

## 2 (6) 高リスク小規模火山噴火

「高リスク小規模火山噴火」総合的研究グループ長 寺田暁彦  
(東京科学大学総合研究院多元レジリエンス研究センター)

### はじめに

火口周辺が観光地化されている火山が突然噴火した場合、たとえそれが小規模であっても大きな災害となり得る。しかし、そのような小規模噴火を観測に基づいて予測することは一般に困難である。また、このような高リスク小規模噴火の研究には様々な困難が伴う。例えば、火山により活動の特徴や噴火履歴が異なるうえ、火口周辺の土地利用状況、あるいは火山に対する知識・考え方も地域により様々である。すなわち、高リスク小規模噴火による被害を低減させるためには、各地域の実情をよく理解したうえで、各地域に合わせた観測方法および情報提供方法を研究する必要がある。そこで本グループでは、各火山にて物理観測に基づき現象理解を進めることを基軸に据えつつも、地球化学、地質学、および社会科学的な手法を分野横断的に適用することで、観測研究から社会への情報伝達までを研究対象とする。

本研究グループは6つの研究課題および4つの公募研究課題から構成される。これら成果を整理するために、草津白根山にて構築された概念モデル (Terada et al., 2025) を代表的モデルとして、深度別に説明する (図 1)。最後に、社会に対する取り組みについて述べる。

### 本年度の実施内容

#### ・ 1 階：深部から熱水貯留域

箱根火山では、定常観測網から得られる地震動振幅を図化し、そこへ画像認識技術を応用する新手法が開発された。また、機械学習に基づく地震波初動読取り技術の高度化が進んだ。以上により、深部から熱水貯留域周辺へ至る微小地震の活動度や発生位置を高精度かつ短時間で求めらえるようになった (東京科学大学 [課題番号: TIT\_01])。

草津白根山では、現地採取した火山ガスの  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  や He 安定同位体を繰り返し測定することで、マグマ起源流体の関与が議論された (東京科学大学 [課題番号: TIT\_01])。同様のガス採取および分析は硫黄山 (霧島火山) や箱根山でも繰り返し実施され、マグマ起源流体の関与の増減が示された (気象研究所 [課題番号: KOB016])。

このように現地採取されたガスの組成分析には、専門的技術と時間が必要である。この課題を解決するために、新しい  $\text{CO}_2$  濃度分析手法が開発された。この結果、収率 99% を達成しつつ、分析時間を従来の半分に短縮した (図 2, Yaguchi and Ohba, 2024) (気象研究所 [課題番号: KOB016])。

これに対して、自動測定装置を用いた試みも実践された。箱根火山では  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  の現地自動連続観測装置が稼働し、その変化が深部膨張や浅部群発地震に関係していることが指摘された (東京科学大学 [課題番号: TIT\_01])。

#### ・ 2 階：熱水貯留域周辺

各火山で多項目モニタリング観測が実施された。例えば草津白根火山では、物理観測と火山ガス・温泉等の多項目観測を継続した結果、2024年5月以降、2014・2018年と同様

のマグマ起源流体の供給量増加が捉えられた（東京科学大学〔課題番号：TIT\_01〕）。阿蘇火山では、ドローンを用いた地球化学的モニタリング測定が試行された。その結果、熱水系の化学的状態を反映する  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  や  $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$  が求められ、現状は静穏期に相当すると評価された。また、ドローンで採取された火山ガスの  $\delta^{18}\text{O}$  と  $\delta\text{D}$  分析値は、地下熱水系で分岐したと思われる2種類の流体の存在を示していた（京都大学理学研究科〔課題番号：KUS\_03〕）。

新たな技術開発も進められた。人工電流による地下浅部比抵抗値の時間変化を検出する試みが草津白根山で実施された。本年度は、時間変化を計算するための参照モデルが示され、特に浅部の空間分解能が従来モデルよりも大幅に向上した（図3, Ishizu et al., 2025）（九州大学〔課題番号：KOB015〕）。同様に、比抵抗構造の時間変化を検出するために実績のある ACTIVE による繰り返し測定データが阿蘇火山で蓄積された（京都大学理学研究科〔課題番号：KUS\_03〕）。

