

## Tephra2による大山倉吉テフラの再現計算 Simulation of the Daisen-Kurayoshi tephra, in the San-in district, SW Japan, using Tephra2

山元 孝広<sup>1\*</sup>; 杉山 実<sup>2</sup>; 田島 靖久<sup>2</sup>  
YAMAMOTO, Takahiro<sup>1\*</sup>; SUGIYAMA, Minoru<sup>2</sup>; TAJIMA, Yasuhisa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所地質情報研究部門, <sup>2</sup> 日本工営  
<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>Nippon Koei Co Ltd

大山倉吉テフラ (DKP) は、約5万年前に大山火山から噴出した大規模なプリニー式降下堆積物で、山陰から北陸、北関東や東北南部を広く覆っている。その規模は、国内の降下堆積物では最大級であり、テフラの体積は20km<sup>3</sup>を超えるとされているが、定量的な検討はほとんど行われていない。そこで、本発表では Tephra2 を使った DKP の再現計算結果を報告する。Tephra2 は、南カリフォルニア大学で開発された移流拡散モデルを元にした噴煙からの火山灰堆積量分布の計算コードで、一般公開されている。今回はこのコードを使って、堆積物分布の情報から噴煙柱パラメータをインバージョン的に求めることを試みた。再現計算は、米子の年平均高度別の風データを用いて、噴煙柱高度について5ケース (10?18km)、噴出量について4ケース (1?8 × 10E+18kg)、平均粒径について4ケース (0?3 φ)、粒径偏差について5ケース (1?5 φ) の合計400ケースについて実施して実施した。これまでに示されている DKP の層厚分布を説明するためには、噴煙柱が18kmと高く、噴出量が4?8 × 10E+18kg (見かけ体積40?80km<sup>3</sup>) となる。実際の噴煙柱高度は更に高かった可能性はあるものの、高度18kmを超えると風速が極端に小さくなるため、解析結果は噴煙柱高度18kmケースとほとんど違いがなく、この種の再現計算では区別することが出来ない。

本報告は、特別会計に関する法律 (エネルギー対策特別会計) に基づく文部科学省からの受託事業として、原子力機構が実施した平成25年度「外部ハザードに対する崩壊熱除去機能のマージン評価手法の研究開発」の成果である。

キーワード: 大山倉吉テフラ, Tephra2  
Keywords: Daisen-Kurayoshi tephra, Tephra2

## 降灰ハザード評価における代表気象条件の選定への考察 Insight into setup of typical meteorological conditions for evaluating volcanic ash hazard

服部 康男<sup>1\*</sup>; 須藤 仁<sup>1</sup>; 郷 祐美子<sup>2</sup>; 土志田 潔<sup>1</sup>; 平口 博丸<sup>1</sup>; 石原 修二<sup>2</sup>  
HATTORI, Yasuo<sup>1\*</sup>; SUTO, Hitoshi<sup>1</sup>; GO, Yumiko<sup>2</sup>; TOSHIDA, Kiyoshi<sup>1</sup>; HIRAKUCHI, Hiromaru<sup>1</sup>; ISHIHARA, Shuji<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所, <sup>2</sup> 電力計算センター

<sup>1</sup>Central Research Institute of Electric Power Industry, <sup>2</sup>Denryoku Computing Center

Estimation of ash concentration and deposition is of practical interest in evaluation of volcanic ash risk on critical infrastructure (e.g. Wardman et al. 2012). For estimating ash concentration and deposition, numerical simulations with an ash transport- and deposition-model have become a powerful tool (e.g. Folch 2012). However, the setup of meteorological conditions, which mainly control the ash transport- and deposition- processes in the atmosphere and on the ground, has not been discussed in details.

In the present study, we examine the estimation of ground deposition for a real test case, a volcanic ash hazard in Kanto-area for an eruption at Mt. Fuji, with various meteorological conditions by using an ash transport- and deposition-model, fall3d. The meteorological conditions are generated with the 53 years reanalysis meteorological dataset, CRIEPI-RCM-Era2, which has a temporal- and spatial resolutions of 1 hr and 5 km; the typical and extreme conditions were sampled by using Gumbel plot and an artificial neural network technique.

The ash deposition is invariably limited to the west area of Mt. Fuji, even with the typical wind conditions on summer, while the isopach of ground deposition depicted various distributions, which strongly depends on meteorological conditions. This implies that the concentric circular distribution must not be realistic. Also, a long-term eruption, such as the Hoei eruption during stage3, yields large deposition area due to the diurnal variations of wind direction, suggesting that the attention to the differences between diurnal variation and fluctuations of wind direction on evaluating of volcanic ash risk is vital.

More details will be presented in the presentation, and we believe that our study must be helpful to develop the numerical simulations for evaluation of volcanic ash risk.

キーワード: 火山灰輸送-堆積モデル, 長期気象再解析, 極値, 人工ニューラルネットワーク, 移流・拡散, 数値シミュレーション

Keywords: Ash transport- and deposition-model, Long-term meteorological reanalysis, Extreme value, Artificial neural network, Advection-diffusion, Numerical simulation

## トンガリロ火山（ニュージーランド）における防災対策のための火山弾三次元数値モデル

### Numerical model of 3D ballistic trajectory for hazard assessments at Upper Te Maari eruption of Tongariro volcano in New

常松 佳恵<sup>1\*</sup>; フィッツジェラルド レベッカ<sup>2</sup>; ケネディー ベン<sup>2</sup>  
TSUNEMATSU, Kae<sup>1\*</sup>; FITZGERALD, Rebecca<sup>2</sup>; KENNEDY, Ben<sup>2</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>2</sup>カンタベリー大学地質学科

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, <sup>2</sup>Department of Geological Sciences, University of Canterbury

