

## 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトについて

### Integrated Program for Next Generation Volcano Research and Human Resource Development

中川 光弘<sup>1</sup>

1. 北海道大学理学研究院地球惑星科学部門

Mitsuhiro Nakagawa<sup>1</sup>

1. Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University

#### Abstract

The Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) launched the "Integrated Program for Next Generation Volcano Research and Human Resource Development" in light of the eruption disaster at Mount Ontake in September 2014, with the aim of advancing Japan's volcano research and contributing to mitigation and disaster resilience countermeasures for volcanic hazards. The aims of this project are "Promotion of integrated volcano research encompassing observation, forecasting and countermeasures with unifying volcano observation data" and "Nurturing human resources with the qualities to become highly accomplished volcano researchers with specialized knowledge and skills regarding volcanoes."

*Key Words:* *volcano research, human resource development, mitigation of volcanic disaster, eruption forecasting*

キーワード：次世代火山研究，人材育成，火山災害の減災，噴火予測

#### 1. はじめに

我が国は多くの火山をかかえ将来にわたって火山噴火が想定されるために、火山噴火の時期や場所、そして規模や推移を予測することが、噴火災害の軽減に必要である。このために1974年から火山噴火予知計画が推進されてきた。この計画では大学や研究機関が基礎研究を展開し、その成果を気象庁が活火山の監視に活用してきた。そして、多くの噴火事例において、噴火に先行する現象を捉えることができ、突然あるいは想定外の噴火による深刻な人命の損失を伴う深刻な災害は20世紀の後半では起きてこなかった。もっとも1990-94雲仙噴火では、火碎流により44名の犠牲者を出してしまったが、これは事前に火碎流の到達が想定されていた立ち入り規制区域内に立ち入ったことで起こった災害であり、火山監視ではなく火山防災の教訓となつた。そして20世紀の最後に起こった有珠山の噴火では、噴火に先行する現象を捉えて、事前に住民避難を実施して人命損失を未然に防いだ。そのことにより、火山噴火予測技術の将来は楽観的に考える人も多くなってきた。

しかしながら 2014 年 9 月に起きた御岳山の噴火では、噴火発生が事前に想定されておらず、立ち入り規制もない状態で噴火に遭遇し 63 名が犠牲となってしまった。この噴火はマグマ噴火よりも小規模の水蒸気噴火であった。このような噴火では、先駆現象は火口近傍で検出されうる小規模なものであると考えて、火山研究や火山監視の主要な対象とはしてこなかったものであった。この反省から、これまでの基礎研究中心の火山研究・監視だけではなく、火山防災対策を念頭において、「観測・予測・対策」の一体的な火山研究を推進してゆく必要性が指摘された。

そして国は御岳山の噴火災害を受けて、2015 年 3 月に活動火山対策特別措置法の一部を改正し、火山災害に備えた警戒避難体制の整備を行うとともに、火山研究期間相互の連携強化と火山専門家の育成・確保を推進することとした。これを受け文部省では、火山研究体制の強化と火山研究者の育成のために、「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」(略称: 火山 PJ) を、2017 年度からの 10 年間の事業として立ち上げた。著者はこのプロジェクトの立案から関与して、さらに火山 PJ では運営委員や、研究課題責任者としてプロジェクトを推進してきた。ここでは火山 PJ の概要を紹介し、その中でも著者が関係している研究課題と今までの主要な成果の一部について報告する。

