

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、火山噴火現象の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。

東京大学地震研究所は、マグマの状態と噴火様式の関連性を明らかにするために、富士火山の爆発的噴火による噴出物の石基組織解析を行い、全岩および鉱物化学組成と石基組織との関係について調べている。令和2年度は御殿場岩屑なだれ以降の数百年継続した石基の斜長石量の急減やガラス量の急増を説明するマグマ供給系について検討し、深部マグマ溜まりから上昇したマグマが速い上昇速度を維持したまま噴火に至った可能性や、深部マグマで結晶分化が進行し少量のマグマでも噴出しやすい環境が実現していた可能性を指摘した(図1)。山体崩壊による荷重減少は、深部から上昇するマグマを浅部層でトラップされにくくし、また上昇の加速度を大きくすると解釈した(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_02])。

富山大学は、本白根火砕丘群山頂域に見られる小火口群の火口近傍調査を行い、3つの小火口の活動年代を約1700年前、約700年、約2700年と決定した。また、白根火砕丘群の地質図を試作するとともに、涸釜火砕丘が約6000年前、湯釜火砕丘が約2000年前以降に活動したことを明らかにした。さらに、主要テフラの層序と年代、物質科学的データをもとに草津白根火山の完新世噴火履歴を整理し(図2)、これまでの成果について論文化した(富山大学[課題番号:TYM_01]、石崎・他、2020、亀谷・他、印刷中)。

産業技術総合研究所は、将来の噴火の可能性が高い活火山の中長期的活動評価と予測のため火山地質図作成を進めており、令和2年度は恵山火山の地質図を印刷段階としたほか、伊豆大島では海陸をつなぐための沿岸部水深400m程度までの範囲で精密海底地形地質調査を実施した。雌阿寒岳火山、日光白根火山、秋田焼山火山、御嶽火山においては、活動履歴解明のための噴火履歴調査を進めた。日本の火山データベースについては、

択捉島と富士山の完新世噴火イベントのデータ作成と公開を行い、重要火山の火口図作成を開始した（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。

東京大学地震研究所は、伊豆大島においてYシリーズ大規模噴火（Y1、Y2、Y4、Y6）堆積物の詳細なユニット区分を行い、層序毎の特徴、岩石鉱物化学組成・組織の変化を明らかにし、噴火様式や推移との関係を調べた。Y1やY4で見られる噴火後半での斑晶量増加や、噴出率・噴火様式と対応した石基組織の変化、密度など粒子物性の変化を明確にした。浅間山については18世紀天明噴火堆積物の地質調査、化学組成分析および岩石組織の解析を進めた。その結果、噴煙柱形成時よりも火砕流（吾妻火砕流）由来の噴出物で気泡数密度が顕著に大きな値を示すことを明らかにし、気泡数密度の変化と噴火様式の変化の関係について考察を進めた。霧島山では18世紀新燃岳享保噴火の基礎的な岩石学的情報の収集を進めた。また、13世紀御鉢噴火については新たな堆積物データを考慮して噴出量を推定した結果、総噴出量が従来の1.5～2倍まで増え、13世紀噴火が従来の推定よりも大規模な噴火の可能性を示した（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。

北海道大学は、大量のマグマの蓄積と噴火の準備過程の時間スケールを明らかにするために、ウラン系列放射非平衡を用いた物質科学的研究を進めている。令和2年度は、屈斜路カルデラを対象に、化学分析とU-Th放射非平衡分析を行った結果、予察的ではあるが、珪長質マグマの生成に3万年程度の時間を要していた可能性が明らかになった。また前年度に完成したU-Th放射非平衡の分析法について、白頭山のカルデラ噴出物への適用例を国際誌にて出版した（北海道大学〔課題番号：HKD_02〕、Kuritani et al., 2020）。

公募研究にて屈斜路カルデラ内の中島火山における全岩化学組成分析値が得られ、リサージュントドームやカルデラ内のオヤコツドームと同じ組成トレンドを示すことなど、屈斜路カルデラの活動における中島火山の位置付けが明らかになった。また、アトサヌプリ溶岩ドーム山頂部における野外調査によりテフラの詳細な分布域が明らかになったほか、リシリ溶岩ドームについてはテフラ層序が整理され、リシリ火砕流堆積物の詳細な分布域が明らかになった（公募研究、室蘭工業大学〔課題番号：KOB004〕）。

神戸大学は、鬼界カルデラにおいて調査・探査航海を実施し、長期海底観測機器の設置（図3）とピストンコアラーやドレッジによる試料採取を行った。これまでに取得した反射法地震探査及び長期海底地磁気観測のデータ解析と、堆積物・岩石試料の物質科学的解析を進めた。反射法地震探査データについては、各堆積物層の認定と空間分布の把握を進め、鬼界アカホヤ噴火噴出物と考えられる堆積層の面的広がりと総量を見積もった。また、ピストンコアに含まれる火山灰のガラス化学組成が鬼界アカホヤ噴火の火山灰の特徴と類似することを確認した（神戸大学〔課題番号：KOB001〕）。

(4) 火山現象の解明とモデル化

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。

東京大学地震研究所は、西之島にて衛星テレメータ観測を行い、2019年の噴火活動の推移を広帯域地震および空振観測にて捉え、活動の推移とともに地震波の卓越周波数が低周波数側にシフトしたことから振動軌跡の変化からマグマ供給系の変化および圧力源の移動を推定した(図4、大湊・渡邊, 2020)。また、火山の比較研究のための新たな観測手法の開発を進めており、その一環として吾妻山の麓から山頂近くまで敷設されている光ファイバーケーブルを用いたDAS(分散型音響計測システム)のデータから火山性地震の震源決定と浅部地盤構造の推定を行った。そして、火山性地震の震源決定への有効性と、コーダ波規格化法による地盤特性の推定から数100mスケールの溶岩流や火山地形の分布との一致を見いだした(図5、Nishimura et al., 2021)(東京大学地震研究所[課題番号: ERI_07])。

東北大学大学院理学研究科は、霧島火山新燃岳2011年噴火の石質岩片サンプルを観察・分析し、溶岩ドーム形成におけるマグマの結晶化と自爆性との関係を考察した。その結果、ナノライトの晶出により石基結晶度が5日~45日で9.1 vol%上昇してメルト粘性が増加し、気泡過剰圧が破碎閾値を超えることで溶岩ドームにおける爆発性の獲得が説明できるとした(図6、Mujin and Nakamura, 2020)(東北大学大学院理学研究科[課題番号: THK_04])。

産業技術総合研究所は、桜島火山におけるMulti-GASを用いた火山ガス組成の連続観測、セナ機による繰り返し観測の結果を解析し、火山ガス組成の特徴と活動推移に伴う組成の変化を明らかにした。そして、桜島の火山ガスのCO₂/S比はほぼ一定であるのに対し、SO₂/H₂S比は1-1000と大きく変動し、比が30を超える場合は火山灰放出時に限って観測され、比が1-30となる変動は爆発頻度と相関があることが分かった(産業技術総合研究所[課題番号: AIST06]、Shinohara et al., 2020)。

(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・熱水系の構造の解明

火山地域において、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を通じて、火山活動を支配する場のモデル化を進める必要がある。

海洋研究開発機構と神戸大学は、海洋研究開発機構の研究船「かいらい」によるKR20-11航海により、鬼界海底カルデラを対象に、航走調査と長期海底観測機器の設置、試料採取を行った(図3)(海洋研究開発機構[課題番号: JAMS03]、神戸大学[課題番号: KOBE01]、かいらいKR20-11次研究航海報告, 2020)。

東北大学大学院理学研究科は、過去の火山人工地震探査のデータを用いて多重等方散乱モデルを仮定してP-S散乱係数の推定を行った。そして、阿蘇山、霧島山、磐梯山、岩手山のいずれの火山においても4-8Hz帯と8-16Hz帯においてP-S散乱係数は約0.7 km⁻¹と推定された(図7)(東北大学大学院理学研究科[課題番号: THK_08])。

東京工業大学は、草津白根火山の深さ10 km程度までの3次元比抵抗構造を明らかにす

るために、草津白根火山から半径10 kmの領域で広帯域MT観測を実施した。そして、3次元比抵抗構造モデルの構築を行った結果、深部マグマ溜まりからマグマ性流体の供給路に相当すると思われる低比抵抗構造を見出した(図8)(東京工業大学[課題番号:TIT_03]、Tseng et al., 2020)。