蔵王火山では、特殊な火山弾に対する岩石学的検討がなされた。その結果、上昇してきたマグマが熱水系構成岩石を溶解させ、両者が混合するという従来まで想定されていなかったプロセスが示された。この知見は、噴火前に観測される物理・化学データの解釈にも影響するだろう（山形大学理学部〔課題番号：KOB017〕）。

#### ・ 3階：熱水貯留域から地表へ

蓄積された流体が地表へと至る過程について新知見が得られた。草津白根山では、Sentinel 衛星が取得した SAR 画像を解析した結果、同山でこれまでに知られていなかった圧力源が、熱水貯留域よりも更に浅部に求められた（東京科学大学〔課題番号：TIT\_01〕）。

さらに、草津白根山にて試行された新しい観測手法として、土壌気体水銀放出率分布が測定された。その結果、破碎帯に相当すると思われる高水銀放出帯が見出された。これは、熱水貯留域から地表へと至る通路かも知れない（東京科学大学〔課題番号：TIT\_01〕）。熱水系火山でよく認められる土壌拡散  $\text{H}_2\text{S}$  測定手法についても、測定ダイナミックレンジ改善などの改良が進んだ（東京大学理学系研究科〔課題番号：UTS\_06〕）。

噴火前に進行すると思われる流体流路閉塞過程を解明する新しい試みが進められた。御嶽山では、2014年噴火で放出された岩塊に注目して、岩相や構成粘土鉱物、その3次元構造をCT撮影するなどの基礎分析が進んだ（名古屋大学大学院環境学研究科〔課題番号：KOB014〕）。

#### ・ 大気：地表からの放出と運搬、堆積

阿蘇火山では、微動、空振観測等により地表面付近での諸現象がモニタリングされた。過去観測データを再検討することで、特に火口湖面の動揺が、微動・空振データとしてどのように現れるか理解が進展した（京都大学理学研究科〔課題番号：KUS\_03〕）。

ドローンを用いた MultiGAS 測定技術向上の取り組みが、十勝岳や阿蘇山をテストフィールドとして進められた。その結果、主要ガス成分5種を測定する高性能センサで構成された装置の重量を 1.5 kg まで軽量化させた。更に、 $\text{H}_2\text{S}$  センサの鉛直アレーを組んでドローンに吊下することで、従来は困難だった  $\text{H}_2\text{S}$  放出量測定を可能とした。今後、これらの技術は水蒸気噴火を起こす火山のモニタリングに活用されてゆくだらう（東京

大学理学系研究科〔課題番号：UTS\_06〕）。

小規模噴火履歴を地質学的に復元するための新しい手法として、湖沼堆積物のコアサンプルが草津白根山で採取された。各元素の時間変動が分析されており、詳細な解析が待たれる。また、阿蘇火山でも新しい手法が適用されている。すなわち、マグマ噴火で放出されたテフラの熱磁気分析が行われ、岩石磁気学的特徴が噴火により異なることを見出した。その理由を解明できれば、噴火発生条件へ新たな拘束を与えられるだろう（富山大学〔課題番号：TYM\_03〕）。

#### ・ 社会との関わり

箱根山（神奈川県温泉地学研究所、およびオンライン）では、研究者と行政機関を一堂に会したシンポジウムを開催し、110名の参加者を集めた。草津白根山では草津町役場において草津町長自らが遠隔操縦型ドローンを飛行させ（図4、寺田・田村、2025）、同火山の状況把握を行うとともに、情報共有方法の課題について意見交換した（東京科学大学〔課題番号：TIT\_01〕）。

御嶽山では登山者を対象としたアンケート調査を実施した。その結果は、彼らに火山に関する基本的知識が不足していることを示していた。その一方で、登山者の多くは火山情報に関心を持ち、噴火警戒レベルの存在を認識している。効率的な情報伝達の仕組みの構築、開発が急務である（名古屋大学〔課題番号：NGY\_07〕）。

