

## 1 (4) 火山

「火山」計画推進部会長 中道 治久  
(京都大学防災研究所)  
副部会長 前野 深  
(東京大学地震研究所)

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および火山噴火現象に対応する噴火災害の推移を予測することが重要である。またこれらの予測のためには、火山噴火現象を解明することも重要である。「火山」計画推進部会では、「火山活動の事象分岐の条件・論理を明らかにし、火山活動推移モデルを構築し、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現象の解明とモデル化、火山活動を支配する場の解明とモデル化、中長期的な火山活動の評価、観測手法の開発および体制の整備に関する研究を推進している。

### 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解析

##### ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

長期間における火山現象とそれに伴う災害を正確に把握するためには、地質データ等を収集して調査・分析を行い、データベースを整備・拡充することが重要である。

マグマの状態と噴火様式の関連性を調べるために、富士火山の爆発的噴火による噴出物の全岩化学組成の分析およびRhyolite-Meltsプログラムによる熱力学的解析を進め、マグマ供給系について考察した。その結果、定圧および減圧どちらの条件の結晶分化においても、組成変化の傾向を再現するためにはマグマ中の初期含水量が低い必要があることがわかった。また冷却や減圧に伴うマグマの密度変化を考慮すると、深部マグマ溜まりからマグマが上昇開始するためには、より深部からのマグマ注入による過剰圧の獲得が必要であることもわかった(東京大学地震研究所[課題番号: ERI\_02])。約7500年前の摩周カルデラ形成期の降下火砕物(Ma-g~j)を対象に地質調査および採取した軽石試料の発泡度、気泡数密度の分析を行い、噴火後半にかけて発泡度が増大し、気泡数密度が低下していく傾向を明らかにした(公募研究[課題番号: KOB021])。白根火砕丘群の各噴出物の層序・分布調査、薄片記載と全岩化学組成分析等の物質科学的解析を行い、白根火砕丘群の溶岩と火砕丘構成物(火砕堆積物)がそれぞれ固有の組成範囲と組成変化傾向をもっていることを明らかにした。また、本白根火砕丘群に見られる小火口の活動履歴調査により、計4個の火口の活動年代(2700年前、1700年前、700年前、400年)や、火砕丘群本体の形成後もVEI 1程度の水蒸気噴火が頻発していたことを明らかにした(富山大学[課題番号: TYM\_01])。将来噴火する可能性の高い活火山の中長期的活動評価と予測のため、火山の地質図作成を進め、恵山火山地質図を出版したほか、日光白根火山の地質図及び論文をまとめた(草野・他, 2021)。伊豆大島では海陸をつなぐ沿岸部水深400 m程度までの範囲で精密海底地形地質調査を実施した。また、大規模火砕流分布図シリーズとして「始良カルデラ入戸火砕流堆積物分布図」をWeb公開した。日本列島の火山

の基礎情報を最新の知見に基づいて収集・整理するため、日本の火山データベースに桜島と富士山の完新世噴火イベントのデータを公開するとともに、20万分の1日本火山図を更新・拡充した（宝田・他，2021）（産業技術総合研究所 [課題番号：AIST03]）。

## （2）低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

低頻度で大規模な火山噴火現象の発生履歴、規模等を解明するためには、史料・考古データ、地質データ等の分析を着実に進める必要がある。

伊豆大島の大規模噴火(Y1やY4など)の推移で見られる斜長石斑晶量の増加と同様に、中規模噴火から小規模噴火への長期的推移において斜長石斑晶量がしだいに増加していることを明らかにした。このことは噴火規模により時間スケールは異なるものの、斜長石増加の共通の仕組みが存在することを示唆する。また、大中規模噴火噴出物の岩石組織や粒子物性を比較したところ、噴火強度と噴出物の微細構造・組織に相関があることがわかった。西之島については2019-2020年噴火における噴火様式や化学組成の劇的変化が、より深部に由来する苦鉄質マグマの上昇に起因していることを明らかにした（Maeno et al., 2021）（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI\_03]）。カルデラ噴火については、噴火準備段階からの活動の推移・履歴を把握するとともに、その推定精度を上げる手法の開発・改良を進める必要がある。支笏カルデラ試料のU-Th放射非平衡の解析を行い、二成分マグマ混合によって生成された珪長質噴出物のうち一方の端成分マグマの生成率を15 km<sup>3</sup>/万年程度と推定した。阿寒カルデラの後カルデラ活動についての解析では阿寒富士を対象に物質科学的解析を進め、マグマ供給系やマグマ生成条件を解明した（Kuritani et al., 2021）（北海道大学 [課題番号：HKD\_02]）。鬼界カルデラを対象にした研究航海により、海底電位差磁力計等の長期海底観測機器の回収・設置と、航走観測、試料採取を行った。また、鬼界カルデラ周辺の島においても地質調査を行うとともに、これまでの研究航海により取得した地球物理学的観測データの解析や堆積物・岩石試料の物質科学的解析を進めた。ピストンコア試料とドレッジ試料については全岩化学組成分析および火山ガラスの化学組成分析を行い、鬼界火山全体のマグマの多様性および噴火活動ステージにおける特徴を明らかにした（神戸大学 [課題番号：KOBEO1]）。

## （4）火山現象の解明とモデル化

### ア．火山現象の定量化と解明

多様な火山現象を理解するためには、多項目の観測を行い、進行する火山現象を時空間的に定量化するとともに、火山噴出物の分析、マグマの物理・化学的な実験および数理モデルによる理論解析を行う必要がある。

ドローンと無人ヘリコプターを用いた空中磁気観測の実施及びデータ解析を行っており、三宅島において無人ヘリコプターと同じ範囲でドローンを用いた空中磁気測量を行った。そして、磁化強度分布の推定から、カルデラリム下の強い磁性と、カルデラ内側の弱い磁性が見出されたことから、2000年噴火によるカルデラ崩壊によるカルデラ内の磁性の弱化もしくは磁化方向のランダム化が示唆された（図1）。また、西之島の2019年から2020年の噴火活動に対して、衛星赤外画像と地形変化から噴出率・噴出量の推定と噴出状況を明らかにし、3ステージからなる噴火活動モデルを提案した（図2、Kaneko et

a1., 2022) (東京大学地震研究所[課題番号:ERI\_07])。2020年11月に阿蘇山にて空中電界変動観測を開始し、2021年10月14日および20日の噴火に伴う空中電界変動を比較したところ、20日の変動が14日の変動に比べて20倍以上大きいことを明らかにした(東北大学理学研究科[課題番号:THK\_03])。火山活動にともなって放出されるマグマ起源の二酸化炭素を面的に測定するための小型かつ安価な装置の開発を進めており(図3)、二酸化炭素センサー部を更新することにより、既存機と同等の性能が得られた(東京工業大学[課題番号:TIT\_02])。弥陀ヶ原火山の地獄谷において2015年から毎年水準測量を実施しており、2016年から2020年にかけて最大6 cm程度の沈降を検出した。この沈降は、噴気活動が継続している紺屋地獄・新噴気帯の直下の深さ50 mに長さ650 m、幅425 m、傾斜角67度の割れ目が59 cm閉口することで説明された(図4)(富山大学[課題番号:TYM\_02])。地震波ノイズの相互相関を用いて連続的に測定した地震波速度変化量と波形相関の低下量の異常度を定量的に評価する手法を開発し、2016年10月8日の阿蘇山の爆発的噴火に前駆する異常度の増大を検出した。また、火山灰自動採取・可搬型分析装置および自動火山灰分類システムを開発・改良し、機械学習を用いて火山灰の構成物の割合を自動把握し、マグマ性噴火および非マグマ性噴火を即時判定する技術の有効性を確認した(防災科学技術研究所[課題番号:NIED01])。岩石磁気学および古地磁気学手法を用い、阿蘇火山中岳新期山体および最新期火砕丘の噴火活動時期の分類と年代測定を行った(穴井・他, 2021)(公募研究[課題番号:KOB023])。

#### イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

火道内をマグマが上昇する際に発生する現象の再現実験を行い、マグマ中の塩素の濃度分布パターンの変化を明らかにし、天然の溶岩の塩素濃度分析結果と比較することで、溶岩内部の脱ガス現象を明らかにした(Yoshimura and Nakagawa, 2021)(北海道大学[課題番号:HKD\_03])。十和田火山・御蔵山溶岩ドーム試料の岩石記載と浸透率測定実験を行ったところ、石基は微小な斜長石を骨格とした多孔質構造で、大量のシリカ鉱物が気相成長した痕跡が認められた。また、空隙率に対して高い浸透率が得られた。これらの結果をもとに、空隙率に対する浸透率の高さが溶岩ドームの爆発性の支配要素であることを示した(東北大学理学研究科[課題番号:THK\_04])。阿蘇山と桜島にてMulti-GASの火山ガス組成観測を行うとともに、福徳岡ノ場2021年噴火の二酸化硫黄放出率の時系列変化を衛星データから明らかにした(産業技術総合研究所[課題番号:AIST06])。

### (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

#### ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造解明

火山地域においては、火山活動を支配する場のモデル化を進めるために、地震波速度・減衰構造や比抵抗構造等を明らかにすることが必要である。

鬼界カルデラを対象とする、研究船「かいめい」によるKM21-5航海において、海底磁力計の回収と海底電位差磁力計の設置を行った。また、薩摩硫黄島、竹島、黒島に陸域用磁力計を設置することで、海陸電磁気観測網を構築した。また、KM22-01航海にて、海底掘削および無人探査機により海底観察および地質試料採取を行い、鬼界アカホヤ噴火による大規模火砕流堆積物の分布を推定した(神戸大学[課題番号:KOB001]、海洋研究開発

機構[課題番号: JAMS03])。火山人工地震探査データからH/V比とサイト増幅特性を求めて、火山地帯における地震波動場の特性の検討を行った。その結果、人工地震のコーダ波と雑微動から推定した相対的サイト増幅係数は一致することが明らかになった(図5)(東北大学理学研究科[課題番号: THK\_08])。2018年本白根山噴火直後に草津白根火山で実施した空中磁気測量データから磁化分布を推定し、逆帯磁と地質構造との対応を見出した(Koyama et al., 2021)。また、2018年本白根山噴火に伴う傾斜記録の初動付近の解析から、Terada et al. (2021)が推定した開口割れ目の下端部に新たな増圧源を見出した。さらに、湯釜火口湖の化学組成成分の時間変動予測モデルを構築した(Terada et al., 2022)(東京工業大学[課題番号: TIT\_03])。鹿児島湾および南西諸島海域を対象に、ヘリウム-3をトレーサーとして用いる海底火山活動調査を実施し、ヘリウム-3が始良カルデラの同じマグマ溜まりに起源をもつ若尊カルデラと桜島火山の活動度の違いを反映していることを明らかにした(Nakajima et al., 2022)(東京大学大気海洋研究所[課題番号: AORI02]、公募研究[課題番号: KOB013])。蔵王火山の御釜周辺での気象観測と御釜湖の水溫・溶存物質濃度の観測を行い、熱流量変化の解析から、御釜への流入水は有意な熱量を持つ地下水起源であることを明らかにした(Chikita et al., 2022)(公募研究[課題番号: KOB022])。

## 2. 地震・火山噴火の予測のための研究

### (4) 中長期的な火山活動の評価

#### ア. 火山噴火の長期活動の評価

火山噴火の長期活動については、火山ごとに噴火の特徴と履歴を明らかにするとともに、年代測定精度の向上や階段ダイアグラムの高精度化、物質科学的解析に基づいて評価を行う必要がある。

高精度なテフラ対比を行うため、テフラの気泡組織および鉱物組織の解析環境を整備し、実際に解析に着手した。岩石組織のデータをこれまでに取得したテフラの化学組成・粒子形状データと組み合わせることで、テフラのキャラクタリゼーションを進めた。また山中湖のコアを用いて湖沼堆積物のC14年代測定を実施し、年代-深度モデルの構築を進めた(Yamamoto et al., 2021; Ota et al., 2021)(山梨県富士山科学研究所[課題番号: MFRI\_01])。伊豆大島、浅間山、霧島山において、過去数100年の噴火を対象とした噴出物の地質調査を行い、テフラ層の区分や特徴の明確化と、岩石鉱物化学組成・組織など物質科学的情報の収集を進めた。とくに霧島山については歴史時代の大規模噴火の推移や小規模噴火を含む中長期履歴を明らかにするための調査を行い、火砕堆積物の分布や層区分を検討した。13世紀御鉢噴火については、粒子物性および岩石組織の定量解析を進め、噴火推移に応じた系統的变化を明らかにした(東京大学地震研究所[課題番号: ERI\_03])。白根火砕丘群噴出物のうち噴出年代が不明な溶岩群について、古地磁気年代や放射性炭素年代の測定を実施した(富山大学[課題番号: TYM\_01])。中長期的活動評価と予測のため、雌阿寒岳、秋田焼山、御嶽山では地表踏査による噴火履歴調査を継続して実施した。また活動的火山で高分解能な噴火履歴を解明するために、白山火山及び御嶽火山の岩石試料を対象としたK-ArおよびAr/Ar年代測定を実施し、10万年前より若い火山噴出物の噴火年代を明らかにした(産業技術研究所[課題番号: AIST03])。

## イ. モニタリングによる火山活動の評価

火山活動の評価において、数ヶ月から数年の中期的な時間スケールについては、多項目の地球物理学的・地球化学的なモニタリングにより火山の状態を把握することにより、火山現象と噴火の関係を定量的に明らかにする必要がある。

火山活発化指数 (VUI) の試験的導入を進めており、VUIの評価項目として熱消磁 (地磁気変化) の導入を検討した (橋本, 2022)。また、吾妻山 (Ichiki et al., 2021) と十勝岳 (Tanaka et al., 2021) では3次元比抵抗構造が高分解能で推定された (北海道大学 [課題番号: HKD\_04])。阿蘇火山と吾妻山を対象にVUI策定作業を進め、吾妻山について作業を完了させた (北海道大学 [課題番号: HKD\_04]、京都大学理学研究科 [課題番号: KUS\_02])。定期船 (フェリー) 搭載の簡易トラバース装置にて薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島の二酸化硫黄放出率の観測を行い、口永良部島の二酸化硫黄放出率の2020年5月頃からの指数関数的な減少と、2021年後半の数10トン/日もしくは検出限界以下レベルへの低下を明らかにした (東京大学大学院理学系研究科 [課題番号: UTS\_06])。時間分解能の高い歴史記録を有する世界の噴火20事例を収集した噴火推移データベースを作成し、福岡ノ場火山およびHunga Tonga火山の噴火事例を収録してデータベースの上で過去の噴火事例と比較できるようにした。また、霧島新燃岳の2011年噴火と2018年噴火の近傍堆積物の層序および組織の解析からブルカノ式噴火発生メカニズムの解明を進めた (Matsumoto et al., 2021) (産業技術総合研究所 [課題番号: AIST10])。草津白根山、浅間山、伊豆大島、桜島、霧島山について、GNSSデータに対する時間依存インバージョンの手法を適用し、マグマ溜まりの時間変化を推定した。草津白根山については、2017年後半から見られた体積膨張が2021年から停滞していることが分かった (Munekane, 2022) (国土地理院 [課題番号: GSI\_03])。雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島にて全磁力の繰り返し観測から熱的活動の推定を行うとともに、雌阿寒岳と草津白根山においては磁気測量により磁気異常分布を明らかにした (気象庁 [課題番号: JMA\_04])。草津白根山の湯釜火口湖の湖水採取・分析を行い、1982年以降の噴火の前後で上昇した湖水のMg/Cl比が2019年以降にわずかに上昇して増減を繰り返していることを明らかにした (Yaguchi et al., 2021)。また、焼岳の1962年噴火の火山灰を分析し、火山灰が熱水変質帯由来であり、黄鉄鉱や石膏などの鉱物種と多量の水溶性成分が存在することを明らかにした (Yaguchi et al., 2022) (気象庁 [課題番号: JMA\_05])。北海道駒ヶ岳にて温泉水の地球化学的観測と火口での噴気温度観測、山麓での地下水位連続観測を行った。さらに、これらのデータに加えて、噴出物中の熱水変質鉱物の検討を行い、火山体内部の熱水系について検討した (Takahashi, 2022) (北海道立総合研究機構 [課題番号: HRO\_01])。