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。

山梨県富士山科学研究所は、山中湖の表層堆積物の放射性炭素年代測定を行い、全有機炭素が表層水中の溶存無機炭素とよく一致する年代を示すこと、リザーバー年代の補正により全有機炭素が堆積物の年代推定に利用可能であることを明らかにした。山中湖南方で実施したトレンチ調査では、過去約4000年間のテフラ層を少なくとも14枚見出し、東麓から北麓までのテフラ層の連続性を確認した。また、富士山麓の古地磁気方位データを蓄積し、ABICを用いて紀元前1000年から西暦1100年までの古地磁気永年変化曲線を作成した(図9)。さらに、宝永山を構成する岩石や赤岩凝灰角礫岩層の全岩化学組成、古地磁気方位がともに1707年宝永噴出物と一致し、宝永山が宝永噴出物の堆積により形成されたことを明らかにした(山梨県富士山科学研究所[課題番号:MFRI_01])。

東京大学地震研究所は、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(東京大学地震研究所[課題番号:ERI_03])。

富山大学は草津白根火山本白根及び白根火砕丘群において地表調査とトレンチ調査を行い、火口の形成年代や噴火様式等を明らかにした(富山大学[課題番号:TYM_01])。

産業技術総合研究所は、雌阿寒岳及び秋田焼山では火口周辺域を含むトレンチ調査を、御嶽山及び日光白根山では地表踏査を実施し、噴火履歴調査を進めた。また、高分解能の噴火履歴を得るために、白山火山及び御嶽火山の岩石試料を対象としたK-Ar及びAr/Ar年代データの比較研究と、10万年前より若い火山噴出物の年代測定を実施した(産業技術総合研究所[課題番号:AIST03])。

イ. モニタリングによる火山活動の評価

火山活動につ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で、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。

北海道大学と京都大学大学院理学研究科は、各種観測データに基づき数年から数10年スケールの中期的な火山活動評価(特にunrest事象の定量的評価)を行うにあたり、ニュージーランドで開発された火山活発化指数(Volcanic Unrest Index)を日本の火山に適用するための検討をし、十勝岳のVUI毎月値を1970年から2019年について算出した(橋本・

他、2020、北海道大学〔課題番号：HKD_04〕、京都大学大学院理学研究科〔課題番号：KUS_02〕）。

北海道大学は、十勝岳、蔵王山、吾妻山、草津白根山、伊豆大島、焼岳にて全磁力観測を行った（北海道大学〔課題番号：HKD_04〕）。

京都大学大学院理学研究科は、北海道駒ヶ岳、有珠山、樽前山、十勝岳、雌阿寒岳、吾妻山、焼岳、御嶽山、阿蘇山、九重山、口永良部島において地震および地殻変動の連続観測を実施した。十勝岳の観測網（青山・他、2020）によって得られたデータを解析した結果、2020年9月14日の傾斜変動に伴って観測された微動の振幅比から震源が浅くなったことが示唆された（図10）。また、機械学習による微小地震検知アルゴリズムを開発して御嶽山の山頂域試験観測点と定常観測点のデータに適用して微小地震の自動検知に成功した（Maeda et al., 2021）（京都大学大学院理学研究科〔課題番号：KUS_02〕）。

東京大学大学院理学系研究科は、簡易トラバース装置を用いて薩摩硫黄島、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、2020年に噴火活動が活発化した諏訪之瀬島において二酸化硫黄放出率が 1000 ± 500 ton/dayであり、放出率が高い時期と低い時期があるが、爆発回数や地震活動との関係は明確でないことが分かった（東京大学大学院理学系研究科〔課題番号：UTS_06〕）。

国土地理院は、GNSSデータに対して時間依存インバージョンの手法を草津白根山、浅間山、伊豆大島、桜島、霧島山に適用し、マグマ溜まりの時間変化を推定した。そして、桜島と霧島の統合解析により桜島と始良カルデラでの体積膨張、霧島での2018年噴火前・噴火時・噴火後の膨張・収縮・膨張がそれぞれ推定された（図11）（国土地理院〔課題番号：GSI_03〕）。

気象庁は、2020年4月からの焼岳付近の群発地震時に異常湧出した焼岳山麓の高温泉の化学組成と安定同位体比の分析を行い、高温泉の異常湧出は焼岳の火山活動と直接的な関係はないことを明らかにした（気象庁〔課題番号：JMA_05〕、Yaguchi, 2020）。

（5）火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

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た火山活動推移モデルを構築する必要がある。

京都大学防災研究所は、インドネシアの火山を対象として研究を進めており、2020年8月に噴火したシナブン火山と2021年1月に噴火したメラピ火山について水蒸気噴火からマグマ噴火に至るまでの10年を超える期間における活動推移を、主に地震活動と地盤変動に着目してまとめた。メラピ火山におけるマグマの貫入速度と噴火規模および様式との関係は、水蒸気噴火の場合は検出限界未満、 $3000 \sim 4000$ m³/dayおよび $380,000$ m³/dayの場合は溶岩ドーム形成噴火、 $3,160,000$ m³/dayの場合はプリニー式噴火に対応していることが分かった（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI06〕）。

京都大学防災研究所は、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。Koike and Nakamichi (2021) は2015年8月15日に発生した群発火山構造的な地震の震源とメカニズムの時空間変化から、地殻の岩石強度が温度および封圧の関数にて浅部から深部へ増大することを考慮してダイクの膨

張過程と地震発生機構との関係を議論した(図12)。Hotta and Iguchi (2021) は、2017年11月13日に発生した南岳爆発に伴う傾斜・ひずみ変化を山頂付近の深さが異なる二つの圧力源と、桜島北部の収縮圧力源にて説明した(図13)。2020年に水準測量と相対重力測定を行い、過去15年の地盤上下変動と重力変化から、桜島中央部において有意な地盤変動はなく、桜島中央部の浅部の質量増加が示唆された(風間・他, 2020、大柳・他, 2020) (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI07])。

東北大学大学院理学研究科は、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について全世界データの系統的解析を行い、大地震の発生による膨張域にある火山噴火活動が数年間において2～3倍程度高まることが分かった(西村・他, 2020)。また、火山性地震の活動度を系統的・定量的に評価するためにETASモデルを震源カタログデータに適用した(前田・他, 2020) (東北大学大学院理学研究科 [課題番号: THK_11])。

公募研究では、大雪山の御鉢平カルデラの山頂部と山麓の堆積物の古地磁気方位測定、層序解析、噴出物分析を行った。その結果、北東山麓と南西山麓に分布する火砕流堆積物と山頂部の層雲峡部層は古地磁気方位が一致し、特徴的に深成岩片を含むことから同じ噴火堆積物であるが、北一北東山麓の火砕流堆積物は古地磁気方位が山頂堆積物と一致しないため御鉢平カルデラ起源ではないことが示唆された(公募研究, 北海道教育大学 [課題番号: KOB006]、Yasuda et al., 2020)。

公募研究では、蔵王火山の御釜の噴火活動について、7枚のテフラ層の年代を決定し、テフラ層の種類の変化を解明した(公募研究, 山形大学 [課題番号: KOB015]、Takebe et al., 2021)。

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。

東京大学地震研究所は、堆積物解析手法の高度化(噴出物の迅速なマッピング、噴出量・噴出率の高精度推定)と、噴出物時系列解析・分析手法の高度化(化学組成、組織、色等の情報取得とその活用)を目指した研究を複数の活動的火山で実施している。霧島新燃岳については前年度から引き続き噴出物の解析を進め、2011年や2018年噴火の解析結果の噴火現象把握や予測への活用について検討するとともに、18世紀享保噴火も踏まえた噴火事象系統樹の作成を進めた。また、阿蘇、諏訪之瀬島、榛名、富士山等の火山においては噴出物の構成物、組成、組織の時系列変化を明らかにする研究を進めた。即時的な噴火現象の把握及び調査の実践の一環として、西之島における2019-2020年噴火の噴出物採取や地形データの取得を、気象研究所や海洋研究開発機構と協力して実施した(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。

