

## 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 准教授 助教 技術専門職員	中川 光弘 栗谷 豪 吉村 俊平 松本 亜希子
秋田大学大学院国際資源科学研究科	参加機関	教授	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 特任教授 准教授	安井 真也 高橋 正樹 金丸 龍夫
富山大学学術研究部都市デザイン学系	参加機関	教授 准教授	石崎 靖男 川崎 一雄
法人熊本大学くまもと水循環・現在研究教育センター	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 上級主任研	伊藤 順一 石塚 吉浩 下司 信夫 井上 卓彦 宝田 晋治

		究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 主任研究員 研究員 研究員 研究員	石塚 治 川邊 権久 及川 輝樹 山崎 誠子 古川 竜太 山崎 雅 松本 恵子 南 裕介 有元 純
筑波大学大学院生命環境科学研究科	協力機関	教授	荒川 洋二
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
北海道教育大学旭川校	協力機関	准教授	佐藤 錠一
信州大学理学部地球学コース	協力機関	准教授	斎藤 武士
電力中央研究所	協力機関	主任研究員	上澤 真平
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) 主として地質学的および物質科学的手法により、個々の火山における長期間かつ高精度の噴火履歴を復元する。(2) その成果に基づき高精度の時間ー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) 時間ー噴出物量図と(3) マグマ長期変遷ととも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ーンチ掘削調査を、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・トレー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 カ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 ケ所でのトレー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、予察的にトレー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ー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ハル火山の地質調査を開始した。これら地質調査により得られた高精度噴火履歴に基づいて噴出物を採取し、物質科学的解析を開始する。「マグマ変遷解析センター」では、他機関の研究者・大学院生の利用受け入れを開始した（3 機関 9 名）。また、前年度に導入したフーリエ変換赤外分光光度計に、真空顕微システムを導入して揮発性成分分析システムを完成させた。さらに複数の対象火山の地元において、啓蒙および研究成果普及のための講演会を開催した。

### 3) 平成 30 年度 :

平成 30 年度は、平成 29 年度までに行った調査結果をもとに、雌阿寒岳・蔵王山・浅間山・阿蘇山においてトレー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ー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ー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」により高精度な物質科学的解析を実施した。それらデータより長期マグマ変遷を明らかにし、噴火履歴との関連の検討も進めた。得られた噴火履歴、噴火様式およびマグマの物質科学的性質とその時間変遷についてデータベース化をはかり、可能な火山については時間一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一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・羊蹄山・十和田・秋田焼山・蔵王山・栗駒山・吾妻山・那須岳・浅間山・伊豆大島・九重山・阿蘇山において人力トレンチまたは重機トレンチ掘

削調査を実施し、噴火履歴および噴火推移を明らかにする。伊豆大島については、沿岸域の地形地質調査も実施し、長期噴火履歴解明を目指す。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、火山全体の噴火履歴を明らかにする。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う。研究の進んでいる火山においては、中長期噴火予測を試行し、噴火事象系統樹の試作を行う。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一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。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公開用データベースを作成する。国内事例については、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。

#### 7) 令和4年度：

最重点火山では、地表踏査、トレチ掘削およびボーリング掘削を実施して、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、必要があればトレチ掘削およびボーリング掘削も実施する。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。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を行う。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。重点火山で研究が進展した火山において、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。

#### 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」に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 2 年度業務目的

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。まず最重点火山および重点火山の摩周・アトサヌプリにおいてボーリング掘削調査により、隣接する両火山の長期噴火履歴と噴火推移を明らかにする。また有珠山では、ボーリング掘削調査により、先歴史時代噴火活動履歴の解明を目指す。そして、阿蘇山で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、雌阿寒岳・鳥海山をはじめとする 10 の最重点火山・重点火山について、トレッ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、引き続き野外調査を行うと共に、ボーリング掘削およびトレッチ掘削の調査地点を選定する。一方、いわゆる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。「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。産業技術総合研究所では、大規模噴火の活動推移に関するデータを得るために、海外事例を中心に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を進める。また、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とりまとめ方法を検討する。さらに、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隨時開催する。

## (2) 令和2年度の成果

### (a) 業務の要約

最重点火山および重点火山である摩周・アトサヌプリにおいて、数万年間のテフラ層序の情報を得るためにボーリング掘削を実施し、新たなテフラ層を複数発見した。また、野外調査により約6,500年前以降の活動の詳細を明らかにすることができた。阿蘇山では、2019年以降の噴火対応に加え、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た。また鳥海山では、野外調査とトレンチ掘削調査を実施し、東鳥海山および西鳥海山の完新世の活動履歴を明らかにするとともに、東鳥海山については噴火事象系統樹に向けた検討を開始した。さらに、活火山として認定されていなかった鷲羽池火山については、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、13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、歴史時代の大規模噴火の噴火推移をとりまとめた。そしてカルデラ形成を伴うクラスの大規模噴火については、前駆活動と噴火推移をとりまとめた。さらに大規模噴火データベースの閲覧検索システムの構築を進め、プロトタイプを作成するとともに、90以上の主要噴火降下テフラの分布データのGIS化を進めた。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、コア試料の集約を開始した。

### (b) 業務の成果

次に今年度の業務の成果について、4つの研究・検討項目毎に報告する。それらの項目は以下のとおりである。

- 1) 火山の噴火履歴及びマグマ長期変遷に関する研究（大学連合・産業技術総合研究所）
- 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）
- 3) 大規模噴火データベースの整備（産業技術総合研究所）
- 4) ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築（防災科学技術研究所・北海道大学）
- 5) 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（北海道大学）

#### 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2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。さらに、次年度掘削調査対象として、13火山を選定した。以下に、主な成果のあった火山について、その概要を述べる。

a) 摩周・アトサヌプリ火山：ボーリング掘削調査および野外調査による長期噴火活動履歴およびカルデラ形成噴火推移の解明（北海道大学・茨城大学）

i) 野外調査に基づく 7.6 ka 摩周カルデラ形成噴火の噴火活動推移の解明（茨城大学）

○はじめに

北海道東部の摩周火山は、九州の鬼界カルデラに並び、国内の完新世で VEI6 以上の噴火を発生したカルデラ火山である（図 1）。本研究では、摩周カルデラを形成した 7.6 ka の主カルデラ形成噴出物<sup>1)</sup>の中でも、とくに火砕流堆積物である Ma-f<sup>2)</sup>について地質調査を行い、その分布、層序、および層相変化などを明らかにした。そして、粒度組成や構成物量比などのデータや、含まれる軽石・石質岩片の岩石学的および古地磁気学的データを得ることで、高解像度の噴火推移およびカルデラ形成機構を復元した。以下に成果の概要を記す。

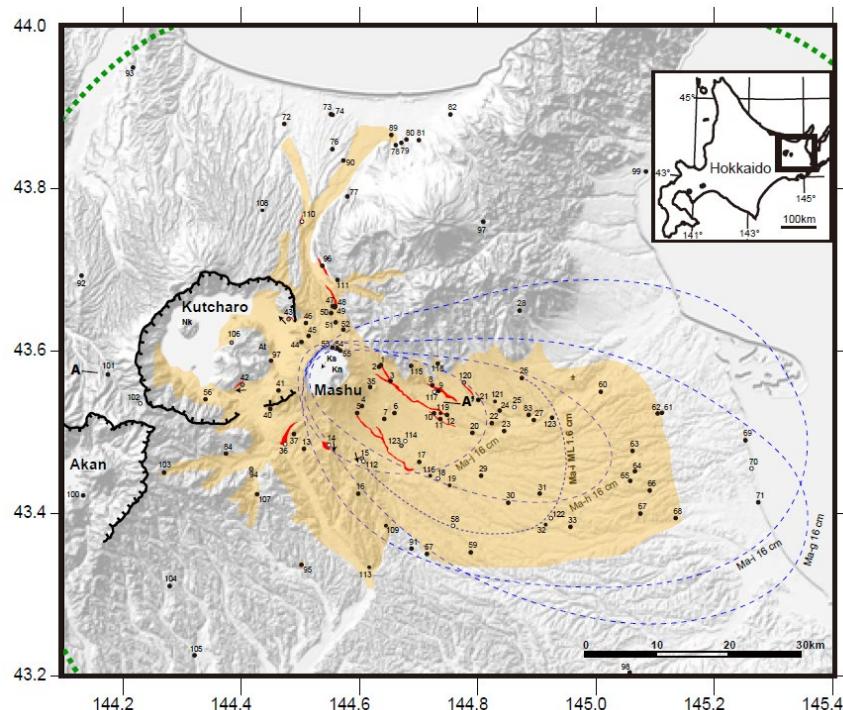


図 1. 7.6 ka 主カルデラ形成噴出物の分布。青点線：Ma-i～Ma-g、赤：Ma-f3b、橙：Ma-3a、緑点線：Ma-f1/2。

○Ma-f の層序と層相

Ma-f について、なるべく従来の名称を踏襲しながら、3つのサブユニット（Ma-f3b・Ma-f3a・Ma-f1/2）に区分した（図 2）。最下位の Ma-f3b は、先行する降下火砕物（下位から Ma-j～Ma-g）を覆う、軽石に富む火砕流堆積物で、摩周カルデラ周囲で谷埋め状に狭く分布する。その上位の Ma-f3a は、ディサイト質の石質岩片を多く含む火砕流堆積物で、地形的な低所で厚く、高所では細粒部を欠き石質岩片に非常に富む比較的薄い層として観察できる（図 3 (a)）。Ma-f1/2 は、北海道東部全域を薄く覆う Low aspect ratio ignimbrite<sup>3)</sup>（以下、LARI）である。弱く成層し上部に向かって軽石／石質岩片の量比が増す Ma-f2 と、それを漸移的に覆う軽石混じりの橙褐色火山灰層 Ma-f1 のセットが Ma-

f1/2 である。Ma-f3a と Ma-f1/2 の間には、火山豆石を伴うシルト質火山灰層 (Ma-Ac) が挟在する場合がある。Ma-j～Ma-g と Ma-f を合わせた総体積は 22.2 km<sup>3</sup> と見積もられる。

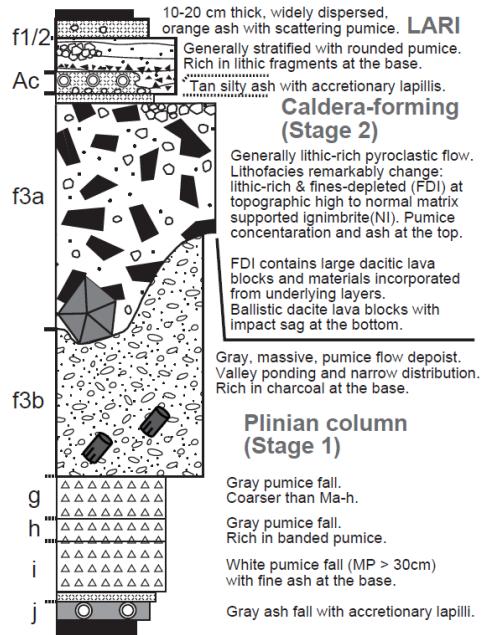


図 2. 7.6 ka 主カルデラ形成噴出物の模式柱状図。

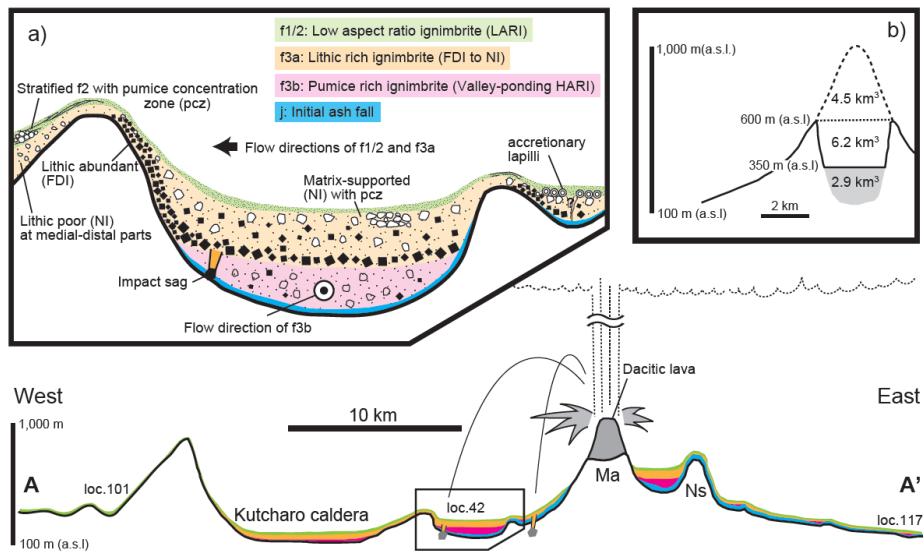


図 3. (a) 7.6 ka 主カルデラ形成噴出物の模式断面図、(b) 山体復元図。

### ○カルデラ形成機構

7.6 ka 主カルデラ形成噴出物を通して認められる石質岩片はデイサイト質溶岩片であり、全石質岩片の半分以上を占める。これらは、同時に含まれる本質物質である軽石と同じ斑晶鉱物組み合わせを持つが、全岩化学組成が異なる。デイサイト質溶岩片は、特に Ma-f3a 以降で増えるが、その岩石学的特徴は、それより下位の降下軽石 (Ma-i・Ma-g) や火碎流 (Ma-f3b) に含まれるものと区別できない。また、Ma-f3a 基底部に認められる大型のデイサイト質溶岩片の段階熱消磁実験の結果からは、これらが高温定置した証拠は認められ

ない。以上から、デイサイト質溶岩片は、7.6 ka 主カルデラ形成噴火の本質物質ではなく、より前に山体を構成し、噴火時に取り込まれた類質岩片と判断できる。

ユニットごとの構成物量比から、石質岩片の体積を見積もった結果、その総計は  $7.8 \text{ km}^3$  であった。石質岩片種の半分がデイサイト質溶岩片であるとすると、その体積は  $3.9 \text{ km}^3$  となり、そのような大規模なデイサイト溶岩が、カルデラ形成噴火より前に、摩周火山の山体を構成していたことになる。

摩周カルデラの湖底地形は典型的な鍋底状であり、カルデラ床のブロック陥没がカルデラ形成に寄与したことは間違いない。湖水の影響を排除した重力分布から、負の重力異常は認められず、火碎物のフォールバックや火碎流の充填物（カルデラ・フィル）もほとんどないと考えられている<sup>4)</sup>。ここで、山体体積と噴出物との収支計算を行う。現在の摩周湖（湖面標高 350 m）の体積は約  $2.9 \text{ km}^3$ 、カルデラリムをつないだ面（約  $30 \text{ km}^2$ 、平均標高 600 m）から湖面までの積分体積は約  $6.2 \text{ km}^3$ 、カルデラリムをつないだ面を底面として標高 1,050 m の円錐形を想定するとその体積は約  $4.5 \text{ km}^3$  となり、欠損した総体積はおよそ  $13.6 \text{ km}^3$  となる（図 3 (b)）。一方、噴出物を見ると、前述の通り石質岩片は約  $7.8 \text{ km}^3$ （うちデイサイト質岩片が  $3.9 \text{ km}^3$ ）である。本質物質の見かけ体積は  $14.5 \text{ km}^3$  であり、これを DRE 換算すると  $5.8 \text{ km}^3$  となる（見かけ密度  $1 \text{ g/cm}^3$ 、マグマ密度  $2.5 \text{ g/cm}^3$  と仮定）。石質岩片とマグマ（DRE）の体積を合計した  $13.6 \text{ km}^3$  は欠損体積と同じ値となる。以上のことから、摩周カルデラの形成では、ブロック陥没も寄与したが、カルデラ形成前に大きな山体があり、これが激しい爆発により吹き飛ばされ、ほとんどの噴出物がカルデラ外に広がった、という特異な過程を経たと結論できる。

## ii) ボーリング掘削調査による摩周・アトサヌプリ火山の長期噴火活動履歴の解明（北海道大学・茨城大学）

令和 2 年度は、これまでの野外調査結果およびボーリング掘削調査結果を踏まえ、アトサヌプリ溶岩ドーム群の南麓において、150 m 深のボーリング掘削調査を実施した（図 4）。ここでは、約 5,000 年前に活動したとされるリシリ溶岩ドームを形成した一連の活動の噴出物が最上位に堆積しており、下位の噴出物の保存状態の良いことが期待される地点である。掘削は 2020 年 12 月～1 月にかけて行われた。ボーリングコア試料の詳細な層相記載や地質対比、岩石学的検討については今後作業予定であるが、現時点でのコアの概要を以下に述べる。

深度 0.7～9.4 m は火碎堆積物であり、含まれる軽石や石質岩片の特徴からリシリ火碎流堆積物に対比できる。深度 9.7～39.3 m は主に砂礫からなり、一部に泥流堆積物や火碎堆積物が狭在する。火碎堆積物に含まれる軽石は灰白色～白色を呈し、無斑晶質でスポンジ状に発泡していること等の特徴から、摩周火山起源の可能性がある。深度 40.8～52.1 m は火碎堆積物（降下火碎物及び火碎流堆積物）であり、軽石は灰白色・無斑晶質で、下部にはやや粒径の大きな石質岩片が含まれている（図 5 (a)）。深度 54.7～57.5 m は火碎堆積物の二次堆積物であるが、含まれる軽石は白色でやや斑晶量が多いこと等、その上位（深度 40.8～52.1 m）の火碎堆積物の本質物質の特徴とは異なっている。深度 57.5～104.9 m は主に湖成層または火碎堆積物の二次堆積物からなり、一部に火碎堆積物や砂礫層が狭在する。深度 104.9～150 m は複数の火碎堆積物からなり、層相から火碎堆積物が水中に流

入りで堆積したものと考えられる。特に深度 104.9~110.9 m には粒径が 15 cm をこえる軽石が含まれることから、給源火口近傍であったことが推定される（図 5 (b)・5 (c)）。

コア観察からの予察ではあるが、深度 40.8~52.1 m の火碎堆積物は層相及び記載岩石学的特徴から摩周火山が給源と考えられる。また、深度 104.9~150 m の火碎堆積物は、その特徴からアトサヌプリ火山が給源と考えられ、約 2~3 万年前に噴出したアトサヌプリ火碎流堆積物に対比される可能性がある。

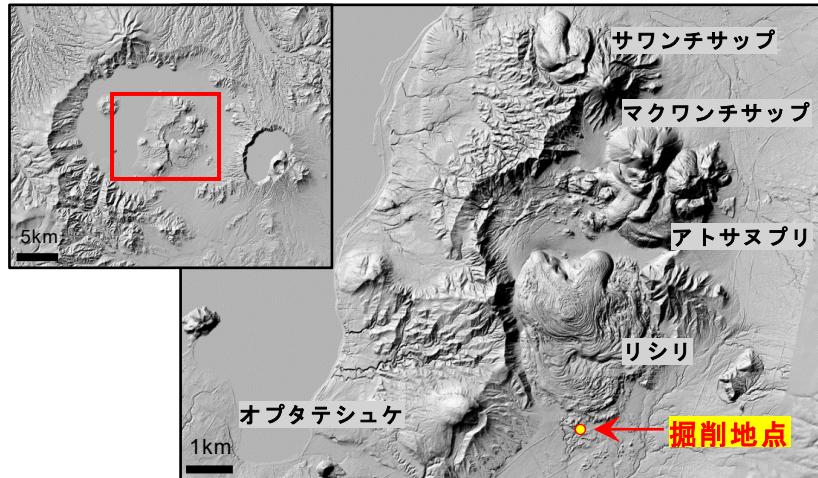


図 4. ボーリング掘削調査地点（ベースマップは国土地理院の陰影起伏図を使用）。

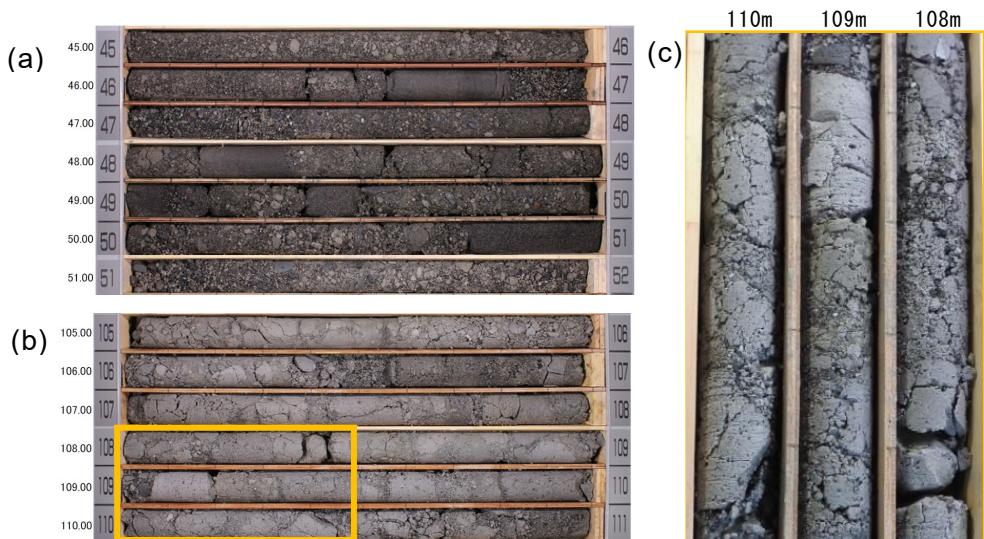


図 5. 代表的なコア写真。(a)深度 45~52 m、(b)深度 105~111 m、(c) (b)の拡大写真。

iii) 野外調査に基づくアトサヌプリ過去 6,500 年間の噴火活動の再検討（北海道大学）  
○はじめに

アトサヌプリ火山は北海道東部にある活火山であり（図 6）、気象庁の常時監視火山に指定され、地元の火山防災に関する意識も高まっている。一方で、本火山の形成史に関しては古くから研究が行われているが<sup>5)6)7)</sup>、特に完新世の噴火履歴や噴火様式に関する研究はそれほど行われていない。そこで、我々はアトサヌプリ火山を重点火山として研究を開始した。ここでは 2020 年度の成果として、最近 6,500 年間の噴火履歴に関して新たな知見を得たので、その成果を報告する。

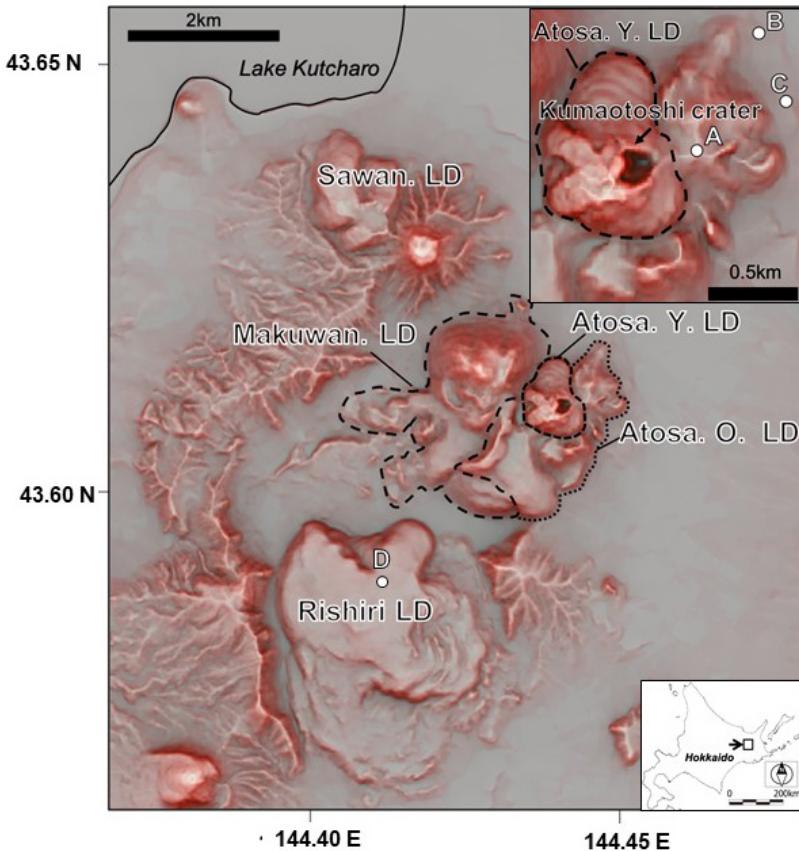


図 6. アトサヌプリ火山の位置と火山体主要部の赤色立体地図（地理院地図 HP より）。右上の地図は新期アトサヌプリ溶岩ドーム（Atosa. Y. LD）の拡大図で、山頂部には熊落とし火口が形成されている。図中の A～D は図 10 の柱状図の場所を示す。

#### ○過去 6,500 年間の噴火履歴の問題点

この火山で、最も新しい溶岩ドームである新期アトサヌプリ溶岩ドームでは、約 1,200 年前に比較的規模の大きな水蒸気噴火が起こり（At-b テフラを放出）、さらに約 400 年前にはドームに径 250 m の熊落とし火口（図 6）を形成した（At-a テフラを放出）、と考えられている<sup>6)8)9)</sup>。これらの従来の研究に基づく、6,500 年前のリシリ溶岩ドーム形成以降のアトサヌプリ火山の形成史を図 7 に、また At-a と At-b のテフラの等層厚線<sup>10)</sup>を図 8 に示した。熊落とし火口を形成したとされる At-a テフラの分布は火口周辺に限定されているのに対して、At-b は火口から 10 km 近くまで分布が確認されている。そのことから同じ水蒸気爆発の 2 つのテフラを比較した場合、At-b の方が遥かに大規模である。従って、At-b テフラを放出した噴火では、熊落とし火口よりも大きな火口が形成されたと考えられるが、アトサヌプリ新期溶岩ドームおよびその周辺ドームにはそのような火口地形は認められない（図 6）。上記の事から、At-b で形成された火口は、その後の新期アトサヌプリ溶岩ドーム等で被覆され、その後に 400 年前に熊落とし火口が形成されたと考えられる。

つまり、少なくとも新期アトサヌプリ溶岩ドームは 1,200 年前から 400 年前までの間に形成されたことになる。この期間の溶岩ドーム形成噴火については、これまで特に指摘されていなかったが<sup>10)</sup>、最近 1,000 年間で比較的高い噴出率でマグマ噴火が起こっていたこ

となり、防災上も重要な事象となる可能性がある。以上のことから、At-b テフラとその給源火口については検討が必要であると考えられる。

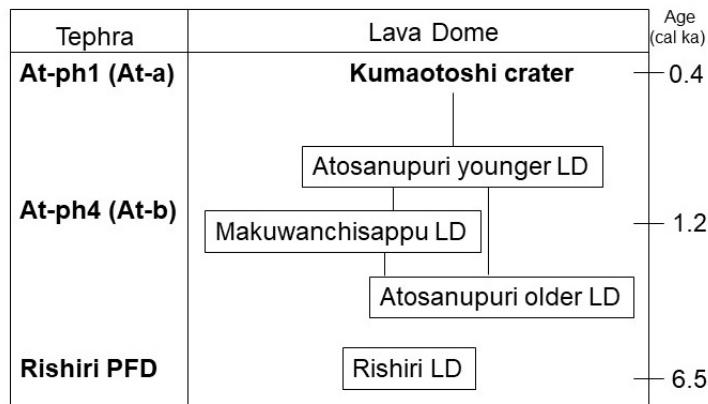


図 7. 従来の研究に基づく、過去 6,500 年間のアトサヌプリの噴火履歴。過去 6,500 年間で最大の At-b については、給源火口が明らかになっていない。テフラ名については長谷川・他<sup>9)</sup>による。

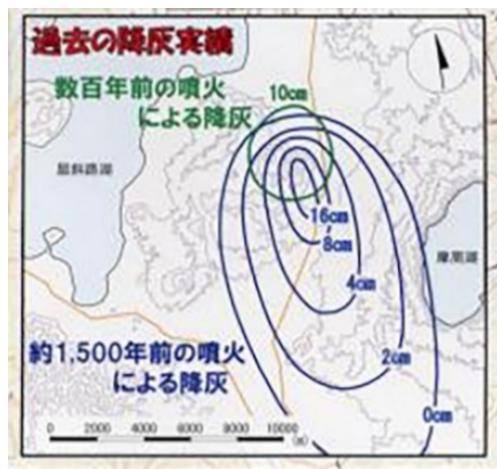


図 8. アトサヌプリハザードマップ<sup>10)</sup>にある At-b (青線) と At-a (緑線) のアイソバッタ・マップ。

#### ○熊落とし火口形成時期の再検討

図 9 には代表的な露頭の写真、図 10 には対比柱状図を示した。熊落とし火口から約 300 m の火口近傍の A 地点では、At-b (At-ph4) は、層厚 50 cm 以上となり、最大で径 20 cm に達する岩片を多く含む凝灰角礫岩層となる。そして火口の北東の約 1 km 前後の B および C 地点でも (図 10)、その層厚は 40 cm 以上ある火山礫凝灰岩層となる。一方、At-a (At-ph1) は B・C 地点での層厚は 10 cm 以下であり、熊落とし火口に近い A 地点でも明瞭なテフラ層とは認識することは困難で、表層の土壤層中で白色火山灰まじりの土壤層として認識される程度である (図 10)。この 2 つのテフラの層厚と構成物の粒径の変化を考えると、At-b は熊落とし火口を起源とすると考えられるが、それに対して At-a は熊落とし火口を形成したテフラとは考えられず、ごく小規模のテフラであり、給源火口は不明である。

さらに A 地点での At-b 中の岩片の鏡下観察および全岩化学組成の検討から、溶岩ドームとの対比を行った。新期アトサヌプリ溶岩ドームは、それに先行する古期アトサヌプリ溶岩ドームやマクワンチサップ溶岩ドームと比べると、石英斑晶を含む点と全岩  $\text{SiO}_2$  含有量が多い点で区別される。At-b (At-ph4) 中の岩片は石英斑晶を含み、またその全岩組成は新期アトサヌプリ溶岩ドームと一致する（図 11）。従って、At-b は新期アトサヌプリ溶岩ドームに火口を形成する噴火の産物と判断でき、熊落とし火口を形成したとの結論と調和的である。

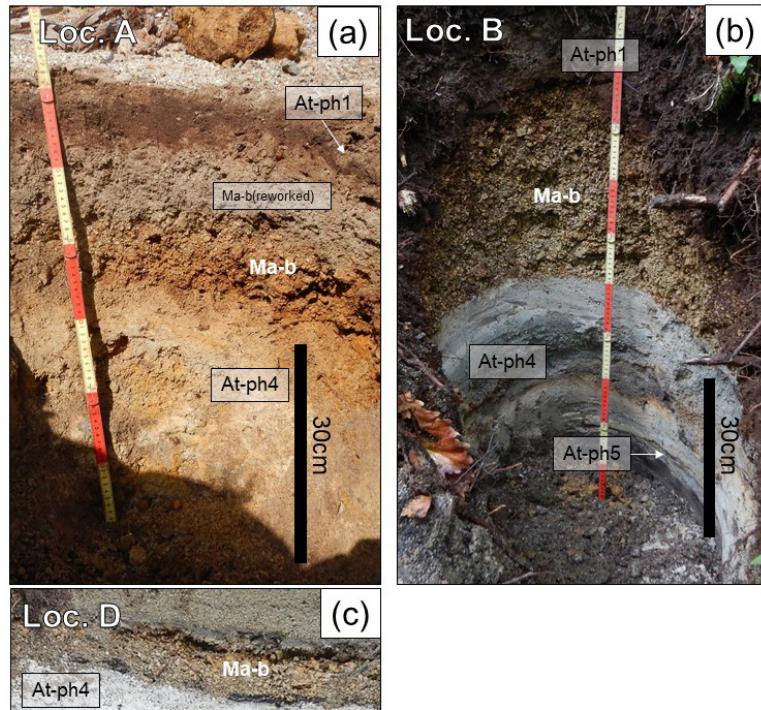


図 9. Loc. A、B および D (図 6) の露頭写真。

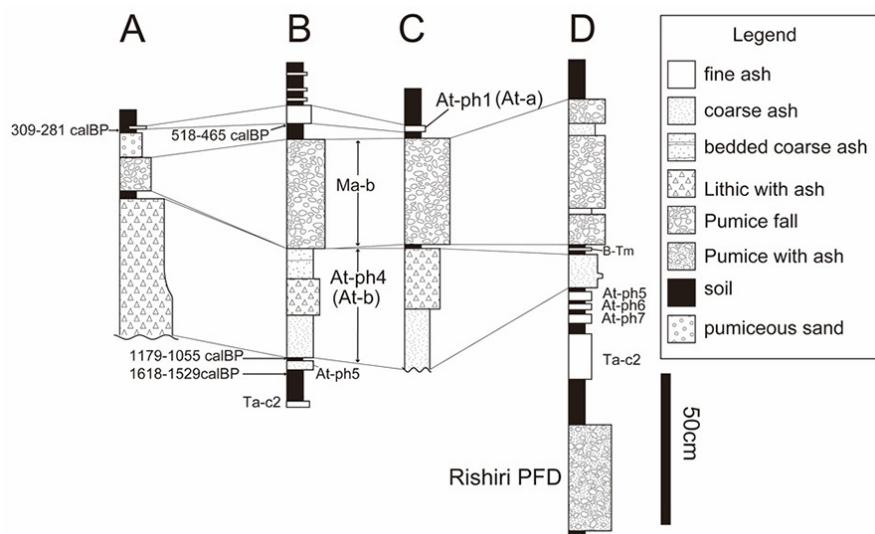


図 10. 新期アトサヌプリ溶岩ドーム周辺地域でのテフラ対比柱状図。A～D 地点は図 6 に示す。

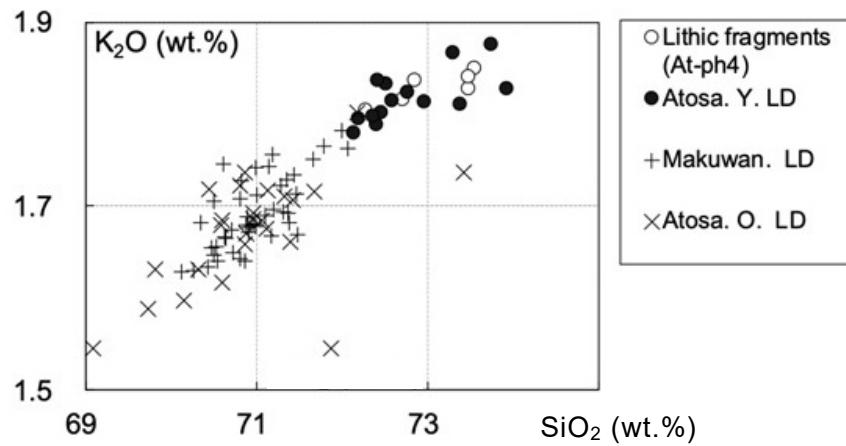


図 1-1. リシリ溶岩ドームより新しい溶岩ドームと At-b (At-ph4) テフラ中の岩片の  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$  図。

#### ○過去 6,500 年間の噴火履歴

今回の検討によって明らかになった、約 6,500 年前のリシリ溶岩ドーム形成以降の活動史を図 1-2 に示した。それによると約 1,200 年前までの 5,000 年間に、古期アトサヌプリ、マクワンチサップそして新期アトサヌプリの 3 つの溶岩ドームが形成されている。その後半の約 2,500 年前からは水蒸気噴火も並行して発生するようになったようで、Atph7~5 の 3 層のテフラが確認されている<sup>9)</sup>。そして最大の水蒸気噴火によって熊落とし火口が形成された。その後は At-a を含めて 3 層のテフラが報告されているが、いずれも小規模な水蒸気噴火である。これらは新期アトサヌプリ溶岩ドームでの噴気活動として現在も継続していると考えられる。

今回の検討によって、過去 6,500 年間の噴火活動の変遷は以下のようにまとめられる。まず前半では非爆発的なマグマ噴火により溶岩ドームを形成し、約 2,500 年前からは水蒸気噴火も起こるようになり、1,200 年前に水蒸気噴火としては最大規模の噴火が起り、熊落とし火口が形成された。その後は、マグマ噴火は発生せず、ごく小規模な水蒸気噴火が散発している。

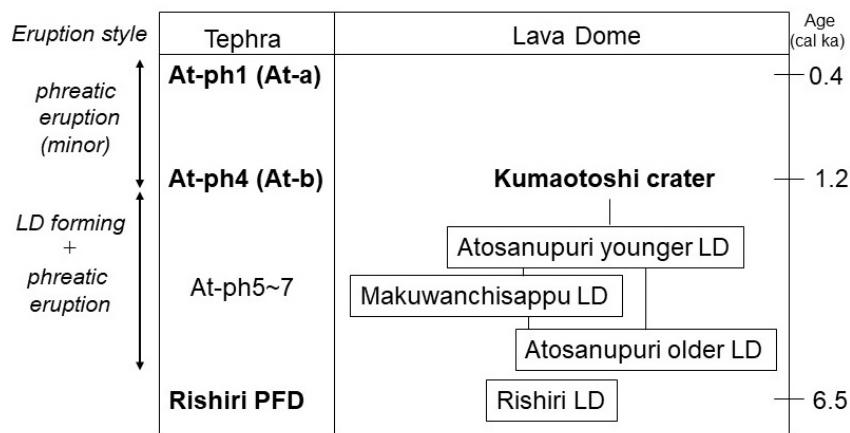


図 1-2. 本研究による過去 6,500 年間の噴火履歴と噴火様式の変遷。

b) 雌阿寒岳：トレンチ掘削調査および野外調査に基づく噴火活動履歴の解明（北海道教育大学旭川校・産業技術総合研究所・北海道大学）

#### ○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<sup>11)</sup>。しかし、各ステージを特徴付ける堆積物について、山頂部と山麓部での対比が十分ではなく、また分布についても十分には明らかになっていない。我々は 2018 年度から通常の地質調査に加え、人力トレンチおよび重機トレンチ調査を行い、<sup>14</sup>C 年代値を基に 14,000 年前以降の噴火活動の再検討を行っている。2020 年度は通常の地質調査に加え、重機トレンチ調査（2 地点）を行った（図 1-3）。2020 年度に新たに出了した<sup>14</sup>C 年代値を追加し、噴火活動の再検討を行ったので報告する。

#### ○調査結果

2020 年度調査では堆積物に挟在する土壌および炭化木片の合計 6 試料から<sup>14</sup>C 年代値を得た（表 1）。また、重機トレンチ調査で得られた地質柱状図に<sup>14</sup>C 年代値を含めたものを図 1-4 に示す。噴出物の層序は、これまで得られたとほぼ同じだが、20ME-1 地点（図 1-3 (b)）では、これまで認識していなかった土石流堆積物を確認することができた。

#### ○調査結果から推定される噴火活動

2020 年度の調査結果から特に中マチネシリ I と最近 1,000 年間の噴火活動について新たな知見が得られたので以下に記す。

中マチネシリ I の噴火活動 中マチネシリ I は火碎流堆積物と降下火碎物からなっている。2019 年度の調査では、和田・他<sup>11)</sup>と対比できる露頭の下部の火碎流堆積物中の炭化木片から 13,991 calBP-13,745 calBP の<sup>14</sup>C 年代値が得られており、中マチネシリ I の活動は約 14,000 年前に生じた結論づけた。今年度、中マチネシリ I と対比できる露頭で土壌を挟んで異なる火碎流堆積物を認識した。その土壌の<sup>14</sup>C 年代値は 12,485 calBP-12,096 calBP であり（表 1 の 20091601CH2）、土壌より上部の火碎流堆積物は約 12,000 年前の噴火イベントによって堆積したことが分かった。

最近 1,000 年間の噴火活動 阿寒富士の堆積物の上に数枚の火山灰層が存在し、それらはポンマチネシリ起源の堆積物だと判断できた。それらは 3 層に分けられ、下部から Pon-1・Pon-2・Pon-3 とした。Pon-1 には広域火山灰 Ma-b が含まれることから約 1,000 年前の噴火であり、Pon-2・Pon-3 はそれぞれの堆積物の直下の土壌の<sup>14</sup>C 年代値から、約 700 年前、約 400 年前の噴火と判断した<sup>12)</sup>。2019 年度の調査で、火口から北西 5 km の山麓で、地上から比較的浅いところに火碎流堆積物を見出し、その直下の土壌から 693 calBP-660 calBP の年代値を得た。年代値としては、Pon-2 に対比でき、その時期に北西方向に火碎流を流下した可能性が示された<sup>13)</sup>。また、今年度の重機トレンチ調査の 20ME-1 地点（図 1-3）で、約 400 年前を示す土石流堆積物を確認できた（表 1・図 1-4）。この年代値は Pon-3 に対応しており、火山活動に誘発される土石流であった可能性もあり、防災上も

重要な知見となった。

### ○まとめ

2020年度調査では、2地点で新たに重機トレーニングを行った。これまで認識していた層序とほぼ同じであるが、20ME-1地点からは約400年前の土石流堆積物を認識することができた。雌阿寒岳全体の噴火史については、今後岩石学的検討を加え、さらに詳細に検討する予定である。

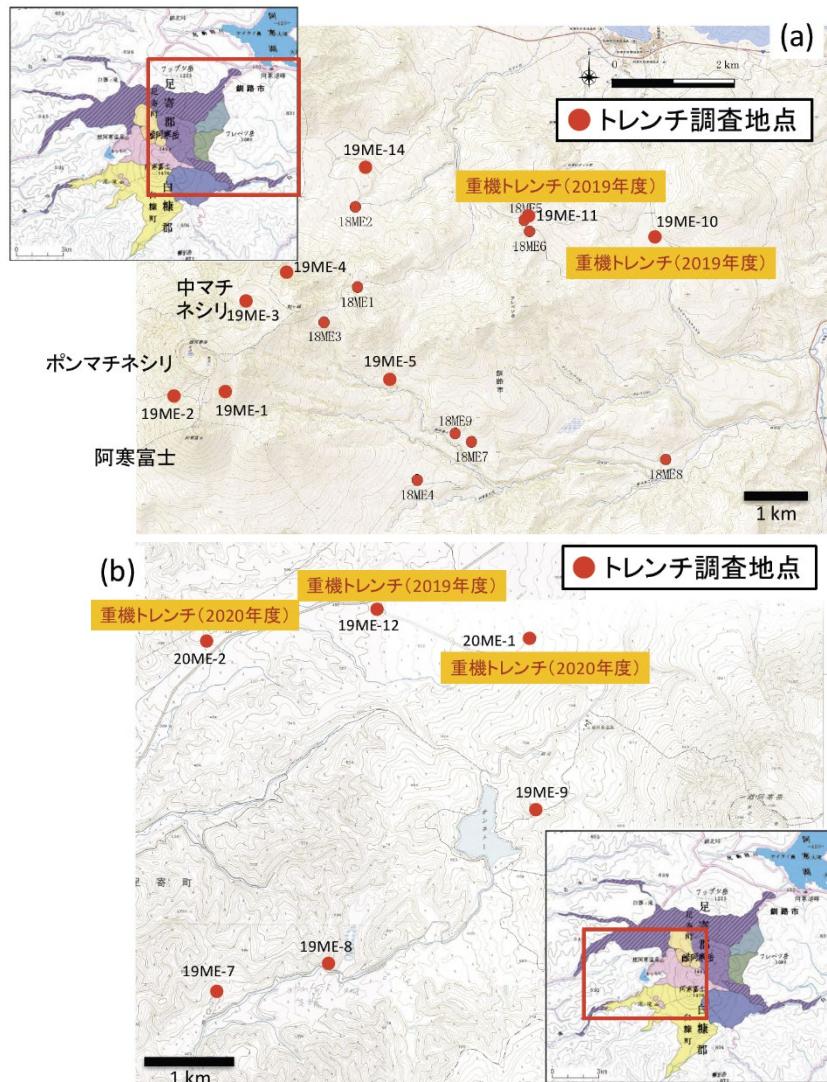


図13. 2018年度(18ME～)、2019年度(19ME～)および2020年度(20ME～)の人力および重機トレーニング調査地点。(a) 山頂部および東山麓、(b) 西山麓。

表1. 雌阿寒岳における<sup>14</sup>C年代測定結果。主な試料採取層序は図13参照。

Sample No.	Sample type	Libby Age (yrBP)	pMC (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Calendar age (2 $\sigma$ )
20ME01-C0	charcoal	160±20	98.03±0.27	-25.60±0.22	284calBP-251calBP (16.4%) 229calBP-167calBP (35.1%) 155calBP-136calBP (9.8%) 116calBP-65calBP (13.0%) 41calBP-... (21.2%)
20ME01-C1	charcoal	310±20	96.18±0.25	-30.12±0.21	452calBP-350calBP (75.4%) 336calBP-306calBP (20.1%)
20ME01-C2-1	charcoal	330±20	95.92±0.26	-26.81±0.19	465calBP-313calBP (95.4%)
201890301X1	charcoal	12260±40	21.73±0.11	-24.50±0.22	14781calBP-14730calBP (4.1%) 14330calBP-14065calBP (91.4%)
20091601CH2	soil	10410±40	27.37±0.13	-27.11±0.20	12585calBP-12549calBP (3.4%) 12485calBP-12096calBP (89.8%) 12085calBP-12058calBP (2.2%)
KW71201X	charcoal	9970±30	28.90±0.12	-25.03±0.15	11682calBP-11677calBP (0.4%) 11614calBP-11524calBP (17.5%) 11507calBP-11263calBP (77.5%)