### (5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

火山噴火予測の精度向上に向けて、噴火事象系統樹をさらに発展させ、火山噴火に先行する現象、噴火発生、噴火規模や様式の時間変化、終息までを一連の現象として捉える火山活動推移モデルを構築する必要がある。

インドネシアの火山を対象に火山活動推移モデルの構築を進めた。グントール火山において過去30年間の火山性地震のエネルギー放出率を評価した。1847年の最後の噴火か

ら現在までの約170年間の噴火活動休止期における地震活動が最近30年間の活動と同様と仮定すれば、170年間のエネルギー積算値は220GJ程度となり、あり得る最大噴火規模はVEI4と推定される。また、2021年12月4日にスメル火山で火砕流が山頂から南東方向に16 km流下したが、火砕流に前駆する火山構造性地震の発生頻度は低く、2021年1月・2月の火砕流発生以降は岩石崩落もない(図6)。そのため、マグマの急速な貫入による溶岩ドーム崩落によって火砕流が発生したのではなく、溶岩ドームの不安定性による自己崩壊で火砕流が発生したと推定した(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI06])。桜島火山を対象に地震、GNSS、伸縮、傾斜、ガスの連続観測ならびに火山灰のサンプリング調査を行った。また、繰り返し水準測量と重力測定から、桜島中央部における年間最大7 mmの地盤沈降と、年間最大4.3 microgalの重力増加が継続していること(図7)が明らかになり、この重力増加は地盤沈降だけでは説明出来ず、桜島直下の質量増加を示唆している。2017年以降の南岳活動期において、始良カルデラから桜島へのマグマ移動は顕著ではないが継続しており、gas-richな噴火などにより脱ガスが卓越しているため、その分、桜島直下における質量増加が進行したと解釈できる。また、複数の地震観測点の波形相関を用いて、桜島におけるB型地震と連続微動を自動検出し、震源決定を行ったところ、両者ともに山頂火口下の深さ4 kmまでに分布し、水平方向の分布は深部へ貫入したと推定されているダイクの走向に沿っていることが明らかになった(Permana et al., 2021)(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI07])。観測データの解析結果や物質科学的データの分析結果を整理して、火山活動推移のモデル化と噴火事象系統樹の分岐判断指標の作成を進めた。その一環として、大地震の発生による噴火の誘発を調べたところ、大地震の発生により0.5 micro strain以上の膨張という条件を満たす領域にある火山においては、VEIが2以上の噴火発生数が、大地震発生後数年間は2-3倍程度高まることが明らかになった(Nishimura, 2021)(東北大学大学院理学研究科[課題番号: THK\_11])。蔵王山の過去800年間の噴火推移の類型化を進め、テフラ層内の岩相変化および噴出物の岩石学的特徴をもとに噴火推移の解明を試み、マグマ水蒸気噴火と小規模マグマ噴火の発生順序を明らかにした(Takebe et al., 2021)(公募研究[課題番号: KOB015])。

### 3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

#### (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

##### ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

噴火発生直後に火山噴出物などの災害誘因を高精度かつ即時的に予測する手法を開発することは重要である。

堆積物解析手法の高度化と、噴出物時系列解析・分析手法の高度化を目指した研究を霧島、阿蘇、諏訪之瀬島、榛名等の活動的火山で実施した。2021年10月阿蘇中岳噴火の際には、火山観測データ一元化共有システム(JVDNシステム)を活用した複数機関の連携による降灰調査をはじめて実施し、降灰分布や噴出量の迅速な推定を行うとともに、システムの有用性と問題点の洗い出しを行った。草津白根火山2018年水蒸気噴火における噴出物分布と複数手法により検討した噴出量に関する論文を出版した(Kametani et al., 2021)。西之島における2019-2020年噴火および2021年噴火の噴出物の調査および試料採取、地形データの取得を環境省と協力して実施した。西之島の採取試料の化学組成分析

により、2020年噴火の際の安山岩から玄武岩質安山岩への劇的な化学組成変化のタイミングに制約を与えることができたほか、2021年も玄武岩質安山岩による活動が継続していることなどを明らかにした（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI\_17〕）。

## 5. 研究を推進するための体制の整備

### （1）推進体制の整備

火山災害の軽減するためには、火山活動の推移を把握し、必要に応じて発生しうる火山災害への対策を講じる必要がある。

2021年6月と12月に火山噴火予知連絡会本会議を開催し、全国の火山活動の状況についての検討を行った。また、本会議とは別に火山活動の検討が必要とされた火山では、部会を設置して集中検討体制を確保することとしており、口永良部島部会を2021年6月と12月に、霧島山部会と草津白根山部会を6月にそれぞれ開催し、火山活動の検討を行った（気象庁〔課題番号：JMA\_08〕）。

### （3）研究基盤の開発・整備

火山現象の解明と予測のための研究を進め、災害関連情報の迅速な発信や、火山活動評価の高度化をするためには、観測基盤を維持・整備するとともに、必要に応じて観測体制の強化をする必要がある。

全国50火山を対象に地震計、空振計、GNSS、監視カメラ等による連続監視観測を継続した。また、GNSS繰り返し測定や熱の機動観測を実施し、口永良部島、阿蘇山、桜島などにおいて二酸化硫黄放出率観測を実施した（気象庁〔課題番号：JMA\_12, JMA\_15〕）。光計測技術を用いた地震計と重力計の開発を進めるとともに、それらを光ファイバで接続することによって地下深部や火山近傍に観測網を構築するための手法の確立を目指している。その一環として、小型絶対重力計を開発して南極にて観測を実施した（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI\_20〕）。桜島火山に設置した超軽量高解像度ミュオグラフィ観測システムからの画像データを機械学習することで噴火判定を導出する技術（MuNET-2）を開発し、2019年以降の画像と南岳火口の噴火との関係を見出した（図8）（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI\_21〕）。航空機による南方諸島および南西諸島における海域火山の定期巡回監視観測を実施した。なお、福徳岡ノ場および西之島については監視体制を強化し、月1回程度の監視観測を実施した。また、測量船により硫黄島の海域火山基礎情報調査を実施した（海上保安庁〔課題番号：JCG\_04〕）。

### これまでの課題と今後の展望

「火山」計画推進部会には、41の研究課題に加えて、当該年度の公募研究が10課題あり、地震火山観測研究計画において最大の計画推進部会（以下、部会）である。そのため、課題間の連携やそれぞれの課題における研究の深化のための取り組みも部会の重要な役割と考えられる。そのため、単独課題による研究集会に加えて、部会に関係の深い総合研究グループによる研究集会や複数課題による合同研究集会が開催されている。桜島大規模噴火総合研究グループ研究集会が12月21日・22日に鹿児島市で開催されたほか、北海道大学の課題（HKD\_04）と京都大学理学研究科の課題（KUS\_02）合同の研究集会が5月24

日・25日に、東北大学理学研究科の課題（THK\_11）の研究集会が2022年1月13日・14日にオンラインでそれぞれ開催された。また、部会全体の研究集会は2月15日・17日・24日にオンラインで開催した。このように、各課題は部会と総合研究グループの両方で研究の議論をする形が定着した。

この3年間における部会の研究課題に見られた様々な進展の特徴について以下にまとめる。なお、火山活動の状態や分岐・遷移を表すパラメータ間の相互関係が見えてきたことについては昨年度の報告書で述べたとおりであるので省略する。

