

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

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

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

(b) 担当者

所属機関	機関種別	役職	氏名
北海道大学大学院理学研究院	課題責任機関	教授 教授 助教 技術専門職員 学術研究員	中川 光弘 栗谷 豪 吉村 俊平 松本 亜希子 田次 将太
秋田大学大学院国際資源科学研究科	参加機関	教授	大場 司
秋田大学教育文化学部	参加機関	教授	林 信太郎
山形大学理学部	参加機関	教授 准教授 助教	伴 雅雄 常松 佳恵 井村 匠
茨城大学大学院理工学研究科	参加機関	准教授	長谷川 健
東京大学地震研究所	参加機関	准教授	前野 深
日本大学文理学部地球科学科	参加機関	教授 准教授 上席研究員	安井 真也 金丸 龍夫 高橋 正樹
富山大学学術研究部都市デザイン学系	参加機関	教授 教授 准教授	石崎 靖男 石川 尚人 川崎 一雄
熊本大学くまもと水循環・減災研究教育センター	参加機関	教授	宮縁 育夫
産業技術総合研究所	参加機関	研究部門長 研究グループ長 研究グループ長 研究グループ長 主席研究員 上級主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員	伊藤 順一 古川 竜太 下司 信夫 井上 卓彦 石塚 治 宝田 晋治 川邊 禎久 及川 輝樹 山崎 誠子

		主任研究員 研究員 研究員 研究員	山崎 雅 松本 恵子 南 裕介 有元 純
北海道教育大学旭川校	協力機関	准教授	佐藤 鋭一
筑波大学大学院生命環境科学研究科	協力機関	名誉教授 教授	荒川 洋二 池端 慶
信州大学理学部地球学コース	協力機関	准教授	斎藤 武士
山口大学大学院創成科学研究科	協力機関	教授 助教	太田 岳洋 辻 智大
電力中央研究所	協力機関	主任研究員 主任研究員	上澤 真平 石毛 康介
防災科学技術研究所	協力機関	特別研究員	長井 雅史
株式会社エンバイオ・エンジニアリング	協力機関	技術部長	和知 剛

(c) 業務の目的

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

(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 28 年度：

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

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

2) 平成29年度：

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

3) 平成30年度：

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

5) 令和2年度：

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

6) 令和3年度：

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

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

7) 令和 4 年度：

令和 4 年度は、アトサヌプリ(屈斜路)・羊蹄山・岩木山・秋田駒ヶ岳・鳥海山・蔵王山・吾妻山・那須岳・浅間山・阿蘇山において人力トレンチまたは重機トレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴および噴火推移を明らかにする。伊豆大島では、沿岸域の地形地質調査を実施し、陸上調査結果と合わせて、長期噴火履歴解明を目指す。蔵王山・吾妻山・那須岳では、火口近傍においてボーリング掘削調査を実施し、完新世の噴火活動履歴の詳細を明らかにする。その他の火山についても、引き続きこれまでの調査結果の整理を行い、必要に応じて野外調査を行う。また重点火山に見落としがないかの検討は引き続き全国で実施する。これら地質調査により得られた高精度噴火履歴に基づいて噴出物を採取し、物質科学的解析も実施する。高精度解析を必要とした場合は、北海道大学の「マグマ変遷解析センター」で行う。また個々の火山について、これまでの噴火履歴・噴火活動推移履歴をとりまとめ、可能な火山については時間－噴出量階段図を作成する。さらに、中長期噴火予測手法および噴火事象系統樹の作成手法について、より研究の進んでいる複数の火山を対象に、試作を通して手法の確立を目指す。それら階段図および噴火事象系統樹の作成には、個々の噴火に関して質の揃ったデータベースを作る必要がある。そのためにワーキンググループを編成し、データベースの作成・公表および階段図・事象系統樹作成の指針をまとめる。また、低頻度・大規模噴火の事象分岐判断の基礎データとして、大規模カルデラ形成噴火及びプリニー式噴火について、噴火推移文献データの収集を継続する。コンパイルした情報から噴火推移データ集の作成し、ウェブサイト上で閲覧可能なデータベースとして作成する。国内のプリニー式噴火が発生した火山において、噴出物と噴火推移との対応を調査し、先史時代の噴火についての噴火推移解析手法を開発するとともにデータベースへの収録を行う。さらに、対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催する。

8) 令和 5 年度：

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

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

9) 令和 6 年度：

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

10) 令和 7 年度：

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

(e) 令和 3 年度における成果の目標及び業務の方法

1) 火山の噴火履歴及びマグマ長期変遷に関する研究

引き続き、中長期噴火予測および噴火事象系統樹作成のための基礎的データ収集に努める。まず重点火山の秋田駒ヶ岳では、ボーリング掘削調査を行い、山体崩壊事象と噴火活動との関係を明らかにする。そして、阿蘇山では、ボーリング掘削調査を実施し、中小規模噴火を含めた阿蘇山の最近の噴火活動履歴の詳細を明らかにする。さらに、課題 C 連携研究の対象である伊豆大島については沿岸域の傭船調査により海底地形の詳細を明らかにし、山頂噴火だけではなく側噴火を含めた噴火活動履歴の詳細解明を目指す。そして、アトサヌプリ・吾妻山をはじめとする 9 の最重点火山・重点火山について、トレンチ掘削調査を実施し、噴火履歴の解明を目指す。その他の重点火山については次年度以降の重点調査に向けて、引き続きこれまでの調査結果の整理と必要に応じ野外調査を行うと共に、ボーリング掘削およびトレンチ掘削の調査地点を選定する。また、見落とし火山の解消のために、特に中部日本の更新世火山について検討を行う。これら地質調査により得られた高精度噴火履歴に基づいて噴出物を採取し、物質科学的解析を行うことで、長期マグマ変遷の解明を目指す。研究が進んで

いる対象火山については、噴火事象系統樹の試作や時間一積算噴出量階段図を用いた中長期噴火予測の試行について検討する。

2) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発

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

3) 大規模噴火データベースの整備

産業技術総合研究所では、大規模カルデラ形成噴火及びプリニー式噴火について、噴火推移文献データの収集を行い、コンパイルした情報から噴火推移データ集の作成し、ウェブサイト上で閲覧可能なデータベースとして作成する。桜島・北海道駒ケ岳・樽前山・クッタラなどの国内のプリニー式噴火が発生した火山において、噴出物と噴火推移との対応を調査し、先史時代の噴火についての噴火推移解析手法を開発するとともにデータベースへの収録を行う。

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

課題責任機関である北海道大学は、防災科学技術研究所（協力機関）とともに、ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築準備を進める。そして、対象火山の地元において啓蒙および研究成果普及のための講演会を随時開催する。また、課題 C-1・C-3 との連携研究の対象である伊豆大島については、研究集会を開催し課題内の連携展開と今後の方針を立てるとともに、他課題との連携についても検討する。

(2) 令和 3 年度の成果

(a) 業務の要約

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

収集し、噴火推移データ集の作成を行うとともに、またこれらのデータをウェブサイトで閲覧可能なデータベースシステム構築を進めた。また北海道大学の「マグマ変遷解析センター」では、引き続き既存装置の整備および分析手法の確立を行うとともに、参加・協力機関の研究者を受け入れた。さらに北海道大学では、防災科学技術研究所とともにボーリングコア試料の保管・管理システムの構築準備を進め、引き続きコア試料を集約した。

(b) 業務の成果

1) 火山の噴火履歴及びマグマ長期変遷に関する研究

令和3年度は、最重点火山・重点火山を中心とした全国の活火山において、野外調査、ボーリング掘削・トレンチ掘削調査を実施し、詳細な噴火履歴・噴火活動推移を明らかにした。また、噴火履歴の解明が進んでいる火山については、物質科学的解析も実施し、長期マグマ変遷についても検討した。以下に、その概要を述べる。

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

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

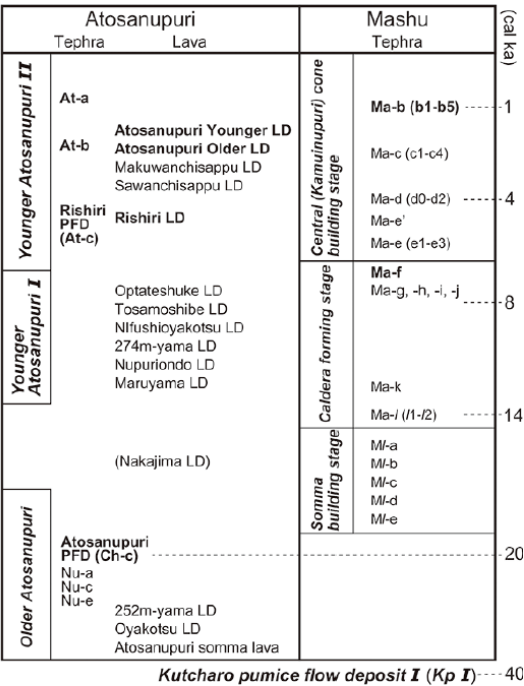


図 1. アトサヌプリ火山の噴火活動史のまとめ³⁾。

i) 約 6.5 千年前リシリ火砕噴火の噴火活動推移履歴の解明

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

1. 地形

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

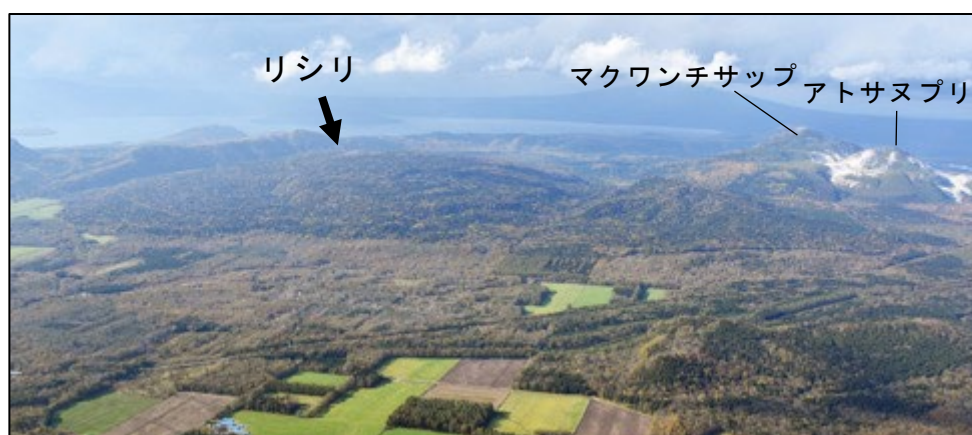


図 2. 上空から見たリシリ溶岩ドーム。アトサヌプリ・マクワンチサップ溶岩ドームに比べて扁平な形状を示す。

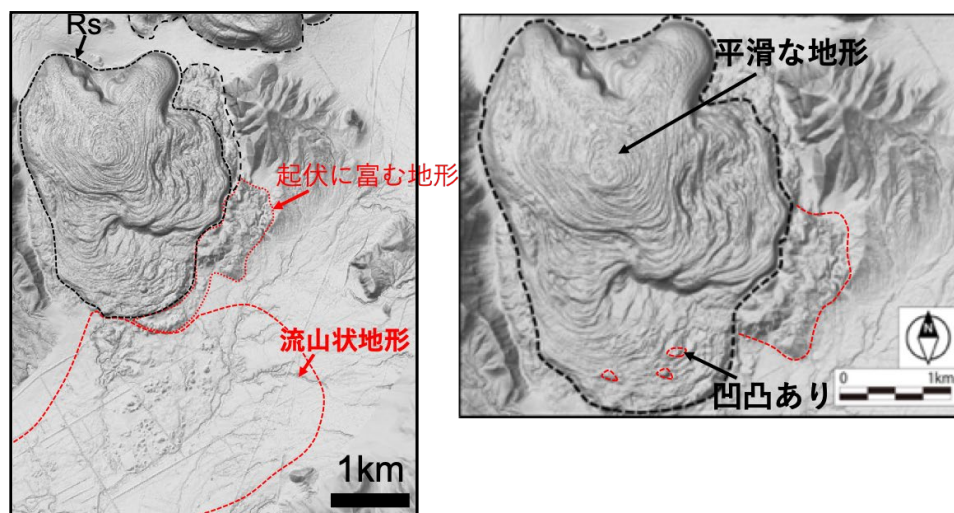


図 3. リシリ溶岩ドーム周辺の陰影起伏図（国土地理院電子地図より引用）。

2. 野外調査結果

2-1. 地表踏査

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

2-2. 近傍でのボーリング掘削およびトレンチ掘削調査

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

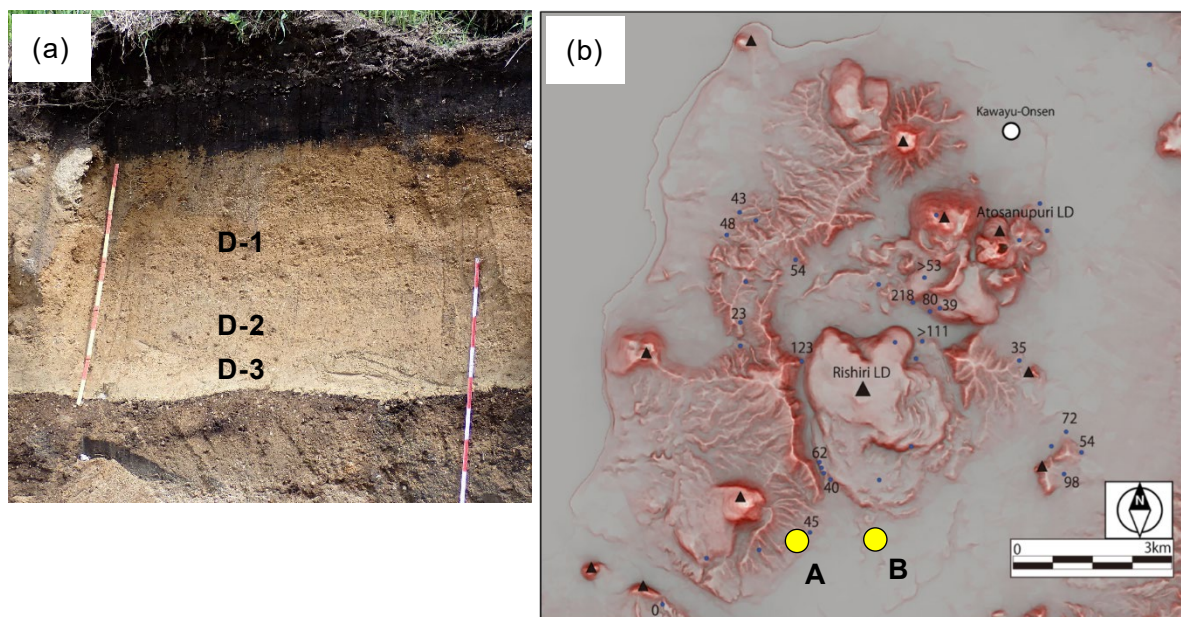


図 4. (a) 地点 A の露頭写真。(b) リシリ火砕流の層厚分布図（右：単位は cm）（ベースマップの赤色立体地図は国土地理院電子地図より引用）。

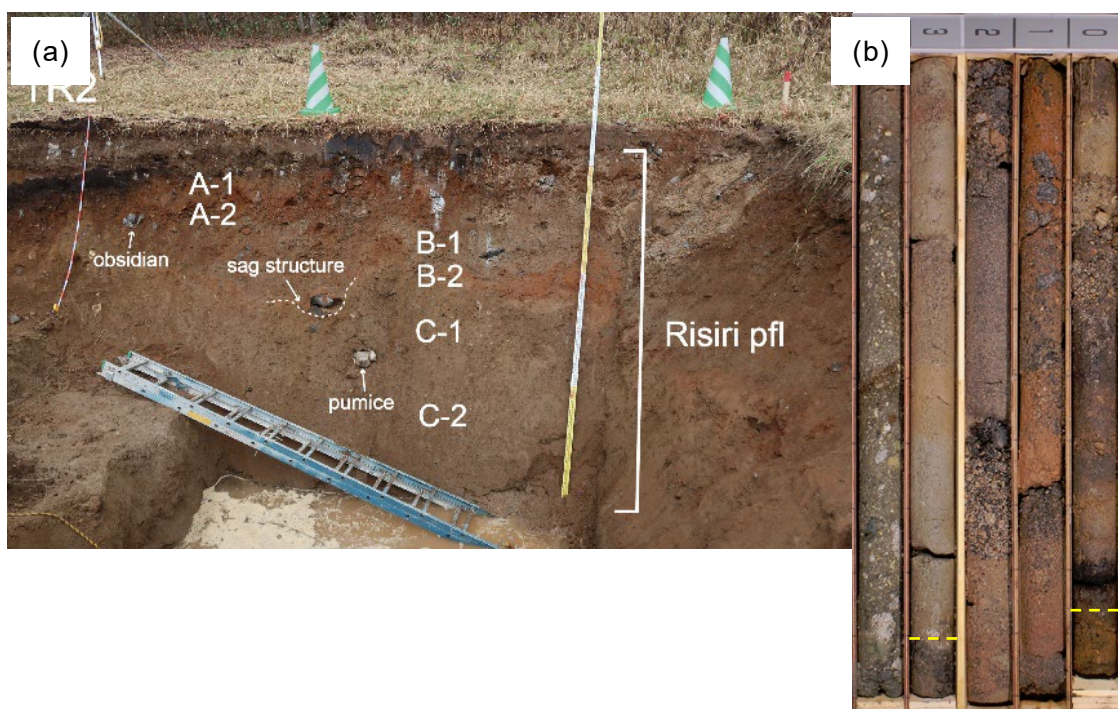


図 5. (a)地点 B でのトレンチ掘削孔の全景。(b)ボーリングコア写真（左上が上位）。

3. 構成物量比

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

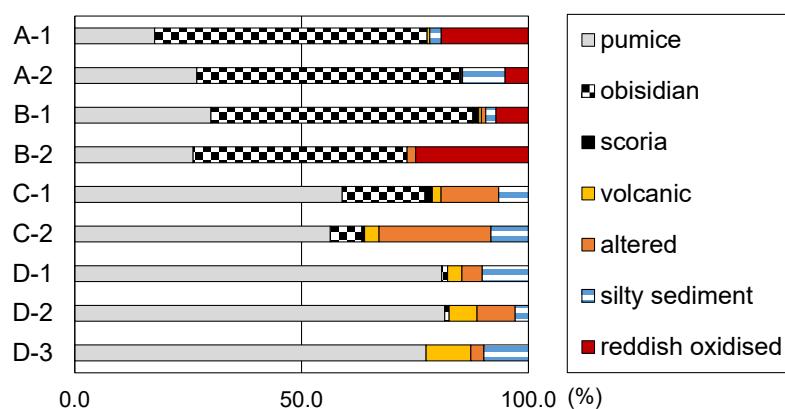


図 6. リシリ火砕流堆積物の構成物分析結果。

4. 本質物の岩石学的特徴

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

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

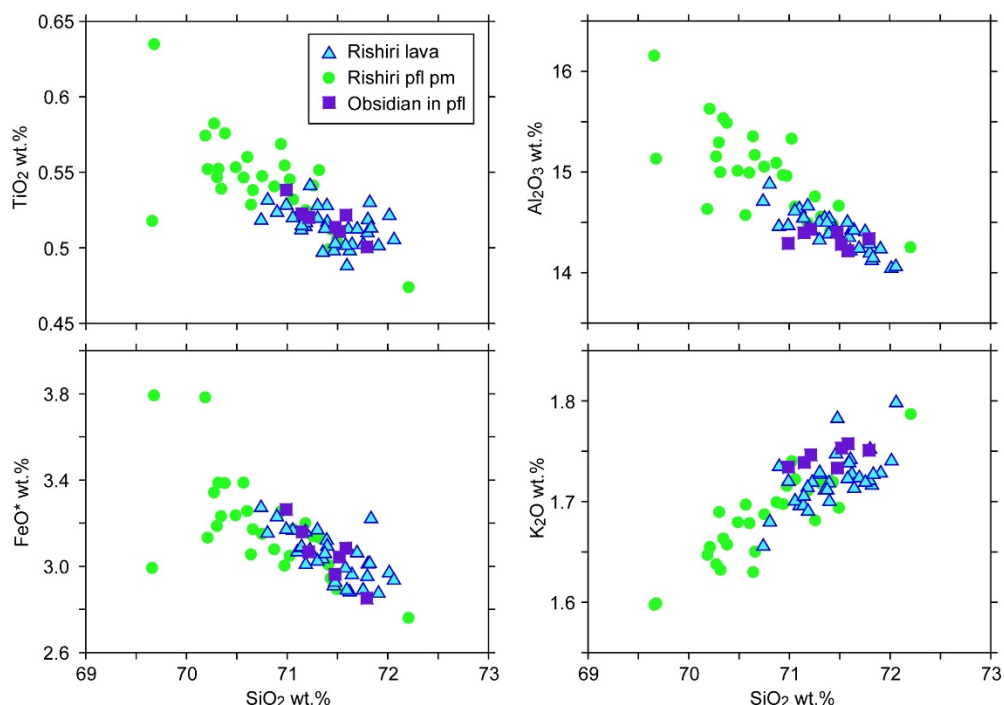


図 7. リシリ火砕噴火の本質物の全岩化学組成ハーカー図。

5. リシリ火砕噴火の活動推移

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

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

ii) アトサヌプリ火砕流噴火の活動推移

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

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

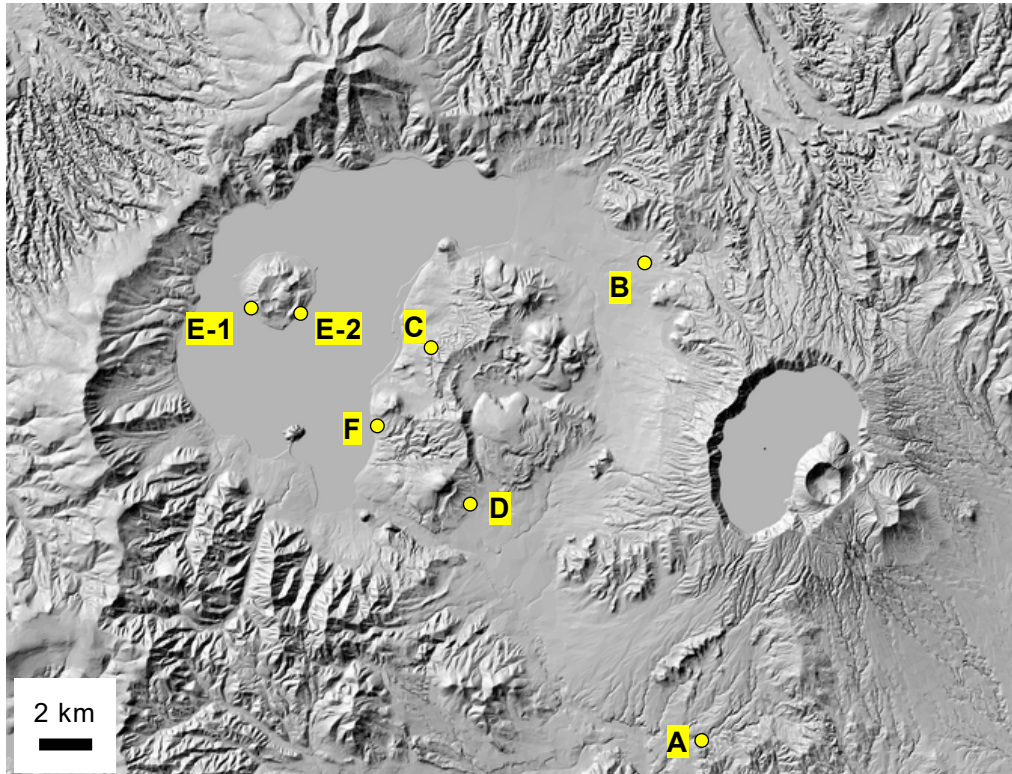


図 8. アトサヌプリ火砕流の代表的な露頭地点(国土地理院電子地図より引用)。

1. 地質各論

1-1. 地表露頭

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

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

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

色を呈しており、シルト～砂サイズの火山灰の基質中に白色軽石と岩片が散在する。

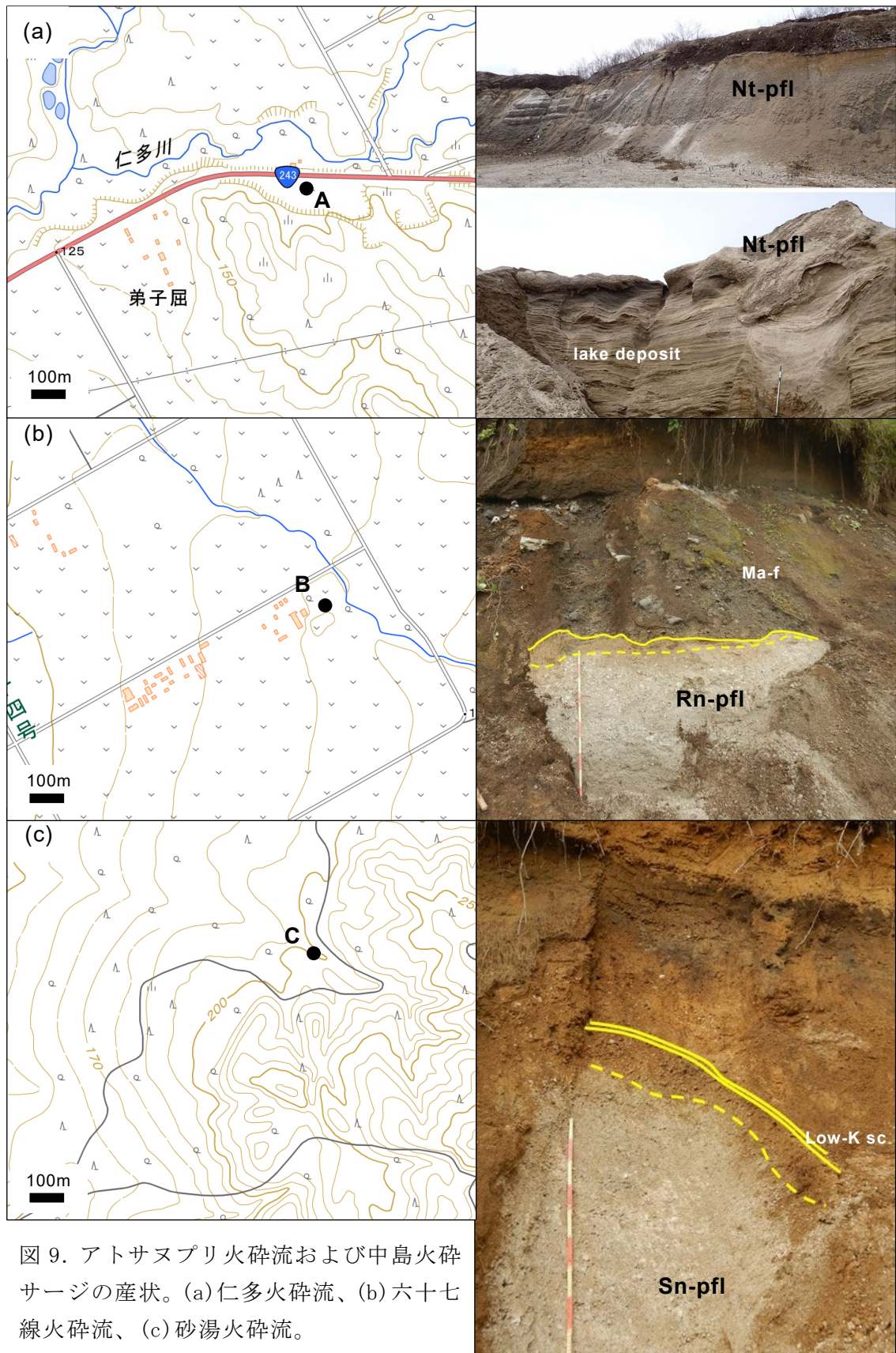


図 9. アトサヌプリ火砕流および中島火砕サージの産状。(a) 仁多火砕流、(b) 六十七線火砕流、(c) 砂湯火砕流。

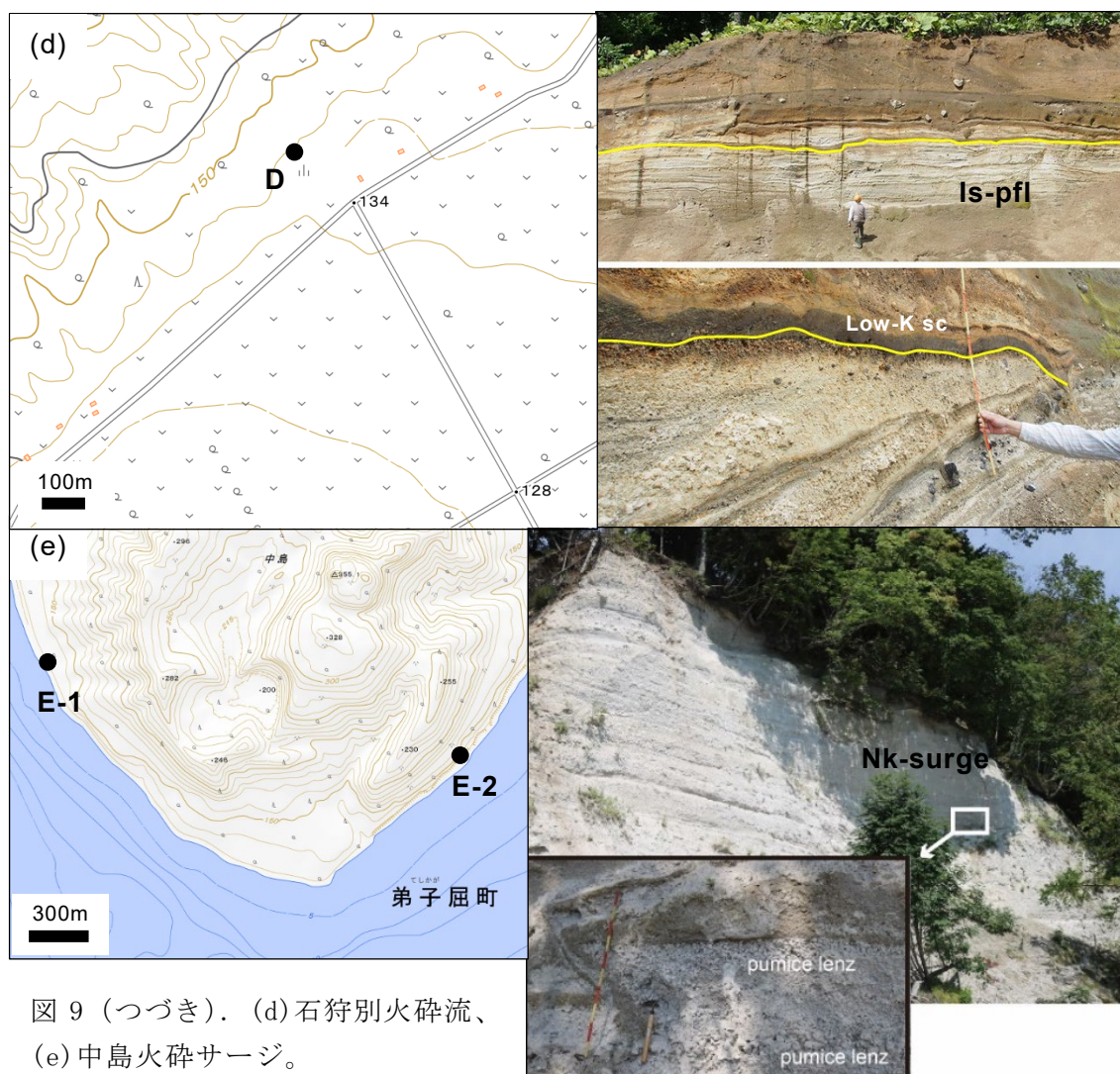


図 9 (つづき). (d) 石狩別火砕流、
(e) 中島火砕サージ。

砂湯火砕流 (Sn-pfl) : アトサヌプリ火山の西部、砂湯付近を中心とした一帯で確認される火砕流堆積物である。下位は確認できないが、地点 C では、約 5 cm の再堆積層を挟んで、上位に摩周火山由来と考えられる低カリウム系列の降下スコリア層が、その更に上位には摩周 f テフラが堆積する (図 9c)。塊状無層理で灰白色を呈しており、シルト～砂サイズの火山灰の基質中に白色・灰色軽石と岩片が散在する。

石狩別火砕流 (Is-pfl) : アトサヌプリ火山の南部、オプタテシュケおよびシリ溶岩ドーム付近で観察される火砕流堆積物である。模式地の地点 D では下位は確認できないが、上位には層厚 4 cm の再堆積層を挟んで摩周火山由来と考えられる低カリウム系列の降下スコリア層が堆積する (図 9d)。他の火砕流とは異なり、成層構造が明瞭である。全体としては白色を呈しており、シルト～砂サイズの火山灰基質中に白色軽石と岩片が散在することから、火砕サージ堆積物または湖成堆積物であると考えられる。

