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

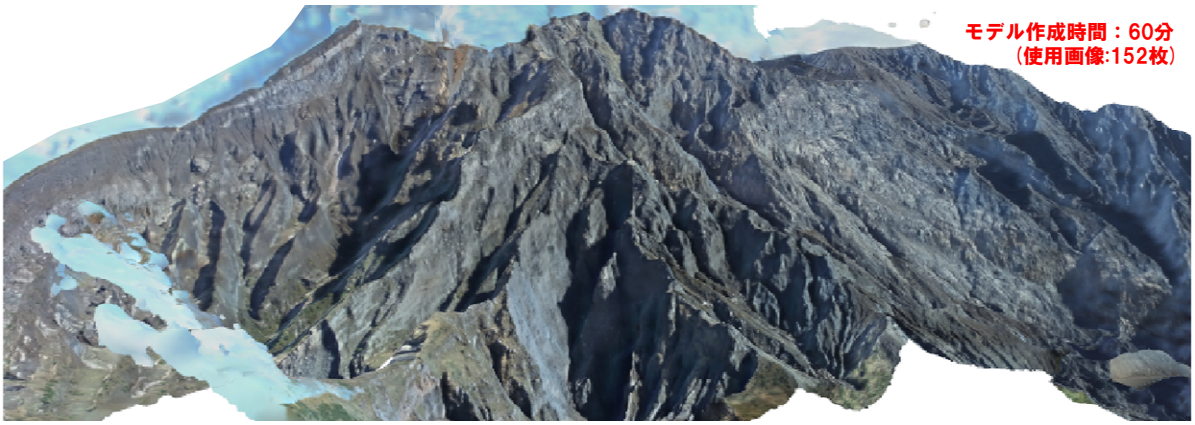
平成３０年度
成果報告書

令和元年５月

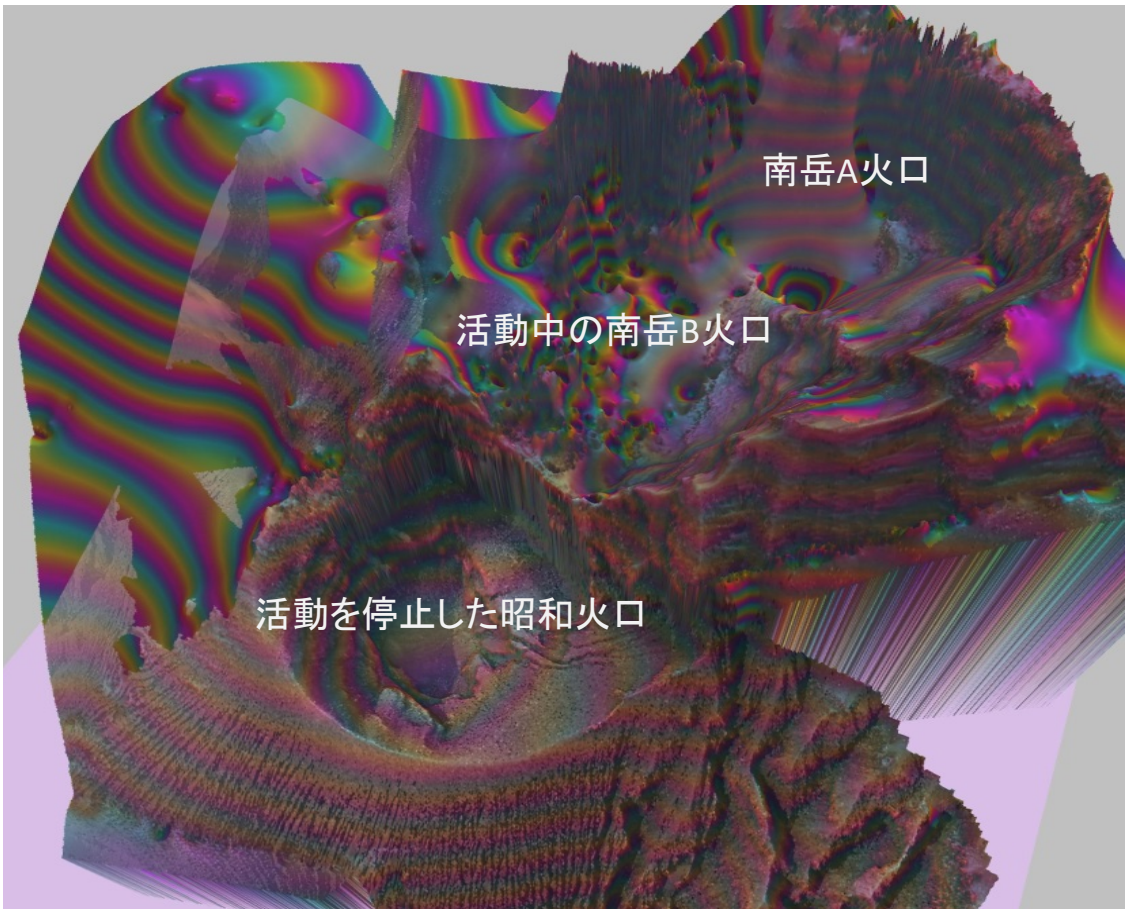
文部科学省研究開発局
国立研究開発法人　防災科学技術研究所

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３０年度「課題Ｄ：火山災害対策技術の開発」の成果を取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



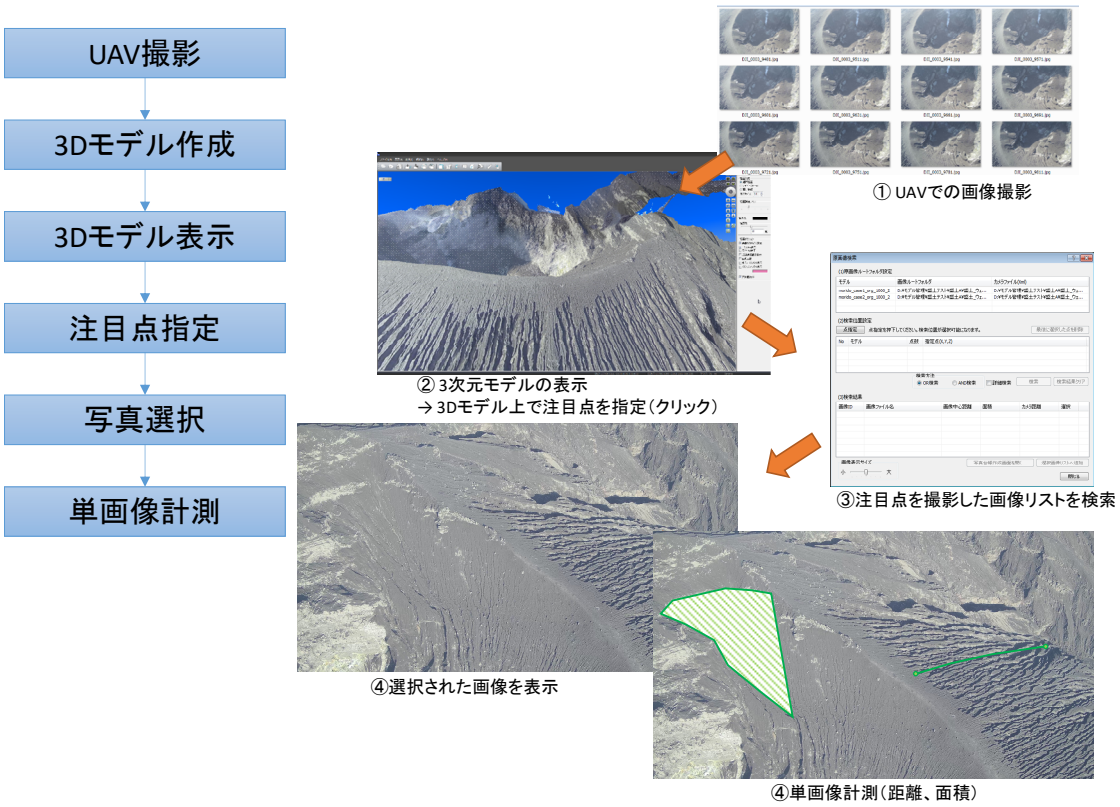
桜島における実証実験にて、ドローンによる斜め写真から作成された桜島の 3D モデル。



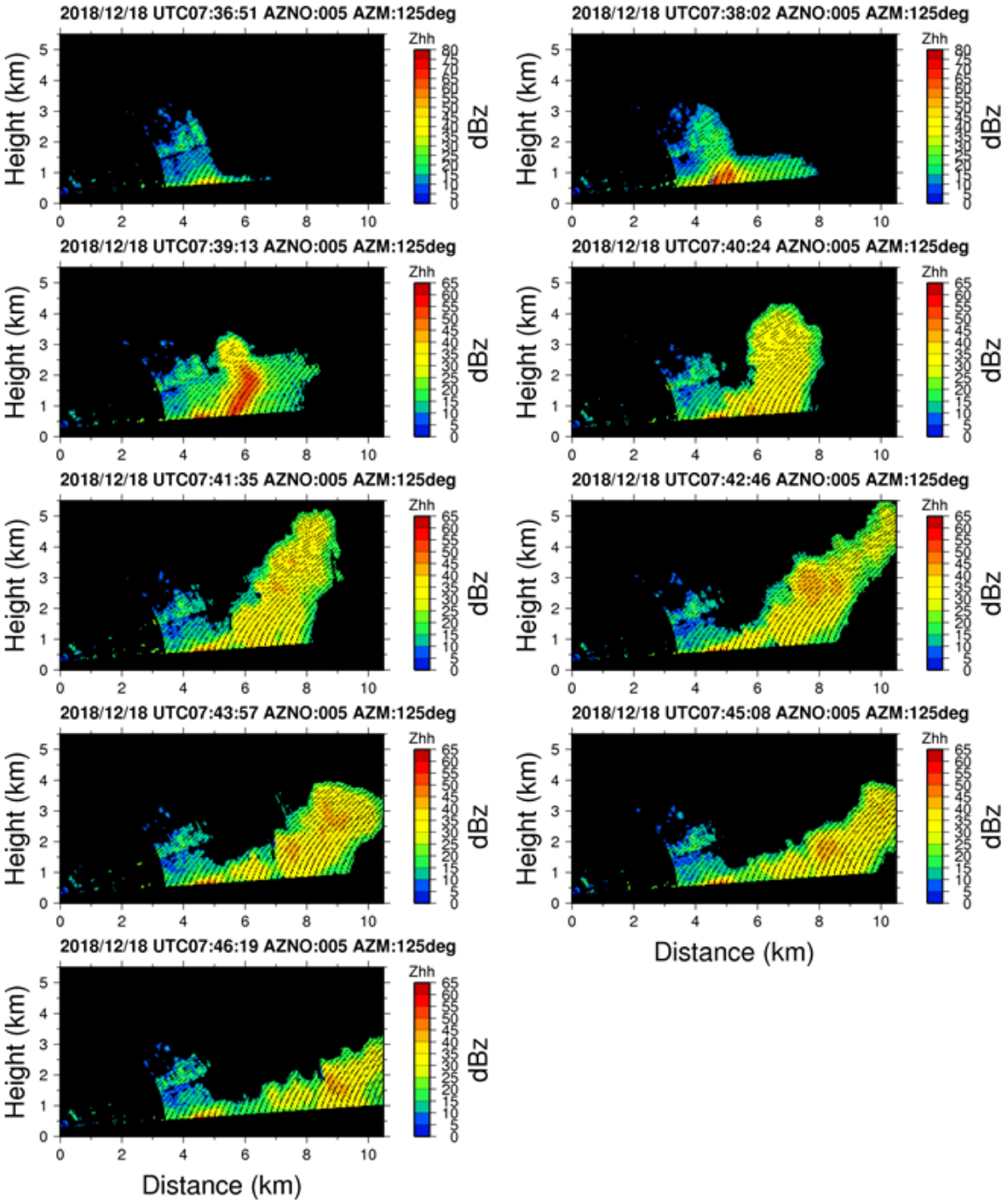
桜島における実証実験にて、撮影動画から作成した桜島の 3D モデルに、オルソフォト、赤色立体地図、高度段彩（10m サイクル）を組み合わせたもの。

地形変化 火山現象	色調変化	温度変化	垂直 変化量	情報取得方法		
				可視画像	赤外画像	3Dモデル
火口	中～大	大	大	●	●	●
火砕丘	中～大	小～中	大	●	●	●
降灰	中～大	小	小～中	●		▲
火山弾（噴石）	小～中	小～大	小～中	▲	▲	▲
衝突痕	中	小	小～中	▲		▲
火砕流	中～大	中～大	小～大	●	●	●
火砕サージ	中～大	中～大	小	●	●	
溶岩流	大	大	中～大	●	●	●
溶岩ドーム	大	大	大	●	●	●
溶岩噴泉	大	大	–	●	●	
溶岩湖	中～大	大	大	●	●	●
噴気孔，噴気	小～中	中～大	–	▲	●	
変位地形	小～中	小	小～大	▲		●
構造物破壊	中～大	小	小	●		

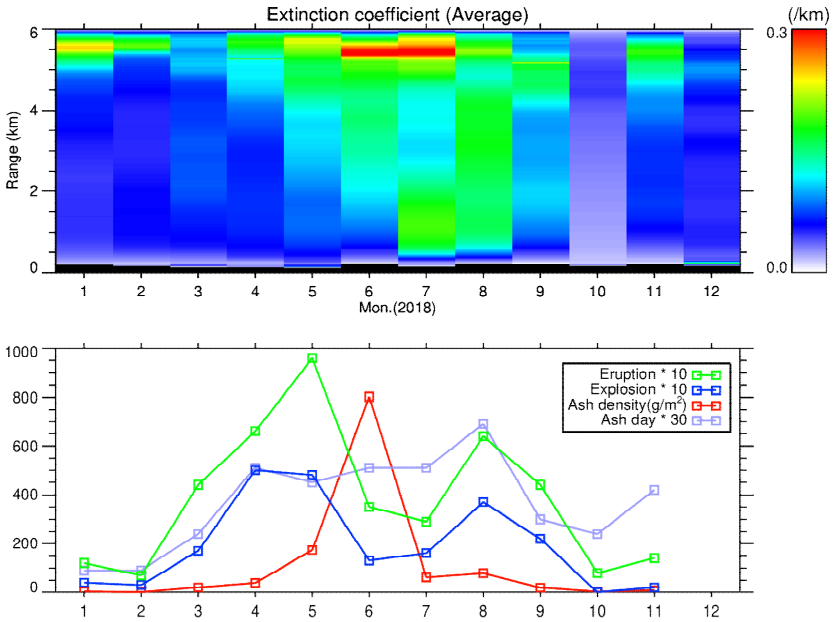
火山現象別の変化特性と情報取得方法。



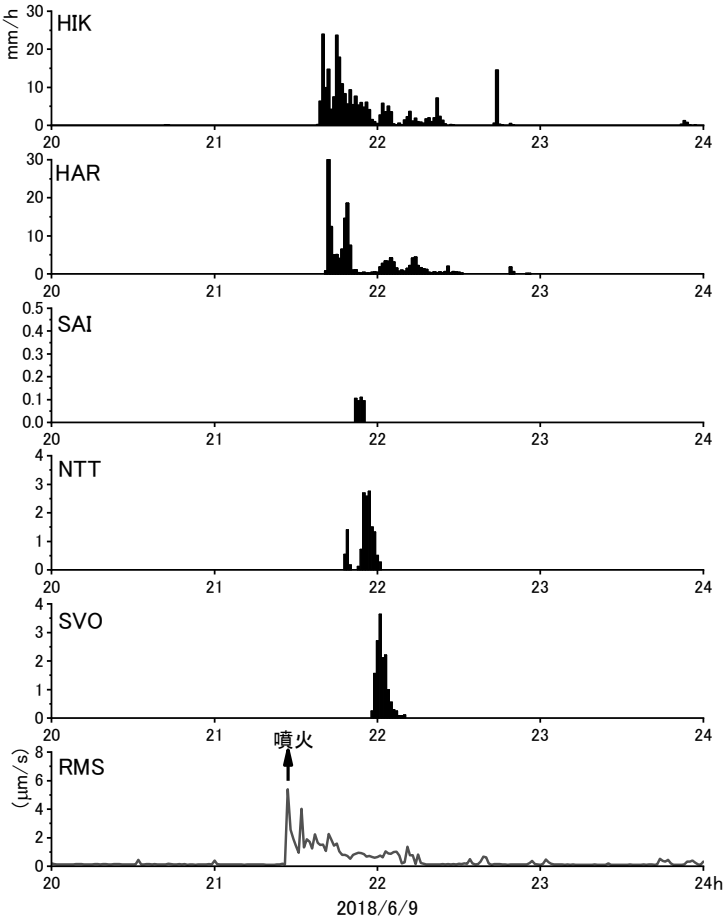
火山活動の把握を目的とした、単画像計測システムを用いた計測処理フロー。



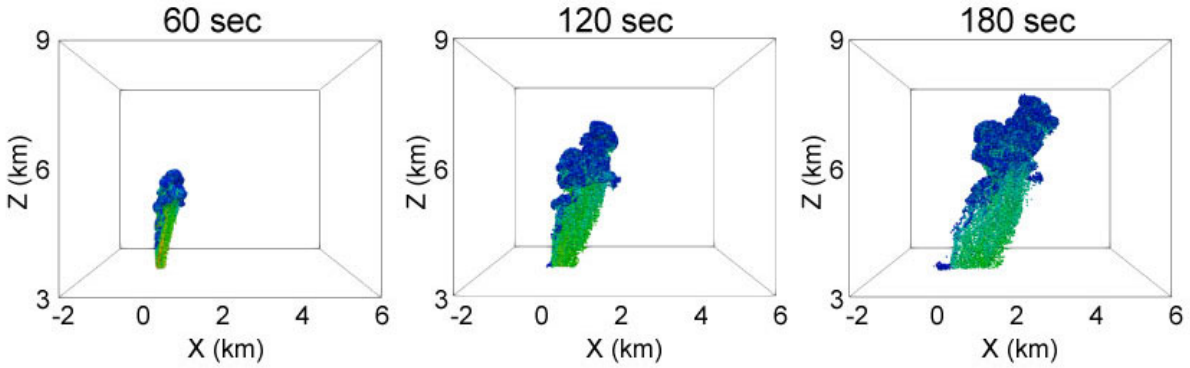
口永良部島西部に設置された X バンド MP レーダーによって観測された、2018 年 12 月 18 日に発生した口永良部島噴火に伴う噴煙のレーダー反射強度（断面図）の時間変化。山頂付近が雲に覆われているにも関わらず、噴煙を捉えることができた。



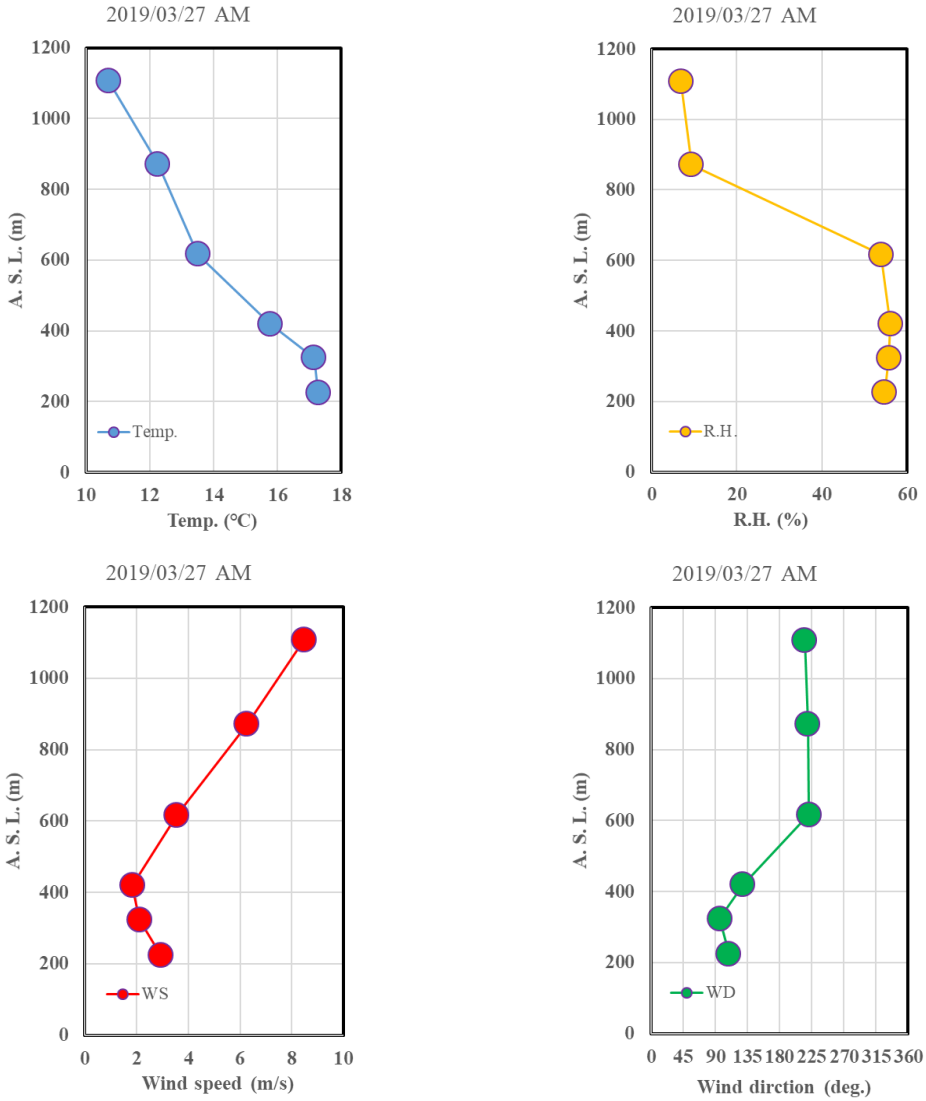
桜島火山観測所に設置された 2 波長偏光ライダー（LIDAR）による観測データから得られた、平均消散係数（上段）と火山活動関連データ（下段、緑：噴火回数、青：爆発的噴火回数、赤：降灰量、紫：降灰日数）との対応。



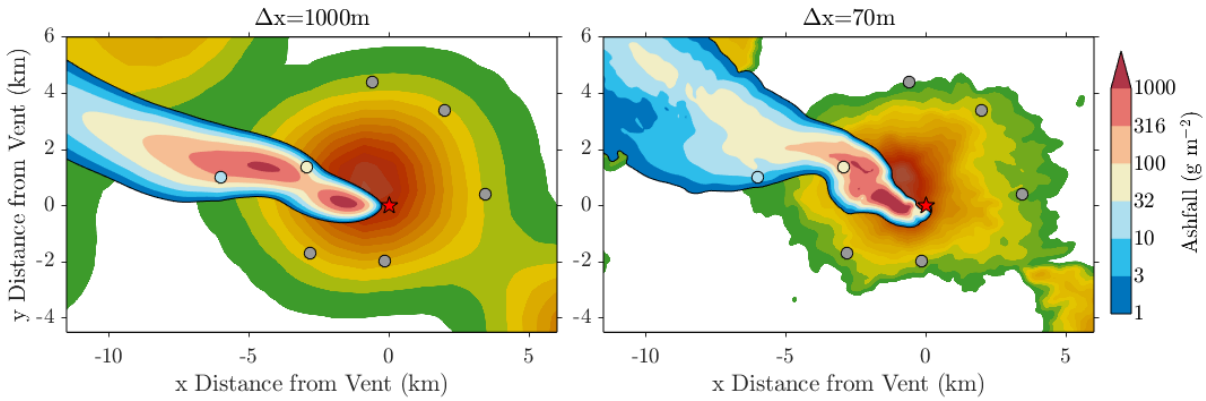
2018 年 6 月 9 日に発生した桜島におけるブルカノ式噴火の際に、ディスドロメータによって観測された時間雨量相当量と地震動の RMS 振幅。



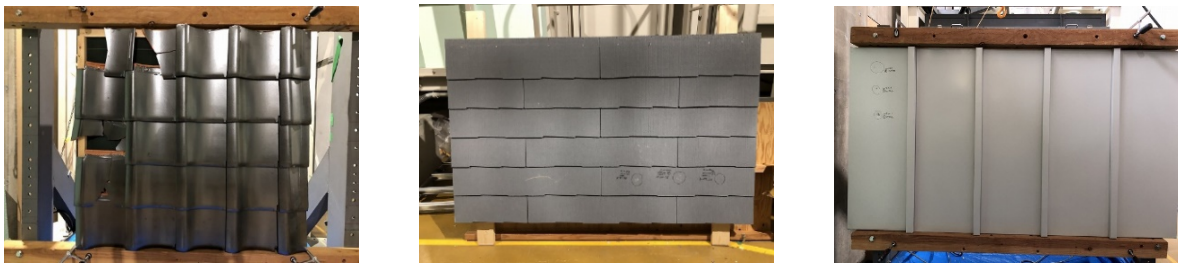
課題 C3 と連携して実施された、噴煙ダイナミクスとカップリングした火山灰粒子の輸送シミュレーション結果。色は火山灰粒子サイズを表し、粒子が噴煙とともに上昇し、噴煙から離脱して風で流される様子を再現。



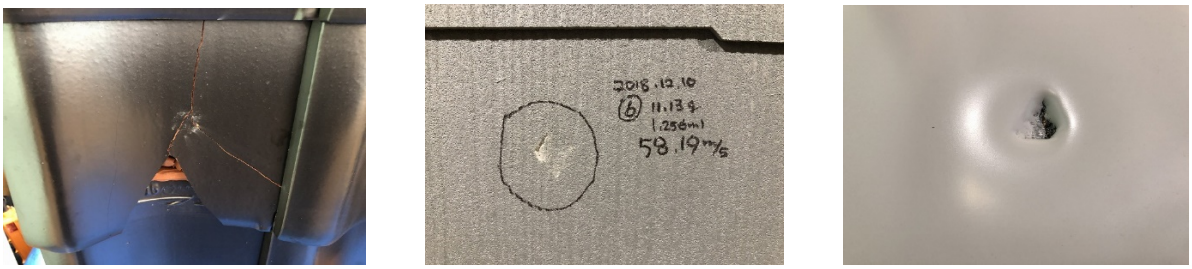
桜島で実施されたドローンによる気象観測の結果。気象要素の鉛直プロファイル（上左：気温、上右：相対湿度、下左：風速、下右：風向）。



2017 年 10 月 1 日に発生した桜島噴火イベントの観測値（カラーの丸印）及び火山灰の輸送・沈着シミュレーションで得られた降灰量（カラーのシェード）。シミュレーションの水平格子幅（CE）が 1000m の場合（左）と 70m の場合（右）。



衝突試験に用いた屋根模型（左：和瓦、中央：カラーベスト、右：瓦棒（薄板鋼板））。



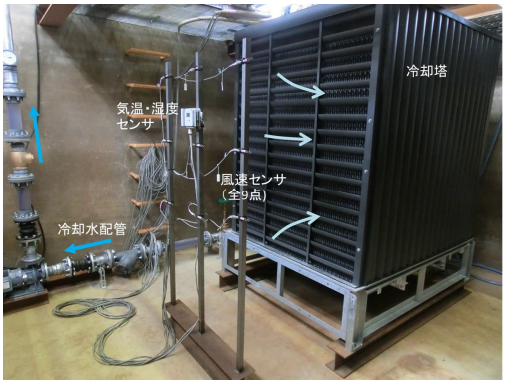
噴石衝突後の状況（左：和瓦の割れ、中央：カラーベスト上の衝突痕、右：瓦棒の衝突痕）。

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





富士山周辺の自治体防災担当者を対象にした研修会（座学と演習）の様子。

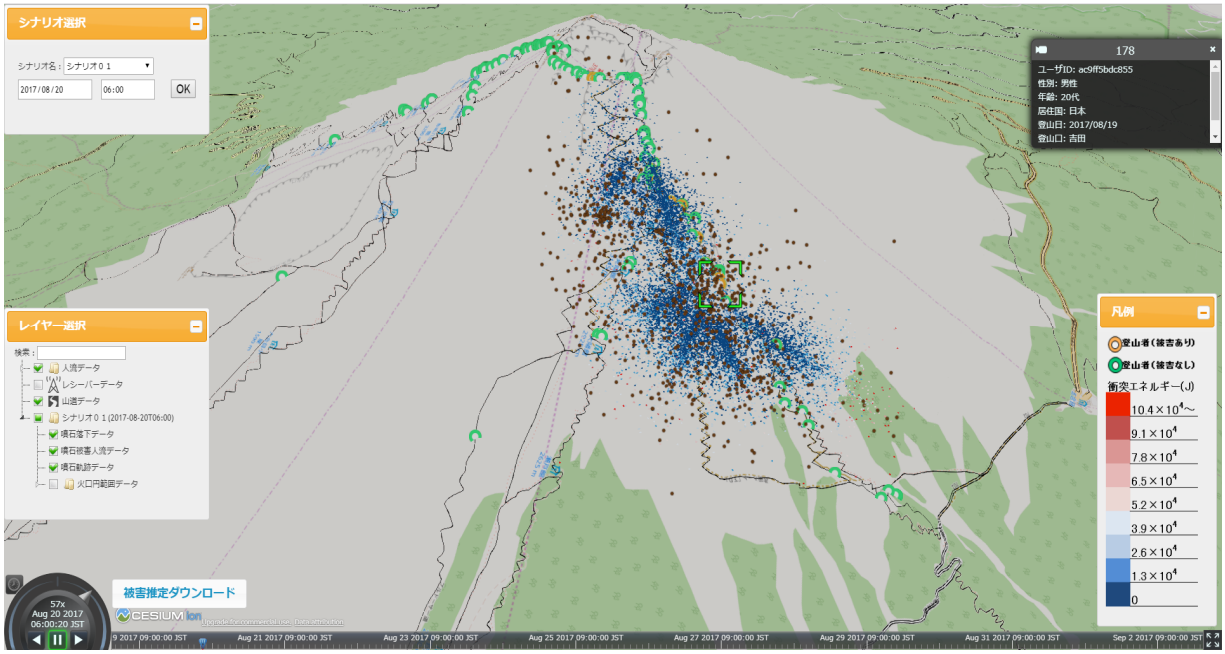




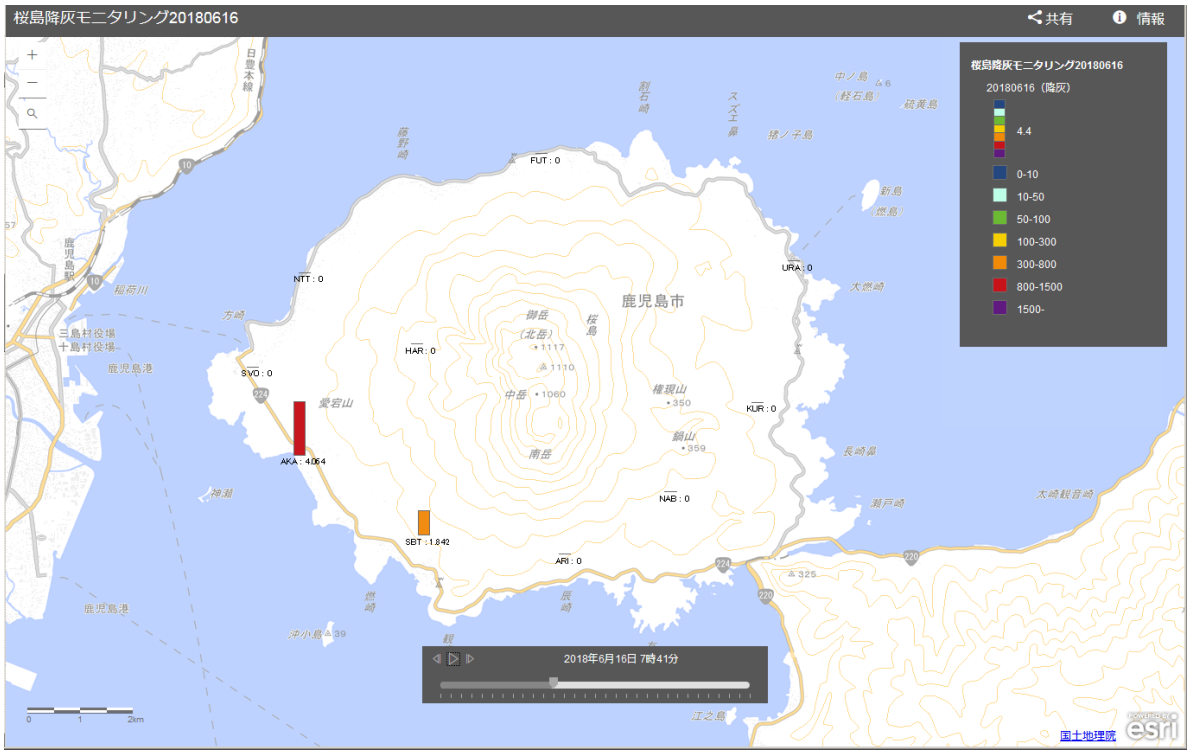
開放型冷却塔を対象とした降灰影響評価実験の様子。

	システム	要素			設定条件	降灰深の閾値(cm)	
						要素	システム
1	建物機能	②	建築設備	換気系	フィルタ（降灰深は約0.5～1.5cm）	1.0	0.5
				熱源系	空冷チラー、エアコン室外機（降灰深は約2～5cm）、冷却塔（降灰深は約2cm）など	2.0	
				その他	発電機、キュービクル、盤、受水槽など	5.0	
		③	電気（変電所）	停電	晴天時	0.5	
		④	送電線	破断		5.0	
		⑤	上水（浄水場）		屋根が無い場合	1.0	
2	建物損傷	①	構造部材	屋根	S造建物（建設地は東京都千代田区）	14.9	14.9
3	人の参集、物流障害など	⑥	道路	注意		5.0	0.1
		⑦	鉄道	運休	ポイント障害、電気設備影響	0.1	