この3年間における進展の特徴の一つ目は、観測手法や分析および解析手法の開発が大きく進展したことである。無人機を使った空中磁気観測においては、従来利用されている無人ヘリコプターに加えて電動ドローンの使用も進んでいる。無人ヘリコプターの運用において人工衛星経路による遠隔操作手法が確立されたことから、長時間飛行が可能な無人ヘリコプターは比較的広域の観測用、電動ドローンは小規模で低コストの観測用という住み分けが進んだ（東京大学地震研究所[課題番号:ERI\_07]）。また、年代測定手法のひとつであるU-Th放射非平衡測定法が確立されたことで、カルデラ形成噴火の準備段階としてのマグマ停留時間が解明された（北海道大学[課題番号: HKD\_02]）。二酸化硫黄放出率のトラバース測定装置（東京大学理学系研究科[課題番号:UTS\_06]）と二酸化炭素放出率測定装置（東京工業大学[課題番号:TIT\_02]）といった地表における火山ガス観測装置の高度化が進み、前者は定期船フェリーに搭載され火山監視データの取得に活用されている。一方、二酸化硫黄放出率の推定には人工衛星データが活用され、二酸化硫黄放出率を数百キロスケールで求めることや、一定時間間隔でのサンプリングが可能となった（北海道大学[課題番号:HKD\_04]、産業技術総合研究所[課題番号:AIST06]）。火山モニタリングにおける人工衛星の活用に関しては、可視光や熱赤外観測や測地観測が従来から行われているが、マルチパラメータ化がさらに進んだと言えよう。人工衛星による観測は広範囲を把握できる特徴があるため大規模噴火のモニタリングに欠かせないことから、多様な衛星データ活用のための体制整備をさらに進めていくべきであろう。

この3年間における進展の特徴の二つ目は、広い時間および空間スケールにおいて分析や解析の分解能が向上したことである。例えば、古地磁気年代測定の導入により年代測定が高精度化されることで、テフラ層序から草津白根火山の完新世の噴火履歴の詳細が明らかになった（富山大学[課題番号: TYM\_01]）。また、火山灰の高時間分解能サンプリングにより、火山灰構成粒子の時間変化が明らかになり、新燃岳2018年噴火の3つのステージにおける火道内プロセスの推定に貢献した（産業技術総合研究所[課題番号:AIST10]）。さらに、温泉水の高頻度サンプリング装置を用いることで、十勝岳の温泉水分析の時間分解能が向上し、Cl濃度やCl/SO<sub>4</sub>比の変化と火映発生との対応関係の議論が進んだ（北海道立総合研究機構[課題番号: HRO\_01]）。空間分解能の向上は火山深部構造の解明において見られ、例えば、草津白根山の湯釜火口周辺だけでなく本白根山、横手山、志賀高原を含めた領域での3次元比抵抗構造が明らかになり、草津白根山の広域のマグマ熱水系モデルの構築が行われた（東京工業大学[課題番号: TIT\_03]）。

## 成果リスト

- 穴井千里・宮縁育夫・宇津木充・吉川慎・望月伸竜・渋谷秀敏・大倉敬宏, 2021, 古地磁気・岩石磁気学的手法を用いた阿蘇火山中岳火口周辺域の完新世噴出物の分類と噴火年代の再検討, 火山, 66, 3, 171-186, doi:10.18940/kazan.66.3.171.
- Chikita, K., A. Goto, J. Okada, T. Yamaguchi, S. Miura and M. Yamamoto, 2022, Hydrological and chemical budgets of Okama crater lake in Active Zao Volcano, Japan, Hydrology, 9, 2, 28, doi:10.3390/hydrology9020028.
- Cole, R.P., White, J.D.L., Dürig, T., Büttner, R., Zimanowski, B., Bowman, M.H., Conway, C.E., Leonard, G.S., Pure, L.R., Townsend, D.B., 2021, Controls on andesitic glaciovolcanism at icecapped volcanoes from field and experimental studies, Geology, 49, 1069-1073, doi:10.1130/G48735.1.
- 藤原 寛・山崎誠子・永塚弘樹, 2021, SPTを用いた重液分離の一例：K-Ar年代測定のための火山岩石基試料の分離, 地質学雑誌, 127, 727-732, doi:10.5575/geosoc.2021.0032.
- 橋本武志, 2021, 火山の活動不安定評価における熱消磁現象の活用と噴火予測の可能性, 地学雑誌, 130, 771, doi:10.5026/jgeography.130.771.
- Hotta, K., S. Kusumoto, H. Takahashi and Y.S. Hayakawa, 2022, Deformation source revealed from leveling survey in Jigokudani valley, Tateyama volcano, Japan, Earth Planets Space, 74, 32, doi:10.1186/s40623-022-01593-7.
- Ichiki, M., T. Kaida, T. Nakayama, S. Miura, M. Yamamoto and Y. Morita, 2021, Magma reservoir beneath Azumayama Volcano, NE Japan, as inferred from a three-dimensional electrical resistivity model explored by means of magnetotelluric method, Earth Planets Space, 73, 150, doi:10.1186/s40623-021-01451-y.
- 石塚吉浩・山元孝広・中野 俊・吉本充宏, 2021, 富士火山、須走期噴出物の噴出量見積もり, 地質調査総合センター研究資料集, 715, 6.
- Kametani, N., Ishizaki, Y., Yoshimoto, M., Maeno, F., Terada, A., Furukawa, R., Honda, R., Ishizuka, Y., Komori, J., Nagai, M., Takarada, S., 2021, Total mass estimate of the January 23, 2018, phreatic eruption of Kusatsu-Shirane Volcano, central Japan, Earth, Planets and Space, 73, doi:10.1186/s40623-021-01468-3.
- Kaneko, T., F. Maeno, M. Ichihara, A. Yasuda, T. Ohminato, K. Nogami, S. Nakada, Y. Honda, and H. Murakami, 2022, Episode 4(2019-2020) Nishinoshima activity: Abrupt transitions in the eruptive style observed by image datasets from multiple satellites, Earth Planets Space, doi:10.1186/s40623-022-01578-6.
- 今野裕三・高島帆風・小檜山雅之・吉本充宏・久保智弘, 2021, 火山災害対応における認知バイアスを克服するための訓練ツール, 地域安全学会論文集, 39, 233-243.
- Koyama, T., W. Kanda, M. Utsugi, T. Kaneko, T. Ohminato, A. Watanabe, H. Tsuji, T. Nishimoto, A. Kuvshinov and Y. Honda, 2021, Aeromagnetic survey in Kusatsu-Shirane volcano, central Japan, by using an unmanned helicopter, Earth Planets Space, 73, 139, doi:10.1186/s40623-021-01466-5.
- 草野有紀・及川輝樹・石塚吉浩, 2021, 日光白根火山1649年噴火の復元, 火山, 66, 327-346, doi:10.18940/kazan.66.4.327.