Ballistic bombs and blocks are energetic pyroclasts deposited around volcanic craters. Hazard assessments of ballistic projectiles are important for people, buildings, and roads around vent especially in tourist and residential areas. Tongariro volcano, an active volcano in a popular national park in New Zealand, erupted August 6th, 2012 after one hundred years. By combining acoustic signals with eyewitness descriptions, five eruption pulses from fissures around Upper Te Maari crater were characterized and conditions of particle ejection were defined. A distribution of ballistic blocks was mapped from orthophotos and field campaigns. In order to clarify characteristics of ballistics at Tongariro volcano and assess future hazards, a numerical model of ballistics is modified and applied to the 2012 eruption. At first, 3D multiparticle model based on Discrete Event Simulation (DES) method is converted to the model based on semi-Lagrangian method to include an effect of air drag and gas flow around airborne particles. Initial conditions, such as ejection direction and speed, were calibrated to explain both spatial and size distribution of deposit bombs. Finally, an initial particle velocity of 200 m/s and gas flow velocity (constant) of 150 m/s are obtained as conditions of best fit. Furthermore, we applied this model to the assessment of future eruption regarding Tongariro Alpine Crossing, a walking trail in the national park frequented by ~80,000 people each year. Impacts of two extreme eruption cases are simulated by the numerical model. Negligible probabilities of fatality along the TAC are found from a magnitude smaller eruption, similar in size to the November 2012 eruption. However, a magnitude larger eruption could result in higher probabilities in certain areas of the track which it would be unlikely to survive the eruption. Varying the input parameters from the calibrated model allows for the assessment of future ballistic hazard from larger and smaller eruptions of Upper Te Maari Crater. A possibility of applying this model to the assessment of Japanese volcanoes such as Mt. Fuji will be discussed.

キーワード: 火山弾, ハザードマップ, 数値モデル, 火山噴火, 防災対策, トンガリロ火山

Keywords: Ballistics, Hazard map, Numerical model, Volcanic eruptions, Hazard assessment, Tongariro Volcano

高周波地震動の振幅分布から推定される泥流の発生位置と移動：2013年10月16日  
伊豆大島  
Estimation of locations and migration of debris flows on Izu-Ohshima Island on 16 Oct.,  
2013 by seismic amplitudes

小木曾 仁<sup>1\*</sup>; 蓬田 清<sup>2</sup>  
OGISO, Masashi<sup>1\*</sup>; YOMOGIDA, Kiyoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 気象庁精密地震観測室, <sup>2</sup> 北大理

<sup>1</sup>Matsushiro Seismological Observatory, JMA, <sup>2</sup>Grad. Sch. Sci., Hokkaido Univ.

平成 25 年台風 26 号に伴う大雨により、10 月 16 日未明に伊豆大島で大規模な土砂災害が発生し、大きな被害が発生した。

発生した泥流に伴うと考えられる震動波形が東京大学地震研究所・防災科学技術研究所・気象庁が設置している伊豆大島火山観測網の複数の地震計で同時に記録されていた。振幅の大きい震動は 16 日 0 時から 6 時の間に少なくとも 5 回認められ、振幅の小さいものは無数に認められる。

これらの震動はその始まりがはっきりしないため、P 波などの相の到着時を利用した従来の震源決定手法を用いることはできない。そこで、振幅の大きい 5 つの震動の記録部分について、Battaglia and Aki(2003)、Kumagai et al.(2010) に基いて高周波成分の振幅分布からおおのこの震動源を推定した。この手法では、バンドパスフィルタをかけた波形について RMS 振幅を計算し、サイト特性を補正したのち、振幅の幾何減衰と内部減衰を仮定して、観測振幅との残差が最も小さくなる震源位置をグリッドサーチにて探索する。一般に振幅分布は方位依存性を持つが、地殻浅部の強い微細不均質による散乱効果のため、見かけ上振幅分布が等方的となる現象 (Takemura et al., 2009) を利用している。本研究では、記録された震動の上下動成分に対して 5-10Hz のバンドパスフィルタをかけたのち、それらの震動が S 実体波から構成されているとして震源位置を探索した。その際、震源位置は地表面を仮定し、また、S 波速度は 1.44km/s、内部減衰は  $Q=100$  を仮定した。サイト特性は伊豆大島から離れた場所で発生した非火山性地震からの各観測点におけるコーダ波部分を用いて推定した。

5 つの震動源は、いずれも御神火スカイラインから元町地区の東側にかけて推定された。継続時間の短いひとつの震動を除いた 4 つの震動については、それぞれの震動の継続時間 (約 60~80 秒) 内で震動源が西方向 (山側から下流側) へ移動しており、その震動内における土砂の移動を検知している可能性がある。その移動速度は約 40km/h から 70km/h に達していた。また、震源振幅の時系列はその最大値や継続時間が 5 つのイベントでそれぞれ異なり、泥流の発生形態の多様性を示している。

一般的に、火山観測網は狭い範囲に多くの地震計が設置されており、本来の目的である火山活動に伴う地震や微動の観測のほか、本研究のような泥流の震源やその発生形態の推定にも有効である。振幅分布を利用した震源決定手法は準リアルタイムでその震動源や震源振幅の時系列が推定可能であり、火山周辺で発生するさまざまな災害の発生箇所や規模の早期推定に非常に有効であろう。

謝辞：東京大学地震研究所、防災科学技術研究所、気象庁の伊豆大島観測網の地震波形を使用しました。また、国土地理院作成の数値地図 50m メッシュ (標高)、及び電子国土システムによる背景地図を使用しました。

キーワード: 地震動振幅分布, 震動源, 土石流, 伊豆大島

Keywords: distribution of seismic amplitudes, locations and migration of debris flows, Izu-Ohshima Island

## G-EVER 次世代型火山災害予測システム G-EVER Next-generation Volcanic Hazard Assessment System

宝田 晋治<sup>1\*</sup>; Bandibas Joel<sup>1</sup>  
TAKARADA, Shinji<sup>1\*</sup>; BANDIBAS, Joel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>産総研地質調査総合センター

