

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3年度
成果報告書

令和4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３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３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

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

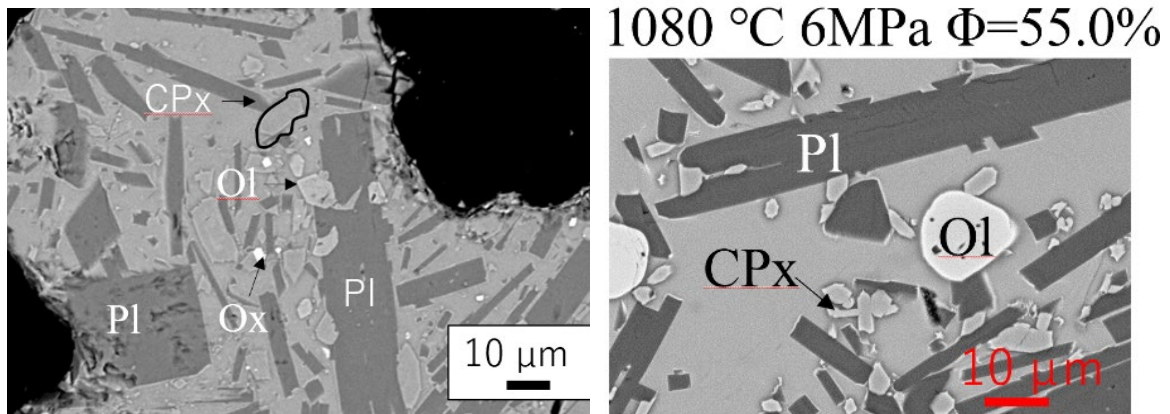


図1 富士火山宝永スコリアの代表的サンプル（左）と溶融実験産物（右）の反射電子像：
Pl = plagioclase, Ol = olivine, Ox = oxide, CPx = clinopyroxene。

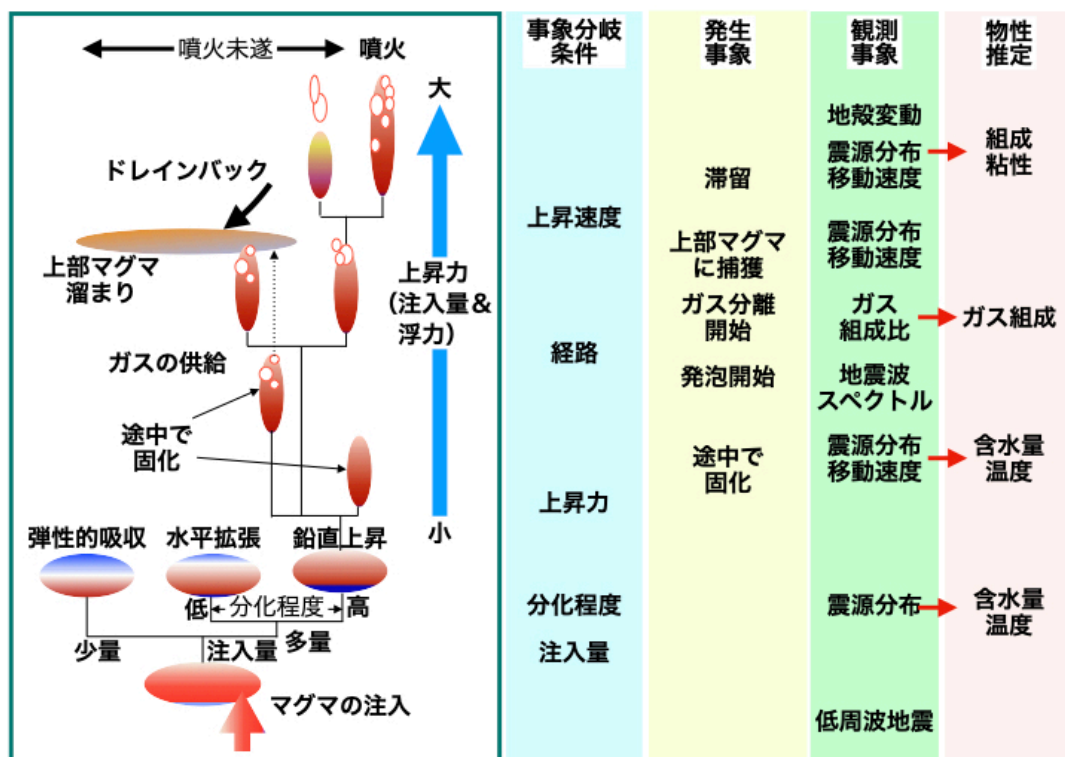


図2 単純化した深部マグマ溜まりモデルによる噴火の推移と様式の予測の概念図。

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



写真 1. 阿蘇山 2021 年 10 月 20 日噴火の調査の様子(左)と噴出物の実体顕微鏡写真(右)。熊本大学・防災科学技術研究所・産業技術総合研究所によって、内閣府「降灰調査データ共有化スキーム」に基づく緊急降灰調査が実施され、調査は夜間に及んだ。



写真 2. アトサヌプリ火山の野外調査の様子。(左) 中島火山沿岸域調査、(右) 重機トレンチ掘削調査。

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

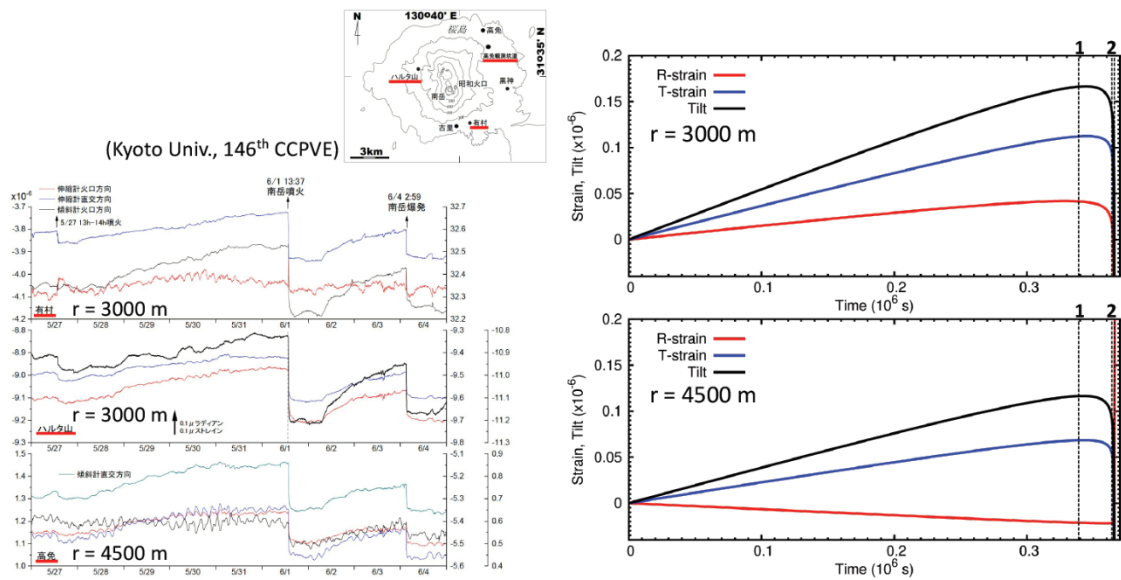


図1 2020年6月に桜島のブルカノ式噴火前後に発生した地殻変動（左）と、モデル計算による再現（右）。

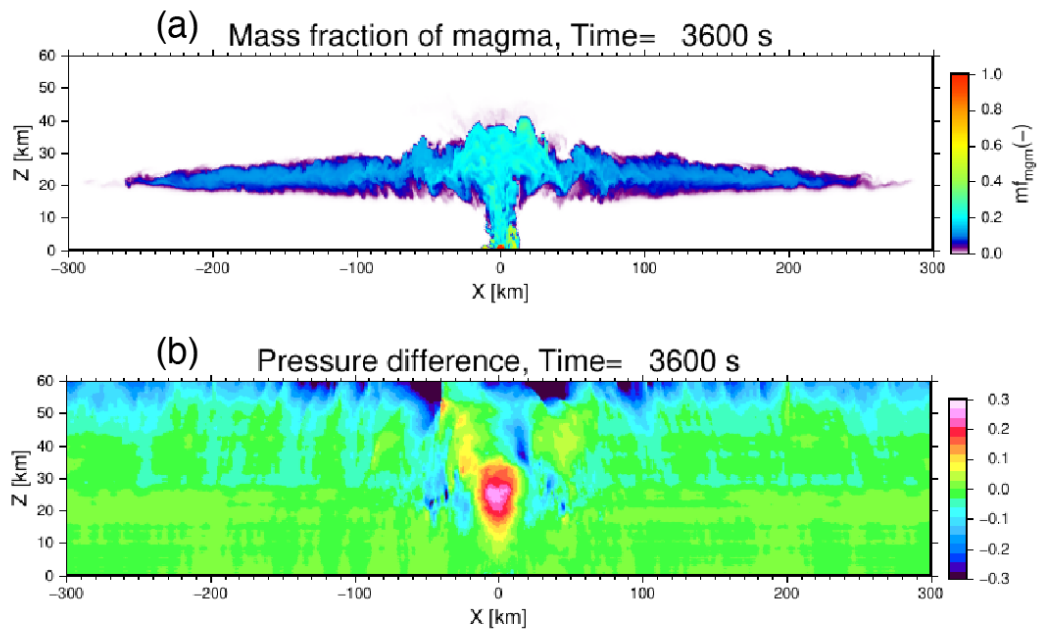


図2 フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山 2022 年噴火の3次元数値シミュレーション結果。火口を含む鉛直断面における(a)噴出物質量分率分布と(b)各高さにおける大気圧からの圧力差分布 ($\log P/P_{\text{atm}}$)。

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が期待できる。

この報告書では、研究開始から 6 年目にあたる令和 3 年度の成果を報告する。令和 3 年度は昨年度からの新型コロナウイルス感染症拡大の影響を受け、フィールドワーク・研究集会等の見送りや大学院生の研究活動制限など、研究計画の遂行に一部支障が出たものの、その中

で可能な範囲で精力的に研究を進めてきた。また課題内連携を意識した成果とりまとめ等も開始した。その結果、全体としては順調に研究が進んでいると判断している。これらの令和3年度の研究成果をもとに、本課題・本事業が社会へ資する役割を念頭において、令和4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	3
(c) サブテーマ 3	7
(2) 研究実施日程.....	9
(a) サブテーマ 1	9
(b) サブテーマ 2	10
(c) サブテーマ 3	11
2. 研究成果の説明.....	12
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	12
(1) 業務の内容	12
(a) 業務題目.....	12
(b) 担当者.....	12
(c) 業務の目的.....	12
(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）	13
(e) 令和 3 年度における成果の目標及び業務の方法	15
(2) 令和 3 年度の成果.....	17
(a) 業務の要約.....	17
(b) 業務の成果.....	17
(c) 結論.....	58
(d) 引用文献.....	58
(e) 成果の論文発表・口頭発表等	62
(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定	62
(3) 令和 4 年度の業務計画案	62
(a) 分析・解析プラットフォームの整備、運用	62
(b) 火山噴出物の分析・解析	63
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	65
(1) 業務の内容	65
(a) 業務題目.....	65
(b) 担当者.....	65
(c) 業務の目的.....	66
(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）	66
(e) 令和 3 年度における成果の目標及び業務の方法	70
(2) 令和 3 年度の成果.....	71
(a) 業務の要約.....	71

(b) 業務の成果.....	72
(c) 結論.....	165
(d) 引用文献.....	165
(e) 成果の論文発表・口頭発表等.....	172
(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定.....	172
(3) 令和4年度の業務計画案.....	172
(a) 火山の噴火履歴およびマグマ長期変遷に関する研究.....	172
(b) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発.....	175
(c) 大規模噴火データベースの整備.....	175
(d) 課題C-2全体のとりまとめと研究成果の発信.....	175
(e) 課題C全体のとりまとめと総合推進：連携研究.....	176
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.....	177
(1) 業務の内容.....	177
(a) 業務題目.....	177
(b) 担当者.....	177
(c) 業務の目的.....	177
(d) 10か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）.....	178
(e) 令和3年度における成果の目標及び業務の方法.....	180
(2) 令和3年度の成果.....	183
(a) 業務の要約.....	183
(b) 業務の成果.....	183
(c) 結論.....	212
(d) 引用文献.....	212
(e) 成果の論文発表・口頭発表等.....	213
(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定.....	213
(3) 令和4年度の業務計画案.....	213
(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.....	213
(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.....	214
3. 会議録.....	216
(1) サブ課題C-3 研究打ち合わせ.....	216
(2) サブ課題C-2 研究打ち合わせ.....	216
(3) 伊豆大島連携研究 研究集会.....	216
(4) サブ課題C-1 研究集会.....	216
(5) サブ課題C-2 研究集会.....	216
4. むすび.....	217

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約的に実施して、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-噴出物量図(階段図)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	間接 経費
国立大学法人東京大学地震研究所・准教授	安田 敦	<p><総合推進> 簡略化したマグマ供給系モデルをもとにした噴火予測の仕組み作りに着手した。</p> <p><分析解析プラットフォームの構築> 分析補助ツールや解析ツールを整備した。</p> <p><噴出物の解析> 富士山、雲仙の試料分析をおこないマグマ供給系について検討した。</p>	R3.4.1～ R4.3.31	8,741,332	2,017,230
学校法人早稲田大学・准教授	鈴木由希	<p><噴出物の解析> 榛名火山における45～10kaの4噴火を最新の6世紀～7世紀における二ツ岳伊香保噴火と比較した。古い4噴火においても、結晶に富むマッシュ状珪長質マグマが苦鉄質マグマの注入によって再流動化され、噴火が誘発されていることを明らかにした。</p>	R3.4.1～ R4.3.31	1,040,000	240,000
学校法人常葉大学・教授	嶋野岳人	<p><噴出物の解析> 主に諏訪之瀬島火山 2000年以降の噴出物の降灰試料分析により、噴火推移に伴うガラス・鉱物組成変化が明らかになった。また、桜島における連続採取試料解析によるデータ蓄積を進めた。</p>	R3.4.1～ R4.3.31	1,040,000	240,000
国立大学法人静岡大学・准教授	石橋秀巳	<p><噴出物の解析> 伊豆大島 1986B 噴火のマグマは従来考えられていたより貯蔵深度が浅い、もしくは温度が低い。伊豆高原の地下には 10 万年以上前から流紋岩質メルトが存在する可能性があることを明らかにした。</p>	R3.4.1～ R4.3.31	1,066,517	246,119
国立大学法人熊本大学・特任教授	長谷中利昭	<p><噴出物の解析> 阿蘇火山のカルデラ噴火の可能性評価のために先カルデラ期、カルデラ期、後カルデラ期の活動との比較をおこなった。さらに後カルデラ期完新世の試料の元素拡散プロファイルの解析から</p>	R3.4.1～ R4.3.31	3,886,862	896,968

		噴火前のマグマ注入が活発化する時間を見積もった。			
国立大学法人東北大学・教授	中村美千彦	〈噴出物解析手法開発〉 富士火山宝永噴火の玄武岩質マグマの破碎深度がごく浅いことを実験岩石学的に決定し、それが岩脈から管状に遷移する火道形状によって実現することを物理モデルから明らかにした。	R3.4.1～ R4.3.31	5,311,247	1,225,672
国立研究開発法人産業技術総合研究所・主任研究員	東宮昭彦	〈噴出物の解析〉 有珠 2000 年噴火の磁鉄鉱斑晶に複数タイプ存在することを見出した。それらは共通の温度低下イベントをマグマ上昇中に受けていたことを明らかにした。	R3.4.1～ R4.3.31	1,961,042	336,183
同・主任研究員	宮城磯治	〈噴出物解析手法開発〉 マグマの熱力学計算の結果、マグマが「ストーピング」で上昇すると、過剰圧により膨らむか、膨らんだ体積分のマグマが先行噴火することを明らかにした。	R3.4.1～ R4.3.31		
山梨県富士山科学研究所・主幹研究員	吉本充宏	〈噴出物の解析〉 富士山の噴出物について、解析に適切な試料の選定について助言するとともに試料採取をおこなった。	R3.4.1～ R4.3.31	—	—

(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	間接 経費
北海道大学 大学院理学研究 院 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。そして、ボーリング掘削調査をとりまとめ、秋田駒ヶ岳・阿蘇山で実施した。さらに、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。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い、コア試料の集約を実施した。	R3.4.1～ R4.3.31	51,097,000	11,791,615
同 教授	栗谷 豪	マグマ変遷解析センターの統括および分析技術開発を行い、特に珪長質岩の微量元素測定のための加圧分解法を確立した。	R3.4.1～ R4.3.31		

同 助教	吉村 俊平	マグマ変遷解析センターにおける技術開発を行い、特に FE-EPMA を用いた揮発性成分組成に基づくマグマの脱ガスプロセス解明のための手法を確立した。	R3.4.1～ R4.3.31		
同 技術専門職員	松本 亜希子	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。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。	R3.4.1～ R4.3.31		
同 学術研究員	田次 将太	秋田駒ヶ岳火山の噴火活動履歴解明のための、噴出物の物質科学的解析を実施した。	R4.1.1～ R4.3.31		
秋田大学 大学院国際資源 学研究科 教授 教育文化学部 教授	大場 司 林 信太郎	鳥海山、栗駒山、十和田火山について地質学的に火山活動推移と活動史の研究を行った。鳥海山の事象分岐と活動史、栗駒山の活動史、十和田火山噴火後の事象推移について成果が得られた。	R3.4.1～ R4.3.31	2,799,999	646,153
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。蔵王山では最新期のテフラ層序をおよそまとめた。鳥海山では、西鳥海山の形成史とマグマ供給系解明の研究を進めた。吾妻山では最新マグマ噴火ユニットのマグマ供給系の解明などを進めた。	R3.4.1～ R4.3.31	3,999,999	923,076
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。蔵王山では、1895 年噴火の投出岩塊の分布と噴出条件についての成果を公表論文として発表した。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。	R3.4.1～ R4.3.31		
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、最新マグマ噴火ユニットより上位の層序について新知見を得た。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研究を進めた。	R3.4.1～ R4.3.31		
茨城大学 理工学研究科 准教授	長谷川 健	那須岳・三宅島・アトサヌプリの噴火履歴調査を行った。特に那須岳については、最新期活動において複数の未記載噴出物を発見した。	R3.4.1～ R4.3.31	2,799,999	646,153

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。	R3.4.1～ R4.3.31	4,200,001	969,231
日本大学 文理学部地球科学科 教授	安井 真也	浅間火山の噴火史の研究を行い、トレンチ掘削などの地質調査と年代測定に基づき高分解能での1万年間噴火履歴復元の結果が得られた。1万年前以前の火山活動についても地質調査をすすめた。	R3.4.1～ R4.3.31	2,200,000	507,692
同 准教授	金丸 龍夫	浅間火山の噴火史の研究を行い、トレンチ掘削などの地質調査と年代測定に基づき高分解能での噴火履歴復元の結果が得られた。	R3.4.1～ R4.3.31		
同 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の試作とその評価をすすめる結果が得られた。	R3.4.1～ R4.3.31		
富山大学 学術研究部都市 デザイン学系 教授	石崎 泰男	白山火山群、鷲羽池火山、志賀火山の噴火履歴調査を担当し、新白山火山の長期的マグマ噴出率、鷲羽池火山・志賀火山の噴火史に関する知見が得られた。	R3.4.1～ R4.3.31	3,500,000	807,692
同 教授	石川 尚人	志賀火山噴出物の古地磁気年代測定を担当し、同火山の最新のマグマ噴火年代に関する予察的結果が得られた。	R3.4.1～ R4.3.31		
同 准教授	川崎 一雄	志賀火山噴出物の古地磁気年代測定を担当し、同火山の最新のマグマ噴火年代に関する予察的結果が得られた。	R3.4.1～ R4.3.31		
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、最新の噴火活動の概要が明らかになり、またトレンチ調査やボーリング調査によって噴火活動史についての知見が得られた。	R3.4.1～ R4.3.31	2,600,000	600,000
産業技術総合研究所 首席研究員 同 主任研究員 同 研究グループ長 同 研究員	石塚 治 川邊 禎久 井上 卓彦 有元 純	伊豆大島の研究として、沿岸部水深 400m 程度までの範囲で反射法音波探査を実施した（13日間漁船傭船）。その結果、これまで知られていない海底部における側火山体、断層系や堆積層の分布と層序、構造の相互の	R3.4.1～ R4.3.31	9,800,000	1,680,023

		関係を検討するデータが得られた。陸上部分の調査を行い、暫定版地質図及び側噴火口位置・噴火時期を整理した。			
同 主任研究員 同 主任研究員	及川 輝樹 山崎 誠子	御嶽山の地質調査を継続するとともに、Ar/Ar年代測定を行い、約10～3万年前に新期御嶽火山の火山体のほとんどがつくられたこと、最近1万年間の噴出率は低い、水蒸気噴火も含めた噴火頻度は高く、他の日本の火山と比べても十分活発であることが判明した。白馬大池では山頂周辺に分布する火砕流堆積物の年代測定を行い、約8千年前頃に火砕流が発生したことを明らかにした。	R3.4.1～ R4.3.31		
同 研究部門長 同 研究グループ長 同 研究員	伊藤 順一 古川 竜太 南 裕介	秋田焼山のK-Ar年代測定を行い、山体の形成開始がおおよそ50万年前であったこと、また約10万年および過去1万年に比較的大規模なマグマの噴出があったことを明らかにした。山頂域での人力ピット調査を含む地質調査を実施して、地質図を完成させるとともに、過去6,000年間の噴火史を明らかにした。	R3.4.1～ R4.3.31		
同 研究グループ長 同 上級主任研究員 同 主任研究員 同 研究員	下司 信夫 宝田 晋治 山崎 雅 松本 恵子	大規模噴火データベースの整備のため、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。福徳岡ノ場2021年噴火など国内及び海外のプリニー式噴火の噴火推移20事例を収集し噴火推移データ集の作成を行うとともに、これらのデータをウェブサイトで閲覧可能なデータベースシステム構築を進めた。	R3.4.1～ R4.3.31		
北海道教育大学 旭川校 准教授	佐藤 鋭一	雌阿寒岳の噴火活動履歴の再検討を行った。また、中マチネシリ活動期の噴出物のガラス組成分析を行い、マグマの特徴を明らかにした。	R3.4.1～ R4.3.31	—	—
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	新島火山噴火の長期予測のために、主に元素・同位体分析を行い、過去に噴火したマグマに関する長期変化を明らかにした。	R3.4.1～ R4.3.31	—	—

信州大学 理学部 准教授	斎藤 武士	由布鶴見岳について、噴火履歴調査を行い、伽藍岳の完新世の噴火履歴について新たな知見を得た。	R3.4.1～ R4.3.31	—	—
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、54Kaの飯田噴火の前駆的噴火堆積物の見直しを行い、一連の飯田噴火と同様のマグマの活動であることを明らかにした。	R3.4.1～ R4.3.31	—	—
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	羊蹄火山の噴火活動史の再検討を行い、新たに8層の羊蹄火山起源テフラ層を発見し、噴火活動開始時期が約8万年前であることを明らかにした。	R3.4.1～ R4.3.31	—	—
同 主任研究員	石毛 康介	雌阿寒岳火山中マチネシリの噴火活動史の検討を行い、噴火推移の詳細を明らかにした。	R3.4.1～ R4.3.31	—	—
防災科学技術研究所 契約研究員	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い、コア試料の集約を実施した。	R3.4.1～ R4.3.31	—	—
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。	R3.4.1～ R4.3.31	—	—

(c) サブテーマ3

所属機関・ 部局・職名	氏名	分担した研究項目 及び研究成果の概要	研究 実施 期間	配分を 受けた 研究費	間接 経費
国立研究開発法人防災科学技術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熱過程の導入、 ②c. ハザード評価システムの検討でグランドデザインの検討を行った。	R3.4.1～ R4.3.31	32,317,079	7,457,787
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。	R3.4.1～ R3.8.31		
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。	R3.9.13～ R4.3.31		
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。	R3.4.1～ R4.3.31		

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。	R3. 4. 1～ R4. 3. 31		
国立大学法人東北大学大学院理学研究科 教授	西村太志	①a. 噴火機構シミュレーション技術開発で、事象分岐の検知可能性評価を行った。	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	2, 228, 99 4	514, 383
同 准教授	小園誠史	①a. 噴火機構シミュレーション技術開発で、火道流モデルによるシミュレーションを実施し、事象分岐を支配するパラメータ依存性を明らかにした。	R3. 4. 1～ R4. 3. 31		
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。	R3. 4. 1～ R4. 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。	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	2, 696, 96 7	622, 377
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ーの導入の検討を行った。	R3. 4. 1～ R4. 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。	R3. 4. 1～ R4. 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) の改修を進めた。	R3. 4. 1～ R4. 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。	R3. 4. 1～ R4. 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。	R3. 4. 1～ R4. 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。	R3. 4. 1～ R4. 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	R3. 4. 1～ R4. 3. 31	—	—

		ーションへの適用の方向性を検討した。			
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。	R3.4.1～ R4.3.31	—	—
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。	R3.4.1～ R4.3.31	—	—
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。	R3.4.1～ R4.3.31	—	—

(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の総合推進および課題C全体のとりまとめと研究成果の発信	←											→
課題C連携研究：伊豆大島	←											→

(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 修士 1 年	鈴木由希 安河内健人
学校法人常葉大学	参加機関	教授 学部 4 年 学部 4 年 学部 3 年 学部 3 年 学部 3 年 学部 3 年	嶋野岳人 佐橋麗奈 太田美琴 土岐一創 佐々木萌 鈴木治親 稲垣沙南
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	教授 PD	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 助教 PD PD	中村美千彦 無尽真弓 新谷直己 藤田和果奈 黄 永勝
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	主任研究員	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る。項目（イ）と（ウ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（エ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなうとともに、6 年次までに得られた分析・解析結果を統合して整理し、噴火事象分岐予測をする基準について検討する。データベースに設けたカタログ機能を用いて、噴火の特徴を概観できるカタログを作成する。本事業で研究対象とした火山噴火のうち、少なくとも 5 つの火山の代表的な噴火についてカタログを完成させる。項目（オ）に対しては、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の促進をはかる。

8) 令和 5 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努める。項目（イ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（ウ）に

対しては、前年度に引き続き作業をおこなうとともに、噴火の特徴を一瞥できるカタログのフォーマットを検討し、カタログを自動作成する機能を付加する。項目（エ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（オ）に対しては、前年度に引き続き研究組織外からの分析・解析プラットフォーム利用を受け入れる。

9) 令和 6 年度：

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

10) 令和 7 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努める。項目（イ）（ウ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなう。項目（エ）に対しては、本事業で選定した 11 の火山については代表的な噴火の火山噴出物の特徴や噴出物から推定される噴火の特徴を概観できるカタログを完成させ、成果のとりまとめをおこなう。項目（オ）に対しては、前年度に引き続き研究組織外からの分析・解析プラットフォーム利用を受け入れる。

(e) 令和 3 年度における成果の目標及び業務の方法

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課題 A の JVDN システムを通じて開始する。

c) 研究集会の調整・開催

令和 3 年冬に課題 C-2 及び C-3 と連携し、課題 C 全体研究集会を実施する。また、令和 4 年 3 月に課題 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。前年度に引き続き、先カルデラ期からカルデラ形成期への移行過程でのマグマ供給系の変化について明らかにする。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、前年度に引き続き桜島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、噴出物の斑晶メルト包有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する方法を検討するとともに、新たな化学組成のマグマについて、熱力学計算を追加実行する。加えて、計算結果の一部を公開する。

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

(2) 令和3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、リモート分析補助ツールの装備を継続するとともに、データ解析用のツールの追加をおこなった。噴出物の解析については、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る。例えば、有珠山や阿蘇山では元素拡散の研究から噴火に先立つマグマの挙動の詳細なタイムスケールが検討された。富士山では実験的に求められた石基組織を用いた新たな相図によってマグマの破碎深度が明らかにされるとともに、シミュレーションを併用してマグマの上昇経路の形状が制約された。榛名山では、異なる噴火形態が噴火に先立つマグマの混合の違いよることが示された。諏訪之瀬島では、噴火推移に伴うガラス・鉱物組成変化が明らかになり、噴火の推移予測で注目すべき指標が明らかにされた。伊豆大島では新たな実験によって、マグマ溜まりの深度が制約された。噴火に先立つマグマ溜まりの状態や挙動についても、比較的単純な系（珪長質の浅部マグマ溜まり単独、苦鉄質の深部マグマ溜まり単独）について検討された。さらに、マグマ供給系の類型化が行われ、それらに基づく噴火事象分岐予測に有効な観測事象のリスト化など、これまでC-1で得られてきた噴出物の解析結果を観測との連携を意識しつつ取りまとめ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。特に、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てマグマ供給系の類型化を試みるとともに、単純化したマグマ供給系像に基づく噴火事象分岐予測に有効な観測事象のリストアップをおこなった（内容は3)-m)に記載）。

課題C内および他の課題との連携のための伊豆大島研究集会実施に向けた意見交換会を課題C-2主導のもと2021年11月22日におこなった。2022年3月22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26名の参加があった。

2) 分析・解析プラットフォームの整備、運用（東京大学）

分析精度の向上を目的に炭素蒸着装置を更新し、一定膜厚での蒸着が容易に行えるようにした。加えて、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。具体的には、R1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、より適切な分類が行えるように改良した。また、物理観測と対比がおこないやすいように、熱力学計算プログラムMELTS (Gualda *et al.*, 2012)¹⁾の出力から粘性や破碎深度などの物性情報を検索する機能を作成した。これまでに分析・解析プラットフォームで取得した4万枚ほどの画像データは、JVDNシステムで公開するために、メタ情報（火山名、噴火名、画像種別、撮影枚数、データ保有者名等）の整理を行っている。

a) 火山灰粒子の自動解析によるクラス分類（常葉大学、東京大学）

分類の結果出力を目視で確認して、分類に使う項目の変更や分類の閾値の変更をほどこしてから再分類ができる機能を設けるとともに、時系列データのグラフ化などの機能を追加した（図1）。

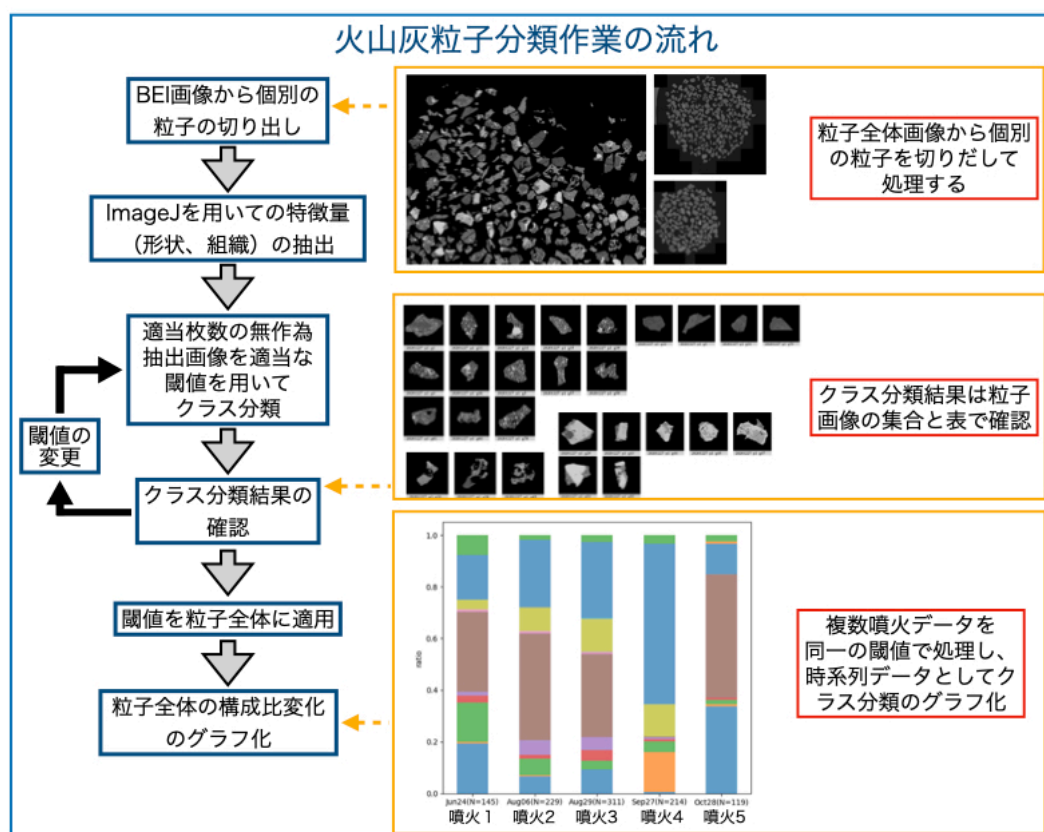


図1 火山灰の自動分類の流れ：分類結果を確認して必要に応じて閾値を変更して再処理が行える。

さらに、分類が適切かどうかを評価するために、python の scikit-learn ライブラリ²⁾を用いての PCA 主成分分析や scipy ライブラリ³⁾を用いて教師なし分類（計測結果のユークリッド距離による dendrogram の作成）をおこない、前述の閾値を用いたクラス分類との比較ができるようにした(図2)。このクラス分類のシステムについては、概要を JDR 誌に投稿中である。

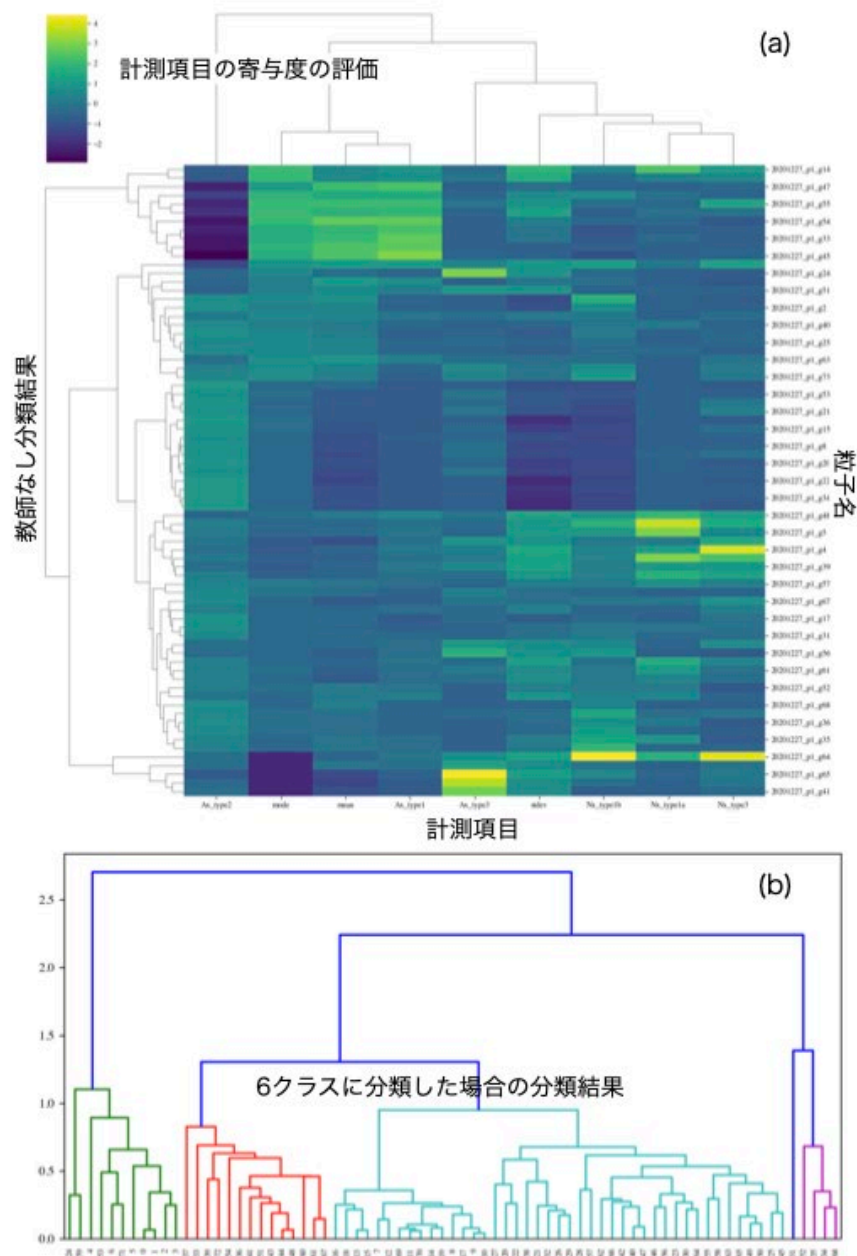


図2 Python scipy ライブラリ³⁾を用いた自動分類の例: どのような計測項目が分類に影響を与えているかを知ることができるため、閾値による演繹的分類へのフィードバックが期待できる。

b) 熱力学計算プログラム MELTS の出力と検索機能の強化 (東京大学)

通常、熱力学計算プログラム MELTS (Gualda *et al.*, 2012)¹⁾は、計算した液組成や結晶組成を噴出物での計測値と比較することによって、噴出物が最終的に平衡におかれた環境の推定に用いられることが多い。しかしながら、MELTS 自体は密度や粘性なども同時に計算しており、これらの物性値を利用することで、噴火の発生条件を絞り

例えば、気泡量/結晶量比に着目すると、図 3 (a) のように同じ温度のマグマで含水量だけが異なる場合には、上昇して噴火時に破碎した試料の気泡量/結晶量比は、マグマ中の初期含水量が高いほど大きくなる傾向がある。また、図 3 (b) のように、初期含水量が等しく温度が異なる場合には、高温のマグマほど気泡量/結晶量比が高い。つまり、試料の気泡量/結晶量比の観察値も MELTS と組み合わせることによって噴火前のマグマの状態推定には有効な情報となりうる。

Figure 1 consists of two panels, (a) and (b), showing phase diagrams of the H₂O-PI system.

Panel (a) is a P-T diagram. The vertical axis is Pressure (P) and the horizontal axis is Temperature (T). A grey shaded region represents the PI liquidus. Below this region, two boxes indicate the "start bubble growth" for "low H₂O" and "high H₂O". Two red arrows point upwards from the "high H₂O" line, with the upper one labeled "破碎" (fracture) and the lower one labeled "ΔT (結晶化の遅れ)" (delay in crystallization).

Panel (b) is a P-T diagram showing the transition from crystallinity-induced fracture to bubble-induced fracture. The vertical axis is Pressure (P) and the horizontal axis is Temperature (T). A grey shaded region represents the PI liquidus. A blue double-headed arrow at the top indicates the transition from "crystallinity-induced fracture" to "bubble-induced fracture". Two red arrows point upwards from the "high H₂O" line, with the upper one labeled "破碎" (fracture) and the lower one labeled "ΔT (結晶化の遅れ)". A box labeled "start bubble growth" is shown below the PI liquidus.

20

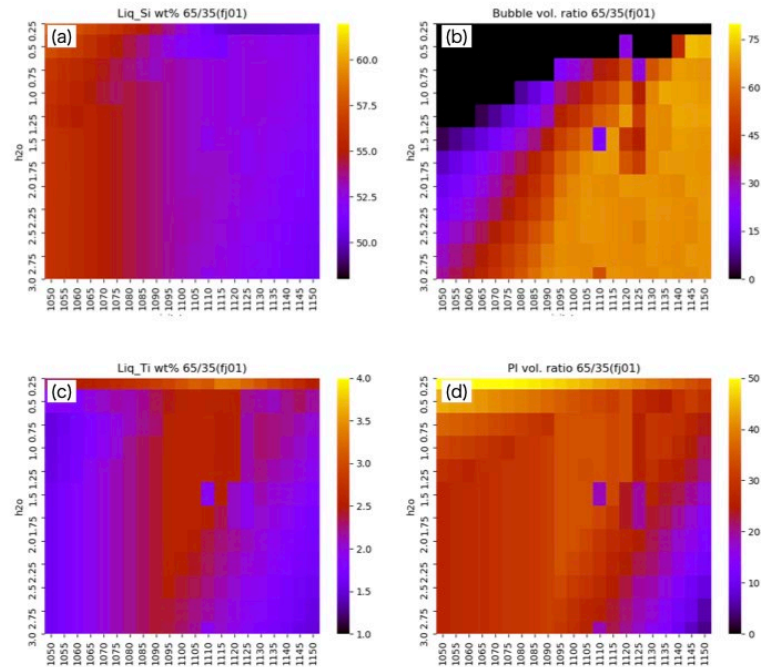


図4 MELTS を用いた噴火時（マグマ破碎時）の状態： 初期温度と初期含水量を変えて 0.05°C/MPa の温度低下率で減圧結晶化の計算をおこなった場合の例。(a) メルトの SiO_2 量、(b)気泡量、(c)メルトの TiO_2 量、(d)斜長石の結晶量。

3) 火山噴出物の分析・解析

a) 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）⁴⁾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3年度も引き続き、有珠火山の噴火では最新であり各種観測データも充実している2000年噴火を例として、その噴出物である有珠2000年輕石（Us-2000pm；東宮・他，2001；東宮・宮城，2002）^{5),6)}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。

前年度までの分析結果により、Us-2000pm中の磁鉄鉱の累帯構造には結晶の周縁部（リム）でMg濃度が顕著に低下するという特徴が見出されている。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。令和3年度は、このイベントがどのようなものであったかを推定するため、分析事例を多数追加し、累帯構造の詳細やバリエーションの有無を調べた。

今回得られた分析結果により、リム付近でのTiやAlの増減パターン、メルト包有物の有無やサイズ、アパタイトの共存の有無、などに基づき、磁鉄鉱がいくつかのタイプに分けられることが判明した。図5は、石基中に単独粒子として存在する磁鉄鉱に典型的に見られるタイプ（ここではtype-1と呼ぶ）の例で、結晶は自形性が良く直線的な外形を示し、比較的大きなメルト包有物や湾入部を持ち、しばしばアパタイトを伴う。リムでTiが低い、この低Ti部分は噴火直前に結晶成長し、かつTiの元素

拡散を経なかった部分と考えられる。これらの組織・組成の特徴は結晶の急成長を示しており、高い過冷却度を受けたものと推定される。一方、図6は、斜長石や輝石などとの結晶集合体（クリスタル・クロット）の中に含まれる磁鉄鉱に典型的に見られるタイプ（ここでは type-2 と呼ぶ）の例で、結晶は自形性が悪く丸っこい外形を示し、大きなメルト包有物は含まず、リムに低 Ti 部分が見られない。type-2 は type-1 に比べて高い過冷却度を受けなかったと推定される。type-1 や 2 とはまた異なるタイプの磁鉄鉱も見られるが、まだ解析途中であるためここでは論じない。

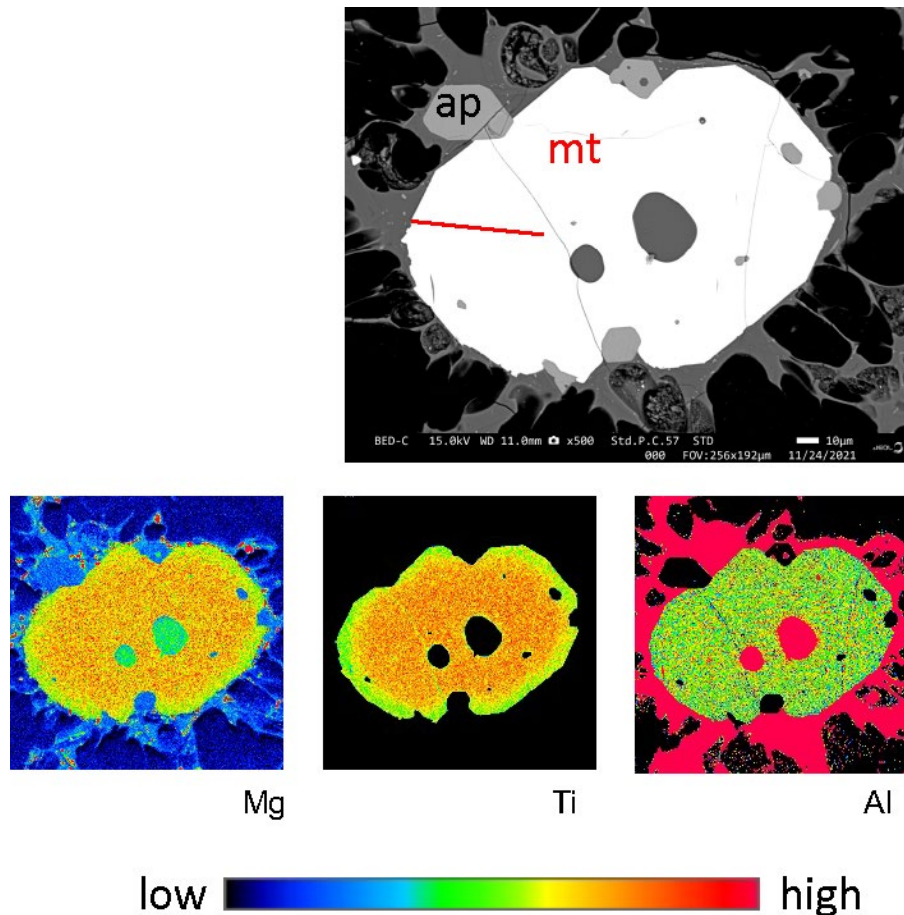


図5 有珠 2000 年軽石中の type-1 磁鉄鉱単独粒子：自形性が良く直線的な外形を示し、比較的大きなメルト包有物や湾入部を持ち、アパタイトを伴う。リムで Ti が低い。(上) 反射電子像。赤い線は図7の zoning profile の位置。mt=磁鉄鉱、ap=アパタイト。(左下) Mg 元素マップ。(中) Ti 元素マップ。(右下) Al 元素マップ。(下) 各元素マップのカラーバー。赤いほど高濃度。

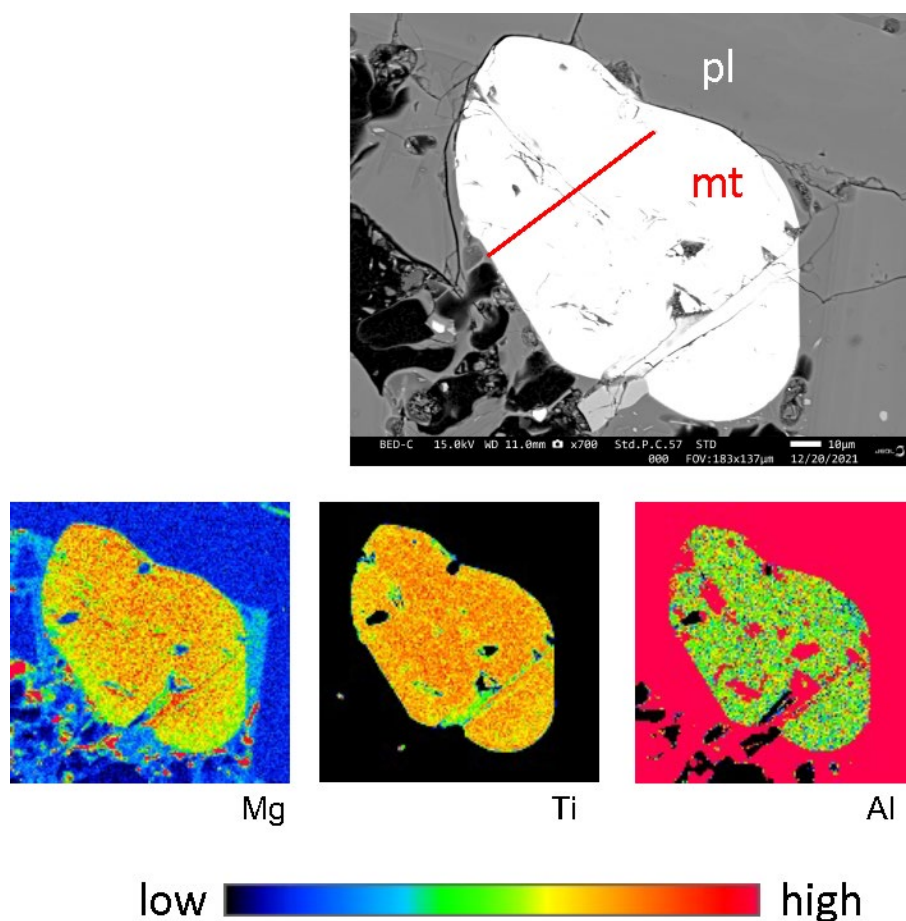


図6 有珠 2000 年軽石中の type-2 磁鉄鉱：クリスタル・クロットの中に含まれる。自形性が悪く丸っこい外形を示し、大きなメルト包有物は含まず、リムに低 Ti 部分が見られない。(上) 反射電子像。赤い線は図 7 の zoning profile の位置。mt=磁鉄鉱、pl=斜長石。(左下) Mg 元素マップ。(中) Ti 元素マップ。(右下) Al 元素マップ。(下) 各元素マップのカラーバー。赤いほど高濃度。

このように組織や起源の異なる複数タイプの磁鉄鉱が共存するにもかかわらず、Mg 濃度の低下という特徴については全タイプで共通に見られることが今回分かった (図 7)。また、十分な大きさ (直径およそ $70\mu\text{m}$ 以上) を持つ磁鉄鉱では、Mg 濃度が均質なコア部分を持ち、Mg 濃度がコアで 1.7 wt.%, リムで 1.3 wt.%, 濃度低下の範囲は $20\text{--}30\mu\text{m}$ 程度とこれもほぼ共通していた。このことは、Mg 濃度の低下をもたらしたイベントが、マグマ上昇の後期 (浅部) で起きたことを示唆する。

Mg 濃度低下プロファイルを生じた元素拡散の所要時間は数時間～1 日以下程度と算出される。このタイムスケールは、地表付近での地下水との接触による冷却と考えるにはやや長すぎる。Suzuki *et al.* (2007)⁷⁾ は、マグマの減圧結晶化実験や地震・地殻変動観測結果を組み合わせ、有珠 2000 年噴火直前には深さ 2km 程度においてマグマの上昇 (減圧) が 24 時間程度停滞しており、これが山頂直下から西山山麓火口域へのマグマの水平移動期間に対応する、と推定している。これを考慮すると、マグマの温度低下イベントはこの水平移動期間に対応する可能性が挙げられるだろう。今後は

更に解析を進め、マグマ温度低下イベントの詳細やそれが噴火事象分岐に与えた影響を評価していく必要があるだろう。

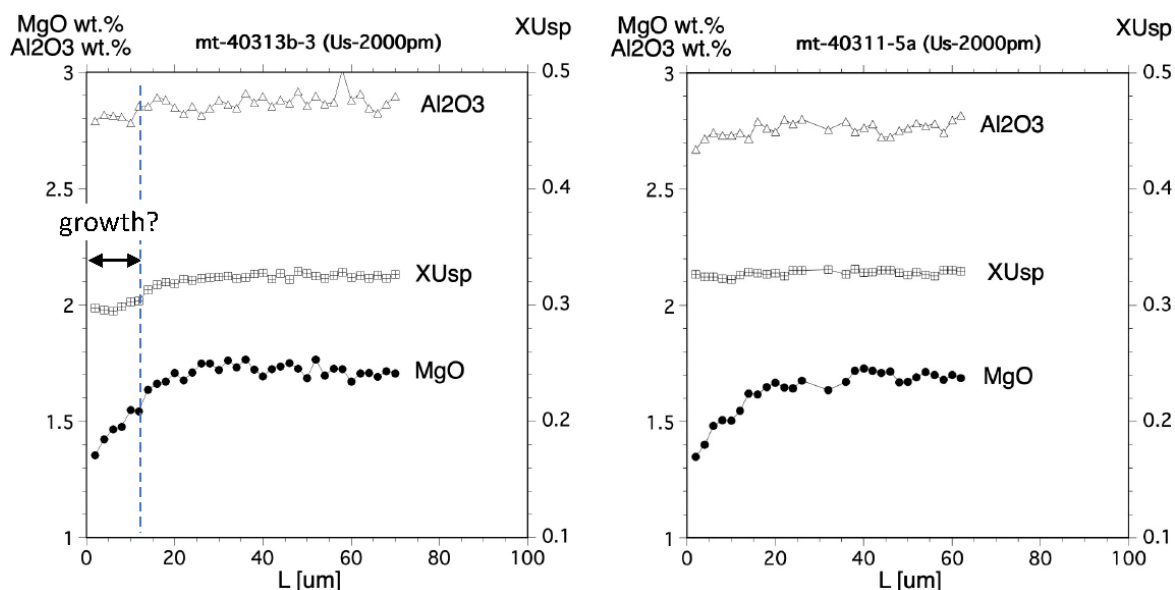


図7 有珠 2000 年軽石中の磁鉄鉱のゾーニングプロファイル: タイプは異なっても MgO のプロファイルは共通。(左) 図5の粒子のプロファイル。(右) 図6の粒子のプロファイル。

b) 榛名山 (早稲田大学)

本プロジェクトにおいて、榛名火山の新期活動を研究対象としてきた。今年度は特に 45～10ka の4つの溶岩ドーム噴火(榛名富士・蛇ヶ岳・相馬山・水沢山)と6世紀後半～7世紀初頭の二ツ岳伊香保噴火の比較に焦点を当て、その成果を論文投稿した(Suzuki *et al.*, in review)⁸⁾。比較により、新期活動の複数噴火について、マグマ供給系や噴火誘発過程の共通点や噴火年代による差異を明らかにすることを試みた。45～10 ka の4噴火は溶岩ドームのみを形成したが、二ツ岳伊香保噴火ではプリニー式噴火と溶岩ドーム形成(噴火終期)が起きている。このような噴火様式の違いが、マグマ溜まりの段階で、どう決定されているかを知ること重要な課題であった。

研究方法: 45～10ka の古い4噴火の溶岩には暗色包有物が含まれることがある。暗色包有物以外の部分をホストとする。暗色包有物を含む全サンプルについて全岩組成分析(図8)を実施した。斑晶のモード分析と組成分析は、代表について実施した(図8, 9, 10)。ホストと暗色包有物に認められる斑晶鉱物相(斜方輝石+角閃石+斜長石±石英+Fe-Ti 酸化物±かんらん石)のうち、石英とFe-Ti 酸化物以外の分析を実施した。角閃石は脱水分解反応縁を持つためコアのみ分析した。二ツ岳伊香保噴火については、Suzuki and Nakada(2007)⁹⁾として論文を報告している。本研究では二ツ岳溶岩の1サンプル(SiO₂=59.8 wt.%)について、斑晶組成の分析を再度おこなった(図8, 10)。マグマ温度の推定は、5噴火の全てについてPutirka(2016)¹⁰⁾の角閃石温度計によりおこなった。

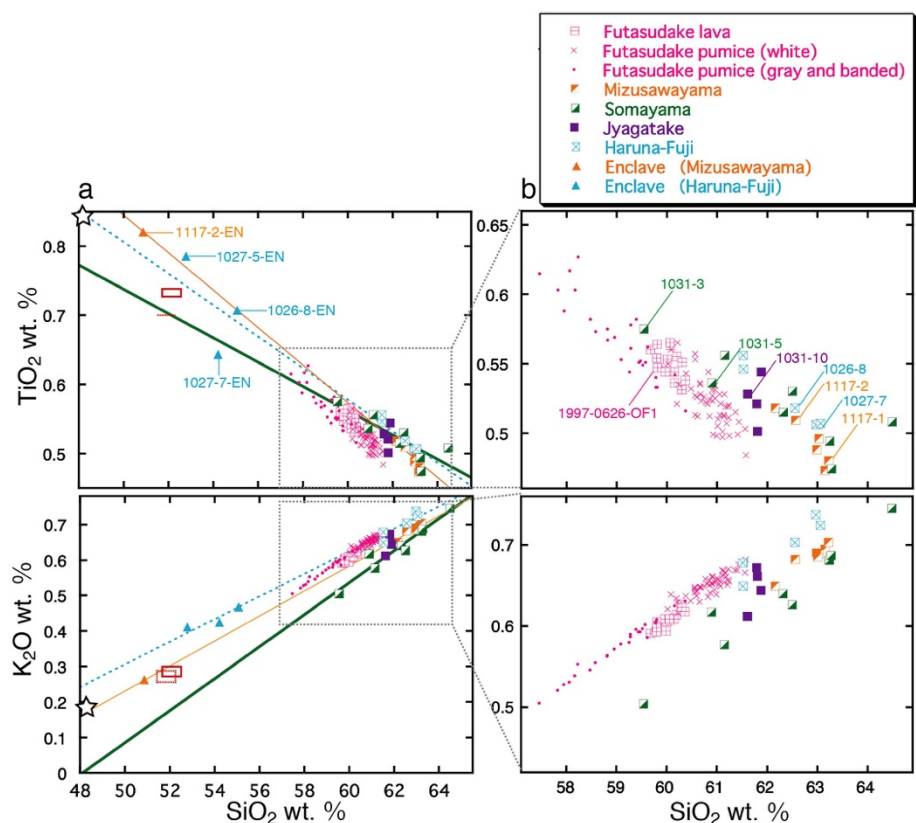


図8 全岩組成ハーカー図： SiO_2 - TiO_2 図では斑晶組成分析を実施したサンプルにサンプル名を付けている。二ツ岳伊香保噴火の高温端成分の範囲を赤い実線（無斑晶質）と赤い点線（斑晶質）で示す。二ツ岳を除く古い4噴火については噴火毎に回帰直線を示す。4噴火の平均的な高温端成分組成を星で示す。

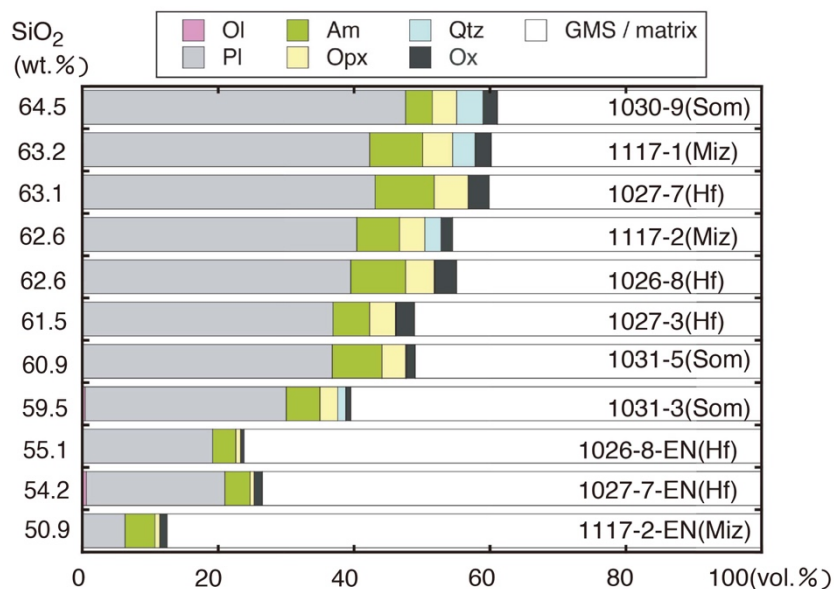


図9 古い4噴火の斑晶モード組成：棒グラフの右端にサンプル名(ENがあるのは暗色包有物)や全岩 SiO_2 含有量を示す。Hf, 榛名富士；Som, 相馬山；Miz, 水沢山；OI, かんらん石；PI, 斜長石；Am, 角閃石；Opx, 斜方輝石；Qtz, 石英；Ox, Fe-Ti 酸化物；GMS, 石基。

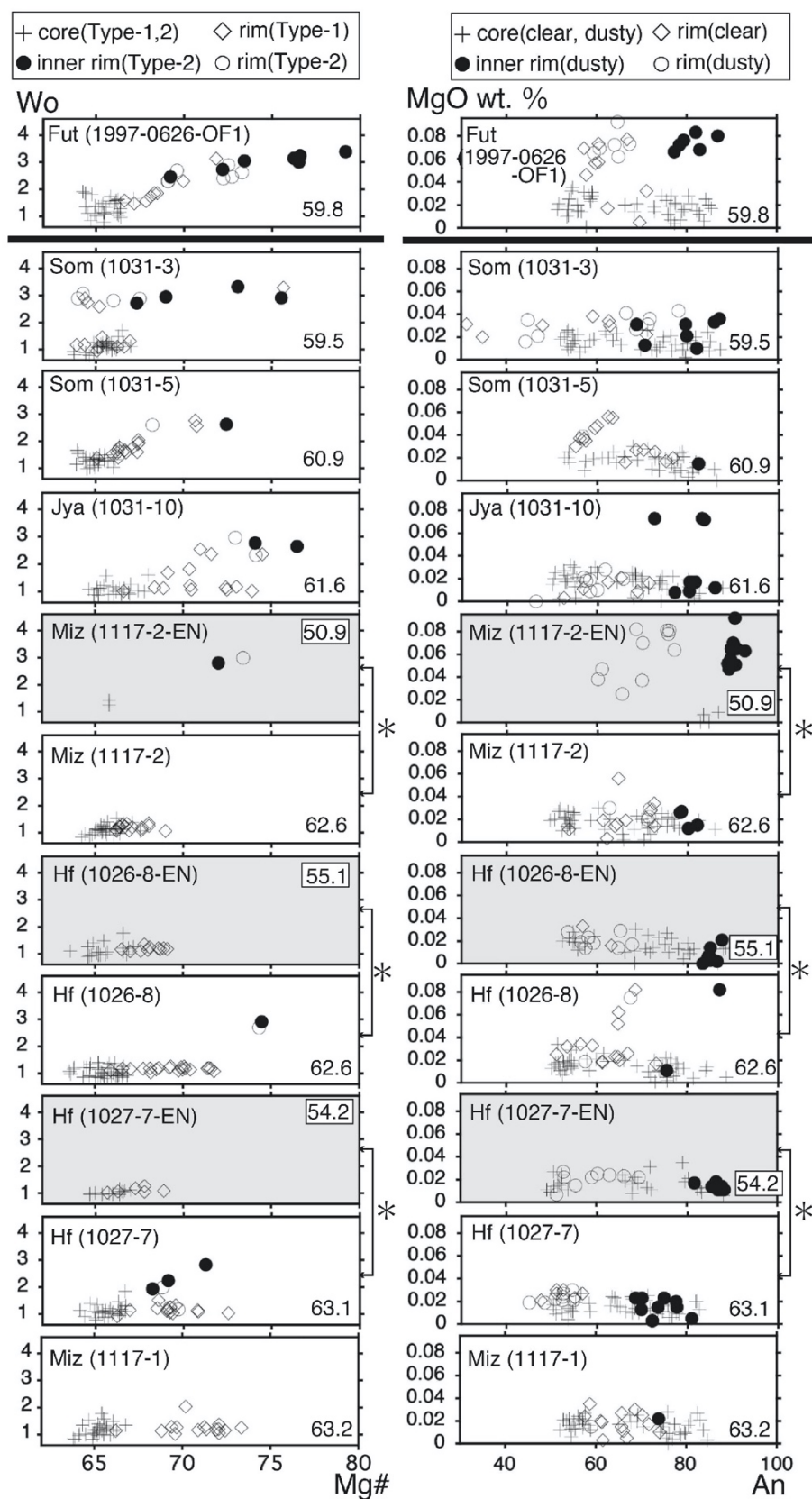


図10 斑晶鈣物組成：左は斜方輝石、右は斜長石。サンプル名と全岩 SiO_2 wt. %が各図に示される。二ツ岳(Fut)、榛名富士(Hf)、蛇ヶ岳(Jya)、相馬山(Som)、水沢山(Miz)。斜方輝石はリムにおけるMg#とWo値の上昇の顕著さによって、斜長石は汚濁帯の有無によって、各々2タイプに分類しているが、全て珪長質端成分に由来した結晶である。

i) 古い4つの溶岩ドーム噴火（榛名富士・蛇ヶ岳・相馬山・水沢山）

暗色包有物 (SiO_2 50.9-55.1 wt.% ; N=4) は、ホスト部分 (SiO_2 59.5-64.5 wt.% ; N=24) よりも SiO_2 に乏しい (図8)。記載岩石学的特徴や斑晶組成分析の結果 (図10) に基づき、ホスト・暗色包有物の両方は2端成分マグマの混合産物であると考え。斜方輝石・角閃石・斜長石・石英・Fe-Ti 酸化物は珪長質端成分由来の、かんらん石は苦鉄質端成分由来の斑晶である。珪長質端成分のバルク組成、含有鉱物の種類・組成・量は、各々の噴火の中だけではなく、4噴火で同様と考える。斑晶のコア組成が類似している (図10) ことその他、全岩組成と斑晶量の関係図 (図9) において噴火間の系統差を認めないためである。かんらん石斑晶は、 SiO_2 量の乏しいホストサンプルと暗色包有物のサンプルのみに確認される (図9)。かんらん石の F_o 値はどのサンプルでも78~80の間にあることから、苦鉄質端成分マグマのメルト部分の組成差は、サンプル間・噴火間でないものと判断する。

以上に基づくと、全岩の SiO_2 量が低いサンプルほど苦鉄質端成分の混合比が高かったということになる。このことは、全岩 SiO_2 量が低いサンプルほど、斑晶リムでの $Mg\#$ や Wo 値の上昇 (斜方輝石) や MgO 量の上昇 (斜長石) が顕著であったり、このような逆累帯構造を有する斑晶の比率が高いこと (図10) とも調和的である。角閃石斑晶のコア組成に基づき、珪長質端成分マグマの温度は760-860℃と見積もられる。

全岩組成のハーカー図において各々の噴火のデータは直線トレンドを形成している。噴火毎に回帰直線を引くと、それらは高 SiO_2 側のほぼ一箇所で交差するのに対し、低 SiO_2 側では交差しない。これらのことは、珪長質端成分マグマは4噴火で共通であるが (SiO_2 63-64wt.%程度; 図8)、苦鉄質端成分のバルク組成は噴火毎に差があることを示唆している。

斑晶モードデータ (図9) は、珪長質端成分が ≥ 60 vol.% の結晶度のマッシュであることを示している。苦鉄質端成分のバルク組成は、全岩の各元素酸化物の含有量と斑晶モード値の相関図 (図11) において直線回帰を行い、(端成分が無斑晶質であるとの前提のもと) 直線を斑晶量 0 vol.% まで外挿することで推定した。それは $\text{SiO}_2 = 48$ wt.% 程度の玄武岩質であることが分かった (図8)。最も SiO_2 含有量の低いサンプルの斑晶量を参考にすると (図9)、苦鉄質端成分の斑晶量は最大でも10 vol.% であり、無斑晶質に近いことがわかる。

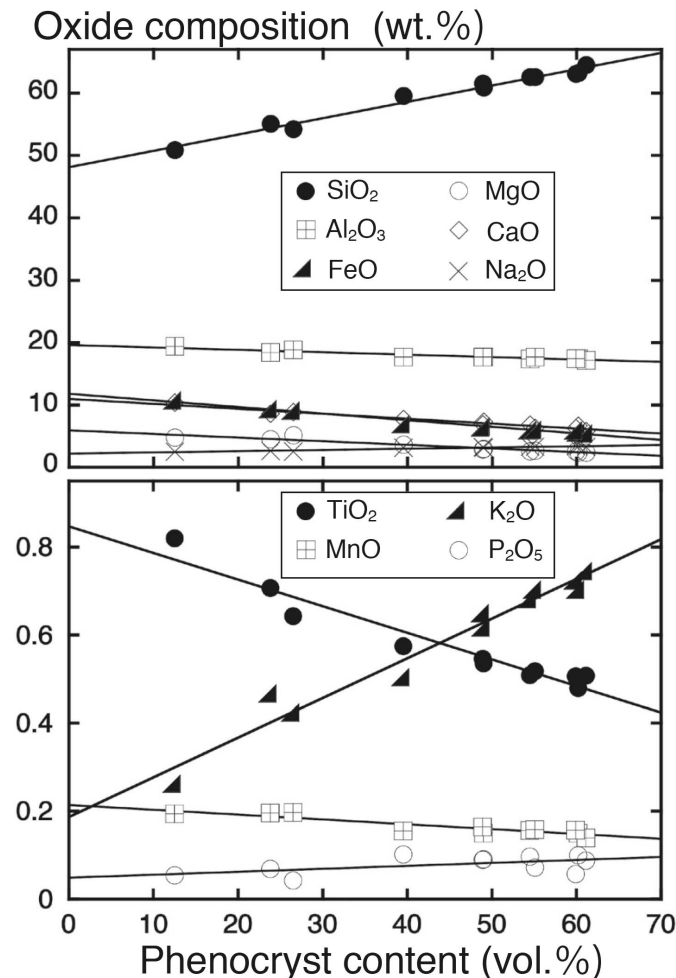


図 1 1 古い 4 噴火のサンプルの斑晶量と全岩主成分元素含有量の関係。

ii) ニツ岳伊香保噴火との比較

噴火に関与した端成分マグマの基本的特徴は、噴火年代によらず類似している。すなわち珪長質端成分は珪長質安山岩～デイサイト組成のマッシュであり、苦鉄質端成分は玄武岩～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（図 1 2）。過去 4 万 5 千年間にわたり、マグマ供給系の構造や噴火誘発過程が大きく変化していないことを示唆する。そこでは苦鉄質端成分マグマが単独で噴出物を形成することはない。さらに噴出物形成における苦鉄質端成分マグマの混合比は、（暗色包有物を除けば）、5 つのどの噴火においても低い。これは珪長質マグマが苦鉄質マグマに比べ浅所に存在することと関係する（図 1 2）。

高粘性のマッシュ状珪長質マグマが地表に到達するためには、苦鉄質マグマの注入によって元の珪長質マグマよりも低粘性のマグマが発生し、その低粘性マグマが火道・火口を開栓する必要がある。ニツ岳伊香保噴火では、混合マグマと共に加熱を受けた珪長質マグマが先行上昇し、これにより噴火が開始し、その後、（マグマ混合や加熱の影響が全くなかった）元のままの珪長質マグマが単独で噴出した（Suzuki and Nakada, 2007⁹⁾ & 図 1 2）。一方、榛名富士・蛇ヶ岳・相馬山・水沢山の 4 噴火の溶岩は、全てマグマ混合産物であることが初めて明らかになった（図 1 2）。古い 4 噴火の

噴出物総量は、二ツ岳伊香保噴火のそれに比べ1桁程度が小さい(図12)。以上のことから、古い4噴火は二ツ岳伊香保噴火の最初期に相当する段階で、噴火がストップしてしまったものと推定する。

古い4噴火と二ツ岳伊香保噴火の間で珪長質端成分マグマを比較すると、細かな差異がある。バルク組成は二ツ岳伊香保噴火では $\text{SiO}_2=60.5\sim61.5$ wt. % である(同噴火の白色軽石の分析値)。これに対し古い4噴火については SiO_2 量が 63 wt. % 程度である(図8、12)。古い4噴火と二ツ岳伊香保噴火との間で、噴出物の形成する全岩組成トレンド(マグマ混合トレンド)に明瞭な差があるのは、この珪長質端成分のバルク組成差のためである。さらに珪長質マグマで安定であった鉱物相にも差異がある。二ツ岳伊香保噴火の端成分で安定であったのは、斜方輝石・角閃石・斜長石・Fe-Ti 酸化物であり(図12)、古い4噴火で安定であった石英を欠く(図12)。石英が不安定になったのは、珪長質端成分のバルク組成が相対的に未分化で、またわずかではあるが端成分マグマが高温($793\sim864^\circ\text{C}$)であったためであろう。

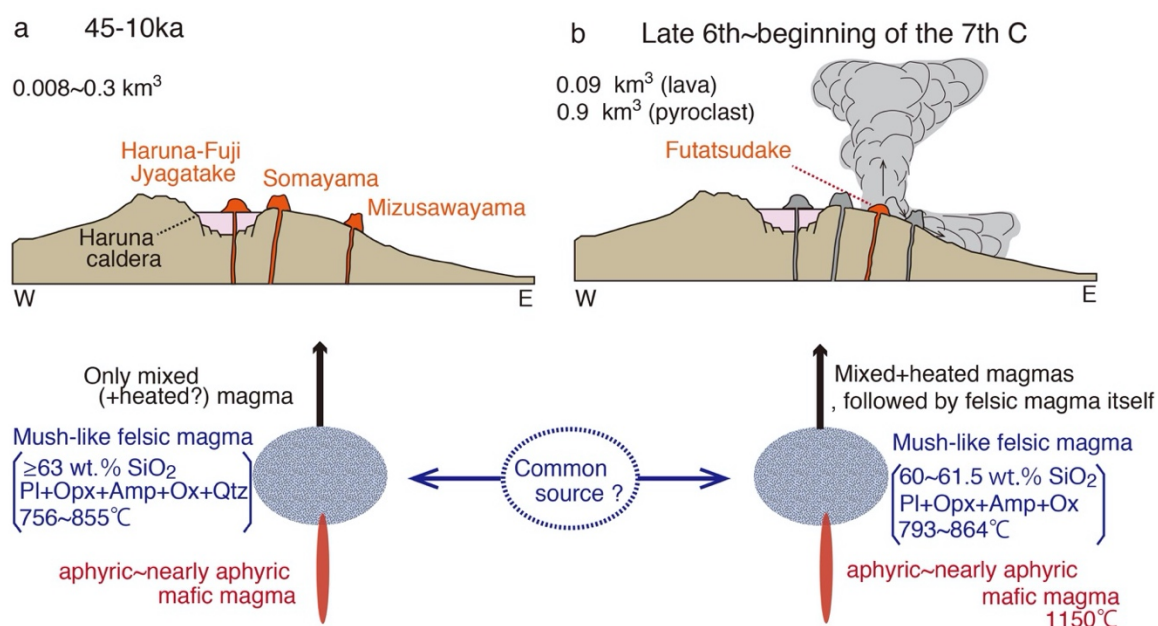


図12 古い4つの溶岩ドーム噴火(45~10 ka)と二ツ岳伊香保噴火の比較: (a) 45~10 ka, (b) 二ツ岳伊香保噴火。詳しくは本文参照。鉱物名の略称は図9と同じ。噴出物総量(DRE)は山元(2013)¹¹⁾によるもの。

二ツ岳伊香保噴火と古い4噴火の間で噴火様式や噴出物総量の差があるのは、珪長質端成分マグマのわずかなバルク組成差や温度差によるものである可能性がある。この2種類の珪長質端成分マグマは、全く異なる時代の噴火に関与したものである。しかしこれらは全く独立に発生したものではなく共通のソースから発生した可能性がある(図12)。このように考えるのは、斜長石や斜方輝石のコア組成が、過去4万5千年間にわたり、良く似ているためである(図10)。このモデルの場合、二ツ岳伊香保噴火の珪長質端成分マグマは、噴火直前のマグマ混合発生よりも前の時期に、より顕著に高温マグマの影響を受けて発生したものということになる。あいにく、このモデ

ルの裏付けるような斑晶の組成累帯構造を認識するには至っていない。それはおそらく噴火直前のマグマ混合時に、その直前に成長した結晶が溶融してしまうことと関係しているのかもしれない。

c) 富士山

i) 宝永噴火のトリガーメカニズム（東北大学）

富士火山は首都東京の西北西約 100km に位置し、我が国の火山防災上、とりわけ重要な意味を持つ。特に 1707 年（宝永 4 年）に発生した宝永噴火は、富士で発生した直近の爆発的噴火であるとともに、総噴出量 $1.7 \sim 1.8 \text{ km}^3$ ($\text{DRE} \sim 0.7 \text{ km}^3$) (Miyaji *et al.*, 2011; 山元, 2014)^{12, 13)} に達する VEI=5 のプリニー式噴火であり、首都圏にも多量の軽石・スコリア・火山灰の降下をもたらした。また、①マグニチュード 8.4 の宝永地震から 49 日後に発生した点、②富士火山では珍しいデイサイト質マグマから噴火が開始した点、そして③一般には頻度の低い玄武岩質マグマのプリニー式噴火に至った点、④側火口からの大規模なプリニー式噴火である点、などの顕著な特徴がある。宝永噴火のメカニズムを解明することで、これらの宝永噴火の特徴の中に、(どのような)一般性・普遍性が存在するのか、あるいは偶然性が働いたのか、相互に因果関係はあるのかを理解することは、火山の噴火機構として興味深い問題であると同時に、日本の火山防災上も重要な課題である。とりわけ①は、東海・東南海沖でのプレート境界型大規模地震の発生が想定されている中で、富士火山噴火が誘発される可能性の評価は喫緊の課題であり、宝永噴火のトリガーメカニズムを解明することの意義は大きい。

これらの課題の解決に向けて、今年度は「宝永噴火のマグマ破碎深度の岩石学的制約に基づく噴火機構の研究」(Kim K., Kozono S., Nakamura M., Araya N., Yoshimoto M. in prep.) を実施した。

背景と目的：玄武岩質マグマの噴出様式には、穏やかな溶岩噴出から爆発的なストロンボリ式噴火、さらに規模の大きいプリニー式噴火まで様々なタイプがある。脆性破碎し難い玄武岩質マグマがプリニー式噴火で破碎するメカニズムは、近年活発に研究されており、石基の減圧結晶化の役割が重視されている。玄武岩質マグマの結晶化がいに速くとも、噴霧流状態に入ってから結晶化が大きく進むことは考えにくく、スコリアであるにも拘わらず結晶度が高いことは、マグマの破碎深度がごく浅いことを示す。富士火山宝永噴火の玄武岩質スコリアも他の火山の玄武岩質スコリアと同様に結晶度が高い。そこで本研究では、噴出物の記載岩石学的解析に加え、独自の実験手法によるごく低圧での高精度な相平衡実験により、破碎前に最後に平衡化した条件を明らかにする。これまでの火道流の数値モデル研究により、破碎深度がごく浅いプリニー式噴火を発生するためには、火道が深部で岩脈状、浅部ではパイプ状の形状をとることが有効なことが示されている (Costa *et al.*, 2007)¹⁴⁾。そこで本研究では、実験から得られたマグマ温度と最終平衡圧力、宝永噴火で想定される初期条件と噴出率を満たす火道の形状を求めた。

実験方法：出発物質は、宝永火口の東方、御殿場市水土野で採取した宝永スコリアを用いた。宝永スコリアの大部分は結晶度約 50～60%で、石基鉱物組み合わせはカンラン石・普通輝石・少量のピジョン輝石・斜長石・磁鉄鉱である（図 1 3）。スコリアは局所的に結晶質の部分を含み、結晶度は高い部分では 90%程度に達するが、そのような高結晶度部分は全体の 1 割に満たないため、本研究では結晶度 50～60%がマグマの結晶度を代表すると考え、粉碎することなく 3.5～4 mm 角の立方体状に切り出して出発物質として用いた。石基のガラス・ナノライト・細粒のマイクロライト、および粗粒のマイクロライトと斑晶のリム部分のみを融解・再平衡させ、粗粒のマイクロライトと斑晶のコア部分は非平衡のまま残す実験である。既存の不均質核が高密度で存在する状態を作り、新たな核形成や結晶の急成長を促す大きな過冷却の発生を抑えることを意図した。

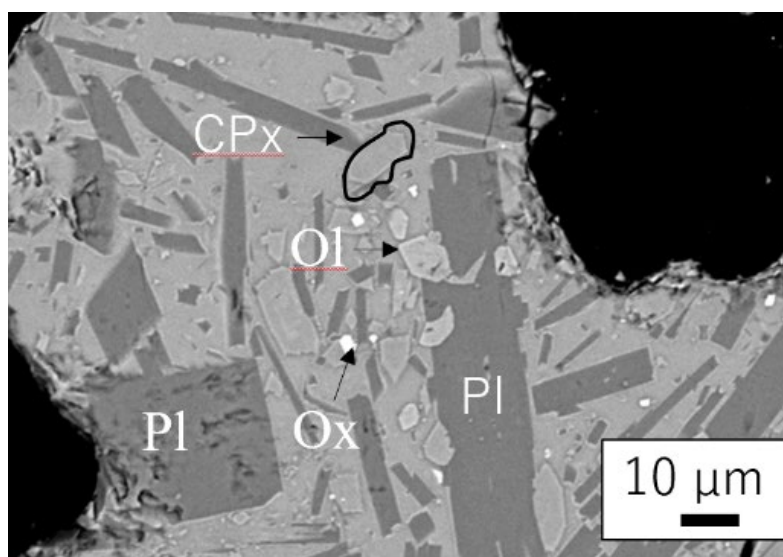


図 1 3 富士火山宝永スコリアの代表的サンプルの反射電子像：Pl = plagioclase, Ol = olivine, Ox = oxide, CPx = clinopyroxene。

実験は Otsuki *et al.* (2015)¹⁵⁾に従いステンレス保護管入り石英ガラス管を用いてマッフル炉で加熱し温度・水蒸気圧・酸素分圧を変数として天然の結晶度と鉱物の固溶体組成を再現する条件を探した。ガラス管内の空間体積に基づき秤量した水酸化マグネシウム粉末を加熱時に熱分解させることで所定の水蒸気圧を発生した。また、目的とする温度まで単調に加熱し 8 時間維持する実験の他、目的温度+40℃まで加熱し、2 時間維持したのち目的温度まで 40 分かけて冷却し 8 時間維持する Reverse 実験もおこなった。酸素分圧は固体緩衝法を用い、Ni-NiO 緩衝を基本として PT 条件を絞った後に、それより酸化的な Re-ReO 緩衝および MnO-Mn₃O₄ 緩衝を検証した。

実験結果：実験産物は宝永スコリアの組織をよく再現し、骸晶や樹脂状結晶など実験生成物に発生しがちな大過冷却下での結晶成長を示す組織はほとんど形成されなかった（図 1 4）。まず結晶度は、低压ほど、また低温ほど上昇するため、低压高温と高压低温では同じ値をとる。宝永スコリアの結晶度である 50～60%に近くなる条件は、1120～1100℃・1 気圧以下から 1100℃・2MPa；1080℃・6MPa を通り 1060℃・14MPa に至る

(図 1 5)。10 MPa 以下において、1060℃で結晶度は急激に増加し 90%を超える。これは共融点温度が 1060℃付近に存在するためと考えられる。また鉍物組み合わせは、高温・高圧から結晶度が上昇するにつれて、斜長石→カンラン石→輝石→磁鉄鉍の順に晶出した。磁鉄鉍は結晶度が 60%以上にならないと晶出せず、これは実験の酸素分圧が天然の条件よりも僅かに還元的であることを示す。

1080 °C 6MPa $\Phi=55.0\%$

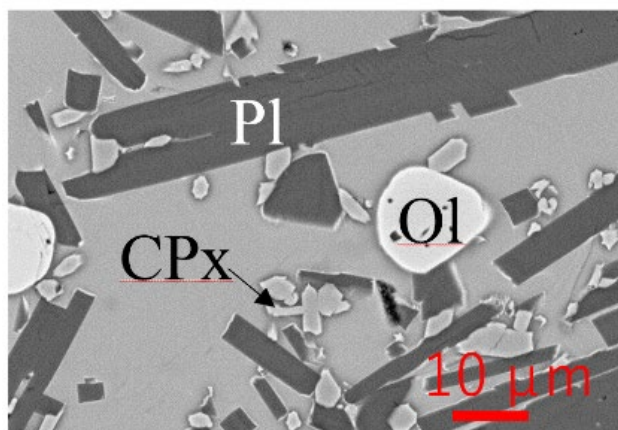


図 1 4 溶融実験産物の反射電子像：温度 1080℃、水蒸気圧 6 MPa、酸素フガシティ NN0 緩衝。結晶度は 55%。

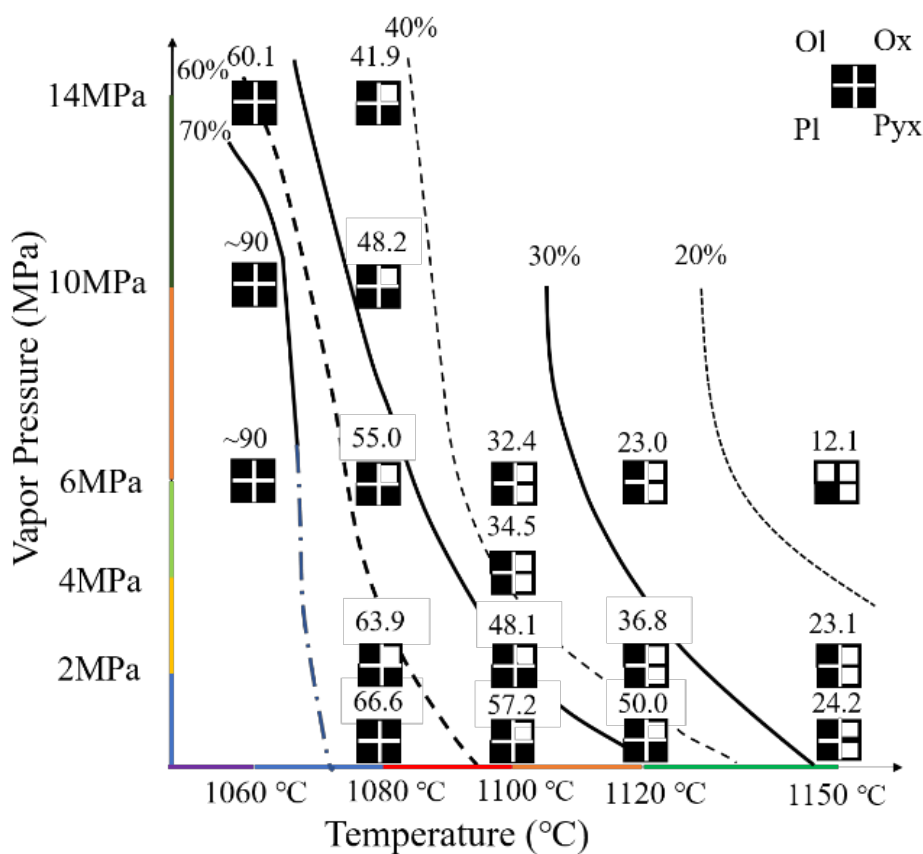


図 1 5 溶融実験の結果（結晶度と鉍物組み合わせ）：酸素フガシティ NN0 緩衝。

次に、Reverse 実験（溶融－結晶化実験）の結果について述べる。6 MPa において 1100℃に加熱後 1060℃まで冷却した実験では 8 時間維持後の結晶度は 56%となり、単純な溶融実験より大幅に低結晶度となった。一方、6 MPa で 1120℃に加熱後 1080℃まで冷却した実験では、結晶度は 57.5%となり、融解実験（55%）とよく一致した。Reverse 実験と融解実験の一致・不一致が、わずか 20℃の違いで大きく異なることは、上述のように、わずかな温度差で多量の結晶の溶融・晶出が起こる共融点ソリダスが 1060℃付近に存在することを支持する。

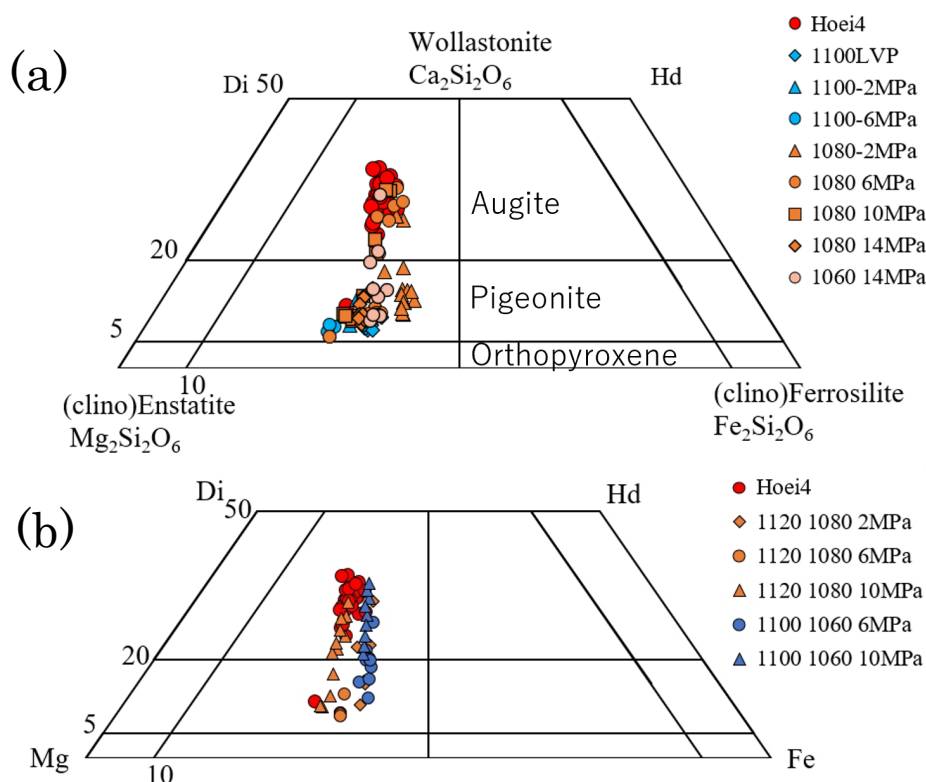


図 1 6 宝永スコリアおよび様々な温度・圧力・酸素フガシティ条件での実験産物の輝石組成：(a)溶融実験 (b)Reverse(溶融・結晶化)実験。

溶融実験産物の輝石固溶体組成を図 1 6 (a)に示す。1100℃ではピジョン輝石のみが晶出している。1080℃以下では、ほぼ Mg 値の等しい普通輝石－ピジョン輝石のタイライン上に分布した。これは本実験時間内では Wo 成分が十分に平衡に達していないことを示す。本溶融実験産物に含まれる鉱物は、(a)溶け残り鉱物 (b)その再平衡が様々な程度に進んだもの (c)新たにオストワルドライプニング成長したものが考えられる。(a)は出発物質に含まれていた普通輝石と同一の組成を示す。図 1 6 において、多くの測定点が出発物質に含まれていた普通輝石組成からずれていることは、(a)の頻度は限定的であり、(b)や(c)がかなりの程度進行していることを示す。(b)では、結晶内の元素拡散が Mg-Fe 相互拡散に比べて遅い、珪灰石やヒスイ輝石成分では平衡に達しにくいと考えられる。また(c)で形成された輝石結晶は、溶融度が上がるほど、Mg 値が上昇するはずである。温度が 1080℃一定の下で水蒸気圧が 2MPa から 6、10MPa に