## 2. 次世代火山研究人材育成総合プロジェクトの目的と組織

### 2-1 概要

火山 PJ は「火山研究の推進」と「人材育成」を通して、火山災害の軽減への貢献を目指す文部科学省の 10 か年のプロジェクトである(図 1)。

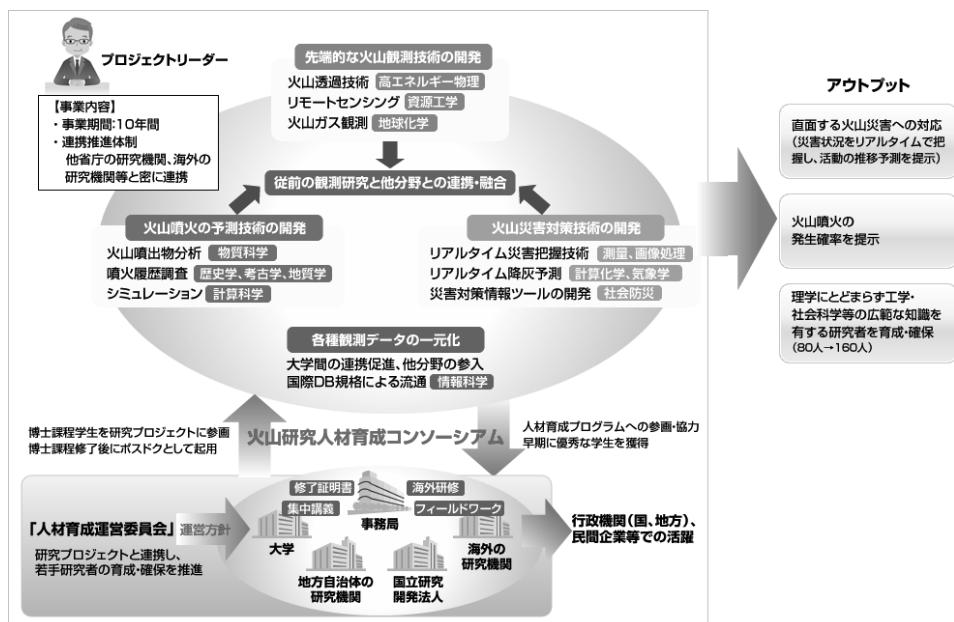


図 1. 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの概要と目的とするアウトプット (プロジェクト HP より引用 : <https://www.kazan-pj.jp/profile>)

この中で次世代火山研究推進事業においては、「観測・予測・対策」の一体的な火山研究および火山観測データの一元化流通を推進することを目指している。そのため、以下の 3 つの研

究課題を設定し、関連分野・他分野の連携・融合を図りながら目的を達成することを目指している。それらは、「先端的な火山観測技術の開発：課題 B」、「火山噴火の予測技術の開発：課題 C」および「火山災害対策技術の開発：課題 D」である。それに加えてこれら 3 つの課題によるデータを一元化して流通させることを目指す、「各種観測データの一元化：課題 A」の 4 課題から構成されている。研究事業においては、直面する火山災害への対応し（災害状況をリアルタイムで把握し、活動の推移予測を提示）、さらに火山噴火の発生確率を目指し、まずは噴火逼迫度のような指数を提示することを目指している。一方の火山研究人材育成事業においては、「火山研究人材育成コンソーシアム」を構築し、大学間連携を強化するとともに、最先端の火山研究だけではなく社会科学などとも連携させた体系的な教育プログラムを提供し、研究プロジェクトと連携し、理学にとどまらず工学・社会学等の広範な知識と高度な技能を有する若手研究者の育成を推進することを目指している。

これらのプロジェクトの推進のために、全国の大学や関連の研究機関によるオールジャパンの体制で取り組んでいる。北海道大学は火山 PJ の中核をなす参加機関のひとつとして、研究プロジェクトの複数の課題と人材育成コンソーシアムに参画している。その中でも研究 PJ の課題 C 「火山噴火の予測技術の開発」では、北海道大学が責任機関で、著者が課題責任者となっている。次は、その課題 C について概要を述べる。