降灰がシステムに影響を与える降灰深の閾値。



課題 C3 によって開発された噴石シミュレーション結果の可視化システム（CRMS）に、本課題で得られた登山者動態データを組み合わせ、人的被害推定を行った。



課題 D2 内で桜島島内に設置されたディスドロメータによる降灰観測データを WebGIS 上に表示。

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 ix
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 41
3.3. 火山災害対策のための情報ツールの開発 130

4. 活動報告
4.1. 会議録 176
4.2. 対外的発表 176

5. むすび 177

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	室長	千葉　達朗	3.1
	課長	荒井　健一	
	主任技師	佐々木　寿	
	課長	野中　秀樹	
	所長	織田　和夫	
	室長	渡辺　智晴	
	係長	藤田　浩司	
		高橋　志穂	
		成毛　志乃	
		三浦　俊介	
		佐野　実可子	
		望月　拓実	
		小宮　佑登	
		浦山　利博	
国立大学法人京都大学	教授	井口　正人	3.2
国立大学法人京都大学	准教授	中道　治久	
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	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	特定准教授	佐々木　寛介	
国立大学法人京都大学	特定助教	志村　智也	
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	特任准教授	石峯　康浩	
国立大学法人鹿児島大学	特任研究員	Kim Yura	
国立大学法人鹿児島大学	外来研究員 （釜慶大学）	Dong-In Lee	
国立大学法人鹿児島大学	外来研究員 （釜慶大学）	Suh Sun-Ho	
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	准教授	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	
メトロウェザー株式会社	代表取締役	東　邦昭	
三菱スペース・ソフトウェア（株） （鹿児島大学）	博士課程学生	小堀　壮彦	
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	3.3
	総括主任研究員	棚田　俊收	
	副センター長	藤田　英輔	
	研究統括	宮城　洋介	
	客員研究員	宮村　正光	
災害過程研究部門	契約研究員	久保　智弘	
株式会社大林組　技術本部 技術研究所	上級主席技師	野畑　有秀	
	上級主席技師	大塚　清敏	
	主任研究員	諏訪　仁	
山梨県富士山科学研究所	主任研究員	吉本　充宏	
	研究員	本多　亮	
	契約研究員	堀内　佑紀	

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 30 年度業務目的

(2) 平成３０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、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

(3) 令和元年度の業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

火山災害対策技術の開発

「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	先端技術研究所　室長	千葉達朗	ta.chiba@ajiko.co.jp
	国土保全技術部　課長	荒井健一	ken.arai@ajiko.co.jp
	国土保全技術部　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	hdk.nonaka@ajiko.co.jp
	先端技術研究所　所長	織田和夫	kz.oda@ajiko.co.jp
	事業戦略部　室長	渡辺智晴	tw.wata@ajiko.co.jp
	国土保全技術部　係長	藤田浩司	kf.fujita@ajiko.co.jp
	国土保全技術部	高橋志穂	shi.hirotani@ajiko.co.jp
	国土保全技術部	成毛志乃	sin.naruke@ajiko.co.jp
	国土保全技術部	三浦俊介	ssk.miura@ajiko.co.jp
	システム開発部	佐野実可子	mkk.sano@ajiko.co.jp
	システム開発部	望月拓実	tkm.mochizuki@ajiko.co.jp
	システム開発部	小宮佑登	yto.komiya@ajiko.co.jp
	先端技術研究所	浦山利博	tsh.urayama@ajiko.co.jp

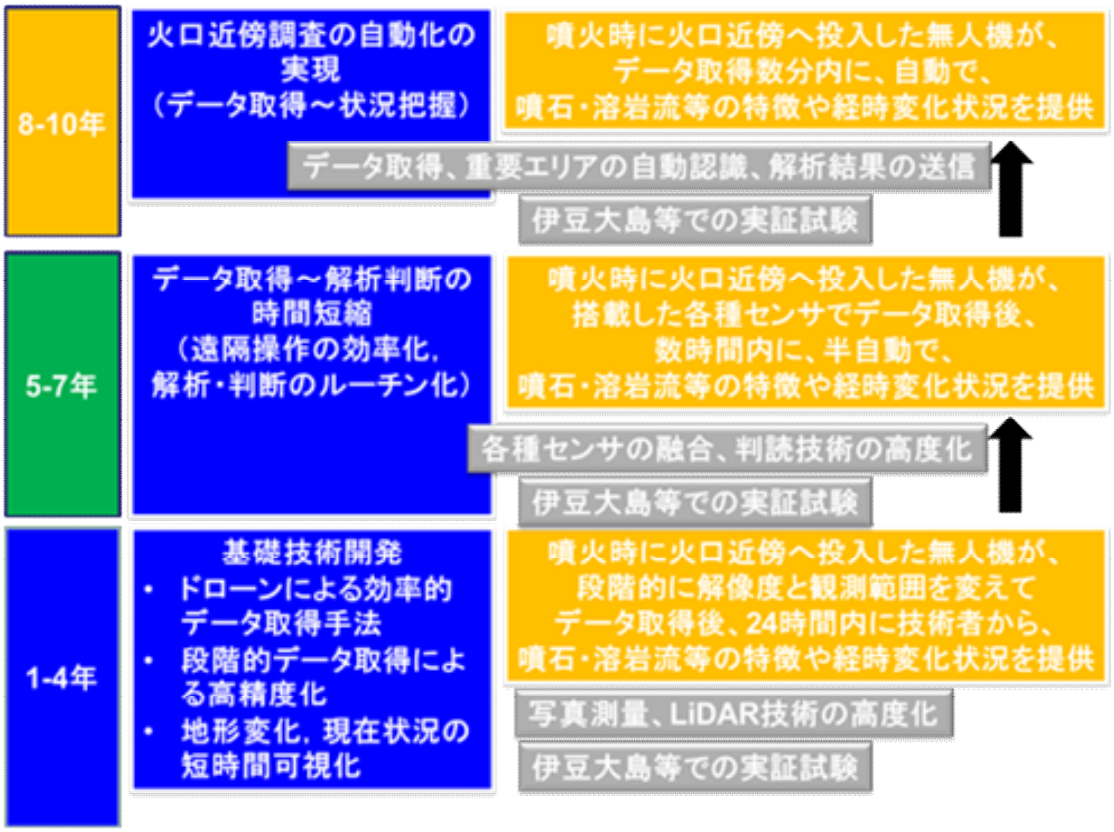
(c) 業務の目的

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：

「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。

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た（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した。

4）令和元年（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）令和 2 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）令和 3 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）令和 4 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）令和 5 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・改良点等をとりまとめる。

9）令和 6 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）令和 7 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 30 年度業務目的

本サブテーマでは、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。平成 30 年度は、無人機（ドローン等）の観測から火山災害状況把握にかか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とともに、観測からデータ解析・結果提供までの課題の抽出、近年の噴火事象における最適なルーチン計画の検討、時間短縮のための全体作業動作の点検を行う。また、無人機（ドローン等）で取得したデータから作成した３Ｄモデルや詳細現地画像を素早く提供・活用するための方策（データ変換、提供方法等）を検討する。また、取得した画像や３Ｄモデルからの状況把握を自動化するための方法を検討し、関連する事例収集を行う。

(2) 平成 30 年度の成果

(a) 業務の要約

- 伊豆大島で実証実験を実施し､UAV での写真撮影時のラップ率の違いによる３Ｄモデルの差異や飛行高度による地上認識度の違いを確認した。
- 桜島で実証実験を実施し、活動している火口内を可視光と熱赤外線で撮影するとともに３Ｄモデルの作成までの流れをとりまとめた。
- 桜島での実証実験において、遠距離かつ高高度での撮影を行い、立ち入り規制範囲外からのデータ取得方法を確立した。
- 昨年度及び今年度の現地実証実験時の作業内容をもとに､UAV 撮影時の標準的な作業ルーチンを構築し、過去の噴火事例にあてはめた撮影案を作成した。
- 現地で取得した画像から、発生現象の自動認識を行う場合の基礎資料として、過去の噴火で確認されている地形変化について既往研究事例を収集整理した。
- 画像ならびに作成モデルの活用方法検討として、作成した３Ｄモデルの効率的な提供や撮影時の動画配信方法をとりまとめた。

(b) 業務の実施方法

1) プロジェクトの総合推進

- 過去 2 ヶ年の成果や状況把握ルーチンの現地実証実験等を通して、同一課題内で

の連携を推進する。

- サブテーマ 2 との連携：大量降灰時にドローンを活用した地形変化抽出を行い予測降灰量と照合することを目的として、桜島における実証実験を計画して実施する。
- サブテーマ 3 との連携:取得画像や作成３Ｄモデルを、避難・救助支援コンテンツのインプットデータとして利用するための計画を立案する。
- テーマ A、C との連携:ドローンにより災害状況把握のために取得、作成した画像や数値地形データを、情報公開に有効な現地画像・動画・３Ｄモデルの内容・受け渡し方法について整理する。また、ハザード予測のシミュレーション用地形データとして活用するための受け渡し方法・形式について整理する。
- 火山研究人材育成コンソーシアム構築事業との連携・融合の一環として、ドローンの現地使用や３Ｄ地形モデル作成技術の体験、民間企業における火山調査関連技術や火山防災業務の紹介等のプログラムを計画・準備した上で、現地実証実験への開催案内と参加者募集を行う。参加募集にあたっては、時間的余裕をもった案内となるよう留意する。
- 無人機（ドローン等）によるリアルタイム把握手法として、インフラ施設管理分野で進められている無人機（ドローン等）点検・遠隔オペレーション技術開発との連携に向けた試みを検討する。

2) 汎用製品（ドローン）を用いた現地実証実験（大島・桜島）

- 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、市販の無人機等を使用した現地実証試験を通じてとりまとめる。
- 伊豆大島、阿蘇山等で実施した無人機（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する。さらに、阿蘇山や新燃岳、草津白根山等の近年の噴火事象の時間経過を整理して、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計画する。
- あわせて、現地実証実験では、現象発生から初期状況把握までの総時間短縮のために、全体作業動作を点検する。

3) 画像ならびに作成モデルの活用方法検討

- 無人機（ドローン等）で取得したデータから、３Ｄモデルだけでなく、詳細現地画像を素早く提供するためのルーチン作成とシステム活用方法を検討する。
- 無人機（ドローン等）画像等から作成した３Ｄモデルをもとに、影響予測シミュレーション等で素早く使える形式での地形データ形式への変換・加工・提供方法を検討する。

4) 状況認識方法検討と自動化のための整理

- 火口周辺亀裂、噴石等の新規火砕物や溶岩流等の流向・噴出量、性質や経時変化等の認識方法等の既往研究事例の収集整理と、取得した画像や３Ｄモデルから状況把握を自動化するための方法を検討する。

(c) 業務の成果

1) プロジェクトの総合推進

過去2ヶ年の成果や状況把握ルーチンの現地実証実験等を通して、同一課題内での連携を推進する目的で、本テーマで撮影した画像データや取得した画像データから作成した３Ｄモデルを基にしたSfmデータを他のサブテーマに提供した。

サブテーマ2との連携として桜島における実証実験を行い、活動中の火口内部の撮影を実施した。さらに、大量降灰時にドローン等により効率よく地形変化を抽出するための手法として、火山活動が活発化した場合に立ち入りが規制される箇所からの飛行による撮影や高高度での撮影による短時間で広範囲の状況把握が可能なことを確認し、その際の課題を整理した。

テーマA、Cとの連携として、ドローンにより災害状況把握のために取得、作成した画像や数値地形データを、情報公開に有効な現地画像・動画・３Ｄモデルの内容・受け渡し方法について検討した。また、ハザード予測のシミュレーションに使用するソフトに合わせた地形データの提供形式について検討した。

火山研究人材育成コンソーシアム構築事業との連携・融合の一環として、伊豆大島での現地実証試験を「次世代火山研究・人材育成コンソーシアムの伊豆大島緊急観測訓練」に合わせて実施することにより、観測訓練に参加したメンバーに今回のUAVによる画像取得状況やDSMモデル等の作成方法について説明した（図1)。

さらに、11月に桜島で実施した現地実証試験の際にも「次世代火山研究・人材育成コンソーシアム」に向け開催及び調査内容を案内し参加者公募を行った（調査時期等の日程が限られていたこともあり、現地調査への参加者はなかった)。



図 1 次世代火山研究・人材育成コンソーシアムへの説明状況（伊豆大島）

無人機（ドローン等）によるリアルタイム把握手法として、インフラ施設管理分野で進められている無人機（ドローン等）点検・遠隔オペレーション技術開発との連携に向け、無人機の遠隔オペレーション技術の現状を把握するため、2018 年 10 月に幕張メッセで開催されたアジア最大級の規模を誇る IT 技術とエレクトロニクスの展示会である「CEATEC JAPAN」に参加し、情報収集を行った。

2）汎用製品（ドローン）を用いた現地実証実験

① 伊豆大島で実証実験

8 月 31 日～9 月 3 日に伊豆大島で実証実験を実施した。事前に関係機関への飛行許可・申請を実施したのち、三原山カルデラ内や海岸付近での写真・動画撮影と、SfM による３Ｄモデル作成について実証実験を行った（図 2,3）。現地では、飛行高度と写真ラップ率を変えた複数パターンの撮影を行い、地形モデルを作成した。さらに、地上に置いた色・形・大きさが違う模型の高度別の認識度を比較した。撮影準備から実際の撮影、３Ｄモデル作成のそれぞれの段階に掛る所要時間や運航時の注意事項等を把握して整理した。撮影は手動運航と自律航行の両方で実施した。

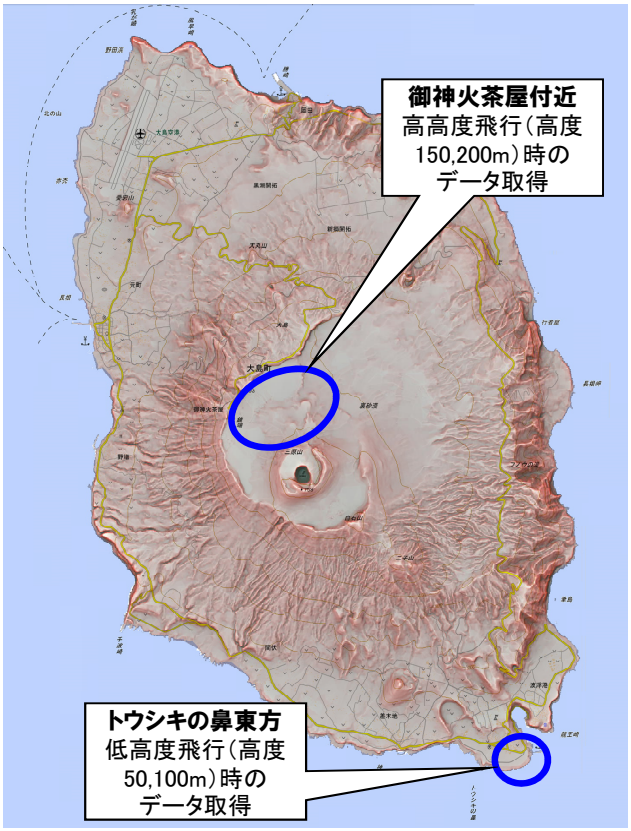


図 2 伊豆大島における実証実験箇所



図 3 伊豆大島での実証実験に使用した機体(左)と UAV の撮影状況(右)

UAV：DJI 社 MATRICE210,カメラ：ZENMUSE X4S,レンズ：8.8mm 固定焦点飛行時間：15～20 分

実証実験として各地点での飛行ケースを表 1 に示す。

飛行高度は、トウシキの鼻東方地点で 50 及び 100m、御神火茶屋付近で 150 及び 200m である。写真撮影時の前後ラップ率（写真の重複度）は 80 または 90%とし、左右のラップ率を 40～80%と変化させた。

表 1 実証実験の飛行ケース

ケース No.	撮影場所	撮影高度	前後ラップ率	左右ラップ率
1	トウシキの鼻東方	50m	90%	80%
2	トウシキの鼻東方	50m	90%	60%
3	トウシキの鼻東方	50m	80%	40%
4	トウシキの鼻東方	100m	90%	80%
5	トウシキの鼻東方	100m	90%	60%
6	トウシキの鼻東方	100m	80%	40%
7	御神火茶屋付近	150m	80%	40%
8	御神火茶屋付近	200m	80%	40%

各地点での現地撮影終了後ただちにノートＰＣで取得画像を確認するとともに、SfM ソフトウェアを用いて３Ｄモデルを作成した（図 3)。

取得した画像データからの DSM モデル作成には、PhotoScan を使用した。中程度の精度で DSM データを作成した場合と、メッシュサイズの大きさを 2 倍にした場合（比較的低精度）の処理時間を比較した。中精度で処理を行った場合、撮影枚数が 100 枚程度であれば約 30 分、200 枚程度では約 1 時間でモデル作成が可能であった（図 4)。

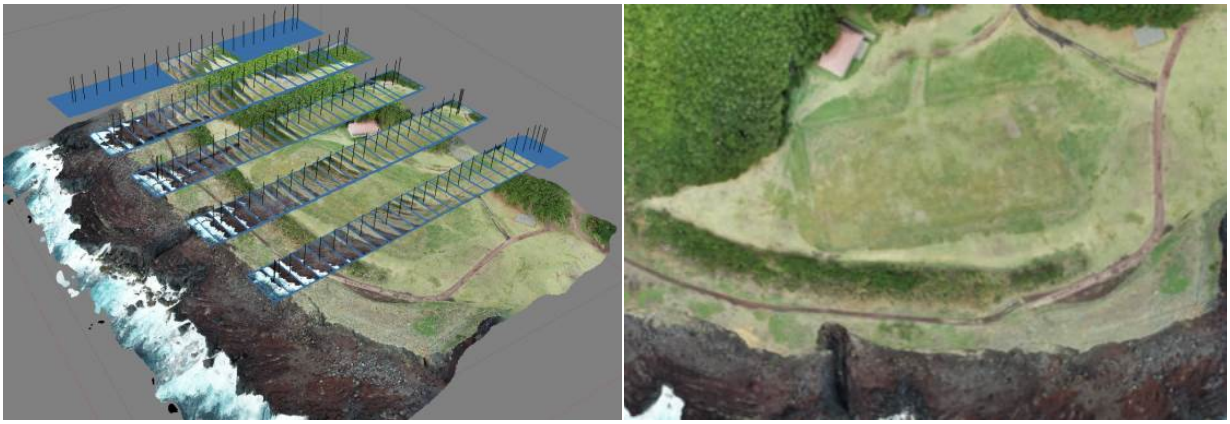


図 3 トウシキの鼻東方地点での撮影状況（左）と取得した画像からオルソ写真（右）

表 2 取得した画像データからの DSM モデル作成状況

ケース No.	撮影高度 (m)	前後ラップ率 (%)	左右ラップ率 (%)	撮影枚数	メッシュサイズ (cm)	処理時間	メッシュサイズ (cm)	処理時間
1	50	90	80	661	6	7 時間 50 分	15	3 時間 28 分
2	50	90	60	240	6	1 時間 12 分	15	43 分
3	50	80	40	117	6	32 分	15	19 分
4	100	90	80	121	15	2 時間 30 分	25	1 時間 9 分
5	100	90	60	76	15	22 分	25	15 分
6	100	80	40	27	15	7 分	25	7 分
7	150	80	40	78	20	22 分	35	13 分
8	200	80	40	57	25	16 分	50	10 分

撮影高度が変化した場合、撮影した画像で認識できる物体の大きさに違いが生じる。今回は、使用した UAV（MATRICE210）に搭載した可視光カメラ（35mm 換算値で 24mm の画角を持つレンズに画素数が 2000 万画素の撮像素子によって jpg 形式で記録）で撮影した画像もとに飛行高度別の地物の認識度を検証した。

トウシキの鼻東方地点では、平面形状を三角形、四角形、円形の 3 種類、色調を赤、青、黄の 3 種類、大きさを 5、10cm の 2 種類に変化させた模型を作成し（図 4)、撮影高度を 10～50m と変化して撮影を行った（図 5)。一方、御神火付近で撮影高度を 100m に設定し、事前に計測した地物との比較で認識度（地物を確認できる最小のサイズ）を判定した。

各地点で撮影した画像から判定した認識度は、飛行高度が 10m の場合が 1cm、同様に 50m では 5cm、90m では 10cm となった（図 5,6)。



図 4 トウシキの鼻東方に設置した模型の形状（小:一辺　5cm、大:一辺 10cm）

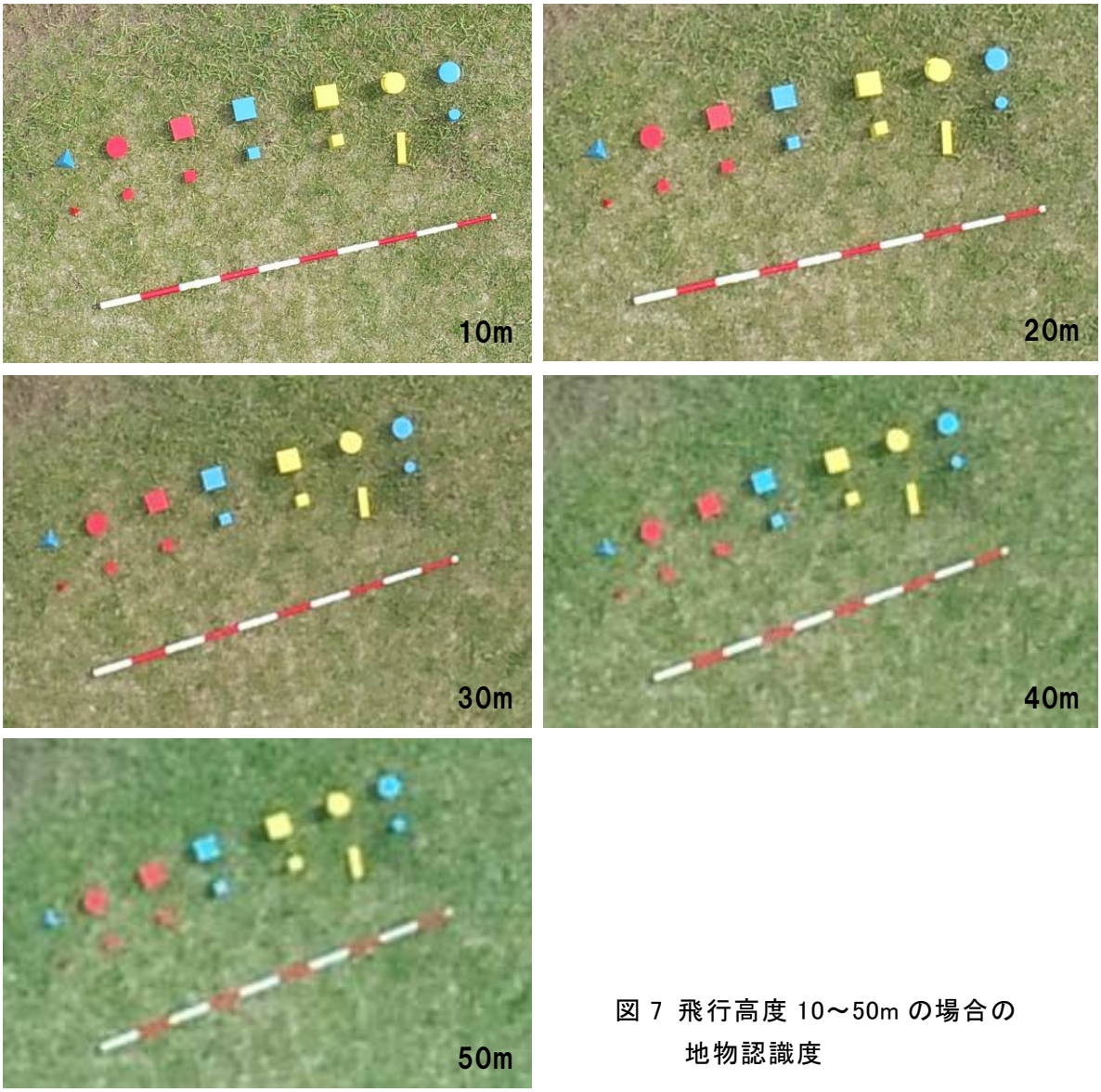


図 7 飛行高度 10～50m の場合の
地物認識度



図 6 飛行高度 90m の場合の地物認識度

次に、メッシュサイズの違いによる３Ｄモデルの違いを確認した。トウシキの鼻東方において高度 50m で撮影した写真をもとに、メッシュサイズ 6cm と 15cm の認知度を比較した。メッシュサイズが 6cm の場合は、建物の外形や階段等、付帯物の確認が可能であるが、メッシュサイズが 15cm の場合は、付帯物の確認が困難となる（図 7)。

一方、御神火茶屋付近の高度 50m で撮影した写真を使用し、メッシュサイズ 25cm と 50cm の認知度を比較すると、メッシュサイズが 25cm の場合に確認できた道路と樹木の境界が、メッシュサイズが 50cm の場合には確認できなくなることが判明した（図 8)。

さらに、短時間で効率よく DSM モデルを作成する場合には、さらに解像度が低下する（表 2)。撮影高度が 150m を超えると、作成できるメッシュのサイズが 20cm 以上となり、地表にある小型物体（薄い、低い）は DSM モデルに表現されなくなる。

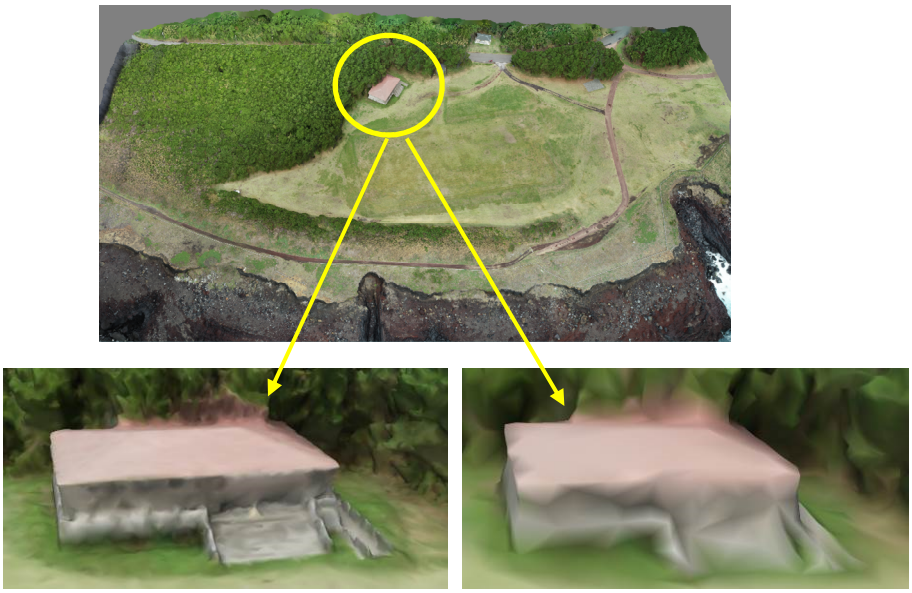


図 7 メッシュサイズの違いによる3Dモデルの違い（左：6cm，右：15cm）

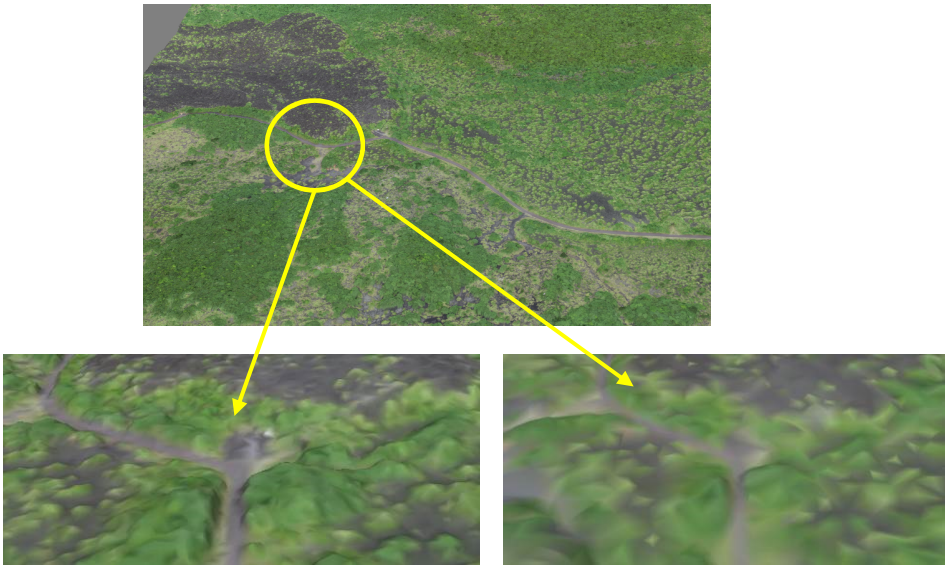


図 8 メッシュサイズの違いによる3Dモデルの違い（左：25cm，右：50cm）

撮影ラップ率の違いによる DSM モデルの違いに関しては、大きな変化は見られなかったが左右のラップ率が 40%の場合には、作成した DSM モデルの精度が低下する可能性があることが確認できた（図 9）。



図 9 撮影高度 50m におけるラップ率の違いによる DSM モデルの変化
（上：前後ラップ率 90%、左右ラップ 80%，中：前後ラップ率 90%、左右ラップ 60%，
下：前後ラップ率 80%、左右ラップ 40%）

② 桜島での実証実験

11 月 28 日～11 月 30 日に桜島で実証実験を行った。現地でのデータ取得までに、伊豆大島と同様な手続きを行った。現地では、京大防災研のハルタ山観測所から山体西麓の大正噴火での溶岩流出とその後の土石流発生域について高高度の写真・動画撮影を行い、北部のアミダ川の上流部から、長距離・高高度飛行による南岳山頂および昭和火口の撮影を行った。火口撮影時には熱赤外線カメラも使用し、撮影後に静止画及び動画から抽出した静止画による SfM による３Ｄモデルを作成した。

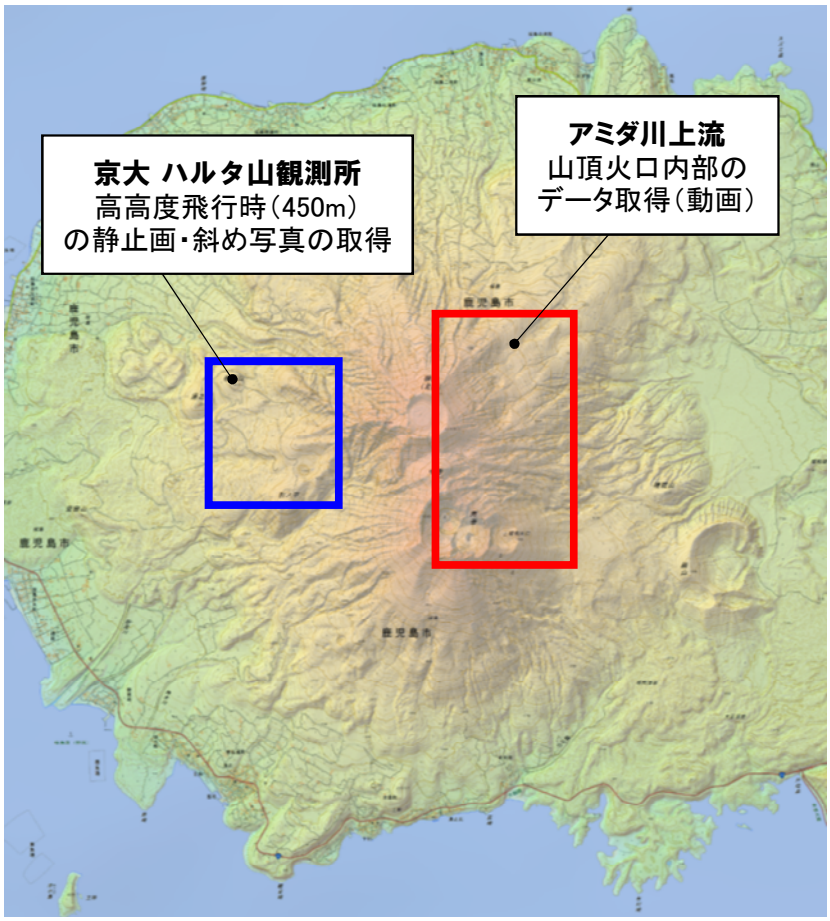


図 10 桜島での実証実験箇所



図 11 桜島での実証実験に使用した機体(左)と UAV の撮影状況(右)

京都大学のハルタ山観測所を離着陸地点として撮影した画像を図 12 にその画像をもとに作成した３Ｄモデルを図 13 に示す。また、斜め写真から作成した３Ｄモデルも図 14 に示す。

ハルタ山観測所からの飛行は、最大の対地高度が 450m と UAV 飛行の限界に近いものであったが撮影された写真に問題はなく、そこからメッシュ 35cm の３Ｄモデルを作成することができた。また、静止画像を使用した高高度撮影時の地物認識度は、約 50cm であることが判明した（図 15)。