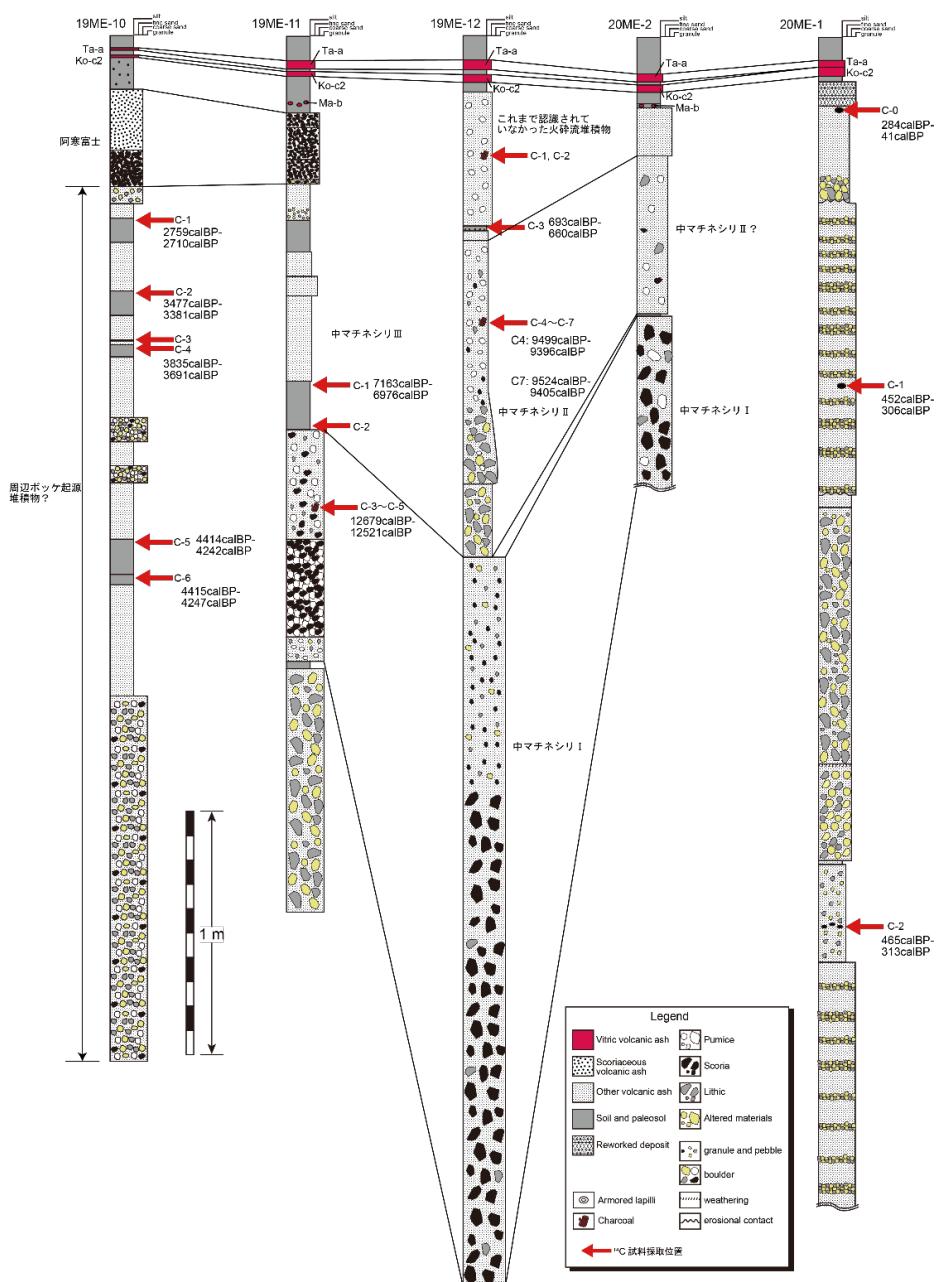


図14. 重機トレンチ調査地点の地質柱状図。

○はじめに

北海道中央部に位置する十勝岳火山群は、標高 1,400-2,000m の複数の成層火山体および溶岩ドームからなる火山群である。最近 5,000 年間は十勝岳の北西火口域において活動が継続し<sup>14)15)16)</sup>、20 世紀に 3 回のマグマ噴火を起こしていることから将来噴火が懸念されている。一方でその十勝岳の南部には「ヌッカクシ火口」<sup>16)</sup>が存在する(図 15)。この火口の活動履歴については、過去数千年間に水蒸気噴火があったことが指摘されている<sup>17)18)</sup>以外は不明な点が多く、今後の課題とされている<sup>16)</sup>。そこで我々は、ヌッカクシ火口周辺の活動履歴を明らかにするために、赤色立体地図による地形観察および野外調査を実施し、ヌッカクシ火口域全体の活動履歴を明らかにしたので、報告する。

○ヌッカクシ火口域周辺の地形

ヌッカクシ火口は、十勝岳北西火口域のような明瞭な火口地形は示さず、崩壊・侵食が進んでいる(図 15)。ヌッカクシ火口の周辺には、崩壊地形と思われる三峰山北火口および振子沢火口が隣接している。被覆関係をみると、この三峰山北火口を覆うように三段山溶岩類が分布し、それらを切るようにヌッカクシ火口および振子沢火口が存在している。これら火口内では、崩壊に伴う斜面地形が主体である。また、ヌッカクシ火口の西側のヌッカクシ富良野川沿いおよび三段山北斜面には明らかに新鮮な崩壊地形が認められる。さらに、三段山西山麓および上富良野岳山頂付近に明瞭な噴火口地形も確認できる。

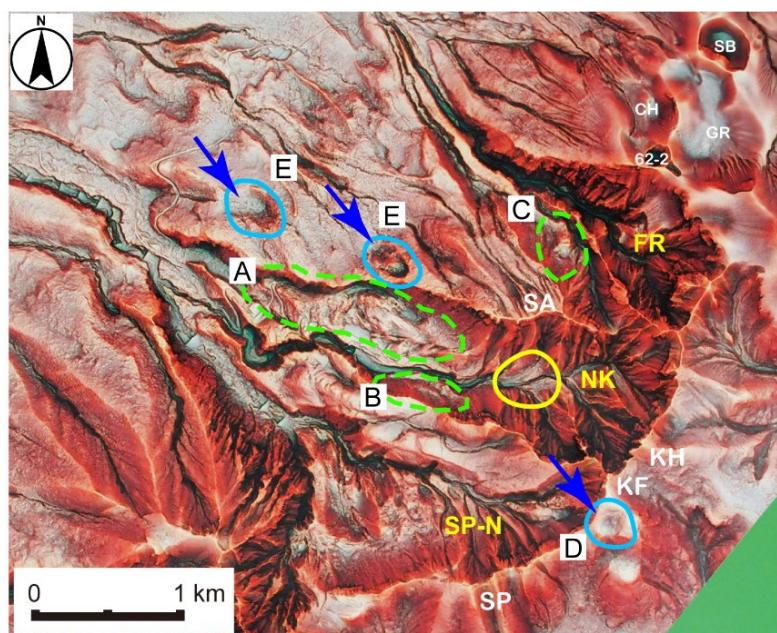


図 15. ヌッカクシ火口域の赤色立体地図 (アジア航測株式会社制作・国土交通省北海道開発局旭川開発建設部治水課提供)。SA: 三段山、KH: 上ホロカメットク山、KF: 上富良野岳、SP: 三峰山、FR: 振子沢火口、NK: ヌッカクシ火口、SP-N: 三峰山北火口、GR: グラウンド火口、CH: 中央火口、SB: 撃鉢火口、62-2: 62-2 火口。矢印は火口地形を、緑(破線)は流れ山地すべり地形を、黄色(実線)は現在のヌッカクシ火口内の噴気地帯の中心部を示す。

## ○テフラ層序

ヌッカクシ富良野川沿い、三段山登山道沿いおよび上ホロカメットク山登山道沿いについて、野外調査を実施した。その結果、完新世のテフラを 11 層確認することができた（図 16）。それらのうち、ヌッカクシ火口域由来と判断されたものは 8 層である。この 8 層について、下位から NK-1 から NK-8 と命名し、下位よりその概要を記述する。

**NK-1（模式地：地点 15）** 上ホロカメットク山登山道沿いに分布しており、模式地の地点 15においては、層厚約 60 cm 以上の降下火碎物および火碎流堆積物の互層として観察される（図 17(a)）。NK-1 は岩相や粒径の違いから、下位より降下火碎物ユニット・火碎流堆積物ユニット・降下火碎物ユニットの 3 つのサブユニットに区分される。全てのユニットでスコリア（および軽石）が確認できるが、火碎流堆積物ユニットにはこぶし大サイズで含まれる特徴がある。直上の土壌から、6,655-6,486 calBP（曆年較正年代  $2\sigma$ ：以下同じ）の放射性炭素年代値が得られていることから、完新世の活動（約 7,000 年前程度）であると考えられる。本層は新鮮なマグマ物質が比較的多く含まれることから、マグマ噴火またはマグマ水蒸気噴火による降下火碎物および火碎流堆積物であると考えられる。本層に含まれるスコリア・軽石は、直方輝石単斜輝石かんらん石玄武岩～安山岩であり、全岩化学組成は十勝岳北西火口域のマグマ物質のいずれとも一致しない。分布および推定噴出年代を考えると、本層の給源はヌッカクシ火口域の南部（ヌッカクシ火口または上富良野岳火口）である可能性が高い。

**NK-2（模式地：地点 17）** 上ホロカメットク山登山道沿いに分布しており、模式地の地点 17において、NK-1 の再堆積層の上位に約 25 cm の土壌を挟んで約 40 cm の厚さで堆積している白色～褐色の火山灰層および火山礫層の互層である。NK-2 は粒径および構成物の違いより、4 枚のサブユニットに区分される。下位より白色粘土質火山灰層、側方向への層厚変化や斜交層理が認められる灰色火山灰層、粘土質火山灰が粒間を埋める 2 層の褐色火山礫層である。構成物は、上位になるほど変質岩片が減少し黒色弱変質岩片およびスコリアが増加する。このスコリアは、直方輝石単斜輝石かんらん石玄武岩質安山岩であり、NK-1 中のスコリアと類似している。直下の土壌の放射性炭素年代値は、3,830-3,642 calBP である。粘土質火山灰が粒間を埋めていること、少量のスコリアが含まれることから、マグマ水蒸気噴火による降下火碎物および火碎サージ堆積物であると判断される。ヌッカクシ火口に近い方が厚くなっていることから、ヌッカクシ火口が給源であると考えられる。

**NK-3（模式地：地点 2）** 三段山登山道沿いの標高 1,100 m より低い地点で認められた白色火山礫凝灰岩層である。本層は、基質支持構造を示し、模式地では粒径の違いにより 5 枚のサブユニットに区分される。構成物は、亜角礫の白色変質岩片が大半を占めており、新鮮な岩片やガラス片は認められない。基質は白色～黄褐色粘土質シルトからなる。地点 1・2において、直下の土壌より 2,850-2,755 calBP および 2,935-2,780 calBP の放射性炭素年代値が得られている。白色変質岩片を主体とする基質支持の堆積物であることから、水蒸気噴火によるラハール堆積物（火山泥流堆積物）であると考えられる。噴火年代は約 2,810 年前と推定され、既知の北西火口域由来の堆積物に該当するものは報告されていない。振子沢火口に近い地点で層厚が厚くなることから、振子沢火口付近を起源とする堆積物であると推測される。

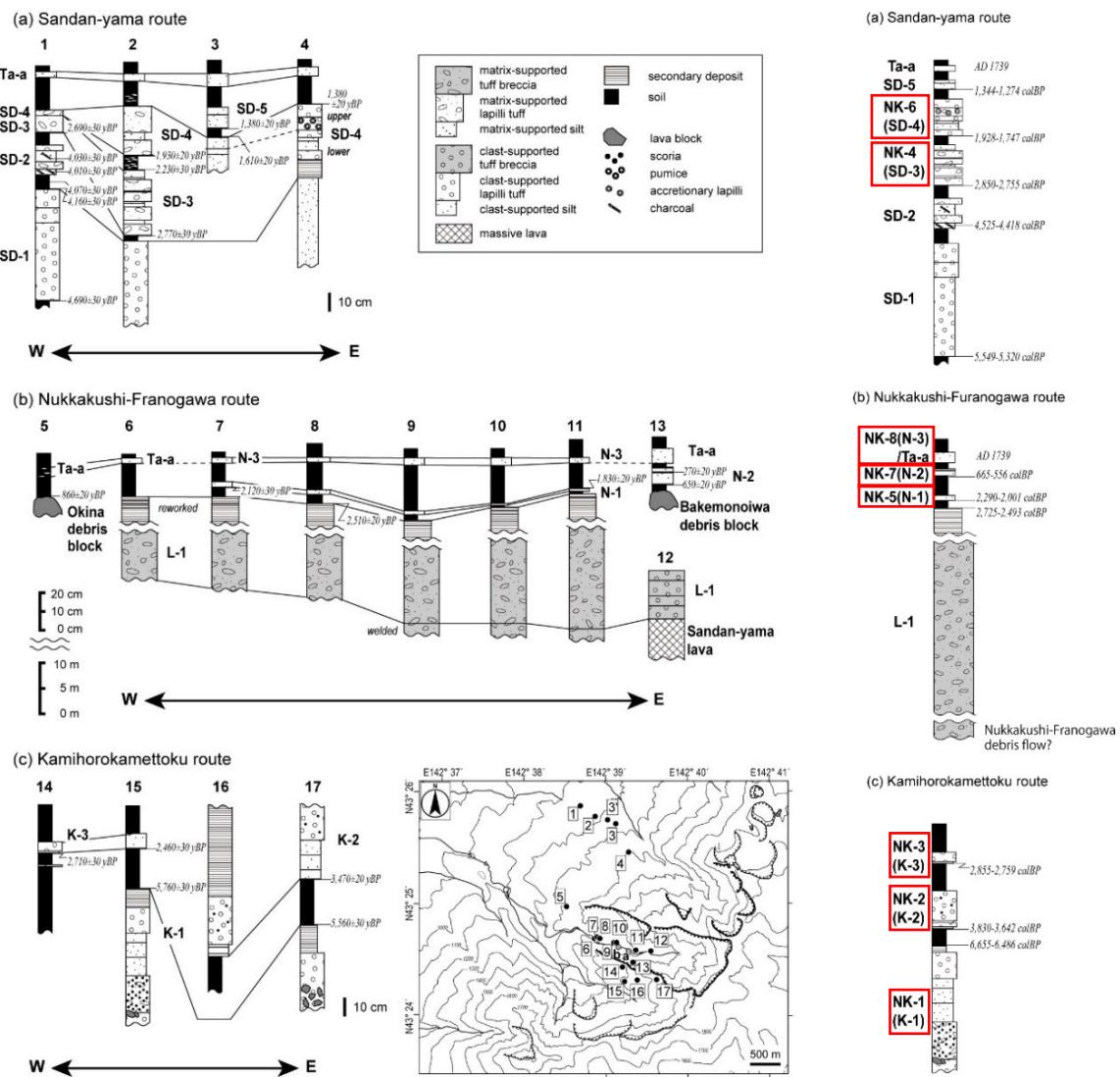


図1-6. 本研究によるヌッカクシ火口域周辺のテフラの対比柱状図(左)と総合柱状図(右)。

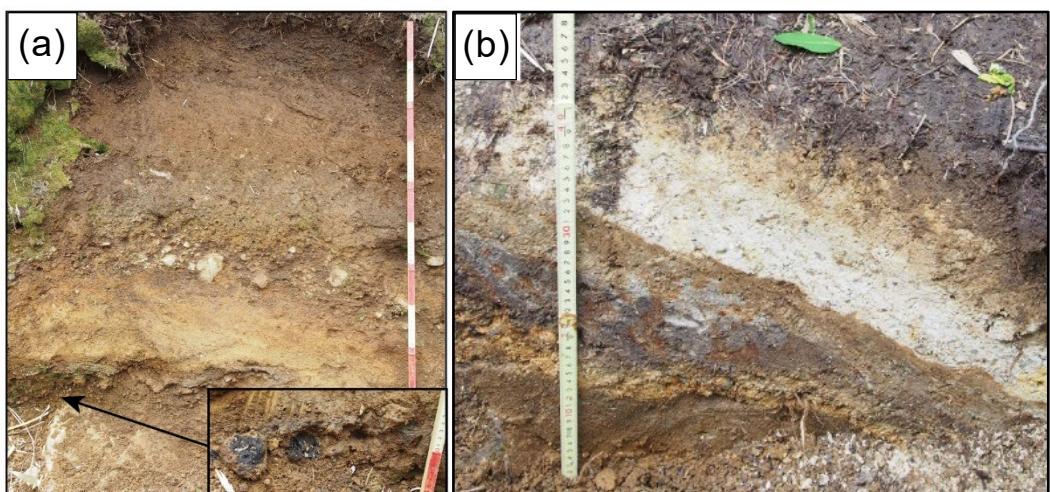


図1-7. 代表的なテフラの露頭写真。(a) NK-1 テフラ(約7千年前)、(b) NK-6 テフラ(約1.8千年前)。

NK-4 (模式地：地点 14) 上ホロカメットク山登山道沿いで、表層から約 20 cm 下位に認められる火山灰層である。本層は、下位の白色粘土質火山灰層と上位の褐色～灰色粘土質火山灰層からなる。いずれも淘汰がよく、白色～褐色変質岩片主体で粘土質火山灰にコーティングされている。直下の土壤から 2,855-2,759 calBP および 2,705-2,367 calBP の放射性炭素年代値が得られた。新鮮なマグマ物質を含まないことから水蒸気噴火による降下火山灰堆積物であると考えられる。給源は不明であるが、規模が小さいことから産出地点に近いヌッカクシ火口と考えるのが妥当である。

NK-5 (模式地：地点 7) ヌッカクシ火口遊歩道沿いに認められる白色粘土質火山灰層である。水平方向の連續性は悪く、レンズ状に連なる産状が多い。模式地の地点 7 では層厚 3 cm で、ヌッカクシ火口に近づくにつれ、薄くなる傾向がある。構成物は白色変質岩片が主体で、マグマ物質は含まれない。直下および直上の土壤から、それぞれ 2,154-2,004 calBP および 1,824-1,708 calBP の放射性炭素年代値が得られている。これらの産状より、NK-5 は水蒸気噴火による降下火山灰堆積物であると考えられる。地点 7 付近で粗粒になり層厚も大きくなること、三段山西麓には明瞭な噴火口地形が確認できることから、この火口が給源である可能性は高い。

NK-6 (模式地：地点 4) 三段山登山道沿いで確認される色調の異なる火山礫凝灰岩層および火山灰層の互層であり、模式地（地点 4）では累層厚約 30 cm で堆積している（図 17 (b)）。本層は火山灰層の色調から大きく 2 つのユニットに区分できる。下部ユニットは、下位より黄褐色火山礫層、灰色火山礫層、灰色シルト質火山灰層、そして褐色火山灰層の 4 層から構成され、いずれも礫支持構造を示す。上部ユニットは、下位の白色火山礫凝灰岩層と上位の褐色火山礫凝灰岩層の 2 層からなり、下位層には火山豆石が特徴的に含まれる。振子沢火口に近い地点 3・4 では、下部および上部ユニットの各層は淘汰が良く、礫支持構造を持つ。一方、振子沢火口から離れた地点 1・2 においては、上部ユニットのみ観察され、基質支持の白色～褐色火山礫凝灰岩層に変化する。下部ユニットは、最下層の黄褐色火山礫層ではごく僅かにスコリアが認められる程度であるが、その上位の灰色火山礫層ではスコリアの割合が増加する。上部ユニットでは、下位の白色火山礫凝灰岩層は白色変質岩片が殆どでありスコリアやガラス片は認められないが、上位の褐色火山礫凝灰岩層になると、ごく僅かにスコリアが含まれる。直上の土壤から、1,535-1,412 calBP および 1,343-1,277 calBP、直下の土壤から 1,928-1,747 calBP の放射性炭素年代値が得られている。これらの特徴から、下部ユニットはマグマ水蒸気噴火による降下火碎物、上部ユニットは水蒸気爆発からマグマ水蒸気爆発へと推移した活動による降下火碎物であると判断され、地点 1・2 では上部ユニットがラハール堆積物へ変化していると解釈される。本層は、東になるほど層厚が厚くなることから、振子沢火口付近ないし北西火口域に由来する堆積物であると考えられる。噴火年代を考慮すると、藤原・他<sup>14)</sup>によって東山麓のみで確認された水蒸気噴火による火山灰層 Tk-3（白色火山灰層）に相当する可能性がある。この場合、Tk-3 は NK-4 の上部ユニットの白色火山礫凝灰岩層に対比されると考えられる。Tk-3 は北西火口域の近傍堆積物が観察されていない<sup>14)</sup>。従って、NK-4 は振子沢火口およびその周辺を給源とする水蒸気噴火およびマグマ水蒸気噴火のテフラであり、その遠方層が Tk-3 であると考えると矛盾はない。

NK-7 (模式地：地点 13) ヌッカクシ火口遊歩道から上ホロカメットク山へ向かう登山

道沿いで確認された土壤混じりの淡灰色火山灰層である。ここでは、厚さ 5 cm の土壤を挟んで地すべり堆積物の上位に認められる。構成物は、亜角礫の白色～褐色変質岩片主体であり、マグマ物質は認められない。直下の土壤およびサブユニット間に介在する土壤から、それぞれ 601-559 calBP および 322-284 calBP の放射性炭素年代値が得られている。また、NK-4 の上位には層厚 2 cm の土壤を挟んで Ta-a テフラが堆積する。これらの特徴から、NK-7 は水蒸気噴火による降下火碎物であると考えられる。給源は不明であるが、規模が小さいことからヌッカクシ火口域由来と推測される。

NK-8 (模式地：地点 9) ヌッカクシ火口遊歩道沿いで表層から約 5-10 cm の位置に認められる白色～淡褐色火山灰層である。水平方向の連続性が良く、NK-5 とセットで観察されることが多い。模式地の地点 9において、厚さ 25 cm の土壤を挟んで NK-5 の上位に堆積する。最大層厚は 4 cm で、模式地から離れるにつれ細粒になり薄くなる。構成物は、主に無色ガラスが付着した遊離結晶と無色ガラス片からなり、その他に白色・褐色・灰色変質岩片が含まれる。なお、この火山ガラス片の化学組成は Ta-a テフラと一致する。これらのことから、NK-8 は水蒸気噴火による降下火山灰であると考えられる。その層厚変化より、NK-5 と同様に模式地近くの三段山西麓火口由来と推定される。

### ○十勝岳北西火口域の活動との比較

本研究で明らかになったヌッカクシ火口域の噴火活動履歴を図 18 にまとめる。ほぼ同時期にマグマ噴火を頻発させていた十勝岳北西火口域と比較すると、ヌッカクシ火口域の噴火時期は、ずれているようである。NK-1 (>6,570 calBP) と NK-2 (3,760 calBP) の噴火時期は、北西火口域のうちのグラウンド火口群の 2 回の噴火活動期 (4,610-4,840 calBP と 2,970-3,570 calBP) のちょうど間の時期にあたる。北西火口域では、グラウンド火口の活動の後 (約 3,000 calBP)、擂鉢・北向火口でのマグマ噴火活動 (本研究の対比に従うと、約 1,310 calBP) まで 1,000 年以上の間隙が想定されている。藤原・他<sup>14)</sup>が北西火口域起源とした Tk-3 が、本研究で推定したようにヌッカクシ火口域で発生した NK-6 と対比できるとすれば、北西火口域でマグマ噴火が低調あるいは発生していない時期に、ヌッカクシ火口域では 2,810-1,840 calBP の時期に水蒸気噴火とマグマ水蒸気噴火が起こっていたことになる。以上のように、北西火口域でのマグマの活動が低調な時期にヌッカクシ火口域でマグマ噴火が発生するという、交互に活動してきた関連性を指摘できる。

またヌッカクシ火口域では、約 1,800 年前の NK-6 の噴火の後、1,000 年以上の静穏な時期が続いた後に、約 600 年前にヌッカクシ火口 (NK-7) で、約 200 年前に三段山西麓火口 (NK-8) で小規模な水蒸気噴火が起きている。これらの水蒸気噴火に先駆けて、ヌッカクシ富良野川沿いで 2 回の地すべりが発生し (直上の土壤の炭素年代より推定)、約 200 年前には三段山北斜面でも発生した<sup>19)20)</sup>。18 世紀に NK-8 噴火と岩屑なだれが発生したことから、ヌッカクシ火口が「安政火口」という別名をもつようになったのかもしれない。

### ○まとめ

十勝岳火山群、ヌッカクシ火口域周辺の野外調査を実施した結果、ヌッカクシ火口域では、完新世に少なくとも 8 回の噴火が起きたことが明らかになった。その活動は、約 1,800 年前まではマグマを伴う活動であったが、その後はごく小規模な水蒸気噴火が 2 回起きて

いるのみである。このことから、ヌッカクシ火口域では火山活動度としては低下しているといえるかもしれない。しかしながら、約1,800年前以降に少なくとも3回の小規模な斜面崩壊・地すべりが発生している。前回の十勝岳のマグマ噴火の際にヌッカクシ火口域の温泉水に影響があったことを考慮すると<sup>21)</sup>、噴火活動が低調な時期であっても、熱水変質により山体が脆くなっており、山体・斜面崩壊を繰り返す特徴があると考えられる。

### ○謝辞

本調査を行うにあたり、現地自然保護官事務所、教育委員会、営林署の皆様にご協力いただいた。また、アジア航測株式会社および国土交通省北海道開発局旭川開発建設部治水課からは赤色立体地図をご提供頂いた。これらの方々に深く感謝いたします。

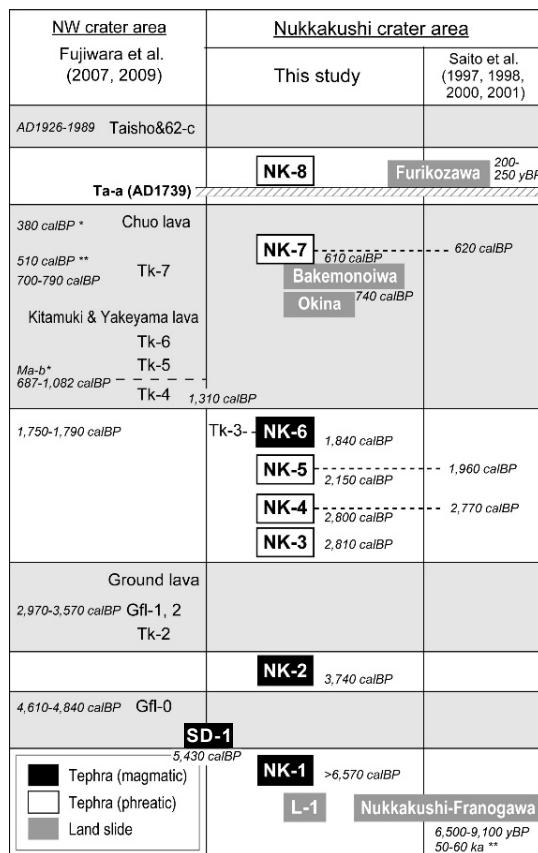


図18. ヌッカクシ火口域の完新世の噴火活動履歴のまとめ。十勝岳火山北西火口域の活動履歴と、従来の研究によるヌッカクシ火口域のテフラおよび岩屑なだれ堆積物も示している。\*: Katsui et al.<sup>22)</sup>、\*\*: 北海道防災会議<sup>23)</sup>。

d) 樽前山:揮発性成分組成からみる樽前山1667年噴火のマグマ溜まりの脱ガス現象（北海道大学）

### ○はじめに

樽前火山は、本プロジェクトにおいて重点火山に指定されている活火山である。これまで4回の大規模な噴火活動があり（9,000年前のTa-d、2,500~2,700年前のTa-c、1667年

の Ta-b、1739 年の Ta-a)、各噴火では  $0.1\sim1\text{ km}^3$  のマグマを噴出した<sup>24)</sup>。そのうち、1667 年の噴火は最大規模のプリニ一式噴火であった。現在、樽前の活動は火山性地震および噴気の活動にとどまっているが、地下にはまだなお高温のマグマが控えており、今後、1667 年噴火と同規模の噴火が再来する可能性が危惧されている。

昨年度は、1667 年噴火を対象とし、噴火前のマグマ溜まりの化学組成は均一組成であったことを明らかにした。本年度は、同噴火の噴火直前の揮発性成分の状態を明らかにすることを目指し、 $\text{H}_2\text{O}$  と  $\text{CO}_2$  の分析を行った。

## ○手法

樽前山の東南東 18 km の地点において、Ta-b 噴火の初期～後期までの噴出物を系統的に採取した。そして、斜長石斑晶中のメルト包有物を上下面に露出させた両面研磨薄片を作製し、マグマ変遷解析センターに導入されている顕微 FT-IR (JASCO IRT-5200VC) を用いてガラス中の  $\text{H}_2\text{O}$  および  $\text{CO}_2$  を分析した。

## ○結果

約 50 個のメルト包有物を分析した結果、 $\text{H}_2\text{O}$  濃度の値は 0.6~4.5 wt%、 $\text{CO}_2$  濃度は 0~150 ppm であった (図 1 9)。気液平衡を仮定した際の飽和圧力は、10~130 MPa であった (Liu et al.<sup>25)</sup>の溶解度則から推定)。

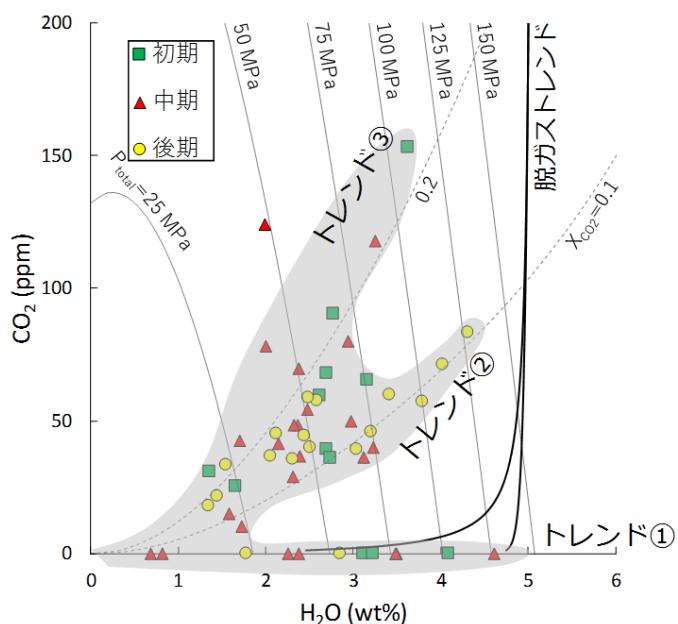


図 1 9. 樽前火山 1667 年噴火のメルト包有物中の  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{CO}_2$  濃度。

図 1 9において、データは 3 つの特徴的なトレンドを形成している。1 つ目は  $\text{CO}_2$  を含まず、 $\text{H}_2\text{O}$  のみを含むもの (トレンド①)、2 つ目はデータが  $\text{X}_{\text{CO}_2}=0.1$  の等組成線上におおよそ載るもの (トレンド②)、3 つ目は  $\text{X}_{\text{CO}_2}=0.2$  の等組成線上に載るもの (トレンド③)、である。トレンド①はマグマ溜まりの単純な脱ガス曲線 (図中の曲線) におおむね一致する。トレンド②と③は、脱ガス曲線に較べ  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比が高く、マグマ溜まりの中で自然に作ることができない。このようなトレンドは、深部から  $\text{CO}_2$  に富むガス ( $\text{X}_{\text{CO}_2}$  が高いガ

ス) がやってきて浅部マグマ内を連続的に流れる現象 ( $\text{CO}_2$  フラクシング) が起きたことを反映するものと考えられている<sup>26)</sup>。そのため、トレンド②と③は、それぞれ  $X_{\text{CO}_2}=0.1$  と 0.2 のガスのフラクシングが起きていたことを示唆する。以上から、1667 年噴火のマグマ溜まりでは、脱ガス現象が不均一に起きており、単純な脱ガスが起きていた部分、 $X_{\text{CO}_2}=0.1$  のガスのフラクシングが起きていた部分、 $X_{\text{CO}_2}=0.2$  のフラクシングが起きていた部分があったと考えられる(図 20)。

今後は、マグマ溜まりに注入されたガス量および、それによるマグマ溜まりの増圧の程度を推定し、1667 年噴火と  $\text{CO}_2$  フラクシングの関係を解明する。

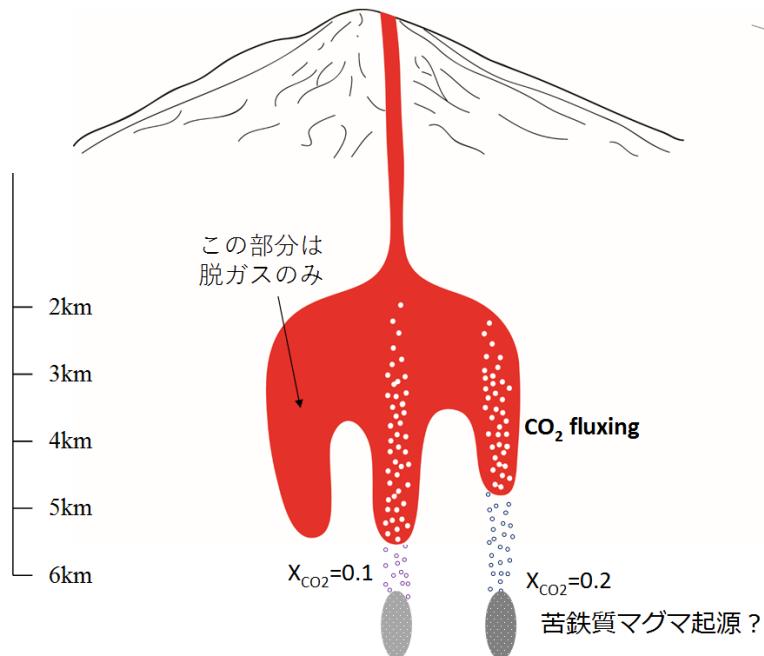


図 20. 樽前火山 1667 年噴火のマグマ溜まりの脱ガスモデル。

e) 羊蹄山：野外調査および山麓におけるトレンチ掘削調査による噴火史の再検討（北海道大学・電力中央研究所）

#### ○はじめに

羊蹄火山は、南西北海道中央部に位置する第四紀の成層火山（標高 1,898 m）である。本火山の火山活動は、これまでに山頂周辺の噴出物や山麓のテフラ層序・年代の研究により、少なくとも約 5 万年前～数千年前まで活動したことが明らかにされてきた<sup>27)28)</sup>。その後、Amma-Miyasaka et al.<sup>29)</sup>により、羊蹄火山起源と考えられる 7～8 万年前の火山灰層が東部石狩低地帯に存在することが報告されたため、山麓の火山灰層で対応するテフラ層の存在を検討し、羊蹄火山の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。そこで、2019 年度に羊蹄火山東麓で掘削調査を実施した結果、新たに羊蹄火山起源と考えられる複数枚の火山灰層が発見され、より下位にもテフラ層が存在しそうであった。2020 年度はさらに掘削を進めるとともに、新規に出現した露頭やこれまでアクセスが困難であった尻別川沿いの露頭調査を行った(図 21)。露頭調査に加え、記載岩石学的検討と

EPMA によるガラス組成分析を行った結果、最初期と考えられる羊蹄火山起源テフラを発見したので以下にその詳細を報告する。

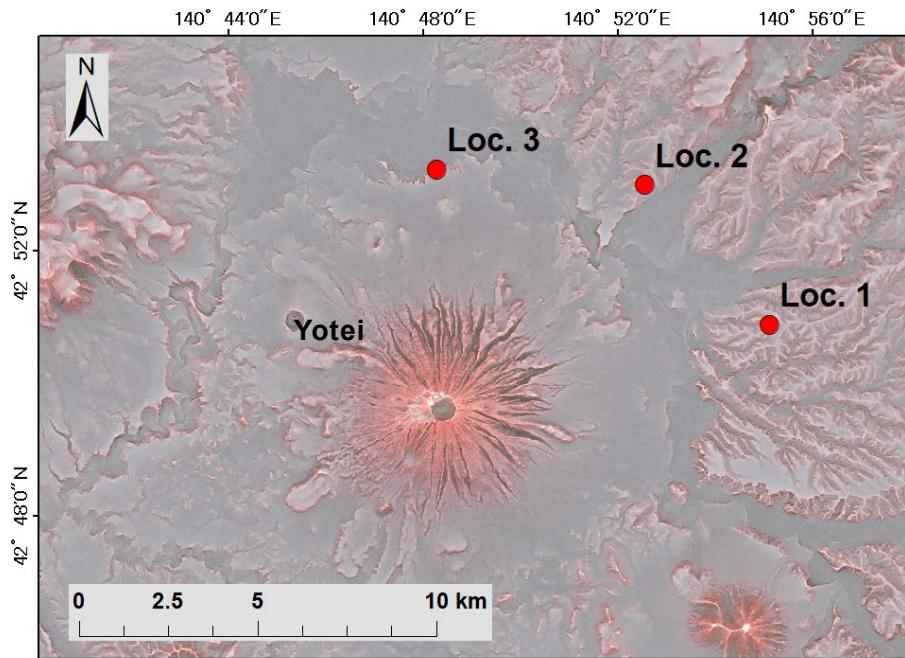


図 2 1. 掘削地点の位置。ベースマップの赤色立体地図は、国土地理院提供の 10 m DEM を用いてアジア航測（株）により作成された。

#### ○羊蹄火山東麓における掘削

地点 1 では、約 5~2 万年前までのテフラ層が露頭で観察される（図 2 2）。そこで、露頭の下部を掘削し、既知のテフラである Y43 より下位の噴出物を発見した。幅約 2 m、深さ約 5.5 m の掘削を行った結果、新たに明灰色～灰褐色の 8 枚の降下火砕物を認識した。最下位の YO-19-3-15 の下位は厚い土壌層で、火山灰層との境界から湧水があったため、これ以上の掘削は困難であった。記載岩石学的特徴（表 2）と EPMA によるガラス組成分析（図 2 3）により、このうち 6 枚が羊蹄火山起源（YO19-3-10~15）、2 枚が尻別火山起源（YO19-3-8, -9）<sup>29)30)</sup>と推定された（図 2 2・2 3）。

表 2. 地点 1 で見出されたテフラ層の記載岩石学的特徴。fa: 降下テフラ。pm: 軽石、oxp: 直方輝石、cpx: 単斜輝石、qz: 石英、bt: 黒雲母、hb: 角閃石、CR: 高結晶含有量、CP: 低結晶含有量。全てのテフラは斜長石を含む。

サンプル番号	層相	含有鉱物
YO19-3-8	ash fa	oxp, hb, qz>cpx, bt
YO19-3-9	CR? white pm fa	hb, oxp>cpx, qz (粗粒)
YO19-3-10	ash fa	(px>cpx>>qz
YO19-3-11	CP-CR? white pm fa	hb>cpx>>qz
YO19-3-12	CP gray, white pm fa	oxp>>qz
YO19-3-13	CP-CR white, band pm fa	oxp
YO19-3-14	CP gray pm fa	oxp
YO19-3-15	CP-CR white pm fa	hb>oxp, cpx

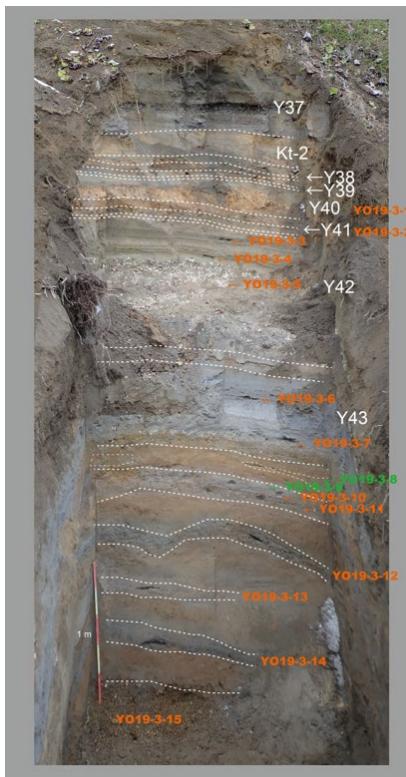


図22. 掘削地点1の写真。Y39~Y43は既知テフラ<sup>28)</sup>。YO19-3-1~15が採取したテフラのサンプル番号を示しており、オレンジで示したテフラが羊蹄火山起源、緑で示したテフラが尻別火山起源と考えられる。

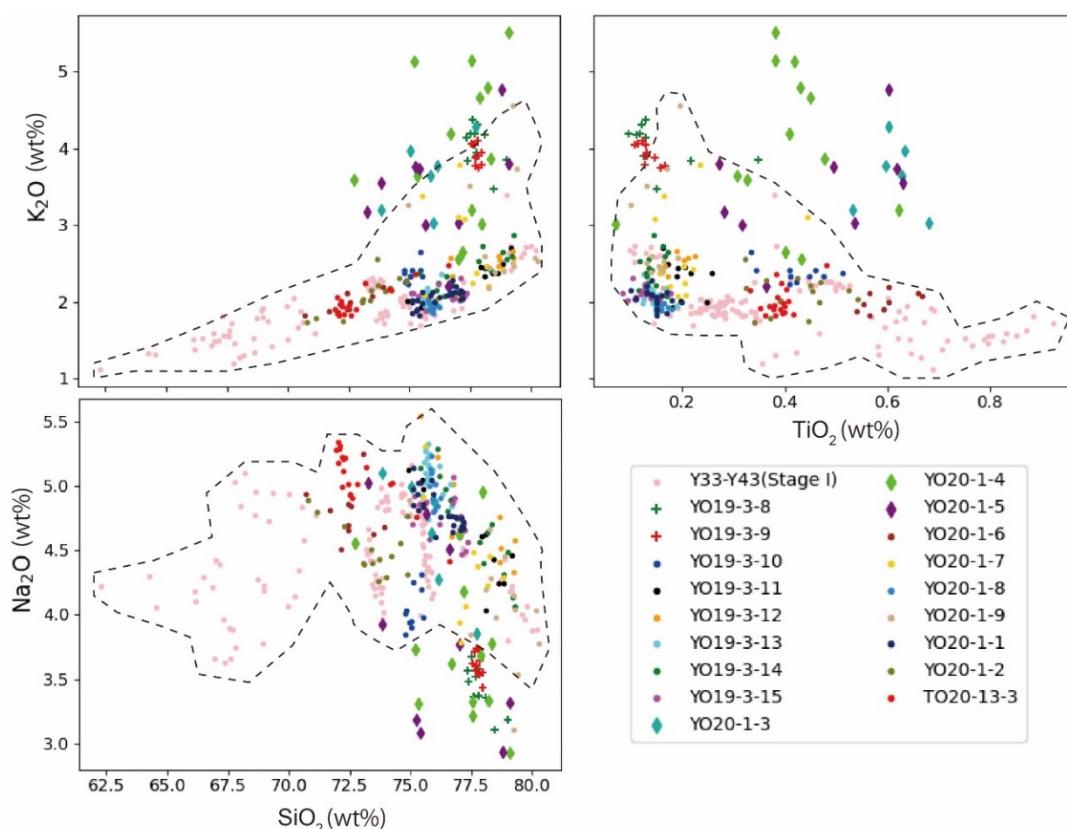


図23. 代表的なガラス組成のハーカー図。尻別火山起源と考えられるテフラ(+)は、K<sub>2</sub>Oに富み、Na<sub>2</sub>Oに乏しい。また、◊で示した他火山起源テフラと尻別火山起源テフラでは、組成領域が異なる。Y33~Y43のガラス組成は、Uesawa et al.<sup>28)</sup>より引用した。黒破線で囲った部分が羊蹄火山起源テフラのガラス組成領域である。

### ○羊蹄火山北～北東麓における露頭調査

地点 2 では、30 層以上の降下火山灰層が確認された（図 2 4）。本報告では、このうち Y38 より下位の火山灰層について報告する。この層準では、少なくとも 12 層の降下火山灰層が認められ、このうち 9 層が新発見のテフラである。ガラス組成分析の結果、YO20-1-3~5 は他火山起源、YO20-1-6~9・YO20-1-1~2 が羊蹄火山起源であると推定された。

地点 3 では、最下位に洞爺火碎流堆積物（約 10.9 万年前<sup>31)</sup>）が露出し、凝灰質土壌を挟んでこれを最大粒径 4~5cm、層厚約 60cm の発砲の良い白色軽石からなる降下軽石層（TO20-13-3）が覆う。さらに、細粒で青灰色を呈する砂質火山灰の再堆積層が白色降下軽石層を覆っており、最上位には、支笏火碎流堆積物（Spfl）起源の軽石の再堆積層<sup>28)</sup>が露出している（図 2 5）。洞爺火碎流堆積物を覆う軽石層は、斑晶にやや富み、斜長石、角閃石、直方輝石を含む。層相、記載岩石学的特徴およびガラス組成から、羊蹄火山起源と推定される。

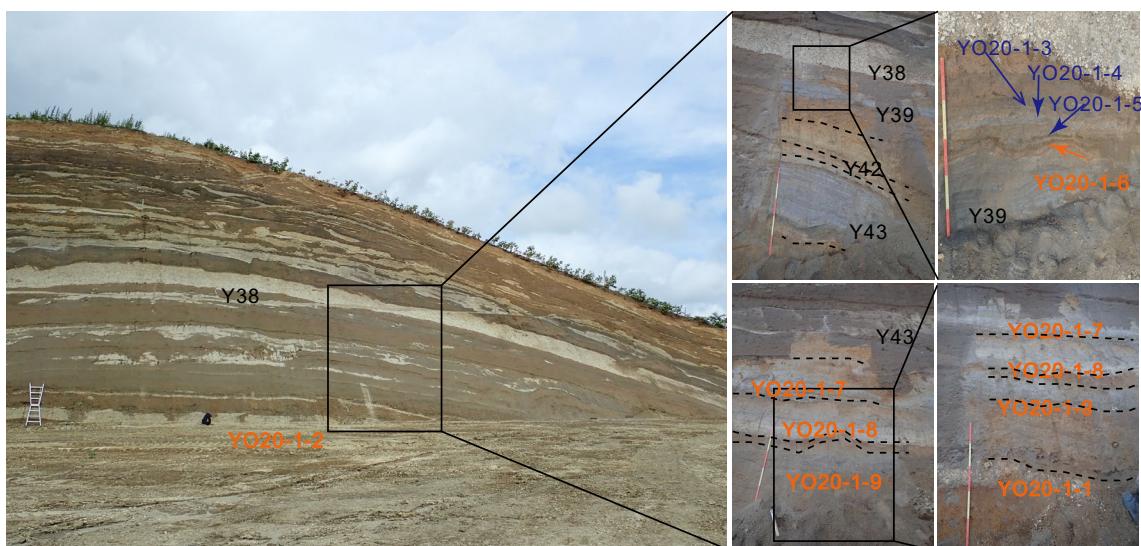


図 2 4. 地点 2 の露頭写真。黒文字が既知羊蹄火山起源テフラ、オレンジが羊蹄山起源テフラ、青が他火山起源テフラ。

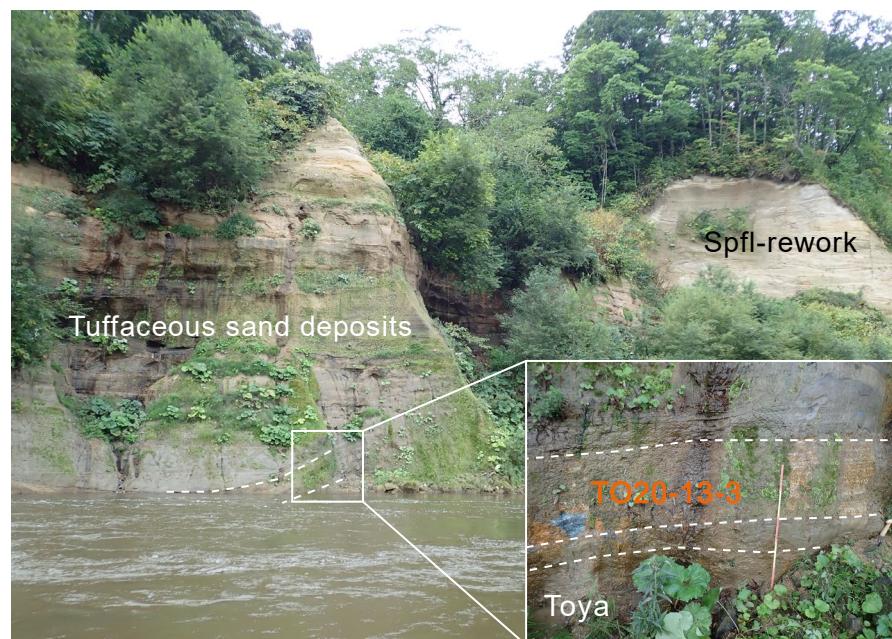


図 2 5. 地点 3 の露頭写真。オレンジが羊蹄火山起源テフラ。Toya: 洞爺火碎流堆積物。

### ○ガラス組成による露頭間の火山灰対比

既知テフラとの層位関係とガラス組成から、YO19-3-15 と YO20-1-1、YO19-3-14 と YO20-1-9、YO19-3-13 と YO20-1-8、YO19-3-12 と YO20-1-7 は矛盾なく対比できる。一方で、YO19-3-10 と YO19-3-11 は、いずれも YO20-1-6 と組成が大きく異なり対比できない。また、YO20-1-2 は、尻別川沿いの TO20-13-3 と組成領域が一致し、対比できる可能性がある。以上を整理すると、今回発見された羊蹄火山起源の降下火山灰は、Y43 より下位の層準で少なくとも 8 層存在することが分かった。

