ目を初期状態から成長させながらマグマが貫入する過程を経て、地表に達した割れ目からマグマが噴出する過程に至る一連の現象についての計算事例を示す。計算で用いた入力データを表 1 と表 2 に示す。

表 1 物性値の例

```
+ constants from defc_i.txt
+ rock
rhor = 2400.00 SI  nu = 0.30  Br = 5.00e+010 Pa
cs = 10.000 DU  Ks = 1.000 DU  ns = 5.000
cd = 50.000 DU  Kd = 1.000 DU
kth = 1.00e+000 SI  kap = 1.00e-006 SI
+ magma
rhol = 2300.00 SI  Bl= 1.50e+010 Pa  Cl = 2.00e+003 SI  dU = 6.00e+005 SI
etal = 1.00e+005 SI  Tac = 5.50e+004 K  etag= 1.00e+000 SI
Pd = 5.000e+010 SI  gam = 0.50  Dg = 0.000e+000 SI  psif = 0.75
```

表 2 実行制御の定数の例

```

+ input from def_i.txt
+ state
  po = 10.000 atm  T = 1200.0 K  phio = 0.01000
  Rm = 1.00e+003 m  Tinf = 300.0 K
+ ji = 1 new start, 2 restart, 3 effuse; jc = 1 t, 2 h
  ji = 1  jc = 2
  hf = 100.000  dh = 1.00e-002  kc = 100  for ascend
  tf = 1.00e+001  dt = 1.00e-003  ks = 100  for effuse
+ control
  msp = 90000  dev = 5.00e-006  fi = -0.500
  Qu = 1.00e+003  cmin = 1.00e-006  cmax = 1.00e+012
  jz = 0  amin = 0.0200  r = 0.500
  nct = 5  jsm = 0  dfl = 1.00e-006  jvtk = 0
+ frame from def_i.txt
  L = 1000.0 m  H = 500.0 m  m = 100  n = 50
  ho = 10.0 m  ao = 0.05 m  bo = 20.0 m

```

図 4 は割れ目を拡大させながらマグマが上昇する貫入過程の推移で、割れ目先端の高さ  $h$ 、割れ目の進展速度  $c$ 、マグマ上昇流の大きさに比例する係数  $A$ 、割れ目先端での気体成分の体積比  $\psi$  の時間変化を示す。図は時間の関数として描かれているが、実際の計算は  $h$  の刻みが一定になるようにステップが決められている。 $h$  の変化速度  $c$  は時間とともに大きく変動するため、一定の時間刻みでステップを進めると、時間が経過するほど計算の精度が荒くなることを考慮して行った。割れ目の進展は初期には緩慢であるが、割れ目がある程度の長さまで成長すると急に速くなり、マグマは一息に地表に達する。進展が緩慢な時期もマグマの流量は着実に増加を続けるが、割れ目が急拡大する時期になると流量も増加する。気体成分の発泡はマグマが地表に近づいたときに生ずるが、地表にさらに接近すると顕著になり、最終的にはマグマの上部は噴霧流になる。

図 5 は割れ目の先端が地表に達してマグマの噴出過程に移行した後の状態で、マグマの噴出率  $Q$  と地表での割れ目の幅  $a_H$  の時間変化を示す。ここで  $t$  は噴出が始まってから経過した時間である。なお、噴出過程では計算は時間刻みを一定にして進められる。

この計算結果によれば、割れ目は先端が地表に達した瞬間に地表で大きく開く。そのときに噴出率は最大になり、その後割れ目が徐々に閉じて噴出率も減少する。噴出率が最初に最大になるので、その最大値は時間刻みの大きさに依存する可能性もあるが、 $t = 0$  の付近で噴出率に急激な変化がみられないため、最大値もほぼ正しく見積もられていると考えられる。

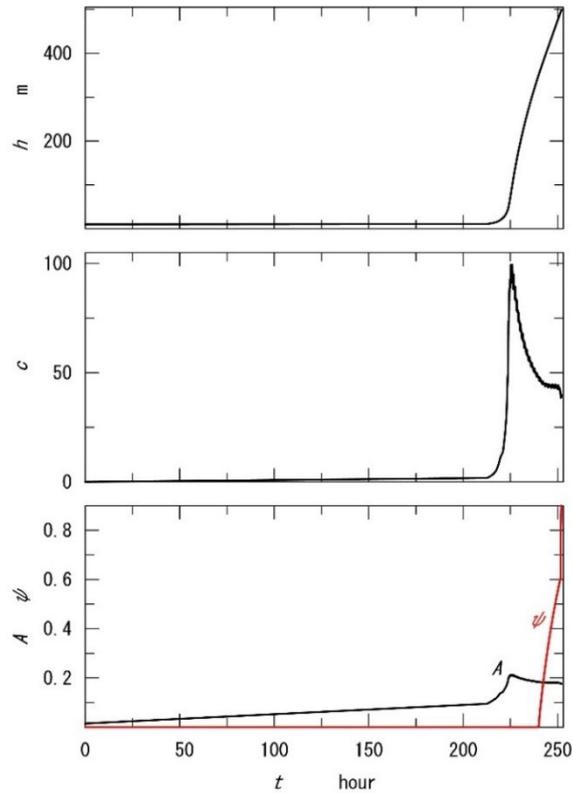


図4 マグマ貫入過程の推移。割れ目先端の高さ  $h$ 、割れ目の進展速度  $c$ 、マグマ上昇流の強さ  $A$ 、気体成分の体積比  $\psi$  (赤線) を時間  $t$  の関数として描く。

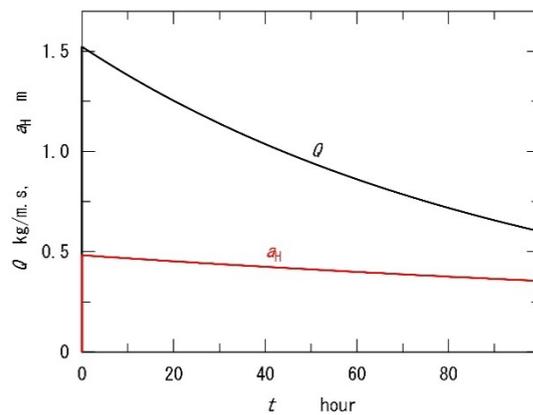


図5 マグマの噴出過程の計算結果。マグマの噴出率  $Q$  と地表での割れ目の幅  $a_H$  の時間変化を示す。

マグマの上昇や噴出に関与する変数の空間分布を貫入過程と噴出過程の間で比較する。図6は割れ目の幅  $a$ 、マグマに含まれる気体成分の体積比  $\psi$ 、マグマに垂直にはたらく応力  $\sigma_{xx}$  の空間分布である。貫入過程では、割れ目先端の位置  $h$  をいくつか選んで分布の推移を見た。噴出過程の分布(赤線)は噴出が始まってから十分な時間が経過したときの状態である。

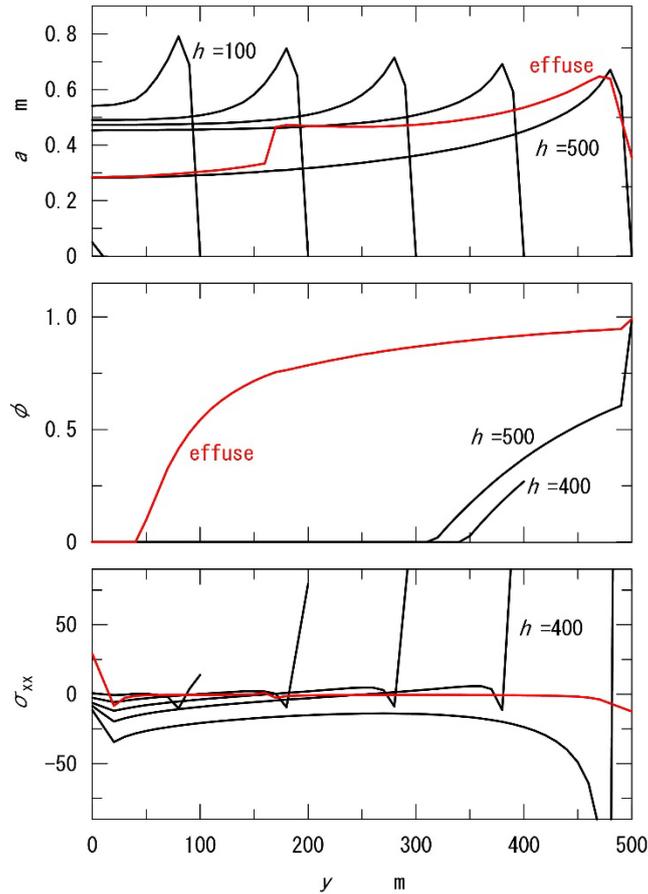


図6 割れ目の幅  $a$ 、気体成分の体積比  $\psi$ 、マグマにはたらく水平応力  $\sigma_{xx}$  の空間分布。貫入過程では割れ目先端の高さ  $h$  のいくつかの値について示す。赤線は噴出時（噴出開始から 100 時間後）の状態である。

図6によれば、貫入過程では割れ目は先端付近の形状をほぼ同じに保って進展する。噴出が始まると、割れ目が地表で開いた影響が深部に広がっていく。気体成分は貫入過程でマグマが地表付近に達したときに発泡を始め、噴出時には発泡が生じる範囲を大きく増やす。噴出時の増加は貫入時に割れ目先端で抑えられていた圧力が急に解放されるためである。応力は貫入時には割れ目先端付近で急激な変化をするが、噴出時には先端の影響がなくなって変化がなめらくなる。

図7は岩石の弾性変形の状態、岩石の内部で水平変位  $u_x$  (上) と鉛直変位  $u_y$  (下) の分布を等高線で描く。貫入過程で割れ目先端が  $h = 200$  m にあるとき (a) と地表に達したとき (b) の状態を噴出時 (c) と比較する。

割れ目が地殻内部にあるとき (a) には、岩石の弾性変形は割れ目の分布を反映して先端の上下で異なる様相を呈する。先端が地表に達すると割れ目の影響は薄まる (b)。噴出時には割れ目は地表まで伸びるため、変位の分布も岩石全体にわたって一様に近づく (c)。

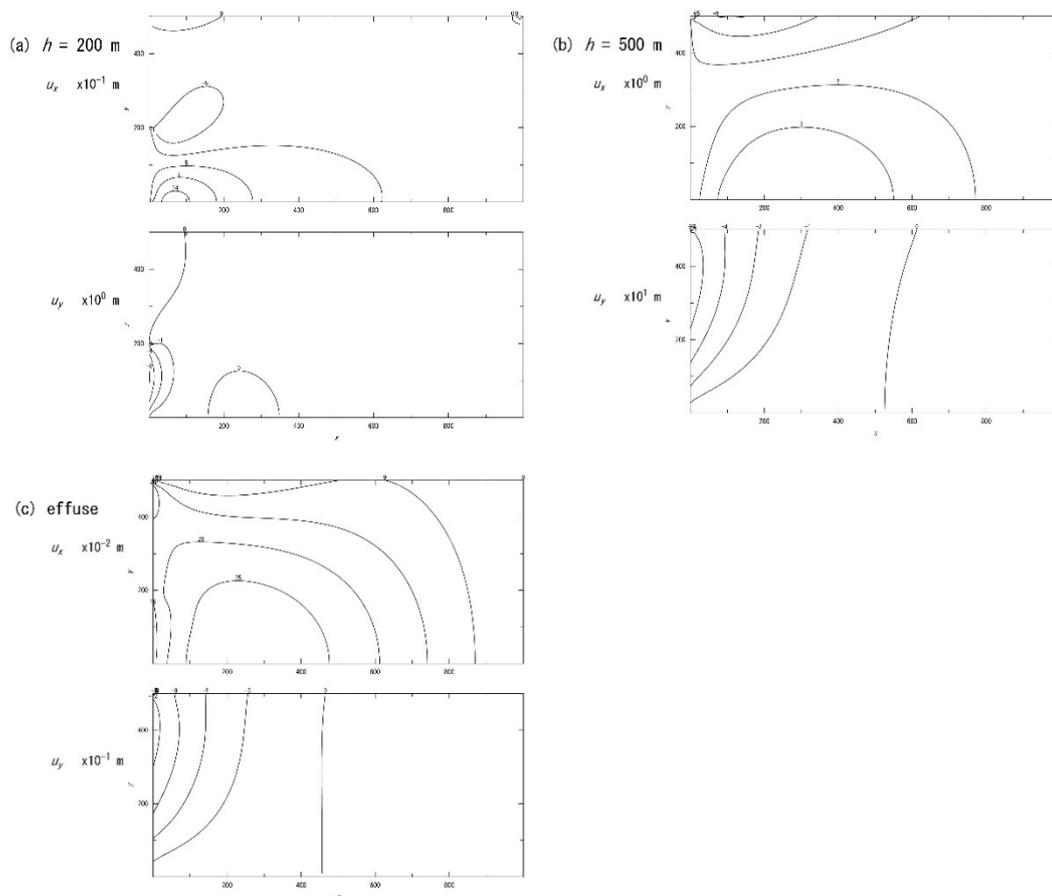


図7 岩石の弾性変形。割れ目先端が  $h = 200$  m の高さにあるとき (a)、地表に達したとき (b)、噴出時（噴出開始から 100 時間後）(c) について水平変位  $u_x$  (上) と鉛直変位  $u_y$  (下) の分布を等高線で示す。

本年度の作業によって多様な変数が貫入過程と噴出過程の間で整合的に計算できるようになった。貫入過程と噴出過程の間には変数の空間分布に特徴的な違いがあり、その違いは合理的に解釈できる。そこで、プログラム *dikelas* に追加された噴出過程を計算する機能は、貫入過程から噴出過程への推移を妥当に計算できていることが確認できた。

また、粒子法によるマグマ貫入過程シミュレーションについて検討を行った。これまで個別要素法(DEM)を用いて検討を進めているが、メモリ量や計算時間など大規模なリソースを必要とすることから粒子を平均化して計算する SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法の適用について検討に着手した。SPH 法の計算に用いる粒子は直方体の容器をつくる固定粒子、岩石の変形や流動を表現する流体粒子、上昇するマグマを表現する膨張粒子の 3 種類から成るものとし、流体粒子と膨張粒子には物性値と初期配列を設定する。固定粒子は直方体の壁に置き、水平方向に岩石と垂直に一定速度で移動させて内部に差応力を生み出せるようにする設計とした。