<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST

アジア太平洋地域大規模地震・火山噴火リスクマネジメント (G-EVER) コンソーシアムでは、2012年に発足以来、アジア太平洋地域の研究機関とともに、情報共有、国際標準化、ワーキンググループ活動等、各種の地震火山ハザード・リスク対策活動を進めている (<http://g-ever.org>)。次世代型火山災害予測システム WG では、近未来の火山防災システムとして、火山噴火の進行のさまざまな段階で、噴火予測、被害想定、避難等に利用可能な、リアルタイム火山災害予測システムの構築を目指している。現在、火山の噴火履歴、火山噴火データベース、数値シミュレーションを統合化した、次世代型火山災害予測システムの構築を進めている。

日本及びアジア太平洋地域の主な活火山において、過去にどのような経緯をたどって大規模噴火に至ったか、主要な火山噴火の噴火履歴をとりまとめることが、今後の噴火予測やイベントツリーの作成を行う上で重要な基礎データとなる。より精度の高い分布図を作成し、個別の噴出量を、統一した手法で再計算する必要がある。各火山の主要噴火の噴出量と年代を精度よく求めることができれば、より精度の高い階段ダイヤグラムを作成でき、確率的噴火予測等に利用できる。各噴出物の噴火年代、噴出量、噴火形態をとりまとめた火山噴火データベースは次世代システムの基礎データとなるため、より精度の高いデータベースの構築が必要である。また、各火山噴出物の体積の推定方法の標準化は、噴火の規模の精度を高める上で必須である。過去の主要な大規模噴火については、火砕流、火砕サージ、岩屑なだれ、溶岩流、降下テフラ、弾道物、火山泥流について各種のシミュレーションを予め実施しておき、各地域のリスク評価を行っておくべきである。高精度なシミュレーションの実行には時間がかかるため、予め代表的な場合のシミュレーション結果を求めておくと、噴火時により迅速な対応ができる。

活火山の過去の噴火履歴、火山噴火データベース、各種シミュレーションを統合化し、次世代型リアルタイム火山災害予測システムを構築中である。各噴出物の分布域、噴出量等を、検索の上、タイムライン等により容易に取り出し、表示・比較検討できるシステムを予定している。また、過去の火山噴火データベースから、類似した噴火履歴を検索し、今後の噴火推移予測に利用可能なシステムを計画している。次に、シミュレーション技術により、噴火地点、噴火形態、噴出量、噴出率、風向きを変動させて、何分後にどの範囲まで火砕流や降下テフラ等の噴出物の影響が及ぶかを図示できるシステムが必要となる。そのシステムは、GISを用いて、ある噴火現象に対して、既存の主要道路や家屋、避難所等の情報と重ね合わせて演算することにより、何分後にどの地点がどの程度の被害を受けるのか、現地で状況に応じて臨機応変にリスク評価ができることが望ましい。予め活火山周辺地域において、火山噴火現象ごとにシミュレーションをくり返し、確率的火山噴火予測図を作成することも必要である。

2013年6月より試験公開を開始した次世代型火山災害予測システムでは、ASTER Global DEMを用いて、ほぼ全世界中の火山のエナジーコンモデルによるシミュレーションが可能である。また、全世界の火山毎に、スミソニアン GVP 火山DB、VOGRIPA、日本の火山DB、ASTER 火山衛星画像DB等の主要火山DBへのリンク機能を持ち、過去の火山噴火履歴やデータベースへアクセスできる。現在、約3200以上の世界各地の第四紀火山を一覧表示リストや分布図から選択し、個別の火山情報を取り出すと共に、様々な条件を変えてシミュレーションを実施することができる。シミュレーション結果は、Google Maps (地形図、道路地図、衛星画像) や Bing Maps、国内の25000分の1地形図、シームレス地質図などと重ね合わせることが可能であり、詳細な災害評価や影響範囲の推定に用いることができる。さらにShapeファイルやGoogle Earthへの出力も可能であるため、ダウンロードの上GISによる詳細な検討や、3Dでの災害評価ができる。現在、Titan2Dによる火砕流や岩屑なだれのシミュレーションシステム及び国内の10mメッシュ標高データの実装作業を進めているところである。今後、DOWNFLOW(溶岩流)、Tephra2やAsh3D(降灰)等のシミュレーションの実装を計画している。さらに、イタリアINGVと連携し、火砕流や降灰に関する確率的火山災害予測システムの構築を進める計画である。アジア太平洋地域及び日本国内で、ハザードマップの作成・改訂、国レベルの防災プラン策定、自治体の地域防災計画等に利用されることを想定している。

G-EVER 次世代型火山災害予測システムの URL(<http://volcano.g-ever1.org/vhazard/HazardAssessment/>)

キーワード: 火山, 災害, アジア太平洋, G-EVER, シミュレーション, データベース  
Keywords: volcano, hazard, Asia-Pacific, G-EVER, simulation, database

## マグマデータベースに基づく火山活動評価のための経験則を得る試み An attempt to obtain empirical evidences for petrological assessment of volcanic activity based on magma database

竹内 晋吾<sup>1\*</sup>; 土志田 潔<sup>1</sup>; 三浦 大助<sup>1</sup>  
TAKEUCHI, Shingo<sup>1\*</sup>; TOSHIDA, Kiyoshi<sup>1</sup>; MIURA, Daisuke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所

<sup>1</sup> Central Research Institute of Electric Power Industry

### 【目的】

国内の火山においては、活動履歴・噴火様式・噴火規模について品質の高いデータベース (Hayakawa, 1996 -; 工藤・星住, 2006 -) が整備されつつある。その一方で、これらの噴火の原因となったマグマについて、岩石学的側面からは不明な事例が多い。そこで我々は、過去約 10 万年間に国内で発生した大規模噴火を中心に噴出物解析を進め、岩石学的性質に関するデータベース (マグマ DB) の構築を進めている。マグマ DB により、岩石学的パラメーター (全岩組成・メルト組成・斑晶量等) と噴火パラメーター (噴火規模・噴火様式等) との関係を多数の噴火事例について検討することにより、両者の間の普遍的な関連性を得て、火山活動評価のための経験則を得ることを目指している。