## 2-2. 課題 C 「火山噴火予測技術の開発」について

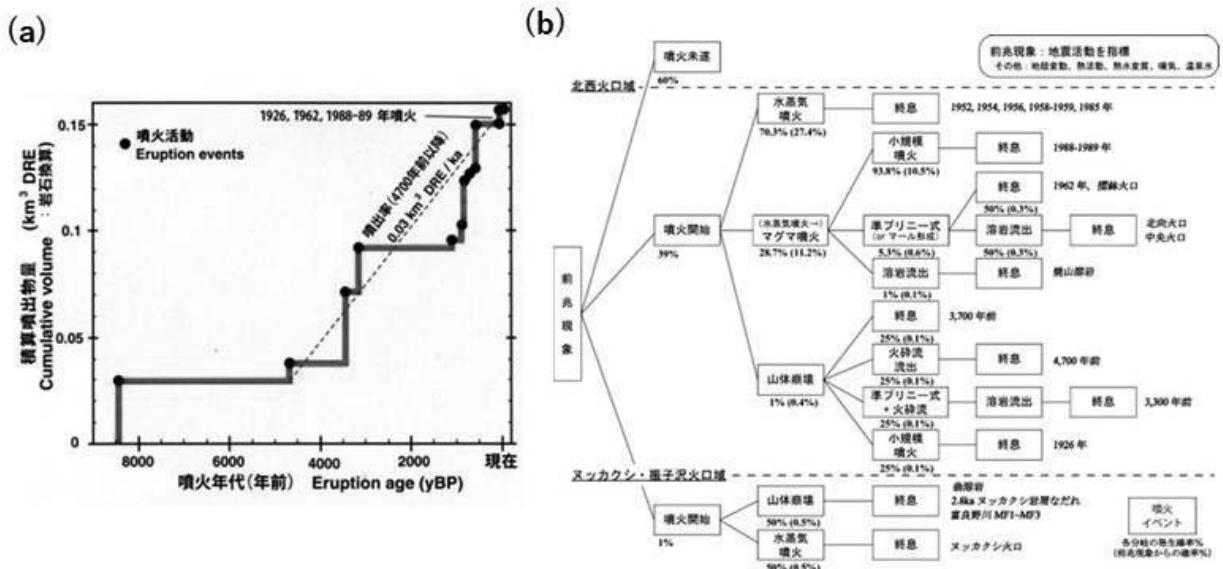


図 2. (a) 十勝岳の時間 - 積算噴出量階段図（階段図）<sup>1)</sup>。階段図は火山の噴火履歴や噴出率など、その火山の活動を定量的に理解することができ、活動の中長期予測を行う場合の基礎的データとなる。(a)十勝岳の噴火事象系統樹またはイベントツリー（試作版：中川・他、準備中）。この図は個々の火山の過去の噴火履歴をもとに、将来起こりうる噴火活動を想定火口や噴火規模・様式で分類して、発生確率を付して示したものである。将来の噴火を科学的に予測したものではないが、その火山の噴火活動の特徴を俯瞰的に理解することができ、平常時の火山防災対応に役立つ。

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

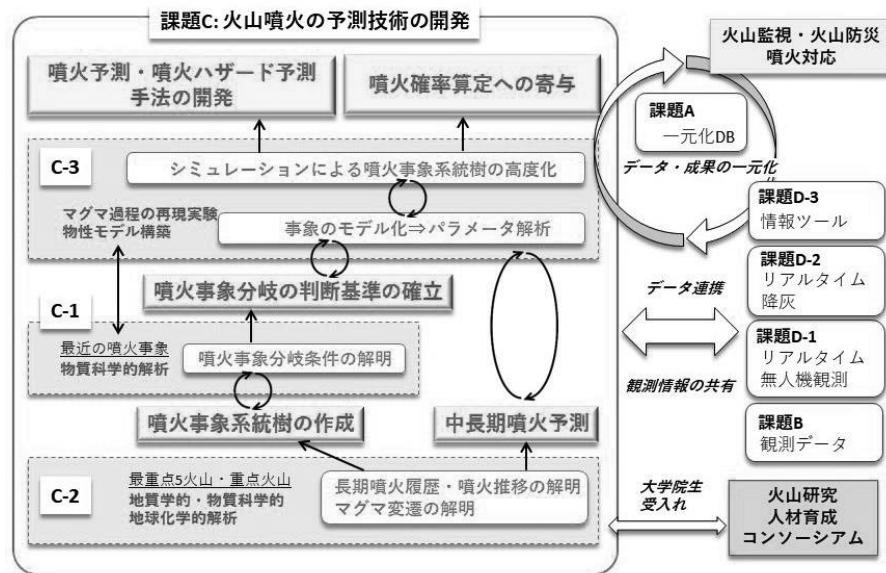


図 3. 火山 PJ の課題 C 「火山噴火の予測技術の開発」の 3 つのサブテーマの実施内容と相互の関係。右には他課題との関係も示している。

（火山 PJ パンフレットより引用：<https://www.kazan-pj.jp/wp-content/uploads/2022/03/pm2022.pdf>）。

サブテーマ 1（課題 C-1）、火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発：本テーマでは、国内の代表的な活火山について、噴火の過程が既知である歴史時代の噴火の噴出物の解析を行い、深度（圧力）・温度・含水量といったマグマ溜りの状態、噴火に先立つマグマ混合から噴火までの時間スケール、マグマの上昇開始から噴火開始までの時間スケールを明らかにする。この際、本研究で新たに得るデータに加えて、既存の研究成果も適宜参照して、火山噴出物から噴火事象分岐予測判断を行う基準を検討する。このために、より多くの火山噴出物の分析データを収集し噴火事象分岐予測に資するため、分析・解析プラットホームを整備し、広く火山研究者や学生に開放するための利用環境の整備も行う。