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、これまで開発したマグマ上昇に伴う地殻変動の時間変化を求めるシミュレーション手法を伊豆大島の地殻変動観測点（傾斜計・GNSS）に適用し、岩脈貫入に伴い観測される地殻変動データの特徴を調べた。地殻変動シミュレーションでは計算する岩脈貫入のパラメータを火山噴火予知連絡会伊豆部会で報告されている伊豆大島の噴火シナリオ<sup>1)</sup>に基づいて以下のように設定した。岩脈底部の深さは海面下9 kmで固定し、岩脈の頂部が海面下8 kmから0 kmまで一定の速度で鉛直に上昇していくとした。岩脈の走向は北西-南東方向で、水平方向の長さは2 kmで固定した。岩脈の貫入位置は、過去の山腹割れ目噴火の位置を参考にして、三原山の北側と南側で、それぞれ三原山付近と海岸付近の2か所ずつ、合計4か所に設定した（図8）。岩脈の鉛直方向の長さを変えた地殻変動の計算を繰り返し行い、それらの計算結果から岩脈の上昇に伴う地殻変動の時系列を作成した。

岩脈貫入に伴う地殻変動の数値計算はこれまで開発してきた境界要素法による地形を考慮した地殻変動計算プログラムを使用した。島嶼部の火山である伊豆大島を数値計算の対象とするため、山体地形のメッシュモデル作成において、海域部分の地形も水深データから作成できるように地形メッシュ作成のプログラムを改良している。伊豆大島の地形メッシュモデルの作成では、陸上部分は国土地理院の10 mメッシュの数値標高モデルを、海域部分は日本海洋データセンターの500 mメッシュの水深データを利用して作成した（図9）。数値計算によって得られる地形メッシュモデルの格子点ごとの変位量から、気象庁の火山活動監視に用いられている地殻変動観測点ごとの観測量（変位量、傾斜変化量）を求めた（図8）。

数値計算結果から作成した岩脈貫入に伴い伊豆大島の傾斜計観測点で観測される傾斜変化の時間変化を図10～13に示した。それぞれの傾斜計観測点では、岩脈の頂部が深いときは、岩脈の方向に沈降する傾斜変化がみられ、岩脈が上昇するにつれて、傾斜変化の極性が岩脈方向の隆起を示すものに反転する様子を確認できる。この傾斜変化の極性が反転するタイミングは、岩脈の位置と観測点の位置関係によって異なっている。それぞれの計算結果で岩脈の貫入位置から離れた観測点ほど、岩脈がより深い場所にあるときに傾斜変化の極性の反転が現れており、岩脈近傍の傾斜計観測点では、岩脈が地表付近に達するまで岩脈方向の沈降を示す傾斜変化を示す観測点もあった。

伊豆大島の噴火警戒レベルの運用においては、噴火の発生が予測される場所の違いにより、対応するレベルが異なる場合があるため、岩脈貫入の位置を即時に把握することは重要である。本研究の地殻変動シミュレーションで得られる岩脈貫入の位置の違いと、観測データの時間変化の特徴の違いを把握しておくことは、火山活動監視において役立つと考えられる。

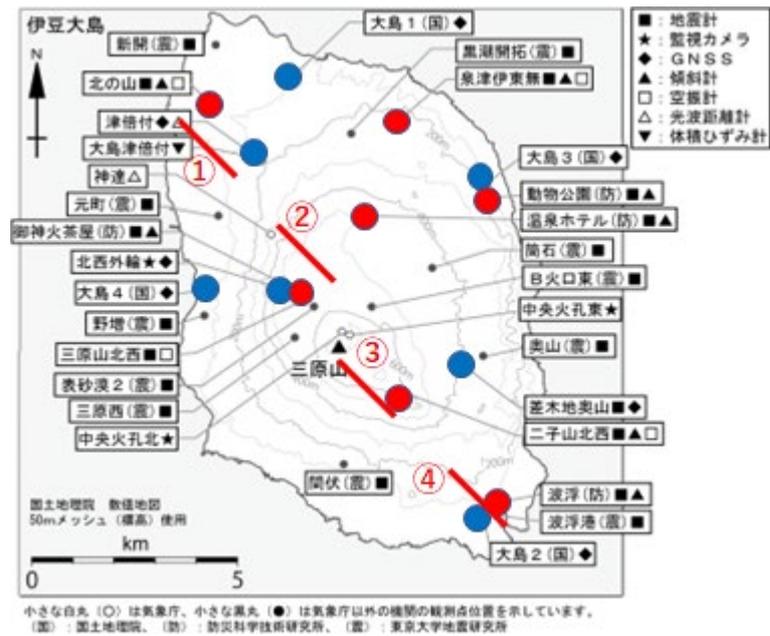


図8 伊豆大島の観測点配置図 (伊豆大島 観測点配置図、気象庁HPに加筆)。傾斜計観測点は赤丸、GNSS観測点を青丸で示した。赤線はシミュレーションで設定したcase①～④の岩脈の貫入位置を示している。

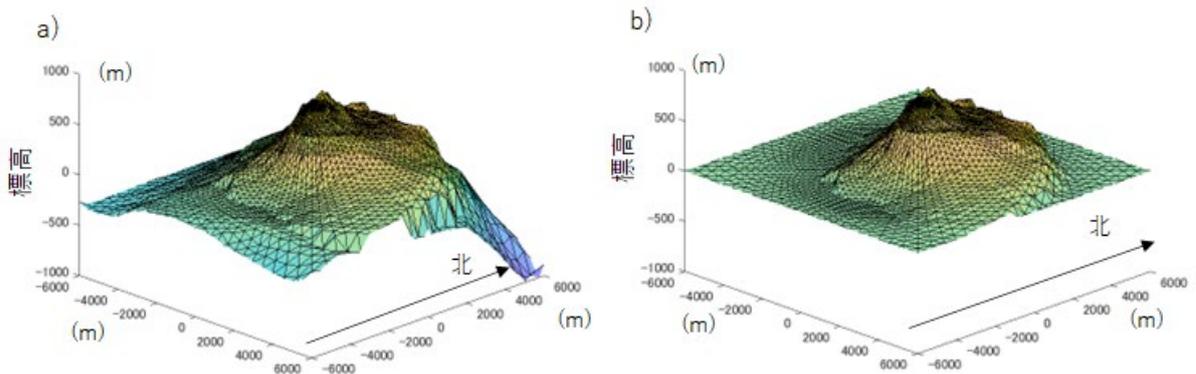


図9 数値計算で用いた伊豆大島の地形メッシュモデル(a)。これまでの地形メッシュ作成プログラムでは海底地形を考慮できなかったため(b)、水深データを利用できるようにプログラムを改修している。

