

1 (3) 火山

「火山」計画推進部会長 大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）

副部会長 野上健治（東京工業大学理学院）

火山の噴火災害を軽減するためには、火山噴火の発生の場所・規模・時期を予測することのほかに噴火災害の推移を噴火現象の発展段階に応じて予測することが重要である。またこれらを予測するためには、火山噴火現象そのものの解明もまた非常に重要である。そこで、「火山」計画推進部会では「火山噴火の事象分岐の条件・論理を明らかにし、噴火事象系統樹を高度化することで、発災の原因である火山噴火を予測すること」を上位目標にすえ、低頻度で大規模な現象を含む火山噴火現象の解明、噴火発生場の解明、噴火のモデル化、観測手法の開発および体制の整備に関する研究を5年間にわたり推進してきた。ここでは、5年間の成果の概要を述べたのちに、平成30年度の成果を詳述する。

[1]

1. 5年間の成果の概要

5年間に発生した噴火のうち、2014年9月27日に発生した御嶽火山の噴火では、死者・行方不明者が60名を超える災害がもたらされた。また、草津白根山の本白根山で、2018年1月23日に水蒸気噴火が発生し、1名の方が亡くなられ、多数の方々が負傷された。亡くなられた方のご冥福をお祈りするとともに、被災された方々、ご遺族に心よりお見舞い申し上げたい。

本研究計画では、火山噴火予知のための観測研究計画が見直され、観測研究は国民の生命と暮らしを守る災害科学の一部として進められている。「火山」計画推進部会では、噴火予知を目指す観測研究を継続し「火山噴火の事象分岐の条件・論理を明らかにし、事象系統樹の高度化することで、発災の原因である火山噴火を予測すること」を上位目標にすえ、低頻度で大規模な現象を含む火山噴火現象および発生場の解明、噴火のモデル化、観測手法の開発および体制の整備に関する研究等を推進した。ただし、すべての課題において、課題の成果を災害誘因予測のための研究に受け渡すためにはどのようにすればよいかを意識しながらの研究が遂行された。

以下では、まず5年間になされた主要な成果を簡潔に紹介し、その後平成30年度の成果を詳述する。

2. 5年間になされた主要な成果その1

噴火事象系統樹の高度化

これまでに事象系統樹が作成されていない火山を対象として、地質学的研究成果に基づいた噴火事象系統樹を作成することで、一般的な作成手順を提案し、事象系統樹を作成した。提案された手順は（1）検討期間の設定（2）想定火口域の設定（3）前兆現象の整理と噴火未遂の評価（4）噴火タイプの分類（5）噴火回数算出（6）分岐確率算出である。この手順に基づき、浅間山、十勝岳、阿蘇山、蔵王山の噴火事象系統樹が新たに作成された。

3. 5年間になされた主要な成果その2

桜島火山におけるマグマ貫入速度による経験的事象分岐論理の構築

桜島火山において、マグマの貫入速度を分岐条件とする経験的な噴火事象分岐論理が構築された。1914年大正噴火や1946年昭和噴火は住民の記録や鹿児島測候所の報告書をもとに、1955-2005年南岳火口および最近の昭和火口噴火では地盤変動データをもとに、マグマの貫入速度を推定し、噴火事象との比較がおこなわれた。

南岳下を中心とする既存火道系へマグマが貫入する場合、南岳の噴火活動では、ブルカノ式噴火 ($1-8 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{day}$) > 連続火山灰放出 ($\sim 1 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{day}$) > スترونボリ式 ($0.2-2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{day}$) 噴火の順にマグマの貫入速度が大きいことが明らかになった。昭和火口のブルカノ式噴火は $10^4 \text{ m}^3/\text{day}$ のオーダーと小さく、溶岩噴泉のような噴火に至る前は、 $10^5 \text{ m}^3/\text{day}$ のオーダーに達し、さらに1946年昭和噴火 (2億 m^3 級溶岩流出) では、 $10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ のオーダーと推定される。一方、新規火道を形成し、プリニー式噴火から始まる山腹噴火を起こした大正噴火では $2 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{day}$ と推定された。ただし、 $10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ 程度のマグマ貫入では、噴火は発生していない。地盤変動がほとんど検出できていない場合 (2006年、2007年昭和火口噴火) の噴火形態は、水蒸気噴火、もしくはマグマ水蒸気噴火であり、温度上昇、噴気量の増加などが分岐判断の指標として考えられる。

4. 5年間になされた主要な成果その3

阿蘇火山における多項目観測と噴火事象分岐

阿蘇火山について、近代的な地球物理学的観測が展開されて初めてとなる、2014年11月のマグマ噴火から2016年10月の爆発的噴火までの一連の火山活動をもとに各種観測量と噴火現象が調べられた。その結果、以下の分岐指標が得られた。マグマ噴火、水蒸気噴火ともに、噴火時期が近づくにつれて、地下の体積変化量を示す基線長の伸び、熱的活動の活発化、火山性地震の微動振幅増加など、多くの観測項目に火山活動の活発化を示すシグナルが共通に現われる。一方、マグマによる浅部の熱消磁を反映する地磁気変化は、マグマ噴火の発生前のみに観測され、水蒸気爆発前には顕著な発現はない。

5. 5年間になされた主要な成果その4

鉱物組成分析および揮発性成分分析によるマグマシステムの解明

噴出物の化学組成と組織を分析し、マグマ溜まりの含水量と深さを精度よく決定するための研究が行われた。その結果、約3万年前に発生した始良カルデラ噴火の場合、噴火前のマグマ溜り上部の深さは4-5kmであり大規模噴火の前に十分に爆発力を高めていたことが明らかになった。また、1707年の富士山宝永噴火の噴出物解析からは、深さ4-6kmに揮発性成分にほぼ飽和したデイサイト質マグマ溜まりがあり、そこに噴火の数日前に深部から上昇した玄武岩質マグマが接触した結果、爆発的噴火を引き起こした可能性が高いことが明らかになった。最近3000年間の噴火でも同様な特徴が見られることから、将来の噴火においても、深部から上昇してきたマグマが浅部マグマと接触する際に何らかの明確な前兆現象が捉えられる可能性がある。

6. 5年間になされた主要な成果その5

新燃岳 2011年噴火時の噴出物の結晶サイズ分布

石基のサブミクロンサイズの結晶サイズ分布 (Crystal Size Distribution: CSD) が、サブプリニー式噴火・ブルカノ式爆発・溶岩噴出という異なる噴火様式の分岐を記録していることが明らかになった。本研究において、石基鉱物 (輝石・斜長石・磁鉄鉱) のCSDに屈曲やギャップが見られるサイズを総合的に考慮し、幅が1 μm ~ 30 nm の石基結晶をナノライトと再定義し、30 nm より小さい結晶をウルトラナノライトと初めて定義した。これらよりも大きいマイクロライト領域では、これらの噴火様式は区別できない。本研究により火道浅部～地表付近での噴火様式の分岐に対応した、結晶作用の相違が発見された。

7. 5年間になされた主要な成果その6

低頻度大規模噴火に関する知見

鬼界、支笏、始良、屈斜路および摩周で発生した大規模噴火について、地質調査や掘削、岩石学的検討などにより、カルデラ形成噴火の推移と前駆活動の有無に関する研究が行われた。その結果、カルデラ形成噴火に先行する噴火活動は鬼界では認められたが、支笏や摩周では確認できなかった。九州では阿蘇でも先行噴火活動が認識されているが、北海道では洞爺でも知られていないことから、先行活動の有無はカルデラ火山地域のテクトニクス場の違いと関連している可能性がある。また検討したカルデラ噴火の推移は、いずれの火山でも噴煙柱形成・崩壊のステージとクライマックスのステージに大別されることがわかった。また両ステージ間には比較的長い時間間隙が存在する事、あるいはそれぞれのステージでの噴火推移についてもこれまで考えられている以上に複雑であることがわかった。これらの噴火をもたらしたマグマ系は、単一の巨大な(成層)マグマ溜りではないことも明らかになった。これまでは単一の巨大な珪長質マグマ溜りからのプリニー式噴火で、大量のマグマが噴出することで陥没が起こり、それによってクライマックス噴火が発生し、カルデラが形成されるというモデルが一般的であった。しかし五カ年の研究によって、時間間隙の存在や噴火推移の中でのカルデラ形成時期の多様性が明らかになった。今後は、活動時期や火山の置かれているテクトニクス場も考慮して、更なる事例研究を積み重ねることが、低頻度大規模噴火現象を理解するために重要である。(図1)

8. 5年間になされた主要な成果その7

霧島新燃岳における観測の高度化

2017年10月に発生した6年ぶりの噴火に関して、広帯域地震計により噴火に先行する微動に伴う傾斜変動が捉えられた。この傾斜変動は新燃岳火口直下深さ1km 付近における 10^4m^3 の膨張源によって良く説明されることから、火山性微動は噴火に先行して流体が新燃岳の浅部に移動したことに伴い発生したと解釈された。また、2018年3月中に発生した爆発的噴火について火口周辺の広帯域地震波形から傾斜変化を抽出したところ、77回のイベントの平均として、噴火の約30分前から膨張が始まり、噴火10分前から若干収縮して噴火に至ることがわかった。噴火直前の火道内プロセスの定量的理解につながる成果と言える。また、繰返し実施された空中磁気測量では、2011年噴火時に火口に滞留した溶岩の冷却による帯磁、2018年3月再噴火の際の新たな溶岩の噴出による消磁と冷却による帯磁が捉えられた。