### ○噴出年代の検討

地点 1において、Y43 の下位に尻別火山起源のテフラ層が少なくとも 2 層確認された。尻別火山起源の火山噴出物は、ジルコンのフィッショントラック年代測定によって、Km-2 が約 13 万年前、Km-1 が約 7 万年前、山体が約 5~6 万年前と報告されている<sup>30)</sup>。羊蹄火山起源テフラ層の間に洞爺火碎流起源テフラが挟まれていないことから、YO19-3-8 と YO19-3-9 は Km-1 か尻別火山体形成に由来するテフラと考えられ、これらのテフラが存在する層位は、約 5~7 万年前と推定される。このことは、Y43 の約 5 万 4 千年前の噴火年代<sup>28)</sup>と矛盾しない。また、羊蹄火山近傍層において、大きな浸食間隙を挟まずに約 5~7 万年前の層準の下位にさらに羊蹄火山起源のテフラ層が存在することは、東部石狩低地帯において約 7~8 万年前の層準に羊蹄火山起源テフラ層が存在すること<sup>29)</sup>と整合的である。

### ○まとめ

2019 年度・2020 年度の羊蹄火山麓における掘削調査から、新たに少なくとも 7 層の羊蹄火山起源テフラと、3 層の他火山起源テフラ、2 層の尻別火山起源テフラを発見した。発見されたテフラ層の噴出年代は、既存文献値から約 5~10 万年前と推定される。今後は、さらに追加で地質調査を行うとともに、構成物や記載岩石学的特徴、化学組成分析を進め、詳細を検討していく予定である。

### f) 有珠山：ボーリング掘削調査および野外調査に基づく有珠山の善光寺岩屑なだれの発生年代の再検討（北海道大学）

有珠山は、約 2 万年前に活動を開始し成層火山体が形成された後に、山体崩壊が発生して長い休止期に入り、その後に西暦 1663 年から歴史時代活動期に移行した<sup>32)33)34)</sup>。歴史時代活動期については、噴火履歴や噴火様式に関して、最近も詳細な研究が行われ新たな知見が得られている<sup>35)36)</sup>。一方、それ以前の成層火山体形成期の詳細および山体崩壊の発生時期に関しては未だ不明な点が多い。その中でも山体崩壊の発生時期については、横山・他<sup>32)</sup>によって 7,000~8,000 年前と推定されて以来、多くの研究が行われている。最近では、Miyabuchi et al.<sup>37)</sup> および藤根・他<sup>38)</sup>が、岩屑なだれ堆積物上位にあたる湖沼堆積物の解析から、有珠山の山体崩壊の発生時期が 3~2 万年前である可能性を示した。また Goto et al.<sup>39)</sup>では、岩屑なだれ堆積物中の炭化木片の年代および直上に濁川カルデラ由来のテフラ (15 ka) が堆積している産状から、山体崩壊の発生時期は 16 ka であるとした。この

よう、これまでに多くの見解が示され混乱しているのが現状である。

本サブ課題では、有珠山の活動履歴、特に先歴史時代について明らかにするために、有珠山周辺の地表踏査および山麓でのボーリング掘削調査を実施してきた。令和2年度の成果を以下に報告する。

### i) 野外調査に基づく再検討

#### ○はじめに

上述のように、有珠成層火山体の崩壊によって発生した善光寺岩屑なだれについては論争中であり、その年代は 30 ka から 16 ka までに及ぶ<sup>37)38)39)</sup>。これら最近の研究は岩屑なだれを覆うテフラ層の検討によるものであるが、そのテフラ対比は火山ガラスの屈折率に基づいており、再検討が必要と考えられる。

本研究では、善光寺岩屑なだれ分布域および周辺地域の地表踏査を行い、分布するテフラを記載した(図 2 6)。そしてテフラを含む土壤の年代測定と、テフラの火山ガラスの化学組成を決定した。ここでは特に重要な露頭として、伊達市のアルトリ岬(A 地点)の岩屑なだれを覆う土壤層と上館山の B 地点における検討結果について報告する。

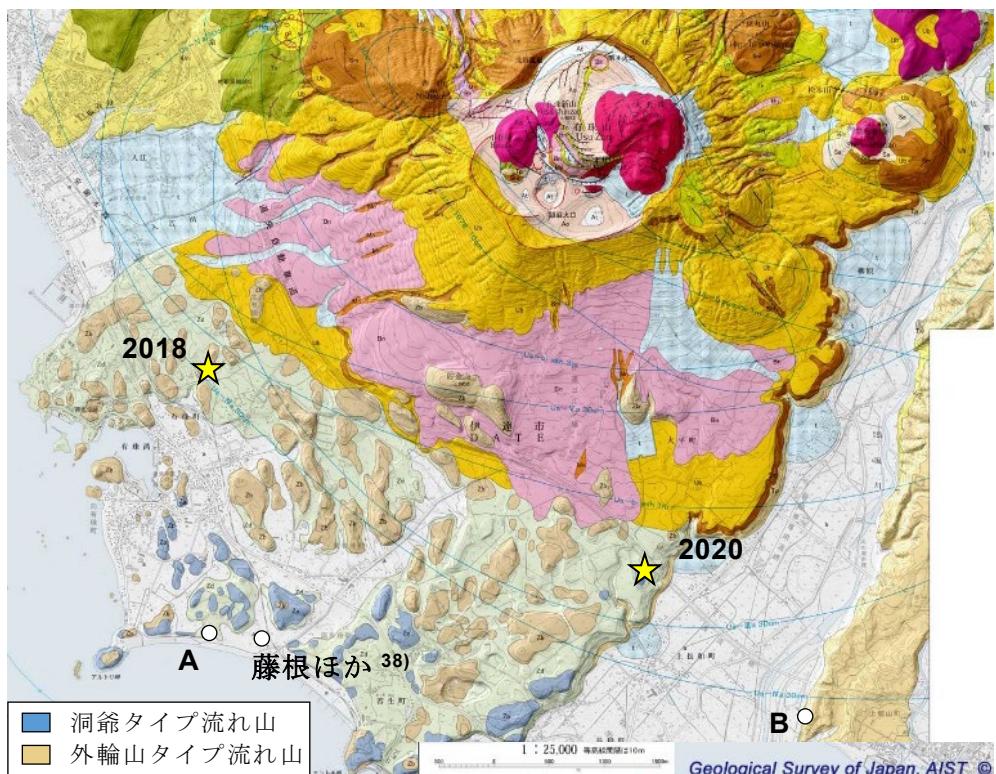


図 2 6. 有珠山周辺の代表的な調査地点(○)とボーリング掘削地点(☆)。地図は曾屋・他<sup>34)</sup>の火山地質図。A 地点: アルトリ岬、B 地点: 上館山。山体南西部には善光寺岩屑なだれが分布する。流山は成層火山体の破片(外輪山タイプ)と基盤の洞爺火碎流の露頭の破片からなり、後者は B 地点に近い地域に分布する。

#### ○アルトリ岬(A 地点): 岩屑なだれを覆う土壤層の検討

この地点は Goto et al.<sup>39)</sup>で岩屑なだれの発生年代を推定した重要な露頭である。ここで

は岩屑なだれの流山を覆うクロボク層が発達しており、その中に複数のテフラ層が認められる（図27）。そのテフラは上位から、有珠山のUs-b（AD1663）、北海道駒ヶ岳のKo-d（AD1640）、白頭山のB-Tm（10世紀）、そして北海道駒ヶ岳のKo-g（6.5-6.6 cal ka）<sup>40</sup>に関しては火山ガラスの化学組成と土壤の年代によって確認した。Goto et al.<sup>39</sup>では岩屑なだれ直上に、濁川火山由来のNg-aテフラ（15 cal ka）<sup>41</sup>を報告しているが、我々は同じ層準から明瞭なテフラ層を認識できなかった。その中で、やや火山灰交じりの土壤と判断が可能な部分がGoto et al.<sup>39</sup>によるNg-aであろうと考え試料を採取した（A\_5層：図27）。同時にKo-g直下と岩屑なだれ直上の土壤、およびその間の土壤を5等分して試料を採取した。

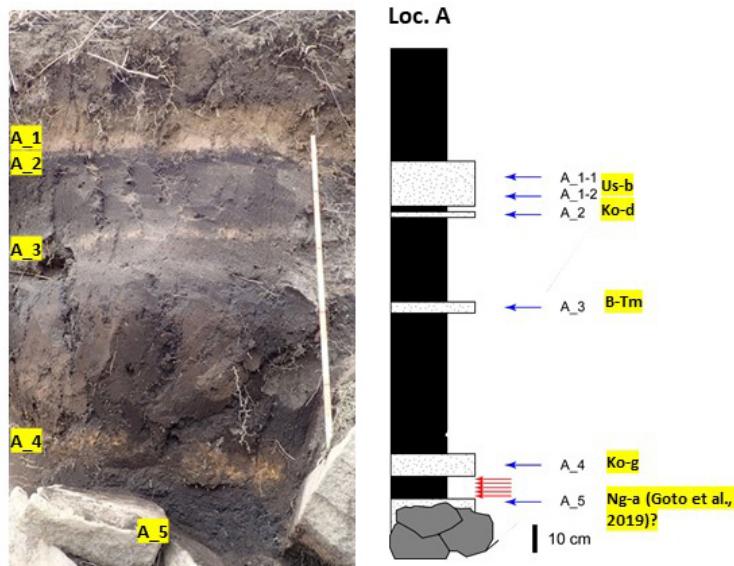


図27. 伊達市アルトリ岬（図26のA地点）での流山を覆う土壤の写真と柱状図。

A\_5層に含まれている火山ガラスの組成を図28に示す。図には洞爺火碎流、Ng-aおよび北海道駒ヶ岳の先歴史時代噴火の近傍相のガラス組成を示した。A\_5層のガラスは、 $\text{SiO}_2 > 77\%$ のものが大部分であり、 $\text{SiO}_2\text{-FeO}$ 図では、洞爺火碎流およびNg-aの一部と一致する。また、低 $\text{SiO}_2$ 量のガラスも認められ、それらは北海道駒ヶ岳テフラの範囲に図示される。 $\text{TiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 図においても、A\_5層中のガラスのかなりの分析値は、洞爺火碎流およびNg-aの一部と一致しており、北海道駒ヶ岳テフラの組成を示すものも含まれる。これらのことから、A\_5層は洞爺火碎流・Ng-a・北海道駒ヶ岳の3火山のガラスの混合層であり、Ng-aテフラとは考えにくい。明瞭なテフラ層でない産状も踏まえると（図27）、再堆積の火山灰まじりの土壤であることが示唆される。

A\_5層がNg-aテフラではないことは、年代測定の結果からも支持される（図29）。A\_4層のKo-g直下の土壤からは6.5 cal kaの年代が得られ、岩屑なだれの直上に向て、深度と調和的に年代値は古くなり、流山直上では7.8 cal kaの年代となっている。この年代値からは、流山を覆っている土壤は安定して成長したことを示しており、これらの年代は信頼できるデータであると考えられる。さらに流山直上の土壤の年代を得るために、同じ露頭において図27とは異なる場所の4試料について年代測定を行い、6.8-8.4 cal kaの年代が得られた。この結果からも、流山直上にNg-aが存在するとは考えられずGoto et al.

39)の議論は否定できる。このA地点での検討結果から、善光寺岩屑なだれの年代は 8.4 cal ka より古ないと結論できる。

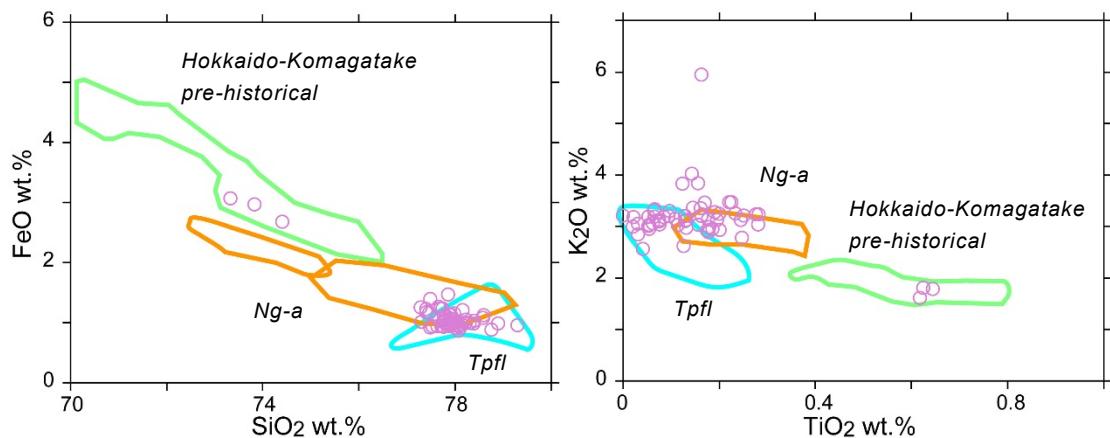


図28. A\_5層(図27)に含まれている火山ガラスの化学組成。洞爺火砕流(Tpfl)、北海道より濁川(Ng-a)の組成範囲も示す。

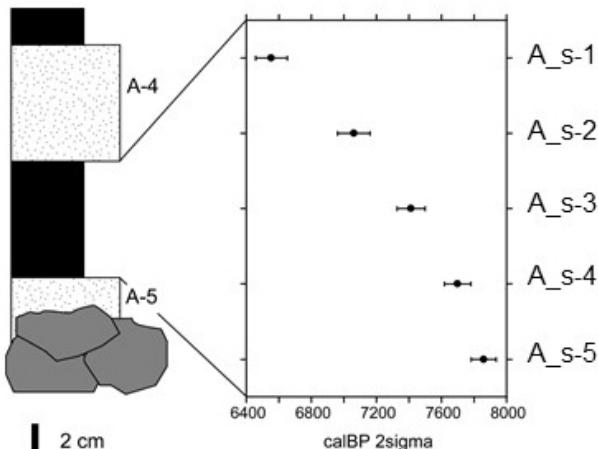


図29. A地点のA\_4とA\_5層の間の土壤層の<sup>14</sup>C年代の深さ方向の変化。

○上館山(B地点)：岩屑なだれの流下・浸食・運搬による再堆積火山灰層

B地点では下位に洞爺火砕流およびその再堆積層があり、その上位にクッタラ火山起源のKt-2、有珠・長和テフラ(Us-Ka)、そして有珠成層火山形成期の噴出物(Us-somma)と考えられる降下スコリア層が存在する。その上位は浸食間隙を挟んで、厚さ30~50 cmの再堆積灰層、そして厚さ40~60 cmの給源不明の、淡いピンク色を呈する白色火山灰層(white ash layer)が特徴的に認められる。さらにその上位には、再堆積層と土壤層を挟んでUs-bおよびその上位の有珠歴史時代噴出物のテフラが存在する(図30)。

今回、有珠の成層火山体形成期の堆積部物の上部に近い部分で、土壤層を見出した。そしてこの土壤から11,000 calBPの年代値を得た。さらにこの土壤層は有珠の成層火山体形成期の火山灰層が覆っている。このことから有珠成層火山体は、19 kaのUs-Kaテフラの噴出から活動が始まり、少なくとも11 ka頃までは活動を続けていたことが明らかになった。この結果から、善光寺岩屑なだれの年代、つまり有珠成層火山体の崩壊は11 kaより新しいことになる。

B 地点での白色火山灰層に関しては(図30)、ガラス組成を検討したところ、洞爺火碎流起源の火山灰のほぼ純層であることが明らかになった(図31)。上下のテフラを考えると、この火山灰層は再堆積層になるが、厚さ20 cmに達することから、通常の風成層のような成因ではない。またこのような厚い再堆積の洞爺火山灰層はこの周辺では報告されていない。よって何らかのプロセスで、限られた地域に洞爺火山灰が再堆積したと考えられる。この火山灰層の再堆積層に含まれる土壌からは、7,900~8,400 calBPの年代が得られた。従ってこの厚い再堆積層を生じさせた事件は7,900年前より新しいことになり、これはA地点で得た善光寺岩屑なだれの8,400年前より古いという年代と接近している。

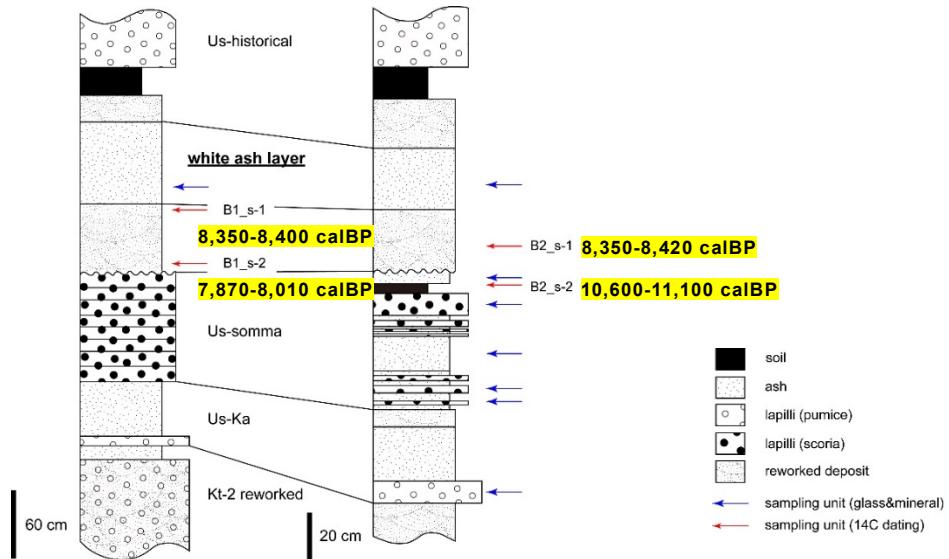


図30. 上館山(図26のB地点)での露頭における約60 m離れた2地点での柱状図。矢印は試料採取地点。赤矢印は年代測定試料で、暦年補正年代も示した。

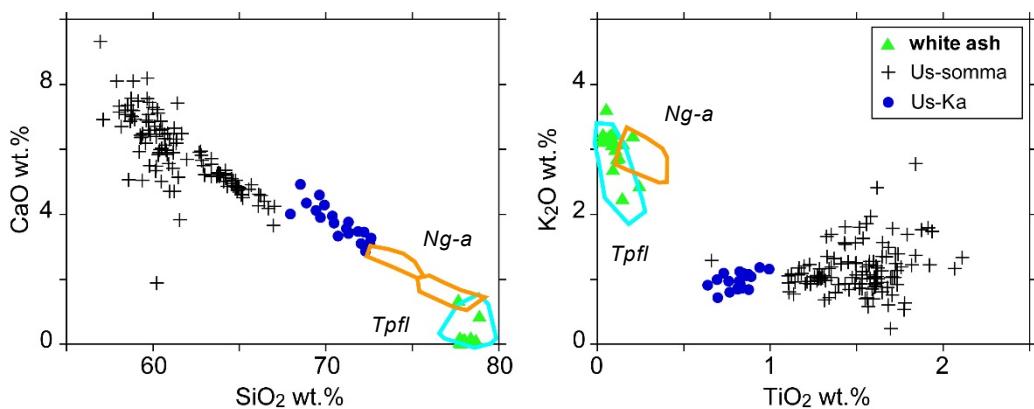


図31. 図30の柱状図でのテフラ等の試料の火山ガラス組成。Us-somma: 有珠成火山体形成期テフラ、Us-Ka: 有珠-上長和テフラ、white ash: 白色火山灰層。白色火山灰層中の火山ガラスは洞爺火碎流のガラス組成と同じである。

### ○まとめ: 有珠山山体崩壊の年代と流下プロセス

有珠山の場合、岩屑なだれの流路となった南山麓には非溶結から弱溶結の洞爺火碎流堆積物が厚さ100~200 mの厚さで広範囲に堆積している。そこに高密度の有珠成層火山体が崩壊して、岩屑なだれが流下した際の想像図を図32に示した。高密度の溶岩主体の有

珠成層火山体が崩壊して流下すると、基盤である洞爺火碎流や未固結の凝灰岩質の堆積岩からなる上長和層を削り取って、ブロックとして取り込んで岩屑なだれと一体化して流走すると考えられる。実際に洞爺火碎流などの基盤岩からなる流山が、岩屑なだれの南～南東部に多く分布する(図26)。この際に洞爺火碎流や上長和層は非溶結または未固結であるので破碎されやすく、細粒物(火山灰)の生産が効率的に行われると考えられる。生産された細粒火山灰は、岩屑なだれ流走時に舞い上がって周辺に堆積する(図32)。ただし低温であるので、細粒物は灰神楽として広範囲に拡散することではなく、周辺の風下側の狭い範囲に限定して堆積するであろう。

上館山(B地点)で見出された厚い、再堆積した洞爺火碎流由来の白色火山灰層は、上記のようなプロセスで生じた、いわば *co-debris avalanche ash* というべきものであろう。このような事例は、他の岩屑なだれ堆積物でも起こりうるものである。

今回の検討からは、善光寺岩屑なだれの年代つまり山体崩壊の年代は、流山を覆う土壤の年代から8,400年前より古い時期、*co-debris avalanche ash* の解釈が正しいとすると7,900年前頃より新しい時期ということになった。二通りの指標からの年代がほぼ同じであるので、善光寺岩屑なだれの年代は約7,900～8,400年前頃と考えてよいであろう。この結論は横山・他<sup>32)</sup>の推定に近く、藤根・他<sup>38)</sup>によって議論されてきた年代からは大幅に若返ることとなった。

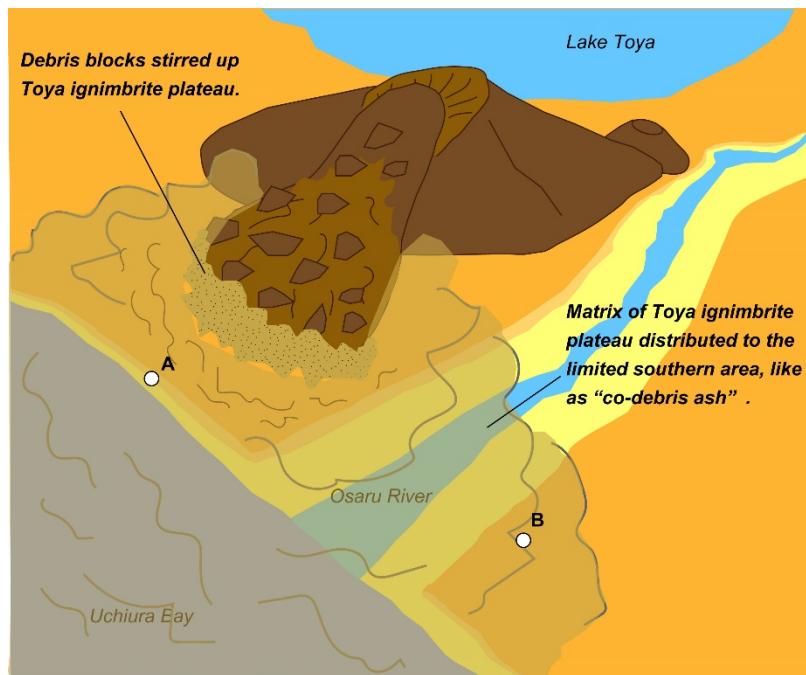


図32. 有珠成層火山体の崩壊で生じた善光寺岩屑なだれ流下による *co-debris avalanche ash* 生成の想像図。

## ii) ポーリング掘削調査の概要

令和2年11月に有珠山の南麓の約3kmの地点(標高約80m)において、50m深のポーリング掘削調査を実施した(図26)。この地点は洞爺タイプの岩屑なだれ堆積物が分布している場所である。図33に代表的なコア写真を示す。

表層から 4.0 m 深までは人工の盛り土であり、それより下位約 21.8 m 深まで淡褐色を呈する火山礫凝灰岩層が認められる（図 3 3 (a)）。無淘汰で明瞭な堆積構造は認められない。火山礫の構成物は、灰色岩片・黒色岩片が主体であるが、斑晶に乏しい白色軽石も少量含まれる。21.8-22.7 m 深には淡褐色の細粒火山灰層があり、下部では白色軽石が散在している。その下位に 50 cm ほどの風化層を挟んで、淡褐色の凝灰角礫岩層が堆積する。23.3-27.0 m 深は灰色・縞状軽石主体であるが（図 3 3 (b)）、27.0 m 深から灰色岩片の割合が増え、29.0-34.9 m 深は径 5-20 cm の角礫を多く含む岩相に変化する（図 3 3 (c)）。34.9 m 以深は淡褐色を呈する火山礫凝灰岩層であり、～数 cm サイズの白色軽石および灰色岩片、深成岩片を含む。目立った堆積構造は認められないが、42.5 m 深に岩片濃集部が認められる。

以上の岩相の特徴より、本ボーリング調査のコア試料のうち 23.3 m 以深は、洞爺火碎流堆積物と考えられる。軽石の構成量比から、23.3-27.0 m 深はユニット 6<sup>42)</sup>、27.0-34.9 m 深はラグ角礫岩層、34.9 m 以深はユニット 5<sup>42)</sup>に相当すると考えられる。～21.8 m 深については、洞爺火碎流の再堆積層の可能性があるが、単調な岩相であり堆積構造もないことから、現時点では岩層なだれによるものであるかどうかの判断は難しい。今後更なる解析が必要である。



図 3 3. 代表的なコア試料の写真（各写真の左側・上側が上位）。（a）深度 16.0-18.0 m。凝灰角礫岩層。斑晶に乏しい白色軽石を含む。（b）深度 24.0-27.0 m。凝灰角礫岩層。洞爺火碎流堆積物ユニット 6<sup>42)</sup>に相当する。灰色軽石・縞状軽石が目立つ。（c）深度 29.0-32.0 m。洞爺火碎流堆積物ユニット 5-6 間のラグ角礫岩層。

g) 秋田焼山：野外調査およびトレンチ掘削調査に基づく噴火活動履歴の解明（産業技術総合研究所）

#### ○目的と調査位置

秋田焼山火山では、これまでの予察的な報告<sup>43)44)</sup>から、有史時代にすくなくとも 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 地点の調査結果に基づき、本年度は山体近傍の 4 地点で人力トレーニング調査を実施した。調査地点を図 3-4 に示す。

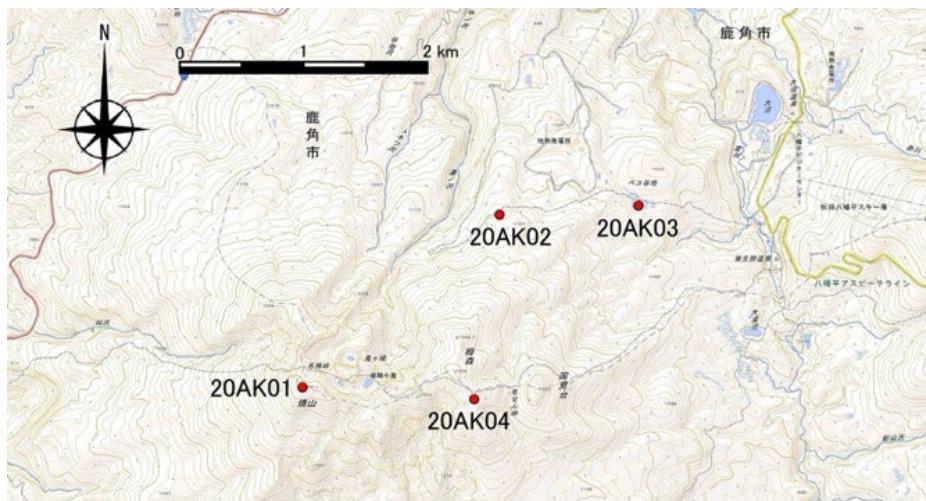


図 3-4. 秋田焼山火山の人力トレーニング調査地点(赤丸)。地点番号は図 3-7 の柱状図に対応。国土地理院 2 万 5 千分の 1 地形図「八幡平」および「玉川温泉」を使用。

#### ○ トレーニング掘削地点における層序、対比

人力トレーニング調査地点の代表的である秋田焼山山頂で行った写真を図 3-5 に、そのトレーニング断面図の層相を図 3-6 に示す。秋田焼山山頂で行った 20AK01 のトレーニング調査では、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。秋田焼山火山由来の降下火砕堆積物は、層序、層相、層厚及び本年度の新たな炭素年代値の関係から、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。4 ケ所の人力トレーニング調査を行った地点 20AK01～20AK04 の対比柱状図を図 3-7 に示す。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壤からは、約 6,000 年前の炭素年代が得られ、従って秋田焼山火山は、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。

これらの火山灰層は構成物から、変質物を主体とするもの(6 層)、変質物を主体とし軽石が含まれるもの(2 層)、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、ガラスビード法を用いて蛍光 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た。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、 $\text{SiO}_2 = 59\text{-}61 \text{ wt.\%}$  の安山岩組成を示した。

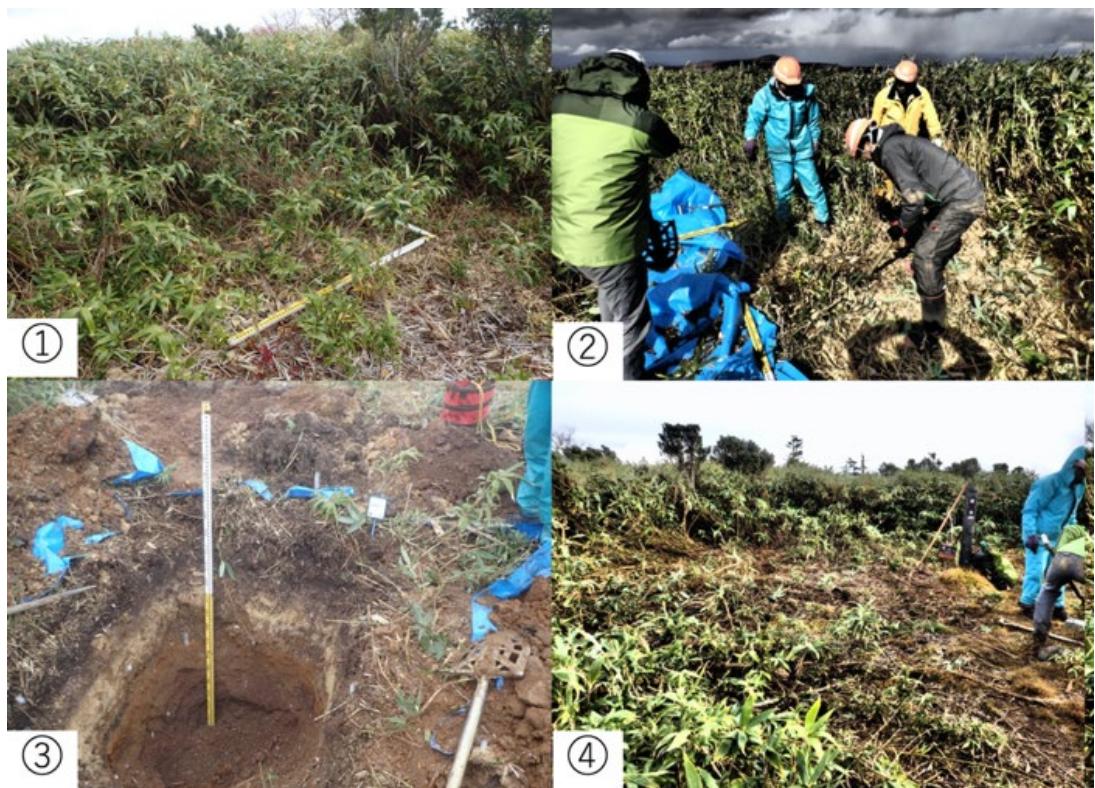


図 3.5. 秋田焼山火山の山頂（地点 20AK01）における人力トレンチ調査写真。2020 年 10 月 15 日実施。開始前、②作業中、③深度 1.5 m のトレンチ、④終了後。調査地点は図 3.4 参照。

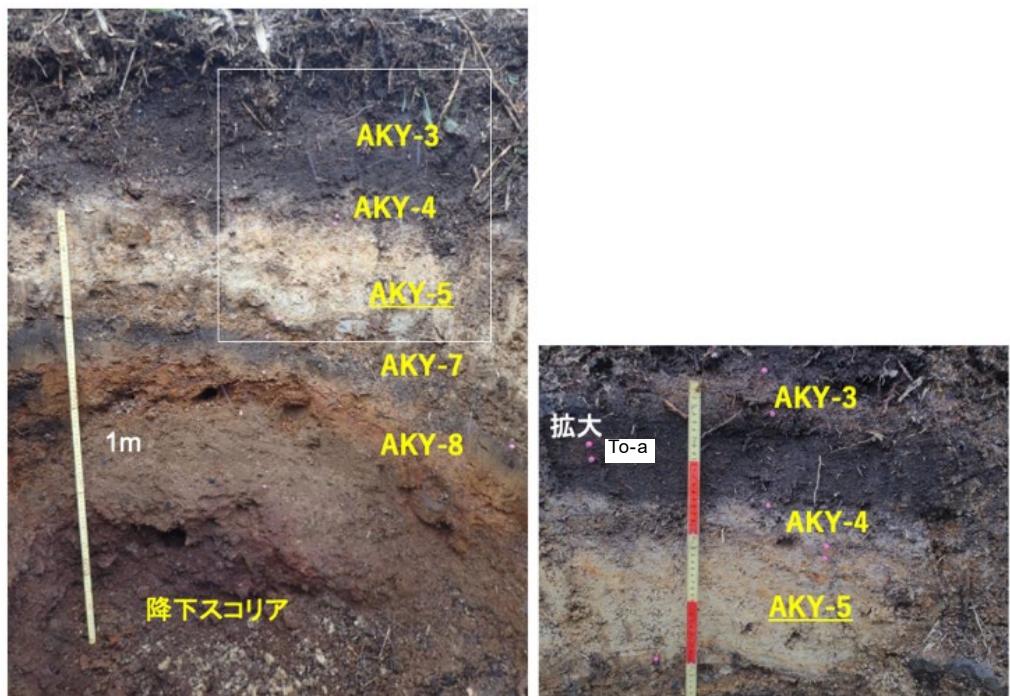


図 3.6. 秋田焼山火山の地点 20AK01 における降下火山灰層の層相。調査地点は図 3.4 参照。（左）全景、スケールは 1 m。（右）左の白線枠を拡大。スケールは 10 cm 間隔で塗色。

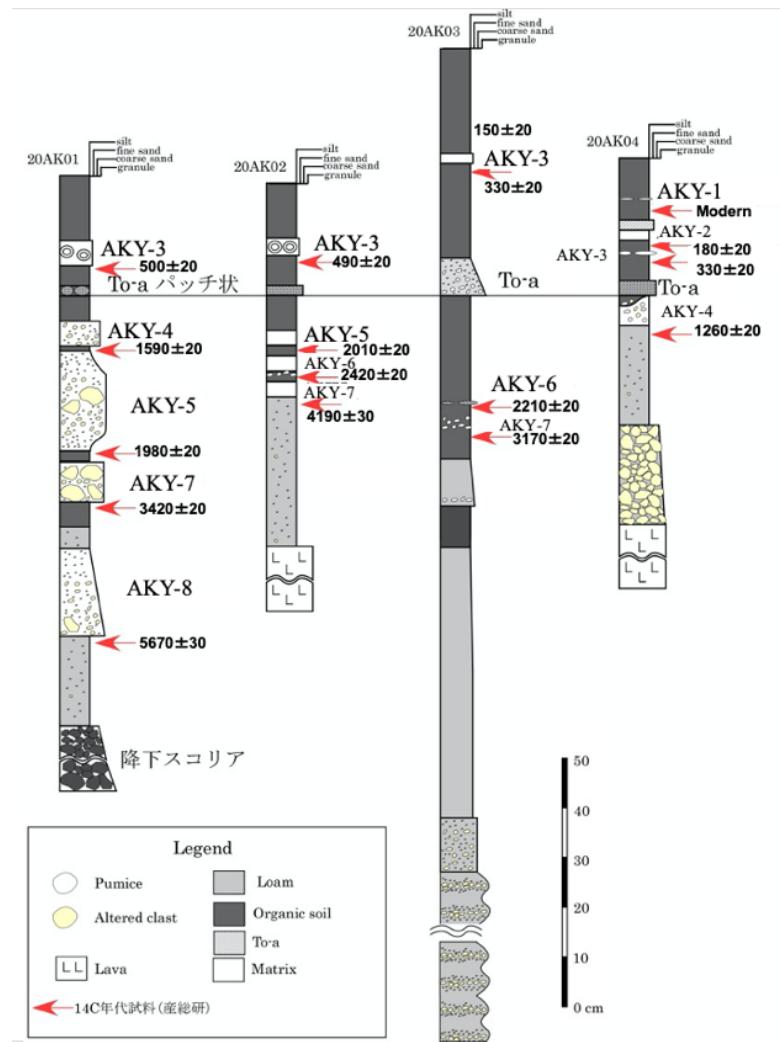


図37. 秋田焼山火山の人力トレーニング調査地点で認められた火碎物の対比柱状図。調査地点は図34参照。図中の数値は<sup>14</sup>C年代で、Libby age (yBP)を表す。

### ○まとめ

秋田焼山で山頂近傍の4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。

h) 秋田駒ヶ岳：更新世末期から完新世の噴火履歴と噴火様式の解明（北海道大学・株式会社エンバイオ・エンジニアリング）

### ○はじめに

秋田駒ヶ岳は秋田県と岩手県の県境に位置する、東北地方では最も活動的火山のひとつであり、山頂部に小型のカルデラ（南部カルデラ）を有している（図38）。その活動は主成層火山形成期、カルデラ形成期そして後カルデラ活動期の3つに大別でき、さらに後カ

ルデラ活動期は、北部火山体形成期および南部火山体形成期に細分できる<sup>45)46)</sup>。なお北部カルデラ（図38）については、現在では土井・他<sup>47)</sup>によって山体崩壊壁であると考えられている。

我々は2019年度から本火山を重点火山に指定して研究を開始した。その際の課題として以下の3点を挙げた。1) 10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。今年度は、2番目の課題であるカルデラ形成期噴火について、その成果を報告する。

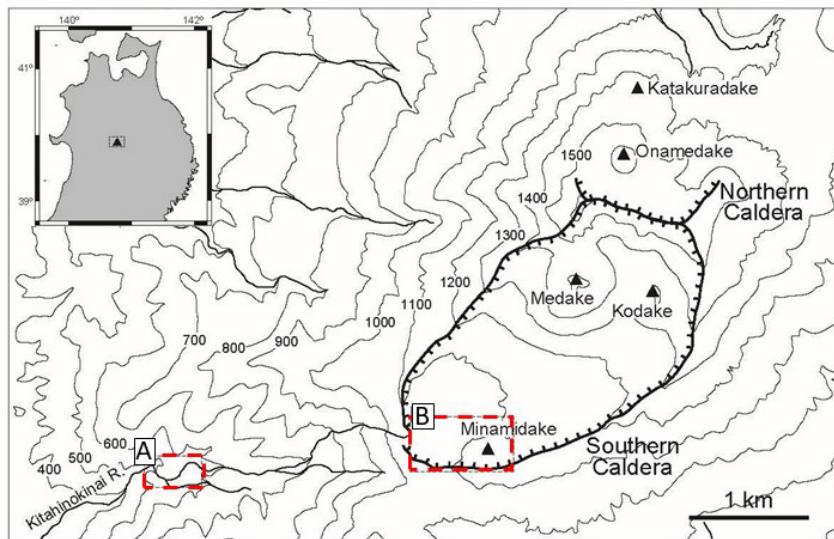


図38. 秋田駒ヶ岳の位置と山体中心部の地形図。

#### ○カルデラ形成期噴出物の再検討

南部カルデラ形成噴火に関与した堆積物としては、2つの大規模なテフラ層（AK13とAK12）と山麓に分布する生保内火碎流が相当すると考えられている<sup>45)46)48)</sup>。我々は地表踏査と堆積物の物質科学的解析によって、その詳細を再検討した。

生保内火碎流の調査において、これまで噴出時期に議論があった「桧木内溶岩」<sup>45)</sup>と、生保内火碎流の関係を明らかにした。図38のAに示す領域では、桧木内溶岩を生保内火碎流が覆っていることを露頭で確認でき、また陰影起伏図でも両者の関係が示されている（図39）。よって「桧木内溶岩」は主成層火山形成期の噴出物であることが確定した。また南部カルデラ内においては未知の火碎流堆積物を見出した（図40）。この火碎流堆積物の本質物は秋田駒ヶ岳では稀な軽石であり、風化がやや進んだ特徴的な黄白色を呈する。この火碎流は南部カルデラ底南部にある南岳火碎丘をアバットしていることも確認できた（図40）。この火碎流について国見火碎流と命名した。

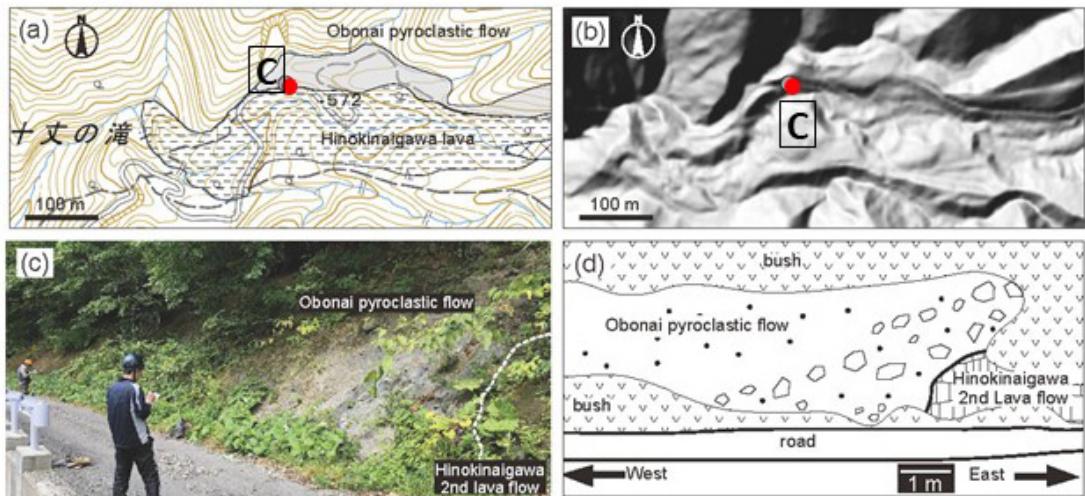


図3.9. 桧木内川上流部(図3.8のA地域)における桧木内川溶岩と生保内火碎流の関係。(a)および(b)図中の地点Cの状況を、写真とスケッチで(c)と(d)に示した。

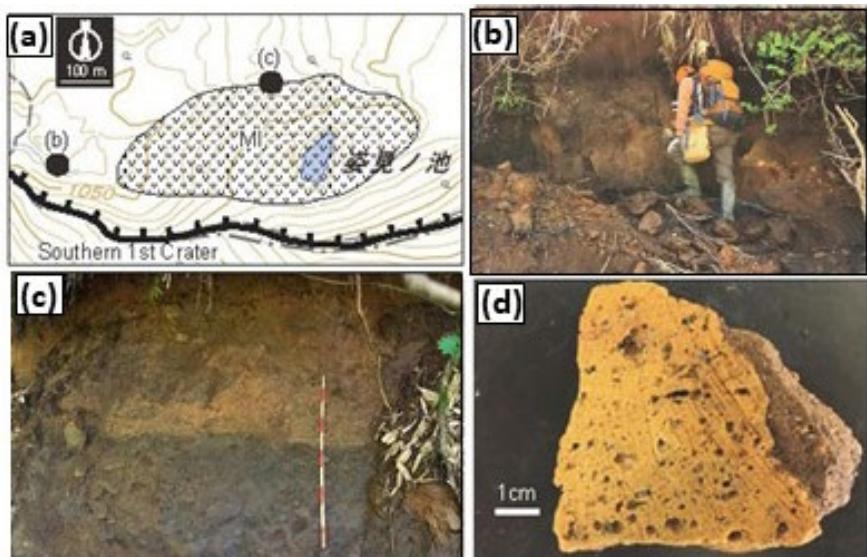


図4.0. 国見火碎流と南岳火碎丘の関係。(a) 図3.8のB地域拡大図。ハッチが南岳火碎丘で(b)(c)は露頭位置を示す。(b) 国見火碎流の露頭写真。(c) 南岳火碎丘(下)と国見火碎流(上)の直接の被覆関係。(d) 国見火碎流中の軽石。

