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７年度
成果報告書

令和８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7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7年度「課題C：火山噴火の予測技術の開発」の成果を取りまとめたものです。

グラビア



写真 1　霧島連携研究、マグマ供給系モデルと噴火シナリオ見直し WS の様子。

はじめに

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

火山観測・研究の歴史は火山活動の時間スケールに比べると明らかに短く、多くの火山での噴火事例の観測データが不足しているのが現状である。そのため個々の火山において、将来の噴火やその推移を予測することは難しい。さらに地球物理学的観測では、現在のマグマの蓄積や移動についての情報を得ることはできるが、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、本事業最終年度にあたる令和 7 年度の成果を報告する。令和 7 年度は本事業での成果のとりまとめや社会実装や将来的な研究展開を見据えた研究を推進した。その結果として、サブ課題 C1 では噴火分岐の予測のための「鍵」について、より迅速に解

析できる環境を構築するとともに、新たな予測手法を試行した。サブ課題 C2 では達成目標であるマグマ噴出量階段図・噴火事象系統樹について、代表的な活火山での試作・公表に取り組んだ。サブ課題 C3 では、次期プロジェクトを見据え、火道流モデル解析環境の整備やマグマ移動過程シミュレーションのプログラム強化、火山ハザード評価システムの整備を行った。これらの成果に加えて、霧島火山を対象とした課題間連携研究についても、年度内に霧島新燃岳の噴火活動があったため、コアメンバーによる「マグマ供給系・噴火シナリオ見直し WS」を開催し、連携研究の今後の展開について議論した。

令和 7 年度の研究成果・活動報告に加え、事業期間全体における研究成果を総合して、課題 C では本事業 10 年間を通して順調に研究を進めることができたと判断している。本事業で得られた成果と今後の課題が、次期プロジェクトで引き継がれ、更なる研究の発展に繋がることを期待する次第である。

目次
グラビア
はじめに

１．　研究概要の説明 1
(1) 研究者別の概要 2
(a) サブテーマ 1 2
(b) サブテーマ 2 5
(c) サブテーマ 3 11
(2) 研究実施日程 13
(a) サブテーマ 1 13
(b) サブテーマ 2 14
(c) サブテーマ 3 14

２．　研究成果の説明 16

２．１ 火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発 16
(1) 業務の内容 16
(a) 業務題目 16
(b) 担当者 16
(c) 業務の目的 17
(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約） 17
(e) 令和 7 年度における業務の方法 19
(2) 令和 7 年度の成果 21
(a) 業務の要約 21
(b) 業務の成果 21
(c) 結論 42
(d) 引用文献 43
(e) 成果の論文発表・口頭発表等 48
(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定 48
(3) 事業期間全体の代表的な成果 50
(a) 火山噴出物分析・解析プラットホームの立ち上げ（東京大学） 50
(b) 噴火予測の鍵のとりまとめ（東京大学） 51
(c) 噴火予測手法の提案（東京大学） 52
(d) 苦鉄質火山の地下に隠れた珪長質マグマの検出（静岡大学） 54
(e) H_2O 飽和斜長石リキダス含水量計の信頼性の確認・伊豆大島への適用(静岡大学) 55
(f) 火山灰試料の即時分析システムの構築（鹿児島大学） 56
(g) 諏訪之瀬島火山のマグマ供給系時間発展の解明（鹿児島大学） 57
(h) 桜島火山歴史時代大規模噴火の前駆過程（東北大学） 58
(i) 桜島火山直下でのマグマ結晶化速度（東北大学） 60

(j) 榛名火山のマッシュ状珪長質マグマの時代変化と苦鉄質マグマ供給による噴火多様性の形成（早稲田大学） 61
(k) 新燃岳享保噴火における噴火イベントの識別とマッシュ状マグマ噴出過程の時間発展（早稲田大学） 62
(l) 阿蘇火山の 2 種類の火山ガス組成に対応した地下浅部と深部の玄武岩質マグマ溜まり（福岡大学、熊本大学） 63
(m) 噴火事象分岐判断手法 -有珠火山と雲仙火山の比較に基づくモデル化-（産業技術総合研究所） 64
(n) 小規模噴火に対する成果 -熱源進化に基づく早期警戒可能性-（産業技術総合研究所） 65
(o) 巨大噴火に対する成果 -防災の盲点への新たなアプローチ-（産業技術総合研究所） 66

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 67
(1) 業務の内容 67
(a) 業務題目 67
(b) 担当者 67
(c) 業務の目的 68
(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約） 68
(e) 令和 7 年度における業務の方法 73
(2) 令和 7 年度の成果 74
(a) 業務の要約 74
(b) 業務の成果 74
(c) 結論 153
(d) 引用文献 153
(e) 成果の論文発表・口頭発表等 162
(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定 162
(3) 事業期間全体の代表的な成果 163
(a) 火山の噴火履歴およびマグマ長期変遷に関する研究―マグマ噴出量階段図・噴火事象系統樹の試作に向けて― 163
(b) 見逃し火山・火口域および活火山の再検証 218
(c) 噴火対応調査 225
(d) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発 227
(e) 大規模噴火データベース及び噴火推移データベースの構築 230
(f) 火山プロジェクト、課題間連携研究の推進（北海道大学・東京大学地震研究所） 231
(g) 引用文献 240

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 248
(1) 業務の内容 248

(a) 業務題目 248
(b) 担当者 248
(c) 業務の目的 248
(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約） 249
(e) 令和 7 年度における業務の方法 252
(2) 令和 7 年度の成果 254
(a) 業務の要約 254
(b) 業務の成果 254
(c) 結論 272
(d) 引用文献 273
(e) 成果の論文発表・口頭発表等 273
(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定 273
(3) 事業期間全体の代表的な成果 274
(a) 地下におけるマグマ移動シミュレーション 274
(b) 噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化 275

３． 会議録 277
(1) サブ課題 C2 研究集会 277
(2) 令和 7 年度次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト　合同研究集会 277
(3) 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト　課題間連携研究　霧島山マグマ供給系モデルおよび噴火シナリオ見直し WS 277

４． むすび 278

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

１．研究概要の説明

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

（1）　サブテーマ１：火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発

本サブテーマでは、噴火の過程が既知である歴史時代の噴火の噴出物の解析を行い、深度（圧力）・温度・含水量といったマグマ溜りの状態、噴火に先立つマグマ混合から噴火までの時間スケール、マグマの上昇開始から噴火開始までの時間スケールを明らかにする。この際、本研究で新たに得るデータに加えて、既存の研究成果も適宜参照して、火山噴出物から噴火事象分岐予測判断を行う基準を検討する。プロジェクト期間中に 10 火山について研究を行うとともに、それ以外に課題Ｃサブテーマ２と連携して噴火履歴調査で収集した試料の一部の解析も行う。さらに、より多くの火山噴出物の分析データを収集し噴火事象分岐予測に資するため、分析・解析プラットホームを整備し、広く火山研究者や学生に開放するための利用環境の整備を行う。

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

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

（3）　サブテーマ３：シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発

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

程評価システムを開発する。また、多パターンの数値シミュレーションの実施を踏まえた、事象分岐確率の提示を行い、一元化システムでの運用に移行する。

(1) 研究者別の概要

(a) サブテーマ 1

所属機関・部局・職名	氏名	分担した研究項目及び研究成果の概要	研究実施期間	配分を受けた研究費	左記のうち、間接経費
国立大学法人東京大学・地震研究所・教授	安田 敦	総合推進として、成果のとりまとめや研究集会の開催の補助をおこなった。分析・解析プラットホーム構築については、分析補助ツールや解析ツールを改修し利用者の利便性を高めた。噴出物解析については、噴火予測システムの試案を作成し、観測と組み合わせた具体的な使い方を提案した。	R7.4.1～R8.3.31	4,690,504 円	1,082,424 円
学校法人早稲田大学・教育・総合科学学術院・教授	鈴木 由希	榛名火山 45ka 以降を対象に噴出物の石基組織をデータベース化した。火砕流発生の有無や爆発性に基づき、溶岩ドーム形成（火砕流無し）、溶岩ドームの重力的崩壊・爆発的破壊（火砕流有り）、軽石流（噴煙柱なし）、噴煙柱形成と崩壊による軽石流生成、の 4 様式を比較した。噴火様式の違いを生んだ物理要因を明らかにするとともに組織指標による噴火推移予測の可能性を示した。また霧島火山新燃岳の享保噴火の推移や噴火誘発過程を検討し 2011 年噴火と比較した。	R7.4.1～R8.3.31	1,169,257 円	269,828 円
国立大学法人静岡大学・理学部・准教授	石橋 秀巳	伊豆大島の浅部マグマ供給系について検討するため、1986 年噴火で噴出したデイサイト質軽石について分析した。その結	R7.4.1～R8.3.31	1,171,404 円	270,324 円

		果、このマグマは深さ 1-5 km において液体状態で存在することが分かった。また、富士山のマグマ供給系を検討するため、山頂噴火のスコリア（S18）に含まれるオリビン斑晶とそのメルト包有物を分析した。その結果、噴火前貯蔵深度がおよそ 10-15km と見積もられた。			
学校法人福岡大学・理学部・教授	三好 雅也	阿蘇外輪山およびその周辺に分布する火山岩類の K-Ar 年代測定、微量元素および同位体分析をおこない、マグマ供給系の長期的変遷について考察した。その結果、先カルデラ期から最初のカルデラ形成噴火（Aso-1）に至るまでにマグマ溜まりの再編および組成均質化が生じた可能性があること、玄武岩マグマがスラブ流体成分に富むようになったことが明らかになった。	R7.4.1～R8.3.31	2,477,411 円	571,710 円
国立大学法人東北大学・大学院理学研究科・教授	中村 美千彦	桜島・霧島・富士・福徳岡ノ場・浅間・十和田・アイフェル火山について、マグマの火道上昇過程、噴火直前のマグマの定置深度や定置時間、破砕メカニズム、それらに関係した結晶化や脱ガス過程を調べるため、噴出物の化学組成分析や組織解析、岩石組織を再現する高温高圧実験、マグマの熱進化の数値計算等をおこなった。それにより、噴火事象分岐予測手法の開発をおこなうとともに、まとまった成果について学会発表や論文執筆をおこなった。	R7.4.1～R8.3.31	5,464,078 円	1,260,941 円
国立研究開発法人産業技術総合研究所・	東宮 昭彦	有珠火山 1977 年準プリニー式(爆発的)噴火について、メルト包有物の含水量と斜長石マイク	R7.4.1～R8.3.31	3,851,519 円	769,317 円

活断層・火山研究部門・主任研究員		ロライトの組織の分析結果(Hotta et al., 2025: JGR) を磁鉄鉱の累帯構造分析結果と合わせるとともに、噴火当時の地球物理学的データを参照し、噴火直前のマグマ加熱から噴火中のマグマ上昇過程を推定した。さらに、雲仙火山溶岩ドーム(非爆発的)噴火過程との比較をおこない、両火山の噴火様式の違いを生じた原因が既存のマグマ溜まりの結晶度の違いである可能性を見出した。			
同・主任研究員	宮城 磯治	多数のマグマ熱力学計算結果を体系的に整理・可視化し、相互リンク付きデータベースとして公開した。国内外 10 火山を対象に、噴出物組成との比較からマグマ温度・深さの推定および条件変化に伴う物性・化学組成の予測を可能とした。阿蘇の岩石学データとの統合により、巨大噴火の長期準備過程とその抑制可能性、ならびに地熱・金属資源利用の可能性を示し、特許出願（特願 2025-140580）に至った。	R7.4.1～R8.3.31		
国立大学法人鹿児島大学・大学院理工学研究科・教授	嶋野 岳人	桜島、諏訪之瀬島の噴出物について分析を進めるとともに、分析・解析プラットホームのシステム構築に関する助言や、噴出物分析の迅速な特徴把握に関する技術開発をおこなった。	R7.4.1～R8.3.31	4,705,721 円	1,085,935 円
山梨県富士山科学研究所・研究部・研究管理幹	吉本 充宏	富士山の噴出物について、解析に適切な試料の選定について助言するとともに試料採取をおこなった。	R7.4.1～R8.3.31	-	-

(b) サブテーマ 2

所属機関・ 部局・職名	氏名	分担した研究項目 及び研究成果の概要	研究 実施 期間	配分を 受けた 研究費	左記の うち、 間接 経費
北海道大学 大学院理学研究院 教授	栗谷　豪	サブテーマ2の研究課題の総合推進およびとりまとめを行った。また、マグマ変遷解析センターの統括および分析技術開発を行った。さらに、阿蘇山マグマ変遷の解明に取り組んだ。	R7.4.1～ R8.3.31	49,699,997 円	11,469,230 円
同　特任教授	中川　光弘	課題 C 全体のとりまとめ、特に課題間連携研究の企画・推進を行った。また、アトサヌプリ・摩周、秋田駒ケ岳について噴火活動履歴およびマグマ変遷の研究を行い、その詳細を明らかにした。霧島山について物質科学的解析によりマグマ供給系像を明らかにした。噴火事象系統樹の作成指針・手法を提案し、その公表準備を行った。また、ボーリング掘削調査をとりまとめ、十勝岳および八幡平で実施した。そして、ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築を行った。	R7.4.1～ R8.3.31		
同　准教授	吉村　俊平	マグマ変遷解析センターにおいて、FT-IR 分析に関する技術開発を行った。また、マグマ変遷解析センターのユーザーの受入れを行った。	R7.4.1～ R8.3.31		
同　助教	無盡　真弓	伊豆大島安永噴火の噴火推移と噴出物組織の関係性について検討した。	R7.4.1～ R8.3.31		
同　技術専門職員	松本　亜希子	摩周・アトサヌプリについて噴火活動履歴の研究を行い、	R7.4.1～ R8.3.31		

		その詳細を明らかにし、学術誌に成果公表を行った。霧島山について物質科学的解析によりマグマ供給系像を明らかにした。八幡平および十勝岳の噴火履歴解明のためのボーリング掘削調査を実施した。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。			
秋田大学 大学院国際資源学研究科 教授	大場　司	鳥海山、岩手山、栗駒山、阿蘇山の噴出物について、地質層序、年代、物質科学（鉱物学、化学組成、同位体組成など）的分析調査を実施し、鳥海山の火山活動史、鳥海山や岩手山のマグマ供給系の構造と噴火準備過程の時間スケール、阿蘇山噴火の時間推移等の解明を行った。	R7.4.1～ R8.3.31	2,800,001円	646,154円
同　准教授	星出　隆志	火成岩等に含まれる多様な造岩鉱物の鉱物学的特徴の分析調査を行い、火山下の深部プロセスの解明を進めるとともに、火山噴出物の鉱物学・化学分析手法の開発を行った。	R7.4.1～ R8.3.31		
山形大学 理学部 教授	伴　雅雄	蔵王山、鳥海山及び吾妻山の噴火履歴及びマグマ供給系解明の研究を継続した。蔵王山ではトレンチ、露頭調査を行い、テフラ層序の最終的な補強を行った。また、御釜噴火をもたらしたマグマ供給系の解明の論文執筆に加わり、岩屑なだれ堆積物の研究結果の論文執筆を行った。鳥海山では、歴史時代溶岩の岩石学的特徴の再検討、西鳥海	R7.4.1～ R8.3.31	3,800,000円	876,923円

		山カルデラ内の鳥海湖由来噴出物の研究を進めた。吾妻山では、鎌倉噴火以降のマグマ噴出量階段図と事象系統樹の作成に関与し、また明治噴火のマグマ供給系解明の論文執筆を行った。			
同　助教	井村　匠	吾妻山及び蔵王山の噴火履歴解明に関する研究を主に行った。吾妻山ではテフラ層序解明結果を基に、鎌倉噴火以降のマグマ噴出量階段図と事象系統樹の作成を行った。また、明治噴火のマグマ供給系解明の論文執筆に加わった。蔵王山では、特に熱水系が関与する噴出物について物質科学的研究を進めた。	R7.4.1～ R8.3.31		
同　准教授	常松　佳恵	蔵王山及び吾妻山の噴火履歴解明に関する研究を主に行った。蔵王山では、1895年噴火の投出岩塊の分布について再調査のまとめを進めた。吾妻山では、明治噴火の投出岩塊について再調査を進め、また、明治噴火のマグマ供給系解明の論文執筆に加わった。	R7.4.1～ R8.3.31		
茨城大学 理工学研究科 教授	長谷川　健	那須火山・吾妻火山・屈斜路火山・三宅島火山で調査を行い、採取試料の分析および成果公表等を行った。	R7.4.1～ R8.3.31	2,800,001円	646,154円
同　基礎自然科学野研究員	Aka Festus Tongwa	那須火山・吾妻火山・屈斜路火山・三宅島火山で採取した試料の分析と成果論文執筆の補助を行った。	R7.11.1 ～ R7.11.30		
東京大学 地震研究所	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	R7.4.1～ R8.3.31	4,400,000円	1,015,384円

准教授		地質学的・岩石学的研究を進め、噴火事象系統樹や階段ダイアグラム作成の基礎となる、従来よりも高精度の噴火履歴や噴火推移、マグマ供給系に関する知見を得た。			
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、主にトレンチ掘削による地質調査と年代測定に基づき、仏岩火山の大規模噴火と黒斑火山の山体崩壊期の実態解明のための地質データを蓄積した。事業全期間の調査結果である噴出物の分布や層序に関する情報を総括した。	R7.4.1～ R8.3.31	1,900,000円	438,461円
同　准教授 同　上席研究員	金丸　龍夫 高橋　正樹	浅間火山の噴火史の研究を行い、主に仏岩火山の大規模噴火の地質調査を実施した。	R7.4.1～ R8.3.31		
富山大学 学術研究部都市デザイン学系 教授	石﨑　泰男	草津白根火山、鷲羽池火山、白山火山の噴火履歴調査を立案・実施し、噴出物層序、噴火年代、噴火様式に関する研究成果が得られた。	R7.4.1～ R8.3.31	3,400,000円	784,615円
同　教授 同　教授	石川　尚人 川崎　一雄	志賀火山噴出物の古地磁気分析を分担し、同火山の最後のマグマ噴火の年代に関する研究成果が得られた。	R7.4.1～ R8.3.31		
山口大学 大学院創成科学研究科 教授 同　講師	太田　岳洋 辻　智大	九重火山に関する噴火履歴調査、噴火推移調査を行った。宮城火砕流堆積物についてボーリングコア試料の観察を行い、その分布と層序、噴出量を修正し、火砕流噴火の推移を明らかにした。また、東部域のテフラ層序を詳細に記載し、未記載のテフラの存在を見出すとともに、各テフラの噴火履歴を明らか	R7.4.1～ R8.3.31	1,900,000円	438,461円

		にし、噴火系統樹を作成した。			
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、またトレンチ調査等によって噴火活動史についての知見が得られた。さらに、霧島山新燃岳噴火に対応して降灰調査を実施し、活動推移に関する基礎データが得られた。	R7.4.1～ R8.3.31	2,800,001円	646,154円
産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門 研究グループ長	古川　竜太	御嶽山、雌阿寒岳、秋田焼山の研究成果とりまとめを行った。また岩木山の現地調査及び分析を行い、噴火履歴に関する情報を取得した。霧島山については、現地調査及び分析を行い、噴火履歴に関する情報を取得した。そして、大規模噴火データベース及び噴火推移データベースの整備を行った。	R7.4.1～ R8.3.31	9,000,000円	1,797,695円
同　研究グループ長	及川　輝樹	御嶽山の研究成果とりまとめを行った。また、岩木山・白馬大池（風吹）火山・霧島山の現地調査及び分析を行い、噴火履歴に関する情報を取得した。	R7.4.1～ R8.3.31		
同　主任研究員	山﨑　誠子	御嶽山および秋田焼山の研究成果とりまとめを行った。雌阿寒岳の放射性年代測定および研究成果のとりまとめを行った。霧島山の現地調査及び分析を行い、噴火履歴に関する情報を取得した。	R7.4.1～ R8.3.31		
同　主任研究員	草野　有紀	秋田焼山の研究成果とりまとめを行った。岩木山の現地調査及び分析を行い、噴火履歴に関する情報を取得した。	R7.4.1～ R8.3.31		

同　主任研究員	谷内　元	岩木山の現地調査及び分析を行い、噴火履歴に関する情報を取得した。	R7.4.1～ R8.3.31		
同　首席研究員 同　研究グループ長 同　研究員 同　シニアスタッフ	石塚　治 井上　卓彦 有元　純 川邉　禎久	伊豆大島の研究成果とりまとめを行った。	R7.4.1～ R8.3.31		
同　上級主任研究員	宝田　晋治	大規模噴火データベース及び噴火推移データベースの整備を行った。	R7.4.1～ R8.3.31		
北海道教育大学旭川校 准教授	佐藤　鋭一	雌阿寒岳の噴火履歴に関する研究を行い、噴火履歴の再検討を行った。	R7.4.1～ R8.3.31	－	－
筑波大学 大学院生命環境科学研究科 名誉教授 同　准教授	荒川　洋二 池端　慶	新島（及び式根島）火山における各種岩石の岩石学的、地球化学的研究を実施し、マグマの起源物質、化学的特徴および噴火の年代推移について議論を行った。	R7.4.1～ R8.3.31	－	－
信州大学 理学部 教授	斎藤　武士	八ヶ岳火山群の横岳火山の軽石噴火堆積物（Yt-Pm4）の地質学的・鉱物学的研究を行い、火道拡大や噴煙中の不安定化を示唆する堆積物の垂直変化を捉えた。中長期的噴出率を検討し、最近約1万年間も過去4万年間と同程度の噴出率を維持している可能性を得た。	R7.4.1～ R8.3.31	－	－
電力中央研究所 企画グループ スタッフ	上澤　真平	羊蹄火山の地質学的検討を行い、5万年以前のテフラを発見し、特に爆発的噴火活動史の全体像を明らかにする成果が得られた。	R7.4.1～ R8.3.31	－	－

防災科学技術研究所 主任専門研究員	長井　雅史	ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築を行った。	R7.4.1～ R8.3.31	－	－
株式会社エンバイオ・エンジニアリング 技術部長	和知　剛	秋田駒ケ岳の噴火履歴に関する成果公表を行った。	R7.4.1～ R8.3.31	－	－

(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巨大地変災害研究領域 副研究領域長	藤田英輔	【サブテーマ 3】 サブテーマ 3 全体の取りまとめを実施した。 ①b. マグマ移動過程シミュレーション技術開発で粒子法の検討、 ②c. ハザード評価システムの検討でシステム開発を進めた。	R7.4.1 ～ R8.3.31	32,703,880 円	7,547,049 円
国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域火山研究推進センター　副センター長	小園誠史	①b. マグマ移動過程シミュレーション技術開発で粒子法の検討、 ②c. ハザード評価システムの検討でシステム開発を進めた。	R7.4.1 ～ R8.3.31		
同　主任専門研究員	長井雅史	①c. マグマ物性モデルの構築で結晶化モデル構築のための室内実験を実施した。	R7.4.1 ～ R8.3.31		
同　契約研究員	丸石崇史	②c. ハザード評価システムの検討で、溶岩流シミュレーションを実施し、噴出条件と流長の関係を定量的に明らかにした。	R7.4.1 ～ R8.3.31		
同　契約研究員	瀧下恒星	②c. ハザード評価システムの検討で、Ash finger 現象を考慮した降灰シミュレーションを行った。	R7.4.1 ～ R8.3.31		
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。	R7.4.1 ～ R8.3.31	357,960 円	82,606 円
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	R7.4.1 ～ R8.3.31		

		実験と火道流モデルの結合を検討した。			
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。	R7.4.1 ～ R8.3.31	2,815,507円	649,732円
同　准教授	前野　深	②c．ハザード評価システムの検討で各シミュレータの導入の検討を行った。	R7.4.1 ～ R8.3.31		
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。	R7.4.1 ～ R8.3.31	－	－
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。	R7.4.1 ～ R8.3.31		
同　研究官	入山　宙	②a．降灰ハザード予測モデルの開発で新しい１次元噴煙モデル(NIKS-1D)の開発を進めた。	R7.4.1 ～ R8.3.31		
同　室長	新堀敏基	②a．降灰ハザード予測モデルの開発で気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）の改良を検討した。	R7.4.1 ～ R8.3.31		
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。	R7.4.1 ～ R8.3.31		
同　主任研究官	石井憲介	②a．降灰ハザード予測モデルの開発で新しい１次元噴煙モデル(NIKS-1D)の開発を進めた。	R7.4.1 ～ R8.3.31		
国立大学法人静岡大学理学部地球科学科 准教授	石橋秀巳	①c．マグマ物性モデルの構築火山性流体のレオロジーモデル構築のための実験結果による構成則のシミュレーションへの適用の方向性を検討した。	R7.4.1 ～ R8.3.31	－	－
国立大学法人山形大学理学部 准教授	常松佳恵	②c．ハザード評価システムの検討で、火山ハザード評価システムの開発を実施した。	R7.4.1 ～ R8.3.31	－	－

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。	R7.4.1 ～ R8.3.31	－	－
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。	R7.4.1 ～ R8.3.31	－	－

(2) 研究実施日程

(a) サブテーマ 1

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

(b) サブテーマ 2

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

(c) サブテーマ 3

研究実施内容	実施日程											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発												
①地下におけるマグマ移動シミュレーション												
ａ．噴火機構シミュレーション技術開発	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
ｂ．マグマ移動過程シミュレーション技術開発	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
ｃ．マグマ物性モデルの構築	←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→
②噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化												

a．降灰ハザード予測モデルの開発	←											→
b．噴煙柱ダイナミクスモデルの開発	←											→
c．ハザード評価システムの検討	←											→

２．研究成果の説明

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	教授	安田 敦
		助教	川口 允孝
		技術専門職員	外西 奈津美
		技術補佐員	今野 紗世
		修士２年	佐藤 月彦
学校法人早稲田大学	参加機関	教授	鈴木 由希
国立大学法人静岡大学	参加機関	准教授	石橋 秀巳
学校法人福岡大学	参加機関	教授	三好 雅也
		修士１年	宮﨑 亜依
		学部４年	白木原 栞奈
		学部４年	泉 七星
		学部４年	楠本 瑳来
国立大学法人東北大学	参加機関	教授	中村 美千彦
		博士３年	荒尾 眞成
		博士２年	浮田 泰成
		修士２年	阿部 遥斗
		修士２年	名郷 達哉
		修士１年	村木 琢磨
		修士１年	宮川 裕司
		学部４年	柴田 真衣
		学部４年	渡部 光人
		学部４年	中本 晃誠
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	東宮 昭彦
		主任研究員	宮城 磯治
		研究員	岩橋 くるみ
		テクニカルスタッフ	苅谷 恵美
国立大学法人鹿児島大学	参加機関	教授	嶋野 岳人
		学部４年	谷口 裕紀
山梨県富士山科学研究所	協力機関	研究管理幹	吉本 充宏

(c) 業務の目的

火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発のために、以下の 5 項目を 10 カ年で実施する。(ア) 効率良くかつ正確に火山噴出物を分析できる分析装置環境を整備する。(イ) 分析データから様々な物理量を迅速に取り出すためのデータ解析環境を整備する。(ウ) 分析データや解析結果を随時取り出して再利用可能とするようなデータ保存環境を整備し、データの有効利用を促進する。加えて、主要な火山噴火については噴出物や噴火の特徴を一覧できるカタログ機能を付加する。上記の分析及び解析環境(以下、「分析・解析プラットホーム」という。) を使って、(エ) 噴火の過程が既知である歴史時代の噴火の噴出物の解析を 11 火山についておこない、深度 (圧力)・温度・含水量といったマグマ溜まりの状態、噴火に先立つマグマ混合から噴火までのタイムスケール、マグマの上昇開始から噴火開始までのタイムスケールを明らかにするとともに、噴出物の特徴や噴出物から推定される噴火の特徴を概観できるカタログを作成し公開する。得られたデータを整理し、噴火事象分岐を判断する可能性の検討をおこなう。(オ) 分析・解析プラットホームを広く火山研究者や学生に開放するための利用環境の整備をおこなう。

(d) 10 か年の年次実施計画 (過去年度は、実施業務の要約)

1) 平成 28 年度:

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

2) 平成 29 年度:

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

3) 平成 30 年度:

成果目標項目 (ア) に対しては、分析効率の向上のため分光器 1 台を EPMA 装置に追加した。前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努めた。項目 (イ) と (ウ)

に対しては、前年度に引き続き作業をおこなった。項目（エ）に対しては、該当する火山について、主としてマグマの上昇速度を明らかにするためにマグマ溜まり環境やマグマの上昇速度についてのデータを収集した。加えて、噴火の特徴を噴火発生時に迅速に把握するための手法開発を継続し、桜島と霧島新燃岳での試験を実施した。

4）平成 31 年度（令和元年度）：

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

5）令和 2 年度：

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

6）令和 3 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の整備をおこなった。加えて、蒸着装置を更新し分析精度の向上をはかった。項目（イ）に対しては、前年度に引き続き解析プログラムの整備をおこなった。項目（ウ）に対しては、前年度に引き続き画像データベースの拡充と利用環境の整備をおこなった。項目（エ）に対しては、5 年次までに得られた分析・解析結果を統合して整理し、マグマシステムの類型化をおこなうとともに、噴火事象分岐予測の鍵となる観測項目の整理を試みた。引き続き、11 火山に加えて噴火発生中の火山の試料の分析を継続し、マグマ供給系の精密化や噴火推移を迅速に把握する手法の開発をおこなった。項目（オ）に対しては、装置の利用者環境の整備はしたものの、COVID-19 の影響で、研究組織外からの分析・解析プラットホーム利用の受け入れはかなり限定されたものになり、東京大学地震研究所内の課題 C2 関係者のみにとどまった。

7）令和 4 年度：

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

目（エ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなうとともに、6 年次までに得られた分析・解析結果を統合して整理し、噴火事象分岐予測をする基準について検討した。本事業で研究対象とした火山の代表的な噴火事例をもとに、噴火の予測に対して重要となる要素を、前年度に提案した「簡略化したマグマ供給系」に集約する形で整理する方向で作業を開始した。項目（オ）に対しては、COVID-19 の影響のため研究組織外からの分析・解析プラットホーム利用の受け入れはおこなわなかった。組織内の研究者の分析作業の利便のため、依頼分析を引き続き受け入れた。

8）令和 5 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、標準試料の測定など装置の利用環境向上に努めた。項目（イ）と（ウ）に対しては、データベースへのデータ受け入れとデータ検索機能の拡充にむけた作業をおこなった。項目（エ）に対しては、前年度に引き続き火山噴出物の解析から噴火事象分岐予測のための鍵となる要素の抽出をおこなうとともに、「簡略化したマグマ供給系」に集約する形で整理して、「予測手法」の実体化のための作業をおこなった。項目（オ）に対しては、硫黄島噴火などの突発的な噴出物解析のために、装置の利用可能時間枠が組織内利用で埋まったことにより、研究組織外からの分析・解析プラットホーム利用の受け入れはおこなわなかった。組織内の研究者の分析作業の利便のため、依頼分析を引き続き受け入れた。

9）令和 6 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努めた。項目（イ）（ウ）（エ）に対しては、前年度に引き続き作業をおこなった。項目（オ）に対しては、前年度に引き続き研究組織外からの分析・解析プラットホーム利用を受け入れた。こうした利用者の意見を取り入れ、より使いやすい装置環境の改修をおこなった。

10）令和 7 年度：

成果目標項目（ア）に対しては、前年度に引き続き、最適な分析条件、分析手順の確立に努めた。項目（イ）（ウ）に対しては、前年度に引き続きシステムのアップデート作業をおこなった。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火の特徴をとりまとめるとともに、噴火予測の実現に向けシステムのプロトタイプを作成し発表した。項目（オ）に対しては、前年度に引き続き研究組織外からの分析・解析プラットホーム利用を受け入れた。

(e) 令和 7 年度における業務の方法

1）国立大学法人東京大学

a）プロジェクト（課題 C-1）の総合推進

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

b）分析・解析プラットホームの整備、運用

FE-EPMA の利用環境を整備し、プロジェクト関係者の利用等をサポートする。分析・解析プログラムのアップデート、および、データベース連携プログラムの整備等をおこなう。分析・解析プラットホームで取得したデータの公開に向けた環境整備等をおこなう。

c）研究集会の調整

課題 C-2 及び C-3 と連携し、成果の公開を促進するとともに研究集会の実施等を調整する。

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、協力機関の富士山科学研究所と共同して富士火山の火山噴出物についての研究を実施するとともに、本プロジェクトに関連して収集した岩石試料の長期保管に向けた作業等をおこなう。

2）学校法人早稲田大学

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、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とともに、随時、分析・解析プラットホームのシステム構築に関する助言等をおこなう。

3）国立大学法人静岡大学

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、富士火山、伊豆大島等の火山噴出物についての研究を実施するとともに、随時、分析・解析プラットホームのシステム構築に関する助言等をおこなう。

4）学校法人福岡大学

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、阿蘇火山等の火山噴出物についての研究を実施するとともに、随時、分析・解析プラットホームのシステム構築に関する助言等をおこなう。

5）国立大学法人東北大学

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、桜島火山・霧島火山・富士火山・福徳岡ノ場火山・浅間火山・十和田火山・アイフェル火山等について、噴火直前のマグマ定置深度や熱進化、火道上昇過程を、噴出物の分析や噴火過程再現実験・数値実験等により岩石学的に検討するとともに、まとまった成果について学会発表や論文執筆を進める。また、随時、分析・解析プラットホームのシステム構築に関する助言等をおこなう。

6）国立研究開発法人産業技術総合研究所

a）火山噴出物の分析・解析

噴火事象分岐予測手法の開発のため、有珠火山等において火山噴出物についての研究を実施するとともに、爆発的／非爆発的噴火事例との比較等をおこなう。

b）熱力学解析に関わる研究開発

代表的な複数のマグマ組成を対象におこなった熱力学解析の結果を集計し、追加で公開するとともに、活火山の斑晶ガラス包有物や石基ガラスの揮発成分量を分析し、MELTS の結果と比較する。

7）国立大学法人鹿児島大学

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、桜島火山、諏訪之瀬島火山等の火山噴出物についての研究を実施するとともに、分析・解析プラットホームのシステム構築に関する助言や、噴出物分析の迅速な特徴把握に関する技術開発等をおこなう。

8）自発的な研究活動等

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

なお、研究期間中に国内の火山で噴火の予兆もしくは噴火が発生し、火山調査研究推進本部による火山活動の総合的な評価に資する機動的な調査観測が緊急的に実施される場合は、前記の①から⑧で実施する現地調査について、その計画の一部もしくはその全てに代えて、緊急観測を実施あるいは緊急観測に協力することを可能とする。

(2) 令和 7 年度の成果

(a) 業務の要約

分析・解析プラットホームを改修し利用者の利便性を向上させた。噴火活動推移把握のために、熱力学計算結果に容易にアクセスできる環境や噴出物分析の迅速な特徴把握に関する技術開発をおこない、実際の火山噴火への適用を試みた。噴出物解析では、有珠、榛名、富士、伊豆大島、雲仙、阿蘇、霧島、桜島、諏訪之瀬島などの火山に関する研究を通じて、代表的な噴火の活動の原因や噴火推移の解明に取り組むとともに、噴火事象分岐予測の鍵要素についての検討や、マグマ供給系の特徴の把握をおこなった。加えて、総合推進として噴火予測の鍵要素についてとりまとめや予測システムの試案作成をおこなった。

(b) 業務の成果

1）プロジェクト（課題 C-1）の総合推進と研究集会の調整（東京大学）

プロジェクトの総合推進として、課題 C-1 参加機関の分担者と情報共有をはかり、評価会に向けた成果のとりまとめと令和 7 年 1 月に開催された成果報告研究集会の話題提供者の調整をおこなった。

2）分析・解析プラットホームの整備、運用（東京大学）

前年度に引き続き FE-EPMA の利用環境を整備し､機器利用者のサポートをおこなった。組織内からは静岡大、早稲田大、鹿児島大から利用を受け入れるとともに、課題 C-2 関

係者、および、硫黄島噴火と関連して防災科研から、富士山の噴火履歴調査と関連して山梨県富士山科学研究所からの利用を受け入れた。分析・解析プラットホームで取得した定性分析データを図化すると同時にカーブフィッティングをおこなう機能を追加し、硫黄の価数変化を用いた酸素雰囲気推定のための環境をととのえた（図 1）。

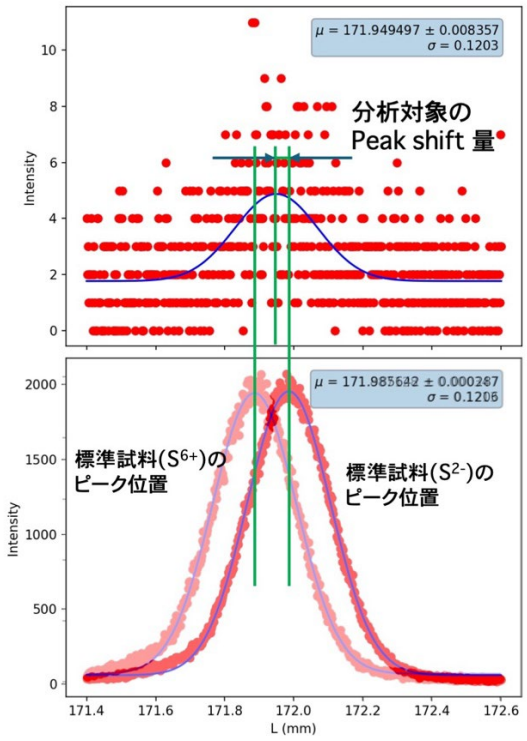


図 1　定性分析結果の解析例。分光結晶を移動させた定性分析を実施して得られた結果は一操作で作図とガウシアンフィッティングによるピーク位置の特定をおこなうことができる。

3）火山噴出物の分析・解析

a）有珠火山と雲仙火山（産業技術総合研究所）

［はじめに］　噴火事象分岐判断手法の開発に向け、噴火前のマグマ過程やそのタイムスケールを明らかにするため、日本有数の活火山である有珠火山[1)]を主な対象として噴出物の解析をおこなってきている。

有珠火山の 1663 年以降の噴火は、珪長質マグマがプリニー式／準プリニー式の軽石噴火や水蒸気・マグマ水蒸気噴火といった爆発的噴火を繰り返すのが特徴である。一方、たとえば同じく 1663 年から珪長質マグマが活動している雲仙火山は、プリニー式噴火を起こさず溶岩流・溶岩ドームを流出する非爆発的噴火を繰り返している。この違いをもたらす要因を知ることは、噴火事象分岐を考えるうえで重要である。そこで、令和 7 年度は有珠火山の噴火過程の理解を進めるとともに、有珠火山と雲仙火山のマグマ過程の比較についても検討した。

［有珠火山のマグマ過程:爆発的噴火の事例］　有珠火山の爆発的噴火の事例として、直近の準プリニー式噴火である 1977 年噴火[2, 3)]について本研究ではこれまで詳細に検討してきた。元素拡散が速いため数時間～数週間程度の短時間のマグマ過程を記録

する磁鉄鉱に着目した累帯構造分析により、1977 年噴火の直前に高温マグマの注入・混合があったこと、混合から数日以内に噴火したこと、などを明らかにしてきた。また、準プリニー式噴火の進行に伴い（Us-1977-I から Us-1977-IV に向かって)、斑晶中のメルト包有物の含水量の最小値の低下や石基マイクロライト量の増加がみられることから、噴火の進行に伴いマグマヘッドが順次浅くなっていったことが見出されている[4)]。

噴火当時の地球物理学的観測結果[5, 6)]からは、マグマの噴出があった直後に地震や微動が一時的に静穏になったことが分かっている。この観測結果を上記の岩石学的結果に照らし合わせると、個々のマグマの噴出（たとえば Us-1977-I）のあとにみられる静穏期は、準プリニー式による高いマグマ噴出率によって（深部からのマグマ供給率が追いつかずに）火道内が空になったあと、深部からのマグマがその火道を埋めるように静かに上昇してきたことが示唆される。このように、1977 年準プリニー式噴火では、岩石学的観察と地球物理学的観測を整合的に説明可能なマグマ上昇過程を推定することができた。

［雲仙火山のマグマ過程:非爆発的噴火の事例］ 非爆発的噴火の典型的事例として、雲仙火山のマグマ過程について検討した。これまでの様々な研究から、雲仙火山下には高結晶度のマッシュ状マグマ溜まりが存在していると考えられており、歴史時代噴火(1663 年、1792 年、1991-1995 年)では、いずれも噴火に先立ってこのマグマ溜まりへの高温マグマの注入・混合が起こっていた[7, 8, 9)]。中でも最新の噴火である 1991-1995 年噴火では、注入した高温マグマがマグマ溜まり中の低温マグマと一定の比率で混合しながら数か月をかけて上昇し噴火に至る、という過程が起こっていたとされている[7)]。

これらのことから､雲仙の噴火においては､地下浅部のマッシュ状マグマ溜まりが、高温マグマの注入の都度、再流動化・混合し噴火に至っていたと考えられる。また、マッシュの再流動化およびその後の噴火までには､数か月程度の時間が必要であった。

［有珠火山と雲仙火山の噴火過程の比較］ ここでは、有珠火山と雲仙火山の噴火直前過程に着目し､爆発的噴火と非爆発的噴火の分岐をもたらす要因について検討する。どちらの火山でも噴火の前に高温マグマの注入・混合が起きており、これが噴火をトリガーしていることが考えられる[10)]。しかし、前兆地震の期間が有珠の爆発的噴火では数日以下であるのに対し、雲仙の非爆発的噴火では数ヶ月以上であった。これは、高温マグマの注入開始から噴火までの時間が両者で大きく異なることを示している。また、有珠火山の歴史時代噴出物は斑晶量が 10 数%以下と低く[11)]、特に 1663 年や 1977 年のような発泡度の良い軽石噴火をおこなったマグマは斑晶が 5%以下である。一方、雲仙火山の噴出物は斑晶量が 30%程度に達し、浅部マグマ溜まりがマッシュ状であったと考えられている[7, 10)]。

浅部マグマ溜まりの結晶度が有珠のように低い場合と雲仙のように高い場合では、高温マグマが注入した際の混合のしやすさが異なることが予想される。ここでは、浅部マグマ溜まりの結晶度の違いによって混合マグマの形成やふるまいが異なることが噴火様式の分岐をもたらす、というモデルを提唱する。

図 2 は、浅所マグマ溜まりの低温マグマの結晶度が低い場合で、有珠の爆発的噴火を想定している。高温マグマが注入されたとき、低温マグマの流動性が高いため、短時間で噴火に至る。ここではこれを即時噴火タイプ（有珠型）と呼ぶ。有珠火山の 1663 年プリニー式噴火や 1977 年準プリニー式噴火のように高温マグマの痕跡（高温タイプの斑晶など）が見られる例もあれば [12]、同 2000 年噴火（小規模な水蒸気プリニー式噴火）のように高温マグマの痕跡がみられず専ら浅部マグマが噴火する例もある [13]。

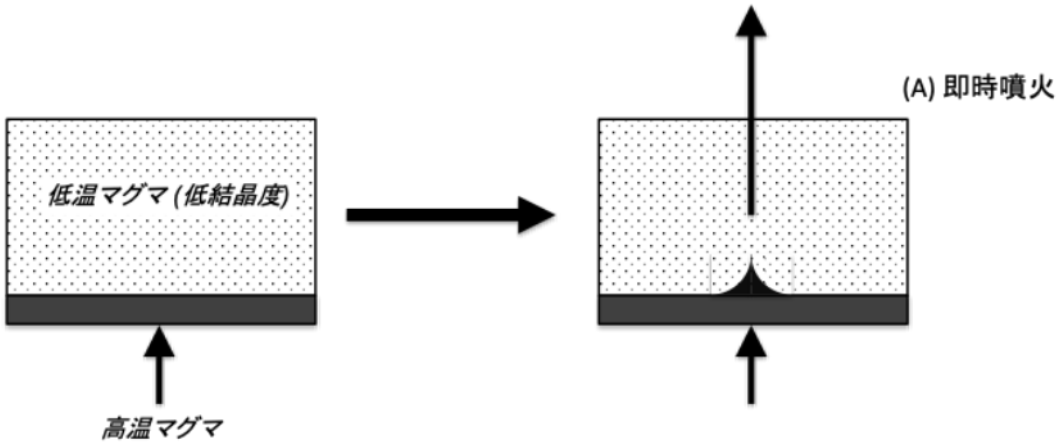


図 2　浅所マグマ溜まりの低温マグマの結晶度が低い場合。高温マグマが注入された際に、低温マグマの流動性が高いため、短時間で噴火に至る（A: 即時噴火タイプ）。

一方、図 3 は、浅所マグマ溜まりの低温マグマの結晶度が高くマッシュ状である場合である。このとき、マッシュの状態によって複数のパターンが考えられる。マッシュの流動性が低い場合、高温マグマが注入された際に、マグマ混合は局所的なものに留まる。このとき、雲仙火山 1991-1995 年溶岩ドーム噴火のように、高温マグマがマッシュを通過中に連続的にマグマ混合 [7] しながら非爆発的噴火を発生させる。ここではこれを連続的混合タイプ（雲仙型）と呼ぶ。雲仙火山の噴出物に見られるような高い斑晶量の噴出物、およびそれらから見出される噴火前のマグマ混合の痕跡は、日本における多くの非爆発的噴火に広く見出されている。このことから、このモデルは、雲仙火山に限らず地下に高結晶度のマグマ溜まりが存在する火山において広く適用できる可能性がある。

一方、マッシュ（低温マグマ）がある程度の流動性を持つ場合、高温マグマが注入された際に、両者が混合したマグマの層（境界層）が形成される [14]。ここではこれを境界層形成タイプと呼ぶ。境界層の混合マグマはマッシュよりも流動性が高いため、ここから噴火が発生する。専ら混合マグマの噴火で終わる場合の例としては、霧島山新燃岳 2011 年噴火が挙げられる [15]（新燃岳型）。これに対し、混合マグマの噴出が前駆的噴火となり、引き続いて低温マッシュ本体が噴出する大規模爆発的噴火に至った例としては、ピナツボ火山 1991 年噴火 [16] や北海道駒ヶ岳 1929 年噴火 [17] などが挙げられる（ピナツボ型）。

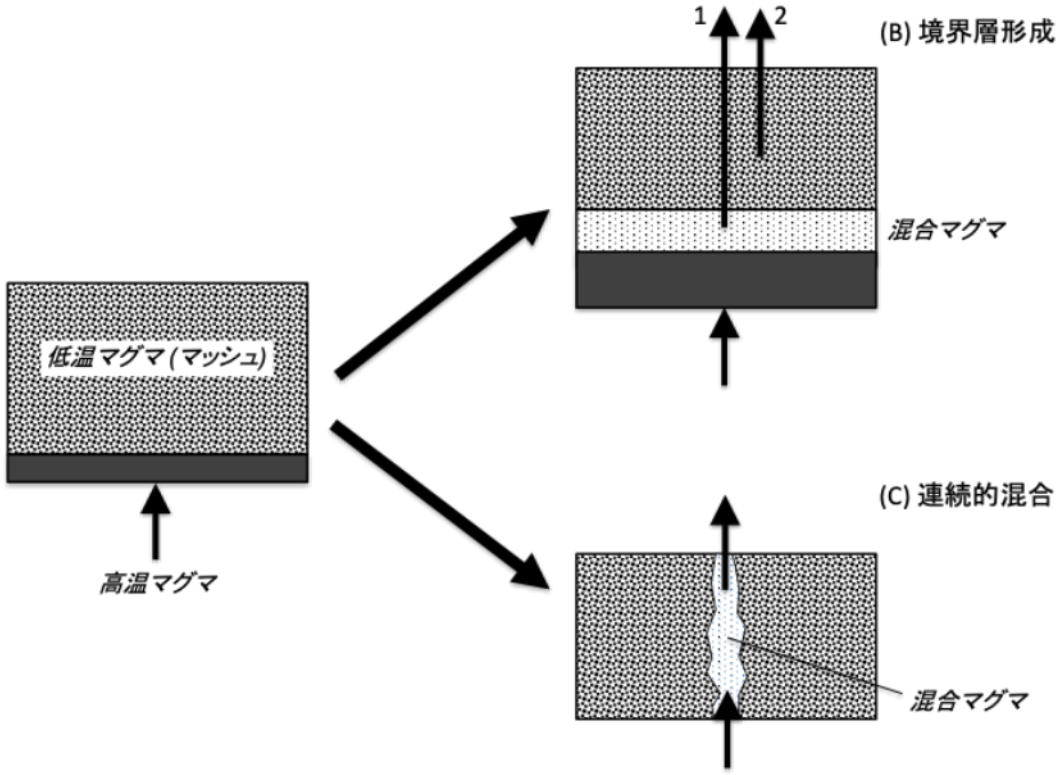


図 3　浅所マグマ溜まりの低温マグマの結晶度が高くマッシュ状である場合。高温マグマが注入された際に、マッシュの状態によって複数のパターンが考えられる。マッシュがある程度の流動性を持つ場合は、両者が混合したマグマの層（境界層）が形成される（B: 境界層形成)。境界層はマッシュよりも流動性が高いため、ここから噴火が発生する。境界層のみの噴火（B-1）で終わる場合のほか、これが前駆的噴火となって、低温マッシュ本体の噴火（B-2）に至る場合もある。一方、マッシュの流動性が低い場合、マグマ混合は局所的なものに留まり、連続的にマグマ混合しながら非爆発的噴火を発生させる（C: 連続的混合)。

このように、浅所の低温マグマ溜まりの状態が、高温マグマ注入時の混合様式、さらにはその後の噴火様式の分岐に影響を与えているというモデルを考えることができる。ただし、このモデルは単純化されており、実際にはもう少し複雑な推移をたどることもあるだろう。今後は、様々な噴火について事象を整理し、モデルを高精度化していく必要があるだろう。

b) 榛名火山(早稲田大学)

榛名火山では 45 ka 以降の新期活動を対象に、噴出物の石基組織のデータベース化を目指した。これにより噴火様式の違いが発生した物理的要因を明らかにするとともに、将来の噴火時の機動調査で得られる噴出物から噴火推移予測をおこなうことも目標とした。研究実施の背景は 2 点ある。1 つ目は過去 10 年間に渡り、本プロジェクトを通じて、新期活動の噴出物の網羅的な採取と岩石学的検討を進めたこと[18)-21)]。2 つ目は、見かけ密度測定における気泡を含む体積算出について、3 次元モデル作成の高

速化が図られたこと。45 ka 以降の新期活動では、噴火毎にマグマ組成の若干の差異はあるが、浅部のマッシュ状珪長質マグマと深部の苦鉄質マグマの相互作用により噴火が誘発され、珪長質安山岩～デイサイト質マグマが噴出している。噴出時のマグマの温度は 800～900 ℃弱にある。以上より対象噴出物間の石基組織の違いは、基本的には噴火時のマグマの上昇条件の差異を反映したものといえる。

榛名火山における珪長質マグマの噴火様式の多様性を、火砕流の発生の有無や噴火の爆発性の観点から整理した。タイプ 1）溶岩ドーム形成（火砕流発生無し）、タイプ 2）溶岩ドームの重力的崩壊・爆発的破壊、タイプ 3）軽石流の発生（噴煙柱形成なし）、タイプ 4）噴煙柱形成と噴煙柱崩壊による軽石流生成、である。火砕流の到達範囲においてタイプ 2）～4）の間には差異があり、各々の発生を区別して予測できることが重要である。新期活動からタイプ 1）～4）に相当するものを選び出した。1）として二ツ岳・伊香保噴火（6 世紀後半～7 世紀初頭）の溶岩、2）として二ツ岳・渋川噴火（5 世紀末）の火砕流堆積物の本質溶岩、3）として二ツ岳・渋川噴火の火砕流堆積物の本質軽石、4）として榛名カルデラ形成噴火（45ka）の火砕流堆積物の本質軽石である。火砕流堆積物中での溶岩ブロックと軽石ブロックの共存はない。噴煙柱発生の有無は、降下火砕堆積物の有無によって判断している。既存の研究 [22] によると噴出物の総量は、1）で 0.09 km^3 DRE、3）で 0.4 km^3 DRE、4）で 1.0 km^3 DRE である。渋川噴火について過去に 2）の記載例はないので、2）の体積は不明である。ただし同噴火に占める 2）の比率は低い。同じく渋川噴火について本質物質が軽石である火砕流堆積物には、火砕流本体の堆積物（無層理で厚い；数十 cm の大型ブロックを含有）と、火砕サージ堆積物（層理が有り薄い；火山礫サイズ以下のブロックを含有）の 2 種類が含まれる。タイプ 3）～4）の試料の測定にあたり、代表露頭を選定するとともに、複数層準が認識される場合、それを含むようにした。まず 3D スキャナ（キーエンス社製 VL-500；早稲田大所有）により気泡を含む体積を算出し見かけ密度を求めた。見かけ密度を網羅する代表試料の薄片の BSE 像を SEM（早稲田大所有）にて取得した。見かけ密度測定結果を図 4 に示す。溶岩について、1）の 2.47～2.54 g/cm^3（N=5）に比べると、2）の 2.31～2.47 g/cm^3（N=5）が僅かに低い。軽石について、3）の平均が 1.34 g/cm^3（N=71）であるのに対して、4）が系統的に低い値を示す（平均 0.89 g/cm^3；N=148）。渋川噴火について、3）の軽石試料は、火砕流本体と火砕サージ間で系統差は認めない。対象とした噴火の間で、本質物質の岩石密度や岩石に占める石基の体積比に大差はない。そのため見かけ密度における 1）～4）の間の大小関係は、石基発泡度においても維持される。以上の結果は、噴火時のマグマの脱ガス効率が 1）で最も高く、4）で最も低かったことを示す。

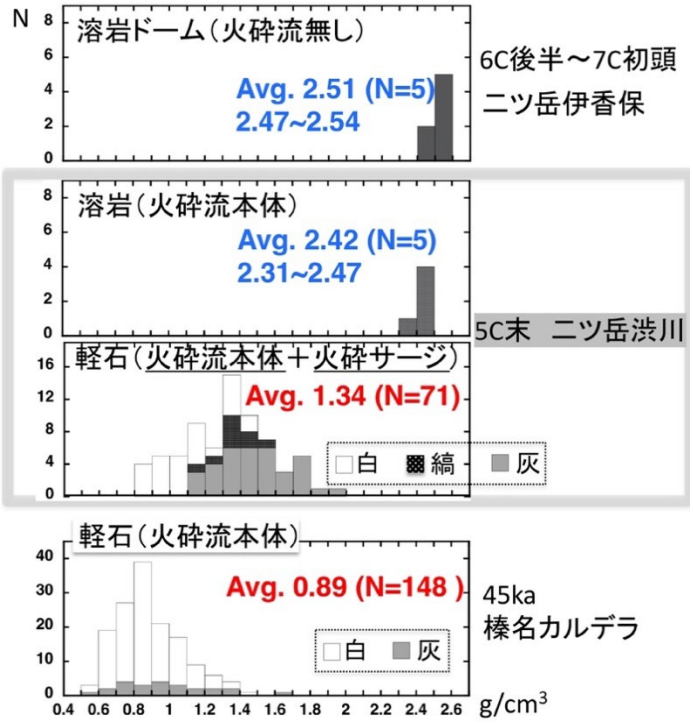


図 4　新期榛名火山の軽石・溶岩試料の見かけ密度分布。軽石は色彩によって分けて表示している。

マグマが噴火時に経験した減圧脱水に伴う過冷却の大小を、斜長石石基結晶についての結晶度と数密度から評価した。両軸に結晶度と数密度をとった図 5 において、データのクラスターの分布トレンドの傾きが、結晶化における核生成と成長のバランスを反映している。1）～4）の試料タイプの数字が増えるにつれて、結晶度は系統的に低下し、数密度は増加する。ただし 3）から 4）に向けて数密度は再び減少する。1）～4）の試料タイプ間の結晶組織の違いは、数字が増えていく順番でマグマの減圧速度を大きくすれば説明できる。この減圧速度の多様性が、上述の脱ガス程度の差と噴出時のマグマ爆発性の多様性につながった。

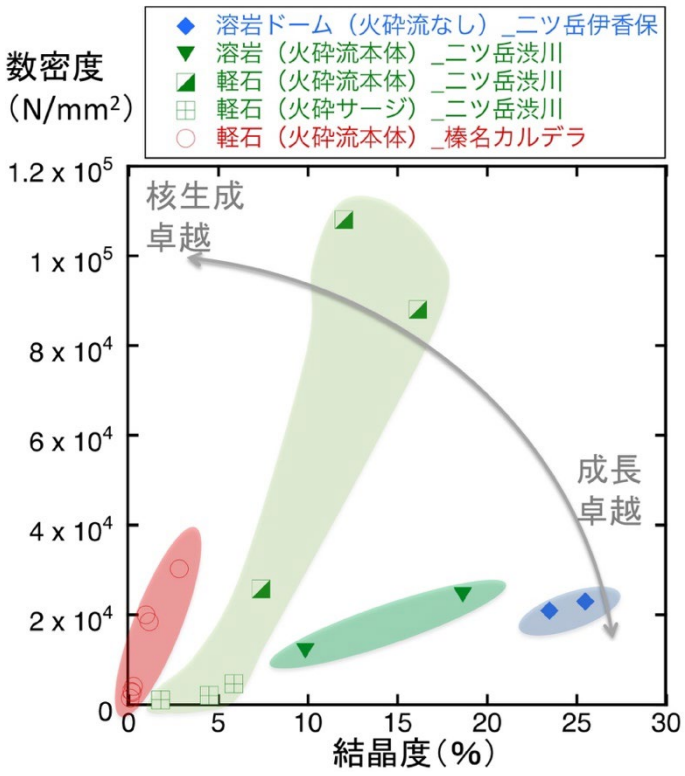


図 5　新期榛名火山の軽石・溶岩試料の石基斜長石の結晶度―数密度プロット

以上により榛名火山 45 ka 以降の新期活動の珪長質マグマについて、組織学的指標を用いた噴火推移の予測の可能性を示した。噴火様式の分岐段階とその条件の解明のため、速度を含むマグマ上昇パスの描像獲得が望まれる。その方法として近年発達した、斑晶メルト包有物含水量のマグマダイナミックスを反映した低圧への再平衡化程度の解析も含まれる。噴火時の機動調査で主に得られる噴出物は遠方で採取可能である火山灰試料である。したがって組織学的指標により噴火推移予測をおこなうには、火山灰試料（狭在する火山灰層や、火砕流堆積物のマトリックス部）も解析対象にしたり、同時堆積した火山礫サイズ以上の火砕物試料と火山灰試料の組織学的関係性なども併せて検討していく必要がある。

c）伊豆大島の浅部マグマ供給系における珪長質マグマの蓄積状態（静岡大学）

伊豆大島は、その活動史を通して主に玄武岩～玄武岩質安山岩組成のマグマを噴出してきた火山である。しかし、1986 年噴火では少量だがデイサイト質の軽石が報告されており [23]、このことは伊豆大島の地下に噴火可能な珪長質マグマ溜まりが発達している可能性を示唆する。一般に珪長質マグマは、苦鉄質マグマに比べて大規模な噴火をおこしやすいことから [24]、そのマグマ溜まりでの貯蔵状態について検討することの火山防災上の意義は大きい。また、主に苦鉄質マグマのみを噴出する火山において、珪長質マグマ溜まりがどのように発達するのかは、火山学的にも興味深い。そこで本研究では、伊豆大島 1986 年噴火で噴出したデイサイト質軽石についてガラスの化学分析と岩石組織解析をおこない、噴火前のマグマの状態を検討した。

本研究では伊豆大島 1986 年噴火直後に裏砂漠で採取されたデイサイト質軽石をアジア航測・千葉達朗氏にご提供いただき、うち斑晶量の異なる 3 試料について詳細な分析をおこなった。これらの軽石はいずれも、斑晶として石英・斜長石・輝石・FeTi 酸化物を含み、石基は発泡したガラスのみから構成され、マイクロライトを含まない。総斑晶量は無発泡換算で、試料 A で～59%、試料 B で～47%、試料 C で～40%であり、その大部分が斜長石（～22-33%）だが、試料 A は石英にも富む（～24%）。斜長石と石英にはジグソー状に破砕した結晶が含まれ、特に試料 A は破砕結晶に富む(図 6(a))。輝石斑晶は 1 粒子中でも化学組成が不均質で、普通輝石中に低 Ca 輝石の細かい離溶ラメラが発達しており、両輝石の化学組成を正確に分析することが難しい。FeTi 酸化物は主に磁鉄鉱であるが、イルメナイトの離溶ラメラを含むものも見られた。しかし、ラメラが細かいため、その正確な化学組成はまだ分析できていない。これらの斑晶鉱物はしばしば集斑晶を形成している。石基ガラスは SiO_2 含有量が～74-79 wt%の流紋岩質組成であった。これらの軽石は、その外側にしばしば B 火口噴火の玄武岩質安山岩が付着しており、この組織から両マグマが同時に噴出したことがわかる。

伊豆大島 1986 年 B 火口噴火の噴出物中にはクリスタルマッシュ状の深成岩捕獲岩が稀に含まれており、その中には石英斑レイ岩質およびトーナライト質のものも含まれる[25]。これらの捕獲岩と結晶のモード組成を比較したところ、試料 A はトーナライト、試料 B・C は石英斑レイ岩と概ね一致した。また、軽石中の石基ガラスの化学組成は、これらのクリスタルマッシュの結晶粒間を埋めるガラスの組成範囲内にプロットされた。したがって本研究の軽石は、石英を含むクリスタルマッシュ状深成岩と成因的に関連するものと考えられる。

マグマは、その結晶量の増加に伴って液体的なサスペンジョン、中間的なルースマッシュ、固体的なオーバーグロウンマッシュへと状態を変化させる。そして、ルースマッシュとオーバーグロウンマッシュの境界は結晶の最大ランダム充填密度 ϕ_m、サスペンジョンとルースマッシュの境界は 0.8 ϕ_m でそれぞれ定義される[26]。さらに ϕ_m の値は結晶のアスペクト比の関数として与えられている。そこで、本研究の軽石が発泡する以前にどの状態であったかを検討したところ、試料 A はルースマッシュ、試料 B・C はサスペンジョンの領域にプロットされた。一方で、石英を含む深成岩捕獲岩の結晶量は ϕ_m より多かったことから、オーバーグロウンマッシュであったと考えられる（図 6(b)）。この結果から、マグマ溜まり中でオーバーグロウンマッシュであった部分は固体的であったために、減圧によってバラバラに崩れることなく、深成岩捕獲岩として地表にもたらされたのに対し、ルースマッシュであった部分は減圧・発泡に伴ってバラバラに崩壊し、軽石として噴出したと考えられる。また、無発泡換算でもサスペンジョンの状態であった試料が見つかったことは、伊豆大島地下に液体状態のデイサイト質マグマが存在することを示唆する。

本研究の軽石は、B 噴火の玄武岩質安山岩マグマに取り囲まれていたこと、また、石英を含む深成岩捕獲岩と成因的に関連することから、その貯蔵深度は B 噴火の玄武岩質安山岩マグマより浅かったと考えられる。B 噴火の玄武岩質安山岩マグマの噴火前の貯蔵深度は 4-5 km より浅かったことが先行研究から示されている[27]。深さ 5 km における流紋岩質メルトの H_2O 溶解度はおよそ 3.5 wt%である[28]。一方で近年、流紋

岩質マグマ中でシリカ鉱物が晶出する条件が整理され[29]、これによると石英が安定に産するには～1.5 wt%以上のメルト含水量が必要である。この含水量は、深さ～900 m における流紋岩質メルトの飽和含水量に相当する。したがって、本研究の軽石の噴火前貯蔵深度はおよそ 1-5 km の間にあったと考えられる。さらに、このマグマは斜長石斑晶を含んでいたことから、H_2O 飽和での斜長石リキダス上の温度であったと考えられる。そこで流紋岩質メルトの H_2O 溶解度曲線[28]と斜長石リキダス温度含水量計[30]を連立して解くことで温度を制約したところ、1.5-3.5 wt%の含水量範囲に対して～930-878 ℃の温度範囲を得た。さらに、この温度・含水量条件と結晶量の値を用いてマグマの粘性率を見積もったところ、最も結晶に乏しい試料 C でも 10^6 Pa·s 以上の値を得た。マグマが自力でダイクを開いて噴火できる粘性率の上限値はおよそ 10^6 Pa·s とされることから[31]、本研究の軽石のマグマは液体状ではあっても、自力噴火は難しいと考えられる。

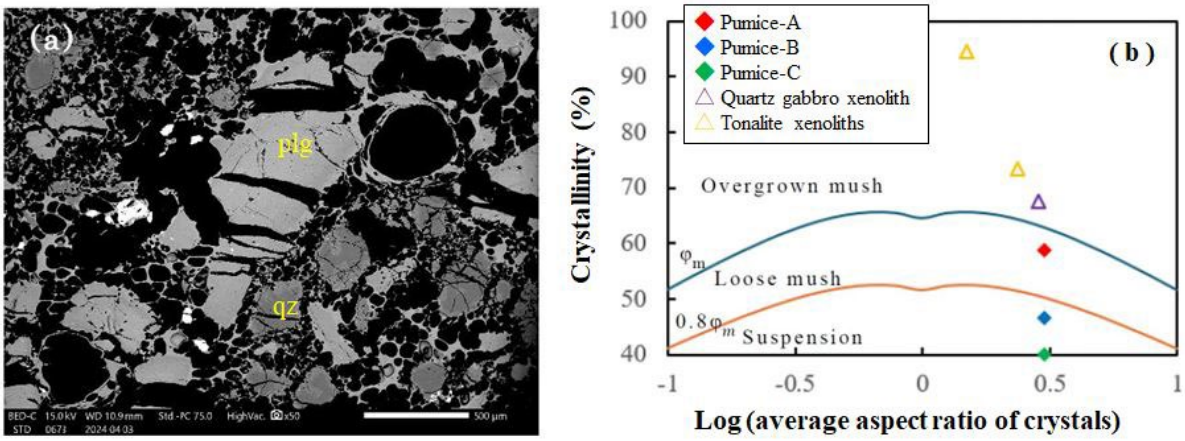


図 6　(a) 軽石試料 A の後方散乱電子像。略語は以下の通り：斜長石 (plg)、石英 (qz)。(b) 結晶の平均アスペクト比と結晶量の関係。実線はサスペンジョン、ルースマッシュ、オーバーグロウンマッシュの境界を示す。

d) 富士火山

i) 富士山の玄武岩質マグマのプレ噴火条件（静岡大学）

富士山は、その 10 万年間の活動史を通じて主に玄武岩質マグマを噴出してきた火山であり、地球物理学的な研究から、その主なマグマ溜まりは深さ 20 km より深部にあると考えられている[32]。一方で岩石学的には、玄武岩質マグマの噴火前貯蔵深度は十分には制約されていない。これを明らかにするうえで手掛かりとなりうるのは、比較的未分化なマグマから晶出したオリビン結晶中に含まれるメルト包有物である。メルトの H_2O 溶解度は圧力に依存して増加するため[28]、メルト包有物中の含水量はそのホスト鉱物の晶出深度の指標となり得る。しかし、近年の研究によってオリビン中の水素の拡散係数が大きいことが示され[33]、マグマの火道上昇中にメルト包有物の含水量が低下すると考えられるようになった。一方で近年、水素よりも拡散の遅い Ca のメルト-オリビン間分配に基づく含水量計(Ca-in-Olv 含水量計)が提案された[34]。この手法を霧島御鉢火山の噴出物に適用してみたところ、地球物理学的な観測と整合的な結果が得られている[35]。そこで本研究では、富士山山頂火

口でおよそ 2500 年前に発生したサブプリニー噴火のスコリア（S18）に含まれるオリビン斑晶とそのメルト包有物にこの手法を適用し、オリビン斑晶の晶出条件を検討した。

本研究試料中のオリビン斑晶には、数十μm 程度の幅のノーマルゾーニングしたリムを除いて均質な Type-A と、低 Fo コアの外側に高 Fo リムが形成している Type-B が見られ(図 7(a))、両者ともメルト包有物を有する[ここで Fo = 100Mg/(Mg+Fe)]。Type-A と両タイプのリムは Fo～77-80 であるのに対し、Type-B のコアは Fo～72-76 とやや分化している。一方で CaO 含有量は Type-A のコアが 0.15-0.2 wt%であるのに対し、Type-B のコアおよび両タイプのリムは 0.2-0.25 wt％とやや Ca に富む。オリビン中のメルト包有物は、Type-A で SiO_2～51-53 wt%、Type-B で SiO_2～52-56 wt%と後者の方が分化している。これらのメルト包有物-ホストオリビンのペアについて、捕獲後の溶融・結晶作用による組成変化を補正した後に Ca-in-Olv 含水量計を適用した。また、見積もられた含水量とメルト組成にオリビンリキダス温度計[30]を適用して温度を見積もった。その結果、Type-A で～1170 ℃、~5.9 wt%H_2O、Type-B で～1044 ℃、～5.7 wt%H_2O、の温度含水量条件が見積もられた（図 7(b)）。この含水量は、深さ～10-15 km でのメルトの飽和含水量に相当する。地球物理学的観測から、この深さ領域は深部低周波地震の発生領域の上限に一致し、また複数の地震反射面が見つかっている[32]。さらに電気比抵抗構造の観測でも、この深さ領域に低比抵抗領域が報告されている[36]。Type-A と B の両方でオリビンの晶出深度が一致したことから、この深さにマグマ溜まりがあった可能性が高い。このマグマ溜まりには元々、Type-B コアのオリビンを含む玄武岩質安山岩マグマが存在していたところに、噴火前により未分化な玄武岩質マグマが貫入し、Type-A オリビンを晶出するとともに、Type-B オリビンのリムも形成した。その後まもなく、このマグマは地表まで上昇し、サブプリニー式噴火を発生したと考えられる。

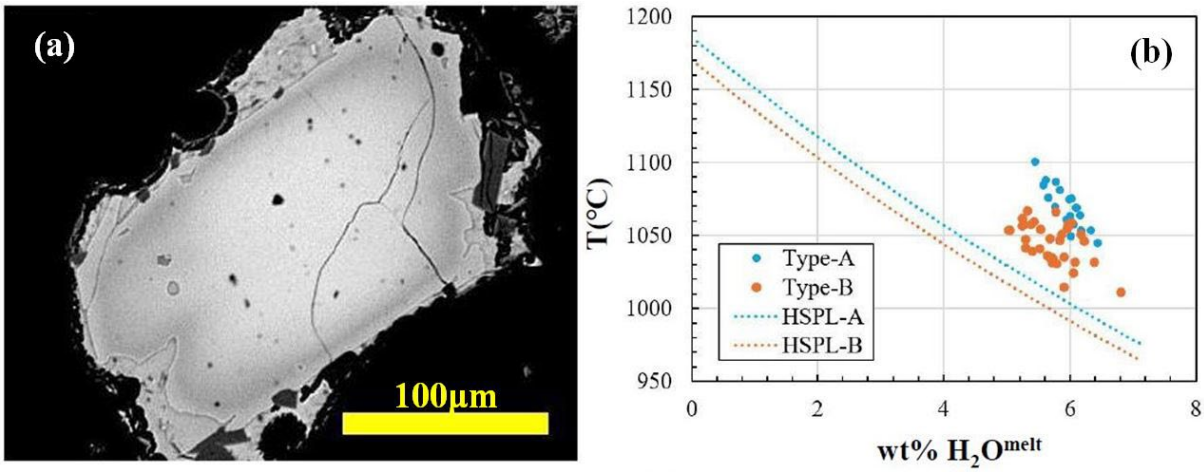


図 7　(a) Type-2 オリビン斑晶の後方散乱電子像。(b) Type-A および B のメルト包有物-ホストオリビンペアについてそれぞれ見積もられたメルト含水量-温度条件。点線は H_2O 飽和時の斜長石リキダス。

ii）噴出物と分析値の整理（東京大学）

これまでに本プロジェクトで収集および分析をおこなった試料について、今後の再利用の便をはかるため、山梨県富士山科学研究所に移送して保管するための作業をおこなった。100 噴火を超える噴出物を分析した結果は、全岩化学分析結果と鉱物化学組成とに分けてデータベース化をおこなった。

e）阿蘇カルデラ外輪山とその周辺に分布する溶岩および貫入岩類の年代と同位体組成（福岡大学）

阿蘇火山の先カルデラ期からカルデラ形成期（Aso-1～Aso-4）の間には噴火様式の劇的な変化（溶岩流主体から大規模火砕噴火）が生じたことが分かってきている[37)、38)]。この噴火様式の変化の要因を噴出物の岩石学的データから明らかにするためには、最初のカルデラ形成噴火である Aso-1 噴火（0.27 Ma[39)]）に至るまでのマグマ供給系の変化を明らかにする必要がある。前年度までの研究により先カルデラ期の安山岩～流紋岩マグマの大部分が玄武岩マグマによる地殻混成作用によって生じたことが明らかになってきた。今年度は、供給された玄武岩マグマに着目し、阿蘇外輪山南部に分布するおよび阿蘇カルデラ西部に局所的に分布する貫入岩類などを中心に、全岩化学組成・同位体分析および K-Ar 年代測定をおこなった。K-Ar 年代測定は、岩石から分離した石基試料に対しておこなった。全岩化学組成分析は蛍光 X 線分析装置（国立科学博物館）を用いておこなった。ホウ素（B）については、日本原子力研究開発機構 JRR-3 ビームホールにて即発ガンマ線分析装置を用いて分析した。蛍光 X 線分析装置を用いた K 定量と希ガス質量分析装置（東京大学）を用いた感度法による Ar 同位体分析をおこない、K-Ar 年代を算出した。Sr 同位体比の分析には、九州大学比較社会文化研究院の Neptune Plus を使用した。Pb 同位体比の分析は、Activation Laboratories Ltd.（カナダ）に依頼した。

外輪山南部に分布する玄武岩溶岩からは 0.60～0.61 Ma の年代値が得られた。前年度までに得られた結果と統合すると、先カルデラ期における玄武岩の活動は比較的古い年代（0.6～0.7 Ma）に限られ、それ以降は噴出していないと考えられる。それより前に阿蘇地域で活動した玄武岩質マグマの痕跡は 4.4～3.8 Ma の高 Mg 玄武岩～玄武岩質安山岩であり、マグマ生成のテクトニクス場が 0.6～0.7 Ma までの間に大きく変化したことが考えられる。阿蘇地域における成熟した島弧ソレアイト玄武岩の活動は 0.6～0.7 Ma 以降であるといえよう。玄武岩質試料の Pb 同位体比と B/Nb の関係（図 8）は、4.4～3.8 Ma の高 Mg 玄武岩～玄武岩質安山岩が枯渇した MORB マントル（DMM）に由来するのに対し、先カルデラ期以降の玄武岩類はスラブ流体が付加されたマントルに由来することを示している。また、先カルデラ期に比べて後カルデラ期玄武岩の方がスラブ流体成分に富む（図 8）。以上のことから、先カルデラ期から後カルデラ形成期へとマントルへのスラブ流体の供給増加が起こったと考えられる。

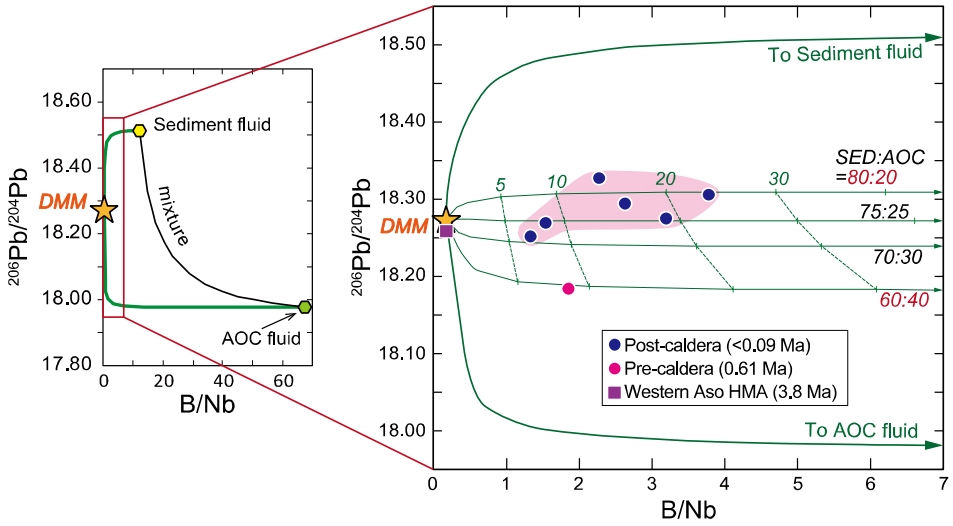


図 8　阿蘇地域玄武岩類の B/Nb vs. $^{206}Pb/^{204}Pb$ 図

以上の結果と前年度までの結果を統合すると、先カルデラ期には玄武岩マグマの地殻混成作用によって安山岩～流紋岩の多様なマグマが生成され、それらのマッシュの再編によって Aso-1 噴火のマグマが生成したと考えられる。このことは Sr 同位体比の均質化から推定される。ただし単純な複合ではカルデラ形成期以降のマグマが微量元素に富むことを説明できないため、先カルデラ期のマッシュの部分溶融を伴う再編があったと考えられる。このマッシュの部分溶融、再編および均質化をもたらしたのが、揮発性成分に富む玄武岩マグマの供給（図 8）であった可能性がある。

f）霧島火山（早稲田大学）

霧島火山では享保噴火の噴火推移や噴火誘発過程を検討し、2011 年噴火と比較した [40]。

g）桜島火山

i）火山灰の分光測色（鹿児島大学）

桜島火山の 2009-15 年に連続的に噴出した火山灰試料（バルク試料）について、分光測色計で取得した測色データについて、教師なし機械学習法の一つである主成分分析をおこなった。解析に際しては、それぞれ明度、赤色度、黄色度に対応する測色値 L*、a*、b*値とその標準偏差、比値 L*/a*、b*/a*などとその標準偏差をデータとして用いた。その結果、この期間の活動については、最も変化幅の大きい第一主成分が測色値の標準偏差であることが明らかとなった。このことは、桜島火山の噴出物がさまざまな粒子種からなる混合物であり、活動様式によってその比率が変化するという従来定性的に指摘されていた特徴を定量的に示した。また、これにより、火山活動のモニタリングにおける分光測色法の有効性を示した [41]。

一方、2025 年 5 月の急激な活発化に際しては、直ちに連続観測をおこなって、火山灰試料を獲得し、その分光測色値の導出をおこなった結果、噴出物中に軽石粒子

が含まれることをいち早く検出するとともに、測色ダイアグラム上で噴出物の時系列変化をわかりやすく視覚的に示した[42]。同手法は同年6月に活発化した新燃岳における活動でも応用し、水蒸気噴火時からマグマ噴火時に特徴的な測色値への変化を検出するとともに、肉眼では判定しがたい噴出物の赤色酸化を捉えることができた。これらの結果はいずれも火山噴火研究推進本部への資料として提供をおこなった（図9）。

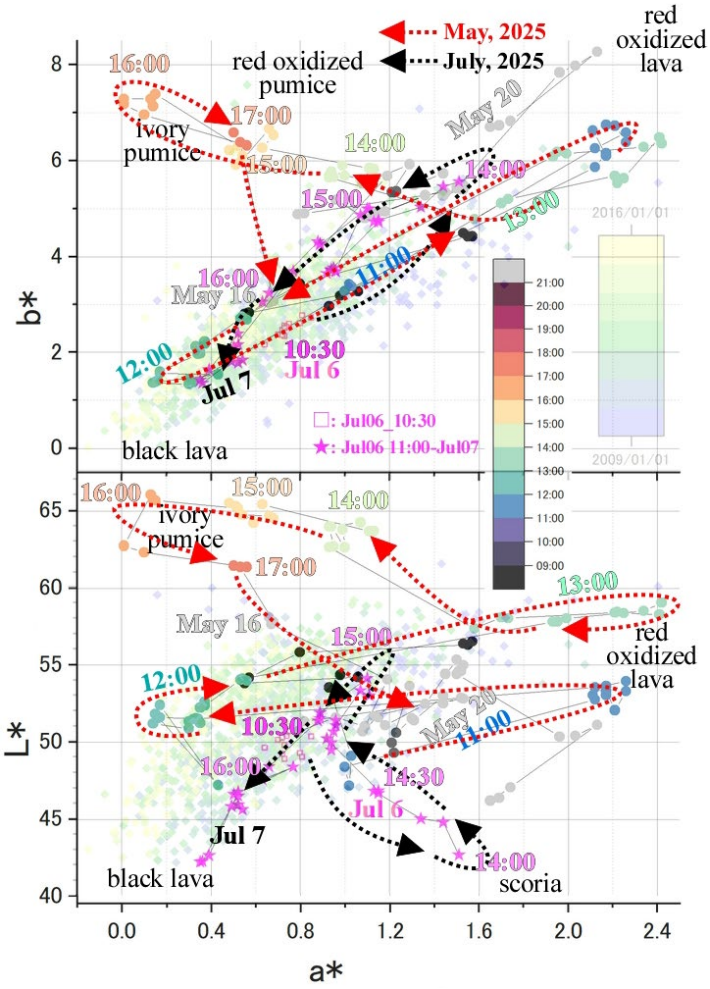


図9　バルク火山灰試料の測色値を用いた桜島2025年活発化時（5月軽石噴出、7月スコリア噴出）のモニタリング事例。背景は2009-15年連続試料（青～黄色）の測色値（ブルカノ式噴火）。両者の比較により、噴火推移に伴う構成物変化を把握。L*、a*、b*はそれぞれ明度、赤色度、黄色度に対応。

ii）桜島火山ストロンボリ式噴火の岩石学的モデルの構築（東北大学）

1955年以降、桜島火山南岳では、ストロンボリ式噴火に始まり、ブルカノ式噴火を経て灰噴火に至る噴火サイクルが認められている[43]。これら一連の噴火は、先立つマグマの貫入に引き続いて観測され、噴火様式の分類においてしばしば主な制御要因とされる[44]、マグマの火道上昇速度と脱ガス効率の大小関係では説明できない。本研究では、ストロンボリ式噴火とブルカノ式噴火の火山灰の岩石学的特徴を対比し、ストロンボリ式噴火の岩石学的モデルを構築した。用いた火山灰は各2試料（ス

トロンボリ式：1978 年 7 月 10 日、1979 年 11 月 22 日；ブルカノ式（1980 年 7 月 18 日、1983 年 5 月 22 日）である。

ストロンボリ式噴火の火山灰は相対的にブルカノ式噴火の火山灰に比べて高発泡度粒子と遊離結晶が多く変質粒子が少なかった。またストロンボリ式噴火の粒子では気泡の伸長やマイクロライトの流理構造が発達していた。ストロンボリ式噴火火山灰はブルカノ式に比べて石基ガラス中の SiO_2 が低く未分化な組成であった。斜長石―メルト含水量計[45]と水の溶解度モデル[46]により求めたメルト含水量の範囲は概ね重なるが、頻度のピークは異なり、ストロンボリ式噴火はブルカノ式噴火よりも高かった。ストロンボリ式噴火では、石基ガラスに溶存する Cl、SO_3 濃度ともに、H_2O と同様にブルカノ式より高い傾向にあり、メルト包有物組成を起点として計算した平衡分別曲線には乗らず、SO_3 濃度が高い傾向が見られた。Cl-SO_3 の濃度トレンドは両噴火ともにレイリー・バッチいずれの分別でも説明できず、またメルト中の拡散係数は S が Cl より約 1 桁以上高いため、メルト中の拡散を考慮した非平衡分別でも説明できない。ガス―メルト間の S と Cl の分配から、火道深部では Cl に比べ S に富むガスがマグマから分離すると考えられ、硫黄に富むガスの flushing によって、火道浅部でのガス流路近傍のマグマに S の付加が起きている可能性がある。この flushing モデルが正しければ、ストロンボリ式噴火火山灰の高い S 濃度は、ブルカノ式噴火より flushing の寄与がより高いことで説明できる（図 10）。

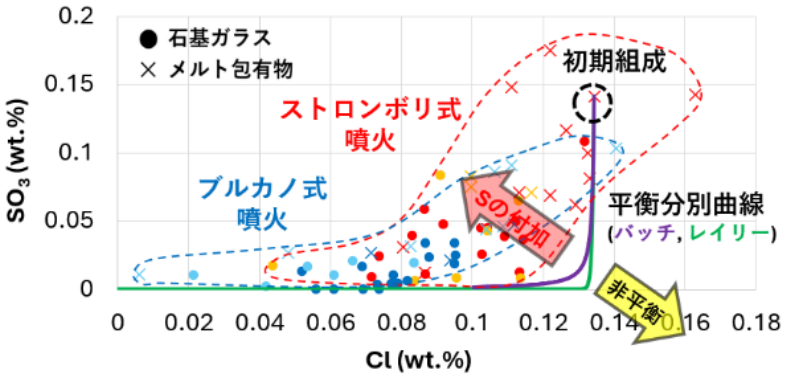


図 10　ストロンボリ式・ブルカノ式各噴火の火山灰中のガラスの SO_3、Cl 濃度

マグマ粘性を、メルト粘性[47]と、結晶効果を記述した相対粘性[48]の積から計算したところ、ストロンボリ式噴火の平均値は、ブルカノ式噴火の平均値に比べて低く、ストロンボリ式噴火ではマグマ粘性の頻度分布が $10^{6.5}$ Pa･s 以下に集中した。ストロンボリ式噴火火山灰は、剪断変形を受けた組織や外形を示すため、歪速度条件で破砕したと考えられる一方で、求められたマグマ粘性は低く、Papale（1999）[49]の破砕条件に達しない。桜島の噴火サイクル時には、最初のマグマ供給時も含め、マグマの上昇速度は高くないと考えられることから、火道深部から供給されるガス圧やガス流による剪断で破砕している可能性が考えられる。これとは対照的に、ブルカノ式噴火では、下部から供給されたガスが蓄積される必要があることなどを考慮すると、桜島火山で噴火サイクルを形成する各噴火様式は、深部からのガス供給と脱ガスの比（in/out-gas 比）と、噴火の定常性（定常-非定常）とで整理できる。

h）諏訪之瀬島火山（鹿児島大学）

諏訪之瀬島については、最盛期に準プリニー式噴火に至った 1813 年噴火について、これに前駆灰噴火からの堆積物細分層序に対して、ガラス組成、斑晶、マイクロライト組成の分析を系統的におこなった結果、噴火活動が次第に活発化する中でも、特に、急激な噴火様式の変化を伴ったタイミング（噴火開始、火砕流開始、準プリニー式噴火開始）で、その直前よりもより苦鉄質なマグマの注入があったことが分かった。同様のアイデアは既に過年度において明らかになりつつあったが、特に今年度はこれを裏付けるためのデータ補強をおこなった。

i）その他の火山

i）福徳岡ノ場火山における黒色軽石マグマの生成条件とその役割の再検討(東北大学)

ナノライトの晶出がマグマの物理的性質、ひいては噴火様式に及ぼす影響は、近年、大きな注目を集めている。ナノライトが結晶化後期にマグマ粘性を上げる役割[50]のみならず、Fe-Ti 酸化物ナノライトの晶出がメルト粘性を上昇させ、流紋岩質マグマの爆発的噴火と非爆発型噴火の分岐条件になるモデルも提案されている [51]。

2021 年福徳岡ノ場噴火で噴出した軽石には、大部分の灰色軽石に混ざって少量の黒色軽石、および両者が混交した縞状軽石が含まれる。両者には化学組成の違いは見られず、黒色の見かけは石基ナノライトの存在による。Yoshida et al. (2023)[52]は、マグマ溜まりに注入された酸化的なマグマからもたらしたガスによりマグマが酸化され、ナノライトが晶出し、徳岡ノ場の爆発的活動を引き起こしたというモデルを提唱した。しかし、黒色軽石で観察されるように極めて高い数密度でナノライトが核形成するには大きな過冷却が必要であり、マグマ溜まり条件で実現するとは考えにくい。そこで本研究では実験により黒色軽石を再現してナノライトの晶出条件を決定し、徳岡ノ場火山 2021 年噴火の発生モデルを再検討した。

実験の出発物質にはナノライトを含まない灰色軽石の石基ガラスを用いた。まずマグマ溜まりを想定し、外熱式ガス圧装置を用いて、200 MPa・850 ℃に急加圧・加熱して結晶化実験をおこなった。次にシリカガラス管法を用いて、浅部火道に対応する条件（圧力 10-2 MPa、温度 900-600 ℃、酸素分圧 NNO、RRO、HM 干渉）で結晶化実験をおこなった。実験生成物は急冷し、FE-SEM および TEM-EDS により分析した。

その結果、マグマ溜まりに近い条件で生成された組織は黒色軽石とは著しく異なり、マイクロライトサイズの単斜輝石と斜長石が、黒色軽石より 3-5 倍ほど低い数密度で晶出した。一方、低圧実験での生成物の組織は、温度・圧力・酸素分圧によって系統的な組織変化を示しながら、数密度を含む天然の黒色軽石の岩石学的特徴を総じて良く再現した。中でも 6 MPa・800 ℃での実験産物は、黒色軽石と酷似した組織となった（図 11）。

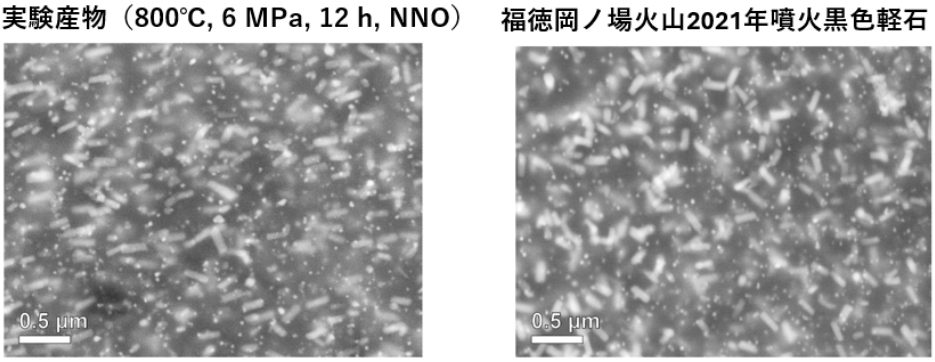


図 11　低圧での実験産物（左）と黒色軽石（右）の反射電子顕微鏡写真。黒雲母を含む鉱物組み合わせ・結晶数密度ともに良く再現される。

さらに、磁鉄鉱や輝石のナノライトに加えて、TEM-EDS によって黒雲母ナノライトの存在も確認された。この結果は、石基の黒雲母ナノライトが準安定相として晶出したことを示す。火山岩の石基には、安定平衡条件よりも低圧で晶出したと思われる角閃石や黒雲母が含まれることは珍しくないが、Yoshida et al. (2023)[52]では、これを安定相として誤認して MELTS 計算により晶出条件を計算したことで、誤った噴火モデルが導かれたと考えられる。もしナノライトが噴火トリガーの役割を果たしていたならば、黒色軽石は 2021 年噴火の初期に多く噴出したはずであるが、実際には後期にのみ観測されている。本実験結果は、黒色軽石のナノライト晶出がマグマ溜まりではなく浅部火道で起こったことを示しており、この観測事実とも良く一致する。

ii）硫黄島（東京大学）

2025 年 2 月、および、9 月から 10 月にかけて発生した噴火の噴出物を、防災科学技術研究所の依頼により蛍光 X 線による全岩化学分析をおこなった。結果は、第 6 回および第 8 回の火山調査委員会資料作成に使用された。

j）熱力学解析に関わる研究開発（産業技術総合研究所）

当該研究課題では、代表的な複数のマグマ組成を対象として、網羅的に実施した多数のマグマ熱力学計算の結果を視覚的に整理し、相互にリンク付けする手法を前年度までに確立した。今年度は、その集大成として得られた計算結果を、産業技術総合研究所の「AIST レポジトリ」においてデータベースとして公開した。本データベースは WEB ブラウザからアクセス可能であり、DOI や URL を引用することで、JVDN などの外部データベースに取り込むことが可能となっている。また、火山研究者がデータを再利用しやすくなるための配慮として、熱力学計算の結果を視覚的に示したページの全てには、描画に用いた sqlite3 形式の元データベースファイルをダウンロードするためのリンクと、データベースから特定の温度・圧力等のデータを取り出すためのコマンドのヒントが記述されている(図 12)。

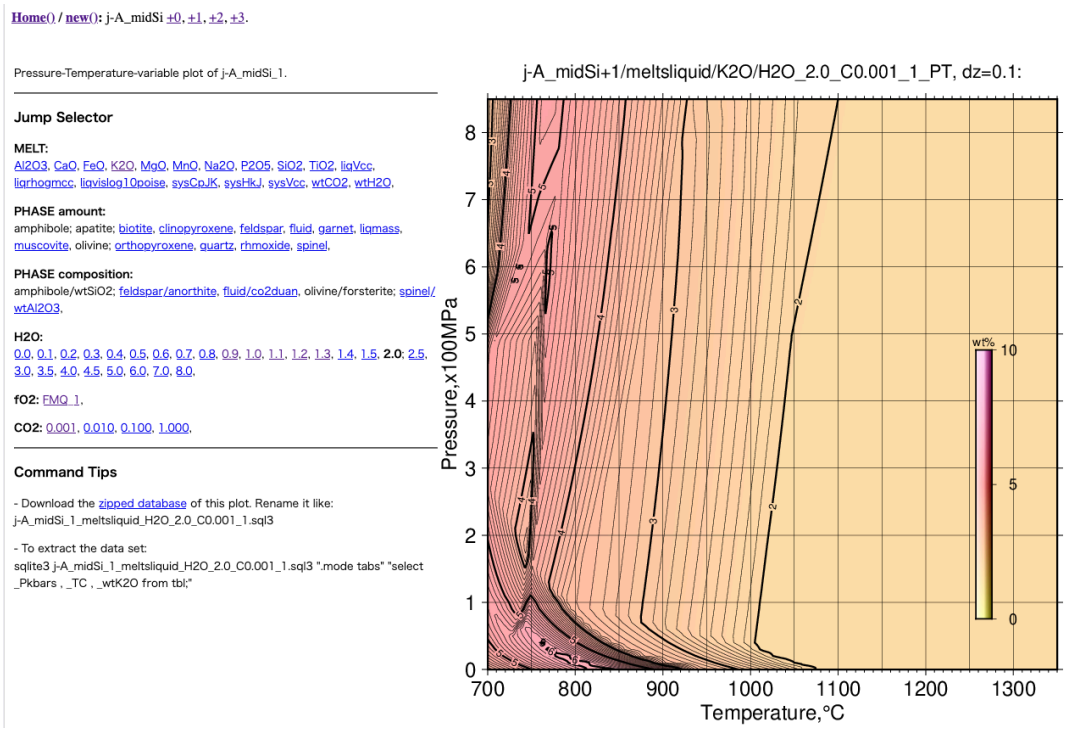


図 12　温度・圧力平面上に等高線図として表現した、マグマの熱力学計算結果の例。画面左半分にはハイパーテキストによるリンク集が配置されており、利用者はこれらのリンクを辿ることによって、含水量や二酸化炭素濃度などの条件を変化させた場合に、マグマの熱力学解析結果がどのように変化するかを容易に把握することができる。

今年度に公開したデータベースには、山形県の肘折カルデラ [53]、ニュージーランドのルアペフ火山 [54]、千島弧の爺爺岳およびメンデレーエフ火山 [55]、御嶽山 [56]、霧ケ峰火山（和田峠黒曜石）[57]、新燃岳 [58]、阿蘇 [59]、桜島 [60]、焼岳 [61]が含まれる。

これらのデータベースと、活火山に産する斑晶ガラス包有物等の分析結果との比較により、マグマの温度や存在深度の推定、および、温度や深度が変化した際のマグマの物性や化学組成の変化を予測することが可能となった。これらのデータベースは、岩石学・地球物理学・地球化学といった異なる専門分野を結びつけるうえで、極めて大きな効果を発揮した。今年度にこれらのデータベースを利用して出版された論文として、爺爺岳およびメンデレーエフ火山を対象とした岩石学的研究 [62]、火山活動の理解を深めるうえで極めて重要な年代測定法である K-Ar 年代測定の測定対象元素がなぜ溶岩中の石基に存在するのかという根本的な問いに対し、ニュージーランド・ルアペフ火山の事例研究から明快な答えを示した研究 [63]、ならびに、活発に噴煙を上げる桜島火山を対象として、重力観測・ガス観測・熱力学解析を統合することにより、マグマ移動の現状を明らかにした研究 [64]が挙げられる。

上記で公開したマグマの熱力学計算結果の応用により、社会的に重要な成果も得られている。例えば、2025 年 6 月に活動を再開した霧島火山・新燃岳の噴火事例においては、火山灰に含まれるガラスの化学分析と熱力学解析を組み合わせることにより、

地下から供給された高温マグマが、火口直下に存在する熱水滞留系などにおいて温度を低下させた後に噴出した可能性が高いことが示された[65]。これにより、噴火様式やマグマ挙動に対する理解が深まり、社会的関心の高い火山活動に対して有用な科学的知見を提供することができた。

2014年に64名の死者・行方不明者を出した御嶽山の水蒸気噴火の事例においては、噴出物中に微量に含まれる新鮮なマグマ破片の化学分析結果と熱力学解析結果とを組み合わせることにより、この噴火を引き起こした熱源の存在深度を推定することができた[66]。さらに、岩石学的に見積もられた2014年噴火の熱源の深さと、地球物理学的に見積もられた2007年の山体直下における膨張源の深さ[67]とが良く一致することから、2007年に注入したマグマが約7年間をかけて熱水滞留系を形成し、これが破裂したことによって2014年の噴火に至った可能性が示唆される。

この解釈が正しければ、継続的な地球物理学的観測によって山体直下へのマグマの注入に伴う膨張が検出された火山については、重点的な観測対象とすることにより、通常の地球物理学観測網よりも高密度かつ高感度な観測体制の下で捉えられる、水蒸気噴火直前のごく僅かな変動に基づいて、噴火リスクに関する警戒情報をより早期に発出できる可能性がある[68]。

さらに今年度は、阿蘇火山の斑晶ガラス包有物の分析結果等と本研究で得られた熱力学解析結果とを組み合わせることによって得られた、カルデラ噴火におけるマグマ供給系に関する研究成果[69]を再検討することにより、社会的に重要であり、かつ画期的なアイデアを得ることができた。その内容は、カルデラ噴火に至る長期的な準備過程を人為的に阻害することにより、将来発生し得る巨大噴火を抑止あるいは抑制すると同時に、副産物として膨大な地熱エネルギーおよび金属資源を得られる可能性が示された点にある。今年度は、このアイデアについて特許出願をおこなった（特願2025-140580：提出日 2025年8月26日）（図13）[70]ほか、鉱物科学会[71]、火山学会[72]、地熱学会[73]において講演をおこない、関連分野の研究者との間で意見交換を実施した。

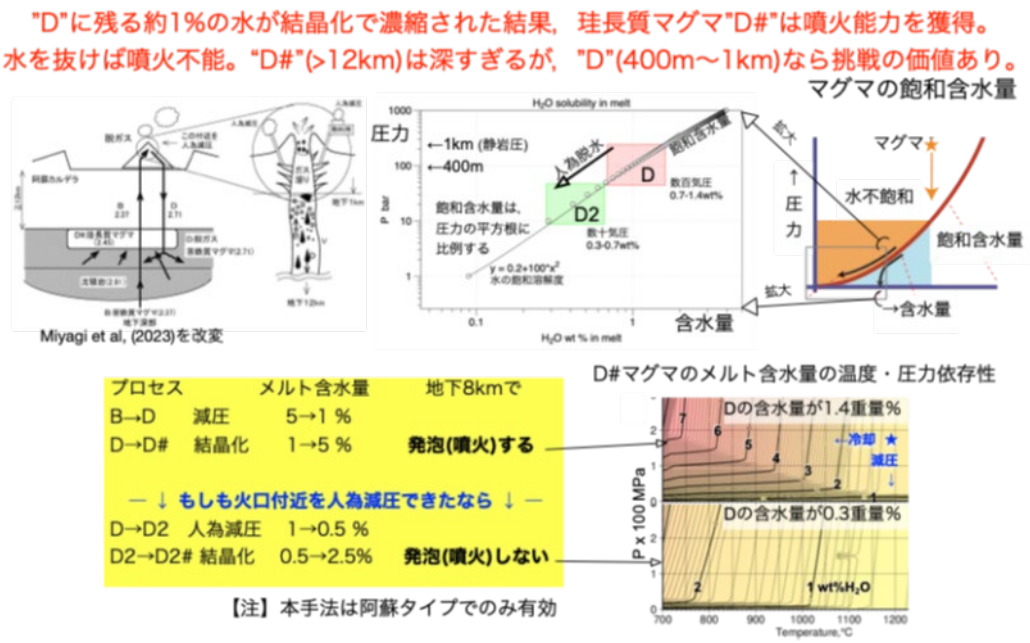


図 13　火山噴火規模抑制方法の概念図（特許出願済：特願 2025-140580、提出日 2025 年 8 月 26 日）。深部で揮発性成分を含んだマグマが発泡・軽量化して噴出に至る通常の噴火過程に対し、火道内マグマ対流脱ガス 73)を利用して火口浅部でマグマを十分に脱ガスさせることにより、地下深部での揮発性成分の再濃集を抑制し、巨大噴火の発生ポテンシャルを低減できる可能性を示す 70)。

k）噴火予測システム構築への提案（東京大学）

前年度までの研究で、物質科学的な解析から噴火予測の鍵となる要素を明らかにしてきた。これによって得られた数々の鍵を噴火予測につなげるためには、個別の鍵要素の羅列ではなく、それらを組み合わせて予測システムをいかに構築するかが重要である。

火山噴火は、先駆現象から噴火の発生そして噴火の終息に至るまで時間がかかる現象であり、噴火の進行に伴い時々刻々と追加情報が得られるという特徴がある。この特徴を活かすには、物理モデルを介在させ、得られた追加情報とモデル計算とのすり合わせをおこなうことにより、発生・規模・様式・推移の噴火予測の精度を高めるという考え方が理にかなっている。一方、噴火に到るマグマや流体の移動は場の破壊を伴うものであり、こうした破壊の発生については、時期や規模を計算によって正確に予測するという確定論的予測は現在の技術では困難である。したがって、不確定な要素については値を様々に振って多数回の計算をおこない、最終的に目的とする事象の発生確率を予測する「アンサンブル予測」という形をとるのが適当であろう。また、これによって、噴火の進行に伴って入手した情報を使って計算結果の絞り込みをおこない、より確からしい予測へと更新することも可能になる。

では、具体的にはどのようなシステムを構築し、どのように予測に使うのか。以下はその提案である。

［物理モデルとシミュレーション］　火山ごとに固有の定数として、地殻密度の鉛直構造と圧縮率、深部マグマ溜まりへの流入レートと流入マグマの温度を定義する。一

方、火山ごとに固有の変数の初期値として、マグマ溜まりの深さ、体積、マグマの初期組成、密度、含水量、温度などを与える。この系において、マグマ溜まりからマグマが上昇開始し、噴火あるいは火道のどこか途中で停止するまでを 1 つの計算ユニットとし、その繰り返しの時間発展計算をおこなう。この際、マグマ溜まりの破壊過剰圧、火道の閉鎖圧力、クラック（火道）の水平長さ、火道でのマグマの流量については不確定要素として、1 つの計算ユニットごとに値を変える。十万年もしくは一定回数の噴火が発生した時点で一グループの時間発展計算は終了とする。

不確定要素について値を様々に変化させて時間発展計算をおこなうため、大量の計算を実施することになる。このため、個々の計算についてはできるだけ単純化をおこない、計算の負荷を軽くする工夫をしている。具体的には、過剰圧の蓄積についてはマグマ溜まりへのマグマの注入と温度低下によるマグマの分化の二つの要因を考慮するが、温度低下速度は時間の一次関数として与え、マグマ溜まり内の温度分布は一様とする。また、火道上昇の際の長さと幅は 1 ユニット計算中では一定として、マグマの上昇力を深さ座標の関数とする。これらの仮定の是非については、今後の実際の噴火履歴との比較の際に再検討をおこなうこととし、とりあえずはこの単純化した系での計算を進める。

出力は、火道でのマグマ上昇速度、マグマの到達した深さ、噴出マグマ組成と粘性、マグマ溜まりに残存したマグマ量、マグマ溜まりに残存するマグマの組成と温度、マグマ溜まりで結晶分化して分離した固相量等に加えて、その計算ユニットにおいて仮定された不確定要素値を書き出す。

［アンサンブル予測の方法］ 前述の一連の時間発展計算において、初期値を変えた多数グループの計算をおこない、それらの計算結果からアンサンブル平均により発生確率が高い事象を調べる。初期値として与える値の範囲は検討対象の火山によって異なる。このため、初期値を適宜変化させた一連の計算の結果をアンサンブル平均したものが、その系で発生確率が高い事象と考える。また、発生確率そのものを取り出して、現象の発生予測をおこなう場合もある。

例えば、マグマ溜まりから上昇開始したマグマは、その含水量や下部からのマグマ注入量の違いによって、上昇経路のどこまで上昇可能かが異なる。上昇開始時のマグマの含水量が低く浅部で浮力を十分に獲得できない場合や、下部からのマグマの注入量が小さくて最初に大きな過剰圧が獲得できなかった場合には、マグマは上昇経路の途中で停止し噴火には至らない。したがって、想定されうるマグマの初期状態や下部マグマの注入量などを変化させて多くの計算をおこなうことによって、上昇を開始したマグマが噴火に至る確率を計算することができる。図 14 は深さ 18 km に存在を仮定したマグマ溜まりからマグマ上昇が開始した場合に、マグマヘッドの到達深度によって噴火に至るかどうかが変わる様子を表現したものである。上昇開始直後にはまだ噴火に至る確率は低いが、深さ 10 km 程度より浅い場所まで上昇すると噴火に至る確率は高くなる。さらに深さ 3 km 程度にまで到達すると、マグマの発泡によりほぼ確実に噴火に至ると評価することができる。こうした計算結果は地殻の密度構造にも依存するため、対象とする火山に適した密度構造を与えて計算することが必要である。

［リアルタイム噴火予測］ マグマ溜まりからのマグマの上昇開始は岩盤を破壊する地震の発生によって捉えられると思われる。さらに、上昇するマグマヘッドの位置も震源位置の変化や地殻変動観測、火山ガスの組成比変化などによってリアルタイムで推定することが将来的には可能であろう。前述のようにマグマヘッドの深度によって最終的に噴火に至るかどうかの確率が変わるので、こうした観測結果をアンサンブル予測結果と組み合わせることによって、噴火発生確率を時々刻々と更新することが本システムでは可能となる。このような予測以外にも、マグマの組成や含水量によってどのような噴火推移や噴火規模になりやすいかという視点から、シミュレーション結果を整理しておけば、ひとたび噴火が発生した際には素早く噴出物の分析結果を適用することによって、起こりうる推移や規模の絞り込みをおこなうことが可能であり、こうしたシミュレーションによるプレアナリシスは噴火予測に非常に役立つものと考えられる。

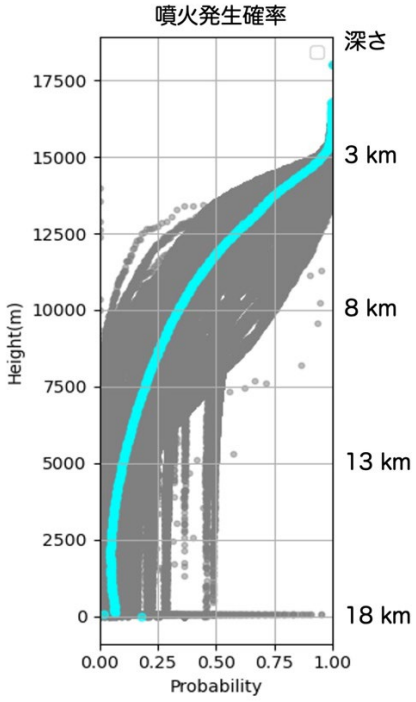


図 14　灰色の点が個々のシミュレーションでの噴火発生確率。水色線がそのアンサンブル平均。深さ 18 km に存在する玄武岩質マグマ溜まりからマグマ上昇が始まったとして、マグマがどの深度にまで上昇したら最終的に噴火に至る確率がどうなるかを計算した結果。個々のシミュレーションでは、マグマの含水量、マグマが上昇開始するマグマの過剰圧、火道の水平スケールなどを変えている。

(c) 結論

プロジェクトで当初予定された目標は概ね達成できた。研究対象とした火山についてマグマ溜まりの深度やマグマの含水量、組成、粘性など噴火をコントロールする要素が明らかにされ、実際に噴火が発生した際にはどのような観察や分析を実施するとマグマの特徴や噴火の特性が捉えられるのかについての取りまとめがおこなわれた。迅速に火山噴出物の分析・解析をおこなう仕組みも整備された。さらに、プロジェクト遂行の過程で、マグ

マを理解するための新しい視点や手法がいくつも提案され、検証、および、実用化の途にある。加えて、実際に噴火予測をおこなうためのシステムの提案もおこなわれた。

だが、火山噴火はきわめて複雑な過程であるとともに、調査された噴火事例が少なく、加えて時間変化する要素も持つ。このため、実用的な予測をおこなうために必要な情報はまだ十分な精度では決定できていないし、予測手法の有効性の検証もおこなえていない。将来的に実効性のある噴火予測をおこなうには、引き続き個々の火山についてのマグマ供給系やマグマの性質について噴火事例のデータを集めるとともに、似通った火山のデータを集めて類型化して不足する情報を補うなどの工夫が必要と思われる。

(d) 引用文献

1) 曽屋龍典，勝井義雄，新井田清信，堺幾久子，東宮昭彦：有珠火山地質図（第２版）1:25,000，火山地質図 2，産総研地質調査総合センター，p.9，2007.

2) Katsui, Y., Oba, Y., Onuma, K., et al.: Preliminary Report of the 1977 Eruption of Usu Volcano, J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV, Vol.18, No. 3, pp.385-408, 1978.

3) Niida, K., Katsui, Y., Suzuki, T. and Kondo, Y.: The 1977-1978 eruption of Usu volcano, Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV, Vol.19, No.3, pp.357-394, 1980.

4) Hotta, S., Okumura, S., Matsumoto, K., Miyamoto, T., Tomiya, A. and Niida, K.: Petrological constraints on magma ascent processes during the 1977 eruption of Usu volcano, Japan. J. Geophys. Res: Solid Earth, Vol.130, https://doi.org/10.1029/2024JB030966, 2025.

5) Suzuki, S. and Kasahara, M.: Seismic Activity Immediately before and in the Early Stage of the 1977 Eruption of Usu Volcano, Hokkaidou, Japan, J. Fac. Sci., Hokkaido Univ. Ser. 7, Geophysics, Vol.6, No.1, pp.239-254, 1979.

6) 鈴木貞臣，山下　済，渡辺秀文，岡田　弘，西田泰典：1977 年有珠山噴火直前に発生した火山性地震の震源，火山，Vol.25, No.3, pp.181-193, 1980.

7) Nakamura, M.: Continuous mixing of crystal mush and replenished magma in the ongoing Unzen eruption, Geology, Vol.23, pp.807-810, 1995.

8) Saito, T. and Ishikawa, N.: Pre- and syn-eruptive conditions inferred from the magnetic petrology of Fe-Ti oxides from three historical eruptions of Unzen Volcano, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.247-248, pp.49-61, 2012.

9) Iwahashi, K., Ishibashi, H., Yasuda, A. and Hokanishi, N.: Evidence for a ‘third’ endmember of the Unzen 1991-1995 eruption from amphibole thermometry and crystal clots, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.396, https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020, 106833, 2020.

10) 東宮昭彦：マグマ溜まり：噴火準備過程と噴火開始条件，火山，Vol.61, No.2, pp.281-294, 2016.

11) Tomiya, A. and Takahashi, E.: Evolution of the magma chamber beneath Usu volcano since 1663: A natural laboratory for observing changing phenocryst compositions and textures, J. Petrol., Vol.46, No.12, pp.2395-2426, 2005.
12) Tomiya, A. and Takahashi, E.: Reconstruction of an evolving magma chamber beneath Usu Volcano since the 1663 eruption, J. Petrol., Vol.36, pp.617-636, 1995.
13) 東宮昭彦，宮城磯治：有珠火山 2000 年 3 月 31 日噴火の噴出物とマグマプロセス，火山，Vol.47，pp.663-673，2002
14) Burgisser, A. and Bergantz, G. W.: A rapid mechanism to remobilize and homogenize highly crystalline magma bodies, Nature, Vol.471, pp.212-215, 2011.
15) Tomiya, A., Miyagi, I., Saito, G. and Geshi, N.: Short time scales of magma-mixing processes prior to the 2011 eruption of Shinmoedake volcano, Kirishima volcanic group, Japan, Bull. Volcanol., Vol.75, 750, https://doi.org/10.1007/s00445-013-0750-1, 2013.
16) Pallister, J. S., Hoblitt, R. P. and Reyes, A. G.: A basalt trigger for the 1991 eruptions of Pinatubo volcano?, Nature, Vol.356, pp.426-428, 1992.
17) Takeuchi, S. and Nakamura, M.: Role of precursory less-viscous mixed magma in the eruption of phenocryst- rich magma: Evidence from the Hokkaido-Komagatake 1929 eruption, Bull. Volcanol., Vol.63, pp.365-376, 2001.
18) 岡野百花，鈴木由希：榛名カルデラ形成噴火のマグマ―里見火砕流堆積物からの示唆―，日本火山学会講演予稿集，p.145，2019.
19) 木谷悟郎，鈴木由希：榛名カルデラ形成噴火のマグマ-白川火砕流堆積物からの示唆-，日本火山学会講演予稿集，p.147，2019.
20) Suzuki, Y., Toeda, Y., Kimura, S. and Tanaka, R.: Temporal changes of magmas that caused lava-dome eruptions of Haruna Volcano in the past 45,000 years, Journal of disaster research, Vol.17, pp.694-715, 2022.
21) 鈴木由希，福島涼人，外西奈津美，安田敦：榛名火山二ツ岳渋川噴火のマグマと噴火誘発過程，日本火山学会講演予稿集，p.91，2022.
22) 山元孝広：栃木－茨城地域における過去約 30 万年間のテフラの再記載と定量化，地質調査研究報告，Vol.64，pp.251-304，2013.
23) 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，Vol.33，pp.S234-254，1988.
24) Takeuchi, S., Toshida, K., Miura, D. and Uesawa, S.: Relationships between magmatic properties and eruption magnitude of explosive eruptions at Japanese arc volcanoes during the last one hundred thousand years, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.419, https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021, 107345, 2021.