阿蘇山では、地域のステークホルダーが火山状況を随時把握するための VUI（火山活発化指数）評価準備を進めた。本年度、従来の VUI 算出項目に全磁力データを加えたことで、自動化が可能な項目の実装は完了した（京都大学理学研究科〔課題番号：KUS\_04〕）。

アウトリーチ活動も盛んに行われている。本年度は、全課題で合計58件が実施され、のべ1,000人以上と関わることができた。内容は講演、現地見学、施設案内など多岐にわたり、その対象者も地域住民や小中学校生、行政、報道機関など多様であった（図5）（〔課題番号：全課題〕）。

#### これまでの課題と今後の展望

観測に基づき地下の状態変化が想像できるようになってきた。しかし、噴火発生に至る契機は何か、そのシグナルは何かという根幹部分には十分に迫られていない。また、各火山で状況が大きく異なり、火山ごとに担当研究者の構成が変わることも、本グループの研究体制を複雑にしている。

このような状況においては、情報共有を深め、各研究者の考え方を整理し、取り組むべき課題を整理することが有効であろう。例えば2025年1月に実施した研究集会では、専門分野の異なる研究者において、水蒸気噴火に関する認識や研究の方向性の違いが浮き彫りとなっている。

その一方で、火山の現状を把握する技術は着実に進展した。現状において到達できている成果を社会に伝え、いかに有効活用されるかまでを研究目標に含めることが、各研究者に求められる。各機関で実施されているアウトリーチ活動（図5）は、そのような取り組みの一助になるであろう。