上昇すると、(b)の速度はほぼ一定のまま、(c)がより進行すると予想される。結晶度の特に高い 2MPa に比べ、6MPa、10MPa 実験の輝石がやや Mg に富んでいることはこの予想と一致する。1060°C・2MPa の実験と同様に結晶度の高い 1060°C・14MPa の輝石が Fe に富んでいないのは、磁鉄鉱が共存するためと解釈できる。なお Reverse 実験（図 16 (b)）では、ピジョン輝石の割合が減り普通輝石の割合が増加する。これは宝永スコリアに近く、いったん+40°Cの高温で熔融したことで、輝石組成が、より化学平衡に近づいていることを示す。

磁鉄鉱のリキダスと、輝石よりも拡散による平衡化が速いカンラン石の Mg 値に対する酸素分圧の効果を調べるため、Re-ReO(RR0, NN0+2.0 log unit)および MnO-Mn₃O₄(MN0, NN0+3.5 log unit)緩衝での対照実験を 1080°Cでおこなった。NN0 では 2 および 6MPa では磁鉄鉱は晶出せず<0.1MPa で晶出したのに対し、RR0 では安定領域が広がり、2MPa 以上の水蒸気圧で晶出することがわかった。またカンラン石は RR0 では最外縁部で輝石+磁鉄鉱に分解し、さらに酸化的な MN0 条件では分解反応は全体に進行する。また酸素分圧が上昇すると磁鉄鉱の晶出とともに全結晶度もやや増加する。1080°C・10MPa では RR0 条件では実験を行っていないが、NN0 に比べて結晶度がやや上昇し、50%の結晶度を超える可能性がある。

カンラン石の Fo 値は、磁鉄鉱が晶出しない NN0 の実験では、いずれも宝永スコリア中のカンラン石の値 69~70mol%よりも低い 53~67mol% であったが、RR0 緩衝では、最外縁部では局所的に斜方輝石と磁鉄鉱のシンプレクタイトに分解が始まり、反応し残りの部分では宝永スコリアの値を再現した。

以上から、宝永の玄武岩質マグマが（輝石の Wo、Jd 成分を除き）最後に最も浅部で平衡に達した条件は、1080°C、6MPa、 $f_{O_2}=NN0+1.5$ 程度（RR0 より僅かに還元的）と見積もられた。

火道流物理モデルへの適用：本研究のモデル計算では、1080°Cにおける水の飽和圧力を 79MPa、宝永マグマ組成中の水分量を 2.7wt% (Ishibashi and Amano, 2017)¹⁶⁾として計算を開始した。初期深度は静岩圧を仮定して 3400m とし、マグマの流出速度は火口でのチョーキング（音速）または大気圧（0.1MPa）を満足するように決定した。また気泡 (Pg) とマグマ (Pm) の圧力差を考慮した。マグマ中の蒸気圧 (Pvp) は、マグマの平衡飽和圧力と定義した。1080°Cにおける平衡結晶度とメルトの含水量は、宝永マグマの化学組成と温度 1080°Cを固定して MELTS 計算 (Gualda *et al.*, 2012)¹⁾から多項式フィッティングで求めた。本モデルでは非平衡結晶化を考慮し、結晶化速度は平衡結晶化度に達するまでの時間である特性時間で表現した (La Spina *et al.*, 2016)¹⁷⁾。マグマ粘性は結晶度・メルト粘性のほか歪速度・気泡体積依存性を考慮し (Moitra and Gonnermann, 2015)¹⁸⁾、破碎条件は気泡過剰圧条件または歪速度条件とした。

本研究では、岩脈状と岩脈―円筒火道への遷移形状を Costa *et al.* (2007)¹⁴⁾に従い検証した。マグマは最初、岩脈状の火道を上昇し、深さ $wT=1000m$ で半径 $r=15m$ の円筒状火道に変化すると仮定して、境界条件を満たす岩脈形状を検討した。岩脈から管状火道に遷移すると、断面積の急激な低下からマグマ流速が増す。一方、火道半径が

岩脈幅に対して大きければ、同じマグマ流速に対する歪速度は低下する。そこで、マグマ粘性に歪速度依存性を加えると、火道形状によって粘性が大きく変化することになる。

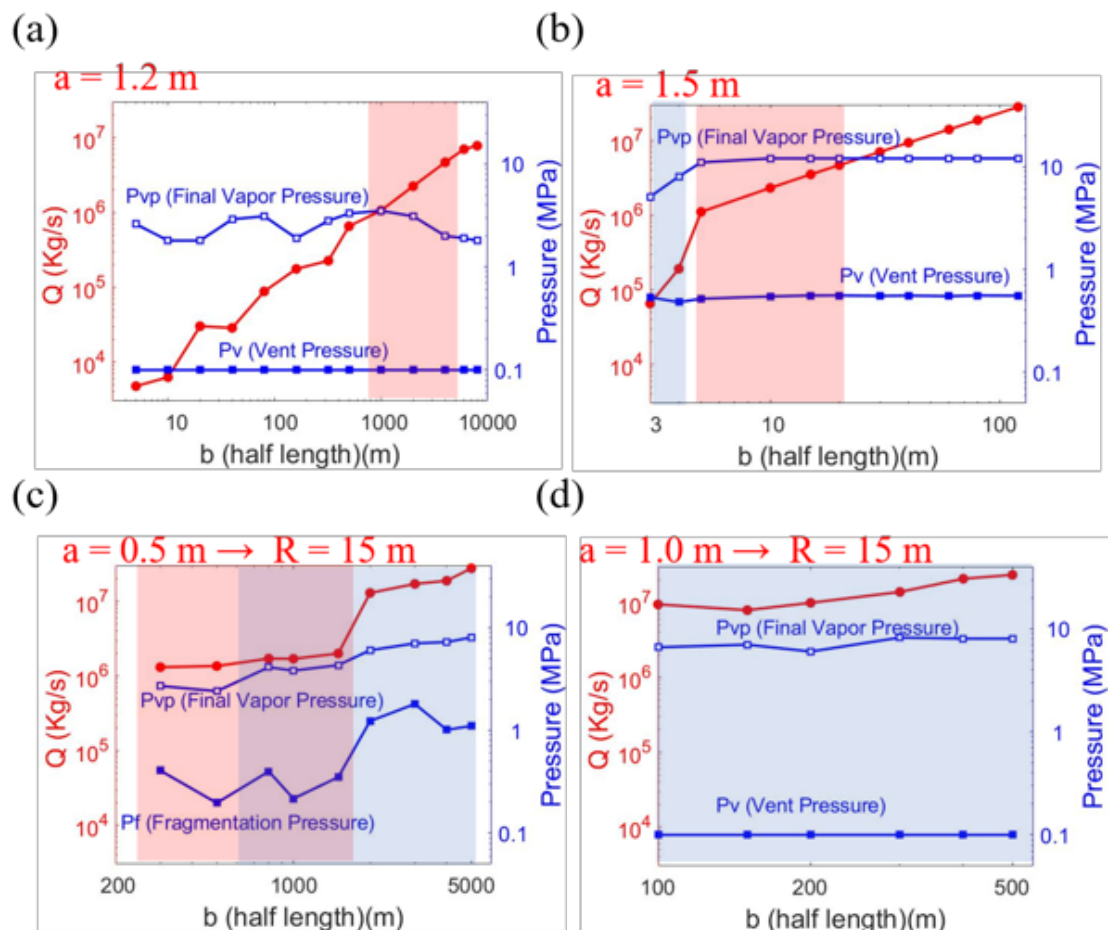


図 1 7 火道形状を変えた場合の最終平衡蒸気圧 (MPa) と噴出量 (Kg/s) の計算例：赤い影の部分は宝永噴火の噴出量 ($9 \times 10^5 \text{ Kg/s}$) の範囲、青い影の部分は最終蒸気圧が 4～10 MPa の範囲であり、実験で求めた 6MPa とほぼ同じである。岩脈から管状火道への遷移深度 $wT=1000\text{m}$ 。(c)の場合に境界条件を満たす。

岩脈形状を変化させると、マグマの噴出速度と最終平衡圧力が変化することがわかった (図 1 7)。岩脈幅の 1/2: $a = 1.2 \text{ m}$ のとき、いずれの条件も破碎基準を満たさず、最終平衡圧力は 2～4MPa であった。それよりやや厚い岩脈 ($a = 1.5\text{m}$) 場合は、岩脈の長さ 5～20 m のとき、宝永噴火のマグマ噴出率 ($9 \times 10^5 \text{ Kg/s} \sim 6 \times 10^6 \text{ Kg/s}$) を満たした。しかし、最終的な平衡圧力 (10MPa 以上) は実験で制約された圧力より高くなった。この圧力では破碎が起こらず、マグマの流速が音速に達して火道内でチョーキングしてしまう。

薄い岩脈 ($a = 0.5\text{m}$) では、破碎圧力 0.2MPa から 2MPa、最終平衡圧力 3MPa～10MPa で解が存在した。これらの範囲は、実験により制約された最終平衡圧を含む。さらに

噴出率も、岩脈の半長 b が $500 \text{ m} < b < 2000 \text{ m}$ の場合に満たされる。 $a = 1.0 \text{ m}$ の岩脈では、噴出率が高くなりすぎる ($> 10^7 \text{ Kg/s}$)。

以上から、実験岩石学的に制約された、宝永スコリアのごく低い破碎圧力（およびマグマの温度や含水量、マグマ噴出率）は、岩脈状から管状に遷移するような火道形状を想定した物理モデルにおいて解が存在する（岩脈の厚さ 1 m , $a = 0.5 \text{ m}$; 管状部分の半径 15 m ; 遷移深度 1 km ）ことが明らかとなった。玄武岩質マグマのプリニー式噴火において、マグマの破碎条件が満たされるためには、マイクロライトの高結晶度が必要とされるが、そのような高結晶度まで破碎せずにマグマが上昇するためには、玄武岩質マグマが、このような岩脈状から管状に遷移する火道形状をとることが条件となっている可能性がある。

ii) 大沢スコリアと大淵スコリアの分析（常葉大学）

富士火山大沢火砕流の噴出物と対比するため、同時期の噴出物である大沢スコリアの層序細分試料の特徴抽出および不明確だった部層ごとの対比をおこなった。また、大淵降下スコリアについては分布域での遺跡調査をおこなったほか、既に採取した試料について鉱物組成分析をおこなった。

iii) 東山麓のスコリア連続堆積物の分析（東京大学）

令和 2 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の分析をおこなった。前年度までの研究で、約 2900 年前に発生した御殿場山体崩壊の前後で噴出物の組織や組成に大きな変化があることが見出されている。すなわち、山体崩壊直後の十数回の噴火では、全岩組成の変化方向が他の時期とは異なるとともに石基ガラスの量比が高くなっている。このため、浅部マグマ溜まりの影響をほとんど受けずに深部マグマ溜まりから直接噴火に至ったと解釈された。

図 18 に示すように、御殿場山体崩壊直後の時期 (period-2a, b, c) は全岩化学組成の変化の方向が他の時期とは明確に異なる。これは、 TiO_2 や Al_2O_3 量の変化として顕著である。その一方で、全岩化学組成の時間変化はこの期間内は連続的であり、単一のマグマ溜まりに関わった連続的なプロセスが関与していることを示唆している。そこで、令和 3 年度は熱力学プログラム MELTS を用いて、噴火に至る過程についてさらに検討をおこなった。まず period-2 の時期の組成の端成分から他の組成が結晶分化によって作ること可能か、温度・圧力・含水量・酸素雰囲気を変化させて計算したところ、 $300\text{--}400 \text{ MPa}$ の圧力下で $0.5\text{--}1.0 \text{ wt\%}$ の水を含むマグマを結晶分化させると組成変化が再現できることがわかった。しかしながら、最も SiO_2 と TiO_2 量が高い分化側の端成分を再現するためには 33%以上が結晶化する必要があり、深部でこのような結晶分化をしたマグマを噴出させることは現実的ではない。加えて、石基ガラスに富むという period-2 の特徴とも矛盾してしまう。

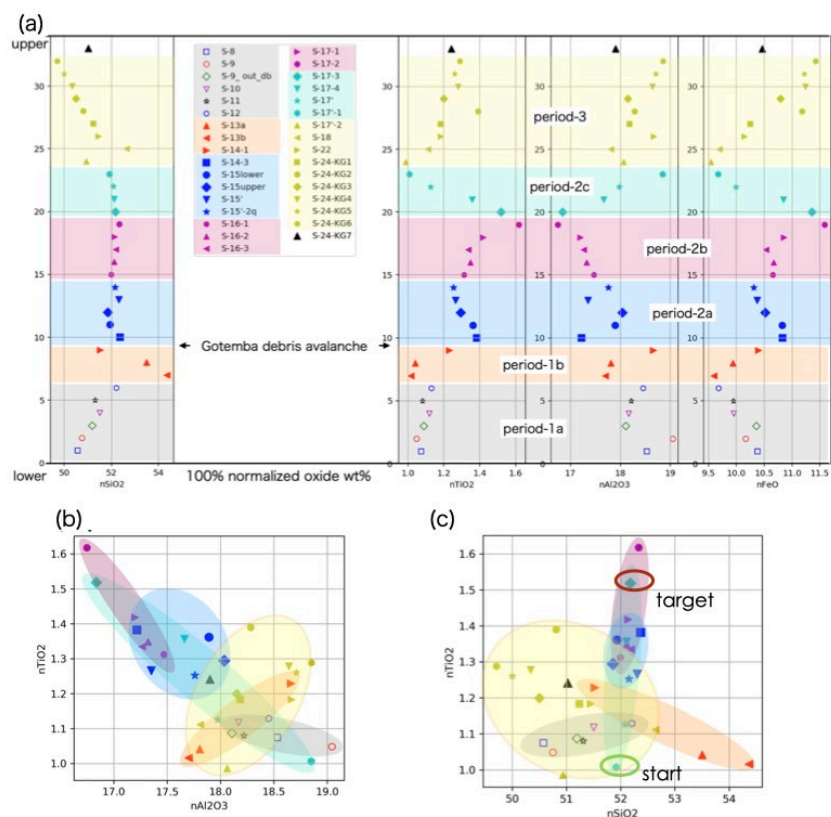


図 1 8 富士山の東山麓で採取された火山灰の全岩化学組成：(a)約 2000 年間の降下火砕物の連続層（33 枚）の全岩化学組成の時代変化、(b) Al_2O_3 - TiO_2 、(c) SiO_2 - TiO_2 、MELTS による組成変化計算の出発物質組成と目標組成も併せて表示。

そこで、次に、減圧しながらの結晶分化を検討した。減圧させながら結晶分化させることは、実際の噴火ではマグマ上昇中に火道中で結晶分化をすることに対応する。結晶化した鉱物は火道壁に付着して取り去られることが予想されるため、晶出する結晶総量が大きくてもマグマ自体に留まる結晶量は増加せず、ガラス質の石基が実現するとともに、マグマは流動性を保つことができると考えられる。マグマの初期圧力を富士山に想定されている深部マグマ溜まりの圧力に相当する 400MPa として、様々な初期温度と初期含水量の組み合わせについて、一定の dT/dP で減圧させながら温度を下げて結晶分化をさせる計算をおこなった。噴火時の組成や組織との一致程度を評価する目的のため、マグマの粘性が高まるか気泡分率が高くなってマグマの破碎条件に達したところで計算を終了させた。その結果、低含水量(0.5 wt%) のマグマを出発物質として、温度低下率が小さい (0.05 $^{\circ}\text{C}/\text{MPa}$) 場合に、目標とする組成が再現できることがわかった(図 1 9)。組成がよく再現できるのは数 MPa の低い圧力まで達した段階であり、このようなマグマは容易に噴火可能であると考えられる。

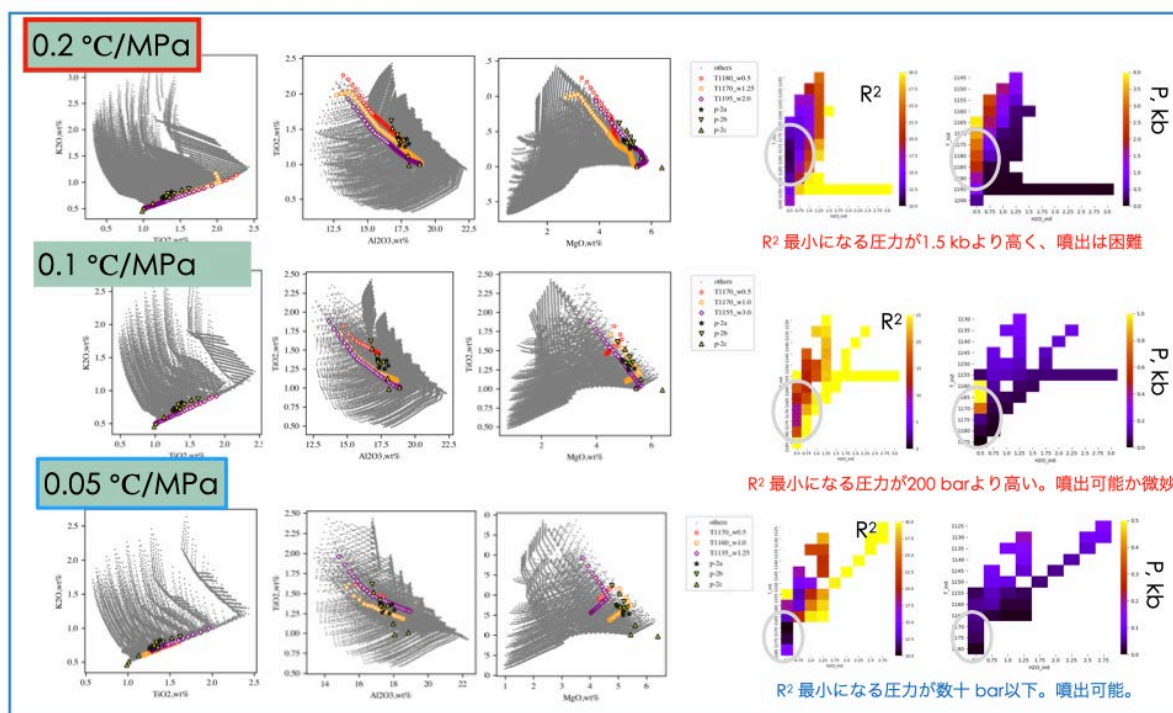


図 1 9 減圧結晶分化による組成変化計算例： 目標組成に対する一致度を残差の二乗和 (R^2) で表現してる。R2 が小さいほどマグマが破碎する条件下で目標組成が再現できている。右端の図にその際の圧力を示した。

これまでの検討から、富士山では御殿場山体崩壊直後の十数回の噴火にわたって、浅部マグマ溜まりの影響を受けることなく深部マグマ溜まりから直接噴火が発生していたことが明らかになった。これは2つの点で重要である。まず、御殿場山体崩壊の崩壊量は 1 km^3 程度であり、富士山の山体自体の大きさと比較すると大きな崩壊量ではない。それにもかかわらず、噴火の様式が長期間にわたって変化したということは、浅部の火道周辺の荷重変化が噴火に大きな影響を与えることを示唆している。火山の浅部の密度構造や応力の状態については予測のためにデータが十分に得られておらず、今後の観測の充実に期待する。

2 番目に、深部マグマの含水量が $0.5 \text{ wt}\%$ 程度と低いにもかかわらず、何回もの噴火が発生していたことが重要である。図 2 0 は富士山のマグマ組成で結晶分化をおこなった際のマグマの密度変化を計算したもので、初期含水量を変えていくつかの場合を計算している。

マグマ溜まりの温度低下にしたがって、マグマ溜まり全体の密度（青）は上昇、つまり体積収縮しており、自発的なマグマ溜まりの破壊を発生させるような過剰圧は生じていない。マグマの温度が $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下になると、液体部分（紫）や液体+斜長石（オレンジ）の密度は低下し始めるが、密度低下の程度は大きくない。密度差によってマグマ溜まりの天井部分を破壊するためには理論的には十数 MPa 以上の圧力差が必要とされるが (Lister and Kerr, 1991)¹⁹⁾、計算で示されたようなわずかな密度低下では、マグマ溜まりの天井の破壊には膨大な量の分化したマグマ（少なくとも数 km 厚）が必要となる。しかしながら、実際に噴火したマグマの量は数百万 m^3 程度と非常に少なく、

また、噴火したマグマ組成に明確な時間変化が観察されることから、大量の軽いマグマが噴火前に蓄積していたとは考えられない。したがって、こうした結晶分化による浮力の獲得がトリガーとなってマグマ上昇が開始した可能性は低い。また、富士山のマグマに想定される CO_2 量を考慮しても 10 km 程度よりも深いマグマ溜まりは揮発性成分には飽和しておらず (Iida, 2007)²⁰⁾、浮力の獲得によってマグマ上昇の開始するような自発的な噴火の発生はおこらないと思われる。

ではどのようにマグマの上昇が始まるのだろうか。唯一の解は、より深部から上昇してきたマグマが、深部マグマ溜まりに注入することによって過剰圧が発生することである。つまり富士山ではマグマの注入による過剰圧の発生が噴火のトリガーである可能性が高く、深部マグマ溜まりへのマグマの注入を深部低周波地震の観測等で検知できれば、噴火の発生予測に役立つものと思われる。また、深部マグマ溜まりへのマグマの注入を起点とする噴火のシナリオを事前に検討しておくことが必要であろう。富士山で観察されたこうした深部マグマ溜まりの挙動や特徴は、後述の、3)ー1)噴火の推移・様式予測の仕組みの検討、につながっている。

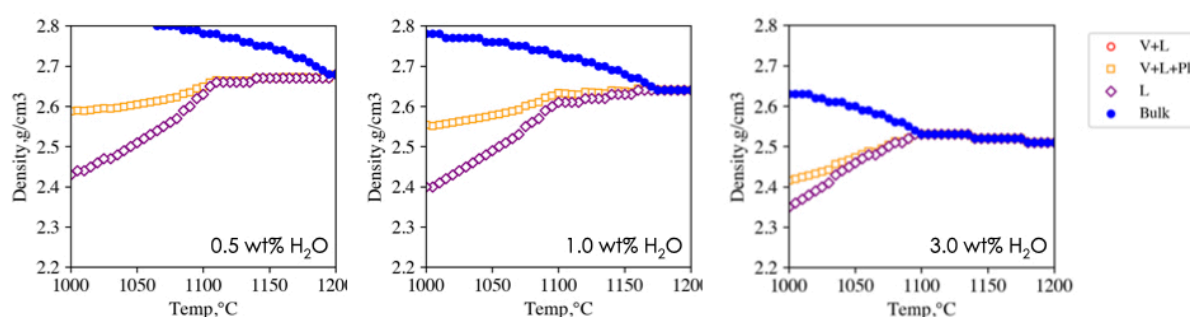


図 20 深部マグマ溜まりでの温度低下による結晶分化に伴う密度変化。

iv) 珪長質マグマ溜まりの検討 (静岡大学)

前年度に引き続き、宝永噴火の斑レイ岩捕獲岩の研究をおこなった。斑レイ岩には、ガラスを粒間に含むマッシュ状のものが存在し、この粒間ガラス、メルト包有物、構成鉱物の化学組成分析をおこない、斑レイ岩の存在する深度や形成過程について検討した。この内容は、日本火山学会 2021 秋季大会で発表した。

d) 伊豆大島 (静岡大学)

i) 伊豆大島 1986 年 B マグマの H_2O 飽和斜長石リキダスの実験的制約

伊豆大島 1986 年噴火では、新しい火口列 (B・C 火口列) が開口し、主に SiO_2 ~ 54.5wt%の玄武岩質安山岩マグマ (以後、B マグマとよぶ) を噴出した。特に、B 火口列では高度 16000m まで 噴煙柱を上げるサブプリニー式噴火が発生し、全体の 65vol% を占めるマグマを噴出した (e. g., 遠藤・他, 1988)²¹⁾。B マグマは、同火山の過去の噴出物の大部分を占める玄武岩とはやや化学組成が異なるため、主要なマグマ供給系とは分離した浅部マグマだまりに由来すると考えられてきた (e. g., 藤井・他, 1988)²²⁾。しかし、B マグマを供給したマグマだまりの深さや噴火準備過程の詳細については未だ理解不十分である。B マグマはほぼ無斑晶質であるが、わずかに含まれる斜長石斑

晶中のメルト包有物はBマグマと似た化学組成を示すことから、斜長石に飽和していたと考えられる。また、伊豆大島では、深さ10kmより浅部においてマグマはH₂Oに飽和していたと考えられる(Hamada *et al.*, 2011)²³⁾。このため、Bマグマのプレ噴火P-T条件は、H₂O飽和斜長石リキダス(以下、HSPLと略す)上にあると考えられる。そこで、1気圧～196MPaの圧力範囲でH₂O飽和条件下でのBマグマの溶融・結晶化実験を行い、BマグマのHSPLを検討した。

本研究では、1986年B噴火の玄武岩質安山岩溶岩の粉末を、実験の初期物質とした。1気圧および高压での実験はいずれも、産総研地質調査総合センターの装置を用いて実施した。1気圧の実験はCO₂-H₂ガスでfO₂を制御可能な縦型環状電気炉を用いて実施し、島弧マグマに一般的なNi-NiOバッファのfO₂条件の下、実験温度で試料を3時間加熱した後、Cu板上に落下させて急冷した。一方で高压の実験は内熱式ガス圧装置(KOBELCO Dr. HIP HARM-200)を実施し、49MPa・98MPa・196MPaの圧力でそれぞれ、H₂O飽和条件の下で試料を3時間加熱した後、急冷した。この際、試料カプセルにはAg₅₀Pd₅₀を用いた。高压での実験においては、fO₂条件は制御していない。回収した実験試料から研磨薄片を作製し、東大地震研のFE-EPMA(JEOL JXA-8530F Plus)を用いて観察を行うとともに、EPMA(JEOL 8800R)を用いてガラスの化学組成を分析した。

1気圧では斜長石が初相鉱物であり、1165℃では晶出を確認できたが、1180℃の試料には含まれなかった。一方で高压実験では磁鉄鉱が初相として晶出した。斜長石は、49MPaでは1130-1100℃、98MPaでは1080-1065℃、196MPaでは1050-1010℃の温度範囲でそれぞれ晶出した。ケイ酸塩メルトの斜長石リキダスは、メルト組成・含水量・圧力の関数として定式化されている(斜長石リキダス温度計; Putirka (2008)²⁴⁾)。メルトがH₂Oに飽和している場合、メルトの含水量は主に圧力によって決まるため、適当なH₂O溶解度モデル(例えばVolatileCalc; Newmann and Lowerstern (2002)²⁵⁾)と斜長石リキダス温度計を組み合わせることで、H₂O飽和斜長石リキダスを計算できる(この方法で計算したHSPLをT_{LP}と表記する)。一方、熱力学相平衡計算プログラムrhyolite-MELTS(Gualda *et al.*, 2012)¹⁾を用いても、HSPLを計算できる(この方法で計算したHSPLをT_{LM}と表記する)。今回の実験結果をT_{LP}、T_{LM}と比較すると、1気圧ではどちらの計算値も実験結果と整合的であったが、高压ではT_{LP}が実験結果と整合的であったのに対し、T_{LM}は実験結果よりも低い温度を示すことがわかった(図21)。高压実験ではfO₂が制御できていないため、斜長石より先に磁鉄鉱が晶出してしまい、メルトの化学組成が初期物質の組成から逸脱する。そこで、fO₂の変化と磁鉄鉱の早期晶出がH₂O飽和斜長石リキダスの見積もりに及ぼす影響を検討するために、斜長石を含む実験試料中のガラス組成を用いてT_{LP}を計算した。その結果、計算されたT_{LP}は実験温度とよく一致した。したがって、T_{LP}はfO₂によらず、Bマグマに近い組成のメルトのHSPLをうまく計算できると考えられる。そこでT_{LP}曲線を用いて、藤井・他(1988)²²⁾で見積もられたプレ噴火温度～1100℃を仮定したときのBマグマのプレ噴火深度を見積もったところ、およそ2kmの値を得た。この深さは、従来考えられてきたマグマだまり深度～3-5kmよりやや浅く、伊豆大島をNW-SE方向に貫く浅部ダイク領域底部の深さと概ね一致する。ただし、この見積もりは温度の仮定に強く依存するた

め、今後、B マグマのプレ噴火温度の精密な再検討が必要と考えられる。以上の内容は既に論文にまとめて投稿し、現在査読中である (Oida *et al.*, JDR under review)²⁶⁾。

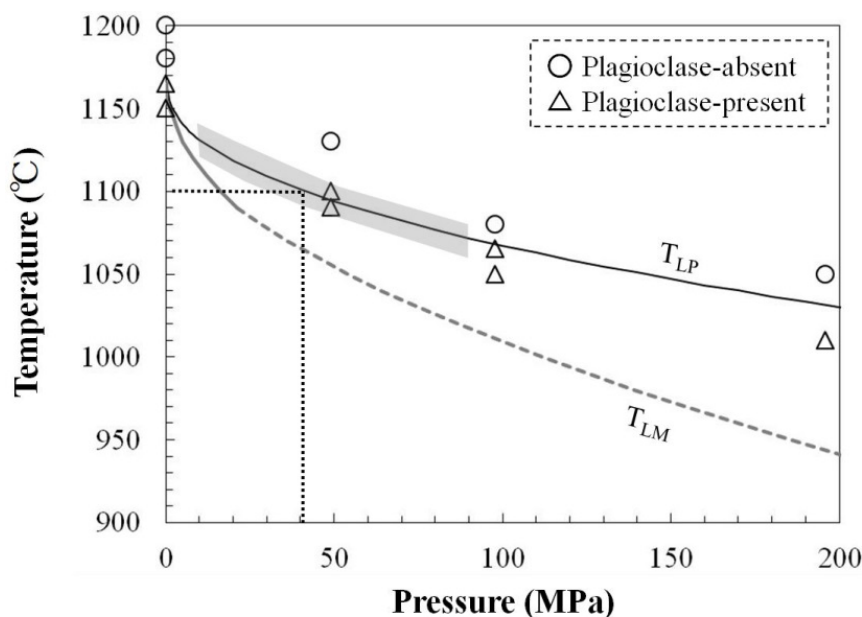


図 2 1 1 気圧および高圧における B マグマの溶融・結晶化実験の結果と、既存のモデルとの比較 (Oida *et al.*, JDR 査読中)²⁶⁾: ○は斜長石を含まない Run、△は斜長石を含む Run、 T_{LP} および T_{LM} は、Putirka (2008)²⁴⁾ の斜長石リキダス温度計および rhyolite-MELTS (Gualda *et al.*, 2012)¹⁾ でそれぞれ計算した HSPL 曲線。 T_{LM} の破線は、斜長石が初相でないことを示す。グレーで塗った領域は、B マグマのプレ噴火温度圧力条件の見積もり範囲を示す。

ii) 伊豆大島 1986 年 B 噴火の深成岩捕獲岩の岩石学的特徴

伊豆大島 1986 年 B 噴火の噴出物中には稀に、粒間ガラスを含む深成岩を捕獲岩として含む。このような捕獲岩はマグマだまりを構成するクリスタルマッシュの欠片と考えられ、マグマだまりの状態やプレ噴火過程を検討するための情報源として重要である。そこで本研究では、B マグマの由来するマグマだまりについて情報を得ることを目的とし、粒間ガラスを含む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おこなった (吉田, 2022)²⁷⁾。

本研究では B 噴火の噴出物中より採取された 12 個の深成岩捕獲岩を研究試料とした。これらはいずれも鉱物粒間にガラスを含む。これらの捕獲岩は、鉱物の組み合わせと組織的特徴に基づき、FeTi 酸化物を含まない Gr-A、FeTi 酸化物を含み、鉱物が粗粒で清澄な Gr-B、FeTi 酸化物を含み、鉱物が細粒で、輝石が粒間ガラスとの間に反応縁を形成している Gr-C の 3 グループに分類できる。オリビン は Gr-A のみに含まれる。粒間メルトの量は Gr-A から C にかけて減少する。そして、Gr-C の捕獲岩の中から、石英を含むものを発見した。伊豆大島の火山噴出物からの石英の報告は、B 噴火のデイサイト質噴出物 (藤井・他, 1988)²²⁾ 以来 2 例目である。そこで、この石英を含む捕獲岩 (OSNXe-3B) について詳細に分析した。

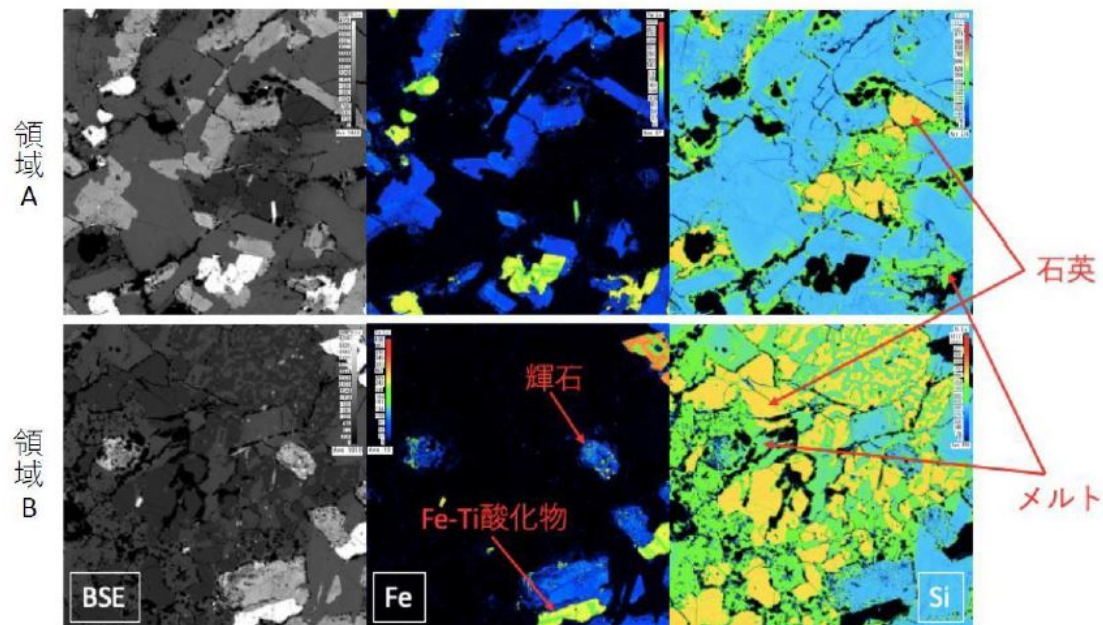


図 2 2 OSNXe-3B の領域 A および B の BSE 像と Fe・Si 濃度マップ (吉田, 2022)²⁷⁾。

OSNXe-3B は、輝石と磁鉄鉱に富む斑縞岩質マッシュ部分（領域 A）と、輝石・FeTi 酸化物をほとんど含まず、斜長石と石英に富むトーナライト質マッシュ部分（領域 B）から構成される。B 領域は A 領域中にパッチ状に分散している。粒間ガラスは両領域で見られ、さらに A 領域中の粒間ガラス中にも石英が晶出している（図 2 2）。斜長石の $An\# = [100Ca/(Ca+Na)]$ は領域 A では >60 、領域 B では <50 の異なる範囲を示し、両領域の境界で急速に $An\#$ が変化する。また、領域 A 中でも粒間ガラスと接する斜長石では、その境界付近で急激に $An\#$ が低下する。輝石と FeTi 酸化物には離溶構造が著しく発達しており、晶出後に比較的緩慢な冷却を経験したと考えられる。粒間ガラスはデイサイト～流紋岩質で不均質であり、領域 A と B の間で組成範囲に大差ない。粒間ガラスの化学組成範囲は、1986B 噴火で噴出したマグマの組成バリエーションの延長上にあり、藤井・他（1988）²²⁾ で報告されたデイサイトの組成は粒間ガラスの組成範囲に含まれる。以上より OSNXe-3B は、苦鉄鉄質マグマから沈積してできた斑レイ岩質マッシュに珪長質マグマが流入し、その後に冷却・石英が晶出してできたと考えられる。粒間ガラスと B 噴火噴出物の化学組成の類似性および石英を含むという共通点から、この深成岩捕獲岩は B マグマの給源に関するクリスタルマッシュに由来すると考えられる。以上の内容は JpGU2022 で発表予定である。今後、OSNXe-3B を含む一連の深成岩捕獲岩試料について鉱物・ガラスの化学分析を進め、B マグマのマグマだまりの状態・プレ噴火過程に関する情報を検討していく予定である。

e) 伊豆東部火山群：伊豆東部火山群の斜長石斑晶が指し示す隠れた珪長質マグマ（静岡大学）

伊豆東部火山群はおよそ 15 万年前から活動を継続する単成火山群である。この火山群では、約 3150 年前のカワゴ平噴火以前にデイサイト～流紋岩質のマグマを噴出したことがなかった。しかし、Hatada *et al.* (2020)²⁸⁾ は約 4000 年前に発生した大室

山噴火の噴出物を分析したところ、流紋岩質メルト包有物およびこれと平衡共存できる化学組成の斜長石斑晶が多く含まれることを発見した。この結果から Hatada *et al.* (2020)²⁸⁾ は、カワゴ平噴火より 800 年以上前に大室山の地下に流紋岩質メルトを含むマグマだまりが存在していたと議論した。ところで大室山周辺では、比較的狭い領域内におよそ 10 万年前から 2700 年前までに噴火した単成火山が複数存在する。これらの火山の噴出物中に含まれる斜長石斑晶およびそれらに含まれるメルト包有物の化学組成を検討することで、伊豆東部火山群地下のマグマ供給系の発達過程およびその状態について情報が得られると期待できる。そこで本研究では、大室山周辺に位置する伊雄山、小室山、赤窪、茶野、門野の各単成火山の噴出物について、珪長質マグマと共存できる斜長石が含まれるかを検討した(野澤, 2022)²⁹⁾。BSE 像観察は東大地震研の FE-EPMA (JEOL JXA-8530F Plus)、化学分析は EPMA (JEOL 8800R) を用いてそれぞれおこなった。また、EPMA で分析した斜長石の An# と BSE 像の明度の関係を定量定式化し、BSE 像の明度から斜長石斑晶の An# を定量した。

An# についてキャリブレーションした BSE 像の解析の結果、伊雄山、小室山、赤窪、茶野、門野のすべての噴出物中で、An# が 30-50 の低い値を示す部分を含む斜長石斑晶が見つかった。これらの低 An# の斜長石は、大室山で報告された流紋岩質メルトと共存する斜長石と An#、Fe、K 含有量の範囲が一致する。さらに伊雄山の溶岩では、斜長石中に流紋岩質のメルト包有物が多数発見された。ただし、全斜長石斑晶に占める低 An# 領域を含む斜長石の割合は火山ごとに大きく変動し、この割合は溶岩の全岩 SiO₂ 含有量や噴火年代とは相関を示さなかった。以上の結果より、伊豆東部火山群の大室山周辺の地下では、10 万年以上前から流紋岩質メルトを含むマグマだまり（おそらくはクリスタルマッシュ）が存在し、より深部から供給される苦鉄質マグマに様々な割合で取り込まれて噴火していたと考えられる。しかし、その取り込まれる割合を決めるメカニズムや、流紋岩質メルトの起源については今後に検討する予定である。

f) 雲仙（東京大学）

1663 年と 1792 年噴火の噴出物の分析をおこない、マグマ供給系やプレ噴火過程について、平成噴火との違いを検討した。いずれの噴火でも低温マグマに高温マグマが作用して噴火が発生しているが、低温マグマの噴火前の状態や高温マグマとの混合比の違いが噴火様式の違いを生じた可能性が明らかになってきており、今後さらに検討を進める予定である。

g) 阿蘇（熊本大学）

i) 阿蘇火山、先カルデラ期噴出物の層序と年代の検討およびマグマ噴出率の試算

阿蘇火山のカルデラ噴火の可能性評価のために先カルデラ期の火山活動を調査し、カルデラ期、後カルデラ期と呼ばれる現在の活動との比較をおこなった。本年度は先カルデラ期～カルデラ期の移行時期に着目して、カルデラ西部の立野地区の層序と年代の検討をおこなった（図 2 3）。

得られた層厚、分布範囲、出版されているデータを元に試行的にマグマ噴出率を求めた。豊肥火山地域では 5~4 Ma で 3 km³/ky のマグマ噴出率が、1~0 Ma に 0.2 km³/ky

にまで減少し、溶岩流主体の活動からカルデラ噴火に移行したことが求められているが(高橋, 1995)³⁰⁾、阿蘇では先カルデラ期は $1 \text{ km}^3/\text{ky}$ 、カルデラ期は $3 \text{ km}^3/\text{ky}$ と逆の結果が得られた。カルデラ噴火の要因を探る上で重要な制限事項になると思われる。

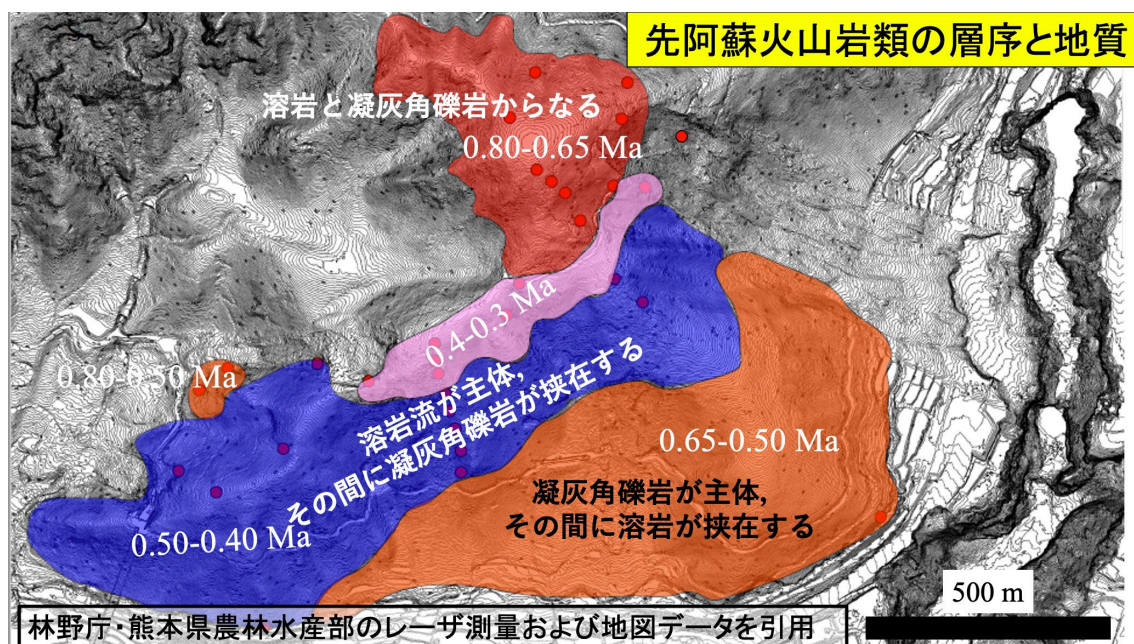


図 2 3 阿蘇カルデラ西部、立野地区の先阿蘇火山岩類の層序、地質と年代 (十川・他, 2019³¹⁾を改変)。

ii) 後カルデラ期完新世玄武岩の斑晶鉱物の組成累帯パターンおよび元素拡散プロファイルの解析

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に、斑晶鉱物の組成累帯パターンおよび元素拡散プロファイルの解析をおこなった。両噴出物の斑晶には逆累帯したものも多く含まれ、少なくとも2種類のマグマが混合し噴火に至ったことが明らかにされている (Kawaguchi *et al.*, 2021)³²⁾。本年度は単斜輝石斑晶に注目して元素拡散プロファイルの解析を行ない、マグマ混合の発生時期について検討をおこなった (図 2 4)。単斜輝石は阿蘇火山の玄武岩質マグマから流紋岩質マグマまで普遍的にみられる鉱物であること (三好・他, 2005)³³⁾、また数ヶ月以下から数千年オーダーの拡散時間を見積もることができる鉱物であること (e.g., Allan *et al.*, 2013; Singer *et al.*, 2016)^{34), 35)}から、中長期的な高温マグマの供給頻度を検討する上で最適である。

拡散時間の見積りは輝石斑晶内の Fe-Mg 相互拡散に基づき Petrone *et al.* (2016)³⁶⁾の Non-isothermal diffusion incremental step (NIDIS) モデルを用いておこなった。元素拡散プロファイルの解析には、空間分解能を上げるため高解像度の反射電子像を用いた。解析は結晶軸が明らかな短軸方向のみに限定し、連続した組成境界をもつ組成バンドのみを対象とした。拡散係数は低 Mg#部分と高 Mg#部分それぞれについて計算し、それぞれ $1025 \sim 1027$ (± 13) $^{\circ}\text{C}$ と $1027 \sim 1033$ (± 23) $^{\circ}\text{C}$ の平衡温度を用いた (Kawaguchi *et al.*, 2021)³²⁾。解析にあたっては、組成変化が元素拡散によるものかど

うか確認するために、予め拡散の遅い元素(e.g., Al, Ca; Cherniak and Dimanov, 2010)³⁷⁾を用いてプロファイルの初期条件をチェックした。

本年度は任意に選択した単斜輝石 23 個の組成境界 27 個を分析し、0.1 年～105 年の拡散時間データを得ることができた(図 2 5)。それぞれのケースにおいて、約 20 年以上の拡散時間を示すデータは全体のわずか 13-18%だが、得られた時間幅の約 80%に相当する。得られた拡散時間のカーネル密度推定では、両試料ともにデータ密度が約 20 年前付近で減少し始める。このことは、長い拡散時間のデータが少ない理由が単にサンプリングのバイアスでなく、岩石学的に有意な違いであることを意味している。拡散時間累積度数の増加率は約 15-20 年前を境に急増し、この時期から高温マグマの供給量が増加したことが示唆される。

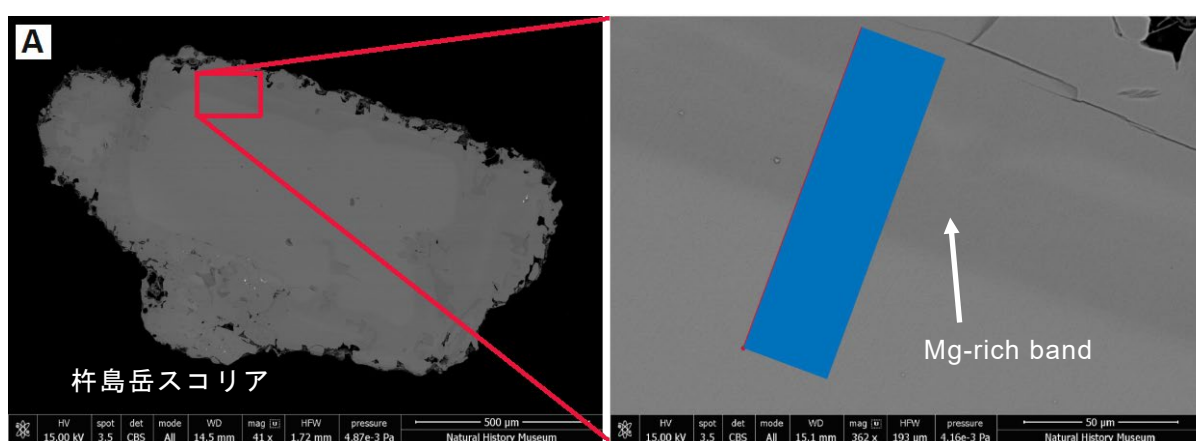


図 2 4 杵島岳スコリアに含まれる単斜輝石斑晶の反射電子像：本研究では、右図に青のバンドで示した部分を対象に拡散プロファイルの解析をおこなった。

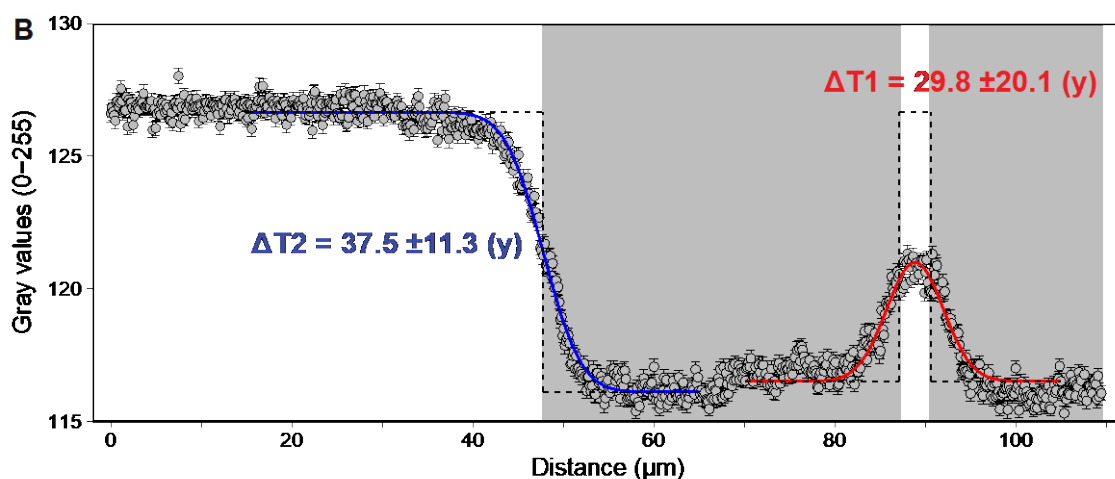


図 2 5 元素拡散プロファイルの解析例：灰色の丸は実際に読み取った輝度で、輝石の Mg# に対応する。高 Mg # の部分を灰色の領域で示した。赤色と青色の実線はそれぞれの組成境界における拡散プロファイルのフィッティングカーブ。波線は組成境界における初期の状態を示す。拡散時間の誤差は計算に用いた温度の誤差を含む。

iii) 阿蘇カルデラ東部に分布する Aso-4 火砕流堆積物中の石質岩片の岩石学的特徴と起源

大分県竹田市野鹿・次倉に分布する Aso-4 火砕流堆積物の非溶結部 (Aso-4A, 星住・他, 2022)³⁸⁾ から火山岩の石質岩片を 58 試料採取し、偏光顕微鏡観察および蛍光 X 線分析装置を用いた全岩化学組成分析をおこなった。

石質岩片は、 SiO_2 含有量と斑晶モード組成に基づいて以下の 9 タイプに分類される。(A):かんらん石単斜輝石玄武岩、(B):かんらん石単斜輝石安山岩、(C):かんらん石両輝石安山岩、(D):両輝石安山岩、(E):普通角閃石安山岩、(F):普通角閃石両輝石安山岩、(G):両輝石デイサイト、(H):両輝石普通角閃石流紋岩、(I):普通角閃石流紋岩 (図 2 6)。

SiO_2 vs. K_2O 図 (図 2 7) の分化トレンドと斑晶モード組成を用いた考察により、石質岩片試料のうち、A、C、D、F の 4 タイプは先阿蘇火山岩類の岩石タイプ (三好・他, 2009)³⁹⁾ と一部対比可能であった。対比された先阿蘇火山岩類の岩石タイプはカルデラ壁全域に点在しており、特にカルデラ壁の南西部に比較的多くみられる。このことから Aso-4A 火砕流は、カルデラ壁の南西部を中心に、カルデラ壁全体の先阿蘇火山岩類を石質岩片として取り込んだと考えられる。また、D、G の 2 タイプの岩質は、カルデラ形成期以降の溶岩類 (三好・他, 2005)³⁹⁾ と一部対比可能であった。さらに図 2 7 上では、石質岩片の約半数がカルデラ形成期以降の噴出物 (Hunter, 1998; 三好・他, 2005)^{40), 33)} の分化トレンド上にプロットされる。これらの石質岩片は、Aso-3、4 間にカルデラ内に存在した溶岩類に由来するのかもしれない。

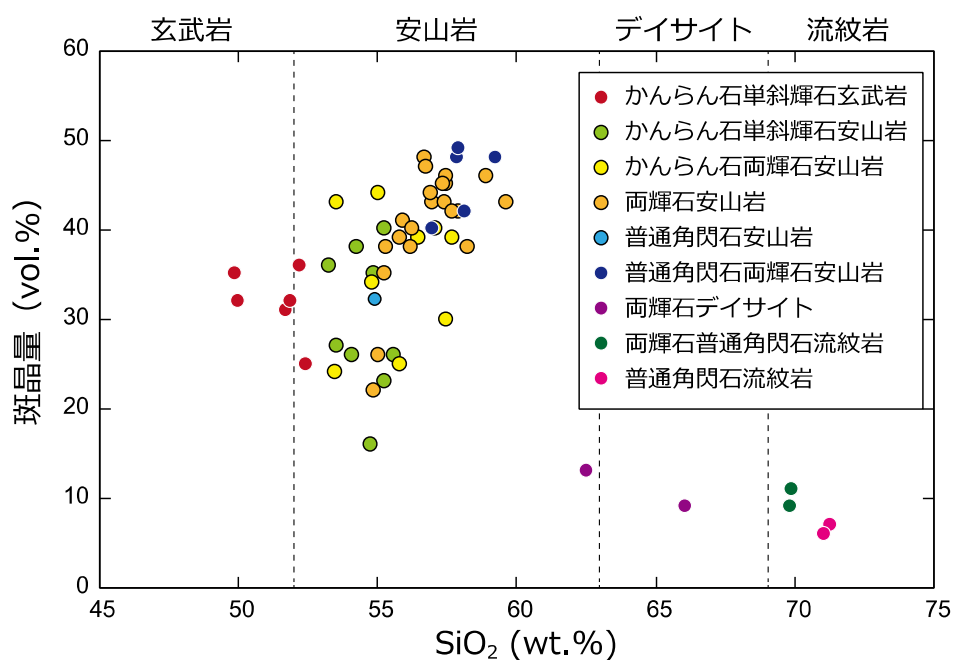


図 2 6 Aso-4 火砕流堆積物中の石質岩片の SiO_2 含有量 (wt.%) vs. 斑晶量 (vol.%) 図。

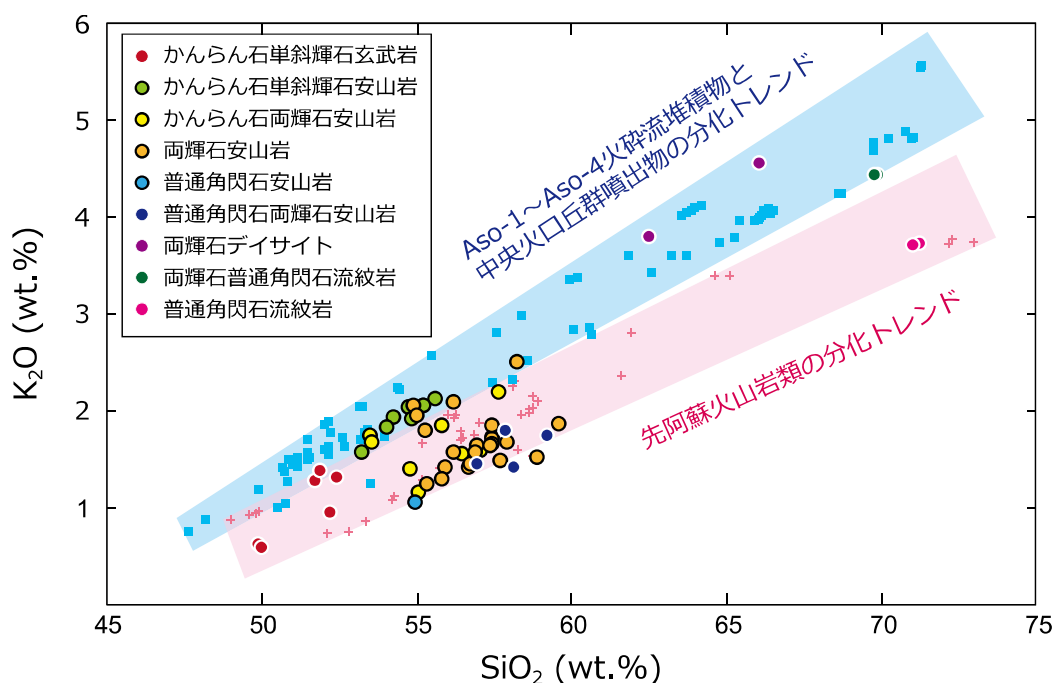


図 2 7 Aso-4 火砕流堆積物中の石質岩片の SiO_2 vs. K_2O 含有量 (wt.%) 図。

h) 霧島（東京大学、早稲田大学、常葉大学、静岡大学）

霧島火山系のいくつかの火山について採取した試料の分析を継続するとともに、これまでの研究で得られたデータの整理をおこなっている。噴出物の全岩組成の変動からは、霧島火山系では、浅部には個々の火山に対応して分離している浅部マグマ溜まりがある一方で、地下深部ではそれらは連結して一つのマグマ溜まりが形成されていると思われる。こうした複合的なマグマ供給系は国内の他の火山にも存在することが予想されるため、連結したマグマ供給系の挙動を理解するために霧島火山系をモデルケースとして引き続き解析をすすめてく。

i) 桜島

i) 噴火直前のマグマ挙動の研究（東北大学）

前年度に引き続き、ブルカノ式噴火噴出物の斑晶メルト包有物分析に基づきマグマ定置深度や火道上昇過程といった噴火直前のマグマ挙動の研究を継続した。課題 C-2 との連携で実施している浅間火山との比較においては、浅間天明噴火の噴出物の石基ガラス、斜長石マイクロライト、斜長石斑晶の分析をおこなった。噴火中に火道内部でマグマ混合がおきており、それがマイクロライトの結晶化に影響を与え、爆発的な噴火がおこりやすくなった可能性を指摘した。この内容は、日本火山学会 2021 秋季大会で発表した。

ii) 火山灰モニタリング手法の開発（常葉大学）

前年度に引き続き、火山灰試料の連続採取を継続するとともに、測色データ解析をおこなった。霧島新燃岳の試料も併せ、分級試料の測色時系列データの導出も継続し

ておこなった。分析・解析プラットフォームの画像解析システムを用いた粒子分類については、粒径サイズ、形状、輝度分布など、分類基準について検討を継続した。

j) 諏訪之瀬島（常葉大学）

諏訪之瀬島火山におけるマグマ供給系と噴火・休止様式の変遷のメカニズムを理解するため、前年に引き続き、3 万年前以降の大規模・中規模噴火による噴出物の斑晶鉱物組成、石基ガラス組成の測定をおこなった（データ蓄積）。また今年度は、これまでに高時間分解で採取・分析した 1813 年噴火およびその直前の連続火山灰試料と同様の分析を 2020 年末以降の活動活発化後の試料について進めた。噴火活動に際しては、昨年度末、京都大学防災研等と連携して現地緊急調査による火山弾・火山灰試料の採取をおこなったが、今年度も島民の協力を得て降灰試料を継続的に採取した。それらの試料について分析を進めた結果、石基ガラス組成は活発化に伴って短期的にやや未分化になる傾向はあるものの、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認められなかった（図 2 8）。また、輝石・斜長石組成についても、1813 年噴火時あるいは直前と比較して、顕著な逆累帯構造を示す斑晶が少なく、バイモーダル性の強い組成頻度も示さないことが明らかになった（図 2 9）。

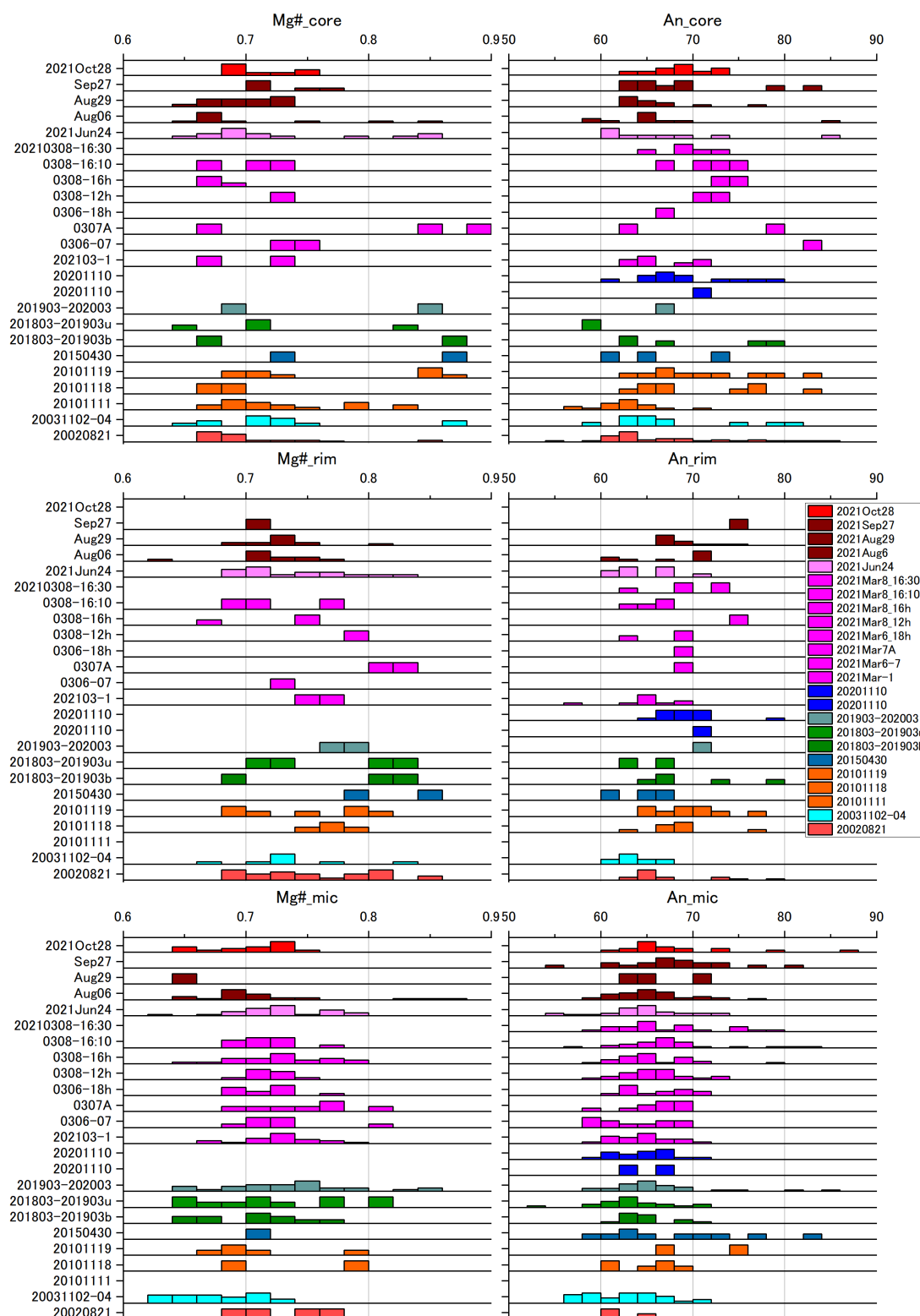


図 2-9 諏訪之瀬島火山の輝石組成および斜長石組成の時間・時代変化：2020 年末以降および 2000 年以降の噴出物試料（連続試料ではない点留意）の輝石組成（Mg#：左）および斜長石組成（An：右）の変化（上：コア，中：リム，下：石基）を示す。両鉱物とも全体としてバイモーダルな傾向を示すが、系統的かつ顕著な時間変化は認められない。1813 年噴火では、噴火進行に従ってマフィックマグマの珪長質側マグマへの注入が進むと同時に、後半に向かって混合・均質化が進んだことが推察された。

k) 西之島（東京大学）

噴火対応として課題 C-2 と連携して引き続き 2020 年噴火試料の分析をおこない、EPMA による鉱物や石基ガラスの分析データを追加した。2020 年 12 月の噴火において新たなマグマの関与があったことが、追加分析によってより明確になった。

l) 解析手法の検討：MELTS の活用方法の改良と応用（産業総合研究所）

本研究では、噴火事象分岐判断手法の開発に向け、噴火前のマグマの温度・圧力・含水量を明らかにするための手法開発としてマグマの熱力学計算ソフトウェア（Rhyolite-MELTS; Gualda *et al.*, 2012）¹⁾の活用方法の改良と、天然事象への応用を、継続している。2018 年度は、rhyolite-MELTS v. 1.2.0 のソースコードに手を加えることにより、x-window 版の MELTS のボトルネックが回避され、高性能な PC マルチコア CPU を駆使した効率的な計算が可能となった。2019 年度はこの技術を御岳山の噴出物に応用し、多数の犠牲者をだした 2014 年噴火の熱源が、地球物理観測によって捉えられていた 7 年前に貫入したマグマである可能性を示し (Miyagi *et al.*, 2020)⁴²⁾、非常に難しいとされる水蒸気噴火の噴火事象分岐判断において、中長期的な地球物理観測が道を開く可能性があると論じた。2020 年度は上記の計算技術を阿蘇の火山噴出物に応用し、大規模カルデラ噴火をひきおこす大量の珪長質マグマの原料とその生成プロセスに関して、世界でも例をみないモデルを提案するに至った。2021 年度はこれらの成果のとりまとめをおこない、現在投稿中である、(Miyagi *et al.*, under revision; Journal of Petrology)。

2021 年度は MELTS が吐き出す膨大な量の計算結果をデータベースソフトウェア (sqlite3) に取り込むことにより、更なる効率化を図った。さらに天然への応用として、大規模な噴火における噴火事象の分岐判断に必要な知見である「噴火前のマグマ溜まりの密度(マグマの比体積)の含水量・圧力依存性」が、マグマが地殻内をストーピングによって上昇する間にどのように変化するかを、MELTS を用いて調べた。その結果、マグマの密度(結晶+メルト+気泡)は、圧力と全岩含水量によって大きく変化することが明らかになった(図 3 0)。すなわち、無水マグマの密度は比較的高く圧力変化は顕著でないのに対し、含水マグマでは、含水量が高いものほど密度が低く、かつ、ある値よりも低圧力側においては、圧力の低下とともに密度が顕著に低下することがわかった。このことは、地殻(岩盤)とマグマの密度差によってひきおこされるストーピングが起きるか否かが、マグマの含水量によって左右されることと、その程度は特に地殻浅部で顕著であることを示している。また、計算されたマグマの比体積は、マグマがストーピングによって地殻内を上昇すると増大することが示された。例えば、300MPa を基準としたマグマの比体積は(図 3 1)、含水量 5 重量%、圧力 200~300MPa のマグマがストーピング等によってマグマが地殻内を上昇し、マグマにかかる静岩圧が 100MPa になると、マグマの体積は 300MPa の時の約 1.2 倍になる。このことは、巨大なマグマ溜まりが噴火前にストーピングで上昇すると、マグマ溜まりの体積が膨張して顕著な地殻変動(隆起)をひきおこすか、あるいは、膨張した分が、大規模噴火に先行する比較的小規模な噴火として噴出することを示唆する。具体的には、含水量 5 重量%、500 立方 km のマグマがストーピングで地下 8~12km(200~300MPa)から地下 4km(100MPa)に

上昇すると、マグマの体積は膨張して 600 立方 km になる。もし差分の 100 立方 km を地殻の変形で解消しない場合には、83 立方 km のマグマが噴火する(膨張前の体積に換算)(図 3 2 ; 始良カルデラの条件での計算例)。一方、マグマが含水量 2% の場合には、100MPa まで減圧した時点におけるマグマの膨張は僅かである(図 3 0)(図 3 3 ; 肘折カルデラの条件での計算例)。まとめると、ストーピングに伴うマグマの体積膨張は、含水量によって大きく異なる。今年度得られた成果は、(1)大規模カルデラ噴火前の地殻変動の予測や、(2)大規模噴火に先行する中小規模噴火の意味、(3)カルデラを伴う噴火と伴わない噴火の違い、を理解するうえで、マグマの含水量とストーピングの様式が重要であることを意味する。

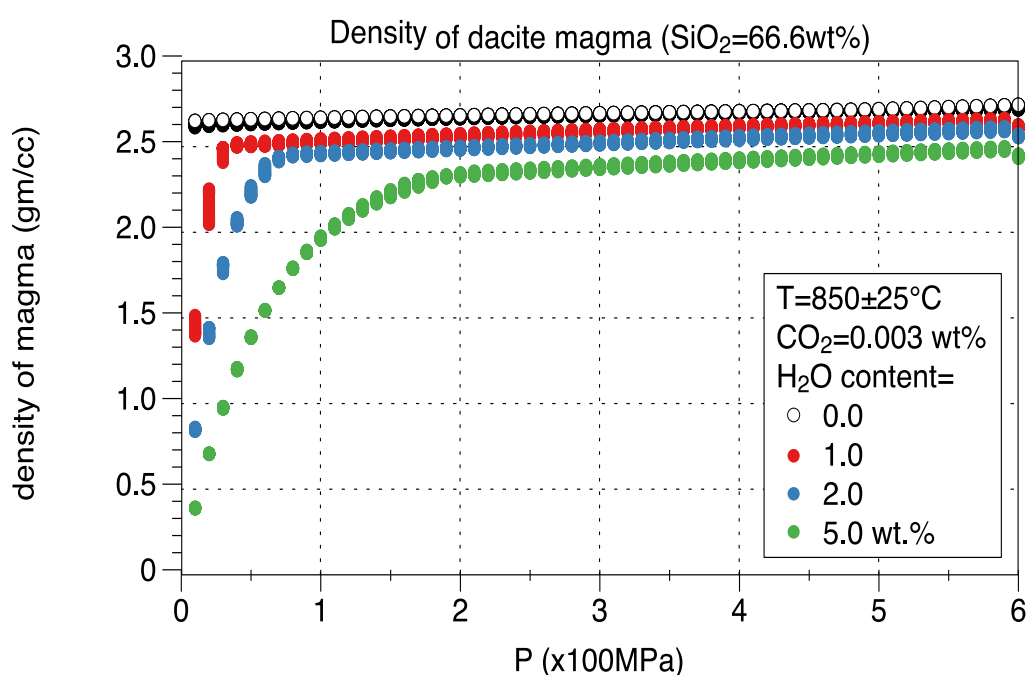


図 3 0 マグマの密度: デイサイトの例。圧力 0~6kbar、含水量 0~5 重量%、温度 850±25°C。Rhyolite-MELTS で計算。

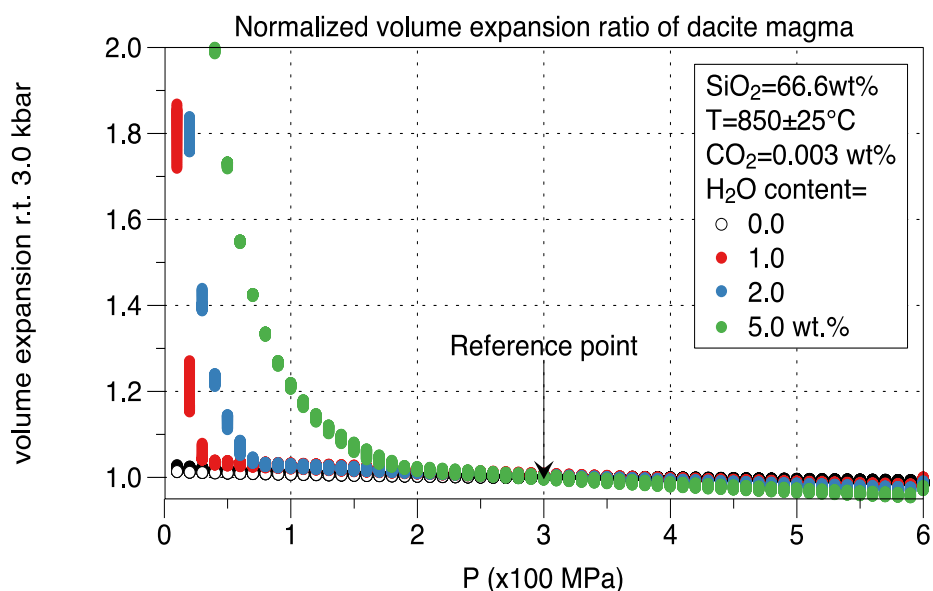


図 3 1 マグマの比体積： デイサイトの例。圧力 3kbar における体積を基準とした。Rhyolite-MELTS で計算。

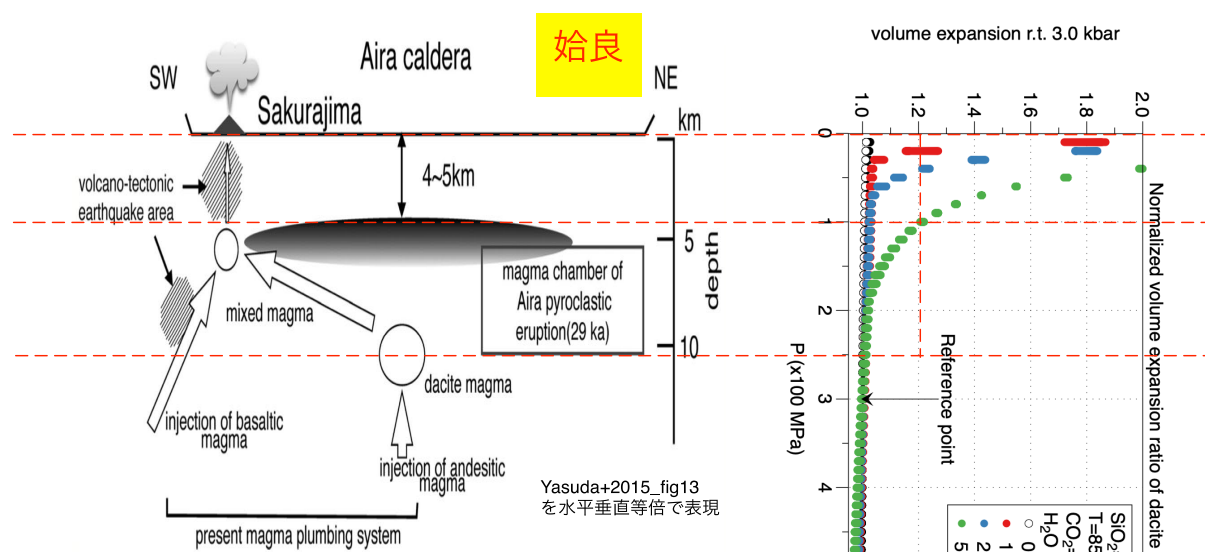


図 3 2 始良カルデラのマグマ溜まりがストーピングした場合の計算結果： 含水量 5%のマグマが 2〜3kbar から 1kbar に減圧すると、体積が約 2 割増加する。地殻が変形しない場合には、地殻には 1〜2kbar の過剰圧がかかる。地殻が過剰圧に耐えない場合には、2 割分のマグマが噴火しうる。大隅降下軽石 98 立方キロ (Kobayashi *et al.*, 1983)⁴³⁾は、AT+ 入戸火砕流≒1000 立方キロ (Takarada *et al.*, 2022)⁴⁴⁾の 9.8%に相当する。

富士山のように深部に存在するマグマ溜まりは水に飽和する可能性は低いため、噴火のトリガーはより深部からのマグマの注入による過剰圧の獲得と思われる。一方、浅部マグマ溜まりでは、状況次第で水に飽和するため、噴火のトリガーとしては2つの可能性（分化による浮力の獲得とマグマ注入による過剰圧獲得）を考慮して予測手法を考える必要がある。

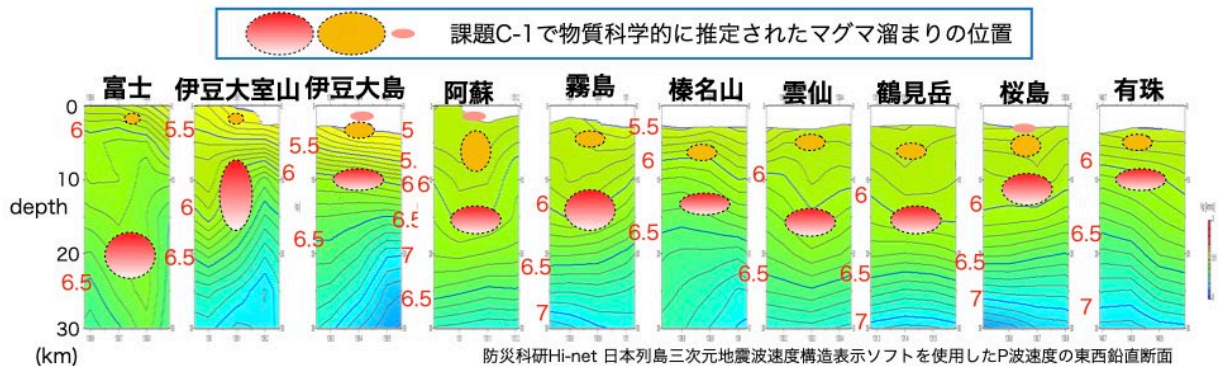


図 3 4 マグマ溜まりの深度と P 波鉛直構造との比較。

情報を整理するために、単純化したマグマ供給系モデルを作成し、噴火予測のために重要な事項を列記した（図 3 5）。第 1 のポイントとして、マグマ溜まり（深部、浅部）の形成深度は基本的には浮力中立に支配され、マグマの組成と周辺物質（地殻）の密度で決まる。地殻密度構造は、地震波速度から推定可能であるとともに、精密な重力測定を実施すれば浅部の密度構造をより詳細に決めることは可能である (e. g., Linde *et al.*, 2014)⁴⁸⁾。第 2 のポイントとして、噴火の発生については、深部マグマ溜まりでは揮発性成分の発泡が起きないため自力噴火のための十分な浮力を得られず、マグマ上昇はより深部からのマグマ注入にトリガーされる。注入を受けたマグマ溜まりが噴火に至るかどうかは、マグマ中の揮発性成分量と温度、経路上部の状態、マグマの注入量で決まる。したがって、過去の噴出物の解析からマグマ中の揮発性成分量とマグマの温度を予想しておくとともに、地震観測から注入イベントの発生と注入量を推定できれば予測につなげられるかもしれない。第 3 のポイントとして、火山体の地下の浅部には、浅部マグマ溜まりが発達することが多いが、これは地殻物質の急激な空隙率の増加の影響である。この浅部マグマ溜まりはマッシュ状の形態をとることが多いが、その流動性や揮発性成分量は、過去の履歴によって大きく変わりうる。特に温度と組成が重要で、過去噴出物の分析と時間変化についての計算によってマグマ溜まりの現在の状態をあらかじめ推測しておくことが必要である。第 4 のポイントは、マグマが上昇中にどこで停滞したかという情報の重要性である。この停滞位置情報は、地震の震源移動や地殻変動から得られる可能性があるが、地殻密度の情報を介して噴火前にマグマの含水量と温度を推測することにつなげられるため、噴火分岐予測をおこなうためには不可欠である。

単純化したマグマ供給系の概念図

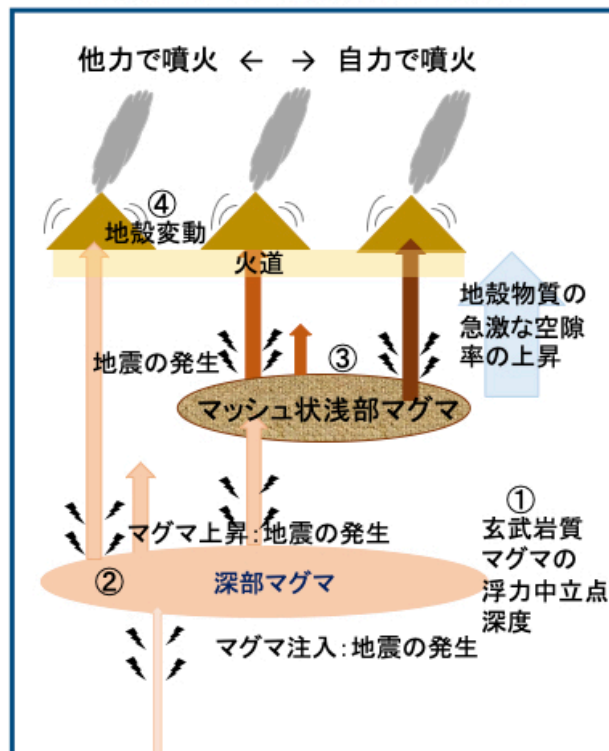


図 3 5 単純化したマグマ供給系の概念図。

さらに、マグマ供給系の端成分として、富士山のような深部マグマ溜まりを主体とする火山における噴火について、事象分岐の条件、発生事象、観測が期待される事象、それらがどのような物性の推定に利用可能か、を図 3 6 にまとめた。この図は、発生する可能性がある事象を定性的ではあるがあらかじめリストアップしており、噴火時には物理観測を適宜取り入れて予測を修正するという運用を念頭においている。ただし、浅部マグマ溜まりとの相互作用による影響、および、火道閉塞や山腹噴火など経路の環境による影響は現時点では考慮されておらず、今後の検討事項として残されている。

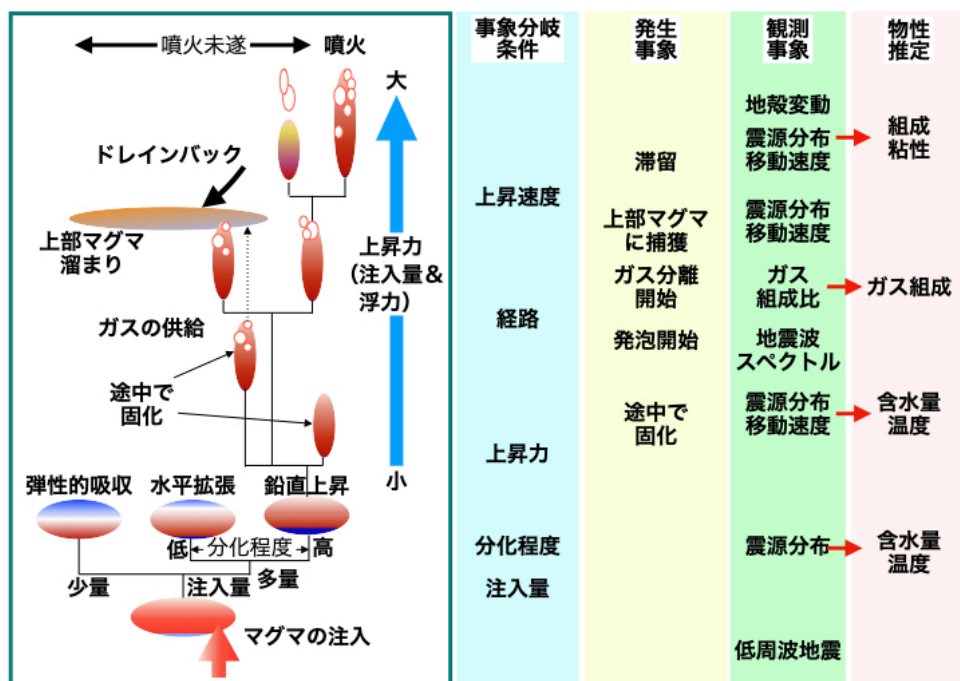


図 3 6 単純化した深部マグマ溜まりモデルによる噴火の推移と様式の予測の概念図。

深部マグマ溜まりへのマグマの注入イベントの発生と注入量は、深部低周波地震の観測によって捉えられる可能性がある。深部マグマ溜まりへのマグマの注入がゆっくりであり、量も少ければ、深部マグマ溜まりが粘弾的に影響を吸収してしまい、上部にはマグマは上昇しない。注入量が多かったり注入速度が速くて、深部マグマ溜まりの破壊がおきる場合には、あらかじめそこに存在しているマグマの状態によって発生する現象が異なることが予想される。マグマの密度が周囲の地殻の密度より十分に低くはない場合には、マグマ溜まりが水平方向に拡張するような破壊がおきることが予想され、こうした現象の発生は地震の震源を注意深く監視することで捉えられる可能性がある。このような現象が観測できれば、噴火前にマグマの分化程度を推定することができる。マグマの密度が周囲の地殻の密度よりも十分に低い場合には、マグマの注入による過剰圧の獲得をトリガーとしてマグマの上昇が開始するが、多くの場合には途中で固化してしまうことが予想される。注入量が大きく十分な過剰圧を獲得した場合や、結晶分化によってマグマ中の含水量が高まっていたため上昇の途中で発泡が始まってさらなる浮力を獲得できた場合にのみ、マグマは最終的な噴火に至ることができる。上昇開始時に過剰圧をどの程度獲得していたか、および、上昇するマグマ内の揮発性成分量については、震源の移動速度や地表での火山ガスの組成比の観測から推定できるかもしれない。深部マグマ溜まりと地表を結ぶ経路上には、浅部マグマ溜まりが存在する可能性がある。周囲の地殻物質の密度が急激に減少する深度ではマグマが溜まりやすい。こうした浅部マグマ溜まりの存否は地震波の反射や震源分布、地表での火山ガス組成から検出できる可能性がある。また過去の噴出物の解析から浅部マグマ溜まりで結晶分化がおきた痕跡を見つけることも可能である。もし浅部マグマ溜まりが存在すると、深部から上昇後に途中で固化したマグマから放出される揮発

性成分を吸収したり、噴火後に揮発性成分を失って密度が高くなって火道をドレインバックしたマグマの受け皿となりえる。したがって、マグマの供給率がある程度高い火山では、浅部マグマ溜まりは次第に成長していくことが予想される。このような浅部マグマ溜まりの時間変化も考慮した噴火予想を設計することが必要であろう。

(c) 結論

COVID-19 の影響で当初の計画とは作業方法や作業手順などに若干の変更はあったものの、令和 3 年度の目標はおおむね順調に達成できている。個別の火山や噴火については、新しい解析方法の導入やデータの蓄積によって、これまでにないような精度でマグマ供給系や噴火の描像が明らかにされてきている。一方、これまで個別の火山について得られていた知見を統合して、噴火の様式や推移の予測のための類型化や単純化も開始された。単独のマグマ溜まり（深部のみ、あるいは、浅部のみ）が主体の噴火については、噴火前や噴火にともなう事象、および、予測のための鍵がある程度は整理することができたものの、複数マグマの相互作用によって噴火の規模や様式を変化させる大部分の火山噴火については、その複雑性故に、いくつかの火山の噴火事例をもとにして着目すべき要素を見出している段階であり、今後もさらに各火山のデータを集めて検討を重ねていく必要がある。ただし、必要な作業の道筋は定まっており、今後の 4 年間の作業で噴火事象分岐予測手法は大きく前進することが期待できる。

(d) 引用文献

- 1) Gualda, G. A. R., Ghiorso, M. S., Lemons, R. V., and Carley, T. L. : Rhyolite- MELTS: a Modified Calibration of MELTS Optimized for Silica-rich, Fluid-bearing Magmatic Systems, *Jour. Petrol.*, 53(5), pp. 875-890, 2012.
- 2) Pedregosa *et al.*, Scikit-learn: Machine Learning in Python, *JMLR* 12, pp.2825-2830, <https://scikit-learn.org/stable/>, 2011.
- 3) Pauli Virtanen, Ralf Gommers, Travis E. Oliphant, Matt Haberland, Tyler Reddy, David Cournapeau, Evgeni Burovski, Pearu Peterson, Warren Weckesser, Jonathan Bright, Stéfan J. van der Walt, Matthew Brett, Joshua Wilson, K. Jarrod Millman, Nikolay Mayorov, Andrew R. J. Nelson, Eric Jones, Robert Kern, Eric Larson, CJ Carey, İlhan Polat, Yu Feng, Eric W. Moore, Jake VanderPlas, Denis Laxalde, Josef Perktold, Robert Cimrman, Ian Henriksen, E.A. Quintero, Charles R Harris, Anne M. Archibald, Antônio H. Ribeiro, Fabian Pedregosa, Paul van Mulbregt, and SciPy 1.0 Contributors: SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python, *Nature Methods*, 17(3), pp.261-272, <https://scipy.org>, 2020,
- 4) 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, 9p., 2007.
- 5) 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, 52(4/5), pp.215-229, 2001.

- 6) 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, 47, pp.663-673, 2002.
- 7) Suzuki, Y., Gardner, J.E. and Larsen, J.F.: Experimental constraints on syneruptive magma ascent related to the phreatomagmatic phase of the 2000AD eruption of Usu volcano, Japan. Bull. Volcanol., 69, pp. 423-444, <https://doi.org/10.1007/s00445-006-0084-3>, 2007.
- 8) Suzuki, Y., Toeda, Y., Kimura, S., Tanaka, R.: Temporal changes of magmas that caused lava-dome eruptions in Haruna volcano in past 45,000 years, Jour. Disaster Research, in review.
- 9) 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, Jour. Petrol., 48, pp. 1543-1567, 2007.
- 10) Putirka, K.: Amphibole thermometers and barometers for igneous systems and some implications for eruption mechanisms of felsic magmas at arc volcanoes, Am. Mineral., 101, pp. 851-858, 2016.
- 11) 山元孝広: 栃木一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, 64, pp. 251-304, 2013.
- 12) Miyaji N., Kan'no A., Kanamaru T., Mannen K.: High-resolution reconstruction of the Hoei eruption (AD 1707) of Fuji volcano, Japan. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 207(3-4), pp. 113-129, 2011.
- 13) 山元孝広: 産総研地質調査総合センター研究資料集 No.613 日本の主要第四紀火山の積算マグマ噴出量階段図, <https://www.gsj.jp/publications/pub/openfile/openfile2014.html>, 2014.
- 14) Costa A., Melnik O., Sparks R.S.J.: Controls of conduit geometry and wallrock elasticity on lava dome eruptions, Earth Planet. Sci. Lett., 260, pp. 137-151, 2007.
- 15) Otsuki S., Nakamura M., Okumura S., Sasaki O.: Interfacial tension - driven relaxation of magma foam: An experimental study, Jour. Geophys. Res. Solid Earth, 120(11), pp. 7403-7424, 2015.
- 16) Ishibashi H., Amano T.: The effect of pre-eruptive magmatic conditions on decompression driven crystallization: A case study of the 1707 basalt from Fuji volcano, Japan. Geosci. Rept. Shizuoka University, 44, pp. 17-29, 2017.
- 17) La Spina G., Burton M., Vitturi M. D. M., Arzilli F.: Role of syn-eruptive plagioclase disequilibrium crystallization in basaltic magma ascent dynamics, Nat. commun., 7, 13402, <https://doi.org/10.1038/ncomms13402>, 2016.
- 18) Moitra P., Gonnermann H. M.: Effects of crystal shape and size modality on magma rheology. Geochem. Geophys. Geosystem., 16(1), pp. 1-26, 2015.

