

次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト
次世代火山研究推進事業

課題D：火山災害対策技術の開発

平成28年度
成果報告書

平成29年5月

文部科学省研究開発局
国立研究開発法人 防災科学技術研究所

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、国立研究開発法人防災科学技術研究所が実施した平成28年度「課題D：火山災害対策技術の開発」の成果をとりまとめたものです。

課題 D サブテーマ 1 : 無人機 (ドローン等) による火山災害のリアルタイム把握手法の開発



無人機による現地実証実験の検討のために、平成 28 年阿蘇山噴火後に実施したマルチコプタータイプの無人機自律航行による撮影。

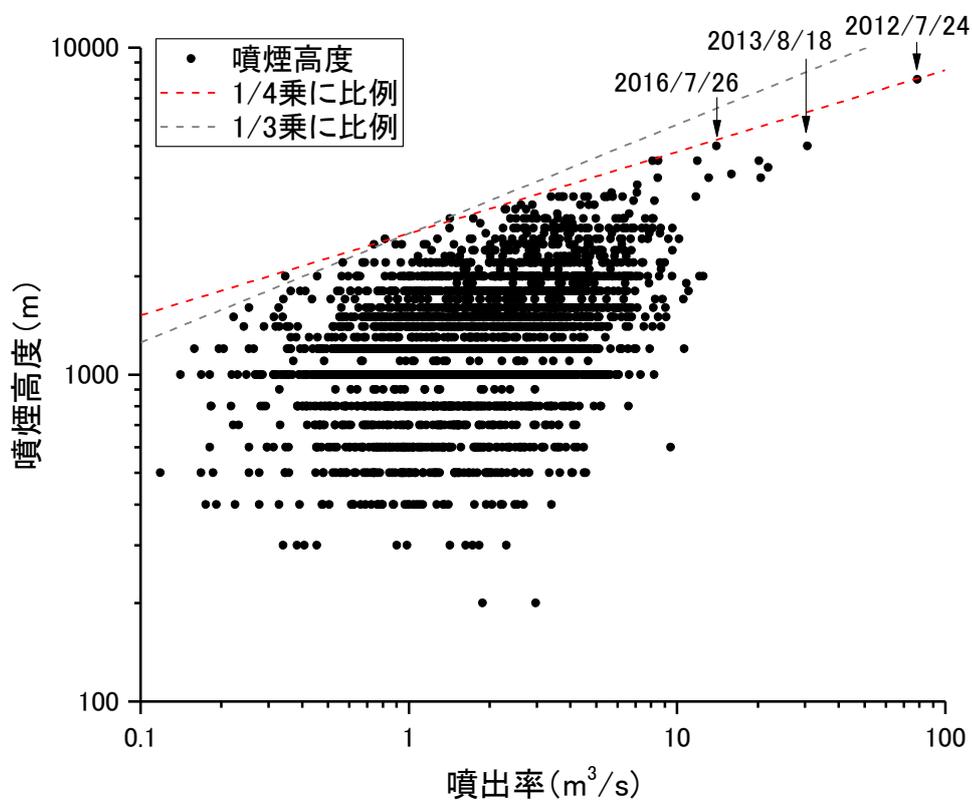


平成 28 年阿蘇山噴火後に実施した無人機の自律航行で撮影した可視画像をもとに作成した 3D モデルの鳥瞰表示例。

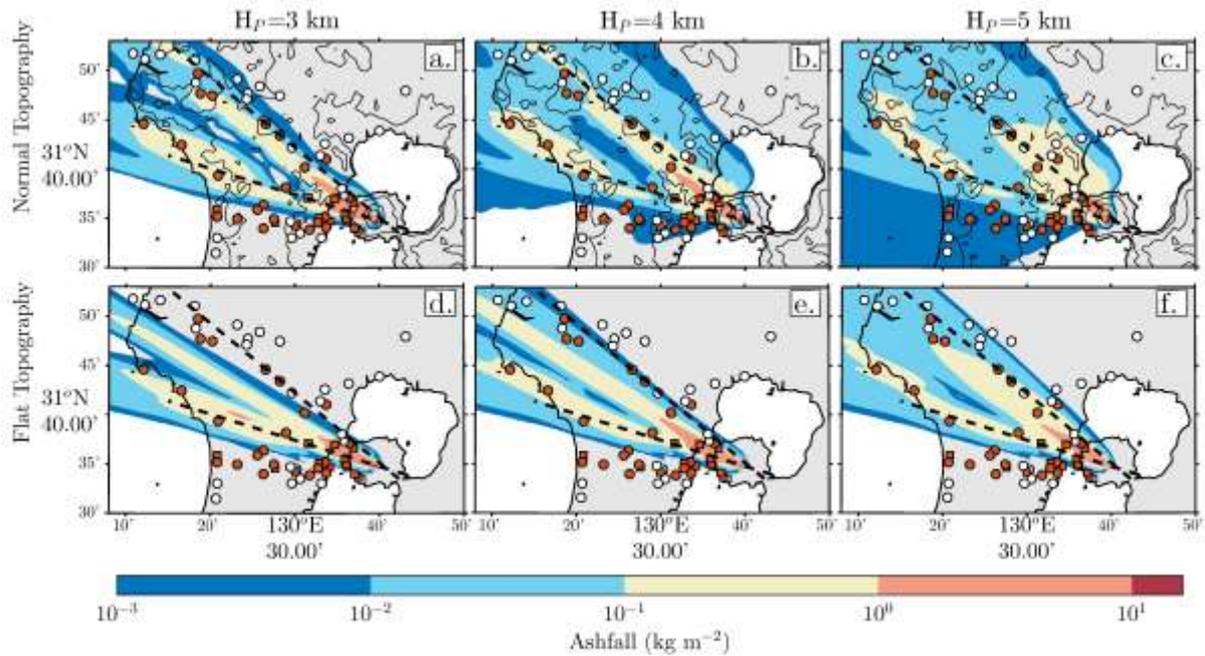
課題 D サブテーマ 2 : リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発



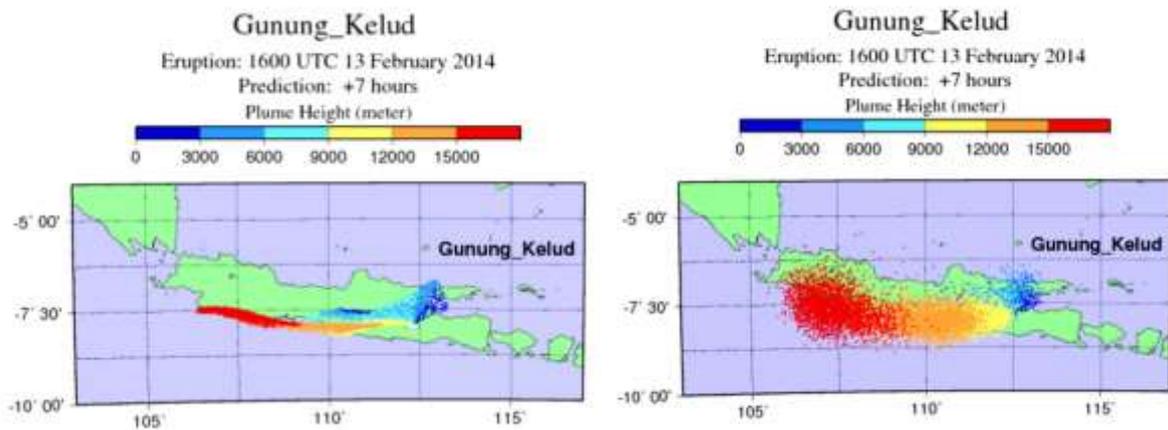
桜島を対象に行われる、リモートセンシング（レーダー、GNSS、ライダー）および地上観測（ディストロメータ）からなる、火山灰観測のためのマルチパラメータ観測網の構築。



火山灰拡散予測の高速化技術開発のための、桜島における噴煙高度と噴出率の関係式（噴出率に対する噴煙高度の上限）の導出。

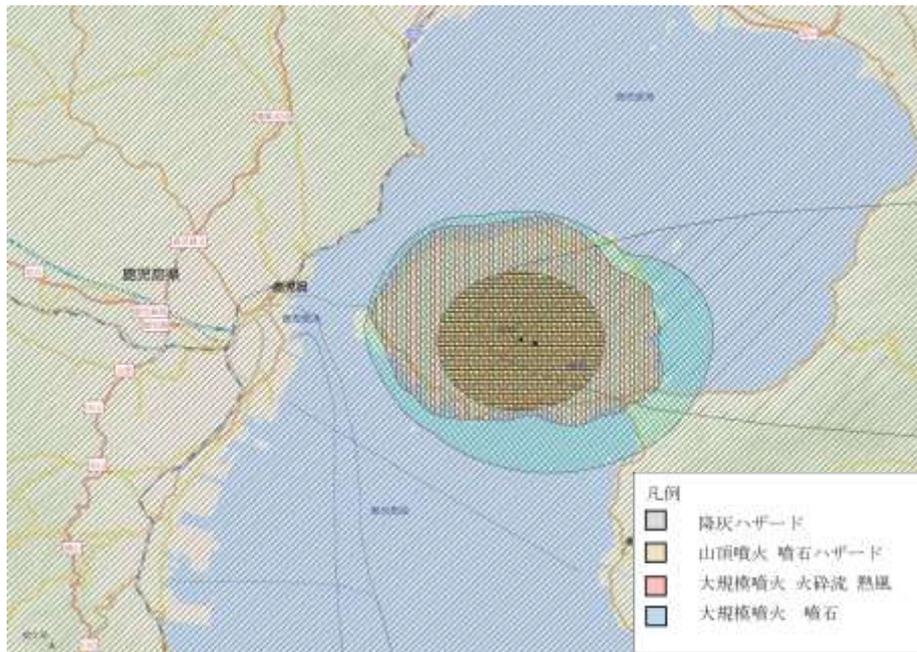


火山灰拡散予測の高精度化技術開発のための、火山灰の大气輸送に及ぼす地形効果の検討結果。 H_p が3 km、4 km、5 kmの場合に計算された降灰量。実地形の場合（Normal）と標高ゼロの平坦地形（Flat）の結果を示す。色つきの丸印は降灰が観測された地点を示す。



2014年2月にインドネシアのケルト火山で発生した噴火を対象に、PUFFモデルによる傘雲の形成を考慮した火山灰拡散シミュレーションを行った結果。左：水平方向の拡散係数の増加（傘雲の形成）を考慮しない場合。右：水平方向の拡散係数の増加（傘雲の形成）を考慮した場合。

課題 D サブテーマ 3 : 火山災害対策のための情報ツールの開発



桜島のハザードマップの情報をデジタル（シェープファイル）化し、GIS ソフトを使ってハザード情報と基盤情報（詳細地図）を重ね合わせた図。



自治体を対象とした火山対策の現状調査を目的として行われた、富士山周辺 5 市町村を対象としたグループヒアリングの様子(左)と別府市で行われたヒアリング調査の様子(右)。

はじめに

日本の火山研究の分野においては、平成 26 年 9 月に発生した御嶽山噴火災害を受けて、研究や防災のあり方について大きく見直されることになった。この噴火では、規模の小さな水蒸気噴火であったにも関わらず、登山者 60 余名が犠牲になるという戦後最大の犠牲者を出す火山災害となった。この背景には、火山観測体制の不十分さや予測研究の未成熟さに加えて、研究成果の社会への情報の発信力の弱さ、さらには、本来情報を必要とする人への情報伝達手段の未成熟さなどが指摘された。これを踏まえ、本プロジェクトでは日本の火山研究を飛躍させ火山噴火に対する減災・防災対策に貢献するため、従前の日本の火山研究の主流であった観測研究、予測研究に加え、対策研究も含めて、「観測・予測・対策」の一体的な火山研究を推進することを目的の一つとしている。特に、「対策」に関する研究は本課題 D が中心となって他課題と連携して実施し、そのアウトプットとして、活火山周辺自治体や専門家が火山災害のための対策や行動を起こすために必要とする情報を提供することが期待されている。課題 D では、下記 3 つのサブテーマ及びそれらサブテーマ間の連携を通して対策研究の推進を担い、火山災害による被害軽減のために実効性の高い火山災害対策技術を開発する。

サブテーマ 1：無人機（ドローン等）による火山災害のリアルタイム把握手法の開発

サブテーマ 2：リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発

サブテーマ 3：火山災害対策のための情報ツールの開発

火山災害を軽減するためには、本プロジェクトに参加する観測機関や研究機関において得られた、観測から予測に関する情報を迅速かつ正確に発信するとともに、自治体の防災担当者や火山防災協議会に参加する専門家がこれらの情報をわかりやすく理解し、的確な判断をするために活用できる技術を構築する必要がある。これらを実現するために、サブテーマ 1 では、噴火時の迅速性を重視し無人機を利用した噴火現場のリアルタイム情報把握手法の開発を行う。サブテーマ 2 では、噴火中の桜島を対象として、火山灰ハザードのリアルタイム評価手法を開発する。またサブテーマ 3 では、サブテーマ 1、2 で得られる成果をインプットとし、他課題とも連携しながら、火山災害に関わる自治体防災担当者や火山専門家らを支援するための火山情報を出力するとともに理解力を高めるためのツール開発を行う。

グラビア	i
はじめに	v
目次	
1. 課題の概要	1
2. 研究機関および研究者リスト	1
3. 研究報告	
3.1. 無人機（ドローン等）による火山災害のリアルタイム把握手法の開発	3
3.2. リアルタイムの火山灰評価手法の開発	15
3.3. 火山災害対策のための情報ツールの開発	34
4. 活動報告	
4.1. 会議録	45
4.2. 対外的発表	45
5. むすび	45

1. 課題の概要

課題 D サブテーマ 1 では“噴火時の迅速性”の実現のため、無人機を利用して火山災害をリアルタイムで把握する技術を開発する。この技術によって噴火時においてアクセス困難な場所へ無人機を投入することにより、現場の情報をリアルタイムで取得し、火山災害対応や対策等に資するデータを提供することが可能になる。

課題 D サブテーマ 2 では、観測から予測、対策への一連の流れを具体化するケーススタディとして、桜島の噴火による火山灰ハザードをリアルタイムで評価する手法を開発する。最終的には噴火発生前の確率的火山灰予測システムを完成させ、24 時間以内に地点毎の降灰確率を提示することが可能になる。

課題 D サブテーマ 3 では、課題 A（各種観測データの一元化）で開発される一元化共有システムのデータベースに保存される観測データや課題 B（先端的な火山観測技術の開発）、課題 C（火山噴火の予測技術の開発）、及び課題 D サブテーマ 1・2 で得られる解析結果等の研究成果を活用し、火山災害に関わる自治体の防災担当者らが、災害発生時に適切な初動対応及び防災活動を行うことを支援するための「火山災害対策のための情報ツール」を開発する。この情報ツールにより、自治体等が災害予防及び被害拡大防止に必要な行動をとるための科学的根拠に基づく情報を得ることが可能になる。

2. 研究機関および研究者リスト

所属機関	役職	氏名	担当課題
アジア航測株式会社	技師長 課長 主任技師 課長 所長 室長	千葉 達朗 荒井 健一 佐々木 寿 野中 秀樹 織田 和夫 渡辺 智晴	3.1
国立大学法人京都大学	教授 准教授 助教 助教 特定研究員 教授 准教授 特定研究員 教授 特定教授 助教	井口 正人 中道 治久 山本 圭吾 味喜 大介 為栗 健 堀田 耕平 石川 裕彦 竹見 哲也 Alex Poulidis 丸山 敬 辻本 浩史 古本 淳一	3.2

