

湖水の音速と濁度測定による火口湖モニタリング

Crater lake monitoring by sound speed and turbidity measurement of lake water

*佐伯 和人¹、丈六 啓介¹、金子 克哉²、大場 武³*Kazuto Saiki¹, Keisuke Johroku¹, Katsuya Kaneko², Takeshi Ohba³

1.大阪大学大学院理学研究科、2.京都大学大学院人間・環境学研究科、3.東海大学理学部

1.Graduate School of Science, Osaka University, 2.Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University, 3.School of Science, Tokai University

火口湖は一般に火山熱水系の一部であり、その組成や温度は火山の活動状況を反映するため、活動的な火口湖のモニタリングは熱水系の理解や火山防災の面から重要である。

我々はカメルーンニオス湖、マヌン湖の研究を通じて、水中音速を用いて溶存二酸化炭素濃度を推測する新しい便利方法を開発した。また、水中カメラの画像による濁度の判定から、採取湖水の化学分析では気づかれなかった、懸濁粒子の濃い層構造を発見した。現在、これらの新しい方法を活用した火口湖観測計画を企画中である。本発表では、これらの二つの方法の有効性と将来計画について述べる。

CO₂計測に関しては、我々は、湖水に溶け込んだ無極性分子であるCO₂によっても水の音速変化があると期待し、室内実験でこれを証明した [1]。我々は、湖水と同じ温度圧力の純水からの湖水の音速の変化量 v に着目し、カメルーンのニオス湖・マヌン湖で、音速センサー付き水中データロガーにより湖水の音速深度分布を測定した。結果、 v と溶存全 CO₂ 濃度（主としてHCO₃⁻とCO_{2(aq)}からなる）が高い相関関係であることを確認した [2]。

また、我々はニオス湖とマヌン湖で水中カメラを使って、水面から湖底までの濁度の分布を測定した。結果、ニオス湖において、二酸化炭素の濃度が水深が深くなるとともに急激に上昇する化学遷移層で、遷移層内の上部のみ濁度が上昇し、それより深いところでは濁度が急減少することを発見した。採取水の化学分析だけではわからない、析出粒子による鉄イオンの移動モデルを濁度によって考えることができるようになった。これらの手法を使って、日本の火口湖をモニターする計画を考えている。観測対象は、平均気温の上昇によって、湖水の対流が止まっている可能性が高く、また、周辺の熱活動が活発であるため火山ガス成分が湖水に蓄積され始めている可能性が高い火口湖：池田湖（鹿児島県 水深233 m）鰻池（鹿児島県 水深57 m）が挙げられる。また、ここ5000年以内に地域で噴火活動があり、湖底の水になんらかの活動兆候が始まっている可能性がある火口湖である十和田湖（青森県・秋田県 水深327 m）、摩周湖（北海道 水深211 m）、洞爺湖（北海道 水深180 m）、倶多楽湖（北海道 水深148 m）なども候補となる。

参考文献

[1]Sanemasa et al.(2015) *Geochemistry and Geophysics of Active Volcanic Lakes*[2]Saiki et al.(2016) *Geochemistry and Geophysics of Active Volcanic Lakes*

キーワード：火口湖、二酸化炭素、濁度

Keywords: crater lake, carbon dioxide, turbidity

A Climatological and Modelling Study of Ash Dispersal and Fallout over the Sakurajima Volcano

*Alexandros P. Poulidis^{1,2}, Tetsuya Takemi²

1.International Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science, 2.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

(Introduction) This study deals with ash dispersal at the Sakurajima volcano, an active volcano in southern Kyushu monitored by the Sakurajima Observatory (SO) of Kyoto University. Volcanic ash affects a range of spatial and temporal scales. It impacts lives and livelihoods: from international air traffic to the destruction of property and increased mortality. It can interact with clouds, causing acid rain and directly affecting agriculture and there is an established link between volcanic emissions and the wellbeing of the communities surrounding the Sakurajima volcano. The Sakurajima volcano is a very active volcano with approximately 700 eruptions per year since the southern crater was formed in 2009, however on average these are relatively weak eruptions. This makes the transport and deposition of volcanic ash more susceptible to localised topographical effects, unresolvable in the most commonly used Volcanic Ash Transport and Dispersion (VATD) models. The Weather and Research Forecast (WRF) model, a mesoscale numerical weather prediction model capable of resolving these effects was used to provide simulations for ash dispersal at a fine horizontal resolution (down to 1 km). Results from the analysis of six years of observational data will be presented along with preliminary results from the WRF model simulations.

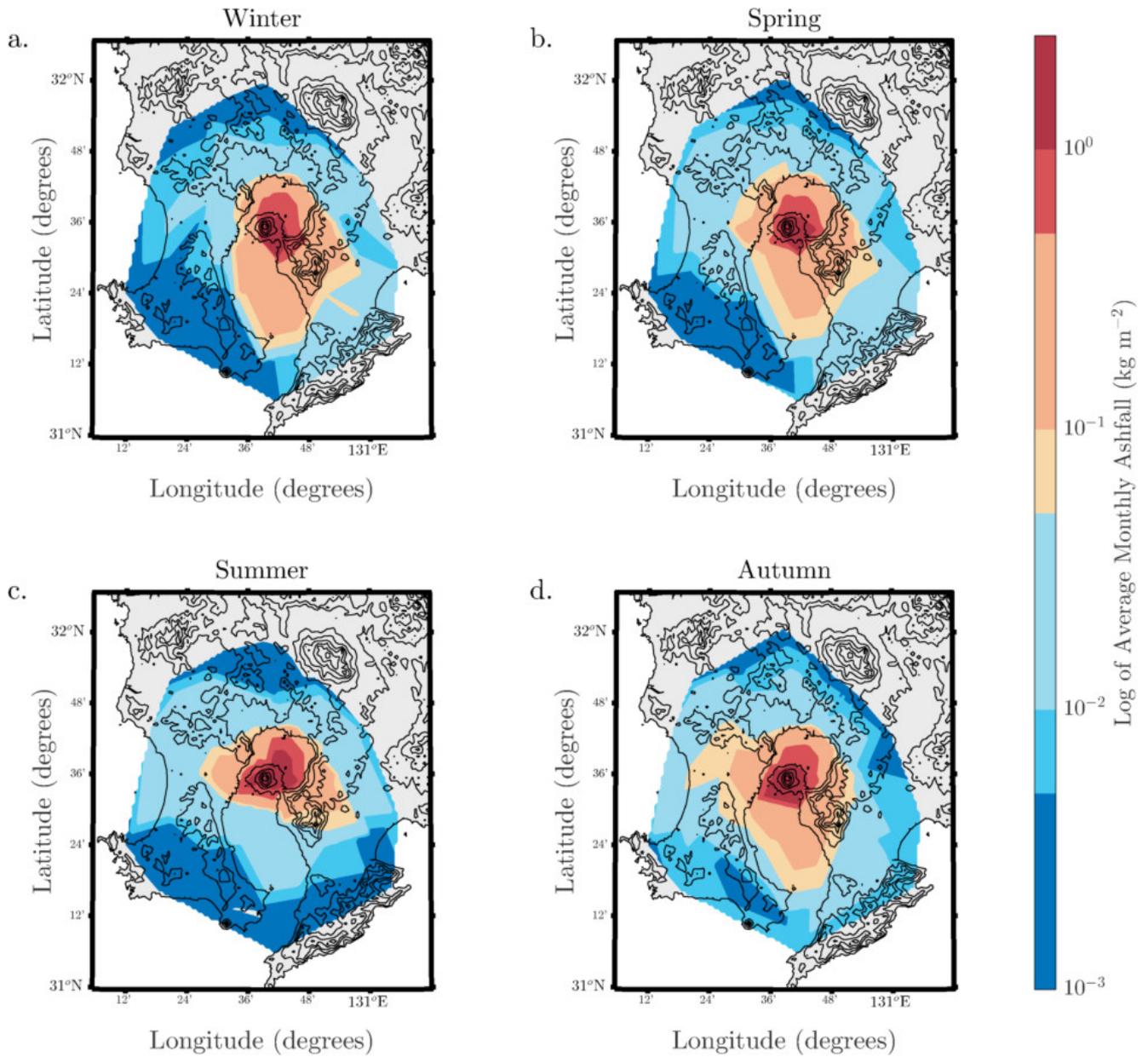
(Observations and modelling) Databases for the eruptions and ashfall are kept by the Japanese Meteorological Agency (JMA) and the SO, respectively. JMA records eruption time, VEI, plume height, and plume dispersal among other characteristics, while the SO has 59 ashfall measuring stations (mainly monthly), creating a high-resolution network in the Kagoshima prefecture. Atmospheric sounding data are available twice per day at Kagoshima (archived by the University of Wyoming), and JMA also maintains a large network of 30 rainfall measuring stations in the area. The WRF model is used to provide high-resolution simulation data for specific months of eruptions. The WRF model is unique in VATD models as it follows an "online" approach when it comes to physics and chemistry -interactions between the plume and meteorological conditions are resolved in real time, while also resolving the fine-scale meteorological circulation, leading to more accurate predictions. The setup used for the simulations presented has 4 domains, with the finest domain centred over the Kagoshima prefecture with a horizontal grid resolution of 1 km.

(Preliminary results) Analysis of the observational data reveals a strong influence of the local meteorology, with some seasonal characteristics (Fig. 1). Wind direction has the most significant role in the distribution of heavy ash close to the volcano, with the majority of ashfall over 1 kg m^{-2} aligned to the average wind depending on the season. However lighter ash stays airborne for longer periods of time and is more susceptible to topographic effects such as flow splitting (mainly seen over the Satsuma peninsula, SW of the volcano; Fig. 1a-c). Wet deposition due to rainfall is also suspected to have a large role in ash deposition during the wet season, resulting to an overall narrower ashfall distribution (Fig. 1c). The role of the topography and wet deposition will be further examined with numerical simulations.

(Conclusions) The Sakurajima volcano is an active, closely monitored volcano located in Southern Kyushu. Due to the combination of unusually high activity and an unusually high spatial resolution of observational data it provides an excellent location for studying the role of topography in the transport and deposition of volcanic ash, a major atmospheric hazard affecting the lives and livelihoods of people living in the area. Observational data are analysed for the 6 years of

eruptive activity (2009-2014), complemented with computational modelling using the WRF model, a high-resolution numerical weather prediction model.

Keywords: Ash dispersal, Sakurajima, WRF



非定常数値シミュレーションによる富士山宝永噴火の火山灰輸送過程への風影響の再解釈
Reinterpretation of wind effects on volcanic ash transport process with Hoei eruption of Mt Fuji by using unsteady numerical simulation

*服部 康男¹、郷 祐美子²、須藤 仁¹、土志田 潔¹、平口 博丸¹、中尾 圭佑¹

*Yasuo Hattori¹, Yumiko Go², Hitoshi Suto¹, Kisyoshi Toshida¹, Hiromaru Hirakuchi¹, Keisuke Nakao¹

1.電力中央研究所、2.電力計算センター

1.Central Research Institute of Electric Power Industry, 2.Denryoku Computing Center

We performed numerical simulations for transport processes of volcanic ash with eruptions of Mt Fuji, especially paying attention to the effects of unsteady wind fields.