### 【解析対象と解析手法】

過去約 10 万年間に国内で起こった噴火のうち、約 90 事例について現在までに噴出物解析を行っている。大規模な噴火を可能な限り網羅するという方針の基に解析対象は選択された。噴火マグニチュード (M) で M=4-8 の噴火事例を主に対象とし、比較的最近に起こった M=1-3 の噴火事例も少数含む。現時点でマグマ DB は、全岩組成・斑晶量 (一部は斑晶モード組成)・石基組織画像 (100  $\mu$ m-2.5 mm 四方)・cm スケールの火山岩組織元素像・電子像 (1 cm-3 cm 四方) のデータからなる。それらに加え、マグマ溜まり条件でのメルト組成に相当する石基組成を求めている点が大きな特徴である。

### 【解析結果】

噴出物解析を行った約 90 事例に加え、Takeuchi (2011) によってコンパイルされた国内事例 11 例を追加し、検討することにより、現時点では以下の傾向が見いだされつつある。以下では斑晶を含むマグマ全体を指す場合にはマグマを用い、液相のみを指す場合にはメルトを用いる。

(1) 流紋岩質メルト (石基 SiO<sub>2</sub> 量 > 70 wt%) を含むマグマ (安山岩から流紋岩質マグマ) は M=4-8 の噴火を引き起こす一方、玄武岩からデイサイト質メルト (石基 SiO<sub>2</sub> 量 < 70 wt%) を含むマグマ (玄武岩からデイサイト質マグマ) の噴火規模は M=5 以下が大半である。

(2) 流紋岩質メルト (石基 SiO<sub>2</sub> 量 > 70 wt%) を含むマグマは斑晶量が増大するにつれ、噴火の最大規模が小さくなり、0-20 vol% の斑晶量範囲では最大規模は M=8 である一方で、20-50 vol% の斑晶量範囲では最大規模は M=6 である。

### 【今後の展望】

基本的な岩石学的パラメーターであるメルト組成や斑晶量によって噴火規模に関するある程度の制約が噴火実績の観点から与えられることが本研究から示唆される。噴火の初期段階で迅速な噴出物解析を行い、メルト組成や斑晶量を得ることにより、その後の噴火シナリオの構築にまで貢献できる可能性を秘めている。今後は、その他の岩石学的パラメーターと噴火パラメーターの関係を検討するとともに、例外がどの程度、存在するかを明らかにし経験則としての信頼性を高めていきたい。また岩石学的パラメーターと噴火パラメーターの関連性は実用的な経験則としてだけでなく、噴火メカニズムの普遍的理解のためにも重要な観察事実となる。

キーワード: マグマ, 噴出物解析, 火山活動評価, データベース

Keywords: magma, petrological analysis of volcanic rock, assessment of volcanic activity, database

## カメルーン、マヌン湖の溶存CO<sub>2</sub>量の経時変化 Temporal variation (2011-2013) of the amount of CO<sub>2</sub> dissolved in Lake Monoun, Cameroon

大場 武<sup>1\*</sup>; イッサ I<sup>1</sup>; 佐々木 由香<sup>1</sup>; 日下部 実<sup>2</sup>; 吉田 裕<sup>3</sup>; 上田 晃<sup>2</sup>; 穴澤 活郎<sup>4</sup>; 佐伯 和人<sup>5</sup>; 金子 克哉<sup>6</sup>; 宮縁 育夫<sup>7</sup>; アカ F T<sup>8</sup>; タニレケ G<sup>8</sup>; ヘル J V<sup>8</sup>  
OHBA, Takeshi<sup>1\*</sup>; ISSA, I<sup>1</sup>; SASAKI, Yuka<sup>1</sup>; KUSAKABE, Minoru<sup>2</sup>; YOSHIDA, Yutaka<sup>3</sup>; UEDA, Akira<sup>2</sup>; ANAZAWA, Katsuro<sup>4</sup>; SAIKI, Kazuto<sup>5</sup>; KANEKO, Katsuya<sup>6</sup>; MIYABUCHI, Yasuo<sup>7</sup>; AKA, F t<sup>8</sup>; TANYILEKE, G<sup>8</sup>; HELL, J v<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 東海大学, <sup>2</sup> 富山大学, <sup>3</sup> 吉田技術士事務所, <sup>4</sup> 東京大学, <sup>5</sup> 大阪大学, <sup>6</sup> 京都大学, <sup>7</sup> 熊本大学, <sup>8</sup> IRGM カメルーン  
<sup>1</sup> Tokai Univ, <sup>2</sup> Univ Toyama, <sup>3</sup> Yoshida Eng Office, <sup>4</sup> Univ Tokyo, <sup>5</sup> Osaka Univ, <sup>6</sup> Kyoto Univ, <sup>7</sup> Kumamoto Univ, <sup>8</sup> IRGM Cameroon

### 序

1984年8月15日の深夜23時頃、カメルーン共和国北西部に位置するマヌン湖の北約6kmの住民が大きな音響と地震動を感じた。その後、湖から致死性の気体が発生し、地表から数mの気層を形成し、湖の周囲に広がり37名がその気体の影響で死亡した。致死性の気体は翌日の午前10頃には拡散し安全となった (Sigurdsson et al, 1987)。Sigurdssonらは地震動により湖の東部で湖水に向かって崖崩れが発生し、その土砂が深層湖水を攪拌した結果、飽和濃度に達していた溶存CO<sub>2</sub>が発泡し、CO<sub>2</sub>ガスを主体とする致死性のガスが湖面から大量に発生したと推定した。このように湖からCO<sub>2</sub>ガスが噴出する現象は湖水爆発と呼ばれており、1986年には同じくカメルーンのニオス湖で発生した。湖水爆発は溶存CO<sub>2</sub>濃度が飽和に達し自然に発生する可能性もある。湖水爆発によるガス災害を防ぐため、マヌン湖で2003年に脱ガスパイプが設置され、2009年までに大半のCO<sub>2</sub>が除去されたが、深層水CO<sub>2</sub>濃度の低下により脱ガスは停止した。そのため我々は2013年12月には深層水をポンプで強制的に組み上げ脱ガスさせる装置を設置した。