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

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

1-2. トレンチ掘削調査

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

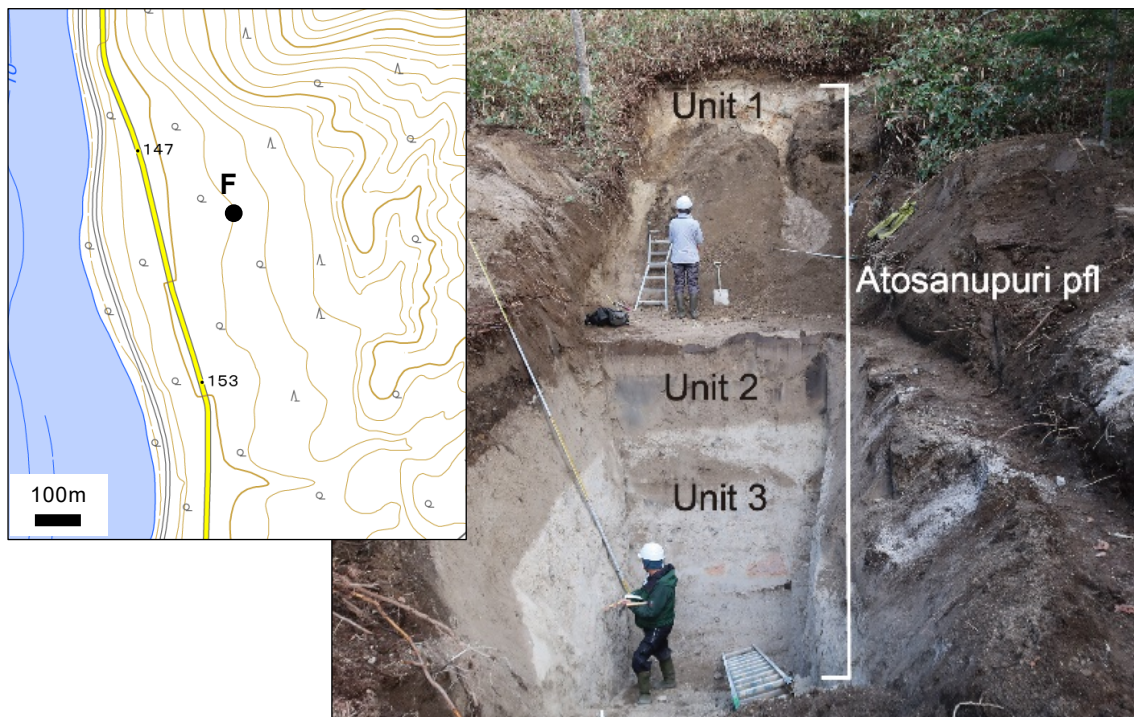


図 10. 地点 F で露出したトレンチ掘削調査地点と掘削孔の全体写真。

1-3. ボーリング掘削調査

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

表 1. アトサヌプリ火山周辺で最近実施されたボーリング掘削調査のまとめ。

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

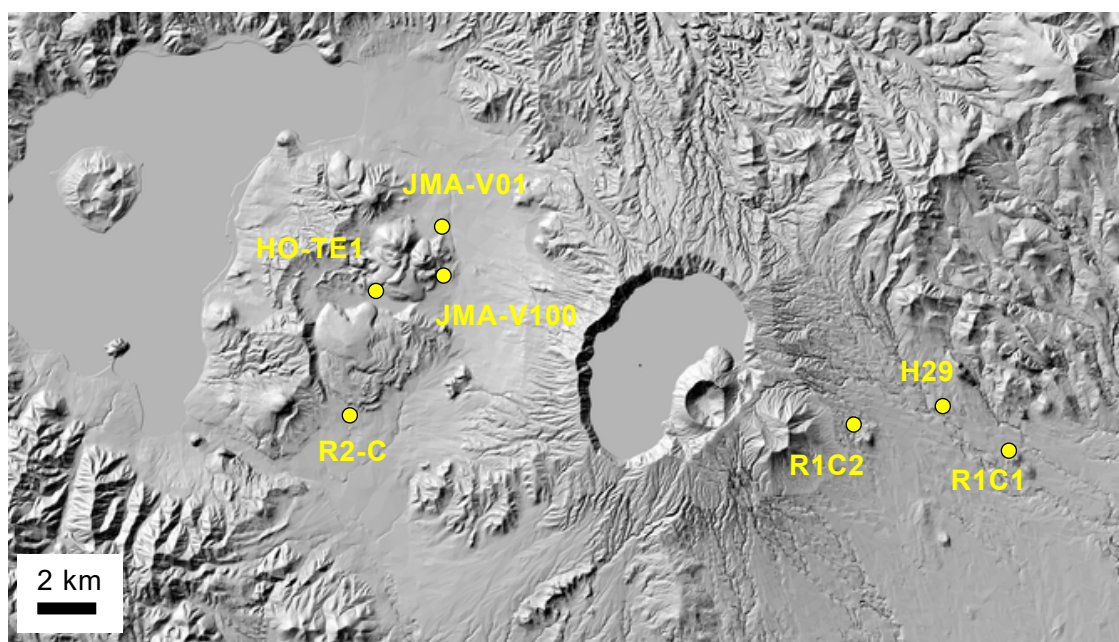


図 11. アトサヌプリ火山周辺で近年実施されたボーリング掘削調査の調査地点。

2. 本質物の岩石学的特徴

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

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

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

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

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

斑晶量：◎＞○＞△

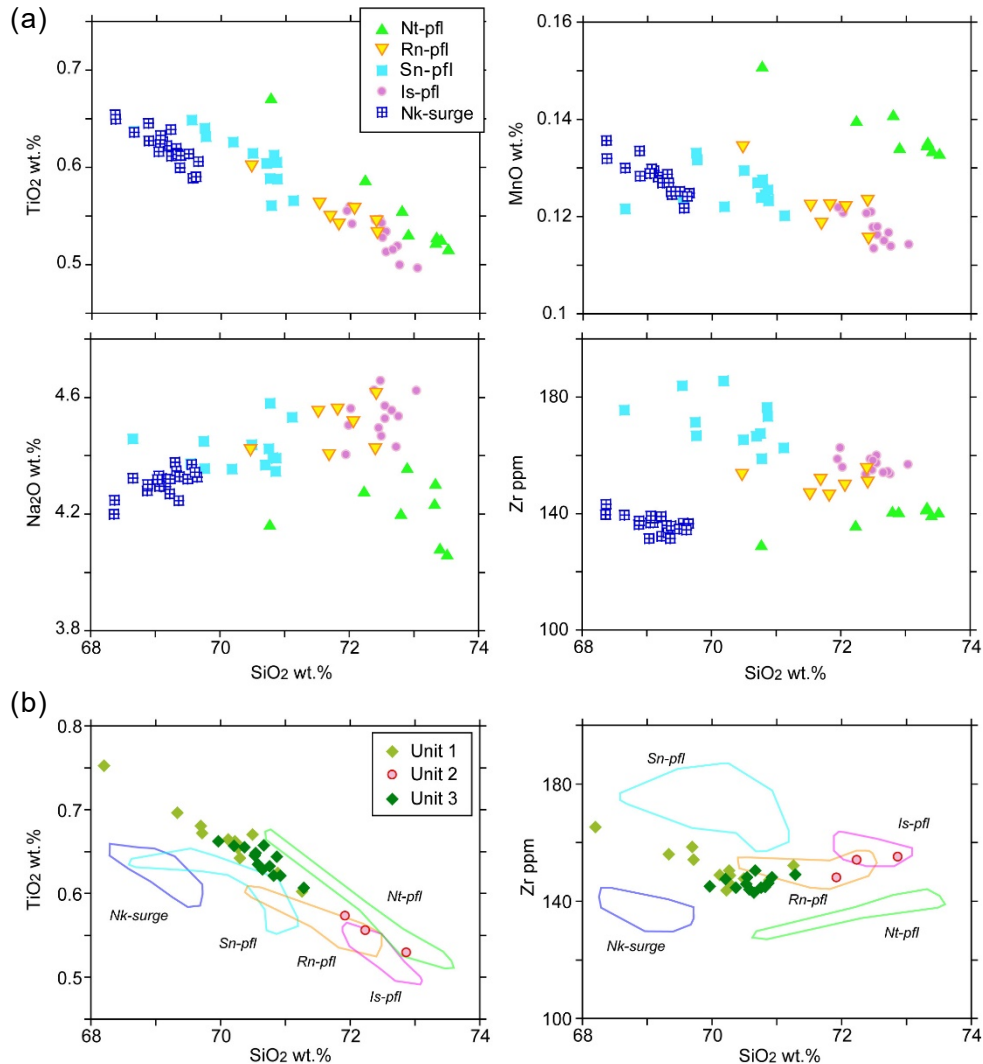


図 12. アトサヌプリ火砕流中の軽石の全岩化学組成ハーカー図。(a) 地表露頭。Nt：仁多、Rn：六十七線、Sn：砂湯、Is：石狩別、Nk：中島。b) トレンチ掘削調査。

3. アトサヌプリ火砕流（近傍層）のタイプ区分

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

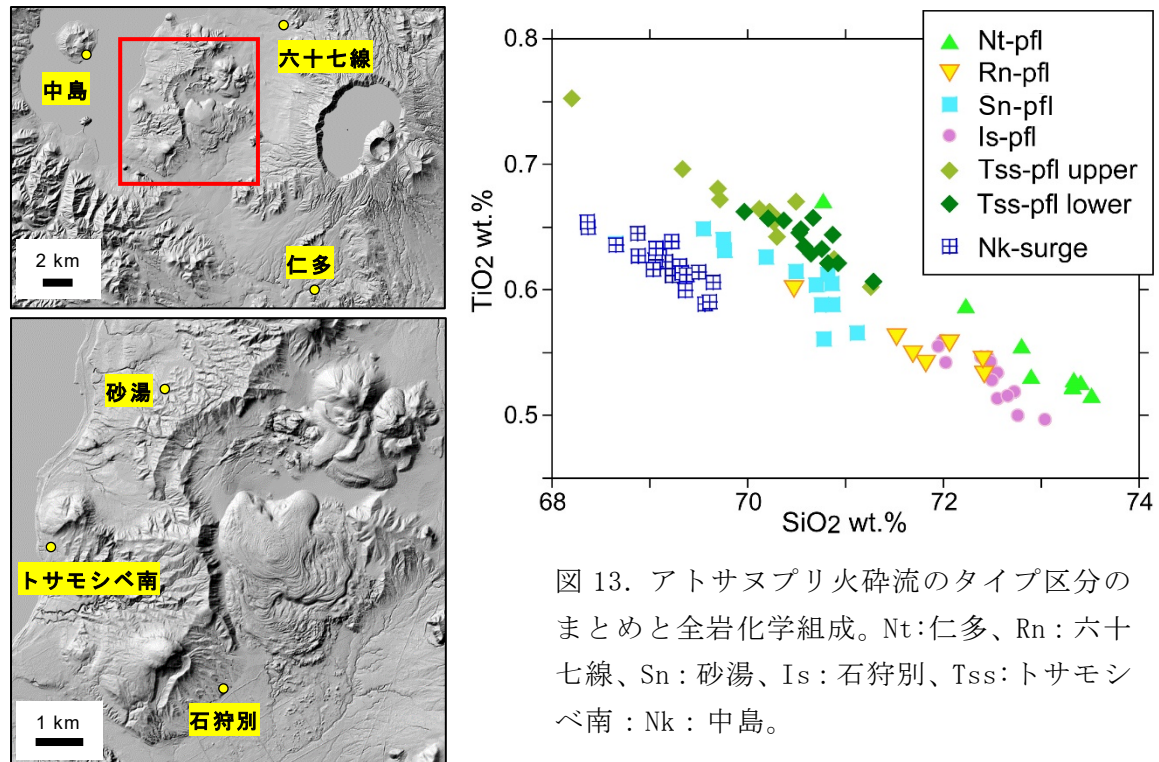


図 13. アトサヌプリ火砕流のタイプ区分のまとめと全岩化学組成。Nt:仁多、Rn:六十七線、Sn:砂湯、Is:石狩別、Tss:トサモシベ南、Nk:中島。

謝辞

本地域を調査するにあたり、環境省阿寒摩周国立公園管理事務所、根釧西部森林管理署および弟子屈町役場の方々には多大なるご協力を賜った。弟子屈町の平田氏および玉川大学の皆様には、ボーリング掘削調査およびトレンチ掘削調査において、土地の使用許可をいただいた。また、基礎地盤コンサルタンツ（株）の方々には、ボーリングコア試料を観察させていただいた。以上の方々に深く御礼申し上げます。

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

i) 雌阿寒岳の噴火活動履歴の再検討

1. はじめに

雌阿寒岳は北海道東部の阿寒火山地域にある活火山である。雌阿寒岳の噴火活動は数万年から開始したと考えられており、その後、少なくとも8箇所の噴出中心から噴火を繰り返し、現在の姿に至った。雌阿寒岳14,000年前以降の噴火史については、地質学的見地からステージⅠ～Ⅲに区分された⁷⁾。しかし、各ステージを特徴付ける堆積物について、山頂部と山麓部での対比が十分ではなく、また分布についても十分には明らかになっていない。我々は平成30年度から通常の地質調査に加え、人力トレンチおよび重機トレンチ調査を行い、¹⁴C年代値を基に14,000年前以降の噴火活動の再検討を行ってきた。その結果、雌阿寒岳の全体的な噴火活動⁸⁾、そして、最近1,000年間の噴火活動の詳細⁹⁾が明らかとなった。令和3年度は、これまでの調査で

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

2. 噴火活動史

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

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

3. 火山ガラス組成

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

4. まとめ

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

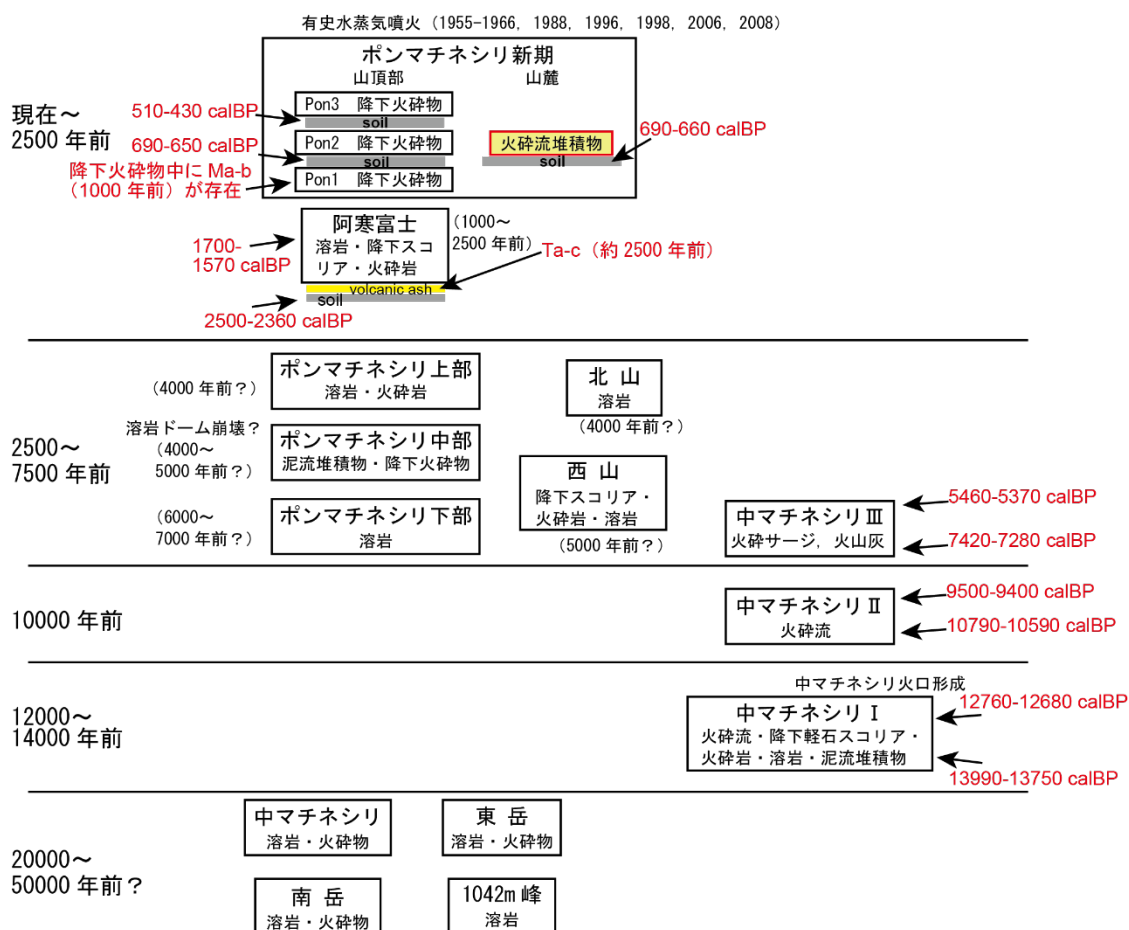


図 14. 再検討した雌阿寒岳の噴火活動史。

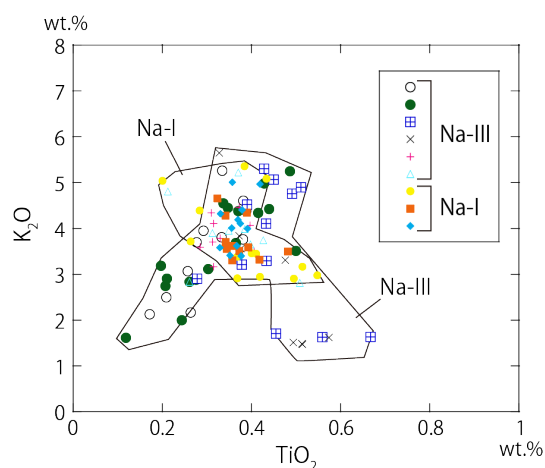


図 15. 中マチネシリ I (Na-I) と中マチネシリ III (Na-III) のガラス組成。

ii) 雌阿寒岳 (阿寒富士) のマグマ供給系の解明

活動的火山において、過去から現在に至るマグマ供給系の変遷を把握しておくことは、将来的な噴火活動予測にあたり極めて重要である。そこで、約 1,000 年前まで活動していた阿寒富士を対象に、噴出物の岩石学的・地球化学的解析を行い、マグマの生成や多様化プロセスを含むマグマ供給系の検討を行った。

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

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

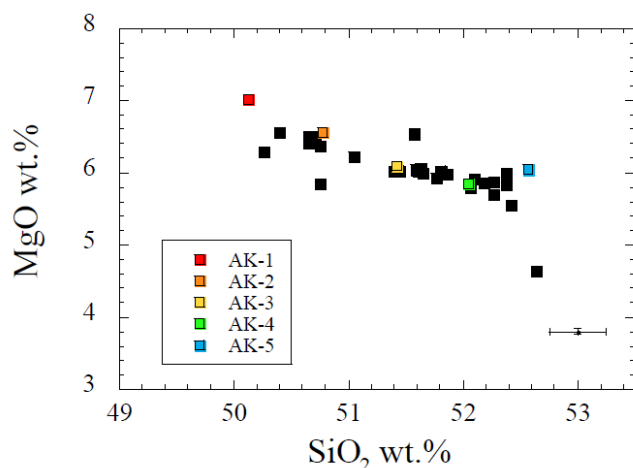


図 16. 阿寒富士の火山岩試料の全岩化学組成。色付きの試料 (AK-1~5) は詳細な岩石学的解析を行った試料を示す。

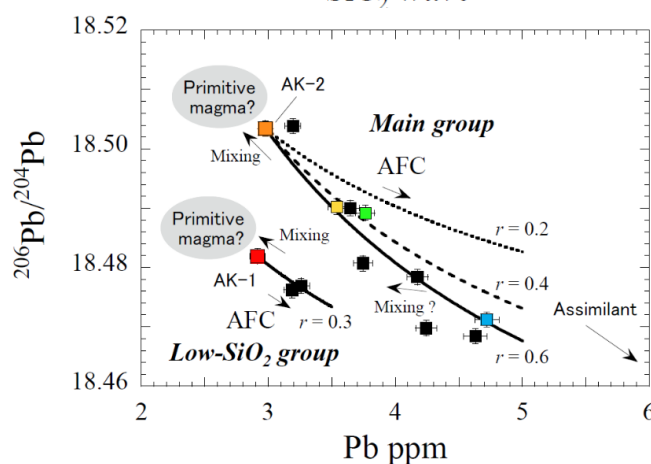


図 17. 阿寒富士の代表的試料についての鉛同位体比 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比) と鉛含有量との関係。阿寒富士の地球化学的特徴の多様性は、2種類の初生マグマからの AFC 過程によって説明できる。

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

1. はじめに

羊蹄火山は、南西北海道中央部に位置する第四紀の成層火山 (山頂の標高は、1,898 m) である。本火山の火山活動は、これまでに山頂周辺の噴出物や山麓のテフラ層序・年代の研究により、少なくとも約 5 万年前~数千年前まで活動したことが明らかにされてきた¹²⁾¹³⁾。その後、羊蹄火山起源と考えられる 7~8 万年前の火山灰層が東部石狩低地帯に存在することが報告されたため¹⁴⁾、山麓の火山灰層で対応するテフラ層の存在を検討し、羊蹄火山の爆発的噴火がいつから始まったのかを確かめる必要が生じた。2020 年度までの調査・検討によって、これまで知られていた噴出物より下位で洞爺火砕流 (約 10 万年前)¹⁵⁾より上位の層準に羊蹄火山起源の噴出物が新たに 8 層発見された。昨年度の調査では、尻別川沿いで、層位や給源が不明な火砕流堆

積物（異凝灰岩層と仮称）が発見されたが、詳細な検討は行っていなかった。そこで今年度は、本堆積物の記載岩石学的特徴とガラス組成、ジルコンの U-Pb 年代測定を実施したので以下にその結果を報告する。なお、本成果は日本地質学会第 128 年学術大会（2021 年 9 月）で報告した¹⁶⁾。

2. 露頭の層位・層相

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



図 18. 露頭の位置。Google Earth の衛星画像に加筆。



図 19. 異凝灰岩層の露頭写真。左はクローズアップ。

3. 記載岩石学的特徴

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

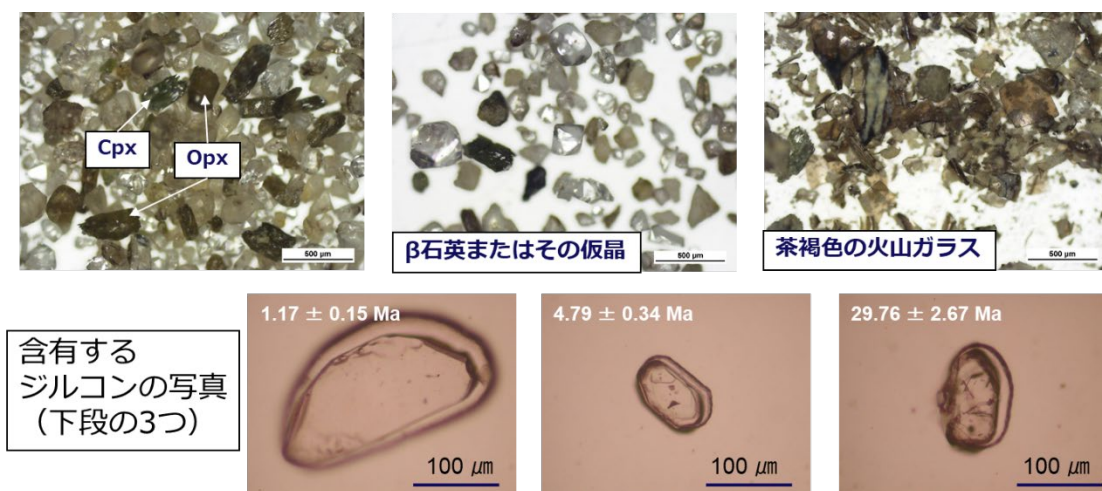


図 20. 含有する鉱物とガラスの写真。上段は左と中央は鉱物の写真、右は茶褐色ガラスを示す。下段はジルコンの代表的写真。

4. ガラス組成

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

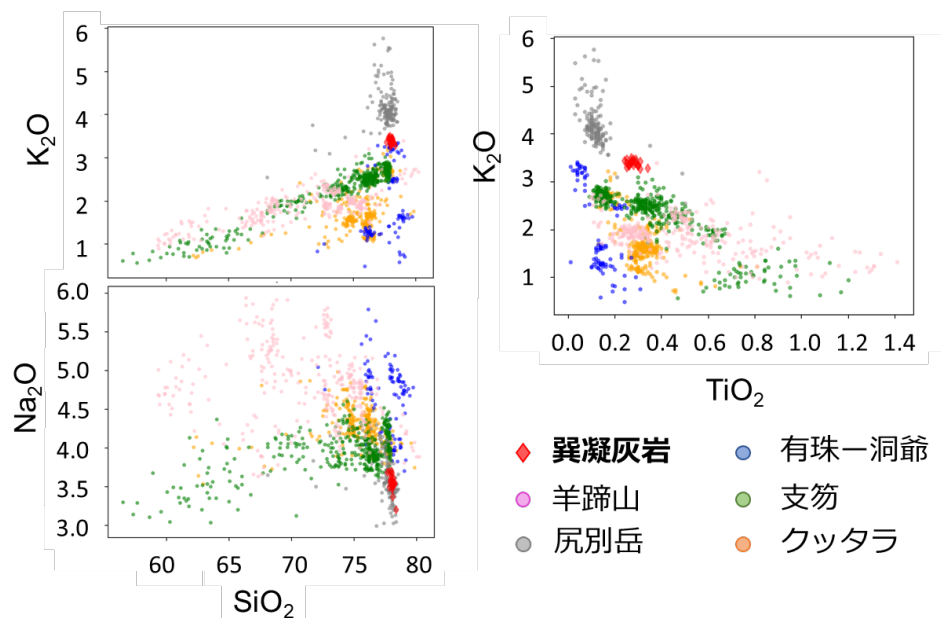


図 21. 火山ガラス組成のハーカー図と TiO_2 - K_2O 図。周辺火山の噴出物ガラス組成¹³⁾¹⁴⁾と異凝灰岩のガラス組成を比較したが、どの噴出物とも一致しなかった。

5. ジルコンの U-Pb 年代

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

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

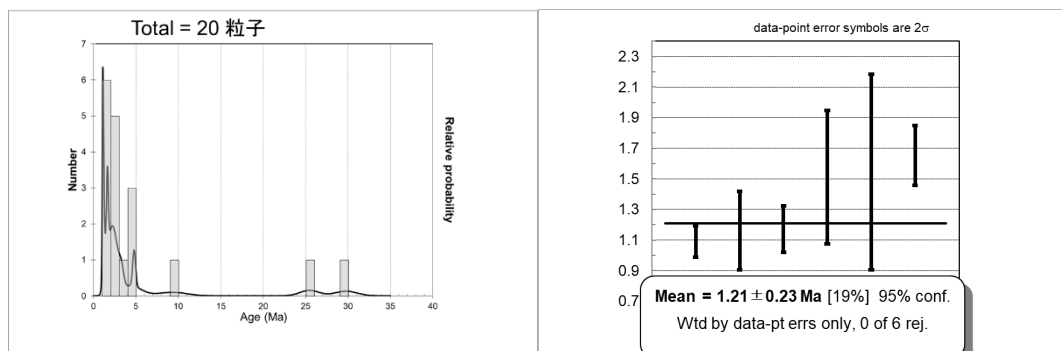


図 22. ジルコン U-Pb 年代分布図 (左) とジルコン U-Pb 加重平均年代 (右)。作図には、Isoplot3.75²⁰⁾を用いた。

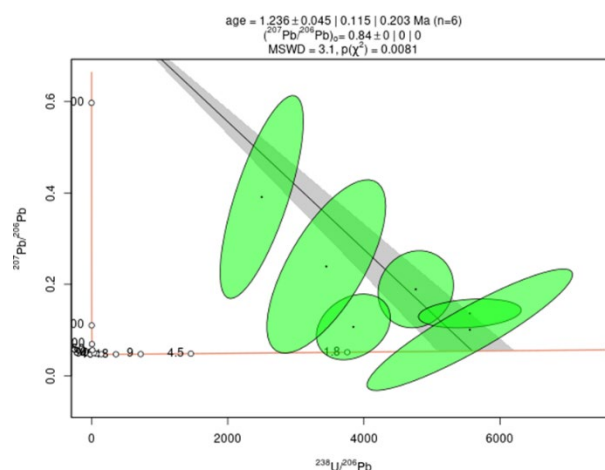


図 23. Tera-Wasserburg 図。Common $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.84$ に設定。ジルコンとメルトの分配係数 $f(^{230}\text{Th}/^{238}\text{Th}) = 0.23$ 、 $f(^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}) = 3.36$ ¹⁸⁾を用いて非平衡補正を行った。作図には、IsoplotR²¹⁾を用いた。