25) 吉田那緒，石橋秀巳，千葉達朗，外西奈津美，安田敦，針金由美子：伊豆大島1986年B噴火のマグマ供給系：深成岩捕獲岩からの制約，日本火山学会2023年秋季大会要旨，B1-19，2023.
26) Bretagne, E., Wadsworth, F. B., Vasseur, J., Humphreys, M. C. S., Dingwell, D. B., Dobson, K. J., Mangler, M. F. and Rooyakkers, S. M.: The permeability of loose magma mush, Geology, Vol.51, pp.829-832, 2023.
27) Oida、R., Ishibashi, H., Tomiya, A., Ushioda, M., Hokanishi, N. and Yasuda, A.: Experimental constraints on the H_2O-saturated plagioclase liquidus and the storage depth of the Izu-Oshima 1986B basaltic andesite melt, Journal of disaster research, Vol.17, No.5, pp.716-723, https://doi.org/10.20965/jdr.2022.p0716, 2022.
28) Newman, S. and Lowenstern, J. B.: VolatileCalc: a silicate melt-H_2O-CO_2 solution model written in Visual Basic for excel, Comp. Geosci., Vol.28, pp.597-604, 2002.
29) Martel, C., Di Carlo, M. I., Champallier, R., Wille, G., Castro, J. M., Devineau, K., Davydova, V. O. and Kushnir, A. R.: Experimental Constraints on the Crystallization of Silica Phases in Silicic Magmas, J. Petrol., Vol.62, https://doi.org/10.1093/petrology/egab004, 2021.
30) Putirka, K. D.: Thermometers and barometers for volcanic systems, Rev. Mineral. Geochem., Vol.69, pp.61-120, 2008.
31) Takeuchi, S.: Precursory dike propagation control of viscous magma eruptions, Geology, Vol.32, pp.1001-1004, 2004.
32) Aoki, Y., Tsunematsu, K. and Yoshimoto, M.: Recent progress of geophysical and geological studies of Mt. Fuji Volcano, Japan, Earth-Science Reviews, Vol.194, pp.264-282, https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.05.003, 2019.
33) Gaetani, G. A., O'Leary, J.A., Shimizu, N., Bucholz, C. E. and Newville, M.: Rapid reequilibration of H_2O and oxygen fugacity in olivine-hosted melt inclusions, Geology, Vol.40, pp.915-918, 2012.
34) Gavrilenko, M., Herzburg, C., Vidito, C., Carr, M. J., Tenner, T. and Ozerov, A.: A Calcium-in-Olivine Geohygrometer and its Application to Subduction Zone Magmatism, J. Petrol, Vol.57, pp.1811-1832, 2016.
35) 石橋秀巳，岩城吉春，石川徹，外西奈津美，安田敦，田島靖久：霧島御鉢火山のマグマ供給系－AD1235高原スコリア噴火のかんらん石中のメルト包有物からの制約－，地学雑誌，印刷中，2026.
36) Aizawa, K., Sumino, H., Uyeshima, M., Ymaya, Y., Hase, H., Takahashi, H. A., Takahashi, M., Kazahaya, K., et al.: Gas pathways and remotely triggered earthquakes beneath Mount Fuji, Japan, Geology, Vol.44, pp.127-130, 2016.
37) 小野晃司，渡辺一徳：5万分の1阿蘇火山地質図，地質調査所，1985.

38) 渡辺一徳：阿蘇火山の生い立ち―地質が語る大地の鼓動―，一の宮町史自然と文化阿蘇選書 Vol.7，一の宮町，241p.，2001.
39) 松本哲一，宇都浩三，小野晃司，渡辺一徳：阿蘇火山岩類の K-Ar 年代測定―火山層序との整合性と火砕流試料への適応―，日本火山学会 1991 年秋季大会講演予稿集，p.73，1991.
40) 鈴木由希，外西奈津美，前野深，安田敦：斑晶から探る噴火準備・誘発過程－新燃岳享保噴火への応用，防災科学技術研究所研究資料，Vol.523，pp.39-44，2026.
41) Shimano, T., Yasuda, A. and Iguchi M.: Principal Component Analysis of the Color of Bulk Ash Samples at Sakurajima Volcano, Southwest Japan, Journal of disaster research, Vol.20, No.3, pp.308-316, 2025.
42) 嶋野岳人，山田大志：バルク火山灰測色値による桜島火山の噴火推移過程の考察，日本火山学会 2025 年秋季大会講演要旨，B1-01，2025.
43) 立尾有騎，井口正人：桜島における BL 型地震群発活動に伴う地盤変動，火山，Vol.54，No.4，pp.175-186，2009.
44) Cassidy, M., Manga, M., Cashman, K. and Bachmann, O.: Controls on explosive-effusive volcanic eruption styles, Nature Communications, Vol.9, No.2839, pp.1-16, 2018.
45) Waters, L. E. and Lange, R. A.: An updated calibration of the plagioclase-liquid hygrometer-thermometer applicable to basalts through rhyolites, American Mineralogist, Vol.100, No.10, pp.2172-2184, 2015.
46) Zhang, Y., Xu, Z., Zhu, M. and Wang, H.: Silicate melt properties and volcanic eruptions, Rev. Geophys., Vol.45, No.4, pp.1-27, 2007.
47) Giordano, D., Russell, J. K. and Dingwell, D. B.: Viscosity of magmatic liquids: A model, Earth Planet. Sci. Lett., Vol.271, pp.123-134, 2008.
48) Frontoni, A., Costa, A., Vona, A. and Romano, C.: A comprehensive database of crystal-bearing magmas for the calibration of a rheological model, Scientific data, Vol.9, No.247, pp.1-11, 2022.
49) Papale, P.: Strain-induced magma fragmentation in explosive eruptions, Nature, Vol.397, pp.425-428, 1999.
50) Mujin, M. and Nakamura, M.: Late-stage groundmass differentiation as a record of magma stagnation, fragmentation, and rewelding, Bull. Volcanol., Vol.82, No.48, https://doi.org/10.1007/s00445-020-01389-1, 2020.
51) Di Genova, D., Kolzenburg, S., Wiesmaier, S., Dallanave, E., Neuville, D. R., Hess, K. U. and Dingwell, D. B.: A compositional tipping point governing the mobilization and eruption style of rhyolitic magma, Nature, Vol.552, pp.235-238, 2017.
52) Yoshida, K., Miyake, A., Okumura, S.H., Ishibashi, H., Okumura, S., Okamoto, A., Niwa, Y., Kimura, M., Sato, T., Tamura, Y. and Ono, S.: Oxidation-induced nanolite crystallization triggered the 2021 eruption of

Fukutoku-Oka-no-Ba, Japan, Scientific Reports, Vol.13, No.7117, https://doi.org/10.1038/s41598-023-34301-w, 2023.
53) Miaygi, I.: AIST Repository of back data: The geochemical and petrological characteristics of prenatal caldera volcano: a case of the newly formed small dacitic caldera, Hijiori, Northeast Japan (Miyagi et al., 2017), AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003341, 2025.
54) Miyagi, I. and Conway, C.: Thermodynamic dataset and the contour maps of some useful petrological parameters on pressure-temperature plane: Case of Ruapehu dacite lava and basalt from the Taupo volcanic zone, New Zealand, AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003362, 2025.
55) Miyagi, I.: Thermodynamic dataset and the contour maps of some useful petrological parameters on pressure-temperature plane: Case of Tyatya and Mendeleev volcano, Kuril arc, AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003405, 2025.
56) Miyagi, I.: Thermodynamic dataset of Mt. Ontake magma, AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003412, 2025.
57) Miyagi, I.: Thermodynamic dataset and the contour maps of some useful petrological parameters on pressure-temperature plane: Case of Wada Pass (Wadatoge) rhyolite, Kirigamine Volcano, Central Japan, AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003411, 2025.
58) Miyagi, I.: Thermodynamic dataset of Shinmoedake magma, Kirishima volcano, Kyushu Japan, AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003416, 2026.
59) Miyagi, I.: Thermodynamic dataset of Aso key basalts, AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003419, 2026.
60) Miyagi, I.: Thermodynamic dataset of Sakurajima key basalt and andesite, AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003426, 2026.
61) Miyagi. I.: Thermodynamic data set for the primitive basalt of Yakedake, AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003425, 2026.
62) Kotov, A., Tsuchiya, N., Okumura, S., Ban, M., Uno, M., Miyagi, I., Shimizu, K., Ushikubo, T., Agroli, G., Yoshimura, S. and Bayarbold, M.: Magmatic evolution and timescales of the Naruko caldera system (NE Honshu): Insight from orthopyroxene and quartz mineral zoning, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.467, https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2025.108415, 2025.
63) Conway, C. E., Calvert, A. T., Ishizuka, O., Yamasaki, S., Miyagi, I., Harigane, Y. and Leonard, G. S.: Prolonged cooling of andesitic-dacitic lava flows produces optimal groundmass material for 40Ar/39Ar dating, Chemical Geology, Vol.705, 123268, https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2026.123268, 2026.

64) Oyanagi, R., Kazama, T., Kazahaya, R., Miyagi, I., Yamamoto, K. and Iguchi, M.: Magma mass increase under Sakurajima Volcano, Japan, inferred from campaign relative gravity and leveling data from 1975 to 1992: an interpretation from volcanic gas studies, Earth, Planets and Space, Vol.78, No.45, https://doi.org/10.1186/s40623-026-02365-3, 2026.

65) Miyagi, I., Geshi, N., Hamasaki, S., Oikawa, T. and Tomiya, A.: Was the 2014 phreatic eruption of Mt. Ontake caused by shallow magma injection in 2007?, 国際シンポジウム「箱根山噴火から10年：水蒸気噴火へ向けた火山の観測研究と情報発信の世界的な進展」, ポスター発表（英語), 神奈川県立生命の星・地球博物館, 2025.

66) Miyagi, I., Geshi, N., Hamasaki, S., Oikawa, T. and Tomiya, A.: Heat source of the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake, Japan, Bulletin of Volcanology, Vol.82, No.33, pp.1-17, 2020.

67) Takagi, A. and Onizawa, S.: Shallow pressure sources associated with the 2007 and 2014 phreatic eruptions of Mt. Ontake, Japan, Earth, Planets and Space, Vol.68, No.135, pp.1-9, 2016.

68) 宮城磯治, 木尾竜也, 松本恵子, 池永有弥, 及川輝樹, 古川竜太, 岩橋くるみ, 新谷直己, 宝田晋治, 草野有紀, 東宮昭彦, 斉藤元治：新燃岳2025年7月2〜4日噴火の火山灰構成粒子の鉱物・ガラス化学組成, 日本火山学会, p.75, キッセイ文化ホール, 2025.

69) Miyagi, I., Hoshizumi, H., Suda, T., Saito, G., Miyabuchi, Y. and Geshi, N.: Importance of long-term shallow degassing of basaltic magma on the genesis of massive felsic magma reservoirs: a case study of Aso Caldera, Kyushu, Japan, Journal of Petrology, Vol.64, No.3, https://doi.org/10.1093/petrology/egad009, 2023.

70) 宮城磯治：火山噴火規模抑制方法, J42789（整理番号), 特願2025-140580, 国立研究開発法人産業技術総合研究所（特許出願人), 提出日2025年8月26日, 2025.

71) 宮城磯治：マグマの脱水作用：地熱資源, 鉱物資源, 巨大噴火とのかかわり, 日本鉱物科学会, S2-05, 山口大学, 2025.

72) 宮城磯治：地熱資源と巨大噴火抑制について, 日本地熱学会, B31, アイーナ・いわて県民情報交流センター, 2025.

73) 宮城磯治：火道内マグマ対流脱ガスを利用した巨大噴火抑止方法, 日本火山学会, B3-07, キッセイ文化ホール, 2025.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

別添「学会等発表実績」のとおり。

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

宮城磯治(発明者)：火山噴火規模抑制方法，J42789(整理番号)，特願特願 2025-140580，国立研究開発法人産業技術総合研究所(特許出願人)，提出日 2025 年 8 月 26 日.

2) ソフトウエア開発

名称	機能

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 事業期間全体の代表的な成果

(a) 火山噴出物分析・解析プラットホームの立ち上げ（東京大学）

噴火発生の際にいち早く噴出物の特徴を捉えて噴火予測に必要なマグマ供給系像を提供できるようにするとともに、平時には火山噴火履歴調査から得られるマグマ供給系の特徴やその時間変化についての知見を蓄積しておくという目的で、火山噴出物の組成分析からその解析やデータベース化までをワンストップで実行するためのシステムを立ち上げた。微小領域の化学組成分析にすぐれたフィールドエミッション型電子線マイクロプローブ、全岩化学組成分析のための蛍光 X 線分析装置、データ解析用 PC、データベース用 PC から構成されている。大面積（鉱物薄片サイズ）の詳細な反射電子線像や X 線像の取得、さらには､気泡や結晶サイズに着目した組織解析を組み合わせた自動分析ツールの作成により、火山灰構成粒子比の算出や鉱物斑晶の存在比などが容易に求められるようになった。加えて、試料の画像と定量分析点を結びつけてデータベースに記録することにより、将来的な分析データの再利用も可能になっている。これまでに 7 万枚を超える火山噴出物の反射電子線像が撮影され、組織解析に基づく研究に使われるとともに、今後の再利用に向けてデータベースに保存された。

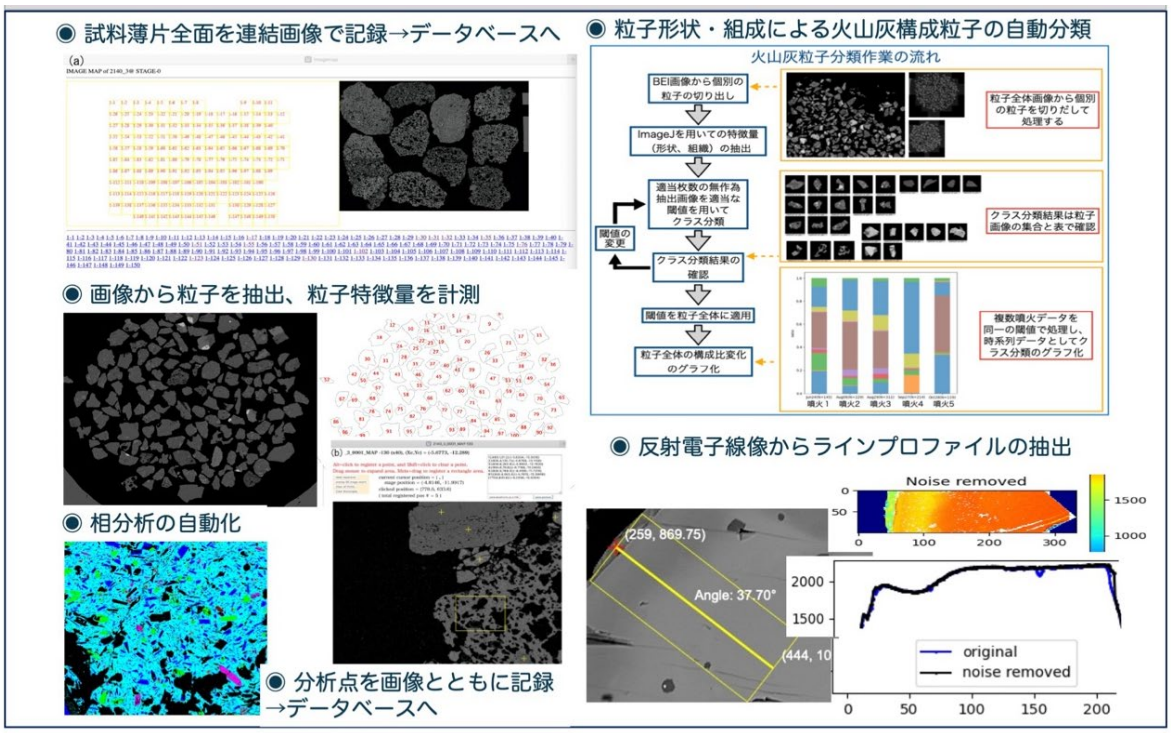


図 15　分析・解析プラットホームの幾つかの主要な機能。噴火に関する情報を取り出すための解析ツールや、結果を再利用可能な形でデータベースに記録するための多くの機能が新たに開発され、使用者が簡単に使えるようになっている。

(b) 噴火予測の鍵のとりまとめ（東京大学）

本研究では、噴火予測の実現のために、「マグマ溜まりの位置と状態を知る」と「噴火前後のマグマの状態と動きを知る」という 2 点に焦点をあてて、噴火事象分岐の「鍵」となる要素について検討をすすめてきた。それらの成果を、マグマ供給系のどの場所で発生するどのような現象に着目すると噴火の予測に有効かという観点から取りまとめた（図 16）。物質科学的にどのような分析・解析が必要か、噴火切迫時や噴火の進行とともにそのような「鍵」がいつ使えるのか、予想される現象はどのような物理観測として捉えられる可能性があるのか、という点から表にしてある。加えて、迅速に現象を把握しての噴火発生後の状況判断に役立つよう「火山灰粒子色相分析法の開発」、「火山灰粒子構成比自動分類手法の開発」、「XRF・EPMA と連動した解析システム構築」、「熱力学シミュレーション補助システムの構築」がおこなわれており、噴火予測のタイムラインの中で、それらから得られる情報をどのように活かすのか、という点も含めてまとめられており、いわば、噴火予測システム構築のための仕様書というべきものが作成された。

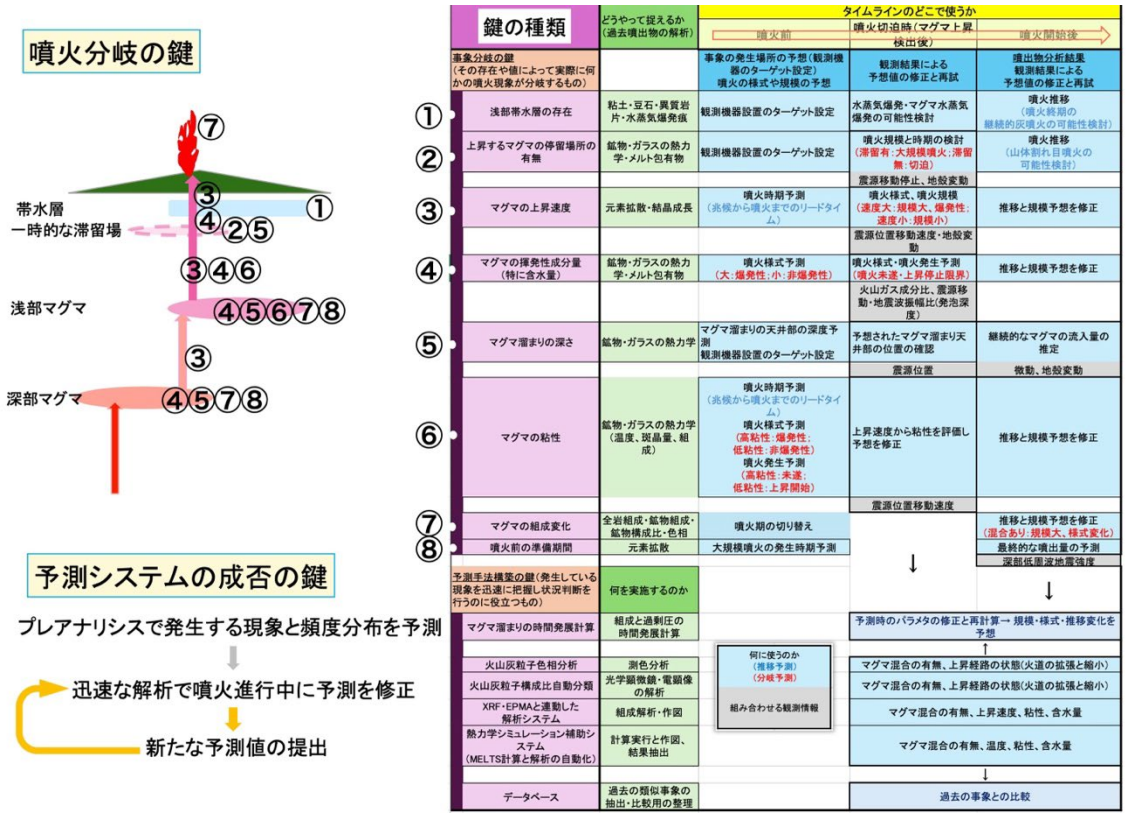


図 16　左が噴火事象分岐予測の鍵となる場を示したマグマ供給系の概念図、右は鍵要素の内容と噴火タイムラインの中でどのようなことを知ることができるのかをまとめたもの。赤字は噴火事象における主要な分岐。

(c) 噴火予測手法の提案（東京大学）

噴火予測の実現のためには、プロジェクトで得られた噴火予測のための「鍵」要素のどの程度の変化が、実際の噴火にどの程度の影響を与えるのか、定量的検討が不可避である。そこで、噴火推移予測を機能させるための具体的なシステムについて、火山学会 2025 年秋季大会で提案した。

予測システムに重要なのは以下の 3 点である。(1) マグマ供給系の物理モデルは時間発展型にし、マグマ上昇から噴火発生に至るシミュレーション計算をおこなう。この際、プロジェクトで得られた「鍵」要素を入出力として組み込む。(2) 未確定の変数の値を振った多数の計算をおこなう必要があるため、計算時間を短くできるようできるだけ単純な物理モデルにする。(3) マグマ供給系には不確定要素が多く、加えてマグマの上昇は破壊を伴うため、決定論的な予測計算をおこなうシステムにはせず、不確定な要素の値を振って多数のプレアナリシス計算をおこなうアンサンブル予測的な手法をとる。

このようなシステムを作成し、プレアナリシスとして多数回の噴火発生のシミュレーションをおこなう。これにより、さまざまな鍵要素の相対的な影響度を定量的に評価できるとともに、予測の精度向上のために必要な分析や観測精度が明らかにできる。

加えて、直接的に予測に使うこともできる。短期予測としては、実際に噴火切迫の兆候が観測された際には、その観測結果を使ってプレアナリシス結果の絞り込みをおこない、より確からしい噴火予測がおこなえるようにできる。また、中長期予測としては、マグマ溜まりの組成や状態によってどのような規模の噴火が発生しやすいか、どのような時間間隔で噴火が発生しやすいか、という点からプレアナリシス結果を整理することにより、定量的な噴火予測につなげることができる。

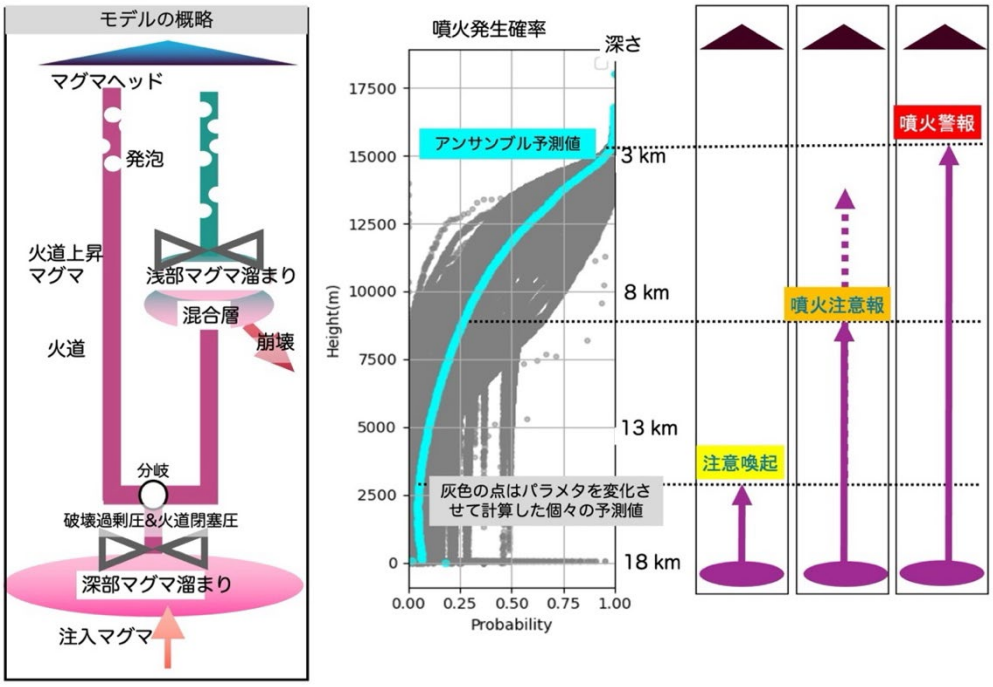


図 17　予測システムを短期予測（噴火発生予測）に用いた例。左はシミュレーションに用いた単純化したマグマ供給系モデルの概略、中央はマグマヘッドの到達位置に着目した噴火発生確率、右はそうした予測をどのように実際の噴火予測に結びつけるのかの概念図。観測により捉えられたマグマヘッドの深度が変化するのに応じて、最終的に噴火が発生する確率が高まるので、それに応じて噴火予測として発表することを目指している。

(d) 苦鉄質火山の地下に隠れた珪長質マグマの検出（静岡大学）

富士山、伊豆東部火山群、伊豆大島などの火山はいずれも、その活動史を通して主に苦鉄質マグマを噴出してきた火山である。しかし、富士山では 1707 年宝永噴火、伊豆東部火山群では約 3100 年前のカワゴ平噴火でそれぞれ、それ以前には確認できない珪長質マグマを噴出した。また、伊豆大島でも 1986 年噴火の際に極めて稀なデイサイト質マグマをごく少量噴出したことが知られている。これらの事例は、苦鉄質火山の地下において、隠れた珪長質マグマが人知れずに噴火準備を進めている可能性を示唆する。一般に珪長質マグマは、苦鉄質マグマに比べて大規模な噴火をおこしやすい（Takeuchi et al., 2021）。したがって、過去の苦鉄質噴出物から、隠れた珪長質マグマの存在を検出できれば、噴火事象分岐予測の改善につながる期待できる。そこで本研究では、伊豆東部火山群の苦鉄質噴出物を対象として岩石学的分析をおこない、隠れた珪長質マグマを検出する方法を検討した。

まず、約 5 千年前に噴出した伊豆大室山の玄武岩質安山岩スコリアについて分析をおこなったところ、低 An 値[=100Ca/(Ca+Na)]・低 Fe 含有量の斜長石斑晶が見られ、これらには流紋岩質ガラスが包有物として含まれることがわかった（Hatada et al., 2020）。そこで、両者の微量元素組成を検討したところ、この流紋岩質ガラス包有物とホスト斜長石が平衡共存していたことが明らかとなった。また、この流紋岩質ガラス包有物の微量元素組成が、カワゴ平の流紋岩質噴出物とよく似ていることが示された（野澤他、2023；火山学会）。さらに、伊豆高原で約 10 万年前から 2700 年前までに噴出した苦鉄質溶岩についても分析したところ、大室山のものと同等の主要・微量元素組成の斜長石斑晶が含まれていた。これらの結果は、同地域の地下で 10 万年間にわたり、苦鉄質マグマの活動に伴って流紋岩質マグマが形成していたこと、また、比較的大規模な噴火を発生したカワゴ平の流紋岩質マグマと本研究の流紋岩質メルトで成因が類似していることを示唆する（野澤他、2024；JpGU）。加えて、隠れた珪長質マグマを検出するうえで斜長石の化学組成、特に Fe 含有量が有力な手掛かりになり得ることを示した。ただし、深成岩中の斜長石も類似の化学的特徴を示すことから、今後、両者を識別する方法を確立する必要がある。

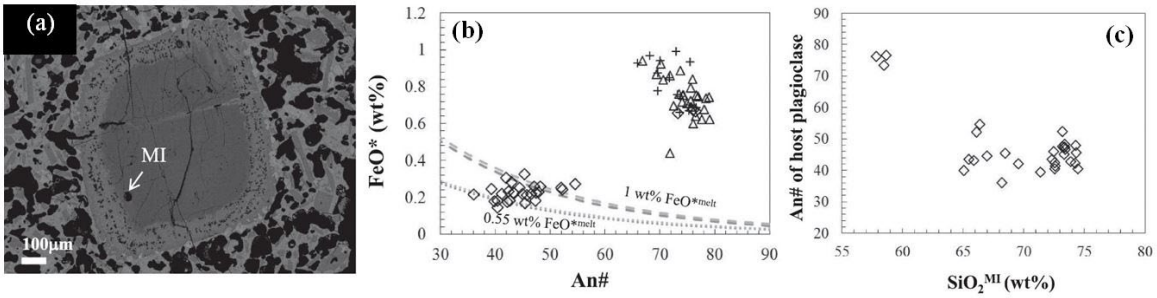


図 18　(a) 伊豆大室山の流紋岩質ガラス包有物を含む低 An・低 Fe の斜長石斑晶、(b) 斜長石斑晶の An 値と Fe 含有量の関係、(c) ガラス包有物の SiO_2 含有量とホスト斜長石の An 値の関係（Hatada et al., 2020）。

(e) H_2O 飽和斜長石リキダス含水量計の信頼性の確認・伊豆大島への適用(静岡大学)

火山地下に蓄積されるマグマの圧力（深さ）・化学組成・状態（結晶量）は、地球物理学的観測データを解釈し、噴火推移を予測するうえで重要な情報である。これらのうち、化学組成や状態に関する情報については、火山噴出物の岩石学的分析から直接得られるが、圧力は、実験に基づいて構築した経験式にガラス・鉱物の化学組成分析値を当てはめて間接的に見積もるのが一般的である。このため、この経験式の信頼性の定量評価は、マグマの貯蔵条件を制約するうえで必須と言える。島弧火山のマグマは、地下の比較的浅部では H_2O に飽和しており、また、斜長石と共存していることが多い。この場合、マグマは H_2O 飽和斜長石リキダス（HSPL）上の温度圧力条件にあり、温度を独立に制約できれば、圧力を決定できる。そこで本研究では、伊豆大島 1986 年 B 噴火の玄武岩質安山岩を出発試料とした H_2O 飽和高温高圧溶融平衡実験をおこない、既存の HSPL モデルの信頼性を評価した。

検討の結果、斜長石リキダス温度含水量計（Putirka, 2008）と H_2O 溶解度曲線（Newman and Lowenstern, 2002）の組み合わせによって実験データをうまく再現できた（図 19(a)；Oida et al., 2022)。そこで、伊豆大島の代表的なメルト組成にこの手法を適用し、噴火前の貯蔵深度を見積もったところ、Al に乏しい Group-I メルトで 0.1-2.6 km、Al に富む Group-I メルトで 2.6-6.5 km、Group-II メルトで 0.5-3.8 km の深さが見積もられた（図 19(b)；石橋・安田、2023)。伊豆大島では地下 3-5 km に浅部マグマ溜まり、8-10 km に深部マグマ溜まりが存在することが地球物理学的に示唆されているが、本研究結果は、いずれのメルトも浅部マグマ溜まり（もしくはより浅部）に蓄積されていたことを示唆する（石橋・安田、2023)。

それでは、深部マグマ溜まりに蓄積されているメルト（メルト X とよぶ）はどのような化学組成なのか？これを制約するため、①メルト X が深さ 8-10 km で H_2O と斜長石・かんらん石に飽和している、②メルト X からの斜長石・かんらん石の結晶分化によって Group-I メルトが形成する、③Group-I メルトの噴火温度(～1100 ℃)より高温の 3 条件を仮定し、これを満たすメルト組成を、Group-I メルトに斜長石・かんらん石を添加する計算によって推定した。その結果、最小の結晶添加量で 3 条件を満たすメルトは Al と Mg に富む玄武岩質組成であり、類似の組成のマグマが実際に伊豆大島や近隣の火山でも噴出していることがわかった（石橋、2024、日本鉱物科学会)。以上より、伊豆大島の浅部マグマ供給系モデルを図 19(c)のように提案する。

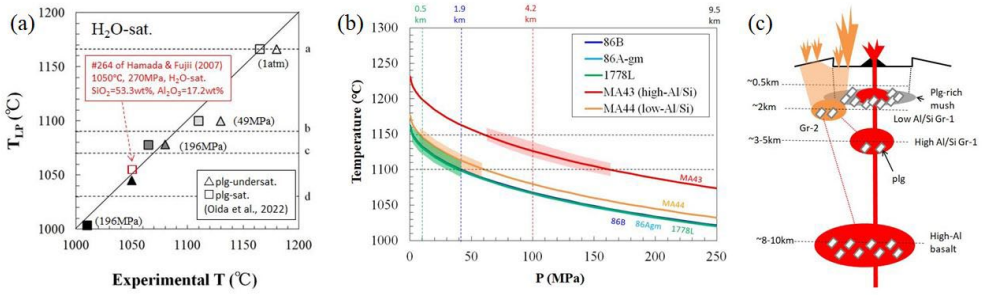


図 19　(a) HSPL モデルと実験値の比較。(b) 伊豆大島の代表的なメルトの貯蔵温度圧力条件。(c) 伊豆大島の浅部マグマ供給系モデル。

(f) 火山灰試料の即時分析システムの構築（鹿児島大学）

本課題 C-1 の火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法を開発するためには、噴火推移メカニズムの理解を推進できるような手法を考案することが重要である。そこで、われわれは、噴出物を時系列で採取し、これを連続的に解析するための分析体制の構築に取り組んだ。その成果として、噴出物の分光学的な性質に着目して、さまざまなステージでその時系列データを導出できるような分析スキームを構築した（図 20）。2018 年に発生した霧島新燃岳噴火では、噴火の最盛期に推移する間に連続採取した火山灰試料について、このスキームを適用した解析をおこなって、噴火推移に伴う噴出物全体の色変化（バルク試料測色値）、粒径ごとの色変化（分級試料測色値）、火山灰粒子毎の色変化（顕微可視分光スペクトル）を迅速に得られるデータから順に導出することで、噴火推移がどのような地下のプロセスを経て噴出したかを復元し、火口の移動に伴う色変化を捕捉することに成功した（Shimano et al., 2024,EPS; 霧島連携研究集会で発表）。

一方、この時得られた色変化推移パターンを用いることにより、2025 年 6 月に発生した新燃岳噴火では、噴火推移に伴う噴出物の色変化をいち早くとらえるとともに、肉眼では捕捉困難な噴出物の赤色酸化を検出することに成功した。視覚的に噴火推移の指標となる火山灰分光測色値の同様のテンプレートは、桜島火山でも作成され、2025 年 5 月や 7 月の活動活発時に噴火推移の指標とすることができた。このように、迅速に測定可能なデータから噴出物の推移をモニターする手法を構築した。同様の手法は桜島、諏訪之瀬島でも構築・応用し、現在取りまとめ中である。

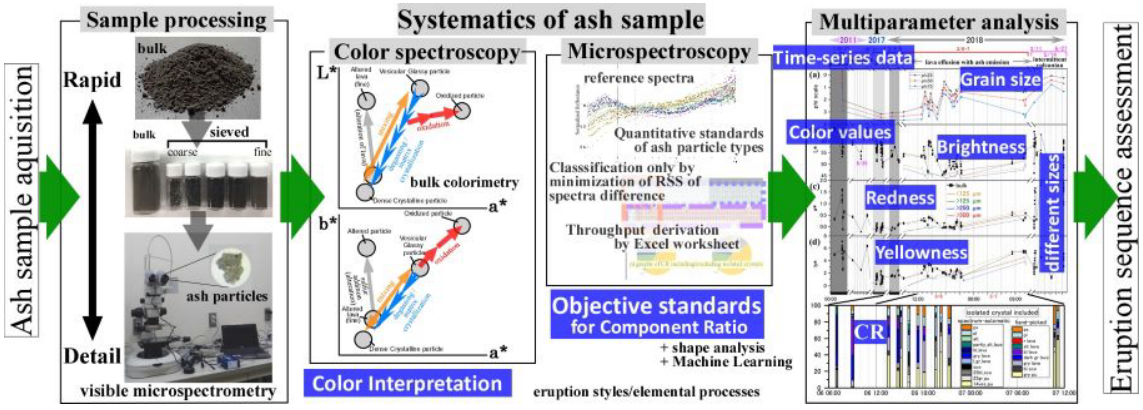


図 20　火山灰試料の複数分光学的手法を用いた階層的分析スキームによるモニタリングの実践。火山灰試料はさまざまな起源を粒子から構成され、異なる起源の粒子はプロセスにより粒径による構成比の差異となって表出される。一方、分析には迅速簡便な手法と精密煩雑な手法が存在するので、噴出物の時系列試料について高頻度簡便／低頻度精密データを階層的に導出する分析スキームを構築した（バルク・分級火山灰試料の分光測色法、火山灰粒子の顕微可視分光法）。これにより、2018 年霧島新燃岳噴火では、噴火活動活発化に伴うマグマ上昇の素過程や火道周辺環境の変化を推定した。

(g) 諏訪之瀬島火山のマグマ供給系時間発展の解明（鹿児島大学）

諏訪之瀬島火山では長期～中期～短期のマグマ物質変化について岩石学的な検討をおこなった。火山体形成と変遷を伴う長期的な活動とマグマの岩石学的特徴の比較においては、山体崩壊時期とマグマ活動パターン及びマグマの定置深度の変化時期が同期していることを見出した。中期～短期の活動に関しては、火山灰の放出活動が現在と同様に継続した約 200 年前以前の火山灰噴出物から準プリニー式噴火へ至る細分層序試料の分析をおこない、噴火活動の活発化がより未分化でガスに富むマグマの間欠的注入による加速的苦鉄質化と同期したことを見出した（図 21)。一方で、直近約 200 年もこうした間欠的なマグマ注入の発生が認められるものの、一定程度に収まり加速的苦鉄質化には至っていないことから、大規模噴火を警戒する上では、このような加速的苦鉄質化のモニタリングが重要であることを示した（一部、伊豆大島連携研究集会で発表、投稿準備中)。

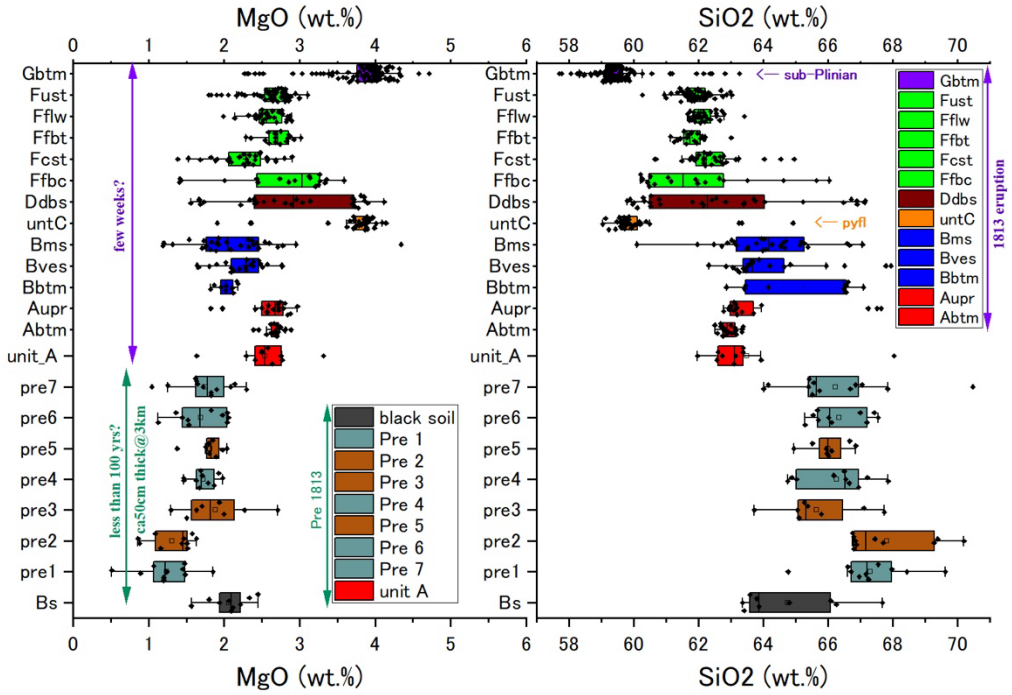


図 21　諏訪之瀬島 1813 年準プリニー式噴火に至る石基ガラス組成変化
下位から層位順に表示．噴火開始（Unit A)、火砕流発生（Unit C)、準プリニー式噴火（Gbtm）で急激な苦鉄質化（マグマ注入）示す。pre1 から pre7 は火山灰質土壌、Bs は腐植土（黒土)。

(h) 桜島火山歴史時代大規模噴火の前駆過程（東北大学）

桜島火山において有史に発生した 3 回の大規模噴火（1471 年、1779 年、1914 年）の噴出物の岩石学的解析を進めた。斑晶に含まれるガラス包有物の含水量から、爆発的噴火を引き起こしたマグマが、姶良カルデラ下の深さ約 10 km 付近に存在すると考えられているマグマ溜まりから上昇を開始したのち、噴火前には火山体直下の極めて浅い領域（深さ 1～3 km）にいったん蓄積されていたことがわかった（Araya et al., 2019）。さらに、磁鉄鉱斑晶の累帯構造などから、浅部での滞留時間は約 50 日程度以上である一方、再び上昇を開始してからは、ごく短時間（動き出してから 2 日以内、マグマ本体は数時間程度）で地表に達していたことがわかった（Araya et al., 2024）。将来発生し得る大規模噴火が、過去 3 回に発生した同じ規模の噴火と同様の前駆過程をたどる場合には、マグマがこのような複雑な動きをする可能性があることを考慮しておく必要がある。

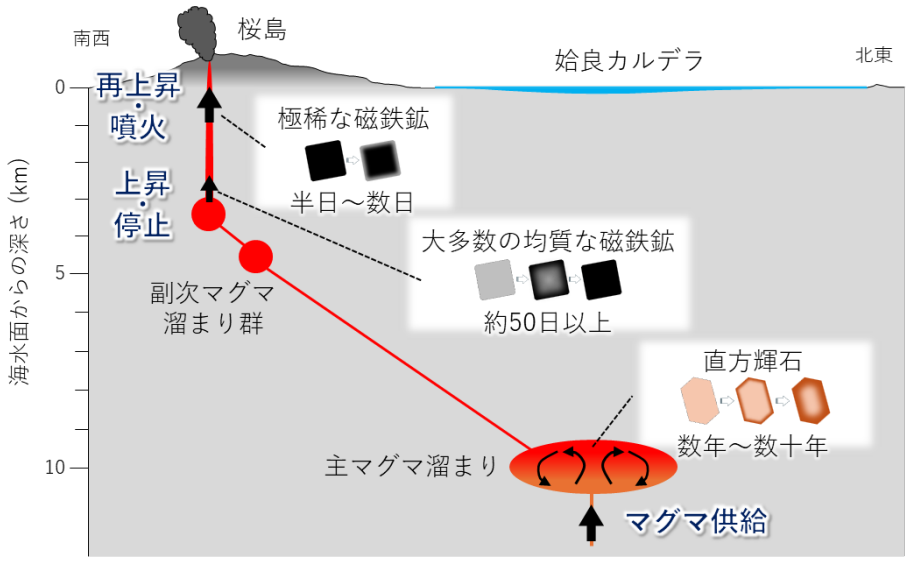


図 22　有史に発生した 3 回の大規模に共通した、噴火に至るまでの地下でのマグマの動き。図中の時間は、鉱物の累帯構造の解析から求めた、それぞれのプロセスの時間スケールを示す。

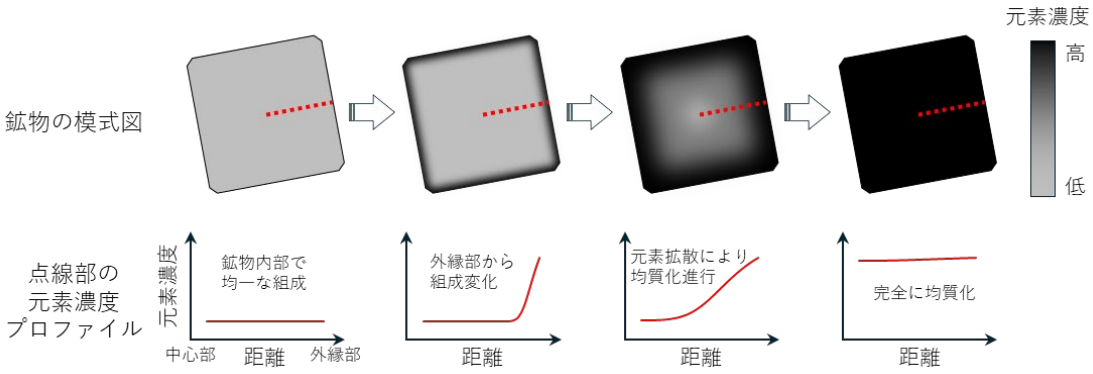


図 23　鉱物の累帯構造と、元素拡散による均質化の模式図。時間が経つにつれて外縁部から組成が徐々に変化していくことを利用してマグマの滞留時間や上昇時間を制約した。

(i) 桜島火山直下でのマグマ結晶化速度（東北大学）

桜島火山が 1955 年の活動再開以降、南岳が活発に活動していた 1976 年 5 月に発生した一連の噴火の噴出物の岩石学的解析を進め、火道浅部まで上昇したマグマの結晶化速度とそれによる粘性上昇速度を調べた。その結果、マグマ中に含まれる単位体積当たりの結晶数・結晶サイズ・結晶体積分率の経時変化が捉えられた。また結晶の成長速度は、マグマ中のシリコン（Si）の拡散速度で律速されると考えてよいことがわかった。マグマの温度や化学組成の違いによる Si の拡散速度の差を補正した上で、これまでの実験室内での結晶化実験結果と比較すると、既存の結晶の成長速度については、今回の桜島の噴火事例に近い過冷却度でおこなわれた実験の結果と概ね一致することが確かめられた。一方、結晶核形成の速度は、マグマが地表近く（圧力 40 MPa 以下）まで上昇してくると、室内実験より少なくとも約 80 倍速くなり、その結果、マグマの結晶化速度も加速することがわかった。さらに、火道浅部のマグマの粘性は、この結晶化によって上昇し、爆発的な噴火を発生し得る閾値に達していたことも明らかとなった。本研究は、桜島において、マグマがいつどの浅さまで上昇してきたかを山体膨張などの観測によって捉えられれば、噴火の発生や様式の予測に役立つマグマ粘性の地下での上昇を、即時的に推定できる可能性があることを示す。

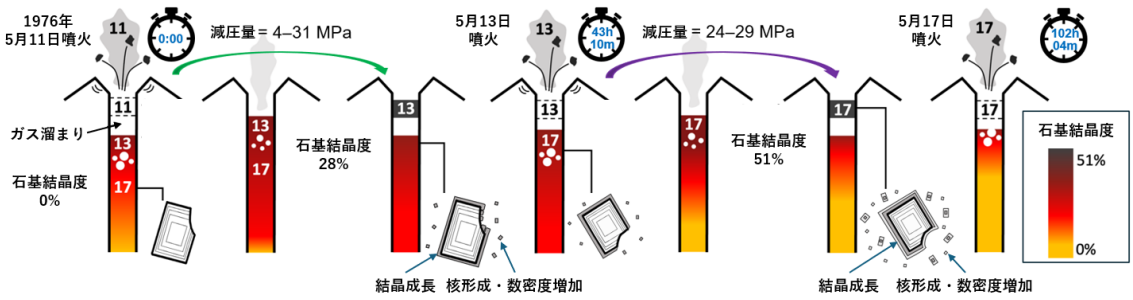


図 24　1976 年 5 月 11～17 日に桜島南岳で発生した一連の噴火で岩石学的に推定されたマグマの減圧量と、石基部分の結晶成長・結晶数密度の増加の模式図。火道内の数字は、各噴火日に噴出したマグマが存在していた推定深度を示す（火道上部のマグマから順々に噴出するモデル）。

(j) 榛名火山のマッシュ状珪長質マグマの時代変化と苦鉄質マグマ供給による噴火多様性の形成（早稲田大学）

安山岩～デイサイト質噴出物の起源であるマッシュ状珪長質マグマの噴出には、苦鉄質マグマとの混合や加熱による粘性低下が重要とされるが、複数噴火に基づく理解は不十分であった。本研究では榛名火山新期活動を対象に、全岩組成、斑晶量、斑晶の EPMA による組成累帯構造解析からマグマ相互作用を復元した。さらに Rhyolite-MELTS による相平衡解析により、マッシュ状珪長質マグマの貯蔵条件が、約 750-790 ℃、2-2.5 kbar に制約されることを示した。その結果、噴火規模および爆発性の多様性は、類似したマッシュに対する苦鉄質マグマの供給量と相互作用様式の違いにより支配される可能性を示した。45～10 ka の 4 噴火（Suzuki et al., 2022）と 5～7 世紀の二ツ岳での 2 噴火（鈴木・他, 2022；Suzuki and Nakada, 2007）の珪長質端成分マグマを比較すると、後者で未分化化と結晶量減少が認められた。斑晶コア組成が共通であることから、その要因は無斑晶質苦鉄質マグマの供給と解釈される。

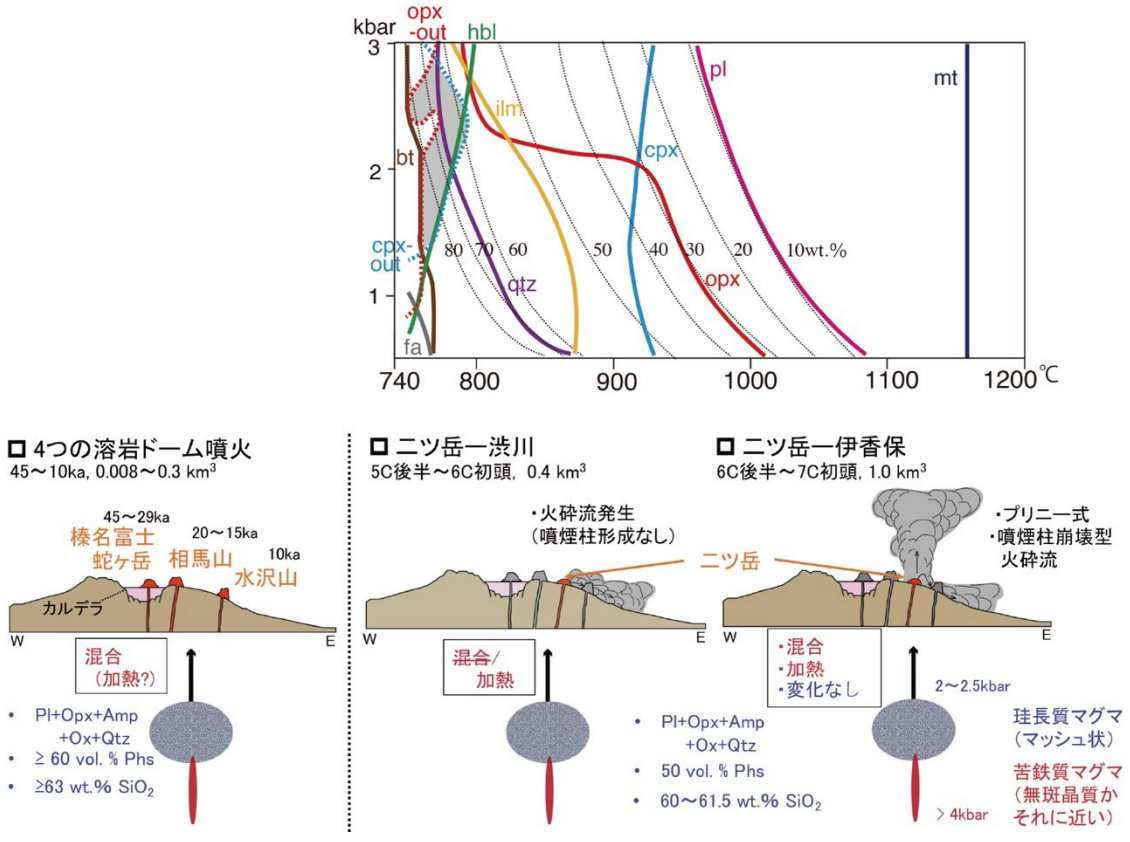


図 25　榛名火山新期活動におけるマグマ供給系の概念図（下）と、マッシュ状珪長質マグマについて Rhyolite-MELTS で決定した相平衡図（上）。噴出物総量は山元（2013）による。相平衡図は二ツ岳の 2 噴火について求め、酸素分圧は FMQ+3 を仮定。

(k) 新燃岳享保噴火における噴火イベントの識別とマッシュ状マグマ噴出過程の時間発展（早稲田大学）

新燃岳の享保噴火（1716-1717 年、VEI4）は、単一噴火内に複数の噴火イベントを含み、かつ各イベント内でマグマの寄与が時間的に変化することを見出した。まず、降下火砕堆積物に含まれる軽石の見かけ密度の層序変化から、SmKP-2、4～5、6 に対応する複数イベントを認定した。各イベントでは、上位ほど見かけの密度が低下し、上位が噴火最盛期に対応する。この区分は、SmKP-2 と SmKP-4～5 の間に火山灰層が存在することとも整合的であり、噴火規模の小さい 2011 年噴火（VEI3）の堆積物に噴火休止を示す火山灰層が認められない点と対照的である。さらに、各イベント内で上位に向かって灰色軽石の SiO_2 量および縞状軽石比が増加することから、初期には苦鉄質マグマの寄与が高く、時間とともに低下する系統的変化が明らかとなった。灰色軽石には EPMA で認識できる程度の微細ミングリング組織があり、ミングリング組織が多いほど SiO_2 量も高い。以上のことは、マッシュ状低温マグマと高温マグマの混合系において、低粘性部分が選択的にマグマ溜まりから上昇した結果と解釈される。磁鉄鉱の MgO プロファイルは多段階のマグマ混合を記録し、第 1 段階の混合後に、少なくとも 6～13 時間程度以上を経て組成累帯構造が均質化し、その後、第 2 段階の混合から噴出までに数時間～30 時間が経過した。これらの時間は一般的な噴火イベントの継続時間より長く、化学的に多様な混合マグマは、イベント発生前に先行してマグマ溜まりにて形成されていた可能性が高い。イベント発生時には化学的に多様な混合マグマ間でミングリングが発生し、微細ミングリング組織や縞状軽石が形成された。なお端成分マグマの組成および貯蔵条件は 2011 年噴火と類似する。

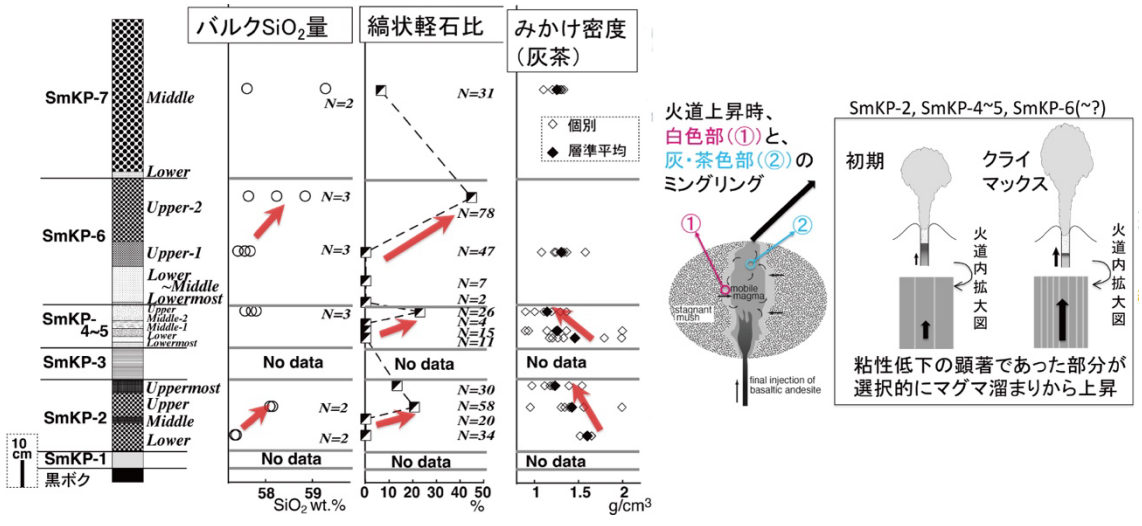


図 26　新燃岳享保噴火の噴出物の時間変化（左）と、噴火に関わった端成分マグマの比率の時間変化を説明するためのモデル図（右）。

(1) 阿蘇火山の 2 種類の火山ガス組成に対応した地下浅部と深部の玄武岩質マグマ溜まり（福岡大学、熊本大学）

阿蘇火山では完新世の玄武岩質火山噴出物の斑晶メルト包有物から、地下のマグマ溜まりの深度および溶存揮発性元素量についての岩石学的制約が得られた。噴出物は非平衡な鉱物の組み合わせや岩石組織を有し、揮発性元素に乏しい珪長質端成分マグマと揮発性元素に富む苦鉄質端成分マグマの混合産物であると考えられる。混合マグマの噴火直前の蓄積深度は約 2-4 km と推定され、地物観測により特定されたマグマ溜まりの深度（C1、C2；図 27）に相当する。苦鉄質端成分であるより未分化な玄武岩質マグマは約 10 km 以深からこれらの浅部マグマ溜まりに供給されているとみられる。斑晶鉱物およびメルト包有物の化学組成に基づき、未分化マグマの揮発性成分量は>4.68 wt.% H_2O、400-750 ppm CO_2、3750 ppm S、716 ppm Cl、324 ppm F と制約された。

さらに、中岳の火口域で観測される火山ガス組成の多様性は、深部マグマから約 10 km の深さで分離した CO_2-rich ガスと浅部マグマ溜まりに由来する CO_2-poor ガスの混合で説明できることがわかった。深部からの分離ガスの供給は、歴史噴火において観測されている SO_2 および CO_2 の過剰脱ガス現象を説明しうる。

本成果により特徴が明らかになった化学組成の異なる浅部（2-4 km）および深部（>10 km）の両マグマ溜まりは、今後の地球物理学的観測における重要なターゲットである。また本成果により制約された火山ガス組成と各マグマ溜まりの関係性は、火山ガス組成や放出量の変化からマグマの量や上昇過程を検討する際の手掛かりになる。

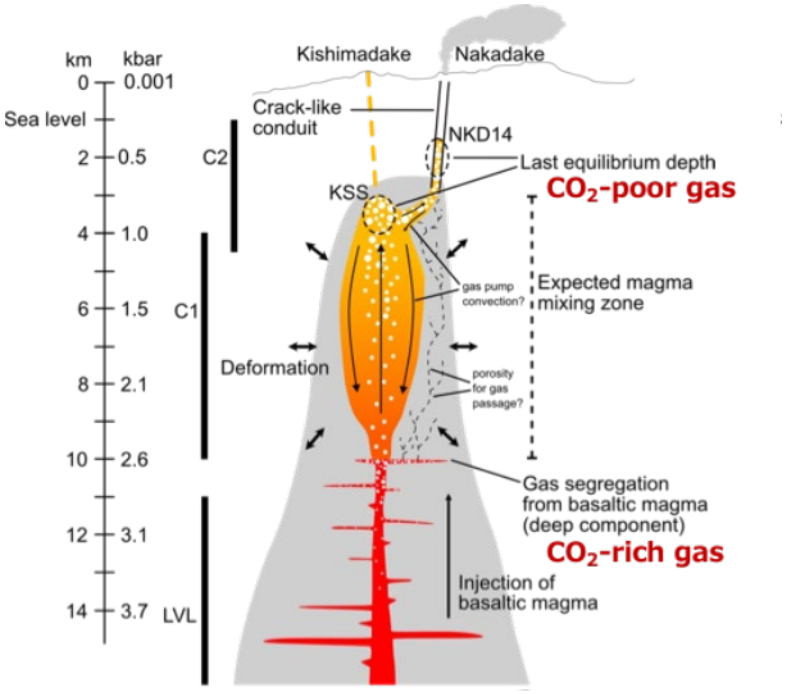


図 27　阿蘇火山におけるマグマ供給系および火山ガス組成変化の概念図（Kawaguchi et al., 2021 に一部加筆）。C1、C2、LVL は地球物理学的観測で特定された深度（Yamamoto et al., 1999; Sudo and Kong, 2001; Tsutsui and Sudo, 2004; 須藤ほか, 2006; Abe et al., 2010; Hata et al., 2016）。灰色の領域は Hata et al. (2016) の低比抵抗領域に相当する。

(m) 噴火事象分岐判断手法 -有珠火山と雲仙火山の比較に基づくモデル化-（産業技術総合研究所）

噴火事象分岐判断手法の確立には、噴火直前に進行するマグマ過程とその時間スケールを明らかにする必要がある。しかし、同じく珪長質マグマが活動する火山であっても、有珠火山は爆発的噴火を繰り返す一方、雲仙火山は非爆発的噴火を繰り返すなど、噴火様式は大きく異なる。この違いをもたらす要因を、岩石学的・地球物理学的観測と整合的に説明できる枠組みは十分に整理されていなかった。本研究では爆発的噴火の代表例として有珠火山 1977 年準プリニー式噴火、非爆発的噴火の代表例として雲仙火山 1991-1995 年溶岩ドーム噴火を対象に、噴火直前過程を比較した。有珠火山では、磁鉄鉱累帯構造やメルト包有物分析から、噴火直前に高温マグマの注入・混合が起こり、数日以内に噴火へ至ったことが示された。また噴火進行に伴いマグマヘッドが浅部へ移行する過程が推定され、噴火直後の地震・微動の一時的静穏化とも整合的に説明可能であった。一方、雲仙火山では、地下浅部に高結晶度のマッシュ状マグマ溜まりが存在し、高温マグマの注入による再流動化・混合を経て、数か月規模で非爆発的噴火に至る過程が整理された。これらを踏まえ、浅所マグマ溜まりの結晶度の違いが、マグマ混合様式と噴火までの時間スケールを変え、噴火様式の分岐を支配するというモデルを提唱した。すなわち、(A)：即時噴火タイプ（有珠型)、(B)：境界層形成タイプ（新燃岳型・ピナツボ型)、および(C)：連続的混合タイプ（雲仙型）である。本モデルは噴火事象分岐を理解するための基本的枠組みを与えるが、実際の噴火過程は火道条件や供給率などにより多様である。今後は多様な噴火事例を対象に、浅所マグマ溜まりの状態、混合様式、噴火様式の対応関係を体系的に整理し、モデルの高精度化を進める必要がある。また、岩石学的推定を地球物理観測に結び付け、観測可能な前兆指標へと翻訳することで、噴火事象分岐判断手法の実装可能性を高めることが期待される。

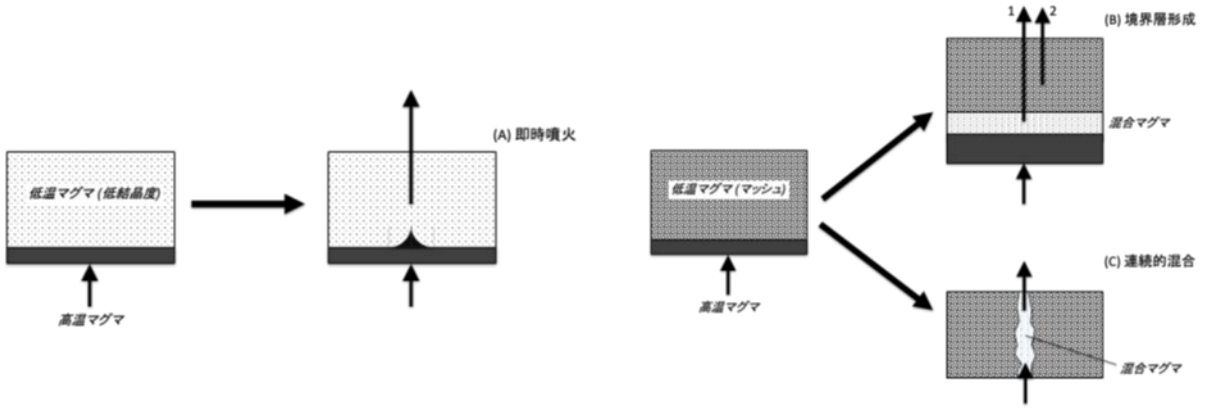


図 28　浅所マグマ溜まりの結晶度の違いが、マグマ混合様式と噴火までの時間スケールを変え、噴火様式の違い（(A),(B),(C)）を支配する。

(n) 小規模噴火に対する成果 -熱源進化に基づく早期警戒可能性-（産業技術総合研究所）

御嶽山 2014 年水蒸気噴火に代表される小規模噴火は、発生頻度が比較的高い一方で、被害が火口周辺など限られた範囲に集中するという特徴をもつ。そのため、噴火発生の切迫性を事前に把握し、一定期間の立入制限を実施できれば、人的被害を大きく軽減できる可能性が高い。本研究では、御嶽山 2014 年噴火の噴出物中にごく微量に含まれる新鮮なマグマ破片に着目し、その化学組成分析と熱力学解析結果を組み合わせることで、噴火を引き起こした熱源の存在深度を岩石学的に推定した。その結果、推定された熱源深度は、2007 年に地球物理学的観測によって山体直下に検出されていた膨張源の深さと良く一致することが明らかとなった。この整合性は、2007 年に注入したマグマが、約 7 年間にわたり熱水滞留系を形成・成熟させ、その最終的な破裂として 2014 年の水蒸気噴火に至った可能性を示唆するものである。すなわち、水蒸気噴火は突発的・不可知な現象ではなく、マグマ注入に始まる中長期的な準備過程の末に発生した事象として理解できる。この解釈が一般化可能であるならば、継続的な地球物理学的観測によって山体直下へのマグマ注入に伴う膨張が検出された火山については、重点的な観測対象として位置づけることが合理的である。通常の観測網よりも高密度・高感度な観測体制の下で注視することにより、水蒸気噴火直前に生じるごく僅かな変動を捉え、噴火リスクに関する警戒情報をより早期に発出できる可能性が示された点は、本研究の重要な成果である。

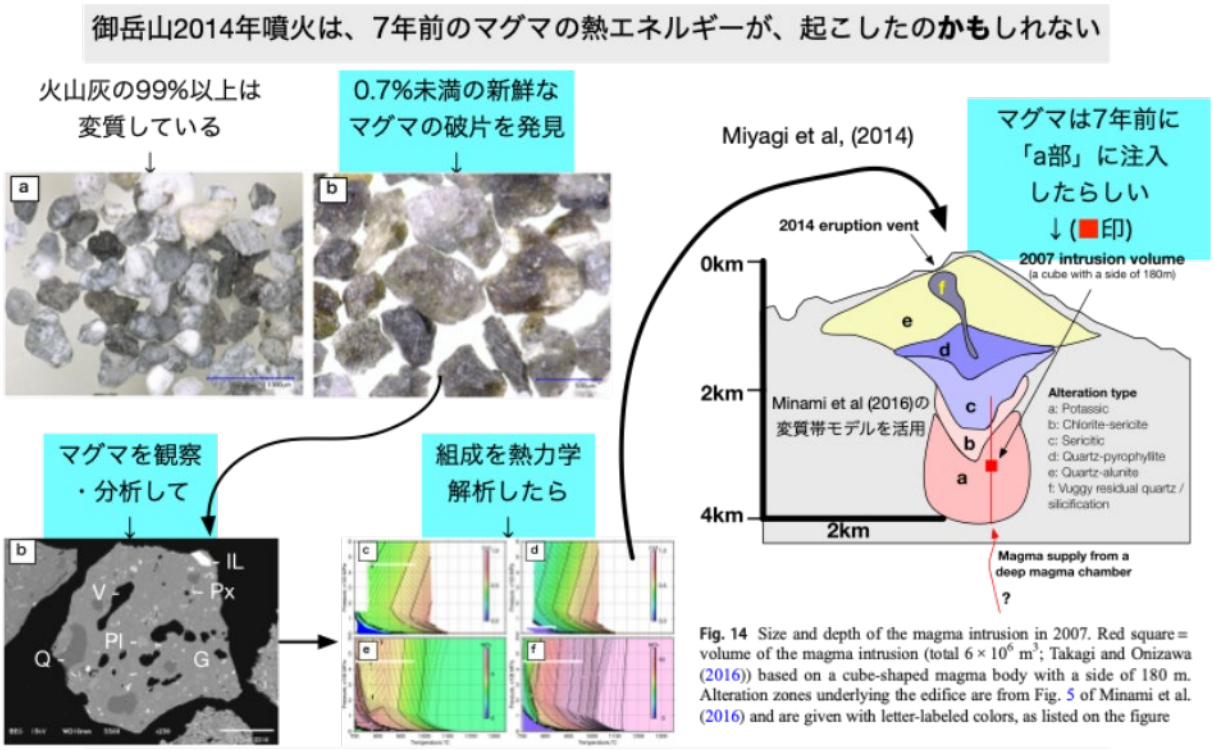


図 29　御岳山 2014 年噴火の発生原因の推定手法

(o) 巨大噴火に対する成果 -防災の盲点への新たなアプローチ-（産業技術総合研究所）

トピック(n)とは対照的に、約 9 万年前に発生した阿蘇 4 噴火に代表される巨大噴火は、発生頻度こそ低いものの、被害が広域かつ甚大であり、現行の火山防災体系では対応が極めて困難である。現在の火山防災は基本的に「予測・観測・避難」に依拠しているが、巨大噴火の場合、仮に発生を事前に察知できたとしても、被災想定域が桁違いに広く、日常生活と被害軽減を両立させる実効的対策は存在していない。結果として、巨大噴火は長らく火山防災の射程外、いわば制度的な盲点として扱われてきた。本研究では、阿蘇火山における斑晶ガラス包有物の分析結果と、熱力学解析結果を組み合わせ、カルデラ噴火におけるマグマ供給系の理解を再検討した。従来強調されてきた「深部に存在する巨大マグマ溜まり」像から一歩踏み込み、浅部における脱ガス過程とその長期的進行に注目した結果、カルデラ噴火に至る準備過程は、人為的介入によって干渉可能なプロセスを含む可能性が示された。すなわち、火口下浅部でのマグマの脱ガス過程を長期的に制御・促進することによって、将来発生し得る巨大噴火を抑止あるいは規模的に抑制できる可能性が理論的に示された。さらに、この過程に付随して、膨大な地熱エネルギーや金属資源を副次的に回収できる可能性も示された。本研究成果は火山防災のみならず、エネルギー・資源利用の観点からも新たな展望を開くものとなった。この概念は特許（特願 2025-140580，2025 年 8 月 26 日提出）として整理され、実装可能性の検討段階へと進んでいる。

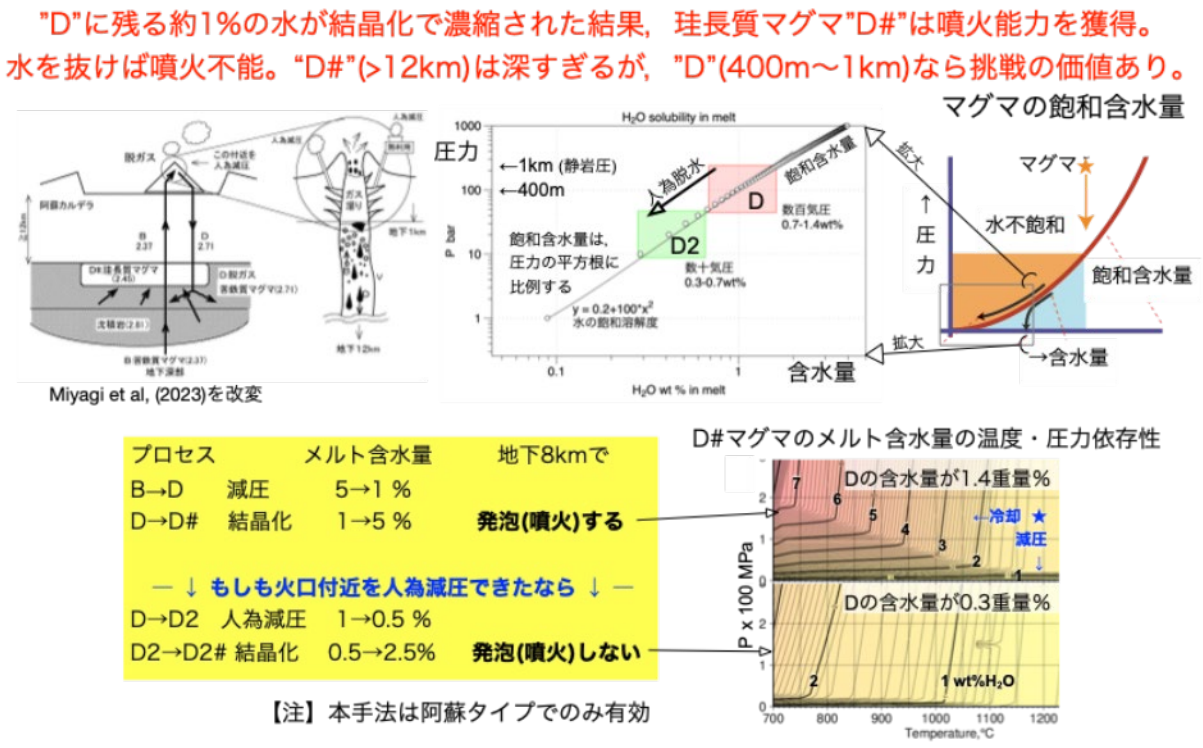


図 30　巨大噴火を抑止する方法の熱力学的背景

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

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

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

(b) 担当者

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

		主任研究員 主任研究員 主任研究員 研究員	山﨑　誠子 草野　有紀 谷内　元 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 准教授	荒川　洋二 池端　慶
信州大学理学部地球学コース	協力機関	教授	斎藤　武士
電力中央研究所	協力機関	企画グループスタッフ	上澤　真平
防災科学技術研究所	協力機関	主任専門研究員	長井　雅史
株式会社エンバイオ・エンジニアリング	協力機関	技術部長	和知　剛

(c) 業務の目的

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

(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 28 年度：

全国各地にある重点火山・最重点火山について、これまでの研究成果のとりまとめと基礎的な地質調査を行い、浅間山についてはトレンチ掘削調査を、南西北海道において浅深度のボーリング掘削を実施した。また、6 火山において次年度のボーリング掘削・トレンチ掘削地点を選定した。そして、気象庁コアをベースとした全国各地の火山の噴火履歴の解明を行った。さらに、大規模噴火データベースの構築に向けて、国内で過去約 15 万年間に発生した「大規模噴火」の噴火推移や噴出物の分布に関する情報を収集した。また、北海道大学では、防災科学技術研究所とともにボーリングコア

試料の保管・管理システムの構築準備を行った。さらに、北海道大学の既存施設にフーリエ変換赤外分光光度計を導入し、「マグマ変遷解析センター」を立ち上げ、整備した。

2）平成 29 年度：

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

3）平成 30 年度：

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

4）平成 31 年度（令和元年度）：

平成 31 年度（令和元年度）は、平成 30 年度に行った調査結果をもとに、雌阿寒岳・羊蹄山・鳥海山・秋田焼山・蔵王山・新潟焼山・浅間山・日光白根山・草津白根山・白山・御嶽山・阿蘇山において重機またはトレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴を詳細に明らかにした。さらに、摩周およびアトサヌプリでは、ボーリング掘削調査を実施し、過去数万年間の噴火履歴解明に着手した。その他の重点火山については、

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

5）令和2年度：

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

6）令和3年度：

令和3年度は、アトサヌプリ・十和田・秋田焼山・蔵王山・栗駒山・吾妻山・那須岳・浅間山・阿蘇山において人力トレンチまたは重機トレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴および噴火推移を明らかにした。伊豆大島については、沿岸域の地形地質探査を実施し、未知の側火山体や断層系や堆積層の分布と層序などの有益なデータが得られた。陸上沿岸部の調査も実施し、暫定の地質図を作成した。秋田駒ケ岳・阿蘇山については、ボーリング掘削調査を行い、火山体構造や長期噴火履歴を明らかにした。その他の火山についても、引き続き地表踏査を中心とした調査を行った。これら地質調査により得られた高精度噴火履歴に基づいて噴出物を採取し、物質科学的解析を実

施した。特に、高精度解析については北海道大学の「マグマ変遷解析センター」で行った。また個々の火山について、これまでの噴火履歴・噴火活動推移履歴をとりまとめ、可能な火山については階段図を試作した。さらに、より研究の進んでいる複数の火山を対象に、中長期噴火予測手法および噴火事象系統樹の作成手法について検討した。また、大規模噴火データベースの整備として、大規模カルデラ形成噴火 11 事例の噴火推移及び前駆活動の特徴をとりまとめた。また主要噴火の降下テフラの分布の数値化を進めた。福徳岡ノ場 2021 年噴火など国内及び海外のプリニー式噴火の噴火推移 20 事例を収集し、噴火推移データ集の作成を行うとともに、これらのデータをウェブサイトで閲覧可能なデータベースシステム構築を進めた。さらに、ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築準備を進め、既存コアの集約を継続した。対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会の実施は大幅に制限されたが、可能な範囲で開催した。

7）令和 4 年度：

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

8）令和 5 年度：

令和 5 年度は、利尻山・アトサヌプリ（屈斜路）・岩木山・蔵王山・吾妻山・浅間山・阿蘇山において人力トレンチまたは重機トレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴および噴火推移を明らかにした。摩周・アトサヌプリ（屈斜路）では、ボーリング掘削調査を実施し、長期噴火活動履歴の詳細を明らかにした。その他の火山についても、引き続きこれまでの調査結果の整理を行い、必要に応じて野外調査を実施した。また重点火山に見落としがないかの検討を行った。これら地質調査により得られた高精度

噴火履歴に基づいて噴出物を採取し、物質科学的解析を実施した。その中で、高精度の物質科学的解析を必要とした場合は、それを北海道大学の「マグマ変遷解析センター」で行った。また個々の火山について、これまでの噴火履歴・噴火活動推移履歴をとりまとめ、可能な火山については階段図およびその作成に係るデータベースを作成し、13 火山については報告書として公表した。また、噴火事象系統樹作成のためのワーキンググループを編成し、試作を通して噴火事象系統樹作成の指針を議論した。大規模カルデラ形成噴火及びプリニー式噴火については、噴火推移文献データの収集を継続し、コンパイルした情報から噴火推移データ集を作成し、ウェブサイト上で閲覧可能なデータベースとして公開した。そして国内のプリニー式噴火が発生した火山においては、噴出物と噴火推移との対応を調査し、先史時代の噴火についての噴火推移解析手法を開発するとともにデータベースへの収録を行った。また、ボーリングコア保管・管理システム構築のために、コア試料の集約を行った。さらに、対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催した。

9）令和 6 年度：

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

10）令和 7 年度：

令和 7 年度は、八幡平で短深度ボーリング掘削調査を実施し、完新世の噴火堆積物の情報を得た。また十勝岳では山麓部でのボーリング掘削調査を実施し、山体崩壊の発生時期について新たな知見を得た。岩木山・蔵王山・浅間山・阿蘇山において、ト

レンチ調査と地表踏査を実施した。その他の対象火山では、これまでのデータを整理するとともに、必要に応じて地表踏査を実施し、噴火活動履歴の詳細を明らかにした。また重点火山について見落としがないかの検討を引き続き実施した。これら地質調査により得られた高精度噴火履歴に基づいて噴出物を採取し、物質科学的解析も実施した。その中で高精度の物質科学的解析を必要とした場合は、それを北海道大学の「マグマ変遷解析センター」で行った。また個々の火山について、これまでの噴火履歴・噴火活動推移履歴をとりまとめ、可能な火山については階段図を作成した。また、大規模カルデラ形成噴火の長期的活動推移や大規模噴火の推移などをとりまとめた「大規模噴火データベース」と、近現代に発生した VEI5 クラス以上の記録の残る火砕噴火の噴火活動と地震等の関連する活動をとりまとめた「噴火推移データベース」について、データ収集を継続し、拡充を図った。さらに、防災科学技術研究所とともにボーリングコア試料の保管・管理システムの構築準備を進めた。そして、課題 C 連携研究対象である霧島山について、令和 7 年 6-9 月の新燃岳噴火を受けて、マグマ供給系および噴火シナリオの見直し WS を開催し、霧島山の火山研究の現状と課題、そして今後の連携研究の在り方について議論した。

(e) 令和 7 年度における業務の方法

1) 火山の噴火履歴及びマグマ長期変遷に関する研究

近年火山活動履歴が調査された火山および活火山の定義に該当する可能性のある火山について、これまでの調査結果および既往研究の整理を行い、必要に応じて野外調査等を実施する。また、これまでに行った調査結果をもとに、トレンチ掘削調査による噴火履歴の詳細の解明、ボーリング掘削調査による山体崩壊事象の発生時期についての解明、完新世の噴火活動履歴の詳細を明らかにするための短深度ボーリング掘削調査等を実施する。これら調査により得られた噴火履歴に基づいて噴出物を採取し、物質科学的解析等も実施する。また個々の火山について、これまでの噴火履歴・噴火活動推移履歴をとりまとめ、可能な火山については時間－噴出量階段図を作成する。さらに、中長期噴火予測手法および噴火事象系統樹の作成手法について、より研究の進んでいる複数の火山を対象に、試作を通して手法の確立を目指す。

2) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発

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

3) 大規模噴火データベースの整備

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

4) 課題 C-2 のとりまとめと研究成果の発信

a) 課題 C-2 全体のとりまとめ

実施責任機関である国立大学法人北海道大学は、サブテーマ C-2 分担者と連絡を密にし、サブテーマ 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等を

行う。また、国立研究開発法人防災科学技術研究所と協力して、ボーリングコアの保存と管理、そして広く公開できるシステムを引き続き構築する。「次世代火山研究者育成プログラム」においては、特に地質学・物質科学分野での教育に関して、サブテーマ C-2 参加機関の参画の企画・調整を行う。

b) 課題 C-2 の研究成果の発信に向けた取り組み

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のフォーマットと事象系統樹の作成手法を議論する。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。階段図については、引き続き試作し公表を進める。

5) 課題 C 全体のとりまとめと総合推進

サブ課題 C1・C3 および課題 B との連携研究の対象である霧島火山（安山岩質マグマ火山）について、連携研究の総括を行うとともに、ポスト火山 PJ の連携研究のあり方について議論する。

(2) 令和 7 年度の成果

(a) 業務の要約

火山調査研究推進本部の重点火山でもある八幡平では、山頂部での短深度ボーリング掘削調査を実施し、完新世の噴火堆積物の情報を得ることができた。また、十勝岳では山麓部でのボーリング掘削調査を実施し、山体崩壊の発生時期について新たな知見を得ることができた。岩木山・蔵王山・浅間山・阿蘇山において、トレンチ調査と地表踏査を実施した。その他の対象火山では、これまでのデータを整理するとともに、必要に応じて地表踏査を実施した。その結果、多くの火山で噴火活動履歴の詳細化を進めることができた。特に、連携研究の対象火山である霧島山では、年代測定による長期噴火履歴の新知見に加え、物質科学的検討から長期的なマグマ変遷と現在のマグマ供給系像を明らかにするなど、大きな進展が得られた。そして、研究がより進んだ火山においてはマグマ噴出量階段図や噴火事象系統樹の試作に取り組んだ。また、活火山の再評価のために鷲羽池火山の調査を行い、完新世の噴火活動の活動推移を明らかにし、現在も噴気活動が活発な南方の硫黄沢を含めて留意すべき活火山であることを指摘した。

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

北海道大学の「マグマ変遷解析センター」では、引き続き既存装置の整備および分析手法の確立を行うとともに、参加・協力機関の研究者を受け入れた。そして北海道大学では、防災科学技術研究所とともにボーリングコア試料の保管・管理システムの構築準備を進めた。

そして、課題 C 連携研究対象である霧島山について、令和 7 年 6-9 月の新燃岳噴火を受けて、マグマ供給系および噴火シナリオの見直し WS を開催し、霧島山の火山研究の現状と課題、そして今後の連携研究の在り方について議論した。

(b) 業務の成果

1）火山の噴火履歴及びマグマ長期変遷に関する研究

令和 7 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。そして、マグマ噴出量階段図および噴火事象系統樹の試作に取り組んだ。以下に、主な成果のあった火山について、その概要を述べる。

a）アトサヌプリ（屈斜路）：噴火活動履歴の再検討（茨城大学）

i）研究の背景と目的

アトサヌプリ火山に先立って活動した屈斜路カルデラの形成過程に関する成果をまとめた。屈斜路カルデラは、先屈斜路火山岩類（現在の外輪山）を形成した後、約 40 万年前から 4 万年前にかけて複数回の大規模噴火（FWT に始まり KpⅧ～Kp Ⅰ）を発生した第四紀カルデラ火山である[1)]。このうち約 12 万年前の KpⅣ噴火（噴出量約 175 km³）は最大規模であり、現在のカルデラ地形の骨格を形成したと考えられる。本研究では、KpⅣ噴火堆積物中の石質岩片の構成種分析を通じて、噴火当時の給源付近の地質情報の復元を試みた。

ii）石質岩片の構成と起源

KpⅣ噴火堆積物の主体である軽石流ユニットについて、複数地点（n=9）から試料を採取し、粒径 32～4 mm の石質岩片 300 個以上を対象として構成物分析を行った。その結果、石質岩片は平均して約 35 wt.%含まれ、次の 6 タイプに分類された：①火山岩、②緑色変質岩、③白色変質岩、④凝灰岩を含む硬質堆積岩、⑤褐色変質岩、⑥軟質堆積岩。

②～④は地域に分布する新第三系基盤岩類（イクルシベ層）に対比される。一方、⑤および⑥は既知の地層との対応が認められない。①火山岩は全体の約半数を占め、地点間で顕著な組成比の違

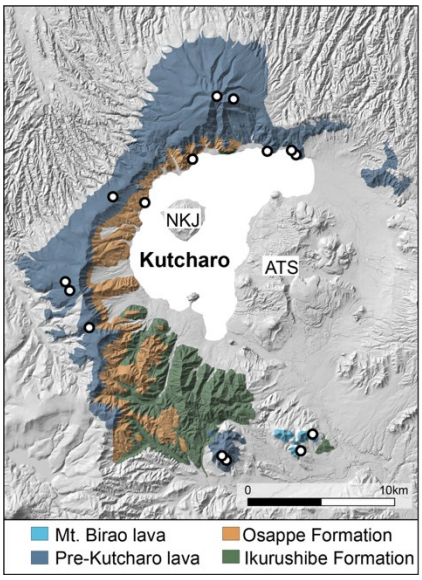


図 31　屈斜路カルデラ周辺の地質。白丸は試料採取地点。

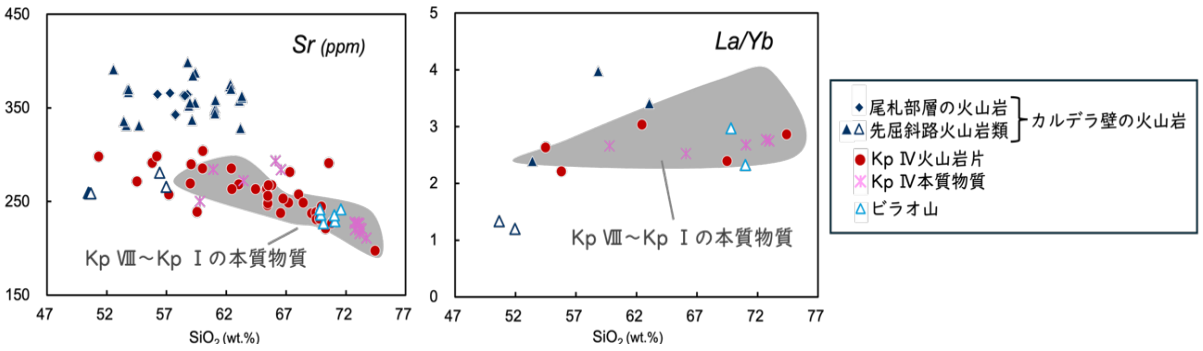


図 32　KpⅣ噴火堆積物中の火山岩と外輪山およびカルデラ形成噴火の本質物質の化学組成。

いは認められなかった。①火山岩については、岩石記載および全岩化学組成分析により、外輪山を構成する先屈斜路火山岩類および尾札部層（図 1）との対比を行った。その結果、斑晶鉱物組み合わせ（Pl, Opx, Cpx, Opq）や斑晶量には顕著な差は認められないものの、化学組成においては明瞭な違いが確認された。①火山岩はデイサイトを主体として玄武岩質安山岩～流紋岩まで幅広い組成を示し、Sr 含有量や希土類元素組成も外輪山とは一致しない。一方で、多くの主成分・微量成分元素において、KpⅣの本質物質と類似した組成領域に分布することが明らかとなった（図 2）。

iii）カルデラ形成過程の復元

以上の結果から、KpⅣ噴火堆積物中の①火山岩は、現在露出している外輪山には由来せず、カルデラ形成期に活動していた火山体に起源を持つ可能性が高い。屈斜路カルデラでは、複数回のカルデラ形成噴火の間にビラオ山（約 300 ka）などの「当時の後カルデラ火山体」が形成されていたことも報告されており、その組成の一部は①火山岩と類似する。さらに、KpⅣ噴火堆積物中には外輪山起源の火山岩が認められないことから、①火山岩は外輪山よりも内側に位置した火山体に由来すると考えられる。すなわち、KpⅣ噴火時には既にカルデラが存在しており、当時のカルデラ内部に存在した「当時の後カルデラ」火山体が破壊され、噴火堆積物中に取り込まれたと解釈される。このように、カルデラ形成噴火直前あるいは噴火間に形成された火山体の存在は、多輪廻カルデラの形成過程が複数の火山活動段階を経て進行することを示している。

iv）成果と今後の展望

本研究により、屈斜路カルデラ最大規模噴火（KpⅣ）において、当時のカルデラ内部に存在した火山体が破壊され、その情報が石質岩片として記録されていることが明らかとなった。この結果は、カルデラ形成過程の復元において、石質岩片の解析が有効な手法であることを示すものである。また、カルデラ形成噴火間に非爆発的な火山活動が存在する可能性は、サントリーニ火山など他の多輪廻カルデラ火山でも報告されている[2)]。今後は、火山岩片の年代測定や詳細な岩石学的解析を進めることで、カルデラ形成前後の火山活動の時間スケールおよびマグマ供給系の変遷をより高精度で復元することが期待される。

b）雌阿寒岳：噴火履歴の再検討（北海道教育大学旭川校・産業技術総合研究所・北海道大学）

i）はじめに

雌阿寒岳は北海道東部の阿寒火山地域にあり、阿寒カルデラの後カルデラ火山の一つである。雌阿寒岳の噴火活動は数万年から開始したと考えられており、現在まで複数回の活動を経て現在の姿になった。噴火記録が残る 1955 年以降も活発に活動しており、2025-2026 年も小規模な水蒸気噴火が生じた。

雌阿寒岳の噴火史については、地質学的見地からいくつかの噴火ステージに区分され、各ステージでの噴出物の特徴が議論された[3)]。しかし、噴火活動年代は明らかになっていない点が多く、ステージの見直し、層序の再検討が必要である。我々は平成30年度から通常の地質調査に加え、人力トレンチおよび重機トレンチ調査を行い、^{14}C年代値を基に14,000年前以降の噴火活動の再検討を行ってきた。その結果、雌阿寒岳の全体的な噴火活動[4)]、そして、最近2,500年間の噴火活動の詳細[5)6)]が明らかとなった。令和7年度は、14,000年前よりも古い噴出物について年代測定を行い、噴火ステージ区分の再検討を行った。また、14,000年前の中マチネシリ1の活動についても岩石学を用いた噴火推移の検討を行った。

ii）噴火履歴の再検討

噴火履歴を再検討するため、山体の開析の程度が進んでおり、雌阿寒岳の中で初期に噴出したと考えられる南岳、剣ヶ峰についてK-Ar年代測定を行った。その結果、南岳、剣ヶ峰ともに約10万年前のK-Ar年代値が得られた[7)]。したがって、雌阿寒岳は従来考えられていたよりも古く、約10万年前から活動していたことになる。

本研究では従来の活動区分を改め、南岳、剣ヶ峰と山体の開析が同程度の1,042m峰、東岳も約10万年前に活動した判断し、これらを古期とした。14,000年前以降では、中マチネシリ火口、中マチネシリ火口の西方火口、ポンマチネシリ火口、阿寒富士で活動が生じており、これらの活動を新期とした。1955年以降では、中マチネシリ火口、ポンマチネシリ火口で小規模な噴火が生じている。これら活動区分についての成果は2026年度内に公表できる予定である。

iii）中マチネシリ1の噴火推移について

新期活動の初めは、現在の中マチネシリ火口1を形成した噴火であり、14,000年前に生じた。この噴火は雌阿寒岳の中で最も規模が大きく、広範囲に降下物を堆積させ、さらに全方位に火砕流を流下させた。この噴火の主要期には溶岩片を多く含む火砕流堆積物が噴出した。

本研究ではこの火砕流堆積物を下位からM1～M7のユニットに分け、構成物構成比、火砕流噴火の本質物質（スコリア）と溶岩片を岩石学的な対比を行った。構成物構成比については下位では溶岩片に富み、上位にかけて溶岩片が減少し、本質物質が増加する。本質物質と溶岩片の岩石学的対比では、斑晶組み合わせ、斑晶量、鉱物化学組成（図3）が一致しており、両者は同一のマグマ由来と考えられた。

したがって、火砕流噴火の直前に溶岩ドームの形成があり、その後生じた火砕流噴火によって破壊され火砕流堆積物中に溶岩片として取り込まれたと考えられる。また、下位に溶岩片が多く存在することからも火砕流噴火の初期に溶岩ドームの大部分が破壊され、最終的には溶岩ドームの取り込みが少なくなり、主に本質物質になったと考えられる（図4）。

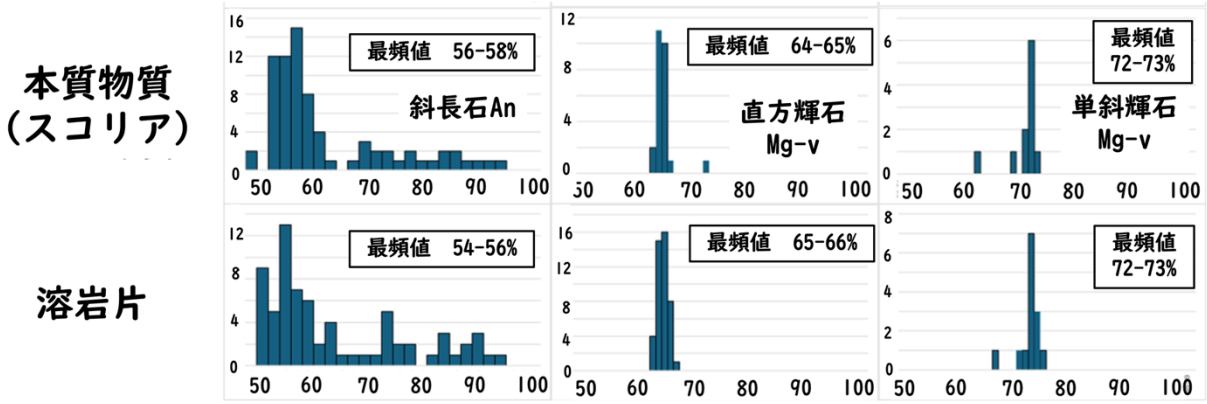


図 33　中マチネシリ 1 噴火（14,000 年前）の初期に堆積した火砕流堆積物中の本質物質（スコリア）と溶岩片の鉱物化学組成。

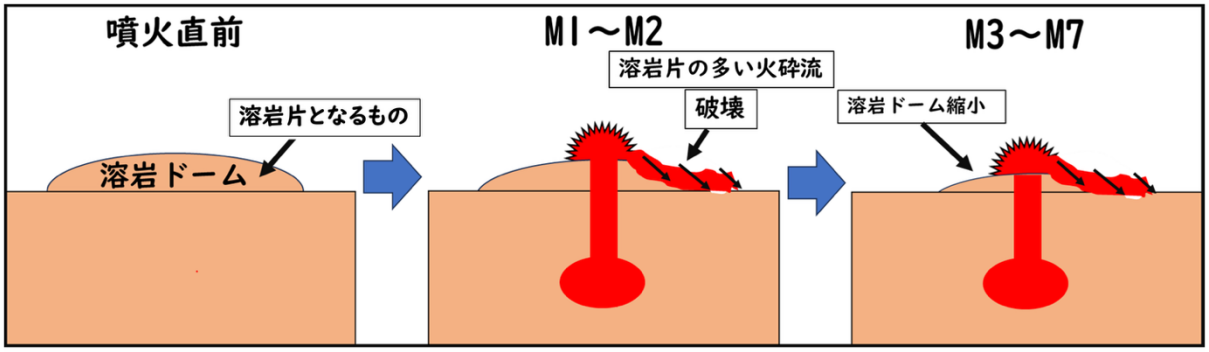


図 34　中マチネシリ 1（14,000 年前）噴火主要期の噴火推移。

c）十勝岳ヌッカクシ火口域の山体崩壊事象の発生年代の推定

i）はじめに

北海道中央部に位置する十勝岳火山群は、標高 1,400-2,000m の複数の成層火山体および溶岩ドームからなる火山群である。最近 5,000 年間は十勝岳の北西火口域においてマグマ噴火が継続しており、将来噴火が懸念されている。一方で十勝岳の南部には「ヌッカクシ火口」と呼ばれる大規模な凹地形が存在し、現在も活発な噴気活動がみられる。このヌッカクシ火口域では、完新世に 8 回の噴火が起きており、十勝岳火山のノーマーク火口域として最近指摘された[8]。また、この火口域では大規模な崩壊地形が複数確認され、山体成長と崩壊を繰り返してきたことが分かっている[9]。山体崩壊事象は発生頻度こそ低いものの、ひとたび発生すると甚大な被害をもたらす。そのため、火山学的観点に加え、火山防災・減災の観点からも、過去事例の発生時期や規模、発生機構を明らかにすることは重要である。そこで、ヌッカクシ火口域の山体崩壊事象の発生時期を明らかにすることを目的として、令和 7 年度に山麓域でのボーリング掘削調査を実施した。以下にその概要を報告する。

ii）ヌッカクシ火口域の山体崩壊事象に関する従来の研究

ヌッカクシ火口域には大規模な崩壊地形が少なくとも 3 つ確認できる(三峰山北・ヌッカクシ・振子沢火口：図 5b)。これらのうち、三峰山北火口はヌッカクシ山体に覆われていることから、ヌッカクシ火口域では山体崩壊と成長が繰り返されたと考えられている[8)]。また山麓部には、ヌッカクシ富良野川岩屑なだれ堆積物が存在

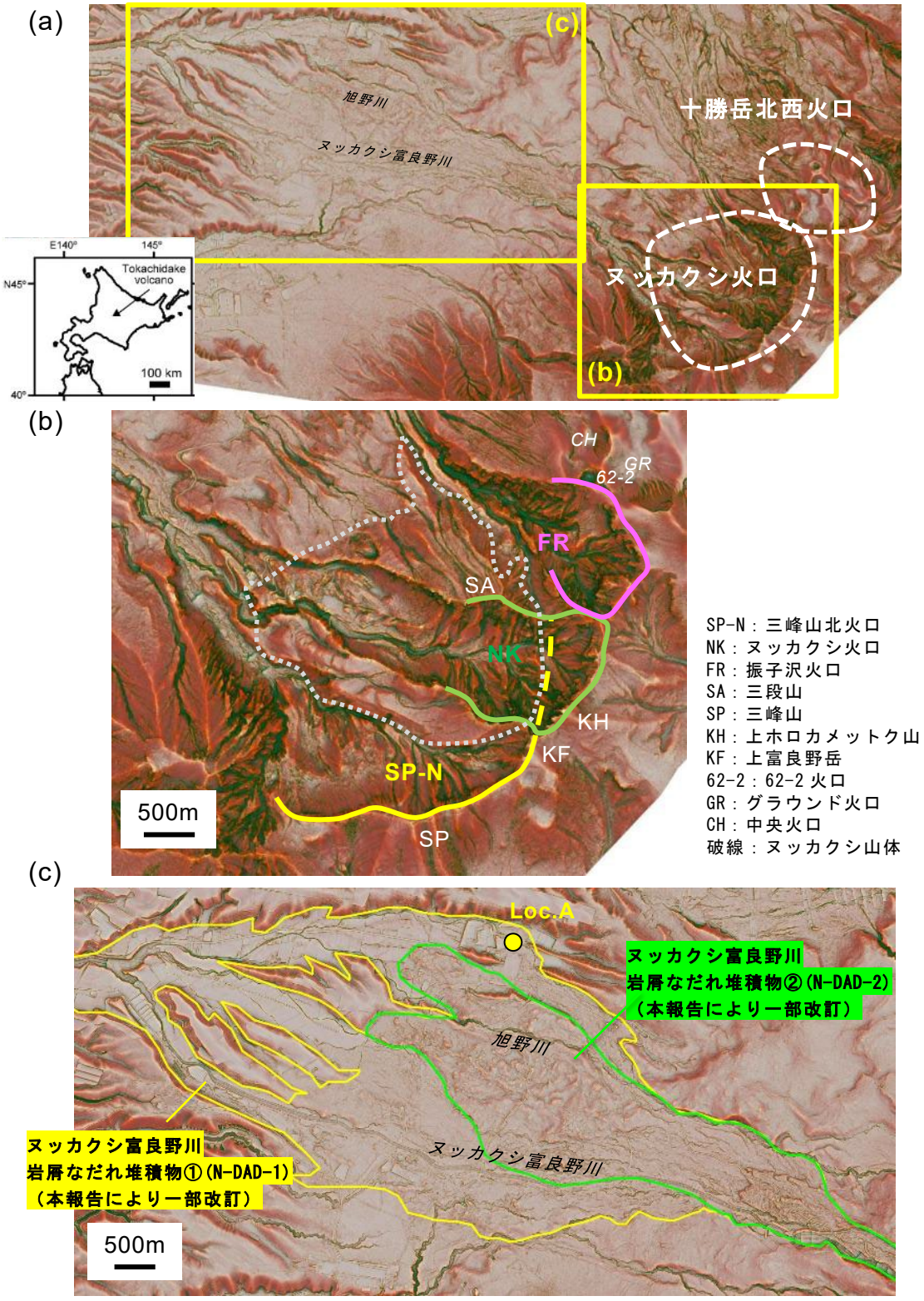


図 35　十勝岳ヌッカクシ火口域および山麓部のヌッカクシ富良野川沿いの赤色立体地図（国土交通省北海道開発局旭川開発建設部治水課提供、アジア航測株式会社製作）。

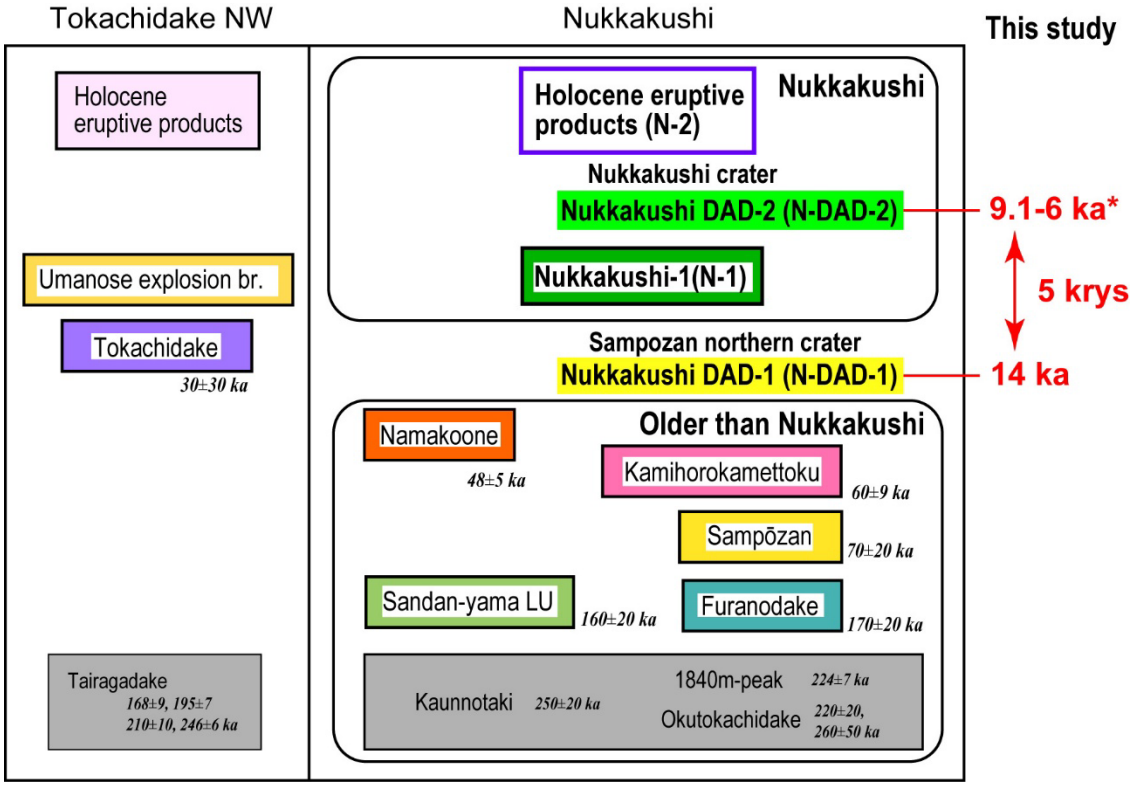


図 36　ヌッカクシ火口域の層序ブロック図（松本ほか[8]を一部改変・簡略化）と本報告の結果・解釈。*の年代値は斎藤ほか[10]より引用。

し[9]、ヌッカクシ富良野川および旭野川流域の広範囲に及ぶ(図 5c)。流れ山地形が特徴的に認められ、岩屑なだれ堆積物であることが容易に分かる。斎藤ほか[10]は本地域の調査を行い、2 枚の岩屑なだれ堆積物が存在すると指摘した（以降、この 2 枚の岩屑なだれ堆積物を上位より、ヌッカクシ富良野川岩屑なだれ堆積物 1・2：N-DAD-1・N-DAD-2 と呼ぶ)。N-DAD-2 は三峰山北火口由来、N-DAD-1 はヌッカクシ火口由来と解釈されている。N-DAD-2 については直接的な年代が得られておらず、三峰山・上ホロカメットク山の K-Ar 年代値（約 6 万年前）より新しいとされている。一方、N-DAD-1 は下位の土壌の ^{14}C 年代値より約 9-6.1 千年前と推定されている[8)10)11)]（図 6)。

iii）ボーリング掘削調査結果

ヌッカクシ火口域の山体崩壊事象の発生時期を推定するために、ヌッカクシ火口域から約 10 km の地点 A において、ボーリング掘削調査を実施した(図 5c)。この地点は、地形的に岩屑なだれ堆積物が到達していると判断されること、岩屑なだれ堆積物の端にあたるため掘削可能な層厚であると想定されることから、選定した。この地域の基盤を構成する十勝火砕流堆積物（110～120 万年前：北海道防災会議[12]およびその引用文献）が確実に観察できるであろう深度（77m）まで掘削した。

今回の掘削調査の結果、表層から 3m 深まで人工土、3-11m 深は土石流堆積物が観察され、約 11m 以深に層厚約 30m の岩屑なだれ堆積物が確認できた。さらに 40-

57m 深は十勝火砕流を母材とする砂礫層と泥炭の互層となり、57m 以深は弱溶結の十勝火砕流堆積物が確認された。このことから、今回のボーリングコアでは岩屑なだれ堆積物の最下部まで観察できたと考えられる。図 7 に代表的なボーリングコア試料の写真を示す。

岩屑なだれ堆積物は、灰色の安山岩質溶岩ブロックの間を黄褐色から赤褐色の火山礫～火山砂が埋めており、全体的に塊状で固結している（図 7b)。成層構造は認められない。マトリクスの色調の違いから、大きく 2 層に区分される可能性がある。含まれる溶岩ブロックは径 10～数 10cm のものが多く比較的円磨されているが、一部には径 1m を越える巨礫が確認できる。以上の特徴から、本堆積物は山体崩壊に伴う岩屑なだれ堆積物であると判断した。

岩屑なだれ堆積物の下位および上位の土壌または有機質シルト、そして岩屑なだれ堆積物中の土壌片（または有機物片）について、^{14}C 年代測定を実施した。その結果、下位の土壌からは 29,972-29,300 calBP、上位の有機質シルトからは 19,434-19,100 calBP、そして岩屑なだれ堆積物に含まれる土壌片からは 14,309-14,042 calBP の暦年較正年代値(2σ)が得られた(a 7c 7d)。

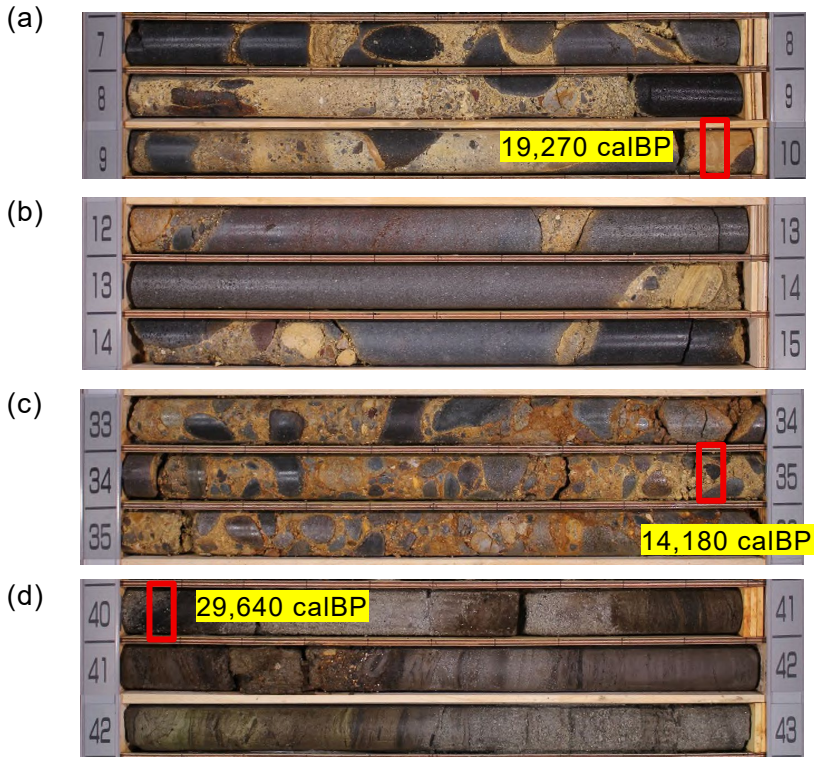


図 37　代表的なボーリングコア試料の写真。(a)岩屑なだれ堆積物上位の土石流堆積物。(b)岩屑なだれ堆積物。径 1m 超の巨礫を含む。(c)岩屑なだれ堆積物下部。マトリクスが赤褐色を呈する。(d)岩屑なだれ堆積物直下。泥炭と軽石質砂礫層の互層が続く。写真横の数値は深度(m)を、コア試料中の赤枠と数値は ^{14}C 年代測定試料の採取部とその暦年較正年代(中央値：2σ)を示す。

iv) 山体崩壊事象の発生時期

以上の結果から、ヌッカクシ富良野川岩屑なだれ堆積物は少なくとも 2.9 万年前以降に堆積したといえる。岩屑なだれ堆積物中に含まれる土壌片の年代値を考慮すると、約 1.4 万年前以降に堆積した可能性が示唆される。この年代値は従来考えられていた N-DAD-2 の年代（約 6 万年前以降）よりもはるかに新しく、N-DAD-1 の年代(6.1-9 千年前)よりは古い。ボーリングコア試料に含まれる溶岩ブロックの全岩化学組成は、その採取深度に関わらず、ヌッカクシ山体よりも古い溶岩類と類似するようである（図 8)。この特徴を考慮すると、今回のボーリングコア試料で観察された岩屑なだれ堆積物は N-DAD-2 に相当するといえるのかもしれない。

N-DAD-2 が約 1.4 万年前以降に発生したとなると、その後ヌッカクシ火口域で成長したヌッカクシ山体は 5 千年程度の比較的短期間で成長し、その後崩壊したことになる（図 6)。この結果は十勝岳火山群、とりわけ現在の活動中心である十勝岳北西火口域の将来活動・噴火事象を検討する上で重要な示唆を与えるものである。