9. 5年間になされた主要な成果その8

熱水系の卓越する火山における比較研究を通じた類似性の抽出

口永良部島(2014. 8. 3)・御嶽山(2014. 9. 27)・阿蘇山(2015. 9. 14)・草津本白根(2018. 1. 23)のについて、噴火時の地動データを比較した結果、阿蘇山を除く3イベントで、噴火開始時に火山性微動に同期した傾斜の加速が認められた。ただしこのような加速期は噴火直前の数分から10数分であり、地動の変化を大まかに見ると、噴火前に地盤が膨張し、噴火開始とともに収縮に転ずるというパターンである。将来、こうした観測データの特徴が類型化でき、リアルタイムで異常を自動検出できるようになれば、登山者や観光客への注意喚起情報として役立つことが可能かもしれない。また、十勝岳・吾妻山・阿蘇山では、活動火口周辺で非噴火期に継続的な消磁が長期間続いた、特に十勝岳では局所的な地盤の膨張にほぼ同期して、間欠的に消磁が加速していた。この特徴は、口永良部島で2014年噴火の10年以上前から観測されていた現象とよく似ており、浅部に熱水系をもつ火山の噴火準備過程に共通するものである可能性が示された。さらに御嶽山、口永良部島、阿蘇での水蒸気噴火後の比較研究から、火山活動の推移予測には、GNSSや水準測量による地殻変動観測、火山ガス(二酸化硫黄)放出率の観測、地震観測が重要であることが再確認された。

10. 5年間になされた主要な成果その9

御嶽山における応力場による火山活動モニタリング

地震のメカニズム解から応力場を推定する手法を御嶽山の火山性地震に適用した。その結果、2014年噴火前の同火山下の応力場は広域応力場からずれていたことが明らかになった。このことは噴火前に火山活動が活発化していたことを示唆する結果である。御嶽山では2014年噴火後も何度かの増圧過程(2015年1~3月, 2016年1~9月)があった可能性があるが、2016年9月には減圧過程となった。この結果は、水準測量などで捉えられている2016年9月以降の山体収縮と調和的である。

11. 5年間になされた主要な成果その10

火山衛星監視システムの構築

人工衛星「ひまわり」および「しきさい」のデータを用いたリアルタイム火山観測システムが開発された。

2015年6~8月のインドネシア・ラウン火山の噴火の際には、ひまわり8号の超高頻度赤外面像(AHI)によって熱異常変化が捉えられ、複数の衛星による高分解能画像から噴火活動状態や溶岩の分布状況が推定された。また、しきさいのSGLI(Second Generation Global Imager)画像が2018年のハワイ・キラウエア火山の溶岩流などの観測に活用されている。

12. 5年間になされた主要な成果その11

航空機 SAR データの解析技術の向上

人工衛星を用いた干渉解析手法である InSAR 解析を航空機 SAR に応用するための研究が実施された。その結果、風などの影響により飛行軌跡を均一に保つことが難しい航空機 SAR データにも適用可能な解析手法が開発され、火山活動が高まっていた霧島の硫黄山にお

いて、2014 年 から 2016 年と2016 年から 2017 年の両期間ともに硫黄山付近の膨張を示す地殻変動が明瞭に検出された。また、地殻変動の3次元変位を取得する方法も開発された。(図 2)

1 3. 5 年間になされた主要な成果その 1 2

火山ガス観測装置の開発と運用

火山ガス測定の実験がなくてもガス放出率測定を容易にできるような二酸化硫黄の簡易型トラバース測定装置の開発が行われた。この装置は、口永良部島に航行するフェリーに装着され、観測を継続しながら装置の改良が進められた。高頻度で得られたガス放出率データは気象庁にも提供されている。そして、口永良部島の2015年5月29日の噴火前後の二酸化硫黄放出率推移や2018年10月21日の噴火前の放出率の上昇など火山活動を理解するうえで貴重な情報がえられ、口永良部島の火山活動の監視に役立てられている。(図 3)

1 4. 5 年間になされた主要な成果その 1 3

阿蘇火山における ACTIVE 観測

阿蘇火山・中岳火口周辺で行われたACTIVE観測データの解析手法の高度化が実施され、三次元有限要素法を用いたインバージョンコードが開発された。その手法を用いて2014年11月のマグマ噴火前後の比抵抗構造の変化を推定した結果、火口底標高付近の地下水層の消失および粘土キャップ層の含水率低下に対応する比抵抗構造の時間変化が検出された。これは噴火様式の予測につながる解析結果である。

[2] 平成 30 年度の成果

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料、考古データ、地質データ等の収集と整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

火山現象とそれに伴う災害を長い時間スケールにわたって正確に把握するために、岩石資料や地質調査データなどの分析をおこなうことが重要である。この目的のため、東京大学地震研究所は、顕微赤外反射法によるマグマ中の揮発性成分定量分析とメルトの含水量を考慮した鉱物温度圧力計を用いたマグマ溜まり深度の精密決定を遂行してきた。本年度は分析対象を爆発的噴火のテフラ噴出物以外の溶岩流にも広げ、富士山の噴火様式とマグマ溜まりの環境(温度、含水量)との関係を明らかにした。その結果、溶岩流は高密度・高温・高含水量のマグマにより、爆発的噴火は低密度・低温・高含水量のマグマにより、それぞれ引き起こされていることを示す結果がえられた。このことは、マグマ溜まりからのマグマ上昇の様式の違いが噴火様式に表れていることを示唆するものである([課題番号:1502])。この上昇様式の違いを地震観測や地殻変動観測で捉えることが可能かどうかは今後検討すべき課題であろう。

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料、考古データ、地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

低頻度で大規模な火山現象の発生過程や噴火現象を理解するためには、近代的観測データの解析、岩石・地質データの分析を現在の火山学の知見と対比しながら行なうことが必要である。火山部会では、低頻度大規模火山現象としてカルデラ形成噴火と大規模山体崩壊とをターゲットとした研究が実施された。

VEI=7クラスのカルデラ形成噴火の研究では、支笏、鬼界、摩周カルデラを対象として、地質学的調査、物質科学的な解析が行われた。その結果、摩周カルデラでは、カルデラ形成噴火堆積物の噴火様式・構成物の時間推移が検討され、下位から噴煙柱形成・崩壊フェーズ、マグマ水蒸気噴火フェーズそしてカルデラ形成フェーズの、噴火様式の異なる3つに区分できることが明らかになった。また、鬼界カルデラでは認められた、カルデラ形成噴火に先行する噴火活動は摩周カルデラでは確認されなかった（北海道大学〔課題番号：1001〕）。

一方、山体崩壊について雲仙岳1792年噴火時の眉山崩壊に関する史料分析が昨年度に引き続き実施された。その結果、火山活動と連動した雲仙活断層群の活動によって多くの地割れが形成され、山腹の地下水系が破壊されたことが明らかになった。このことから、崩壊の本質は眉山山麓付近の岩石中の間隙水圧の上昇によって起こった液状化と、引き続き地すべりとする過去の研究結果を支持するものとなった（北海道大学〔課題番号：1001〕）。

また、桜島大正噴火時（1914年）に発生した地震の震源要素再決定に関する研究も継続され、この地震は、桜島の南西沖5kmの深さ10kmを震源とするMw6.5の正断層タイプであることが明らかになった（京都大学防災研究所〔課題番号：1902〕）。

（3） 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ． 内陸地震と火山噴火

マグマ溜まりや火道などの構造や物質科学的特性、火山周辺の応力・ひずみの時空間分布を明らかにし、火山噴火現象のモデル化の研究を進めるため、地震・地殻変動観測や電磁気探査などを実施することが重要である。

この目的のため、2011年の東北地方太平洋沖地震以降に活動の活発化がみられる蔵王山周辺において、地震・地殻変動観測、重力観測、地磁気観測、火山ガス観測、火口湖水温観測などからなる総合観測が継続された（東北大学〔課題番号：1202〕）。その結果、蔵王山直下浅部で発生する長周期地震は、火口域直下浅部に存在する破碎帯に気泡を含む熱水が介在することにより発生していることが推定された。そしてこの地震の発生域には熱消磁源が存在することも明らかになった。また火山性地震や微動など活動活発化が、噴気地帯の熱活動活発化にも現れていることが示唆された。

（5） 火山現象のモデル化

「火山」計画推進部会では、マグマ噴火と水蒸気噴火それぞれを主体とする火山に対し、火口近傍や火山周辺における多項目の観測や火山噴出物の解析から、先行現象とそれに続く噴火現象を把握するための観測研究が実施されている。マグマ噴火では、大規模な災害が引き起こされる可能性が、また水蒸気噴火では噴火規模が小さくても火口近傍での災害が引き起こされる可能性がある。これらの災害を軽減するためにも、噴火現象のモデル化を目指すことが需要である。