### CO<sub>2</sub>量の見積もり

湖水に蓄積するCO<sub>2</sub>量は、湖盆地形と溶存CO<sub>2</sub>濃度の深度プロファイルから計算される。溶存CO<sub>2</sub>濃度は以下の二つの方法で観測した。

#### 1. MK法 (Kusakabe et al, 2000)

50mLのディスポシリンジにあらかじめ入れてある5M KOH溶液10mlを湖水約30mlと任意の深度において混合させ、全CO<sub>2</sub>種 (CO<sub>2</sub>aq, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) を炭酸イオンとして固定し、研究室に持ち帰り酸滴定により全CO<sub>2</sub>種濃度を求める。この方法は正確で信頼性が高いが採取と分析に手間がかかるので、深度プロファイルのデータ点は、離散的にならざるを得ない。

#### 2. CTD法 (Kusakabe et al, 2000)

いわゆるCTDにより湖水の温度、電気伝導度、pHの深度プロファイルを取得し、以下の手順で全CO<sub>2</sub>種濃度を推定する。CTDによる観測の利点は、ノイズの少ないほぼ連続に近い深度プロファイルを得られることである。

a) 電気伝導度Cを25℃の値(C<sub>25</sub>)に規格化する。この際に電気伝導度は温度に対し2%の割合で変化すると仮定する。

b) 仮の定数としてNaHCO<sub>3</sub>溶液のモル電気伝導率を用い、C<sub>25</sub>からHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度とイオン強度を求める。

c) H<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>の活量係数をDaviesの式で求め、実濃度ベースのH<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>とHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の酸解離定数を求める。

d) 上述の酸解離定数、温度、pHから全CO<sub>2</sub>濃度を計算する。

本研究では上述の1と2の方法で得られた値を以下の手順で整合的に組み合わせる。

e) d)で求めた全CO<sub>2</sub>濃度とMK法で求めた全CO<sub>2</sub>濃度を各深度で比較し、濃度の差の二乗和を計算する。

f) b)とc)では実際の湖水の組成とは異なる組成を仮定している。そこで電気伝導と組成の間の不一致を補正するために、新たな係数kを導入する。kはC<sub>25</sub>-corr=k\*C<sub>25</sub>で定義される。C<sub>25</sub>-corrが修正された電気伝導度で、これを用いて何度かa)からe)までの計算を繰り返し、二乗和が最小になるようなkの最適値を見つけた。

### 結果

全CO<sub>2</sub>濃度プロファイル (Fig. 1) から2011年から2012年にかけて、高濃度20mmol以上の深層水の厚みが増加し、2012年から2013年にかけても、高濃度深層水の厚みがわずかに増えた。マヌン湖は東部から河川が流入し、西部から流出しており、水面から-30mまでの層は河川水の影響が大きいうえで全CO<sub>2</sub>濃度が低い。そこで湖底直上の深度である-98mから-30mにかけて全CO<sub>2</sub>濃度を積分したところ、2011年、2012年、2013年の全CO<sub>2</sub>量はそれぞれ、101, 118, 119Mmolとなった。これらの値は、Kusakabe et al (2008)が求めた脱ガスパイプ設置直前の値、600Mmolに比べれば圧倒的に少ない。マヌン湖に溶存しているCO<sub>2</sub>はマントル起源で (Nagao et al., 2010)、マグマの寿命が一般的に数万年であることを考えるなら、マヌン湖にはこれからもほぼ永続的にCO<sub>2</sub>が供給される。マヌン湖におけるCO<sub>2</sub>の蓄積量は増加傾向にあり、2013年12月からスタートした深層水の組み上げ装置を稼働させ続けると同時に、モニタリングも定期的に行うことが必要である。

キーワード: マヌン湖, CO<sub>2</sub>, 湖水爆発, カメルーン, マグマ  
Keywords: Lake Monoun, CO<sub>2</sub>, Limnic eruption, Cameroon, Magma

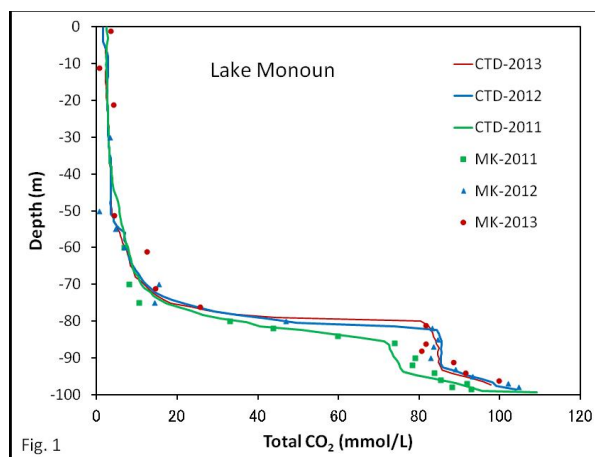


Fig. 1



## 極座標系で見た富士火山の地形と防災 Topographical features of Fuji volcano as seen in the polar coordinate system

千葉 達朗<sup>1\*</sup>  
CHIBA, Tatsuro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> アジア航測株式会社  
<sup>1</sup> Asia Air Survey Co., Ltd.

### はじめに

富士山は日本で一番高い山であると同時に最も活発な火山である。長期的に見ると、過去1万1千年間の噴出量は、48立方キロに及ぶ(宮地 1988)。これは、カルデラ噴火を除けば日本一の値である。また、富士山は毎年30万人が山頂に登るほど傾斜がゆるく、火山礫を積み上げた巨大なボタ山のようなものともいわれる。

一つの火口で数多くの噴火を繰り返した結果、火口の周りに直径10km比高2000mの巨大な円錐形の火山体が形成された。富士山は、小御岳、古富士、新富士と時代区分されており、段階的に積み上げるように成長してきた。古い山体の一部も斜面上に突き出すように残っている。小御岳や北東斜面から小富士にかけての古富士火山の尾根などである。富士山が見る方向によってさまざまな形を示すのは、このような特徴による。

