

(1) 実施機関名：

東京科学大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）水蒸気噴火を起こし得る火山活動不安定における観測データ理解の深化

（英文）Improving interpretation of observational data on volcanic unrests potentially causing phreatic eruptions

(3) 関連の深い建議の項目：

5 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究

(6) 高リスク小規模火山噴火

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 本課題の5か年の到達目標：

小規模な水蒸気噴火による人的被害を低減するためには、観測に基づき噴火発生予測だけでなく、不意に噴火した場合の危険性を領域別に事前評価しておくことが重要である。しかし、噴火予測の空振りや過剰な防災対応は、特に観光地化された火山では経済的損失を生む懸念がある。活動不安定

（unrest）や噴火危険をより適切に評価するためには、地下浅部熱水の物理・化学状態の変化が、どの観測データにいかに現れるのかを理解する必要がある。そのための基礎的情報として、地下構造の理解は必須である。また、火山ガスや火口湖から得られる地球化学的知見は、熱水貯留域の温度・圧力、マグマガス関与を評価するための重要な手掛かりとなる。そして、噴火による人的被害を左右するのは、噴火地点と観光地との距離である。火口外で噴火が発生するリスクがあるならば、それを事前評価する必要がある。

本課題では、草津白根山において実施する地球物理学的な多項目観測に基づき、熱水貯留域の位置、流体上昇経路を把握することを目標とする。また、地球化学的観測に基づき、流体貯留域の物理・化学状態の時間変動を捉えることを試みる。さらに、熱水流動シミュレーションで観測データの再現を試みるほか、逆に、観測されたデータから地下浅部状態を理解することを目指す。このほか、側噴火危険度を評価するための土壌ガス観測を草津白根山等で行い、地下浅部透水構造を明らかにすることを目標とする。

一方で、箱根火山は年間1300万人以上の観光客が訪れる観光地として有名である。噴火口である大涌谷には多数の観光客が常時滞在するが、2015年に水蒸気噴火が発生するなど活発な火山である点で、草津白根山に類似する。本課題では、従来の地球物理観測の継続および解析をすすめるほか、火山ガス観測の高時間分解能での観測システム、および、信頼性向上のための気象補正の仕組みを構築する。得られた結果を地球物理学的観測結果と比較・検討することで、観測データの統一的理解を進め、火山防災に貢献することを目標とする。

研究成果を広く共有するため、地域住民および複数火山もテーマとする公開シンポジウムを開催する。その際、高リスク小規模火山噴火総合研究グループに参画する他課題と共同して課題間連携を深めることを目指す。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

（草津白根山）

同火山に展開されている地震、地殻変動、全磁力、および火口湖観測装置からなる多項目火山観測網を維持し、得られたデータから震源、地殻変動源、熱消帯磁源の位置を逐次把握する。変動が認められた場合には、地表からの物質放出量と地下体積膨張・収縮量、地表面放熱量と地下浅部蓄熱・冷

却熱量を計算する。

噴気ガスおよび火口湖水を定期的に採取し、その組成や同位体を分析する。活発時にはドローンを用いた遠隔試料水採取やガス観測を機動的に実施する体制を構築する。また、航空機を用いた地表塩温度分布測定を研究期間において1-2回実施する。以上により、物質科学的観点から地下の温度、圧力、および深部流体の関与に制約を与える。

熱水流動シミュレーションを実施する。上記の多項目観測から得られた物理、化学的知見を満足する地下熱水モデルを構築することで、観測データに現れる様々な変化が起きる背景を理解し、最終的には事象系統図として表現することを目指す。

側噴火発生危険度マップの作製を目標として、火口周辺の山体において地中ガスの希ガス同位体を測定するほか、土壌拡散水銀等の放出率をマッピングすることで、火山浅部透水性の大小を議論する。(箱根山)

噴火警戒レベルでは、火山活動評価指標として地震回数や地殻変動などの地球物理学的観測が主に用いられている。これら指標に、浅部熱水系の物理・化学条件を反映する地球化学的観測を加えることが有効と思われるが、両観測の時系列的比較は実現していない。その理由として、現地調査が必要な地球化学的観測は時間解像度が低いこと、活発化時に立入りできないことが挙げられる。また、SO₂放出率測定のように気象条件の制約を受ける観測では、併せて気象観測も実施する必要がある。地震観測についても課題があり、例えば信号が小さい、あるいは同時多発するイベントの詳細は不明である。地震検知や群発時のイベント分離のためのシステムが必要となる。