これらの2つの火碎流とAK13とAK12のテフラ、そして南岳火碎丘の噴出物の岩石学的特徴を検討して対比を行った。AK13の本質物はスコリアで、 $\text{SiO}_2=55\sim58\%$ のかんらん石含有直方輝石単斜輝石安山岩、AK12の本質物は軽石、スコリアおよび縞状軽石で、 $\text{SiO}_2=54\sim64\%$ の単斜輝石直方輝石デイサイトおよびかんらん石直方輝石単斜輝石安山岩である。両者は全岩化学組成で区別でき、例えば  $\text{SiO}_2 - \text{MgO}$  図において、AK12の方が同じ  $\text{SiO}_2$  量において  $\text{MgO}$  に富む(図4.1)。生保内火碎流の本質物はスコリアであり、その化学組成はAK13と一致する。一方で、国見火碎流の本質物は軽石であるが、風化が進んで灼熱減量が4%以上であり、全岩化学組成では他の噴出物との比較が困難である。しかし特徴的な色調の軽石であること、また  $\text{SiO}_2$  量がAK12の軽石と同じであることか

ら AK12 に対比できる。よって AK13 と AK12 のテフラを噴出した噴火では、それぞれ生保内火碎流と国見火碎流を噴出したことが明らかになった。

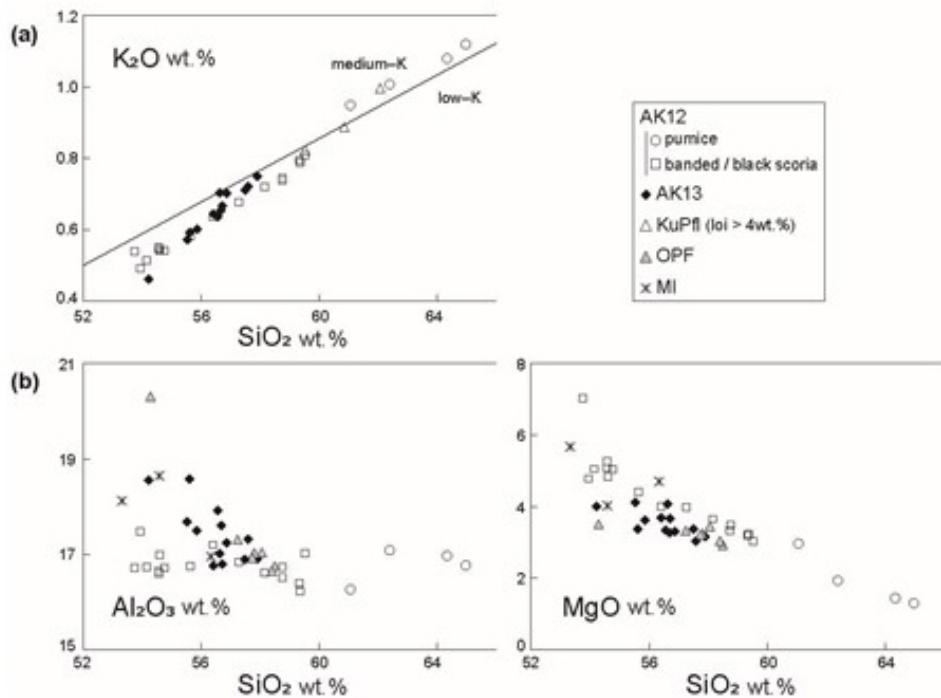


図 4-1. 南部カルデラ形成期の噴出物の全岩化学組成  $K_2O$ ・ $Al_2O_3$ ・ $MgO$  のハーカー図。凡例: Kupfl: 国見火碎流、OPF: 生保内火碎流、MI: 南岳火碎丘。国見火碎流は灼熱減量が 4%を超えるので  $K_2O$  のみ示した。

### ○南部カルデラ形成噴火推移

図 4-2 に和知・他<sup>48)</sup>と本研究によって確認した AK13 と AK12 の模式柱状図を示す。AK13 のテフラは発砲度の悪いスコリアに富む K3P ユニットから始まり、その後に発砲度の良いスコリアからなる K2P で最盛期を迎える。最後に発泡度の悪いスコリアに富む K1P で終わっている。生保内火碎流の流下時期については、火碎流と AK13 のスコリアの岩石学的性質から検討した。K3P の本質物は、微斑晶サイズのかんらん石をごくわずかに含むが、K2P と K1P ではかんらん石のサイズも大きくなり、モードも増加する違いがある。この本質物の記載岩石学的特徴が、生保内火碎流と K3P と類似しており、この時期に火碎流が発生したと考えられる。この噴火は 15,500~15,300 calBP に起こった (和知・他<sup>48)</sup> を暦年補正、以下同じ)。

AK12 も含まれる本質物のタイプと層相によって、複数のサブユニットに分けることができる (図 4-2)。国見火碎流は軽石が本質物ということで、軽石を含む Y3P か Y2P-L のいずれか、あるいは両方に対比できる。Y3P は細粒火山灰にとみ火山豆石を含んでおり、マグマ水蒸気爆発による噴火であるのに対して、Y2P-L は降下軽石層であるので噴煙柱が立ち上ったサブプリニー式噴火と考えられる。両者を比較すると、噴煙柱が安定していない Y3P の時期に国見火碎流が発生したと考えるのが妥当である。この噴火は 15,200~

12,900 calBP に起こった。

南岳火碎丘はこれまで後カルデラ期の山体と考えられていたが<sup>45)46)</sup>、国見火碎流に覆われていることから AK12 の前に南部カルデラ内に存在していたことが明らかになった。従って、AK13 によって南部カルデラが形成された後で、かつ AK12 噴火前にカルデラ内の南端に南岳火碎丘が形成されることになる。南岳火碎丘は山体が爆発によって破壊されたような形状を示さないこと、また国見火碎流に覆われることから、AK12 の噴火は南岳火碎丘の北方に活動中心であったことが推定される。実際に南部カルデラの形状を見ると単純な橈円形ではなく、2～3つの火口が接合しているように見える（図38）。したがって、南部カルデラは AK13 によってカルデラの南部が形成され、その後の AK12 の噴火によってカルデラの北部が拡大した、複合カルデラであることが明らかになった。

南岳火碎丘の本質物は玄武岩質安山岩であり、AK13 テフラと類似するが、全岩化学組成では両者は区別でき、異なる噴火で生成されたと考えられる。つまり AK13 のテフラ噴出後、AK12 の活動の前に、南岳火碎丘は活動したことになる。そのことからカルデラ形成噴火はステージ 1～3 の 3 つに分けて考えることができる（図42）。

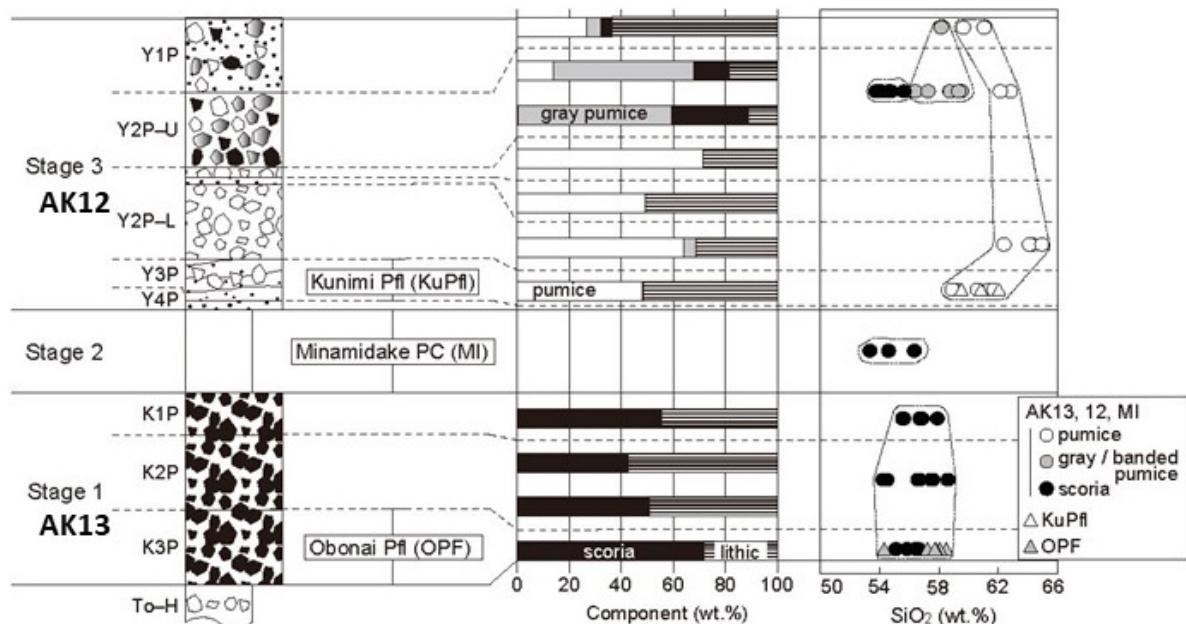


図42. カルデラ形成噴火の推移をテフラの模式柱状図で示した図。南岳火碎丘と火碎流の発生時期も示している。本質物のタイプ（スコリア、軽石、灰色軽石）に分けて、構成物分析および全岩組成の時間変化を示した。

i) 鳥海山：トレンチ掘削調査および野外調査による鳥海山の完新世噴火活動史の解明（秋田大学・山形大学・産業技術総合研究所）

i) トレンチ掘削による鳥海山の完新世噴火活動史の解明と事象分岐シナリオ  
○はじめに

テフラ露頭の露出条件が貧弱な火山においても、トレンチ調査により任意の場所でテフ

ラ調査を実施できる。鳥海火山起源のテフラ層は、本プロジェクト開始の数年前にようやく認識されるようになったが<sup>49)50)</sup>、その観察地点もごく限られていた。鳥海火山では爆発的噴火による火碎物の到達範囲が山頂周辺に限られ、火山体中腹より標高の低い場所まで到達していないこと、また山頂周辺でもテフラが露出する露頭が極わずかであることが、調査が進んでいない理由である。

鳥海山は東西 20 km、南北 15 km の大型成層火山であり、その山体表面には明瞭な溶岩地形がよく残されている。本火山は現在の山頂を中心とする東鳥海火山、鳥ノ海湖を山体中心とする西鳥海火山から構成される。東鳥海火山の北側斜面には 2,500 年前の山体崩壊による馬蹄形カルデラが山頂から北側に向かって開き、この崩壊による象潟岩屑なだれ堆積物が北麓に広がっている。馬蹄形カルデラ内にも多数の明瞭な溶岩地形が認められ、山体崩壊後の溶岩流の流出によりカルデラ内が埋積されている。現在の山頂である新山溶岩ドームは 1801 年の噴火により形成されたものである。2,500 年前以降の噴火に伴い、繰り返しラハールが発生し、山麓に堆積することもあった<sup>51)</sup>。東鳥海火山由来のテフラ層が複数堆積しているのは山頂から 2 km 以内に限られ、概ね東鳥海火山では約 4,500 年前以降の活動がテフラ層として保存されていることが報告されているものの、限られた露頭での観察であることが問題であった。そのために完新世後期の噴火活動史、噴火規模、噴火様式、現象推移等について不明な点が残されていた。そこで、本プロジェクトでは鳥海火山を最重点火山に指定し、トレンチ調査により火山活動の詳細を解明することとした。2017 年度からトレンチ調査を繰り返し実施し、鳥海火山の火山活動の詳細が解明されつつある。ここでは 2020 年度実施内容とこれまでに解明された点をまとめて報告する。

## ○調査および分析方法

2020 年度は山体上部と山麓部においてトレンチ調査を複数実施した。東斜面百宅口登山道唐獅子平避難小屋付近、西側斜面ミナミノコマイ、東麓の百宅登山道入り口大清水小屋付近、北東麓の奥山林道である。前年度までの実施地点も合わせ、図 4-3 にトレンチ調査の位置を示す。トレンチ調査では、2 m<sup>2</sup> の範囲をスコップとハンマードリルを使って掘り下げ、壁面にて観察と試料採取を行った。なお、硬質層に到達する等、条件によって掘削できた深度にはばらつきがあるものの、概ね 1~1.5 m 深である。なお、ミナミノコマイ掘削地点では、近傍で発見した小露頭の記載も行い、試料採取を行った。

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。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た。

有機物を含む土壤試料を用い、山形大学高感度加速器質量分析センターにて加速器質量分析法 (AMS 法) による放射性炭素年代測定を行った。12 試料について測定を実施し、10 試料より良好な結果が得られた。

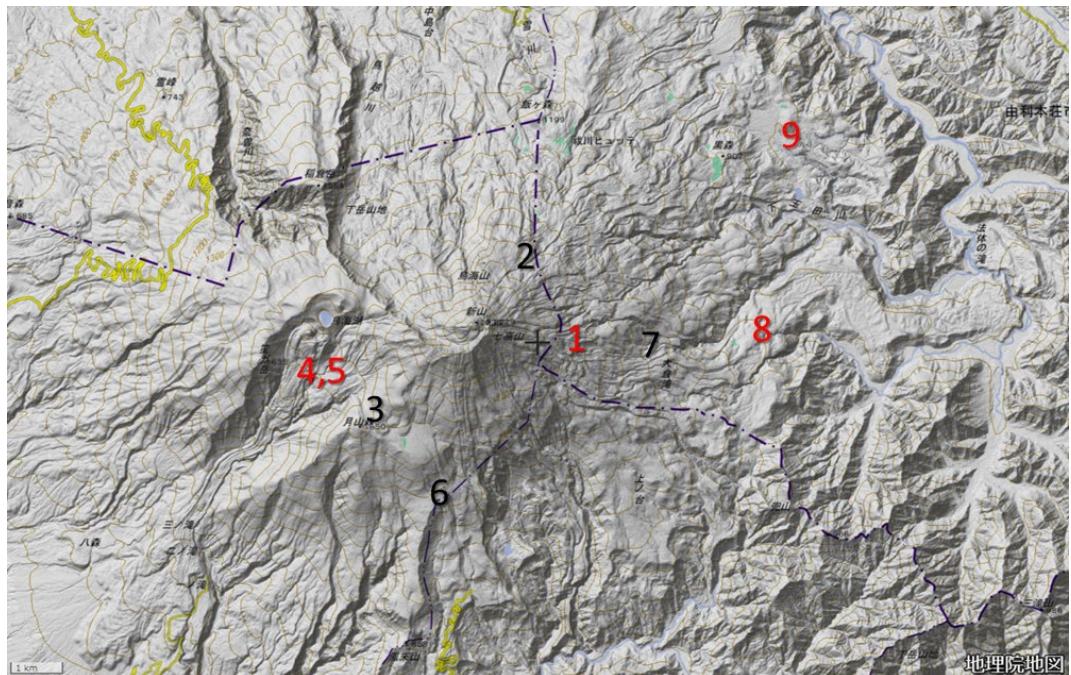


図43. トレンチ調査実施地点。黒数字は2019年度以前の掘削実施地点。赤数字は2020年度トレンチ及び近傍の小露頭の地点を示す。1:百宅登山道唐獅子小屋地点、2:七ツ釜滝地点、3:月山森地点、4:ミナミノコマイ地点、5:ミナミノコマイ露頭、6:滝ノ小屋地点、7:百宅口登山道地点、8:百宅口大清水山荘地点、9:百宅奥山林道。

## ○結果

百宅登山道唐獅子小屋地点では6ユニット10層、ミナミノコマイ地点では6ユニット8層、百宅口大清水山荘付近では1ユニット1層のテフラ層を見いだした。百宅奥山林道のトレンチではテフラ層を認識することはできなかった。百宅登山道唐獅子小屋トレンチでは、ラピリ層(第3ユニット中央部と第6ユニット)と細粒～粗粒火山灰が認められる。第2ユニット直下の土壤から $1,641\pm20$  yBP、第3ユニット直下の土壤から $1,838\pm20$  yBP、第5ユニット直下の土壤から $2,140\pm20$  yBPの年代が得られた。ミナミノコマイのトレンチでは、上位4層は細粒～中粒火山灰の薄層、下部のテフラ層は粗粒な降下スコリア堆積物(鳥ノ海スコリア)からなる。第1層、第2層、第4層直下の土壤試料より、それぞれ $295\pm20$ 、 $1,342\pm20$ 、 $2,140\pm20$  yBPの年代値が得られた。トレンチ地点ごく近傍の登山道沿いの露頭では、鳥ノ海スコリアの上位に3層のテフラ薄層が認められた。第3層と鳥ノ海スコリアの間の土壤より、 $5,792\pm20$  yBPの年代が得られた。大清水山荘付近では、20 cm程の黒色土壤の下に厚さ計80 cm程の含スコリア層がある。この層は淘汰が悪く、基質は土壤化した細粒火山灰からなる。再堆積物と考えられる。その下位に、薄い土壤層を挟んで厚さ40 cm以上の比較的淘汰の良いスコリア層が認められる。スコリア層上位の土壤層より $5,390\pm25$  yBPの年代が得られた。百宅奥山林道ではテフラ層が認められず、トレンチ上部25 cmは暗色土壤、下部70 cmは明褐色土壤であった。暗色土壤下部の試料より $1,042\pm23$  yBP、明褐色土壤下部の試料より $6,330\pm27$  yBPの年代が得られた。

テフラ層を全て採取し、顕微鏡観察を行った。いずれの試料も複数種の火山灰粒子が含まれており、暗色光沢火山灰(不規則形態またはブロック状)、明色石質火山灰、変質火山

灰、結晶片、赤褐色火山豆石からなる。これらの量比はテフラ層によって異なると考えられ、対比の指標になるが、多くのテフラ層の火山灰成分比は似通っており、区別が難しい。しかし、数層のテフラは極端に赤褐色火山豆石に富んでおり、対比の鍵となる。

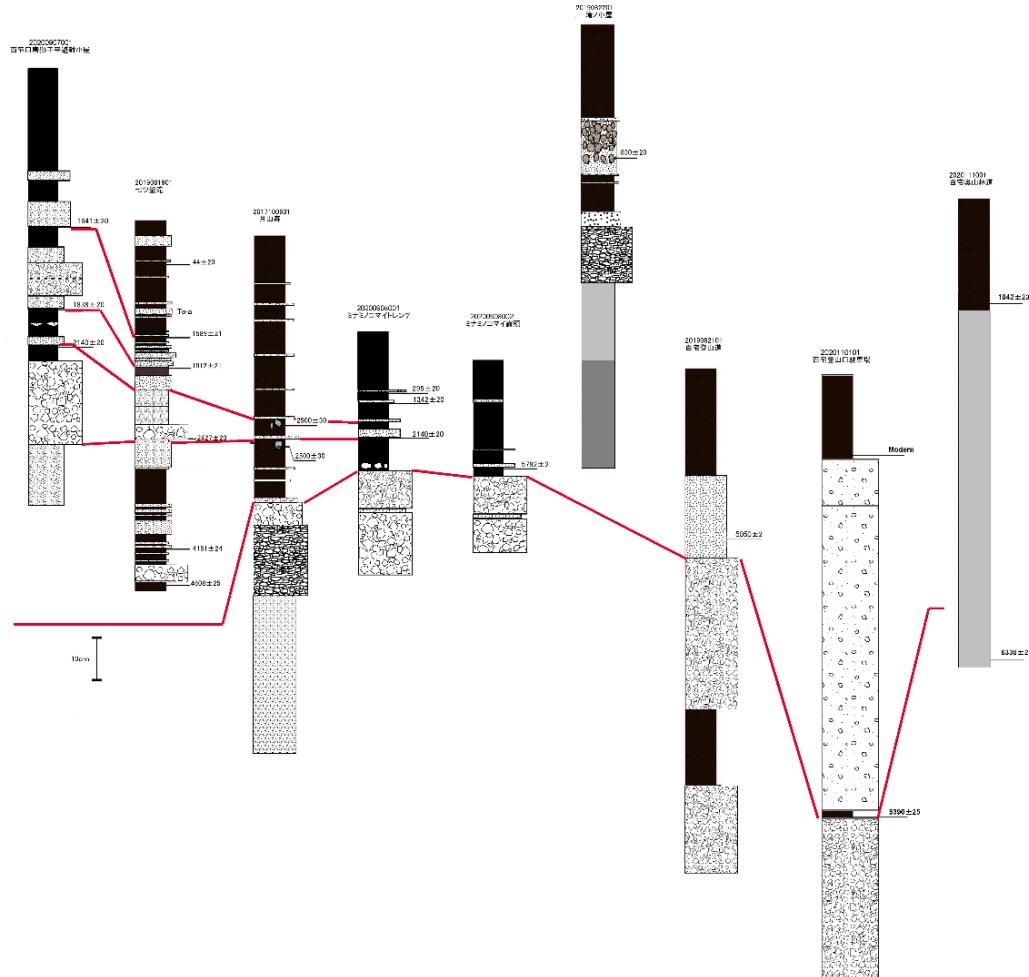


図 4-4. 本調査による柱状図対比。

これまでの層相観察・年代測定・検鏡により、トレンチ間で数枚のテフラが対比された。その結果を図 4-4 に示す。とりわけ山頂火口から近い七ツ釜滝地点（2019 年度掘削）と本年度掘削の唐獅子小屋地点の間で良く対比できた。対比されたテフラ層について詳細を記す。

鳥ノ海スコリア 鳥ノ海スコリアが幾つかのトレンチの基底部に露出し、対比された。直上の土壤からは 5,000~6,000 年の年代値が得られているが、西鳥海では鳥ノ海スコリア直上に古い年代のテフラが認められるため、鳥ノ海スコリア 6,000 年よりは大幅に古いものと考えられる。

2.5ka サージ堆積物 2,500 年前の年代を示す赤褐色火山豆石を多く含む火山礫～火山砂層も広く分布し、対比された。構成物からは、マグマ水蒸気噴火噴出物と考えられ、木片の含有、不均一な層厚などの産状から、この堆積物は降下火山灰ではなく、サージ堆積物と考えられる。ところにより赤褐色火山礫層の基底に暗色火山砂を含む白色粘土質火山灰を伴い、上位に土壤を挟まずに暗色火山灰が被覆する。暗色火山灰の下部はスコリア質火

山灰に富む一方、上部は石質～ブロック状火山灰からなり、最上部に向かって土壌化する。

2.1ka テフラ 砂質火山灰からなり、変質物に乏しい。七ツ釜滝地点では上部が赤色砂質火山灰、下部が灰色砂質火山灰からなる。一方、唐獅子小屋地点では灰色砂質火山灰中に赤色火山灰の塊が混じった産状を示す。酸化度等の条件で異なった色調の火山灰が噴出したと考えられるが、いずれもマグマ噴火による火山灰である。

1.8ka テフラ 基底部は粘土質～極細粒な明色火山灰からなり、灰色砂質火山灰～火山礫層が覆う。七ツ釜滝地点では上方粗粒化が顕著である。火山礫層を明灰色細粒火山灰が直接被覆する。基底と上部の細粒火山灰は変質物とともに新鮮なガラス質暗色火山灰を含み、マグマ水蒸気噴火噴出物である。中央の粗粒部はマグマ噴火による火山灰である。

1.6ka テフラ 粘土質細粒火山灰層からなり、新鮮なガラス質ないし暗色石質火山灰を含む。層内変化に乏しい。マグマ水蒸気噴火噴出物と考えられる。

#### ○減災への応用－鳥海山の事象分岐シナリオ構築に向けて

テフラ層の構成粒子や層相から、噴火様式を決定できることが多い。とりわけ層内での層相・構成物の連続的変化が認められる場合は、一連の噴火の推移が地層中に記録されているものと判断できる。上記の柱状図対比されたテフラの中では、2.5 ka および 1.8 ka のテフラに層相変化が認められ、噴火推移の解析が可能である。2.5 ka テフラの層変化から、基底の粘土質火山灰を生じたマグマ水蒸気噴火から、倒木や豆石の生成を生じたマグマ水蒸気噴火による火砕サージに推移し、最後にマグマ噴火（ストロンボリ式→ブルカノ式）に変化することがわかる。1.8 ka のテフラからは、マグマ水蒸気噴火からマグマ噴火（ブルカノ式噴火）へ推移したことがわかる。

2.5 ka にはラハールが繰り返し発生し、1.6 ka にも大規模ラハールが発生している<sup>51)</sup>。それぞれテフラ層と対応でき、噴火に伴ってラハールが発生したこともわかる。文書記録によると山麓に到達するラハールは 1801 年噴火の際にも発生しており<sup>52)</sup>、小規模なものは 1974 年にも発生している<sup>53)</sup>。噴火に伴うラハール発生は、鳥海山では一般的であると言えそうである。また、マグマ噴火が発生した場合は、溶岩を伴うと考えるのも自然である。1801 年噴火では溶岩ドームが生成している<sup>54)</sup>。また、2,500 年前の山体崩壊後に馬蹄形カルデラを繰り返し溶岩流が埋積していることから、2,500 年前以降の噴火に伴う溶岩流の流出も一般的であることが明白である。

過去の噴火の古記録や観測結果からは、一般に鳥海山の噴火活動は噴気あるいは弱い噴煙から開始することが解っている<sup>55)</sup>。噴気、弱い噴煙、地熱異常は地層に残らないイベントだが、先史時代の噴火でもこれらの事象から始まっていたと考えるのが自然である。多くの噴火で水蒸気噴火（例えば 1800 年噴火<sup>54)</sup>）あるいはマグマ水蒸気噴火から始まっていることがテフラ層の観察や記録からわかる。火山灰成分の観察からは、山体内部の熱水系に由来する噴火であることが解る。すなわち、噴火に先立ち、火山体内部にて新たなマグマによって熱水系が加熱され、噴気や地熱異常として現れる可能性が高い。

以上から、鳥海山では噴火イベントにより異なった噴火様式や推移が認められるものの、ある程度噴火シナリオの一般化ができそうである。噴火の前駆現象として、マグマによる加熱によって地熱異常・噴気異常が生じる。この熱水系の加熱により、水蒸気噴火もしくはマグマ水蒸気噴火から噴火が開始するのが一般的だろう。1974 年噴火はマグマ貫入の

後に水蒸気噴火が発生し、この段階で活動が停止したようである<sup>53)</sup>。一方、1800-1804年噴火では、水蒸気噴火からマグマ噴火・溶岩流出まで発展したようである<sup>54)</sup>。

このような情報から、鳥海山が噴火の危機に際した場合、どのような前兆現象があるのか（地熱異常、噴気）、噴火がどのような推移をたどるのか（水蒸気噴火・マグマ水蒸気噴火→マグマ噴火・溶岩）、どんな事象を伴うのか（ラハール）といったことが分かる。また、本年度の調査や既往研究<sup>51)</sup>により、降灰範囲やラハールの到達範囲も推定できる。以上の結果は、火山防災避難計画策定の上で重要な情報であり、今後の防災政策に生かされることが期待される。

## ○まとめ

2020 年度に鳥海火山山腹～山麓において複数のトレンチ調査を実施した。火山灰の検鏡と放射性炭素年代測定により、2017～2019 年度のトレンチ調査の結果を合わせて柱状図対比を行った。その結果、>6,000 年（鳥ノ海スコリア）、2,500 年前（山体崩壊に伴う噴火）、2,100 年前、1,800 年前、1,600 年前の噴火噴出物が対比できた。2,500 年前の噴火はマグマ水蒸気噴火→サージを伴うマグマ水蒸気噴火→ストロンボリ式噴火→ブルカノ式噴火の順に推移したと考えられる。1,800 年前の噴火マグマ水蒸気噴火からマグマ噴火に推移した。噴火記録や既往研究から、噴火は地熱異常・噴気等で開始すること、噴火の際にはラハールが発生すること、マグマ噴火の際には溶岩流出を伴う可能性が高いことがわかる。火山活動は噴気等から水蒸気噴火またはマグマ水蒸気噴火に推移し、そのまま終わることもあれば、マグマ噴火へ推移することもある。爆発的噴火によるテフラは山麓まで到達することはまれである。このような鳥海山の火山活動の傾向は、火山防災政策に対する重要な知見である。

### ii) 鳥海山、西鳥海カルデラの活動履歴の解明

鳥海山の西鳥海カルデラ内噴出物は約 2 万年前より前に形成されたと考えられてきた<sup>56)</sup>が、最近になって少なくともその一部は完新世のものである可能性が考えられるようになり再検討を進めてきた。2017 年度に調査に着手し、2018 年度は噴出物の層序の概要を明らかにした。2019 年度に層序を確定させ、本年度は岩石学的研究を進め、岩石学的特徴の時間変遷を明らかにした。また鍋森湿原で発見された約 1 万年前以降のテフラ層の特徴もまとめた。以下にその概要を記す。

図 4.5 に西鳥海カルデラ内の噴出物の分布と層序を示す。噴出物は下位から、中ノ沢下部溶岩類（溶岩流主体でブロックアンドアッシュフロー堆積物も含む）、扇子森溶岩ドーム、鳥ノ海スコリア（降下スコリア）、中ノ沢上部溶岩類、鍋森湿原アグルチネート、その上位の万助道溶岩、鍋森山溶岩ドーム、前鍋森山溶岩ドームに分類できる。万助道溶岩、鍋森山溶岩ドーム、前鍋森山溶岩ドームの新旧関係は不明である。噴出物の総体積は約 8 km<sup>3</sup>である。このうち中ノ沢上部溶岩類の溶岩地形は非常に明瞭に保存されており、完新世に形成されたものであると推定される。よってそれより上位の層は全て完新世に形成されたものと考えられる。

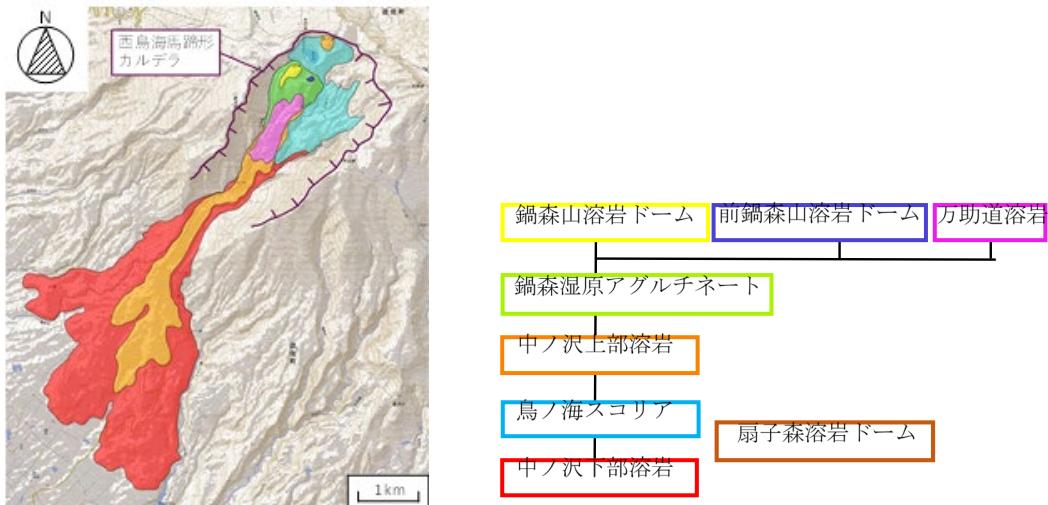


図 4 5. 西鳥海カルデラ内噴出物の地質図と層序図。林<sup>57)</sup>を基にし、大幅に改定したもの。

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、单斜輝石、直方輝石、かんらん石、普通角閃石斑晶は全ての噴出物に含まれる。鳥ノ海スコリア・中ノ沢上部溶岩類・扇子森溶岩ドームは、かんらん石斑晶に、また、鍋森山溶岩ドーム・前鍋森山溶岩ドーム・万助道溶岩は普通角閃石斑晶に富む。ディクチタキシチック組織を示す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、かんらん石と普通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。

全岩化学組成：母岩はハーカー図上で大局的に一連のトレンドを描き、高カリウム、カルクアルカリ系列に属する。SiO<sub>2</sub>量は、中ノ沢下部溶岩類は 57-59%、扇子森溶岩ドーム・鳥ノ海スコリア・中ノ沢上部溶岩類は 54-57%、鍋森湿原アグルチネートは 57-60%、鍋森山溶岩ドーム・前鍋森山溶岩ドーム・万助道溶岩は 59-61%である。詳しく見ると、中ノ沢下部溶岩類と扇子森溶岩ドームからなるトレンド（トレンド L）と鳥ノ海スコリア・中ノ沢上部溶岩類・鍋森湿原アグルチネート・万助道溶岩からなるトレンド（トレンド U）が認識できる。K<sub>2</sub>O・Rb・Sr・MgO・Cr・Ni 図でトレンド L はトレンド U より低めであり、FeO\*・TiO<sub>2</sub>・V 図ではその逆の傾向がある。鍋森山・前鍋森山両溶岩ドームはトレンド L・U のどちらの延長上にも乗らない場合が多い傾向にある。苦鉄質包有物のタイプ A は、母岩と同様の系列に属す一方で、タイプ B は中間カリウム、ソレアイト系列に属す。タイプ A はトレンド U の苦鉄質側延長上に乗る。タイプ B は母岩とは異なるトレンドを示す。

全噴出物約 9 割を占める初期の溶岩は、トレンド L を示すマグマによるものである。その後の全噴出物の約 1 割に相当する噴出物をもたらした、溶岩→火碎丘→小山体形成→溶岩にかけての活動は一部を除きトレンド U を示すマグマによるものである（図 4 6）。この活動では組成は珪長質方向へ順次変化した。再末期に形成された 2 つのドームはトレンド L・トレンド U から組成的に外れている場合が多い。これらの体積は全噴出物の約 1% 以下と少量で、上記の主要な 2 つのトレンドのマグマから副次的に派生したマグマ由来である可能性が考えられる。

鍋森湿原で発見された約 1 万年前以降の 17 枚のテフラ層については、最下位が約 1 万年前、最上位が約 4 千年前のものであった。下から 2 枚目と上部の 3 層は石質岩片を特徴

的に含み、下から 5 枚目・9 枚目のものはスコリアが卓越し、その他のものは細粒物主体であることが判明した。

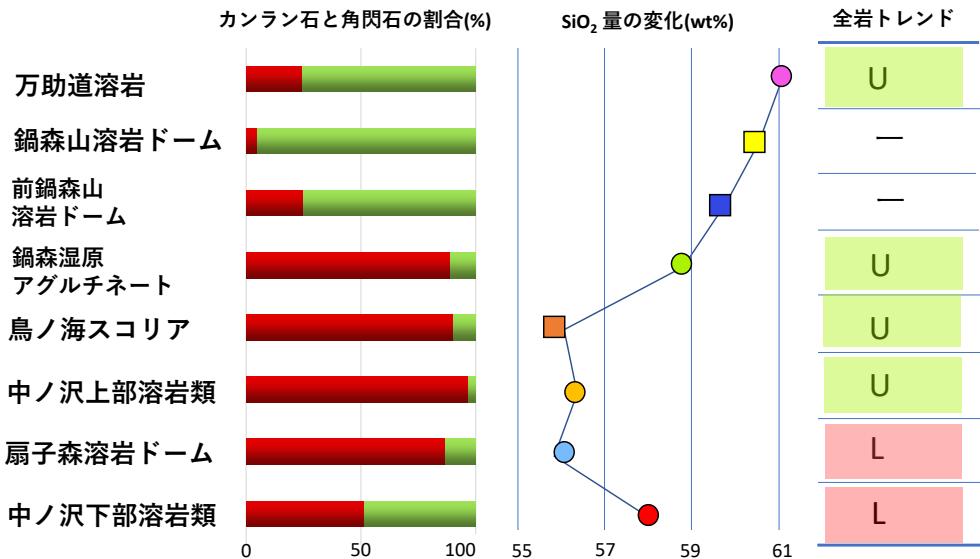


図 4-6. 西鳥海カルデラ内噴出物の岩石学的特徴の時間変化まとめ。

j) 栗駒山: トレンチ掘削調査による栗駒山の完新世噴火活動史の予察的調査 (秋田大学)

#### ○はじめに

栗駒山は秋田県、岩手県、宮城県の3県にまたがる活火山であり、3県の県境が交わる地点の約1km東方に山頂がある。完新世に活発な噴火活動があるのは、山頂の北側から須川高原までの間であり、とりわけ昭和火口で活発な噴火活動があったことが分かっている。ここでは1944年にも水蒸気噴火が生じている。水蒸気噴火が完新世における主要な噴火様式であるが、剣岳溶岩等のマグマ噴火も確認されている。令和2年度は、須川高原温泉に近いイワカガミ平湿原において掘削調査を実施し、採取試料の年代測定を行った。年代測定は山形大学高感度加速器質量分析センターにて加速器質量分析法(AMS法)による放射性炭素年代測定を行った。2試料について測定を実施し、いずれも良好な結果が得られた。

#### ○結果

このトレンチでは土壤が最上部にのみ発達し、上部黒色土壤から $1,240 \pm 22$  yBP、その下位の褐色土壤から $1,425 \pm 23$  yBPの年代値が得られた(図4-7)。その下位には9層の淘汰の良い層が認められ、その多くはテフラ層であると考えられる。とりわけ粗粒なスコリア層が4層認められ、完新世にマグマ噴火が繰り返し発生したことを示している可能性がある。これらのスコリア層は、明色粘土層、シルト層と互層しており、少なくとも一部は水蒸気噴火由来のテフラの可能性がある。

## ○考察

イワカガミ平湿原にて完新世噴出物と思われるマグマ噴火テフラ（スコリア層）が複数見いだされたが、現状では既往研究と直接対比できない。水蒸気噴火が主体とされている本火山でのマグマの活動の変遷を解明するため、この後も調査が必要である。露頭調査は既往研究<sup>58)</sup>にて丁寧に行われているが、テフラ層の露出は限られているために、トレンチ調査が今後も必要となる。

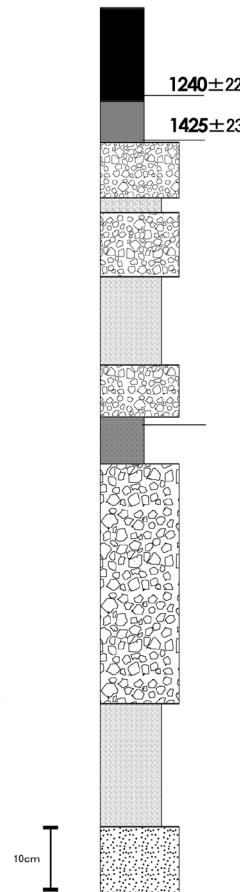


図47. イワカガミ平湿原トレンチの柱状図。図中の数値は<sup>14</sup>C年代値を示す。

k) 藏王山：トレンチ掘削調査および野外調査に基づく藏王山の噴火活動履歴の高精度化（山形大学）

藏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<sup>59)60)</sup>。これら3つの活動期について実施したことを活動フェーズ毎に以下に記す。

## ○藏王山約3.5～1.3万年前の活動フェーズ

前年度までに模式地（青根温泉から東南東約5km地点の私有地内：図48に柱状図を示す）を設定し、約3.5～1.3万年前の活動フェーズに属する4枚のテフラ層（Za-To1～4）を認識した。なお、Za-To3に対比されるテフラの下方には薄い2枚のテフラ層が認識されている（上位よりZa-To3b,3cとし、従来のZa-To3をZa-To3aとした）。

これまでに Za-To1~4 の空間分布を解明するため多くの地点での観察を行ってきたが、特に Za-To3 と Za-To4 は岩相が良く似ているため露頭間での対比に困難が生じていた。そこで、今年度は可能な限り多くの地点において各テフラ直下の古土壤や炭化木片を採取し<sup>14</sup>C 年代測定を行うことによって対比を試みた。

その結果以下のことが判明した。まず、山頂から東方約 7~15 km の地域では Za-To1 と Za-To2 は 3 つの地点で確認され、何れも地表から約 3~4 m 下方に産出していることが分かった。他の地点では 3~4 m の高さあるいは深度の情報は得られていない。この地域において Za-To1 と Za-To2 をさらに別の地点で観察するには約 3~4 m の深度のトレンチを行う必要がある。山頂から東北東 20 km 前後の地域では地表から約 1 m 下方に Za-To1 と Za-To2 に対比可能と考えられるテフラが認められた。しかし古土壤試料の炭素含有量が低く、年代測定が行えていない。対比の根拠を強いものにするためには上下の古土壤から広域テフラを見出すなどの方法が必要である。山頂から東方約 20 km 前後の地域では、これまでの研究で Za-To2 相当層とされてきたものは、確認したもの全てが約 1 万年前より新しい年代のものであることが判明した。

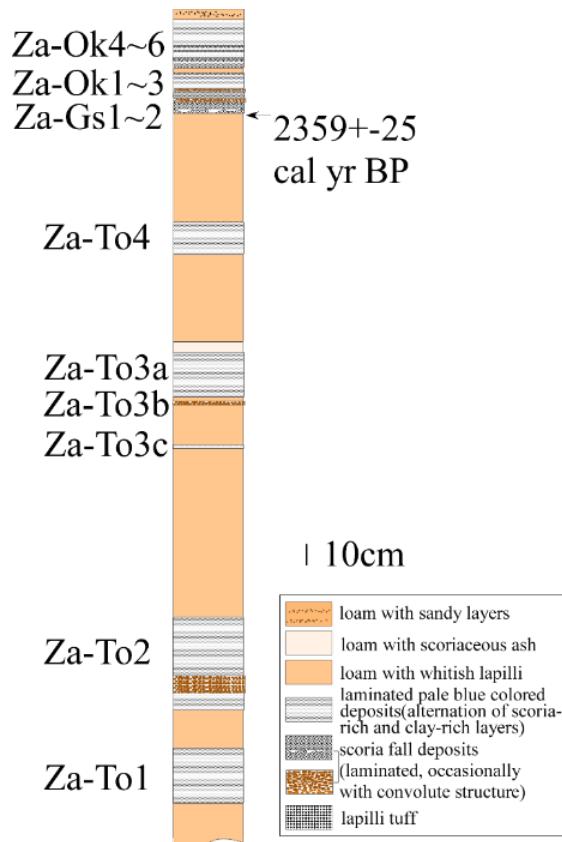


図 48. 東麓の模式地における柱状図。これまで Za-To3・Za-To4 としてきたものは、東北東とそれ以外に分布するもので異なることが判明した。模式地の Za-To3 と Za-To4 は全て約 1 万年前より新しい。

Za-To3 と Za-To4 については、東北東部に分布するものと、それ以外に分布するものが異なる年代のものであることが判明した。東北東部では 1 地点においての直下の古土壤の年代値から Za-To3 および Za-To4 の年代は 27 ka および 13 ka とされてきた。今年度の調査で北方の 1 地点において直下の古土壤から約 10 ka の年代値が得られたテフラが認められた。これが Za-To4 に対比される可能性がある。山麓のその他の地点では 27 ka または 13 ka に近い年代のテフラは発見されていない。なお、山頂周辺のトレンチ調査の結果、

13 ka に近い年代のテフラが認められた。これについては次項で述べる。

東北東部以外に分布し、Za-To3 と Za-To4 に対比されてきたテフラ層はこれまで年代推定が系統的に行われてなかったものである。今回それを行った結果、全て約 1 万年前より新しいものであることが判明した。これらについては次項で述べる。

#### ○蔵王山約 9~3 千年前の活動フェーズ

約 9~3 千年前の噴出物について、地表での調査を進めると共に、山頂から西方約 1.8 km (御田の神) 付近と東方約 4.8 km 付近の 2 地点においてトレンチ調査を実施した。

前項で記したように東麓に分布する従来 Za-To3 および Za-To4 と考えられていたもの多くはこの活動フェーズに属するものとなった。また、これまで認識されていなかった層も確認された。本年度の調査結果をまとめると、東麓に分布するこの活動フェーズに属するテフラは、7.1-7.7 ka・5.8-5.9 ka・5.4-5.8 ka・4.0-4.9 ka の主に 4 層となった。図 4-8 の Za-To3 と Za-To4 は従来のものとは別のテフラとして扱わなければならない。

一方で、山頂付近の昨年度と今年度のトレンチ調査によって、5.5 ka 前後と 4.9-5.0 ka 程度の年代の 2 層が認められた他に、約 6~12 ka の間にローム層を挟在しながら少なくとも 5 枚の水蒸気噴火テフラ層と少なくとも 5 枚の黒色火山灰層が認められた(図 4-9)。また、山頂から西方約 1.8 km 付近の地点において、約 12 ka の年代値が得られた古土壤の下位に約 40 cm の厚さの黒色火山灰層が認められた。これは前項で述べた Za-To4 に対比される可能性が高い。

#### ○蔵王山約 2 千年間の活動フェーズ

テフラ層序は前年度までに完成したが、今年度に他のフェーズのテフラ調査中に東麓の複数箇所の地点において約 2 千年前以降のテフラが新たに発見された。今後、それらを細分し、各々がこれまでに認定してきたどの層に対比されるかを検討する必要がある。

この間の噴出物については、それらをもたらしたマグマ供給系の構成と噴火に至るプロセスについて解明を続けており、既に地下約 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を続け、噴火に至ったと推定してきた。本年度は安山岩質、玄武岩質マグマの温度、含水量条件についての推定を精密化した。また、玄武岩質マグマの注入から噴火に至るタイムスケールについて、本年度は斜長石の組成累帯構造を基に推定を行い、前年度までにってきた輝石の組成累帯構造を基にした推定と整合的な結果を得た。すなわち、噴火に直結する注入は数か月前以内から程度が増し、それ以前の~30 年前頃にも注入は継続していたと考えられる。