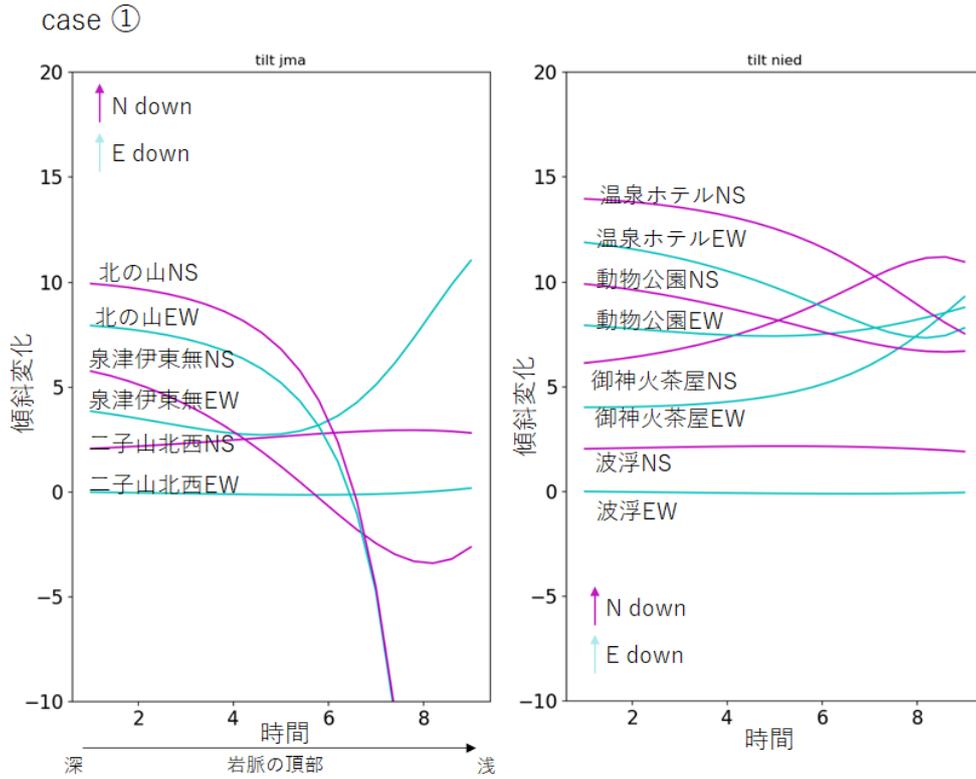


図 1 0 数値計算で求めた岩脈貫入に伴い傾斜計観測点での傾斜変化の時間変化 (case①)。水色線は東西成分、紫線は南北成分をそれぞれ示す。

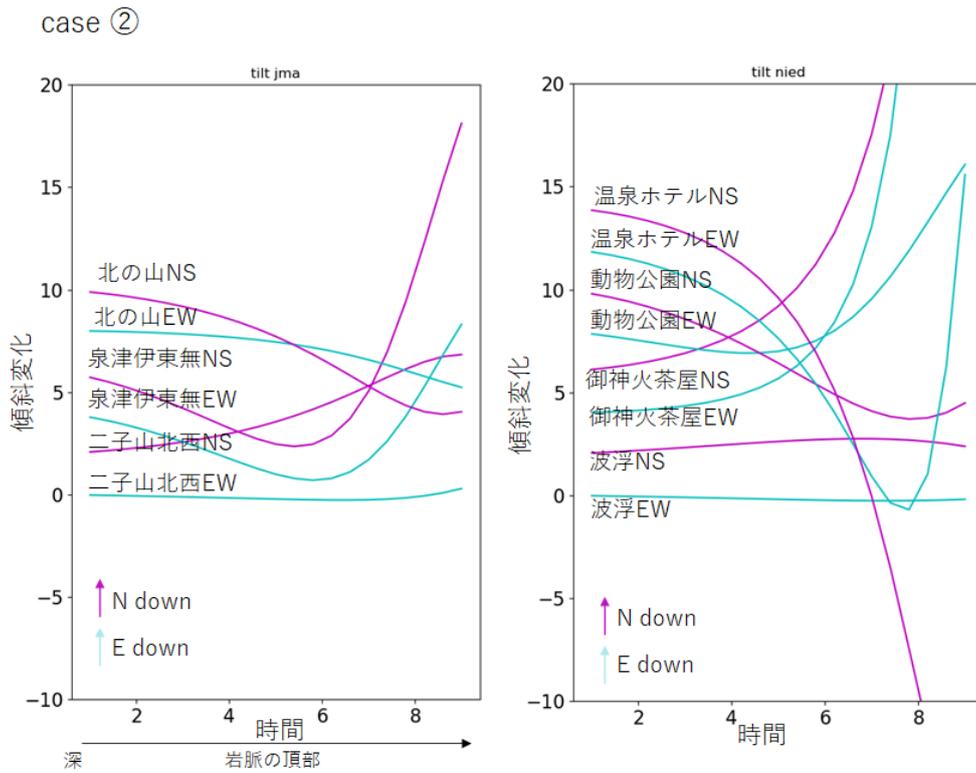


図 1 1 数値計算で求めた岩脈貫入に伴い傾斜計観測点での傾斜変化の時間変化 (case②)。水色線は東西成分、紫線は南北成分をそれぞれ示す。

case ③

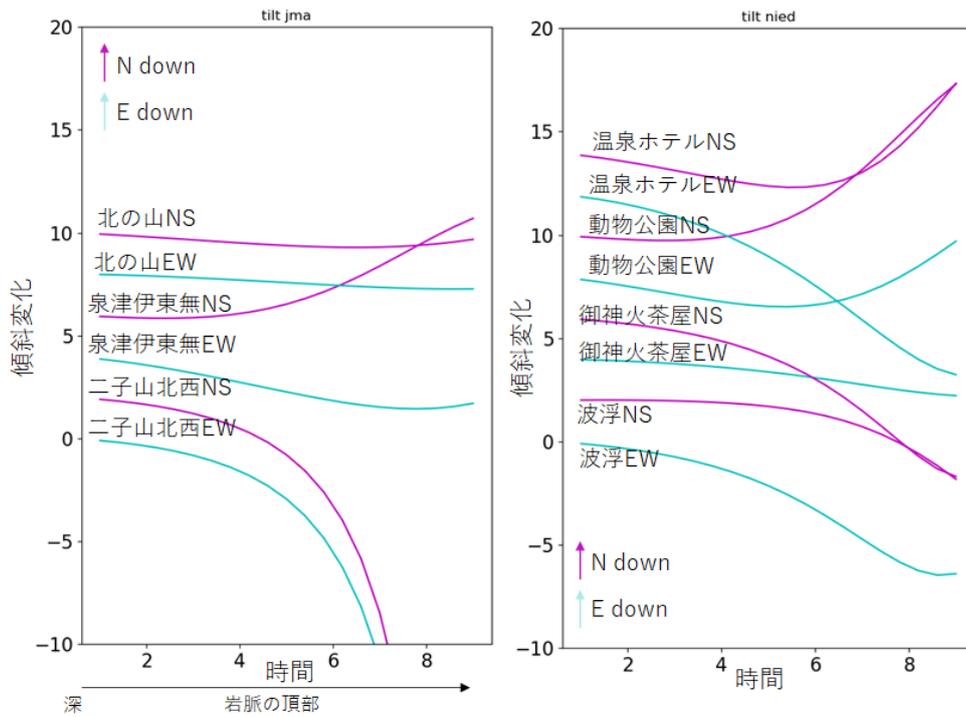


図 1 2 数値計算で求めた岩脈貫入に伴い傾斜計観測点での傾斜変化の時間変化 (case③)。水色線は東西成分、紫線は南北成分をそれぞれ示す。

case ④

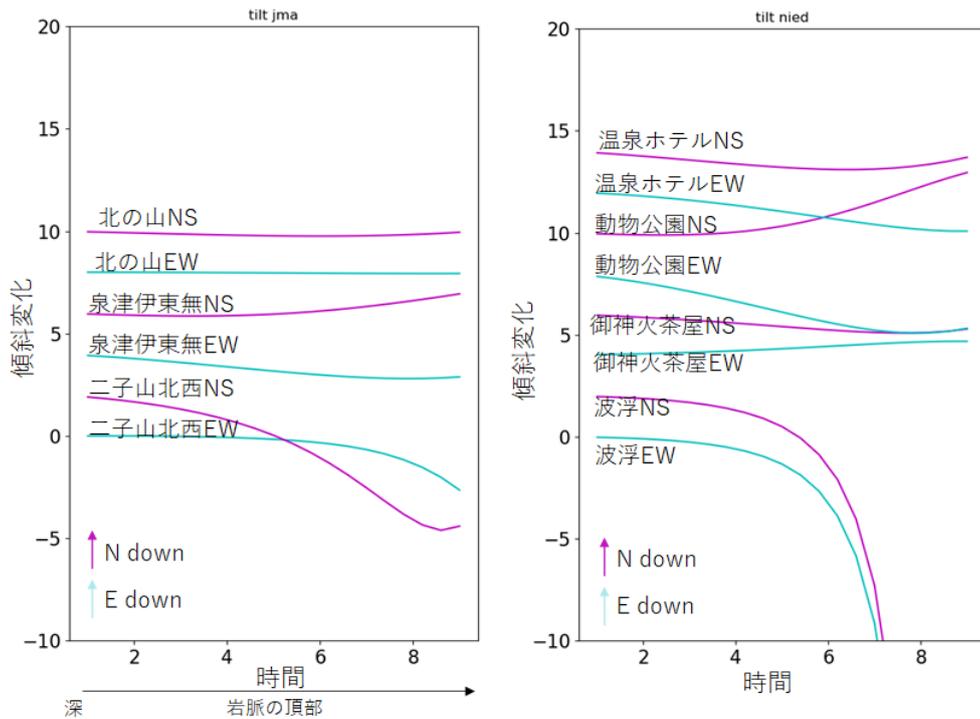


図 1 3 数値計算で求めた岩脈貫入に伴い傾斜計観測点での傾斜変化の時間変化 (case④)。水色線は東西成分、紫線は南北成分をそれぞれ示す。

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。

結晶化モデルの構築においては、桜島 1914 年噴火噴出物を用いた水熱減圧実験を進めた。実験結果に基づき平衡結晶度と結晶成長率を定式化し、火道流モデルに適用することで、安山岩マグマの噴火様式分岐に対する結晶化過程の影響を評価した。マグマレオロジーモデルについては、1986 年伊豆大島噴火溶岩を用いたレオロジー実験を行った。特に Spring-8 において、非定常粘性変化を支配するエイジング過程のその場観察を実施した。これらの結果を定式化し、火道流モデルに組み込み、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。

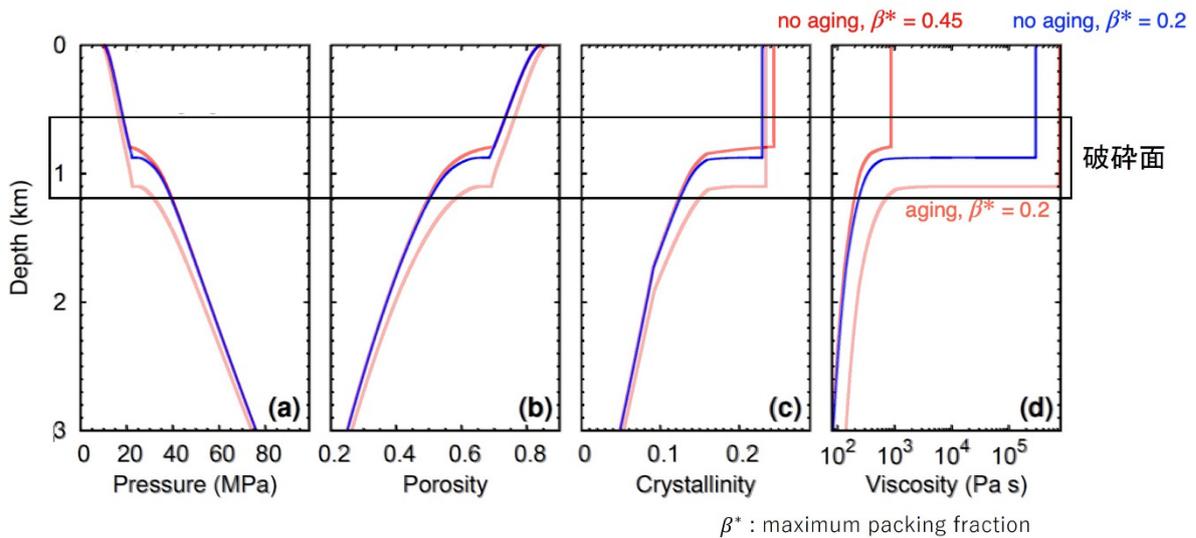


図 1 4 エイジングの有無による火道流の振る舞いの変化。エイジングにより破砕がより深部で発生することが示唆された。

2) サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

a) 降灰ハザード予測モデルの開発

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

前年度より引き続き、新しい移流拡散モデル (JMA-ATM) <sup>2)</sup>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。特に、本モデル (NIKS-1D) の供給源モデルとしての性能を評価するために、NIKS-1D とより精緻な噴煙モデルである SK-3D の 2 つのモデルから初期値を作成し、それぞれの初期値から JMA-ATM を用いて拡散予測計算を行い、降灰分布を比較した (図 1 5)。比較については、風が無い場合と風がある場合 (地上で風速 0[m/s]、高度 10km で風速 80[m/s]を線形に内挿) の 2 パターンの数値実験をおこなった。いずれの数値実験においても、周辺

大気の気温や気圧など風以外の気象場は中緯度の標準的なプロファイルを用いた。また、宝永噴火を想定し噴出率は  $4 \times 10^6$  [kg/s] とした。両モデルから計算された降灰分布は、火口近傍で若干の差異がみられたものの、広範囲にわたり概ね整合的であり、JMA-ATM への供給源モデルとしての NIKS-1D の精度は SK-3D と概ね同等であることが示された。

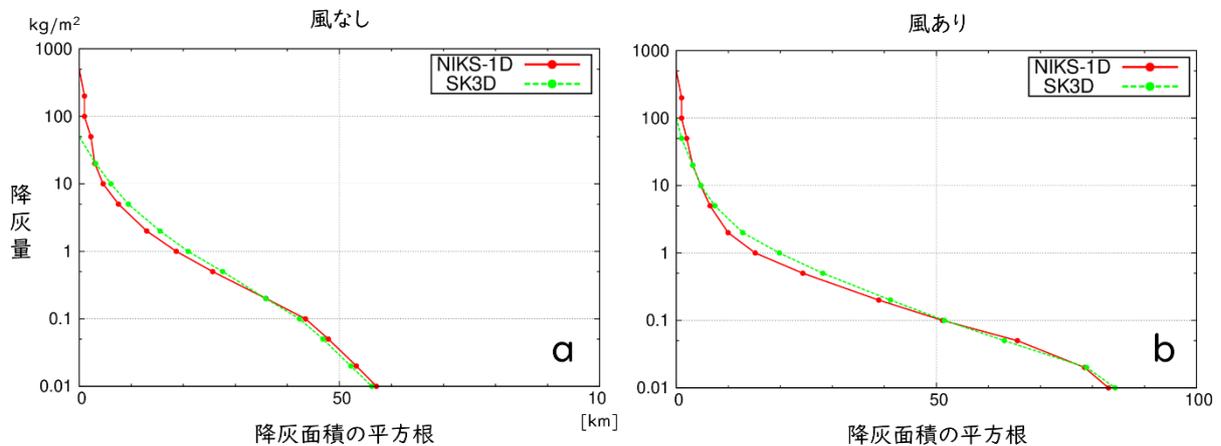


図 1 5 降灰量と降灰面積の関係 (赤 : NIKS-1D、緑 : SK-3D)。a: 風無し、b: 風あり。

#### 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。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<sup>3)</sup> 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。

中規模噴火を対象とした噴煙ダイナミクスと火山灰輸送の数値シミュレーションを実行した。数値計算は 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 IT0 と海洋研究開発機構の地球シミュレータ、東京大学情報基盤センターの Wisteria を利用した。数値コードは MPI で並列化されていて、512~768CPU を使用し高速計算を実現した。

噴出率で代表される噴火強度、大気成層構造、大気の風速を変えた計算を行い、噴煙の高さや傘型噴煙の半径、大気中の火山灰分布、地表での堆積分布の基礎データを蓄積した。噴出率と大気成層構造が同じでも、大気の風速を変えると地表での火山灰堆積のパターンが変化する様子を捉えた (図 1 6)。大気の風速がゼロの場合、噴煙柱と傘型噴煙は火口直上を中心軸にほぼ同心円状に拡大する。噴煙の流れに沿い、火砕物も軸対称に拡大する。その結果、地表での堆積物も同心円状の分布を示した。火砕物はサイズが大きいほど噴煙下部から離脱するため、火口近傍に堆積した。火口から離れるにしたがって火砕物のサイズは減少した。大気の風速が秒速 10m、20m、30m とした場合、火山灰分布は風下側に伸張した。風速が秒速 10m の場合でもすべての火砕物は風下側に堆積し、風上側には堆積物は存在しなかった。秒速 20m、30m の場合

も同様の傾向を示した。堆積分布のアスペクト比（風に直交する分布幅 / 風に平行する分布幅）は、風速がゼロの場合にはほぼ1に近いが、風速の増加とともにその比は減少した。

火山灰など細粒の火砕物は堆積まで非常に長い時間がかかる。そのため、細粒火山灰の堆積をシミュレーションすることは難しい。大気風が堆積分布に与える影響を調べるため、比較的大きな火砕物に関して同じ粒径で比較した（図17）。粒径が64mmの大きな火砕物は、火口近傍に堆積した。同心円状に堆積する風速ゼロの場合から、風速の増加とともにアスペクト比が顕著に減少する様子を捉えた。粒径が32mm、16mmそれぞれについて風速を変えた場合の分布を比較すると、同様に風速とともに分布のアスペクト比が減少する様子が再現された。大気風が分布パターンに与える影響は、これら大きな火砕物に関しては類似していることが観察された。

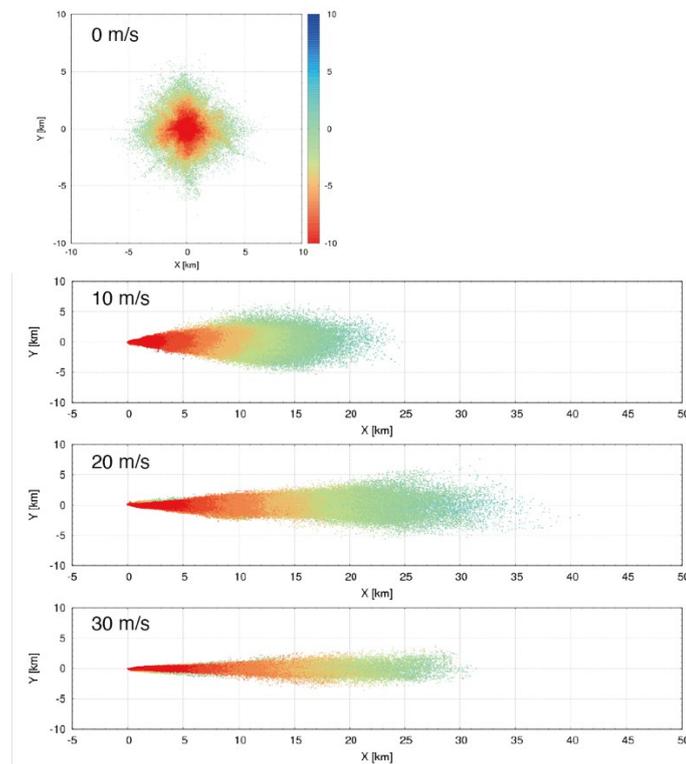


図16 噴出率が  $4 \times 10^6$  kg/s の爆発的噴火の火山灰堆積物分布。大気風速を 0, 10, 20, 30 m/s の場合のシミュレーションの最終時間における分布。色は火砕物のサイズ ( $\phi$  スケール) を表す。

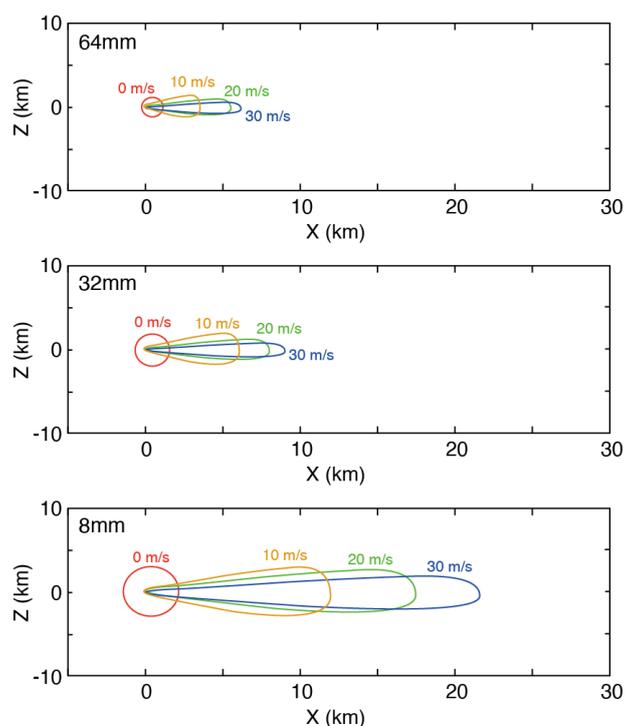


図 1 7 共通する噴出条件で風速 0, 10, 20, 30m/s と異なる場合の、堆積物分布の比較。粒径が 64, 32, 16mm と同じサイズの火砕物分布の包絡線を示す。

モデル検証のため、2022 年 1 月 15 日に発生したフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の爆発的噴火の再現シミュレーションを実施した。今年度は特に、火山灰輸送と堆積について注目しシミュレーションと結果の解析を行った。火山噴煙が 40~50km まで上昇する過程を再現すると同時に、成層圏中を火砕物が輸送される様子を再現することができた (図 1 8)。噴火から 1000 秒程度までは噴煙柱の非常に強い上昇によって、火砕物は高度 30~40km まで鉛直に運搬された。図の赤で示すような粗粒の火砕物の運搬は、噴煙柱下部に形成する噴水構造に支配された。噴水構造の密度は周囲の大気密度よりも大きいため、その上昇は高度 10km 程度で停止する。粗粒の火砕物は噴水構造の流れに沿い、噴煙柱下部で噴煙から離脱し降下した。それより細かな火砕物は、噴水構造の上部で発生する強い上昇流に乗ってさらに上空へと運搬された。噴火開始から 2000 秒では高度 30~40km で水平に拡大する傘型噴煙が形成し、その拡大にしたがって火砕物も火山遠方へと運搬された。噴火が継続しているこの時刻では噴煙柱下部に噴水構造が維持されている。中間的サイズの火砕物は傘型噴煙から離脱し降下を初めた。細粒の火砕物は傘型噴煙内に残留し拡散した。噴火継続時間を 2000 秒としたこの計算では、噴火開始から 3000 秒後で傘型噴煙に残る細粒の火砕物と降下している中間的サイズの火砕物の分離が始まった。噴火開始から 4000 秒後までだと、その分離は顕著になった。細粒の火砕物は傘型噴煙から離脱することはほぼなく成層圏を滞留することになる。

