

SHINMOEDAKE

平成22年度科学技術振興調整費
「重要政策課題への機動的対応の推進」課題
「平成23年霧島山新燃岳噴火に関する緊急調査研究」

(成果速報)

中核機関名：独立行政法人防災科学技術研究所
研究期間：平成22年度

目次

I. 調査研究概要

1. 調査研究の趣旨	1
2. 調査研究の概要	1
3. 調査研究の全体像	3
4. 調査研究の体制	4

II. 調査研究成果

1. 調査研究成果の総括	6
2. 調査研究の本文	9
(1) 噴火推移把握のための観測研究	
(1-1) 無人ヘリによる火口周辺の地震・GPS 観測	9
(1-2) 無人ヘリカメラによる噴火状態の確認	20
(1-3) 無人ヘリによる火口周辺の航空磁気測量	25
(1-4) 広帯域地震計による観測	29
(1-5) 空振計による観測	43
(1-6) 衛星搭載 SAR による火口変化の抽出	50
(1-7) 火山性地震の即時的な震源決定	58
(2) 噴火現象の観測と火山灰等の拡散予測研究	
(2-1) ゾンデ観測	65
(2-2) 噴出状況の高解像観測	79
(2-3) 噴煙の詳細観測	92
(2-4) 無人航空機による火山ガス直接観測	96
(2-5) 火山ガス連続観測	100
(2-6) リアルタイム降灰状況把握	104
(2-7) 気象レーダーを用いた観測	108
(2-8) 噴煙柱形成の数値シミュレーション	126
(2-9) 山灰輸送の数値シミュレーション	130
3. 調査研究成果の発表状況	133

I. 調査研究概要

■プログラム名:	重要政策課題への機動的対応の推進
■課題名:	平成 23 年霧島山新燃岳噴火に関する緊急調査研究
■中核機関名:	独立行政法人防災科学技術研究所
■研究代表名(役職):	鶴川 元雄 (総括主任研究員)
■調査研究実施期間:	平成 22 年度(一部平成 23 年度繰り越し)

1. 調査研究の趣旨

平成 23 年 1 月 26 日に本格的なマグマ噴火が始まった鹿児島・宮崎県境の霧島山新燃岳では、多量の火山灰の放出による航空機の欠航や農作物の降灰による被害さらには爆発的噴火に伴う強い空振による建物被害が発生した。霧島山新燃岳では、今後も当分の間、爆発的な噴火を繰り返すと考えられ、噴火規模の増大や連続的な火山灰の放出のような噴火活動の活発化も懸念された。火山の噴火活動は、平成2年の雲仙普賢岳、平成12年の三宅島等、長期化を呈する 경우가多く、このような状況においては、火口近傍を含む火山体や噴煙の観測を行い、これをもとに噴火活動の状況・実態の把握や推移の予測あるいは降灰などの災害要因の予測が火山防災及び復旧活動等において最も重要であり、緊急の課題である。

このため本調査研究は、マグマ噴火が発生し、降灰による被害と今後の噴火の推移が懸念される霧島山新燃岳において、霧島山新燃岳の噴火に対する防災対策に貢献するとともに全国の火山噴火における推移予測研究にも貢献するため、火口周辺部の観測強化などによる噴火推移把握のための観測研究とレーダー等による噴火現象の観測及びシミュレーションによる火山灰等の拡散予測研究を実施するものである。

なお本調査研究は当初、平成 23 年 3 月 31 日に完了する予定であったが、3 月 11 日に発生した平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の影響を受け、一部の観測研究が期間内に実施できなくなったため、平成 23 年 6 月 30 日まで実施期間を延長することになった。

2. 調査研究の概要

本調査研究は、① 噴火推移把握のための観測研究と② 噴火現象の観測及び火山灰等の拡散予測研究により構成されている。

① 噴火推移把握のための観測研究

本課題では、合成開口レーダーを用いた火口状況把握及び地震波による火山性地震の発生状況把握のための調査研究及び無人機等による火口近傍観測及び噴火推移把握のための地震・空振観測を実施する。