- 19) Lister, J.R., Kerr, R.C.: Fluid-mechanical models of crack propagation and their application to magma transport in dykes, *Jour. Geophys. Res. Solid Earth*, 96 (B6), pp. 10049-10077, 1991.
- 20) Iida, A.: Magma plumbing system of Fuji volcano inferred from melt inclusion study, Ph. D. thesis, Univ. Tokyo., 2007.
- 21) 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, 宮路直道: 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*, 33, S32-S51, 1988.
- 22) 藤井敏嗣, 荒牧重雄, 金子隆之, 小沢一仁, 川辺禎久, 福岡孝昭: 伊豆大島火山 1986 年噴火噴出物の岩石学的特徴, *火山*, 33, S234-S254, 1988.
- 23) Hamada, M., Kawamoto, T., Takahashi, E., Fujii, T.: Polybaric degassing of island arc low-K tholeiitic basalt magma recorded by OH concentrations in Ca-rich plagioclase, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 308, pp. 259-266, 2011
- 24) Putirka, K.: Thermometers and barometers for volcanic systems, *Rev. Mineral. Geochem.*, 69, pp. 61-120, 2008.
- 25) Newmann, S., Lowerstern, J. B.: VolatileCalc: a silicate melt-H₂O-CO₂ solution model written in Visual Basic for Excel, *Computers Geosciences*, 28, pp. 597-604, 2002.
- 26) Oida, R., Ishibashi, H., Tomiya, A., Ushioda, M., Hokanishi, N., Yasuda, A.: Experimental constraints on the H₂O-saturated plagioclase liquidus and the storage depth of the Izu-Oshima 1986B basaltic andesite melt, *J. Disaster Res*, Under review.
- 27) 吉田那緒: 深成岩捕獲岩から探る伊豆大島火山のマッシュ状マグマ溜まりプロセス, 静岡大学理学部地球科学科卒業論文, 2022.
- 28) Hatada, R., Ishibashi, H., Suwa, Y., Suzuki, Y., Hokanishi, N., Yasuda, A.: Plagioclase-hosted melt inclusions as indicators of inhibited rhyolitic melt beneath a mafic volcano: a case study of the Izu-Omuroyama monogenetic volcano, Japan, *J. Mineral. Petrol Sci.*, 115, pp. 322-331, 2020.
- 29) 野澤僚真: 伊豆東部火山群のマグマ供給システム: 斜長石斑晶からの制約, 静岡大学理学部地球科学科卒業論文, 2022.
- 30) 高橋正樹: 大規模珪長質火山活動と地殻歪速度, *火山*, 40, pp. 33-42, 1995.
- 31) 十川翔太, 長谷中利昭, 鳥井真之, 森康: 南阿蘇村立野に分布する先阿蘇溶岩の層序と化学組成, 日本地球惑星科学連合大会 講演要旨, 2019.
- 32) 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. Mineral. Petrol.*, 176, 6, <https://doi.org/10.1007/s00410-020-01761-6>, 2021.
- 33) 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*, 50, pp. 269-283, 2005.

- 34) Allan, A. S. R., Morgan, D. J., Wilson, C. J. N. and Millet, M.-A.: From mush to eruption in centuries: assembly of the super-sized Oruanui magma body, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 166, pp. 143-164, 2013.
- 35) Singer, B. S., Costa, F., Herrin, J. S., Hildreth, W. and Fierstein, J.: The timing of compositionally-zoned magma reservoirs and mafic “priming” weeks before the 1912 Novarupta-Katmai rhyolite eruption, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 451, pp. 125-137, 2016.
- 36) Petrone, C. M., Bugatti, G., Braschi, E. and Tommasini, S.: Pre-eruptive magmatic processes re-timed using a non-isothermal approach to magma chamber dynamics, *Nat. Commun.*, 7, 12946, 2016.
- 37) Cherniak, D. J. and Dimanov, A.: Diffusion in pyroxene, mica and amphibole, *Rev. Mineral. Geochem.*, 72, pp. 641-690, 2010.
- 38) 星住英夫, 宮縁育夫, 宮城磯治, 下司信夫, 宝田晋治: 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, *火山*, 67, pp. 91-112, 2022.
- 39) 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*, 115, pp. 672-687, 2009.
- 40) Hunter, A. G.: Intracrustal controls on the coexistence of tholeiitic and calc-alkaline magma series at Aso volcano, SW Japan, *J. Petrol.*, 39, pp. 1255-1284, 1998.
- 41) 嶋野岳人, 下司信夫, 小林哲夫: 諏訪之瀬島火山地質図, 火山地質図 17, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2013.
- 42) Miyagi, I., Geshi, N., Hamasaki, S., Oikawa, T., and Tomiya, A.: Heat source of the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake, Japan, *Bull. Volcanol.*, 82(33), pp. 1-17, 2020.
- 43) Kobayashi, T., Hayakawa, Y. and Aramaki, S.: Thickness and grain size distribution of the Osumi pumice fall deposit from the Aira caldera, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, 28, pp. 129-139, 1983.
- 44) Takarada, S., Nishihara, A., Hoshizumi, H., Yamasaki, T., Kaneda, Y., and Geshi, N.: Explanatory text of Distribution map of Ito ignimbrite and associated deposits, Aira caldera, Japan. Distribution map of large-volume ignimbrites in Japan, (1), pp. 1-32, 2022.
- 45) 宮城磯治: 肘折火山: 噴出物の層序と火山活動の推移, *火山*, 52, pp. 311-333, 2007.
- 46) Brocher, T. M.: Empirical Relations between Elastic Wavespeeds and Density in the Earth's Crust, *Bull. Seismol. Soc. America*, 95(6), pp. 2081-2092, doi:10.1785/0120050007, 2005.
- 47) Onizawa, S., Mikada, H., Watanabe, H., and Sakashita, S.: A method for simultaneous velocity and density inversion and its application to

exploration of subsurface structure beneath Izu-Oshima volcano, Japan, Earth Planets Space, 54, pp. 803-817, 2002.

- 48) Linde, N., Baron, L., Ricci, T., Finizola, A., Revil, A., Muccini, F., Cocchi, L., and Carmisciano, C.: 3-D density structure and geological evolution of Stromboli volcano (Aeolian Islands, Italy) inferred from land-based and sea-surface gravity data, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 273, pp.58-69, doi:10.1016/j.jvolgeores.2014.01.006, 2014.

(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4年度の業務計画案

令和4年度も基本的には令和3年度の作業を継続し、噴火事象分岐予測手法の開発に取り組む。

(a) 分析・解析プラットフォームの整備、運用

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、装置の稼働状態とコロナ流行の状況を見ながら、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 sqlite3 形式で集約したデータから図表を自動生成できるようにする。加えて、MELTS 計算結果を地球物理や地球化学分野の研究と連携させる試みに取り組む。例えば、桜島における重力観測や火山ガス観測の解釈に MELTS で計算したマグマ密度やガス組成結果を活用してもらうなどの働きかけをおこなう。(産総研)

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は、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する。(東北大学)

加えて、石基マイクロライト自動解析ツールによる構成粒子比導出の試行を桜島、諏訪之瀬島の試料で進め、火山灰測色値によるモニタリング指標提示の実用化を目指す。(常葉大学、東京大学)

(b) 火山噴出物の分析・解析

各火山については、令和3年度までに得られた分析・解析結果を統合して整理する。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や、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。引き続き、不足するデータについては追加の調査・分析をおこなう。(各機関)

各火山についての個別の取り組みは以下の通りである。

1) 有珠山

有珠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。(産総研)

2) 榛名山

二ツ岳渋川噴火噴出物の斑晶鉍物組成分析を進める。このデータをもとに、榛名火山の45ka~10kaの噴火と、5世紀末~7世紀初頭の二ツ岳の2噴火では、珪長質マグマに差異があることをさらに明確にする。(早稲田大学)

3) 富士山

令和3年度に引き続き、1707年噴火の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)

宝永噴火におけるたまりマグマ溜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する。(東北大学)

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、鉍物組成分析を進める。(常葉大学)

4) 伊豆大島

課題間連携として伊豆大島での研究集会がC-2北大主導のもと令和4年夏に計画されている。現地集会においては、物理観測関係者との連携を含めた噴火発生時の対応を検討することや、多数の大学院生や大島町関係者の参加も企画されている。(各参加機関)

5) 伊豆東部火山群

令和3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

1663 年噴火、1792 年噴火の試料の分析を継続する。深部マグマとの混合時の浅部マグマの状態についてさらに検討を進める。(東京大学)

7) 阿蘇山

後カルデラ期噴出物および完新世玄武岩の試料分析・解析をおこなう。特に、草千里ヶ浜火山およびその前駆噴火の噴出物を中心にメルト包有物の分析および組織解析を進め、マグマ溜り深度や上昇速度についての情報を収集する。また、完新世の玄武岩質噴出物を中心に斑晶鉱物内の元素拡散記録の解析を進め、マグマ過程のタイムスケールについて検討する。(熊本大学)

阿蘇各ステージ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。岩石・地球化学的手法を用いて先阿蘇または後カルデラ期のマグマの成因に関する研究をおこなうとともに、放射年代測定によって先阿蘇または後カルデラ期火山活動史の解像度を向上させる。(熊本大学)

8) 霧島山

新燃岳享保噴火について、軽石組織に関する定量的データの収集をおこなう。また、榛名火山の二ツ岳渋川噴火との比較をおこなう。(早稲田大学)

新燃岳 2017-2018 年噴出物の石基・鉱物組成測定を継続する。これまでに測色値および粒子構成比が把握されており、2011 年噴出物との比較をおこなうとともに、噴火活動様式と噴出物の関係を噴出物(火山灰)システムティックスと活動様式の関係としてまとめる。(常葉大学)

9) 桜島

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。(東北大学)

令和 3 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 4 年度は(令和 3 年度実施できなかった)、反射電子像を用いた構成粒子種分類プログラムを用い、これまでに調整・分級した試料に対して構成粒子の分類を実施し、構成粒子比の時間変動データをより早く導出できるようにする。(常葉大学)

10) 諏訪之瀬島

令和 3 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)

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 教授 助教 技術専門職員 学術研究員	中川 光弘 栗谷 豪 吉村 俊平 松本 亜希子 田次 将太
秋田大学大学院国際資源科学研究科	参加機関	教授	大場 司
秋田大学教育文化学部	参加機関	教授	林 信太郎
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 靖男 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 主席研究員 上級主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員	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

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

(d) 10 か年の年次実施計画（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出し、「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時間－噴出量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時間－噴出量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、沿岸域の地形地質調査を実施し、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時間－噴出量階段図を試作した。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・岩木山・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推移を明らかにする。伊豆大島では、沿岸域の地形地質調査を実施し、陸上調査結果と合わせて、長期噴火履歴解明を目指す。蔵王山・吾妻山・那須岳では、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。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は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時間－噴出量階段図を作成する。さらに、中長期噴火予測手法および噴火事象系統樹の作成手法について、より研究の進んでいる複数の火山を対象に、試作を通して手法の確立を目指す。それら階段図および噴火事象系統樹の作成には、個々の噴火に関して質の揃ったデータベースを作る必要がある。そのためにワーキンググループを編成し、データベースの作成・公表および階段図・事象系統樹作成の指針をまとめる。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。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。

8) 令和 5 年度：

最終的に最重点火山および重点火山の見直しを行う。最重点火山では、地表踏査、トレンチ掘削およびボーリング掘削を実施し、噴火履歴および噴火推移を明らかにする。重点火山については、地表踏査を中心とした調査を行い、必要があればトレンチ掘削およびボーリング掘削も実施する。個々の火山において基礎的な物質科学的データを収集

するとともに、代表的で重要な試料を選択し、「マグマ変遷解析センター」でより高度な物質科学的データを求める。得られた噴火履歴、噴火様式およびマグマの物質科学的性質とその時間変遷についてデータベース化をはかる。研究が進展した重点火山において、中長期噴火予測を行い、結果を公表する。また噴火事象系統樹の試作を行う。試作した中長期噴火予測と噴火事象系統樹は関係機関や各火山の火山防災協議会に示し、評価を受けて改善点を探る。対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催する。

9) 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 3 年度における成果の目標及び業務の方法

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、中長期噴火予測および噴火事象系統樹作成のための基礎的データ収集に努める。まず重点火山の秋田駒ヶ岳では、ボーリング掘削調査を行い、山体崩壊事象と噴火活動との関係を明らかにする。そして、阿蘇山では、ボーリング掘削調査を実施し、中小規模噴火を含めた阿蘇山の最近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傭船調査により海底地形の詳細を明らかにし、山頂噴火だけではなく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、アトサヌプリ・吾妻山をはじめとする 9 の最重点火山・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次年度以降の重点調査に向けて、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時間一積算噴出量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行い、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・北海道駒ケ岳・樽前山・クッタラ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 の総合推進および課題 C 全体のとりまとめと研究成果の発信

課題責任機関である北海道大学は、防災科学技術研究所（協力機関）とともに、ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築準備を進める。そして、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。また、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は、研究集会を開催し課題内の連携展開と今後の方針を立てるとともに、他課題との連携についても検討する。

(2) 令和 3 年度の成果

(a) 業務の要約

重点火山である秋田駒ケ岳において、北部山体で発生した山体崩壊とその後の噴火活動履歴を明らかにするために、野外調査・ボーリング掘削調査を実施し、山体崩壊に伴い発生した岩屑なだれ堆積物が広く分布することや、山体崩壊後は溶岩流主体の活動が中心であったことなどが明らかになった。阿蘇山では、噴火対応に加え、ボーリング掘削調査・トレンチ掘削調査を実施し最近の噴火活動履歴の詳細を明らかにした。伊豆大島では、海底地形調査によりこれまでに知られていない海底部の側火山体や溶岩地形を確認することができ、陸上沿岸部調査も実施し、暫定版地質図を作成した。またアトサヌプリでは、野外調査とトレンチ掘削調査を実施し、アトサヌプリ火砕流が複雑な噴火であること、約 6.5 千年前に発生したリシリ噴火でドーム破壊イベントが起きていたことが明らかになった。さらに、活火山として認定されていなかった白馬大池火山については、完新世のテフラ層を認識し、活火山であることを確認した。その他の重点火山を中心とした活火山についても、トレンチ掘削調査や基礎的な地質調査を行い、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、11 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 11 事例の噴火推移及び前駆活動の特徴を取りまとめた。また主要噴火の降下テフラの分布の数値化を進めた。福徳岡ノ場 2021 年噴火など国内及び海外のプリニー式噴火の噴火推移 20 事例を

収集し、噴火推移データ集の作成を行うとともに、また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。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。さらに北海道大学では、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、引き続きコア試料を集約した。

(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3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、その概要を述べる。

a) アトサヌプリ：野外調査に基づく噴火活動履歴の解明（北海道大学・茨城大学）

北海道東部に位置するアトサヌプリ火山は、屈斜路火山の後カルデラ火山の1つである。その活動履歴については、従来の研究¹⁾²⁾によって報告されており、外輪山の形成（約3-2万年前）と大規模火砕流噴火（約2万年前）の古期アトサヌプリと、約1万年前からの溶岩ドーム群の形成の新期アトサヌプリに大別される（図1）。しかしながら、その詳細についてはよく分かっていない点が多く、再検討する必要がある。これまで我々は、アトサヌプリ火山の噴火履歴調査を重点的に実施してきており、昨年度は過去2,000年間の活動履歴の詳細を明らかにした。本年度は、以下の2課題について取り組んだので、その成果概要を報告する。

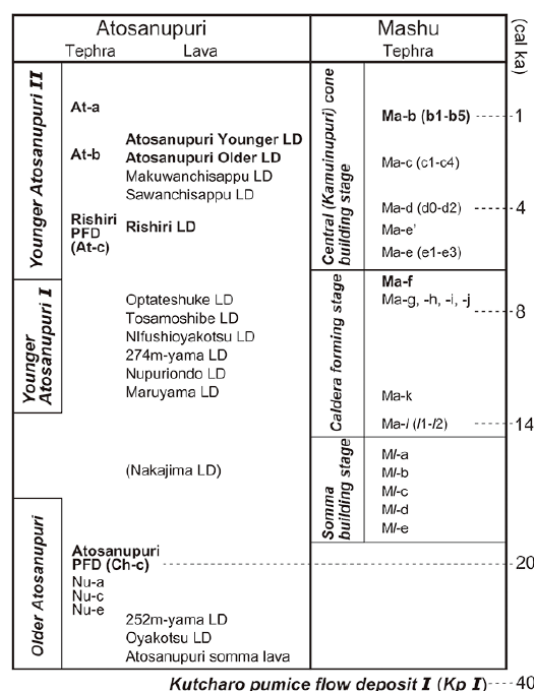


図1. アトサヌプリ火山の噴火活動史のまとめ³⁾。

i) 約 6.5 千年前リシリ火砕噴火の噴火活動推移履歴の解明

アトサヌプリ火山の完新世の活動は溶岩ドーム形成が主体であるが、約 6.5 千年前には現在のリシリ溶岩ドーム付近を給源とする火砕噴火が起きたことが分かっている。この活動は、新期アトサヌプリの活動の中では、噴火様式・規模ともに特異であり、その詳細を明らかにすることは、将来活動を検討する上で必要不可欠であると考えられる。そこで、リシリ溶岩ドーム付近の地形判読と周辺での野外調査および近傍でのボーリング・トレンチ掘削調査を実施した。

1. 地形

リシリ溶岩ドームは非常に扁平な形状をしており、アトサヌプリ・マクワンチサップといった他の溶岩ドームとは明らかに異なることが分かる（図 2）。陰影起伏図を見ると、表面の溶岩じわが明瞭で新鮮な溶岩地形を示す（図 3）。一方で、南～南西方向に流下した溶岩流の先端部には起伏に富んだ地形や岩塊を取り込んだような凹凸が認められる。また溶岩ドームの南麓には、複数の流れ山地形が認められる。

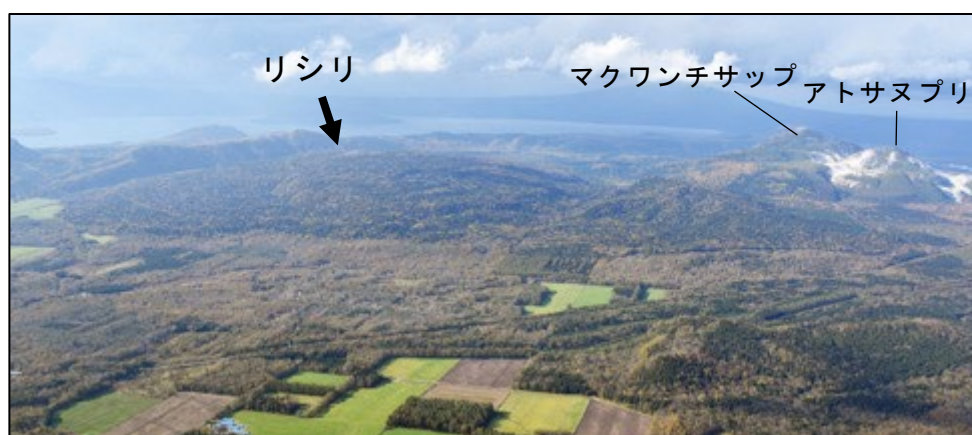


図 2. 上空から見たリシリ溶岩ドーム。アトサヌプリ・マクワンチサップ溶岩ドームに比べて扁平な形状を示す。

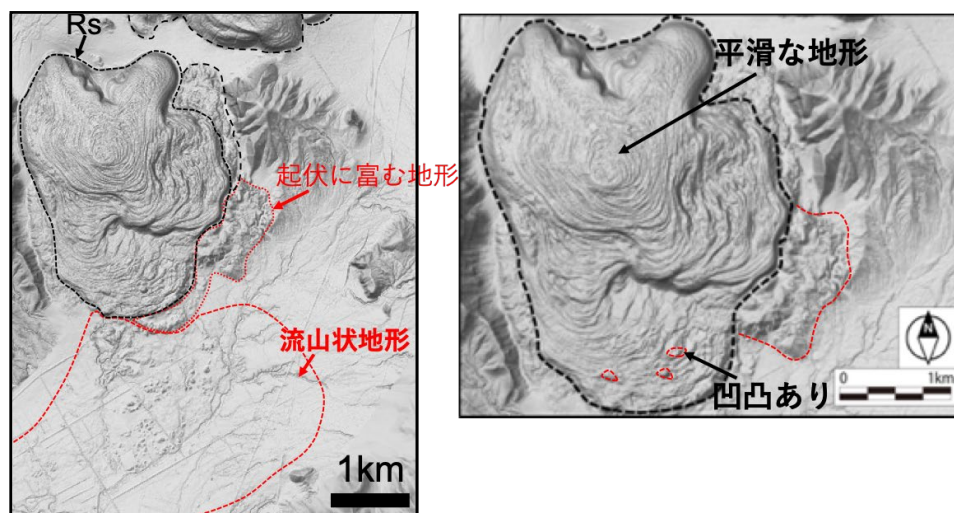


図 3. リシリ溶岩ドーム周辺の陰影起伏図（国土地理院電子地図より引用）。

2. 野外調査結果

2-1. 地表踏査

代表的な露頭地点であるリシリ溶岩ドーム南方の地点 A では、Ma-f 上位に再堆積物と土壌層を覆って、層厚約 1 m のリシリ火砕流が観察できる（図 4a）。粘土質の基質をもつ軽石流堆積物の層相を示し、明瞭なサブユニット境界は認められない。白色の変質岩片を特徴的に含んでいる。軽石の最大径は 5 cm である。リシリ溶岩ドーム周辺では、このような火砕流堆積物が広く観察される。層厚分布をみると、特定の方向性はなく、同心円状に広がっていることが分かる（図 4b）。

2-2. 近傍でのボーリング掘削およびトレンチ掘削調査

リシリ溶岩ドーム南方の地点 B において、ボーリング掘削および重機トレンチ掘削調査を実施した。ここは流れ山状地形の上であり（図 4b）、地点 A の上位に当たると思われるリシリ火砕流の近傍相を確認できる。トレンチ孔内のリシリ火砕流堆積物は、最下部の軽石質層（Unit C）、中部の石質層（Unit B）、そして最上部の酸化した石質層（Unit A）の 3 つに区分できる（図 5a）。Unit C は層厚 2 m 以上、軽石の最大径は 25 cm で、粘土質の基質を持つ軽石流堆積物である。白色の変質岩片に富み、その層相は地点 A のリシリ火砕流に類似する。Unit B は層厚 60 cm で黒曜岩片（最大径 20 cm）に富み、細粒物に欠く特徴を持ち、基底部にはサグ構造を伴う黒曜岩片が認められる。Unit A は層厚 50 cm で、層相は Unit B に類似するが、全体に赤色酸化を示し、変質岩片はほとんど認められない。ボーリングコア試料においても同様の層変化を示す火砕流堆積物が認められる（図 5b）。

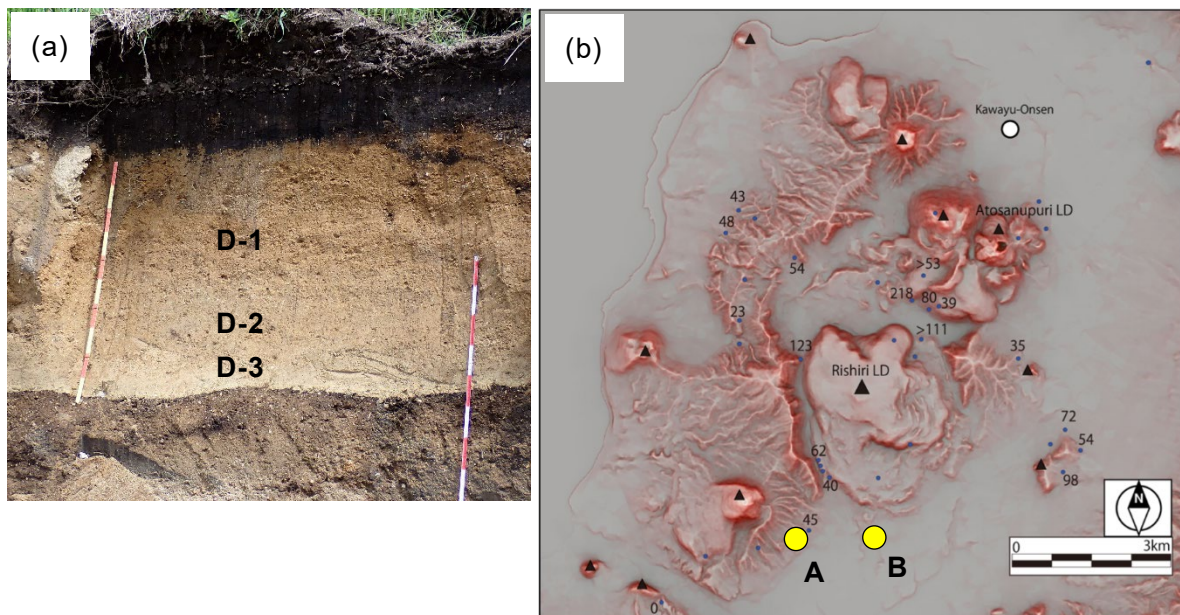


図 4. (a) 地点 A の露頭写真。(b) リシリ火砕流の層厚分布図（右：単位は cm）（ベースマップの赤色立体地図は国土地理院電子地図より引用）。

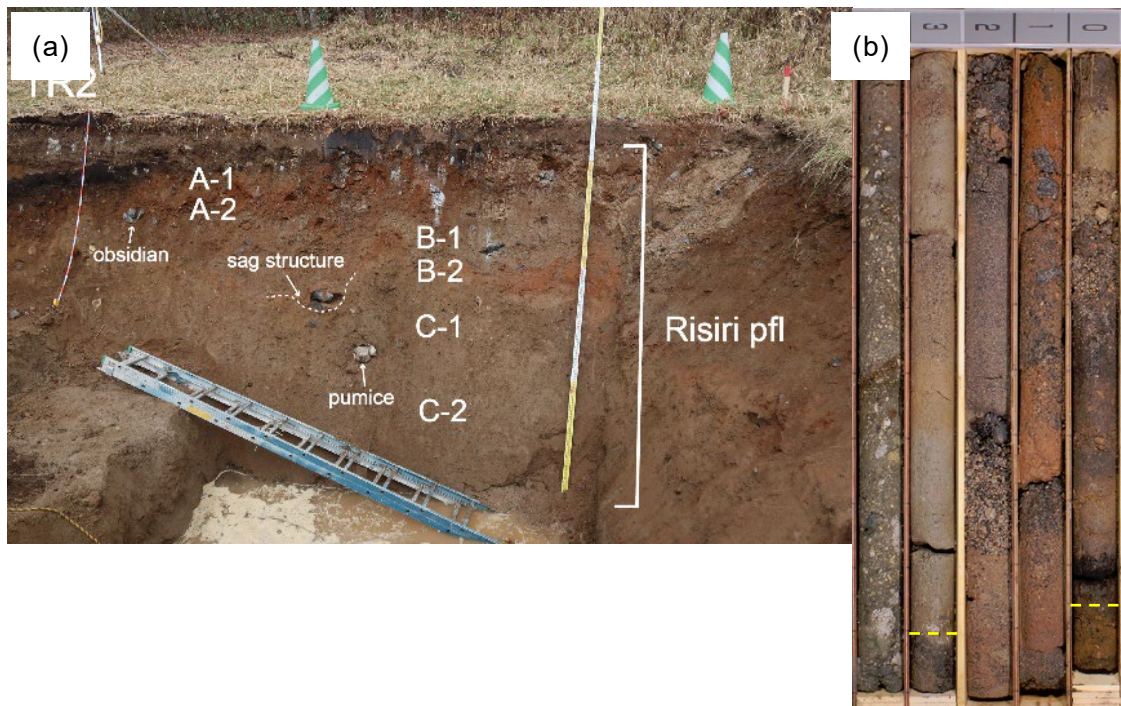


図 5. (a)地点 B でのトレンチ掘削孔の全景。(b)ボーリングコア写真（左上が上位）。

3. 構成物量比

地点 A のリシリ火砕流を最下層 Unit D（下部から D-3～D-1）とし、地点 B の試料（下位から C-2～A-1）も含めた構成物量比の垂直変化を図 6 に示す。Unit D では軽石が最も多く、シルト岩片も比較的多く認められるが、Unit C になると、変質岩片・黒曜岩片が増加する。そして Unit B から A では、軽石・変質岩片・シルト岩片が減少し、黒曜岩片が著しく増加する。

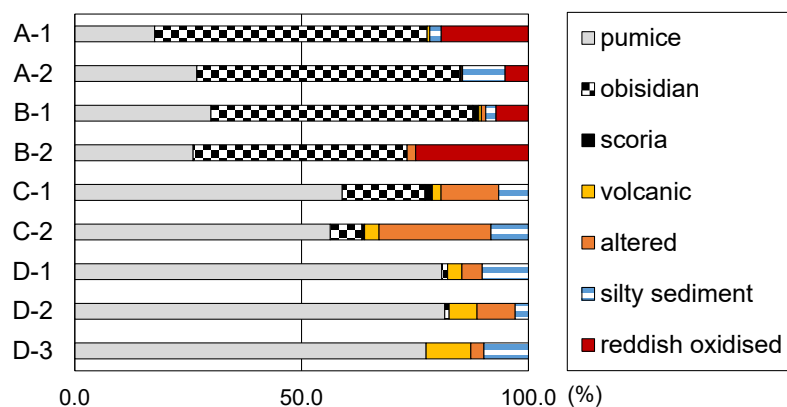


図 6. リシリ火砕流堆積物の構成物分析結果。

4. 本質物の岩石学的特徴

リシリ火砕流中の軽石は、斑晶に富んでおり、斜長石・直方輝石・単斜輝石・不透明鉱物からなる。石基はガラス質であり、繊維状～スポンジ状に発泡している。リシリ溶岩ドームも斑晶量が多く、組み合わせも軽石と同じである。石基はハイアロピリ

ディック組織を示し、流理構造が顕著である。またスフェルライトも多く認められる。火砕流中に含まれる黒曜岩片は、リシリ溶岩ドームと同様の記載岩石学的特徴を示す。これら本質物の全岩化学組成を比較すると、全体として一連の組成トレンドを描いているが、火砕流中の軽石は、溶岩ドームと比べてややシリカに乏しい。また、火砕流中に含まれる黒曜岩片は溶岩ドームと類似した組成を示していることが分かる(図 7)。

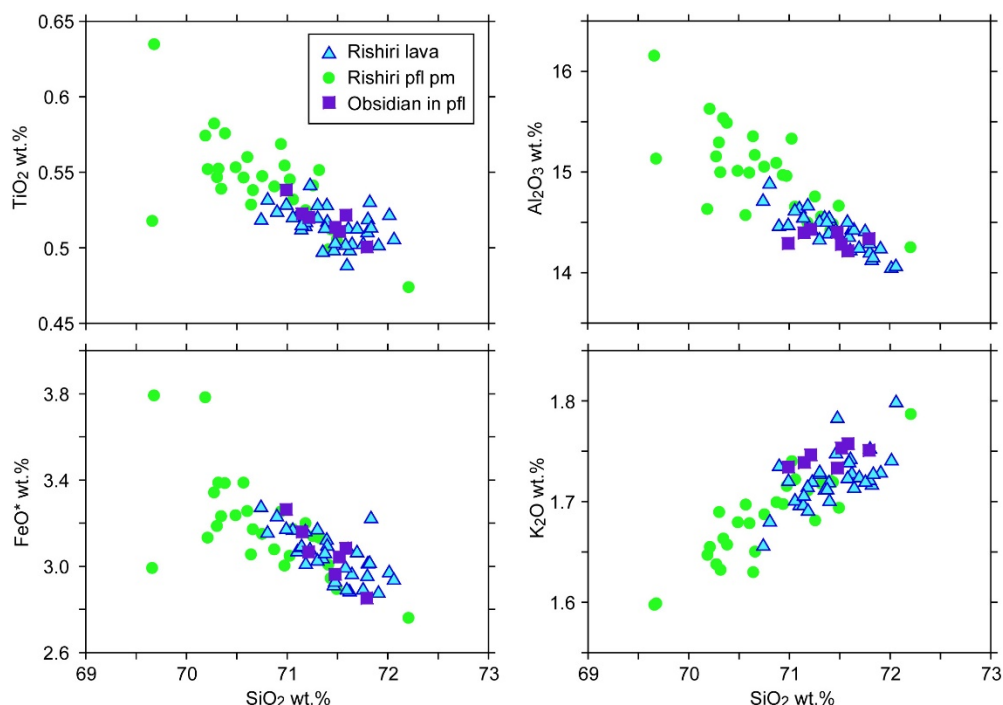


図 7. リシリ火砕噴火の本質物の全岩化学組成ハーカー図。

5. リシリ火砕噴火の活動推移

以上の結果をまとめると、リシリ火砕噴火の活動推移について、以下のことが推定される。

- ・ 現在のリシリ溶岩ドーム付近に変質帯が発達しており、約 6.5 千年前にその変質帯を破碎するような爆発的噴火が起きた。
- ・ それにより発生した火砕流は、全方向に噴出した。
- ・ その後、黒曜岩ドームの形成と破壊を繰り返し、破壊の際に南方に流れ山地形を形成した。
- ・ そして、溶岩流出が主体となり現在の溶岩ドームを形成した。

ii) アトサヌプリ火砕流噴火の活動推移

アトサヌプリ火山の最大の活動は、約 2 万年前のアトサヌプリ火砕流噴火である。その堆積物はアトサヌプリ火山周辺だけでなく、斜里平野・根釧原野といった遠方にも分布しており、かつ複数存在することが報告されている⁴⁾⁵⁾。このことはアトサヌプリ火砕流噴火が比較的長期間にわたる複数回の活動であった可能性を示唆しており、この可能性を検証するためには、近傍層と遠方層を対比することが必要不可欠で

ある。そこで我々は、アトサヌプリ火山近傍とその周辺に分布するアトサヌプリ火砕流堆積物について、層相の特徴および本質物の岩石学的特徴を整理するために、地表踏査に加え、ボーリング掘削およびトレンチ掘削調査を実施してきた（図 8）。以下に現時点での成果概要を報告する。なお、後カルデラ火山の 1 つである中島火山においても大規模火砕噴火が報告されていることから⁶⁾、その特徴についても述べる。

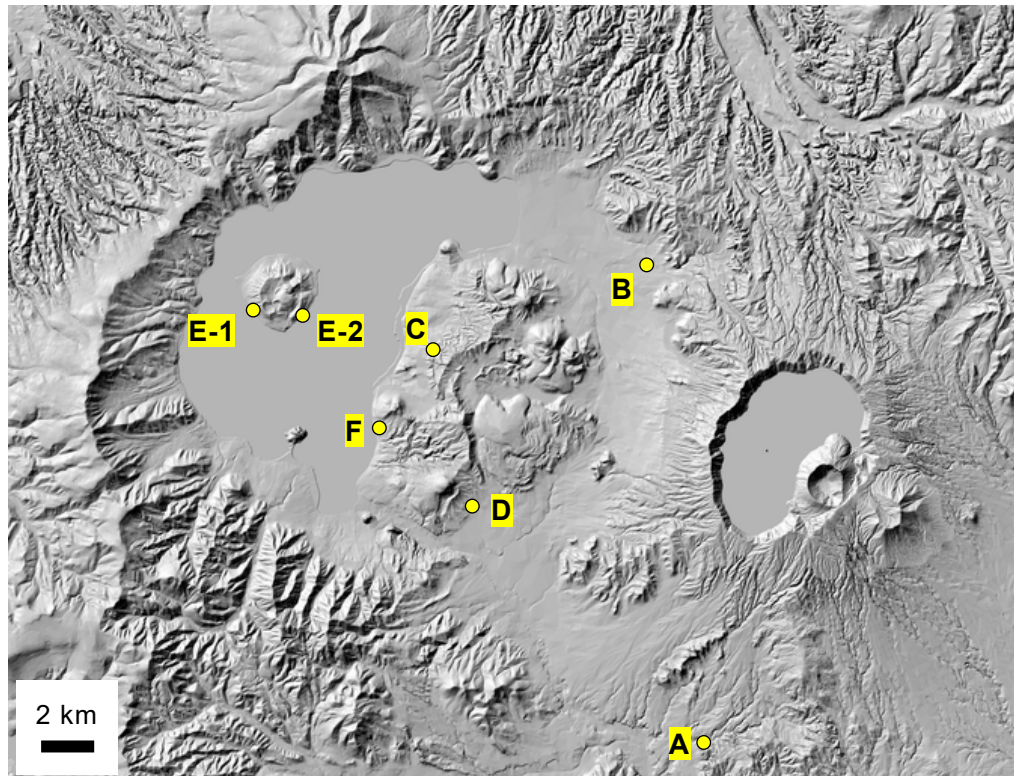


図 8. アトサヌプリ火砕流の代表的な露頭地点(国土地理院電子地図より引用)。

1. 地質各論

1-1. 地表露頭

本年度までの調査によって、層相の違いにより 4 タイプの火砕流を認識した。それらは分布地域によっても区分できる。中島火山の大規模火砕噴火堆積物と併せてその特徴を記述する。

仁多火砕流 (Nt-pf1) : アトサヌプリ火山より南東に約 10 km、仁多山の南東麓付近の地点 A で観察される火砕流堆積物である (図 9a)。下位には、成層構造の発達した湖成堆積物が観察される。仁多火砕流は堆積構造より下部と上部に細分される。下部 (層厚約 4 m) は塊状無層理である一方、上部 (層厚約 2 m) は成層構造が明瞭である。いずれも白色を呈しており、シルト～砂サイズの火山灰の基質中に白色軽石・岩片が散在することから、下部は火砕流堆積物、上部は火砕サージ堆積物または湖成堆積物であると考えられる。

六十七線火砕流 (Rn-pf1) : アトサヌプリ火山より北東に約 3 km の地点 B で観察される火砕流堆積物である (図 9b)。下位は確認できないが、上位には層厚 10 cm の風化層を挟んで、摩周 f 火砕流 (約 7.6 万年前) が堆積する。塊状無層理で白色～黄白

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軽石と岩片が散在する。

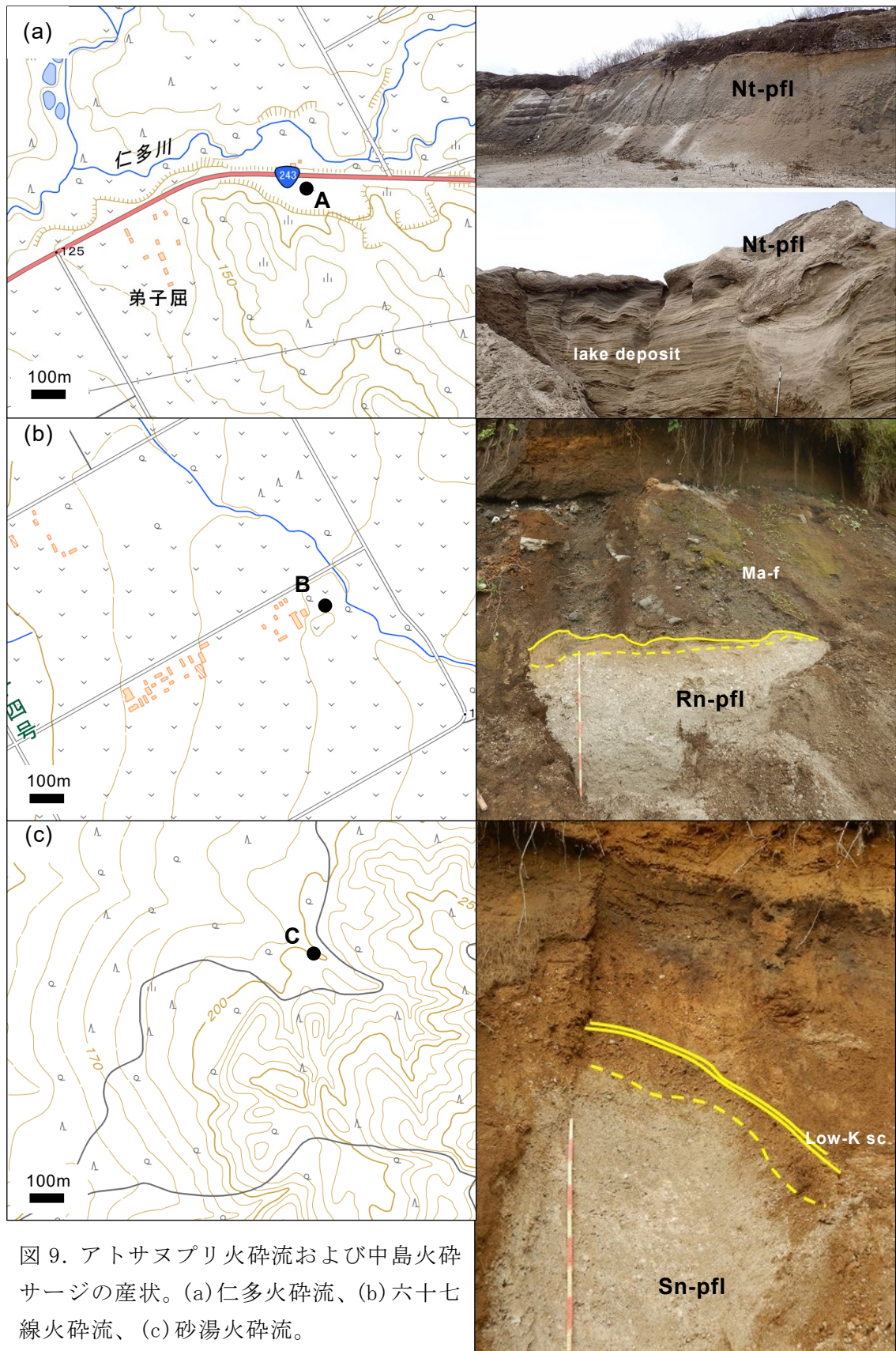


図 9. アトサヌプリ火砕流および中島火砕サージの産状。(a) 仁多火砕流、(b) 六十七線火砕流、(c) 砂湯火砕流。

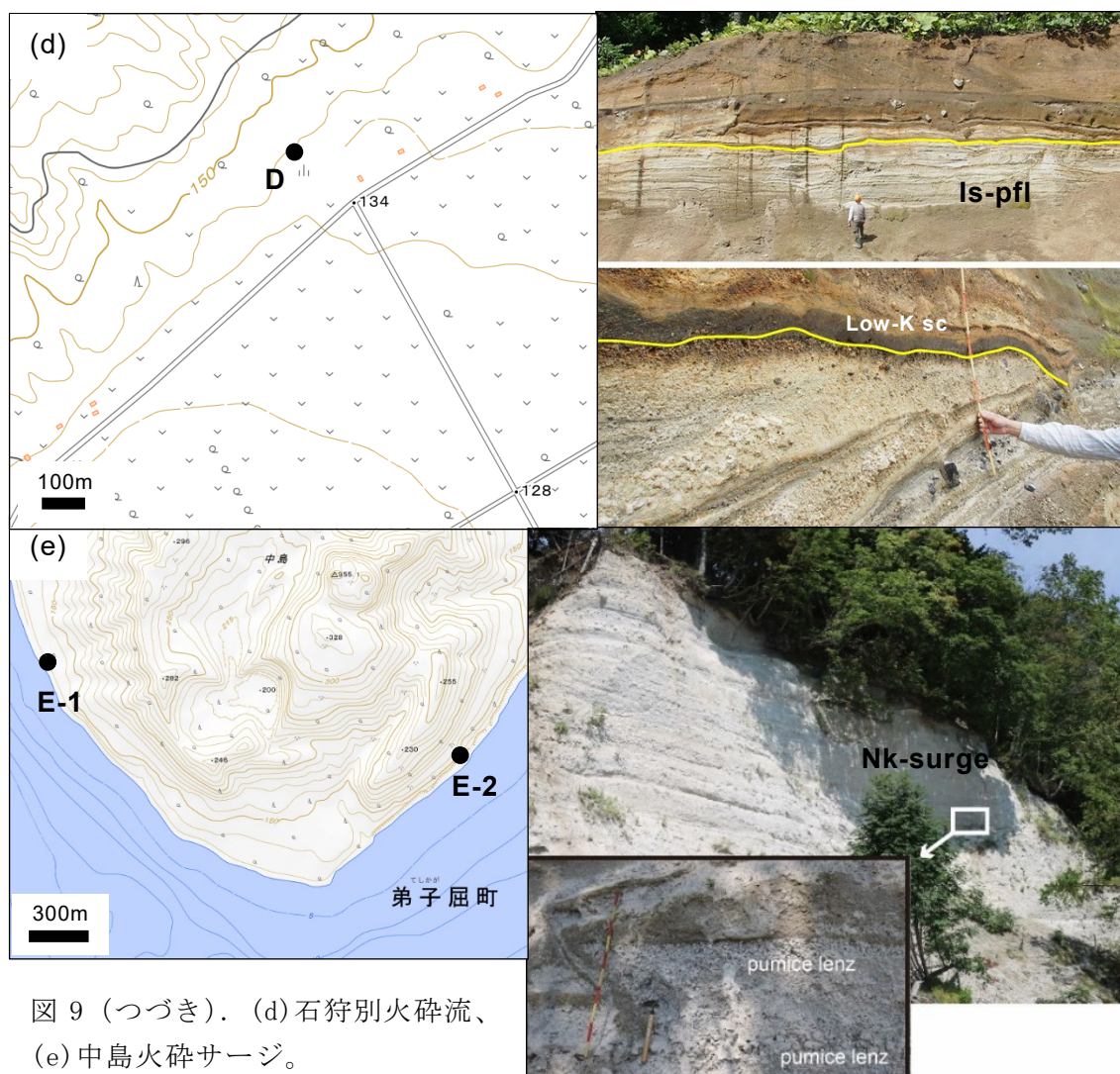


図 9 (つづき). (d) 石狩別火砕流、
(e) 中島火砕サージ。

砂湯火砕流 (Sn-pfl) : 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。下位は確認できないが、地点 C では、約 5 cm の再堆積層を挟んで、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が、その更に上位には摩周 f テフラが堆積する (図 9c)。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。

石狩別火砕流 (Is-pfl) : アトサヌプリ火山の南部、オプタテシュケおよびシリ溶岩ドーム付近で観察される火砕流堆積物である。模式地の地点 D では下位は確認できないが、上位には層厚 4 cm の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 (図 9d)。他の火砕流とは異なり、成層構造が明瞭である。全体としては白色を呈しており、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ことから、火砕サージ堆積物または湖成堆積物であると考えられる。

中島火砕サージ (Nk-surge) : 中島火山の南湖岸 (地点 E-1・E-2) では、斜交層理の発達する火砕サージ堆積物が確認できる (図 9e)。層厚は 10m 以上で、基質は白色シルト質火山灰からなり、含まれる軽石は白色軽石 (最大径 50~60 cm) が大部分を

占めるが、発泡の悪い灰色軽石や縞状軽石も少量含まれる。軽石の表面には、カリフラワー状の急冷被殻が発達するものが多い。黒曜岩片（最大径 1~3 cm）もごく普通に含まれる。斜交層理に沿うように軽石・石質岩片が濃集・配列する。デューン構造と平行に軽石濃集部が発達する。最下部は比較的軽石の量比が少なく、シルト質火山灰からなり、火山豆石を含む。

1-2. トレンチ掘削調査

アトサヌプリ火山西部、トサモシベ溶岩ドーム南方のアトサヌプリ火砕流堆積物が形成する平坦な台地の側面にあたる地点 F（玉川大学演習林内）において、令和 3 年度に重機トレンチ調査を行った。ここでは、アトサヌプリ火砕流堆積物が、少なくとも 3 つの異なるユニットから構成されることが確認できる（下位から Unit 3~1 とする）。法面も含め、重機トレンチによって露出した露頭は、比高約 8 m である（図 10）。Unit 3~1 の間には、古土壌や厚い再堆積物などの噴火の休止期を示すような証拠は認められない。Unit 3 と 2 の境界部は非常に明瞭であるのに対し、Unit 2 と 1 の境界は漸移的である。最下位の Unit 3 は、層厚約 2.5 m で白灰色を示し、含まれる軽石の最大粒径は 60 cm である。全体に弱い成層構造を示し、一部の軽石は灰色で発泡が悪く、急冷したと思われる被殻を持つ。Unit 2 は層厚約 4 m で褐白色を示す。軽石の最大粒径は 10 cm で、石質岩片に富み、全体に細粒物に乏しい特徴を持つ。最上位の Unit 1 は、層厚約 1.5 m で白色を示し、軽石（最大径 50 cm）に富む。

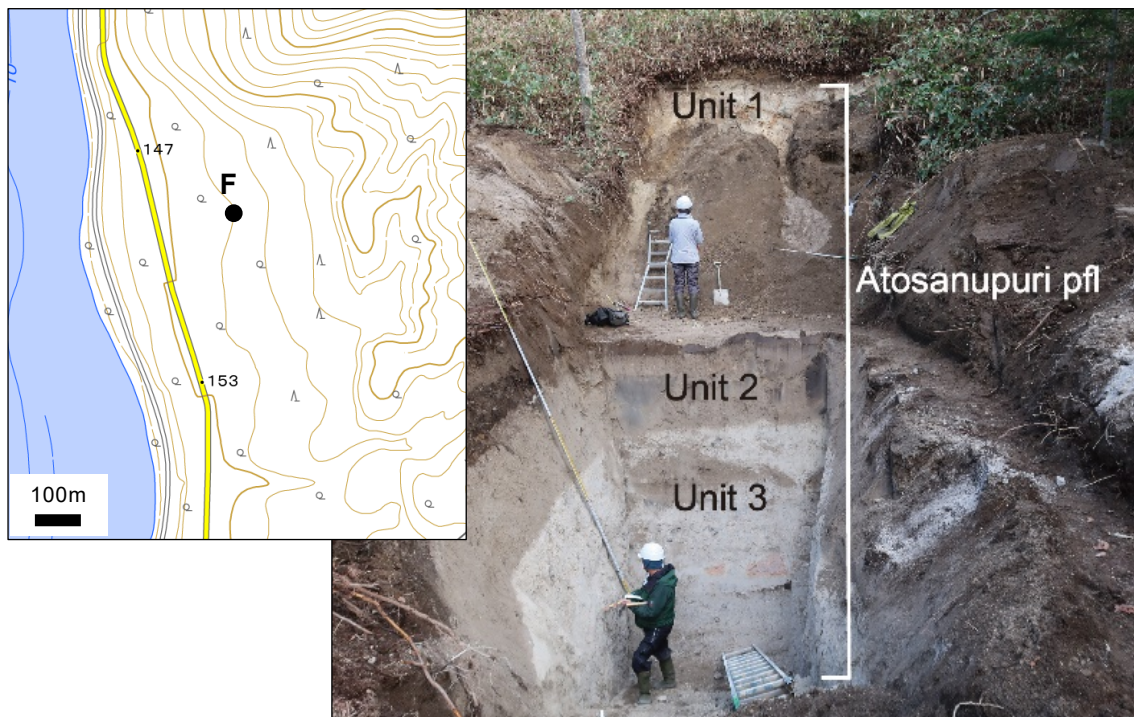


図 10. 地点 F で露出したトレンチ掘削調査地点と掘削孔の全体写真。

1-3. ボーリング掘削調査

近年、アトサヌプリ火山周辺では、本事業だけでなく地震火山観測研究計画や他機関によるボーリング掘削調査が行われている。現時点で 7 本の掘削調査が実施されており（表 1・図 11）、本事業ではこれらの調査で得られたボーリングコア試料についても解析を行っている。その結果、複数の火砕流堆積物が分布していることが分かってきており、今後は地表露頭の結果を併せて、その層序・推移を検討していく予定である。

表 1. アトサヌプリ火山周辺で最近実施されたボーリング掘削調査のまとめ。

No.	実施 年度	掘削深 (m)	実施事業・機関	位置情報
R2-C	2020	150	次世代火山 PJ	N43°33'50.6", E144°24'32.6"
R1C1	2019	50	次世代火山 PJ	N43°33'13.9", E144°40'45.9"
R1C2	2019	100	次世代火山 PJ	N43°33'38.5", E144°36'55.6"
H29	2017	130	地震火山観測研究計画	N43°33'59.4", E144°39'03.7"
JMA-V100	2015	15	気象庁	N43°36'22.2", E144°26'45.2"
JMA-V01	2009	155	気象庁	N43°37'26.4", E144°27'00.6"
HO-TE1	2020	350(30°傾斜)	基礎地盤コンサルタンツ	N43°36'04.9", E144°25'13.7"

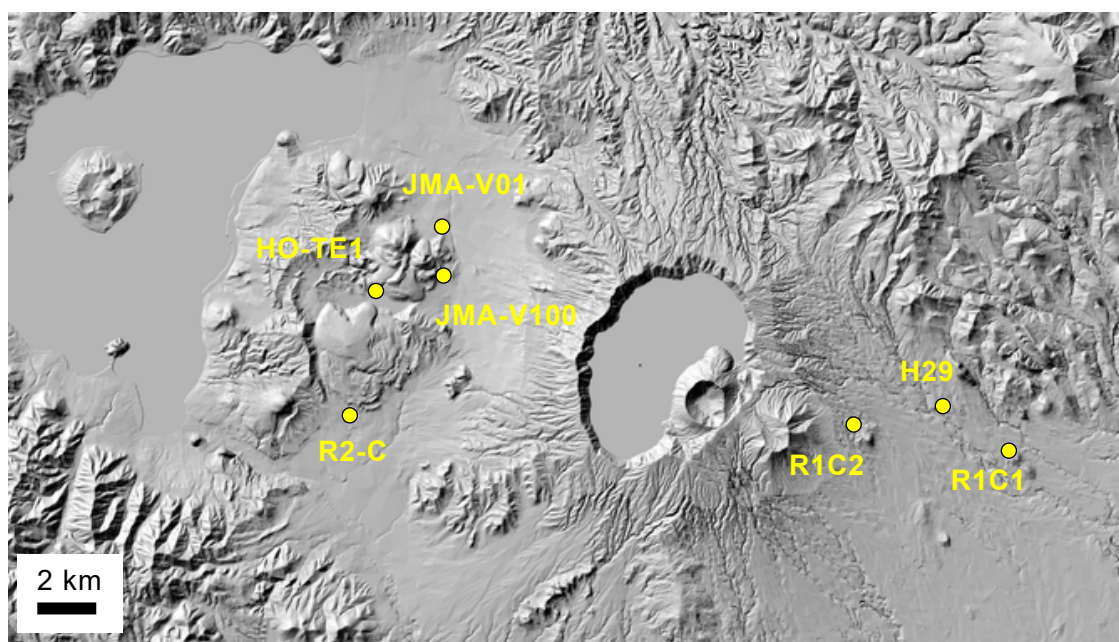


図 11. アトサヌプリ火山周辺で近年実施されたボーリング掘削調査の調査地点。

2. 本質物の岩石学的特徴

地表露頭で採取されたアトサヌプリ火砕流と中島火砕サージ堆積物中の軽石は、タイプごとに斑晶量の多様性がある（表 2）。まず、仁多火砕流は斑晶に乏しいことで特徴づけられる。それ以外についても、六十七線火砕流・石狩別火砕流に比べて、

砂湯火砕流・中島火砕サージの方が明らかに多い。斑晶鉱物として、斜長石・直方輝石・単斜輝石・不透明鉱物を共通して含んでいるが、中島火砕サージはそれらに加えて少量の角閃石が認められる。また、トレンチ掘削調査で観察された火砕流堆積物中の軽石についても、斑晶鉱物組み合わせは共通している一方で、Unit 2 が Unit 1・Unit 3 より斑晶量が少ない点で区別される。

これら軽石の全岩化学組成を図 12 に示す。いずれもデイサイト質であるが、各タイプでその特徴が異なる。まず中島火砕サージは、アトサヌプリ火砕流に比べて、SiO₂ 量が低く、低 TiO₂ であり、明瞭に区別できる（図 12a）。また、アトサヌプリ火砕流の中でも、仁多火砕流は高 TiO₂、高 MnO、低 Na₂O、低 Zr といった特徴があり、他の火砕流とは区分できる。さらに、砂湯火砕流は高 Zr であり、他とは明らかに異なる。石狩別火砕流と六十七線火砕流も一部は重なるものの SiO₂ 量が異なる。トレンチ掘削調査で観察された 3 枚の火砕流については、全体として一連の組成トレンドを描くが、Unit 1 と Unit 3 は類似した組成を示す一方、Unit 2 はそれらよりシリカに富む（図 12b）。地表露頭の火砕流と比較すると、Unit 2 は石狩別火砕流（または六十七線火砕流）と類似した組成を示すが、Unit 1・Unit 3 は SiO₂ 量が明らかに低く、どの火砕流とも一致しない。これらをトサモシベ南火砕流(Tss-pfl)と命名する。

表 2. アトサヌプリ火砕流および中島火砕サージ堆積物中の軽石の記載岩石学的特徴のまとめ。

	斑晶量	plg	opx	cpx	hbl	opq	qtz
仁多 pfl	△	○	○	○	—	○	—
六十七線 pfl	○	◎	○	○	—	○	—
砂湯 pfl	◎	◎	○	○	—	○	—
石狩別 pfl	○	◎	○	○	—	○	—
中島 surge	◎	◎	○	○	△	○	—
Unit 1	◎	◎	○	○	—	○	—
Unit 2	○	◎	○	○	—	○	—
Unit 3	◎	◎	○	○	—	○	—

斑晶量：◎＞○＞△

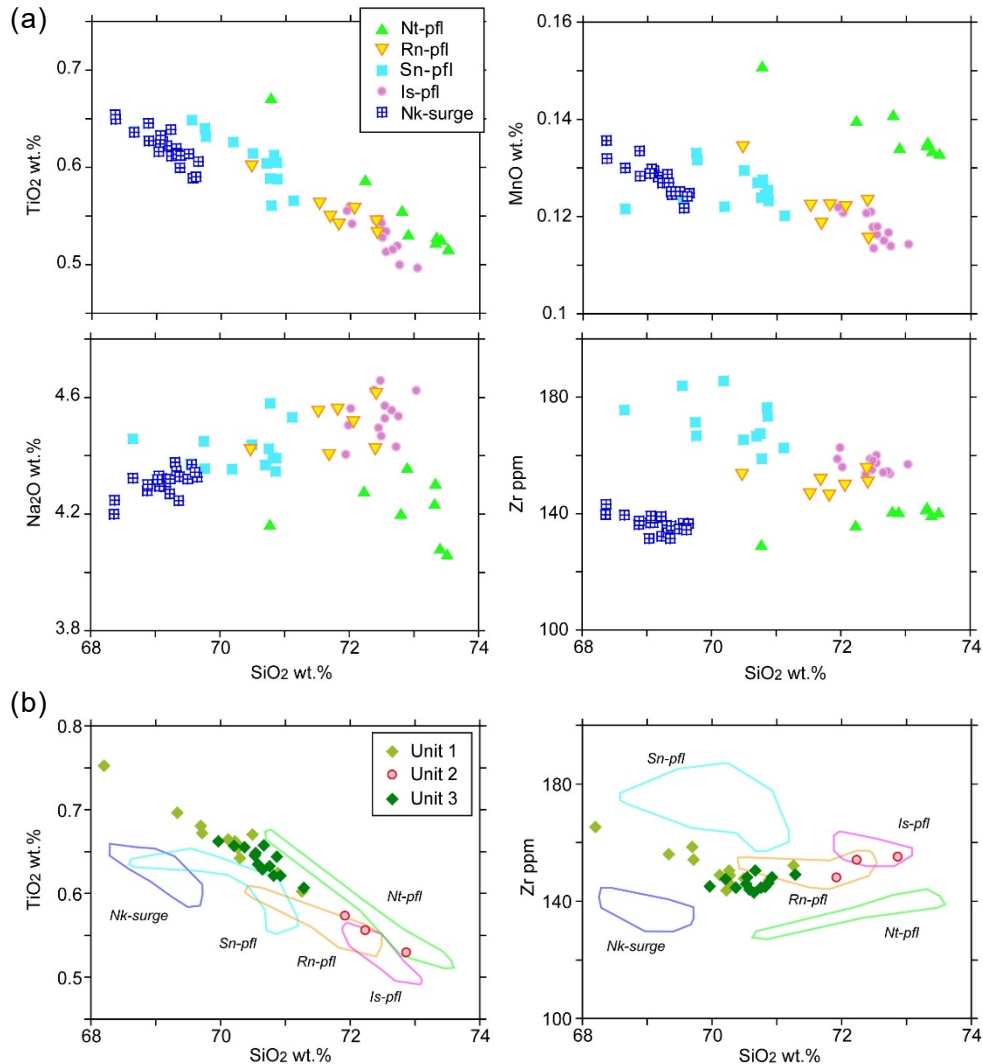


図 12. アトサヌプリ火砕流中の軽石の全岩化学組成ハーカー図。(a) 地表露頭。Nt：仁多、Rn：六十七線、Sn：砂湯、Is：石狩別、Nk：中島。b) トレンチ掘削調査。

3. アトサヌプリ火砕流（近傍層）のタイプ区分

上述したように、アトサヌプリ火砕流は層相・本質物の岩石学的特徴において多様性があり、現時点で5つのグループに区分できることが明らかになった。中島火砕サーージも加えると6つのグループとなる（図13）。このことから、アトサヌプリ火砕流噴火は複数回起きており、複数の珪長質マグマが関与したといえる。分布域によっても識別されることから、給源火口も複数存在した可能性が考えられる。現在のアトサヌプリ火山を見ると、アトサヌプリカルデラ縁が複数の火口壁を描いており、その周辺にも凹地が確認できることから、これらが給源火口なのかもしれない。また、トレンチ掘削調査で露出したトサモシベ南火砕流（Tss-pf1）は2ユニット存在し、その間には石狩別火砕流（または六十七線火砕流）が挟在する。このことから、複数の給源からの火砕流噴火活動は並行して起きていたことが示唆される。今後は遠方層との対比を進めるとともに、複雑な火砕噴火をもたらしたマグマ供給系についても検討していく必要があると考えられる。

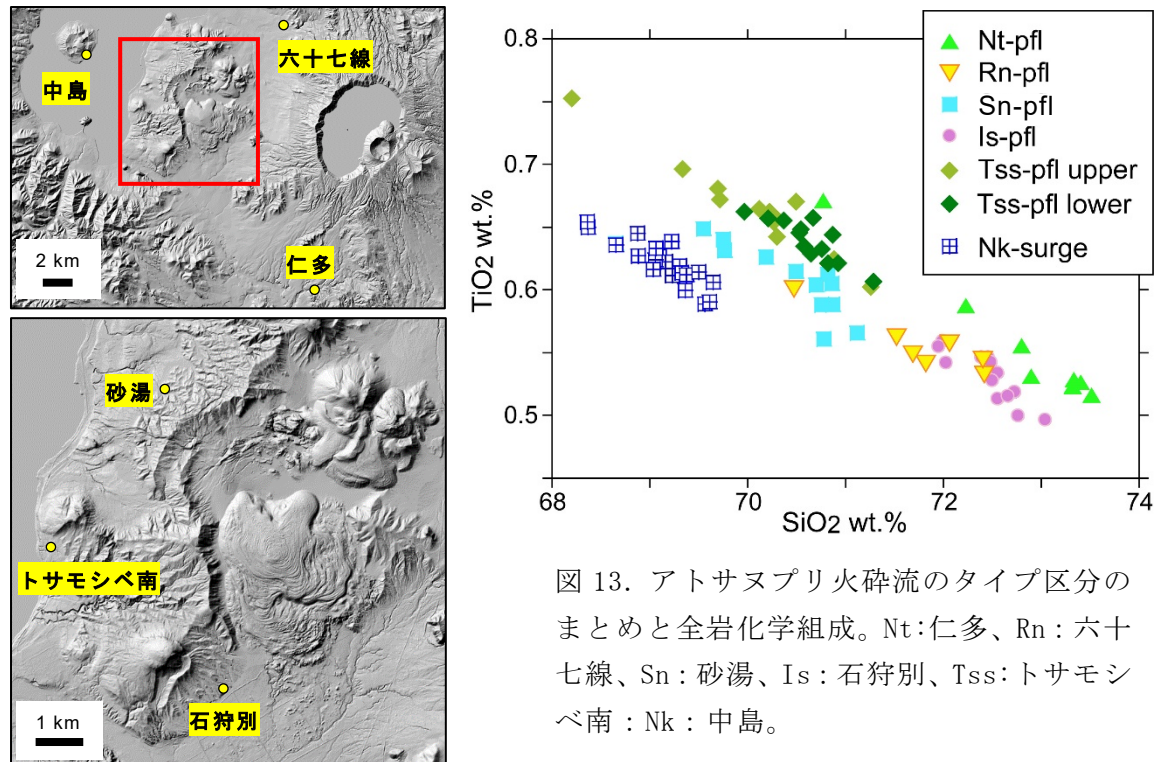


図 13. アトサヌプリ火砕流のタイプ区分のまとめと全岩化学組成。Nt:仁多、Rn: 六十七線、Sn: 砂湯、Is: 石狩別、Tss: トサモシベ南: Nk: 中島。

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、ボーリング掘削調査および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。また、基礎地盤コンサルタンツ（株）の方々には、ボーリングコア試料を観察させていただいた。以上の方々に深く御礼申し上げます。

b) 雌阿寒岳：野外調査に基づく噴火活動履歴の再検討と物質科学的解析によるマグマ供給系の解明（北海道教育大学旭川校・北海道大学・産業技術総合研究所・電力中央研究所）

i) 雌阿寒岳の噴火活動履歴の再検討

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箇所の噴出中心から噴火を繰り返し、現在の姿に至った。雌阿寒岳14,000年前以降の噴火史については、地質学的見地からステージⅠ～Ⅲに区分された⁷⁾。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、¹⁴C年代値を基に14,000年前以降の噴火活動の再検討を行ってきた。その結果、雌阿寒岳の全体的な噴火活動⁸⁾、そして、最近1,000年間の噴火活動の詳細⁹⁾が明らかとなった。令和3年度は、これまでの調査で

得た噴出物について、実験室内で観察および EPMA を用いた火山ガラスの化学組成分析を行い、噴火様式の検討を行なった。

2. 噴火活動史

地質調査および ^{14}C 年代測定から得られた噴火活動史を図 14 に示す。14,000 年前以降では、中マチネシリ I・II・III の火砕流または火砕サージを流出した活動、その後のポンマチネシリ、西山、北山の溶岩を主体とする活動、そして阿寒富士の降下スコリア・溶岩の活動を経て、再びポンマチネシリの活動に戻り、現在まで継続している。1,000 年前にポンマチネシリでマグマ噴火を行なった以降、活動の主体は水蒸気爆発である⁹⁾。

これまで詳細が不明であった中マチネシリ III の火砕サージ（7,400 年前～5,400 年前に流出）は、我々の研究によって北東～南東の広い範囲に分布していることが分かった。また、7,400 年前から 5,400 年前までの活動の期間中、目立った土壌が確認できないため、継続した活動が生じていたと考えられる。さらに、690 年前以降に北西方向に火砕流が流出したことが明らかとなった。

3. 火山ガラス組成

中マチネシリ III の火砕サージ堆積物には、新鮮な火山ガラスが含まれる。今回、その火山ガラスについて、北海道教育大学旭川校の EPMA（JXA-8600SX）で化学組成の分析を行なった（図 15）。中マチネシリ III（Na-III）は、中マチネシリ I と組成が一部オーバーラップするが、 K_2O が低いものも存在する。したがって、中マチネシリ I の時期とは異なるマグマ系になったと考えられる。また、上述のように中マチネシリ III の火砕サージは、7,400 年前から 5,400 年前まで継続して堆積したが、その期間中にもガラス組成の変化があったと考えられる。したがって、中マチネシリ III の期間中もマグマ系に何らかの変化があった可能性がある。

4. まとめ

令和 3 年度は、これまでの調査で採取した試料の化学組成分析を行ない、噴火様式、マグマ系の変化などを検討した。雌阿寒岳の 14,000 年前以降の噴火活動については、およそ明らかになった。今後、噴火系統樹を作成し、さらに岩石学的な検討を加え、岩石の進化についても検討する予定である。

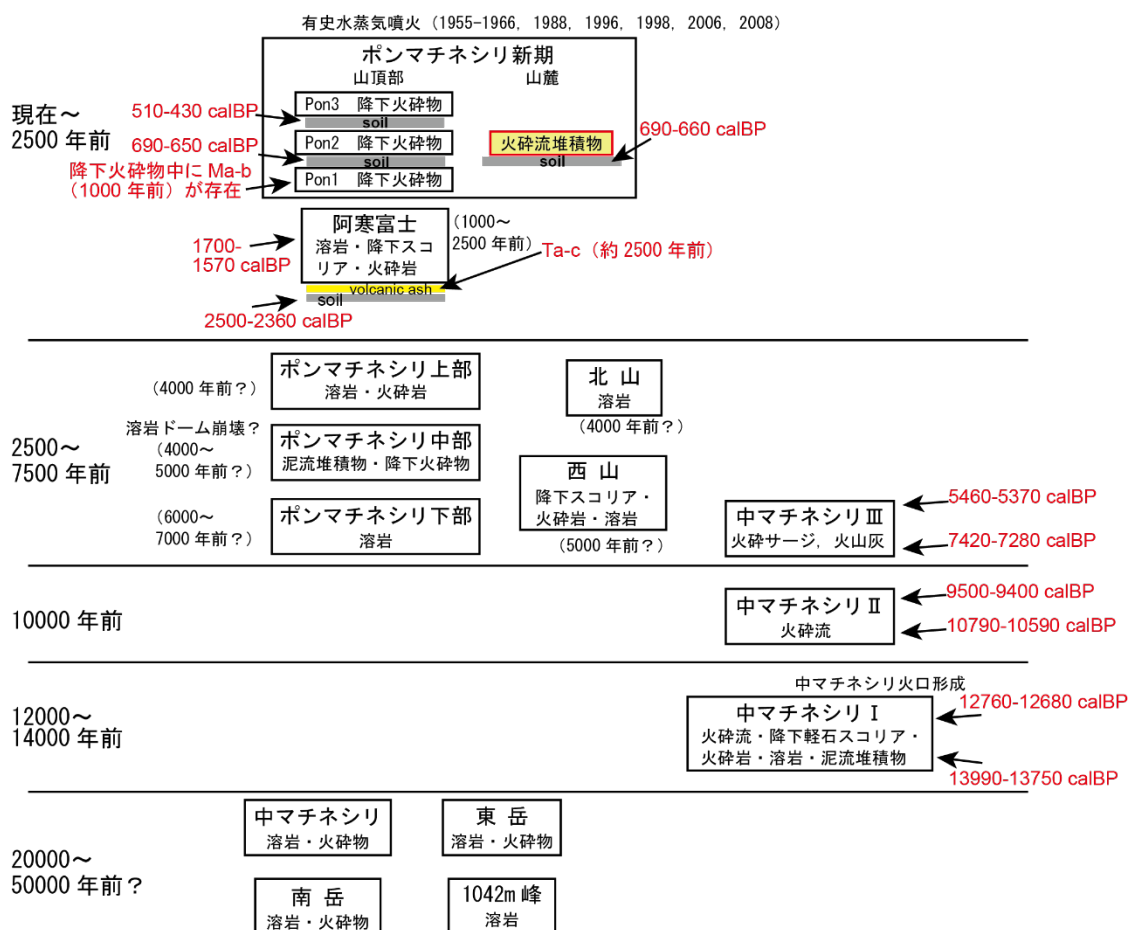


図 14. 再検討した雌阿寒岳の噴火活動史。

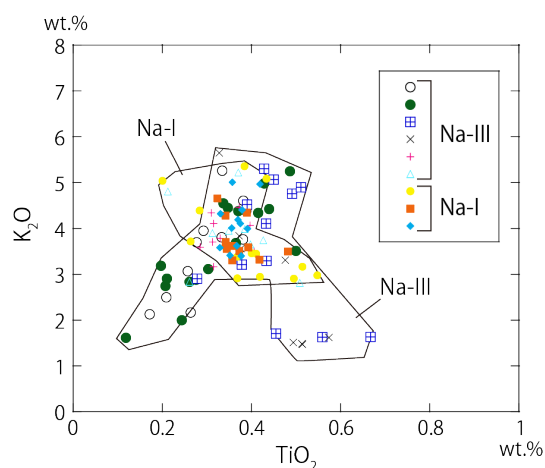


図 15. 中マチネシリ I (Na-I) と中マチネシリ III (Na-III) のガラス組成。

ii) 雌阿寒岳（阿寒富士）のマグマ供給系の解明

活動的火山において、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、約 1,000 年前まで活動していた阿寒富士を対象に、噴出物の岩石学的・地球化学的解析を行い、マグマの生成や多様化プロセスを含むマグマ供給系の検討を行った。

本研究では、先行研究¹⁰⁾によって全岩の主要元素濃度が報告されている試料の中から代表的な試料（図 16）を選び、全岩微量元素濃度測定、Sr・Nd・Pb 同

位体比測定、および詳細な岩石学的・地球化学的検討を行った。その結果、阿寒富士のマグマの多様性は2種類の初生マグマからの AFC (assimilation and fractional crystallization) 過程により生じたこと (図 17)、2種類の初生マグマは、ともにモホ面直下 (深さ~30 km) において生成したこと、そしてマグマの進化 (AFC) は下部地殻内のマグマ溜まりにおいて進行したこと、などが明らかになった¹¹⁾。

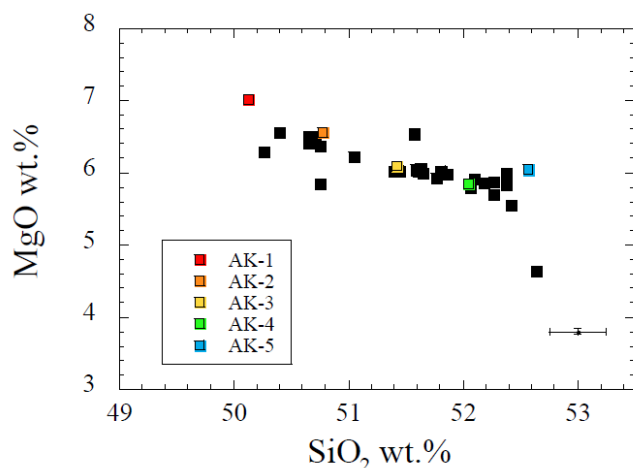


図 16. 阿寒富士の火山岩試料の全岩化学組成。色付きの試料 (AK-1~5) は詳細な岩石学的解析を行った試料を示す。

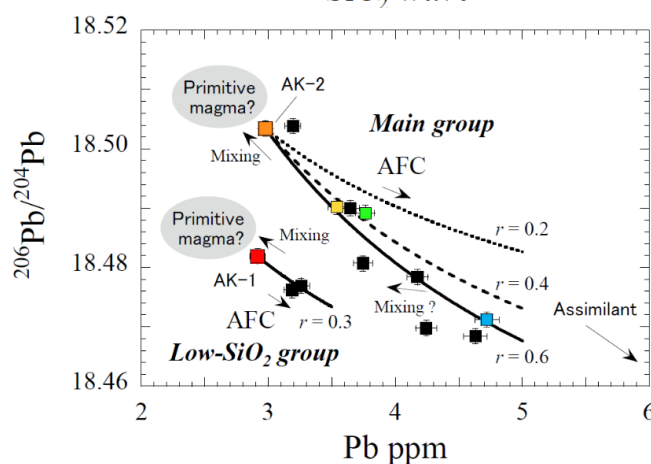


図 17. 阿寒富士の代表的試料についての鉛同位体比 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比) と鉛含有量との関係。阿寒富士の地球化学的特徴の多様性は、2種類の初生マグマからの AFC 過程によって説明できる。

c) 羊蹄山：野外調査に基づく噴火史の再検討 (北海道大学・電力中央研究所)

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 (山頂の標高は、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¹²⁾¹³⁾。その後、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¹⁴⁾、山麓の火山灰層で対応するテフラ層の存在を検討し、羊蹄火山の爆発的噴火がいつから始まったのかを確かめる必要が生じた。2020 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)¹⁵⁾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。昨年度の調査では、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）が発見されたが、詳細な検討は行っていなかった。そこで今年度は、本堆積物の記載岩石学的特徴とガラス組成、ジルコンの U-Pb 年代測定を実施したので以下にその結果を報告する。なお、本成果は日本地質学会第 128 年学術大会（2021 年 9 月）で報告した¹⁶⁾。

2. 露頭の層位・層相

調査地点は、羊蹄山北麓の尻別川左岸である（図 18・19）。異凝灰岩層は、羊蹄火山北麓の尻別川沿いに幅約 25 m、長さ約 90 m の範囲で露出している。尻別川沿いでは、洞爺火砕流と同層位で、周辺地域では最下位層にあたると思われるが、直接の被覆関係は不明である。非溶結であり、淡茶褐色の風化した十数センチ～数センチの軽石と砂サイズ未満の火山灰の基質からなり、ash tuff¹⁷⁾に分類される。露出している部分で観察する限りでは、石質岩片は少ない。



図 18. 露頭の位置。Google Earth の衛星画像に加筆。



図 19. 異凝灰岩層の露頭写真。左はクローズアップ。

3. 記載岩石学的特徴

本堆積物が含有する鉱物は、斜長石・直方輝石・不透明鉱物・石英であり、わずかに単斜輝石も含まれている。石英は、角の取れた他形のものや清澄な正八面体に近い自形のものを含む。ガラスの多くは粘土化しているが、残存するガラスは茶褐色を呈し、形態はバブルウォール～繊維状発泡型である（図 20）。

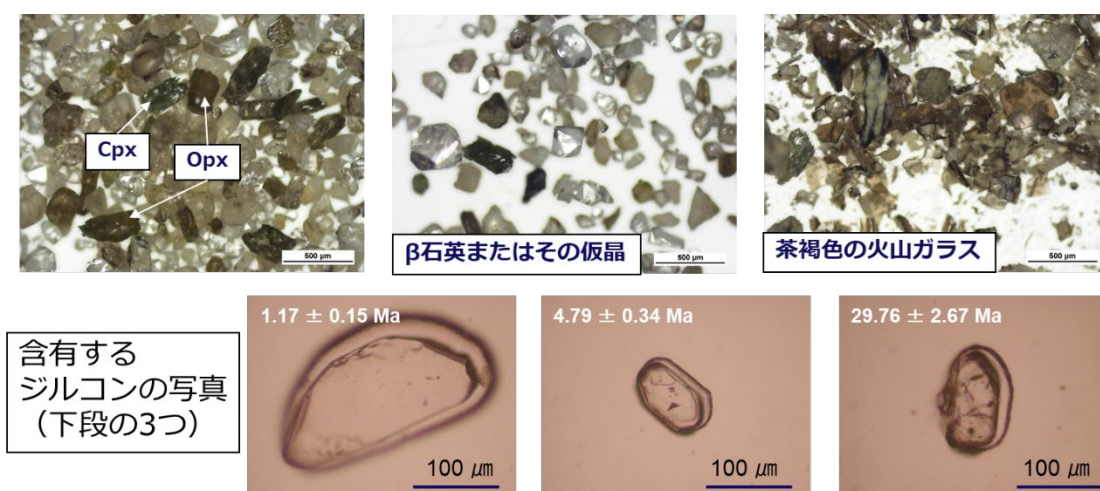


図 20. 含有する鉱物とガラスの写真。上段は左と中央は鉱物の写真、右は茶褐色ガラスを示す。下段はジルコンの代表的写真。

4. ガラス組成

異凝灰岩が含有していた茶褐色ガラスの主成分ガラス組成を北海道大学が所有する EPMA で測定し、その結果を他の周辺火山起源のガラス組成と比較した（図 21）。組成的には比較的 K_2O に富む組成であったが、どの噴出物のガラス組成とも一致しなかった。

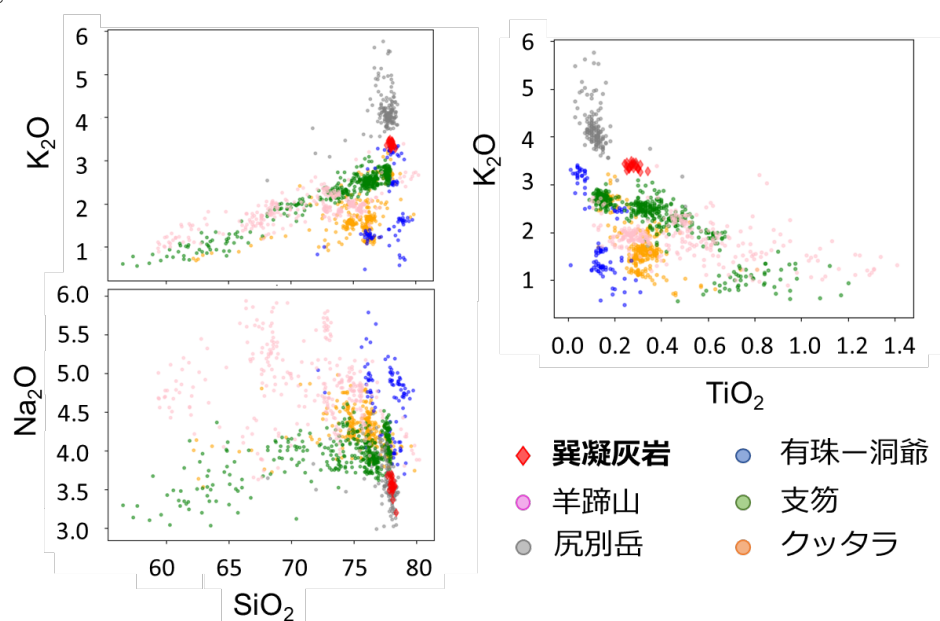


図 21. 火山ガラス組成のハーカー図と TiO_2 - K_2O 図。周辺火山の噴出物ガラス組成¹³⁾¹⁴⁾と異凝灰岩のガラス組成を比較したが、どの噴出物とも一致しなかった。

5. ジルコンの U-Pb 年代

抽出した 20 粒のジルコンの U・Pb・Th を電力中央研究所が所有する LA-ICP-MS で測定し、U-Pb 年代を算出¹⁸⁾した結果、1~30 Ma の幅広い年代を示した(図 22 左)。このうち最若の 6 粒のジルコン U-Pb 年代の加重平均年代は、 1.21 ± 0.23 Ma であった(図 22 右)。また、同じ 6 粒に対して Tera-Wasserburg 図を用いた回帰直線のコン

コーディア年代を検討したところ、 1.24 ± 0.20 Ma が得られた (図 23)。これらの検討結果から、発見した凝灰岩の噴出年代は、約 1.2 Ma と推定される。分析手法は、上澤ほか¹⁹⁾に従った。

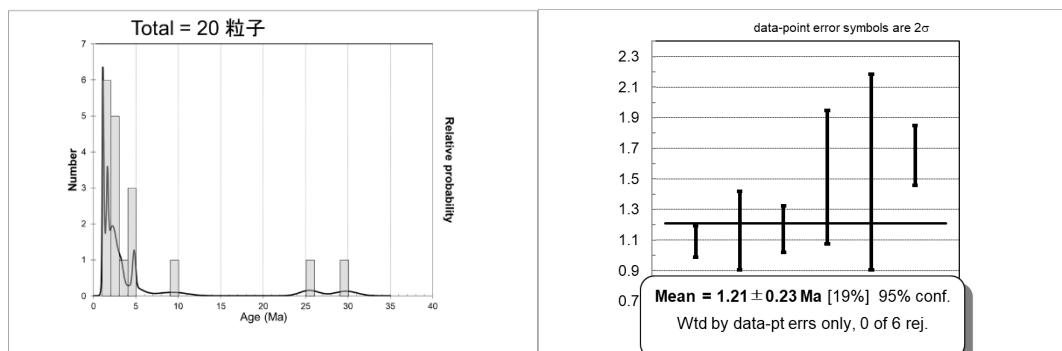


図 22. ジルコン U-Pb 年代分布図 (左) とジルコン U-Pb 加重平均年代 (右)。作図には、Isoplot3.75²⁰⁾を用いた。

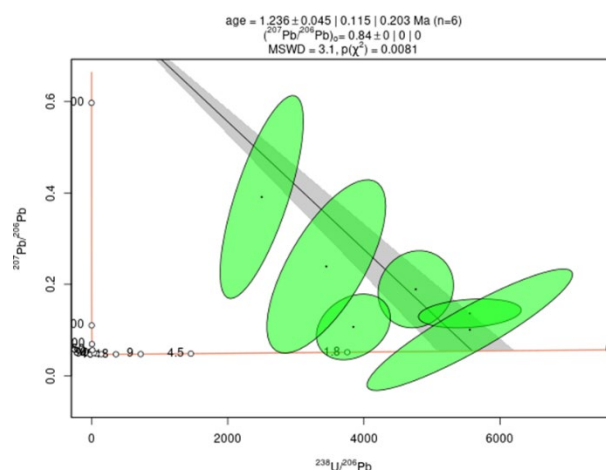


図 23. Tera-Wasserburg 図。Common $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.84$ に設定。ジルコンとメルトの分配係数 $f(^{230}\text{Th}/^{238}\text{Th}) = 0.23$ 、 $f(^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}) = 3.36$ ¹⁸⁾を用いて非平衡補正を行った。作図には、IsoplotR²¹⁾を用いた。

6. 議論とまとめ

羊蹄火山北麓の尻別川沿いで、これまで報告されていなかった凝灰岩層 (異凝灰岩層) が発見された。異凝灰岩層は周辺地域では最下位の層準である。岩石は石英含有両輝石デイサイト～流紋岩、年代は約 1.2 Ma であった。本凝灰岩層の記載岩石学的特徴や含有する茶褐色を呈するガラスの化学組成は、周辺の既知の火砕流堆積物とは明らかに異なる。本凝灰岩層の給源火山は不明だが、ガラス組成から、古い洞爺カルデラ起源、尻別岳起源、あるいは赤井川カルデラやニセコ火山起源の可能性が考えられる。

d) 十和田火山：野外調査による平安噴火ラハール堆積物の分布域の検討 (秋田大学)

プリニー式噴火に伴う火砕流とその後のラハールの発生過程について地質学的に解明することを目的とし、十和田火山平安噴火（915AD）に伴う毛馬内火砕流及びラハール堆積物を対象として、鹿角盆地内で1地点の掘削調査を行った。掘削は重機を用い、鹿角市十和田錦木の市有地にて行った。

トレンチ調査結果を図24に示す。トレンチを構成する地層は、上位より薄い盛り土、約20 cmの不均質な砂混じり黒色土壌層、厚い礫層（1 m以上）からなる。礫層は礫支持で緻密な火山岩（主に安山岩）からなる巨礫～中礫を主体とする。礫は円磨～亜円磨である。基質は軽石片、火山ガラス、斜方輝石を含み、礫の構成物とは異なる。

本掘削地点の地質は、地形解析と伝承から、次のように解釈できる。毛馬内火砕流堆積後、本地点から3 km北東、大湯川上流に位置する集宮周辺にて地すべりを伴う礫と軽石に富む土石流が発生し、流下しながら堆積したと考えられる。トレンチ下部の礫層はこの堆積物と考えられる。その起源物質は、毛馬内火砕流堆積物、河床礫、周辺の既存火山岩類であり、礫層中の礫部は河床礫や既存火山岩類、基質部は毛馬内火砕流の可能性が高い。毛馬内火砕流に関連するラハールは日本海まで到達しており、その岩相変化や成分変化などを広く追跡する必要がある。

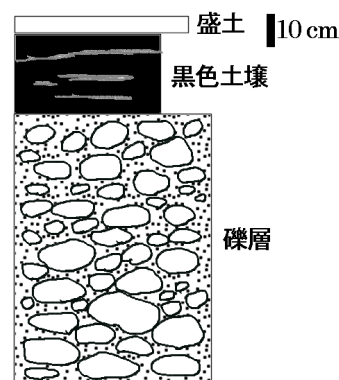


図24. トレンチ柱状図。

e) 秋田焼山：野外調査による噴火活動履歴の解明（産業技術総合研究所）

1. 目的と調査位置

秋田焼山では、これまでの予察的な報告²²⁾²³⁾から、有史時代に少なくとも3回の噴火が発生したことが示されているものの、詳細な活動履歴は検討されていない。完新世の噴火履歴を解明するため、昨年度おこなった山体近傍の登山道や林道沿い21地点の調査結果に加えて、本年度は山頂付近で人力トレンチ調査を実施した（図25）。