シミュレーション結果を用い、フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山噴火の堆積物分布の解析も行った (図 1 9)。噴水構造から降下するような粗粒な火砕物の分布は、噴火開始から 1000 秒以降ではほぼ定常的になっていて、2000, 3000, 4000 秒後の分

布はほぼ変化しない。一方、傘型噴煙から離脱する中間的サイズの火砕物は 1000～4000 秒ではその堆積分布域は拡大した。傘型噴煙は大気風によって風下側に流れたが、堆積物分布はほぼ同心円状となった。細粒の火砕物は傘型噴煙に取り込まれたままのため、地表へは堆積しなかった。フンガ・トンガ火山は海底で噴火し、周囲も海に囲まれているため現時点では詳細な堆積物分布データは得られていない。船舶を使った海底のコアサンプリングなどで将来的に堆積物データが得られたときに、それと比較できる基礎データを取得することができた。

Group D2 と連携し、インドネシア・シナブン火山のブルカノ式噴火の再現シミュレーションを実施した。マグマ物性から推定される噴出温度と揮発成分量を噴出物の物性として与え、気象再解析データから得られる大気構造と風速分布を初期条件とした。観察された火口半径を固定し、噴出速度を変えたシミュレーションを複数実行した。その結果、気象レーダーで観測された高度 10km 程度の噴煙柱の再現に成功した (図 20)。この時の噴火は溶岩ドーム崩壊に伴う火砕流も発生したため、噴煙柱のみを再現したシミュレーションとは噴煙の幅は異なった。このような詳細な 3 次元シミュレーションによって、レーダー観測データから噴火条件を推定する準備が整いつつある。

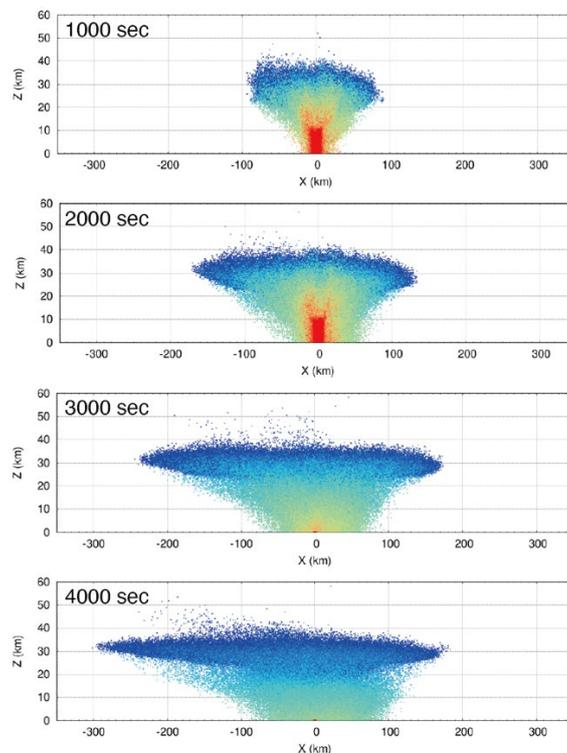


図 18 フンガ・トンガ—フンガ・ハアパイ火山 2022 年噴火の 3 次元数値シミュレーション結果。噴火開始から 1000, 2000, 3000, 4000 秒後における火砕物分布を、火口を含む鉛直断面に投影した。色は火砕物のサイズ ( $\phi$  スケール) を表す。

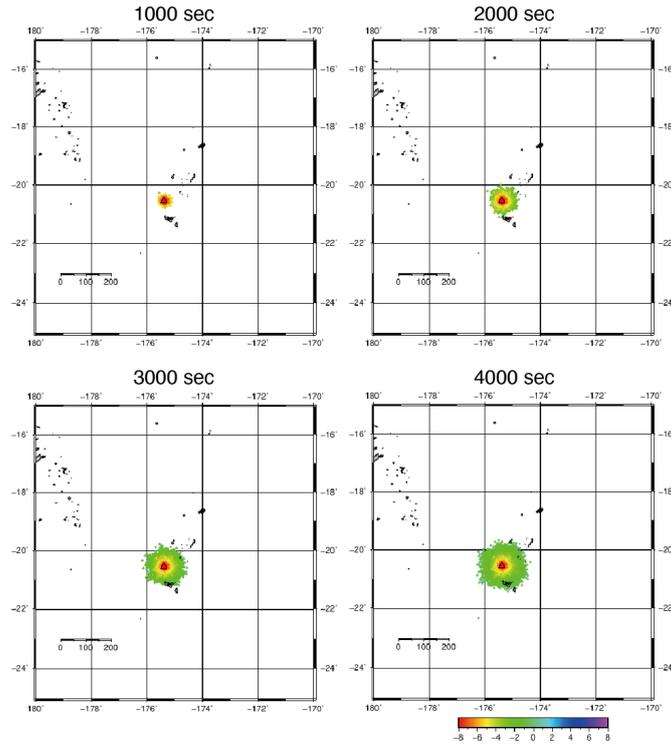


図 19 フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山 2022 年噴火の 3 次元数値シミュレーションから得られた地表での火砕物の堆積分布。噴火開始から 1000, 2000, 3000, 4000 秒後。色は火砕物のサイズ ( $\phi$  スケール) を表す。

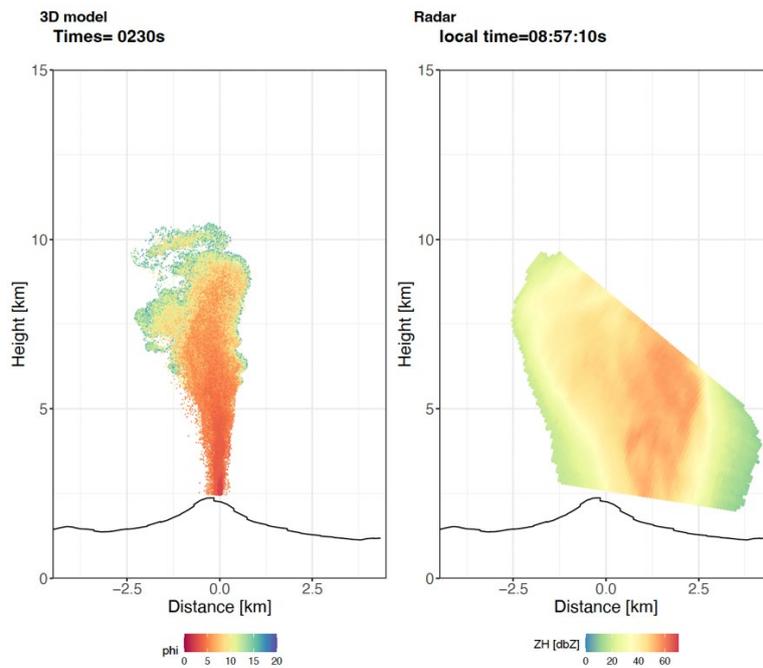


図 20 インドネシア・シナブン火山 2018 年 2 月 19 日噴火の 3 次元シミュレーション結果。シミュレーションから得られた大気中の火砕物分布 (左図) と、X バンド MP レーダー観測で得られた反射強度分布 (右図)。

### 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、新火砕流数値モデルの開発では、高濃度層だけでなく低濃度層についても2次元非定常状態を取り扱えるように数値モデルの改良を検討するとともに、低濃度層に対して、噴煙柱からの供給による形成だけでなく、高濃度層からの粒子の巻き上げによる形成についても評価できるように数値モデルの改良をすすめた。また、噴火規模だけでなく噴火口位置についての確率分布も評価できるようにハザードマッピング手法の改良を検討した。

溶岩流シミュレーションでは、計算実行のためのパラメータ生成用のGUIインターフェース SIMPAC をpythonにより作成した(図2 1)。これをもとに大量の計算実行が容易になり、ドリルマップのDB整備とした計算を富士山・伊豆大島・三宅島等を対象に実施した(図2 2)。また、課題D3との連携として、火山ハザードシミュレーション結果の対策課題への反映の例として、伊豆大島を事例とした溶岩流シミュレーションと、オープンソースであるマルチエージェントモデルによる交通流シミュレータ Simulation of Urban Mobility (SUMO)<sup>4)</sup>を用いた避難シミュレーションに着手した(図2 3)。

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では、簡易版降灰シミュレーション(PUFF)の計算結果表示について、降灰厚の情報を直接的に提供する機能を追加した。また、防災科学技術研究所におけるデータ解析基盤と公関係クラウド基盤の連携環境を実装し、機能確認を行った。

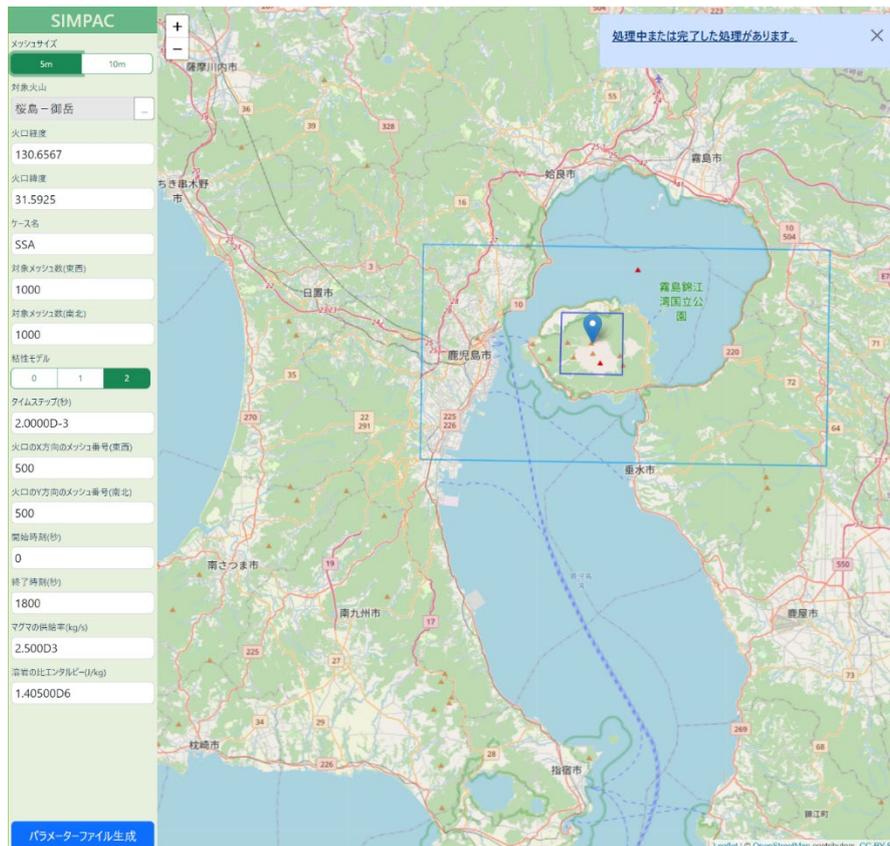
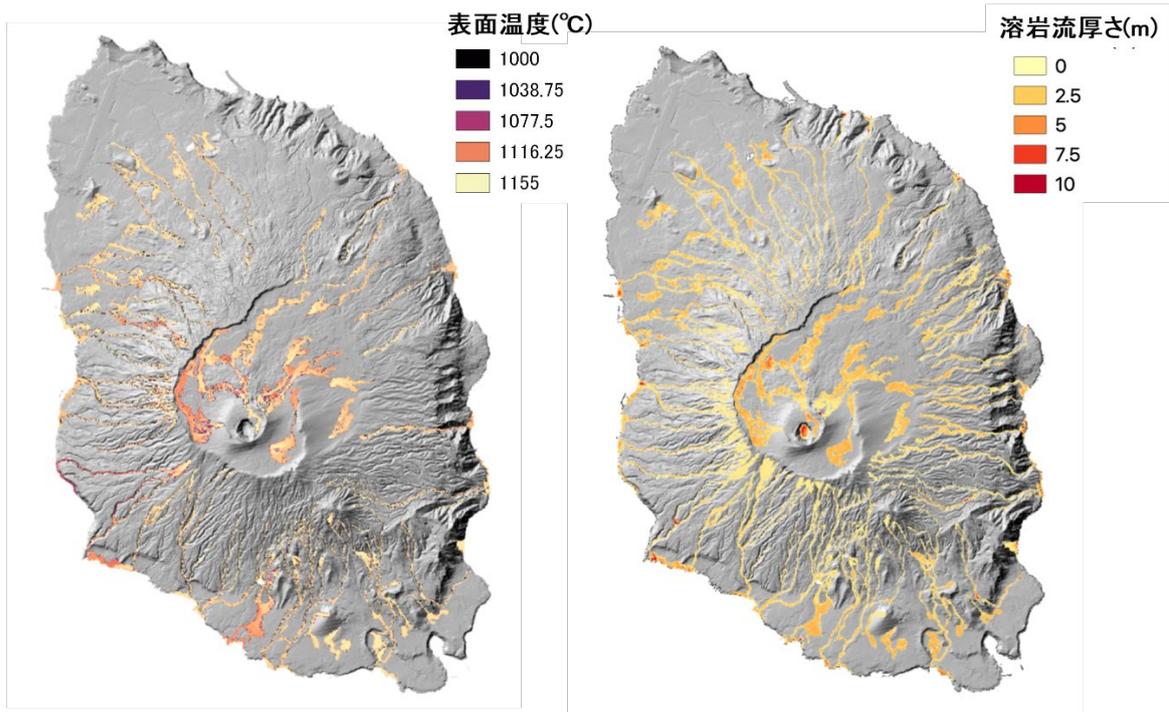


図 2 1 溶岩流シミュレーション入力パラメータ GUI インターフェース SIMPAC

## 伊豆大島溶岩流ドリルマップ



国土地理院数値地図 5m mesh  
 噴出条件： 1986年噴火 LCI 相当(50m<sup>3</sup>/s)  
 流出開始後2時間

図22 溶岩流シミュレーションドリルマップの例

Gojinkajaya → Motomachi Port  
 (Gojinka Skyline: Closed)