気象庁は、2回の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2020年4月と12月の2回、霧島山部会と草津白根山部会を12月にそれぞれ開催し、火山活動の検討を行った。さらに、2021年3月に火山活動評価検討会を開催し、今後の活火山の選定作業の進め方等について検討を行った（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。

気象庁は、草津白根山に埋設型の地震計・傾斜計および空振計を整備するとともに、全国3箇所に火山監視カメラを増設した。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〕）。

東京大学地震研究所は、光計測技術を用いた地震計と重力計を開発して光ファイバで接続し、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おり、小型絶対重力計を開発して蔵王火山に設置して観測を実施するとともに、さらなる小型化を進めた（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_20〕、Araya et al., 2020、新谷, 2020a, 2020b）。

東京大学地震研究所は、2019年度に開発した超軽量高解像度ミュオグラフィ観測システムを桜島火山に設置して観測を開始し、従来よりも短時間に高精細透視画像を取得することに成功した。また、機械学習による噴火判定プログラムを開発して透視画像データに適用することにより、学習データ期間外のデータにおいて7割を超える正答率を得た（図14、Nomura et al., 2020）（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_21〕）。

海上保安庁は海域火山（薩摩硫黄島、口永良部島、口之島、諏訪之瀬島、横当島、西之島、南硫黄島、福德岡ノ場、硫黄島）の定期巡回監視を実施した。さらに、西之島については監視体制を強化し、監視観測を継続している（図15）。また、海域火山基礎情報調査「伊豆東部火山群（手石海丘）」を実施した（海上保安庁〔課題番号：JCG_04〕）。

山梨県富士山科学研究所は、富士山を対象に井戸および湧水における水位および水質観測と広域の重力観測を実施した。その一環として、により富士北麓地域の水理地質構造の概要がとりまとめられた（内山, 2020）。また、山梨県富士山科学研究所内基準点の国土地理院による1等重力点としての運用が開始され、同点における連続重力観測と5合目における繰り返し重力測定が行われた（山梨県富士山科学研究所〔課題番号：MFRI02〕）。

これまでの課題と今後の展望

「火山」計画推進部会は、41の研究計画課題に加えて、公募研究7課題の計48課題をかかえる地震火山観測研究計画における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役割として重要である。令和2年度は部会に関係する総合研究グループの研究集会を開催した。桜島大規模噴火総合研究グループ研究集会を兼ねて桜島火山観測所60周年記念研究集会を11月10日・11日に鹿児島市で開催したほか、東北大学大学院理学研究科の研究課題〔課題番号：THK_11〕と高リスク小規模火山噴火総合研究グループの合同研究集会を1月12日・15日にオンラインで開催した。そして、部会全体の研究集会を3月3日・4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進める形が定着したと言える。

過去10年間の計画ならびに現計画における観測研究では多項目観測を中心に据えて実施しており、現計画では観測から得られる多項目パラメータによる火山活動推移モデルの構築に軸足を置いている。部会のそれぞれの課題における研究の深化に伴い、個々の課題から出た成果と関連する他課題の成果の比較を通じて、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のが令和2年度の成果の特徴である。

東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_02〕の成果から、富士山御殿場岩屑なだれの時期前後で噴出物の石基組織に顕著な変化が観察されているが、この変化の原因として岩屑なだれ（山体崩壊）の発生により地殻への荷重が急減し、マグマが浮力を獲得した可能性が指摘されている。これは組成比という物質化学パラメータが荷重という火山構造と関係することを示唆する。また、東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_03〕の成果から、伊豆大島の中小規模噴火のマグマ中の斑晶斜長石の割合が、噴出量と逆相関の関係をもつことが見出された。これは斜長石斑晶量という物質化学パラメータが噴出量という物理量と関係していることを示唆している。京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI07〕の成果から、桜島において2017年終わり以降の南岳噴火活動期は、火山灰量は少ないが、二酸化硫黄放出率は高い状態にあり、その間の桜島中央部の地盤変動はほとんど変化していないにもかかわらず重力が増加していることが分かった。これはマグマからの脱ガスの進行と脱ガス後のマグマ密度増加を示唆しており、東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_21〕のミュオグラフィからイメージされた2019年から2020年の南岳火口直下における密度増加がこれに対応していると考えられる。このように火山灰量や重力変化量やガス放出率といった物理量と、密度分布といった火山構造との関係が見えてきた。

今後は、観測から得られる物理パラメータ、噴出物分析から得られる物質化学パラメータ、そして火山構造の相互の関係についての議論をさらに深め、火山活動の状態や分岐・遷移の理解、火山活動推移モデル構築に反映させていきたい。

この一年においては顕著な火山災害は無かったが、これまでの活動度を考慮すれば今期の計画中に国内の火山で災害をおよぼす噴火はあると考えるのが自然である。そのような緊急性の高い噴火が発生した場合に、集中的に調査・観測を実施することができる研究体制を強化するために、本部会は地震・火山噴火予知研究協議会企画部・戦略室と連携し、特別研究促進費による研究の立ち上げと実施を主導する。同時に、本部会は次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの火山噴火緊急観測部会と連携し、内閣府の火山

防災に関わる調査企画委員会が検討してきた研究の方向性を踏まえた現地調査・観測の実施に貢献する。令和3年度は、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）の折り返し点であり、中間評価を受けるとともに次期計画の立案に着手すべき時期である。また、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの後半5年間の始まりでもあり、こちらについても、次期プロジェクトを見据える時期となっている。

成果リスト

- 青山 裕・田中 良・橋本武志・村上 亮・成田翔平, 2020, 十勝岳の火口近傍における力学観測：序報, 北海道大学地球物理学研究報告, 83, 25-48, doi:10.14943/gbhu.83.25.
- Araya, A., K. Kasai, M. Yoshida, M. Nakazawa and T. Tsubokawa, 2020, Evaluation of systematic errors in the compact absolute gravimeter TAG-1 for network monitoring of volcanic activities, International Association of Geodesy Symposia, Springer, Berlin-Heidelberg, doi:10.1007/1345_2020_107.
- 新谷昌人, 2020, 光ファイバーネットワークを用いた火山活動監視のための重力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, 26, 205-207.
- 新谷昌人, 2020, 重力加速度計測による地殻変動・火山活動観測技術, 電子情報通信学会誌, 103, 9, 938-944.
- Conway, C.E., Chamberlain, K.J., Harigane, Y., Morgan, D.J., Wilson, and C.J.N., 2020, Rapid assembly of high-Mg andesites and dacites by magma mixing at a continental arc stratovolcano. *Geology*, 48(10), doi:10.1130/G47614.1.
- 橋本武志・青山 裕・田中 良・大倉敬宏・森 俊哉, 2020, 十勝岳の火山活発化指数(VUI)基準の試作, 日本火山学会2020年度秋季大会, 02-20.
- 石崎泰男・濁川 暁・亀谷伸子・吉本充宏・寺田暁彦, 2020, 草津白根火山, 本白根火砕丘群の地質と形成史, 地質学雑誌, 126(9), 473-491, doi:10.5575/geosoc.2020.0022.
- かいいいKR20-11次研究航海報告, 2020, On Board Cruise Report.
- 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, 白根火砕丘群南麓の白根南火口列と弓池マールの噴火様式と活動年代, 火山, 66(1), 1-19, doi:10.18940/kazan.66.1_1.
- 風間卓仁・山本圭吾・大柳 諒・岡田和見・大島弘光・井口正人, 2020, 桜島火山における繰り返し相対重力測定(2019年5月~2020年3月), 京都大学防災研究所年報, 63B, 108-117.
- Koike, M. and H. Nakamichi, 2021, Dike inflation process beneath Sakurajima volcano, Japan, during the earthquake swarm of August 15, 2015, *Front. Earth Sci.* 8, 600223, doi:10.3389/feart.2020.600223.
- Kuritani, T., Nakagawa, M., Nishimoto, J., Yokoyama, T. and Miyamoto, T., 2020, Magma plumbing system for the Millennium Eruption at Changbaishan volcano, China: constraints from whole-rock U-Th disequilibrium, *Lithos*, 366-367, 105564, doi:10.1016/j.lithos.2020.105564.
- 前田裕太, 2020, 気象庁一元化震源とETASモデルによる火山活動定量化の試み, JpGU-AGU Joint Meeting, SVC45-P37.