6. 議論とまとめ

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

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

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

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

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

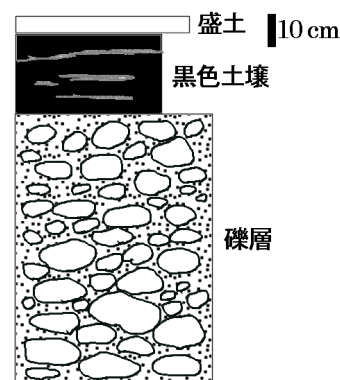


図24. トレンチ柱状図。

e) 秋田焼山：野外調査による噴火活動履歴の解明（産業技術総合研究所）

1. 目的と調査位置

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

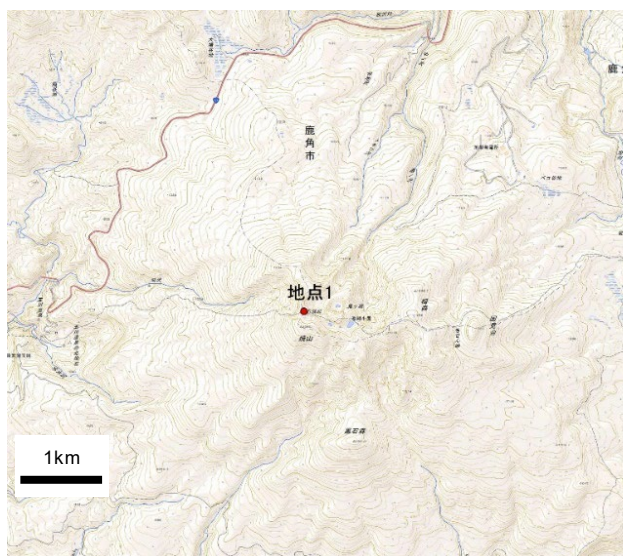


図25. 秋田焼山火山の人力トレンチ調査地点（地点1）。国土地理院2万5千分の1地形図「八幡平」および「玉川温泉」を使用。

2. トレンチ掘削地点における層序

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



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

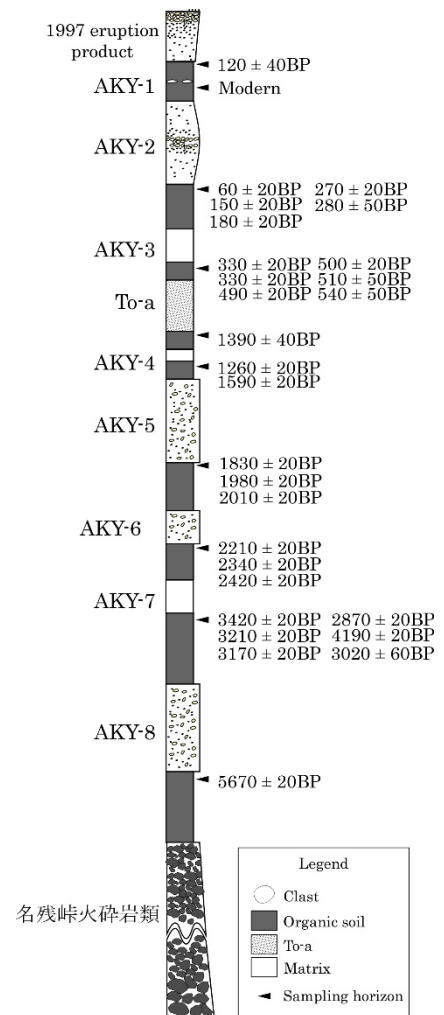


図 27. 秋田焼山火山の総合柱状
図。昨年度までの調査結果も含め
て作成。

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

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

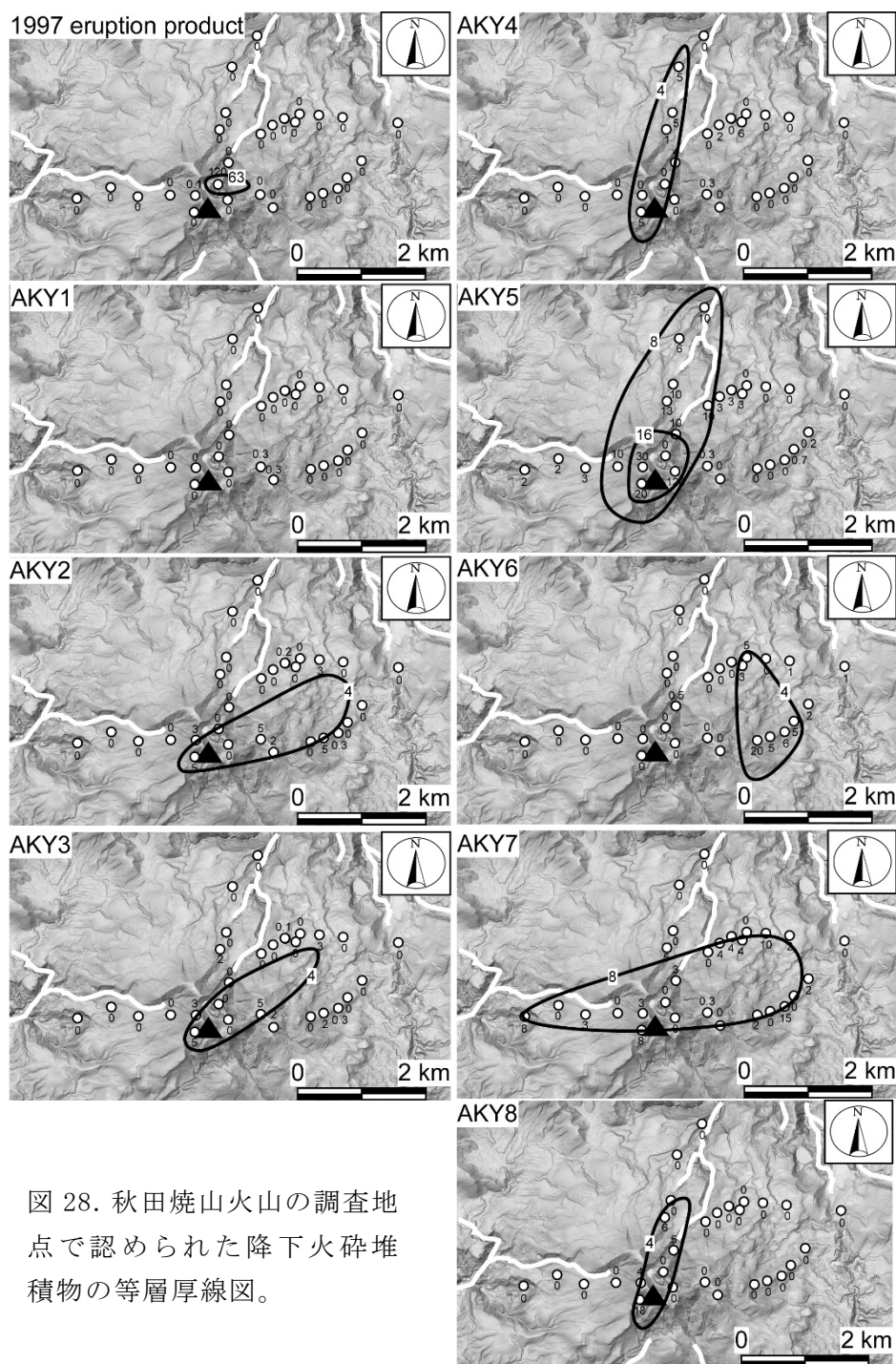


図 28. 秋田焼山火山の調査地点で認められた降下火砕堆積物の等層厚線図。

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

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

3. まとめ

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

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

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

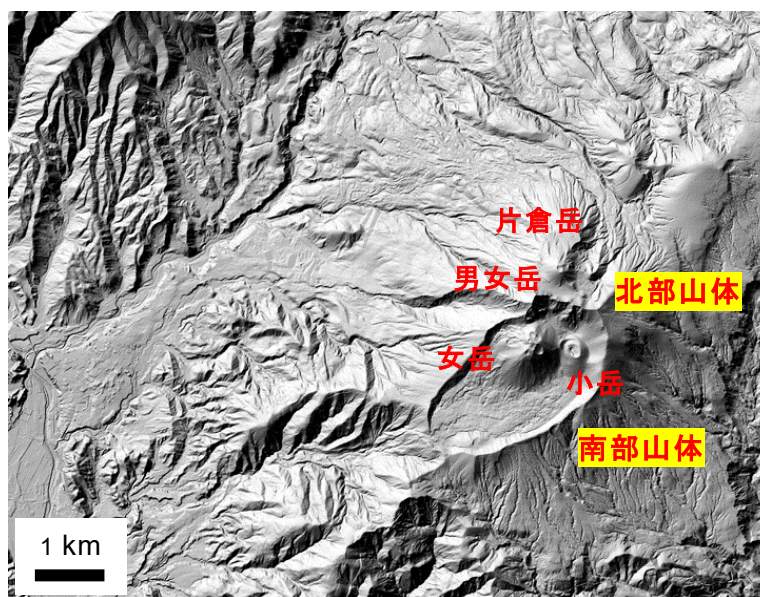


図 29. 秋田駒ケ岳火山の陰影起伏図（国土地理院電子地図より引用）。

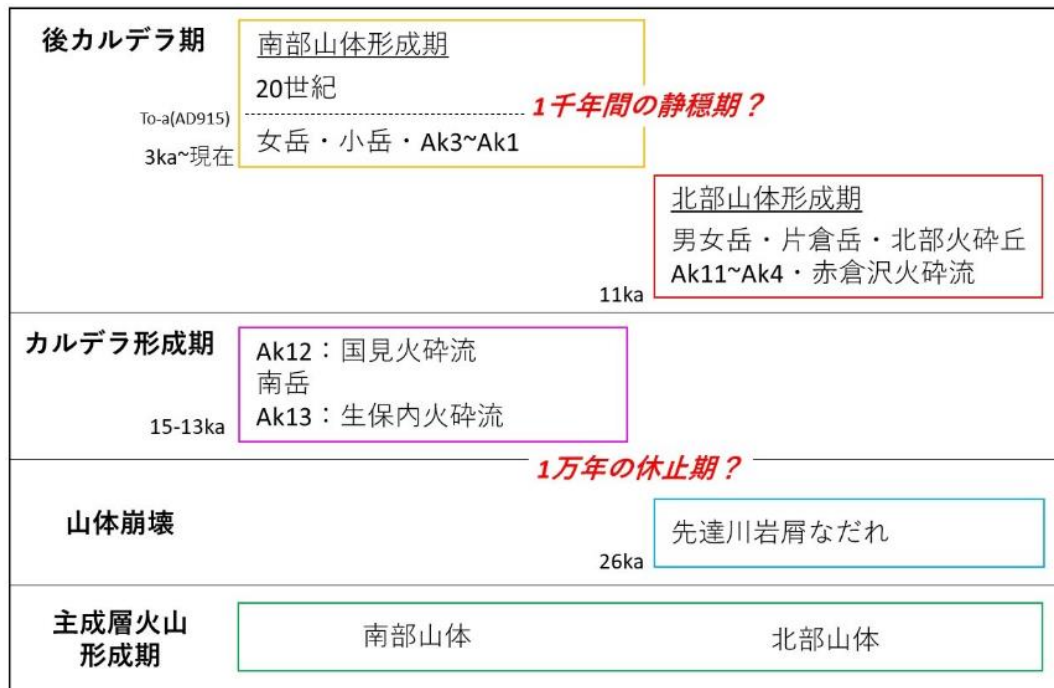


図 30. 従来の研究による秋田駒ヶ岳の活動史のまとめ ^{(25) (26) (27)} および本研究。

i) 南部山体形成史の解明

1. はじめに

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

2. 研究手法

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

3. 地質概略

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

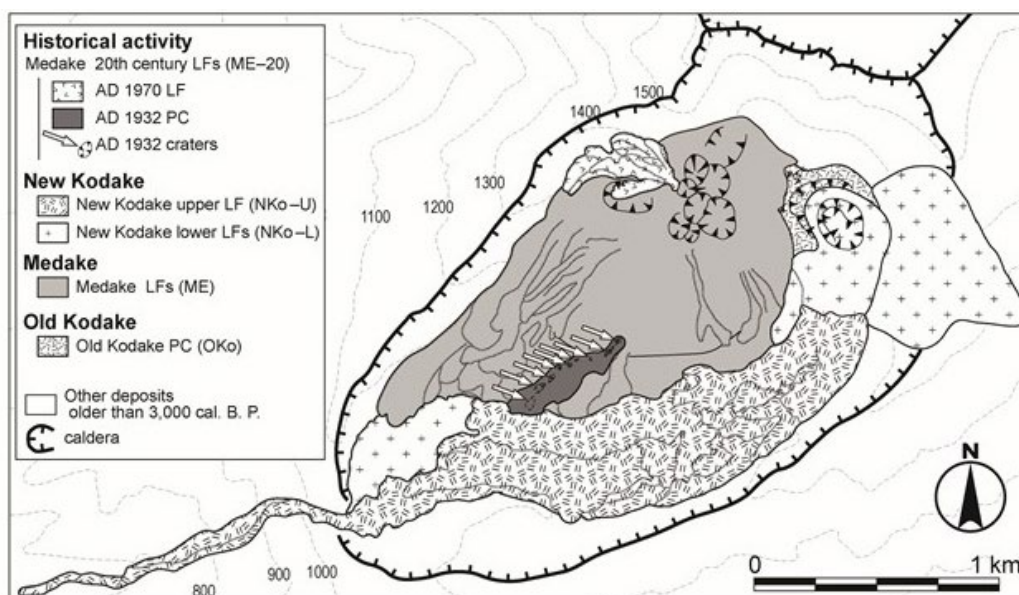


図 31. 秋田駒ヶ岳、南部山体（過去 3,000 年間）の地質図（本研究）。

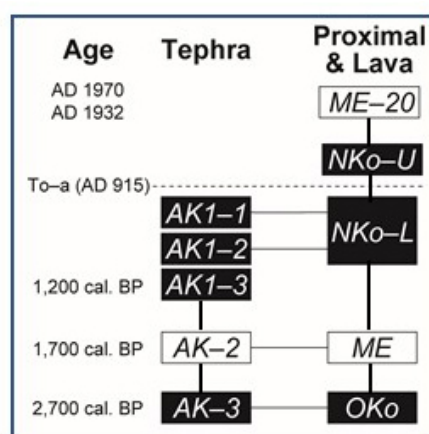


図 32. 秋田駒ヶ岳、南部山体の噴火履歴（本研究）。

新たな知見としては以下のとおりである。

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

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

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

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

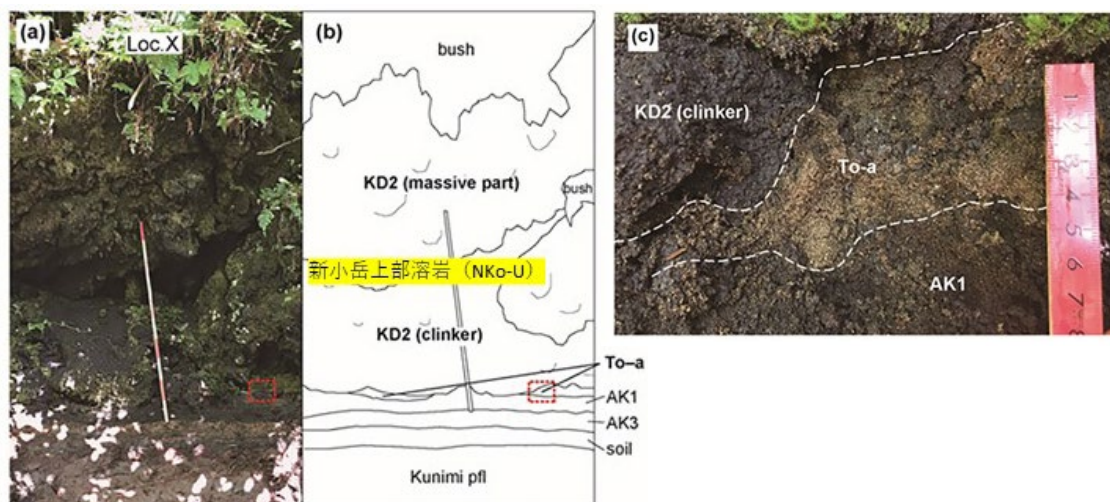


図 33. 南部カルデラ内、南岳北麓での露頭での、AK1、十和田 a (To-a) および新小岳上部溶岩の関係。

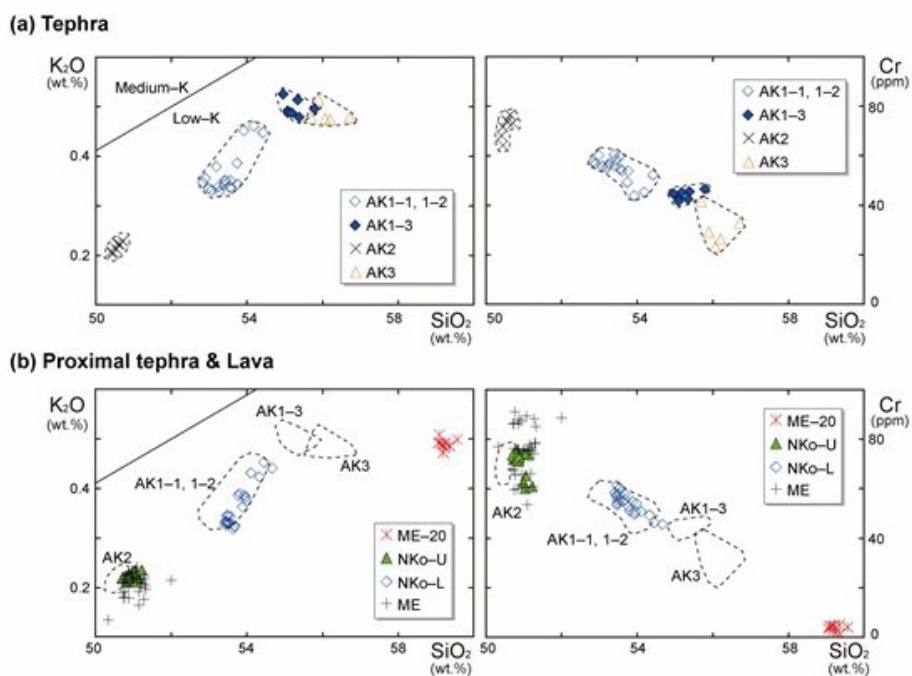


図 34. テフラおよび山体近傍の堆積物との対比。ユニット名は図 31・32 と同じ。

3. まとめ（階段図と噴出物の化学組成変化）

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

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

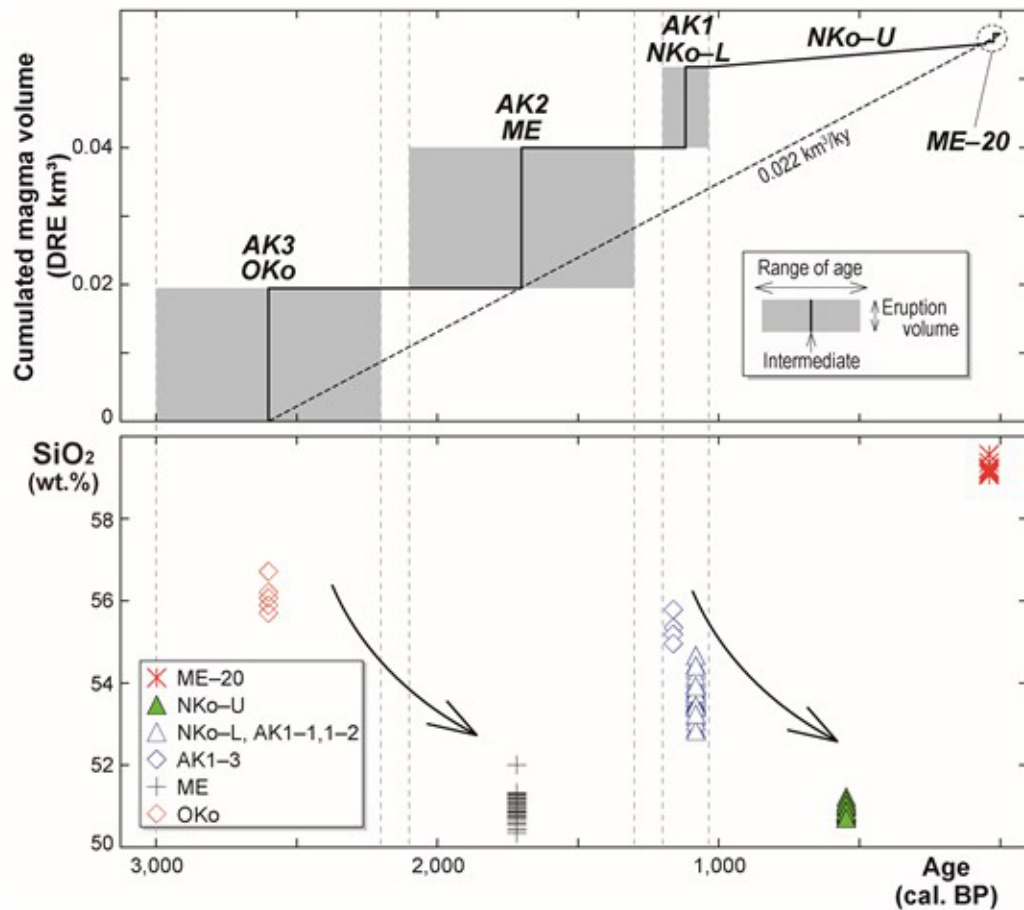


図 35. 秋田駒ヶ岳南部山体の時間－噴出量階段図と噴出物組成の時間変化（本研究）。

ii) 北部山体形成史解明のためのボーリング掘削調査

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

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

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

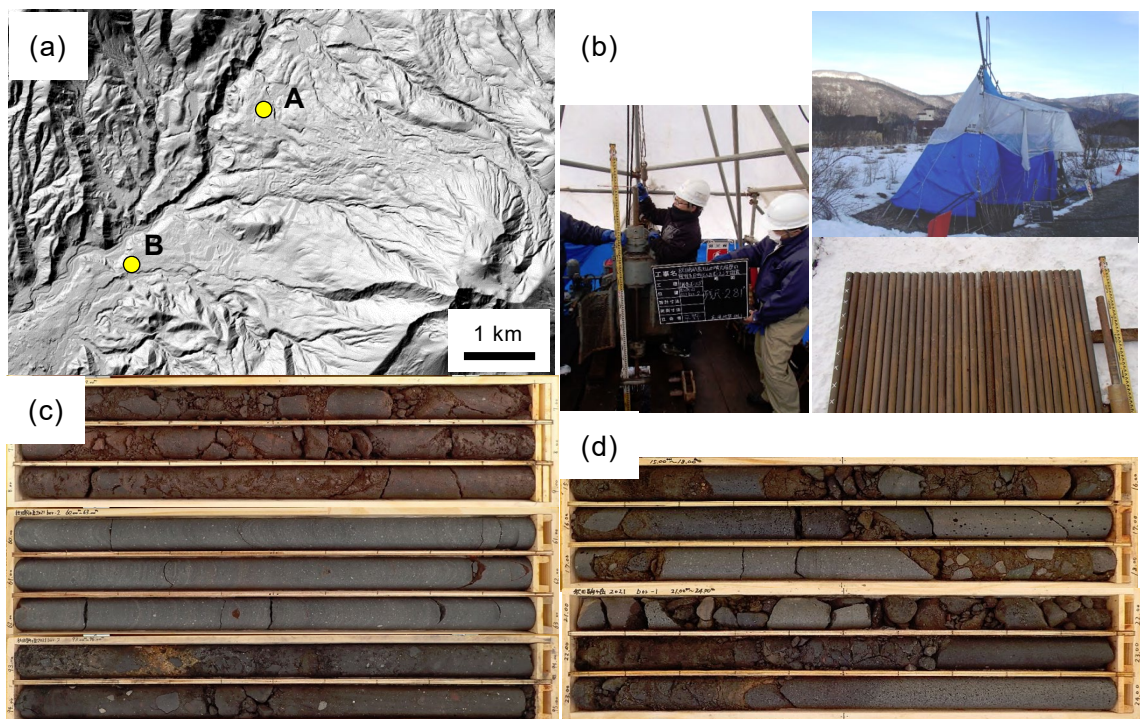


図 36. ボーリング掘削調査結果。(a)調査地点、(b)掘削調査の様子、(c)代表的なボーリングコア試料の写真（地点 A：上からクリンカー、溶岩、土石流堆積物）、(d) 代表的なボーリングコア試料の写真（地点 B：山体崩壊に関連している可能性が高い土石流堆積物）。

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

i) トレンチ試料の成分分析による事象分岐シナリオ

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

詳細が解明され、特に事象分岐モデルの構築に至るデータが得られている。

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

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

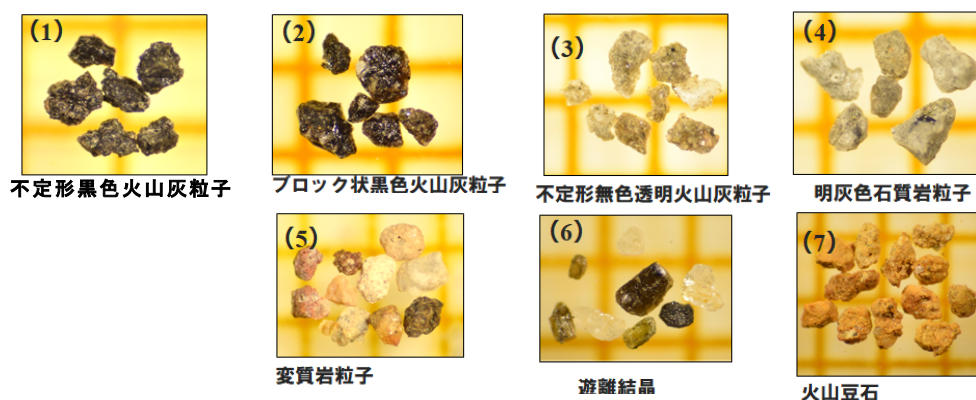


図 37. 火山灰粒子の分類。

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

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

程で山体崩壊が発生したことが示される。

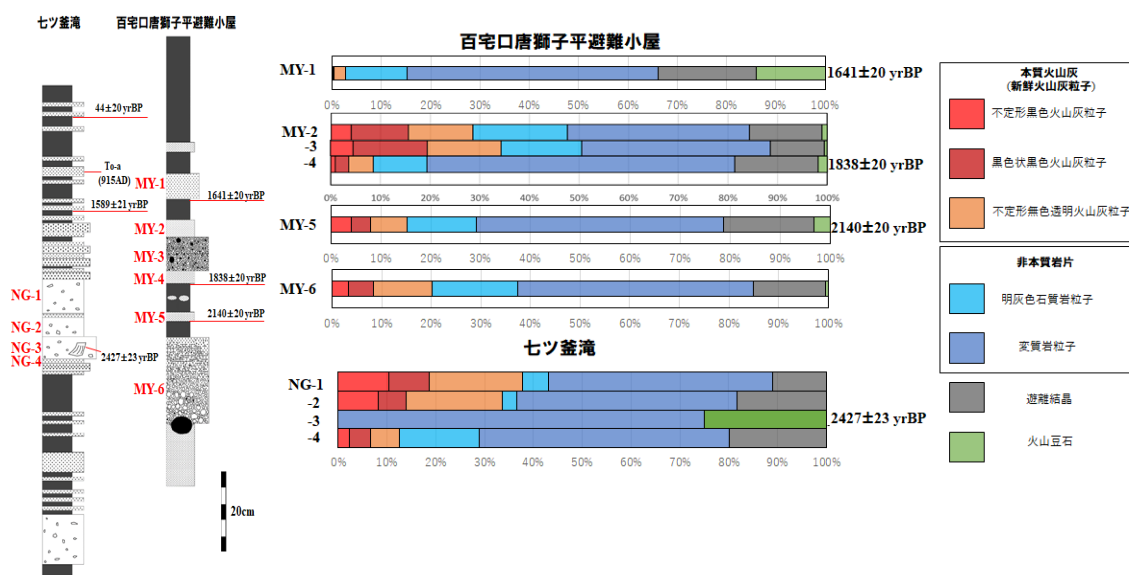


図 38. 成分分析を行ったテフラ試料とその分析結果。

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

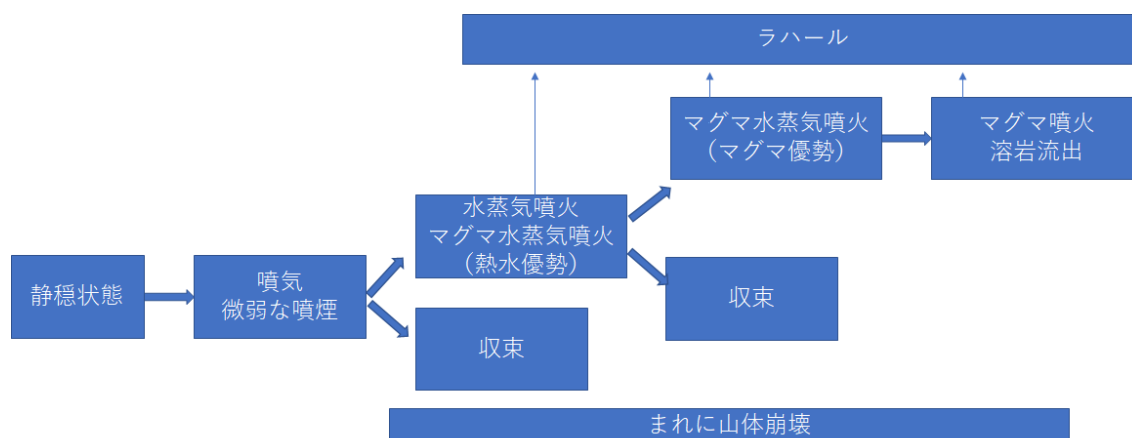


図 39. 鳥海火山の噴火事象分岐モデル。

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

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

ii) 西鳥海山のマグマ供給系の解明

鳥海山の西鳥海カルデラ内噴出物は約 2 万年前より前に形成されたと考えられてきた³⁴⁾³⁵⁾が、最近になって少なくともその一部は完新世のものである可能性が考えられるようになり再検討を進めてきた。前年度までに層序及び岩石学的特徴の時間変遷を明らかにし、本年度は西鳥海カルデラ内噴出物をもらしたマグマ供給系の解明を行った。

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

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

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

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

た可能性がある。

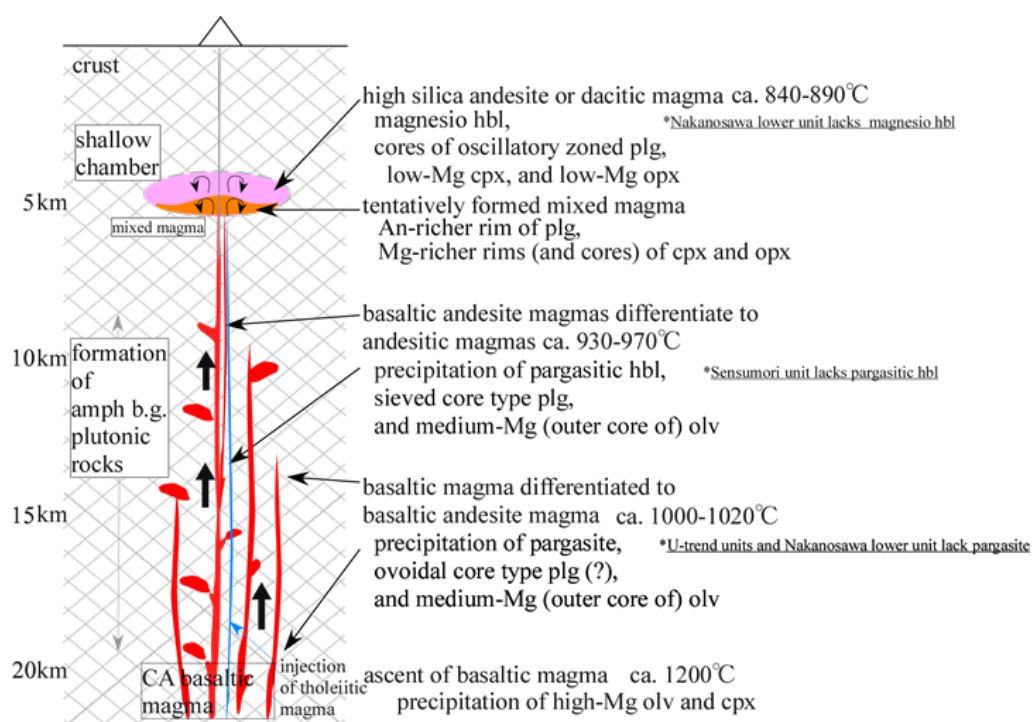


図 40. 鳥海山、西鳥海カルデラ内噴出物をもたらしたマグマ供給系の概念図。

h) 栗駒山：野外調査に基づく噴火活動履歴の解明（秋田大学）

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

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

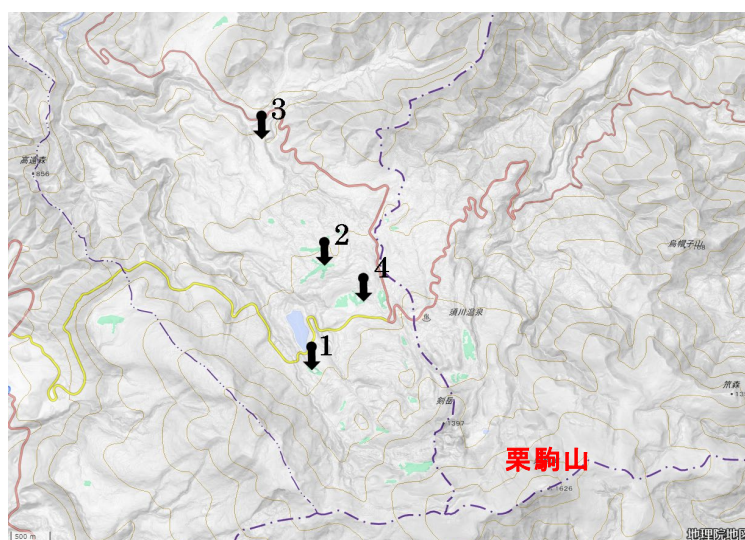


図 41. トレンチ調査実施箇所。地点 1～3 は令和 3 年度、地点 4 は令和 2 年度に実施。

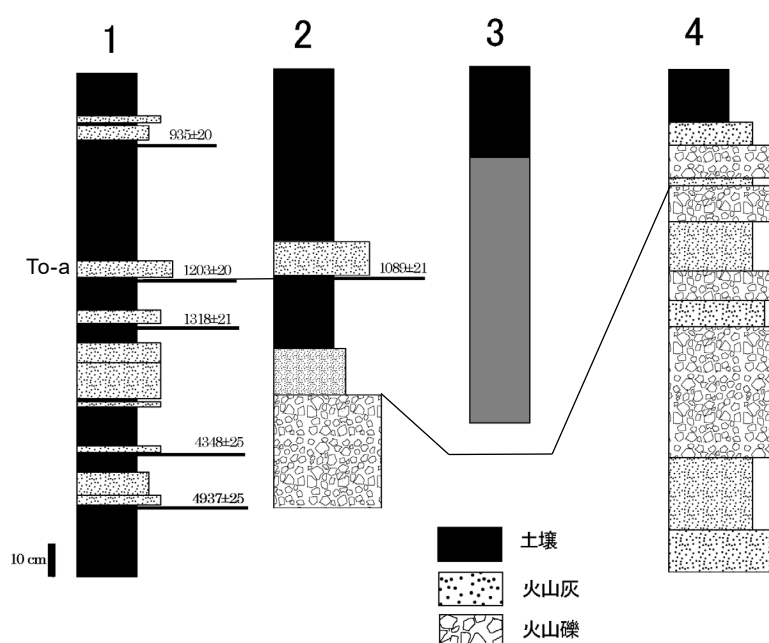


図 42. トレンチ掘削調査で観察されたテフラ層の対比柱状図。

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

i) 蔵王山の噴火活動履歴の高精度化

蔵王山最新の活動期は、約 3.5～1.3 万年前、約 9～3 千年前、約 2 千年前以降に分けられる³⁷⁾。これまで、これら 3 つの活動期の詳細を明らかにするために、野外調査・トレンチ掘削調査を実施してきた。以下に令和 3 年度に実施した内容を各活動フェーズで記す。