ア. マグマ噴火を主体とする火山

2006年に58年ぶりに再開した桜島の昭和火口における噴火活動は、2009年後半から2015年前半までブルカノ式噴火が頻発した。2015年8月15日に急速なマグマ貫入があったものの、2015年以降の噴火活動は低下し、2017年10月末から噴火活動の中心は昭和火口から南岳山頂火口に回帰した。2018年において最大規模の噴火は6月16日に発生した爆発的噴火であり、噴煙高度は4700mに達し、火砕流も約1.3km流下した。この噴火の18時間前の15日13時ごろから山体膨張が始まり、圧力源の体積増加量は約18万 m^3 と見積もられた。噴火発生後には同様に、約18万 m^3 の体積収縮が起こり、15日13時のレベルに戻った。噴火発生前1時間前からBH型地震が発生し始め、膨張の停止を経て、噴火が発生した。このような特性は、火砕流を伴う噴火に前駆する地震活動や地盤変動によく見られ、一連の噴火活動期の縮退期においては火砕流が発生しやすいことと合わせて、火砕流を伴う噴火への分岐条件として挙げることができる（京都大学防災研究所 [課題番号：1908]）。この活動の元となるマグマは始良カルデラ下のマグマ溜まりから桜島北岳下へと移動していると考えられている。GEONETの基線長変化の解析から、始良カルデラ下のマグマ溜まりは膨張収縮を繰り返しながらも体積増加が継続しているがその体積増加率は2017年以降小さくなってきていることが明らかになっている（国土地理院 [課題番号：6002]）。

マグマ噴火のモデル化のためには、地球物理学、地球化学および岩石学的手法を用いた多項目の観測を桜島以外でも推進し、噴火にともなう諸現象の一般性を抽出することが非常に重要となる。この目的を達成するため、東京大学地震研究所は、霧島新燃岳、浅間山、伊豆大島において地震、地殻変動、ガス、電磁気等の多項目観測を継続した。霧島新燃岳では2018年3月から2018年6月まで爆発的噴火が断続的に発生した。その内2018年3月中に発生した爆発的噴火について火口周辺の広帯域地震波形から傾斜変化を抽出したところ、77回のイベントの平均として、約30分前から膨張が始まり、10分前から若干収縮した後には噴火に至ることがわかった。これは、噴火直前の火道内プロセスの定量的理解につながる成果と言える（[課題番号：1508]）。また、同火山において2018年10月に実施された空中磁気測量では、マグマ冷却による全磁力変化が捉えられ、火山現象のモデル化に資する知見が得られた（[課題番号：1508]）。一方、2018年3月に発生した新燃岳の噴出物の時間推移の解析からは、連続的な噴煙活動と溶岩流出が起こった3月上旬の噴出物とそれ以降の間欠的な爆発が続いた時期の噴出物に含まれる本質物質の結晶度の違いから、火道内浅部のマグマ上昇と火口内での滞留による結晶化の進行が推測されている（産業技術総合研究所 [課題番号：5006]）。

火山現象・噴火のモデル化を行なう際には、マグマの挙動についての理論的及び実験的研究の成果を取り入れることも重要である。東北大学は、桜島火山の歴史時代プリニー式噴火（大正、安永、文明噴火）のいずれの噴火でも、軽石・火山灰として爆発的に噴出したマグマは、噴火の直前には従来想定されていた深部（約10 km）のマグマ溜りから、それより大幅に浅い火道（桜島直下の深さ1~3 km）に移動していたことを明らかにした。これは、将来の大規模噴火が同じ前駆過程を経る場合、上昇開始からごく短時間で噴火が開始する可能性があることを意味する（[課題番号：1205]）。（図4）

その他、明神礁や西之島など海域火山の観測も継続されている（海上保安庁、[課題番号：

イ. 熱水系の卓越する火山

水蒸気噴火やマグマ水蒸気噴火の準備過程に関連する先行現象の事例を多数集め、それらの現象の理解を深めるため、十勝岳・吾妻山・草津白根山・阿蘇山・口永良部島を対象とし、地球物理的観測、電磁気や熱観測、地質調査と噴出物分析を調査項目とする全国連携の比較研究が継続された（北海道大学 [課題番号：1003]）。これら5火山のうち、2014年に噴火が発生した阿蘇山と口永良部島では、同年に噴火した御嶽山を対象とする新規課題においても水蒸気噴火後の推移予測のための観測研究が実施された（京都大学理学研究科 [課題番号：1802]）。

上述の全国連携研究では、火山活動に伴う地震波速度の時間変化検出を目的とした地震波干渉法解析が実施された。そのうち、吾妻山でのみ火山性の歪変化に対応する地震波速度変化が検出された（北海道大学 [課題番号：1003]）。

十勝岳では、熱水系の特徴を岩石学的に評価するため十勝岳の 3.7ka, 4.7ka火砕流堆積物および1926年噴出物について変質物の分析がさらに進められた。その結果、マグマ貫入と強酸性変質が頻繁に繰り返されていることが解明された。また吾妻山では、吾妻小富士形成以後の浄土平における一連の火山活動による水蒸気噴火の噴出物の調査が実施された。その火山灰組成変化から、過去4000年以内の活動では、大穴火口形成噴火（AD1331頃）を境に、熱水系の状態が大きく変化したことが明らかになった（北海道大学 [課題番号：1003]）。

草津白根山・本白根山で、全国連携の対象火山では3火山目となる噴火が、2018年1月23日に発生した。白根山湯釜周辺に設置していた3点のボアホール型および2点の地上設置型傾斜計により、噴火前後の変動の詳細が捉えられた。それによると、噴火前の9時59分58秒から噴火発生に対応する10時02分10秒まで湯釜南方が隆起を示し、その後、反転した。主火口に対応する本白根山鏡池北火砕丘の直下に開口クラックを仮定すると、噴火直前の膨張体積 49万 m^3 （開口量は 0.38 m ）、噴火後の収縮体積は 33万 m^3 と推定された。噴煙質量収支から、クラック開口を担ったのは主として気相と考えられる（東京工業大学 [課題番号：1601]）。また、本白根噴火前の地震活動を再検討するため、Matched Filter法による微小地震の検出を行った。その結果、通常のルーチン処理に比べ数倍～10倍程度の地震（B型地震）を検出できた。ただし、噴火に先行するような明らかな活動度の変化は認められなかった。地震波干渉法による構造変化も検討したが、噴火発生前後で有意な変化は認められなかった（東京工業大学 [課題番号：1601]）。草津白根山・本白根山では、火口近傍における噴出物調査も実施され、計100点以上の堆積量データが得られた。その結果、噴出量は約3.6万トンと推定された。放出岩塊の全岩化学組成分析によれば、岩塊の岩石学的特徴は鏡池北火砕丘のそれと一致した（富山大学 [課題番号：2942]、東京工業大学 [課題番号：1601]）。また、火山灰に付着した水溶性成分のF, Cl, SO₄の分析を実施し、噴火口から近い万代鉱の熱水系と比較した結果、今回の噴火には高温のマグマ起源のガスが関与していることが示唆された（東京工業大学 [課題番号：1601]）。

草津白根山周辺で、無人ヘリを用いた空中磁気測量が2018年6月と10月に実施された。得られたデータを2014年の国土交通省の測量結果と比較することで経時変化を求めたと

ころ、湯釜火口北東域では温度上昇を示す消磁パターンが認められた。本白根噴火の火口域でも変化が見られたが噴火による地形変化である可能性が高い（北海道大学〔課題番号：1003〕、東京工業大学〔課題番号：1601〕）。また、気象庁は本白根山の熱活動の状況を把握することを目的として、本白根山山頂部周辺において自然電位観測、および地磁気全磁力の繰返し観測を実施した（〔課題番号：7005〕）。

口永良部島では、2018年8月初めからSO₂の増加が顕著となる（東京大学大学院理学研究科〔課題番号：1403〕）と同時に新岳火口直下浅部での地震活動が活発化した。そしてGNSS観測により、8月10日から新岳をはさむ基線が約2cm伸びたことがとらえられた。その後、8月15日に地震活動が活発化し、噴火警戒レベルが4に引き上げられた。8月27日-28日に実施された水準測量では、路線南部に向かって明瞭な地盤隆起がとらえられている。この変化は2015年噴火前の変動量・パターンともに類似していた。その後、地震活動は急速に低下、地盤の収縮も観測された。これは、地震活動により、マグマ貫入による応力が緩和されたためと考えられる。その後、2018年10月21日から12月13日までほぼ連続的に噴火が発生し、12月18日や2019年1月17日には爆発的噴火が発生した。これらの噴火の前にはGNSS観測で捕捉できる量の地盤変動は生じていなかったが、火山性地震回数の増加がとらえられた（京都大学理学研究科〔課題番号：1802〕）。この口永良部島では、口永良部港内や古岳南西海岸で変色海水が常時発生している。海上保安庁の協力を得て、周辺海域で変色海水を2018年と2019年に採取した。また、火山活動の影響をうけていない海水（基準海水）も採取した。2018年の試料は基準海水のpHにほぼ等しくなっていたが、2019年になると明らかにpHが低下していた。F/Cl、Cl/SO₄モル比とpHの関係は、口永良部島沿岸から放出される熱水は、2019年は基準海水と比較して相対的にFとSO₄に富んでいた事を示している（東京工業大学〔課題番号：1601〕）。

