

観測と素過程の研究の連携について

On linkage between researches based on observation and of elementary processes

篠原 宏志^{1*}

SHINOHARA, Hiroshi^{1*}

¹ 産業技術総合研究所

¹ Geological Survey of Japan, AIST

近年はどの分野でも多項目観測や異なる研究手法の連携が重要視されている。私は他の分野の状況を良く理解している訳ではないが、火山学ではこの多項目観測や異なる研究手法の連携が今までも比較的良く実施され、また今後も強く思考されていると思われる。また、観測と素過程やモデル化の研究の連携も密接で多くの成果が出ていると思われる。それは、火山もしくは噴火というターゲットが明瞭で集中しており、かつ様々な現象が複合して生ずるため、様々な観測・研究手法を応用しやすく、また特に物理観測では結果と素過程を一対一対応でモデル化可能な場合が多いためであろう。しかし、このような個別の観測値のモデル化を蓄積することにより、より包括的な火山現象を理解できるようになるのであろうか？

火山現象の数理科学的なモデリングでは、個々の素過程の個別の理解に加えて、素過程の相互作用の非線形性を評価することにより、素過程の重ね合わせだけでは理解できない系の巨視的なふるまいの原因などが明らかにされてきている(小屋口、1995、2008)。系の巨視的なふるまいの原因を理解し挙動を再現できる事が火山を理解することであろう。その実現のためには様々なレベルでの火山の巨視的振る舞いそのものが検証に耐える形で記述されていなければならないが、その記述(評価)を行う事自体が重要な研究である。珪長質マグマの噴火様式が爆発的と非爆発的に二極化する機構のモデル化は火山学上の第一級の成果であるが、モデル化が可能となったのは、火山噴出物の記載・分析に基づいて爆発的と非爆発的噴火を生じたマグマに差はないことが提唱されていたからであろう。観察や観測結果からこのような一般性をもつ火山(活動)像を描き出す事が、それを構成する素過程や支配則等を研究の俎上に載せるために必要である。

観測値や観察結果にはそれぞれの原因はあり、それぞれのモデル化は可能であろう。しかし、それらの原因や関与する素過程の全てが等しく火山や噴火の挙動を理解する上で重要であるわけではない。また、地下でおきているマグマの挙動等は、観測で重要な現象が全て捉えられているとは限らない。むしろ観測で捉えられているのは極一部の現象にすぎないとも考えられる。加えて、多項目観測では必ずしも同一の場所であったり同一の現象が観測対象となっているとは限らないため、個別の観測に基づくモデルの結果のみの比較を行っても共通の火山(活動)像が見えてくる訳ではない。むしろ、ある火山(活動)像の中での、それぞれの観測値やモデルの位置づけを検討することにより、その火山像の妥当性を評価しながら、本質的に重要な現象を抽出するために必要ではなからうか。

地球物理学的観測は単一の物理過程と対応するため、数理的なモデル化や素過程との明瞭な対応が比較的容易である。それに対し、地球化学的観測等のデータは様々な現象の積分として結果である場合が多く、単純な過程でのモデル化が困難で、モデルはマンガ的な表現になる場合も多い。地球物理データが簡潔な数理モデルで解釈可能である事は地球化学から見ると羨望的であるが、簡潔であるが故に他のデータの解釈にも応用可能な火山活動像に直接結びつきにくい場合が多い。反面、地球化学データを説明するために想像された即物的なモデルは、即物的であるが故に、対応する過程を数理モデル化して地球物理学的データとの整合性を評価する事は可能である。このように異なるデータやモデルを共通の場で評価できる事が重要であり、そのためには不正確であっても即物的な火山(活動)像をそれぞれの視点・データから描く事が必要であろう。

キーワード: 火山観測, 素過程, モデル化

Keywords: volcano monitoring, elementary process, modeling

開口割れ目モデルの桜島地盤変動への適用 Application of Tensile Crack Model to the Ground Deformation at Sakurajima Volcano

堀田 耕平^{1*}, 大倉 敬宏¹, 井口 正人²
HOTTA, Kohei^{1*}, OHKURA, Takahiro¹, IGUCHI, Masato²

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 京都大学防災研究所

¹Graduate school of Science, Kyoto Univ., ²DPRI, Kyoto Univ.