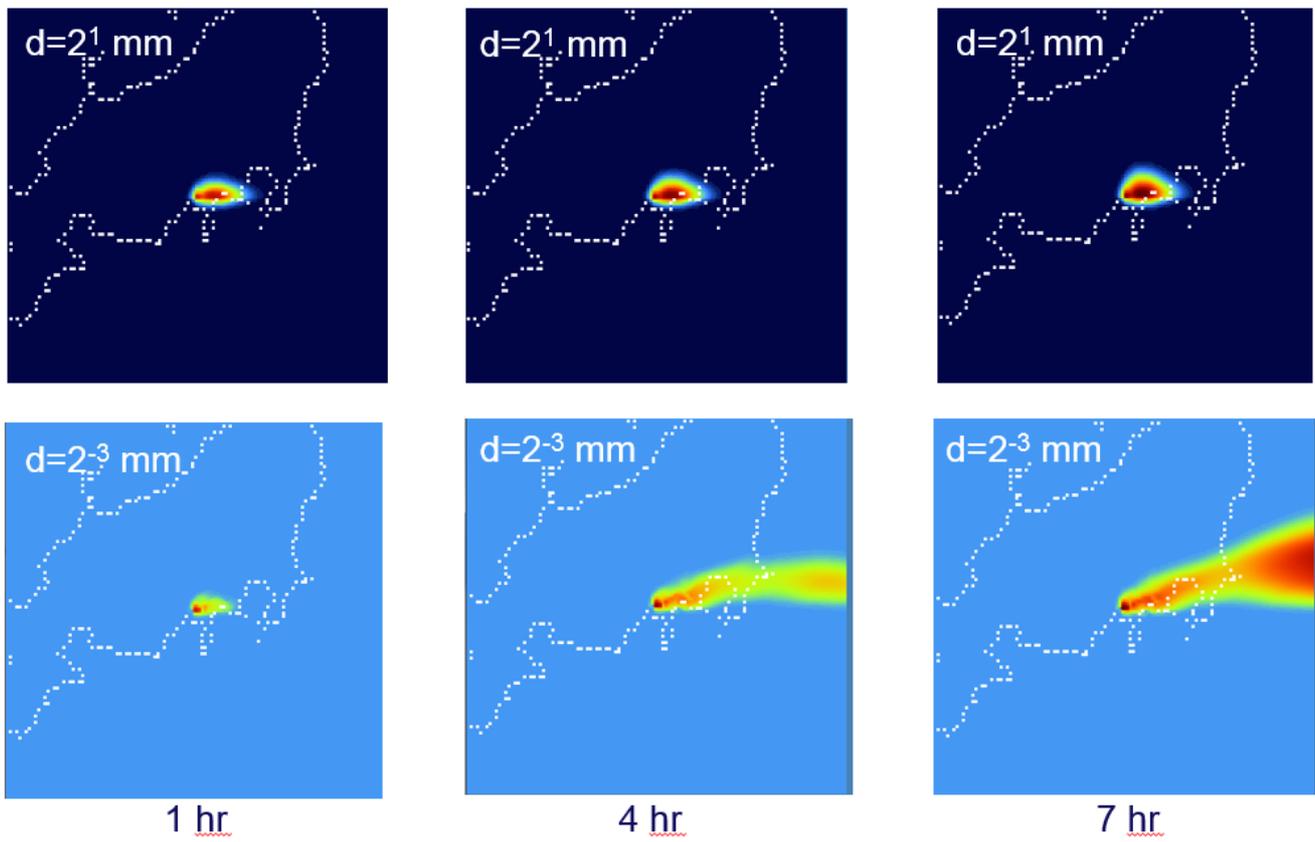
We used a three-dimensional Eulerian model for transport and deposition of volcanic ashes, FALL3D (Costa et al. 2006) with the volcanic inputs, corresponding to the stage1 of AD1707 Hoei eruption of Mt Fuji, i.e., the eruption column height is approximately 20 km with the erupted mass of 10^{11} - 10^{12} kg during 6 hr (Miyaji et al. 2011, Magill et al. 2015). The meteorological inputs were set with the 53 years reanalysis meteorological dataset, CRIEPI-RCM-Era2, which has temporal- and spatial-resolutions of 1 hr and 5km, and a weather forecasting and analysis system, NuWFAS (Hashimoto et al. 2011, Hashimoto et al. 2013). The typical wind profiles in the vertical direction at the vent for winter (DJF) were selected with clustering analysis of CRIEPI-RCM-Era2, and the four dimensional meteorological dataset were reproduced with NuWFAS.

After confirming the agreement of tephra thickness isopaches between the present numerical simulation and previous studies (e.g. Miyaji 1984, Miyaji et al. 2011, Magill et al. 2015), we discussed temporal change in the ground concentration and the deposition of volcanic ash. The increase in concentration at Tokyo was observed after 2 hr of the eruption, which also agree well with previous studies (Miyaji et al. 2011, Magill et al. 2015), indicating that the traveling time of volcanic ash from Mt. Fuji mainly depends on the wind speed in the atmospheric boundary layer (ABL). The temporal change in wind direction in the ABL yielded the skewed p.d.f. (probability density functions) of grains size along the principal axis of the tephra thickness isopaches, which is reported by previous studies (Miyaji 1984, Ui et al. 2002). This was because that the traveling time of the volcanic ash also depends on the diameter of ash (Fig. time-series of tephra thickness isopaches for diameter class of 2^1 and $2^{(-3)}$ mm); the setting velocities are functions of the diameter.

More details will be presented in the presentation, and we believe that our study must be helpful to comprehend essential characteristics of volcanic ash transport process with AD1707 Hoei eruption.

キーワード：降灰、火山灰輸送-堆積モデル、数値気象予測、粒度組成、等層厚線図

Keywords: tephra, ash transport- and deposition-model, numerical weather prediction, grain size distribution, isopach map



溶岩流シミュレーションにおける地形格子サイズの影響～富士山剣丸尾溶岩流を例として～
The influence of topographic grid size on lava flow simulation-Using the example of the
Kenmarubi lava flow of Mount Fuji-

*常松 佳恵¹、藤田 英輔²、吉本 充宏¹、内山 高¹

*Kae Tsunematsu¹, Eisuke Fujita², Mitsuhiro Yoshimoto¹, Takashi Uchiyama¹

1.山梨県富士山科学研究所、2.防災科学技術研究所観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット

1.Mount Fuji Research Institute, 2.National research Institute for Earth science and Disaster prevention, Volcanic research department

平成16年に公表された富士山の火山災害に関するハザードマップは、当時の最新の数値シミュレーションの結果を用いて溶岩流、火砕流、融雪型火山泥流、降灰の影響範囲が地図上に示された。しかし、シミュレーションにはメッシュサイズが200mという粗い数値標高データが使用された。その後10年以上経過し、富士山周辺ではレーザー測量などによるより詳細なメッシュサイズの数値標高データが整備された。今回、これらの標高データを用い、溶岩流の3次元数値モデルLavaSIMを用いて富士山における剣丸尾溶岩流（AD1000）を再現する数値実験を行った。その結果、細かいメッシュサイズを用いるほど溶岩が谷に沿って流れ、より早く麓に到達する様子が見られた。また同じ時間分計算を行ったとしてもメッシュサイズが粗いとより薄く広がり、メッシュサイズが細かいと厚く流れることが明らかになった。このようにシミュレーションによって得られる溶岩の流下範囲や一定距離流れるための時間などの情報は、用いる数値標高データのメッシュサイズにより大きく依存しており、地形のメッシュサイズによる影響を理解した上でハザードマップを作成・利用するとともに、その適用範囲を正しく認識することが重要である。

キーワード：地形格子サイズ、数値計算、溶岩流、富士山

Keywords: topographic grid size , Numerical simulation, Lava flow, Mount Fuji

サイエンスコミュニケーション視点でみる火山活動情報:科学の不確実性を伝える
Information of volcanic activities with scientific uncertainty in a view of science communication

*久利 美和¹、Suppasri Anawat¹、 寅屋敷 哲也¹
*Miwa Kuri¹, Anawat Suppasri¹, Tetsuya Torayashiki¹

1.東北大学災害科学国際研究所

1.International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

気象庁は2014年8月30日に「特別警報」を導入し、国土交通省は2015年1月20日に「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」を公表しており、災害情報の提示のあり方の模索段階にあるといえる。本論では、科学的な不確実性がある中で迅速判断が求められる場でのサイエンスコミュニケーションの事例として、時間空間幅が広く、自然災害の中でも火山活動情報に焦点をあて、火山活動情報の中でも、東日本大震災以降の論点となった「作動中（発展途上）の科学」や「科学の不確実性」のあつかいに焦点をあて、日本での発信側と受信側の事例を検討する。とくに、活動頻度の高い事例として、2014年8月と2015年5月の噴火で迅速な避難を行なった口永良部火山、活動頻度の低い火山事例として2015年4月に火口周辺危険警報の出た蔵王火山に焦点をあてた。

2015年5月29日に口永良部島の新岳火口において火山噴火が発生し、我が国の火山において初めての特別警報（噴火警戒レベル5）が発表され、島外への避難が行われた。2015年の口永良部火山活発化からの全島避難にいたるまでの、住民の火山活動情報の活用についても検討した。聞き取り調査は2015年7月と10月に実施した。主な聞き取り先は、屋久島町役場（宮之浦支所、口永良部支所）、口永良部消防団関係者、口永良部島内区長、である。2015年7月は「2014年8月以前の火山防災意識」「2014年8月以降の火山防災意識」「2015年5月避難の判断と状況」について、2015年10月は、「2015年避難時の再聞き取り」「2015年10月以降帰島に向けた考え」について、聞き取りを行った。これまで指摘されてきた専門家と行政や報道との情報伝達に限らず、非専門家ながら高い関心を持つ地域住民との関係構築や不確実性を含めた情報伝達が重要であることが示唆された。

2015年4月7日以降、蔵王火山御釜付近が震源と推定される火山性地震が増加し、13日に火口周辺警報（火口周辺危険）が発表された。5月17日の火山性微動を最後に、地震の少ない状態で経過し、6月16日に解除された。御釜での災害後に活発化した最初の火山であった。4月14日の報道を通じて、行政の観光関係者のコメントとして「（エコーラインの冬期閉鎖からの開通を前に）でばなをくじかれた」「蔵王山が噴火する火山との認識はなかった」との報道があった。情報解除後は、宮城・山形両県での観光支援を中心としたさまざまな施策が行われた。4月の警報直後、6月の解除後の観光地での対応について、2016年1月に宮城・山形両県の観光関連事業主に面談調査を行った。「（噴火は過去のこと）で噴火する認識がなかった」という回答が大半を占めるとともに、地学現象と生活の時間スケールの隔たりが、対策への理解を妨げている現状が示唆された。

キーワード：サイエンスコミュニケーション、火山活動情報、科学の不確実性

Keywords: Science communication, Information of Volcanic Activities, scientific uncertainty

火山災害に関する新聞記事の動向分析

Trend analysis for Japanese newspaper coverage associated with volcanic disaster

*山田 耕¹*Kou Yamada¹

1.早稲田大学政治経済学術院

1.Waseda University

Mass-media is one of primary tools in the transmission of scientific and technological information from experts to (Japanese) public. Generally, there are two types of scientific and technological news; One is strongly tied to political and economic issues, and the other is a research outcome, leading to the broader public interest in the cultural/scientific topics. In the Earth and Planetary Sciences, the former largely includes the risk or mitigation information of natural disasters, such as global warming, earthquake and volcanic eruption. Various kinds of risk information are currently delivered via mass-media to the public, so that they can help shape the public perspective to potential natural hazards and prompt the social involvement in disaster reduction activities. The exposure to the risk information may change the public attitudes and opinions. While at a same time, in most cases, the communication between non-experts (the public) and experts is also mediated by journalists. Therefore it is important in the process of the science communication to reveal how issues of natural disaster are intensively covered by mass media (journalists). Our goal is to build the fundamental knowledge required for considering the smoother communication between journalists and experts.

In Japan, there are many kinds of active volcanoes and it is essential to implementing the volcanic disaster mitigation at all time. Volcano research has been indeed powerfully promoted at universities and government agencies and some disaster prevention schemes have been made on the base of a lot of volcanological studies. Because these have an influence on the civic living through the disaster prevention education and public work projects to a certain extent, to which projects is the higher priority assigned is basically dependent on public deliberation. Without the national consensus, effective and coherent policymaking could not be realized. Then it requires the public to have primary volcanological knowledge when advancing countermeasures to reduce the negative impact of volcano eruption. As the prime means of communication between government agencies, volcanological experts, and non-experts, mass-media plays a significant role. From this view point, it is crucial to comprehend how volcanic disaster is portrayed in mass-media coverages.

This study focuses on the Asahi Shimbun, Mainichi Shimbun, and Yomiuri Shimbun. They are the typical national newspapers in Japan, which are often called three major newspapers, and they have a circulation of several million. Almost all news articles published by these newspaper companies have been recorded, classified and indexed separately from the 1990s onward. This enables to obtain the reproducible results. The newspaper articles with the word "eruption" published from January 1990 to August 2015 were collected through these databases. The research methodology is the quantitative analysis with the use of the LDA (Latent Dirichlet Allocation) which is a way of automatically extracting topics that texts contain. All samples about volcanic disaster are categorized in line with discovered topics to allow an examination of the amount and type of subject matter covered. In this presentation, the author is going to show how news issues of volcanic disaster are framed by the newspaper media.