- Maeda, Y., Y. Yamanaka, T. Ito and S. Horikawa, 2021, Machine learning based detection of volcano seismicity using the spatial pattern of amplitudes, *Geophys. J. Int.*, 225, 416-444, doi:10.1093/gji/ggaa593.
- 前野深・吉本充宏, 2020, 西之島噴火による地形・地質・噴出物の特徴とその変化, *小笠原研究*, 46, 37-51.
- Mujin, M. and M. Nakamura, 2020, Late-stage groundmass differentiation as a record of magma stagnation, fragmentation, and rewelding, *Bull. Volcanol.*, 82, 48, doi:10.1007/s00445-020-01389-1.
- 西村太志, 2020, 大地震による火山噴火の誘発の要因, *日本火山学会2020年秋季大会*, 02-18.
- Nishimura, T., K., Emoto, H. Nakahara, S. Miura, M. Yamamoto, S. Sugimura, A. Ishikawa and T. Kimura, 2021, Source location of volcanic earthquakes and subsurface characterization using fiber-optic cable and distributed acousting sensing system, *Sci. Rep.*, 11, 6319, doi:10.1038/s41598-021-85621-8.
- Nomura, Y., M. Nemoto, N. Hayashi, S. Hanaoka, M. Murata, T. Yoshikawa, Y. Masutani, E. Maeda, O. Abe and H.K.M. Tanaka, 2020, Pilot study of eruption forecasting with muography using conventional neural network, *Scientific Reports* 10, 5272, doi:10.1038/s41598-020-62342-y.
- Ohashi, M., Ichihara, M., Maeno, F., Kennedy, B. and Gravley, D., 2020, Quantitative measurement of bubble textures in pumice clasts using a digital stereo microscope with low-angled ring illumination, *Earth Planet. Space*, 72, 185, doi:10.1186/s40623-020-01320-0.
- 及川輝樹・谷健一郎, 2020, 伊豆諸島, 利島火山の新期活動の年代:¹⁴C年代値と地形判読を基に, *火山*, 65, 83-87, doi:10.18940/kazan.65.3_83.
- 大湊隆雄・渡邊篤志, 2020, 2019年西之島における地震・空振観測, *小笠原研究*, 46, 53-68.
- 大柳 諒・風間卓仁・山本圭吾・井口正人, 2020, 桜島火山における長期的重力増加: 1975年～1999年, *日本火山学会2020年度秋季大会*, 02-14.
- 小沢慎三郎・矢来博司, 2020, 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10年次), *国土地理院調査研究年報*.
- Shinohara, H., R. Kazahaya, T. Ohminato, T. Kaneko, U. Tsunogai and M. Morita, 2020, Variation of volcanic gas composition at a poorly accessible volcano: Sakurajima, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 407, doi:10.1016/j.jvolgeores.2020.107098.
- Tajima, Y., Nakada, S., Maeno, F., Huruzono, T., Takahashi, M., Inamura, A., Matsushima, T., Nagai, M. and Funasaki, J., 2020, Shallow magmatic hydrothermal eruption in April 2018 on Ebinokogen Ioyama Volcano in Kirishima Volcano Group, Kyushu, Japan, *Geosciences*, 10, 183, doi:10.3390/geosciences10050183.
- Takebe, M., Y. Nishi and M. Ban, 2021, Evolution of the calc-alkaline magma feeding system of the Komakusadaira pyroclasts in Zao Volcano, NE Japan, *Bull. Volcanol.*, 83, 12, doi:10.1007/s00445-020-01430-3.
- Tseng, K-H., Y. Ogawa, Nurhasan, S.B. Tank, N. Ujihara, Y. Honkura, A. Terada, Y. Usui and W. Kanda, 2020, Anatomy of active volcanic edifice at the Kusatsu-Shirane

volcano, Japan, by magnetotellurics: hydrothermal implications for volcanic unrests, Earth Planet. Space, 72, 161, doi:10.1186/s40623-020-01283-2.

内山 高, 2020, 富士火山北麓および富士五湖の水文地質構造と水文学的特徴, 地学雑誌 129, 697-724, doi:10.5026/jgeography.129.697.

Yaguchi, M., 2020, Abnormal discharge of high-temperature hot spring water observed at the abandoned well in the Okuhida hot spring area during the earthquake swarm occurred at Gifu-Nagano district, central Japan, Journal of Hot Spring Sciences, 70, 70-79.

山元孝広・中野 俊・石塚吉浩・高田 亮, 2020, 新期富士火山降下火砕物の再記載と噴出量の見積もり, 地質調査研究報告, 71, 517-580.

Yasuda, Y., E. Sato and K. Suzuki-Kamata, 2020, Paleomagnetic constraints on a time-stratigraphic framework for the evolution of Ohachidaira volcano and the summit caldera, central Hokkaido, Japan, Bull. Volcanol., 82, 71, doi:10.1007/s00445-020-01403-6.

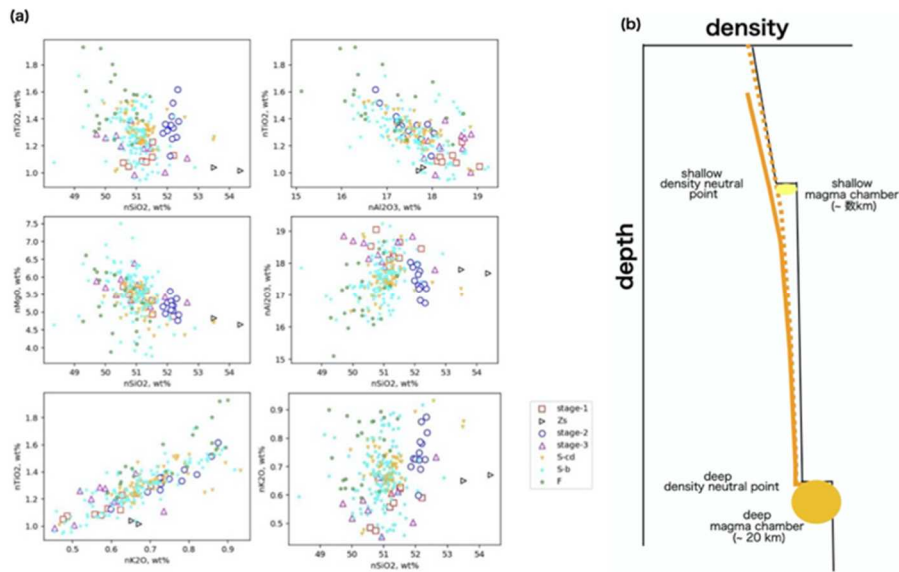


図1. 富士山における全岩化学組成と密度成層から見たマグマ供給系の模式図（東京大学地震研究所[課題番号：ERI_02]）

a：全岩化学組成（F：富士宮期，S-b：須走b期，S-cd：須走cおよびd期，Zs：砂沢噴火）。

b：密度成層から見たマグマ供給系の模式図。黒線は地殻と山体構成物の密度、橙色破線は深部から上昇するマグマの密度変化を示す。表層荷重が減少すると橙色破線から橙色実線のように上昇するマグマの密度は変化する。