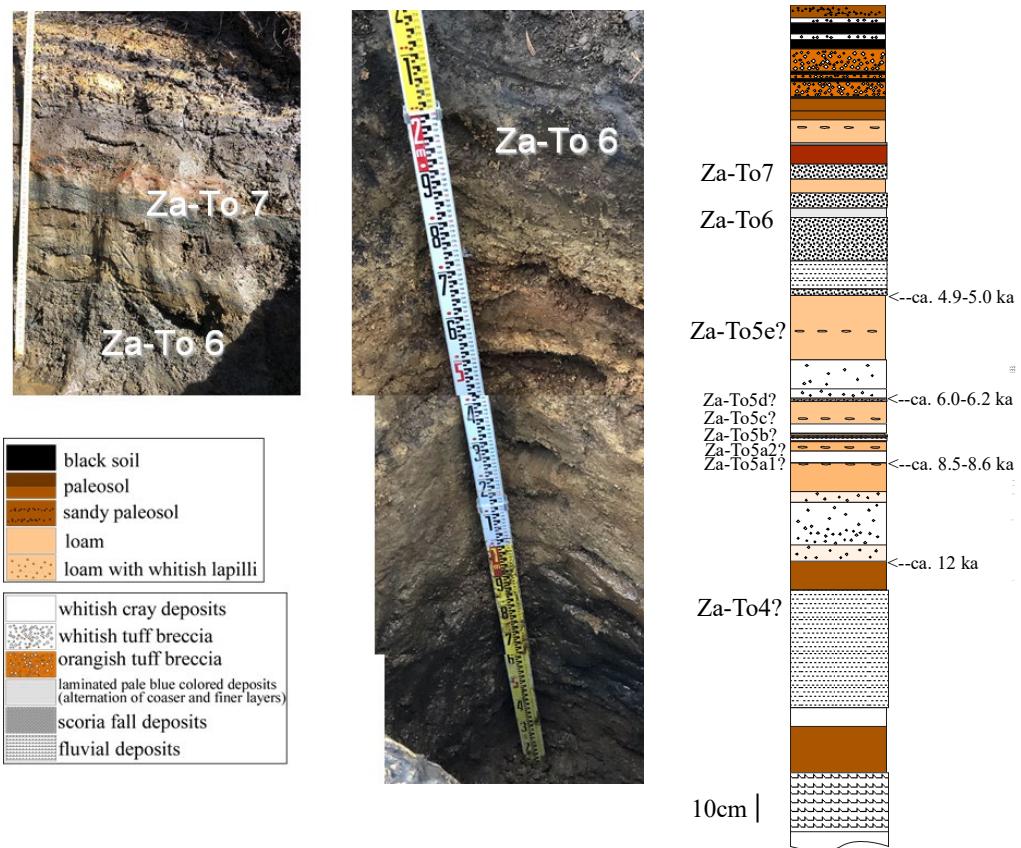


図 4.9. 御田の神でのトレンチ調査写真と柱状図。テフラの名称は暫定的なもの。年代値は  $^{14}\text{C}$  年代を基にしたもの。

1) 吾妻山: 物質科学的解析による西暦 1331 年噴火のマグマシステムの解明 (山形大学)

吾妻山の最新のマグマ噴火は西暦 1331 年に起こったと推定されている<sup>61)</sup>。その噴出物の現地観察を行い、火山弾試料を多量に採取し、分類・鏡下観察・全岩化学組成分析を行った。

火山弾を、色調から暗灰色安山岩 (D)、灰白色安山岩 (W)、安山岩暗灰色部 (BD)、同灰白色部 (BW) の 4 タイプに分類した。何れも斑晶鉱物として斜長石、直方輝石、单斜輝石、カンラン石、磁鉄鉱を含む安山岩である。斜長石は汚濁帶や蜂の巣状構造のような融食形を示すものが多く、单斜輝石や直方輝石の一部も融食形を示す。カンラン石は他の斑晶に比べて大きく最大径 10 mm のものもある。反応縁を持つものもある。D・BD では单斜輝石の方が直方輝石よりも多く、W・BW では逆である。W・BW は D・BD よりもカンラン石に乏しい。D と BD、W と BW は斑晶量について違いは認められない。石基は全てハイアロオフィティック組織を示す。なお、D・BD は W・BW よりマイクロライトが多く、W・BW は気泡が多い。

全岩化学組成は、主要・微量元素共に  $\text{SiO}_2$  組成変化図上で全ての試料が同じトレンドに乗り (図 5.0)、medium-K・calk-alkaline 系列に属する。 $\text{SiO}_2$  量の増加に伴い  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{Ba} \cdot \text{Nb} \cdot \text{Rb} \cdot \text{Y} \cdot \text{Zr}$  量は増加し、 $\text{TiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{FeO}^* \cdot \text{MnO} \cdot \text{Cr} \cdot$

Ni・Sr・V・Zn 量は減少する。SiO<sub>2</sub>量の増加に伴いカンラン石量は減少し、斜長石と輝石量は増加する。SiO<sub>2</sub>量は D・BD は約 58~59 wt% であるのに対し、W・BW は 60~63 wt% と明瞭に高い。

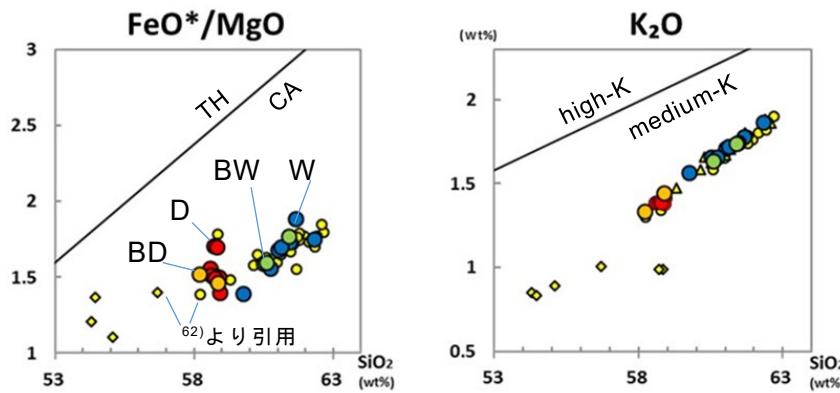


図 5 0 . 吾妻山西暦 1331 年噴火噴出物の FeO\*/MgO および K<sub>2</sub>O ハーカー図。TH(tholeiite) と CA(calc-alkaline)、high-K と medium -K の境界線は <sup>63)64)</sup>による。

m) 那須岳: 古地磁気学的手法を用いた火碎噴火と溶岩流出の同時性の検証 (茨城大学)

#### ○はじめに

那須火山群の茶臼岳 (1,951m) は、約 16,000 年前から活動を開始し、有史時代にも複数の噴火記録を持ち、現在も活発な噴気を上げる活火山である <sup>65)</sup>。本火山のマグマ噴火は、6 つのユニットから構成され、下位から、約 16,000 年前の CH1、11,000 年前の CH2、8000 年前の CH3、6,000 年前の CH4、2,600 年前の CH5、そして西暦 1408-1410 年の CH6 である <sup>66)</sup>。これらマグマ噴火ユニットの間には、水蒸気噴火のみからなる堆積物も挟在する。マグマ噴火ユニットでは、水蒸気噴火ではじまり、ブルカノ式噴火による降下火碎物や火碎流を発生した後、溶岩流出で収束するパターンが共通して認められるが、火碎流堆積物と溶岩流の直接の層序関係は必ずしも確認されていない場合が多い。また、CH1~CH6 を通して、2 端成分マグマ混合モデルが提唱されているが <sup>67)</sup>、特に苦鉄質側の情報に不足があった。本研究では、古地磁気方位測定により CH3 の火碎流堆積物と溶岩流の同時性を検証した。また鉱物化学組成から、CH3~CH6 の苦鉄質端成分の推移を検討した。

#### ○試料採取

本研究では、茶臼岳火山東北東麓の旧登山道沿い (Loc.1) に連続的に露出し、上下関係が確実に確認できる CH3~CH6 の一連の火碎堆積物について、記載・試料採取を行った (図 5 1)。各ユニットの識別・同定には、沼沢-沼沢湖テフラ (Nm-NK : 5.0 ka) や榛名-二ツ岳伊香保テフラ (Hr-FP : 1.4 ka) などの広域テフラを指標とした。CH3 の火碎流堆積物からは、6 つの本質物質 (礫) について定方位サンプリングを行った。また、本火山南部 (Loc.10) に分布する CH3 の溶岩流についても定方位サンプリングを行った。

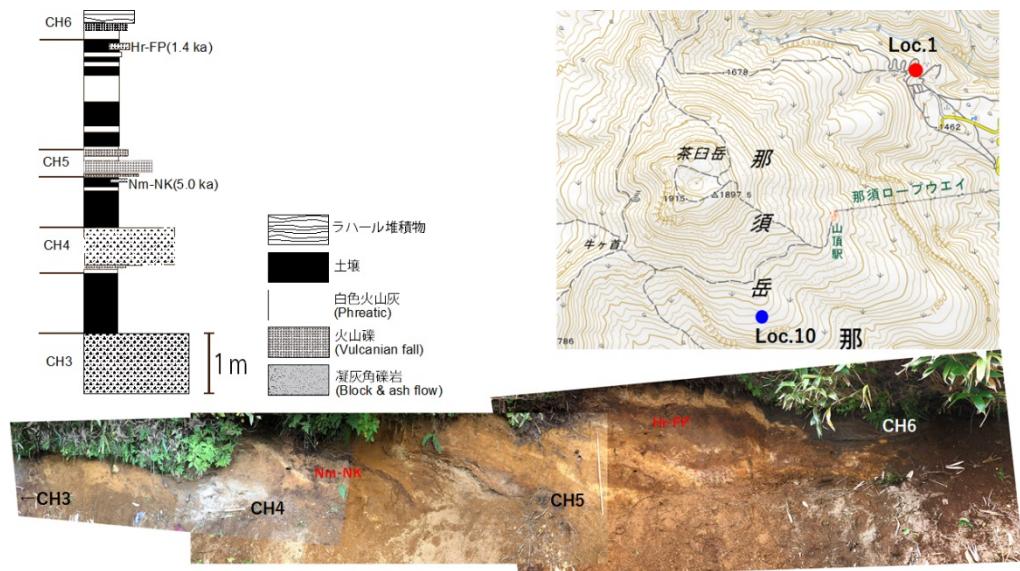


図 5-1. 茶臼岳の露頭位置図と Loc.1 の柱状図および露頭写真。

### ○古地磁気方位測定の結果

段階熱消磁実験の結果、CH3 の火碎流堆積物の消磁曲線は、400~450 °C を境に、高温成分と低温成分に別れ、低温成分の特徴的残留磁化方位は複数の礫間で同様の方向（平均方位の偏角 Dec : 346.04°、同伏角 Inc : 63.1°、 $\alpha_{95} = 5.7^\circ$ ）を示した。この平均方位は、現在の本地域の地軸双極子磁場方位 (Dec=7.7°、Inc=51°) とも異なる。以上のことから、試料採取地の CH3 の火碎流堆積物は、400~450 °C 以下で定置した可能性が高い。一方 CH3 の溶岩流の平均方位は Dec=359.01°、Inc=51.86°、 $\alpha_{95} = 4.4^\circ$  と、誤差 (95%信頼限界) を超えて火碎流堆積物のそれと異なる（図 5-2）。このことから、同じ CH3 とされる火碎流堆積物と溶岩流であっても、定置・冷却した時期が有意に（現在の地磁気永年変化率を考慮すると数十年は）異なることが判明し、今後も層序の見直しが必要であることが指摘できた。

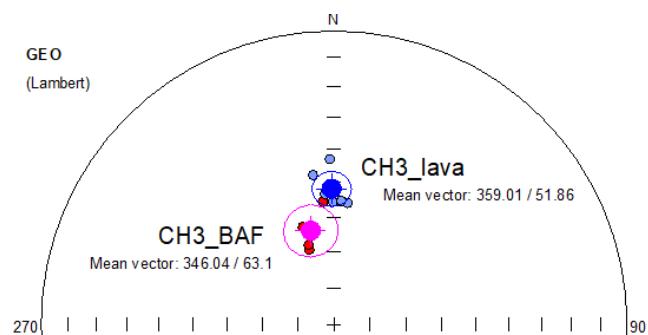


図 5-2. CH3 の火碎流堆積物 (BAF) と溶岩 (lava) の等積投影図。95%信頼限界を楕円で示す。

○はじめに

草津白根火山は、群馬県北西部に位置する活火山である。本火山では有史以降水蒸気噴火が繰り返し発生しており、2018年にも水蒸気噴火が起きている<sup>68)</sup>。本火山における噴火事象系統樹の作成のためには、小規模噴火を含む詳細な噴火履歴を解明することが必要である。一方、本火山の完新世の噴火は、白根火碎丘群、本白根火碎丘群、これら2つの火碎丘群の間にある逢ノ峰火碎丘・弓池マールなど多地点で発生している。マグマ噴火のテフラでは、本質物について物質科学的解析を行い、給源となった火碎丘やマールの火口近傍噴出物と比較することで、給源火口を特定することができる<sup>69)</sup>。一方、水蒸気噴火のテフラでは、物質科学的データをもとに給源火口を特定した例は少ない<sup>70)</sup>。

本年度は、水蒸気噴火のテフラの物質科学的データをもとに、給源火口の推定を試みたので、その結果を以下で述べる。

○本研究で得られた新たな知見

山麓テフラの調査地点を図5-3に示す。本研究で分析に供した試料はA～G地点採取したものである。

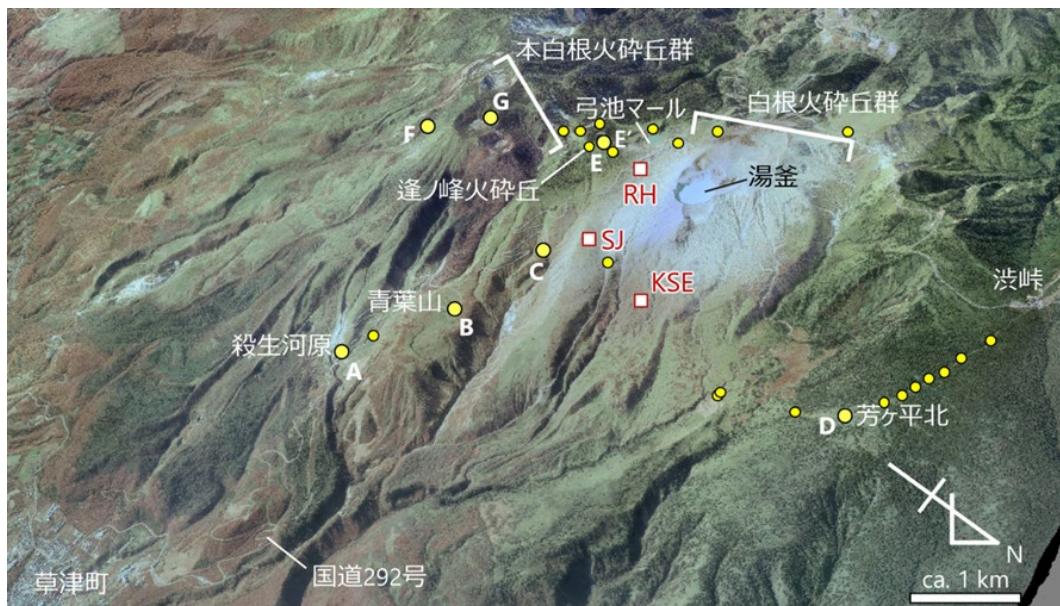


図5-3. テフラの調査地点。黄色い丸印が自然露頭および手掘りトレンチ調査地点、白抜きの四角は重機を使ったトレンチ調査地点<sup>71)</sup>を示す。地図は国土地理院の航空写真をPhotoscanで合成した。

水蒸気噴火で形成されたと推測される粘土質テフラについて、粉末X線回折法により熱水変質鉱物を同定した。分析にはバルク試料を用い、試料を40°Cの恒温槽で乾燥させたのち、メノウ乳鉢で粉末にしたもの用いた。同定された鉱物は、スメクタイト、パイロフィライト、カオリン鉱物、石膏、ミョウバン石、トリディマイト、クリストバライト、石英である。これらの鉱物は水蒸気噴火の堆積物に特徴的なものであり、特にシリカ鉱物、

ミョウバン石、カオリン鉱物は珪化変質や高度粘土化変質作用に特徴的であり、酸性流体による変質作用を示すとされる<sup>72)</sup>。クリストバライトと石英は全ての分析試料に含まれ、他の鉱物は含まれるものと含まれないものがある。偏光顕微鏡観察により、テフラに含まれる石英は細粒な石英粒子の集合体（モザイク状石英）として産するものであり、マグマ由来の高温型石英（単一の結晶）はほぼ含まれないことが確認できたため、XRD分析で同定された石英のピークは熱水性石英を示している。

本研究では、全ての試料に含まれる石英とクリストバライトに注目し、これらのバックグラウンド除去後のピーク強度の比 (Qtz/Crs) を水蒸気噴火のテフラの特徴を示す指標とした（図5.4）。白根火碎丘群近傍の地点 D のテフラ層は Qtz/Crs 比が 0.2~4.0 であるのに対し、本白根火碎丘群近傍の地点 G のテフラ層は Qtz/Crs 比が 1.4~9.0 である。このことから、白根火碎丘群起源のテフラの特徴は Qtz/Crs 比が低いのに対し、本白根火碎丘群起源のテフラは Qtz/Crs 比が高いという特徴をもつと言える。こうした差異は、熱水変質帯における石英とクリストバライトの存在度が火碎丘群ごとに異なること、あるいは石英とクリストバライトの分布深度が異なっていて水蒸気噴火の発生深度が異なることが考えられる。

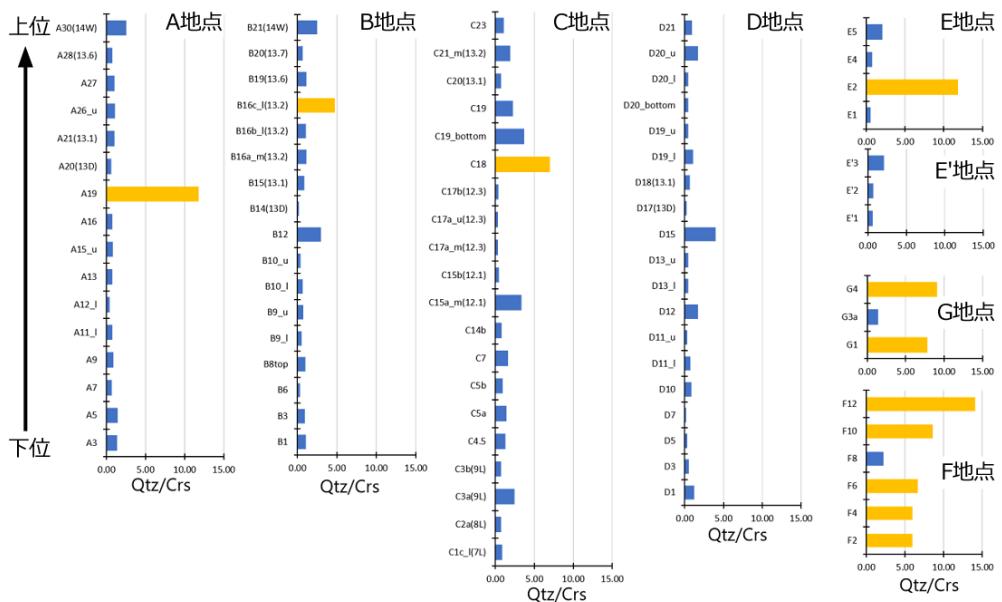


図5.4. 地点 A~G で採取した粘土質テフラの Qtz/Crs 強度比。

o) 志賀火山：地表調査、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）

### ○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り、志賀山とその南方 1 km に位置する鉢山火碎丘から構成される。また、南側に隣接する草津白根火山とともに火山群（草津白根火山群）を構成している。昨年度までの調査により、①志賀火山の活動が現在の鉢

山付近からの旭山溶岩と鉢山火碎堆積物/溶岩の噴出期（旧期）と、現在の志賀山付近からのおたの申す平溶岩と志賀山溶岩の噴出期（新期）に区分されること、②志賀山溶岩から構成される現在の志賀山山頂域に複数の爆裂火口列が見られ、その周囲に水蒸気噴火によるものと推測される粘土質テフラ（志賀山テフラ）が分布すること（図5.5）、③旭山溶岩・鉢山火碎堆積物/溶岩とおたの申す平溶岩・志賀溶岩がそれぞれ固有の組成変化傾向をもつことがわかっている（図5.6）。

本年度の研究では、志賀火山の最新の噴火年代を明らかにするため、志賀山テフラの追跡調査と物質科学的解析、テフラ層直下の土壤の放射性炭素年代測定を行った。なお、放射性炭素(<sup>14</sup>C)年代は、暦年較正曲線 IntCal20<sup>73)</sup>を用い、OxCalv4.4 較正プログラム<sup>74)</sup>を使用して暦年（単位は cal BP）を求めた。

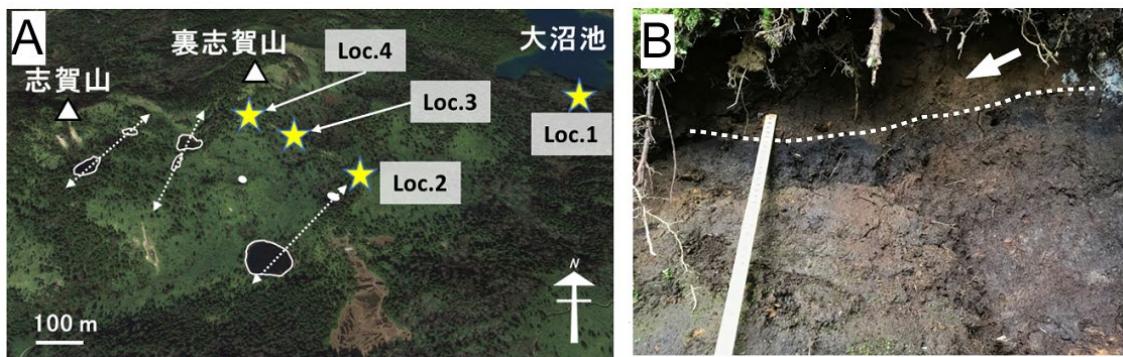


図5.5.(A) 志賀山山頂域の爆裂火口列と志賀山テフラの採取地点（基図は Google Earth）。(B) Loc.1 で見られる志賀山テフラ（白矢印）。破線はテフラの下面を示す。

#### ○本研究で得られた新たな知見

志賀山山頂域に存在する爆裂火口群を取り囲むように志賀山テフラ層が確認できる。山頂域の本テフラ層は、火山岩塊サイズの新鮮な安山岩片を含む白色粘土質火山灰層であり、基底を確認できないほど層厚が厚い（層厚 2 m 以上）。本年度の調査で、山頂から東方約 1 km の大沼池近傍の露頭（Loc.1）において同質のテフラ層（層厚 15 cm）を確認した（図5.5(B)）。志賀山山頂から大沼池近傍までの計 4 地点でテフラ試料を採取し、分析に供した（図5.5(A)）。なお、Loc.2 の東方で手掘りトレンチ調査を実施したが、テフラ層は確認できなかった。

テフラ層の XRD 分析の結果、ピーク位置や強度にわずかな違いが見られるものの、全ての地点のテフラから石英、クリストバライト、ミョウバン石、カオリン鉱物、スメクタイト、パイロフィライトが同定された。これらの鉱物は水蒸気噴火の堆積物に特徴的なものであり、特にシリカ鉱物、ミョウバン石、カオリン鉱物は珪化変質や高度粘土化変質作用に特徴的で、酸性流体による変質作用を示すとされる<sup>72)</sup>。すなわち志賀火山の地下には、本火山と近接する草津白根火山と類似した酸性熱水系の存在が示唆される。また、実体顕微鏡下では珪化岩片や変質岩片が多量に見られ、本質物が認められない。テフラ層中の安山岩岩塊の全岩化学組成を分析したところ、組成がおたの申す平溶岩・志賀溶岩の組成変化トレンド上に点示されることが明らかになった（図5.6）。

以上の結果から、志賀山テフラ層は志賀山において発生した水蒸気噴火によるテフラで

あり、志賀溶岩を吹き飛ばして形成したと考えられる。志賀山テフラの形成年代は、Loc.1 のテフラ層の直下の土壤の暦年（約 530～490 cal BP）から約 500 年前頃と推測される。

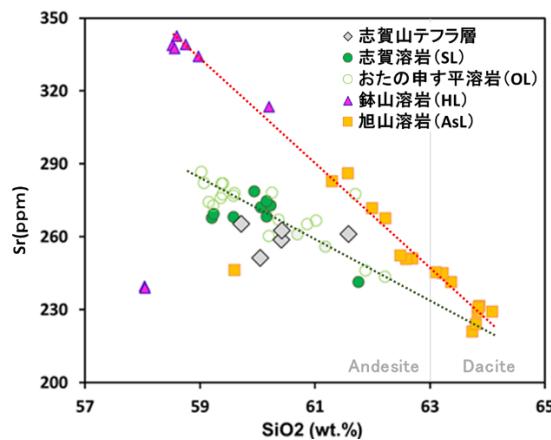


図 5-6. 志賀山テフラ中の安山岩岩片（灰色ダイヤ）の全岩化学組成。

p) 浅間山：トレンチ掘削調査による浅間火山の高精度噴火履歴復元（日本大学）

#### ○はじめに

浅間火山では、約 1 万年前より現在まで活動を続ける浅間前掛火山の噴火履歴復元のため、多数地点でのトレンチ掘削調査による地質記載と、降下火碎堆積物直下の土壤の放射性炭素年代測定を組み合わせた手法を継続している（図 5-7）。令和 2 年度の野外調査は、浅間前掛火山の前に活動した仏岩火山と黒斑火山の実態解明の目的も含めて、令和元年度に引き続き南麓の地質に注目して、重機トレンチ 3 か所、人力トレンチ 2 か所の掘削調査を行った。重機トレンチ 2 か所（長野県北佐久郡御代田町および軽井沢町）においては地元住民（計約 30 名）への見学説明を実施した（図 5-8）。また小諸市での浅間山火山防災講演会（リモート収録）の際に、本プロジェクトの成果の紹介を含めることで啓蒙および研究成果普及を行った。以下では令和 2 年度の重機トレンチ地点 19～21 および地点 M108 と M110 での人力掘削調査について報告する。

#### ○調査結果

重機トレンチ 19（地点 M109 御代田町長坂地区） 最上部は厚さ約 70 cm の黒色土壤で、地表下 30 cm 付近に黄褐色の軽石が極少量散る（NG1：図 5-8）。NG1 の下方の土壤（地表から 50～60 cm の区間）からバブルウォール型の火山ガラスが検出された（図 5-9(a)）。黒色土壤の下位には、褐色土壤を挟んで黄橙色火山灰と円磨された軽石から成る軽石流あるいはその 2 次堆積物、さらに基質が不均質で多様な岩片を含む岩屑なだれ堆積物や数枚の軽石層、風化火山灰層が認められる（図 6-0）。岩屑なだれ堆積物のブロックは最大径 1 メートルに達し、斑晶の大きさや量、石基の結晶度・色調、発泡の程度の異なる多様な岩片種がみられる（図 6-1）。軽石層の下位（地表下約 350 cm）には厚さ 10 cm 前後の淡褐色の火山灰層が見出された。この層は 66 重量パーセントが泥サイズときわめて細粒で、

構成粒子の大部分はバブルウォール型の火山ガラス（屈折率範囲は 1.4958～1.4982）である（図 5 9 (b)）。この層は層位、ガラスの形態、および屈折率範囲から始良 Tn 火山灰 (AT) に対比される。また地表直下の黒色土壌中から検出された火山ガラスは、層位から鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) に対比される。同じスケールで泡壁の厚さを比べると AT の方が若干厚い（図 5 9）。

重機トレーニング 20（地点 M112 御代田町塩野山） 黒斑火山の剣ヶ峰の南方の尾根上に位置する地点 M112 では、約 5m の掘削面に、褐色の風化火山灰層を挟んで非溶結～弱溶結の火碎流堆積物が複数枚認められた。表層の黒色土壌は約 17 cm と薄く、前掛火山の時代の軽石層は確認できない。また付近の谷では谷埋めの産状の仏岩火山の軽石流堆積物が濃褐色の土壌を挟んで 2 枚認められた。

重機トレーニング 21（地点 M107 軽井沢町大日向地区） 大日向地区東縁の崖面を掘削した。掘削面には追分火碎流堆積物は認められず、まず As-B が確認された。As-B の基底の下 10 cm 付近の黒色土壌よりバブルウォール型の火山ガラスが検出された。黒色土壌の下位には褐色火山灰の基質と円磨された軽石から成る基質支持の層 (OH1) が認められ、OH1 直下の土壌の <sup>14</sup>C 年代は約 7,900 年前を示す。OH1 の下位には黒色土壌を挟んで厚さ 2 m 以上の黄橙色火山灰と円磨された軽石から成る軽石流あるいはその 2 次堆積物、さらに黒斑火山の時期の岩屑なだれ堆積物が認められる（図 6 2）。岩屑なだれ堆積物には緻密な溶岩塊が多く含まれ、大きいものは 40 cm に及ぶ。巨視的に斑晶の量や大きさ、石基の色調・結晶度、発泡の程度の異なる多様な岩片があり、溶結構造を持つ岩片も認められた。

人力掘削調査（地点 M110 軽井沢町千ヶ滝別荘地北方） 大滝右岸の高さ約 43 m の谷壁を掘削し、最上部の黒色土壌に挟在する 2 枚の軽石層を確認した。上位の軽石層の基底から 10～20 cm 区間の土壌よりバブルウォール型の火山ガラスを検出した。下位の軽石層の下の黒色土壌には少量の軽石が散る。黒色土壌の下位は黄橙色の火山灰層や軽石層、火碎流堆積物など仏岩火山の時期の堆積物が谷底まで認められる（図 6 3）。

人力掘削調査（地点 M108 大日向地区） 本地点は地点 M107 の南西 700 m の畑地で、耕作土の下に緻密な岩片に富む黒色土壌を挟んで軽石層と火山灰層が確認された。さらに下位に追分火碎流堆積物の上面が認められた。図 6 4 には穴底から掘り出された 33 cm 大のスコリア質ブロックが見られる。

## ○結果のまとめと考察

今年度は浅間前掛火山の南東麓～南西麓での地質調査がすすんだ。南麓の表層は天仁噴火の追分火碎流堆積物とその 2 次堆積物に厚く覆われるが、地点 M107 と M108 の掘削から、火碎流と As-B の層位関係を知る上で火碎流堆積物縁辺部での掘削が有効であることが示された。地点を増やして層位関係を検討するのが今後の課題である。図 5 7 で最西部の地点 M112 は、釜山火口の南南西の黒斑火山の尾根上に位置し、浅間前掛火山の時代の土壌が 20 cm 以下と薄い。また地点 M109 ではアカホヤ火山灰 (K-Ah) を含む前掛火山の時代の黒色土壌の基底が地表から 70 cm と、より東部の地点に比べ非常に浅く、軽石粒子が散るレベル (NG1) が確認されるのみだった。地点 M112 と M109 では過去 1 万年間に前掛火山の活動の影響をほとんど受けていないといえる。NG1 については地点 P92 や P103 で記載された D-SSW <sup>75)</sup> に対比可能で、地点 M109 西方の広畑遺跡で土壌中に見出

された軽石<sup>76)</sup>と同様に D-SSW の縁辺相らしい。南東麓の地点 M110 でも K-Ah より上位に軽石層が見出され、D グループ<sup>75)</sup>をもたらした縄文時代の活動の痕跡の一部と認識される。また地点 M109 では地表下約 3.5m に約 3 万年前の姶良丹沢火山灰 (AT) が確認されたが、層厚や粒度組成から AT4 層<sup>77)</sup>に対比可能とみられる。AT の降下後、山体崩壊までの間に南麓にもたらされた軽石層 (BP の一部) が複数あったことがわかった。過年度に調査した北東麓の地点 D62 (トレンチ 13) も同様であるが、南南西の地点 M112 (トレンチ 19) や M109 (トレンチ 21) では東麓に比べ前掛火山の時代の黒色土壌も含めた堆積量が小さいため、約 5 メートルの掘削面からより古い仏岩、黒斑火山の時代の地質情報が得られることもわかった。

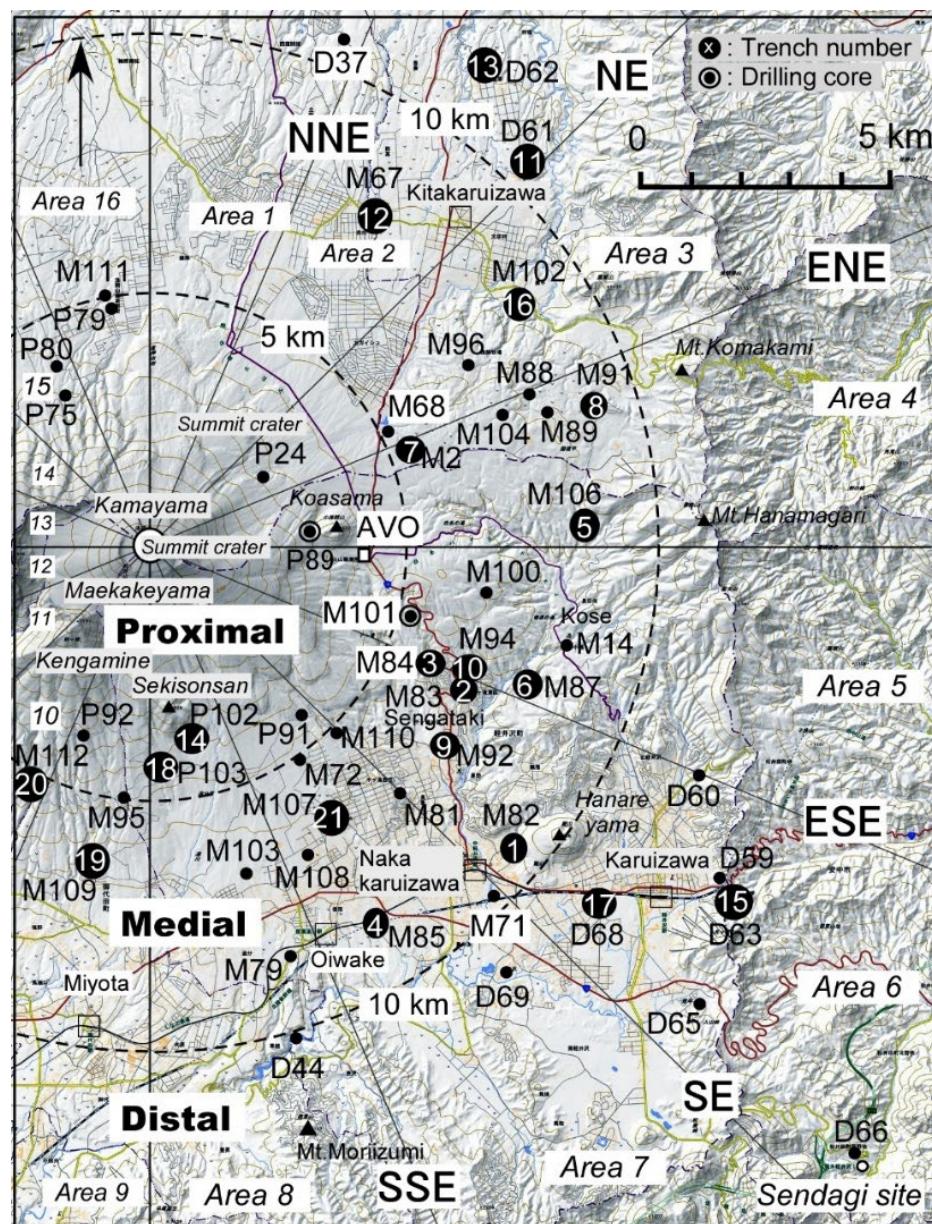


図57. 本プロジェクトによる掘削調査地点（地理院地図使用）。



図 5.8. 地点 M109 (トレンチ 19) と住民説明の様子。最上部の黒色土壤中の矢印は軽石粒子の散在するレベル (NG1)。

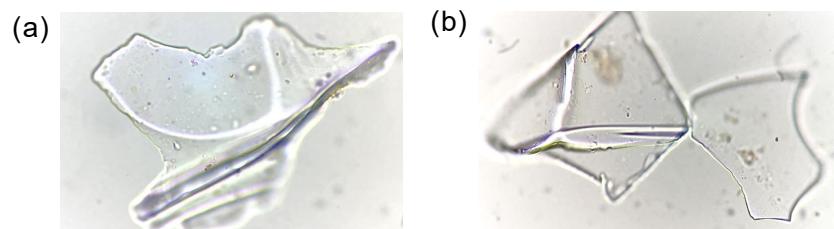


図 5.9. 地点 M109 で検出された火山ガラス (粒径範囲 0.125~0.063 mm)。(a) K-Ah、(b) AT。



図 6.0. 地点 M109 (トレンチ 19) の掘削面の全景、スケール 5 m。矢印は AT 火山灰層を示す。



図 6 1. 地点 M109 の岩屑なだれ堆積物に含まれる岩片。



図 6 2. 地点 M107 の掘削面全景。スケール 5 m。



図 6-3. (a) 地点 M110 の様子 (スケール 1 m)。火碎流堆積物に挟在する軽石層が認められる。(b) 地点 M110 最上部の様子 ((a)の白枠)。人物の腰付近より上位が浅間前掛火山の堆積物。



図 6-4. 地点 M108 の全景 (スケール 1 m)。矢印は火碎流堆積物より上位の軽石層。

q) 新島：伊豆弧、新島火山における噴火の変遷と長期予測のための物質科学的研究（筑波大学）

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。今年度の成果を以下に述べる。

#### ○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。流紋岩の斑晶鉱物は主に、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ナイトが含まれることが特徴であり、他の伊豆弧火山とは異なっている。

#### ○斑晶鉱物の化学組成、および全岩化学組成の特徴

斜長石のコアーリムの 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（あるいは組み合わさる鉱物種）と共に、減少傾向を示す<sup>78)</sup>。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。

ここ 2～3 年の研究成果を加えると、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。その結果、流紋岩類は SiO<sub>2</sub>=73～78%（多くは 75～78%）と高く、また全体的に組成幅が狭い結果となった（図 6-5）。流紋岩をユニットごとに元素-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<sup>78)</sup>。全体的には Opx-Cum-type・Cum-type では Bt-type と比較し、MgO・FeO・CaO に富み、K<sub>2</sub>O・Na<sub>2</sub>O 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多かった。

令和 2 年度は、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（EPMA 分析結果は報告済み）、また新島本島に隣接した地内島、および試料は少ないが神津島の流紋岩の元素組成分析の追加も試みた。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わかった。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。この考えは伊豆弧における隣接した噴火ユニットでもその生成や分化が異なるという研究例（例えば、東伊豆単成火山の岩石<sup>79)80)</sup>）とも調和的である。

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読み取れるが、それぞれわずかな違いがあるように見える。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どらかな右下がり（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（昨年の報告書に記載済み）。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わかる。式根島の追加試料は他の黒雲母流紋岩のデータとほぼ一致している。神津島の追加試料(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できたことは新しい結果である。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ることができる。一方で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方と調和的である。

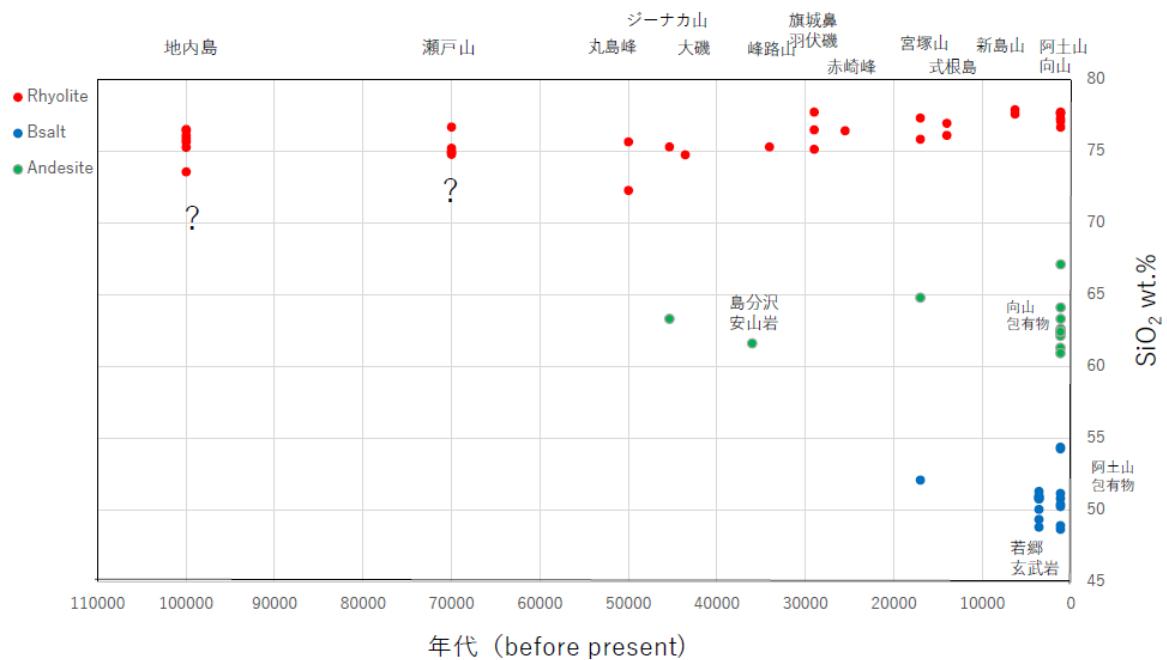


図 6.5. 新島、式根島の火山岩の年代-SiO<sub>2</sub> (wt.%) 図（従来の研究<sup>78)81)82)</sup>および本研究結果に基づく）。

#### ○マグマの長期的な変動など

今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 ( $190 \times 10^9$  kg/ka) などもすでに提示されている（図 6.6）。本研究では、それを大きく改変する結果ではない。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、わずかずつ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、一方で、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みられ、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すに推測される。もちろん、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ことは確かであるが、その傾向は下記図等からも推測できる。今後の噴火推移の傾向は必ずしも明確ではないが、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。

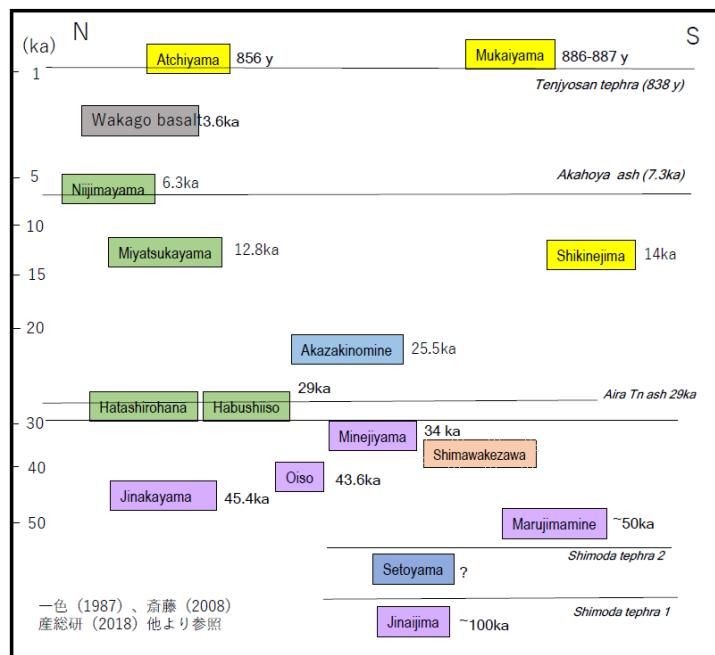


図6.6. 各噴火ユニットの年代と分布（年代は、一色<sup>82</sup>等参照）。流紋岩類（紫：Opx-Cum type；青：Cum type；緑：Cum-Bt type；黄：Bt type）、安山岩（オレンジ）、玄武岩（灰色）。

r) 三宅島：野外調査および物質科学的解析に基づく坪田期（4-2.5 ka）の噴火活動推移とマグマ供給系の解明（茨城大学）

#### ○はじめに

三宅島火山において地質学的・岩石学的データが比較的少ない約4,000年前～2,500年前の噴出物（坪田期）を対象に野外調査と試料の採取・室内分析を行った。坪田期は、本火山が長期の静穏期を終えて活動期に移行した時期にあたり、特徴的に安山岩を噴出するなど<sup>83</sup>、中長期的噴火推移やマグマ変遷を理解する上で重要である。

## ○地質調査の結果

坪田期噴出物は、南部沿岸域の海食崖にほぼ連続的に露出しており、得られた複数の放射性炭素年代値と組み合わせることで精緻な層序を構築できた。この時期には少なくとも28層の噴火堆積物が認識でき、その噴火頻度は約1.9回/100年と見積もられる。この値は、従来の報告<sup>83)</sup>よりも大きく、本火山では、静穏期直後から高い頻度で活動していたことが明らかになった。また、3.4kaを境に、噴出物に含まれる本質物質の特徴が異なることが分かった。ステージ1(4.0–3.4ka)の本質物質は、結晶質(10–35 vol.%)、斑レイ岩質の捕獲岩および捕獲結晶(巨晶)をごく普通に含む(図6.7)。一方、ステージ2(3.4–2.5ka)はほとんどが無斑晶質(0.3–5.7 vol.%)な本質物質で特徴づけられる。

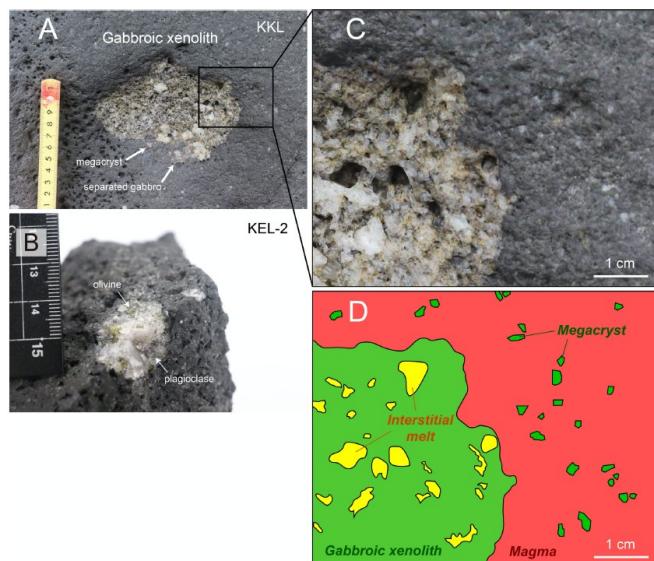


図6.7. ステージ1噴出物中の斑レイ岩質捕獲岩。

## ○岩石学的検討の結果

坪田期噴出物は、 $\text{SiO}_2 = 52.9\text{--}60.5\text{ wt.}\%$ で、低カリウム岩系、ソレアイト系列に属する(図6.8)。2つのステージ間で $\text{SiO}_2$ 量の幅に違いはなく玄武岩質安山岩～安山岩の組成を示す。同様の $\text{SiO}_2$ 量で比較すると、ステージ1は、より $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--}\text{CaO}$ に富み、 $\text{TiO}_2\text{--}\text{FeO}^*\text{--}\text{MnO}$ に乏しい組成トレンドを示す。ステージ2噴出物は、ほとんどが無斑晶質(<6 vol.%)であるが、一部に斜長石斑晶質(>26 vol.%)な試料があり、これらは特徴的に高い $\text{Al}_2\text{O}_3$ 値(>16%)を示す(図6.8)。この組成変化は、同じく伊豆小笠原弧に位置する伊豆大島火山<sup>84)</sup>、八丈島西山火山<sup>85)</sup>、伊豆鳥島火山<sup>86)</sup>などの玄武岩質火山で報告されているように、玄武岩質メルトへの斜長石の濃集で説明可能であり、マグマ溜まり中の斜長石の選択的な浮上によるものと考えられる<sup>87)</sup>。