図 12 桜島西部で撮影した高高度垂直写真及び斜め写真

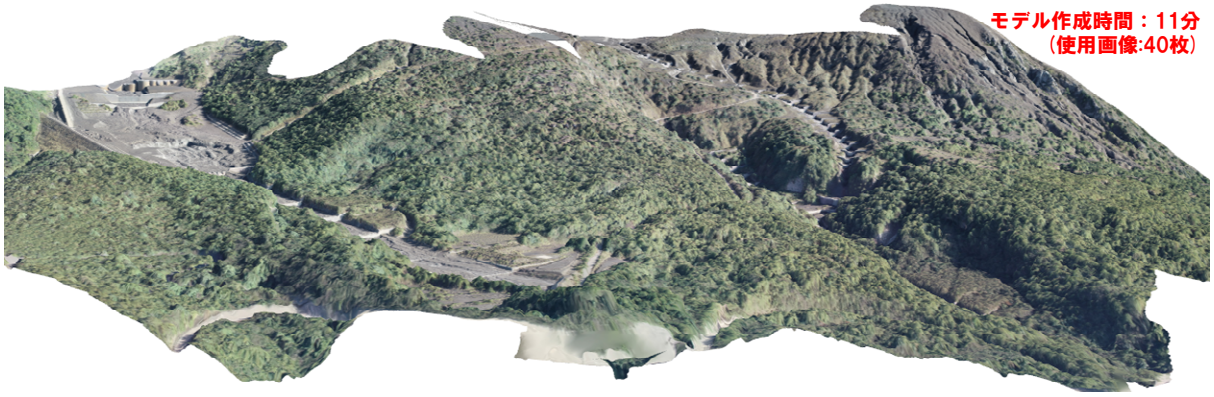


図 13 高高度撮影の静止画(垂直写真)から作成した3Dモデル

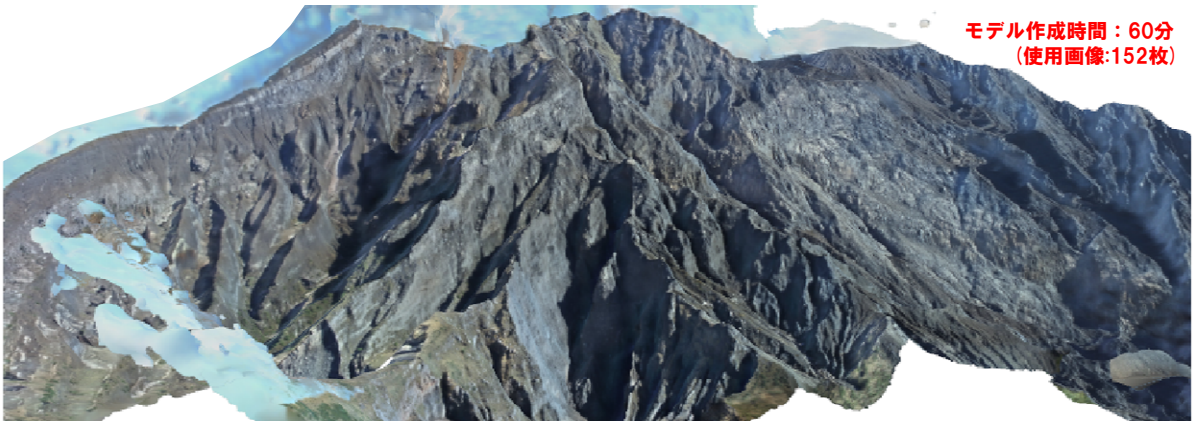


図 14 斜め写真から作成した3Dモデル



図 14 対地高度 350m で撮影した画像による地物認識度

桜島東部では、活動中の火口内部の確認を目的として、昭和火口と山頂火口内の撮影を実施した。火口縁が約 1,000m の山頂火口の内部を安全に撮影するためには、UAV の飛行高度を 1,050m 以上とする必要がある。桜島では、火山噴火警戒レベル 3 が継続しており、火口から半径 2km 以内は立ち入りが禁止されている（図 16）。そのため、立ち入り禁止区域外で、UAV の上昇限界である 500m より低い飛行高度でも山頂火口内部が撮影可能な地点として、アミダ川の上流地点を選定し安全な飛行ルートを作成したうえで撮影を実施した（図 17）。

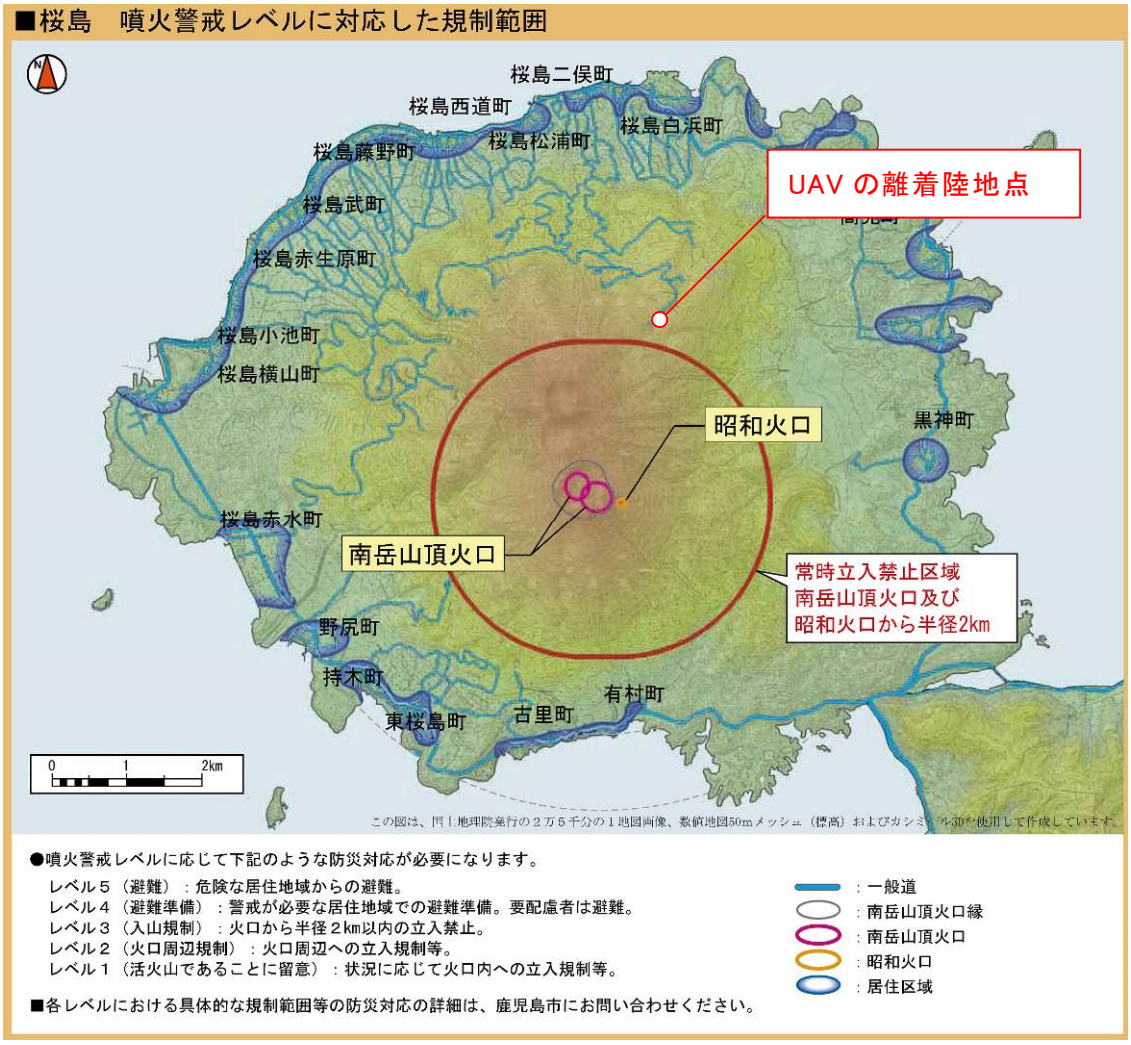


図 16 桜島の立ち入り禁止区域と離着陸地点

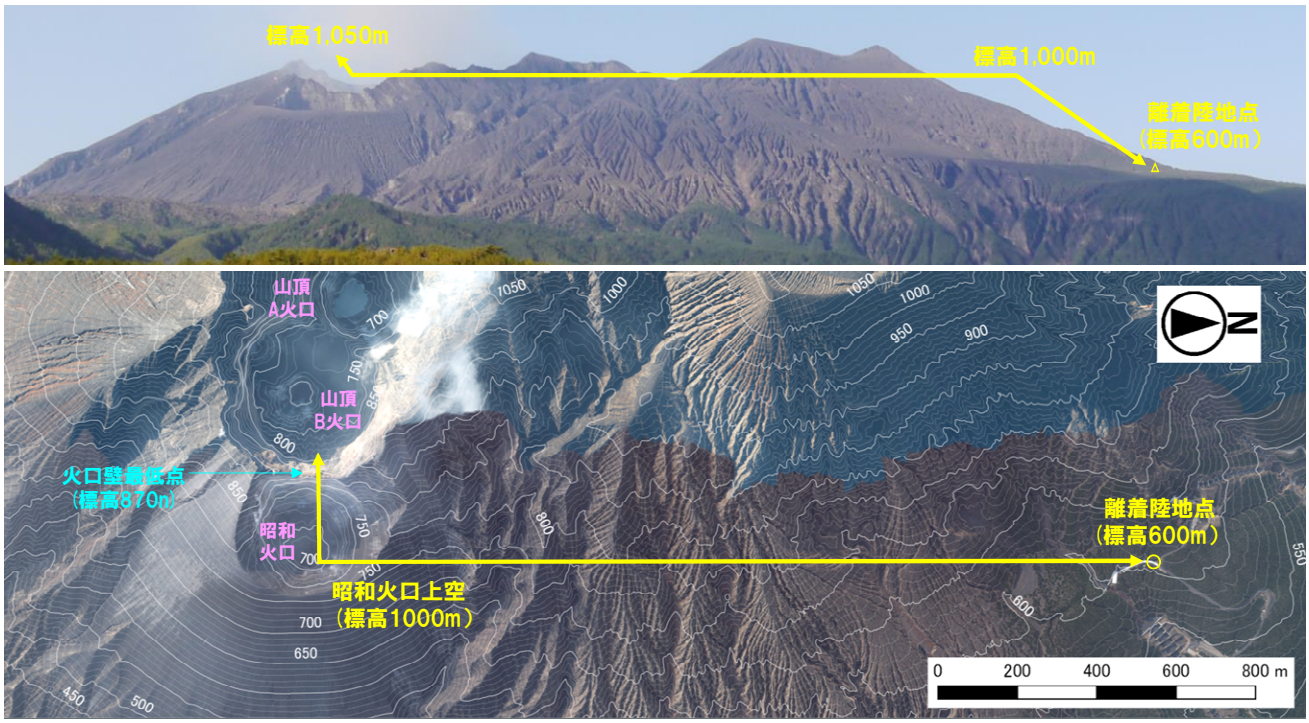


図 17 桜島山頂火口内の撮影を目的とした飛行ルート

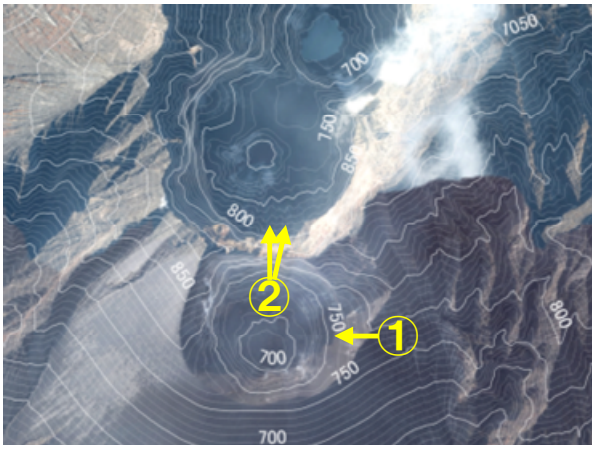
アミダ川の上流地点を離着陸地点として撮影した可視光データ（実際は動画で撮影している）を図 18 に示す。撮影を実施した 2018 年 11 月 29 日の午前中は、小規模な噴火が 30 分～1 時間間隔で発生していたため、火口内部の撮影は昭和火口のみとし、山頂火口内部の撮影は行わなかった。

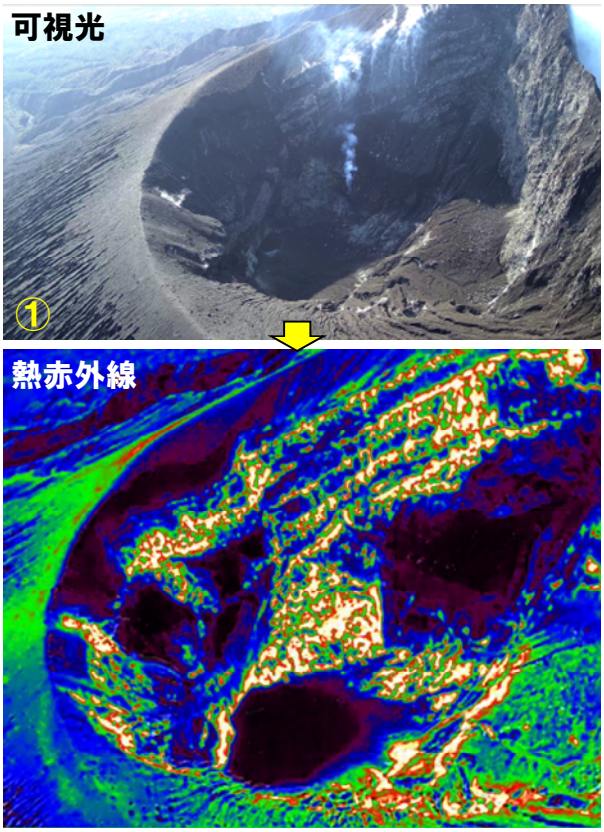
翌 11 月 30 日は噴火も落ち着いていたため、山頂火口内部の撮影に挑戦し、可視光に加えて、熱赤外線による動画撮影も実施した。図 19 に撮影画像を示す。山頂火口内部は水蒸気が充満し、可視光では十分な状況確認ができなかったが、熱赤外線による撮影では、高温となっている 2 つの火口や火口周辺部に形成されている火砕丘の構造が確認できた。さらに、撮影した動画から静止画を抽出し３Ｄモデルを作成した（図 20)。撮影ルートの影響でモデル化できていない箇所もあるが、動画が撮影されている範囲からは、地形解析が可能な３Ｄモデルが作成できた。

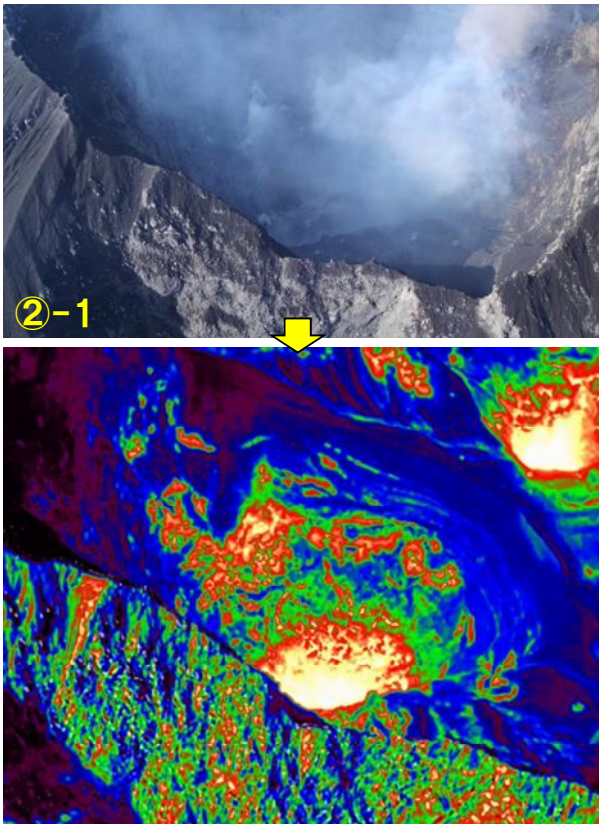
また 11 月 29 日には、噴火直後の噴煙の状況を確認する目的で、噴火直後の撮影も実施した（図 21)。



図 18 桜島東部での動画撮影画像







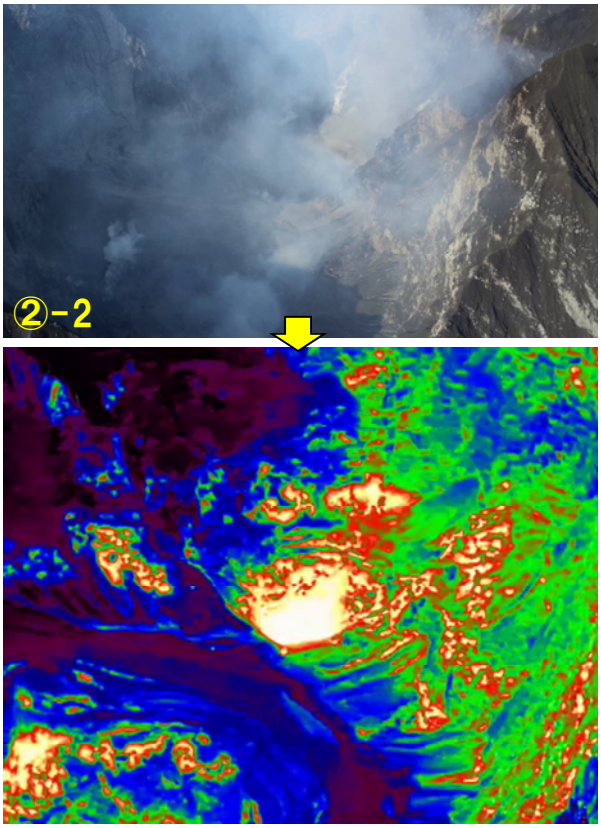


図 19 桜島東部での熱赤外線画像の撮影状況

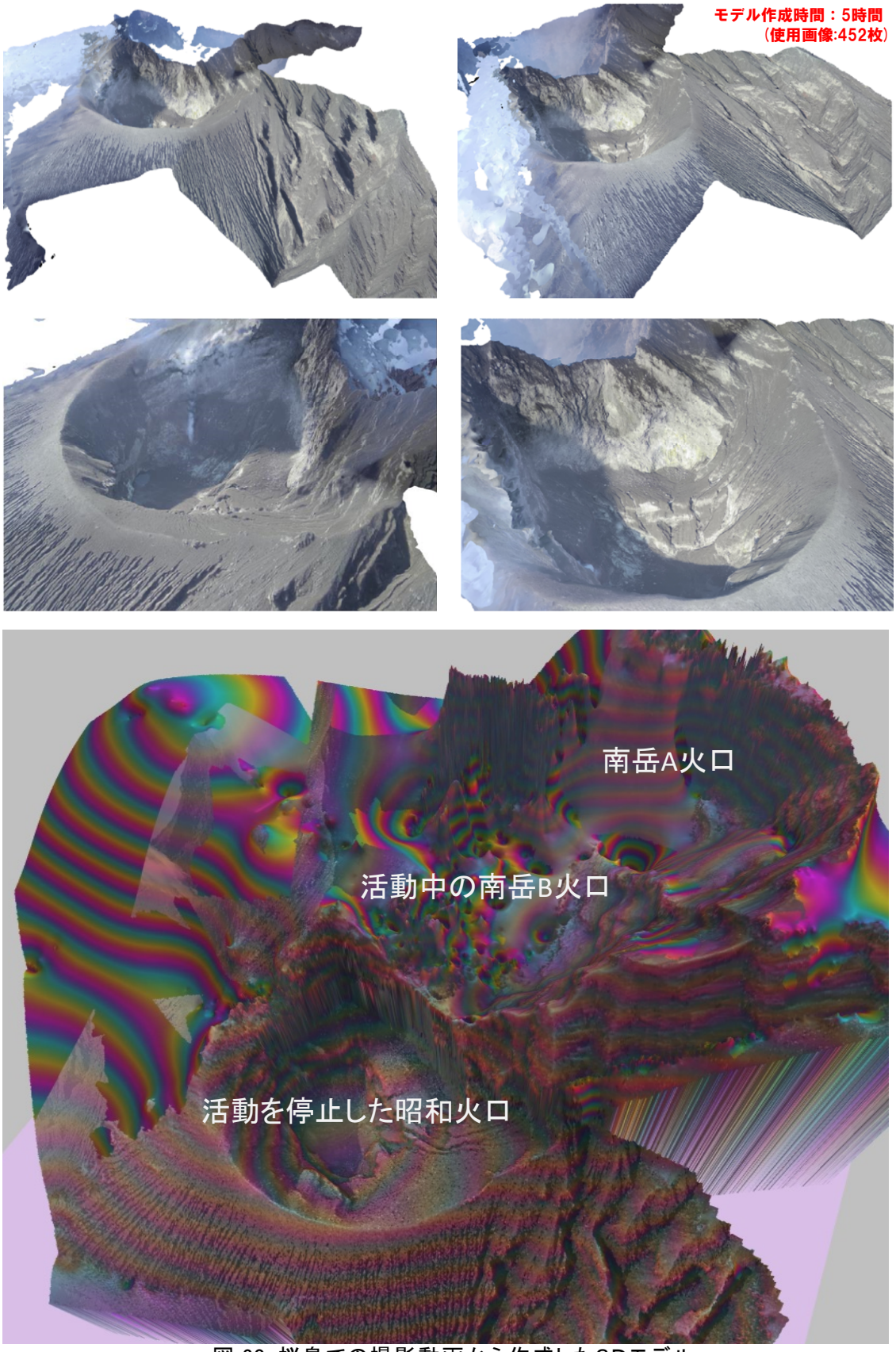


図 20 桜島での撮影動画から作成した3Dモデル

（下図は、オルソフォト+赤色立体地図+高度段彩（10m サイクル）の組み合わせ）

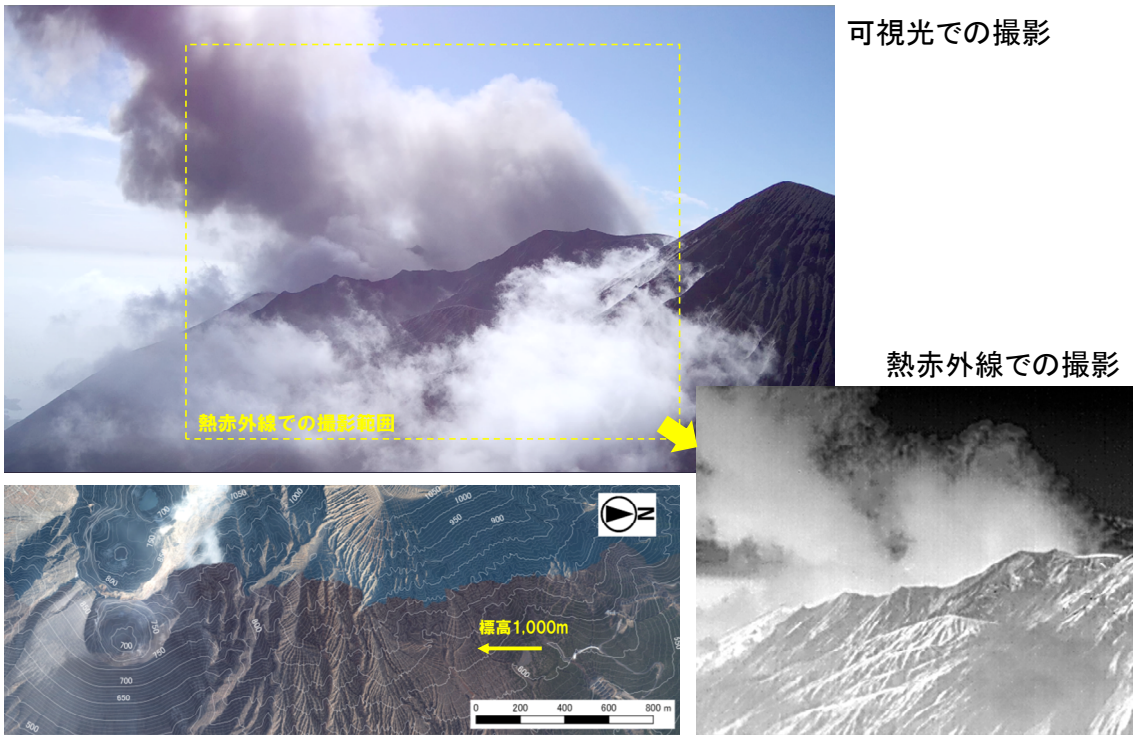


図 21 噴火直後に撮影した可視光及び遠赤外線写真

桜島での実証実験から、飛行距離が 2km 程度、比高差が 500m と厳しい条件下でも撮影が可能であることが確認できた。また、高解像度の動画を撮影すれば、３Ｄモデルが作成可能な静止画を切り出すことが可能であることも確認した。飛行高度が 300m 以上の高高度から撮影した画像から３Ｄモデルが作成できることが分かったため、迅速に広範囲の地形データが必要となった場合に、航空機やヘリコプター以外での撮影方法について、選択肢を増やすことができた。

③　UAV 撮影時の地物の認識状況

伊豆大島及び桜島で実施した現地調査の結果から、飛行高度別の地物の認識サイズの関係をとりまとめた。一般的に、上空から地物を認識可能なサイズは、写真の解像度（1 ピクセルのサイズ）より大きい。今回の現地調査により、飛行高度が 100m の場合は 20cm、200m では 30cm、500m では 70cm 程度の大きさ（変状の広がり）であれば、上空からの認識が可能である（図 23)。

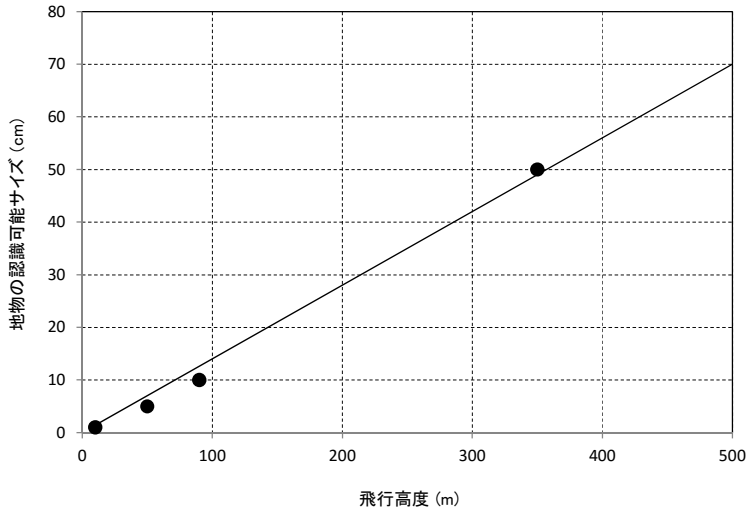


図 22 飛行高度と地物の認識可能サイズとの関係

④　火山噴火時のルーチン化した UAV 撮影

昨年度及び今年度の現地実証実験時の作業内容をもとに、UAV 撮影時の標準的な作業ルーチンを作成した。現地での飛行に関する事前の許可申請等を除いた、現地到着時からデータ解析までの標準的な作業時間を表 3 に示す。

作業ルーチンとしては、撮影場所に到着後 30 分程度で機体の準備と飛行コースの設定を行い、その後 15～20 分程度が UAV によるデータ取得時間となる。その後 10 分程度で撮影データを回収し、データの解析を行う。低解像度の場合は 1 時間（現地到着から 2 時間）でデータ解析（３Ｄモデルの作成）が完了する。データ解析の解像度を上げた解析の場合は、中解像度で約 5 時間（現地到着から 6 時間)、高解像度の場合は 11 時間（現地到着から 12 時間）で解析が完了する。

表 3 UAV 撮影時の標準的な作業時間

作業内容		現地調査開始からの経過時間					
		0	30min	1h	2h	6h	12h
機体の準備		■	■				
飛行コース設定		■	■				
撮影(飛行)			■				
データ回収				■			
データ解析	解像度:低			■	■		
	解像度:中			■	■	■	
	解像度:高			■	■	■	■

⑤ 過去の噴火事例に基づいた UAV 撮影案

前項で作成した火山噴火時のルーチン化した UAV 撮影を最近噴火した 2011 年新燃岳噴火にあてはめ、撮影～解析等の想定タイムラインを検討し、課題等の抽出を行った。

2011 年の新燃岳では、1 月 19 日に小規模なマグマ水蒸気噴火が発生したあと、1 月 26 日の午後から準プリニー式の噴火に移行し、噴煙は火口縁上 7000m に達した。翌 27 日の午後からにはブルカノ式噴火も発生し、3 月 1 日まで散発的に爆発的噴火が発生したが、2 月以降はその頻度や規模が徐々に低下した。

火山活動の変化に伴い、1 月 26 日の 18 時 00 分に噴火警戒レベルも 2 から 3 に引き上げられ、火口から 2km 範囲の立ち入りが規制された。さらに、1 月 31 日 01 時 35 分には、立ち入り規制区域が火口から 3km の範囲に拡大され、2 月 1 日 11 時 20 分には火口から 4km の範囲まで立ち入り規制区域となった（気象庁，2013、図 23～24）。

2011 年の新燃岳噴火をモデルとした UAV の撮影イメージを図 24 に示す。1 月 26～27 日の準プリニー式噴火時には、高い噴煙柱が火口上に形成されているため、火口近傍での撮影は困難であり、風下側からの撮影が主となる。噴煙柱が安定している場合は、噴火中の撮影も可能と考えられる。

ブルカノ式噴火では、火山灰の他に火山岩塊や火山弾が放出される。さらに、噴火が散発的になるため、個々の噴火終了後の撮影が有効と考えられる。ただし、爆発的噴火で立ち入り規制範囲が UAV の飛行距離である 2km を超えている場合は、火口近傍での撮影ができないため周辺地域や高高度での撮影となる。

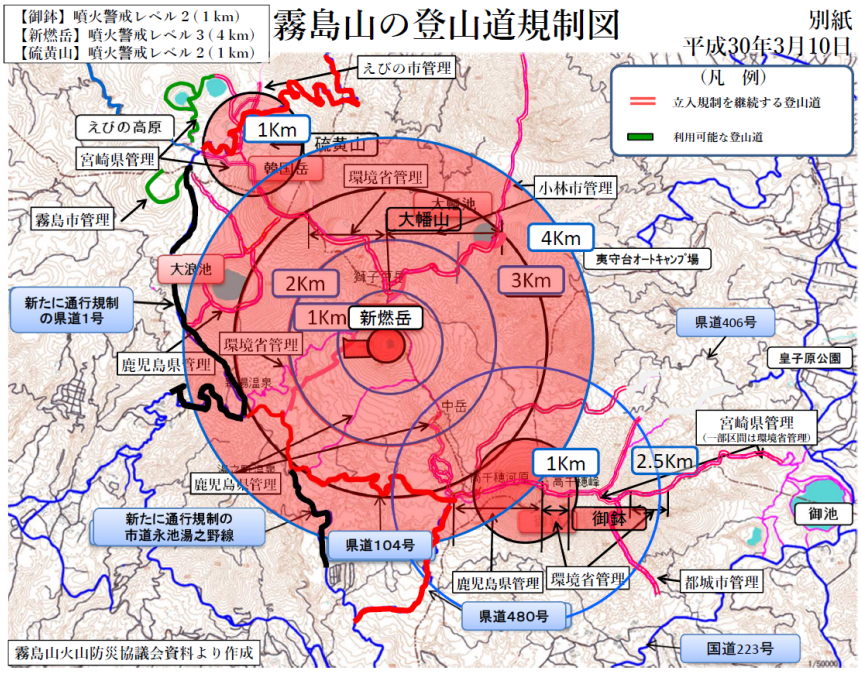
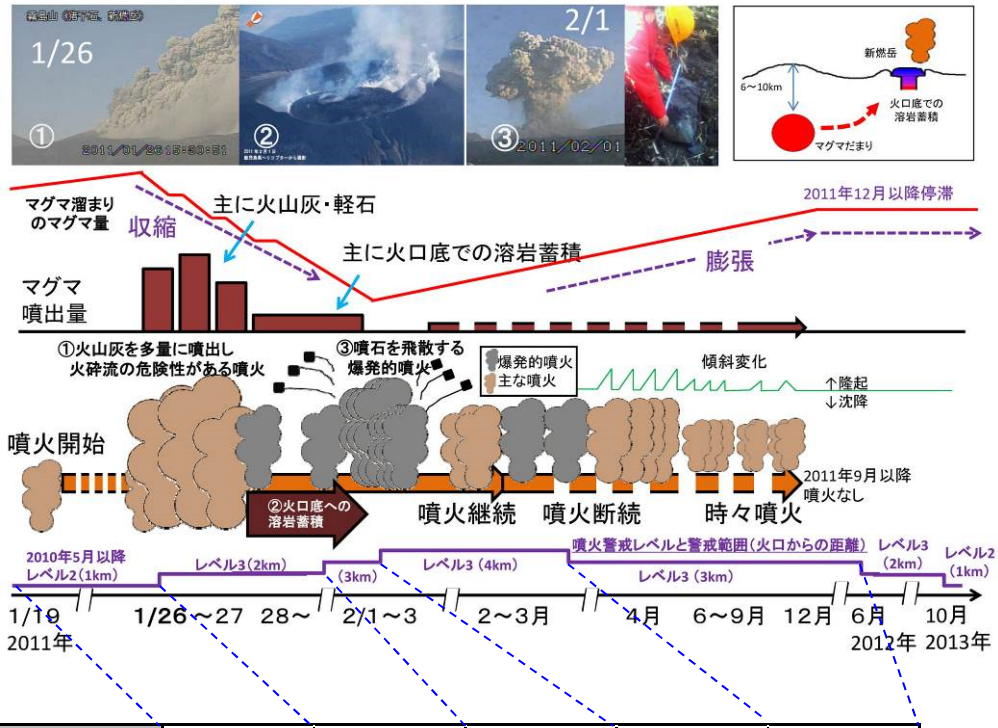