このため、防災科学技術研究所は、「だいち」やドイツの TerraSAR-X などの衛星による合成開口レーダー画像から火口周辺部を中心にした火山体の形状の変化をモニタリングし、噴火の推移を推定するとともに、火山体即時震源決定データサーバーを利用して、新燃岳山体で発生している火山性地震の地

震波の振幅特性を用いた即時的震源推定手法により、発生状況を把握する。

また東京大学地震研究所は、地震観測装置及び GPS 観測装置を無人ヘリコプターに搭載し、人が立ち入ることのできない火口近傍に設置するとともに、空中から火口近傍状況を把握する。また、周辺に広帯域地震計、高性能微気圧計及び低消費電力型地震計測ユニットを設置し、火山体浅部を中心にしたマグマの移動のモニタリングを実施する。これらにより火山体浅部の活動に関連して噴火推移把握のための噴煙と地震動、空振動の相互関係を明らかにする。

② 噴火現象の観測及び火山灰等の拡散予測研究

本課題では、霧島山新燃岳周辺でのゾンデ観測や噴煙の噴出状況の高解像観測、気象レーダーを用いた噴煙観測、無人機による火山ガスの直接観測や定点連続観測、リアルタイム降灰観測を実施するとともに火山灰の拡散予測高度化のため数値シミュレーションによる研究を実施する。

このため防災科学技術研究所は、ゾンデを用いた噴煙周辺部の直接観測により、噴煙発達の場合に関する条件を取得するとともに、噴煙高精度画像収録システムを用い、火口部ビデオ撮影・解析を実施し、火口直上での噴出物の移動を把握し、噴煙の発達速度を推定する。さらに噴煙の正確な把握のために気象レーダーのデータ解析を行う。

気象研究所は、映像や降灰調査による噴煙の詳細観測、気象レーダーにより観測されたエコーデータの分析による噴煙高度観測、火山灰の拡散・降灰の数値シミュレーションの高度化のため、予測精度を上げるためのシミュレーション手法の改善のための研究を実施する。

産業技術総合研究所は、CO₂/H₂O アナライザー及び高速水素モニターを用いて、無人飛行機による火山ガス組成把握を行うとともに、ヘリコプターにより自立型噴煙連続観測システムを地表設置し、噴煙組成の変動を検出する。また降灰状況を迅速・正確に把握するためリアルタイム火山灰観測装置を設置し、降灰状況の変動を検出する。

東京大学地震研究所は霧島山新燃岳で見られた準プリニー式・ブルカノ式噴火に関し、噴煙柱形成過程シミュレーション用サーバを用いて数値シミュレーションを実施し、噴煙高度と噴火強度の関係を明らかにする。

なお本調査研究のうち東京大学地震研究所による噴火推移把握のための研究と産業技術総合研究所による噴火現象の観測及び火山灰等の拡散予測研究は、3月11日に発生した平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の影響を受け、観測調査研究が期間内に実施できなくなったため、平成23年6月30日まで実施期間を延長することになった。


3. 調査研究の全体像

しんもえだけ 平成23年霧島山新燃岳噴火に関する緊急調査研究の概要

緊急性・必要性

- 平成23年1月26日以降、鹿児島・宮崎県境の霧島山新燃岳で、本格的なマグマ噴火が発生。
- 多量の火山灰の放出による航空機の欠航や農作物等の被害、爆発的噴火に伴う空振による建物被害が発生。
- 火山噴火予知連絡会の見解によれば、活発な噴火活動が続いており、**当分の間は、現在と同程度の溶岩を吹き飛ばす爆発的な噴火を繰り返す**と考えられている。
- 新燃岳の火山観測については、これまでも大学や防災科研等が実施しているが、**現在の観測体制では火山噴火の直前把握等の推移予測研究を実施するには不十分**である。