国立大学法人鹿児島大学	特任教授 技術補佐員 外来研究員 (釜慶大学)	真木 雅之 高橋 忍 Dong-In Lee	
国立大学法人筑波大学 国立大学法人神戸大学 国立大学法人東北大学 国立大学法人東京大学 国立研究開発法人国立環境研究所 一般財団法人日本気象協会 メトロウェザー株式会社	教授 教授 准教授 助教 主任研究員 主任研究員 代表取締役	田中 博 大石 哲 太田 雄策 鈴木雄治郎 清水 厚 井上 実 東 邦昭	
国立研究開発法人防災科学技術研究所 株式会社大林組技術研究所 山梨県富士山科学研究所	センター長 総括主任研究員 主任研究員 契約研究員 客員研究員 上級主席技師 上級主席技師 主任研究員 副部長 主任研究員	中田 節也 棚田 俊收 宮城 洋介 久保 智弘 宮村 正光 野畑 有秀 諏訪 仁 大塚 清敏 笠原 修 吉本 充宏	3.3

3. 研究報告

3.1 「無人機（ドローン等）による火山災害のリアルタイム把握手法の開発」

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成 28 年度業務目的

(2) 平成 28 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成 29 年度の業務計画案

- (a) 汎用製品（ドローン）を用いた現地実証実験（伊豆大島を予定）
- (b) ドローンで取得した画像を使った解析時間・解像度の検討
- (c) 手法の標準化と課題整理
- (d) サブテーマ間の連携

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

火山災害対策技術の開発

「無人機（ドローン等）による火山災害のリアルタイム把握手法の開発」

(b) 担当者

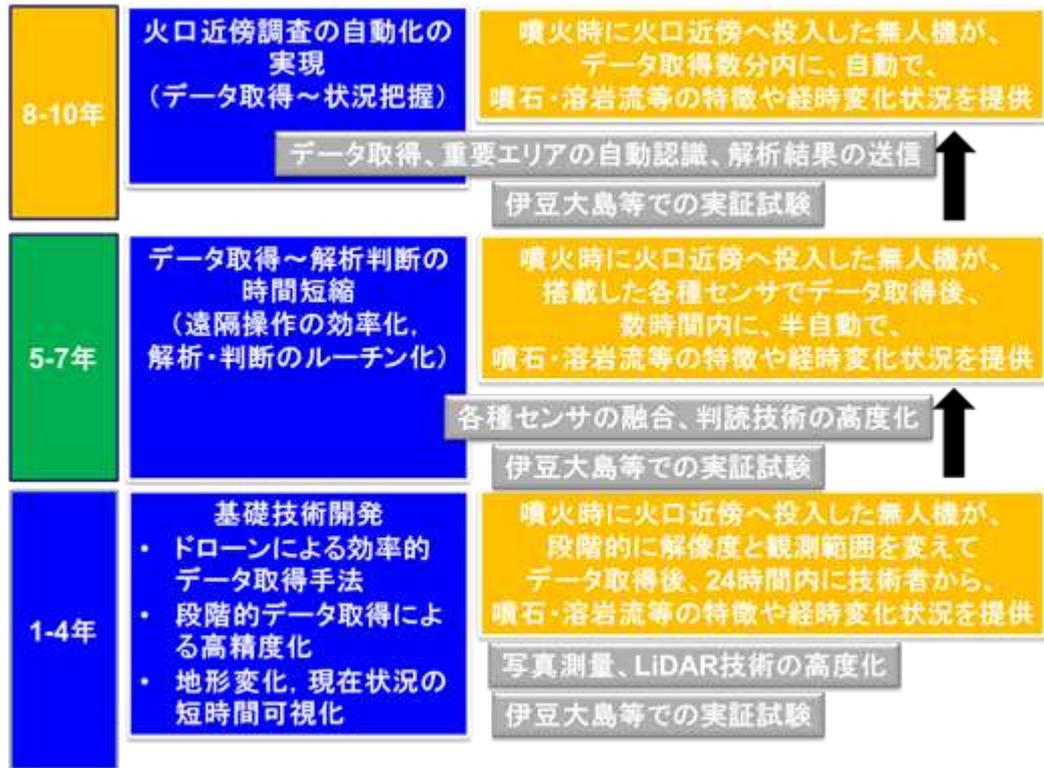
所属機関	役職	氏名	メールアドレス
アジア航測株式会社	総合研究所 技師長	千葉達朗	ta.chiba@ajiko.co.jp
	防災地質部 課長	荒井健一	ken.arai@ajiko.co.jp
	防災地質部 主任技師	佐々木寿	hss.sasaki@ajiko.co.jp
	システム開発部 課長	野中秀樹	
	総合研究所 所長	織田和夫	
	事業戦略部 室長	渡辺智晴	

(c) 業務の目的

本業務では、噴火時における無人機（ドローン等）及び航空機による火口周辺や火口周辺から離れた空域から撮影した可視画像・赤外画像等を用いて、噴石の飛散状況、溶岩流や火砕流の発生状況やその到達範囲等の火山噴火の状況を迅速に把握するためのシステムを開発することを目的とする。

写真測量解析においては、解析処理に時間を要していた課題を解決するために、低解像度の解析をリアルタイムで出力し、時間と共に解像度を上げていく一連の写真測量処理システムを構築する。また、夜間や噴煙等により視界不良の場合でも、取得した画像から定点を自動的に抽出して、写真測量処理を自動的に行うシステムを開発する。処理された可視画像や赤外画像から、噴石の飛散状況、溶岩流や火砕流の到達範囲をマッピングして位置情報を自動的に取得し、直面する火山災害への対応への支援を念頭に、噴火の推移と災害の発生状況をリアルタイムで把握するシステムを開発する。

なお、実施期間中に噴火が起きた場合には、検討中の内容を反映する等して無人機（ドローン等）を運航して撮影した空域からの可視画像をもとに、3Dモデルを作成するなどして、ホームページで公開できるよう資料を作成することとする。作成した資料のうち、地形データを取得した場合には、本委託業務が他のサブテーマと一体となって展開する次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトにおける次世代火山研究推進事業の課題Dサブテーマ2（リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発）、課題Cサブテーマ3（シミュレーションによる噴火ハザード予測手法の開発）へデータ提供した上で、課題Dサブテーマ3（火山災害対策のための情報ツールの開発）で情報共有される計画とする。また、最新の現地概略情報を取得できた場合には、被災自治体等へ画像等を提供するとともに、要望をふまえて改めて現地情報を取得、提供することを想定する。



本業務の全体計画

(d) 10か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成28年度：

・近年急速に普及してきた無人機（ドローン等）が火山防災・対策に使用された事例を収集し、現状を整理する。事例を参考に、災害シナリオ等を踏まえた必要機能等を抽出整理する。

2) 平成29年度：

・無人機（ドローン等）を用いて、写真測量技術、SfM技術、UAV搭載LiDARの活用等による火山災害状況把握に掛る時間と抽出変化の内容・解像度の違いについて、実証試験を通じてとりまとめる（参考：表1）。

表1 火山災害状況把握のために活用可能な技術と特徴の優劣

	画像解析		地形計測
	UAV + Photogrammetry	UAV + Structure-from-Motion	UAV + Laser Imaging Detection and Ranging
変化の詳細把握	△	○	◎
処理時間	◎	△	○
操作性	◎	◎	△
コスト	○	◎	△

3) 平成 30 年度 :

・災害誘因現象の発生から初期状況把握までの総時間短縮のための、無人機（ドローン等）観測からデータ解析、結果提供までの課題を抽出し、災害シナリオやタイムラインにそった、時点最適なルーチンを開発する。

4) 平成 31 年度 :

・前年度までに開発したルーチンをモデル火山において実証試験し、中間成果をとりまとめるとともに、次段階の課題を設定する。

5) 平成 32 年度 :

・前年度までに開発したルーチンで取得したデータをもとに、変化を抽出・判断するための課題と事例を収集整理する。自動標定技術や夜間や天候不順時の代替手段等について技術開発の方向性を設定する。

6) 平成 33 年度 :

・無人機（ドローン等）に搭載する機器（GNSS 受信機、赤外カメラ、火山ガス計測装置、噴出物採取装置、レーザー計測装置等）を利用したモデル火山における実証試験と、画像解析・データ処理技術により、経時変化抽出のための課題と解決策をとりまとめる。

7) 平成 34 年度 :

・無人機（ドローン等）に搭載する機器の改良案の提示と、火山防災・対策に資する画像解析・データ処理技術の高度化により、噴火前データが存在しない場所での変化抽出方法を開発する。

8) 平成 35 年度 :

・前年度までに開発したルーチン、搭載機器仕様をもとに、災害状況把握技術を遠隔自動化および時短化するための課題を整理し、必要機能・改良点等を取りまとめる。

9) 平成 36 年度 :

・トレーサを用いた変化把握や噴出物の自動追尾計測・解析処理機能を開発して、実証試験を行う。

10) 平成 37 年度 :

・高度化した無人機（ドローン等）と必要機能を組み込み改良した各種センサを利用して、噴出物（噴石・溶岩流・火砕流など）の発生状況や到達範囲の経時変化などをリアルタイムで取得し、火山防災・対策情報に資するデータを提供する。

(e) 平成 28 年度業務目的

近年急速に普及してきた無人機（ドローン等）について、火山災害状況把握を行う上で参考になる事例や実際に適用された際に生じた問題などを整理する。また、国内のどこで噴火しても迅速に対応できるように、火山活動に伴う立入規制範囲等を考慮した上で、現時点で入手可能な市販の無人機・搭載機器を使用したときに必要な計測手法・設定条件や計測データの内容、無人機等の機能・仕様を調査して整理する。

また、任意の火山を対象として、平成 29 年度以降に実施する火山噴火発生を想定した実証実験計画を立案する。その際、無人機（ドローン等）を使って調査する際に必要な各種手続きや制約条件等も併せて整理する。

なお、本研究では、実施期間中に噴火が起きた場合に、検討中の内容を反映する等して無人機（ドローン等）を運航して撮影した空域からの可視画像をもとに、3Dモデルを作成するなどして、ホームページで公開できるよう資料を作成する計画とした。

(2) 平成 28 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 28 年 12 月 13 日に秋葉原において、課題 D 全体のキックオフミーティングを行った。本ミーティングでは、課題 D 内のサブテーマ間の連携について議論し、課題 D サブテーマ 1 及び課題 D サブテーマ 2 の成果を課題 D サブテーマ 3 で開発する各種コンテンツのインプットとすることを目指すことで合意した。

近年急速に普及してきた無人機（ドローン等）が火山防災・対策に使用された事例を収集し、現状を整理した。事例を参考に、火山災害発生時に迅速に状況把握するために必要な無人機等の機能・仕様や環境条件等を整理した。また、火山噴火時に想定される各種の状況をふまえた実証実験計画を立案した。本研究の開始直前に発生した阿蘇山中岳の噴火に対して、現地で無人機を使った撮影を行い 3Dモデル作成、状況判読を試みた。結果として、撮影に至るプロセスや所要時間などを含め、解決すべき課題を抽出できた。

(b) 業務の実施方法

1) 噴火時の無人機による観測手法の検討

a) 火山防災における無人機活用の現状整理

近年の火山災害時（箱根山 2015 年、霧島山新燃岳 2011 年等）の火山調査・防災等の分野における、撮影・観測等の実施事例を公表論文、学会発表要旨、報道記事等を主体として収集整理した。なお、火山災害調査については無人機（ドローン等）使用によるものに限定せず、無人機使用調査については火山災害対象に限定せず、幅広く収集することとした。

収集した情報は、次段階の機能抽出作業に活用することを念頭におき、表形式でカテゴリ別に整理したほか、代表的なものや特に参考になる手法等については概要を簡潔に把握できるようカルテ形式で整理した。

b) 災害シナリオをふまえた必要機能抽出

c)における実証実験の対象火山を設定し、想定されている噴火シナリオとそれに伴い発

生ずる災害を時系列で整理した。また、無人機（ドローン等）による観測の必要なタイミングを設定した上で、制約条件となる事項を抽出して整理した。

設定した火山における噴火警戒レベルや立入可能区域、想定火口位置、無人機の航行可能距離、観察対象場所との離隔等を整理した上で、無人機（ドローン等）を安全に操縦して（自律航行を含む）観測する上で支障となる事項や想定される留意事項を洗い出した。洗い出した支障事項や留意事項等について、できる限り定量的な目標を設定した上で、必要な機能を抽出、整理した。

c) 無人機による現地実証実験の検討

火山防災分野における無人機（ドローン等）活用の現状をふまえて、実施期間中に噴火が起きた場合を想定し、汎用的な市販の無人機（ドローン等）や搭載機器等を使用した現地実証実験計画を立案する。

実験現地においてターゲット等を設定して、無人機（ドローン等）による撮影方法、運航方法、運航時の環境条件等々によって、取得する画像や画像から作成する3Dモデルについて、ターゲットの判読解像度ならびに処理時間等にどのような差異が生じるか確認する実験とする。

今年度は、実験時に必要な法律（航空法、電波法等）や関係機関の基準（国土地理院の安全基準や公共測量マニュアル等）、実験場所に関する土地の使用やその他の手続きについて、調査・整理した上で、必要な手続きの準備を実施した。

なお、初年度の実施期間中に噴火が起きた場合には、現状で入手・使用可能な機材を適用することとし、対応を記録して課題を抽出することとした。

(c) 業務の成果

1) 火山防災における無人機活用の現状整理

近年の火山災害時（箱根山 2015 年、霧島山新燃岳 2011 年等）の火山調査・防災等の分野における、撮影・観測等の実施事例を公表論文、学会発表要旨、報道記事等を主体として収集整理した。なお、火山災害調査については無人機（ドローン等）使用によるものに限定せず、無人機（ドローン等）使用調査については火山災害対象に限定せず、幅広く収集することとした。

収集した情報は、次段階の機能抽出作業に活用することを念頭におき、表形式でカテゴリ別に整理したほか、代表的なものや特に参考になる手法等については概要を簡潔に把握できるようカルテ形式で整理した（表 2、表 3）。

表2 火山を対象とした実績のある無人機調査内容（一部抜粋）

大項目	詳細項目	内容	調査成果
空中撮影	写真・動画撮影	人的手法では不可能な火口域や噴出物の状況を接近して撮影	火口域や噴出物の状況
	熱赤外線カメラ撮影	調査対象の温度計測	火口域や噴出物の温度
	噴出物・移動土砂厚計測	計測地点にポール等を設置し、噴火前・後に同地点を撮影し、土石の堆積厚さを計測	噴出物量、移動土砂量把握
測量	3次元地形解析	連続撮影写真から測量解析し、3次元地形を精密再現・計測	地形図 地形変化
計測	火山ガス	火山ガス組成からマグマの組成や火山ガスの放出条件等を推定	火山ガス組成、 マグマ組成
	航空磁気計測	火山体周辺で磁場を測定し、火山体内の磁化分布を推定して、地下の温度分布を推測	火山体内の磁化分布、 地下温度分布推測
	噴出物収集	火山灰等の試料採集	火山灰試料
その他	計測機器移送	地上計測用の機器（地震計・GPS）の遠隔設置、測定データの遠隔伝送、装置の遠隔回収	地上設置型の 機器移動
	被災者の捜索	撮影、赤外線カメラ等を用いた広域の捜索	人命救助

表3 火山を対象とした調査等実績のある無人機のおもな機能・仕様（一部抜粋）

種別	航続距離	航続時間	高度	ペイロード	備考			
マルチコプター		25min		4.2kg	箱根山	状況把握	警戒レベル3 (半径0.7km)	機体A
	10-30km	30min		2.5kg	桜島	状況把握	警戒レベル3 (半径2km)	機体B
	8km		3000m以上	1kg	御嶽山	噴煙突入	警戒レベル3 (半径4km)	機体C
ヘリコプター		80min	150m	10kg	霧島山 新燃岳	装置運搬・設置	警戒レベル3 (半径2km)	機体D
		80min	150m	10kg	霧島山 新燃岳	磁気計測	警戒レベル3 (半径2km)	機体D
		80min	150m	10kg	霧島山 新燃岳	撮影	警戒レベル3 (半径2km)	機体D
固定翼	500km	4.5h	2000m以下	3kg	霧島山 新燃岳	ガス計測	警戒レベル3 (半径2km)	機体E
	500km	4.5h	2000m以下	3kg	口永良部	全島3D計測	警戒レベル5 (避難指示)	機体E
	500km	4.5h	2000m以下	3kg	西之島	全島3D計測	警戒レベル 設定なし	機体E