- Kuritani, T., E. Sato, K. Wada, A. Matsumoto, M. Nakagawa, D. Zhao, K. Shimizu, and T. Ushikubo, 2021, Conditions of magma generation at the Me-akan volcano, northern Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 417, 107323, doi:10.1016/j.jvolgeores.2021.107323.
- Maeno, F., Yasuda, A., Hokanishi, N., Kaneko, T., Tamura, Y., Yoshimoto, M., Nakano, S., Takagi, A., Takeo, M., Nakada, S., 2021, Intermittent growth of a newly-born volcanic island and its feeding system revealed by geological and geochemical monitoring 2013-2020, Nishinoshima, Ogasawara, Japan, *Frontiers in Earth Science*, 9, 773819, doi:10.3389/feart.2021.773819.
- Matsumoto, K. and N. Geshi, 2021, Shallow crystallization of eruptive magma inferred from volcanic ash microtextures: a case study of the 2018 eruption of Shinmoedake volcano, Japan, *Bull. Volcanol.* 83, 31, doi:10.1007/s00445-021-01451-6.
- Minami Y., Matsumoto K., Geshi N., Shinohara H., 2022, Influence of hydrothermal recharge on the evolution of eruption styles and hazards during the 2018-2019 activity at Kuchinoerabujima Volcano, Japan, *Earth, Planets and Space*, 74, 21, doi:10.1186/s40623-022-01580-y.
- 南 裕介・中川光弘・佐藤鋭一・和田恵治・石塚吉浩, 2021, 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*, 66, 211-227, doi:10.18940/kazan.66.3\_211.
- Munekane, H., 2022, Modeling long-term volcanic deformation at Kusatsu-Shirane and Asama volcanoes, Japan, using the GNSS coordinate time series, *Earth Planets Space*, 73, 192, doi:10.1186/s40623-021-01512-2.
- Nakajima, M.E., N. Takahata, K. Shirai, T. Kagoshima, K. Tanaka, H. Obata and Y. Sano, 2022, Monitoring the magmatic activity and volatile fluxes of an actively degassing submarine caldera in southern Japan, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 317, 106-117, doi:10.1016/j.gca.2021.10.023.
- Nishimura, T., 2021, Volcanic eruptions are triggered in static dilatational strain fields generated by large earthquakes, *Scientific Reports*, 11, 17325, doi:10.1038/s41598-021-96756-z.
- Ota, K., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Yamamoto, S., Miyajima, T., 2021, Lake water dissolved inorganic carbon dynamics revealed from monthly measurements of radiocarbon in the Fuji Five Lakes, Japan, *Elementa: Science of the Anthropocene*, 9, doi:10.1525/elementa.2020.00149.
- Permana, T., T. Nishimura, H. Nakahara and N. Shapiro, 2021, Classification of volcanic tremors and earthquakes based on seismic correlation: application at Sakurajima volcano, Japan, *Geophys. J. Int.*, 229, 1077-1097, doi:10.1093/gji/ggab517.
- Tada, N., Ichihara, H., Nakano, M., Utsugi, M., Koyama, T., Kuwatani, T., Baba, K., Maeno, F., Takagi, A., Takeo, M., 2021, Magnetization structure of Nishinoshima volcano, Ogasawara island arc, obtained from magnetic surveys using an unmanned aerial vehicle, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 419, 107349, doi:10.1016/j.jvolgeores.2021.107349.

- Takahashi, R., 2022, Mineralogical and geochemical investigations for subvolcanic hydrothermal alteration environments at an active volcano: An example of Hokkaido-Komagatake volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 423, doi:10.1016/j.jvolgeores.2022.107497.
- 宝田晋治・金田泰明・池上郁彦・松本恵子・西野佑紀・下司信夫・川邊禎久・中野 俊・星住英夫・石塚吉浩・工藤崇・及川輝樹・古川竜太, 2021, 産総研地質調査総合センターの火山データベース, *Proceedings of the International Meeting on Eruptive History and Informatics (福岡大学)*, 2021-1, 97-103, ISSN:2189-5163.
- Takebe, M., M. Ban, M. Sato and Y. Nishi, 2021, The temporal variation of magma plumbing system of the Kattadake pyroclastics in the Zao volcano, northeastern Japan, *Minerals*, 11, 4, 430, doi:10.3390/min11040430.
- Yamada, H., Tateyama, K., Naruke, S., Sasaki, S., Torigata, S., Honda, R., Kubo, T., Yoshimoto, M., Fujii T., 2021, Impact resistance of steel materials to ballistic ejecta and shelter development using steel deck plates, *Journal of Applied Volcanology*, 10, doi:10.1186/s13617-021-00105-8.
- Yamamoto, S., Nishizawa, F., Yoshimoto, M., Miyairi, Y., Yokoyama, Y., Suga, H., Ohkouchi, N., 2021, Dating Lake Sediments Using Compound-Specific  $^{14}\text{C}$  Analysis of  $\text{C}_{16}$  Fatty Acid: A Case Study From the Mount Fuji Volcanic Region, Japan., *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 22, e2020GC009544, doi:10.1029/2020GC009544.
- Yamamoto T., Nakano S., Ishizuka Y., 2021, Temporal variations of eruption rate and magma composition at Fuji Volcano, Japan, *Earth, Planets and Space*, 73, 169, doi:10.1186/s40623-021-01505-1.
- Tanaka, R., Y. Yamaya, M. Tamura, T. Hashimoto, N. Okazaki, R. Takahashi and T. Mogi, 2021, Three-dimensional inversion of audio-magnetotelluric data acquired from the crater area of Mt. Tokachidake, Japan, *Earth Planets Space*, 73, 172, doi:10.1186/s40623-021-01502-4.
- Terada, A., W. Kanda, Y. Ogawa, T. Yamada, M. Yamamoto, T. Ohkura, H. Aoyama, T. Tsutsui and S. Onizawa, 2021, The 2018 phreatic eruption at Mt. Motoshirane of Kusatsu-Shirane volcano, Japan: Eruption and intrusion of hydrothermal fluid observed by a borehole tiltmeter network, *Earth Planets Space*, 73, 157, doi:10.1186/s40623-021-01475-4.
- Terada, A., M. Yaguchi and T. Ohba, 2022, Quantitative assessment of temporal changes in quaqueous hydrothermal activity in active crater lakes during unrest based on a time-series of lake water chemistry, *Front. Earth Sci.*, 9, 740617, doi:10.3389/feart.2021.740671.
- Yaguchi, M., T. Ohba and A. Terada, 2021, Groundwater interacting at depth with hot plastic magma triggers phreatic eruptions at Yugama Crater Lake of Kusatsu-Shirane volcano (Japan), *Front. Earth Sci.*, 9, 741742, doi:10.3389/feart.2021.741742.
- Yaguchi, M., T. Ohba, Y. Hirayama and N. Numanami, 2022, Volcanic ash from the June 17, 1962 eruption of Yakedake volcano: stereomicroscopic, XRD, and water-soluble

components analyses, *J. Disaster Res.*, 17, 257, doi:10.20965/jdr.2022.p0257.

吉本充宏, 2021, 富士山の噴火への課題—将来の噴火に備えて—, 建設工業調査会ベース設計資料, 189, 21-25.

Yoshimura, S. and M. Nakagawa, 2021, Chlorine heterogeneity in volcanic glass as a faithful record of silicic magma degassing, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 126, e2020JB021195, 1-24, doi:10.1029/2020JB021195.

## 三宅島磁化強度分布推定

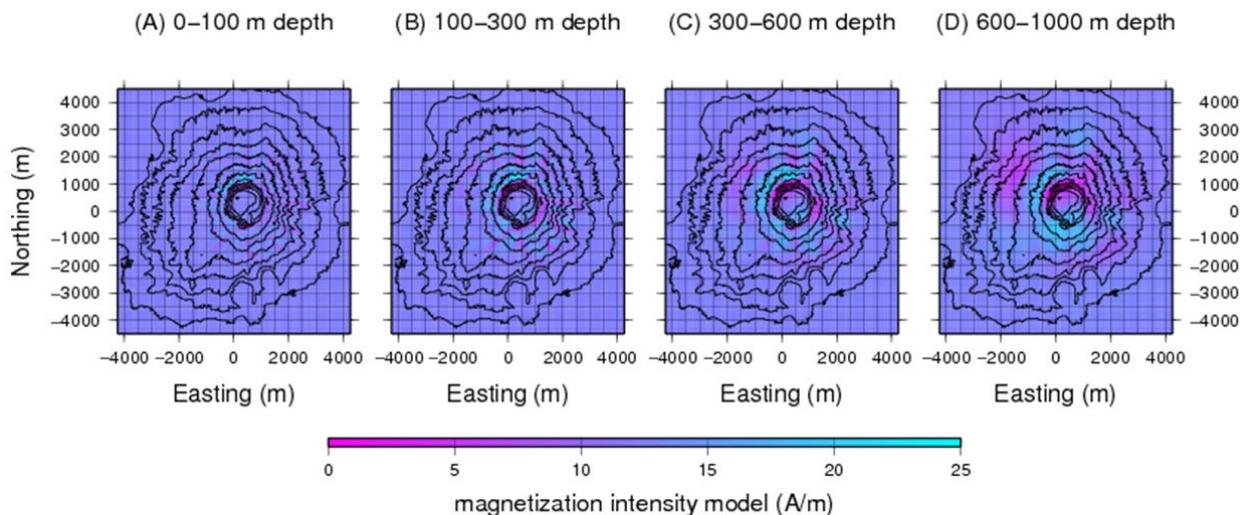


図1. 三宅島の磁化強度分布（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI\_07]）  
カルデラリム下は強い磁性を示す一方、カルデラ内は弱い磁性を示す。