### 検討範囲

富士山は巨大な円錐であるが、その斜辺の傾きは一律ではない。山頂から離れるに従い、徐々に傾きが小さくなるような“指数曲線”を描く。またこの曲がり具合は、方向によってかなり異なる。単純な“末広がりの円錐”ではない。本稿では、極座標変換という手法で、富士山にメスを入れ、切り開くことで、富士山を新たな視点からみていきたい。検討対象は、山頂(最高点ではなく、大内院のほぼ中央)を中心とする半径13.5kmの円形の範囲とした。この距離は、山頂から側火山分布限界までの距離である。北東方向の小白、北西方向の下り山火口、南方向の大淵火口南限、南西方向の天母山はいずれもこの円周上に位置する。地形データについては、国土地理院の基盤地図情報0.4秒メッシュ(約10m)もとに、直交座標系(第VIII系)の50mメッシュにリサンプリングして使用した(図3)。極座標の原点は、山頂の大内院のほぼ中央(緯度35.36295, 経度138.73035)とした。

### 安息角

一般に火山の斜面勾配は、火口から地上にもたらされた物質の状態や運動メカニズムで決定される。これを、安定勾配や安息角と呼ぶ。富士山の山頂の火口近傍では高温状態のマグマの飛沫が落下し、再び相互に付着して一体化した溶結降下火砕物が見られる。この付近は、35度以上の傾斜で安定している。山頂から少し離れ、傾斜が20度程度の地域では、高温のマグマがそのまま液体として流れた溶岩流や高温の粉体や気体がなだれのように斜面を高速度で下る火砕流のつくる地形が観察できる。さらに、傾斜が10度程度に緩くなると、土砂と水が混合し高密度の流れとなって谷底を流れる土石流・泥流などがあらわれる。これらをさらに、降下スコリアや降下火山灰などの風成層が覆うので、時間とともになめらかとなっていく。局地的には、谷が形成されたり埋めたてられたり、さまざまなことがおきている、総じて、周りより高い部分は削り取られ、低い部分は埋まっていく、かくして富士山は世界的にもまれな、見事な末広がりの巨大な円錐となった。

### 平面図

極座標変換後の地形を見ると、側火山の集中する部分は周囲よりも高く、ニキビのように盛り上がっていることがわかる。特に、135度方向と315度方向に集中していることがわかる。なお、250度付近の高度のギャップは、丹沢山地が東側から突き出している影響で、南の御殿場側が低くなっている。

### 投影断面

X軸に山頂からの方位、Y軸に高度をとり、50m DEMの格子点頻度分布を投影断面カラーで示し投影断面を作成した。富士山をスカートに例えれば、明るい下限の線がフレアスカートの周囲の高さに相当する。この図を見ると、最も標高が低いのは南西の富士宮方向であることがわかる。次に、御殿場方向、最後に富士吉田方向である。北西方向や南東方向に泡立つような模様が見えるが、側火山の山体の影響である。また、方位角200度から250度の忍野から山中湖にかけての方面は、周辺よりも有意に標高が高い。この方向に古富士の山体斜面があることなどを考慮すると、古富士の山麓緩斜面と見たほうがいいのだろう。

### 文献

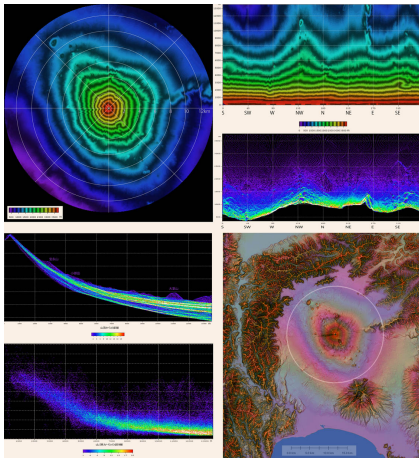
千葉達朗(2010) 富士山の地形-50mDEM円柱座標変換解析の試み-, 富士学研究,7,1,3-13.  
宮地直道(1988) 新富士火山の活動史, 地質学雑誌, 94, 6, 433-452.

キーワード: DEM, 安息角, 投影断面, スラッシュ雪崩, 溶岩流, 活断層  
Keywords: DEM, angle of repose, profile, slush avalanche, lava flow, active fault

SVC52-08

会場:416

時間:4月28日12:00-12:15



## 災害伝承のツールとしてのジオパーク：島原半島ジオパークの事例 Tool handing down disaster experiences using Geoparks: examples of Unzen Volcanic Area Global Geopark

大野 希一<sup>1\*</sup>

OHNO, Marekazu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 島原半島ジオパーク事務局

<sup>1</sup>Unzen Volcanic Area Geopark Promotion Office

島原半島に暮らす住民は、繰り返し雲仙火山の噴火によって、繰り返し被災してきている。記録に残る最古の噴火である1663年の寛文噴火では、火口からあふれた熱水に誘発された土石流が麓の集落を襲い、30名余が犠牲になった。1792年の寛政噴火では、火山活動に伴う強い地震によって誘発された眉山溶岩ドームの大崩壊と、崩壊土砂が引き起こした津波により、約15000人が犠牲になった。さらに1990年から約5年間継続した平成噴火では、溶岩ドームの崩落による火砕流および火砕サージにより、44名が犠牲となった。このような災害が繰り返し発生し続けるにもかかわらず、島原半島の人々は活火山・雲仙の近傍に暮らし続けている。

活火山の近傍に暮らし続ける以上、火山災害のリスクは常に付きまとう。過去の災害の経験を後世に伝え、防災意識が地域住民の中に根付けば、災害からのリスクは大いに軽減される。しかし噴火間隔が100~200年のオーダーにある雲仙火山は、被災経験の持続的な伝承が難しく、情報の風化はもちろん、誤った情報が伝達される可能性もある。また、必要以上に災害を強調した情報の伝達は、地域住民の不安をあおる結果にもなりかねない。これらの課題を克服する仕組みの一つが、ジオパークである。

ジオパークでは、学術的価値を持つ地域資産（露頭や景観を含む）を保全しながらそれらを教育や観光に活用し、持続可能な形で地域を発展させることが要求される。よって、ジオパークで行われる教育活動の中に防災教育を組み込めば、地域の子供たちの防災意識を高め、将来的には地域全体の防災意識の底上げに繋げることができる。今回の発表では、島原半島ジオパークで演者が実施している「ジオパーク学習」の様子を紹介する。