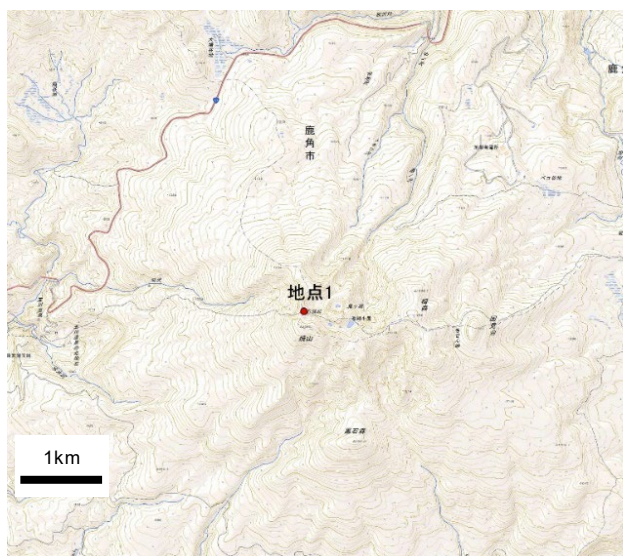


図25. 秋田焼山火山の人力トレンチ調査地点（地点1）。国土地理院2万5千分の1地形図「八幡平」および「玉川温泉」を使用。

2. トレンチ掘削地点における層序

秋田焼山山頂（地点 1）で行ったトレンチ掘削の状況を図 26 に示す。トレンチ調査では、秋田焼山火山由来の 6 枚の降下火砕堆積物、1 枚の広域テフラを確認した。降下火砕堆積物は、層序、層相、層厚及び本年度の新たな炭素年代値を総合して、上位より AKY-2、AKY-3、AKY-5、AKY-7、AKY-8 に対比した。また本年度の調査により AKY-5 の下位に変質物主体とする火山灰層 2 枚と層厚 15 cm 以上の降下スコリア堆積物が認められた。昨年度に実施した調査結果と合わせて構築した総合柱状図を図 27 に示す。



図 26. 秋田焼山火山の山頂（地点 1）における
人力トレンチ調査。2021 年 10 月 15-17 日実施。

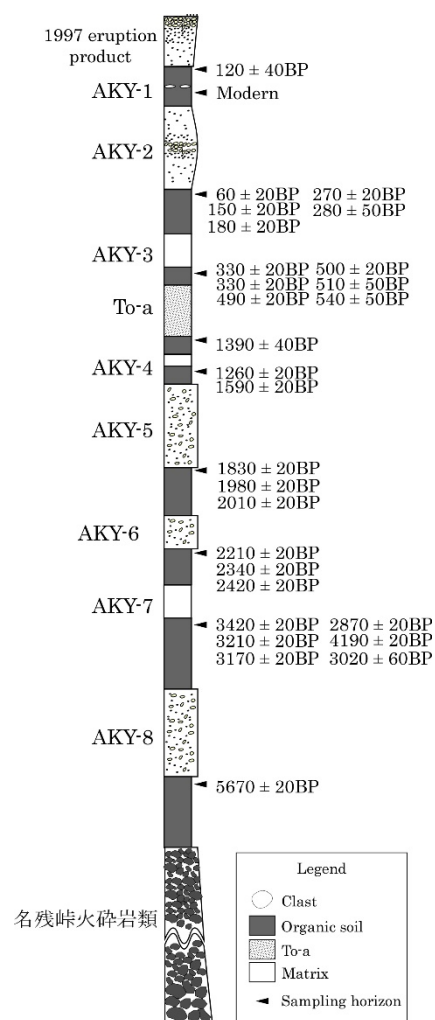


図 27. 秋田焼山火山の総合柱状
図。昨年度までの調査結果も含め
て作成。

これらの層序を整理すると、秋田焼山火山では 1997 年水蒸気噴火と降下スコリアの発生を含めて 9 回の噴火が地層記録から読み取れる。確認された火山灰層の中で最下位に相当する降下スコリア堆積物の上位の土壌からは、約 6,000 年前の炭素年代が得られ、秋田焼山火山は、およそ 700 年に 1 回程度の頻度で、地層記録として保

蔵されうる規模の噴火してきた傾向が認められる。これらの降下火砕物の多くは中央火口から東方ないし北方に主軸を持つことが明らかになった（図 28）。

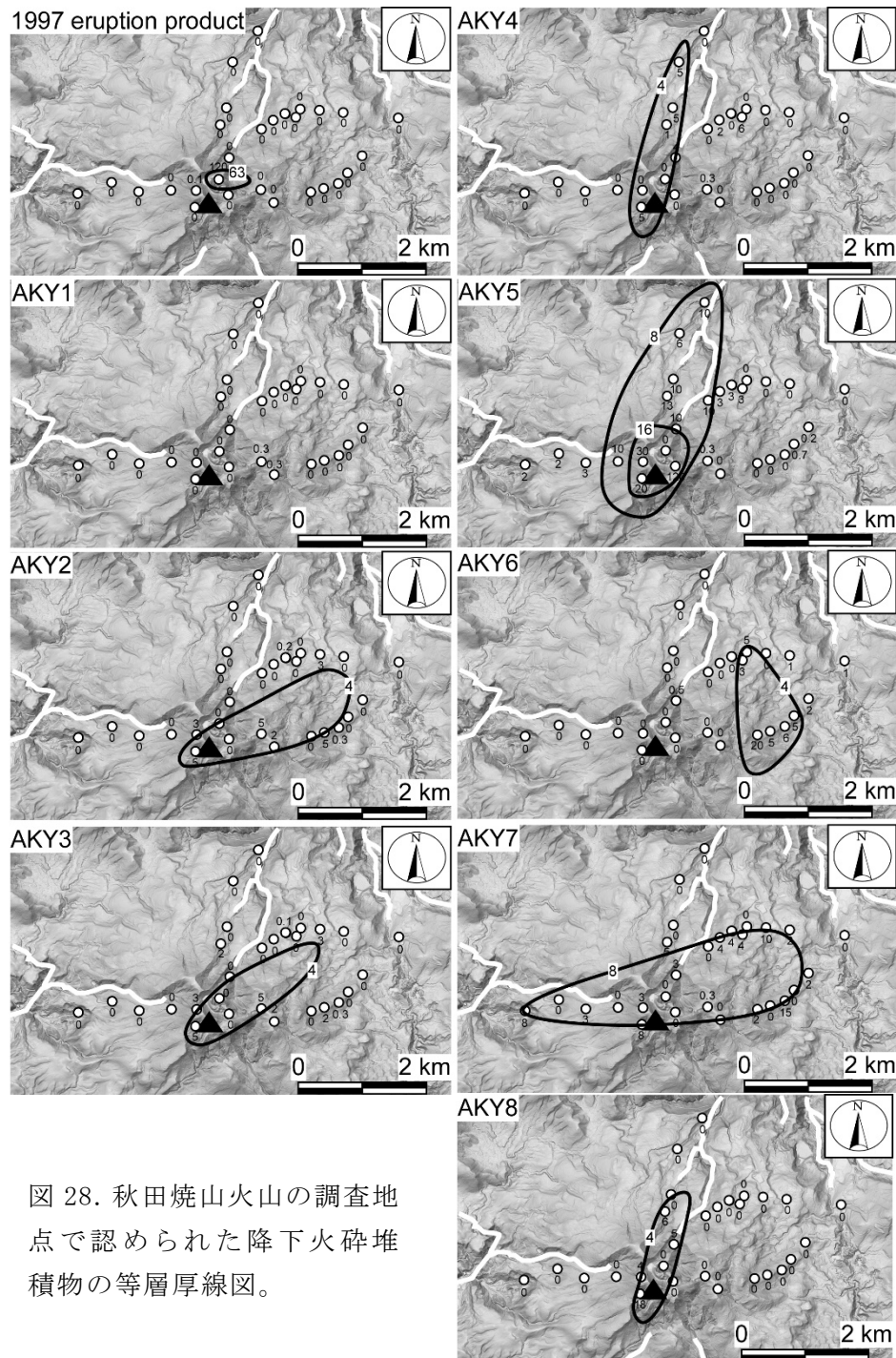


図 28. 秋田焼山火山の調査地点で認められた降下火砕堆積物の等層厚線図。

これらの火山灰層は構成物から、1：変質物を主体とするもの（6層）、2：変質物を主体とし軽石が含まれるもの（2層）、3：スコリアを主体とするもの（1層）の3種類に区分できる。このうち、軽石を含む火山灰層中の軽石岩片について、蛍光X線分析装置で全岩化学組成を測定したところ、 $\text{SiO}_2 = 69 \text{ wt.}\%$ のデイサイト組成を示し、既存の噴火堆積物とは合致せず、新たに確認された噴出物である。また1層のみ確認

された降下スコリア堆積物の全岩化学組成を同様に測定したところ、 $\text{SiO}_2 = 59\text{--}61$ wt.%の安山岩組成を示し、名残峠火砕岩類²⁴⁾に対比されることが明らかになった。

3. まとめ

秋田焼山で山頂近傍の 1 地点において人力掘削調査を実施した。これまで記載されていない火山灰層を含め、最近 6,000 年間の活動による少なくとも 9 枚の噴火堆積物を認識し、噴火履歴および活動推移に関するデータを得た。

f) 秋田駒ケ岳：野外調査に基づく噴火活動履歴の解明（北海道大学・(株)エンバイオ・エンジニアリング）

秋田駒ケ岳は秋田県と岩手県の県境に位置しており、東北地方では最も活動的な火山の 1 つである（図 29）。その活動は、これまでの研究²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾によって明らかにされている（図 30）。まず溶岩流主体の活動により成層火山体を形成した。その後、約 2.6 万年前に山体崩壊が起き、北部カルデラが形成された。そして、約 1.5–1.3 万年前に南部カルデラ形成噴火が起きた。その後活動中心は北部山体に移動し、片倉岳・男女岳をはじめとする北部山体が形成された。最後に南部山体に活動中心が移動し、小岳・女岳を形成し、現在に至っている。このように、これまでの研究によって、秋田駒ケ岳の活動史の概要は明らかになっているが、①10 世紀初頭から約 1,000 年間の静穏期は事実か、②カルデラ形成噴火の推移と様式が明らかになっていない、③後カルデラ活動期の噴火履歴・噴火様式および噴出量が明らかになっていない、という 3 つの課題が残されていることから、本事業では令和元年度より、秋田駒ケ岳を重点火山とし、噴火活動履歴の解明に取り組んでおり、昨年度は課題②の成果を報告した。本年度は、課題①解決のために、南部火山体形成期の噴火履歴調査を明らかにしたのでその成果を報告する。また課題③解決のために、北部山体の山麓でボーリング掘削調査も実施したので、その概要も報告する。

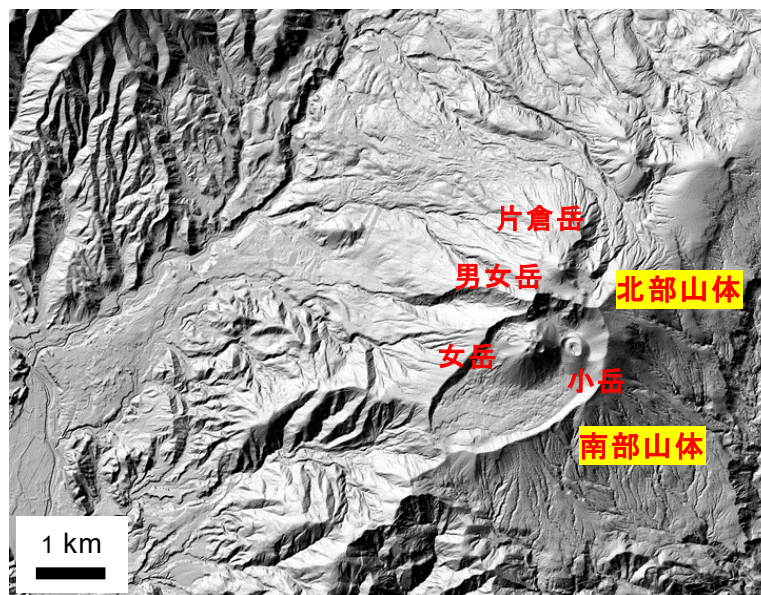


図 29. 秋田駒ケ岳火山の陰影起伏図（国土地理院電子地図より引用）。

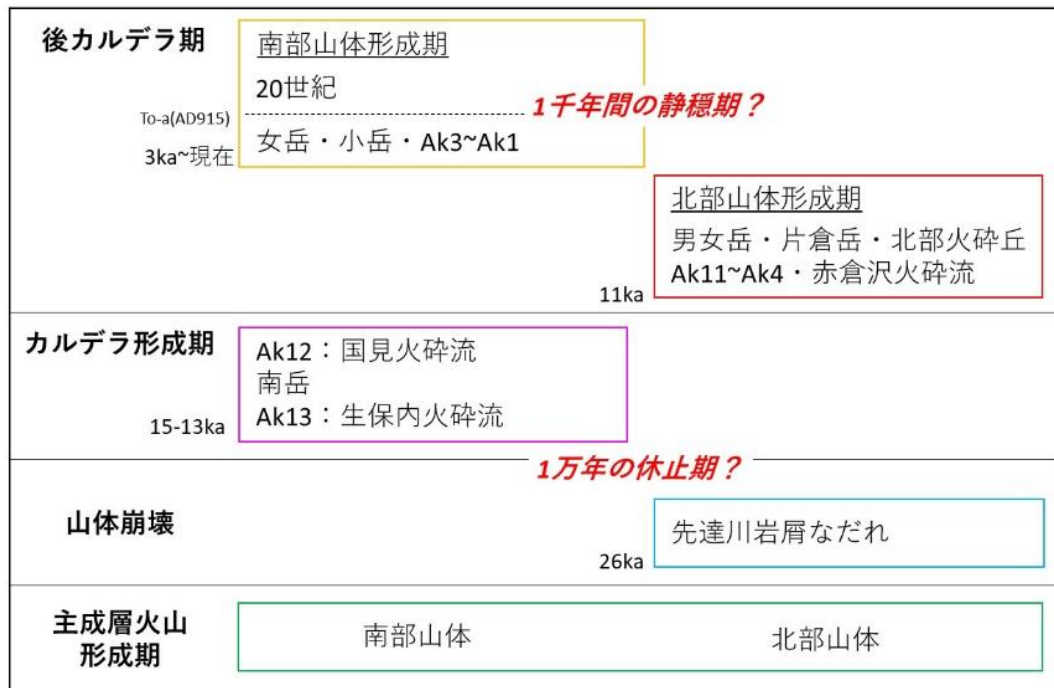


図 30. 従来の研究による秋田駒ヶ岳の活動史のまとめ ^{(25) (26) (27)} および本研究。

i) 南部山体形成史の解明

1. はじめに

南部山体については、テフラ層序学的研究から約 3,000 年前から開始されたとされ ²⁷⁾、南部カルデラ内の 3 つの火砕丘（小岳、女岳、南岳）が噴出中心と考えられてきた ^{25) (27)}。しかしながら本事業による研究で、南岳がカルデラ形成期の火砕丘であり、またカルデラ底から流出したとする桧木内川溶岩流 ²⁷⁾ が主成層火山形成期であることが明らかになった。さらに我々の調査・研究によって、十和田火山由来のテフラとの層序関係やテフラと山体近傍堆積物との対比が行われた。その結果、過去 3,000 年の噴火履歴や様式が明らかになった。

2. 研究手法

本研究では、地形解析、山体近傍および遠隔地での地質調査が行われた。地形解析にはアジア航測から提供された赤色立体地図、国土地理院の陰影起伏図および航空写真が用いられた。山体近傍の調査ではこれまであまり行われていなかったカルデラ内の調査を重視した。テフラ調査も特に山体近傍から中間地点について補足調査を行い、各テフラの層相の再検討を行い、さらに等層厚線図については従来の研究によるもの ²⁸⁾ を改変した。そして噴出物の記載岩石学的記載、および XRF による全岩化学組成分析が行われた。広域テフラに関しては火山ガラス組成と、十和田火山近傍で採取された軽石のマトリクスガラス組成を、それぞれ EPMA で測定して比較した。

3. 地質概略

新たに得られた地質図（図 31）と形成史を示したブロック図（図 32）を示した。ブロック図にはテフラ層序と山体近傍の被覆関係を示している。

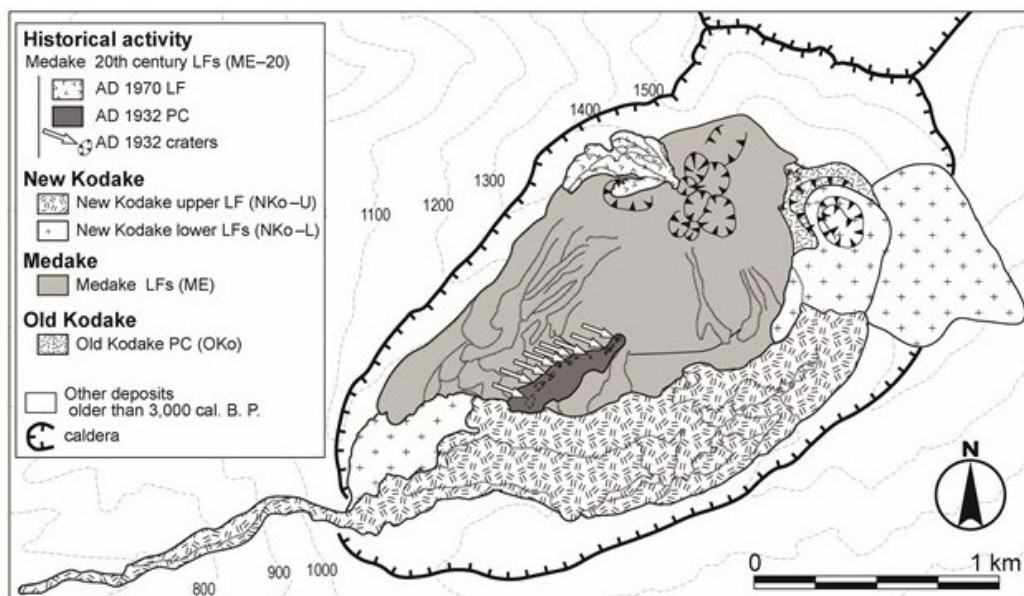


図 31. 秋田駒ケ岳、南部山体（過去 3,000 年間）の地質図（本研究）。

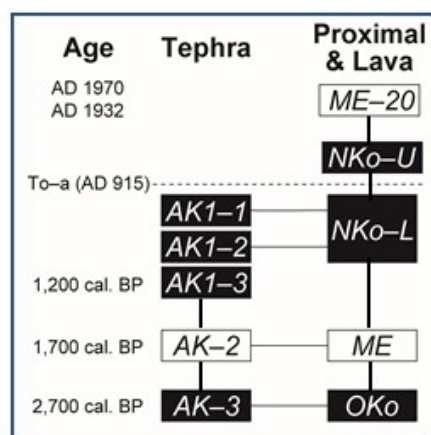


図 32. 秋田駒ケ岳、南部山体の噴火履歴（本研究）。

新たな知見としては以下のとおりである。

①小岳を地形的に古小岳と新小岳の 2 つの火砕丘に区分した。この火砕丘は活動時期も異なり、古小岳が AK3 テフラの給源であり、新小岳は AK1 テフラの給源である。これは本研究で改変した AK3 テフラと AK1 テフラの等層厚線と、女岳は古小岳を被覆するが、新小岳に被覆される地形的特徴から支持される。

②南部カルデラ内の露頭において、AK1 テフラの直上で十和田 a テフラ（To-a：西暦 915 年）が見いだされ、その上位に新小岳上部溶岩（新称）が覆うことが明らかになった（図 33）。この溶岩は玄武岩質であり、玄武岩質安山岩質の AK1 テフラとは対比できない。よって AK1 の活動は西暦 915 年までに終了し、それ以降は別のマグマが溶岩として流出したことになる。これまで AK1 は To-a に覆われており、その間では 19 世紀後半まで約 900 年間の休止期があったと考えられていたが、西暦 915 年以降も溶岩流出中心の活動を続けていたことが明らかになった。

③テフラと山体を構成する溶岩との対比が確定した（図 34）。女岳溶岩と新小岳上部溶岩は化学組成が類似した玄武岩であり、AK2 に組成的には対比が可能である。しか

し新小岳上部溶岩が AK1 および To-a の上位にあることが判明し、これまで混乱のあった対比が確定したと考えられる（図 32）。

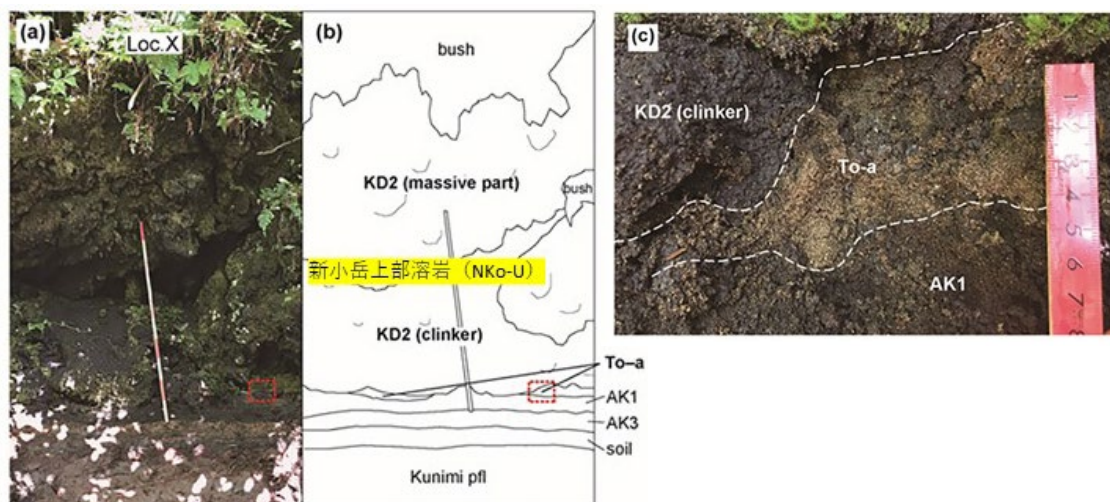


図 33. 南部カルデラ内、南岳北麓での露頭での、AK1、十和田 a (To-a) および新小岳上部溶岩の関係。

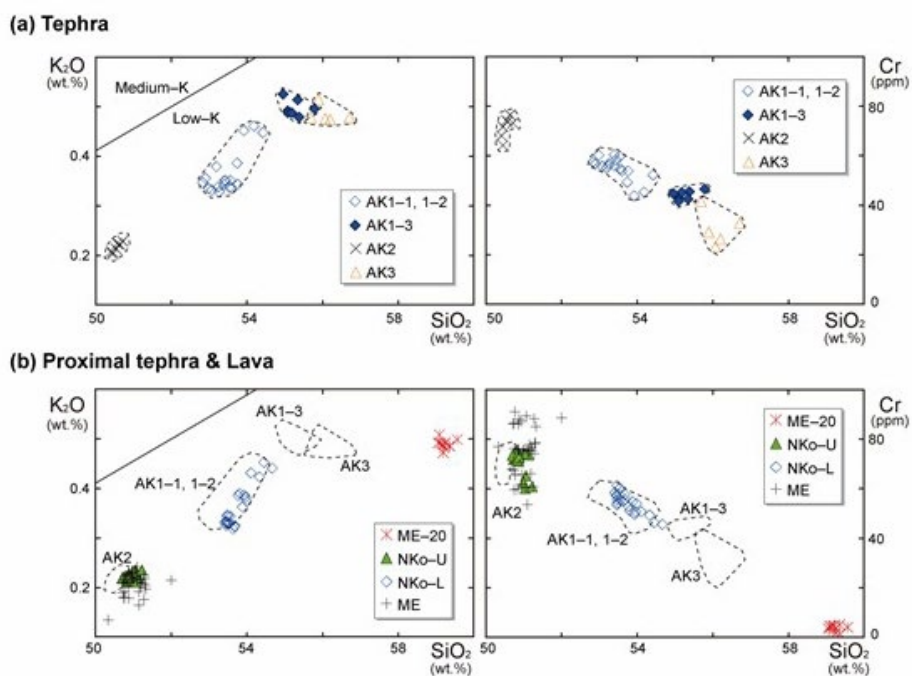


図 34. テフラおよび山体近傍の堆積物との対比。ユニット名は図 31・32 と同じ。

3. まとめ（階段図と噴出物の化学組成変化）

本研究により過去 3,000 年間の噴火履歴と、テフラおよび山体構成物の活動年代が明らかになった。その成果を階段図に示した（図 35）。3,000 年間の噴火活動を見ると、約 1,000 年前まではほぼ一定の噴出率で活動していたが、この 1,000 年間では噴出率が 1 割程度に低下していることが明らかになった。また噴出したマグマに関しては安山岩質マグマから玄武岩質マグマへと変化が 2 回繰り返されているようであり、20 世紀になって安山岩質マグマが噴出している。20 世紀の安山岩質マグマは

過去 3,000 年間では最も SiO_2 量に富んでいる。このような噴出率の変化、規則的なマグマ組成の時間変化と、そして 20 世紀のマグマの特徴などについて、物質科学的に検討する必要がある。

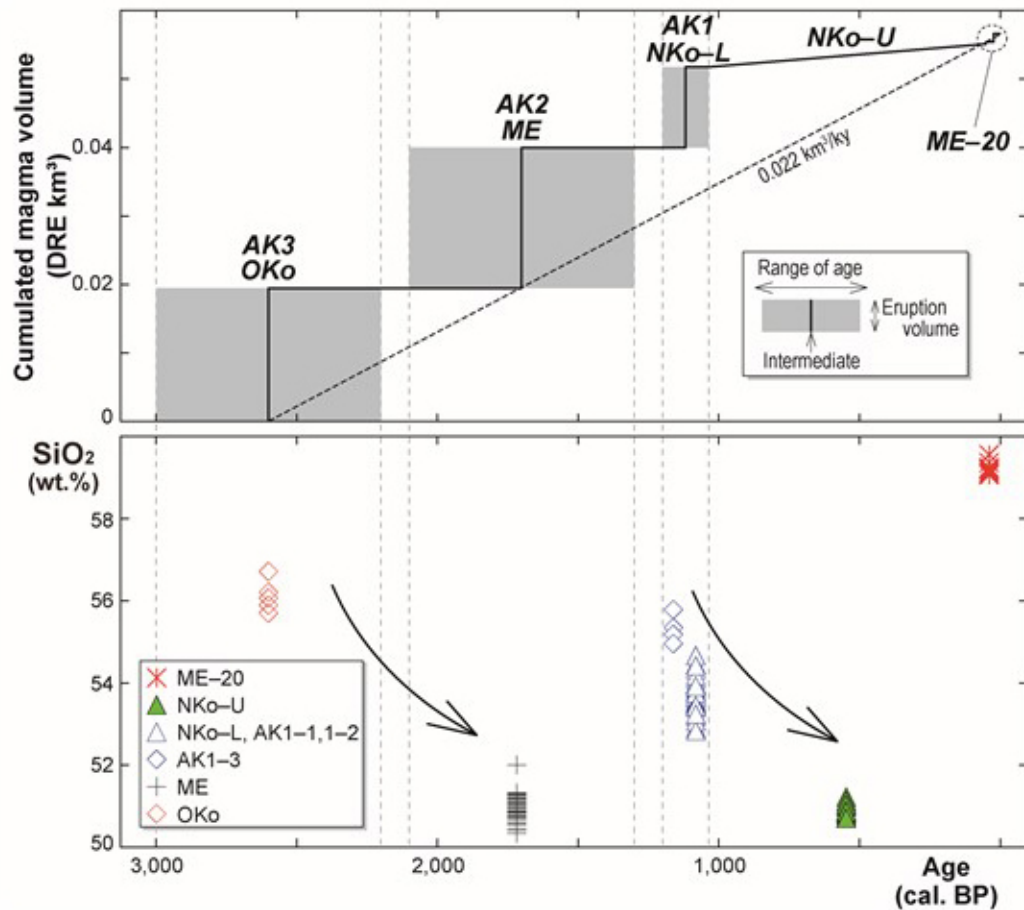


図 35. 秋田駒ヶ岳南部山体の時間－噴出量階段図と噴出物組成の時間変化（本研究）。

ii) 北部山体形成史解明のためのボーリング掘削調査

これまでの研究による活動史のまとめ（図 30）によると、秋田駒ヶ岳では山体崩壊から南部カルデラ形成噴火までの間に約 1 万年間の休止期が存在したことが考えられる。しかし、この約 2.6 万年前という山体崩壊の発生年代は、岩屑なだれ堆積物中の木片の ^{14}C 年代値によるものであることから、山体崩壊発生年代の下限を示していると考えられる²⁹⁾。また、山体崩壊が発生したあと、その崩壊地形を埋めるように北部山体において活動が起きたと考えられるが、山頂部の火砕丘・テフラについてはその履歴が明らかになっている一方、山腹に分布する溶岩流については詳細な検討はなされていない。秋田駒ヶ岳の過去 1 万年間の活動履歴・噴出量の変遷を考える上で、これらの点は明らかにする必要がある。そこで、本年度は、北部山体形成史と山体崩壊の発生時期を検討するために、秋田駒ヶ岳山麓の 2 箇所でボーリング掘削調査を実施した（図 36）。

まず田沢湖高原温泉付近では、100 m 深の掘削調査を実施した。表層より 8 m 深まではクリンカー（もしくは岩屑なだれ堆積物）と思われる角礫岩層が観察され、それ

より下位では塊状溶岩が約 90 m 深まで続いた。この溶岩は主成層火山形成期の溶岩であると考えられる。この溶岩の下位には土石流堆積物が観察でき、その堆積物中の有機質粘土より約 4.2 万年前の ^{14}C 年代値が得られた。また、小先達川砂防施設付近においては、43 m 深の掘削調査により、この付近に分布する土石流堆積物が観察された。その岩相の違いにより大きく 3 枚に大別され、11-29 m 深付近のものは、構成する礫が新鮮な安山岩質溶岩であり、サイズも 50 cm 超と大きいことから、山体崩壊に関連した堆積物である可能性がある。今後はこれら溶岩の岩石学的特徴を明らかにするとともに、秋田駒ヶ岳周辺の野外調査を継続し、南部山体の活動との関連も含め、山体崩壊事象の発生時期と北部山体の活動史を検証していく予定である。

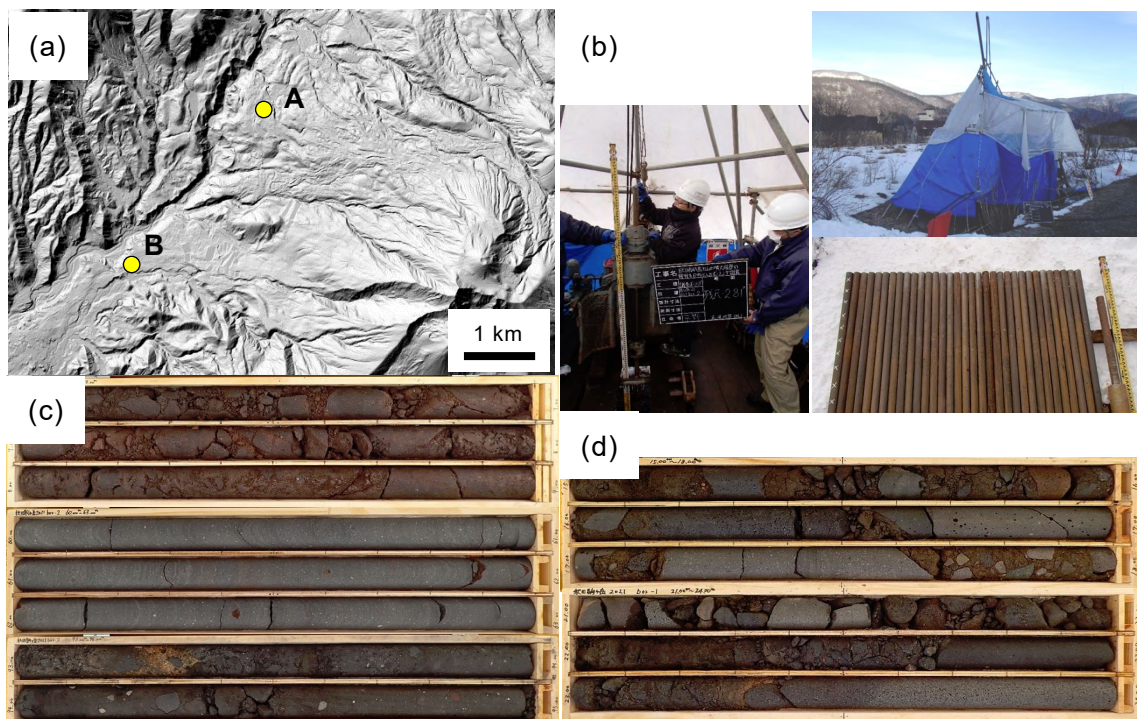


図 36. ボーリング掘削調査結果。(a)調査地点、(b)掘削調査の様子、(c)代表的なボーリングコア試料の写真（地点 A：上からクリンカー、溶岩、土石流堆積物）、(d) 代表的なボーリングコア試料の写真（地点 B：山体崩壊に関連している可能性が高い土石流堆積物）。

g) 鳥海山：野外調査に基づく噴火履歴の解明と物質科学的解析によるマグマ供給系の解明（秋田大学・山形大学・産業技術総合研究所）

i) トレンチ試料の成分分析による事象分岐シナリオ

鳥海火山では爆発的噴火による火砕堆積物の分布が山頂周辺に限られ、山頂周辺でも露頭が限られているため、本プロジェクトによりトレンチ調査を継続して行ってきた。2020 年度までに複数箇所でもトレンチを実施し、狭在土壌の年代測定とも併せて対比を行い、東鳥海山については過去 5,000 年間の活動史が解明されてきた。2021 年度は山頂周辺にて新たな露頭を見いだして調査を実施し、火山灰成分分析と年代測定を行っている。2021 年度の追加調査により、2,500 年前以降の活動史がより

詳細が解明され、特に事象分岐モデルの構築に至るデータが得られている。

トレンチにて採取した火山灰試料は、水洗の後、ふるい分けにより 125～250 μm の粒子を抽出し、双眼実体顕微鏡にて検鏡を行った。2020 年度までは火山灰を色調・形態・光沢等を基に分類し、その量比を基に火山灰の特徴付けを行い、対比の手がかりとしていたが、2021 年度はより精密な分類を行い、幾つかの試料について成分分析を行った。この分類には、SEM-EDS による火山灰内部組織観察も行っている。採取されたテフラ試料を構成する粒子は、次の 7 種類の火山灰粒子に大別できる(図 37)。

(1) 不定形黒色火山灰粒子(スコリア火山灰を含む)、(2) ブロック状黒色火山灰粒子、(3) 不定形無色透明火山灰粒子(軽石火山灰を含む)、(4) 明灰色石質岩粒子、(5) 変質岩粒子、(6) 遊離結晶、および(7) 火山豆石である。(1)(2)(3)は本質物質であり、新鮮で光沢のある火山灰である。石基部分はガラスに富んでいる。(4)(5)は非本質物質であり、(4)は未変質で結晶質な石質岩片、(5)は熱水変質してシリカ鉱物やカオリン鉱物に交代している。(7)火山豆石は他のタイプの火山灰粒子と細粒基質からなる。細粒基質は、アモルファス珪酸塩と硫酸塩(ミョウバン石)、塩化物からなる。この分類に基づき、いくつかの火山灰試料について成分分析を行った。

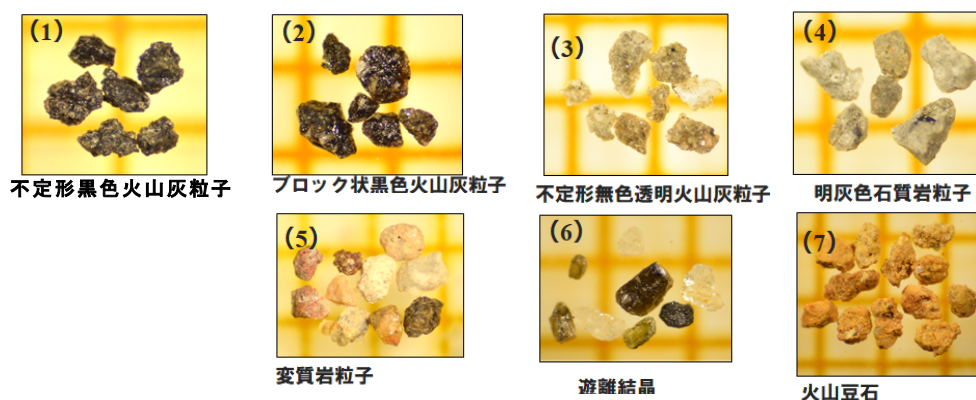


図 37. 火山灰粒子の分類。

成分分析には 2019 年調査の七ツ釜滝地点トレンチと 2020 年度調査の百宅口唐獅子平小屋トレンチの試料を用いた(図 38)。そのうち、七ツ釜滝の 4 試料(NG-1～NG-4)は土壌を挟まない一連の噴火による堆積物である。NG-3 に含まれる木片の放射性炭素年代測定値($2,427 \pm 23$ yBP)と堆積物の産状から、象潟岩屑なだれを生じた山体崩壊に伴う噴出物と解釈できる³⁰⁾³¹⁾。百宅口唐獅子平避難小屋の MY-2～MY-4 も土壌層を挟まず、一連の噴火による堆積物である。

図 38 に成分分析結果を示す。すべての試料が変質岩粒子に富んでおり、多くは本質物を含んでいる。この成分比の特徴から、鳥海山の爆発的噴火の多くは火山熱水系が関与するマグマ水蒸気噴火もしくは水蒸気噴火であるといえる。噴火推移を示す一連の火山灰層(MY-4～MY-2 および NG-4～NG-1)では、最下位層では変質物に富んでおり、下位から上位に向けて本質物が増加する傾向がみられる。これは、水蒸気噴火(もしくは熱水系の関与が大きいマグマ水蒸気噴火)から、時間とともにマグマが優勢になることを示している。また、NG-3 の層位より、マグマの関与が増加する過

程で山体崩壊が発生したことが示される。

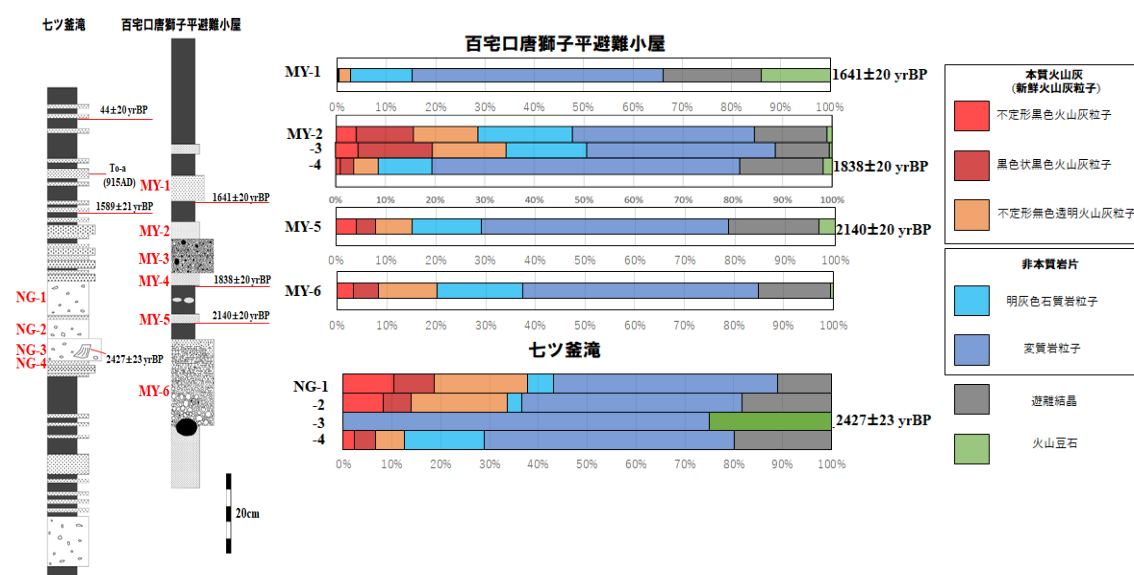


図 38. 成分分析を行ったテフラ試料とその分析結果。

植木³²⁾によると、鳥海火山における歴史噴火の傾向として、爆発的噴火の数日から数か月前に微弱な噴煙もしくは噴気活動が継続する。初期の噴火が熱水系関与型の水蒸気噴火/マグマ水蒸気噴火であることから、この噴煙もしくは噴気は、加熱された火山熱水系に由来すると考えられる。比較的規模の大きい噴火では、溶岩流出に推移することも分かっている。また、噴火活動が開始すると北へ流下する火山泥流が発生することが多い。Minami et al.³³⁾ は歴史時代以前から、噴火に伴う北麓へのラハール流下があったとしている。

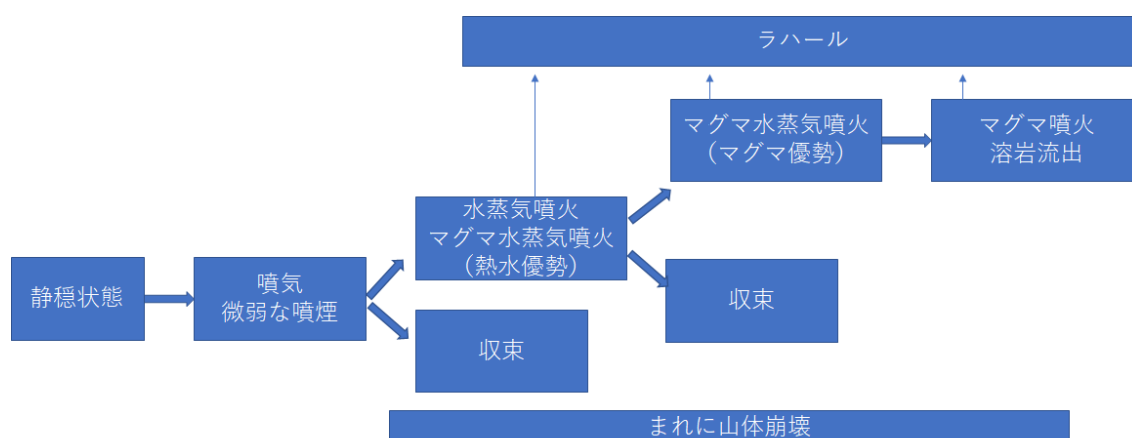


図 39. 鳥海火山の噴火事象分岐モデル。

以上の結果と既往研究の知見より、鳥海火山での典型的な噴火の事象分岐モデルを構築できる (図 39)。マグマの貫入に伴い、噴気または微弱な噴煙により地表活動が開始する。そのまま収束することもあるが、数日～数カ月後に爆発的噴火 (水蒸気

噴火・本質物が少ないマグマ水蒸気噴火)に移行することがある。その後、収束する場合と、マグマの寄与が大きいマグマ水蒸気噴火への移行し、更にマグマ噴火・溶岩流出にいたることもある。噴火が始まると、規模にかかわらずラハールが発生し、北斜面に流下することが多い。ごくまれに、活動中に山体崩壊が発生する。

ii) 西鳥海山のマグマ供給系の解明

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³⁴⁾³⁵⁾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らしたマグマ供給系の解明を行った。

噴出物は下位から、西鳥海カルデラ内の噴出物は概ね下位から、中ノ沢下部溶岩類、扇子森溶岩ドーム、中ノ沢上部溶岩類、鳥ノ海スコリア、鍋森湿原アグルチネート、鍋森山溶岩ドーム、前鍋森山溶岩ドーム、万助道溶岩に分類できる。鍋森山溶岩ドーム、前鍋森山溶岩ドーム、万助道溶岩の新旧関係は不明である。岩石は暗灰色～灰色の溶岩または黒色のスコリアからなる。斜長石・単斜輝石・直方輝石・かんらん石・角閃石斑晶が全ての噴出物に含まれる。苦鉄質包有物がほとんどの溶岩に認められ、またスコリアの一部のものは縞状組織を示す。苦鉄質包有物は、かんらん石と角閃石斑晶を含むもの(タイプ A)と含まないもの(タイプ B)がある。

全岩組成は、中ノ沢下部溶岩類と扇子森溶岩ドームのトレンド(トレンド L)と中ノ沢上部溶岩類・鳥ノ海スコリア・鍋森湿原アグルチネートのトレンド(トレンド U)が認識できる。鍋森山・前鍋森山両溶岩ドーム・万助道溶岩は元素によってトレンド L・U の延長上のどちらの近くに乘る。苦鉄質包有物のタイプ A は母岩と同様の系列に属し苦鉄質側延長上に乗るが、タイプ B はソレアイト系列に属し母岩とは異なるトレンドを示す。

どの噴出物にも低 Mg 単斜輝石と直方輝石及び高 Fo かんらん石が常に、中～高 Mg 単斜輝石と直方輝石が稀に認められる。角閃石はマグネシオホルンブレンド、パーガシティックホルンブレンド及びパーガサイトが認められた。輝石温度計を低 Mg 輝石コア組成に適用すると 850 °C 程度の値が得られた。角閃石温度圧力計を用いると、3 種の角閃石について約 840-860 °C・1.2-1.5 kb、940-960 °C 前後・2.7-3.3 kb、約 1,000 °C・4.5-6.0 kb の晶出温度圧力が各々得られた。なお、鳥ノ海スコリア・中ノ沢上部溶岩類に含まれるパーガシティックホルンブレンドは小さい。

以上の結果を基にマグマ供給系を考える(図 40)。地下約 4-5 km に位置し、低 Mg 量の輝石とマグネシオホルンブレンドが結晶化していた浅部マグマ溜りに苦鉄質マグマが注入し噴火に至ったと考えられる。注入したマグマは約 20 km 以深で高 Fo かんらん石を晶出していたもので、上昇途中の複数の深度でマグマポケットなどを形成してパーガサイトやパーガシティックホルンブレンドを晶出した。鳥ノ海スコリア・中ノ沢上部溶岩類の時には上昇速度が速かったためか、パーガサイトは十分に成長しなかった。全岩組成のトレンドが中ノ沢下部溶岩類と扇子森溶岩ドームとそれ以降では異なるため、活動していた浅部マグマと深部マグマの両方の組成が変化し

た可能性がある。

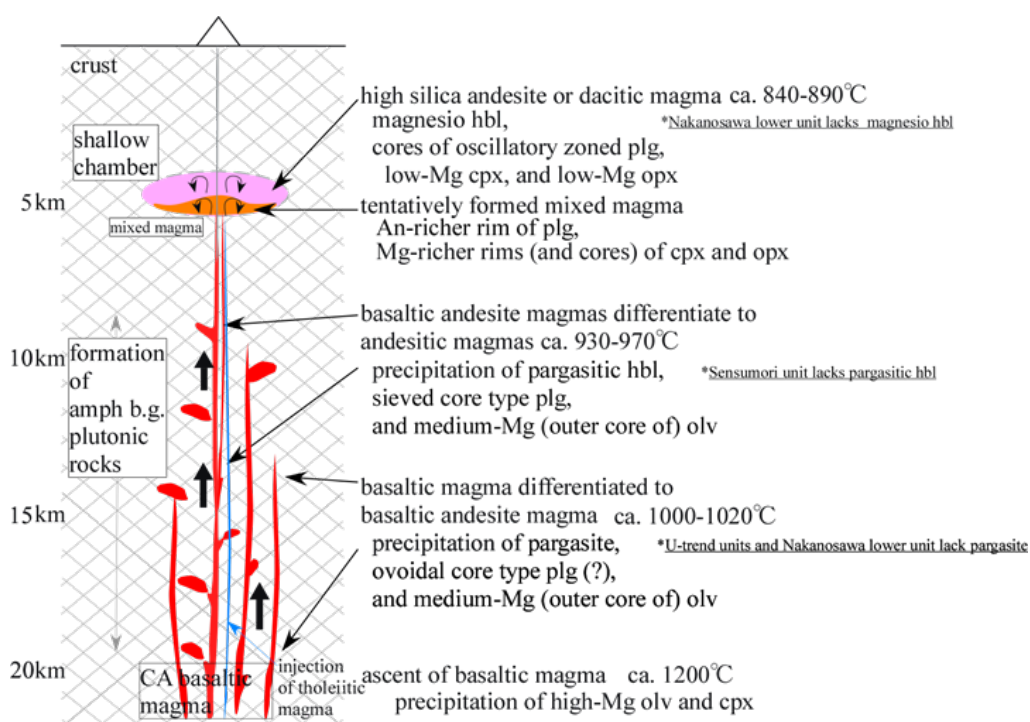


図 40. 鳥海山、西鳥海カルデラ内噴出物をもたらしたマグマ供給系の概念図。

h) 栗駒山：野外調査に基づく噴火活動履歴の解明（秋田大学）

栗駒火山では、完新世に活発な活動を続けている山体北斜面の剣岳から昭和湖周辺の火口に由来する噴出物を対象とした掘削調査を実施した。昭和湖周辺では土井³⁶⁾が詳細に露頭調査を行っており、完新世の水蒸気噴火テフラ層序をほぼ確立している。本調査では、それらのテフラの到達範囲やマグマ噴火テフラに注目して調査を実施した。

本年度は図 41 の地点 1～3 において掘削調査を行った。地点 4 は前年度トレンチ調査実施地点である。図 42 に対比柱状図を示す。まず、地点 3 では厚い土壌のみが認められ、対象テフラが到達していないと考えられる。地点 1・2・4 では複数のテフラ層が認められ、そのうち赤色火山礫からなるテフラは対比できた。また、2 地点では To-a を見いだした。地点 1 では、約 5,000 年前以降に発生した水蒸気噴火火山灰層が複数認識された。To-a より上位の 2 層は土井³⁶⁾による PHD1～3 のいずれか、下位の層は PHD4～8 に相当し、赤色火山礫層は SC-1～3 に相当する。

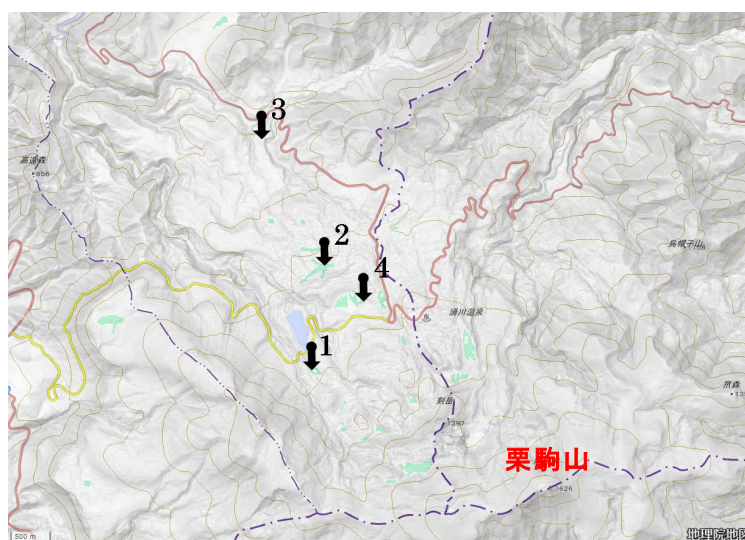


図 41. トレンチ調査実施箇所。地点 1～3 は令和 3 年度、地点 4 は令和 2 年度に実施。

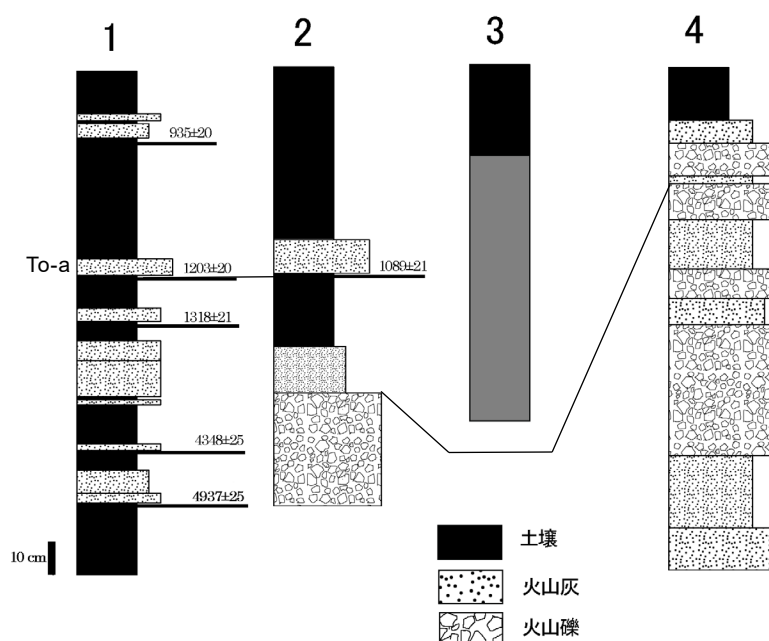


図 42. トレンチ掘削調査で観察されたテフラ層の対比柱状図。

i) 蔵王山：野外調査に基づく噴火活動履歴および規模に関する研究（山形大学）

i) 蔵王山の噴火活動履歴の高精度化

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る³⁷⁾。これまで、これら 3 つの活動期の詳細を明らかにするために、野外調査・トレンチ掘削調査を実施してきた。以下に令和 3 年度に実施した内容を各活動フェーズで記す。

蔵王山約 3.5～1.3 万年前の活動フェーズ

昨年度まで行ってきたテフラ層序学的研究をさらに進めた結果、該当期間のテフラ層は4枚(Za-To1~4)あることが判明した。4枚のテフラ層について等層厚線図を作成したところ、下位の2枚の主分布軸は東北東であり、最上位のものの主分布軸は北北東と推定された。また、等層厚線図を基に各テフラ層の体積を見積もった。各テフラ層の年代は、先行研究³⁸⁾で示されていた年代値と本研究で得られた年代値を基に推定した。また、約1.3万年前の活動と考えられる山頂近傍に分布する火砕岩類(刈田岳火砕岩類)について行ってきたマグマ供給系の解明結果を論文として公表した³⁹⁾。

蔵王山約9~3千年前の活動フェーズ

今年度は地表踏査をさらに進めると共に、御釜の南方約1.8 km及び南南東方約1.9 km付近の2か所でのトレンチ調査を行った(図43)。これまでの調査結果と本年度の結果を併せると、約9~6千年前と推定される主に山頂から中腹付近に分布する4枚のテフラ層(下位からZa-To5a~dとする)、約5.8千年前と推定される山頂の南東方向にのみ分布する1枚のテフラ層(Za-To5)、約5~4千年前と推定される山麓まで分布が見られる2枚のテフラ層(Za-To6~7)、約4千年前と推定される山頂付近に局所的に見られる1枚のテフラ層(Za-To8)、約4~3千年前と推定される山頂付近一帯に分布する7枚のテフラ層(Za-pre GSa~g)にまとめられる見込みが付いた。Za-To5a~dは下部に薄いスコリア質火山灰層が認められる場合があるが、主に白色変質火山灰からなる。Za-To5はスコリア層から、Za-To6~8はスコリア質火山灰層からなる。Za-pre GSa~gは主に白色変質火山灰からなるが、Za-pre GSa~cは黒色スコリア質の粒子を比較的多く含んでいる。課題として、Za-To5a~d・Za-To8・Za-pre GSa~cの等層厚線図が精度良く描けていないこと、また年代の推定も精度が良くないことが挙げられる。

蔵王山約2千年間の活動フェーズ

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た。各テフラをもたらした噴火の特徴を推定するために、スコリア主体層の構成物解析、水蒸気噴火テフラ層のXRD分析を進めた。課題として、各テフラ層について、山麓付近にまで等層厚線を延ばすことが挙げられる。また、Za-0k1~7に対比される山頂近傍に分布する火砕岩類(五色岳火砕岩類の一部)を対象としてマグマ供給系の構成と噴火に至るプロセスについての研究成果を国際誌に投稿した。大枠としては地下約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の分析を数多く行い、様々な組成の帯を形成したマグマの種類を推定し、また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。

最新活動期の噴出量積算図の試作

最新活動期全体の噴出量積算図を図44に示す。テフラ層の名称はこれまでに記した通りである。Za-To1~4は主に山麓で見られるもので、ある程度規模の大きなものである。Za-To3~4の間に規模の小さな活動がなかったかどうかは判定できていない。この時期のものと推定される火砕岩類が山頂近傍に残存しているが、それらの年代

値の精密な推定が困難なためである。また、最終氷期には山頂付近の植生が失われ、浸食され易いテフラ層は失われてしまった可能性が高い。よって規模の小さな噴火の痕跡を探し出すにはさらに何らかの工夫が必要と思われる。図 44 の約 9 千年前以降の青枠、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を各々示している。2～3 千年おきに、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 43. 御釜の南方約 1.8 km 及び南南東方約 1.9 km 付近の 2 か所でのトレンチ調査写真。

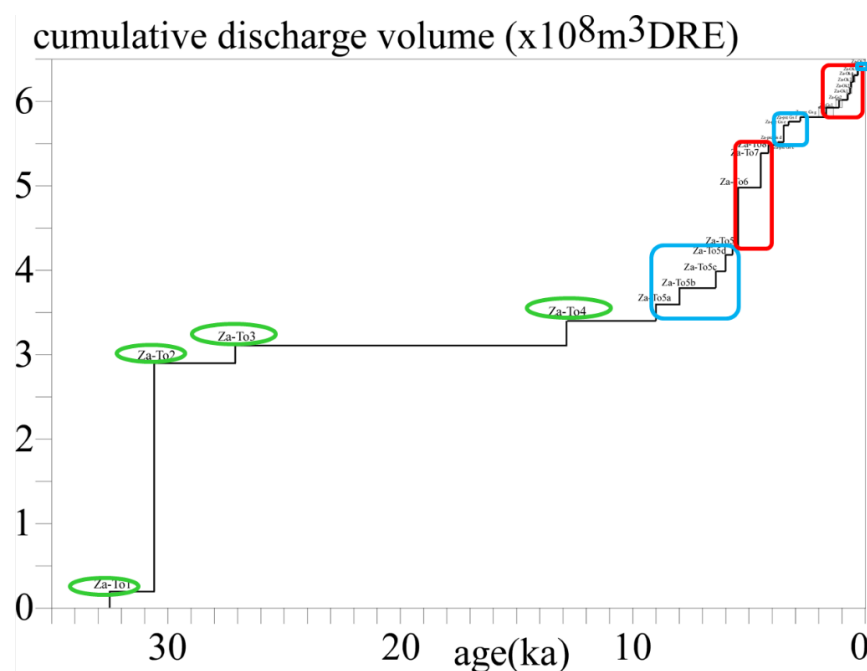


図 44. 蔵王山、最新活動期の噴出率積算図（暫定版）。緑で囲んだテフラ層は主に山麓で認められるもの。青枠、赤枠で示したところは、熱水系が関与した噴火卓越時期、マグマ噴火卓越時期を各々示している。

ii) 蔵王山、1895 年噴火の投出火山岩塊の噴出条件の推定

この研究は 4 年ほど前から行っていたものであり、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についてシミュレーションプログラム Ballista を用いて推定した。その成果は論文として公表した⁴⁰⁾。

j) 吾妻山：野外調査に基づく噴火活動履歴の解明と物質科学的解析によるマグマ供給系の解明（山形大学・茨城大学・秋田大学）

先行研究⁴¹⁾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⁴²⁾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（図 45）。また、大穴ユニットについて進めてきた物質科学的分析結果を基に、そのマグマ供給系について検討を行った。

i) テフラ層序の再検討

テフラ層の調査の結果、地点 1 では多数のテフラ層が新たに発見された。そのうちの幾つかは明治噴火でもたらされたものである可能性がある。また、地点 3 では小火口内に堆積した湖成層が認められた。

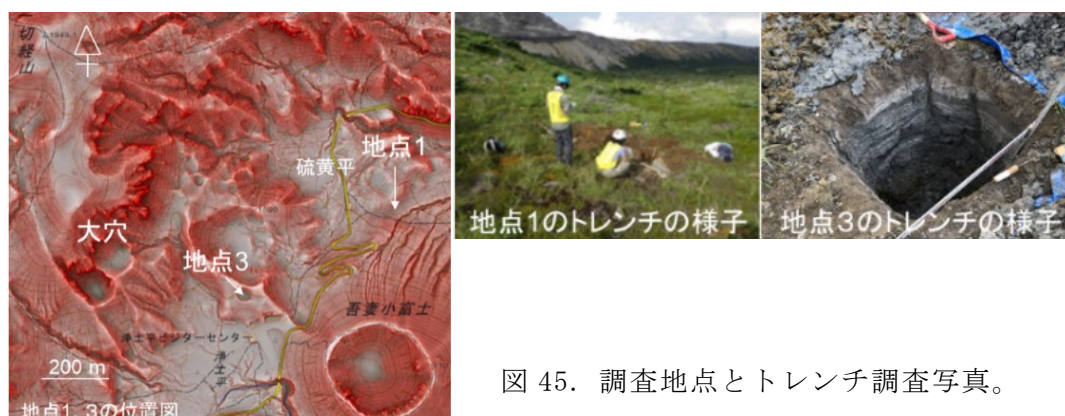


図 45. 調査地点とトレンチ調査写真。

ii) マグマ供給系の解明

吾妻山の最新のマグマ噴火による大穴ユニットの火山弾試料を多量に採取し、分類・鏡下観察・全岩-鉱物化学組成分析を行った。火山弾は、暗灰色安山岩（D）と灰白色安山岩（W）に分けられる。どちらも斑晶鉱物として斜長石、直方輝石、単斜輝石、カンラン石、磁鉄鉱を含む安山岩である。斑晶の溶融組織、全岩組成の直線的なトレンド、高 Fo かんらん石と低 Mg 輝石のような非平衡組み合わせの存在から、噴出物は 2 端成分のマグマ混合岩と考えられる。なお、D と W の SiO₂量は各々約 58～59 wt.%と 60～63 wt.%であり、D は高 Mg 帯を持つ輝石やかんらん石の割合が多い。地質温度計と MELTS プログラムを用いて検討したところ、苦鉄質端成分は、約 14 km 以

深で高 Fo かんらん石とスピネルを結晶化していた高温玄武岩、珧長質端成分は、約 4 km の深さで低 Mg、An の輝石と斜長石を結晶化していた低温デイサイトと推定された。ところで、地球物理学的研究結果から、吾妻山の約 22 km 以深と地下約 3~15 km には部分溶融体の存在が推定されている^{43) 44)}。苦鉄質端成分マグマは前者から分離したもの、珧長質端成分マグマは後者が流動化したものと考えられる（図 46）。後者はマッシュ状で、苦鉄質端成分マグマの注入時には部分的に流動化、混合し、その内部に中間組成のマグマが形成され则认为られる。W の組成は珧長質マグマの組成にかなり近いことを考えると、苦鉄質マグマの注入に伴い、中間マグマと珧長質マグマの流動化部分（浅部溶融体の頂部付近で形成か）が不完全に混合しながら噴出し、D と W が形成されたと考えられる。

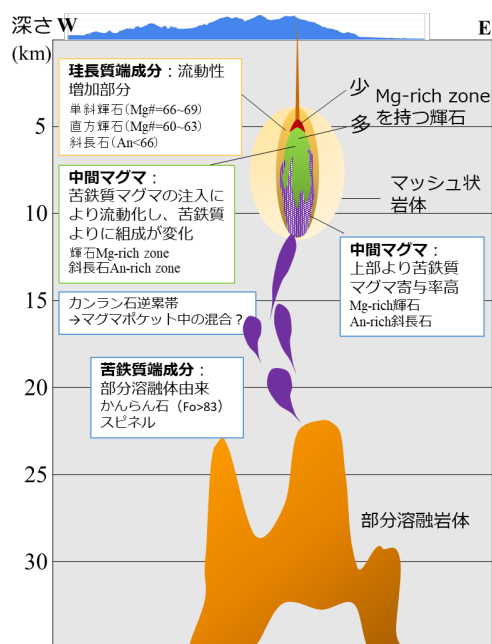


図 46. 大穴ユニットのマグマ供給系概念。

k) 那須岳:物質科学的解析によるマグマ変遷の比較研究と野外調査に基づく噴火活動履歴の再検討（茨城大学）

i) マグマ変遷からみる茶臼岳の中長期予測：活動を終えた二岐山との比較研究

那須火山群は、マグマ活動の時空変遷からみて、北方から古い順に「甲子 旭 岳」、^{かつしあさひ}「三本槍岳」、^{ふたまたやま}「南月山・朝日岳・茶臼岳の集合体」の 3 つの火山体と、これらから独立して形成された二岐山に分けられ（図 47a）、各火山体は異なるマンタルダイアピルを起源とする可能性が指摘されている⁴⁵⁾。活動をすでに終えた二岐山火山の噴火史とマグマ系を明らかにし、これをモデルに、現在活動中の茶臼岳火山の中長期予測を考察したので報告する。

二岐山火山是那須火山群の最北部に位置する比高約 600 m の成層火山である。地形、層序、岩石学的特徴から総合的に判断すると、本火山の活動期は東部～南部～西部に主に溶岩を流出したステージ 1（6 ユニット）、北部に大規模な溶岩を流出したステージ 2（2 ユニット）、山体中央に主に溶岩ドームを形成したステージ 3（3 ユニット）に分けられる（図 47b）。熱ルミネッセンス年代測定の結果、ステージ 1 からは約 16~9 万年前、ステージ 2 からは 8 万年前頃、ステージ 3 からは約 6~5 万年前の値が得られた。本火山の活動期間は他の那須火山群の火山体と同様に約 10~15 万年間に及ぶことが明らかとなった。ステージ 1 の噴出量は約 1.57 km³ DRE、ステー

ジ 2 は約 1.99 km^3 DRE、ステージ 3 は約 0.09 km^3 DRE であり、噴出率はステージ 2 で最大となる（図 47c）。

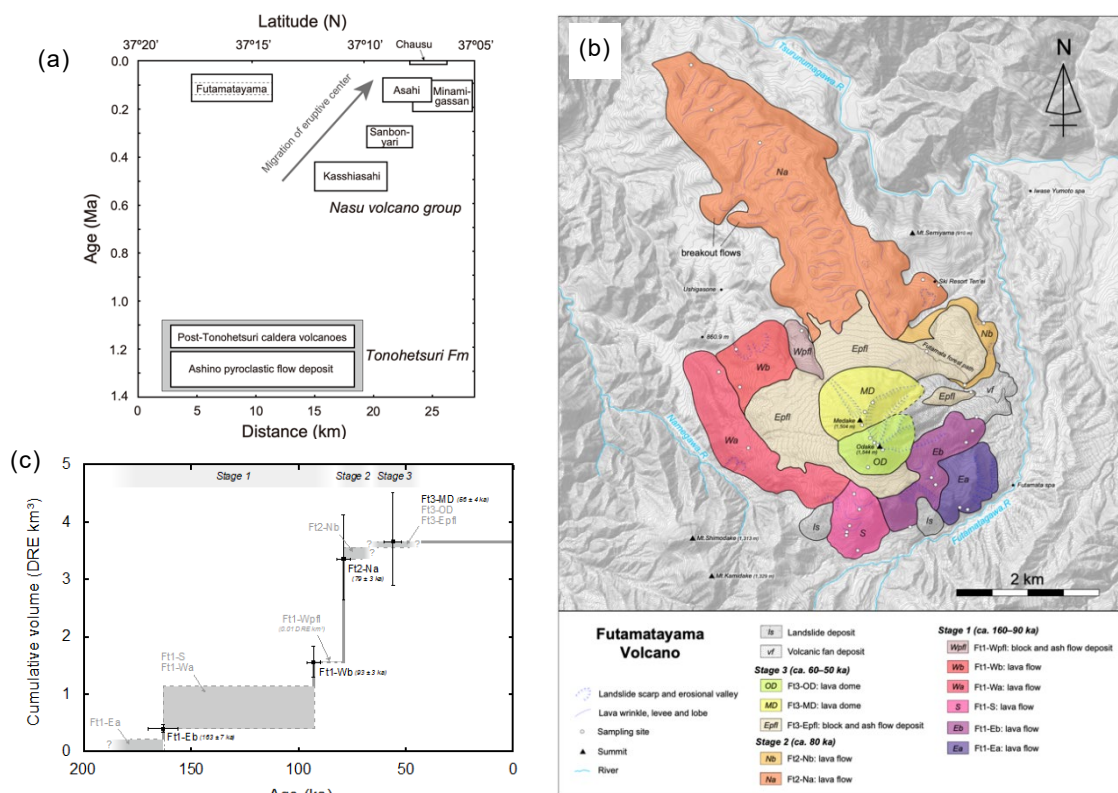


図 47. 那須火山群を構成する火山体の時空変遷 (a)。二岐山火山の地質図 (b)。二岐山火山の時間一積算噴出量階段図 (c)。

全ての噴出物は、珪長質な母岩と苦鉄質包有物からなる。苦鉄質包有物は主に斜長石・単斜輝石・直方輝石・かんらん石を含む玄武岩～玄武岩質安山岩で、珪長質母岩は主に斜長石・単斜輝石・直方輝石・石英、一部に角閃石を含む安山岩～デイサイトである。記載岩石学的特徴および全岩化学組成から、主要な岩石タイプは、苦鉄質側で 2 つ (M-1/2 と M-3)、珪長質側で 2 つ (F-1/2 と F-3) に分類できる。ステージ 1～2 では主に M-1/2 と F-1/2 が噴出し、これらはハーカー図上で同一の直線的トレンドを形成する。続くステージ 3 の噴出物は主に M-3 と F-3 からなり、これらはステージ 1～2 とは異なる直線トレンドをなす (図 48)。以上のことから、ステージ 1～2 と 3 では、それぞれ異なる端成分マグマが混合して噴出したと考えられる。ステージ 1～2 からステージ 3 への苦鉄質マグマの組成変化を見ると、液相濃集元素比が不変であり Mg#や Cr や Ni の含有量が減少するため、同源苦鉄質マグマからのかんらん石・輝石の結晶分別作用で説明できる。珪長質マグマの組成変化については、起源物質を最も未分化なマグマの組成とした場合、部分熔融度の違い (ステージ 1～2 は 2～5 %、ステージ 3 は 3～8 %) で説明可能である (図 48)。二岐山火山では、各ステージで、下部地殻に貫入・底付けした苦鉄質マグマと、それが固結し最熔融した珪長質マグマが混合して噴出したと考えられる。熱源 (苦鉄質マグマ) が下部地殻に底付けする場合、初期は地殻の温度が低いため低部分熔融度で珪長質マグマが生成され

るが、地殻が次第に温められると部分熔融度が高くなる⁴⁶⁾。一方、熱源である苦鉄質マグマは冷却に伴い結晶分別作用が進行する。これらのマグマプロセスに合わせ、活動中盤で噴出率が最大となる特徴(図 47c)からも、単一のダイアピルモデルが支持される。

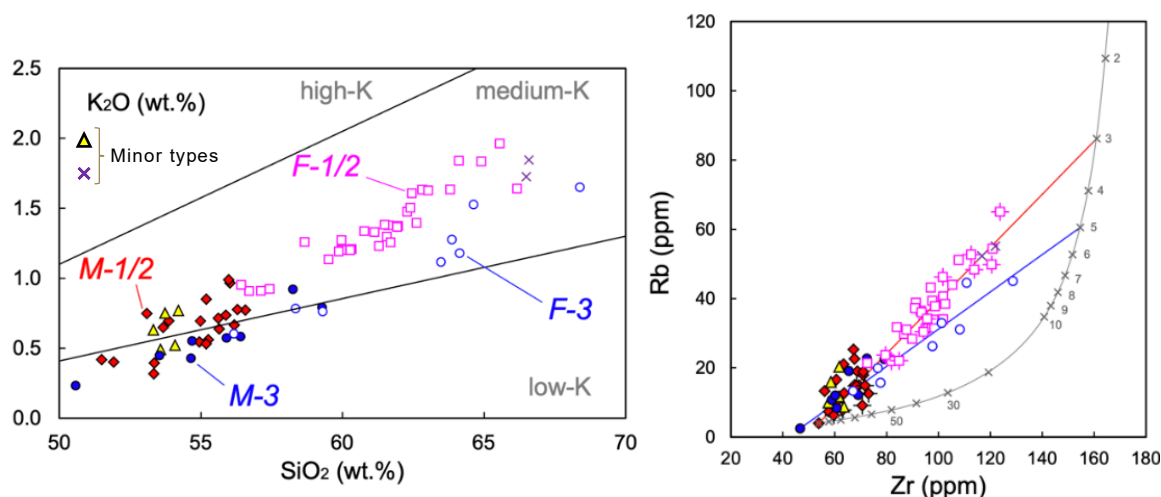


図 48. 二岐山火山噴出物の全岩主成分化学組成 (左) と微量元素組成 (右)。右図の曲線と数字は、各ステージの最も未分化なマグマ組成を起源とした平衡バッチ溶融モデル曲線と部分熔融度 (%) を示す。

マグマ変遷の観点から、二岐山のステージ 1~2 (16~8 万年前) とステージ 3 (6~5 万年前) の関係は、現在の朝日岳 (17~7 万年前⁴⁵⁾) と茶臼岳 (1.6 万年前~現在⁴⁷⁾) の関係に類似する。Rb/Y-FeO*/MgO 図では、二岐山のステージ 1~2 とステージ 3 は平行で異なる組成トレンドを示し、ステージ 3 で高 FeO*/MgO に移動する (図 49)。同じ組成変化は、朝日岳から茶臼岳にかけての活動でも認められ、(南月山・) 朝日岳・茶臼岳は、二岐山と同様、単一のマンテルダイアピルモデルが適合すると考えられる。噴出率も、南月山・朝日岳で約 0.1 km³/kyr⁴⁵⁾であるのに対し、茶臼岳では 0.004 km³/kyr と顕著に減衰することから、中長期的なマグマ変遷の観点からみて、茶臼岳およびその周辺での火山活動は終息傾向に向かっている可能性が指摘できる。

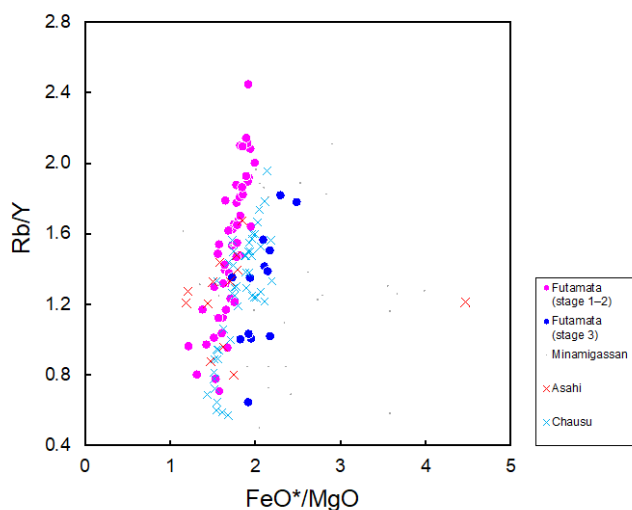


図 49. 二岐山および南月山・朝日岳・茶臼岳⁴⁸⁾噴出物の全岩 Rb/Y-FeO*/MgO 図。

ii) 茶臼岳の最新期活動の再検討

那須火山群最高峰の茶臼岳 (1,915 m) は、有史時代にも複数の噴火記録を持ち⁴⁹⁾、現在も活発な噴気を上げる活火山である。本火山のマグマ噴火は 6 つのユニットからなり、下位から CH1 (約 1.6 ka)、CH2 (1.1 ka)、CH3 (8.0 ka)、CH4 (6.0 ka)、CH5 (2.6 ka)、そして CH6 (AD1408-1410 年) である⁴⁷⁾。CH6 の噴火では、噴石と埋没によって 180 名以上の犠牲者が出たとされる。これらマグマ噴火ユニットの間には、水蒸気噴火堆積物も挟在し、特にその頻度は CH5 以降に増加する。今回の調査では、CH4 と CH5 の間に新しいマグマ噴火ユニット CH5' を発見した。またトレンチ調査において、CH6 噴火に伴って発生したラハールの分布や、CH6 以降の水蒸気噴火履歴に関する新知見を得ることができた。

峰の茶屋裏の大露頭 (Loc. 1) では、朝日岳溶岩を覆って、茶臼岳噴出物が連続的に観察できる (図 50)。この露頭の最上部では、広域テフラである榛名—二ツ岳テフラ (Hr-FP: 6 世紀) を覆って CH6 のブルカノ式噴火堆積物が認められる。Hr-FP の下位には、もう 1 つの広域テフラである沼沢—沼沢湖テフラ (Nm-NK: 5 ka) が認められるが、従来、Hr-FP と Nm-NK の間のマグマ噴火は CH5 のみが記載されていた。今回、両広域テフラの間に、水蒸気噴火堆積物などを挟在して少なくとも 2 回のマグマ噴火ユニットが認められた。より下位の噴火ユニットは Nm-NK の直上に位置する。同様に、旧登山道入り口の Loc. 2 でも、両広域テフラの間に 2 つのブルカノ式噴火堆積物ユニットが認められ、より下位のユニット直下の土壌から約 3.1 cal ka の ¹⁴C 年代値が得られた (図 51)。層位関係や年代値などから、2 ユニットのうち、より上位が従来の CH5、より下位は未記載のマグマ噴火ユニットと考えられる。本層を CH5' と仮称し、今後、分布域やマグマ組成を詳しく検討していく。



図 50. 茶臼岳山頂部の調査地点 (左)。Loc. 1 の露頭写真 (右)。CH5' の直下に見える軽石は Nm-NK テフラ。

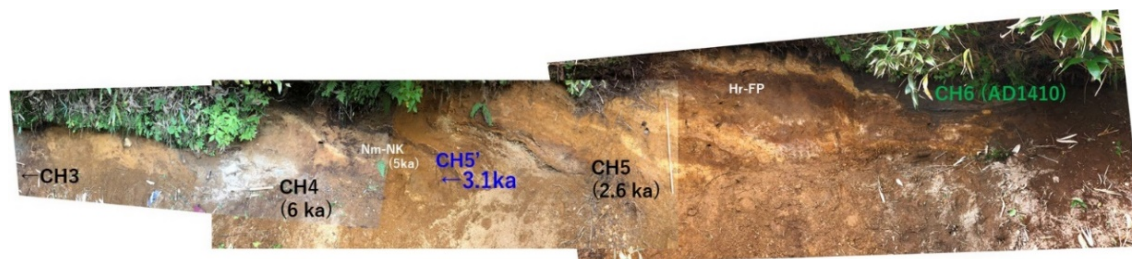


図 51. Loc. 2 の露頭写真。CH5' 直下の土壌から約 3.1 cal ka の年代値が得られた。

Loc. 1 と Loc. 2 の間に位置する Loc. 3 でトレンチ調査を行った結果、CH6 の噴火に伴って発生したラハール堆積物が層厚 1 m 以上で認められた（図 52）。同様のラハール堆積物は、Loc. 2 の周辺でも多数見つかり、CH6 噴火時の埋没災害とは、この山頂から北東方に流れたラハールが原因である可能性が高い。CH6 の上位には、すでに歴史資料などから存在が知られている AD1881 年噴火が層厚 10 cm で認められるが、今回のトレンチでは、CH6 と AD1881 年噴火の間に、新しく 2 層の水蒸気噴火堆積物（上位を A 層、下位を B 層と仮称）を見出すことができた（図 52）。歴史記録や直下の土壌の ^{14}C 年代から、A 層は AD1846 年の噴火によるものと推定できる。一方の B 層は、直下土壌の ^{14}C 年代から AD1500 年～1600 年代の噴火と思われるが、それに適合する歴史記録は見つっていない。CH6 の噴火で形成された茶臼岳山頂の溶岩円頂丘には、AD1881 年噴火口の他に、2 つの明瞭な火口地形が残されており、噴気活動も活発である（図 53）。A・B 層はこれらの火口に由来する可能性が高いと考えられる。

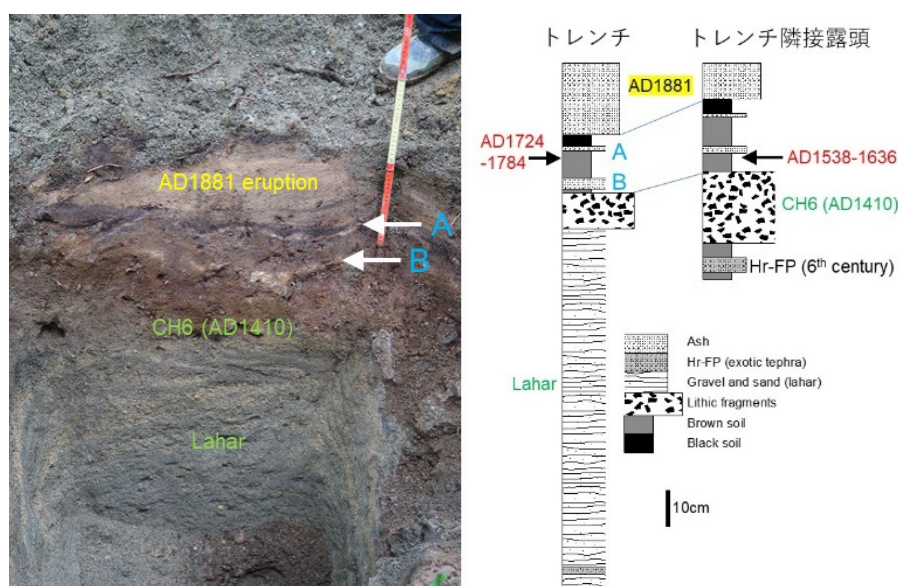


図 52. Loc. 3 のトレンチ写真（左）および柱状図（右）。



図 53. 茶臼岳山頂ドームの衛星写真(Google Map)。3 つの明瞭な火口地形が認められる。

1) 志賀火山：野外調査、噴出物の年代測定・物質科学的解析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、鉢山溶岩、鉢山火砕堆積物と現在の志賀山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(噴出物の名称は昨年度までの名称から一部変更；図 54)。また、志賀火山は、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)。東麓に分布する志賀山テフラの年代(530～490 cal BP：テフラ直下の土壌の暦年)から最新の水蒸気噴火が約 500 年前に起きたことが明らかになっている。

本年度の研究では、①SL3 を覆う志賀山テフラの ^{14}C 年代測定を行い、②志賀火山のマグマ噴火の年代を決定するため、志賀溶岩 2 と 3 の古地磁気年代の予察的測定を行った。

2. 新たに得られた知見

裏志賀山山頂域に分布する志賀溶岩 3 (SL3) は、弱溶結したクリンカー状の火砕堆積物として産し、その上位には土壌を挟んで志賀山テフラ(層厚約 20 cm)が載る。火砕堆積物直上の土壌の暦年は 5,659–5,583 cal BP であり、直下の SL3 が 6,000 年前以前、上位の志賀山テフラが 5,500 年前以降に定置したことが推測される。

本年度の調査では、SL2 と SL3 の溶岩及び SL3 の火砕堆積物層の定方位試料を採取し、古地磁気分析を行った(試料採取地点は図 54 を参照)。採取試料から円筒形試料を切り出し、段階熱消磁(PTHD)と段階交流消磁(PAFD)実験を行った。測定には、夏原技研製のスピナー型磁力計および熱消磁・交流消磁装置を用いた。全試料片の自然残留磁化(NRM)を測定した後、空気中で PTHD 実験は最大 600 °C まで、PAFD 実験は最大 100 mT まで行った。その結果、すべての試料は (a) ～ (c) のいずれかの磁気特性を有することが明らかになった(図 55)。すなわち、(a) PTHD・PAFD とともに初期の消磁段階(120–440 °C および 5–15 mT)ではランダムな方向を示し、それ以降は原点に向かって直線的に減衰する試料(図 55a)、(b) PAFD は (a) と同じ挙動を示すが、PTHD は徐々に方向を変えながら減衰する試料(図 55b)、(c) PTHD・PAFD とともに直交ベクトル図上で複雑な曲線を描いて減衰する試料(図 55c)である。このうち、(a) と (b) の直線的な成分は試料の定置時における地球磁場の方向を保存している可能性があることから安定磁化成分として抽出し、採取地点ごとに安定磁化方向の平均値を求めた。

Loc. 1 で採取された SL3 の 2 試料はいずれも特性 (a) を示し、その平均磁化方向は $\text{Dec} = 352.0^\circ$ 、 $\text{Inc} = 59.3^\circ$ 、 $\alpha_{95} = 12.1^\circ$ 、 $k = 426.4$ である。Loc. 2 で採取し

た SL2 の 2 試料も特性 (a) を示し、平均磁化方向は $\text{Dec} = 2.8^\circ$ 、 $\text{Inc} = 48.3^\circ$ 、 $\alpha_{95} = 13.8^\circ$ 、 $k = 330.6$ である。一方、Loc. 3 で採取した SL2 の 2 試料はいずれも特性 (b) をもち、それぞれ異なる方向（偏角が約 15° 、伏角が約 70° のずれ）を示す。従って、Loc. 3 では定置後に回転した試料を採取した可能性が示唆される。Loc. 4 で採取した火砕堆積物試料の 3 試料のうち 2 試料は特性 (c) を示し、1 試料は特性 (a) を示した。火砕堆積物試料については安定磁化成分が定置時の地球磁場の方向を保存しているかは現在のところ不明である。現時点で測定した試料数が少なく、古地磁気年代の決定には至っていない。令和 4 年度には、分析数を増やし、検討を継続したい。

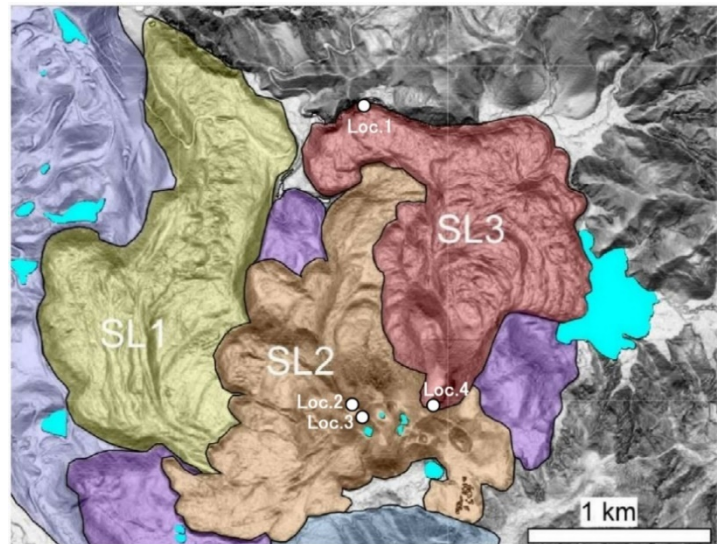


図 54. 志賀溶岩 1～3 の分布図と定方位試料採取地点。

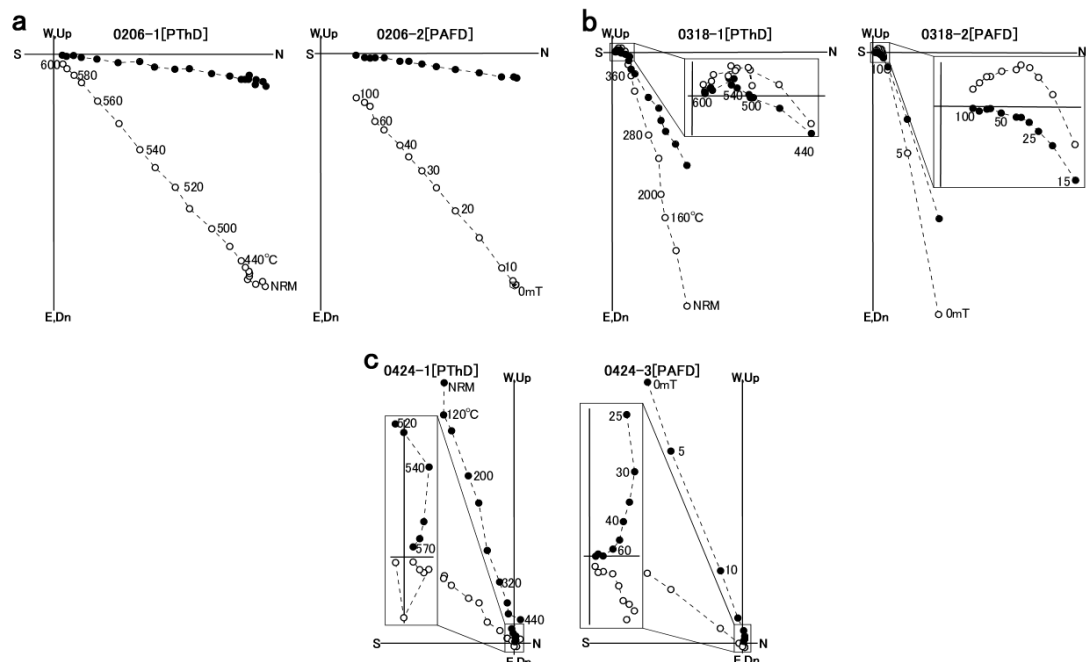


図 55. 段階熱消磁 (PThD) と段階交流消磁 (PAFD) の結果を示した直交ベクトル図。

m) 浅間山：野外調査に基づく高精度噴火履歴復元（日本大学）

1. はじめに

浅間火山では、多数地点でのトレンチ掘削調査による地質記載と、降下火砕堆積物直下の土壌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噴火履歴復元を検討してきた。これまで本プロジェクトにより 2016 年度～2020 年度に実施した 21 か所の重機トレンチと 1 か所のボーリング掘削調査の結果を総括し、堆積物の層序・分布と噴出年代に関する情報に基づく高分解能での噴火履歴復元についてまとめた論文が日本火山学会の学術雑誌「火山」に掲載された⁵⁰⁾。また本プロジェクト開始前より試作している階段ダイアグラムと噴火事象系統樹についても精度向上のため検討を重ね、前者については論文を投稿中である。