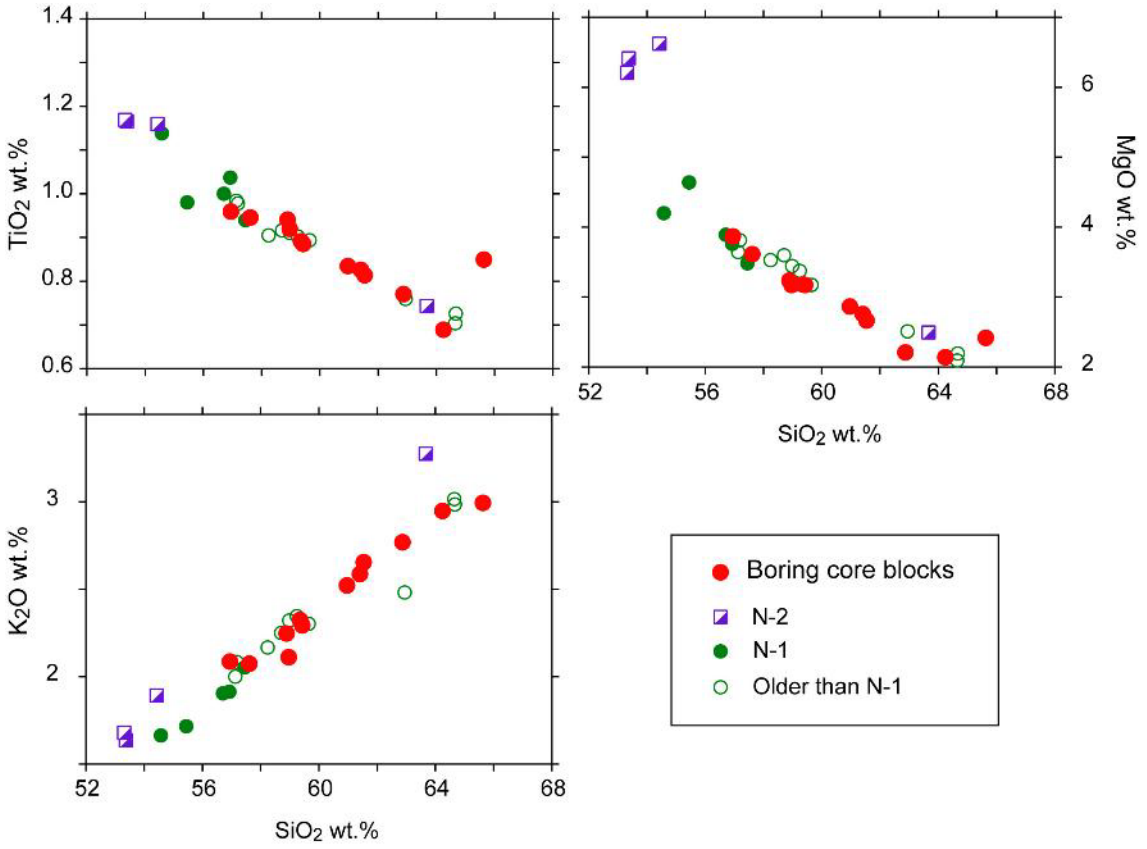


図 38　ボーリングコア試料に含まれる溶岩ブロックの全岩化学組成ハーカー図。ヌッカクシ火口域を構成する溶岩類の組成も示す。

謝辞

本調査を実施するにあたり、上富良野町役場および（有）かみふらの牧場の方々には便宜を図っていただいた。また、アジア航測株式会社および国土交通省北海道開発局旭川開発建設部治水課からは赤色立体地図をご提供頂いた。以上の方々に深く感謝いたします。

d) 羊蹄山：羊蹄火山山麓テフラの再検討（電力中央研究所・北海道大学）

i) はじめに

羊蹄火山は、南西北海道中央部に位置する第四紀の成層火山（標高 1,898 m）である(図 9)。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[13)14)]。その後、Amma-Miyasaka et al.[15)]により、羊蹄火山起源と考えられる 7～8 万年前の火山灰層が東部石狩低地帯に存在することが報告されたため、山麓の火山灰層で対応するテフラ層の存在を検討し、羊蹄火山の爆発的噴火がいつから始まったのかを確かめる必要が生じた。2022 年度までの調査・検討によって、洞爺火砕流（約 10 万年前[16)]）より上位、Y38 より下位の層準に羊蹄火山起源の噴出物が少なくとも 9 層発見された。また、尻別川沿いで、層位や給源が不明な火砕流堆積物（巽凝灰岩層と仮称）が発見されジルコンの U-Pb 年代測定を実施した結果、約 1Ma に噴出した堆積物であることが分かった。さらにその火山ガラス組成測定を実施したが、給源特定には至らなかった[17)]。今年度は、昨年度発見した羊蹄起源と考えられる噴出物の記載岩石学的特徴とガラス組成の再検討と、Y20-1-2-2 のジルコン U-Th 年代測定[18)]を実施し、噴出物の対比と噴火イベント回数について再整理した。

ii) 調査地点、噴出物の層位・層相

今回の研究では、羊蹄火山の噴火開始年代を明らかにすることを目的としているため、本報告では主に Y43 より下位の噴出物について検討した。特に地点 1・2 では、掘削調査により多数のこれまで未認識であった灰色～白色の降下軽石と降下火山灰を発見した(図 10)。また、尻別川沿いの露頭（地点 3）では、洞爺火砕流堆積物の上位に羊蹄火山起源の降下火砕物を発見し、地点 1・2 のテフラと層相・記載岩石学的特徴及びガラス組成、ジルコン U-Th 年代測定を行うことで対比できた。

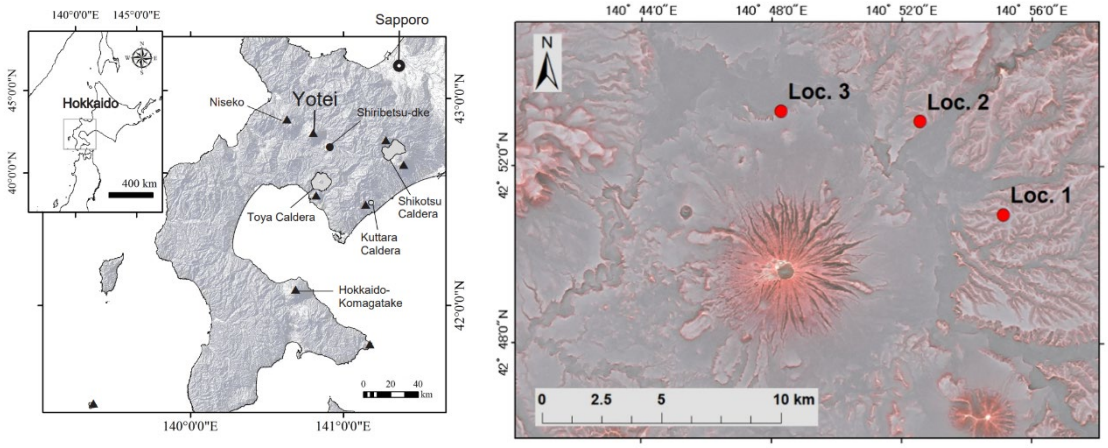


図 39　羊蹄山の位置と調査地点の位置を示す。ベースマップの赤色立体地図は、国土地理院提供の 10m DEM を用いてアジア航測（株）により作成された。

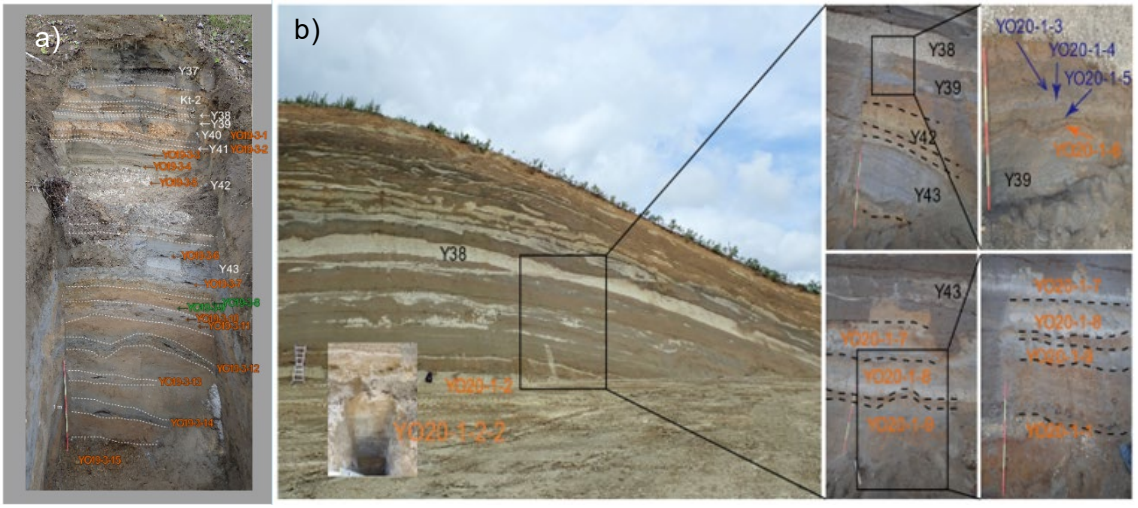


図 40　露頭の写真と試料番号。a)京極町大富（Loc.1)、b)京極町北岡の露頭(Loc.2)．オレンジで示した試料番号が羊蹄火山起源、緑・青で示した試料番号が他火山起源（尻別岳と推定される)。

iii）記載岩石学的特徴

表 1 に各露頭で発見されたテフラの記載岩石学的特徴を示す。ガラス組成が高カリウム系列のテフラ（表 1・図 11）は尻別岳起源の火山灰であると考えられ、それ以外は羊蹄山起源である。

表 1　羊蹄山麓テフラの記載とガラスタイプ。

CP：結晶に乏しい、CR:結晶に富む、CM：中程度の結晶量、Wp：白色軽石、Gp：灰色軽石、PGp:青灰色軽石、Bnp：縞状軽石、pl:斜長石、opx:直方輝石、cpx:単斜輝石、am:角閃石、bt:黒雲母、qz:石英、HK:カリウム濃度が高いガラス、HNa:ナトリウム濃度が高いガラス。

サンプル名	層相、岩石タイプ	鉱物組み合わせ	ガラス組成タイプ
YO19-3-8	ash	pl, opx, am, qz > cpx、bt	HK
YO19-3-9	CR?, Wp	pl,am,opx > cpx,qz 大	HK
YO19-3-10	ash	pl,opx > cpx >> qz	HNa
YO19-3-11	CP-CR, Wp	pl, am > cpx >> qz	HNa
YO19-3-12	CP, Gp and Wp	pl, opx >> qz	HNa
YO19-3-13	CP-CR, Wp, Bnp	pl, opx	HNa
YO19-3-14	CP, Gp	pl, opx	HNa
YO19-3-15	CP-CR, Wp	pl, hb > opx,cpx	HNa
YO20-1-3	ash	pl, cpx, opx, am?	HK
YO20-1-4	ash	pl, cpx, opx, am >> qz	HK
YO20-1-5	ash	pl, opx, am, bt >> cpx	HK
YO20-1-6	CP, Wp	pl, am >> cpx>>qz	HNa
YO20-1-7	CP, Wp	pl, am, cpx	HNa
YO20-1-8	CP, Wp	pl	HNa
YO20-1-9	ash (lava lithic?)	pl, cpx >> am	HNa
YO20-1-1	CP, Wp	pl, am, opx	HNa
YO20-1-2	CM, Gp	pl, am >> opx	HNa
TO20-13-3	CM, PGp	pl, am >> opx ± cpx	HNa
YO20-1-2-2	CR, PGp	pl, am, >> K-feld	HNa

iv）ガラス組成

採取した試料のガラス組成を図 11 に示す。高い K_2O 値を示すテフラは尻別岳起源のほか、ニセコ火山起源の可能性も考えられる。一方、高い Na_2O 値を示すテフラが羊蹄火山起源のテフラであると考えられる。

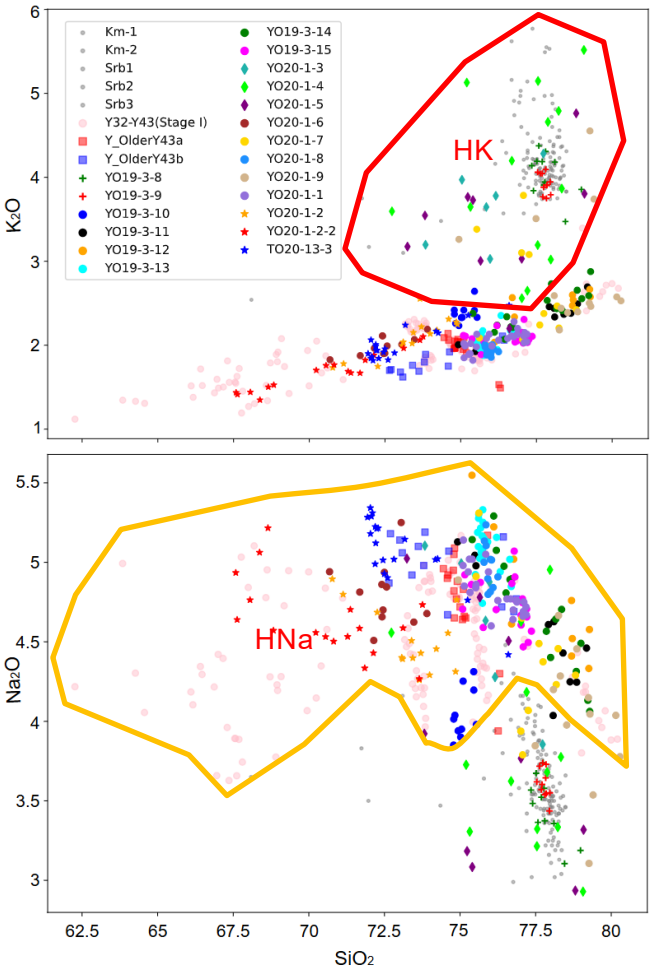


図 41　代表的な火山ガラス組成を示した。尻別岳起源火山灰のガラス組成（Km-1、Km-2、Sr1～3）[15]を灰色の点で示した。また、既往報告の羊蹄山起源のテフラ（Y32～Y43、Stage I）[14]のガラス組成を薄いピンク色で示した。尻別岳起源と考えられるテフラは K_2O が相対的に高いのに対し、羊蹄火山起源のテフラは Na_2O が相対的に高いことで、両者を区別できる。

v）ジルコン U-Th 年代値の測定と噴火イベントの再整理

今年度は、YO20-1-2-2 について U-Th 年代測定を行い、さらに記載岩石学的特徴とガラス組成による対比の再検討を行った。その結果、YO20-1-2-2 に含まれるジルコンの U-Th 年代を測定したところ 66.2±9.3 ka（n=18）であると判明し[19]、東部石狩低地帯の>Y43a（61-75 ka[15]）に対比される可能性が高いことが分かった。そのため、同じく遠方火山灰である>Y43b は、Y20-1-2-2 より下位で、洞爺テフラ

より上位となる。以上のことから、羊蹄山起源のテフラは、Y39 の上位に Y39’が新たに認識されたほか、これまで発見された中で最下位だった Y43 の下位に、Y44～Y52 の 9 層のテフラが存在すると認識しなおされた（表 2）。したがって、昨年度作成した噴火イベントのデータベース[20]を更新する必要がある。

表 2　露頭間での対比。赤太字が新たに別の噴火と認識したテフラ。

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

vi）今後の課題とまとめ

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

e）岩木山：岩木山における噴火履歴調査（産業技術総合研究所）

i）目的と調査位置

岩木山は青森県弘前市中心部の西方約 15 km に位置し、火山体の直径が約 10 km、最高点の標高が 1,625 m の複成火山である。岩木火山の活動は、現在の火山体の成長が開始したと考えられている約 35 万年前から、大規模な岩屑なだれが発生したと考えられている約 20 万年前までを第一期、約 20 万年前の岩屑なだれ発生から約 3 万年前までの火山体の成長期を第二期、そして約 3 万年前から現在に至るまでの山頂周辺における溶岩ドーム群の形成及び水蒸気爆発の活動を第三期と 3 つのステージに大別されている[21]。このうち第一期と第二期では類似した化学組成のマグマが活動し、溶岩と火砕物が成層火山体を形成した。それに対し、完新世を含む第三期では第一期と第二期とは異なるタイプのマグマが溶岩ドームを形成する噴火をしたことが知られている[22)23)]。また歴史時代の活動としては、1600 年、1782-83 年、1845 年、1863 年など安土桃山時代末期から江戸時代以降の水蒸気爆発が古文書の記録として残されている[24]。現在では、岩木山周辺における噴気活動等は低調であるものの、8 合目までは岩木山スカイライン道路、9 合目までは登山用リフトが敷設されており、夏季には多くの登山客と観光客が火口のごく近傍を散策する。そのため、溶岩ドームの形成とドーム崩壊型火砕流の発生というマグマ噴火活

動のみならず、歴史時代に発生したような小規模な水蒸気爆発であったとしても、災害発生リスクは高いと言える。

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

ii）調査の結果

目的 1 および 2 に対して、2025 年度は最新の地層記録に残る噴火堆積物である岩木 A 降下火砕堆積物（以下、IWK-A と呼ぶ）の分布をさらに明らかにし、活動様式を解明するための野外調査を実施した。山頂北東側の登山道沿いで実施したトレンチ調査では、表層下 10 cm に厚さ 5〜6 cm の火山灰層が見出され、IWK-A または IWK-B が北東側のより広い範囲に分布する可能性が示された（図 12)。また、南麓の毒蛇沢において侵食谷を埋積する土石流堆積物中に炭化木片が認められた（図 13)。炭化木片の放射性炭素年代値は 0.5 cal.ka（IntCal20 による暦年較正年代 1σの中央値）であり、鳥ノ海火口群における西暦 1600 年（慶長五年）の噴火に対比できる。この噴火では山頂部の南側が崩れたとする史料記述があり、鳥海山南斜面の崩落崖がこの噴火に伴って形成された可能性を示唆する。

目的 3 に対して、2024 年度に採取した試料の Ar/Ar 年代測定を行った。その結果、赤倉最下位溶岩流：0.29 Ma、1250m 峰溶岩流：0.24 Ma、鳥海山溶岩ドーム：0.02 Ma、小森山溶岩ドーム：0.26 Ma、黒森溶岩ドーム：0.15 Ma、森山溶岩ドーム：0.34 Ma、鍋森山溶岩ドーム：0.13 Ma、大鳴沢溶岩流：0.12 Ma、追子森溶岩流：0.09 Ma、笹森山溶岩ドーム：0.23 Ma、の年代を新たに得た。これらの年代測定結果から、後期更新世以降は現在の岩木山の山頂から西側の地域における噴火が主たる活動であったことが明確となった。

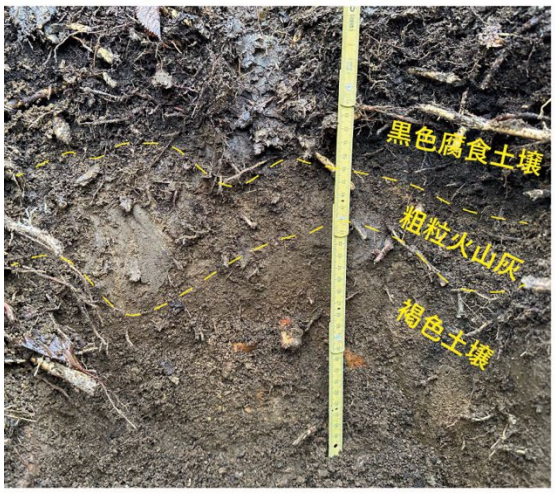


図 42　山頂北東 1.7km の赤倉登山道沿いにおけるトレンチ掘削による火山灰層の産出状況

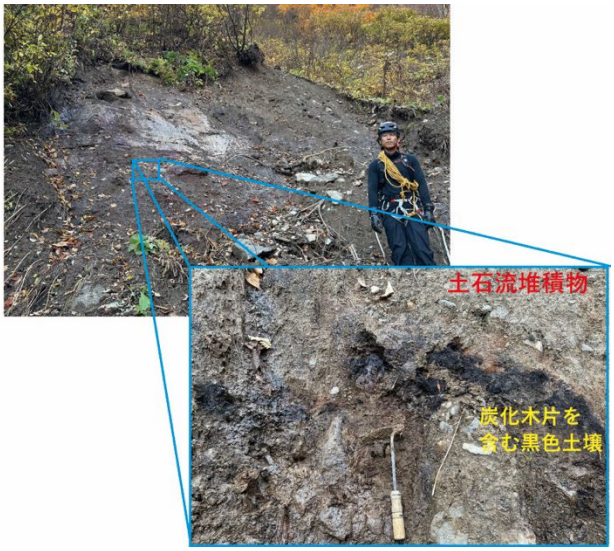


図 43　山頂南側 2.1km の平沢川支流 650m 付近右岸の土石流堆積物。基底部に炭化木片を含む黒色土壌が挟在する。

iii）まとめ

我々の調査と研究の結果、完新世における岩木山の火山活動史を、従来に比べ高精度で明らかにするに至った。また、後期更新世には現在の岩木山山頂より西側の地域、さらにそれに引き続く完新世には現在の山頂周辺の地域において噴火活動が卓越していたことが明らかとなった。これにより、後期更新世以降における活動の時空変遷が解明された。

f）岩手山：苦鉄質火山における珪長質マグマ噴火のマグマプロセスおよび噴火プロセスの解明（秋田大学）

岩手山におけるデイサイト質軽石噴火（雪浦軽石）の形成過程を対象に、マグマ供給系の構造と進化を検討した。岩石学的観察および rhyolite-MELTS 計算を組み合わせ、噴火直前のマグマ条件を制約した（図 14）。直前には玄武岩質スコリア噴火が発生し、組成がバイモーダルであることが確認された。玄武岩マグマは含水条件下（約 3-4 wt.% H_2O）で結晶化していたことが示された。その後、結晶マッシュからメルトが抽出される際に結晶を伴うプロセス（crystal entrainment）が生じた。このプロセスにより、苦鉄質優勢の火山においてデイサイト質マグマが生成されたと解釈される。すなわち、単純な分化ではなく、結晶マッシュの再活性化とメルト抽出が重要な役割を果たした。本研究は、マグマだまりをマッシュとして捉えるモデルを支持するものである。また、苦鉄質火山における珪長質噴火の発生機構に新たな制約を与える。以上の成果を国際誌 Earth, Planets and Space に公表した[25)]。

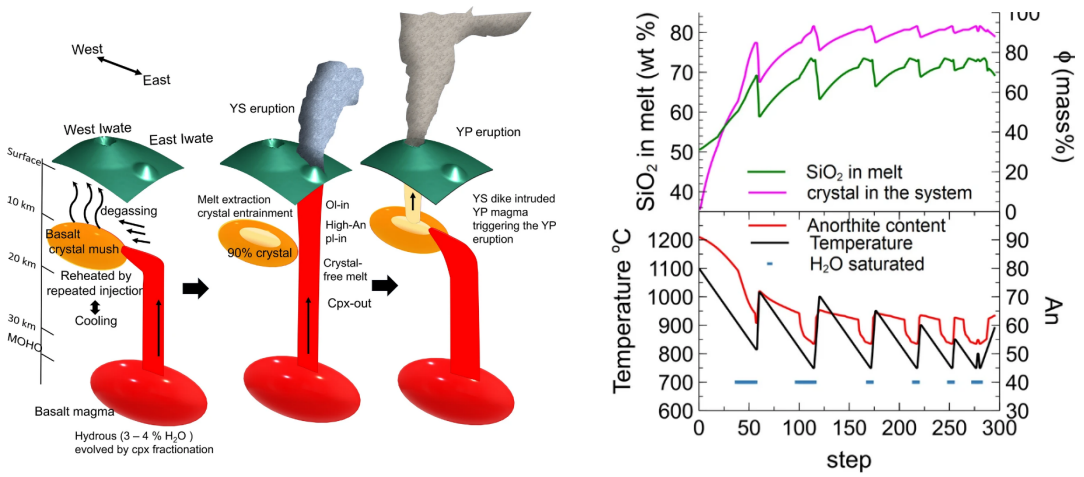


図 44　岩手山雪浦軽石噴火のマグマ供給系モデル（左）と Rhyolite-MELTS により検証した斜長石の累帯構造を再現するメルト組成（右）。

g）八幡平火山の完新世噴火履歴解明のためのボーリング掘削調査

i）はじめに

八幡平は、岩手県と秋田県にまたがる複数の成層火山体から構成される火山群の総称であり、東部の前森山火山から西部の八幡平火山まで、東西およそ 17 km に亘る[26]（図 15a、15b）。有史時代の噴火活動は記録されていないが、八幡平火山において完新世の水蒸気噴火のテフラ層が存在することから活火山とされている[27)28)]。1996 年に山体周辺で群発地震が発生したのみ[29]で、顕著な火山活動活発化の兆候は認められていなかったが、2000～2022 年にかけて干渉 SAR による膨張性の地殻変動がはじめて観測された[30]。これを受け、火山調査研究推進本部では令和 7 年度の重点的に現状評価を行う火山として八幡平を指定している。このような背景から、八幡平火山の噴火活動履歴を再検討する必要があると考え、山頂部の短深度ボーリング掘削調査を実施した。

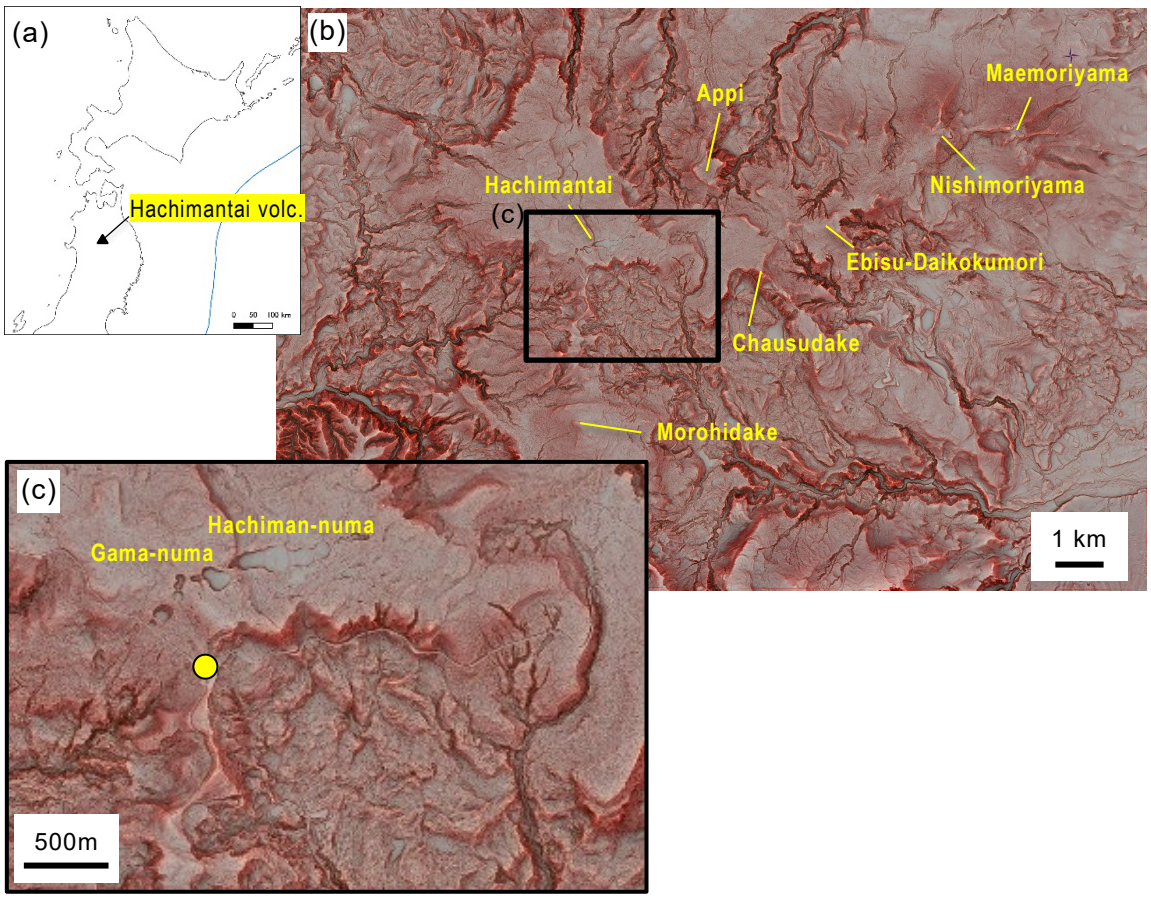


図 45　八幡平火山の位置図(a)と赤色立体地図(b)、および本調査地点の拡大図(c)（アジア航測株式会社製作)。黄色丸印はボーリング掘削地点を示す。

ii) 結果

ボーリング掘削調査は、八幡平火山の活動中心とされる八幡沼やガマ沼の南方約 500 m の地点で行った（図 15c)。この付近は、和知ほか[28]が指摘したように、多数の火口地形が認められ、水蒸気噴火活動の中心であると考えられる。山体を構成する溶岩まで到達するように 25 m 深まで掘削した。

代表的なコア写真を図 16 に示す。約 1.1-2.0 m 深をみると、明瞭なテフラ層は認められないが、褐色の火山灰混じり土壌として確認できる。また 2.0-2.8 m 深は、淡褐色の火山礫火山灰層で、角のとれた径 10 cm の溶岩片が含まれることから、この付近を給源とする水蒸気噴火堆積物もしくは噴火に伴う泥流堆積物と解釈される。その下位には黄褐色の細粒火山灰～シルト質の水蒸気噴火堆積物が連続し、5 m 深より変質した灰色の安山岩質火山礫～溶岩相が卓越する。明瞭な土壌が確認できた 3 か所について、^{14}C 年代測定を実施したところ、4,760 calBP、10,050 calBP、13,200 calBP（中央値，2σ）の暦年較正年代が得られた。

和知ほか[27)28)]が記載した八幡平火山起源の 3 枚の水蒸気噴火テフラ層は約 7-9.7 千年前と報告されている。したがって、1.1-2.0 m 深に認められる火山灰混じり土壌がそれらに相当すると考えられるが、本調査では明確な対比には至らなかった。また、2.0-2.8 m 深の淡褐色水蒸気噴火堆積物（1.0-1.3 万年前）や 2.8-5.0 m 深

の黄褐色水蒸気噴火堆積物は和知ほか[27)28)]では報告されていないテフラであり、完新世のテフラより明らかに規模が大きい点には留意する必要がある。黄褐色水蒸気噴火堆積物の直接的な噴火年代は不明であるが、上位層との間に明瞭な時間間隙は認められないことから、更新世末であることは間違いないだろう。

5 m 以深は強く変質した安山岩質溶岩および火砕岩からなる。これらは八幡平火山の山体を構成する溶岩と考えられる。これらの溶岩の年代が 70-66 万年前[26)]と報告されていることを踏まえると、上述の水蒸気噴火以前に長期間の静穏期が存在していた可能性が高いといえる。

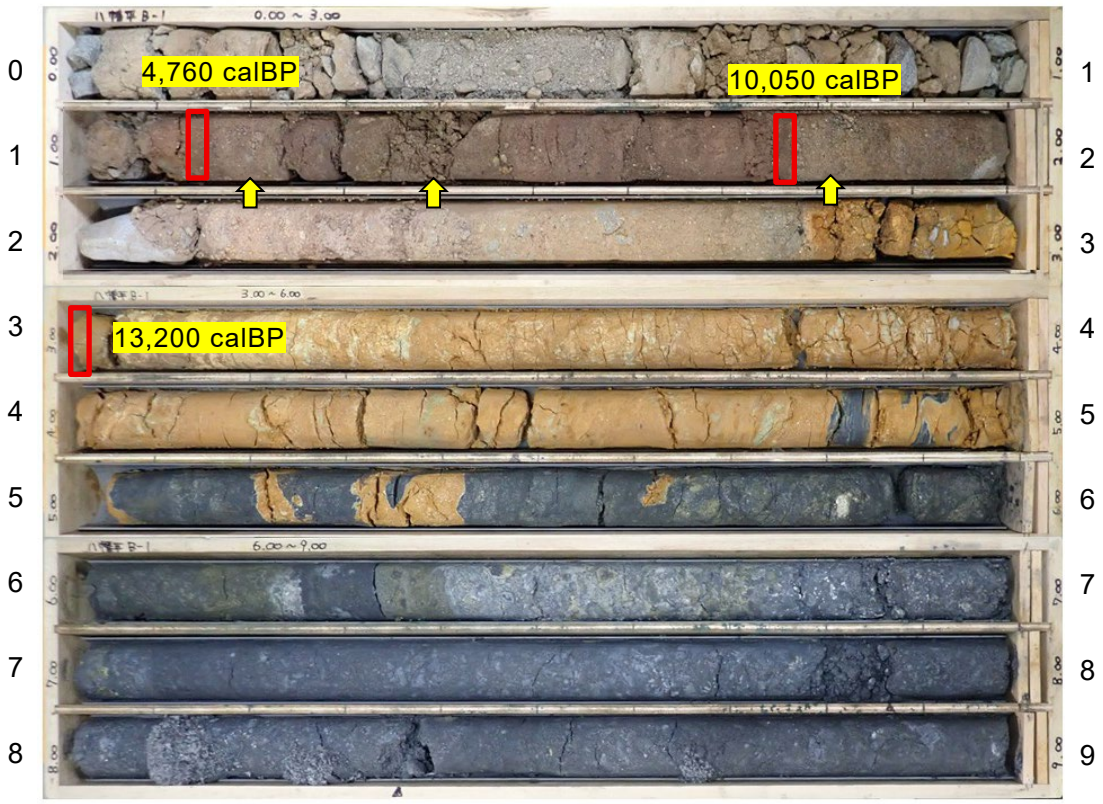


図 46　八幡平ボーリングコア試料の写真。写真横の数値は深度(m)を、コア試料中の赤枠と数値は ^{14}C 年代測定試料の採取部とその暦年較正年代(中央値：2σ)を示す。矢印は火山灰混じり土壌と思われる箇所。

謝辞

本調査を実施するにあたり、環境省盛岡管理官事務所、林野庁東北森林管理局・秋田森林管理署、仙北地域振興局の方々には許認可申請の際に大変お世話になった。以上の方々に深く御礼申し上げます。

h) 秋田駒ケ岳：年代測定およびレスクロノロジーによる静穏期の定量的評価（北海道大学・(株) エンバイオ・エンジニアリング）

i) 概要

テフラと山体構成物の対比により確立された更新世末期以降の本火山の噴火履歴に基づき、活動間の静穏期を定量的に評価することを目的として、令和 7 年度に追加の年代測定を実施した。あわせて、テフラ間に挟在する土壌層の厚さと年代値との関係を検討した。その結果、更新世末の活動開始以前には 6,000 年以上に及ぶ長期の静穏期が存在すること、さらにマグマタイプの変化に対応する活動期の転換時には、1,000 年以上の静穏期が繰り返し存在することが明らかとなった[31)]。

ii）結果

テフラの保存状態が良好な露頭において、各テフラユニット直下の土壌から新たに試料を採取し、放射性炭素年代測定を実施した。同時に、テフラユニット間に挟在する土壌層の厚さを測定し、地表からの累積土壌厚を算出した。これらを用いて、各テフラ直下の土壌年代との関係を検討した（図 17)。その結果、累積土壌厚と年代値との間には良好な相関が認められ、秋田駒ケ岳東麓地域における平均的な土壌成長速度は約 0.01 mm/年と求められた。この関係を用いることで、年代測定値が得られていない区間についても、土壌厚から静穏期の長さを推定することが可能となった。その結果、AK12-AK11 間、AK8-AK7 間、AK6-AK5 間においては、それぞれ 1,000 年以上の静穏期が存在することが示された（図 18)。また、AK13 の下位には少なくとも 70 cm 以上の土壌が確認され、更新世末における活動開始以前には 6,000 年以上の長期静穏期が存在したと推定される。さらに、土壌厚の大きい層準（AK13 直下および AK6 直上）について年代測定を行った結果、土壌厚に基づく年代推定と整合的な値が得られ、本手法の妥当性が支持された（図 18)。

iii）まとめと意義

本研究により、更新世末期以降の活動において、1,000 年以上に及ぶ比較的長期間の静穏期が複数回存在することが明らかとなった。これらは、AK12-AK11、AK8-AK7、AK6-AK5、および AK1 から 1970 年噴火に至る期間に対応し、いずれもマグマタイプの変化時期と一致する。また、AK13 以前には 6,000 年以上に及ぶ長期静穏期が存在することが示され、これらの結果は、本火山の活動が深部マグマ系の変化と密接に関連していることを示唆する。すなわち、マグマ供給系の再編成や新たなマグマタイプの生成には、1,000 年以上の時間スケールを要する可能性がある。

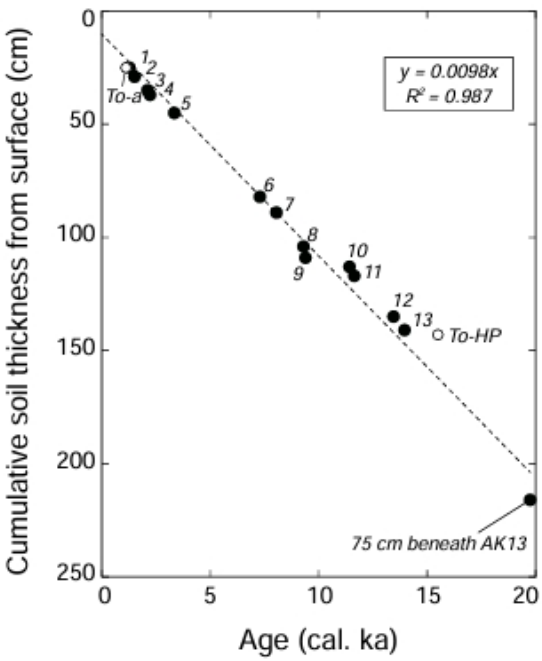


図 47　各テフラユニットまでの累積土壌厚と年代値との関係。To-a および To-HP はそれぞれ十和田 a テフラと十和田—八戸テフラ。

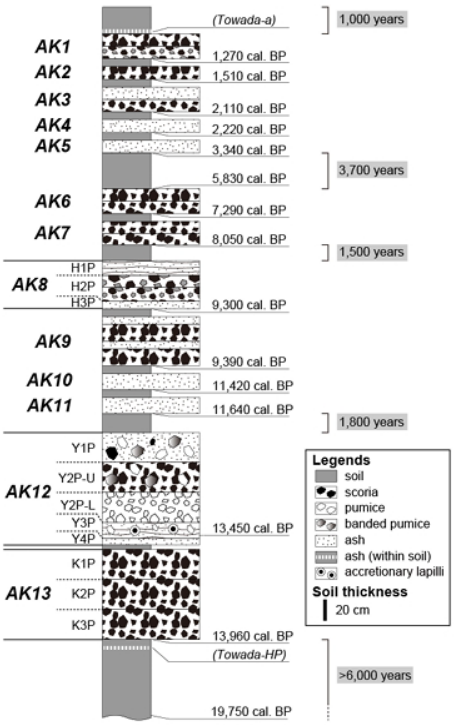


図 48　秋田駒ケ岳起源のテフラの模式柱状図。図 17 から求めた土壌成長速度により得たテフラユニット間の 1,000 年以上の長さの静穏な時期を示している。

i）鳥海山：噴火活動履歴・噴火様式の解明（秋田大学・山形大学）

i）東鳥海 2.5ka 以降の噴火履歴の解明

2025 年度には、鳥海火山の約 2.5ka 山体崩壊後に形成された東鳥海馬蹄形カルデラ内の溶岩流について、噴火履歴の復元に関する研究を実施した。本研究では、地形解析、地質調査、古地磁気測定、放射性炭素年代測定を組み合わせ、カルデラ内の溶岩流群の編年を試みた。その結果、カルデラ内の溶岩流は地形的特徴と重なり関係に基づいて細分され、古地磁気方位の違いから少なくとも 6 回の主要な噴火イベントに区分できることが明らかとなった。また、山体崩壊直後には大規模な溶岩流出によりカルデラ底が急速に埋積され、その後は噴出量が段階的に低下しつつ比較的穏やかな流出的活動が継続したことが示された。さらに、溶岩流の形成と同時期に火山灰降下、火砕流、ラハールも発生しており、流出的噴火と火砕的現象が組み合わさった複合的な活動史が復元された。これらの成果は、溶岩卓越型火山における長期的噴火履歴の解明と、将来のハザード評価の高度化に資するものである。本研究は 2025 年度に実施・とりまとめを進め、国際誌への公表を予定している。

一方、鳥海火山の 2.8 ka 猿穴溶岩を対象とした研究成果を 2025 年度にとりまとめ、国際誌 Journal of Volcanology and Geothermal Research に公表した [32)]（図 19）。この論文では、猿穴溶岩が約 0.6 km³の玄武岩質安山岩であり、斑状組

織および等粒状組織の苦鉄質包有物を含むことを示した。全岩化学組成および鉱物組織・組成の検討から、玄武岩マグマの再注入と珪長質クリスタルマッシュとの相互作用が重要であったことを明らかにした。特に、逆累帯する斜長石・輝石やFoに富むかんらん石は、深部からの苦鉄質マグマ供給と既存マッシュの攪乱を記録している。さらに、かんらん石の拡散的ゾーニング解析に基づき、マグマ再供給から噴火に至る準備期間は数週間から数か月程度と推定された。この時間スケールは、近年観測されている噴火前の短期的な活動変化と整合的である。以上より、猿穴溶岩の形成は、玄武岩マグマの注入とマッシュの再活性化を伴う短期間のプロセスとして解釈される。本研究は、鳥海火山におけるマグマ供給系の時間発展を定量的に制約するものである。以上のように、2025年度は、鳥海火山を対象として、噴火履歴の復元とマグマ供給系の時間スケール解明の両面で研究を進展させた。

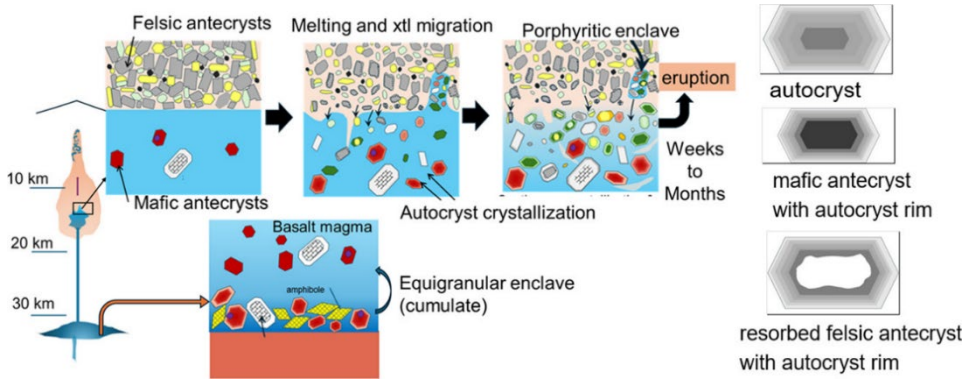


図49　2.5千年前の猿穴噴火のマグマ供給系モデルと斑晶鉱物の累帯構造タイプ。

ii）鳥海山の歴史時代溶岩の岩石学的特徴の再検討

鳥海山の歴史時代溶岩（下位から871A，871B，871C，SenL，KL，KLD，SL）について、既存試料及び新たに採取した試料について薄片観察と全岩化学組成分析を系統的に行った。その結果、全ユニットで、苦鉄質包有物が認められるなどのマグマ混合を受けた痕跡が認められた。記載岩石学的に4つ（Ⅰ：871A・B・C，かんらん石、普通角閃石斑晶を含み、パッチ状斜長石が比較的少なく、蜂の巣状構造の斜長石が比較的多い；Ⅱ：SenL，Ⅰに似るが普通角閃石を欠く；Ⅲ：KL・KLD，かんらん石、普通角閃石斑晶を含み、パッチ状斜長石が比較的多く、蜂の巣状構造の斜長石が比較的少ない；Ⅳ：SL，Ⅲに似るが普通角閃石斑晶を欠く）に分類した。全岩化学組成ではⅠ・Ⅱ、Ⅲ、Ⅳの3者は何れかの組成図で異なるトレンドを取る。このことから、混合に関与した珪長質及び苦鉄質マグマの組成は3者で異なっていた、すなわち、時期によって活動したマグマの組成が異なっていたことが判明した。

iii）西鳥海山カルデラ内の火砕サージ堆積物の地質学・岩石学的特徴の解明

鳥海湖は鳥ノ海スコリアによって形成されている火砕丘の火口湖と考えられている[33)]。本プロジェクト開始後に、鳥ノ海スコリアの上位に火砕サージ堆積物らし

き層が認められたが本格的な調査が行われないままになっていた。本年度は、この層を鳥海湖火砕岩類と命名し、地質学・岩石学的特徴の解明を行った。本層は鳥海湖周辺のほぼ全方向に分布しているが、特に南東方向で最大層厚となる。下部は黄色凝灰岩で上部は灰色火山礫凝灰岩である。淘汰は悪い。構成物は、凝集物が多く、スコリアや石質岩片も含まれる。XRD 分析の結果、基質部には、石英、斜長石に加え、パイロフィライト、ミョウバン石、クリストバライト、カオリン鉱物、ギブサイト、赤鉄鉱、スメクタイトといった多様な変質鉱物が認められた。以上から、熱水系が関与したマグマ水蒸気噴火による火砕サージ堆積物であると考えられる。なお、鳥海湖火砕岩類直上の古土壌から約 1 万年前の ^{14}C 年代値が得られた。

j) 栗駒山：水蒸気噴火機構解明のための物質科学的研究（秋田大学）

栗駒山の水蒸気噴火の起源を物質科学的に解釈するため、噴出物中の緑簾石の鉱物化学に基づき温度条件を推定した。緑簾石の組成は、共生する変質鉱物の違いに応じて変化し、複数の温度条件下で形成されたことを示している。また、火口位置と鉱物学的特徴の対応関係を検討した。その結果、噴出物は火山熱水系の中心ではなく、傾斜構造を持つ系の縁辺部に由来することが明らかとなった。本研究は、水蒸気噴火における物質起源と熱水系構造の理解に新たな制約を与えるものである。この研究成果は、2026 年度 JpGU にて公表される [34]。

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

蔵王山最新期（活動期 IV）について、i)テフラ層序の補強調査、ii)御釜火口由来テフラ内の詳細層序と噴火推移の解明、iii)最新期初頭に発生した山体崩壊による堆積物の調査結果の論文化、iv)御釜火口由来噴出物をもたらしたマグマ供給系解明の結果の論文化を主に行った。以下にそれらについて記す。

i) 最新期のテフラ層序の補強調査

本プロジェクトでは、蔵王山の活動期 IV の噴火史を精密化し、その成果を基にマグマ噴出量階段図 [35] と噴火系統樹を作成してきた。活動期 IV は約 3.5～1.3 万年前、約 9～3 千年前、約 2 千年前以降に細分されるが、本年度は、手掘りトレンチを含む調査を行い、特に約 9～3 千年前のテフラに対応する近傍相の岩相を把握した。近傍相の写真と柱状図を図 20 に示す。



図 50　馬の背東部での約 9～3 千年前の近傍相の写真及び柱状図。

ii）御釜火口由来テフラ内の詳細層序と噴火推移の解明

蔵王火山山頂部の御釜火口は西暦 1200 年頃に活動を開始し、これまでに 7 回の噴火イベントが認められている[36]。これらの噴火に伴うテフラは Za-To11～17 と命名されている。御釜火口の噴火由来のテフラの内部の詳細な層序、構成する層の粒度特性と構成物分析結果を基に、御釜火口活動における各イベント内の噴火推移およびイベント間を通した長期的な推移を明らかにした。

各テフラ内を構成する層は、白色層、黒～黒灰色（茶黒色）層、灰色層、茶褐色層の 4 種に大別される。Za-To11～14 では、最下位に白色層が位置し、その上位に黒～黒灰色層、灰色層、茶褐色（または黒色）層が累重する。灰色層と黒～黒灰色層は互層をなす。Za-To15、16 は茶褐色層を欠き、Za-To17 では白色層のみが認められる（図 21）。卓越粒度は、白色層、灰色層、黒～黒灰色層、茶褐色層の順に大きい。構成物については、白色層は白色変質岩片を特徴的に含み、他の 3 層は黒色スコリアおよびベージュスコリアを主体として石質岩片を含む。黒色スコリア、ベージュスコリア、石質岩片は、組織や結晶度の特徴から、それぞれ火道浅部の停滞マグマ、深部由来の新鮮マグマ、停滞マグマ上位のプラグに由来すると推定される。各構成物の含有率から、白色層では火道浅部付近に熱水系が発達し、その下位のプラグや停滞マグマが未発達、他の 3 層はその逆で、また、黒～黒灰色、灰色、茶褐色層の順に新鮮マグマの関与が高かったと推定された。長期的推移については、Za-To15、16 は茶褐色層を欠き、Za-To17 は白色層のみであることから、Za-To15 以降は、深部由来新鮮マグマの寄与が高い噴火が起こらなくなったことがわかった。

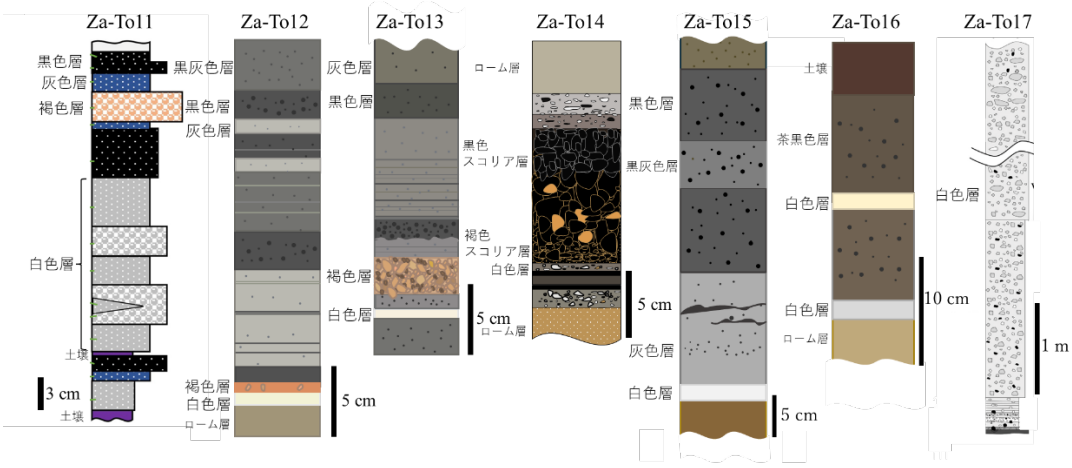


図 51　Za-To 11～17 の各テフラ内部の柱状図 [37-40] をまとめたもの。

iii）最新期初頭に発生した山体崩壊による堆積物

蔵王山山頂付近には東方に開いた馬の背カルデラ [41] が存在する。このカルデラの成因は崩落型の可能性が考えられてきたが、その確かな証拠が見つかっていなかった。東麓の遠刈田地域北方には高位段丘が発達しており、以前は通常の段丘礫層から構成されていると考えられていた [42]。この地域一帯を精査した結果、岩屑なだれ堆積物の特徴を露頭が多くの箇所で確認され、この堆積物を遠刈田岩屑なだれ堆積物と命名した。代表的な岩塊相と基質相の露頭写真を図 22 に示す。



図 52　蔵王山東麓の岩屑なだれ堆積物の代表的露頭写真。左：岩塊相、右：基質相。

岩屑なだれ堆積物の発生源としては、馬の背カルデラの他に、南蔵王山の屏風岳東部のカルデラも考えられる。岩屑なだれ堆積物中の礫には、前者には存在し、後者には存在しない低カリウムソレアイト質のものも認められるため、発生源は前者であると推定された。また、遠刈田岩屑なだれ堆積物は、規模としては中規模であるが、岩屑なだれとしては流動的なものであったことがわかった。規模や層序関係などから、遠刈田岩屑なだれ堆積物をもたらした山体崩壊は、水蒸気噴火あるいは噴火を伴わない何らかの要因によるものと考えられた。この成果をまとめた論文を投稿した [43]。

iv）約 800 年前以降の噴出物をもたらしたマグマ供給系の構造解明の論文化

蔵王山の約 800 年前以降のマグマ供給系については、これまでの研究によって、深部由来高温マグマが注入した結果、浅部安山岩質マグマが活性化され噴火に至ったこと、活性化は数年前より活発になったことが明らかとなっていた。活性化時期について、これまでの研究では直方輝石斑晶内の元素拡散を用いて推定してきた。新たに斜長石斑晶も用いた検討を行った結果、噴火につながる活性化は数年前から顕著になったことが追認されたことに加え、それより以前の活性化を記録した部分から得られた滞留時間に、かなりのばらつきが認められた。同じ部分が活性化されているならば、噴火直前の活性化を記録している結晶は、活性化された時期を全て記録しているはずである。そうでないのは、浅部マグマ溜りの局所的部分が活性化されて噴火に至ってきた可能性が考えられる（図 23）。この成果が論文として公開された [44]。

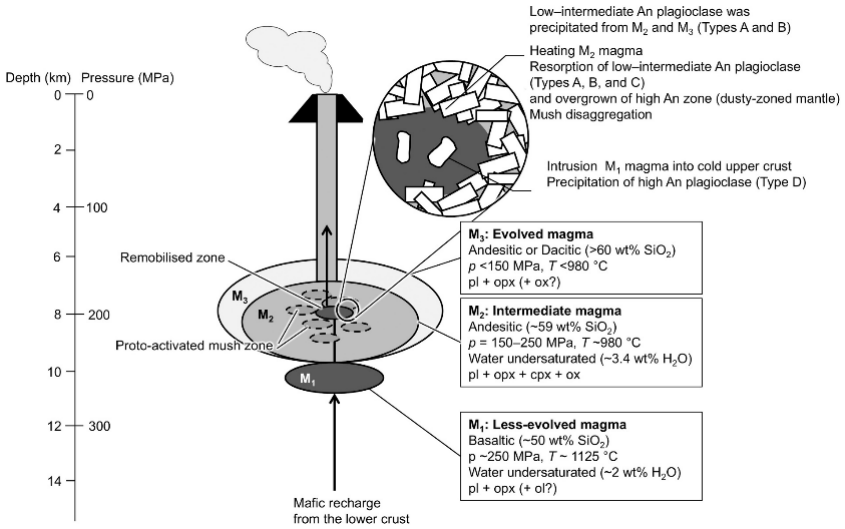


図 53　蔵王山御釜噴火マグマ供給系概念図 [44]。

l）吾妻山：噴火活動履歴の再検討（山形大学・秋田大学・茨城大学）

i）中期更新世の火山活動の噴火層序の解明およびマグマ供給系（茨城大学）

はじめに

吾妻火山は、東北日本弧火山フロントに沿って分布する第四紀複成火山群である。本火山群東部には、直径約 2 km の崩壊地形 [45)、46)]浄土平が存在し、その崩壊壁には一切経山（標高 1,948 m）の内部構造が露出する。一切経山は K-Ar 年代測定により約 520～180 ka に活動した火山体とされ [47]、その活動終了後に現在の活火山である吾妻―浄土平火山 [48]が活動している。一切経山の形成史およびマグマ供給系を復元し、後続する浄土平火山と比較することで、本地域における長期的なマグマ変遷を議論することが可能となる。令和 7 年度は、中長期的な火山活動評価

を目的として、一切経山を対象に地形解析、地質調査、薄片観察および全岩化学組成分析を行い、その形成史およびマグマプロセスを明らかにした。

噴出物層序と山体発達過程

一切経山は、現山頂南側にピークを持つ南山体と、現山頂を含む中央山体に大別される（図 24）。南山体は 7 ユニットの溶岩流（下位から SL1～7）と 1 ユニットの火砕物（SP）の計 8 ユニットで構成される。比較的下位の溶岩である SL3 は 472 ka の年代値[47]を示すことから、南山体の活動開始時期は約 47 万年前であると推察される。溶岩流が卓越することから、南山体は主として比較的静穏な溶岩流出によって形成されたと考えられる。岩石中には苦鉄質包有物や不均質な混合組織が広く認められ、マグマ混合・混交が卓越した活動であったことが示される。中央山体は 11 ユニットの溶岩流（下位から MAL1, ML1, MAL2, ML2～9：MAL は著しく変質）と 8 ユニットの火砕物（下位から MP1～8）の計 19 ユニットで構成される（図 25）。最上位の溶岩流である ML9 は約 250 ka の年代を示す[47]。MP1 より上位の噴出物ではマグマの混合による構造・組織がほぼ見られない。また、MP1 以降は、下位で溶岩流、上位では火砕物ユニットが多く見られることから、中央山体の活動は MP1 までを噴出した爆発的噴火から、溶岩流主体の活動→爆発的噴火主体の活動へと遷移したと考えられる。

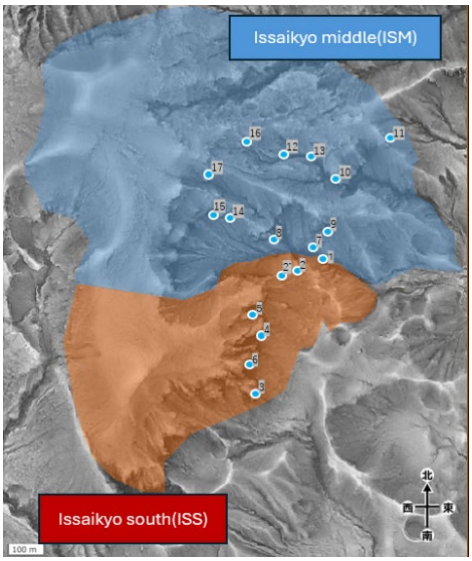


図 54　一切経山の山体区分。

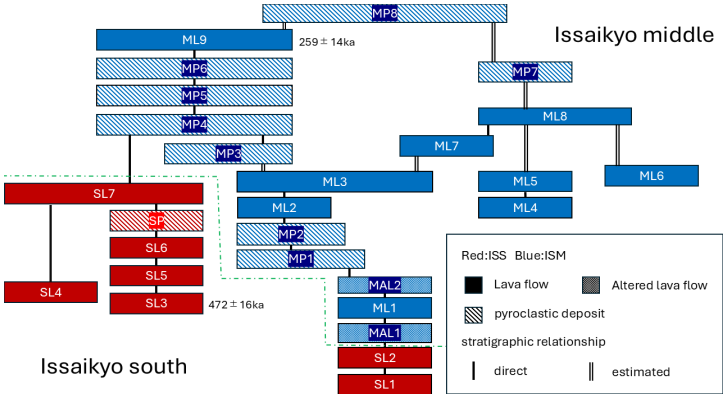


図 55　一切経山のブロックダイアグラム。

岩石学的特徴とマグマ供給系

南山体の岩石は、母岩（安山岩：SiO_2=58.3～63.9 wt.%）と苦鉄質包有物（玄武岩質安山岩：SiO_2=52.8～58.3 wt.%）から構成される。ハーカー図における Cr および Ni の分布は、珪長質端成分へ収束する 2 本の直線的トレンドを示し、単一の珪長質マグマと 2 種類の苦鉄質マグマが関与したマグマ混合系が存在したことを示唆する（図 26）。一方、中央山体の岩石は SiO_2=57.0～59.5 wt.%と組成範囲が狭く、ハーカー図上では南山体の母岩と苦鉄質包有物の中間領域に分布する。このことは、南山体で形成された不均質な混合マグマが、中央山体の活動期において均質化したことを示す。

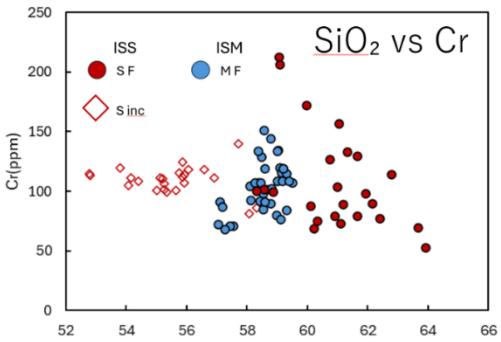


図 56　一切経山噴出物のハーカー図。

成果と今後の課題

本研究により、一切経山における山体形成史およびマグマ供給系の変遷が明らかとなった。すなわち、初期には複数の苦鉄質マグマと珪長質マグマの混合による不均質なマグマ系が卓越し、その後、マグマの均質化とともに活動様式が変化したことが示された。これらの結果は、吾妻火山群における長期的なマグマ進化を理解する上で重要であり、後続の浄土平火山の岩石学的特徴[49]との比較を通じて、マグマ供給系の時間変化を統一的に解釈する枠組みを提供するものである。今後は、端成分マグマの起源や分類、および組成トレンドの形成過程を詳細に検討することで、より高精度なマグマ供給モデルの構築が期待される。

ii）歴史時代噴火履歴の再検討（山形大学・秋田大学）

本火山の歴史時代の噴出物としては、マグマ噴火噴出物の大穴ユニット（1331 年と推定、鎌倉噴火と呼称する）と水蒸気噴火噴出物 1 ユニット（1711 年と推定）が従来認識されていた[48]が、その後の研究[50]では大穴ユニットのテフラ層の上位には複数のテフラ層が認められた。2022 年度より大穴ユニットより上位のテフラ層序の再検討を目的として露頭踏査・トレンチ調査・ボーリング掘削調査を行い、鎌倉噴火以降のテフラ層序を刷新し、昨年度までにマグマ噴出量階段図案を作成し、また 1893 年噴火（明治噴火と呼称する）については噴出物の岩石学的研究を行い、マグマ供給系の解明を進めてきた。

今年度は、テフラ層序の成果の論文執筆、明治噴火のマグマ供給系解明の論文化、鎌倉噴火以降の噴火履歴に基づく事象系統樹の作成を行った。以下に前者 2 件の成果を述べる。

テフラ層序の成果の論文執筆

鎌倉噴火以降のテフラ層トレンチ調査による柱状図と総合柱状図を図 27 に示す。

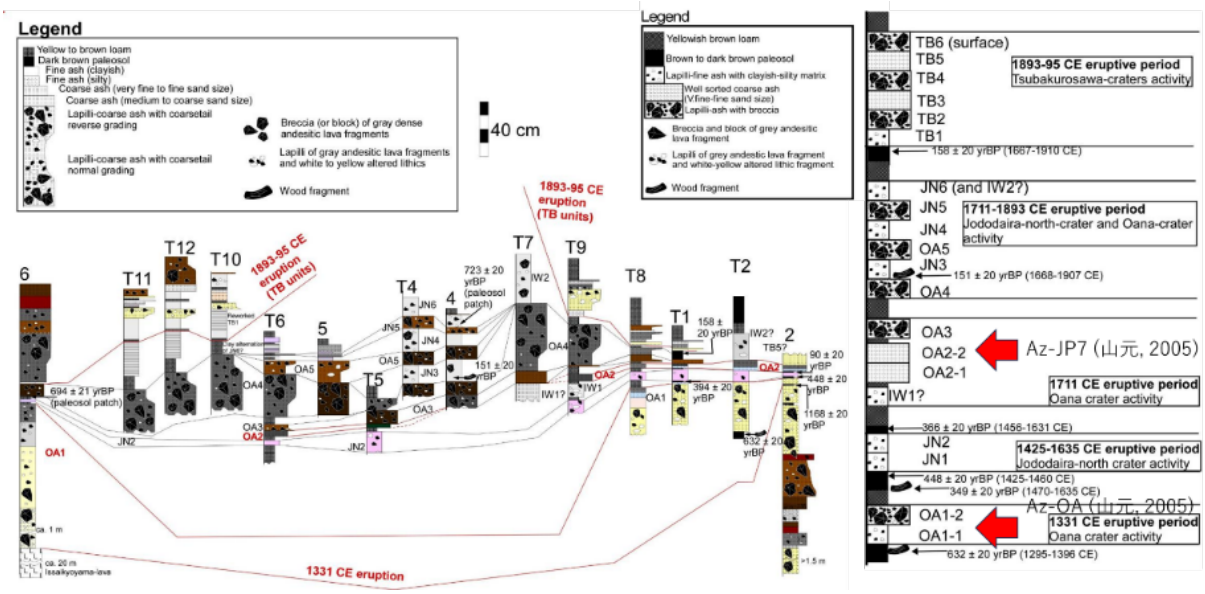


図 57　吾妻山鎌倉噴火以降のテフラ層トレンチ調査による各個柱状図と総合柱状図。

対象期間において、21 枚の降下火砕物が認められた。挟在する古土壌層の ^{14}C 年代値に基づき、活動を 5 つの噴火時期に区分した。また噴出口について、従来の大穴火口と燕沢火口列の他に、浄土平北方の陥没地形（浄土平北火口・火砕丘）も活動したことが明らかとなった。なお、一部の時期には、前者と後者が連動して活動した可能性も指摘された。

明治噴火のマグマ供給系の解明の成果の論文化

鎌倉噴火による火山弾を対象に、岩石学的研究を進めた結果、何れも混合岩であること、混合を起こした大元のマグマは浅部に存在するデイサイト質マグマと地下深部に発生源を持つ玄武岩質マグマであること、後者が深部から上昇中に地下約 12～3km に存在する半固体状のデイサイト質マグマと混合して混合比の異なる様々な混合マグマが形成されたこと、混合比は浅部ほどデイサイト質の割合が増加したこと、噴出したのは地下約 3km 付近で形成された混合マグマであり、その量は地下で形成された混合マグマのうちの極わずかな部分であったこと等が明らかとなった（図 28）。吾妻山は活性化が時々見られる火山である。本研究は、噴火に備えた観測に関して極めて重要な情報となる。この成果が EPS に掲載された。

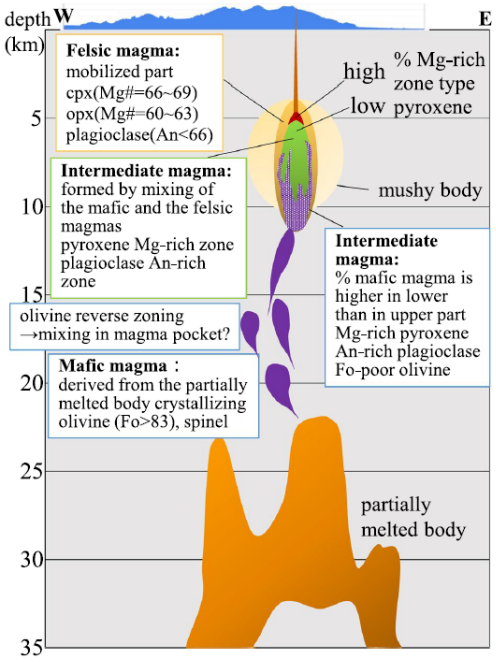


図 58　吾妻山鎌倉噴火のマグマ供給系概念図[49]。

m）那須岳：茶臼岳の噴火活動履歴の再検討と噴火事象系統樹の試作（茨城大学）

i）はじめに

那須茶臼岳（以下、茶臼岳）を対象として、噴火層序の再検討および岩石学的特徴の時間変化を解析し、マグマ組成の変遷と火山活動の長期的進化、特に活動の衰退傾向との関係を検討した。令和 7 年度は、茶臼岳に先行して活動し、同じダイアピルに由来すると考えられている朝日岳についても、形成史およびマグマ系の再検討を行った。

ii）茶臼岳の噴火層序の再検討とステージ区分

放射性炭素年代[51]（^{14}C）および露頭で確認される層序関係に基づき、識別可能なユニットのみを抽出して噴火層序を再定義した。その結果、約 1 万年前以降の活動は、火砕丘形成を主体とする Cone-building Stage（10.2 cal ka～）、山頂火口におけるブルカノ式噴火を主体とする Vulcanian Stage（3.1 cal ka～）、山頂火口を埋積する溶岩ドーム形成期である Dome-building Stage（歴史記録から 0.6 ka と推定）の 3 ステージに区分できた（図 29）。さらに、先行研究[52]で最も古くかつ最大規模の噴火ユニットとされた約 19.5 cal ka の大沢ユニット（火砕流堆積物とそれを覆う溶岩流）も含め、各ステージの本質物質にみられる岩石学的特徴の時間変化を検討した。

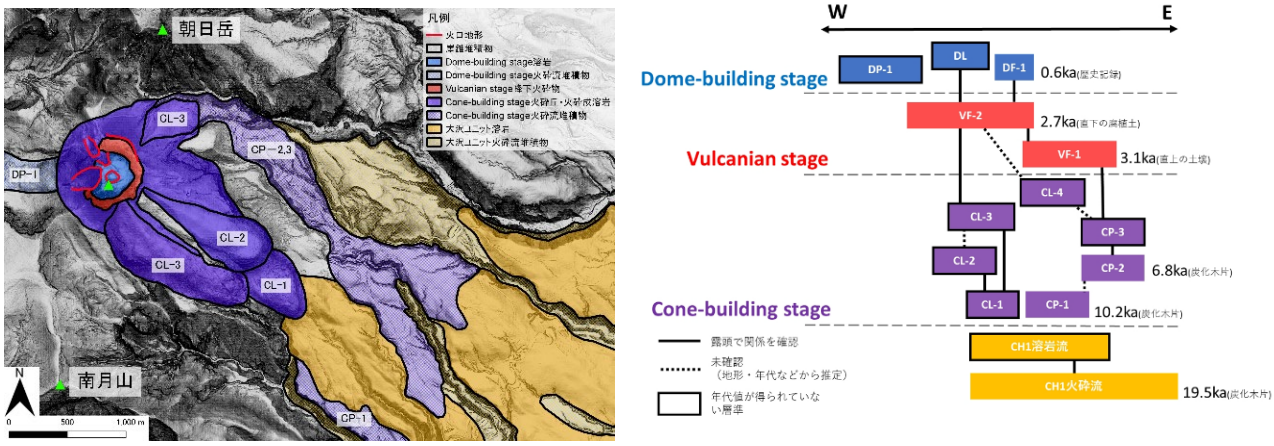


図 59　那須茶臼岳噴出物の分布とブロックダイアグラム（年代値は全て暦年較正後の値）。

iii）岩石学的特徴とその時間変化

茶臼岳の噴出物には、苦鉄質包有物、非平衡な斑晶組み合わせ、ならびにハーカー図上の直線的な組成トレンドが認められる（図 30）。これらは、マグマ混合が主要なマグマ過程であることを示し、先行研究[52]の解釈とも整合的である。特に Cr および Ni のハーカー図では、苦鉄質側で発散し珪長質側で収束する広い組成分布が認められ、単一の珪長質端成分に対して複数の苦鉄質端成分が関与した可能性が示唆される。一方、大沢ユニットおよび苦鉄質包有物を除く主要噴出物は、いずれのステージにおいても安山岩質で、鉱物組み合わせにも顕著な差異は認められない。活動ステージごとに全岩化学組成の時間変化を検討した結果、苦鉄質包有物の Cr、Ni 含有量は Cone-building Stage から Dome-building Stage にかけて低下する傾向を示し、時間の経過とともに地下深部から供給される苦鉄質マグマがより分化した組成へ変化した可能性が示された。

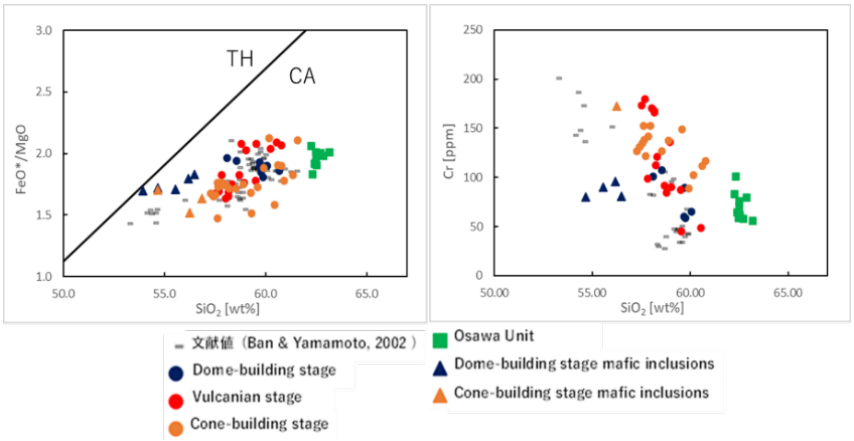


図 60　茶臼岳噴出物の全岩化学組成。

iv）朝日岳の岩石および茶臼岳の長期的活動評価

朝日岳の地質調査および岩石分析の結果、これまで認識されていなかったソレアイト系列の噴出物を山体下部から新たに確認した。那須火山群の他の火山体では、

活動初期から後期にかけてソレアイト系列からカルクアルカリ系列のマグマへ移行する長期的変遷が報告されている[53)54)]。今回得られた朝日岳～茶臼岳噴出物の全岩化学組成データは、朝日岳を茶臼岳に先行する火山活動とみなし、両者を同一のダイアピルに由来する一連の活動として捉えるモデル[54)]と整合的である。特に苦鉄質マグマの分化の進行は、茶臼岳の長期的な活動変遷や終息傾向を考える上で重要な要素である可能性がある。

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

i）はじめに

浅間火山の山麓は、過去 3 万年間の時間スケールでみると、黒斑火山の山体崩壊による岩屑なだれと仏岩火山の大規模噴火による火砕流の影響を大きく受けている。これらは低頻度大規模災害ではあるものの、火山防災上、活動の実態解明や影響範囲の把握は重要である。プロジェクト後半では、最近 3 万年以内の浅間火山群の最大規模噴火の実態解明を目標とし、次の①と②に注目して調査を実施した：①約 2.8 万年前の仙人・黒斑火山の大規模山体崩壊と関連する活動、②約 1.6 万年前以降の仏岩火山のクライマックス噴火の噴火推移と影響範囲。

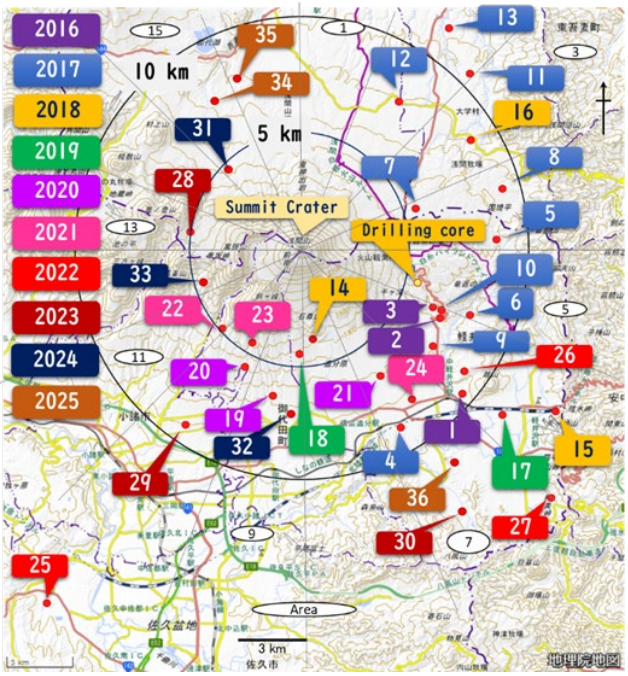


図 61　浅間火山群における本プロジェクトでの掘削調査地点図（令和 7 年度は 34～36）（地理院地図を使用）。

ii）調査結果

最終年度は、山頂火口の北北西麓と南東側の山麓の 3 地点でトレンチ掘削を行い、堆積物の確認・記載を行った（図 31)。

トレンチ 34（群馬県吾妻郡嬬恋村大平地区（山頂火口の北西約 7.8km))

黒斑山の北北西（標高 1,182m）で溶岩流様の地形的高まりの側端崖表層部を掘削し、OD1～6 に区分した（図 32a、32b)。OD1 は姥ケ原軽石（UG）に対比される灰色火山灰を含む黒色土壌である。OD2 は黄土色の細粒火山灰で、OD3 は多様な色調の火山灰互層である。OD4 は嬬恋降下軽石（YPk）に対比され、上方の 3 分の 2 は粗粒、下部は中～細粒のゴマシオ状を呈する（図 32c)。OD5 は、少なくとも 22 枚の火山灰層に区分される。最下層の OD6 は、厚さ 176cm 以上の基質支持堆積物で、最大径 85cm に達する多様な溶岩片の亜角～亜円レキや岩塊を含む。全体の層序は南方のトレンチ 32 と基本的に共通するが、本地点では YPk 直下の火砕サージ状部分は確認されなかった。

トレンチ 35（群馬県吾妻郡嬬恋村大平地区（山頂火口の北西約 8.3km))

起伏の緩やかなキャベツ畑に位置する本地点（標高 1,114m）では、粒径や構成粒子の違いから US1～6 に区分した（図 32d)。最表層の US1 は姥ケ原軽石（UG）に対比される灰色火山灰を挟む黒色土壌であり、続く US2 は基質支持で丸みを帯びた軽石（最大 6.4cm）を含む。US3 は層厚 51cm の降下軽石層で、トレンチ 32 等と同様の粒径変化を示すことから嬬恋降下軽石（YPk）に対比される。一方、41 枚以上の火山灰層から成る US4 は上面に著しい侵食面があり（図 32e)、これを YPk が覆うことから両者の間には時間間隙が推定される。US5 はローム質で、緻密な溶岩片と風化した橙色の軽石のレキが少量含まれる。US6 は最大径 40cm 以上の溶岩塊を含み基質が不均質である。全体として、トレンチ 32、35 の層序と概ね共通するが、本地点では YPk 上位の火山灰互層を欠く点が特徴である。

トレンチ 36（長野県北佐久郡軽井沢町風越（山頂火口の南東約 12.1km))

本地点（標高 935m）は基盤山地に近く、付近には泥川支流に一部を削られた流れ山地形が認められる。岩相の違いに基づき上から KA1～8 に区分した（図 32f)。KA1 は黒色土壌であり、As-B、D グループの軽石層が挟在する。下方からはアカホヤ火山灰のバブルウォール型ガラス（極細粒砂サイズ）が検出された。4 つの降下単位が識別される KA4 は層厚や岩相から板鼻黄色軽石（YP）に対比可能で、その上位の KA2・KA3 は小諸軽石流に関連するとみられる。KA6 は、角閃石、黒雲母、石英を含む鉱物組合せから離山由来の雲場火砕流縁辺部と判断される（図 32g の上方灰色部)。最下位の KA8 は、スコリア質ブロックを含み、岩相と層位関係から、黒斑火山の岩屑なだれ堆積物と考えられる。

iii) まとめ

最終年度は不明な点が多い浅間火山北西麓の地質調査を重点的にすすめた。トレンチ 34・35 では嬬恋降下軽石（YPk）の他、複数の小規模な火砕流堆積物の流下単位や火山灰互層を確認した。トレンチ 36 では雲場火砕流堆積物を確認し、離山溶岩ドーム形成に伴う火砕流が南方では 3.7km の距離まで到達したことがわかった。以上より浅間火山群の噴出物の総合的な層序の把握や主要な噴火事例の噴火推移復元の上で有用な地質情報が多く得られた。

なお本プロジェクトによる合計 36 地点の掘削調査の具体的な記載や年代測定結果は文献[55-58)]で報告した。



図 62　(a)トレンチ 34 の全景、(b)トレンチ 34 の掘削面、(c)トレンチ 34 の OD4（嬬恋降下軽石（YPk)、(d)トレンチ 35 の掘削面。

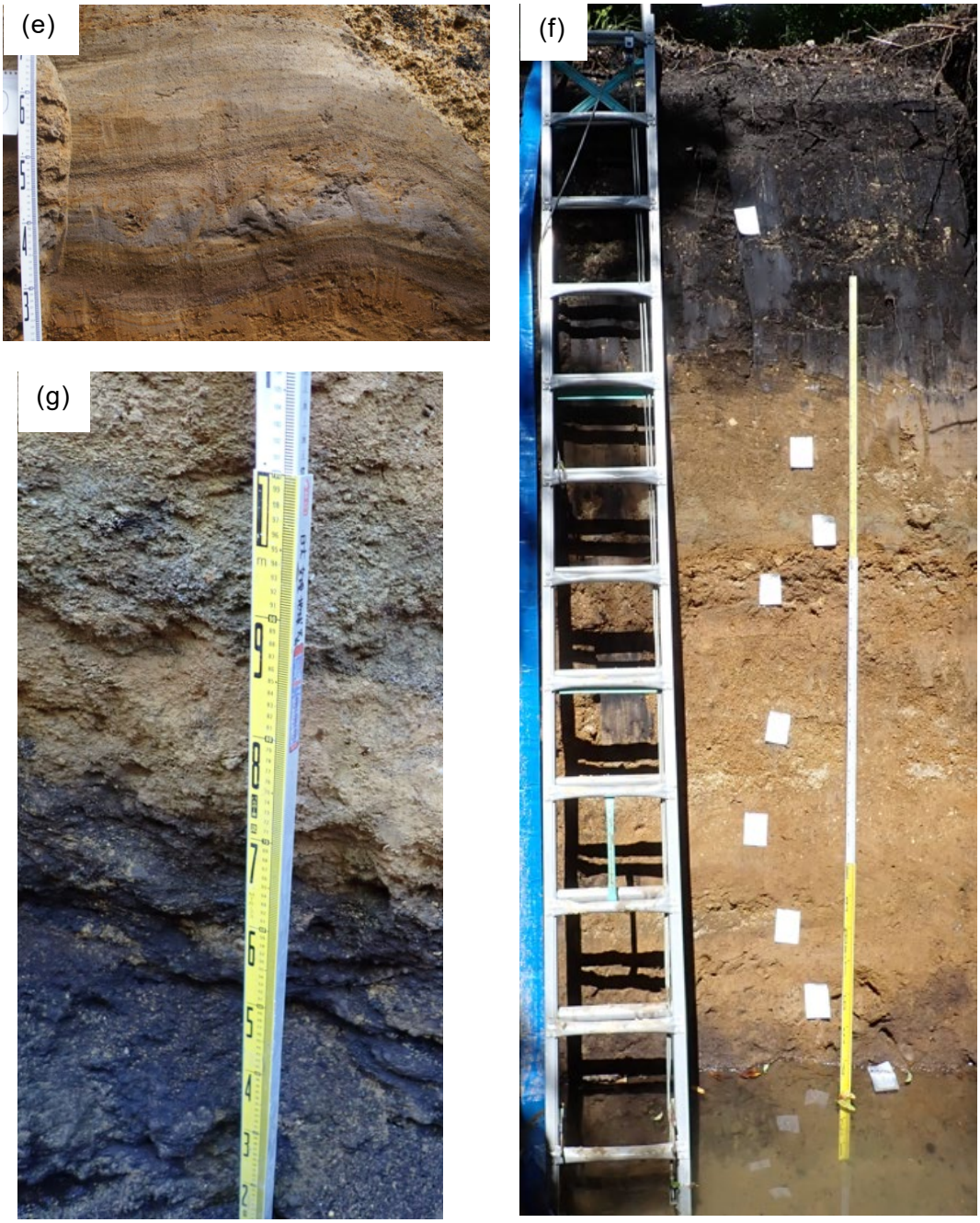


図 32(続き)　(e)トレンチ 35、UB4 上部の侵食面、(f)トレンチ 36 の掘削面、(g)トレンチ 36 の KA6～8 の産状。

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

令和 7 年度は、草津白根火山（志賀火山を含む）の山体形成史の再検討を目的として、特に草津白根火山の活動初期（第 1・第 2 噴火期[59]）の噴出物に対する K-Ar 年代測定を中心に研究を進めた。従来、これらの噴出物は年代制約が不十分であったが、斑晶鉱物を除去し石基成分を濃集した試料を用いることで過剰 ^{40}Ar の影響を低減し、信頼性の高い年代値を取得した。その結果、松尾沢溶岩は 478±34

ka（他試料も含め約 480 ka 前後）、太子火砕流堆積物は 473±39 ka および 509±32 ka、前口溶岩は 430±27 ka および 321±30 ka を示した。さらに、米無溶岩（約 410-385 ka）、青葉溶岩（約 334 ka）、谷沢原火砕流（約 290 ka）、双子山溶岩ドーム（約 110 ka）、本白根溶岩（約 49 ka）などについても年代制約が得られ、活動史の時間軸が大幅に精緻化された。

これらの結果から、松尾沢溶岩と太子火砕流は約 500 ka にほぼ同時期に形成され、第 1・第 2 噴火期の間には長期の活動休止は存在しなかった可能性が高い。また、その後は東麓において複数の溶岩流が段階的に流出し、約 290 ka に火砕流活動が発生するなど、初期活動の時間発展が具体的に復元された。さらに、第 2 噴火期末から第 3 噴火期初期にかけても長期休止は認められず、マグマ噴火が比較的連続的に発生していたことが示唆される。以上により、K-Ar 年代に基づく草津白根火山の全噴火活動史の再構築が進み、従来の活動区分に対する重要な制約が与えられた（図 33）。

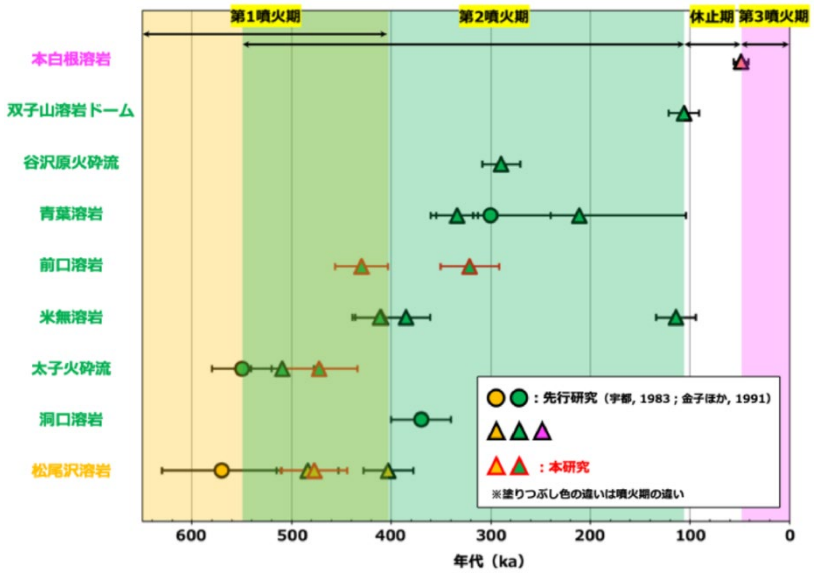


図 63　本研究で得られた草津白根火山噴出物の K-Ar 年代を先行研究の年代値[60)61)]と合わせて示す。

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

今年度（最終年度）は、今までの研究成果等について総合・整理し、伊豆、新島（および式根島火山、神津島火山）の流紋岩質噴出物について、噴火区分等を元に、噴火の時系列（概略）と地域的なマグマの比較を行った。また鉱物・全岩化学組成結果やその時空分布などついて再検討を行い、マグマの起源や生成過程、および時代変化等について考察を実施した。

i）流紋岩の噴火区分

単成火山群を形成する噴火ユニットは（今までの報告書記載に記述済み)、地内島の噴火に始まり、複数の噴火を経て、式根島、(若郷玄武岩)、阿土山火山（856 y)、向山火山（886-887 y）まで断続的な噴火により形成されてきたと推測されてきた[62)63)64)]。研究を行った流紋岩類（主に溶岩類）の斑晶鉱物の組み合わせに基づいた 4 区分は、直方輝石―カミングトン閃石タイプ（Opx-Cum-type)、カミングトン閃石タイプ（Cum-type)、カミングトン閃石―黒雲母タイプ（Cum-Bt-type)、黒雲母タイプ（Bt-type）である[62)65)]。本研究では、式根島および神津島の一部の噴火ユニットの分析値も比較を試みた。

ii）鉱物および全岩化学組成

成果概略

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

斜長石の An mol.%、およびカミングトン閃石と黒雲母の Mg#は、噴出の年代と共に減少傾向を示す傾向が認められる[65)]。

全岩化学組成では、新島火山の岩石（噴出物、包有物：玄武岩～流紋岩組成）の元素組成を図 34 に示した。また、今までの全岩化学分析の結果に基づくと、流紋岩類は 75～79（wt.%)に集中し、全体的には Opx-Cum-type, Cum-type では Bt-type と比較し、MgO, FeO, CaO wt.% に富み、K_2O, Na_2O wt.% に乏しい傾向があるが、同じタイプ内でも、データ列（分布）が異なることが認められる(図 35a、35b)。同様な傾向は希土類元素(REE)を含むトレース元素組成等でも確認される。

化学組成の比較（新島と式根島、神津島）

また、式根島(Bt-type)流紋岩は、K_2O などは新島の同タイプの岩石よりもやや高い傾向を示し、また FeO はわずかに低い傾向を示した、(図 35a、35b)。さらに、新島の流紋岩類のデータと神津島の流紋岩のデータを、黒雲母タイプ、及びカミングトン閃石タイプを基準に比較を行った。その結果、神津島の岩石は TiO_2、FeO、MgO、CaO などでは新島の岩石よりも系統的に低く、K_2O、Na_2O ではわずかに高い傾向を示した(図 36a、36b)。これらを考慮すると、流紋岩類については、それぞれのユニットが共通のマグマからではなく、別の浅所マグマに由来したことを示している。同様な結果はトレース元素（REE を含む）などでも確認でき、マグマの起源などの地域的（空間的）違いを反映していると推測される。

iii）Sr 同位体組成―玄武岩（安山岩）と流紋岩類との違い

以前の報告書でも記載済みであるが、新島における玄武岩類（若郷玄武岩ユニット、苦鉄質包有物）では 0.70334-0.70340 で、流紋岩類のデータ（0.70328-0.70340）に比べわずかに高い値を示している。この結果は、単成火山を形成した流紋岩質マグマは、玄武岩質マグマの結晶分化作用では説明が困難で、異なった同位体比を持つマグマからの生成が考えられる。珪長質マグマの生成の可能性として

は、玄武岩質マグマの熱源を伴った地殻物質（下部―中地殻）の部分融解が考えられる。この場合、Sr 同位体比の低い地殻物質が必要となる。

iv）新島、神津島におけるマグマの年代変化

新島、神津島を含めた比較研究から、流紋岩類主体の噴火活動は数万年前から始まり、全体としてマグマは低温・低圧（浅所）で、噴出年代に沿ってより低温のマグマへの移行が認められる点は共通項である。この傾向、特に黒雲母流紋岩の出現時期は新島、神津島、あるいは各島内部でも違いが認められ、地下のマグマ供給系における地域的な違いや深部マグマの不均一性を反映している可能性がある。流紋岩にけるカミングトン閃石、直方輝石タイプから黒雲母タイプへの移行は、同様な岩石を産する Okataina Caldera (New Zealand)[69]とは異なっており、マグマの中長期変遷を考える上で興味深い。

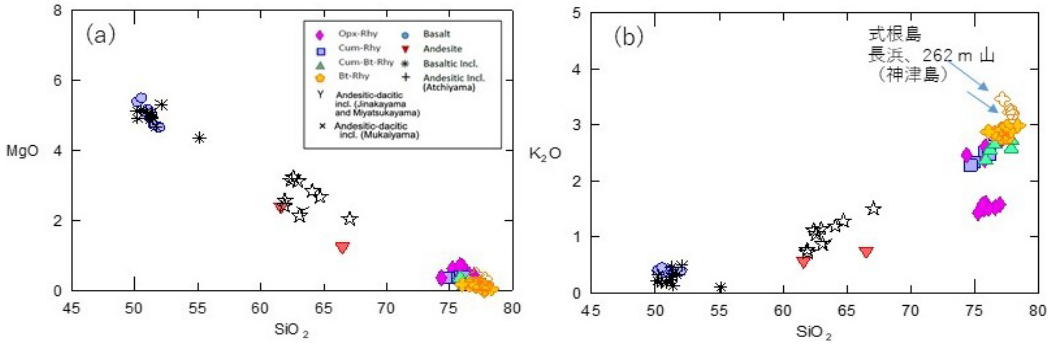


図 64　新島火山の噴出物の主要元素組成図。(a) SiO_2-MgO, (b) SiO_2-K_2O 図：Arakawa et al.[65]および追加データ（式根島、神津島の一部）。包有物データは一色[62]および Koyaguchi[66]を参照。

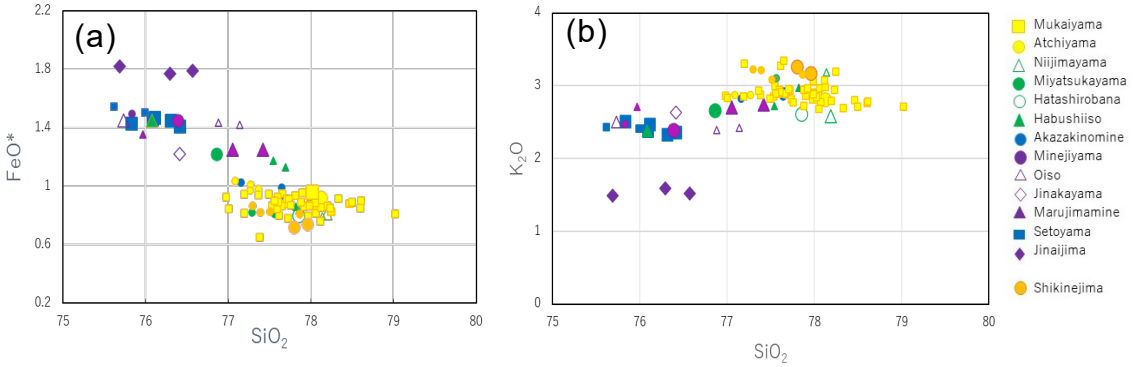


図 65　新島、式根島火山の流紋岩類の主要元素組成図：岩石タイプ、ユニットごとの比較。(a) SiO_2-FeO*、(b) SiO_2-K_2O 図 。記号（大）は Arakawa et al.[65]に新規データを加えたもの。記号（小）は荒牧・伊藤[67]より引用。

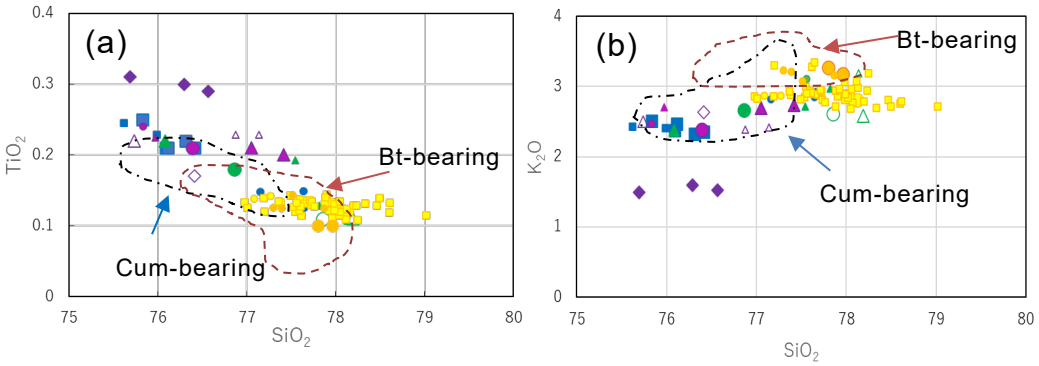


図 66　新島火山および神津島火山の流紋岩類の元素組成の比較（岩石タイプ、ユニットごとの比較）。(a) SiO_2-TiO_2、(b) SiO_2-K_2O 図 。新島火山：記号（大）は Arakawa et al. [65] に新規データを加えたもの。記号（小）は荒牧・伊藤 [67] より引用。記号の種類は図 35 と同様。神津島のデータ範囲を青色破線（Cum-type, Opx-type）、黄色破線（Bt-type）で示す（本研究、および荒牧ほか [68] より引用）。

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

伊豆大島については、中長期の噴火履歴解明のために、歴史時代の代表的な大規模噴火噴出物の化学組成分析・組織解析等を進め、噴火毎のマグマ供給系やマグマ上昇過程についての考察をさらに進めた。また、プロジェクトで得られた大規模噴火に関する新知見等 [70] も踏まえ、産総研が主導して進めてきた伊豆大島火山地質図第 2 版 [71] の作成に協力した。

r）三宅島：完新世の噴火履歴の解明（茨城大学）

i）はじめに

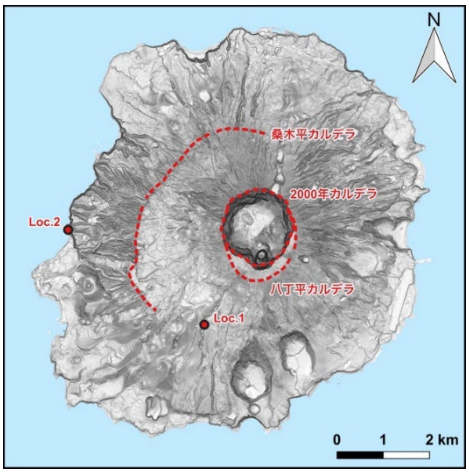


図 67　三宅島の地形図と露頭地点。

約 2.3 ka に形成された八丁平カルデラ [72] に加え、約 10 ka 以前に形成されたとされる桑木平カルデラ [73]、[74] も対象とし、それぞれの噴出物層序を調査した（図 37）。三宅島火山は、玄武岩～安山岩質の成層火山であり、これまでに 3 回のカルデラ形成を経験している。2000 年噴火に伴うカルデラ形成は詳細に研究されており、地下で苦鉄質マグマが側方移動し、山頂が陥没することで形成された [75]。この噴火推移において大規模な火砕流は発生していない。一方で、2000 年噴火に先行する 2 回のカルデラ形成噴火については不明点が多い。そこで、八丁平カルデラおよび桑木平カルデラ噴出物について、地質調査と室内分析（化学分析・古地磁気分

析）を行い、各ユニット間の時間間隙やマグマ組成を定量化し、カルデラ形成噴火過程の復元を試みた。

ii）八丁平カルデラ噴出物

八丁平カルデラ形成噴火に伴う堆積物（Loc.1）は下位から順に、スパター層、降下スコリア層、火砕流堆積物の3ユニットに区分される（図 38）。火砕流堆積物は層厚約 5〜8 m で、基底部に炭化木片を含み、上部にはカルデラ崩壊を示すと解釈される、石質岩片濃集層（LCZ）が発達している。ユニット間には古土壌層が認められず、一連の噴火活動によって連続的に形成された可能性が高いが、最下部のスパターと火砕流堆積物の古地磁気方位には、約 15° の差が認められた。これを三宅島における地磁気永年変化率を用いて換算すると、両者の間には約 250 年程度の時間間隙が存在すると推定される。



図 68　八丁平カルデラ噴出物の層序と露頭写真。

iii）桑木平カルデラ形成噴火の層序

桑木平カルデラ形成噴火に伴う堆積物（Loc.2）は、三宅島西岸の海食崖に連続的に露出する（図 39）。最上位に層厚約 10〜13 m の非溶結火砕流堆積物が、LCZ を伴って認められる。本質物質は玄武岩質（SiO_2約 50 wt.%）である。火砕流堆積物の下位には、層厚約 25 cm の古土壌層が認められる。古土壌層より下位の噴出物は、スコリアを主体とする火砕物および溶岩の互層からなる。これらの分布や層厚、溶岩の枚数は側方に変化する。

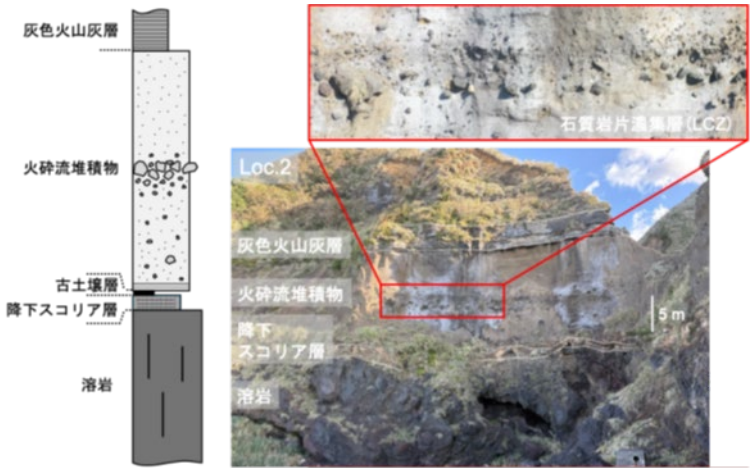


図 69　桑木平カルデラ噴出物の層序と露頭写真。

iv）カルデラ形成前駆過程の特徴

八丁平カルデラおよび桑木平カルデラ噴出物は、以下の点で共通する。

・LCZ を伴う火砕流が発生した。

・火砕流に先行してスパター／スコリアや溶岩などの噴出物が時間間隙を伴って認められる。

これらの特徴は、2 回のカルデラ形成が、長期間にわたる前駆的活動を伴う段階的なプロセスとして進行したことを示唆する。

v）成果と今後の展望

本研究により、三宅島火山における 2000 年噴火に先行する、過去 2 回のカルデラ形成噴火について、層序および時間スケールに基づく噴火推移が明らかとなった。特に、カルデラ形成に先行する噴火活動が長期間継続した後、火砕流の噴出を伴うカルデラ形成噴火へ移行するという共通した進化パターンが認められる可能性が示された。今後は、前駆的噴火活動による噴出物とカルデラ形成噴火による噴出物のマグマ組成の比較や、時間変化の解析を通じて、苦鉄質マグマ系におけるカルデラ形成のメカニズム解明や、中長期的な噴火予測への応用につながることが期待される。

s）鷲羽池火山：地表調査による噴火履歴の解明（富山大学）

本プロジェクトによるこれまでの調査により、鷲羽池火山 [76] 周辺では約 5,500 年前および約 2,500 年前に大規模な水蒸気噴火が発生し、鷲羽池火口（図 40（A））の西方域を中心に鷲羽 A 火山灰および鷲羽 B 火山灰が広範囲に堆積したことが明らかとなっている。令和 7 年度は、未解明であった東方域におけるテフラ分布の把握を主目的としたが、伊藤新道沿いでの調査は未実施となった。一方で、火口形成史およびテフラ層序に関して重要な進展が得られた。鷲羽池火口から噴出した火砕サージ堆積物（図 40（B））の年代測定により、同火口の形成時期は約 7,800～8,000 年前と推定された。黒部川源頭域では、鬼界アカホヤ火山灰（約 7,300 年

前）より上位に少なくとも 5 層の水蒸気噴火起源の火山灰層が昨年度の調査で確認されており、そのうち最下位および最上位のテフラが、それぞれ鷲羽 A 火山灰および鷲羽 B 火山灰に対比されている。令和 7 年度には、これら 5 層のテフラ層について物質科学的解析および追加の年代測定を実施した（図 40（C））。その結果、これらの火山灰は花崗岩などの基盤岩由来の岩片・結晶片から構成され、鷲羽池火口起源の安山岩を含まないことが明らかとなった。このことは、活動の中心が鷲羽池火口からその南方に位置し、近年も大規模噴気活動が継続中の湯俣川支流硫黄沢 [77] 流域へ移動した可能性を示す。さらに、赤色立体地図解析により同地域に複数の火口地形が確認され、現在に至る火山活動の継続性が示唆された。

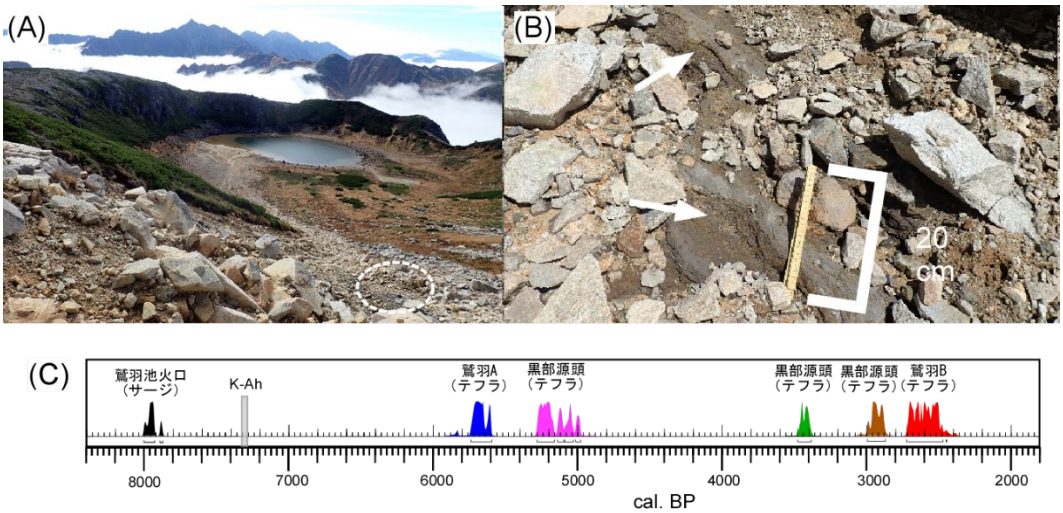


図 70　（A）鷲羽池火口と火砕サージ堆積物の露頭範囲（白破線）。（B）火砕サージ堆積物（白矢印先端の黒灰色の地層）の近接写真。（C）黒部川源頭で確認された 5 層の水蒸気噴火テフラ層の直下の土壌の暦年と鷲羽池火口を噴出源とする火砕サージ堆積物の暦年。

t）八ヶ岳、横岳火山：Yt-Pm4 の噴火過程の復元と噴火史の再検討（信州大学）

i）はじめに

長野県中部の八ヶ岳火山群の北端に位置する横岳は、八ヶ岳火山群で唯一の活火山である。山体は 9 枚の安山岩質溶岩流（Y1-Y9）で構成されるが、大規模な軽石噴火（Yt-Pm4）も起こしている [78]。Yt-Pm4 は地形観察などから Y2 溶岩以降、Y3-Y6 溶岩のいずれかの噴火前に噴出したとされ [79]、直下から約 34-35cal kyBP の ^{14}C 年代測定値が得られている [80]。噴出量は 2.0×10^{-1} km^3DRE と推定され [81]、Y3 以降の溶岩流の平均噴出量の約 1.8×10^{-2} km^3 [79] と比べて一桁大きい。Yt-Pm4 は溶岩流噴火を繰り返してきた横岳にとって特異な噴火と言えるが、なぜこのイベントのみ軽石噴火へと至ったのか、その詳細な噴火プロセスや、供給されたマグマの特徴については未解明である。本研究では、Yt-Pm4 の地質学的・鉱物学的検討を行い、その特徴の変化から噴火プロセスを検討した。また現時点でのデータを元に階段ダイアグラムの試作を行った。

ii）地質調査結果

横岳山頂から東方にかけての 10 地点で Yt-Pm4 を確認した（図 41）。Yt-Pm4 は単斜輝石直方輝石デイサイト質軽石からなる堆積物であり、黒曜石や安山岩溶岩片を含む。軽石は黄褐色で非常によく発泡しており、繊維状に引き延ばされた気泡を持つものも多い。山頂の東約 1.5km に位置する露頭（YP-h）では層厚約 3m と、最も厚く Yt-Pm4 が堆積する。YP-h では基質量の多少に起因する堆積物の色調の変化が認められたため、ユニットに区分し詳細な検討を行った。それ以外の露頭は概ね単一のユニットから構成されていた。YP-h が火口近傍層であり、そのため YP-h にのみユニット変化が表れたと考える。

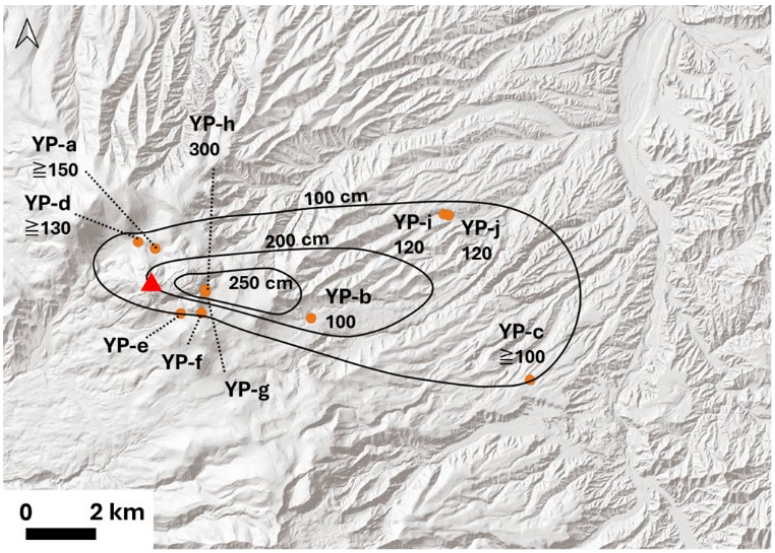


図 71　各露頭（YP-a～j）の位置と層厚（単位は cm）、及び等層厚線を示した図。赤色三角：横岳山頂。YP-e, f, g は下限が不明なため、層厚が不明である。基図に国土地理院、陰影起伏図を使用した。

iii）YP-h での軽石堆積物の産状

本露頭では、基質に乏しく黄褐色の軽石支持層（以下では g 層）と基質に富み黒色を呈する淘汰の悪い層（e 層）が互層して堆積していた（図 42）。下位から 1g、1e、 2g、 …、 4e と呼称する。最下層に位置する 1g 層の下部約 20cm に含まれる軽石や安山岩片はやや円磨されていたため、下部層（1g-l）と上部層（1g-u）に区分した。

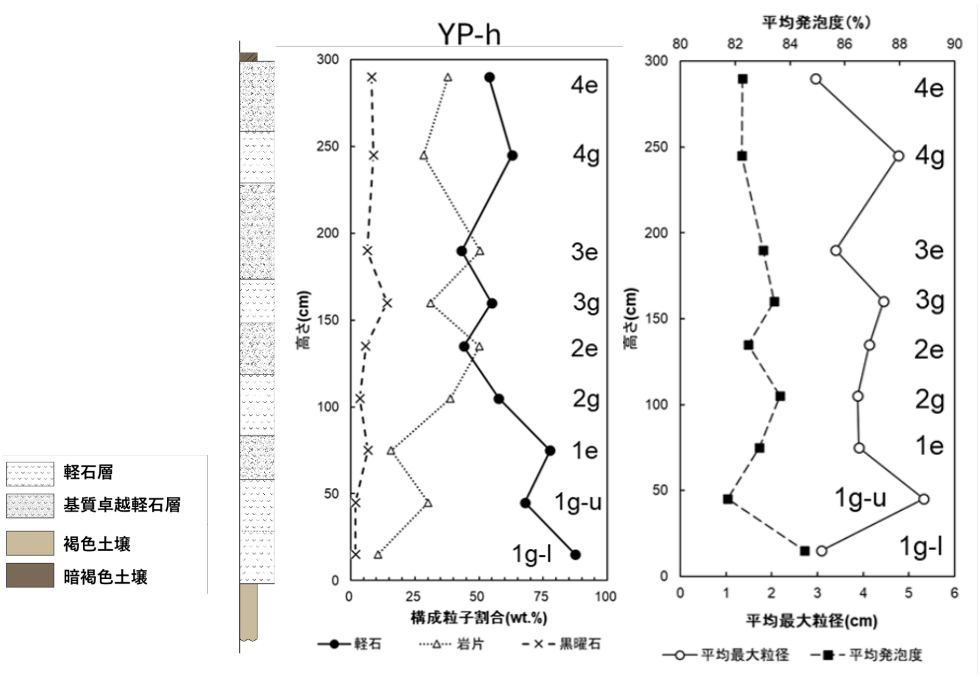


図 72　YP-h の柱状図と構成粒子割合（質量%）、平均発泡度（%）、平均最大粒径（cm）の変化。

構成粒子の質量比、軽石の平均最大粒径と平均発泡度を測定した結果、系統的に変化していることが分かった。g 層は e 層と比べて溶岩片に乏しく、軽石と黒曜石に富む。軽石は g 層が e 層よりも発泡度が高く、サイズも大きい傾向を示した。

iv）Yt-Pm4 の噴火プロセス

YP-h で確認された異なる特徴を示す軽石層から、以下のように噴火プロセスを推定した。相対的に淘汰がよく、軽石と黒曜石に富み、軽石のサイズや発泡度も高い g 層は、噴火のピークに由来すると考えられる。噴煙柱が安定して高い高度を維持していたため、軽石や黒曜石に富み、その結果岩片の量は少なくなったと考える。軽石の発泡度が高いことは、g 層が閉鎖的で脱ガスが進行しにくい環境で形成されたことが示唆される。一方で、爆発性の上昇による火道の拡大や、圧力の低下によって駆動力が減少することで噴煙柱が数時間で不安定化することが示されている[82)]。溶岩片や基質に富む e 層は、火道拡大などに伴い噴煙柱が不安定化した時期に形成されたと考えられる。g 層と e 層が互層していることから、高い噴煙柱を形成して定常的に火砕物を放出する活動と火道・火口の不安定化する活動を繰り返していた可能性がある。また、最上位の堆積ユニットが e 層であることから、最後は火道壁崩壊などによる岩片が火道をふさぐことで噴火が終了したことが示唆される。

v）Yt-Pm4 の噴出量と横岳の中長期噴出率

本研究結果と既存の結果を合わせて Yt-Pm4 の噴出量を推定し、横岳の中長期的活動を検討した。Yt-Pm4 の噴出量は、横岳から 10km 以遠は大石・鈴木[81)]のデータ

を採用した。本研究で詳細な分布が明らかとなった山体近傍部の噴出量は、Hayakawa [83]の経験式を用いて本研究の等層厚線図（図 41）から推定した。その結果、Yt-Pm4 の噴出量は合計で 0.34 km^3DRE、VEI 5 であると推定された。

Yt-Pm4 噴火以降の過去 34 ky の噴出率は、1.3×10^{-2} km^3/ky と推定された（図 43)。Yt-Pm4 以降の溶岩の噴出時期に未確定のものがあるため、過去 10ky の階段ダイアグラムは一意に求まらないが、おおよそ $1.0\sim2.0\times10^{-2}$ km^3/ky と推定された。これらの値は、八ヶ岳火山群全体の長期噴出率（0.1～1.0 km^3/ky）[84]より 1～2 桁程度低いものの、噴出率が時間とともに低下しているわけではなく、最近の 1 万年間も安定した噴火活動を行っていたことが考えられる。横岳では顕著な地震活動や噴気・地熱活動などが確認されないものの、今後も同程度の火山活動が継続する可能性があると考える。

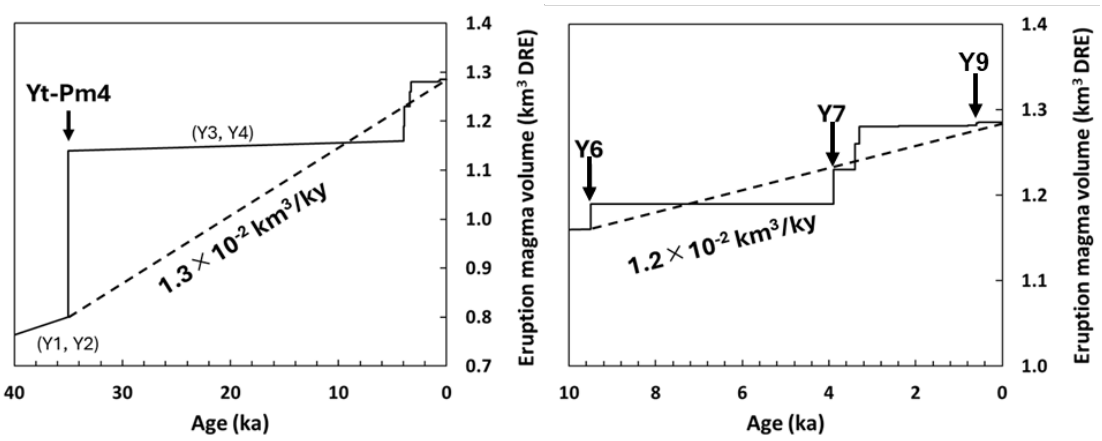


図 73　最近 4 万年間および 1 万年間の横岳の階段ダイアグラム。Y6 溶岩の噴出年代を 3.5～4.7 ka[85] とした場合。

u）白山：地表調査及びテフラ層序による噴火履歴の解明（富山大学）

令和 7 年度は、白山火山における完新世テフラ層序の再検討と物質科学的解析に基づき、噴火履歴の高精度化を進めた。山頂域から東方～北方にかけてのテフラ分布調査および試料分析の結果、従来未報告のテフラ層が複数確認され、最近約 1 万年間に少なくとも 21 回の噴火活動が発生したことが明らかとなった。内訳はマグマ噴火 11 回、水蒸気噴火 10 回であり、噴火様式の時間的推移は、マグマ噴火卓越期、水蒸気噴火卓越期、水蒸気噴火を伴うマグマ噴火卓越期の三期に区分される。特に水蒸気噴火卓越期には山体崩壊が発生しており、活動様式の転換と密接に関連する可能性が示された。