キーワード：火山災害、LDA、メディア研究

Keywords: volcanic disaster, LDA, media study

火山観測用自走式センサー「ほむら」の開発：野外における長期運用試験

Development of mobile sensor for volcanic observation "HOMURA": Test campaigns for a long-term operation

*金子 克哉¹、伊藤 公一²、安部 祐一³、鷲 恕太郎⁴

*Katsuya Kaneko¹, Koichi Ito², Yuichi Anbe³, Hirotarō Sagi⁴

1.京都大学大学院人間・環境学研究科、2.京都大学大学院理学研究科、3.京都大学大学院工学研究科、4.京都大学総合人間学部

1.Graduate school of Human and Environmental Studies, Kyoto University, 2.Graduate school of Science, Kyoto University, 3.Graduate school of Engineering, Kyoto University, 4.Faculty of Integrated Human Studies, Kyoto University

火山噴火の予兆現象を把握し、火山噴火のダイナミックスの理解を行うためには、火口近傍さらには火口内における諸現象のモニタリングが必須である。現状において、火山活動の静穏時に設置された火口カメラによる監視、火山ガスなどの観測が行われている。一方、予想外の噴火が起こった火山や、活動中の火山において、新たに観測機器を設置しようとしても、危険性のためそれができず、十分な観測体制を持っていない場合もある。本研究では、この現状を打破し、火口内やごく近傍の機動的観測を行う実用的な無人陸上車両型ロボットシステムの「火山観測用自走式センサー『ほむら』」の開発を進めている。今回の発表では、2015年冬に行われた、京都大学また霧島硫黄山にて行われた、長期（1から2か月）の野外運用試験ついでの結果を報告する。ほむらは、遠隔地からの無線操縦により、火山フィールドを走行し、人が近づけない活動中の火口近傍や火口内の映像および搭載センサーによる観測データをリアルタイムで操縦局に送信する低コストロボットである。現段階において、我々は、ほむら試作機を製作した。ほむらは、上下対象の構造を持つ6輪の車形状のロボットである。大きさは長さ750 x 幅430 x 高さ 310 mm、重さは約12kgである。機体内には、カメラ、GPS、CO₂ガスセンサーなどのセンサー類を収納する。基地局との通信は、Docomo FOMAによる64kbps通信で行う。ほむらを使用しない場合には、遠隔操作より電源を切り、その間の消費電力をきわめて低く抑えることができる。また、任意の時に、遠隔操作により電源を入れ、観測活動を行うことができる。

2015年1月に、我々は、ほむらを京都大学吉田南2号館の屋上に放置し、約1か月にわたり室内よりほむらの制御を行った。運用中、降雪のため雪に埋もれ、その後雪が解けることなどがあったが、動作には影響なく、カメラおよびセンサーは正常に動作した。

その後、我々は、2015年2月19日に霧島硫黄山山頂までほむらを運び、硫黄山火口が見えるようにほむらを設置し、4月8日までの約2か月間にわたり、京都よりほむらを遠隔操縦により運用する試験を試みた。この期間は、霧島硫黄山付近で火山性地震、微動が観測され、火山周辺警報が出され、周辺約1kmの立ち入りが規制されていた時期である（立ち入り規制は2014年10月24日から2015年5月1日まで）。硫黄山山頂周辺では、火口縁の高まりのところでは、えびの高原の観光施設を見通すことができ、FOMA電波が良好であったものの、火口内および低い場所では、FOMA電波状況が不安定であった。そのため、今回は、電波状況が安定している場所にほむらを設置し、ほむらを移動させないことにした。設置の後、京都大学に戻り、大学よりほむらの遠隔操縦を行った。その後、一日に、1~2時間程度、毎日ほむらを起動し、写真および内蔵の試験用のセンサー（CO₂および温度計）のデータをリアルタイムで取得することを行った。試験期間中、雨、霧、低温などの悪天候の時もあったが、遠隔操縦に関するトラブルは起こらなかった。4月8日に、電池がなくなり、その後には操縦不可能となった。4月15日に、我々は再び現地に赴き、ほむらを回収した。回収した後、電池の充電を行ったところ、ほむらは問題なく稼働した。

今回の試験により、長期間でも安定して運用できることが確認された。FOMA電波が利用可能であるということは前提であるが、ほむらは、今回の試験のように、噴火の可能性が高まっている火山に、噴火が起こらないうちに設置し、数か月間にわたり、臨時的観測ポイントとして利用できる。今後も同様の観測運用を行ってきたいと考える。

本活動は2013年度より東京大学地震研究所特定共同研究B、および科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）の援助を受けており、ここに謝意を表します。

キーワード：火山観測ロボット、遠隔操縦、リアルタイムデータ取得

Keywords: robot for volcanic observation, remote control, realtime data

箱根火山大涌谷噴気地域における噴気量・ガス組成・水質の連続観測（2015-2016年）

Continuous observation of visible plume quantity, gas chemistry and water quality in Owakudani, Hakone volcano (2015-2016)

*萬年 一剛¹、菊川 城司¹、代田 寧¹、山口 珠美²、大場 武³、谷口 無我³

*Kazutaka Mannen¹, George Kikugawa¹, Yasushi Daita¹, Tamami YAMAGUCHI², Takeshi Ohba³, Muga Yaguchi³

1. 神奈川県温泉地学研究所、2. 箱根ジオミュージアム、3. 東海大学理学部化学科

1. Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture, 2. Hakone Geomuseum, 3. Department of Chemistry, School of Science, Tokai University

火山の噴気量は大気の状態により高さや大きさが大きく異なるため、一般に定量的な観測が難しい。箱根火山は2015年4月末から地震が急増し、5月15日に地震数がピークを迎えたあと徐々に減衰したが、6月29日の朝から新たな熱水の貫入現象があり、ごく小規模な水蒸気爆発が発生した。温泉地学研究所では5月21日から大涌谷を見下ろせる場所にタイムラプスカメラを設置し、噴気地帯の連続撮影を実施してきた。今回は、こうして撮影された画像の白いピクセル数の変化、大涌沢の水質、大涌谷にある建物の床下から放出されているガスの組成や量の連動が観測できたことを報告する。

大涌沢に設置したタイムラプスカメラ（Brinno製TLC-200）は、10-30秒おきに1ショットの画像を撮影する。光線の具合が大きく変わらないよう、11時、12時、13時の毎正時前後30分間に撮影された画像を解析に用いた。TLC-200は撮影した画像を動画で格納するが、解析にあたって動画変換のフリーソフトウェアffmpegを用いて各コマの静止画像に変換した。静止画像はオープンソースの画像処理ソフトウェアImageJを用いて、HSV色空間でV値（明度）が200-255、S値（彩度）が0-40の範囲にあるピクセル数を噴気量として代表させた。画像から判断する限り、実際の噴気のV値はもっと広がりを持つが、V値を広く取ると同一時間でもショット毎の変動が大きくなりすぎて、代表値の持つ意味が不明になる。V値を上記にすると、噴煙の「特に白い部分」を選択し、ショット毎の変動が抑えられる。得られた画素数は熱水活動による噴気量を抽出するために、気温との正の相関関係を利用して、気温補正を行った。

こうして得られた噴気量の時間変化は次のとおりである。噴気は設置時から増加が観測され、噴火後の7月上旬をピークとして減衰に転じる。途中9月末にパルス的な増加があるが、11月初旬まで減衰は継続した。しかし、その後は増加に転じ、12月中旬に7月上旬の水準をやや超える程度になったあと、減衰に転じ1月末には従来のトレンドに戻ったように見える。

一方、大涌沢の水質は、噴火当日硫酸イオンが高濃度を記録してすぐ低下したが、塩化物イオン濃度は7月から8月にかけて高い状態が続いたあと減衰した。しかし、11月に入ると塩化物イオンが増加に転じ12月初旬にピークを迎えたあと減衰をした。水温も12月に10℃程度増加した。12月には、大涌谷の建築物の床下から出ている火山ガスの主成分であるCO₂とH₂S濃度も増加を見せた。加えて、大涌沢での火山ガス連続測定でも12月頃にCO₂/H₂O比の増加が観測された（大場ほか、本大会発表）。

以上のように、タイムラプスカメラにより観測された噴気量と、地表での火山ガスや温泉の濃度には関連性が見られることから、観測された噴気量は実際の変化を反映している可能性が高く、12月に非地震性の熱水上昇があったことをしめしているのかも知れない。

2 時期の航空レーザ計測を用いた数値地形画像解析により抽出した十勝岳62-2火口近傍の地形変動
Estimation of ground movement around the 62-2 Crater of Tokachi-dake Volcano from the
Geomorphic Image Analysis of Differential LiDAR DEM

*向山 栄¹、永田 直己¹、本間 信一¹、稲葉 千秋¹、村上 亮²、青山 裕²

*Sakae Mukoyama¹, Naomi Nagata¹, Shinichi Honma¹, Chiaki Inaba¹, Makoto Murakami², Hiroshi Aoyama²

1.国際航業株式会社、2.国立大学法人北海道大学

1.KOKUSAI KOGYO CO., LTD., 2.Hokkaido Univ.

既存の調査機関のInSARやGNSS観測により地形変動が示唆される十勝岳62-2火口周辺において、2時期の航空レーザ地形データを用いた数値地形画像解析により地形変動を抽出した。さらに、地形変動や火山活動に伴って発生が懸念される斜面崩壊の想定範囲を変えて到達範囲の予測を行った。

数値地形画像解析による2009年から2015年の約6年間の地形変動の範囲は、InSARによる直近約1年間の変動結果におおむね整合的で、ここ数年間にわたって変動が継続しているGNSSの観測結果も支持する。

この結果は、十勝岳62-2火口周辺の火山活動の活発化を示す根拠のひとつにはなるが、GNSSによる変位の累積から懸念されている前十勝周辺の大規模な崩壊発生については、面的に大きな変動が確認されず、現段階では、地表部での変位は局所的なものである可能性が高いという点で、少なくとも危険材料を提供する結果とはならなかったといえる。

キーワード：火山、航空機レーザ計測、多時期レーザDEM解析、画像マッチング解析

Keywords: Volcano, Airborne LiDAR, Differential LiDAR DEM analysis, Image matching analysis

超小型衛星を用いた火山活動モニタリングの可能性 – 「ほどよし1号機」を事例として –
Feasibility study of volcano monitoring using microsatellite: a case of Hodoyoshi-1

*佐々木 寿¹、千葉 達朗¹、金 宗煥¹

*Hisashi Sasaki¹, Tatsuro Chiba¹, Jonghwan Kim¹

1. アジア航測株式会社

1. Asia Air Survey Co., Ltd.

火山噴火は長期化することが他の自然災害と異なる特徴である。火山噴火は2014年の御嶽山噴火のように数時間で終わるような活動から、雲仙普賢岳のように数年以上も継続する活動まで多岐にわたる。したがって、噴火中に加え噴火後の経年変化をモニタリングすることが重要である。人工衛星を用いた火山活動モニタリングには、光学衛星やSAR（合成開口レーダ）衛星が活用されている。光学衛星の分解能は年々向上しており、30cm級の分解能を有する衛星も出現しているが、新規撮影の費用が高く撮影頻度が少ないという課題がある。航空写真の場合は、火山噴火時には上空の飛行が制限されるため、垂直写真やオルソ画像の入手が困難となる。斜め写真によるSfM技術からオルソ画像を作成したり、UAVによる撮影画像からオルソ画像を作成する手法も検討されつつある。

一方、2014年11月6日に打ち上げられた、ほどよし1号機（内閣府最先端研究開発支援プログラム「日本発『ほどよし信頼性工学』を導入した超小型衛星による新しい宇宙開発・利用システムの構築」）は、地球観測（リモートセンシング）を目的とした1辺約50cmの立方体形状をした質量60kgの超小型衛星であり、地上分解能6.7m、観測幅約28kmの画像を取得できる光学センサが搭載されている。超小型衛星は、低コストかつ2~3年程度の短い開発期間が特徴であり、近い将来に数機~数十機の国産の衛星コンステレーション（ほどよし1号機の後継機として「GRUS」という超小型衛星が開発中）が実現される見込みである。それによって、従来はできなかった高頻度の観測が可能になると期待されている。

本研究では、「ほどよし1号機」の衛星画像の利用実証を目的として、国内の火山エリアの新規撮影を行った。また、基盤地図情報やAW3D30から作成した赤色立体地図とを比較し、地形判読性について検討した。その結果、「ほどよし1号機」の画像では、10mオーダーの地形、たとえば溶岩流、火砕流、山体崩壊などの大地形は判読が可能であった。規模の大きな人工構造物（道路や砂防施設など）や遊砂地などに堆積した土砂の状況も認識することができる。また、「ほどよし1号機」のカラー画像は写真地図としても利用できるため、普及啓発用の火山防災マップや立体モデルの基図としての利用が可能であろう。また、近赤外画像を用いることで火山灰の分布範囲や火山ガスによる森林への影響を効率よくモニタリングすることが可能である。一方、小さな火口や噴石などの判読には適さないことが分かった。後継機の「GRUS」は地上分解能が2.5mに向上する見込みであり、火山活動の有効なモニタリング手段として期待される。