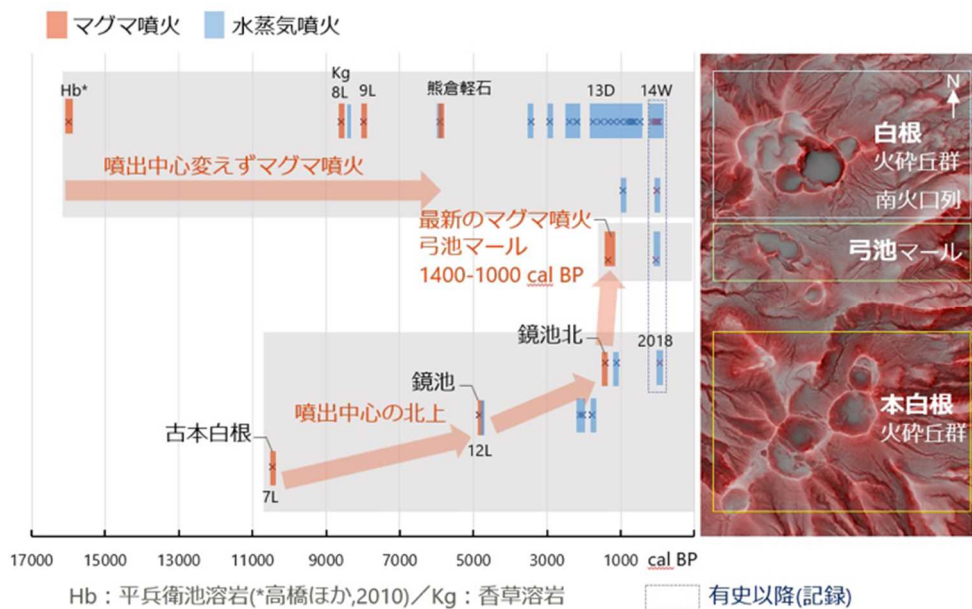


図2. テフラ層序から見た草津白根火山の完新世噴火履歴のまとめ（富山大学 [課題番号：TYM_01]）

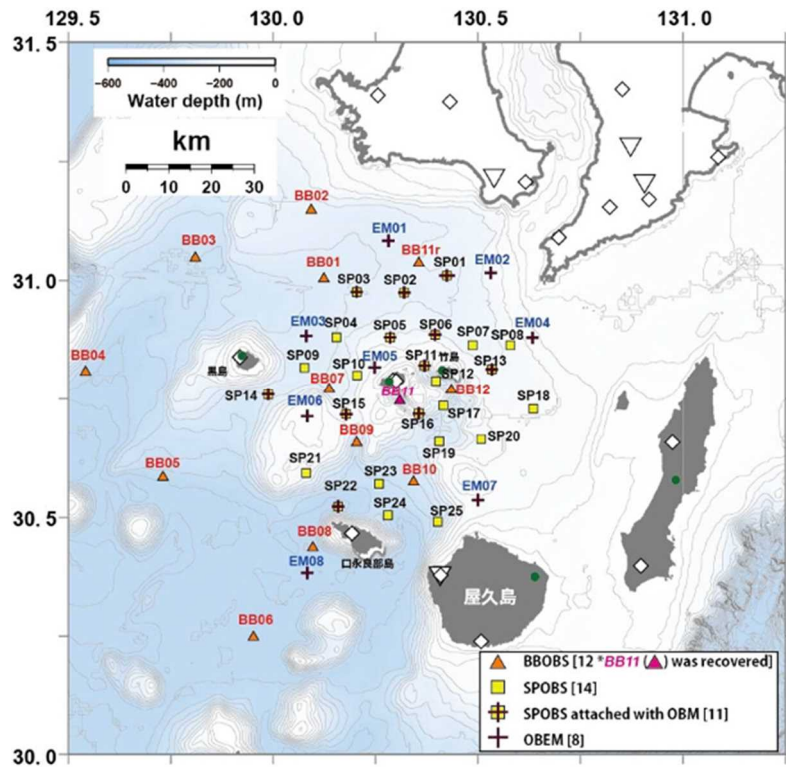


図 3. 広帯域海底地震計(BBOBS)・海底電位差磁力計 (OBEM) ・海底磁力計(OBM) の設置地点 (神戸大学 [課題番号: KOBE01])

かいいいKR20-11次研究航海報告 (2020) On Board Cruise Reportにもとづく。同航海で設置された海洋研究開発機構所有の機器も示されている。

西之島2019-2020噴火時の、粒子軌道・卓越周波数の時間変化

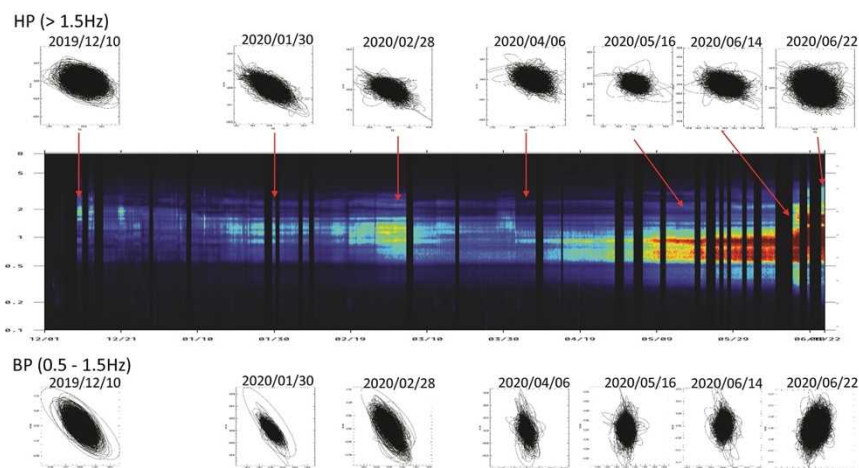


図 4. 西之島の地震計で得られたランニングスペクトルと粒子軌道 (東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_07]、大湊・渡邊, 2020)

- 1 段目 : 1.5 Hz のハイパスフィルタを適用した場合の粒子軌道
- 2 段目 : ランニングスペクトル
- 3 段目 : 0.5-1.5 Hz のバンドパスフィルタを適用した場合の粒子軌道

光ファイバーケーブルとDAS(分散型音響計測システム)による 火山性地震の震源決定

光ファイバーケーブルに沿った近接測定点の着信時差と振幅分布を用いて吾妻山の火山性地震6個の震源決定を行った。
P波、S波の着信時により決められている震源とよい一致を示す。

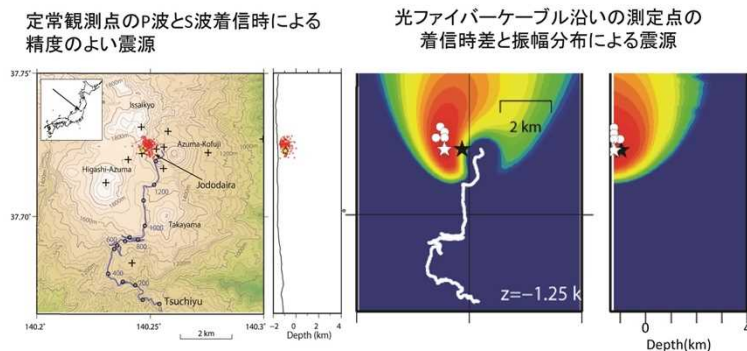


図5. 光ファイバーとDASによる火山性地震の震源決定 (東京大学地震研究所[課題番号:ERI_07]、Nishimura et al., 2021)

左: P波、S波の読み取り値を用いた従来手法で得られた震源 (赤点)
右: 光ファイバーケーブルのデータによる震源

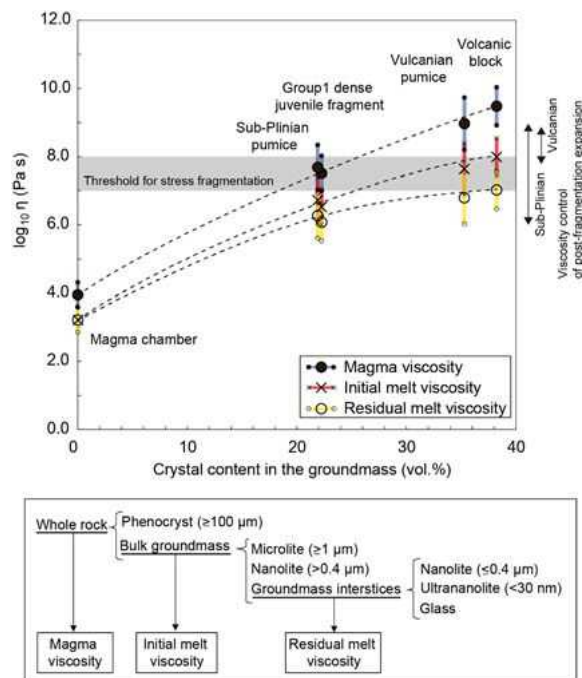


図6. 結晶量と粘性の関係 (上段) および石基ナノライトの新燃岳マグマの粘性上昇模式図 (下段) (東北大学大学院理学研究科[課題番号:THK_04]、Mujin and Nakamura, 2020)

