

国際シンポジウム箱根山噴火から 10 年： 水蒸気噴火へ向けた火山の観測研究と情報発信の世界的な進展

Ten Years Since the Hakone Eruption:

Global Advances in volcano monitoring research and communication for Phreatic Eruption

講演タイトル

○清水洋, Hiroshi Shimizu

わが国における水蒸気噴火の予測研究の進展と課題

Progress and issues in research on the prediction of phreatic eruptions in Japan

○萬年一剛, Kazutaka Mannen

箱根火山 2015 年噴火後の研究の進展と防災対応

Advances in Research and Disaster Mitigation Following the 2015 Eruption of Hakone Volcano

○賴雅娟（ヤーチュアン・ライ）, Dr. Ya-Chuan Lai

台湾・大屯火山群の観測システムの構築：発展の経緯、課題、そして今後の展望

Developing the Monitoring System of the Tatun Volcano Group, Taiwan: Evolution, Challenges, and Future Directions

○サリー・ポッター, Dr. Sally Potter

火山活発化から行動へ：火山災害とその影響に関するコミュニケーションによるリスク低減

From unrest to action: Communicating about volcanic hazards and impacts to reduce the risk

わが国における水蒸気噴火の予測研究の進展と課題

清水 洋（火山調査研究推進本部 火山調査委員長）

Abstract:

わが国における計画的・組織的な火山調査研究は、1974年から始まった火山噴火予知計画に基づいて年次的に実施され、複数回の噴火災害を経験しながら、主にマグマ噴火に関する研究に重点が置かれてきた。その後、御嶽山の2014年水蒸気噴火災害により、わが国における水蒸気噴火の予測と防災、およびそれらの基盤となる観測体制や人材についての課題が露呈し、これを契機として、文部科学省の「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」が2016年から開始された。また、現行の予知計画においても、「高リスク小規模火山噴火」の研究課題が設定され、水蒸気噴火について分野横断型の研究がなされている。

これらのプロジェクトでは、近年水蒸気噴火が発生した霧島硫黄山、草津白根山、箱根山などにおいて、比抵抗構造調査や地震・地殻変動観測が実施され、水蒸気噴火の発生場に共通する火山体構造や状態（浅部熱水を閉じ込めるキャップロックの存在、およびキャップロック下部での地震の発生や圧力源の存在など）が明らかになりつつある。今後は、構造の分解能の向上、ボーリングなどによる物性・状態の実体解明、多数の火山の比較研究（一般化と個性の把握）により、水蒸気噴火の発生ポテンシャルの評価について精度の向上が期待できる。さらに、シミュレーションの導入による噴火発生場（熱水系）の数値モデルリングにより、水蒸気噴火の切迫性の評価も可能になることが期待される。

また、水蒸気噴火の発生場の理解に基づき、水蒸気噴火の直前予知についても新たな知見と課題が得られた。熱水の圧力が増加すると、熱水がキャップロックを突き破って上昇し、水蒸気噴火が発生する。この時に傾斜変化を伴う微動が発生することから、傾斜変化を伴う微動のモニタリングは、水蒸気噴火の直前予知にとって有効である。しかし、このような微動が観測されても噴火しないケースも多い。これは、上昇した熱水がキャップロック上面の地下水によって冷却され、沸騰が抑制されたためと考えられる。このことは、表層の地下水が噴火と噴火未遂を決める重要な要素であることを示唆しており、直前予知の精度向上のための研究課題である。また、傾斜変化を伴う微動の発生から水蒸気噴火の発生までの時間は、数分から10分程度と短い場合が多いことも、登山者等への情報の伝達と避難・安全確保にとって課題となっている。

Progress and issues in research on the prediction of phreatic eruptions in Japan

Hiroshi Shimizu (Volcano Research Committee, Chair)

Abstract:

Systematic volcanological investigations in Japan have been conducted since 1974 under the National Volcano Eruption Prediction Plan, and research efforts have focused mainly on magmatic eruptions. The 2014 phreatic eruption of Ontake volcano, however, exposed issues in the forecasting of phreatic eruptions, the observation system and the availability of trained personnel. This event prompted the MEXT to initiate the Integrated Program for Next Generation Volcano Research and Human Resource Development in 2016. The current prediction plan also designates “high-risk, small-scale eruptions” as a priority topic, promoting cross-disciplinary research on phreatic eruptions.