御嶽山で2014年の噴火以降に年一回のペースで実施された水準測量では、山頂に近い路線で2016年を境に沈降が観測されており、これは山体収縮にともなうものであると考えられる。一方、GNSS観測（京都大学理学研究科〔課題番号：1802〕）や衛星SAR（北海道大学〔課題番号：1008〕）では火口付近の大きな収縮が現在も継続中であることが捉えられている。この現象を貯水槽の水蒸気放出に伴う減圧現象とする仮説に基づき、放出水量と地殻変動量を比較したところ、火口からの放出水量は、衛星SARで確認された浅部の収縮源からの供給可能量を超過しており、より深部に存在する別の供給源の寄与を考える必要性が示された（北海道大学〔課題番号：1008〕）。御嶽山山頂域では、小電力・小型・携帯テレメータ地震観測装置を用いた連続テスト観測が行われている。このデータと定常観測点データを合わせて震源決定を行い、2014年噴火の火口列周辺の深さ-2~-1kmに南方向から噴気孔までの直線状の震源分布が得られた。この解析でえられた観測点補正值を用いて2014年と2007年噴火前後の震源を求めると、噴火前には0km以深でほぼ同じ経路で地震が起こっていたこと、また、現在の活動は2014年噴火後の活動よりも浅くなっていることが明らかになった（京都大学理学研究科〔課題番号：1802〕）。

阿蘇火山では、中岳第1火口西方約1 km地点において、噴出物層序を観察するとともに、炭化物を採取して放射性炭素（¹⁴C）年代測定を実施した。その結果、過去300年間に12層の水蒸気噴火堆積物が存在し、同噴火の発生頻度は25年に1回程度と見積られた。中岳における近年の水蒸気噴火あるいはマグマ水蒸気噴火は1958年、1979年、1990年、2015

年および2016年に発生しており，得られた結果は，その噴火間隔ともおおむね一致している。直近の爆発的噴火が発生した2016年以降の地下熱水系の状態変化を詳細に捉える事を目的として，火口周辺にACTIVE連続観測システム（人工電流源を用いた電磁探査システム）を構築した。

他の熱水系卓越火山でも観測研究が進められた。京都大学防災研究所は，焼岳火山の観測網を強化し，2018年11月から焼岳西麓で活発化した群発地震活動をとらえ，正断層型のメカニズムを示す地震が発生していることを明らかにした（[課題番号：1909]）。また，富山大学は，弥陀ヶ原火山・地獄谷において水準測量，重力測定，地中温度測定を実施した。水準測量結果はこれまでとはことなり，全線にわたり沈降が観測された。その変動源は深さ100～160 m程度にもとめられ，これまでの膨張源(50m)より深いことが明らかになった（[課題番号：2941]）。気象庁は霧島硫黄山において火山ガスの繰り返し観測を実施し，噴気活動の変化を把握した（[課題番号：7005]）。また，産総研は同火山において，2018年4月19日の噴火に先立つ，急激な火山ガス組成の変化を検知した（[課題番号：5006]）。硫黄山でのMT連続観測からは，2017年10月末ごろから2018年1月上旬にかけて浅部低比抵抗層の一部が高比抵抗化したことを示唆するインダクションベクトルの方向変化が得られた。水蒸気噴火発生直前（5分前）には電磁場変動が観測され，その変化は火口近傍の傾斜計の波形と極めて類似していることが分かった（北海道大学 [課題番号：1008]）。

また，北海道立総合研究機構地質研究所は雌阿寒岳および十勝岳でGPS連続観測と火口域での地温連続観測，噴気および温泉水の地球化学的観測，地下水位連続観測を行った。十勝岳では，2006年以降火口域の膨張を示す変動が継続的に捉えてられていたが，2018年の春頃からは収縮を示す変動へと変化した。また，十勝岳の火山活動の変化に対応している吹上温泉地域での温泉水では，2018年は $C1/SO_4$ がやや低下した（[課題番号：9102]）。

東海大学は箱根山の大涌谷と上湯場の二か所で噴気の採取・分析を一月に一回の割合で実施した。その結果，マグマ起源ガスの浅部熱水系に対する流量が低下したことに対応する CO_2/H_2S ， He/CH_4 の低下が観測された（東海大学 [課題番号：2949]）。この箱根火山においては東京大学大気海洋研究所も2ヶ所における継続的に噴気ガスを採取し He の同位体比を測定している（東京大学大気海洋研究所 [課題番号：2802]）。

海底火山の活動は，その周囲が大量の海水に囲まれていることから，大規模な熱水活動を伴うことが特徴であり，陸上の火山活動とは全く異なった様相を呈する。東京工業大学は，海底火山活動の評価手法を確立するために，2015年から2017年の間に3回採取された海水を分析し，その成分変動から火山活動の状況を推定した（[課題番号：1602]）。また，東京大学大気海洋研究所は鹿児島湾の北部に位置する若尊カルデラ近傍で採取した試料の分析を行った（[課題番号：2802]）。

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

火山活動の推移を俯瞰的に理解してその予測を目指すためには，史料，考古データ，地質調査，火山噴出物の解析，地球物理観測の研究成果を多角的に取り入れ，可能性のある火山活動や噴火現象を網羅してその時系列を整理した噴火事象系統樹を作成することが重要である。北海道大学は，十勝岳，阿蘇火山の噴火系統樹を作

成するとともに、2018年1月の本白根山の噴火を受けて、草津白根火山の噴火事象系統樹の作成に着手した。また、既存の噴火事象系統樹を最新の研究成果により更新するため、北海道大学は、浅間山の噴火開始と噴火未遂の評価手法および事象分岐確率の算出手法を検討し同火山の事象系統樹を改訂した（〔課題番号：1004〕）。（図5）

一方、火山活動の活発化、噴火の発生、噴火発生後の噴火規模、様式の急激な変化などの予測を行うためには、これまでの火山学的知見や本計画の成果をもとに、観測データの特徴、火山噴出物の解析などから、事象分岐の条件や論理を導き出すことも不可欠である。こうした観点から、非噴火期におけるunrest eventのうち特に熱水系の関与が疑われる事例を収集し、点源モデルで推定されたソースの深度と強度の関係を散布図に整理した。その結果、地磁気変化・地盤変動のいずれにおいても、深度と強度（又は時間変化率）の間に明瞭な正の相関が認められた。今後、ソースの深度と強度がより浅く強い方向に偏差するか否かによって、個々のunrest eventの危険度を統計的に評価できる可能性がある（北海道大学〔課題番号：1003〕、東北大学〔課題番号：1208〕）。一方、火山ガスに現れる変化を事象分岐の条件とするための研究も進められた。産業技術総合研究所は、定量的な測定に基づく最近の火山ガス放出率や組成の連続観測研究を網羅的に調べ、噴火発生や活動推移との関係をまとめた。その結果、例えば、火山ガス放出率とマグマ上昇率のあいだに比例関係があること、火山ガス中のCO₂/SO₂の増加が、マグマ中の気泡の増大ひいては規模な大きな噴火の発生に繋がる可能性があることがしめされた（〔課題番号：5006〕および東北大学〔課題番号：1208〕）。

4. 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

観測研究の成果が防災・減災に役立てられるためには、行政機関等の関連機関との連携の下に、適切な計画推進体制を整備する必要がある。気象庁は3回の火山噴火予知連絡会定例会を開催し、全国の火山活動の状況についての検討を行った。検討結果は定例会終了後に報道発表し、気象庁の「火山の状況に関する解説情報」で発表するとともに、気象庁のホームページでも公表されている。また、気象庁は火山活動評価検討会を2回開催し、長期間噴火活動を休止している火口／山体における今後の調査研究及び監視のあり方について検討を行い、結果を公表した。（〔課題番号：7013〕）。

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

ウ. 観測・解析技術の開発

長い時間スケールをもつ火山現象の理解とその予測には、その基盤となる観測網の維持・拡充を進めるとともに、データの継続的取得と膨大なデータの効率的利用が重要である。また、海域における観測体制の強化、各種観測を火口近傍で安全に実施する技術の開発、人工衛星を利用したリアルタイム火山観測システムの高度化、航空機搭載型センサーを用いた観測技術の開発も必要である。

山梨県富士山科学研究所では、降水と地下水・湧水の水同位体比測定から、不圧・被圧地下水の浸透標高を推定するとともに、ボーリング試料の放射性炭素年代測定を行い、被圧地下水流動系は星山期堆積物中に存在することを明らかにした〔課題番号：9201〕。また、海上保安庁は、海域火山基礎情報図調査を「利島至三宅」、「若尊」で実施した（〔課題番号：8003〕）。

東京大学大学院理学研究科（〔課題番号：1403〕）は、二酸化硫黄可視化モニタリング装置のフィールドテストを十勝岳において実施した。また、屋久島一口永良部島間のフェリーに搭載されている二酸化硫黄放出率モニタリング装置の改良を行い、10月21日噴火に前駆するガス放出の変化をとらえることに成功した。

北海道大学は、Lバンド航空機SARを用いた火山性地殻変動の検出にむけ、得られたSLC画像の詳細な位置合わせ手法を開発することにより、従来は干渉しなかった領域でも地殻変動シグナルの復元が可能になり、航空機SAR観測の有用性を大きく改善させることができた。また、3方向からの航空機SARデータから3次元地殻変動分布を求める手法を開発した（〔課題番号：1008〕）。