蔵王山約 3.5～1.3 万年前の活動フェーズ

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

蔵王山約9~3千年前の活動フェーズ

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

蔵王山約2千年間の活動フェーズ

テフラ層の数の認定(Za-GS1~2・Za-0k1~7)と各テフラ層の形成時期の推定はほぼ完了した。各テフラ層の山頂近傍での等層厚線図はほぼ完成した。各テフラをもたらした噴火の特徴を推定するために、スコリア主体層の構成物解析、水蒸気噴火テフラ層のXRD分析を進めた。課題として、各テフラ層について、山麓付近にまで等層厚線を延ばすことが挙げられる。また、Za-0k1~7に対比される山頂近傍に分布する火砕岩類(五色岳火砕岩類の一部)を対象としてマグマ供給系の構成と噴火に至るプロセスについての研究成果を国際誌に投稿した。大枠としては地下約6 km付近に位置する安山岩質マグマ溜りに深部由来の玄武岩質マグマが注入し噴火に至るものであるが、輝石の組成累帯構造の分析を数多く行い、様々な組成の帯を形成したマグマの種類を推定し、また主体をなすマグマと副次的なマグマの配置や出現のタイミングなども考察した。

最新活動期の噴出量積算図の試作

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

値の精密な推定が困難なためである。また、最終氷期には山頂付近の植生が失われ、浸食され易いテフラ層は失われてしまった可能性が高い。よって規模の小さな噴火の痕跡を探し出すにはさらに何らかの工夫が必要と思われる。図 44 の約 9 千年前以降の青枠、赤枠で示したところは、熱水系が関与した噴火卓越時期、マグマ噴火卓越時期を各々示している。2～3 千年おきに、両者が入れ替わっているようにも見える。また、後者の時期の方が前者の時期よりも噴出率が高いように見える。



図 43. 御釜の南方約 1.8 km 及び南南東方約 1.9 km 付近の 2 か所でのトレンチ調査写真。

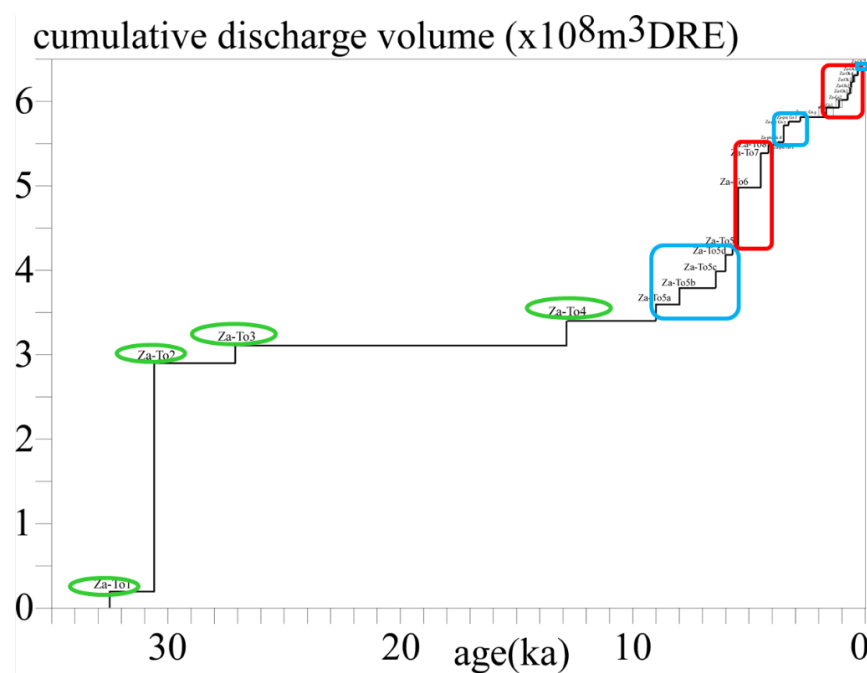


図 44. 蔵王山、最新活動期の噴出率積算図（暫定版）。緑で囲んだテフラ層は主に山麓で認められるもの。青枠、赤枠で示したところは、熱水系が関与した噴火卓越時期、マグマ噴火卓越時期を各々示している。

ii) 蔵王山、1895 年噴火の投出火山岩塊の噴出条件の推定

この研究は 4 年ほど前から行っていたものであり、当該投出岩塊の分布を野外調査と空中写真判読から求め、その分布を再現する噴出条件についてシミュレーションプログラム Ballista を用いて推定した。その成果は論文として公表した⁴⁰⁾。

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

先行研究⁴¹⁾によって、過去約 7 千年間にマグマ噴火噴出物が 6 ユニット、水蒸気噴火噴出物が 7 ユニット認められている。前者の最新のマグマユニットである大穴ユニット（1331 年と推定）より若い水蒸気噴火噴出物は 1 ユニット（1711 年と推定）のみである。一方で、最近の研究⁴²⁾によって大穴ユニットのテフラ層の上位に複数のテフラ層が存在することが指摘されている。そこで、大穴ユニット噴出物の上位に焦点を当て、硫黄平周辺においてテフラ層の調査を行った（図 45）。また、大穴ユニットについて進めてきた物質科学的分析結果を基に、そのマグマ供給系について検討を行った。

i) テフラ層序の再検討

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

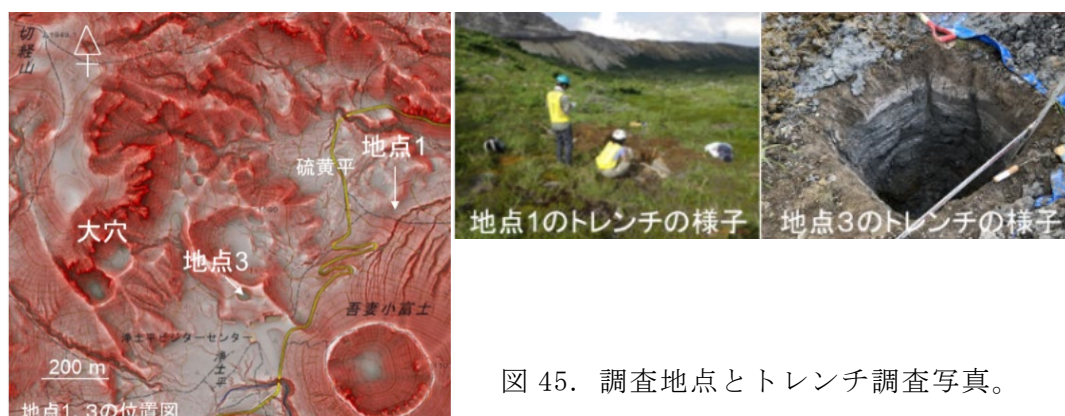


図 45. 調査地点とトレンチ調査写真。

ii) マグマ供給系の解明

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

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

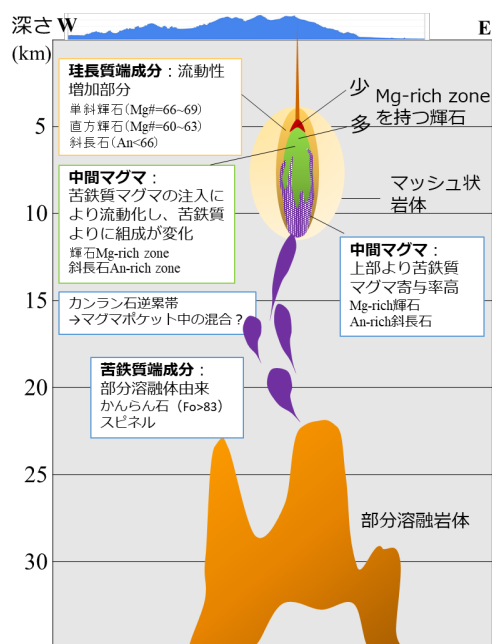


図 46. 大穴ユニットのマグマ供給系概念。

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

i) マグマ変遷からみる茶臼岳の中長期予測：活動を終えた二岐山との比較研究

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

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

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

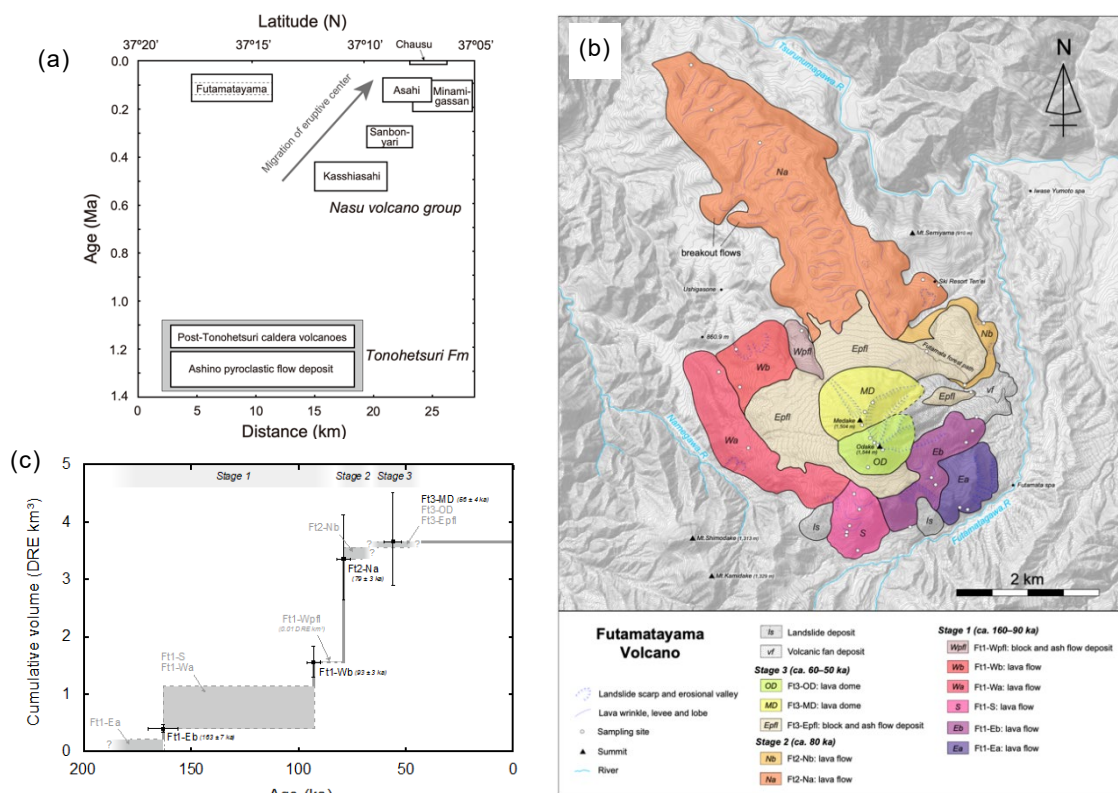


図 47. 那須火山群を構成する火山体の時空変遷 (a)。二岐山火山の地質図 (b)。二岐山火山の時間一積算噴出量階段図 (c)。

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

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

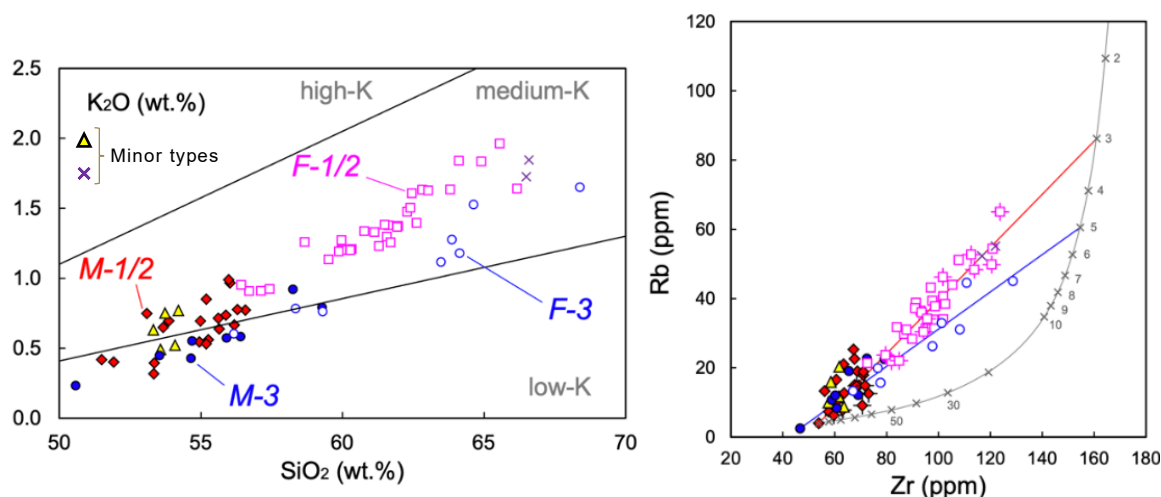


図 48. 二岐山火山噴出物の全岩主成分化学組成 (左) と微量元素組成 (右)。右図の曲線と数字は、各ステージの最も未分化なマグマ組成を起源とした平衡バッチ溶融モデル曲線と部分熔融度 (%) を示す。

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

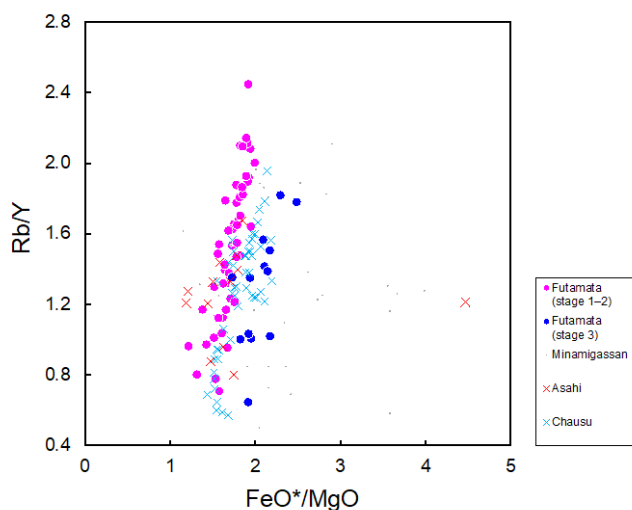


図 49. 二岐山および南月山・朝日岳・茶臼岳⁴⁸⁾ 噴出物の全岩 Rb/Y-FeO*/MgO 図。

ii) 茶臼岳の最新期活動の再検討

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

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



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

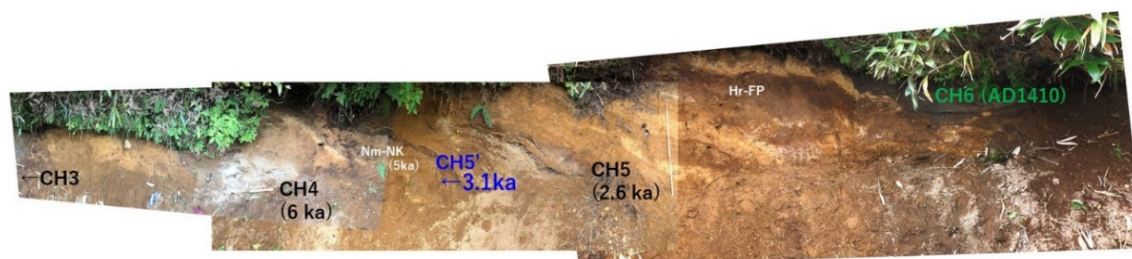


図 51. Loc. 2 の露頭写真。CH5' 直下の土壌から約 3.1 cal ka の年代値が得られた。

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

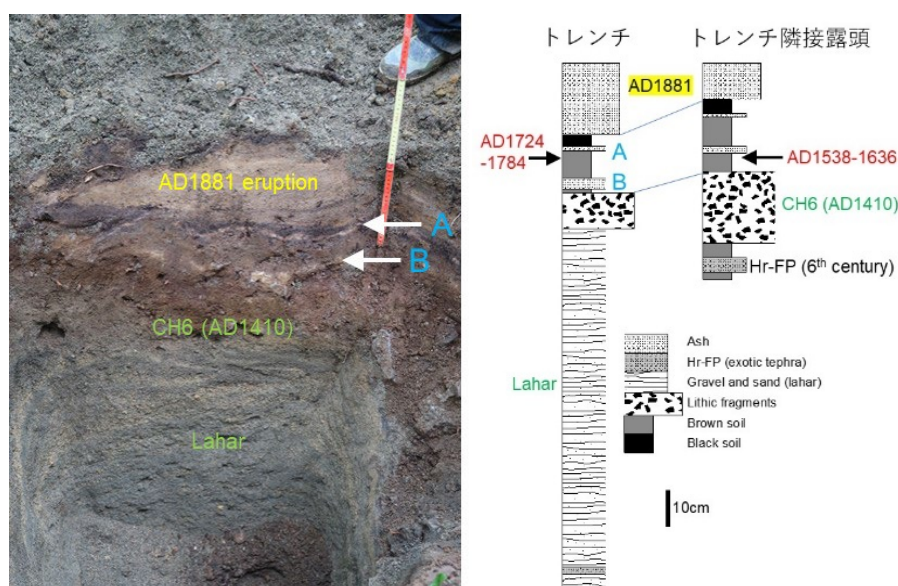


図 52. Loc. 3 のトレンチ写真 (左) および柱状図 (右)。



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

1) 志賀火山：野外調査、噴出物の年代測定・物質科学的解析による噴火履歴の解明 (富山大学)

1. はじめに

志賀火山は、長野県東部に位置する第四紀火山である。昨年度までの調査により、本火山のマグマ噴火の噴出物が、旧新の順に、現在の鉢山付近から噴出した旭山溶岩、鉢山溶岩、鉢山火砕堆積物と現在の志賀山山頂付近から噴出した志賀山溶岩 1～3 (SL1～3) から構成されることが明らかになっている(噴出物の名称は昨年度までの名称から一部変更；図 54)。また、志賀火山は、マグマ噴火終了後には水蒸気噴火が卓越する活動期に移行し、現在の志賀山山頂域に複数の爆裂火口列が形成され、その周囲に水蒸気噴火による粘土質テフラ(志賀山テフラ)が分布する(志賀山テフラの枚数は現時点では不明)。東麓に分布する志賀山テフラの年代(530～490 cal BP：テフラ直下の土壌の暦年)から最新の水蒸気噴火が約 500 年前に起きたことが明らかになっている。

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

2. 新たに得られた知見

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

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

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

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

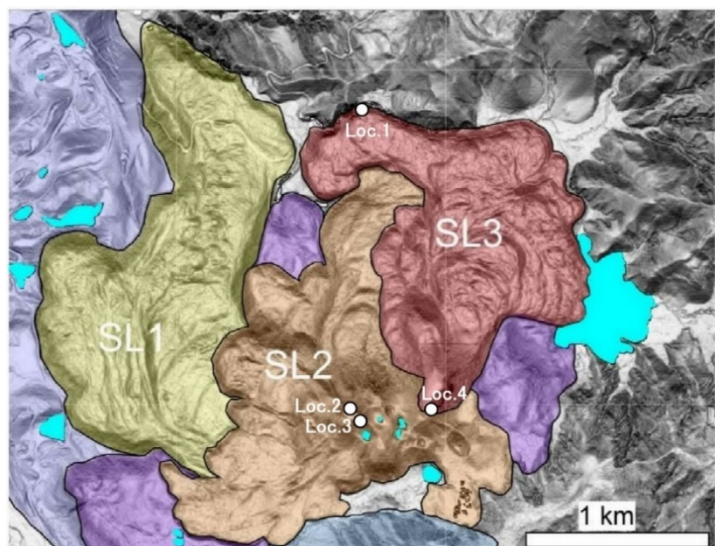


図 54. 志賀溶岩 1～3 の分布図と定方位試料採取地点。

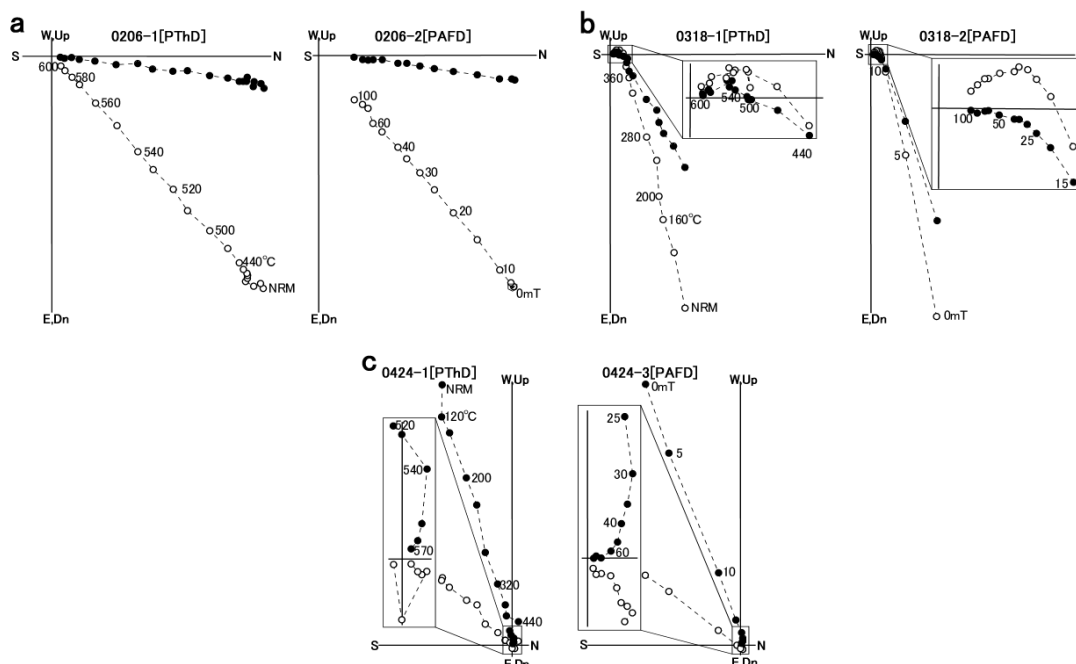


図 55. 段階熱消磁 (PThD) と段階交流消磁 (PAFD) の結果を示した直交ベクトル図。

m) 浅間山：野外調査に基づく高精度噴火履歴復元（日本大学）

1. はじめに

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

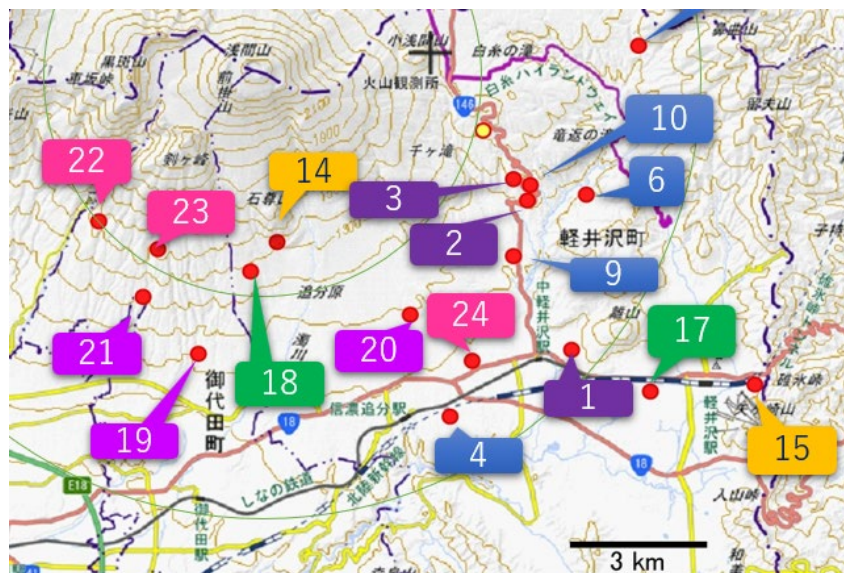


図 56. 浅間火山南麓における重機トレンチ掘削地点。



図 57. トレンチ 22 における住民説明の様子。

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

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

2. 調査結果

トレンチ 22(御代田町国有林内浅間林道(1,500m林道)西端)

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

トレンチ 23(御代田町国有林内 1,500m林道沿い舟木沢付近)

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

トレンチ 24(軽井沢町古宿)

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

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



図 58. トレンチ 22 の掘削面。



図 59. トレンチ 23 の掘削面。

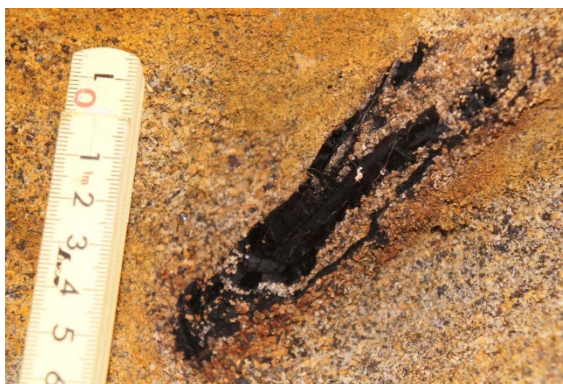


図 60. トレンチ 23 の FN-5 に含まれる炭化木片。



図 61. トレンチ 24 の全景と TY-2。



図 62. トレンチ 24 の掘削面下方の様子。



図 63. トレンチ 24 の TY-6 に含まれるブロック。

3. 結果のまとめと考察

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

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

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

n) 新島：物質科学的解析に基づく、噴火の変遷と長期予測（筑波大学）

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

1. 流紋岩の噴火区分（再検討）

噴火ユニット区分は、昨年の報告書記載にもすでに述べているが、地内島の噴火（～100 ka）に始まり、いくつかの噴火を経て、式根島、（若郷玄武岩）、阿土山火山（856 y）、向山火山（886-887 y）まで断続的な噴火により形成されてきたと推測される。一方、最近の新島を含めた流紋岩質火山におけるテフラ層序に基づいた詳細な研究が行われ、宮塚山（12.8 ka）以降の噴火については再検討の必要性がある⁵¹⁾。

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

2. 斑晶鉱物の化学組成、および全岩化学組成の特徴

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

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

最近実施した成果を加味した場合、流紋岩では、合計 13 ユニットの火山の全岩化学組成が明らかにされているが、実際には古い年代の噴出物を考慮するとユニット数が増える可能性がある（未確定）。現時点での化学分析の結果からは、流紋岩類は 73~78%（多くは 75~78%）が多く、また全体的に組成幅が狭い結果となった。流紋岩のユニットごとの元素—元素濃度図では、狭いデータ範囲ではあるが、それぞれのユニットが異なったデータ分布を示す⁵²⁾。全体的には Opx-Cum-type、Cum-type では Bt-type と比較し、MgO・FeO・CaO に富み、K₂O・Na₂O に乏しい傾向があるが、同じタイプごとでも、データ列が異なることが明らかにされている。同様な傾向は微量元素組成等でも見られることが再確認された。

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

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

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

3. マグマの長期的な変動など

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

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

o) 三宅島：野外調査に基づく噴火活動履歴の解明（茨城大学）

1. はじめに

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

2. 調査結果

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

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

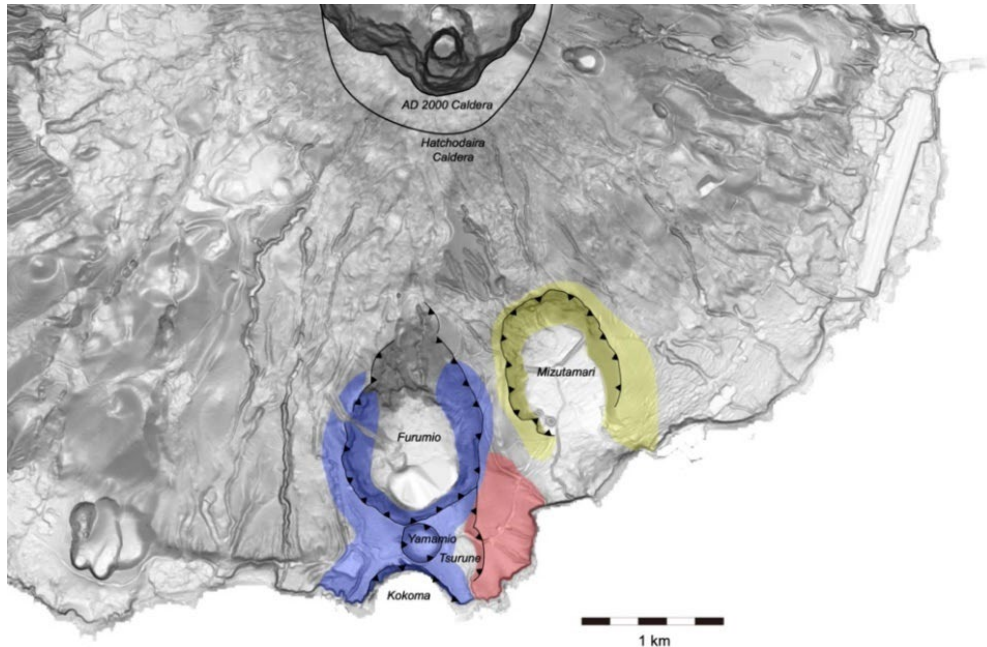


図 64. マール噴出物の分布。赤：鶴根テフラ、黄：水溜りテフラ、青：古濤テフラ。ベースマップは地理院地図。

p) 白馬大池火山：風吹火山における噴火履歴調査（産業技術総合研究所）

1. 目的と調査位置

白馬大池火山⁵⁷⁾⁵⁸⁾は、長野県北西部から新潟県南西部にかけての飛騨山脈の北部に位置する第四紀火山である。最高点が 2,469 m（白馬乗鞍岳^{しろまのりくら}）の南北 9 km、東西 11 km に広がる、やや扁平な形をした安山岩－デイサイトの成層火山である。火山体の頂部に風吹大池と火山名の由来となった白馬大池の比較的大きな湖が存在する。この火山は、約 80 万年前に活動を開始した火山で⁵⁹⁾、特に 7 万年前以降には火山体の北部の風吹大池周辺のみで火山活動があり、その部分が風吹火山ともよばれている⁵⁹⁾。この風吹大池周辺には浸食されていない新鮮な地形を持つ小火口群があり、最近も活動している疑いがあったが、活動年代は不明であった。最近の研究によって風吹火山が完新世に活動したことが明らかになり⁶⁰⁾、新たな活火山の発見は、防災上も重要なため、完新世の活動史を解明する層序・年代学的研究を開始した。

2. 調査結果

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

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

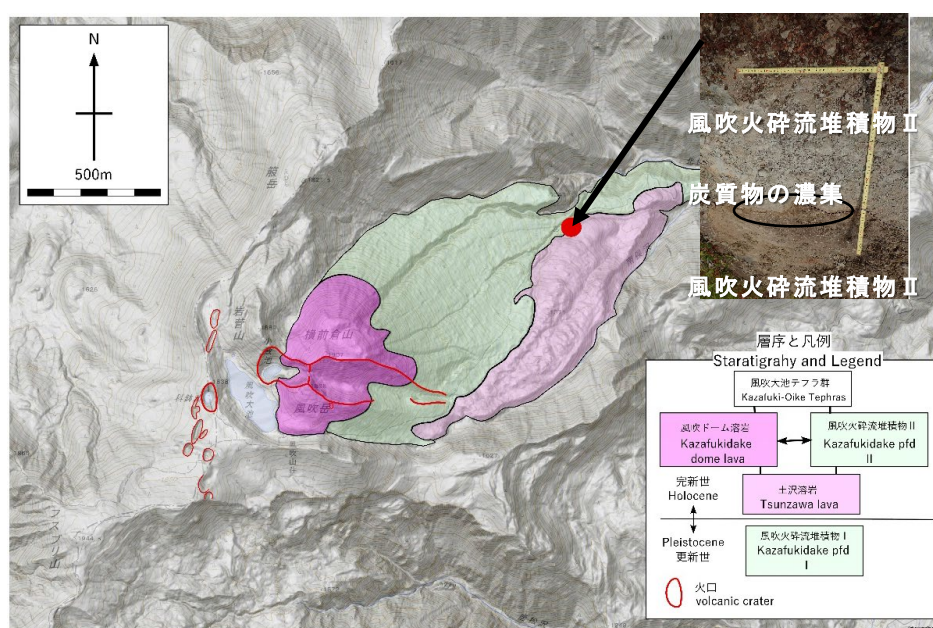


図65. 風吹火砕流堆積物Ⅰ・Ⅱの分布と年代測定地点 (赤丸) の位置および写真。

表3. ¹⁴C年代測定結果。

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

3. まとめ

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

q) 鷲羽池火山：地表調査による噴出物の分布・噴火年代の解明 (富山大学)