## 衛星赤外画像による火山の観測

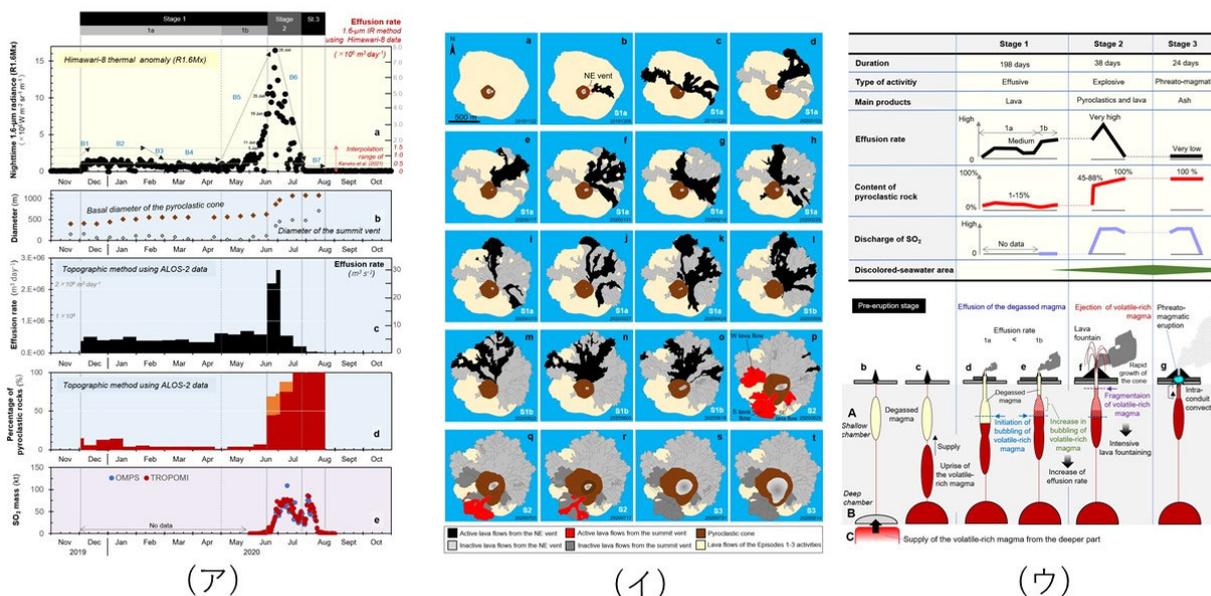


図2. 衛星赤外画像による西之島の観測（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI\_07]）

(ア)：各種観測量の時間変化。a ひまわり8号1.6 $\mu$ mバンドの輝度。b ALOS-2画像による火砕丘の基底径と火口径。c 同じ画像を用いて地形的手法にて推定した噴出率。d 噴出率に占める火砕岩の割合。e 紫外光-可視光センサーによる二酸化硫黄放出率。