サブテーマ 2（課題 C-2）、噴火履歴調査による中長期噴火予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成：本テーマでは、活動的であることや噴火した際の社会的影響が大きいこと等を考慮して選定した 26 火山を対象に、主として地質学的および物質科学的手法に基づいて長期的な噴火履歴を明らかにし、さらに個々の噴火の様式とその推移を可能な限り詳細に解明する。また当初の 5 年間は、最重点火山として摩周・鳥海・浅間・阿蘇・鬼界の 5 火山を選定し、ボーリング掘削やトレンチ調査を集中的に実施して、より高精度に噴火履歴を解明することを

目指す。そして、各対象火山について高精度の時間一積算噴出量階段図（階段図）（図2）を作成するとともに、噴火履歴に対応する噴出物の物質科学的解析に基づいたマグマプロセスの解明を行い、個々の火山で中長期噴火予測、および分岐確率の入った噴火事象系統樹（図2）の作成を目指す。

サブテーマ3（課題C-3）、シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発：本テーマでは、火山噴火発生確率の定量化に向けて、演繹的（決定論的）手法による確率計算手法の開発を行う。事業の7年目までは、火山噴火予知・火山災害評価のための個別の事象についてのモデル化と数値シミュレーション技術を開発する。その際、それぞれの事象を支配するパラメータの洗い出しと、その感度解析を行う。なお、特に火山現象を直接的に支配する物性パラメータの把握が不十分であるため、実験的手法を用いて物性モデルの開発も行い、その成果を数値シミュレーションに取り込み、高度化をはかる。本事業の8～10年目では、各事象の発生条件について、感度解析の結果を踏まえて、もっともらしいパラメータ範囲での事象発生条件を抽出し、火山ハザード評価システムおよびマグマ移動過程評価システムを開発する。また、多パターンの数値シミュレーションの実施を踏まえた、事象分岐確率の提示を行い、一元化システムでの運用に移行する。

上記の課題C全体を総括する責任機関は北海道大学となり、課題責任者は中川光弘（理学研究院）である。課題Cの3つのサブテーマの責任機関および責任者は以下のとおりである。サブテーマC-1は東京大学で安田敦（地震研究所）、C-2は北海道大学で中川光弘（R04年度から栗谷豪）（理学研究院）、そしてC-3は防災科学技術研究所で藤田英輔である。課題Cにおける参加・協力機関はR03年度時点での22機関、研究者の総数は70名である。

### 3. 課題C、サブテーマ2「噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成」について

課題Cの最終目標である「火山噴火の予測技術の開発」を行うためには、噴火の準備過程から噴火の開始～終了までの種々の観測データ、および火山内部のプロセスを記録した物質科学的情報を得ることが重要である。これらのデータが得られると、噴火準備の場とプロセス、噴火様式の変化を支配した現象、そして噴火が終了するに至った条件などが実証的に解明される可能性がある。そしてそのような事例研究を多数蓄積することにより、火山噴火予測技術が確立されると期待できる。

そこで本サブテーマ（C-2）では、主として地質学的および物質科学的手法に基づいて複数の活動的火山を対象に研究を展開し、(1) 個々の火山における高精度な噴火履歴の解明、(2) 個々の噴火における噴火推移の復元、(3) 1と2の成果に基づいた高精度の時間一噴出物量図（図2）の作成、(4) 噴火履歴・推移に対応する噴出物の物質科学的解析に基づいたマグマプロセスの解明、を行う。そして特に(3)の階段図と(4)のマグマプロセスの長期変遷の情報をもとに中長期噴火予測手法の開発を行い、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高精度で明らかにし、それらの情報を各火山ができる限り多く蓄積することで、分岐確率の入った噴火事象系統樹（図2）の作成を目指す。さらに火山毎における噴火事象の特徴、および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、例えば噴出量と噴火推移（噴出率変化）やマグマ物性（組成、斑晶量、温度）などを、連携する課題に提供