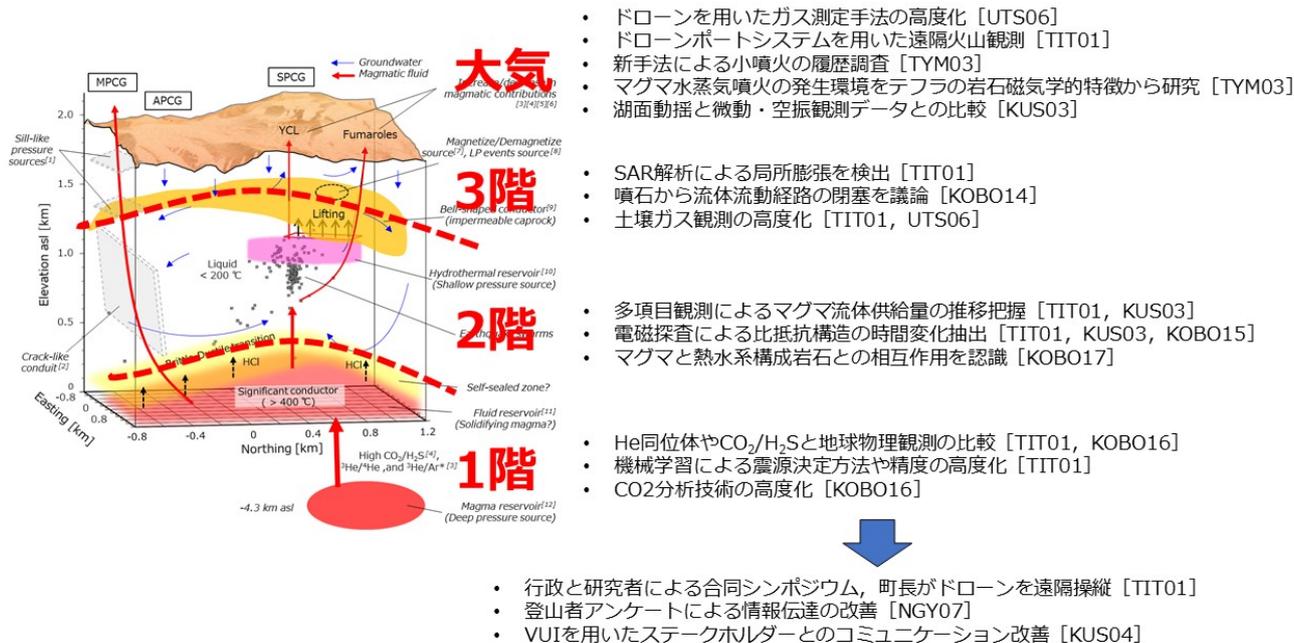


図 1. 本年度の主要な各研究成果を、水蒸気噴火発生場に関する概念モデルに表現したもの。概念モデルは各火山で異なるが、ここでは草津白根山 (Terada et al., 2025, 東京科学大学 [課題番号: TIT\_01]) を用いた。

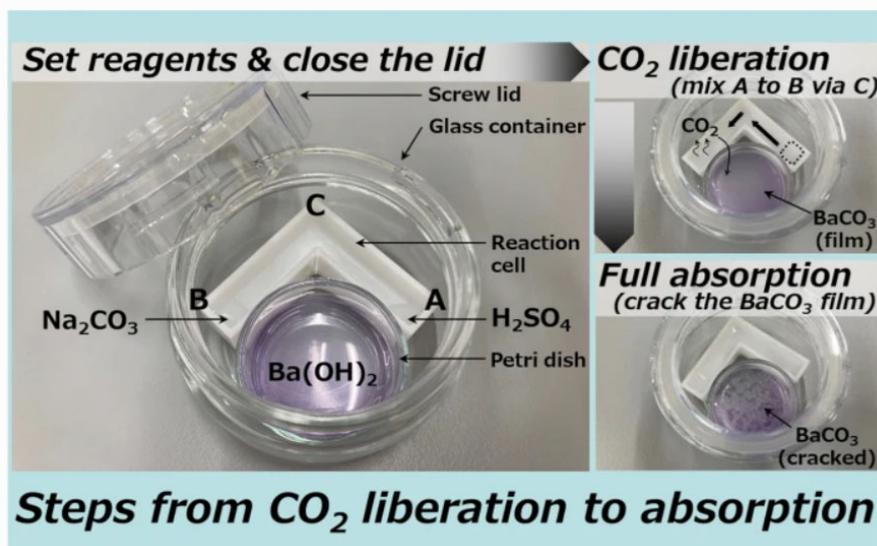


図 2. 新規開発された CO<sub>2</sub> 濃度分析手法。従来の半分程度の時間で火山ガス分析が可能となった (Yaguchi and Ohba, 2024, 気象研究所 [課題番号: KOB016])。

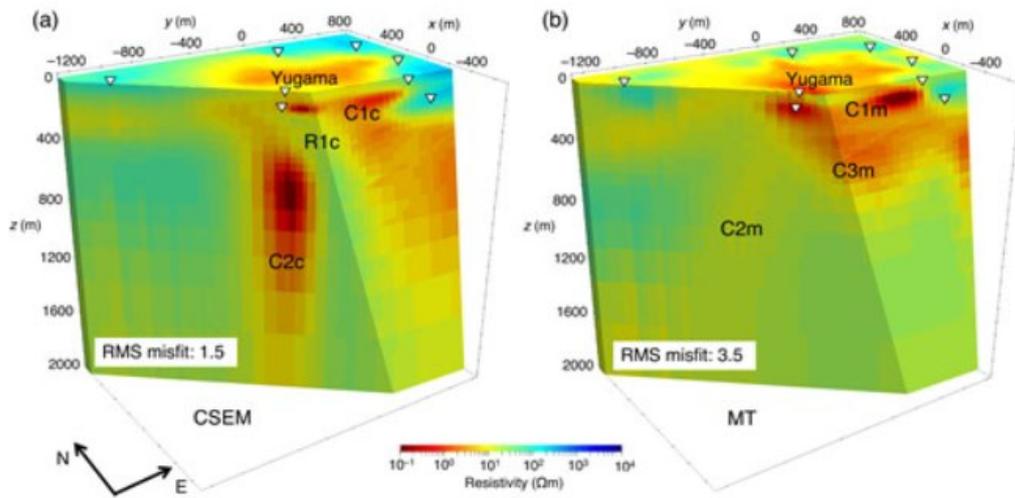


図 3. 人工電流による草津白根火山の地下 3 次元比抵抗分布解析. 同じ観測点で比較すると, 新手法 (a) は, 従来の方法 (b) と比べて詳細な構造が得られている (Ishizu et al., 2025, 九州大学 [課題番号: KOB015] ) 。