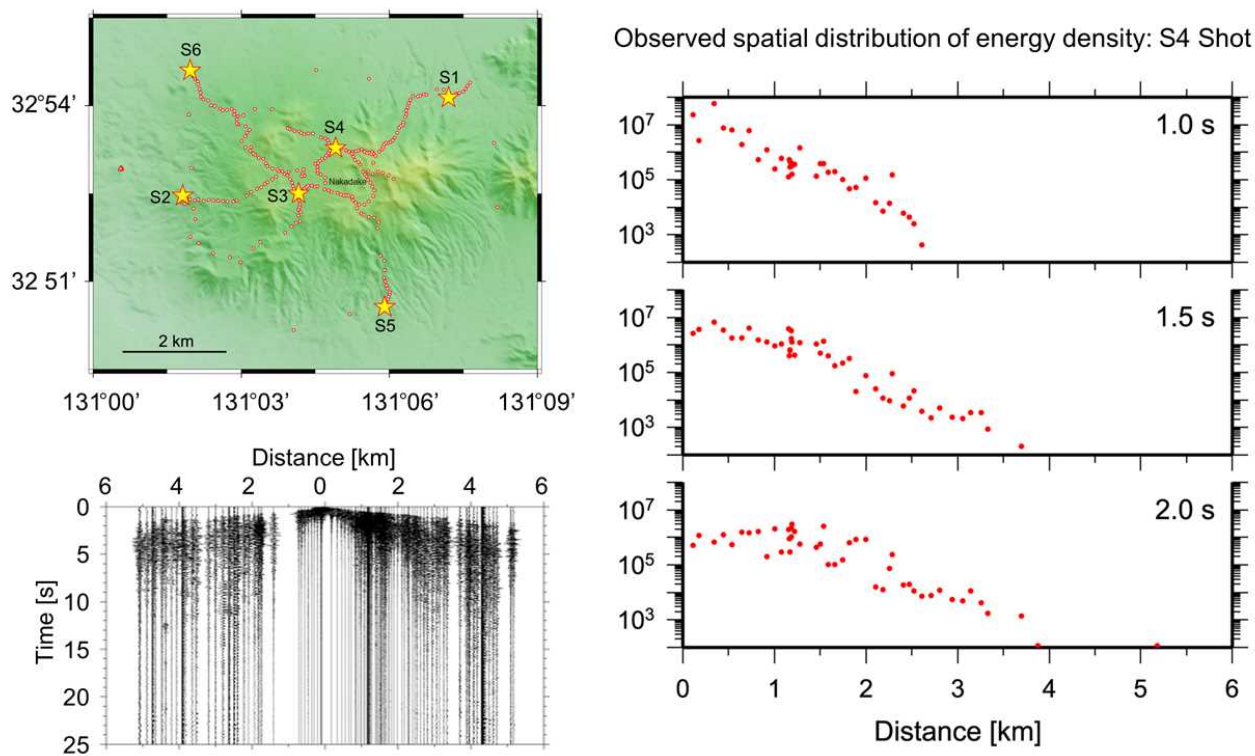


図7. 阿蘇山における人工地震火山体構造探査記録を用いた変換散乱係数推定結果（東北大学大学院理学研究科[課題番号:THK_08]）

左図（上段）：観測点（赤丸）と発破点（星印）の分布

左図（下段）：S4発破のペーストアップ記録

右図：各時刻におけるエネルギー密度空間分布（S4発破）

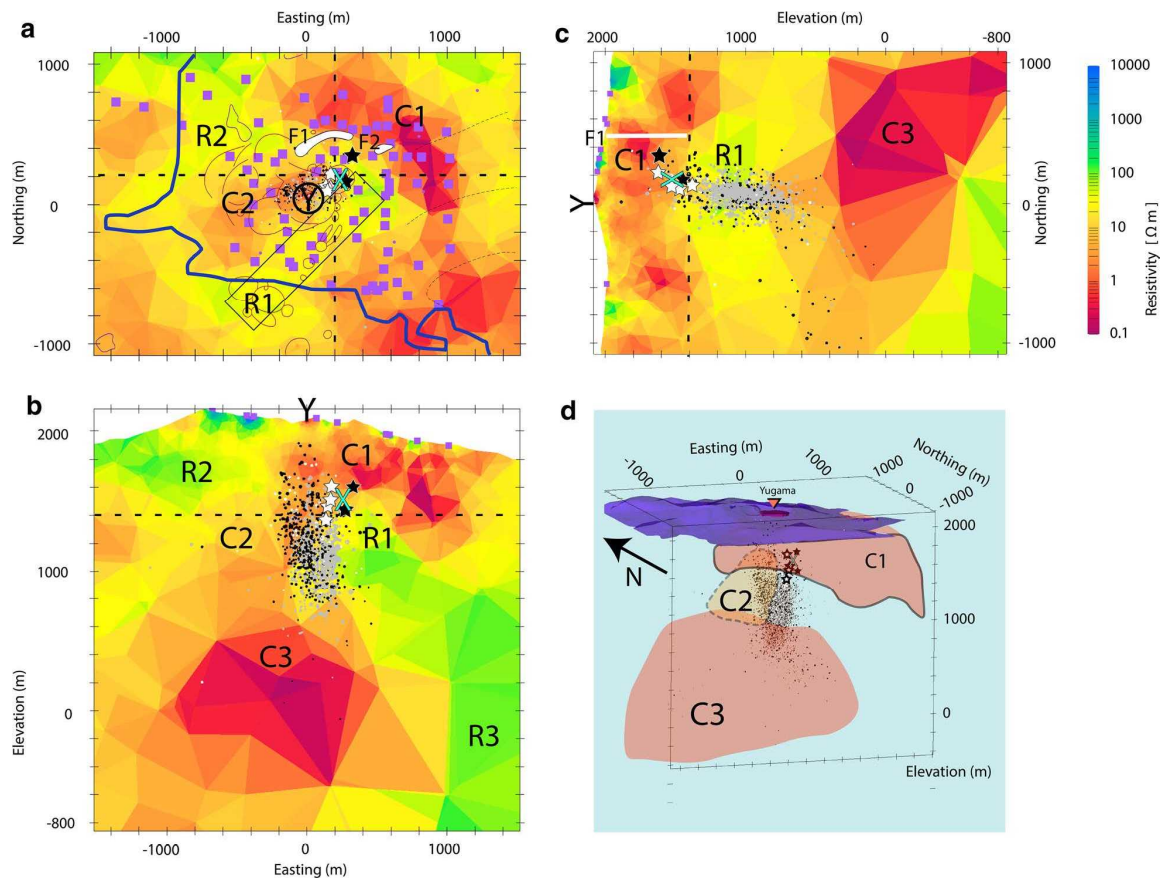


図 8. 草津白根火山の比抵抗構造 (東京工業大学[課題番号: TIT_03])

- a: 標高1400 mの水平断面における比抵抗構造
- b: 東西断面 (図aの横の破線) における比抵抗構造
- c: 南北断面 (図aの縦の破線) における比抵抗構造
- d: 比抵抗構造に見られる低比抵抗体の3次元表示

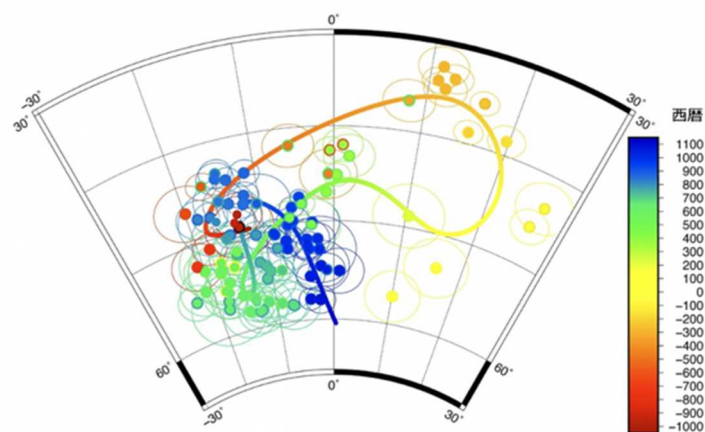


図 9. 富士山の古地磁気方位測定結果と古地磁気永年変化曲線 (山梨県富士山科学研究所 [課題番号: MFRI01])