科学技術振興調整費による緊急調査研究

研究代表者: 独立行政法人 防災科学技術研究所 

① 噴火推移把握のための観測研究

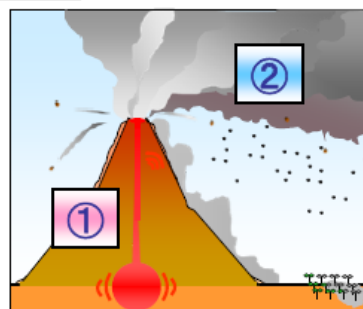
無人航空機を用いた地震計(10台)及びGPS(3台)の増設・観測、「だいち」等による地形観測

<実施機関> (独)防災科学技術研究所、東京大学地震研究所

② 噴火現象の観測及び火山灰等の拡散予測研究

遠隔観測(レーダー、カメラ)、直接観測(無人機等による噴煙データ取得)、火山灰のシミュレーション研究等

<実施機関> (独)防災科学技術研究所、東京大学地震研究所、(独)産業技術総合研究所、気象庁気象研究所



成果の活用

- 霧島山新燃岳の噴火に対する防災対策等への貢献

噴火活動の直前把握

噴火情報の事前提供

噴火に伴う降灰分布の詳細予測

高精度な降灰情報の提供

噴火・土石流被害の軽減

- 全国の火山噴火における推移予測研究の進展に貢献

研究成果をとりまとめの上、CSTPIに報告予定。

4. 調査研究の体制

実施体制一覧

研究項目	担当機関等	研究担当者
1. 噴火推移把握のための観測研究		
1. (1) 無人ヘリによる火口周辺の地震・GPS 観測	東京大学地震研究所	○大湊 隆雄(准教授) 金子 隆之(助教) 青木 陽介(助教)
1. (2) 無人ヘリカメラによる噴火状態の確認	東京大学地震研究所	○金子 隆之(助教) 大湊 隆雄(准教授)
1. (3) 無人ヘリによる火口周辺の航空磁気測量	東京大学地震研究所	○小山 崇夫(助教)
1. (4) 広帯域地震計による観測	東京大学地震研究所	○武尾 実(教授) 及川 純(助教)
1. (5) 空振計による観測	東京大学地震研究所	○市原 美恵(助教) 武尾 実(教授)
1. (6) 衛星搭載 SAR による火口変化の抽出	防災科学技術研究所	○小澤 拓(主任研究員)
1. (7) 火山性地震の即時的な震源決定	防災科学技術研究所	○熊谷 博之(主任研究員)

研究項目	担当機関等	研究担当者
2. 噴火現象の観測と火山灰等の拡散予測研究		
2. (1) ゾンデ観測	防災科学技術研究所	◎鶴川 元雄(総括主任研究員) 棚田 俊收(プロジェクトディレクター) 長井 雅史(研究員)
2. (2) 噴出状況の高解像観測	防災科学技術研究所	○小園 誠史(研究員) 藤田 英輔(主任研究員) 實渕 哲也(主任研究員)
2. (3) 噴煙の詳細観測	気象庁気象研究所	○福井 敬一(主任研究官) 鬼澤 真也(研究官) 安藤 忍(主任研究官)
2. (4) 無人航空機による火山ガス直接観測	産業技術総合研究所	○篠原 宏志(研究グループ長) 宮城 磯治(主任研究員) 田中 明子(主任研究員)
2. (5) 火山ガス連続観測	産業技術総合研究所	○篠原 宏志(研究グループ長)

次ページに続く

2. (6) リアルタイム降灰状況把握	産業技術総合研究所	○古川 竜太(研究員) 中野 俊(研究グループ長) 及川 輝樹(研究員) 下司 信夫(研究員) 星住 英夫(主任研究員) 川辺 禎久(主任研究員)
2. (7) 気象レーダーを用いた観測	防災科学技術研究所 気象庁気象研究所	○真木 雅之(観測・予測研究領域長) ○新堀 敏基(主任研究官) 福井 敬一(主任研究官)
2. (8) 噴煙柱形成の数値シミュレーション	東京大学地震研究所	○小屋口 剛博(教授) 鈴木 雄治郎(助教)
2. (9) 火山灰輸送の数値シミュレーション	気象庁気象研究所	○橋本 明弘(主任研究官) 新堀 敏基(主任研究官) 福井 敬一(主任研究官)