島原市内の全小学校6年生および中学1年生は、総合学習の時間の中で1日かけて見学ツアーを行い、ジオパークに認定された地域の見どころを学んでいる。小学6年生が学習するテーマは「平成・寛政噴火とその災害」で、子供たちは火砕サージで被災した小学校の校舎跡や、土石流に埋もれた家屋が保存されている公園の見学を通じて、20数年前に自らが暮らしている町で何が起きたのかを学ぶ。また、山体崩壊が作り出した地形や、崩壊が起こる前の海岸線の位置を確認しながら、222年前に起きた大災害を体感する。ツアーの中では、災害を引き起こした火山現象の説明だけでなく、湧水を飲んだり、絶景スポットを紹介したり、地域の郷土料理の魅力も説明しながら、なぜ活火山の近くに人々が暮らし続けるかを問いかけ、子供たちにその理由を考えてもらっている。

これは「防災教育」ではない。しかし、地域の子供たちが、地域の学術的価値や火山噴火の怖さを正しく理解し、かつ人々が火山の近くに暮らし続ける理由を理解すれば、それはおのずと防災の意識の醸成につながる。同様の取り組みは、現在ジオパークに認定されている他の火山地域（洞爺湖有珠山、伊豆半島、箱根、伊豆大島、阿蘇、霧島、桜島・錦江湾）においても行われつつあり、ジオパークは日本国民の火山防災に対する意識の向上に、確実に寄与していると言える。

キーワード: 島原半島世界ジオパーク, 防災教育, ジオサイト, 平成噴火, 島原大変

Keywords: Unzen Volcanic Area Global Geopark, Education of disaster prevention, geosites, Heisei eruptopm, Shimabara Catastrophe

## 2011 年霧島山新燃岳噴火をキッチン火山実験で再現する Reproduction of the Eruptive sequence of the 2011 Shinmoedake eruption using the kitchen volcano experiments

井村 隆介<sup>1\*</sup>; 谷山 天一<sup>2</sup>

IMURA, Ryusuke<sup>1\*</sup>; TANIYAMA, Hirokazu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 鹿児島大学 大学院理工学研究科, <sup>2</sup> 宮崎県高原町役場

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, <sup>2</sup>Takaharu Town Office, Miyazaki Prefecture

小・中学生を対象に 2011 年霧島山新燃岳噴火をキッチン火山実験で再現するプログラムを実施した。2011 年噴火の推移を実際の写真や図で解説しながら、食材を使った実験でそれを順番に再現した。マグマの発泡・噴出（準プリニー式噴火）から揮発性成分の抜けた溶岩の流出（火口内への溶岩の流出）などの噴火のメカニズムや軽石・火山灰の分布様式などへの理解が、実際に起こったこと、見られたこととつきあわせることで、格段に進んだ。霧島山東麓では、2011 年の新燃岳噴出物を実際に観察できるので、野外観察と組み合わせることによって、より有意義なものになった。2011 年新燃岳噴火を知ることは、子ども達に防災を意識させずに防災を学んでもらえることにつながる。このプログラムは霧島ジオパークにおける教育・防災分野の重要な部分を担うものである。

キーワード: 2011 年新燃岳噴火, キッチン火山学

Keywords: The 2011 Shinmoedake eruption, kitchen volcano experiment

## 火山観測用自走式センサー「ほむら」の開発 HOMURA: Development of mobile sensor for volcanic exploration

金子 克哉<sup>1\*</sup>; 伊藤 公一<sup>2</sup>; 安部 祐一<sup>3</sup>; 岩堀 功大<sup>4</sup>  
KANEKO, Katsuya<sup>1\*</sup>; ITO, Koichi<sup>2</sup>; ANBE, Yuichi<sup>3</sup>; IWAHORI, Kodai<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院人間・環境学研究科, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 京都大学工学研究科, <sup>4</sup> 京都大学理学部  
<sup>1</sup>Human and Environmental Studies, Kyoto University, <sup>2</sup>Graduate school of Science, Kyoto University, <sup>3</sup>Graduate school of Technology, Kyoto University, <sup>4</sup>Faculty of Science, Kyoto University

火山噴火の予兆現象を把握し、火山噴火のダイナミ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、地震、電磁気学的観測などが行われている。一方、活動が活発化している火山において、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。これまでに、いくつかのプロジェクトで火山観測用の無人ロボットの開発が試みられてきたが、巨額な研究開発費が必要ということもあり、プロジェクトの終了とともに開発が停止し、実用化に至っていないのが現実である。

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のシステム「火山観測用自走式センサー」の開発を行う。我々はこのシステムを「ほむら」と名付けた。我々は、目視下あるい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に操縦局に送信するロボットを目指し開発を行っている。今回の発表では、ほむら開発の現況と、伊豆大島で行った Docomo の FOMA 無線通信を用いた遠隔操縦試験の結果について報告を行う。

ほむらの開発の基本指針は、(1) 不整地走行において簡単に走行不能にならない車体とすること、および、(2) 製作運用のコストに優れること、の2点である。この指針のもと、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750x幅430x高さ310mm、重さは約12kgである。動力源は2セルのリチウムポリマー電池(7.4V、容量約250Wh)である。機体内には、カメラ、GPS、CO<sub>2</sub>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、デジタル無線通信で行う。基地局とのコマンド、データの送受信、走行およびセンサーの制御は、搭載された小型コンピュータにより行われる。車体の製作費用は、約20万円であり、これまでに開発された火山観測ロボットに比べ桁違いに安価なものとなっており、小型ゆえに運搬、運用も簡単である。

実際の運用に当たり、大きな問題となるのは、無線通信手段である。現段階において、1.2GHz帯10kbpsの直接通信、2.4GHz帯38kbpsの直接通信、Docomo FOMAによる64kbps通信の3種類のデジタル無線通信モジュールを用いることができる。直接通信においては、通信インフラを必要としないため、どの火山でも運用可能であるが、確実な通信を行うためには、基地局から1km以内でほむらを見通すことが必要となる。したがって、直接通信による運用は、観測対象までかなり近づける場合に限られる。一方、FOMA通信においては、FOMA通信インフラが必要であるが、それがある場合には、基地局を任意の場所におくことが可能である。