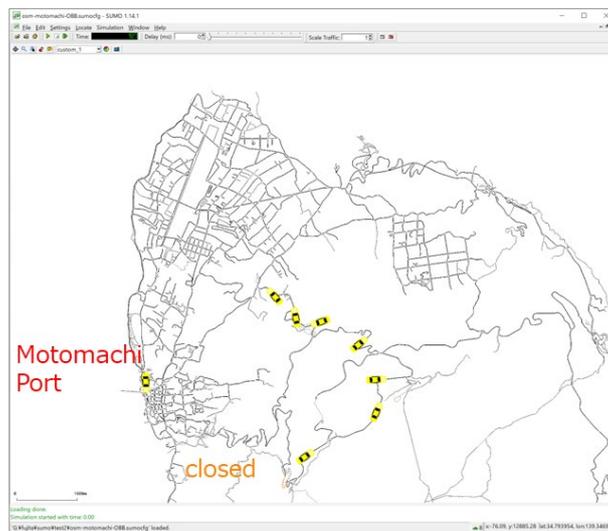


図23 交通流シミュレータ Simulation of Urban Mobility (SUMO)<sup>4)</sup>を用いた避難シミュレーションの例

また、火山ハザード評価システムに集録されているハザードシミュレーションデータベースを内閣府が主導する「戦略的イノベーション創造プログラム」(通称：SIP)で整備されている基盤的防災情報流通ネットワーク、すなわちSIP4Dへ提供するための変換スクリプトの作成を行った。

防災情報イノベーションプラットフォーム・火山ハザード評価システムのデータベースで保存されているOGC® Moving Feature (MF)形式データをSIP4Dシステムにおける標準フォーマットSIP4D-ZIP形式に変換するシェルスクリプト(createGeoJSON.sh)の作成を行った。createGeoJSON.shはbashを使用して作成されており、変換するMF形式データのパスと、変換後のSIP4D-ZIP形式データのパスと、変換時に使用するテストフラグの値(0：通常, 1：訓練, 2：試験)と、を引数として指定して起動することで、指定したMF形式のデータをSIP4D-ZIP形式のデータに変換することが出来るものとした(図24)。

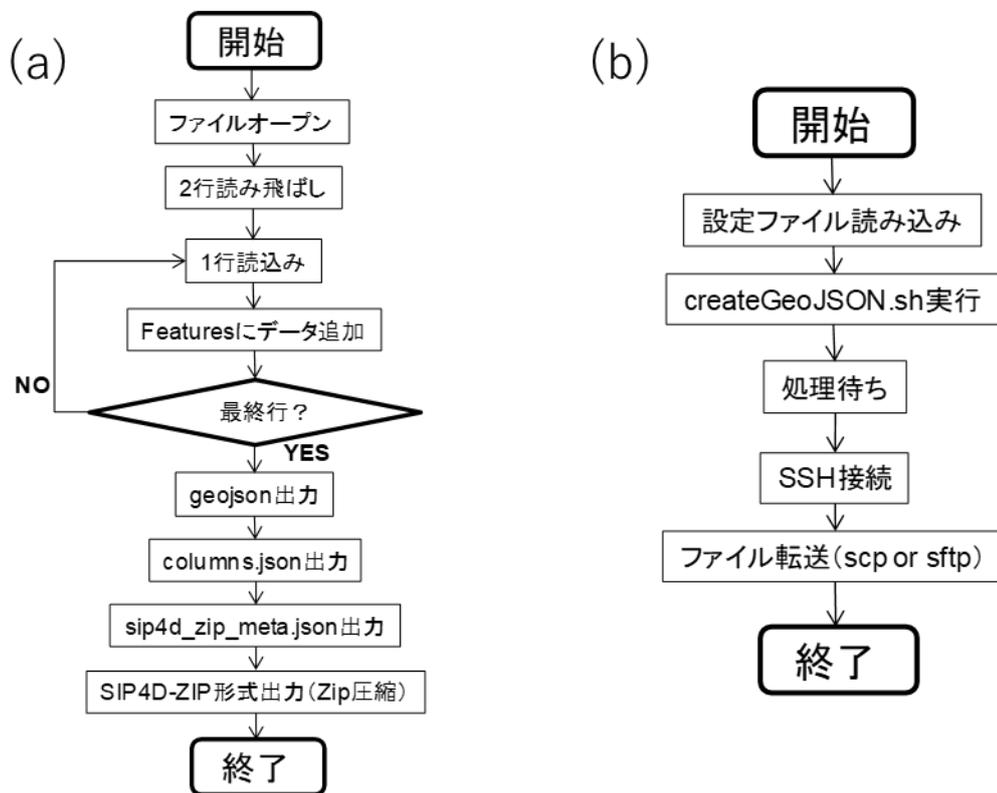


図24 (a) createGeoJSON.sh および(b) SIP4D\_ZIP.py 処理フロー

### (c) 結論

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ー式・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) 気象庁, 伊豆大島の火山活動に関する勉強会報告書—伊豆大島噴火シナリオ—, 火山噴火予知連絡会伊豆部会, pp.1-46, 2008.
- 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.
- 4) Pablo Alvarez Lopez, Michael Behrisch, Laura Bieker-Walz, Jakob Erdmann, Yun-Pang Flötteröd, Robert Hilbrich, Leonhard Lücken, Johannes Rummel, Peter Wagner, and Evamarie Wießner. IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), 2018.

(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。
dikelas.exe	有限要素法による岩脈成長シミュレーション計算プログラム
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
createGeoJSON.sh および SIP4D_ZIP.py	Moving Feature 形式から SIP4D-ZIP 形式への変換スクリプト

### 3) 仕様・標準等の策定

なし

## (3) 令和 5 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、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。

#### 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。

### 3) 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。

### (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。

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。

#### 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、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。

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

なお、研究期間中に国内の火山で、噴火の予兆が把握された場合もしくは噴火が発生した場合において、火山機動観測実証研究事業により緊急観測が実施される際は、前記の技

術開発の一環として、その計画の一部もしくはその全てに代えて、緊急観測を実施することあるいは緊急観測に協力することを可能とする。

#### 自発的な研究活動等

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

### 3. 会議録

#### (1) サブ課題 C-2 研究打ち合わせ

1. 日時：令和4年8月23日（火） 15：30-17：30
2. 場所：オンライン（北海道大学）
3. 議事：議題1 階段図作成指針およびデータベースについて  
議題2 噴火事象系統樹作成指針について

#### (2) 伊豆大島連携研究 研究集会および現地検討会

1. 日時：令和4年10月7日（金）～10月8日（土）（研究集会）  
令和4年10月9日（日）～10月10日（月）（現地検討会）
2. 場所：東京大学地震研究所（zoomハイブリッド）および伊豆大島
3. 議事：議題1 研究成果報告  
議題2 今後の連携研究についての総合討論

#### (3) サブ課題 C-2 研究集会

1. 日時：令和5年3月31日（金） 9：00-12：00
2. 場所：オンライン（北海道大学）
3. 議事：議題1 各参加機関・協力機関の研究成果報告  
議題2 次年度以降計画についての総合討論

#### (4) サブ課題 C-1 研究集会

1. 日時：令和5年3月31日（金） 13：30-16：20
2. 場所：オンライン（東京大学地震研究所）
3. 議事：議題1 各参加機関・協力機関の研究成果報告  
議題2 次年度以降計画についての総合討論

#### 4. むすび

次世代火山研究推進事業の7年目にあたる令和4年度は、新型コロナウイルスの影響も少なくなってきた、それぞれのサブテーマの参加機関および協力機関が各々の研究を順調に実施することができた。また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、他課題との連携研究集会に発展させることができた。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・解析プラットフォームの構築について、データ解析用のスクリプトの整備を行うと共に、反射電子像を用いた火山灰試料の粒子自動分類を試みた。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。その中でも、榛名山では、伊香保噴火と渋川噴火の噴出物の物質科学的特徴の違いから、高温マグマの供給量が噴火様式に影響している可能性を指摘した。伊豆大島では、斜長石リキダス温度計とVolatileCalcモデルを組み合わせて、代表的な噴火の玄武岩質マグマの貯蔵深度を推定し、浅所での定置・斜長石分別が起きている可能性を示した。さらに、熱力学計算による火山活動予測手法の高度化や組織観察に基づく噴火事象分岐予測のための新手法の開発についても、着実に成果が得られつつある。そして研究全体をまとめる形で、マグマ供給系を類型化して整理し、単純なマグマ供給系像に基づいて観測事象を読解する作業が着手され、過剰圧解放モデルの試作・試行が行われた。

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、重点火山の蔵王山・吾妻山・那須岳では、山頂および火口近傍における短深度ボーリング掘削調査を実施し、複数のテフラ・溶岩を新たに認識し噴火活動履歴の詳細を明らかにすることができた。また秋田駒ヶ岳では、山麓における重機トレンチ掘削調査により、北部山体の崩壊事象が南部カルデラ形成後に発生していたことが明らかになった。その他の火山についても各参加・協力機関が地質調査や物質科学的解析を実施し、多くの新知見が明らかになるなどの成果を積み上げている。また、中長期噴火予測のための時間-積算噴出量階段図（階段図）作成については具体的な作成指針とデータベース化の方針を決定した。そして、各機関では対象火山の階段図の試作に取り組んでおり、次年度からサブ課題の成果として順次公表する予定である。

サブテーマ3では、「マグマ移動シミュレーション」においては、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、多数の噴火事例における観測データとの定量的比較することで、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、地形形状を考慮した地殻変動計算プログラムを開発して伊豆大島に適用し、各観測点で観測されうる傾斜変化量を求め、岩脈の貫入位置による違いを見出した。マグマ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。一方、「噴火ハザードシミュレーション」では、新しい移流拡散モデル（JMA-ATM）の開発を継続した。噴煙柱ダイナミクスモデルの開発においては、SK-3Dモデルを実行し、火砕物分布の基礎データを蓄積するととも

に、実際の噴火事例の再現シミュレーションを実施し噴煙柱モデルを検討した。また、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開発を高度化させ、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を大きく進展させた。

課題C全体としては、伊豆大島火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研究集会および現地検討会を開催した。噴火シナリオを想定し、火山学は防災にどのように資することができるのかという観点で議論し、現状の課題を共有することができた。今後は安山岩質火山の事例として、霧島を対象とした連携研究を進める予定であり、キックオフ集会は令和5年度4月に開催している。このように、令和5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。