そこで本課題では、火山ガス組成（主としてCO₂とH₂S）を高時間分解能で自動観測するシステムの構築および安定運用、火山ガス（SO₂）放出量測定の精度向上のための気象観測の手法の改善、機械学習を用いた地震検測技術を応用した地震活動の即時把握システムの構築を目指す。その上で、従来の、地震の機動観測、地殻変動観測・地下水データなどを継続し、地球物理学と化学的観測データを比較、検討することで静穏期も含めた活動の特徴を抽出する。

(その他)

高リスク小規模火山噴火総合研究グループの各課題が対象とする火山などを候補地として、持ち回りで一般向けシンポジウムを年1回程度実施する。本課題はシンポジウム全体の企画や調整を担う。

(7) 令和7年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

草津白根火山は2025年8月4日に噴火警戒レベルが2へ引き上げられた。同火山で継続してきた物理・化学的多項目観測によって地下深部からマグマガスの供給が増大し、それが火口直下の熱水貯留域に蓄積されつつ、一部が湯釜火口湖や噴気域から放出されたことを示した。同9月6日に観測された火山性微動を伴う傾斜変動を解析した結果、火口南側のごく浅部まで流体が上昇したことを示唆する力源モデルが構築された。この火口南側を含む領域においては、土壌拡散水銀ならびに地中ガス同位体分析を行った。この結果、同領域のみににおいて、マグマ起源を示唆する分析値を得た。今回の活発化に対応して、同年9月にドローンポートを年白根山に設置した。この結果、都内などの遠隔地から草津白根火山上空のドローンを遠隔操縦する仕組みが実現し、同12月まで昼夜を問わず数10回に渡りドローンを飛行させ、湯釜火口湖面の湖面変色の推移を定量化した。ドローンが送信してくる空撮映像を、気象庁等の他機関とリアルタイム共有する試験を実施した。

この他、深部からの流体供給率の増減に対する地表面放熱量の応答が、cap rockの有無で変化する様子を数値シミュレーションに基づいて検討した。また、草津温泉に関する歴史資料を調査し、約200年前に噴煙を上げる本白根山を描いた絵図の存在を確認したほか、白根山の過去200年にわたる噴煙活動の推移を検討した。2018年に発生した多数のLPイベントを解析し、その卓越周波数が時間変動していることを示した。

箱根火山において、火山ガス観測手法の高度化、および地震活動即時把握システムの構築を進めた。大涌谷では、SO₂放出率の測定精度を高めるための風向風速観測手法の改善を試みた。これまで主に用いてきた気象庁GPV解析値に加えて、令和6年度から大涌谷周辺2か所に風向風速観測点を設置して1分値を計測している。令和7年度は、ドローンを用いた風向風速測定手法を開発した。3つの手法を比較したところ、現時点で互いに大きな矛盾のない結果が得られている。上湯場においては、火山ガス組成の連続観測システムの試験運用を令和6年度から継続している。令和7年度は機器障害が発生し、その原因が電気系統およびガス試料導入部にあることを確認した。いずれも対策を施すことで装置の信頼性が向上した。また、得られた観測値は検知管の値とも整合的であることを引き続き確認して

いる。地震活動の即時把握システムを構築するために、機械学習を用いた地震検出アルゴリズムの改良を行った。令和7年度は、雷や風雨によるノイズの影響を組み込んだ。

神奈川県温泉地学研究所を主体として、水蒸気噴火に関する国際シンポジウムを小田原市内において2日間にわたり開催した。国内外から研究者を招聘し、各課題担当者を含めて約60が参加した。さらに、同時通訳を付した市民向け公開講演会を実施し、約120名の一般市民が参加した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

草津白根山においては、これまで維持してきた定常観測点および火山ガスや湖水などの化学的モニタリングデータ、地下構造調査に基づき、地下浅部における流体の移動・蓄積過程が具体的に議論され、それらは概念モデルとして書籍にまとめられた。2025年に捉えられた活発化は、このような概念モデルに基づいて解釈され、それらを気象庁や草津町と随時共有することで立入規制等の判断に活用された。また、令和7年度は火口の外側南斜面への流体上昇を示唆する地殻変動を初めてとらえた。土壌ガスからも、同領域にはマグマガスの上昇が示唆されており、これらの成果は立入規制を必要とする範囲を検討するための課題として今後重要になるだろう。草津白根山の活発化は2014年から継続している。同火山の噴煙活動は、江戸から明治時代にかけてほぼ常に継続していたことが令和7年度に検討した多数の歴史絵図から示唆された。これらの結果は、地域社会が草津白根山の利活用を検討する際の基礎資料となるだろう。また、現地を無人としてドローンを運用できるドローンポートは、活発期に関係者間で迅速かつ容易に共通認識を得るツールとしても極めて有効であり、今後、箱根などの他火山での運用試験を検討する。