桜島火山は、始良カルデラの南端に位置する活火山である。1955年の山頂噴火活発化以降の長期的な地盤変動の特徴は、水準測量およびGPS観測によって明らかにされ、始良カルデラ内部地下約10kmと山頂火口直下約3kmの2つの球状圧力源によってその変動の空間分布が説明されてきた(e.g. 江頭・中村, 1986)。すなわち、噴火の静穏期は前者の膨張による隆起、山頂噴火活動期は両者の収縮による沈降と解釈されてきた。

Hidayati et al. (2007) は、2003～2004年にかけて桜島南西部で発生したVT地震について、始良カルデラ下に推定されるマグマだまりから開口割れ目に沿ってマグマが桜島火山に向かって貫入し、開口割れ目の南西端が開くことによって発生したものと解釈した。同時に、1978～80年の桜島の地盤の沈降は、開口割れ目を始良カルデラ下の茂木ソースに加えることによりうまく説明出来ることを示した。

本研究では、Hidayati et al. (2007) が桜島の地盤変動の膨張期の地震活動から推定した開口割れ目モデルを、2000～2004年の膨張期の地盤変動に適用することを試みた。

今回は、2000～2004年にかけて火山活動研究センター(SVO)で観測されたGPSデータ(9点)に、同期間の国土地理院のGEONETデータ(16点)を加えて解析を行った。解析にはGIPSY OASIS IIを用いた。圧力源の位置等の決定にはグリッドサーチ法を用い、GEONETの観測点0491を固定した水平変位の実測値と理論値の差を用いて最小二乗法で解を決定した。球状圧力源モデルによる地盤変動は茂木モデル(Mogi, 1958)を用い、開口割れ目モデルによる地盤変動はOkadaプログラム(Okada, 1992)を用いて計算した。

まず、単球状圧力源を仮定して解析を行ったところ、膨張する球状圧力源が桜島火山北東沖の深さ約11kmに求まった。体積変化率は $9.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ であった。先行研究において、1995～2007年の11年間で $8.0 \times 10^7 \text{ m}^3$ の体積変化が見積もられ(井口ほか, 2008)、平均的な体積変化率はおよそ $7.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ となることから、これよりやや多い程度の値である。

この期間の地盤変動は、とりわけ桜島島内外西側にある観測点においてGEONETの観測点0491を基準とした西方向への変位が大きい傾向にある。そこで、上記の球状圧力源に加えて、圧力源から山頂火口に向かう鉛直な直線状の開口割れ目を加えて解析を行った。球状圧力源の位置と体積変化量は最初の計算で得られた値で固定した。開口割れ目の深さはHidayati et al. (2007) に倣って上端深さ6km、下端深さ9km(幅3km)に固定し、開口割れ目の長さとお開き量を変化させてグリッドサーチを行った。その結果、球状圧力源の南東側から山頂火口の北西側にかけて、長さ2.1km、開口量約146cmの開口割れ目が得られた。

開口割れ目を加えた結果では、桜島島内外西側にある観測点における西方向への変位のフィッティングは若干改善されているものの、観測値と理論値の間に大きな違いが見られる観測点があった。観測値と理論値の違いの原因としては、モデルの不十分さによるもの(球状圧力源と開口割れ目を同時に仮定する必要があると考えられる。また、割れ目の方位についても吟味する必要がある。)か、いくつかの観測点における固有の地盤変動によるものと考えられる。今後、桜島島外東側にある、観測点も解析に加えて検証を行う。

最後に、GEONETデータを提供して下さった国土地理院に深く感謝いたします。

キーワード: GPS, 地盤変動, 桜島火山, 始良カルデラ, 開口割れ目

Keywords: GPS, ground deformation, Sakurajima volcano, Aira caldera, tensile crack

桜島昭和火口におけるマグマ供給系の流体動力学モデリング Hydrokinetic modeling of magma plumbing system beneath Showa crater of Sakurajima volcano, southwestern Japan

巳波 壮馬^{1*}, 井口 正人², 三ヶ田 均¹, 後藤 忠徳¹, 武川 順一¹

MINAMI, Soma^{1*}, IGUCHI, Masato², MIKADA, Hitoshi¹, GOTO, Tada-nori¹, TAKEKAWA, Junichi¹

¹ 京都大学大学院工学研究科, ² 京都大学防災研究所

¹Graduate School of Engineering, Kyoto University, ²Disa. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.