図 23　噴火警戒レベル 3(警戒範囲 4km)の場合の立ち入り規制範囲
（平成 30 年 3 月 10 日の例、宮崎県 HP より）



飛行距離（火口からの距離）		1km（0km）	2km（0km）	2km（1km）	2km（2km）	2km（1km）
飛行のタイミング		噴火後	噴火中	噴火後	噴火後	噴火後
飛行高度		低～高	高	中～高	高	中～高
飛行コース		全域	風下側	全域	全域	全域
撮影の目的	噴出物の把握	○	○	○	○	○
	噴煙の状況	△	△	△	△	△
	火口の状況	○	○	○	○	○
	降灰の範囲	○	○	○	○	○
	降灰量	△	△	○	△	△
	地形変化	△	△	△	△	△
	植生等の変化	○	○	○	○	○

図 24　2011 年新燃岳噴火の推移と UAV を使用したデータ取得イメージ
（噴火の推移は、気象庁 HP より）

3) 画像ならびに作成モデルの活用方法検討

火山現象の影響予測を目的として溶岩流や火砕流、土石流等の流下シミュレーションで使用されている地形データの形式は、一定間隔のメッシュデータである。今回実証実験で作成した３Ｄモデルは、作成した地形データをメッシュデータとして保存が可能であるため、３Ｄデータの完成後すぐにシミュレーション用のデータ提供が可能である。メッシュデータはテキスト形式で作成されるため、データを圧縮すればメールによるデータ提供が可能である。

今回使用した UAV のリモートコントローラ（送受信機）には、UAV の制御用に撮影している動画(FPV カメラ画像等)が出力可能な HDMI コネクタが装備されている。このコネクタ経由で動画を PC に取り込めれば、リアルタイムでのストリーミング配信が可能となる。次に、現地撮影時にリアルタイム配信を行う方法には様々なものがあるが今回は「YouTube」の利用を想定した手順を示す。

① 事前準備

a) YouTube を使ったライブ配信の準備

ライブ配信に「YouTube」を使用する場合には、事前に下記の手順を行い、ライブ配信が可能な状況を構築しておく必要がある。

・Google アカウントの作成
・アカウントを電話で確認
・ライブ配信が有効になるまで待機（最大 24 時間）
・アカウントの「ライブ ストリーミング」が「有効」であることを確認

b) 動画配信ソフトの導入

動画配信ソフトは、PC に表示されている画像（UAV からの動画等）を視聴者提供できる機能を持っている。ソフトには無料・有料の様々な種類が存在しているが、単純な動画配信であれば無料で提供されているソフト（OBS Studio 等）で十分である。

c) キャプチャーボードの準備

現地で使用するノート PC に動画を取り込む機器である。HDMI コネクタによる入力が可能で、ノート PC と USB 経由で接続する外付けタイプが必要となる。

② 現地での準備

a) キャプチャーボードの接続

使用するノート PC にキャプチャーボードを接続する。

b) キャプチャーボードとリモートコントローラの接続

キャプチャーボードと UAV のリモートコントローラを HDMI ケーブルで接続する。

c) 動画配信ソフトの立ち上げ

事前にインストールした動画配信ソフトを立ち上げ、UAV からの画像が表示されているかを確認する。

d) YouTube の設定と動画配信

事前にインストールした YouTube を立ち上げ、ライブストリーミング（ライブイベント）を有効にし、UAV の飛行開始に合わせて動画を配信する。

現地での動画データの流れ及びタイミングを図 25, 26 に示す。なお、YouTube のライブ配信は、動画配信を非公開とするため、関係者に限定した公開も可能である。現地からの配信となるため、動画の解像度は携帯等の通信状況によって変化するが、遠隔地からもインターネットを通じて噴火後の現地状況をリアルタイムで確認できることから、火山の活動状況や被災範囲等、周辺状況の迅速な把握が可能となる。

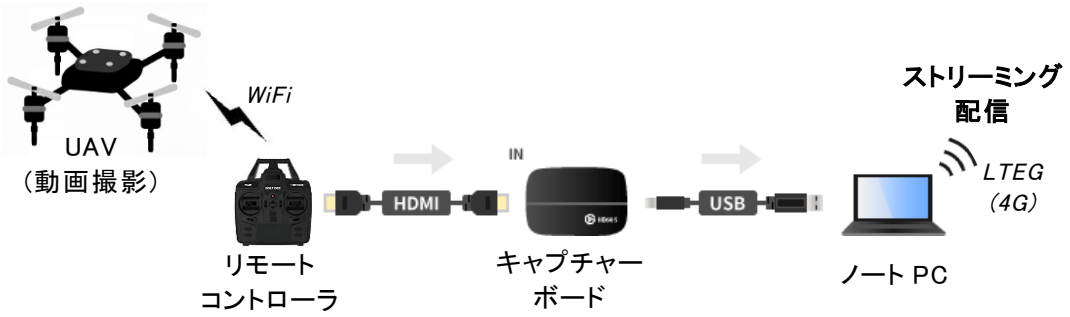


図 25 現地で取得する動画のライブ配信イメージ

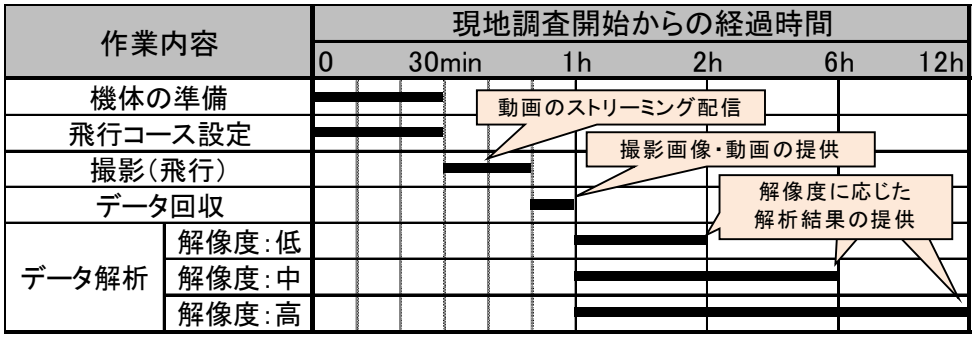


図 26 データ提供のタイミング

4）状況認識方法検討と自動化のための整理

現地で取得した画像から、発生現象の自動認識を行う場合の基礎資料として、過去の噴火で確認されている地形変化について既往研究事例を収集整理した。

①火口

円形やだ円形の平面形状を呈し、すり鉢状や縦穴状の凹地形として確認される。直径 10～100m、深さ 10～60m の規模を有し、単独で存在するほか、列状に配列していたり、近接して点在する場合がある。山頂火口やカルデラなどは、より規模が大きい。割れ目火口の事例では、長さ 4.5km に及ぶ事例もある（1～複数本、雁行配列）。

静穏時は外気温程度であるが、噴火時には溶岩が噴出するため 1000℃以上となる。噴火後には、原地形より低くなっていたり凹んでいたりするなど、標高や体積を減ずる変化が生じている場合が多い。また、噴火により破壊され、外周の形状が変化する場合もある。

周辺部では、火口から噴出した堆積物で、原地形より高くなっていたりするなど、標高や体積が増加している変化が生じている場合が多い。

代表例

火口：秋田駒ケ岳(1970～71)、鳥海山(1974)、北海道駒ケ岳(1996)、秋田焼山(1997)、阿蘇山(1974，2014)、有珠山(2000)、浅間山(2009)、御嶽山(1979，2014)、霧島山(2011)など

割れ目火口：口永良部島(1980)、三宅島(1983)、伊豆大島(1986)、九重山(1995)、霧島山(2008)

②火山砕屑丘、スコリア丘

円形やだ円形の平面形状を呈し、円錐状や截頭錐状の凸地形として確認される。

上部直径 30～180m、下部直径 30～1000m、高さ 10～53m の規模を有し、火口近傍で単独あるいは列状などに形成される。

噴出物の状態に応じた温度を示し、高温岩塊が堆積する場合は溶結する。堆積後には、噴出孔を中心に原地形より高くなり、標高や体積が増加する変化が生じる。周辺部では、地形の変化量は噴出口近傍が大きく、離れると原地形にすりつくように変化量が小さくなる。ある程度の範囲で火砕物が降下するため、原地形が平滑化したり、前出の堆積物を被覆したりするなどして、元に地形が消失あるいは不明瞭になる。

代表例：秋田駒ケ岳(1970～71)、三宅島(1983)、伊豆大島(1986)、阿蘇山(2014)、西之島(2013)

③降灰

火口から噴出して上空を移動した後、円形～帯状の広い範囲に堆積する。堆積範囲は数 10m～数 10km、幅数 10m～10 数 km、層厚は 1cm 以下～数 m と噴火規模に応じて変化する。堆積後には、堆積範囲では原地形より高くなり、標高や体積が増加する変化が生じ

る。地形の変化量は噴出口近傍が大きく、離れると変化量が小さくなる。また、原地形が平滑化したり、前出の堆積物を被覆したりするなどして、元に地形が消失あるいは不明瞭になる。

代表例：鳥海山（1974）、草津白根山（1982, 2018）、伊豆大島（1986）、御嶽山（1979, 2014）、浅間山（2004，2009）、箱根山（2015）

④火山弾（噴石）

火口から噴出して上空を移動した後、円形～帯状の広い範囲に堆積し、粒状～塊状の凸地形として確認される。堆積範囲は火口近傍から 8km 程度で、層厚は 1cm 以下～数 m（あるいはそれ以上）と噴火規模に応じて変化する。飛行速度は 100～230m/s と高速である。

長径（直径）は 1cm から数 m（あるいはそれ以上）、形状は角状、紡錘状、扁平状、牛ふん状など、噴出時の溶岩の性質により変化する。

今回の事例調査では、4 m以上の岩塊は火口から 1km 以内、1～4m の岩塊は 2km 以内、10cm～1m の岩塊は 3～4km 程度まで、1～10cm の礫～岩塊は 8km 程度まで飛散する傾向が読み取れる。

噴火後には、堆積範囲では原地形より高くなり、標高や体積が増加する変化が生じる。堆積後の表層の状態は噴出物の多寡や粒子径により変わり、細粒の場合は、豆粒を巻いたような状態から絨毯を敷いたような状態になったりし、粗粒の場合は、まばらな凸地形が点在する様相となったり、がれ場のような様相となったりする。また数 10cm 以上の岩塊が落下した地点では、衝突痕が生じて原地形より低くなることもある。

周辺部では、地形の変化量は噴出口近傍が大きく、離れると原地形にすりつくように変化量が小さくなる。また、原地形が平滑化したり、前出の堆積物を被覆したりするなどして、元に地形が消失あるいは不明瞭になる。

代表例：秋田駒ケ岳（1970～71）、三宅島（1983）、伊豆大島（1986）、有珠山（1977～78, 2000）、御嶽山（1979，2014）、草津白根山（1982，2018）、北海道駒ケ岳（2000）、浅間山（2004，2009）、阿蘇山（2015，2016）、口永良部島（2015）、桜島（全般）

⑤衝突痕

火山弾、噴石の落下地点に形成され、円形状、だ円状、すり鉢状の凹地として確認される。衝突痕の規模は落下岩塊の規模と落下地点の地盤の硬軟により、収集事例では直径数 10cm～19m、深さ 0.4～4m の規模が見られた。

落下地点では、原地形より低くなり、岩塊が飛来してきた方向とは逆の方向に、射出した土砂が飛散する。衝突痕内に岩塊がめり込み残存する場合と、岩塊が停止せず遠方に転動して凹地形だけ存在する場合がある。周辺には同様の衝突痕が複数存在し、後続の噴出物が多ければ被覆されて消滅する。植生や被覆物が剥がされたり破壊されたりして、湿気を帯びた土が露出するなどして、色調が変化する場合が多い。

代表例：伊豆大島(1986)、三宅島(2000)、浅間山(2004，2009)、阿蘇山(2016)、桜島(全般)

⑥火砕流

火口、噴煙柱基部、溶岩ドームの崩壊で発生し、地表面を高速で移動して、広範囲に流下する岩塊混じりの粉体流として確認され、主に谷筋に沿って流下し、帯状、ローブ状の堆積物を形成する。また土石流に移化する場合や、周辺部に火砕サージを伴う場合がある。

到達距離は 0.14～6.4km、幅 10～900m、厚さ～30m 程度、体積 1700～400 万 m^3 と、噴火規模に応じて変化し、堆積時の温度は 40～850℃、流速は 10～200km/h などが報告されている（過去にはさらに大規模な事例が多数ある)。

堆積後には、堆積範囲では原地形より高くなり、標高や体積が増加する変化が生じ、特に谷地形を埋めて平滑化する場合が多い。堆積面には波紋状や堤防状の高まりなどの微地形が確認されることがある。また降雨により浸食されガリーが発達しやすい。

周辺部では、地形の変化量は流路の中心が大きく、離れると原地形にすりつくように変化量が小さくなる。また、堆積物を被覆したりするなどして、元に地形が消失あるいは不明瞭になる。

代表例：十勝岳(1988)、雲仙岳(1991～94)、有珠山(2000)、霧島山(2011)、御嶽山(2015，2014)、口永良部島(2019)

⑦火砕サージ

火砕流に伴って場合が多く、火砕流の周辺や前方 1km 程度まで流送する。堆積物の量が少ないため地形的変化は少ないが、火山灰などが薄く堆積していたり、樹木が倒伏していたりするなどの現象で、その影響範囲を確認することができる。堆積後の表面に波紋状の微地形が見られる場合もある。

代表例：十勝岳(1988)、雲仙岳(1991～94)、口永良部島(2014，2015)

⑧溶岩流

火口、山腹、火砕丘より流出し、地表面を低～中速で移動して山腹から山麓にかけて堆積し、舌状、ローブ状、扇状の凸地形として確認される。

到達距離は数 10m～1.75km、幅数 10～2km、厚さ数 m～300m 程度、面積 $n\times10^4$～$10^5 m^2$、堆積 $n\times10^6 m^3$ と噴火規模に応じて変化し、堆積時の温度は 600～1130℃、流速は 20～100m/日などが報告されている（過去にはさらに大規模な事例が多数ある)。

堆積後には、堆積範囲では原地形より高くなり、標高や体積が増加する変化が生じ、顕著な凸地形として残存する場合が多い。堆積面には溶岩じわ、溶岩堤防、条線、亀裂、塊状、クリンカー状など、溶岩流に特徴的な微地形が形成される。温度、粘性などの溶岩の質により、到達距離や表面構造なども変化する。

代表例：秋田駒ケ岳(1970～71)、三宅島(1983)、伊豆大島(1986)、西之島(2014)、霧島山(2018)

⑨溶岩ドーム

火口、山腹で粘性の高い溶岩の供給とともに拡大・成長し、ドーム状、舌状、ローブ状の凸地形として確認される。山体内部で成長する場合は山体の変位地形として確認される。

噴出箇所からほとんど移動せずに成長し、長さ 1200m、幅 1000m、厚さ 170m、250m、体積 1 億 5400 万 m^3、成長速度～$3\times10^6 m^3$/日などが報告されている（過去にはさらに大規模な事例が多数ある)。

堆積後には、堆積範囲では原地形より高くなり、標高や体積が増加する変化が生じ、顕著な凸地形として残存する。表面は不規則形状や塊状の場合が多いが、花弁状などの特徴的な構造が見られることもある。拡大・成長と同時に崩壊し、地形量が減少することもあり、下方で崖錐が発達したり、高温物質が火砕流となって流送したりすることがある。

噴火前～中を通して、周辺部の山体が変位して断層や亀裂などを同時に形成する。

近傍はもとより、数 km 先の遠方にも地形変化をもたらす。

代表例：有珠山(1977～78)、雲仙岳(1991～94)

⑩溶岩噴泉

割れ目火口や火口列より 1000℃以上の高温の溶岩が噴出する現象として確認される。

長さ 2km に渡る割れ目より、高さ 100～1600m の溶岩噴泉が発生した事例が報告されている。噴出後は、溶岩流として移動し堆積する。

代表例：三宅島(1983)、伊豆大島(1986)

⑪溶岩湖

主に火口内の溶融状態～それに近い溶岩（～1100℃）として確認され、火口の規模や溶岩湖面の上下により規模が変化する。

溶岩湖面の標高が上下し、ドーム状、あるいはパンケーキ状に膨らんだり、すり鉢状に凹んだりし、これらに伴い同心円状や放射状の割れ目が発生する。

湖面の変化が噴火の前兆を示していることもある。

代表例：伊豆大島(1986)、霧島山(2011)

⑫噴気孔，噴気

円形やだ円形の径数 10cm 程度の小孔として確認でき、火山ガスや水蒸気などの噴気（70～470℃）を伴う。

地形的な変化はほとんどなく、多くの火山でも確認される。周囲には植生の枯死、硫黄の付着、周辺地盤の変質・粘土化が見られることがある。

⑬変位地形

マグマ貫入・移動やそれに伴う山体変位で発生する地表面現象として確認され、原地形に対し標高の増減、位置のずれなどが生じる。

断層、亀裂、段差、ずれ：線状、雁行配列、馬蹄形の形状で確認され、長さ数 m～1.5km、開口幅数 cm～50cm、落差数 cm～180m、ずれ量～170m などの事例報告がある。

隆起、沈降：長さ数 m～百数 10m の上下変化した事例報告がある。

陥没：噴火後の火口内や溶岩流トンネルの崩壊によって生じる凹みで、直径数 m～1.6km、深さ 5～500m などの事例報告がある。

周辺では構造物の変位や破壊、樹木の倒伏、渓流の流路変化や湛水などを伴う場合がある。

代表例：秋田駒ケ岳(1970～71)、有珠山(1977～78, 2000)、三宅島(1983)、伊豆大島(1986)、雲仙岳(1991～94)

⑭構造物破壊

噴火に伴った地形変動、火山弾・噴石、溶岩流、火砕流、土石流などの接触・衝突により生じ、建築物、道路、鉄道、車両などに変位・破壊・火災などの現象として確認される。

代表例：有珠山(1977～78, 2000)、阿蘇山(1979)、三宅島(1983)、伊豆大島(1986)、御嶽山(1979, 2014)、雲仙岳(1991～94)、桜島(全般)

収集した火山現象別の規模を整理した一覧表を表 3 に示す。表に示した各現象のうち、変状の広がりが 10cm 以下のものは、飛行高度が 50m 以下の低空飛行による UAV 撮影が必要であるが、変状の広がりが 1m 以上であれば、高高度で撮影したデータからでも確認できる可能性が高い（表 4，図 22)。

表 4 火山現象に伴う変化量一覧

地形変化 火山現象	現象の広がり				
	0.1m		1m	10m	100m
火口			■	■	■
火砕丘				■	■
降灰				■	■
火山弾(噴石)	■	■	■		
衝突痕		■	■	■	
火砕流					■
火砕サージ					■
溶岩流					■
溶岩ドーム					■
溶岩噴泉				■	■
溶岩湖					■
噴気孔，噴気		■	■		
変位地形			■	■	■
構造物破壊	■	■	■	■	■

地形変化 火山現象	垂直変化量				
	0.1m		1m	10m	100m
火口				■	■
火砕丘				■	■
降灰	■	■	■		
火山弾(噴石)	■	■	■		
衝突痕	■	■	■		
火砕流	■	■	■	■	
火砕サージ	■	■			
溶岩流			■	■	■
溶岩ドーム					■
溶岩噴泉			■	■	■
溶岩湖				■	■
噴気孔，噴気					
変位地形	■	■	■	■	■
構造物破壊	■	■			

さらに、火山現象を「色調変化」「温度変化」「垂直変化量」で分類した場合、「色調変化」を伴う現象では可視画像、「温度変化」を伴う現象には赤外画像、「垂直変化量」が大きい現象については３Ｄモデルを用いた被災状況の把握が、特に有効である（表 5)。

表 5 火山現象別の変化特性と情報取得方法

地形変化 火山現象	色調変化	温度変化	垂直 変化量	情報取得方法		
				可視画像	赤外画像	3Dモデル
火口	中～大	大	大	●	●	●
火砕丘	中～大	小～中	大	●	●	●
降灰	中～大	小	小～中	●		▲
火山弾(噴石)	小～中	小～大	小～中	▲	▲	▲
衝突痕	中	小	小～中	▲		▲
火砕流	中～大	中～大	小～大	●	●	●
火砕サージ	中～大	中～大	小	●	●	
溶岩流	大	大	中～大	●	●	●
溶岩ドーム	大	大	大	●	●	●
溶岩噴泉	大	大	－	●	●	
溶岩湖	中～大	大	大	●	●	●
噴気孔，噴気	小～中	中～大	－	▲	●	
変位地形	小～中	小	小～大	▲		●
構造物破壊	中～大	小	小	●		

火山活動の把握を目的として、現地で取得したデータから変状量を把握する単画像計測システムについて、検討を行った。

単画像計測システムを用いた計測処理フローを下記に示す。UAV による撮影後、画像データを PC に移動し、３Ｄモデルの作成を行う。３Ｄデータの作成時間は、UAV により撮影した画像の数、およびその解像度にもよるが、30 分～2 時間程度の時間で完了する。

作成された３Ｄモデルは、専用のビューアソフトを使って表示し、これは様々な位置、方向での表示が可能であり、これを使用して注目点（変状が生じた箇所等）を探し出し、これを指定する)。

３Ｄモデルでは、解像度の低下等の影響が発生するため、変状の判読には原画像（３Ｄモデル作成の元とする静止画像）が有利である。一方で、大量の画像から目的の箇所が撮影された画像を探し出すことは、作業者の負担が大きい。本システムでは、３Ｄモデルで指定された注目点を撮影した画像リストを自動的に作成し、そこから注目点において発生した事象をもっとも確認しやすい画像を選択する)。

検出された単画像では、単画像計測システムの機能を利用して、指定した地点における 3 次元座標や、画像上で指定された 2 地点間の 3 次元距離、表面積の計測を行う。

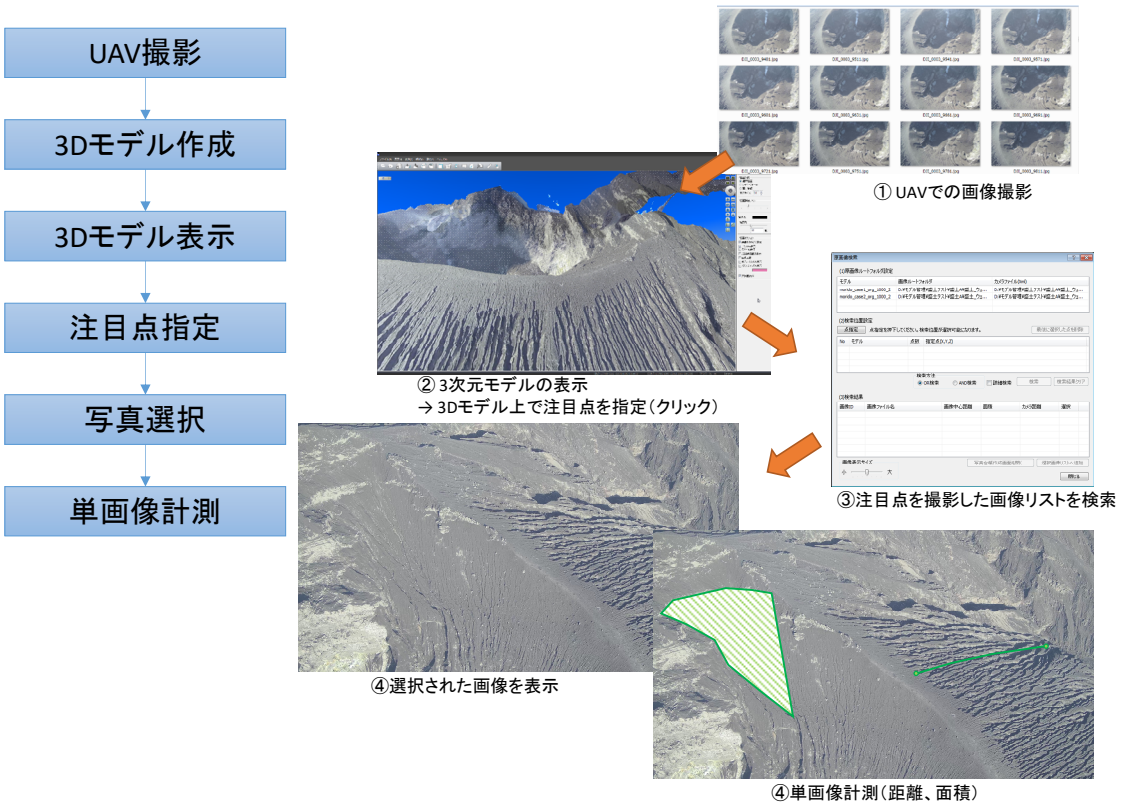


図 26　単画像計測システムを用いた計測処理フロー

(d) 結論ならびに今後の課題

サブテーマ 3 との連携として、避難・救助支援コンテンツのインプットデータ用に、実証実験での取得画像や作成した３Ｄモデルを提供した。

UAV で取得した画像データから第一報データを提供する時間の目安を 1 時間と設定した。今年度の作業工程の適切化と処理能力が高い PC を使うことで､速報データを 1 時間以内で提供することが可能となった。

伊豆大島での実証実験を「次世代火山研究・人材育成コンソーシアムの伊豆大島緊急観測訓練」に合わせて実施し、観測訓練に参加したメンバーに UAV による画像取得や DSM モデル等の作成について説明を行うことができた。

今後の課題として、実際の噴火時にも予想される UAV の飛行が困難となる条件（天候不良や噴煙や水蒸気等、夜間）での飛行とデータ取得が可能かどうかの判断や、飛行距離が 2km を超えた場合の飛行状況を確認しておく必要がある。さらに、撮影と並行した動画のストリーミンク配信や動画・静止画、解析データ等の提供実験を行い、迅速なデータ提供に際しての課題や問題点を行い、把握しておく必要がある。

(e) 引用文献

なし

(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
千葉 達朗・浦山 利博・望月 拓実・三浦 俊介・成毛 志乃・佐々木 寿・荒井 健一・野中 秀樹	UAV による SfM を用いた伊豆大島三原山中央火口内部の急崖の地形計測	2018 年地球惑星科学連合大会（千葉市幕張メッセ）	2018 年 5 月 24 日
千葉 達朗・望月 拓実	UAV による迅速な噴火の状況把握	日本写真測量学会 平成 30 年度年次学術講演会（東京大学生産技術研究所）	2018 年 5 月 24～25 日
浦山 利博・藤田 浩司	UAV を使った噴火状況の把握（ブース展示）	ABC 2018 Autumn in KAWASAKI（川崎市産業振興会館）	2018 年 10 月 13 日
千葉 達朗・浦山 利博・望月 拓実・三浦 俊介・成毛 志乃	UAV 撮影による火口三次元モデル作成	アジア航測技術報	2018 年 12 月

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 令和元年度の業務計画案

(a) プロジェクトの総合推進

- 現地実証実験等を通して、同一課題内での連携を推進する。
- サブテーマ2との連携：大量降灰時にドローンを活用した地形変化抽出を行い予測降灰量と照合することを目的として、桜島における実証実験を計画して実施する。
- サブテーマ3との連携:取得画像や作成３Ｄモデルを、避難・救助支援コンテンツのインプットデータとして利用するために連携して取り組む。
- テーマA、Cとの連携:災害状況把握のためにドローン等による空域からの可視画像をもとに、作成した画像や数値地形データを、情報公開に有効な現地画像・動画・３Ｄモデルの内容・受け渡し方法について連携して検討する。また、ハザード予測のシミュレーション用地形データとして活用するための受け渡しまでの一連の動作を実働訓練する。
- 火山研究人材育成コンソーシアム構築事業との連携・融合の一環として、現地で取得した画像から３Ｄ地形モデルを作成する技術の体験、民間企業における火山調査関連技術や火山防災業務の紹介等のプログラムを計画・準備した上で、現地実証実験への開催案内と参加者募集を行う。参加募集にあたっては、時間的余裕をもった案内となるよう留意する。

(b) 現地データ取得から結果提供までの現地実証実験（桜島を予定)

- 無人機（ドローン等）を用いて現地画像を取得して、ハザード予測のためのシミュレーション用数値地形データの作成と受け渡しまでの一連の動作について現地実証試験を通じて点検する。その際、近年の噴火事象の時間経過と対比する形で手法の有用性と課題を整理する。

(c) 悪条件下での無人機（ドローン等）を用いた状況把握手法の検討

- 夜間や天候不順時を想定した状況把握手法開発に向けた検討を行ったうえで、現地実証実験の実現に必要な準備や関係機関との協議・調整を行う。

(d) 画像や作成モデルから状況認識する方法の検討

- 無人機（ドローン等）で取得した画像や作成した３Ｄモデル等から、火山弾や降下火砕物、溶岩流等の噴出物の状態を自動認識する方法について検討する

3.2 「リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発」

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３０年度業務目的

(2) 平成３０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、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成３１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	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	特定准教授	佐々木寛介	
国立大学法人京都大学	特定助教	志村　智也	
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	特任准教授	石峯　康浩	
国立大学法人鹿児島大学	特任研究員	Kim Yura	
国立大学法人鹿児島大学	外来研究員（釜慶大学）	Dong-In Lee	
国立大学法人鹿児島大学	外来研究員（釜慶大学）	Suh Sun-Ho	
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	准教授	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	
メトロウェザー株式会社	代表取締役	東　邦昭	
三菱スペース・ソフトウェア(株)(鹿児島大学)	博士課程学生	小堀　壮彦	

（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度化技術開発、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度化及び高精度化のための技術開発を開始した。

2）平成２９年度：

桜島、霧島、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島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。レーダーの反射強度と降灰量を比較し、両者の関係を検討した。火山灰拡散予測の高速度化のために桜島南部の観測点の傾斜計及び地震計を改修した上で、地盤変動や地震動のデータベースを整備した。また、高精度化のために、再現された風速場をドップラーライダーやドローンを用いた大気中のその場観測により検証した。噴煙の最上部に現れる傘雲の形成を考慮するように火山灰拡散モデルを改良した。

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）令和２年度：

令和２～４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）令和３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）令和４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）令和５年度：

令和５～７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）令和６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）令和７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３０年度業務目的

桜島において 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ドロメータを用いた地上観測からなるマルチパラメータ観測を継続して、火山灰予測に必要なパラメータを決定する。火山灰拡散予測の高速度化のために、噴火の発生、地震動や地盤変動データからの噴出率と噴煙高度の評価、火山灰予測シミュレータの起動までの一連のプロセスの自動化を図る。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する。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。その上で、桜島近傍の火山灰拡散シミュレーションを行い、地上降灰量と比較して、降灰量予測の高精度化を図る。

(2) 平成３０年度の成果

(a) 業務の要約

平成 30 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度化技術開発」、「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、X バンド MP レーダー、GNSS、ライダーによるリモートセンシング観測を継続することにより、このマルチパラメータ観測システムが噴煙高度や降灰量等の即時的把握に有効であることが示された。予測の高速度化技術においては、噴火の発生、地震動や地盤変動データからの噴出率と噴煙高度の評価、火山灰予測シミュレータの起動までの一連のプロセスを自動化することにより、降灰予測の高速化が図られた。予測の高精度化においては、火山体周辺の風速ベクトル分布を高分解能で把握することにより、降灰量の予測が大きく改善された。

(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

霧島、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レーダー観測を継続した。前年度までの桜島を取り巻くディスドロメータに加え、火口から直線状に配置することにより、降灰量と粒径分布の距離依存性を明らかにした。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した。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、また、ディスドロメータの出力値と地上降灰量の関係を多くの噴火事例について調べ、その経験的関係式の精度を向上させた。さらに、ディスドロメータにより取得された降灰粒子データベースを用い、理論的な降灰量推定式を導出し、過去の噴火事例に適用して理論的推定式の精度検証をおこなった。

GNSS を桜島の北東側の大隅半島に設置し、桜島島外の火山灰観測を強化した。GNSS 観測から得られる LC 搬送波位相残差及び SN 比と地上降灰量との関係を調べ、関係式を提示した。また、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した。

ライダー観測を継続することにより、偏光解消度および 2 波長比を利用した粒径に関する統計的解析を多数の事例について行った。また、消散係数の出現頻度解析を行い、観測により得られた散乱強度を定量化した。

さらに、ライダー観測により得られた微小火山灰粒子とレーダー観測による粗大粒子との差異についても考察した。

3) 火山灰拡散予測の高速度化技術開発

桜島東部の黒神観測室の既設観測井に設置されている地震計及び傾斜計について、本研究への活用のために引き上げ及び改修作業を行った。このことにより、桜島東部方面の地

盤変動及び火山性微動振幅から求められるブルカノ式噴火発生に伴う噴出率見積もり方式を定式化し、これを降灰量分布から求めた噴出量と比較することにより、地盤変動及び火山性微動振幅データから過去に求めた噴出率推定式を高精度化した。