過去1万年に噴火したと推定されている火山噴出物を176地点で採取・分析した111データに基づきABICが最小となるような曲線を描画したもの。

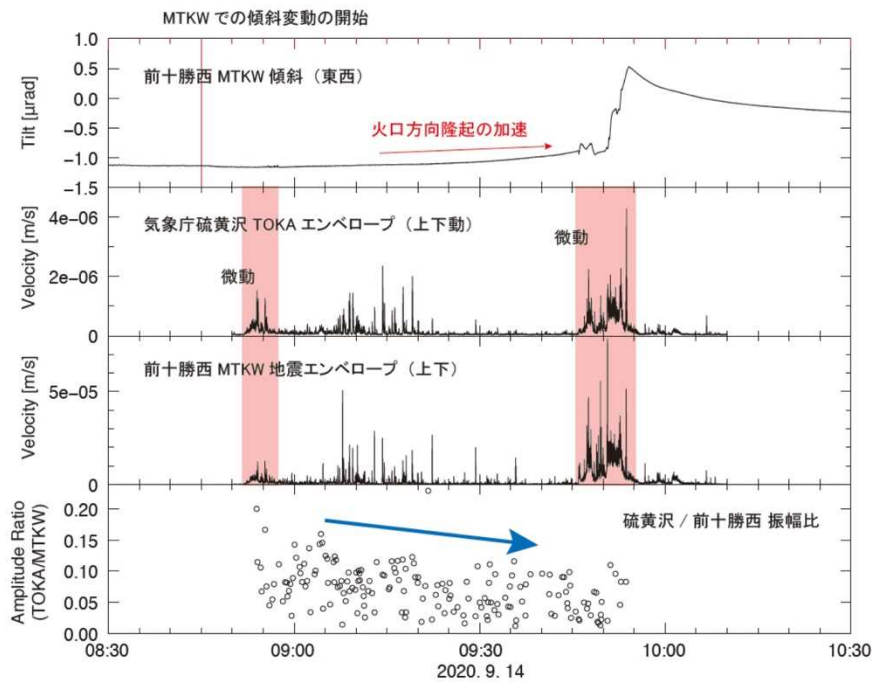


図10. 9月14日の傾斜変動イベント（京都大学大学院理学研究科[課題番号：KUS_02]）

- 1 段目：北大前十勝西観測点で得られた傾斜東西動
- 2 段目：気象庁硫黄沢（山麓）の地震波形高周波エンベロープ
- 3 段目：前十勝西（火口近傍）の地震波形高周波エンベロープ

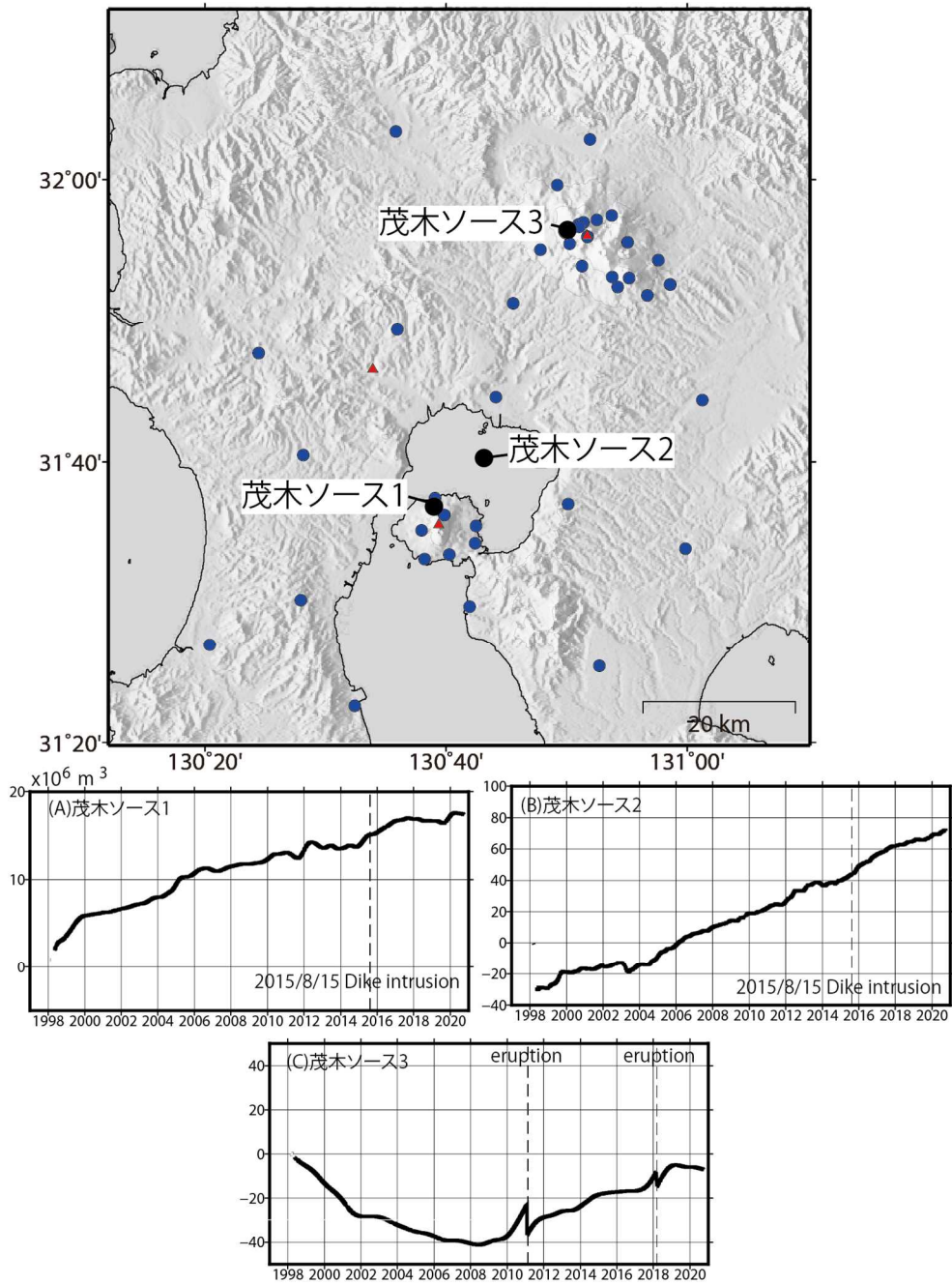


図11. 霧島山と桜島の配置図と茂木ソースの体積変化（国土地理院[課題番号：GSI_03]）
 上段：霧島山と桜島の配置と茂木ソースの位置
 下段：茂木ソースの体積変化。（A）桜島直下、（B）始良カルデラ直下、（C）霧島山直下