1. はじめに

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

2. 本研究で得られた新たな知見

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

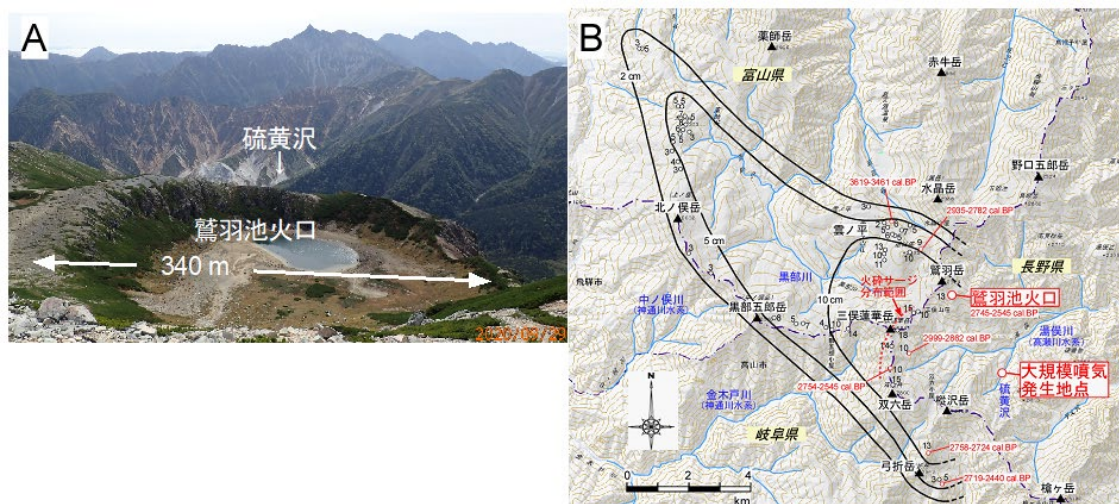


図 66. (A) 鷲羽池火口と硫黄沢、(B) 鷲羽池テフラの等層厚線図（テフラ層直下の泥炭の暦年と火砕サージ堆積物の分布域も示している）。

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

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



図 67. 三俣蓮華岳山東南方で見られる火砕サージ堆積物とその暦年。

r) 御嶽山：野外調査に基づく噴火活動履歴の解明（産業技術総合研究所）

1. 目的と調査位置

中部地方の長野・岐阜県境に位置する御嶽山を構成する御嶽（御岳）火山は、直径 20 km あまり、標高 3,057 m（剣ヶ峰）の大型の成層火山である。その御嶽火山は、約 78 万年前から活動を開始し、約 78～42 万年前に活動した古期と約 11 万年前以新に活動した新期の活動に大別される。そのうち新期御嶽火山の活動は、現在も続いており、完新世にも複数回のマグマ噴火を含む活動を行っている⁶⁴⁾⁶⁵⁾。近年では 1979・1990・2007・2014 年に水蒸気噴火を行っており、1979・2014 年の噴火は VEI:2 の規模であった。そのため、近い将来も同程度の噴火を行う可能性が高く、活動履歴を基に火山活動のリスク評価を行う必要がある。本研究では、御嶽火山の今後の活動評価に資するデータを得るために、火口近傍の山体上部において、最近数万年間の活動を対象とした地質調査を行うとともに、年代測定を行う。その結果をもとに、完新世を含んだ最近数万年間の火山発達史を構築したうえで、完新世の噴火史を明らかにする。また、完新世の活動が、それ以前の御嶽火山の活動と比べて活動的か否かを検討する。

一般に火山は万年オーダーのスケールで多段階に成長することが知られている⁶⁶⁾⁶⁷⁾。また、それより短い千年オーダーのスケールでも、噴火頻度や長期的マグマ噴出率の高い活動期と相対的に低い休止期を繰り返して成長することが知られている。そのため、現在の火山が活動期か休止期かを判断することは、噴火ポテンシャルの評価につながり、防災対策上重要である。本年度は、新型コロナウイルス感染拡大のた

め、当初予定していたとおりに野外調査は実施できなかったが、実施できた調査の範囲内で年代測定の実施や火山層序の整理を行った。その結果、予察的ではあるが、新期御嶽火山の形成史の大枠が明らかとなり完新世の活動評価に関する資料が得られた。

2. 新期御嶽火山の形成史

既研究間⁶⁸⁾⁶⁹⁾⁷⁰⁾で大きく分布が異なる山頂部の地質ユニットについて、地表調査および航空機からの観察結果を基に、新たに地質ユニット区分を行った。地質ユニットの区分は、噴出中心の変化や浸食間隙によるものと考えられる溶岩や火砕層の傾斜不整合やアバット不整合を目安に大きく区分した。その区分に従って、Matsumoto and Kobayashi⁷¹⁾及び松本・小林⁷²⁾の感度法 K-Ar 年代値を整理した。なお、山麓に関しては、山田・小林⁶⁸⁾及び竹内ほか⁷⁰⁾の層序を、年代値を基に再整理した。さらに、既存の年代値が得られていない北麓と東麓を中心に、昨年度までの測定に追加して Ar/Ar 年代測定を 2 試料測定した (図 68 赤字)。

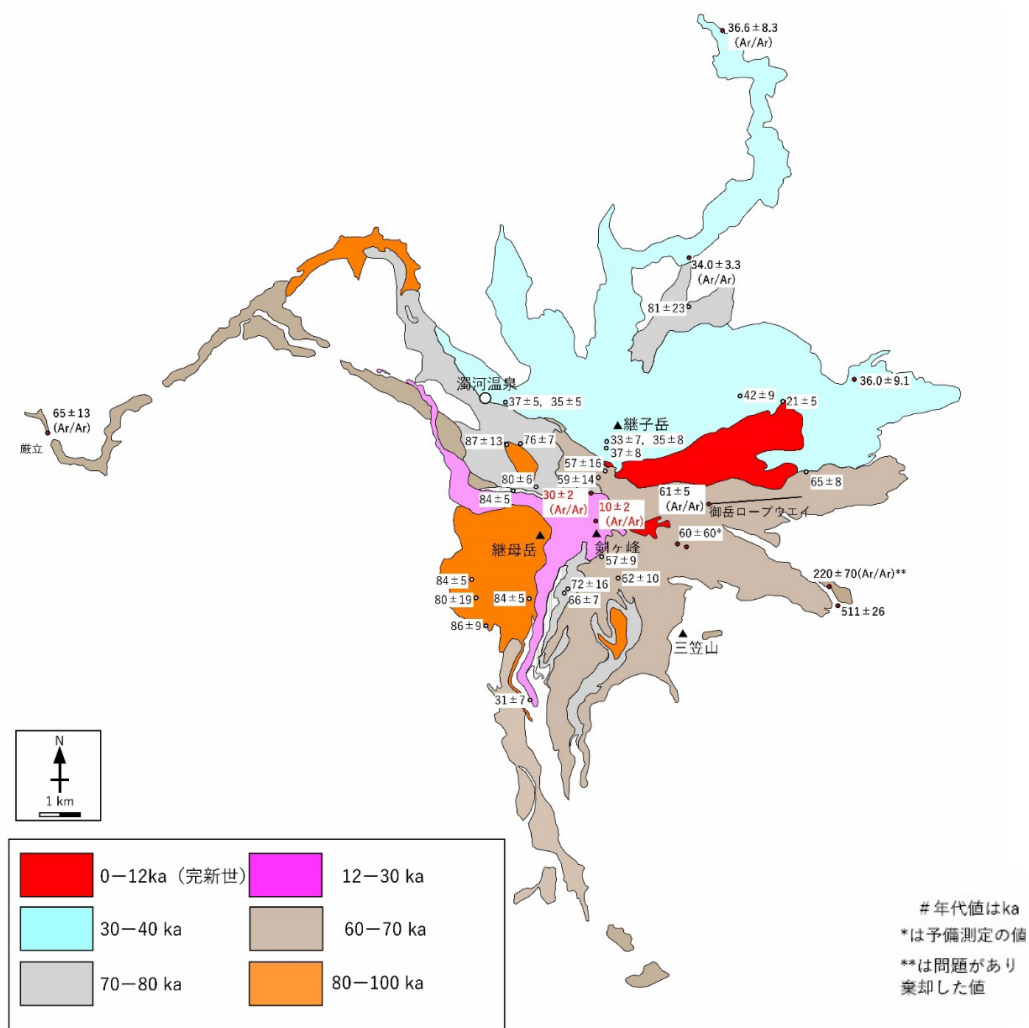


図 68. 新期御嶽火山の予察的な地質ユニット区分と年代値。

その結果、約 10 (11?) ~8 万年前の間に、現在の継母岳を中心とするデイスイトか

ら流紋岩火山体を形成した後、約 8～5 万年前に山体の南側を噴出中心とする大きな火山体を形成し、その活動の後半に山体崩壊が発生し、木曽川岩屑なだれ/泥流を形成した。その後の約 4～3 万年前に北側の継子岳および四ノ池付近を中心とする火山体が形成された後、約 3～1 万年前に今の剣ヶ峰および一ノ池付近を中心とする火山体を形成したことが明らかとなった。今回得られた年代値から、現在の山頂部をつくる、剣ヶ峰および一ノ池付近を中心とする火山体の活動が完新世初頭まで続いていた可能性が指摘される。また、約 3 万年前以降から完新世に続く火山活動は、それ以前より低調であることが明らかとなった。

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

3. まとめ

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

s) 白山：新白山火山の活動期区分と噴出率の変化（富山大学）

1. はじめに

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

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

2. 本研究で得られた新たな知見

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

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

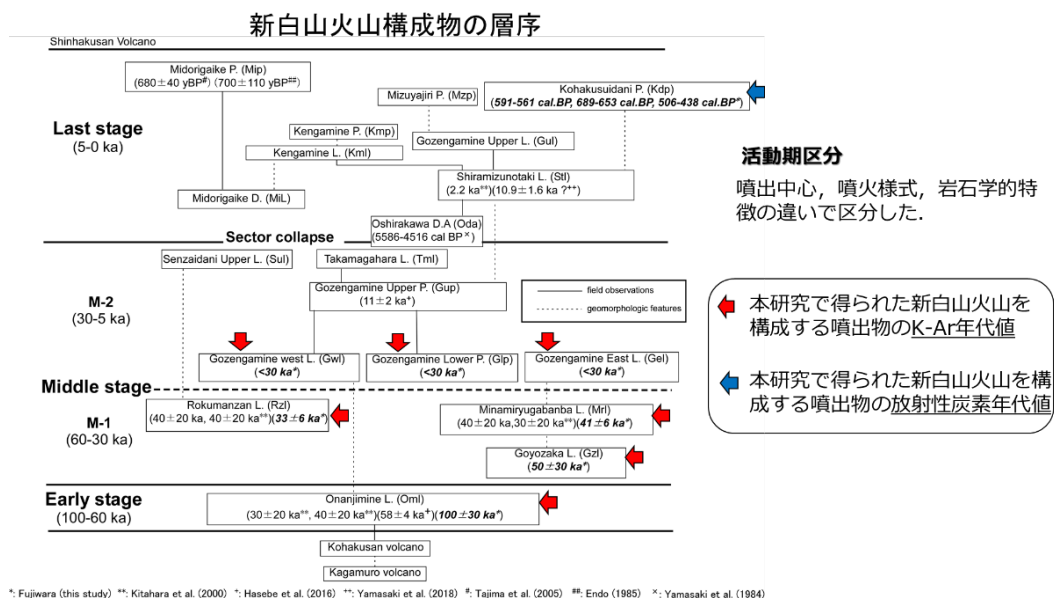
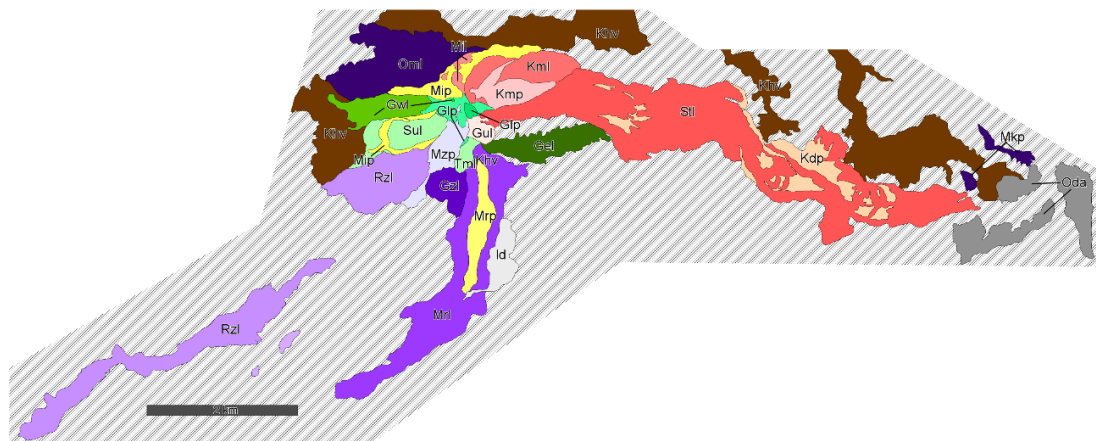


図 69. 新白山火山の火山地質図（上図）と噴出物層序（下図）。

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

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

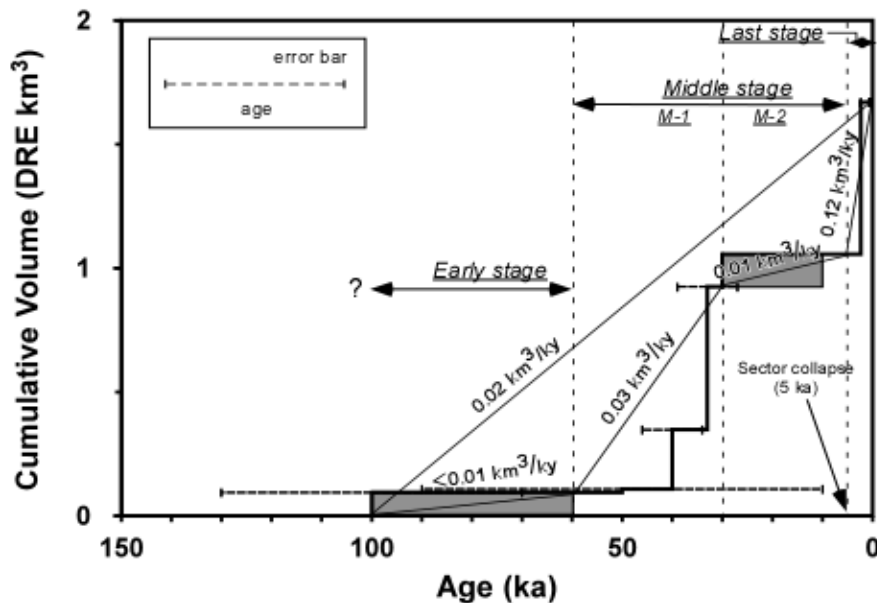


図 70. 新白山火山の噴出量積算ダイアグラム。

t) 由布・鶴見火山群：伽藍岳山頂周辺に分布する火山性堆積物について（信州大学）

1. はじめに

伽藍岳は大分県別府市と由布市にまたがって分布する活火山で、南に位置する由布岳、鶴見岳と合わせて由布・鶴見火山群を構成している。中部九州の豊肥火山地域の中でも最も新しい火山群の一つとされ⁷⁷⁾、その中でも伽藍岳は活発な噴気活動が特徴的な火山である⁷⁸⁾。伽藍岳は約 10,500 年以前に噴出したとされる伽藍岳溶岩からなり、その他には複数枚の降下テフラ層が知られているものの⁷⁹⁾⁸⁰⁾、研究例が乏しく、その噴火史には不明な点が多い。我々は 2021 年度から野外調査と試料分析をもとに伽藍岳の噴火史を再検討する研究に着手した。

2. 山頂周辺の火山性堆積物

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

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

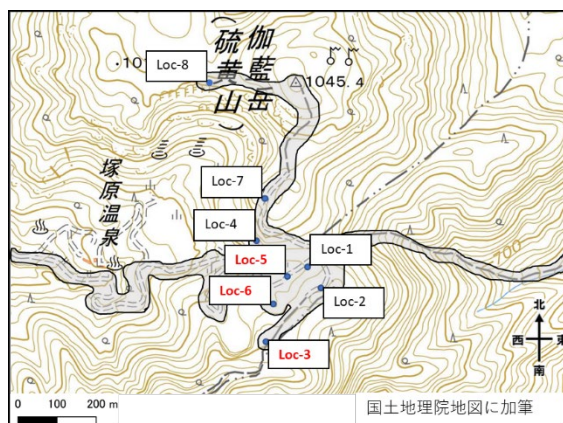


図 71. 伽藍岳山頂周辺の露头位置図。



図 72. Loc-5 の火山性堆積物。

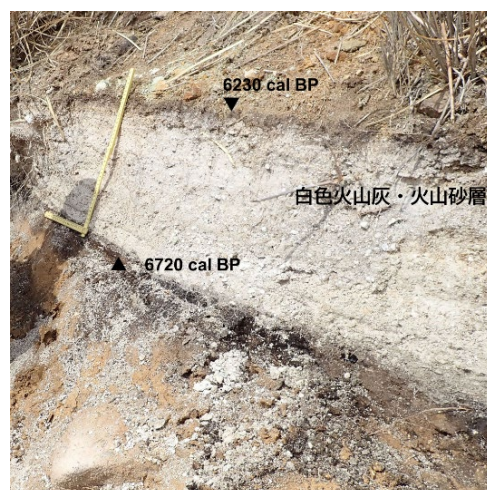


図 73. Loc-6 の火山性堆積物。

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

1. はじめに

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

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

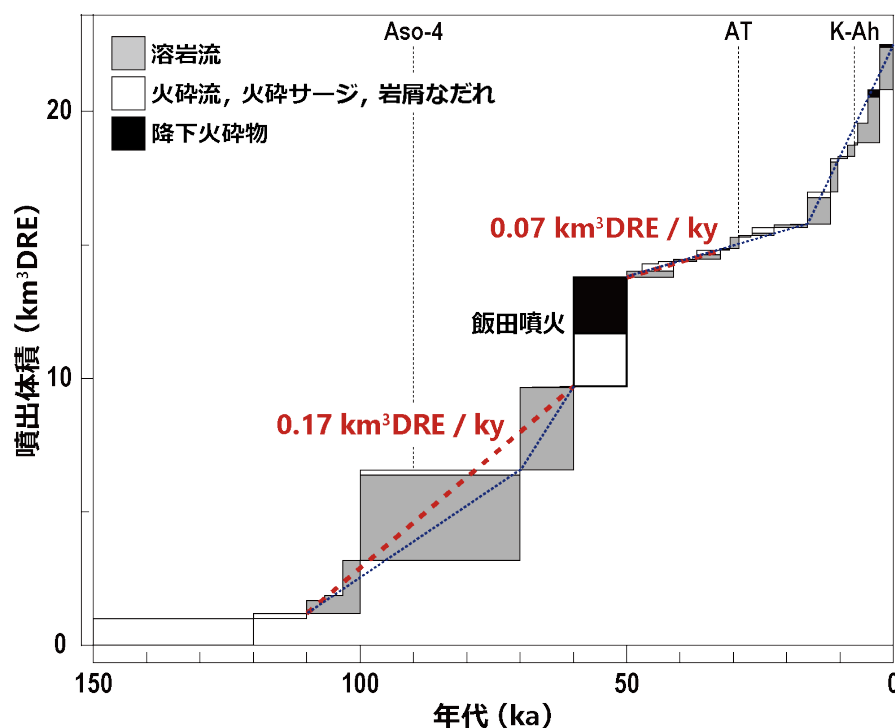


図 74. 九重火山の過去 15 万年のマグマの噴出体積(長岡・奥野⁸²⁾を基に作成)。赤破線は長岡・奥野⁸²⁾による噴出率、青点線は今回追記。

2. 結果・考察

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

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

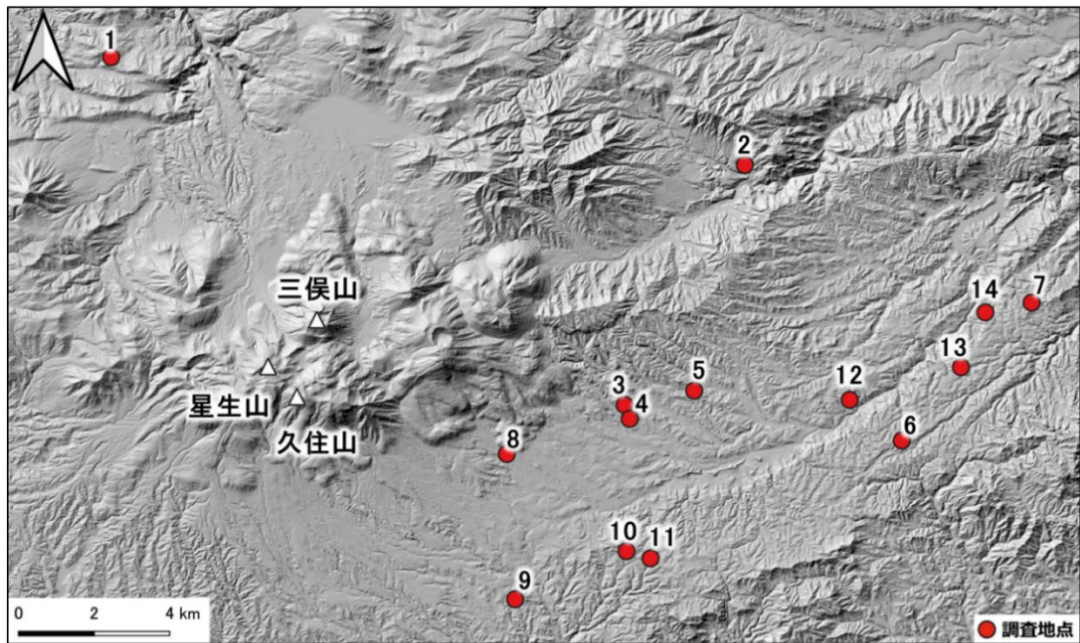


図 75. 調査地点位置図（国土地理院基盤地図情報から作成）。

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

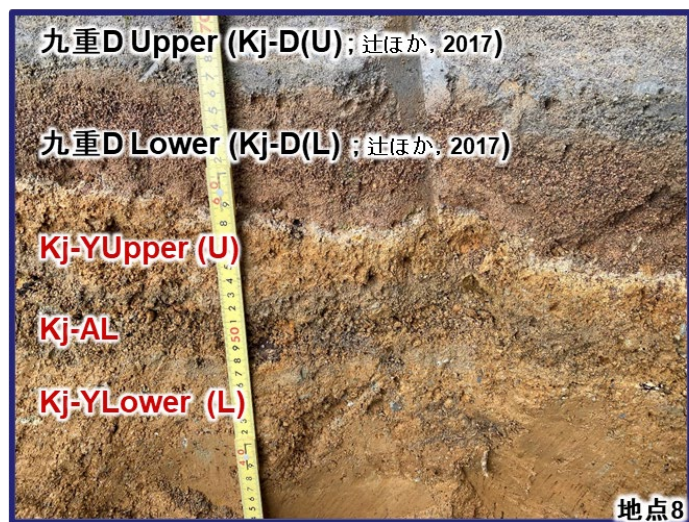


図 76. 地点 8 における Kj-Y 層の産状。

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

と考えられる。

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

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

表 4. 飯田噴火噴出物の鉱物組合せと相対的な量比。

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

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

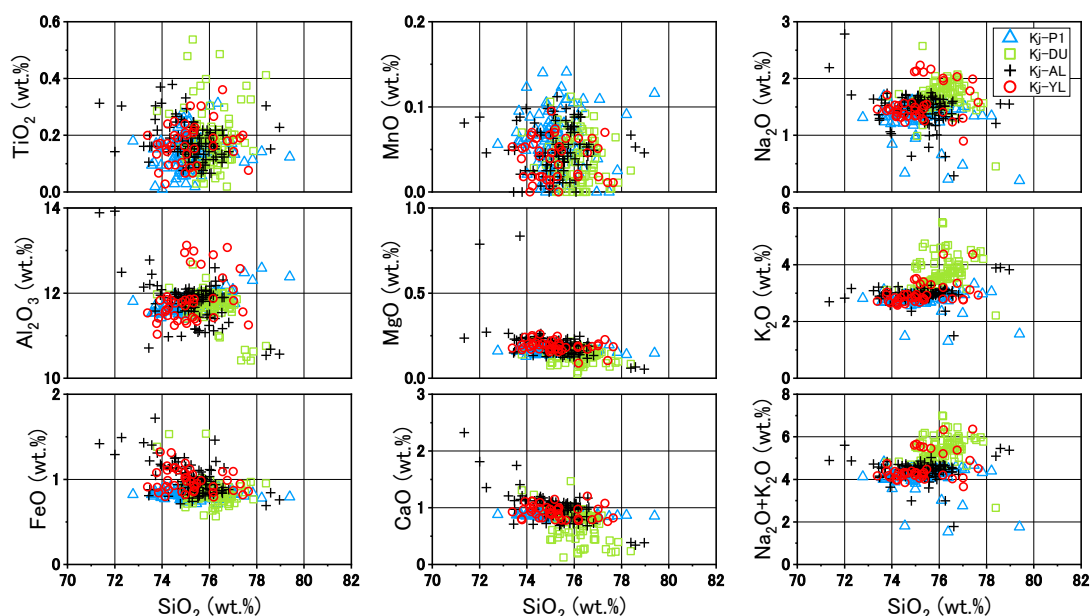


図 77. 飯田噴火噴出物中のガラスの SiO_2 -酸化物量図。

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

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

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

2-2. 飯田噴火前駆的活動による堆積物の分布と層厚

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

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

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

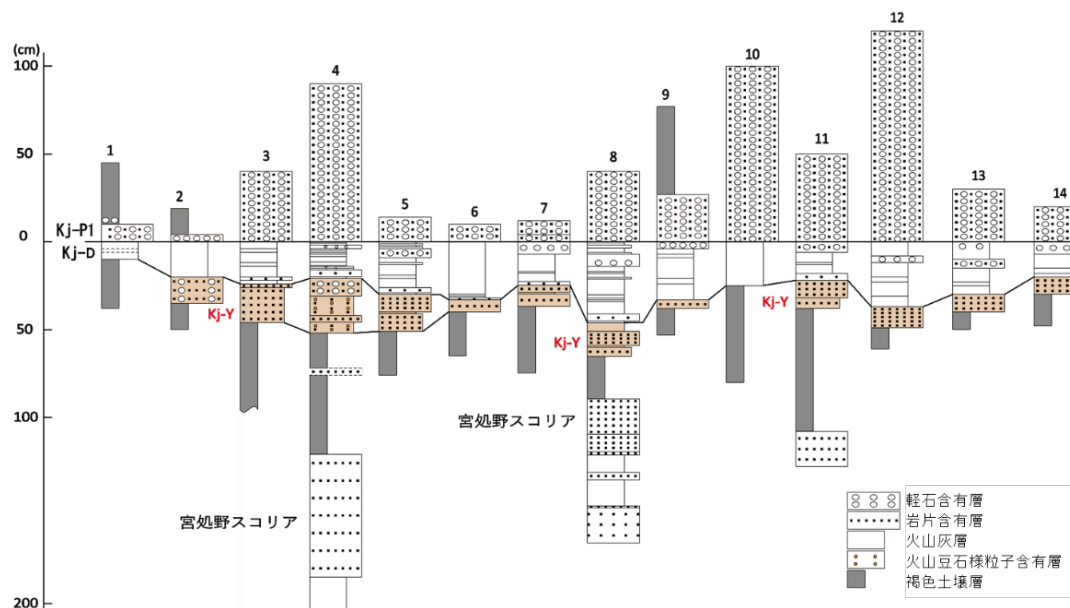


図 78. 各調査地点のテフラ層の柱状図。

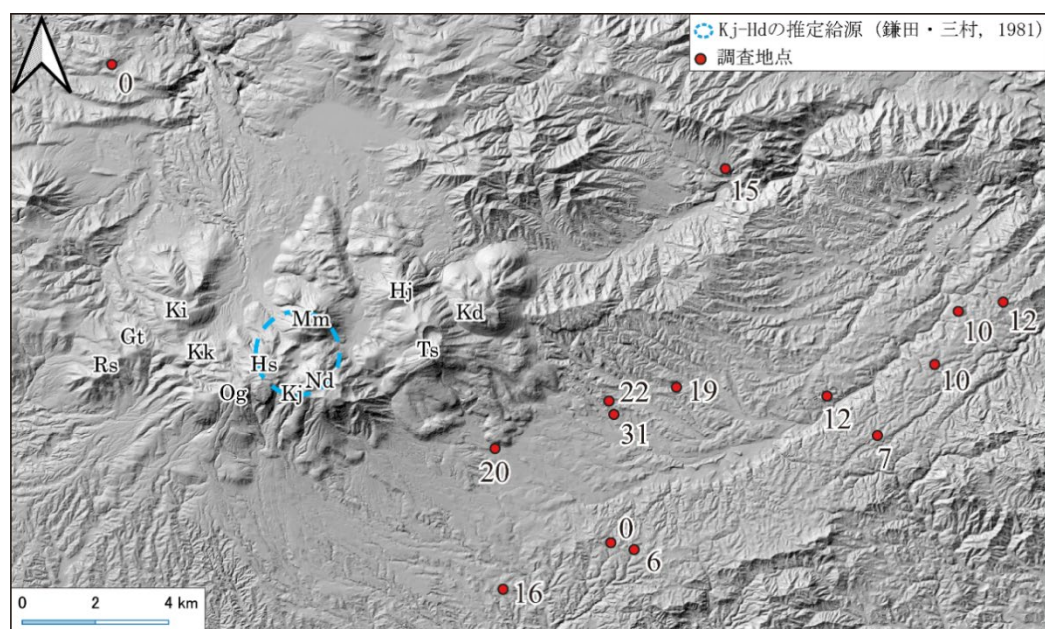


図 79. 飯田噴火の前駆的活動による噴出物の層厚分布（図中の数字は層厚(cm)）。Kj-Hd の推定給源は、鎌田・三村⁸⁸⁾による。

3. まとめ

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

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

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

v) 阿蘇山：噴火対応と野外調査による阿蘇山の噴火履歴の解明（熊本大学）

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

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

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

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

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

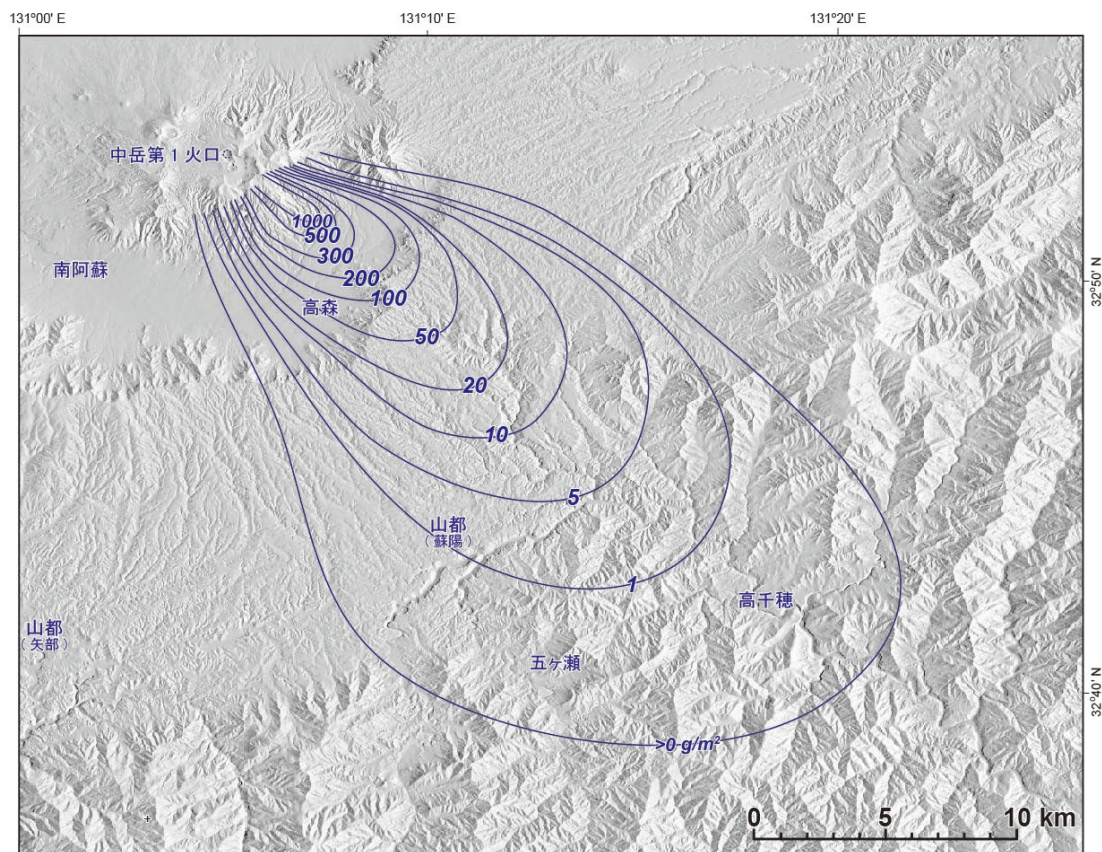


図 80. 阿蘇火山中岳における 2021 年 10 月 20 日噴火に伴う火山灰の分布（単位 g/m^2 ）。陰影図は国土地理院 10 m メッシュ標高データ（DEM）を使用してカシミール 3D で作成した。気象庁による降灰調査結果も参考にして等質量線を描いた。