噴煙柱シミュレーションによって、噴出率と継続時間ごとの噴煙柱高度、噴煙外形のデータベースを充実させた。火山噴火の映像からシミュレーションの妥当性を検討した。噴火の発生を自動的に検知して、PUFF モデルを自動的に起動できるように改良した。

4) 火山灰拡散予測の高精度化技術開発

ドップラーライダーと地上計器による各地点における風向・風速観測を継続した。また、夏冬２回、ドローンによる大気中の風観測を行った。今年度は２台のドローンを同時使用し、山頂を挟んで風上側と風下側、あるいは山頂に近い場所と離れた場所というように、空間分布を把握できるように観測を行った。

火山ガスセンサーや微小粒子状物質の濃度の測定可能センサーを搭載し、火山周辺の移流把握に資する観測を行った。また、ライダーをスキャンモードにすることにより、火山灰移流状態から空間的な風の場を把握した。

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た。今年度は高分解能（90ｍ格子）での風速場シミュレーションを行った。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った。また、FALL3D による桜島近傍の火山灰拡散シミュレーションを行い、地上降灰量と比較して、精度検証・高精度化を図った。ホノルルで開催される国際会議(Asia Oceania Geosciences Society)において、研究成果を発表するとともに研究に関する情報収集を行った。

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した。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た。今年度は密度の大きいレキを対象にして実験を行った。また、瓦や壁材を対象に耐衝撃性能試験を行い、サブテーマ D3 に引き渡す基礎データを作成した。

(c) 業務の成果

1) プロジェクトの総合推進

平成 30 年 6 月 21 日および 12 月 19 日に東京で打ち合わせを行った。また、平成 30 年 12 月 27 日・28 日には鹿児島において研究集会を開催した。

東京での打ち合わせは課題 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。特に、レキを用いた瓦屋根の破壊実験については課題 D サブテーマ 3 や課題 C サブテーマ 3 と実験計画等の詳細な情報共有を図った。

鹿児島での研究集会では、本サブテーマが実施する研究内容と成果について発表を行い、プロジェクトの内外からも様々な意見を出してもらい、議論を進めた。

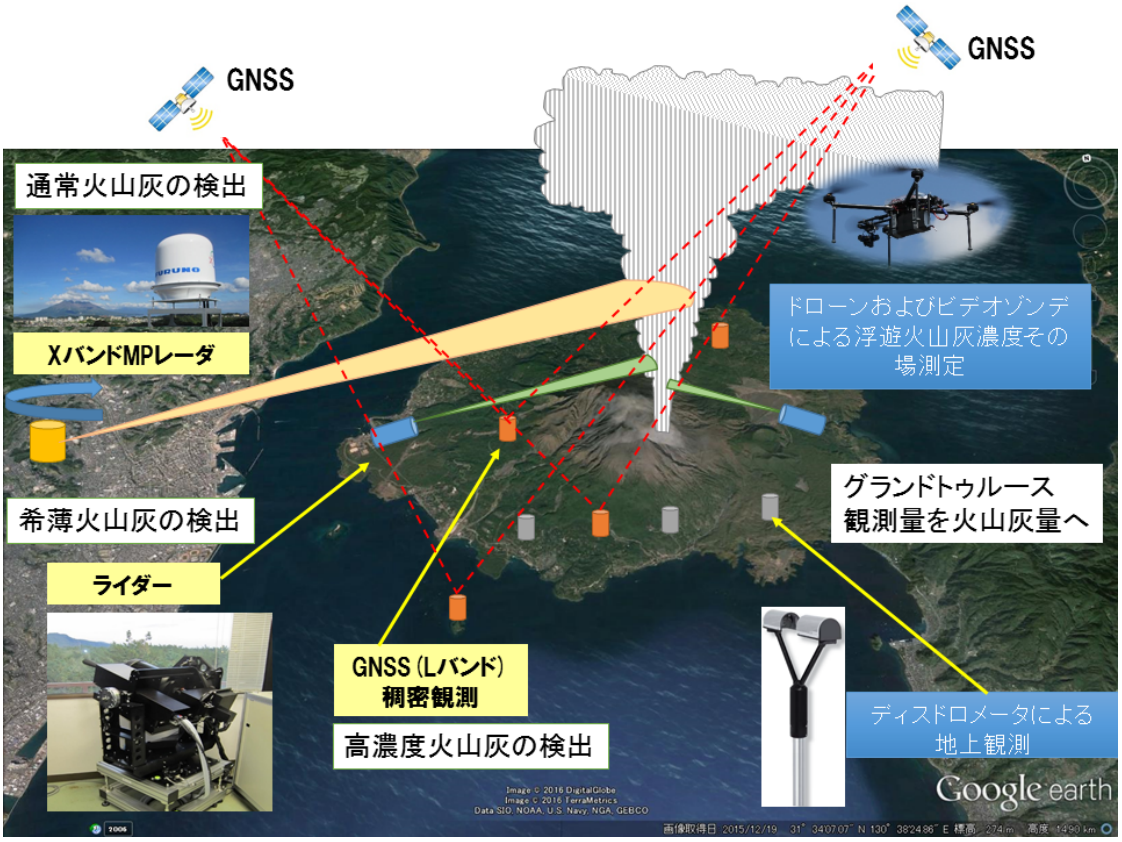


図 1　火山灰のマルチパラメータ観測の概要

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

桜島においてレーダー、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ドロメータを用いた地上観測からなる火山灰観測を継続した。図 1 にマルチパラメータ観測の概要を示す。平成 30 年度には桜島の北東方向の大隅半島に GNSS を 2 台、また、桜島島内にディスドロメータ 4 台を増設した。

a）レーダー観測

a1）　観測の概要

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、諏訪之瀬島を対象に、X バンド MP レーダーによる噴煙の連続観測を継続した。レーダーの設置場所は表 1 に示す通りである。また、走査の方位角等のパラメータは表 2 に示す。

表 1　レーダー基地局の場所

対象火山名	施設名	住所	レーダーの緯度、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225m
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44m
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105m
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65m
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, 30.176036 標高281m
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119m

表 2　レーダーの走査モード及びパラメータ

火山名	HSQ スキャン	セクターRHI スキャン	
	仰角（°）	方位角（°）	仰角範囲（°）
霧島山	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40	50～80	6～30
桜島(火山活動研究 センター)	設定なし	95～115	11～45
桜島 （錦江湾高等学校）	2, 5, 10, 15, 20, 25, 30	設定なし	
薩摩硫黄島	5, 10, 15, 20, 30, 45, 60	設定なし	
口永良部島	5, 10, 15, 20, 25, 35, 45	115～135*	4～60*
諏訪之瀬島	10, 15, 20, 30, 40, 50, 60	設定なし	

HSQ スキャンは、水平面での走査、セクターRHI スキャンは鉛直断面での走査である。
*口永良部島は 2018 年 8 月以降、セクターRHI スキャンで観測を継続している。

レーダーの設置状況を図 2 及び図 3 に示す。



図 2　レーダーの設置状況。鹿児島県立錦江湾高等学校に設置したもの。

使用したレーダーは古野電気（株）製 WR-2100 である。中心周波数は 9432.5MHz、空中線出力は 100W であり、およそ 30km の範囲を観測することが可能である。レーダーの観測範囲を図 4 に示す。データ収録装置（PC）により、制御され、生データはハードディスクに収録される。PC により雨量データに変換され、雨量データは火山活動研究センターのサーバーに転送している。レーダーの生データはデータ量が大きいので、定期的にハードディスクを交換した。



図 3　レーダーの設置状況。霧島市立牧園中学校に設置したもの。



図 4　X バンド MP レーダーの観測範囲

a2)　霧島新燃岳噴火

平成 30 年度は、対象とした 6 火山のうち、霧島新燃岳、桜島、口永良部島、諏訪之瀬島の 4 火山において噴火が発生した。

霧島新燃岳では 2018 年 3 月から 4 月にかけてブルカノ式噴火が頻繁に発生した。2018 年 3 月 9 日 15:58 のブルカノ式噴火では、気象庁の設置した監視カメラの映像から噴煙高度は火口縁上 3200m（海抜高度 4633m）に達したことが分かっている。この噴煙に対応するレー ダー反射強度分布の高まりは海抜高度 5000m 程度に達している（図 5）.

2018 年 4 月 5 日には 3:31 と 3:45 にブルカノ式噴火があり、3:45 の噴火は連続噴火に移行し 7:15 まで継続した. 3:31 の噴火は監視カメラによる測定で噴煙高度は火口縁上 5000m（海抜高度 6431m）と確認されているが、 その後の 3:45 の噴火以降は山頂部上空の雲により噴煙高度は火口縁上 2500m（海抜高度 3932m）より上と推定されている.

図 6 に 3:31 の噴火時のレーダー反射強度分布と同時刻の監視カメラ映像を示す. 3:31 に発生した噴火のレーダー反射強度分布からみた噴煙最高高度到達時に 図 6 は対応しており、反射強度分布から噴煙高度は海抜 4000m 程度と推定出来るが、 監視カメラからの噴煙高度（海抜高度 6431m）より明らかに低い。

一方、3:45 の噴火は連続噴火に移行したが、反射強度分布からみた噴煙最高高度到達時のレーダー反射強度分布の鉛直断面（図 7a）と同時刻における監視力メラの映像（図 7b）を示す。噴煙は雲入りしており噴煙高度は監視カメラの映像からは把握することができないが、レーダー反射強度分布の高まりからは、噴煙は海抜高度 9000m に達したことがわか

る。なお、反射強度分布図（図 7a）では、上端部がシャープに斜めに切れているが、これはセクターRHI スキャンにおける仰角の最大値に対応しており、それより上部はスキャンしていないからである。この時の噴煙は、気象衛星ひまわり 8 号により観測されたデータの解析から火口縁上約 8000m（海抜高度 9431m）まで上昇したものと推定されている（福岡管区気象台・鹿児島地方気象台、2018）。レーダー反射強度から推定した噴煙高度海抜 9000m は衛星データから推定された噴煙高度におおむね一致している。

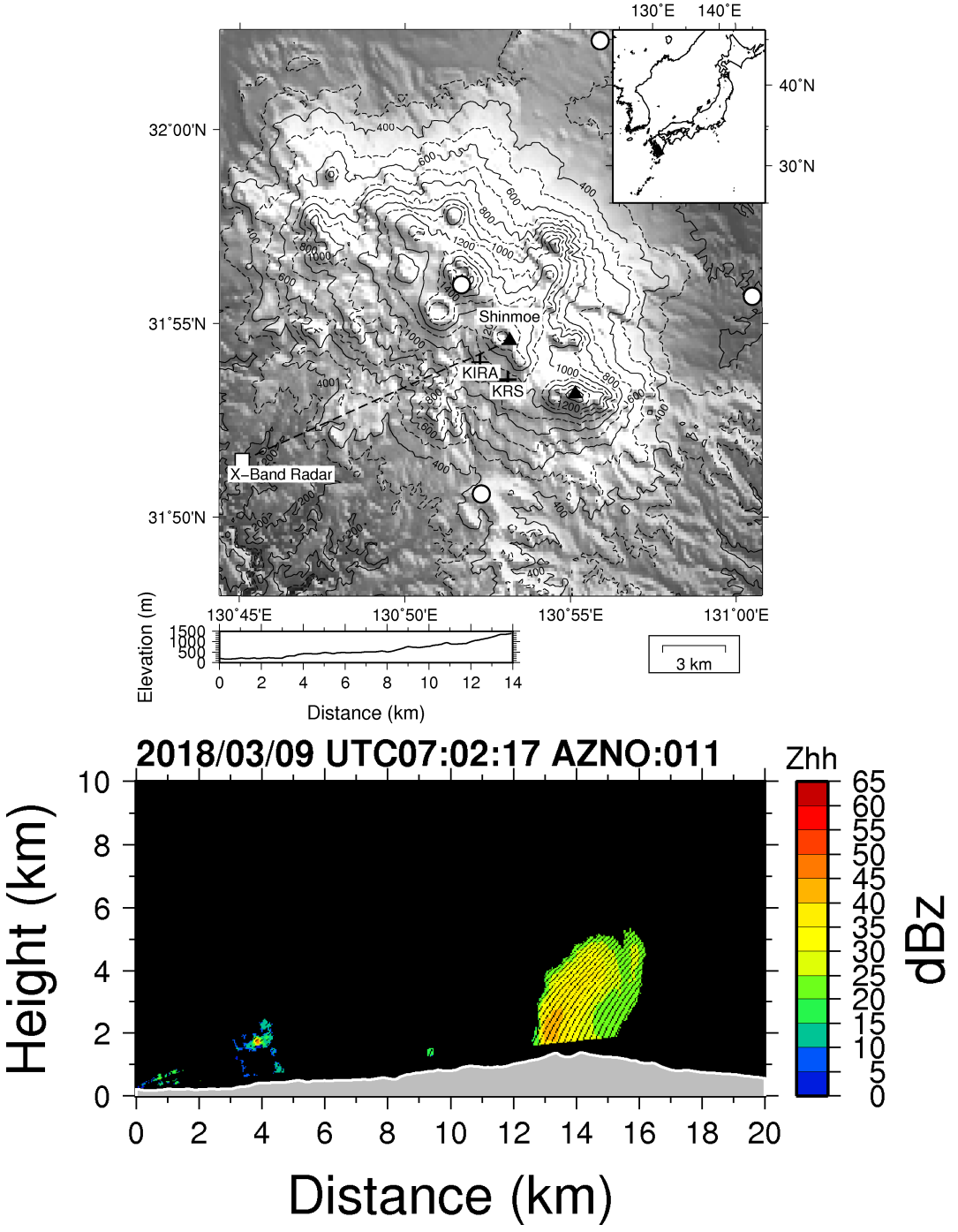


図 5　2018 年 3 月 9 日 15:58 に発生した霧島新燃岳噴火に伴う噴煙のレーダー強度画像。噴煙高度は火口縁上 3200m（海抜高度 4633m）と気象庁から報告されている。

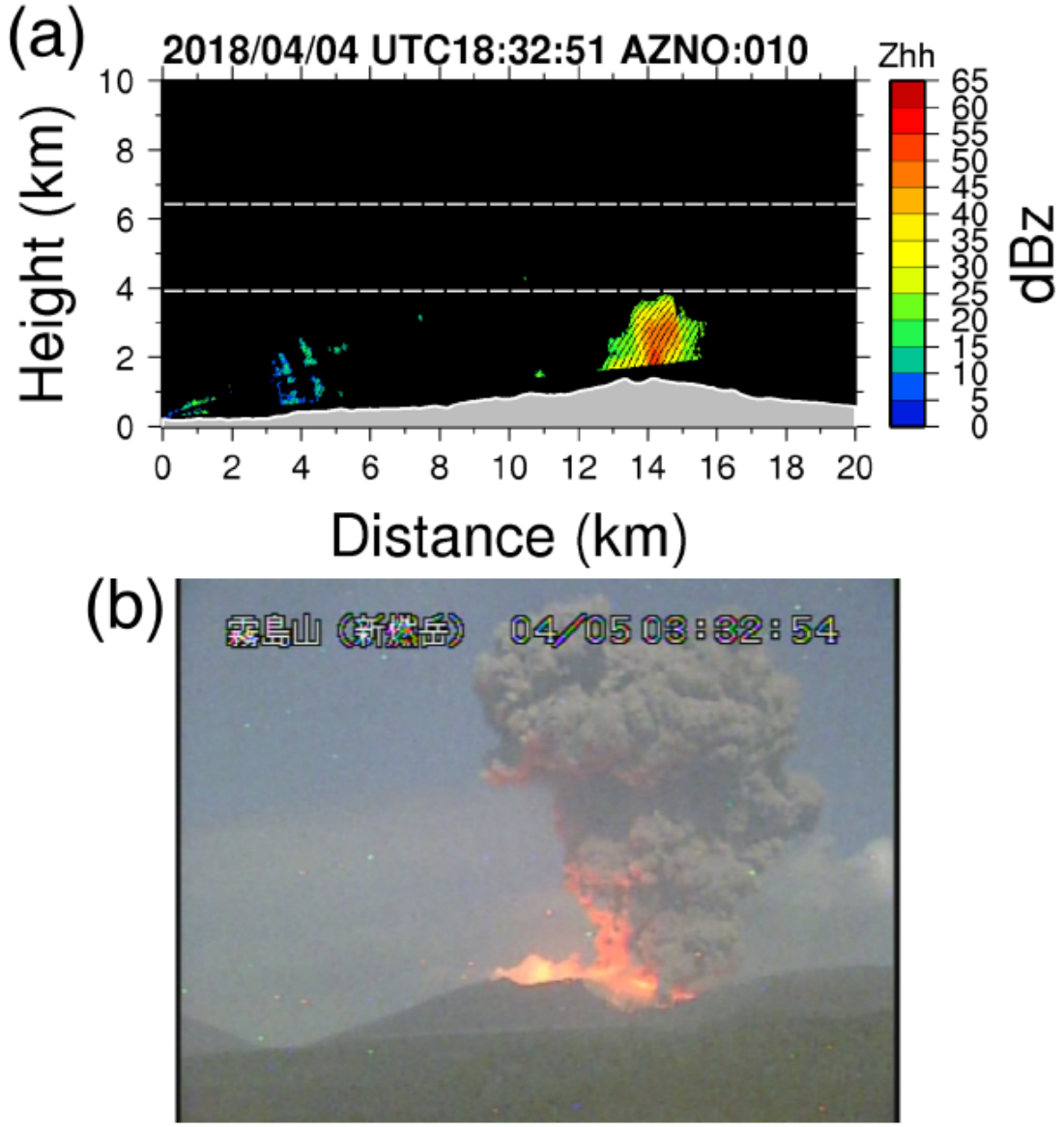


図 6　2018 年 3 月 9 日 3:31 に発生した霧島新燃岳におけるブルカノ式噴火に伴う噴煙のレーダー強度画像（a）および監視カメラ画像（b）。

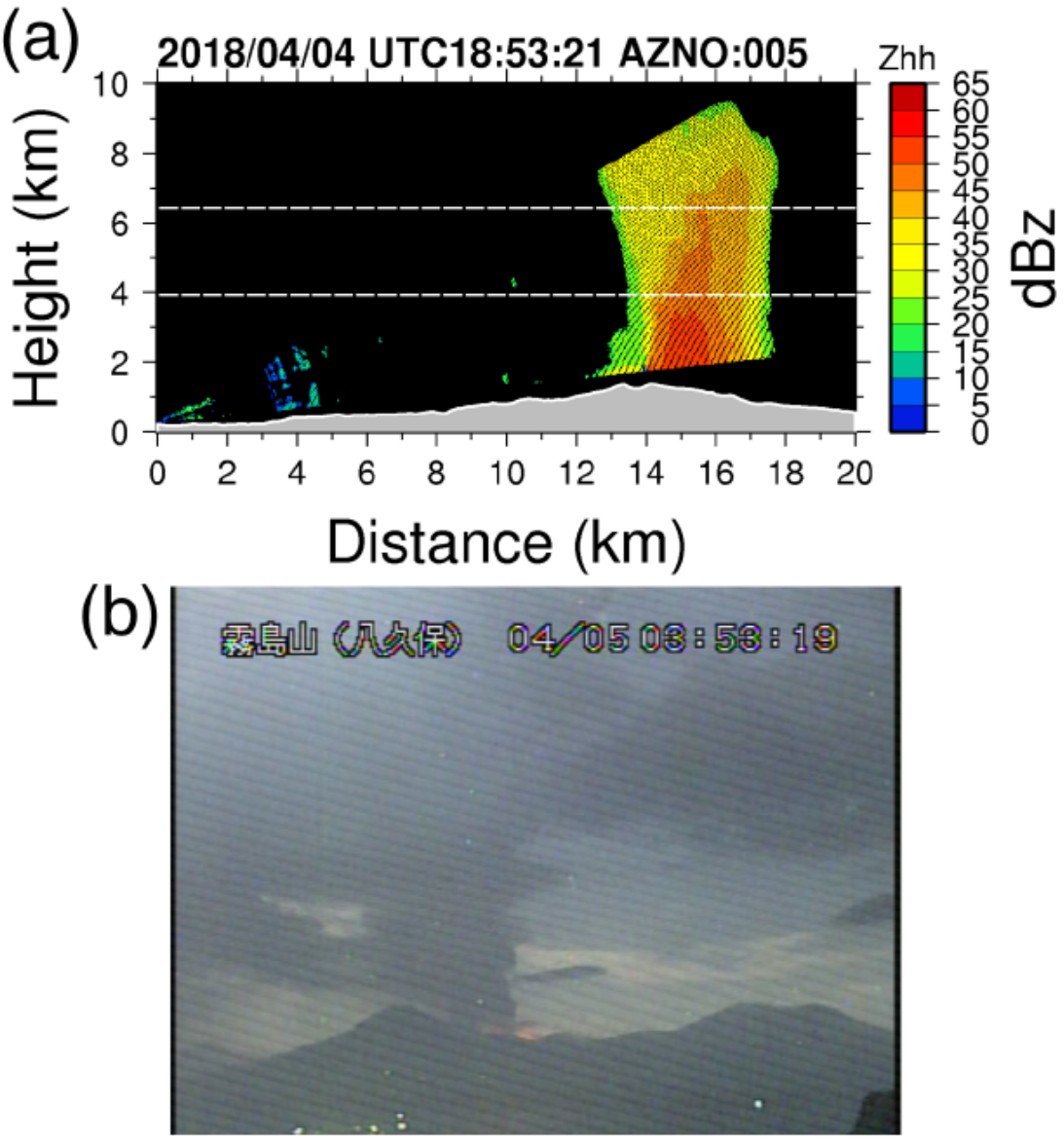


図 7　2018 年 3 月 9 日 3:45 に発生した霧島新燃岳におけるブルカノ式噴火に伴う噴煙のレーダー強度画像（a）および監視カメラ画像（b）。

a3)　桜島噴火

桜島においては 2018 年 4 月から 2019 年 3 月までに 259 回のブルカノ式噴火が発生している。そのうち、最大規模のものは 6 月 16 日 7:19 に発生したもので、噴煙は南岳の火口縁上 4700m（海抜 5700m）に達した。火山活動研究センターに設置されたレーダーでは、反射強度の高い部分が海抜高度 5000m に達したことがわかる（図 8）。また、反射強度の大きい部分の形状は噴火発生時の高度別の風向・風速をよく反映していると考えられる。鹿児島地方気象台の 09 時の高層気象観測によれば、海抜 3000m 付近までは東風であったが、海抜 4000m 以上では西風に反転している。レーダー画像でも海抜 3000m 以下の高反射強度部分は西向きに移動するのに対し、海抜 4000m 以上では、東向きに高速で移動していることがわかる。

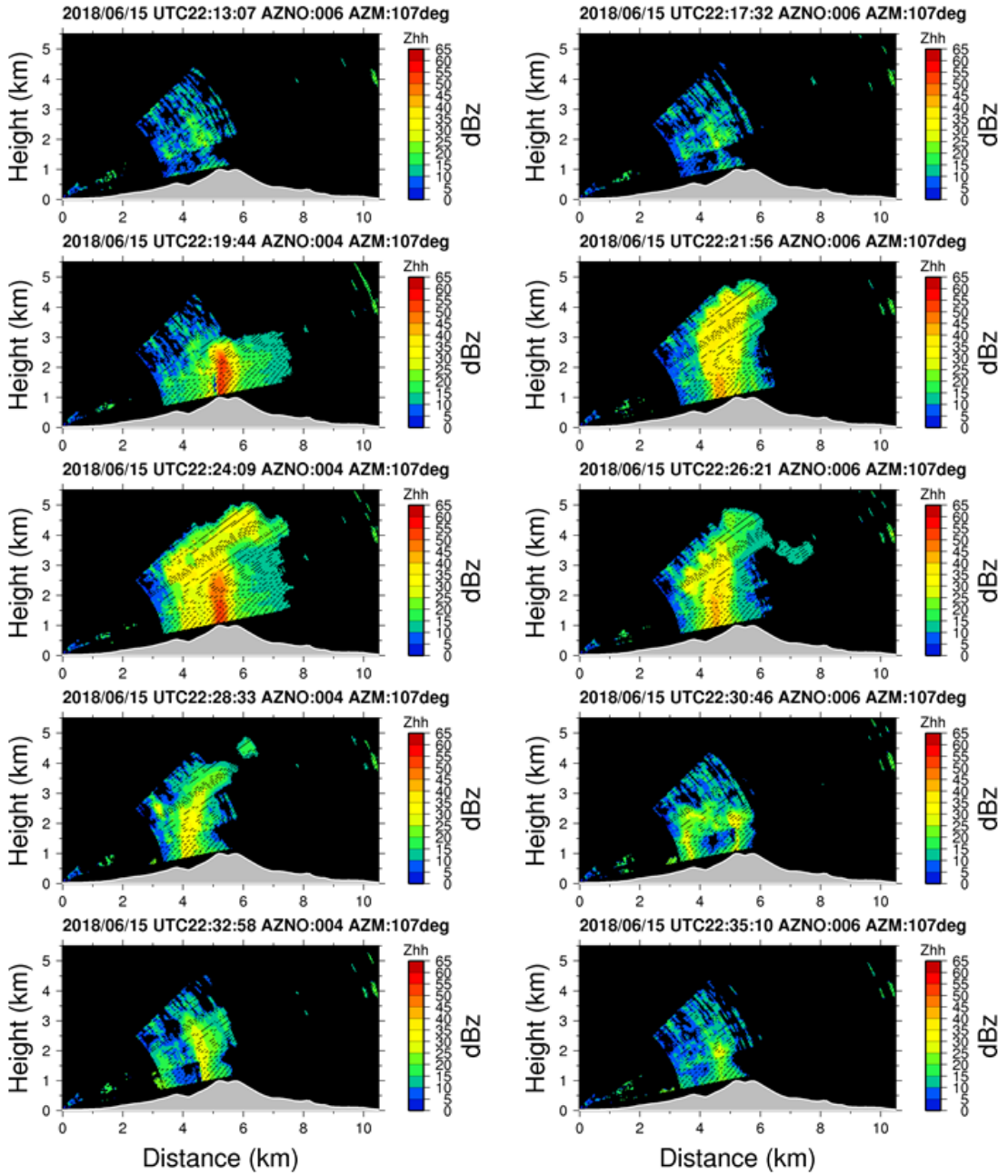


図 8　火山活動研究センターに設置したレーダーにより観測された 2018 年 6 月 16 日 7:19 に始まった桜島南岳におけるブルカノ式噴火発生に伴う噴煙の反射強度の時間変化。反射強度の東西方向の断面図（左が西、右が東）を示す。水平距離 0 にレーダーがあり、南岳火口は水平距離 5.6 km に位置する。

口永良部島では 2015 年 6 月 18 日の噴火から約 3 年間、噴火が発生していなかったが、2018 年 10 月 21 日から再び新岳火口において噴火が発生するようになった。10 月 21 日から 12 月 13 日までは、火山灰放出が連続的に発生した。この噴火は小規模で、噴煙高度もおおむね火口縁上 500m 以下と低高度にしか達していなかったので、口永良部島に設置したレーダー（図 9）では噴煙を捕捉することができなかった。

噴火活動は 2018 年 12 月 18 日のイベントを契機に爆発的となり、2019 年 2 月 2 日の噴火まで 5 回の爆発的な噴火が発生した。2018 年 12 月 18 日の噴火は 16:38 に始まり、火砕流の発生を伴った。同日発表の「口永良部島の火山活動解説資料」によると、噴煙は火口縁上 2,000m まで上がり雲に入ったとされているが、本受託研究で設置したレーダーでは雲の中の噴煙を捉えることができた。レーダー観測では噴煙柱は海抜 3,000m に到達し、さらに風に流されながら海抜 5,000m まで上昇したことが明らかになった（図 10）。噴火発生時の風向は北西であったので、レーダーのセクターRHI スキャンの視線方向である南東方向に噴煙は移流した。

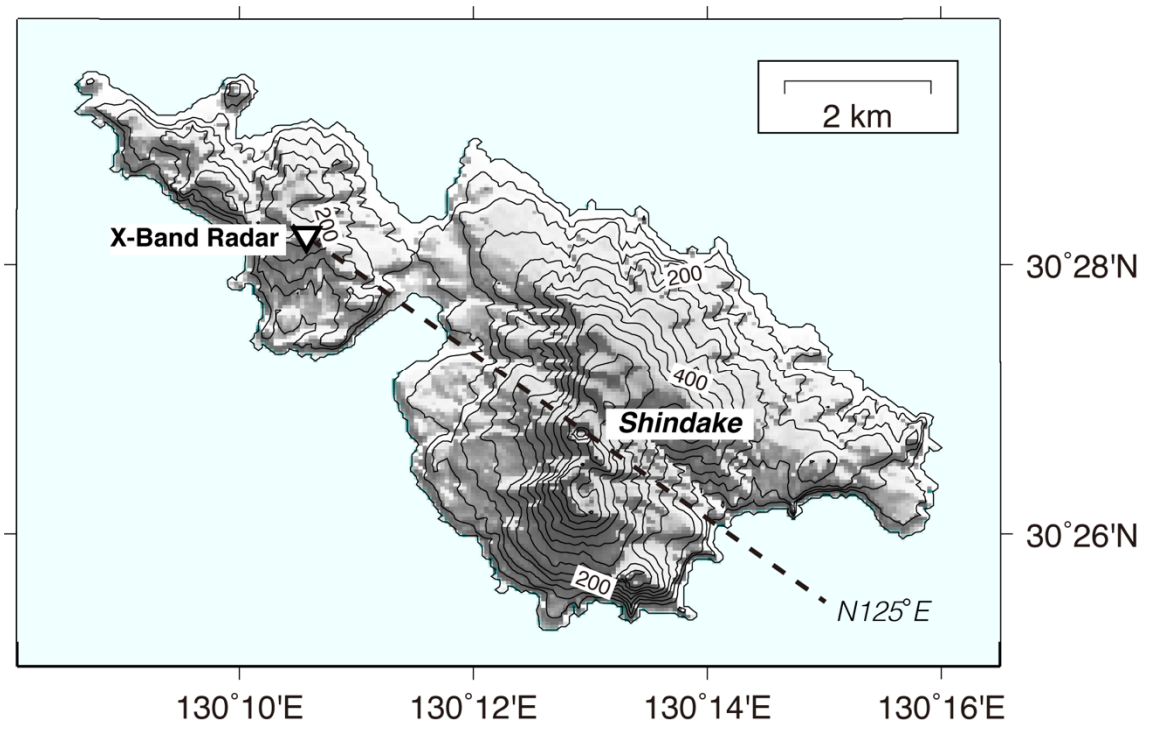


図 9　口永良部島に設置したレーダーと新岳火口の位置関係。レーダー（▽）は番屋が峰にある避難所の屋上に設置されている。レーダーからみると、新岳火口は方位角 N125° E、水平距離 4.7 km に位置する。

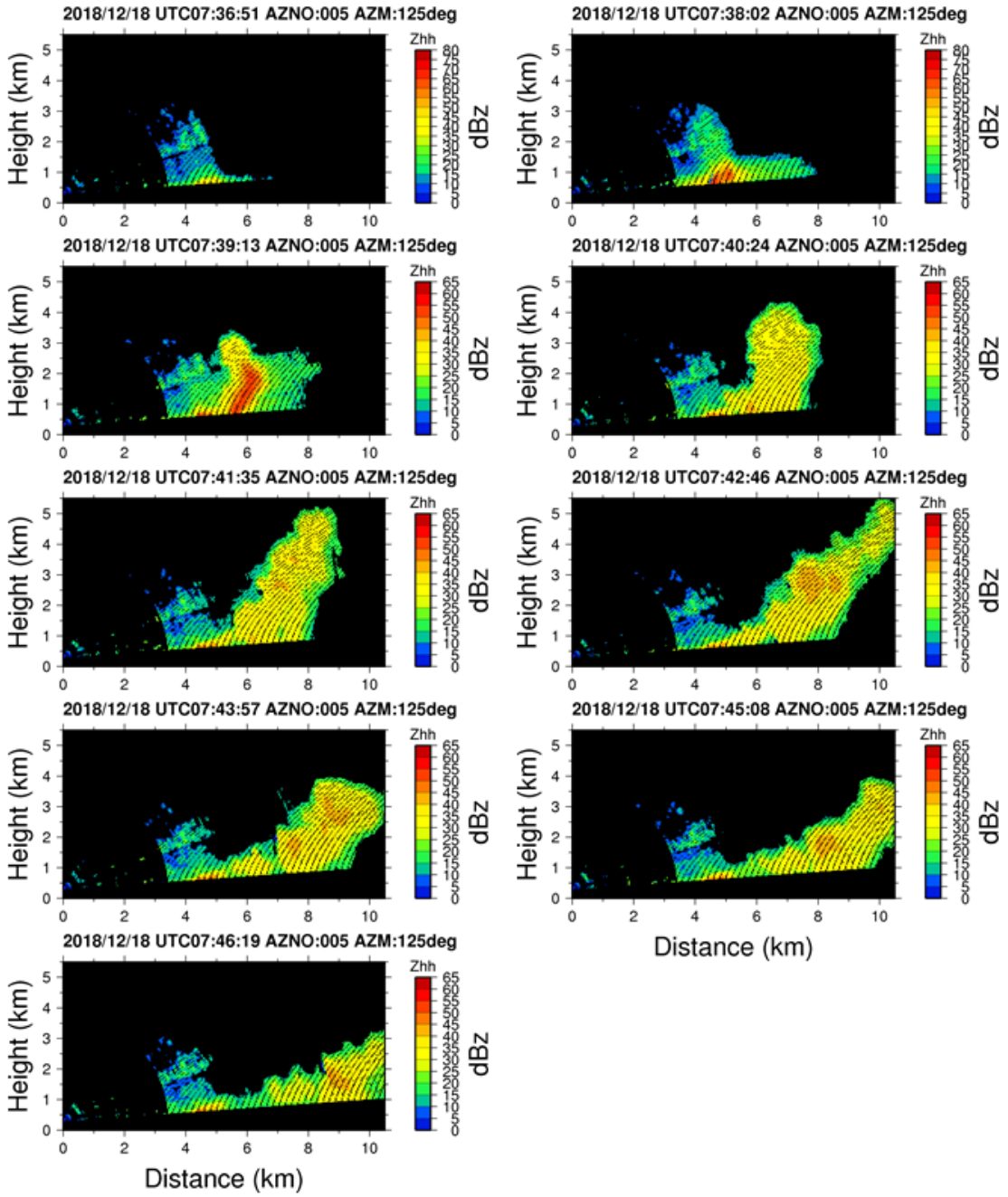


図 10　口永良部島の 2018 年 12 月 18 日 16:38 の噴火に伴う噴煙のレーダー反射強度の時間変化。反射強度の断面図を示し、水平距離 0 にレーダーがあり、新岳火口は水平距離 4.7 km に位置する。