従来の光学衛星では噴火前のアーカイブ画像が十分でなかった。そのため、夏に噴火した場合に、噴火前の画像が落葉した秋しかなく、NDVI解析による自動抽出等が困難な場合が多かった。衛星コンステレーションが実現すると、高頻度の撮影が可能となるため、わずかな機会であっても対象範囲を部分的に撮影できる確率が上がると思われる。今後、高頻度撮影が実現されれば、季節による植物の活性度の変化にも対応でき、NDVIの時系列解析も可能になると考えられる。秋田駒ヶ岳で見られている地熱域の拡大や箱根山での火山ガスの影響と思われる森林の枯死などのモニタリングに活用できると思われる。

謝辞

本研究にあたり、画像や関連資料の御提供をいただいた株式会社アクセルスペース様に謝意を表します。

キーワード：超小型衛星、火山活動、モニタリング

Keywords: microsatellite, volcanic activity, monitoring

合成開口レーダー衛星を用いた降灰状況調査に関する研究

Study of volcanic ash research using synthetic aperture radar satellite

*本田 健¹、吉川 和男¹、三五 大輔¹、柴田 俊彦¹、坂井 佑介²、光益 慎也²

*Takeshi HONDA¹, Kazuo YOSHIKAWA¹, Daisuke SANGO¹, Toshihiko SHIBATA¹, Yusuke SAKAI², Shinya MITSUMASU²

1.株式会社パスコ、2.国土交通省九州地方整備局九州技術事務所

1.PASCO Corporation, 2.Kyushu Technical and Engineering Office, Kyushu Regional Development Bureau, MLIT

■はじめに

火山が噴火し大量の火山灰が周辺に堆積した後に降雨があった場合には、少しの降雨でも土石流が頻発することが桜島や雲仙普賢岳噴火等の例で知られている。このため火山灰の堆積範囲や厚さを知ることは、土石流対策を進める上で非常に重要である。しかしながら、噴火に伴い噴火警戒レベルが上がり立入規制の範囲が拡大するほか航空機トラブル防止のため、地上や航空機から火山灰の堆積状況を調査することが困難となる。

そこで、安全且つ定期的に観測が可能な人工衛星を用いて降灰堆積範囲や堆積厚の推定が可能かどうか、試行調査を実施した。

調査対象は阿蘇山であり、2014年11月25日から翌年5月21日、及び2015年9月14日から10月23日に発生した連続的な噴火を含む、2014年11月28日から2015年12月3日を調査期間とした。

■調査概要

調査に用いた衛星は2014年に打ち上げられた合成開口レーダー衛星のALOS-2（だいち2号）である。衛星データは原則として連続噴火を挟むように設定し、衛星データのアーカイブ状況を踏まえ2014年11月28日、2015年1月9日、同年5月15日（オフナディア角32.4°）及び同年7月6日、9月14日（オフナディア角46.4°）を用いた。観測モードはスポットライト（空間分解能1x3m）である。解析には2時期の後方散乱強度の差分であるカラー合成画像、及びNDSIを用いた。また、判読結果の検証には、光学衛星（SPOT6・7）及び気象庁や大学等が実施した降灰堆積厚や噴石の現地調査結果¹⁾を用いた。

■調査結果

2014年11月25日から翌年1月9日までの降灰状況を2014年11月28日と2015年1月9日の画像より判読した結果、中岳第1火口（以下、火口とする）の北東から南東方向約500mまでのエリアで後方散乱強度の減少が確認された。一方、火口の南西側約400~800mのエリアでは後方散乱強度の増加が確認された。

また2015年1月9日から5月15日までの降灰状況を同年1月9日と5月15日の画像より判読した結果、火口の北北西約1000m及び南西約600mまでのエリアで後方散乱強度の減少が、火口東約500mまでのエリアで後方散乱強度の増加が確認された。

一方、2015年9月14日の噴火直後の降灰状況を同年7月6日と9月14日の画像より判読した結果、基本的には火口周辺約600mまでは後方散乱強度の減少が確認されたが、火口から南西及び北東方向約400mまでは後方散乱強度の増加が確認された。

■考察

まず後方散乱強度の減少した原因について考察する。

光学衛星（SPOT6・7）の判読結果及び航空機からの斜め写真と比較した結果、火山灰等の堆積エリアと後方散乱強度が減少したエリアが概ね一致していることが確認された。このためと後方散乱強度の減少は、火山灰等の堆積によって地表面が平滑化されたことが原因であると推測される。

次に後方散乱強度の増加した原因について考察する。

噴火直後の現地調査で確認された噴石の到達範囲と後方散乱強度が増加したエリアが概ね一致した。このため後方散乱強度の増加は、噴石そのものあるいは噴石の着弾で生じたインパクトクレーターによって地表面の凹凸が増加したことが原因であると推測される。

また降灰堆積厚の推定が可能かどうかを評価するため、NDSI値と現地調査結果との関係について考察する。

NDSI (Normalized Difference Sigma-Naught Index) は後方散乱係数の正規化した差分値であり、以下の式で

算出される。

$$\text{NDSI} = (\sigma_0(\text{master}) - \sigma_0(\text{slave})) / (\sigma_0(\text{master}) + \sigma_0(\text{slave}))$$

σ_0 : 後方散乱係数

噴火直後の現地調査で確認された火口南側の降灰堆積厚（数cmから25cm程度）とNDSIを比較した結果、2014年11月28日と2015年1月9日との比較においてNDSIがやや高い（約0.2~0.6）エリアと降灰堆積厚約3cmのラインが概ね一致した結果がみられた。しかしながら、現地調査地点が火口南西側に限定されておりNDSIが高いエリアの降灰堆積厚が不明であること、火口南西側では直径数cm程度の噴石も確認されていることから、NDSIと降灰堆積厚との関連性については今後も検討が必要である。

■総括

カラー合成画像を解析した結果、降灰堆積範囲や噴石到達範囲を確認することができた。

降灰堆積厚については、降灰堆積厚が数cm以上であればNDSIで判別可能となるような結果が示唆されたが、調査地点が非常に限定されていることから今後のデータ蓄積と分析が必要である。

■参考文献等

¹⁾ 第131回火山噴火予知連絡会資料、第132回火山噴火予知連絡会資料、第133回火山噴火予知連絡会資料

キーワード：合成開口レーダー、降灰調査、阿蘇山

Keywords: synthetic aperture radar satellite, volcanic ash research, mount ASO

画像を用いた即時的な降灰量把握

An estimation method for the amount of fall-out ashes using the photo images

土岐 成美²、*井村 隆介¹

Narumi Toki², *Ryusuke Imura¹

1.鹿児島大学 大学院理工学研究科、2.鹿児島大学 理学部

1.Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 2.Faculty of Science, Kagoshima University

火山噴火の際、マグマ噴出量を見積もることは噴火の規模を明らかにするうえで重要である。降灰量を見積もるためには多くの地点での野外調査が必要で時間もかかる。一方、最近ではSNSなどのインターネットメディアを通じて即時的に降灰の様子を知ることができる。本研究では実際の降灰時の調査と実験による降灰量測定を行い、画像による即時的な降灰量の把握を試みた。

キーワード：降灰量、画像

Keywords: amount of fall-out ashes, photo images

画像解析を用いた火山灰堆積重量の推測手法の開発

Development of a method for estimating the weight of volcanic ash deposits using image analysis

*常松 佳恵¹、吉本 充宏¹、新堀 賢志²、井口 正人³、中田 節也⁴

*Kae Tsunematsu¹, Mitsuhiro Yoshimoto¹, Kenji Niihori², Masato Iguchi³, Setsuya Nakada⁴

1.山梨県富士山科学研究所、2.特定非営利活動法人火山防災機構、3.京都大学防災研究所火山活動研究センター、4.東京大学地震研究所

1.Mount Fuji Research Institute, 2.Non Profit Organization VOLCANO, 3.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 4.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

日本は多くの火山を抱え、毎年いくつかの火山が噴火をしている。その多くが小規模噴火であり、また前兆をつかむことが難しく、噴火の際に急に観測に行くのは難しい場合が多い。爆発的な噴火が起こると火砕物が大気中に放出され、特に細かい粒子はさまざまな災害を引き起こす。災害の軽減には火山灰の分布等の情報を迅速に得て、行動計画等を再考することが大切である。従来、噴火時に火山灰の厚さや粒度の分布データを取得するには研究者が火山周辺で採取容器を設置してそれを回収していた。この手法では時間と人員を要するため広範囲の調査が難しい。本研究では、堆積した火山灰の写真を解析し、各地点での重量を求める手法を開発することを目指す。桜島において行った野外実験を通して、火山灰を堆積させるシートの素材や色、光量の調節など、火山灰の写真を撮影する際の問題点などを明らかにした。さらに室内において粒度ごとに火山灰をシート状に降下させ、シート全面を覆う重量を測る実験を行った結果、シートを覆う重量と粒度の間には火山灰の噴出火山に寄らない一定の関係が見られることが分かった。

キーワード：画像解析、火山灰

Keywords: Image Analysis, Volcanic Ash

阿蘇4大規模火砕流堆積物の分布・体積と流動堆積機構

Distribution, volume and emplacement mechanism of Aso-4 large-scale pyroclastic flow

*宝田 晋治¹、星住 英夫¹*Shinji Takarada¹, Hideo Hoshizumi¹

1.産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

1.Geological Survey of Japan, AIST

火砕流は、火山体周辺に多大な災害をもたらす。特に大規模火砕流の場合は、1883年のクラカタウ火砕流による犠牲者数36,400人などで明らかのように被害も甚大となる。国内の大規模火砕流としては、90kaに発生した阿蘇4火砕流は到達距離が160km以上に達しており、分布・体積の正確な把握や流動堆積機構の解明が重要となってきている。阿蘇4火砕流の詳細な影響範囲の把握のため、既存文献、ボーリングデータを元に、現地調査結果を加え、堆積物の分布を明らかにした上で、噴火当時の復元分布図を作成した。また、5kmのメッシュごとに層厚を復元し、高精度に噴出量を算出した。さらに、現地調査により、大規模火砕流堆積物の岩相変化、軽石及び岩片の最大粒径の変化に基づく、流動堆積機構の検討を行った。

現存する堆積物の分布については、産総研の5万分の1地質図幅を基本とし、刊行されていない地域に関しては20万分の1地質図幅や表層地質図の他、出版済みの文献を参照した。これらから阿蘇4火砕流堆積物の分布をGIS上でトレースし、現存分布図を作成した。また、噴火直後の推定分布図は、地形状況と噴火時点での地質を考慮した上で、文献情報、ボーリング情報を元に再現した。現存堆積物の分布は、火砕流が全方向に広がり、給源から北北東160km以上の萩市周辺にも到達し、南は、人吉盆地、宮崎市周辺まで到達したことを示している。現存堆積物の面積は、約2,500km²となった。層厚については、地質図、露頭データ、ボーリング柱状図を用いて、火砕流堆積物の上端高度、下端高度を5kmメッシュ毎に数点以上読み取った上で、メッシュごとの平均層厚を算出した。平均層厚は、カルデラリム周辺で最大約100mを示し、中流域では、0.2~50m前後、下流域では0.01~10m程度となった。GISソフトウェア上で、メッシュ毎の分布面積を算出し、層厚を乗じてメッシュ毎の見かけ体積を算出した。その上で、溶結、非溶結の量比などを勘案した上で、メッシュ毎の堆積物の平均密度を算出し、火砕流堆積物の体積(DRE)を算出した。その結果、降下テフラ分を除く阿蘇4火砕流堆積物の体積は、20-60km³ (現存体積)、50-140km³ (復元体積)となった。