2) 災害シナリオをふまえた必要機能抽出

3)における実証実験の対象火山を伊豆大島に設定し、想定火口からの立入規制が半径1km内に設定されている噴火警戒レベル2相当の場合と、半径2km内に設定される噴火警戒レベル3相当のケースを想定した。また、噴火中の航行に関する留意事項や状況把握のために必要な観測・計測上の要求精度等について整理した。具体的には、離発着地点と対象場所との比高差、最短飛行距離、観測解像度、映像伝送容量、離発着場所までの回送方法、噴出物等の特徴に応じた必要機能等について抽出・整理した。

3) 無人機による現地実証実験の検討

無人機（ドローン等）活用の現状をふまえて、伊豆大島における噴火を想定し、汎用的な市販の無人機（ドローン等）や搭載機器等を使用した現地実証実験計画を立案した。

実験に使用する無人機（ドローン等）は自律航行可能なものとし、固定翼／マルチコプターの別、総航行距離、標準装備のカメラ、映像伝送機能等の観点で比較検討して絞り込みを行った。今回選定した機材の使用を前提とした場合、無人機（ドローン等）により火口等対象箇所を上空から垂直撮影する場合には、対地高度を100mに保ち、地上分解能2.7cm/pix程度となるよう撮影ラップ率や飛行速度等を設定して自動飛行経路を計画した。また、実験に必要な航空法、電波法、土地の使用等の関連手続きのほか、噴火警戒レベルの引き上げに伴う立入規制時の制約事項等について検討した。

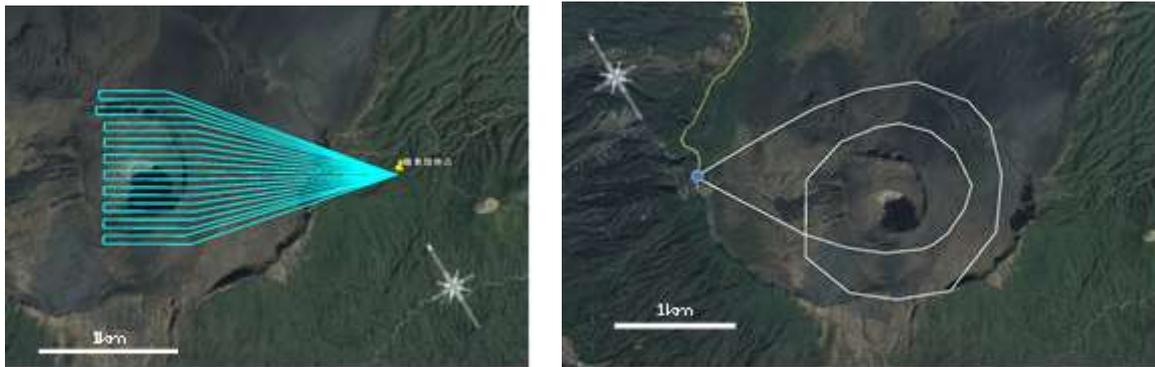


図1 飛行経路の検討例 (イメージ)

現地実証実験に先立ち、今年度噴火した阿蘇山を対象に無人機による撮影・計測を行って3Dモデルを作成した。今回の噴火は事業開始直前の、2016年10月8日であったため、アジア航測(株)は自主的な有人機撮影を迅速に行うことを優先し、無人機による撮影・計測は次段階と位置付けて噴火から2か月後に実施した。しかし、2か月後であっても噴火警戒レベル3が継続しており、入山規制された状況下における撮影実施であったため、今後の噴火時の迅速な無人機等使用による災害状況把握に向けた課題抽出の場として、良い機会であった。

噴火直後の阿蘇山を対象とした無人機による撮影・計測の目的は、次の3点に設定して、中岳火口周辺の約4km²範囲を対象とした撮影計画を立案して、計測を実施した。

- 1) 2016年10月8日噴火の降灰分布状況確認
- 2) 西側中腹から立ち上る蒸気発生地点の状況確認
- 3) ロープウェー上駅等の火口近傍施設への被害影響の把握



図2 平成28年阿蘇山噴火後に実施したマルチコプタータイプの無人機自律航行による撮影

当日撮影した画像のうち直下を撮影した約700枚の画像を使用して、SfM技術を用いて3Dモデルを作成した。撮影した画像のうち火口上空の噴煙を排除して、様々な角度からの撮影写真を使用することにより、構築した3Dモデルから20cm DSM (Digital Surface Model) を作成した。作成したモデルは、オーバーハング部分や施設や樹木の陰などの写真に写っていない部分を表現できない2.5次元のモデルであったが、火山弾やクレーターのうち20cm以上の地形変化や被害影響を把握することができた。

なお、安全を確保した上での状況把握と地形計測のためには、最大対地高度350mでの

自律飛行が必要である。いっぽう、対象地付近において気象条件等を考慮しながら臨機の現地計測対応するために臨機に確保した機体では、自律飛行1回あたり約15分の制約時間があり、火口周辺2km四方の撮影のためには、火口から1kmの山上地区から離陸させる必要があった。このため、関係機関から各種許諾を得た上で、さらに阿蘇火山防災会議協議会、京都大学火山研究センター、気象庁との調整を経て、特別な立入許可をいただいた上で実施したものである。

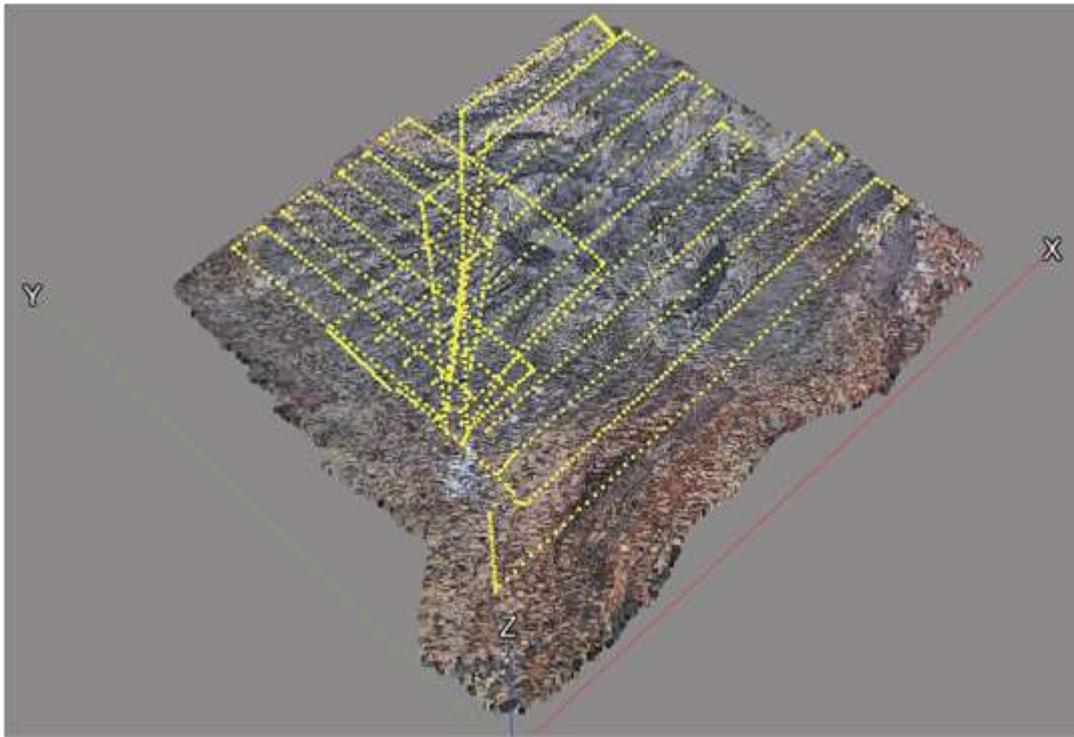


図3 平成28年10月に噴火した阿蘇山で実施した無人機による撮影位置の推定



図4 無人機の自律航行で撮影した可視画像をもとに作成した3Dモデルの鳥瞰表示例
(d) 結論ならびに今後の課題

平成28年度の目的であった「無人機を使った火山災害把握手法」の現状把握と、状況

把握のために必要な無人機等の機能・仕様等を明らかにした。また、火山噴火時に想定される各種制約条件をふまえて、実証実験計画を立案した。平成 29 年度には計画にそって現地実験を行い、計画立案から撮影、3Dモデル作成、状況把握までの流れを様々な観点で記録し、解決すべき課題の抽出と解決に向けた取り組みを行う予定である。

なお、今年度噴火した阿蘇山に対して、噴火警戒レベル3（火口から3km以内の立入禁止）の段階で、無人機を使った現地調査を実施した。噴火発生から現地撮影するまでに掛る時間や手続き、取得した画像からモデル作成して状況把握するまでのプロセスについて、延べ1週間以上を要した。今後、これらのプロセスを高速化・高精度し、最終的には、噴火中の火口のリアルタイム状況把握手法の開発を行う計画である。

(e) 引用文献

なし

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 29 年度業務計画案

(a) 汎用製品（ドローン）を用いた現地実証実験（伊豆大島を予定）

無人機（ドローン等）を用いて、写真測量技術、SfM 技術、UAV 搭載 LiDAR の活用等により、時間と抽出変化の内容・解像度の違いについて、実証試験を通じてとりまとめる。

前年度に検討した無人機（ドローン等）の最新状況や火山調査への適用事例等をふまえて、現地観測による実証実験計画に基づき、導入した市販の無人機等を使用した現地観測を行う。

実証実験は、火山研究や無人機等の技術開発に対して、地域として協力支援する基盤を有している伊豆大島を対象地候補として選定し、三原山外輪山内における実験を予定する。現地実験に必要な法律（航空法、電波法等）や関係機関の基準（国土地理院の安全基準や公共測量マニュアル等）、実験場所に関する土地の使用やその他の手続きを早期に進め、気象条件等における実験予定日の延期等も想定した上で、余裕をもった工程計画の中で目的に応じた実験を行う。

実機を使った現地試験の初年度として、ターゲット等を現地に設定した上で、無人機により撮影した画像が3Dモデル作成に適用可能か、またその解像度や処理時間が撮影方法、運航方法、運航時の環境条件等々によって、どのように違いが生じるかを予想した計画に

そって、実験を行う。

なお、現地観測は3回を予定し、うち1回は事業期間中に発災した場合の現地観測分として計画する。

(b) ドローンで取得した画像を使った解析時間・解像度の検討

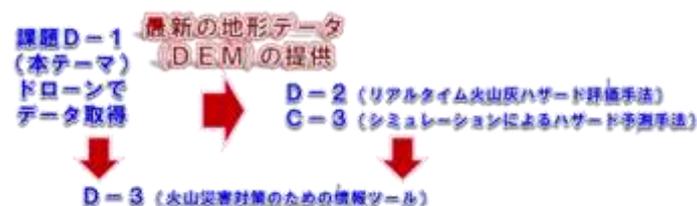
- ・ 現地実証実験を通じて各種環境条件、体制、目標達成度等を計測する。
- ・ 現地実証実験の結果から、ターゲット等の設置の有無、撮影方法・運航方法・運航時の環境条件等による撮影画像の解像度や処理時間の違いを検証する。
- ・ 解析時間、解像度の検討については、取得画像を持ち帰り、写真測量技術を応用した画像解析システムや SfM 技術による 3D 化等を適用して、計測する。

(c) 手法の標準化と課題整理

- ・ 実証実験に必要となった諸手続きを整理し、発災時のために必要な手続きの簡素化や、突発的噴火に対処するための体制、安全管理方法の課題等について、現地実験の一連の流れを通じて経験したことをふまえて整理する。また、実現に向けた対応の標準的流れや、必要な書類書式、留意事項等をフロー形式等でとりまとめる。
- ・ 予め用意して実証実験に臨むチェックリストをふまえて、現地実証実験を通じて得られた、無人機（ドローン等）に搭載する機器の改良点やコース設定上の課題、噴火時を想定したときに考えられる課題をとりまとめて、解決の方向性を検討する。
- ・ 上記までの検討結果について、実用可能なドローンを用いて火山状況を把握する際のノウハウ、活用できる技術、現状の問題点についてとりまとめ、プロジェクトに参加する関係者や火山研究人材育成コンソーシアム構築事業の受講生に共有するための解説資料を作成する。また、火山研究者及びその関係者によって、ドローンで取得したデータの活用・解析技術の普及のために外部発表等を通じて働きかけを行う。

(d) サブテーマ間の連携

平成 28 年度は課題 D の 3 つのサブテーマの責任者でキックオフミーティングを行い、サブテーマ間で連携しアウトプットを出していくことで合意した。平成 29 年度は、課題 D サブテーマ 1、課題 D サブテーマ 2 それぞれとの平成 30 年度以降の具体的な連携について検討を行う。具体的には、課題 D サブテーマ 1 からはドローンによるリアルタイムの画像情報と地形情報等を成果として出力する。この成果を課題 D サブテーマ 2 の火山灰ハザード評価の基礎データとして活用するほか、課題 D サブテーマ 3 の避難・救助支援コンテンツのインプットとして利用するための検討を始める。



3.2 「リアルタイムの火山灰評価手法の開発」

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 10か年の年次実施計画
- (e) 平成28年度業務目的

(2) 平成28年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
 - 1) プロジェクトの総合推進
 - 2) リモートセンシングによる火山灰放出量の即時把握技術開発
 - 3) 火山灰拡散予測の高速度化技術開発
 - 4) 火山灰拡散予測の高精度化技術開発
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成29年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

火山災害対策技術の開発

「リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立大学法人京都大学	教授	井口 正人	iguchi.masato.8m
国立大学法人京都大学	准教授	中道 治久	@kyoto-u.ac.jp
国立大学法人京都大学	助教	山本 圭吾	
国立大学法人京都大学	助教	味喜 大介	
国立大学法人京都大学	助教	為栗 健	
国立大学法人京都大学	特定研究員	堀田 耕平	
国立大学法人京都大学	教授	石川 裕彦	
国立大学法人京都大学	准教授	竹見 哲也	
国立大学法人京都大学	特定研究員	Alex Poulidis	
国立大学法人京都大学	教授	丸山 敬	
国立大学法人京都大学	特定教授	辻本 浩史	
国立大学法人京都大学	助教	古本 淳一	
国立大学法人鹿児島大学	特任教授	真木 雅之	
国立大学法人鹿児島大学	技術補佐員	高橋 忍	
国立大学法人鹿児島大学	外来研究員 (釜慶大学)	Dong-In Lee	
国立大学法人筑波大学	教授	田中 博	
国立大学法人神戸大学	教授	大石 哲	
国立大学法人東北大学	准教授	太田 雄策	
国立大学法人東京大学	助教	鈴木雄治郎	
国立研究開発法人国立環境研究所	主任研究員	清水 厚	
一般財団法人日本気象協会	主任研究員	井上 実	
メトロウエザー株式会社	代表取締役	東 邦昭	

(c) 業務の目的

火山灰に対して噴火前の予防的対策及び噴火後の迅速な防災対策のために、火山灰ハザードの予報的及び即時的評価を可能とする技術の実現を目指し、地上観測および大気中その場観測に裏付けされるリモートセンシングによる火山灰放出量の即時把握技術開発、地震及び地盤変動観測データとシミュレーションを統合した火山灰拡散予測の高速化技術