箱根火山においては、過去に、地震・地殻変動に連動した火山ガスの変化が観測されてきた。本年度のガス観測方法および震源即時把握手法の改善により、火山の活動状況把握する時間分解能がさらに向上するだろう。年々向上する観測・解析体制は、随時、火山活発化指数(VUI)へフィードバックさせる。そのためのパラメータや計算方法の調整も進めている。このように、同火山における研究の進展、観測体制の改善はVUIのもとに常に統合され、社会とのコミュニケーションの改善に結びつけられている。

国際シンポジウムでは、現象の基礎研究ばかりでなく、海外における優れたリスクコミュニケーション手法や、大掛かりな集中的観測による現象理解が紹介された。海外との共同研究の推進は有効であり、その具体的な方向性を総合グループ全体でも議論してゆきたい。

(8) 令和7年度の成果に関連の深いもので、令和7年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Akihiko Terada, Tomoyoshi Kuwahara, 2025, Yugama Crater Lake: A Sensitive Window into the Magmatic-Hydrothermal System of Kusatsu-Shirane Volcano, Kusatsu-Shirane Volcano, In: Ohba T, Terada A (eds) Kusatsu-Shirane volcano, active volcanoes of the world, Springer Cham, 61-81, https://doi.org/10.1007/978-3-031-86137-6_4, 査読有, 謝辞有

Akihiko Terada, Hiroshi Aoyama, Taishi Yamada, Mare Yamamoto, 2025, Geophysical Observations of Kusatsu-Shirane Volcano: Conceptual Model of the Hydrothermal System as a Site of Phreatic Eruptions, Kusatsu-Shirane Volcano, In: Ohba T, Terada A (eds) Kusatsu-Shirane volcano, active volcanoes of the world, Springer Cham, 159-184, https://doi.org/10.1007/978-3-031-86137-6_8, 査読有, 謝辞有

Yasuo Matsunaga, Wataru Kanda, 2025, Magnetotelluric Imaging of the Magmatic-Hydrothermal System of Kusatsu-Shirane Volcano, Kusatsu-Shirane Volcano, In: Ohba T, Terada A (eds) Kusatsu-Shirane volcano, active volcanoes of the world, Springer Cham, 185-210, https://doi.org/10.1007/978-3-031-86137-6_9, 査読有, 謝辞有

Wataru Kanda, Takao Koyama, Yasuo Matsunaga, 2025, Geomagnetic Observations at Kusatsu-Shirane Volcano, Kusatsu-Shirane Volcano, In: Ohba T, Terada A (eds) Kusatsu-Shirane volcano, active volcanoes of the world, Springer Cham, 211-229, https://doi.org/10.1007/978-3-031-86137-6_10, 査読有, 謝辞有

Hirochika Sumino, 2025, Spatial and Temporal Variations in Noble Gas Isotopic Compositions of Fumaroles and Hot/Cold Spring Gases at Kusatsu-Shirane Volcano, Kusatsu-Shirane Volcano, In: Ohba T, Terada A (eds) Kusatsu-Shirane volcano, active volcanoes of the world, Springer Cham, 141-157, https://doi.org/10.1007/978-3-031-86137-6_7, 査読有, 謝辞有

Takeshi Ohba, Muga 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, Springer Cham, 41-59, https://doi.org/10.1007/978-3-031-86137-6_3, 査読有, 謝辞有

Akihiko Terada, Akiko Sekido, 2025, Reconstructing past volcanic plume activity of Kusatsu-Shirane volcano, Japan, using historical drawings of the Kusatsu spa area, Bull. Volcanology, 87, 104, <https://doi.org/10.1007/s00445-025-01890-5>, 査読有, 謝辞有

Sibaja-Brenes, José Pablo, Alfaro-Solís, Rosa, Martínez-Cruz, Maria, Godfrey, Ian, Terada, Akihiko, Rodríguez, Alejandro, Avard, Geoffroy and Alvarado-Induni, Guillermo E, 2025, Hyperacid lake monitoring from Poás Volcano, Costa Rica, using UAV (Unmanned Aerial Vehicle), Pure and Applied Chemistry, <https://doi.org/10.1515/pac-2025-0427>, 査読有, 謝辞無