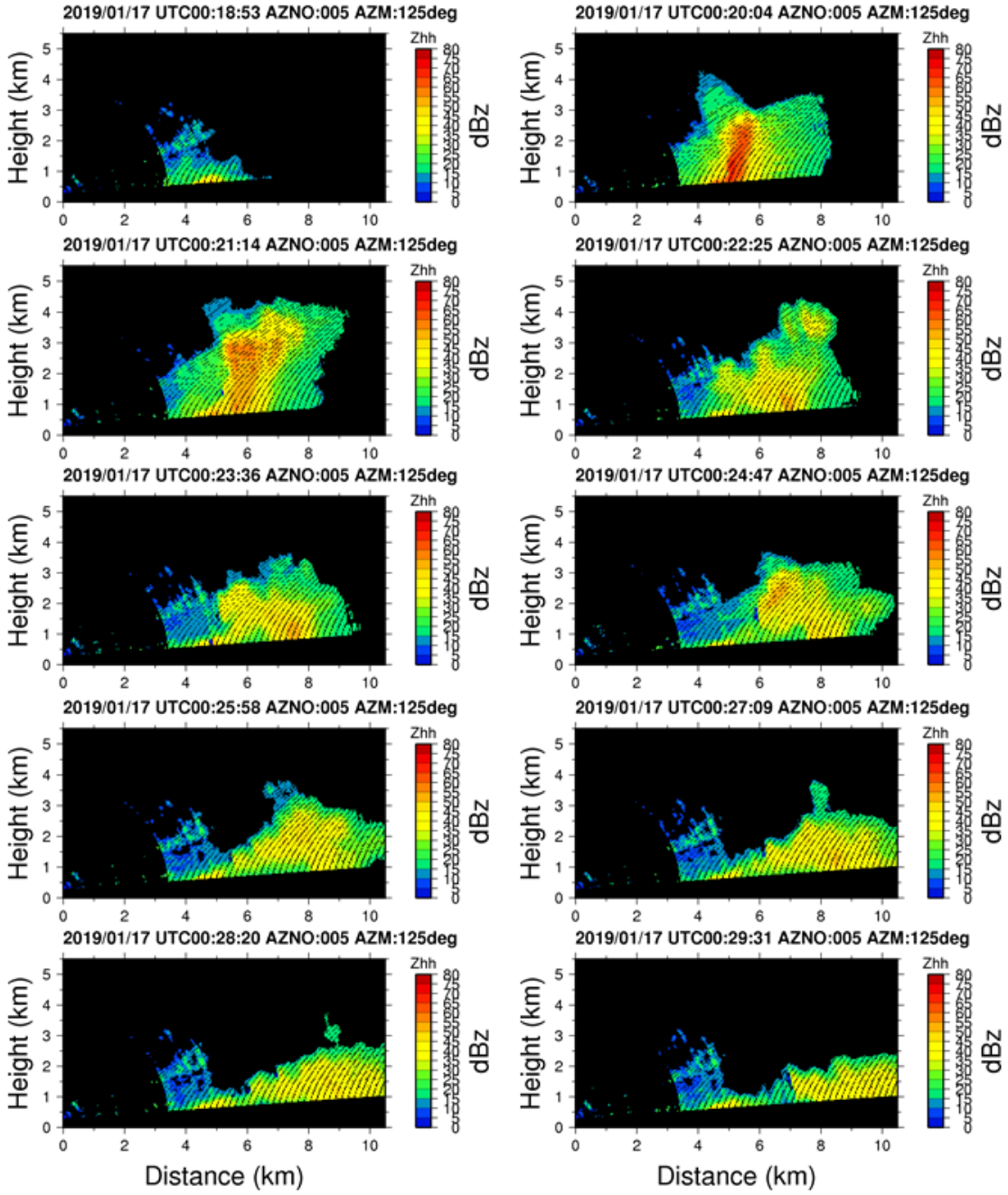


図 11　口永良部島において 2019 年 1 月 17 日 16:38 に発生した噴火に伴う噴煙のレーダー反射強度の時間変化。反射強度の断面図を示し、水平距離 0 にレーダーがあり、新岳火口は水平距離 4.7 km に位置する。

口永良部島では 2019 年 1 月 17 日 9 時 19 分にも噴火が発生し、火砕流を伴った。この時も新岳火口上空には雲がかかっていたので、噴煙は、新岳火口縁上 500 m まで上がり雲に入った（「口永良部島の火山活動解説資料」）。9 時 40 分の気象衛星画像では、新岳火口縁上約 6,000m の噴煙を観測したとされている。本受託研究で設置したレーダー観測では、反射強度の変化から噴火開始後 2 分で噴煙が海抜高度 4,000m に達したと推定される。この噴火の発生時でも風向は北西であったので、レーダーのセクターRHI スキャンの視線方向である南東方向に噴煙は移流し、レーダーの視線方向において反射強度の強い部分が降下

していくことがわかる。

このようにレーダーを使用することにより、火山の山頂付近が雲に覆われている場合でも、噴煙の高度やその形状を把握することが可能であることが示された。十分に高い高度に達した噴煙は人工衛星からも観測できるが、地上に設置したレーダーの使用は、即時的に噴煙高度を把握できることに最大のメリットがある。

b) ライダー観測

ライダーとは LIDAR = Light Detection and Ranging、Laser Radar の略であり、紫外から近赤外のレーザー光を用いて、エアロゾル観測を行う技術である。桜島では、Nd:YAG レーザー(30mJ, 10Hz)から発射される波長 532nm と 1064nm の光を火山噴煙に直接照射し、その後方散乱波を観測している。火山灰粒子（サブミクロン～数十μm 程度)からのミー散乱を観測しているので、得られるパラメータは粒子の消散係数と偏光解消度である。

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）に設置してある（図 16 参照)。方位角は南岳火口方向に固定し、桜島火山観測所では仰角 11°、黒神観測室では仰角 15°で観測を行っている。データを国立環境研究所へ毎時転送し、自動初期解析とグラフ化を開始した。結果を 1 日単位の図として以下のサイトで公開している。

http://www-lidar.nies.go.jp/Sakurajima/fig

b1) 浮遊火山灰濃度分布の統計解析

桜島火山観測所に設置された 2 波長偏光ライダーによる 2018 年 1 月から 11 月の観測データから粒子の光学特性の一種である消散係数を導出し、その気候学的な解析を行った。ある空気塊の消散係数は、その空気塊に含まれる粒子の粒径分布や複素屈折率にも依存するが、概ね粒子の表面積の総和に比例するもので、遠隔計測手法における粒子濃度の指標となる。ライダーの 532nm 観測結果から粒子の 532nm 消散係数(距離の関数)を計算し、観測所から距離毎に月平均値を求めた。その結果と、鹿児島気象台から公開されている「桜島の火山活動解説資料」に含まれる月毎の噴火回数・爆発的噴火回数・降灰量・降灰日数とを比較した。それらの結果を図 12 に示す。まず消散係数は火口付近では 5-7 月にピークとなるのに対して、観測所付近では 7-8 月にピークが見られる。これは近距離のエアロゾル濃度が火口付近の濃度と直接対応しておらず、上空の風による輸送プロセスが季節によって異なることとより強い関連があることを示している。鹿児島気象台における 2018 年風向別観測回数によると 7-8 月に南岳から観測所に向かう南東風の観測回数が最も多く、近距離の消散係数に見られるピークはこれと一致する。実際には気象台で記録される地上風のみならず、火口高度までの風系全体が輸送に影響するため、ウインドプロファイラー等による上空の風速観測結果との対比が今後の課題と考えられる。

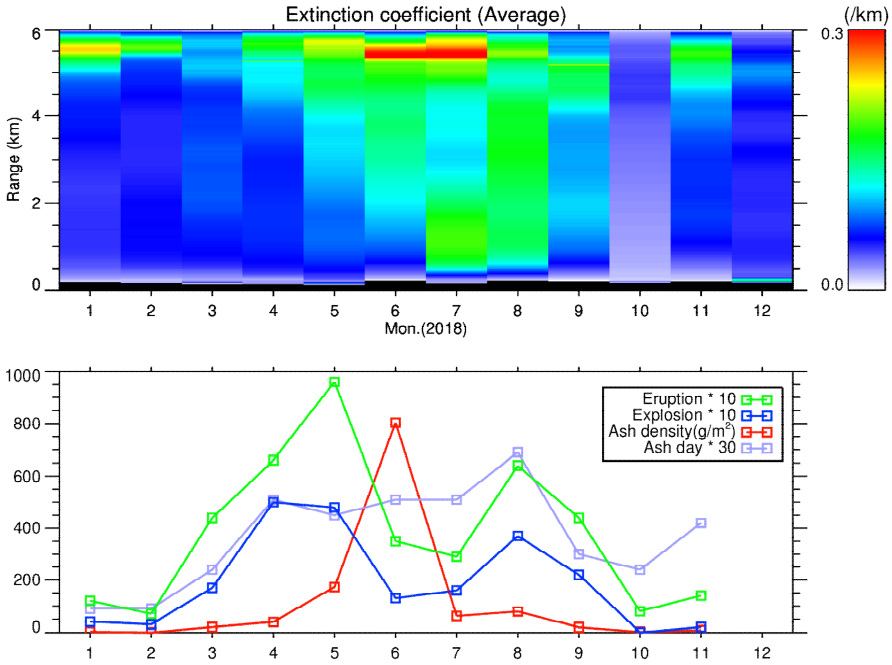


図 12　2018 年 1 月から 11 月までの距離別月平均消散係数(上段)と、火山活動関連データ(下段、緑:噴火回数、青・爆発的噴火、赤・降灰量、紫:降灰日数)との対応。

b2)　2 波長比による考察

ライダーでは 2 波長(可視 532nm と近赤外 1064nm)で観測を行っている。両波長は、1μm 以上の粒子に関しては同じような感度を持つが、サブミクロンの粒子に関しては 532nm の感度が高く、1064nm の感度は低い。ある空気塊にサブミクロン粒子が多く含まれている場合、532nm の消散係数が 1064nm のそれよりも大きくなり、ある区間における信号の減衰が強くなる。即ち、一定の距離をおいて 2 波長の信号を比較して遠方で 532nm が弱くなっている場合、その区間でサブミクロン粒子が卓越している可能性がある。この傾向を調べるため、2018 年 6 月 16 日の距離 2-3km 区間のデータについて、2 波長比の変化度合いを調べた。図 13 は午前 0 時から午後 11 時まで毎正時におけるプロファイルを利用し、2-3km 区間内各距離における 532nm・1064nm の後方散乱強度を横軸・縦軸にプロットしたものである。この区間内で粒径分布が一様であるとすると、もしサブミクロン粒子が少なければ 2 波長の減衰は同程度となって、後方散乱強度の比はほぼ一定、即ち散布図においては 1:1 の直線に沿ってデータが分布する。これに対して、この直線と離れる分布を示す場合には、532nm での消散が強い、即ちサブミクロン粒子が多いことが示唆される。この日の結果では 14-15 時に直線からやや離れるデータが見られた。この日は午前 7 時台に噴火があったため、数時間後の観測では噴火直後と異なり相対的に小さな粒子が卓越した空気塊が観測されることは不自然ではない。今回、特定の日の距離 2-3km における相対的な強度比の変化に注目して解析を行ったが、今後はより定量的な表現方法を工夫し、長期間・広範囲のデータに対してこのような処理を実施することが火山灰粒子の特性を捉える上で重要である。

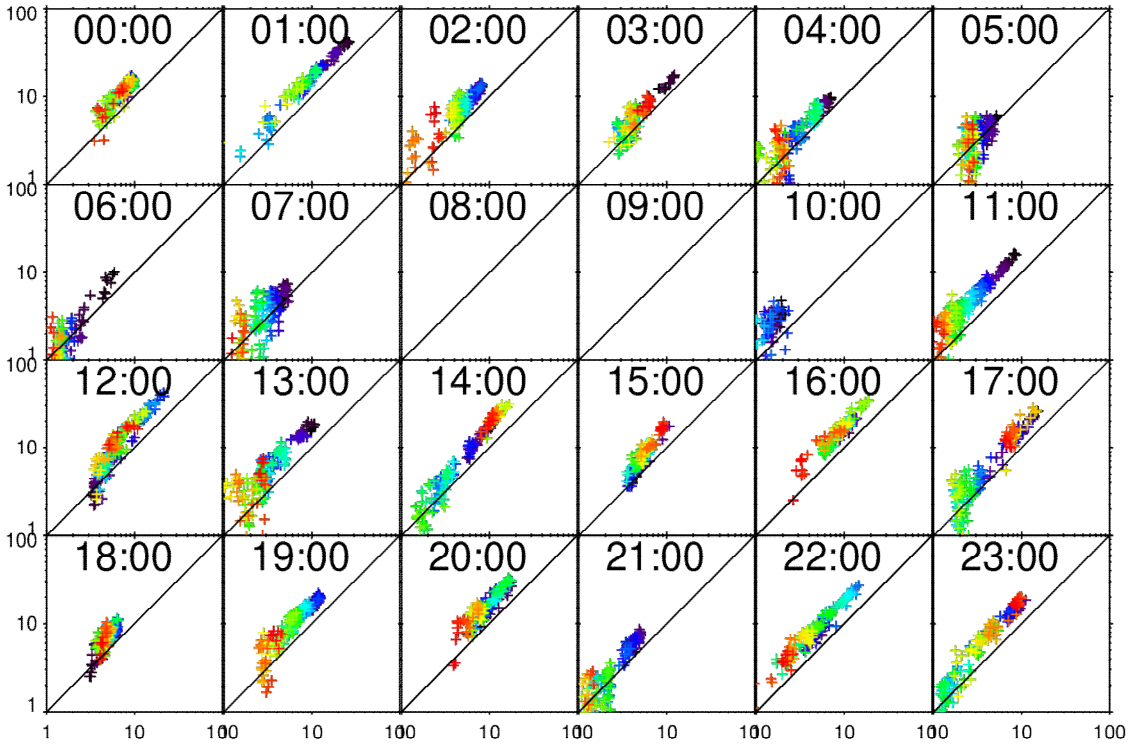


図 13　2018 年 6 月 16 日の毎正時における 2-3km 区間の後方散乱強度散布図(横軸･532nm、縦軸・1064nm)。左上から右に 0-5 時、その下段が 6-11 時、最下段右端が 23 時。各点の色は距離 2km から 3km に向かって寒色から暖色へと変化させている。データ点が斜め実線と平行であれば 2 波長比が一定であることを示す。

b3)　レーダー・ライダー同時観測

2018 年 6 月 16 日の噴火について、レーダーとライダーの視線方向が重なった時間の観測結果を比較し、両者の差異について考察を行った。図 14 は、日本時間 07:19 および 07:32 における方位角 102 度のレーダー反射強度距離高度断面図とライダー強度図である。まず、噴火直後の 07:19 においては、レーダー観測範囲の最下層で 30dBz の信号が受かっている水平距離 5km 付近でライダーの信号強度も最大となっている。この時点では粗大粒子に感度が高いレーダーと微小粒子にも感度があるライダーとでピークが一致していることから、噴煙のピークの手前にはほとんど粒子が存在しないクリアーな状況であることが理解できる。一方 07:32 には、レーダー反射強度が 30dBz となるラインは依然水平距離 5km 付近に見られるものの、ライダーの後方散乱信号は水平距離 1.8km で最大となり、その先では強く減衰している。即ちこの時間には、レーダーでは感度がなくライダーでは感度の高い粒子(粒径数十μm 以下)が観測所と火口の間に大量に浮遊し、可視光での消散係数が増大していることが分かる。これは顕著な例であるが、このように波長帯が異なる遠隔計測手法を組み合わせることによって、観測地点から火口に至る線上での粒子サイズ分布に関する情報を得ることが可能である。

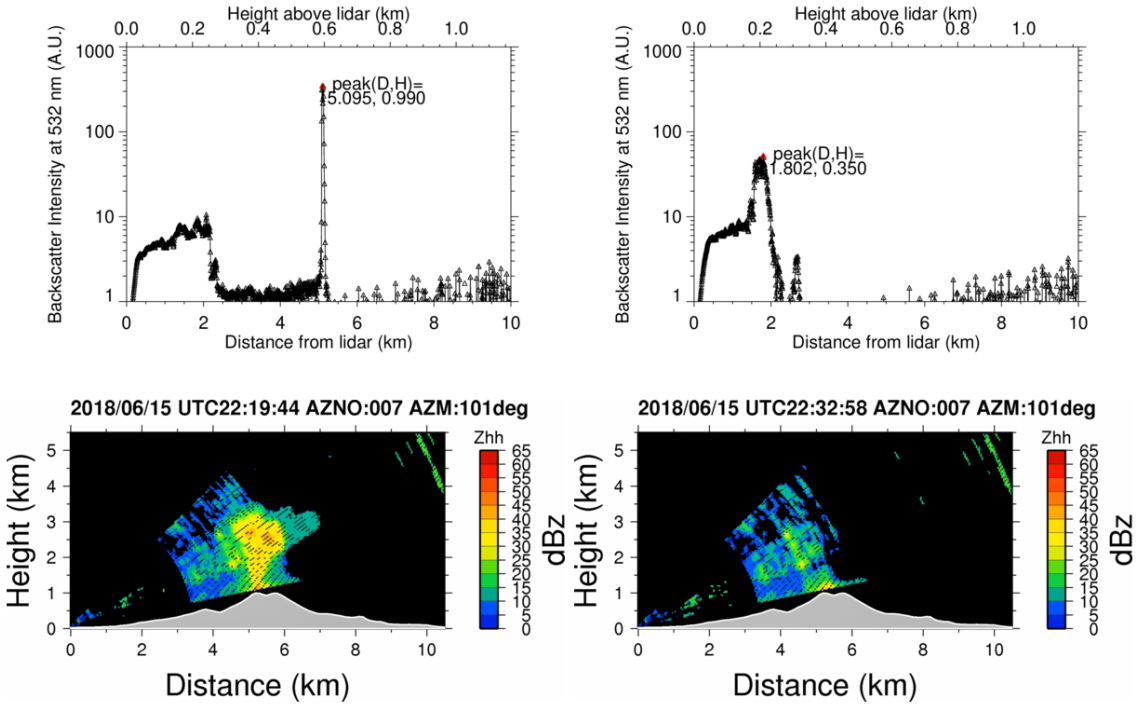


図 14　観測所から南岳火口付近を指向したライダーの 532nm 後方散乱強度(上)と、同じ方向のレーダーによる反射強度の距離高度断面図(下)。時刻は日本時間 2018 年 6 月 16 日午前 7 時 19 分(左)および同 32 分(右)。上段の図では後方散乱強度が最大となるデータ点を赤で示し、ライダーからの水平・鉛直距離を図中に示した。

c）GNSS 観測

GNSS 衛星からの電波は噴煙を通過すると伝播遅延が生じ、位相残差として検知されること（Ohta and Iguchi, 2015）[1]や SN 比が低下することが知られている（Larson, 2013）[2]。桜島において発生する噴火についても噴煙高度が 4000m 以上に達する比較的規模の大きい噴火については、位相残差や SN 比の低下が観測されている。また、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]。このように、GNSS 観測は噴煙の検知にも活用可能である。

桜島および桜島南岳からおよそ 50km の範囲における GNSS 観測点の配置を図 15 に示す。日本列島では西風が卓越するので、火山灰は東方向に移流することが多い。平成 29 年度には桜島の東方の大隅半島側に 4 点の GNSS 観測点を設置した。平成 30 年度は、大隅半島側にさらに 2 点の GNSS 観測点を増設した。

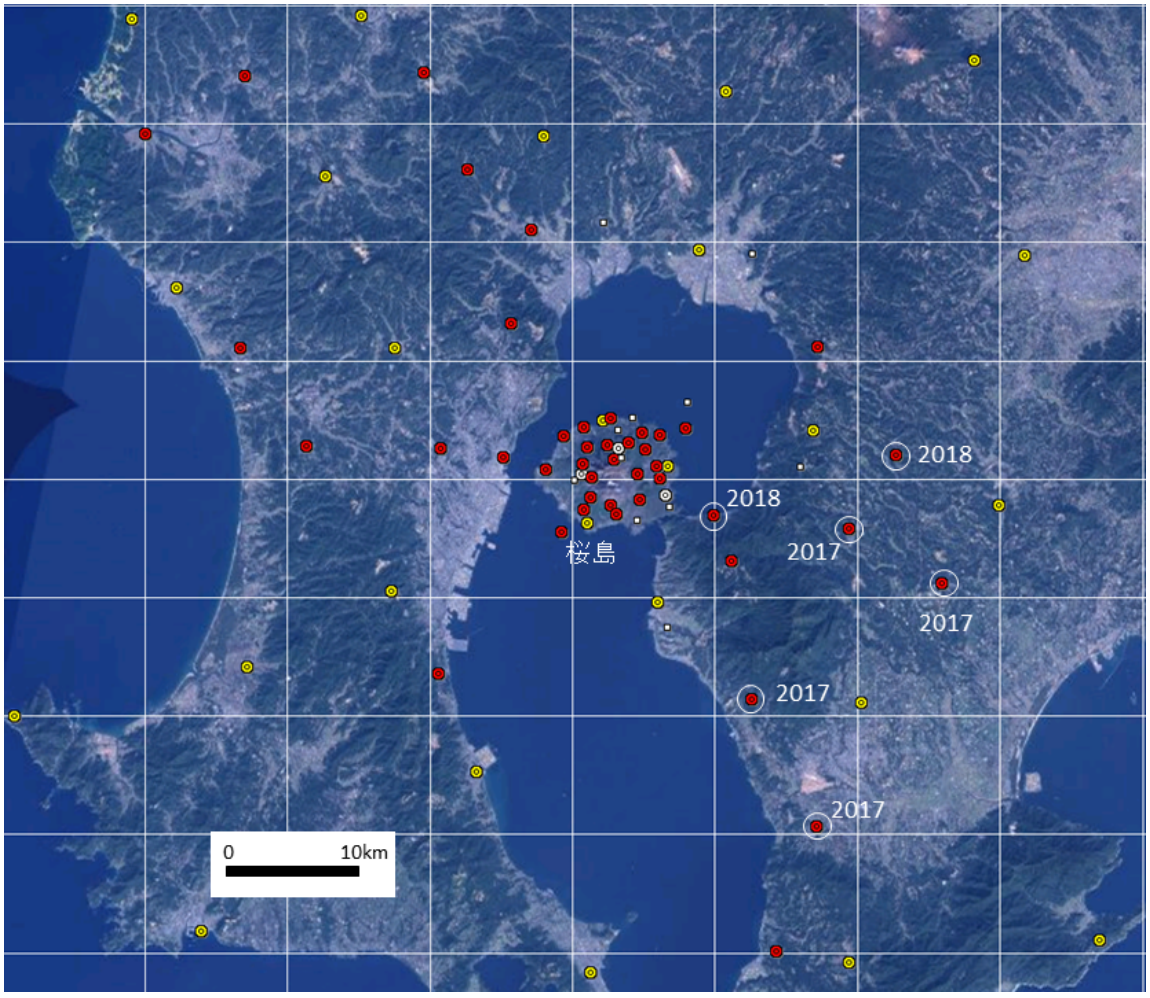


図 15　桜島およびその周辺における GNSS 観測点の配置図。黄丸は国土地理院の電子基準点。赤丸は京都大学防災研究所が設置した観測点。赤丸を白円で囲んだものが本プロジェクトで設置した観測点で、“2017”、“2018”は平成 29 年度及び 30 年度設置分を示す。

d) ディスドロメータによる地上観測

d1)　ディスドロメータによる地上観測の概要

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 よりも落下速度が大きい側にプロットされることが予想される。一方、実際に降下火山灰をディスドロメータで観測したところ、予想に反し、Gunn-Kinzer line よりも落下速度が小さいものが多いものが多いことがわかり、Gunn-Kinzer line と異なる粒径－落下速度分布を示すことがわかった。粒径－落下速度分布の相違から雨粒と火山灰粒子の識別が可能であることが示された。

ディスドロメータの桜島における位置図を図 16 に示す。各観測点では、時間雨量相当量、粒子数、センサーの温度、電源電圧に加え、粒径毎の 32 クラスと落下速度毎の 32 クラス、合計 1024 クラスに分けた粒子数が 1 分毎に記録される。いずれの観測点もオンラインによるデータ取得が可能である。平成 28 年度は 6 台、平成 29 年度は 4 台のディスドロメータを設置したが、平成 30 年度は、火口から距離による粒径分布特性を調査するために、南岳火口から西方には直線的にディスドロメータを配置した。

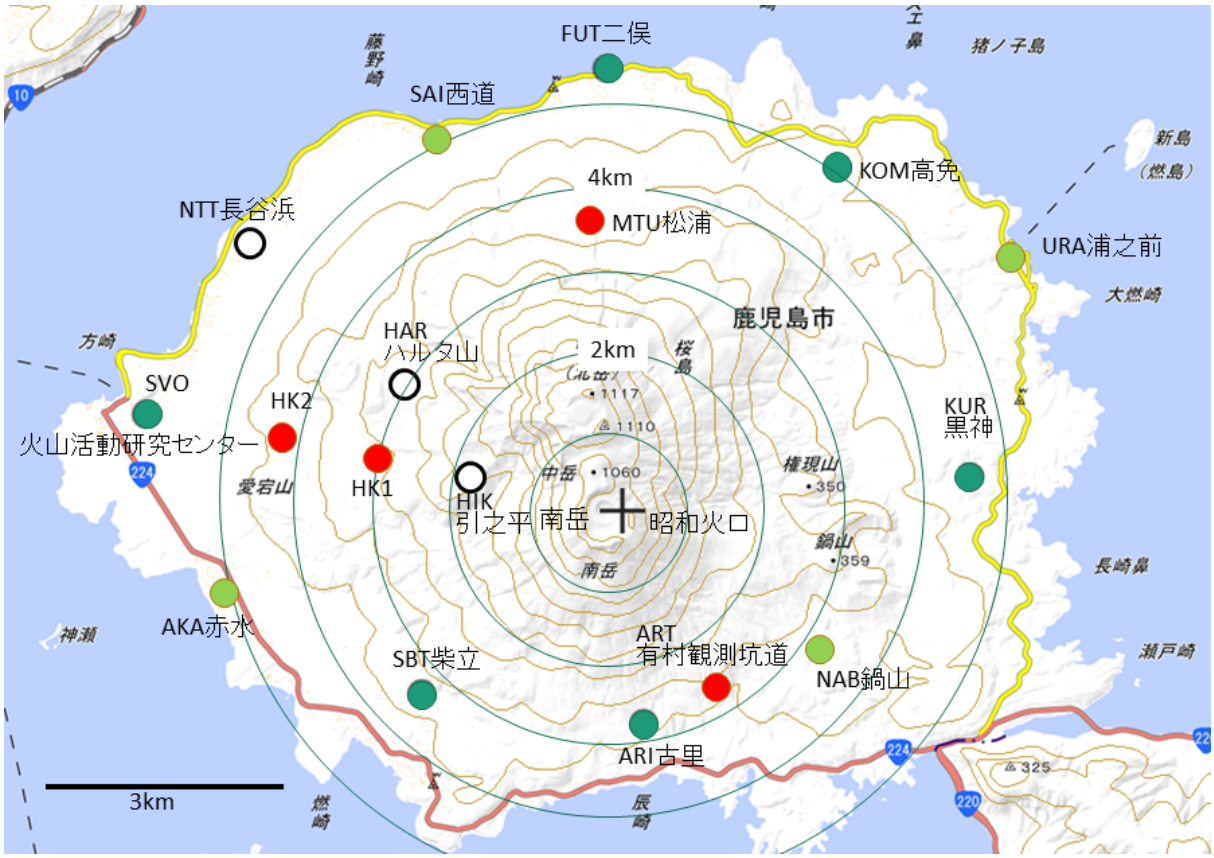


図 16　桜島におけるディスドロメータの位置図。緑丸：28 年度設置、黄緑丸：29 年度設置。赤丸：30 年度設置。白丸は他のプロジェクト。

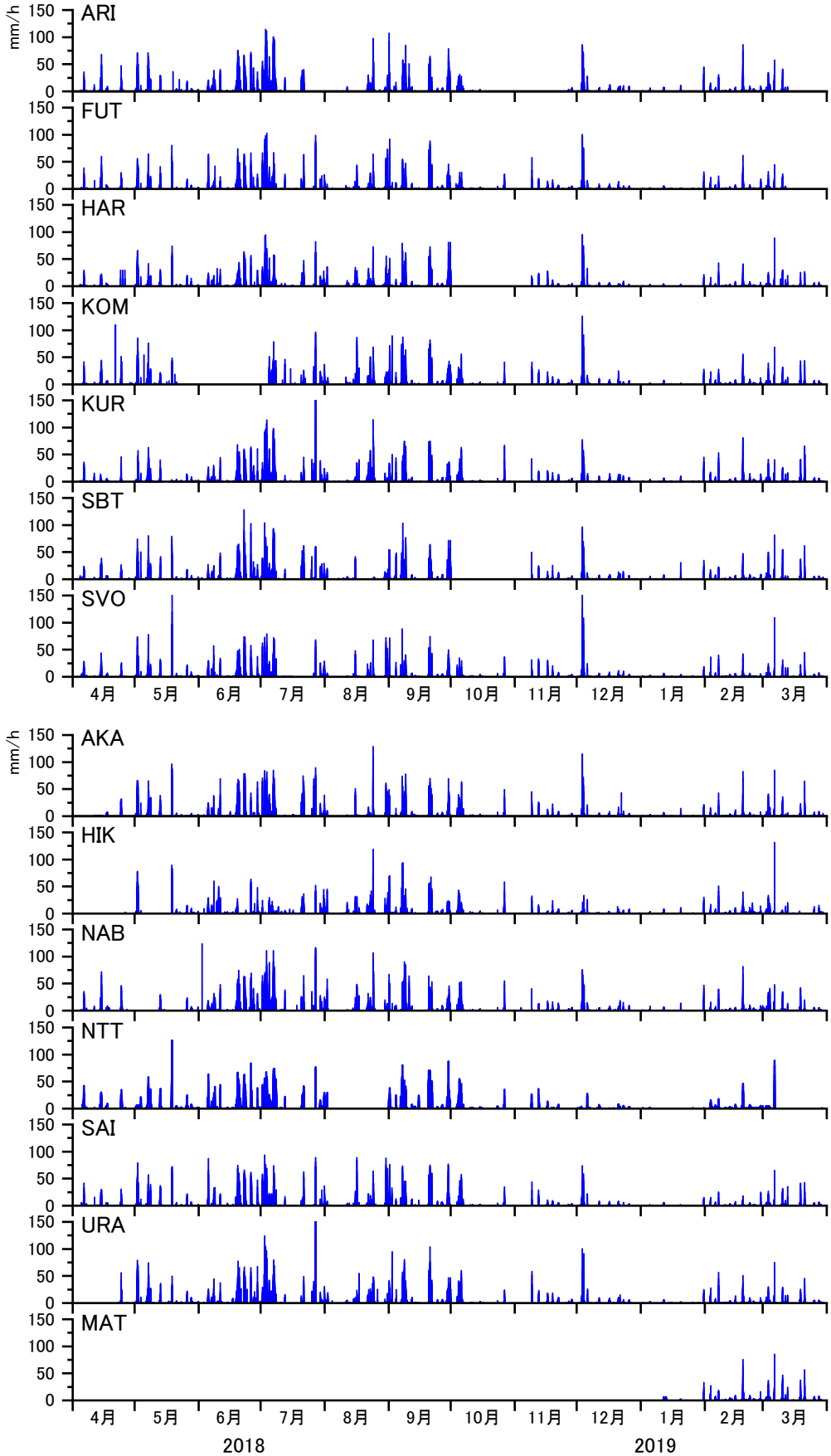


図 17　ディスドロメータにより観測された時間雨量相当量

d2) ディスドロメータ観測による降灰量の時間変化

一次元ディスドロメータは、降雨観測に用いられることが多く、時間雨量相当量を出力する。2018 年 4 月 1 日～2019 年 3 月 31 日までの時間雨量相当量の推移を図 17 に示す。時間雨量（1 分間の瞬時値）の最大値は浦之前で 226mm/h を記録しており、浦之前観測点では 100mm/h を超えたものが 17 分間あった。