以上の地質学的・岩石学的データから、坪田期の初期(ステージ1)は、静穏期に発達した結晶質(マッシュ状)マグマ溜まりに新しいマグマが貫入し、マッシュ状の鉱物ネットワークを解体・捕獲しながら開始し、後半(ステージ2)では、メルトが発達したマグマ溜まりで斜長石の分別作用が起こったと考えられる。

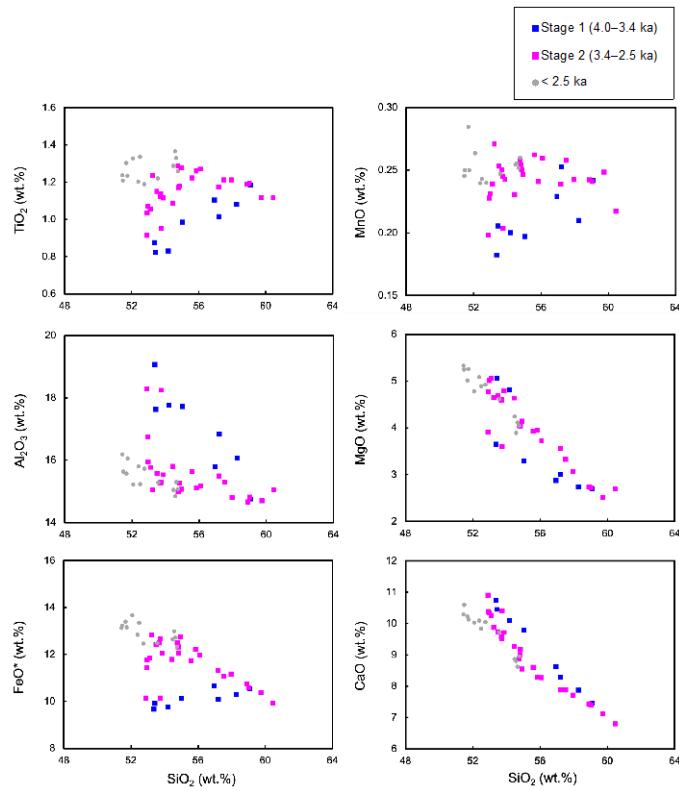


図 6.8. 三宅島火山坪田期噴出物の全岩化学組成ハーカー図。

s) 妙高火山群：地表調査及び噴出物の物質科学的解析による噴火履歴・マグマ供給系の解明（富山大学）

#### ○はじめに

妙高火山は新潟・長野県境に位置する複式成層火山であり、隣接する新潟焼山火山などとともに妙高火山群を構成している。本火山の山頂部には東方に開いた馬蹄形凹地があり、その中に中央火口丘が形成されている。本火山は約 30 万年前から活動を始め、活動史は第 I ～第 IV 期に大別される<sup>88)</sup>。本火山の最新の活動期は、第 IV 期後半の中央火口丘期である。中央火口丘期には溶岩流と block-and-ash flow (BAF) がそれぞれ 2 ユニット噴出しているが、①山頂部に分布する溶岩流と山麓に主に分布する BAF の層序関係が不明である、②馬蹄形カルデラ内に複数存在する小規模爆裂火口の活動年代が不明である、など、検討すべき問題点が残っている。

本研究では、中央火口丘期のマグマ噴火噴出物について噴出物層序の見直しと噴出物の物質科学的解析を行った。なお、放射性炭素 (<sup>14</sup>C) 年代は、暦年較正曲線 IntCal20<sup>73)</sup> を用い、OxCalv4.4 較正プログラム<sup>74)</sup>を使用して暦年（単位は cal BP）を求めた。

#### ○新たに得られた知見

中央火口丘期の噴出物は、妙高山火碎岩層 (MPR)、赤倉火碎流堆積物 (APFD)、燕溶岩流 (TL)、大田切川火碎流堆積物 (OPFD)、妙高山溶岩流 (ML) である（図 6.9）。MPR は中央火口丘北側の北地獄谷内に凝灰角礫岩として産し、TL と ML に覆われる。APFD は

凝灰角礫岩層として産し、山麓で OPFD に覆われ、境界には土壌層を挟む。TL は中央火口丘東斜面に緻密な溶岩として産し、白色の包有岩を多く含む。OPFD は馬蹄形凹地北側の谷から北東山麓へかけて分布し、一部は TL を覆う。ML は中央火口丘上部を覆うように分布し、北側では OPFD を覆う。

中央火口丘期噴出物の斑晶組合せは、斜長石 + 角閃石 + 単斜輝石 + 直方輝石 ± カンラン石 (Ol) ± 石英 (Qtz) + 不透明鉱物である。全噴出物に Ol と Qtz の共存などマグマ混合を示す組織が見られる。全岩化学組成分析から、中央火口丘期噴出物は、多くの組成変化図では同一のトレンドに載る。一方、Sr-SiO<sub>2</sub> 図では苦鉄質側で Sr 量が発散して珪長質成分で収束しており、低 Sr (MPR · APFD · TL) のトレンドと高 Sr (OPFD · ML) のトレンドに分かれる (図 6.9)。

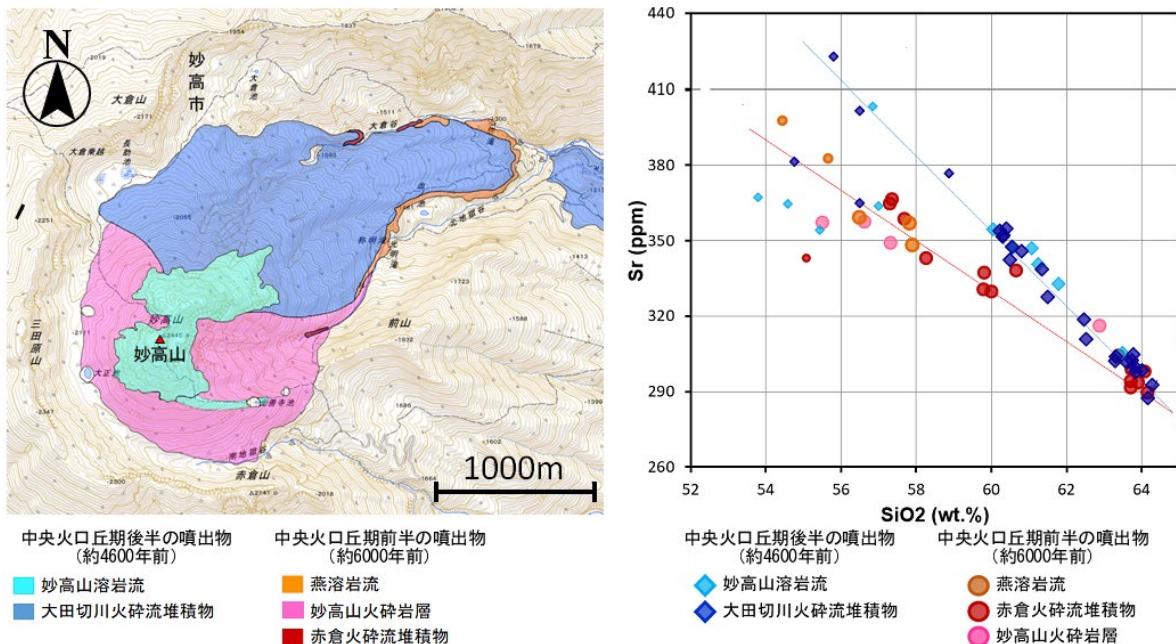


図 6.9. 馬蹄形凹地内における中央火口丘期の噴出物の分布(左)と噴出物の全岩組成(右)。

噴出物層序と年代及び全岩化学組成の類似性から、中央火口丘期は、休止期を境に前半の活動 (APFD · MPR · TL) と後半の活動 (OPFD · ML) に分けられる。前半の活動は APFD 中の炭化木の暦年 (5,993-5,914 cal BP) から約 6,000 年前、後半の活動は OPFD の炭化木の暦年 (4,574-4,260 cal BP) から約 4,500 年前と推測される。これらの活動期では、珪長質端成分マグマの組成はほぼ同一であるものの、苦鉄質端成分では Sr 量が変化している。

中央火口丘期の前・後半にはそれぞれ BAF が発生しているが、その分布は谷域に限定されておらず、妙高火山の東麓に極めて広く分布している。また、一般的な BAF (例えば、雲仙普賢岳の BAF 堆積物) では主要構成物が緻密な溶岩片であるのに対し、中央火口丘期の 2 層の BAF には特徴的に多孔質の軽石状岩片が多産する。そのため、中央火口丘期の BAF は、溶岩ドームや溶岩流の重力崩壊 (メラピ型) によるものではなく、爆発的破壊 (プレー型) により発生したものである可能性が高いと考えられる。

t) 鷲羽池火山：地表調査による噴出物の分布・噴火出年代の解明 - 活火山の検証 -  
(富山大学)

○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、隣接する雲ノ平火山や岩苔小谷火山などとともに鷲羽・雲ノ平火山<sup>89)</sup>を構成する。鷲羽池火山では、火口（鷲羽池火口：図70）が原地形を明瞭に保存しており、その周囲にスコリアや爆発角礫層が分布することが報告されている<sup>89)</sup>。また、鷲羽池火口周辺の泥炭中には広範囲に砂礫混じりの粘土質テフラ（鷲羽池テフラ）が見られることが以前からナチュラリストの間では知られていたが（関谷克己、私信）、年代や噴出源、噴火様式はわかつていなかった。本年度は鷲羽池テフラの分布調査、放射性炭素（<sup>14</sup>C）年代測定、テフラの物質科学的解析を行ったので、その結果を以下に述べる。なお、<sup>14</sup>C年代は、暦年較正曲線 IntCal20<sup>73)</sup>を用い、OxCalv4.4 較正プログラム<sup>74)</sup>で算出した暦年（単位は cal BP）で示した。



図70. 鷲羽岳山頂（標高2,924 m）から見た鷲羽池火口。鷲羽岳の山体は主に花崗岩から構成されており、鷲羽池火山の火口と噴出物は鷲羽岳の南斜面に分布する。

○本研究で得られた新たな知見

本調査地域においては、稜線上の緩斜面や鞍部等に最大層厚約30 cmの泥炭が発達しており、泥炭中に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テフラ層は、層厚5~15 mmの白褐色の細粒火山灰層であり、その色調やバブルウォール型火山灰が多産するという特徴及びガラスの化学組成から、7,300 cal BP<sup>90)</sup>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厚の泥炭層を挟み産出するのが、淡黄色~橙色の鷲羽池テフラである（図71(A)）。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。本層は粗粒砂~中礫サイズの花崗岩の異質岩片を多く含み、本質物を含まないため、水蒸気噴火のテフラと考えられる。

三俣山荘裏のキャンプ指定地では本層の直下に赤褐色の火碎サージ堆積物(層厚約30cm)も見られる(図7-1(B))。



図7-1. (A) Loc.1で見られる鷲羽池テフラ(層厚9cm)。(B) 三俣山荘西のキャンプ指定地で見られる火碎サージ堆積物。

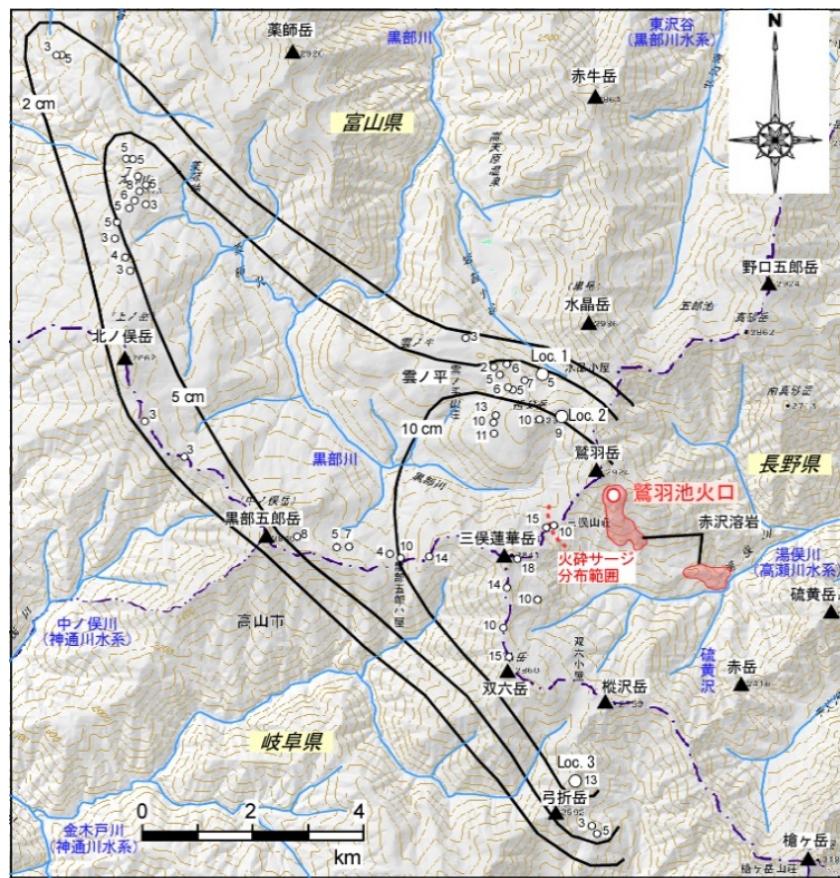


図7-2. 鷲羽池テフラのアイソパック・マップ。火碎サージ堆積物と赤沢溶岩の分布も併せて示した。

鷲羽池テフラ直下の泥炭を 3 地点で採取し、その  $^{14}\text{C}$  年代を測定した。泥炭の暦年は、地点が 3,619-3,461 cal BP、地点 2 が 2,935-2,782 cal BP、地点 3 が 2,758-2,724 cal BP である。地点 1 の泥炭から他の 2 地点に比べやや古い年代が得られたが、地点 2 と地点 3 の年代値はほぼ同じであり、鷲羽池テフラが約 2,700 cal BP 頃に堆積したことが示唆される。

本年度の調査では、鷲羽池テフラの分布は鷲羽池火口の西側しか調査できていないものの、本テフラの層厚が鷲羽池火口付近で最も厚くなることから、噴出源が鷲羽池火口とするのが自然である（図 7-2）。また、本年度作成した等層厚線図を基に、Hayakawa<sup>91)</sup>の簡便式を用いて算出した噴出量は  $2\sim3\times10^7 \text{ km}^3$  である。

#### u) 白山火山群：手掘りトレンチ調査による噴火履歴の解明（富山大学）

##### ○はじめに

白山火山群は、石川・岐阜県境に位置する活火山である。史料に残る本火山群の最後の噴火は 1659 年の水蒸気噴火であり、表面的には 350 年以上静穏期を続けている。これまでのテフラ層序調査により、本火山の山頂域には下位から順に Hm-1～Hm-18 のテフラ層が確認されており、このうち広域テフラである Hm-2（鬱陵島岐テフラ）と Hm-6（鬼界アカホヤ火山灰）を除く 16 枚が白山火山起源のテフラとされている<sup>92)</sup>。

本年度の調査では、白山火山群を構成する 3 つの火山体のうち最も活動年代が新しい新白山火山の山頂域 3 地点で手掘りトレンチを行い、噴出物層序解明、放射性炭素（ $^{14}\text{C}$ ）年代測定及び本質物の物質科学的解析を行い、既知のテフラ層と対比した。 $^{14}\text{C}$  年代は、暦年較正曲線 IntCal20<sup>73)</sup>を用い、OxCalv4.4 較正プログラム<sup>74)</sup>で算出した暦年（単位は cal BP）で示した。

##### ○本研究で得られた新たな知見

大汝峰南西の地点 A、室堂平西方の地点 B、室堂平東方の 2,489 m 峰の地点 C で手掘りトレンチ調査を行った（図 7-3）。

地点 A では黒土を挟んで 2 回の噴火イベントの堆積物を確認した。上位の噴火堆積物は、1 層の火碎流堆積物と 3 層の粘土質火山灰層、3 層の粗粒火山灰～ラピリ層からなる。噴火堆積物直下の黒土の暦年（392-318 calBP）から、本堆積物は最新の噴火（1659 年噴火）で形成されたものと推測される。1659 年噴火は記録には残っているものの、堆積物はこれまで確認されていなかった。本研究により、この噴火では火碎流も発生したことが明らかになった。下位の噴火堆積物は、少なくとも 2 層の火碎流堆積物と 1 層の火碎サージ堆積物から構成される。火碎流堆積物は、最大径約 20 cm の急冷割れ目をもつ本質安山岩岩塊と同質の粗粒火山灰～細粒ラピリの基質から構成される。最上位の火碎流堆積物には炭化材も見られる。炭化材の暦年（506-438 calBP）から、火碎流堆積物と火碎サージ堆積物は、1554～1556 年の噴火で形成された翠ヶ池火碎流堆積物<sup>93)</sup>に対比できる。

地点 B では、黒土を挟んで 2 回の噴火イベントの堆積物を確認した。上位の噴火堆積物は、白色～橙色粘土質火山灰層と、それを覆う火碎サージ堆積物からなる。後者は、急冷

割れ目をもった安山岩質火山岩塊～ラピリと同質の褐色火山灰からなる。噴火堆積物直下の黒土の暦年（1,536-1,467 calBP）から、本噴火堆積物は Hm-13（1,604-1,305 calBP）<sup>92</sup>に対比される。下位の噴火堆積物は、複数枚の白色～黄色の粘土質火山灰層（安山岩質火山岩塊～ラピリを伴う）、2層の暗灰色～茶色の火山灰～ラピリ層（急冷割れ目をもつ安山岩質火山岩塊を伴う）、1層の火碎サージ堆積物からなる。岩相の類似性から、本噴火堆積物は、Hm-12（3,076-2,355 calBP）<sup>92</sup>もしくは Hm-11（年代は不明）に対比されると推測される。

地点 C では、1回の噴火イベントの堆積物が確認できた。本堆積物は複数枚の灰色～橙色粘土質火山灰層、スコリアや緻密な安山岩片を伴う降下ラピリ層、1層の火碎サージ堆積物などから構成される。本堆積物直下の黒土の暦年（2,491-2,348 calBP）、岩相・岩質及び既知年代（2,494-2,349 calBP）<sup>94</sup>との類似性から、本堆積物は Hm-10（南竜火山灰層）<sup>92</sup>に対比され、その火口近傍層と考えられる。

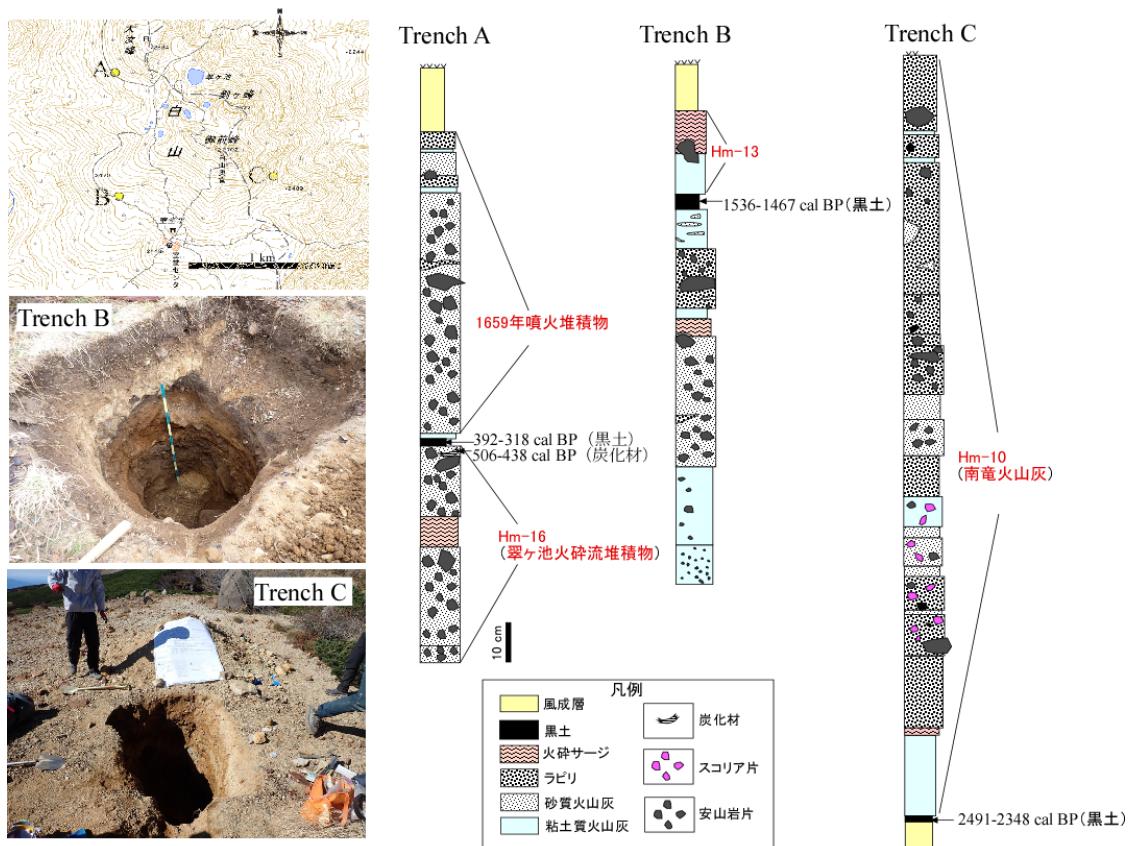


図 7-3. 手掘りトレンチ地点とその写真及び各トレンチの柱状図。

v) 御嶽山：精密年代測定法に基づく噴火活動履歴の解明 （産業技術総合研究所）

#### ○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、現在も続いている、完新世にも複数回のマグマ噴火を含む活動を行っている<sup>95)96)</sup>。近年では、1979・1990・2007・2014年に水蒸気噴火を行っており、1979・2014年の噴火はVEI:2の規模の噴火であった。そのため、近い将来も同程度の噴火活動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とともに、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。

一般的に火山は、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<sup>97)98)</sup>。また、それより細か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、現在の火山活動が、活動期であるか休止期である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、防災上重要である。

本年度は、新型コロナウイルス感染症拡大のため、当初予定していた野外調査は実施できなかったが、火山層序の整理やすでに採取済の試料を使用して年代測定の実施を行った。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。

### ○新期御嶽火山の形成史

既往研究<sup>99)100)101)</sup>の間で大きく分布が異なる山頂部の地質ユニットについて、地表調査およびヘリなどから観察結果を基に、新たに地質ユニットの区分を予察的に行った。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碎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 Kobayashi<sup>102)</sup>および松本・小林<sup>103)</sup>の感度法K-Ar年代値を整理した。また、既存の年代値が得られていない北麓と東麓を中心に、新たに感度法K-Ar年代測定を6試料、Ar/Ar年代測定を6試料行った(図74中の赤字:表3)。年代値と新たに区分した地質ユニット区分を図74に示す。なお、山麓の地質ユニット区分に関しては、山頂部で新たに区分した地質ユニット区分を基に、山田・小林<sup>99)</sup>および竹内・他<sup>101)</sup>の層序を再整理して示したものである。

その結果、約10(または11)~8万年前の間に、現在の繼母岳を中心とするデイサ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火山体を形成し、さらに約4~3万年前に北側の繼子岳および一ノ池付近を中心とする火山体、約3万年前前後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つた。また高い噴出率を示唆する長大な溶岩の流出時期は、約6.5万年前(西側の巖立溶岩)と約3.5万年前(北側の溶岩)の二回の時期発生したことが明らかとなつた。このように明らかとなった活動史によると、完新世の火山活動は、三ノ池溶岩の流出はあるものの、それ以前より低調であることを示唆する。ただし、剣ヶ峰および一ノ池付近を中心とする火山体から得られている年代値は一つしかないので、過去3~2万年前の活動史はまだはっきりしない。

今後は、過去 3~2 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。

#### ○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、それに対応した地質ユニットごとに K-Ar 年代測定、Ar/Ar 年代測定を行った。
- (2) 御嶽火山で噴出率が高いことが推察される、長い溶岩の形成時期は、約 6.5 万年前と、約 3.5 万年前であることが明らかとなった。

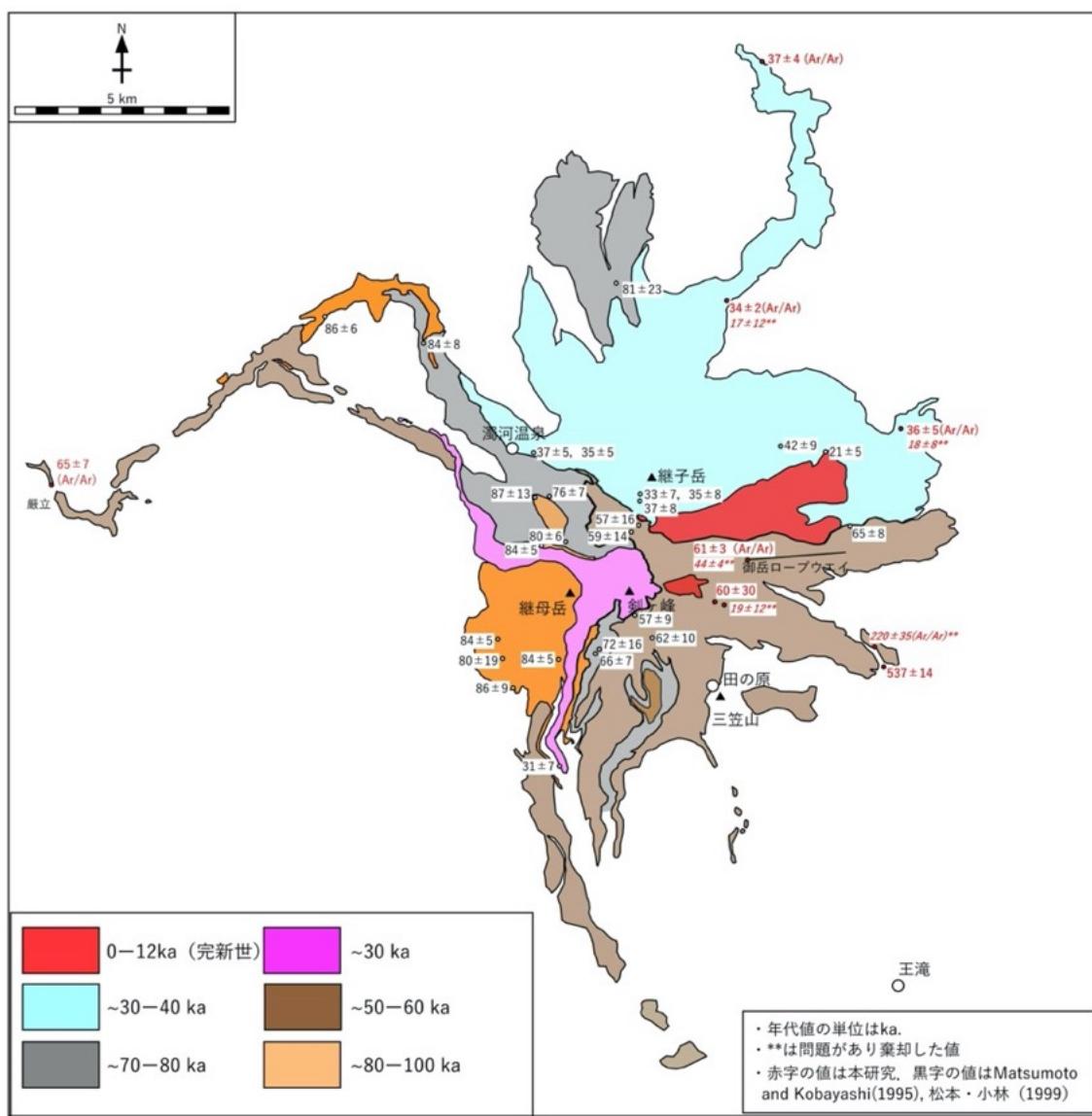


図 7 4. 新期御嶽火山の予察的な地質ユニット区分と年代値。

表3. 御嶽火山噴出物試料のK-ArおよびAr/Ar年代測定結果。

Sample ID	Dating	K	Sample wt	40Ar rad.	$1\sigma$	No rad. Ar	Corrected age $1\sigma$	39Ar	Plateau age $1\sigma$
	Method	(wt.%)	(g)	(10-9cc/g)	(%)		(ka)	(%)	(ka)
Y-1	K-Ar	4.86	0.5018	6.6 $\pm$ 0.7		87.4	44 $\pm$ 4		
	Ar/Ar							100	61 $\pm$ 3
O16060101	K-Ar	2.82	0.4846	47.1 $\pm$ 1.2		66.3	537 $\pm$ 14		
O16060102-01	K-Ar	3.80	0.4908	2.2 $\pm$ 1.0		96.6	18 $\pm$ 8		
	Ar/Ar							96	36 $\pm$ 5
O16060104	K-Ar	2.65	0.4965	1.4 $\pm$ 0.9		97.7	17 $\pm$ 12		
	Ar/Ar							90	34 $\pm$ 2
O16060105	Ar/Ar							92	37 $\pm$ 4
O16060205	K-Ar	3.49	0.4952	7.0 $\pm$ 3.9		98.9	60 $\pm$ 30		
O16060206	K-Ar	3.55	0.4833	2.7 $\pm$ 1.7		98.6	19 $\pm$ 12		
O16060301	Ar/Ar							55	220 $\pm$ 35
O18070402	Ar/Ar							67	65 $\pm$ 7

w) 九重山: 九重火山における九重 D 層下位の未確認テフラ層と 54 ka 噴火活動 の関係性の検討 (山口大学)

### ○はじめに

約 54 ka に発生した九重火山最大規模の噴火活動 (54 ka 噴火)<sup>104)105)</sup>による噴出物として、下位から九重 D 降下火山灰層(Kj-D)、飯田火碎流堆積物(Kj-Hd)、九重第一降下軽石層(Kj-P1)が確認され<sup>106)</sup>、さらに Kj-D は下部と上部に細分される<sup>107)</sup>。今回新たに Kj-D 下部の直下に未報告の火山灰層を確認し、この火山灰層を柚柑子降下火山灰層(Kj-Y)と命名した。Kj-Y は前述の通り Kj-D 下部の直下に堆積するため、54 ka 噴火と一連の噴出物と考えられる。一方、54 ka 噴火前に噴出率が増大し、54 ka 後に噴出率が著しく低下している<sup>105)</sup>。しかし、九重火山における 15 ka 以降の噴出率は 54 ka 噴火前の噴出率と同程度以上にまで増大している<sup>105)</sup>。このことから、Kj-Y を含めて 54 ka の噴火過程を明らかにし、その前後の活動履歴、マグマの変化を明確にすることは、九重火山における将来の 54 ka 規模の噴火の可能性を検討するうえで重要である。

そこで本研究では、地表踏査、鏡下観察及び火山ガラスの EPMA 分析を行い、Kj-Y の特徴と分布及び噴出中心を明らかにし、これらの結果から 54 ka 噴火の関係性を検討した。

### ○結果・考察

九重柚子柑子火山灰層(Kj-Y)の特徴と噴火様式 本火山灰層の模式地は、図 7 5 の地点 4 である。模式地における本層は色調が黄白色から明褐色を呈し、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あり、一部 3 層に区分できる (図 7 6)。また、模式地では特徴的に火山豆石様の粒子を含有する (図 7 6 右)。この火山豆石様の粒子は、中央部に粒径数 mm 程度の核をもち同心円状の構造を有する。これらの特徴は水蒸気噴火の噴出物の特徴<sup>108)</sup>と一致する。

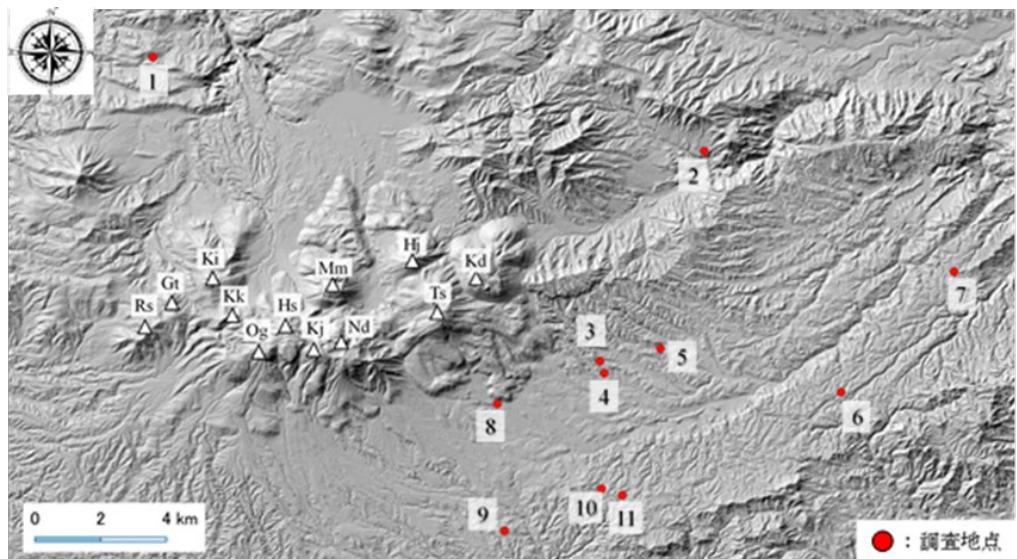


図 7 5. 調査地点位置図。

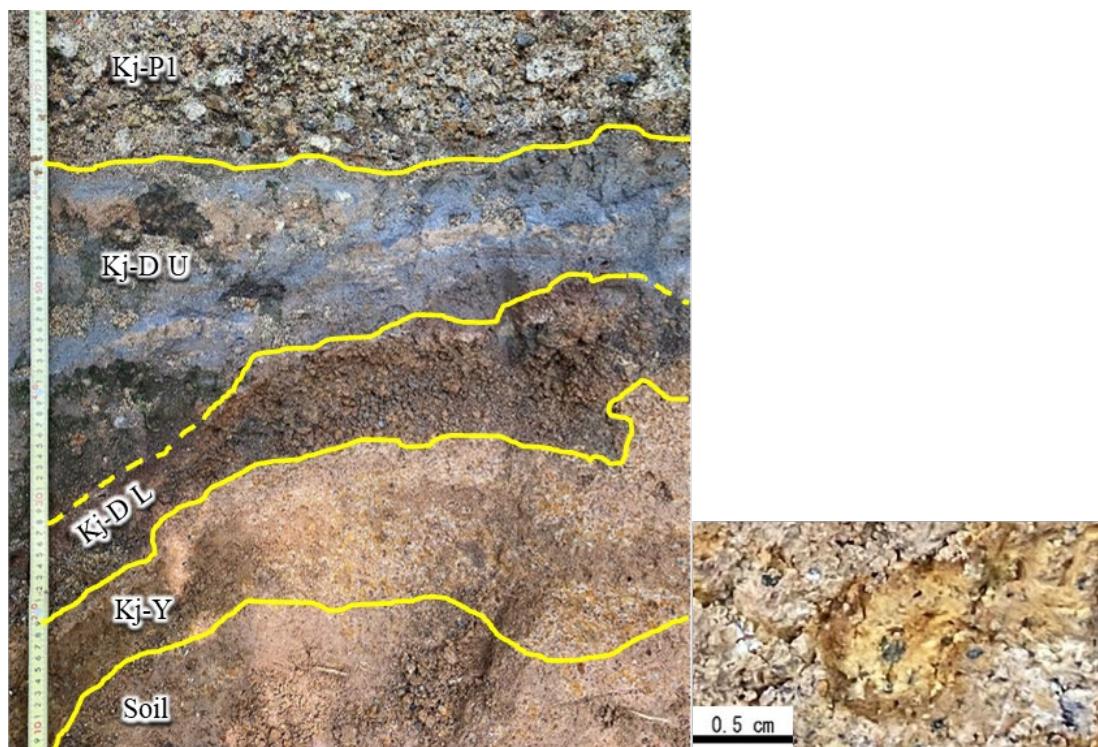


図 7 6. 地点 4 における Kj-Y より上位のテフラ層の露頭写真（左）と Kj-Y 中の火山豆石様粒子（右）。

一方、鏡下観察より Kj-Y 層に含まれる有色鉱物は普通角閃石、単斜輝石、直方輝石、黒雲母であり、無色鉱物は斜長石、石英である（図 7 7・表 4）。また、本層は無色透明で軽石型あるいはバブルウォール型を呈する火山ガラスを含有する。

以上より、Kj-Y 層は水蒸気噴火の噴出物の特徴を示すとともに、本質物質である火山ガラスや鉱物を含有することから、Kj-Y の噴火様式はマグマ水蒸気噴火と考えられる。

表4. Kj-Y および 54 ka 噴火噴出物の鉱物組成。

テフラ名称	年代(長岡・奥野, 2015)	鉱物組成	既存研究(長岡・奥野, 2014)
Kj-P1	54 kBP	Hbl, Bt, Qz	Hbl, Opx, (Bt, Qz)
Kj-Hd	54 kBP	—	Hbl, Opx, (Bt, Qz)
Kj-D 上部(青灰色火山灰層)	54 kBP	Hbl, Qz, Cpx, Opx, Bt	Hbl, Opx, Cpx, Bt
Kj-D 下部(褐色火山礫層)	54 kBP	Hbl, Cpx, Opx, Bt, Qz	Hbl, Cpx, (Qz)
Kj-Y	—	Hbl, Cpx, Opx, Qz, Bt	—

() : 少量を示す ー: 記載なし  
Hbl: 普通角閃石 Cpx: 単斜輝石 Opx: 直方輝石 Bt 黒雲母 Qz: 石英

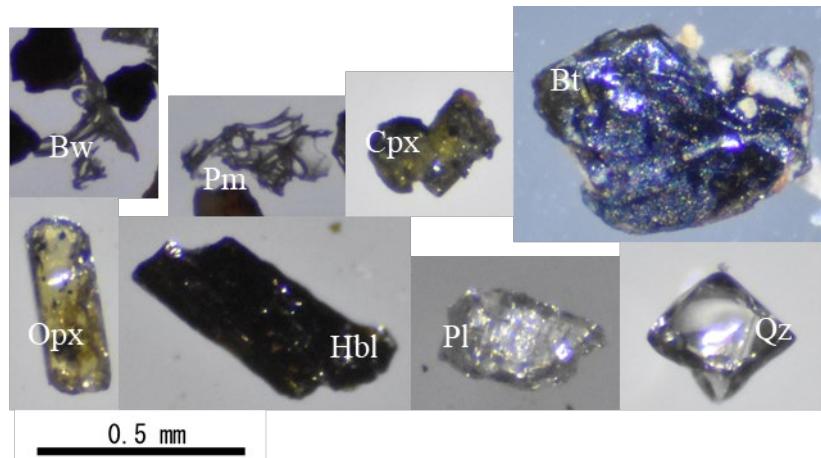


図77. Kj-Y に含有される鉱物および火山ガラス。

Kj-Y と 54 ka 噴火の関係 Kj-Y の直上に土壌層を挟在することなく Kj-D 下部が堆積することから(図76)、Kj-Y と Kj-D 下部の噴火活動に時間間隙がないと考えられる。また鏡下観察では、Kj-Y と Kj-D 下部・上部とでほぼ類似した鉱物組合せが認められた(表4)。また、EPMA 分析結果から、Kj-Y と Kj-D 下部、Kj-P1 の火山ガラスは類似した組成を有する(表5・図78)。

以上の鉱物組合せと火山ガラスの組成から、Kj-Y と Kj-D 下部は同一のマグマであると推定される。以上より、Kj-Y は 54 ka 噴火の初期活動 または前駆的な活動と考えられる。

表5. Kj-Y および 54Ka 噴火噴出物中の火山ガラスの化学組成。

Unit name	Locality	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	FeO	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total	n
Kj-P1 Pm片	4	平均 75.22	11.74	1.38	2.81	0.16	0.82	0.86	0.14	0.06	0.01	93.20	117
		dev. 0.94	0.20	0.25	0.26	0.01	0.04	0.03	0.06	0.03	0.01	1.13	
Kj-D U(B)	4	平均 76.07	11.69	1.69	3.71	0.14	0.84	0.74	0.18	0.04	0.01	95.10	97
		dev. 0.77	0.37	0.24	0.53	0.04	0.14	0.26	0.10	0.03	0.01	0.91	
Kj-D L(BR)	4	平均 75.26	11.81	1.46	2.96	0.20	1.01	1.00	0.18	0.05	0.01	93.93	93
		dev. 1.18	0.53	0.30	0.27	0.10	0.19	0.26	0.07	0.03	0.01	1.00	
Kj-Y	4	平均 75.19	11.85	1.56	2.97	0.19	0.98	0.93	0.17	0.04	0.01	93.89	42
		dev. 1.09	0.57	0.31	0.40	0.03	0.13	0.12	0.07	0.02	0.01	1.76	

各試料の平均値、及び標準偏差(dev.)を示す。n は測定数を示す。

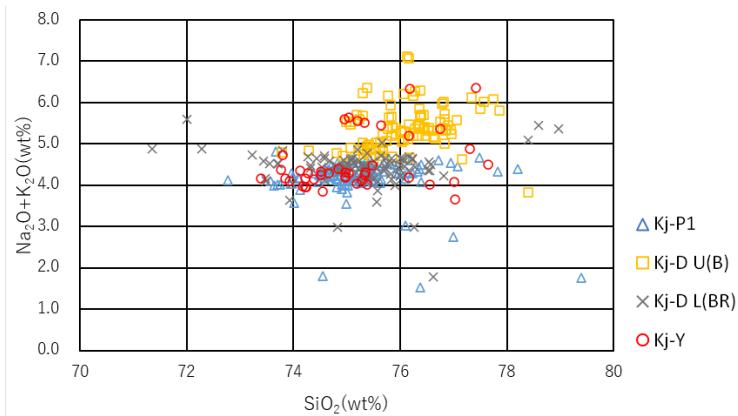


図 7 8 . Kj-Y および 54 ka 噴火噴出物中の火山ガラスの  $\text{SiO}_2$ -alkali 量図。

Kj-Y と 54 ka 噴火の給源 観察した露頭における Kj-Y 層の層厚からアイソパック・マップを作成した（図 7 9）。図 7 9 より、Kj-Y の噴出中心は現在の九重火山東部域と推定される。一方で、Kj-D の噴出中心は中部～東部域<sup>109)</sup>、Kj-Hd と Kj-P1 の噴出中心は中部域<sup>109)110)</sup>と考えられていることから、54 ka 噴火の給源は東部域から中部域へと推移したと考えられる。

54 ka 噴火の推移 以上の観察結果から、九重火山の 54 ka 噴火は以下の様に推移したと考えられる。

- (1) 東部域でマグマ水蒸気噴火が生じ、Kj-Y が堆積した。
- (2) 中部～東部域でブルカノ式噴火活動が生じ、Kj-D が堆積した。
- (3) 中部域でプリニー式噴火活動が生じ、Kj-Hd と Kj-P1 が堆積した。

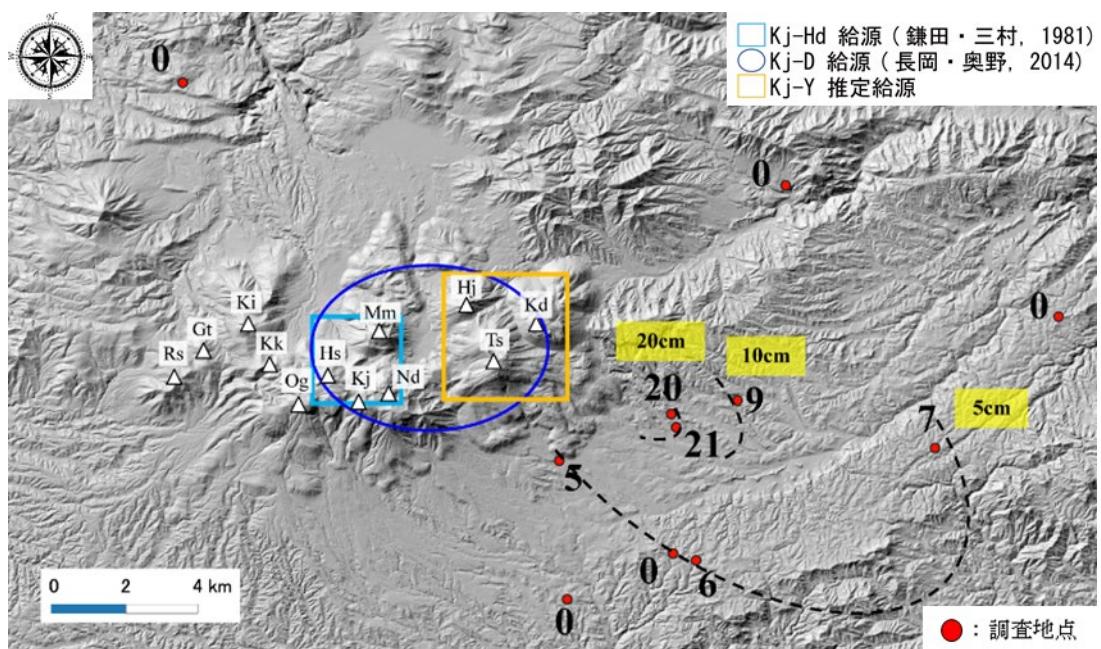


図 7 9 . Kj-Y のアイソパック・マップと推定噴出中心。

x) 阿蘇山: 2019-2020 年噴火調査およびボーリング掘削およびトレーニング掘削調査による噴火活動履歴の解明 (熊本大学)

i) 阿蘇火山中岳 2019~2020 年噴火に伴う火山灰噴出量の時間変化

阿蘇火山中央火口丘群の中で唯一活動を続ける中岳はわが国を代表する活火山であり、近年では 2014 年 11 月～2015 年 5 月にかけてマグマ噴火<sup>111)</sup> や 2015 年 9 月～2016 年 10 月には複数回の爆発的噴火が発生している<sup>112)</sup>。令和 2 年度は、中岳第 1 火口における 2019～2020 年の火山活動に焦点を当て、小規模な噴火活動に伴う噴出物量の時間変化について明らかにしたので、その結果を報告する。