テフラ噴出量に基づく階段ダイアグラム（図 44）からは、山体崩壊後、約 2,200 年前の Hm-10 テフラを境にマグマ噴出量が顕著に増加し、その後は約 200～300 年周期で VEI2～3 規模の噴火が反復したことが明らかとなった。さらに Hm-10 は約 2,300～1,650 年前にわたる長期継続的な噴火活動により形成され、噴火様式がマグマ水蒸気噴火からブルカノ式噴火へ移行したことが示唆される。加えて、粘土質テフラに含まれる熱水変質鉱物の分析から、酸性熱水系の発達と山体崩壊後の流体流路の変化が

噴火発生に重要な役割を果たした可能性が示された。以上の成果により、テフラ層序に基づく白山火山の完新世噴火履歴とその発生機構の理解が大きく進展した。

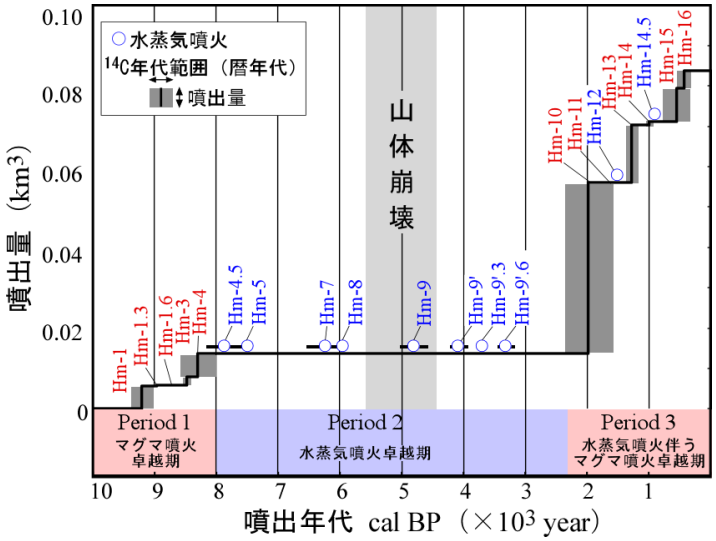


図 74　新白山火山の完新世テフラの噴出量階段図。テフラ体積はアイソパックマップに基づく簡便法[83]より算出。テフラの名称は既報告文献[86]に従い、名称が赤字のテフラはマグマ噴火によるもの、青字のものは水蒸気噴火によるテフラを示す。

v）九重山：噴出量階段図の更新と爆発的噴火事象系統樹の構築（山口大学）

i）背景・目的

九州中部に位置する九重火山（図 45(a)）は、20 以上の火山体で構成される活火山である[87]（図 45(b)）。本火山は，噴火時の社会的影響が大きい火山に指定されているため[88]、将来の噴火予測が重要視されている。本火山は地形的に中西部と東部に大別され、過去 20 万年の噴火史の中で、その活動地域が中西部から東部へ移行する[89]。また、中西部と東部ではマグマ組成が異なることから、噴火予測のためには、マグマ毎に噴火パターンを解明する必要がある。太田ほか[90]では、中西部と東部それぞれの噴出量階段図を構築し、直近 7 千年間では東部のマグマ活動が活発化していることを報告した。一方で、噴火事象系統樹が構築されていないため、噴火の時間的推移の予測が困難である。今年度は、社会的影響が大きい爆発的噴火に対して噴出量や噴火経緯の再検討を実施し、噴火事象系統樹の構築を目的とした。今回、主に「東部の爆発的噴火事象系統樹」と「約 13 万年前、宮城火砕流堆積物の分布域および噴出量」について報告する。

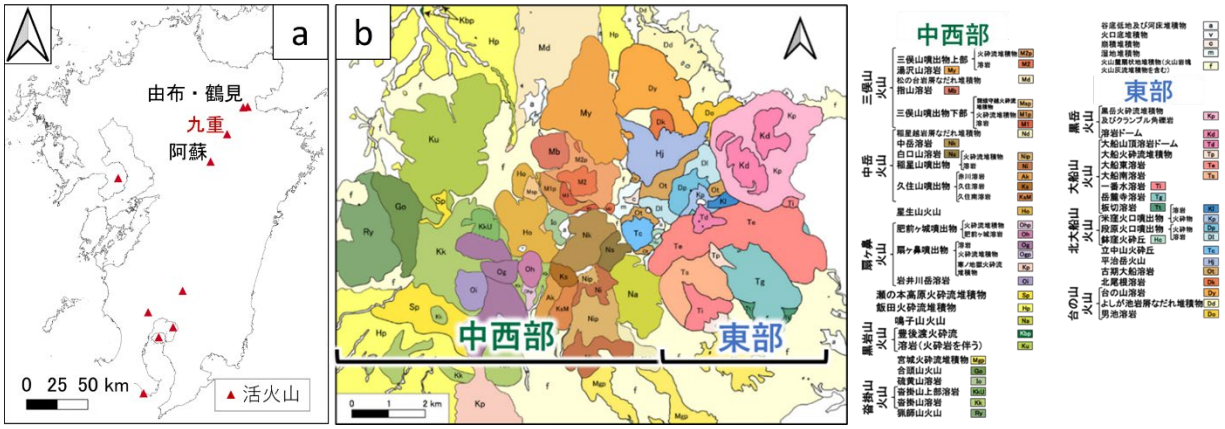


図 75　(a)九重火山位置図。(b)九重火山の地質図（太田ほか[90]に加筆）。

ii）東部の爆発的噴火事象系統樹

東部は中西部に比べて苦鉄質マグマが活発に活動し、約 3 万年間でサブプリニー式噴火を伴う爆発的噴火がくり返し発生したとされる[87]。一方で、各噴火イベントの詳細な経緯は明らかにされていない。さらに、約 5 万年より古い時代の噴出物において、東部の活動との関連性は解明されていない。今年度は山体近傍～遠方にかけて地質調査を実施し、東部の爆発的噴火履歴の解明を試みた。その結果、約 7～6 万年前の宮処野降下スコリア層、約 3 万年前の長湯降下スコリア層で特に成果が得られたため、これらの噴火経緯について報告する。そして、これまでの成果を基に、東部の爆発的噴火系統樹の構築を行った。最後に、東部の非爆発的および爆発的噴火を制約する要因を岩質から検討した。

約 7～6 万年前、宮処野スコリア層の噴火経緯

九重火山近傍～遠方にかけて Kj-MS の層序を記載した結果、Kj-MS は下位から、灰白色および灰色火山灰層（MS1：新記載）、赤褐色スコリア層（MS2）、灰色火山灰層（MS3：新記載）および橙褐色軽石層（MS4）の 4 ユニットに区分された。

MS1 は 2 枚以上の火山灰層で構成されるが、そのうち最も下位の火山灰層中にはスコリアが散在する。このことと MS1～MS4 の層厚分布から、Kj-MS を噴出した噴火経緯は以下のように考えられる：スコリア放出を伴う小規模なマグマ噴火から始まり（MS1）、サブプリニー式噴火へ発展した（MS2）。その後、火山灰を放出する噴火（MS3）及びサブプリニー式噴火（MS4）が発生した。

鉱物組み合わせにおいて、MS2 のスコリアは主に単斜輝石およびかんらん石を含む。スコリアによっては少量の直方輝石・普通角閃石および石英を含み、かんらん石と石英が共存する非平衡な鉱物組み合わせを有する。しかし、MS4 の軽石はかんらん石を含まず、主に単斜輝石・普通角閃石および直方輝石を含み、黒雲母を少量含む。これらのことから、噴火に伴いマグマの組成が変化した可能性がある。

一方で、MS1・MS2（スコリア）および MS4（軽石）の火山ガラスの化学組成は SiO_2 = 76.7～83.2 wt.%を示す。このことから、粘性の高い珪長質マグマの活動が、爆発的噴火を引き起こした可能性がある。しかし、火山ガラスとかんらん石は

非平衡な関係にあるため、今後はかんらん石と珪長質メルトが共存する原因を岩石学的に検討する必要がある。

約 3 万年前、長湯スコリア層の噴火経緯

本層は下位から灰白色の粘土質火山灰層、褐色スコリアと灰色火山灰の互層で構成される。今水地域においてスコリアの層厚が最大 106 cm であることから、本層の給源は東部の平治岳～大船山周辺であると推察される。

粘土質火山灰層には火山ガラスが少量含まれていることから、この層はマグマ水蒸気噴火噴出物の可能性がある。また、火山ガラスの化学組成結果から、粘土質火山灰層と最上位のスコリア層は類似した組成変化傾向を示し、岩石学的に一連の噴出物であると考えられる。以上のことから、Kj-NS を伴う噴火では、マグマ水蒸気噴火の後に、噴火の規模が増大し、サブプリニー式噴火へ発展したことが推察される。

東部の爆発的噴火事象系統樹

各噴火を系統樹として整理した結果、東部の爆発的噴火は一連の噴火イベントが少なくとも 17 回認められた（図 46（b））。主に火山灰を放出する噴火とサブプリニー式噴火からなり、噴火の初期にサブプリニー式噴火が発生する場合が多いことが考えられた。なお、宮処野スコリア噴火においては、上述の鉱物組み合わせより東部の苦鉄質マグマとの関係性が示唆されるものの、ガラスの化学組成が珪長質であることから、中西部のマグマとの関係性についても検討する必要がある。

火山ガラスの化学組成から、時間の経過に伴い噴出したメルトの組成が珪長質から苦鉄質へ推移したことが考えられる。特に、約 4 千～2 千年前の米窪スコリアの火山ガラスでは，SiO_2 = 57.38～58.48 wt.%にクラスターがみられ、最も苦鉄質なメルトが噴出したと考えられる。このことから、今後も苦鉄質マグマによる爆発的噴火が東部で発生する可能性がある。

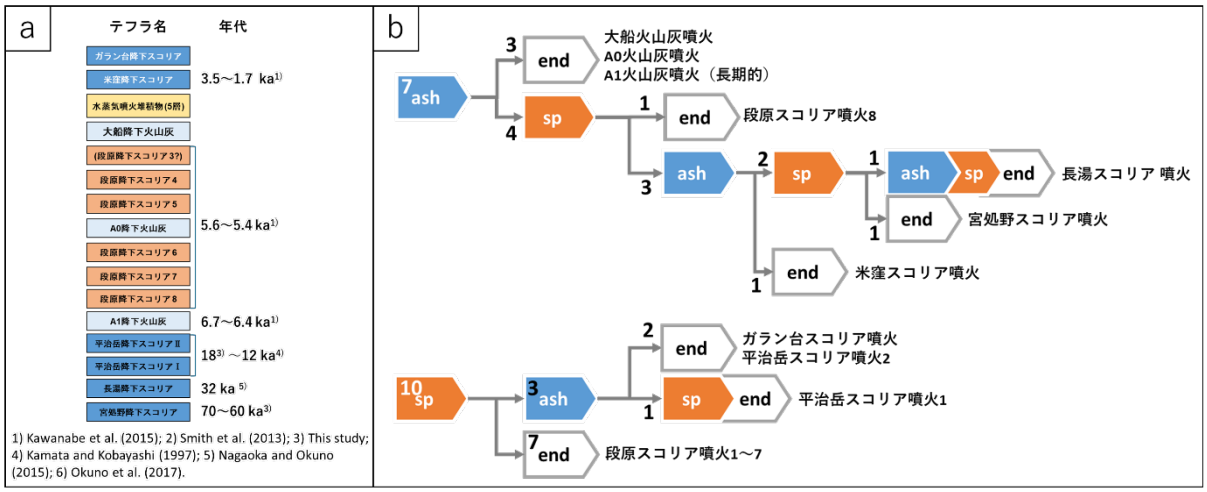


図 76　（a）東部の爆発的噴火および水蒸気噴火噴出物の層序。年代値は [87)、91-94)] および本研究。（b）東部の爆発的噴火事象系統樹。水蒸気噴火噴出物は噴出源が不明である

ため、含めていない。数字は噴火回数を示す。ash: 火山灰を放出する噴火（水蒸気，マグマ水蒸気およびブルカノ式噴火を含む)、sp: サブプリニー式噴火。

東部の非爆発的噴火と爆発的噴火の分岐要因

東部の非爆発的噴火（溶岩噴出）は主に角閃石および黒雲母を含有することから、含水鉱物を含むマグマに由来することが考えられる[87]。一方で、鉱物組み合わせから東部の爆発的噴火の多くは、かんらん石あるいは輝石を含み、角閃石および黒雲母に乏しいマグマであると考えられる。したがって、マグマタイプの違いが東部の爆発的・非爆発的噴火を制約する要因であることが示唆される。

iii）約 13 万年前、宮城火砕流堆積物の分布域および噴出量

玉来ダムボーリングコア中の宮城火砕流堆積物

ボーリングコアの観察

大分県竹田土木事務所所有の玉来ダムのボーリングコア BD14-19（全長 90 m）を観察した。ボーリングコアはオールコア採取されており、コア径 66 m、コア回収率は目視で 95%以上である。既にサンプリングされている部分があり、その部分は今回観察できていないため、その部分については既存のコア柱状図を参照した。コア中の堆積物は下位から、今市火砕流非溶結部（コア深度 90.0-79.20 m)、今市-Aso-1 間堆積物（79.20～76.46 m)、Aso-1 火砕流堆積物（76.46～56.2 m)、Aso-2/1 間堆積物（56.2～44.55 m)、Aso-2 火砕流堆積物（44.55～30.70 m)、Aso-2-宮城間堆積物（30.70～28.50 m)、宮城火砕流堆積物（28.50～24.20 m)、宮城-Aso-4 間堆積物（24.20～22.80 m)、Aso-4 火砕流堆積物（22.80～0.80 m)、Aso-4 火砕流堆積物の再堆積物および Aso-4 以降の堆積物（0.80～0 m）であった。BD14-19 コアでは Aso-3 が見られないため、宮城火砕流堆積物が Aso-2 と Aso-3 の間に挟まれることを確認できない。しかし、ダムの南北方向の地質断面図には、本コアの北側に Aso-3 火砕流堆積物が描かれており、Aso-3 と Aso-2 の間に宮城火砕流堆積物が挟まれるように描かれているため、本コアの宮城火砕流堆積物の層序的位置は既存研究と一致する。BD14-19 コア地点では Aso-3 火砕流堆積物が侵食されたと解釈されている。

BD14-19 コアの宮城火砕流堆積物は層厚 4.3 m の非溶結軽石火山灰流堆積物であり、全体的に塊状無層理で、白色を呈する。下部 50 cm は観察できていないが、中部および上部に径数 cm の白色が多く含まれ、中上部～上部に径 1 cm 以下の火山岩片が含まれる。軽石は角閃石に富んでおり、発泡良好である。基質は同質の火山灰で充填されており、斜長石・石英・角閃石・直方輝石・磁鉄鉱およびごく微量の黒雲母を含む。一般的に宮城火砕流堆積物には黒雲母が含まれるが、下坂田火砕流堆積物と比較してその含有率は小さく、粒径も小さい。上記の記載的特徴は下坂田火砕流ではなく宮城火砕流堆積物に類似する。

宮城火砕流堆積物の火山ガラスの化学組成分析

宮城火砕流堆積物の基質の火山ガラスの平均主成分組成は、SiO_2=77.9 wt.%、Al_2O_3= 12.4 wt.%、Na_2O=3.0 wt.%、K_2O=4.1 wt.%であった。ハーカー図を作成して、九重火山南東麓の刈小野地域に分布する宮城火砕流堆積物の平均主成分組成と比較した。その結果、コア中の火山ガラスでは、Na_2O が 0.5 wt.%高く、SiO_2 が 0.4 wt.%低い。SiO_2-Na_2O 図上にて両テフラ中のガラスの化学組成範囲は重ならなかった。その他の K_2O、Al_2O_3、FeO、MgO、CaO の含有量に大きな差異は認められなかった。

考察

玉来ダムのボーリングコア中の宮城火砕流堆積物は、地質断面図上で Aso-2 と Aso-3 に挟まれていることから、宮城火砕流堆積物の層序的位置として矛盾しない。そのため、ガラスの化学組成のばらつきは、宮城火砕流堆積物中のガラスにおける化学組成の不均質と解釈される。

玉来ダムに宮城火砕流が到達していることが確認できたため、これまでの調査結果も加味して、その分布範囲を見直した（図 47）。その結果、分布範囲の面積は約 228 km^2 となった。層厚は宮原図幅の範囲内にて 30 m 以上[95]、竹田図幅北西部にて 30 m 以上、稲葉川以南では 3～10 m[96]と報告されている。本研究では稲葉ダム周辺（尾登）において層厚 10 m 以上であることを確認できたが、それ以上の層厚は確認できなかった。その他の地点では層厚は 1～4 m 程度かそれ以上と確認された。ここでは本研究及び既存研究の層厚を考慮して平均層厚を 10 m と仮定して噴出量を計算すると 2.28 km^3（DRE 換算 1.14 km^3）となった。これは長岡・奥野[93]によって報告されている噴出量 2.5 km^3 と同規模であった。ただし、宮城火砕流堆積物の層厚についてはデータが十分ではなく、平均層厚で計算する方法についても改善の余地があるため、噴出量に関しては不確実性が大きいことに留意が必要である。

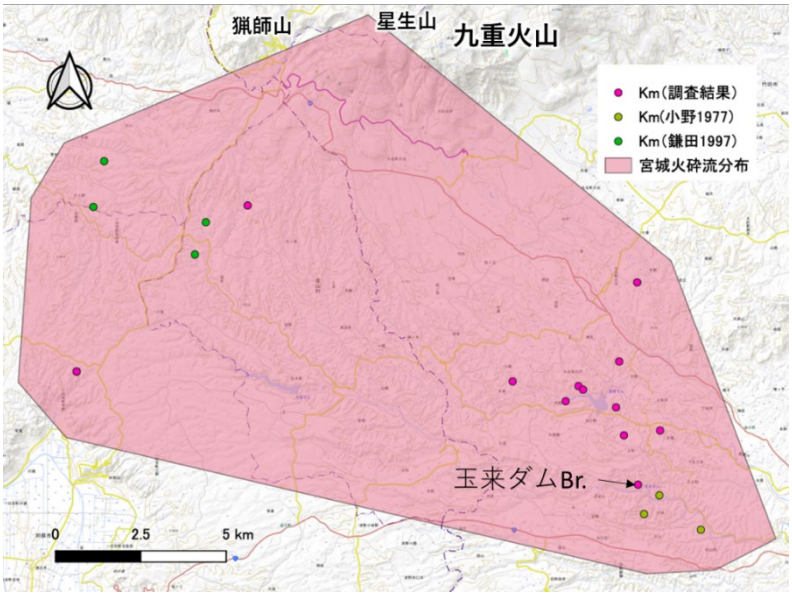


図 77　宮城火砕流の分布範囲および露頭分布図。地図の南東部の 3 点は小野ほか[96]、西部の 4 点は鎌田[95]を参照した。

w）阿蘇山：近年の噴火活動推移解明とトレンチ掘削調査による完新世噴火履歴の解明（秋田大学・熊本大学）

i）硫黄同位体組成基づく 2019-2020 年噴火活動推移の理解（秋田大学）

2019 年～2020 年噴火の活動推移を、火山灰の硫黄同位体組成及び記載岩石学的特徴の時間変化を基に議論を行った。阿蘇火山の 2019-2020 年噴火について、硫黄同位体分析を用いて噴火過程を復元した。火山ガスや噴出物中の硫黄同位体組成の変化から、マグマ由来成分と熱水系由来成分の寄与を識別した。その結果、噴火は単一のマグマ活動ではなく、マグマ-熱水系相互作用を伴う段階的なプロセスで進行したことが示された。特に、噴火前後での同位体変化は、地下でのガス供給状態や流体移動の変化を反映している。これにより、阿蘇火山の噴火様式やガス供給機構の理解が進むとともに、火山活動評価への応用可能性が示唆された。この研究成果は、2025 年度火山学会秋季大会にて公表された[97]。

ii）トレンチ掘削調査による阿蘇山の完新世噴火履歴の解明（熊本大学）

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

今回掘削を行った地点は、最近約 1 万年間の火山灰の主要噴出源である中岳火口の北北東へ約 1.9 km に位置している。また、中岳火口近傍域は侵食が起こりやすい環境にあるが、本地点は地形的にも噴出物が良好に保存されていると期待された。トレンチ調査によって観察できた堆積物の全層厚は 6 m 程度で、上部 4 m 程度は細かく成層した火山灰の塁層であり、下部 2 m は固く締まった火山灰層からなっていた（図 48)。

調査断面中に明瞭な土壌層は検出できなかったが、地表から 5.6 m 深に炭化物が認められたので、その年代測定を行った結果、約 3,500 年前（^{14}C 年代の暦年較正結果）という年代値が得られた。本プロジェクトでは、平成 30 年度（2019 年 1 月）に中岳第 1 火口西方約 1 km 地点でトレンチ調査を行い、最近約 800 年間の噴火活動推移が明らかになっている[98] が、今回のトレンチ断面層序とほぼ整合的であった。今後、本トレンチ断面の詳しい解析を行う予定である。

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



図 78　本年度、阿蘇火山中央火口丘群北斜面で実施されたトレンチ調査断面。

x）霧島山：噴火履歴解明・噴火推移履歴・マグマ供給系の解明および噴火対応（産業技術総合研究所・東京大学地震研究所・北海道大学・熊本大学）

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

目的と調査位置

霧島火山は鹿児島・宮崎県境に位置し、最高峰の韓国岳（標高 1,700 m）をはじめ、新燃岳や御鉢、高千穂峰など、北西―南東方向に約 30×20 km の範囲に分布する 20 以上の火山体からなる火山群である。御鉢と新燃岳では歴史時代にも何度も噴火が起こっており、硫黄山では現在も活発な噴気活動が続いている。歴史時代で最も活動的な御鉢では 1923 年以降の噴火記録はないものの、新燃岳では最近 2011 年、2018 年にもマグマ噴出を伴う噴火を繰り返し、広範囲への軽石や火山灰の降下、噴石や空振による被害も発生した。2025 年 6 月からも断続的に噴火が発生

し、噴出物の一部にはマグマ物質の可能性もある粒子も含まれていた。9 月 8 日以降は噴火が観測されていないが、近い将来もマグマ噴火を行う可能性が高く、詳細な活動履歴をもとにした火山活動のリスク評価を行う必要がある。

霧島火山の活動は約 60 万年前に始まり、約 33 万年前の加久藤カルデラ形成以前の古期と、約 33 万年前から現在までの新期に分けられている[99-101]。新期の活動で形成された火山体はさらに約 8 万年前の岩戸降下軽石、約 3 万年前の入戸火砕流堆積物、および約 7.3 千年前の鬼界アカホヤ火山灰との上下関係でおおまかな年代制約が与えられているが[99)100)]、火山岩に対する直接的な年代測定データはこれまでほとんど報告されていなかった。

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

本年度は、井村・小林[100)]の区分の上で約 33〜2 万年前とされる 3 つの火山ユニットについて地質調査を実施し、3 つの溶岩試料から分離した石基試料について Ar/Ar および感度法 K-Ar 年代測定を進め、昨年度までに得られた年代値と合わせて各火山体の形成履歴の詳細化を進めた。

調査結果

装置の不具合により 3 試料の K-Ar 年代値は得られなかった。今年度までに実施した 9 ユニット 11 試料についての Ar/Ar 年代測定結果をまとめると図 49 のようになる[102)]。約 3 万年前の入戸火砕流堆積物より若いと考えられる丸岡山および韓国岳の試料については、手法の適用限界に近いこともあり、前処理についても再検討を行ったものの、年代値が得られなかった。しかし、新燃岳および甑岳については、それぞれ約 1.1 万年前、約 1.2 万年前の年代値が得られ、少なくともその時期には溶岩を流出する活動があったことが明らかになった。約 3 万年前より古い火山ユニットについては、ほぼ層序から推定された年代幅と整合的な結果が得られ、約 21〜16 万年前に霧島火山の西部から南部にかけて、湯之谷岳や烏帽子岳を含む山体を形成する活動、約 10 万年前には白鳥山（主体）での活動があったことが明らかになった。一方、大浪池および竜王岳の溶岩試料については井村・小林[100)]の層序で示された岩戸軽石との上下関係と逆転する結果が得られた。本研究ではテフラ層序と対比された噴出物を直接 Ar/Ar 年代測定したものではなく、年代測定に適した溶岩部分を採取し測定したため、単純に層序の前後関係として年代値を評価することができないが、霧島火山の各火山体がそれぞれ短期間で単成火山的に形成されたものではなく、ある程度の幅を持って複数回の活動で形成された可能性を示唆する。例えば、大浪池については現在の火口は約 4 万年前に形成されたとされている[101)]が、溶岩試料の Ar/Ar 年代として約 8.6 万年前が得られ、山体の形成時期と火口形成時期に 4〜5 万年の幅があったと考えられる。また、竜王岳については、約 8 万年前の岩戸軽石より古い山体とされていた[100)]が、溶岩試料は約 3.3 万年前の Ar/Ar 年代値を示し、約 3.3 万年前にも溶岩の活動をしていたことが明らかになっ

た。今後、年代値を増やすとともに地質ユニット区分や分布を見直し、さらに形成史を詳細化することが重要である。

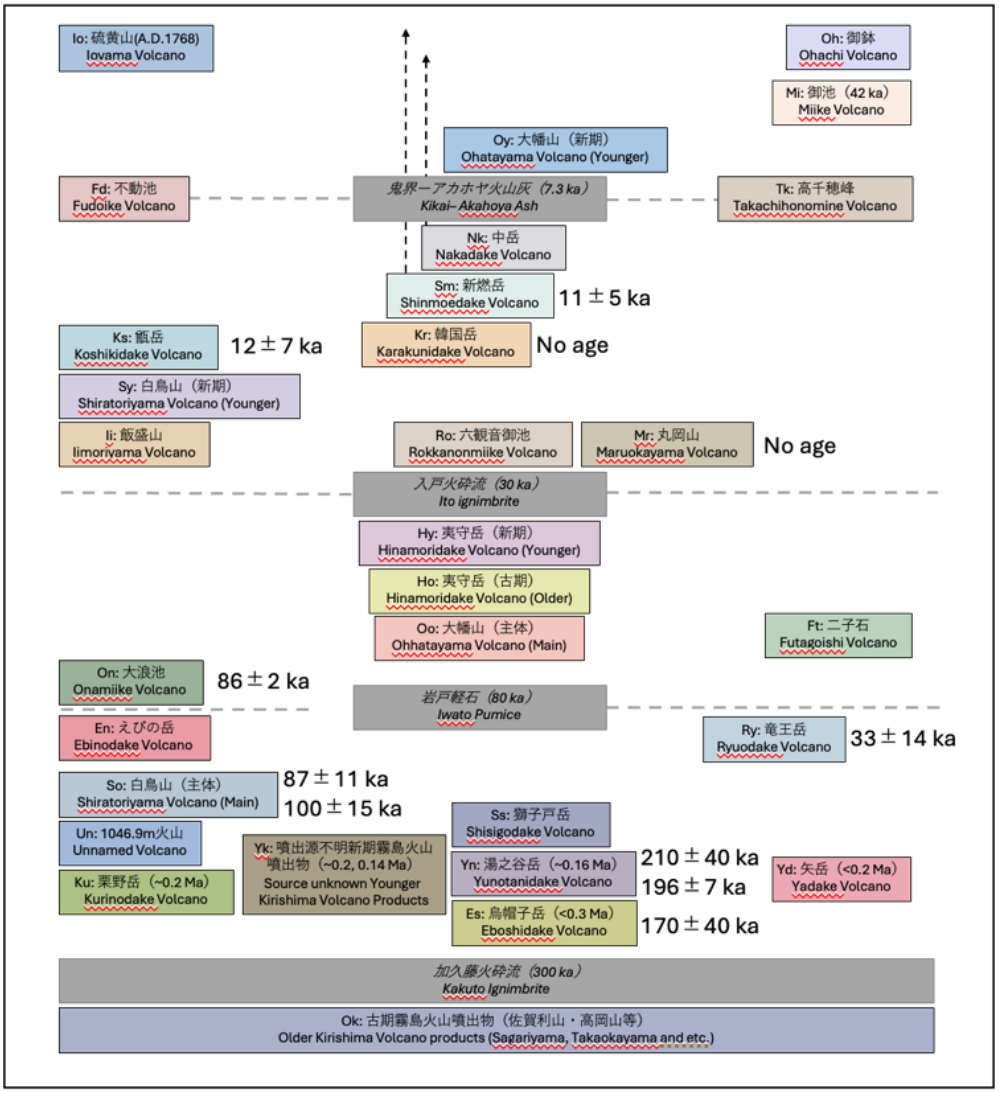


図 79　従来の火山地質図による霧島火山のユニット区分（井村・小林[100]を修正）と年代測定結果。

まとめ

詳細な時間軸を入れて霧島火山の形成史を再構築するために、これまで直接的に火山岩の年代値が得られていなかった霧島火山の 9 ユニットを対象として Ar/Ar および感度法による K-Ar 年代測定を実施した。11 試料のうち、2 試料については測定限界より若く年代値が得られなかったが、9 試料から約 1.1〜21 万年前の年代値が得られ、ほとんどが従来提案された層序に調和的であった。一部テフラ年代との前後関係と逆転する結果も得られたが、対比された噴出物の測定ではなく別の溶岩試料であるため、山体の活動期間の幅を表していると考えられる。今後さらに年代値を追加し、それぞれの山体の活動時期と活動の推移を詳細化することが重要である。

ii）霧島火山群の噴火履歴・噴火推移に関する研究（東京大学地震研究所）

噴火履歴およびマグマ供給系

霧島火山群については、過去 2 万年程度まで遡り、代表的な噴火活動の推移や中長期履歴を明らかにするための地質調査および噴出物の分析を進めた。新燃岳や御鉢の基礎データの収集・整理に加えて、韓国岳にも注目して研究を進めた。特に、16 ka 大規模火砕噴火（小林軽石噴火）を対象として、山麓および山頂の堆積物の詳細な層序区分を行い、この噴火が火砕流の発生を含む複数のユニット（噴火フェーズ）で特徴付けられることを明らかにした。岩石鉱物学的分析を並行して進め、斑晶は斜長石、単斜輝石、直方輝石、および Fe-Ti 酸化物で、すべてのユニットに含まれること、斑晶量は 40-50 vol.%と非常に高く、動きづらいマッシュ状マグマ溜まりから噴火が発生したことなどを明らかにした[103)]。全岩化学組成は SiO_2 含有量 55～60 wt.%の安山岩質であり（図 50)、その組成トレンドは霧島の他の山体が作るトレンドとほぼ一致した。斑晶鉱物組成は軽石、スコリアでほとんど違いが見られなかったが、石基ガラス組成は珪長質（SiO_2 含有量 74 wt.%）と苦鉄質（SiO_2 含有量 67 wt.%）の 2 つの主要なグループに分類でき、これら 2 つの端成分を結ぶ中間的な組成を示すユニットも存在するがわかった（図 51）。また、全てのユニットにおいて、メルト包有物は珪長質石基ガラスに近い組成を示した。ただし、最も厚く、最大規模のユニット F の軽石では、単斜輝石のメルト包有物とそれに付着する石基ガラスにおいて、アルカリ元素が系統的に低い値を示した。熱力学的手法を用いて推定したマグマの温度は珪長質グループで 880℃、苦鉄質グループで 970℃程度であった。これまでの分析結果に基づくと、小林軽石噴火には複数のマグマが関与していたことが示唆される。(1)多くの軽石の石基ガラスに相当するメルト組成を有する珪長質マグマ、(2)スコリアの石基ガラス組成の生成に関与した苦鉄質マグマ、(3)ユニット F の付着ガラスやメルト包有物に相当するメルト組成を有する珪長質マグマ、が噴出したと考えられる。石基ガラス組成の層序毎の変動は、異なる分化度と混合度を持つメルトポケットが、同一のマッシュ状マグマ溜まりに共存していたことを示している可能性があり、この仮説を検証するための分析を行っている。また、韓国岳の岩石学的特徴やマグマの蓄積条件は、新燃岳や硫黄山の近年および歴史時代のものとも類似しており、霧島火山群の中長期的なマグマ溜まり進化を理解する上でも重要になる可能性がある。高結晶量のマグマ蓄積場に見られる組成不均質と大規模噴火の推移との関係性は、霧島火山群に見られるような安山岩質の大規模噴火の発生の要因や、事象分岐の理解に繋がる可能性があり、プロジェクト終了後もさらに研究を進める予定である。

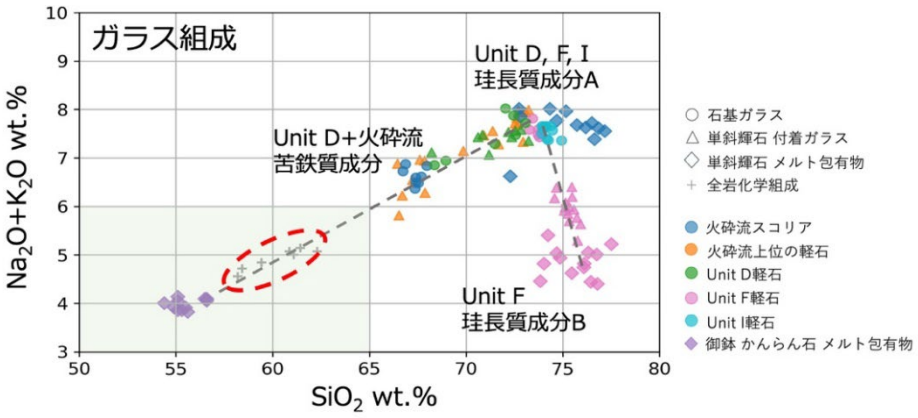


図 80　霧島火山群の韓国岳を含む代表的山体の全岩化学組成（TAS 図）。緑色の領域は図 51 の左下の組成領域に対応する。

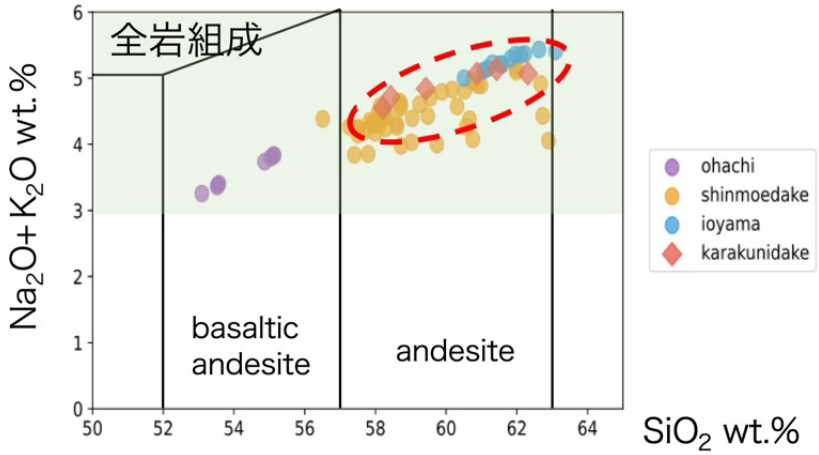


図 81　霧島火山群韓国岳における 16 ka 小林軽石噴火噴出物の石基・付着メルト・メルト包有物の TAS 図。赤破線は全岩化学組成。緑色の領域は図 50 の上の組成領域と対応する。

霧島火山群の噴火推移モデルとその活用

前年度までに、霧島火山群全体について、過去 2 万年程度までの地質情報にもとづき、噴火の規模や様式等の共通性を考慮して噴火推移パターンを分類し、また、近年や歴史時代の観測・観察事例およびマグマ供給系モデルを踏まえて噴火シナリオを作成した[104]。この成果を課題間連携研究において活用した。新燃岳では 2025 年 6 月から 9 月に水蒸気噴火が発生したが、この噴火の火山灰の構成物の解析や本質物と考えられるガラス質粒子の化学組成を明らかにするなど噴出物の研究も進め、火山調査研究推進本部での活動評価に貢献した。さらに、他の調査観測結果等も考慮しつつ、新燃岳 2025 年噴火の霧島火山群の噴火シナリオの中での位置付けについて考察し（図 52）、事象分岐判断の指標を整理するなど噴火シナリオ改良のための方策について検討した。

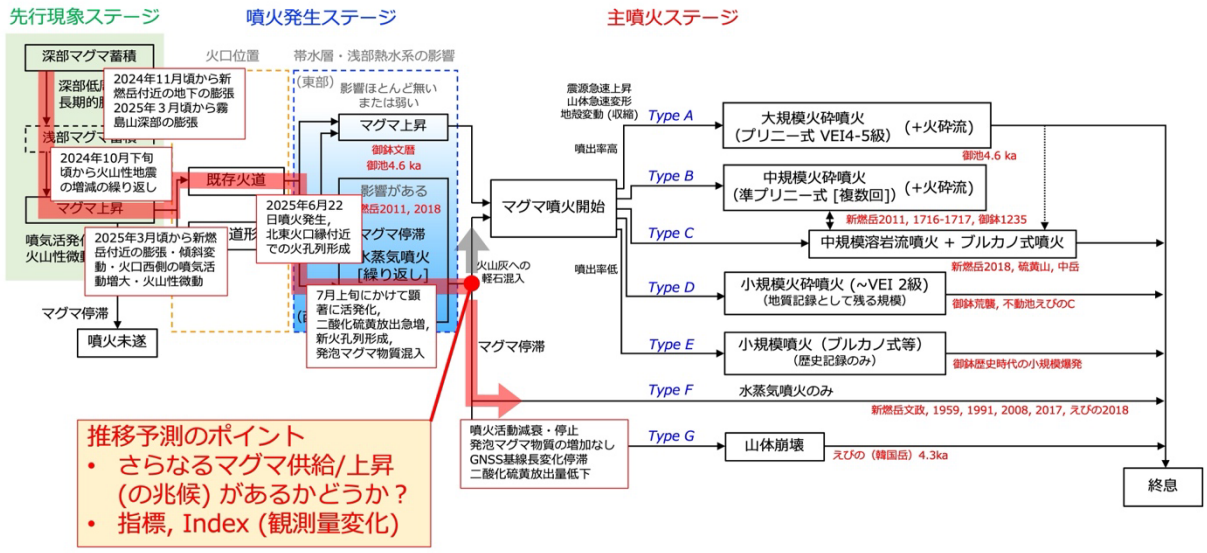


図 82　霧島火山群の噴火推移モデルおよび 2025 年新燃岳噴火における観測事象（赤四角）と推移の経路（赤矢印）。

iii）物質科学的解析に基づく霧島火山群のマグマ供給系像（北海道大学）

はじめに

九州南部に位置する霧島火山群は、約 20 の火山体から構成される第四紀火山群である[100]（図 53）。約 2.9 万年前以降に韓国岳や新燃岳、高千穂峰といった成層火山体が形成され、約 6 千年前以降は御池や御鉢、新燃岳、硫黄山が活動を活発化させている。最近では、2011 年・2018 年・2025 年に新燃岳から、2018 年に硫黄山から噴火した。このように、霧島火山群は現在も非常に活発であることから、将来噴火を予測するためにはマグマ供給系の現状を明らかにする必要がある。新燃岳 2011 年噴火をうけて、地球物理学的・地球化学的観測網が充実し、非常に詳細なマグマ供給系像が提案されている（例えば、Aizawa et al.[106]およびその引用文献）。物質科学的研究も大きく進展したが、最近の噴火に焦点を当てた事例が多く[107)、108)]、将来噴火の可能性を検討するためには、長期活動を網羅した広域の物質科学的解析が必要不可欠である。北海道大学では、昨年度より過去の噴火に焦点を当てた物質科学的研究を進めている。令和 7 年度は対象を最近約 2 万年間まで拡大し、霧島火山群のマグマ供給系像を検討した。

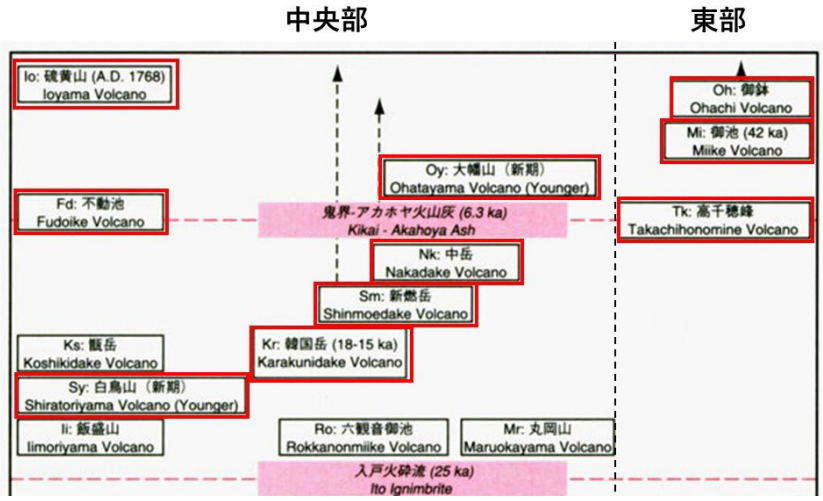


図 83　霧島火山群の層序ブロック図[100]。赤枠は本報告の対象火山を示す。

対象火山

今回対象としたのは、最近約 2 万年間に活動した 10 座（白鳥山・韓国岳・新燃岳・中岳・不動池・大幡山・硫黄山・高千穂峰・御池・御鉢）である（図 53）。この期間、北西部から中央部にかけては、火山活動が継続している一方、東部では長い活動休止期ののち、完新世から活動が開始しているという特徴がある。これら火山から採取した溶岩またはアグルチネート（御池は軽石）を取り扱った。なお、御池、韓国岳、新燃岳の一部以外の試料は、東北大学東北アジア研究センターの宮本毅氏から提供を受けたものである。

物質科学的特徴からみるマグマ供給系の基本構造

対象とした岩石は、基本的には斑晶に富んだ安山岩～デイサイトから構成され、御池のみ斑晶に乏しい。斑晶鉱物組合せは共通しており、単斜輝石・直方輝石・斜長石・不透明鉱物、そして少量のかんらん石が含まれる。御池と中岳には角閃石も少量認められる。斑晶鉱物コア組成は均一ではなく、いずれの火山体にも多様性が認められる（図 54）。特に斜長石は低 An から高 An まで幅広い。斜長石・輝石ともに、珪長質なものは逆累帯構造を、苦鉄質なものは正累帯構造を示す。一方、少量含まれるかんらん石は、共存する輝石より Mg#が高く組成的に非平衡な場合が多い。

全岩化学組成をみると、ハーカー図上では、各火山体で基本的に 1 本の直線的な組成トレンドを描く（図 55）。全体としては、東部と中央部で大きく異なるようである（図 55a）。液相濃集元素比および同位体比をみると、全岩 SiO_2 量の増加とともに増加する傾向がみられる（図 55b、55c）。

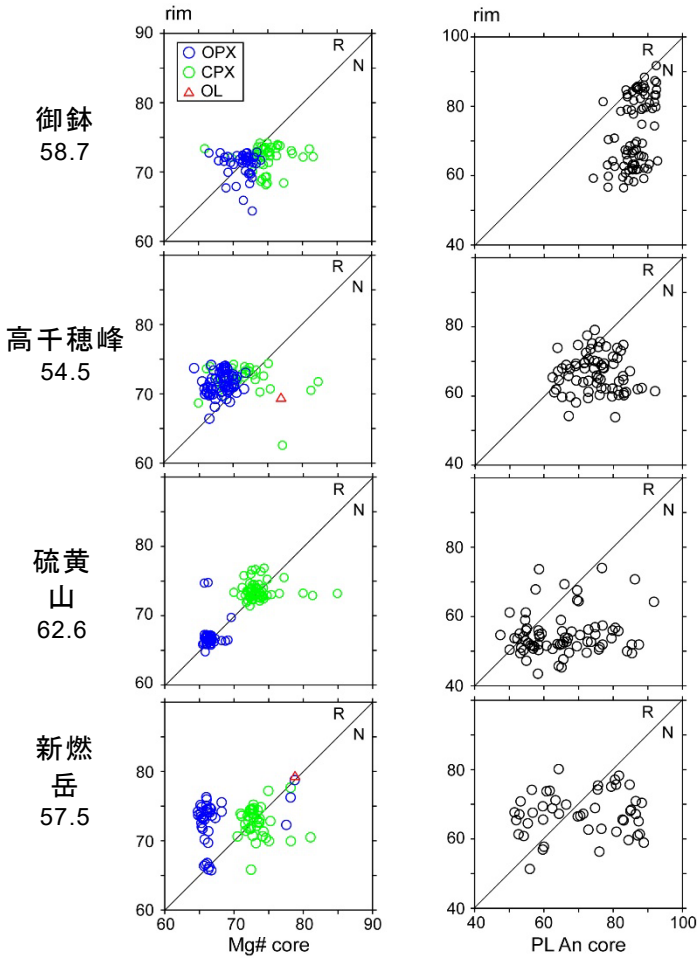


図 84　代表的な試料の斑晶鉱物組成コア-リム図。火山体名下の数字は全岩 SiO_2 量を示す。

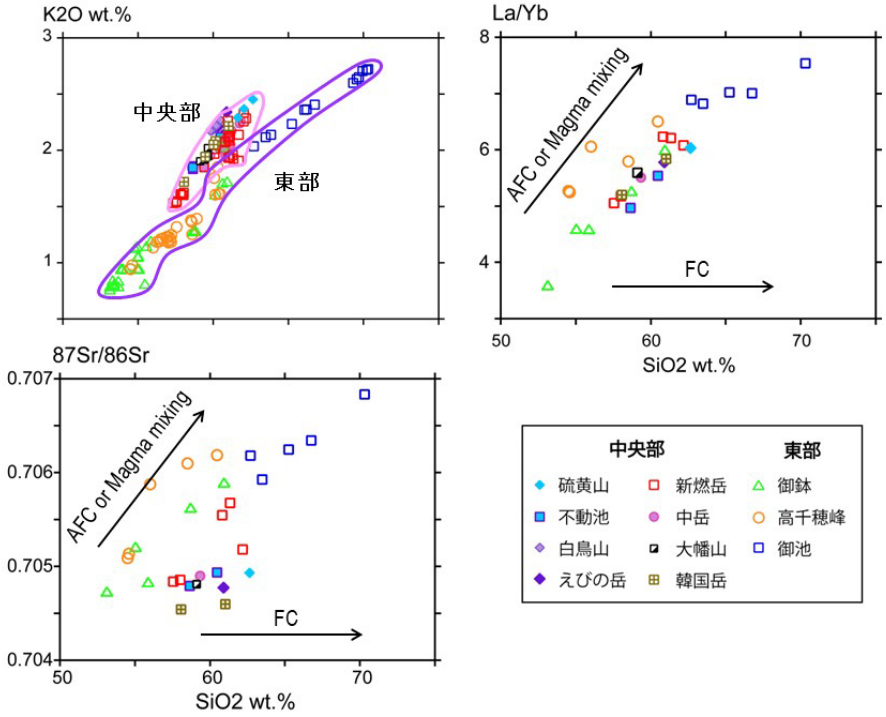


図 85　全岩化学組成ハーカー図。(a) K_2O 図。東部と中央部で大別される。(b) 液相濃集元素比。(c) 同位体比。

液相濃集元素比や同位体比が SiO_2 量増加に伴い変化していることから、マグマプロセスとしては単純な結晶分化作用（FC）ではなく、2 端成分マグマ混合あるいは同化結晶分別作用（AFC）が考えられる。斑晶鉱物コア組成が明瞭なバイモーダルではなく幅広い組成分布を示すことを踏まえると、組成差のある 2 端成分マグマ混合というよりは AFC の影響が強いと推測される。AFC が起きている場合、玄武岩質マグマが地殻物質と混成していると考えられる(図 55b、55c)。

このような特徴を説明するためには、玄武岩質マグマと浅部マグマ供給系の 2 つからなる構造を考える必要がある（図 56)。玄武岩質マグマ(B)が地下深部に貫入・停滞し、地殻物質との AFC が起き浅部マグマ供給系が形成される。浅部マグマ供給系は、クリスタルマッシュが想定され、苦鉄質（M）から珪長質（S）までの組成多様性があるメルトポケットやシルクラスターから構成されると考えられる。

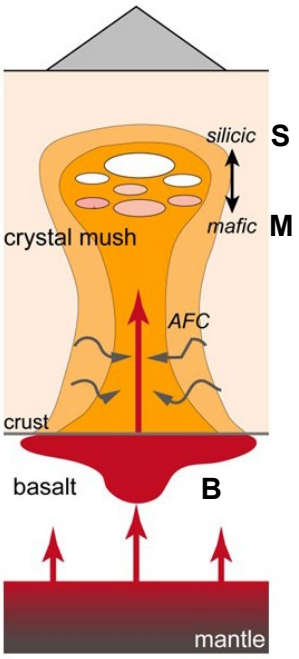


図 86　霧島火山群のマグマ供給系の基本構造。玄武岩質マグマと浅部マグマ供給系から構成される。玄武岩質マグマ(B)が地殻深部に貫入・停滞し、AFC が起き、浅部マグマ供給系が形成される。浅部マグマ供給系はクリスタルマッシュで、メルトポケットやシルクラスターで構成され、苦鉄質(M)から珪長質(S)までの多様性がある。

多様性の時空変遷

次に、最近 2 万年間の時空変遷に注目する。全岩化学組成（特に、液相濃集元素比および同位体比）をみると、中央部・高千穂峰＋御池・御鉢の 3 つのグループに区分される（図 57)。各グループの多様性が 1 本の混合トレンドで説明できることから、玄武岩質マグマ(B)と浅部マグマ供給系の苦鉄質マグマ(M)・珪長質マグマ(S)がその組成トレンド上に存在することになる。全岩化学組成および斑晶鉱物化学組成の特徴から、それぞれの端成分マグマを推定すると、B マグマは中央部と御鉢は類似しているが、高千穂峰+御池は明らかに異なることが分かる。また M マグマおよび S マグマは、各グループで異なる。なお、斑晶鉱物組成に基づく地質温度

圧力計によると、浅部マグマ供給系（M マグマおよび S マグマ）は、中央部と比べて、東部は火山体ごとに温度が異なり温度幅が広いのに対して、貯留深度は同程度である可能性が示唆される（図 58）。

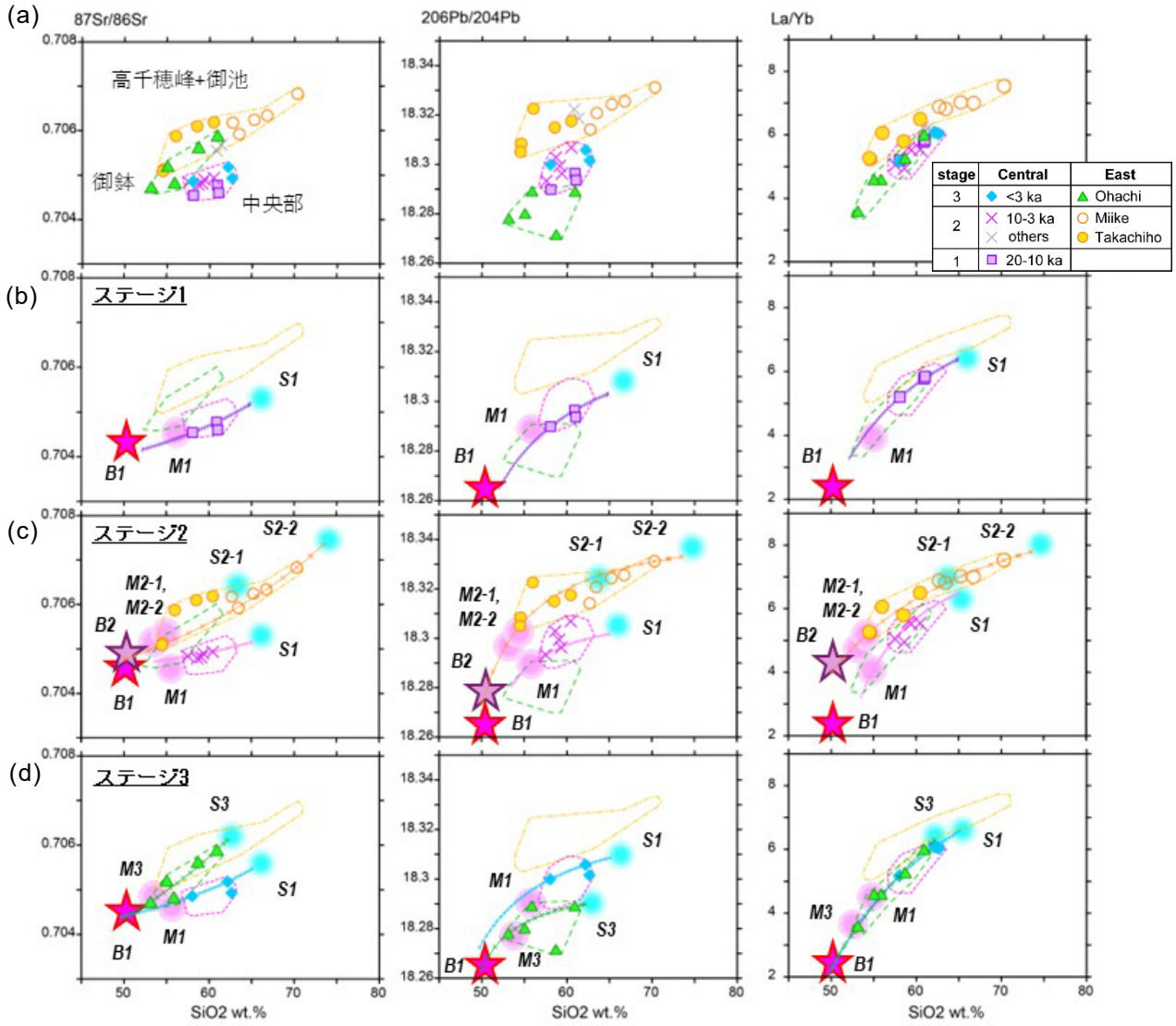


図 87　Sr・Pb 同位体比および La/Yb のハーカー図。(a)全期間、(b)ステージ 1(2-1 万年前)、(c)ステージ 2（1 万年前～4.6 千年前)、(d)ステージ 3（3 千年前以降)。星印および丸印は、推定される玄武岩質マグマ(B)と苦鉄質(M)・珪長質(S)マグマを示す。

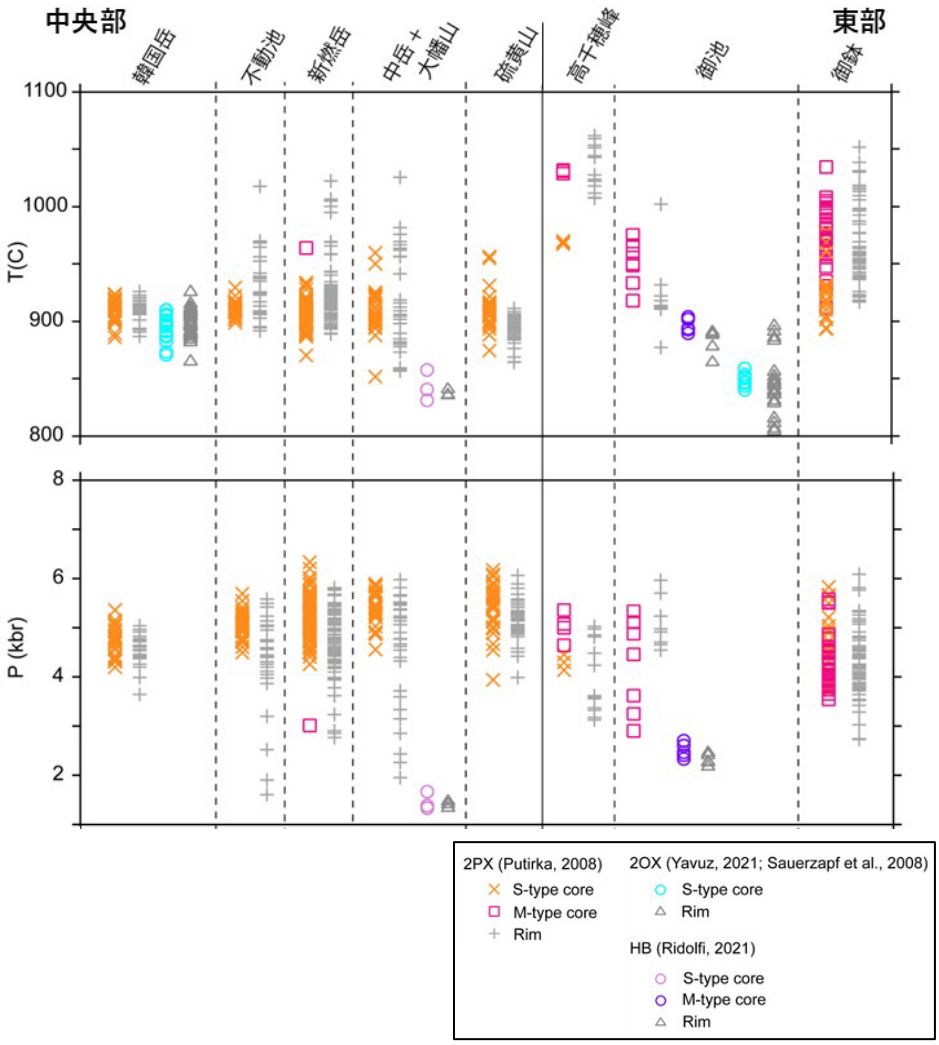


図 88　地質温度圧力計 [108-111]から推定される、各火山体の浅部マグマ供給系（M マグマおよび S マグマ）のマグマ温度と貯留深度。

マグマ供給系の時間変化とその意味

以上の特徴から、最近 2 万年間の霧島火山群の活動は 3 つのステージに区分されるといえる。それぞれの活動は次のように説明できる（図 59）。

ステージ 1：2～1 万年前

深部より中央部に B1 マグマが注入し、浅部マグマ供給系が形成・発達し、活動が開始した。この時期には韓国岳や白鳥山、甑岳が活動した（図 59a）。

ステージ 2：1 万年前～4.6 千年前

中央部に B1 マグマが再び注入し、浅部マグマ供給系が活性化し、新燃岳・中岳・大幡山・不動池が活動した。一方で、東部には B2 マグマが注入し、新たな浅部マグマ供給系が形成され、比較的短期間で高千穂峰山体が形成された（図 59b）。そして、東部ではより分化したデイサイトマグマが生成され、御池噴火が起きた（図 59c）。

ステージ 3：3 千年前以降

東部および中央部に B1 マグマが注入され、中央部では浅部マグマ系が活性化し、東部では新たな浅部マグマ系が形成された。そして御鉢・新燃岳・硫黄山の活動に至った（図 59d）。

いずれのステージでも玄武岩質マグマが上昇・貫入してくることで活動が活発化している。特にステージ 2 では、東部に新たな玄武岩質マグマが注入することで、長い休止期から活動が再開している。このように、霧島火山群は玄武岩質マグマの貫入に活動が支配されているとみることができる。

地球物理学的マグマ供給系像と比較すると、低比抵抗領域は浅部マグマ供給系のクリスタルマッシュゾーンに対応していると解釈される（図 60）。そこには多様なメルトが貯留されており、中央部と東部は分かれている。玄武岩質マグマは東部と中央部で共通していることが明らかになったが、移動経路については制約できていない。また、浅部デイサイト質マグマ系[106]についても、詳細を把握するに至らなかった。今後は、これらの課題を解決するために、ステージ 3 に着目し、解像度を上げていく必要があるといえる。

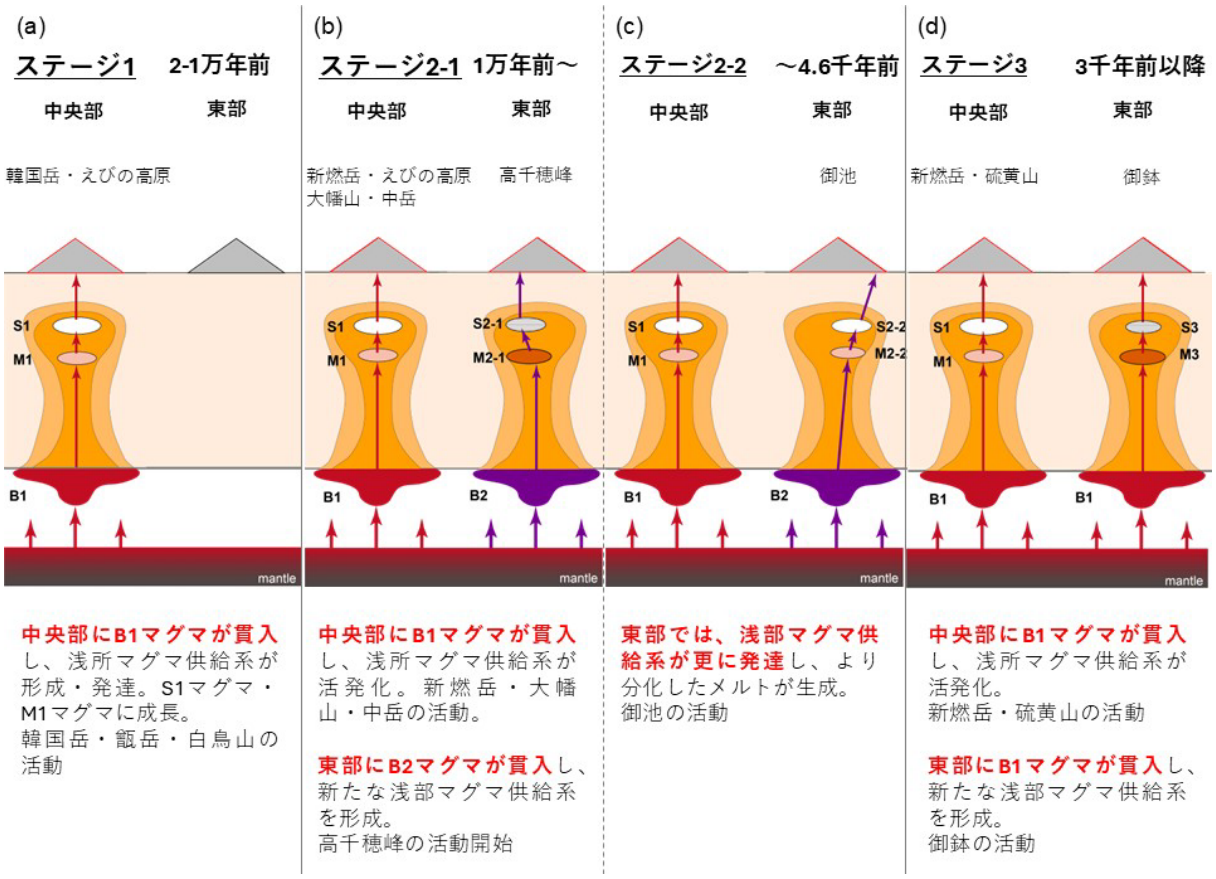
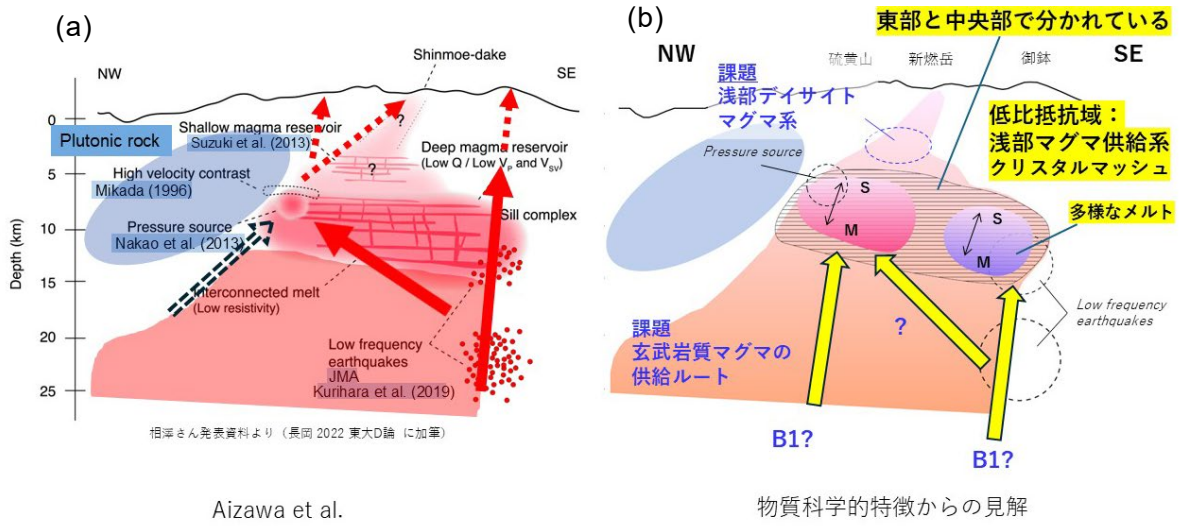


図 89　霧島火山群、最近 2 万年間のマグマ供給系モデル図。



Aizawa et al.　　物質科学的特徴からの見解

図 90　地球物理学的データから推定されるマグマ供給系モデルとの比較。(a)地球物理学的モデル[105]、(b)物質科学的特徴からの見解。

iv）霧島山新燃岳噴火に対応した現地調査（熊本大学）

霧島山新燃岳では、2025 年 6 月に約 7 年ぶりとなる噴火が発生した。6 月 22 日に開始した噴火は 9 月 7 日まで継続した。この噴火活動に対応して熊本大学では噴火開始直後から火山灰の分布状況を調査するとともに、火山灰粒子の構成物観察等を行ってきた。令和 7 年度は同噴火に伴う火山灰噴出量の時間変化や構成物観察と化学分析の結果について報告する。

熊本大学では、2025 年 6 月 22 日の噴火開始直後から霧島火山周辺域において火山灰の分布状況調査を行った。牧草ロールなどの人工物上から定面積試料を採取したほか、7 月上旬からはそれ以前の火山灰と区別するため、火山灰サンプラーを 16 箇所に設置して降灰観測を実施した。定面積で採取した試料の質量を測定して 1 m^2 当たりの質量に換算し、各期間の火山灰分布図を作成した（図 61）。そして、各等質量線が囲む面積と質量との関係から区分求積法により各期間の火山灰噴出量を計算した。

噴火が開始した 6 月 22 日の火山灰噴出量は約 6500 トンで、7 月 2 日には新燃岳火口から西方へ約 3.7 万トンの火山灰放出があった。また、7 月 3 日～5 日にかけては観測期間で最大となる約 22 万トンの降灰が南西方向に認められた。その後も 7 月 11 日まで約 2.8 万トン、7 月 21 日までに約 1.3 万トンの火山灰噴出が続いたが、それ以降 8 月 9 日までは火山灰噴出量は少ない状況で推移した。そして、8 月 10 日～13 日にかけて約 4 万トンの火山灰が新燃岳火口から東北東方向へ飛散した。6 月 22 日の噴火開始から 9 月 7 日までの火山灰総噴出量は 39 万トン程度と概算された。

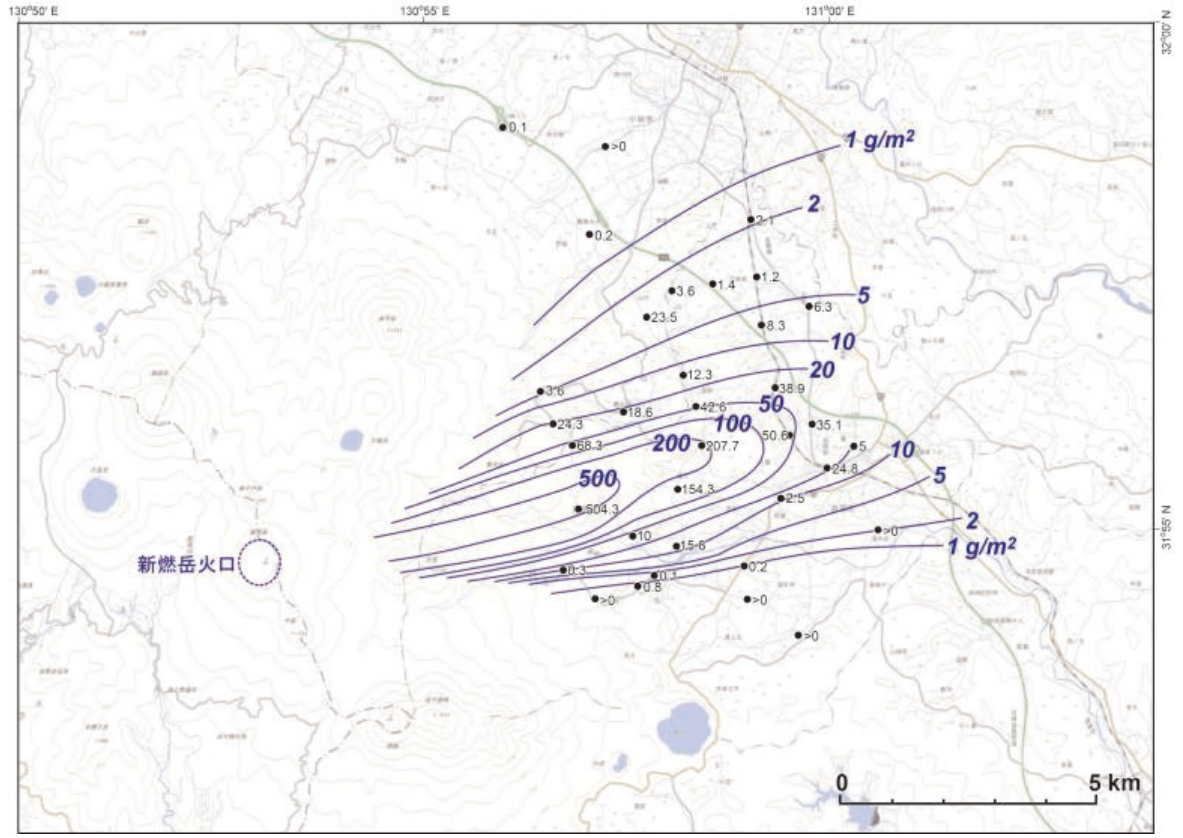


図 91　霧島火山新燃岳における 2025 年 6 月 22 日火山灰の分布（単位 g/m²）。地理院地図レベル 14 を使用。

今回の新燃岳噴出物は、全体として灰色を呈する細粒火山灰であった。乾式でふるい分けを行った結果、全期間をとおして礫成分（径 2 mm 以上）は含まれず、砂成分（2～1/16 mm）の割合が 20～30%で、シルト・粘土成分（1/16 mm 未満）が 70～80%を占めていた（図 62）。

また、採取した火山灰試料の 0.125～0.25 mm 画分の粒子を対象に、デジタルマイクロスコープによる観察を行った。今回の火山灰には、斜長石や単斜輝石などの結晶片も少量含まれるが、構成物の大部分を占めるのは灰色から暗灰色を呈する岩片であった（図 63）。白色や赤褐色の変質岩片が認められるほか、黄鉄鉱粒子や表面に小さな黄鉄鉱が付着した岩片も観察された。その一方で、光沢のある褐色発泡ガラス片が 1%程度認められる試料もあった。また、光沢のない褐色発泡ガ

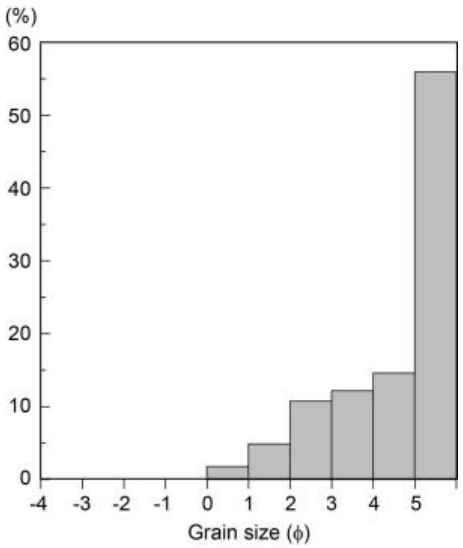


図 92　新燃岳 6 月 22 日火山灰の粒度分析結果。

ラス片や暗褐色ガラス質岩片が数%含まれる試料も存在した。以上のような火山灰構成物の特徴から、噴出物に含まれる大部分の粒子は新燃岳火口内の溶岩が噴き飛ばされたものであると考えられる。

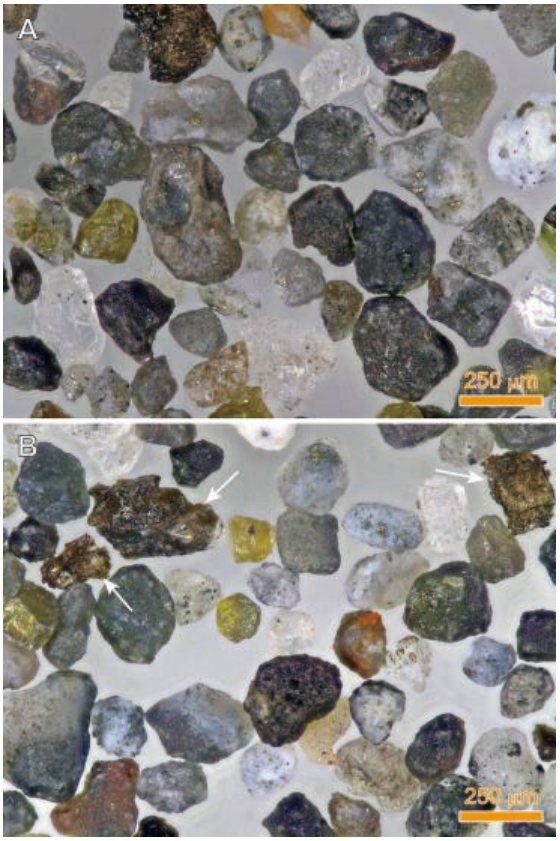


図 93　新燃岳 2025 年 6 月 22 日火山灰の構成物（0.125～0.25 mm 画分の粒子）。

中央研究院地球科学研究所の協力によって EPMA による火山灰の化学分析を行った。その結果、構成粒子のほとんどが岩片であり、それらはガラス質の石基を伴う微小集塊岩片で、マイクロライトとナノライトの晶出が認められた。斑晶鉱物組合せは、斜長石・直方輝石・単斜輝石・石英であり、そのほか黄鉄鉱とアパタイトがごくわずかに含まれていた。また、今回の火山灰試料には火山ガラス片がごく少量認められ、その SiO_2 含有量はおおむね 73～76 wt.%の範囲にあり、2011 年噴出の軽石や多量に含まれる岩片（2018 年以前の溶岩片?）の石基ガラスの化学組成とはわずかに異なることがわかった。さらに、火山灰試料間で K_2O や CaO 含有量に違いがみられることもあった。

さらに、火山灰の細粒成分（径 1/32 mm 未満の画分）の X 線回折分析を実施した結果、斜長石やクリストバライト、黄鉄鉱、硬石膏の明瞭なピークが検出された（図 64)。この結果は、デジタルマイクロスコープによる観察結果とも調和している。

2025 年 6 月 22 日～9 月 7 日に発生した霧島山新燃岳の噴火活動は、5,000 トン/日程度のレートで断続的に細粒火山灰を放出していることが特徴であった。この噴火活動については今後も噴出物の解析や分析を行って、詳細を解明していく予定である。

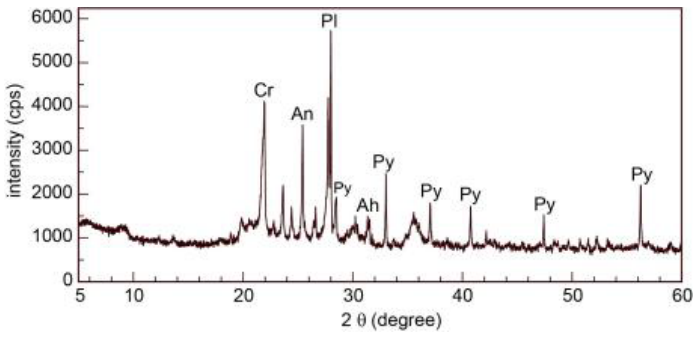


図 94　新燃岳 2025 年 6 月 22 日噴火に伴う細粒火山灰の X 線回折分析結果。

なお、降灰調査を実施するにあたっては、防災科学技術研究所や東京大学地震研究所のほか、地域住民の方々にお世話に

なった。心から感謝いたします。

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

鬼界火山については、7.3 ka 鬼界アカホヤ噴火直前の流紋岩質溶岩流出時の周囲環境を明らかにするために、未分析だったコア掘削試料中の微小貝殻片の同定を行った。その結果、貝殻には腹足綱や二枚貝網が含まれることがわかり、噴火時の浅海環境の理解を進める結果を得ることができた。また、アカホヤ噴火初期のプリニー式噴火については、多数の層厚・粒径データを用いた統計的な噴出量・噴出率推定手法を適用し、不確実性を考慮した噴火の規模や様式の推移を明らかにした（図 65、66）[112)]。

アカホヤ噴火堆積物の広域的調査を引き続き実施し、クライマックスの幸屋火砕流の陸上分布範囲は、大隅・薩摩半島南部および種子島南部、最南部を除く屋久島全域、黒島東部に限定されることを明らかにするなど、流走距離に関する新たな知見を得た。従来の研究による推定は二次堆積物の誤認により過大評価していることもわかった。流走距離とマグマ噴出率との相関関係から推定される幸屋火砕流噴出時のマグマ噴出率はおよそ 10^{10} kg/s と推定された。

九州南部および中部での詳細な層厚・粒径分布と堆積構造を記載し、アカホヤ火山灰の運搬・堆積過程に関する考察を行った。アカホヤ火山灰は、給源付近の一部を除き、粗粒軽石・遊離結晶・火山豆石に富む基底部と、バブルウォール型ガラスに富む細粒火山灰からなる主部とで構成され、全体として顕著な正級化を示す。基底部の火山豆石は幸屋火砕流分布域で観察されることは少なく、その到達限界から 5-10 km 程度離れた地域から多く見られる傾向がある。層厚は鬼界カルデラからの距離に伴い単調に減少せず、特に霧島火山周辺から九州山地にかけては最大層厚が 100 cm 近くに達する層厚の局地的増大が認められた。一方、粗粒軽石および火山豆石の最大粒径は、距離に伴い単調に減少し、その減衰パターンは大規模プリニー式・水蒸気プリニー式噴火と類似の傾向を示した。これらの観察結果から、アカホヤ火山灰の運搬・堆積過程に関して次のような定性的モデルを考案した。アカホヤ火山灰をもたらした co-PDC 噴煙内において、終端速度の大きい粗粒成分は傘型噴煙内の重力流によって運搬され、噴煙内の粒子の大部分を占める細粒火山灰に先行して堆積した。火山豆石は co-PDC 噴煙の上昇・拡大に伴い噴煙内で形成された。アカホヤ火山灰の主部を占める細粒火山灰は長く大気中に留まり、粗粒成分より長い時間をかけて堆積した。霧島火山および九州山地にかけての層厚の増大は、局所的な気象条件等によって細粒火山灰の凝集が生じたためかもしれない。

以上のように、鬼界アカホヤ噴火の推移や火砕物の運搬・堆積過程に関する新知見を得ることができ、論文としての公表、学会発表や論文化に向けた準備を進めた。

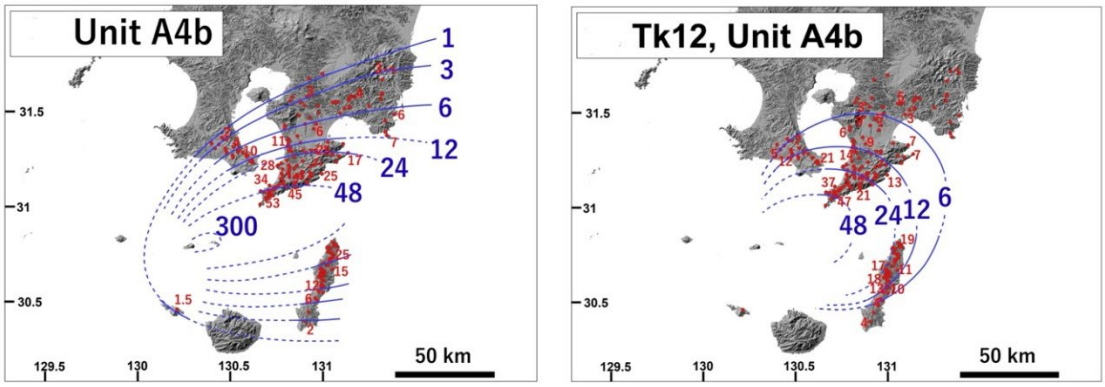


図 95　鬼界アカホヤ噴火のプリニー式フェーズ（Unit 4b）堆積物のアイソパック・マップ（層厚、単位 cm）とアイソプレス・マップ（最大粒径、単位 mm）。従来の研究よりも多数のデータを用いて、より高精度で堆積物分布を明らかにした。Haruta et al.[112]の Fig. 7・8 より。

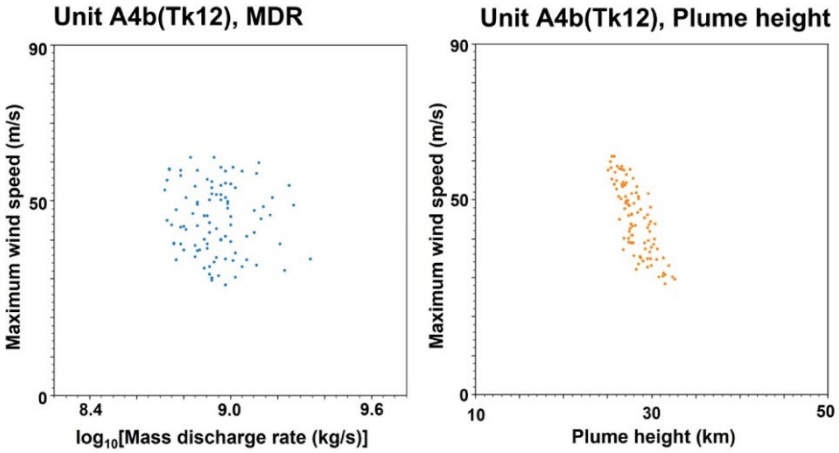


図 96　鬼界アカホヤ噴火のプリニー式フェーズ（Unit 4b）の噴煙柱に対して推定したマグマ噴出率、噴煙高度、風速の関係。Haruta et al.[112]の Fig. 12 より。

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 3 にまとめる。

表 3　その他の対象火山の実施内容のまとめ。

対象火山	実施内容	実施機関
摩周･アトサヌプリ	アトサヌプリ火砕噴火の活動推移･規模についての研究成果をとりまとめ、学術誌で公表した。	北海道大学
利尻山	昨年度までの調査結果を整理し、成果公表のための投稿論文の準備を進めた。	北海道大学・産業技術総合研究所

ニセコ	イワオヌプリの活動史について、成果公表のための投稿論文の準備を進めた。	北海道大学
支笏火山(樽前山・風不死岳・恵庭岳含む)	支笏カルデラ形成後からのマグマ供給系の変遷を明らかにするために、風不死岳・恵庭岳・樽前山の物質科学的解析を行った。	北海道大学
有珠山	これまでの成果を踏まえた噴火事象系統樹の試作に取り組んだ。	北海道大学
秋田焼山	前年度までに取得したデータのとりまとめを行った。	産業技術総合研究所
伊豆大島	これまでに取得したデータのとりまとめを行った。また火山地質図を公表した。	産業技術総合研究所
白馬大池火山	前年度までに取得したデータのとりまとめを行った。	産業技術総合研究所
御嶽山	前年度までに取得したデータのとりまとめを行った。	産業技術総合研究所
伽藍岳	昨年度までの調査結果をとりまとめ、成果公表のための投稿論文の準備を進めた。	信州大学

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、引き続き分析機器の整備および活火山のマグマ系の中長期変遷に関する研究に取り組んだ。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 9 名の利用があった。以下に、マグマ変遷解析センターの活用例および技術開発事例を報告する。

a) 阿蘇火山におけるカルデラ噴火に至るマグマ系の進化

各活火山において、過去から現在に至るマグマ系の変遷とその要因を理解しておくことは、将来的な噴火活動評価にあたり極めて重要である。そこでマグマ変遷解析センターでは、国内で最も活動的な活火山の一つである阿蘇火山において、その基盤となる過去のマグマ系の変遷を把握することを目的として、まずは阿蘇 3、阿蘇 3/4、阿蘇 4 の噴出物を対象とした試料採取および全岩化学組成の分析を行った。

阿蘇火山は国内最大級のカルデラ火山であり、阿蘇 1（約 27 万年前)、阿蘇 2（約 14 万年前)、阿蘇 3（約 12 万年前)、阿蘇 4（約 9 万年前）の、4 回の巨大噴火が繰り返された結果、阿蘇カルデラが形成された[96)、113)、114)]。阿蘇 4 の噴火後、カルデラ内には約 9 万年間にわたる後カルデラ火山活動を通して中央火口群が形成され、そのうち中岳が活火山となっている。

本研究の対象とする阿蘇 3、阿蘇 3/4、阿蘇 4 の噴出物については、これまで数多くの物質科学的研究が行われてきた[115-124)]。Hunter[116)]は、阿蘇 1～4 噴出物を対象とした岩石学的記載、鉱物組成分析、全岩化学組成分析を行い、阿蘇 1 から 4 へと進むに連れてマグマの組成がソレアイト系列からカルクアルカリ系列へと変化したこと、そしてその遷移は、結晶分化作用における分別鉱物相の変化および混入地殻物質の寄与率の変化に支配されていたと考えた。Kaneko et al.[117)]は、岩石学的データや Sr 同位体比のデータに基づいて阿蘇 4 噴火のマグマプロセスを検討し、上位より珪長質、中間質、苦鉄質の、各マグマ層か

らなる成層マグマ溜まりが存在していたこと、そして噴出物の時間変化は成層マグマ溜まり上層からの噴出、および引き続くマグマ溜まり内での混合と上層からの再噴出によって支配されていたと考えた。Miyoshi et al.[118]は、阿蘇4噴出物および後カルデラ活動期の噴出物を対象にSr同位体比分析および微量元素組成分析を行い、阿蘇4の残存マグマは後カルデラ火山活動に関与していないことを示した。Kaneko et al.[119]は、阿蘇3噴出物について岩石学的・地球化学的検討を行い、阿蘇4マグマ溜まりと同様に、噴火前には上位より珪長質、中間質、苦鉄質、の各マグマ層からなる成層マグマ溜まりが存在していたこと、そして珪長質マグマは主に地殻物質の部分融解によって生じたことなどを示した。関ほか[120]は、阿蘇4噴火の弁利火砕流を対象とした地質学的・岩石学的研究を行い、一連の噴出物は噴火直前に層状のマグマ溜まりを形成していたことなどを明らかにした。Keller et al.[121]は、阿蘇4噴出物を対象とした詳細な岩石学的解析をもとに、上部地殻内のマグマ溜まりは上層の珪長質メルト、およびそれらの抽出元となったクリスタルマッシュから構成されていたと考え、そして噴火直前に苦鉄質マグマが上部地殻マグマ溜まりに貫入することによって噴火が引き起こされたと考えた。Keller et al.[122]は、阿蘇3、3/4、4噴出物を対象とした物質科学的研究を行い、チタン磁鉄鉱のMnO/Al_2O_3比が、阿蘇3/4から阿蘇4噴火に至るまで、次第に上昇していることを示した。Miyagi et al.[123]は、阿蘇1～4噴出物中の主に斑晶メルト包有物の分析に基づき、揮発性成分に富む苦鉄質マグマが浅部で脱ガスを経たのちに中部地殻以深に輸送されて結晶分化を行い、さらにマグマ混合を経たのちに噴火に関与したと考えた。また揮発性成分の質量保存をもとに、各カルデラ噴火の珪長質マグマの生成に関与した苦鉄質マグマの供給率を推定した。Kikuchi et al.[124]は、阿蘇2、3、3/4、4噴出物中の斑晶メルト包有物や石基ガラスを対象とした地球化学的解析に基づき、カルデラ噴火に関与したマグマは、high-K珪長質メルト、high-K苦鉄質メルト、medium-Kメルトから構成されることを示した。そしてhigh-K苦鉄質メルトは中～下部地殻におけるMASH過程で生成され、そのマグマの上部地殻内における分化によってhigh-K珪長質メルトが生成されたこと、そしてhigh-K珪長質メルトの抽出元となったクリスタルマッシュに対する高温マグマの貫入に伴う加熱によって、medium-Kメルトが生成されたと考えた。

このように、阿蘇火山のカルデラ形成期の噴出物については、多くの優れた物質科学的研究が存在する一方で、数多くの試料を対象とした、詳細な地球化学的解析に基づいた物質科学的研究がほとんど存在しない。そこで、U-Th放射非平衡解析に基づいたマグマプロセスへの時間軸の挿入を念頭に、まずはその第一段階として、阿蘇3、3/4、4の噴出物試料を対象とした試料採取、および予察的な全岩化学組成分析を実施した。

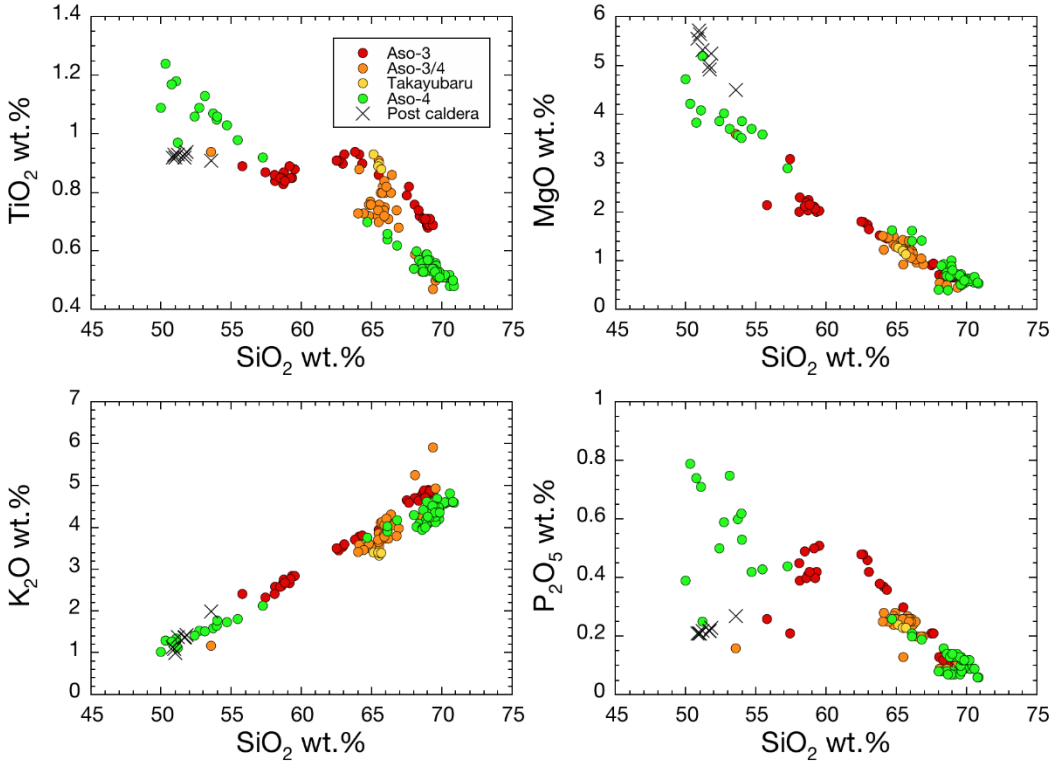


図 97　研究対象試料の全岩化学組成。

本研究の対象試料についての全岩主要元素組成分析の結果を図 67 に示す。各噴出物の化学的特徴については、概ね先行研究で報告されている通りである。阿蘇 3 カルデラ噴火噴出物の組成範囲は SiO_2 量 55-70 wt.%であったが、Kaneko et al.[119] ではより未分化な特徴をもつ SiO_2 量 53 wt.%程度の噴出物が報告されている。阿蘇 3/4 テフラの本質物質については、同様の SiO_2 量でみたときに TiO_2 や K_2O 量に多様性がみられる。概ね A-F テフラ[125] は、それ以前の H-L テフラ[125] よりも TiO_2 量と K_2O 量が低い傾向がみられた。阿蘇 3/4 噴出物の苦鉄質な試料は Z27 テフラ[125] 中のスコリアである。阿蘇 4 噴火の直前に活動したとされる高遊原溶岩は、阿蘇 3/4 の試料の組成領域と重なる。阿蘇 4 カルデラ噴火噴出物は、SiO_2 量 50-71 wt.%と広い組成範囲を示す。苦鉄質側のグループ (SiO_2 50-57 wt.%) は弁利スコリアである。阿蘇 4 噴出物の珪長質な本質物質は、ほぼ SiO_2 68-71 wt.%あたりに集中する。

今後は引き続き、代表的な試料を対象とした微量元素濃度分析、Sr-Nd-Pb-Th 同位体比分析、および鉱物組成分析を行い、それらのデータを基に、阿蘇 3 噴火以降、次の阿蘇 4 噴火に至るマグマプロセスについて、プロセスの時間スケールを含めて検討を行う予定である。

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

a) 大規模噴火データベース

後期更新世以降に大規模噴火を発生させた火山について、その長期的な活動推移や大規模噴火の噴火推移などをとりまとめた「大規模噴火データベース」[126)]を構築し、「日本の火山データベース」の一部として 2022 年より公開している（図 68)。大規模データベースには、萌消、屈斜路、摩周、支笏、洞爺、濁川、十和田、御嶽、大山、三瓶山、姶良、阿多、池田、鬼界及び鬱陵島の 15 の火山について、その噴出物の特徴、噴火推移、長期・短期的前駆活動、文献等が掲載されている。令和 7 年度は、鬱陵島のデータを新たに公開し、大山、三瓶山、十和田のデータ更新を行った。また、本データベースには、カルデラ形成噴火のみならず、先カルデラ形成期、および後カルデラ期の活動についても噴出量や噴火年代などのデータを収集し、カルデラ火山全体の活動推移データを網羅している（図 68)。噴火推移や噴出物についての文章による情報のほか、統一規格による層序概念図の提示により、噴火推移の直感的な把握が容易になった（図 69、70)。



図 98　大規模噴火データベース。全国 15 の火山の長期的・短期的な活動推移を掲載している。噴出物毎にその噴火推移や噴出物層序、噴出物の分布、露頭写真などの情報をとりまとめている。

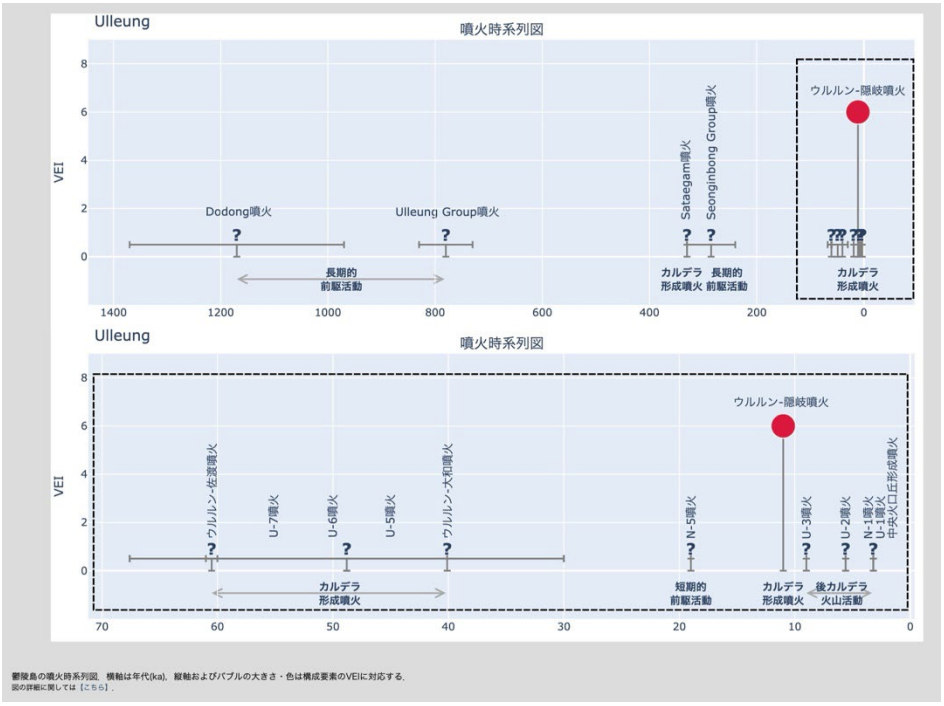


図 99　大規模噴火データベースのコンテンツ。鬱陵島火山における噴火時系列図の表示例。

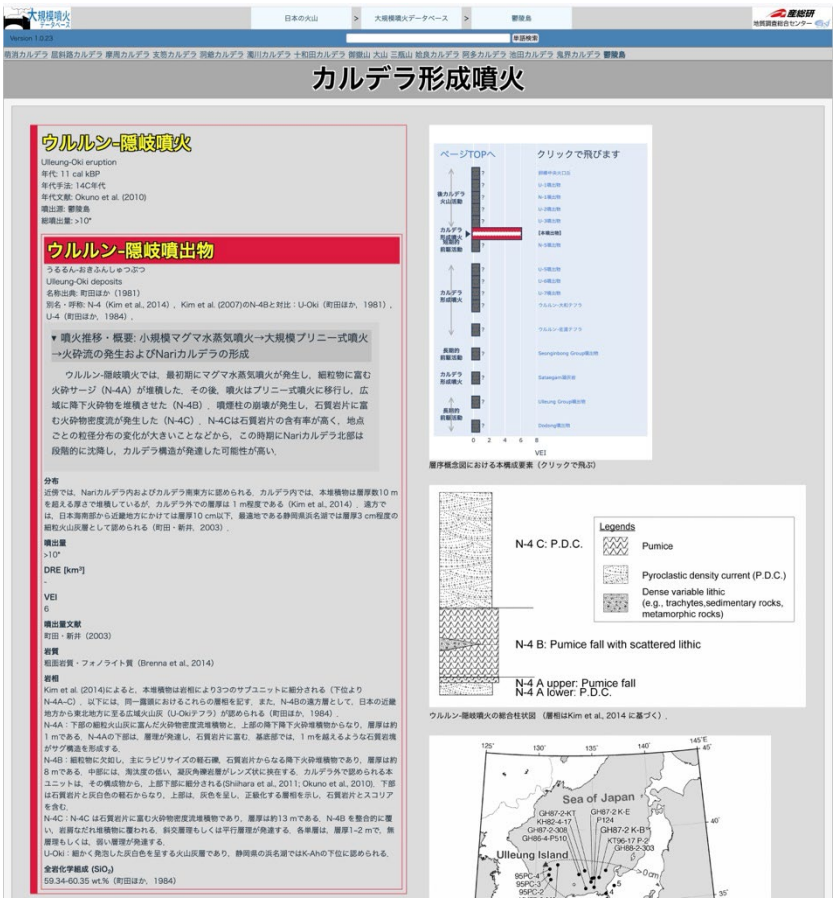


図 100　大規模噴火データベースのコンテンツ。鬱陵島ウルルン-隠岐噴火の事例。統一基準・表現による層序概念図などを掲載。

b) 噴火推移データベース

近現代に発生したおおむね VEI5 クラス以上の火砕噴火のうち詳細な噴火推移の目撃記録が残る噴火事例について、噴火開始前から噴火終了後までの噴火活動及び関連する活動（地震活動など）の推移を収集した「噴火推移データベース」[127]を作成し、「日本の火山データベース」の一部として 2022 年より公開を行っている（図 71)。現在、フンガ・トンガ 2022 年噴火、福徳岡ノ場 2021 年噴火、クラカタウ 2018 年噴火、アグン 2017-19 年噴火、カルブコ 2015 年噴火、ケルート 2014 年噴火、グリムズヴォトン 2011 年噴火、プジェウエ-コルドン・カウジェ 2011 年噴火、チャイテン 2008 年噴火、ラバウル 1994 噴火、ピナツボ 1991 年噴火、エルチチョン 1982 年噴火、有珠山 1977-78 年噴火、オーガスティン 1976 年噴火、アグン 1963 年噴火、ベズイミアニ 1955-56 年噴火、キサプ 1932 年噴火、北海道駒ヶ岳 1929 年噴火、桜島大正 1914 年噴火、ノヴァラプタ・カトマイ 1912 年噴火、クラカタウ 1883 年噴火、浅間天明 1783 年噴火、富士山宝永 1707 年噴火、ワイナプチナ 1600 年噴火、ヴェスヴィウス 79 年噴火の 26 の噴火が掲載されている。

噴火推移データベースには、噴火推移として前兆現象や噴火開始の状況、噴火推移のほか、対象とする噴火に至る長期的な活動推移や、噴火後の活動についても文章で解説している。また、爆発的噴火の時系列を可視化し比較する上で、火山の活動状態を同一の基準で一般化する必要があるため本データベースでは、未噴火時から噴火中、歴史記録とから現代的観測データまでをシームレスに取り扱うことのできる火山活動の強度の定性的指標として、数値-1～7 で表される火山活動強度指数（Volcanic Unrest Classification ; VUC）を定義し、これを推移図として様々な時間スケールで表示できる機能を備えている（図 72)。また、噴火推移表として時系列順に VUC の変化が一目でわかるようになっている（図 73)。表示は、同一の噴火に対して異なる時間スケールのものを並列で表示することも可能であり、また複数の噴火を比較して行うことも可能である（図 74)。VUC の図示機能により、噴火間での活動の時系列変化を直感的に把握することが可能となった。また噴火推移を、エスカレート型、多峰型、減衰型の 3 つに区分し、類型化を進めた。



図 101　噴火推移データベース。26 の目撃事例のある噴火の推移データを収録している。(https://gbank.gsj.jp/volcano/esdb/)



図 102　噴火推移図上での噴火状況のデータの表示例。1783 年浅間天明噴火の表示例。データベースに収録された噴火の状況を VUC 噴火推移図上で確認することができる。

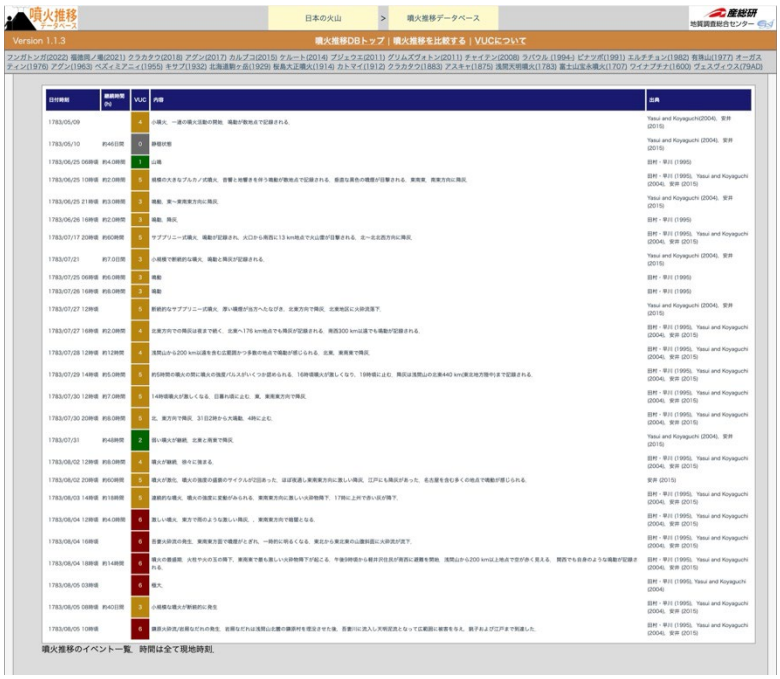


図 103　1783 年浅間天明噴火の噴火推移のイベント一覧。

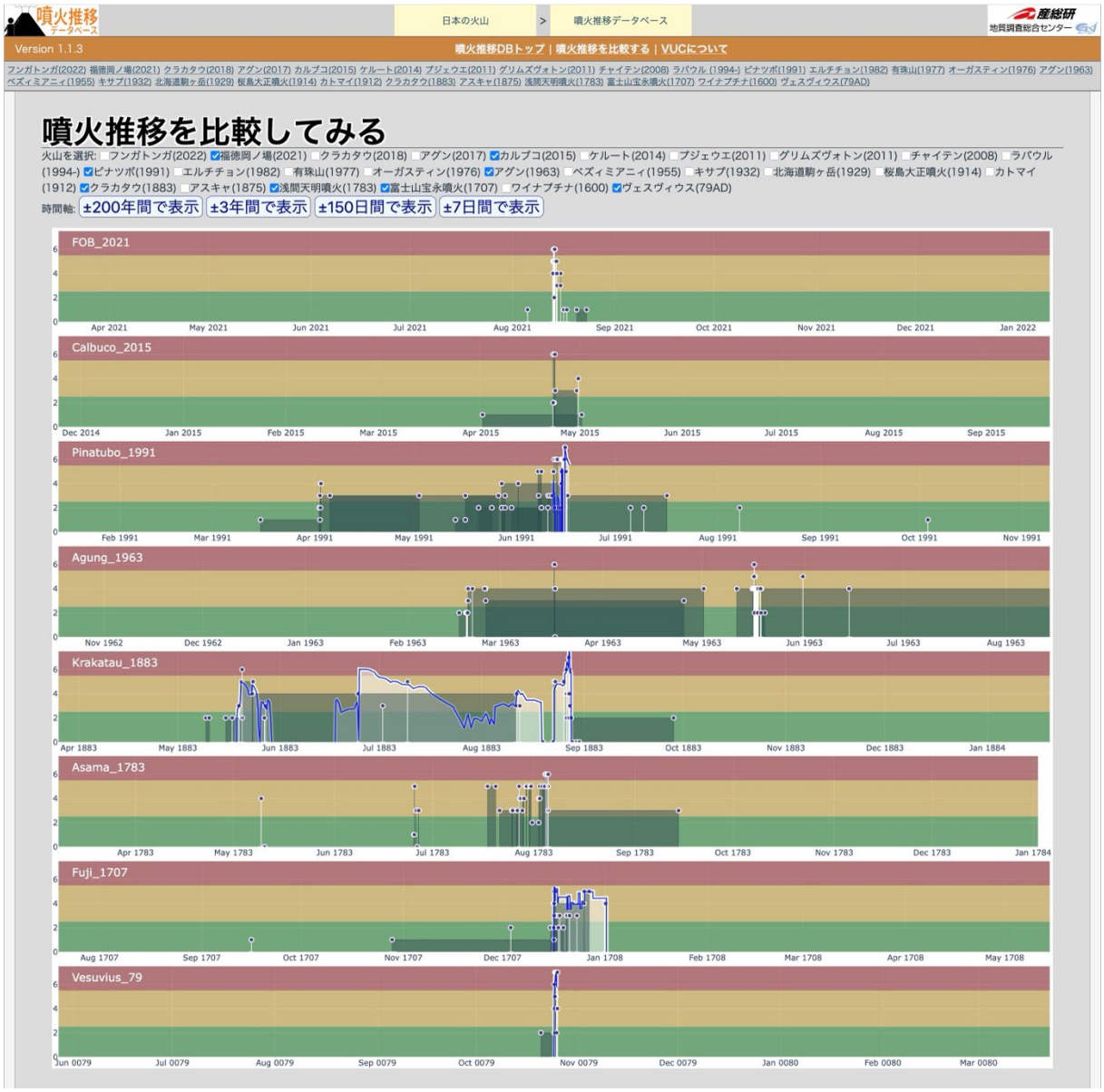


図 104　福徳岡ノ場 2021 年、カルブコ 2015 年、ピナツボ 1991 年、アグン 1963 年、クラカタウ 1883 年、浅間天明 1783 年、富士宝永 1707 年、ヴェスヴィウス 79 年の噴火前後±150 日間の噴火推移図比較。噴火毎に前駆活動、噴火開始後のパターン、継続期間などに特徴が見られる。

4）課題 C-2 のとりまとめと研究成果の発信

a）課題 C-2 全体のとりまとめ

実施責任機関である北海道大学では、サブ課題 C2 の各参加・協力機関と密に連絡をとり、研究の進捗状況等を把握し、円滑に研究が遂行されるように努めた。また、ボーリング掘削調査については、掘削地点の調整を行い、十勝岳・八幡平で実施した。そして、防災科学技術研究所と協力して、ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築を進め、コア試料を集約した。火山研究人材育成プログラムにおいても、参加機関の複数の研究者が講師として参画した。また、サブ課題 C2 の研究課題の一部を大

学院生の研究テーマとして遂行し、博士後期課程の学生については RA として雇用するなど、より実践的な教育に取り組んだ。また、令和 7 年 12 月にサブ課題研究集会を開催し、本事業全期間での成果などについて、意見交換を行った。そして、令和 8 年 1 月の火山 PJ 合同研究集会において、サブ課題 C2 の成果を他課題全体に共有した。

b) 課題 C-2 の研究成果の発信に向けた取り組み

令和 7 年度は、本事業の到達目標である、中長期予測のための時間—積算噴出量階段図（以下、マグマ噴出量階段図）の作成について、各機関で担当している火山で引き続き試作と高精度化を進めた。また、噴火事象系統樹については、作成指針を公表するための投稿論文の作成準備を進めるとともに、個々の火山でも試作を継続した。さらに、一般向け講演会や調査時の地元住民向け説明会など、社会への啓蒙活動や研究成果発信にも取り組んだ。

5) 課題 C 全体のとりまとめと総合推進

令和 7 年末に開催した霧島山を対象とした課題間連携研究集会のプロシーディングスを公表した（図 75)。また、令和 7 年 6〜9 月に発生した新燃岳噴火を受けて、令和 8 年 2 月にコアメンバーによる霧島火山マグマ供給系モデルと噴火シナリオ見直しワークショップを開催し（表 4)、現状明らかになったことやそれを受けてのモデル・シナリオの改訂、そして今後の連携研究について意見交換を行った。

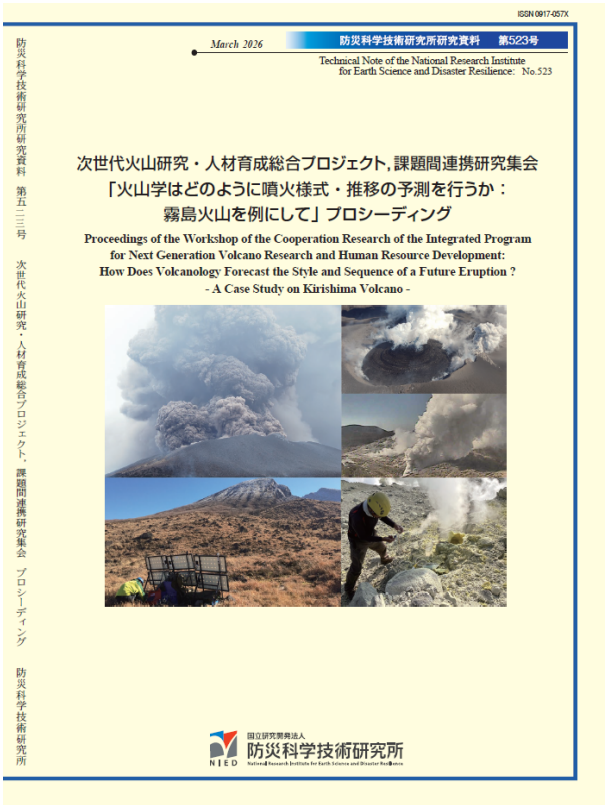


図 105　霧島連携研究集会プロシーディングス。
https://nied-repo.bosai.go.jp/records/7447

表 4　霧島火山マグマ供給系モデルと噴火シナリオ見直し WS のプログラム。

日時：2026 年 2 月 18 日（水）10：00～17：00
場所：東京大学地震研究所　1 号館事務会議室 B

時間	講演タイトル(仮題)	所属	講演者氏名
10：00 ～ 10：35	3 次元地震波速度構造に基づく霧島火山のマグマ供給過程	東京大学地震研究所	行竹　洋平
10：35 ～ 11：10	機動的な調査観測・解析グループによる 2025 年新燃岳噴火に関する調査観測結果	防災科学技術研究所	小澤　拓
11：10 ～ 11：45	岩石学から見る霧島火山群の更新世末からのマグマ供給系の構造	北海道大学	松本　亜希子
11：45 ～ 12：45	休憩（昼食）		
12：45 ～ 13：20	ヘリウム同位体比の変動からみる霧島火山群のマグマ供給系	東京大学先端科学技術研究センター	角野　浩史
13：20 ～ 13：55	マグマ供給系を考える上での新たな視点	九州大学	相澤　広記
13：55 ～ 14：30	霧島火山群の噴火シナリオとその課題	東京大学地震研究所	前野　深
14：30 ～ 14：45	休憩		
14：45 ～ 15：20	噴火推移の把握のために噴出物から何を読みとるべきか？	産業技術総合研究所	松本　恵子
15：20 ～ 15：55	霧島山新燃岳における多項目観測データに基づく噴火シナリオへの制約について	防災科学技術研究所	小園　誠史
15：55 ～ 17：00	総合討論　進行：中川　光弘（北海道大学）		



図 106　霧島火山ワークショップの様子。

(c) 結論

本事業最終年度にあたり、各機関では成果のとりまとめに加え、次期プロジェクトをはじめとする今後の研究を見据えた追加調査・解析を精力的に実施した。それにより個々の火山の噴火履歴・様式の解明が進展し、多くを成果公表することができた。また、それらの成果に基づきマグマ噴出量階段図および噴火事象系統樹の試作を進め、順次公表を進めている。さらに、課題間連携についても、新燃岳噴火を受けて、マグマ供給系および噴火シナリオを見直しＷＳを開催し、今後の連携研究の展開について議論した。そして、人材育成コンソーシアム事業との連携も継続した。

この 10 年間、本サブ課題ではオールジャパン体制のもと、多様な調査手法を駆使して、より多くの成果を挙げることができた。しかしながら、マグマ噴出量階段図の形状変化とマグマ変遷との関係や、マグマ噴出量の時間変化を支配する要素の解明など、現象の理屈に迫る研究については十分とは言えなかった。今後は、これら課題を踏まえた研究が展開されることを期待する。またこれら課題を解決するためには、人材育成が必要不可欠である。コンソーシアム事業を通して、火山学・火山防災に資することに貢献できる人材育成体制がさらに強化されることを切に願う次第である。

(d) 引用文献

1) 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.