開発、空間分解能の高い風速場把握および落下粒子特性把握による火山灰拡散予測の高精度化技術開発、連続的な噴火を対象とした火山灰拡散予測のためのオンラインシステムの技術開発、噴火発生前の確率的降灰予測の技術開発を実施し、「課題D サブテーマ 3：火山災害対策のための情報ツールの開発」に解析結果を出力することを目的とする。

(d) 10か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成28年度：

リモートセンシングによる大気中の火山灰の検知及び地上の火山灰観測に着手するとともに、火山灰拡散予測の高速化及び高精度化のための技術開発を開始する。

2) 平成29年度：

桜島等5火山においてレーダー観測を開始し、既存のリモートセンシング観測を強化したうえで、降灰量との比較を行う。火山灰拡散予測の高速化のためにデータベースを整備する。また、高精度化のために、再現された風速場を観測により検証するとともに、火山灰拡散モデルを改良する。

3) 平成30年度：

リモートセンシング観測および風などのモデルと観測量の相関の高精度化を図る。地盤変動及び火山性微動振幅から求められる噴出率から推定される噴煙柱高度、噴煙外形を火山灰粒子の初期座標とするように、火山灰拡散シミュレーションを改良する。観測量に基づく、粒径分布および粒径毎の落下速度をシミュレーションに組み込む。

4) 平成31年度：

リモートセンシング観測から推定される火山灰の3次元濃度分布を可視化し、サブテーマ3火山災害対策のための情報ツールの開発に解析結果を出力する。観測とモデルから推定される火山近傍の風速ベクトルを火山灰拡散シミュレーションに組み込むことにより、高精度化を図る。

5) 平成32年度：

平成32～34年度は、長時間継続する噴火に対応するために、火山灰拡散予測のためのオンラインシステムを開発する。当該年度は、システム設計を行う。火山近傍での風のデータ同化による予測を試みる。

6) 平成33年度：

引き続き、火山灰拡散予測のためのオンラインシステムの開発を進める。大規模噴火による火山灰の広域拡散に対応するために、レーダーデータの合成処理手法を開発するとともに、3次元火山灰濃度分布を多点GNSS観測から推定する手法の広域化を図る。移動用ライダー装置の運用について研究する。

7) 平成34年度：

地上火山灰データをオンラインで火山灰拡散シミュレーションに取り込み、火山灰の拡散予測のデータ同化を行うことにより、連続的噴火における火山灰予測精度を向上させ、オンラインシステムを完成させる。また、広域火山灰に対処するために、リモートセンシング観測から推定される3次元火山灰量分布の広域化をすすめる。

8) 平成35年度：

平成35～37年度は、噴火発生前の降灰確率の予測をめざす。過去の地盤変動データを整理し、前駆地盤変動継続時間および圧力源の前駆体積変化量をデータベース化して、発生時刻と規模の確率的予測を行う手法を開発する。また、気象庁により提供される風速ベクトル予測値から複雑な火山地形を考慮した高分解能の風速ベクトル場を予測する研究を行う。

9) 平成36年度：

発生時刻と規模の確率的予測をオンラインシステムとして稼働させるため、膨張開始時刻の高精度決定手法を開発し、高精度化を図る。また、時間関数として噴出率を与えられるように理論的な噴出率モデルを構築する。火山地形を考慮した詳細な予測風速ベクトルおよび予測降灰量を観測量と照合することにより、噴火発生前の予測精度を検証する。

10) 平成37年度：

前年度の予察的なシミュレーション結果と噴火発生後の観測量の照合に基づいて問題の所在を検討した上で、予測手法の改良を行い、高精度化を図る。

(e) 平成28年度業務目的

桜島にXバンドMPレーダー、GNSS、ライダー光学観測によるリモートセンシングおよびディストロメータを用いた地上観測からなる火山灰観測のためのマルチパラメータ観測網を構築して、火山灰予測のためのパラメータを決定するための観測を開始する。火山灰拡散予測の高速化するためには、噴火発生時の地震動や地盤変動データを解析することにより噴煙高度を求める。また、高精度化のために気象モデルを用いて高精細な風速場を再現し、ドローンやドップラーライダーを用いた大気中および地上における火山近傍での大気中の風向・風速観測を開始し、気象モデルの妥当性を検討する。

(2) 平成 28 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 28 年度に実施した業務の柱は、「リモートセンシングによる火山灰放出量の即時把握技術開発」、「火山灰拡散予測の高速化技術開発」、「火山灰拡散予測の高精度化技術開発」である。即時把握技術開発においては、レーダーを除く項目について観測を開始した。マルチパラメータ観測網が起動し、火山灰観測がリアルタイムで行える状態にある。予測の高速化技術においては、噴火に伴う地盤変動量から火山灰放出量及び噴煙高度の上限を求める経験式が得られ、暫定的に火山灰拡散予測が可能な状態となっている。予測の高精度化においては、分解能の高い DEM を用いて急峻な火山地形の火山灰拡散への影響が評価され、また、ドローンやドップラーライダーを用いた山岳地域での 3 次元の風速ベクトルの観測に着手した。さらに、複雑な火山灰拡散や移流に対応したシミュレーション手法の改良を行った。

(b) 業務の実施方法

1) プロジェクトの総合推進

当該プロジェクトと関連する「課題 C サブテーマ 3」および「課題 D サブテーマ 3」と連携を図りつつ、研究集会を開催した。

2) リモートセンシングによる火山灰放出量の即時把握技術開発

桜島に X バンド MP レーダー、GNSS、ライダー光学観測によるリモートセンシングおよびディストロメータを用いた地上観測からなる火山灰観測のためのマルチパラメータ観測網を構築し、観測を開始するとともに既存データを用いてレーダーの反射強度と火山灰放出量の関係を検討した。また、21 世紀以降噴火が発生した霧島山、薩摩硫黄島（レーダー設置は三島村竹島）、口永良部島、諏訪之瀬島においてすみやかに X バンド MP レーダー観測ができるように付帯設備の設置を行った。

3) 火山灰拡散予測の高速化技術開発

既存地震及び地盤変動データと噴煙高度の関係の経験式を得た。また、地震・傾斜計を設置し、地震及び地盤変動データの高精度化を図った。

4) 火山灰拡散予測の高精度化技術開発

火山体周辺では風速場が複雑なので、分解能の高い DEM を用い気象モデルに基づき、風の場を再現する。風速場を予測するために、ドローンやドップラーライダーを用いた大気中および地上における火山近傍での大気中の風向・風速観測を開始し、気象モデルの妥当性を検討した。

火山灰拡散シミュレーションでは分解能の高い風速場におけるシミュレーションに着手した。また、粒子の初期座標を 3 次元配置に拡張し、過去の噴火の降灰分布と照合してその妥当性を検討した。

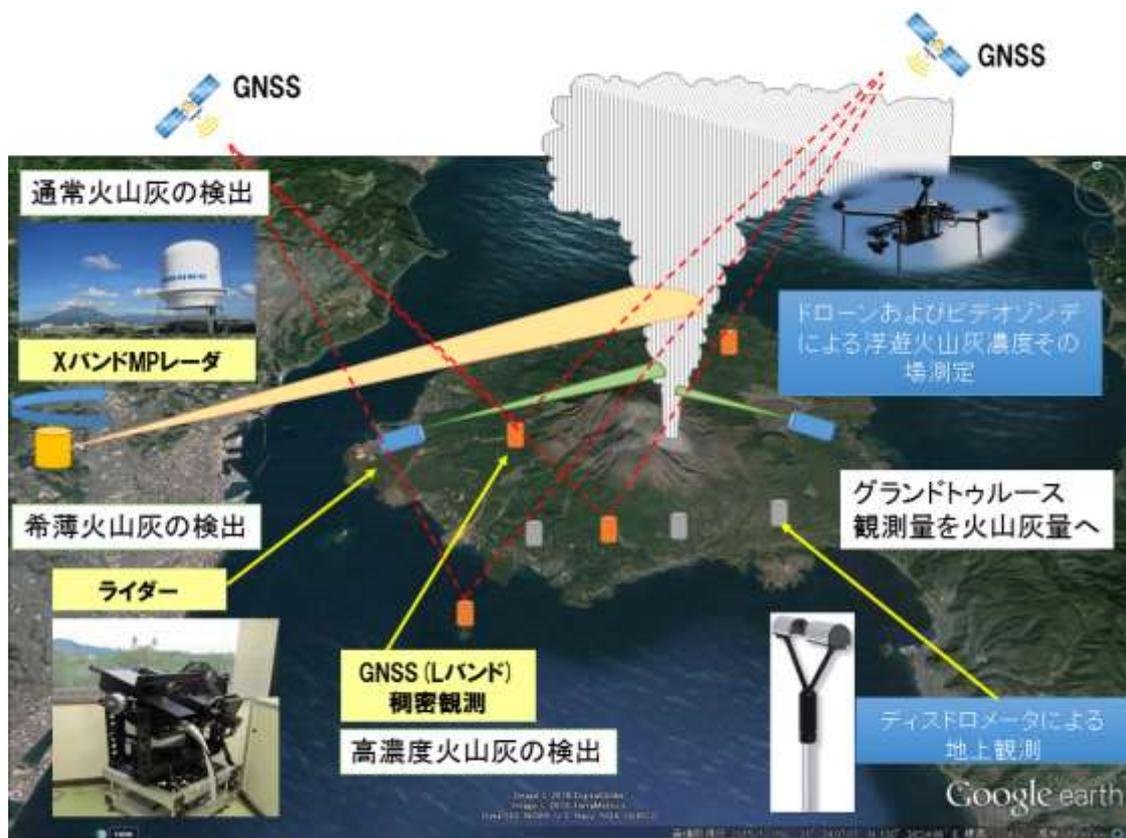


図1 火山灰のマルチパラメータ観測の概要

(c) 業務の成果

1) プロジェクトの総合推進

平成28年12月13日に秋葉原で、また平成29年1月7日に桜島において、研究集会を開催した。秋葉原での研究集会は課題D全体の連携、特に、課題Dサブテーマ3や課題Cサブテーマ3との連携について議論し、課題Dサブテーマ2の降灰量などの観測量を課題Dサブテーマ3に伝送することで合意した。また、桜島での研究集会では、2013年8月18日に桜島で発生した火山噴火により放出された火山灰の拡散をWRF-Chemモデルで再現したものを中心に議論し、課題Dサブテーマ2の研究の進め方を検討した。

2) リモートセンシングによる火山灰放出量の即時把握技術開発

2-1) マルチパラメータ観測網の構築

桜島にレーダー、GNSS、ライダー光学観測によるリモートセンシングおよびディストロメータを用いた地上観測からなる火山灰観測のためのマルチパラメータ観測網を構築した。図1にマルチパラメータ観測の概要を示す。

a) レーダー観測の準備

21世紀以降噴火が発生した霧島山、桜島、薩摩硫黄島（レーダー設置は三島村竹島）、口永良部島、諏訪之瀬島においてすみやかにXバンドMPレーダー観測ができるようにレーダーの架台設置、電源の引き込み、通信回線の引き込みなどを行った。設置場所は表1に示す通りである。

表 1 レーダー基地局の場所

火山名	施設名	住所	緯度・経度・標高
霧島山	霧島市立牧園中学校	鹿児島県霧島市牧園町 宿窪田751-1	31.85784, 130.75134 標高208m
桜島	京都大学防災研究所 火山活動研究センター	鹿児島県鹿児島市桜島 横山町 1722-19	31.58960, 130.60115 標高26.8m
桜島	鹿児島県立錦江湾高等学校	鹿児島県鹿児島市平川 町4047	31.445607, 130.507227 標高88.5m
薩摩硫黄島	三島村竹島焼却所	鹿児島県鹿児島郡三島 村竹島	30.81314, 130.40938 標高59m
口永良部島	口永良部島避難所	鹿児島県熊毛郡屋久島 町口永良部島番屋が峰 207-4	30.470361, 130.176036 標高265.1m
諏訪之瀬島	諏訪之瀬島キャンプ 場	鹿児島県鹿児島郡十島 村諏訪之瀬島	29.61125, 129.70547 標高103m

レーダー架台等の設置状況を図 2 に示す。



図 2 レーダー架台の設置状況。左：口永良部島、右：竹島

b) ライダー観測

従来、エアロゾル観測として鉛直方向に波長 532nm の光を発射し、その後方散乱波の強度と偏光解消度を観測していたライダー観測技術を火山噴煙に応用した。レーザーを噴煙に直接照射し、その後方散乱波を観測する。ライダーは桜島島内の火山活動研究センター桜島火山観測所（西）及び黒神観測室（東）に設置した。

ライダー観測では希薄であっても可視できる程度の濃度であれば、雲（水滴）、火山灰のいずれでも極めて強い散乱強度を示す。偏光解消度が重要なパラメータであり、偏光解消度が小さい場合は球形粒子、大きい場合は非球形粒子による散乱と考えられる。球形粒

子からなる水滴の散乱では偏光解消度は小さく、非球形の火山灰粒子が含まれる噴煙では偏光解消度が大きくなることを期待される。実際に桜島で発生した火山爆発の噴煙の偏光解消度を求めたところ、爆発直後は0.7という極めて高い値が得られ(水滴は0~0.1程度)、その後0.4~0.5で安定した(図3)。噴火ではないが、白色噴煙が連続的に放出されているときも特徴的な時空間分布が得られた。白色噴煙の偏光解消度は0.1程度であり、主に水蒸気を主体とする火山ガスが凝結して水滴となっている。これが、火口から離れて白色噴煙が見えない状態では偏光解消度が増加し、水滴が蒸発した結果、少量の火山灰が浮遊し続けている状態が推定できた。有色噴煙、白色噴煙とも火山ガスと火山灰の混合体であるので、球形物質と非球形物質の量比の推定に偏光解消度が利用できる可能性がある。

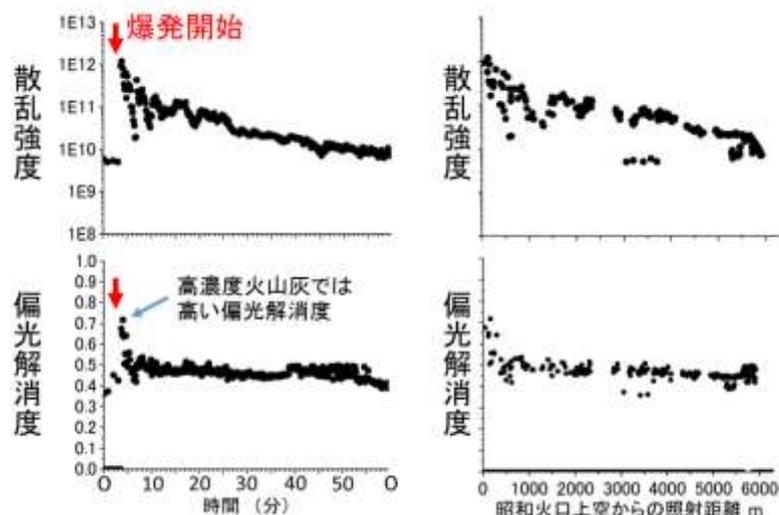


図3 火山爆発時の噴煙の散乱強度及び偏光解消度の時間変化。2016年7月26日に発生した桜島のブルカノ式噴火。

c) GNSS 観測

GNSS を用いた火山灰モニタリングシステムの構築に向けて、GNSS 解析時の位相残差とその信号強度である SN 比データの比較を行っている。桜島の爆発的噴火により放出された火山灰では、位相残差と SN 比にそれぞれ特徴的な変化が確認され、これらのデータに反映される物性が異なる可能性が明らかになった (Ohta and Iguchi, 2015)¹⁾。この手法を 2016 年 10 月 8 日に阿蘇山において発生した爆発に適用した。結果を図 4 に示す。この爆発による噴煙柱形成は GNSS 解析の位相残差とその信号強度である SN 比の変化として検出できた。GEONET703 観測点では噴火発生直後から最大 10cm の LC 位相残差増大と 3~4dB の SN 比の低下が観測されたが、474 観測点では明瞭な変化がなかった。703 で変化を検出した衛星の高度と変化がなかった 474 観測点の火口方向の衛星の高度を考慮すると噴煙の高度は 8.0km~12.5km と推定される。より時間分解能を高めるために 1 秒サンプリングのデータの解析も行った。SN 比の減少は噴火後約 400 秒で終息したが、位相残差の増加は 600 秒程度まで継続した。4-6cm の位相残差の増加に対して 4dB-Hz 程度の SN 比の減少となった。SN 比変化の位相残差の増加に対する割合は、1~1.5dB-Hz/1cm となり、桜島南岳噴火時の位相残差の増加の割合 (5db-Hz/1cm) と比べると少ない。