ディスドロメータで観測される粒子の多くは、雨滴であるので、その中から降灰によるイベントを抽出した。ディスドロメータの全出力から降雨によるものを除き、さらに、明らかにノイズと考えられるものを除去した。火山噴火は爆発地震や火山性微動などの地震動を伴うことが多いので、降灰時の時間雨量相当量と地震動の RMS 振幅を比較して、代表的な降灰イベントについて、図 18～図 24 に示す。

2009 年から 2017 年 10 月まで昭和火口において噴火が頻発していたが、2017 年 10 月 31 日から南岳において噴火が発生するようになった。2018 年 4 月以降の噴火はほとんど南岳において発生したものであり、空気振動や弾道岩塊の放出を伴うブルカノ式噴火と噴煙の上昇のみを伴う非ブルカノ式噴火に分けられる。ここでは、非ブルカノ式噴火は単に噴火とする。

2018 年 6 月 10 日には 11:35、11:58 に噴火が、14:22 にはブルカノ式噴火が発生した。11:35 に発生した噴火後に、11:50 から引之平において降灰が観測され始め、11:52 にはピークに達した（29mm/h、図 18）。また、12:03 からはハルタ山においても降灰が観測され始め、12:08 には降灰量のピークに達した。11:58 にも噴火が発生したが、11:35 の噴火では噴煙高度が火口縁上 3500m に達したが（気象庁噴火に関する火山観測報）、11:58 の噴火では噴煙高度は 1800m と報告されており、噴火に伴う降灰は識別できない。14:22 にはブルカノ式噴火が発生し、引之平では 14:33 から、ハルタ山では 14:42 から降灰が観測され始めた。引之平では 14:42 に時間雨量相当量 50mm/h の降灰が検知された。この量は 11:35 の噴火よりも多い。気象庁の噴火に関する火山観測報によれば、火口縁上 1000m で雲入りとされているが、火山活動研究センターに設置した X バンド MP レーダーで観測された反射強度の解析によれば、少なくとも噴煙は 4000m に達しており、より規模の大きい噴火が発生したと考えられる。

2018 年 6 月 16 日 7:19 に発生したブルカノ式噴火の降灰強度の時間変化を図 19 に示す。この噴火に伴う噴煙は火口縁上 4700m に達し、火砕流も発生しており、2018 年に発生した噴火としては最大規模である。引之平では 7:29 に降灰が観測されたが、わずか 0.1mm/h であり、多量の降灰は赤水および柴立で観測された。赤水では 7:33、柴立では 7:34 から降灰が観測され始めた。赤水でのピーク値は 7:35 にあり、8.8mm/h に達したが、柴立におけるピーク値（1.8mm/h）は 7:41 と遅れている。図 16 に示すように赤水は柴立よりも南岳火口から遠方にあるが降灰開始時刻、ピーク時刻とも赤水の方が早いことは赤水が火山灰の主移流方向に位置していたことを示唆する。

2018 年 6 月 16 日 7:19 に発生したブルカノ式噴火は 3 段階のフェーズを経て進行したものと推定される（図 20）。それぞれのフェーズの始まり付近において地震動の振幅、空気振動振幅、地盤変動速度が増加している。これらのフェーズに対応した降灰量の時間変化が赤水のディスドロメータで 15 分程度遅れて見られる（図 21）。これらの変化は噴出率の時間変化に対応したものと考えられる。

2018年7月9日の噴火による降灰時の引之平およびハルタ山における時間雨量相当量と地震動のRMS振幅を図22に示す。この噴火の噴煙高度は1300mとされるが、引之平におけるピーク時間雨量相当量は12mm/hに達しており、噴煙高度が低い割に降灰量は多い。

2018年7月16日のブルカノ式噴火による降灰時の引之平および赤水、ハルタ山における時間雨量相当量と地震動のRMS振幅を図23に示す。この噴火の噴煙高度は火口縁上4600mに達しており、2018年の噴火としては、6月16日の噴火に次いで、噴煙高度が高い。この噴火は長時間継続しており、降灰がディスドロメータで観測されている時間も長い。赤水では23分間、降灰が検出された。また引之平では間欠的に39分間、降灰が観測された。

図16に示すように南岳を取り囲むようにディスドロメータを設置しているが、1回の噴火では同時に火山灰が検出できるのは多くの場合1観測点のみであり、多くても3観測点である（図19、23)。図24に示した例は1回の噴火で5観測点において降灰を検知できた例である。噴火は6月9日の21:27に始まり、約40分間継続した。降灰を検知し始めた時間は、引之平で21:38、ハルタ山で21:41、長谷浜で21:48、西道で21:52、火山活動研究センターで21:58と、南岳火口からの距離が離れるにつれて、降灰開始時間が遅れることがわかる。また、地震動のRMS振幅の時間変化から2つのフェーズが識別できるが、それぞれに対応する時間雨量相当量のピークが引之平、ハルタ山、長谷浜で識別できる。

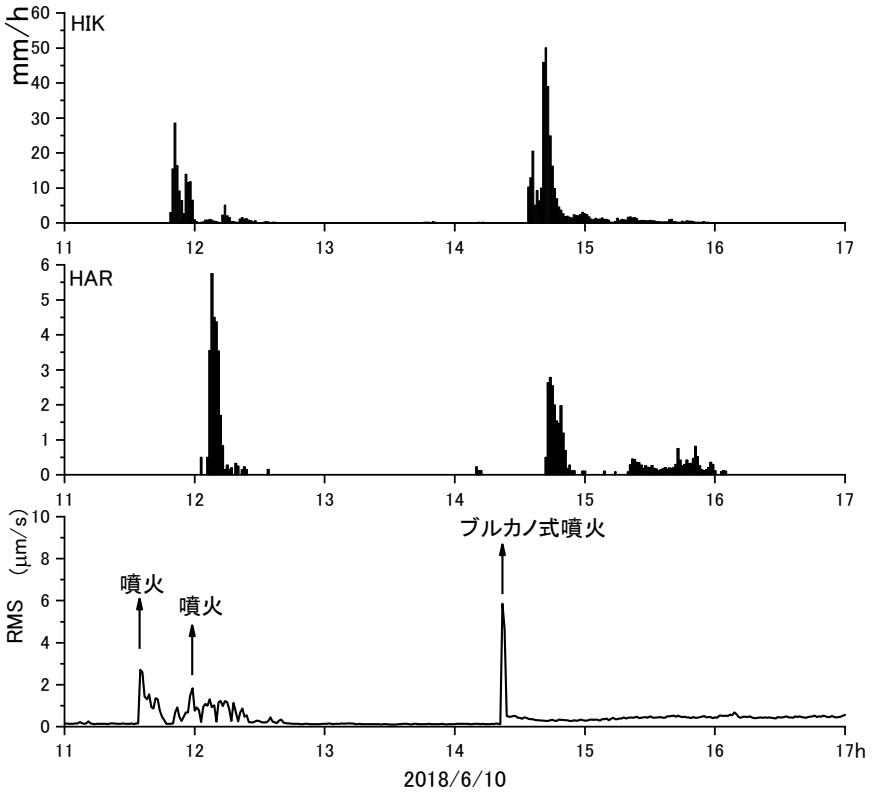


図 18　2018 年 6 月 10 日の噴火による降灰時の引之平およびハルタ山における時間雨量相当量と地震動の RMS 振幅。RMS 振幅は有村観測坑道で計測された。

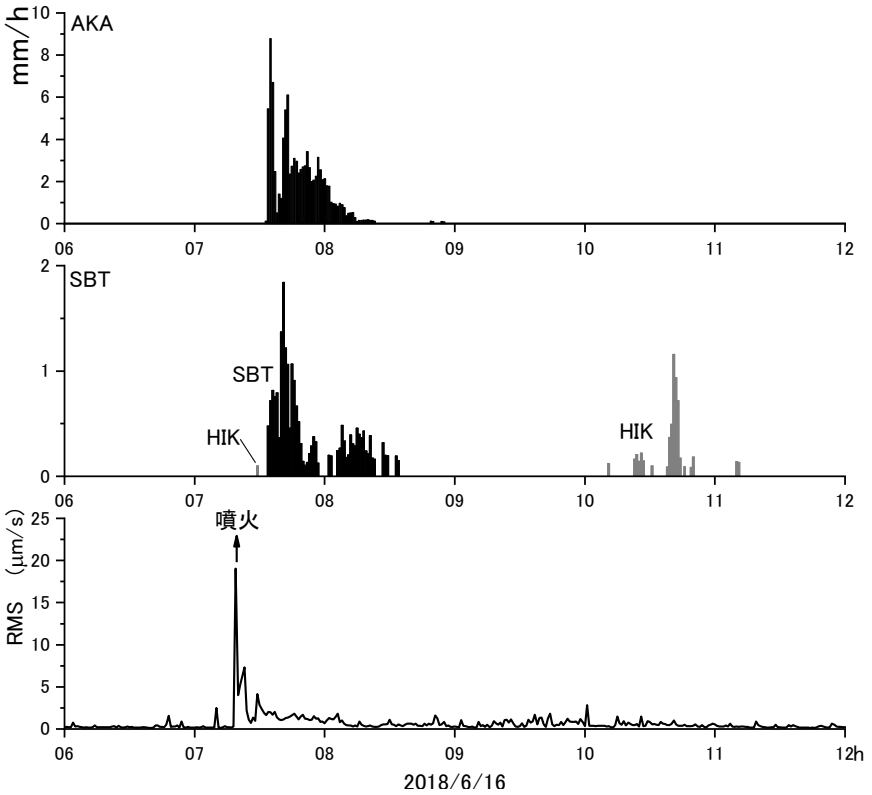


図 19　2018 年 6 月 16 日 7:19 のブルカノ式噴火による降灰時の赤水および引之平、柴立における時間雨量相当量と地震動の RMS 振幅。RMS 振幅は有村観測坑道で計測された。

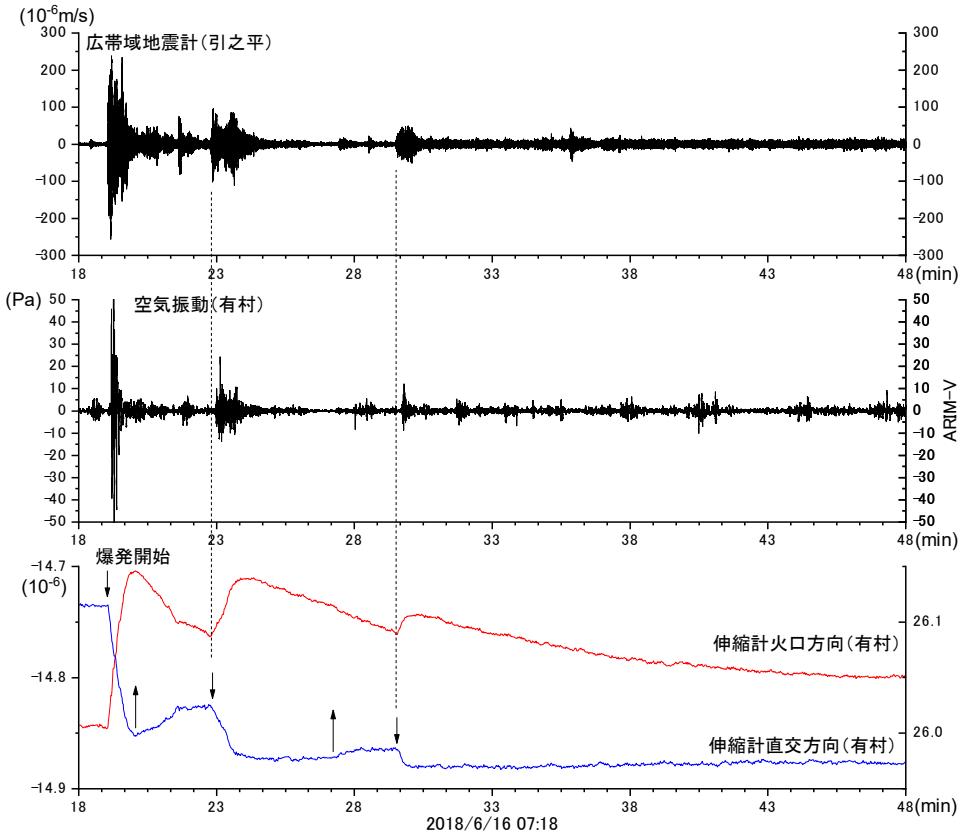


図 20　2018 年 6 月 16 日 7:19 に発生したブルカノ式噴火の推移。地震動（上)、空気振動（中)、地盤変動（下)。地盤変動は有村観測坑道の伸縮計によるひずみ変化。

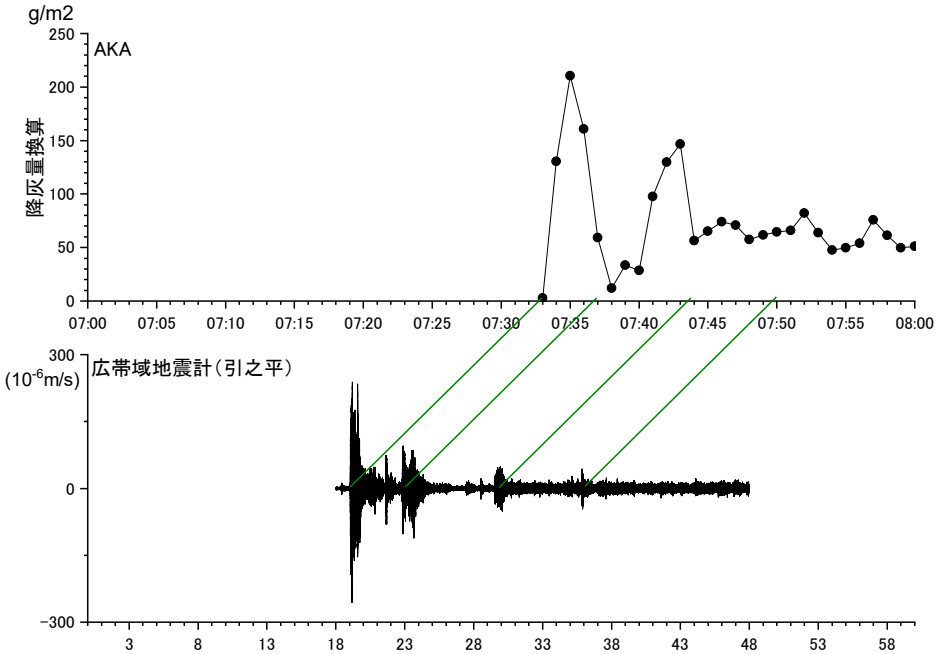


図 21　2018 年 6 月 16 日 7:19 のブルカノ式噴火に伴う赤水における降灰量の時間変化(上段）と地震動振幅（下段）の時間変化の対応関係。赤水における降灰量はディスドロメータの時間雨量相当値から算出した。式(1)参照。

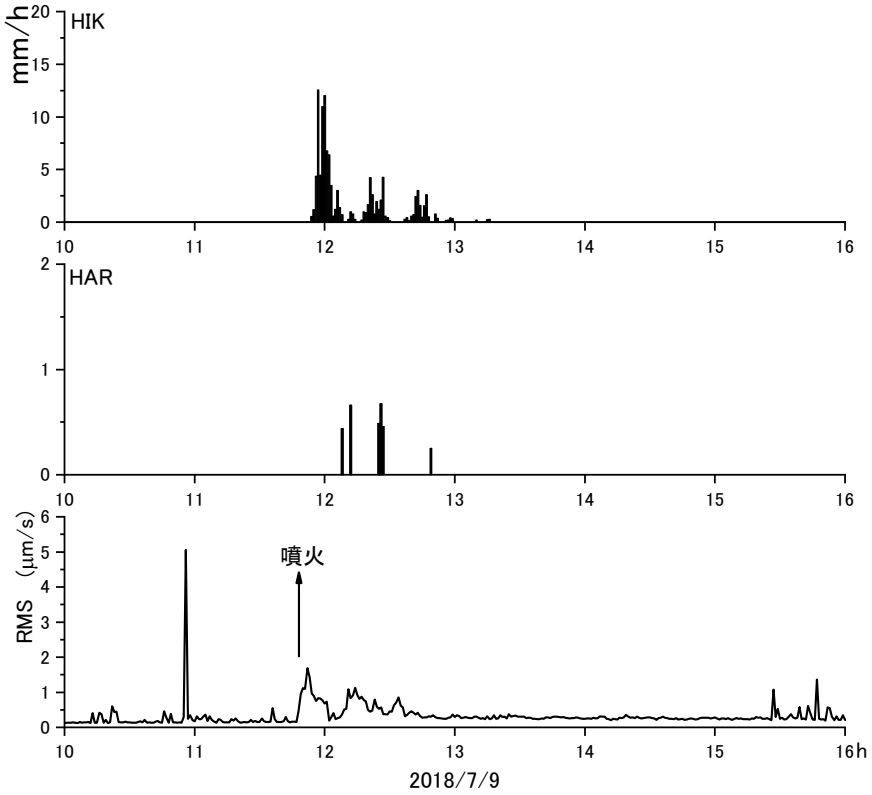


図 22　2018 年 7 月 9 日 11:49 の噴火による降灰時の引之平およびハルタ山における時間雨量相当量と地震動の RMS 振幅

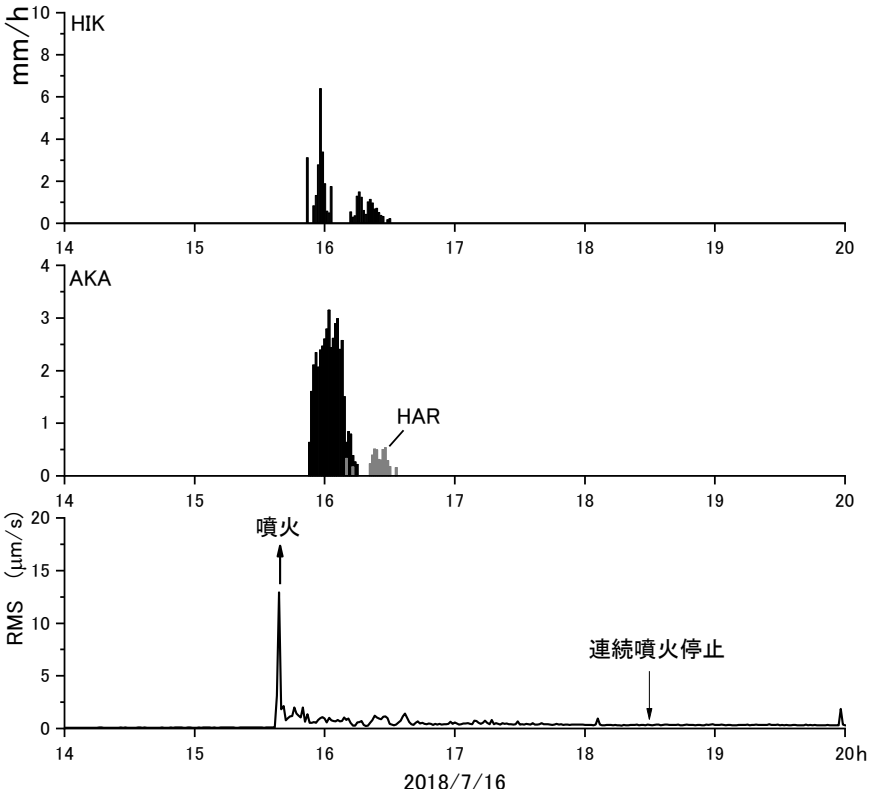


図 23　2018 年 7 月 16 日 15:38 のブルカノ式噴火による降灰時の引之平および赤水、ハルタ山における時間雨量相当量と地震動の RMS 振幅

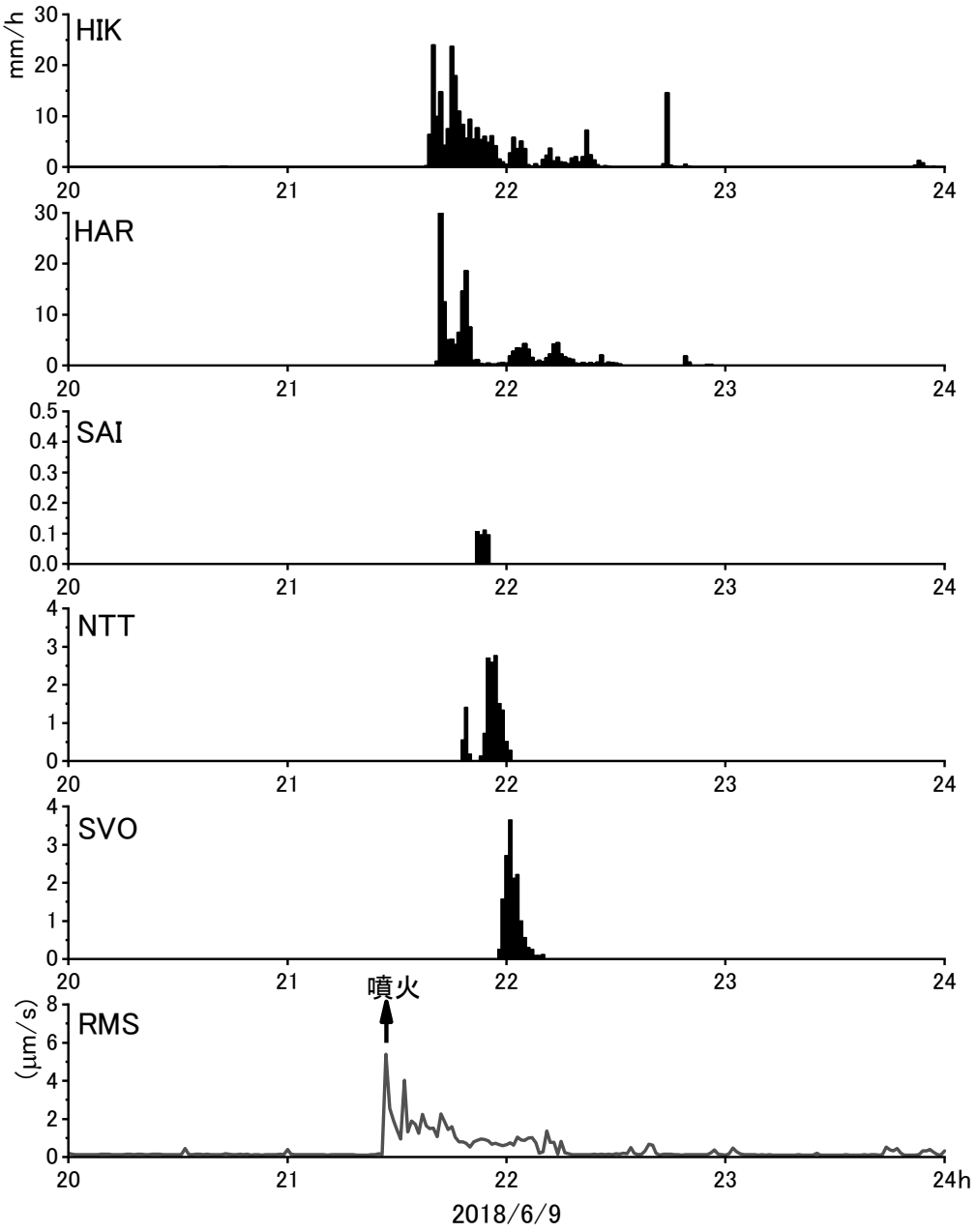


図 24　2018 年 6 月 9 日 21:27 のブルカノ式噴火による時間雨量相当量と地震動の RMS 振幅。引之平、ハルタ山、西道、長谷浜（NTT)、火山活動研究センター（SVO）における値を比較した。

d3)　ディスドロメータによる降灰観測とキャンペーン観測の比較

平成 29 年度の報告書において、単位面積当たりの火山灰重量（W）の単位を g/㎡、ディスドロメータの時間雨量相当量の積算値（I_p）の単位を mm/h とすれば、両者は以下のように近似できることを示した。

$$W=24\ I_p \qquad (1)$$

したがって、ディスドロメータの時間雨量相当量にファクター24 をかければ、火山灰重量が得られることになる。2018 年 6 月 16 日のブルカノ式噴火の際の赤水における単位面

積当たりの降灰重量の時間変化を図 21 に示した。この噴火では、降灰重量のキャンペーン観測も噴火後に実施している。調査結果を図 25 に示す。赤水の国道では 1900g/m^2 の降灰があった。近傍のディスドロメータによる時間雨量相当量の積算値は 99.8mm/h になるので、約 2400g/m^2 の降灰に相当することになり、現地観測の結果と整合的である。

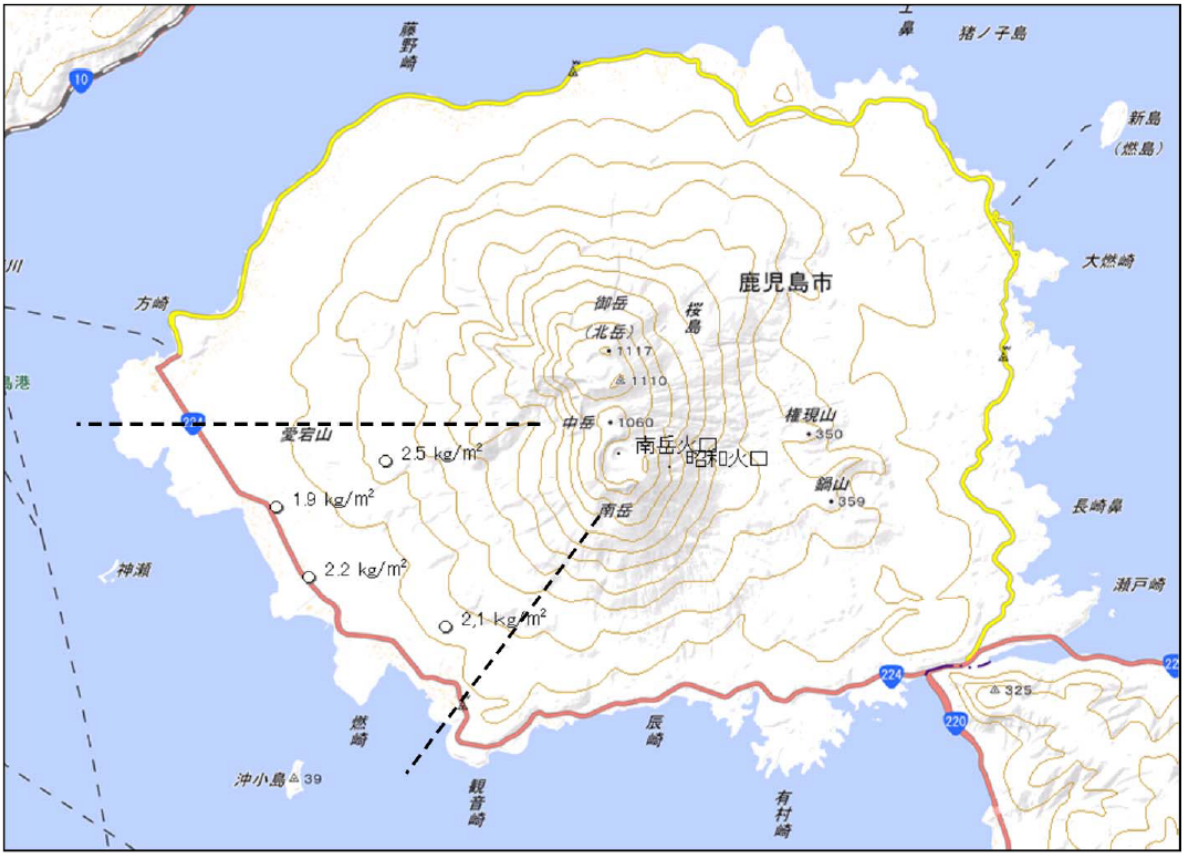


図 25　2018 年 6 月 16 日のブルカノ式噴火後のキャンペーン観測による降灰量の分布

d4)　降灰量の空間分布

図 18、19 に示すように、いくつかの噴火については火口からの異なる距離において降灰が観測されている。異なる距離のおける粒径分布を比較して図 26 に示す。粒子数は火山灰粒子を検知し始めてから 10 分間について計測した。火口からの距離の近い引之平（1.7km）とハルタ山（2.7km）を比較すると、以下のことが指摘できる。まず、粒子数が引之平の方が 1 桁以上多いことである。2 番目に検出できた最大粒径が引之平の方が大きい。3 番目に粒径分布のピークが引之平の方が大きいことである。

2018 年 6 月 9 日 21:27 のブルカノ式噴火による降灰時には 5 観測点において火山灰粒子が検知された（図 24）。5 観測点における粒径分布を比較して図 27 に示す。引之平とハルタ山を比較すると、図 26 及び図 27 に示した例のような大きな違いはないが、粒径が 0.7～0.8mm 付近において粒子数に大きな差が見られる。さらに風下となる長谷浜（NTT）の粒径分布はハルタ山と類似しており、粒子数のみに大きな違いが見られる。さらに、遠方となる火山活動研究センター（SVO）では 1.3mm よりも大きい粒子は検知されておらず、0.5mm 程度に粒径にピークが見られる。

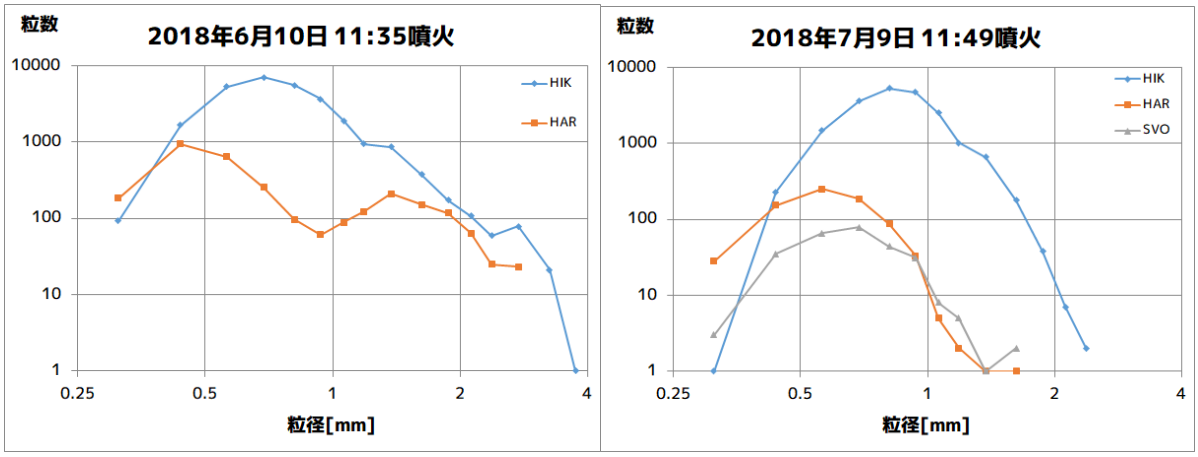


図 26　引之平とハルタ山におけるディスドロメータにより観測された火山灰粒子の粒径分布の比較。降灰開始から 10 分間の統計解析。

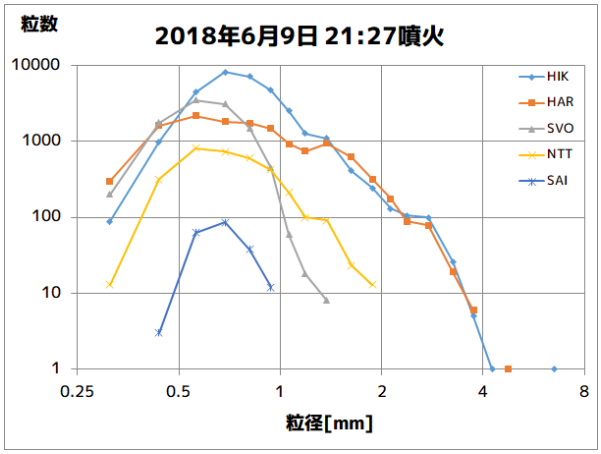


図 27　引之平、ハルタ山、西道、長谷浜（NTT）、火山活動研究センター（SVO）におけるディスドロメータにより観測された火山灰粒子の粒径分布の比較

次に落下速度について比較する。引之平とハルタ山を比較して図 28 に示す。2018 年 6 月 10 日の噴火ではハルタ山において落下速度の大きいものが多いが、この 2 つの例では頻度分布のパターンは類似している。 5 観測点において火山灰粒子が検知された 2018 年 6 月 9 日 21:27 のブルカノ式噴火でも、落下速度 1m/s 以下の微小粒子については頻度分布のパターンはよく類似している。落下速度 1m/s 以上の粒子については違いが見られる。南岳火口から見ると引之平ー火山活動研究センター（SVO）が直線状に並び、ハルタ山ー長谷浜（NTT）が方位角は近いが異なる直線状に並ぶ。引之平に比べ SVO では、落下速度 1m/s 以上の粒子数が急激に低下し、落下速度 3m/s を超える粒子は検知されていない。この落下速度の粒子は引之平を超えて SVO に至るまでにすべて落下したものと考えられる。ハルタ山と長谷浜を比較すると落下速度 4m/s 以下では、落下速度の頻度分布のパターンはよく似ている。落下速度 4m/s 以上の粒子は長谷浜ではほとんど観測できておらず、ハルタ山と長谷浜の間においてほぼ落下したと考えられる。