We numerically simulated hydrokinetic magma supplies in the magma plumbing system beneath an active Showa crater of Sakurajima volcano to find dominant geophysical parameters in the magma accumulating process before an explosive eruption on April 9, 2009. Geodetic observations revealed that a periodic inflation and deflation event had lasted 30 hours before the eruption. Our model consists of shallower gas and deeper magma reservoirs connected by a cylindrical volcanic conduit that had been suggested by the past geophysical observations. A pressure difference between the two reservoirs forces the magma to move from the deeper up to the shallower reservoir. We assumed a constant rate of magma supply to the deeper reservoir as an input to the magma plumbing system and a viscous multiphase magma flow, i.e., crystalized materials, melt, and gas, in the volcanic conduit. The effects of the lateral escape of gas from the conduit, the vesiculation of volatiles in the magma, and the relative motion between gas and solid-liquid are taken into account in the simulation. Our simulations prove that the time-dependent inflation and deflation sequences of the two subsurface reservoirs could be reproduced and that the key parameters such as the radius of the conduit, the magma supply rate and the compressibility of the deep reservoir could be constrained through a least-square error criterion.

Keywords: hydrokinetic simulation, magma plumbing system, transient ground deformation, Sakurajima volcano

マグマだまりにおける過飽和度揺らぎによって支配される噴出量・噴火様式・噴火様式推移のモデル

Model of eruption mass and style and of their temporal change controlled by fluctuation of degree of supersaturation

寅丸 敦志^{1*}

TORAMARU, Atsushi^{1*}

¹九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

¹Department of Earth and Planetary Science, Kyushu University

The current big issue of volcanology is to clarify factors controlling the magnitude, style and the temporal behavior of eruption. I propose a model for predicting an eruption mass and style, and their temporal change on the basis of the fluctuation of degree of supersaturation in magma chamber.

We assume a square consisting of $n \times n$ (e.g., 512×512) parcels as a magma chamber with the vacant conduit connected to the surface, in which each parcel has a degree of supersaturation of volatile with a Gaussian probability density function (PDF) in space. We think that an eruption is triggered when the volume of parcels with the degree of supersaturation for vesiculation under the lithostatic pressure in magma chamber exceeds the volume equal to that of the vacant volcanic conduit. This triggering condition (triggering supersaturation) links the average supersaturation and variance of PDF each other. So one of them is automatically determined when the other is given. Once an eruption is triggered, the decompression vesiculation is induced by unloading of magma. Parcels contributing to decompression vesiculation have a certain degree of supersaturation, which is less than the triggering supersaturation according to the saturation curve. Parcels satisfying the decompression vesiculation condition are identified as decompression vesiculation parcels. The connected regions of decompression vesiculation parcels are defined as 8 neighbor connection of decompression parcels. We calculate the size distribution of connected regions, and survey the largest connected region which is regarded as unit size when magma ascends to the surface. We divide a square (magma chamber) of $n \times n$ into sub-squares with unit size of largest connected region. As each sub-square has a different fraction (Ψ) of decompression vesiculation parcels, we have a distribution function of decompression vesiculation fraction for the whole magma chamber. A decompression vesiculation fraction Ψ corresponds to a potential enthalpy to drive a sub-square of magma to the surface. A sub-square with higher Ψ generates larger volume of gas phase by decompression at the triggering of eruption, and has a potential to ascend with higher velocity. Thus each sub-square has different potential, according to fraction of decompression vesiculation parcels. We define two thresholds of Ψ . One is explosive threshold Ψ_1 . A sub-square with $\Psi (> \Psi_1)$ can ascend to the surface explosively with high velocity reaching 10 m/s or higher at the surface. The other is effusive threshold Ψ_2 . A sub-square with $\Psi (\Psi_1 > \Psi > \Psi_2)$ ascends up to the surface with mild or very slow ascent velocity less than 10 m/s at the surface. A parcel with $\Psi (< \Psi_1)$ cannot ascend up to the surface and remained in magma chamber. In this model, we can define explosive mass and effusive mass and the temporal change of eruption intensity depending on Ψ of each sub-square. We carried out a Monte Carlo simulation on the basis of the above-mentioned idea. As a result, if PDF of the degree of supersaturation has higher average or the magma chamber is relatively homogeneous, then the eruption is almost explosive and most extent of magma is evacuated, like a caldera-forming eruption. Decreasing the average supersaturation and increasing the variance of PDF, the eruption shift to an explosive eruption followed by an effusive eruption and to an eruption which only produce an effusive flow of magma such as lava flow. This transition of eruption styles from explosive to effusive and the relation to the erupted mass can account for commonly recognized transition between eruption styles in nature.