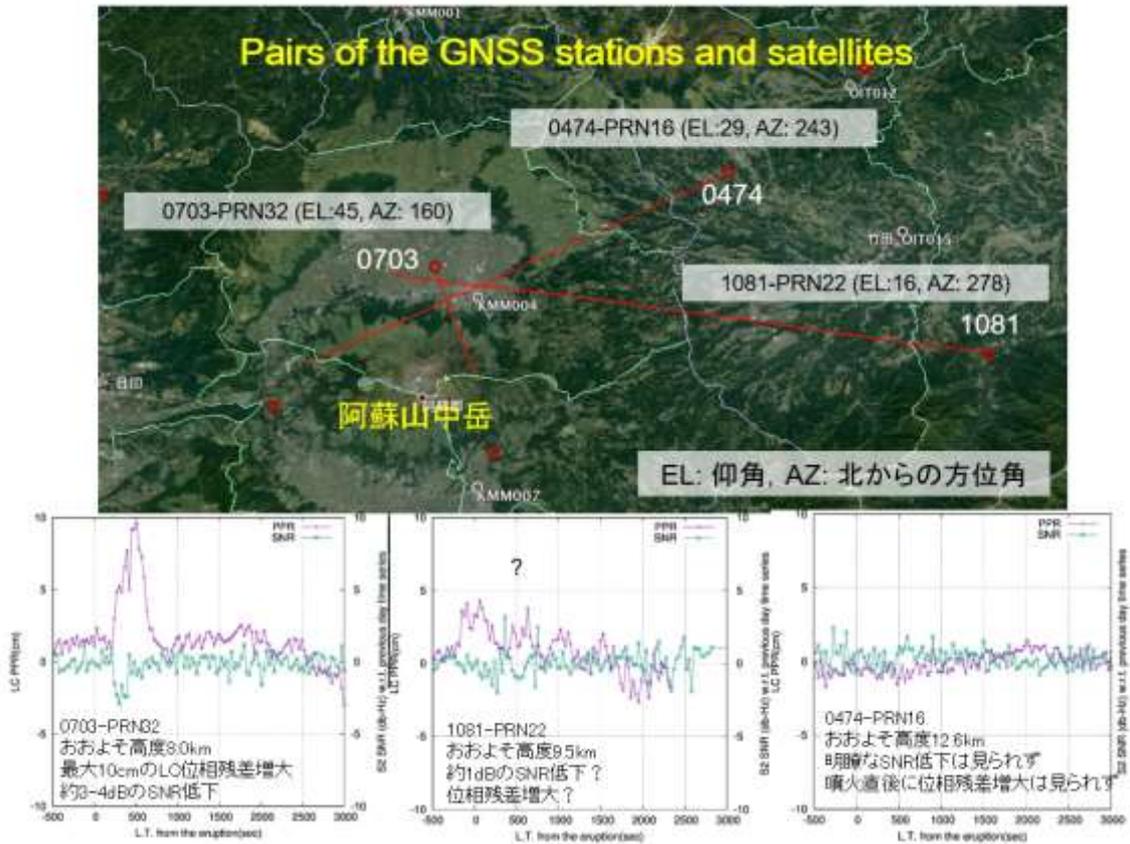


図4 2016年10月8日阿蘇山噴火時の噴煙を通過したGNSS衛星からの電波のLC位相残差およびSN比の時間変化。

d) ディスドロメータによる地上観測

ディスドロメータによる地上降灰量観測を開始した。降雨観測に開発された1次元の光学式ディスドロメータ (PARSIVEL2、ドイツ OTT Hydromet 社製) を用いた。本装置は落下粒子によってさえぎられる光を計測することによって、粒径ごとに粒子を観測するパーティクルカウンターであり、粒径毎の個数と落下速度を求めることができる。粒径と落下速度の関係は、雨の場合、Gunn-Kinzer line に沿うとされるが、火山灰は、水よりも密度が大きいので、Gunn-Kinzer line よりも上にプロットされることが予想される。実際、火山灰で実験を行ったところ、Gunn-Kinzer line よりも下にプロットされた。このことにより雨粒と火山灰粒子の識別が可能である。

いずれの風向でも降灰観測ができるように、桜島火口からほぼ全方位に位置する島内の6か所にディスドロメータを設置し(図5)、オンラインによるデータ取得を開始している。



図5 桜島におけるディストロメータの配置図。赤丸が本課題による設置場所。

e) レーダー観測による火山灰推定の高度化

レーダーの反射強度と火山灰放出量の関係を検討する。気象レーダーによる降灰量の推定方法には工学的手法と理学的手法の二通りがある。工学的手法は降灰のレーダー反射因子と地上の降灰量との関係式を観測から求める方法である。一方、理学的手法は、観測された降灰粒子の粒径分布から散乱計算をおこない理論的な反射因子と降灰量との関係式を求める方法である。いずれの手法も降灰粒子の観測データが必要不可欠である。

このため、ディストロメータによる降灰観測を実施した。さらに、桜島～垂水市での降灰時の機動的観測のために観測点の選定を行い、WiFi通信を利用して観測データを収集する仕組みを構築した。以下、詳細を記す。

・機動的観測のための観測点調査

冬から春の季節風下での降灰調査を迅速に実施するために、ディストロメータの設置場所調査をおこなった（図6(a)）。

・ディストロメータの輸送・設置

連携研究機関から3台のディストロメータを輸送し、鹿児島大学のディストロメータ(1台)と併せて計4台を鹿児島大学産学官連携推進センター屋上へ設置した(図6(b))。更にWiFiを用いたデータ収集の仕組みを構築した。

・予備観測とレーダーデータ収集

各ディストロメータの較正のために降雨を対象に予備観測を実施した。また、2017年3月25日に発生した桜島南岳の噴火事例については国交省垂水XバンドMPレーダーのデータを取得し三次元解析を実施した(図6(c))。



図 6(a) 機動観測場所調査



図 6(b) 4 台のパーシベルによる観測風景



図 6(c)桜島南岳の噴火

(2017 年 3 月 25 日) のレーダー画像

2) 火山灰拡散予測の高速度化技術開発

桜島のブルカノ式噴火に伴い、火口側地盤の沈降傾斜及び収縮が観測される。これまでに観測されたひずみ及び傾斜変化は、火山灰放出量と相関があることが知られており、火山灰放出重量 (W) は、地盤変動を励起する圧力源の体積変化 (ΔV) に対して以下の関係がある (Iguchi, 2016) ²⁾。

$$W = \beta \Delta V \quad (1)$$

ここで、係数 β は 2.5~2.6 が得られている。噴煙高度が推定できれば、火山灰拡散シミュレーションを行うことができるので、噴火に伴うひずみ及び傾斜変化と噴煙高度の関係を 2009 年から 2016 年に発生した約 14000 回の噴火について検討した。このうち、鹿児島地方気象台が噴煙高度を発表し (雲入りを除く)、5 ナノストレイン以上のひずみ変化が有村観測坑道において検知され、かつひずみ変化の継続時間が 5 分以上続いた噴火は 3398 回発生している。南岳火口方向とそれに直交する方向のひずみ変化から微小球状圧力源を仮定して、圧力源の深さと体積変化量を求め、ひずみ変化の継続時間で体積変化量を割ったものを噴出率とした。噴煙高度と噴出率の関係を図 7 に示す。

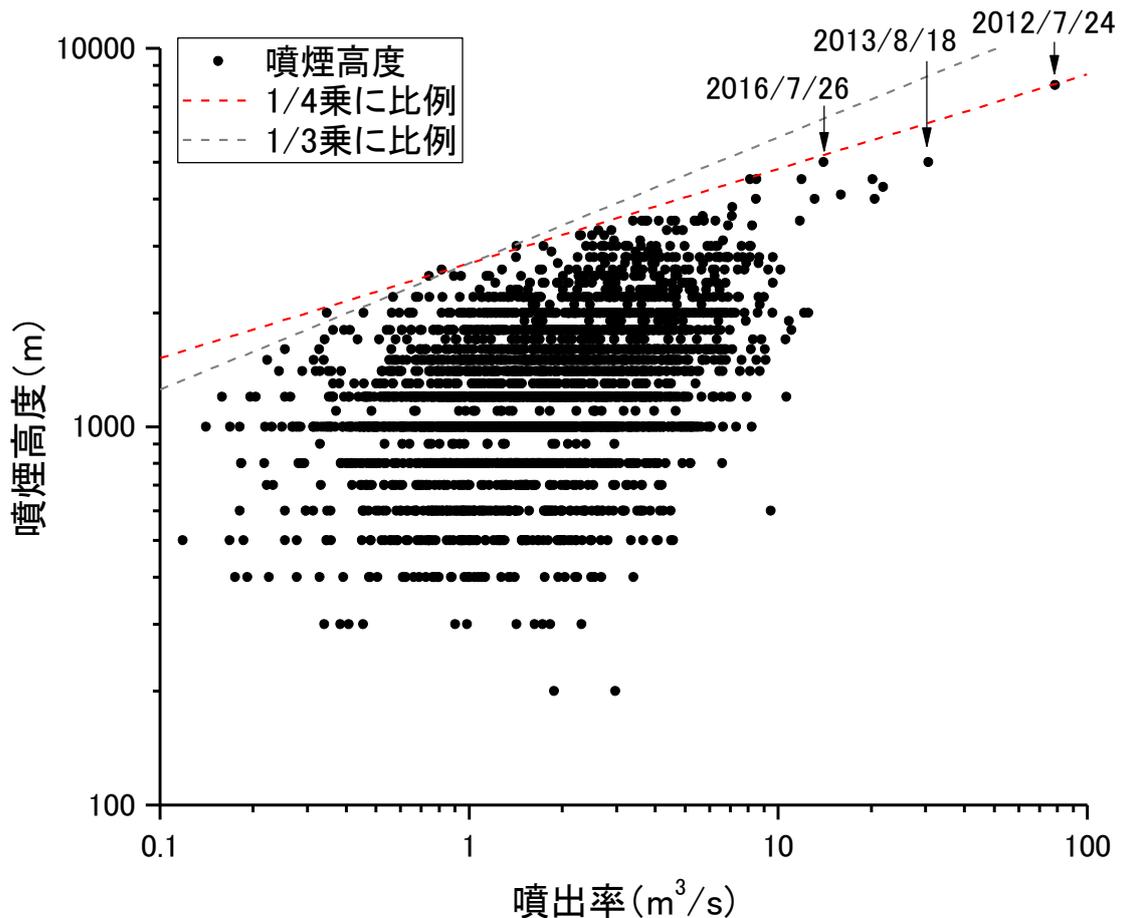


図7 噴煙高度と噴出率の関係

2012年7月24日に南岳において発生した爆発の噴出率が最大であり、 $78\text{m}^3/\text{s}$ に達している。この噴火について気象庁は噴煙高度を発表していないが、YouTubeにアップロードされた桜島遠方からの画像により噴煙高度は8000mと決定できる。噴煙高度が5000mに達した2013年8月18日および2016年7月26日の噴火の噴出率は大きい。噴出率は $10\text{m}^3/\text{s}$ 以下のものが圧倒的に多いが、噴煙高度との間に相関が認められる。噴煙高度 (H) には噴出率 (\dot{V}) に依存する上限が認められ、上限の直線を以下のように決定できる。

$$H = 2700\dot{V}^{1/4} \quad (2)$$

噴煙高度は(2)式を超えることはないので、期待される噴煙高度の最大値として(2)式から得られる噴煙高度を用いて火山灰拡散シミュレーションを行うことが可能である。

Morton et al. (1956)³⁾によって、噴煙柱の高度は放熱率の1/4乗に比例することが、理論的に示され、大規模噴火についてそれが確認されている。小規模噴火であるが、図7はそれを桜島において圧倒的多数のデータによって検証したものである。(2)式は上限においてMorton et al. (1956)の式が成り立つことを示した。

3) 火山灰拡散予測の高精度化技術開発

a) 風速ベクトルのその場観測

火山体周辺では風速場が複雑なので、分解能の高いDEMを用い気象モデルに基づき、風

の場を再現する。風速場の予測と検証のために、Compact Weather Station (CWS) を搭載したドローンおよび風速 3 成分を測定するドップラーライダー (DL) を用いて風速ベクトルの大気中その場観測を開始した。CWS は小型の超音波風向風速 Type. A (重量約 250g、サンプリング間隔 1 秒) と、風向風速に加えて気温、湿度の観測も可能な Type. B (重量約 650g、サンプリング間隔 1 分) の 2 種類である。DL は最大高度 600m までの風の鉛直プロファイル (30m 間隔) を測定する。センサーの取付け位置はプロペラによる影響を避けるために機体中央部の 50~60cm とした。使用したドローンは観測機器を搭載した状態で約 15 分の飛行が可能なので、所定の高度に到達するまでの最大上昇速度は 5m/s、観測終了後の最大下降速度は 2.5m/s とした。高度 1000m での観測を行う場合には、到達までに 200 秒、帰還に 400 秒を要するために高度 1000m での滞空時間は約 5 分となる。

UAV の離発着は桜島の南岳火口から 2.4km 南南東の有村から行った。また、同じ場所に DL を設置し、同地点での鉛直方向の風速 3 成分を連続的に記録した。結果の一例を図 8 に示す。

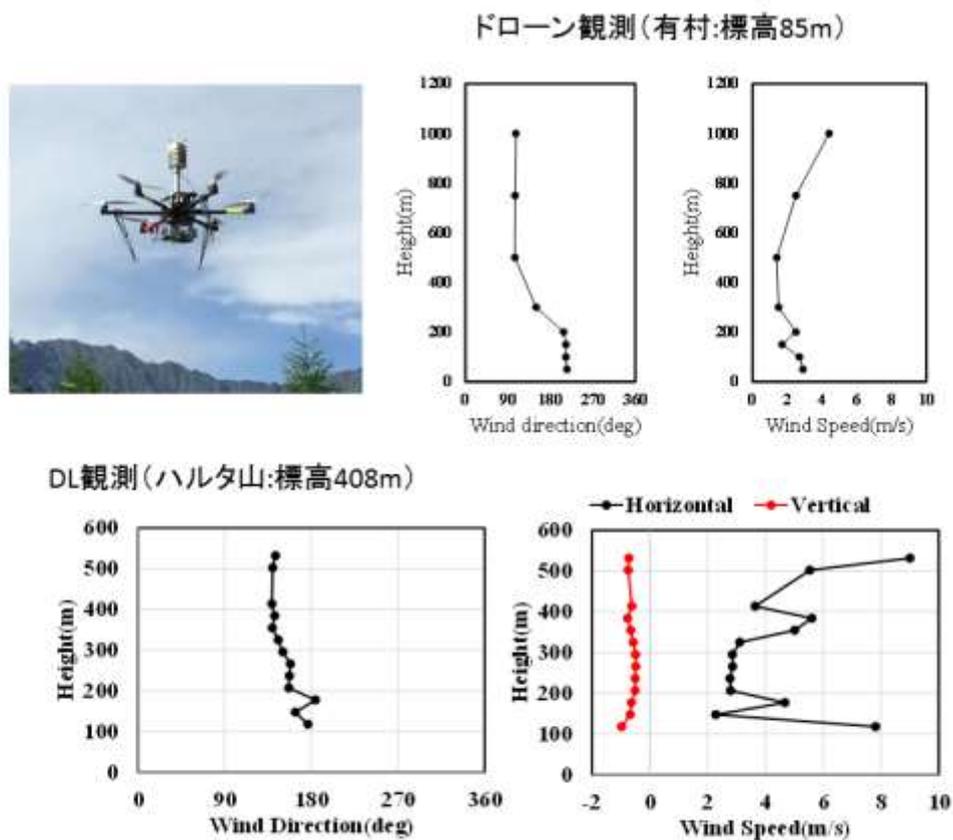


図 8 ドローンに搭載した風向風速計およびドップラーライダーによる風観測

ドローンによる風速ベクトルは、DL による遠隔観測と大差なく、ドローンによるその場観測によって概ね、再現できている。DL による観測では、風ベクトルの鉛直成分の観測が可能である。

b) 火山灰の大気輸送に及ぼす地形効果の検討

火山噴火による火山灰の大気中の拡散・沈着の問題は大気科学の視点からの研究も必要不可欠であるので、火山活動が活発で噴煙高度が数 km に及ぶ噴火も頻繁に発生する桜島を対象とし、領域気象モデルを用いて火山灰の大気輸送の数値解析をした。特に、火山灰輸送に及ぼす地形により励起される気流や波動の影響に着目して解析した。