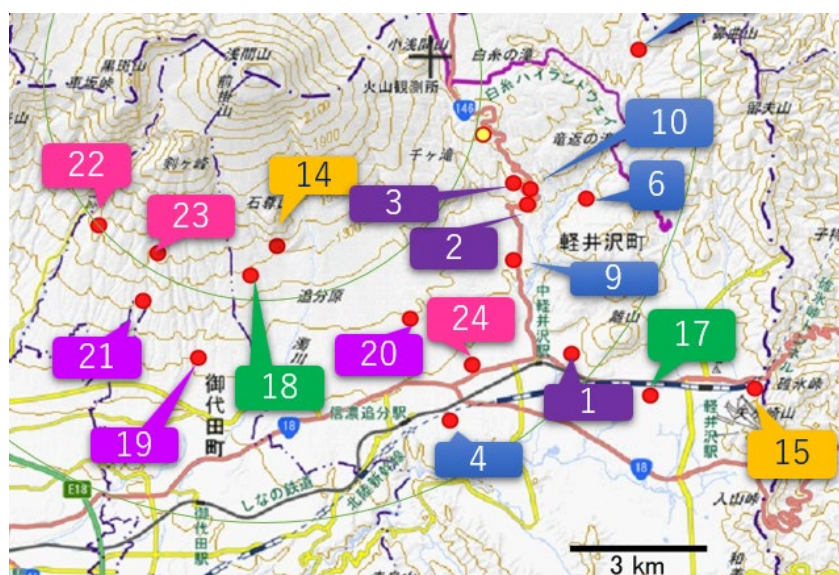


図 56. 浅間火山南麓における重機トレンチ掘削地点。



図 57. トレンチ 22 における住民説明の様子。

令和 3 年度は新型コロナウイルス感染症緊急事態の終了が 9 月 28 日となり、野外調査の開始が大幅に遅れたが、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、短期間に限られたものの、ほぼ予定通りすすめることができた。浅間火山噴火史解明と長期活動予測の研究のため、南麓の 3 ヶ所（トレンチ 22～24）において重機トレンチ掘削による地質調査を実施した（図 56）。各地点では黒斑火山の山体崩壊による岩屑なだれ堆積物を確認し、それより上位の層序を調べた。3 か所で合計約 40 名の地元住民の見学者に対して解説を行い（図 57）、トレンチ 24 では自治体防災

担当職員との意見交換も行った。また砂防フォーラム、婦恋村の火山講座、および令和 3 年度小諸市浅間山火山防災講演会(リモート収録)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 3 年度の重機トレンチ地点 22~24 について報告する。

2. 調査結果

トレンチ 22(御代田町国有林内浅間林道(1,500m林道)西端)

黒斑火山の剣ヶ峰の南西側の尾根上のトレンチ 22 で約 5.5 m の掘削をした(図 58)。最上部から AR-1~AR-5 の 5 層にわけられる。AR-4 以外は厚さ 100 数 10 cm である。AR-1 は濃褐色~黒色の土壌で、地表から 80~100 cm 間は特に黒色が強く極少量の軽石が散在する。AR-2 は褐色の風化火山灰で円磨された軽石が散る。AR-3 は不均一な基質支持の堆積物で、不均一な基質火山灰と亜角レキの溶岩塊や軽石層のブロックを含む。溶岩塊の最大径は 40 cm に達する。AR-4 は厚さ 10 cm 以下の火山灰層である。AR-5 は赤褐色の基質とブロックから成る基質支持の堆積物で、大部分が中程度に溶結しているが、最下部は非溶結である。

トレンチ 23(御代田町国有林内 1,500m林道沿い舟木沢付近)

黒斑火山の剣ヶ峰の南方の尾根上に位置するトレンチ 23 で約 5 m の掘削をした(図 59)。上位から FN-1~FN-8 の 8 層にわけられる。FN-1 は厚さ 140 cm の黒色土壌で、地表から 73 cm の深度に厚さ 2.5 cm の降下軽石層(MP1.0 cm)が認められた。位置と層厚を安井ほか⁵⁰⁾の D-SSW の分布図と照合すると矛盾がないことから、この軽石層は D-SSW に対比ができる。FN-2 は軽石が多く散る褐色土壌で FN-1 に漸移する。FN-3 は黄橙色、FN-4 は灰白色の粗粒火山灰から成り、FN-4 には少量の円磨された軽石が含まれる。FN-5 は粗粒火山灰の互層であるが水平方向の連続性は必ずしも良くない。炭化木片がしばしば含まれ(図 60)、その年代は約 1.6 万年前(¹⁴C 較正年代)を示した。FN-6 は褐色の基質火山灰と緻密な溶岩片のブロックからなる基質支持、非溶結の堆積物である。FN-7 は褐色の粗粒火山灰の基質に円磨された軽石や岩片を少量含む堆積物である。FN-8 は最大 40 cm 大の斑晶の細かい緻密な溶岩片や赤紫色の溶結火砕岩片など多様なブロックから成る。

トレンチ 24(軽井沢町古宿)

丘状の高まりである太郎山の南方のトレンチ 24 で約 3.5 m の掘削をした(図 61)。分布の縁に近い地点であるが、地表付近の土壌に As-A の極少量の軽石粒子が認められた(MP1.2 cm)。地表から 2.5 m までの黒色土壌に軽石層が 2 枚と、その中間の深度に厚さ 40 cm ほどの基質支持で非溶結の堆積物(TY-2)が認められた。TY-2 には 20 cm 大の亜角レキ~亜円レキが含まれ、仏岩火山の堆積物に特有の繊維状の発泡形態の軽石をしばしば含む。TY-2 直下の年代は約 3,200 年前(¹⁴C 較正年代)を示した。安井ほか⁵⁰⁾が示した分布図と掘削地点の位置、層位から、上位の軽石層(TY-1: 層厚 15 cm)が As-B に、下位(TY-4: 層厚 18 cm、風化のすすんだ橙色の軽石)は As-F が対比候補となるが(図 62)、これらの軽石層の層厚はそれぞれの等層厚線図から予想される層厚と矛盾しない。TY-4 の上部約 20 cm の黒色土壌からバブルウォール型の火山ガラスが検出された。以上より火山ガラスはアカホヤ火山灰(K-Ah)、TY-4 は As-F に対比が可能である。黒色土壌の直下には灰白色の基質火山灰と少量の円磨された

軽石から成る基質支持の堆積物(TY-5)、その下位に亜角レキのブロックと不均一な基質から成る基質支持の堆積物(TY-6)が認められ、いずれも非溶結である。TY-6に含まれる火山岩塊は10数cm前後の大きさのものが目立つが、40cm大の粗大なものもあり、レキ種が多様なのが特徴である(図63)。



図 58. トレンチ 22 の掘削面。



図 59. トレンチ 23 の掘削面。

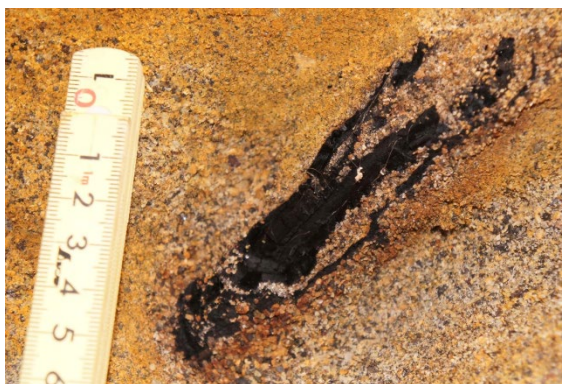


図 60. トレンチ 23 の FN-5 に含まれる炭化木片。



図 61. トレンチ 24 の全景と TY-2。



図 62. トレンチ 24 の掘削面下方の様子。



図 63. トレンチ 24 の TY-6 に含まれるブロック。

3. 結果のまとめと考察

前年度に引き続き令和 3 年度も浅間前掛火山の南東麓～南西麓での地質調査がすすんだ。トレンチ 22 については、産状および層位から AR-3 が黒斑火山の岩屑なだれ堆積物、AR-5 が黒斑火山の火砕流堆積物であるとみられる。その東方の同じ林道沿いのトレンチ 23 では黒色土壌の下位に仏岩火山の火砕サージ状の堆積物が見られたが、掘削した最下部に黒斑火山の岩屑なだれとみられる堆積物が認められた。前年度のトレンチ 21 の記載も考え合わせると、剣ヶ峰の南方斜面には黒斑火山の火砕流堆

積物や岩屑なだれ堆積物、仏岩火山の軽石流堆積物が分布しており、表層部の黒色土壌には前掛火山の軽石層は D-SSW 以外は見出されない、ということがわかった。

前掛火山の降下火砕堆積物については安井ほか⁵⁰⁾により方角別の分布が示されたため、トレンチ 24 の掘削地点に出現する降下火砕堆積物の種類とそれぞれ層厚の予想を事前に行った。As-A・As-B・As-F がほぼ予想通りの層厚で出現したが、As-F は他地点と異なり、かなり軽石粒子の風化がすすんでいた。これは地点毎の堆積場の環境の違いを反映したものとみられる。またトレンチ 24 では基質支持の堆積物が見いだされたが、溶岩片の他、仏岩火山の軽石も含むこと、高温で堆積した証拠が認められないことから二次堆積物と考えられる。年代は約 3,200 年前頃であるため、D グループの時代に発生した火山泥流であるとみられる。

n) 新島：物質科学的解析に基づく、噴火の変遷と長期予測（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（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る。一方、最近の新島を含めた流紋岩質火山におけるテフラ層序に基づいた詳細な研究が行われ、宮塚山（12.8 ka）以降の噴火については再検討の必要性がある⁵¹⁾。

我々が研究を継続している流紋岩類（主に溶岩類）の斑晶鉱物は主に、斜長石、石英、斜方輝石、カミングトン閃石、普通角閃石、黒雲母から成り、それらの組み合わせから、4つのタイプに区分した：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）。これらの噴火ユニットの多くにはカミングトン閃石が含まれること、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、単斜輝石－斜方輝石等が主体の他の伊豆弧の珪長質火山とは異なっている。

2. 斑晶鉱物の化学組成、および全岩化学組成の特徴

斜長石のコア－リムの An mol.% は、地内島火山（Opx-Cum-type）で 30-45 にピークを持ち、噴出の時代と共に An mol.% は下がり、向山火山（Bt-type）で、17-22 となる。同様な傾向はカミングトン閃石と黒雲母の Mg# にも現れ、噴出の順序（あるいは組み合わせる鉱物種）と共に、減少傾向を示す⁵²⁾。これらの減少傾向は、生成されるマグマ温度・圧力の時系列での減少に対応していると考えられる。これらの結果は新たに分析を追加した試料でも同様な結果となり、今までの傾向と一致した。また、今までに分析等を実施したものの中で、斜長石斑晶の元素マッピングの結果が保存されて

おり、薄片での再観察とともに、検討を試みた。それらの結果からは、4つのタイプのユニットの各火山中に含まれる斜長石斑晶には、組成のゾーニングが見られる場合があり、正ゾーニングのほかに、反復ゾーニングや一部には逆ゾーニングが観察された。中でもカミングトン閃石—黒雲母タイプ (Cum-Bt-type) で反復ゾーニングが多く観察された。これらの組成ゾーニングの特徴は、各噴火ユニットの噴火前のマグマ溜りにおける温度・圧力など物理条件の微細な変化を記録している可能性がある。これらの斑晶に記録された各種特徴は、高温のマグマの地下からの供給により形成された可能性もあるが、それ以外の可能性もあり、検討を継続中である。

最近実施した成果を加味した場合、流紋岩では、合計 13 ユニットの火山の全岩化学組成が明らかにされているが、実際には古い年代の噴出物を考慮するとユニット数が増える可能性がある (未確定)。現時点での化学分析の結果からは、流紋岩類は 73~78% (多くは 75~78%) が多く、また全体的に組成幅が狭い結果となった。流紋岩のユニットごとの元素—元素濃度図では、狭いデータ範囲ではあるが、それぞれのユニットが異なったデータ分布を示す⁵²⁾。全体的には Opx-Cum-type、Cum-type では Bt-type と比較し、 $MgO \cdot FeO \cdot CaO$ に富み、 $K_2O \cdot Na_2O$ に乏しい傾向があるが、同じタイプごとでも、データ列が異なることが明らかにされている。同様な傾向は微量元素組成等でも見られることが再確認された。

令和 3 年度は、昨年度同様に、上記結果をさらに検証するため、全岩化学組成分析値が限られていた、新島南東部の式根島、また、分析試料数は少ないが神津島の流紋岩の元素組成分析の追加も行った。これらの分析結果からは、各流紋岩のタイプ、および同じタイプでもユニットにより元素組成に違いがあることが確認できた。これらの結果を総合すると、ある限定された地域の流紋岩質マグマでも、噴火ユニットごとに組成のわずかに異なる親マグマから結晶分化等で形成されたという可能性が示唆された。

同様に、希土類元素 (REE) は、全体的には類似のパターンを示し、大きな違いはないように見える。追加分析結果からは、以前の分析結果とほぼ一致する傾向が認められたが、各ユニットでわずかな違いがあることは再確認された。地内島のユニットは、以前の分析結果と同様、Eu の負異常がみられないなだらかな右下がり (軽希土類元素から重希土類元素) のパターンを示している。また、詳細には、地内島のデータは他のタイプの流紋岩に比べ、Eu を除く他の元素にやや乏しいことが再確認された。式根島の試料は他の黒雲母流紋岩のデータとほぼ一致しており、極めて類似のパターンが確認できた。昨年度同様に、神津島の試料 (Opx-Cum-type) は、他の新島周辺のユニットに比べ、わずかに高い REE 量を示し、Eu の負異常も大きいことがわかった。神津島の結果は、新島における REE パターンと岩石タイプの比較において違いが確認され、組成的に異なったマグマからの形成が推測された。これらの REE 分析結果から、全体的なパターンの類似性を考えると、研究を行った地域の流紋岩の起源物質、およびその後の生成・分化のプロセスの類似性を示していると考えられる。しかしながら、元素濃度分析の結果の違いはそれぞれの噴火ユニットのわずかな起源や生成過程 (生成条件) の違いを反映しており、火山、および各噴火ユニット独自の生成プロセスが存在するという考えと調和的である。また、Sr・Pb などの同位体

比の測定が可能になれば今までに判別が困難であった起源物質に関する時空間的な違いが明らかになる可能性がある。

3. マグマの長期的な変動など

今まで（令和3年度まで）に得られた試料分析結果等を考慮すると、この地域のマグマの活動が、少なくとも50 ka以前には始まっており、それ以降、断続的に噴火を続けてきたこと、特に10 ka以降には時間軸が明確になった部分もあり、噴出物の噴出率（ 190×10^9 kg/ka）などもすでに提示され⁵³⁾、その後一部改変されている。新島、式根島、神津島などにおける斑晶鉱物の組み合わせや平衡温度の推定からは、他地域の流紋岩（特にOpx-Cpx主体の流紋岩など）に比べ低温（および低圧）の条件で生成され、浅所のマグマ溜りからの噴出が推定される。これは、調査地域の流紋岩質マグマの組成変化とも密接に関連し、時代と共に、わずかながら浅所で低温のマグマの生成・噴出が生じたものと考えられる。

また、昨年度までの結果として記載したが、玄武岩（若郷玄武岩）や玄武岩・安山岩の包有物の流紋岩ユニット中に多く含まれ、地下における玄武岩質～安山岩質マグマの活動がより盛んになってきたように推測される。ただし、過去の噴火ユニットは被覆されている場合が多いので、厳密には比較はできないが、その傾向は推測できる。今後の噴火推移の傾向は必ずしも明確には推定できないが、低温のマグマの噴火が続くのか、あるいは、長期サイクルとして深部由来のマグマ、あるいは単斜輝石などを含む珪長質マグマなどの噴火に変化するのかなど現時点ではまだ不明瞭である。新島におけるマグマの噴火推移は、世界の他の地域の流紋岩～デイサイト質火山のマグマの噴火推移などと比較した場合は、必ずしも一致はしないが⁵⁴⁾、何か共通する部分があれば参考にして研究を進めたい。

o) 三宅島：野外調査に基づく噴火活動履歴の解明（茨城大学）

1. はじめに

三宅島火山は、伊豆ボニン弧北部に位置する活動的な玄武岩質火山であり、直径約8 kmのほぼ円形の火山島である。三宅島のような火山島の沿岸域では、マグマが地表付近に貫入する際に爆発的なマグマ水蒸気噴火が頻繁に発生する。火山島沿岸域は居住地域や観光地として重要であり、火山活動に伴うリスク評価のためにも過去のマグマ水蒸気噴火の発生履歴を復元することが必要である。マールが密集する本火山南部沿岸域について、地形判読、地質記載、放射性炭素年代測定を実施し、マール群の活動史を復元したので報告する。

2. 調査結果

南部沿岸域のマール群は、地形的特徴から3つに分類される（鶴根マール列、水溜りマール、古^{ふる}瀬^{みお}マール列）（図64）。本地域のテフラについて、分布、層厚や粒径の側方変化から給源を推定し、給源マールの名称から鶴根テフラ、水溜りテフラ、古瀬テフラと命名した。放射性炭素年代値から、鶴根テフラは3.4 ka、水溜りテフラ

は 3.0 ka、古濤テフラは 1.9 ka⁵⁵⁾に噴出したと考えられる。いずれの噴出物も、下部の降下スコリアと上部の不淘汰で基質支持の火砕物密度流（PDC）堆積物・火山灰層のセットからなる。下部スコリアは発泡形態からマグマ噴火、上部 PDC 堆積物中の本質物質は、発泡が悪く、急冷縁が認められることなどからマグマ水蒸気噴火に由来すると考えられる。3回の噴火とも、マグマ噴火からマグマ水蒸気噴火に移行しているが、同様のパターンは三宅島の 9 世紀 ^{おやま}雄山 噴火⁵⁵⁾、1983 年噴火⁵⁶⁾でも認識されている。三宅島では、噴火開始後に割れ目火口が沿岸域に拡大し、PDC を伴うようなマグマ水蒸気噴火に移行するシナリオに注意が必要である。

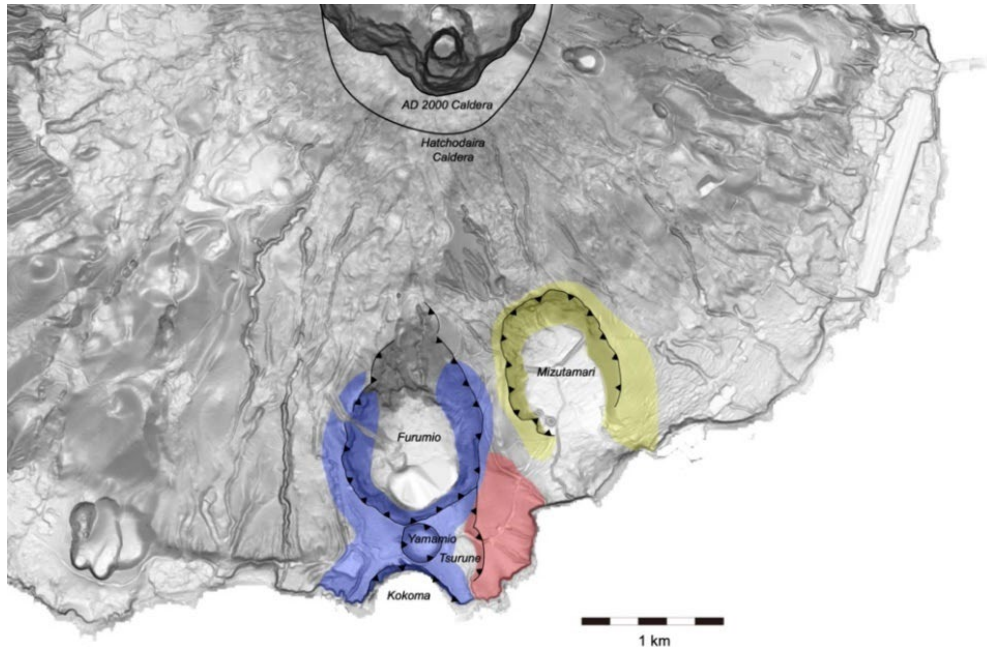


図 64. マール噴出物の分布。赤：鶴根テフラ、黄：水溜りテフラ、青：古濤テフラ。ベースマップは地理院地図。

p) 白馬大池火山：風吹火山における噴火履歴調査（産業技術総合研究所）

1. 目的と調査位置

白馬大池火山⁵⁷⁾⁵⁸⁾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。最高点が2,469 m（白馬乗鞍岳^{しろまのりくら}）の南北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。火山体の頂部に風吹大池と火山名の由来となった白馬大池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⁵⁹⁾、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り、その部分が風吹火山ともよばれている⁵⁹⁾。この風吹大池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あったが、活動年代は不明であった。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り⁶⁰⁾、新たな活火山の発見は、防災上も重要なため、完新世の活動史を解明する層序・年代学的研究を開始した。

2. 調査結果

風吹火山の最後のマグマ噴火時期を決定するため、最後のマグマ噴火噴出物である風吹火砕流堆積物⁵⁷⁾⁵⁸⁾中に挟まれる古土壌中の炭質物の年代を測定した。風吹火砕流堆積物は地質学的に1回の噴火活動で形成された火山岩塊火山灰流 (block and ash flow) 堆積物と考えられていたが⁵⁷⁾⁵⁸⁾、実際は古土壌を挟んで二分される。その二分された火砕流堆積物の下底、古土壌の上面との間には黒色の炭質物が濃集した薄層が認められ (図65)、¹⁴C年代測定を行った。年代値の信頼性をチェックするため、火砕流堆積物を覆う腐植質土に挟まれる粘土質テフラ直下の腐植土も測定を行った。いずれも試料を酸—アルカリ—酸洗浄した後の残渣 (ヒューミン) を対象とした。

年代測定の結果を表3に示す。風吹火砕流堆積物Ⅱの直下から得られた年代値は7,100±30 yBPであり、上位の年代値とも矛盾しない。そのため、風吹火山の最新のマグマ噴火は7,100±30 yBPを暦年年代較正した値、約8千年前であることが明らかとなった。

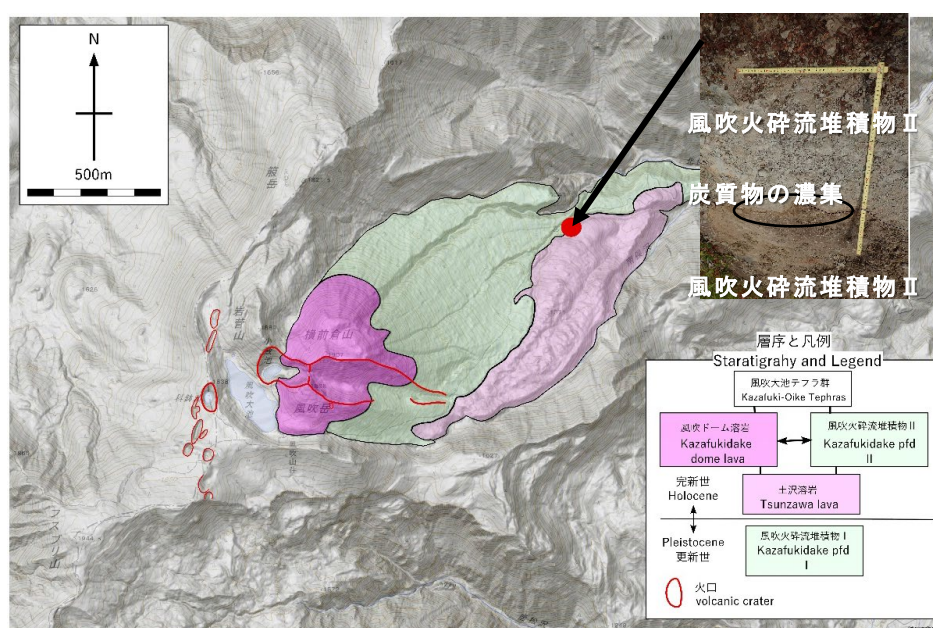


図65. 風吹火砕流堆積物Ⅰ・Ⅱの分布と年代測定地点 (赤丸) の位置および写真。

表3. ¹⁴C年代測定結果。

測定番号	試料	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)(AMS)	Libby Age (yBP)
IAAA-211822	風吹火砕流堆積物の上位の腐植土層中の粘土質テフラ直下の腐植土	-27.12 ± 0.21	4,800 ± 30
IAAA-211821	風吹火砕流堆積物Ⅱ直下の炭質物層	-26.11 ± 0.27	7,100 ± 30

3. まとめ

風吹火砕流堆積物Ⅱの形成年代は、7,100±30 yBPであることから、風吹火山の最後のマグマ噴火は約8千年前の完新世に発生したことが明らかとなった。

q) 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、北アルプスの最深部に位置する火山であり⁶¹⁾、山頂に明瞭な火口地形（鷲羽池火口）をもつ（図 66）。鷲羽池火山の南方の硫黄沢流域には変質帯が広がり、しばしば大規模な噴気活動が発生している⁶²⁾。また、鷲羽池火口周辺の泥炭中には広範囲に砂礫サイズの花崗岩片を伴う粘土質テフラ（鷲羽池テフラ）が見られる。令和 2 年度には鷲羽池テフラの分布調査、物質科学的解析及び年代測定を行った。令和 3 年度には、テフラ分布調査を継続し、¹⁴C 年代の追加測定（前年度の 3 試料に加え、新に 5 試料の年代を測定）を行った。

2. 本研究で得られた新たな知見

本調査地域の多くの観察地点では、地表直下の泥炭層（最大層厚 30 cm）中に 2 層のテフラ層が認められる。泥炭層の下限付近に挟まれる白褐色細粒テフラ層（層厚 5～15 mm）は、7,300 cal BP⁶³⁾に堆積した鬼界アカホヤ火山灰に対比される。その上位、数 cm～10 cm 厚の泥炭層を挟み、淡黄色～橙色の鷲羽池テフラが載る。本層の層厚は調査地域内で 2～30 cm まで変化し、鷲羽池火口近傍の三俣蓮華岳～双六岳周辺で最も厚い。本年度の調査により改定された等層厚図を図 66 に示す。本図には、今年度得られた¹⁴C 年代（テフラ層直下の泥炭の暦年）も示した。これらの年代値から、鷲羽池テフラの堆積年代は 2,400 cal BP 頃と推測される。また、等層厚線の分布からは、本テフラの給源火口は鷲羽池火口や最近の大規模噴気活動地点とは考えにくく、現在の湯俣川の源頭域に存在したことが推測される。

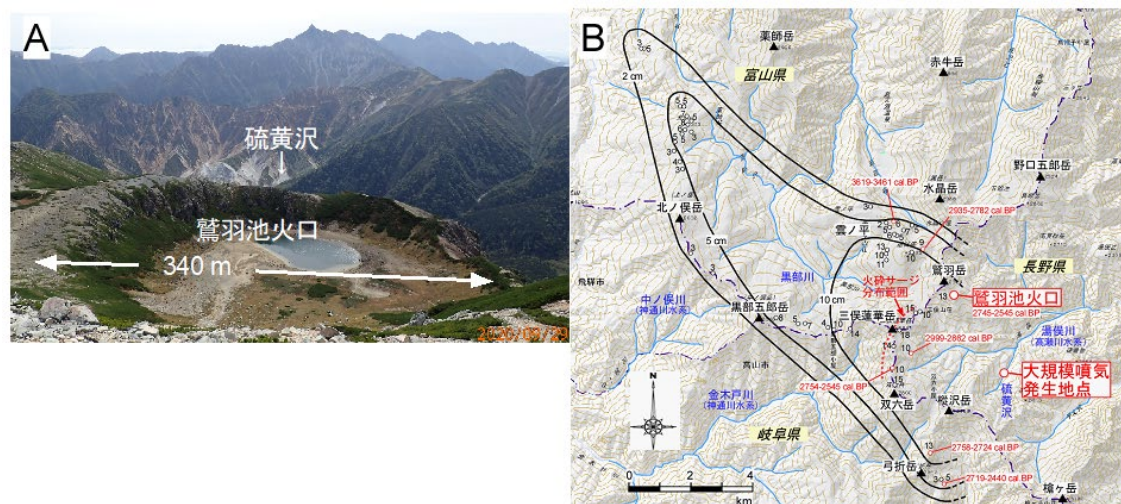


図 66. (A) 鷲羽池火口と硫黄沢、(B) 鷲羽池テフラの等層厚線図（テフラ層直下の泥炭の暦年と火砕サージ堆積物の分布域も示している）。

本年度の調査では、三俣蓮華山頂～双六岳山頂への登山道沿いの数地点で、鷲羽池テフラと K-Ah の間の泥炭層中に火砕サージ堆積物（層厚 20～40 cm）を見出した（図 67）。この堆積物中には、鷲羽池テフラと同様に砂礫サイズの花崗岩片や火山灰凝集体（火山豆石）が多産し、本質岩片が見られない。そのため、本堆積物は水蒸気噴火によるものと判断される。また、本堆積物と同時異相と推測される粘土質の降下テフ

ラ（層厚 4 cm）が双六岳南方の弓折平で確認された。今年度得られた ^{14}C 年代（テフラ層直下の泥炭の暦年）は、三俣蓮華岳山頂南方の火砕サージ堆積物直下の土壌が 6,534-6,356 cal BP、弓折平のテフラ直下の土壌が 4,424-4,247 cal BP である。これらの暦年には約 2,000 年の開きがあるが、その原因としては火砕サージ流走時に表層の土壌を削剥され、結果的に古い年代をもつ土壌の上に火砕サージ堆積物が堆積したためと考えられる。



図 67. 三俣蓮華岳山東南方で見られる火砕サージ堆積物とその暦年。

r) 御嶽山：野外調査に基づく噴火活動履歴の解明（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（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 万年前以新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⁶⁴⁾⁶⁵⁾。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ーのスケールで多段階に成長することが知られている⁶⁶⁾⁶⁷⁾。また、それより短い千年オーダーのスケールでも、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、現在の火山が活動期か休止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、新型コロナウイルス感染拡大のた

ら流紋岩火山体を形成した後、約 8～5 万年前に山体の南側を噴出中心とする大きな火山体を形成し、その活動の後半に山体崩壊が発生し、木曽川岩屑なだれ/泥流を形成した。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が形成された後、約 3～1 万年前に今の剣ヶ峰および一ノ池付近を中心とする火山体を形成したことが明らかとなった。今回得られた年代値から、現在の山頂部をつくる、剣ヶ峰および一ノ池付近を中心とする火山体の活動が完新世初頭まで続いていた可能性が指摘される。また、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ことが明らかとなった。

今後は、過去 3～1 万年前の年代測定値を充実させると共に、地質ユニットの分布や層序を確定して、時期ごとのマグマ噴出率を定量的に評価し、完新世の火山活動の活発度の評価を行う。

3. まとめ

- (1) 御嶽火山の山体の地質ユニット区分・分布の見直しを行い、新たに 2 試料について Ar/Ar 年代測定を行った。
- (2) 現在の山頂部を形成する剣ヶ峰および一ノ池をつくる火山体の活動時期は、約 3 万年前頃に開始し、約 1 万年前まで続いた可能性があることが明らかとなった。

s) 白山：新白山火山の活動期区分と噴出率の変化（富山大学）

1. はじめに

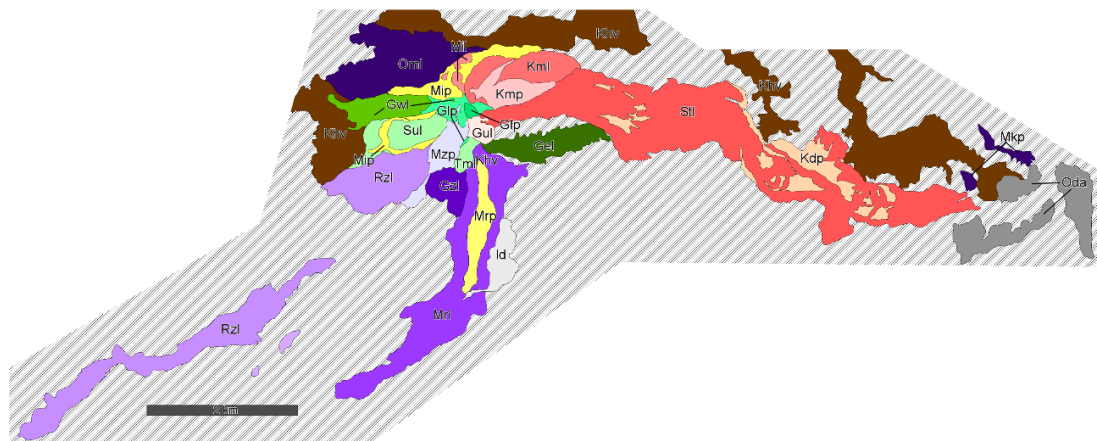
石川・岐阜県境に位置している白山火山群は、活動年代の古い順位に加賀室火山、古白山火山、新白山火山の 3 火山体から構成される。これらの火山体のうち最も活動年代の若い新白山火山は溶岩流主体の山体をもち、活火山にも指定されている。同火山は激しい浸食作用によって特に沢沿いの多くで基盤岩が露出し、標高約 2,300 m 付近まで基盤岩を確認できる。これにより、マグマ噴出量を推定する際に重要となる基盤岩地形の推定が比較的容易となり、噴出物の年代測定結果と合わせることで、より高い分解能でマグマ噴出量及びマグマ噴出率を推定することが可能となる。

本報告では、令和 3 年度までに確立された新白山火山の噴出物の層序・分布と本課題で得られた噴出物の K-Ar 年代値をもとに、新白山火山の噴出物量階段ダイアグラムを作成し、長期的噴出率を算出したので、その結果を報告する。

2. 本研究で得られた新たな知見

新白山火山の活動期は、噴出中心、噴火様式及び岩石学的特徴をもとに、3 つの活動期 (Early stage、Middle stage、Last stage) に区分される（さらに Middle stage は M-1 及び M-2 期に細分される）。基盤岩地形及び噴出物分布をもとに各噴出物のマグマ噴出量（溶岩換算体積）を算出したところ、新白山火山の総マグマ噴出量は 1.67 km³ となった。Matsumoto et al.⁷³⁾ と山崎ほか⁷⁴⁾ に従って新白山火山を構成する 7 ユニットに対して感度法による K-Ar 年代測定を実施し、100±30 ka・50±30 ka・41±6 ka・33±6 ka・<30 ka・<30 ka・<30 ka という年代値を得た（図 69）。また、Middle

stage と Last stage の間に発生した山体崩壊イベントの堆積物である大白川岩屑なだれ堆積物から、4 試料の木片を見出し ^{14}C 年代測定を実施したところ、いずれも約 7 ka を示した。しかし、山崎ほか⁷⁵⁾は同ユニット中の木片から $4,410 \pm 220$ yBP (5,586–4,516 cal BP) という年代値を報告している。従って、本研究で得られた約 7 ka を示す木片は、崩壊イベント中に取り込まれた古い木片と考えられ、山体崩壊イベントは約 5 ka に起こったと考えるのが妥当である。



新白山火山構成物の層序

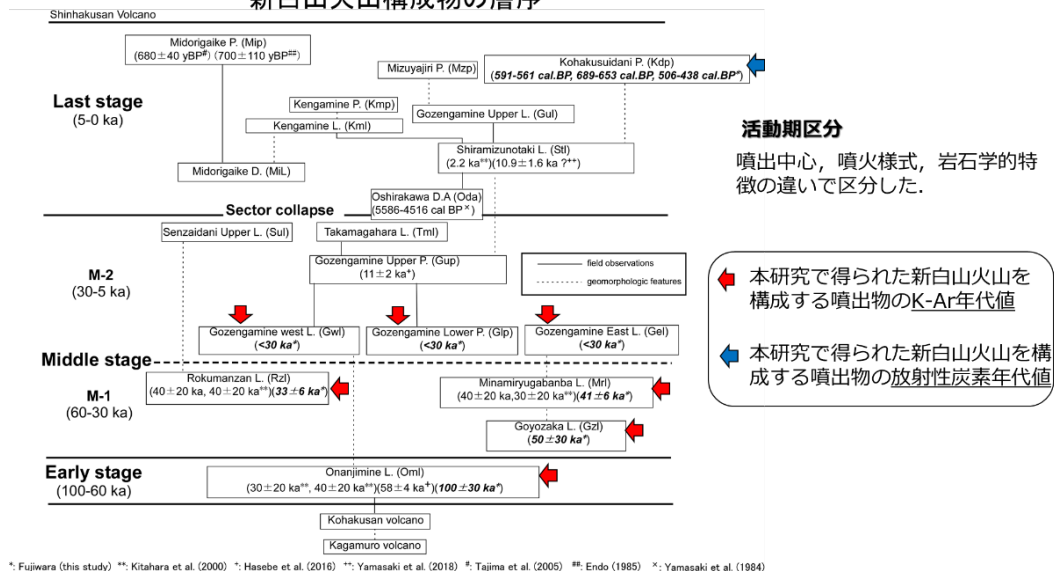


図 69. 新白山火山の火山地質図（上図）と噴出物層序（下図）。

以上から、新白山火山の各活動期における活動期間と噴出率(図 70)は、Early stage が 100–60 ka と $<0.01 \text{ km}^3/\text{ky}$ (活動開始時期は 100 ka よりも遡れる可能性がある)、Middle stage の M-1 期が 60–30 ka と $0.03 \text{ km}^3/\text{ky}$ 、M-2 期が 30–5 ka と $0.01 \text{ km}^3/\text{ky}$ 、Last stage が 5–0 ka と $0.12 \text{ km}^3/\text{ky}$ と見積もられる。また、新白山火山の全活動期を通してのマグマ噴出率は $0.02 \text{ km}^3/\text{ky}$ と見積もられる。日本の火山の平均的なマグマ噴出率 ($0.1\text{--}1 \text{ km}^3/\text{ky}$ ⁷⁶⁾) と比較すると、新白山火山のそれは 1 桁以上小さい。しかし、約 5 ka に発生した山体崩壊以降のマグマ噴出率 ($0.12 \text{ km}^3/\text{ky}$) は本火山の活動期の中で最も高い。このことから、噴気などの明瞭な火山活動は見られず

表面上は穏やかな新白山火山ではあるが、今後もある程度の噴出量をもったマグマ噴火が発生することは十分に考えられる。

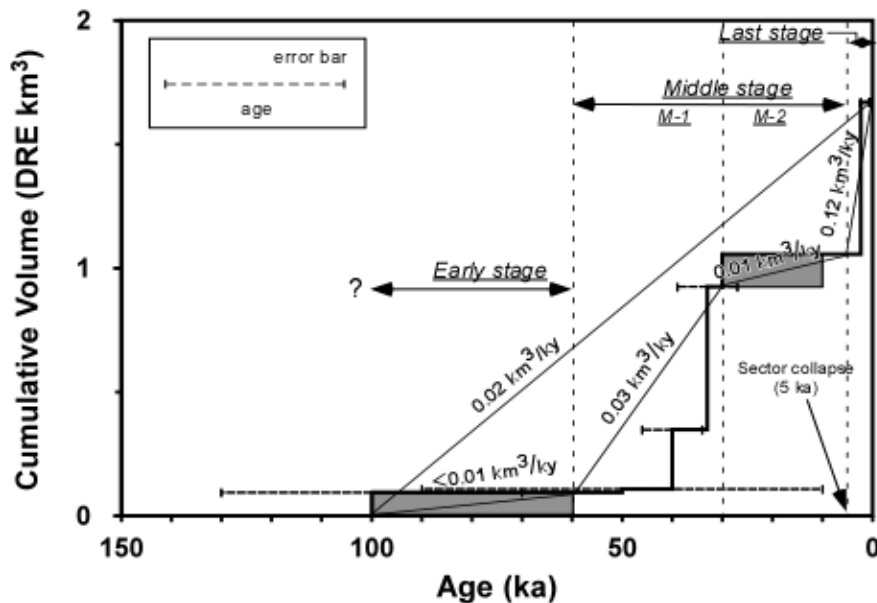


図 70. 新白山火山の噴出量積算ダイアグラム。

t) 由布・鶴見火山群：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⁷⁷⁾、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⁷⁸⁾。伽藍岳は約 10,500 年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⁷⁹⁾⁸⁰⁾、研究例が乏しく、その噴火史には不明な点が多い。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。

2. 山頂周辺の火山性堆積物

山頂南側の塚原温泉周辺の登山道沿いを中心に野外調査を行った結果、複数の火山性堆積物を確認した（図 71）。先行研究で報告されている伽藍岳起源のテフラ（T-Gal・2）に加えて、報告例のない堆積物も確認した。Loc-5 では、アカホヤ火山灰層の下位に暗灰色火山灰層が堆積しており、これは藤沢ほか⁷⁹⁾の中釣火山灰層と対比される可能性がある。その下位には、層厚 1 m の角礫-亜角礫を多く含む淘汰の悪い茶色火山灰層が堆積している（図 72）。堆積物の基底部には炭化木片が点在しており、その放射性炭素年代測定を行った結果、12.2-11.9 cal ka BP を得た。この堆積物は火砕流起源である可能性があり、今後詳しく分析する予定である。Loc-6 では、アカホヤ火山灰層の上位に約 30 cm の白色火山灰・火山砂の薄層の積み重なりが確認された（図 73）。上下の土壌の放射性炭素年代測定から 6,230-6,720 cal BP の年代値

が得られた。このような年代の伽藍岳の活動は知られておらず、こちらもさらに詳しい分析を加える予定である。

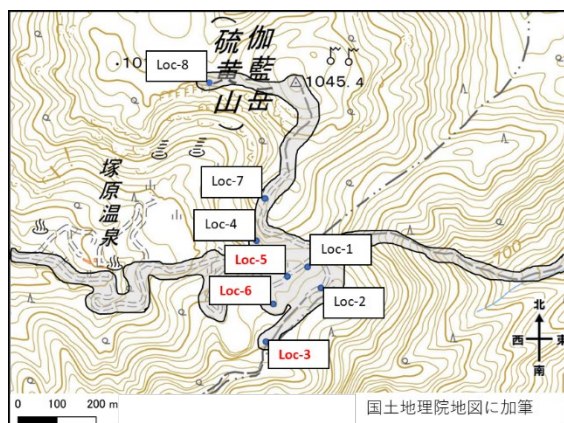


図 71. 伽藍岳山頂周辺の露頭位置図。



図 72. Loc-5 の火山性堆積物。

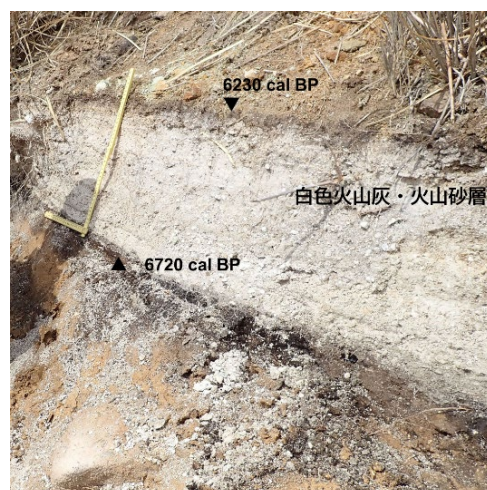


図 73. Loc-6 の火山性堆積物。

u) 九重山：野外調査に基づく 54 ka 飯田噴火の前駆的活動の履歴解明（山口大学）

1. はじめに

九重火山において約 54 ka に発生した飯田噴火は、本火山における最大規模の噴火活動である⁸¹⁾⁸²⁾。この噴火を境に噴出率が低下するが、約 15 ka 以降には再度噴出率が上昇しており、この上昇傾向は長岡・奥野⁸²⁾の階段図における飯田噴火以前の噴出率の変化と類似すると読みとることもできる(図 74)。このことから、飯田噴火およびそれ以前の噴火活動の履歴とマグマの特徴及びその変化を把握することは、今後の九重火山における大規模噴火の可能性を評価するうえで重要な課題と考えられる。

上記の課題の解決に際して、飯田噴火におけるマグマの特徴とその変化及びそれに伴う噴火様式の推移を明らかにすることは重要である。従来、飯田噴火の噴出物は下位より、九重 D 降下火山灰層下部(Kj-D L)、九重 D 降下火山灰層上部(Kj-D U)、飯田火砕流堆積物(Kj-Hd)、九重第一降下軽石層(Kj-P1)とされており⁸³⁾⁸⁴⁾、それらの下位に分布する柚子降下火山灰層(Kj-Y)⁸⁵⁾⁸⁶⁾も飯田噴火に伴う可能性があること昨年度に報告した。長岡・奥野⁸⁷⁾は Kj-D 層の下位に有氏降下石質岩片層(Kj-AL)を報告している。今回、Kj-Y と Kj-AL について、詳細な露頭の観察、鏡下観察と含有されるガラスの化学組成分析を行い、飯田噴火の前駆的活動について検討した結果を報告する。

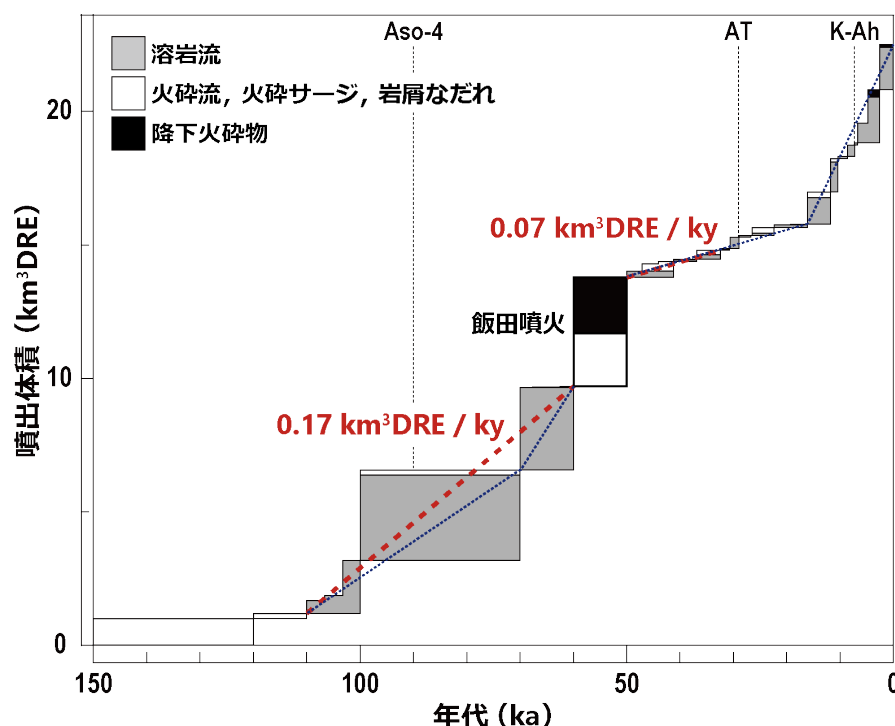


図 74. 九重火山の過去 15 万年のマグマの噴出体積(長岡・奥野⁸²⁾を基に作成)。赤破線は長岡・奥野⁸²⁾による噴出率、青点線は今回追記。

2. 結果・考察

2-1. 柚子降下火山灰層(Kj-Y)と有氏降下石質岩片層(Kj-AL)との関係

今回、九重火山周辺において Kj-D 層より下位層の分布が確認された 14 地点(図 75)において、詳細な観察を行った。

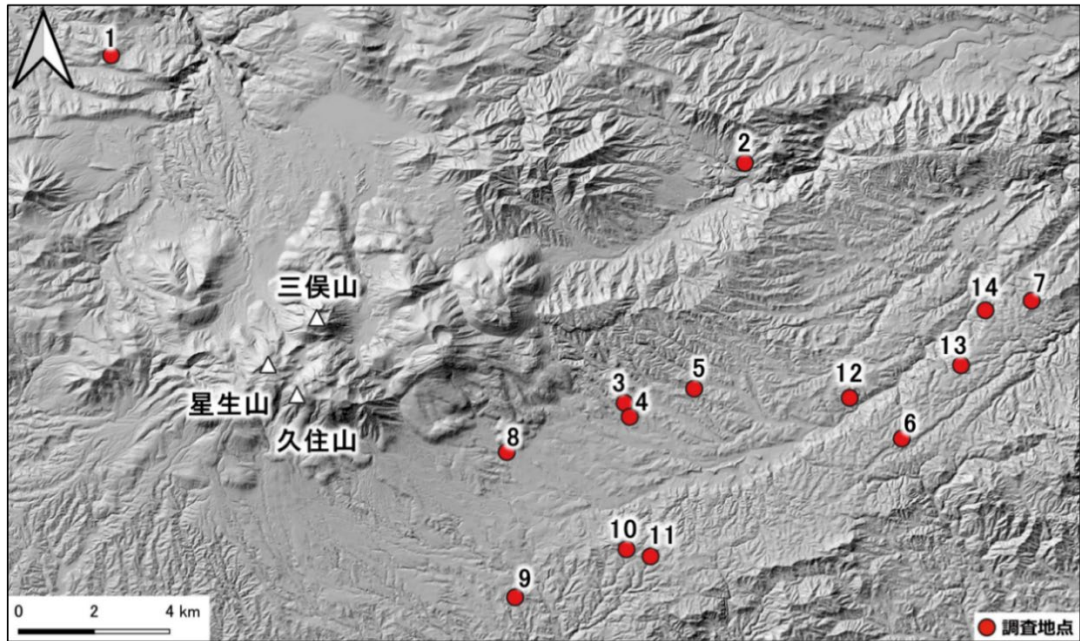


図 75. 調査地点位置図（国土地理院基盤地図情報から作成）。

代表的な露頭である地点 8 の露頭写真を図 76 に示す。当該露頭では、Kj-D 層の下位に上から、明褐色火山灰層、褐色火山礫層、黄白色～明褐色火山灰層が確認された。明褐色火山灰層は主に極細粒砂～シルトで構成されるテフラ層である。褐色火山礫層は主に 4～6 mm 程度、最大 60 mm の岩片で構成されるテフラ層であり、地点 8 では極少量の軽石を含む。黄白色～明

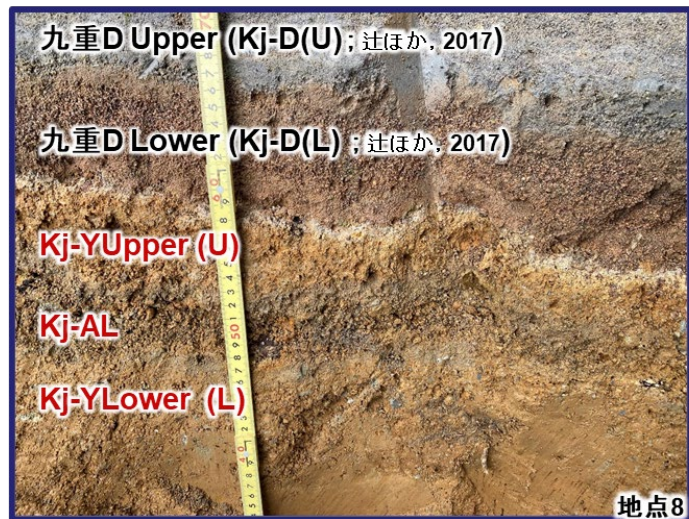


図 76. 地点 8 における Kj-Y 層の産状。

褐色火山灰層は、極粗粒砂の粒間をシルトから粘土サイズの基質が充填する基質支持のテフラ層で、地点 4 では特徴的に火山豆石様の粒子を含有する⁸⁵⁾⁸⁶⁾。構成粒子の特徴などから、明褐色火山灰層および黄白色～明褐色火山灰層は柚子降下火山灰層 (Kj-Y)⁸⁵⁾⁸⁶⁾、褐色火山礫層は有氏降下石質岩片層 (Kj-AL)⁸⁷⁾に相当すると考えられる。今回の検討により、Kj-Y 層は Kj-AL 層を挟在することから、以降では Kj-AL 層より上位の Kj-Y 層を柚子降下火山灰層上部 (Kj-Y U 層)、それより下位の Kj-Y 層を柚子降下火山灰層下部 (Kj-Y L 層) と称する。長岡・奥野⁸⁷⁾は Kj-AL 層の上位に土壌層を挟んで Kj-D 層が分布するとしている。Kj-Y U 層がこの土壌層に相当するが、Kj-Y U 層には火山ガラスが含まれているため、テフラ層とした。Kj-D・Kj-Y・Kj-AL 各層の間には堆積時間の間隙を示すような土壌層は認められない。しかし、Kj-Y U 層は数 m 離れた露頭で認められなくなることから、削剥されている

と考えられる。

飯田噴火による噴出物の含有鉱物組合せとその粒径ごとの相対的な量比を表 4 に示す。いずれの噴出物もどの粒径においても斜長石と角閃石に富む。Kj-P1 の軽石部以外は、おおむね単斜輝石・直方輝石・黒雲母・石英を含むが、Kj-P1 の軽石部は輝石を欠く。Kj-Y L・Kj-AL・Kj-P1 の基質部がよく類似した鉱物組合せ、量比を示している。

飯田噴火噴出物中の火山ガラスの化学組成を、山口大学機器分析センターの JXA-8230 を用いて測定した。分析結果の SiO₂ 量—各元素酸化物量図を図 77 に示す。いずれの噴出物も SiO₂ 量がおおむね 73～78 wt.% を示す。Kj-P1・Kj-AL・Kj-Y L は SiO₂ 量だけでなく、他の元素の含有量も類似している。Kj-D U は同じ SiO₂ 量で比較すると、他の噴出物に対して K₂O・Na₂O に富み、CaO に乏しく、MgO や FeO もやや乏しい傾向が見られる。

表 4. 飯田噴火噴出物の鉱物組合せと相対的な量比。

Unit name	Grain size (φ)	Mineral					
		Pl	Hbl	Cpx	Opx	Bt	Qz
Kj-P1 (Pm)	2-1	+++	++	—	—	+	+
	3-2	+++	++	—	—	tr	tr
	4-3	+++	++	—	—	tr	tr
Kj-P1 (Mtx)	2-1	+++	++	tr	tr	+	+
	3-2	+++	++	tr	tr	+	+
	4-3	+++	++	+	+	tr	tr
Kj-Hd (Mtx)	2-1	+++	++	—	tr	tr	tr
	3-2	+++	++	tr	tr	tr	tr
	4-3	+++	++	—	tr	—	tr
Kj-D U (Mtx)	2-1	+++	++	—	—	tr	tr
	3-2	+++	++	tr	tr	tr	tr
	4-3	+++	++	tr	tr	—	tr
Kj-D L (Mtx)	2-1	+++	++	tr	—	tr	—
	3-2	+++	++	tr	—	tr	—
	4-3	+++	++	—	tr	—	—
Kj-AL (Mtx)	2-1	+++	++	tr	tr	tr	tr
	3-2	+++	++	+	tr	tr	tr
	4-3	+++	++	+	+	tr	tr
Kj-Y L (Mtx)	2-1	+++	++	+	+	tr	+
	3-2	+++	++	+	+	tr	tr
	4-3	+++	++	+	+	—	tr

Pm：軽石部，Mtx：基質部，Pl：斜長石，Hbl：角閃石，Cpx：単斜輝石，Opx：直方輝石，Bt：黒雲母、Qz：石英，+++：多量，++：中量，+：少量，tr：微量，—：未確認

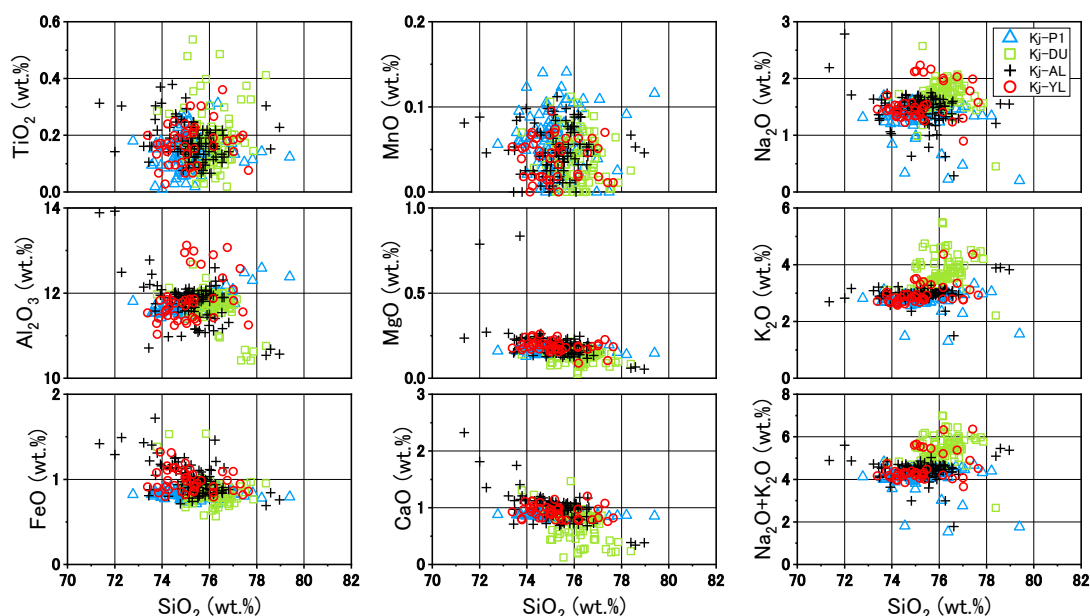


図 77. 飯田噴火噴出物中のガラスの SiO_2 -酸化物量図。

以上のことから、Kj-Y 層と Kj-AL 層との関係をまとめると以下の通りである。

- ・ Kj-AL は Kj-Y L と Kj-Y U とに挟まれて分布し、これらの間に時間間隙を示す土壌層は見られない。また、Kj-Y U 層と上位の Kj-D L 層の間にも土壌層などは認められないが、Kj-Y U 層上面は浸食されている。
- ・ Kj-Y L 層と Kj-AL 層はほぼ同様の鉱物組合せと量比を有しており、これらは他の飯田噴火噴出物、特に Kj-P1 の基質部とよく類似する。
- ・ Kj-Y L 層、Kj-AL 層に含まれる火山ガラスの組成はほぼ同様であり、Kj-P1 のガラスの化学組成ともよく一致する。

上記の 3 点から、Kj-D と Kj-Y U 層の間には侵食作用が起こる程度の時間間隙があった可能性があるが、Kj-Y 層は Kj-AL 層とともに、Kj-D 層や Kj-P1 層と同一のマグマが噴出したものと推定されることから、飯田噴火の前駆的活動による噴出物と考えられる。福岡ほか⁸⁶⁾は、地点 4 の露頭観察の結果から Kj-AL 層を Kj-D L 層あるいはその一部と考え、Kj-Y 層のみを飯田噴火の前駆的活動による噴出物としたが、上記のように Kj-Y 層が Kj-AL を挟在することから、Kj-Y L~Kj-AL~Kj-Y U 層全体が前駆的活動の噴出物と考えられる。

2-2. 飯田噴火前駆的活動による堆積物の分布と層厚

福岡ほか⁸⁶⁾は Kj-AL より下位の Kj-Y L 層のみを飯田噴火の前駆的活動の噴出物として、層厚分布からアイソパック・マップを示している。今回、Kj-Y L~Kj-AL~Kj-Y U 層全体が前駆的活動の噴出物であることがわかったため、このことを考慮して、前駆的活動による堆積物の層厚分布を検討した。

図 78 に各調査地点での柱状図を、図 79 に層厚分布図を示す。福岡ほか⁸⁶⁾は Kj-Y L 層のみのアイソパック・マップから飯田噴火の前駆的活動が現在の九重火山の東部

域で発生したことを推定したが、図 79 に示す前駆的活動による噴出物全体の層厚の分布からは、その供給源を求めることは困難である。

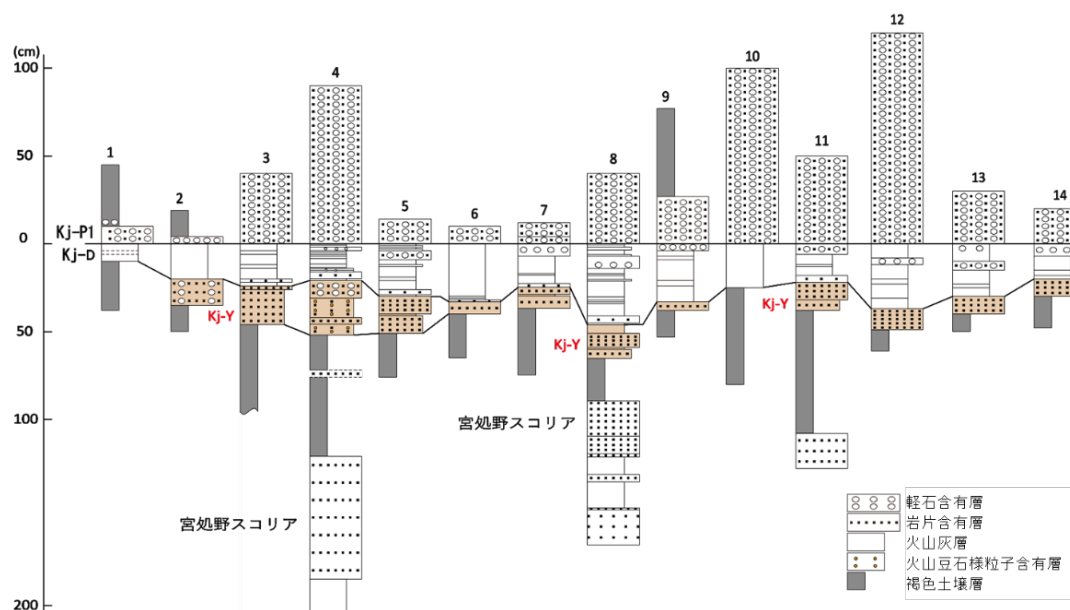


図 78. 各調査地点のテフラ層の柱状図。

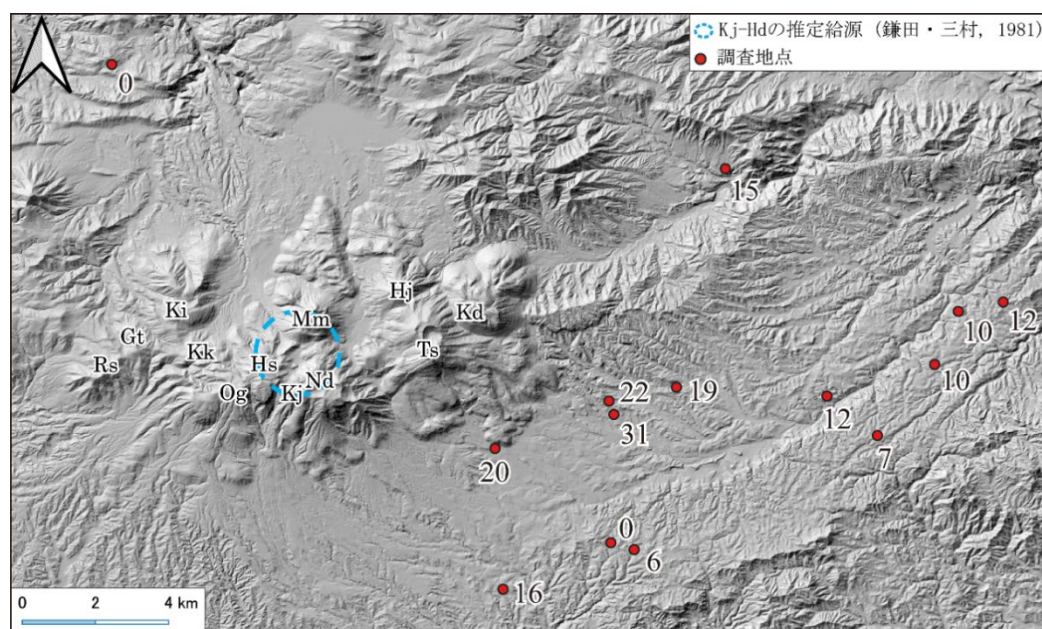


図 79. 飯田噴火の前駆的活動による噴出物の層厚分布（図中の数字は層厚(cm)）。Kj-Hd の推定給源は、鎌田・三村⁸⁸⁾による。

3. まとめ

飯田噴火の堆積物である Kj-D 層よりも下位に土壌層を挟まずに分布するテフラ層について、詳細な露頭観察と含有鉱物および火山ガラスの化学組成の再検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

1) Kj-D 層の下位には、いずれも土壌層を挟むことなく、下から Kj-Y L 層、Kj-AL 層、Kj-Y U 層が分布する。

- 2) これらのテフラ層は、おおむね同様の鉱物組合せを有し、火山ガラスの化学組成も類似する。
- 3) この鉱物組合せと火山ガラスの化学組成は、上位の飯田噴火の噴出物、特に Kj-P1 層と類似する。
- 4) 以上のことから、Kj-Y L 層、Kj-AL 層、Kj-Y U 層はいずれも飯田噴火の前駆的活動による噴出物と考えられる。
- 5) これらテフラ層全体の層厚分布からは、その供給源を求めることは困難であり、今後の課題である。

v) 阿蘇山：噴火対応と野外調査による阿蘇山の噴火履歴の解明（熊本大学）

i) 阿蘇火山中岳第 1 火口 2021 年 10 月 20 日噴火に伴う降灰調査

阿蘇火山中岳第 1 火口では、2021 年 10 月 20 日 11 時 43 分に噴火が発生し、火口周辺に火砕流が流下するとともに、噴煙が火口縁上 3,500 m まで上昇し、同火口南東方の広範囲で降灰が確認された。熊本大学は、防災科学技術研究所・産業技術総合研究所と協力して、10 月 20 日 16 時～22 日 10 時頃に、中岳第 1 火口から南東方の熊本県高森町・南阿蘇村、さらに遠方にあたる山都町、宮崎県高千穂町・五ヶ瀬町にかけての地域で噴出物の分布状況を調査した。まずは火山灰の有無を確認し、阿蘇カルデラ内の 46 地点およびカルデラ外の 18 箇所において道路や構造物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持ち帰って質量を測定し、 1m^2 当たりの質量に換算した。2021 年 10 月 20 日噴火に伴う火山灰の分布状況を図 80 に示す。

今回の火山灰は中岳第 1 火口から南東方向に主軸をもって飛散しており、阿蘇カルデラ南東部だけでなく、約 30 km 離れた宮崎県高千穂町付近まで観察することができ、分布面積は約 400 km^2 に及ぶことがわかった。

得られた降灰量データから $1\sim 1,000\text{ g/m}^2$ の 10 本の等質量線を描くことができた（図 80）。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 15,000 トン程度と概算された。噴火発生直後の現地調査では、より多量の火山灰が存在すると考えられる火口から 4 km 以内の地域での調査が行えていないため、15,000 トンという火山灰の量は実際の噴出物量の下限に近い値かもしれない。なお、この火山灰の量には火口周辺域の火砕流堆積物の量は含まれていない。

今回の降灰調査では、内閣府「降灰調査データ共有化スキーム」に基づく気象庁からの迅速な情報提供は、現地調査やとりまとめの際に非常に参考になった。

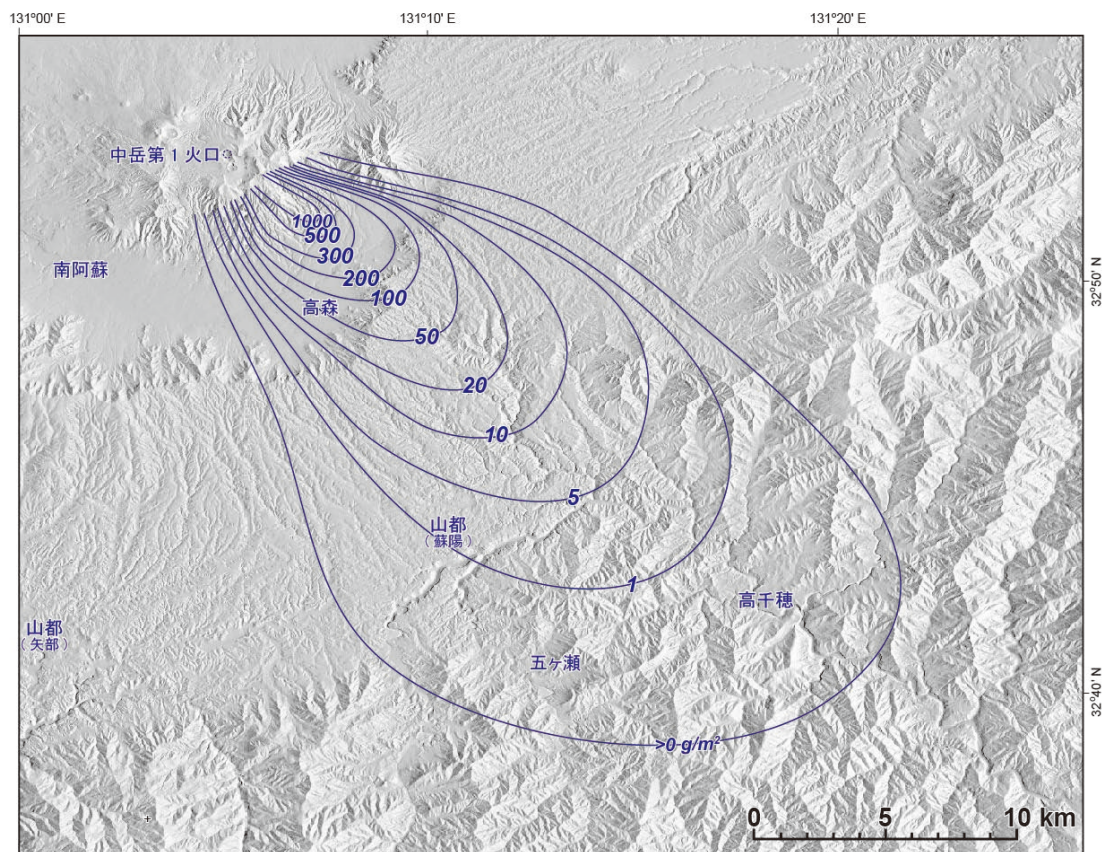


図 80. 阿蘇火山中岳における 2021 年 10 月 20 日噴火に伴う火山灰の分布（単位 g/m^2 ）。陰影図は国土地理院 10 m メッシュ標高データ（DEM）を使用してカシミール 3D で作成した。気象庁による降灰調査結果も参考にして等質量線を描いた。

ii) 古地磁気学的手法を用いた阿蘇火山中岳火口周辺域の完新世噴出物の年代の検討

中岳は阿蘇火山の後カルデラ中央火口丘群の中で唯一現在も活動が続ける火山であり、古期山体（2.2～2.1 万年前）、新期山体（5,000 年前頃）、最新期火砕丘（～現在）という 3 つの山体を形成している⁸⁹⁾⁹⁰⁾。しかしながら、それらの山体の詳細な形成時期や活動史については不明な点が多い。そこで、令和 3 年度は岩石磁気学・古地磁気学的手法を用いて中岳新期山体および最新期火砕丘の噴火活動時期の分類とそれらの年代推定を行った。

試料採取は中岳の新期山体溶岩と同時期および最新期火砕丘が形成された時期に噴出したと推察されるアグルチネートを対象にエンジンドリルを用いて定方位サンプリングを行った。試料採取地点は、阿蘇火山地質図⁸⁹⁾で示された新期山体噴出物の分布域に位置し、現在の中岳火口域を中心に古期山体と接する東側を除いて 11 地点（A～K）から 9 層の溶岩流および 8 層のアグルチネート試料を採取した（図 81）。加えて地点 I ではアグルチネートに直下に堆積するテフラ層からも試料を採取した。

古地磁気方位測定の結果、中岳新期山体および最新期火砕丘の噴出物は 3 つの方位グループに分類できた⁹¹⁾（図 82）。そして、阿蘇火山において検討されている古地

磁気永年変化曲線⁹²⁾の平均移動速度から、それぞれのおおよその活動年代が得られた。完新世における中岳の噴火年代はおよそ6,000～4,300年前および3,500年前と見積もることができた。前者の噴火は5,000年前頃までに大規模な溶岩流出を起こしており、その後約4,300年前に再度溶岩を流出している。また、約3,500年前の噴火は現在の第4火口周辺に溶岩流および多量のスコリアを噴出してアグルチネートを形成しており、中岳の最新期火砕丘を形成する初期の噴火であった可能性が高く、その年代を推定できた意義は大きい⁹²⁾。

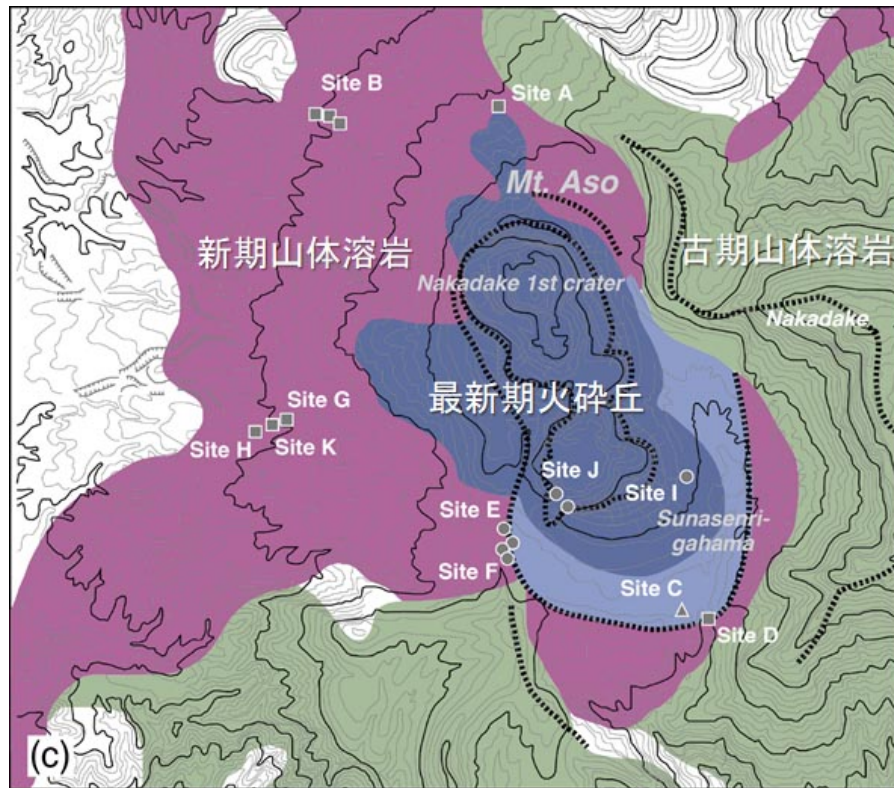


図 81. 阿蘇火山中岳火口周辺域における古地磁気方位測定のための試料採取地点の位置（穴井ほか⁹¹⁾の一部を使用）。地質の分布は、阿蘇火山地質図⁸⁹⁾による。

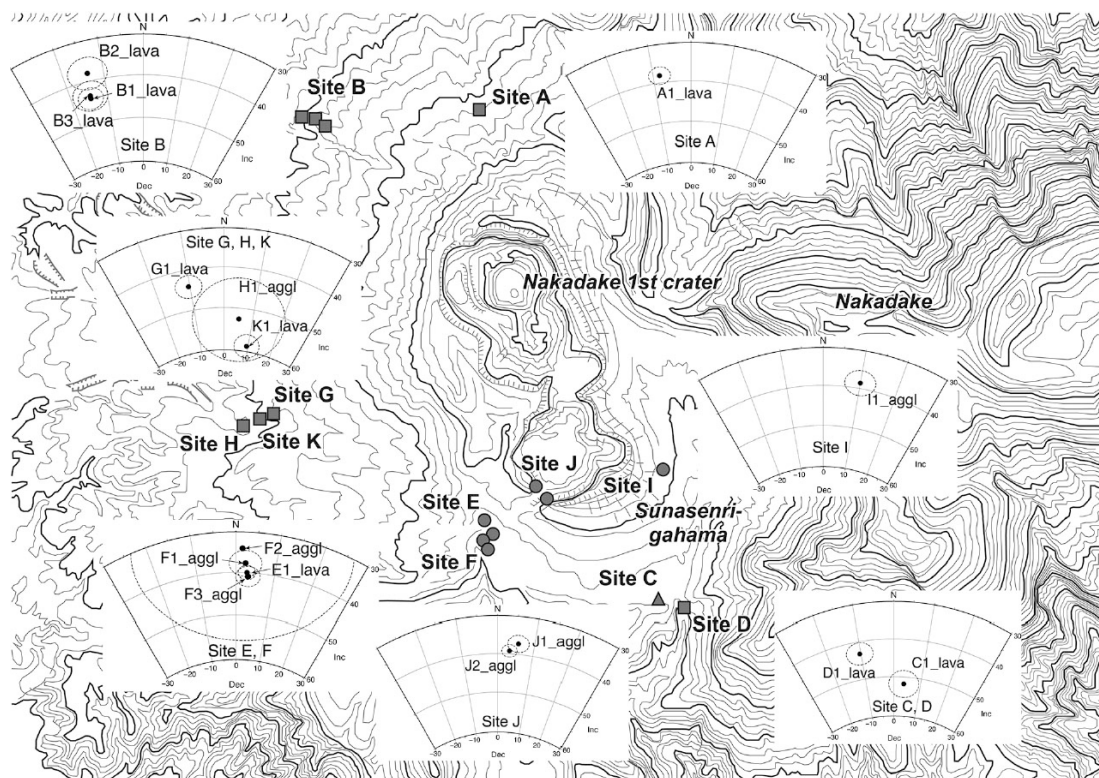


図 82. 阿蘇火山中岳火口周辺域において採取した岩石試料の古地磁気方位測定結果⁹¹⁾。

iii) 阿蘇山における令和 3 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、竹田市荻町恵良原において、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北東約 22 km 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⁹³⁾、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⁹⁴⁾。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荻町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が観察された（図 83）。同火砕流堆積物の上位 1 m 付近には、黄白色火山灰層が挟在する厚さ約 50 cm の風化した降下軽石層が認められた。さらにその上位 30cm 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 15 km 以上離れた地点で 10 cm 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 83. 竹田市荻町恵良原におけるトレンチ断面。

iv) 阿蘇山における令和 3 年度ボーリング調査報告

草千里ヶ浜は、阿蘇火山における後カルデラ火山活動で最大級の噴火が発生した火山である。約 3 万年前に起こったプリニー式噴火では、約 2 km³ の降下軽石を放出したことがわかっている⁹³⁾。しかし、そのプリニー式噴火後の活動推移についてはよくわかっていない。そこで、本年度は噴出物が比較的良好な状態で保存されていると考えられた、草千里ヶ浜火山東部の尾根上の地点においてボーリング調査を実施した（図 84）。

今回の掘削深度は 90 m で、地表から約 50 m 深までは土壌層を含む火山碎屑物などの互層が認められ、50 m 以深はすべて溶岩であった。上部の火山碎屑物互層中には、11 m 深と 48 m 深付近に火山ガラスに富む火山灰層が存在し、それぞれ鬼界アカホヤ火山灰（7,300 年前）および始良 Tn 火山灰（2.9 万年前）⁹⁵⁾と考えられる。その他の詳しいボーリングコア層序については現在観察を進めているところであり、次年度以降に報告する予定である。



図 84. 草千里ヶ浜火山における令和 3 年度のボーリング調査地点。

w) 霧島：野外調査・物質科学的解析に基づく御鉢火山の噴火履歴・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、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研究を進めている。令和 3 年度はこのうち御鉢火山について重点的に進めた。

御鉢火山で 1235 年に発生した 3 回のサブプリニー式噴火の堆積物（高原テフラ, ThT）について層序を再構築した。従来の研究⁹⁶⁾では ThT-a、b、c の 3 つのユニットとして識別されるが、詳細な調査を行った結果、堆積物を 7 つのサブユニットと火砕流堆積物（Ohsf）に細分できることがわかった。ThT-a-L、-U は黒色フレーク状スコリア、ThT-b-L、-M は黒～赤褐色ブロック状スコリア、そして ThT-c-L、-M、-U は黒色ややフレーク状スコリアで構成される。Ohsf は黒色のスコリアからなる（図 85）。なお、ThT-b-M と ThT-c-L との間で SiO_2 含有量にギャップがあり、ThT-C では SiO_2 が 1.5 wt.%ほど増加する。

テフラ分布域をもとに Weibull 法により火砕物の噴出量を推定したところ、ThT-a は 0.012 km^3 、ThT-b は 0.27 km^3 、ThT-c は 0.036 km^3 、総噴出量は 0.32 km^3 （噴火マグニチュード $M = 4.4$ ）となり、従来の推定（ 0.2 km^3 、 $M = 3.9$ ）⁹⁵⁾よりも大規模な噴火の可能性があることがわかった（図 86）。各サブユニットのスコリア礫粒子に対して、偏光・電子顕微鏡による観察、投影画像を用いた粒子形状指数解析、空隙構造の解析、みかけ密度の測定および連結空隙と独立気泡割合の測定・算出を行った（図 87・88）。その結果、形状指数の値はそれぞれ ThT-a から ThT-b にかけて増加し、ThT-b から ThT-c にかけてやや減少する変化を示した。ThT-a、b は 0.25 mm 以上 1 mm 以下のサイズの気泡（中サイズ気泡）がユニット内で増加したが、ThT-c では逆の傾向

が見られた。より大きいサイズの気泡が全体の気泡の中で占める割合は、ThT-a で大きく、ThT-c、b の順で続いた。また、連結空隙割合は各ユニット内で 5 %前後減少する。マイクロライト量はサブユニット毎に違いが見られ、ThT-b および ThT-c 上部で多く存在した。

形状指数の値は肉眼で観察した粒子形状の特徴を良く表しており、その変化には空隙構造の違いが反映されていることが明らかになった。気泡量や独立気泡の割合が噴火の規模・強度と相関していることもわかった。これらの粒子形状や岩石組織とその変化から噴火の強度とその推移について考察した。粒子形状が不規則な ThT-a を形成した噴火は比較的小規模で強度が低く、噴火後半で爆発性が上がるイベントであり、ThT-b 噴火は ThT-a に比べて大規模・強度の高い噴火であったと考えられる。ThT-c は後半ほど爆発性が下がるイベントであり、前 2 つの噴火とはやや異なる経路をたどったと考えられる。本内容については日本地球惑星科学連合 2022 年大会にて発表予定である。

一方、1235 年噴火前後の噴出物（主にサブプリニー式噴火）についても地質調査を行い、層序や年代の検討を行った。

硫黄山については、歴史時代（16-17 世紀）に噴出した溶岩流の地質岩石に関する研究に着手した。硫黄山溶岩から網羅的に岩石試料を採取し、岩石記載等の基礎的な情報を得た。今後、物質科学的解析を進め、霧島火山群の中での位置付けについて検討を進める。

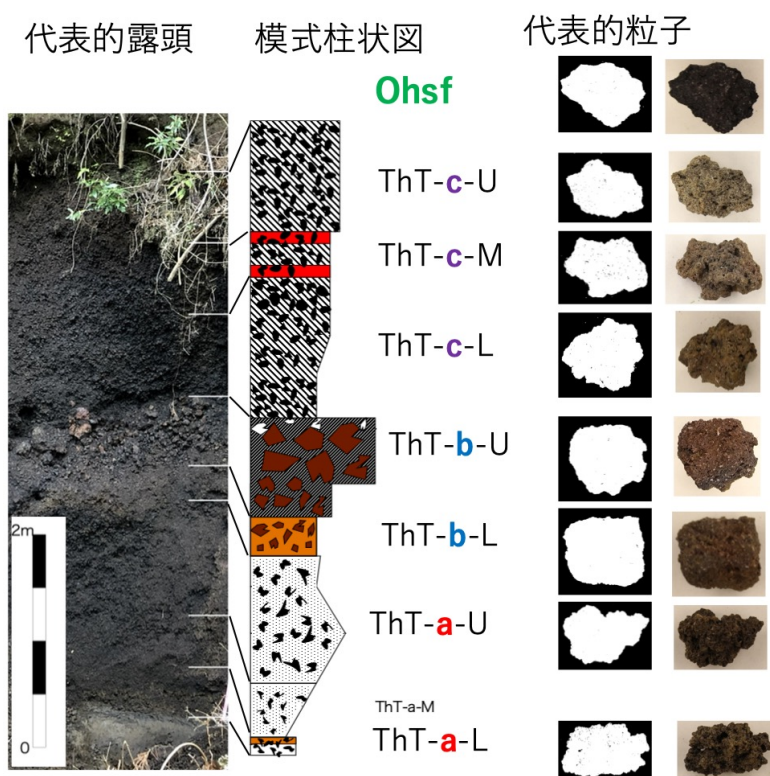


図 85. 霧島御鉢火山 1235 年噴火堆積物の模式柱状図および代表的スコリア礫。

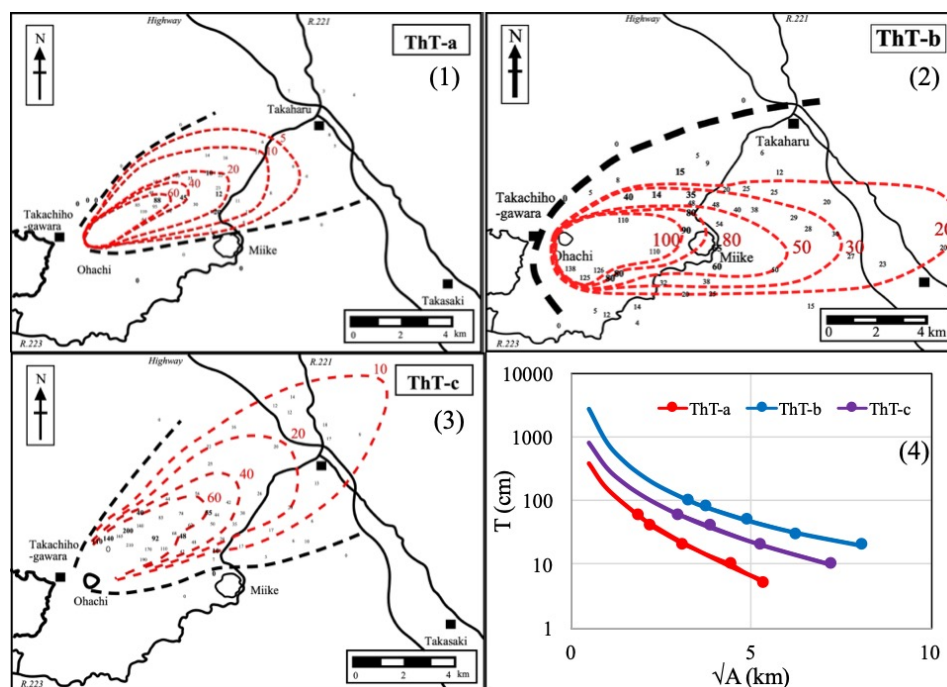


図 86. (1)–(3) ThT-a、b、c の等層厚地図。値は cm。黒い点線は分布限界を、赤い点線は等層厚線を示す。(4) 各ユニットの火口からの距離と厚さの関係。

