

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

機動的な多項目観測による火山爆発機構の研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-3) 火山噴火過程

ア．噴火機構の解明とモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

(2-2) 火山噴火予測システム

ア．噴火シナリオの作成

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-2) 火山噴火準備過程

ア．マグマ上昇・蓄積過程

(4) 地震発生・火山噴火素過程

エ．マグマの分化・発泡・脱ガス過程

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究課題では、繰り返し噴火を引き起こす火山において、地震、地殻変動、空気振動などの地球物理学的観測と火山ガスや火砕噴出物などの収集を行い、それらのデータ解析や物質科学的分析を行う。具体的には、以下の目標を掲げる。

1．火山噴火現象を定量的に記録する。また、爆発性や火砕流発生の状況をデータの特徴で整理し、火道内過程と噴火様式や規模との関連性を多量のデータをもとに明らかにする。

2．マグマ上昇モデルや噴火モデルと観測データと比較を行うことで、火道内及び火口極浅部のマグマ内揮発性物質の挙動の定量化を行う。

3．測定された揮発性成分の挙動と、定量化された火山の爆発性や様式を比較することにより、火山噴火を支配する要因を明らかにする。

本課題で行う観測項目とその目的は以下の通りである。

(1) 広帯域地震観測と解析。噴火発生時の火道浅部の力系の推定。

(2) 地殻変動観測と解析。火道内増圧過程の時空間分布推定。噴出量推定。

(3) 空気振動観測と解析。爆発圧力の時間変化測定。

(4) 噴出物収集と分析．噴出物特性の測定．噴出量推定．

(5) 火山ガス観測と分析．噴火前後の火山ガス放出量，火山ガス起源の推定．

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21～23 年度は鹿児島県諏訪之瀬島において，平成 24～25 年度はインドネシア・スメル火山において観測を実施し，得られたデータ解析結果をもとに，噴火活動の定量化を行い，噴火規模や様式，支配要因を調べる．

・平成 21 年度においては，鹿児島県諏訪之瀬島において，ポアホール型傾斜計を 6 地点に設置し，現地収録方式でデータの取得を開始し，データ解析を行う．現在，京都大学防災研等により展開されている広帯域地震計および空振計のメンテナンスを行い，データを収録する．GPS 受信機を設置し，連続観測を開始する．火山ガスの遠隔モニタリングの臨時観測を実施する．また，噴火時の噴出物サンプルを可能な限り収集する．

・平成 22 年度においては，諏訪之瀬島で傾斜観測およびそのデータ解析を継続するとともに，火山性地震の発生機構を明らかにするため臨時地震観測を実施する．空振観測，火山ガス観測，噴出物サンプリングも前年度に引き続き実施し，それぞれデータ解析を行う．

・平成 23 年度においては，上記観測を秋まで継続する．約 2 年間の多項目データの解析結果をまとめ，諏訪之瀬島火山の噴火活動を定量化する．

・平成 24 年度及び 25 年度においては，インドネシア・スメル山において，地殻変動観測，地震観測などを実施し，データを解析する．スメル山の噴火活動を定量化し，諏訪之瀬島などの火山における解析結果と比較することにより，噴火規模や様式，支配要因を調べる．

(7) 計画期間中(平成 21 年度～25 年度)の成果の概要：

平成 25 年度の成果

平成 25 年度は，インドネシア国ロコン山における臨時観測の継続とデータ解析、また、スメル山、ロコン山、諏訪之瀬島、桜島などの噴火活動の比較研究を行った。

インドネシア国スラウェシ島の北部に位置するロコン (Lokon) 山において、2012 年 9 月より開始した広帯域地震計と傾斜計を用いた機動観測を 2013 年 9 月まで継続し、ブルカノ式噴火を記録した。トンパルアン (Tompaluan) 火口から 1.6-6.8 km の範囲に 4 台の広帯域地震計 (Trillium 40) を設置し、計測技研のデータロガー HKS-9550 を用いて、A/D 分解能 24 bit、100 Hz サンプリングで CF カードにデータを蓄積した。また、火口に最も近い観測点 WAILAN には高感度の傾斜計 (Pinnacle Denali) および空振計を併設するとともに、インドネシア国 CVGHM のトモホン (Tomohon) 市のカカスカセン (Kakaskasen) 火山観測所にデータを無線 LAN で伝送して観測を行った。