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, 70, 103-109, https://doi.org/10.18940/kazan.70.2_10, 査読無, 謝辞有

Hiromasa Kawada, Wataru Kanda, Masahiro Ichiki, Hiroki Nagaike, Tatsuki Ishigo, 2025, Spatial extent and eruptive potential of hydrothermal system at Numanotaira Crater, Adatara Volcano, Japan, inferred from shallow resistivity structure and diffuse soil gas flux measurement, Earth, Planets and Space, 77, 144, <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02294-7>, 査読無, 謝辞無

Yaguchi Muga, Terada Akihiko, Ohba Takeshi, 2026, Can volcanic activation be identified from the geochemistry of surface discolored water in the active crater lake Yugama at Kusatsu-Shirane volcano, Japan? -Example from July 2025, J. Hot Spring Sci., 75, in press, 査読有, 謝辞有

Kurihara, R., Nagaoka, Y., Honda, R. et al., 2025, hallow volcanic earthquakes in the Owakudani geothermal area, Hakone volcano, Japan. Earth Planets Space 78, 17. <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02341-3>, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Terada Akihiko, Yaguchi Muga, Ohba T, 2025, Quantitative evaluation of temporal changes in subaqueous hydrothermal activity in active crater lakes during unrest: Time-series analyses of lake chemistry, IAVCEI Scientific Assembly 2025, 6.8.4.

Kanda Wataru, Shunki Tamura, 2025, Examination of the causes of geomagnetic changes observed during periods of volcanic unrest based on numerical modeling, IAVCEI Scientific Assembly 2025, 2.4.42.

成田翔平・神田 径・寺田暁彦, 2025, ALOS-2干渉SAR解析による草津白根山の地盤変動場, 日本火山学会2025年秋季大会, P22.

森 亜津紗・寺田 暁彦, 草津白根山2018年活発期の火山性低周波地震の特徴：固有周波数の時間変化について, JPGU2025, SVC32-P12.

Kotaro Toyama, Yasushi Daita, Ryota Ninomiya, Ryo Kurihara, Kazuhiro Itadera, Takeshi Ohba, 2025, Continuous monitoring of the CO₂/H₂S ratio in volcanic gas at Hakone volcano,CCVG/IAVCEI The 15th Field Workshop on Volcanic Gases, Sapporo Hokkaido, September 2025.

宮下雄次・安部祐希，2025，火山ガス放出率推定の高精度化に向けたUAVによる鉛直風向風速分布の測定，日本地球惑星科学連合2025年大会，千葉県千葉市，2025年5月。

(9) 令和7年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 令和8年度実施計画の概要：

草津白根火山において物理・化学的な多項目定常観測を継続するために，火口湖水温計やGNSS観測点の改修および高度化を進める。また，衛星SAR解析や稠密土壌ガス観測を行い，火口湖周辺の浅部構造の理解を進める。これまで構築してきた地下構造概念モデルを熱水流動シミュレーションに基づいて再検討し，活動活発化において発現する諸現象の背景を理解する。以上により，モニタリングデータに現れる変化の背景を解釈しながら，同火山の概念モデルを修正する。

箱根火山において，機械学習による地震検知能力を向上させるため，地震観測を継続する。また，気象要因による誤検出や震源誤差などについて，より精度の高い結果を得られるようアルゴリズムの改善を行う。大涌谷においても，風向風速測定を継続する。これにより，当地に最適化されたSO₂観測手法の確立を進める。火山ガス連続観測装置は，これまでに明らかとなった課題に対応した新しい測定装置へ更新し，欠測を起こしにくい連続観測システムを確立する。

弥陀ヶ原火山を対象として，行政機関や一般市民を含めた水蒸気噴火に関するシンポジウムを開催し，リスク評価，正確かつ迅速な情報伝達，ならびに受け取った情報をどう活かすのかを，研究者と地域が一体となって議論する場を設ける。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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），行竹洋平（東京大学地震研究所），神田 径（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），成田翔平（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）

他機関との共同研究の有無：有

大場 武（東海大学理学部），角野浩史（東京大学先端科学技術研究センター），谷口無我（気象庁気象研究所），本多 亮（神奈川県温泉地学研究所），栗原 亮（神奈川県温泉地学研究所），安部祐希（神奈川県温泉地学研究所），外山浩太郎（神奈川県温泉地学研究所），萬年一剛（神奈川県温泉地学研究所）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：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 火山・地震研究部門

電話：03-5734-2515

e-mail：webmaster@ksvo.titech.ac.jp

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：寺田暁彦

所属：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 火山・地震研究部門