2) Druitt, T. H.: New insights into the initiation and venting of the Bronze-Age eruption of Santorini (Greece), from component analysis, Bull. Volcanol., Vol.76, pp.1-21, 2014.

3) 和田恵治，佐藤鋭一：雌阿寒岳の地形・地質と噴火史，北海道教育大学紀要（基礎研究編），Vol.75，pp.73-88，2024.

4) 佐藤鋭一，和田恵治，南裕介，石塚吉浩，中川光弘：トレンチ調査による最近 14000 年間の雌阿寒岳の噴火史の再検討，日本火山学会講演予稿集 2020 年度秋季大会，02-02，p.26，2020.

5) Sato, E., Wada, K., Minami, Y., Ishizuka, Y. and Nakagawa, M.: Reexamination of Eruptive Activity of Akanfuji in the Me-Akan Volcano, Eastern Hokkaido, Japan, Journal of Disaster Research, Vol.17, pp.745-753, 2022.

6) 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.

7) 山﨑誠子，石塚吉浩，佐藤鋭一：雌阿寒岳火山とその周辺から採取された火山岩の感度法 K-Ar 年代，地質調査総合センター研究資料集，No.772，pp.1-7，2025.

8) 松本亜希子，中川光弘，小林卓也，石塚吉浩：北海道中央部，十勝岳火山群，ヌッカクシ火口域の活動史，火山，Vol.66，pp.255-279，2021.

9) 石塚吉浩，中川光弘，藤原伸也：十勝岳火山地質図，火山地質図，No.16，産総研地質調査総合センター，2010.
10) 齋藤裕子，槇納智裕，松尾淳，堀伸三郎：ヌッカクシ富良野川沿いの火山活動に伴う土砂移動，平成10年度砂防学会研究発表会概要集，pp.310-311，1998.
11) 北海道旭川土木現業所：平成9年度施行十勝岳火山噴火警戒避難対策工事，基礎資料収集報告書，151p，1998.
12) 北海道防災会議：十勝岳，火山地質・噴火史，活動の現況および防災対策，第Ⅱ版，北海道防災会議，118p，2014.
13) 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.
14) 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, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.325, pp.27-44, 2016.
15) Amma-Miyasaka, M., Miura, D., Nakagawa, M., Uesawa, S. and Furukawa, R.: Stratigraphy and chronology of silicic tephras in the Shikotsu-Toya volcanic field, Japan: Evidence of a Late Pleistocene ignimbrite flare-up in southwestern Hokkaido, Quaternary International, Vol.562, pp.58-75, 2020.
16) 東宮昭彦，宮城磯治：洞爺噴火の年代値，火山，Vol.65，pp.13-18，2020.
17) 上澤真平，伊藤久敏，中川光弘：南西北海道，羊蹄火山北麓の尻別川沿いに露出する第四紀凝灰岩相のジルコンU-Pb年代，日本地質学会128年学術大会講演要旨，2021.
18) Ito, H.: Simultaneous U-Pb and U-Th Dating Using LA-ICP-MS for Young (<0.4 Ma) Minerals: A Reappraisal of the Double Dating Approach, Minerals, Vol.14, 436, 2024.
19) 伊藤久敏，上澤真平：第四紀テフラのU-Th-Pb年代測定（その11）：羊蹄火山起源のテフラと小豆島の貫入岩の年代，令和7年度日本応用地質学会研究発表会，講演論文集，p.8.
20) 上澤真平，中川光弘，松本亜希子：羊蹄火山のマグマ噴出量階段図の試作，防災科学技術研究所研究資料，No.500，pp.17-22，2024.
21) 佐々木実，小川洋 ，斎藤憲二，梅田浩司：岩木火山の形成史，日本火山学会公演予稿集，pp.165，1996.
22) 佐々木実，山本七代，鎌田慎也：岩木火山の最新期活動噴出物の岩石学的特徴，東京大学地震研究所特定共同研究(B)2006-B-08報告書，2006.
https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/nakada/tokuteiB/sasaki.pdf
23) 佐々木実，山本七代，鎌田慎也：岩木火山，最近期活動噴出物の岩石学的研究，日本火山学会公演予稿集，p.36，2009.
24) 青森県史編さん自然部会，青森県史自然編地学，青森県，p.625，2001.
25) Ohba, T. et al.: Crystal mush processes and bimodal magmatism preceding the Yukinoura dacitic pumice eruption at Iwate volcano, northeastern Japan, Earth, Planets and Space, Vol.77, Article 97, 2025.

26) 大場司，梅田浩司：八幡平火山群の地質とマグマ組成の時間―空間変化，岩鉱，Vol.94，pp.187-202，1999.
27) 和知剛，千葉達朗，岡田智幸，土井宣夫，越谷信，林信太郎，熊井修一：八幡平火山起源の完新世テフラ，地球惑星科学関連学会 2002 年合同大会講演予稿集，V032-P005，2002.
28) 和知剛，千葉達朗，土井宣夫，岡田智幸，吉田桂治，越谷信，林信太郎，斎藤徳美：八幡平火山群、航空レーザー測量で検出された火口群と完新世火山灰，岩手の地学，Vol.48，pp.13-45，2018.
29) 東北大学理学部地震予知・噴火予知観測センター：八幡平火山地域における地震活動（1996 年 10 月～1997 年 1 月），火山噴火予知連絡会会報，Vol.67，pp.1-2，1997.
30) 火山噴火予知連絡会：第 153 回火山噴火予知連絡会資料，2024.
31) Taji, S., Nakagawa, M. and Wachi, T.: Volcanic evolution and magma diversity of Akita-Komagatake volcano, northeastern Japan.: Refining tephra-edifice correlations using multi-proxy petrological data, J. Volcanol. Geotherm. Res. (under review).
32) Ohba, T. et al.: Crystal-scale records of basalt recharge and crystal mush interaction: The 2.8-ka Saruana Lava, Chokai volcano, northern Honshu, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.474, 108597, 2026.
33) 林信太郎：鳥海火山の地質，岩鉱，Vol.79，pp.249-265，1984.
34) Reid, M. et al.: Mineralogical characteristic of epidote in volcanic ash from Kurikoma volcano and implications for alteration conditions, JpGU abstract, Chiba, 2026.
35) 伴雅雄，及川輝樹，井村匠，常松佳恵，神秀登，高橋由路：マグマ噴出量階段図の事例：蔵王山，防災科学技術研究所研究資料，No.500，pp.37-43，2024.
36) 伴雅雄，及川輝樹，山﨑誠子：蔵王火山地質図，火山地質図，No.18，産業技術総合研究所地質調査情報センター，2015.
37) 五十嵐健斗，佐藤初洋，伴雅雄：蔵王火山，御釜火口形成時のテフラ層の物質科学的特徴について，日本火山学会 2022 年秋季大会，2022.
38) 山名田慧亞，伴雅雄，井村匠，大場司：日本火山学会 2025 年秋季大会，2025.
39) 岩脇望，伴雅雄，井村匠：蔵王火山馬の背における過去 400 年間のマグマ水蒸気噴火噴出物の岩石学的特徴，日本火山学会 2024 年秋季大会，2024.
40) Miura, K., Ban, M., Ohba, T. and Fujinawa, A.: Sequence of the 1895 eruption of the Zao volcano, Tohoku Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.247-248, pp.139-157, 2012.
41) 酒寄淳史：蔵王火山の地質と岩石，岩鉱，Vol.87，pp.433-444，1992.
42) 板垣直俊，豊島正幸，寺戸恒夫：仙台およびその周辺地域に分布する洪積世末期のスコリア層，東北地理，Vol.33，pp.48-53，1981.
43) Ban, M., Otomo, F., Sato, M. and Imura, T.: Geological and petrological study on the debris avalanche de-posits, eastern foot of Zao Volcano, northeast Japan, Minerals, submitted.

44) Sato, M., Ban M., Yuguchi, T., Adachi, T., Imura T. and Takebe, M.: Mush remobilisation process during historical activity at the Zao volcano, northeastern Japan: Perspectives from plagioclase textures and compositions, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.468, 108458, 2025.
45) 藤縄明彦，鴨志田毅：吾妻火山,フィールドガイド日本の火山４ 東北の火山，築地書館，pp.89-104，1999.
46) 古川竜太，中野俊，高橋浩，山元孝弘：吾妻山地域の地質,地域地質研究報告,5 万分の１地質図幅，74p，2018.
47) 松本哲一，中野俊，古川竜太，山元孝弘：K-Ar 年代に基づく吾妻火山の形成史，地質調査研究報告，Vol.69，pp.153-161，2018.
48) 山元孝弘：福島県,吾妻火山最近７千年の噴火史：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.95-105，2005.
49) Ban, M., Kannno, S., Sato, M., Imura, T., Tunematsu, K., Hasegawa, T. and Ohba, T.: Magma feeding system of the 1893 CE Meiji eruption of Azumayama Volcano, NE Japan, Earth, Planets and Space, Vol.78, 37, 2026.
50) Imura, T., Ohba, T. and Horikoshi, K.: Geologic and petrologic evolution of subvolcanic hydrothermal system: A case on pyroclastic deposits since the 1331 CE eruption at Azuma-Jododaira volcano, central Fukushima, North-Eastern Japan, JVGR, Vol.416, 107274, 2021.
51) 長谷川健，渡部将太，北原遼太，吉川洸希，井上結莉乃：那須火山群，茶臼岳のマグマ噴出量階段図－長期から中期の活動評価－，防災科研資料，No.500，pp.45-53，2024.
52) 山元孝広：テフラ層序からみた那須茶臼岳火山の噴火史，地質学雑誌，Vol.103，pp.676-691，1997.
53) 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.
54) 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.
55) 高橋正樹，安井真也 ，金丸龍夫，山下大輔：浅間前掛火山テフラ・トレンチ調査により得られた降下軽石の全岩主化学組成―浅間前掛火山における最近１万年間のマグマ主化学組成の時間変化―，日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要，No.54，pp.143-172，2019.
https://nihon-u.repo.nii.ac.jp/records/2000262
56) 高橋正樹，安井真也，金丸龍夫：浅間前掛火山高分解能テフラ層序学のための降下テフラ・トレンチ掘削プロジェクト 2016～2018 年度成果報告―地質記載・14C 年代・軽石全岩化学組成―．日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要，No.55，pp.93-153，2020.
https://nihon-u.repo.nii.ac.jp/records/2000236

57) 安井真也，高橋正樹，金丸龍夫：浅間火山火砕岩屑なだれ堆積物の再発見―浅間家畜育成牧場と周辺地域の火山地質―，日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要，No.54，pp.123-142，2019.
https://nihon-u.repo.nii.ac.jp/records/2000258
［訂正：135ページ右段21行　地点14　誤　2.3calYBP　　正　23ka calBP］
58) 安井真也，高橋正樹，金丸龍夫：トレンチ掘削による浅間火山群の地質調査の記録―プロジェクト研究2019～2025年度成果報告―日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要，No.61，pp.115-141，2026.
https://nihon-u.repo.nii.ac.jp/records/2004275
59) 早川由紀夫，由井将雄：草津白根火山の噴火史，第四紀研究，Vol.28，pp.1-17，1989.
60) 宇都浩三：草津白根火山のK-Ar年代，火山学会1983年講演予稿集，pp.416-417，1983.
61) 金子隆之，清水智，板谷徹丸：信越高原地域に分布する第四紀火山のK-Ar年代と形成史，震研彙報，Vol.66，pp.299-332，1991.
62) 一色直記：新島地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所，85p，1987.
63) 吉田浩：新島火山の噴火史，日本火山学会1992年秋季大会講演予稿集，A63，1992.
64) 小林淳，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.
65) Arakawa, Y., Endo, D., Oshika, J., Shinmura, T. and Ikehata, K.: High-silica rhyolites of Niijima volcano in the northern Izu-Bonin arc, Japan: Petrological and geochemical constraints on magma generation and supply, Lithos, Vol.330-331, pp.223-237, 2019.
66) Koyaguchi, T.: Evidence for two-stage mixing in magmatic inclusions and rhyolitic lava domes on Niijima Island, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.29, pp.71-98, 1986.
67) 荒牧重雄，伊藤順一：新島およびその周辺に分布する火山岩の岩石学的特徴（新島，式根島），伊豆諸島における火山噴火の特質及び火山防災に関する調査研究資料集（地学編），東京都総務局災害対策部防災計画課，pp.7-29，1992.
68) 荒牧重雄，小野晃司，大島章一，須藤茂，伊藤順一：新島およびその周辺に分布する火山岩の岩石学的特徴（神津島），伊豆諸島における火山噴火の特質及び火山防災に関する調査研究資料集（地学編），東京都総務局災害対策部防災計画課，pp.31-45，1992.
69) Smith, V.C., Shane, P. and Narin, I.A.: Trends in rhyolite geochemistry, mineralogy, and magma storage during last 50 kyr at Okataina and Taupo volcanic centers, Taupo Volcanic Zone, New Zealand, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.148, pp.372-406, 2005.
70) Ikenaga, Y., Maeno, F. and Yasuda, A.: Temporal change in eruption style during the basaltic explosive An’ei eruption of the Izu-Oshima volcano,

Japan: insights from stratigraphy and chemical composition analyses, Frontiers in Earth Science, Vol.11, 172615, 2023, doi:10.3389/feart.2023.1172615
71) 石塚　治，川邉禎久，井上卓彦，有元純，前野　深：伊豆大島火山地質図（第2版），火山地質図，No. 10，産総研地質調査総合センター，8p，2026.
72) 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 Space, Vol.74, 20, 2022.
73) 津久井雅志，川辺禎久，新堀賢志：三宅島火山地質図，産業技術総合研究所地質調査総合センター，火山地質図 No.12，2005.
74) Geshi, N., Németh, K., Noguchi, R. and Oikawa, T.: Shift from magmatic to phreatomagmatic explosions controlled by the lateral evolution of a feeder dike in the Suoana-Kazahaya eruption, Miyakejima Volcano, Japan, Earth Planet. Sci. Lett., Vol.511, pp.177-189, 2019.
75) Geshi, N., Shimano, T., Chiba, T. and Nakada, S.: Caldera collapse during the 2000 eruption of Miyakejima Volcano, Japan, Bull. Volcanol., Vol.64, pp.55-68, 2002.
76) 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.
77) 及川輝樹，中野俊，田村茂樹：火山噴煙に匹敵する噴気活動－大町市硫黄沢における突発的な噴気の発生－，GSJ 地質ニュース，Vol.10，No.2-3，2021.
78) 河内晋平：蓼科山地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1図幅），地質調査所，1974.
79) Kawachi, S., Nakaya, S. and Muraki, K.: YPm-IV pumice bed in Northern Yatsugatake, Yatsugatake Volcanic Chain, central Japan. Studies on Yatsugatake tephra, Part I, Bull. Geol. Surv. Japan, Vol.29, pp.21-33, 1978.
80) 下岡順直，国武貞克，早田勉，大石雅之，須藤隆司：北八ヶ岳横岳火山を起源とする八ヶ岳新期第 4 テフラ(Yt-Pm4)の噴出年代，第四紀研究，Vol.62，No.4，pp.159-163，2023.
81) 大石雅之，鈴木毅彦：八ヶ岳火山を起源とする新期テフラ群の順序と噴火史，火山，Vol.49，No.1，pp.1-12，2004.
82) Cassidy, M., Manga, M., Cashman, K. and Bachmann, O.: Controls on explosive-effusive volcanic eruption styles, Nature communications, Vol.9, No.1, 2839, 2018.
83) Hayakawa, Y.: Pyroclastic geology of Towada volcano, Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo, Vol.60, No.4, pp.507-592, 1985.
84) Nitta, H., Saito, T. and Shitaoka, Y.: Recent eruption history inferred from eruption ages of the two latest lava flows using multi-dating at Yokodake Volcano, Japan, Earth, Planets and Space, Vol.72, No.1, pp.1-15, 2020.
85) 中村柚月：北八ヶ岳，横岳 Y5・Y6 溶岩の古地磁気年代推定と分布の再検討，信州大学修士論文，2024.

86) 遠藤邦彦: 白山火山地域の火山灰と泥炭層の形成過程, 石川県白山自然保護センター編, 白山高山帯自然史調査報告書, pp.11-30, 1985.
87) 川辺禎久, 星住英夫, 伊藤順一, 山﨑誠子：九重火山地質図, 火山地質図, No.19, 産業技術総合研究所地質調査センター, 7p, 2015.
88) 中川光弘：次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトについて, 北海道地区自然災害科学資料センター報告, Vol.36, pp.63-72, 2023.
89) 太田岳洋：九重火山群, 東部及び中部域の形成史, 岩鉱, Vol.86, pp.243-263, 1991.
90) 太田岳洋, 辻智大, 福岡仁至, 岡田将英：マグマ噴出量階段図：九重火山, 防災科学技術研究所研究資料, Vol.500, pp.93-106, 2024.
91) Smith, V.C., Staff, R.A., Blockley, S.P.E., Bronk Ramsey, C., Nakagawa, T., Mark, D.F., Takemura, K., Danhara, T. and Suigetsu, Project Members: Identification and correlation of visible tephras in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronising of east Asian/west Pacific palaeoclimatic records across the last 150 ka, Quat. Sci. Rev., Vol.67, pp.121-137, 2013.
92) Kamata, H. and Kobayashi, T.: The eruptive rate and history of Kuju volcano in Japan during the past 15,000 years, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.76, pp.163-171, 1997.
93) 長岡信治, 奥野充: 九州中部, 九重火山群の噴火史, 地形, Vol.36, No.3, pp.141-158, 2015.
94) Okuno, M., Nagaoka, S., Saito-Kokubu, Y., Nakamura, T. and Kobayashi, T.: AMS Radiocarbon dates of pyroclastic-flow deposits on the southern slope of the Kuju volcanic group, Kyushu, Japan, Radiocarbon, Vol.59, pp.483-488, 2017.
95) 鎌田浩毅: 宮原地域の地質, 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 127p, 1997.
96) 小野晃司, 松本徰夫, 宮久三千年, 寺岡易司, 神戸信和: 竹田地域の地質, 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 145p, 1977.
97) 平田碧, 大場司, 宮縁育夫, 高橋亮平, パーリン カバルビアス マナロ, 佐藤比奈子: 硫黄同位体分析に基づく阿蘇火山 2019～2020 年噴火の活動推移, 日本火山学会講演予稿集 2025 年度秋季大会, 松本, 2025.
98) Miyabuchi, Y., Iizuka, Y. and Ogata, Y.: Historical eruptions at Aso Volcano, Japan, spanning the last 800 years: insights from a high-resolution tephra record. Bulletin of Volcanology, Vol.88, pp.20, 2026.
99) 井村隆介: 霧島火山の地質. 地震研究所彙報, Vol.69, pp.189-209, 1994.
100) 井村隆介, 小林哲夫: 霧島火山地質図, 火山地質図 No.11, 地質調査所, 8p, 2001.
101) 長岡信治, 新井房夫, 檀原徹: 宮崎平野に分布するテフラから推定される過去 60 万年間の霧島火山の爆発的噴火史, 地学雑誌, Vol.119, pp.121-152, 2010.

102) 山﨑誠子，及川輝樹，石塚治，D. Miggins，A. Koppers：霧島火山の新規活動ユニットの 40Ar/39Ar および K-Ar 年代測定，日本火山学会 2025 年度秋季大会講演予稿集，pp.171，2025.
103) 鈴木慈苗，前野深，川口允孝：霧島火山群韓国岳のプリニー式噴火におけるマグマ蓄積場の状態と噴火様式の推移の解明，防災科学技術研究所研究資料，No.523，pp.35-38，2026.
104) 前野深，川口允孝，及川輝樹：霧島火山群の噴火推移モデル，防災科学技術研究所研究資料，No.523，pp.7-10，2026.
105) Aizawa，K.，Muramatsu，D.，Tsukamoto，K.，Teguri，Y.，Koyama，T.，Utsugi，M.，Kanda，W.，Inomata，T.，et al.：Trans-crustal magma plumbing system of Kirishima volcanic complex as inferred from dense broadband magnetotelluric observations，Earth,Planets and Space，Vol.78，43，2026.
106) Suzuki，Y.，Yasuda，A.，Hokanishi，N.，Kaneko，T.，Nakada，S. and Fujii，T.：Syneruptive deep magma transfer and shallow magma remobilization during the 2011 eruption of Shinmoe-dake，Japan- Constraints from melt inclusions and phase equilibria experiments，J. Volcanol. Geotherm. Res.，Vol.257，pp.184-204，2013.
107) Tomiya，A.，Miyagi，I.，Saito，G. and Geshi，N.：Short time scales of magma-mixing processes prior to the 2011 eruption of Shinmoedake volcano，Kirishima volcanic group，Japan，Bull. Volcanol.，Vol.75，750，2013.
108) Putirka，K.D.：Thermometers and barometers for volcanic systems，Reviews in Mineralogy and Geochamistry，Vol.69，No.1，pp.61-120，2008.
109) Yavuz，F.：WinMIgob：A Windows program for magnetite-ilmenite geothermometer and oxygen barometer，Journal of Geosciences，Vol.66，pp.51-70，2021.
110) Sauerzapf，U.，Lattard，D.，Burchard，M. and Engelmann，R.：The titanomagnetite-ilmenite equilibrium：New experimental data and thermo-oxybarometric application to the crystallization of basic to intermediate rocks，J. Petrol.，Vol.49，pp.1161-1185，2008.
111) Ridolfi，F.：Amp-TB2：An updated model for calcic amphibole thermobarometry，Minerals，Vol.11，324，2021.
112) Haruta，Y.，Maeno，F. and Suzuki，Y.J.：Reconstruction of the plinian phase of the 7.3 ka “Akahoya” caldera-forming eruption at the Kikai caldera，Japan，J. Volcanol. Geotherm. Res.，Vol.472，108541，2026. doi:10.1016/j.jvolgeores.2026.108541
113) 小野晃司，渡辺一徳：阿蘇火山地質図，火山地質図，No.4，地質調査所，1985.
114) 松本哲一，宇都浩三，小野晃司，渡辺一徳：阿蘇火山岩類の K-Ar 年代測定－火山層序との整合性と火砕流試料への適応－，日本火山学会講演予稿集，p.73，1991.

115) Lipman, P.W.: Mineral and chemical variations within an ash-flow sheet from Aso Caldera, southwestern Japan, Contrib. Mineral. Petrol., Vol.16, pp.300-327, 1967.
116) Hunter, A.G.: Intracrustal controls on the coexistence of tholeiitic and calc-alkaline magma series at Aso Volcano, SW Japan, J. Petrol., Vol.39, pp.1255-1284, 1998.
117) Kaneko, K., Kamata, H., Koyaguchi, T., Yoshikawa, M. and Furukawa, K.: Repeated large-scale eruptions from a single compositionally stratified magma chamber: an example from Aso volcano, southwest Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.167, pp.160-180, 2007.
118) Miyoshi, M., Shibata, T., Yoshikawa, M., Sano, T., Shinmura, T. and Hasenaka, T.: Genetic relationship between post-caldera and caldera-forming magmas from Aso volcano, SW Japan: constraints from Sr isotope and trace element compositions. J. Mineral. Petrol. Sci., Vol.106, pp.114-119, 2011.
119) Kaneko, K., Inoue, K., Koyaguchi, T., Yoshikawa, M., Shibata, T., Takahashi, T. and Furukawa, K.: Magma plumbing system of the Aso-3 large pyroclastic eruption cycle at Aso volcano, southwest Japan: petrological constraint on the formation of a compositionally stratified magma chamber, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.303, pp.41-58, 2015.
120) 関琢磨，荒川洋二，新村太郎，大鹿淳也，森康，池端慶：阿蘇火山北西部に分布するAso-4火成流堆積物，弁利サブユニットの層序と岩石学的特徴，火山，Vol.61, pp.429-448, 2016.
121) Keller, F., Bachmann, O., Geshi, N. and Miyakawa, A.: The role of crystal accumulation and cumulate remobilization in the formation of large zoned ignimbrites: insights from the Aso-4 caldera-forming eruption, Kyushu, Japan, Front. Earth Sci., Vol.8, 614267, 2021.
122) Keller, F., Guillong, M., Geshi, N., Miyakawa, A. and Bachmann, O.: Tracking caldera cycle in the Aso magmatic system - applications of magnetite composition as a proxy for differentiation, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.436, 107789, 2023.
123) Miyagi, I., Hoshizumi, H., Suda, T., Saito, G., Miyabuchi, Y. and Geshi, N.: importance of long-term shallow degassing of basaltic magma on the genesis of massive felsic magma reservoirs: a case study of Aso caldera, Kyushu, Japan, J. Petrol., Vol.64, pp.1-25, 2023.
124) Kikuchi, R., Kaneko, K. and Bachmann, O.: Magma generation processes for large, zoned ignimbrites of Aso volcano, SW Japan: insights from geochemical variation of melt inclusions and groundmass, Contrib. Mineral. Petrol., Vol.180, 50, 2025.

125) 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－阿蘇 4 火砕流噴火への準備過程－，火山，Vol.67，pp.91-112，2022.
126) 産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）：大規模噴火データベース，Version 1.0.23. 産総研地質調査総合センター，2026.
(https://gbank.gsj.jp/volcano/ledb/)
127) 産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）：噴火推移データベース，Version 1.1.3. 産総研地質調査総合センター，2026.
(https://gbank.gsj.jp/volcano/esdb/)

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

別添「学会等発表実績」のとおり。

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 事業期間全体の代表的な成果

(a) 火山の噴火履歴およびマグマ長期変遷に関する研究―マグマ噴出量階段図・噴火事象系統樹の試作に向けて―

本サブ課題では、火山の将来噴火の基礎情報を収集・整理し、噴火予測に資する知見を得るために、地質学的手法による噴火履歴解明に加え、物質科学的手法によるマグマ供給系の長期変遷の解明に取り組んできた。その対象は事業期間全体で 54 火山におよぶ。調査研究においては、従来の地表踏査に加え、高精度 DEM データを用いた地形判読、ボーリング・トレンチ掘削調査、多様な年代測定法を組み合わせた噴火年代の決定、多項目物質科学データを用いた対比手法などの新たな手法・観点を積極的に導入し、調査・解析の効率化および高精度化を図った。また、高精度な物質科学的解析を必要とする場合には、北海道大学の「マグマ変遷解析センター」を活用できる体制を整備した。

さらに、より研究が進んだ火山においては、その成果を基にマグマ噴出量階段図を試作し、長期的なマグマ変遷と合わせて解析することで、マグマ供給系の現状の把握に努めた。また、条件の整った近年噴火が起きている火山については噴火事象系統樹の試作にも取り組んだ。なお、それらの作成手順については統一化を進め、データベースの標準化を図った。以下に主な成果概要を述べる。

1) アトサヌプリ：アトサヌプリ火山の噴火履歴解明（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（図 77)。現在も噴気・熱水活動が活発であり、気象庁の常時観測火山に指定されている。アトサヌプリ火山の噴火履歴の大枠は明らかになっており、外輪山溶岩噴出後にアトサヌプリ火砕噴火が起き、その後溶岩ドーム群の活動に移行したと考えられている[1)]。しかしながら、火砕噴火の活動推移や溶岩ドーム群の活動年代とその推移、最近の水蒸気噴火履歴など、未解明な点が残されていた。そこで本事業では、これら課題を解決するために、地表踏査に加え、赤色立体地図に基づく地形判読、ボーリング掘削・トレンチ掘削調査、K-Ar 年代測定を実施し、噴火履歴の再検討を行った。

アトサヌプリ火砕噴火については、近傍相と遠方テフラの物質科学的対比により、約 3-1.9 万年前の 1 万年間に亘る複数回の火砕噴火であることが明らかになった。その噴火規模は、従来考えられていたよりもはるかに大きく、屈斜路火山の過去のカルデラ形成・改変噴火に匹敵することが示された[2)]。

また溶岩ドーム群については、赤色立体地図に基づく溶岩微地形の保存状態（即ちテフラとの被覆関係）と岩石学的特徴を用いることで、活動時期を推定することが可能であることを見出した(図 78)。その結果、アトサヌプリカルデラの外側に位置する多くの溶岩ドームがアトサヌプリ火砕噴火と同時期に活動していたことが判明した。さらに K-Ar 年代測定も行うことで、一部の溶岩ドームが約 12 万年前の屈斜路カルデラ形成噴火に関連する山体であることも明らかになった(図 79)。アトサヌプリ火砕噴火後の活動は、アトサヌプリカルデラ内で起きており比較的低調であったと推定される。その中でも、約 6.5 千年前のリシリ噴火は特異な活動を示し、爆発的噴火から活動が開始して火砕流を流出し、その後、黒曜岩溶岩ドームの形成と破壊を繰り返したことが明らかになった。

そして最近 1-2 千年間は、水蒸気噴火が頻発していたことが示された。山体近傍での手掘りトレンチ掘削調査や短深度ボーリング掘削調査を集中的に実施した結果、水蒸気噴火活動はアトサヌプリ溶岩ドーム周辺の広範囲に及んでいること、約 1 千年前には溶岩ドーム頂部の熊落とし火口形成だけでなく、複数の割れ目火口列での噴火が同時多発的に発生した可能性が明らかになった。

以上の成果に基づき、アトサヌプリ火山のマグマ噴出量階段図および噴火事象系統樹の試作に取り組んでいるところであり、本事業終了後も噴火履歴を精査していく予定である。

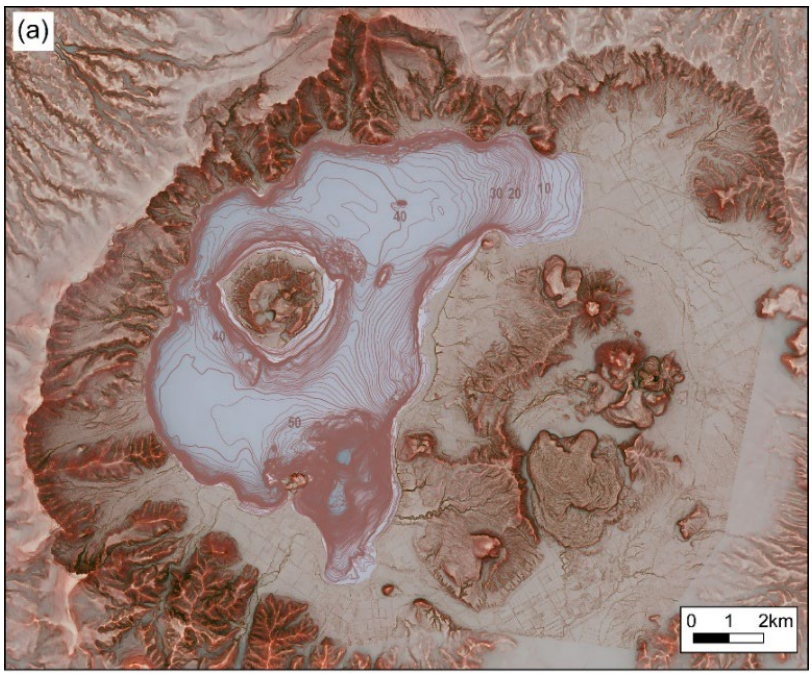


図 107　屈斜路火山周辺の赤色立体地図。アトサヌプリ火砕噴火によって埋積され、非常に平坦になっている。

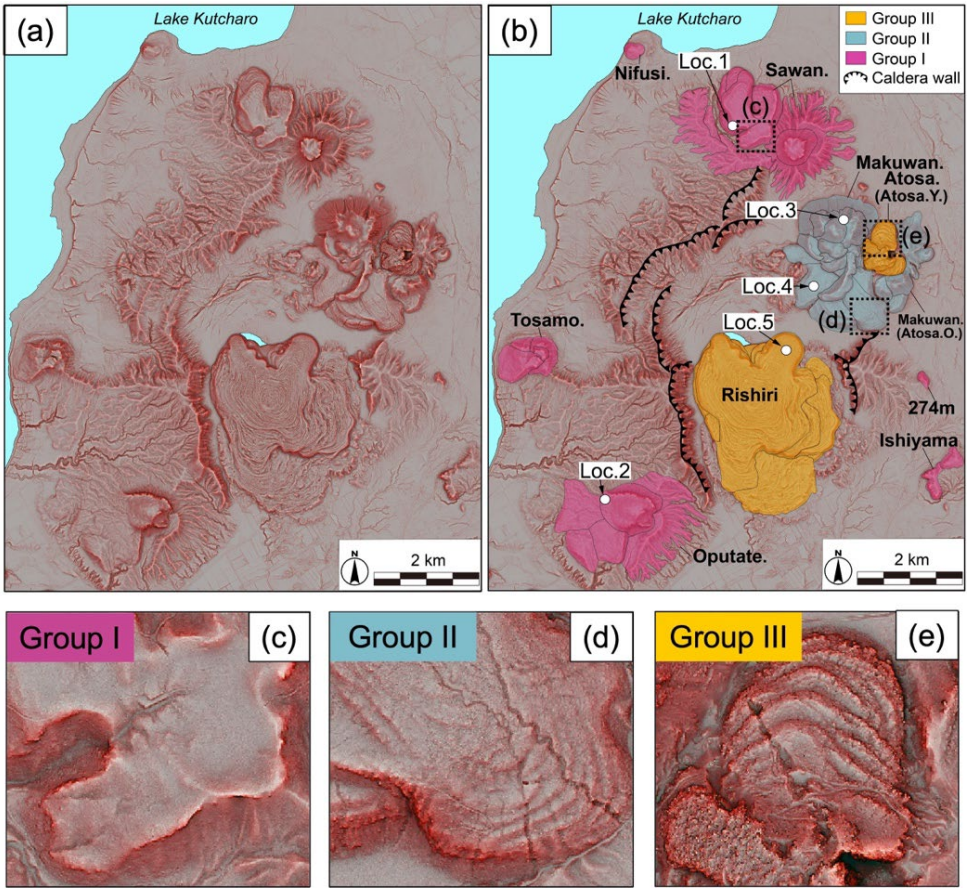


図 108　アトサヌプリ火山、溶岩ドーム群の微地形解析結果。

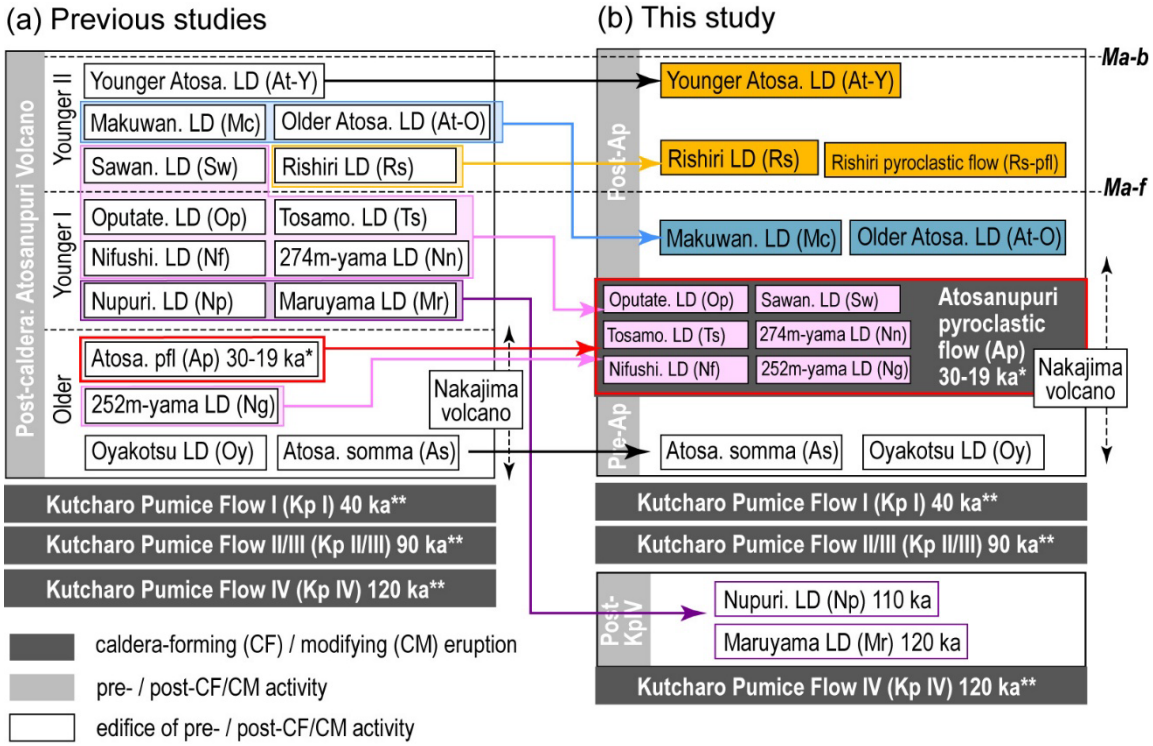


図 109　アトサヌプリ火山の噴火史のまとめ。*: Matsumoto et al.[2]; **: Hasegawa et al.[3]

2）雌阿寒岳：雌阿寒岳の噴火履歴解明（北海道教育大学旭川校・産業技術総合研究所・北海道大学）

雌阿寒岳では、通常の地質調査に加え、複数箇所で人力トレンチ、重機トレンチ調査を行い、複数の ^{14}C 年代及び K-Ar 年代を出すことができた（図 80a、80b）。さらに、地形解読から火口の特定、噴出物の分布範囲の特定も行った。これらによって噴出物の層序を編み、これまで認識されていなかった火砕流堆積物の存在についても明らかにすることができた。また、雌阿寒岳の活動が約 10 万年前から開始し、1.4 万年前以降では、中マチネシリ火口、中マチネシリ西方火口、ポンマチネシリ火口、阿寒富士山体で活動が生じ、現在まで継続していることが分かった。マグマ噴出量階段図についても改良することができた。雌阿寒岳の 10 万年間の総噴出量は約 2.4 km^3DRE であり、平均噴出量は 0.024km^3/ka である。ただし、1.4 万年前以降に限ると 0.1 km^3/ka となり、活動が活発化したといえる(図 80c)。

噴火事象系統樹は、噴火記録が残る 1955 年から現在までの活動を基に、最近 1,000 年間でも同程度の活動が起こった場合を想定して作成した。その結果、火山性微動が 400 回/月以上生じた場合、1 年以内に噴火する確率が 36%であり、そのうち中マチネシリで 1/3、ポンマチネシリで 2/3 の確率で噴火が生じることが分かった（図 80d)。

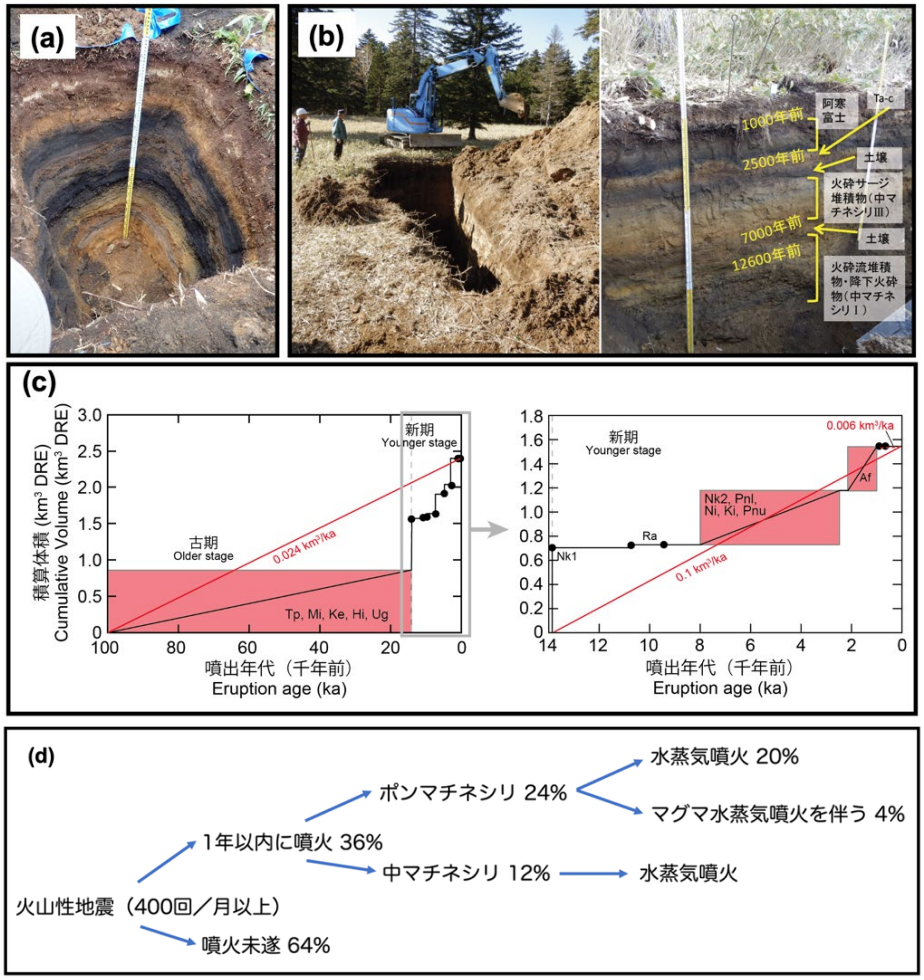


図 110　(a)雌阿寒岳での人力トレンチ調査の様子。(b)　重機トレンチ調査の様子。(c)マグマ噴出量階段図。(d)噴火事象系統樹。

3）十勝岳：十勝岳火山群、ノーマーク火口域の噴火活動履歴の解明と噴火事象系統樹の試作（北海道大学・産業技術総合研究所）

北海道中央部に位置する十勝岳火山は、最近 5 千年間において北西火口域でマグマ噴火が繰り返されており、20 世紀にも 3 回の噴火を起こしていることから、将来噴火が懸念されている。一方で南部にはヌッカクシ火口と呼ばれる大規模な凹地形が存在し、現在も活発な噴気活動が認められる。このヌッカクシ火口域では過去数千年間に水蒸気噴火の発生が指摘されているが [4]、その詳細は不明な点が多かった。そこで本事業では、ヌッカクシ火口域の噴火履歴解明を目的として、地形判読および野外調査を実施した。その結果、本火口域由来の完新世テフラを 8 層認識し、そのうち最新のテフラは 18 世紀以降の噴火活動によるものであることが明らかになった（図 81）。また最近 2 千年間に小規模な斜面崩壊・地すべりが複数回発生していることも確認された [5]。

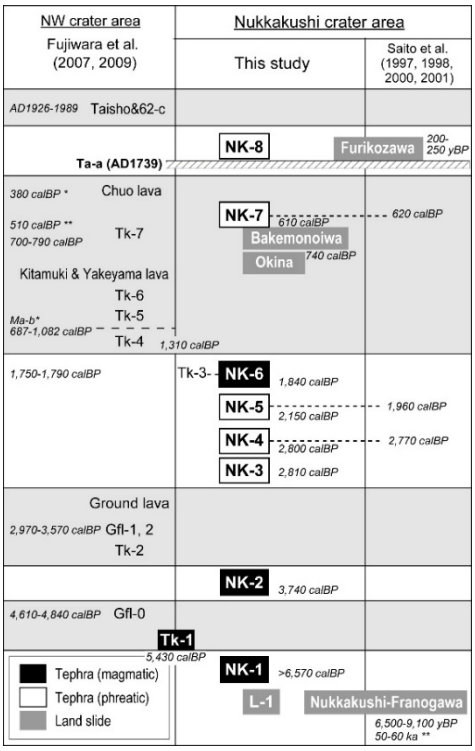


図 111　ヌッカクシ火口域の完新世の噴火活動履歴のまとめ [5]。十勝岳北西火口域の活動履歴と、従来の研究によるヌッカクシ火口域のテフラおよび岩屑なだれ堆積物も示している。

赤色立体地図を用いた地形判読からは、本火口域での山体成長と崩壊の繰り返しが明らかとなり、三峰山北火口の崩壊後にヌッカクシ山体が成長し、その後崩壊することでヌッカクシ火口が形成されたと考えられる。山麓部には 2 枚の岩屑なだれ堆積物が存在し（図 82）、上位の堆積物はヌッカクシ火口形成に関連し完新世初頭に発生したと報告されている [6]。本事業では、三峰山北火口の崩壊時期を制約するために、山麓部でのボーリング掘削調査を実施した。その結果、約 30-40m 厚の岩屑なだれ堆積物とその下位に分布する十勝火砕流を確認した。岩屑なだれ堆積物に含まれる土壌片の ^{14}C 年代測定結果からは約 1.4 万年前に山体崩壊が発生した可能性が示唆された。すなわち、約 1.4 万年前からヌッカクシ山体の活動が開始し、完新世初頭までの 5 千年間程度で成長し、その後再び崩壊したと考えられる。この結果は、十勝岳火山の将来噴火・噴火事象を検討する上で重要な示唆を与えるものである。

さらに、十勝岳北西火口域およびヌッカクシ火口域を対象としてマグマ噴出量階段図および噴火事象系統樹を試作した。前兆現象からの分岐は北西火口域へ至る確率は高いものの、その多くは水蒸気噴火であることが示唆された。一方、北西火口域で溶岩流出を伴うマグマ噴火に至る確率は、ヌッカクシ火口域で小規模な斜面崩壊・地すべりが発生する確率と同程度である可能性が示された（図 83）。

以上のように、本研究ではノーマーク火口域の噴火履歴を明らかにするとともに、噴火事象系統樹を用いて十勝岳火山の将来噴火・ハザード評価に対して新たな見解を示すことができた。

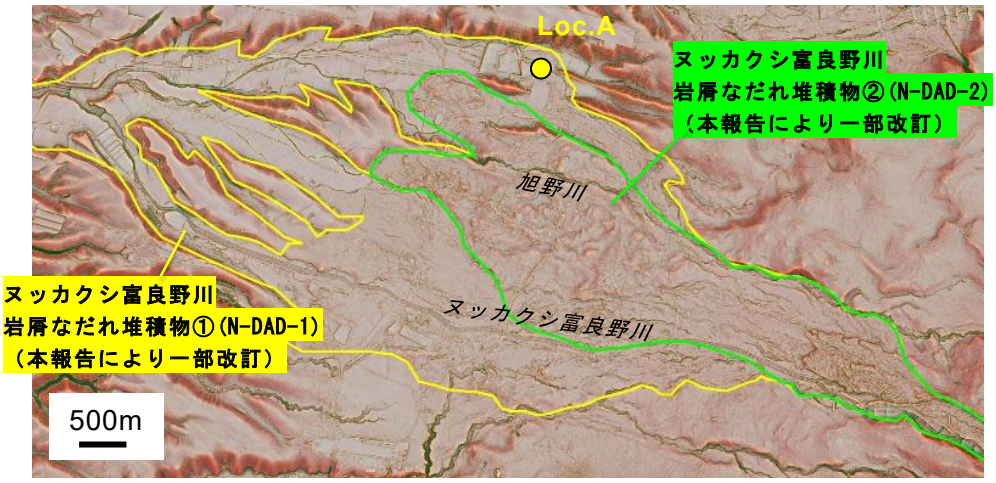


図 112　十勝岳ヌッカクシ火口域山麓部の赤色立体地図（国土交通省北海道開発局旭川開発建設部治水課提供、アジア航測株式会社製作）。Loc.A はボーリング掘削調査地点を示す。

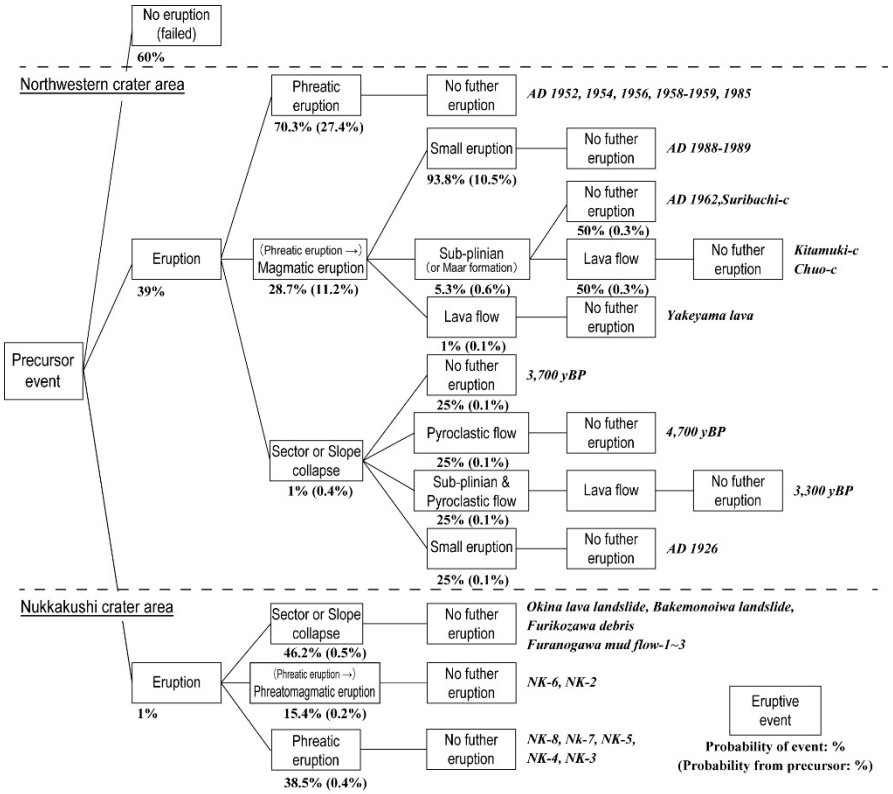


図 113　十勝岳火山の噴火事象系統樹の試作版。

4）有珠山：有珠山の噴火履歴の再検討および階段図・事象系統樹の試作（北海道大学）

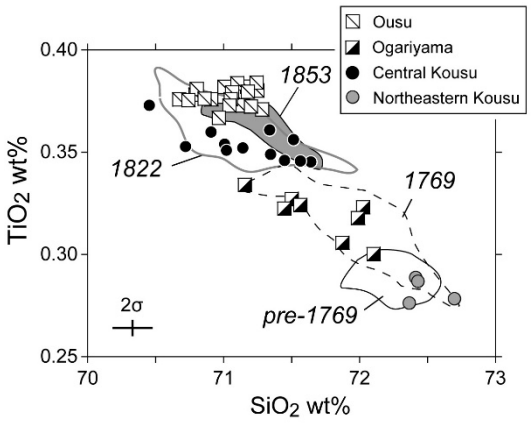
北海道南西部に位置する有珠山は、1663 年以降に計 9 回の噴火を繰り返してきた日本有数の活火山であり、20 世紀には 4 回の噴火が記録されている。それゆえ噴火履歴に関する研究も数多く行われており、歴史時代噴火の活動推移については既に明らかにされている [7]。一方で、山頂に存在する溶岩ドーム群の形成時期や先歴史時代の活動履歴、特に山体崩壊の発生時期については未解明な点が残されている。そこで本事業ではこれらの課題を解決するために、地質学的・物質科学的手法に基づき再検討を行った [8)、9)]。

山頂の溶岩ドーム群は小有珠・大有珠・オガリ山から構成され、古文書の挿絵から 19 世紀には存在していたことが分かっている。17 世紀から 19 世紀の噴出物（軽石）と溶岩ドームの物質科学的対比を行った結果、これらドーム群は 17 世紀末～19 世紀にかけての 4 回の噴火で形成されたことが明らかになった(図 84a)。この結果に基づき活動推移を整理すると、有珠山の歴史時代噴火は大きく 3 つの活動グループに区分される [8)]。この区分は、物質科学的に提案されているマグマグループ [10)] と調和的であり、マグマ供給系の変遷と活動様式・推移との対応関係が示唆される(図 84b)。

山体崩壊は岩屑なだれ堆積物で特徴づけられるが、堆積時に基盤を削剥するため、マグマ噴火を伴わない場合は年代決定が困難である。有珠山でも、発生時期は約 7 千年前から 3 万年前まで幅広く議論されてきたが決定的な証拠は得られていなかった。本事業では、山体周辺の野外調査・ボーリング掘削調査を行い、岩屑なだれ堆積物の上部および東方の限られた地域において、山体崩壊に関連すると考えられる降下火山灰層を認識した。この火山灰層は基盤の洞爺火砕流堆積物に由来し、岩屑なだれ堆積物が定置する際に基盤の洞爺火砕流堆積物を変形・破砕したことで発生した再堆積層であると解釈される（図 85)。この火山灰層の上下の土壌層より約 8 千年前の年代値が得られたことから、有珠山の山体崩壊は約 8 千年前に発生したと結論付けられた [9)]。

これらの成果に基づき、有珠山のマグマ噴出量階段図を改訂し、その作成手順とともに学術誌に公表した [11)]（図 86)。また噴火事象系統樹についても試作を進めており（図 87)、社会実装に向けた更なる試行が求められる。

(a)



(b)

Group	Eruption	Tephra	Formation of dome	Vent location
3	2000	ash and pumice fall	CD	NW flank
	1977-1978	pumice and ash fall	Usu-shinzan CD	Summit
	1943-1945	ash fall (phreatic?)	Showa-shinzan LD (spine)	E flank
	1910	ash fall (phreatic?)	Meiji-shinzan CD	N flank
2	1853	pyroclastic flow pumice and ash fall	Ousu LD	SE summit
	1822	pyroclastic flow pumice and ash fall	New Kousu LD	SW and C summit
	1769	pyroclastic flow pumice and ash fall	Ogariyama LD	C or SE summit
	Pre-1769	pyroclastic surge pumice and ash fall	Old Kousu LD	NW summit
1	1663	base surge pumice and ash fall pyroclastic surge and pumice fall	None	Summit

LD: lava dome, CD: cryptodome

図 114　(a)有珠山山頂溶岩ドーム群の全岩化学組成と(b)歴史時代噴火の活動履歴のまとめ [8)]。

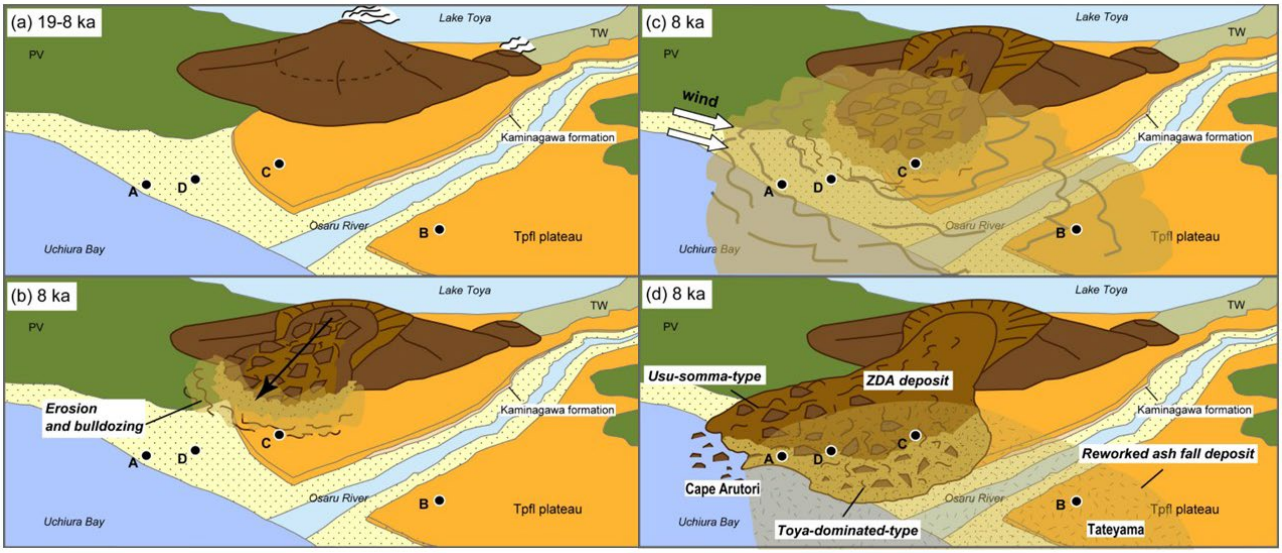


図 115　有珠山山体崩壊事象の推移モデル [9]。

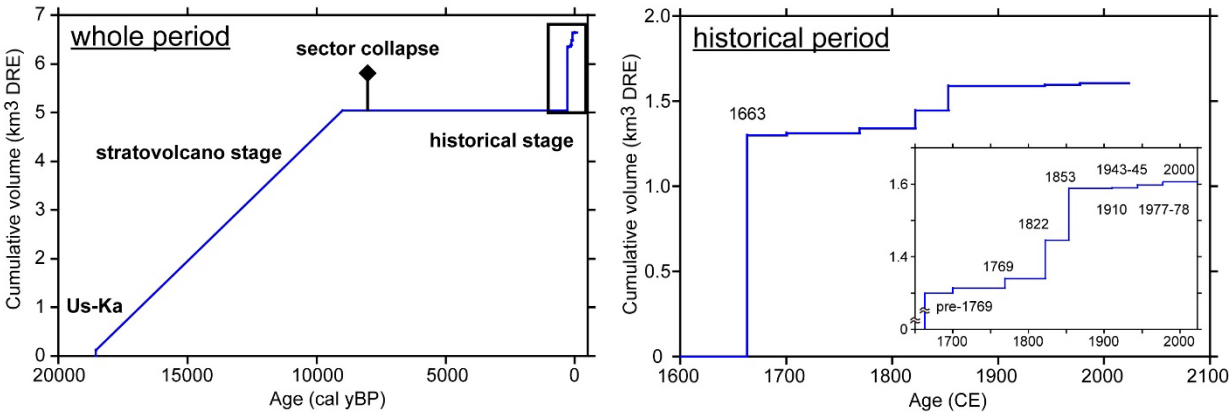


図 116　有珠山のマグマ噴出量階段図 [11]。

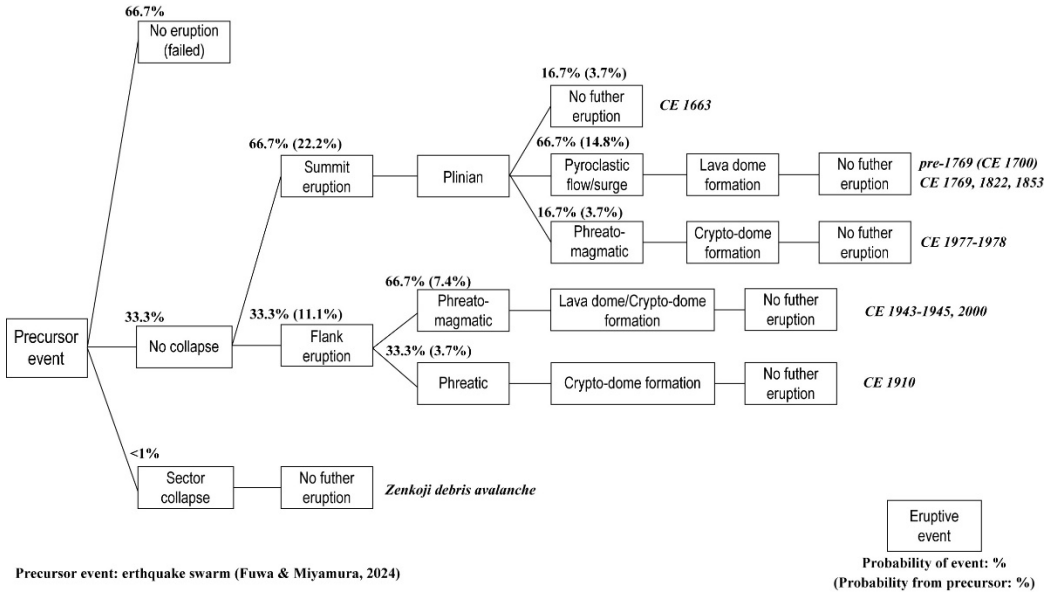


図 117　有珠山の噴火事象系統樹の試作版。

5) 羊蹄山：地質学的・岩石学的手法による羊蹄火山の噴火史の再検討（電力中央研究所・北海道大学）

羊蹄火山は、南西北海道中央部に位置する第四紀の成層火山（標高 1,898 m）である（図 88A）。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。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、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開始時期を確認する必要が生じた。本プロジェクトでは、2019 年度から 2025 年度までの期間に羊蹄火山の北～東山麓を中心に地質学的・岩石学的検討を進め、洞爺火砕流（約 10 万年前[4]）より上位で Y38 より下位の層準に、羊蹄火山起源の噴出物を少なくとも 10 層（上位より Y39’～Y52）発見した。また、Y51 については、含有するジルコンの U-Th 年代測定を実施し、66.2±9.3 ka という結果を得た。これは、土壌の堆積速度から見積もられた Y51 の年代値（約 60 ka）と比較するとやや古い（図 88B）。これは、ジルコンの U-Th 年代が結晶化年代であることに起因すると考えられる。その他に、層位や給源が不明な火砕流堆積物（巽凝灰岩層と仮称）が尻別川沿いで発見され、ジルコンの U-Pb 年代測定を実施した結果、約 1Ma を得ている。以上の検討により、羊蹄火山は 6～7 万年前に噴火を開始し、現在まで活動を続けていることが明らかとなった。

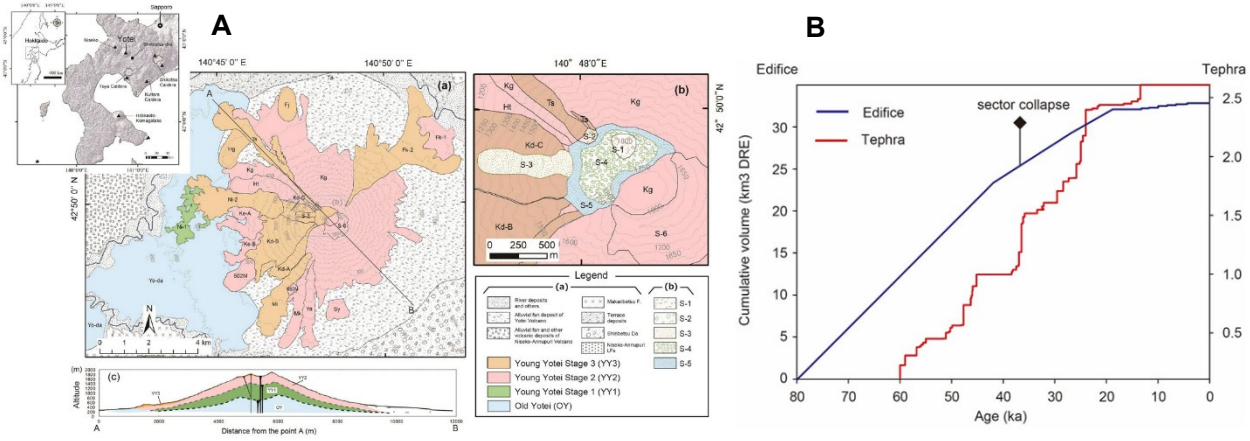


図 118　羊蹄山の地質図・地質断面図（A）、およびマグマ噴出量階段図（B）。

6）秋田焼山：完新世火山活動履歴の解明（産業技術総合研究所・秋田大学）

秋田焼山火山は、1997 年の噴火を含め 8 回の噴火記録があるが、中長期的活動評価に最低限は必要となる完新世を通じての噴火履歴は不明確だった。山体を構成する火山岩の岩相層序及び岩石学的特徴、赤色立体地図による地形判読等を総合して、火山層序及び分布を構築した。また、溶岩の石基を対象とする感度法 K-Ar 年代測定により、古期活動期を 52 万年前から 33 万年前頃、中期活動期を 10 万年前以降、新規活動期は数万年前以降と区分した。表層下の土壌中に挟在する火山灰層について、トレンチ掘削を行って、火山灰層序及び放射性炭素年代測定により、完新世の比較的小規模な噴火を複数復元し、完新世の噴火履歴を解明した。その結果、およそ 7 千年前の名残峠火砕岩類のマグマ噴火以降、秋田焼山由来の比較的小規模な水蒸気噴火及びマグマ水蒸気噴火による降下火砕堆積物を 9 層準認定し、また十和田火山起源の広域降下火山灰層を鍵層として確認した（図 89）。秋田焼山火山における長期的噴出率の推移は岩屑なだれ堆積物や土石流堆積物を差し引いて算出すると、およそ 52 万年前からの全期間を通じての長期的噴出率は 0.02 km^3 DRE/千年となる。古期活動期の噴出率は 0.05 km^3 DRE/千年であるが、中期及び新期それぞれについては同程度か、それ以下と見積もられる（図 90）。

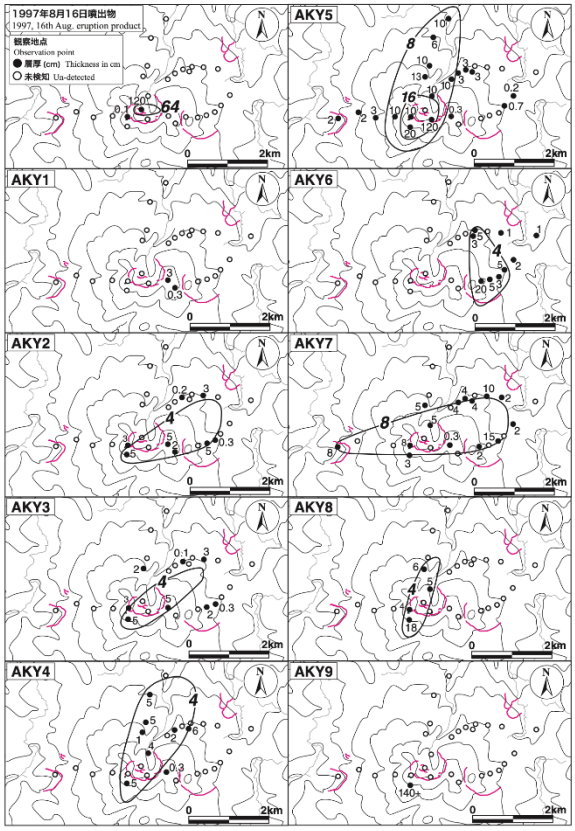


図 89　完新世の降下火砕堆積物の産出地点と等層厚分布 [12]。

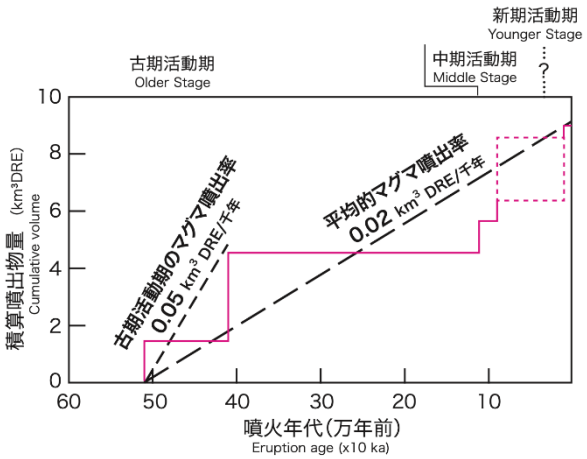


図 90　秋田焼山火山の積算噴出量の時間発展を示す噴出量階段図 [13]。

7）秋田駒ケ岳：多項目物質科学的データによる対比と高精度マグマ噴出量階段図の試作（北海道大学・(株）エンバイオ・エンジニアリング）

a）概要

秋田駒ケ岳は東北地方において近年もマグマ噴火を発生させている活動的な火山であり、さらに近年は熱活動の上昇傾向も認められている。これまでの噴火履歴研究においては、テフラ層序の解明[14]は比較的進んでいるものの、山体発達史の詳細な復元および山体構成物とテフラ層序との対比は必ずしも十分ではなかった。本研究では、地表踏査に加えてボーリングおよび重機によるトレンチ調査を実施し、さらに気象庁および砂防事業により取得された既存のボーリングコアの再検討を行った。また、テフラについては土壌等を対象とした ^{14}C 年代測定を多数実施した。これらに加えて、Sr-Nd-Pb 同位体比、主成分・微量元素組成などの多項目の物質科学的データを取得し、テフラと山体構成物の統合的対比を行った。その結果、更新世末期以降の本火山の山体発達史に対して高精度の時間軸を導入することが可能となった。本成果は、高解像度のマグマ噴出量階段図の構築を可能にするとともに、防災上の長期活動評価およびマグマ成因論の両面において重要な基礎データを提供するものである。

b）山体発達史の再検討とテフラとの対比

本火山の成層火山体の南北斜面には小型のカルデラ地形が認められ、それぞれ北部カルデラおよび南部カルデラ[15]と呼ばれる。本研究では、トレンチ調査およびボーリングコアの解析に基づき、北部カルデラを形成した山体崩壊が南部カルデラ形成噴火直後に発生したことを明らかにした[16]（図 91)。各カルデラ内では後カルデラ活動により複数の山体が形成され、それぞれ北部山体および南部山体と呼ばれる。成層火山体形成後の活動は、南部カルデラ形成期（Stage 1)、北部山体活動期（Stage 2)、南部山体活動期（Stage 3）に大別され、さらに Stage 2 および Stage 3 はサブステージに細分される。

本火山のテフラ層序は、下位の AK13 から最上位の AK1 までの 13 ユニットに区分されている。本研究ではこの層序を再検討し、各ユニットの分布および年代の精度向上を図った。

年代については、土壌試料を用いた ^{14}C 年代測定を実施し、分布についてはアイソパックの再構築を行った。また、山体発達史については、高精度 DEM から作成した赤色立体地図を用いた地形解析に加え、地表踏査および噴出物の地球化学・同位体データを統合して検討した。テフラ層序と山体構成物層序との対比は、層相の比較、テフラの分布形態(アイソパック)、および多項目の物質科学的データに基づいて実施した。

各テフラユニットは、Sr-Nd-Pb 同位体比に基づいて大きく 3 つのタイプ（A～C）に区分される。さらに B および C タイプは液相濃集元素量によりそれぞれ 2 つに細分され（B1、B2、C1、C2)、最終的に 5 つのマグマタイプが認識された。その結果、13 のテフラユニットはそれぞれ固有のマグマタイプに対応することが明らかとなった（図 92)。一方、山体構成物についても同様に 5 つのマグマタイプに区分され、テフラとの対応関係が明確となった。これらのマグマタイプの時間変化に着目することで、テフ

ラユニット（AK1～AK13）と、Stage 1 から Stage 3 の各活動期およびサブステージに対応する山体構成物との対比が可能となった（図 93）。

c）マグマ噴出量階段図の改定と長期活動評価

本研究により、山体構成物とテフラの双方に対して高精度の年代軸を設定することが可能となり、これらを統合したマグマ噴出量階段図を構築した[17]（図 94）。その結果、カルデラ形成期（Stage 1）に加えて、北部山体の sub-stage II-1 においても高い噴出率が認められた。前者は爆発的噴火を主体とし、後者は主に溶岩流出によるものであり、噴火様式に明瞭な違いがある。その後、噴出率は低下し、特に約 7,000～3,000 年前には比較的静穏な時期が存在したことが明らかとなった。一方、約 2,500 年前以降は現在に至る活動期（Stage 3）が開始されている。また、活動期の変化はマグマタイプの変化と密接に対応しており、各活動期の間には 1,000 年以上に及ぶ静穏期が存在することが明らかとなった。これらの結果は、本火山の活動が特定のマグマタイプの生成・上昇・噴火により周期的に支配されていることを示唆している。最新の 1970 年噴火では、従来の活動期とは異なるマグマタイプが関与している可能性が示されており、本火山のマグマ供給系が現在も変化しつつあることが示唆される。

d）まとめ

テフラと山体構成物の対比は、本火山に限らず国内外の多くの火山において山体発達史を構築する上での重要な課題となっている。本研究で実施した、層相・分布形態に加えて Sr-Nd-Pb 同位体比や地球化学組成などの多項目の物質科学的データを統合した対比手法は、有効なアプローチであることが示された。本手法は今後、他の火山への適用により、山体発達史の高精度化に広く貢献することが期待される。

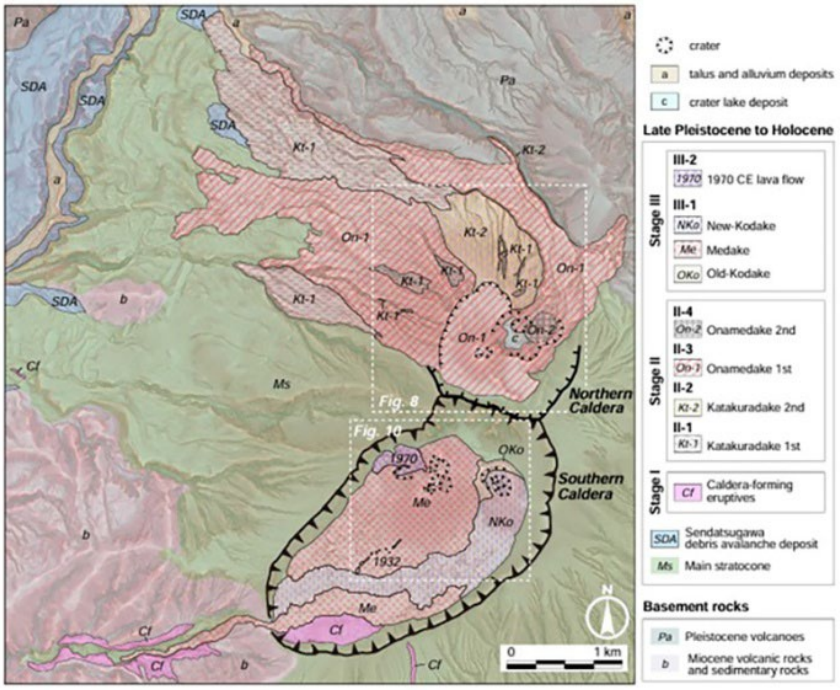


図 119　秋田駒ケ岳、カルデラ形成以降の山体発達史。活動はⅠ～Ⅲのステージに区分される。

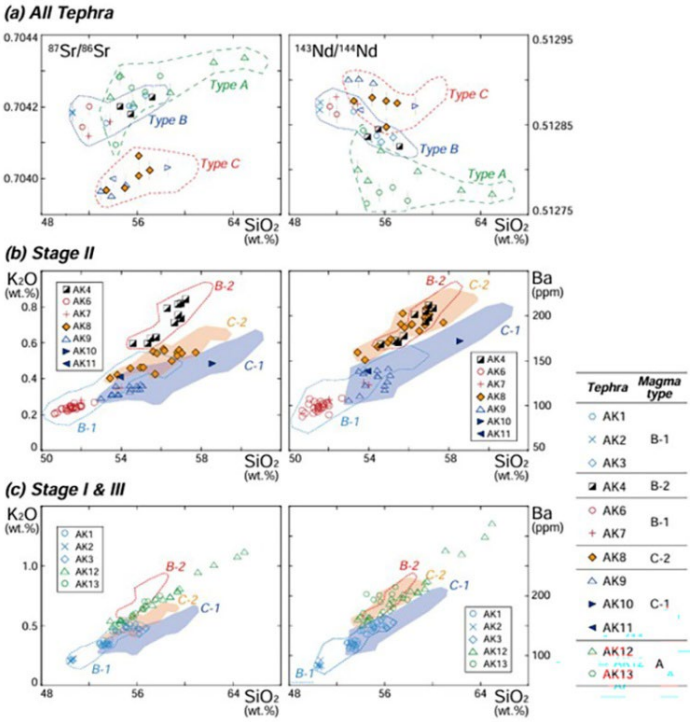


図 120　テフラユニットのマグマタイプ。(a)Sr と Nd 同位体比により、A・B・C の 3 タイプに区分される。(b)Stage II に区分される AK11～4 は LIL 元素濃度により、B-1、-2、C-1、および C-2 の 4 つに区分される。(c)Stage I に区分される AK1～3 は LIL 元素では B-1 タイプに区分され、Stage I の AK13 と 12 は A タイプであるが、比較的 LIL 元素濃度は高い。

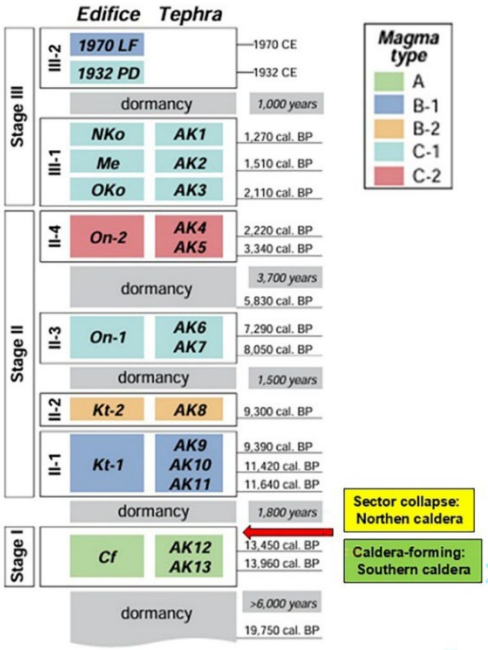


図 121　テフラと山体構成物の対比結果。年代値はテフラ直下の土壌年代(AK2 を除く)。Stage Ⅲ-2 は 20 世紀の活動。

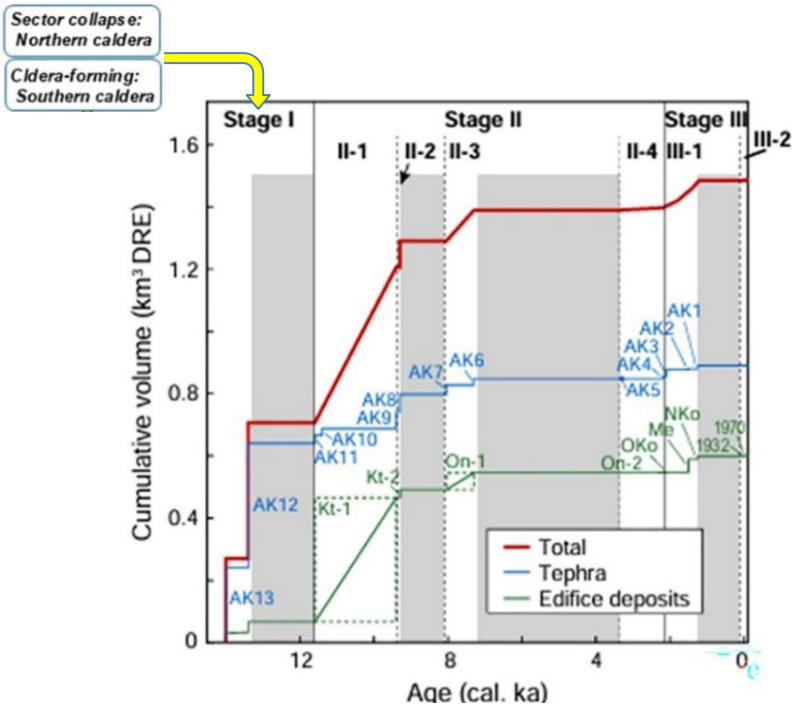
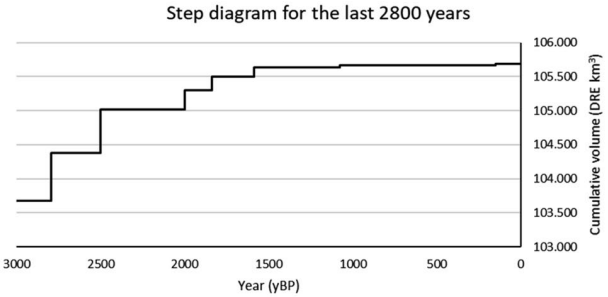


図 122　本研究による秋田駒ケ岳のマグマ噴出量階段図。グレーで塗色した時期は静穏期。

8）鳥海山：鳥海火山の噴火履歴解明に基づく階段図・事象系統樹の作成（秋田大学・山形大学）

鳥海山について、この 10 年間にわたり山腹の複数地点で手掘りおよび重機掘削による地質調査を実施した。火山灰層序を構築し、その層序に基づいて堆積物の産状と層序関係を整理するとともに、採取試料の解析から噴火様式とその時間的推移を推定した。また、火山灰直下の土壌試料および火山灰中の木片に対する AMS 年代測定により各噴火の年代を決定し、さらに古地磁気年代測定法を適用して本火山噴出物の大部分を占める溶岩の噴出年代を明らかにした。これらの成果を統合することで主に約 2,800 年前以降、現在に至る噴火履歴を高い時間分解能で復元し、地形・地質情報と合わせて各噴火の噴出量を推定することで累積噴出量の階段図(マグマ噴出量階段図)を構築した。その結果、約 2,800 年前以降、鳥海火山の噴出率が漸減してきたことを示した。さらに、土壌を挟まない一連の火山灰について層相解析および成分分析を行い、この火山に特徴的な噴火推移の典型パターンを明らかにするとともに、岩石学的解析等に基づく前兆現象を含めた事象分岐図（噴火事象系統樹）を作成した（図 95)。



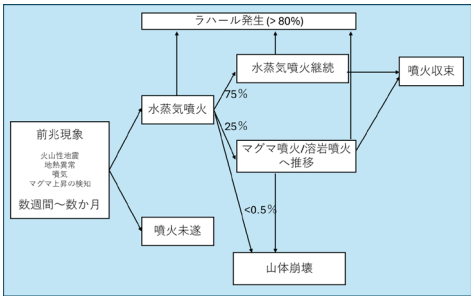


図 123　鳥海火山でのトレンチ調査と試料分析（成分分析、年代測定など）を基に作成した階段図 [18]および事象分岐図 [19] を基に改訂)。最終年度に実施した溶岩噴出年代の精緻化の結果を基に、階段図の改訂版を 2026 年度に公表する予定。

また鳥海山では、本プロジェクト開始前、西鳥海カルデラ内の噴出物は約 2 万年前以前に形成されたものと考えられていたが、地質学的再検討の結果、少なくとも上位のテフラ層は完新世のものであり、その他の噴出物も 1 万年前に近い時期に形成された可能性があると推定された。

まず、カルデラ底北縁部から溶岩流出主体の活動が開始し（中ノ沢下部・上部溶岩類)、活動中には溶岩ドームの形成・崩壊も生じた。この時期に流出口付近で扇子森溶岩ドームが形成されたと考えられる。次に、ストロンボリ式噴火により鍋森湿原アグルチネートからなる小丘が形成され、さらにこれを貫いて前鍋森山両溶岩ドームおよび万助道溶岩が形成された。続いて、現在の鳥海湖付近でストロンボリ式噴火が発生し、鳥の海スコリアからなる火砕丘が形成された。その後、火砕サージを伴うマグマ水蒸気噴火が発生し、新たに確認された鳥海湖火砕岩類が形成された。分布範囲の特定が困難なため、図 96 では産出確認地点を斜線で示す。火砕サージとの前後関係は不明であるが、火砕丘南東側で火口が形成され、そこから溶岩が流出し、その後溶岩ドームが形成された（鍋森山溶岩)。噴出物総体積は約 8 km^3 で、その約 9 割を中ノ沢下部・上部溶岩類が占める。

鍋森湿原では、鳥海湖火砕岩類の上位の古土壌層に挟在する 17 枚のテフラ層が確認された。鳥海湖火砕岩類の直上、最上位のテフラ層の直下の古土壌層から約 1 万年前及び約 4 千年前の年代値が得られた。下位から 5 層目及び 9 層目はスコリアに富みマグマ噴火起源と考えられる一方、その他は細粒物主体でスコリアに加え変質物質を含むことから、マグマ水蒸気噴火起源と解釈される。以上より、西鳥海火山は少なくとも約 4 千年前まで爆発的活動を断続的に行っていたことが明らかとなった。また鳥海湖火砕岩類より下位の噴出物も約 1 万年前に近い活動で形成された可能性が示唆される。

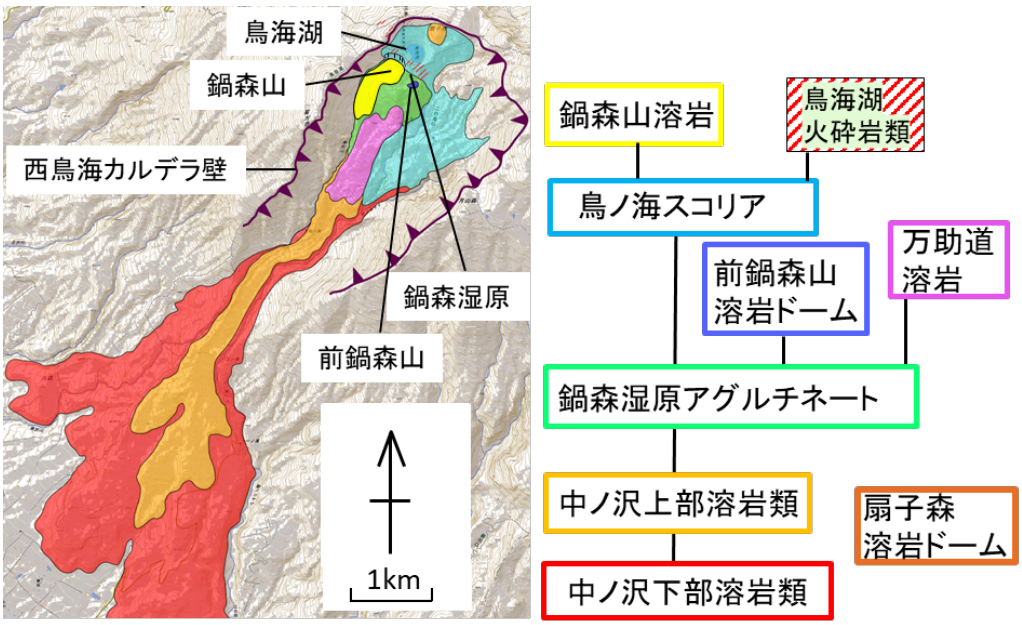


図 124　西鳥海カルデラ内噴出物の地質図と層序図。

9）蔵王山：噴火履歴解明及び階段図・系統樹の作成（山形大学）

a）噴火履歴解明

蔵王山の活動期は 6 つに区分される。本プロジェクトでは、そのうち約 3.5 万年前に始まる最新期の噴火履歴を詳細に再検討し、大きく刷新した。調査は綿密に行い、特に人力によるトレンチ掘削を多数箇所で実施し、一部ではボーリング調査も行った。図 97 に各期間の活動の特徴とともに、発生現象、テフラ層および近傍層の名称を示す。

最新期は、約 3.3～1.0 万年前、約 9～5.8 千年前、約 5.8～4.5 千年前、約 4.5～2.8 千年前、および約 2 千年前以降の 5 期に細分される。約 3.3～1.0 万年前、約 5.8～4.5 千年前、および約 2 千年前以降はマグマ噴火主体であるのに対し、約 9～5.8 千年前と約 4.5～2.8 千年前は熱水系関与マグマ水蒸気噴火主体であり、両者が交互に発生したことが明らかとなった。発生現象としては、降下火山灰、投出火山岩塊、火砕流、ラハールはいずれの時期にも認められるが、その規模は多くの場合、マグマ噴火主体期の方が大きい。最新期最大規模の噴火は約 3.3～1.0 万年前に発生し、約 2 千年前以降の噴出物は他時期に比べ小規模な傾向を示す。なお、溶岩流出は約 3.3～1.0 万年前に限られる。また、約 4.5～2.8 千年前の熱水系関与マグマ水蒸気噴火の噴出量は $10^7 m^3$ と規模が比較的大きい。

約 800 年前の御釜火口活動開始以降数百年間は高噴出率で推移し、その後低下した。約 2 千年前以降の活動はマグマ噴火主体で、7 つの噴火フェーズが認められるが、多くの場合、初期に熱水系関与マグマ水蒸気噴火が発生し、その後マグマ噴火へ移行し、これを複数回繰り返して終息に至る。また、西暦 1894～1897 年の噴火は熱水系関与マグマ水蒸気噴火のみであったことも明らかとなった。

期間	活動の特徴	発生現象	テフラ層	近傍層（火砕岩）	近傍層（溶岩）
約2.0千年前以降	マグマ噴火（中小規模）主体	降下火山灰、投出火山岩塊、火砕流、ラハール	Za-Ok1–7、Za-Gs1–2	五色岳火砕岩類	—
約4.5～2.8千年前	熱水系関与マグマ水蒸気噴火主体	降下火山灰、投出火山岩塊、火砕流、ラハール	Za-pGs a–g	—	—
約5.8～4.5千年前	マグマ噴火（中小規模）主体	降下火山灰、投出火山岩塊、火砕流、ラハール	Za-To5–9	馬の背アグルチネート	—
約9.0～5.8千年前	熱水系関与マグマ水蒸気噴火主体	降下火山灰、投出火山岩塊、火砕流、ラハール	Za-To5a–5d	馬の背アグルチネート	—
約3.3～1.0万年前	マグマ噴火（中小規模）主体	降下火山灰、投出火山岩塊、火砕流、溶岩流、ラハール	Za-To1–4	刈田岳火砕岩類、駒草平火砕岩類、熊野岳火砕岩類	振子滝溶岩、五色岳南方溶岩、刈田岳北方溶岩、五色岳東方溶岩、濁川溶岩

図 125　蔵王山の最新活動期内の活動期細分と各期間活動の特徴のまとめ。テフラの名称は伴ほか[20]のまとめに、近傍層の名称は伴ほか[21]による。

b）マグマ噴出量階段図

本プロジェクトで詳細に解明された蔵王山の最新活動期の噴火履歴を基に作成したマグマ噴出量階段図（蔵王山の短期階段図）を図 98 に示す。この図から読み取られる蔵王山の最新活動期の特徴を以下に記す。

マグマ噴火主体の時期と熱水系が関与したマグマ水蒸気噴火主体の時期の交互発生

マグマ噴火主体の時期（約 3.3～1.3 万年前、約 5.8～4.5 千年前及び約 2 千年前以降）と、熱水系が関与したマグマ水蒸気噴火主体の時期（約 9～5.8 千年前と 4.5～2.8 千年前）が交互に発生してきたことが明瞭になった。周期は明確ではないが、過去約 1 万年間の履歴に基づくと約 2～3 千年程度である可能性が示唆される。

約 3.3～1.3 万年前とその他の時期

約 3.3～1.3 万年前は細分された 5 つの期間の中で最も長い。また、蔵王山最新活動期中の最大規模の噴火フェーズを含み、他の期間に比して階段図上での特徴が異なっている。約 2.7～1.2 万年前に長い休止期を挟むことも特徴的である。

噴出率の変化

マグマ噴火が卓越する時期は概して噴出率が高く、それ以外は低い傾向が認められる。図 98 において傾斜が急な部分はマグマ噴火主体時期、緩やかな部分は熱水系が関与したマグマ水蒸気噴火主体の時期に対応する。マグマ噴火の場合で噴出率が高く、蔵王山全体を通して見た場合の噴出率の最も高い活動期 III～IV の時期に匹敵する時期も認められる。例えば、約 800～600 年前の御釜火口が形成された直後の時期である。

約 800 年前から続く御釜火口噴火の転換期

約 800 年前に御釜火口の活動開始以降、数百年間は高噴出率であったが、その後低下した。また、約 2 千年前以降の活動はマグマ噴火主体であるが、西暦 1894～1897 年の噴火は熱水系の関与したマグマ水蒸気噴火のみであったと推定されている。以上を考えると、西暦 1894～1897 年の噴火活動以降は活動の転換期に入っている可能性も考えられる。

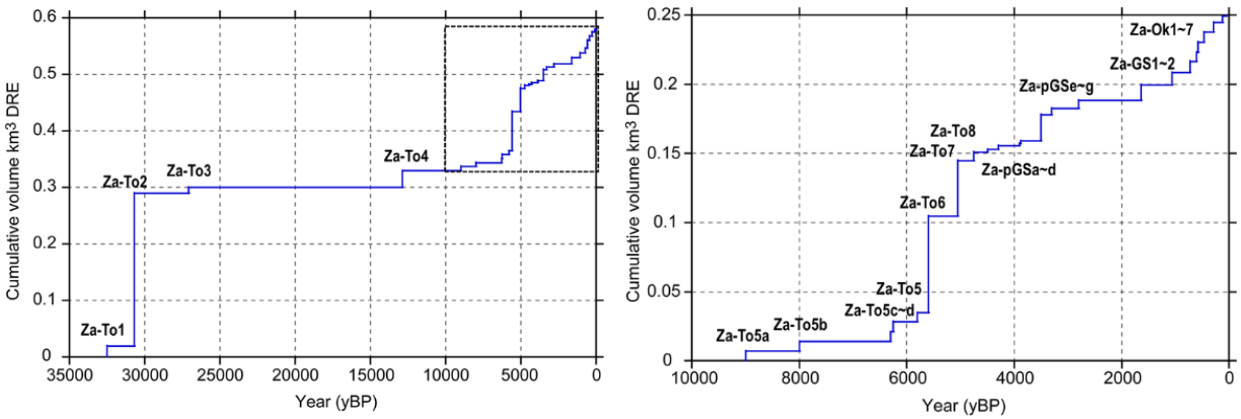


図 126　蔵王山の最新期のマグマ噴出量階段図。左図は過去 3.5 万年間、右図は過去 1 万年間。

c）噴火事象系統樹

本プロジェクトで詳細に解明された蔵王山の最新活動期の噴火履歴及びそれを基に作成したマグマ噴出量階段図を用いて作成した噴火事象系統樹を図 99 に示す。

対象とした活動期間、想定火口域、噴火タイプ分類

階段図に基づき、対象とする噴火履歴の期間を過去約 1 万年間に設定した。この期間は噴出率が一定ではないものの、噴火履歴数が多く、また完新世の範囲とも一致するためである。想定火口域については、蔵王山山頂の最新期初期に形成された馬の背カルデラ内部とした。過去約 1 万年間の火口位置がほぼ馬の背カルデラ内に限られているためである。噴火タイプについては、噴出物の情報に基づき、水蒸気噴火、マグマ水蒸気噴火及びマグマ噴火に区分し、後二者については規模に基づいてそれぞれ 3 段階に細分した（図 99）。以上のように、各テフラから読み取った噴火推移に基づき、噴火タイプの推移パターンを抽出し、それらを系統樹として表現した。図 99 には、各コースを辿った事例も併記した。

前兆現象の整理と噴火未遂の評価、噴火回数の算出および事象分岐の確率計算

噴火未遂については、前兆現象が記録されている過去約 100 年間において、前兆のみで噴火に至らなかった回数を基に、対象期間である過去 1 万年間（休止期間を除く）にも同様の割合で発生したと仮定し、その発生数を見積もった。噴火開始後の分岐確率については、各コースを辿った事例数の割合から算出した。図 99 より、まず噴火未遂の確率が噴火に至る場合に比べて圧倒的に高い。また、噴火に至った場合には、マグマ水蒸気噴火（複数回で 10^5 m^3 規模）から中小規模マグマ噴火（複数回で 10^6 m^3 規模）へ推移して終息に至る場合と、マグマ水蒸気噴火（10^6 m^3 規模）のみで終息に至る場合が、全体の 24%を占めることが示された。さらに、マグマ水蒸気噴火（10^6 m^3 規模）から中小規模マグマ噴火（複数回で 10^5 m^3 規模）へ推移して終息に至る場合がこれに次ぐ 16%という結果となった。

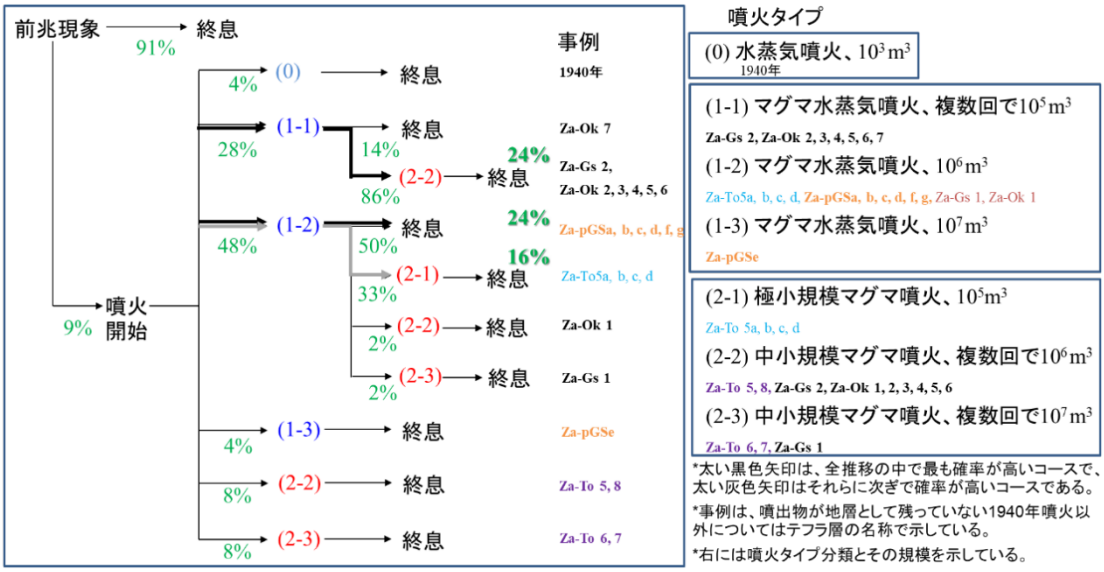


図 127　蔵王山の噴火事象系統樹。

10）吾妻山：高精度噴火履歴解明およびマグマ噴出量階段図・噴火事象系統樹の試作（山形大学・茨城大学・秋田大学）

吾妻火山は東北日本弧火山フロントに位置する複合火山であり、その東部に発達する浄土平火山は、完新世に活動した複数の火口および火砕丘から構成される活火山である（図 100）。茨城大学では、吾妻小富士を中心とした地質・岩石学的検討およびボーリング・トレンチ調査、さらに古地磁気学的手法を統合することで、浄土平火山の噴出量階段図を構築し、その活動推移を明らかにした。

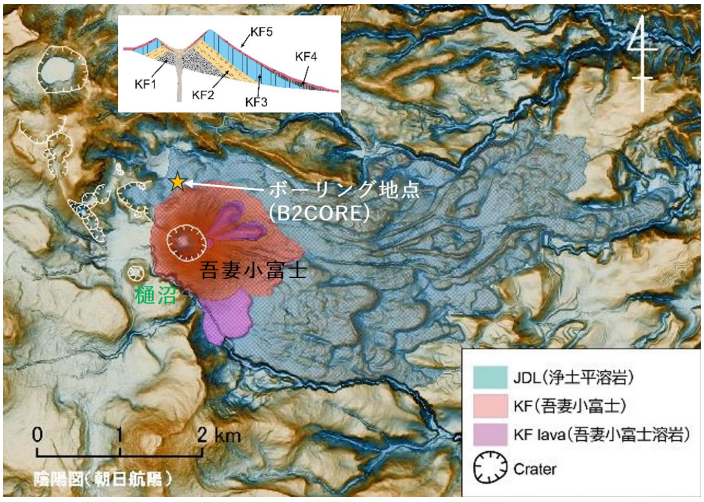


図 128　吾妻浄土平火山の地形と噴出物の分布（上部挿入図は小富士の模式的断面図）。

まず、吾妻小富士噴出物について詳細な層序区分を行い、吾妻小富士（火砕丘）ユニット（KF1～KF4）および溶岩に区分した。その結果、火砕丘形成過程は、ストロンボリ式噴火による初期スコリア丘形成に始まり（KF1）、マグマ水蒸気噴火によるタフコーン形成（KF2）、再びストロンボリ式噴火による山体成長（KF3）、最終的にはブルカノ式噴火への移行（KF4）という、噴火様式の変遷を示すことが分かった。さらに、ボーリング調査およびトレンチ調査により、従来不明確であった噴火史が大きく更新された。特に、浄土平全域に由来する溶岩流（浄土平溶岩）の分布範囲と年代が決定され、その活動開始が約 10　ka に遡ることが明らかとなった。これにより、従来 7　ka 以降とされていた浄土平火山の活動開始時期は大きく遡ることとなる。また、古地磁気方位の測定により、浄土平溶岩、吾妻小富士、桶沼の各活動が異なる時期に発生していることが定量的に示され、特に浄土平溶岩は吾妻小富士の活動よりも千年以上古いことが明らかとなった。

これらの成果を統合して作成した噴出量階段図から、浄土平火山の活動は初期（約 9.8 ka～6.8 ka）で最も噴出率・噴出量が高く、その後は吾妻小富士の形成以降、現在に至るまで段階的に噴出率を低下させている傾向が明瞭となった（図 101）。約 1 万年間の噴出量階段図によって、吾妻火山における活動は、初期の大規模な溶岩流出期から、火砕丘形成を主体とする中期、さらに複数の火口からなる小規模噴火へと移行する減衰的進化を示すことを明らかにできた。このような噴出量の時間変化と噴火様式の遷移は、マグマ供給系の変遷と対応している可能性があり、今後の岩石学的研

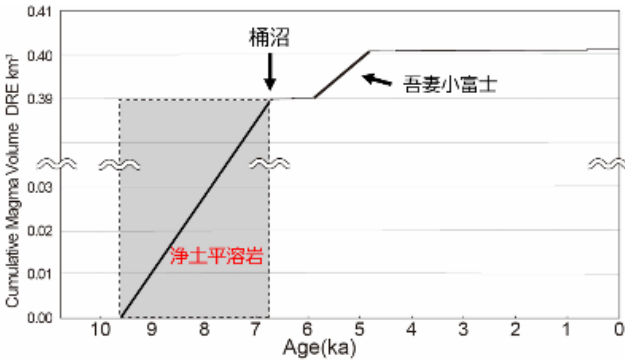


図 129　吾妻―浄土平火山の前半活動の噴出量階段図。

究で中長期的評価の精度がさらに向上することが期待できる。

山形大学・秋田大学では、吾妻山の 1331 年（鎌倉）噴火以降について、噴出量階段図ならびに噴火事象系統樹を作成するため、2022～2025 年度にかけて露頭踏査・トレンチ調査・ボーリング掘削調査を実施した。調査結果からは 21 枚の降下火砕物の存在が認められ（図 102(a)）、いずれも大穴火口、燕沢火口列を含む浄土平周辺域が給源である。一部の噴出物からは、浄土平北方の陥没地形（浄土平北火口・火砕丘と新称）の活動があったことも明らかとなった。以上の成果を基に、噴火履歴の認識を従来知見 [22)、23)] から更新した上で、噴出量階段図（図 102(b)）ならびに噴火事象系統図(図 102(c))を作成した。これらによると、大穴ユニット以降、極小規模マグマ噴火・マグマ水蒸気噴火の発生位置が浄土平周辺域に限定され、それらの発生頻度は約 40 年に 1 回であった。後続のマグマ噴火へと移行した事例も認められる。吾妻山浄土平周辺では、来たるマグマ噴火発生に備えるとともに、噴火に付随する降灰・投出岩塊・火砕流ならびにラハールの被害範囲や影響にも注視して検討を進めたい。

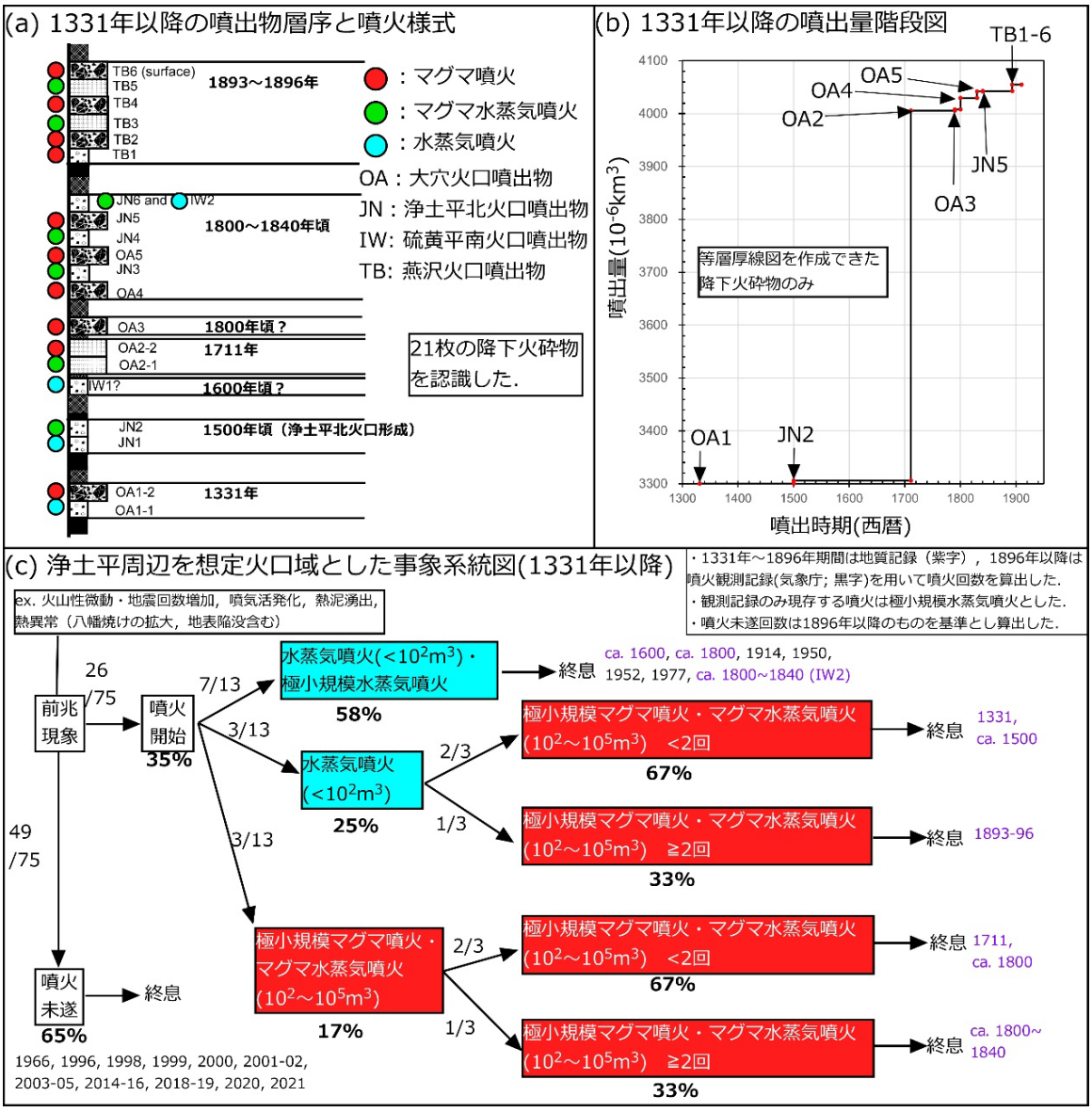


図 130　吾妻山における本事業成果まとめ（山形大学）。

11）那須岳：マグマ噴出量階段図と噴火事象系統樹による活動評価（茨城大学）

那須火山群は東北日本弧火山フロントに位置する第四紀火山群であり、南部の茶臼岳において最新の活動が認められる。本研究では、既存研究と新規データを統合し、長期（約 20 万年）から中期（約 2 万年）にわたるマグマ噴出量階段図を作成するとともに、噴火推移の体系的理解を目的として噴火事象系統樹の試作を行った。まず階段図については、本火山群南部を構成する南月山～朝日岳～茶臼岳に至る活動を対象に長期的変遷を整理するとともに、活火山である茶臼岳に焦点を当てた中期階段図を作成した。その結果、長期スケールでは火山活動の中心が南下しつつ、マグマ噴出率が時間とともに減衰する傾向が認められた（図 103 上）。特に、朝日岳から茶臼岳にかけての活動では、噴出量の減少とマグマ組成変化が対応しており、既に報告されている通り、マントルダイアピルに起因する活動衰退過程を反映している可能性が示唆される。一方、茶臼岳の中期階段図では、約 20 ka 以降の 6 つのマグマ噴火ユニット（CH1～CH6）において、時間の経過とともに一回の噴火の噴出量が減少する明瞭なトレンドが確認された（図 103 下）。さらに、水蒸気噴火の頻度は後期ほど増加しており、マグマ噴火の衰退と浅部熱水活動の相対的卓越という遷移が読み取れる。

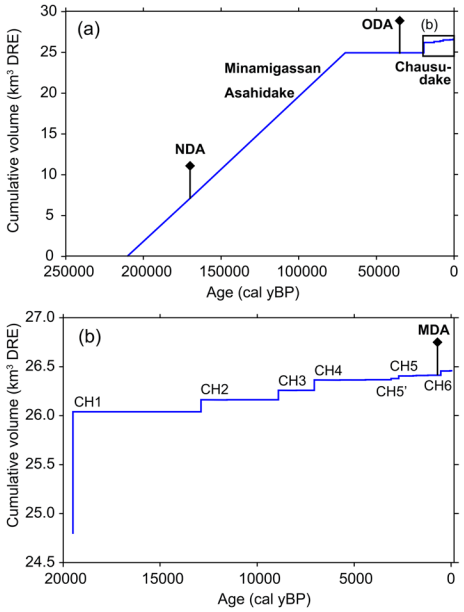


図 131　那須火山の階段図。(a) 南月山・朝日岳・茶臼岳の長期階段図。(b) 茶臼岳（20 ka から現在）の階段図。NDA, ODA, MDA は岩屑なだれイベント。

これらの階段図および層序データを基に、茶臼岳の山体形成史を再編し、噴火事象系統樹を試作した（図 104）。噴火の初期に認められる水蒸気噴火の推移は、「短期終息」と「マグマ噴火へ移行」の 2 パターンに分類され、変質鉱物組成組合せ（特にカルシウムに富むミョウバン石の有無）で、噴火推移予測の精度を上げられる可能性が指摘できた。また、6 つのマグマ噴火ユニットのうち、最新の CH6 最上部にラハール堆積物を見出したことから、マグマ噴火後のラハール発生シナリオを想定する必要性が指摘できた。以上を統合すると、茶臼岳を中心とした那須火山群南部の火山活動は、長期的にはダイアピル活動の減衰過程にあり、中期スケールでも噴出量の減少が継続していると解釈できるが、水蒸気噴火や噴火に伴うラハールの発生に留意を向ける必要があると言える。噴火事象系統樹では、さらなる地質・岩石・地物データを統合することで噴火予測精度の向上が期待される。

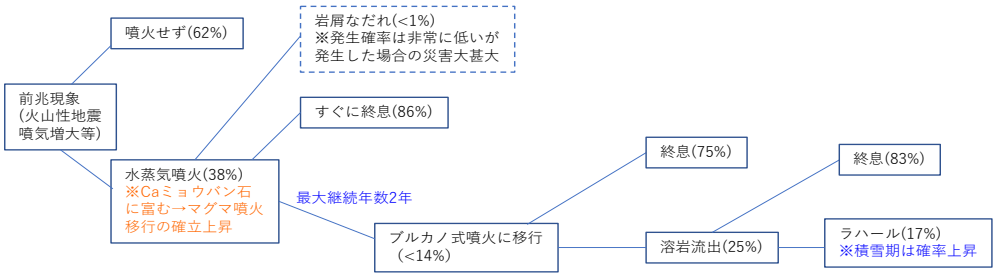


図 132　那須茶臼岳の噴火事象系統樹。

12）日光白根山：日光白根火山の活動史解明（産業技術総合研究所）

日光白根火山は、群馬・栃木県境に位置する標高 2,578 m の活火山である。明治時代の 1872-73 年と 1889-90 年の水蒸気噴火、1649 年の噴火記録が残る。過去 6,000 年間では、古記録のある噴火のほかに 5 回の噴火が認められており、6 世紀以前の 3 回はマグマ噴火の可能性も指摘されていたが、これらの給源火口や噴火推移、マグマ噴火に伴った火口近傍堆積物や溶岩流については対比されていなかった。本課題においては、地表露頭がほとんど存在しない山頂部および山麓部においてボーリングコア観察とトレンチ掘削調査を行い、火砕堆積物層直下の土壌の放射性炭素年代および火砕堆積物中の火山灰構成物の観察結果を合わせて降下火砕堆積物を対比し、その噴火年代と噴火様式を明らかにすることを目的として調査を実施した。先行して取り組んでいた調査結果と合わせて、古記録上最大規模の 1649 年噴火についてその噴火規模と推移を詳細に明らかにした[24]。約 3,000 年前の Nks-D および 4,700 年前の Nks-E については、その分布域を明らかにし火山地質図として公表した[25]（図 105）。推定された噴火年代および降下火砕堆積物と山体構成物との対比結果に基づいて噴出物量を把握し、噴出量階段図を作成した[25)、26)]（図 106）。日光白根火山は活動期を通じて、溶岩を噴出する活動が主の 2 万年～1,400 年前と，水蒸気噴火が卓越する 1,400 年前以降から現在までの期間に分けられる。平均マグマ噴出率は 0.1 km^3 DRE/千年で、噴出率の低下傾向は認められなかった。