Within these programs, resistivity imaging, seismic monitoring, and geodetic observations have been undertaken at volcanoes that recently produced phreatic eruptions. These studies are progressively clarifying structural and physical characteristics that appear common to phreatic eruption sites: the presence of a caprock that confines shallow hydrothermal fluids, seismicity beneath the caprock, and localized pressure sources. Studies on higher-resolution structural imaging, direct constraints on subsurface properties obtained through drilling, and comparative studies across many volcanoes are expected to improve assessments of phreatic eruption potential. Numerical modeling of hydrothermal systems is also expected to support evaluations of the urgency of eruption.

Understanding the physical setting of phreatic eruptions has also led to new insights for short-term prediction. Increasing hydrothermal pressure can cause fluids to breach the caprock and ascend, initiating a phreatic explosion. Tremor accompanied by ground-tilt changes is generated during this process; and a useful indicator for imminent eruption. However, tremor with tilt is frequently observed without subsequent eruption. This may occur when rising fluids are cooled by groundwater above the caprock, suppressing boiling, which is challenges for improving the accuracy of short-term prediction. In addition, the interval between the onset of tilt-associated tremor and eruption is often on the order of a few to ten minutes, posing issues for timely warning, evacuation, and on-site risk reduction for hikers and other individuals near the crater.

箱根火山 2015 年噴火後の研究の進展と防災対応

萬年 一剛 (温泉地学研究所)

Abstract:

箱根火山には 2015 年まで噴火の歴史記録が存在しないが、数年から数十年おきに群発地震を繰り返してきた。1959~60 年の群発地震では臨時観測が実施され、その観測網は 1967 年に神奈川県温泉地学研究所へ引き継がれた。その後の火山活動は低調に推移したが、観測網は徐々に強化されてきた。しかし、2001 年になって規模の大きい群発地震が発生するとともに、温泉蒸気井の暴噴と山体膨張が観測された。その後は、数年おきに火山活動が活発化するようになり、観測体制の強化がされる中、2015 年噴火が発生した。

2015 年の活動は 4 月上旬の山体膨張に始まり、5 月 3 日に蒸気井の暴噴が発生した。2009 年に導入された噴火警戒レベルにより、5 月 6 日にレベル 2 へ引き上げられ、大涌谷は閉鎖された。このため 6 月 29 日の噴火時、火口周辺は無人で人的被害 0 を実現した。2001 年の活動時に行政対応がほぼ皆無だったことを考えるとこれは大きな進歩である。

噴火は同日 07 時 32 分に発生した熱水性クラックの貫入が引き金だったと考えられる。地殻変動の解析によれば、このクラックは暴噴した蒸気井や過去の噴火で形成された火口列の直下に位置する。このことから、クラックは既存の構造で、平常時にも火山性流体が流れ、火山活動活発化時にはその流量が増加するため、蒸気井の暴噴や地殻変動、さらには噴火をもたらすと考えられる。

最近、このクラックを震源とする可能性がある微小地震の存在が明らかになった。温泉地学研究所は台湾中央研究院と協力し、2026 年春から高密度地震観測を開始し、震源や活動変化を明らかにする計画である。さらに、ドローン搭載型電磁探査や高頻度ガス観測など、新たな観測手法の独自開発も進めている。

神奈川県は箱根火山の監視に必要な投資を進めてきた。しかし、大涌谷のような活発な噴気地域で観光客の安全を将来にわたって確保するためには、より実験的・研究的なアプローチへの投資も不可欠である。今後 10 年間は、観光客や住民の安全をより高い次元で確保するため、国内外の研究機関との連携を強化し、科学的知見を深め、国際的水準の研究を推進していく必要がある。

Advances in Research and Disaster Mitigation Following the 2015 Eruption of Hakone Volcano

Kazutaka Mannen (Hot Springs Research Institute, Kanagawa)

Abstract:

Hakone Volcano had no historical records of eruptions until 2015, although it experienced periodic earthquake swarms. Temporary observations during the 1959–60 swarm were later taken over by the Hot Springs Research Institute (HSRI) in 1967, and monitoring was gradually enhanced. Volcanic activity stayed quiet until 2001, when a major swarm, steam-well blowouts, and edifice inflation occurred. Since then, unrest has recurred every few years, and with continued monitoring improvements, the 2015 eruption took place.

The 2015 unrest began with edifice inflation in early April, followed by a blowout of a steam well on May 3. Thanks to the 2019 Volcano Alert Level system, the May 6 rise to Level 2 closed Owakudani and prevented casualties. This represented major progress compared with the almost nonexistent administrative response during the 2001 unrest.