◎ 代表者

○ サブテーマ責任者

II. 調査研究成果

1. 調査研究成果の総括

① 噴火推移把握のための観測研究

霧島山新燃岳の火口周辺部は、噴火推移を把握する上で重要であるにもかかわらず、噴火により一部の観測点が被災し、さらに噴火による危険のため人が立ち入ることができず、観測点の復旧ができない状況が続き、観測能力が低下していた。

本調査研究で実施した無人ヘリによる火口周辺の地震・GPS観測により、新燃岳の火口周辺に4 台の地震計と3 台のGPS 受信機を設置し、地震計からは噴火で失われた定常観測点を補う地震データが得られ、震源決定精度が向上することが確かめられ、また設置したGPS 受信機の解析誤差は1~2cm程度であることがわかり、火口周辺部で精度の高い地殻変動のモニタリングを行うことができることを示した。

無人ヘリによるカメラの映像や航空磁気測量からは、火口周縁部の火砕物の堆積状況や、火砕流の分布、火口の北-北西側に高温を示唆する弱磁化領域があることなどがわかった。また深部にマグマ溜まりがあると推定されている霧島山西部を中心に整備した広帯域地震計により、この領域の震源決定精度が向上するとともに火口近傍で発生した火山性微動に火道内での流体の移動を示唆する信号を見出すなど、マグマ活動に関連する地震観測能力が向上した。さらに地震観測データはリアルタイムで気象庁に送られ霧島山の火山活動監視に役立てられている。火山体に設置した空振計により、地震計のデータと併せて火山活動をモニタリングする新手法を開発するとともに、空振計アレイ観測により空振の地形や大気構造による伝播特性を評価することができ、空振被害に対する予測精度の向上が期待される。

霧島山で発生する火山性地震の発生場所を即時的に決定するために、既存ボアホール観測点のデータを対象として、高周波(5-10 Hz)の地震波振幅を用いた自動震源決定手法を開発し、その結果をウェブにより閲覧できるシステムを構築した。今後の火山活動評価に活用されることが期待される。

新燃岳の火口内部に関しては、日本の陸域観測技術衛星「だいち」、ドイツのTerraSAR-X、カナダのRADARSAT-2 の合成開口レーダー(SAR)データを用いて、SAR 散乱強度画像からは、火口内に溶岩が出現したことによる地形変化が捉えられ、溶岩の体積は1 月29 日から1 月31 日の間に急速に増加したこと、またその期間の増加率はほぼ一定の $8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ であること、火口内に蓄積した溶岩の体積は $15 \times 10^6 \text{ m}^3$ であることを明らかにする成果を挙げた。衛星SARデータからは、噴火前後のデータにSAR 干渉法を適用することにより、新燃岳の南東に火山灰の堆積によると考えられる地形変化を検出した。SAR 干渉解析による地殻変動調査では、霧島山西方域に噴火前の膨張、噴火を挟む時期の収縮、さらに1 月29 日以降、韓国岳の西と北西に数キロの空間波長を持つ隆起が生じていたことを示唆する結果を得た。

② 噴火現象の観測と火山灰等の拡散予測研究

噴火現象の観測においては、気象レーダー、ゾンデ観測、高解像度画像収録システムによる観測、無人機や自立型の観測装置による火山ガス観測、リアルタイム火山灰観測装置による観測などが実施された。またこれらの調査研究による成果を考慮した火山灰の拡散予測の数値シミュレーションの高度化の研究も実施した。

レーダーを用いた噴煙の観測研究においては、仰角方向にもスキャンする種子島や福岡、鹿児島空

港の気象レーダーにより観測された新燃岳の噴煙エコーデータの分析により、火山灰輸送の数値シミュレーションにおける初期値及び予測精度向上に有効な噴煙高度の時間変化が観測できることを確認した。低仰角でスキャンする気象レーダーの火山噴火監視や噴煙分布の定量的推定の可能性については、国土交通省河川局の国見山レーダーおよび釈迦岳レーダーのデータを用いて調査し、現業用気象レーダーは顕著な火山噴火現象の監視に有効であることを確認した。噴煙分布の定量化には、さらに地上で観測された降灰量との比較検討が必要という結論を得た。