阿蘇火山中岳第 1 火口では 2019 年 7 月下旬に噴火活動が開始し、その後複数回の停止を挟むものの、ほぼ連続的な噴火がみられ、2020 年 6 月中旬まで継続した。今回の活動によって阿蘇カルデラ周辺域では長期間にわたる降灰に見舞われた。熊本大学では 2019 年 7 月の噴火開始直後から噴出物に関する現地調査を行ってきた。まず活動初期にあたる 7 月 29 日頃までの時期には、建物や道路などの人工物上に堆積した火山灰の定面積試料を採取した。それ以降の時期については、以前に噴出した火山灰と区別するために、火山灰採取容器（直径約 25 cm、深さ約 24 cm のバケツ）を設置して降灰観測を実施した（図 8 0）。その後、観測地点数を徐々に増やし、11 月 22 日には 20 地点となった。観測地点は 1 地点を除き、他はすべて阿蘇カルデラ内に位置している。噴出源に最も近い地点は中岳第 1 火口西南西約 1 km の阿蘇山上広場付近で、最遠は北北東約 9 km の地点（阿蘇市中通）である。火山灰の採取間隔は 1 日～21 日で、平均は 8 日間隔であった。採取容器に被せたビニール袋を回収して持ち帰り（雨水や雪が入っている際にはそれらごと）、乾燥後に火山灰の質量を測定して単位面積当たりの質量 (g/m<sup>2</sup>) に換算した。こうしたデータをも



図 8 0. 阿蘇火山中岳第 1 火口からの噴煙と火山灰採取容器（同火口西方約 2 km 地点で 2019 年 8 月 5 日撮影）。

とに、各期間の噴出物分布図 39 枚を作成して、火山灰の各等質量線が囲む面積と質量との関係から噴出物量の計算を行った。

2019 年の一連の活動が開始した 7 月 26 日の噴出物量は 400 トン/日と少ない量であったが、7 月 28 日～29 日は約 8,000 トン/日と増加した。その後は 11 月下旬頃までおおむね 1,000～5,000 トン/日の間で噴出物量が増減を繰り返した。

しかし、11 月 22 日～12 月 6 日の期間に火山灰噴出量は急増し、10,000 トン/日程度に達した。この期間においては中岳北東山麓で 1 kg/m<sup>2</sup> 程度、南東山麓で 500 g/m<sup>2</sup> を超える降灰が認められた。それに続く 12 月上旬から下旬は 2,000～3,000 トン/日程度に減少した。

2020 年 1 月に入っても火山灰噴出量は 2,000 トン/日程度で推移したが、1 月 20 日～2 月 10 日に約 17,000 トン/日と今回の観測期間での最大値を記録した。このときは観測期間が 21 日間と長く、中岳第 1 火口から北東 2 km と南東 4 km の地点では 4 kg/m<sup>2</sup> を超える降灰が確認された（図 8 1）。その後は 3 月中旬まで火山灰噴出量は 1,000～7,000 トン/日で推移し、3 月中旬以降は数 100 トン/日程度まで減少するようになった。

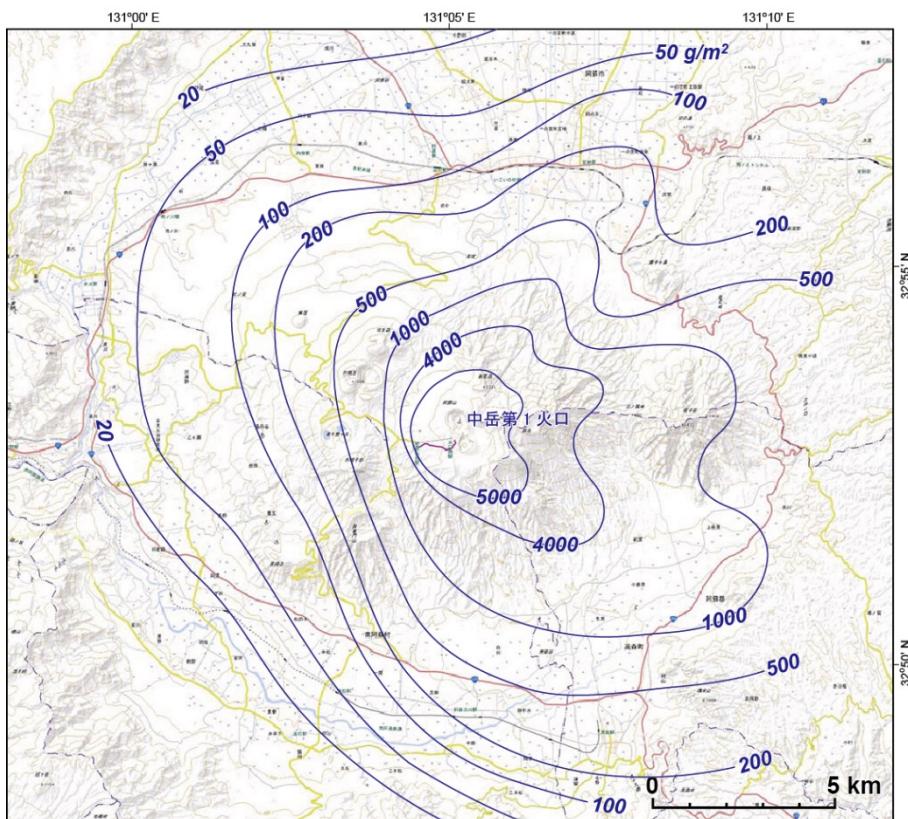


図 8 1. 阿蘇火山中岳における 2020 年 1 月 20 日～2 月 10 日火山灰の分布（単位 g/m<sup>2</sup>）。地理院地図レベル 14 を使用。

2019 年 7 月下旬の一連の噴火活動開始から 2020 年 6 月中旬までの約 11 か月間に噴出した火山灰の総量（積算値）は 110 万トン程度であった。前回のマグマ活動である 2014 年 11 月～2015 年 5 月において、噴火開始から約 6 か月間における火山灰噴出総量は約 200 万トンであった<sup>111)</sup>。それに比べると 2019～2020 年の噴火活動は約 2 倍の期間継続

しているが、噴出物量は2014～2015年活動の半分程度であり、全体的に小規模な活動といえる。ただ、前回の活動では噴火開始から3か月目以降は噴出レートが減少しているが、今回の活動においては後半3か月に噴出レートが低下したものの（数100トン/日）、前半7か月はほぼ一定の噴出レート（3,000～4,000トン/日程度）で活動が推移している。また、火山灰噴出量が1万トン/日以上に急増する期間が少なくとも2回認められた。

なお、今回の降灰調査では中岳火口近傍域での降灰量観測データが得られていないので、110万トンという噴出物量は実際の噴出物量より少い可能性がある。1kmより遠方域の降灰データだけから近傍域を含む噴出物量を推定する経験式（遠方域データから得られた降灰量を1.4倍する）<sup>111)</sup>を使用すると、噴出物総量は150万トン程度となる。

## ii) トレンチ掘削調査による噴火活動履歴の解明

阿蘇山の噴火履歴を明らかにするため、竹田市荻町馬場において、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21km地点に位置している。阿蘇カルデラ形成後に活動を開始した中央火口丘群から噴出したテフラはカルデラ東方域に厚く堆積しており<sup>113)</sup>、Aso-4噴火（約9万年前）以降の全層厚は東側カルデラ縁で100m程度に達している<sup>114)</sup>。本年度のトレンチ調査は、中央火口丘群初期の噴火史解明のために実施したが、その時期の噴出物はカルデラ壁に近い熊本県内にはほとんど露出していない。一方で、降下テフラ全体が薄くなる大分県竹田市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、地表から約2.5m上位の壁面に約6.7～6.8万年前に噴出したと推定されている山崎第1～第5軽石<sup>115)</sup>が観察された。トレンチは地表面から2m程度の深さまで掘削したが、Aso-4火碎流堆積物（約9万年前）は観察できなかった。ただ、トレンチ断面最下部付近は非常に硬く固結しており、掘削終了後すぐに水が湧出し始めた（図8-2）。このことから、トレンチ底面直下には溶結したAso-4火碎流堆積物が存在する可能性が高く、今回の調査では高さ約4.5mの断面に中央火口丘群初期にあたる7～9万年前の噴出物が観察できたと考えられる。

調査断面には3枚の降下スコリア層、1枚の軽石が多量に混在する火山灰層、1枚の降下軽石層が認められた（図8-2）。最も厚い降下スコリア層と軽石層はトレンチ断面下部に観察され、それぞれの層厚は約30cmと約40cmであった。こうしたテフラ層はカルデラ縁から15km以上離れた地点で数cm～40cm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の2万年間に少なくとも5回のプリニー式噴火が発生したことが明らかとなつた。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。

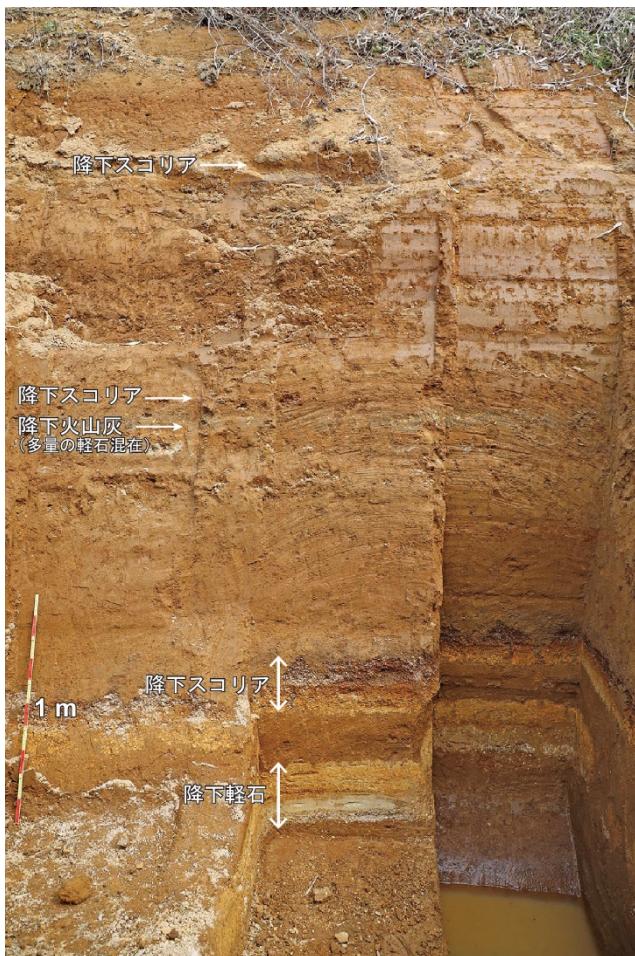


図 8-2. 竹田市荻町馬場におけるトレンチ断面。

### iii) 阿蘇山における令和 2 年度ボーリング調査報告

阿蘇カルデラのほぼ中央部に位置する中岳は、西暦 553 年以来の噴火記録が存在する、わが国で最も活発な火山の一つであるが、噴火活動史の詳細は不明な点が多い。そこで、本年度は、最近数千年間の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、中岳第 1 火口西方約 1 km 地点においてボーリング調査を実施した（図 8-3）。

今回の掘削深度は 43 m で、地表から 13.4 m 深までは土壤層を含む火山碎屑物の互層で、13.4~43 m は溶岩であった。上部の火山碎屑物互層中には 7.1~8.0 m 深に黒色のスコリア層があり、約 4,000 年前に噴出した杵島岳スコリア<sup>113)</sup>と考えられる。13.4 m 以深の溶岩は赤褐色~紫色の破碎部と灰色~暗灰色を呈する塊状部からなる玄武岩質安山岩溶岩であった。この溶岩中には火山灰層や土壤層は挟在していないため、比較的短い時期に流下した中岳起源の溶岩流と推定される。今回の掘削地点から南南西約 4 km 離れた地点で 2009 年に掘削された気象庁ボーリングコアの層序と対比すると、13.4 m 以深の溶岩は 5,000~8,000 年前頃に噴出した中岳新期山体溶岩である可能性が高い。しかし、気象庁ボーリングコアでは同溶岩は火山灰層や土石流堆積を挟んで 3 つのユニットからなっていたが、今回の掘削では 1 つのユニットの溶岩が認められただけであり、気象庁コアのどのユニットの溶岩に相当するのかなど、今後詳細な検討をしなければならない。



図 8 3. 中岳第 1 火口西方約 1 km に位置する令和 2 年度のボーリング調査地点（写真中央のやぐら）の状況。背後には中岳第 1 火口からの白色噴煙が見える。

y) 霧島山：野外調査に基づく噴火活動履歴および噴火活動推移履歴の解明（東京大学地震研究所）

九州南部に位置する霧島火山は、新燃岳・御鉢・韓国岳といった複数の山体からなる火山群である。2011 年には新燃岳においてサブプリニー式噴火が起き、その後も 2017 年・2018 年に新燃岳で小噴火が、そしてえびの高原硫黄山でも水蒸気噴火が起きている。このような状況であることから、霧島火山の噴火活動履歴および噴火活動推移履歴を詳細に明らかにすることは、将来活動について検討する上で非常に重要である。そこで、本サブテーマでは、霧島火山の噴火履歴解明のための研究を重要課題の 1 つとして遂行している。

既往研究のレビューの結果、過去の大規模噴火の推移や噴火様式の詳細、マグマ蓄積・上昇過程が十分に理解されていないこと、また噴火規模についても検討の余地があることがわかった。そこで本年度は、13 世紀の御鉢文暦噴火を対象とし、噴火推移の再構築を行い噴出物の変遷を明らかにするとともに、噴出量を再検討することにした。地質調査により、堆積物を新たに詳細に区分し直し（図 8 4）、構成物の粒子物性基礎データ（粒径、密度、粒子形状等）を取得し、岩石組織の定量解析を進めた。さらに、新たなデータを加味して代表的な 3 つのテフラ層（ThT-a・ThT-b・ThT-c）について等厚線を引き直し、Weibull 法により体積を推定した結果、新たな見積もりではトータルで  $0.33 \text{ km}^3$  となり、文暦噴火が従来の推定 ( $0.089 \text{ km}^3$ )<sup>116)</sup> よりも大規模な噴火の可能性があることがわかった。また、文暦噴火前後の噴出物（主にサブプリニー式噴火）についても地質調査を行い、層序や年代再検討のための調査も行った。

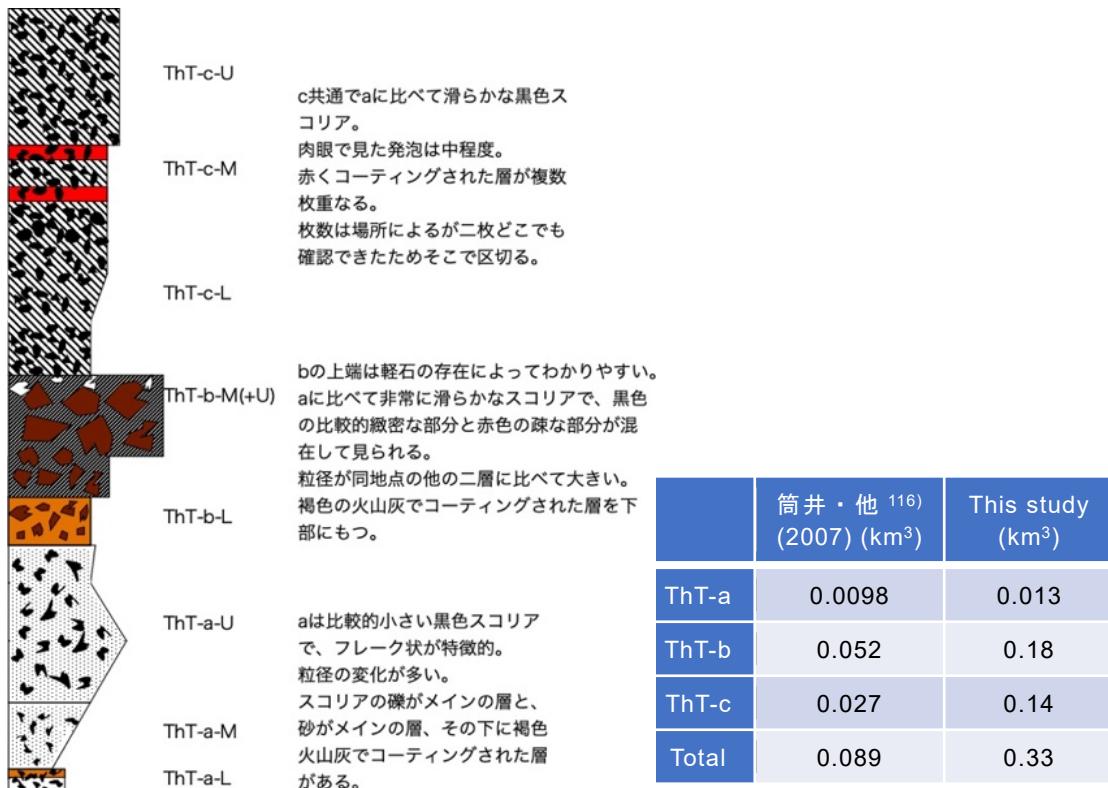


図8-4. 霧島御鉢文暦噴火堆積物の模式柱状図および代表的な3ユニットのテフラ噴出量推定値。

z) 鬼界: 鬼界カルデラ火山の長期的噴火活動履歴の解明 (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(図8-5)。とくに、7.3 kaに発生した超巨大噴火(鬼界アカホヤ噴火)とそれに至るまでのプロセスについて、東京大学地震研究所と北海道大学の共同で重点的に取り組んでいる。今年度は、平成30年度に実施したボーリング掘削により得られた試料(306.6 m)の分析・解析を引き続き進めた。7.3 ka鬼界アカホヤ噴火に先行する流紋岩溶岩(長浜溶岩)の直下及びより深部の海成砂層に含まれる貝殻についてはすでに<sup>14</sup>C年代を測定しそれらの堆積年代の大枠を明らかにしていたが(昨年度報告)、未測定試料について<sup>14</sup>C年代測定を行い、より詳細な年代学的検討を行った。その結果、長浜溶岩直下の砂層については7.3 kaに近い年代値が得られ信頼度が上がったほか、下位の海成砂層についてもこれまでより深度方向に高い密度で年代値を決定することができた(図8-6)。また、長浜溶岩については、深度方向の化学組成バリエーションや同位体組成の特徴(図8-7・8-8)をもとに、アカホヤ噴火のマグマと極めてよく似た特徴を有しどんどん同じ起源であること、しかし、やや分化したマグマが混合しており、浅部ほどその寄与が大きくなることなどが分かった。長浜溶岩に関する以上の成果について、論文投稿の準備を進めている。

一方、ボーリングコアの12-15 ka頃の層順には、8枚の軽石層が挟在することが明らかになり、これらの軽石層の記載岩石学的特徴を調べたところ、陸上で見出されている籠港テフラ群(9-13 ka)に含まれる軽石と極めてよく似ていること(鉱物組み合わせや斑晶サイズ、斜長石斑晶に特徴的な蜂の巣状の構造を有することなど)がわかった。これらの噴出物はアカホヤ噴火や長浜溶岩の直前活動を理解する上で重要な制約となる可能性があり、今後、鉱物・ガラス組成の対比を行うほか、カルデラ形成噴火との関係も含めて起源について検討する。

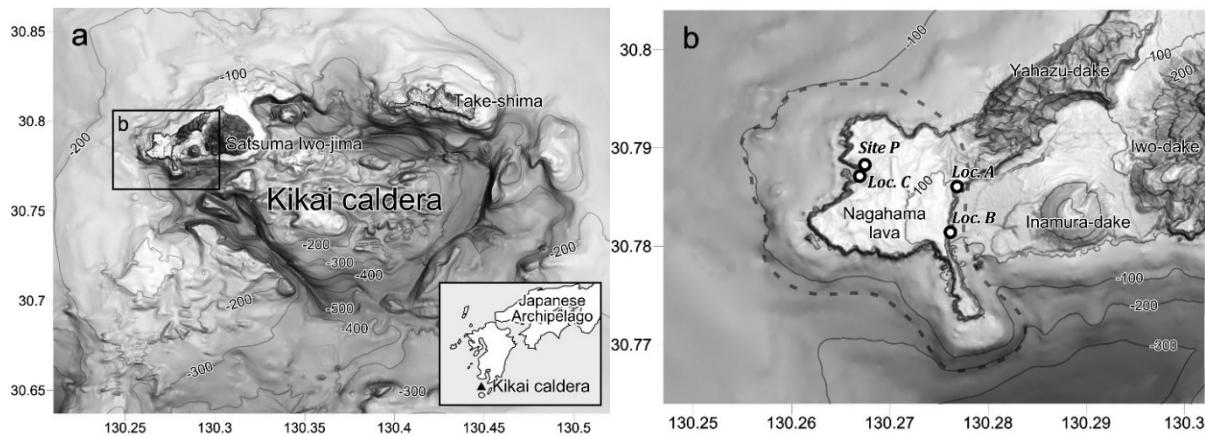


図 8.5. 鬼界カルデラおよび長浜溶岩の位置。図 b 中の点線は長浜溶岩の分布。P: ボーリング掘削サイト、Loc. A-C: 露頭調査地点。海底地形は海洋情報研究センターの M7008A ver. 2.3、陸上地形は国土地理院の基盤地図情報データをもとに作成。

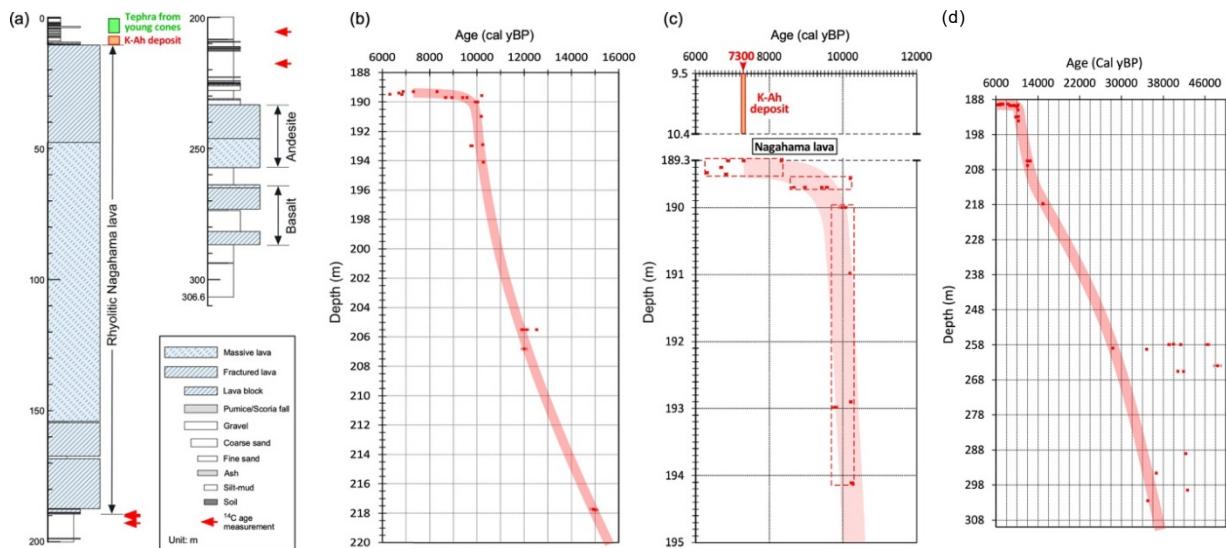


図 8.6. (a) 鬼界カルデラ薩摩硫黄島西端におけるボーリングコア柱状図。(b, c) 220 m深まで、および(d) コア全体の堆積物中の貝殻の<sup>14</sup>C年代(2σ値。赤線は推定される深度と年代の関係。250 m以深については、年代値のばらつきが再堆積の影響を反映している可能性があるため、若い年代を採用して曲線を引いている。

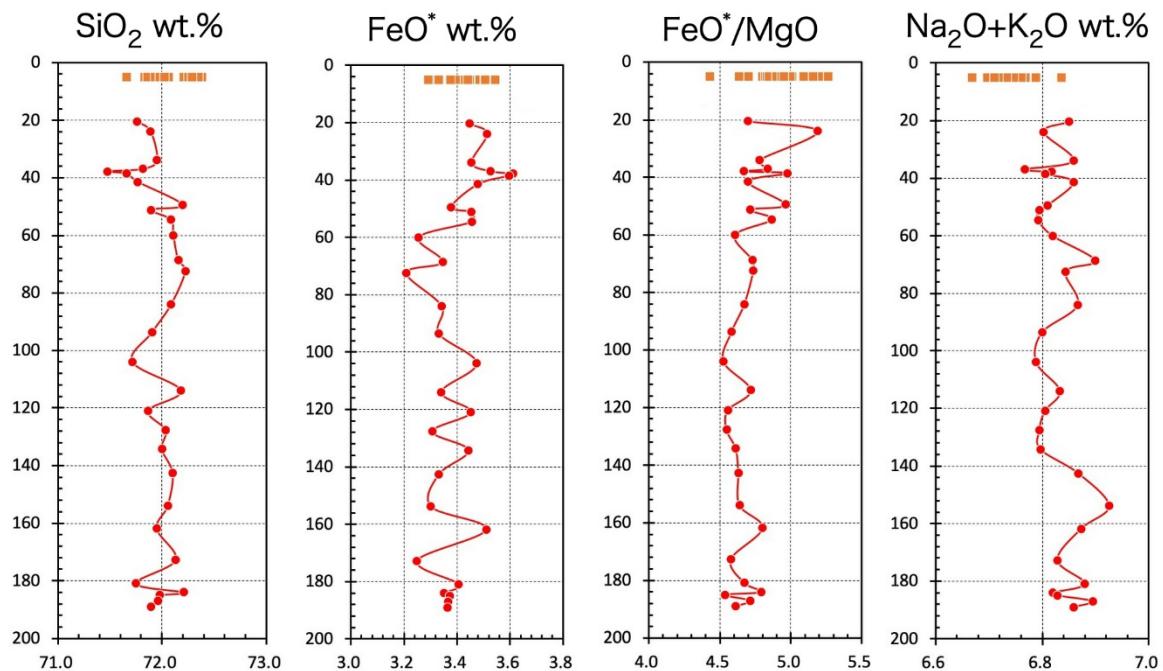


図 8-7. 長浜溶岩の全岩主要元素組成の深度方向のバリエーション。赤：ボーリングコア試料、橙：陸上露頭から得た試料（表層から深度100 m程度の浅部に相当する）。

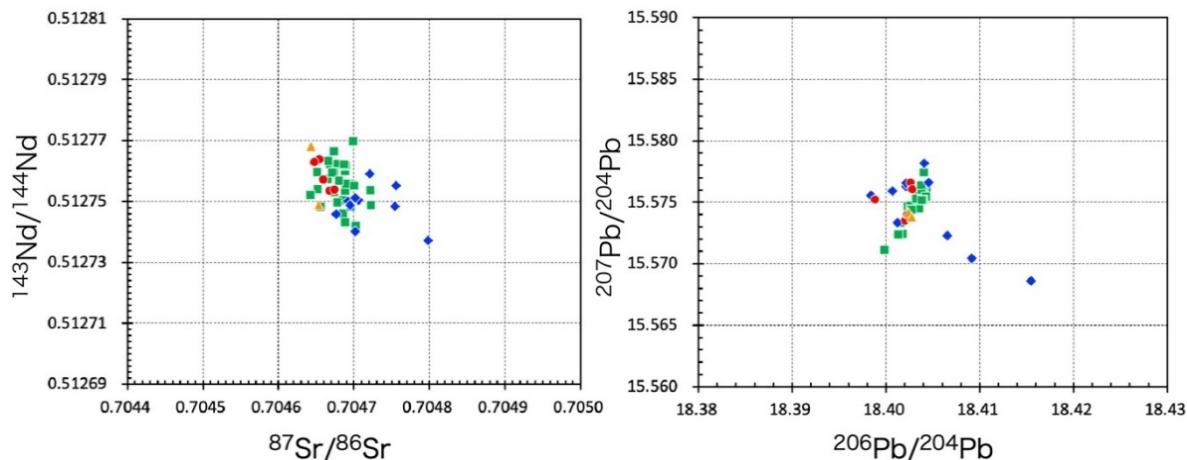


図 8-8. 長浜溶岩および他の鬼界カルデラ噴出物の全岩同位体組成比。赤：長浜溶岩、緑：アカホヤ噴火噴出物、青・橙：アカホヤ噴火後（硫黄岳、稻村岳）の噴出物。

#### aa) 【課題 C 連携研究】伊豆大島：

野外調査および物質科学的解析に基づく噴火活動推移履歴の解明と沿岸域調査による噴火活動履歴の解明（東京大学地震研究所・産業技術総合研究所）

昨年度より本格的に開始した課題 C 内の連携研究（伊豆大島）は、新型コロナ感染症拡大の影響を受け、課題 C 全体の現地検討会は中止となった。そのような中でも、個々のサブ課題ではできる範囲で研究を進めた。その結果、サブ課題 C-2 では、大きく 2 つ成果を得ることができた。

i) 野外調査および物質科学的解析に基づく噴火活動推移履歴の解明 (東京大学地震研究所)

課題C連携研究対象である伊豆大島について、百数十年年おきに繰り返す大規模噴火(Yシリーズ)の研究を昨年度から引き続き進めた。18世紀(Y1)噴火や15世紀(Y4)噴火については、露頭観察地点を増やし、テフラの空間分布の特徴をより明確にした。Y4噴火堆積物を詳細に調べたところ、Y1と同様に初期に低斑晶量マグマが噴出し、噴火末期に斜長石斑晶に富むという推移の特徴があることがわかった。Y2・Y6についても同様の視点での検討を始めている。また、Y1テフラのユニット区分や斑晶量の変化については昨年度明らかにしたが、さらに密度(発泡度)測定、FE-EPMAによる石基・発泡組織の分析を行った。その結果、これらの特徴が噴火推移に対応して変化し、とくに噴火強度が高いステージ(Y1C)ほど高密度かつ石基結晶度が低くなり、マグマ上昇過程に大きな違いがあることがわかった(図8-9)。他のYシリーズ噴火や、噴火様式がわかっている1986年噴火との比較も行ったところ、Y1Cの火碎粒子は最も密度が高く、石基結晶度は最も低いことがわかった(図8-9)。これらの違いは、伊豆大島の大規模噴火の推移やマグマ供給系を明らかにする上で重要な制約となる可能性があり、来年度にかけてデータを充実させ、考察を進める予定である。トレント調査については、新型コロナ感染症拡大の影響により現地での地点選定や手続きを十分に進めることができなかつたため、次年度実施する予定である。

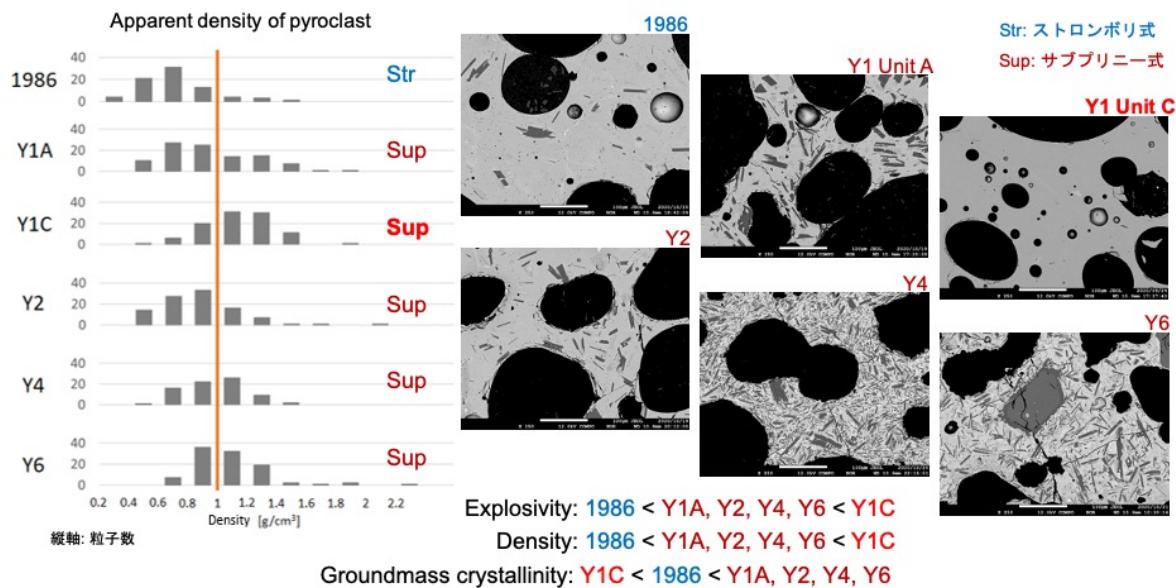


図8-9. 伊豆大島Yシリーズ噴火・1986年噴火の火碎粒子の見かけ密度(左)と岩石組織(右)の特徴およびそれらの比較。

ii) 伊豆大島沿岸域における精密海底地形調査 (産業技術総合研究所)

○目的と調査位置

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

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

今年度は、調査船でデータ取得できない沿岸域の地形データ空白域（概ね岸から約2 km以内）において、精密海底地形調査を行った（図90）。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、<sup>14</sup>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。

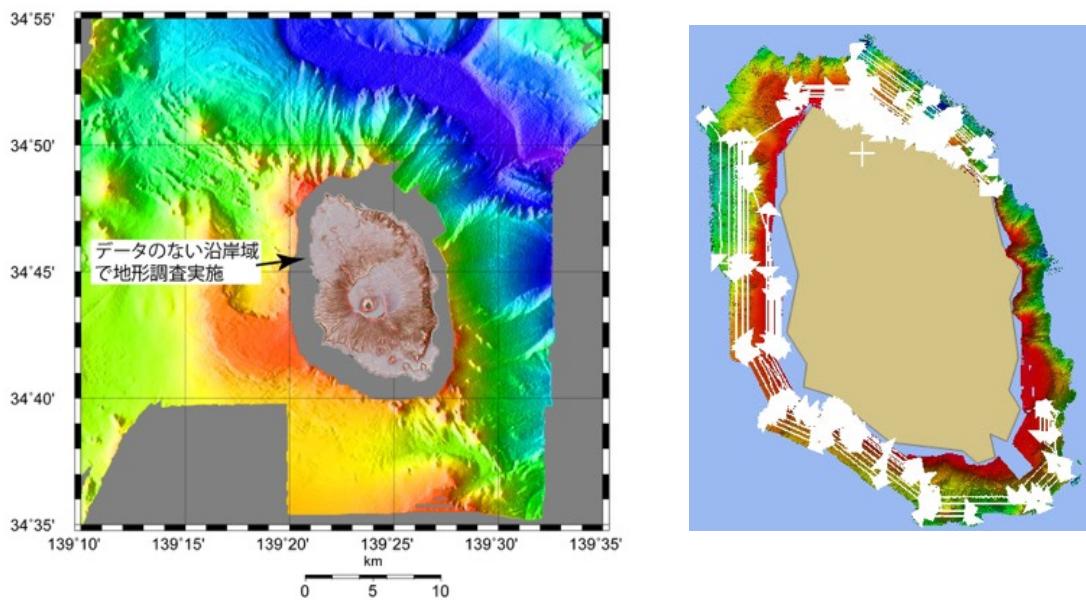


図90. 伊豆大島周辺の海底地形。左図は調査船により取得された地形図と沿岸のデータ空白域（Ishizuka et al. <sup>117</sup>に加筆）。右図は今年度取得部を含む沿岸海底地形データ。今年度測線を白線で示す。

#### ○沿岸域の精密海底地形調査

海底地形データ取得には、産総研所有のTeledyne Reson社Seabat T-20型測深機（使用周波数200-300 kHz、ビーム数512本、スワス幅140°）を使用した。概ね水深200 m程度より浅い海域では300 kHzで、それより深い海域は、200-250 kHzの音を使用して観測した。測位には、2つのGPSと動搖センサーを使用したGNSSジャイロを用い、音速データは1日1-2回音速度計により取得した。上記システムを漁船の舷側に艤装した。測線間隔は、海底の深度に合わせて概ね30-60 mとし、速力は3-4ノット程度で観測した。取得データは、各種補正、ノイズ除去を行ったのち、水深200 m程度以浅の海域で1-1.5 mメッシュ、それより深い部分では4 mメッシュのグリッドデータを作成した。

図9.1に示すのは伊豆大島北西部沿岸海底地形図である。特徴は溶岩流の表面の縄状の構造が広範囲で見える一方、多数の西北西-東南東方向の断層と思われる線状構造が発達していることである。

まず溶岩流に注目すると、北西部陸上部にはカルデラ形成期以前に形成された側火山が分布しているが、そのうちの一つ三峰のすぐ海側で顕著な溶岩流がみられた。岸から1.5 km程度の位置まで流れている。浅い部分で縄状構造をみせるが、斜面を下ると複数のロープを発生し、そのうちの幅の広いものが谷の中を下ったようにみえる。先端部に近い部分で幅約70 m、高さ12-13 m程度である。

斜面の傾斜が急になることに溶岩流の形状が変化していることが起因する可能性があり、斜面の平均斜度は上部で3.7度、下部で5.5度である。

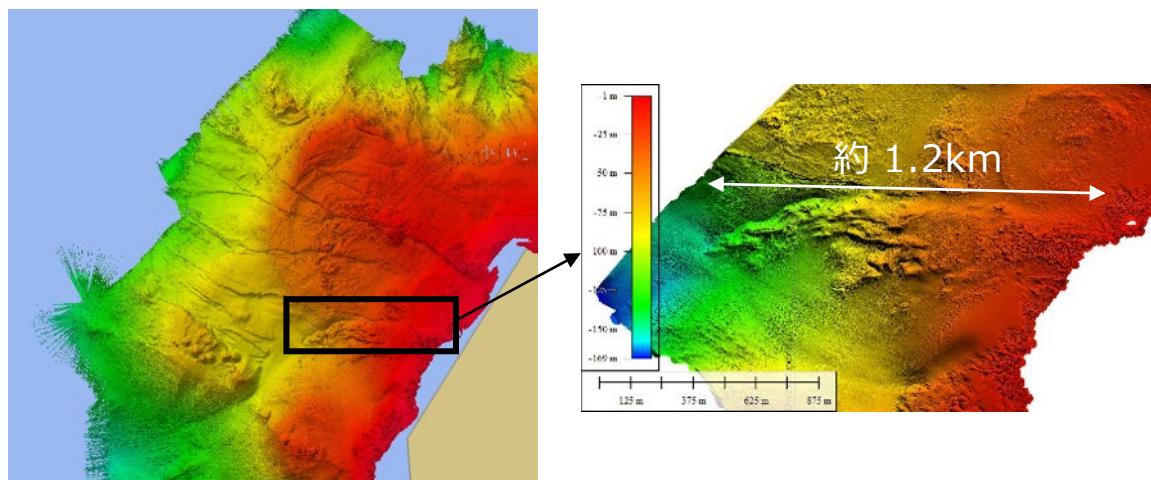


図9.1. 伊豆大島北西部沿岸海底地形。

一方、南西部では異なった特徴の海底地形がみられた（図9.2）。千波岬から南西に伸びる高さ約15-20 m、幅70-80 m、の細長い高まりである。この地形の特徴として溶岩流にもみられる表面のしわ、ひだが今回得られている溶岩流の特徴と異なり、地形の伸びの方向に沿っているようにみえることがあげられる。海岸から1.4 km程度沖まで連続している。

千波岬付近に露出する噴出物は、火口近傍相の特徴を示しており、割れ目火口からの噴出物である可能性が高い。この噴出物により構成される尾根状の高まりが南西方向にむけて海中伸びていることが観察される。陸上部の地形のトレンド、表面の振幅もおおよそ海底部で観測されたものに近い。

このため、岬の陸上部から海底部まで連続する割れ目火口列であった可能性が高いと現段階では考えている。全岩微量成分組成の特徴から、約1万年前に活動した可能性が高いと考えられる。

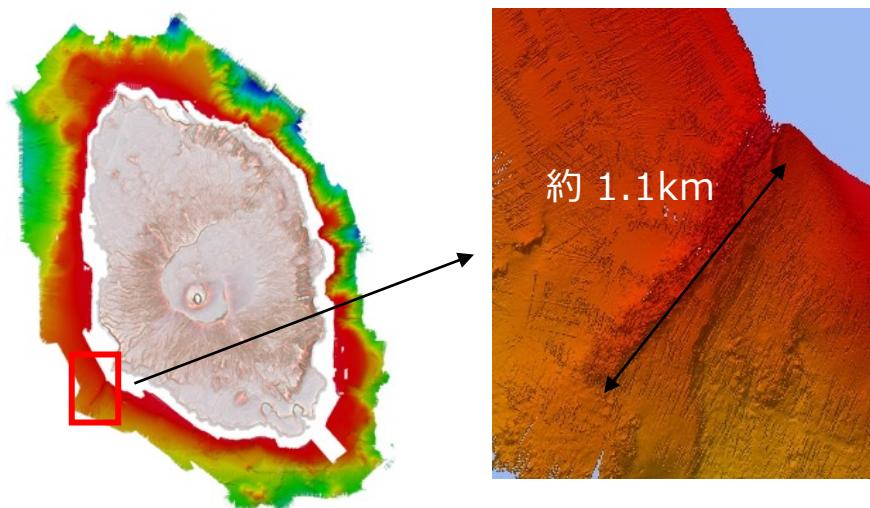


図 9-2. 伊豆大島南西部千波岬沖沿岸海底地形。

#### ○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  $^{14}\text{C}$  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<sup>118)</sup>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、 $^{14}\text{C}$  年代から得られる制約と比較、補完する。

今年度は、伊豆大島南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 9-3・表 6）。

神ノ根側火山を覆う溶岩やその西側に分布する溶岩流について、約 2,200 年前の年代が得られた。層序関係から、神ノ根側火山の活動もこの時期と考えられる。一方神ノ根西方の 2 つの側火山については、上位溶岩の年代について得られた制約と化学組成の特徴から、約 4,000-5,000 年前に活動した可能性が高いことが明らかになった。さらに神ノ根側火口噴出物に覆われる溶岩が約 3,000 年前、差木地港東に露出する溶岩は、5,000 年前程度に遡ることが明らかになった。南東部トウシキの海岸の溶岩については、これを覆う噴出物の年代から約 2,000 年前程度である可能性が高い。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。

また伊豆大島南東部海岸、北東部海岸について予察的な地質調査を行なった。このうち波浮港の東 500~700 m の龍王崎付近の海食崖には、龍王崎を構成する龍王崎溶岩流、それを覆うアグルチネート、全体の層厚 30 m 弱に達する火碎サージ及び爆発角礫岩層が分布する。龍王崎溶岩流、アグルチネートは龍王崎北約 400 m の地点で火碎丘に遷移していることが観察され、この付近で発生した側噴火起源であることが確認された。龍王崎溶岩流、アグルチネートを覆う爆発角礫岩層は、間に通常の降下火山灰層の存在から、噴火時期が異なる 4 層に区分できる。また龍王崎溶岩流直上の火碎サージ堆積物には自生した植物痕があることから、龍王崎溶岩流噴火とは別の噴火による火碎サージ及び爆発角礫岩と

考えられる。龍王崎溶岩の年代はその層序から約4,500年前と考えられており、このことから龍王崎・波浮港周辺を噴出中心とするマグマ水蒸気噴火が、おそらく3,000~4,000年間に4回発生していたことを示す。このうち最上位の爆発角礫岩層は9世紀のN3期噴火噴出物と考えられる。カキハラ磯付近では降下火碎物、火山豆石凝灰岩に挟まれた溶岩流が分布する。北東部も含め、今後より正確な年代決定などを行い、より詳しい沿岸域の噴火活動の解明を進めていく予定である。

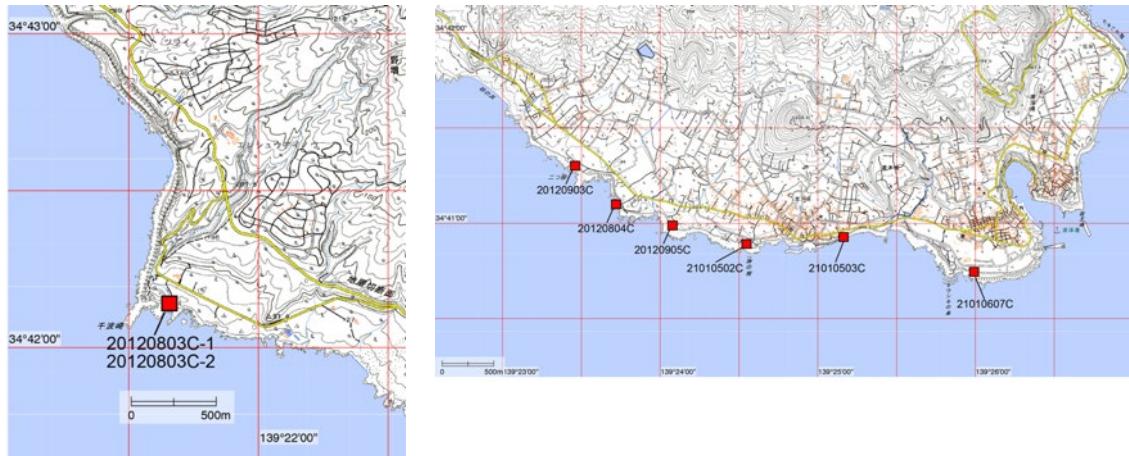


図9-3. 伊豆大島沿岸陸上部における<sup>14</sup>C年代測定試料採取位置。

表6. 伊豆大島沿岸陸上部における<sup>14</sup>C年代測定結果。試料採取位置は図9-3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)	<sup>14</sup> C age (years BP)	calibration age (cal years, probability with 2 $\sigma$ uncertainty)	latitude (°N)	longitude (°E)
IAAA-201456	20120803C-1	soil with charred material underlying 03-2 scoria	-19.75 ± 0.21	3160 ± 30	3449calBP - 3339calBP (92.1%), 3285calBP - 3272calBP (3.3%)	34.7023	139.3607
IAAA-201457	20120803C-2	sandstone with volcanic clast with woods (not charred)	-31.64 ± 0.20	1850 ± 20	1687calBP - 1877calBP (1.8%), 1800calBP - 1510calBP (71.9%), 1497calBP - 1471calBP (7.4%), 1455calBP - 1415calBP (14.4%)	34.7023	139.3607
IAAA-201458	20120804C	soil with charred material	-25.83 ± 0.19	3870 ± 30	4409calBP - 4230calBP (86.8%), 4201calBP - 4179calBP (5.7%), 4171calBP - 4158calBP (2.9%)	34.6849	139.3953
IAAA-201459	20120903C	charred material from soil	-26.15 ± 0.20	4070 ± 30	4796calBP - 4760calBP (8.7%), 4693calBP - 4679calBP (1.6%), 4643calBP - 4634calBP (2.9%), 4628calBP - 4503calBP (62.6%), 4494calBP - 4436calBP (21.3%), 4431calBP - 4426calBP (0.4%)	34.6881	139.3914
IAAA-201460	20120905C	soil with charred material	-22.94 ± 0.21	2200 ± 30	2313calBP - 2125calBP (95.4%)	34.6831	139.4013
IAAA-201530	21010502C	charred wood up to 1cm diameter, more than 2cm	-27.30 ± 0.19	2220 ± 20	2328calBP - 2291calBP (17.7%), 2271calBP - 2150calBP (77.8%)	34.6813	139.4090
IAAA-201531	21010503C	black soil	-15.37 ± 0.21	4930 ± 30	5718calBP - 5595calBP (95.4%)	34.6822	139.4194
IAAA-201532	21010607C	charred material in soil	-28.43 ± 0.22	1840 ± 20	1823calBP - 1703calBP (95.4%)	34.6790	139.4334