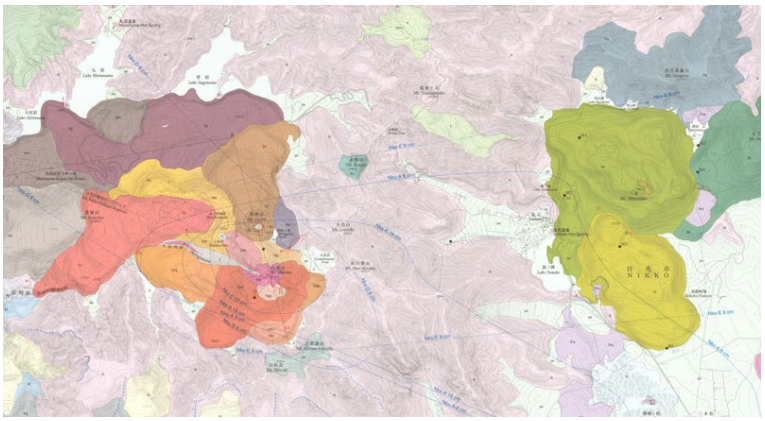


図 133　日光白根火山の地質図[25]。青線で Nks-A（1649 年）、Nks-D、Nks-E の等層厚線図を示す。

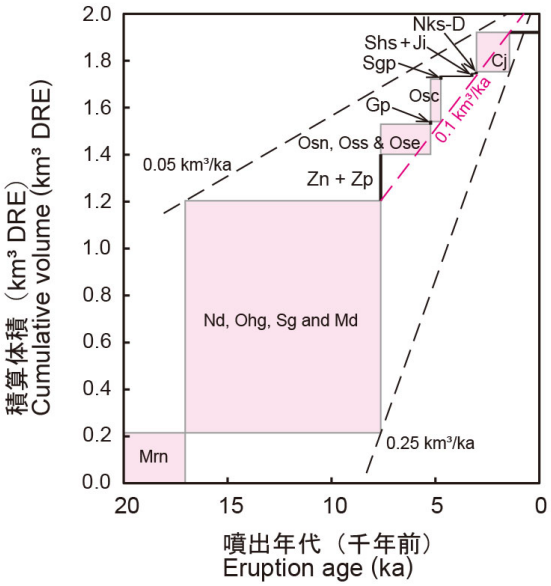


図 134　日光白根火山の噴出量階段図[25]。

13）浅間山：浅間火山群の噴火履歴に関する研究（日本大学）

文部科学省「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」により、2016 年から 10 年間にわたり、浅間火山群（黒斑、仙人、仏岩、前掛火山）を対象とした詳細な地質調査を実施した。一般に火山体近傍では新しい時代の噴出物が厚く堆積しており、地下に埋没した古い時代の堆積物の把握は容易ではない。また野外での産状や岩石学的性質が類似する降下火砕堆積物は、異なる地点間の対比が容易ではなく、分布や層序の把握が難しい。ここでは広範囲において多数の重機トレンチを行うとともに、多数の放射性炭素年代測定を組み合わせて堆積物の分布や層序を検討する新手法によりこうした問題点を克服し、高分解能での噴火史復元を試みた。具体的には、火口の周囲 300 度以上、火口距離 4.4～18km の広範囲で、ドラグショベルを用いた計 36 ヶ所の重機トレンチ掘削（幅約 3m、長さ約 9m、深度 4～5m）と 1 箇所のボーリング掘削（深度 50m）および地表踏査を実施した（図 107）。具体的な記載事項等は高橋ほか[27)、28)]、安井ほか[29)]にまとめられている。

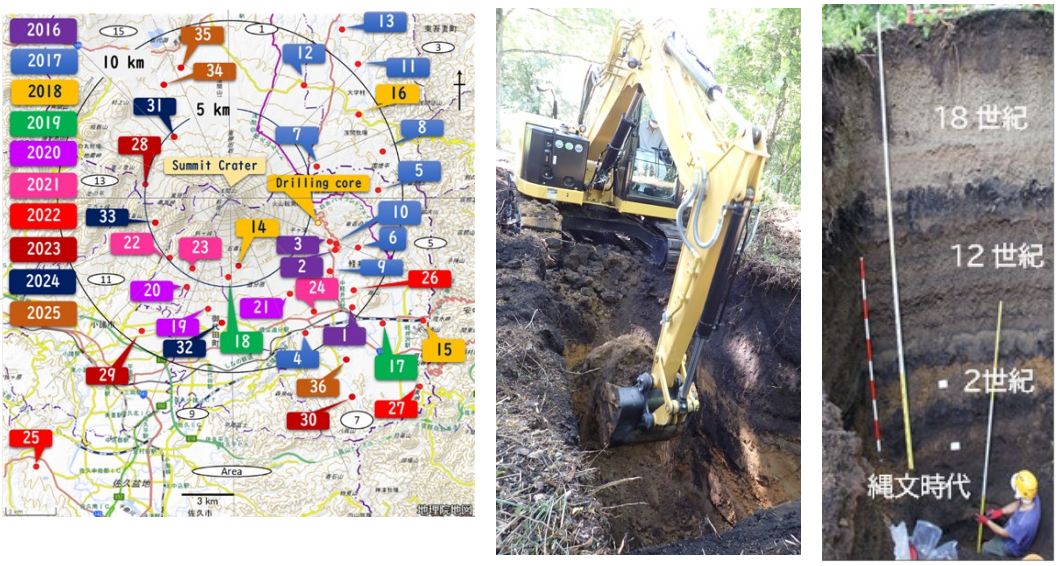


図 135　浅間火山群における掘削調査地点（左）と掘削の様子（トレンチ 36）（中央）および掘削面の記載（トレンチ 6）（右）。

a）浅間前掛火山の噴火履歴復元と階段図作成

浅間前掛火山の 1 万年噴火史の高分解能復元

各トレンチ掘削面の柱状図を方位別に並べ（図 108）、図 107 に示したエリア 1～16 について堆積物の空間分布を検討した。浅間前掛火山では天明噴火のような大規模噴火の間に、個々の噴火が明瞭な地質単位を残さない中小規模噴火（例：2004 年噴火）がみられる。こうした期間には中小規模噴火による火山灰と腐植質が混じった黒色土壌（火山灰土壌）が形成される。土壌中からは約 7,300 年前の広域テフラ（アカホヤ火山灰 K-Ah）が検出されるが（図中の矢印）、これより下位にある仏岩火山噴出物との境界が前掛火山の基底深度となる。この深度は、大規模噴火による降下軽石層が厚い東南東（エリア 5）が最大であり、ボーリングコアでは 10m 近くに及ぶことが判明した（図 108）。

降下火砕物と黒色土壌の合計層厚の空間分布を見ると、東方のエリア 4～5 が最も厚い（図 109）。約 6,000 年前の E グループのように分布主軸が南南東や北北西などの例外的事例もあるが、約 1 万年間の平均では、卓越する偏西風の影響により真東を中心に最も厚く降下火砕物が堆積したことがわかる。一方、大規模噴火の堆積物が少ない方角（エリア 1、2、9～16）では黒色土壌の厚さは 1～1.2m 程度である。以上を言い換えると、エリア 4～6 以外の方角の浅間山麓では過去 1 万年間、降下火砕物の影響をあまり受けなかったといえる[29]。

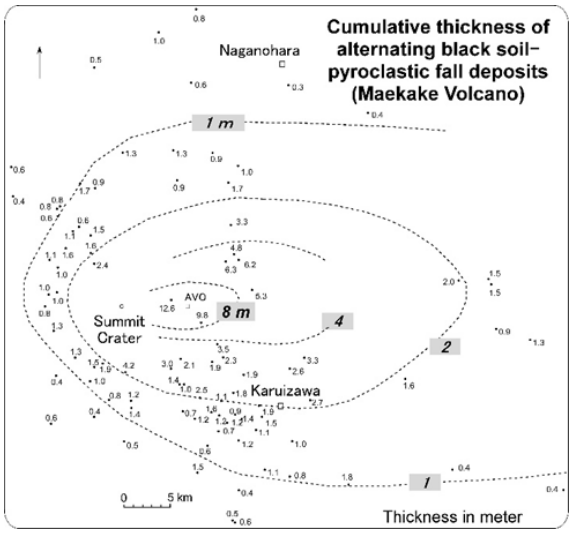


図 137　過去 1 万年間の降下火砕堆積物と黒色土壌の合計層厚の等層厚線図。

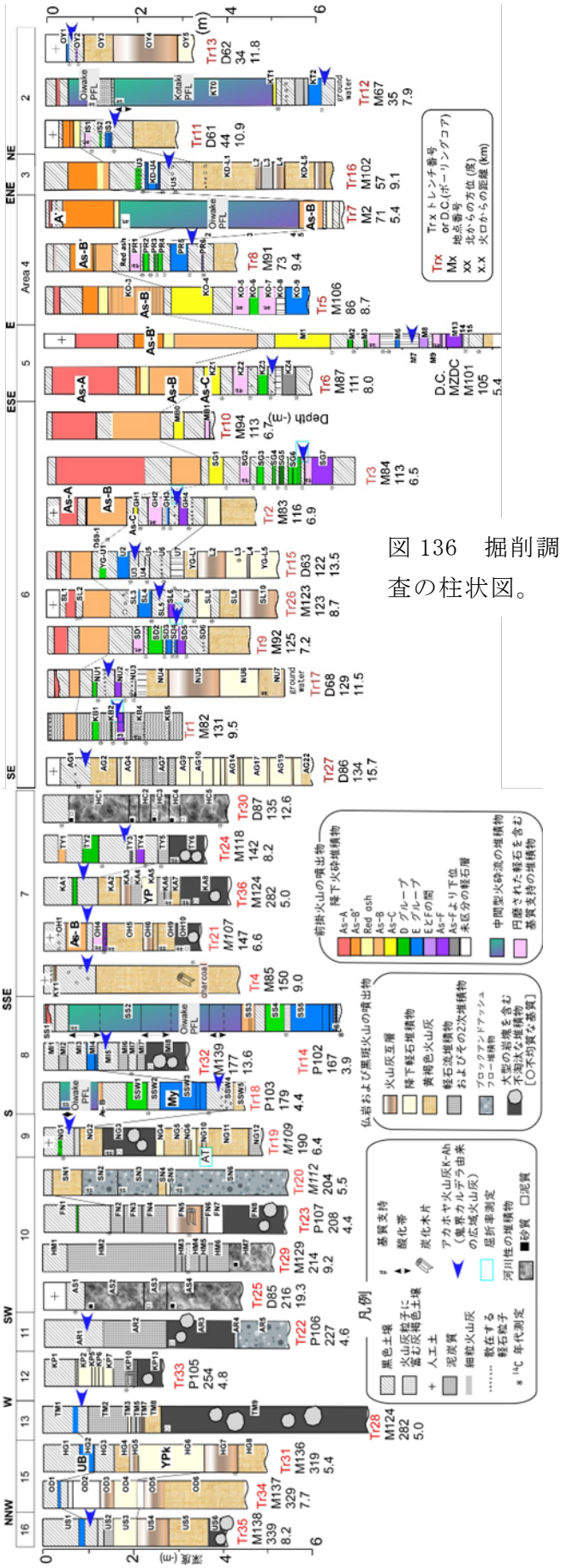


図 136　掘削調査の柱状図。

噴火規模の分類と 1 万年噴火史

前掛火山の大規模噴火による降下火砕堆積物の分布面積は多様であることから、広範に軽石層が分布するクラス 1（64cm の等層厚線の囲む面積が 25 km^2 以上）からクラス 4（土壌中に粒子が散在する程度）の 4 段階に分類した。図 110 は降下火砕堆

積物直下の土壌の放射性炭素年代（較正年代）とクラスの関係を示してまとめた過去1万年間の噴火史である[30]。

最初期のサブプリニー式噴火は約9,400年前と推定され、その後As-FやEグループをもたらした噴火以外は小規模な活動が続いた。約6,000～3,000年前はクラス3、4程度の噴火（Dグループ）が断続的に発生した。2,000年前以降、クラス1の噴火が低頻度（平均して約700年に一度）で発生する形態に移行した。天明噴火はこの最新の事例にあたる。図110の矢印の位置は、個々のトレンチ掘削面に現れた軽石層直下の黒色土壌の年代測定から推定された噴火年代（較正年代）であるが、放射性炭素年代はばらつきがあるため、重複する噴火事例が含まれることが予想される。

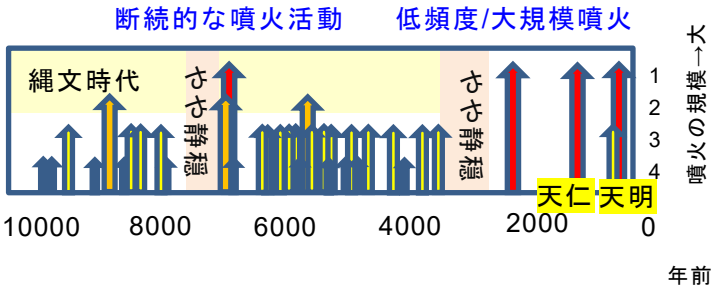


図138　前掛火山の1万年噴火史。横軸は放射性炭素年代（較正年代calBP）、縦軸は噴火の規模（クラス1～4）を示す。

精密な年代決定と噴火規模の検討

地質データの解析の上で放射性炭素年代の測定値が持つ統計的なばらつきを解消するため、「暦年代較正値ユニット（CRAU）」という概念を採用した。これは1σ（68%の確率）の暦年代範囲が重複する層準を一連の活動と見なし、その平均値を代表年代とする手法である。この定義に基づき、図110の矢印のうち天明（As1）や天仁（As4）を含む計33の主要な軽石層（As1～As33）を特定し、規模に応じてVEI3-5の大規模な「クラスA」と、VEI1-2の小～中規模な「クラスB」に体系化した[31]。

活動ステージと噴出量の変遷

軽石噴火の頻度に基づき前掛火山の活動史を精査すると、合計5つのステージに区分される。活動は約9,430年前の「活動期I」から始まり、その後、ブルカノ式噴火が卓越した「準活動期1」（7,261～6,446 calBP）、中期の「活動期II」（6,447～3,160 calBP）、そして活動が一時停滞した「準活動期2」（3,161～1,819 calBP）を経て、約1,820年前から現在まで続く「活動期III」へと移行している（図111）。特に活動期IIIでは、2～3世紀のAs5（0.68km³）や1108年のAs4（0.82km³）、1783年のAs1（0.51km³）といった大規模噴火が集中し、平均噴火率はそれ以前の活動期と比較して11～18倍という極めて高い水準に達する。この活発なマグマ供給により、現在の前掛火山の山体の約80%が、過去わずか1,900年ほどの間に形成されたとみられる[31]。

階段図からみた噴火ポテンシャル

将来の火山災害軽減に向け、累積噴出量と年代の関係を可視化した「階段図」を作成した（図 111）。この図では、大規模なクラス A 噴火が垂直な段として累積値に寄与する一方、小規模なクラス B 噴火は累積噴出量全体においては無視できる程度の変化として扱われる。活動期 III に限れば前掛火山の活動は「噴出量予測型（volume-predictable）」のパターンを示す。この図より、仮に 2025 年に大規模な軽石噴火が発生した場合の予測噴出量は約 0.21 km^3 と推定される[31]。

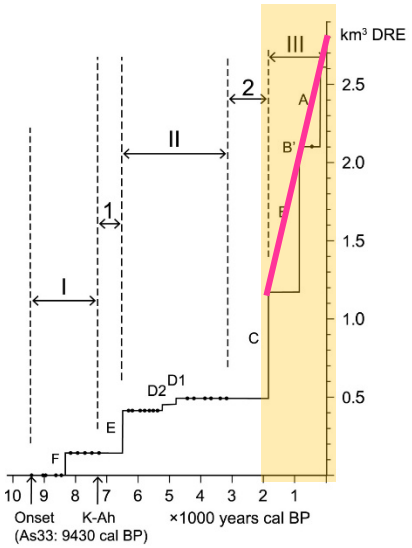


図 139　浅間前掛火山の階段図。

山体形成特性とマグマ供給率

大規模なサブプリニー式噴火であっても、噴出物の約 78%は火口から 6km 以内に蓄積して山体を構築するという特性が示唆された。活動期 III の平均噴出率（0.0011 km^3/年）は、地殻変動から推定される 1527 年から 2015 年までの平均マグマ供給率（約 0.93×10^6 m^3/年）と極めて近い[31]。

b）黒斑・仙人火山および仏岩火山のカタストロフィックな活動の実態解明

小諸火砕流堆積物の識別と広域分布

仏岩火山の小諸第 1・第 2 火砕流は、炭化木片の年代に加えスコリア量、全岩 MgO 量、ガラス形態で識別可能である。第 1 火砕流は北西麓を除く全域（東麓は複数流下単位）、第 2 火砕流は南東～西麓に分布し、方向別に複数の降下火砕物層を挟む。16～10ka 前の間に大量の珪長質マグマが複数回、複雑な推移で噴出した実態が明らかになった。

岩屑なだれ堆積物の分布範囲と規模

山麓の広域的地表踏査およびトレンチ 10 ヶ所（図 108）で仏岩噴出物下位に 28ka 頃の岩屑なだれ堆積物を確認した。東南東麓ボーリング（M101 地点）では下部 27m が本堆積物で、深度 38m の溶岩片は黒斑期（約 9 万年前）の年代を示す。従来限定的とされた山体崩壊が全方位の広範囲に及ぶ大規模なものであったことが判明した[29)、32)、33)]。

浅間火山群の活動像の刷新

仙人火山と前掛火山はマグマ組成や溶結火砕岩を形成する噴火様式が類似する。黒斑火山を巻き込んだ仙人火山の大規模山体崩壊が地下のマグマ供給系に影響し、仏岩火山の珪長質マグマの活動を誘発した可能性が高い。これらの新知見は浅間火山群の進化を理解する上での重要なマイルストーンとなる。

14）草津白根山：複数火口域をもつ活火山の噴火履歴解明とマグマ噴出量階段図・噴火事象系統樹の試作（富山大学）

a）複数火口域をもつ活火山の噴火履歴解明

草津白根火山は群馬県と長野県の県境に位置し、複数の火口域（白根火砕丘群・本白根火砕丘群など）からなる複合的な火山システムを有する、日本を代表する活火山の一つである[34)]。同火山の活動史は、第 1 期（約 0.65～0.50 Ma）、第 2 期（約 0.55～0.30 Ma）、第 3 期の三期に区分される[34)]。第 1 期には松尾沢成層火山が形成され、活動末期には山体崩壊が発生した。第 2 期には太子火砕流堆積物の形成をはじめ、米無溶岩、前口溶岩、青葉溶岩などの旧期溶岩類が流出し、大規模な火砕噴火および溶岩噴火が卓越した。その後、約 20～30 万年間に及ぶ長い休止期を経て開始した第 3 期では、山頂域に白根火砕丘群、逢ノ峰火砕丘群、本白根火砕丘群が形成され、複数の火口域が時間的に重複しながら発達してきた[34)、35)、36)]。本研究では、テフラ層序、^{14}C 年代測定、古地磁気解析、岩石学的特徴の検討を通じて、これら複数火口域の噴火履歴を高分解能で復元した。その結果、白根火砕丘群では平兵衛池溶岩を活動開始とし、香草溶岩、湯釜火砕丘、水釜溶岩ドーム、弓池マールなどの形成が確認された[34)、35)]。一方、本白根火砕丘群では本白根西火砕丘、石津溶岩、殺生溶岩、鏡池火砕丘、振子沢溶岩などの活動が復元され、活動地点が時間とともに北上する傾向も明らかとなった（図 112）[37)]。

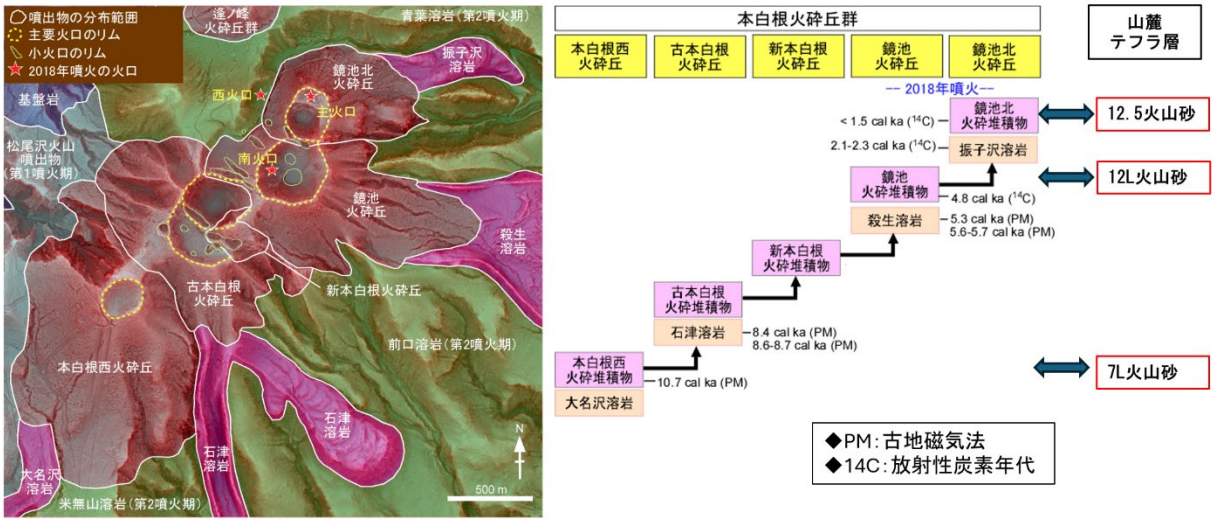


図 140　本白根火砕丘群の地質図と噴出物の層序・年代を表したブロックダイアグラム[34)35)]。

b）噴出量階段ダイアグラムの構築とその解釈

各噴出物の体積を再評価し、降下火砕物、火砕丘本体、溶岩流および溶岩ドームについて DRE 換算を行うことで、火山活動開始から現在までを対象とした長期階段図と、第 3 活動期に焦点を当てた中・短期階段図を作成した（図 113）[37)]。

長期階段図の解析から、各活動期における噴出量の特徴として、第 1・第 2 噴火期には草津白根火山の総噴出量の約 95%に相当する約 26.8 km^3 DRE の噴出物が形成さ

れており、大規模なマグマ噴火が卓越していたことが明らかとなった。これに対し、第 3 噴火期では総噴出量が著しく小さく、活動様式が大きく変化している。特に、約 5.5 cal ka に噴出した殺生溶岩（約 0.23 km^3 DRE）以降は、それ以前に見られたような大規模なマグマ噴火は発生しておらず、累積噴出量も約 0.04 km^3にとどまる。さらに、白根火砕丘群と本白根火砕丘群の活動は時間的に対応関係を持ち、複数火口域が連動した活動システムを形成している可能性が示唆された（図 113（C））。

長期階段図から求められる平均マグマ噴出率は、第 1・第 2 活動期で約 0.08 km^3/kyr であるのに対し、第 3 活動期では約 0.06 km^3/kyr と低下している。さらに、第 3 噴火期においても、殺生溶岩の噴出以降は階段図の傾きが明瞭に緩やかとなり、マグマ噴出率が一段と低下していることが読み取れる。これらの特徴は、第 3 噴火期後半における低マグマ供給・水蒸気噴火卓越型の活動様式が現在まで継続していることを示唆する。

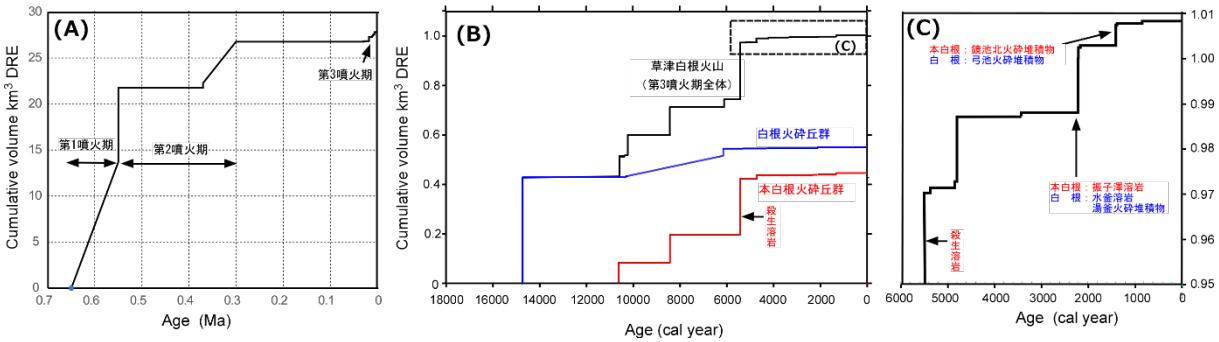


図 141　草津白根火山の噴出量階段図 [37]。（A）活動期全体、（B）第 3 噴火期、（C）殺生溶岩の活動（5.5 cal. ka）以降の階段図。

c）事象系統樹の構築とその解釈

火山ハザード評価の高度化を目的として、複数火口域の活動特性を反映した噴火事象系統樹を構築した（図 114)。対象期間は現在の活動様式を代表する殺生溶岩噴出後の約 4,500 年間とし、想定火口域として白根火砕丘群と本白根火砕丘群を設定し、逢ノ峰火砕丘群は近接する白根火砕丘群に組み入れた。複数火口域をもつ本火山では、各噴火事象を適切に火口域へ帰属させることが、系統樹の構造および確率評価に直接影響するため、噴出物の給源火口の特定を前提として解析を行った。

マグマ噴火に伴うテフラについては、火口近傍に分布する火砕丘本体物質および溶岩流の全岩化学組成・鉱物組成を分析し、火砕丘ごとに異なる組成範囲を指標としてテフラとの対比を行うことで、給源火口を特定した（図 112)。一方、水蒸気噴火起源のテフラについては、マグマ物質を欠くため従来の対比が困難であることから、X 線回折分析により得られる石英（(Qtz）とクリストバライト（Crs）のピーク強度比（Qtz/Crs）を指標として導入した。その結果、白根火砕丘群に由来するテフラは低い Qtz/Crs 比を示し、本白根火砕丘群に由来するテフラは高い Qtz/Crs 比を示すという系統的な差異が認められ、水蒸気噴火テフラについても給源火口の識別が可能となった。

以上のように、マグマ噴火・水蒸気噴火の双方について給源火口を区別した上で噴火事象を整理し、噴火タイプの分類を行った。分類は確率評価の安定性を確保するため規模に基づく大分類とし、①水蒸気噴火、②中規模爆発的噴火、③溶岩流出噴火の三類型に整理した。対象期間にはプリニー式噴火や山体崩壊を伴う大規模噴火は確認されていない。

前兆現象の整理と噴火未遂の評価では、過去約 50 年間にわたる火山ガス比(CO_2/H_2S)の変動 [38] を主要な前兆指標として採用した。CO_2/H_2S 比の上昇は深部マグマからのCO_2供給量の増加を反映し、噴火や火山活動の不安定化と良い対応関係を示す。この期間に顕著な上昇事例は 6 回認められ、そのうち 3 回が噴火に至り、残る 3 回は噴火未遂に終わったことから、前兆現象発生後に噴火へ移行する確率および未遂に終わる確率をそれぞれ 50%と評価した。

小規模噴火の発生頻度は、地表に保存される噴出物が限られるため過小評価される傾向がある。そこで、過去約 200 年間に記録された噴火回数と露頭で確認されるテフラ層数との比較に基づき補正を行い、噴火回数はテフラ層数の約 16 倍と見積もられることを明らかにした。この補正を適用した結果、対象期間における噴火回数は水蒸気噴火 256 回、マグマ噴火 5 回、合計 261 回と推定された。

これらの発生頻度に基づき、各事象分岐の確率を「当該事象回数／全事象回数」として定量化し、噴火事象系統樹を構築した。得られた系統樹からは、水蒸気噴火が卓越する現在の活動様式が明瞭に示されるとともに、白根火砕丘群と本白根火砕丘群で噴火タイプや発生頻度に差異が認められることが明らかとなった。これは、両火口域における熱水系構造やマグマ供給過程の違いを反映している可能性がある。

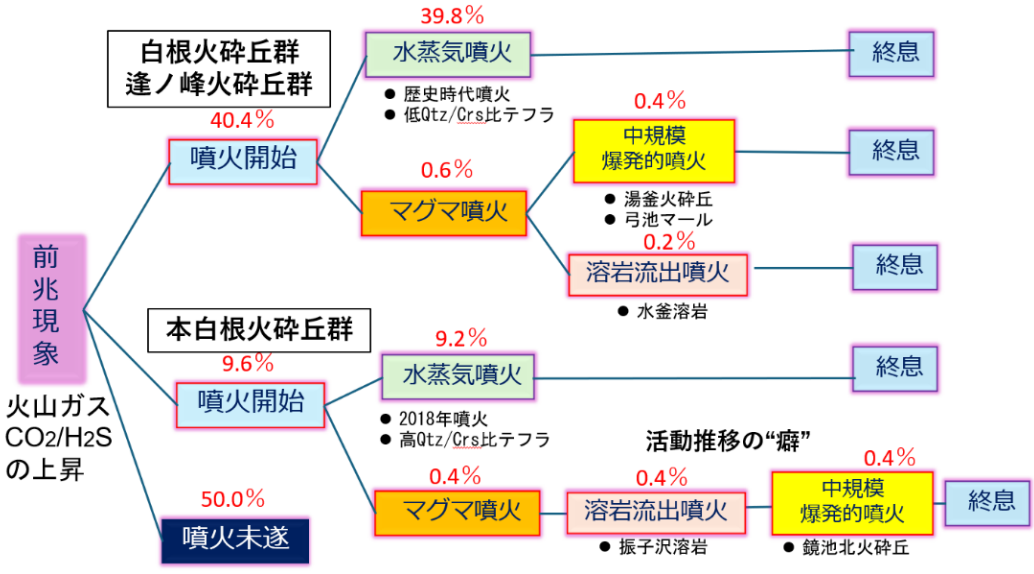


図 142　草津白根火山の最近 4,500 年間の活動に基づいた事象系統樹。

15）伊豆大島：伊豆大島沿岸域の火山活動履歴解明と大規模噴火の推移パターンおよびマグマ供給系の解明（産業技術総合研究所・東京大学地震研究所）

a）伊豆大島沿岸域の火山活動履歴解明（産業技術総合研究所）

伊豆大島火山では、陸上部に多くの側火口が分布し、割れ目噴火に伴う火口列の形成も知られているが、海底部にも多数の側火口列が分布する。生活や経済的基盤が存在し、噴火が起きた際の影響が懸念される沿岸域でも、側火山の活動による噴火活動がこれまで発生してきた可能性があるが、大型調査船が接近できない等の制約により、これまで調査が行われていなかった。次世代火山プロジェクトにおいて、伊豆大島沿岸域における火山活動履歴の理解へ向け、1)高分解能地形調査、2)反射法音波探査による構造探査、3)小型 ROV による海底観察と採泥器による試料採取を実施した。これにより沿岸域における火山、噴火活動の頻度や様式の把握、噴出物の分布と給源の特定を行い、沿岸海底部分の火山活動評価を行った。この成果を取り込み、伊豆大島火山地質図（第 2 版）[39]として出版した。

今回沿岸域の調査により多くの伊豆大島火山の側火口と見られる火山体が北西及び南東沿岸域を中心に確認された。沖合から陸上部まで、側火口の活動が起きてきたことが裏付けられた。さらに沿岸陸上部の調査結果および海底噴出物の分析等から側火口列の活動時期に関して地域性が明らかになった。南東側海底部では北西側に比べ、地形の保存のよい（すなわち最近形成された）側火山、割れ目火口列と考えられる地形が多く確認された（図 115)。伊豆大島南東部では、現在のカルデラ形成以降の新期大島の活動による側火口列（N1、N3、Y4 期等）が複数知られている。さらに沖合の側火山列で採取された噴出物に後カルデラ期の特徴を持つものが多く認められたことを併せて考えると、S2 期以降、海底部に至る長大な側火口列の形成は主に島の南東部で繰り返し起きている可能性が高い。実際 Y4 期の火山列延長部に位置する火口列と見られる地形も発見された。一方で北西側では後カルデラ期に形成された可能性が高い海底側火口は確認できなかった。

北西沿岸域では断層系の発達が顕著（図 116）なのに対して南東沿岸域では明確な断層は確認できていない。後カルデラ期では南東沿岸域でマグマの生産、貫入が盛んで、地殻の伸張をマグマの貫入が補償しているのに対し、北西側ではマグマの供給が乏しく、正断層系の発達と盆地形成が起きているのかもしれない。

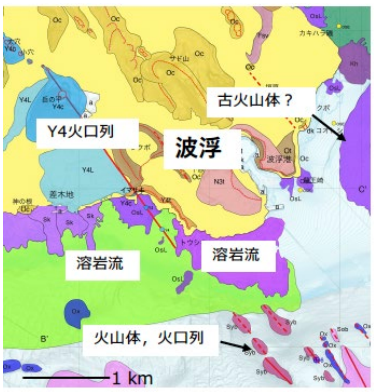


図 143　伊豆大島南東沿岸部の地質図[39]。マゼンダ色の線で火口列を示す。

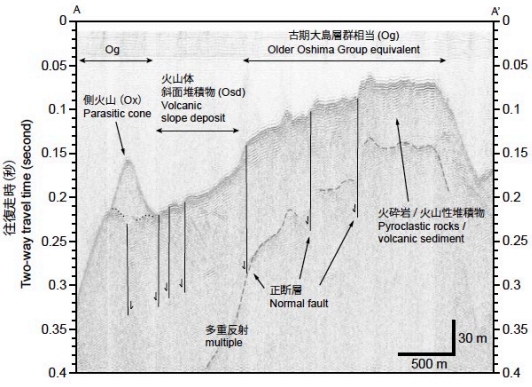


図 144　伊豆大島北西沿岸部の地殻構造断面[39]。

b）大規模噴火の推移パターンおよびマグマ供給系の解明（東京大学地震研究所）

伊豆大島において百数十年毎に繰り返す大規模噴火の堆積物の地質調査と火砕物の物性・岩石組織の解析を行い、大規模噴火に共通の噴火推移やマグマ溜りの特徴、噴火毎のマグマ上昇過程を明らかにする研究を進めた。18世紀安永噴火（Y1）の爆発的活動ステージの堆積物は大きく3つのユニット（Unit A, B, C）に区分でき、斜長石斑晶に乏しいマグマがしだいに斜長石斑晶に富むようになること、岩石組織が噴出量や噴出率に対応して変化することなど、噴火の様式と推移、噴出マグマの関係をはじめて明らかにした[40]（図117）。他の大規模噴火においても時間とともに斜長石斑晶量が増加するという推移パターンがあることもわかり、伊豆大島における大規模噴火の推移予測や噴火シナリオ改訂に繋がる成果を得た。また、20世紀の活動では、中規模噴火から小規模噴火へと数十年かけて推移していく過程で、大規模噴火と同様に斜長石斑晶量がしだいに増加していることも明らかとなった。この観察事実は、大規模噴火では短時間でマグマが上昇し爆発的になるのに対し、中規模噴火から小規模噴火への推移ではマグマが時間をかけて上昇し、脱ガスが進む可能性を示している。斜長石斑晶量、噴火規模、時間の関係性を見出したことは、伊豆大島における噴火の中長期予測に貢献する。さらに、本研究と既存研究をもとに噴火履歴を整理し、長期、中期、短期のマグマ噴出量階段図も作成した。

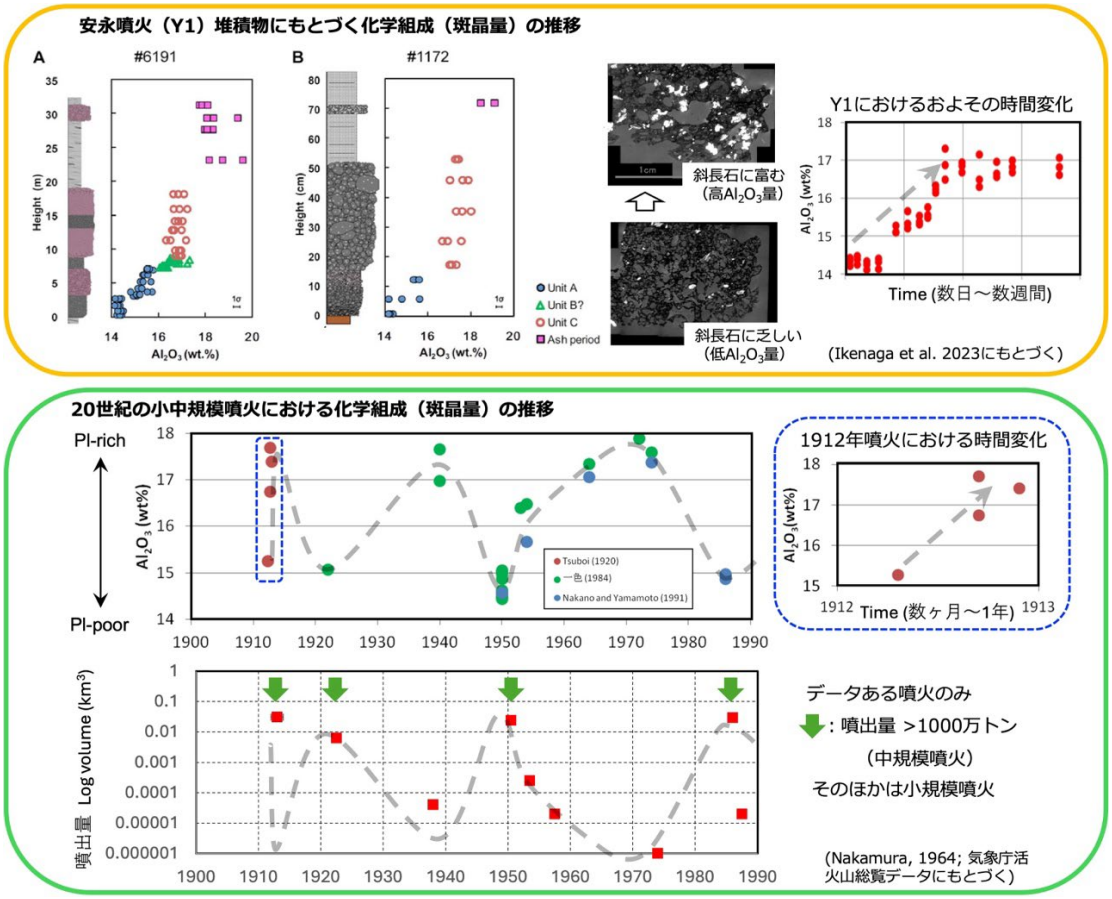


図 145　伊豆大島の安永大規模噴火と 20 世紀噴火（山頂噴火）における化学組成（斜長石斑晶量）の推移。20 世紀以降、斜長石斑晶量と噴火規模が相関しつつ活動が推移している。噴出量に重ねた灰色点線は、化学組成のトレンドを反転させて重ねたもの。

16）新島・式根島：マグマの起源、生成過程および中長期変遷（筑波大学）

伊豆弧北部、新島および式根島火山の流紋岩質噴出物を中心に、鉱物及び全岩の化学組成やSr同位体組成の分析結果などからマグマの性質や起源、生成過程について、噴出の時系列の変化を考慮して考察を実施してきた。

流紋岩質岩は噴出年代に沿って直閃石、カミングトン閃石を含む流紋岩から黒雲母を含む流紋岩へ変化し、また斑晶鉱物の各種化学組成の変化も確認されている(図 118)。新島、式根島に産する流紋岩、玄武岩、安山岩、苦鉄質包有物等の全岩の主要元素、微量元素の化学組成分析データなども考慮し、マグマの生成等に関して関連関係などについて議論を行った[41)、42)]（図 119・120 上)。流紋岩の組成は全体としては限られた組成分布を示すが、詳細には含有鉱物のタイプ、あるいは各単成火山で異なり、それぞれ異なった浅所マグマ溜まりを形成していたと推測される。

Sr同位体組成などの詳細検討の結果、流紋岩類と玄武岩（および苦鉄質包有物）では値が異なり、両マグマの起源物質の違いが明らかになった。流紋岩質マグマは形成時期の異なる地殻物質（下部、中部地殻）由来（部分溶融の産物）である可能性が示された（図 120 下)。この結果は、流紋岩質マグマ生成に関連した珪長質親マグマ（溜まり）および熱源の深部由来の玄武岩質マグマの存在と役割をより明確にしたと言える。

神津島を含めた比較研究から、流紋岩類主体の噴火活動は数万年前(6～8 万年前)から始まり、全体としてマグマは低温・低圧（浅所）で、噴出年代に沿ってより低温のマグマへの移行が認められる点は共通項である（図 118 参照)。この傾向、特に黒雲母流紋岩の出現時期は新島、神津島、式根島で、あるいは各島内部でも違いが認められ、地下のマグマ供給系における地域的な違いや深部マグマの不均一性を反映している可能性がある。

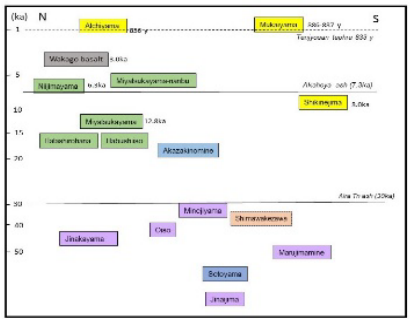


図 146　新島、式根島火山の噴出の時系列変化および分布 [43)44)45)]。

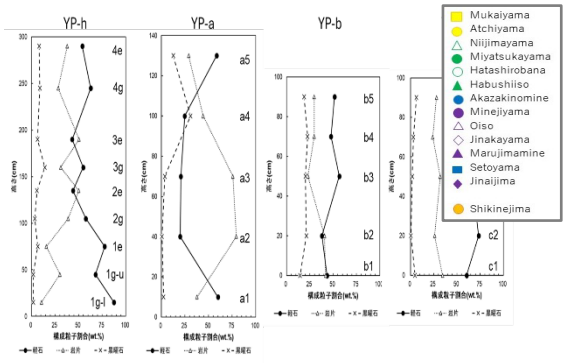
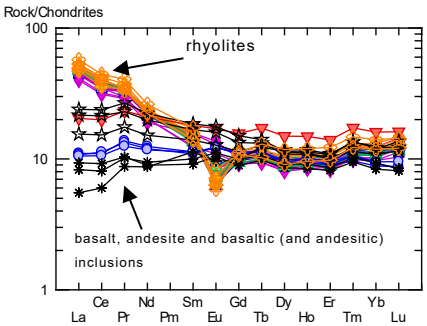


図 147　新島、式根島火山の流紋岩質噴出物の SiO_2-K_2O 図。大記号、Arakawa et al. [42)]、本研究；小記号、荒牧・伊藤 [46)]、紫、直方輝石タイプ；青、カミングトン閃石タイプ；緑、カミングトン閃石ー黒雲母タイプ；黄色、黒雲母タイプ



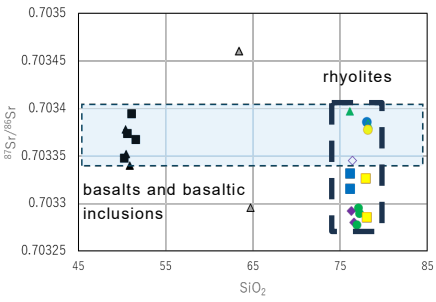


図 148　流紋岩類と玄武岩、包有物の希土類元祖素(REE)パターン(上)と Sr 同位体比（下）の比較。

17）御嶽山：新期御嶽火山の活動史の解明（産業技術総合研究所）

御嶽火山は、約 78～39 万年前に活動した古期火山と、約 10 万年前以降に活動した新期火山が積み重なって形成されている複合火山である。近年は 1979 年、1990 年、2007 年、2014 年に水蒸気噴火が発生し、最近も噴火を繰り返している活動的な火山である。そのため、最近頻発している水蒸気噴火が、火山の発達史上どのように位置づけられるかを知ることは、防災対策を行う上でも重要である。本研究ではそのような観点から、新期御嶽火山の詳しいマグマ噴出率の変化を知るために、多数の Ar/Ar および K-Ar 年代測定を行い、先行研究によって得られた年代値とともにまとめ（図 121）、先行して行っていた火山層序研究と結びつけ、マグマ噴出率の変化を明らかにした（図 122）。その結果、約 10 万年前に活動を開始した新期御嶽火山は、現在までの平均マグマ噴出率は約 0.3 km^3/ky. であるが、約 8 万前では 0.9 km^3/ky. と高いが、その後約 8～3 万年前までは 0.26 km^3/ky.、約 3 万年前から現在までは 0.03 km^3/ky. と著しく低くなることが明らかとなった（図 122）。約 8 万年前までの噴出率が大変高い時期には、VEI=5 以上の爆発的な噴火が頻発したが、その後およそ 7 万年前より新しい時期には、そのような噴火は発生していない。一方、最近 1 万年間は、マグマ噴火を数千年に 1 回、地層として認識できうる規模（おそらく VEI＝2 以上）の水蒸気噴火を数十年から数百年に 1 回程度の頻度で発生している[47]。この発生頻度は、日本の平均的な活火山と同程度である。そのため、現在はマグマ噴出率が低い時期にあたるが、噴火の備えは充分に行っておく必要はある。

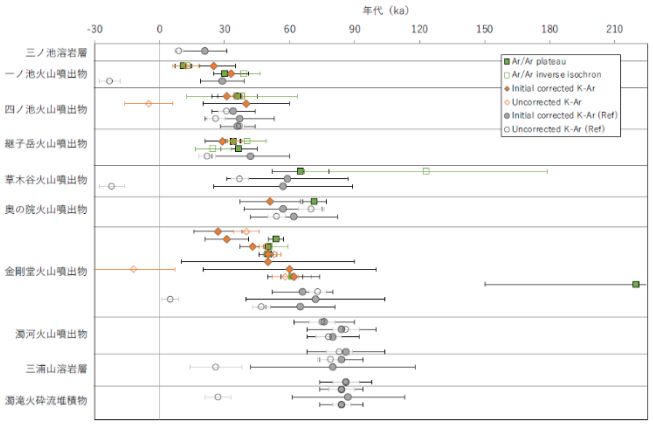


図 149　新期御嶽火山溶岩の$^{40}Ar/^{39}Ar$，K-Ar 年代測定結果[48]。（Ref）の K-Ar 年代データは Matsumoto and Kobayashi[49]。

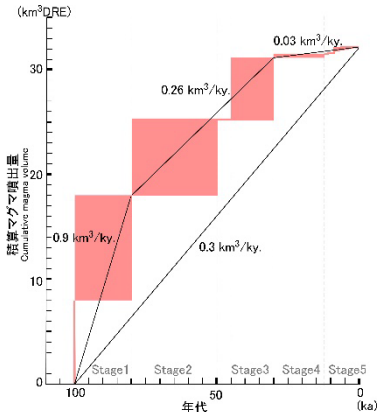


図 150　新期御嶽火山の噴出量（溶岩換算）・時間積算ダイヤグラム[47]。

18）白山火山群：新白山火山のマグマ噴出量階段図と噴火事象系統樹の試作（富山大学）

白山火山は石川・岐阜県境に位置する成層火山であり、加賀室火山体・古白山火山体・新白山火山体の三つの火山体から構成される[50]。本研究では、最新期の活動で形成された新白山に着目し、その噴火履歴の精緻化を目的として地質調査、テフラ層序解析、K-Ar 年代測定および ^{14}C 年代測定を実施し、噴火様式の時間変化や噴火頻度の特徴を明らかにした。その結果、新白山火山体の総マグマ噴出量は約 1.67 km^3（DRE）と見積もられ、活動は Early、Middle（M-1・M-2）、Last の各ステージに区分されることが明らかとなった（図 123（A））。特に約 5 ka に発生した山体崩壊[51]は活動様式の転換点となり、その後のマグマ噴出率は 0.12 km^3/ky へと顕著に増加した。

最近約 1 万年間の活動については、テフラ層序[52]の再検討、テフラ粒子の物質科学的解析に基づき、少なくとも 21 回の噴火（マグマ噴火 11 回、水蒸気噴火 10 回）が確認され、活動は①マグマ噴火卓越期、②水蒸気噴火卓越期、③水蒸気噴火を伴うマグマ噴火卓越期の三期に区分された（図 123（B））。テフラ噴出量に基づく階段ダイアグラムは、山体崩壊の後、約 2,200 年前の Hm-10 テフラを境にマグマ噴出量が増加し、その後は約 200～300 年周期で VEI2～3 規模の噴火が繰り返されたことを示す。

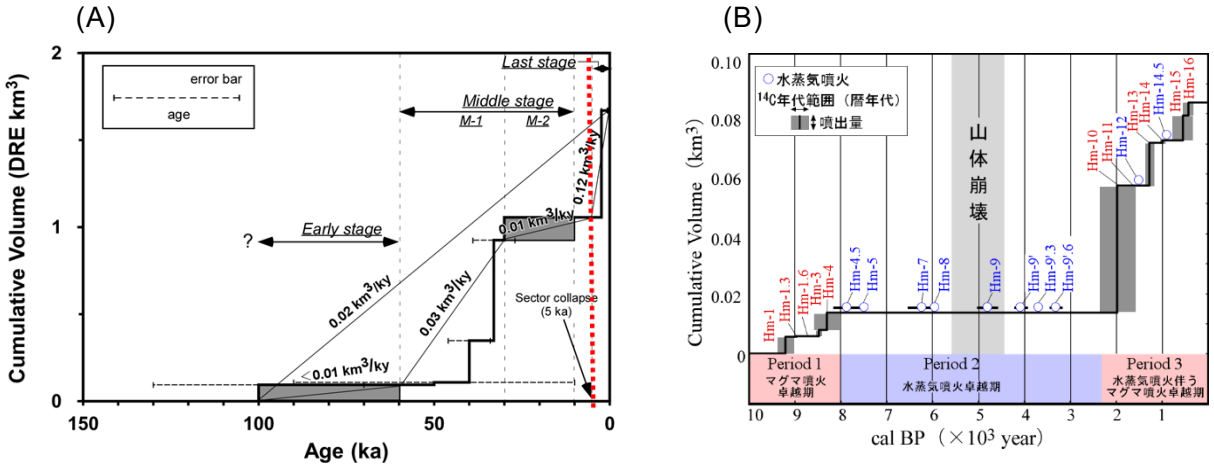


図 151　（A）新白山火山の噴出量階段図であり、主に山体を構成する噴出物をもとに作成した。図中の赤破線が山体崩壊の時期を示す。（B）新白山火山の完新世の噴出量階段図であり、テフラをもとに作成した。テフラの名称は既報告文献[52]に従い、名称が赤字のテフラはマグマ噴火によるもの、青字のものは水蒸気噴火によるテフラを示す。

19）九重山：マグマ噴出量階段図と噴火事象系統樹の試作（山口大学）

九重火山は 20 以上の火山体からなる(図 124)。本火山は約 20 万年間の噴火史を有し、溶岩噴出、大規模火砕流噴火および爆発的噴火を繰り返して成長してきた。地形的特徴および岩石学的特徴から、本火山は中西部と東部に区分され、各地域でマグマ組成が異なることが示唆される。したがって、今後の噴火予測においては、マグマ毎に噴出量階段図および噴火事象系統樹を構築する必要がある。今回は、既存の研究データに地質調査および岩石学的特徴を統合し、噴出量階段図及び噴火事象系統樹をマグマごとに構築した。

a）噴出量階段図

これまでの研究データ（川辺ほか[53]、長岡・奥野[54]など）に、今回新たに解明した噴出物層序と年代測定結果を統合し、九重火山のマグマ噴出量階段図を作成した。西部から中部のマグマ噴出率は、20 万年～7 千年前までほぼ一定であることに対し（図 125(a)）、東部では約 7 千年前以降顕著に増加している傾向が認められた(図 125(b))。このことから、今後のマグマ噴火は東部で活発化する可能性がある。一方で、中部では最近 4 千年間で水蒸気噴火が繰り返し発生したことが、既存研究により考えられている。したがって、今後の噴火活動の規模や様式は中部と東部で異なる可能性がある。

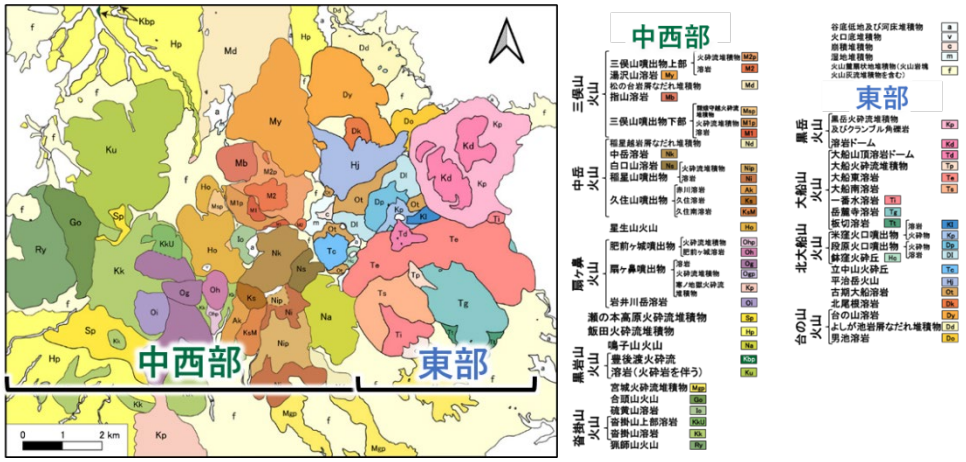


図 152　九重火山の地質図（太田ほか[55]に加筆）。

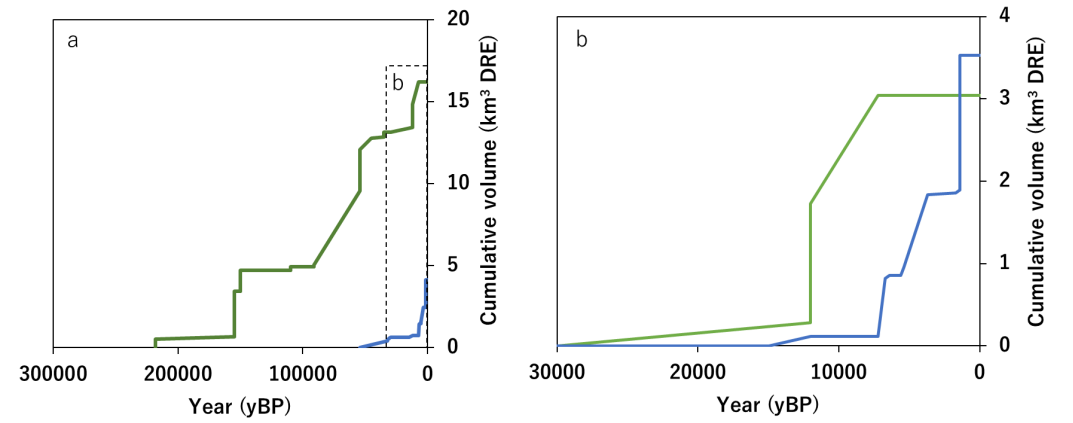


図 153　(a) 過去 20 万年の噴出物量階段図。(b) 過去 3 万年間の噴出物量階段図。緑：西部から中部、青：東部。

b) 噴火事象系統樹

中西部と東部の爆発的噴火の層序を詳細に記載した。これらの成果と既存研究データを基に、爆発的噴火事象系統樹の構築を行った(図 126・127)。

それぞれの噴火は多様な経緯を経て大規模噴火へ発展することが考えられる。中西部は火砕サージを形成する噴火、大規模火砕流噴火およびプリニー式噴火が発生する場合がある。東部は火山灰を放出する噴火およびサブプリニー式噴火が発生する傾向にある。

なお、宮処野スコリア噴火の噴出物において、下部層のスコリアはかんらん石を含む特徴があるため、東部の苦鉄質マグマとの関連性が示唆される。一方で、上部層の軽石はかんらん石を含まないことと、下部層および上部層に含まれるガラスの組成が珪長質であることから、今後は中西部のマグマとの関係性についても検討する必要がある。

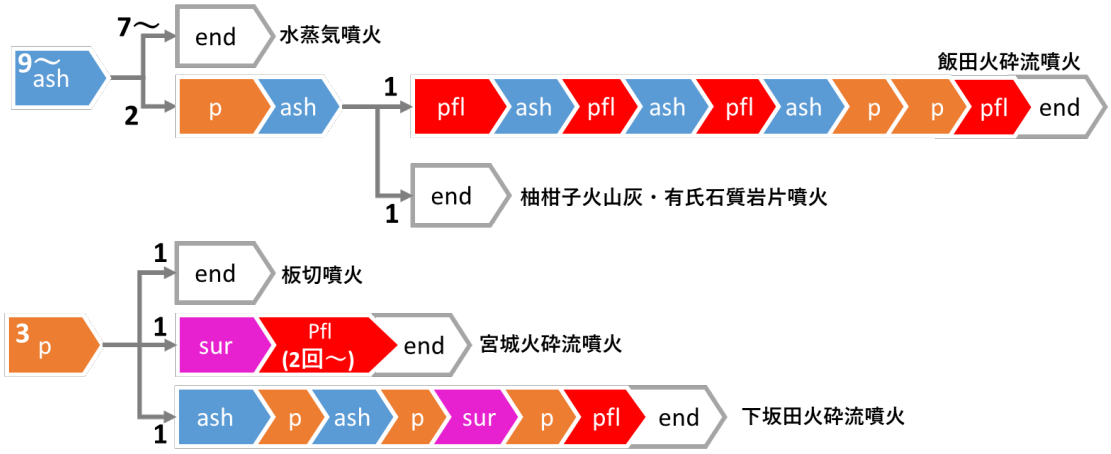


図 154　中西部の爆発的噴火事象系統樹。ash：火山灰を放出する噴火（水蒸気，マグマ水蒸気およびブルカノ式噴火を含む)、p：サブプリニーおよびプリニー式噴火、sur：火砕流噴火（火砕サージ)、pfl：大規模火砕流噴火。

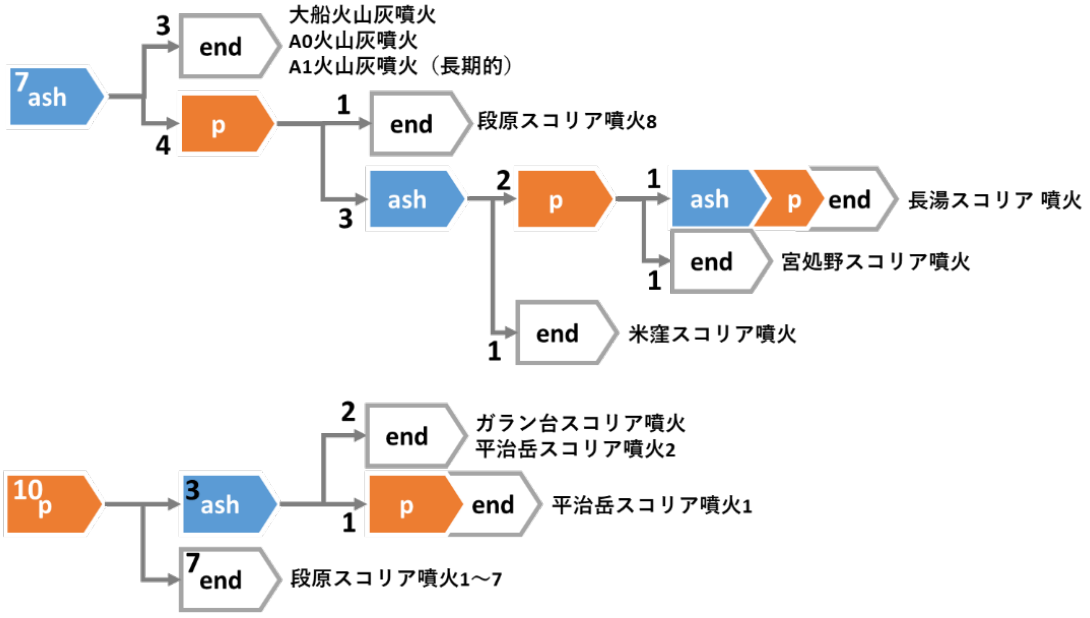


図 155　東部の爆発的噴火事象系統樹。

20）伽藍岳（由布鶴見岳）：伽藍岳火山の噴火活動史の再検討（信州大学）

大分県別府市と由布市の境に位置する伽藍岳火山は、気象庁の常時観測火山に選定されている活発な活火山である。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、約 6 万年前から活動してきた。伽藍岳火山は 11 ka より若干古い年代に噴出したと考えられている伽藍岳溶岩流の流出以降、最近約 2,200 年間では 10 回以上の水蒸気噴火を起こしたと考えられている。近年では、1995 年の泥火山の噴出や、2022 年 7 月の地震活動の活発化に伴って噴火警戒レベルが引き上げられるなど、活動の活発化が懸念されている。本研究で、地質調査と岩石学的分析を行った結果、約 6,500 年前の活動に由来するテフラ層を確認した。伽藍岳溶岩が鉱物岩石学的特徴の異なる 2 つのユニット（Ga-N、Ga-S）に区分され、Ga-S は約 12,000 年前に、Ga-N は約 7,300 年～11,000 年前の間に噴出した可能性があることが分かった。伽藍岳と鶴見岳を合わせた過去約 6 万年間の平均的な積算マグマ噴出率は 10^{-2}～10^{-3}km^3/ky と日本の活火山の平均的な噴出率より低いものの、過去約 1 万年間では 10^{-1} km^3/ky と高い値を示すことが明らかとなった（図 128）。

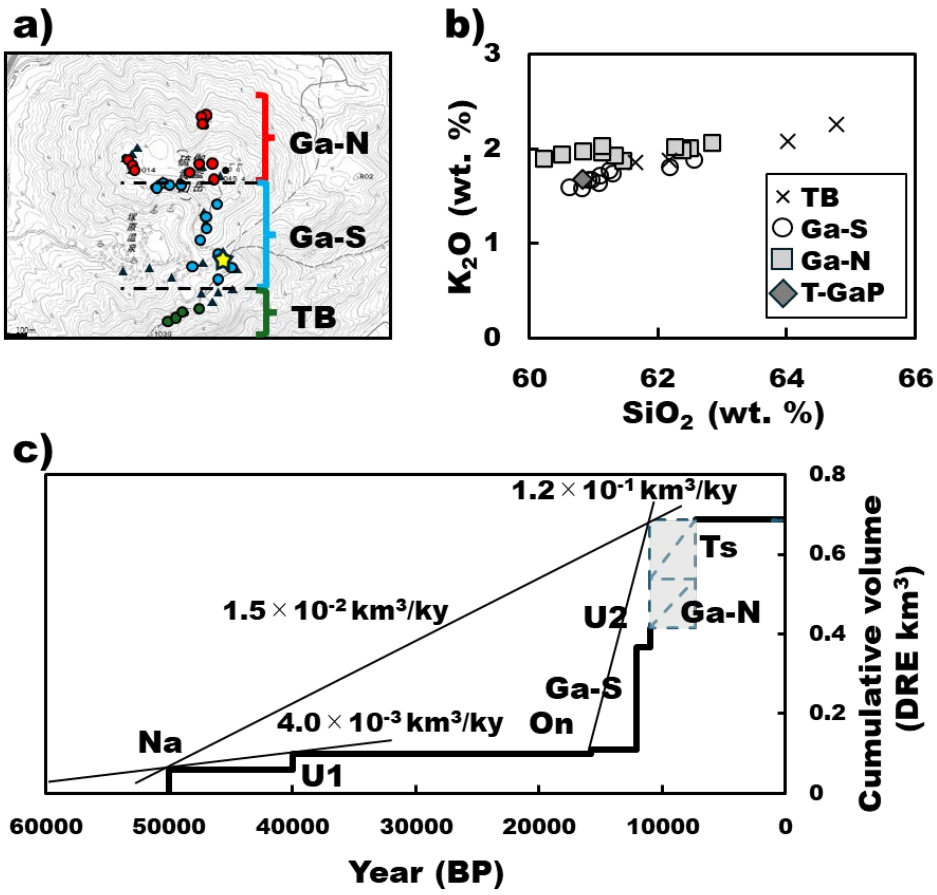


図 156　a)伽藍岳溶岩（Ga-N、Ga-s）と鶴見基底溶岩（TB）の分布図。b)全岩化学組成分析結果。c)伽藍岳・鶴見岳火山の過去 6 万年間の積算マグマ噴出量階段図。

22）阿蘇山：阿蘇山の噴火履歴の解明（熊本大学）

阿蘇山の噴火履歴を明らかにするため、本プロジェクトではカルデラ北西部の蛇ノ尾火山の噴火史[56)]や中岳火口周辺域の完新世噴出物の年代[57)]に関する調査研究などを実施したが、本報では中岳火口周辺域のトレンチ調査によって明らかになった阿蘇山の歴史時代の噴火様式とその推移について述べる。

阿蘇カルデラのほぼ中央部に位置する中岳には、西暦553年以来の噴火記録が存在する[58)]が、各活動期間の噴火様式や推移などの詳細は、近年の活動を除いてほとんどわかっていない。そこで、最近数100年間の噴火堆積物が比較的良好な状態で保存されている中岳第1火口西方約1 km地点においてトレンチ調査を行い、噴出物層序の観察と試料採集を行った[59)]ので、^{14}C年代測定や火山灰構成物観察、化学分析の結果を報告する。

本プロジェクトによって2019年1月に掘削されたトレンチ断面には、N1期[60)、61)]の噴出物が主に観察され、その総層厚は約6 mで339層の薄い火山灰層が認められた（図129）。その断面は色調などの違いにより、上位よりZone A～Dという4つの部分に区分された。Zone A（0～158 cm深）は黒褐色から黒色などの暗色火山灰層を主体とするが、Zone B（163～333 cm深）は黄色や白色などの明色火山灰層が多数存在していた。またZone C（343～416 cm深）は全体的に褐色を呈しており、Zone D（416～595 cm深）は黒褐色から黒色の比較的固結した火山灰層からなっていた。Zone AとB間およびZone BとC間には薄い土壌層が認められ、その年代はそれぞれ18世紀頃と15世紀頃であった。N1期火山灰層の直下には層厚約10 cmの腐植に富む黒ボク土層が存在しており、その最上部の年代は12～13世紀であった。

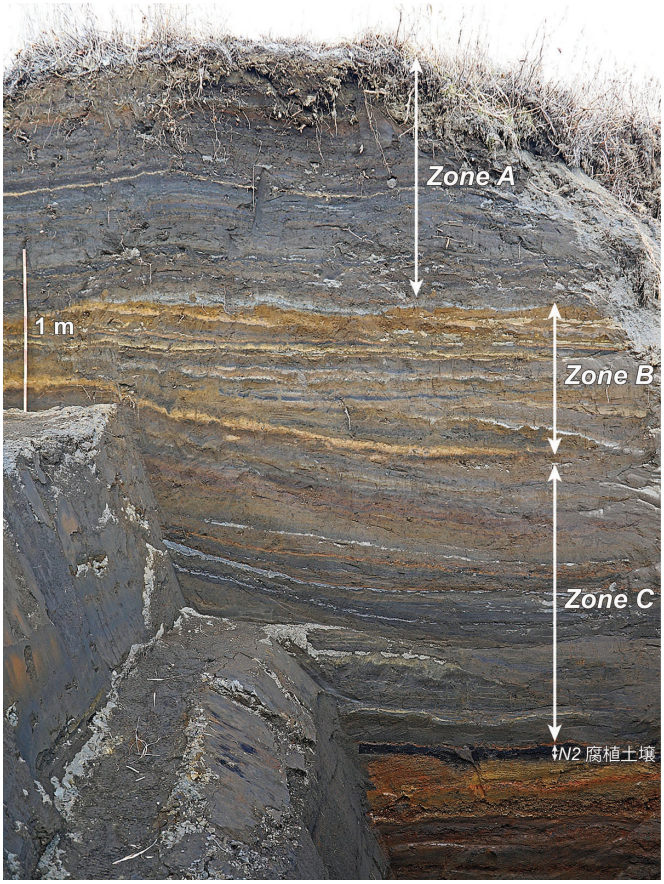


図157　中岳第1火口西方約1 km地点のトレンチ断面。

N1期火山灰層のうち125層の火山灰粒子（2～3 φ）をデジタルマイクロスコープで観察した結果、黒褐色から黒色の火山灰層はガラス片に富む（30～50%）のに対し、明色の火山灰層は岩片が大半を占めること（40～80%）がわかった（図130）。そのことを反映して、黒褐色～黒色火山灰層が卓越する断面上部と下部はガラス片の割合が高く、一方、明色火山灰層が多く含まれる断面中央部は岩片に富んでいた。



図 158　代表的な火山灰層の顕微鏡写真（2～3 φ の粒子）。左写真は暗色火山灰、右写真は明色火山灰の例。

X 線回折分析の結果、黒褐色～黒色火山灰層では斜長石と普通輝石が、明色火山灰層ではソーダ明礬石、明礬石、鉄明礬石などの粘土鉱物が検出された。さらに 57 層の火山灰層を対象に、EPMA による化学分析を行った。ガラス片の SiO_2 含有量の平均値は 56～58 wt.%程度で、顕著な鉛直変化は認められなかった。また、直方輝石と単斜輝石の両斑晶を含む 26 層の火山灰層については輝石温度計によって 1,030～1,120° C というマグマ温度が見積もられ、暗色火山灰層でやや高い傾向にあった。

火山灰層の産状、構成物観察・化学分析結果から、暗色火山灰層は灰噴火やストロンボリ式噴火といったマグマ噴火による産物であり、明色火山灰層は水蒸気噴火あるいはマグマ水蒸気噴火に伴う噴出物と判断した。N1 期直下の土壌層の ^{14}C 年代と歴史記録から、今回観察した N1 期の火山灰層は西暦 1239 年から現在までの最近約 800 年間の中岳噴火による堆積物であると考えられる。西暦 1239 年から 1300 年代中期（Zone D）は暗色火山灰層が卓越することから、その時期には灰噴火やストロンボリ式噴火といったマグマ噴火が主体であったと推定される。その後、1300 年代中期～1400 年代中期（Zone C）にはマグマ噴火から水蒸気噴火主体の活動へ漸移し、1400 年代後期～1700 年代初期（Zone B）の噴出物には明色の火山灰層が多数存在することから、水蒸気噴火などの爆発的噴火が多発したものと考えられる。また、1700 年代中期～現在までの Zone A の時期は再びマグマ噴火が主体であったと判断されるが、この時期にも 15 年に 1 回程度の頻度で水蒸気噴火が起こっていたことが明らかとなった。

最近約 800 年間の N1 期における中岳からのテフラ総噴出量は 0.3 km^3 程度（0.1 km^3/ky DRE）と見積もることができる。この値は阿蘇火山における最近 6.7 万年間のテフラ噴出率[62]とほぼ同じである。中岳では歴史時代に溶岩流出は起こっていないが、テフラ噴出量からみて、最近約 800 年間の活動は阿蘇火山の後カルデラ期の平均的活動に近いことがわかった。

また、本課題では阿蘇山におけるテフラ噴出量の長期階段図と短期階段図を作成した。そのうち短期階段図は歴史時代における噴火記録[63]と近年の噴出物調査結果を対象にしている。1979 年以前の歴史時代の噴火活動については噴出物量が算出されている事例はほとんどないため、スミソニアンのデータベース[64]に示されている各噴火イベントの

VEI をもとに、VEI=3 を噴出物量 0.01 km^3、VEI=2 を 0.001 km^3、VEI=1 を 0.0001 km^3 と仮定して短期階段図を作成した（図 131）[65]。この短期階段図から算出した最近 800 年間のテフラ総噴出量は 0.14 km^3 DRE であり、N1 期火山灰の総層厚分布から計算されたテフラ総噴出量（0.17 km^3 DRE）とほぼ一致していた。その階段図からは噴出量の時間変化も読みとることができ、特に Zone A に相当する最近約 250 年間のテフラ噴出率（0.35 km^3 DRE/ky）はそれ以前の時期に比べて 2 倍以上となっていて、火山活動が比較的活発であることがわかった。

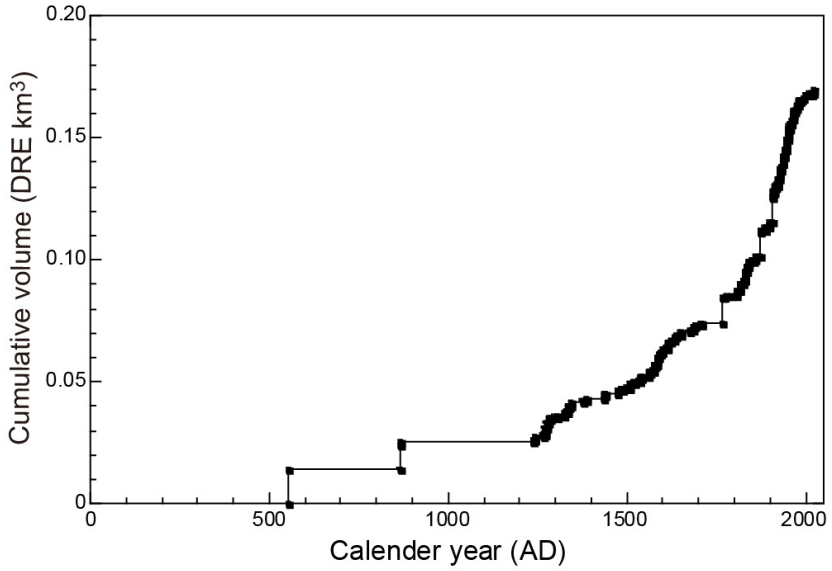


図 159　阿蘇山におけるテフラ噴出量短期階段図（西暦 553 年以降の歴史時代）[65]。

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

東京大学地震研究所では、霧島火山群の新燃岳、硫黄山、韓国岳などを対象として地質調査および化学・物性分析を行い、最新噴火の推移、中長期の噴火履歴・推移、マグマ供給系を明らかにする研究を進めた。新燃岳については 2017-2018 年噴火の表面現象・噴火様式推移を、噴出物の化学分析、物性および組織分析にもとづき考察した。その結果、噴火様式の変遷は山頂火口直下の地質構造とマグマ上昇速度の影響を強く受けたこと、爆発と溶岩ドーム形成を同時に発生するハイブリッド噴火により高結晶度の軽石が生じたことなどがわかった[66]。また、各噴火中心のマグマの特徴を明らかにするために、全岩主要、微量元素、Sr-Nd-Pb 同位体比組成分析を行った。その結果、新燃岳、御鉢、硫黄山の歴史時代の噴出物は、同位体 3 元素それぞれについてほぼ同様の組成比を有することから共通の起源物質に由来する可能性があること、御池は前三者と異なり地殻物質の混染の影響を強く受けた起源物質に由来することなどを明らかにした。深部苦鉄質マグマが共通であることは、地球物理学的手法によりこれらの山体直下（深さ 9-15 km）に広域のマグマ蓄積領域がイメージされていることと矛盾しない。韓国岳については 16 ka 大規模噴火（小林軽石噴火）を対象として研究を進め、安山岩質マグマがマッシュ状マグマ溜まりから噴出したこと、異なる分化度と混合度を持つメルトポケットが同一のマグマ溜まりに共存していた可能性があることなどの新知見を得た。さらに、過去約 2 万年間の噴火履歴にもとづき、噴火推移パターンを 7 タイプに分類し、近年や歴史時代の噴火記録やマグマ供給系モデルを踏まえて霧島火山群全体に対する噴火シナリオを構築した（図 132）。

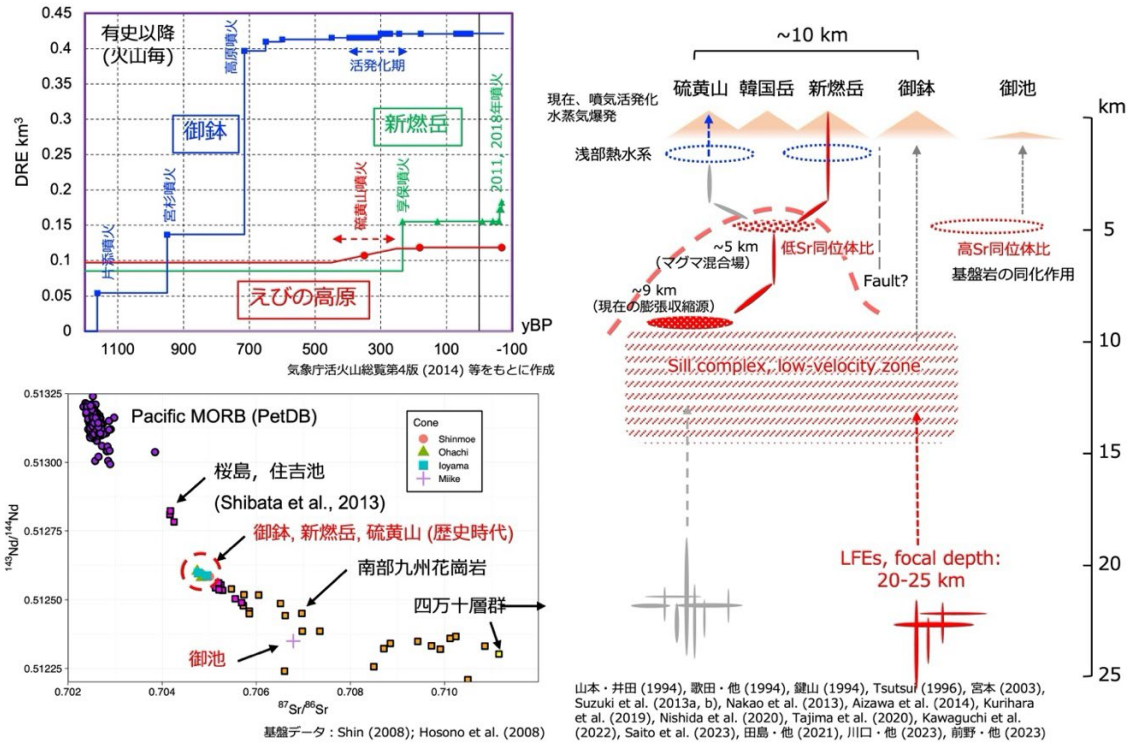


図 160　霧島火山群の歴史時代の噴火履歴（階段ダイアグラム）およびマグマの化学的特徴（左）と、先行研究も踏まえて整理したマグマ供給系（右）。赤破線は想定されるマッシュ状マグマ領域の上端。

そして北海道大学では、霧島火山群のマグマ供給系の現状を推定するために、過去 2 万年間の噴出物について、全岩化学組成・鉱物化学組成データを基にマグマ供給系の構造とその時間変遷を検討した。その結果、マグマ供給系の基本構造は最近 2 万年間を通して共通しており、玄武岩質マグマと浅部マグマ供給系（クリスタルマッシュ）から構成されることが明らかになった。浅部マグマ供給系は、複数のメルトポケットやシルクラスターからなり、苦鉄質から珪長質までの組成幅が存在する。これらの組成多様性は、深部から供給された玄武岩質マグマにより地殻物質が溶融してクリスタルマッシュが形成されることに加え、玄武岩質マグマ自体も同化結晶分別作用による組成改変を受けながら供給されることにより生じたと考えられる（図 133a）。時間変遷に着目すると、活動は 3 つのステージに区分される（図 133b）。中央部では 2 万年間を通して同一の玄武岩質マグマが継続的に供給され、それにより浅部マグマ供給系が発達してきた。一方、東部では長い休止期間の後、完新世に中央部とは異なる玄武岩質マグマが貫入し、新たな浅部マグマ供給系が形成され、高千穂峰・御池の活動が起きた。さらに 3 千年前以降には、東部にも中央部と同一の玄武岩質マグマが注入し、別の浅部マグマ供給系が形成され、御鉢の活動が開始した。

地球物理学的データから推定されたマグマ供給系像と比較すると、霧島火山群地下で現在観測されている低比抵抗領域は、浅部マグマ供給系のクリスタルマッシュゾーンに対応すると解釈される（c）。そこには多様な組成のメルトが貯留されており、その分布は東部と中央部で分かれている。物質科学的には、玄武岩質マグマは同一であ

ることが示唆される一方、その供給ルートについては未解明であり、今後の課題である。

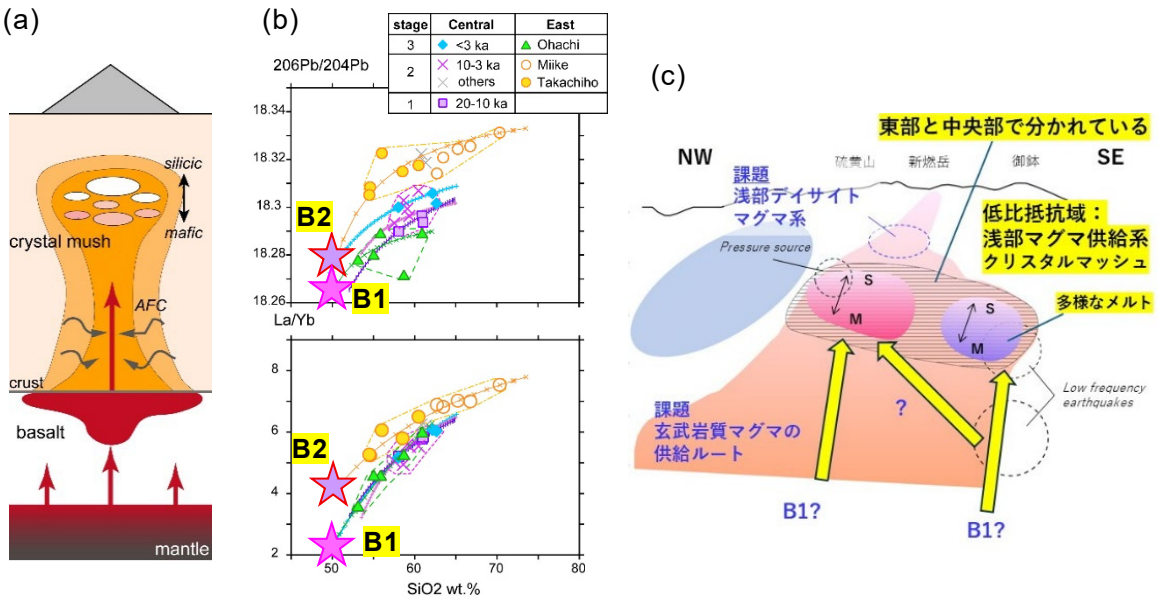


図 161　(a) 物質科学的特徴から推定されるマグマ供給系の基本構造。玄武岩質マグマと浅部マグマ供給系（クリスタルマッシュ）から構成される。(b) 霧島火山群最近 2 万年間の噴出物の全岩化学組成。東部のステージ 2（1 万年前～）の玄武岩質マグマ（B2）がそれ以外（B1）とは明らかに異なる。(c) 地球物理学的データから推定されるマグマ供給系像 [67] との比較。

24）マグマ噴出量階段図（階段図）作成指針の提案（北海道大学・階段図 WG）

a）概要

火山噴火の噴出量と噴火間隔の関係を示したマグマ噴出量階段図（以下、階段図）は、個々の火山の噴火履歴を網羅的に示すことができ、火山の長期的な活動度を評価するために重要である。しかしながら、階段図で取り扱う活動期間の選定、個々の噴火年代や噴出量の算出、さらに個々のデータ収集や質の評価、あるいはデータの解析については各研究者の判断で行われているのが実情である。また階段図の作成に使用したデータベースについても全ては公表されていないのが一般的である。そこで、サブ課題 C-2 の参加・協力機関から構成されるワーキンググループで検討した、階段図の作成指針とそれに必要なデータの収集と解析手法、そしてそれに基づいたデータベースの構成について提案した[68)]。

b）階段図作成の基本方針

階段図を作成するために、以下の手続きでデータを収集することを提案した（図 134)。

まず、火山（または火山群）を定義した上で、その火山（火山群）全体を対象として、個々の噴出中心（山体）毎の噴火データを収集する。噴火データはある火山の活動開始から現在までの、その火山の一生の期間で収集する。数十万年間以上の長期にわたる活動を続ける火山群の場合には、現在の活動に関連していると考えられる活動期間を設定して、その期間を火山（または火山群）の一生と定義してデータを収集する。

「噴火」は噴出物を放出するものとして定義し、マグマ噴火・水蒸気噴火を問わず、噴火で放出されたもの全体を「噴出物」とする。「噴火」の開始と終了は記録または地質学的手法によって認定する。なお地質図でマッピングできる規模の岩屑なだれ（あるいはそれに伴うラハールなど）が発生した山体崩壊も「噴火」に含めるが、階段図上では噴出物量は示さずその年代のみを示す。一連の噴火では遠隔地まで拡散するテフラと溶岩ドームなどの山体構成物（火口近傍堆積物）の両方を噴出することが一般的であるが、両者の対比ができない場合には、それぞれを別の噴火の産物として取り扱う。

噴火年の認定に関しては、記録に残る噴火と記録に残っていない噴火に大別し、後者に関してさらに地質学年代値が得られている噴火と得られていない噴火に細分し、それらを異なるデータランクとしてデータベースに記載することとした。そして記録に残る噴火の場合、噴火活動において、その前後に 1 年以上の静穏期を挟む噴火活動を、1 つの噴火と定義し、その噴火年代は噴火開始年代とする。また記録のない噴火では、地質学的手法により一連の噴火活動で生じたことが明らかになった堆積物について、地質学的手法により噴火年代が求められている場合には、測定誤差を考えない年代値を噴火年とする。地質学的手法によっても噴火年代が特定できない活動で、地質図でマッピングできる噴火堆積物が認定できる場合、それらをある活動期の噴出物として一括し、その上限と下限の年代値で活動したと考え、階段図では斜線で表現することとした。

c）データベースの構成と作成指針

ここで提案されたデータベースは階段図を作成するためのものであり、ランク付けされた各噴火に対して、噴火年代と噴出物量を必須の項目として，対象火山の活動開始から現在までを網羅するものである。ある噴火に関して記述するデータの項目としては、データランク（噴火年代の確実性による)、噴火名、年代値、噴火記録、年代測定法、活動期間、噴火様式、噴火堆積物、噴出物量（堆積物ごとに算出する)、全岩化学組成、引用文献からなる。各項目の詳細については文献に説明された[68)]。

d）階段図の様式

階段図は定義された火山（又は火山群）において、定義した活動期間全体を対象とした階段図（長期階段図と呼ぶ）を作るのが基本である。長期階段図ではデータベースでの全てのデータを用いることになる。この場合、古い時期の噴火は図上では階段状ではなく斜線で表現される時期もある。これにより長期の噴出率の変化など，対象火山の特徴が認められるであろう。それに加えて、より新しくかつ短期間の階段図（短期階段図と呼ぶ）を作ることも可能である。短期階段図の時間幅は、その目的によって変えることになる。我々は対象火山においては、これら長期および短期の２つの階段図（図 135)、そしてそれらのデータベースをセットで作成し公表することを推奨する。

e）階段図の用途

作成した階段図はある火山の中長期活動予測や噴火事象系統樹の作成に活用されることを想定している。

中長期活動予測を行う場合、まず対象火山の長期階段図を作成し、その火山の噴火履歴を評価することが基本になる。ある火山の長期的な活動履歴を見ると、噴火規模・様式・推移そしてマグマタイプは噴火毎に様々で、活動期によって大きく異なるのが一般的である。この変化は長期階段図において、その傾きの違いで表現される可能性がある。あるいは長期の休止期の存在と対応しているかもしれない。つまり長期の階段図により、ある火山の長期の噴出率変化に対応する活動期が定義できるであろう。その定義された活動期をもとに、噴出物を物質科学的に解析することにより、対象火山のマグマ供給系の変遷と噴火履歴との関係が議論できる。そして、マグマ供給系の現在の状況も推定できることになり、それによって中長期の活動予測が可能になると期待できる。

一方、噴火事象系統樹は対象火山で次の噴火が起こる場合に、どのような事象が起こりうるかを示したものであり、やはり過去の噴火事例をもとに作成するのが基本となる。噴火事象系統樹を作成する際に期階段図を参考にした場合、噴出率の変化や長期休止期の存在もあり、次に起こりうる噴火を考えるには問題が多いと考えられる。そのため、噴火事象系統樹を作成する場合には、ある火山において現在から遡って一定の噴出率を示す期間の噴火履歴に基づくのが妥当であろう。この期間の階段図を短期階段図と呼ぶ（図 135b)。この短期階段図を作成することは、ある火山が現在どの

ような活動期にあるかを認識することになる。サブ課題 C-2 では、短期階段図は噴火事象系統樹作成の噴火履歴を参照する活動期間で作成することを基本とした。

f）まとめ

上記の作成指針に基づき、サブ課題 C-2 では 13 の活動的火山の階段図を作成し公表した[69]。それ以降もいくつかの火山において階段図を作成している。今後は、他の火山においても階段図を作成することや既存の階段図の精緻化することが重要である。そして、階段図の形状とマグマ供給系の変遷との関係など、いわば「階段図の仕組み」に迫る研究も推進してゆく必要がある。

（備考）階段図 WG の構成機関：北大、熊本大、茨城大、産総研、電中研、防災科研

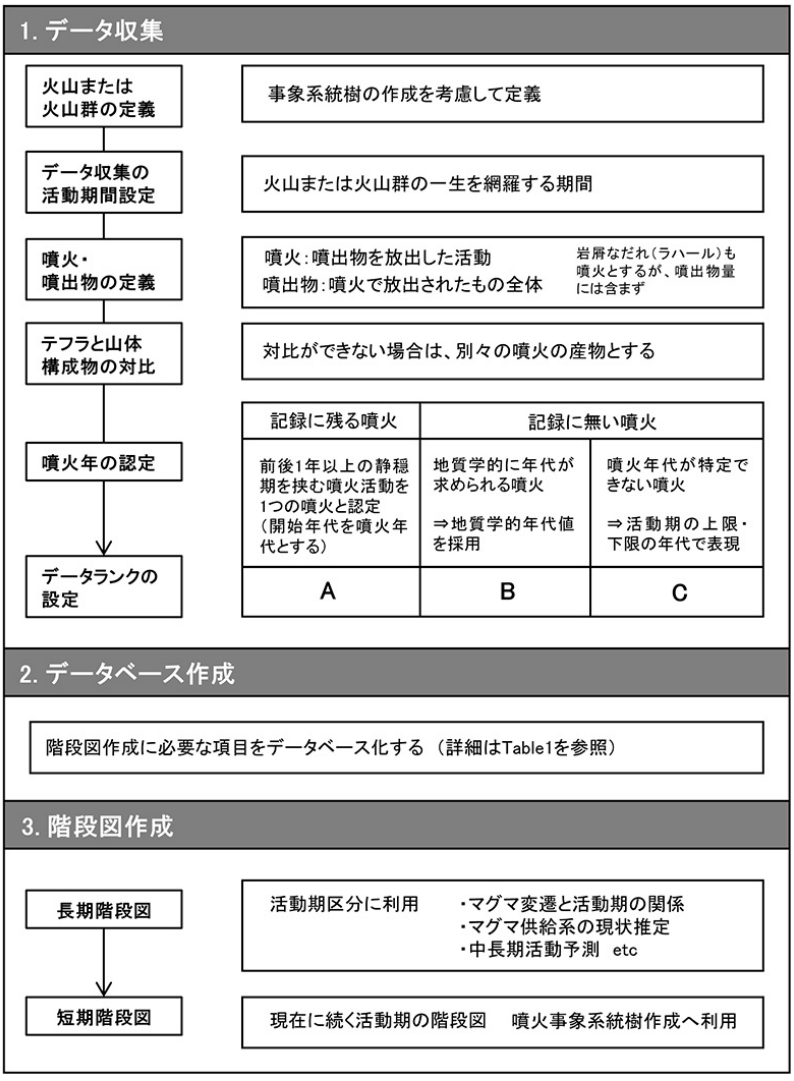


図 162　マグマ噴出量階段図の作成手順[68]。

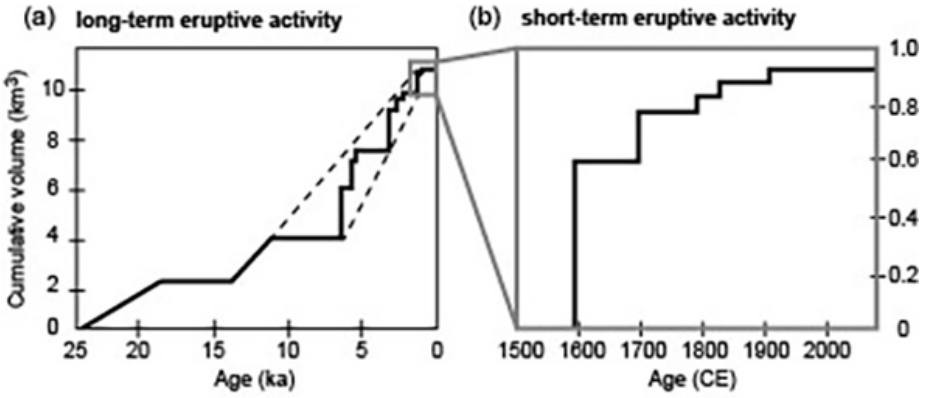


図 163　模式的なマグマ噴出量階段図[68)]。(a) 長期階段図、(b) 短期階段図。

25）噴火事象系統樹作成手順の提案（北海道大学・系統樹 WG）

a）概要

欧米で作成されているイベントツリー（噴火事象系統樹）は、近年の噴火事象や観測データに基づいて構築されることが多い。しかし日本では、近代的観測体制のもとで噴火活動を繰り返してきた火山は限られており、多くの火山で同様の手法を適用することは困難である。そこで本研究では、過去の噴火履歴に基づき、平穏期から噴火前駆活動（unrest）初期段階において利用可能なベースラインとしての噴火事象系統樹の作成手法を提案する。

b）事象系統樹の目的

噴火事象系統樹（以下、系統樹）は、前駆現象からその後に発生し得る噴火事象を、発生頻度（確率）を付した分岐構造として整理する枠組みである。複雑な火山活動を俯瞰的に理解できることから、国内外で作成が試みられてきた。欧米型の系統樹は、近年の観測データに基づき、分岐判断基準やハザード評価を重視して構築される。一方、日本の多くの火山では観測記録が限られており、これらを定量的に評価することは難しい。そのため、欧米型の運用を前提とした系統樹を広く整備することは現実的ではない。しかし近年の噴火対応では、活動推移に関する事前情報の不足が指摘されており、系統樹の提示が求められている。一方で、国内の火山で試作されている既存の系統樹は火山ごとに作成手順や確率評価が異なり[70]、一般化された指針は十分に整備されていない。そこで本研究では、多くの火山に適用可能な標準的作成手法として、過去の噴火履歴に基づくベースライン系統樹の構築を提案する。本手法は、噴火切迫時の意思決定を直接支援するものではなく、起こり得る噴火事象の全体像を事前に整理することを目的とする。本手法では、対象火山において、ある期間に形成されたマグマ供給系の基本構造が現在まで維持されていると仮定する。この前提のもとでは、将来の噴火は過去の噴火と類似した様式を示す可能性が高く、噴火履歴に基づく整理には十分な意義がある。

c）マグマ噴出量階段図の適用

系統樹の構築にあたって重要なのは、同一のマグマ供給系のもとで噴火活動が継続した活動期を適切に認識することである。活動期の設定を誤ると、異なる供給系に由来する噴火が混在し、系統樹の信頼性が低下する。ここでは、活動期の認定にマグマ噴出量階段図を用いることを提案する。階段図において噴出率が一定に近い期間は、同一のマグマ供給系が維持されていた活動期と解釈する。この際、岩石学的性質（主・微量元素組成や同位体比など）に大きな変化がないことを確認することが望ましい。このように定義された活動期では、マグマ供給率や応力場が大きく変化していないと考えられる。したがって、現在が属する活動期を特定できれば、将来の噴火も同一活動期内の事象として扱うことができる。

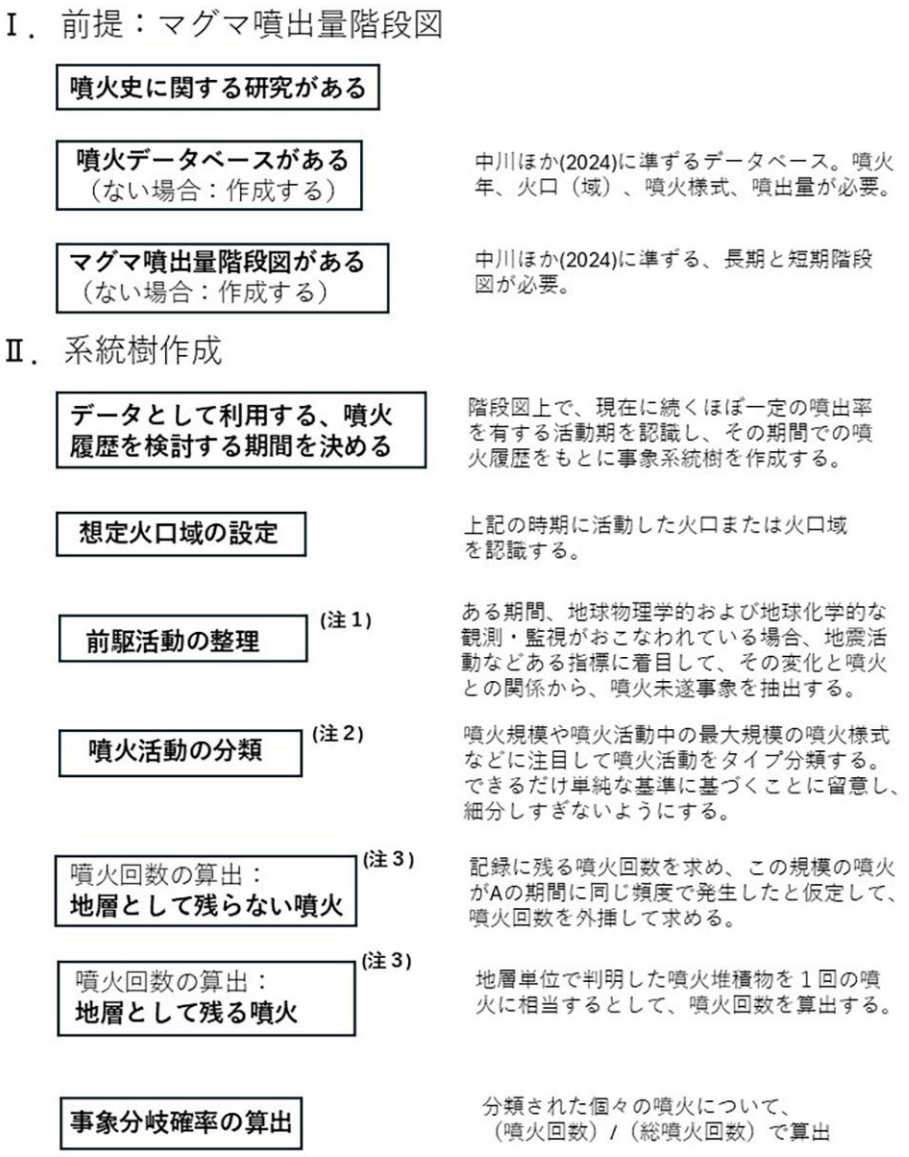
d）作成手法

作成手順の概要を図 136 に示す。まず、本 PJ で提案した手法に基づく階段図[68)]が作成されていることを前提とする。そして、階段図に基づき現在が属する活動期を設定する。具体的には、噴出率の長期変化を現在から過去へ遡って検討し、顕著な変化のない期間を活動期とする。この際、岩石学的データによる裏付けを行うことが望ましい。次に、当該活動期における噴火履歴を整理し、噴火が発生した火口域を特定し、火口域ごとに活動期における噴火履歴を整理する。前駆活動（unrest）については、最も長期間かつ信頼性の高い観測項目を指標として採用する。例えば火山性地震を用いる場合、一定以上の発生頻度を unrest と定義し、その後の推移を「噴火」または「噴火未遂」に分類する。観測データが乏しい火山では、仮定に基づき確率を設定する。噴火事象は噴出量に基づいて分類し、小規模噴火と中規模以上の噴火に大別する。中規模以上の噴火は地質記録から、1 つのテフラユニットを 1 回の噴火として数える。中規模以上の噴火の分類については個々の火山で事情が異なるであろうが、個々の噴火様式や推移にとらわれず、細分しすぎないように分類することが重要である。一方、小規模噴火の回数は記録期間の発生頻度をもとに活動期全体へ外挿して求める。確率は以下のように算出する。まず、unrest 発生後に噴火に至る確率と噴火未遂に終わる確率を、観測期間での過去事例の件数から求める。噴火が発生した場合の各噴火タイプの分岐確率は、活動期全体での各タイプの発生回数を全噴火回数で除して算出する。

e）まとめ：事象系統樹の利用

手法による系統樹は、平穏期から unrest 初期段階において、想定される噴火事象の全体像を共有するための基盤情報として有効である。これにより、防災担当者や地域住民が将来の噴火に備えることが可能となる。一方、活動が進行した段階では、観測データに基づき分岐を絞り込む必要がある。この段階では、分岐判断基準を重視した運用型イベントツリーが有効となる。したがって、本研究で提案する系統樹は、活動の進展に応じて更新される運用型イベントツリーの基盤として位置づけられる。

（備考）噴火事象系統樹 WG の構成機関：北大、東大、山形大、富山大、防災科研



注１：観測記録が乏しい場合には、ある仮定をおいて噴火未遂確率を算出。
注２：分類基準は共通のものはなく、個々の火山の特徴を考慮したものにする。
注３：想定火口域ごとに噴火回数を算出する。

図 164　噴火事象系統樹の作成手法。

(b) 見逃し火山・火口域および活火山の再検証

本課題では、活火山と認識されていなかった火山やノーマークの火口域をもつ火山、そして活火山の疑義のある火山について、再検証を行った。その成果概要を以下に述べる。

1) 利尻山：完新世噴火履歴の再検討（北海道大学・産業技術総合研究所）

a) 概要

利尻火山は活火山に指定されているものの、従来の研究では年代が確定された完新世の噴火堆積物は明確に示されておらず、噴火履歴については再検討が必要とされてきた。本研究では、地形解析および地表調査と年代測定を組み合わせ、利尻火山の噴火履歴の再検討を行った。その結果、完新世の噴火堆積物を島内の複数地点で新たに確認し、本火山が少なくとも約 3,000 年前まで噴火活動を継続していたことを明らかにした。

b) 手法

高解像度 DEM を用いて赤色立体地図を新たに作成し、火山地形の保存が良好な火口および噴出物の分布を抽出した。その結果、島の南～南東部に比較的新しい火口が集中していることが明らかとなったため、当該地域を中心に地表踏査および重機によるトレンチ調査を実施した。さらに、対岸の北海道北部においてテフラ調査を行い、利尻起源テフラの広域分布の検討を行った。確認されたテフラ層については、直下の土壌試料を用いて ^{14}C 年代測定を実施した。

c) 結果

利尻起源テフラの模式地である豊富地域において、Rs-Ho および Rs-Wn の 2 層 [71] について再検討を行った。その結果、Rs-Wn 直下の土壌から約 18.2 ka BP、Rs-Ho 直上の土壌から約 11.6 ka BP の年代値が得られた。これらの結果から、豊富地域に到達した利尻起源テフラは更新世末までに限られ、完新世のテフラは確認されなかった。

地形解析により新しい火口および噴出物が分布する利尻島南部において、複数地点で完新世テフラを新たに確認した（図 137）。A 地点では 2 層のテフラを確認し、下位には更新世末（13 ka BP より新しい）に形成されたスコリア質テフラ（Rs-Ho と同時期）、上位には約 7 ka の軽石質テフラを認めた。この軽石層は新たに「野中軽石テフラ」と命名した（図 138）。本テフラは島内の他の場所では確認できず、島南方の海底火口を給源とする可能性が高い。B 地点では、仙法志ポン山南火口を給源とする約 4,000 年前および 3,000 年前の 2 層のテフラが確認された。C および D 地点では、沼浦マールより新しい活動に対応する沼浦北火口群起源のテフラが確認された。これらのテフラ層の年代関係から、旧期火口群は更新世末、新期火口群は約 7,000 年前の活動に対応することが明らかとなった。

d) まとめと研究の意義

本研究により、利尻火山では完新世において島南部を中心に複数の火口が活動し、少なくとも約 3,000 年前まで噴火活動が継続していたことが明らかとなった(図 138)。

また、従来 Rs-Wn テフラの給源として想定されていた島南方海底での噴火[71]に加え、完新世においても同様に海底火口を給源とする可能性のあるテフラ(野中軽石テフラ)が存在することが示された。これらの結果は、利尻火山が完新世においても活動していた活火山であることを裏付けるとともに、将来の噴火においては島内だけでなく南方海底も含めた広域的な給源域を想定する必要があることを示している。

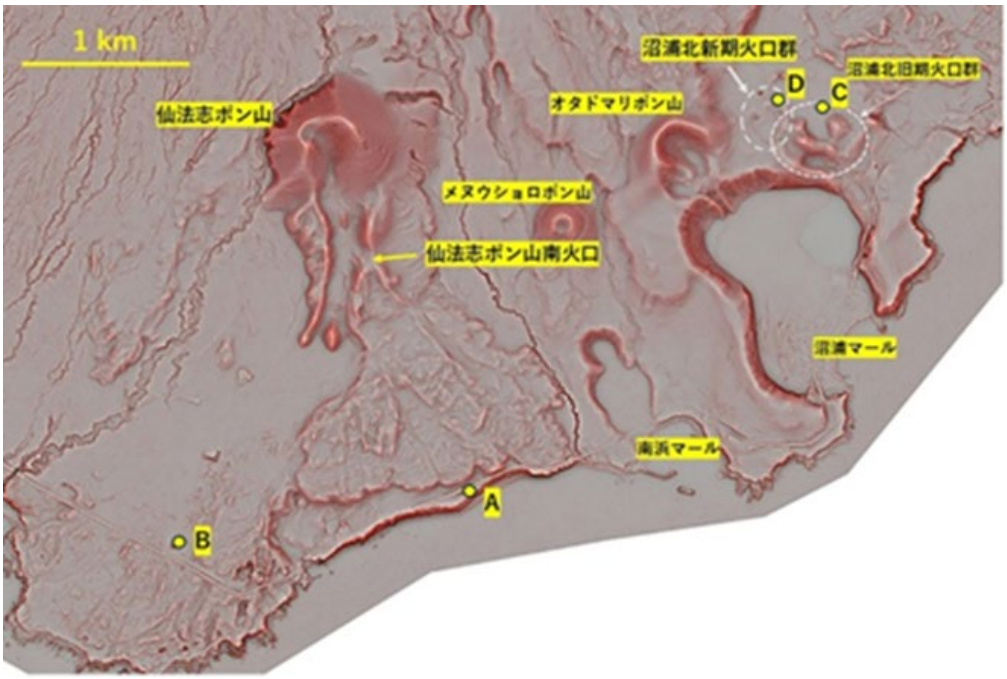


図 165　利尻島南沿岸の火口。テフラの模式地（A～D）も示している。



図 166　本研究により明らかにされた利尻火山南部の形成史と噴火年代。豊富地域の Rs-Wn テフも示している。

2）ニセコ（北海道大学）

a）概要

南西北海道に位置するニセコ火山群は、約 150 万年前以降に活動を開始した火山群である。従来、東部のイワオヌプリ山体周辺が比較的新しい活動の産物と考えられていたが、完新世テフラの存在が報告され[72]、気象庁により活火山に指定された。しかしながら、更新世末から完新世にかけての詳細な噴火履歴および山体発達史は十分には解明されていなかった。本研究では、新たに地形解析、地表踏査および年代測定を実施し、ニセコ火山群における更新世末から完新世にかけての噴火履歴と山体発達史を明らかにした。

b）手法

本研究では、高精度 DEM を用いて赤色立体地図を作成し、火山体の構造および地形発達史の解析を行った。その結果に基づき、詳細な地表踏査を実施した。年代測定については、代表的な溶岩試料に対して K-Ar 年代測定を行い、土壌および木片試料については ^{14}C 年代測定を実施した。これらの結果を統合することで、火山活動の時間変遷を復元した。

c）結果

ニセコ火山群は、西端の雷電火山から東部のワイスホルン（約 1.5 Ma)、シャクナゲ岳・白樺岳（約 1.0 Ma）に至る活動により、東西約 18 km にわたる火山群の骨格が形成された。その後、0.6～0.2 Ma に東端でニセコアンヌプリの活動が起こった。これ以降しばらく顕著な活動は認められないが、更新世末にはチセヌプリおよびニトヌプリが活動した（図 139)。これらの噴出物に対して K-Ar 年代測定を試みたが、誤差が大きく、精密な年代決定は困難であった。しかし、10 万年より若いことは確実であり、さらにこれらを覆う湖成層の年代から、約 4 万年前頃までに活動が終了したと推定される（図 140)。完新世に入ると、イワオヌプリ山体の活動が開始した。まず 11～9.4 ka に最大規模の爆発的噴火が発生し、火砕流および火砕サージを伴って、直径約 800m のイワオヌプリ火口が形成された。その後、約 3,000 年前まで火砕噴火と溶岩ドーム形成を繰り返し、火口内に小イワオヌプリドーム、その東側に大イワオヌプリドームが形成された。さらにその後は、これらの溶岩ドームおよびその周辺、ならびに山体南麓において水蒸気噴火が繰り返される最新活動期に移行した。この時期には降下火山灰や岩塊の放出に加えて、泥流の発生が確認されている[73]。現在までに確認されている最新の噴火は約 400 年前である（図 140)。

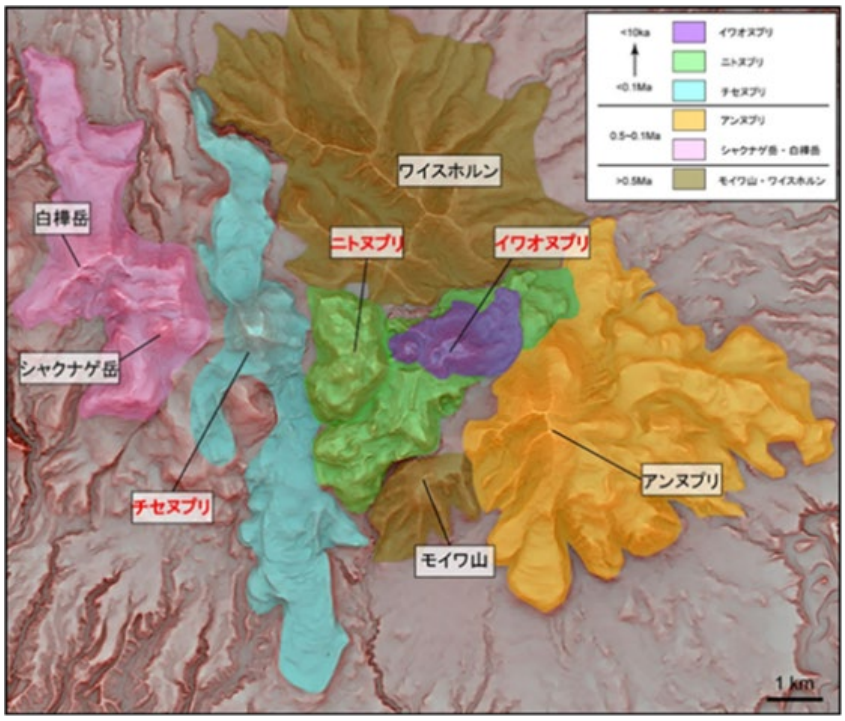


図 167　ニセコ火山群東部の火山体区分。活動年代を図中に示した。

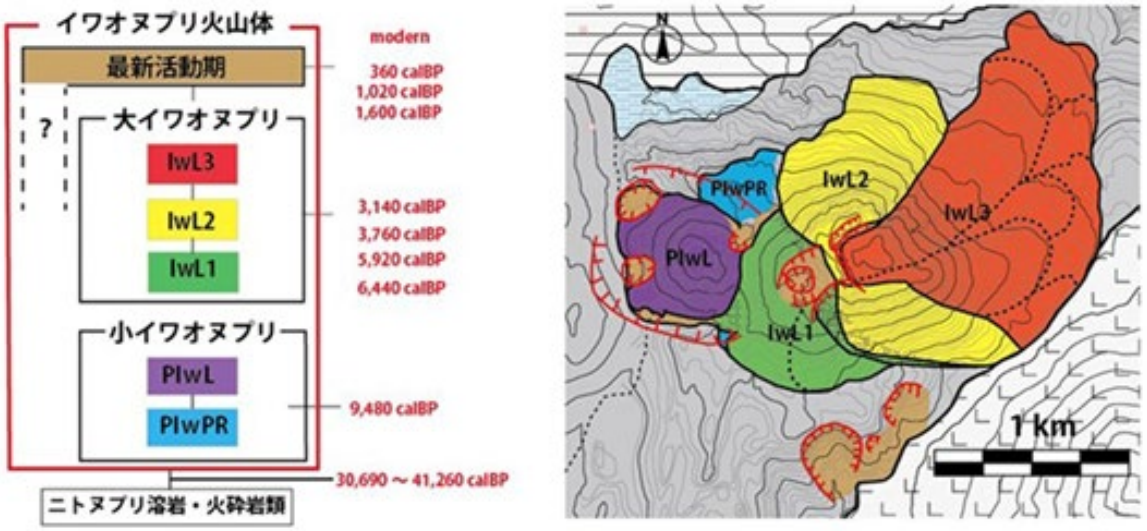


図 168　イワオヌプリ山体（左図）とその発達史（右図）[73]。イワオヌプリ火口の形成年代は 9,480calBP で、その際の近傍堆積物を PIwPR で示した。左図にはテフラ年代も示した。

3）志賀火山（富山大学）

志賀火山は長野県北部に位置する第四紀火山であり、鉢山および志賀山を中心として活動してきた（図 141（A））。本研究では、地質調査、テフラ層序、熱ルミネッセンス年代測定、ならびに古地磁気層序の検討に基づき、志賀火山の活動履歴を評価した（図 141（B））。その結果、鉢山の主な活動時期は TL 年代より約 5 万年前頃であることが明らかになった。一方、志賀山のマグマ噴火活動は約 11,000～6,400 年前の間に発生したと推定される。現在も古地磁気法による追加年代測定を継続中であるが、浅間火山起源の広域テフラ（浅間嬬恋軽石層 [74]）との層序関係から、志賀山のマグマ噴火活動が約 16,000 年前より古くなる可能性はない。志賀山において現在確認されている最新の噴火は、約 5,500 年前に発生した水蒸気噴火であり、山頂域に志賀山テフラを堆積させた。この噴火は山頂南側で起こり、その火口は現在、火口湖として保存されている。これらの成果により、志賀火山は後期更新世から完新世にかけて複数回のマグマ噴火および水蒸気噴火を経験してきた活火山であることが明らかとなった。