する（図4）。

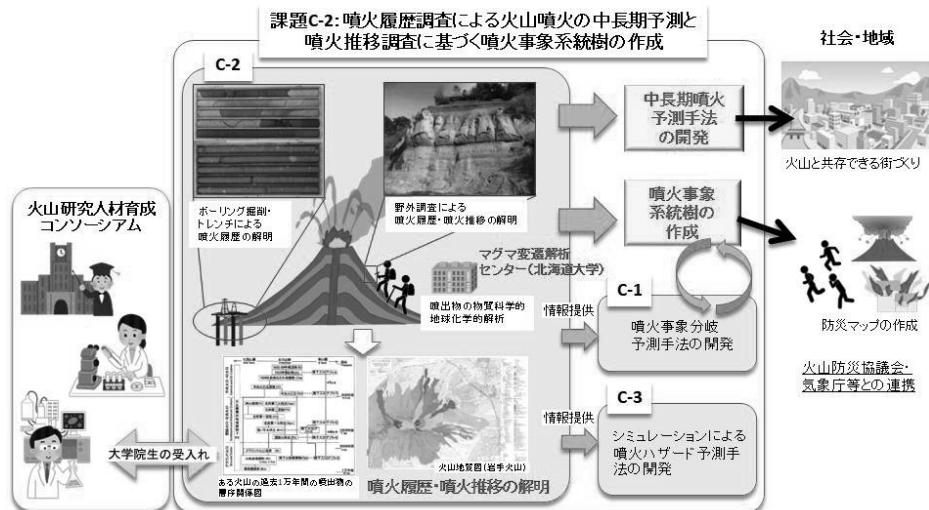


図4. サブテーマ2（課題C-2）の実施内容と人材育成コンソーシアムおよび社会との関係。このサブテーマでは、国内の重点火山において階段図を作成して中長期噴火予測を行うとともに、噴火事象系統樹を作成して他のサブテーマのための基礎的データを供給するだけでなく、防災対応にも貢献することを目的としている。

本サブテーマにおける重点的な調査対象として、活動的であること、噴火様式が卓越すること（カルデラ噴火、爆発的噴火など）、噴火した際の社会的影響が大きいこと等を考慮し、26火山を選定した（図5）。さらにその中からボーリングやトレッチ調査を当初の5年間に集中的に実施する最重点火山として、摩周・鳥海・浅間・阿蘇・鬼界の5火山を選んだ。本サブテーマでは時間と手間のかかる地質調査や噴出物の物質科学的解析を基盤とするため、多くの機関から専門家を結集した。そして特に、火山噴出物の高度な全岩化学組成分析・微小領域化学組成分析を行う場として「マグマ変遷解析センター」を責任機関である北海道大学に設け、参加機関の研究者・大学院生に開放して、高精度かつ多種類のデータの蓄積をはかっている。

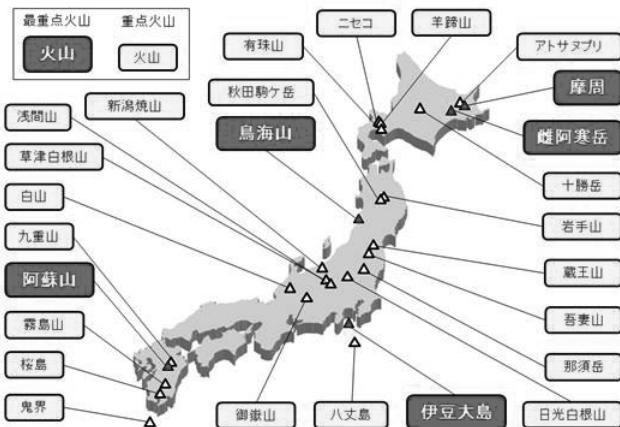


図5. サブテーマ2（課題C-2）での、現時点での研究対象火山（最重点と重点火山）。これらの火山について、各参加・協力機関は単独あるいは共同して研究に取り組んでいる。これらの他の火山についても、ノーマークの状態で噴火に遭遇することがないように研究を進めている。

最終的には、本サブテーマでは研究対象とする各火山について、過去数万年間あるいはそれ以上の時間軸で時間一噴出量階段図を作成し、それに対応したマグマ変遷の情報を完備させる。そしてこれらの情報をもとに中長期噴火予測手法を開発し、噴火活動の中長期予測を作成・公表するとともに、活動履歴をもとにした噴火事象系統樹を整備する。最終的には、これらが地元の自治体、火山防災協議会、および住民に周知され、長期のインフラ整備計画、火山防災および住民教育に活用されることを目標としている。

#### 4. サブテーマ 2 の成果例：十勝岳

火山PJはR04年度において7年目を迎え、各課題についても当初の計画どおり、あるいは想定以上の成果を出している。プロジェクトにおいては10年の事業期間の間に、外部評価委員による毎年のフォローアップ評価の他に2回の中間評価を実施し、事業の評価と継続の妥当性を検討している（<https://www.kazan-pj.jp/system>）。R04年度には2回目の中間評価が行われ、事業全体として高い評価をうけ、事業の継続が認められた。事業全体の研究成果に関する内容はプロジェクトのHPを見ていただくとして（<https://www.kazan-pj.jp/reporting>），ここでは北海道大学の成果の一つとして、十勝岳の研究成果の一部を紹介する。