## ○まとめ

- (1) 伊豆大島沿岸域の精密海底地形調査を実施、沿岸海底部の火山地形を明らかにした。
- (2) その結果、伊豆大島沿岸海底部の多くの溶岩流の分布と形態が明らかになった。さらにこれまで知られていなかった側火山や割れ目火口の存在が明らかになった。
- (3) 伊豆大島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。これにより、沿岸海底部の噴出物について陸上部と対比することで、ある程度噴出年代が推測できる可能性を示した。

## 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)

令和2年度は、昨年度に引き続き、電子顕微鏡での分析精度の向上や、質量分析装置を用いた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1機関計14名の利用があった。以下、特に成果のあったU-Th放射非平衡の測定法の確立と適用事例について報告する。

## ○はじめに

U-Th放射非平衡法は、適切な火山噴出物試料に対して適用することで、現在から遡って約1~40万年前のマグマプロセスに時間軸を挿入したり、噴出年代の推定を行ったりすることが可能であるため、特に課題Cの研究の遂行において非常に有用なツールとなる。そこでマグマ変遷解析センターでは、平成30年度からU-Th放射非平衡の測定法の開発に取り組み、今年度までに測定法の確立、および天然試料への適用性の確認を行った。

## ○U-Th放射非平衡の確立

U-Th放射非平衡を測定するためには、対象試料（鉱物や全岩）の $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 比と $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ 比を精密に決定する必要がある。そのためには、珪酸塩試料からのUとThの化学分離方法の確立、U/Th比の測定法の確立、Th同位体比の測定法の確立、が必要となる。岩石試料からのUとThの化学分離法についてはYokoyama et al.<sup>119)</sup>などに従い、ほぼ100%の回収率を達成した。U/Th比については、昨年度導入した誘導結合プラズマ質量分析装置（ICP-QMS: iCAP RQ）で測定する方法を採用し、常に1.5%以下の繰り返し再現性で測定できることが確認された。Th同位体比（ $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ ）については、北海道大学のマルチコレクタ型質量分析計（MC-ICP-MS; Neptune-plus）にRPQフィルターを装着することによって $^{230}\text{Th}$ への $^{232}\text{Th}$ のテーリングの効果を低減し、さらにCETAC Aridus II<sup>TM</sup> desolvating nebulizer systemを使用することで強いビーム強度を得ることにより、0.5%程度の繰り返し再現性で測定できることが確認された。Th同位体比については、未知試料の測定時に同位体比がよく決まっている複数の標準試料（アメリカ地質調査所のBHVO-2とW-2）でbracketingを行うことにより補正した。その結果、モニター試料として測定したBCR-2について $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}) = 0.876 \pm 0.003$  ( $n = 5, 2\sigma$ ) が得られ、推奨値（=0.874）<sup>120)</sup>と有意に一致していることが確認された。

## ○火山岩試料への適用例

マグマ変遷解析センターで確立した U-Th 放射非平衡の分析方法の有効性を確認するため、白頭山 10 世紀噴火 (Millennium eruption) の噴出物、および下位の噴出物 (Pre-Millennium eruption ; 4-5 ka) について、分析を行った。10 世紀の噴出物は玄武岩～トラカイト～コメンダイト質と、幅広い組成範囲を示し (図 9 4)、玄武岩～トラカイト、トラカイト～コメンダイトへの主要元素の組成変化は、基本的に結晶分化作用で説明されている<sup>121)</sup>。一方で、4-5 ka の試料は流紋岩質 (パンテレライト) である。本研究では西本・他<sup>122)</sup>の試料を用い、U-Th 放射非平衡の分析を行った。その結果、主要元素組成で確認されている 10 世紀噴出物の玄武岩・トラカイト・コメンダイトの端成分が、U-Th equiline 図でも明確に識別されていることが確認された (図 9 5)。また 4-5 ka の流紋岩質試料についても、10 世紀噴火の流紋岩質 (コメンダイト) 試料とは明瞭に区別されることが分かった。さらに玄武岩マグマからコメンダイトマグマの分化の時間スケールとして、モデル年代ではあるが、約 6 万年との推定値が得られた。これらのことから、U-Th 放射非平衡法は時間軸を含めたマグマプロセスを解読するためのツールとして有効であることが示された。

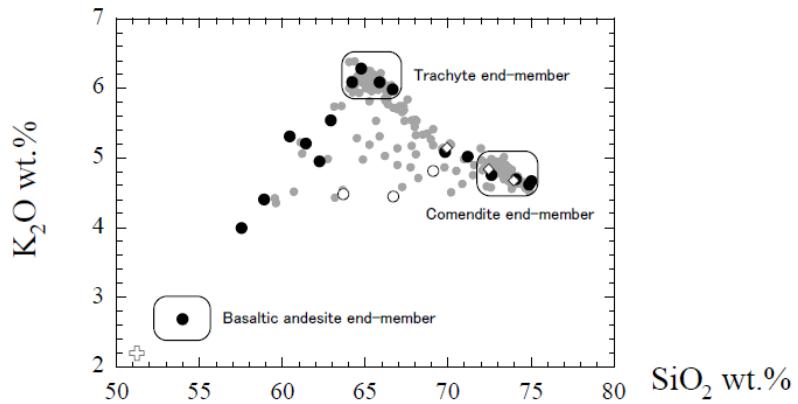


図 9 4. 白頭山 10 世紀噴火の噴出物 (丸印) および下位の噴出物 (ダイヤ印) の全岩主要元素組成。データは西本・他<sup>122)</sup>。黒丸は U-Th 放射非平衡を測定した試料を表す。

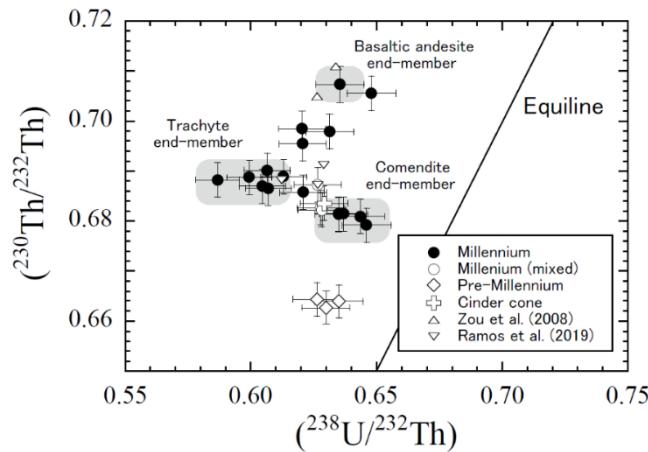


図 9 5. 代表的な試料についての U-Th 放射非平衡の測定結果。

### 3) 大規模噴火データベースの整備 (産業技術総合研究所)

#### a) 大規模噴火推移データベース

近現代に発生したおおむね VEI5 クラス以上の火碎噴火のうち詳細な噴火推移の目撃記録が残る噴火事例について、国内外の 21 噴火の噴火事象時系列データを収集し、噴火開始前から噴火終了後までの噴火活動及び関連する活動（地震活動など）推移を取りまとめ、大規模噴火推移データベースを作成した。取りまとめにあたり、様々な噴火事象の強度をあらわす統一的な基準として火山噴火指標（VUI）を導入した。噴火の前後 7 日間～200 年間の火山活動の推移を、VUI を用いて統一的に表現する方法を開発し、これら 21 噴火に適用した（図 9 6）。

収集した火碎噴火の推移パターンから、マグマの蓄積-上昇-噴火に至る事象の推移を示す分岐関係図を試作した。今年度考察した事象分岐の例では、新規火道の形成の有無、あるいは火道上昇中のマグマの脱ガス程度などが分岐をコントロールする場合を抽出し、それぞれの発生による噴火事象の前後関係を思考実験した（図 9 7）。これら試作した事象分岐関係図を桜島火山に適用し、桜島 1914-15 年噴火や 1935-46 年噴火の推移について検討した。その結果、これらの噴火の噴火現象（爆発性の強弱など）がマグマ上昇過程における火道形成や脱ガスの進行程度で説明できる可能性を示した（図 9 8）。

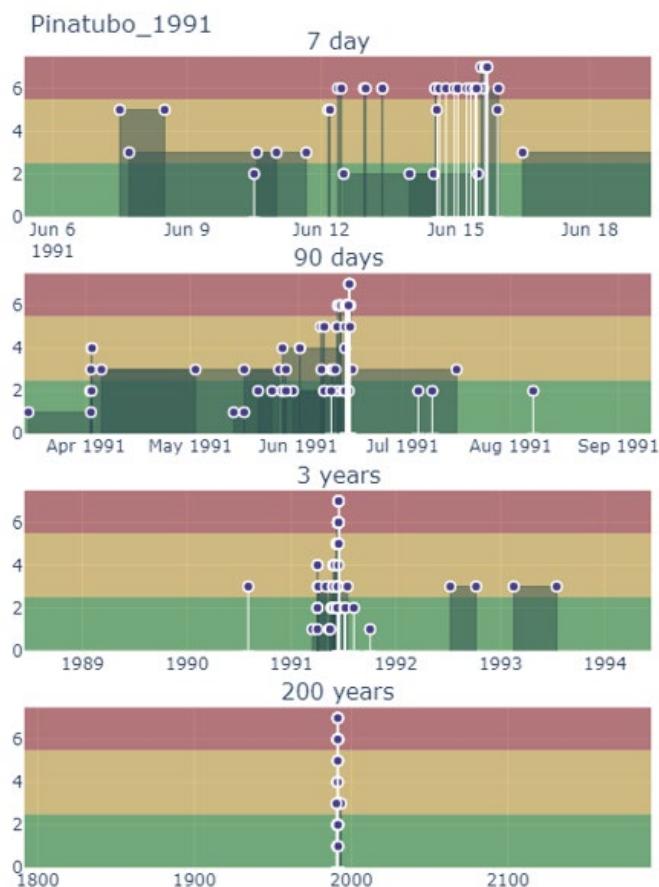


図 9 6. フィリピン・ピナツボ火山の 1991 年噴火の噴火推移。縦軸は本研究で導入した火山噴火指標（VUI）。上段から、噴火クライマックスの前後 7 日間、90 日間、3 年間および 200 年間の推移を統一した基準で記載した。

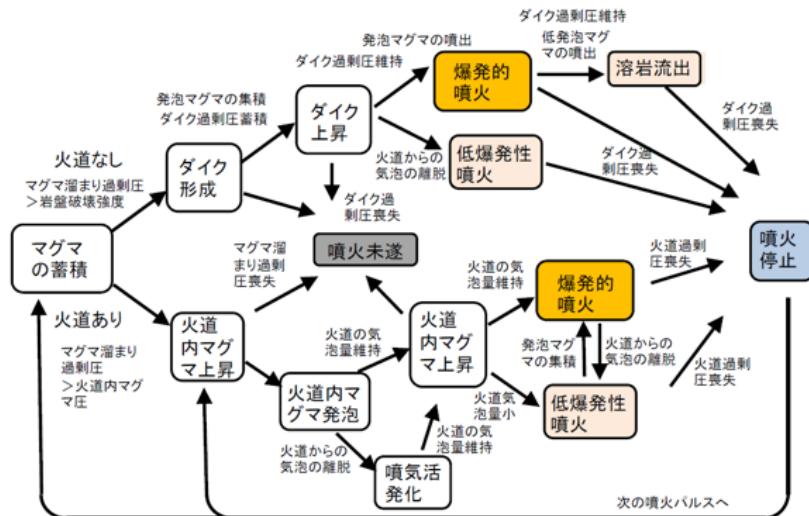


図9.7. 桜島の事例をもとに作成した、マグマ蓄積—上昇—噴火の事象分岐関係図。マグマの蓄積から上昇・噴火開始・噴火の停止までの過程とその分岐事象をとりまとめた。

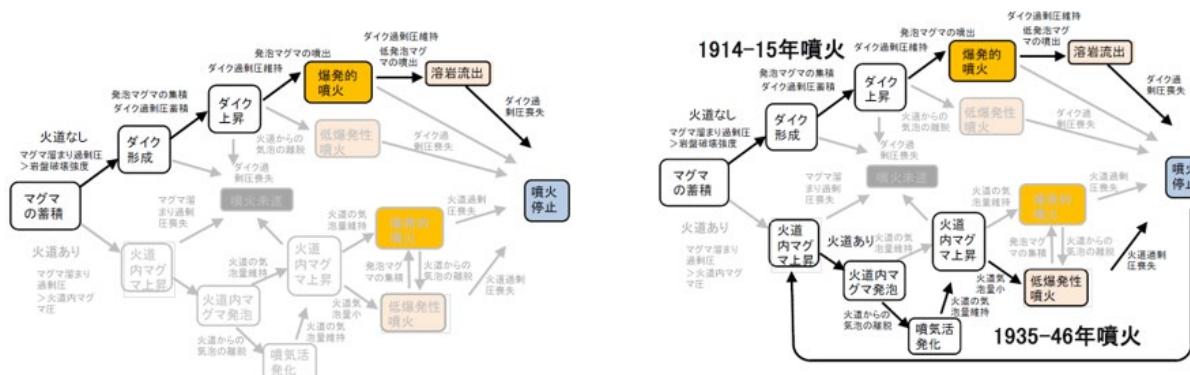


図98. 左：桜島 1914-15 年噴火の推移を図2の噴火事象分岐関係図に示す。噴火事象分岐のうち、それぞれの噴火は特定の分岐経路をたどって時間発展すると考えられる。右：桜島における、1914-15 年噴火とそれに続く 1935-46 年噴火の事象推移。異なる事象推移をたどることにより爆発性や噴火継続期間などが異なる噴火が発生した。

b) 大規模噴火データベース

後期更新世以降に大規模噴火を発生させた、支笏、洞爺等国内 11 カルデラについて長期的活動や大規模噴火の噴火推移などを取りまとめ、大規模噴火データベースを構築した（図 9-9）。カルデラ形成噴火のみならず、先カルデラ形成期、および後カルデラ期の活動についても、噴出量や噴火年代などのデータを収集した。大規模火碎噴火の地質データとして、国内外の 90 以上の主要噴火降下テフラの分布データを収集するとともに、GIS 化を進め地図上で閲覧可能なデータとして整備した（図 1-10）。

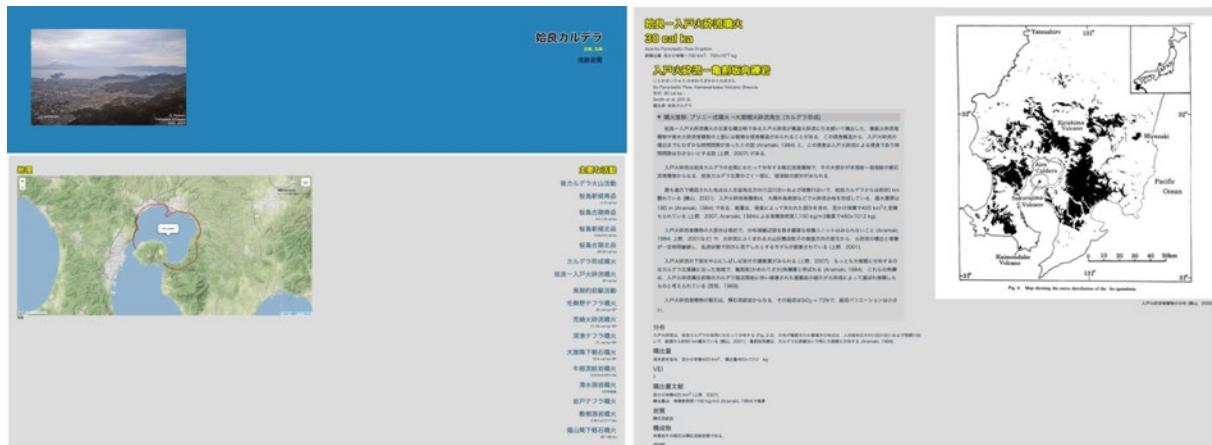


図 99. 大規模噴火データベースの試作版。始良カルデラの事例。長期的前駆活動、短期的前駆活動、カルデラ形成噴火の推移、後カルデラ火山活動について、噴出物毎にその噴火推移や噴出物層序、マグマ組成などの情報をとりまとめた。



図 100. 国内外の降下テフラの GIS データを整備。十和田火山起源の降下テフラの事例。既存文献から降下テフラの等層厚線を抽出し、GIS データとして掲載した。

### c) まとめ

噴火目撃記録が残る国内外21噴火の噴火事象時系列データを収集し、データベースとして構築した。それを用いて噴火事象分岐条件を火道発達と脱ガス過程に基づき整理した。また、カルデラ形成を伴うクラスの大規模噴火については、支笏、洞爺等国内の11カルデラについてカルデラ形成前後を含む噴火推移を取りまとめ、データベース化した。さらに、データベースの閲覧検索システムの構築を進め、プロトタイプを作成し、90以上の主要噴火降下テフラの分布データのGIS化を進めた。

4) ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築 (防災科学技術研究所・北海道大学)

本課題の研究手法の1つであるボーリング掘削調査で採取されたコア試料を有効活用するために、国立研究開発法人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引き続き実施した。令和2年7月にボーリングコア試料保管庫（防災科学技術研究所）が完成し、既存コア試料の集約を開始した（図101）。今後は、試料データの整理と、公開に向けたポリシー等の構築を行っていく予定である。



図101. ボーリングコア試料保管庫の様子（防災科学技術研究所）(a)全景、(b)コア収納設備、(c) 収納されたコア、(d) 試料処理室。

## 5) 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 (北海道大学)

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、アトサヌプリ・有珠山・阿蘇山の 3 箇所で実施した。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 ((2)(b)4) 参照)。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。

令和 2 年度から新たに取り組むことになった、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地質巡検および研究集会は見送りとなつたが、個々のサブ課題内で研究を進めた。そして、12 月に研究集会（オンライン）を開催し、それぞれの成果発表や情報交換を行い、今後の方針を議論した。

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) 結論ならびに今後の課題

本年度は、コロナ感染症拡大という、これまでに経験したことのない状況が続き、各参加機関および協力機関は対応に苦慮したが、そのような混乱下においても、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、対象火山が多く現状の研究体制ではそれぞれの火山で十分な成果を得ることは容易ではない。協力機関の追加や基礎的 地質調査の外注などの検討に加えて、重点火山の見直しを行うことでの研究の集中が重要であろう。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ることも重要である。それに加え、今後は C-2 課題内での協力体制を更に強化し、参加機関および協力機関で、サブ課題全体の研究成果と今後の研究の方向性を共有することが重要である。そのために、サブ課題 C-1 と C-3 との連携を強化するための課題 C 全体の現地検討会を予定していたが、コロナ禍のため中止となつた。次年度以降は研究集会を活発化させ、課題 C 全体の連携をさらに進展させたいと考えている。

### (d) 引用文献

- 1) 岸本博志, 長谷川健, 中川光弘, 和田恵治 : 最近約 1 万 4 千年間の摩周火山のテフラ層序と噴火様式, 火山, Vol.54, pp.15-36, 2009.
- 2) Katsui, Y., Ando, S. and Inaba, K.: Formation and magmatic evolution of Mashu volcano, east Hokkaido, Japan, Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Vol.16, pp.533-552,

1975.

- 3) Walker, G.P.L., Heming, R.F. and Wilson, C.J.N.: Low-aspect ratio ignimbrite, *Nature*, Vol.283, pp.386-287, 1980a.
- 4) 長谷川健, 山本明彦, 神山裕幸, 中川光弘: 阿寒カルデラとその周辺の重力構造, 北海道大学地球物理学研究報告, Vol.69, pp.97-112, 2006.
- 5) 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.
- 6) 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, 第10編, 北海道防災会議, 104p, 1986.
- 7) Goto, Y. and McPhie, J.: Tectonics, structure, and resurgence of the largest Quaternary caldera in Japan -Kutcharo. *Hokkaido, GSA Bull.*, Vol.130(7/8), pp.1307-1322, 2018.
- 8) 本間宏樹: 北海道東部、後屈斜路カルデラ、アトサヌプリ火山の火山活動史及び火山災害予測図, 北海道大学大学院修士論文, 2001.
- 9) 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(5), pp.269-281, 2017.
- 10) 宇井忠英, 勝井義雄, 本間宏樹: アトサヌプリ火山防災マップ, 弟子屈町, 2001.
- 11) 和田恵治, 稲葉千秋, 根元靖彦: 雌阿寒岳の最近 12000 年の噴火史, 日本火山学会 1997 年度秋季大会講演予稿集, p.100, 1997.
- 12) 南裕介, 中川光弘, 佐藤銳一, 和田恵治, 石塚吉浩: 雌阿寒岳火山ポンマチネシリにおける過去 1000 年間の火山活動史, 火山, 投稿中.
- 13) 佐藤銳一, 和田恵治, 南裕介, 石塚吉浩, 中川光弘: トレンチ調査による最近 14000 年間の雌阿寒岳の噴火史の再検討, 日本火山学会 2020 年度秋季大会講演予稿集, p.26, 2020.
- 14) 藤原伸也, 中川光弘, 長谷川摶夫, 小松大祐: 北海道中央部, 十勝岳火山の最近 3,300 年間の噴火史, 火山, Vol.52, pp.253-271, 2007.
- 15) 藤原伸也, 石塚吉浩, 山崎俊嗣, 中川光弘: 十勝岳北西麓で新たに発見された 4,700 年前の火碎流堆積物と十勝岳の完新世の活動の再検討, 火山, Vol.54, pp.253-262, 2009.
- 16) 石塚吉浩, 中川光弘, 藤原伸也: 十勝岳火山地質図, 火山地質図, No.16, 産総研地質調査総合センター, 2010.
- 17) 斎藤裕子, 堀伸三郎, 市川八洲夫, 槙納智裕: 十勝火山群, 上ホロカメットク火山の最近の火山活動, 日本火山学会 1997 年度秋季大会要旨集, p.101, 1997.
- 18) 斎藤裕子, 槙納智裕, 松尾淳, 堀伸三郎: ヌッカクシ富良野川沿いの火山活動に伴う土砂移動, 平成 10 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.310-311, 1998.
- 19) 斎藤裕子, 堀伸三郎, 槙納智裕: 十勝岳北西斜面における樽前降下(1739) 以降の長距離土砂移動, 日本火山学会 2000 年度秋季大会要旨集, p.155, 2000.
- 20) 斎藤裕子, 堀伸三郎, 後藤英嗣, 槙納智裕: 十勝岳火山最近 3,500 年間の長距離土砂移動履歴, 日本火山学会 2001 年度秋季秋季大会要旨集, p.144, 2001.
- 21) Takahashi, R., Shibata, T., Murayama, Y., Ogino, T. and Okazaki, N.: Temporal

- changes in thermal waters related to volcanic activity of Tokachidake volcano, Japan: implications for forecasting future eruptions, *Bull. Volcanol.*, Vol.77, 2015. doi: 10.1007/s00445-014-0887-6.
- 22) Katsui, Y., Ando, S., and Inaba, K.: Formation and magmatic evolution of Mashu volcano, east Hokkaido, Japan, *J. Fac. Sci. Hokkaido. Univ., Ser. IV*, Vol.16, pp.533-552, 1975.
- 23) 北海道防災会議：十勝岳,火山地質・噴火史,活動の現況および防災対策, 第Ⅱ版, 北海道防災会議, p.118, 2014.
- 24) 古川竜太, 中川光弘 : 樽前火山地質図 1:30,000, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2010.
- 25) Liu, Y., Zhang, Y. and Behrens, H.: Solubility of H<sub>2</sub>O in rhyolitic melts at low pressures and a new empirical model for mixed H<sub>2</sub>O–CO<sub>2</sub> solubility in rhyolitic melts. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol.205, pp.1-16, 2005.
- 26) Caricchi, L., Sheldrake, T.E. and Blundy, J.: Modulation of magmatic processes by CO<sub>2</sub> flushing, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.491, pp.160-171, 2018.
- 27) 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.
- 28) 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.
- 29) Amma-Miyasaka, M., Miura, D., Nakagawa, M., Uesawa, S. and Furukawa, R.: Stratigraphy and chronology of silicic tephras in the Shikotsu-Toya volcanic field, Japan: Evidence of a Late Pleistocene ignimbrite flare-up in southwestern Hokkaido, *Quaternary International*, Vol.562, pp.58-75, 2020.
- 30) Goto, Y., Miyoshi, M., Danhara, T. and Tomiya, A.: Evolution of the Quaternary silicic volcanic complex of Shiribetsu, Hokkaido, Japan, an example of ignimbrite shield volcanoes in an island arc setting, *International Journal of Earth Sciences*, Vol.109, pp.2619-2642, 2020.
- 31) 東宮昭彦, 宮城磯治 : 洞爺噴火の年代値, *火山*, Vol.65, pp.13-18, 2020.
- 32) 横山泉, 勝井義雄, 大場与志男, 江原幸雄 : 有珠山—火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策, 北海道防災会議, 札幌, 254p, 1973.
- 33) 曽屋龍典, 勝井義雄, 新井田清信, 堀幾久子 : 有珠火山地質図 (第1版) (1:25,000), 火山地質図 2, 産総研地質調査総合センター, 9p, 1981.
- 34) 曽屋龍典, 勝井義雄, 新井田清信, 堀幾久子, 東宮昭彦 : 有珠火山地質図 (第2版) (1:25,000), 火山地質図 2, 産業総合技術研究所地質調査総合センター, 2007.
- 35) 中川光弘, 松本亜希子, 田近淳, 広瀬亘, 大津直 : 有珠火山の噴火史の再検討: 寛文噴火 (1663年) と明和噴火 (1769年) に挟まれた17世紀末の先明和噴火の発見, *火山*, Vol.50, pp.39-52, 2005.

- 36) Matsumoto, A. and Nakagawa, M.: Reconstruction of the eruptive history of Usu volcano, Hokkaido, Japan, inferred from petrological correlation between tephras and dome lavas, *Island Arc*, Vol.28, e12301, 2019.
- 37) Miyabuchi, Y., Okuno, M., Torii, M., Yoshimoto, M. and Kobayashi, T.: Tephrostratigraphy and eruptive history of post-caldera stage of Toya volcano, Hokkaido, northern Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol.281, pp.34-52, 2014.
- 38) 藤根久, 遠藤邦彦, 鈴木正章, ほか9名:有珠山善光寺岩屑なだれの発生年代の再検討—有珠南麓の過去2万年間の環境変遷との関連で—, *第四紀研究*, Vol.55, pp.253-270, 2016.
- 39) Goto, Y., Danhara, T. and Tomiya, A.: Catastrophic sector collapse at Usu volcano, Hokkaido, Japan: failure of a young edifice built on soft substratum, *Bull. Volcanol.*, Vol.81: 37, doi.org/10.1007/s00445-019-1293-x, 2019.
- 40) 中村有吾, 平川一臣:北海道駒ヶ岳起源のテフラ, 駒ヶ岳gテフラの分布と噴出年代, *第四紀研究*, Vol.43, pp.189-200. 2004.
- 41) 雁澤好博, 紀藤典夫, 柳井清治, 貞方昇:北海道駒ヶ岳の最初期テフラの発見と初期噴火活動史の検討, *地質学雑誌*, Vol.111, pp.581-589, 2005.
- 42) Goto, Y., Suzuki, K., Shinya, T., Yamauchi, A., Miyoshi, M., Danhara, T. and Tomiya, A.: Stratigraphy and lithofacies of the Toya ignimbrite in southwestern Hokkaido, Japan: Insights into the caldera-forming eruption at Toya caldera, *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, Vol.127, pp.191-227, 2018.
- 43) 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*, p.349, 1998.
- 44) 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*, p.173, 2002.
- 45) 須藤茂, 石井武政:零石地域の地質, *地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)*, 地質調査所, 142p, 1987.
- 46) 藤繩明彦, 巖寄正幸, 本田恭子, 長尾明美, 和知剛, 林信太朗:秋田駒ヶ岳火山, 後カルデラ活動期における噴火史:火山体構成物と降下テフラ層の対比, *火山*, Vol.49, pp.333-354, 2004.
- 47) 土井宜夫, 菅野康隆, 東野桂一, 越谷信, 矢内桂三:秋田駒ヶ岳起源の先達川岩屑なだれ堆積物について, *地球惑星科学関連学会合同大会予稿集*, p.807, 1997.
- 48) 和知剛, 土井宜夫, 越谷信:秋田駒ヶ岳のテフラ層序と噴火活動, *火山*, Vol.42, pp.17-34, 1997.
- 49) 林信太郎, 毛利春治, 伴雅雄:鳥海火山東部に分布する十和田a直下の灰色粘土質火山灰, *歴史地震*, Vol.16, pp.99-106, 2000.
- 50) 大場司, 林信太郎, 伴雅雄, 近藤梓, 葛巻貴大, 鈴木真悟, 古木久美子:最近4500年間の鳥海火山の噴火活動—湿原堆積物に保存された火山灰層の解析—, *火山*, Vol.57, pp.65-76, 2012.
- 51) Minami, Y., Ohba, T., Hayashi, S., S. Kokubu, Y. and S. Kataoka, K.: Lahar record during the last 2500 years, Chokai Volcano, northeast Japan: Flow behavior, sourced

- volcanic activity, and hazard implications, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol.387, 106661, 2019.
- 52) 林信太郎, 南裕介: 1801 年(享和元年)夏に鳥海山で発生した火山泥流, *Memoirs of the Faculty of Education and Human Studies, Akita University (Natural Science)* , Vol.72, pp.27-32, 2017.
- 53) 宇井忠英, 柴橋敬一: 鳥海山 1974 年の火山活動, *火山*, vol.20, pp.51-64, 1975.
- 54) 林 信太郎, 伴 雅雄, 大場 司: 鳥海山 1800-1804 年噴火におけるマグマ性の爆発的噴火活動, *歴史地震*, Vol.28, pp.85-90, 2013.
- 55) 植木貞人: 鳥海山の活動史, 文部省科学研究費自然災害特別研究研究成果, A-56-1, pp.33-37, 1981.
- 56) 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.
- 57) 林信太郎: 鳥海火山の地質, 岩鉱, Vol.79, pp.249-265, 1984.
- 58) 土井宣夫: 栗駒山剣岳付近の火碎堆積物の層序と放射性炭素年代, 日本国火山学会講演予稿集, p.36, 2012.
- 59) 伴雅雄, 及川輝樹, 山崎誠子: 蔵王火山地質図, 火山地質図 18, 産業総合研究所地質調査総合センター, 8p, 2015.
- 60) 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-To1 to 4 tephras -, *Bull. Volcanol. Soc., Japan*, Vol.53, pp.151-157, 2008.
- 61) 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.
- 62) Ban M., Matsui R., Yamamoto T., Iwata N., Fujinawa A. and Nakashima K.: Petrologic characteristics of the newest stage in Azuma volcano group, Northeast Japan, *International Journal of Eruptive History and Informatics*, Vol.1, pp.1-11, 2013.
- 63) Miyashiro, A.: Volcanic rock series in island arc and active continental margins, *American Journal of Science*, Vol.274, pp.321-355, 1974.
- 64) Gill, J. B.: Orogenic Andesites and Plate Tectonics, *Minerals and Rocks*, 390p, 1981.
- 65) 山元孝広, 伴雅雄: 那須火山地質図, 火山地質図 9, 地質調査所, 8p, 1997.
- 66) 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, pp.676-691, 1997.
- 67) 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.
- 68) 寺田暁彦: 水蒸気噴火発生場としての草津白根火山, 地質雑, Vol.124, pp.251-270, 2018.
- 69) 石崎泰男, 潤川暁, 亀谷伸子, 吉本充宏, 寺田暁彦: 草津白根火山, 本白根火碎丘群の地質と形成史, 地質雑, Vol.126, pp.473-491, 2020.
- 70) 伊藤順一, 濱崎聰志, 川辺禎久: 岩手火山における最近 1 万年間の爆発的噴火履歴の再検討, 水蒸気噴火とマグマ噴火の時空間的関連, 地質雑, Vol.124, pp.271-296, 2018.

- 71) 亀谷伸子, 石崎泰男, 勝岡菜々子, 吉本充宏, 寺田暁彦: 草津白根火山, 白根火碎丘群, 弓池マールおよび逢ノ峰火碎丘の岩石学的特徴, 地質雑誌, Vol.126, pp.157-165, 2020.
- 72) Sillitoe, R. H.: Porphyry copper systems, Econ. Geol., Vol.105, pp.3-41, 2010.
- 73) Reimer, P., Austin, W., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P., Bronk Ramsey, C., . . . and Talamo, S.: The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP), Radiocarbon, Vol.62, No.4, pp.725-757, 2020.
- 74) Bronk Ramsey, C.: Bayesian analysis of radiocarbon dates, Radiocarbon, Vol.51, No.1, pp.337-360, 2009.
- 75) 安井真也, 高橋正樹, 金丸龍夫: 降下火碎堆積物からみた浅間前掛火山の大規模噴火の高分解能履歴復元, 火山, (投稿中) .
- 76) 安井真也, 堤隆, 米田穂: 浅間前掛火山南麓広畑遺跡の D グループ軽石層と縄文中期 編年 明治大学黒耀石研究センター紀要「資源環境と人類」, Vol.11 (印刷中) .
- 77) 河合小百合, 三宅康幸: 始良 Tn テフラの粒度・鉱物組成: 広域テフラの地域的変異の一例, 地質学雑誌, Vol.105, pp.597-608, 1999.
- 78) 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.
- 79) 鈴木由希: 東伊豆单成火山群における珪長質マグマの成因, 火山, Vol.45, No.3, pp.149-171, 2000.
- 80) Nichols, A.R.L., Wysoczanski, R.J., Tani, K., Tamura, Y., Baker, J.A. and Tatsumi, Y.: Melt inclusions reveal geochemical cross-arc variations and diversity within magma chambers feeding the Higashi-Izu Monogenetic Volcanic Field, Izu Peninsula, Japan, Geochemistry, Geophysics and Geosystems, 2012. doi: 10.1029/2012GC0042322.
- 81) Koyaguchi, T.: Evidence for two-stage mixing in magmatic inclusions and rhyolitic lava domes on Niijima Island, Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.29, pp.71-98, 1986.
- 82) 一色直記: 新島地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 85p, 1987.
- 83) 津久井雅志, 川辺禎久, 新堀賢志: 三宅島火山地質図, 火山地質図 12, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2005.
- 84) Nakano, S. and Yamamoto, T.: Chemical variations of magmas at Izu-Oshima volcano, Japan, plagioclase-controlled and differentiated magmas, Bull. Volcano., Vol.53, pp.112-120, 1991.
- 85) 中野俊, 山元孝広, 一色直記: 八丈島, 西山火山噴出物の全岩化学組成, 岩鉱, Vol.86, pp.72-81, 1991.
- 86) 杉本健, 石橋秀己, 松島健: 伊豆鳥島火山の岩石学的研究, 火山, Vol.50, pp.87-101, 2005.
- 87) 下司信夫, 嶋野岳人, 長井雅史, 中田節也: 三宅島火山 2000 年噴火のマグマ供給系, 火山, Vol.47, pp.419-434, 2002.

- 88) 早津賢二：妙高火山群—多世代火山のライフヒストリー—, 実業広報社, 東京, 424p, 2008.
- 89) 中野俊：北アルプス, 鷲羽・雲ノ平火山の地質, 火山, Vol.34, pp.197-212, 1989.
- 90) 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.
- 91) Hayakawa, Y.: Pyroclastic geology of Towada volcano, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, Vol.60, pp.507-592, 1985.
- 92) 遠藤邦彦：白山火山地域の火山灰と泥炭層の形成過程, 白山高山帯自然史調査報告書, pp.11-30, 1985.
- 93) Yamasaki, M., Nakanishi, N. and Kaseno, Y.: Nuee ardente deposit of Hakusan Volcano, Sci. Rep. Kanazawa Univ., Vol.7, pp.189-201, 1964.
- 94) 酒寄淳史, 奥野充, 田島靖久, 守屋以智雄：白山火山における 1.9～2.4 cal kBP のマグマ噴火—岐阜県大倉山周辺に見られるテフラ層からの知見—, 石川県白山自然保護センター研究報告, Vol.44, pp.1-10, 2018.
- 95) 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.
- 96) 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.
- 97) 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.
- 98) 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.
- 99) 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.
- 100) 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.
- 101) 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.
- 102) 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.
- 103) 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.
- 104) 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碎流堆積物の放射性炭素年代, 火山学会講演予稿集, p.71, 2013.
- 105) 長岡信治, 奥野充：九州中部, 九重火山群の噴火史, 地形, Vol.36, No.3, pp.141-158, 2015.
- 106) 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.
- 107) 辻智大, 岸本博志, 藤田浩司, 三浦大助, 池田倫治, 西坂直樹, 大西耕造：九重山 54ka 大規模噴火による噴出物の層序および噴火パラメータの推定, 日本火山学会 2017

年度秋季大会講演予稿集, p.71, 2017.

- 108) 及川輝樹, 大場司, 藤繩明彦, 佐々木寿: 水蒸気噴火の地質学的研究, 地質学雑誌, Vol.124, No.4, pp.231-250, 2018.
- 109) 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.
- 110) 鎌田浩毅, 三村弘二: インブリケイ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, No.4, pp.281-292, 1981.
- 111) Miyabuchi, Y. and Hara, C.: Temporal variations in discharge rate and component characteristics of tephra-fall deposits during the 2014–2015 eruption of Nakadake first crater, Aso Volcano, Japan, Earth, Planets and Space, Vol.71, No.44, 2019.
- 112) Miyabuchi, Y., Iizuka, Y., Hara, C., Yokoo, A. and Ohkura, T.: The September 14, 2015 phreatomagmatic eruption of Nakadake first crater, Aso Volcano, Japan: Eruption sequence inferred from ballistic, pyroclastic density current and fallout deposits, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.351, pp.41-56, 2018.
- 113) Miyabuchi, Y.: A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan, Sedimentary Geology, Vol.220, pp.169-189.
- 114) 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.
- 115) 宮縁育夫, 星住英夫, 高田英樹, 渡辺一徳, 徐勝: 阿蘇火山における過去約9万年間の降下軽石堆積物, 火山, Vol.48, pp.195-214, 2003.
- 116) 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.1-12, 2007.
- 117) Ishizuka, O., Geshi, N., Kawanabe, Y., Ogitsu, I., Taylor, R.N., Tuzino, T., Sakamoto, I., Arai, K. and Nakano, S.: Long-distance magma transport from arc volcanoes inferred from the submarine eruptive fissures offshore Izu-Oshima volcano, Izu-Bonin arc, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 285, pp.1-17, 2014.
- 118) Ishizuka, O., Taylor, R.N., Geshi, N., Oikawa, T., Kawanabe, Y. and 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.
- 119) Yokoyama, T., Makishima, A. and Nakamura, E.: Separation of thorium and uranium from silicate rock samples using two commercial extraction chromatographic resins. Analytical Chemistry, Vol.71, pp.135-141, 1999.
- 120) Sims, K.W.W., Gill, J.B., Dosseto, A., Hoffmann, D.L., Lundstrom, C.C., Williams, R.W., Ball, L., Tollstrup, D., Turner, S., Prytulak, J., Glessner, J.J.G., Standish, J.J. and Elliott, T.: An inter-laboratory assessment of the thorium isotopic composition of synthetic and rock reference materials. Geostandards and Geoanalytical Research, Vol.32, pp.65-91, 2008.
- 121) Dunlap, C.E.: Physical, chemical, and temporal relations among products of the 11th century eruption of Baitoushan, China/North Korea, Ph.D. thesis, Santa Cruz. University of California, 104p, 1996.

122) 西本潤平, 中川光弘, 宮本毅, 谷口宏充: 白頭山10世紀噴火のマグマ供給系システム  
—岩石学的および地球化学的手法からの検討—, 谷口宏充編「白頭火山とその周辺地域  
の地球科学, 東北アジア研究センター叢書, Vol.41, pp.71-94, 2010.

(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3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3年度は前年度行った事前調査の結果をもとに、最重点火山・重点火山を中心とした計13火山において、ボーリング掘削およびトレント掘削調査を実施する。主な火山の実施計画を以下に示す。

##### 1) アトサヌプリ（屈斜路）・摩周（北海道大学・茨城大学）

令和2年度までに実施したボーリング掘削調査のコア試料についてさらに解析を進め、野外調査結果を合わせて、数万年にわたる火山全体の噴火履歴を明らかにする。また、トレント掘削調査を実施し、アトサヌプリの大規模火碎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することで、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（北海道大学・電力中央研究所）

これまでの成果を踏まえ、北東麓でのトレント掘削調査および山体周辺での野外調査を行い、羊蹄山の長期噴火活動履歴を明らかにする。

##### 3) 十和田（秋田大学）

野外調査およびトレント掘削調査を実施し、カルデラ内での小規模噴火の痕跡や大規模噴火の推移、湖面津波といった可能性について着目し、十和田火山の最近の噴火活動履歴を明らかにする。

##### 4) 秋田焼山（産業技術総合研究所）

山体における手掘りトレント掘削調査および山体近傍の地質調査を実施し、完新世の活動履歴および噴火推移履歴を明らかにすることを目指す。

##### 5) 秋田駒ヶ岳（北海道大学・株式会社エンバイオ・エンジニアリング）

野外調査に加え、ボーリング掘削調査を行い、長期噴火活動履歴を明らかにする。また溶岩流とテフラ層序との関係について検討し、マグマ変遷の検討も行う。

##### 6) 蔵王山（山形大学）

最近数万年間の噴火活動履歴の詳細を明らかにするために、山体における手掘りトレント掘削調査を拡充する。また、物質科学的解析を進め、長期マグマ変遷についても明らかにする。

##### 7) 栗駒山（秋田大学）

山体での手掘りトレント掘削調査および野外調査を実施し、栗駒山の最近の噴火履歴の詳細（噴火様式・起源・推移）を明らかにすることを目指す。

##### 8) 吾妻山（山形大学）

山体での手掘りトレント掘削調査および野外調査を実施し、特に14世紀以降の最近の噴火履歴の詳細を明らかにすることを目指す。

##### 9) 那須岳（茨城大学）

野外調査と山体でのトレント掘削調査を行い、最近1.6万年間の噴火活動履歴と噴火活動推移の詳細を明らかにする。

##### 10) 浅間山（日本大学）

引き続き野外調査およびトレント掘削調査を行い、前掛火山の高分解能噴火史の解明お

より黒斑火山の噴火活動履歴の解明を目指す。両者を比較し、浅間山の噴火活動の特徴を明らかにする。

11) 伊豆大島（東京大学地震研究所・産業技術総合研究所）

沿岸域で傭船により浅部地殻構造調査、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（産業技術総合研究所）。

また、歴史時代噴火に焦点をあて、野外調査およびトレンチ掘削調査を実施し、伊豆大島の最近の大規模噴火履歴および噴火推移履歴を明らかにする。そして 20 世紀の活動と比較することで、類似性・差異を明らかにする（東京大学地震研究所）。

12) 鷲羽池火山（富山大学）

引き続き、完新世の噴火履歴解明を目的としたテフラ層序調査を継続する。令和 2 年度の調査で見出された橙色粘土質テフラ層を給源（鷲羽池火口）の北方と東方に追跡し、アイソパック・マップを完成させ噴火規模を明らかにする。また、火口近傍堆積物の産状をもとに、このテフラを噴出した噴火の推移を明らかにする。

13) 九重山（山口大学・北海道大学）

野外調査および山体における手掘り掘削調査を実施し、九重山の長期噴火活動履歴の詳細を明らかにすることを目指す。

14) 阿蘇山（熊本大学）

引き続き、2019 年から続く噴火対応を行うとともに、最近の活動履歴を明らかにするために、阿蘇火山中央火口丘の周辺地域において、ボーリング掘削調査およびトレンチ掘削調査を実施する。

15) 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・八幡平・岩手山・鳥海山・新潟焼山・妙高山・草津白根山・志賀火山・榛名山・東伊豆单成火山群・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・由布鶴見岳・霧島山・桜島・鬼界についても地表踏査を実施し、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ついて検討を行う。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。

そして、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。

(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）

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

(c) 大規模噴火データベースの整備（産業技術総合研究所）

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・北海道駒ヶ岳・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。

(d) ボーリングコア試料の保管・管理システムの構築(防災科学技術研究所・北海道大学)

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。既存コア試料については、引き続き集約に向けた調整を進め、コアデータの整理、公開に向けたポリシー等の構築を行う。

(e) 課題全体のとりまとめと研究成果の発信（北海道大学）

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ーニングやボーリング調査の調整と実施を行い、分担者と共同して解析を行う。「火山研究人材育成コンソーシアム」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。

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、年度内に課題 C 全体の研究集会を開催する。サブ課題の成果を整理し、どのように連携展開していくかを議論し、今後の研究計画、成果とりまとめ、発信方法についての方針を立てる。そして、噴火事象の分岐判断や噴火ハザードシミュレーションに関しては他課題 B、D との、成果のデータ一元化については課題 A との連携を検討し、次世代火山研究推進事業全体のシンポジウム開催を呼びかけ、全課題共通の項目として検討を行うことを提案する。