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

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

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

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

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

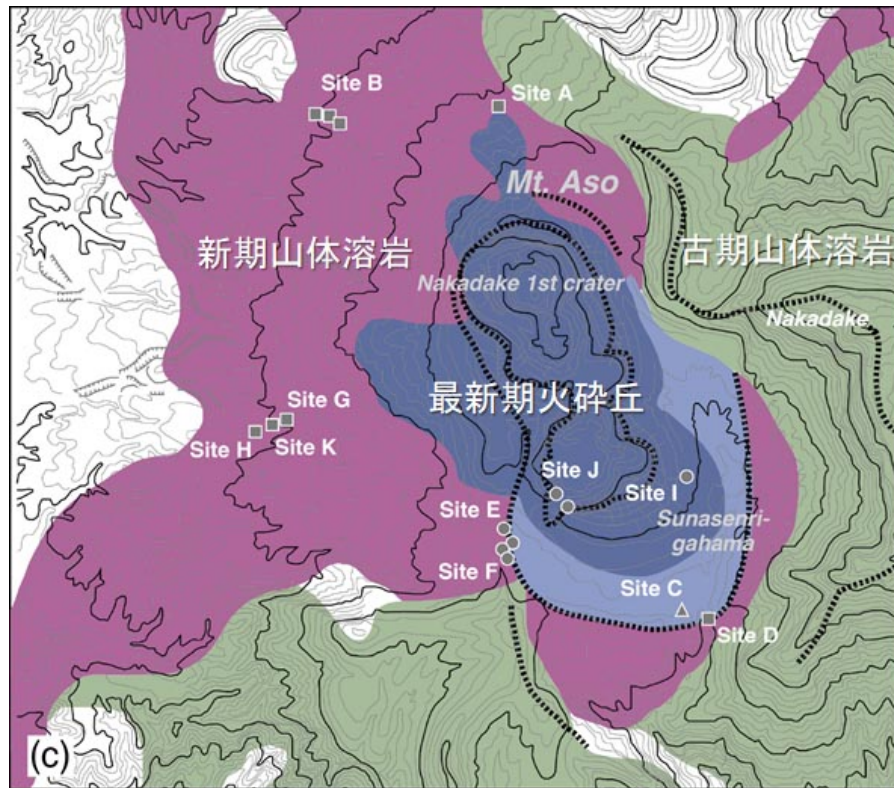


図 81. 阿蘇火山中岳火口周辺域における古地磁気方位測定のための試料採取地点の位置（穴井ほか⁹¹⁾の一部を使用）。地質の分布は、阿蘇火山地質図⁸⁹⁾による。

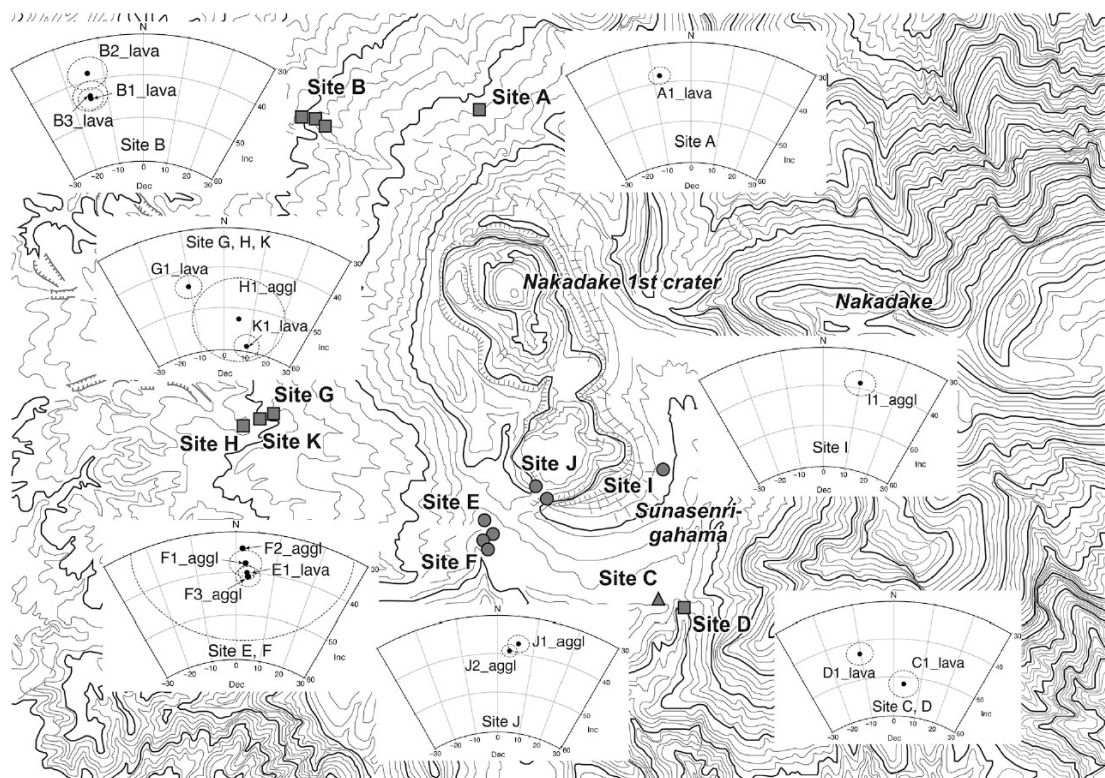


図 82. 阿蘇火山中岳火口周辺域において採取した岩石試料の古地磁気方位測定結果⁹¹⁾。

iii) 阿蘇山における令和 3 年度トレンチ調査報告

阿蘇山の噴火履歴を明らかにするため、竹田市荻町恵良原において、噴火堆積物層序を観察するトレンチ調査を実施した。

今回掘削を行った地点は、阿蘇カルデラの中心から東北東約 22 km 地点に位置している。阿蘇カルデラ形成後に活動を開始した中央火口丘群から噴出したテフラはカルデラ東方域に厚く堆積しており⁹³⁾、Aso-4 噴火（約 9 万年前）以降の全層厚は東側カルデラ縁で 100 m 程度に達している⁹⁴⁾。本年度のトレンチ調査は、中央火口丘群初期の噴火史解明のために実施したが、その時期の噴出物はカルデラ壁に近い熊本県内にはほとんど露出していない。一方で、降下テフラ全体が薄くなる大分県竹田市荻町付近ではトレンチ調査によって中央火口丘群初期のテフラを観察できる可能性が考えられた。

本年度に調査を行った地点では、トレンチ掘削断面最下位に約 9 万年前の Aso-4 火砕流堆積物の上面が観察された（図 83）。同火砕流堆積物の上位 1 m 付近には、黄白色火山灰層が挟在する厚さ約 50 cm の風化した降下軽石層が認められた。さらにその上位 30cm 付近には別の風化した軽石層（層厚約 10 cm）が存在していた。いずれの軽石層も降下スコリア層に直接覆われていた。

こうしたテフラ層はカルデラ縁から 15 km 以上離れた地点で 10 cm の厚さを有することから、いずれもプリニー式噴火による産物と推定される。今回のトレンチ調査により、阿蘇火山中央火口丘群の活動初期に少なくとも 2 回のプリニー式噴火が発

生したことが明らかとなった。今後は噴出物層序の詳細と噴火史について検討する予定である。



図 83. 竹田市荻町恵良原におけるトレンチ断面。

iv) 阿蘇山における令和 3 年度ボーリング調査報告

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

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



図 84. 草千里ヶ浜火山における令和 3 年度のボーリング調査地点。

w) 霧島：野外調査・物質科学的解析に基づく御鉢火山の噴火履歴・噴火推移に関する研究（東京大学地震研究所）

霧島火山群の中でも活動的な新燃岳、御鉢、硫黄山について、歴史時代の個々の噴火の推移や中長期履歴を明らかにするための研究を進めている。令和 3 年度はこのうち御鉢火山について重点的に進めた。

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

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

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

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

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

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

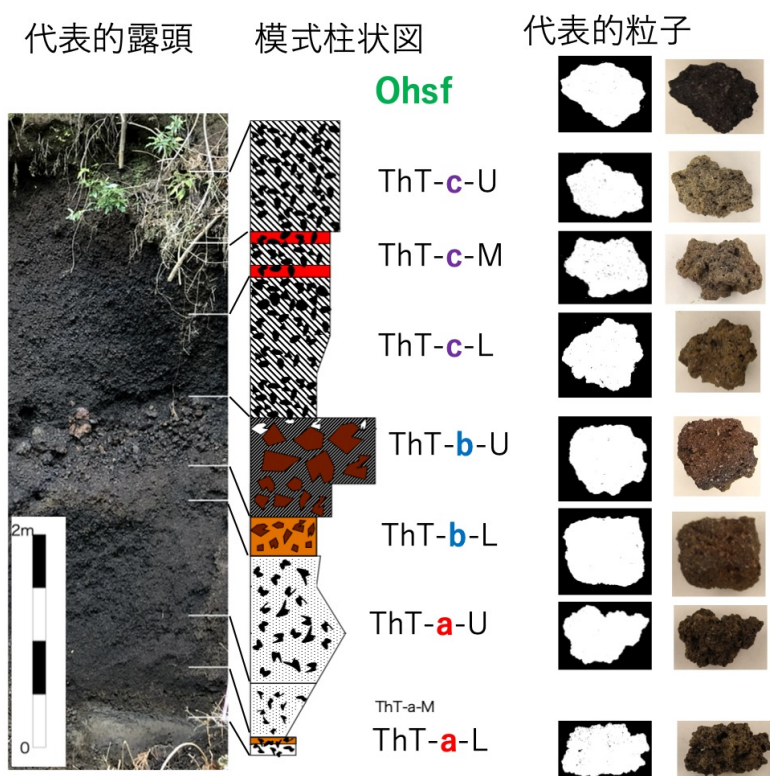


図 85. 霧島御鉢火山 1235 年噴火堆積物の模式柱状図および代表的スコリア礫。

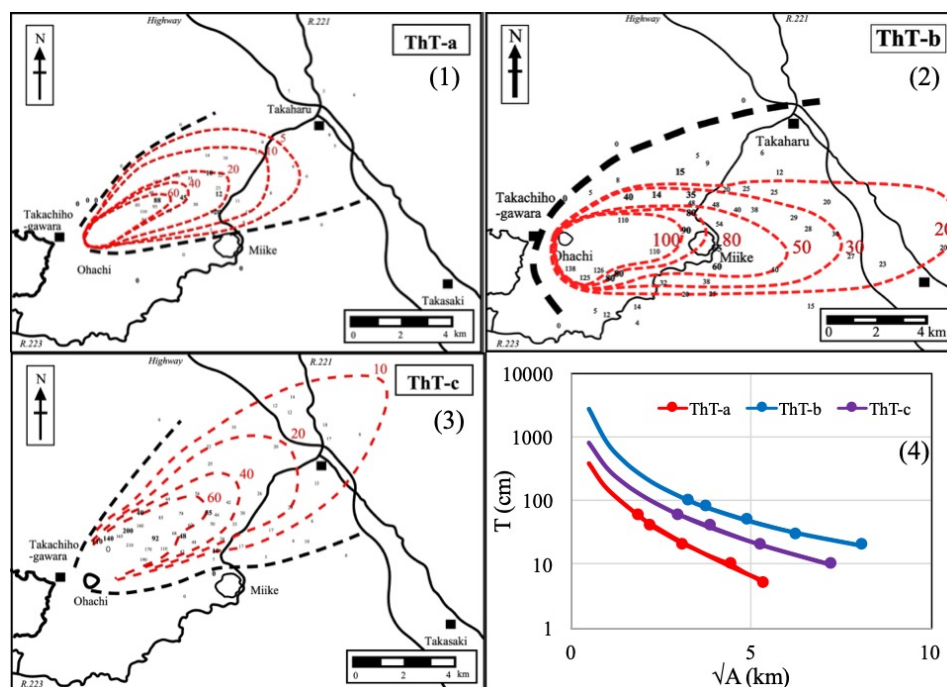


図 86. (1)–(3) ThT-a、b、c の等層厚地図。値は cm。黒い点線は分布限界を、赤い点線は等層厚線を示す。(4) 各ユニットの火口からの距離と厚さの関係。

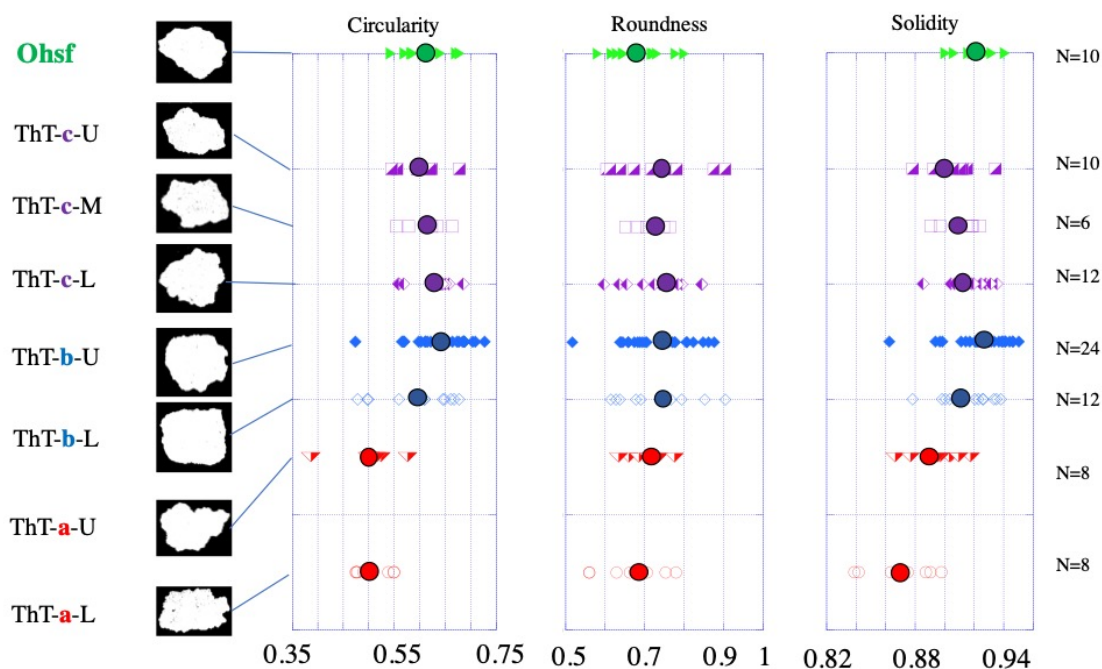


図 87. 各サブユニットの代表的な粒子の投影写真と、 $-3.5 \sim -4.0 \phi$ の粒子について形状指数。

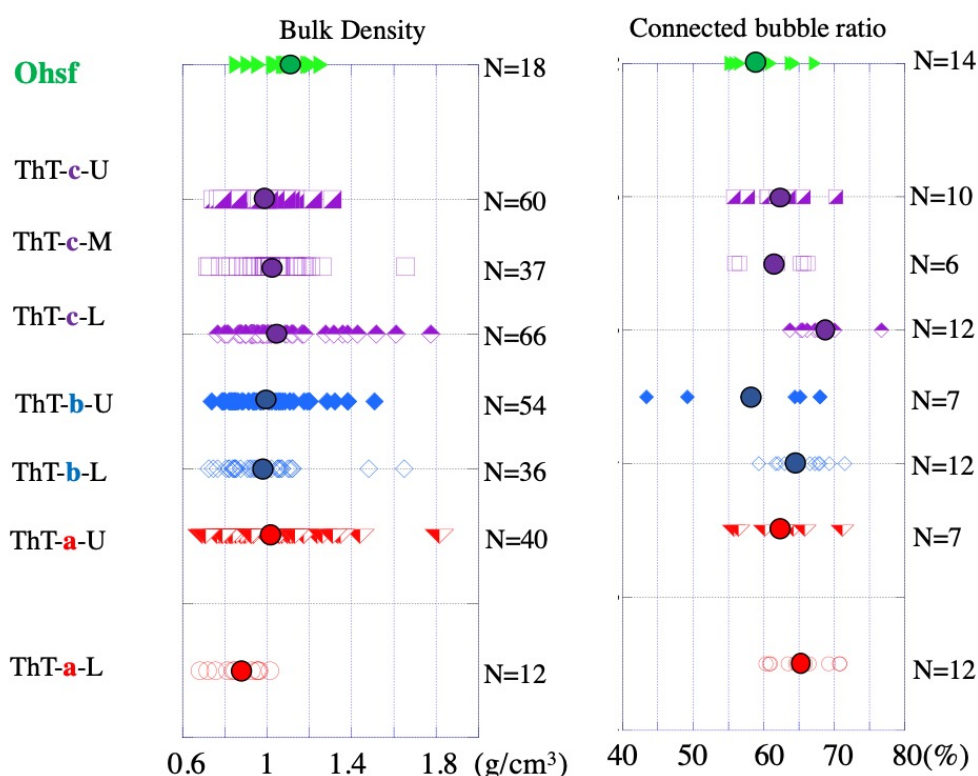


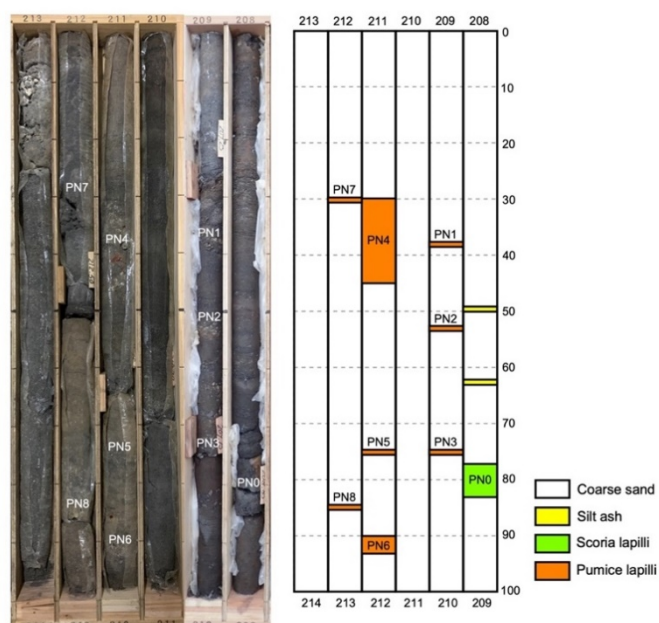
図 88. 各サブユニットについて見かけ密度と連結気泡割合。丸い点は平均値。

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

南九州の鬼界火山において、長期的な噴火活動の履歴を明らかにするために、地質学的、物質科学的研究を進めている。令和 3 年度は、平成 30 年度に実施したボーリング掘削試料の解析をさらに進め、長浜溶岩（7.3 ka 直前）より深部の堆積物の年代値や構成物の特徴を明らかにした。とくに 12-15ka 頃の層順には 8 枚の軽石層が挟在することがわかり（図 89）、これらのテフラ群（PN1-8）の年代および岩石学的特徴についてさらに検討した。その結果、テフラ群前後の ^{14}C 年代値の内挿より、PN3（深度 209.75 m）は 12,800 cal yBP 頃、PN4（深度 211.38 m）は 13,200 cal yBP 頃の活動と推定された（図 90）。また、どちらのテフラも斑晶鉱物として斜長石、単斜輝石、直方輝石、鉄チタン酸化物を含む安山岩であることがわかった。全岩化学組成では SiO_2 含有量 ~62 wt.% を示し、アカホヤ噴出物や籠港テフラ群（9-16 ka⁹⁷⁾ に噴出）中のスコリアなど異なる特徴を有する（図 91）。

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

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



KKBC_PN3 (209.75 m) ~12800 cal yBP

KKBC_PN4 (211.38 m) ~13200 cal yBP

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

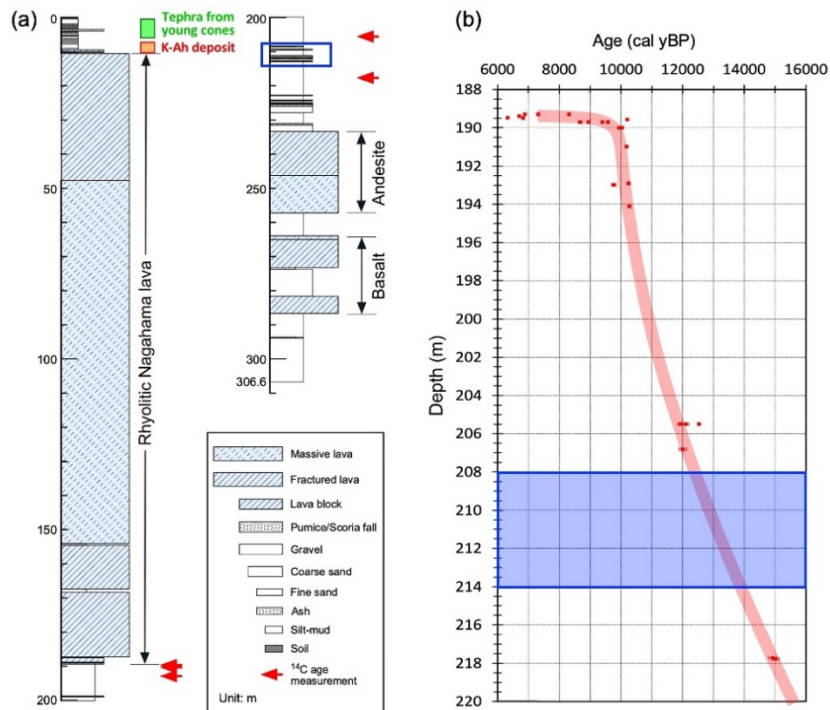


図 90. (a) ボーリングコアの全体像と PN テフラ群（青枠）との関係。(b) 深さと年代の関係。青色部分が PN テフラ群（208-214 m）の位置。

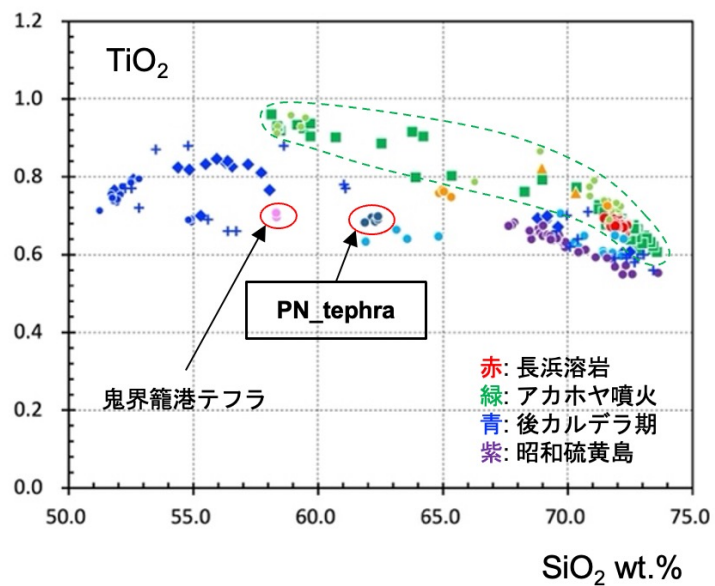


図 91. 鬼界カルデラ噴出物の全岩化学組成。PN テフラ（軽石）や籠港テフラはアカホヤ噴火の組成トレンド（緑色点線）から外れる。

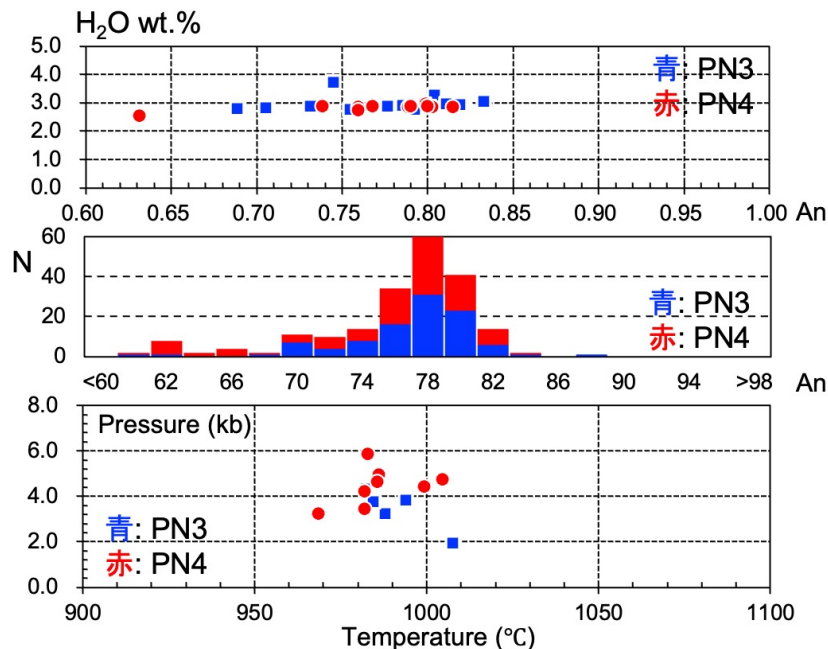


図 92. PN3 および PN4 中の斑晶鉱物の分析結果。上段は斜長石斑晶およびメルト包有物に対する含水量計⁹⁹⁾の適用結果。中段は斜長石 An 値のヒストグラム。下段は共存する単斜輝石-直方輝石ペアに対する温度圧力計⁹⁸⁾の適用結果。

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

i) 沿岸域探査と陸域調査に基づく噴火履歴の解明

1. 目的と調査位置

伊豆大島火山は、伊豆諸島最北部、東京の南南西約 100 km に位置する火山であり、中央部に標高 764 m の三原山を擁する。過去数多くの噴火記録が残され、火山災害も繰り返されて来っており、1986 年 11 月の噴火では全島民避難という事態にいたった。

伊豆大島火山では、これまでその火山活動史や岩石学的特徴に関する多くの研究が行われてきた。本調査では、伊豆大島沿岸海底部と海岸域を中心に地形、地質、火山噴出物調査を行うことを計画している。島嶼部では海岸、沿岸域に生活や経済的基盤が存在するため、この地域での火山活動履歴の把握は重要である。そこで、1) 沿岸域の火山噴出物の分布と給源の特定、2) 沿岸域における火山、噴火活動の頻度と様式の把握を行い、海底部分の火山体及び噴出物の分布、体積を明らかにし、沿岸海底部の火山活動評価を行う。以上を通じて陸上、海底部分を合わせた伊豆大島全体の噴火履歴と、特に側火山に注目した伊豆大島火山のマグマ供給系の理解を目指す。

今年度は、昨年度の精密海底地形調査に引き続き、伊豆大島沿岸域で浅部地殻構造解明のための反射法音波探査を実施した（図 93）。本調査は、堆積層下の火山体、基盤、噴出物の分布の把握、断層等地殻構造の把握、そして海底地形解釈の補助を主な目的として実施した。また取得した地形データと陸上沿岸部に分布する噴出物の対

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

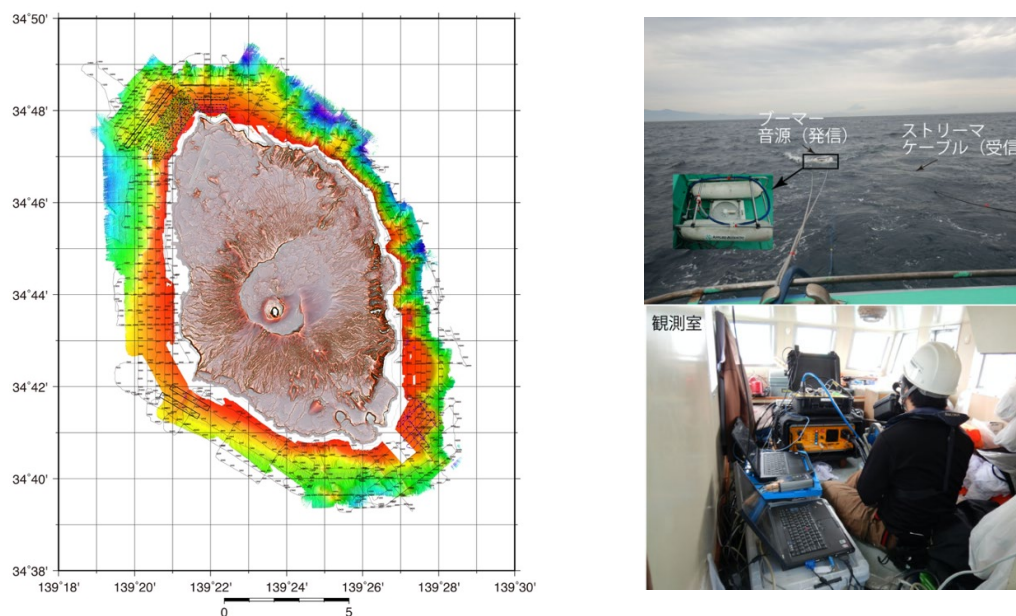


図 93. 伊豆大島沿岸域での反射法音波探査。左図は観測した測線図。右図は、漁船に観測装置をセットし、観測を実施している様子。

2. 沿岸域の高分解能反射法音波探査

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

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

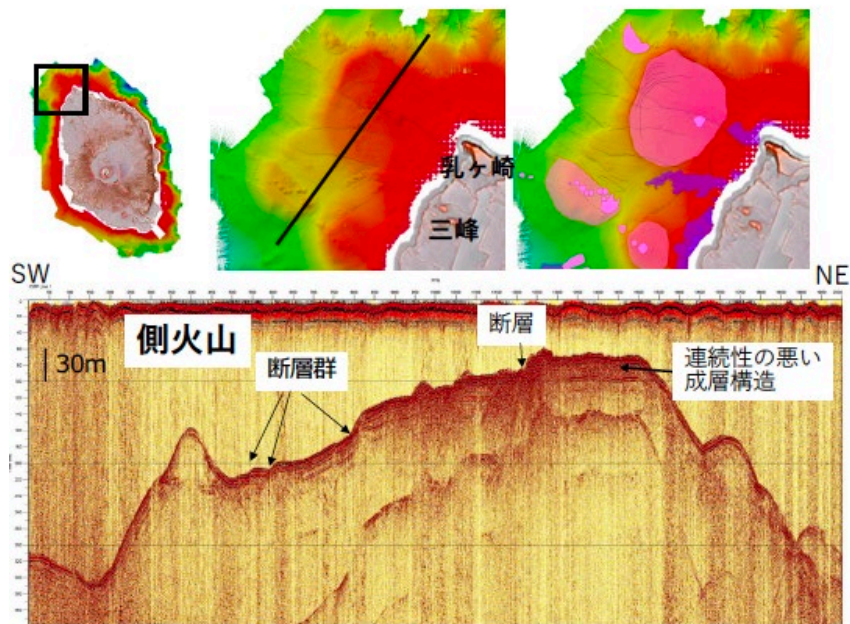


図 94. 伊豆大島北西部沿岸部の反射法音波探査断面。上段に測線位置と地形区分を示す。

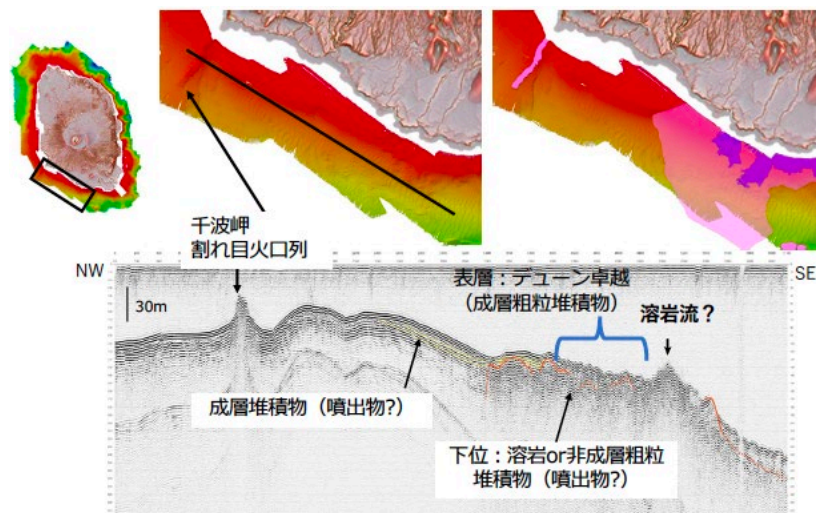


図 95. 伊豆大島南西部沿岸部の反射法音波探査断面。

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

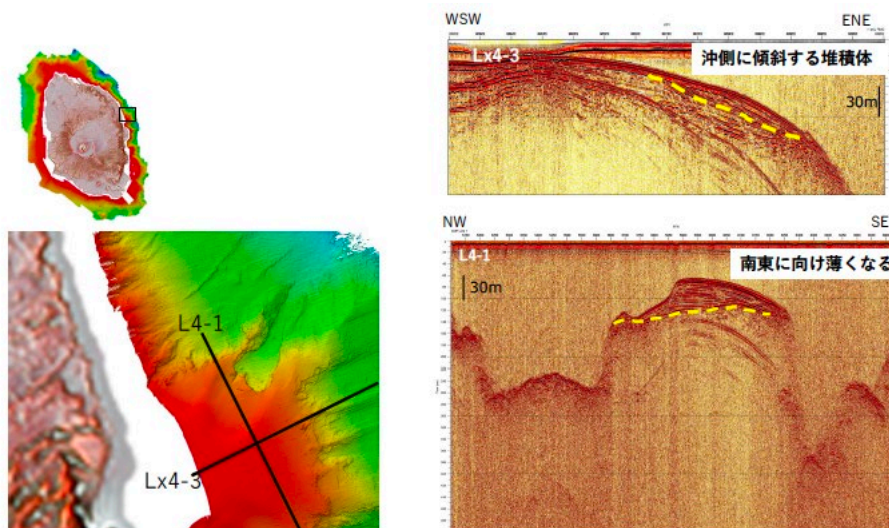


図 96. 伊豆大島北東沿岸部の反射法音波探査断面。

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

3. 沿岸陸上部火山噴出物調査

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

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

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

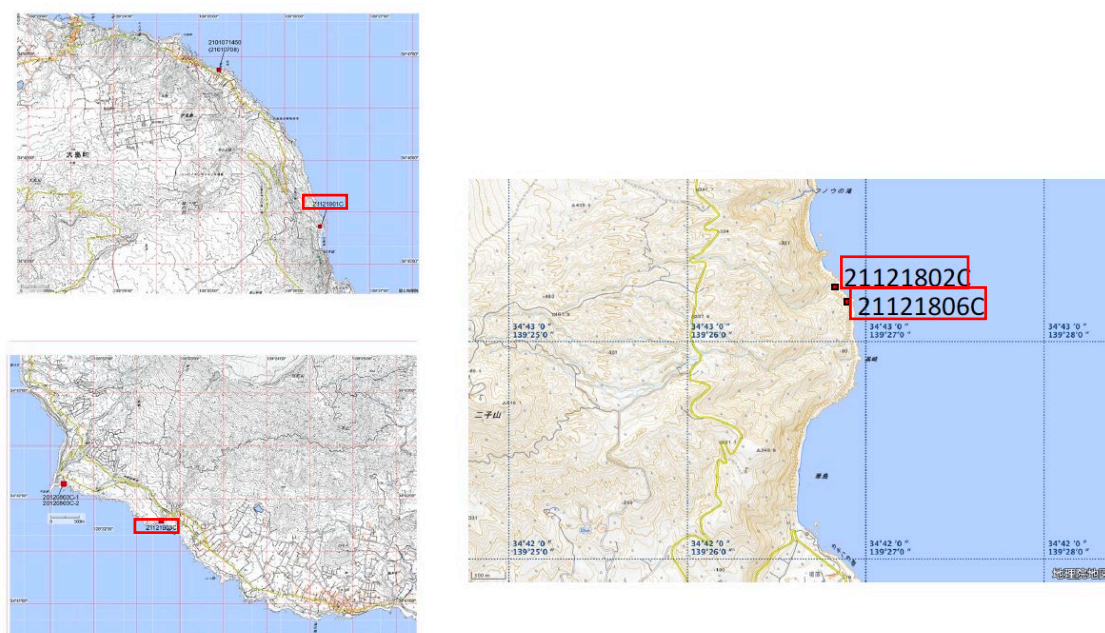


図 97. 伊豆大島沿岸陸上部における ^{14}C 年代測定試料採取位置（赤枠で示した試料番号）。

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

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

4. まとめ

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

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

ii) 大規模噴火の噴火履歴・噴火推移に関する研究

伊豆大島において、百数十年おきに繰り返す大規模噴火の噴出物の地質調査と粒子物性・岩石組織解析を進め、大規模噴火に共通の噴火推移やマグマ溜りの特徴を明確にするための研究を進めた。また年代不明の堆積物については ^{14}C 年代測定を実施した。トレンチ調査については、候補地の改変や新露頭の発見により、実施を再検討する必要が生じたため見合わせた。