(イ)：ALOS-2画像から判読した噴火状況の推移。

(ウ)：噴火推移のまとめと噴火様式変化を説明するモデル。

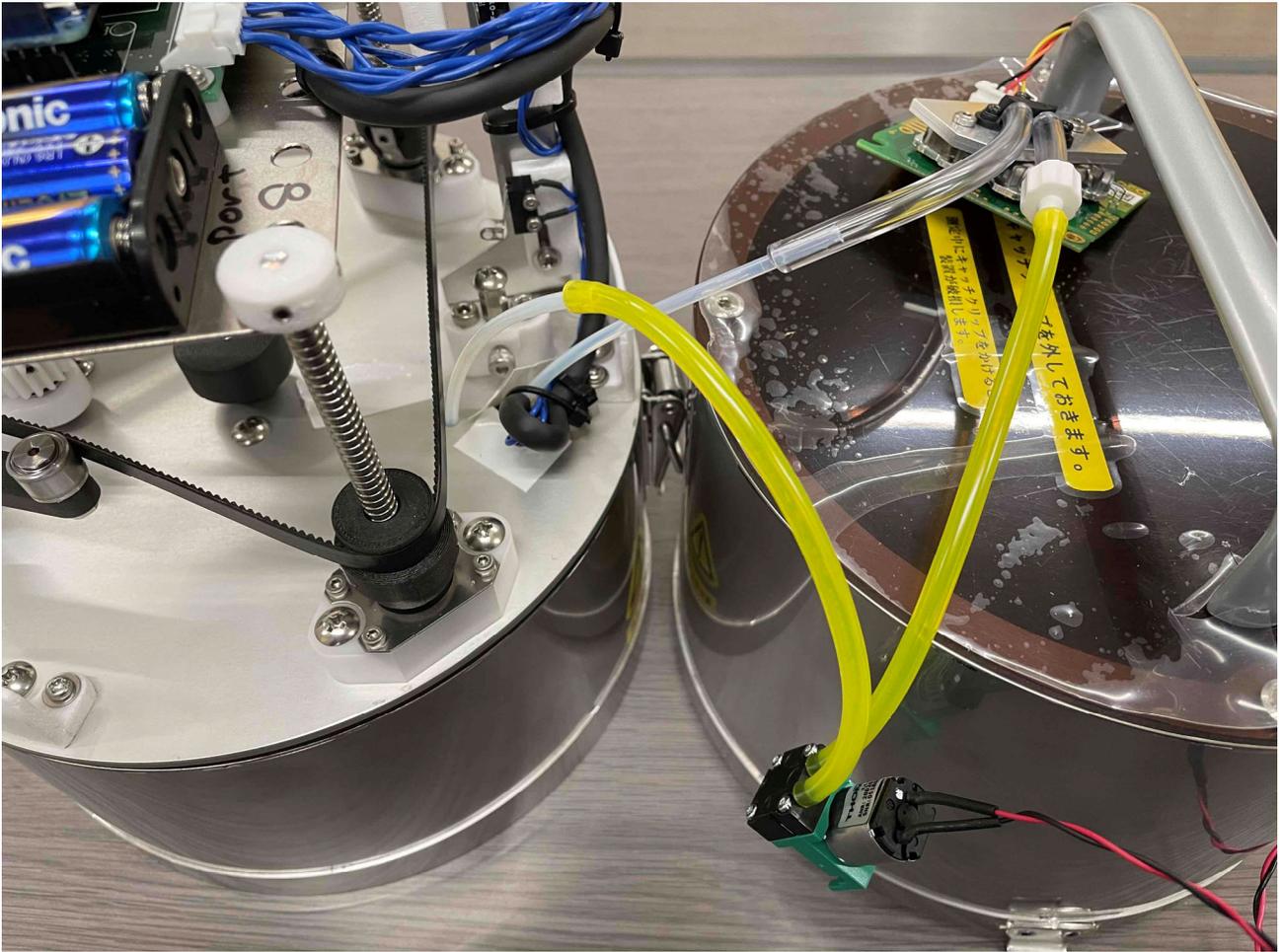


図 3. 二酸化炭素放出率測定装置 (東京工業大学[課題番号:TIT\_02])  
新たな二酸化炭素センサーとポンプシステムを示す。

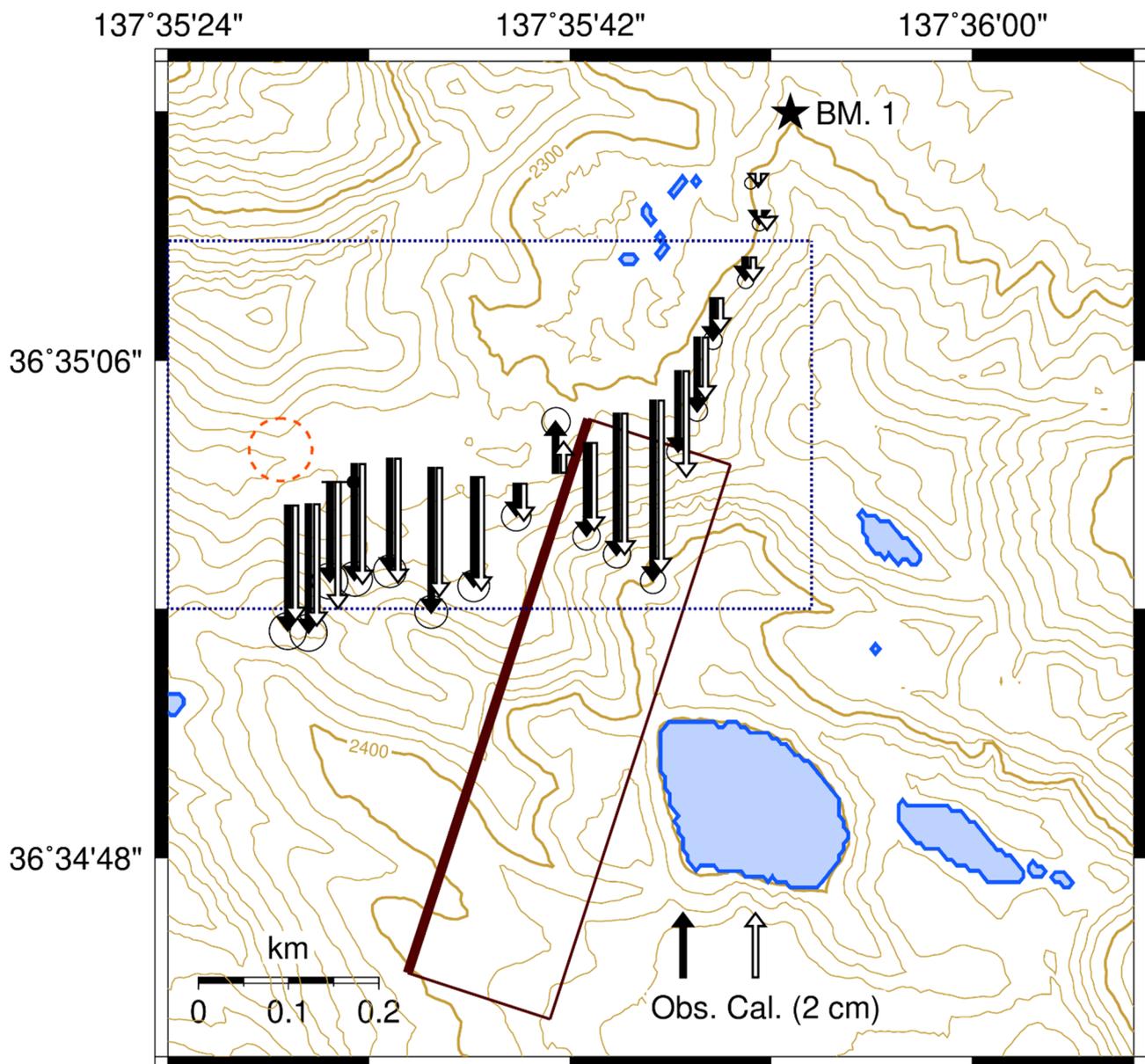


図4. 水準測量による2016年と2020年のBM. 1に対する上下変動（富山大学[課題番号:TYM\_02]）  
 上下変動は矢印（黒は観測値，白は計算値）で示される。また、茶色実線の長方形は上下変動から推定された割れ目の位置（太線が上端）を示す。

UD envelopes at northeast part of Sakurajima  
(4-8Hz, 0.5s smoothing)

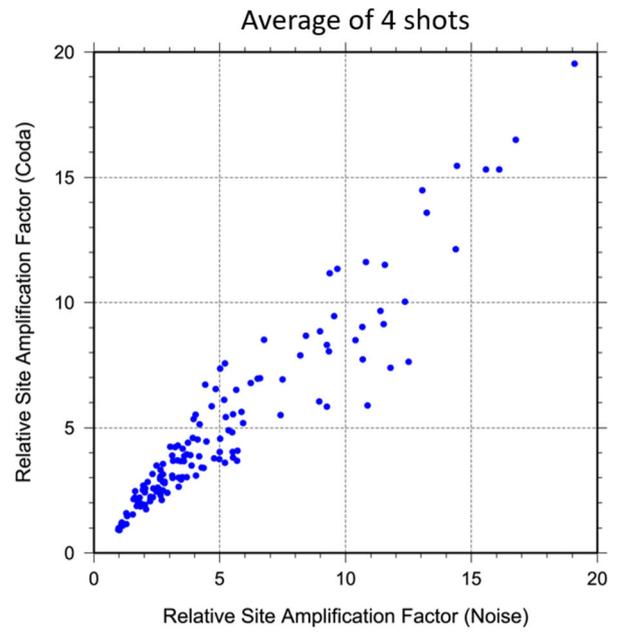
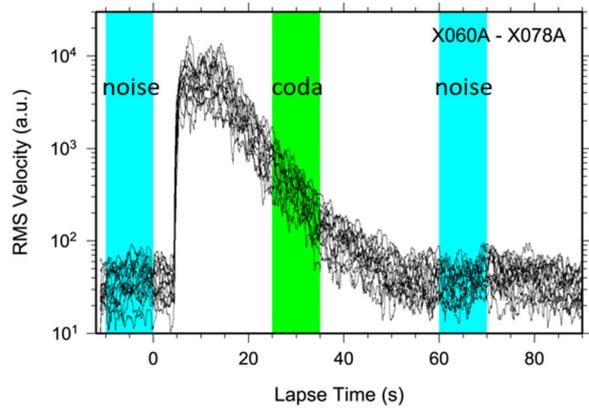