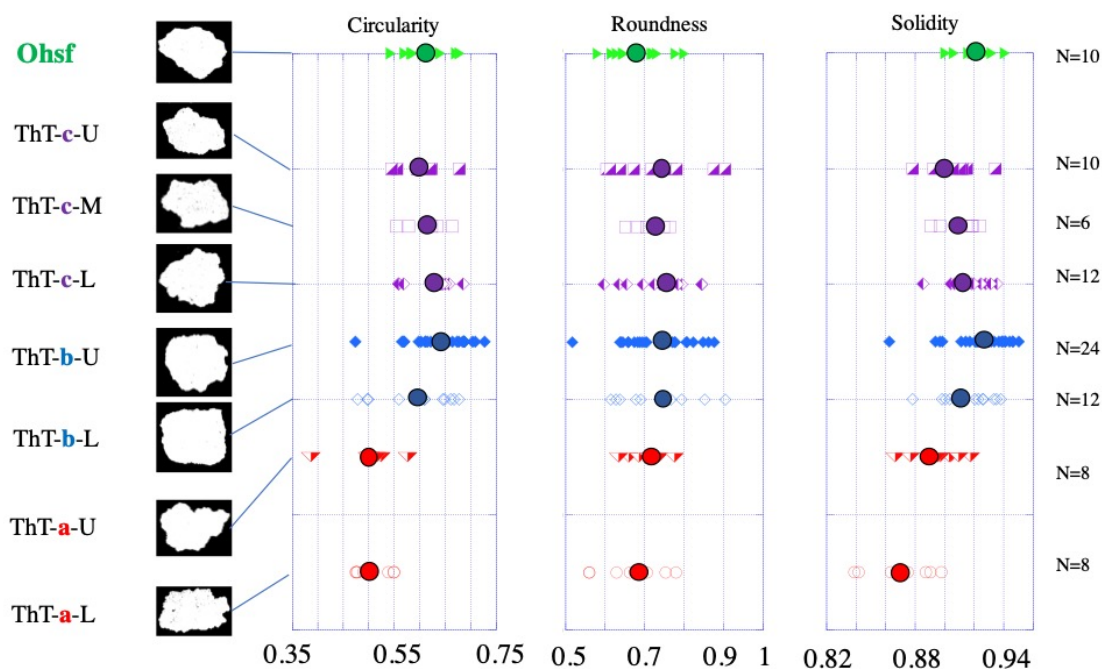


図 87. 各サブユニットの代表的な粒子の投影写真と、 $-3.5 \sim -4.0 \phi$ の粒子について形状指数。

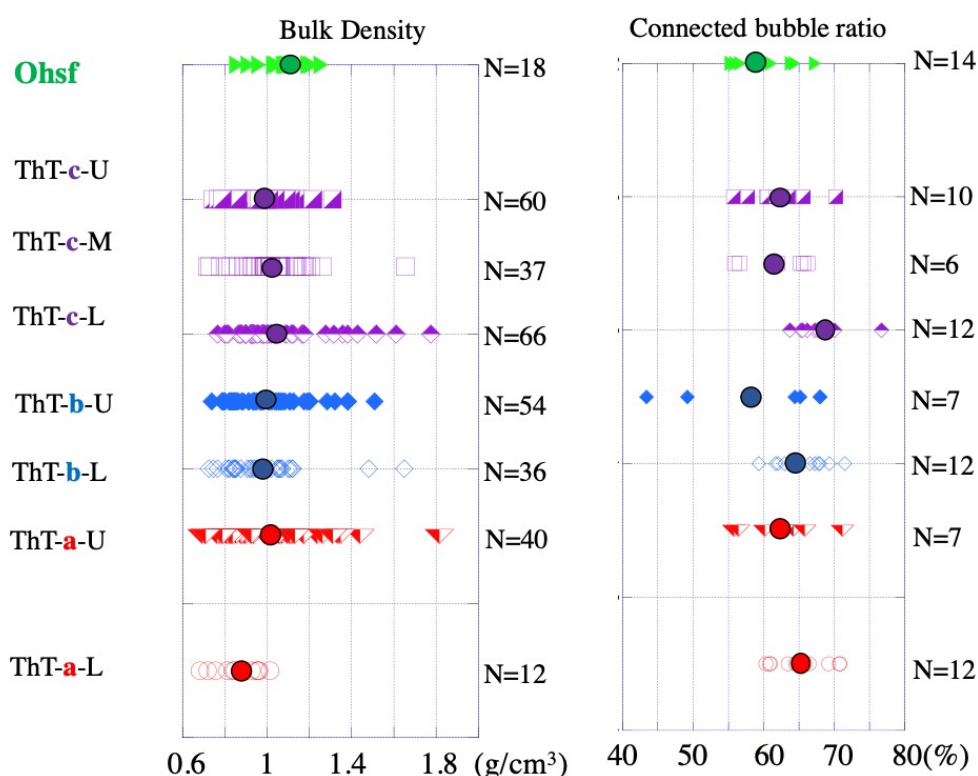


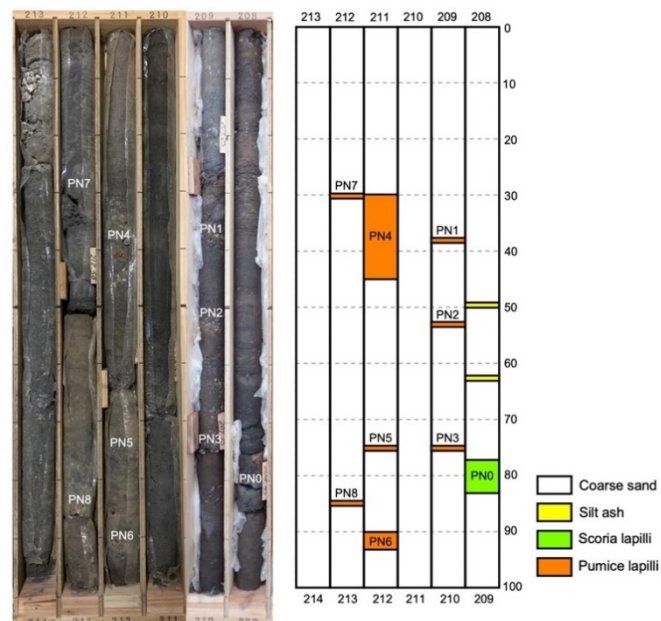
図 88. 各サブユニットについて見かけ密度と連結気泡割合。丸い点は平均値。

x) 鬼界：野外調査・物質科学的解析に基づく噴火履歴・噴火推移に関する研究（東京大学地震研究所・北海道大学）

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 3 年度は、平成 30 年度に実施したボーリング掘削試料の解析をさらに進め、長浜溶岩（7.3 ka 直前）より深部の堆積物の年代値や構成物の特徴を明らかにした。とくに 12-15ka 頃の層順には 8 枚の軽石層が挟在することがわかり（図 89）、これらのテフラ群（PN1-8）の年代および岩石学的特徴についてさらに検討した。その結果、テフラ群前後の ^{14}C 年代値の内挿より、PN3（深度 209.75 m）は 12,800 cal yBP 頃、PN4（深度 211.38 m）は 13,200 cal yBP 頃の活動と推定された（図 90）。また、どちらのテフラも斑晶鉱物として斜長石、単斜輝石、直方輝石、鉄チタン酸化物を含む安山岩であることがわかった。全岩化学組成では SiO_2 含有量 ~62 wt.% を示し、アカホヤ噴出物や籠港テフラ群（9-16 ka⁹⁷⁾ に噴出）中のスコリアなど異なる特徴を有する（図 91）。

PN3 と PN4 に含まれる両輝石、斜長石およびこれらの鉱物に含まれるメルト包有物の EPMA による化学組成分析を行った。その結果、PN3・PN4 とともに鉱物組み合わせや化学組成はほぼ同じで、温度圧力については Putirka⁹⁸⁾ の両輝石温度圧力計を用いて 980 ± 20 °C および 4 ± 1 kb、含水量については Waters and Lange⁹⁹⁾ の斜長石含水量計を用いて 2.5-3.0 wt.% と推定された（図 92）。今後、籠港テフラ群や鬼界アカホヤ噴火の安山岩質苦鉄質端成分との関係を調べ、カルデラ形成噴火前後の長期的なマagma 供給系の変化について考察を進める。

鬼界アカホヤ噴火前半のプリニー式噴火について、大隅半島で調査を行い堆積物の層序を見直した。その結果、先行研究¹⁰⁰⁾で区分した Unit A はさらに複数のサブユニット (Unit A1・A2dL・A2dH・A4L・A4L2・A4MH) に分けられることがわかった。このうち、Unit A1・A4MH が主なプリニー式噴火に対応する。これらのサブユニットに対して等層厚線および等粒径線をもとに、複数の手法¹⁰¹⁾¹⁰²⁾¹⁰³⁾で噴火パラメータを推定した。その結果、噴出量、噴煙高度および噴出率は、Unit A1 で $\geq 0.36\text{--}0.49 \text{ km}^3$ 、 $23\text{--}28 \text{ km}$ 、 $7.1 \times 10^7\text{--}1.7 \times 10^8 \text{ kg/s}$ 、Unit A4MH で $4.8\text{--}10 \text{ km}^3$ 、 $36\text{--}43 \text{ km}$ 、 $4.7\text{--}8.2 \times 10^8 \text{ kg/s}$ と推定された。プリニー式噴火フェーズのテフラ総噴出量は $5\text{--}11 \text{ km}^3$ となり、従来の推定値 (約 40 km^3)¹⁰⁰⁾ の 25 %程度と、大幅に下方修正されることが明らかとなった。この結果は、鬼界アカホヤ噴火のカルデラ形成過程の理解にも影響を与える可能性がある。本内容については日本地球惑星科学連合 2022 年大会にて発表予定である。



KKBC_PN3 (209.75 m) ~12800 cal yBP
KKBC_PN4 (211.38 m) ~13200 cal yBP

図 89. ボーリングコア試料中に見出され軽石質のテフラ群 (PN1-PN8)。

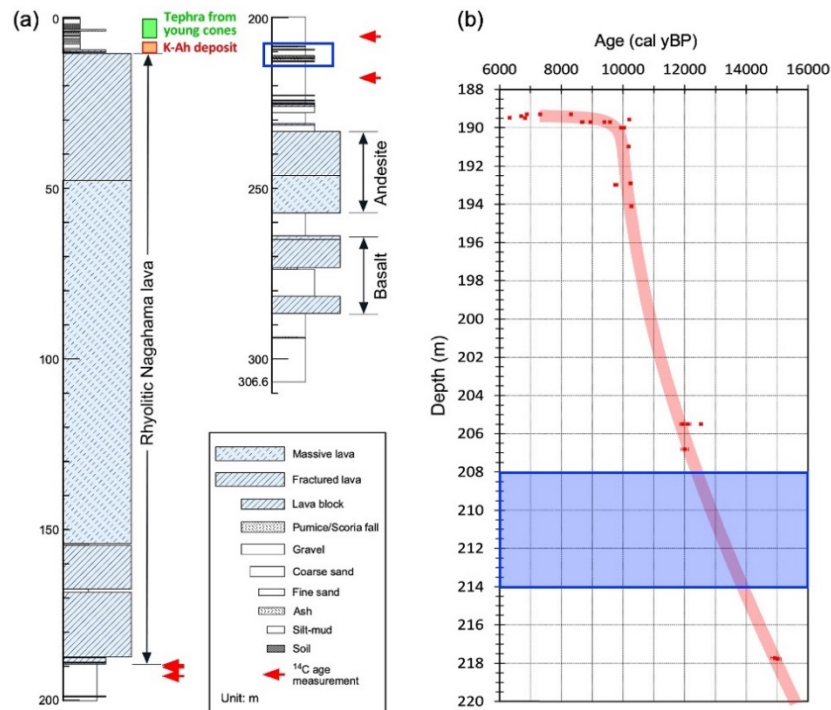


図 90. (a) ボーリングコアの全体像と PN テフラ群（青枠）との関係。(b) 深さと年代の関係。青色部分が PN テフラ群（208–214 m）の位置。

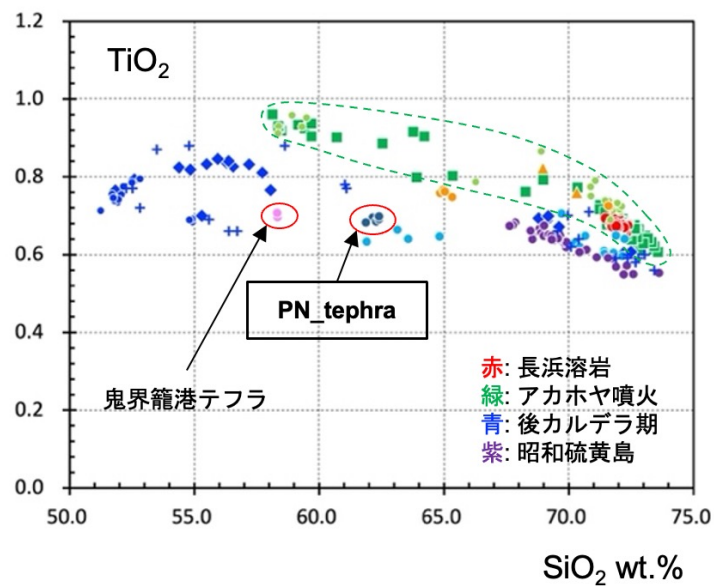


図 91. 鬼界カルデラ噴出物の全岩化学組成。PN テフラ（軽石）や籠港テフラはアカホヤ噴火の組成トレンド（緑色点線）から外れる。

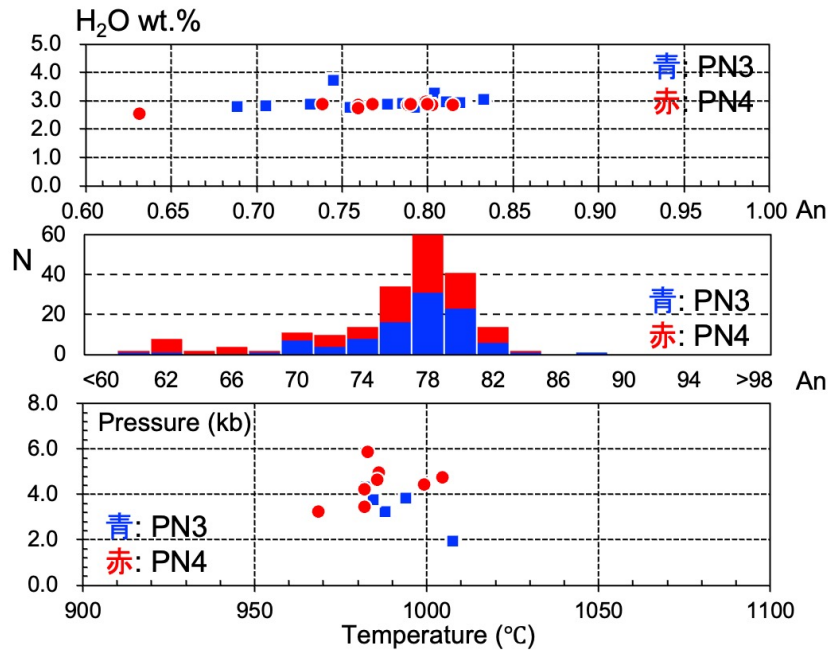


図 92. PN3 および PN4 中の斑晶鉱物の分析結果。上段は斜長石斑晶およびメルト包有物に対する含水量計⁹⁹⁾の適用結果。中段は斜長石 An 値のヒストグラム。下段は共存する単斜輝石-直方輝石ペアに対する温度圧力計⁹⁸⁾の適用結果。

y) 伊豆大島：沿岸域探査と陸域調査に基づく噴火活動履歴・噴火活動推移の解明（産業技術総合研究所・東京大学地震研究所）

i) 沿岸域探査と陸域調査に基づく噴火履歴の解明

1. 目的と調査位置

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。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である。そこで、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、海底部分の火山体及び噴出物の分布、体積を明らかにし、沿岸海底部の火山活動評価を行う。以上を通じて陸上、海底部分を合わせた伊豆大島全体の噴火履歴と、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、昨年度の精密海底地形調査に引き続き、伊豆大島沿岸域で浅部地殻構造解明のための反射法音波探査を実施した（図 93）。本調査は、堆積層下の火山体、基盤、噴出物の分布の把握、断層等地殻構造の把握、そして海底地形解釈の補助を主な目的として実施した。また取得した地形データと陸上沿岸部に分布する噴出物の対

比を目的とする噴出物の分布、組成、 ^{14}C 年代測定による活動時期の把握のための調査を実施した。

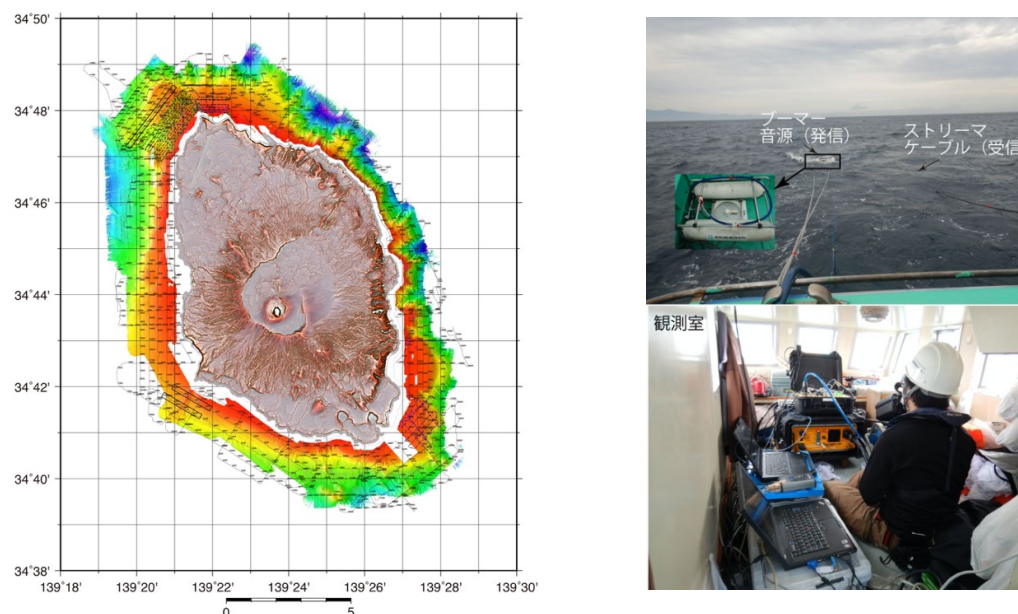


図 93. 伊豆大島沿岸域での反射法音波探査。左図は観測した測線図。右図は、漁船に観測装置をセットし、観測を実施している様子。

2. 沿岸域の高分解能反射法音波探査

本調査には、音源として産総研所有の電磁誘導方式音波探査装置 Applied Acoustic Engineering 社ブーマー音源 AA300 を使用した。この音源の最大発信エネルギーは 300 J、発振中央周波数は約 1kHz である。受信は、Gemetric 社製のストリーマケーブル Geoeel Solid を用いた。ケーブル長は 50 m、16 チャンネルのハイドロフォンを有する。

伊豆大島北西部での取得データを図 94 に示し、予察的な解釈を報告する。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。この断面はその多数の崖に直交する方向の測線での観測結果である。正断層とみられる断層群や、内部に音があまり通らない火山体とみられる山が確認できる。またこの地域には比較的平坦でかつ円形の表面構造が見られる地域が複数ある。そのような地域の断面は連続性が悪いものの一部成層構造がみられるという特徴を持ち、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考えられる。凸の地形部も大きく構造は変わらないように見えるので、侵食の過程で選択的に残った古い火山体（おそらく側火山）である可能性がある。

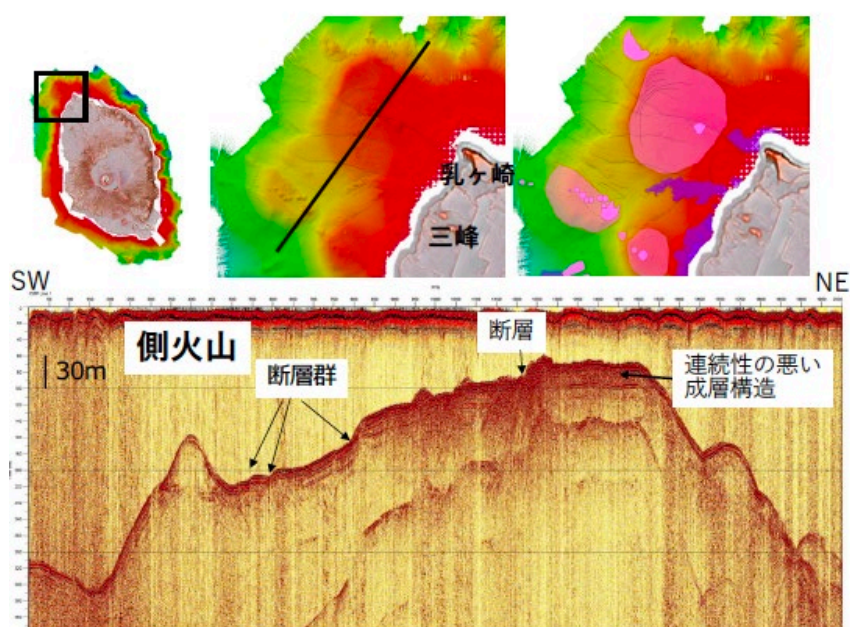


図 94. 伊豆大島北西部沿岸部の反射法音波探査断面。上段に測線位置と地形区分を示す。

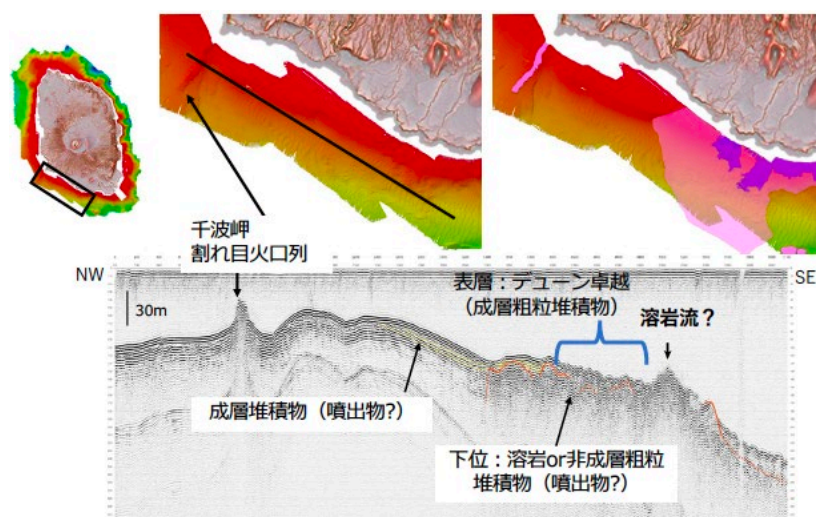


図 95. 伊豆大島南西部沿岸部の反射法音波探査断面。

次に南西沿岸部のデータの例を図 95 に示す。この地域では、昨年報告した千波岬沖に連なる火口列が存在しており、そこから東の地域はデューンの発達が顕著であり、陸に近い部分で明瞭に海底地形に現れている溶岩流以外は、地形のみでは地質について検討することが難しい。この区間では、デューンが発達した成層堆積物の下の地質に変化がある。西部では、下位も成層した堆積物であるのに対し、東部では表面の凹凸の激しい溶岩あるいは非成層の粗粒堆積物からなっていると考えられ、明瞭な違いがある。東部の下位の層の一部は海底面に露出、凹凸の多い地形を示し、現段階では溶岩流ではないかと推測している。

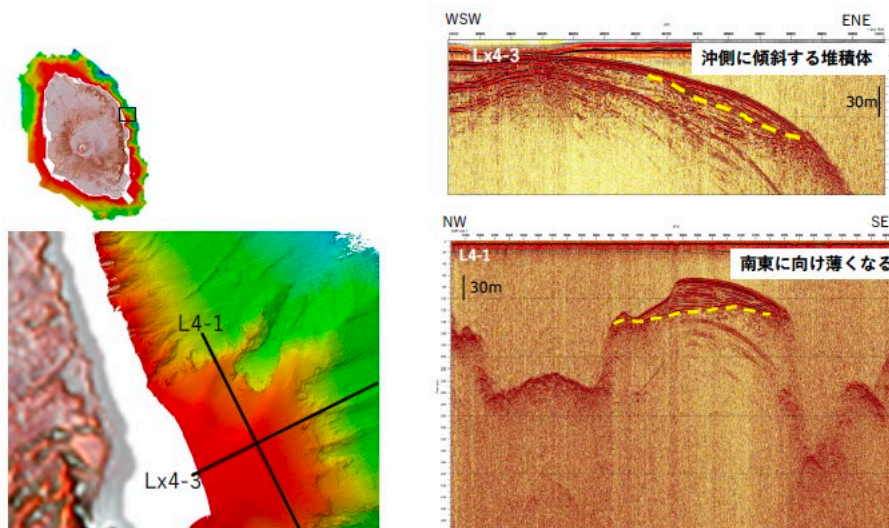


図 96. 伊豆大島北東沿岸部の反射法音波探査断面。

次に北東沿岸部でのデータ例を示す（図 96）。ここでは、昨年度北東に開口した崩壊地形と思われる地形が見つかった。今回その地形を横断する測線で反射断面を得た。その結果、不連続だが一部成層した基盤（行者窟火山に関係？）の上に不整合に成層した堆積物が堆積していることが明らかになった。そしてその堆積物は測線上では南東へ向け傾斜すると同時に薄くなっていることが明らかになった。この堆積物は直交する測線でも確認している。崩壊地形のリムが周囲より高く、堆積物が厚くなっていることから、単なる崩壊地形でなく、凹地内で噴火が発生、噴出物が堆積している可能性もあるのではないかと考えている。ROV で観察可能な水深なので、観察、試料採取を試みて検証したい。

3. 沿岸陸上部火山噴出物調査

沿岸海底地形調査により、溶岩流等によるものと考えられる顕著な地形が見られた地域の沿岸陸上部において、火山噴出物の調査を昨年度開始した。海底地形にみえる溶岩流等の年代決定を直接行うことは困難な場合が多い。このため、海底の噴出物に対比できる可能性のある、陸上噴出物に関する ^{14}C 年代測定を行うことで、海底に分布する噴出物の年代推定を試みる予定である。さらに、伊豆大島火山のマグマについて明らかにされた、系統的な全岩微量成分組成の時間変化¹⁰⁴⁾に基づき、採取試料の化学組成分析をすることで年代推定を行い、 ^{14}C 年代から得られる制約と比較、補完する。

今年度は、伊豆大島東部一南西部沿岸域で調査を実施した。これにより沿岸部噴出物に新たな年代の制約を与えることができた（図 97・表 5）。筆島北方の黒崎の海岸に露出する溶岩流は、約 7,000 年前に、また南西部の砂の浜の西に溶岩デルタを形成する溶岩流について、4,400 年前より古いという制約が得られた。これらの年代は、溶岩の微量元素組成の系統的時間変化から見積もられる年代と概ね整合的である¹⁰⁴⁾。今後年代が明らかになった溶岩流等の噴出物と海底地形に現れた噴出物との対比を進めていく予定である。

伊豆大島で確認されている珪長質火山灰の起源と年代を確認するため、給源と推定されている新島火山での地質調査及び年代測定を行った。伊豆大島 N1 部層の古土壤中に確認される珪長質火山灰は、化学組成から西暦 886 年とされる新島向山噴火に対比されるが、向山の噴火年代とされる西暦 886 年は N1 土壌の推定年代に比べ 100-200 年ほど古く、年代に齟齬があった。そのため新島島内の向山噴火噴出物直下炭化木片 2 試料の年代測定を行った。いずれも西暦 886 年より新しい 10 世紀半ばから 12 世紀頃の年代が得られた。これは小林ほか⁵¹⁾の向山噴火噴出物の年代値に近く、伊豆大島 N1 部層の推定年代とも整合的であった。このほか伊豆大島南部の側火山、海岸に分布する土石流堆積物、火砕流堆積物の分布と層位の調査を行った。

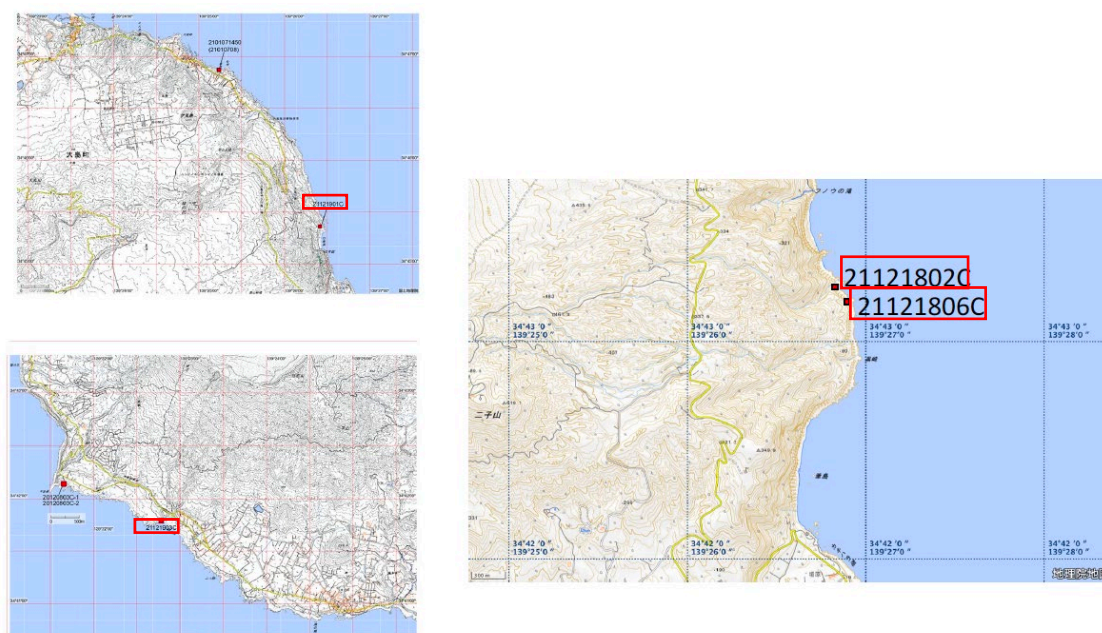


図 97. 伊豆大島沿岸陸上部における ^{14}C 年代測定試料採取位置（赤枠で示した試料番号）。

表 5. 伊豆大島沿岸陸上部における ^{14}C 年代測定結果。試料採取位置は図 97 に示す。（株）加速器分析研究所測定。

Analysis No.	Sample No.	sample type	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	^{14}C age (years BP)	calibration age (cal years, probability with 2 σ uncertainty)	latitude (°N)	longitude (°E)
IAAA-211716	21121802C	black soil	-26.42 \pm 0.24	1320 \pm 20	1295calBP - 1244calBP (51.3%), 1214calBP - 1176calBP (44.1%)	34.7212	139.4470
IAAA-211717	21121806C	black soil	-19.78 \pm 0.19	7030 \pm 30	7938calBP - 7789calBP (95.4%)	34.7201	139.4481
IAAA-211718	21121901C	charred material in soil	-23.79 \pm 0.28	1770 \pm 20	1716calBP - 1599calBP (95.4%)	34.7560	139.4405
IAAA-211719	21121903C	black soil	-16.52 \pm 0.23	4400 \pm 30	5210calBP - 5200calBP (1.1%), 5049calBP - 4866calBP (94.4%)	34.6962	139.3790

4. まとめ

伊豆大島沿岸域の精密浅部地殻構造探査を実施した結果、伊豆大島北西沿岸海底部での北西—南東方向の伸びる多くの正断層を確認した。これらと同地域に分布する側火山群の時間関係を示唆するデータを得た。この地域に複数存在する同心円状の構造が火山噴出物により構成されている可能性が高いことが明らかになり、侵食

された火山体（側火山）であることが明らかになった。伊豆大島西方―南西方沿岸海底部では、地形からは確認することができない火山噴出物の分布が明らかになった。沿岸陸上部の火山噴出物の調査により、噴出年代と化学的特徴を明らかにした。沿岸海底部の噴出物について陸上部との対比に寄与するデータが得られた。

ii) 大規模噴火の噴火履歴・噴火推移に関する研究

伊豆大島において、百数十年おき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を明確にするための研究を進めた。また年代不明の堆積物については ^{14}C 年代測定を実施した。トレンチ調査については、候補地の改変や新露頭の発見により、実施を再検討する必要が生じたため見合わせた。

18 世紀安永噴火（Y1 噴火）についてはテフラ分布（図 98）を明確にした上で、溶岩との層序関係をもとに新たな噴火推移を構築した。また、それに対応した化学組成変化（斜長石斑晶増加）の特徴（図 99）を整理し、これらの一連の成果について論文化を進めた。さらに、Y1（Unit A・B・C）、Y2、Y4、Y6 および 1986 年噴出物の岩石組織や粒子物性を比較したところ、噴火強度が大きいほど石基結晶量が少ない、気泡数密度が高い、粒子みかけ密度が大きいなど、噴火強度と噴出物の微細構造・組織に相関があることなどがわかった（図 100: Y1 内での変化を例示）。この結果は、伊豆大島のマグマ上昇過程を理解する上で重要な基礎データとなる。

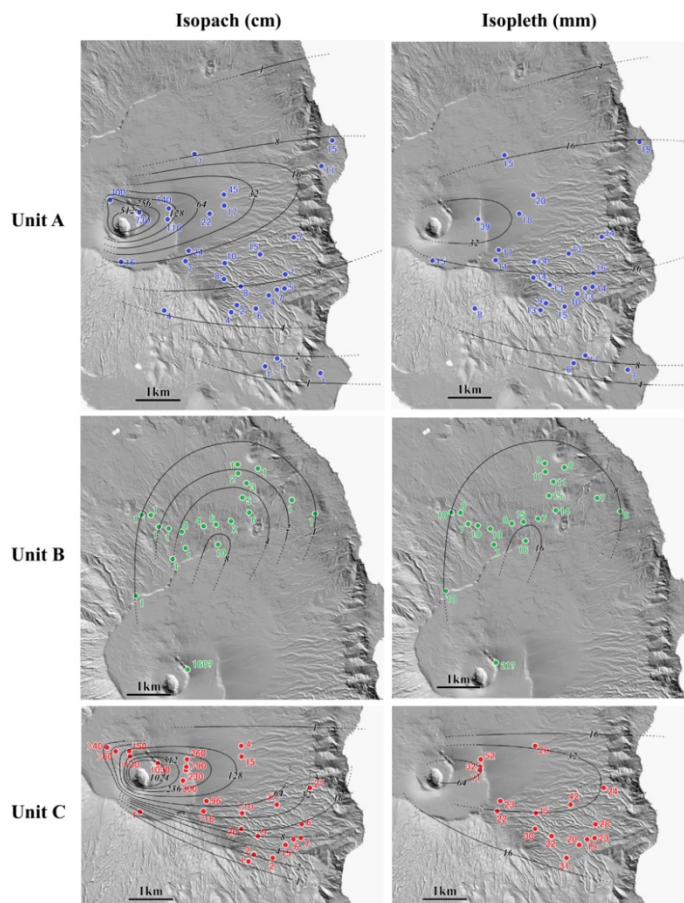


図 98. 伊豆大島 Y1 噴火初期ステージのテフラ分布。左が層厚、右が最大粒径。

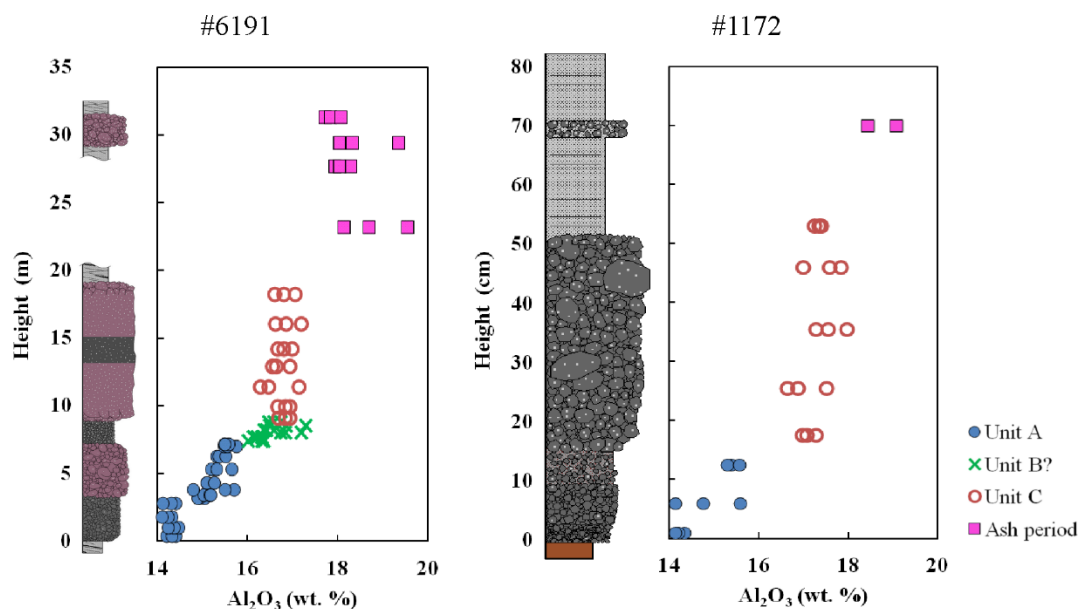


図 99. 伊豆大島 Y1 噴火の層序とそれに対応する化学組成の変化。Al₂O₃ 増加は斜長石斑晶量増加に対応する。#6191 は火口近傍、#1172 は遠方におけるデータ。

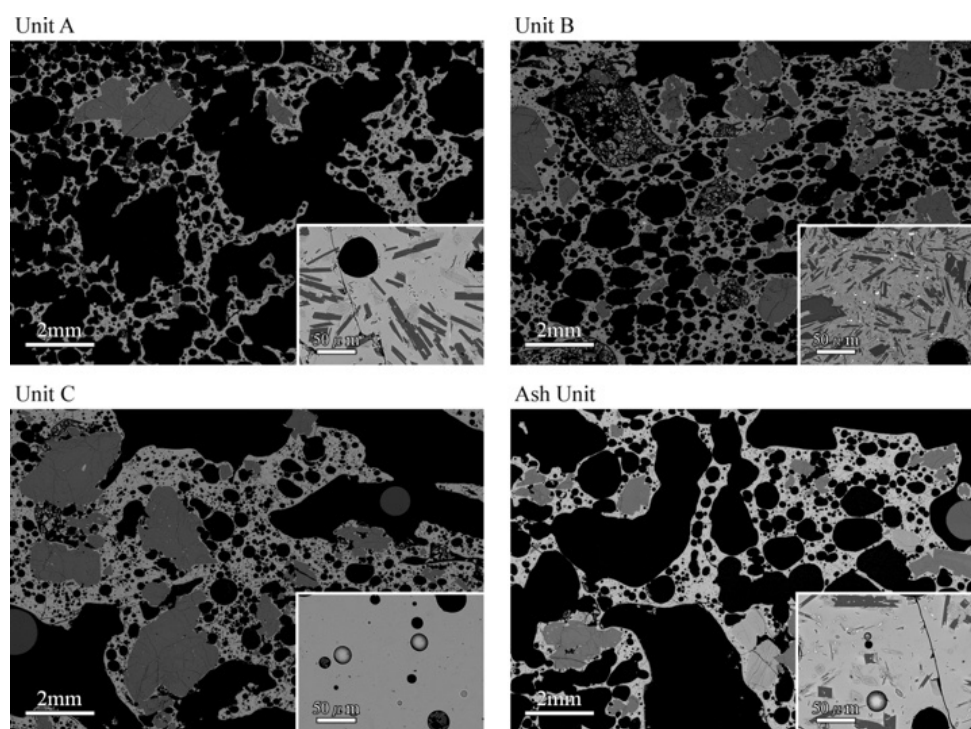


図 100. 伊豆大島 Y1 噴火のテフラサブユニット (Unit A・B・C・Ash Unit) に対応する岩石組織の変化。斜長石斑晶の増加とともに、石基結晶度の変化がみられる。

20 世紀の噴火について従来の研究を整理し、小中規模噴火における長期の斜長石斑晶量の増減と噴出量との間の相関を見出した (図 101)。この斑晶量変化の傾向が、大規模噴火における短期の斜長石斑晶量変化と類似することに注目し、伊豆大島のマグマ供給系についての考察を進めた。また、これまでの大規模噴火に関する知見や従来の研究を踏まえ、既存の伊豆大島の噴火シナリオ¹⁰⁵⁾の改訂に向けて噴火事象系統樹の試案 (図 102) を作成した。

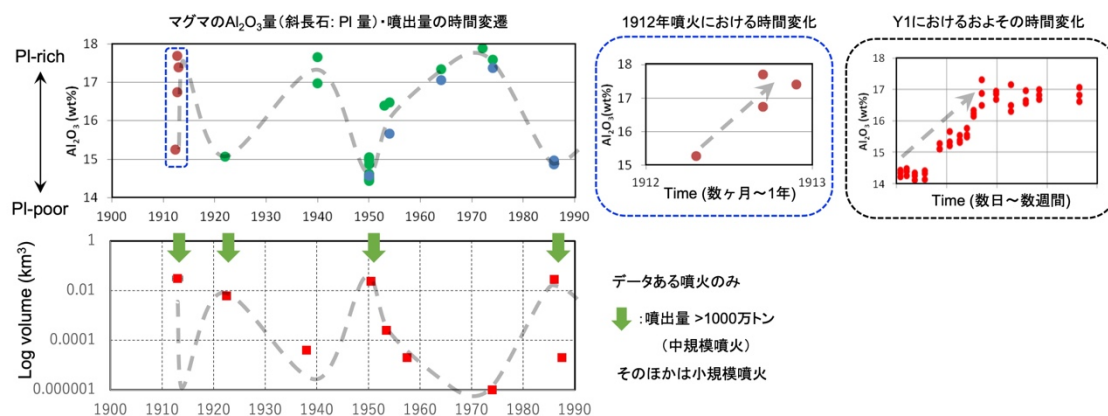


図 101. (左) 伊豆大島の 20 世紀噴火における噴出物(山頂噴火)の斜長石斑晶量変化と噴火規模との関係。Pl-poor の中規模噴火から Pl-rich の小規模噴火への長期的な斜長石斑晶量変化と噴出量変化が相関する。噴出量に重ねた灰色点線は、斜長石斑晶量のトレンドを反転させて重ねたもの。(右) 1912 年噴火(左図の青点線枠の拡大)と Y1 噴火における斜長石斑晶量の短期的増加の特徴。

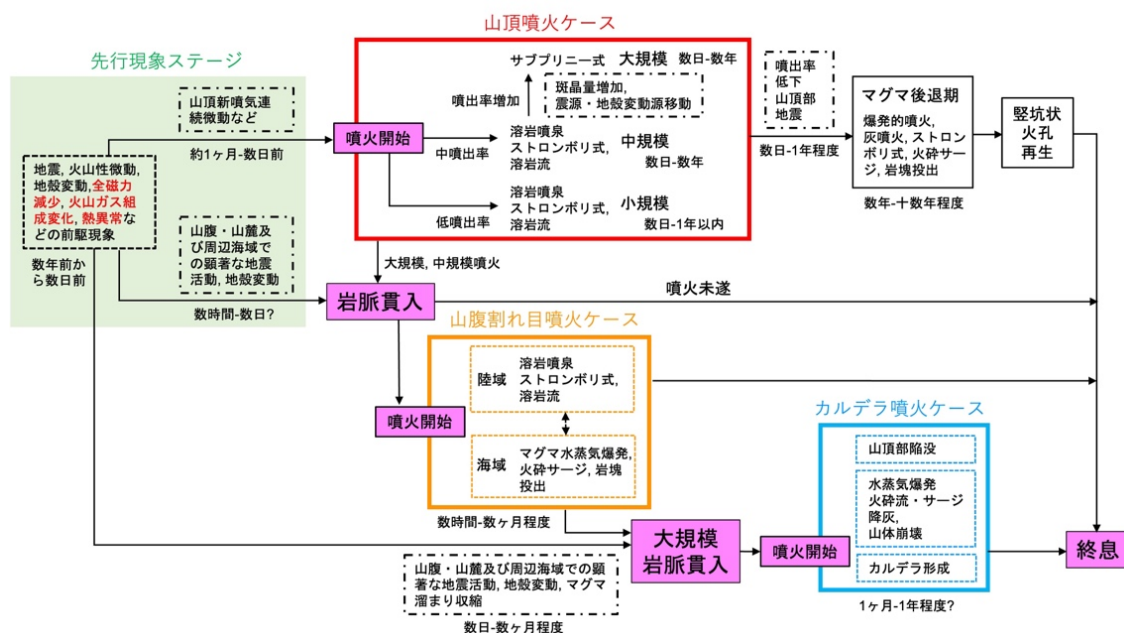


図 102. 伊豆大島噴火事象系統樹の試案。

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6にまとめる。

表6. その他の対象火山の実施内容のまとめ。

対象火山	実施内容	実施機関
利尻山	昨年度までの解析により火山の長期マグマ変遷を明らかにした。令和3年度はその成果を論文公表した。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開始した。	北海道大学
摩周	昨年度までに7.6千年前のカルデラ形成噴火の噴火推移を明らかにした。令和3年度はその成果を論文公表した。また隣接するアトサヌプリ火山の活動との関連を検討するために、これまでの調査データの整理を行った。	茨城大学・北海道大学
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	過去1万年間でヌッカクシ火口域が十勝岳北西火口域と並行して活動していたことを論文公表した。また、現在の活動中心である十勝岳北西火口域の噴火準備プロセスを明らかにするために物質科学的解析を進めた。	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
有珠山	これまで議論が錯綜していた山体崩壊イベントの発生時期を昨年度までに明らかにした。今年度はその発生プロセスも含めて成果公表するために、投稿論文の準備を進めた。	北海道大学
八幡平	前森山において山頂付近の野外調査を行った。その結果、従来報告されている降下スコリア層が厚く堆積していることを確認した。非常に新しい堆積物の可能性が高く、今後も調査を継続していく必要がある。	北海道大学
岩手山	最新のマグマ噴火である1732年噴火のマグマ供給系を明らかにするために、既に採取された試料の物質科学的解析に着手した。	北海道大学
新潟焼山・妙高山	隣接するため、両地域を合わせて広域に調査を行っている。令和3年度は、山麓に分布する溶岩ドーム崩落型の火砕流堆積物について層序調査と物質科学的な解析を行い、マグマ供給系解明に資する基礎データ（噴火に関与した端成分マグマの化学組成・温度）を取得した。	富山大学
草津白根山	白根火砕丘群で噴出物層序調査を行い、火山体地質図を試作した。その成果については、日本火山学会で発表した。	富山大学
榛名山	連携研究の可能性を模索するために、既存の研究成果を整理した。	茨城大学
東伊豆単成火山群	本地域で最も新しい火山列の1つである岩の山－伊雄山火山列(2.7千年前)について、物質科学的解	筑波大学

	析を行い、2 端成分マグマ混合が主なマグマプロセスであること、周囲の単成火山群とは異なるマグマ供給系が活動していたことが明らかになった。	
	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、物質科学的解析を行った。	北海道大学
八丈島	マグマ供給系の変遷を明らかにするために、昨年度までに採取された試料を用いて、物質科学的解析を進めた。今後、その成果の公表に向けて、論文化を進める予定である。	北海道大学
横岳（ハヶ岳）	非常に新しい火山体であるが、その活動履歴には不明な点が多く、再検討が必要であると考えられる。令和 3 年度は西麓に堆積する Y5 溶岩に着目し、古地磁気学的年代推定と岩石学的解析を行い、分布範囲の再検討と周辺に分布する溶岩との対比を進めた。	信州大学
焼岳	完新世の噴火活動履歴の再検討を目的とし研究を進めている。令和 3 年度は南麓・東麓に流下した約 4 千年前に噴出したとされる下堀沢溶岩流について、古地磁気学的年代推定と岩石学的解析により、分布範囲の再検討と周辺に分布する溶岩との対比を行った。	信州大学
阿武火山群	既存の試料について、詳細な岩石記載、鉱物化学組成、全岩化学組成等の物質科学的解析を行い比較することで、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
桜島	21 世紀の噴出物について物質科学的解析を行い、噴火活動推移との関連を検討した。その結果、かんらん石斑晶の組織が噴火活動推移の指標になる可能性を見出した。	北海道大学
	桜島火山と同時期にも活動している、始良カルデラ周辺のマール火山群について、その活動履歴を明らかにし、論文公表した。	茨城大学

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での分析精度の向上や応用手法の開発、質量分析装置を用いた微量元素・同位体比測定法の確立、そして全真空型フーリエ変換赤外分光光度計顕微システムを用いた超低濃度揮発性成分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 3 機関計 12 名の利用があった。特に成果のあった、珪長質火成岩試料に対する加圧分解法の確立と塩素濃度分布を用いた脱ガス履歴の解析手法の開発について報告する。

a) 難溶性鉱物を含む珪長質火成岩試料に対する加圧酸分解法の確立

火成岩試料を対象とした微量元素濃度分析において、ICP-MS（誘導結合プラズマ質量分析装置）を用いた分析は、XRF（蛍光 X 線分析装置）を利用した分析では十分な精

度での濃度測定が難しい微量元素について、高精度での濃度データを得る際に使用される。ICP-MS 分析では、溶液化した試料を ICP 部に導入する方法、および固体試料にレーザーを照射させて連続的にサンプリングされた極微小試料を ICP 部に導入する方法（LA-ICP-MS 法）があるが、特に試料量が十分にある場合には、より高精度の分析が可能な前者の方法が用いられることが一般的である。

試料を溶液化する方法としては、酸分解法とアルカリ融解法がある。前者の方法では、粉末試料に硝酸、過塩素酸、フッ化水素酸を加えて分解し、さらに多段階加熱を行いながら乾固を行うことで、微量元素と共沈する難溶性フッ化物を完全に分解する¹⁰⁶⁾。そして最終的に希硝酸に溶解して ICP-MS 分析を行う。アルカリ融解法では、粉末試料に炭酸ナトリウムを加えて高温（1,000℃程度）で加熱・融解させ、最終的に希硝酸で希釈して分析を行う。



図 103. 加圧酸分解法に使用した加圧容器、および内部のテフロン容器。

通常の酸分解法は、低ブランクでの測定が可能であるというメリットがあるが、ジルコンやモナザイトなどの難溶性鉱物が分解できないという問題点がある。一方、アルカリ融解法では、難溶性鉱物の分解が可能であるというメリットがあるが、融解作業に使用する白金坩堝からの汚染によりブランクが高くなりやすく、また炭酸ナトリウムの添加に伴うマトリクス元素の量の増加のために分析精度が低下しやすい、という問題点がある。

そこで上記の問題を解決するため、難溶性鉱物を含む珪長質な火成岩試料について、テフロン製の密閉容器（テフロンボム）を使用して 200℃程度の高温かつ加圧条件下で酸分解を行う方法¹⁰⁷⁾を、マグマ変遷解析センターに新たに導入した（図 103）。図 104 のグラフは、通常の酸分解法および加圧酸分解法によって得られた珪長質試料の Zr 濃度を、XRF 測定による Zr 濃度に対して示したものである。通常の酸分解法（図 104a）では多くの試料で ICP-MS 測定値が 1:1 のラインを下回っている（＝ジルコンの分解が不十分である）のに対し、加圧酸分解法（図 104b）ではほぼ 1:1 のライン上に乗っており、加圧酸分解法が非常に有効であることが示された。

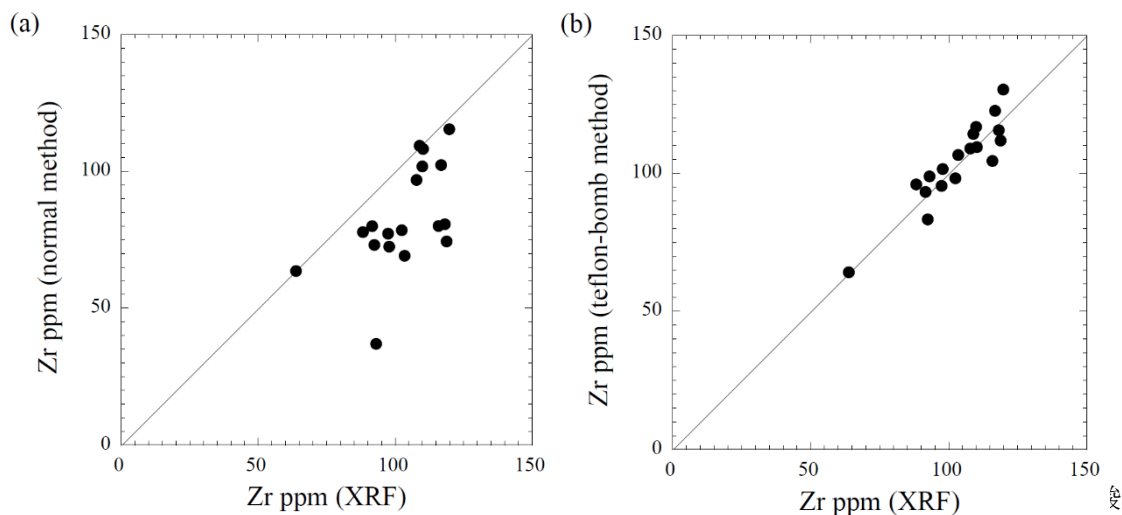


図 105 分解法による Zr 濃度 (b) の、XRF 測定による Zr 濃度に対する比較。(b) の少々のはらつきは、粉末試料中のジルコン結晶量の不均一性に起因すると考えられる。

b) 塩素濃度分布を用いた、脱ガス履歴の解析手法の開発

1. はじめに

火山の噴火は、マグマに含まれている揮発性成分がどのように振舞うかによって支配される。すなわち、マグマが火道を上昇し減圧されると、揮発性成分の溶解度が低下し発泡が進行する。そしてマグマの上昇は加速され、最終的に爆発的な噴火に至る。その一方、発生したガスがマグマから効率よく外部へ抜ける現象（開放系脱ガス）が起こると、噴火の勢いは弱まる。そのため、マグマが最終的にどのような形式の噴火を起こすかは、マグマが火道を上昇する際にどのように発泡や開放系脱ガスなどを経験したかによって決まると考えられている。しかし、火道内で何が起きていたかを知るのは困難であった。

発泡や開放系脱ガスなどの履歴は、噴出物の塩素濃度分布に記録されている可能性がある。なぜなら、塩素は水と同様に振舞いつつも拡散速度が著しく遅いため、水と違って移動時の濃度勾配がかき消されずに残りやすいからである。そのため、塩素をトレーサーとし、その不均質な濃度分布を解析することで、かつてのガス発生や移動の履歴を解読できると考えられる。本研究ではこの可能性を検証することを目的とし、さまざまな火道内現象を実験的に再現した。そしてどういう脱ガス現象が起きたとき、どのような塩素濃度分布のパターンが作られるかを調べた。なお、本報告の詳細は Yoshimura and Nakagawa¹⁰⁸⁾を参照されたい。

2. 実験と分析

マグマの発泡実験および圧密実験を行った（図 105）。発泡実験ではセラミックの容器に流紋岩質のガラス（塩素濃度 1,000 ppm）を封入し高温で加熱した。この実験ではガラスが発泡し気泡が発生すると同時に、試料表面の気泡は脱水により溶解する。す

なわち、1つの実験で気泡の成長（発泡）と溶解の両方を再現することができる。圧密実験では、流紋岩質ガラスの破片を容器にいれ、高温状態で1軸加圧を行った。この実験ではガラス同士が圧密され、溶結する。また、ガラスの一部は発泡するが、その後気泡は破れ、内部のガスが失われる現象（開放系脱ガス）も進行する。すなわち、1つの実験で開放系脱ガスとマグマ片の溶結の両方を再現することができる。

分析は「マグマ変遷解析センター」の電界放出形電子プローブマイクロアナライザー（JXA-8530F）を用いた。電界放出形電子銃は非常に安定性がよく、またこの装置にはPETH型の分光結晶が装備されている。これらを用いることで高電流（100 nA）による微量元素マッピングが可能である。

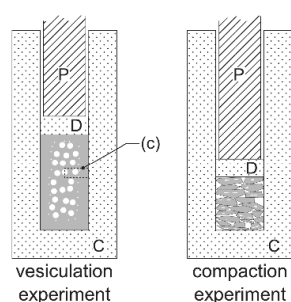


図 105. 発泡実験（左）および圧密実験（右）。

3. 結果

図 106 には発泡実験の結果を示した。成長しつつある気泡の周りでは塩素濃度が低下していた。これは塩素が気泡のガスに吸引されていることを示す。溶解しつつある気泡の周りでは塩素濃度は増加していた。これは、気泡が溶解する際、拡散の遅い塩素はガスに濃縮されやすいためである。図 107 には圧密実験の結果を示した。溶結したガラス片の界面では塩素濃度は低下していた。これは、溶結が起こる前に塩素は表面から気化し失われていたためである。開放系脱ガスの場合は気泡がつぶれ、ガスが抜けた部分で塩素濃度が低下していた。これは、つぶれる前までは塩素は気泡に吸引され、つぶれた後はそれが保存されたためである。以上をまとめた模式図を図 108 に示す。

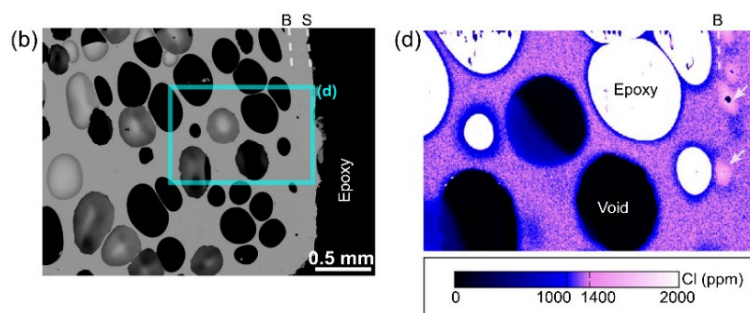


図 106. 発泡実験の結果。左は反射電子像であり、発泡している様子が見える。右は塩素濃度分布であり、成長している気泡のまわりでは塩素濃度が下がっているのを確認できる。また溶解する気泡（矢印）の周りでは塩素濃度が増加している。

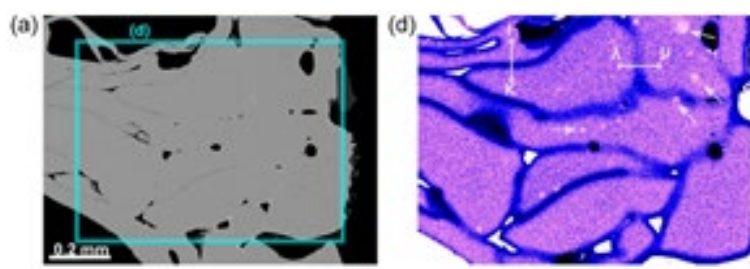


図 107. 圧密実験の結果。左の反射電子像では、ガラス片が溶結し、ひとかたまりになっていることが確認できる。右の塩素濃度分布では、破片の表面でのみ塩素濃度が低下している。開放系脱ガスは文字「i」の左で起きており、そこでは塩素濃度が低下している。

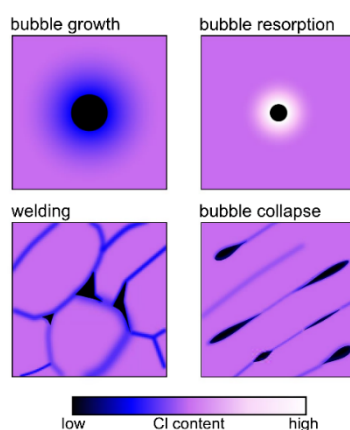


図 108. 気泡やガラス片の振舞い方と塩素濃度分布の関係の模式図。

4. 本手法の将来性

本実験の結果から、天然の火山岩でも塩素濃度の分布を測定すれば、脱ガス履歴を解読することができると考えられる。今後は、活動推移が明らかになっている噴火において、本手法を適用し、火道内の脱ガスプロセスの情報を取得することで、噴火様式の変化を理解できることが期待される。

3) 大規模噴火データベースの整備

a) 大規模噴火推移データベース

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、2022 年度はじめの公開を予定している。合計 10 カルデラ火山の噴火推移および長期的活動推移データを収録した。収録した火山は摩周、屈斜路、支笏（恵庭山・樽前山を含む）、洞爺、濁川、十和田、始良（若尊・桜島を含む）、池田、鬼界（薩摩硫黄島を含

む)である。また、クッタラカルデラは次年度のデータ公開に向け、収録データの収集及び整理作業をおこなった。

本データベースには、カルデラ形成噴火に加えて、先カルデラ形成期、及び後カルデラ期の活動についても噴出量や噴火年代等のデータを収集し、カルデラ火山全体の活動推移データを網羅した(図 109・110)。また、屈斜路・三瓶・鬼界・十和田・鬱陵島・白頭山火山の大規模噴火の前駆活動と噴火推移データを産総研地質調査総合センター研究資料集 no. 728 として公開した。

大規模データベースに収録したデータの解析から、大規模噴火以前の噴火活動状況と大規模噴火の規模の相関が見られる。大規模噴火データベースでコンパイルした 18 の大規模噴火のうち、それに至る直前(5 千年間)に堆積物として残る噴火活動が認められたのは、12 噴火である。大規模噴火の直近活動は、(1) 火砕噴火(降下火砕物、火砕流の噴出; 例えば、Pre-Kp IV¹⁰⁹)、(2) 珪長質溶岩の流出(例えば、長浜溶岩¹¹⁰)に大別でき、多くが VEI4 以下と小規模な傾向にある。一方、長期的(5 万年間)に見ると、全噴火中 16 噴火で何らかの噴火活動が認められた。噴出量について、長期的前駆活動と大規模噴火は反比例する傾向にある。この結果は、大規模噴火に至るまで、長期的に噴出量が高かった火山に比べ、低い噴出量の火山の方が、より大きな大規模な噴火を発生させる傾向が見られる。これらの傾向は、将来の大規模噴火の活動予測を行う上で重要な示唆を与えている。

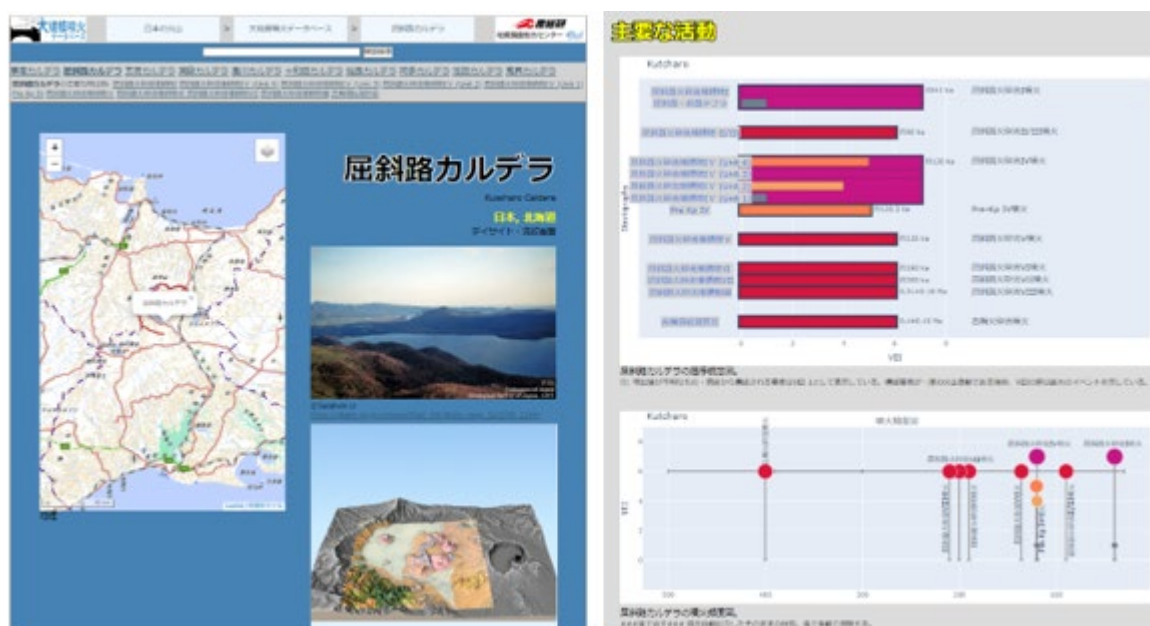


図109. 大規模噴火データベースの収録データ例。北海道・屈斜路カルデラの収録データ。

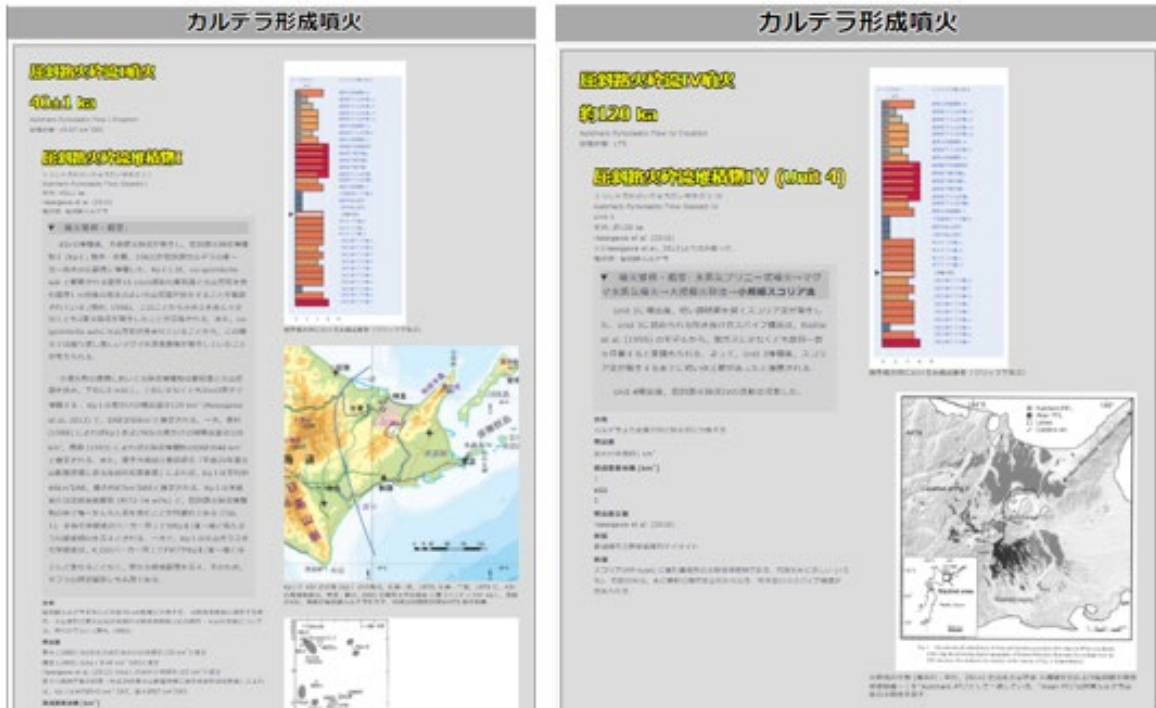


図110. 大規模噴火データベースの収録データ例。北海道・屈斜路カルデラにおける大規模火砕流噴火の事例（左：屈斜路 I、右：屈斜路 IV）

b) 噴火推移データベース

近現代に発生した概ねVEI5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を収集した噴火推移データベースを作成した。本データベースは2022年度公開予定であり、公開版には桜島大正噴火や北海道駒ヶ岳1929年噴火のほか、2021年に発生した福徳岡ノ場噴火、2021年12月～2022年1月にかけて発生したフンガトンガ噴火を含む20事例が掲載されている。また、Kelud 2014年、Chaiten 2008年、El Chichón 1982年、有珠山 1977年、Agung 1963年、Cerro Azul 1932年噴火について新たに噴火推移情報を収集し地質調査総合センター研究資料集no.722として公開した。

爆発的噴火の時系列を可視化し比較するために、火山の活動状態を同一の基準で一般化する必要がある。そこで本データベースでは、未噴火時から噴火中、歴史記録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) を定義した。VUC は未噴火状態と噴火状態を同時に扱う定性的な指標であり、あくまで火山活動の相対的変動を図示するものである。ここで定義した VUC は、時刻スケールの噴火現象について記述した特定記録・データに与えられる火山活動レベルの分類であり、VUC 1～2 は火山活動に関連する非噴火現象、VUC 3～5 は小噴火から中規模の噴火、VUC 6～7 は典型的なプリニー式噴火から大規模火砕流を噴出するような大規模な噴火現象に対応する。火山活動に関連する現象がなかった

/終了した場合は VUC 0 とし、火山活動との直接の関連はわからないが、噴火推移等の理解に有用と考えられる現象については VUC -1 とした。噴火の有無と現象の定常・非定常性によって VUC 1~4 を判別する。VUC 5~7 の識別は、主に噴煙高度を用いる。各分類は±1 までは不確実性や解釈による評価揺れが容易に起こりうるが、±2 以上に乖離することは極めて考えにくいため可視化した場合に影響が少ないと考える。

収録した20事例の噴火はその噴火推移の特徴から、噴火開始時にピークを迎える「減衰型」、明瞭なピークを持たず同等強度の噴火を繰り返す「多峰型」、そして噴火末期にクライマックスを迎える「エスカレート型」の3種類に分類できる。減衰型と多峰型と分類された噴火事例では、過半数の噴火で高強度噴火の開始からクライマックスに至るまでの時間が1時間以内であり、結果として短時間で終息するため規模もVEI4程度にとどまる事が多い。一方、エスカレート型はVEI5~6クラスの噴火の多くが属し、月~年単位の前駆的活動ののちクライマックスとして最大100時間程度の高強度噴火が発生する。エスカレート型には、ピナツボ1991・キサプ1932・クラカタウ1883など歴史時代で最大級の噴火がふくまれる。このコンパイル結果からは、1) 長い前駆的噴火活動を伴ったのちに起こる高強度噴火と、2) 開始後1時間を超えて規模が拡大する高強度噴火はより大規模に発展する傾向があることが読み取れる。このことは噴火推移のリアルタイム評価が防災上の意思決定に決定的に重要であることを意味する。

また、2021年12月~2022年1月に発生したフンガトンガ・フンガハアパイ火山噴火も噴火推移図から噴火末期の活動レベルが開始時のそれを大きく上回っていることが読み取れ、クライマックス噴火を伴うエスカレート型の噴火活動と判断することができる。噴火推移データベースに収録された事例では、フンガトンガ・フンガハアパイ火山噴火と類似した推移をたどった事例としてクラカタウ1883年噴火が見いだされる(図111)。両噴火とも最初期の比較的強い噴火ののちクラカタウのケースにおいては約90日間、フンガトンガの場合はその後25日間活動度が低下し間欠的な噴火活動を行った。その後再び起こった強い噴火と前後して、両者共に山体の破壊が進行していた点も構造的な準備過程として注目される。最終的に始まったクライマックス噴火はどちらもおよそ1日程度続き、多数の津波を発生させた。さらに噴火終息後にカルデラ陥没に関連すると考えられる激しい地震活動が1ヶ月間続いた点も共通している。

c) まとめ

国内の10カルデラについてカルデラ形成前後を含む噴火推移をデータベース化し、閲覧検索システムの構築を進めた。大規模噴火データベースではカルデラ形成噴火の規模と先行する噴火規模の相関を見出した。噴火推移データベースでは20事例について整備し、噴火開始時にピークを迎える「減衰型」、明瞭なピークを持たず同等強度の噴火を繰り返す「多峰型」、噴火末期にクライマックスを迎える「エスカレート型」の3分類を見出した。

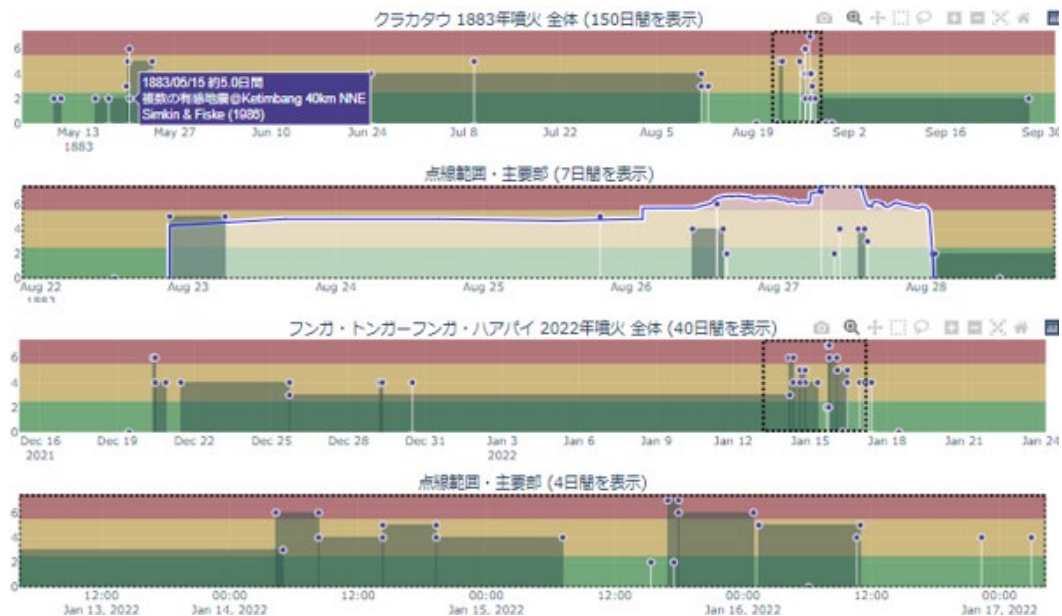


図111. クラカタウ1883年噴火（上）およびフンガトンガ・フンガハアパイ火山2021-2022年噴火の噴火推移図比較。両噴火とも噴火開始後次第に噴火強度が高まりクライマックスを迎えていることが読み取れる。

4) 課題 C-2 の総合推進および課題 C 全体のとりまとめと研究成果の発信

a) 課題 C-2 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・協力機関と連絡を密に取り、研究の進捗状況や新型コロナウイルス感染症拡大の影響の状況等の把握し、できる範囲で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、秋田駒ヶ岳・阿蘇山の 2 火山で実施した。そして、国立研究開発法人防災科学技術研究所と協力して実施しているボーリングコア試料の保管・管理システムの構築にかかる既存コアの集約の調整を行った。火山研究人材育成プログラムにおいては、引き続き参加機関の複数の研究者が講師として参画するとともに、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 として雇用することで、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 3 年 6 月と令和 4 年 3 月に開催した。各機関の成果報告だけでなく、今後のとりまとめ方針について議論した。

b) 課題 C-2 の研究成果の発信に向けた取り組み

本事業の到達目標である中長期予測のための時間—積算噴出量階段図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に、データベースを作成することが確認され、そのための WG が発足することとなった。

c) 課題 C 全体のとりまとめと総合推進：連携研究

伊豆大島火山を対象とした課題 C の連携研究については、コロナ禍のため現地での研究集会は見送りとなったが、コアメンバーによる研究集会（オンライン）を令和 3 年 12 月に開催し、研究の到達点と連携を進めるための方策が議論された。そして令和 4 年度に研究集会および現地検討会を開催することを確認し、実施のためのワーキンググループが発足されることになった。また、次の対象火山は霧島火山で実施する方向で進めることとなった。

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、前年度に引き続きコロナ感染症拡大状況が続き、各参加機関および協力機関は対応に苦慮した。特に研究集会等では対面実施ができず、十分に議論を深めることはできなかったが、前年度と比較するとフィールドワーク等についてはかなり実施できるようになった。そのような状況下で、それぞれの研究課題について精力的に研究を行い、上記のとおり多くの成果を得ることができた。全体として、順調に研究が遂行していると考えられる。次年度以降も、まずは個々の機関の研究成果の積み重ねが必要であるが、サブ課題の目的である階段図と事象系統樹作成に向けて、サブ課題内での最終的な到達点を共有し、そのための連携をより強化する必要がある。一方、課題 C 内および他課題との連携は従来よりその重要性が指摘されてきたが、コロナ禍ということもあり十分な連携は行われていない。状況が許す限りにおいて、連携研究を推進してゆく必要がある。次年度以降は研究集会や共同現地調査・観測を活発化させ、サブ課題内だけではなく課題 C 全体および他課題との連携を本格化させたいと考えている。さらに人材育成コンソーシアムと連携し、地質・物質科学の博士課程大学院生を育て、RA として本サブ課題に参画させてきたが、引き続き実施してゆ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，42p, 1962.
- 2) 勝井義雄，横山泉，岡田弘，西田泰典，松本佳久，川上則明：アトサヌプリ・摩周（カムイヌプリ），北海道における火山に関する研究報告書，Vol.10，北海道防災会議，105p, 1986.
- 3) 長谷川健，中川光弘，宮城磯治：北海道東部，アトサヌプリ火山における水蒸気噴火の発生履歴：炭素年代および気象庁ボーリングコアからの検討，地質学雑誌，Vol.123, pp.269-281, 2017.
- 4) 佐藤博之：東北海道斜里地域における洪積世後期の火山灰と段丘，地調月報，Vol.59, pp.47-58, 1968.
- 5) 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.
- 6) 後藤芳彦, 和田恵治: 北海道屈斜路カルデラ中島火山の噴火史, 日本火山学会 2017 年度秋季大会講演予稿集, p128, 2017.
 - 7) 和田恵治・稲葉千秋・根元靖彦: 雌阿寒岳の最近 12,000 年の噴火史. 日本火山学会 1997 年度秋季大会講演予稿集, p100, 1997.
 - 8) 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 (口頭発表), 2020.
 - 9) 南裕介, 中川光弘, 佐藤鋭一, 和田恵治, 石塚吉浩: 雌阿寒岳火山ポンマチネシリにおける過去 1000 年間の火山活動史, 火山, Vol.66, pp.211-227, 2021.
 - 10) 和田恵治, 池上宏樹, 稲葉千秋, 雌阿寒岳の岩石の化学組成-マグマの多様性-, 北海道教育大学大雪山自然教育研究施設研究報告, Vol.32, pp.43-59, 1998.
 - 11) Kuritani, T., Sato, E., Wada, K., Matsumoto, A., Nakagawa, M., Zhao, D., Shimizu, K. and Ushikubo, T.: Conditions of magma generation at the Me-akan volcano, northern Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.417, 107323.
 - 12) 上澤真平, 中川光弘, 江草匡倫: 南西北海道, 羊蹄火山の完新世噴火史の再検討, 火山, Vol.56, pp.51-63, 2011.
 - 13) 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, Vol.325, pp.27-44, 2016.
 - 14) 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, Vol.562, pp.58-75, 2020.
 - 15) 東宮昭彦, 宮城磯治: 洞爺噴火の年代値, 火山, Vol.65, pp.13-18, 2020.
 - 16) 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.
 - 17) Le Maitre R. W. (ed.): Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms, 236p, 2002.
 - 18) Sakata, S.: A practical method for calculating the U-Pb age of Quaternary zircon: Correction for common Pb and initial disequilibria, Geochem. J., Vol.52, pp.281-286, 2018.
 - 19) 上澤真平, 伊藤久敏: 北海道南西部, 羊蹄火山東麓に分布する緑色凝灰岩層のジルコン U-Pb 年代, 地質学雑誌, Vol.126, pp.589-595, 2020.
 - 20) Ludwig K. R.: User's Manual for Isoplot 3.75: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel, Berkeley Geochronol. Center Spec. Publ., Vol.5, 75p, 2012.
 - 21) Vermeesch, P.: IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology, Geoscience

- Frontiers, Vol.9, pp.1479–1493, 2018.
- 22) 伊藤順一：秋田焼山における水蒸気爆発の発生履歴.日本地質学会第 105 年学術大会講演要旨, pp.349, 1998.
 - 23) 筒井正明, 伊藤英之, 秋田県鹿角建設事務所：秋田焼山起源のテフラ及びその噴火年代, 日本火山学会講演予稿集, pp.173, 2002.
 - 24) 大場司：秋田焼山火山の地質学的・岩石学的研究：1.山体形成史, 岩鉱, Vol. 86, pp.305-322, 1991.
 - 25) 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.
 - 26) 土井宣夫, 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, 地球惑星科学連合学会合同大会予稿集, p.807, 1997.
 - 27) 藤縄明彦, 巖寄正幸, 本田恭子, 長尾明美, 和知剛, 林信太郎：秋田駒ヶ岳火山, 後カルデラ活動期における噴火史：火山体構成噴出物と降下テフラ層の対比, 火山, Vol.49, pp.333-354, 2004.
 - 28) 和知剛, 土井宣夫, 越谷信：秋田駒ヶ岳のテフラ層序と噴火活動, 火山, Vol.42, pp.17-34, 1997.
 - 29) 奥野充, 宇井忠英, 加賀谷にれ：有珠火山, 善光寺岩屑なだれの ^{14}C 年代測定, 福岡大学理学集報, Vol.50, pp.108-113, 2020.
 - 30) 大場司, 林信太郎, 近藤恵太ほか：鳥海火山における約 2,500 年前の山体崩壊を伴う噴火活動, 日本火山学会 秋季大会講演要旨集, p.74, 2020.
 - 31) 遠藤雅宏, 大場司, 小泉喜裕, 伴雅雄, 井村匠, 南裕介, 中川光弘：鳥海火山 2,500 年前に発生した象潟岩屑なだれ以降の爆発的噴火活動, 日本火山学会 2021 年秋季大会講演要旨集, B1-04, 2021.
 - 32) 植木貞人：鳥海山の活動史, 自然災害特別研究斑成果, no. A-56-1, pp.33-37, 1981.
 - 33) Minami, Y., Ohba, T., Hayashi, S., Saito-Kokubu, Y. and Kataoka S.K.,: Lahar record during the last 2,500 years, Chokai Volcano, northeast Japan: Flow behavior, sourced volcanic activity, and hazard implications, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.387, 106661, 2019.
 - 34) 林信太郎：鳥海火山の地質, 岩鉱, Vol.79, pp.249-265, 1984.
 - 35) 伴雅雄, 林信太郎, 高岡宣雄：東北日本弧, 鳥海火山の K-Ar 年代：連続的に活動した 3 個の成層火山, 火山, Vol.46, pp.317-333, 2001.
 - 36) 土井宣夫：栗駒火山の完新世噴火史, 日本火山学会講演予稿集 2018 度秋季大会, p.016, 2018.
 - 37) 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, p.1-8, 2015.
 - 38) 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, Vol.53, pp.151-157, 2008.
 - 39) Takebe, M., Ban, M., and Sato, M.: The temporal variation of magma plumbing system of the Kattadake Pyroclastics in the Zao Volcano, Northeastern Japan.

- Minerals, Vol.11(4), 430, 2021.
- 40) 杉下七海, 常松佳恵, 伴雅雄, 佐々木寿: 蔵王火山 1895 年噴火における投出岩塊の噴出条件の推定, 火山, Vol.67, pp.77-90, 2021.
- 41) 山元孝広: 福島県, 吾妻火山の最近 7 千年間の噴火史: 吾妻—浄土平火山噴出物の層序とマグマ供給系, 地質学雑誌, Vol.111, pp.91-111, 2004.
- 42) 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, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.416, 107274, 2021.
- 43) Okada, T., Matsuzawa, T. and Umino, N. et al.: Hypocenter migration and crustal seismic velocity distribution observed for the inland earthquake swarms induced by the 2011 Tohoku-Oki earthquake in NE Japan: implications for crustal fluid distribution and crustal permeability, Geofluids, Vol.15, pp.293-309, 2015.
- 44) Ichiki, M., Kaida, T., Nakayama, T., Miura, S., Yamamoto, M., Morita, Y. and Uyeshima, M.: Magma reservoir beneath Azumayama Volcano, NE Japan, as inferred from a three-dimensional electrical resistivity model explored by means of magnetotelluric method, Earth, Planets and Space, Vol.73, 150, 2021.
- 45) 伴雅雄, 高岡宣雄: 東北日本弧, 那須火山群の形成史, 岩鉱, Vol.90, pp.195-214, 1995.
- 46) Annen, C., Blundy, J. D. and Sparks, R. S. J.: The Genesis of Intermediate and Silicic Magmas in Deep Crustal Hot Zones, Journal of Petrology, Vol.43, pp.505-539, 2006.
- 47) 山元孝広: テフラ層序から見た那須茶臼岳火山の噴火史, 地質学雑誌, Vol.103, 676-691, 1997.
- 48) Ban, M. and Yamamoto, T.: Petrological study of Nasu-Chausudake Volcano (ca.16 ka to Present) northeastern Japan, Bull. Volcanol, Vol.64, pp.100-116, 2002.
- 49) 山元孝広, 伴雅雄: 那須火山地質図, 火山地質図 9, 地質調査所, 1997.
- 50) 安井真也, 高橋正樹, 金丸龍夫, 長井雅史: 降下火砕堆積物層序に基づく浅間前掛火山の大規模噴火の高分解能履歴復元, 火山, Vol.66, pp.293-325, 2021.
- 51) 小林敦, 青木かおり, 村田昌則, 西澤文勝, 小林毅彦: 伊豆諸島, 新島火山宮塚山イベント以降のテフラ層序と噴火史, 火山, Vol.65, pp.21-40, 2020.
- 52) 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.
- 53) 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, 63, 1992.
- 54) Geschwind, C.H. and Rutherford, M.J.: Cumingtonite and the evolution of the Mount St. Helens (Washington) magma system: an experimental study, Geology, Vol.20, pp.1011-1014, 1992.
- 55) Geshi N., Oikawa, T., Weller D.J. and Conway C.E.: Evolution of the magma

- plumbing system of Miyakejima volcano with periodic recharge of basaltic magmas, *Earth, Planets and Space*, Vol.74, 20, 2022.
- 56) 荒牧重雄, 早川由紀夫: 1983 年 10 月 3・4 日三宅島噴火の経過と噴火様式, *火山*, Vol.29, pp.S24-S35, 1984.
- 57) 柵山雅則: 白馬大池火山の地質, *地質学雑誌*, Vol.86, pp.265-274, 1980.
- 58) 中野俊, 竹内誠, 吉川敏之, 長森英明, 荏谷愛彦, 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, 105 p., 2002.
- 59) 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.
- 60) 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.
- 61) 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.
- 62) 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.
- 63) 福沢仁之: 天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年縞堆積物, *第四紀研究*, Vol.34, pp.135-149, 1995.
- 64) 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.
- 65) 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*, pp.102-102, 2015.
- 66) 早津賢二, 清水智, 板谷徹丸: 妙高火山群の活動史 "多世代火山", *地学雑誌*, Vol.103, pp.207-220, 1994.
- 67) 宇都浩三: 火山と年代測定: K-Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定の現状と将来, *火山*, Vol.40, pp.S27-S46, 1995.
- 68) 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, 136p., 1989.
- 69) 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.
- 70) 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, 94p., 1998.
- 71) 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.
- 72) 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.
- 73) Matsumoto, A., Uto, K. and Shibata, K.: K-Ar dating by peak comparison method-New technique applicable to rocks younger than 0.5 Ma-, *Bull. Geol. Surv. Japan*, Vol.40, pp.565-579, 1989.

- 74) 山崎誠子, 星住英夫, 松本哲一: 九重火山溶岩の感度法による K-Ar 年代測定, フ
イッション・トラック ニュースレター, Vol.27, pp.4-8, 2014.
- 75) 山崎正男, 富樫茂子, 守屋以智雄, 清水智: 白山火山大臼川岩屑流堆積物中の木片
の ^{14}C 年代, 火山, Vol.32, pp.123-124, 1987.
- 76) 小野晃司: 火山噴火の長期的予測, 火山, Vol.34, pp.S201-S204, 1990.
- 77) 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.
- 78) 大沢信二, 大上和敏, 由佐悠紀: 1995 年伽藍岳塚原鉾山跡に出現した泥火山, 火山,
Vol.41, pp.103-106, 1996.
- 79) 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, Vol.108, pp.48-58, 2002.
- 80) 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 2,200
年間の水蒸気噴火, 福岡大学理学集報, Vol.49, pp.89-97, 2019.
- 81) 奥野充, 長岡信治, 國分陽子, 中村俊夫, 小林哲夫: 九重火山中央部の火砕流堆積
物の放射性炭素年代, 火山学会 2013 年秋季大会講演予稿集, p.71, 2013.
- 82) 長岡信治, 奥野充: 九州中部, 九重火山群の噴火史, 地形, Vol.36, pp.141-158, 2015.
- 83) 小野晃司: 5 万分の 1 地質図幅「久住」及び同説明書, 地質調査所, 124p, 1963.
- 84) 辻智大, 岸本博志, 藤田浩司, 中村千怜, 長田朋大, 木村一成, 大西耕造, 池田倫治,
西坂直樹: 九重火山 54ka 噴火の推移, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, SVC30-
09, 2021.
- 85) Fukuoka, M., Ohta, T. and Tsuji, T.: The Relationship between the Unidentified
Ash Fall Layer Just under Kuju D Ash Layer and 54 ka Eruption at Kuju Volcano
in Japan, The 5th International Workshop on Rock Mechanics and Engineering
Geology in Volcanic Fields (RMEGV2021), ISBN 978-4-907430-05-4, P1-7, 2021.
- 86) 福岡仁至, 太田岳洋, 辻智大: 九重火山 54ka 噴火の前駆的な活動によるテフラの
特徴 (予報), 月刊地球, Vol.43, No.8, pp.443-449, 2021.
- 87) 長岡信治, 奥野充: 九重火山のテフラ層序, 月刊地球, Vol.36, no.8, pp.281-296,
2014.
- 88) 鎌田浩毅, 三村弘二: インブリケーションから推定される九重火山飯田火砕流の流
動方向, 火山, Vol.26, pp.281-292, 1981.
- 89) 小野晃司, 渡辺一徳: 阿蘇火山地質図 (5 万分の 1), 火山地質図 4, 地質調査所,
1985.
- 90) 宮縁育夫, 星住英夫, 渡辺一徳: 阿蘇火山における更新世末期, AT 火山灰以降のテ
フラ層序, 火山, Vol. 49, pp.51-64, 2004.
- 91) 穴井千里, 宮縁育夫, 宇津木充, 吉川慎, 望月伸竜, 渋谷秀敏, 大倉敬宏: 古地磁
気・岩石磁気学的手法を用いた阿蘇火山中岳火口周辺域の完新世噴出物の分類と噴
火年代の再検討, 火山, Vol. 66, pp.171-186, 2021.
- 92) Shibuya, H., Haruta, A., Mochizuki, N. and Miyabuchi, Y.: Paleomagnetic
directions of 3-5 ka basaltic volcanoes in the Aso central cone, Kyushu Japan:
Further extension of the paleosecular variation curve, Japan Geoscience Union

- 2018 Meeting Abstract, SIT22-42, 2018.
- 93) Miyabuchi, Y.: A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan, *Sedimentary Geology*, Vol. 220, pp.169–189, 2009.
- 94) 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.
- 95) 町田洋, 新井房夫: 新編火山灰アトラスー日本列島とその周辺, 東京大学出版会, 336p, 2003.
- 96) 筒井正明, 奥野充, 小林哲夫: 霧島・御鉢火山の噴火史, 火山, Vol.52, pp.1–21, 2007.
- 97) 奥野充: 南九州の第四紀末テフラの加速器 ^{14}C 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.
- 98) Putirka, K.D.: Thermometers and barometers for volcanic systems. *Rev. Mineral. Geochem.*, Vol.69, pp.61–120, 2008.
- 99) Waters, L.E. and Lange, R.A.: An updated calibration of the plagioclase-liquid hygrometer–thermometer applicable to basalts through rhyolites. *Am. Mineral.*, Vol.100, pp.2172–2184, 2015.
- 100) 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.
- 101) Bonadonna, C. and Costa, A.: Estimating the volume of tephra deposits: A new simple strategy. *Geology*, Vol.40, pp.415–418, 2012.
- 102) Carey, S. and Sparks, R.S.J.: Quantitative models of the fallout and dispersal of tephra from volcanic eruption columns. *Bull. Volcanol.*, Vol.48, pp.109–125, 1986.
- 103) Woodhouse, M.J., Hogg, A.J., Phillips, J.C. and Sparks, R.S.J., Interaction between volcanic plumes and wind during the 2010 Eyjafjallajökull eruption, Iceland. *J. Geophys. Res.*, Vol.118, pp.1–18, 2013.
- 104) Ishizuka, O., Taylor, R.N., Geshi, N., Oikawa, T., Kawanabe, Y., Ogitsu, I.: Progressive mixed-magma recharging of Izu-Oshima volcano, Japan: A guide to magma chamber volume, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.430, pp.19–29, 2015.
- 105) 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.
- 106) Yokoyama, T., Makishima, A. and Nakamura, E.: Evaluation of the coprecipitation of incompatible trace elements with fluoride during silicate rock dissolution by acid digestion, *Chem. Geol.*, Vol.157, pp.175–187, 1999.
- 107) Krogh, T. E.: A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determinations, *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol.37, pp.485–494, 1973.