数値シミュレーションには気象モデルと化学過程・エアロゾル過程モデルとの結合モデルである WRF-Chem (version 3.6.1) を用いた。西日本・南日本をカバーする領域を第 1 領域 (12.5 km 格子) とし、九州をカバーする第 2 領域 (2.5 km 格子)、鹿児島県をカバーする第 3 領域 (500 m 格子) を設定した。モデル上端高度は 50 hPa として、鉛直に 90 層を取り、下層ほど細かい格子間隔とした。初期値・境界値には ERA-Interim を用いた。

対象とした噴火イベントは、2013 年 8 月 18 日に発生したブルカノ式噴火である。このときの噴煙の到達高度は火口から 5 km ないし 7 km と見積もられている。降灰は桜島から西・北西方向の広域に観測された。降灰の測定値として鹿児島県による 62 箇所の観測点でのデータを、火山噴火状況は気象庁によるデータを利用した。

噴火による火山灰の排出を模擬するため、火口上空にトップヘビーな傘型の火山灰プルームのプロファイルを噴火時刻に与えた。プルームの初期高度 HP は明確ではないため、ここでは、3 km、4 km、5 km の 3 通りの設定をした感度実験をすることで、プルーム高度の違いによる火山灰の拡散・沈着への影響も調べた。さらに地形の影響を明示するため、対照実験として第 3 領域の標高を仮想的にゼロとした実験も行った。

図 9 には、異なる HP の場合の実地形実験と平坦地形実験とで得られた降灰量の結果を示す。卓越風向が東・東南であったため、降灰は桜島から西・北西に広がっていることが分かる。降灰観測地点の結果と比べて計算は良好な結果を示している。実地形と平坦地形の場合を比べると、平坦地形の場合には降灰量が距離に応じて減少して分布パターンもスムーズである一方、実地形の場合には離れた地点でも降灰量の多い地域があり卓越風向に直交方向の分布の広がりも顕著である。距離に応じた降灰量分布や鉛直断面など他の角度から調べたところ、平坦地形の場合には HP が高いほどより遠くまで降灰が生じるが、実地形の場合には HP によらずに降灰は遠方まで達することが分かった。

このような違いは、桜島や下流側の薩摩半島の地形と大気成層の効果により励起された流れパターンの違いや重力波の生成の影響を受けていることが分かった。火山地形は重力波と風下側での下降流を発生させ、その影響は火山近傍及び遠方にも及ぶことがわかった。

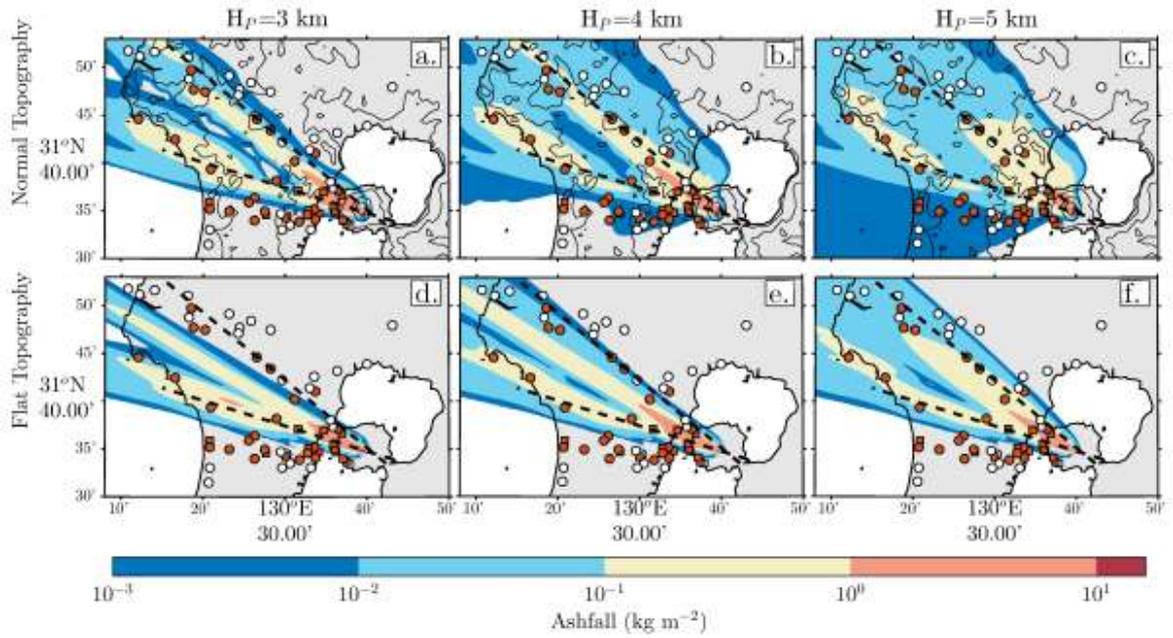


図9 HPが3 km, 4 km, 5 kmの場合に計算された降灰量。実地形の場合 (Normal) と標高ゼロの平坦地形 (Flat) の結果を示す。色つきの丸印は降灰が観測された地点を示す。

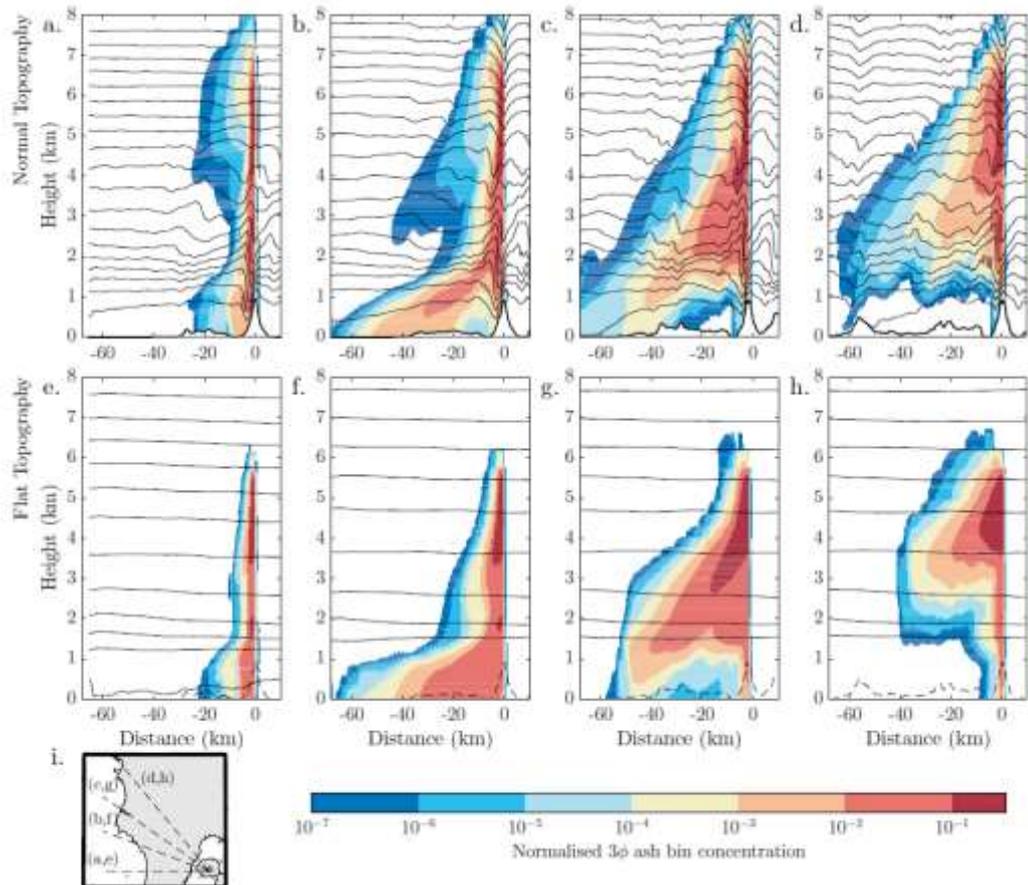


図10 気象モデルにより計算された火山灰の濃度

c) 火山灰拡散シミュレーションの改良

火山灰拡散シミュレーションはこれまでも PUFF モデルを用いて行ってきたが、本課題においてはパラメータの与え方を改良した。PUFF モデルは粒子追跡法であり、初期座標に配置された粒子を風、重力降下、ランダムウォークによる拡散で移動させるものである。これまで、粒子を初期座標として火口から鉛直上方へ一次元配置していたが、大規模噴火では火口上に噴煙の成長に伴い成層圏付近に傘雲を形成するので、傘雲を考慮して移流・拡散シミュレーションを行う必要がある。2014年2月にインドネシアのケルト火山で発生した噴火を対象に、傘雲の形成を考慮した火山灰拡散シミュレーションを行い、降灰分布と照合することによりその妥当性を検討した⁴⁾。

ケルト火山では2014年2月13日にプリニー式噴火が発生した。噴煙の到達高度は17kmで、噴火は約2時間続いた。火山灰は下層においては北東方向へ、上層においては西方へ移流した。噴火開始直後に傘雲が形成される様子は衛星画像によってとらえられており、その大きさは噴火開始後30分で直径100kmを超えている。そこで、高度の増加とともに水平方向の拡散係数 (C_h) が、増加するような(3)式を提案し、シミュレーションを行った。

$$C'_h = C_h \times \left[1 + \frac{z}{z_0} \exp \left\{ - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right\} \right] \quad (3)$$

結果を図11に示す。比較のために、拡散係数の増加を考慮しない場合も併せて示した。火山灰の拡散域の再現に著しい改善が見られる。

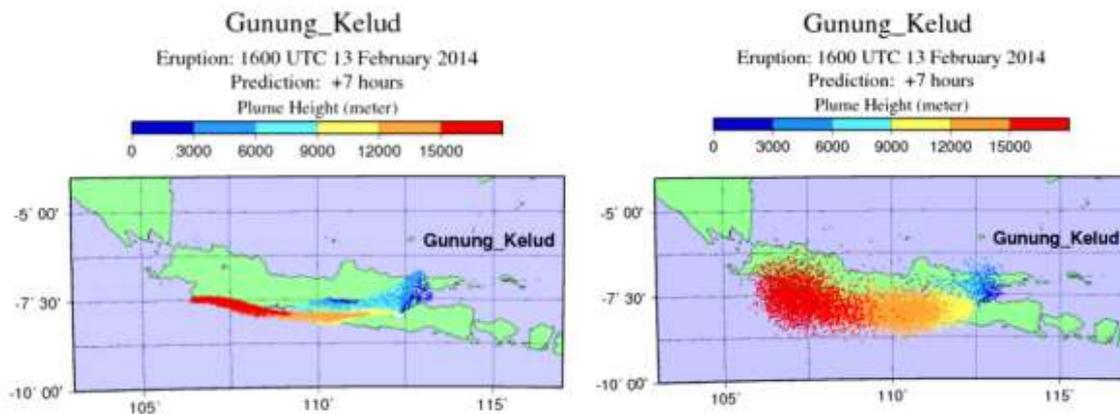


図11 PUFFモデルによる火山灰拡散シミュレーション。左：水平方向の拡散係数の増加を考慮しない場合。右：水平方向の拡散係数の増加を考慮した場合。

(d) 結論ならびに今後の課題

火山灰のマルチパラメータ観測網により火山灰観測がリアルタイムで行える状態にあり、火山灰予測の高速化及び高精度化のための準備段階の観測と解析が開始できたので、サブテーマ自体の平成28年度における目標はほぼ達成できた。

噴火に伴う地盤変動量から火山灰放出量及び噴煙高度の上限を求める経験式が得られたので、暫定的に火山灰拡散予測が可能な状態である。上限値を用いることは火山灰到達距離の最大値を得ることなので、ハザード予測としてはこれでいいが、実際の噴煙高度は

これよりも低いので、噴煙高度の予測精度を上げる必要がある。地形効果を考慮した火山灰拡散シミュレーションで示されたように、火山地形は重力波と風下側での下降流を発生させ、その影響は火山近傍だけでなく遠方にも及ぶ。山頂付近の風の場合は、噴煙の到達高度を低減させるので、噴煙高度の予測においては、風ベクトルの多様性がどの程度実効噴煙高度に影響を与えるか評価する必要がある。

このことは、火山近傍での風の予測と、観測データによる検証が極めて重要であることを意味する。地形の影響の程度は、本年度では、試作として検討した程度であり、多様な風速場に対する影響評価と、実際の観測データとの照合を行っていく必要がある。実観測においてもキャンペーン観測を行っただけでなく、平成 29 年度以降は、連続観測への拡張と、観測点の増強、また、ドローンを用いて山頂直上の風を直接観測する必要がある。

火山灰のマルチパラメータ観測は始まったばかりであり、大気中火山灰濃度や地上降灰量などのグランドトゥルスデータとの照合に至っていない。今後、グランドトゥルス観測データを積み上げていく必要がある。特に、レーダーの反射強度は、火山灰の粒径分布特性に大きく依存するので、地上観測や大気中観測により、直接的に火山灰粒径分を観測する必要がある。

(e) 引用文献

- 1) Ohta, Y., Iguchi, M.: Advective diffusion of volcanic plume captured by dense GNSS network around Sakurajima volcano: A case study of the Vulcanian eruption on July 24, 2012, Earth Planets, Space, Vol. 67:157, DOI 10.1186/s40623-015-0324-x, 2015.
- 2) Iguchi, M.: Method for real-time evaluation of discharge rate of volcanic ash - case study on intermittent eruptions at the Sakurajima volcano, Japan -, Jour. Disast. Res., Vol. 11, pp.4-14, 2016.
- 3) Morton, B. R., Taylor, G. and Turner, J. S.: Turbulent Gravitational Convection from Maintained and Instantaneous Sources, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 234, No. 1196. (Jan. 24, 1956), pp. 1-23, 1956.
- 4) Tanaka, H. L., Iguchi, M., Nakada, S.: Numerical simulations of volcanic ash plume dispersal from Kelud volcano in Indonesia on February 13, 2014, Jour. Disast. Res, Vol.11, pp.31-42, 2016.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
辻本浩史・井上 実・志村智也・町田駿一	UAV とドップラーライダーを用いた急峻な山岳地域における気象観測	平成 28 年度京都大学防災研究所研究発表講演会	平成 29 年 2 月 22 日

Alexandros-Panagiotis POULIDIS, Tetsuya TAKEMI, Masato IGUCHI	Orographic Effects on the Transport and Deposition of Volcanic Ash - A Sakurajima Case Study	平成 28 年度京都大学 防災研究所研究発表 講演会	平成 29 年 2 月 22 日
---	---	----------------------------------	---------------------