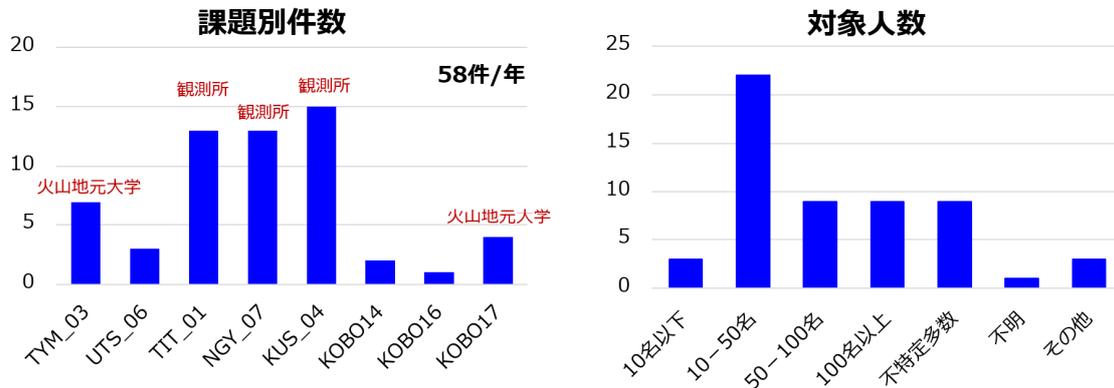


図 4. ドローンポートを用いた観測試験. 草津白根山上空のドローンを草津町役場から遠隔操縦した (寺田・田村, 2025, 東京科学大学 [課題番号: TIT\_01] ) 。

## アウトリーチ活動の実態調査

全課題

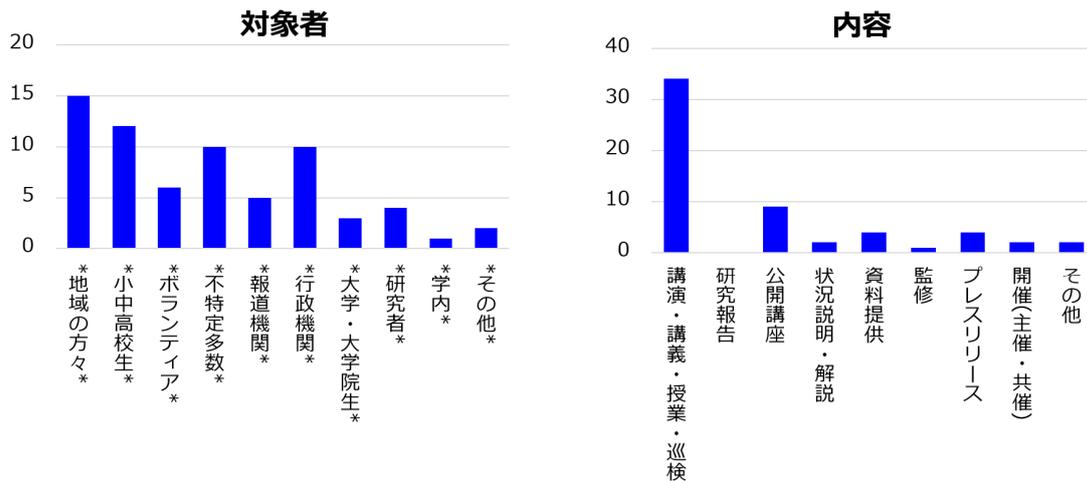
各課題担当者の2024年度アウトリーチ活動を集計 (課題に直接関係しない活動も含む)