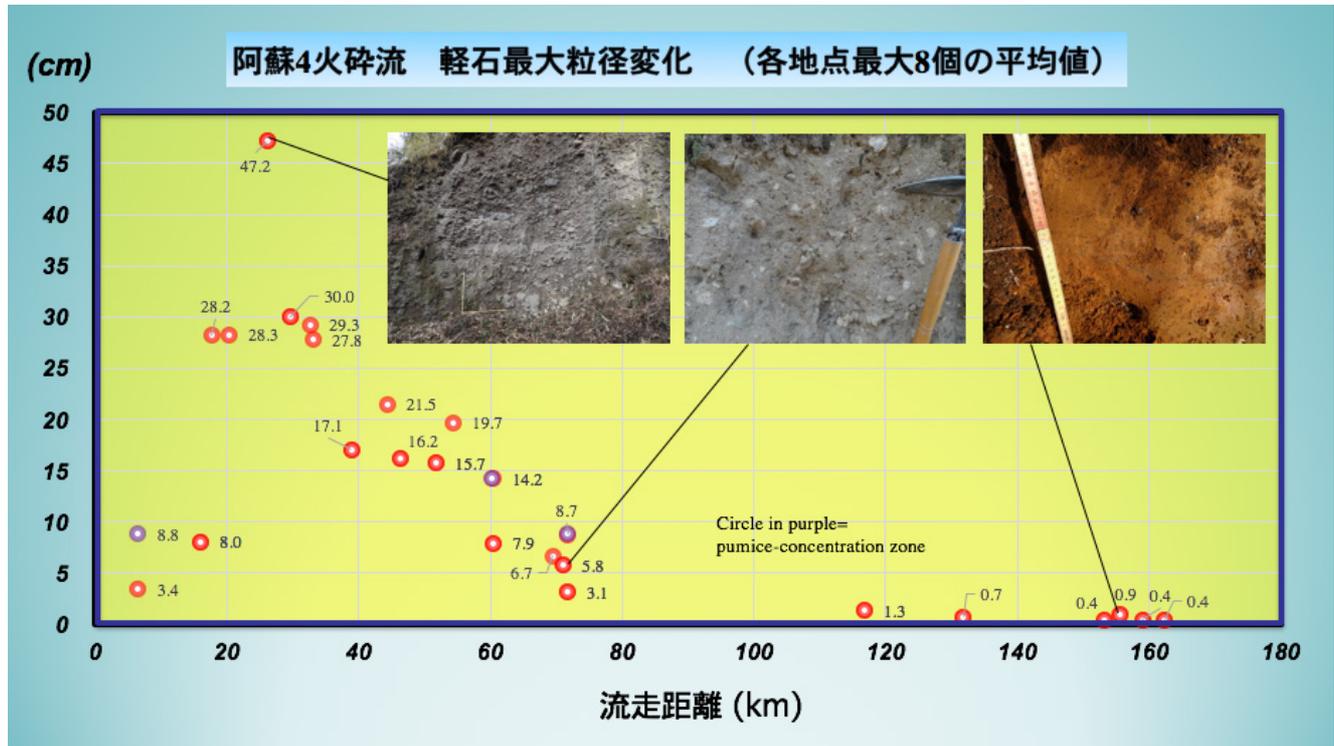
阿蘇4火砕流の流動堆積機構の解明のため、火口近傍から160km遠方の露頭まで、カルデラから東方向と北北東方向の流域で現地調査を行い、岩相変化、軽石と岩片の最大粒径の変化を明らかにした。最大粒径は、ラグブレッチャ以外の火砕流本体に対して、各露頭毎に軽石と岩片についてそれぞれ10個長径と短径を測定し、最大と最小のサンプルを除いた8サンプルの算術平均から、各地点での最大粒径を求めた。流走距離ごとに、軽石の最大粒径をプロットする(図)と、給源(カルデラの中心付近、中岳第1火口を仮定)から16kmまでの地点では、3~9cmと比較的小さく、17~20km地点では約28cm、26km地点の火砕流到達前の原地形の傾斜変換点付近(小国町周辺)では47cmと最大値を示し、その後、72km地点まで次第に減少し、3cmとなる。海を渡った山口県内では、最大粒径は、132~162km地点で0.4~0.9cmと非常に小さくなる。岩片の最大粒径は給源から6.5km地点では1~2.5cmと比較的小さく、16km付近で11.2cmと最大になり、その後は単調に減少し、72km地点で0.6-0.9cmとなり、北九州の117km地点の折尾の露頭では、0.3cmと非常に小さくなる。山口県内の露頭では、肉眼で測定可能な岩片はほとんど含まれていない。これらの結果は予察であり、今後より詳細なユニット対比、岩相変化、粒径変化等の現地調査を予定している。

給源付近で軽石や岩片の最大粒径がやや小さいことは、大規模火砕流発生時に、この付近は噴煙柱の内部もしくは近傍で、乱流度が高く、火砕流の運搬能力が十分高かったことを示唆している。軽石の最大粒径が傾斜変換点の26km地点付近で最大となっていることは、火砕流が傾斜変換点に達し、ハイドロリックジャンプ等の現象で急激に運搬能力が落ちたため、運びきれなくなった軽石を多量に落としたことが原因である可能性が高い。軽石や岩片の最大粒径が単調に減少することも、乱流状態の火砕流の基底部から順次より大きい軽石や岩片が堆積したと考えることが可能である。堆積物の内部構造として、火砕流の内部には、逆級化した層厚20~70cm程度の弱い層理構造が見られる場合がある。このことは、軽石同士の堆積時の相互作用を示唆し、火砕流の基底部に比較的高濃度な密度流が形成され、堆積サブユニットを形成しつつ順次堆積したモデルでうま

く説明できる。海を渡った山口県内の火砕流は層厚10cm~6m程度であり、軽石の最大粒径は1cm以下で非常に小さく、肉眼で認識できる岩片はほとんど含まれていない。部分的にやや高度の高い部分では、サージ状の岩相を示す。このことは、遠方まで運ばれた火砕流は、最後まで残った比較的低密度で細粒部分のみが160km以上の地点まで到達したことを示唆する。

キーワード：阿蘇、火砕流、大規模、流動堆積機構、分布、体積

Keywords: Aso, pyroclastic flow, large-scale, emplacement mechanism, distribution, volume



アジア太平洋地域地震火山災害情報図プロジェクトによる火山災害軽減

Volcanic Disaster Mitigation Measures of the Asia-Pacific Region Earthquake and Volcanic Hazards Information Mapping Project

*宝田 晋治¹、古川 竜太¹、石川 有三¹、吉見 雅行¹、丸山 正¹、松本 弾¹、Bandibas Joel¹、寺岡 易司¹、吾妻 崇¹、桑原 保人¹、高田 亮¹、奥村 公男¹、小泉 尚嗣¹、佃 栄吉¹

*Shinji Takarada¹, Ryuta FURUKAWA¹, Yuzo Ishikawa¹, Masayuki Yoshimi¹, Tadashi Maruyama¹, DAN MATSUMOTO¹, Joel Bandibas¹, Yoji Teraoka¹, Takashi AZUMA¹, Yasuto Kuwahara¹, Akira Takada¹, Kimio Okumura¹, Naoji Koizumi¹, Eikichi Tsukuda¹

1.産業技術総合研究所地質調査総合センター

1.Geological Survey of Japan, AIST

G-EVERのアジア太平洋地域地震火山災害情報図プロジェクトでは、ユネスコ傘下の世界地質図委員会(CGMM)の元で、2012年より東アジア地域地震火山災害情報図の作成を進めており、2016年5月に出版予定である。東アジア地域地震火山災害情報図は、産総研地質調査総合センターのG-EVER推進チームが中核となり、アジア各国の地質調査機関 (PHIVOLCS, CVGHM, CEA, VAST, Academia Sinica) のメンバーと共に作成した災害情報図である。完新世火山の分布、大規模火山噴火(VEI6以上)の噴火による降下テフラ分布域、主要カルデラの位置、大規模火砕流の分布、大規模火山噴火による犠牲者数、M6以上の地震の震源分布、大規模地震の震源域、主要活断層の分布、大規模津波の分布、津波の最大到達高度、地震の犠牲者数等を取りまとめている。東アジア地域の大規模噴火による降灰実績を把握するため、スミソニアンデータベースから噴火イベントを抽出した。東アジア地域における完新世の爆発的噴火(ロシア、米国を除く)は3,446件である(2013年現在)。このうちVEI7は4件、VEI6は19件であり、VEI5以下はVEI2まで指数関数的に増加する。VEI7とVEI6のイベントの多くは広範囲に降下火砕物を分布させており、降下火砕堆積物の分布が公表されているものを表現した。給源火口の位置と地形的なカルデラ縁を地図上で示した。更新世のVEI7-8の噴火のうち、分布がよく調べられている噴火として始良(30 ka)、トバ(74 ka)、阿蘇(90 ka)を防災対策上の参考のために示した。また、12の代表的な大規模火砕流堆積物(VEI6-8)の分布を表示した。VEI8では、インドネシアToba火砕流堆積物(74 ka, 2,500-3,000 km³)、VEI7では、入戸火砕流堆積物(30 ka, 350 km³)、阿蘇4火砕流堆積物(90 ka, 600 km³)、洞爺火砕流堆積物(110 ka, 170km³)、支笏火砕流堆積物(40 ka, 300 km³)、屈斜路4火砕流堆積物(120 ka, >150 km³)、白頭山火砕流堆積物(938 AD, >100 km³)、タンボラ火砕流堆積物(1815 AD, 100 km³)を示した。VEI6では、八戸火砕流堆積物(15 ka, 20 km³)、ピナツボ火砕流堆積物(1991AD, 10.4 km³)、クラカタウ火砕流堆積物(1883 AD, 13.6 km³)、ラバウル火砕流堆積物(540 AD, 11 km³)を示した。

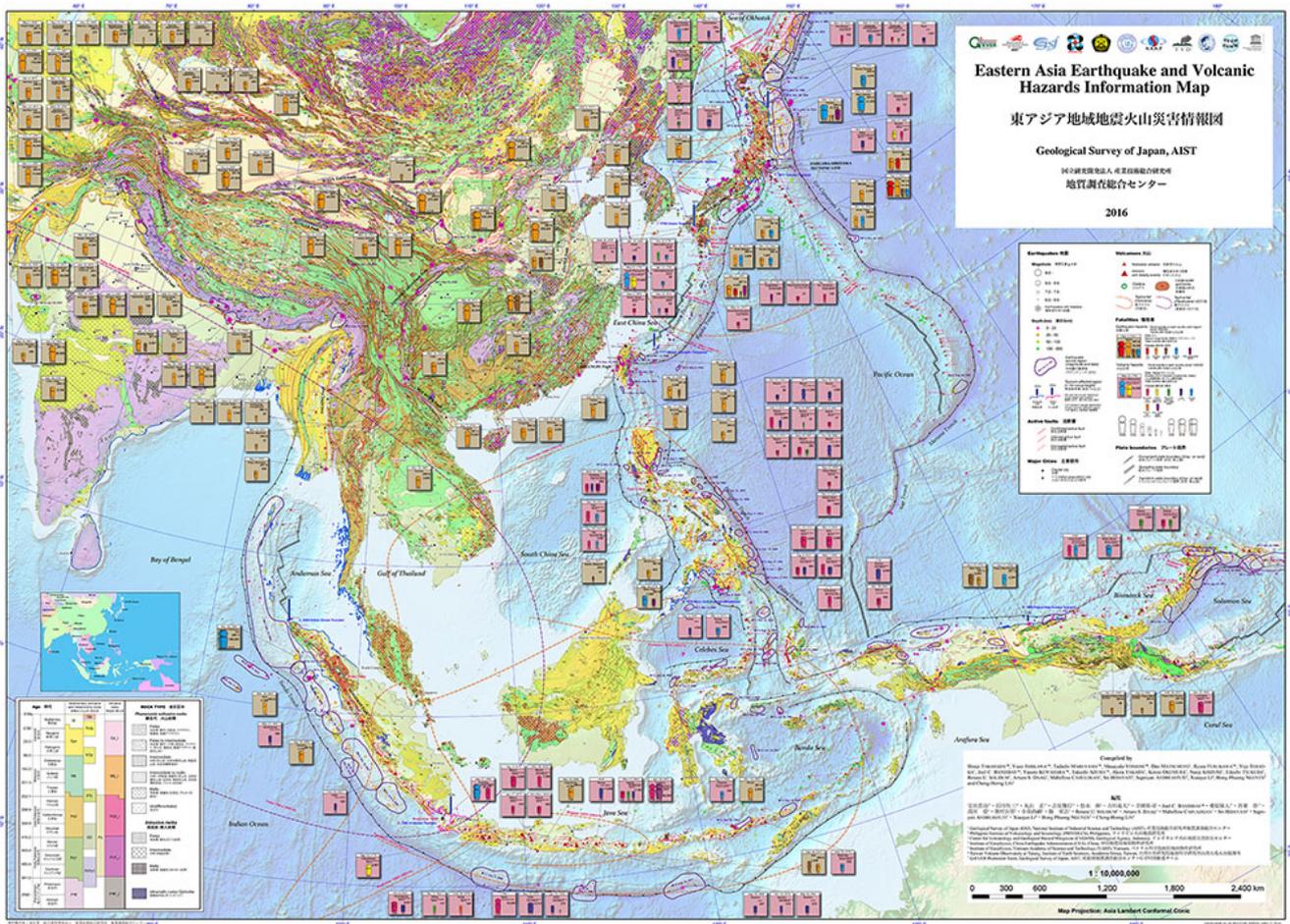
さらに、東アジア地域の主要火山の犠牲者数を取りまとめた。各国西暦1400年以降の上位5~30のイベントを取り上げた。日本では上位24、フィリピンでは上位15、インドネシアでは上位30、パプアニューギニアでは上位5のイベントを地図上及び表に示した。犠牲者数は、原因ごとに、火砕流、岩屑なだれ、降下火砕物及び噴石、火山泥流、津波、火山ガス、その他関連事象(伝染病や飢饉)に区分した。日本の火山災害では、犠牲者の多い順に、1792年雲仙眉山岩屑なだれ(15,000人、津波)、1783年浅間天明噴火(1,491人、火砕流、岩屑なだれ、火山泥流)、1741年渡島大島岩屑なだれ(1,467人、津波)、1640年北海道駒ヶ岳岩屑なだれ(700人、津波)、1888年磐梯山岩屑なだれ(477人、岩屑なだれ)、1858年立山岩屑なだれ(279人、火山泥流、飛越地震に誘発された岩屑なだれと火山泥流)となっている。インドネシアの火山災害では、多い順に、1815年タンボラ火山噴火火砕流と津波(60,000人、火砕流と関連死)、1883年クラカタウ火山噴火(36,417人、火砕流と津波)、1586年ケルト火山噴火(10,000人、火砕流)、1919年ケルト火山噴火(5,110人、火砕流及び火山泥流)、1822年ガルングン火山噴火(4,011人、火砕流)となっている。また、1979年ディエン火山噴火では、火山ガスにより149人が犠牲者となっている。