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 29 年度業務計画案

① プロジェクトの総合推進

当該プロジェクトと関連する「課題 C サブテーマ 3」および「課題 D サブテーマ 3」と連携を図りつつ、研究集会を開催する。

② リモートセンシングによる火山灰放出量の即時把握技術開発

X バンド MP レーダーを霧島山、桜島、薩摩硫黄島（レーダー設置は三島村竹島）、口永良部島、諏訪之瀬島に設置し、観測を開始する。ディストロメータを用いた地上降灰観測により、降灰量の時間変化を明らかにする。また、噴火頻発期には火山灰採取のキャンペーン観測も実施する。その上で、X バンド MP レーダーにより観測される噴煙の反射強度と地上降灰量との関係を多くの噴火事例について調べ、その関係式を決定する。

GNSS 観測についても同様の解析を行う。LC 搬送波位相残差及び SN 比が対象となる。地盤変動量から算出される火山灰放出量との関係についても検討する。

ライダー観測は光を使うので、低濃度の希薄火山灰を対象とする。得られる後方散乱強度および偏光解消度を、ドローンに搭載した粉塵計を用いた大気中その場観測から得られる火山灰粒子密度（PM2.5 相当）と照合して、散乱強度と火山灰濃度の関係を明らかにする。また、偏光解消度は粒子の形状に依存するので、粒子形状を検討することにより、水滴と火山灰粒子の識別を試みる。また、X バンド MP レーダーのデータを定量的に解釈するために火山灰粒径分布観測を桜島周辺において機動的に実施する。

③ 火山灰拡散予測の高速度化技術開発

地震計及び傾斜計の機能向上を図ったうえで、ブルカノ式噴火について噴火発生に伴う地盤変動及び火山性微動振幅を降灰量分布から求めた噴出量と比較することにより、地球物理学的観測データからの過去の噴出率推定式を高精度化する。

噴煙柱シミュレーションによって、噴出率ごとの噴煙柱高度、噴煙外形のデータベースを作成する。火山噴火の映像からシミュレーションの妥当性を検討する。

④火山灰拡散予測の高精度化技術開発

WRF-CHEM メソ気象モデルにより複雑火山地形における火山体周辺の風速ベクトル分布を求める。ドローンやドップラーライダーを用いた大気中および地上における火山近傍での大気中の風向・風速観測と照合することにより、気象モデルの妥当性を検討して風の場の再現の高精度化を図る。

桜島など過去の噴火活動で落下したレキの落下速度等の空力特性を、防災研究所（宇治市）の風洞実験装置を利用して明らかにする。レキの大きさと落下速度を実験的に求めるが、形状およびレキの姿勢との関係にも注目して解析を進める。

従来の火山灰拡散シミュレーション（PUFF）を噴出率の時間変化を取り込めるように改良し、地上観測によって得られる降灰速度と比較して、その改良の妥当性を検討する。

3.3 「火山災害対策のための情報ツールの開発」

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成 28 年度業務目的

(2) 平成 28 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成 29 年度の業務計画案

- (a) 常時観測火山におけるハザードマップのデジタル化
- (b) 過去の火山災害と降灰についての文献調査結果の分析
- (c) 自治体を対象とした火山対策の現状調査と結果の比較・分析
- (d) 都市部の施設に対する降灰影響評価実験
- (e) 登山者動向把握実験への参加・分担
- (f) サブテーマ間の連携

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

火山災害対策技術の開発

「火山災害対策のための情報ツールの開発」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立研究開発法人防災科学技術研究所 火山研究推進センター	センター長	中田節也	nakada@eri.u-tokyo.ac.jp
	総括主任研究員	棚田俊收	
	主任研究員	宮城洋介	m_yousuke@bosai.go.jp
	契約研究員	久保智弘	tkubo@bosai.go.jp
	客員研究員	宮村正光	
株式会社大林組技術研究所	上級主席技師	野畑有秀	
	上級主席技師	諏訪仁	
	主任研究員	大塚清敏	
	副部長	笠原修	
山梨県富士山科学研究所	主任研究員	吉本充宏	

(c) 業務の目的

本業務では、火山災害に関わる自治体の防災担当者らが、災害発生時に適切な初動対応及び防災活動を行うことを支援するための「火山災害対策のための情報ツール（以下、「情報ツール」という。）」を開発することを目的とする。情報ツールとは火山災害対策のために必要となる情報を出力する各種コンテンツから成り、本業務ではこれらコンテンツの開発を中心に行う。開発するコンテンツは、専門家が自治体の防災担当者に対して情報を伝える際に使用されるコンテンツや、降灰による都市部の施設やインフラの被害を予測するコンテンツ等である。この情報ツールは、本事業の課題 A（各種観測データの一元化）で開発される一元化共有システムのデータベースに保存される他の課題及びサブテーマで得られる解析結果等の研究成果を活用し、火山防災協議会において火山専門家が地方自治体等へ助言する際にも利用される。開発に当たっては初期段階からユーザーである自治体や火山防災協議会に参加している火山専門家等と連携して取り組む。

(d) 10 か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 28 年度：

- ・過去の火山災害及び降下火山灰に関する文献調査、情報収集を行う。
- ・常時観測火山におけるハザードマップのデジタル化を行う。
- ・自治体を対象とした火山対策の現状を調査する。
- ・都市部の施設に対する降灰影響評価実験の実験計画を作成する。

2) 平成 29 年度：

- ・過去の火山災害と降灰についての文献調査、情報収集結果の整理と分析を行う。
- ・常時観測火山におけるハザードマップのデジタル化を行う。
- ・自治体を対象とした火山対策の現状調査と結果の比較・分析を行う。
- ・都市部の施設に対する降灰影響評価実験を行う。
- ・登山者動向把握実験への参加と分担。

3) 平成 30 年度：

- ・自治体防災担当者へのアウトリーチ活動の実施及びそこで利用するコンテンツ（教材）を作成する。
- ・降灰影響評価実験を受け、都市部の施設における建築設備の損傷度評価法の開発に着手する。
- ・登山者動向把握実験で得られたデータの火山防災対策への利用に関して検討する。

4) 平成 31 年度：

- ・課題 D サブテーマ 2 から得られる解析結果をインプットとし、降灰被害予測コンテンツの試作版の開発に着手する。
- ・自治体防災担当者向けの教材を基に、周知啓発用・教育用コンテンツの試作版の開発に着手する。
- ・登山者動向把握実験で得られたデータと課題 D サブテーマ 1 から得られる成果を利用し、避難・救助支援コンテンツの試作版の開発に着手

5) 平成 32 年度：

- ・降灰被害予測コンテンツの試作版の開発を進める。
- ・周知啓発用・教育用コンテンツの試作版の開発を進める。
- ・避難・救助支援コンテンツの試作版の開発を進める。

6) 平成 33 年度：

- ・降灰被害予測コンテンツの試作版を利用した実証実験を行う。
- ・周知啓発用・教育用コンテンツの試作版を利用したアウトリーチ活動を行う。
- ・避難・救助支援コンテンツの試作版を利用した実証実験を行う。

7) 平成 34 年度 :

- ・ 降灰被害予測コンテンツを利用した実証実験の結果を踏まえ、コンテンツの高度化を図る。
- ・ 周知啓発用・教育用コンテンツを利用したアウトリーチ活動を踏まえ、コンテンツの高度化を図る。
- ・ 避難・救助支援コンテンツを利用した実証実験の結果を踏まえ、コンテンツの高度化を図る。

8) 平成 35 年度 :

- ・ 各種コンテンツの汎用化に着手する。

9) 平成 36 年度 :

- ・ 各種コンテンツの汎用化を進める。

10) 平成 37 年度 :

- ・ 降灰被害予測コンテンツの社会実装として、自治体に対するアクションプランを提案する。
- ・ 周知啓発用・教育用コンテンツの社会実装として、テキストを作成する。
- ・ 避難・救助支援コンテンツの社会実装として、自治体の避難計画への反映を行う。

(e) 平成 28 年度業務目的

火山災害に対する防災上の課題を検討するために、近年発生した火山災害による影響評価に関する論文や各種報告書を調査し、情報を整理する。

降灰被害予測コンテンツの開発に向けて、都市部における火山灰に対する防災上の課題を検討するために、降下火山灰による影響評価に関する論文や各種報告書を調査し、情報を整理する。また、平成 29 年度以降に行われる降灰影響評価実験に関する実験計画を作成する。

避難・救助支援コンテンツの開発に向けて、日本国内に 50 ある常時観測火山の内、10 火山（十勝岳、有珠山、那須岳、浅間山、富士山、伊豆大島、御嶽山、阿蘇山、霧島山、桜島）のハザードマップに載っている情報をデジタル化する。

周知啓発用・教育用コンテンツの開発に向けて、既に各自治体が行っている火山対策の現状を調査する。

(2) 平成 28 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 28 年 12 月 13 日に秋葉原において、課題 D 全体のキックオフミーティングを行った。本ミーティングでは、課題 D 内のサブテーマ間の連携について議論し、課題 D サブテーマ 1 及び課題 D サブテーマ 2 の成果を課題 D サブテーマ 3 (本課題) で開発する各種コンテンツのインプットとすることを目指すことで合意した。

火山災害、とりわけ都市部における火山灰に対する防災上の課題を検討するために、都

市部における降灰被害を含む火山災害に関する論文や各種報告書を調査し、火山災害経験者へのヒアリング調査も実施し、情報を整理した。これにより、自治体毎の経験の多寡に起因する意識や対応の違いが明らかになった。

日本国内に 50 ある常時観測火山の内、10 火山のハザードマップ情報をデジタル化し、GIS 等で直接利用できる形にした。これによって詳細地図等の基盤情報と重ねて表示することが可能になり、本年度行ったヒアリング調査や自治体防災担当者との意見交換の際に明示するなどして使用した。

既に火山対策に取り組んでいる自治体を対象としてヒアリング調査等を行い、また当該火山の状況や地域の状況に関する資料、火山防災協議会に関する資料を調査し、火山対策の現状について情報を整理した。これにより、火山災害情報の有り様に関する現状を把握することができた。

平成 29 年度以降に都市部の施設（病院、官庁等）を対象にした降灰影響評価実験を行うため、必要な実験機器や実験環境について検討し実験計画を作成した。

(b) 業務の実施方法

火山災害に対する防災上の課題を検討するために、近年国内外で発生した 10 程度の火山災害について、既存文献からそれぞれに火山現象の状況・推移・被害、自治体の対応推移、課題等を調査し情報を整理する。また、情報収集をするにあたり、御嶽山、阿蘇山、桜島周辺自治体の防災担当者へのヒアリング調査を実施する。

降灰被害予測コンテンツの開発に向けて、都市部における火山灰に対する防災上の課題を検討するために、降下火山灰に関する、1. 特徴、2. 荷重の評価、3. 湿った火山灰の付着の影響、4. 細粒火山灰の侵入の評価、5. 建物機能への影響評価、6. 経済活動への影響評価、7. 火山情報の有り様、利活用、効果、について国内外の文献から調査し情報を整理する。また、降灰経験のある自治体防災担当者や病院関係者へのヒアリング調査も行う。都市部の施設（病院、官庁等）に対する降灰による影響を評価するための降灰実験を、平成 29 年度以降に行う。この降灰実験では、様々な建築設備への降灰の影響を調査するために、火山灰の粒径や量、または計測条件等をパラメータとし、建築設備の損傷度や性能低下率を定量化する。本年度は本実験を行うために必要な実験機器や実験環境について検討し、実験計画を作成する。

日本国内にある火山のハザードマップには、降灰や噴石の飛散範囲や火砕流や溶岩流の到達範囲、降灰の厚さの推定量などの情報が載せられている。避難・救助支援コンテンツの開発に向けて、日本国内に 50 ある常時観測火山の内、10 火山（十勝岳、有珠山、那須岳、浅間山、富士山、伊豆大島、御嶽山、阿蘇山、霧島山、桜島）を選定し、ハザードマップ上のこれらの情報をデジタル化し、シェープファイル形式にすることで、GIS 等で直接利用できる形にする。

周知啓発用・教育用コンテンツの開発に向けて、既に火山対策に取り組んでいる自治体を対象としてヒアリング等を行い、当該火山の状況や地域の状況に関する資料や火山防災協議会に関する資料を調査し、火山対策の現状について情報を整理する。また、すでに火山災害を経験した地域にあっては、火山災害情報に関する有り様や利活用及びその効果についても整理する。

(c) 業務の成果

火山災害に対する防災上の課題を検討するために、近年国内で発生した以下の火山災害について、既存文献（論文や各種報告書）から、1. 火山災害に至る現象の推移、2. 火山災害による被害の種類と実態、3. 自治体の時系列における対応、4. 自治体や行政などからの情報発信、5. 自治体の被害軽減に向けた対策や課題等、に着目して調査を実施し情報を整理した。

- ・1986年伊豆大島
- ・1990年雲仙普賢岳
- ・1997年八甲田山（火山ガス被害）
- ・1997年安達太良山（火山ガス被害）
- ・2000年有珠山
- ・2000年三宅島
- ・2010年八甲田山（火山ガス被害）
- ・2011年霧島山新燃岳
- ・2014年御嶽山
- ・2015年口永良部島
- ・2015年箱根山大涌谷

また、情報収集をするにあたり、近年火山災害を経験したことのある、御嶽山、阿蘇山、桜島、霧島山周辺自治体の防災担当者へのヒアリング調査を実施した。この結果、自治体毎にこれまでの火山災害に関する経験に差があり、それ故火山防災に対する知識量や意識に違いがあることが明らかになった。

降灰被害予測コンテンツの開発に向けて、都市部における火山灰に対する防災上の課題を検討するために、降下火山灰に関する、1. 特徴、2. 荷重の評価、3. 湿った火山灰の付着の影響、4. 細粒火山灰の侵入の評価、5. 建物機能への影響評価、6. 経済活動への影響評価、7. 火山情報の有り様、利活用、効果、について国内外の文献から調査し情報を整理した。また、降灰経験のある自治体（鹿児島市）や病院関係者へのヒアリング調査を行った。その結果、降灰を経験したことのある病院においても、十分な火山灰対策が行われていないということが明らかになった。なお、降灰による被害事例については、以下の火山について調査し情報を整理した。

- ・日本・桜島
- ・日本・新燃岳
- ・日本・有珠山
- ・アメリカ・セント・ヘレンズ山
- ・アメリカ（アラスカ）・リダウト山
- ・アイスランド・エイヤフィヤトラヨークトル山
- ・パプアニューギニア・ラバウル
- ・フィリピン・ピナツボ山
- ・ニュージーランド・ルアペフ山
- ・ニュージーランド・トンガリロ山

- ・エクアドル・トゥングラワ山
- ・グアテマラ・パカヤ山
- ・チリ・ハドソン山
- ・チリ・チャイテン山
- ・チリ・プジェウエーコルドン・カウジェ火山群
- ・イギリス領モントセラト島・スーフリエール・ヒルズ

また、都市部の施設（病院、官庁等）に対する降灰による影響を評価するための降灰実験を、平成 29 年度以降に行う。この降灰実験では、様々な建築設備への降灰の影響を調査するために火山灰の粒径や量、または計測条件等をパラメータとし、建築設備の損傷度や性能低下率を定量化する。本年度は本実験を行うために必要な実験機器や実験環境について検討し、実験計画を作成した。具体的には、都市部施設の機能維持に重要となる建築設備への降灰の影響を調査するため、火山灰の降灰量や乾湿などの条件をパラメータとし、損傷度や性能低下率を定量化することに向けて、必要な実験機器や実験環境について検討した。なお、実験機器の購入及び実験で使用する火山灰の入手については防災科学技術研究所が担当し、実験を行う場所として、防災科学技術研究所大型降雨実験施設、大林組東京機械工場の施設等（写真 1）を比較検討した。また、日本建築学会の特別委員会に委員として参加し、建築物そのものへの影響度評価について情報共有・情報交換を行った。