- 108) Yoshimura, S. and Nakagawa, M.: Chlorine Heterogeneity in Volcanic Glass as a Faithful Record of Silicic Magma Degassing, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol.126, e2020JB021195, 2021.
- 109) Hasegawa, T., Matsumoto, A. and Nakagawa, M.: Evolution of the 120 ka caldera-forming eruption of Kutcharo volcano, eastern Hokkaido, Japan: Geologic and petrologic evidence for multiple vent systems and rapid generation of pyroclastic flow, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol.321, pp.58-72, 2016.
- 110) 小野晃司, 曾屋龍典, 細野武男: 薩摩硫黄島の地質, 地域地質研究報告, 5万分の1地質図幅, 86p., 1982.

(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4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4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11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、1火山において備船沿岸域調査を実施する。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噴出量-マグマ積算量階段図による中長期噴火予測の試行を開始する。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3年度までの調査結果をもとに追加の野外調査とトレンチ掘削調査を実施し、数万年にわたる火山全体の噴火履歴、特にアトサヌプリ大規模火砕噴火についての詳細を明らかにする。さらに、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) 羊蹄山（電力中央研究所・北海道大学）

羊蹄山北東麓の重要露頭においてトレンチ掘削調査を実施し、更に下位のテフラ層を観察する。そして周辺の地質調査の結果と合わせて、羊蹄山の長期噴火履歴を明らかにすることを旨とする。

3) 岩木山（産業技術総合研究所）

岩木山の山体周辺の野外調査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を行い、完新世の噴火活動履歴を明らかにすることを旨とする。

4) 秋田駒ヶ岳（北海道大学・（株）エンバイオ・エンジニアリング）

北部山体周辺の野外調査およびトレンチ掘削調査を実施し、令和3年度までに実施した野外調査・ボーリング掘削調査の成果と合わせて、秋田駒ヶ岳の山体形成史、特に山体崩壊の発生時期と南部カルデラ形成噴火活動および北部山体溶岩噴火活動との関係を明らかにすることを旨とする。

5) 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、野外調査を継続し、西部山麓でトレンチ掘削調査を実施する。また、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。東鳥海山の噴火活動史については、論文文化を進める。

6) 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、山体中腹においてボーリング掘削調査を実施する。また、最近800年間の噴火活動のマグマ供給系について論文文化を進める。

7) 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・ボーリング掘削調査を実施する。また、吾妻小富士の噴火活動履歴を明らかにするために、吾妻小富士周辺のトレンチ掘削調査と北麓でのボーリング掘削調査を実施する。

8) 那須岳（茨城大学）

那須茶臼岳の噴火活動史を明らかにするために、東山腹においてボーリング掘削調査・トレンチ掘削調査を実施する。昨年度までに実施した野外調査の結果と合わせて、過去1.2万年間の噴火層序を確立することを旨とする。また、西暦1410年噴火に伴い発生したラハールの分布を明らかにするために、余笹川下流域での野外調査も実施する。

9) 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、前掛火山の高分解能噴火史の解明を目指す。また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。

10) 白馬大池火山（産業技術総合研究所）

白馬大池火山の中で、完新世に活動したと考えられる風吹火山について、地質調査と炭素年代測定を行い、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、活火山の可能性を更に検証する。

11) 鷺羽池火山（富山大学）

令和2年度の調査で見出された水蒸気噴火テフラ層を北方（水晶岳、高天原方面）、東方（野口五郎岳、槍ヶ岳方面）、南方（笠ヶ岳方面）に追跡し、アイソパックマップを完成させ、テフラ層の体積（噴火規模）と給源火口を明らかにする。また、鷺羽池火口近傍でマグマ噴火噴出物についても層序調査と物質科学的解析を行う。

12) 九重山（山口大学・北海道大学）

九重山山体周辺の野外調査を実施し、長期噴火活動履歴の解明を目指す。具体的には、約5.4万年前の飯田火砕流噴火の活動推移の再検討と、東部域の最新期のマグマ噴火の活動履歴の解明に取り組む。

13) 由布鶴見岳（信州大学）

引き続き、伽藍岳での地質調査を行い、特に完新世の火山噴出物について層序明らかにする。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。

14) 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、噴火活動史の解明を進める。また、阿蘇火山中岳における2019年～2020年活動や2021年活動について、噴出物の顕微鏡観察や化学分析・組織解析を行い、これらの活動全体の推移、とくに水蒸気噴火発生に至る過程について検討する。2021年10月噴火については、火山灰の硫黄同位体分析も実施することで、多方面からの噴火プロセスの解明を目指す。

15) 伊豆大島（産業技術総合研究所・東京大学地震研究所）

沿岸域でROV等を使用した海底観察および噴出物試料採取を試み、前年度までに取得した地形、地殻構造データの解釈を高度化、海底部の噴出物の分布および噴火活動史を解明する。また陸域の地質調査を実施し、完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。そして代表的なYシリーズの噴出物の地質調査と粒子物性・岩石組織の解析、鉱物組成分析を進め、大規模噴火に共通の性質、噴火推移やマグマ溜りの

特徴を明らかにする。また 1986 年噴火をはじめとする 20 世紀の小・中規模噴火との比較を進め、類似性や差異について検討する。これらの結果をもとに、階段ダイアグラム、噴火事象系統樹についても検討をさらに進める。

16) 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・十和田・八幡平・岩手山・秋田焼山・栗駒山・新潟焼山・妙高山・草津白根山・志賀火山・伊豆東部火山群・八丈島・三宅島・新島・神津島・式根島・御嶽山・横岳（八ヶ岳）・焼岳・白山・阿武火山群・霧島山・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 全体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、国立研究開発法人防災科学技術研究所と協力して、ボーリングコアの保存と管理、そして広く公開できるシステムを引き続き構築する。「次世代火山研究者育成プログラム」においては、特に地質学・物質科学分野での教育に関して、課題 C-2 参加機関の参画の企画・調整を行う。

2) 課題 C-2 の研究成果の発信に向けた取り組み

時間－積算噴出量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。

(e) 課題 C 全体のとりまとめと総合推進：連携研究

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 だけでなく、課題 B も参画した研究集会および現地検討会を開催する。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。さらに霧島火山を対象に新たな連携研究テーマ（安山岩質マグマ火山）のキックオフ集会を開催する。

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

課題 C 火山噴火の予測技術の開発

サブテーマ 3 シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発

(b) 担当者

所属機関	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 主任研究員 契約研究員 契約研究員 契約研究員	藤田英輔 三輪学央 黒川愛香 長井雅史 志水宏行
国立大学法人東北大学 大学院理学研究科	参加機関	教授 准教授 准教授	西村太志 小園誠史 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 気象庁気象研究所火山研究部	参加機関	准教授 准教授	鈴木雄治郎 前野 深
	協力機関	室長 主任研究官 室長 主任研究官 研究官	鬼澤真也 川口亮平 新堀敏基 佐藤英一 石井憲介
国立大学法人静岡大学理学部地球科学科	協力機関	准教授	石橋秀巳
国立大学法人山形大学理学部	協力機関	准教授	常松佳恵
国立大学法人神戸大学先端融合研究環	協力機関	講師	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ィクスと火山性流体レオロジーのモデル検討

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

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

3) 平成 30 年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・噴火機構シミュレーション：
- ・マグマ移動過程シミュレーション：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ィクスモデル検討・火山性流体レオロジーモデル検討

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル予備検証（プロトタイプ）
- ・噴煙・火砕流シミュレーション：降灰モデルとの連携開始
- ・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術開発
- ・噴石シミュレーション：噴石評価システム設計
- ・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム開発

4) 平成 31 年度（令和元年度）：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・マグマ移動過程シミュレーション：観測データによる検証
- ・物性モデルの構築：結晶化カインेटィクスモデル検討・火山性流体レオロジーモデル検討

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル改良（噴煙モデルとの連携）
- ・噴煙・火砕流シミュレーション：降灰モデルとの連携
- ・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術設計
- ・噴石シミュレーション：噴石評価システム開発
- ・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム運用

5) 令和 2 年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・マグマ移動過程シミュレーション：空間分解能の高度化
- ・物性モデルの構築：観測データによる検証

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

- ・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル本計算
- ・噴煙・火砕流シミュレーション：既往火砕流モデル検討
- ・土石流・泥流シミュレーション：既往土石流・泥流モデル検討
- ・ハザード評価システム：噴石・溶岩流評価システム運用

6) 令和3年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・マグマ移動過程シミュレーション：パラメータ感度解析
- ・物性モデルの構築：観測データによる検証

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

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

7) 令和4年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

- ・マグマ移動過程シミュレーション：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3年度における成果の目標及び業務の方法

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、事象分岐において重要となる噴火前の準備過程について、火道浅部にプラグが形成される効果を考慮した火道流数値モデルの開発に取り組む。このモデルにより、桜島におけるブルカノ式噴火前の準備過程で示唆されている火道浅部でのマグマ蓄積・増圧過程を再現することを試みる。また、準備過程でもたらされる山体変形を有限要素法によって計算し、地殻変動観測による噴火開始の直前検知の可能性を評価する。

課題 C 内の連携テーマとして設定されている伊豆大島噴火についても昨年度に引き続き火道流数値モデルの解析を実施し、シミュレーションにおける岩石学的・地球物理学的観測データの活用を推進する。

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、境界要素法により地形の形状を考慮した地殻変動計算手法の開発を進める。時間ごとに貫入岩脈の位置や大きさを変えることで、地殻変動の時間変化を求めるシミュレーションを実施する。

c) マグマ物性モデルの構築

マグマ溜りから地表までの上昇過程における結晶化モデル構築を引き続き行い、その噴火分岐への影響を検討する。また、火山性流体のレオロジーモデル構築の実験を引き続き実施する。

具体的には、水熱合成減圧実験装置と連続減圧シリンジポンプを用い神津島 838 年噴火噴出物と桜島 1914 年噴火噴出物を対象に減圧結晶化実験を行い、得られた結晶化速度及び平衡結晶速度に基づき結晶化モデルを構築、火道流モデルへ適用することで、噴火分岐への影響を検討する。

マグマレオロジーモデル構築については、1986 年伊豆大島噴火の溶岩を例とした粘性測定試験による実験産物の組織解析を進め、その制御要因を明らかにすることでマグマレオロジーモデルを高度化する。また、得られたレオロジー則の溶岩流モデルへの適用を検討する。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、前年度までに開発した新しい移流拡散モデル（JMA-ATM）を

用いて、改めて「b. 噴煙柱ダイナミクスモデル」による噴煙放出を初期条件として取り込み、フルモデルによる再計算を行う。また、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・落下速度の粒径依存性とモデルへの適用方法について調査する。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する。様々な噴火条件・大気条件における噴煙挙動や火山灰粒子挙動を再現するためのシミュレーションを行う。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。前年度に実施した火山ハザード評価システムのグランドデザインに基づき、シミュレーション実施による確率計算評価方法についてシステム化に着手する。

具体的には、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。溶岩流ハザードシミュレーション開発については、粒子法の導入を検討する。噴石のシミュレーションモデル Ballista についてはモデルの検証のために桜島において映像観測を実施し、その結果に基づいて改良を行う。噴煙柱崩壊型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 次元化について検討を進める。また溶岩ドーム崩壊型火砕流ハザードシミュレーションについては、現有の 2 次元粒子流モデルと低濃度火砕流モデルのカップリングモデルの開発について検討を開始する。ラハール（火山泥流）・火山性津波に関する計算手法の開発について検討を進める。

山形大学・神戸大学・東京大学地震研究所・富士山科学研究所の協力を得てこれを実施する。

全サブテーマにおいて、課題 C 連携対象である伊豆大島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、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトのプロジェクト・リーダーが当該火山を対象とした緊急観測の実施を決定した際は、上記①、②に示される技術開発の一環として、その計画の一部もしくはその全てを、開発技術実装に向けた実地の場となる緊急観測の実施あるいは緊急観測への協力に代えて実施することを可能とする。

(2) 令和 3 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、桜島で発生するブルカノ式噴火前の準備過程に関する火道流の解析に基づき、噴火開始検知に関連する地殻変動の特徴を評価した。また、課題 C 内の連携テーマとして挙げられている伊豆大島について、1986 年サブプリニー式噴火が発生し得る火道形状条件を火道流解析により明らかにした。マグマ移動過程については、岩脈成長における熱過程の導入を実施するとともに、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、神津島 838 年噴火の流紋岩および桜島の安山岩マグマを用いた水熱減圧実験を進め、結晶度の時間変化を明らかにした。マグマ粘性測定については、非定常状態でのマグマレオロジー実験を実施し、静置条件の影響を把握した。

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、降灰評価について、新しい移流拡散モデル（JMA-ATM）の開発継続、降下火砕物の形状・密度の粒径依存性の調査、降灰観測データからの噴煙柱ソース推定における誤差の定量化、噴煙シミュレーションと噴煙柱ダイナミクスの連携による降下粒子の評価など、高度な降灰・堆積評価を行う理論の構築を継続して実施した。また、噴石・溶岩流・火砕流シミュレーションの高度化と、リスク評価およびその確率表現も含めた最終的な火山ハザード評価システムのグランドデザインの検討を実施した。

(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

火道内におけるマグマ上昇過程(火道流)の数値シミュレーションに基づく、噴火事象分岐を支配する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研究を実施した。本年度は、火道浅部にプラグが形成される効果を考慮した火道流数値モデルの開発に基づく、桜島などで発生するブルカノ式噴火前の準備過程に関する解析、課題 C 内の連携テーマとして設定されている伊豆大島における 1986 年サブプリニー式噴火を対象とした火道流解析を実施した。以下ではその業務の成果について詳細を説明する。

桜島で発生するブルカノ式噴火前の準備過程においては、火口直下に固体プラグが形成されていることが、ミュオン観測や測地学的・地震学的観測によって示されている。これまでの殆どの火道流モデルでは、火道内の流れを全て粘性流体として仮定していたが、セントヘレンズ火山 2004 年噴火における溶岩岩尖の成長をモデル化するために、火道内で粘性流体から固体プラグに遷移するようなモデルが提案されている 1)。本研究ではこのモデルの定式化を参照して固体プラグを考慮した 1 次元火道流モデルを構築し、噴火の準備過程における火道流の時間発展変動を再現することを試みた。また、その変動が山体変形に与える影響を弾性変形モデルによって計算し、噴火の準備過程における地殻変動の特徴を明らかにすることを目的とした。

解析においては、まず定常火道流におけるマグマ溜まり圧力 p_{ch} とマグマ流量 Q の関係を調べた。その結果、 p_{ch} と Q の間に正の相関があり ($dp_{ch}/dQ > 0$) 火道流が安定

となる領域が低流量、高流量側に存在し、その中間領域で $dp_{ch}/dQ < 0$ となり火道流が不安定になる特徴が見られた（図1）。また、本研究では、上昇速度を粘性流体の速度と固体プラグの摩擦運動による速度の和として表現し、摩擦速度が粘性流体速度より大きくなった場合に粘性流から固体プラグへの遷移が生じると仮定した。その結果、低流量側の安定な火道流では火道浅部にプラグが形成されている一方で、高流量側ではプラグが消滅していることがわかった（図1）。

次に、図1で示された低・高流量側の火道流間で生じる遷移過程を時間発展火道流モデルによって調べた。その結果、浅部に固体プラグが存在する低流量側の火道流から、マグマ流量の急増に伴い高流量側の火道流に遷移する間に、プラグ厚さが徐々に薄くなり、最後に消滅する特徴が見られた（図2）。これを噴火前の準備過程から噴火開始までの遷移過程として見なすことができる。またその遷移中には、マグマ溜まりの過剰圧は、増加した後減少に転じている一方で、火道内の過剰圧最大値は、加速的に増加を続けていることがわかった（図2）。

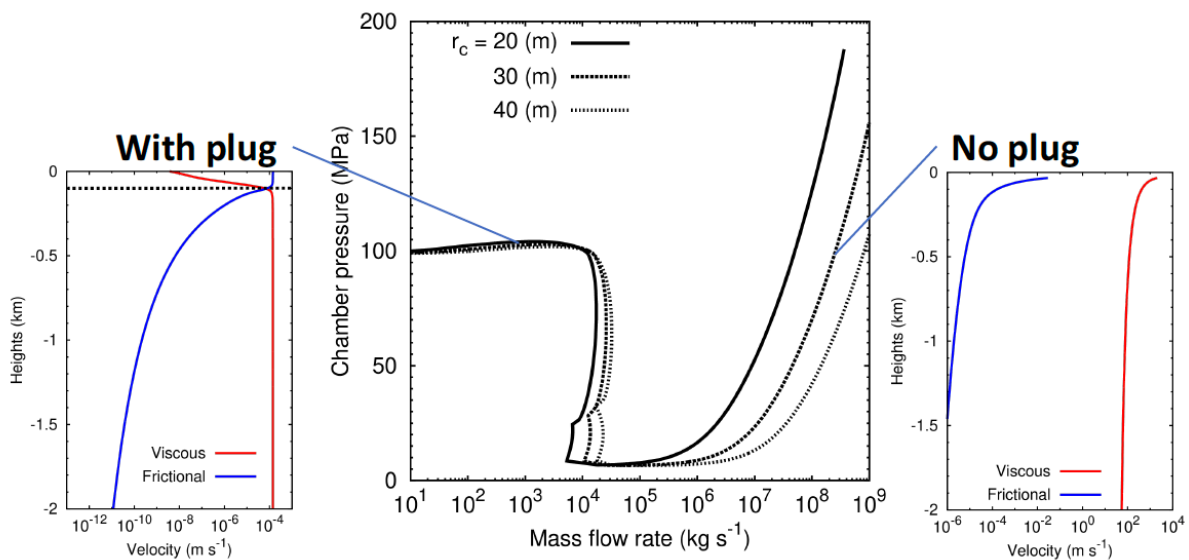


図1 定常火道流におけるマグマ溜まり圧力 p_{ch} とマグマ流量 Q の関係と、低・高流量側の $dp_{ch}/dQ > 0$ の領域における火道流内の速度分布（赤：粘性流体速度、青：固体プラグの摩擦運動速度）。

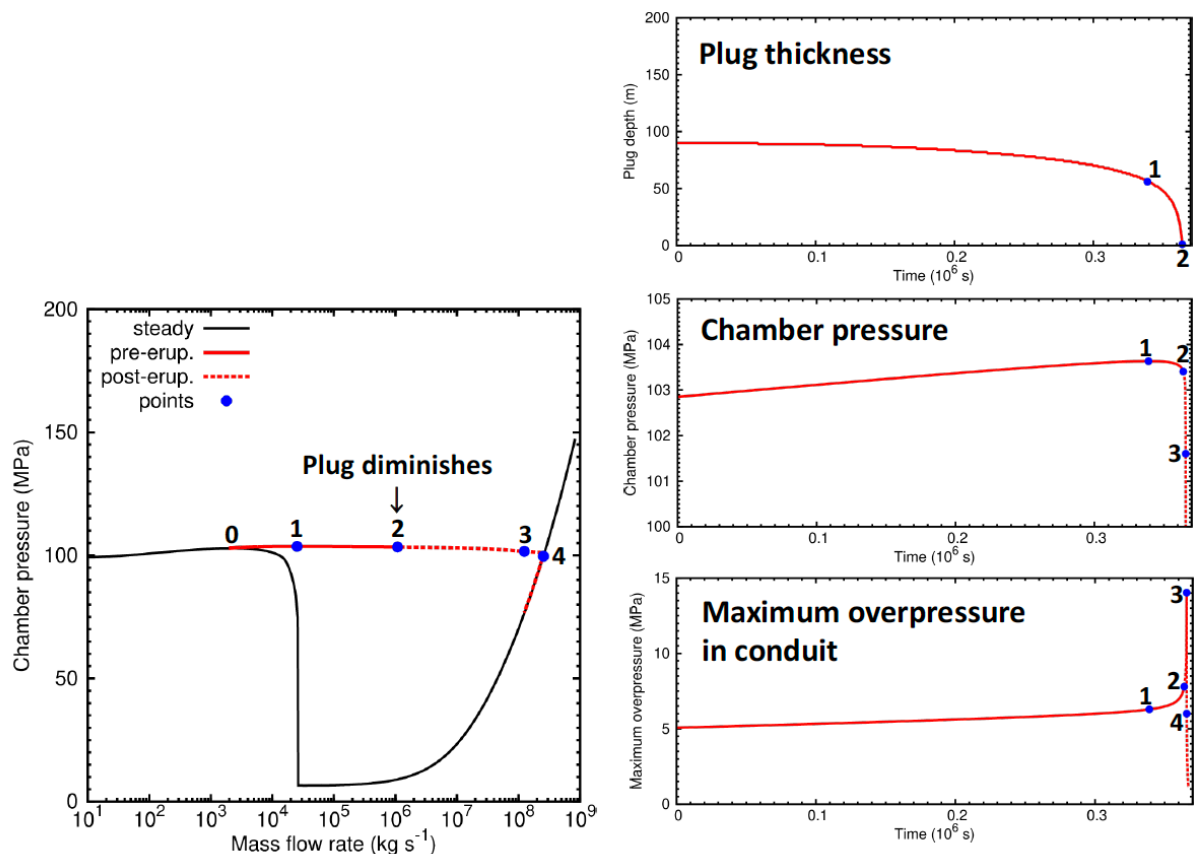


図2 低流量側から高流量側への火道流の遷移過程（左）における、プラグ厚さ、マグマ溜まり圧力、火道内マグマ過剰圧最大値の時間変化（右）。

さらに、図2の火道流の時間発展によって生じる火道及びマグマ溜まり内の圧力変化と火道壁に働く剪断応力変化がもたらす山体変化を二次元軸対称の有限要素法によって調べた。図3には、火口からの距離1、2、3 kmにおける傾斜と火口直交方向歪の時間変化を示しており、長い時間スケールで広域的な膨張が見られる一方で、プラグ消滅直前において、加速的な膨張が火口近傍のみにおいて局所的に生じていることがわかった。また、火道における圧力変化と剪断応力変化の効果は、マグマ溜まりの圧力変化の効果の5割程度で地殻変動量に寄与しており、特にプラグ消滅直前の加速的な膨張については剪断応力変化の効果が顕著であることが明らかになった。

以上の結果を踏まえて、2020年6月に桜島のブルカノ式噴火前後に発生した顕著な地殻変動の観測データ²⁾（図4左）との予察的な比較を行った。南岳火口と有村、ハルタ山、高免観測点の距離を考慮して、本研究のモデルによって傾斜と歪の変化を計算したところ、線形的な膨張や、観測項目間の相対的な関係、3-4.5 kmの観測点距離では噴火前の加速的な膨張が捉えられないなどの、いくつかの共通した特徴が見られることがわかった（図4右）。今後、地殻変動の量と時間スケールについて系統的な比較を行っていく予定である。

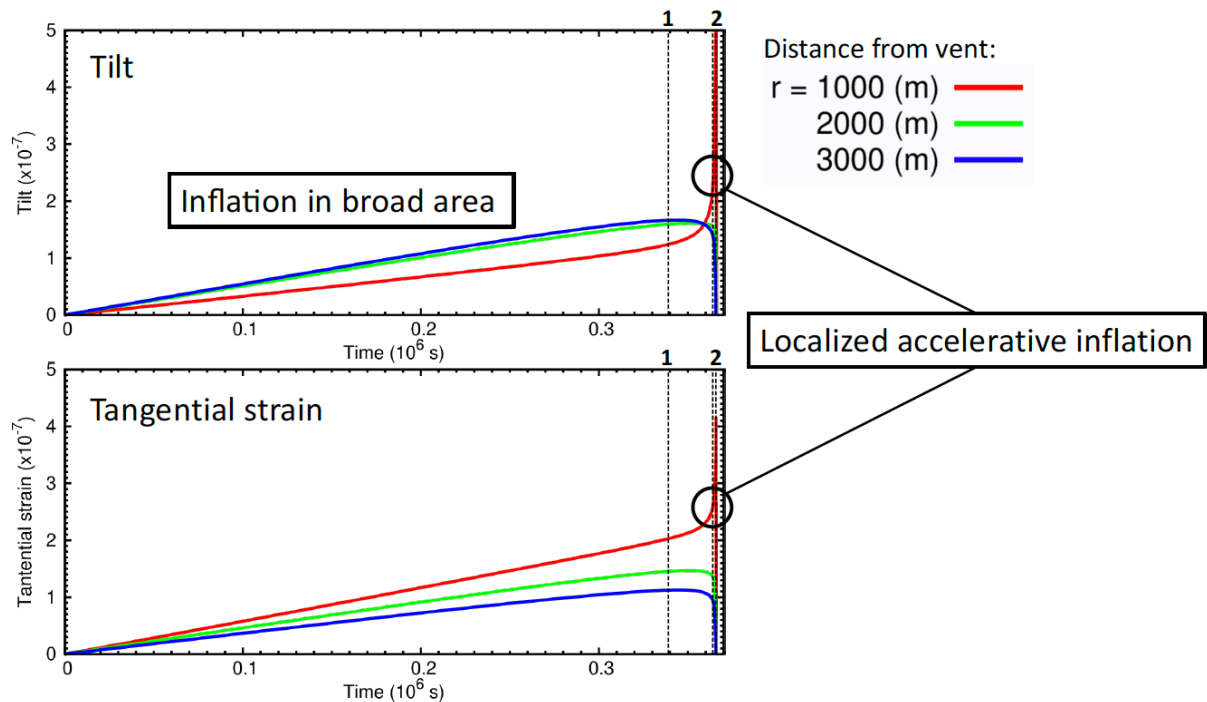


図3 火道流の時間発展（図2）によって生じる火口からの距離1、2、3 kmにおける傾斜（上）及び火口直交方向歪（下）。

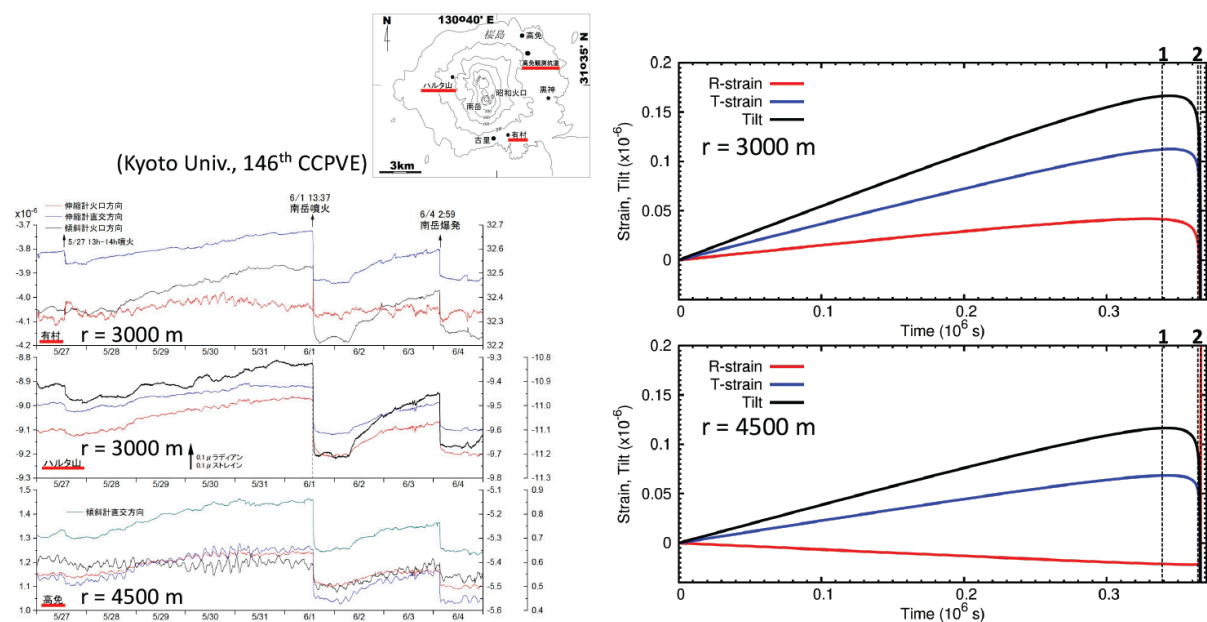


図4 2020年6月に桜島のブルカノ式噴火前後に発生した地殻変動²⁾と、モデル計算による再現（右）。

次に、課題C内の連携テーマとして設定されている伊豆大島を対象とした火道流解析の結果について報告する。本年度は、連続的なマグマ噴出を伴い、物質科学的・地球物理学的観測データが多く収集されている1986年サブプリニー式噴火についての

詳細な解析を実施した。火道流モデルについては、昨年度までに開発した、熱力学的結晶作用シミュレーションに基づくマグマ上昇中の結晶量やマグマ粘性の変化の設定、水平断面が扁平な楕円形となるようなダイク形状を近似した弾性変形する火道の設定（図5左）を考慮した一次元定常火道流モデルを使用した。

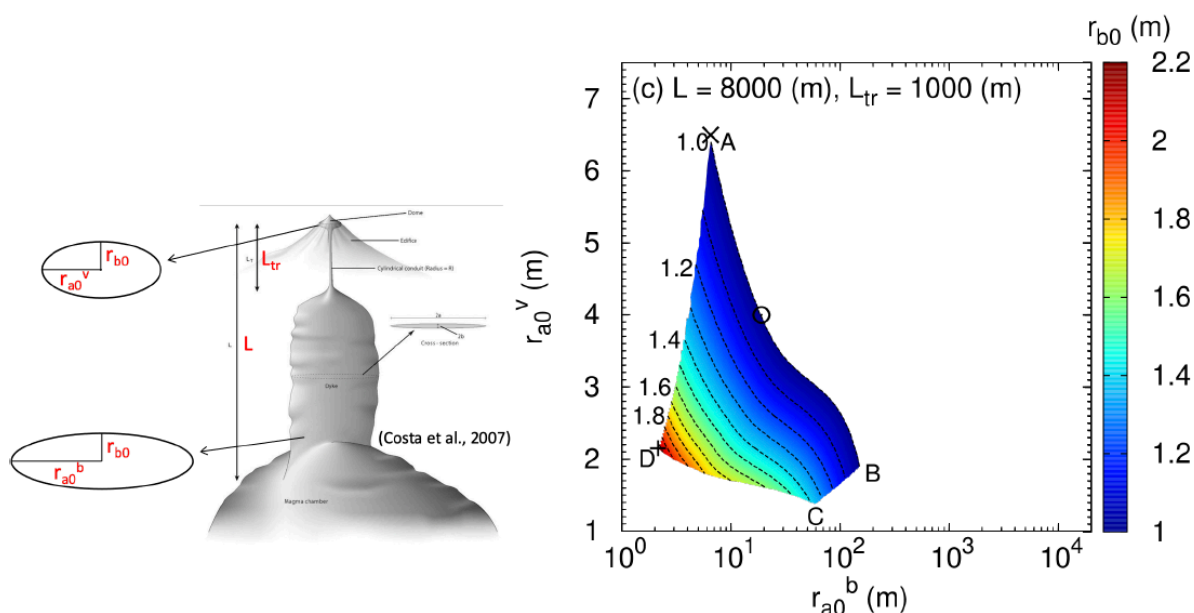


図5 火道形状の設定の概念図（左）及び1986年伊豆大島サブプリニー式噴火に相当する火道流の定常解が存在する火道形状の条件（右）。

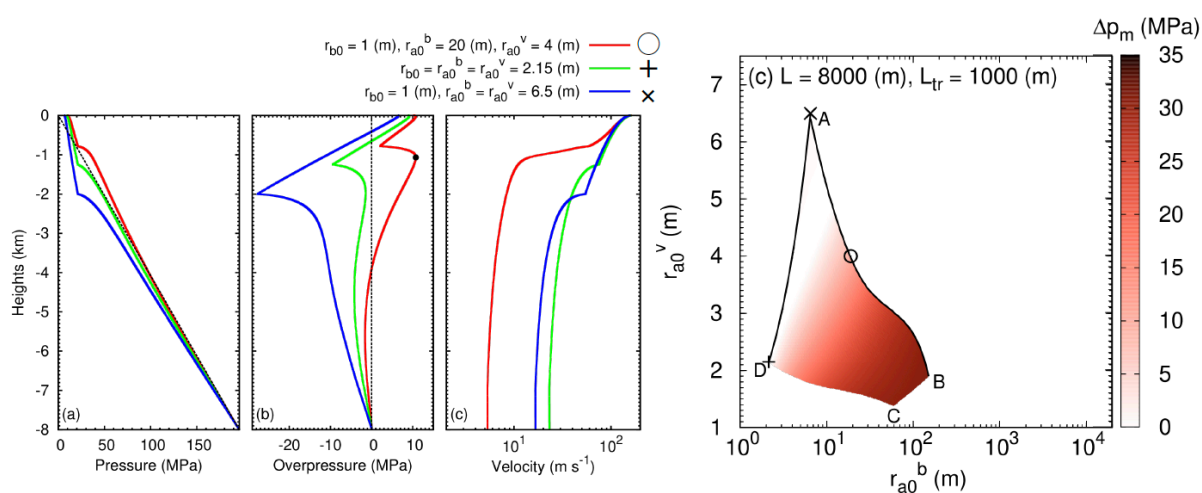


図6（左）図5の代表点に相当する定常解における火道内の圧力、過剰圧、上昇速度の分布。（右）図5で示された火道形状のパラメータ領域における、各火道流内の過剰圧最大値。

b) マグマ移動過程シミュレーション技術開発

噴火に向けてマグマが地殻浅部に貫入する現象は、マグマの流れ、隣接する岩石の弾性変形、冷却によるマグマの温度と粘性率の変化、マグマ先端部の破壊が複合する複雑な現象であり、これらの過程を統合して貫入過程を解析する方法は、貫入過程のシミュレーションを実行する計算プログラムとともに、昨年度までの作業で開発を進めた。しかし、この解析手法には地表に到達したマグマが噴出する噴火現象は含まれていなかった。噴火現象はマグマの貫入過程を解析する上で重要な最終目的であるが、現行の解析手法では、マグマ先端の破壊速度を高精度に見積もるために割れ目の理論解の重ね合わせを基礎に組み上げられている。しかし、マグマが地表に到達すると割れ目の先端は解消し、計算手法の基盤が失われ、現行の手法に噴火現象を組み込むために解析方法の抜本的な改訂が必要になる。今年度は現行の貫入過程の解析手法に噴火現象を組み込む方法を見出すことを目的に 2 つの課題において検討を行った。

これまで開発したプログラムから下記機能を追加して、噴出過程の計算を可能にした。

- (1) 上昇過程の最終状態を受け取って噴出過程の計算を始める。
- (2) 地表を割れ目の上端としてマグマの状態や流れを計算する。
- (3) 地表まで広がる割れ目によって岩石内部に生ずる弾性変形を計算する。
- (4) 地表からの噴出流量を計算する。
- (5) マグマの噴出やそれを支える地下の流れを出力する。

計算結果の例を図 7 に示す。ここで t は時間、 h は割れ目先端の高さ、 c は割れ目の拡大速度、 A はマグマ上昇流の比例定数、 ϕ はマグマに含まれる気体成分の体積の割合である。計算結果によると割れ目の拡大は最初ゆっくりと始まる。マグマの流速に比例する変数 A がほぼ一定の状態を保って割れ目をゆっくりと拡大させる。割れ目は一度拡大を始めると先端が加速しながら一挙に地表まで進展する。この時期になると A も次第に増加する。マグマが発泡して内部に気体成分が生じるのは、割れ目の先端がかなり地表に近づいてからである。この段階にはマグマ先端は気体成分がかなり大きな体積をもつ噴霧流になっており、噴出過程で噴出するのも噴霧流である。噴出の直前には割れ目先端の破壊機構は腐食破壊から脆性破壊に移行している。

図 8 は割れ目の幅の分布の時間変化である。上昇の初期には、割れ目は先端部にゆったりとした応力集中をつくるが、上昇の加速が始まると先端部の形状は陰しくなり、割れ目は先端部がほぼ同じような形状を保ちながら加速的に進展して地表に達する。

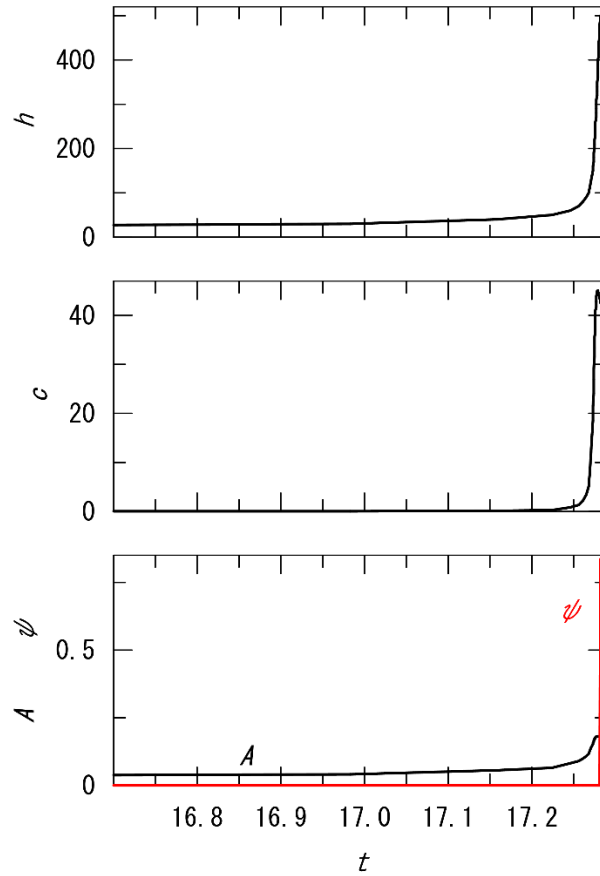


図7 マグマ上昇過程の計算結果。割れ目の先端の高さ h 、先端の拡大速度 c 、マグマの流速に比例する A 、気相がしめる体積の割合 ψ が時間 t とともにどう変わるかを示す。この最終状態が噴出過程の計算の初期条件となる。

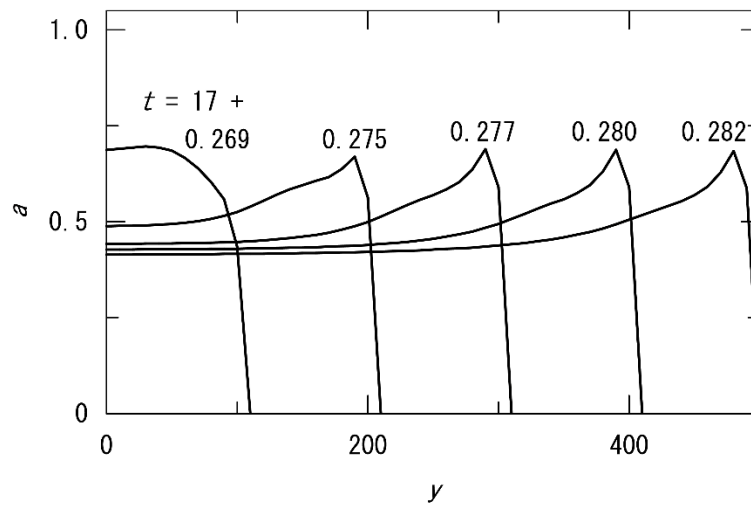


図8 割れ目の幅 a の分布。分布の生ずる時間 t を数値で示す。 y は鉛直上向きにとった座標である。

割れ目の先端が地表に達してからマグマがどう噴出するのか、試行で開発されたプログラムを用いてシミュレーションを実行した。その計算結果を図9に示す。この図で Q は割れ目の水平方法の単位長さあたりに単位時間に噴出するマグマの質量である。割れ目の状態は最上部（地表に接する部分）と最下部（マグマだまりとの接続部）の幅 a で示す。時間 t は割れ目が地表に到達した時間（ $t = 17.282$ ）を基準に、それ以降に経過した時間である。

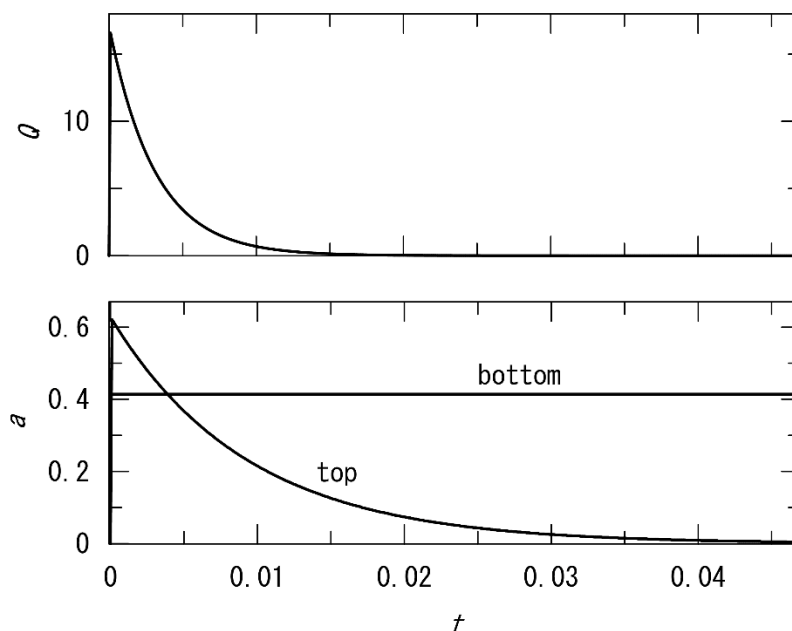


図9 マグマの噴出率 Q と割れ目の幅 a の時間変化。 a は割れ目の最上部（地表）と最下部（底）について示す。

計算結果によれば、割れ目の先端が地表に達するとすぐに大きな流量をもつ噴出が始まる。しかし、噴出量はその後急速に減少し、噴出は実質的には間もなく停止する。噴出が実質的に生じている時間の長さはマグマが急速に上昇して地表に達するのに要する時間と同じ程度である。噴出量の変化に対応して、地表での割れ目の幅は、一挙に開いてから短時間で閉じる。割れ目は底では幅がほとんど変化していないため、噴出状態の変化に対応する割れ目の開閉は浅い場所でのみ起きている。このシミュレーション結果によれば、割れ目噴火は比較的短時間で完結し、流出量は噴火の開始直後が最も大きいことがわかった。また、噴出が継続する時間はマグマの上昇にかかるのと同じ程度の長さである。

個別要素法による岩脈貫入シミュレーションでは、伊豆大島における評価のため、10km x 10km x 10km スケールの領域を粒子数 30,000,000 で取り扱う設定において、重力パッキングの計算を進め、貫入条件の検討を行った。

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た。本年度は、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を実施した。シミュレーションでは、岩脈貫入によるマグマ上昇を想定し、入力する圧力源の位置や大きさを変えた地殻変動の計算を繰り返すことで、地上の観測点で観測される地殻変動量の時間変化を求めることとした。

まず、岩脈貫入を想定した圧力源による地殻変動の数値計算のため、圧力源のメッシュモデルの作成プログラムを改修した。数 km 程度の大きさの圧力源による地殻変動を精度よく計算するため、圧力源を表現するためのメッシュ数を大きく変化させられるようにした（図 10）。このプログラムを利用して、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た。シミュレーションで想定する岩脈貫入によるマグマ上昇のシナリオとして、宮下・他(2007)の富士山、宝永噴火におけるダイク貫入モデルを利用した。このモデルでは、富士山の山頂から宝永火口の方（南南東）に伸びる水平長 3km の鉛直ダイクを設定し、噴火前の地震活動の記録などに基づいて区分したステージごとにダイクの鉛直方向の大きさの時間変化を想定している。今回のシミュレーションでは、マグマ上昇が開始したステージⅡから噴火発生直前のステージⅣまでを数値計算で利用した。地殻変動の数値計算ではそれぞれのステージで、圧力源となるダイクの下端の深さを海面下 10km に固定し、ダイクの上端の深さをステージⅡでは 9km から 5km、ステージⅢでは 5km から 1km、ステージⅣでは 1km から -2km（標高 2km）まで移動するように設定した。

富士山の火山体地形を表現するメッシュモデルを国土地理院の 10m メッシュの数値標高モデルから作成し、その下にダイク貫入を想定した楕円体形状の圧力源を設定した（図 11）。宝永シナリオで設定に従って楕円体形状の圧力源の鉛直方向の長さを変えて地殻変動の計算を繰り返し行うことで、地殻変動データの時系列を作成した。地殻変動の時系列の作成において、各ステージで、ダイク上端の上昇速度は一定と仮定している。地殻変動の時系列は気象庁が富士山の火山活動の監視に利用している地殻変動観測点（図 12）ごとに作成した。

数値計算結果から作成した地殻変動観測点での変位または傾斜変化の時間変化をそれぞれ図 13 と図 14 に示す。山頂から離れた観測点（富士吉田）では、ステージごとに変位量が単調に増加する傾向がみられる。観測点が圧力源に近い場合、GNSS 観測点（太郎坊、御殿場口 8 合目）では、変位量の加速的に変化する傾向がみられる。傾斜計観測点では、ダイクの上昇に伴って傾斜変化の傾向が圧力源方向の沈降を示す傾向から隆起を示す傾向へと変化するを確認できた。このように、観測点と圧力源の位置関係による、観測点ごとの地殻変動データの時間変化の特徴の違いを求めることができた。ダイク貫入の位置や深さの違いによる、観測データの時間変化の違いを数値計算結果で把握しておくことは、実際の観測データが得られた場合の火山活動の監視に役立つと考えられる。

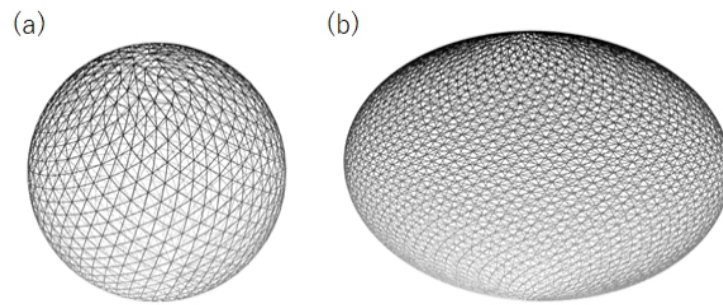


図 1 0 数値計算で用いる圧力源のメッシュモデルの(a)球状圧力源（節点数 1000 個）と (b)楕円体形状圧力源（節点数 3000 個）の作成例。

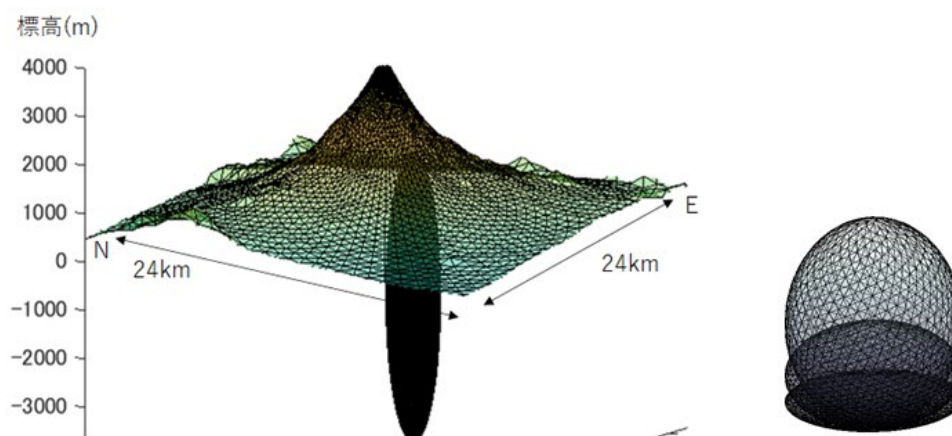


図 1 1 富士山の山体地形と圧力源のメッシュモデル（左図）と鉛直方向の長さを変えた楕円体圧力源のメッシュモデルの作成例（右図）。

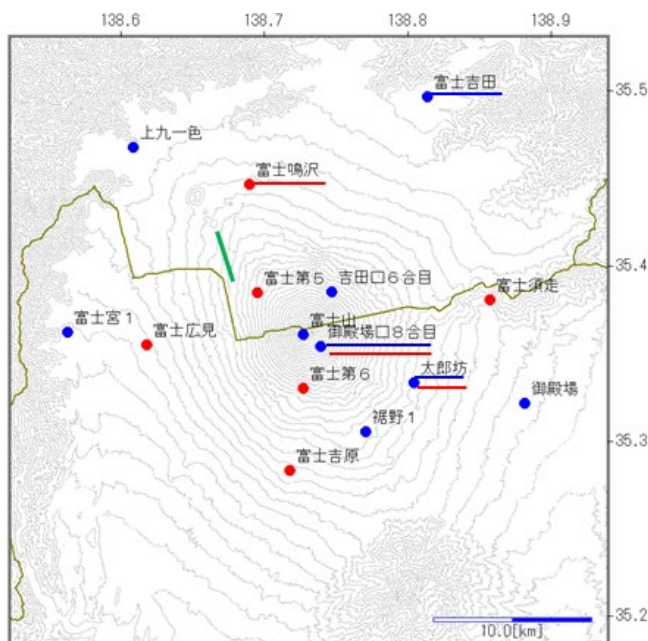


図 1 2 数値計算によって、ダイク上昇による地殻変動の時間変化を求めた富士山周辺の地殻変動観測点の配置図。●は GNSS、●は傾斜計の観測点を示す。青下線は図で変位の時間変化を示した観測点、赤下線は図で傾斜変化の時間変化を示した観測点。緑線は想定したダイクの位置を示す。

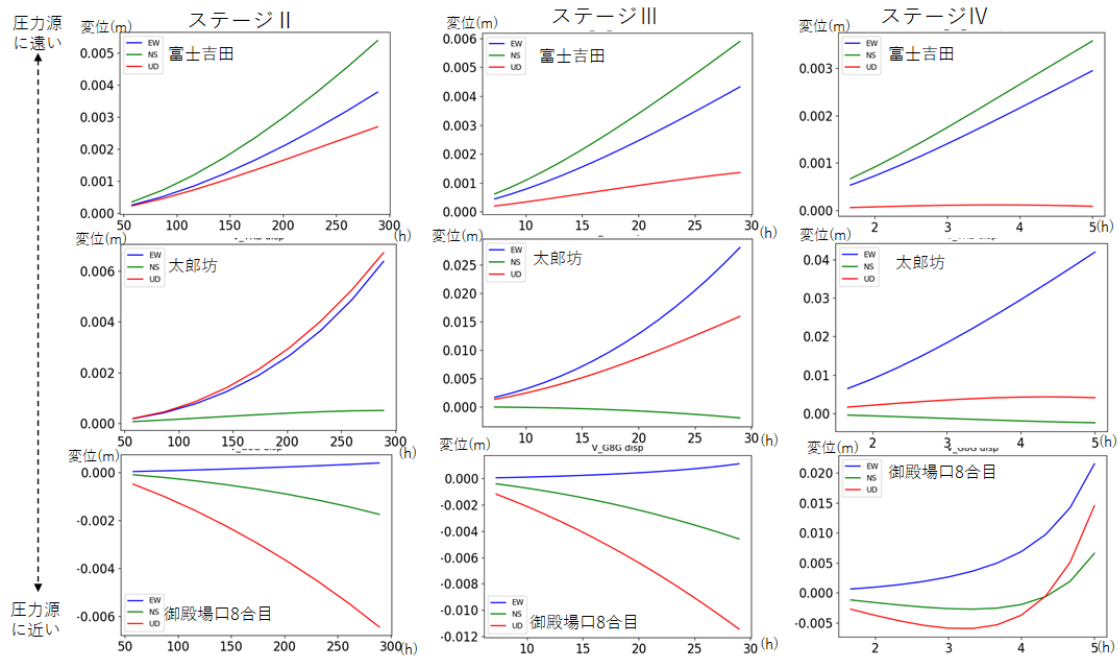


図 1-3 数値計算で求めた宝永シナリオのステージごとの地殻変動の時間変化(変位)。青線は東西変位、緑線は南北変位、赤線は上下変位をそれぞれ示す。

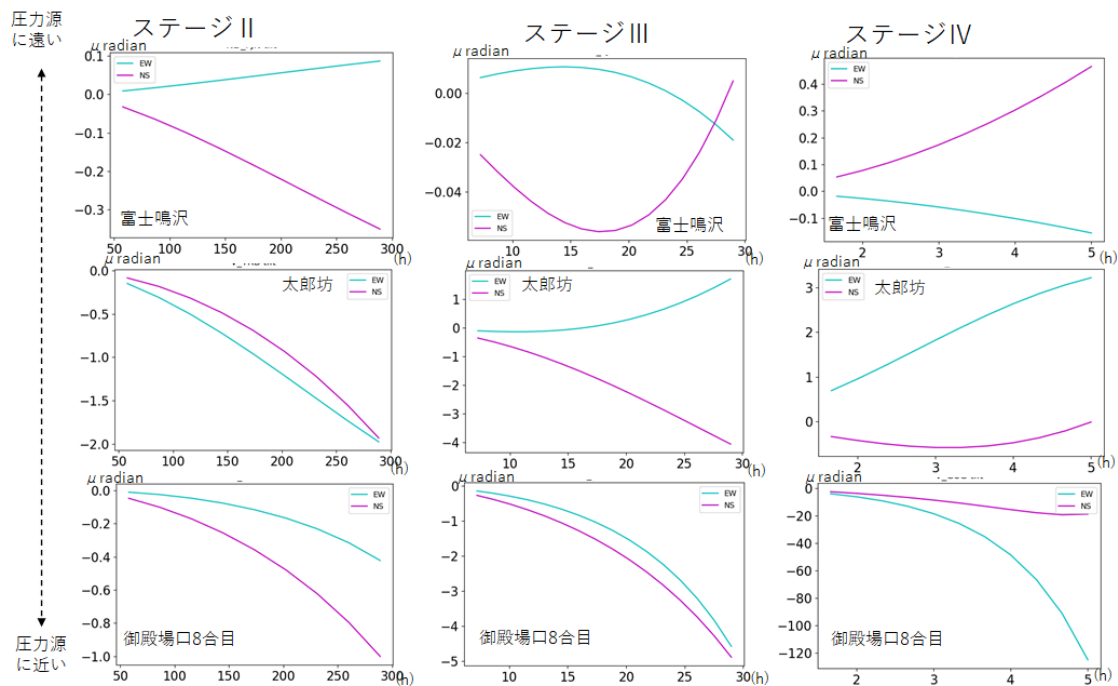


図 1-4 数値計算で求めた宝永シナリオのステージごとの地殻変動の時間変化(傾斜変化)。水色線は東西成分、紫線は南北成分をそれぞれ示す。

c) マグマ物性モデルの構築

マグマ溜りから地表に至るまでのマグマ上昇過程における結晶化モデル構築については、結晶化モデルが噴火分岐へ与える影響の検討を行なった。また、水熱合成減圧実験装置の増設と性能テストを行った。神津島 838 年噴火噴出物については、より低温条件下での減圧結晶化実験を行うべく、同じ流紋岩質である和田峠黒曜石をリファレンスとして MELTS 計算を行い、平衡温度条件を調べた。

火山性流体のレオロジーモデル構築に関しては、マグマレオロジーに大きな影響を与えるエイジングの要因を探るべく、実験で使用した試料の CT 観察および画像解析を行なった。CT 観察はエイジングさせなかった試料(UA)とレオロジーに顕著な変化をもたらす条件下でエイジングさせた試料(SA)の 2 つに対して行なった。その結果、図 1 5 のように UA と SA は同程度の鉄チタン酸化物を含むが、UA 中では結晶が分散している一方、SA では結晶同士が接触し合い、結晶クラスターを形成していた。図 1 6 に示す CT 画像解析の結果では、SA は UA に比べて粒子の体積が大きく、球形度が低くなっており、エイジングによって複雑な形状を持つ結晶クラスターが形成されたと言える。以上のことから、エイジングが進行すると流動開始時に結晶クラスターを破壊する必要があるため、レオロジーでは応力オーバーシュートが発生したと考えられる。これらの研究は、本年度も東北大学および静岡大学の協力を得て実施した。

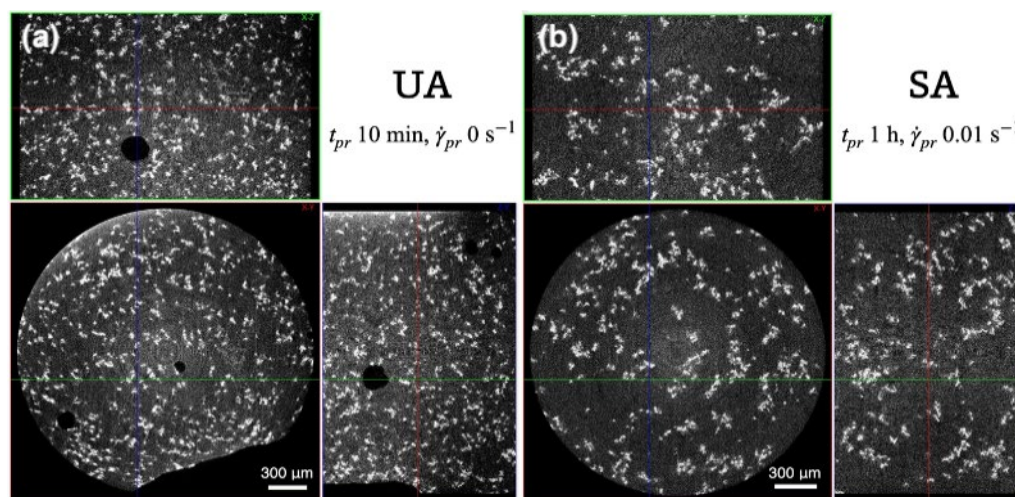


図 1 5 実験で使用した溶岩試料の CT 断面画像。

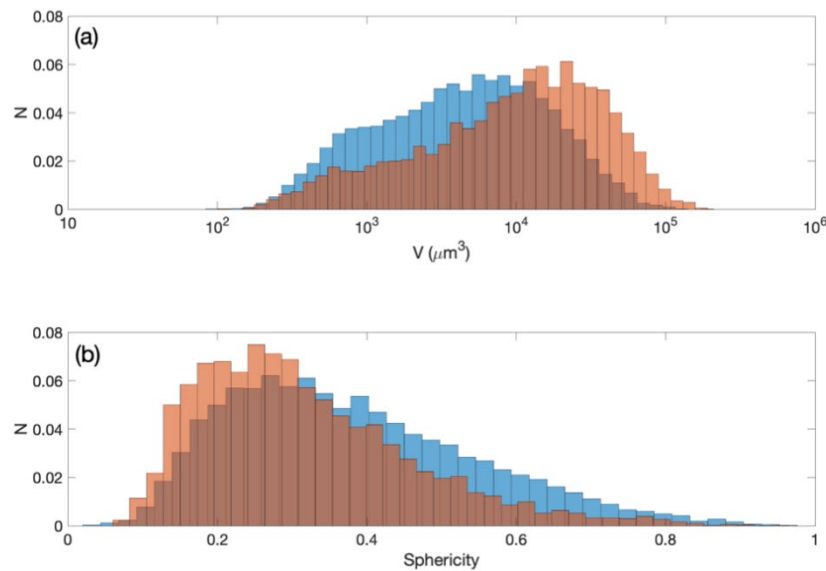


図 1 6 凝集した結晶の体積（上）および球形度（下）のヒストグラム。青が UA、赤が SA の結果を示す。

2) サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

a) 降灰ハザード予測モデルの開発

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

今年度は新しい移流拡散モデル（JMA-ATM）³⁾の初期値の精度を改善するために、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）の開発を進めた。本モデルは、噴煙が火口から上昇する過程を記述する「噴煙ダイナミクスモデル」と、鉛直方向への上昇が終わった噴煙が水平方向に輸送される過程を記述する「風下重力流モデル」から構成される。さらに攪拌沈降モデルを組み合わせることで、噴煙の側面や底面から離脱する火砕物の分布が計算され、JMA-ATM の初期値として利用される。現業利用を想定して、観測された噴煙高度から噴出率を推定する機能も実装している（図 1 7）。

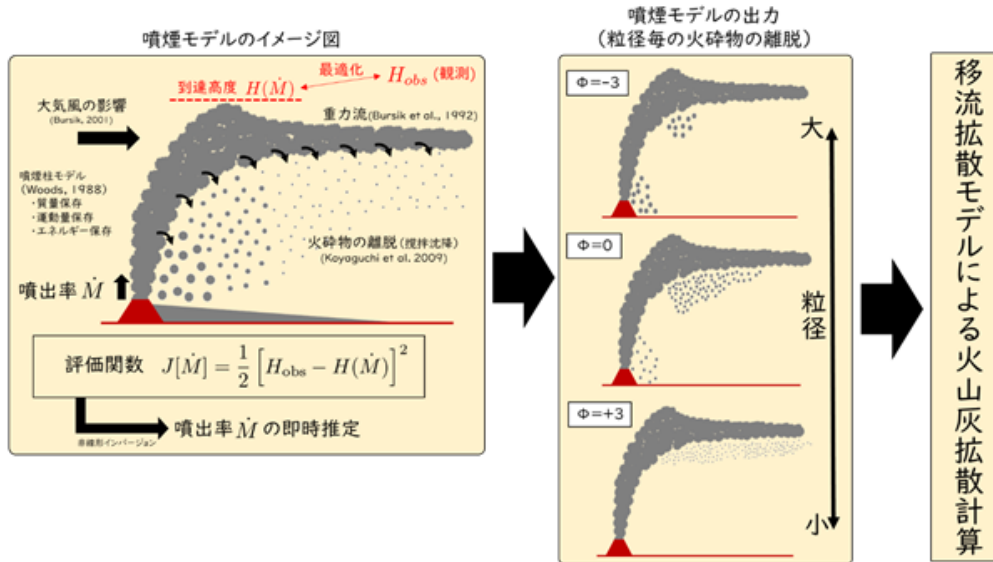


図 1 7 開発中の一次元噴煙モデルの概念図。

また、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・落下速度の粒径依存性について調査した。粒子の落下速度（抵抗係数）は、レイノルズ数（=速度×粒径／動粘性係数）と粒子形状に依存する（例えば、Wilson and Huang(1979)；Suzuki(1983)；Ganser(1993)（以下 G93））ことが知られている。G93 では、粒子形状を代表するパラメータとして球形度 ψ (Wadell(1932)) 及び直交球形度 ψ_{\perp} (Leith(1987)) を利用している。これらパラメータを二次元ビデオディストロメーターによる観測値から求め、気象レーダー等リモートセンシングによる噴煙の初期条件導出に用いることが出来る。

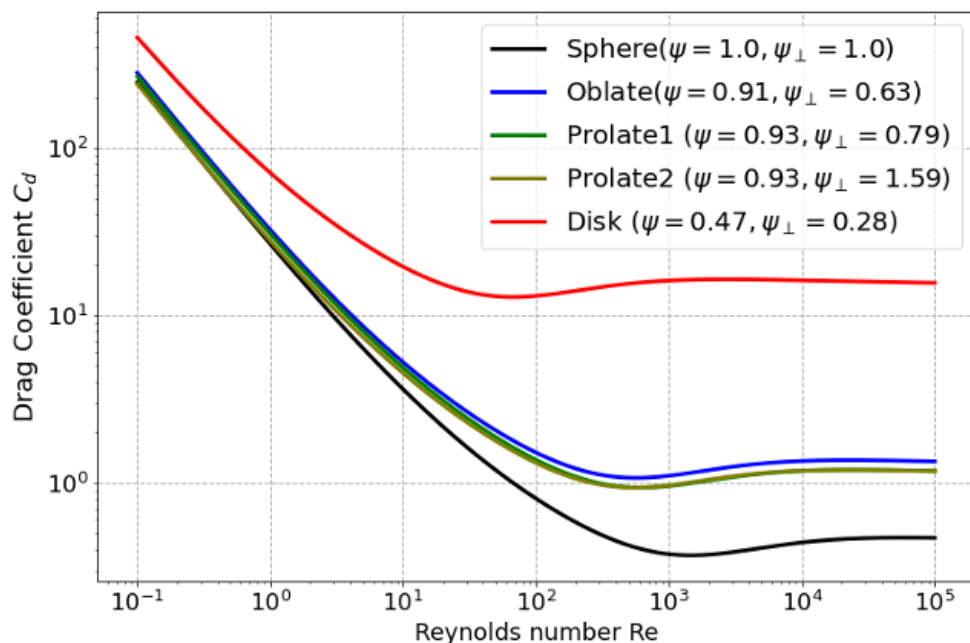


図 1 8 粒子のレイノルズ数（横軸）に対する抵抗係数（縦軸）（G93 による）。

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った。噴煙柱ダイナミクスと火山灰輸送を同時に解く SK-3D モデル⁴⁾を大型計算機において実行した。様々な噴火条件・大気条件における噴煙挙動や火山灰粒子挙動を再現するためのシミュレーションを行った。また、噴煙柱ダイナミクスモデルの検証のため、実際に観測されたトンガ諸島フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山 2022 年 1 月 15 日噴火についての数値シミュレーションを実施した。

火山灰輸送シミュレーションでは、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 モデルを用い大規模シミュレーションを実施した。シミュレーション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 Oakleaf を利用した。富士山 1707 年宝永噴火、セント・ヘレンズ火山 1980 年噴火、ピナツボ火山 1991 年噴火に相当する噴火強度を境界条件として与えた。それぞれの噴火条件に対し、標準的な中緯度大気または熱帯大気を与え、大気風の強度や高さ方向のプロファイルを変化させた。

ピナツボ火山 1991 年噴火相当のシミュレーションの結果、火山灰分布に関する基礎データを取得した(図 1 9)。火山灰が降下を開始する地点を特定するために、火山灰粒子速度の鉛直成分が上昇から下降に転じる地点を抽出した。その降下開始粒子の空間分布が粒子サイズによって変化する様子を捉えた。 ϕ スケールで -5ϕ よりも大きな粒子では、降下開始粒子は噴煙柱中間部に分布した。 -5ϕ から -2ϕ サイズの粒子では、降下開始粒子は噴煙上部まで噴煙柱全体に分布した。 -2ϕ よりも細かな場合では、降下開始粒子は傘型噴煙に分布した。そのような細かな粒子でも、粒子サイズが細かくなるほど傘型噴煙内における水平方向に遠方まで分布した。 -3ϕ よりも小さな非常に細粒のものは傘型噴煙の先端まで達していて、傘型噴煙から分離せず噴煙内部に存在し続けていると見られる。

図 1 9 で得られた降下開始粒子の分布について水平方向に積算し、高さに関する分布を得た(図 2 0)。 -7ϕ から -3ϕ までは、粒子サイズが小さくなるほど降下開始粒子のピークが高くなっている様子が観察された。さらに粒子サイズが小さい場合にはピーク高さは傘型噴煙高度に一致するが、粒子サイズが小さくなるにつれその分布の幅は小さくなった。特に 2ϕ よりも細かな粒子の大部分は傘型噴煙内のみに存在した。

降下開始粒子は噴煙から離脱すると大気中を降下し、最終的に地表に着地した。着地点の距離と粒子サイズ分布のプロットを作成し解析した(図 2 1)。ピナツボ 1991 年噴火相当の噴火では、堆積粒子は火口から 10,000 km²の範囲に広く分布した(図 2 1 c)。各距離において存在し得る粒径サイズに最大値があり、分布の包絡線をとることで最大粒径分布を取得することができた。100km²程度(火口から水平距離 10km 程度)の地点で屈曲が見られたが、降下開始地点が噴煙柱か傘型噴煙からの切り替わりと考えられる。堆積分布は噴火強度によって変化した(図 2 1 a-c)。噴火強度が強くなるにしたがって屈曲が顕著になり、屈曲点位置は火口から遠くなった。

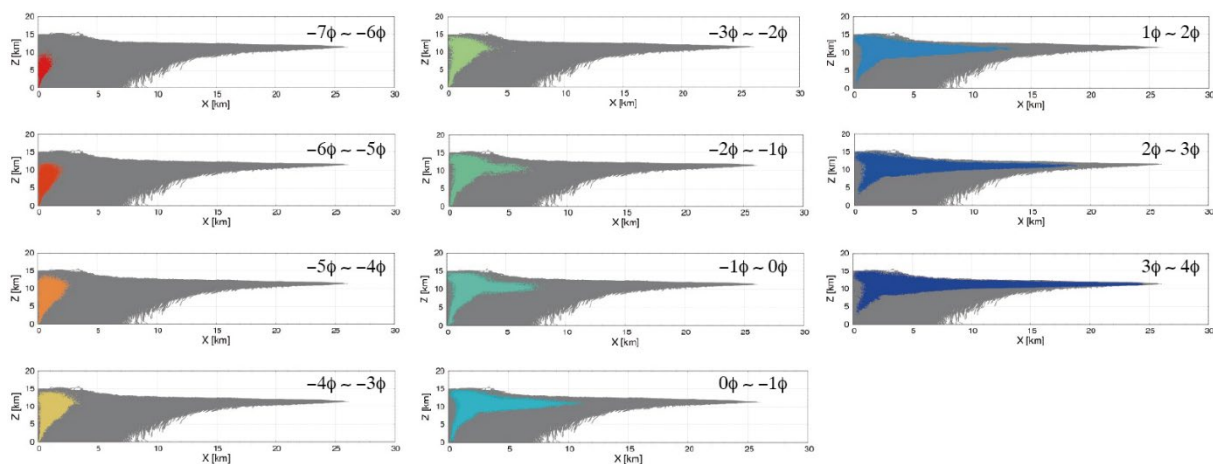


図 19 ピナツボ 1991 年噴火に相当する噴火規模の火山灰輸送の 3 次元数値シミュレーション結果。半径方向距離—高さ空間における火山灰粒子の分布を示す。グレーの点は噴煙内の全粒子分布で、色付きの点は火山灰粒子が上昇から下降に転じた停止位置。火山灰粒子サイズ（ ϕ スケール）毎に色分けしてある。

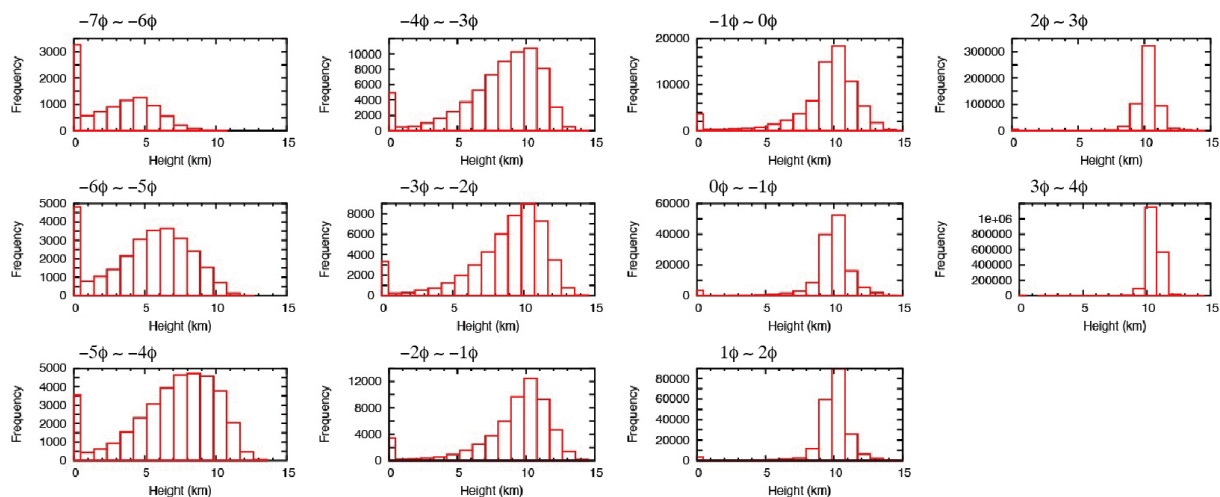


図 20 ピナツボ 1991 年噴火に相当する噴火規模の停止火山灰の高さ分布。火山灰粒子サイズ（ ϕ スケール）毎に分類した。

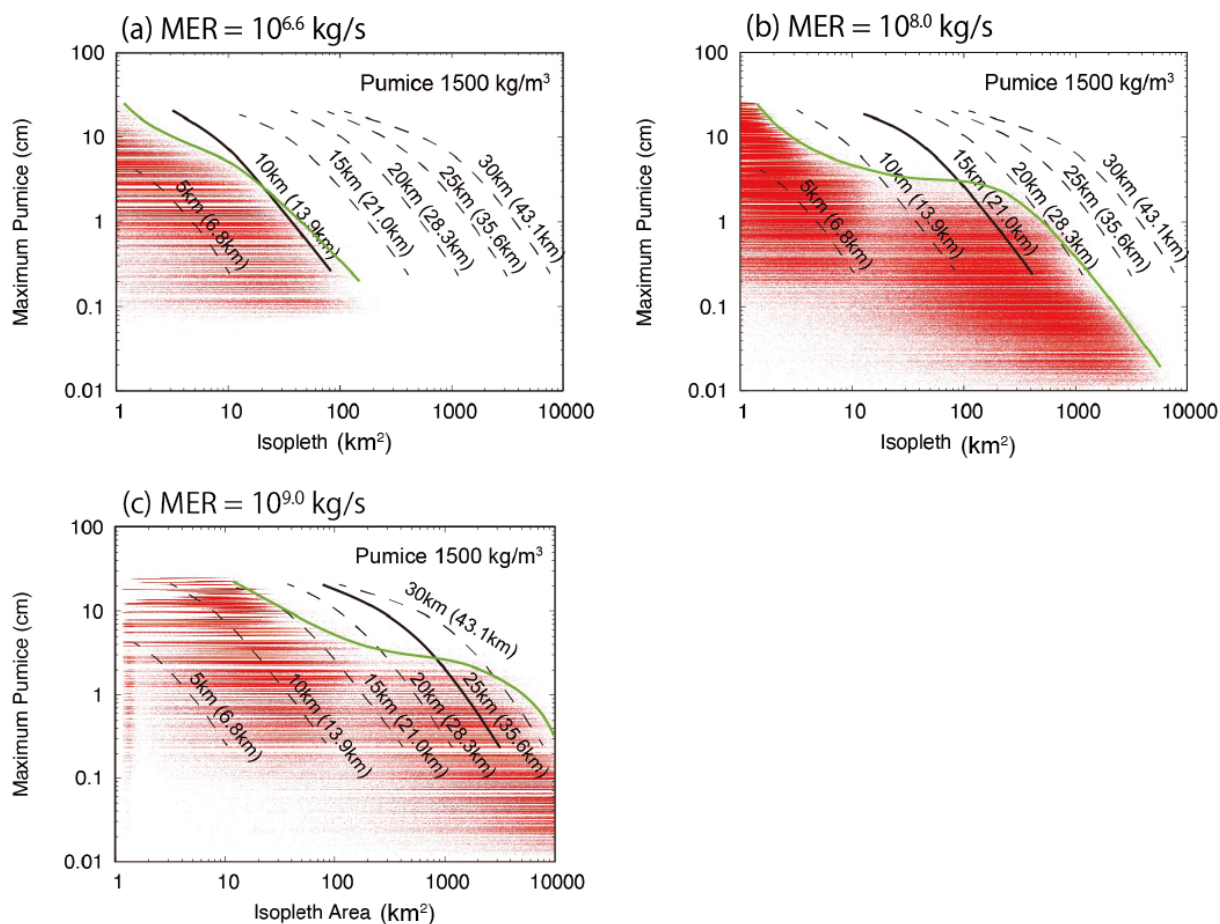


図 2 1 火山灰輸送の 3 次元数値シミュレーションから得られた堆積火山灰粒子の水平分布（赤点）。火口を中心とし堆積地点を通る円を作成し、その面積（Isopleth Area）を横軸にした。縦軸は粒子サイズを示す。赤点の包絡線が Isopleth Area における最大粒径となる。黒線は Carey and Sparks (1986) の単純モデルで予測された最大粒径分布で、黒線の数値は傘型噴煙高度と噴煙最高高度（括弧内数値）を示す。計算条件として与えた噴出率は (a) $10^{6.6}$ kg/s、(b) $10^{8.0}$ kg/s、(c) $10^{9.0}$ kg/s で、計算から得られた傘型噴煙高度（噴煙最高高度）は、(a) 11km (14km)、(b) 15km (25km)、(c) 25km (35km) であった。

2022 年 1 月 15 日にトンガ王国フンガ・トンガーフンガハアパイ火山で大規模な爆発的噴火が発生した。人工衛星からの画像を含め様々な観測がされていて、本プロジェクトで開発している噴煙柱モデルの検証に適しているため、試験的な再現シミュレーションを実施した。

標準的な熱帯大気条件を与え、初期風速をゼロに仮定した。噴出物は海水混合の影響を無視し、マグマ噴火と仮定した。マグマ温度や含水量は一般的な珪長質マグマのものを使用した。その結果、このような大規模な噴火の場合について噴煙内部の質量分率分布や圧力分布データを取得した（図 2 2）。噴煙高度や傘型噴煙半径は観測データに近い値となったが、実際には多量の海水と接触した可能性があるため、さらなるシミュレーションとその解析が必要となる。

トンガ噴火では噴火に伴う大きな潮位変動が特徴的であった。これまでのところ、噴火によって励起された大気振動が海水面変動につながったと推定されている。そのため、噴煙放出による圧力変動の空間分布が重要となる。高精度の3次元シミュレーションを実施することで、水平空間での圧力データの取得にも成功した(図23)。圧力データの解析まで至らなかったが、重要な基礎データを取得することができた。

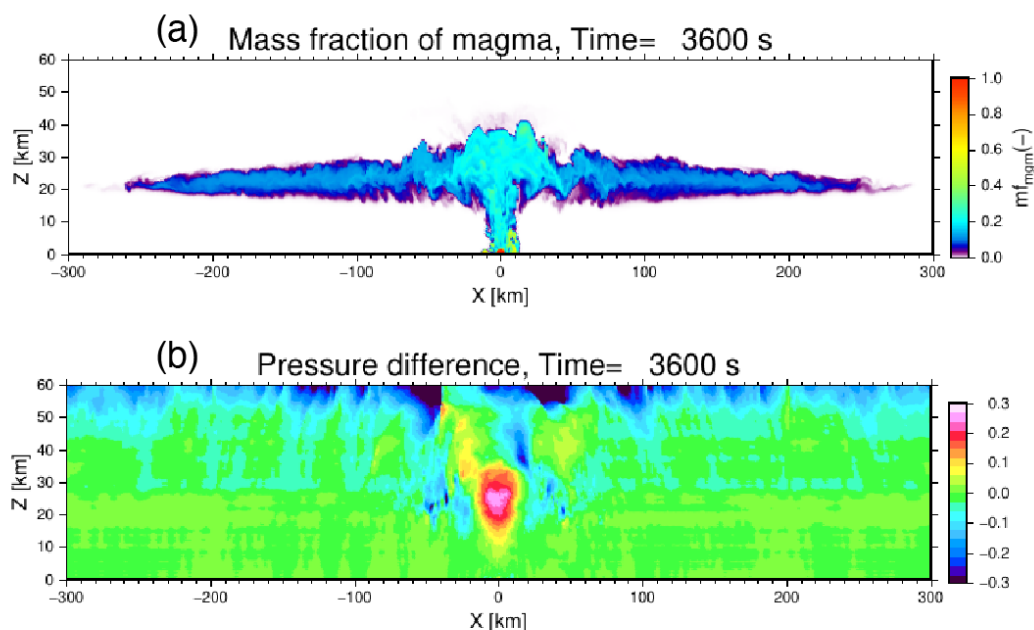


図22 フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山 2022 年噴火の3次元数値シミュレーション結果。火口を含む鉛直断面における(a)噴出物質量分率分布と(b)各高さにおける大気圧からの圧力差分布 ($\log P/P_{\text{atm}}$)。

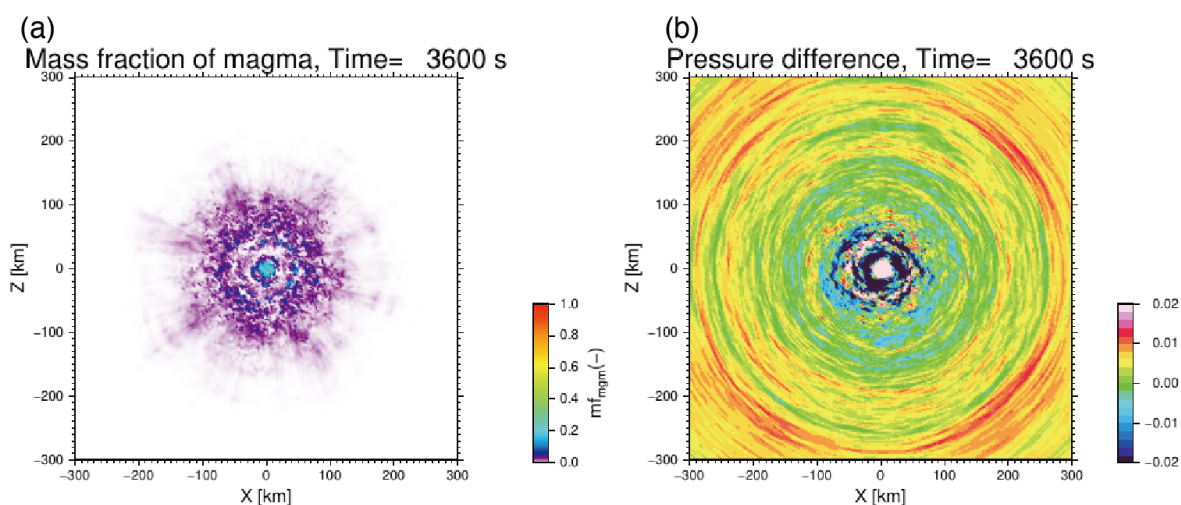


図23 フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山 2022 年噴火の3次元数値シミュレーション結果。圈界面高度(17 km)の水平断面における(a)噴出物質量分率分布と(b)各高さにおける大気圧からの圧力差分布 ($P-P_{\text{atm}}$)。

c) ハザード評価システムの検討

個別シミュレーションモジュールの開発・高度化では、火砕流の確率的ハザードマッピング手法の提案・新たな火砕流数値モデルの開発、溶岩流シミュレーションにおける最適な空間メッシュサイズの同定とドリルマップの試作を行った。

噴煙柱崩壊型火砕流および溶岩ドーム崩壊型火砕流の両方に適用可能な数値シミュレーションモデルの開発・高度化に向け、本年度は、噴煙柱崩壊型火砕流の数値シミュレーションモデルの開発・高度化に着手した。火砕流の到達距離を予測するためには、火砕流ダイナミクスに対する成層構造(上部低濃度流と下部高濃度流)の効果と地形の効果の評価することが重要となる。それらの効果の評価するために、現有の2次元非定常高濃度粒子流モデル(faSavageHutterFOAM^{5), 6)}と1次元軸対称定常低濃度乱流サスペンション流モデル(1次元非定常二層火砕流モデル^{7), 8)}の上部低濃度層の定常解)をカップリングする2次元二層火砕流モデルを開発した(図2.4)。この2次元二層火砕流モデルは、上部低濃度流の地形効果や時間変化については評価できないためにまだ試作版ではあるが、大規模火砕流(つまり、地形起伏の影響を強く受ける下部高濃度流と地形起伏の影響をあまり受けず火口から継続供給される上部低濃度流から成る火砕流)に対しては適用可能といえる。ピナツボ1991年6月15日噴火で生じた大規模火砕流と同程度の噴火条件を設定しテスト計算を実施した。ピナツボ地形データ(2006-2011年観測)の地形メッシュによる計算結果と水平地形メッシュによる計算結果を比較し、下部高濃度流の到達距離に対する地形効果を評価した(図2.5)。ピナツボ地形を考慮した場合、高濃度流は主に地形起伏間の谷筋に沿って流動し、最大到達距離が伸びることが示された。この到達距離の増加は、谷筋において、移動距離に対する進行方向の高濃度層の質量フラックスの減少率が小さくなるために生じる。

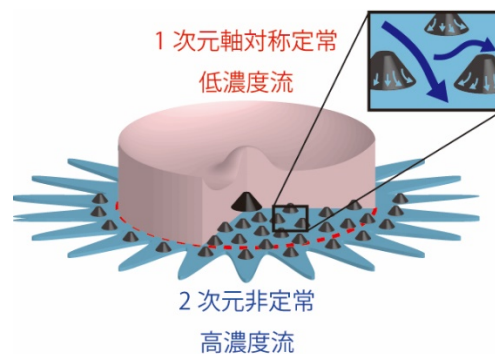


図2.4 2次元二層火砕流モデル[試作版]の概念図。

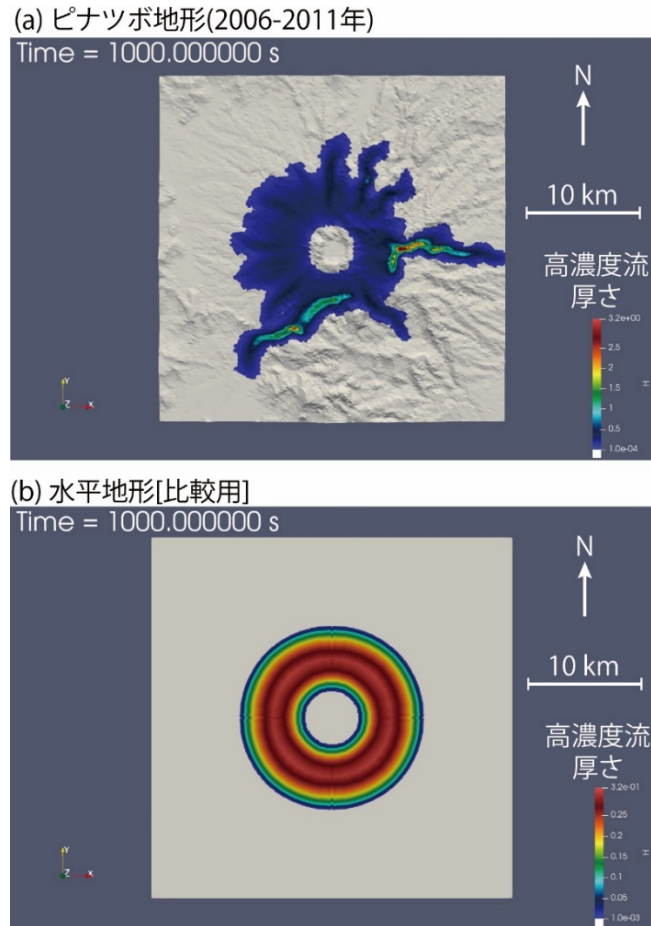


図 2 5 2 次元二層火砕流モデル[試作版]の下部高濃度流の厚さの数値計算結果(噴火開始から 1000 秒後)。(a) ピナツボ地形(2006-2011 年観測)使用。(b) 水平地形[比較用]使用。

火砕流の到達距離や到達範囲は噴火条件(特に噴火規模 $M = \log_{10}$ (噴出マグマ質量 [kg]) - 7⁹⁾)に強く依存し、噴火規模 M は、同じ火山における噴火であってもイベントによって 0 から 8 程度まで大きく異なる。火砕流数値シミュレーションモデルを用いたハザードマッピングの際に、噴火規模 M の取り扱いに対する恣意性を排除しその不確定性の影響を評価するために、噴火規模 M に対する任意の頻度分布 $N(M)$ を火砕流数値シミュレーション結果と組み合わせる確率論的ハザードマッピング手法を提案した。提案する確率論的ハザードマッピング手法は、以下の 4 つの手続きから成る。

[手続き 1] 考察の対象とする噴火規模 M の下限と上限を設定し、その範囲内において M の値を M_i として任意の間隔 $dM_{i\pm 1/2} (\equiv |M_i - M_{i\pm 1}|)$ でサンプリングする。

[手続き 2] サンプリングした M_i に対する火砕流の数値シミュレーションを行い、各 M_i に対する火砕流到達範囲の予測結果を得る(到達範囲内の地点を 1、それ以外を 0 とスコア付けする)。

[手続き 3] 各 M_i に対する到達範囲結果の各地点のスコアに M_i に対する確率分布 $(N_i / \sum_i(N_i))$ を掛けることにより、到達範囲結果のスコアに重みを付ける。ここでは $N_i = 0.25\{N(M_i) + N(M_i - 0.5dM_{i-1/2})\}dM_{i-1/2} + 0.25\{N(M_i) + N(M_i + 0.5dM_{i+1/2})\}dM_{i+1/2}$ とする。

[手続き 4] 各 M_i に対して得られた重みづけられたスコアを全ての M_i に対して足し合わせ、その結果を地図上で可視化する。

これらの手続きにより、噴火規模 M の頻度分布 $N(M)$ と火砕流到達範囲の数値計算結果を組み合わせた確率論的ハザードマップが作成される。既存手法(Monte Carlo 型サンプリングに基づく手法など)と比べた本手法の特色としては、頻度分布 $N(M)$ を変えたハザードマッピングを行う際に[手続き 3]から再実施すれば良いという利点が挙げられる。これにより、頻度分布 $N(M)$ を変えたハザードマッピングの度に[手続き 2]の数値シミュレーションをやり直す必要がないため時間を大幅に節約できる。一例として桜島昭和火口からの噴火を想定した火砕流到達範囲の確率論的ハザードマップを作成した(図 2 6)。ここでは、噴火規模 M の下限を 1、上限を 4 に設定し、0.5 の等間隔で M の値をサンプリングした。数値シミュレーションでは、火砕流下部の高粒子濃度領域のみの振る舞いを記述する高濃度粒子流モデル(faSavageHutterFOAM^{5), 6)})を使用し、メッシュ作成には NHK から提供された高精細地形データまたは国土地理院が提供する地形データを使用した。噴火規模 M の頻度分布 $N(M)$ については地質学的時間スケールかつ広範囲空間で成り立つ経験的べき乗則($\log_{10} N \propto -0.75M^{10}$)を与えた(図 2 6 a)。また比較のために、単純な一様分布($N = \text{const}$)を与えた解析も行った(図 2 6 b)。これらの結果は、桜島昭和火口にて火砕流が発生した場合にその周辺地域のどこが到達範囲になり得るかについての確率(「火砕流の到達確率」と呼ぶ)を地図上に示している。給源近傍の狭い範囲は小規模な火砕流と大規模な火砕流の両方の到達範囲によって覆われるため到達確率が高く、給源遠方の広い範囲は大規模な火砕流のみの到達範囲によって覆われるため到達確率が低いという結果が得られる。単純な一様分布を与えたハザードマップ(図 2 6 b)では、経験的べき乗則を与えた場合と比べ(図 2 6 a)、遠方まで到達する大規模火砕流の到達確率を 30-300 倍程度過大評価することが示された。