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

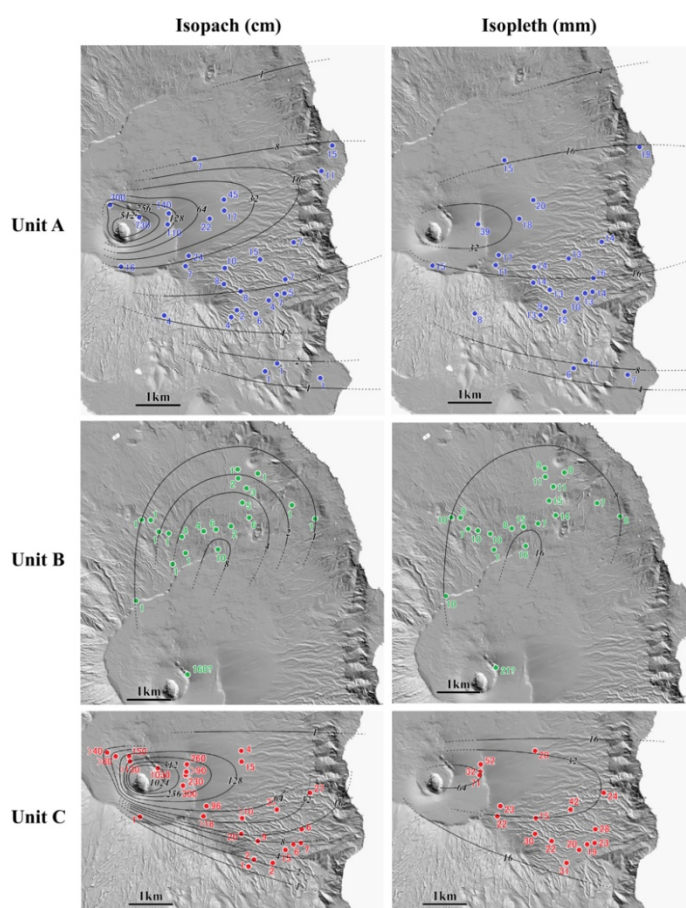


図 98. 伊豆大島 Y1 噴火初期ステージのテフラ分布。左が層厚、右が最大粒径。

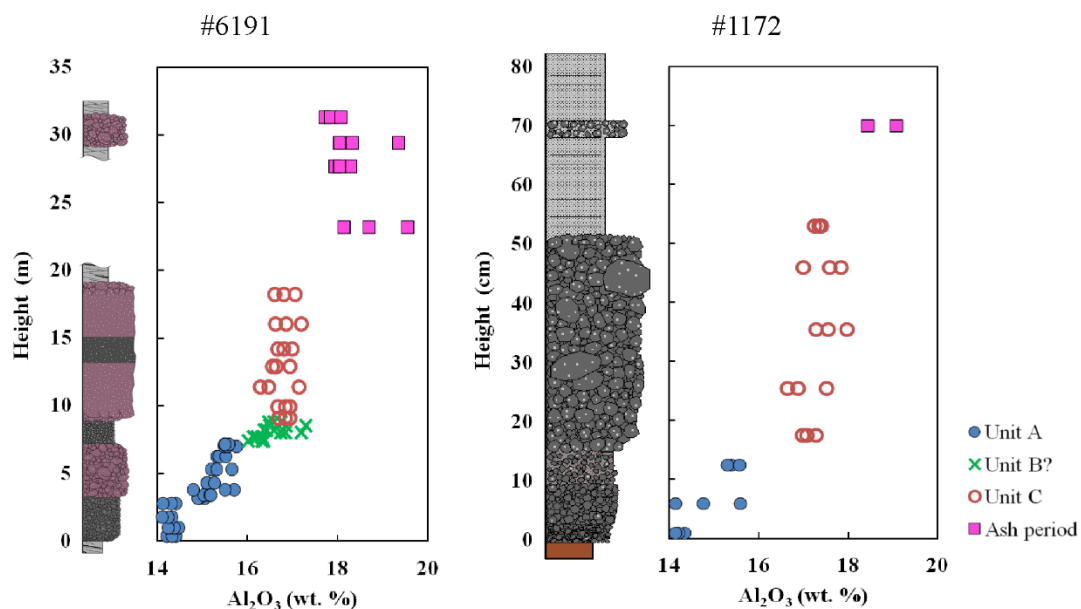


図 99. 伊豆大島 Y1 噴火の層序とそれに対応する化学組成の変化。Al₂O₃ 増加は斜長石斑晶量増加に対応する。#6191 は火口近傍、#1172 は遠方におけるデータ。

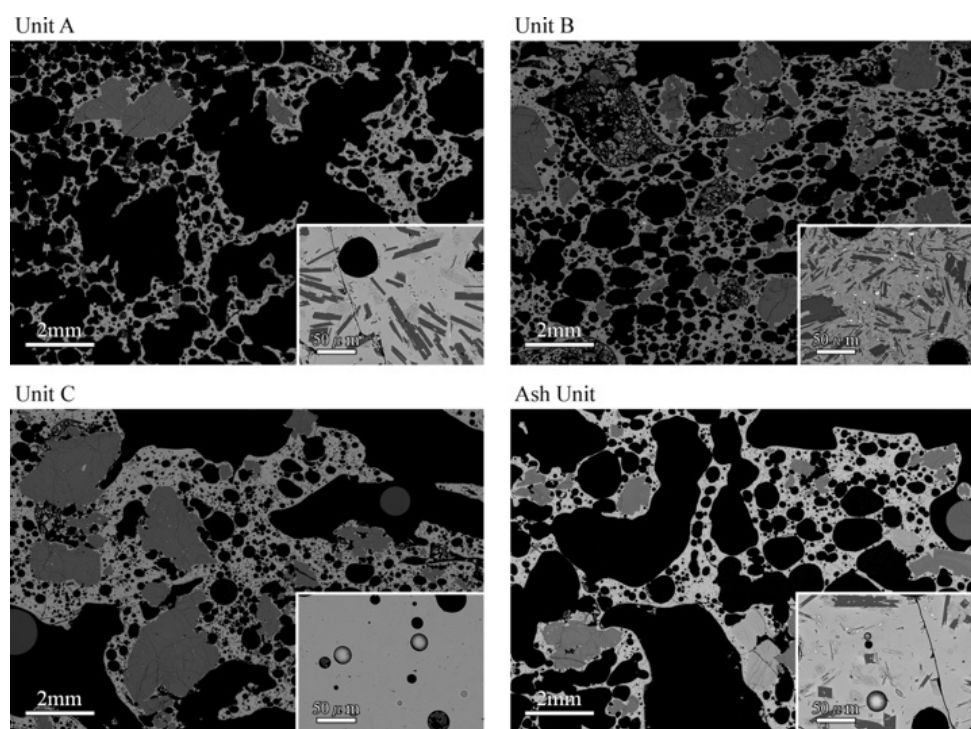


図 100. 伊豆大島 Y1 噴火のテフラサブユニット (Unit A・B・C・Ash Unit) に対応する岩石組織の変化。斜長石斑晶の増加とともに、石基結晶度の変化がみられる。

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

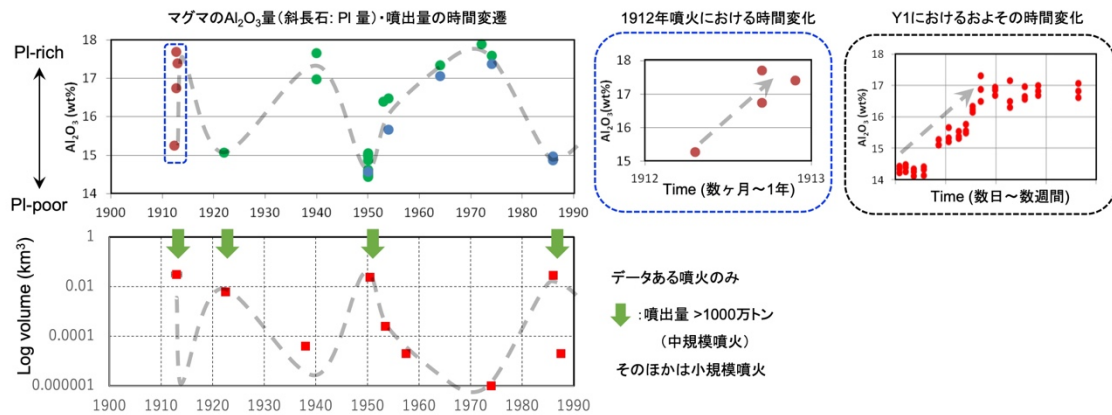


図 101. (左) 伊豆大島の 20 世紀噴火における噴出物(山頂噴火)の斜長石斑晶量変化と噴火規模との関係。Pl-poor の中規模噴火から Pl-rich の小規模噴火への長期的な斜長石斑晶量変化と噴出量変化が相関する。噴出量に重ねた灰色点線は、斜長石斑晶量のトレンドを反転させて重ねたもの。(右) 1912 年噴火(左図の青点線枠の拡大)と Y1 噴火における斜長石斑晶量の短期的増加の特徴。

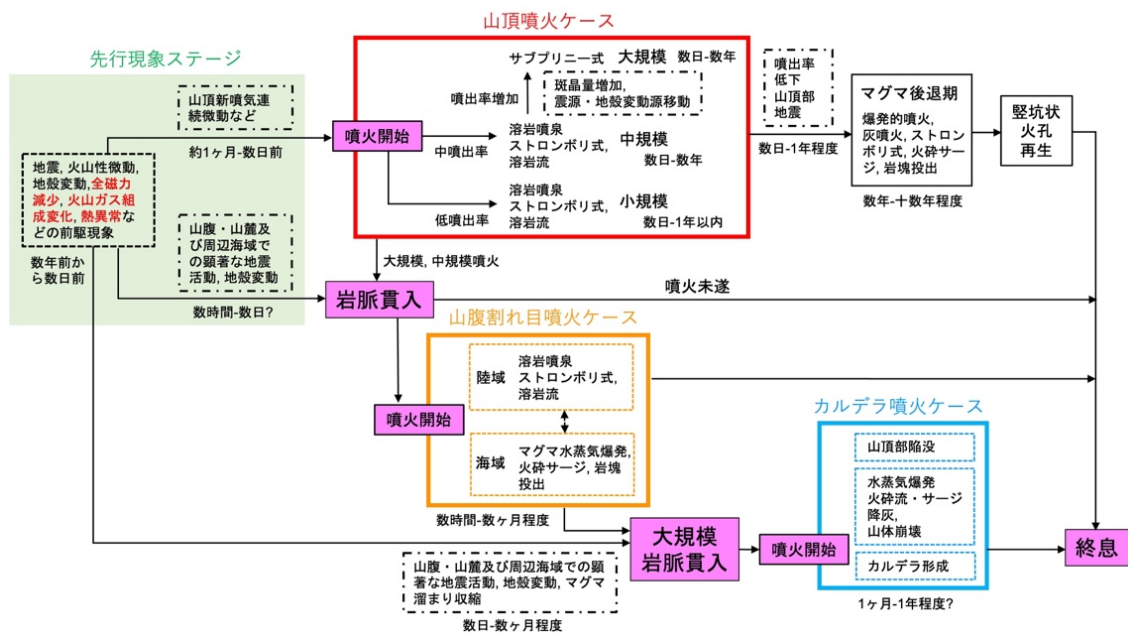


図 102. 伊豆大島噴火事象系統樹の試案。

z) その他の火山

その他の対象火山についても、これまでの調査結果の整理と必要に応じて追加の野外調査・物質科学的解析を実施した。一部の火山については、成果公表に向けた取り組みも行った。その概要を表6にまとめる。

表6. その他の対象火山の実施内容のまとめ。

対象火山	実施内容	実施機関
利尻山	昨年度までの解析により火山の長期マグマ変遷を明らかにした。令和3年度はその成果を論文公表した。また最新の珪長質噴火をもたらしたマグマ供給系解明のための物質科学的解析を開始した。	北海道大学
摩周	昨年度までに7.6千年前のカルデラ形成噴火の噴火推移を明らかにした。令和3年度はその成果を論文公表した。また隣接するアトサヌプリ火山の活動との関連を検討するために、これまでの調査データの整理を行った。	茨城大学・北海道大学
大雪山	旭岳を含む大雪火山群の長期噴火活動履歴について、成果公表のための投稿論文の作成を進めた。	電力中央研究所
十勝岳	過去1万年間でヌッカクシ火口域が十勝岳北西火口域と並行して活動していたことを論文公表した。また、現在の活動中心である十勝岳北西火口域の噴火準備プロセスを明らかにするために物質科学的解析を進めた。	北海道大学
ニセコ	数百年前まで活動していたことが明らかになったイワオヌプリの活動史について、成果公表のための投稿論文の準備を進めた。	北海道大学
支笏火山（樽前山・風不死岳・恵庭岳含む）	歴史時代噴火の噴火準備プロセスとその時間スケールを明らかにするため、鉱物化学組成を中心とした物質科学的解析を行った。	北海道大学
有珠山	これまで議論が錯綜していた山体崩壊イベントの発生時期を昨年度までに明らかにした。今年度はその発生プロセスも含めて成果公表するために、投稿論文の準備を進めた。	北海道大学
八幡平	前森山において山頂付近の野外調査を行った。その結果、従来報告されている降下スコリア層が厚く堆積していることを確認した。非常に新しい堆積物の可能性が高く、今後も調査を継続していく必要がある。	北海道大学
岩手山	最新のマグマ噴火である1732年噴火のマグマ供給系を明らかにするために、既に採取された試料の物質科学的解析に着手した。	北海道大学
新潟焼山・妙高山	隣接するため、両地域を合わせて広域に調査を行っている。令和3年度は、山麓に分布する溶岩ドーム崩落型の火砕流堆積物について層序調査と物質科学的な解析を行い、マグマ供給系解明に資する基礎データ（噴火に関与した端成分マグマの化学組成・温度）を取得した。	富山大学
草津白根山	白根火砕丘群で噴出物層序調査を行い、火山体地質図を試作した。その成果については、日本火山学会で発表した。	富山大学
榛名山	連携研究の可能性を模索するために、既存の研究成果を整理した。	茨城大学
東伊豆単成火山群	本地域で最も新しい火山列の1つである岩の山－伊雄山火山列(2.7千年前)について、物質科学的解	筑波大学

	析を行い、2 端成分マグマ混合が主なマグマプロセスであること、周囲の単成火山群とは異なるマグマ供給系が活動していたことが明らかになった。	
	降下軽石・火砕流・溶岩流という推移を辿ったカワゴ平噴火（3.2 千年前）について、その噴火推移とマグマプロセスの関係を明らかにするために、物質科学的解析を行った。	北海道大学
八丈島	マグマ供給系の変遷を明らかにするために、昨年度までに採取された試料を用いて、物質科学的解析を進めた。今後、その成果の公表に向けて、論文発表を進める予定である。	北海道大学
横岳（ハヶ岳）	非常に新しい火山体であるが、その活動履歴には不明な点が多く、再検討が必要であると考えられる。令和 3 年度は西麓に堆積する Y5 溶岩に着目し、古地磁気学的年代推定と岩石学的解析を行い、分布範囲の再検討と周辺に分布する溶岩との対比を進めた。	信州大学
焼岳	完新世の噴火活動履歴の再検討を目的とし研究を進めている。令和 3 年度は南麓・東麓に流下した約 4 千年前に噴出したとされる下堀沢溶岩流について、古地磁気学的年代推定と岩石学的解析により、分布範囲の再検討と周辺に分布する溶岩との対比を行った。	信州大学
阿武火山群	既存の試料について、詳細な岩石記載、鉱物化学組成、全岩化学組成等の物質科学的解析を行い比較することで、単成火山群の噴火形態の規制要因について検討した。	山口大学
桜島	21 世紀の噴出物について物質科学的解析を行い、噴火活動推移との関連を検討した。その結果、かんらん石斑晶の組織が噴火活動推移の指標になる可能性を見出した。	北海道大学
	桜島火山と同時期にも活動している、始良カルデラ周辺のマール火山群について、その活動履歴を明らかにし、論文公表した。	茨城大学

2) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発

北海道大学では、マグマ変遷解析センターにおいて、引き続き電子顕微鏡での分析精度の向上や応用手法の開発、質量分析装置を用いた微量元素・同位体比測定法の確立、そして全真空型フーリエ変換赤外分光光度計顕微システムを用いた超低濃度揮発性成分の分析法の発展に取り組んだ。また、参加機関の研究者・大学院生の利用受入れを継続し、本年度は 3 機関計 12 名の利用があった。特に成果のあった、珪長質火成岩試料に対する加圧分解法の確立と塩素濃度分布を用いた脱ガス履歴の解析手法の開発について報告する。

a) 難溶性鉱物を含む珪長質火成岩試料に対する加圧酸分解法の確立

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

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

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



図 103. 加圧酸分解法に使用した加圧容器、および内部のテフロン容器。

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

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

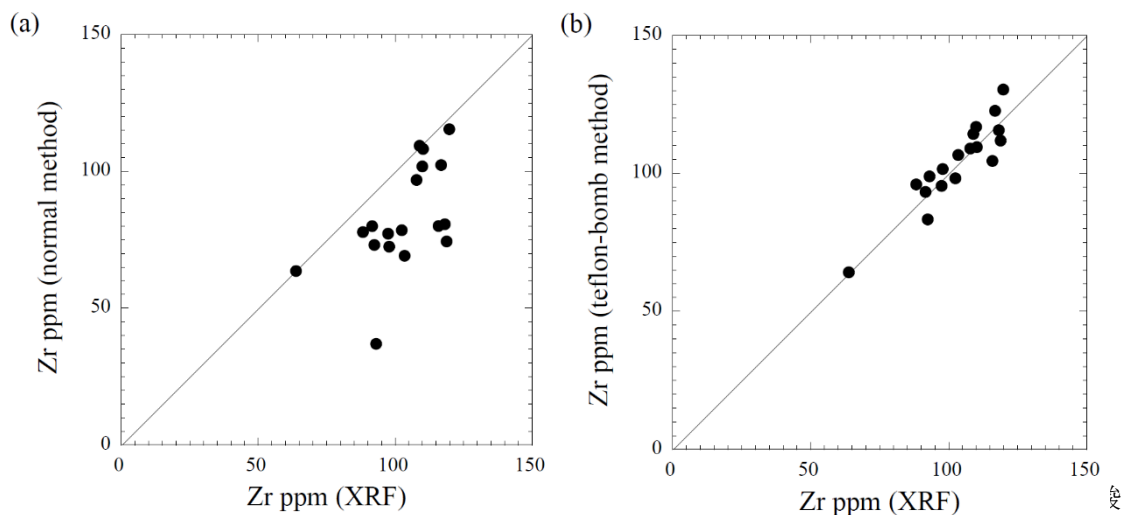


図 105 分解法による Zr 濃度 (b) の、XRF 測定による Zr 濃度に対する比較。(b) の少々のはらつきは、粉末試料中のジルコン結晶量の不均一性に起因すると考えられる。

b) 塩素濃度分布を用いた、脱ガス履歴の解析手法の開発

1. はじめに

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

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

2. 実験と分析

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

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

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

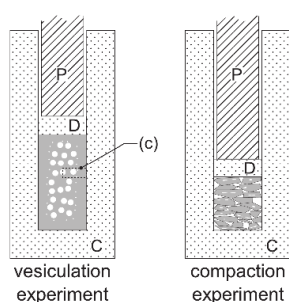


図 105. 発泡実験（左）および圧密実験（右）。

3. 結果

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

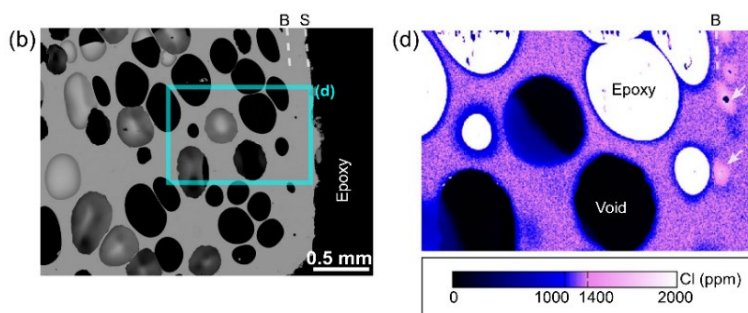


図 106. 発泡実験の結果。左は反射電子像であり、発泡している様子が見える。右は塩素濃度分布であり、成長している気泡のまわりでは塩素濃度が下がっているのを確認できる。また溶解する気泡（矢印）の周りでは塩素濃度が増加している。

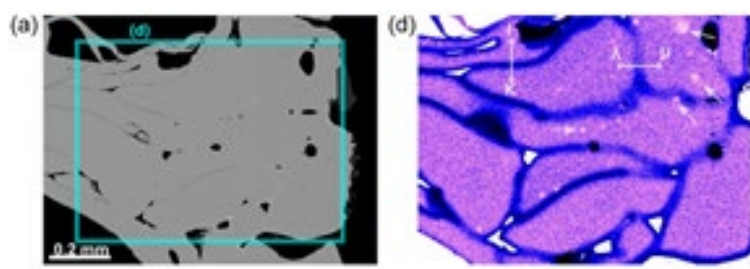


図 107. 圧密実験の結果。左の反射電子像では、ガラス片が溶結し、ひとかたまりになっていることが確認できる。右の塩素濃度分布では、破片の表面でのみ塩素濃度が低下している。開放系脱ガスは文字「t」の左で起きており、そこでは塩素濃度が低下している。

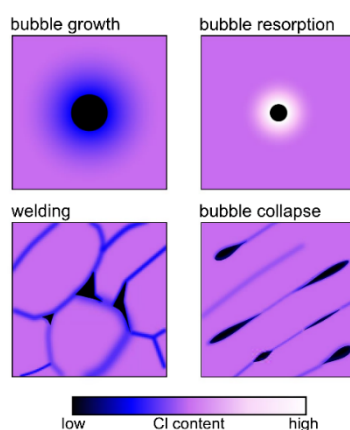


図 108. 気泡やガラス片の振舞い方と塩素濃度分布の関係の模式図。

4. 本手法の将来性

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

3) 大規模噴火データベースの整備

a) 大規模噴火推移データベース

後期更新世以降に大規模噴火を発生させたカルデラ火山について、その長期的な活動推移や大規模噴火の噴火推移などを取りまとめた大規模噴火データベースを構築し、2022 年度はじめの公開を予定している。合計 10 カルデラ火山の噴火推移および長期的活動推移データを収録した。収録した火山は摩周、屈斜路、支笏（恵庭山・樽前山を含む）、洞爺、濁川、十和田、始良（若尊・桜島を含む）、池田、鬼界（薩摩硫黄島を含

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

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

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

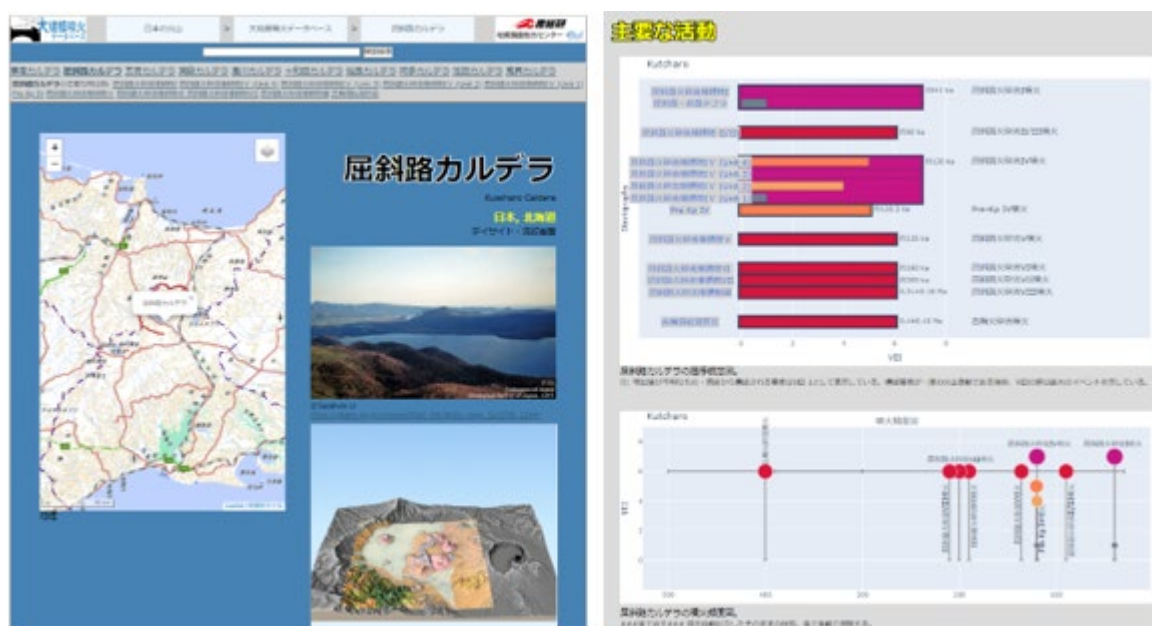


図109. 大規模噴火データベースの収録データ例。北海道・屈斜路カルデラの収録データ。

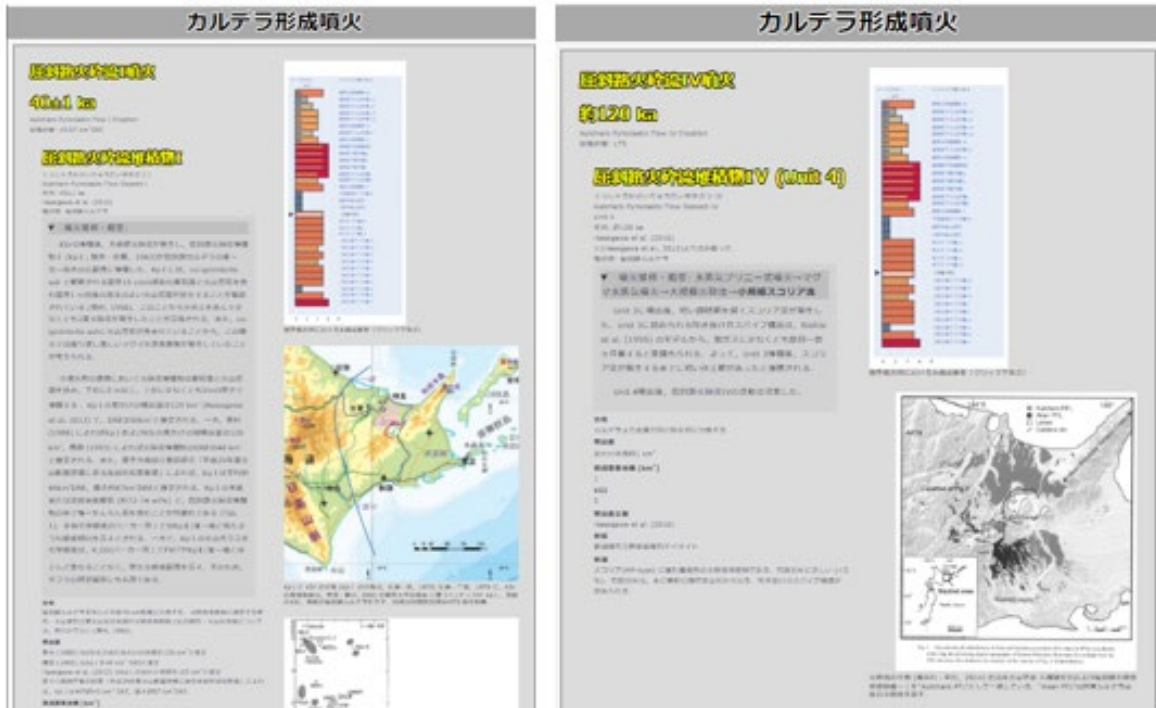


図110. 大規模噴火データベースの収録データ例。北海道・屈斜路カルデラにおける大規模火砕流噴火の事例（左：屈斜路 I、右：屈斜路 IV）

b) 噴火推移データベース

近現代に発生した概ねVEI5以上の火砕噴火のうち、詳細な噴火推移の目撃記録が残る噴火事例について、噴火開始前から噴火終了後までの噴火活動及び関連する活動を収集した噴火推移データベースを作成した。本データベースは2022年度公開予定であり、公開版には桜島大正噴火や北海道駒ヶ岳1929年噴火のほか、2021年に発生した福徳岡ノ場噴火、2021年12月～2022年1月にかけて発生したフンガトンガ噴火を含む20事例が掲載されている。また、Kelud 2014年、Chaiten 2008年、El Chichón 1982年、有珠山 1977年、Agung 1963年、Cerro Azul 1932年噴火について新たに噴火推移情報を収集し地質調査総合センター研究資料集no.722として公開した。