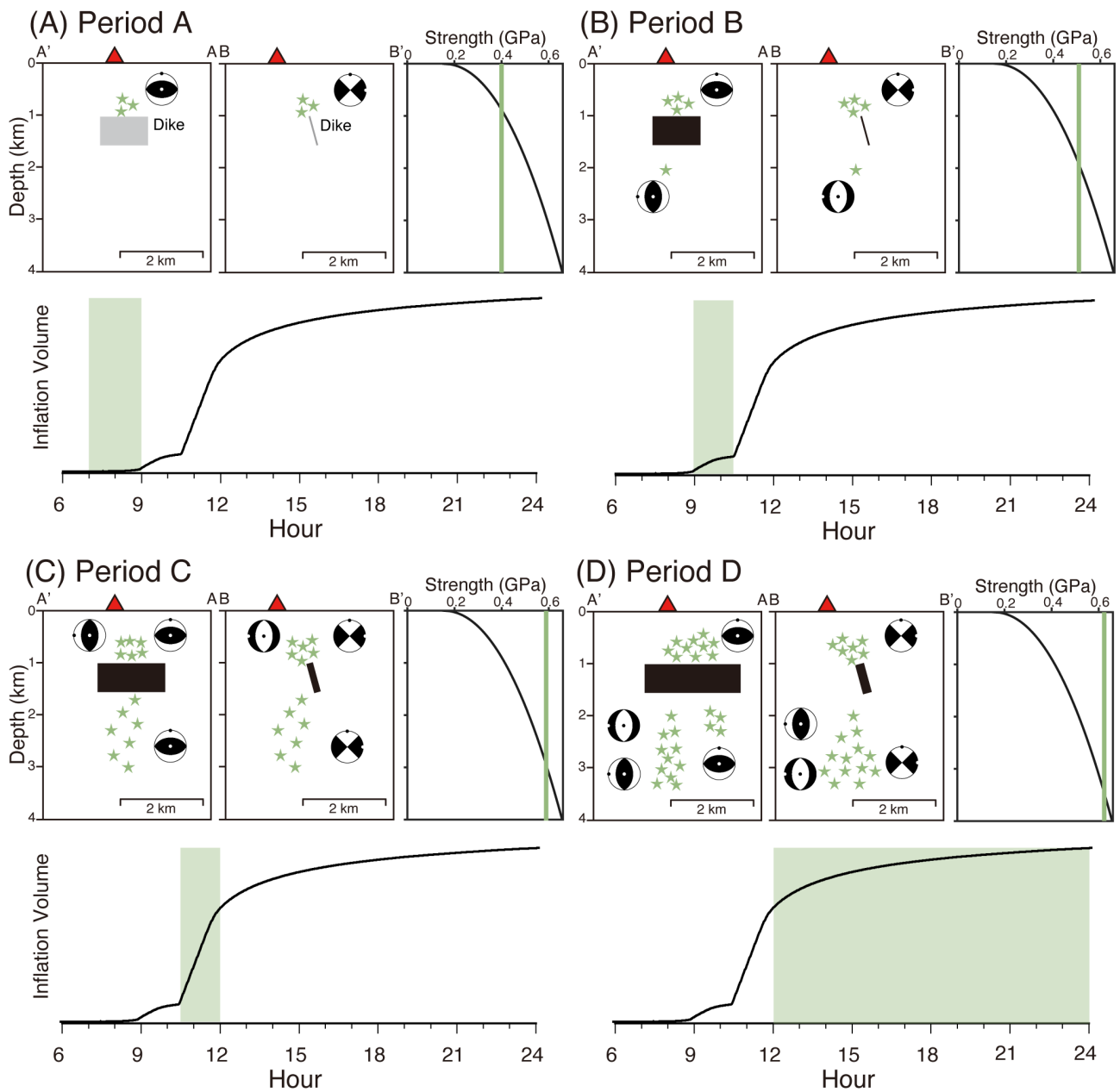


図12. 2015年8月15日のダイク膨張による桜島の群発地震発生概念図（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI07]、Koike and Nakamichi, 2021）

(A) 7時～9時、(B) 9時～10時30分、(C) 10時30分～12時、(D) 12時～24時

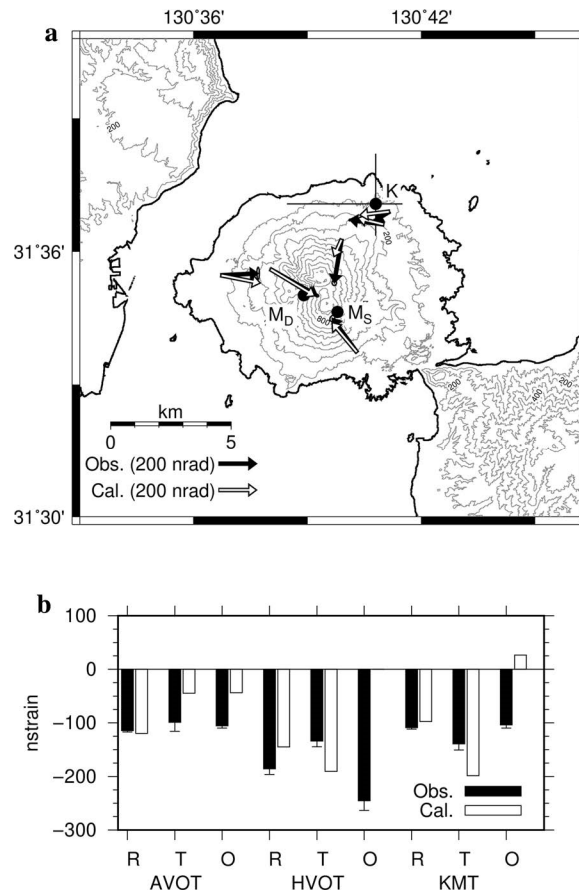


図13. 南岳爆発に伴う地盤変動のモデリング結果（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI07]、Hotta and Iguchi, 2021）

上段：3つの球状圧力源の位置と傾斜変化ベクトルのフィッティング

下段：ひずみ変化のフィッティング

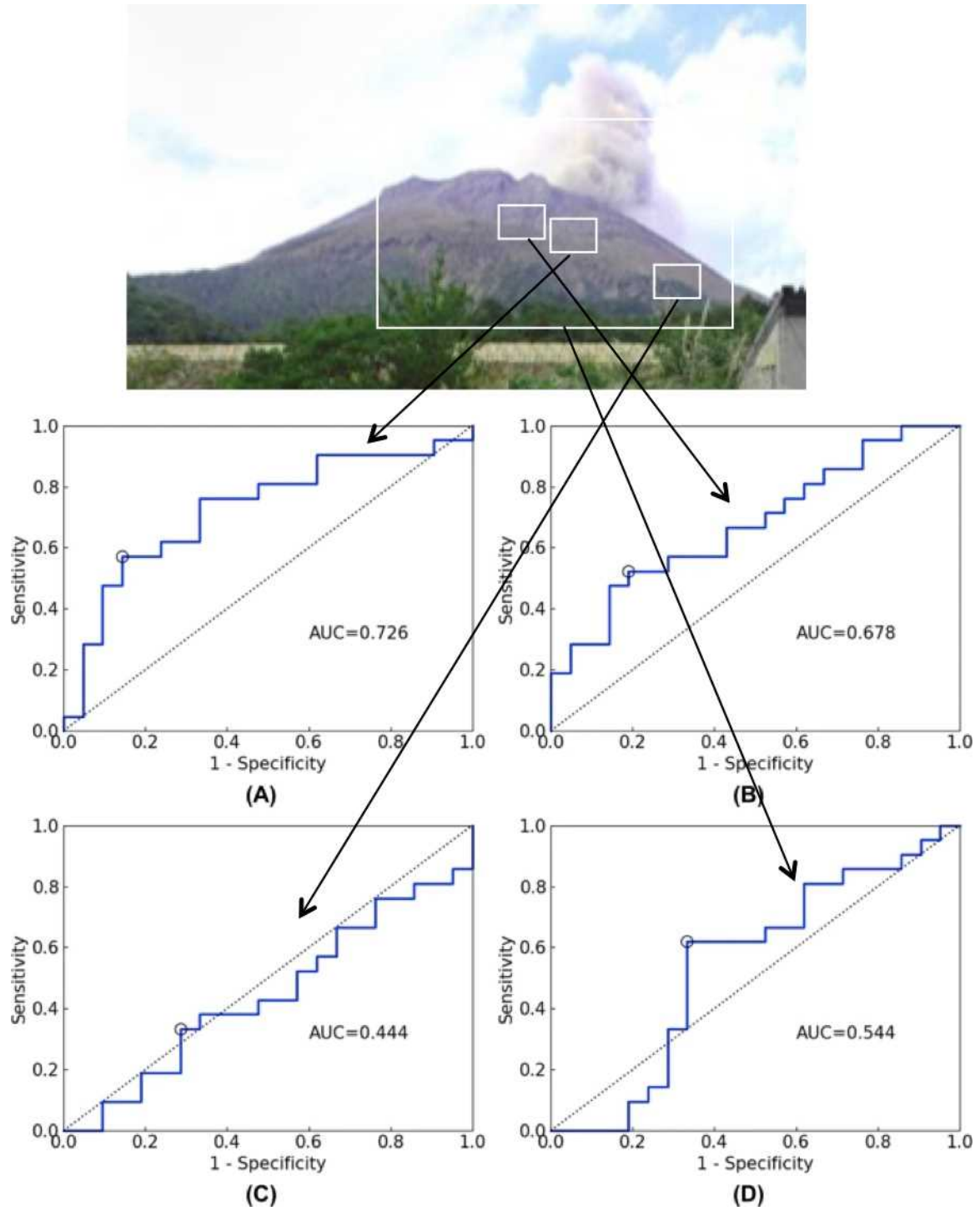


図14. 機械学習による噴火判定プログラムを学習データ期間外のデータに提供することにより得られたReceiver Operating Characteristic曲線（東京大学地震研究所[課題番号: ERI_21]、Nomura et al., 2020）



図15. 海域火山の定期巡回監視観測により捉えられた西之島の噴火の様子（海上保安庁
[課題番号：JCG_04]）