The eruption is thought to have been triggered by the activation of a hydrothermal crack. Analyses of crustal deformation indicate that this crack lies directly beneath the blowout wells and the fissure vents formed during past eruptions. This suggests that it is a pre-existing pathway for hydrothermal fluids, and that increased flow during volcanic unrest leads to steam-well blowouts, crustal deformation, and ultimately an eruption.

Recently, microearthquakes that may originate from this crack have been identified. In collaboration with Academia Sinica (Taiwan), HSRI plans to begin high-density seismic observations in spring 2026 to clarify hypocentral characteristics and activity changes. In addition, independent development of new observation methods, including drone-mounted electromagnetic surveys and high-frequency gas monitoring, is underway.

Kanagawa Prefecture has invested in monitoring Hakone volcano. However, to ensure future safety in active fumarolic areas such as Owakudani, investment in more experimental, research-oriented approaches is essentially important. Over the next decade, stronger collaboration with domestic and international institutions and the promotion of competitive research will be needed to enhance safety for visitors and residents.

台湾・大屯火山群の観測システムの構築：発展の経緯、課題、そして今後の展望

賴雅娟（台湾火山観測所）

Abstract:

最近の 20 年間で、大屯火山群（TVG）は「活動を終えた火山」という認識から活動的な火山であるという認識に変化してきた。台北都市圏のすぐ隣に位置するこの火山地域についての理解を変えたものはなんだったのか。それは、活動的な浅い地震活動、マントル起源のヘリウム同位体比、この地域直下にマグマ溜まりが存在することを示す地震解析からのイメージングなど、学際的研究の成果であった。これらの知見から、我々の TVG に対する理解は、活動的な火山であると変化したのである。

台湾火山観測所（TVO）は、この活動的な火山を監視するために、地震、測地、火山ガス、地熱、空振観測を組み合わせた統合的な観測網を構築してきた。最近では、噴気地域の近くに高密度のノーダルアレイ（=多数の地震計をばらまいた観測システム）や空振センサーを設置することで、浅部の熱水活動や脱ガスに関する新たな知見が得られている。しかし依然として課題は残されており、長期的な観測体制の維持、多様なデータの管理、リアルタイムで解釈することを改善するには、継続的な努力と国際的な協力が必要である。特に、熱水系の理解や、地表面上のシグナル（現象の観測結果）と地下プロセスを結びつける点において重要である。TVG が今後もその活力を発揮していくうえで、その監視システムの進化は、科学的発見と災害への備えの推進において、中心的な役割を果たすであろう。

科学的な進展にとどまらず、火山とその日常生活への影響に関して、人々の意識を、どのように高めることができるだろうか？こうした取り組みの一環として、魅力的で実践的な学習体験を通して火山現象を深く理解することができるよう、TVO は最近、一般向け展示を拡充した。また、TVO はサイエンスフェアでの活動や一般向け講演会など、アウトリーチ活動も積極的に行っている。本講演では、台湾における科学的研究と人々の意識向上を目的としたこれらの取り組みについても紹介する。

Developing the Monitoring System of the Tatun Volcano Group, Taiwan: Evolution, Challenges, and Future Directions

Ya-Chuan Lai (Taiwan Volcano Observatory - Tatun)

Abstract:

In the past two decades, the Tatun Volcano Group (TVG) has been recognized as active, but how did it come back from “extinct”? What evidence changed our understanding of this volcanic field that lies right next to the Taipei metropolitan area? Multidisciplinary studies have revealed its hidden vitality through frequent shallow earthquakes, mantle-derived helium isotopic ratios, and seismic imaging showing a magma reservoir beneath the area. These findings transformed our understanding of the TVG from a dormant relic to an active volcanic system.

To monitor this awakening volcano, the Taiwan Volcano Observatory (TVO) has developed an integrated network combining seismic, geodetic, gas, geothermal, and infrasound observations. Recent deployments of dense nodal arrays and infrasound sensors near fumarolic areas have provided new insights into shallow hydrothermal activity and degassing. Yet challenges remain, maintaining long-term monitoring, managing diverse datasets, and improving real-time interpretation require sustained effort and international collaboration, particularly in understanding hydrothermal systems and linking surface signals to subsurface processes. As the TVG continues to show its vitality, the evolution of its monitoring system will play a central role in advancing scientific discovery, hazard preparedness.

Beyond scientific progress, how can we raise public awareness of volcanoes and their potential impact on the daily lives? As part of its broader efforts, the TVO has recently upgraded its public exhibitions, where visitors can explore volcanic phenomena through engaging, hands-on learning experiences. In addition, TVO actively conducts outreach programs, including science fair activities, lectures for the general public. In my presentation, I will also introduce these initiatives, which aim to bridge scientific research with public awareness in Taiwan.