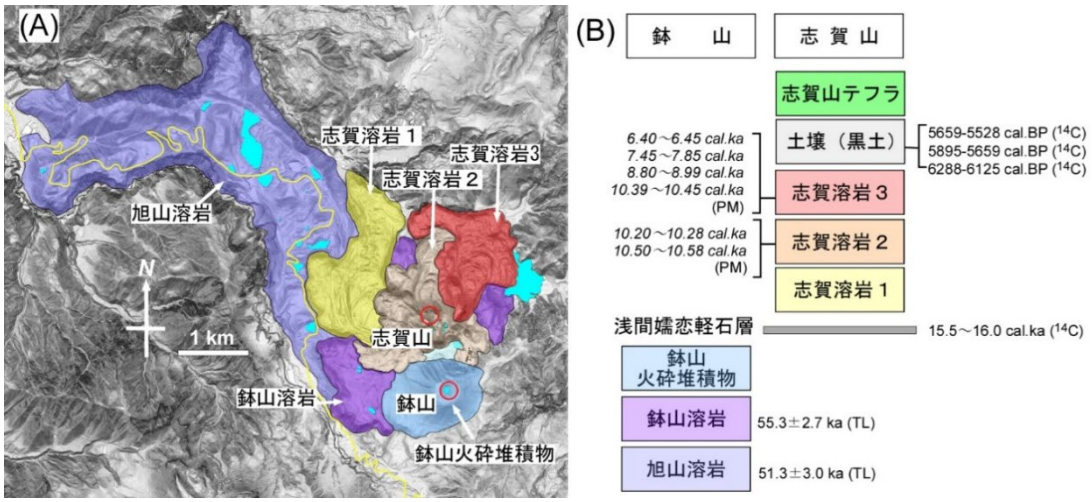


図 169　（A）志賀火山の地質図。赤丸は志賀山と鉢山の噴出中心の位置、（B）志賀火山噴出物及び浅間嬬恋軽石層の層序関係を示したブロックダイアグラム。各層の年代は、PM は溶岩の古地磁気方位を琵琶湖底堆積物の永年変化曲線 [75] に照合することで得られた年代候補、^{14}C は放射性炭素年代（暦年）、TL は熱ルミネッセンス年代。浅間嬬恋軽石層の年代は文献 [74] より引用した。

4）鷲羽池火山（富山大学）

本研究は、北アルプス最深部に位置する鷲羽池―硫黄沢地域を対象に地質調査およびテフラ層序解析を行い、同地域が完新世を通じて活動を継続してきた活火山域であることを明らかにした。鷲羽池火口から噴出した火砕サージ堆積物の年代測定の結果、同火口の形成時期は約 7,800～8,000 年前と推定された。黒部川源頭域では、鬼界アカホヤ火山灰（約 7,300 年前）より上位に、少なくとも 5 層の水蒸気噴火起源の火山灰層を確認した。なかでも、約 5,500 年前の鷲羽 A 火山灰および約 2.500 年前の鷲羽 B 火山灰は広域に分布し、既存の簡便法 [76]による推定噴出量は、それぞれ約 6.7×10^{6} m^{3}および約 1.1×10^{7} m^{3}（DRE）に達する。これらは、完新世における国内最大規模の水蒸気噴火の 1 つに相当する。また、これら 5 層の火山灰は花崗岩などの基盤岩由来の岩片・結晶片から構成され、鷲羽池火口起源の安山岩を含まない。このことから、活動の中心は鷲羽池火口から南方の湯俣川支流硫黄沢流域へ移動したと考えられる。さらに、赤色立体地図を用いた地形解析により、同地域に複数の火口地形が確認された。以上の結果は、本地域において現在に至るまで蒸気爆発を含む火山活動が継続している可能性を示唆する（図 142）。

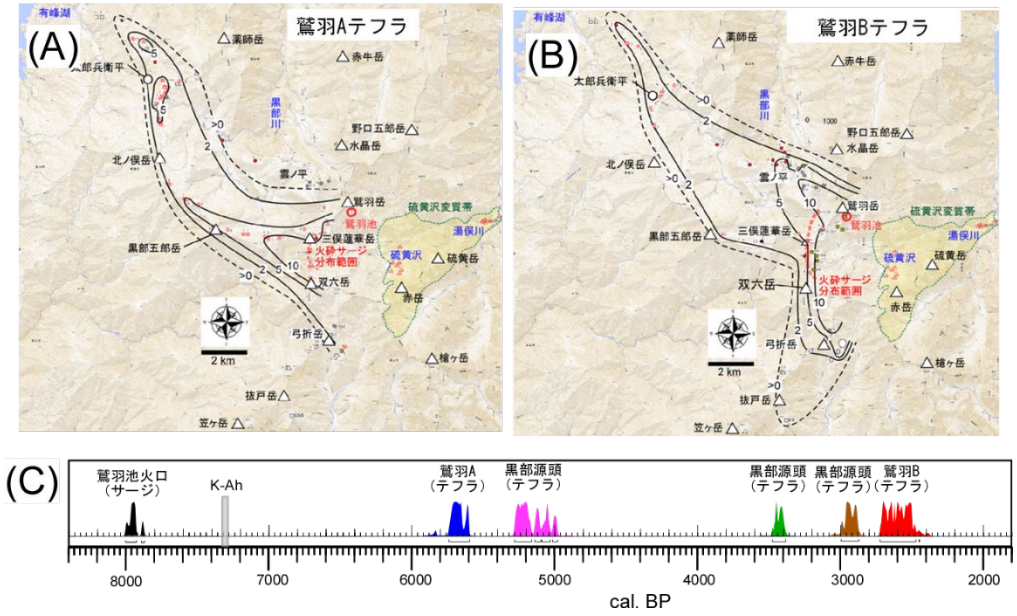


図 170　（A）鷲羽 A テフラの等層厚線図。（B）鷲羽 B テフラの等層厚線図、（A）と（B）には火砕サージ堆積物の分布範囲も赤破線で示した。（C）硫黄沢流域を噴出源とする 5 層の水蒸気噴火テフラ層の直下の土壌の暦年と鷲羽池火口を噴出源とする火砕サージ堆積物の暦年。

5）白馬大池火山（産業技術総合研究所）

長野・新潟県境付近に位置する白馬大池（しろうまおおいけ）火山[77]は約 80 万年前から活動を開始した火山である[78]。約 7 万年前以降は風吹池（かざふきいけ）周辺のみで火山活動を行っているので、その部分は細分して風吹火山と命名されている[79]。この風吹火山体上には新鮮な火口地形とテフラが認められることから、完新世に噴火活動があったことが明らかとなっていたが[79]、具体的に何時どのような噴火があったかは明らかにされていなかった。そこで研究では完新世の噴火史を明らかにするための地質調査および年代測定を網羅的に行ったところ、火山岩塊火山灰流（block and ash flow）堆積物を噴出するようなマグマ噴火が約 7,900 年前（cal BP）に生じた後、約 5,500、5,100、4,500、4,000、3,000、2,800 年前 （cal BP）に地層として保存されるほどの規模の水蒸気噴火が発生したことが明らかとなった（図 143、144)。テフラの層厚変化からマグマ噴火と水蒸気噴火のほとんどは、風吹大池および風吹山周辺で発生したと推定されるが、約 5,500 年前の水蒸気噴火のみ、それらより南西に 1 kmほど離れた地すべり崖付近で発生したと推定される。風吹火山は、このように最近 1 万年間に複数の噴火が確認されたこと、直下の地下浅所では現在も地震活動が活発なことなどから、今後も噴火する可能性のある火山として注意していく必要があると考えられる。

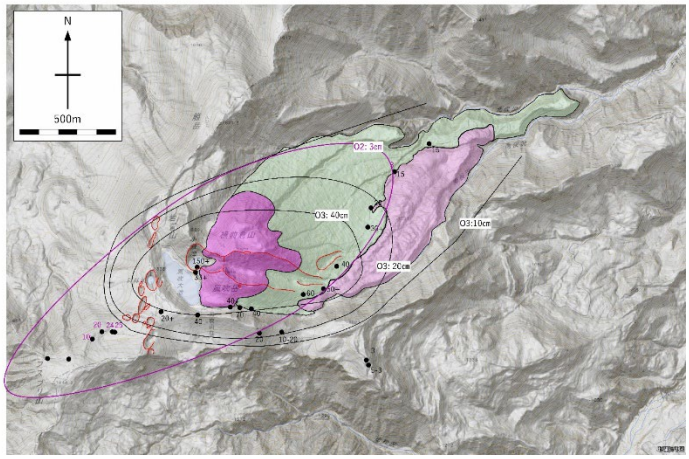


図 171　風吹火山の完新世噴出物の地質図。紫色に塗色した場所が溶岩、緑色に塗色した場所が火山岩塊火山灰流堆積物の分布域。赤線は火口地形。等層厚線図は図 144 の Ka-02，03 テフラのみ記す。基図に国土地理院の地理院地図を使用（標準地図および陰影図)。

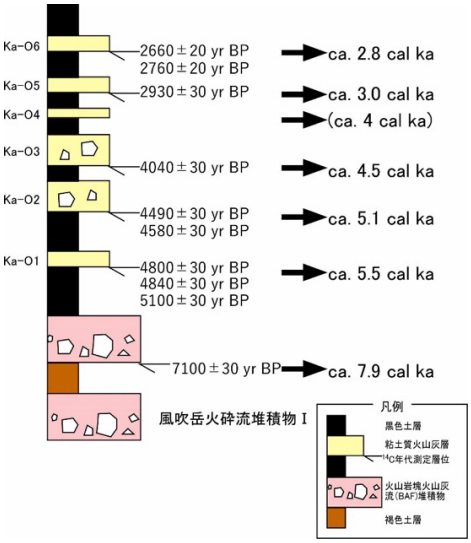


図 172　風吹火山の完新世のテフラ総合柱状図。

(c) 噴火対応調査

本事業期間内に開始した降灰調査データ共有スキームに基づき、本課題参画機関の研究者の多くが連携して、阿蘇山・霧島山の噴火時の降灰調査を行い、JVDN システムに情報共有された。また、それ以外にも草津白根山や西ノ島、福徳岡ノ場などの現地調査や雌阿寒岳の火山灰観察なども行った。それらの調査結果は、火山噴火予知連絡会や火山調査研究推進本部、気象庁等の防災関係機関に資料提出された。以下に、主な成果である阿蘇山の事例を述べる。

1) 阿蘇山噴火に対応した現地調査

阿蘇火山中央火口丘群の中で唯一活動を続ける中岳はわが国を代表する活火山であり、本プロジェクト期間中には 2019～2020 年にかけてマグマ噴火[80]や 2021 年 10 月には 2 回の爆発的噴火[81]が発生している。それらの噴火に対応して実施した現地調査の結果について報告する。

阿蘇火山中岳第 1 火口では 2019 年 7 月下旬に噴火活動が開始し、その後複数回の停止を挟むものの、ほぼ連続的な噴火がみられ、2020 年 6 月中旬まで継続した。その活動によって阿蘇カルデラ周辺域では長期間にわたる降灰に見舞われた。熊本大学では 2019 年 7 月の噴火開始直後から阿蘇カルデラ内の 20 箇所に火山灰採取容器を設置して降灰観測を実施した。その結果、2019 年 7 月～2020 年 6 月までの約 11 か月間に噴出した火山灰の総量（積算値）は 110 万トン程度であり、前回のマグマ活動である 2014 年 11 月～2015 年 5 月における火山灰噴出総量約 200 万トン[82]の半分程度であることがわかった。

また同火口では、2021 年 10 月 20 日に爆発的噴火が発生し、火口周辺に火砕流が流下するとともに、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、JVDN システムを活用した降灰調査を実施した[83]。10 月 20 日～22 日に阿蘇カルデラ南東部から宮崎県五ヶ瀬町にかけての地域で調査を行って 64 地点で定面積試料を採取した結果、その火山灰は中岳第 1 火口から南東方向に主軸をもって飛散しており、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た（図 145）。カルデラ南東部では 200 g/m^2 前後の火山灰の堆積が認められた。カルデラ外での火山灰の堆積量は、同火口から 10 km 程度離れた地域で 10～40 g/m^2、20 km 以遠の地域では 1 g/m^2 以下であった。得られた降灰量データから 0～1,000 g/m^2 の 11 本の等質量線を描くことができ、火山灰の総量は 13,000 トン程度と概算された。その後、12 月 22 日の火口近傍域での調査結果を加えると、火山灰の総量は噴火直後の概算結果の 3 倍以上の約 47,000 トンとなった。この降灰調査では、JVDN システムを活用した迅速な情報共有により効率的な調査を実施することができ、科学的に信頼性の高いデータを取得するという観点で同システムが有効に機能した実例となった。一方で、事務局を中心とした体制の整備とともに、人的省力化をはかったシステムの改良が必要であるという課題も見出された。

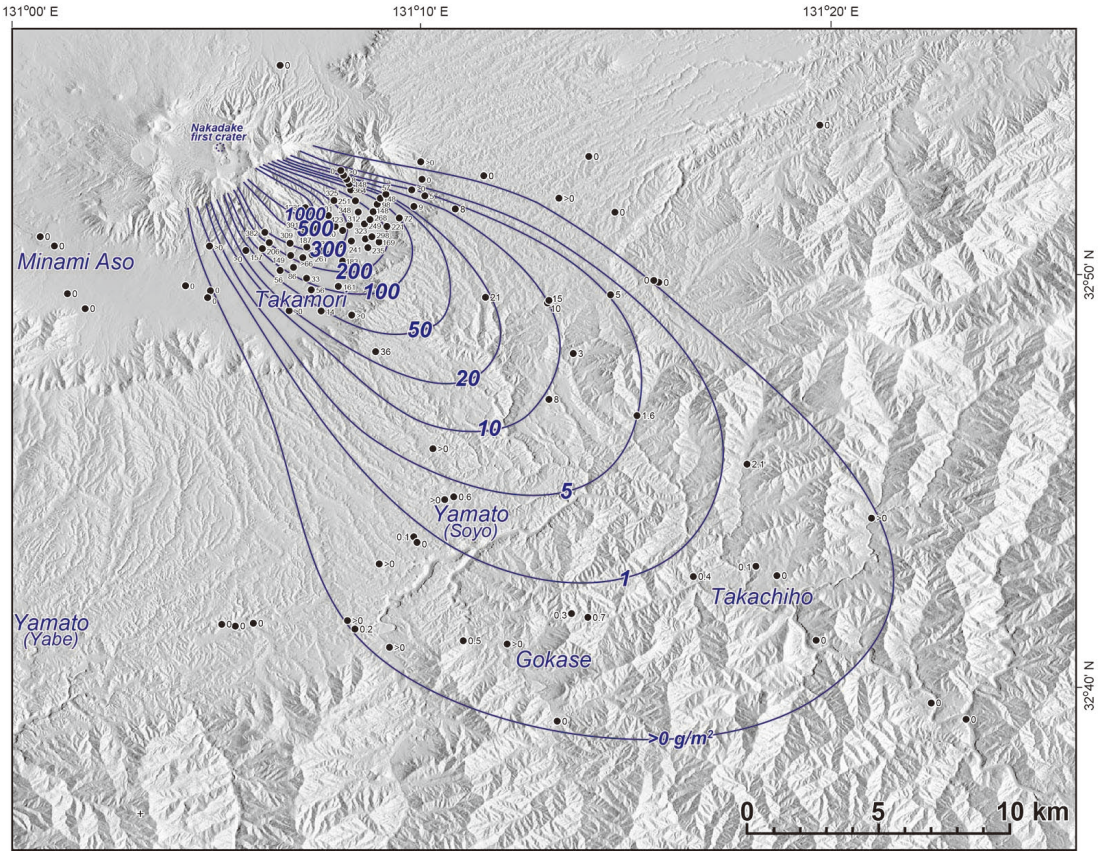


図 173　阿蘇火山中岳における 2021 年 10 月 20 日噴火に伴う火山灰の分布（単位 g/m^2）。

(d) 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は、北海道大学における充実した分析機器や分析試料の準備環境を活用し、サブ課題 C-2 の参加機関の研究者・大学院生が高度な物質科学的解析を行う場として提供・整備された。また同センターでは、新たな分析手法の導入および確立を行うとともに、複数の活火山を対象に、マグマ系の起源や長期的進化を明らかにすることを目的とした研究を実施した。

同センターでは、平成 28 年度にフーリエ変換赤外分光光度計、令和元年度に誘導結合プラズマ質量分析装置、令和 5 年度にデジタルマイクロスコープを導入した。これらの装置に加え、XRF、SEM-EDS、EPMA、XRD 等の装置について、9 機関より、のべ 466 件の利用があり、高精度かつ多種類の物質科学的データの蓄積が図られた。同センター内で手掛けた分析手法の新たな導入例としては、(1) 揮発性成分分析システム、(2) U–Th 放射非平衡分析法、(3) 難溶性鉱物を含む火成岩試料の酸分解法が挙げられる。

(1)の揮発性成分分析システムは、平成 28 年度に導入されたフーリエ変換赤外分光光度計に、翌年度に真空顕微システムが組み込まれ、それら装置を用いた開発を経て、現在では火山ガラスの含水量、二酸化炭素濃度、および一部試料の炭素同位体比、そして輝石結晶の含水量の分析が可能となっている。(2)の U-Th 放射非平衡法は、適切な火山噴出物試料に対して適用することで、現在から遡って約 1～40 万年前のマグマプロセスに時間軸を挿入したり、噴出年代の推定を行ったりすることが可能であるため、特にサブ課題 C2 の研究の遂行において非常に有用なツールとなる。同センターでは、先行研究を基にした火山岩試料からの U と Th の元素単離法の確立、ICP-MS を用いた U/Th 比の高精度分析法の確立、MC-ICP-MS を用いた $^{230}Th/^{232}Th$ 同位体比測定法およびキャリブレーション法の確立を行い、($^{238}U/^{232}Th$) 比は 0.7%、($^{230}Th/^{232}Th$) 比は 0.2%の繰り返し再現性（ともに 2s）で、測定が可能となった。(3)の背景として、ICP-MS を用いた微量元素濃度分析に必要な火山岩試料の溶液化の方法として、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一方で、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った。そこで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を、同センター内に新たに導入した。

また同センターでは、伊豆大島・八丈島・桜島における中長期的なマグマ変遷の解明、および秋田駒ケ岳・雌阿寒岳における初生マグマのマントルにおける生成条件の推定を行った。これらの研究の過程で明らかにされた、特に中長期的なマグマ系の進化における現在のマグマ活動の位置づけ、および現在のマグマ供給系の情報は、それぞれの火山における今後の火山活動評価に活用されることが期待される。

1）マグマ変遷解析センターの成果（活用事例 1：伊豆大島）

伊豆大島火山は近年約 30–40 年ごとに噴火活動を繰り返しており、最後の 1986–87 年噴火から約 40 年が経過していることから、近い将来に活動が再開することが予想されている。これまでの研究から、主要な玄武岩質マグマの供給系は、深さ約 8–10 km に位置するマグマ溜りとそれより深部に位置するマグマ溜りによって構成される一方、1986 年の B・C 火口噴出物に代表される玄武岩質安山岩マグマは、深さ約 4 km に位置するマグマ溜りに由来することなどが明らかとなっている[84)、85)、86)]。そこで主要な玄武岩質マグマの供給系の時間変遷をより詳細に理解するため、カルデラ形成以降の噴出物を対象に、岩石学的な解析を行った。

先行研究で報告されているように、噴火活動期によって噴出物の斑晶量は多様であり、また全岩化学組成はハーカー図上でそれぞれ固有の特徴を示す。そこで噴出物組成の多様化の要因を探るため、試料の全岩主要元素組成を対象に、主成分分析を行った。その結果、PC1（寄与率 63%）は斜長石の分別、PC2（寄与率 13%）は苦鉄質鉱物の分別に対応することが明らかになった（図 146）。また無斑晶質な試料は PC1 と PC2 が高く、PC1 と PC2 がともに低くなるにつれ、斑晶量が増加する傾向があることが分かった。斑晶質な安永噴火の噴出物、1950–51 年噴出物、1986 年 A 火口噴出物に含まれる両輝石から圧力条件を推定した結果、これらの斑晶は全て深さ約 16 km のマグマ溜りに由来する可能性が示唆された。

これらの情報、および地球物理学的研究の結果[85)]を統合すると、主要なマグマ供給系は、無斑晶質マグマが滞留する深さ約 8–10 km のマグマ溜りと斑晶質マグマが滞留する深さ約 16 km のマグマ溜りから構成されること（図 147）、無斑晶質なマグマは 7 世紀頃から現在にかけて組成の分化が徐々に進行していること、近年の玄武岩質マグマの多様性は、（組成が時間変化する）無斑晶質マグマと斑晶質マグマの異なった混合比による混合で説明できること、などが明らかにされた。

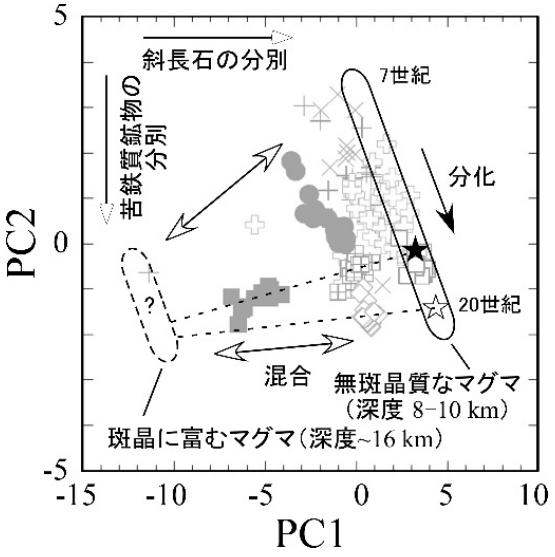


図 174　カルデラ形成期以降の噴出物の全岩主要元素を対象とした主成分分析の結果。

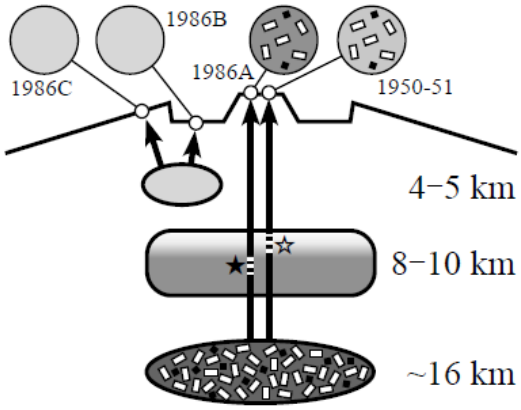


図 175　伊豆大島火山の近年のマグマ供給系のモデル図。

2）マグマ変遷解析センターの成果（活用事例 2：桜島）

国内で最も活動的な火山の 1 つである桜島では、これまで歴史時代のものを含む新期南岳（< 1.3 ka）の噴出物を中心に、数多くの物質科学的研究が行われてきた[87)、88)、89)]。しかしながら、長期的なマグマ系の進化の理解に不可欠な、古期南岳（1.6–4.5 ka）や新期北岳（5.6–13 ka）の噴出物の解析例が少ないといった問題があった。そこで新期北岳、古期南岳、および新期南岳の噴出物をできる限り広く網羅する形で選択した試料について、物質科学的解析を行った。

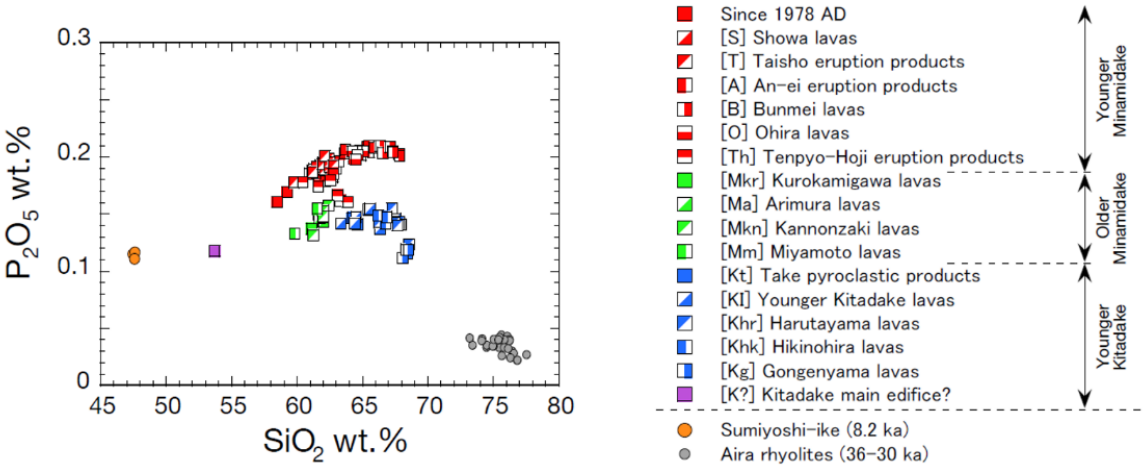


図 176　桜島の完新世噴出物の全岩化学組成。

本研究で得られた桜島の噴出物の全岩 SiO_2 量は 58-69 wt.%である。先行研究で指摘されたように、完新世の噴出物は高 P_2O_5 タイプと低 P_2O_5 タイプに区分され、前者は新期南岳の噴出物が、後者は古期南岳および新期北岳の噴出物が該当する（図 148）。高 P_2O_5 タイプの噴出物は、低 P_2O_5 タイプに比べて相対的に低い Zr/Y、$^{87}Sr/^{86}Sr$、$^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb/^{204}Pb$ 比、および高い $^{143}Nd/^{144}Nd$ 比をもつ。

低 P_2O_5 タイプの噴出物は、ハーカー図上において組成トレンドを示すことから、何らかの一連の過程で生成されたことが示唆される。地球化学的データの解析の結果、下部地殻の部分融解を起源とすること、そして全岩化学組成の多様性は、部分融解度の多様性を反映していることが明らかとなった。一方で、高 P_2O_5 タイプの全岩化学組成の多様性は、玄武岩質端成分マグマとデイサイト質端成分マグマの混合で説明できることが先行研究によって示されている[87)、88)]。このうち前者はマントル起源であると考えられる一方で、P_2O_5・Y 量が高いことで特徴づけられる珪長質端成分マグマは、下部地殻が比較的高い溶融度で融解して生成された安山岩質マグマが、角閃石や燐灰石が晶出しない低圧条件下で結晶分化することによって生成されたことが明らかとなった。

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

(e) 大規模噴火データベース及び噴火推移データベースの構築

大規模噴火データベースは、後期更新世以降（過去約 13 万年間）に発生した大規模噴火のうち、およそ VEI5 以上の火砕物を噴出し、カルデラ形成を伴う規模の噴火を対象に、その噴出物の特徴、噴火推移、長期・短期的前駆活動、後カルデラ活動をまとめている [90]。大規模噴火データベースでは、噴出物の名称、噴火の規模、噴火年代、活動区分を視覚的に示した層序概念図に加え、横軸に噴火年代、縦軸に噴出量の規模を示した噴火時系列図が掲載されており、噴火の中長期的な推移を統一的な基準で示している（図 149）。2026 年 3 月末時点で、萌消・屈斜路・摩周・支笏・洞爺・濁川・十和田・御嶽山・大山・三瓶山・姶良・阿多・池田・鬼界・鬱陵島の 15 火山が公開されている。

噴火推移データベースは、VEI 3～6 クラスの国内及び海外の噴火のうち、時系列の目撃・観測記録が比較的よく残っている火砕噴火を対象として、中長期的前駆現象、短期的前駆現象、及び噴火発生後の推移についてとりまとめている。噴火の活動度の可視化と火山の活動状態を同一基準で比較するため、数値-1～7 で表される火山活動指数（VUC）を導入した。噴火活動強度の時間変化を視覚的に把握するため、それぞれの噴火について噴火日時を横軸に、VUC を縦軸に表した噴火推移図を作成した。噴火推移図は、±200 年間、±3 年間、±150 日間、±7 日間の期間で表示期間を切り替え、各火山の噴火の噴火強度の変化を並べて比較検討することができる（図 150）。2026 年 3 月末時点で、フンガ・トンガ 2022 年噴火、福徳岡ノ場 2021 年噴火、クラカタウ 2018 年噴火、アグン 2017-19 年噴火、カルブコ 2015 年噴火、ケルート 2014 年噴火、プジェウエ-コルドン・カウジェ 2011 年噴火、北海道駒ヶ岳 1929 年噴火、桜島大正 1914 年噴火、浅間天明 1783 年噴火、富士山宝永 1707 年噴火、ヴェスヴィウス 79 年噴火等の 26 噴火が掲載されている。

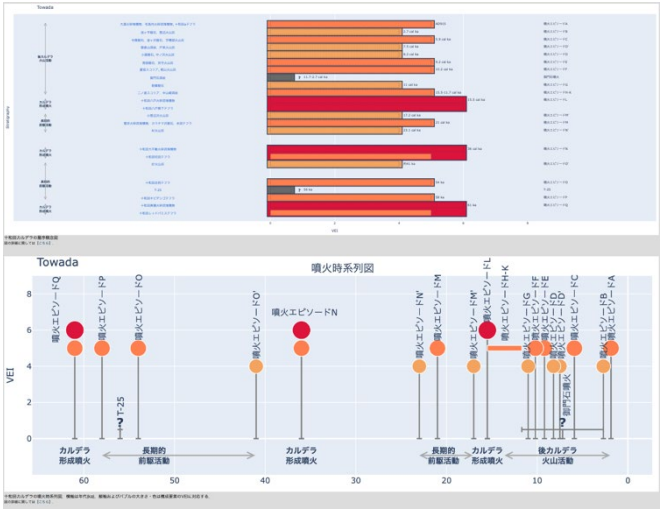


図 177　十和田火山の層序概念図と噴火時系列図。
（https://gbank.gsj.jp/volcano/ledb/）

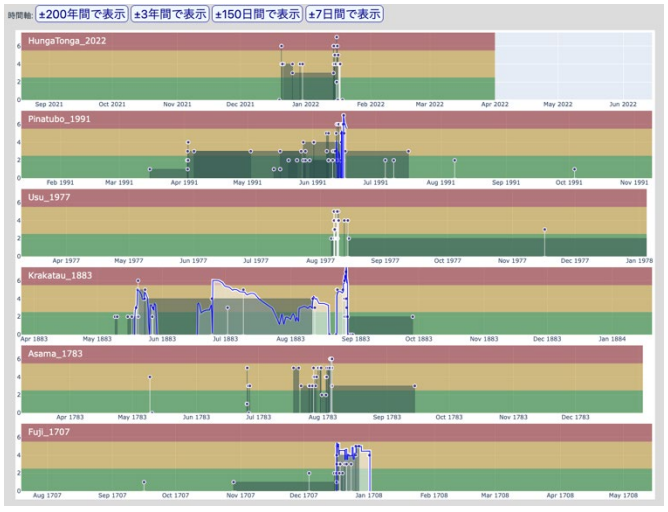


図 178　噴火推移図による噴火推移の比較（150 日間）。
（https://gbank.gsj.jp/volcano/esdb/）

(f) 火山プロジェクト、課題間連携研究の推進（北海道大学・東京大学地震研究所）

1) 概要

火山 PJ では当初から、課題間の連携不足が指摘された。そこで令和元年より課題 C を中心として、課題間連携研究が開始された。連携研究は、研究手法が異なる分野間・課題間の連携をはかるために、ある特定の火山についてある課題を決めて研究を実施することにした。令和元年度から 7 年間の PJ 期間の間に、マグマタイプの異なる 3 火山で実施する予定であった。しかしながら、新型コロナウイルス対策もあり研究停滞したため、玄武岩質マグマの火山として伊豆大島、そして安山岩質マグマの火山としての霧島火山の 2 火山での実施となった。それらの火山について連携研究として PJ 期間内に一定の成果を得るためには、新たな課題を設定して研究を実施するのは現実的ではなく、まずは火山学の研究レベルの現状を把握すし今後の課題を明確にすることを目的とした。それぞれの対象火山においては、現状の研究レベルを把握するための研究集会（キックオフ集会）を実施し、その後にコアメンバーWS を開催して連携研究集会の進め方を議論した（図 151)。

連携集会においては各分野の研究成果を持ち寄るのではなく、テーマを決めて各発表者に話題提供を依頼することになった。火山噴火予測に関しては、近年の観測網の充実によって事前の火山活動の変化は捉えられるようになっており、短期的な噴火予測については可能であると考える研究者も多い。しかしながら、噴火活動が開始した後の、個々の火山の噴火様式や活動推移の予測については観測事例が決定的に少なく、現段階では困難な状態である。そこで対象火山において、静穏期、Unrest 期そして噴火開始期の 3 つの時期を想定して、火山学は予測のために何ができるか・何が足りないかという観点で議論することにした。そして議論のためのたたき台として、それぞれの火山におけるマグマ供給系モデルと噴火事象系統樹（噴火シナリオ）を準備することにした。

研究集会は 2 日間の日程で行い、さらに現地検討会として地質巡検も実施した。霧島については連携研究集会（令和 7 年 3 月）終了後、令和 7 年 6 月から噴火が発生した。そのことを踏まえて、連携研究で議論したことの見直しを行うという目的で令和 8 年 2 月にコアメンバーWS も実施した（図 151)。以下に伊豆大島および霧島のそれぞれについての実施内容と、連携研究を踏まえた噴火事象系統樹（噴火シナリオ）の見直しについて報告する。

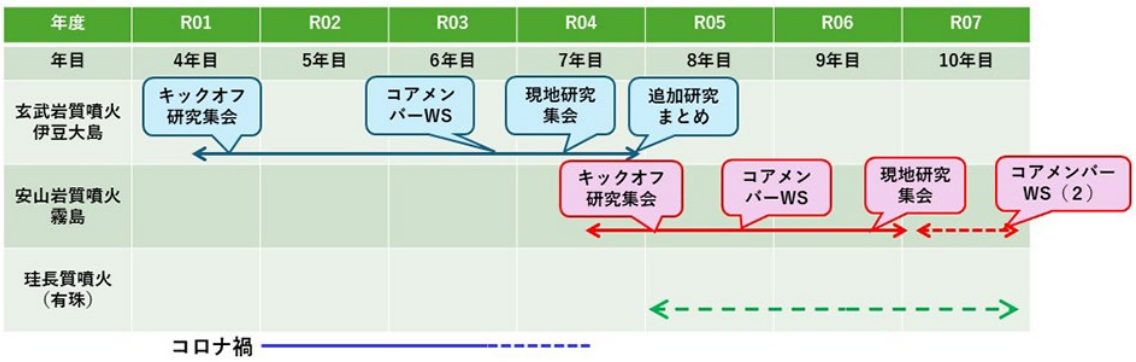


図 179　火山 PJ 課題間連携研究の実施内容。

2）連携研究の実施内容

a）伊豆大島

伊豆大島に関しては火山噴火予知連絡会の伊豆部会が「伊豆大島の火山活動に関する勉強会」を実施している[86]。そこでは、古記録および地質学的研究成果を基にした噴火シナリオと、物質科学的研究成果をまとめたマグマ供給系モデルが提示されている（図 152)。この両者を議論のたたき台として連携研究を企画した。

連携研究集会では、すでに述べたように静穏期、Unrest 期そして噴火開始期の 3 つの状態を仮定した。それぞれの時期でテーマを決めて、発表を依頼した。それらは以下のとおりである。

静穏期：

・「たたき台」の噴火シナリオとマグマ供給系モデルの構想とやり残したこと

・地質学・物質科学から見た「たたき台」の再評価と見直し

・最近の観測データから見た「たたき台」の評価

・伊豆大島の噴火準備過程とはどのようなプロセスか

Unrest 期：

・あるシナリオを仮定したとして、どのような観測事実が観測されるか

・予想される噴火準備過程を観測するに十分の体制は構築されているか

・伊豆大島に限らず、玄武岩質マグマの火山に共通する現象は何か

噴火開始期：

・小規模噴火発生からピークに向けて、活動中の状態でどのように対応するか（できるか)

研究集会は令和 4 年 10 月 7～8 日に東大地震研で実施され ()、8 日夜に伊豆大島に移動して、9～10 日の 2 日間にわたり伊豆大島で巡検を行った。研究集会の内容については防災科研研究資料で報告されている[91]。

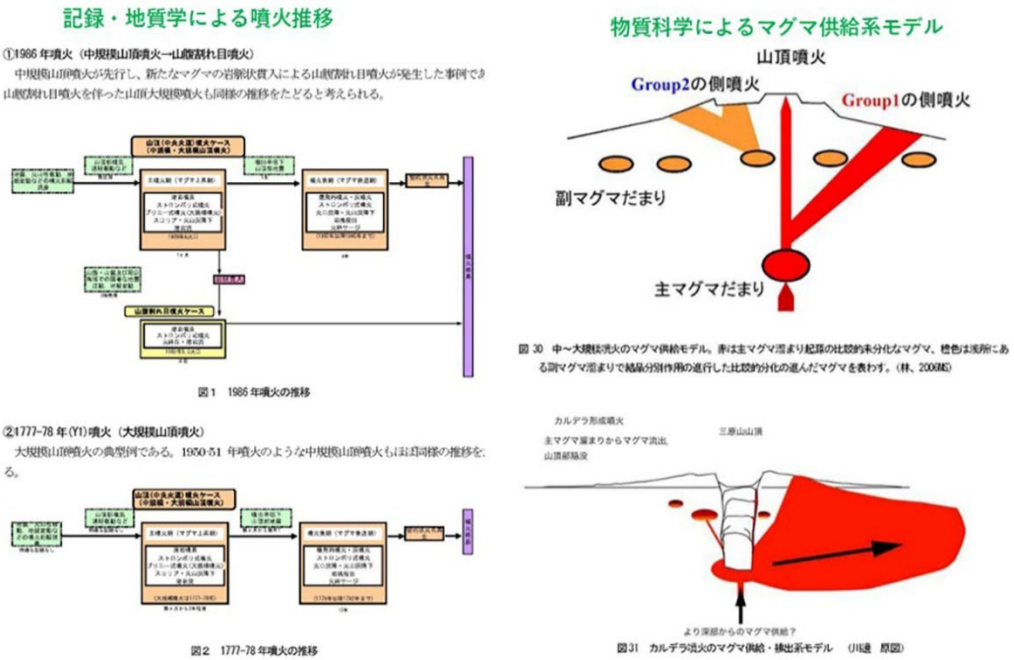


図 180　伊豆大島の記録・地質学による噴火推移（左図）と、物質科学によるマグマ供給系モデル（右図）。これらは火山噴火予知連絡会の伊豆部会によりまとめられた[86]。

図 181　火山 PJ 課題間連携研究、伊豆大島研究集会プログラム。

火山 PJ 課題間連携研究：伊豆大島 WS

開催日時：2022 年 10 月 7 日(金)9：30 ～ 17：45
2022 年 10 月 8 日(土)9：00 ～ 17：30

開催場所：東京大学地震研究所(zoom ハイブリッド形式)

参加者　：139 名

講演プログラム：

○ 10 月 7 日(金)9：30 ～ 17：45

時間	講演タイトル	所属	講演者氏名
9：30 ～ 9：40	研究会開催にあたって	北海道大学	中川　光弘
A．静穏期：噴火シナリオの再評価と改訂，そして伊豆大島の噴火準備とは			
1．伊豆大島噴火シナリオ(予知連版)の構想とやり残したこと			
9：40 ～ 10：10	伊豆大島噴火シナリオ(予知連版)の構想と噴出物から見えること	千葉大学	津久井　雅志
10：10 ～ 10：40	伊豆大島噴火シナリオ作成の反省とそこから考え始めたこと	防災科学技術研究所	森田　裕一
2．地質・物質の研究から見た予知連シナリオの評価：推移・マグマ供給系の見直し			
10：40 ～ 11：10	周辺海域を含めた伊豆大島側火山の活動とそのマグマ供給系	産業技術総合研究所	石塚　治
11：10 ～ 11：40	伊豆大島火山のマグマ供給系に対する物質科学的制約	北海道大学	栗谷　豪
11：40 ～ 12：10	安永噴火を中心とした伊豆大島の噴火推移とマグマシステム	東京大学	池永　有弥
12：10 ～ 13：00	昼　食		
13：00 ～ 13：30	伊豆大島の浅部マグマ供給系：斜長石リキダスからの制約	静岡大学	石橋　秀巳
3．最近の地物観測・研究から見た予知連シナリオの評価			
13：30 ～ 14：00	電磁気連続観測からみる伊豆大島火山の推移	東京大学	小山　崇夫
14：00 ～ 14：30	既存知見に基づく伊豆大島噴火シナリオ改善に向けた検討	気象研究所	鬼澤　真也
14：30 ～ 15：00	噴火兆候として予測される火山ガスの組成変化について	東海大学	大場　武
15：00 ～ 15：15	休　憩		
4．討論：シナリオをどのように改訂するか(できるか)			
15：15 ～ 16：15	伊豆大島における噴火推移モデル	東京大学	前野　深
B．Unrest 期：あるシナリオを想定したとして，どのような事象が観測されるか			
1．シミュレーション＋実験			
16：15 ～ 16：45	火山活動推移の定量的把握ーマグマ移動モデルに基づく検討ー	防災科学技術研究所	小園　誠史
16：45 ～ 17：15	マグマ移動シナリオに基づく地殻変動シミュレーション	気象研究所	川口　亮平
17：15 ～ 17：45	レオロジー実験から探る 1986 年伊豆大島割れ目噴火溶岩の時間依存性	防災科学技術研究所	黒川　愛香

○ 10 月 8 日(土)9：00 ～ 17：30

2．観測：大島だけでなく玄武岩質火山を対象に			
9：00 ～ 9：30	多項目観測による火山活動推移の把握と現象理解	東北大学	山本　希
9：30 ～ 10：00	地球物理観測でみる玄武岩質火山噴火と噴火未遂の先行現象	東京大学	青木　陽介
10：00 ～ 10：30	土壌ガス観測から分かること	東京大学	森田　雅明
10：30 ～ 10：45	休　憩		
3．討論：分岐判断時に観測データが間に合うか			
10：45 ～ 11：45	伊豆大島の観測体制と噴火時に予想されるシグナルについて	東京大学	大湊　隆雄
11：45 ～ 12：40	昼　食		
C．噴火開始期：小規模噴火からピークに向けての活動中にどのように対応するか(できるか)			
1．観測体制の維持と推移予測のための重要な観測項目			
12：40 ～ 13：10	伊豆大島の火山活動の推移予測に資する観測体制の維持と重要な観測項目	気象研究所	高木　朗充
13：10 ～ 13：40	衛星リモートセンシングによる伊豆大島の噴火推移観測	東京大学	金子　隆之
2．地質学的・物質科学的調査			
13：40 ～ 14：10	諏訪之瀬島火山におけるマグマ供給推移のタイムスケールと噴出物データの実際と課題 - 開口型火山の一例として -	常葉大学	鳴野　岳人
14：10 ～ 14：40	火山灰を用いた噴火活動評価の実際と問題点	産業技術総合研究所	松本　恵子
14：40 ～ 15：00	休　憩		
3．ハザード評価：現在のハザードマップの評価と噴火シナリオの使われ方			
15：00 ～ 15：30	伊豆大島避難計画策定時に噴火シナリオがどのように使われたか，何が足りないか	産業技術総合研究所	川邉　禎久
4．討論			
15：30 ～ 17：00	推移予測にはどのような物質科学的データが必要か，間に合うか	東京大学	安田　敦
	噴火時におけるシミュレーションの活用について	防災科学技術研究所	藤田　英輔
D．総合討論			
17：00 ～ 17：30	まとめと今後の取り組みについて	北海道大学	中川　光弘

b) 霧島山

安山岩質マグマが活動している火山として霧島火山を取り上げた。伊豆大島の連携研究と同様に、まずキックオフ研究集会そしてコアメンバーWS を行った。その際に、伊豆大島の場合と同様に、議論のたたき台となる霧島火山のマグマ供給系モデルと系統樹（シナリオ）が必要であるとの認識ができた。霧島火山に関しては、最近の噴火活動に関する地球物理学的および物質科学的研究に関しては、多くの優れた研究成果が発表されているが、伊豆大島の場合のような、複数の研究成果をとりまとめたようなモデルは提案されていない。

そこでコアメンバーWS において、マグマ供給系モデルは課題 B-4 の九州大学、系統樹は C-2 の東京大学が作成することとした。そしてそれらの試作版を、令和 6 年秋の日本火山学会で発表して [92)、93)、94)]、多くの研究者の意見を募り、それらを反映した改訂版のモデルを年内に公表して（図 154)、連携研究集会のたたき台とした。

連携研究集会は令和 7 年 3 月 15～16 日に鹿児島大学で（図 155)、そして現地検討会は 17～18 日に実施された。連携研究集会は伊豆大島の場合と同様に、静穏期、Unrest 期そして噴火開始期に分けて口頭発表とポスター発表が行われた。これらは防災科研の研究資料として公表された [95)]。

研究集会・現地検討会終了後に、霧島新燃岳が令和 7 年 4 月以降に活動が活発となり、6 月から噴火活動が始まった。それを受けて、たたき台として作成したマグマ供給系モデルと系統樹について見直すことは有意義と考え、コアメンバーによる WS が令和 8 年 2 月 18 日に実施された（図 156)。ここでの討議内容は、次期プロジェクトに引き継がれることが確認された。

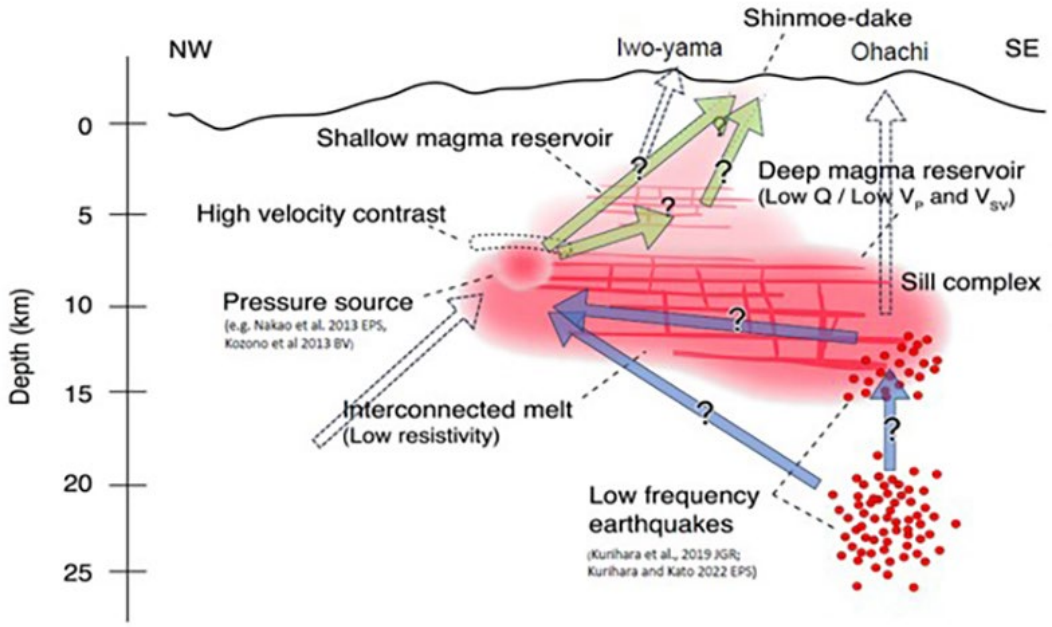


図 182　霧島火山のマグマ供給系モデル [93)]。系統樹の試作版については 3)-b)に示している。

次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト，課題間連携研究集会

「火山学はどのように噴火様式・推移の予測を行うか：霧島火山を例にして」講演プログラム

		発表タイトル	発表者（所属）
3月15日（土）			
9:30	9:40	次世代火山研究プロジェクト課題間連携研究「霧島火山」のねらいについて	中川光弘（北大院・理）
		静穏期	
9:40	10:20	霧島火山群の噴火推移モデル	前野　深（東大地震研）
10:20	10:45	霧島山，歴史記録から見た御鉢から新燃岳・硫黄山への活動遷移と近年の活動及びハザード	田島靖久(日本工営)
10:45	11:10	地方自治体の火山防災訓練から見えたニーズと研究成果の活用について	久保智弘（富士山研）
11:10	11:30	討論　　話題提供：中田節也（防災科研）	
11:30	12:30	**休憩（昼食）**	
12:30	13:10	霧島火山群のマグマ供給系についての論点	相澤広記（九大）
13:10	13:35	霧島火山におけるマグマ生成過程および蓄積場に関する岩石学的制約	川口允孝（東大地震研）
13:35	13:50	霧島火山群韓国岳のプリニー式噴火におけるマグマ蓄積場の状態の解明	鈴木慈苗（東大地震研）
13:50	14:15	斑晶から探る噴火準備・誘発過程ー新燃岳享保噴火への応用ー	鈴木由希（早大）
14:15	14:25	**休憩**	
14:25	14:55	希ガス同位体からみた霧島火山群におけるマグマ起源流体の供給系	角野浩史（東大先端研）
14:55	15:15	2011年噴火の斑晶ヘリウム同位体から見出される霧島火山マグマ供給系の特徴	米田穣生（東大理）
		Unrest期	
15:15	15:40	火山監視の難しさ　～近年の火山活動_霧島山編～	小枝智幸（鹿児島地方気象台）
15:40	16:05	衛星SARによる2017・2018年噴火前に観測された火口収縮の解釈	姫松裕志（国土地理院）
16:05	16:35	霧島火山の観測体制と噴火前、噴火時に予想されるシグナルについて	大湊隆雄（東大地震研）
16:35	17:20	討論（2）+ポスター 進行：中川光弘（北大院・理）	
17:20		**終了**	

3月16日（日）			
9:00	9:25	繰り返し地殻変動観測から推定される霧島・硫黄山直下の圧力源の変化	松島　健（九大）
9:25	9:50	火山性地震発生の特徴と地殻変動から推定した霧島火山新燃岳の2008年～2011年噴火の準備過程と噴火過程	及川　純（東大地震研）
9:50	10:20	新燃岳2011年噴火から2018年噴火までに見られた火口内の地表変形	小澤　拓（防災科研）
10:20	10:30	**休憩**	
10:30	10:55	溶岩ドームの般成長モデル	丸石崇史（防災科研）
10:55	11:20	火山性流体の化学分析に基づく火山活動評価－霧島山(硫黄山)の熱水観	谷口無我（気象研）
11:20	11:45	えびの高原硫黄山の火山ガス中のヘリウム同位体比の時間変化から探る火山活動度	福島菜奈絵（東大先端研）
11:45	12:00	討論（3）	
12:00	13:00	**休憩（昼食）**	
		噴火開始期	
13:00	13:25	現地調査と気象データからみた霧島火山新燃岳2018年5月14日噴出物の空間・粒度分布の特徴	宮縁育夫（熊本大）
13:25	13:50	小規模噴火の噴煙・火山灰輸送シミュレーションに向けて	鈴木雄治郎（東大地震研）
13:50	14:15	霧島新燃岳2018年噴火活発化時における火山灰モニタリング	嶋野岳人（鹿児島大理工）
14:15	14:40	新燃岳2018年噴火における繰り返し爆発噴火のメカニズム	松本恵子（産総研）
14:40	14:50	**休憩**	
14:50	15:15	霧島山噴火時における上空からの地形計測手法－航空機とUAVの併用－	佐々木寿（アジア航測）
15:15	15:45	噴火推移予測をどうやって実現するか	安田　敦（東大地震研）
15:45	16:30	総合討論　進行：藤田英輔（防災科研） 話題提供：中道治久（京大・防災研究センター）	
16:30		**終了**	

図 183　霧島連携研究集会のプログラム。

	霧島マグマ供給系モデルと噴火シナリオ見直しWS					（東大地震研1号館事務会議室B：2026年2月18日（木））
開始	終了	時間		発表者	タイトル（仮題）	概要
10:00	10:00					
10:00	10:35	0:35		行竹洋平	3次元地震波速度構造に基づく霧島火山のマグマ供給過程	自然地震を用いたトモグラフィー解析のより得られた３次元地震波速度構造をもとに、霧島火山におけるマグマ供給過程について議論する。また2025年の噴火に先行した地震活動の詳細な活動履歴についてもあわせて紹介する
10:35	11:10	0:35		小澤　拓	機動的な調査観測・解析グループによる2025年新燃岳噴火に関する調査観測結果	2025年新燃岳噴火に関する活動状況を把握することを目的として、機動的な調査観測・解析グループにおいて、噴出物調査、火山ガス調査、ドローン観測、衛星データ解析を行った。これらの調査観測結果について紹介する。
11:10	11:45	0:35		松本亜希子	岩石学から見る霧島火山群の更新世末からのマグマ供給系の構造	更新世末からの火山群のマグマ供給系の構造を、全岩化学組成、Sr-Nd-Pb同位体比および記載岩石学から検討し、地球物理学的データから得られたマグマ供給系モデルの評価を行う。
11:45	12:45	1:00			昼食	
12:45	13:20	0:35		角野浩史	ヘリウム同位体比の変動からみる霧島火山群のマグマ供給系	新燃岳や御鉢のスコリア・溶岩の斑晶のヘリウム同位体比からは、浅いマグマ溜まりにおける脱ガスと地殻の同化作用と、深部からの新鮮なマグマの供給によって、噴出物のヘリウム同位体比が変動してきたことが示唆されている。硫黄山の噴気には、2025年6月以降の新燃岳の噴火に伴うヘリウム同位体比の上昇は観測されていないことから、今のところ噴火にあたり深部からの新鮮なマグマの供給があったことを積極的に指示する結果は得られていない。
13:20	13:55	0:35		相澤広記	マグマ供給系を考える上での新たな視点	比抵抗構造からの霧島火山マグマ供給系たたき台の論文が１月末にEPS誌にアクセプトされました。霧島火山に限らずマグマ供給系を考えてきたのですが、今後研究が必要と感じたことについてお話したいです。
13:55	14:30	0:35		前野深	霧島火山群の噴火シナリオとその課題	噴火シナリオの作成や改良には、活動の履歴や規則性の解明と、新たな噴火による知見の取得・更新が必要である。このことを念頭に、霧島火山群の噴火シナリオ改良のための課題について考える。
14:30	14:45	0:15		休憩		
14:45	15:20	0:35		松本恵子	噴火推移の把握のために噴出物から何を読みとるべきか？	噴出物の組織や化学組成には、マグマが蓄積し噴火に至るまでの情報が積算して記録されている。本講演では、様々な噴出物が反映する噴火のプロセスを整理し、火山灰等の噴出物から噴火推移を読み取る方法を検討する。
15:20	15:55	0:35		小園誠史	霧島山新燃岳における多項目観測データに基づく噴火シナリオへの制約について	2011、2018、2025年に多項目観測による火山活動変化の把握が行われてきた霧島山新燃岳に関して、観測データに基づいて噴火シナリオにどのような制約を与えることができるか、について議論する。
15:55	17:00	1:05		総合討論		

図 184　霧島連携見直しワークショッププログラムと話題提供の概要。

3）噴火シナリオの高度化と噴火予測に向けた課題

a）伊豆大島

伊豆大島は頻繁に噴火を繰り返す玄武岩質の火山である。最近数百年間の噴火記録は良く残っており、1986 年噴火については近代的観測記録もある。気象庁は将来の噴火に備えて、これまでの活動履歴や観測記録をもとに噴火シナリオを作成し、平成 20 年に公表した。課題 C2 ではこれを改訂した上で、課題間連携研究においてその改訂版噴火シナリオにもとづき、伊豆大島の活動を静穏な状態、Unrest 期、噴火開始後の 3 つの時期・状態に区分し、火山学は予測のために何ができるか、何が足りないかという観点で議論を行った。その結果は以下のような論点として整理することができ、噴火シナリオのさらなる改訂に繋がるものとなった。論点 1：マグマの蓄積領域、マグマの移動の様式、表面現象（噴火規模/強度）の関係の明確化。斜長石斑晶に富むマグ

マと無斑晶質マグマのそれぞれ浅部と深部における蓄積場の存在、極浅部（1.9 km 付近）におけるマグマ蓄積場の存在、大規模噴火においては無斑晶質マグマによる弱い噴火が継続後、斑晶質マグマによる強い噴火へ移行（浅部-深部マグマ溜まりが連動）する可能性が示されるなど、想定されるマグマプロセスの整理が進んだ。また、島の南東側ではマグマ貫入が盛況である一方、北西側ではマグマ供給が乏しく正断層系が発達するという構造的特徴が示され、これは噴火発生場所の予測において重要な基礎情報となる。論点 2:静穏期から Unrest への移行とそのメカニズムや移行速度の理解。噴気温度、H_2O 同位体比、CO_2/H_2O 比、さらには火山性微動、全磁力（熱消磁）、火山ガス組成、土壌ガス量などの観測項目が挙げられ、活動のメカニズム理解や事象分岐の判断に有効な各観測データの変化量・変化率の把握が鍵となることが示された。論点 3 として噴火開始直前の力学的前兆現象（マグマ貫入領域での微動など）の検出、論点 4 として噴火開始後の深部からのマグマ供給の有無の検出や地殻変動観測等からのマグマ噴出率の把握の重要性も示され、噴火シナリオのさらなる改訂と今後の課題についての整理が大きく進んだ。

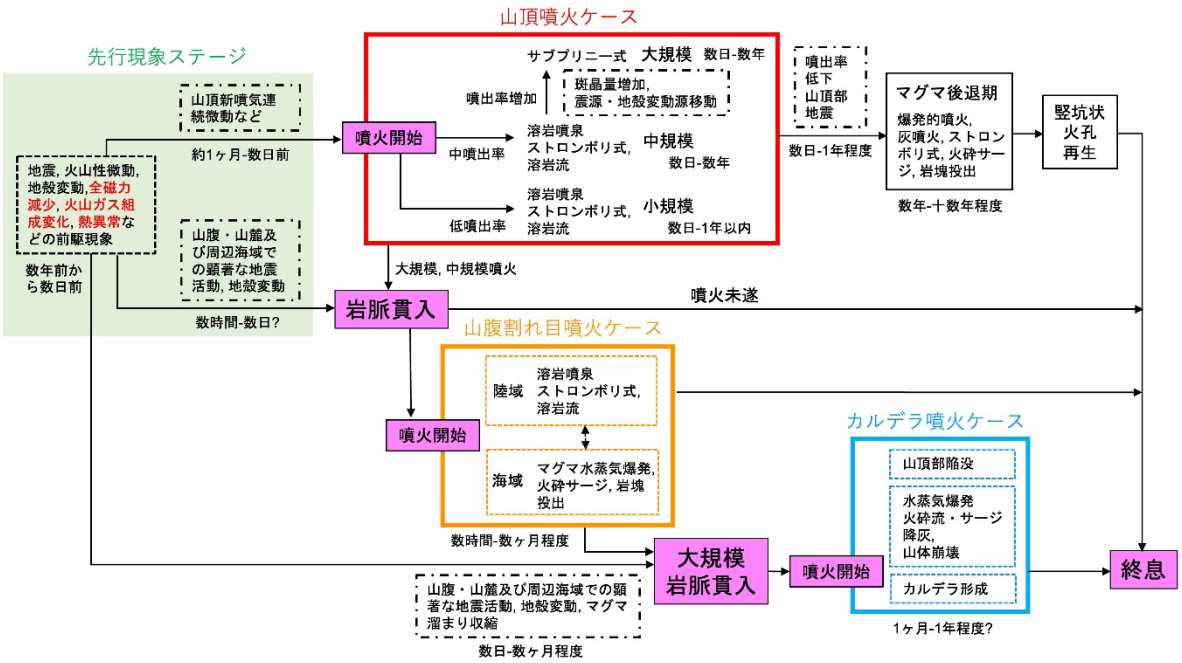
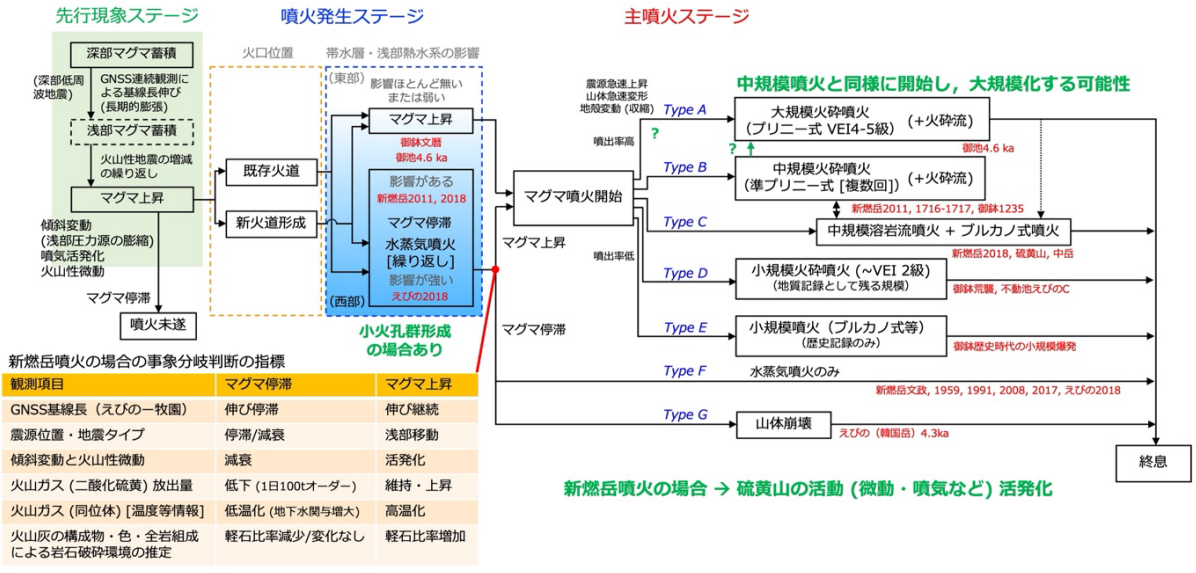


図 185　課題間連携研究で用いた改訂版伊豆大島噴火シナリオ。

b）霧島山

霧島火山は安山岩質マグマによる噴火を近年繰り返しており、さまざまな視点で研究が進められている。今後観測される事象にもとづき、噴火開始後の活動の様式や推移の予測が現在の火山学の水準において可能かどうかを総括し、議論することは有益である。そこで課題間連携研究において、霧島火山群のマグマ供給系モデルと噴火シナリオを試作し、静穏期、Unrest 期、噴火開始後の 3 つの時期に分けて議論を行った。その結果は以下のような論点として整理することができ、噴火シナリオのさらなる改

訂や課題抽出に繋がるものとなった。論点 1：個々の活動中心の履歴や特徴、地質・物質・地物観測の各手法により見えるものの明確化。これにより各手法の特徴、対象とする事象や時間スケールが整理された一方で、噴火シナリオにおける地質的時間（中長期）と観測的時間（短期）の混在をいかに緩和するかなどの課題も浮き彫りとなった。論点 2：マグマ供給系特に個々の山体の活動とマグマ蓄積場との関係の理解の深化。地震波速度異方性を示すマグマ蓄積場が深部に存在すること、深部低周波地震の発生およびその活動様式が噴火毎に異なること、圧力源と震源の連動が捉えられていることなどが示された。一方、岩石学的には御鉢のマグマ溜まりの深さが深部低周波地震発生域と整合的な深さ（15 km）に推定されること、歴史時代の新燃岳・御鉢・硫黄山の噴出物は同位体比等の分析から類似の起源物質に由来することなどが示され、噴火シナリオの基礎となるマグマ供給系モデルの現状と課題の整理が進んだ。論点 3：Unrest 期及び噴火直前から噴火開始時に見るべき観測量の抽出。深部過程については深部低周波地震の増加、GNSS 基線長の長期的伸び（膨張）、ひずみ変化、各活動中心の $^{3}He/^{4}He$ の時間変化などの検出、浅部過程については地震発生数の増加や Seismic background level の変化、火口域の収縮と山腹での膨張などの地殻変動、地熱域の膨縮、地震波速度（S 波速度）の低下、b 値の変化などの検出が重要であることが示された。このように、課題間連携研究により、地質・物質・地物観測の各手法から得られる情報の整理やマグマ供給系についての統合的な理解および問題点の把握が進み、活動のステージ毎に注目するべき事象と調査観測項目が整理された。



新燃岳噴火の場合の事象分岐判断の指標

観測項目	マグマ停滞	マグマ上昇
GNSS基線長（えびの一牧園）	伸び停滞	伸び継続
震源位置・地震タイプ	停滞/減衰	浅部移動
傾斜変動と火山性微動	減衰	活発化
火山ガス (二酸化硫黄) 放出量	低下 (1日100tオーダー)	維持・上昇
火山ガス (同位体) [温度等情報]	低温化 (地下水関与増大)	高温化
火山灰の構成物・色・全岩組成による岩石破砕環境の推定	軽石比率減少/変化なし	軽石比率増加

図 186　霧島火山群の噴火推移モデル。課題間連携研究と 2025 年噴火を踏まえた改訂版。

(g) 引用文献

1) 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，Part 10，北海道防災会議，105p，1986.

2) Matsumoto, A., Nakagawa, M., Kishimoto, H., Ueno, K., Hasegawa, T. and Takeda, K.: Re-evaluation of the Atosanupuri pyroclastic eruptions: Insights into the latest caldera-modifying eruption of the Kutcharo volcano, eastern Hokkaido, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.470, 108503, 2026.

3) Hasegawa, T., Nakagawa, M. and Kishimoto, H.: The eruption history and silicic magma systems of caldera-forming eruptions in eastern Hokkaido, Japan, J. Mineral. Petrol. Sci. Vol.107, pp.39-43, 2012. https://doi.org/10.5026/jgeography.127.157.

4) 齋藤裕子，堀伸三郎，市川八州夫，槇納智裕：十勝岳火山群，上ホロカメットク火山の最近の火山活動，日本火山学会 2017 年度秋季大会講演要旨，p.17，1997.

5) 松本亜希子，中川光弘，小林卓也，石塚吉浩：北海道中央部，十勝岳火山群，ヌッカクシ火口域の活動史，火山，Vol.66，pp.255-279，2021.

6) 齋藤裕子，槇納智裕，松尾淳，堀伸三郎：ヌッカクシ富良野川沿いの火山活動に伴う土砂移動，平成 10 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.310-311，1998.

7) 曽屋龍典，勝井義雄，新井田清信，堺幾久子，東宮昭彦：有珠火山地質図（第２版），火山地質図，No.2，産総研地質調査総合センター，2007.

8) Matsumoto, A. and Nakagawa, M.: Reconstruction of the eruptive history of Usu volcano, Hokkaido, Japan, inferred from petrological correlation between tephras and dome lavas, Island Arc, Vol.28, e12301, 2019. https://doi.org/10.1111/iar.12301

9) Nakagawa, M., Matsumoto, A. and Yoshizawa, M.: Re-investigation of the sector collapse timing of Usu volcano, Japan, inferred from reworked ash deposits caused by debris avalanche, Frontiers in Earth Science, Vol.10, 96704, 2022. https://doi.org/10.3389/feart.2022.967043

10) Matsumoto, A. and Nakagawa, M.: Formation and evolution of silicic magma plumbing system: Petrology of the volcanic rocks of Usu volcano, Hokkaido, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.196, pp.185-207, 2010. https://doi.org/10.1016/ j.jvolgeores.2010.07.014

11) 中川光弘，松本亜希子，宮縁育夫，長谷川健，古川竜太，上澤真平，長井雅史：マグマ噴出量階段図の標準的な作成手法の提案と有珠山での作成例，火山 ，Vol.69，pp.101-114，2024.

12) 南裕介，伊藤順一，草野有紀，及川輝樹，大場司：秋田焼山火山における過去 6000 年間の爆発的活動による降下火砕物の層序，年代，化学的特徴，火山，Vol.68，pp.39-57，2023.

13) 南裕介，山崎誠子，伊藤順一，大場司：秋田焼山火山地質図，火山地質図，No.23，産総研地質調査総合センター，2025.
14) 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.
15) 田次将太，中川光弘，和知剛：東北日本，秋田駒ケ岳南部カルデラの形成史，火山，Vol.68，pp.207-228，2023.
16) 中川光弘，田次将太，松本亜希子，和知剛：爆発的噴火に関連した地震に誘発された山体崩壊：東北日本、秋田駒ケ岳火山の更新世末期のカルデラ形成噴火と関連した山体崩壊，日本火山学会 2023 年秋季大会講演要旨，2023.
17) Taji, S., Nakagawa, M. and Wachi, T.: Volcanic evolution and magma diversity of Akita-Komagatake volcano, northeastern Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res. (under review).
18) 大場司，林信太郎，伴雅雄，井村匠，池田柾道，平田碧，菊池瑛美：鳥海山のマグマ噴出量階段図―主に過去 2,800 年前以降の噴出量変化―，防災科学技術研究所研究資料，No.500，pp.29-36，2024.
19) Ohba, T., Hayashi, S., Ban, M., Imura, T., Minami, Y. and Endo, M.: Late Holocene tephrostratigraphy at Chokai volcano, northern Japan, and contribution to hazard assessment, J. Disaster Res., Vol.17, pp.724-735, 2022.
20) 伴雅雄，及川輝樹，井村匠，常松佳恵，神秀登，高橋由路：マグマ噴出量階段図の事例：蔵王山，防災科学技術研究所研究資料，No.500，pp.37-43，2024.
21) 伴雅雄，及川輝樹，山崎誠子：蔵王火山地質図，火山地質図，No.18，産業技術総合研究所　地質調査情報センター，2015.
22) 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.94-110，2005.
23) Imura, T., Ohba, T. and Horikoshi, K.: Geologic and petrologic evolution of subvolcanic hydrothermal system: A case on pyroclastic deposits since the 1331 CE eruption at Azuma-Jododaira volcano, central Fukushima, North-Eastern Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.416, 107274, 2021.
24) 草野有紀，及川輝樹，石塚吉浩：日光白根火山 1649 年噴火の復元，火山，Vol.66，pp.327-346，2021.
25) 草野有紀，及川輝樹，石塚吉浩，石塚治，山元孝広：日光白根及び三岳火山地質図，火山地質図 No.22，産業技術総合研究所地質調査総合センター，8p，2022.
26) 草野有紀，及川輝樹，石塚吉浩，石塚治，古川竜太：日光白根火山のマグマ噴出量階段図―水蒸気噴火が活発な火山の例―，防災科学技術研究所研究資料，No.500，pp.55-60，2024.
27) 高橋正樹，安井真也，金丸龍夫，山下大輔：浅間前掛火山テフラ・トレンチ調査により得られた降下軽石の全岩主化学組成―浅間前掛火山における最近 1 万年間のマグマ主化学組成の時間変化，日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要，No.54，pp.143-172，2019.

https://nihon-u.repo.nii.ac.jp/records/2000262
28) 高橋正樹，安井真也，金丸龍夫：浅間前掛火山高分解能テフラ層序学のための降下テフラ・トレンチ掘削プロジェクト 2016～2018 年度成果報告―地質記載・14C 年代・軽石全岩化学組成，日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要，No.55，pp.93-153，2020.
https://nihon-u.repo.nii.ac.jp/records/2000236
29) 安井真也，高橋正樹，金丸龍夫：トレンチ掘削による浅間火山群の地質調査の記録 ―プロジェクト研究 2019～2025 年度成果報告―，日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要，No.61，pp.115-141，2026.
30) 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.
https://doi.org/10.18940/kazan.66.4_293
31) Takahashi, M., Yasui, M. Kanamaru, T. and Nakagawa, M.:Eruptive Volume and Age of Large-Scale Pumice Eruptions of the Asama-Maekake Volcano, Central Japan, as Revealed by Detailed Trench Surveys: Implications for Future Volcanic Hazards, Journal of Disaster Research, Vol.17, pp.1080-1089, 2022.
https://doi.org/10.20965/jdr.2022.p1080
32) 安井真也，高橋正樹，金丸龍夫：浅間火山火砕岩屑なだれ堆積物の再発見―浅間家畜育成牧場と周辺地域の火山地質―，日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要，No.54，pp.123-142，2019.
https://nihon-u.repo.nii.ac.jp/records/2000258
[訂正：135 ページ右段 21 行　地点 14　誤　2.3calYBP　　正　23ka calBP]
https://nihon-u.repo.nii.ac.jp/records/2004275
33) Yasui, M., Takahashi, M., Kanamaru, T., and Nagai, M. : Multiple Sector Collapses of Asama-Sennin and -Kurofu Volcanoes and Associated Large-scale Debris Avalanche Deposits, In: Aramaki, S., Takahashi, M., Takeo, M., Yasui, M., Aoki Y. eds., The Asama Volcano -The Most Active and Hazardous Andesitic Volcano near the Tokyo Metropolitan Area-, Springer, (in press).
https://link.springer.com/book/9789819557981.
34) Ishizaki, Y., Kametani, N. and Numata, W.: Geology and Eruptive History of Kusatsu-Shirane Volcano, In: Ohba, T., Terada, A. (eds): Kusatsu-Shirane Volcano, Active Volcanoes of the World, Springer, pp.1-20, 2025.
35) 亀谷伸子，石崎泰男，勝岡菜々子，吉本充宏，寺田暁彦：草津白根火山，白根火砕丘群南麓の白根南火口列と弓池マールの噴火様式と活動年代，火山，Vol.66，pp.1-19，2021.
36) 石崎泰男，濁川暁，亀谷伸子，吉本充宏，寺田暁彦：草津白根火山，本白根火砕丘群の地質と形成史，地質学雑誌，Vol.126，pp.479-491，2020.
37) 石崎泰男，沼田和佳子，亀谷伸子：草津白根火山のマグマ噴出量階段図，防災科学技術研究所研究資料，Vol.500，pp.61-68.

38) 大場武，谷口無我：草津白根山における地球化学的モニタリング，日本火山学会 2022 年度秋季大会講演予稿集，p.2-25.
39) 石塚　治，川邉禎久，井上卓彦，有元純，前野　深：伊豆大島火山地質図（第 2 版），火山地質図，No.10，産総研地質調査総合センター，8p，2026.
40) Ikenaga, Y., Maeno, F. and Yasuda, A.：Temporal change in eruption style during the basaltic explosive An’ei eruption of the Izu-Oshima volcano, Japan: insights from stratigraphy and chemical composition analyses, Frontiers in Earth Science, Vol.11, 172615, 2023. doi:10.3389/feart.2023.1172615
41) Arakawa, Y., Endo, D., Ikehata, K., Oshika, J., Shinmura, T. and Mori, Y.: Two types of gabbroic xenoliths from rhyolite dominated Niijima volcano, northern part of Izu-Bonin arc: petrological and geochemical constraints, Open Geosciences., Vol.9, pp.1-12, 2017.
42) Arakawa, Y., Endo, D., Oshika, J., Shinmura, T. and Ikehata, K.: High-silica rhyolites of Niijima volcano in the northern Izu-Bonin arc, Japan, Petrological and geochemical constraints on magma generation and supply, Lithos, Vol.330-331, pp.223-237, 2019.
43) 一色直記: 新島地域の地質: 地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，85p，1987.
44) 吉田浩: 新島火山の噴火史，日本火山学会 1992 年秋季大会講演予稿集，A63, 1992.
45) 小林淳，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.
46) 荒牧重雄，伊藤順一: 新島およびその周辺に分布する火山岩の岩石学的特徴（新島，式根島），伊豆諸島における火山噴火の特質及び火山防災に関する調査研究資料集（地学編），東京都総務局災害対策部防災計画課，pp.7-29，1992.
47) 及川輝樹，竹下欣宏，山﨑誠子: 御嶽火山地質図，火山地質図，No.24，産業技術総合研究所地質調査総合センター，2025.
48) 山﨑誠子，及川輝樹，Daniel P. Miggins, Anthony A.P. Koppers：御嶽火山の 10 万年前より若い試料の 40Ar/39Ar 年代測定，フィッション・トラックニュースレター，No.37，pp.27-28，2023.
49) 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.123-1355, 1995.
50) 長岡正利，清水智，山崎正男：白山火山の地質と形成史，石川県白山自然保護センター研究報告，Vol.12，pp.9-24，1985.
51) 山崎正男，富樫茂子，守屋以智雄，清水智：白山火山大白川岩屑流堆積物中の ^{14}C 年代,火山，Vol.32，pp.123-124，1987.

52) 遠藤邦彦：白山火山地域の火山灰と泥炭層の形成過程，白山高山帯自然史調査報告， pp.11-30，1985.
53) 川辺禎久，星住英夫，伊藤順一，山﨑誠子：九重火山地質図，火山地質図，No.19，産業技術総合研究所地質調査センター，7p，2015.
54) 長岡信治，奥野充：九州中部，九重火山群の噴火史，地形，Vol.36(3)，pp.141-158，2015.
55) 太田岳洋，辻智大，福岡仁至，岡田将英：マグマ噴出量階段図：九重火山，防災科学技術研究所研究資料，No.500，pp.93-106，2024.
56) 宮縁育夫：阿蘇カルデラ北西部，蛇ノ尾火山の噴出物と噴火年代，火山，Vol.62，pp.1-12，2017.
57) 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.
58) 福岡管区気象台：阿蘇山，九州地方の火山，福岡管区気象台要報，Vol.45，pp.1-46，1990.
59) Miyabuchi, Y., Iizuka, Y. and Ogata, Y.：Historical eruptions at Aso Volcano, Japan, spanning the last 800 years: insights from a high-resolution tephra record, Bulletin of Volcanology, Vol.88, article number 20, 2026.
60) 渡辺一徳：阿蘇火山中岳の火山活動，熊本地学会誌，Vol.98，pp.2-13，1991.
61) 宮縁育夫，渡辺一徳：埋没黒ボク土層の 14C 年代からみた完新世阿蘇火山テフラの噴出年代，火山，Vol.42，pp.403-408，1997.
62) Miyabuchi, Y.：Post-caldera explosive activity inferred from improved 67-30 ka tephrostratigraphy at Aso Volcano, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.205, pp.94-113, 2011.
63) 気象庁：日本活火山総覧（第 4 版），1498p.
64) Simkin, T. and Siebert, L.：Volcanoes of the World (Second edition), Geoscience Press Inc., 349p, 1994.
65) 宮縁育夫：阿蘇火山における後カルデラ期のテフラ噴出量階段図の作成，防災科学技術研究所研究資料，No.500，pp.85-92，2024.
66) Maeno, F., Shohata, A., Suzuki, Y., Hokanishi, N., Yasuda, A., Ikenaga, Y., Kaneko, T. and Nakada S.：Eruption style transition during the 2017-2018 eruptive activity at the Shinmoedake volcano, Kirishima, Japan: surface phenomena and eruptive products, Earth, Planet. Space, Vol.75, article number 76, 2023.
67) Aizawa, K., Muramatsu, D., Tsukamoto, K., Teguri, Y., Koyama, T., Utsugi, M., Kanda, W., Inomata, T. et al.：Trans-crustal magma plumbing system of Kirishima volcanic complex as inferred from dense broadband magnetotelluric observations, Earth, Planets and Space, Vol.78, article number 43, 2026.

68) 中川光弘，松本亜希子，宮縁育夫，長谷川健，古川竜太，上澤真平，長井雅史:マグマ噴出量階段図の標準的な作成手法の提案と有珠山での作成事例，火山，Vol.69，pp.101-114，2024.
69) 長井雅史，中川光弘，松本亜希子，宮縁育夫，長谷川健，古川竜太，上澤真平:国内活動的火山の噴出量階段図：火山活動評価と火山防災への基礎資料，防災科学技術研究所研究資料，No.500，2024.
70) 中田節也：噴火シナリオと確率論的予測，火山，Vol.61，pp.199-209，2016.
71) Miura，H.：A proposal for the source vent of the Rishiri-wankonosawa tephra (Rs-Wn)，the late Pleistocene marker tephra in northern Hokkaido，Geol. Rep. Tokyo Metrop. Univ.，No.30，pp.133-145，1995.
72) 奥野充：ニセコ・イワオヌプリ，大雪山・旭岳，屈斜路・アトサヌプリにおける最新噴火の年代学的研究，平成12～14年度科費報告書，pp.13-23，2003.
73) 松尾良子：南西北海道，ニセコ火山群の完新世噴火履歴の解明：イワオヌプリ火山の地質学的研究，北海道大学大学院理学院，修士論文，2019.
74) 中村俊夫，辻誠一郎，竹本弘幸，池田晃子：長野県，南軽井沢周辺の更新世最末期の浅間テフラ層の加速器^{14}C年代測定，地質学雑誌，Vol.103，pp.990-993，1997.
75) Ali，M.，Oda，H.，Hayashida，A.，Takemura，K. and Torii，M.：Holocene palaeomagnetic secular variation at Lake Biwa，central Japan，Geophysical Journal International，Vol.136，pp.218-228，1999.
76) Hayakawa，Y.：Pyroclastic geology of Towada volcano，Bulletin of the Earthquake Research Institute，Vol.60，pp.507-592，1985.
77) 柵山雅則：白馬大池火山の地質，地質学雑誌，Vol.86，pp.265-274，1980.
78) 及川輝樹，原山 智，梅田浩司：白馬大池火山のK-Ar年代， 火山，Vol.46，pp.21-25，2001.
79) 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，地球惑星科学連合2020年大会要旨集，SVC47-P10，2020.
80) 宮縁育夫，飯塚義之，遠入楓大，大倉敬宏：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－2019年5月3日～5日噴火を含む火山活動の特徴－，火山， Vol.66，pp.157-169，2021.
81) 宮縁育夫，飯塚義之，大倉敬宏：阿蘇火山中岳第1火口における2021年10月14日噴火，火山，Vol.67，pp.441-452，2022.
82) Miyabuchi，Y. and Hara，C.：Temporal variations in discharge rate and component characteristics of tephra-fall deposits during the 2014-2015 eruption of Nakadake first crater，Aso Volcano，Japan，Earth，Planets and Space，Vol.71，article number 44，2019.
83) 宮縁育夫，長井雅史，中田節也，小澤拓，古川竜太，石塚治，南裕介，コンウェイ クリス，伊藤順一：JVDNシステムを活用した降灰調査－阿蘇火山中岳2021年10月20日噴火の事例－，火山，Vol.69，pp.61-70，2024.

84) 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年噴出物の岩石学的特徴，火山，Vol.33，S234-S254，1988.
85) Mikada, H., Watanabe, H. and Sakashita, S.: Evidence for subsurface magma bodies beneath Izu-Oshima volcano inferred from a seismic scattering analysis and possible interpretation of the magma plumbing system of the 1986 eruptive activity, Physics of the Earth and Planetary Interiors, Vol.104, pp.257-269, 1997.
86) 気象庁：火山噴火予知連絡会伊豆部会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ー，42p，2008.
87) Yanagi, T., Ichimaru, Y. and Hirahara, S.: Petrochemical evidence for coupled magma chambers beneath the Sakurajima volcano, Kyushu, Japan, Geochemical Journal, Vol.25, pp.17-30, 1991.
88) 中川光弘，松本亜希子，宮坂瑞穂，富樫泰子，井口正人：桜島火山の噴火活動様式とマグマ供給系の20世紀からの変化とその意義，「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」2010年度報告書，pp.85-94，2011.
89) Takahashi, M., Otsuka, T., Sano, H., Kawamata, H., Yasui, M., Kanamaru, T., Otsuki, M., Kobayashi, T., Ishihara, K. and Miki, D.: Temporal variation for magmatic chemistry of the Sakurajima Volcano and Aira Caldera region, southern Kyushu, southwest Japan since 61 ka and its implications for the evolution of magma chamber system, Bull. Volcanol. Soc. Jpn., Vol.58, pp.19-42, 2013.
90) 宝田晋治，池上郁彦，金田泰明，下司信夫：大規模噴火データベースと噴火推移データベースで噴火の詳細情報を明らかに．科学，Vol.92，No.11，pp.951-954，岩波書店，2022.
https://gbank.gsj.jp/volcano/ledb/
91) 藤田英輔，中川光弘，安田敦，栗谷豪，大湊隆雄，前野深：次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト，課題間連携集会「火山学はどのように噴火様式・推移の予測を行うか：伊豆大島火山を例にして」プロシーディング，防災科学技術研究所研究資料，No.487，128p，2023.
92) 中川光弘，安田敦，栗谷豪，藤田英輔，大湊隆雄，前野深，相澤広記，松本亜希子：次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト，課題間連携研究報告：どのように噴火様式・推移予測を行うか ―伊豆大島と霧島を例として―，日本火山学会2024年度秋季大会（札幌）予稿集，p.87，2024.
93) 相澤広記，長岡優，栗原亮：霧島火山群のマグマ供給系についての論点，日本火山学会2024年度秋季大会（札幌）予稿集，p.88，2024.
94) 前野深，川口允孝，及川輝樹，小園誠史：霧島火山群の噴火シナリオの試案，日本火山学会2024年度秋季大会（札幌）予稿集，p.89，2024.
95) 藤田英輔，中川光弘，安田敦，栗谷豪，大湊隆雄，中田節也，前野深，相澤広記：次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト，課題間連携研究集会「火山学はどの

ように噴火様式・推移の予測を行うか：霧島火山を例にして」 プロシーディング，防災科学技術研究所研究資料，No.523，150p，2026.

２．３　シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

火山噴火の予測技術の開発「シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発」

(b) 担当者

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

(c) 業務の目的

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

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

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

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

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

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

(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 28 年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

・噴火機構シミュレーション：火道流内圧力変化解析

・マグマ移動過程シミュレーション：岩脈貫入に伴う応力場把握（マクロ）

・物性モデルの構築：結晶実験・レオロジー実験の環境整備

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル検討（首都圏影響対象）
・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙柱ダイナミクスモデル検討
・ハザード評価システム：噴煙評価システム検討（既往システム参照）

2）平成 29 年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション
・噴火機構シミュレーション：地殻変動理論計算と検知可能性検証
・マグマ移動過程シミュレーション：クラック進展シミュレーション（ミクロ）
・物性モデルの構築：実験の環境整備と、結晶化カイネティクスと火山性流体レオロジーのモデル検討

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル予備計算（プロトタイプ）
・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙柱ダイナミクスモデル高度化
・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術設計
・噴石シミュレーション：噴石評価システム検討
・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム設計

3）平成 30 年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション
・噴火機構シミュレーション：事象分岐を支配するパラメータの抽出
・マグマ移動過程シミュレーション：ミクロ・マクロモデルの統合
・物性モデルの構築：結晶化カイネティクスモデル検討・火山性流体レオロジーモデル検討

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル予備検証（プロトタイプ）
・噴煙・火砕流シミュレーション：降灰モデルとの連携開始
・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術開発
・噴石シミュレーション：噴石評価システム設計
・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム開発

4）平成 31 年度（令和元年度）：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション
・マグマ移動過程シミュレーション：観測データによる検証
・物性モデルの構築：結晶化カイネティクスモデル検討・火山性流体レオロジーモデル検討

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル改良（噴煙モデルとの連携）
・噴煙・火砕流シミュレーション：降灰モデルとの連携
・溶岩流シミュレーション：大規模・高速溶岩流技術設計
・噴石シミュレーション：噴石評価システム開発
・ハザード評価システム：首都圏降灰評価システム運用

5）令和 2 年度：

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

・マグマ移動過程シミュレーション：空間分解能の高度化
・物性モデルの構築：観測データによる検証
サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル本計算
・噴煙・火砕流シミュレーション：既往火砕流モデル検討
・土石流・泥流シミュレーション：既往土石流・泥流モデル検討
・ハザード評価システム：噴石・溶岩流評価システム運用

6）令和 3 年度：
サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション
・マグマ移動過程シミュレーション：パラメータ感度解析
・物性モデルの構築：観測データによる検証
サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測モデル本検証
・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙・火砕流モデル高度化・検証
・土石流・泥流シミュレーション：土石流・泥流モデル高度化・検証
・ハザード評価システム：火山ハザード評価システム運用・高度化（首都圏降灰・噴石・溶岩流）

7）令和 4 年度：
サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション
・マグマ移動過程シミュレーション：火道内マグマ流動過程、岩脈貫入シミュレーションの開発
・物性モデルの構築：減圧結晶化モデル・高粘性プラグ形成モデルの開発
サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
・降灰シミュレーション：新しい移流拡散モデル（JMA-ATM）の初期値の精度を改善するための 1 次元噴煙モデル（NIKS-1D）の開発
・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙・火砕流評価システムの開発
・ハザード評価システム：火山ハザード評価システム運用・高度化（降灰・噴石・溶岩流）

8）令和 5 年度：
サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション
・噴火機構シミュレーション：事象分岐判断のための火道流モデルの高度化
・マグマ移動過程シミュレーション：マグマの移動に伴う破壊の進展と火山性地震・地殻変動との関連性を引き続き調べ、システム化
・物性モデルの構築：マグマ上昇過程における結晶化モデル構築
サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化
・降灰シミュレーション：降灰ハザード予測の評価のためのシステム開発
・噴煙・火砕流シミュレーション：噴煙柱ダイナミクスモデルの開発
・ハザード評価システム：火山ハザード現象を評価するシステムの設計・導入

9）令和 6 年度：
・火山ハザード評価システム運用・機能評価

・マグマ移動過程評価システム評価および事象分岐評価手法の開発

10）令和 7 年度：

・一元化システム統合

・情報ツールでのコンテンツ提供

(e) 令和 7 年度における業務の方法

1）サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーション

a）噴火機構シミュレーション技術開発

噴火形態を支配する火道内流のメカニズムについて、事象分岐をもたらすパラメータの抽出に関する国内の常時観測火山を対象としたシミュレーション研究を実施する。

具体的には、昨年度までに特定の火山を対象として開発された玄武岩質・安山岩質マグマ噴火やブルカノ式噴火前の火道内増圧過程を対象とした火道流数値モデルについて、国内の主要火山にも適用できるようモデルを汎用化する。具体的には、噴火事例毎に異なる火道内のマグマ物性が火道流を強く支配することを示したこれまでの成果を踏まえ、国内の常時観測火山における物質科学的データに基づき、火道流モデルに適切なマグマ物性に関する条件を設定できる構成方程式系のパラメータを整理することで、常時観測火山を対象とした汎用的な火道流モデル解析環境を整備する。この解析環境に基づき、国内で大規模な火山ハザードを生じ得る玄武岩質・安山岩質マグマ噴火における火道流が噴火様式や事象分岐に与える影響を総括する。

b）マグマ移動過程シミュレーション技術開発

地下におけるマグマの移動に伴う破壊の進展と火山性地震・地殻変動との関連性を引き続き調べ、システム化への検討を行う。

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

c）マグマ物性モデルの構築

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

2）サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

a）降灰ハザード予測モデルの開発

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

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

b）噴煙柱ダイナミクスモデルの開発

火山近傍の火山灰大気拡散と降灰を対象とした噴煙柱ダイナミクスモデルの開発を続け、システム化への検討を行う。

具体的には、噴煙柱ダイナミクスと火山灰輸送を同時に解く SK-3D モデルを大型計算機において実行し、大気中の火山灰分布と地表への堆積物分布のデータを取得する。前年度までのデータと合わせることにより、小〜大規模噴火事例のシミュレーションセットを揃える。取得したシミュレーションセットを火山ハザード評価システムでのデータベース化について検討し、掲載する。また、実際の噴火事例のシミュレーションを実施し、噴煙柱ダイナミクスモデルの高度化を行う。本テーマによる火山灰粒子挙動の解析は、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの次世代火山研究推進事業課題 D サブテーマ 2（リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発）による降灰評価との連携を行い、降灰予測精度の向上を図る。

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開発を取りまとめ、汎用化を行う。

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

全サブテーマにおいて、課題 C 連携対象である霧島山についての研究を進め、研究集会に参加する。なお、研究期間中に国内の火山で、噴火の予兆が把握された場合もしくは噴火が発生した場合において、火山機動観測実証研究事業により緊急観測が実施される際は、前記の技術開発の一環として、その計画の一部もしくはその全てに代えて、緊急観測を実施することあるいは緊急観測に協力することを可能とする。

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

(2) 令和 7 年度の成果

(a) 業務の要約

サブテーマ①：地下におけるマグマ移動シミュレーションでは、観測データを再現し得る火道内マグマ流動過程のモデリングと多様なマグマ特性に対応するように体系化を進めた。岩脈貫入から噴出に至る過程を網羅的にシミュレーションする粒子法（SPH）プログラムを開発するとともに、境界要素法による地殻変動計算システムを高度化した。マグマ物性モデルの構築では、噴火分岐に影響を与える結晶化速度および平衡結晶速度のモデルを更新した。

サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化では、首都圏における予測降灰量データベースの作成を進めた。また、火山近傍の火山灰大気拡散と降灰を対象とした噴煙柱ダイナミクスモデルのシステム化、溶岩流シミュレーションコード、降灰シミュレーションコードの開発を進め、火山ハザード評価システムを整備した。

(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

噴火形態を支配する火道内流のメカニズムについて、事象分岐をもたらすパラメータの抽出に関する国内の常時観測火山を対象としたシミュレーション研究を実施した。

昨年度までに特定の火山を対象として開発された玄武岩質・安山岩質マグマ噴火やブルカノ式噴火前の火道内増圧過程を対象とした火道流数値モデルについて、国内の主要火山にも適用できるようモデルを汎用化した。噴火事例毎に異なる火道内のマグマ物性が火道流を強く支配することを示したこれまでの成果を踏まえ、富士宝永噴火、桜島大正噴火、有珠山 1943-1945、1977 年噴火、伊豆大島 1986 年噴火、雲仙普賢岳 1991-1995 年噴火、霧島山新燃岳 2011 年噴火、桜島ブルカノ式噴火など、国内の常時観測火山における過去の噴火の物質科学的データに基づき、火道流モデルに適切なマグマ物性に関する条件を設定できる構成方程式系のパラメータを整理した。具体的には、各噴火事例で分析・推定されたメルト組成や温度・圧力条件を用いた Rhyolite-MELTS による減圧結晶化シミュレーションを実施し、それに基づき、火道流のモデル化で必要となる溶解度則や液相粘性変化、平衡結晶度を定式化した。これらの定式を適用した火道流モデルにおいては、ダイク形状を模擬した弾性変形する火道や、様々なマグマ破砕条件・脱ガス過程などを考慮し、常時観測火山における幅広い噴火様式を対象とした汎用的な火道流モデル解析環境を整備した。一例として、桜島大正噴火における溶岩流出噴火を対象とした火道流モデル解析によって、高噴出率の溶岩流出が安定に継続するために必要な火道形状やマグマ物性条件に強い制約を与えることが可能となった。本年度はさらに、ストロンボリ式噴火における、マグマだまりで蓄積した火山ガスの大気泡がスラグ流として火道を上昇する過程に関する室内実験及びスラグ上昇のモデル化を実施し、火道上部が閉塞する効果が火道内の圧力変動に与える影響などを明らかにした。また、気象庁一元化地震カタログを用いて日本の活火山下における浅発地震の下限深さを系統

的に調査し、火山山頂直下では周辺地殻に比べて下限深さが浅く、熱源としてのマグマだまりの影響を反映していることなどを明らかにした。

b) マグマ移動過程シミュレーション技術開発

岩石の破壊を伴うマグマの貫入過程を計算する目的で境界条件に柔軟に対応できるSPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法を用いてプログラムの開発を進めた。今年度は粒子システムに「応力を設定する機能」と「底からマグマ粒子を注入する機能」を追加してこのプログラムを強化した。また、プログラムがマグマ貫入過程を計算する上で基本となる機能を備えていることを確認した。

開発したプログラムが対象とする粒子システムは、マグマを表すマグマ粒子、岩石を表す岩石粒子、岩石が破壊されて転移した被破壊粒子から構成され、それぞれが粘性率の異なる粘性粒子として運動して状態を変える。さらにシステムの側面と底には固定粒子を加えて壁をつくり、粒子を閉じ込める。粒子システムの上面は自由表面とする。座標軸は岩脈（鉛直に成長すると仮定）と垂直に x 軸、平行に z 軸をとり、y 軸は鉛直上向きにとる。図 1 に示す。(a)は粒子の配列で、表示するのは岩脈の中心 $z = 0$ を通る断面である。粒子の種類は色で区別し、マグマ粒子は赤、岩石粒子は緑、被破壊粒子は青、壁を構成する固定粒子は灰色に色づけされる。

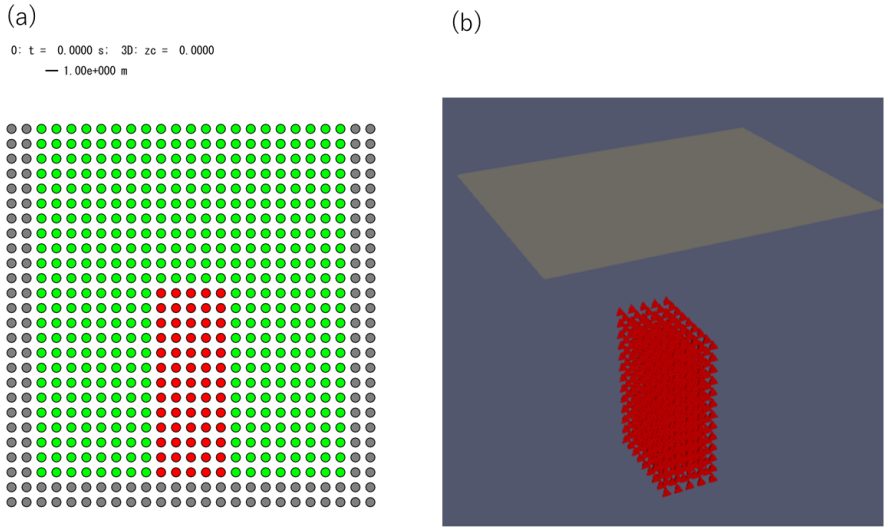


図 187　粒子の構成と初期配列。(a)は z = 0 の断面でみる粒子配列、(b)はマグマ粒子の 3 次元表示である。

岩石粒子（緑）との密度差のために、マグマ粒子（赤）は浮力で上昇を始めており、位置は最初並んでいた岩石粒子より高くなっている。ただ、最初もっていた上向きの速度（粒子の中心から伸ばした線分）はまわりの岩石粒子におさえこまれてほとんどなくしている。この時間までの上昇によってマグマ粒子は上部にたまり、下部は希薄になる。その移動を反映してマグマ粒子全体は上がふくらみ、下がしぼむ形状になる。

マグマ粒子のまわりでは、岩石粒子は側面で引きずられ、上部で押されておおまかには上向きの速度をもつ。マグマ粒子の真上では両側に排除され、下部では吸い寄せられる傾向がみられる（図 2)。

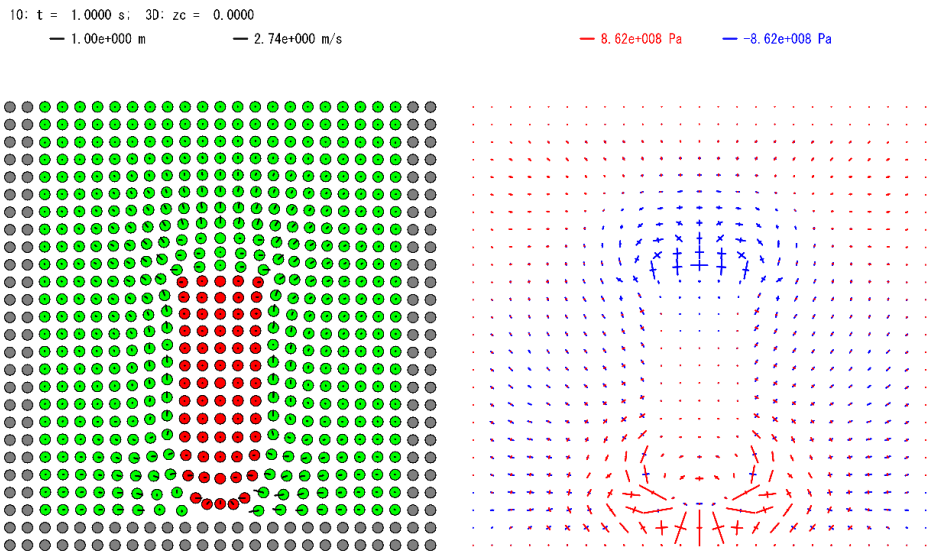


図 188　t = 1s のときの粒子の位置と速度（左図）および応力（右図）の分布。z = 0 の断面でみる。

応力の分布をみると、マグマ粒子の上昇に対応して、マグマ粒子の上部境界付近には圧縮力が、下部付近には張力が生じる。弾性定数や粘性率の差によって、圧縮力や張力の発生は岩石粒子の側に顕著である。

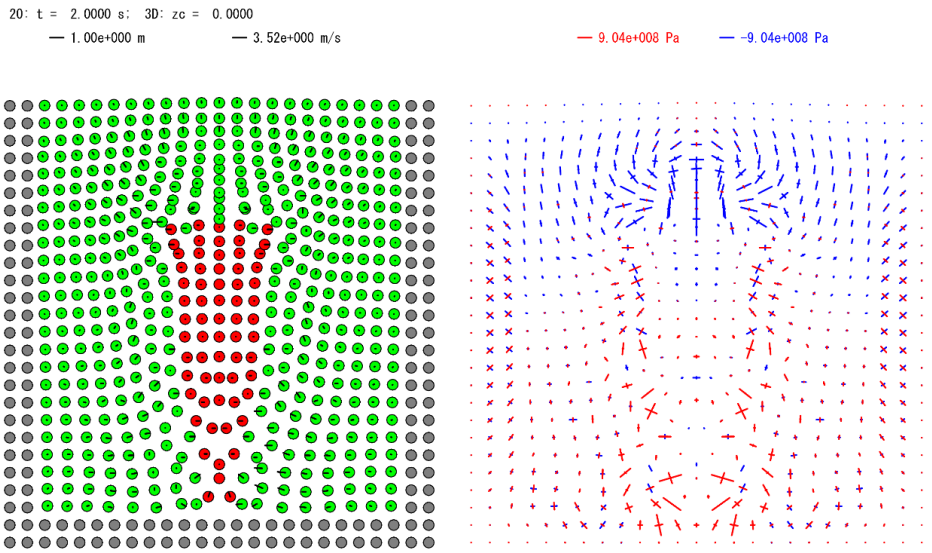


図 189　t = 2s のときの粒子配列と移動速度（左図）および応力（右図）の分布。z = 0 の断面でみる。

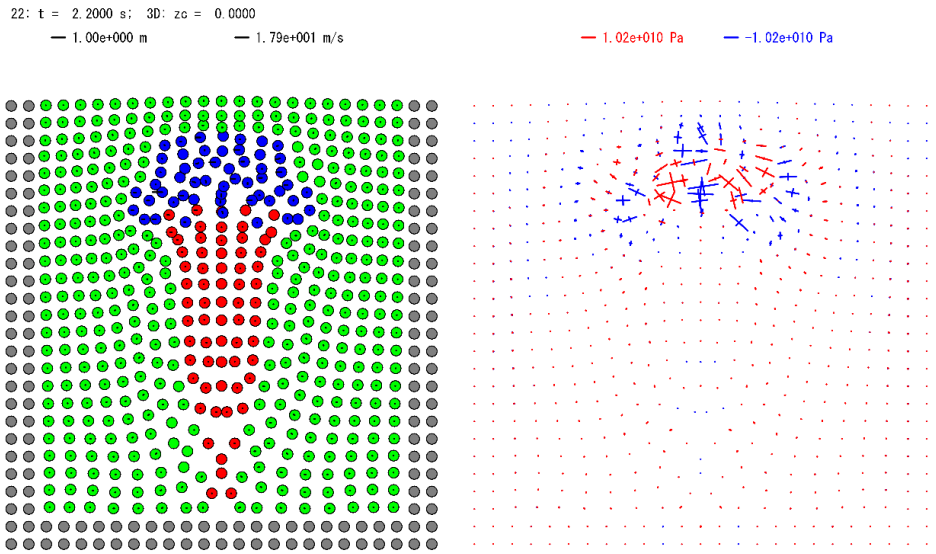


図 190　t = 2.2s のときの粒子配列と移動速度（左）および応力（右）の分布。z = 0 の断面でみる。マグマ粒子の上に被破壊粒子の領域ができる。

時間が経過して t = 2s になると、マグマ粒子は岩石粒子を押しながら上昇を続け、全体の形状は上部のふくらみと下部のしぼみをさらに増す（図 3)。岩石粒子も位置の乱れが大きくなるが、配列の秩序は保持している。

さらに時間が 0.2s 進んで t = 2.2s になると、マグマ粒子の上部では強い圧縮のために岩石粒子が壊れて被破壊粒子（青）になる（図 4)。被破壊粒子の領域の内部を細かくみると、粒子の分布は完全な左右対称からはずれている。これは数値計算の誤差のためで、応力計算の微小な誤差によって破壊条件に達するタイミングが微妙にずれ、それが被破壊粒子の運動に反映される。

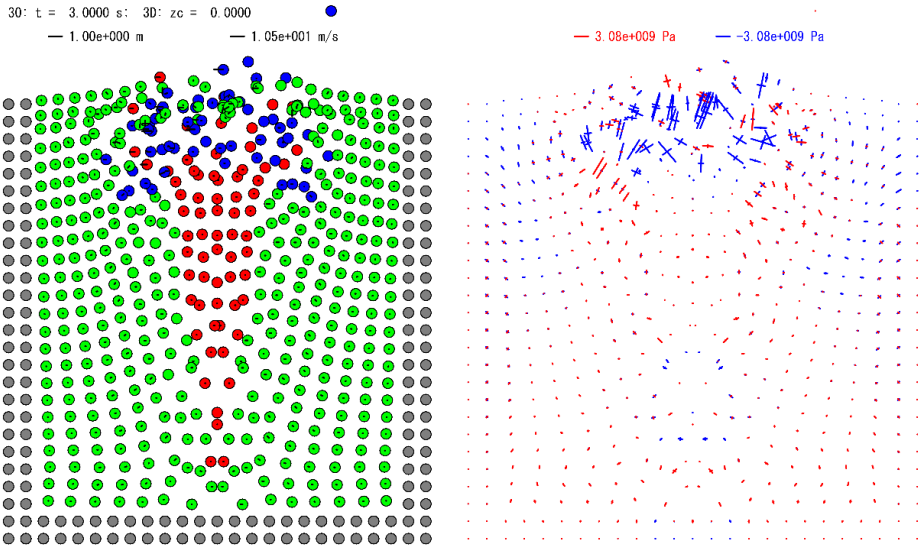


図 191　t = 3.0s のときの粒子配列と移動速度（左）および応力（右）の分布。z = 0 の断面でみる。マグマ粒子の最上部は表面まで達している。

粘被破壊粒子は岩石粒子より粘性率が低いので、マグマ粒子はその中を移動しやすく、その領域を一挙に突き抜けて上昇し、一部が表面まで達する（図 5)。マグマ粒子全体は広がりながらシステムの上部に移動し、下部は切れ切れになる。この状態でのマグマ粒子と被破壊粒子の 3 次元配列を図 6 に示す。

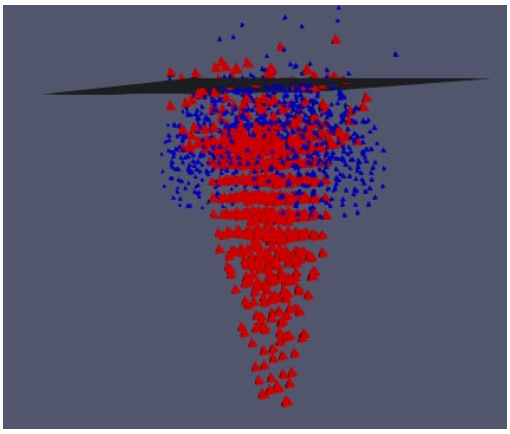


図 192　t = 3.0s のときのマグマ粒子と被破壊粒子の 3 次元粒子配列。マグマ粒子の最上部は表面まで達している。

浮力によるマグマ粒子の上昇が岩石粒子に応力を生む過程をマグマ粒子と岩石粒子を貫く直線上でさらに詳しく観察する。直線の位置は y = −15, z = 0 とする。この位置は水平の z 方向からみると岩脈の中心にあり、上下には岩脈の中央より少し上にあたる。この直線上で上昇速度 v_y を x の関数として描いたのが図 7 である。図には時間 t の異なる 4 つの分布が描かれている。なお、マグマ粒子は y が-2 から 2 までの範囲をしめており、その外側は岩石粒子である。この図をみると、マグマ粒子の上昇は t が 0.5 程度までは浮力によって加速され、上昇速度が増加する。マグマ粒子の上昇に引きずられて、岩石粒子も次第に上昇速度を高め、その範囲を広げていく。ところが、時間がさらに進むとマグマ粒子の上昇速度は下がりだし、t が 1 近くなるとほとんど 0 になる。岩石粒子が弾性的な反発力を強めて浮力の効果を打ち消すために、マグマ粒子は上昇が抑制されるのである。岩石粒子の方は上昇範囲の広がりが続いてマグマ粒子との間で上昇速度が逆転する。図 8 は同じ直線上でみたせん断応力の時間変化である。せん断応力は弾性定数の違いに対応して岩石粒子の方が大きい。マグマ粒子との高さの差のために、せん断応力は時間とともに増加していく。マグマ粒子の上昇はやがて止められるので、岩石粒子の上昇も落ち着いて、せん断応力も最終的には小さくなるはずだが、この時間の範囲内では岩石粒子の上昇が追いつかず、増加の鈍化はまだみられない。

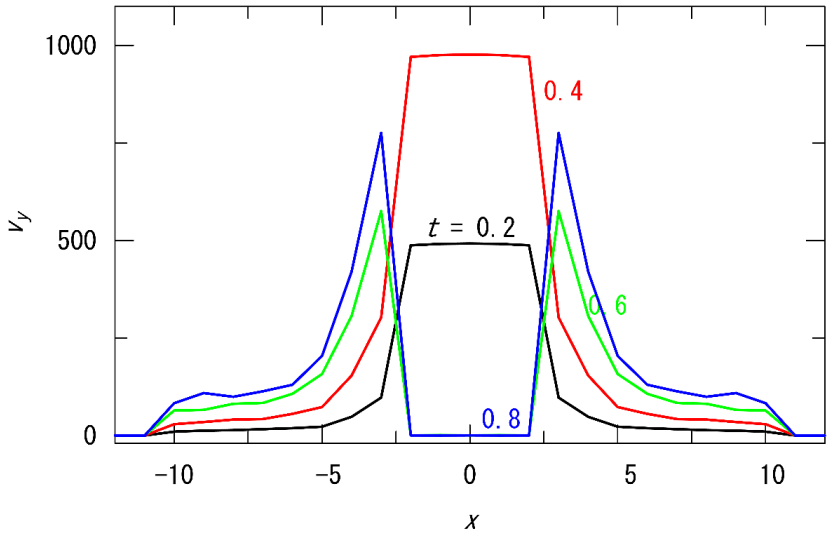


図 193　直線 y = −15, z = 0 でみた粒子の上昇速度 v_y の時間変化。

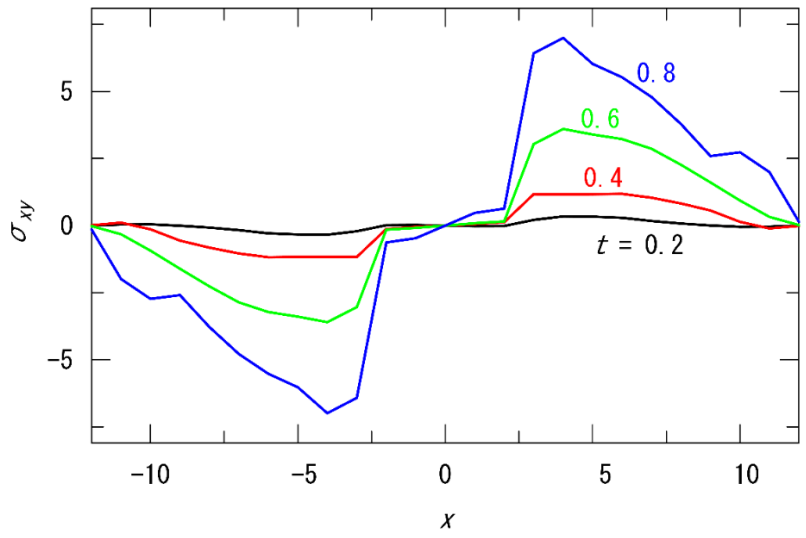


図 194　直線 y = −15, z = 0 でみた粒子のせん断応力の時間変化。

標準的な計算ではマグマは質量にして 1%の揮発性成分を含んでいる（ϕ = 0.01)。この揮発性成分の効果を岩脈最上部の中心にあるマグマ粒子（粒子番号 4262 番）の性質を通して図 9 にみる。図には比較のために ϕ= 0 と ϕ = 0.011 の場合も示す。

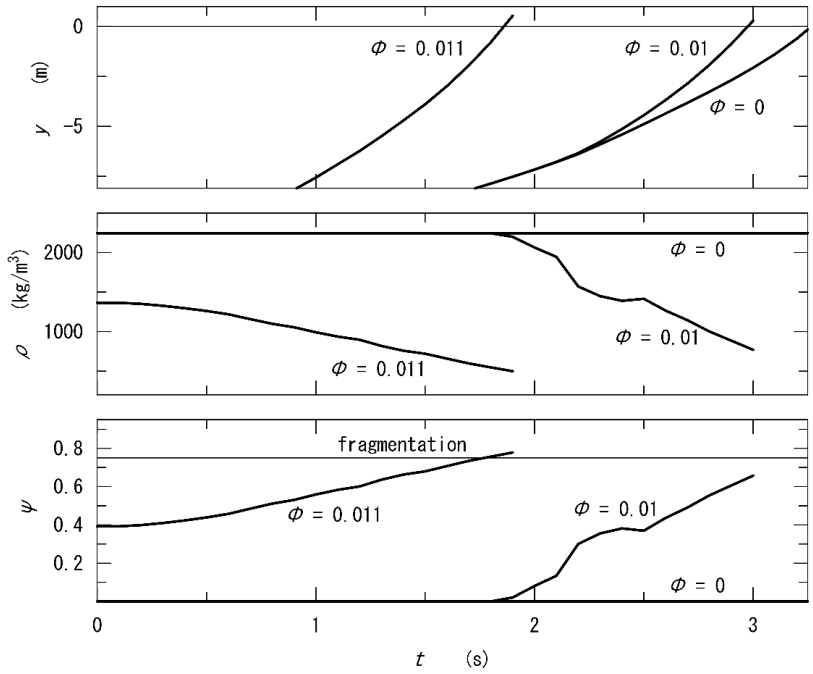


図 195　マグマに含まれる揮発性成分の効果。岩脈最上部の中心にあるマグマ粒子（粒子番号 4262 番）について高さ y、密度 ρ、揮発性成分の体積比 ϕ を時間 t の関数として描く。揮発性成分の量は 3 つの質量比 ϕ = 0, 0.01, 0.011 を取り上げる。