我々は、2013年11月、伊豆大島三原山および裏砂漠において、FOMA通信を用いて、ほむらの遠隔操縦試験を行った。三原山の山頂火口より、北に約2kmはなれたカルデラ縁(伊豆大島温泉ホテル)に基地局を設置し、そこから山頂火口を目指して、ほむらをスタートさせた。操縦は、すべて、ほむらを目視することなく、内臓のカメラ、GPSなどのセンサーデータのみにより行われた。結果として、5日間、1回の電池交換により、ほむらは、大島温泉ホテルより登山道を経て、山頂に至り、登山道外の斜面を裏砂漠へ下り、温泉ホテルより約1kmの地点まで戻ることができた。この実験により、目視によらない遠隔操縦により、火口周辺へのアプローチが十分に可能であることがわかった。その一方で、溶岩流の盛り上がり部分が壁になり、ほむらに対してFOMA中継局方向がさえぎられると、FOMA無線は、不安定になり、最悪通信が完全に途絶してしまう。このような場所が、ほむらのルート上に4ヶ所あった。このことは、三原山において、遠隔操縦だけでほむらが山頂まで達することは実際に不可能であることを示している。陸上を走る観測ロボットを火山で運用する場合には、事前に十分な検討を行い、安定した無線通信手段を確保することが必須である。携帯電話無線網を利用する場合には、状況に応じ、臨時の中継局を設置するなどが必要になるであろう。

キーワード: ロボット, 遠隔操縦, 携帯電話通信, 伊豆大島  
Keywords: robot, Remote control, Telecommunication by cell phone, Izu-ohshima

## 噴煙柱からの粒子離脱 (2) —観測点配置による再現性評価 Particle fallout from an eruption column (2) - evaluation of reproducibility

萬年 一剛<sup>1\*</sup>  
MANNEN, Kazutaka<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 神奈川県温泉地学研究所  
<sup>1</sup> Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

降下火山灰シミュレーションにおいて、地上における堆積量見積の誤差が生じる原因として、噴煙柱のどの高さからどれだけの量の粒子が放出されているかを示す給源パラメータの不確実性が考えられる。給源パラメータは高さにかかわらず均質としたり、粒径と噴煙の上昇速度の関連から決めたり(鈴木モデル)されているが、観測を元に調べた研究はほとんど無い。著者は Tephra2 と観測された気象場を用いて、伊豆大島 1986 年噴火の給源パラメータをインバージョンによって求めようとしている(昨年度本大会)。

今回は、観測点配置によって、再現される給源パラメータにどのような違いが生じるかを、2つの方法を使って評価した。

1つは、ダミーの噴煙パラメータを与えて、各観測点における降灰量を計算し、その計算結果にもとづくインバージョンで、最初に与えたダミーの噴煙パラメータを再現できるか確認するというものである。

もう1つは、ジャックナイフ法によるものである。この方法では、観測点を順番に一つずつ外し、その都度給源パラメータを計算する。その都度計算される給源パラメータは「疑似値」とよばれるが、最終的な給源パラメータの推定値は疑似値の平均値、給源パラメータの誤差は疑似値の標準偏差となる。

伊豆大島 1986 年 B 噴火について、この2つの方法を使って、観測点配置による再現性を評価したところ次のことがわかった。まず、再現できる高度の範囲は粒径によって異なり、-3phi で 7km、0phi で 4km が上限であった。またジャックナイフ法による給源パラメータの誤差はあまり大きくなく、ほとんどの場合 10%以下であった。

キーワード: 降下火山灰, Tephra2, シミュレーション  
Keywords: Pyroclastic fall, Tephra2, simulation

## MODIS データを利用した火山・溶岩活動の検知 Detection of thermal anomaly associated with volcanic activity from MODIS data

堤 梨花<sup>1\*</sup>  
TSUTSUMI, Rika<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院理学研究科  
<sup>1</sup> Chiba University

世界には多くの火山が存在するが、その全てを連続監視することは多くのコストを要するため困難である。一方、火山活動は温度上昇を伴うという点と、衛星によるリモートセンシングでは広範囲の地表面温度の監視が可能ということ踏まえ、衛星データを使用することで、効率的に多くの火山を連続監視することができる。

よって、我々は人工衛星 Aqua/Terra に搭載されているセンサ MODIS の L1 夜間赤外データを用いて、火山周辺の地表面温度の時空間的な統計解析を行うことによって、火山活動（特に人命に関わる甚大な被害をもたらす溶岩活動の監視や火砕流予測を目的として）に伴う温度異常を検知するアルゴリズムを構築することを本研究の目的としている。

また、本解析では、雲ピクセルの棄却が必須であり、雲に対する感度が高いとされる 4 つの輝度温度のバンド間差分値 (BTD : Brightness Temperature Difference) (band31-band20, band31-band27, band31-band20, band34-band35) を用いて、各 BTD の特性を考慮し、雲ピクセルの棄却を行った。雲ピクセルの棄却手法の精度を検証するため、日本の 8 か所 (札幌・新潟・富山・つくば・東京・松江・長崎・辺戸) で、LIDAR データ (国立環境研究所) と MODIS データの雲判別に用いた各 BTD の値を比較した。その結果、熱帯 (辺戸) および日本地域の火山活動の監視については、雲判別に用いた手法が、十分な能力があることが分かった。精度よく雲ピクセルの棄却を行ったことで、先行研究 (Noguchi 2010) で出ていた雲ピクセルによる火山活動期間以外の温度異常の誤検知をなくし、火山活動期間中の溶岩活動に伴う温度異常のみの検知に成功した。

キーワード: MODIS, 火山, 溶岩, 新燃岳, Lidar

Keywords: MODIS, Lidar, Volcanic activity, Shinmoe-dake, lava activity