キーワード: 減圧発泡, 噴出量, 噴火様式, 噴火推移, 過飽和度

Keywords: decompression vesiculation, erupted mass, eruption style, temporal change of eruption, degree of supersaturation

せん断変形が起こす脱ガスに関するスケーリング：気泡を含むマグマは断続的に上昇すると効率的に脱ガスします

An empirical scaling of shear-induced outgassing: Intermittent magma ascent causes effective outgassing

並木 敦子^{1*}

NAMIKI, Atsuko^{1*}

¹ 東京大学 理学系研究科 地球惑星科学専攻

¹ Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

Outgassing, which changes the distribution of volcanic gases in magmas, is one of the most important processes to determine the eruption styles. Shear deformation of ascending bubbly magmas at the vicinity of the volcanic conduit wall has been considered as an efficient mechanism of outgassing. On the other hand, seismological observations of volcanic eruptions reveal the long-period (LP) earthquakes suggesting that there exists a large void space in the conduit. However both, the quantitative features of shear-induced outgassing and a mechanism to make a large void space, has still remain unknown.

Here I perform a series of model experiments simulating the shear deformation of bubbly magma ascending in a volcanic conduit. Syrup foam including CO₂ gas as an analogue of bubbly magma is deformed by using a timing belt. When the imposed shear strain is large enough, the height of the foam decreases indicating that outgassing occurs. Experiments also show that shear localization of syrup foam causes outgassing by making large bubbles or a crack-like void space, likely a LP earthquake source. Measured CO₂ concentration above the foam increases as an evidence that the gas is came from the inside bubbles. When there is an impermeable layer at the top of the foam, the gas accumulates beneath that layer.

There is a critical strain, γ , above which outgassing occurs depending on the Capillary number, Ca , $\gamma > 1$ for $Ca < 1$ and $\gamma > Ca^{-1}$ for $Ca > 1$. The thickening rate of the region in which outgassing occurs is described as a function of $\gamma^{-0.54} Ca^{1.2}$. Outgassing occurs efficiently at the very beginning of the deformation, suggesting that intermittent magma ascent causes effective outgassing such that the eruption style becomes effusive. This hypothesis is consistent with the fact that cyclic activity has been observed during effusive dome eruptions.

キーワード: 脱ガス, せん断変形, マグマ, 気泡, キャピラリー数

Keywords: outgassing, shear deformation, magma, bubble, Capillary number

ばね加圧装置を用いた流紋岩質ガラスの破断面ヒーリング機構の実験的解明 An experimental study on the mechanism of fracture healing in a rhyolitic glass using a spring pressure device

吉村 俊平^{1*}

YOSHIMURA, Shumpei^{1*}

¹ 北海道大学・理・自然史科学専攻

¹Department of Natural History Sciences, Hokkaido University

< 研究背景 >

珪長質マグマが流動する時、剪断応力が最大となる母岩近傍ではメルトの脆性破壊が起こり、マグマ内部に破断面ネットワークが形成される。このネットワークはマグマの開放系脱ガスを促進し、噴火ダイナミクスや火山岩組織の発達を支配するほか (Gonnermann&Manga, 2003nature; Fink, 1983GSA Spec.Pap.), 火山性地震を発生させるとも考えられている (e.g., Tuffen et al., 2003geology)。一方、破断面は次第に焼結し、ヒーリングするため、ガス通路としての機能を次第に失ってゆく。同時に、破壊面が回復することでマグマは強度を取り戻し、新たに破壊できる状態に戻る。したがって、マグマの脱ガス効率や継続時間、火山性地震の周期性を理解するには、ヒーリングのメカニズムを定量的に解明しなければならない。