これらのデータはGISで作成されており、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム

(<http://ccop-geoinfo.org/G-EVER>)上でも随時公開していく予定である。こうした地震、津波、火山噴火による影響範囲、被害の内容を詳細に取りまとめることで、将来の火山噴火に対しての災害想定、類似噴火事例の検討、確率論的な災害予測を行うことが可能となる予定である。

キーワード：東アジア、火山、地震、災害、ハザード

Keywords: Eastern Asia, Volcano, Earthquake, Disasters, Hazards



2016年2月14日に発生した富士山のスラッシュなだれ
Slush avalanche of Mount Fuji on February 14, 2016

*千葉 達朗¹、佐々木 寿¹、荒井 健一¹、藤田 浩司¹、吉本 充宏²、常松 佳恵²

*Tatsuro Chiba¹, Hisashi Sasaki¹, Kenichi Arai¹, Koji Fujita¹, Mitsuhiro Yoshimoto², Kae Tsunematsu²

1. アジア航測株式会社、2. 山梨県富士山科学研究所

1. Asia Air Survey Co., Ltd., 2. Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government

2016年2月14日、富士山でスラッシュ雪崩が発生した。人的被害発生情報は報告されていない。アジア航測は過去に大きな被害を生じさせたこともあるスラッシュ雪崩について、2016年2月18日に写真撮影を行った。

スラッシュ雪崩は、春先や秋の積雪のある時期に、富士山でたびたび発生している現象であり、雪代（ゆきしろ）と呼ばれて、恐れられてきた。山頂付近で斜面が凍りついている条件下で、雨が降ったときなどには、地中に水が浸み込むことなく、強い表面流が発生する。流下途中で斜面表層のスコリア等を巻き込みながら、勢いよく流れ下ると考えられる。

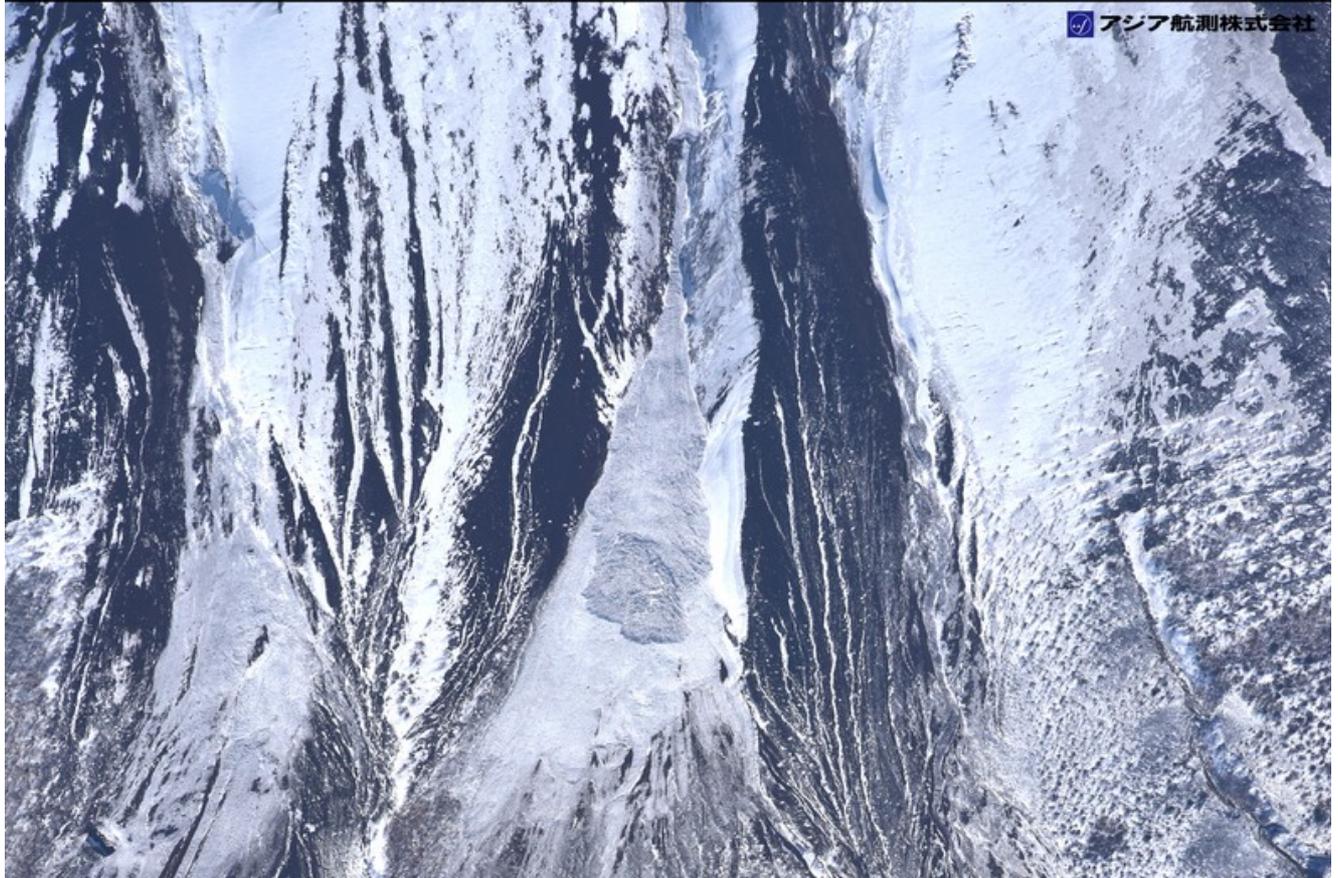
今回撮影した写真を見ると、富士山の複数箇所でスラッシュ雪崩や表層雪崩が発生したと考えられる。発生後に降った雪で一部覆われているものの、雪崩の流動状況などの様子を詳しく見ることができる。北西方向（御庭奥庭付近）から撮影した写真では、写真右側へスラッシュ雪崩が滑沢を流下している。スラッシュ雪崩が発生した後に、表層雪崩が発生したと考えられ、雪崩堆積物の表面構造が見える。大沢崩れの谷の中では、複数のスラッシュ雪崩や崩壊が発生して、土砂が谷の中央へ集り、流下したと考えられる。

発生当時の気象条件は、日本海上を低気圧が発達しながら通過し、富士山周辺は南風が流れ込み大雨となった。寒冷前線が通過したのは2月14日6時頃で、その前に大量の暖かい雨が降ったと考えられる。また、2月14日9時の700hPa天気図をみると、高度3000m以下は雨と考えられる。国土交通省が赤塚に設置した雨量計によると、2016年2月13日18時～2月14日11時に降雨があった。時間雨量の最大値は2月14日4時と5時の30mmである。13日の降り始めからの雨量は、2月14日2時が累積100mm、2月14日6時が累積200mm、2月14日11時が累積246mmである。

防災科学技術研究所が公開している基盤的火山観測データによると、山頂から山腹に設置された富士鳴沢壷塚東、富士山頂、第5の地震計では、2016年2月14日2時～7時にかけて震動波形が多数記録されており、この時間にスラッシュが発生した可能性がある。また、富士山頂から離れた地点に設置された鳴沢、忍野、須走、富士太郎坊、吉原の地震計では震動波形は少ないものの、2月14日4時47分～50分にかけて比較的大きな震動波形が記録されている。したがって、この時刻に規模の大きなスラッシュなだれまたは崩壊が発生したと考えられる。発生源の特定などについては、今後、詳細な検討が必要である。

キーワード：スラッシュなだれ、空中写真、富士山

Keywords: slush avalanche, aerial photo, Fuji volcano



富士山における突発噴火発生時の登山者対策

Volcanic Disaster Mitigation Plan of Sudden Eruption for Tourists and Climbers of Mount Fuji

*吉本 充宏¹、内山 高¹、常松 佳恵¹、馬場 章¹、荒牧 重雄¹、藤井 敏嗣¹

*Mitsuhiro Yoshimoto¹, Takashi Uchiyama¹, Kae Tsunematsu¹, Akira Baba¹, Shigeo Aramaki¹, Toshitsugu Fujii¹

1.山梨県富士山科学研究所

1.Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government

一般に火山噴火では、噴火前に徐々に噴火レベル等が上昇することを前提にしているため、火口近傍に一時的に滞在する登山客等への防災対策は行われていない。しかし、2014年9月27日の御嶽山噴火災害から、火口近傍に登山客等が訪れる火山では、突発的な噴火に対しての登山者等への防災対策を緊急に行う必要がある。

莫大な登山者を抱えている富士山では、標高2300m地点の五合目に年間300万人の観光客がおとずれ、年間約30万人が山頂を目指している。五合目～山頂までに滞在する人は1日最大で1万人を越す。また、富士山の北麓では、徒歩による下山には山頂から5合目まで4時間程度、麓までさらに4時間程度かかる。一方、噴火発生時まで火口が何処にできるかわからない点、玄武岩質火山であるため噴火の兆候が検出されてから比較的短い時間で噴火にいたる可能性がある点など、富士山における登山者に対する火山防災上の問題点は多い。

噴火発生時に迅速な避難が行えるように、山梨県では、2014年11月に富士山を訪れる登山者および観光客を対象とした防災対策の検討を開始した。その第1弾として、5合目付近に来訪者への情報提供のために、噴火に遭遇した場合の避難経路を示した「富士山噴火時避難ルートマップ」を作成し、登山シーズン開始前の2015年6月に公表した。その結果、噴火時に火口の位置情報をどのように伝えるか、ルート情報をどのように伝えるか、避難経路の読み取り難さ、噴火時に本当に使えるか、静岡側の登山道との連携など課題が多く出された。今後、これらの課題を踏まえて、避難計画や情報網の整備、情報発信体制の強化などの対策を講じることが重要である。

キーワード：富士山、防災、避難

Keywords: Mt. Fuji, Volcanic Disaster Mitigation, evacuation

日本の噴火記録の時空間的不均一性

Temporal-spatial heterogeneity of volcanic eruption records in Japan

*清杉 孝司¹*Koji Kiyosugi¹

1.神戸大学自然科学系先端融合研究環

1.Organization of Advanced Science and Technology, Kobe University

噴火記録から噴火の発生率を見積もる際には、噴火記録の数え落しを考慮する必要がある。世界の大規模爆発的噴火 (LaMEVE) データベース (Croweller et al., 2012, Brown et al., 2014) の内、日本の噴火は39%を占める (Kiyosugi et al., 2015)。一方、これまでの分析の結果、噴火の規模が大きくなると数え落しの程度は減少するものの、第四紀以降の大規模噴火にも数え落しがあることがわかっている。例えば、89%のVEI 4噴火が10万年以内に、65-66%のVEI 5噴火が20万年以内に、46-49%のVEI 6噴火が30万年以内に、36-39%のVEI 7噴火が50万年以内に失われていることがわかった (Kiyosugi et al., 2015)。また、日本と世界の噴火頻度の比較から、世界の噴火記録の数え落しは日本の7.9倍から8.7倍であると示唆される (Kiyosugi et al., 2015)。