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、この連携研究を軸に研究を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	発表した場所 (学会等名)	発表した時期 (年・月)	国内・国外の別
1 火山灰のシステムティクスと噴火推移・口頭	嶋野岳人	幕張メッセ (JpGU Meeting 2022)	2022年5月	国内
2 2021年福徳岡ノ場噴火の黒色軽石中に含まれるナノタイトの意義・口頭	吉田健太, 三宅亮, 奥村翔太, 石橋秀巳, 奥村聡, 田村芳彦, 小野重明	幕張メッセ (JpGU Meeting 2022)	2022年5月	国内
3 マグマレゾロジーにおけるエイジング - 1986年伊豆大島割れ目噴火溶岩を例に・口頭	黒川愛香, 三輪学央, 石橋秀巳	幕張メッセ (JpGU Meeting 2022)	2022年5月	国内
4 樺名火山のマグマ供給系と噴火誘発過程一過去4万5千年間の噴火の比較・ポスター	鈴木由希, 戸枝百合香, 木村真也, 田中 伶	幕張メッセ (JpGU Meeting 2022)	2022年5月	国内
5 有珠火山2000年噴火はなぜ準プリニー式噴火になり損なかったか?・口頭	東宮 昭彦	幕張メッセ (JpGU Meeting 2022)	2022年5月	国内
6 Experimental constraints on the H <sub>2</sub> O-saturated plagioclase liquidus and the storage depth of the Izu-Oshima 1986B basaltic andesite melt・ポスター	種田凌也, 石橋秀巳, 東宮昭彦, 潮田雅司, 外西奈津美, 安田敦	幕張メッセ (JpGU Meeting 2022)	2022年6月	国内
7 伊豆大島1986年B噴火の石英を含む深成岩捕獲岩: マッシュ状マグマ溜まりプロセスへの示唆・ポスター	吉田那緒, 石橋秀巳, 外西奈津美, 安田敦, 千葉達明	幕張メッセ (JpGU Meeting 2022)	2022年6月	国内
8 伊豆大島1986年噴火Bスロリアの石基組織から探る舌状噴火サブプリニー式噴火の火道浅部過程・ポスター	宮下明典, 石橋秀巳, 外西奈津美, 安田敦	幕張メッセ (JpGU Meeting 2022)	2022年6月	国内
9 火道形状が伊豆大島1986年サブプリニー式噴火のダイナミクスに与える効果・ポスター	小園誠史, 石橋秀巳, 奥村聡, 三輪学央	幕張メッセ (JpGU Meeting 2022)	2022年6月	国内
10 社会教育施設を最大限活用した今後のジオパーク学習の展望について・ポスター	遠山昂, 川口充孝, 永田敏樹, 渡邊裕介	石川県白山市 (第12回日本ジオパーク全国大会白山手取川大会)	2022年10月	国内
11 阿蘇火山における約3万年前の多様なマグマの活動・口頭	三好雅也, 伊藤由香子, 佐野貴司	大阪公立大学 (国際火山噴火史情報研究会 (2022年度, No.1))	2022年10月	国内
12 熊本県震災ミュージアムアクセス道路の法面に出現したテフラ層・口頭	島井真之, 川口充孝, 遠田晋次, 吉見瑠子, 高橋直也, 石澤亮史, 青塚稜平, 市川八州夫, 藤井正博, 井田貴史, 吉田拓海, 櫻井麻衣人, 原 勇貴, 釘宮康郎, 松山尚典, 阿部恒平, 照沢秀司, 奥野 充	大阪公立大学 (国際火山噴火史情報研究会 (2022年度, No.1))	2022年10月	国内
13 かんらん石メルト包有物の硫黄同位体および微量元素システムティクスで探る九州地方島弧マグマの硫黄の起源・口頭	川口充孝, K. T. Koga, E. F. Rose-Koga, 清水健二, 牛久保孝行, 吉朝 朗	大阪公立大学 (国際火山噴火史情報研究会 (2022年度, No.1))	2022年10月	国内
14 1975年~1992年の相対重力データで明らかになった桜島火山直下の質量増加: 火山ガス観測データに基づく考察・口頭	大柳諒, 風間卓仁, 山本圭吾, 風早 竜之介, 宮城 磯治, 井口正人	鹿児島大学 (日本測地学会第138回講演会)	2022年10月	国内
15 1975年~1992年の相対重力データで明らかになった桜島火山直下の質量増加: 火山ガス観測データに基づく考察・口頭	大柳諒, 風間卓仁, 山本圭吾, 風早 竜之介, 宮城 磯治, 井口正人	鹿児島大学 (日本測地学会第138回講演会)	2022年10月	国内
16 放射電子像を用いた火山灰の構成比自動迅速導出 - 諏訪之瀬島 1813 年噴火での検討 -・ポスター	嶋野岳人, 安田敦	静岡県三島市 (日本火山学会2022年秋季大会)	2022年10月	国内
17 斑レイ岩捕獲岩から探る伊豆大島1986年B噴火のマグマ溜まり・ポスター	吉田那緒, 石橋秀巳, 千葉達明, 外西奈津美, 安田敦, 針金由美子	静岡県三島市 (日本火山学会2022年秋季大会)	2022年10月	国内
18 伊豆大島1986年噴火Bスロリアのマイクロライト組織・ポスター	宮下明典, 石橋秀巳, 外西奈津美, 安田敦	静岡県三島市 (日本火山学会2022年秋季大会)	2022年10月	国内
19 伊豆東部火山群の隠れたケイ長質マグマ: 斜長石斑晶からの制約・ポスター	野澤寛真, 石橋秀巳, 外西奈津美, 安田敦	静岡県三島市 (日本火山学会2022年秋季大会)	2022年10月	国内
20 樺名火山二ツ岳洪川噴火のマグマと噴火誘発過程・口頭	鈴木由希, 福島涼人, 外西奈津美, 安田敦	静岡県三島市 (日本火山学会2022年秋季大会)	2022年10月	国内
21 深部マグマの直接噴火から推測される富士火山の深部マグマ供給系の特徴・ポスター	安田 敦, 田島靖久	静岡県三島市 (日本火山学会2022年秋季大会)	2022年10月	国内
22 伊豆大島の浅部マグマ供給系: 斜長リキダスからの制約・口頭	石橋秀巳	東京大学 (火山PT課題関連連携研究: 伊豆大島WS)	2022年10月	国内
23 熊本県震災ミュージアムアクセス道路法面で確認された断層露頭・口頭	吉見瑠子, 遠田晋次, 島井真之, 川口充孝, 高橋直也, 石澤亮史, 青塚稜平, 市川八州夫, 藤井正博, 井田貴史, 吉田拓海, 櫻井麻衣人, 原 勇貴, 釘宮康郎, 松山尚典, 阿部恒平, 照沢秀司, 奥野 充	山口大学 (日本活断層学会 2022 年度秋季学術大会)	2022年11月	国内
24 Petrological Constraints on the Magma Fragmentation Pressure of the 1707 Hoei eruption of the Fuji Volcano and Inferred Eruption Dynamics・ポスター	R. Kim, M. Nakamura, T. Kozono, M. Yoshimoto	Rotorua, New Zealand (IAVCEI2023)	2023年1月	国外
25 Experimental constraints on the crystallization conditions of nanoscale crystals in a rhyolitic melt・ポスター	H. Yasukawa, M. Mujin, S. Otsuki, M. Nakamura	Rotorua, New Zealand (IAVCEI2023)	2023年1月	国外
26 Did mafic recharges trigger the historical Plinian eruptions at Sakurajima volcano?・ポスター	N. Araya, M. Nakamura, K. Matsumoto, S. Okumura	Rotorua, New Zealand (IAVCEI2023)	2023年1月	国外
27 熊本県阿蘇立野地区黒川河岸斜面崩壊地で発見した貫入岩とその K-Ar 年代測定値・口頭	梅崎基孝, 長谷中 利昭, 島井 真之, 山下 隆之	関西大学 (2022年度日本応用地質学会研究発表会)	2023年1月	国内
28 Quantitative identification of ash particles by visible microspectroscopy for monitoring transition in eruption styles・ポスター	T. Shimano, A. Yasuda, T. Miwa, M. Nakamura	Rotorua, New Zealand (IAVCEI2023)	2023年2月	国外
29 Eruptive history of Usu volcano, Hokaido, Japan, revealed by multiple trench surveys・ポスター	Y. Goto, T. Ishikawa, K. Sato, H. Ito, A. Tomiya	Rotorua, New Zealand (IAVCEI2023)	2023年2月	国外
30 External fluid addition to introduce an eruption of the 2018 lava effusion event at Shinmoedake in Kirishima Volcano, Japan・ポスター	M. Kawaguchi, Y. Tajima, T. Hasenaka, N. Hokanishi, A. Yasuda, S. Nakada	Rotorua, New Zealand (IAVCEI2023)	2023年2月	国外
31 阿蘇カルデラ外輪山に分布する火山岩類のK-Ar年代・口頭	三好雅也, 晶中喜也, 角野浩史	福岡大学 (国際火山噴火史情報研究会 (2022年度, No.2))	2023年3月	国内
32 熊本県震災ミュージアムのアクセス道路法面露頭の14C年代測定・口頭	奥野充, 島井真之, 川口充孝, 吉見瑠子, 遠田晋次, 高橋直也, 石澤亮史, 青塚稜平, 市川八州夫, 藤井正博, 井田貴史, 吉田拓海, 櫻井麻衣人, 原 勇貴, 釘宮康郎, 松山尚典, 阿部恒平, 照沢秀司	福岡大学 (国際火山噴火史情報研究会 (2022年度, No.2))	2023年3月	国内
33 阿蘇ジオパークにおける地質情報の多様なニーズとジオダイバーシティへの取組・口頭	永田敏樹, 川口充孝	福岡大学 (国際火山噴火史情報研究会 (2022年度, No.2))	2023年3月	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期（年）	国内・外の別
Importance of Long-Term Shallow Degassing of Basaltic Magma on the Genesis of Massive Felsic Magma Reservoirs: a Case Study of Aso Caldera, Kyushu, Japan	I. Miyagi, H. Hoshizumi, T. Suda, G. Saito, Y. Miyabuchi, N. Geshi	Journal of Petrology, Vol.64, No.3, 1-25	2023	英文
3D crystal size distributions of pyroxene nanolites from nano X-ray computed tomography: Improved correction of crystal size distributions from CSD Corrections for magma ascent dynamics in conduits	S. H. Okumura, M. Mujin, A. Tsuchiyama, A. Miyake	American Mineralogist, Vol.107, No.9, 1766-1778	2022	英文
Aging in Magma Rheology	A.K. Kurokawa, T. Miwa, H. Ishibashi	Scientific Reports, 12, 10015	2022	英文
Sulfur isotope and trace element systematics in arc magmas: seeing through the degassing via a melt inclusion study of Kyushu Island volcanoes, Japan	M. Kawaguchi, K.T. Koga, E.F. Rose-Koga, K. Shimizu, T. Ushikubo, A. Yoshiasa	Journal of Petrology, Vol.63, No.7, 1-31	2022	英文
Introduction to automated tools for the analysis of volcanic ejecta built on an analysis platform developed in the INoVRH project	A. Yasuda, N. Hokanishi	Journal of Disaster Research, Vol.17, No.5, 683-693	2022	英文
Temporal changes of magmas that caused lava-dome eruptions of Haruna volcano in the past 45,000 years	Y. Suzuki, Y. Toeda, S. Kimura, R. Tanaka	Journal of Disaster Research, Vol.17, No.5, 694-715	2022	英文
Conduit flow dynamics during the 1986 sub-Plinian eruption at Izu-Oshima volcano	T. Kozono, H. Ishibashi, S. Okumura, T. Miwa	Journal of Disaster Research, Vol.17, No.5, 754-767	2022	英文
Experimental Constraints on the H <sub>2</sub> O-Saturated Plagioclase Liquidus and the Storage Depth of the Izu-Oshima 1986B Basaltic Andesite Melt	R. Oida, H. Ishibashi, A. Tomiya, M. Ushioda, N. Hokanishi, A. Yasuda	Journal of Disaster Research, Vol.17, No.5, 716-723	2022	英文
9 斑晶の岩石学的解析 (1) 一観察と分析の基礎—	鈴木由希	火山, Vol.67, No.2, 233-244	2022	和文
10 ガス圧装置を用いたマグマの高温高压相平衡実験	東宮昭彦	火山, Vol.67, No.2, 195-205	2022	和文
11 類似したテフラを識別・対比する定量的な方法的な取り扱いについて	安田 教・亀谷伸子・嶋野岳人・吉本充宏・田島靖久	月刊地球, Vol.45, No.2, 55-64	2022	和文
12 阿蘇カルデラ東部根子岳に分布する火山岩類のK-Ar年代	新村太郎・三好雅也・角野浩史・上田恭裕・森康・長谷中利昭・荒川洋二・長尾敬介	火山, Vol.67, No.2, 135-147	2022	和文
13 斑晶の岩石学的解析 (2) —マグマ供給系と噴火誘発過程解明のための実践的知識と方法—	鈴木由希	火山, Vol.67, No.3, 409-423	2022	和文
14 噴出物から読み解く富士山のマグマ供給系	安田 教	科学, Vol.92, No.7, 611-617	2022	和文
15 伊豆大島火山の浅部マグマ供給系—H <sub>2</sub> O飽和斜長石リキダスからの制約—	石橋秀巳・安田教	防災科学技術研究所研究資料, 487, 36-40	2023	和文
16 諏訪之瀬島火山におけるマグマ供給推移のタイムスケールと噴出物データの実態と課題 —開口型火山の一例として—	嶋野岳人	防災科学技術研究所研究資料, 487, 101-106	2023	和文
17 推移予測にはどのような物質科学的データが必要か、間に合うか	安田 教	防災科学技術研究所研究資料, 487, 114-118	2023	和文
18 噴火推移理解に向けた時系列物質データ導出と火山灰システマティクス構築のための歩みと展望	嶋野岳人・安田教	月刊地球, Vol.45, No.2, 65-74	2023	和文
19 IZUME阿蘇巡検2022	眞部広紀・春山純一・長谷中利昭・川口允孝・松広航・永田絃樹	佐世保工業高等専門学校研究報告, Vol.59, 132-141	2023	和文

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	発表した時期	国内・外の別
		(学会等名)		
Volcanogenic tsunamis during the 2022 Hunga eruption, Tonga -constrains from numerical analysis and comparison with the 1883 Krakatau event- (口頭)	Maeno, F.	日本地球惑星科学連合 2022年大会, 千葉市幕張	2022年5月22日	国内
High resolution bathymetric and structural survey along the coastal area of the Izu-Oshima volcano (口頭)	石塚治, 井上卓彦, 有元純, 前野深, 川邊禎久	日本地球惑星科学連合 2022年大会, 千葉市幕張	2022年5月23日	国内
吾妻火山、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：1893年噴火がマグマ噴火であった可能性について (口頭)	長谷川健, 菊池文太, 柴田翔平, 山本裕二, 井村匠, 伴雅雄, 岡田誠, 相部達郎	日本地球惑星科学連合 2022年大会, 千葉市幕張	2022年5月23日	国内
三宅島火山, 南部沿岸域に分布するマグマ水蒸気噴火堆積物の層序とマール群の噴火活動史 (口頭)	渡部将太, 及川輝樹, 下司信夫, 長谷川健	日本地球惑星科学連合 2022年大会, 千葉市幕張	2022年5月23日	国内
北海道東部, 屈斜路火山40 ka噴火 (Kp I) からみる水蒸気プリニー式噴火の発生機構：マグマ-外来水の接触条件について (口頭)	柴田翔平, 長谷川健	日本地球惑星科学連合 2022年大会, 千葉市幕張	2022年5月23日	国内
7.3 ka 鬼界カルデラ噴火におけるプリニー式噴火フェーズ (ポスター)	春田悠祐, 前野深	日本地球惑星科学連合 2022年大会, 千葉市幕張	2022年5月26日	国内
蔵王火山火山1895噴火によるテフラ堆積物と輸送課程 (口頭)	南梨愛奈, 常松佳恵, 伴雅雄	日本地球惑星科学連合 2022年大会, 千葉市幕張	2022年5月26日	国内
気泡組織解析に基づく2021年福徳岡ノ場噴火のマグマ上昇プロセスの推定 (ポスター)	水野樹, 前野深	日本地球惑星科学連合 2022年大会, 千葉市幕張	2022年5月26日	国内
浅間前掛火山の1万年間の高分解能履歴復元と噴火規模・噴火様式の変遷 (口頭)	安井真也	日本地球惑星科学連合 2022年大会, 千葉市幕張	2022年5月26日	国内

斑晶メルト包有物の水素同位体比による沈み込む太平洋プレートの追跡（口頭）	栗谷豪，清水健二，牛久保孝行，Xia Qun-ke, Liu Jia, 中川光弘，谷内元，佐藤鋭一，土井宣夫	日本地球惑星科学連合 2022年大会，千葉市幕張	2022年5月26日	国内
霧島御鉢火山1235年噴火堆積物物性の定量化による玄武岩質爆発的噴火の理解（ポスター）	正畑沙耶香，前野深，安田敦，外西奈津美	日本地球惑星科学連合 2022年大会，千葉市幕張	2022年5月26日	国内
火口位置データベースの作成-確実度付きの火口・噴出中心情報の整備（口頭）	及川輝樹，川辺禎久，古川竜太，宝田晋治，渡部将太，石塚吉浩，伊藤順一	日本地球惑星科学連合 2022年大会，千葉市幕張	2022年5月27日	国内
福徳岡ノ場起源浮遊軽石 伊豆大島での漂着軽石粒子の特徴（ポスター）	千葉達朗，金丸龍夫	日本地球惑星科学連合 2022年大会，千葉市幕張	2022年5月29日	国内
蔵王山1895年噴火噴出物中に含まれる黒曜岩質岩片について（ポスター）	松岡睦実，伴雅雄，佐藤初洋，井村匠	日本地球惑星科学連合 2022年大会，千葉市幕張	2022年5月31日	国内
日光火山群三岳火山の完新世テフラ（ポスター）	草野有紀，山元孝広，及川輝樹，石塚吉浩，中村洋一	日本地球惑星科学連合 2022年大会，千葉市幕張	2022年5月31日	国内
“Ballista” : an open source simulator of ballistic projectile transport～ Applications for the past eruptions of the Zao volcano and Azuma volcano ～（ポスター）	Tsunematsu, K., Sugishita, N., Abe Y. and Ban, M.	Cities on Volcano, Greece	2022年6月13日	国際
Magma feeding system of the latest magmatic unit of Azuma volcano, NE Japan（口頭）	Ban, M., Kanno, S., Sato, M. and Imura, T.	Gold Schmidt Conference, Hawaii	2022年7月16日	国際
単一火山におけるマグマ多様性とその成因：千島弧南部・利尻火山での例（口頭）	谷内元，栗谷豪，中川光弘	日本地質学会第129回学術大会，東京早稲田	2022年9月4日	国内
水蒸気噴火噴出物からみた火山熱水系（口頭）	大場司，平田碧	日本地球化学会年会，高知	2022年9月9日	国内
吾妻火山群最新期，吾妻小富士噴出物の層序と山体形成史（ポスター）	鈴木和馬，戸丸淳晴，長谷川健	日本地質学会第129回学術大会，東京早稲田	2022年9月11日	国内