火山灰の移流拡散シミュレーションの精度を上げるため、その基礎データとなる霧島山周辺の気象場と噴火により放出された火山灰の大気中での粒径分布を観測することを目的としたゾンデ観測を実施した。この観測によりシミュレーションに用いる気象場の検討に有効な霧島山周辺の風速、風向、温度、湿度の高度分布を得るとともに3月23日の噴火直後に浮遊する火山灰粒子の粒度分布についての情報を得ることができた。

火口直上の噴煙発達過程のメカニズムを明らかにするために、高解像度画像収録システムを用いて新燃岳火口部のビデオ連続撮影を行い、3月に発生した2回の噴火で形成された噴煙を極めて良好な観測条件で撮影することに成功した。その高解像度映像を用いて、噴煙の運動速度を推定し、3月13日の噴火では噴煙が比較的活発に連続して上昇運動を続けながら火口直上に発達、一方で3月23日の噴火では噴煙の上昇運動の強度が弱く周囲の風の影響を強く受け噴煙が側方に流されていくという対照的な噴煙の挙動の違いを定量的に明らかにすることができた。

火口上空の映像観測と降灰調査を同時期に実施することにより、爆発噴煙は噴出直後加速しながら上昇するが、ある程度上昇すると減速に転じること、ブルカノ式の爆発噴煙でも複合的な構造を伴い部分ごとにより異なる上昇速度となる場合があること、火口から7～10km離れた地点においては、噴火開始後20～30分後に降灰が開始することが分かった。

多成分ガスアナライザー(Multi-GAS)を搭載した無人航空機による火山ガス直接観測では、3月15日と5月18日に新燃岳の噴煙を直接観測し、火山ガス組成を推定した。5月18日に把握された火山ガス組成は、島弧火山ガスとしてはCO₂に富みSO₂/H₂S比が小さいことが明らかとなり、火山ガスは比較的高圧条件下でマグマから放出されている可能性が示された。新燃岳南東約5kmに設置した自立型の噴煙観測装置により、噴煙中のSO₂/H₂Sモル比は4月中旬には3程度であったが、5月初旬には0.8に低下しており、無人航空機による観測とも総合した結果、噴煙中のSO₂/H₂Sモル比が、少なくとも3月中旬以降からゆっくりと減少していることが明らかとなり、火山ガス供給圧力の増加もしくは温度の低下が生じていることが推定された。

火山灰の降灰状況をリアルタイムで把握するために、花粉センサー、重量計、カメラを搭載し、携帯電話回線経由で30分毎にデータを配信できるリアルタイム火山灰観測装置を作成した。この装置を新燃岳周辺の南から北東方向の5カ所に4月15日に設置し、降灰状況の連続観測を実施し、4月18日の噴火の降灰状況をリアルタイムで検出し、主軸方向を特定することに成功した。

噴煙柱の数値シミュレーションにおいては、噴煙柱高度とマグマ噴出率の関係を精密に決定し、それを1次元噴煙柱モデルと比較し、観測された噴煙柱高度と噴出率の関係を説明するためには、大気と噴煙の混合効率(エントレインメント係数)が比較的高い値をもつ必要があることが示された。噴煙柱高度と噴出率の関係が大気と噴煙の混合効率にどのように依存するかを系統的に調べるために、3次元噴煙モデルによる数値計算を行った。

火山灰の移流拡散の数値シミュレーションの高度化においては、気象レーダー観測に基づく噴煙高

度の時間変化を考慮する新しい手法により、降灰分布の予測精度を向上させることができた。

火山現象の観測は、多分野にわたる様々な手法を用いなければならないという特徴がある。今回の調査研究においても、噴煙や降灰、気象場を把握するため、レーダー、火山ガス測定、降灰調査、映像取得、ゾンデ観測等、様々な手法による観測が実施され、その成果を火山活動評価や数値シミュレーションによる降灰予測の高度化に反映させることができた。