噴火の数え落しをモデル化するためには、こうした日本全体のデータの分析に加え、地域ごとや時代ごとに見たときのデータの不均質性を検討することが必要である。数え落しの主要な原因は、歴史記録がないことや、火砕堆積物の浸食・変質、新しい堆積物による被覆、浸食や被覆による給源火山自体の消失などであると考えられる。そのため噴火の数え落しは地質学的・歴史学的事情を反映して時空間的な不均質性を持つ。例えば、伊豆 - ボニン弧は大規模噴火の火砕堆積物が保存されにくい小規模の火山島からなっているため、大規模な噴火の地質記録が多く失われていることが示唆される。こうした異なる地質条件による噴火の数え落しを理解することは、噴火の再発生率を推定する際に重要である。また、小山 (1999) は日本の歴史地震記録が政治的・社会的状況に応じて二つの時期 (7世紀末から西暦887年までの時期と17世紀初めから現在までの時期) に増加することを指摘した。このような歴史記録を含む最近の噴火記録は、噴火の数え落しをモデル化する際の重要なファクターであるため、記録の時間的な不均質性の詳細な分析が必要である。

本研究では日本の噴火記録の時空間的不均質性について議論する。日本の噴火記録は世界の噴火記録の約39%を占めるため、日本の噴火記録の分析は世界の噴火記録の数え落しと噴火再発生率の推定に有用である。

引用文献:

Brown et al (2014) *Journal of Applied Volcanology*, 3:5.Croweller et al (2012) *Journal of Applied Volcanology*, 1:4.Kiyosugi et al (2015) *Journal of Applied Volcanology*, 4:17.小山 (1999) *地学雑誌*, 108(4), 346-369.

キーワード: 噴火データベース、噴火の数え落し、時空間的不均一性

Keywords: eruption database, under-recording of volcanic events, temporal-spatial heterogeneity

ボーリングコアと広域比抵抗分布からみる秋田駒ヶ岳周辺火山体の構造

The volcanic structure around Akita-Komagatake by the boring core and wide area specific resistance

*落合 達也¹、田中 倫久¹、田中 利昌¹、藤田 浩司¹、中島 達也¹、内田 浩一²、影浦 亮太²、鏡原 和也²
 *TATSUYA OCHIAI¹, Michihisa TANAKA¹, Toshiaki TANAKA¹, Koji FUJITA¹, Tatsuya NAKAJIMA¹, Koichi UCHIDA², Ryota KAGEURA², Kazuya KAGAMIHARA²

1. アジア航測株式会社、2. 大日本コンサルタント株式会社

1. ASIA AIR SURVEY CO., LTD., 2. NIPPON ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

秋田・岩手県境に位置する第四紀の秋田駒ヶ岳及び周辺火山体に対し、空中電磁探査によって広域の比抵抗分布を取得するとともに、秋田駒ヶ岳山腹にて深度100mのボーリング調査を実施したのでその結果を紹介する。ボーリング調査は、秋田側の県道駒ヶ岳線沿いの標高920m地点で実施した。この地点は、藤縄ほか(2006)において岩井沢溶岩流が表層に分布する地帯である。コア確認の結果、深度10.22mまでがこの岩井沢溶岩流のユニットと考えられ、降下スコリアやサージ堆積物らしき層を薄くはさんで、深度10.53mから28.18mまでは上部田沢湖高原溶岩と考えられるユニットが分布する。また、深度58.9mから最深100mまでは厚い(40m以上の)別種の溶岩が分布している。この深部の厚い溶岩と上部田沢湖高原溶岩との間には、岩屑なだれ堆積物が存在していることが発見された。岩屑なだれ堆積物はマトリックス主体部・岩塊主体部・ジクソークラック発達部・岩塊マトリックス混在部等に分かれ、組織の変化がコアから良く観察することができる。この岩屑なだれ堆積物は、先達川沿いの秋田駒ヶ岳山麓に流れ山を散在させながら分布している先達川岩屑なだれ堆積物(土井ほか1997)と同じである可能性がある。後述する空中電磁探査による3次元比抵抗分布と照らし合わせると、岩屑なだれ堆積物は概ね150~170Ω・mの中~やや低い見掛け比抵抗値を示しており、その比抵抗帯域のみを抽出すると、片倉岳方向から山麓に向かってやや扇状に広がっている様相がみられることから、片倉岳形成前の北部カルデラ形成との因果関係が示唆される。

一方、空中電磁探査は、秋田駒ヶ岳山体だけでなく、その北東方向に分布する笹森山・湯森山等のやや古い第四紀火山体も含めた調査を行い、広域の比抵抗分布を取得した。比抵抗分布の全体的な傾向としては、次の通りとなる。

- ・比較的新しい噴出物で覆われる秋田駒ヶ岳山体は全体的に比抵抗値が高い箇所多い。
- ・秋田駒ヶ岳山体で比抵抗値が低い箇所は、局所的で、北部の第2馬蹄型火口跡の白色変質地帯と、片倉岳火口埋没跡、水沢の谷底付近に主に限られる。
- ・また山麓付近で、上記の岩屑なだれ堆積物と地表面との被りが浅っていると推察される(それらは湧水箇所になっている)地点でも、やや低比抵抗となる。
- ・北東側の古い火山体は、高比抵抗域と低比抵抗域がパッチワーク状に分布する。
- ・特に、湯森山では山頂付近まで低比抵抗域になっており、地下水が高いこと、熱水等により変質が進行していることが推察される。
- ・地すべり滑動に伴い流動化したような痕跡がみられる地形部周辺(湯森山北側や乳頭温泉郷南側)でも特に低比抵抗化しており、過去に熱水滑動が起因して地すべり滑動・土砂の流動化を発生させたことを推察させる。
- ・地すべり地帯でも、離れ山状になっている塊状山体部や、流動化した痕跡がみられない岩盤クリープ状地形部は、比抵抗値は高いままである。

比抵抗分布を調べることで、火山体全体の構造や、山体崩壊や地すべり滑動等の大規模な土砂移動が発生する可能性がある範囲を把握することができると考えられ、今後、火山砂防対策を講じるうえでの参考資料としていきたい。

なお、当内容は、国土交通省東北地方整備局湯沢河川国道事務所発注業務である「八幡平山系(秋田県側)大規模土砂災害危険度調査検討業務」成果の一部を利用した。発表にあたり、同事務所ならびに(独)土木研究所に感謝申し上げる。また、ボーリングコア観察にあたっては、秋田大学林教授・大場教授、茨城大学藤縄教授・柳澤妙佳氏に助言をいただいた。

キーワード：秋田駒ヶ岳、空中電磁探査、ボーリング調査、山体崩壊、岩屑なだれ、火山体内部構造

Keywords: Akita Komagatake, Airborne electromagnetic survey, Boring exploration, Sector collapse, Detritus avalanch, Volcanic structure

鳴子-荷坂テフラ(Nr-N)の分布に関する再検討

Reconsideration about the distribution of Narugo-Nizaka tephra (Nr-N)

*齋藤 拓哉¹、田村 雅宣²、早田 勉³、橋本 修一²、鳥越 祐司²、平倉 瑤子¹、柳澤 宏成¹、市川 八州夫¹

*takuya saito¹, Masanori Tamura², Tsutomu Soda³, Shuichi Hashimoto², Yuji Torigoe², Yoko Hirakura¹, Hironari Yanagisawa¹, Yasuo Ichikawa¹

1.応用地質株式会社、2.東北電力株式会社、3.株式会社火山灰考古学研究所

1.Oyo Corporation, 2.Tohoku Electric Power Co.,Inc., 3.Institute of tephrochronology for Nature and History Co., Ltd

鳴子火山は宮城県北西部に位置する第四紀火山で、直径7km程度の不鮮明な輪郭をもつカルデラとその中央部の溶岩ドーム群からなる。同火山の既往最大の噴火は約9万年前に生じたと考えられており(町田・新井, 2003), 鳴子-荷坂テフラ(Nr-N: 早田, 1989)を噴出している。このうち降下テフラに関しては、早田(1989)や土谷ほか(1997)によると複数のテフラ層に区分されると報告されており、複数回の噴火により堆積した可能性が示唆されるが、それらの分布範囲は示されていない。今回、各テフラ層の分布範囲を明らかにすることを目的として、鳴子火山近傍から遠方まで広範囲にわたってNr-Nの降下テフラの調査を行うとともに、噴火様式についても予察を行った。

早田(1989)によると、鳴子-荷坂テフラは荷坂火砕流堆積物も含めて、下位より降下軽石層(N1)、降下軽石と降下火山灰の互層(N2)、厚い火砕流堆積物(N3: 荷坂火砕流)、細粒のガラス質降下火山灰層(N4)、成層した降下火山灰層(N5)からなり、N4は火砕流の噴出に伴って発生したco-ignimbrite ash fall depositであると報告されている。

そこで、本調査ではN1, N2およびN5を調査対象とし、鳴子-荷坂テフラの認定は主として早田(1989)に示されている層序に基づき行い、火山ガラスおよび斜方輝石の屈折率測定も実施した。

以下に調査結果としてN1, N2およびN5の性状をまとめ、付図の模式柱状図に大崎市古川北宮沢朴木欠地点の記載を示した。

N1は、岩片を多く含む降下軽石から構成されており、少なくとも3つに区分される。下位の北原火山灰との間に薄いロームを挟み時間間隙がある。上位のN2との境界部に時間間隙を示す堆積物は認められない。

N2は、降下軽石と降下火山灰の互層であり、少なくとも9つに区分される。降下火山灰層の一部には火山豆石が確認される。N3の分布域では、火砕流により一部浸食されており、その他の地域では基本的に直接最上位のN5に覆われている。

N5は、灰緑色を呈すガラス質の細粒降下火山灰層である。土谷ほか(1997)では、この堆積物を観察できる露頭が少なくこれが火砕流を噴出した火山活動に引続く活動により噴出された火山灰であるかどうかは確認できなかったとされているが、本調査では、直接下位のN3を覆っている状況が確認できた。また、早田(1989)によれば成層した降下火山灰層からなるとされるが、本調査では塊状を呈する産状のみ確認できた。この堆積物は鳴子火山近傍では認められず、N3の分布域やさらに遠方で認められる。

これらの調査結果を踏まえ、N1, N2およびN5の分布軸方向について検討を行った。鳴子火山の真北を0°、真東を90°とし、鳴子火山から各露頭の方位角と露頭での最大層厚の関係を確認した結果、N1は75°~90°方向、N2は80°~95°方向、N5は55°~85°と105°~130°の2方向に最大層厚のピークが確認されることから、これらの方向に分布軸があったと考えられる。一方、N1とN2は連続的に堆積し、分布軸もほぼ同一方向であることから、一連の噴火によって噴出されたもの(N1+N2)として考慮し、再度分布軸方向の検討を行った結果、N1+N2の分布軸は80°~105°の方向であったと考えられる。