図 9 の最下段がマグマ中の揮発性成分の体積比 ϕ の変化である。標準計算（ϕ = 0.01）の場合には時間 t が 1.8s 程度に達したあたりで発泡が始まり、溶解する揮発性成分が徐々に気体となっていく。時間が 2.1s 程度になったころから発泡が加速的に進むのは、岩石粒子の破壊が始まってマグマ粒子の上昇が加速するためである。気体となる揮発性成分の増加に対応してマグマの密度も下がっていく（中段)。そのために浮力が増加し、揮発性成分を含まない場合（ϕ = 0）と比べると上昇速度が高まって地表にも早く到達する（上段)。標準計算の場合にはマグマ粒子は地表に達しても破砕は起こらない。揮発性成分量が破砕に不十分なためである。そこで、揮発性成分量を少し増やして ϕ = 0.011 にした場合を図には取り上げる。この場合には計算の最初から発泡が起きており、最終的には破砕により上昇速度も増加している。

マグマ粒子を注入する方法として底の壁に穴をあけてマグマ粒子を押し出す方法があるが、この方法をとるとマグマ粒子が壁を通過するときの扱いや他の粒子と相互作用を始めるタイミングなどに任意性が生じる。それを避けるために注入にはもっと単純な方法を試みた。その方法として採用するのは、最下層のマグマ粒子と底の壁との間に新たなマグマ粒子の層を単につけ加えることである。注入するマグマ粒子は最初から他のマグマ粒子と同じ性質をもち、注入直後から他の粒子と通常の相互作用をするものとする。この方法でも注入速度以外に層を付け加える位置（高さ）などの設定が必要になるが、その設定は計算結果に本質的な効果をもたらさない。マグマ粒子の注入は一定の時間隔毎に間欠的に行って、その時間間隔 Δt で注入速度 v_i を調整する。注入される粒子がこの時間間隔の間に移動する距離を Δy とすれば

$$\Delta t = \frac{\Delta y}{v_i}$$

マグマ粒子の注入は過剰になればマグマの流れの下部を太らせ、不足すれば下部がやせ細る。過不足のないように v_i を調整してその条件を満たすような v_i をさがすことが理想である。この目的には距離 Δy を粒子間隔に選ぶのがよい。

マグマ注入の例としてマグマ粒子層を 1.5m/s の速度で注入する場合について計算結果を示す。移動距離 Δy を粒子間隔 1m にすると、注入の時間間隔は約 0.667s になる。注入する粒子を粒子配置の最下部と底の中間においた場合に最初の状態を図 10 に示す。この計算例では注入のために最下層付近には圧縮力が高まり、岩石粒子に破壊が生じている。

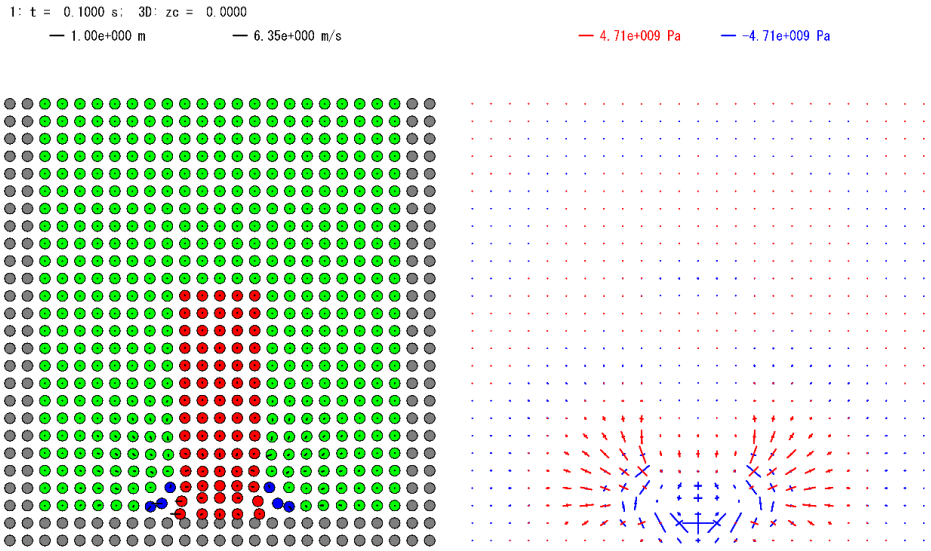


図 196　マグマ粒子に最初の層を最下部の層と壁の中間に注入した直後の状態。

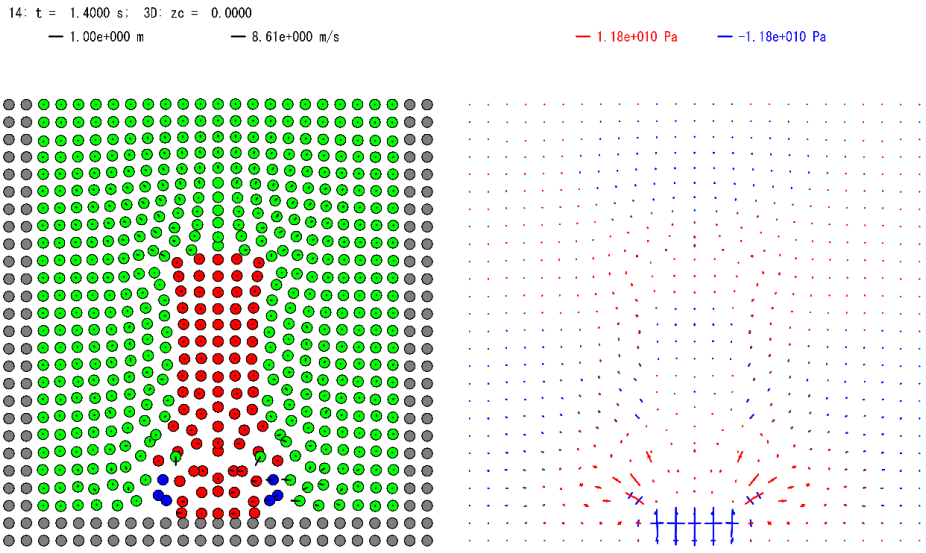


図 197　マグマ粒子の 2 層目を注入したころの状態。

さらに次の粒子層を加えるころには、最初に加えた粒子層は粒子間隔の程度の上昇をなしとげている（図 11)。ただし移動の高さは不揃いで、真ん中ほど高くなっている。岩石粒子の近くにあるマグマ粒子は岩石粒子から粘性力を受けて上昇が妨げられるためである。さらに 3 層目を加えるころには、マグマ粒子の先端部でも岩石粒子の破壊が始まっている（図 12)。そのためにマグマ上昇過程には新たな展開が始まり、先端部の上昇は加速する。マグマ粒子の最下部では、粒子の分布が多少不揃いになりながらもマグマ粒子の補給が続く。

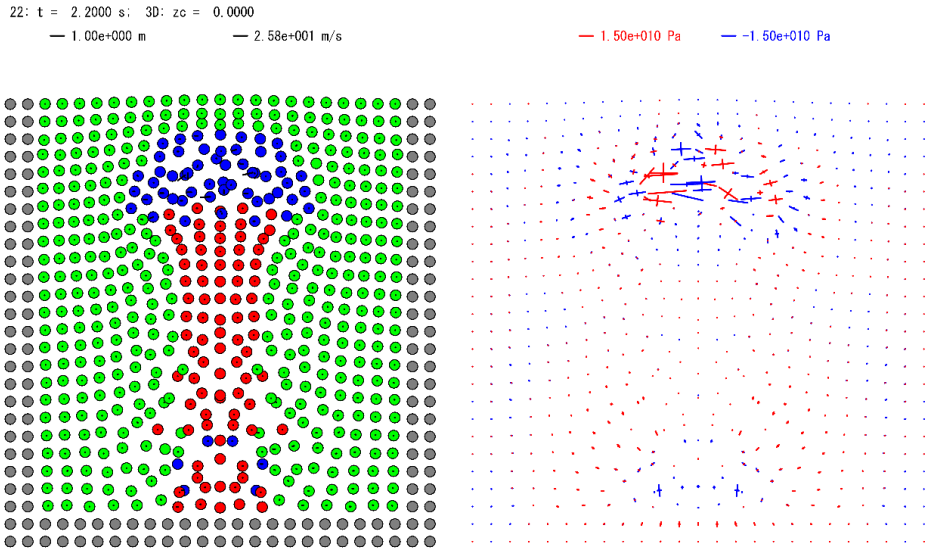


図 198　マグマ粒子の 3 層目を注入したころの状態。

この計算結果を標準的な計算と比べてみると、下からの補給は最上部の状態にほとんど影響されてないようにみえる。注入の効果は途中の粒子の移動に吸収されてしまうと推測される。なお、注入速度 1.5m/s は最適条件より多少小さい。最下層へのマグマ粒子の注入で周辺の岩石粒子の一部が破砕粒子に転移した。注入による岩石粒子の破壊を排除するために、岩石粒子の強度を 5 倍にして計算した。この変更に合わせて注入速度を 2.0m/s にふやし、注入する粒子の幅も 9 割におさえた。計算結果の一部を図 13 に示す。この計算結果では岩石粒子の破壊は取り除かれている。前の計算例より注入は円滑に進み、マグマ粒子の末尾の形状も多少整えられているようにみえる。上昇するマグマ粒子を補足する目的はこの方法でほぼ達成されている。

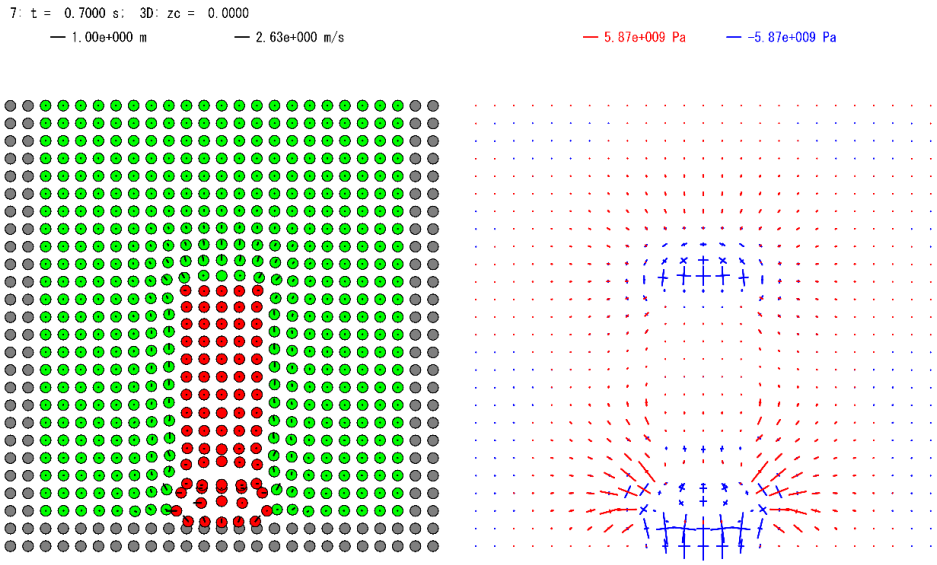


図 199　岩石の強度を 5 倍にしたときのマグマ粒子の注入。注入速度を 2.0m/s に、注入する粒子の幅を 9 割にした。

また、火山地形の効果を考慮した地殻変動を境界要素法による数値計算で求める手法の開発を進めた。本年度は、これまで開発してきたプログラムをハザード評価システムに組み込むため、地形メッシュの作成過程などのプログラムの修正を行うとともに、伊豆大島や那須岳などの地殻変動計算結果のとりまとめを進めた。

c) マグマ物性モデルの構築

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

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

2) サブテーマ②：噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

a) 降灰ハザード予測モデルの開発

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

前年度までに、1 次元噴煙モデル（NIKS-1D）[1] と気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）[2] を組み合わせた宝永噴火を想定した降灰シミュレーションを実施し、その計算結果について事後解析を行った。具体的には、計算結果である 1 年分（365 個）のシミュレーション結果を用いて、国内の主要都市ごとの降灰量および最大粒径、粒径

毎の降灰量分布、降灰量の階級別確率などの統計指標を算出するとともに、それらの季節変化について調査した。今年度は、これまでに得られた研究成果を論文として取りまとめ、学術誌へ投稿した。また、前年度までに作成した降灰シミュレーションの計算結果について、予測降灰量データベースとして整理した。

b) 噴煙柱ダイナミクスモデルの開発

火山近傍における火山灰の大気拡散および降灰を対象として、噴煙柱ダイナミクスモデルの開発を継続し、システム化に向けた検討を行った。噴煙柱ダイナミクスと火山灰輸送を同時に解く SK-3D モデルを大型計算機上で実行し、噴火条件および大気条件に関するパラメータスタディを進めた。噴煙挙動および火山灰粒子挙動の精度向上を目的として、発生頻度の高い小～中規模噴火事例のシミュレーションセットを整備した。得られた計算データについては、火山ハザード評価システムへのデータベース化を念頭に検討を行った。さらに、現実的な風速プロファイルを考慮した数値実験および個別噴火事例の再現シミュレーションを実施し、噴火条件と大気条件が火山灰輸送に与える影響を解析した。これらの結果を踏まえ、降灰ハザード予測モデルとの連携を進めた。

小～中規模噴火事例として、噴出率 3.5×10^5 kg/s のシミュレーションを実施した（図 14）。計算には九州大学情報基盤研究開発センターのスーパーコンピュータシステム玄海および東京大学情報基盤センターの Wisteria を用い、MPI 並列による 512～768 CPU 規模の計算を行った。本ケースは、本プロジェクトで実施した連続噴煙シミュレーションの中で最小規模であり、同時に最も高い計算負荷を要するものである。最小グリッドサイズは 2.26 m と極めて高解像度であり、噴火開始後約 25 分までの時間発展を再現した。無風条件においては、小規模噴火であっても傘型噴煙が形成されることを確認した。噴煙最高高度は約 7 km、傘型噴煙の拡大高度は 5～6 km であり、桜島大正噴火に近い規模に対応する。また、火山灰粒子を模したマーカー粒子の解析から、粒径 1 mm 以上の粒子は火口近傍に落下し、10 μm 以下の微粒子は傘型噴煙内に滞留することが示された（図 14 左）。これにより、無風条件下において噴出率 10^5～10^{11} kg/s にわたる幅広い噴火強度のデータセットを整備した。これらは、将来的に風を考慮した小規模噴火シミュレーションにおける基準データとして利用可能である。

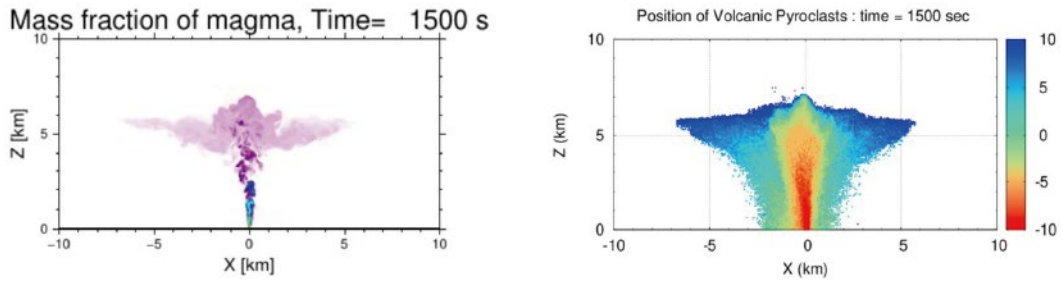


図 200　噴煙ダイナミクスモデル SK-3D による、小規模噴火のシミュレーション結果。風速 0 m/s の場合の（左）火口を含む断面での噴出物質量分率と（右）火山灰粒子分布。右列の色は φ スケールでの粒子サイズを表す。

次に、噴出率 1×10^6 kg/s の条件に対して風速場を変化させたパラメータスタディを行い、計算セットを拡充した（図 15）。無風条件では噴煙最高高度は約 10 km、傘型噴煙の拡大高度は 7〜8 km となった。一様風を与えた場合、風速 10 m/s では噴煙は約 9 km まで上昇した後、大気と密度が釣り合う約 6 km 高度で水平に拡大した。風速 20 m/s では噴煙柱は火口直上から傾斜し、高度 5〜6 km で水平拡大した。この条件ではオーバーシュート領域は形成されなかった。これらの結果は、噴火規模が小さいほど風の影響が顕著になることを示している。また、噴煙高度や形状の変化に伴い、大気中の火山灰粒子分布も大きく変化することを確認した（図 15 右）。前年度までの成果と合わせ、噴出率 10^6〜10^7 kg/s の範囲において多様な風条件の計算データを整備した。

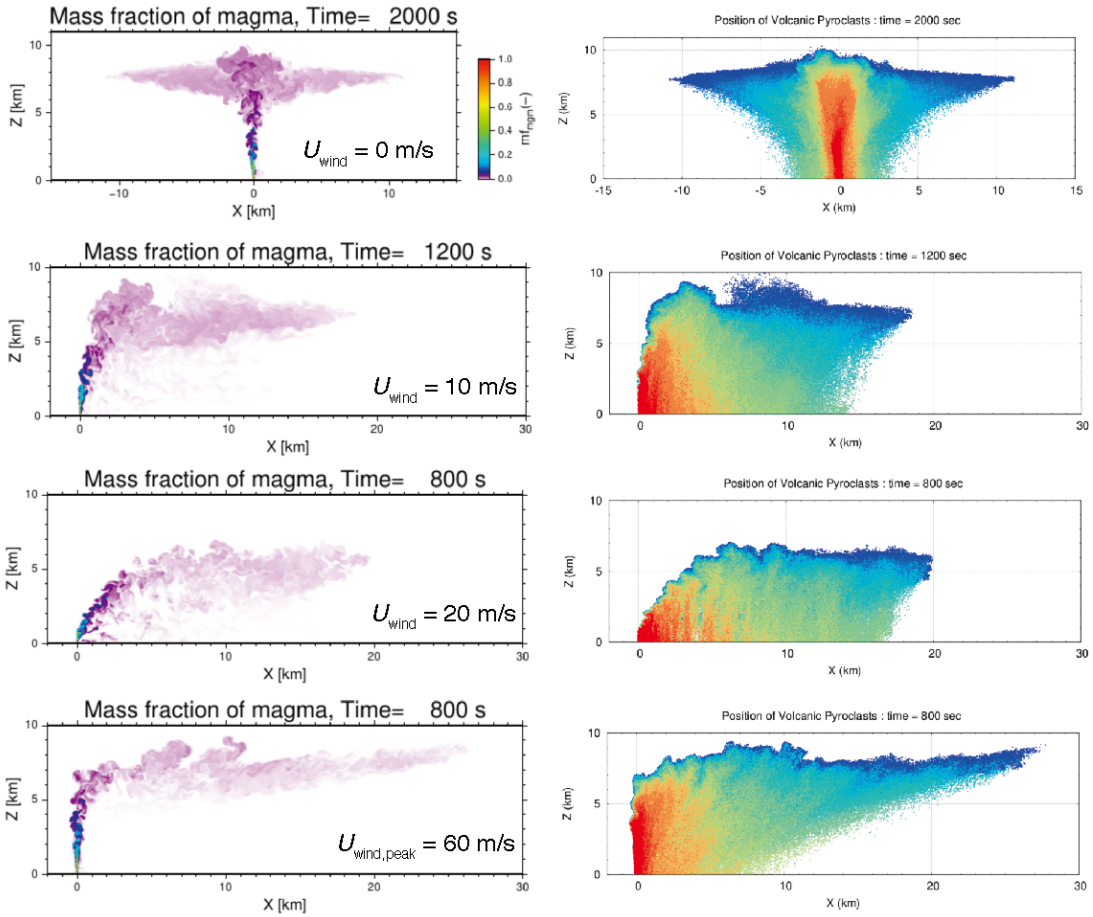


図 201　様々な風の条件での小規模噴煙３次元シミュレーション結果。同じ噴出条件に対し、風速やその鉛直プロファイルを変えた場合について、（左）火口を含む断面における噴出物質量分率と（右）火山灰を模したマーカー粒子の分布を示す。

次世代火山研究推進事業課題 D サブテーマ 2（リアルタイム火山灰ハザード評価手法の開発）との連携のもと、計算で得られた粒子データを桜島火山に適用した（図 16）。噴出率の違いにより、大気中に分布する火山灰粒子の空間スケールが大きく変化することを確認した。また、同一噴出率であっても風速およびその鉛直プロファイルの違いにより、風下方向への輸送距離や風上側への拡大の有無が大きく異なることが明らかとなった。さらに、風向

に直交する方向への拡大も顕著に変化し、噴煙形状が大気条件に強く依存することを示した。

三次元火山灰輸送シミュレーションの結果を火山ハザード評価システムに組み込むため、前年度に整備したトレーサー粒子位置情報の緯度・経度・高度への変換スクリプトを適用した。これにより、任意の火山に対応した火山灰粒子分布データへの変換が可能となった。得られる分布は、大気中浮遊粒子および地表堆積分布の双方を含む。変換結果は KML または KMZ 形式で出力され、Google Earth 等を用いた可視化が容易に行える。

中～大規模噴火事例については、傘型噴煙の長時間シミュレーションを実施し、その時間発展特性を解析した。従来、傘型噴煙半径は時間の 2/3 乗に比例するスケーリング則が提案されているが、本研究で得られた計算結果の解析から、この関係は噴出率や大気条件に依存して変化することが示された。この結果は、人工衛星観測に基づく噴出率推定において、大気条件の考慮が不可欠であることを示唆する。

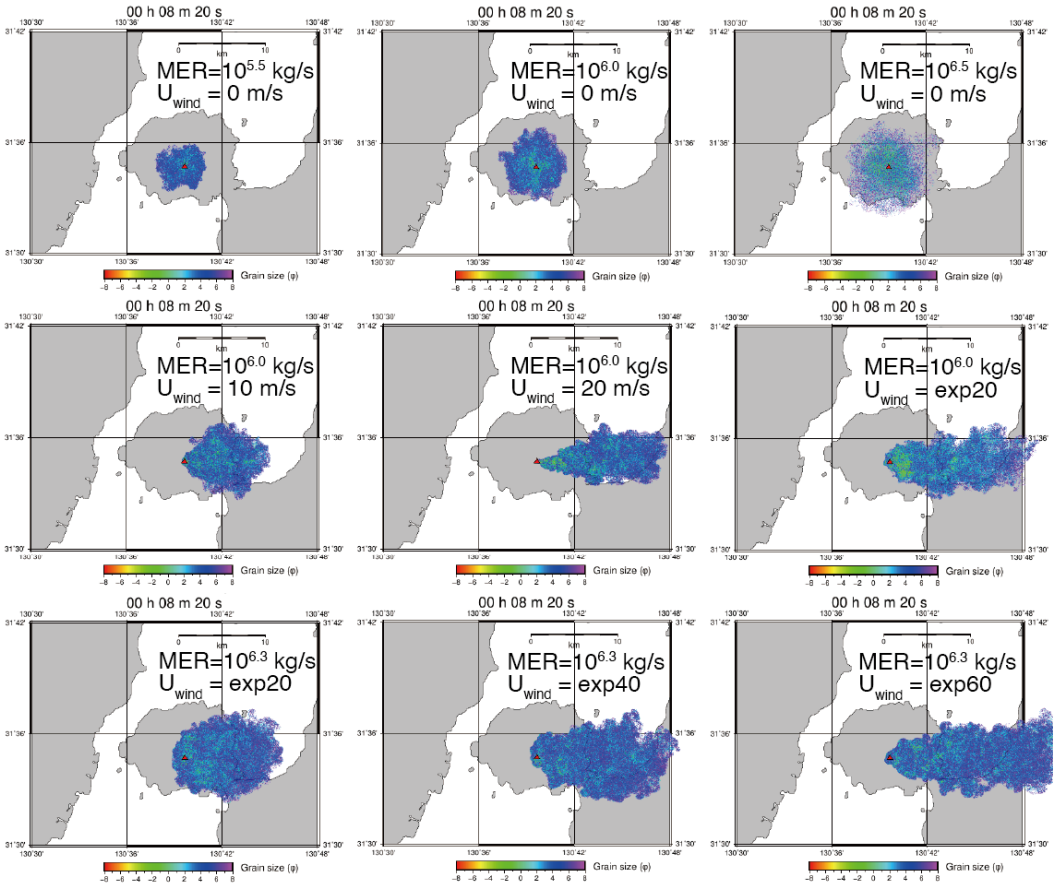


図 202　噴煙ダイナミクスモデル SK-3D による、様々な噴火強度と風速を与えた場合の桜島周辺の火山灰分布。粒子の色は φ スケールでの粒子サイズを表す。

実際の噴火事例への適用として、イタリア Campi Flegrei における約 4 万年前の巨大噴火を対象としたシミュレーションを実施した（図 17）。フィールド調査により、噴火後期に大規模な火砕流が発生したことが知られている。噴出率を変化させた計算の結果、噴出率が 10^{10} kg/s を超える条件において、観測されている 50～70 km の火砕流到達距離を再現でき

ることが示された。さらに、火砕流上部から立ち上る灰かぐらは高度 40〜50 km に達し、広域にわたる降下火山灰分布も整合的に説明された。

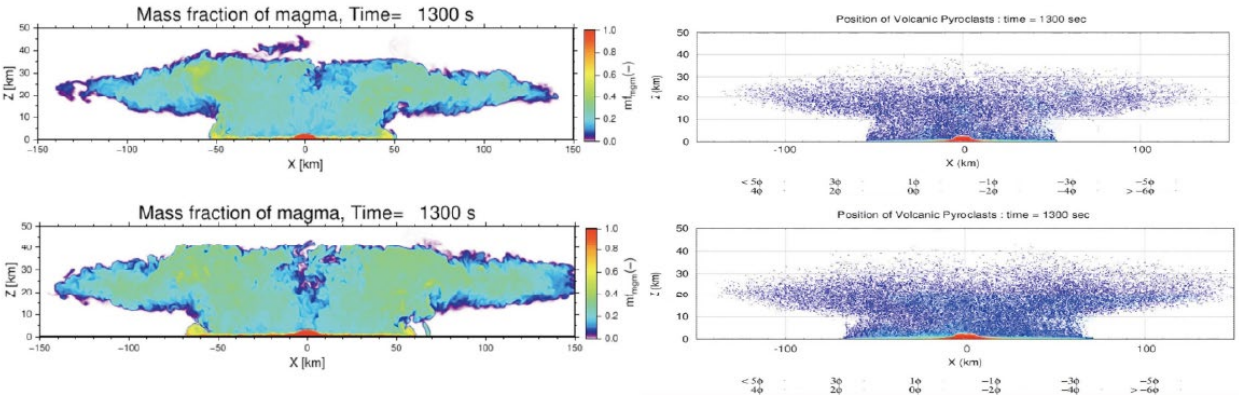


図 203　イタリア Campi Flegrei の約 4 万年前の巨大噴火シミュレーション。噴出率が（上）4×10^{10} kg/s と（下）8×10^{10} kg/s の場合の（左）噴出物の質量分率分布と（右）火山灰粒子の分布を示す。

加えて、噴煙ダイナミクスモデルの高度化を目的として、一次元噴煙モデルを用いた火砕流発生条件の解析を行った。火砕流の発生条件は噴煙ダイナミクスにおける重要課題の一つであり、従来は高い噴火強度に対応すると考えられてきた。しかし、水蒸気噴火やマグマ水蒸気噴火においても火砕流が発生することから、より基礎的理解が求められる。本研究では、噴出率 10^5 kg/s の小規模噴火を対象として、初期固体分率および噴出温度を変化させたパラメータスタディを行い、噴煙高度の変化を評価した。その結果に基づき、新たなダイアグラムを構築した（図 18）。このダイアグラムにおいて、高度 1〜2 km 付近で急激な変化を示す領域が火砕流発生条件に対応することが明らかとなった。

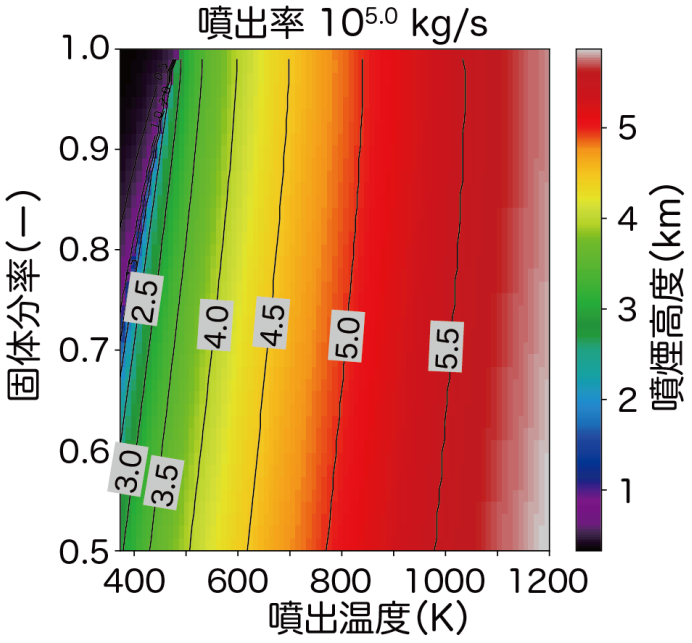


図 204　噴煙 1 次元モデルを用い、噴出温度と初期固体分率を変えた場合の噴煙高度計算結果。色とコンターは噴煙高度を表す。高度 1〜2 km で急激に変化している部分が火砕流発生条件となる。

c）ハザード評価システムの検討

溶岩流に関しては、昨年度までに流長のスケーリング則を導出し、数値モデルによる再現性を定量的に検証してきた。一方で、シリカ含有量の高い溶岩ドーム、特にパンケーキ型ドームに対するシミュレーション精度は、いまだ十分に担保されていない。この種の溶岩は、高いせん断変形により表層がブロック状に破砕され、固体的なクラストと内部の流動層からなる複雑な構造を形成する。そのため、溶岩ドーム全体がどのような有効レオロジーをもって流動・成長するのかを明らかにすることが重要な課題である。

本研究では、この課題に対して、2018 年新燃岳噴火で形成されたパンケーキ型溶岩ドームを対象に解析を行った。この噴火では、SAR 衛星観測により、溶岩ドームの面積および体積の時間変化が高時間分解能で特定されている。そこで本研究では、この観測データを制約条件として、溶岩ドームの成長を再現する有効レオロジーを数値シミュレーションによる逆解析から推定することを試みた。

シミュレーションでは、溶岩を時間的・空間的に一定の粘性率および降伏応力をもつビンガム流体であると仮定した。SAR 解析から得られた噴出率および噴出期間を固定し、粘性率と降伏応力を変化させた約 400 通りの計算を実施した。各計算では、溶岩ドームの面積進化、厚み分布、および火口縁からの溢流の有無を追跡し、観測された面積変化および西側火口縁での溢流を再現できるパラメータ領域を探索した。

その結果、粘性率は主に溶岩ドームの水平拡大速度を支配し、降伏応力は最終的な厚み分布と溢流方向を支配することが明らかとなった。観測された面積進化を最もよく再現する条件は、粘性率が約 10^9 Pas、降伏応力が約10^4 Pa の領域に位置した。この条件では、溶岩は十分に広がる流動性を保ちながらも、降伏応力によって一定の厚みを維持し、西側火口縁を選択的に越流する挙動が再現された。

一方で、東側火口縁では溢流が発生しなかった。これは、溶岩が急速に水平方向へ広がることで、東側の火口縁を越えるのに必要な厚みを十分に確保できなかったためであると解釈される。すなわち、新燃岳 2018 年噴火における溢流方向は、単に火口縁の高さや総噴出量だけで決まったのではなく、粘性による拡大速度、降伏応力による厚み保持、そして火口地形の相互作用によって決定されたと考えられる。

以上の結果は、溶岩ドームの溢流開始時刻や流下方向を予測する上で、レオロジー推定が重要であることを示している。特に、SAR 観測による面積・体積変化を数値モデルと組み合わせることで、噴火中の溶岩ドームの有効レオロジーを逆推定し、火口縁からの溢流方向や到達範囲を評価できる可能性がある。本研究は、これまでに構築した溶岩流長スケーリング則に加えて、溶岩ドーム特有の成長・溢流過程をハザード評価システムに組み込むための基盤となる。

また、溶岩流シミュレーション LavaSIM による伊豆大島・三宅島の成果は、東京都伊豆大島および三宅島火山現象検討部会で R7 年度に実施されているハザードマップの更新に採用された（図 19）。

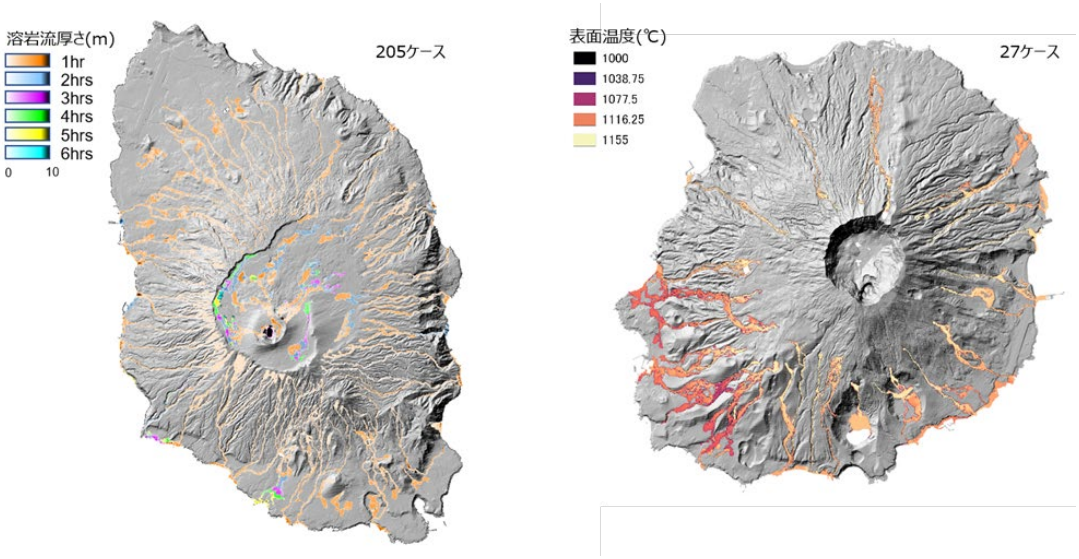


図 205　溶岩流シミュレーションの事例。伊豆大島（左）・三宅島（右）の高精度（5m メッシュ）シミュレーションにより、溶岩流の厚さ、表面温度を表現。GIS で利用できるデータとして提供。

降灰に関しては、ブルカノ式噴火における降灰現象のシミュレーション高度化を目的に、粒子降下に関する数値的・解析的研究を推進した。細粒粒子が集団的に落下する Ash Finger 現象の影響を入れた降灰シミュレーションを行い、Finger 現象が地表での降灰分布に与える効果を評価した。また、実際に観測される火山灰滞空時間や降灰量を再現できる Finger の解析モデルを検討した。

Finger の落下速度は Hoyal et al. (1999)によって、単一粒子の終端速度および濃度の関数で表すモデルが提案され、室内実験により検証されている。この式においては終端速度が大きく濃度が高いほど Finger 速度が大きくなる（図 20）。Hoyal et al. (1999)の表式は噴煙付近での形成条件について主に議論されており、地表に到達するまでの滞空時の振る舞いについては詳細に検討されていない。そこで、まずは粒子濃度の時間発展を反映して Finger の落下速度が変化すると仮定して、単一粒径からなる粒子クラスターが定常的な水平風速場で落下し地表に堆積するまでの様子を計算した。各地点で、粒径から決まる個々の粒子の終端速度 v_t と、終端速度と粒子濃度から決まる Finger 速度 v_f を見積もり、v_t と v_f を比較して個別粒子落下するか Finger 落下するかを判定した。

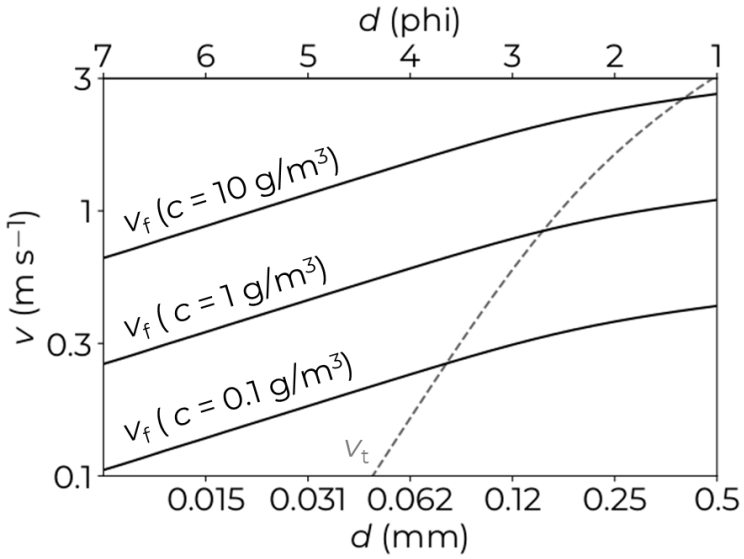


図 206　濃度 c を様々に変えたときの Hoyal et al. (1999)に基づいて見積もられる Finger の速度（v_f）。v_t は粒子が単独で降下する場合の終端速度で、$v_f > v_t$のとき、粒子は Finger を構成する粒子として v_f で降下する。

火山灰の輸送・落下は移流拡散モデルで計算した。本研究で基礎としたオイラー型移流拡散モデル FALL3D (Costa et al., 2006; Folch et al., 2020)は、１次元噴煙柱ダイナミクスモデルから得られる火山灰の空間分布を初期条件として与え、格子点上で移流拡散方程式を解くことで大気中に浮遊する火山灰と地表に堆積する火山灰の時空間分布を求める。このモデルに Ash Finger による火山灰降下の影響を組み込み、Python でコード化した（$FALL3D_{PY+F}$）。計算ライブラリ CuPy を組み込むことで、GPU を用いた計算高速化を行った。

まず、中心部で最も濃度が高く水平方向の境界に向かってガウス分布をとる濃度分布を初期分布として設定し、降下に伴って水平方向の拡散項によってガウス分布となる Finger モデルを検討した。風速は東向きに一様とした。このモデルにおいては、最も濃度の高い中心部の粒子が最も高速に落下し、周縁部の粒子は中心部からの水平距離が遠いほど低速で落下する。Finger を考慮して見積もられた火山灰の地表堆積量分布は、考慮していない場合の計算結果に比べて、中心部で多量で、そこから遠ざかるにつれての減衰が急激であり、中心部の位置は供給源に近かった。その効果は Finger を構成する火山灰粒子の粒径が小さいほど、また初期の火山灰濃度が高いほど大きかった（図 21)。Finger は濃度が初期濃度 c_0 から拡散により徐々に低下し、それに伴って速度が低下する。濃度がある臨界値 c_1 に達し、v_f=v_t になって以降は、粒子は単一粒子として振る舞い、個々の粒子の終端速度で降下した（図 22)。

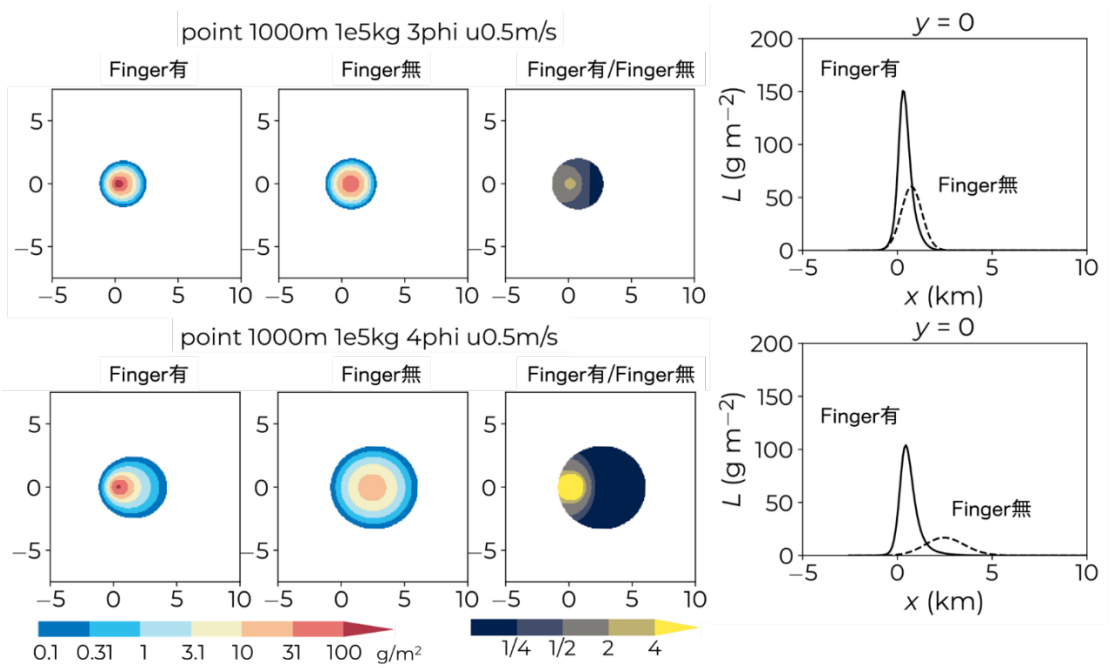


図 207　粒径を変えたときの Finger の有無が降灰量分布にもたらす影響の違い。上段の図が比較的粗粒な 3 ϕ の粒子からなる Finger の計算結果、下段の図が比較的細粒な 4 ϕ の粒子からなる Finger の計算結果。

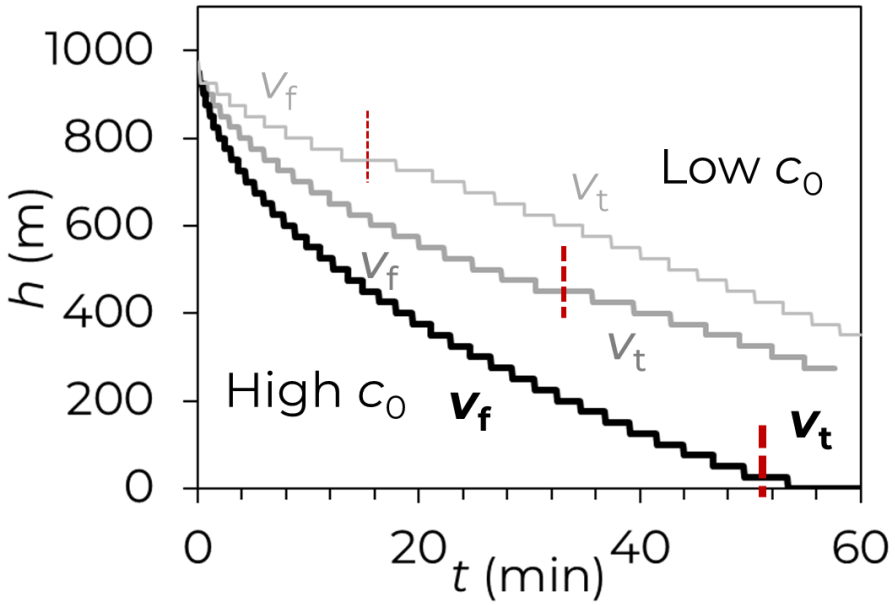


図 208　粒径 1/16 mm の粒子が様々な初期濃度で降下したときの粒子の高度変化。赤い破線より早い時間では粒子は Finger の構成粒子として vf で降下し、それ以降の時間では粒子は vt で降下する。

Finger の濃度が c_1 に達するまでの、粒子が Finger の構成粒子として降下する距離が長いほど、Finger が堆積分布に与える影響が大きくなる。Finger が初期濃度を保ち、初期の Finger 速度で降下した場合の降下時間 τ_f が短いほど、また、拡散により初期濃度 c_0 から臨界濃度 c_1 に至るまでの時間 τ_{diff} が長いほど、この影響は大きくなると考えられる。そこ

で、Finger の効果を表す無次元数として τ_{diff}/τ_f を新たに提案した。これら２つの時定数は、Finger の半径 L_0、 拡散係数 K、Finger の降下開始高度 h_{seg}、初期の Finger 速度 $v_f(c_0)$ を用いて、$\tau_{diff} = \frac{c_0}{c_1}\frac{L_0^2}{K}, \tau_f = h_{seg}/(v_f\,(c_0))$と表せられる。Finger を考慮した場合、しなかった場合の堆積量分布の中心位置の供給源からの距離比に基づいて、Finger の効果を定量化し、 τ_{diff}/τ_f との関係を検討したところ、 τ_{diff}/τ_f が Finger の効果を支配することが確認できた（図 22)。

これまでに開発を進めている火山ハザード評価システムの機能強化（図 23）では、各シミュレーションコードの計算結果の可視化ファイルについて、下記のフォーマット変換を行う機能を整備した。また、溶岩流シミュレーションコード LavaSIM のソースコードについて、メインプログラムおよび各サブルーチンプログラムについての関連性について整理するとともに、汎用化版移行のために、現行の Fortran 版から python へ移行する基本設計を実施した。また、これらのハザードシミュレーション成果を公開するシステムの整備を行った。

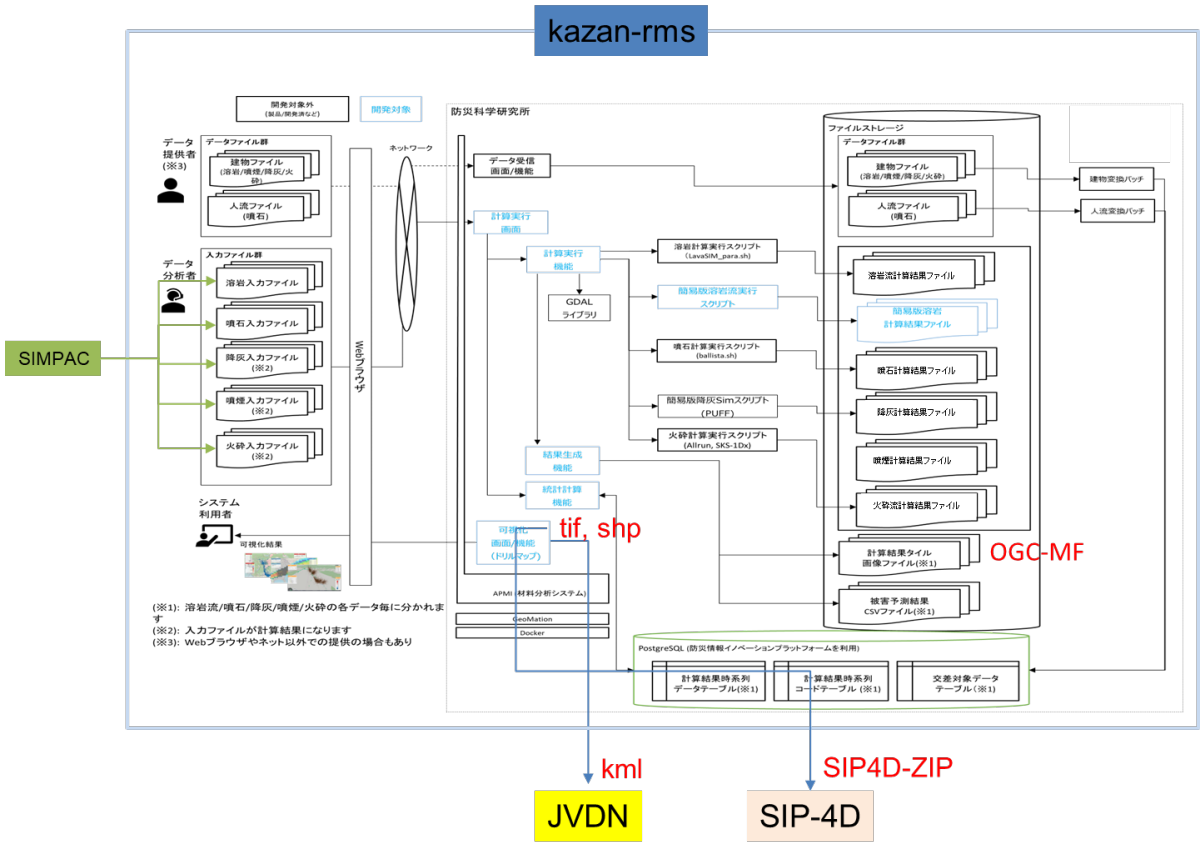


図 209　火山ハザード評価システム（kazan-rms）の処理フロー

（c）結論

地下におけるマグマ移動シミュレーションでは、各噴火事例で分析・推定されたメルト組成や温度・圧力条件を用いた Rhyolite-MELTS による減圧結晶化シミュレーションを実施し、それに基づき、火道流のモデル化で必要となる溶解度則や液相粘性変化、平衡結

晶度を定式化した。これらの定式を適用した火道流モデルにおいては、ダイク形状を模擬した弾性変形する火道や、様々なマグマ破砕条件・脱ガス過程などを考慮し、常時観測火山における幅広い噴火様式を対象とした汎用的な火道流モデル解析環境を整備した。マグマ移動過程シミュレーション技術開発では、SPH 法で「応力を設定する機能」と「底からマグマ粒子を注入する機能」を追加してこのプログラムを強化した。また、プログラムがマグマ貫入過程を計算する上で基本となる機能を備えていることを確認した。噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化では、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た。火山近傍における火山灰の大気拡散および降灰を対象として、噴煙柱ダイナミクスモデルの開発を継続し、システム化に向けた検討を行った。また、溶岩流シミュレーションコード、降灰シミュレーションコードの開発を進め、火山ハザード評価システムの整備を進めた。

(d) 引用文献

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

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

別添「学会等発表実績」のとおり。

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

名称	機能
火山ハザード評価システム	噴石シミュレーションによる計算結果を火山リスクマネジメントシステム（VRMS）上の HADB にインポートし、人流データとの交差判定を行い、GIS 上に表示する。
SK-3D.sh	噴煙柱シミュレーション SK-3D の出力データを JMA-ATM の入力条件へ変化するためのスクリプト
SIMPAC	溶岩流シミュレーションコード LavaSIM 実行のためのパラメータ生成 GUI プログラム

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 事業期間全体の代表的な成果

(a) 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技術開発では、火道流モデリングと物質科学的・地球物理学的観測データの統合により、火山活動推移メカニズムの実証的解明が進展した。伊豆大島1986年噴火を対象とした火道流モデリング（図24）では、実験で得られた、化学成分や結晶量に基づく粘性値を適用した火道流モデルにより、内部の過剰圧により、周辺で観測される地殻変動量の理論値を求め、観測量の再現によりモニタリングの指標となることを示した。また、桜島ブルカノ式噴火を対象としたシミュレーション（図25）では、火口直下に固体プラグが生成され、その直下にガスだまりができ増圧過程があること、その破壊による爆発地震が発生することやそれに伴う地殻変動の再現を行った。

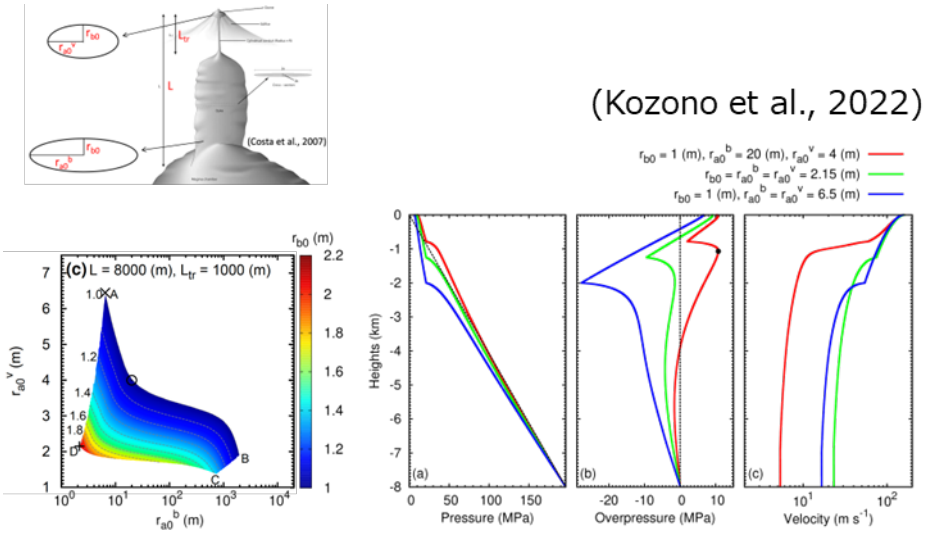


図210　伊豆大島1986年噴火を対象とした火道流モデリング

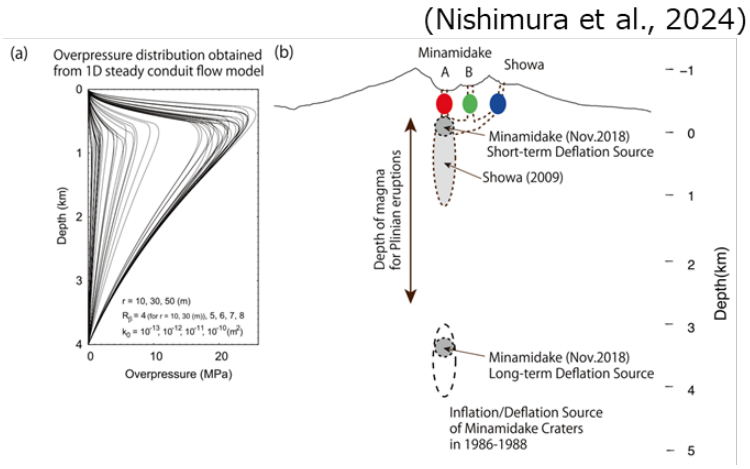


図211　桜島ブルカノ式噴火を対象とした火道流モデリング

マグマ移動過程シミュレーション技術開発では、個別要素法による岩脈貫入シミュレーションにより、3次元応力場におけるマグマの貫入過程に伴い発生する火山性地震について、その応力降下量から、火山性地震（VT）と低周波地震（LP）の発生の特徴を捉えた。噴火未遂の場合は、低周波地震（黄色）が地下の一定の位置で継続的に発生するが、噴火に至る場合は、岩脈貫入の先端付近

に火山性地震（黒）が発生しやすく、それが次第に浅くなっていく様子がわかった。火山活動に伴う各種のタイプの地震の発生位置やその時間変化を追うことにより、岩脈の推定につながる結果が得られた（図26）。

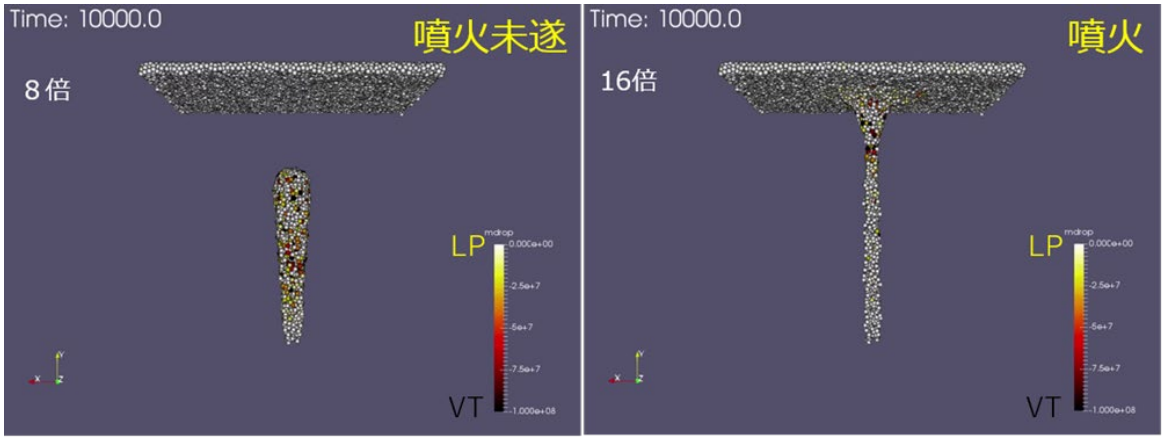


図212　岩脈貫入シミュレーションの例。噴火未遂では低周波地震がある一定の深さで継続的に起こるが、噴火に至る場合は火山性地震が浅いところに移動して発生する。

(b) 噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化

降灰ハザード予測モデルの開発では、降灰ハザードについて、速報性を目的とした気象庁モデルと、噴煙ダイナミクスそのものを精緻に再現した東大地震研によるモデルを比較、結合して、降灰の時空間分布の精度向上が実現された（図27）。

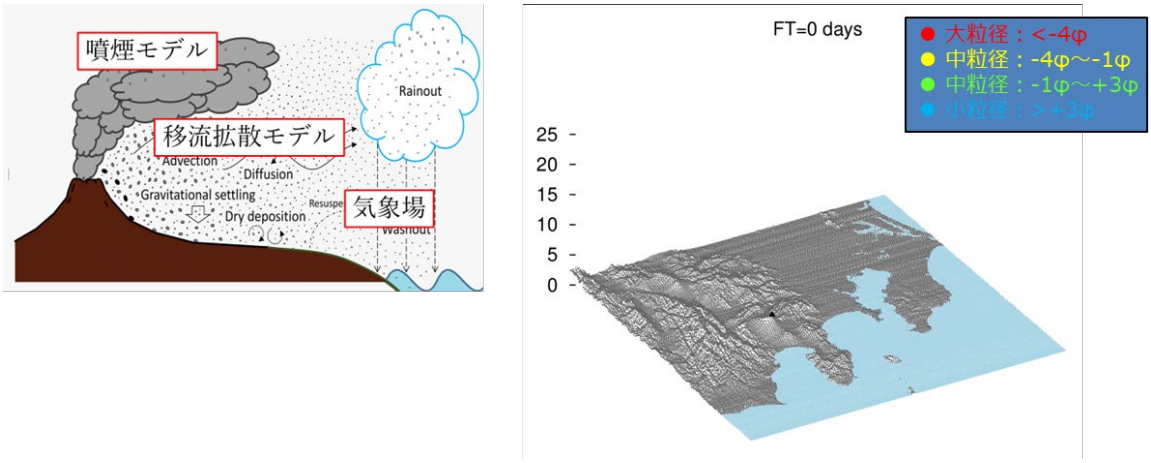
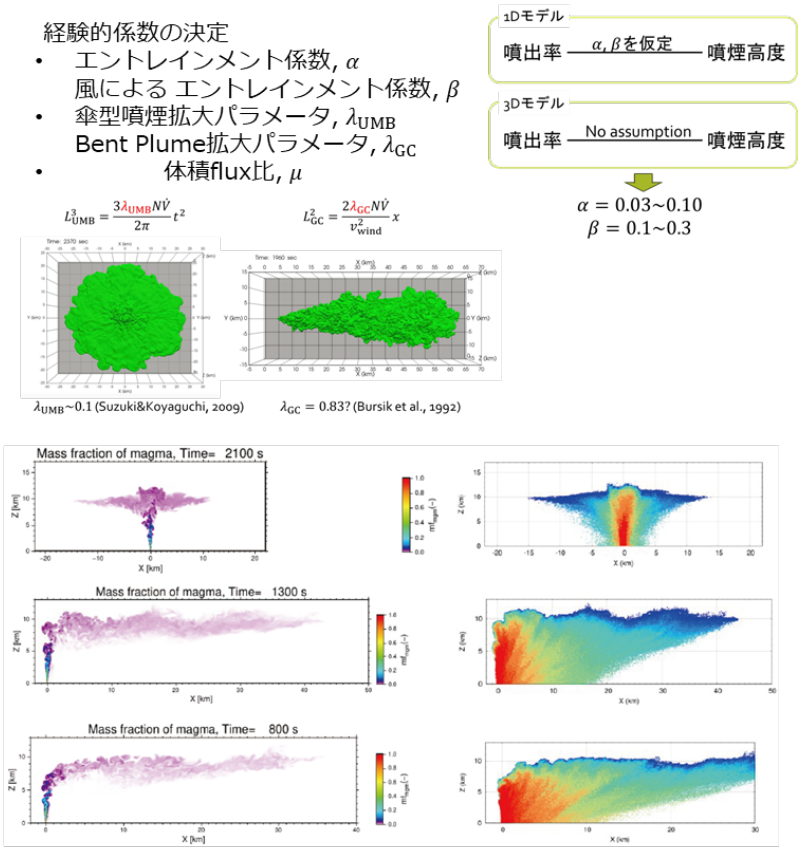


図213　首都圏を対象とした降灰ハザード予測の評価のためのシステム

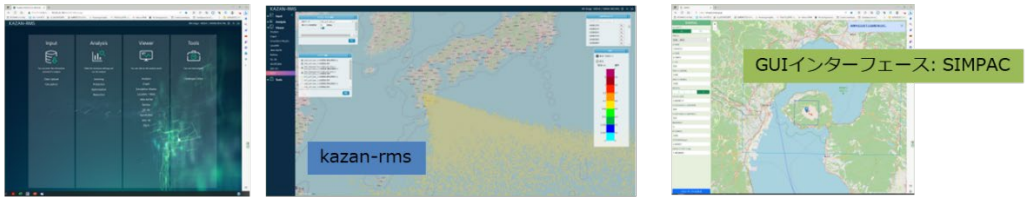
噴煙柱ダイナミクスモデルの開発では、経験的係数を決定し、1Dモデルおよび3Dモデルでの噴出率と噴煙高度の関連性の体系化を行うとともに、現実的な大気風の条件を組み込んだシミュレーションを実施し、火山灰粒子分布の精緻な再現を実施した（図28）。



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

図214　噴煙柱ダイナミクスモデルの開発

ハザード評価システムの検討（図29）では、火山ハザード評価システムの整備を行い、SIMPAC（入力パラメータ生成GUI）とkazan-rms（計算実行・可視化）連携するとともに、個々で開発したソースコードの一元的な試計算環境の提供、計算結果のデータベース化と提供（プレアナリシス型：ドリルマップ）を行った。特に溶岩流シミュレーションLavaSIMによる成果は、東京都伊豆大島・三宅島のハザードマップ更新に貢献した。



・各シミュレーションモジュールの火山ハザード評価システムへの組み込みと計算結果のDB化（ドリルマップ作成）
- 簡易版降灰シミュレーション(PUFF)，詳細版降灰シミュレーション（JMA-ATM），噴煙柱シミュレーション(SK-3D)
- 詳細版溶岩流シミュレーション(LavaSIM)，新溶岩流シミュレーションコード(FastLava)
- 詳細版火砕流シミュレーション(SKS)，火砕流高濃度部シミュレーション(faSavageHutterFOAMを利用)
- 噴石シミュレーション（Ballista）等
- 地殻変動計算（lin3dbem）

図215　火山ハザード評価システムの整備

３．会議録

(1) サブ課題 C2 研究集会

１．日時：令和 7 年 12 月 25 日（木）　13：00-17：00

２．場所：北海道大学東京オフィス

３．議事：議題１　各参加機関・協力機関の研究成果報告

(2) 令和 7 年度次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト　合同研究集会

１．日時：令和 8 年 1 月 14 日（水）　9：00-18：00

令和 8 年 1 月 15 日（木）　9：00-12：45

２．場所：東京大学地震研究所 2 号館　第一会議室　および　zoom

３．議事：議題１　各サブ課題の研究成果報告(課題 C：1 月 14 日)

(3) 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト　課題間連携研究　霧島山マグマ供給系モデルおよび噴火シナリオ見直し WS

１．日時：令和 8 年 2 月 18 日（水）　10：00-17：00

２．場所：東京大学地震研究所 1 号館事務会議室 B

４．むすび

2016 年より開始した次世代火山研究推進事業は、最終年度を迎えた。課題 C「火山噴火の予測技術の開発」では、それぞれのサブテーマの参加機関および協力機関が各々の研究成果をとりまとめ、公表を進めることができた。また次期プロジェクトをはじめとする、今後の研究展開を意識した取り組み・環境整備を進めている。そして、課題内連携研究においては、連携研究の今後の展開について議論することができた。以上のことから課題 C 全体として、十分な成果を上げたと評価できる。

サブテーマ 1 では、研究対象とした個々の火山・噴火について、マグマ溜まりの深度やマグマの含水量、組成、粘性など噴火をコントロールする要素を明らかにした。また、噴火発生時にマグマの特徴や噴火の特性を把握するために必要な観察・分析についてとりまとめた。そして噴火活動推移把握のために、迅速に火山噴出物の分析・解析を行う仕組み・環境を整備し、実際の火山噴火への適用も試みた。さらに、噴火予測・噴火事象分岐予測の「鍵」となる要素をとりまとめ、予測システムの提案も行われた。

サブテーマ 2 では、最重点火山・重点火山をはじめとする多くの火山について、従来からの野外調査に加え、高解像度 DEM データを用いた地形判読、目的に応じたトレンチ掘削・ボーリング掘削調査の実施、複数の年代測定法の適用、多項目物質科学的データを用いた対比手法など、多様な手法・観点を導入することで、噴火履歴や噴火様式・推移の解明に関して多くの成果を得ることができた。また、ノーマーク火口域や活火山の疑義のある火山についての再評価も行い、多くの新知見を得ることができた。そして、中長期噴火予測のためのマグマ噴出量階段図については、作成手順の標準化と指針の公表を進めるとともに、各火山で試作し報告書として出版した。噴火事象系統樹についても、作成手順を標準化し、多くの火山で試作・公表を進めている。

サブテーマ 3 では、「マグマ移動シミュレーション」と「噴火ハザードシミュレーションの開発・高度化」を推進した。マグマ移動シミュレーションでは、火道流モデリングと物質科学的・地球物理学的観測データの統合により、火山活動推移メカニズムの実証的解明が進展した。また岩脈貫入シミュレーションにより火山性地震（VT）と低周波地震（LP）の発生特性の違いが明確化され、震源の浅部移動から岩脈進展の推定が可能であることを示した。一方、噴火ハザードシミュレーションでは、降灰ハザード予測モデルにおいて気象庁モデルと高精度モデルを統合し、分布予測精度を向上させた。噴煙柱ダイナミクスモデルでは、噴出率と噴煙高度の関係を整理し、風の影響を考慮した灰分布の再現を行った。さらに、火山ハザード評価システムを構築し、計算・可視化・データベース化の統合を実現した。

課題 C 全体では、伊豆大島および霧島山を対象に課題間連携研究を展開した。それぞれの対象火山において、現状の研究レベルを把握するためのキックオフ集会を開催し、その後のコアメンバーWS を通して連携研究集会の進め方を検討した。そして連携研究集会では、静穏期、Unrest 期そして噴火開始期の 3 つの時期を想定して、火山学は予測のために何ができるか・何が足りないかという観点から議論した。

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するだけでなく、課題内外の連携研究についても進めてきた。この取り組みは本事業の成果としてだけでなく、次期プロジェクトをはじめとする今後の火山研究の重要な指針となるものである。一方で、

噴火事象の分岐要因､すなわち噴火活動推移の理解に迫る研究については十分とは言えず、課題であることも明らかになった。今後は、連携研究の体制をさらに発展させ、物質科学と観測、そしてシミュレーションの統合・高度化を通じ、火山噴火予測および防災・減災に資する成果の創出が期待される。

別添1

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目　C1「火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発 」

機関名 : 東京大学地震研究所

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目，口頭・ポスター発表の別）		発表者氏名	発表した場所（学会名等）	発表した時期	国内・外の別
火山灰解析に基づく桜島火山非噴火性収縮（NED）イベントの発生メカニズムの考察	口頭	本間凪々海，嶋野岳人，安田 敦，井口正人	日本地球惑星科学連合2025年大会	2025年5月	国内
浅間火山天明噴火における噴泉崩壊型火砕流発生時の浅部火道プロセス	口頭	村木琢磨，中村美千彦，無盡真弓，安井真也	日本地球惑星科学連合2025年大会	2025年5月	国内
Experimental evidence for the shallow origin of nanolite-bearing black pumice from the Fukutoku-Oka-no-Ba 2021 eruption	口頭	Ukita Taisei, Nakamura Michihiko, Mujin Mayumi, Matsumoto Megumi, Arao Masanari, Tani Kenichiro	日本地球惑星科学連合2025大会（招待講演）	2025年5月	国内
Geochemical insights into Sunda Arc magmas genesis: To melt or not to melt?	口頭	Handini Esti, Hasenaka Toshiaki, Sano Takashi, Barber Nicholas Dewitt, Iwamori Hikaru, Kawaguchi Masataka, Rahma Prya Arif	日本地球惑星科学連合2025年大会	2025年5月	国内
霧島火山群韓国岳のプリニー式噴火の推移とマグマ蓄積場の状態	口頭	鈴木慈苗，前野 深，川口允孝	日本地球惑星科学連合2025年大会	2025年5月	国内
2023年10月以降に鳥島近海，鳥島および南西諸島で発見された伊豆小笠原弧背弧リフト帯由来の漂流軽石の報告	口頭	岩橋くるみ，池上郁彦，石塚 治，及川輝樹，富田直樹，丸谷 由	日本地球惑星科学連合2025年大会	2025年5月	国内
クリスタスマッシュ状斑れい岩の粒間相の組織解析：富士山と伊豆大島の比較	ポスター	西ヶ谷琴音，石橋秀巳，大塚芽久，吉田那緒，外西奈津美，安田 敦	日本地球惑星科学連合2025年大会	2025年5月	国内
玄武岩質安山岩マグマの石基組織の減圧速度依存性：西之島Ep.4噴火と伊豆大島1986B噴火の比較	ポスター	森 遥平，石橋秀巳，宮下明典，安田 敦，外西奈津美	日本地球惑星科学連合2025年大会	2025年5月	国内
Tracing the Magma Plumbing System of Kirishima Volcano through Helium Isotopes in Phenocrysts of the Volcanic Ejecta	ポスター	米田羅生，角野浩史，川口允孝，長谷中利昭，田島靖久，福島菜奈絵	日本地球惑星科学連合2025年大会	2025年5月	国内
Temporal changes in magma plumbing systems of island arc high water content volcanoes as revealed by zircon analysis; example of Unzen volcano	ポスター	Iwahashi Kurumi, Bachmann Olivier, Razvan-Gabriel Popa, Guillong Marcel	日本地球惑星科学連合2025年大会	2025年5月	国内
Continuous sampling and investigation of volcanic ash to monitor eruption sequence at andesitic volcanoes in Japan	ポスター	Shimano Taketo, Homma Nanami, Yasuda Atsushi, Iguchi Masato, Nakamura Michihiko	IAVCEI 2025 Scientific Assembly (Geneva, Switzerland)	2025年7月	海外
Experimental simulation of diktytaxitic groundmass formation	ポスター	Sakurai Ryosuke, Nakamura Michihiko, Okumura Satoshi, Mujin Mayumi, Nakatani Takayuki	IAVCEI 2025 Scientific Assembly (Geneva, Switzerland)	2025年7月	海外
Direct FE-SEM observation of crystallization in a rhyolitic silicate melt	ポスター	Mujin Mayumi, Nakamura Michihiko, Matsumoto Megumi	IAVCEI 2025 Scientific Assembly (Geneva, Switzerland)	2025年7月	海外
Sequential triggers of the Plinian eruptions at Sakurajima volcano inferred from multi-diffusion analyses	ポスター	Araya Naoki, Nakamura Michihiko, Matsumoto Keiko, Okumura Satoshi	IAVCEI 2025 Scientific Assembly (Geneva, Switzerland)	2025年7月	海外
Magma ascent processes during the 1977 eruption of Usu volcano inferred from petrological and experimental studies	ポスター	Hotta Shuhei, Okumura Satoshi, Tomiya Akihiko, Matsumoto Kazuhisa, Miyamoto Tsuyoshi, Niida Kiyoaki	IAVCEI 2025 (2025 IAVCEI Scientific Assembly)	2025年7月	海外

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
中部九州阿蘇地域におけるマグマ活動の時間変化とそのテクトニクス背景	口頭	三好雅也，角野浩史，仙田量子，佐野貴司，新村太郎，古川邦之，川口允孝，長谷中利昭	日本地質学会第132年学術大会（招待講演）	2025年9月	国内
マグマの脱水作用：地熱資源，鉱物資源，巨大噴火とのかかわり	口頭	宮城磯治	日本鉱物科学会2025年年会	2025年9月	国内
ジルコンの地球化学的特徴に基づく雲仙火山マグマ供給系の時間変化の検討	口頭	岩橋くるみ	日本鉱物科学会2025年年会	2025年9月	国内
アンサンブル予測的手法を取り入れた噴火予測システムの開発について	口頭	安田 敦	火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
ガスフラッシングによる桜島火山噴火サイクルの形成モデル	口頭	阿部遥斗，中村美千彦，新谷直己，無盡真弓，味喜大介，井口正人	火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
バルク火山灰測色値による桜島火山の噴火推移過程の考察	口頭	嶋野岳人，山田大志	火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
クリスタスマッシュのメルト抽出過程：富士山・伊豆大島の深成岩捕獲岩からの制約	口頭	西ヶ谷琴音，石橋秀巳，大塚芽久，吉田那緒，針金由美子，外西奈津美，安田敦，千葉達朗	火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
地熱資源と巨大噴火抑制について	口頭	宮城磯治	火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
火道内マグマ対流脱ガスを利用した巨大噴火抑止方法	口頭	宮城磯治	火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
新燃岳2025年噴火における火山灰構成粒子の特徴とその経時変化	口頭	木尾竜也，宮城磯治，及川輝樹，古川竜太，岩橋くるみ，池永有弥，松本恵子，新谷直己，宝田晋治，草野有紀，東宮昭彦，成尾英仁	火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
阿蘇カルデラ西外輪山コアに記録された先阿蘇火山活動史とその岩石学的特徴	ポスター	三好雅也，佐野貴司，角野浩史，仙田量子，梅崎基考，長谷中利昭	火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
北部九州姫島火山群の貫入岩および溶岩のK-Ar年代	ポスター	宮﨑亜依，三好雅也，角野浩史，佐野貴司，堀内 悠	火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
6.4ka池田カルデラ噴火に関する岩石学的検討	ポスター	佐藤月彦，安田 敦，石橋秀巳，西原 歩	火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
安山岩質火砕岩中の液相不混和による火道浅部プ ロセスの制約	ポスター	村木琢磨，中村美千彦，無盡真弓，安井真也	火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
新燃岳2025年7月2～4日噴火の火山灰構成粒子の鉱物・ガラス化学組成	ポスター	宮城磯治，木尾竜也，松本恵子，池永有弥，及川輝樹，古川竜太，岩橋くるみ，新谷直己，宝田晋治，草野有紀，東宮昭彦，斉藤元治	火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
磁鉄鉱と石基組織の解析からみた有珠火山1977年噴火のマグマ過程	ポスター	東宮昭彦，奥村 聡，堀田修平，松本一久，宮本 毅，新井田清信	火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
Mechanisms and Timescales of Pre- and Syn-Eruptive Processes in Monogenetic Volcanoes: Constraints from Mantle Xenoliths from the Meerfelder Maar	ポスター	Arao Masanari, Nakamura Michihiko, Mujin Mayumi, Araya Naoki, Nakatani Takayuki, Sawa Sando, Sumita Mari, Hans-Ulrich Schmincke	American Geophysical Union 2025 Fall Meeting	2025年12月	海外
Was the 2014 phreatic eruption of Mt. Ontake caused by shallow magma injection in 2007?	ポスター	Miyagi Isoji, Geshi Nobuo, Hamasaki Satoshi, Oikawa Teruki, Tomiya Akihiko	国際シンポジウム「箱根山噴火から10年：水蒸気噴火へ向けた火山の観測研究と情報発信の世界的な進展」	2025年12月	国内
巨大噴火の予防防災	口頭	宮城磯治	次世代火山研究集会	2026年1月	国内

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目　C1「火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発 」

機関名 : 東京大学地震研究所

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，査読の有無の別）		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
研究集会「火山学はどのように噴火様式・推移の予測を行うか：霧島火山を例にして」－ねらいと概要－	査読無	藤田英輔，中川光弘，安田 敦，栗谷 豪，大湊隆雄，中田節也，前野 深，相澤広記	防災科学技術研究所研究資料，No. 523，1-6	2026年3月	和文
霧島火山群の噴火推移モデル	査読無	前野深，川口允孝，及川輝樹	防災科学技術研究所研究資料，No. 523，7-10	2026年3月	和文
霧島火山におけるマグマ生成過程および蓄積場に関する岩石学的制約	査読無	川口允孝，前野 深，田島靖久，安田 敦，外西奈津美，佐野貴司，米田成一，三好雅也，大澤崇人，小林哲夫，長谷中利昭	防災科学技術研究所研究資料，No. 523，29-34	2026年3月	和文
霧島火山群韓国岳のプリニー式噴火におけるマグマ蓄積場の状態と噴火様式の推移の解明	査読無	鈴木慈苗，前野深，川口允孝	防災科学技術研究所研究資料，No. 523，35-38	2026年3月	和文
斑晶から探る噴火準備・誘発過程－新燃岳享保噴火への応用－	査読無	鈴木由希，外西奈津美，前野 深，安田 敦	防災科学技術研究所研究資料，No. 523，39-44	2026年3月	和文
2011年噴火の斑晶ヘリウム同位体から見出される霧島火山マグマ供給系の特徴	査読無	米田羅生，角野浩史，川口允孝，長谷中利昭，田島靖久，福島菜奈絵	防災科学技術研究所研究資料，No. 523，51-54	2026年3月	和文
噴火推移予測をどうやって実現するか	査読無	安田 敦	防災科学技術研究所研究資料，No. 523，132-137	2026年3月	和文
AIST Repository of back data: The geochemical and petrological characteristics of prenatal caldera volcano: a case of the newly formed small dacitic caldera, Hijiori, Northeast Japan (Miyagi et al., 2017)	査読無	Miyagi Isoji	AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003341	2025年4月	英文
Thermodynamic dataset and the contour maps of some useful petrological parameters on pressure-temperature plane: Case of Ruapehu dacite lava and basalt from the Taupo volcanic zone, New Zealand	査読無	Miyagi Isoji, Conway Chris	AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003362	2025年7月	英文
Thermodynamic dataset and the contour maps of some useful petrological parameters on pressure-temperature plane: Case of Tyatya and Mendeleev volcano, Kuril arc	査読無	Miyagi Isoji	AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003405	2025年10月	英文
Thermodynamic dataset of Mt. Ontake magma	査読無	Miyagi Isoji	AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003412	2025年12月	英文
Thermodynamic dataset and the contour maps of some useful petrological parameters on pressure-temperature plane: Case of Wada Pass (Wadatoge) rhyolite, Kirigamine Volcano, Central Japan	査読無	Miyagi Isoji	AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003411	2025年12月	英文
Thermodynamic dataset of Shinmoedake magma, Kirishima volcano, Kyushu Japan	査読無	Miyagi Isoji	AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003416	2026年1月	英文

掲載した論文（発表題目，査読の有無の別）		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
Thermodynamic dataset of Aso key basalts	査読無	Miyagi Isoji	AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003419	2026年1月	英文

掲載した論文（発表題目，査読の有無の別）		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
Thermodynamic dataset of Sakurajima key basalt and andesite	査読無	Miyagi Isoji	AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003426	2026年1月	英文
Thermodynamic data set for the primitive basalt of Yakedake	査読無	Miyagi Isoji	AIST Repository, https://doi.org/10.57765/2003425	2026年1月	英文
天草諸島大矢野島に分布する鮮新世デイサイト火砕堆積物の産状と起源	査読有	鹿野和彦，小杉浩明，長谷中利昭，中小路宗史，鈴木桂子	地質学雑誌，131(1), 449-463, https://doi.org/10.5575/geosoc.2025.0030	2025年12月	和文
霧島御鉢火山のマグマ供給系：AD1235高原スコリア噴火のかんらん石中のメルト包有物からの制約	査読有	石橋秀巳，岩城吉春，石川 徹，外西奈津美，安田 敦，田島靖久	地学雑誌，印刷中	2026年1月受理	和文
Principal Component Analysis of the Color of Bulk Ash Samples at Sakurajima Volcano, Southwest Japan	査読有	Shimano Taketo, Yasuda Atsushi, Iguchi Masato	Journal of Disaster Research, 20(3),308-316, 2025	2025年4月	英文
Petrological Constraints on Magma Ascent Processes during the 1977 Eruption of Usu Volcano, Japan	査読有	Hotta Shuhei, Okumura Satoshi, Matsumoto Kazuhisa, Miyamoto Tsuyoshi, Tomiya Akihiko, Niida Kiyoaki	Journal of Geophysical Research - Solid Earth, 130,https://doi.org/10.1029/2024JB030966	2025年7月	英文
Characteristics of drifting pumice collected several weeks after the earthquakes in October 2023 near Izu-Torishima	査読有	Iwahashi Kurumi, Ishizuka Osamu, Kawaguchi Masataka, Oikawa Teruki, Nishihara Ayumu, Maeno Fukashi, Yasuda Atsushi, Tomita Naoki	Geochemical Journal, 59, https://doi.org/10.2343/geochemj.GJ25011	2025年9月	英文
Rates of plagioclase growth, nanolite nucleation, and viscosity increase during Vulcanian activity of Sakurajima Volcano, Japan	査読有	Syafitri Aulia, Nakamura Michihiko, Araya Naoki, Mujin Mayumi, Miki Daisuke, Iguchi Masato	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 469, https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2025.108483	2025年10月	英文
Magmatic evolution and timescales of the Naruko caldera system (NE Honshu): Insight from orthopyroxene and quartz mineral zoning	査読有	Kotov Alexey, Tsuchiya Noriyoshi, Okumura Satoshi, Ban Masao, Uno Masaoki, Miyagi Isoji, Shimizu Kenji, Ushikubo Takayuki, Agroli Geri, Yoshimura Shumpei, Bayarbold Manzshir	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 467, https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2025.108415	2025年11月	英文
Improving crystallization and eruption age estimation using U-Th and U-Pb dating of young volcanic zircon	査読有	Moser Zoe, Guillong Marcel, Nathwani Chetan, Iwahashi Kurumi, Razvan-Gabriel Popa, Bachmann Olivier	Geochronology, 8, https://doi.org/10.5194/gchron-8-63-2026	2026年1月	英文
Magma mass increase under Sakurajima Volcano, Japan, inferred from campaign relative gravity and leveling data from 1975 to 1992: an interpretation from volcanic gas studies	査読有	Oyanagi Ryo, Kazama Takahito, Kazahaya Ryunosuke, Miyagi Isoji, Yamamoto Keigo, Iguchi Masato	Earth, Planets and Space, 78, https://doi.org/10.1186/s40623-026-02365-3	2026年2月	英文
Prolonged cooling of andesitic-dacitic lava flows produces optimal groundmass material for 40Ar/39Ar dating	査読有	Conway Chris E., Calvert Andrew T., Ishizuka Osamu, Yamasaki Seiko, Miyagi Isoji, Harigane Yumiko, Leonard Graham S.	Chemical Geology,705, https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2026.123268	2026年3月	英文

別添2

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目　C2「噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成 」

機関名 : 国立大学法人　北海道大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）		発表者氏名	発表した場所（学会名等）	発表した時期	国内・外の別
噴火体験談・記録からみた 浅間火山1960年前後の噴火事例	口頭	安井真也	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月25日	国内
霧島火山群韓国岳のプリニー式噴火の推移とマグマ蓄積場の状態	ポスター	鈴木慈苗, 前野深, 川口允孝	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月26日	国内
阿蘇山中岳第一火口からの火山灰放出量と火山性微動振幅の関係	口頭	大倉敬宏, 宮縁育夫	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月26日	国内
Supra-subduction zone magmatism and extreme mantle depletion in the Early Cretaceous Nidar Ophiolite Complex, NW India	口頭	佐藤成修, 今山武志, Dutta, D., 金田泰明, 渡部将太, 長谷川健, 南雅代, 若杉勇輝, 若木重行, Yi, K.	JpGU Meeting 2025, Chiba	2025年5月26日	国外
九州南部および中部における鬼界アカホヤ火山灰の分布	ポスター	春田悠祐, 前野深, 木尾竜也	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月26日	国内
大雪山旭岳, 最新の噴火活動における噴出物の特徴	口頭	西野佑紀, 長谷川健, 佐藤鋭一, 和田恵治, 柴田翔平, 横田彰宏, 重野聖之, 槇納智裕	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月26日	国内
火砕流発生メカニズムを解明するための軽石の放射光分析～摩周火山と雌阿寒岳火山の例～	ポスター	佐野恭平, 原田哲男, 山川進二, 佐藤鋭一, 和田恵治	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月26日	国内
阿蘇火山中岳2019～2020年マグマ噴火時の火山灰噴出量・構成物・化学組成	口頭	宮縁育夫, 飯塚義之, 遠入楓大, 大倉敬宏	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月26日	国内
東北日本、秋田駒ケ岳火山の構造と形成史：複合火山形成史解明のための火山地質学的手法の提案とその意義	ポスター	田次将太, 中川光弘, 和知剛, 松本亜希子, 栗谷豪	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月27日	国内
北八ヶ岳, 横岳火山Yt-Pm4の噴火推移の検討	ポスター	佐藤大悟, 齋藤武士	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月27日	国内
福島県吾妻火山群一切経山の山体形成史とマグマ供給系	口頭	髙橋知也, 長谷川健, 戸丸淳晴	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月27日	国内
蔵王火山の17世紀噴火の火山灰を用いた噴火推移の推定	ポスター	山名田慧亞, 伴雅雄, 井村匠, 大場司	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月27日	国内
九州中部金峰火山に分布する火山岩のSr同位体比	ポスター	新村太郎, 荒川洋二	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月27日	国内
石質岩片から推察する, 北海道東部, 屈斜路カルデラ最大規模噴火（Kp Ⅳ）の給源情報	口頭	長田美里, 柴田翔平, 長谷川健	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月27日	国内
三宅島火山における約4,000～2,300年前の噴火史とマグマ供給系	口頭	渡部将太, 長谷川健, 及川輝樹, 下司信夫, 長井 雅史	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月27日	国内
[SVC34-03]鳥海火山の火山灰層序から見た一万年前からの爆発的噴火活動	口頭	小菅蒼太, 大場司, 伴雅雄, 井村匠	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月27日	国内
阿蘇火山2019年から2020年噴火火山灰の鉱物学的特徴	ポスター	平田碧, 大場司, 宮縁育夫	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月27日	国内
十和田火山・八戸カルデラ噴火のマグマプロセス	ポスター	伊藤ひなた, 栗谷豪, 工藤崇	日本地球惑星科学連合2025年大会, 千葉	2025年5月27日	国内

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
鳥海火山の火山灰層序からみた1万年前からの爆発的噴火活動史	口頭	小菅蒼太，大場司，伴雅雄，井村匠	日本地球惑星科学連合2025年大会，千葉	2025年5月27日	国内
支笏カルデラ及び後支笏カルデラ火山に関する岩石学的研究	ポスター	鈴木捷太，栗谷豪，中川光弘	日本地球惑星科学連合2025年大会，千葉	2025年5月28日	国内
Temporal Variation of Eruption Mechanisms at Bromo Volcano: Insights from Componentry and Petrological Analysis	ポスター	Qurrataaini, A., Ohba, T., Indriyanto, J.	JpGU Meeting 2025, Chiba	2025年5月28日	国外
Explosive Dynamics of the 45 ka Sandsea Caldera-Forming Eruption, Tengger Volcanic Complex (TVC): Insight from Grain Size Distribution, Componentry, and Textural Analysis	ポスター	Nugraha, A., Ohba, T.	JpGU Meeting 2025, Chiba	2025年5月28日	国外
Melt extraction from crystal mush leading to the 1593 explosive basaltic andesite eruption of Raung volcano, Indonesia: a preliminary study	口頭	Moktikanana, M.L.A., Ohba, T., Harijoko, A., Gurusinga, M.A.	JpGU Meeting 2025, Chiba	2025年5月28日	国外
Multiple Eruptions and Magma Types of The Old Ijen Caldera Forming Eruption: Insight from Stratigraphy and Petrological Characteristics of Ignimbrite	口頭	Cahyani, S.M., Ohba, T.	JpGU Meeting 2025, Chiba	2025年5月28日	国外
Surface phenomena and hazards of explosive submarine eruptions revealed by a global dataset	口頭	Maeno, F.	JpGU Meeting 2025, Chiba	2025年5月28日	国外
Magma-water interaction for a large-scale and explosive phreatomagmatic eruption: Insights into magma fragmentation processes of phreatoplinian eruption	ポスター	Shibata, S., Hasegawa, T., Yoshimura, S.	JpGU Meeting 2025, Chiba	2025年5月28日	国外
日本海拡大期の東北日本弧前弧域南端における火山活動：栃木県茂木地域の前期中新世苦鉄質溶岩の岩石学的特徴とマグマ組成変遷	ポスター	小坂日奈子，細井淳，長谷川健	JpGU Meeting 2025, Chiba	2025年5月29日	国内
栗駒火山の火山熱水系における岩石ー火山性流体の反応に関する地球科学的研究	ポスター	戸田陽南子，大場 司，高橋亮平，網田和宏，マナロ パーリン	日本地球惑星科学連合	2025年5月30日	国内
Vertical growth of caldera-forming crust: a case study of 50 ka Maninjau ignimbrite, Sumatran Fault Zone (SFZ), Indonesia	ポスター	Hasegawa, T., Kaneda, Y., Suhendro, I., Shibata, S., Bunga Naen, G.N.R., Kusu, C.	IAVCEI Scientific Assembly 2025, Geneva	2025年6月30日	国外
High-resolution Reconstruction of the 10,000-year history of Asama-Maekake volcano, central Japan	ポスター	Yasui, M., Takahashi, M., Kanamaru, T.	IAVCEI Scientific Assembly 2025, Geneva	2025年7月1日	国外
Surface phenomena and hazards of explosive submarine eruptions revealed by a global dataset	口頭	Maeno, F.	IAVCEI Scientific Assembly 2025, Geneva	2025年7月1日	国外
Diversity of primary magma types and their cyclic temporal changes beneath an island arc volcano: Geology and petrology of Akita-Komagatake volcano, NE Japan	ポスター	Taji, S., Nakagawa, M., Matsumoto, A.	IAVCEI Scientific Assembly 2025, Geneva	2025年7月3日	国外
Melting of hydrothermal system: Petrology of glassy-like bombs in 1895 eruption of Zao Volcano, NE Japan	口頭	Ban, M., Matsuoka, M., Imura, T., Tsunematsu, K., Sato, M., Matsumoto, A., Nakagawa, M.	IAVCEI Scientific Assembly 2025, Geneva	2025年7月3日	国外
Time gap during VEI>6 caldera-forming eruptions: constraint from paleomagnetic directions for preceding airfall and following ignimbrite	ポスター	Hasegawa, T., Mochizuki, N., Gravley, D.M., Shibata, S., Myers, M., Kusu, C.	IAVCEI Scientific Assembly 2025, Geneva	2025年7月3日	国外

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
Mineralogical studies and sulfur isotopic characteristics of volcanic ash from phreatomagmatic eruptions –Case studies of Aso volcano, Japan–	ポスター	Hirata, A., Ohba, T.	IAVCEI Scientific Assembly 2025, Geneva	2025年7月3日	国外
Remobilized MIs record storage conditions at Lopevi volcano (Vanei Vollohulu, Vanuatu, SW Pacific)	ポスター	Lewis, R. K., Nichols, A., Schipper, I., Gravley, D., Cronin, S., Kuritani, T., Matsumoto, A., Zellmer, G.	IAVCEI Scientific Assembly 2025, Geneva	2025年7月3日	国外
Reconstruction of the pre-caldera-forming phase during the 7.3 ka eruption at the Kikai Caldera (Akahoya eruption) based on geological analyses and plume modeling	ポスター	Haruta, Y., Maeno, F., Suzuki, Y.J.	IAVCEI Scientific Assembly 2025, Geneva	2025年7月3日	国外
Relationship between caldera structure and associated pyroclastic flows: The case of the Atosanupuri volcano, eastern Hokkaido, Japan	ポスター	Matsumoto, A., Nakagawa, M., Kishimoto, H., Ueno, K., Hasegawa, T., Takeda, K.	IAVCEI Scientific Assembly 2025, Geneva	2025年7月4日	国外
Melt Inclusions as recorders of small-scale, rift zone assimilation at Ambrym volcano (Vanuatu, SW Pacific)	ポスター	Lewis, R. K., Nichols, A., Schipper, I., Gravley, D., Nemeth, K., Kuritani, T., Matsumoto, A., Brahm, R., Zellmer, G.	Goldschmidt Conference 2025, Prague	2025年7月11日	国外
テフラ層序と植物珪酸体分析からみた阿蘇カルデラ周辺域の植生変遷と黒ボク土層の生成	口頭	宮縁育夫, 杉山真二	日本ペドロジー学会2025年度大会・第64回公開シンポジウム, 東京	2025年8月7日	国内
阿蘇火山中岳火口周辺域における最近約800年間のテフラ層序	口頭	宮縁育夫, 飯塚義之, 緒方裕也	日本第四紀学会2025年大会, 松江	2025年8月29日	国内
カメルーン中央西部, マヌーン湖マール噴出物に捕獲されたパンアフリカン花崗岩片のジルコンU-Pb年代	ポスター	中屋敷 実春, 長谷川 健, 伊藤久敏, Aka, F.T.	日本地質学会第132年学術大会2024熊本	2025年9月14日	国内
紫外線発光する紅柱石含有御岩山変成流紋岩類と御岩山の文化地質学	ポスター	田切美智雄, 鈴木保光, 島崎純生, 門馬綱一, 柴田翔平, 長谷川健	日本地質学会第132年学術大会2024熊本	2025年9月15日	国内
九州中部金峰火山に分布する火山岩の全岩化学組成とSr同位体 比.	ポスター	新村太郎, 山村文太, 壷井基裕, 下岡和也, 荒川洋二	日本地質学会第132年学術大会（2025年熊本大会）	2025年9月16日	国内
阿蘇火山中央火口丘群西部に位置する烏帽子岳山体の構造	ポスター	松藤彬成, 宮縁育夫, 星住英夫	日本地質学会第132年学術大会, 熊本	2025年9月16日	国内
東北日本、秋田駒ケ岳火山の山体発達史	ポスター	田次将太, 中川光弘, 和知剛, 松本亜希子, 栗谷豪	日本地質学会第132年学術大会, 熊本	2025年9月16日	国内
鳥海火山,東鳥海馬蹄形カルデラ内の噴火活動史:古地磁気学的推定	ポスター	村山新, 大場司, 長谷川健	日本火山学会2025年秋季大会, 松本	2025年10月1日	国内
北海道中央部, 富良野-旭川地域に分布する大規模火砕流堆積物の岩石学的対比	ポスター	亀村祐斗, 佐藤鋭一, 中川光弘, 松本亜希子	日本火山学会2025年秋季大会, 松本	2025年10月1日	国内
霧島火山の新規活動ユニットの40Ar/39ArおよびK-Ar年代測定	ポスター	山﨑誠子, 及川輝樹, 石塚治, Miggins, D., Koppers, A.	日本火山学会2025年秋季大会, 松本	2025年10月1日	国内
三宅島火山,水溜りマール内の火砕丘の年代および岩石学的特徴	ポスター	渡部将太, 長谷川健	日本火山学会2025年秋季大会, 松本	2025年10月1日	国内
K-Ar 年代から見た草津白根火山の活動史	ポスター	瀬戸口海翔, 石﨑泰男, 青木大和, 角野浩史	日本火山学会2025年秋季大会, 松本	2025年10月1日	国内
蔵王火山歴史時代活動における斜長石滞留時間の時間変化	ポスター	佐藤初洋, 伴雅雄	日本火山学会2025年秋季大会, 松本	2025年10月1日	国内

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
テフラからみた白山火山の完新世の噴火履歴	ポスター	高山顕，石崎泰男	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月1日	国内
蔵王火山最新期溶岩類の斑晶組織・組成とマグマプロセス	ポスター	大木可夏子，伴雅雄	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月1日	国内
樹型・炭化木からみた浅間前掛火山の中間型火砕流の性質―吾妻火砕流と追分火砕流の比較―	ポスター	安井真也，高橋正樹	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月1日	国内
硫黄同位体分析に基づく阿蘇火山2019～2020年噴火の活動推移	口頭	平田碧，パーリン カバルビアス マナロ，佐藤比奈子，高橋 亮平，大場司，宮縁 育夫	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月1日	国内
九重火山東部，過去2万年間のテフラ層序およびマグマの多様性	口頭	福岡仁至，太田岳洋，辻智大	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月1日	国内
トムラウシ火山の最新の溶岩の熱ルミネッセンス年代	ポスター	藤原寛，石崎泰男，長谷部徳子	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月2日	国内
北八ヶ岳，横岳火山Yt-Pm4の輝石の化学組成	ポスター	佐藤大悟，齋藤武士	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月2日	国内
霧島火山新燃岳2025年6～8月噴火に伴う火山灰噴出量・構成物・化学組成	口頭	宮縁育夫，熊本圭純，飯塚義之	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月2日	国内
蔵王火山、1894～97年噴出物中の特異なガラス質様火山弾について	ポスター	伴雅雄，松岡睦実，井村匠，常松佳恵，佐藤初洋，松本亜希子，中川光弘	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月2日	国内
蔵王火山東麓・遠刈田地域におけるラハール堆積物の分布範囲	ポスター	藤原弘人，伴雅雄，加々島慎一，井村匠，宮本毅，常松佳恵，片岡香子	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月2日	国内
霧島火山新燃岳2025年噴火に伴う火山灰の水溶性成分	ポスター	熊本圭純，谷口無我，宮縁育夫	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月2日	国内
大規模マグマ水蒸気噴火におけるマグマの破砕過程	ポスター	柴田翔平，長谷川健，吉村俊平	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月2日	国内
島弧火山におけるマグマタイプの多様性とその時間変化：東北日本，秋田駒ケ岳の地質学的・岩石学的研究	ポスター	田次将太，中川光弘，松本亜希子，栗谷豪	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月2日	国内
福徳岡ノ場2021年噴火噴出物の岩石組織に基づくマグマ上昇・噴出過程の検討	口頭	水野 樹，前野 深，谷健一郎	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月3日	国内
伊豆大島と阿蘇火山におけるテフラハザード評価: 自動描画テフラ分布図の応用	口頭	中田節也，永田直己，上澤真平，宮縁育夫	日本火山学会2025年秋季大会，松本	2025年10月3日	国内
第四紀テフラのU-Th-Pb年代測定（その11）：羊蹄火山起源のテフラと小豆島の貫入岩の年代	ポスター	伊藤久敏，上澤真平	令和7年度 日本応用地質学会 研究発表会，講演論文集，P8	2025年10月9日	国内
Eruption Sequence and Magma Compositional Changes during a Single Eruption Event Involving Multiple Mafic Magmas: A Case Study of the Miyakono Scoria-Fall Deposit at Kuju Volcano, SW Japan.	ポスター	Masashi, F., Takehiro, O., Tomohiro, T.	AGU Fall Meeting 2025, New Orleans, LA, USA.	2025年12月15日	国外
九重火山東部，過去7万年間の爆発的噴火経緯の再検討	口頭	福岡仁至，太田岳洋，辻智大	国際火山噴火史情報研究集会	2026年2月14日	国内

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目　C2「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

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
Achievements in Volcano Research in the Earthquake and Volcano Hazards Observation and Research Program from 2019 to 2023: Towards Prediction of Volcanic Eruptions by Building Volcanic Activity Transition Models	Nakamichi, H., Maeno, F.	Journal of Disaster Research, 20, 133-141, doi:10.20965/jdr.2025.p0133	2025年4月1日	国外
Temporal evolution of magmatic processes in a subvolcanic plumbing system in a continental region: constraints from geochemistry of the late Neoproterozoic Wadi Dib alkaline ring complex in the Eastern Desert, Egypt	Saad, E., Ozawa, K., Kuritani, T., Khudeir, A. A.	Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 120, 240110	2025年5月15日	国外
Tephra hazard around Izu Oshima and Aso Volcanoes, Japan: Application of the automatically generated tephra distribution map	Nakada, S., Nagata, N., Uesawa, S., Miyabuchi, Y.	Journal of Disaster Research, 20, 296-307	2025年6月1日	国外
Transition from growth to collapse of the Plinian column during the 1783 eruption of Asama volcano, Japan, inferred from rock microtextures	Mizuno, T., Maeno, F., Yasuda, A.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 462, 108310, doi:10.1016/j.jvolgeores.2025.108310	2025年6月1日	国外
A new paleomagnetic constraint on the duration of a twin caldera-forming eruption sequence: a potential solution to an enduring problem in decoding >VEI 7 eruption timescales	Gravley, D.M., Hasegawa, T., Mochizuki, N., Kusu, C., Okada, M.	Earth, Planets and Space 77, 106	2025年7月3日	国外
Late Pleistocene synchronous caldera-forming eruptions in north and south of Japan: paleomagnetic and tephrochronological evidence from the Kutcharo II/III and Aso-4 tephras	Shibata, S., Hasegawa, T., Tanimoto, A., Mochizuki, N., Okada, M.	Earth, Planets and Space 77, 110	2025年7月10日	国外
Paleomagnetic secular variation provides the timescale for the eruptive sequence of the 45 ka Shikotsu caldera-forming eruption	Mochizuki, N., Hasegawa, T., Anai, C., Gravley, D.M., Nakagawa, M., Amma-Miyasaka, M., Shibuya, H.	Earth, Planets and Space 77, 117	2025年7月21日	国外
Geology and Eruptive History of. Kusatsu-Shirane Volcano	Ishizaki, Y., Kametani, N., Numata, W.	In: Ohba, T., Terada, A. (eds) Kusatsu-Shirane Volcano. Active Volcanoes of the World. Springer,1-20.	2025年8月1日	国外
Lithofacies and juvenile clast variations at Ranu Grati Maar, East Java: Insights into eruptive transitions in monogenetic volcanoes	Gurusinga, M.A., Abdurrachman, M., Ohba, T., Hoshide, T., Hamzah, W.N., Kurniawan, I.A.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 467, 108426	2025年8月10日	国外
Generation of andesitic-dacitic magmas by open-system progressive melting of the middle crust in Rishiri Volcano, northern Japan	Kawara, H., Matsumoto, M., Kuritani, T.	Lithos, 514-515, 108221	2025年8月12日	国外
Global database on surface phenomena and hazards of explosive submarine eruptions with application to hazards of the Kolumbo Volcanic Field	Maeno, F.	Bulletin of Volcanology, 87, 87, doi:10.1007/s00445-025-01871-8	2025年9月26日	国外

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
Mush remobilisation process during historical activity at the Zao volcano, northeastern Japan: Perspectives from plagioclase textures and compositions.	Sato, M., Ban, M., Yuguchi, T., Adachi, T., Imura, T., Takebe, M.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 468, no. 108458.	2025年10月10日	国外
Did magmatism of the Central Atlantic Magmatic Province (CAMP) extend to the proto-Cameroon Line in the Gulf of Guinea (West/Central Africa)?	Hasegawa, T., Aka, F.T., Iwamori, H., Watanabe, S., Asaah, A.N.E., Nche, L.A.	Earth, Planets and Space, 77, 157	2025年10月16日	国外

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
Melt extraction with crystal entrainment from basaltic crystal mush, causing a dacitic pumice eruption from the mafic-dominant Iwate volcano, northern Honshu	Ohba, T., Ikeda, M., Chiba, A., Murayama, A.	Earth, Planets and Space 77(161)	2025年10月21日	国外
阿蘇火山の地質: カルデラ形成噴火と後カルデラ活動	宮縁育夫, 星住英夫	地質学雑誌, 131, 319-342	2025年10月25日	国内
雌阿寒岳火山とその周辺から採取された火山岩の感度法 K-Ar 年代	山崎誠子, 石塚吉浩, 佐藤鋭一	地質調査総合センター研究資料集 no.772	2025年10月27日	国内
Supra-subduction zone magmatism and extreme mantle depletion in the Early Cretaceous Nidar Ophiolite Complex, NW India	Sato, A., Imayama, T., Dutta, D., Kaneda, Y., Watanabe, S., Hasegawa, T., Minami, M., Wakasugi, Y., Wakaki, S., Yi, K.	Gondwana Research, 147, 119-136	2025年11月1日	国外
摩周火山の噴火史とマグマ組成	和田恵治, 佐藤鋭一, 佐野恭平, 中塚裕	北海道教育大学紀要（基礎研究編）, 77, 79-94	2025年11月28日	国内
Revealing the timing and dispersal of large explosive eruptions at Aso volcano (Japan) by integrating proximal and distal tephra records over the last 130 kyrs	Vineberg, S.O., Albert, P.G., McLean, D., Suzuki, T., Miyabuchi, Y., Hoshizumi, H., Buckland, H.M., Jones, G., Nishizawa, F., Staff, R.A., Yamada, K., Kitaba, I., Kitagawa, J., Manning, C.J., SG14 Project Members, Nakagawa, T., Smith, V.C.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 468, 108436	2025年12月1日	国外
Reconstruction of the plinian phase of the 7.3 ka “Akahoya” caldera-forming eruption at the Kikai caldera, Japan	Haruta, Y., Maeno, F., Suzuki, Y.J.	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 108541 doi:10.1016/j.jvolgeores.2026.108541	2026年1月23日	国外
Paleo-Phreatomagmatic Eruption on Daru Island, Papua New Guinea: Evidence for Carbonate-Basalt Magma Mingling and Peperite Formation	Lunge, M., Ohba, T., Hoshide, T.	Frontiers in Earth Science Volume 14 - 2026 https://doi.org/10.3389/feart.2026.1726923	2026年1月27日	国外
Re-evaluation of the Atosanupuri pyroclastic eruptions: Insights into the latest caldera-modifying eruption of the Kutcharo volcano, eastern Hokkaido, Japan	Matsumoto, A., Nakagawa, M., Kishimoto, H., Ueno, K., Hasegawa, T., Takeda, K.	Journal of Volcanology and Geothermal Research 470:108503	2026年2月1日	国外
Historical eruptions at Aso Volcano, Japan, spanning the last 800 years: insights from a high-resolution tephra record	Miyabuchi, Y., Iizuka, Y., Ogata, Y.	Bulletin of Volcanology, 88, 20	2026年2月4日	国外
Magma feeding system of the 1893 CE Meiji eruption of Azumayama Volcano, NE Japan.	Ban, M., Kanno, S., Sato, M., Imura, T., Tsunematsu, K., Hasegawa, T., Ohba, T.	Earth, Planets and Space, 78, 37	2026年2月26日	国外
Re-evaluation of the spatiotemporal distribution of large, explosive eruptions around Japan during Middle Pleistocene to Holocene: Tephra correlations and accurate age constraints from the deep-sea sedimentary record (Chikyu C9001C cores)	Kaneda, Y., Hasegawa, T., Okada, M., Mochizuki, N., Aka, F.T.	Quaternary International 756, 110104	2026年2月28日	国外

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
Reconstruction and dynamics of the~5,200 cal BP Penoleken pumice andesitic–dacitic Plinian eruption of the Batur Volcanic Field, Bali, Indonesia	Suhendro, I., Hadmoko, D.S., Shibata, S., Hasegawa, T., Mohammad, F.T., Indrayani, K.I., Lesmana, R.A.D., Metaxian, J., Malawani, M.N., Latief, G.A.E.Z.	Earth, Planets and Space	2026年3月12日	国外
Crystal–scale records of basalt recharge and crystal mush interaction: the 2.8–ka Saruana Lava, Chokai volcano, northern Honshu, Japan	Ohba, T., Kikuchi, E., Chiba, A., Murayama, A., Takahashi, K., Hoshide, T., Ban, M., Hayashi, S.	Journal of Volcanology and Geothermal Research Volume 474, 108597	2026年3月22日	国外
研究集会「火山学はどのように噴火様式・推移の予測を行うか：霧島火山を例にして」 ーねらいと概要ー	藤田英輔，中川光弘，安田敦，栗谷豪，大湊隆雄，中田節也，前野深，相澤広記	防災科学技術研究所研究資料, 523, 1–4	2026年3月27日	国内
霧島火山群の噴火推移モデル	前野 深，川口允孝，及川輝樹	防災科学技術研究所研究資料, 523, 7–10	2026年3月27日	国内
霧島火山におけるマグマ生成過程および蓄積場に関する岩石学的制約	川口允孝，前野深，田島靖久，安田敦，外西奈津美，佐野貴司，米田成一，三好雅也，大澤崇人，小林哲夫，長谷中利昭	防災科学技術研究所研究資料, 523, 29–34	2026年3月27日	国内
霧島火山群韓国岳のプリニー式噴火におけるマグマ蓄積場の状態と 噴火様式の推移の解明	鈴木慈苗，前野深，川口允孝	防災科学技術研究所研究資料, 523, 35–38	2026年3月27日	国内
斑晶から探る噴火準備・誘発過程 ー新燃岳享保噴火への応用ー	鈴木由希，外西奈津美，前野深，安田敦	防災科学技術研究所研究資料, 523, 39–44	2026年3月27日	国内
現地調査と気象データからみた霧島火山新燃岳2018年5月14日噴出物の空間・粒度分布の特徴	宮縁育夫，佐藤英一	防災科学技術研究所研究資料, 523, 107–112	2026年3月27日	国内
霧島火山群，最近1.5万年間の噴出物の岩石学的特徴	松本亜希子，中川光弘，宮本毅	防災科学技術研究所研究資料, 523, 143–146	2026年3月27日	国内
次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト 課題間連携研究集会 霧島火山現地検討会	前野深，川口允孝	防災科学技術研究所研究資料, 523, 147–150	2026年3月27日	国内
伊豆大島火山地質図（第2版）	石塚治，川邉禎久，井上卓彦，有元純，前野深	火山地質図, No.10, 8p.	2026年3月31日	国内
微細構造解析に適した多孔質・脆弱岩石試料の薄片作製法	水野樹，前野深	東京大学地震研究所技術研究報告, 31, 20–32	2026年3月31日	国内
トレンチ掘削による浅間火山群の地質調査の記録 —プロジェクト研究2019～2025年度成果報告—	安井真也，高橋正樹，金丸龍夫	日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 61, p. 115–141	2026年3月31日	国内
多輪廻カルデラ火山の発達過程：外来岩片から推察する，北海道東部，屈斜路火山最大規模カルデラ形成噴火（Kp IV）の給源情報	長田美里，柴田翔平，長谷川健	火山	印刷中	国内
Beyond a single–pulse eruption: paleomagnetic evidence for a multi–episode Youngest (74 ka) Toba Tuff	Bunga Naen, G.N.R., Hasegawa, T., Shibata, S., Suhendro, I., Kaneda, Y., Kusu, C., Agangi, A.	Earth, Planets and Space	印刷中	国外

別添3

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目　C3「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
ストロンボリ式噴火のメカニズムに関する実験的考察	ポスター	谷澤歩武，西村太志	日本地球惑星科学連合2025年大会	2025年5月	国内
ストロンボリ式噴火の室内実験と火道内圧力変動のモデル化	口頭	谷澤歩武，西村太志	日本火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
火道及びマグマだまりの増圧過程が噴火前の地殻変動に与える影響	ポスター	小園誠史，西村太志，松本亜希子，中川光弘，井口正人，三輪学央	日本火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
高濃度粒子重力流モデルに基づく火砕流ハザード評価 —霧島山新燃岳における検討—	口頭	小園誠史，丸石崇史，志水宏行	日本火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
軸対称に広がる粘性流体の温度変化：溶岩ドーム熱観測への示唆	口頭	丸石崇史	日本地球惑星連合大会2025年大会	2025年5月	国内
玄武岩質マグマの火山噴火における気泡合体のダイナミクス	口頭	丸石崇史	日本地球惑星連合大会2025年大会	2025年5月	国内
Slug formation in basaltic eruptions driven by rapid coalescence of bubbles	ポスター	丸石崇史，寅丸敦史	IAVCEI 2025	2025年6月	国外
粘塑性重力流モデルによる新燃岳溶岩ドーム成長過程の解析	口頭	丸石崇史，小園誠史，志水宏行	日本火山学会2025年秋季大会	2025年10月	国内
火山噴煙における重力流現象	口頭	鈴木雄治郎	粒子重力流研究会	2025年12月	国内
3D numerical modeling of umbrella cloud growth and regimes	ポスター	Suzuki, Y. J.	IAVCEI 2025	2025年7月	国外
Reconstruction of the pre-caldera-forming phase during the 7.3 ka eruption at the Kikai Caldera (Akahoya eruption) based on geological analyses and plume modeling	ポスター	Haruta, Y., Maeno, F., Suzuki, Y. J.	IAVCEI 2025	2025年7月	国外
A tephra transport and dispersion model considering volcanic ash fingers	口頭	Takishita, K., Maruishi, T., Suzuki, Y. J.	IAVCEI 2025	2025年7月	国外
Ash fingerを考慮した火山灰輸送分散シミュレーション	口頭	瀧下恒星，丸石崇史，鈴木雄治郎	JpGU2025	2025年5月	国内

2．学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Eruption source parameters in volcanic plume modeling: advances, challenges, and future directions	Costa, A., Folch, A., Suzuki, Y. J., Mingari, L., Macedonio, G.	Reviews of Geophysics	2026年4月	国外
Numerical simulations of sulfate formation via the diffusive reaction between Ca2+ in volcanic ash and SO2 gas: Evaluation of SO2 losses from eruption clouds during the 1991 Pinatubo eruption	Watanabe, S., Okumura, S., Suzuki, Y. J.	Journal of Geophysical Research Solid Earth	2026年2月	国外
Reconstruction of the plinian phase of the 7.3 ka “Akahoya” caldera-forming eruption at the Kikai caldera, Japan	Harutra, Y., Maeno, F., Suzuki, Y. J.	Journal of Volcanology and Geothermal Research	2026年4月	国外
Numerical simulations reveal the dynamics of the most intense eruption of Hunga Tonga in January 2022	Suzuki, Y. J., Martínez Montesinos, B., Costa, A.	Bulletin of Volcanology	2025年11月	国外

A simulation-based tephra fallout data set for statistical analysis and evacuation planning; a case study for the 1707 Hoei Eruption of Mt. Fuji[	Ishii Kensuke, Shimbori Toshiki, Iriyama Yu, Fujita Eisuke	Journal of Applied Volcanology	査読中(R7年9月投稿)	国外
Limitations in Operational Plume-Height Inversion Using a Volcanic Plume Model with a Water-phase Transition	Ishii Kensuke	Earth, Planets and Space	査読中(R7年9月投稿)	国外
Unified Scaling Law for Lengths of Basaltic Lava Flows: Dependence on Erupted Volume and Effusion Rate (論文)	Maruishi Takafumi, Kozono Tomofumi, Miwa Takahiro, Fujita Eisuke	Geophysical Research Letters	2025年4月	国外