蔵王山1895年噴火噴出物中に含まれるミョウバン石族鉱物の産状（ポスター）	井村匠，伴雅雄，大場司	日本鉱物科学会2022年年会，新潟市	2022年9月18日	国内
東北日本、吾妻山の最新マグマ噴火ユニットをもたらした浅部マグマの活性化過程（口頭）	伴雅雄，菅野舜，佐藤初洋，井村匠	日本鉱物科学会2022年年会，新潟市	2022年9月18日	国内
阿蘇火山中岳2021年10月14日噴出物の分布と構成物（口頭）	宮縁育夫，飯塚義之，大倉敬宏	日本火山学会2022年秋季大会，三島市	2022年10月12日	国内
火山灰の硫黄同位体組成に基づく噴火メカニズムの解明-阿蘇火山2021年10月噴火の例-（口頭）	平田碧，大場司，井村匠，高橋亮平，マナロ・パーリン・カバルピナス，長谷中利昭，永田紘樹，池田証道	日本火山学会2022年秋季大会，三島市	2022年10月12日	国内
2021年福徳岡ノ場噴火における水に富んだ持続的噴煙柱の形成（口頭）	前野深，金子隆之，市原美恵，鈴木雄治郎，安田敦，西田究，大湊隆雄	日本火山学会2022年秋季大会，三島市	2022年10月13日	国内
九重火山54ka飯田噴火における2回のマグマサイクル（口頭）	辻智大，岸本博志，藤田浩司，中村千怜，古澤明，大西耕造，潮田雅司，福岡仁至，太田岳洋	日本火山学会2022年秋季大会，三島市	2022年10月13日	国内
大規模珪長質マグマシステムの構造とその噴火プロセス：45ka支笏カルデラ形成噴火の例（口頭）	松本亜希子，中川光弘，宮坂瑞穂，栗谷 豪，吉村俊平	日本火山学会2022年秋季大会，三島市	2022年10月13日	国内
長流川火砕噴火の地質学的・岩石学的研究：給源域の推定と洞爺カルデラ形成噴火との関係（口頭）	宮坂瑞穂，中川光弘	日本火山学会2022年秋季大会，三島市	2022年10月13日	国内
東北日本，秋田駒ヶ岳南部カルデラの形成史（口頭）	田次将太，中川光弘，和知剛	日本火山学会2022年秋季大会，三島市	2022年10月13日	国内
南西北海道、有珠山の山体崩壊時期の再検討：岩屑なだれにより発生した再堆積テフラ層からの推定（口頭）	中川光弘，松本亜希子，吉澤光城	日本火山学会2022年秋季大会，三島市	2022年10月13日	国内
火砕成溶岩の成因と分類（口頭）	高橋正樹	日本火山学会2022年秋季大会，三島市	2022年10月14日	国内

ピナツボ火山1991年噴火におけるマグマ供給系の新知見（口頭）	田村智弥, 中川光弘	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月14日	国内
吾妻-浄土平火山, 吾妻小富士火砕丘の層序と噴火様式の変遷（口頭）	鈴木和馬, 戸丸淳晴, 長谷川健	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月14日	国内
降下テフラから推定される噴火推移: 樽前山での事例研究（口頭）	山崎雅, 古川竜太, 宝田晋治	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月14日	国内
斜長石中の波動累帯構造に基づくマグマプロセスと時間スケールの検討: 蔵王火山歴史時代噴出物の例（口頭）	佐藤初洋, 伴雅雄	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月14日	国内
大規模噴火データベースと噴火推移データベースの構築（口頭）	宝田晋治, 池上郁彦, 金田泰明, 下司信夫	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月14日	国内
トレンチ調査により解明された鳥海火山の完新世噴火活動史 および噴火推移パターン（口頭）	大場司, 林信太郎, 遠藤雅宏, 伴雅雄, 井村匠, 南裕介	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月17日	国内
バイモーダル火山活動をもたらした岩手火山約3万年前のマグマ供給系（口頭）	池田証道, 大場司	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月17日	国内
九重火山南麓における3つの中規模火砕流堆積物（宮城・下坂田・飯田）の特徴とその差異（ポスター）	岡田将英, 辻智大	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月17日	国内
顕微ラマン分光法による小笠原硫黄島 2012年3月噴出物と新燃岳 2017年10月噴出物中の熱水変質鉱物の分析（ポスター）	池端慶, 荒川洋二, 石橋純一郎	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月17日	国内
蔵王火山、御釜火口形成時のテフラ層の物質科学的特徴について（ポスター）	五十嵐健斗, 佐藤初洋, 伴雅雄	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月17日	国内
テフラ層序に基づく那須茶臼岳火山の岩石鉱物学的検討（ポスター）	吉川洸希, 長谷川健, Chris Conway, 谷健一郎	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月18日	国内

伊豆弧北部、東伊豆単成火山地域に分布する岩ノ山-伊雄山火山列の珪長質および中間質岩の地球化学的研究 (ポスター)	荒川洋二, 金井啓道, 新村太郎, 池端慶, 田島義之	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月18日	国内
浅間山16 ka大規模プリニー式噴火のマグマ蓄積条件と噴出過程 (ポスター)	図子田和典, 前野深	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月18日	国内
有珠山 1663 年噴出物の地球化学的研究 (ポスター)	高橋佳佑, 栗谷豪 松本亜希子, 中川光弘	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月18日	国内
九重火山における飯田噴火前後の噴火史の検討 (ポスター)	福岡仁至, 太田岳洋, 辻智大	日本火山学会2022年秋季大会, 三島市	2022年10月27日	国内
阿蘇火山中岳の地形的特徴と古地磁気学的手法による完新世噴火史の復元 (口頭)	宮縁育夫, 穴井千里, 宇津木充, 吉川慎, 望月伸竜, 渋谷秀敏, 大倉敬宏	日本地形学連合2022年秋季大会, 札幌市	2022年11月5日	国内
Paleomagnetic directional change observed for non-welded pyroclastic flow deposits of the 46 ka Shikotsu caldera-forming eruption (口頭)	望月伸竜, 長谷川健, 穴井千里, 中川光弘, 渋谷秀敏	第152回地球電磁気・地球惑星圏学会, 相模原市	2022年11月6日	国内
御嶽火山5万年前より若い試料の $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定 (口頭)	山崎誠子, 及川輝樹, Miggins, D., Koppers, A.	第47回日本フィッション・トラック研究会, つくば市	2022年12月5日	国内
Did CAMP magmatism extend to the proto-Cameroon Volcanic Line in the Gulf of Guinea? (ポスター)	Aka, F.T., Hasegawa, T., Watanabe, S., Asaah, A.N.E., Nche N.A., Iwamori, H., Sumino, H., Yokoyama, T., Ichihara, M. and Ohba, T.	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年1月30日	国際
Eruption sequence of the 45ka caldera-forming eruption of Shikotsu volcano, Japan: Insights from stratigraphy of proximal deposits and drilling cores (ポスター)	Nakagawa, M., Amma-Miyasaka, M. and Matsumoto, A.	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年1月30日	国際
Generation process of large-scale phreatoplinian eruption from Kutcharo volcano, eastern Hokkaido: Inferred from stratigraphy and water content of volcanic glass (ポスター)	Shibata, S. and Hasegawa, T.	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年1月30日	国際
Structure and eruption sequence of an immature magma system: 61 ka Shadai eruption of Shikotsu volcano, southwestern Hokkaido, Japan (ポスター)	Amma-Miyasaka, M. and Nakagawa, M.	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年1月30日	国際

Upper Triassic mafic dykes of Lake Nyos II (comparisons with other dykes): Geochemical evidence for paleosubduction-modified mantle beneath Cameroon Line (ポスター)	Hasegawa, T., Aka, F.T., Watanabe, S., Nche N.A., Asaah, A.N.E., Iwamori, H., Yokoyama, T., Sumino, H., Ichihara, M. and Ohba, T.	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年1月30日	国際
Evaluation of the eruptive activity since AD 2006 at Sakurajima volcano, Japan: the petrological index for forecasting the eruptive activity (ポスター)	Matsumoto, A., Nakagawa, M. and Iguchi, M.	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年1月31日	国際
Magma storage conditions and eruptive processes in the 16 ka large-scale Plinian eruptions of Asama volcano, Japan (ポスター)	Zushida, K. and Maeno, F	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年1月31日	国際
Seawater-magma interactions sustained the high column during the 2021 phreatomagmatic eruption of Fukutoku-Oka-no-Ba (口頭)	Maeno, F., Kaneko, T., Ichihara, M., Suzuki, Y.J., Yasuda, A., Nishida, K. and Ohminato, T.	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年1月31日	国際
The October 14, 2021 explosive eruption of Nakadake first crater, Aso Volcano, Japan (口頭)	Miyabuchi, Y., Iizuka, Y. and Ohkura, T.	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年1月31日	国際
Characteristics and origins of erupted volcanic ash particles: Insights from maar complex deposits at Lamongan Volcanic Field, East Java, Indonesia (ポスター)	Gurusinga, A. and Ohba, T.	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年2月1日	国際
Characteristics of pyroclastic ash fall deposits: the pre-historical explosive eruption of Ciremai volcano, West Java, Indonesia (ポスター)	Hamzah, W.N., Ohba, T., Gurusinga, A., Indriyanto, J.N., Abdurrachman, M. and Kurniawan, I.A.	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年2月1日	国際
Temporal development from crystal mush to melt-dominated reservoirs in Miyakejima volcano, Izu-Bonin arc, Japan (ポスター)	Watanabe, S., Hasegawa, T., Oikawa, T. and Geshi, N.	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年2月2日	国際
Transition from Column Forming to Collapsing during the 1783 Eruption, Asama Volcano, Japan, Inferred from Rock Microtexture and Physical Properties (ポスター)	Mizuno, T. and Maeno, F	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年2月2日	国際
40Ar/36Ar dating for lavas from the Younger Ontake Volcano, central Japan (ポスター)	Yamasaki S., Oikawa T., Miggins, D. and Koppers, A.	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年2月3日	国際
The effect of sector collapse on the magmatic plumbing system of Oshima-Oshima volcano, NW Japan (口頭)	Ishizuka O., Conway C., Katayama H., Arimoto J., Kouge H., Shimoda G., Harigane Y., Misawa A. and 5 authors	IAVCEI 2023 Scientific Assembly, Rotorua, New Zealand	2023年2月3日	国際

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)		
Paleomagnetic constraint of the age and duration of the Taupō Eruption, New Zealand	Hasegawa, T., Greve, A., Gravley, D.M., Kusu, C., Kaneda, T., Shibata, S., Okada, M., Kōsik, S., Mochizuki, N. and Turner, G.	Earth, Planets and Space, 75, 23, doi.org/10.1186/s40623-023-01779-7	2022年2月16日	国際
Genesis of magmatic ilmenite ores associated with the Mazua ultramafic intrusion, NE Mozambique	Unganai, D.A.B., Imai, A., Takahashi, R., Jamal, D.L., Agangi, A., Hoshide, T. and Sato, H.	Ore Geology Reviews 143 104760	2022年4月1日	国際
Magnetic petrology of pumice fall deposits of the 1783 eruption of Asama volcano, Japan	Kanamaru, T., Furukawa, K., Zhao, X. and Suganuma, Y.	Earth Planets Space 74, 53	2022年4月13日	国際
鹿児島湾奥、始良カルデラにおける後カルデラ火山活動と環境の変遷	鹿野和彦, 柳沢幸夫, 奥野充, 中川光弘, 内村公大, 味喜大介, 井口正人	地質学雑誌, 128, 43-62	2022年4月27日	国内
火山災害軽減のための地質情報	下司信夫	月刊地球, 519, 15-25.	2022年5月5日	国内
阿蘇カルデラ東部根子岳に分布する火山岩類のK-Ar年代	新村太郎, 三好雅也, 角野浩史, 上田恭裕, 森康, 長谷中利昭, 荒川洋二, 長尾敬介	火山, 67, 135-147	2022年6月1日	国内
地球を震わせたフンガ火山の爆発的噴火	前野深	科学, 92, 6, 559-565	2022年6月1日	国内
Temporal Evolution of Island Arc Magmatism and Its Influence on Long-Term Climate: Insights From the Izu Intra-Oceanic Arc	Ribeiro, J.M., Ishizuka O., Pogge von Strandmann, P. A. E., Tamura Y. and Xu Y. G.	Frontiers in Earth Science, 10, 810597.	2022年6月22日	国際
北海道東部、屈斜路火山40 kaカルデラ形成噴火 (Kp I) の推移: 大規模水蒸気ブリーチ式噴火の発生機構	柴田翔平, 長谷川健	火山, 67, 149-169.	2022年6月30日	国内
The complexities of assessing volcanic hazards along the Cameroon Volcanic Line using spatial distribution of monogenetic volcanoes	Schmidt, C., Laag, C., Whitehead, M., Profe, J., Aka, F.T., Hasegawa, T. and Kerezuri, G.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 427. doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107558	2022年7月1日	国際
新潟焼山火山2016年噴火: 活動推移・噴出物を基にした噴火モデル	柳澤宏彰, 及川輝樹, 川口亮平, 木村一洋, 伊藤順一, 越田弘一, 加藤幸司, 安藤忍ほか5名	火山, 67, 295-317.	2022年7月5日	国内
Generation of intermediate and felsic magmas of the Iwanoyama-Iyuzan (Ioyama) volcanic chain in the Higashi-Izu Monogenetic Volcano Field, northern Izu-Bonin volcanic arc, Japan	Arakawa, Y., Kanai, H., Shinmura, T., Ikehata, K. and Tajima, Y.	International Journal of Earth Sciences, 111, 1961-1982	2022年7月11日	国際
Geologic and petrologic characteristics of the lahar deposits at the western foot of Zao Volcano	Ban, M., Kawashima, K., Tsunematsu, K., Imura, T., Kataoka, S.K. and Yamanoi, T.	Journal of Disaster Research, 17, 736-744	2022年8月1日	国際
Late Holocene Tephrostratigraphy at Chokai Volcano, Northern Japan, and Contribution to Hazard Assessment	Ohba, T., Hayashi, S., Ban, M., Imura, T., Minami, Y. and Endo, M.	Journal of Disaster Research, 17, 724-735	2022年8月1日	国際
Reexamination of Eruptive Activity of Akanfuji in the Me-Akan Volcano, Eastern Hokkaido, Japan	Sato, E., Wada, K., Minami, Y., Ishizuka, Y. and Nakagawa, M.	Journal of Disaster Research, 17, 745-753	2022年8月1日	国際
Special issue on future volcano research in Japan: Integrated Program for Next-generation Volcano Research	Fujita, E., Iguchi, M., Morita, Y., Nakagawa, S., Nakagawa, M. and Suzuki, Y.	Journal of Disaster Research, 17, 585-586	2022年8月1日	国際
Petrological and Geochemical Study of Sundoro Volcano, Central Java, Indonesia: Temporal Variations in Differentiation and Source Processes During the Growth of an Individual Volcano	Wibowo, H. E., Nakagawa, M., Kuritani, T., Furukawa, R., Prambada, O. and Harijoko, A.	Journal of Petrology, 63, egac083	2022年8月18日	国際
日光白根及び三岳火山地質図	草野有紀, 及川輝樹, 石塚吉浩, 石塚治, 山元孝広	火山地質図no. 21	2022年8月30日	国内