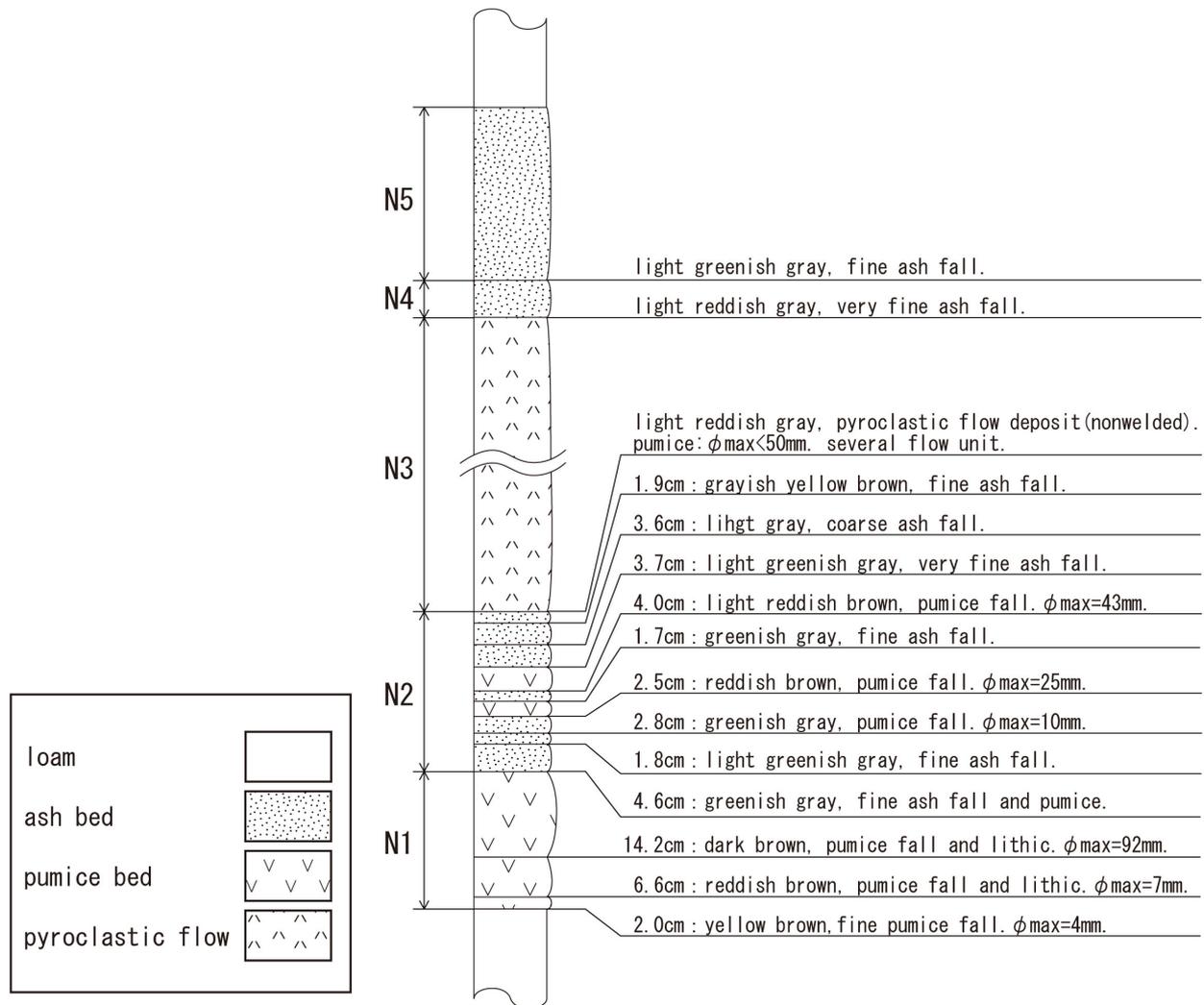
鳴子-荷坂テフラの最大層厚および分布軸方向の検討結果を踏まえ、N1+N2とN5の等層厚線を作成し、町田・新井(2003)の等層厚線と整合することを確認した。なお、参考として、N1+N2とN5の噴出量を須藤ほか(2007)の方法に基づき算定し、N1+N2は1.55km³、N5は1.46 km³の噴出量となる結果を得た。

火山ガラスの特徴等から推測される噴火様式は、次のように考えられる。N1およびN2の火山ガラスは、軽石タイプを主体(90~70%程度)とし、降下軽石からなる産状であることからプリニー式噴火が推測されるが、N2の降下火山灰層の噴火様式は現在検討中である。ただ、N2はN1よりバブルウォール型のガラスが多いことか

ら、噴火条件の変化が示唆される。大規模な荷坂火砕流(5~10km³:土谷ほか, 1997)およびそのco-ignimbrite ash (N4)の堆積後に噴出したN5は、火山ガラスの含有量が少なく、噴火様式の特定が困難であるものの、急冷破砕型の火山ガラスの割合がN1やN2よりも多いことから、マグマ水蒸気噴火であった可能性が示唆される。

キーワード：鳴子火山、鳴子-荷坂テフラ、Nr-N、等層厚線図、降下火砕物

Keywords: Narugo volcano, Narugo-Nizaka tephra, Nr-N, isopach map, pyroclastic fall deposit



Nr-N tephra schematic column

2011年M5.4黒部川源流地震と飛騨山脈の深部構造

The 2011 Kurobe River earthquake of M5.4 with reference to deep crustal structure of the Hida mountain range

*川崎 一郎¹

*Ichiro Kawasaki¹

1.公益財団法人 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所

1.Tono Research Institute of Earthquake Science, Association for the Development of Earthquake Prediction

■2011年M5.4黒部川源流地震

2011年東北地方太平洋沖地震の後、3月と10月、黒部川源流域で誘発群発地震が生じた。最大は10月5日M5.4の地震であった。ここでは、この地震を黒部川源流地震と呼ぶ。震央の分布は、Fig.1 の様に、3月は黒部ダム最奥部から東沢谷に沿って野口五郎岳まで約5km、10月は、黒部西方から黒部ダムを南北に縦断して南沢あたりまで約7kmである。

1998年飛騨山地群発地震は焼岳5km東方から北に向かって県境の野口五郎岳まで拡大した。今回の黒部川源流群発地震は、野口五郎岳から県境を越えて立山近くまで延びたということができる。

マグニチュードと地震断層サイズのスケーリング則によると、M5.4の地震の断層の長さは~5kmなので、この群発地震の発生域のサイズは、そのまま黒部川源流地震の地震断層の長さ考えることができる。

スケーリング則に合うように断層パラメータを、断層の長さ6km、幅3km、滑り40cmと仮定し、走向南北の垂直左横ずれ型、P波速度6km/秒、S波速度3.5km/秒として、立山室堂における静的変位を計算すると、東南へ3cm程度の水平変位、5mm程度の沈降である。

■立山弥陀ヶ原火山

産総研の地質Naviによれば、立山山嶺部はジュラ紀のトータル岩（安山岩）や白亜紀の花崗岩からなり、室堂から下方を第四紀の火山噴出物が覆っている。

立山弥陀ヶ原は、最近10年では、2006年12月噴煙活動が活発化、2010年5月には熔融硫黄が流出して硫黄の溶岩流を形成、2012年6月噴気の活発化などの現象が発生した（気象庁のHP）。

2013年には東工大を中心とする研究グループによって地獄谷で電磁気観測が行われ、地下200mに、水平方向の拡がり1kmほどの貯水槽が見いだされた（Seki et al., 2015）。

■立山深部地殻構造

1991年、群馬県吾妻から立山黒部アルペンルートを経由して石川県金沢まで、東西ほぼ180kmの測線をはって人工地震観測が行われ、飛騨山脈を東西に横断する深部地震波速度構造が得られた（Takeda et al., 2004）。

1996年飛騨地域合同観測のとき、立山アルペンルートに1km間隔で地震計に配置した臨時観測を行い、1991年の人工地震観測のデータを加えて立山直下の地殻構造のトモグラフィーが行われた（Matsubara et al., 2000）。その結果、Fig.2 の様に、地表から深さ20kmあたりに、S波速度2.5km/秒、P波速度5km/秒の部分熔融したマグマ溜まりが存在することが示された。

以上の観測成果を合わせ考えると、立山を含む飛騨山脈直下の地殻内には、雲仙直下のマグマ溜まりに匹敵する大規模なマグマ溜まりが存在し、そこから上昇してきた水が、地獄谷では地下数100mの貯留層ともなり、黒部川源流域では群発地震（Fig.2 矢印）の一因となったと考えられる。地殻構造的には、噴火リスクも地震リスクも、御岳などの中部山岳の活発的な火山と変わらないと言えるのではないだろうか。

■まとめに代えて

地質史と共に、火山、地震、地下構造を併せ一つの枠組みで理解した方が、ジオパークとしてはるかにダイナミックで魅力的なのではないだろうか。

防災という視点でも同様である。1984年M6.8長野県西部地震の震源域と御岳の距離はほぼ10km、2011年黒部川源流群発地震の震源域と立山室堂の距離はほぼ5kmである。立山黒部を訪れる観光客の災害からの保護という点でも、噴火と地震を同じ枠組みで考えることが不可欠であるが良く分かる。とはいえ、気象庁が室堂に観測点を設置したと言っても、立山を含む山地一帯は観測網は無いに等しい。問題は多い。

■参考文献

Matsubara, M., N. Hirata, S. Sakai, and I. Kawasaki, *Earth Planets Space*, 52, 143-154, 2000

Seki, K., W. Kanda, Y. Ogawa, T. Tanbo, T. Kobayashi, Y. Hino and H. Hase, *Earth, Planets and Space*, 67:6, 2016. DOI 10.1186/s40623-014-0169-8

Takeda, T., H. Sato, T. Iwasaki, N. Matsuta, S. Sakai, T. Iidaka, and A. Kato, *Earth Planets Space*, 56, 1293-1299, 2004

■図の説明

Fig.1 2011年東北地方太平洋沖地震の後、3月と10月、黒部川源流域で発生した、M2以上の地震の震央分布。地震研究所のTSEISによる。震源要素は気象庁。基図は国土地理院の電子国土WEB。

Fig.2 アルペンルート直下の地震波速度トモグラフィーから得られた立山直下地殻内のP波速度分布 (Matsubara et al., 2000)。地表から深さ15kmあたりに、雲仙直下のマグマ溜まりに匹敵する規模のマグマ溜まりが分布する。赤矢印は、群発地震の位置を示す

キーワード：立山弥陀ヶ原火山、黒部川源流、誘発地震、地殻構造、マグマ溜まり

Keywords: Tateyama-Midagahara Volcano, Kurobe River, induced earthquake, crustal structure, magma reservoir

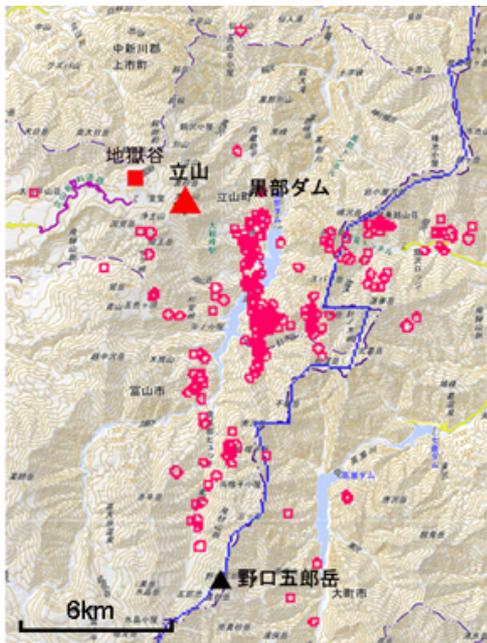


Fig1

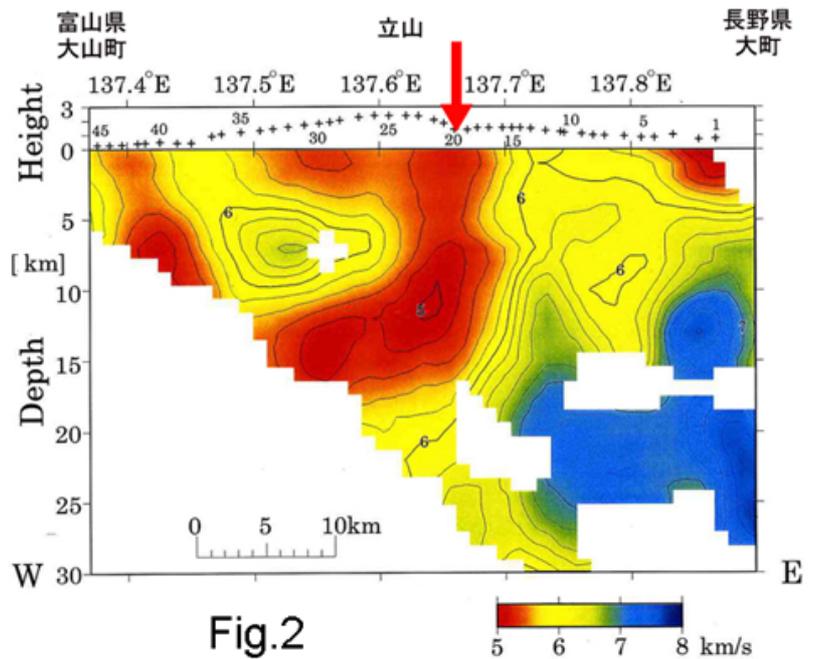


Fig.2