防災科学技術研究所は、小型単発機に搭載可能なセンサーであるARTS-SEのカメラ型センサーデータの処理手法を開発してきた。今年度はカメラ型センサーの連続するデータを用いて、箱根大涌谷15-1火口を約 $0\sim\pm 9.5^\circ$ の角度で観測することで地熱域特有の観測値のゆらぎが捉えられ、これらをスキュナデータの情報に重畳すれば、よりの確に地熱地帯の情報把握ができることを明らかにした（〔課題番号：3003〕）。

人工衛星を利用した研究では、東京大学地震研究所が2017年12月23日に打ち上げられ2018年12月より正式運用が始まったJAXAの気候変動観測衛星「しきさい」のSGLI（Second Generation Global Imager）画像を用いたリアルタイム観測システムを開発するとともに、その温度画像と可視画像を用いて、ハワイ・キラウエア火山2018年噴火の溶岩流等の噴出物の観測と噴火推移の判読を実施した（〔課題番号：1520〕）。また、小型絶対重力計（TAG-1）の開発においては、絶対重力値の系統誤差の低減が図られた。そして、実際に蔵王火山において観測が実施され、前年より $15\mu\text{Gal}$ の重力減少が観測された（東京大学地震研究所〔課題番号：1506〕）。

また、火山噴火事象の分岐条件や論理の構築のために分岐前に現れる物理量の変化を検出するための機器開発のみならず、宇宙線（ミュオン）を利用した火山浅部透視技術においては、ミュオグラフィ自動解析システムが完成し、20倍以上に向上された画素データを用いても、画像出力までの時間短縮が達成された（東京大学地震研究所〔課題番号：1523〕）。

一方、噴火活動時に噴出物に含まれる結晶量を短時間で簡便に評価し、その時間変化をモニタリングする手法を開発するため、マイクロライト・ナノライトを含む試料の初期帯磁率分析が行なわれた。霧島火山新燃岳の2017年10月と2018年3月に噴出した火山灰の初期帯磁率測定を行い、マグマ水蒸気爆発からマグマ噴火に至る噴火推移を反映した帯磁率の変化を捉えることに成功した。このことは、火山灰の初期帯磁率が迅速に測定可能な火山活動度指標となることを示す結果である（東北大学〔課題番号：1205〕）。

これまでの課題と今後の展望

「火山」計画推進部会では、火山噴火の事象分岐の条件・論理を明らかにし、事象系統樹の高度化することで、発災の原因である火山噴火を予測するため、2つの課題を実施してきた(噴火履歴及び観測事例に基づく噴火事象系統樹の試作(北海道大学 [課題番号:1004]) および観測事例及び理論予測に基づく噴火事象系統樹の分岐条件の検討(東北大学 [課題番号:1208]))。前者の課題は、前計画から継続して推進している噴火履歴をもとにした噴火事象系統樹(噴火シナリオ)作成を基礎にして、本計画では、観測事例を系統樹作成に組み込むことで高度化が図られた。また、一般的な作成手順を示すことで、他の火山に適用可能な手法となっている。今後も多くの火山を対象に系統樹作成を進め、火山防災対策整備に貢献していくべきである。ただし、近代的な観測が始まって以降噴火を経験していない火山(たとえば富士山)の作成手法を確立することも今後重要となる。後者の課題は、噴火事象系統樹をより高度なものに発展させることを目指し、現在の火山学的知見および本研究計画により明らかとなる法則をまとめ、噴火事象の分岐判断の基準を作成することを5カ年の到達目標としていた。この課題では、国内のGNSSデータに基づく噴火判定の方法、大地震発生後の噴火発生確率、桜島の噴火様式判断に対して定量的指標が示され、一定の成果が得られた。しかし、これ以外の分岐判断基準作成を今後も引き続きすすめることが重要なのはいうまでもない。また、今後、噴火事象系統樹をさらに発展させるためには、事象の分岐条件をデータや理論に基づき明らかにしていくことが必要となる。そのためにはマグマや火山性流体の挙動に関するモデル化を進めることが重要である。この5カ年で、桜島や阿蘇で明らかになった、マグマ貫入率と噴火(火山活動)様式との関係性は今のところは経験則の域をでていない。今後は上記2火山における関係性についてのモデル化を推し進めていく必要がある。他の火山においても、まずは数ヶ月から数年の時間スケールにおけるマグマ蓄積量を明らかにするための観測研究を推進せねばならない。

成果リスト

- 秋元良太郎・山崎明・山崎貴之・浅利晴紀・高橋幸祐, 活火山での全磁力観測におけるDI補正法の適用, 2019年CA研究会論文集 (印刷中)
- 新谷昌人, 2018, ファイバーネットワークを用いた地震・津波・地殻変動の計測技術に関する研究, 東北大学電気通信研究所研究活動報告, 24, 129-131.
- Araya, N., M. Nakamura, A. Yasuda, S. Okumura, T. Sato, M. Iguchi, D. Miki, N. Geshi, 2019, Shallow magma pre-charge during repeated Plinian eruptions at Sakurajima volcano, Scientific Reports, doi: 10.1038/s41598-019-38494-x
- Cigolini, C., Coppola, D., Yokoo, A., and Laiolo, M., The thermal signature of Aso Volcano during unrest episodes detected from space and ground-based measurements, Earth, Planets and Space, 70, 67, doi:10.1186/s40623-018-0831-7, 2018
- 長谷川健・松本 亜希子・東宮 昭彦・中川 光弘, 2018, 大規模カルデラ形成噴火と活動的後カルデラ火山. 地学雑誌, 127, 289-301.
- 長谷川健・望月伸竜・大岩根尚, 2018, 堆積物から超大規模噴火の継続時間を読み取る方法, 地学雑誌, 127, 273-288.
- 橋本武志・寺田暁彦・森 俊哉, 2018, ドローンによる火山観測, 地理, 63, 29-35.
- 橋本武志・青山 裕・小山 寛・森井敦司・三嶋 涉・荻野 激・高橋 良・岡崎紀俊, 2018, 非噴火時における多項目観測の重要性 (樽前山の事例), 月刊地球, 40, 163-169.
- Hashimoto T., A. Terada and R. Tanaka, 2018, Volcanic smoke reduction in visible and thermal infrared imagery, Earth Planets Space, 70:109, doi:10.1186/s40623-018-0886-5.
- Hata, M., M. Uyeshima, Y. Tanaka, T. Hashimoto, N. Oshiman and R. Yoshimura, 2018, Three - dimensional electrical resistivity distribution beneath the Beppu - Shimabara graben with a focus on Aso caldera, southwest Japan subduction zone, J. Geophys. Res. Solid Earth, 123, 6397-6410, doi:10.1029/2018JB015506.
- Hata, M., N. Matsushima, S. Takakura, M. Utsugi, T. Hashimoto and M. Uyeshima, 2018, Three - Dimensional Electrical Resistivity Modeling to Elucidate the Crustal Magma Supply System Beneath Aso Caldera, Japan, J. Geophys. Res. Solid Earth, 123, 6334-6346, doi:10.1029/2018JB015951.
- 廣瀬 亘・川上源太郎・長谷川健・林 圭一・渡辺真人, 2018, 網走地域の地質 (5万分の一地質図幅および説明書), 産業技術総合研究所地質調査総合センター, pp. 66.
- 堀田耕平・井口正人, 2018, 2017年の南岳爆発に前後する傾斜ひずみ変化, 京都大学防災研究所年報, 61B, 324-329.
- Huang, Y.C., Ohkura, T., Kagiya, T., Yoshikawa, S., and Inoue, H., 2018, Shallow volcanic reservoirs and pathways beneath Aso caldera revealed using ambient seismic noise tomography. Earth, Planets and Space, 70, 169, 10.1186/s40623-018-0941-2.
- Ichimura, M., Yokoo, A., Kagiya, T., Yoshikawa, S., and Inoue, H., Temporal variation in source location of continuous tremor before the ash-gas emissions