大規模噴火データベースと噴火推移データベースの公開開始	宝田晋治, 池上郁彦, 金田泰明, 下司信夫	Proceedings of the International Meeting on Eruptive History and Informatics, 2022-1, 22-27.	2022年9月10日	国内
Geological, geophysical and geochemical constraints on the time-space evolution of Akan composite caldera, Hokkaido	Hasegawa, T., Nakagawa, M., Kamiyama, H. and Yamamoto, A.	Frontiers in Earth Science, 10, 953152	2022年9月16日	国際
Re-investigation of the sector collapse timing of Usu volcano, Japan, inferred from reworked ash deposits caused by debris avalanche	Nakagawa, M., Matsumoto, A. and Yoshizawa, M.	Frontiers in Earth Science, 10, 967043	2022年9月26日	国際
2タイプの苦鉄質包有物から推定される珪長質マグマ溜まりの構造とマグマ混合過程—大雪火山群, 黒岳を例とした岩石学的研究—	佐藤鋭一, 和田恵治, 野口昌宏	火山, 67, 255-271	2022年9月30日	国内
Lahar deposits along the Nigorikawa River in the eastern foot of Zao Volcano, Japan, during the last 8000 years	Ban, M., Kawashima, K., Tsunematsu, K., Kataoka, S. K. and Imura, T.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 432, no. 107685	2022年9月30日	国際
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	Takahashi, M., Yasui, M., Kanamaru, T. and Nakagawa, M.	Journal of Disaster Research, 17, 1080-1089	2022年10月1日	国際
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	Takahashi, M., Yasui, M., Kanamaru, T. and Nakagawa, M.	Journal of Disaster Research 17(6) 1080-1089	2022年10月1日	国際
Pre-eruptive magmatic processes of historical activities at Zao volcano, northeastern Japan: Insights from compositional zoning in orthopyroxene phenocrysts	Sato, M., Ban, M., Yuguchi, T. and Adachi, T.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 432, no. 107686	2022年10月4日	国際

Seawater-magma interactions sustained the high column during the 2021 phreatomagmatic eruption of Fukutoku-Oka-no-Ba	Maeno, F., Kaneko, T., Ichihara, M., Suzuki, Y. J., Yasuda, A., Nishida, K. and Ohminato, T.	Communications Earth and Environment, 3, 260, doi:10.1038/s43247-022-00594-4	2022年11月1日	国際
大規模噴火データベースと噴火推移データベースで噴火の詳細情報を明らかに	宝田晋治, 池上郁彦, 金田泰明, 下司信夫	科学, 92, 951-954.	2022年11月1日	国内
Modification for the matrix effect in SIMS-derived water contents of silicate glasses	Shimizu, K., Ushikubo, T., Kuritani, T. and Yamashita, S.	Geochemical Journal, 56, 223-230	2022年11月22日	国際
キラウエア火山の35年間の活動最末期の大規模噴火と災害	安井真也, 金丸龍夫, 松田ひかる	火山 67(4) 479-488	2022年12月31日	国内
阿蘇火山中岳第1火口における2021年10月14日噴火	宮縁育夫, 飯塚義之, 大倉敬宏	火山, 67, 441-452	2022年12月31日	国内
火口近傍地質データをいかに取得するか？ードローンによる接近観測とその火山学的意義ー	前野深	月刊地球, 519, 45, 26-33	2022年12月31日	国内
Eruptive history of the last-1300-years activity of Kelud volcano, Indonesia: Inferences from stratigraphy, chronology, sedimentology, componentry, and geochemistry	Indriyanto, J.N., Ohba, T., Hoshide, T., Angkasa, S. S. and Abdurrachman, M.	Volcanology and Geothermal Research 433 107723	2023年1月1日	国際
Pre-eruption magmatic processes and magma plumbing system at Hachijo-Nishiyama volcano, Izu-Bonin arc, Japan	Oiwa, K., Kuritani, T., Nakagawa, M. and Yoshimura, S.	Earth, Planets and Space, 75, 6	2023年1月16日	国際

Importance of long-term shallow degassing of basaltic magma on the genesis of massive felsic magma reservoirs: A case study of Aso caldera, Kyushu, Japan	Miyagi, I., Hoshizumi, H., Suda, T., Saito, G., Miyabuchi, Y. and Geshi, N.	Journal of Petrology, 64, 1-25	2023年2月1日	国際
安永噴火を中心とした伊豆大島の噴火推移とマグマシステム	池永有弥, 前野深, 安田敦	防災科学技術研究所研究資料, 487, 30-35	2023年2月1日	国内
伊豆大島における噴火推移モデル	前野深, 池永有弥	防災科学技術研究所研究資料, 487, 58-61	2023年2月1日	国内
栃木県北部, 塩原カルデラ噴出物の編年とマグマ変遷	西野佑紀, 長谷川健, 伊藤久敏, 菊池瑛彦, 大井信三	地質学雑誌, 129, 1, 61-73. doi:10.5575/geosoc.2022.0046	2023年2月21日	国内
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資料センター報告, 36, 63-72	2023年3月31日	国内
浅間火山群噴出物の全岩微量元素組成, 希土類元素組成, およびSr・Nd・Pb同位体組成	高橋正樹, 金丸龍夫, 岡田英資, 安井真也	日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 58, 103-152	2023年3月31日	国内
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砕物の層序, 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 (印刷中)	2023年4月3日	国内
北海道南西部, 濁川火山におけるカルデラ形成期~後カルデラ期の噴出物層序及び噴火推移	金田泰明, 長谷川健	火山, 67, 1-19	2022年3月31日	国内

蔵王火山1895年噴火における投出岩塊の噴出条件の推定	杉下七海, 常松佳恵, 伴雅雄, 佐々木寿	火山, 67, 77-90	2022年3月31日	国内
阿蘇火山, 阿蘇4/3降下テフラ群の層序と噴火活動史ー阿蘇4火砕流噴火への準備過程ー	星住英夫, 宮縁育夫, 宮城磯治, 下司信夫, 宝田晋治	火山, 67, 91-112	2022年3月31日	国内
Geochemical Composition of Dykes along the Cameroon Line (CL): Petrogenesis and Similarities with the Central Atlantic Magmatic Province	Asaah, A.N.E., Yokoyama, T., Iwamori, H., Aka, F.T., Tamen, J., Kuritani, T., Usui, Hasegawa, T. and Fozing, E.M.	Geochemistry, 125865	印刷中	国際
阿蘇カルデラ東部根子岳に分布する火山岩類のK-Ar年代	新村太郎, 三好雅也, 角野浩史, 上田恭裕, 森康, 長谷中利昭, 荒川洋二, 長尾敬介	火山	印刷中(年度内)	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
火道形状が伊豆大島1986年サブリーニー式噴火のダイナミクスに与える効果 (ポスター)	小園誠史・石橋秀巳・奥村聡・三輪学央	日本地球惑星科学連合2022年大会	2022年6月	国内
桜島大正噴火における火道流のダイナミクス-マグマ物性と火道形状の影響- (ポスター)	土屋彰登・小園誠史・奥村聡	日本地球惑星科学連合2021年大会	2022年6月	国内
桜島爆発的噴火の発生場所 (口頭)	西村太志	日本火山学会2022年秋季大会	2022年10月	国内
安山岩質マグマによる溶岩流出噴火の火道流ダイナミクス-マグマ物性の影響- (口頭)	土屋彰登・小園誠史・奥村聡	日本火山学会2022年秋季大会	2022年10月	国内
測地学的体積変化量と噴出マグマ体積に基づくマグマ蓄積条件への制約-2011, 2018年霧島山新燃岳噴火への適用- (ポスター)	小園誠史・小屋口剛博・上田英樹・小澤拓・山崎雅	日本火山学会2022年秋季大会	2022年10月	国内
溶岩流ドリルマップの作成: 空間分解能依存性と火山防災への応用 (ポスター)	藤田英輔・志水宏行・小園誠史・鈴木進吾・中道治久	日本火山学会2022年秋季大会	2022年10月	国内
マグマレオロジーにおけるエイジング -1986年伊豆大島割れ目噴火溶岩を例に	黒川愛香・三輪学央・石橋秀巳	日本地球惑星科学連合2022年大会	2022年6月	国内
桜島大正噴火における火道流のダイナミクス-マグマ物性と火道形状の影響 (ポスター)	土屋彰登・小園誠史・奥村聡	日本地球惑星科学連合2022年大会	2022年6月	国内
Investigation of magma ascent paths in the conduit during the Sakurajima 1914 eruption based on groundmass pyroxene crystals with various combinations of crystallographic faces (ポスター)	Shota H Okumura, Satoshi Okumura and Akira Miyake	2022 Goldschmidt Conference	2022年7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 -海底地形の効果の検討- (ポスター)	川口亮平	日本地球惑星科学連合2022年大会	2022年6月	国内
水準測量データとGNSS連続観測データに基づく三宅島の地殻変動源の推定 (ポスター)	川口亮平・宇平幸一	日本火山学会2022年秋季大会	2022年10月	国内
Numerical simulations of the 15 January 2022 eruptive plume of Hunga Tonga - Hunga Ha'apai volcano(口頭)	Suzuki, Y. J. and Costa, A.	The IAVCEI Scientific Assembly 2023	2023年1月	国外
Seawater-magma interactions sustained the high water-rich column during the 2021 Fukutoku-Oka-no-Baeruption, Ogasawara, Japan(口頭)	Maeno, F., Kaneko, T., Ichihara, M., Suzuki, Y. J., Yasuda, A., Nishida, K., and Ohminato, T.	The IAVCEI Scientific Assembly 2023	2023年1月	国外
2021年福徳岡ノ場噴火における水に富んだ持続的噴煙柱の形成(口頭)	前野深・金子隆之・市原美恵・鈴木雄治郎・安田敦・西田究・大湊隆雄	日本火山学会2022年秋季大会	2022年10月	国内
トンガ噴火を想定した気象津波の全球数値実験	中野満寿男・鈴木立郎・渡辺真吾・鈴木雄治郎	日本地球惑星科学連合2022年大会	2022年5月	国内
トンガ2022火山噴火の噴煙3次元シミュレーション	鈴木雄治郎	日本地球惑星科学連合2022年大会	2022年5月	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文(発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別
Constraints on magma properties at fragmentation during the 2011 sub-Plinian eruptions of Kirishima Shinmoe-dake volcano, Japan (論文)	Tomofumi Kozono, Satoshi Okumura	Journal of Geophysical Research: Solid Earth 127(12) e2022JB025183	2022年11月	国外

Conduit Flow Dynamics During the 1986 Sub-Plinian Eruption at Izu-Oshima Volcano (論文)	Tomofumi Kozono, Hidemi Ishibashi, Satoshi Okumura, Takahiro Miwa	Journal of Disaster Research 17(5) 754-767	2022年8月	国外
High Precision Lava Flow Simulation Using 8K Drone Digital Elevation Data(論文)	Eisuke Fujita, Hiroyuki A. Shimizu, Haruhisa Nakamichi	Journal of Disaster Research 17(5) 779-790	2022年8月	国外
Classification of volcano-seismic events using waveforms in the method of k-means clustering and dynamic time warping (論文)	Yoshiaki Ida, Eisuke Fujita, Takashi Hirose	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 429, 107616-107616	2022年9月	国外
Aging in magma rheology (論文)	Kurokawa, A., Miwa, T. and Ishibashi, H.	Scientific Reports 12(1)	2022年12月	国外
An Updated Scaling Relationship Between Energy and Crater Diameter for Surface and Subsurface Explosions (論文)	Miwa, T. and Nagai, M.	Report of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, (87), 1-9	2022年12月	国内
A physics-based source model for real-time tephra-dispersal forecasting for weak eruption plumes (論文)	Kensuke Ishii, Akira Nishijo, Takehiro Koyaguchi & Yujiro J. Suzuki	Journal of Applied Volcanology	2022年11月	国外
マグマ移動シナリオに基づく地殻変動シミュレーション(プロシーディング)	川口亮平	防災科学技術研究所研究資料 487 66-69	2023年2月	国内
Seawater-magma interactions sustained the high column during the 2021 phreatomagmatic eruption of Fukutoku-Oka-no-Ba(論文)	Maeno, F., Kaneko, T., Ichihara, M., Suzuki, Y. J., Yasuda, A., Nishida, K., and Ohminato, T.	Communications Earth and Environment	2022年12月	国外
火山地質学-火山活動推移研究の現在と未来-火山弾・火山岩塊の飛翔ダイナミクス(論文)	常松佳恵	月刊地球、519, 34-41	2023年1月	国内
Lahar deposits along the Nigorikawa River in the eastern foot of Zao Volcano, Japan, during the last 8000 year (論文)	Ban M., Kawashima K., Tsunematsu K., Kataoka K.S., Imura T.	J. Volcanol. Geotherm. Res. 432: 107685	2022年9月	国外
Experimental multiblast craters and ejecta-seismo-acoustics, jet characteristics, craters, and ejecta deposits and implications for volcanic explosions (論文)	Sonder, I., Graettinger, A., Neilsen, T. B., Matoza, R. S., Taddeucci, J., Oppenheimer, J., Lev, E., Tsunematsu, K., Waite, G., Valentine, G. A., Befus K. S.	Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 127, e2022JB023952.	2022年7月	国外

(注1)発表者氏名は、連名による発表の場合には、筆頭者を先頭にして全員を記載すること。

(注2)本様式はexcel形式にて作成し、甲が求める場合は別途電子データを納入すること。