この考えに基づき、Yoshimura and Nakamura (2010 JGR) では、ほぼ一定の圧力で流紋岩質メルトのヒーリング実験を行い、ヒーリング時間の温度依存性を調べるとともに、その素過程を議論した。しかし、深度(圧力)とともにヒーリング時間がどのように変化するかは明らかにされていない。そこで本研究では制御された圧力下で流紋岩質ガラスの破断面ヒーリング実験を行い、その時間を測定した。

< 実験方法 >

本研究では、火道最上部～溶岩内部の圧力(5～100bar)を精密に制御できるばね加圧装置を開発し、実験に使用した。試料を一軸圧縮する構造で、電気炉外に置かれたばねの弾性力が金属ピストンを介して試料に加わるようになっている。マグネシア容器に流紋岩質黒曜石の円柱(初期含水量 0.65wt%)を2本導入し、5～100気圧の様々な圧力をかけながら920℃で3～6時間加熱した。円柱底面は低速度カッターによる切断面であるため、一見平らだが、10⁻⁶m程度の凹凸が細かく形成されている。この底面同士の接触部分がマグマ破断面を模擬している。実験中、試料は開放系環境にあるため、実験圧力にかかわらず、メルト表面から脱水する。一方、接触部分では、ヒーリングしたあとは表面が失われ、脱水が停止し、含水量分布は均質化してゆく。この性質を利用して、含水量プロファイルと水の拡散脱水モデルと比較することで脱水停止時刻を決定し、これをヒーリング時間とした。

< 実験結果 >

すべての試料で接合面は焼結し、2つの円柱は一体化していた。ヒーリング時間には、2種類の圧力依存性が観察された。すなわち、30bar以上の高圧領域では、加圧応力の増加とともにヒーリング時間は単調減少し、30から100barまで増圧させると50分から4分まで低下した。一方、それより低圧では8barでも42分であり、明瞭な圧力依存性は確認されなかった。

< 考察 >

圧力依存性に2種類のモードがある理由は、ガラスの粘性流動の駆動力が30bar程度で切り替わるためだと考えられる。ガラスのヒーリングには(1)粘性流動によって破断面の凹凸が平滑化し、原子間距離のレベルまで近づいたあと、(2)界面に化学結合が作られるという、段階的な過程が必要である(2)は構造緩和時間程度の短時間のうちに完了するのに対し(1)は長時間を要し、ヒーリング時間の大部分を占める過程である。この粘性流動は、表面張力および加圧応力によって駆動されている。もし、加圧応力>表面張力の圧力であれば、加圧応力が支配的となり、ヒーリング時間は加圧応力に依存して低下すると考えられるが、逆のときは、表面張力が支配的となり、ヒーリング時間は圧力に関係なく、一定と予想される。本実験の模擬破断面の凹凸のスケールは～10⁻⁶m、表面張力は～10⁻¹N/mであるから (Bagdassarov et al., 2007AmMin), 表面張力による圧力は数10barと計算される (Cassidy&Gjostein, 1970JAmCeramSoc)。すなわち数10barで駆動力の切り替わりが起こることになり、本実験では、それがちょうど30bar付近であったと考えられる。

< 天然マグマの破断面ヒーリング >

実際のマグマ破断面の凹凸のスケールを本実験と同じ10⁻⁶mと仮定すると、2つの駆動力の切り替わりは30気圧程度(13m)付近で起こることになる。それよりも浅い溶岩流内部などでは、深さに関係なくヒーリング時間はほぼ一定で、かつ長時間脱ガスが継続すると考えられるが、それ以深では深度に応じて短くなる。火道内を上昇するマグマが効

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SVC54-06

会場:301B

時間:5月20日 12:00-12:15

率良く脱ガスするには、多数の破断面が発生・ヒーリングを繰り返す必要があるかもしれない。また、火山性地震の発生周期は、マグマ上昇とともに長くなることが予想される。

キーワード: 破断面ヒーリング, マグマ, 流紋岩質ガラス

Keywords: fracture healing, magma, rhyolitic glass

気象レーダによる火山噴火監視の可能性 - 2011年1月～3月の霧島新燃岳の噴火事例解析結果 - Potential Ability of Weather Radar for Volcanic Ash Detection

真木 雅之^{1*}, 前坂 剛¹, 小園 誠史¹, 長井 雅史¹, 古川 竜太², 中田 節也³, 越田 智喜⁴, 武中英好⁴

MAKI, Masayuki^{1*}, MAESAKA, Takeshi¹, KOZONO, Tomofumi¹, NAGAI, Masashi¹, FURUKAWA, Ryuta², NAKADA, Setsuya³, Tomoki KOSHIDA⁴, Hideyoshi TAKENAKA⁴

¹ 防災科学技術研究所, ² 産業技術総合研究所, ³ 東京大学地震研究所, ⁴ (株)いであ

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ³Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ⁴IDEA Consultants, Inc.