火山活発化から行動へ： 火山災害とその影響に関するコミュニケーションによるリスク低減

サリー・ポッター (Canary Innovation Ltd.)

Abstract:

火山活動の活発化 (volcanic unrest) や噴火の危険性、その影響について、受け手にちゃんと伝わる方法で情報発信することは、人々や地域社会への影響を軽減する助けとなる。ニュージーランドのカルデラ火山であるタウポ火山では、2022年から2023年にかけて、火山活動の高まりがみられた。この火山の最新の噴火は西暦 232 年であり、非常に大規模の破局噴火であった。現在、火口は美しい湖となり、その湖岸におよそ 4 万人が暮らし、多くの観光客が訪れる地域となっている。ニュージーランドの地質観測機関である GNS Science は、緊急対応機関の関係者と共同で、活動の活発化や噴火活動に関する予測を発表した。私たちは、特に湖の津波と地滑りを引き起こした大地震に関する観測情報をクラウドソーシングで収集した。火山警戒レベル (The Volcanic Alert Level) は、0 (no unrest) から 1 (軽度の unrest) へ引き上げられ、その後 2023 年に 0 に引き下げられた。

ファカアリ (Whakaari)、別名ホワイトアイランドは、ニュージーランドのベイ・オブ・プレンティ沖に位置する火山島である。2019 年の噴火では、その時島にいた 22 名が死亡し、25 名が負傷するという悲しい事態が発生した。その後も、小規模な噴火が断続的に発生し、最近でも同様の噴火が発生している。島は現在閉鎖されているため、噴火の影響は周辺の海域に限られるが、硫黄ガスや微量の火山灰が本土の人々に影響を及ぼすおそれがある。現在、島には稼働している火山観測機器はなく、遠隔カメラ、衛星画像、航空機をつかって観測を行っている。このため、噴火前にリスクを効果的に伝えることが困難になるおそれがある。

技術の進歩に伴い、警報や防災に関するアドバイスの伝え方も変化していく可能性がある。この先、リスクのある人々に対して、一般的な災害予測を発表するのではなく、個人または家族レベルで、重要な防災行動を含む個別の影響予測を提供できる可能性がある。こうした情報は必ずしも政府の公式情報源から提供されるとは限らない。大企業は私たちのデジタル上の行動履歴や、人口統計や価値観に関する情報を保有しており、さらに人工知能や大規模言語モデルを利用することによって、実用的な情報を生成することが可能になっているからである。将来、火山災害のリスクを低減するためには、公的な情報源と、民間企業が提供する個人向けの情報とをどのように統合していくかを検討する必要がある。

From unrest to action: Communicating about volcanic hazards and impacts to reduce the risk

Sally Potter (Canary Innovation Ltd., New Zealand)

Abstract:

Communicating about volcanic unrest and eruption hazards and impacts in meaningful ways helps to reduce the impact on people and communities. In 2022-23, Taupo caldera volcano in New Zealand showed signs of unrest activity. The most recent eruption of this volcano was in 232AD and was cataclysmic in scale. The crater filled with a beautiful lake, and there are now around 40,000 people who live around its shores, with many tourists visiting the area. GNS Science, New Zealand's geological monitoring agency, issued forecasts for unrest and eruption activity, co-developed with emergency manager stakeholders. We collected crowdsourced observations, particularly relating to a large earthquake that caused a lake tsunami and landslides. The Volcanic Alert Level was raised from zero (no unrest) to one (minor unrest) before returning to zero in 2023.

Whakaari, also known as White Island, is a volcanic island off the Bay of Plenty coastline of New Zealand. It erupted in 2019, sadly killing 22 people and injuring 25 others who were on the island at the time. In the following years, minor eruptions intermittently occurred, including recently. As the island remains closed, they have only affected the ocean around it, however there is a risk of sulphur gases and light ash affecting people on the mainland. The volcano does not have any working monitoring sensors on the island now, with observations relying on remote cameras, satellite imagery, and flights. This can contribute to difficulties in communicating the risks effectively prior to impacts.

As technology advances, there may be changes in the way warnings and mitigation advice are given. Perhaps instead of general geological hazard forecasts being issued to a population at risk, personalised impact forecasts with important mitigation actions can be given at an individual or family level. These might not come from official government sources, as large corporations hold digital footprint data and information about our demographics and worldviews, and the availability of artificial intelligence and large language models enables useful content to be prepared. How the official information sources can integrate with private sector tailored information should be considered to help reduce the risk of volcanic hazards in future.