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

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

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

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

c) まとめ

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

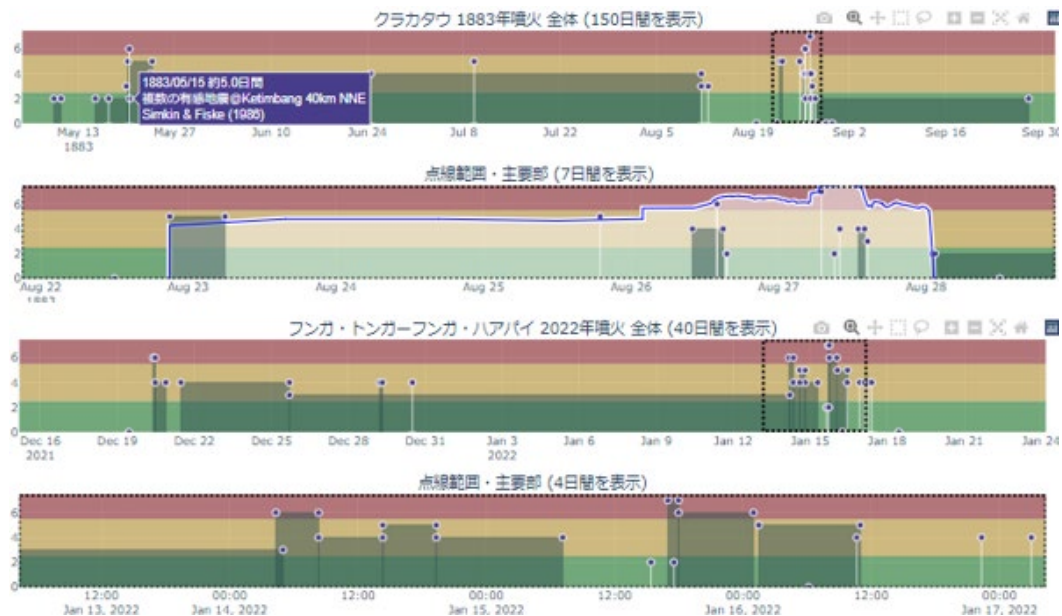


図111. クラカタウ1883年噴火（上）およびフンガトンガ・フンガハアパイ火山2021-2022年噴火の噴火推移図比較。両噴火とも噴火開始後次第に噴火強度が高まりクライマックスを迎えていることが読み取れる。

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

a) 課題 C-2 のとりまとめ

実施責任機関である北海道大学では、課題 C-2 の各参加・協力機関と連絡を密に取り、研究の進捗状況や新型コロナウイルス感染症拡大の影響の状況等の把握し、できる範囲で研究が遂行されるように努めた。また、ボーリング掘削調査については、掘削地点の調整を行い、秋田駒ヶ岳・阿蘇山の 2 火山で実施した。そして、国立研究開発法人防災科学技術研究所と協力して実施しているボーリングコア試料の保管・管理システムの構築にかかる既存コアの集約の調整を行った。火山研究人材育成プログラムにおいては、引き続き参加機関の複数の研究者が講師として参画するとともに、課題 C-2 の研究課題の一部を大学院生の研究テーマとして遂行し、博士後期課程の学生については、RA として雇用することで、より実践的な教育に取り組んだ。また、課題 C-2 の研究集会を令和 3 年 6 月と令和 4 年 3 月に開催した。各機関の成果報告だけでなく、今後のとりまとめ方針について議論した。

b) 課題 C-2 の研究成果の発信に向けた取り組み

本事業の到達目標である中長期予測のための時間—積算噴出量階段図の作成および噴火事象系統樹作成の手法およびそれにかかる各種データの統一性を図るために、データベースを作成することが確認され、そのための WG が発足することとなった。

c) 課題 C 全体のとりまとめと総合推進：連携研究

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

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

(c) 結論

本年度は、前年度に引き続きコロナ感染症拡大状況が続き、各参加機関および協力機関は対応に苦慮した。特に研究集会等では対面実施ができず、十分に議論を深めることはできなかったが、前年度と比較するとフィールドワーク等についてはかなり実施できるようになった。そのような状況下で、それぞれの研究課題について精力的に研究を行い、上記のとおり多くの成果を得ることができた。全体として、順調に研究が遂行していると考えられる。次年度以降も、まずは個々の機関の研究成果の積み重ねが必要であるが、サブ課題の目的である階段図と事象系統樹作成に向けて、サブ課題内での最終的な到達点を共有し、そのための連携をより強化する必要がある。一方、課題 C 内および他課題との連携は従来よりその重要性が指摘されてきたが、コロナ禍ということもあり十分な連携は行われていない。状況が許す限りにおいて、連携研究を推進してゆく必要がある。次年度以降は研究集会や共同現地調査・観測を活発化させ、サブ課題内だけではなく課題 C 全体および他課題との連携を本格化させたいと考えている。さらに人材育成コンソーシアムと連携し、地質・物質科学の博士課程大学院生を育て、RA として本サブ課題に参画させてきたが、引き続き実施してゆくことが重要である。

(d) 引用文献

- 1) 勝井義雄：5 万分の 1 地質図幅「屈斜路湖」および同説明書，北海道開発庁，42p, 1962.
- 2) 勝井義雄，横山泉，岡田弘，西田泰典，松本佳久，川上則明：アトサヌプリ・摩周（カムイヌプリ），北海道における火山に関する研究報告書，Vol.10，北海道防災会議，105p, 1986.
- 3) 長谷川健，中川光弘，宮城磯治：北海道東部，アトサヌプリ火山における水蒸気噴火の発生履歴：炭素年代および気象庁ボーリングコアからの検討，地質学雑誌，Vol.123, pp.269-281, 2017.
- 4) 佐藤博之：東北海道斜里地域における洪積世後期の火山灰と段丘，地調月報，Vol.59, pp.47-58, 1968.
- 5) 長谷川健，岸本博志，中川光弘，伊藤順一，山元孝広：北海道東部，根釧原野および

- 斜里平野における約 3 万 5 千～1 万 2 千年前のテフラ層序と後屈斜路カルデラ火山の噴火史, 地質学雑誌, Vol.115, pp.369-390, 2009.
- 6) 後藤芳彦, 和田恵治: 北海道屈斜路カルデラ中島火山の噴火史, 日本火山学会 2017 年度秋季大会講演予稿集, p128, 2017.
 - 7) 和田恵治・稲葉千秋・根元靖彦: 雌阿寒岳の最近 12,000 年の噴火史. 日本火山学会 1997 年度秋季大会講演予稿集, p100, 1997.
 - 8) 佐藤鋭一・和田恵治・南裕介・石塚吉浩・中川光弘: トレンチ調査による最近 14000 年間の雌阿寒岳の噴火史の再検討. 日本火山学会 2020 年度秋季大会 (口頭発表), 2020.
 - 9) 南裕介, 中川光弘, 佐藤鋭一, 和田恵治, 石塚吉浩: 雌阿寒岳火山ポンマチネシリにおける過去 1000 年間の火山活動史, 火山, Vol.66, pp.211-227, 2021.
 - 10) 和田恵治, 池上宏樹, 稲葉千秋, 雌阿寒岳の岩石の化学組成-マグマの多様性-, 北海道教育大学大雪山自然教育研究施設研究報告, Vol.32, pp.43-59, 1998.
 - 11) Kuritani, T., Sato, E., Wada, K., Matsumoto, A., Nakagawa, M., Zhao, D., Shimizu, K. and Ushikubo, T.: Conditions of magma generation at the Me-akan volcano, northern Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.417, 107323.
 - 12) 上澤真平, 中川光弘, 江草匡倫: 南西北海道, 羊蹄火山の完新世噴火史の再検討, 火山, Vol.56, pp.51-63, 2011.
 - 13) Uesawa, S., Nakagawa, M. and Umetsu, A.: Explosive eruptive activity and temporal magmatic changes at Yotei Volcano during the last 50,000 years, southwest Hokkaido, Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.325, pp.27-44, 2016.
 - 14) Amma-Miyasaka, M., Miura, D., Nakagawa, M., Uesawa, S. and Furukawa, R.: Stratigraphy and chronology of silicic tephra in the Shikotsu-Toya volcanic field, Japan: Evidence of a Late Pleistocene ignimbrite flare-up in southwestern Hokkaido, Quaternary International, Vol.562, pp.58-75, 2020.
 - 15) 東宮昭彦, 宮城磯治: 洞爺噴火の年代値, 火山, Vol.65, pp.13-18, 2020.
 - 16) 上澤真平, 伊藤久敏, 中川光弘: 南西北海道, 羊蹄火山北麓の尻別川沿いに露出する第四紀業界岩相のジルコン U-Pb 年代, 日本地質学会 128 年学術大会講演要旨, 2021.
 - 17) Le Maitre R. W. (ed.): Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms, 236p, 2002.
 - 18) Sakata, S.: A practical method for calculating the U-Pb age of Quaternary zircon: Correction for common Pb and initial disequilibria, Geochem. J., Vol.52, pp.281-286, 2018.
 - 19) 上澤真平, 伊藤久敏: 北海道南西部, 羊蹄火山東麓に分布する緑色凝灰岩層のジルコン U-Pb 年代, 地質学雑誌, Vol.126, pp.589-595, 2020.
 - 20) Ludwig K. R.: User's Manual for Isoplot 3.75: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel, Berkeley Geochronol. Center Spec. Publ., Vol.5, 75p, 2012.
 - 21) Vermeesch, P.: IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology, Geoscience

- Frontiers, Vol.9, pp.1479–1493, 2018.
- 22) 伊藤順一：秋田焼山における水蒸気爆発の発生履歴.日本地質学会第 105 年学術大会講演要旨, pp.349, 1998.
 - 23) 筒井正明, 伊藤英之, 秋田県鹿角建設事務所：秋田焼山起源のテフラ及びその噴火年代, 日本火山学会講演予稿集, pp.173, 2002.
 - 24) 大場司：秋田焼山火山の地質学的・岩石学的研究：1.山体形成史, 岩鉱, Vol. 86, pp.305-322, 1991.
 - 25) 須藤茂, 石井武政：雫石地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 142p, 1987.
 - 26) 土井宣夫, 菅野康隆, 東野桂一, 越谷信, 矢内桂三：秋田駒ヶ岳起源の先達川岩屑なだれ堆積物について, 地球惑星科学連合学会合同大会予稿集, p.807, 1997.
 - 27) 藤縄明彦, 巖寄正幸, 本田恭子, 長尾明美, 和知剛, 林信太郎：秋田駒ヶ岳火山, 後カルデラ活動期における噴火史：火山体構成噴出物と降下テフラ層の対比, 火山, Vol.49, pp.333-354, 2004.
 - 28) 和知剛, 土井宣夫, 越谷信：秋田駒ヶ岳のテフラ層序と噴火活動, 火山, Vol.42, pp.17-34, 1997.
 - 29) 奥野充, 宇井忠英, 加賀谷にれ：有珠火山, 善光寺岩屑なだれの ^{14}C 年代測定, 福岡大学理学集報, Vol.50, pp.108-113, 2020.
 - 30) 大場司, 林信太郎, 近藤恵太ほか：鳥海火山における約 2,500 年前の山体崩壊を伴う噴火活動, 日本火山学会 秋季大会講演要旨集, p.74, 2020.
 - 31) 遠藤雅宏, 大場司, 小泉喜裕, 伴雅雄, 井村匠, 南裕介, 中川光弘：鳥海火山 2,500 年前に発生した象潟岩屑なだれ以降の爆発的噴火活動, 日本火山学会 2021 年秋季大会講演要旨集, B1-04, 2021.
 - 32) 植木貞人：鳥海山の活動史, 自然災害特別研究斑成果, no. A-56-1, pp.33-37, 1981.
 - 33) Minami, Y., Ohba, T., Hayashi, S., Saito-Kokubu, Y. and Kataoka S.K.,: Lahar record during the last 2,500 years, Chokai Volcano, northeast Japan: Flow behavior, sourced volcanic activity, and hazard implications, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.387, 106661, 2019.
 - 34) 林信太郎：鳥海火山の地質, 岩鉱, Vol.79, pp.249-265, 1984.
 - 35) 伴雅雄, 林信太郎, 高岡宣雄：東北日本弧, 鳥海火山の K-Ar 年代：連続的に活動した 3 個の成層火山, 火山, Vol.46, pp.317-333, 2001.
 - 36) 土井宣夫：栗駒火山の完新世噴火史, 日本火山学会講演予稿集 2018 度秋季大会, p.016, 2018.
 - 37) 伴雅雄, 及川輝樹, 山崎誠子：蔵王火山地質図, 産業総合研究所地質調査総合センター火山地質図, 18, p.1-8, 2015.
 - 38) Miura, K., Ban, M., and Yagi, H.: The tephra layers distributed around the eastern foot of the Zao volcano – Ages and volumes of the Za-T0 1 to 4 tephra -, Bull. Volcanol. Soc., Japan, Vol.53, pp.151-157, 2008.
 - 39) Takebe, M., Ban, M., and Sato, M.: The temporal variation of magma plumbing system of the Kattadake Pyroclastics in the Zao Volcano, Northeastern Japan.

- Minerals, Vol.11(4), 430, 2021.
- 40) 杉下七海, 常松佳恵, 伴雅雄, 佐々木寿: 蔵王火山 1895 年噴火における投出岩塊の噴出条件の推定, 火山, Vol.67, pp.77-90, 2021.
- 41) 山元孝広: 福島県, 吾妻火山の最近 7 千年間の噴火史: 吾妻—浄土平火山噴出物の層序とマグマ供給系, 地質学雑誌, Vol.111, pp.91-111, 2004.
- 42) Imura, T., Ohba, T. and Horikoshi, K.: Geologic and petrologic evolution of subvolcanic hydrothermal system: A case on pyroclastic deposits since the 1331 CE eruption at Azuma-Jododaira volcano, central Fukushima, North-Eastern Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.416, 107274, 2021.
- 43) Okada, T., Matsuzawa, T. and Umino, N. et al.: Hypocenter migration and crustal seismic velocity distribution observed for the inland earthquake swarms induced by the 2011 Tohoku-Oki earthquake in NE Japan: implications for crustal fluid distribution and crustal permeability, Geofluids, Vol.15, pp.293-309, 2015.
- 44) Ichiki, M., Kaida, T., Nakayama, T., Miura, S., Yamamoto, M., Morita, Y. and Uyeshima, M.: Magma reservoir beneath Azumayama Volcano, NE Japan, as inferred from a three-dimensional electrical resistivity model explored by means of magnetotelluric method, Earth, Planets and Space, Vol.73, 150, 2021.
- 45) 伴雅雄, 高岡宣雄: 東北日本弧, 那須火山群の形成史, 岩鉱, Vol.90, pp.195-214, 1995.
- 46) Annen, C., Blundy, J. D. and Sparks, R. S. J.: The Genesis of Intermediate and Silicic Magmas in Deep Crustal Hot Zones, Journal of Petrology, Vol.43, pp.505-539, 2006.
- 47) 山元孝広: テフラ層序から見た那須茶臼岳火山の噴火史, 地質学雑誌, Vol.103, 676-691, 1997.
- 48) Ban, M. and Yamamoto, T.: Petrological study of Nasu-Chausudake Volcano (ca.16 ka to Present) northeastern Japan, Bull. Volcanol, Vol.64, pp.100-116, 2002.
- 49) 山元孝広, 伴雅雄: 那須火山地質図, 火山地質図 9, 地質調査所, 1997.
- 50) 安井真也, 高橋正樹, 金丸龍夫, 長井雅史: 降下火砕堆積物層序に基づく浅間前掛火山の大規模噴火の高分解能履歴復元, 火山, Vol.66, pp.293-325, 2021.
- 51) 小林敦, 青木かおり, 村田昌則, 西澤文勝, 小林毅彦: 伊豆諸島, 新島火山宮塚山イベント以降のテフラ層序と噴火史, 火山, Vol.65, pp.21-40, 2020.
- 52) Arakawa, Y., Endo, D., Oshika, J., Shinmura, T. and Ikehata, K.: High-silica rhyolites of Niijima volcano in the northern Izu-Bonin arc, Japan: Petrological and geochemical constraints on magma generation. Lithos Vol. 330-331, pp. 223-237, 2019.
- 53) 吉田浩: 新島火山の噴火史, 日本火山学会 1992 年秋季大会講演予稿集, 63, 1992.
- 54) Geschwind, C.H. and Rutherford, M.J.: Cumingtonite and the evolution of the Mount St. Helens (Washington) magma system: an experimental study, Geology, Vol.20, pp.1011-1014, 1992.
- 55) Geshi N., Oikawa, T., Weller D.J. and Conway C.E.: Evolution of the magma

- plumbing system of Miyakejima volcano with periodic recharge of basaltic magmas, *Earth, Planets and Space*, Vol.74, 20, 2022.
- 56) 荒牧重雄, 早川由紀夫: 1983 年 10 月 3・4 日三宅島噴火の経過と噴火様式, *火山*, Vol.29, pp.S24-S35, 1984.
- 57) 柵山雅則: 白馬大池火山の地質, *地質学雑誌*, Vol.86, pp.265-274, 1980.
- 58) 中野俊, 竹内誠, 吉川敏之, 長森英明, 荏谷愛彦, 奥村晃史, 田口雄作: 白馬岳地域の地質, *地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)*, 産総研地質調査総合センター, 105 p., 2002.
- 59) 及川輝樹, 原山智, 梅田浩司: 白馬大池火山の K-Ar 年代, *火山*, Vol.46, pp.21-25, 2003.
- 60) 及川輝樹, 中野俊: 完新世火山である白馬大池火山の風吹火山, *JpGU-AGU Joint Meeting 2020 Abstract*, SVC47-P10, 2020.
- 61) 中野俊: 北アルプス, 鷲羽・雲ノ平火山の地質, *火山*, Vol.34, pp.197-212, 1989.
- 62) 及川輝樹, 中野俊, 田村茂樹: 火山噴煙に匹敵する噴気活動ー大町市硫黄沢における突発的な噴気の発生ー, *GSJ 地質ニュース*, Vol.10, No.2-3, 2021.
- 63) 福沢仁之: 天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年縞堆積物, *第四紀研究*, Vol.34, pp.135-149, 1995.
- 64) 及川輝樹, 鈴木雄介, 千葉達朗: 御嶽山の噴火-その歴史と 2014 年噴火, *科学*, Vol.84, pp.1218-1225, 2014.
- 65) 及川輝樹, 鈴木雄介, 千葉達朗, 岸本博志, 奥野充, 石塚治: 御嶽山の完新世の噴火史, *日本火山学会 2015 年度秋季大会講演予稿集*, pp.102-102, 2015.
- 66) 早津賢二, 清水智, 板谷徹丸: 妙高火山群の活動史 "多世代火山", *地学雑誌*, Vol.103, pp.207-220, 1994.
- 67) 宇都浩三: 火山と年代測定: K-Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定の現状と将来, *火山*, Vol.40, pp.S27-S46, 1995.
- 68) 山田直利, 小林武彦: 御嶽山地域の地質. *地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)*, 地質調査所, 136p., 1989.
- 69) 木村純一: 後期更新世の御岳火山: 火山灰層序学と火山層序学を用いた火山活動史の再検討, *地球科学*, Vol.47, pp.301-321, 1993.
- 70) 竹内誠, 中野俊, 原山智, 大塚勉: 木曾福島地域の地質, *地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)*, 地質調査所, 94p., 1998.
- 71) Matsumoto, A. and Kobayashi, T.: K-Ar age determination of late Quaternary volcanic rocks using the "mass fractionation correction procedure": application to the Younger Ontake Volcano, central Japan, *Chemical Geology*, Vol.125, pp.123-135, 1995.
- 72) 松本哲一, 小林武彦: 御嶽火山, 古期御嶽火山噴出物の K-Ar 年代に基づく火山活動史の再検討. *火山*, Vol.44, pp.1-12, 1998.
- 73) Matsumoto, A., Uto, K. and Shibata, K.: K-Ar dating by peak comparison method-New technique applicable to rocks younger than 0.5 Ma-, *Bull. Geol. Surv. Japan*, Vol.40, pp.565-579, 1989.

- 74) 山崎誠子, 星住英夫, 松本哲一: 九重火山溶岩の感度法による K-Ar 年代測定, フ
イッション・トラック ニュースレター, Vol.27, pp.4-8, 2014.
- 75) 山崎正男, 富樫茂子, 守屋以智雄, 清水智: 白山火山大臼川岩屑流堆積物中の木片
の ^{14}C 年代, 火山, Vol.32, pp.123-124, 1987.
- 76) 小野晃司: 火山噴火の長期的予測, 火山, Vol.34, pp.S201-S204, 1990.
- 77) 小林哲夫: 由布・鶴見火山の地質と最新の噴火活動, 地質学論集, no. 24, pp.93-107,
1984.
- 78) 大沢信二, 大上和敏, 由佐悠紀: 1995 年伽藍岳塚原鉦山跡に出現した泥火山, 火山,
Vol.41, pp.103-106, 1996.
- 79) 藤沢康弘, 奥野充, 中村俊夫, 小林哲夫: 九州北東部, 鶴見火山の最近 3 万年間の
噴火活動, 地質学雑誌, Vol.108, pp.48-58, 2002.
- 80) 筒井正明, 奥野充, 藤沢康弘, 小林哲夫: 九州北東部, 伽藍岳における最近約 2,200
年間の水蒸気噴火, 福岡大学理学集報, Vol.49, pp.89-97, 2019.
- 81) 奥野充, 長岡信治, 國分陽子, 中村俊夫, 小林哲夫: 九重火山中央部の火砕流堆積
物の放射性炭素年代, 火山学会 2013 年秋季大会講演予稿集, p.71, 2013.
- 82) 長岡信治, 奥野充: 九州中部, 九重火山群の噴火史, 地形, Vol.36, pp.141-158, 2015.
- 83) 小野晃司: 5 万分の 1 地質図幅「久住」及び同説明書, 地質調査所, 124p, 1963.
- 84) 辻智大, 岸本博志, 藤田浩司, 中村千怜, 長田朋大, 木村一成, 大西耕造, 池田倫治,
西坂直樹: 九重火山 54ka 噴火の推移, 日本地球惑星科学連合 2021 年大会, SVC30-
09, 2021.
- 85) Fukuoka, M., Ohta, T. and Tsuji, T.: The Relationship between the Unidentified
Ash Fall Layer Just under Kuju D Ash Layer and 54 ka Eruption at Kuju Volcano
in Japan, The 5th International Workshop on Rock Mechanics and Engineering
Geology in Volcanic Fields (RMEGV2021), ISBN 978-4-907430-05-4, P1-7, 2021.
- 86) 福岡仁至, 太田岳洋, 辻智大: 九重火山 54ka 噴火の前駆的な活動によるテフラの
特徴 (予報), 月刊地球, Vol.43, No.8, pp.443-449, 2021.
- 87) 長岡信治, 奥野充: 九重火山のテフラ層序, 月刊地球, Vol.36, no.8, pp.281-296,
2014.
- 88) 鎌田浩毅, 三村弘二: インブリケーションから推定される九重火山飯田火砕流の流
動方向, 火山, Vol.26, pp.281-292, 1981.
- 89) 小野晃司, 渡辺一徳: 阿蘇火山地質図 (5 万分の 1), 火山地質図 4, 地質調査所,
1985.
- 90) 宮縁育夫, 星住英夫, 渡辺一徳: 阿蘇火山における更新世末期, AT 火山灰以降のテ
フラ層序, 火山, Vol. 49, pp.51-64, 2004.
- 91) 穴井千里, 宮縁育夫, 宇津木充, 吉川慎, 望月伸竜, 渋谷秀敏, 大倉敬宏: 古地磁
気・岩石磁気学的手法を用いた阿蘇火山中岳火口周辺域の完新世噴出物の分類と噴
火年代の再検討, 火山, Vol. 66, pp.171-186, 2021.
- 92) Shibuya, H., Haruta, A., Mochizuki, N. and Miyabuchi, Y.: Paleomagnetic
directions of 3-5 ka basaltic volcanoes in the Aso central cone, Kyushu Japan:
Further extension of the paleosecular variation curve, Japan Geoscience Union

- 2018 Meeting Abstract, SIT22-42, 2018.
- 93) Miyabuchi, Y.: A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan, *Sedimentary Geology*, Vol. 220, pp.169–189, 2009.
- 94) 渡辺一徳, 藤本雅太郎: 表層地質図「阿蘇山・竹田」および説明書, 土地分類基本調査 (5 万分の 1), 熊本県, pp.15–28, 1992.
- 95) 町田洋, 新井房夫: 新編火山灰アトラスー日本列島とその周辺, 東京大学出版会, 336p, 2003.
- 96) 筒井正明, 奥野充, 小林哲夫: 霧島・御鉢火山の噴火史, 火山, Vol.52, pp.1–21, 2007.
- 97) 奥野充: 南九州の第四紀末テフラの加速器 ^{14}C 年代 (予報), 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, Vol. VII, pp.89–109, 1996.
- 98) Putirka, K.D.: Thermometers and barometers for volcanic systems. *Rev. Mineral. Geochem.*, Vol.69, pp.61–120, 2008.
- 99) Waters, L.E. and Lange, R.A.: An updated calibration of the plagioclase-liquid hygrometer–thermometer applicable to basalts through rhyolites. *Am. Mineral.*, Vol.100, pp.2172–2184, 2015.
- 100) Maeno, F. and Taniguchi, H.: Spatiotemporal evolution of a marine caldera-forming eruption, generating a low-aspect ratio pyroclastic flow, 7.3 ka, Kikai caldera, Japan: Implication from near-vent eruptive deposits. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol.167, pp.212–238, 2007.
- 101) Bonadonna, C. and Costa, A.: Estimating the volume of tephra deposits: A new simple strategy. *Geology*, Vol.40, pp.415–418, 2012.
- 102) Carey, S. and Sparks, R.S.J.: Quantitative models of the fallout and dispersal of tephra from volcanic eruption columns. *Bull. Volcanol.*, Vol.48, pp.109–125, 1986.
- 103) Woodhouse, M.J., Hogg, A.J., Phillips, J.C. and Sparks, R.S.J., Interaction between volcanic plumes and wind during the 2010 Eyjafjallajökull eruption, Iceland. *J. Geophys. Res.*, Vol.118, pp.1–18, 2013.
- 104) Ishizuka, O., Taylor, R.N., Geshi, N., Oikawa, T., Kawanabe, Y., Ogitsu, I.: Progressive mixed-magma recharging of Izu-Oshima volcano, Japan: A guide to magma chamber volume, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.430, pp.19–29, 2015.
- 105) 気象庁: 伊豆大島の火山活動に関する勉強会報告書—伊豆大島噴火シナリオ—, 火山噴火予知連絡会伊豆部会, pp.1–46, 2008.
- 106) Yokoyama, T., Makishima, A. and Nakamura, E.: Evaluation of the coprecipitation of incompatible trace elements with fluoride during silicate rock dissolution by acid digestion, *Chem. Geol.*, Vol.157, pp.175–187, 1999.
- 107) Krogh, T. E.: A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determinations, *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol.37, pp.485–494, 1973.

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

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

別添「学会等発表実績」のとおり。

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 令和4年度の業務計画案

(a) 火山の噴火履歴およびマグマ長期変遷に関する研究

令和4年度は前年度までに行った調査結果をもとに、最重点火山・重点火山を中心とした計11火山においてボーリング掘削およびトレンチ掘削調査を、1火山において備船沿岸域調査を実施する。その他の火山についても引き続き噴火履歴調査を実施する。そして、地質調査により得られた高精度噴火履歴に基づいて噴出物を採取し、物質科学的解析を進める。基礎的な解析は各参加機関で行うが、高精度解析を必要とした場合は、北海道大学の「マグマ変遷解析センター」で行う。研究が進んでいる火山については、噴火事象系統樹の試作および噴出量-マグマ積算量階段図による中長期噴火予測の試行を開始する。主な火山の実施計画について、以下に示す。

1) アトサヌプリ（屈斜路）・摩周（北海道大学・茨城大学）

令和3年度までの調査結果をもとに追加の野外調査とトレンチ掘削調査を実施し、数万年にわたる火山全体の噴火履歴、特にアトサヌプリ大規模火砕噴火についての詳細を明らかにする。さらに、隣接する摩周の活動との関連についても検討し、北海道東部地域の長期活動履歴の解明を目指す。

2) 羊蹄山（電力中央研究所・北海道大学）

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

3) 岩木山（産業技術総合研究所）

岩木山の山体周辺の野外調査および手掘りトレンチ掘削調査を実施し、岩木山の噴火史を解明する。特に、土壌などの放射性炭素年代測定を行い、完新世の噴火活動履歴を明らかにすることを旨とする。

4) 秋田駒ヶ岳（北海道大学・（株）エンバイオ・エンジニアリング）

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

5) 鳥海山（秋田大学・山形大学）

西鳥海山の完新世の噴火活動履歴を明らかにするために、野外調査を継続し、西部山麓でトレンチ掘削調査を実施する。また、物質科学的解析を進め、マグマ供給系の変遷を明らかにする。東鳥海山の噴火活動史については、論文文化を進める。

6) 蔵王山（山形大学）

蔵王山の完新世の噴火活動履歴を明らかにするために、山体中腹においてボーリング掘削調査を実施する。また、最近800年間の噴火活動のマグマ供給系について論文文化を進める。

7) 吾妻山（山形大学・茨城大学・秋田大学）

西暦1331年以降の噴火活動履歴の詳細を明らかにするために、山頂火口付近での野外調査とトレンチ掘削・ボーリング掘削調査を実施する。また、吾妻小富士の噴火活動履歴を明らかにするために、吾妻小富士周辺のトレンチ掘削調査と北麓でのボーリング掘削調査を実施する。

8) 那須岳（茨城大学）

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

9) 浅間山（日本大学）

引き続き野外調査とこれまでのデータの精査を行い、前掛火山の高分解能噴火史の解明を目指す。また前掛火山の前の活動期にあたる仙岩火山・仙人火山について、野外調査・トレンチ掘削調査を行い、大規模火砕噴火と山体崩壊事象を中心とした活動履歴を明らかにする。その結果を前掛火山と比較することで、浅間山の噴火活動の類似性を検証し、将来活動の可能性の検討に資するデータを収集する。

10) 白馬大池火山（産業技術総合研究所）

白馬大池火山の中で、完新世に活動したと考えられる風吹火山について、地質調査と炭素年代測定を行い、完新世の噴火履歴及び活動様式に関する地質データを入手し、活火山の可能性を更に検証する。

11) 鷲羽池火山（富山大学）

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

12) 九重山（山口大学・北海道大学）

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

13) 由布鶴見岳（信州大学）

引き続き、伽藍岳での地質調査を行い、特に完新世の火山噴出物について層序明らかにする。放射性炭素年代測定を活用し、精密な時間軸を入れた噴火活動史の確立を目指す。

14) 阿蘇山（熊本大学・秋田大学）

阿蘇カルデラ周辺域における地質調査および重機トレンチ掘削調査を実施し、噴火活動史の解明を進める。また、阿蘇火山中岳における2019年～2020年活動や2021年活動について、噴出物の顕微鏡観察や化学分析・組織解析を行い、これらの活動全体の推移、とくに水蒸気噴火発生に至る過程について検討する。2021年10月噴火については、火山灰の硫黄同位体分析も実施することで、多方面からの噴火プロセスの解明を目指す。

15) 伊豆大島（産業技術総合研究所・東京大学地震研究所）

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

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

16) その他の火山

上記の重点火山に加えて、利尻山・雌阿寒岳・大雪山・十勝岳・ニセコ・支笏火山（樽前山・風不死岳・恵庭岳含む）・有珠山・十和田・八幡平・岩手山・秋田焼山・栗駒山・新潟焼山・妙高山・草津白根山・志賀火山・伊豆東部火山群・八丈島・三宅島・新島・神津島・式根島・御嶽山・横岳（八ヶ岳）・焼岳・白山・阿武火山群・霧島山・桜島・鬼界についてもこれまでの調査結果を整理し、必要に応じて野外調査を実施することで、噴火履歴とマグマ変遷の解明を目指す。また、重点火山の見落としを避けるために、他の活火山についても噴火履歴やマグマ変遷に関して検討を行う。

(b) マグマ変遷解析センターの整備と分析技術開発

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

(c) 大規模噴火データベースの整備

産業技術総合研究所（再委託）では、大規模カルデラ形成噴火及びプリニー式噴火について、噴火推移文献データの収集を継続する。コンパイルした情報から噴火推移データ集の作成し、ウェブサイト上で閲覧可能なデータベースとして作成する。桜島・北海道駒ヶ岳・樽前山などの国内のプリニー式噴火が発生した火山において、噴出物と噴火推移との対応を調査し、先史時代の噴火についての噴火推移解析手法を開発するとともにデータベースへの収録を行う。

(d) 課題 C-2 全体のとりまとめと研究成果の発信

1) 課題 C-2 全体のとりまとめ

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

2) 課題 C-2 の研究成果の発信に向けた取り組み

時間－積算噴出量階段図および噴火事象系統樹の作成手法およびそれにかかるデータベース作成のためのワーキンググループを発足させ、データベースのフォーマットと

階段図・事象系統樹の作成手法を議論し決定する。研究の進んでいる火山については、その手法に基づき、試作を行う。

(e) 課題 C 全体のとりまとめと総合推進：連携研究

課題 C-1・C-3 との連携研究の対象である伊豆大島について、年度内に課題 C だけでなく、課題 B も参画した研究集会および現地検討会を開催する。個々のサブ課題での連携研究の成果とそのアウトプットについて議論し、年度内に成果をとりまとめる。また、関連する他課題・他分野の研究者も招き、次世代火山研究の連携研究の方向性についても意見交換を行う。さらに霧島火山を対象に新たな連携研究テーマ（安山岩質マグマ火山）のキックオフ集会を開催する。