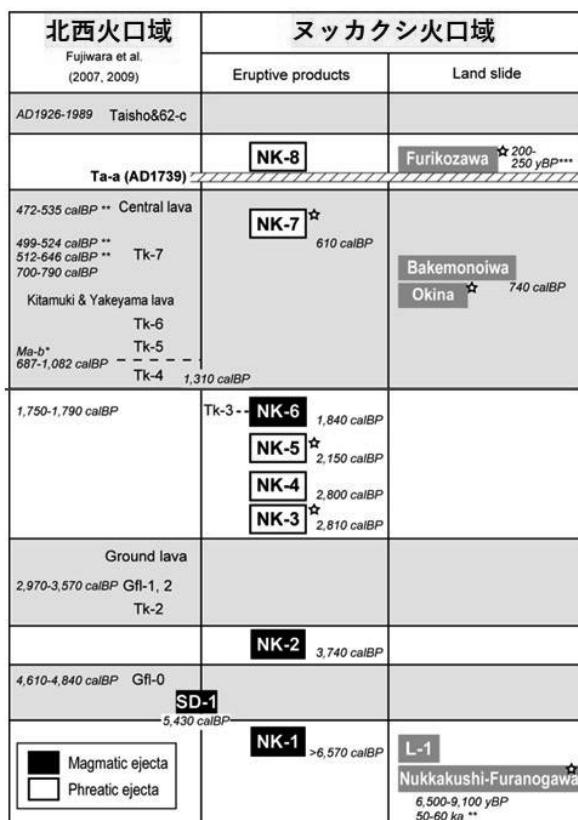
十勝岳は北海道中央部に位置し、20世紀には1926年、1962年そして1988-89年と3回のマグマ噴火が発生している、国内でも有数の活動的な火山である。このうち1926年には噴火に伴って発生した火山泥流によって144名の犠牲者がでた。十勝岳の噴火履歴・様式およびマグマの長期変遷については、2010年に産総研によって刊行された「十勝岳火山地質図」<sup>1)</sup>によって総括されている。北海道大学では火山PJ事業を推進するにあたり、十勝岳を重点火山として未解決のいくつかの課題に取り組んだ。ここでは噴火履歴が解明されていないヌッカクシ火口域（旧：安政火口）の噴火履歴と、歴史時代において対照的な噴火様式だった2つの噴火（1962年と1988-89年噴火）の物質科学的研究成果について紹介する。



図 6. 西方（上富良野町）から見た十勝火山群南部。新しい火口域としては、十勝岳の北西山腹にある「北西火口域」と上ホロカメットク岳西方の「ヌッカクシ火口域」がある。（中川、撮影）

十勝岳の完新世に活動していると考えられる火口域は2つある。このうち北西火口域は約5000年前のグラウンド火口の噴火から、火口位置を変えながら現在まで活動を続けている。一方で、ヌッカクシ火口域は安政年間に噴火したと言われてきたが、地質学的な証拠は報告されておらず、その噴火履歴解明は今後の課題とされてきた<sup>1)</sup>。我々は、ヌッカクシ火口域および

周辺で地形解析と地質調査を行い、ヌッカクシ火口域の火山体の構造と形成史を明らかにした。特に、テフラ層序学的手法によりヌッカクシ火口域を給源とする噴火堆積物の探索を行い、それらテフラ層の噴火年代と構成物の物質科学的検討を行った<sup>2)</sup>。その結果、ヌッカクシ火口域は北西火口域よりやや古い時期から活動を開始したが、少なくとも完新世の間には2つの火口域は並行して活動してきたことがわかった。図7に2つの火口域の噴火履歴をまとめた。2つの火口域の活動の特徴や噴火時期に注目すると、1800年前頃を境として区別できるようである。1800年前頃までは、2つの火口域でマグマ噴火も含む噴火が起こっていたが、両地域が交互に活動している。またこの時期は、2つの地域で異なる岩石学的特徴を示すマグマが活動しており、2つの異なるマグマ供給系が共存していたと考えられる。一方、1800年前頃から現在までは、北西火口群では現在までマグマ噴火が断続的に起こっているが、ヌッカクシ火口域では活動度が低下したようである。そして、1000年程度の静穏な時期の後に、ヌッカクシ火口域の西部で新たな小火口が形成され、そこで小規模な水蒸気噴火が散発している。また噴火頻度は低下しているが、ヌッカクシ火口域では地すべりあるいは小規模な斜面崩壊が複数回、この時期に起こっているようである。この研究から指摘できる防災上の留意点としては、ヌッカクシ火口域は最近の活動度は低下しているが、小規模な水蒸気爆発をする可能性は残っていること、また地すべりや斜面崩壊が起こりやすくなっていることである<sup>2)</sup>。これらの結果は、図2に示した事象分岐系統樹の改訂に反映されることになる。