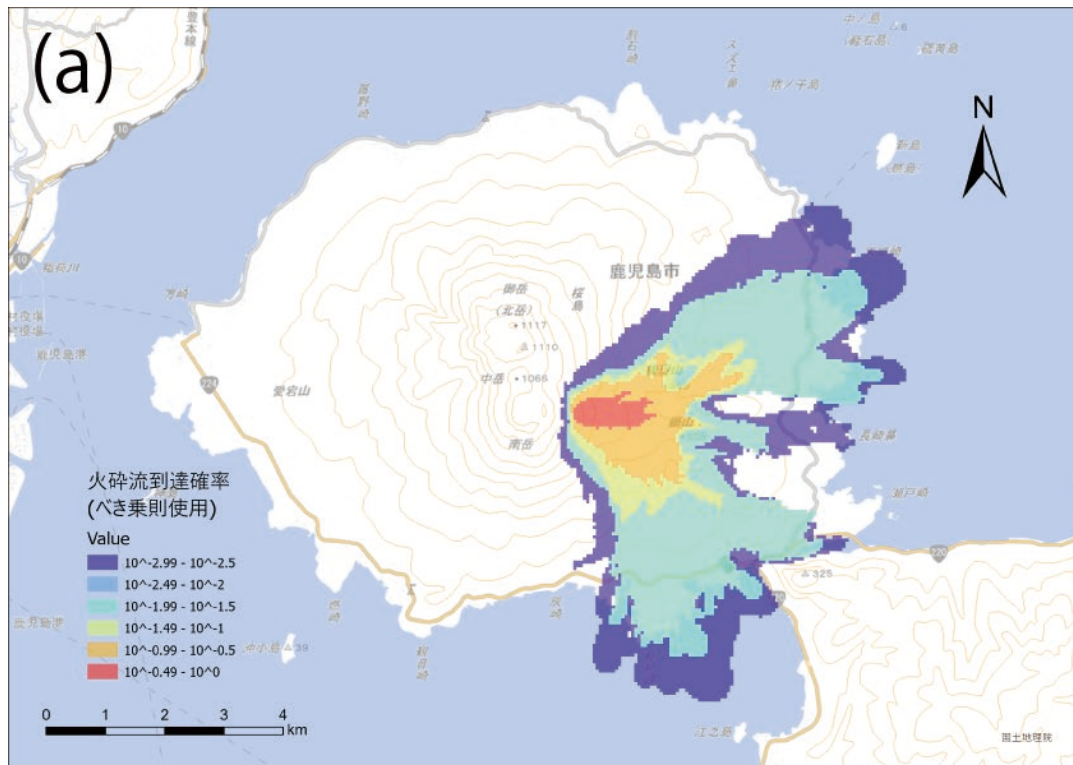


図 2 6 火砕流の到達確率を示す確率論的ハザードマップ。噴火規模 M の頻度分布 $N(M)$ に経験的べき乗則($\log_{10} N \propto -0.75M^{10}$)を与えた場合(a)と単純な一様分布($N = \text{const}$)を与えた場合(b)。

溶岩流シミュレーションにおいては、その計算結果は地形データの精度に依存する。溶岩流そのものの物理的な現象を体現する空間スケールを鑑み、熱流体としての振舞いを適切に評価する空間・時間スケールを把握し、実施することが重要である。メッシュの空間スケールでは、より詳細なメッシュを使用することで、より精細な溶岩流到達範囲の評価が可能となる。一方で、メッシュサイズを細かくすることにより、メモリサイズや計算時間といった計算リソースが多く必要となるといったデメリットがある。今回、NHK 8K ドローンプロジェクトにより提供された高精度 DEM データ (50cm, 1m) から 1-3m メッシュデータを活用し、従来の国土地理院数値地図 (10m メッシュデータ) と比較して、その有効性について検証した。

高精度メッシュで計算を実施したケーススタディとして実施した対象範囲を図 2 7 に示す。噴出レートとして、大正噴火による溶岩総量を 10 カ所から 2 日間で出す場合を想定して $3.1 \times 10^3 \text{m}^3/\text{s}$ と大規模な場合を仮定したものであり、そのうちの 1 か所分 ($3.1 \times 10^2 \text{m}^3/\text{s}$) を示している。黒神方面に流下するケース (Case 1, 2m メッシュ)、南岳南側に流下するケース (Case 2, 3m メッシュ) の事例をそれぞれ図 2 8、図 2 9 に示す。いずれも詳細な谷筋を流下し、多数のブランチがあることが確認できる。図 2 9 b で示す拡大図を見ると、砂防ダム沿いに流下し、その堤防の効果が見て取れる。

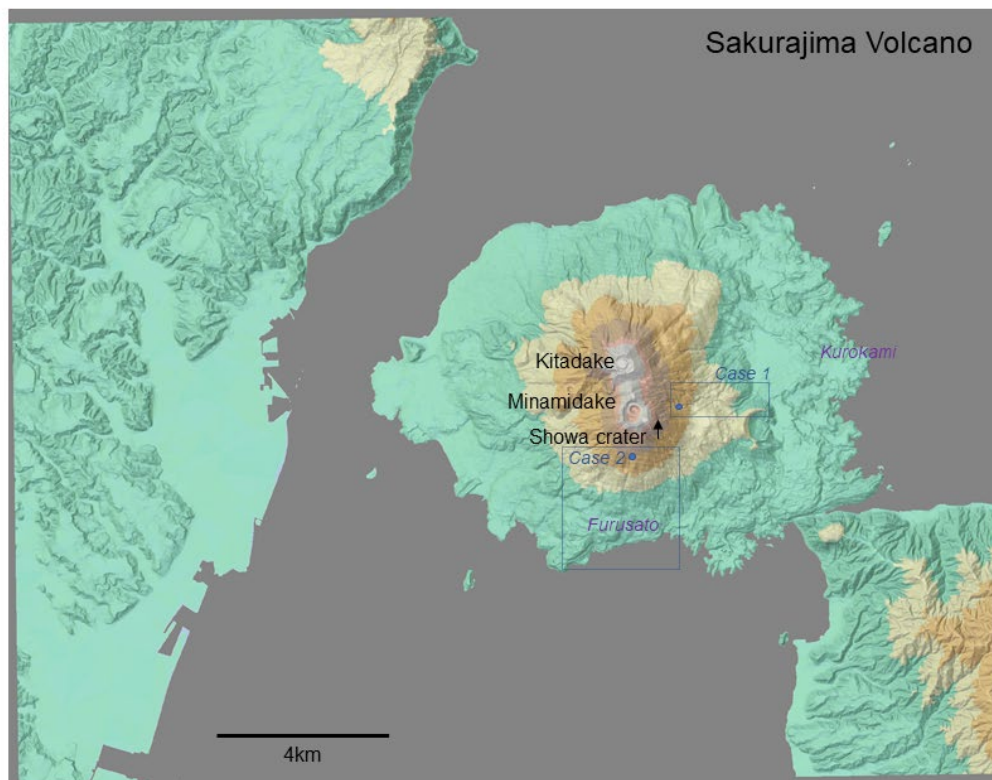


図 2 7 桜島における高精度溶岩流シミュレーションの対象範囲 (国土地理院数値地図より作成)。

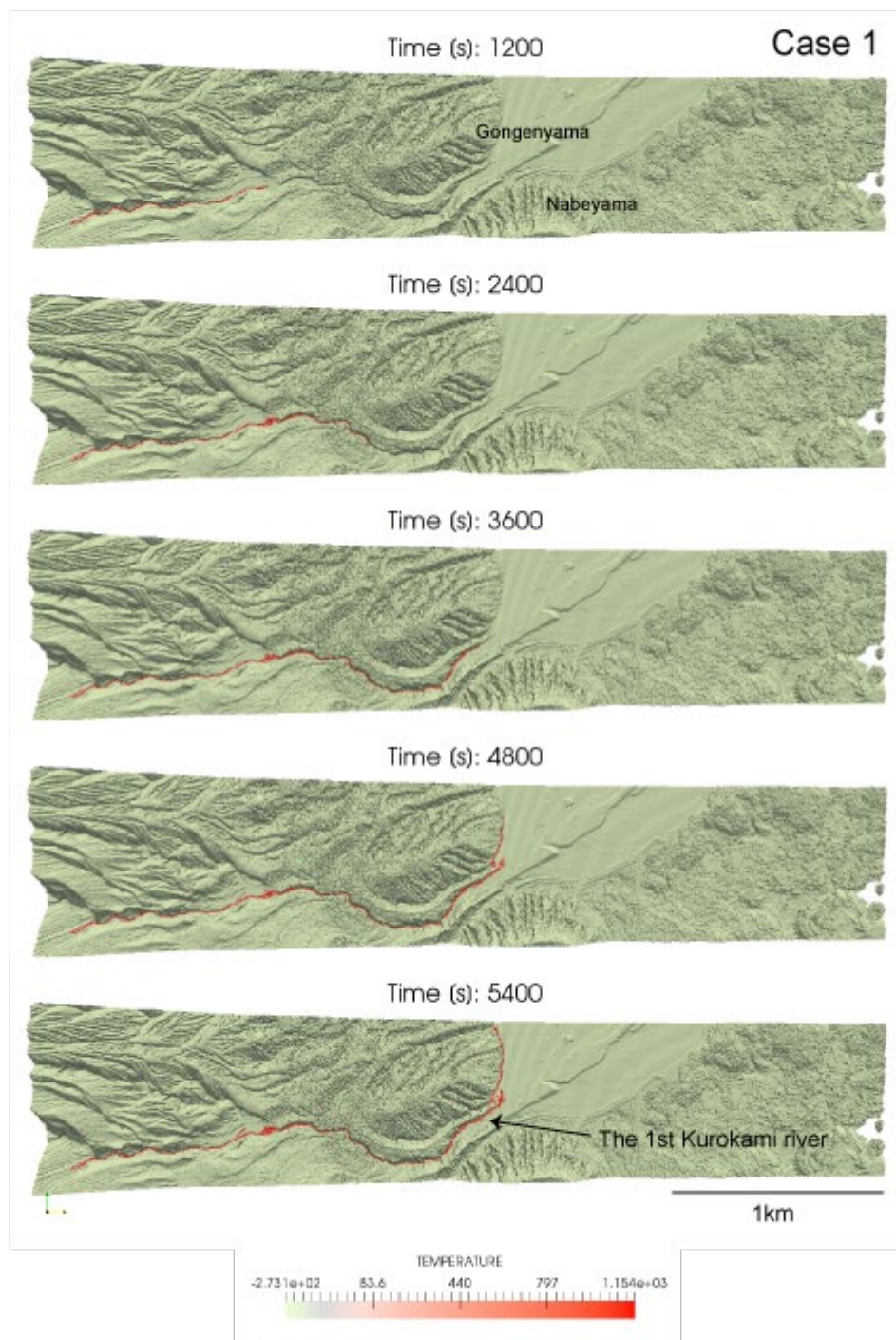


図 2 8 桜島高精度溶岩流シミュレーション (Case 1: 黒神方面流下)。

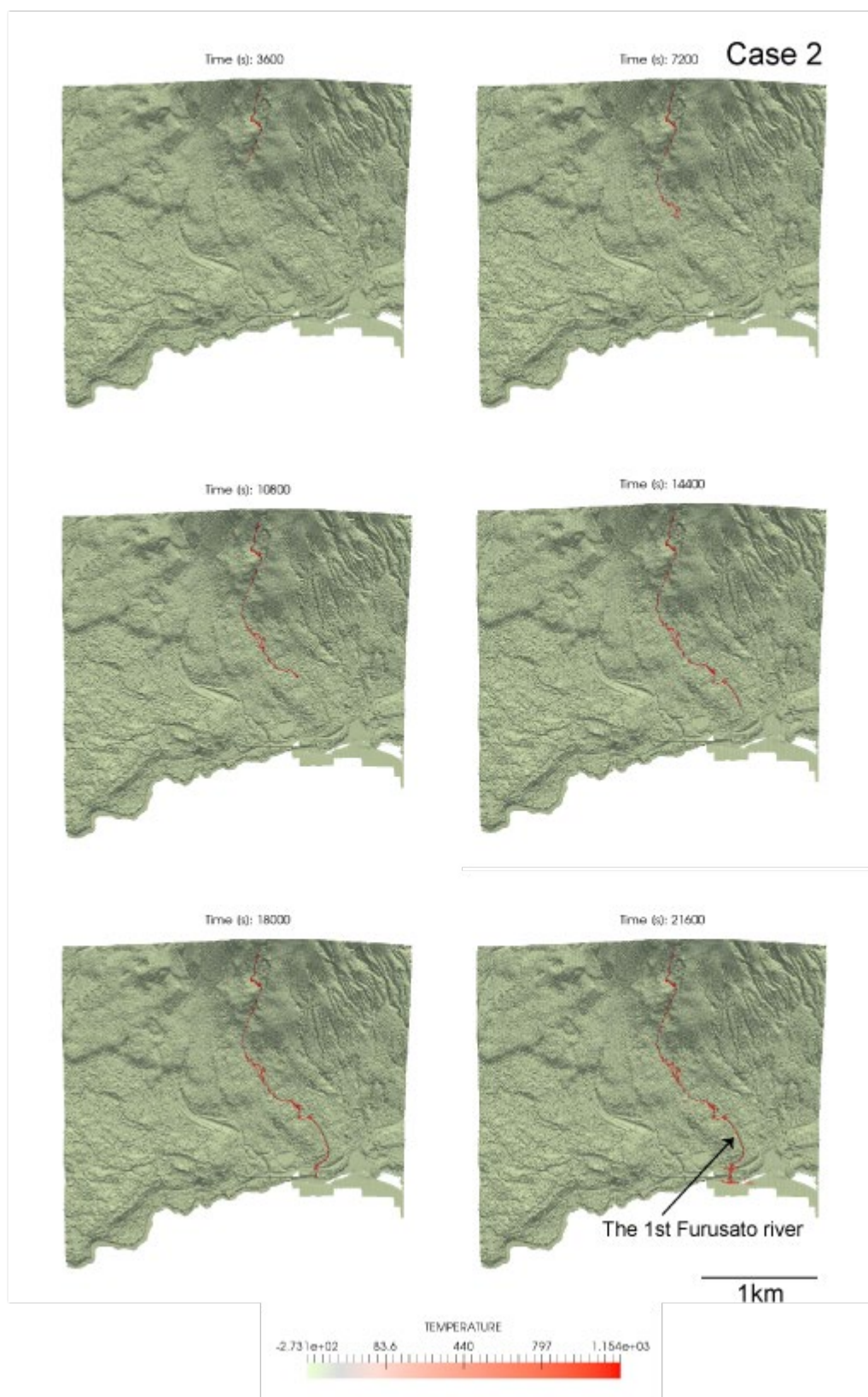


図 2 9 a 桜島高精度溶岩流シミュレーション (Case 2: 南岳南側流下)。

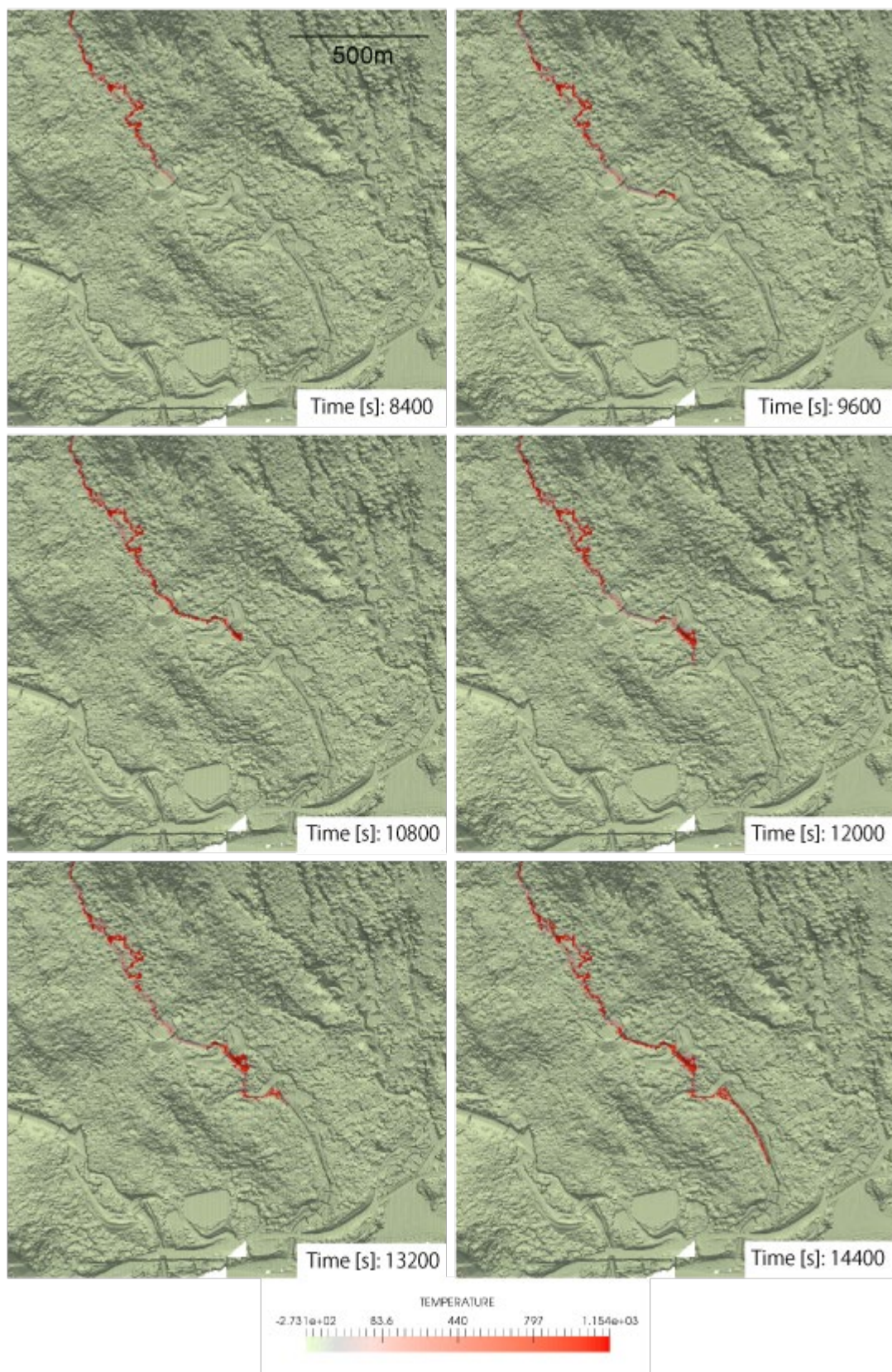


図 2 9 b 桜島高精度溶岩流シミュレーション (Case 2: 南岳南側流下) 拡大図。

また、メッシュ依存性について同じ条件で 3m と 10m の計算例について比較を行った（図 30）。メッシュサイズが小さい場合、同じ時間でも到達距離が長くなる。特にチャネルフローとなるため、流れの側方部分で冷却によるクラスト形成がおり、その一方で流れの中央部分では熱的に安定し、流動がしやすくなるといった正のフィードバックが期待される。メッシュサイズが大きい場合、傾斜角などの地形変化がそのサイズになまらせることになること、数値計算上、大きいメッシュ全体での固液判定を行うことになるなど、現象を水平方向へ拡大解釈する傾向がある者と考えられる。ただし、高精度のメッシュデータを用いた計算では、対象範囲を細かく分割するためメッシュ数が膨大になり、大量のメモリや計算時間が必要となる。道路や建物などといったスケールでのハザード評価も含めて鑑みると、3m～5m 程度での計算が有効であると考えられる。

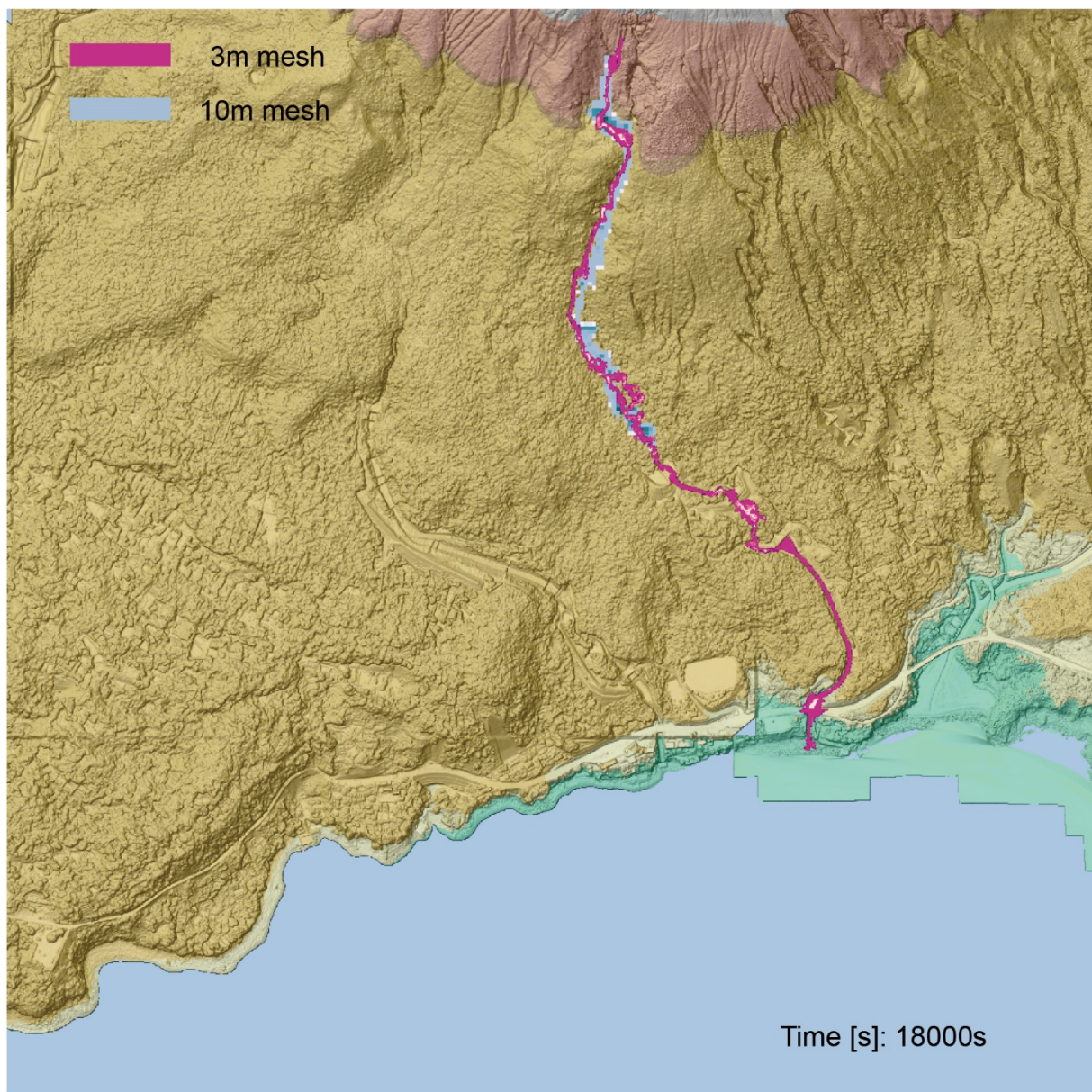


図 30 溶岩流シミュレーションのメッシュサイズ依存性（えんじ色：3m メッシュによる計算、水色：10m メッシュによる計算）。流下開始 18000s 後の溶岩分布。

溶岩流シミュレーションについては、迅速性の観点からより簡便に計算ができる手法の検討を開始した。その中で、粒子法による溶岩流シミュレーションについて、既往研究の調査を行うとともに、粒子数 10,000,000 個程度で評価可能な対象を検討し、伊豆大島や三宅島での長さ数 km、幅 100m 程度を対象とする方向性を定めた。噴石のシミュレーションモデル Ballista についてはモデルの検証のために桜島において映像観測を実施した。また、溶岩ドーム崩壊型火砕流ハザードシミュレーションについては、現有の 2 次元粒子流モデルと低濃度火砕流モデルのカップリングモデルの開発について、また、ラハール（火山泥流）・火山性津波に関する計算手法の開発について faSavageHutterForm を用いた粒子流による取り扱いの検討を始めた。

火山ハザード評価システムの開発においては、個別シミュレーションモジュールの取り込みとして、簡易版噴煙シミュレーション (PUFF) の表示機能を追加した (図 3 1)。また、溶岩流シミュレーション LavaSIM の入力パラメータを生成する GUI インターフェースを作成し、国土地理院数値地図 (10m, 5m) を取り込み、国内火山におけるシミュレーション実施の環境を整備した (図 3 2 a)。併せて、地震・火山噴火連動性評価のための有限要素解析のための入力パラメータを生成する GUI インターフェースも作成した (図 3 2 b)。これらは今後火山ハザード評価システムへ導入予定である。

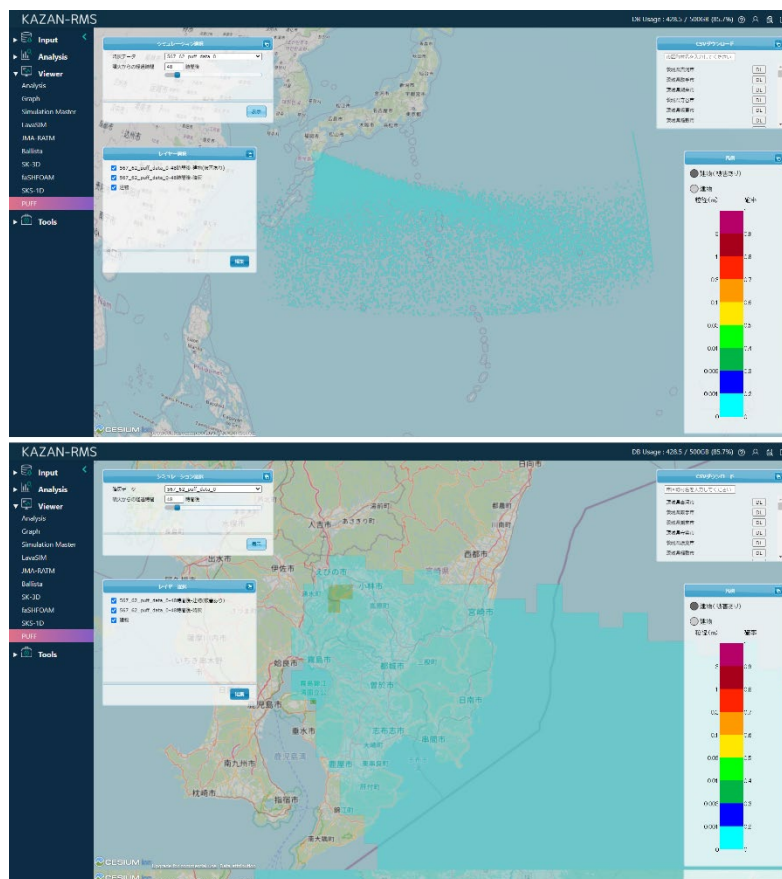


図 3 1 火山ハザード評価システムにおける簡易版降灰シミュレーション (PUFF) 計算結果表示機能。

火山ハザード評価システムは、防災科研の防災情報イノベーションプラットフォームに整備中である。インターフェースは同システムの公開系クラウド基盤上に構築している。一部の計算モジュールは大規模計算を必要とするため、データ解析基盤で計算を実行する。セキュリティを鑑みた2つのシステムの連携による計算実行環境の設計を行った(図3.3)。

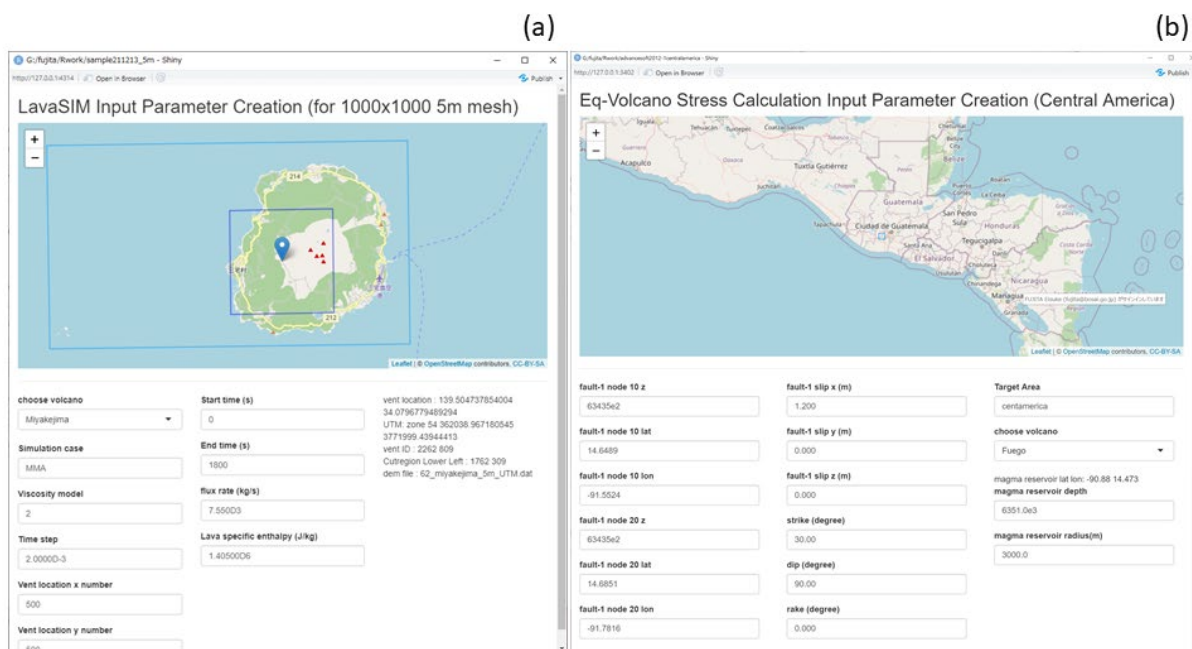


図3.2 (a) 溶岩流シミュレーション LavaSIM 入力パラメータ生成 GUI インターフェース、(b) 地震・火山噴火連動性評価のための有限要素解析のための入力パラメータ生成 GUI インターフェース。

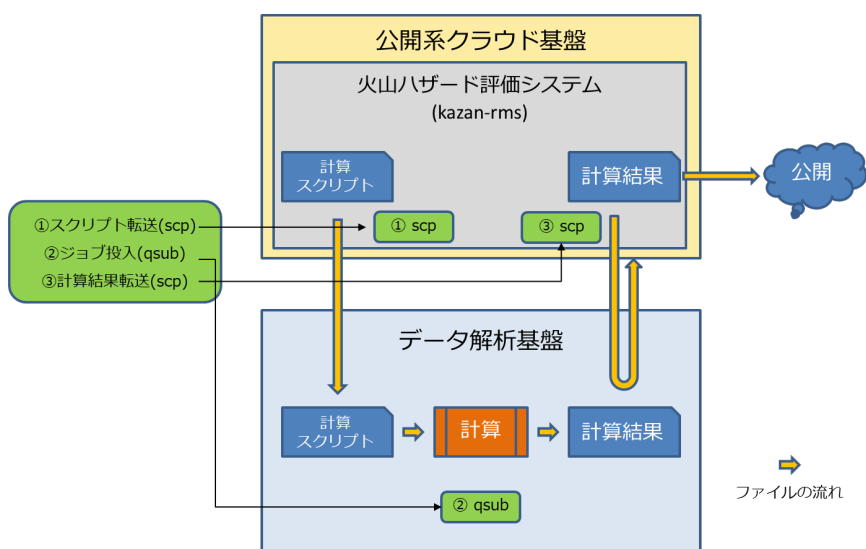


図3.3 火山ハザード評価システムにおける計算実行環境設計。

(c) 結論

個々の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の実装が進んだ。地下におけるマグマ移動シミュレーションでは、桜島で発生するブルカノ式噴火前の準備過程に関する火道流の解析に基づき、噴火開始検知に関連する地殻変動の特徴を評価した。また、課題 C 内の連携テーマとして挙げられている伊豆大島について、1986 年サブプリニー式噴火が発生し得る火道形状条件を火道流解析により明らかにした。マグマ移動過程シミュレーション技術開発では、マグマ貫入から噴出に至る効果を解析的に組み込み、シミュレーション評価を行うとともに、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た。マグマ物性モデルの構築では、整備した装置を活用した実験研究を進め、モデル化を推進した。

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) の初期値の精度改善のため、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) の開発を進めた。また、噴煙柱ダイナミクスモデルの検証のため、実際に観測されたトンガ諸島フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山 2022 年 1 月 15 日噴火についての数値シミュレーションを実施した。また、火砕流・溶岩流シミュレーションの高度化を進めるとともに、各モジュールの火山ハザード評価システムの組み込みなどを進めた。

(d) 引用文献

- 1) Wong, Y. Q., Segall, P., Numerical analysis of time-dependent conduit magma flow in dome-forming eruptions with application to Mount St. Helens 2004–2008, *J. Geophys. Res.*, 124, 11251–11273. doi: 10.1029/2019JB017585, 2019.
- 2) 京都大学防災研究所, 第 146 回火山噴火予知連絡会資料, 2020.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) Rauter, M., Kofler, A., Huber, A., Fellin, W., faSavageHutterFOAM 1.0: depth-integrated simulation of dense snow avalanches on natural terrain with OpenFOAM. *Geosci. Model Dev.*, 11, 2923–2939, 2018.
- 6) Rauter, M. Kohler, A., Constraints on entrainment and deposition models in avalanche simulations from high-resolution radar data, *geosciences*, 10, 9, 1–20, 2020.
- 7) Shimizu, H. A., Koyaguchi, T., Suzuki, Y. J., The run-out distance of large-scale pyroclastic density currents: A two-layer depth-averaged model, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 381, 168–184., 2019.
- 8) Shimizu, H. A., Koyaguchi, T., Suzuki, Y. J., Brosch, E., Lube, G., Cerminara, M. Validation of a two-layer depth-averaged model by comparison with an

experimental dilute stratified pyroclastic density current. Bull. Volcanol., 83, 73, 1-12, 2021.

9) 早川由紀夫, 噴火マグニチュードの提唱, 火山, 38, 6, 223-226, 1993.

10) 中田節也, 火山爆発指数 (VEI) から見た噴火の規則性, 火山, 60, 2, 143-150, 2015.

(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

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 令和4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、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。

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、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。

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。

(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、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。

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。

3) ハザード評価システムの検討

多様な火山ハザード現象を評価するシステムの設計を進め、導入を進める。

具体的には、個別シミュレーションモジュールの開発として、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、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトのプロジェクト・リーダーが当該火山を対象とした緊急観測の実施を決定した際は、上記①、②に示される技術開発の一環として、その計画の一部もしくはその全てを、開発技術実装に向けた実地の場となる緊急観測の実施あるいは緊急観測への協力に代えて実施することを可能とする。

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。

3. 会議録

(1) サブ課題 C-3 研究打ち合わせ

1. 日時：令和3年6月10日（木） 15：30-17：30
2. 場所：オンライン（防災科学技術研究所）
3. 議事：議題1 令和3年度以降の研究計画について

(2) サブ課題 C-2 研究打ち合わせ

1. 日時：令和3年6月26日（木） 13：30-15：30
2. 場所：オンライン（北海道大学）
3. 議事：議題1 令和3年度以降の研究計画について

(3) 伊豆大島連携研究 研究集会

1. 日時：令和3年12月16日（木） 9：00-12：00
2. 場所：オンライン（北海道大学）
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

(4) サブ課題 C-1 研究集会

1. 日時：令和4年3月22日（火） 9：30-12：30
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

(5) サブ課題 C-2 研究集会

1. 日時：令和4年3月31日（木） 9：00-15：00
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. むすび

令和3年度は、次世代火山研究推進事業の6年目にあたる。昨年度から新型コロナウイルス感染症拡大の影響を受けており、一部の研究遂行に影響が出たものの、それぞれのサブテーマの参加機関および協力機関ができる範囲で各々の研究を実施している。また課題内連携や今後の成果とりまとめを意識した取り組みも開始しており、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は、リモート分析補助ツールの装備を継続するとともに、データ解析用のツールの追加をおこなった。また、火山の特定噴火の物質科学的解析により、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る。その中でも、富士山では実験的に求められた石基組織を用いた新たな相図によってマグマの破碎深度が明らかにされるとともに、シミュレーションを併用してマグマの上昇経路の形状が制約された。有珠山や阿蘇山では元素拡散の研究から噴火に先立つマグマの挙動の詳細なタイムスケールが検討された。伊豆大島では新たな実験によって、マグマ溜まりの深度が制約された。噴火に先立つマグマ溜まりの状態や挙動についても、比較的単純な系について検討され、マグマ供給系の類型化が行われ、それらに基づく噴火事象分岐予測に有効な観測事象のリスト化など、これまでC-1で得られてきた噴出物の解析結果を観測との連携を意識しつつ取りまとめる作業が着手された。

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。重点火山の秋田駒ヶ岳では、南部カルデラ内の過去3,000年間の噴火活動履歴を明らかにし、最近1,000年間に複数の溶岩流が流出したことを指摘した。山麓におけるボーリング掘削調査では、北部山体の崩壊事象前後の活動履歴が明らかになりつつある。また阿蘇山では、2021年10月20日噴火の緊急降灰調査に加えて、ボーリング掘削調査による草千里ヶ浜の噴火活動履歴解明、トレンチ掘削調査によるカルデラ形成後初期の噴火履歴解明、古地磁気学的手法による完新世の噴出物年代の推定、と精力的に取り組んでおり、長期噴火履歴の高精度解明が期待される。その他の火山についても各参加・協力機関が地質調査や物質科学的解析を実施し、多くの新知見が明らかになるなどの成果を積み上げている。活火山と認定されていなかった火山についても引き続き研究を進め、中部日本の白馬大池火山（風吹火山）において完新世のテフラ層を見出し、活火山であることを確認した。また、中長期噴火予測のための時間－積算噴出量階段図と噴火事象系統樹作成のためのデータベースを作成することとなり、ワーキンググループが立ち上げられた。

サブテーマ3では、まず噴火予測・推移予測に資することを目的とする「マグマ移動シミュレーション」において、桜島で発生するブルカノ式噴火前の準備過程に関する火道流の解析に基づき、噴火開始検知に関連する地殻変動の特徴を評価した。また、課題C内の連携テーマとして挙げられている伊豆大島について、1986年サブプリニー式噴火が発生し得る火道形状条件を火道流解析により明らかにした。岩脈成長における熱過程の導入実施および境界要素法による地殻変動計算システムの開発、流紋岩および安山岩マグマを用いた水熱減圧実験による結晶度の時間変化の解明、非定常状態でマグマレオロジー実験による、マグマの粘性の静置条件の影響の把握なども引き続き継続している。一方、火山災

害軽減に資することを目的とする「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、降下火砕物の形状・密度の粒径依存性調査、降灰観測データからの噴煙柱ソース推定における誤差の定量化、噴煙シミュレーションと噴煙柱ダイナミクスの連携による降下粒子の評価などを引き続き実施した。特に、噴煙柱ダイナミクスモデルの開発においては、国内外の過去の大規模噴火の事例だけではなく、フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山 2022 年 1 月 15 日噴火についての数値シミュレーションも実施し噴煙柱モデルを検討した。また、噴石・溶岩流・火砕流シミュレーションの高度化と、リスク評価およびその確率表現も含めた最終的な火山ハザード評価システムのグランドデザインの検討も実施した。

課題 C 全体としては、令和 2 年度から伊豆大島火山を対象とした連携研究について、コロナ禍のため制約はあったものの、個々の研究を進めてきた。また、コアメンバーによる研究集会（オンライン開催）を実施し、個々の研究成果の共有と次年度以降の連携方針について議論し、令和 4 年度に研究集会と現地検討会を開催することが確認された。既にその準備を開始しており、令和 4 年度以降の更なる課題内外の連携研究が期待される。また、人材育成コンソーシアムとの連携も順調に進めており、多くの研究者がコンソーシアムの実習や講義を担当するだけではなく、コンソーシアム修了院生を RA として雇用し、研究の推進と火山研究人材の育成も図ってきた。

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、サブテーマ間の連携についても進めており、十分な成果・進捗があったと言える。令和 4 年度では、この連携研究を軸に、課題内外の連携を更に進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。

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）

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表題目	発表者氏名	発表した場所（学会名）	発表した時期	国内・外の別
浅間火山1783年（天明）噴火堆積物のアモルファスシリカコーティング（ポスター）	中谷貴之，菅谷さりな，安井真也，奥村聡，中村美千彦	日本地球惑星科学連合2021年大会	2021年5月－6月	国内（リモート）
諏訪之瀬島火山2020年末からの活発化と火山灰の時代変遷追跡に基づく中長期予測の可能性（口頭）	嶋野岳人，安田敦，井口正人	日本地球惑星科学連合2021年大会	2021年5月－6月	国内（リモート）
霧島火山、中岳の活動史の再検討(1)（ポスター）	田島靖久，安田敦，奥野充，霧島火山	日本地球惑星科学連合2021年大会	2021年5月－6月	国内（リモート）
Comparison of airborne magnetic surveys by different types of aircrafts – A case of Izu-Oshima Volcano（口頭）	大熊茂雄，中塚正，宮川歩夢，牧野雅彦，小森省吾，小山崇夫，金子隆之，大湊隆雄，安田敦，本多嘉明	日本地球惑星科学連合2021年大会	2021年5月－6月	国内・国際（リモート）
ストロンボリ式噴火の火道浅部プロセス：伊豆大室山単成火山の例（ポスター）	石橋秀巳，畠山莉彩子，坂本龍太，外西奈津美，安田敦	日本地球惑星科学連合2021年大会	2021年5月－6月	国内（リモート）
苦鉄質サブプリニー式噴火の火道上昇プロセス：霧島・御鉢火山1235年スコリア中の斜長石マイクロライトからの制約（ポスター）	岩城吉春，石橋秀巳，外西奈津美，安田敦，石川徹，嶋野岳人	日本地球惑星科学連合2021年大会	2021年5月－6月	国内（リモート）
霧島御鉢1235年噴火の様式と推移-火砕物の分布・粒子形状・組織からの制約-（ポスター）	正畑沙耶香，前野深，外西奈津美，安田敦	日本地球惑星科学連合2021年大会	2021年5月－6月	国内（リモート）
2019-2020年西之島噴火における噴火様式の劇的な変化（ポスター）	前野深，金子隆之，外西奈津美，安田敦，田村芳彦	日本地球惑星科学連合2021年大会	2021年5月－6月	国内（リモート）
噴出物組織から推定される浅間火山1783年噴火の噴火様式変化の要因（口頭）	水野樹，前野深，安田敦	日本地球惑星科学連合2021年大会	2021年5月－6月	国内（リモート）
伊豆大島火山山頂噴火の噴出物組織（ポスター）	池永有弥，前野深，安田敦	日本地球惑星科学連合2021年大会	2021年5月－6月	国内（リモート）
火山灰の顕微視分光測定と火山灰システムティクスによる推移推定 -新燃岳2018年噴火初期での検討-，日本火山学会秋季大会，2021年10月，仙台（オンライン）（ポスター）	嶋野岳人，鈴木由希，前野深，安田敦，三輪学央，長井雅史	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
マグマ混合によるマイクロライト結晶化抑制と爆発的噴火：浅間天明噴火での証拠（口頭）	多田峻真，無盡真弓，中村美千彦，安井真也	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
結晶の累帯構造に対する火道内対流の効果（口頭）	高階悠貴，中村美千彦，無盡真弓，新谷直己	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
マントル捕獲岩を用いたドイツ西部・アイフェル火山深部でのマグマ活動の時間スケール（口頭）	荒尾眞成，中村美千彦，無盡真弓，新谷直己，中谷貴之，隅田まり，Schmincke, H-U	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
捕獲岩の粒間流体形状による上部マントル中の流体組成の推定（口頭）	阿部俊輔，荒尾眞也，大谷真理，新谷直己，中村美千彦，隅田まり，Schmincke, H-U	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
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（口頭）	大塚芽久，石橋秀巳，田中佑希子，外西奈津美，安田敦	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
三宅島すおう穴テフラに含まれる斜長石巨晶中のメルト包有物（ポスター）	清野樹，石橋秀巳，下司信夫，針金由美，外西奈津美，安田敦	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
雲仙火山有史時代噴火の噴火準備過程：クリスタルロットからの制約（ポスター）	岩橋くるみ，安田敦	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
霧島・御鉢火山 1235年スコリアの石基組織から探る苦鉄質準プリニー式噴火の火道浅部プロセス（ポスター）	岩城吉春，石橋秀巳，外西奈津美，安田敦，石川徹，嶋野岳人	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
阿蘇火山のかんらん石メルト包有物からみた脱ガス深度（口頭）	川口允孝，長谷中利昭，K. T. Koga, E. F. Rose-Koga, 安田敦，外西奈津美，森康，清水健二，牛久保孝行	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
御殿場山体崩壊がもたらした富士山深部マグマたまりの観察窓（ポスター）	安田敦，田島靖久	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
小笠原諸島，福徳岡ノ場における2021年8月の噴火（ポスター）	及川輝樹，榊澤宏彰，池上郁彦，石塚治，水落裕樹，東宮昭彦，森田雅明，中野俊，川口亮平，中村政道	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
北海道洞爺カルデラ地域における先カルデラ期の火砕流堆積物の発見：立香火砕流堆積物（口頭）	後藤芳彦，孫入匠，檀原徹，東宮昭彦	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
玄武岩質マグマをターゲットとした減圧結晶化実験の手法（ポスター）	松本一久，奥村聡，中谷貴之，鈴木敏弘，東宮昭彦，宮下明典，石橋秀巳	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
大規模噴火におけるマグマ含水量とストーピングの重要性（口頭）	宮城磯治	日本火山学会秋季大会	2021年10月	国内（リモート）
Volcanic Events and Magma Interactions before, during and after the Caldera-forming Eruption of Aso, Kyushu Island, Japan（口頭）	Hasenaka, T., Kawaguchi, M., Torii, M., Yasuda, A. and Hokanishi, N.	5th International Workshop on Rock Mechanics and Engineering Geology in Volcanic Fields	9-Sep-21	国内・国際（リモート）
Distribution of Lava Flows at the Southern Foot of Nakadake and Takadake Volcanoes in Aso Caldera, SW Japan（口頭）	Okuno, M., Koyanagi, T. and Miyoshi, M.	5th International Workshop on Rock Mechanics and Engineering Geology in Volcanic Fields	9-Sep-21	国内・国際（リモート）

Geoscience contribution to SDGs - a personal view - To young geologists in Indonesia, Special Lecture Series (口頭)	Hasenaka, T.	The 13th Regional Conference on Geological and Geo-Resource Engineering (RCGeoE 2021)	21-Dec-21	国外 (リモート)
火山地形から見た阿蘇カルデラの中岳と高岳火山南麓に分布する溶岩流 (口頭)	奥野充, 三好雅也, 小柳利彦	国際火山噴火史情報研究会 (2021年度, No. 1)	2021年7月	国内 (リモート)
Aso-4火砕流堆積物中の石質岩片の記載岩石学的特徴 (口頭)	三好雅也, 新宮竜太郎	国際火山噴火史情報研究会 (2021年度, No. 1)	2021年7月	国内 (リモート)
阿蘇根子岳火山に分布する火山噴出物のK-Ar年代 (口頭)	新村太郎, 上田恭裕, 角野浩史, 森康, 三好雅也, 長谷中利昭, 荒川洋二, 長尾敏介	国際火山噴火史情報研究会 (2021年度, No. 1)	2021年7月	国内 (リモート)
阿蘇カルデラ北西部における火山地形・層序の再検討: 断層変位地形と関連したレビューを中心に (口頭)	奥野充, 遠田晋次, 鳥井真之, 川口允孝, 長谷中利昭	国際火山噴火史情報研究会 (2021年度, No. 1)	2021年7月	国内 (リモート)
九州の火山の沈み込みスラブ由来成分: 火山岩のホウ素含有量からの制約 (口頭)	三好雅也, 佐野貴司, 長谷中利昭, 福岡孝昭	国際火山噴火史情報研究会 (2020年度, No. 2)	2021年4月	国内 (リモート)
阿蘇立野火口瀬左岸北山付近の地質と断層 (口頭)	鳥井真之, 長谷中利昭, 下城翔, 奥野充	国際火山噴火史情報研究会 (2020年度, No. 2)	2021年4月	国内 (リモート)
Magma plumbing system of Shinmoedake volcano in Kirishima Volcano Group: Towards a unified understanding from volcanic products analyses and geophysical observations (口頭)	Tajima, Y., Oikawa, J., Kobayashi, T. and Yasuda, A.	AGU Fall meeting	2021年12月	国外 (リモート)

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

発表題目	発表者氏名	雑誌名, 巻, 号,	発表した時期	国内・外の別
角閃石斑晶から探るマグマ溜まりプロセス: 鶴見岳・阿蘇・雲仙火山の例	石橋秀巳, 岩橋くるみ, 安田敦, 諏訪由起子, 長崎志保, 外西奈津美	火山, 66, 119-129	2021	国内
特集「次世代研究者のための火山学講座」	西村太志, 石橋秀巳, 森俊哉, 地引泰人, 中道治久, 齋藤武士, 島野岳人, 吉村俊平, 宮縁育夫	火山, 66, 133-134	2021	国内
福井県メケ脇層崎浦溶結凝灰岩の岩石学的特徴およびK-Ar年代	三好雅也, 堀江麻美, 佐野貴司, 藤井純子	地質学雑誌, 127, 497-503, https://doi.org/10.5575/geosoc.2021.0012	2021	国内
九州の火山の沈み込みスラブ由来成分-火山岩のホウ素含有量からの制約-	三好雅也, 佐野貴司, 長谷中利昭, 福岡孝昭	月刊地球, 43 (通巻503号), 412-418	2021	国内
阿蘇中央火口丘群北西部に分布する玄武岩質噴出物の岩石学的特徴-杵島岳溶岩の再検討-	川口允孝, 平川雄一郎, 長谷中利昭, 森康	月刊地球, 43 (通巻503号), 432-436	2021	国内
南阿蘇村立野に分布する先阿蘇火山岩類の岩石学的特徴	十川翔太, 長谷中利昭, 鳥井真之, 森康, 佐野貴司	月刊地球, 43 (通巻503号), 437-442	2021	国内
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, 67巻, 印刷中	2022	国内
霧島火山, 新燃岳の中・長期のマグマ噴出 活動と供給系-噴出物解析と地球物理観測の統一的理解を目指して-	田島靖久, 及川純, 小林哲夫, 安田敦	火山, , 印刷中	2022	国内
Simultaneous Analysis of Seismic Velocity and Electrical Conductivity in the Crust and the Uppermost Mantle: A Forward Model and Inversion Test Based on Grid Search	Iwamori, H., Ueki, K., Hoshide, T., Sakuma, H., Ichiki, M., Watanabe, T., Nakamura, M., Nakamura, H., Nishizawa, T., Nakao, A., Ogawa, Y., Kuwatani, T., Nagata, K. Okada, T. and Takahashi, E.	Jour. Geophys. Res.: Solid Earth, 126(9), DOI: 10.1029/2021jb022307	2021	国外
Reply to: Hiroaki Sato, Shigeru Suto, Tadahide Ui, Toshitsugu Fujii, Takahiro Yamamoto, Shinji Takarada, Keiichi Sakaguchi "Flowage of the 1991 Unzen lava; discussion to Goto et al. 'Rigid migration of Unzen lava rather than flow', J. Volcanol. Geotherm. Res, 110, 107073. et al. 'Rigid migration of Unzen lava rather than flow', J. Volcanol. Geotherm. Res, 110, 107073	Goto, A., Fukui, K., Hiraga, T., Nishida, Y., Ishibashi, H., Matsushima, T., Miyamoto, T. and Sakai, O.	Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 420, 107384, https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107384	2021	国外

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目「サブテーマ2：噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成」

機関名 国立大学法人 北海道大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所	発表した時期	国内・外の別
		（学会等名）		
日光白根火山における完新世の噴火史再検討（ポスター発表）	草野有紀・石塚吉浩・及川輝樹	日本地球惑星科学連合2021年大会, オンライン	2021年6月3日	国内
蔵王火山最新期の活動における斜長石滞留時間の推定（口頭発表）	佐藤初洋・伴雅雄	日本地球惑星科学連合2021年大会, オンライン	2021年6月3日	国内
若い火山岩試料に対する $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代と感度法K-Ar年代の比較実験（口頭発表）	山崎誠子	日本地球惑星科学連合2021年大会, オンライン	2021年6月4日	国内
鳥海山, 西鳥海カルデラ内噴出物をもたらしたマグマ供給系（ポスター発表）	久次米晃輔・伴雅雄・林信太郎・大場司・佐藤初洋	日本地球惑星科学連合2021年大会, オンライン	2021年6月4日	国内
Discovery of new block and ash flow deposit from Azuma-kofuji volcano, Fukushima, Japan（口頭発表）	長谷川健・鈴木 和馬	JpGU Meeting 2021, Online	2021年6月4日	国内
霧島御鉢1235年噴火の様式と推移—火砕物の分布・形状・組織からの制約—（ポスター発表）	正畑沙耶香・前野深・外西奈津美・安田敦	日本地球惑星科学連合2021年大会, オンライン	2021年6月5日	国内
2019-2020年西之島噴火における噴火様式の劇的な変化（ポスター発表）	前野深・金子隆之・外西奈津美・安田敦・田村芳彦	日本地球惑星科学連合2021年大会, オンライン	2021年6月5日	国内
噴出物組織から推定される浅間火山1783年噴火の噴火様式変化の要因（口頭発表）	水野樹・前野深・安田敦	日本地球惑星科学連合2021年大会, オンライン	2021年6月5日	国内
伊豆大島火山山頂噴火の噴出物組織（ポスター発表）	池永有弥・前野深・安田敦	日本地球惑星科学連合2021年大会, オンライン	2021年6月5日	国内
大規模噴火の噴火推移・前駆活動と大規模噴火データベースの構築（ポスター発表）	宝田晋治・金田泰明・池上郁彦・西野佑紀・下司信夫	日本地球惑星科学連合2021年大会, オンライン	2021年6月6日	国内
南西北海道, 羊蹄火山北麓の尻別川沿いに露出する第四紀凝灰岩層のジルコンU-Pb年代（口頭発表）	上澤真平・伊藤久敏・中川光弘	日本地質学会128年学術大会, 名古屋大学（オンライン開催）	2021年9月4日	国内
安山岩〜デイサイト質火山のマグマ供給系の解明について：岩石学的事例研究（口頭発表）	伴雅雄	日本地質学会128年学術大会, 名古屋大学（オンライン開催）	2021年9月4日	国内
福島県南部, 二岐山火山の噴火史とマグマ供給系（口頭発表）	渡部将太・長谷川健・小畑直也・豊田 新・今山武志	日本地質学会128年学術大会, 名古屋大学（オンライン開催）	2021年9月4日	国内

北海道東部，摩周火山の7.6 ka 噴火：爆発的カルデラ形成過程と Low aspect ratio ignimbrite の発生（ポスター発表）	長谷川健・柴田翔平・小林哲夫・望月伸竜・中川光弘・岸本博志	日本地質学会128年学術大会, 名古屋大学（オンライン開催）	2021年9月4日	国内
The Relationship between the Unidentified Ash Fall Layer Just under Kuju D Ash Layer and 54 ka Eruption at Kuju Volcano in Japan（ポスター発表）	Masashi Fukuoka, Takehiro Ohta and Tomohiro Tsuji	5th International Workshop on Rock Mechanics and Engineering Geology in Volcanic Fields (RMEGV2021).	2021年9月9日	国際
Variation of Petrological Features Caused by Style of Eruption in the Western Volcanic Chain of the Aonoyama Volcano Group, Southwestern Japan（ポスター発表）	Daichi Okazawa and Takehiro Ohta	5th International Workshop on Rock Mechanics and Engineering Geology in Volcanic Fields (RMEGV2021), Fukuoka	2021年9月9日	国際
Estimation of Groundwater Quality forming Mechanism in Kuju Volcano based on Principal Component Analysis and Stable Isotope Ratios（ポスター発表）	Yuka Kubo, Takehiro Ohta and Chihiro Kawakami	5th International Workshop on Rock Mechanics and Engineering Geology in Volcanic Fields (RMEGV2021).	2021年9月10日	国際
北西インドNidarオフィオライト層火成岩類の岩石学的・地球化学的研究（口頭発表）	佐藤成修・今山武志・Dutta Dripta・金田泰明・渡部将太・長谷川健・南 雅代・若杉勇輝・若木重行	日本鉱物科学会2021年年会, 広島（オンライン開催）	2021年9月16日	国内
鳥海火山2,500年前に発生した象潟岩屑なだれ以降の爆発的噴火活動（口頭発表）	遠藤雅宏・大場司・小泉喜裕・伴雅雄・井村匠・南裕介・中川光弘	日本火山学会2021年秋季大会	2021年10月11日	国内
九重火山におけるKj-Yと54ka噴火の本質物質の比較	福岡仁至, 太田岳洋, 辻智大	日本応用地質学会令和3年度研究発表会	2021年10月14日	国内
草津白根火山，白根火砕丘群の形成史	沼田和佳子・石崎泰男	日本火山学会2021年秋季大会, 仙台（オンライン開催）	2021年10月20日	国内
岩石学的にみた富士火山大室噴火のマグマ供給系（ポスター発表）	遠藤公喜・石崎泰男・吉本充宏	日本火山学会2021年秋季大会, 仙台（オンライン開催）	2021年10月20日	国内
鷺羽池火山周辺に分布する橙白色テフラの産状と ¹⁴ C年代（序報）（口頭発表）	石崎泰男・沼田和佳子・遠藤公喜・増渕佳子	日本火山学会2021年秋季大会, 仙台（オンライン開催）	2021年10月20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（口頭発表）	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	日本火山学会2021年秋季大会, 仙台（オンライン開催）	2021年10月20日	国内
阿蘇カルデラ期火山活動に見られる高 ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr比火山について（ポスター発表）	新村太郎・荒川洋二・森康	日本火山学会2021年秋季大会, 仙台（オンライン開催）	2021年10月20日	国内
恵山火山地質図（ポスター発表）	三浦大助・古川竜太・荒井健一	日本火山学会2021年秋季大会, 仙台（オンライン開催）	2021年10月20日	国内
東北日本，吾妻火山，大穴ユニットの岩石学的特徴（ポスター発表）	菅野舜・伴雅雄・佐藤初洋	日本火山学会2021年秋季大会, 仙台（オンライン開催）	2021年10月20日	国内

鳥海火山2,500年前に発生した象潟岩屑なだれ以降の爆発的噴火活動（口頭発表）	遠藤雅宏・大場司・小泉喜裕・伴雅雄・井村匠・南裕介・中川光弘	日本火山学会2021年秋季大会，仙台（オンライン開催）	2021年10月20日	国内
濁川火山における後カルデラ活動の再評価（口頭発表）	金田泰明・長谷川健	日本火山学会2021年秋季大会，仙台（オンライン開催）	2021年10月20日	国内
ニュージーランド，タウポ噴火の古地磁気年代測定．日本火山学会講演予稿集2021（口頭発表）	長谷川健, Greve, A., Gravley, D.M., 楠稚枝, 岡田誠, Kósik, S., 望月伸竜, 金田泰明	日本火山学会2021年秋季大会，仙台（オンライン開催）	2021年10月20日	国内
三宅島火山，4.0～2.5 ka 噴出物の層序と岩石学的特徴：静穏期から活動期へのマグマ供給系の進化プロセス（口頭発表）	渡部将太, 長谷川 健, 及川輝樹, 下司信夫	日本火山学会2021年秋季大会，仙台（オンライン開催）	2021年10月20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（口頭発表）	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	日本火山学会2021年秋季大会，仙台（オンライン開催）	2021年10月21日	国内
阿蘇後カルデラ期火山活動に見られる高 87 Sr/ 86Sr 比 火山岩について（ポスター発表）	新村太郎・荒川洋二・森 康	日本火山学会2021年秋季大会，仙台（オンライン開催）	2021年10月21日	国内
始良カルデラ入戸火砕流堆積物分布図（口頭発表）	宝田晋治・西原歩・星住英夫・山崎雅・金田泰明・下司信夫	日本火山学会2021年秋季大会，仙台（オンライン開催）	2021年10月21日	国内
大規模噴火データベース・噴火推移データベースと短期的・中長期的前駆活動の傾向（ポスター発表）	金田泰明・池上郁彦・宝田晋治・下司信夫	日本火山学会2021年秋季大会，仙台（オンライン開催）	2021年10月21日	国内
新期御嶽火山溶岩の40Ar/39Ar年代測定（ポスター発表）	山崎誠子・及川輝樹・Daniel Miggins・Anthony Koppers	日本火山学会2021年秋季大会，仙台（オンライン開催）	2021年10月21日	国内
小笠原諸島，福岡ノ場における2021年8月の噴火（ポスター発表）	及川輝樹・柳澤宏彰・池上郁彦・石塚 治・水落裕樹・東宮昭彦・森田雅明・中野 俊・川口亮平・中村政道	日本火山学会2021年秋季大会，仙台（オンライン開催）	2021年10月21日	国内
新期御嶽火山溶岩の40Ar/39Ar年代測定（ポスター発表）	山崎誠子・及川輝樹・Daniel Miggins, Anthony Koppers	日本火山学会2021年秋季大会，仙台（オンライン開催）	2021年10月21日	国内
大規模噴火データベース・噴火推移データベースと短期的・中長期的前駆活動の傾向．日本火山学会講演予稿集2021（ポスター発表）	金田泰明・池上郁彦・宝田晋治・下司信夫	日本火山学会2021年秋季大会，仙台（オンライン開催）	2021年10月21日	国内
Paleomagnetic Estimations of the Duration and Age of the Taupō Eruption, New Zealand（口頭発表）	Hasegawa, T., Greve, A., Gravley, D.M., Kusu, C., Okada, M., Kósik, S., Mochizuki, N., Kaneda, Y.	AGU Fall meeting 2021, New Orleans & Online	2021年12月14日	国際
蔵王山、先五色岳テフラの層序学的研究（口頭発表）	神秀登・伴雅雄・井村匠・常松佳恵	R3東北地域災害科学研究集会，リモート	2021年12月17日	国内
蔵王火山東麓におけるテフラ層序学的研究（口頭発表）	高橋由路・伴雅雄	R3東北地域災害科学研究集会，リモート	2021年12月17日	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所	発表した時期	国内・外の別
		（学会誌・雑誌等名）		
那須火山群の熱ルミ ネッ センス 年代	長谷川 健, 渡部将太, 小畑直也, 豊田 新	岡山理科大学古生物学・年代学研究センター事業報告, 1, p.55.	2021年4月1日	国内
大規模火砕噴火推移時系列データ集 その2	下司信夫・池上郁彦・西原 歩	地質調査総合センター研究資料集 722号	2021年4月8日	国内
日光白根火山の噴火記録集	及川輝樹	地質調査総合センター研究資料集、no. 723	2021年4月12日	国内
The Temporal Variation of Magma Plumbing System of the Kattadake Pyroclastics in the Zao Volcano, Northeastern Japan	Takebe, M., Ban, M., Sato, M.	Minerals, 11(4), 430	2021年4月14日	国際
Lithostratigraphy and geochemistry of Aojiki volcano and Sumiyoshiike and Yonemaru maars, Kamo Volcanic Field (Southern Kyushu), Japan	Nche, L.A, Hasegawa, T., Aka, F.T., Kobayashi, T., Nemeth, K., Asaah, A.N.E., Kaneda, Y., Nishihara, A., Etakah, B-T.E, Lebga, A.K., Tiabou, A.F., Ngwa, C.N., Suh, C.E.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 412, 107170	2021年4月30日	国際
ヤチカンバ花粉の識別と北海道東部の西別湿原における6500年前以降の植生史	吉川昌伸・鈴木三男・佐藤雅俊・小林和貴・長谷川健・吉川純子・戸田博史	植生史研究, 29, 37-52.	2021年4月30日	国内
Mush, melts and metasediments: a history of rhyolites from the Okataina Volcanic Centre, New Zealand, as captured in plagioclase	Sas, M., Shane, P., Kuritani, T., Zellmer, G. F., Kent, A. J. R. and Nakagawa, M.	Journal of Petrology, 62, 8, 1-26	2021年5月1日	国際
宮崎平野で認められた7.3 ka 津波堆積物および鬼界アカホヤ火山灰降灰前後の古環境変化	七山太・前野深・中西利典・杉山真二・桑畑光博	月刊地球 号外, 70, 76-88	2021年5月1日	国内
Chlorine heterogeneity in volcanic glass as a faithful record of silicic magma degassing	S.Yoshimura, M.Nakagawa	Journal of Geophysical Research, 126, e2020JB021195, pp.1-24	2021年5月11日	国際
Reconstruction of the exhumation history of the eastern Nepal Himalaya based on provenance changes	Rai, L. K., Yoshida, K. and Kuritani, T.	Sedimentary Geology, 420, 105920	2021年7月1日	国際
Total mass estimate of the January 23, 2018, phreatic eruption of Kusatsu-Shirane Volcano, central Japan	Kametani, N., Ishizaki, Y., Yoshimoto, M., Maeno, F., Terada, A., Furukawa, R., Honda, R., Ishizuka, Y., Komori, J., Nagai, M. and Takarada, S.	Earth Planets Space, 73, 141, doi:10.1186/s40623-021-01468-3	2021年7月8日	国際

Geologic and petrologic evolution of subvolcanic hydrothermal system: a case on pyroclastic deposits since the 1331 AD eruption at Azuma-Jododaira volcano, central Fukushima, North-Eastern Japan	Imura, T., Ohba, T., and Horikoshi, K.	Journal of volcanology and geothermal research, 416, 107274. doi:10.1016/j.jvolgeores.2021.107274	2021年7月10日	国際
Magnetization structure of Nishinoshima volcano, Ogasawara island arc, obtained from magnetic surveys using an unmanned aerial vehicle	Tada, N., Ichihara, H., Nakano, M., Utsugi, M., Koyama, T., Kuwatani, T., Baba, K., Maeno, F., Takagi, A. and Takeo, M.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 419, 107349, doi:10.1016/j.jvolgeores.2021.107349	2021年7月19日	国際
産総研地質調査総合センターの火山データベース	宝田晋治・金田泰明・池上郁彦・松本恵子・西野佑紀・下司信夫・川邊禎久・中野俊・星住英夫・石塚吉浩・工藤崇・及川輝樹・古川竜太	Proceedings of the International Meeting on Eruptive History and Informatics 2021, 97-103	2021年7月20日	国内
阿蘇火山中岳で発生した2015年9月14日の爆発的噴火	宮縁育夫・飯塚義之・原千穂子・横尾亮彦・大倉敬宏	月刊地球, 43, 425-431	2021年8月1日	国内
九重火山54ka噴火の前駆的な活動によるテフラの特徴	福岡仁至・太田岳洋・辻智大	月刊地球, 43, 8, 443-449	2021年8月1日	国内
Conditions of magma generation at the Me-akan volcano, northern Japan	Kuritani, T., Sato, E., Wada, K., Matsumoto, A., Nakagawa, M., Zhao, D., Shimizu, K. and Ushikubo, T.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 417, 107323. doi:10.1016/j.jvolgeores.2021.107323	2021年9月1日	国際
Tracing the subducting Pacific slab to the mantle transition zone with hydrogen isotopes	Kuritani, T., Shimizu, K., Ushikubo, T., Xia, Q.-K., Liu, J., Nakagawa, M., Taniuchi, H., Sato, E. and Doi, N.	Scientific Reports, 11, 18755	2021年9月21日	国際
阿蘇火山中岳第1火口における2019～2020年マグマ噴火の先駆活動ー2019年5月3日～5日噴火を含む火山活動の特徴ー	宮縁育夫・飯塚義之・遠入楓大・大倉敬宏	火山, 66, 157-169	2021年9月30日	国内
古地磁気・岩石磁気学的手法を用いた阿蘇火山中岳火口周辺域の完新世噴出物の分類と噴火年代の再検討	穴井千里・宮縁育夫・宇津木充・吉川慎・望月伸竜・渋谷秀敏・大倉敬宏	火山, 66, 171-186	2021年9月30日	国内
北海道東部、摩周火山の7.6 ka カルデラ形成噴火過程：地質学・岩石学・古地磁気学的手法による高分解能推移復元とLow aspect ratio ignimbrite (LARI) の認定	長谷川健・柴田翔平・小林哲夫・望月伸竜・中川光弘・岸本博志	火山, 66, 187-210	2021年9月30日	国内
雌阿寒岳火山ボンマチネシリにおける過去1000年間の火山活動史	南裕介・中川光弘・佐藤鋭一・和田恵治・石塚吉浩	火山, 66, 211-227.	2021年9月30日	国内

Lead concentrations and isotope ratios in blood, breastmilk and feces: contribution of both lactation and soil/dust exposure to infants in a lead mining area, Kabwe, Zambia	Toyomaki, H., Yabe, J., Nakayama, S. M. M., Yohannes, Y. B., Muzandu, K., Mufune, T., Nakata, H., Ikenaka, Y., Kuritani, T., Nakagawa, M., Choongo, K. and Ishizuka, M.	Environmetal Pollution, 286, 117456	2021年10月1日	国際
A tephra-based approach to calibrating relative geomagnetic paleointensity stacks to absolute values	Mochizuki, N., Fujii, S., Hasegawa, T., Yamamoto, Y., Hatakeyama, T., Yamashita, D.	Earth and Planetary Science Letters, 572, 117119	2021年10月15日	国際
Highly variable H ₂ O/Ce ratios in the Hainan mantle plume	Wang, P.-Y., Gu, X.-Y., Kuritani, T., Hanski, E. and Xia, Q.-K.	Lithos, 406-407, 106516	2021年10月26日	国際
屈斜路・三瓶・鬼界・十和田・鬱陵島・白頭山火山の大規模噴火の前駆活動と噴火推移	金田泰明・宝田晋治・下司信夫	産総研地質調査総合センター研究資料集, no.728, 産総研地質調査総合センター, 100p	2021年10月26日	国内
High- μ signature in lavas of Mt. Oku: implications for lithospheric and asthenospheric contributions to the magmatism of the Cameroon Volcanic Line (West Africa)	Asaah, A. N. E., Yokoyama, T., Iwamori, H., Aka, F. T., Kuritani, T., Usui, T., Tamen, J., Gountie Dedzo, M., Chako-Tchamabe, B., Hasegawa, T., Nche, L. A. and Ohba, T.	Lithos, 400-401, 106416	2021年11月1日	国際
火山灰中の鉱物からみた水蒸気噴火のメカニズム	大場司・井村匠・南裕介・シャレザサイディナアンカサ	地学雑誌, 130(6), 797-809	2021年12月1日	国内
Na/K diversity of primary basaltic magmas induced by the separation of slab-derived supercritical liquid: Implications from alkali basaltic lavas from Rishiri Volcano, southern Kuril Arc	Taniuchi, H., Kuritani, T. and Nakagawa, M.	Journal of Petrology, 62, 12, 1-22	2021年12月2日	国際
SPTを用いた重液分離の一例: K-Ar年代測定のための火山岩石基試料の分離	藤原寛・山崎誠子・永塚弘樹	地質学雑誌, 127, 727-732. doi:10.5575/geosoc.2021.0032	2021年12月15日	国内
Intermittent growth of a newly-born volcanic island and its feeding system revealed by geological and geochemical monitoring 2013-2020, Nishinoshima, Ogasawara, Japan	Maeno, F., Yasuda, A., Hokanishi, N., Kaneko, T., Tamura, Y., Yoshimoto, M., Nakano, S., Takagi, A., Takeo, M. and Nakada, S.	Frontiers in Earth Science, 9, 773819, doi:10.3389/feart.2021.773819	2021年12月24日	国際
北海道中央部, 十勝岳火山群, ヌッカクシ火口域の活動史	松本亜希子・中川光弘・小林卓也・石塚吉浩	火山, 66, 255-279	2021年12月31日	国内
降下火砕堆積物層序に基づく浅間前掛火山の高分解能噴火履歴復元	安井真也・高橋正樹・金丸龍夫・長井雅史 (2021)	火山, 66, 293-325	2021年12月31日	国内
日光白根火山1649年噴火の復元	草野有紀・及川輝樹・石塚吉浩	火山, 66, 327-346.	2021年12月31日	国内

Compositional variation of picrites in the Emeishan large igneous province modulated by water in the mantle plume	Liu, J., Xia, Q. -K., Sun, H., Hanski, E., Kuritani, T., Gu, X.-Y. and Chen, H.	Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 127, e2021JB023584.	2022年1月6日	国際
No evidence for tephra in Greenland from the historic eruption of Vesuvius in 79 CE: Implications for geochronology and paleoclimatology	Plunkett, G., Sigl, M., Schwaiger, H.F., Tomlinson, E., Toohey, M., McConnell, J.R., Pilcher, J.R., Hasegawa, T., Siebe, C.	Climate of the Past, 18, 45-65	2022年1月18日	国際
始良カルデラ入戸火砕流堆積物分布図	宝田晋治・西原 歩・星住英夫・山崎 雅・金田泰明・下司信夫	地質調査総合センター大規模火砕流分布図, no.1, 産総研地質調査総合センター.	2022年1月27日	国内
Influence of hydrothermal recharge on the evolution of eruption styles and hazards during the 2018-2019 activity at Kuchinoerabujima Volcano, Japan	Minami Y., Matsumoto K., Geshi N., Shinohara H.	Earth Planets Space, 74, 21, doi:10.1186/s40623-022-01580-y	2022年1月30日	国際
Episode 4 (2019–2020) Nishinoshima activity: abrupt transitions in the eruptive style observed by image datasets from multiple satellites	Kaneko, T., Maeno, F., Ichihara, M., Yasuda, A., Ohminato, T., Nogami, K., Nakada, S., Honda, Y. and Murakami, H.	Earth Planets Space, 74, 34, doi:10.1186/s40623-022-01578-6	2022年2月22日	国際
Olivine Melt Inclusion Constraints on Some Intensive Properties of Subvolcanic Crystal Mushes and their Evolution through Boundary Layer Fractionation in Northern Japan	Brahm, R., Zellmer, G. F., Kuritani, T., Sakamoto, N., Yurimoto, H., Nakagawa, M. and Sato, E.	Journal of Petrology, egac016	2022年3月2日	国際
Water enrichment in the mid-ocean ridge by recycling of mantle wedge residue	Liu, J., Tao, C., Zhou, J., Shimizu, K., Li, W., Liang, J., Liao, S., Kuritani, T., Deloule, E., Ushikubo, T., Nakagawa, M., Yang, W., Zhang, G., Liu, Y., Zhu, C., Sun, H. and Zhou, J.	Earth and Planetary Science Letters, 584, 117455.	2022年3月14日	国際
恵山火山地質図	三浦大助・古川竜太・荒井健一	地質調査総合センター, 火山地質図, No.21.	2022年3月25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., 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

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
An analysis of sedimentation processes in pyroclastic density currents based on a two-layer depth-averaged model (口頭, 招待あり)	Shimizu, H. A., Koyaguchi, T., and Suzuki, Y. J.	JpGU Meeting 2021	2021年6月	国内
マグマ噴火・マグマ水蒸気噴火による大規模火砕流の到達距離: 二層重力流モデルによる数値シミュレーション (口頭)	志水宏行・小屋口剛博・鈴木雄治郎	日本地球惑星科学連合2021年大会	2021年6月	国内
プラグ形成を伴う火道流のダイナミクスが噴火前の地殻変動過程に与える効果 (口頭)	小園誠史・松野千裕	日本地球惑星科学連合2021年大会	2021年6月	国内
境界要素法による火山周辺の地殻変動計算システムの開発 (2) (ポスター)	川口亮平	日本地球惑星科学連合2021年大会	2021年6月	国内
火砕物供給関数の推定に向けて: 火砕物の到達高度 (口頭)	鈴木雄治郎	日本火山学会2021年秋季大会	2021年10月	国内
阿蘇中岳2021年10月20日噴火の3次元数値シミュレーション (口頭)	鈴木雄治郎	日本火山学会2021年秋季大会	2021年10月	国内
気象庁の火山灰予測業務で用いる一次元噴煙モデルの開発 (口頭)	石井憲介・西條祥・小屋口剛博	日本火山学会2021年秋季大会	2021年10月	国内
非球形粒子の抵抗係数に関する理論の二次元ビデオディストロメーターによる降灰観測への応用について (口頭)	佐藤英一・瀧下恒星・井口正人	日本火山学会2021年秋季大会	2021年10月	国内
浅間山天明噴火における鎌原火砕流・岩屑なだれの発生機構 (口頭)	清藤大河・常松佳恵・青木陽介	日本火山学会2021年秋季大会	2021年10月	国内
マグマ破砕条件に基づく火道内マグマ物性への制約—2011年霧島山新燃岳噴火への適用— (ポスター)	小園誠史・奥村聡	日本火山学会2021年秋季大会	2021年10月	国内
玄武岩質マグマでの減圧結晶化実験の新技术 (ポスター)	松本一久・奥村聡・中谷貴之・鈴木敏弘・東宮昭彦・宮下明典・石橋秀已	日本火山学会2021年秋季大会	2021年10月	国内
石基輝石の晶相に基づく桜島大正噴火のマグマ火道上昇履歴の制約 (ポスター)	奥村翔太・奥村聡・三宅亮	日本火山学会2021年秋季大会	2021年10月	国内
マグマ上昇に伴う地殻変動の時間変化のシミュレーション (ポスター)	川口亮平	日本火山学会2021年秋季大会	2021年10月	国内
ハウスドルフ距離を用いた火山岩塊のインバージョン解析手法 (ポスター)	常松佳恵	日本火山学会2021年秋季大会	2021年10月	国内
faSavageHutterFOAMによる雲仙1991年6月3日火砕流の数値シミュレーション (ポスター)	志水宏行	日本火山学会2021年秋季大会	2021年10月	国内
重力流の浅水波理論と実験に基づく火砕流ダイナミクスの二層数値モデルの開発 (口頭)	志水宏行・小屋口剛博・鈴木雄治郎	分野横断型研究集会「地球表層における重力流のダイナミクス」2021	2021年11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
The dynamics of dual-magma-chamber system during volcanic eruptions inferred from physical modeling (論文)	Kozono, T.	Earth, Planets and Space 73:103	2021年5月	国外
Measurement of Aerodynamic Characteristics Using Cinder Models through Free Fall Experiment	Meizumi Eiji, Takashi Maruyama, Kansuke Sasaki, Minoru Inoue, Masato Iguchi, Eisuke Fujita	Atmosphere	2021年5月	国外
Automatic onsite imaging of volcanic ash particles with VOLCAT: Towards quasi-real-time eruption style monitoring (論文)	Miwa, T., Geshi, N., Ito, J., Tanada, T., and Iguchi, M.	Journal of Volcanology and Geothermal Research	2021年8月	国外
火道流モデリングの基礎 (解説・紹介)	小園誠史	火山 66(3) 135 - 146	2021年9月	国内
Validation of a two-layer depth-averaged model by comparison with an experimental dilute stratified pyroclastic density current (論文)	Shimizu, H. A., Koyaguchi, T., Suzuki, Y. J., Brosch, E., Lube, G., and Cerminara, M.	Bulletin of Volcanology	2021年10月	国外
Crisis hazard assessment for snow-related lahars from an unforeseen new vent eruption: the 2018 eruption of Kusatsu-Shirane volcano, Japan (論文)	Kataoka, K. S., Tsunematsu, K., Matsumoto, T., Urabe, A., Kawashima, K.	Earth, Planets and Space	2021年11月	国外

Increment in the volcanic unrest and number of eruptions after the 2012 large earthquakes sequence in Central America	Gino Gonzalez, Eisuke Fujita, Bunichiro Shibazaki, Takumi Hayashida, Giovanni Olivetti, E. L. ...	Scientific Reports	2021年12月	国外
蔵王火山1895年噴火における投出岩塊の噴出条件の推定 (講演予稿集)	杉下七海・常松佳恵・伴雅雄・佐々木寿	日本火山学会講演予稿集	2022年3月	国内
雪崩動力学シミュレータfaSavageHutterFOAMの紹介と導入 (解説論文)	田邊章洋・志水宏行	雪氷	Accepted	国内

(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。

参考資料：その他実績

委託業務題目「サブテーマ2：噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成」

機関名 国立大学法人 北海道大学

1. マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果	対応者氏名	報道・掲載機関	発表時期	国際・国内の別
		(新聞名・TV名)		
長野県大町市硫黄沢の噴気活動についてのコメント	及川輝樹	信濃毎日新聞	2021年9月22日	国内
西之島に関する取材「目のあたりにした火山島の誕生-西之島ができていくプロセスを目撃できる幸運」	前野深	講談社ブルーバックスWeb版	2021年10月3日	国内
「もし富士山が噴火したら？被害拡大「軽石」関東に漂着は？」出演	及川輝樹	BS日テレ「深層News」	2021年11月4日	国内
福德岡ノ場の漂着軽石についてのコメント	及川輝樹	テレビ朝日「サンデーLIVE!!」	2021年11月7日	国内
小笠原諸島の海底火山の噴火およびその結果生成した軽石についての出演解説	及川輝樹	TBSラジオ「荻上チキ・Session」	2021年11月8日	国内
福德岡ノ場の漂着軽石についてのコメント	及川輝樹	テレビ朝日「グッドモーニング」	2021年11月11日	国内
福德岡ノ場の漂着軽石についてのコメント	及川輝樹	NHK「首都圏ネットワーク」	2021年11月22日	国内
福德岡ノ場の漂着軽石についてのコメント	及川輝樹	NHK「ニュース7」	2021年11月23日	国内
伊豆大島の火山活動についてコメント	川邊禎久	NHK「首都圏ネットワーク」	2021年11月24日	国内
福德岡ノ場の漂着軽石についてのコメント	及川輝樹	テレビ朝日「ANNニュース」	2021年11月27日	国内
西之島に関する取材「ただいま成長中の小笠原・西之島へ上陸！噴出したての岩石から見えてきた噴火活動の物語」	前野深	講談社ブルーバックスWeb版	2021年12月6日	国内
福德岡ノ場の漂着軽石についての主演コメント	及川輝樹	NHKラジオ第1「Nらじ」	2021年12月12日	国内
「現場にアタック！」のコーナーにて、福德岡ノ場の漂着軽石の解説と影響についてコメント	及川輝樹	TBSラジオ「森本毅郎・スタンバイ！」	2021年12月13日	国内
洞爺湖有珠山火山マイスター養成講座についての取材	中川光弘	室蘭日報	2021年12月14日	国内
洞爺湖有珠山火山マイスター養成講座についての取材	中川光弘	北海道新聞	2021年12月14日	国内
Web連載による発信「〈海城火山の爆発的噴火〉津波、軽石、大気波動…広範囲への影響で注目 派手な噴火と短命な島だった福德岡ノ場」	前野深	講談社ブルーバックスWeb版	2022年2月21日	国内

2. 講演会等の普及活動

発表題目・活動内容	発表者氏名	講演会・展示名	開催時期	国際・国内の別
蔵王火山について	伴雅雄	蔵王自然の家主催「めざせ！蔵王マイスター」第1回講演会，蔵王町	2021年6月12日	国内

鳥海山の地質と地形の特徴について	林信太郎	鳥海山・飛島ジオパークガイド養成講座	2021年6月12日	国内
弥陀ヶ原火山地獄谷の火山活動の状況と 見逃されていた活火山“鷺羽池”	石崎泰男	富山市民大学、富山市	2021年6月17日	国内
鳥海山フィールドワーク	林信太郎	鳥海山・飛島ジオパークガイド養成講座	2021年7月10日	国内
太平中学校と火山の不思議な関係ー巨大噴火と火山の化石	林信太郎	秋田理系プロジェクト	2021年7月17日	国内
こんなにすごい、日本の火山ーマグマの恵みと災害とー	林信太郎	シンポジウム箱根火山と共に生きる	2021年9月16日	国内
十勝岳ジオパークの火山と水	佐藤鋭一	十勝岳ジオパークサポーター養成講座	2021年10月3日	国内
秋田焼山の火山活動	南裕介	十和田八幡平国立公園八幡平ビジターセンターガイド研修	2021年10月17日	国内
伊豆大島火山と伊豆孤の火山	川邊禎久	伊豆大島ジオパーク講座	2021年10月17日	国内
火山噴火により変化する西之島の自然 地質編	前野深	かわさき市民アカデミー「新しい科学の世界I」講座、川崎市	2021年10月19日	国内
活火山十勝岳の噴火の歴史を探る	佐藤鋭一	十勝岳防災学習教室（美馬牛中学校2年生対象）	2021年11月8日	国内
大規模噴火はどのようにはじまり進行するか：地質学的事例研究から見る噴火推移パターンの多様性	下司信夫	第34回地質調査総合センターシンポジウム	2021年11月12日	国内
火山噴火履歴調査と火山活動の時空間分布把握のためのK-Ar, Ar/Ar年代測定の高精度化・高効率化	古川竜太	第34回地質調査総合センターシンポジウム	2021年11月12日	国内
Unpredictable Hazardous Volcanic Activities in Japan, Indonesia, and Elsewhere	Tsukasa Ohba	5th International Conference of Geological Engineering Faculty Universitas Padjadjaran	2021年11月17日	国際
活火山十勝岳の噴火の歴史を探る	佐藤鋭一	十勝岳防災学習教室（美瑛中学校1年生対象）	2021年11月28日	国内
蔵王の活動の歴史	伴雅雄	東沢古道保存会講演会、山形市	2021年11月29日	国内
蔵王火山・青麻山の成り立ち	伴雅雄	蔵王町主催「蔵王の達人講座」第1回、蔵王町	2021年12月4日	国内
鳥海火山の噴火活動	大場 司	鳥海山・飛島ジオパーク、ジオパークガイド養成講座	2021年12月5日	国内
支笏ー洞爺火山地域の噴火史	中川光弘	洞爺湖有珠山火山マイスター養成講座（洞爺湖有珠山ジオパーク主催）	2021年12月11日	国内
やんちゃな火山・浅間山	安井真也	教養講座	2021年12月11日	国内
火山を知り、火山とともに生きる ～地域の防災力を高めて、明日に備える～	安井真也	2021火山砂防フォーラム	2021年12月16日	国内

安山岩火山の大規模噴火推移パターンと桜島の大規模噴火	下司信夫	2021年度桜島大規模噴火総合研究グループ研究集会	2021年12月21日	国内
蔵王火山・青麻山の成り立ち	伴雅雄	蔵王町主催「蔵王の魅力発見フォーラム」, 蔵王町	2021年12月25日	国内
海底火山噴火と漂流軽石による問題	及川輝樹	第14回マリンハザード研究集会	2022年1月20日	国内
海域（島嶼）火山の活動とそれに伴う災害①大規模山体崩壊	石塚治	第13回サイエンスカフェ（地震・火山噴火予知研究協議会・地震研共催）	2022年2月8日	国内
サイエンスカフェ：海域火山	前野深	東京大学地震研究所「懇談の場」	2022年2月8日	国内
浅間山大規模噴火と小諸市	高橋正樹	令和3年度小諸市火山防災講演会 Youtube	2022年2月22日	国内
活火山蔵王山と噴火・ジオサイト	伴雅雄	蔵王高等学校 基礎学習授業	2022年3月14日	国内

3. 防災貢献

提出資料	対応者氏名	提供先	発表時期	国際・国内の別
西之島2019-2020年噴出物の化学組成（資料提出）	東大地震研	第148回火山噴火予知連絡会	2021年6月30日	国内
蔵王山及び青麻山解説看板「御釜、刈田岳、大黒天、青麻山」監修	伴雅雄	蔵王町	2021年10月～2022年3月	国内
西之島における2013年以降の噴出物の化学組成変化（資料提出）	東大地震研	第149回火山噴火予知連絡会	2021年12月27日	国内
福德岡ノ場火山2021年8月13-15日噴出物の化学組成（資料提出）	東大地震研	第149回火山噴火予知連絡会	2021年12月27日	国内
福德岡ノ場，2021年8月13-15日の活動と噴出物量の推定	産総研	第149回火山噴火予知連絡会	2021年12月27日	国内
西之島，2021年11月25日の活動	産総研	第149回火山噴火予知連絡会	2021年12月27日	国内
福德岡ノ場，2021年8月噴火の軽石	産総研	第149回火山噴火予知連絡会	2021年12月27日	国内
2021年10月阿蘇中岳噴出物の構成粒子の特徴	産総研	第149回火山噴火予知連絡会	2021年12月27日	国内
阿蘇火山中岳2021年10月20日噴火に伴う火山灰の分布と量（資料提出）	熊本大・防災科研・産総研	第149回火山噴火予知連絡会	2021年12月27日	国内
阿蘇火山中岳2021年10月14日噴出物の分布と特徴（資料提出）	熊本大・京都大	第149回火山噴火予知連絡会	2021年12月27日	国内