- in January 2014 at Aso volcano, Japan, *Earth, Planets, and Space*, 70, 125, doi:10.1186/s40623-018-0895-4, 2018.
- 井口正人・中道治久・為栗 健・堀田耕平・園田忠臣, 2018, 2017年8月桜島溶岩噴泉活動に伴う地震活動及び地盤変動, 京都大学防災研究所年報, 61B, 318-323.
- 井口正人・為栗健・平林順一・中道治久, 2019, マグマ貫入速度による桜島火山における噴火事象分岐論理, 火山 (受理済) .
- 飯野英樹・山崎明・田中達朗, 2019, 本白根山における2018年噴火後の自然電位および地磁気全磁力観測, 2019年CA研究会論文集 (印刷中)
- 井村 匠・大場 司・中川光弘, 2019, 噴出物中の熱水変質鉱物の特徴: 十勝岳火山噴出物の例, 地質学雑誌, 印刷中.
- 石毛康介・中川光弘・石塚吉浩, 2018, 北海道中央部, 旭岳の形成史: 特に完新世, 後期水蒸気噴火履歴および噴火様式について. 地質学雑誌, 124, 297-310, doi:10.5575/geosoc.2018.0001.
- Ishii, K., Yokoo, A., Kagiya, T., Ohkura, T., Yoshikawa, S., and Inoue, H., Gas flow dynamics in the conduit of Strombolian explosion inferred from seismo-acoustic observation at Aso volcano, Japan, *Earth, Planets and Space*, 10.1186/s40623-019-0992-z, 2019
- 海上保安庁, 2018, 海域火山の最近の活動, 火山噴火予知連絡会会報, 129
- 海上保安庁, 2018, 海域火山の最近の活動, 火山噴火予知連絡会会報, 130
- 神田 径・関 香織・木下貴裕, 2019, コンダクタンスを用いた熱水系構造の比較, Conductivity Anomaly研究会2019年論文集 (印刷中) .
- Kaneko, T., K. Takasaki, F. Maeno, M.J. Wooster, and A. Yasuda, 2018, Himawari-8 infrared observations of the June-August 2015 Mt Raung eruption, Indonesia, *Earth Planets Space*, 70, 89, 1-9.
- Kaneko, T., A. Yasuda, Y. Yoshizaki, K. Takasaki, and Y. Honda, 2018, Pseudo thermal anomalies in the shortwave infrared bands of the Himawari-8 AHI and their correction for volcano thermal observation, *Earth Planets Space*, 70, 175, 1-9.
- Kazahaya R, Shinohara H, Ohminato T, Kaneko T, 2019, Airborne measurements of volcanic gas composition during unrest at Kuchinoerabujima volcano, Japan. *Bull. Volcanol.*, 81:7 <https://doi.org/10.1007/s00445-018-1262-9>
- 風間卓仁・山本圭吾・平良真純・大島弘光・前川徳光・岡田和見・園田忠臣・井口正人, 2018, 桜島火山における繰り返し相対重力測定 (2017年5月~2018年2月), 京都大学防災研究所年報, 61B, 330-336.
- 火山噴火予知連絡会衛星解析グループ「火山活動の評価及び噴火活動の把握に関する共同研究」平成30年度成果報告書
- 小林知勝, 矢来博司, SARデータによる地殻変動解析および地殻変動データに基づく力学的モデリングに関する研究 (第9年次), 国土地理院調査研究年報 (H30年度)
- 小山崇夫・神田径・宇津木充・金子隆之・大湊隆雄・渡邊篤志・辻浩・西本太郎・本多嘉明, 2019, 無人ヘリによる草津白根山空中磁気測量, Conductivity Anomaly研究会論文集2019, 8 (印刷中)

- Kuritani, T., A. Yamaguchi, S. Fukumitsu, M. Nakagawa, A. Matsumoto, T. Yokoyama, 2018, Magma plumbing system at Izu-Oshima Volcano, Japan: constraints from petrological and geochemical analyses. *Frontiers in Earth Science* 6:178, doi:10.3389/feart.2018.00178.
- 楠本成寿, 2019, モデル形状の仮定を伴わない鉛直変位の力源推定手法, *物理探査*, 72, 1-7.
- Maeno, F., S. Nakada, M. Yoshimoto, T. Shimano, N. Hokanishi, A. Zaennudin, and M. Iguchi, 2019, Eruption pattern and a long-term magma discharge rate over the past 100 years at Kelud volcano, Indonesia. *J. Disaster Res.*, 14, 1, 27-39.
- Maeno, F., S. Nakada, M. Yoshimoto, T. Shimano, N. Hokanishi, A. Zaennudin, and M. Iguchi, A sequence of a plinian eruption preceded by dome destruction at Kelud volcano, Indonesia, on February 13, 2014, revealed from tephra fallout and pyroclastic density current deposits. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, in press.
- Matsumoto, A., T. Hasegawa, M. Nakagawa, 2018, Petrology of the 120 ka Caldera-Forming Eruption of Kutcharo Volcano, Eastern Hokkaido, Japan: Coexistence of Multiple Silicic Magmas and their Relationship with Mafic Magmas, *J. Petrol.*, 59, 771-793.
- Matsumoto, A., M. Nakagawa, Reconstruction of the eruptive history of Usu volcano, Hokkaido, Japan, inferred from petrological correlation between tephra and dome lavas. *Island Arc*, in press.
- Minami, T., Utsugi, M., Utada, H., Kagiya, T., and Inoue, H., Temporal variation in the resistivity structure of the first Nakadake crater, Aso volcano, Japan, during the magmatic eruptions from November 2014 to May 2015, as inferred by the ACTIVE electromagnetic monitoring system, *Earth, Planets and Space*, 10.1186/s40623-018-0909-2, 2018
- 三浦 哲, 山本 希, 市來雅啓, 出町知嗣, 立花憲司, 西村太志, 2018, サブミリ測地解析による火山活動モニタリング, *東濃地震科学研究所報告*, 40, 81-86.
- 宮坂瑞穂・中川光弘, 2018, 支笏火山60 ka社台噴火の噴火推移. *地学雑誌*, 127, 229-246.
- 森 俊哉, 2018, 紫外線CCDカメラを用いた火山ガス噴煙中の二酸化硫黄の可視化, *可視化情報*, 38, 2-6.
- Morita, M., Mori, T., Yokoo, A., Ohkura, T., and Morita, Y., Continuous monitoring of soil CO₂ flux at Aso volcano, Japan: The influence of environmental parameters on diffuse degassing, *Earth, Planets and Space*, 71, 13, doi:10.1186/s40623-018-0980-8, 2019.
- Nakada, S., F. Maeno, M. Yoshimoto, N. Hokanishi, T. Shimano, A. Zaennudin, and M. Iguchi, 2019, Eruption scenarios of active volcanoes in Indonesia. *J. Disaster Res.*, 14, 1, 40-50.
- Nakada, S., A. Zaennudin, M. Yoshimoto, F. Maeno, Y. Suzuki, N. Hokanishi, H. Sasaki, M. Iguchi, T. Ohkura, H. Gunawan, and H. Triastuty, Growth process of the lava dome/flow complex at Sinabung Volcano during 2013-2016. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, in press.

- Nakada, S., Maeno, F., Yoshimoto, M., Hokanishi, N., Shimano, T., Zaennudin, A., and Iguchi, M., Eruption scenarios of active volcanoes in Indonesia. *J. Disaster Res.*, Vol. 14, pp. 40-50 doi: 10.20965/jdr.2019.p0040, 2019.
- 中川 光弘・宮坂 瑞穂・三浦 大助・上澤 真平, 2018, 南西北海道, 石狩低地帯におけるテフラ層序学: 支笏-洞爺火山地域の噴火履歴. *地質学雑誌*, 124, 473-489.
- 中川光弘・宮坂瑞穂・富島千晴・松本亜希子・長谷龍一, 2018, 支笏湖南方地域の火口近傍堆積物層序からみた46 ka支笏カルデラ形成噴火推移. *地学雑誌*, 127, 247-271.
- Nanayama, F. and F. Maeno, 2018, Evidence on the Koseda coast of Yakushima Island of a tsunami during the 7.3 ka Kikai caldera eruption. *Island Arc*, doi:10.1111/iar.12291.
- Narita, S. and M. Murakami, 2018, Shallow hydrothermal reservoir inferred from post-eruptive deflation at Ontake Volcano as revealed by PALSAR-2 InSAR, *Earth, Planets and Space*, 2018, 70:191, <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0966-6>
- 日本大学, 名古屋大学, 京都大学, 九州大学, 東濃地震科学研究所, 気象庁, (2018), 精密水準測量による御嶽山における上下変動(2014年10月~2018年4月), 火山噴火予知連絡会会報, 130
- Nishi, Y., Ban, M., Takebe, M., Alvarez-Valero, A. M., Oikawa, T., Yamasaki, S. (2019) Structure of the shallow magma chamber of the active volcano Mt. Zao, NE Japan: Implications for its eruptive time scales. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 371, 137-161.
- Nishimura, T. (2018) Interaction between moderate earthquakes and volcanic eruptions: analyses of global data catalog. *Geophys. Res. Lett.*, 45, 8199-8204, doi:10.1029/2018GL079060.
- 大湊隆雄, 2018, 最近の火山観測技術と噴火の予測, *建築防災*, 2018.12, 19-29.
- 及川輝樹・大場 司・藤縄明彦・佐々木寿, 2018, 水蒸気噴火の地質学的研究, *地質学雑誌*, 124, 231-250.
- Olah, L., H. K. M. Tanaka, G. Hamar and D. Varga, 2018, Investigation of the limits of high-definition muography for observation of Mt Sakurajima, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 377, 2137, <https://doi.org/10.1098/rsta.2018.0135>.
- 小沢慎三郎, 地殻変動データに基づく力源モデルによる火山活動の監視手法の開発に関する研究(第9年次), 国土地理院調査研究年報(H30年度)
- Seki, K., T. Ohba, S. Aoyama, Y. Ueno, H. Sumino, W. Kanda, M. Yaguchi and T. Tanbo, 2019, Variations in thermal state revealed by the geochemistry of fumarolic gases and hot-spring waters of the Tateyama volcanic hydrothermal system, Japan, *Bull. Volcanol.*, 81:8, doi:10.1007/s00445-018-1264-7.
- 篠原宏志(2019) 火山ガス観測から推定される火山活動推移過程. *火山*, (印刷中)
- Shinohara, H., Yokoo, A., and Kazahaya, R., Variation of volcanic gas composition during the eruptive period in 2014-2015 at Nakadake crater, Aso volcano, Japan, *Earth, Planets and Space*, 70, 151, doi:10.1186/s40623-018-0919-0, 2018.