#### 約1,800年前～現在

**北西火口域**：マグマ噴火が継続

#### ヌッカクシ火口域

活動度低下。小規模な水蒸気噴火が散発

小規模な崩壊・地すべりが複数回発生

#### ～約1,800年前まで

2つの火口域でマグマ噴火（マグマ水蒸気噴火）が交互に発生

⇒ 両地域は別々のマグマシステムが活動

図7. 十勝岳の完新世の2つの火口域の爆発的噴火の履歴。松本・ほか(2021)<sup>2)</sup>に加筆。

20世紀の3回の噴火に関しては、その推移については詳しく記述されているが<sup>1)</sup>、マグマ

供給系の構造と噴火プロセスについては詳細には検討されていなかった。そこで 1962 年と 1988-89 年噴火の物質科学的検討を行った<sup>3)</sup>。この 2 つの噴火では、噴火規模だけでなくその様式も大きく異なっていた。1962 年噴火は十勝岳の中では規模の大きなサブプリニ一式噴火であり、噴煙柱は最大で高さ 12 km に到達したが、主要な活動は 1 日以下の短時間で終わった。一方、1988-89 年噴火は小規模であるが爆発的なブルカノ式噴火が、約 3 か月足らずの間に断続的に続いた。この両者のマグマ噴出率という観点で見ると、1962 年では  $10^7 \text{ m}^3$  が 1 日以内で放出されたが、1988-89 年では 1 回の噴火が  $10^3 \text{ m}^3$  以下であり、1962 年の方が圧倒的に噴出率が高い。