ブルカノ式噴火に伴い発生する地震 (爆発地震) について、その発生機構を調べた。爆発地震の初動部分は、その到達時間と空振の到達時間の比較から、火口での空振の励起に比べて 1 秒ほど先行していることがわかった。初動部分は、まず全方位に押しのパルスである P 相の到来から始まり、続いて、振幅が大きく、引きを示す D 相が現れる。これらの位相の振動方向は火口方向に向くことから、震源は火口付近にあると推定された。また、D 相に引き続き、波形の最大振幅となるレーリー波が到達することがわかった。振幅が大きく S/N 比のよい D 相に注目し、発震機構解と震源位置を推定した。山体地形を考慮した 3 次元有限差分法によって計算した合成波形と観測波形を比較した結果、以下のことが明らかとなった。多くのイベントは、火口から深さ約 1 km の位置における円筒収縮の発震機構解で説明できる。また、震源時間関数はランプ型が適当である。推定された地震モーメントは 10^{12} Nm 程度となった。ロコン山で観測された爆発地震に見られる、P 相とそれに続く D 相、レーリー波などの振動特性は桜島、諏訪之瀬島のブルカノ式噴火に伴って観測される地震波の特徴と類似しており、共通の物理過程が内在することが明らかとなった。また、D 相のモーメントの大きさなどから、ブルカノ式噴火の規模は桜島火山と諏訪之瀬島火山の中間程度と見積もられた。

ブルカノ式噴火などの繰り返し噴火の発生頻度を調べた。スメル山、ロコン山、桜島、諏訪之瀬島の

ブルカノ式噴火に加えて、スメル山のガス噴出に伴うデータを解析した。スメル山のデータは、ブルカノ式噴火については、2007年3月中旬から4月上旬に行われた臨時地震観測によるもの、ガス噴出は2010年に設置した山頂定常観測によるものを用いた。どちらも火口から約500mの地点に設置された広帯域地震計記録であるので、連続記録からある数居値を超えた振幅を噴火の発生と見なし、爆発地震の発生時間と最大振幅を自動的に読み取った。桜島のデータは京都大学防災研究所火山活動研究センターによる爆発リストを用いた。諏訪之瀬島およびロコン山についても、我々が実施した観測データをもとに爆発地震のリストを作成した。爆発地震の最大振幅と発生数について調べた結果、ある振幅を超える累積地震数はこれまで多くの火山で報告されているべき分布（石本 - 飯田式など）よりも、指数分布とよく一致した。このことは、ブルカノ式やガス噴出の繰り返し噴火は、ある平均的な規模をもちランダムに発生していることを示唆する。振幅の累積頻度分布から求められる爆発の平均規模は、火道やマグマ供給系といったサイズを反映していると推察された。

5年間の成果

本課題では、おもに鹿児島県諏訪之瀬島（平成21～25年度）、インドネシア国スメル山（平成22～25年度）、ロコン山（平成24～25年度）において臨時火山観測を実施し、火口近傍の観測点で記録された地震波や傾斜などのデータを解析した。また、研究期間中に噴火した霧島山などでも臨時観測を行い、データ解析を行った。これらの結果に基づき、噴火活動の定量化を行い、噴火規模や様式、支配要因を調べた。

その結果、主に以下のことが明らかとなった。

- ・スメル山においては、ブルカノ式の噴火やガス噴出などの爆発に先行して山体が膨張することが明らかとなった。繰り返し発生した噴火に伴う傾斜データを重合することにより、ブルカノ式噴火の場合、山体膨張が規模によらず数百秒程度継続し加速すること、膨張量は爆発的噴火に伴い励起される地震波の最大振幅に比例することがわかった。また、ガス噴出の数十秒前から発現する膨張も、規模にほぼ比例することも明らかとなった。以上の結果から、規模や噴火様式と、直前に発現する山体膨張現象に関係があることがわかった。また、山体膨張の時間変化と火道内マグマの揮発性成分の挙動との関係を考察した。

- ・諏訪之瀬島においては、ブルカノ式噴火の約1分前から山体膨張が始まり、爆発に至る。膨張量と継続時間は、噴火規模にほぼ比例している。火山灰が連続的に出ている時期には火山性連続微動の停止とともに山体膨張が始まることから、火道が何らかの要因で閉塞されることにより火道浅部に火山性ガスが蓄積され、それが瞬時に放出されることにより爆発が発生すると推察された。

- ・諏訪之瀬島において臨時の地震計小アレイ観測を実施し、3次元P波速度構造の結果をもとに、爆発地震の波形解析を行った。その結果、まず、深さ0.2-0.8kmで膨張的震源が働く。約1秒後に火口からの火山物質の噴出が起こり、表面波が励起されることが明らかとなった。

- ・諏訪之瀬島およびロコン山で観測された爆発地震の初動に引き続き現れる「引き」の相（D相）について、波形特性と発震機構を調べた。その結果、いずれの火山でも、D相は火口からの火山物質の噴出1秒ほど前に火口直下の1km深で励起されていること、円筒型の収縮メカニズムをもつ、と推定された。また、D相の振幅は、爆発の規模の指標となる地震波や空振の最大振幅に概ね比例するなどの結果が得られた。両火山の爆発地震のD相は、噴火前に発現し収縮震源である点で、桜島の爆発地震のD相と同じであることから、ブルカノ式噴火発生前の火道内できわめて類似した力学的プロセスが働いていることが明らかとなった。

- ・諏訪之瀬島で臨時に実施した火山ガスの遠隔測定を顕著な爆発がない時期に行った。その結果、連続的な火山ガス放出が弱まったあとに、火山ガスの噴出が強まる微噴火が起きることが明らかとなった。山体変形や火山性微動の顕著な活動がなくても、火山ガス測定により、微弱な噴火活動を検知できる可能性があることがわかった。