- 観測所や懇意の研究者のいない地域でも、需要が示唆される
- 年間のべ 1000人規模の人々と交流している
- 10人規模く が大半。地域からの協力、もしくは各機関の自助・負担が相当程度ある

## アウトリーチ活動の実態調査

全課題



- 主な対象は一般の方々、行政機関へのアプローチを増やすべきか
- ただし、求められている内容は地域防災や地史(地域学習)に関すること。その地域に詳しい研究者でないと、需要にこたえることが難しい

図5. 2024年度に各課題で実施されたアウトリーチ活動のまとめ(「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第3次)」令和6年度成果報告シンポジウム発表資料より抜粋)。

### 成果リスト

伴 雅雄・北川桐香, 2024, 蔵王火山山頂エリア, 地質学雑誌, 130, 329-335.

<https://doi.org/10.5575/geosoc.2024.0019>

Horii M., K. Yamaoka, H. Kim, S. Takewaki, and T. Kunitomo, 2024, Comparative Study on Literacy Enhancement on Volcanic Disaster Reduction for the Residents and Visitors in Mt. Ontakesan and Other Volcanic Areas, Journal of Disaster Research, 19, 159-172.

- <https://doi.org/10.20965/jdr.2024.p0159>
- 井村 匠, 2024, 蔵王火山西部蔵王沢上流部, 蔵王鉱山跡地周辺の火山・鉱床地質: かつて存在した火山熱水系の痕跡, 地質学雑誌, 130, 247-257. <https://doi.org/10.5575/geosoc.2024.0016>
- Imura T., T. Ohba, R. Takahashi. P. Manalo, H. Sato, M. Ban, A. Hirata, and A. Alvarez-Valero, 2024, Sulfur isotopic variations in the products of the 1895 CE eruption at Zao volcano (NE Japan): Implications for connecting eruption source and syn-eruptive magmatic-hydrothermal processes, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 452, 108127. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108127>
- Ishizu K., Y. Ogawa, KH, Tseng, T. Kunitomo, N. Kitaoka, G. Caldwell, and W. Heise, 2025, Controlled-source electromagnetic survey in a volcanic area: relationship between stacking time and signal-to-noise ratio and comparison with magnetotelluric data, *Geophysical Journal International*, 240, 1107-1121. <https://doi.org/10.1093/gji/ggae431>
- Kanda W., T. Koyama, and Y. Matsunaga, 2025, Geomagnetic observations at Kusatsu-Shirane Volcano, In: Ohba T, Terada A (eds) *Monograph Kusatsu-Shirane, Active Volcanoes of the World*, Springer, Berlin, Heidelberg, in press
- Kawai T., Y. Yukutake, R. Doke, and R. Honda, 2024, Contribution of aseismic slips to earthquake swarms at the Hakone volcano, *Earth, Planets and Space*, 76, 152. <https://doi.org/10.1186/s40623-024-02098-1>
- Matsunaga Y. and W. Kanda, 2025, Critical factors that control hydrothermal circulation within active volcanoes: Constraints from numerical simulation based on a resistivity structure model, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 130, e2024JB029833, <https://doi.org/10.1029/2024JB029833>
- Matsunaga Y. and W. Kanda, 2025, Magnetotelluric imaging of the magmatic-hydrothermal system of Kusatsu-Shirane Volcano, In: Ohba T, Terada A (eds) *Monograph Kusatsu-Shirane, Active Volcanoes of the World*, Springer, Berlin, Heidelberg, in press
- 宮縁育夫・長井雅史・中田節也・小澤 拓・古川竜太・石塚 治・南 裕介・コンウエイ クリス・伊藤順一, 2024, JVDNシステムを活用した降灰調査ー阿蘇火山中岳2021年10月20日噴火の事例ー, *火山*, 69, 61-70. [https://doi.org/10.18940/kazan.69.2\\_61](https://doi.org/10.18940/kazan.69.2_61)
- Miyagi Y., U. Tsunogai, K. Watanabe, M. Ito, F. Nakagawa, and R. Kazahaya, 2024, Estimating emission flux of H<sub>2</sub>S from fumarolic fields using vertical sensor array system, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 450, 108090. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108090>
- Mori A. and H. Kumagai, 2024, Explosive eruption processes inferred from high-frequency seismic waveforms of eruption tremor and explosion events, *Geophysical Journal International*, 240, 46-60. <https://doi.org/10.1093/gji/ggae368>
- 森田雅明, 2024, Multi-GASによる火山ガス組成測定, *火山*, 69, 199 - 207. [https://doi.org/10.18940/kazan.69.4\\_199](https://doi.org/10.18940/kazan.69.4_199)
- Namiki A., 2024, An Introductory Review of Complex Rheology of Magma for Rheologists, *J. Soc. Rheolog. Jpn.*, 52, 305-311. <https://doi.org/10.1678/rheology.52.305>