2011年1月～3月の間に起きた霧島新燃岳の顕著な噴火事例計27事例について、国土交通省河川局の国見山Cバンドレーダおよび釈迦岳Cバンドレーダのデータを収集し、噴煙検出期間、最大反射強度、積算反射強度、反射因子差を求めた。解析結果から、気象レーダは顕著な火山噴火現象の監視に有効であることが確かめられた。1月26日-27日の噴火事例のレーダデータと地上の降灰分布の実測値の比較から「反射強度-降灰量」関係式を提案した。一方、次のようなケースではレーダは噴火を検出できなかった。噴出粒子が小さくレーダの検出可能な反射強度以下の場合、噴火が小規模で噴煙高度がレーダビーム観測高度以下の場合、噴煙粒子が降水粒子と混在する降雨時の場合などである。偏波レーダパラメータの一つである反射因子差は、火口付近では空間的にも時間的にもランダムに変動したが、風下側では有意な傾向が見られた。偏波レーダは降水と噴煙を区別できる可能性があり、噴火時の他の偏波パラメータと検証用データの取得および火山灰の散乱特性の理解は今後の課題である。

画像解析を用いた新燃岳における噴火規模の即時的な推定の試み Feasibility study of immediate eruption scale estimation by using image analysis

高木 朗充^{1*}, 新堀 敏基¹, 山本 哲也¹, 白土 正明², 平 祐太郎², 加藤 幸司³, 福井 敬一⁴

TAKAGI, Akimichi^{1*}, SHIMBORI, Toshiki¹, YAMAMOTO, Tetsuya¹, SHIRATO, Shomei², TAIRA, Yutaro², KATO, Koji³, FUKUI, Keiichi⁴

¹ 気象研究所, ² 気象庁地震火山部, ³ 福岡管区気象台, ⁴ 気象庁地磁気観測所

¹ Meteorological Research Institute, ² Seismological and Volcanological Department, Japan Meteorological Agency, ³ Fukuoka District Meteorological Observatory, ⁴ Kakioka Magnetic Observatory

噴火現象を検知し、噴火様式、噴火規模、噴出物の到達範囲、及びその量を予測あるいはリアルタイムで実況把握することは、火山災害を軽減する上で重要である。とりわけ噴火規模を噴火の初期段階で推定することが可能になれば、その後の防災行動において有効な情報となる。

2011年1月から始まった霧島山新燃岳の噴火は、準プリニー式噴火を含む、多量の噴出物を放出する噴火活動となった。この噴火によって得られた、噴火映像、地震動、空振データ等を用い、噴火規模を即時的に推定することが可能かどうかの調査を開始したので、途中経過を報告する。

気象庁監視カメラで撮影された新燃岳の噴火画像に対して、粒子画像流速測定法 (Takimoto, 2011) による解析 (PIV解析) を用い、噴煙の噴出速度を求めた。風が弱く解析条件がよい2011年3月13日の噴火について適用した。30分程度継続した主要な噴火期間において、浮力の影響が小さいと考えられる火口直上300mまでの噴煙の速度分布から噴出物の見かけの運動エネルギーを算出した (密度は仮に1とした)。その時間変化について、地震及び空振の振幅自乗和の時間変化と比較したところ、空振の時間変化とは比較的相関が高いことがわかった。

また、PIV解析から見かけの噴出総量を見積もったところ、 $7 \times 10^8 \text{m}^3$ であった。これは火山砕屑物の他に、火山ガスや噴煙の周囲から取り込む大気も含む見かけの量である。一方、この噴火の噴出量は降灰調査により約100万トンと推定されており (地震研究所, 2011)、体積量では $0.5 \sim 1 \times 10^6 \text{m}^3$ に相当する。以上から、PIV解析から見積もったこの噴火の見かけの総噴出量は、実際の火山砕屑物の噴出量の700~1400倍に相当することがわかる。