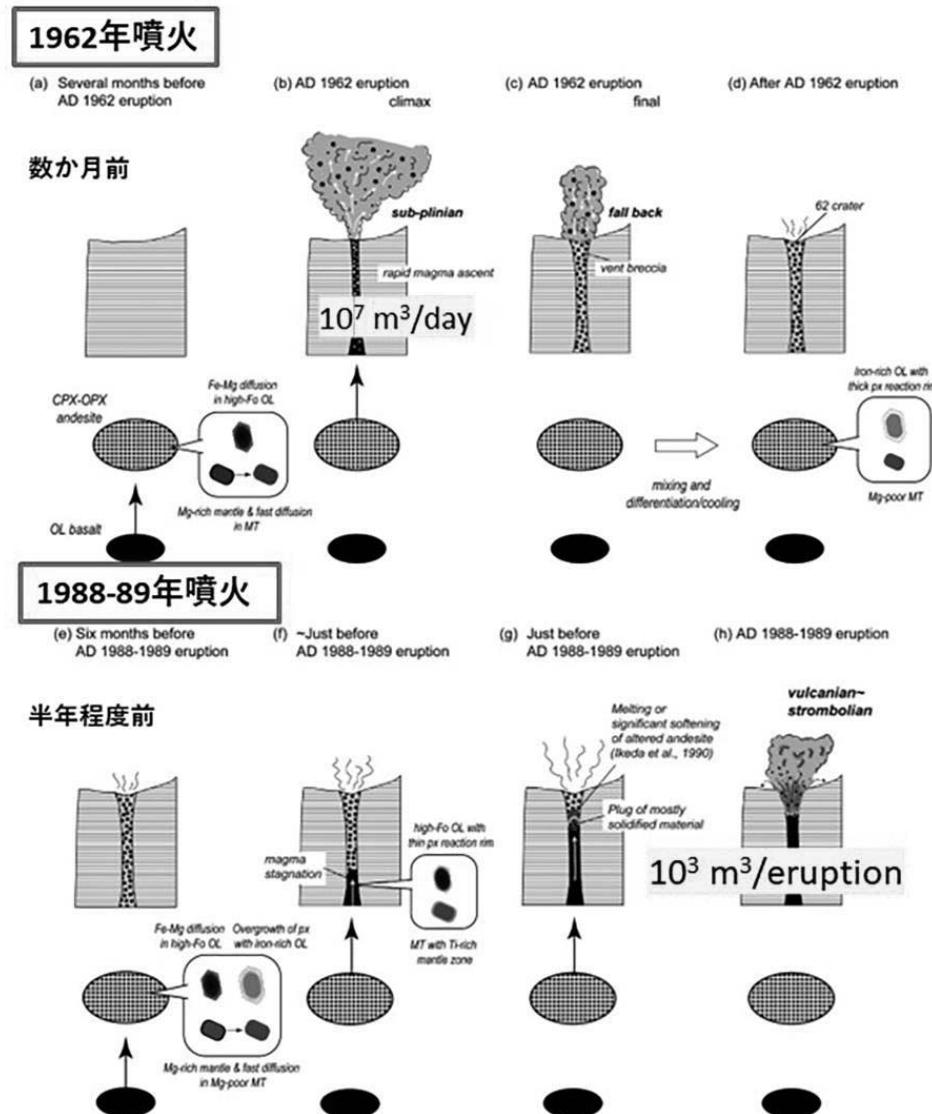


図 8. 十勝岳、1962 年と 1988 - 89 年の噴火過程モデル。Nakagawa et al. (2019) のモデル図に加筆した。2 つの噴火では共に、噴火前にマグマ溜まりに深部から高温マグマが貫入するマグマ混合現象が起こっていた。しかしその後のプロセスが両者では異なり、1962 年噴火ではマグマ溜まりから高い噴出率で混合マグマが一気に上昇し、サブプリニ一式の噴火が発生した。一方で 1988-89 年噴火では、混合マグマが徐々に上昇し、あるいは途中で停滞するなどしており、上昇したマグマ柱の頂部の結晶度が上昇し、小規模ではあるが爆発的なブルカノ式の噴火になったと考えられる<sup>3)</sup>。

両者の噴出物を調べると、本質物（マグマ物質）の化学組成や含まれる鉱物（斑晶鉱物）の組み合わせや量はほぼ同じである。このことから両者は同じマグマ供給系からもたらされたと考えられる。一方で、岩石組織に注目すると、1962 噴出物の方がマトリクスはガラス質であるのに対して、1988-89 年噴出物のマトリクスの結晶度は高い。このことから 1962 年の方が、斑晶鉱物が結晶化しているマグマ溜まりから急速に上昇した可能性があるのに対して、1988-89 年噴出物はマグマ溜まりから上昇の速度が遅い、あるいは上昇中に停滞していたことを示していると推定できる。このことは、両者の噴出物に含まれる斑晶鉱物の累帯構造や、鉱物とメルトの反応の産物である反応縁の違いでも支持された。それらの物質科学的検討により、2つの噴火では、噴火準備過程と噴火活動中のプロセスに違いがあったことが示唆された（図 8）。つまり上記の2つの噴火様式の極端な差は、マグマ噴出率あるいはマグマ上昇速度の大きな差に起因したことが指摘される<sup>3)</sup>。このことから、噴火事象分岐を決める要因として、マグマ上昇速度・噴出率が重要になると指摘できた。

## 5. まとめ：次のプロジェクトに向けて

火山 PJ は現在、7 年目を終えようとしている。今年度行われた中間評価により本 PJ は高く評価され、R07 年度までの継続が認められ、当初の計画通り 10 年プロジェクトとして推進できることとなった。今後は残された 3 年余りの間に、当初の目標を超えるような成果を達成することは最低限の責務であると考えている。また、それだけではなくこの PJ の成果を次に継承してゆくことも考えなければならない。本 PJ は、火山学の分野ではこれまでなかった 10 年間という長期にわたり、集中的に予算と人員を集中してきた。そのことにより、火山研究に関する人材育成に関しても大きく貢献してきたのは明らかである。この流れを絶やすことなく火山 PJ を引き継ぐような、大型の研究・人材育成プロジェクトを立案してゆくことが今後の 1~2 年間の課題となると考えている。

最後に、火山 PJ の推進に対して全面的なご支援・ご指導をいただいている文部科学省、プロジェクトリーダーの藤井敏嗣東京大学名誉教授をはじめとする PJ の運営委員および総合協議会委員の皆様、そしてプロジェクトの参加機関および協力機関の皆様に深く感謝したい。

## 6. 参考文献

- (1) 石塚吉浩、中川光弘、藤原信也：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。
- (2) 松本亜希子、中川光弘、小林卓也、石塚吉浩：北海道中央部、十勝岳火山群、ヌッカクシ火口域の活動史。火山、66, 255-279, 2021.
- (3) M. Nakagawa, A. Matsumoto, K. Kobayashi, and K. Wada: *Comparative petrological studies of 1962 and 1988-1989 eruptions of Tokachidake volcano, Japan: A case study for understanding the relationship between eruption style and magma processes.* Journal of Disaster Research, 14, 766-769, 2019.