- Suzuki, Y., F. Maeno, M. Nagai, H. Shibutani, S. Shimizu, and S. Nakada, 2018, Conduit processes during the climactic phase of the Shinmoe-dake 2011 eruption (Japan): Insights into intermittent explosive activity and transition in eruption style of andesitic magma. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 358, 87-104, doi:10.1016/j.jvolgeores.2018.02.008.
- 武尾 実・大湊隆雄・前野 深・篠原雅尚・馬場聖至・渡邊篤志・市原美恵・西田 究・金子隆之・安田 敦・杉岡裕子・浜野洋三・多田訓子・中野 俊・吉本充宏・高木朗充・長岡 優, 2018, 西之島の地球物理観測と上陸調査, 海洋理工学会誌, 24, 45-56.
- 為栗 健・井口正人, 2018, 桜島火山昭和火口で発生する火砕流の特徴, 京都大学防災研究所年報, 61B, 312-317.
- Tameguri, T., M. Iguchi, 2019, Characteristics of micro-earthquake swarms preceding eruptions at Showa crater of Sakurajima volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 372, 24-33.
- 高橋正樹・安井真也・金丸龍夫・山下大輔, 2019, 浅間前掛火山テフラ・トレンチ調査により得られた降下軽石の全岩主化学組成—浅間前掛火山における最近1万年間のマグマ主化学組成の時間変化, 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 印刷中.
- Tanaka, R., T. Hashimoto, N. Matsushima and T. Ishido, 2018, Contention between supply of hydrothermal fluid and conduit obstruction: inferences from numerical simulations, *Earth Planets Space*, 70:72, doi:10.1186/s40623-018-0840-6.
- Terada, A., Y. Morita, T. Hashimoto, T. Mori, T. Ohba, M. Yaguchi and W. Kanda, 2018, Water sampling using a drone at Yugama crater lake, Kusatsu-Shirane volcano, Japan, *Earth Planets Space*, 70:64, doi:10.1186/s40623-018-0835-3.
- Tsukamoto, K., K. Aizawa, K. Chiba, W. Kanda, M. Uyeshima, T. Koyama, M. Utsugi, K. Seki and T. Kishita, 2018, Three-dimensional resistivity structure of Iwo-yama Volcano, Kirishima Volcanic Complex, Japan: Relationship to shallow seismicity, surface uplift, and a small phreatic eruption, *Geophys. Res. Lett.*, 45, 12821-12828, doi:10.1029/2018GL080202.
- 安井真也・高橋正樹・金丸龍夫, 2019, 浅間火山火車岩屑なだれ堆積物の再発見—浅間家畜育成牧場および周辺地域の火山地質—, 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 印刷中.
- Yokoo, A., Ishii, K., Ohkura, T., Kim, K., Monochromatic infrasound waves observed during the 2014-2015 eruption of Aso volcano, Japan, *Earth, Planets and Space*, 71, 12, doi:10.1186/s40623-019-0993-y, 2019.
- Yoshimura, R., Y. Ogawa, Y. Yukutake, W. Kanda, S. Komori, H. Hase, T. Goto, R. Honda, M. Harada, T. Yamazaki, M. Kakmo, S. Kawasaki, T. Higa, T. Suzuki, Y. Yasuda, M. Tani and Y. Usui, 2018, Resistivity characterisation of Hakone volcano, Central Japan, by three-dimensional magnetotelluric inversion, *Earth Planets Space*, 70:66, doi:10.1186/s40623-018-0848-y.
- Yoshimura, S., T. Kuritani, A. Matsumoto, M. Nakagawa, 2019, Fingerprint of silicic magma degassing visualised through chlorine microscopy. *Scientific Reports*, 9:

786, doi:10.1038/s41598-018-37374-0.

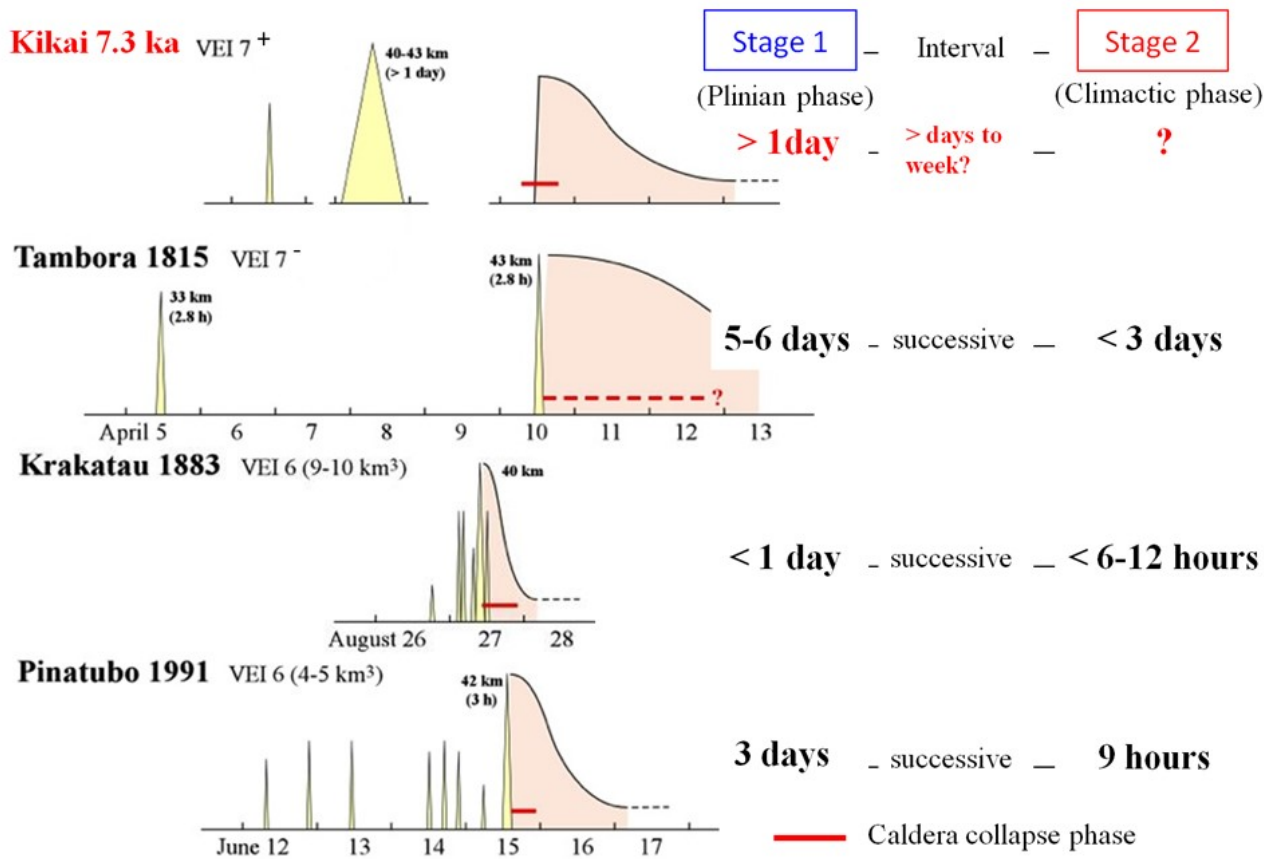


図1. カルデラ形成噴火の推移比較（北海道大学 [課題番号：1001]）

VEI=6クラスのカルデラ形成噴火では噴火開始から最盛期・カルデラ陥没に至るまで短期間で移行しているのに対し、VEI=7クラスのカルデラ形成噴火では、比較的長期間かけてカルデラが形成されている。

3次元変位 (2016-2017年)

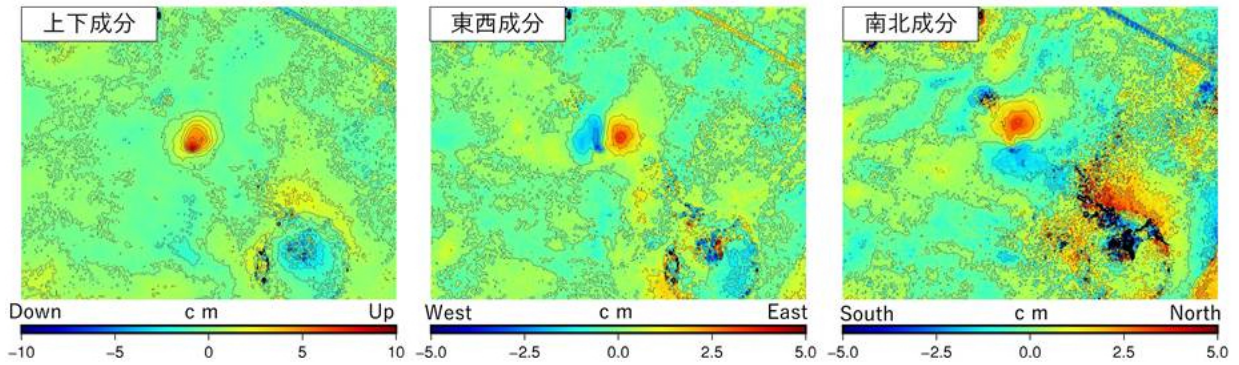


図 2. 航空機 SAR データ (2016-2017) に同時期の ALOS2/Palsar2 データを加えて実施した三次元解析結果

画像のほぼ中央部に硫黄山が位置している。上下成分は硫黄山を中心とした隆起が確認できる。また、東西、南北成分では、硫黄山を中心として、それぞれ東西方向および南北方向に拡大するセンスの変動分布が捉えられている。