PIV解析による見かけの運動エネルギーの時間推移と空振の自乗振幅の時間推移には相関があり、両者の関係を決定することができれば、空振のモニタリングにより、噴出率をモニタリングできる可能性があることがわかった。

この調査は現時点では1カ所のカメラと1カ所の空振計による調査結果であるが、それ以外の観測点、この噴火以外の事例、新燃岳以外の火山での事例等を今後調査する予定である。

キーワード: 噴火規模, 新燃岳, PIV解析, 空振

Keywords: eruption scale, Shinmoedake, PIV analysis, infrasound

多流体近似に基づく噴煙柱のラージエディシミュレーション - 噴煙柱発達に及ぼす乱流モデルの影響 -

Large-eddy simulation of eruption column based on multi-fluid approximation - Effects of turbulent model on development

須藤 仁^{1*}, 服部 康男¹, 土志田 潔¹

SUTO, Hitoshi^{1*}, HATTORI, Yasuo¹, TOSHIDA, Kiyoshi¹

¹ (財) 電力中央研究所

¹ Central Research Institute of Electric Power Industry

爆発的な噴火に伴う噴煙の運動において、乱流は、その運動様式（噴煙柱、火砕流等）を決定づける重要な要素の一つである。従来の定常一次元噴煙柱モデルは、乱流の効果を理論式における定数として取り扱うが、火口に近い領域の評価や噴煙崩壊条件の推定において、十分な精度を有していないとの指摘もある。近年、その効果をより直接的に取り扱う非定常三次元噴煙柱モデルの開発が進んでいる（例えば、Neri et al. 2007, Suzuki and Koyaguchi 2010）。しかし、気体と火砕物に対する乱流のモデリングについては不明な点が残されている。本報では、多流体近似に基づく非定常三次元の噴煙柱解析コードを新たに構築する。二種類の乱流モデル（サブモデル）を用いた解析結果と定常一次元モデルによる解析結果との対比を通じて、乱流モデルの影響を議論する。

本コードでは、多様な噴煙柱形状への適用性、様々な大きさの火砕物の運動の再現性に優れた Neri et al. (2007) のモデルの概念を採用する。また、オープンソースコード FrontFlow/red (Ver.3.0) を利用し、乱流の表現としてサブグリッドスケール (SGS) モデルに基づくラージエディシミュレーション (LES) を採用する。気体成分と様々な粒径の火砕物を複数の相に分類して、それぞれの相に対する質量保存式、運動量保存式、エネルギー保存式を基礎方程式とする。SGS モデルは、基礎方程式内の応力項、拡散項のサブモデル式の一部となる。気体相の SGS モデルとしては、一般に広く用いられている Smagorinsky モデルおよび、SGS における抗力の影響を加味した Yuu モデル (Yuu et al. 2001)、粒子相の SGS モデルとしては、粒子の緩和時間と気流の渦の持続時間との関係を考慮した Hinze (1975) の提案式を用いる。方程式の空間離散化には、粒子相の各保存式の移流項に三次精度 TVD スキーム、その他に二次精度中心差分法を用いる。時間積分には、オイラー陰解法と三次精度 Adams-Moulton 法を組み合わせた fractional step 法を適用する。

初めに、単純体系（単相の浮カブルーム、固気混相噴流）での既往の実験データとの対比により、本コードの妥当性を部分的に評価した。その結果、本解析値は、浮カブルームの相似則を満足し、単相流の実験値と良く対応すること、気体相と粒子相の速度差に起因する速度の変化や粒子相の乱流強度等についても実験値と良く対応すること、規模の小さな室内実験体系において SGS モデルの効果は小さいことを確認した。次に、プリニー式噴火の噴煙柱を対象に、定常一次元モデルの結果 (Woods 1988) との対比を行った。その結果、噴出速度に応じた噴煙柱の形状変化に対して、一次元モデルと本解析は良く対応した。さらに、SGS モデルの選択により噴煙柱高さ等の特性に変化が生じたことから、実規模の噴煙柱解析においては、SGS モデルが結果に無視できない影響を及ぼすことが示唆された。

キーワード: ラージエディシミュレーション, 多流体近似, 噴煙柱, 乱流モデル

Keywords: large-eddy simulation, multi-fluid approximation, eruption column, turbulent model