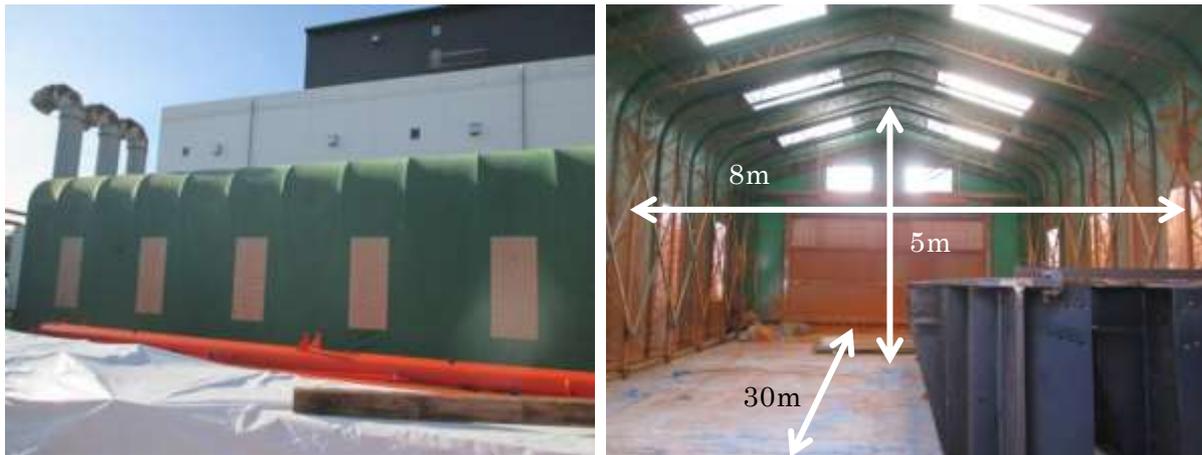


写真 1. 実験場（大林組東京機械工場の敷地内に設置されている屋外仮設テントハウス）

日本国内にある火山のハザードマップには、降灰や噴石の飛散範囲や火砕流や溶岩流の到達範囲、降灰の厚さの推定量などの情報が載せられている。避難・救助支援コンテンツの開発に向けて、日本国内に 50 ある常時観測火山の内、10 火山（十勝岳、有珠山、那須岳、浅間山、富士山、伊豆大島、御嶽山、阿蘇山、霧島山、桜島）を選定し、ハザードマップ上のこれらの情報をデジタル化し、シェープファイル形式にすることで、GIS 等で直接利用できる形にした。なお、ハザードマップは自治体が公開しているデータを基とし、対象とするハザードについては、火砕流・火砕サージ・火山泥流・融雪型火山泥流、溶岩流・火山ガス・噴石・降灰・土石流等を対象とした。デジタル化したハザード情報と詳細地図などの基盤情報を重ねて表示し（図 1）、プロジェクト内で行うヒアリング調査の際に明示するなどして利用した。

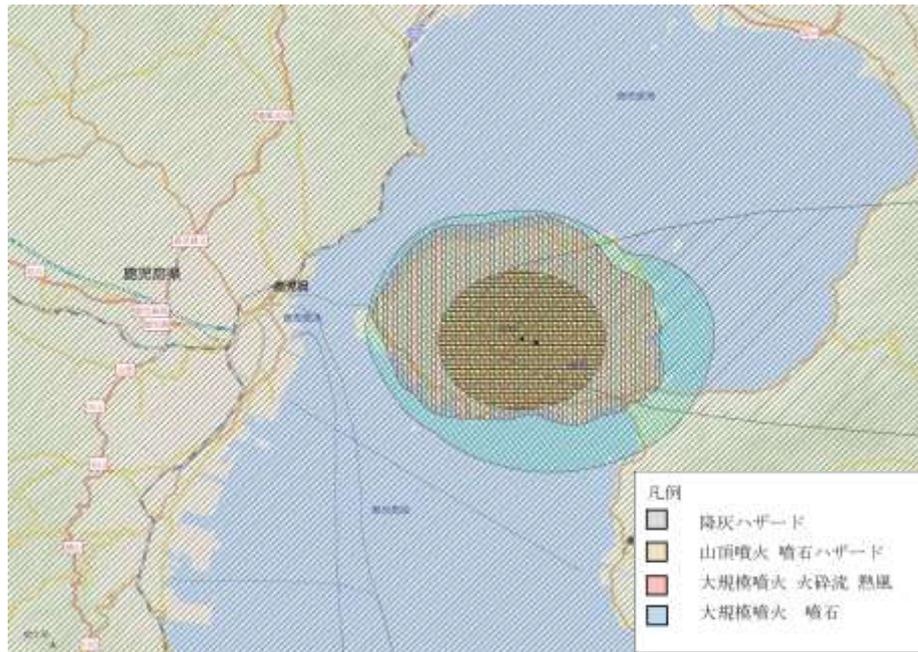


図 1. 桜島のハザード情報と基盤情報（詳細地図）を重ね合わせた図。

周知啓発用・教育用コンテンツの開発に向けて、自治体が行っている火山対策の現状を理解することを目的とし、資料収集及びヒアリング調査（写真 2）を実施した。具体的には当該火山の状況や地域の状況に関する資料、火山防災協議会に関する資料として全国 10 都道府県と 39 市町村の地域防災計画を収集し、整理した。2011 年霧島山新燃岳や 2014 年御嶽山噴火以降に改訂されているものが多く、他火山での課題を取り入れつつ改訂されていることが明らかになった。また、火山災害情報に関する有り様や利活用について富士山周辺の 5 市町村（富士吉田市、身延町、西桂町、忍野村、山中湖村）及び鶴見岳・伽藍岳を有する大分県別府市でヒアリング調査を行い、桜島を有する鹿児島市において訪問留置き調査を実施した。火山災害情報に関する有り様については、現行の自治体職員の短い任期や専門性のなさを考慮すると、発生頻度が低く予知が容易ではない火山災害に対する知識の積み上げは難しいこと、またその結果気象庁から出される情報を活用することができず、担当者の理解を助ける情報ツールの開発が必要なこと、が明らかになった。



写真 2. 富士山周辺 5 市町村を対象としたグループヒアリングの様子（左）と別府市で行われたヒアリング調査の様子（右）。

(d) 結論ならびに今後の課題

平成 28 年度の当初目標である以下の 4 点については、ほぼ達成できた。

- ・過去の火山災害及び降下火山灰に関する文献調査、情報収集を行う。
- ・常時観測火山におけるハザードマップのデジタル化を行う。
- ・自治体を対象とした火山対策の現状調査を行う。
- ・都市部の施設に対する降灰影響評価実験の実験計画を作成する。

具体的には、過去の火山災害や降下火山灰に関して、十分な量の文献や報告書を収集することができ、各火山災害に対して自治体がどのような対応をとったのか整理することができた。また一部自治体には直接ヒアリング調査を行うこともできた。ただし、複数の自治体間での比較・分析等が行われていないため、今後収集した資料やヒアリング調査の結果を使い、各自治体の課題や必要な対応について検討する。

常時観測火山におけるハザードマップのデジタル化を行い、GIS ソフトでハザードマップ上のハザード情報と基盤情報を重ねて表示することが可能になった。ただし、常時観測火山 50 の内 10 火山でしか行われていないため、今後も引き続きハザードマップのデジタル化が必要である。また、情報ツールの開発に向けて、デジタル化したハザード情報と基盤情報を重ねて簡易的なリスクの表示を行う必要がある。

自治体を対象とした火山対策の現状調査については、十分な数の地域防災計画を収集し整理することができた。また、複数の自治体に対してヒアリング調査や訪問留置き調査を行い、限られた地域ではあるが、火山災害情報に関する有り様についての現状を把握することができた。今後はこれらの調査に加えアンケート調査等も行い、それらの結果を比較・分析することで、各自治体にとっての効果的な対策や他の自治体への応用などについて検討する。

都市部の施設に対する降灰影響評価実験の実験計画については、都市部施設の機能維持に重要となる建築設備への降灰の影響を調査するため、火山灰の降灰量や乾湿などの条件をパラメータとし、損傷度や性能低下率を定量化することに向けて、必要な実験機器や実験環境について検討し、平成 29 年度以降に行う本実験のための実験計画を作成した。まずはこの実験計画に沿って、必要な実験機器や実験環境を整える。

(e) 引用文献

なし

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 29 年度の業務計画案

(a) 常時観測火山におけるハザードマップのデジタル化

日本国内に 50 ある常時観測火山の内、10 火山（樽前山、北海道駒ヶ岳、岩手山、蔵王山、吾妻山、新潟焼山、草津白根山、箱根山、雲仙岳、九重山）のハザードマップに載っている災害情報をデジタル化する。各火山のハザードマップには、降灰や噴石の飛散範囲や火砕流や溶岩流の到達範囲、降灰の厚さの推定量などの情報が載せられている。これらの情報をデジタル化し、シェープファイル形式にすることで、GIS 等で直接利用できる形にする。

(b) 過去の火山災害と降灰についての文献調査結果の分析

平成 28 年度に実施した過去の火山災害及び降灰に関する文献調査の結果を分析し、問題点を洗い出す。具体的には、平成 28 年度に実施した過去の火山災害と主要な噴火の降灰に関する文献調査の結果から、降灰量とインフラなどへの影響、災害時における情報の流れ方や自治体の対応、またそれらの効果について分析し、問題点を洗い出す。これによって今後の情報提供のあり方についての判断材料とするとともに、下記(d)で実施する降灰影響評価実験でも考慮する。

(c) 自治体を対象とした火山対策の現状調査と結果の比較・分析

既に各自治体が行っている火山対策の現状等を調査し、その結果を比較・分析する。具体的には、過去に火山災害に対応した経験のある自治体や、今後の噴火に備えて対策に取り組んでいる自治体を対象としてヒアリング調査やアンケート調査を行う。また当該火山の状況や地域の状況に関する資料、火山防災協議会に関する資料を調査し、火山対策の現状について情報を整理する。すでに火山災害を経験した地域にあっては、火山災害情報に関する有り様や利活用及びその効果についても整理する。平成 28 年度に調査を実施した分も含めて、複数の自治体に対する調査結果を比較・分析し、効果的な対策や災害未経験の他の自治体にも応用可能な対策について整理する。

(d) 都市部の施設に対する降灰影響評価実験

情報ツール内の降灰被害予測コンテンツ開発に向けた基礎データ収集のために、平成 28 年度に作成した実験計画に沿って、都市部の施設に対する降灰影響評価実験を実施する。具体的には、平成 28 年度に作成した実験計画に沿って、都市部の施設（病院、官庁等）に対する降灰による影響を評価するための降灰実験を行う。この降灰実験では、様々な建築設備への降灰の影響を調査するために、火山灰の粒径や量、または計測条件等をパラメータとし、建築設備の損傷度や機能低下率を定量化する。まず本実験を行うために必要な実験機器や実験環境について、平成 28 年度に作成した実験計画に沿って完成させ、その後実験を実施する。なお、実験は大林組の東京機械工場で行う。

(e) 登山者動向把握実験への参加・分担

情報ツール内の避難・救助支援コンテンツ開発に向けた基礎データ収集のために、富士山で行われる登山者動向把握実験（富士山チャレンジ）に参加する。平成 27 年から日本工営株式会社を中心となって富士山で行われている「富士山チャレンジ」では、富士山の登山者を対象とし、登山者に持たせたビーコンと各所に配置したレシーバを用いて、登山者の動向把握とその結果の可視化を行っている。本実験に本課題として参加・分担し、結果として得られる登山者の動向に関するデータを活用しながら、平成 30 年度以降に実施される避難シミュレーションやその有効性について検討を行う。また、将来的な他火山への展開についても検討を行う。

(f) サブテーマ間の連携

平成 28 年度は課題 D の 3 つのサブテーマの責任者でキックオフミーティングを行い、サブテーマ間で連携しアウトプットを出していくことで合意した。平成 29 年度は、課題 D サブテーマ 1、課題 D サブテーマ 2 それぞれとの平成 30 年度以降の具体的な連携について検討を行う。具体的には、課題 D サブテーマ 1 からはドローンによるリアルタイムの画像情報と地形情報等が成果として出力される。この成果を避難・救助支援コンテンツのインプットとして利用するために必要なユーザーインターフェースを含むコンテンツの仕様について検討を始める。課題 D サブテーマ 2 からはハザード（降灰）に関する即時把握情報や予測情報等が成果として出力される。この成果を降灰被害予測コンテンツのインプットとして利用するために必要なユーザーインターフェースを含むコンテンツの仕様について検討を始める。

4. 活動報告

4.1 会議録

- ・ 課題 D 全体キックオフミーティング

日時：平成 28 年 12 月 13 日

場所：秋葉原ダイビル 8 階 つくば市東京事務所

内容：サブテーマ間の連携について議論をした。

- ・ 課題 D サブテーマ 2 研究集会

日時：平成 29 年 1 月 7 日

場所：鹿児島市京都大学桜島火山観測所

内容：2013 年 8 月 18 日の桜島噴火により放出された火山灰の拡散を WRF-Chem モデルで再現したものを中心に議論し、課題 D サブテーマ 2 の研究の進め方を検討した。

4.2 対外的発表

- ・ 次世代火山研究・人材育成総合フォーラム（第 1 回）

日時：平成 29 年 2 月 15 日

場所：科学技術館

内容：課題 D サブテーマ毎のポスター発表

5. むすび

本プロジェクトの目的の一つは、火山に対する「観測・予測・対策」の一体的な研究推進のために、課題Dでは3つのサブテーマ及びそれらサブテーマ間の連携を通して、「対策研究」に資する火山災害対策のための手法や技術を開発することである。

初年度に当たる平成28年度は、課題Dサブテーマ1では、無人機（ドローン等）の火山防災・対策に使用された事例の収集を行い、災害発生時に必要となる機能・仕様や環境条件等を整理した。また2016年10月にマグマ水蒸気噴火を起こした阿蘇山の噴火後の火口と火口周辺域の状況をドローンで撮影し、建物の被害状況や噴出物の堆積状況を把握した。課題Dサブテーマ2では、桜島において、リモートセンシングおよび地上観測からなる火山灰観測のためのマルチパラメータ観測を開始した。また、火山灰拡散予測の高速化及び高精度化のための技術開発が進められた。課題Dサブテーマ3では、過去の火山災害に関する情報収集を行い、自治体等へのヒアリング調査等を通して火山対策の現状を調査した。また、都市部の建築設備に対する降灰影響評価実験の実験計画を作成した。サブテーマ間の連携においては、課題Dサブテーマ1及び課題Dサブテーマ2の成果を課題Dサブテーマ3で開発する各種コンテンツのインプットとすることを目指すことで合意した。

今後は、課題Dサブテーマ1では無人機を使った実証実験を伊豆大島で行い、データ取得や解析手法の標準化を進める。また発災時にスムーズに観測を行えるように、必要な手続き等のプロセスについても、実証実験を通して課題を整理する。課題Dサブテーマ2では、リモートセンシングによる火山灰放出量の即時把握技術開発、火山灰拡散予測の高速化及び高精度化に関する技術開発を進める。また、課題Cサブテーマ3との連携をはかっていく。課題Dサブテーマ3では、収集した情報やヒアリング調査の結果を整理し、自治体の課題解決に繋がるような情報ツールの開発を行う。また、降灰影響評価実験や登山者動向把握実験を通して、情報ツール開発のためのデータを収集し、開発を進めて行く。サブテーマ間の連携については、課題Dサブテーマ1の成果を課題Dサブテーマ3で開発する情報ツールのインプットとすることを目指し検討を行う。また、課題Dサブテーマ2の観測の成果を、まずは課題Dサブテーマ3を通して公開する。将来的には、課題Dサブテーマ2から得られる降灰ハザード情報をインプットとし、課題Dサブテーマ3で都市部における降灰リスク評価を行えるようになることを目指す。