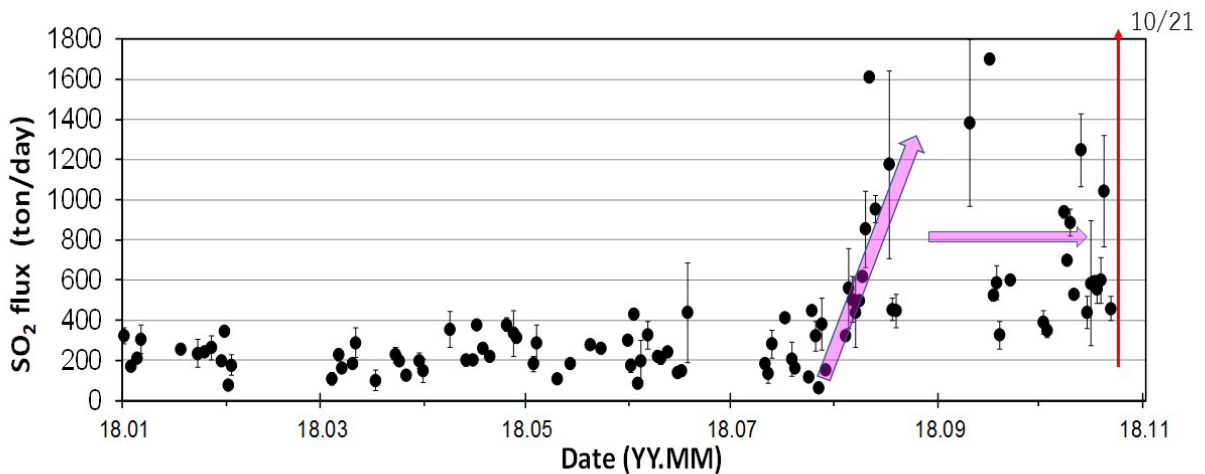


図 3. 口永良部島にて簡易型トラバース測定装置で測定した 2018 年 1 月～10 月の二酸化硫黄放出率の推移。

口永良部島では 2018 年 10 月 21 日に、3 年数か月ぶりに小規模な噴火が発生した。二酸化硫黄放出率は、今年度初めごろは 100-400 ton/day で推移していたが、2018 年 8 月以降上昇を始め時折 1000 ton/day を超える値が見られるようになった。噴火の 2 か月以上前のマグマの上昇または火道の変化をとらえたものと推察される。

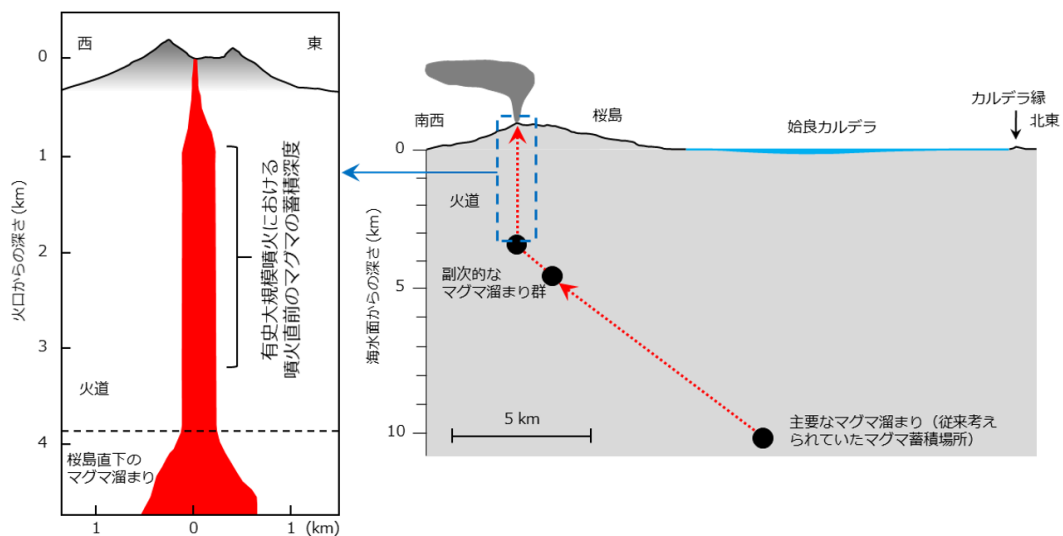


図4. 桜島山頂の火口から桜島直下のマグマ溜まりにかけての拡大図（左）と桜島火山のマグマ供給系（右）（東北大学 [課題番号：1205]）

左図のうち、赤い領域がマグマで満たされている領域であり、火道とマグマ溜まりの境界は火口から深さ4 km程度と推定されている。本研究での詳細な噴出物の分析により、大規模噴火を引き起こしたマグマが火道に相当する深さ（1～3 km）に位置しており、始良カルデラ直下の主要マグマ溜まり（深さ約10 km）や桜島直下の副次的なマグマ溜まり群（深さ4～5 km）よりも浅かったことが明らかとなった。

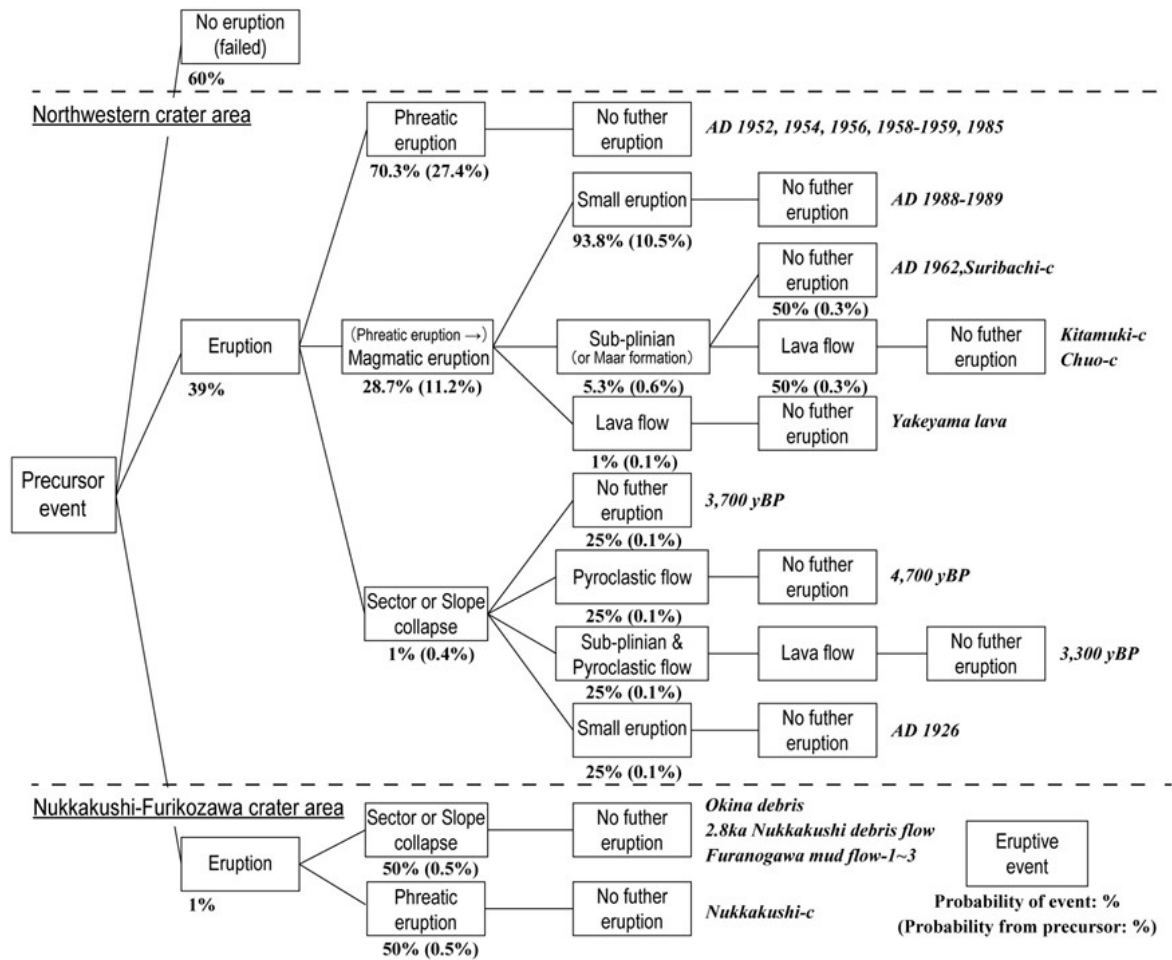


図5. 十勝岳過去5,000年間の噴火事象系統樹の試作（北海道大学 [課題番号：1004]）