- ・桜島で自動火山灰採取装置による連続観測を行った。最大1ヶ月程度の欠測を除き、5年間、ほぼ毎日の降灰試料を取得し、火山灰の石基ガラス組成分析や分光測色を行った。その結果、2009年末の活発化に先立つ同年秋頃にマグマ組成変化を検出した。また、火山灰の色は活動時期や粒径により系統

的に変化・相違があることがわかった。諏訪之瀬島では、同装置による連続観測は風向や活動状況が悪く、不調であった。ただし、2010年末頃の活発期には珍しいフレーク状の火山弾または軽石を検出した。その後、活動度は低下したが、数回の爆発による火山弾から、爆発直前に浅部火道内の蓄積マグマが極めて不均質であることが分かった。

(8) 平成25年度の成果に関連の深いもので、平成25年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Nishimura, T., Iguchi, M., Yakiwara, H., Oikawa, J., Kawaguchi, R., Aoyama, H., Nakamichi, H., Ohta, Y. and Tameguri, T., 2013, Mechanism of small vulcanian eruptions at Suwanosejima volcano, Japan, as inferred from precursor inflations and tremor signals, *Bull Volcanol.*, 75: 779, DOI 10.1007/s00445-013-0779-1.

Shimano, T., Nishimura, T., Chiga, N., Shibasaki, Y., Iguchi, M., Miki, D., Yokoo, A., 2013, Development of an automatic volcanic ash sampling 1 apparatus for active volcanoes, *Bull Volcanol.*, 75: 773, DOI 10.1007/s00445-013-0773-7.

Nakamichi, H., Yamanaka, Y., Terakawa, T., Horikawa, S., Okuda, T., Yamazaki, F., 2013, Continuous long-term array analysis of seismic records observed during the 2011 Shinmoedake eruption activity of Kirishima volcano, southwest Japan, *Earth Planets Space*, 65, 551-562.

Nishimura, T., Iguchi, M., Yakiwara, H. et al., 2013, Seismic and geodetic precursors of small vulcanian eruptions at Suwanose-jima volcano, Japan, IAVCEI 2013 General Assembly, Kagoshima, July.

中道治久・青山裕・西村太志・八木原寛・太田雄策・横尾亮彦・井口正人, 2013, 諏訪之瀬島火山における火口に近接した地震計アレイ観測 - 2010年10月~11月実施 -, 京都大学防災研究所年報, 56B, 227-235.

青山 裕・山田大志・西村太志・八木原 寛・中道治久・及川 純・井口正人・ムハマド ヘンドラスト・ヤサ スパルマン, 2013, ロコン火山(インドネシア)のブルカノ式噴火に伴う爆発地震の波動特性と前兆傾斜変動日本地球惑星科学連合2013年度連合大会, 千葉市, 2013年5月.

Yamada, T., Aoyama, H., Nishimura, T., Yakiwara, H., Nakamichi, H., Oikawa, J., Iguchi, M., Hendrasto, M., Suparman, Y., 2013, Seismic and tilt observation of vulcanian explosions at Lokon-Empung volcano, Northern Sulawesi, Indonesia, IAVCEI2013 General Assembly, Kagoshima, July.

山田大志・青山 裕・西村太志・八木原 寛・中道治久・井口正人・及川 純・Muhamad Hendrasto・Yasa Suparman, 2013, インドネシア・ロコン火山における爆発地震の発震機構の解析, 日本火山学会2013年秋季大会, 猪苗代町, 2013年10月.

Shimano, T., Geshi, N., and Yakiwara, H., 2013, Suwanosejima-Lighthouse of East China Sea: Ongoing Strombolian activity and proximal facies of the 1813 eruption. Guidebook of Pre/Post-conference field trips IAVCEI 2013, Kagoshima, Japan, A3. *Bull. Volcanol. Soc. Jpn.*, 58, 2, CD book.

Shimano, T., Iguchi, M., and Miki, D., 2013, Continuous survey of color and glass composition of ash particles by automatic sampling system at Sakurajima volcano, Japan. AGU 2013 Fall meeting, San Francisco, December, 2013.

Shimano, T., Iguchi, M., and Nishimura, T., 2013, Continuous survey of ash particles by automatic sampling system and field survey, IAVCEI2013 General Assembly, Kagoshima, July, 2013.

嶋野岳人・下司信夫・小林哲夫, 2013, 諏訪之瀬島火山地質図. 火山地質図17, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 8pp.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東北大学 西村太志

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学 青山 裕, 東京大学 及川 純, 東京工業大 野上健治, 名古屋大学 山中佳子, 京都大学 井口正人・中道治久, 鹿児島大 八木原 寛, 富士常葉大 嶋野 岳人

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
部署等名：東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻
電話：022-795-6532
e-mail：zisin-yoti@aob.gp.tohoku.ac.jp
URL：http://www.zisin.gp.tohoku.ac.jp/

(11) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者
氏名：西村太志
所属：東北大学大学院理学研究科