- Narita S., A. Yokoo, T. Ohkura, M. Morita, T. Mori, and S. Yoshikawa, 2024, Heat transport process associated with the 2021 eruption of Aso volcano revealed by thermal and gas monitoring, *Earth, Planets and Space*, 76, 62. <https://doi.org/10.1186/s40623-024-01984-y>
- 小田雄大, 風間卓仁, 加藤護, 2025, LaCoste型相対重力計の重力連続観測で検出された2022年トング火山噴火の大気圧変動に伴う重力変化, *測地学会誌*, 印刷中
- Ohba T. and M. Yaguchi, 2025, Volcanic activity cycles of the Kusatsu-Shirane volcano, Japan revealed by the geochemical monitoring of lake water in the Yugama crater and adjacent fumarolic gases, In: Ohba T, Terada A (eds) *Monograph Kusatsu-Shirane, Active Volcanoes of the World*, Springer, Berlin, Heidelberg, in press
- Sumino H., 2025, Spatial and temporal variations in noble gas isotopic compositions of fumaroles and hot/cold spring gases at Kusatsu-Shirane volcano, In: Ohba T, Terada A (eds) *Monograph Kusatsu-Shirane, Active Volcanoes of the World*, Springer, Berlin, Heidelberg, in press
- 寺田暁彦・小川康雄・金 幸隆・萬年一剛・石坂恒久・萬代洋信・石崎泰男・亀谷伸子・阪本真由美, 2024, 火山噴火と防災および観光シンポジウム2023－草津白根山、御嶽山、箱根山－：火山危機におけるコミュニケーションの改善へ向けて, *火山*, 69, 87-98. [https://doi.org/10.18940/kazan.69.2\\_87](https://doi.org/10.18940/kazan.69.2_87)
- 寺田暁彦・田村正義, 2025, 草津町役場から遠隔操作可能な全自動ドローンを用いた草津白根火山の監視試験, *火山*, 印刷中
- Terada A, H. Aoyama, T. Yamada, and M. Yamamoto, 2025, Geophysical observations of Kusatsu-Shirane volcano: Conceptual model of the hydrothermal system as a site of phreatic eruptions, In: Ohba T, Terada A (eds) *Monograph Kusatsu-Shirane, Active Volcanoes of the World*, Springer, Berlin, Heidelberg, in press
- Terada A. and T. Kuwahara, 2025, Yugama crater lake: A sensitive window into the magmatic-hydrothermal system of Kusatsu-Shirane volcano, In: Ohba T, Terada A (eds) *Monograph Kusatsu-Shirane, Active Volcanoes of the World*, Springer, Berlin, Heidelberg, in press
- Yaguchi, M. and T. Ohba, 2024, Development of a new device for CO<sub>2</sub> microdiffusion analysis of fluid samples from volcanic areas without using a fixative. *Earth Planets Space*, 76:144, <https://doi.org/10.1186/s40623-024-02062-z>