図5. コーダ波・雑微動を用いて推定した相対的サイト増幅特性の関係（東北大学大学院理学研究科[課題番号:THK\_08]）

左：人工地震探査における桜島北東地域の観測点のエンベロープ波形

右：相対的サイト増幅値（横軸：ノイズ部、縦軸：コーダ部）

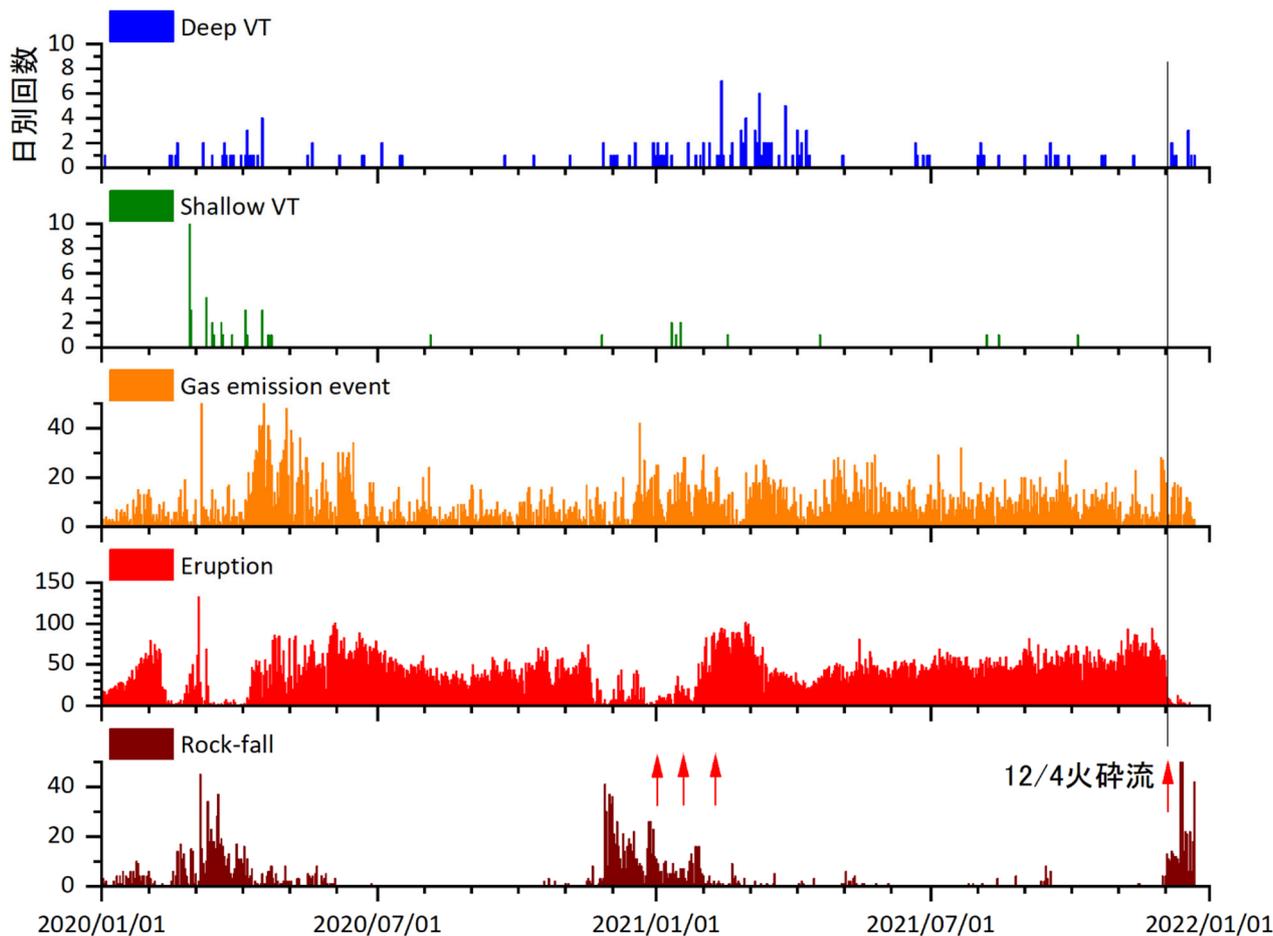


図6. スメル火山の火山性地震の日別発生回数と噴火回数（2020年～2021年）（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI06]）

1 段目：深い火山構造性地震、2 段目：浅い火山構造性地震、3 段目：ガス放出イベント、4 段目：噴火、5 段目：岩石崩落。赤矢印は火砕流発生時刻を示す。

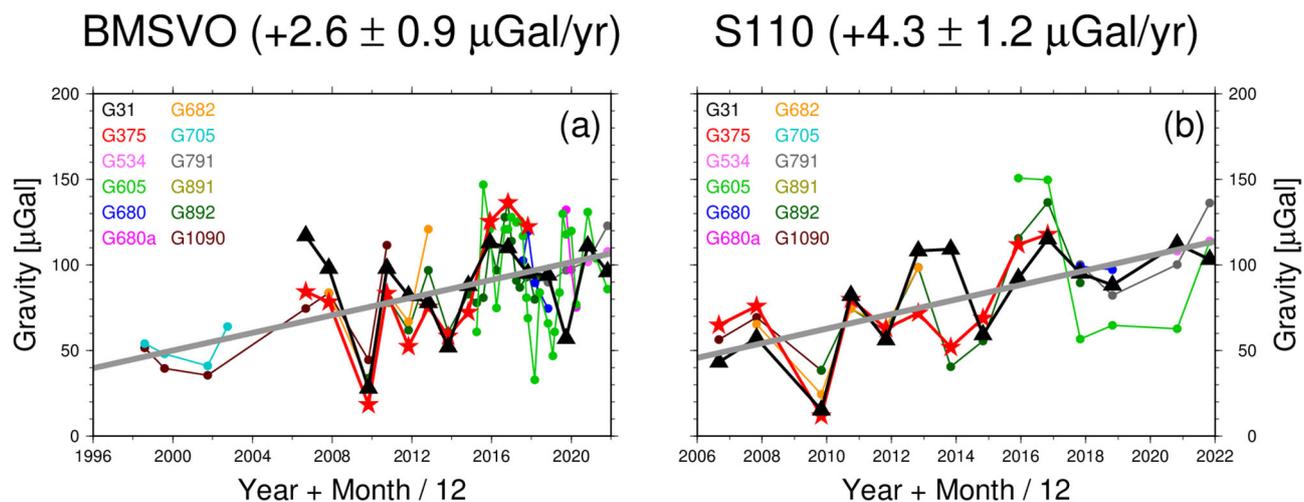


図7. 桜島火山における相対重力変化（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI07]）

左図：ハルタ山重力点における1998年～2021年の重力変化

右図：大正噴火火口至近の重力点における2006年～2021年の重力変化

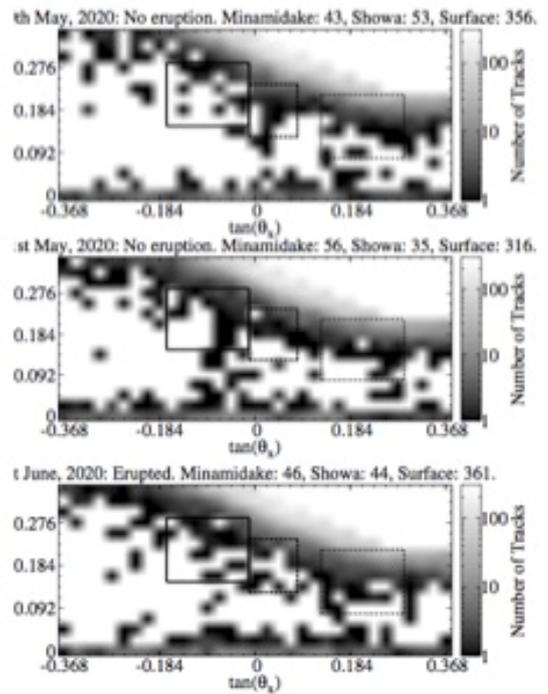
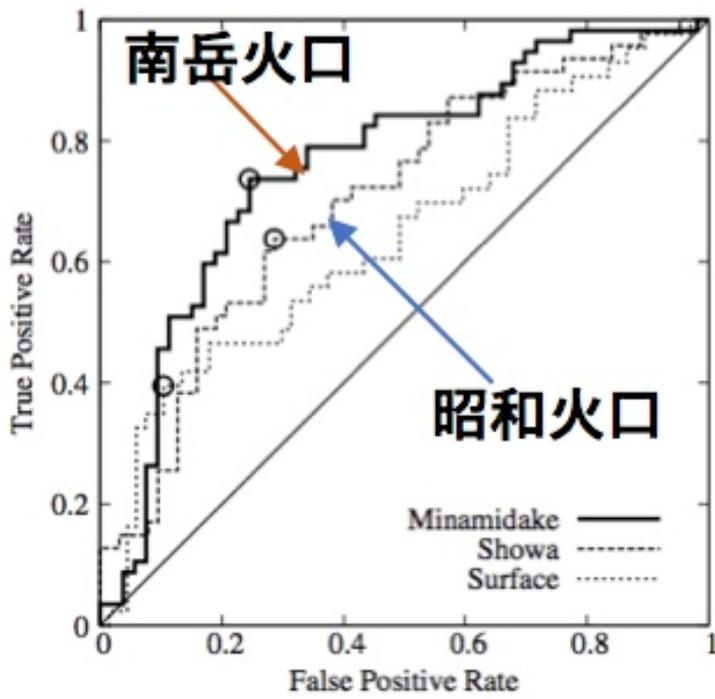


図8. 桜島の各種入力データに対するROC曲線 (Receiver Operating Characteristic curve) (東京大学地震研究所[課題番号: ERI\_21])  
 南岳火口、昭和火口、その他の領域において判定した結果が示されている。