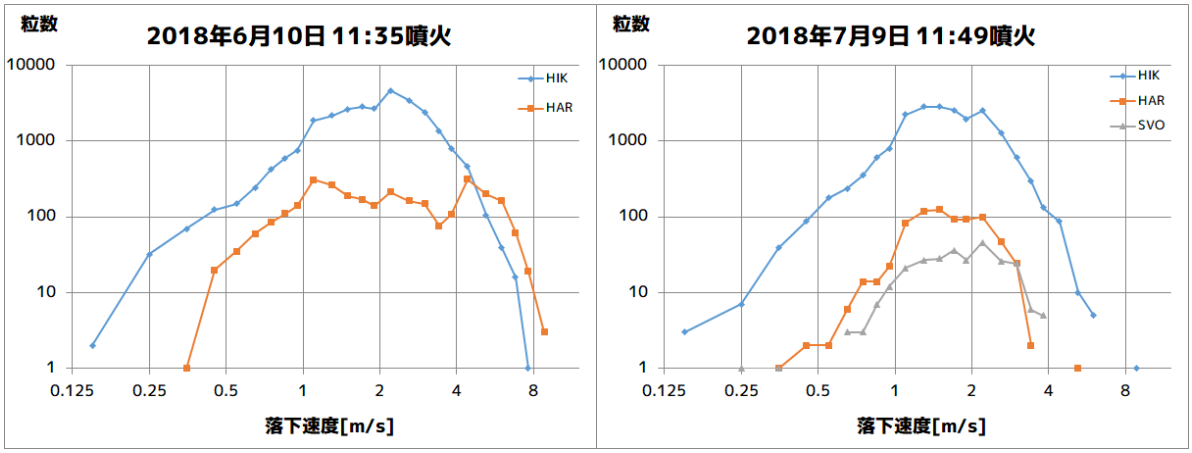


図 28　引之平とハルタ山におけるディスドロメータにより観測された火山灰粒子の落下速度の頻度分布の比較。降灰開始から 10 分間の統計解析。

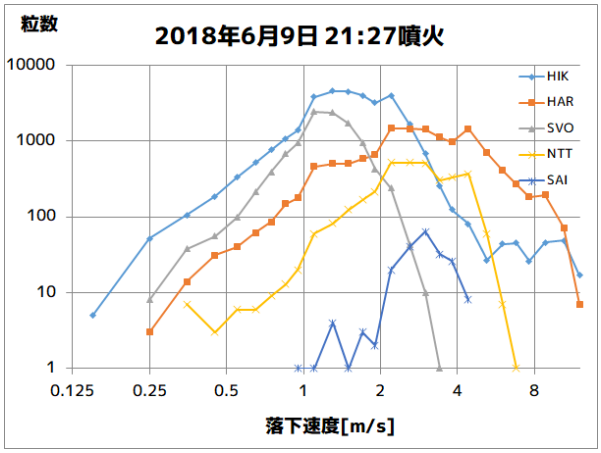


図 29　引之平、ハルタ山、西道、長谷浜（NTT）、火山活動研究センター（SVO）におけるディスドロメータにより観測された火山灰粒子の落下速度の頻度分布の比較

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の間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。

そこで、ディスドロメータを火口から直線状に配置することにより、降灰量と粒径分布の距離依存性を明らかにし、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、また、ディスドロメータの出力値と地上降灰量の関係を多くの噴火事例について調べ、その経験的関係式の精度を上げることを試みた。

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の間の関係式を 2013 年 8 月 18 日の桜島噴火事例と 2016 年 10 月 8 日の阿蘇噴火事例について調べ、下記の関係式を得た。

$$\begin{aligned} S_A &= 0.307 \times S_Z^{0.504} \quad ; S_A < 2.0\,\mathrm{kg\,m^{-2}} \text{（桜島2013.8.18噴火）} \\ S_A &= 9.23 \times 10^{-5} \times S_Z^{1.42} \quad ; S_A < 4.0\,\mathrm{kg\,m^{-2}} \text{（阿蘇2016.10.8噴火，暫定式）} \end{aligned} \tag{2}$$

ここで、SA［kg m^{-2}］は単位面積当たりの時間積算降灰量、SZ［$mm^6m^{-3}h$］は単位面積当たりの時間積算レーダー反射因子である。これらの式を用いて各噴火事例の総降灰量を推定した。その結果は、桜島 2013.8.18 噴火では総降灰量約 6.7 万トン（降灰面積 100 km^2）であった（真木・他、2019）[3)]。一方、阿蘇 2016.10.8 噴火時例では総降灰量は約 13 万トン（降灰面積 310 km^2）であった（図 30 参照）。また、宇城レーダーデータの三次元解析から噴煙の高度は海抜高度 14,500m と推定された。

上述した関係式は、レーダーで観測されたレーダー反射因子と地上で観測された降灰量から求められる関係式で工学的な手法に基づくものである。これに対して、降灰粒子の粒径分布から計算される降灰強度とレーダー反射因子の理論的な関係を求める方法（理学的方法）がある。理論的な関係式を導出するに当たって、桜島に設置された光学式ディスドロメータ（パーシベル）により観測された降灰粒子の粒径分布の特徴を調べた。計 6 例の噴火事例のデータの調査から、平均的な降灰粒子の粒径分布 N(D)は次式で表されることがわかった。

$$\begin{aligned} N(D) &= 1.55 \times 10^4 \exp(-\Lambda D) \\ \Lambda &= 5.11 R_A^{-0.16} \end{aligned} \tag{3}$$

ここで、D［mm］は降灰粒子の粒径、N(D)は粒径分布、Λ［mm-1］は粒径分布の傾きパラメータ、RA［mm h-1］は降灰強度である。上式の関係式は、平均的な粒径分布は指数分布で表され、その切片は一定（1.55×10^4）で、傾きは降灰強度が強くなるほど緩やかにあることを表している（図 31 参照）。この関係式から次式の降灰強度とレーダー反射因子の理論的な式を導出した。

$$R_A[\mathrm{mm\,h^{-1}}] = 0.940 Z^{0.350}、Z[\mathrm{mm^6 m^{-1}}]$$

上式は平均的な降灰粒子の粒径分布から導出された式であり、平均的な降灰強度を議論する場合や積算降灰量を推定する場合に利用できる。しかしながら、特定の地点のある時刻の降灰強度の推定に利用する場合には大きな誤差を伴うことに注意が必要である。Z-RA関係式は降灰粒子の変動に敏感であるために、今後、降灰粒子の時空間変動についての調査が必要である。

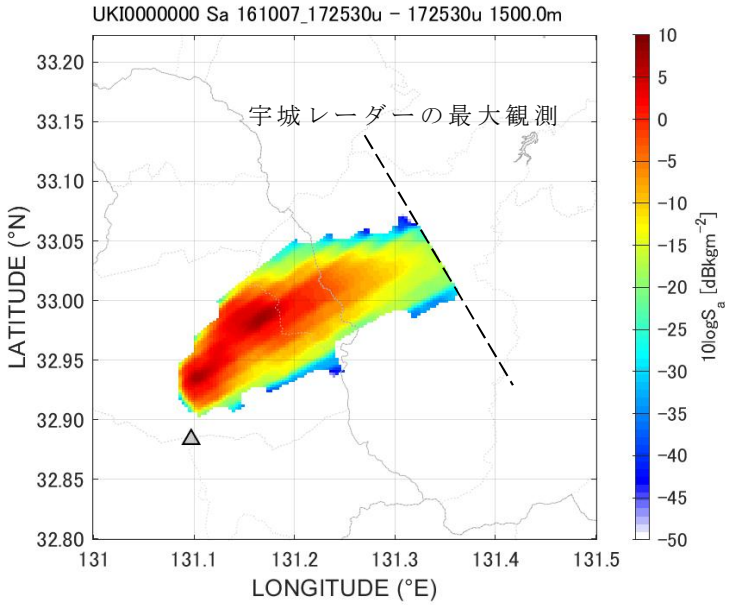


図30　国土交通省の宇城XMPレーダーの観測から求めた10月8日1時54分から2時25分（日本時間）の高度1500mにおける積算降灰量の分布。噴火時刻1時46分から8分間の降灰量分布は含まれていないことに注意。

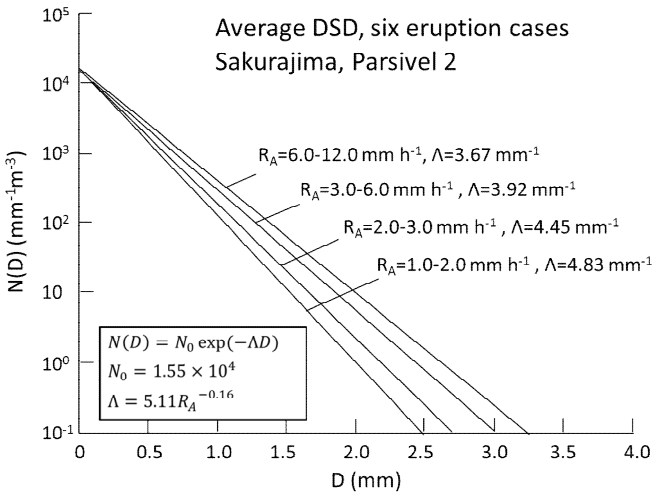


図31　6つの噴火事例のディスドロメータ観測データから求められた降灰粒子の特徴

3）火山灰拡散予測の高速度化技術開発

a）火山灰拡散シミュレーションソフトの自動起動

本サブテーマでは火山灰拡散予測の高速度化技術開発に PUFF モデル（Tanaka et al., 2002）[4]を用いてきた。ここでは PUFF モデルの自動起動の仕組みについて述べる。プロセス間のデータの流れを図 32 に示す。

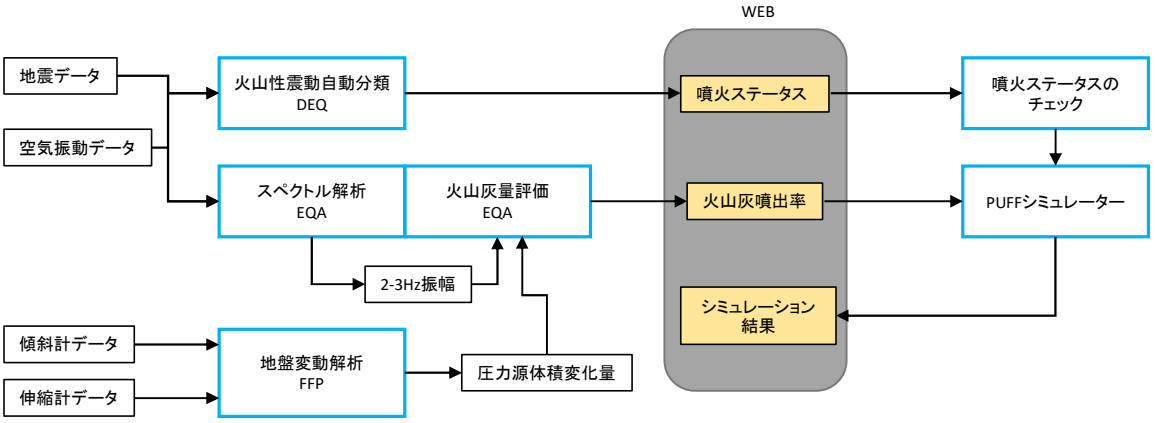


図 32　火山灰拡散シミュレーションソフトの自動起動のためのプロセス間のデータの流れ

桜島におけるブルカノ式噴火の発生に伴い、地震動（爆発地震）と空気振動が発生する（図 33）。地震動はブルカノ式噴火発生の約 1 秒前から始まり、噴火により生じた衝撃波はほぼ音速で伝播し、山麓の観測点では低周波音波として観測される（Yokoo et al., 2009）[5]。火山性震動の自動分類プロセス（DEQ）は、閾値を超えた振幅の爆発地震とそれに続く閾値を超えた音波を一定時間以内に検知できればブルカノ式噴火の発生と判定する。DEQ は 1 分毎に噴火の有無を出力し、その結果を WEB 上に掲載する。

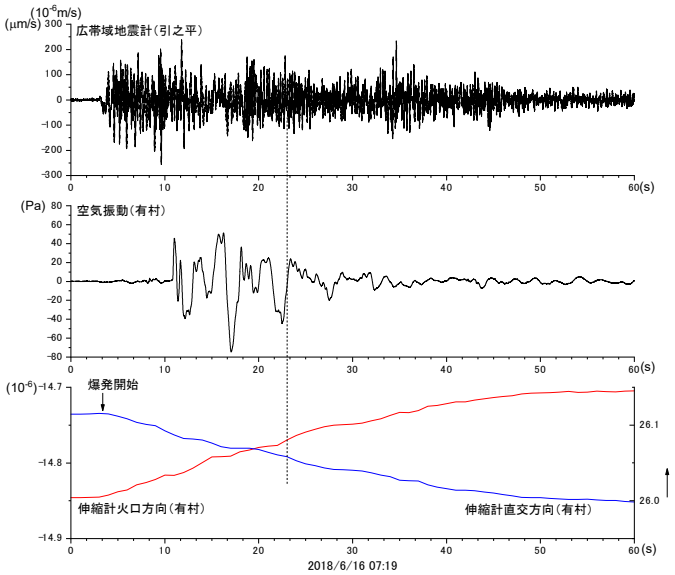


図 33　ブルカノ式噴火に伴う地震動（上段）、空気振動（中段）、地盤変動（下段）

一方、地震動の解析プロセス（EQA）は地震動のスペクトル解析を行う。また、図 33 に示すように、地盤の収縮をしめすひずみ変化も同時に観測され、地盤変動の解析プロセス（FFP）は、地盤変動量から圧力源の体積変化を自動的に算出する。火山灰放出量は地盤変動量と火山性地震・微動のエネルギーと相関があることが知られており、火山灰放出重量（W）は、2-3Hz の周波数帯のスペクトル（A）と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。

$$W_e = \alpha A + \beta \Delta V + \gamma \quad (4)$$

2013 年までの昭和火口の噴火活動では、α=3.8×10^{-5}、β=2.6、γ=-1.03×10^{5} と近似されている（Iguchi, 2016）[6]。EQA は式(1)に基づいて 1 分毎の火山灰放出量を算出し、WEB 上に掲載する。

筑波大学にあるサーバーは 1 分毎に DEQ が掲載する噴火ステータスを閲覧し、噴火を検知した場合は PUFF モデルを自動起動させる。このとき、EQA が WEB 上に掲載した火山灰重量を参照し、さらに、火山灰重量から噴煙高度を導く下記の経験式を用いて噴煙高度（z_2）を推定する（Tanaka and Iguchi, 2019）[7]。

$$z_2 = z_1 + bW_e^{1/4} \quad (5)$$

ここで z_1 は火口の標高である。b は経験的に 400 が与えられている。

b)　圧力源の体積変化と噴煙高度との関係の検討

(1)式は、桜島の個々のブルカノ式噴火にも適用可能である。この場合、(4)式の第 2 項の地盤変動による寄与が大きいので、火山灰放出重量は、地盤変動を励起する圧力源の体積変化に対して以下のように近似できる（Iguchi, 2016）[6]。

$$W_e = \beta \Delta V \quad (4)'$$

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 2016 年 2 月～2018 年 3 月に発生した噴火について検討し、前年度得られた関係式の妥当性を検討した。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 34 に示す。

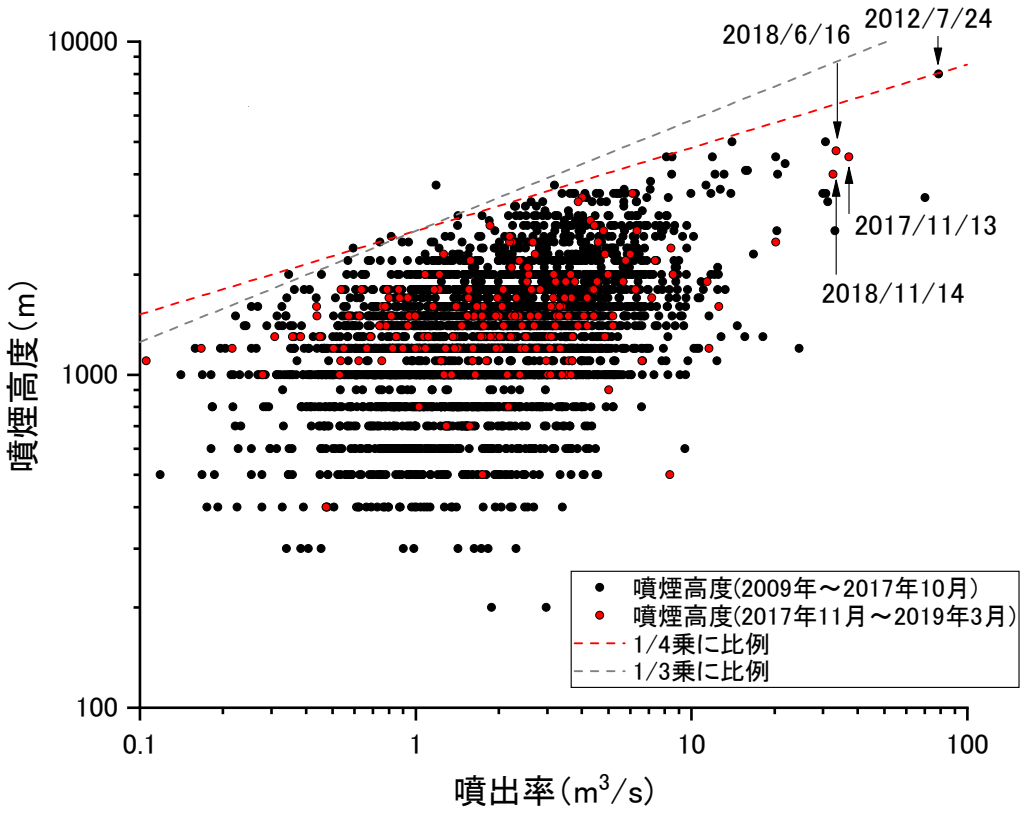


図 34　噴煙高度と噴出率の関係。2009 年 2 月～2017 年 10 月までの噴火を黒丸、2017 年 11 月から 2018 年 3 月までの噴火を赤丸で示した。概ね黒丸が昭和火口における噴火、赤丸が南岳の噴火を表す。

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、78m^3/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 10m^3/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されている。

$$H = 2700\dot{V}^{1/4} \qquad (6)$$

噴煙高度は(6)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(9)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。なお、(6)式は(5)式と同じものであるが、係数の違いは、体積換算と重量換算の違いによるものである。

Morton et al. (1956) [8]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。(6)式は上限において Morton et al. (1956) [8]の式が成り立つことを示した。

2018 年 4 月以降の噴火についてみてみると、2018 年 6 月 16 日と 2018 年 11 月 14 日の噴火の噴出率及び噴煙高度が大きいが、それ以前の噴火により求められた(6)式を超えるものはなく、(6)式が妥当であることが確認された。また、2018 年 6 月 16 日と 2018 年 11 月

14 日の噴火は、2017 年 11 月に噴火活動が南岳に回帰してから最も噴出率が大きかった 2017 年 11 月 13 日の噴火の噴出率に近い。

c) 地震及び地盤変動観測の高精度化

(4)式は有村観測坑道のひずみ変化から決定した式であるが、今後、それ以外の観測点の地震及び地盤変動データを用いて、火山灰放出重量の見積もりを高精度化させるための検討を行う必要がある。平成 29 年度は有村観測坑道に近い古里観測井の埋設型地震計・傾斜計を改修したが、平成 30 年度は桜島東部の黒神観測井（図 16 参照）に設置されていた埋設型地震計・傾斜計を改修した。

改修作業は 2019 年 2 月から 3 月にかけて実施したが、深度 310m に設置されていた機器を引き上げることができなかった。そこで、深度 310m から深度 86.1m までを砂で埋め、その上に埋設型地震計・傾斜計を再設置することとした。再設置後の傾斜計の記録を図 32 に示す。埋設機器の下部を砂で埋めているので、依然として不安定でステップ上の動きが多い。安定するのを待って再調整を行う必要がある。なお、傾斜計の機器としての性能は正常であることが確認されている。

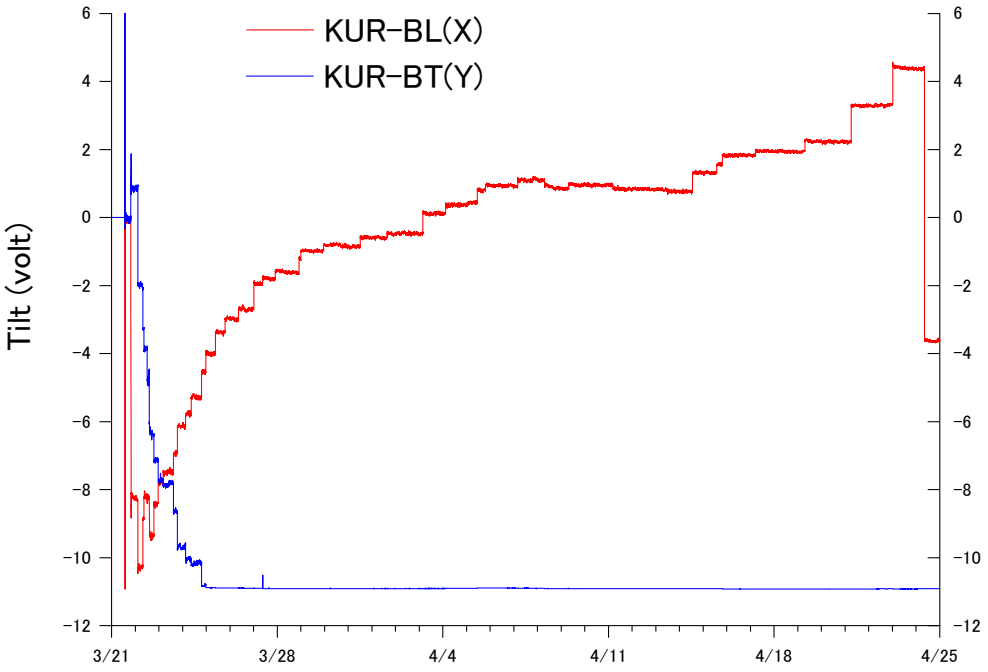


図 35　黒神観測井における傾斜計の記録の比較。赤線：火口方向、青線：直交方向。

次に、地震計によって観測される震動について検討する。有村観測坑道と黒神観測井における 1 分毎の地震動の最大振幅を比較して図 36 に示す。2019 年 3 月 28 日～29 日の地震動の例を示す。この期間には 3 月 28 日の 22:58、23:25、3 月 29 日の 0:52、15:50 に噴火が発生した。噴火活動に伴い火山性微動が発生した。特に、3 月 28 日の 22:58、23:25、3 月 29 日の 0:52 に噴火が発生したときは、28 日の 22:43 から 29 日の 0:42 にかけて連続的に火山性微動が発生した。これにともなって有村および黒神とも地震動の振幅が増加していることがわかる。なお、黒神においては、パルス状の振幅増加が多いが、機器の下部を砂で埋めているために不安定であることによるものと思われる。

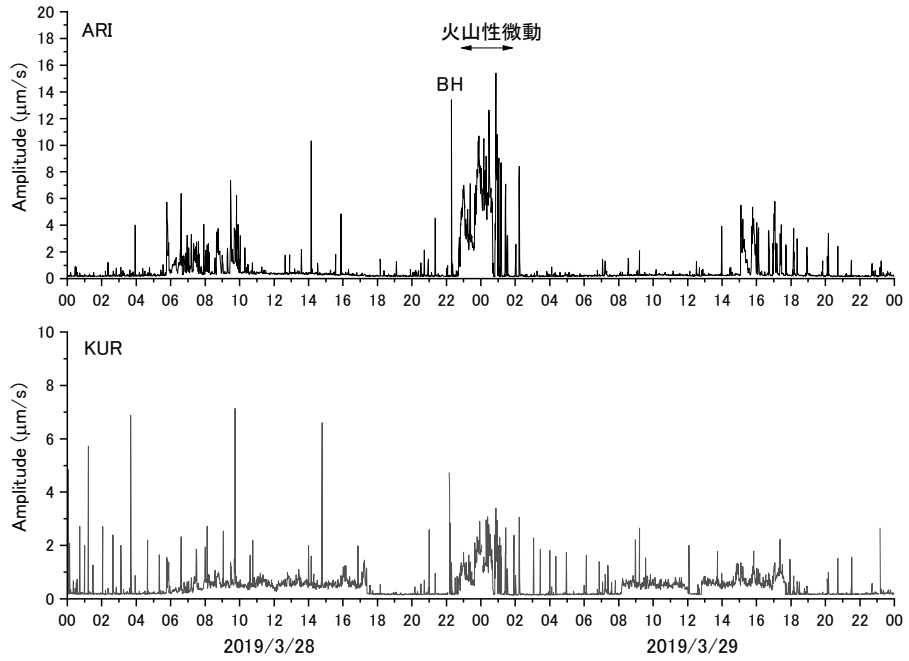


図 36　有村観測坑道と黒神における地震動振幅の比較。黒神におけるパルス状の振幅増加のうち、特に振幅の大きい 28 日の 22:07～0:09、29 日の 0:03～0:05、23:07～23:09 はプロットから削除した。

火山性微動の波形を比較して図 37 に示す。黒神における振幅の推移は有村とよく類似している。

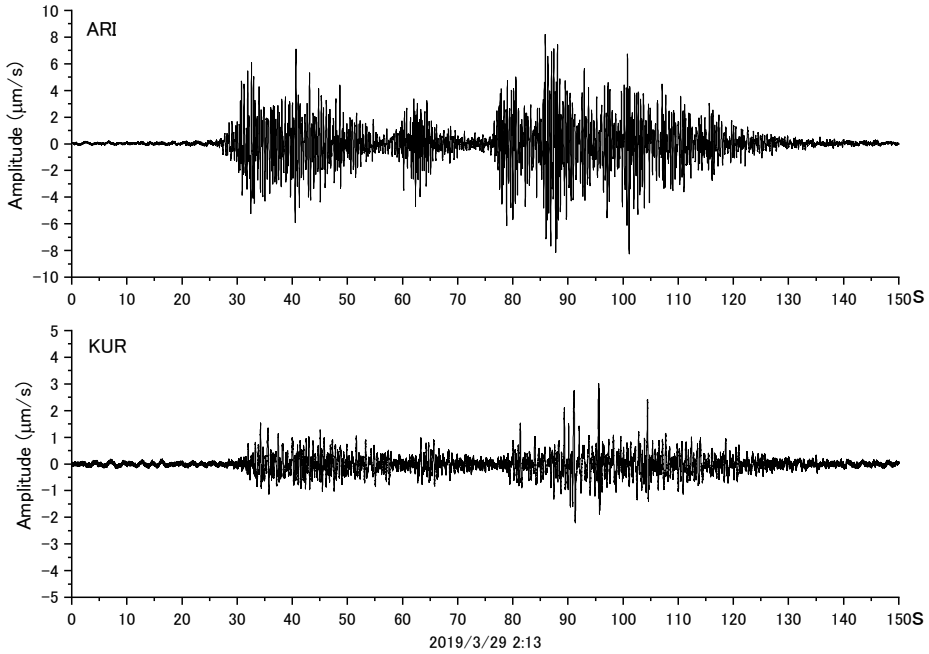


図 37　有村観測坑道と黒神観測井において観測された火山性微動の波形の例

式（4）に示すように、火山灰放出重量を推定するのに用いるのは火山性震動のうち 2～3Hz の周波数帯域である。振幅の大きい 28 日 22:00 から 29 日 2:30 までの時間帯についてこの周波数帯域におけるスペクトルの時間変化、および有村と黒神のスペクトル比を図 38 に示す。スペクトルの時間変化はよく対応している。両者のスペクトルの比を見てみると、地震動の振幅が小さいときは両者の比は約 2 を示す。火山性微動が発生しているときは両者の比はおよそ 6 となる。火山性微動の振幅が大きい 28 日 22:43～29 日 0:42 については平均値が 6.0、標準偏差が 0.66 であった。したがって、黒神で観測される火山性微動を使って火山灰放出率を見積もる場合は、(5)式の係数 α を 6 倍すればよい。ただし、火山性のイベントが発生していない時の振動はおおむね脈動によるものであり、この時の比は約 2 である。常時微動の振幅は(5)式においては係数 γ に関連するので、γ を 2 倍にする必要がある。

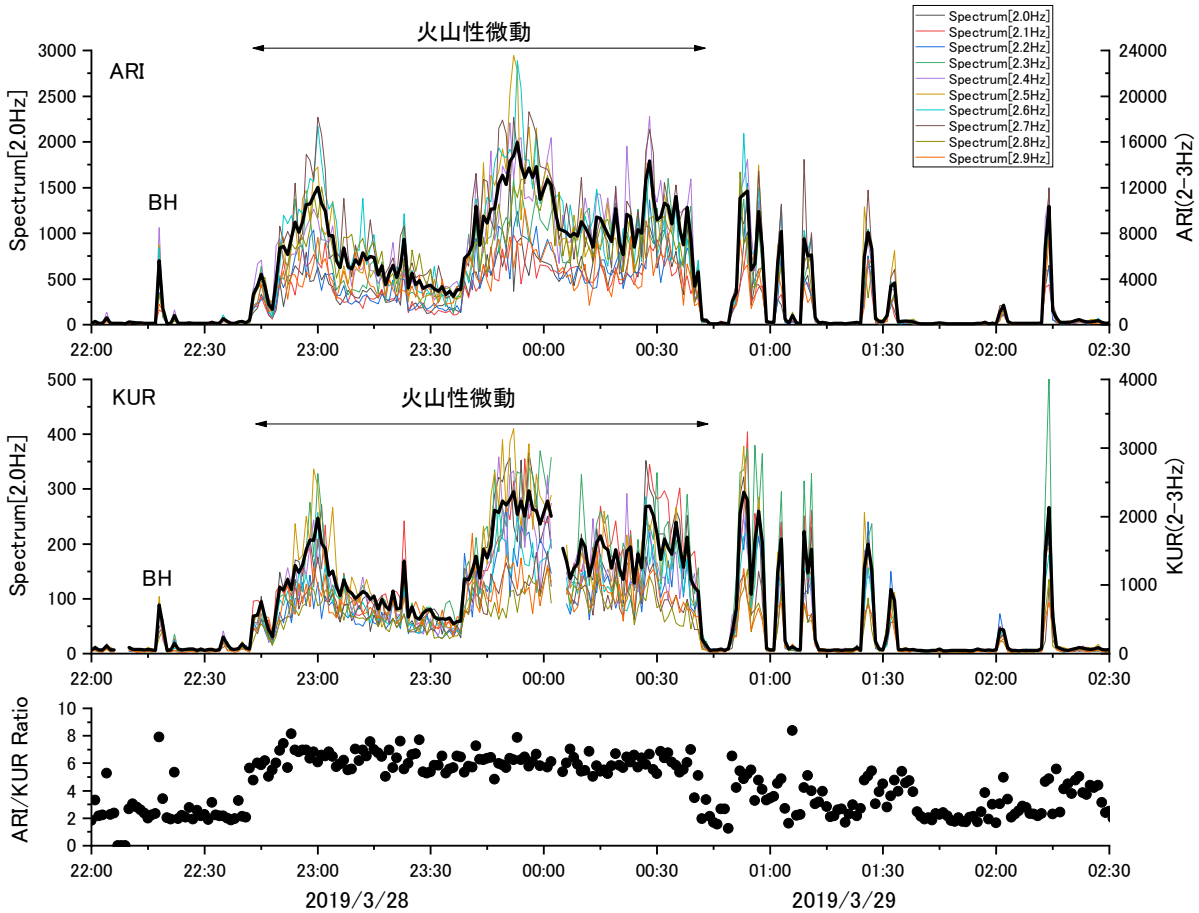


図 38　有村観測坑道と黒神観測井における地震動の 2～3Hz 周波数帯域スペクトルの比較。上段:有村観測坑道における 0.1Hz 毎のスペクトルの時間変化。黒線は 2～3Hz の和を示す。中段:　黒神観測井における 0.1Hz 毎のスペクトルの時間変化。下段:有村を黒神のスペクトル比。2～3Hz の和の比の時間変化を示す。黒神観測井においてノイズとなる震動が特に大きかった 29 日 0:03～0:05 のデータは削除してある。

d)　噴煙シミュレーションによる噴煙高度の検討

噴煙ダイナミクスが火山灰拡散に与える影響を調べるため、グループ C3 と連携し、火口付近における噴煙ダイナミクスと火山灰輸送の 3 次元計算事例を蓄積した。特に、桜島

噴火規模のブルカノ式噴火を計算の対象とした。総噴出量を固定し、噴火継続時間や火口半径を変えたパラメータ・スタディを SK-3D を用いて行った。３次元シミュレーションの結果、噴火継続時間または火口半径の違いによって噴煙高度、それに伴う火山灰放出高度が変化する様子を捉えた（図 39)。また、実際の火山灰粒子サイズに対応するトレーサー粒子を入れた火山灰輸送シミュレーションを行って、火山灰粒子輸送の再現を行った（図 40)。粒子サイズ毎に噴煙柱からの放出高度が異なり、堆積分布域が異なる様子を捉えた。

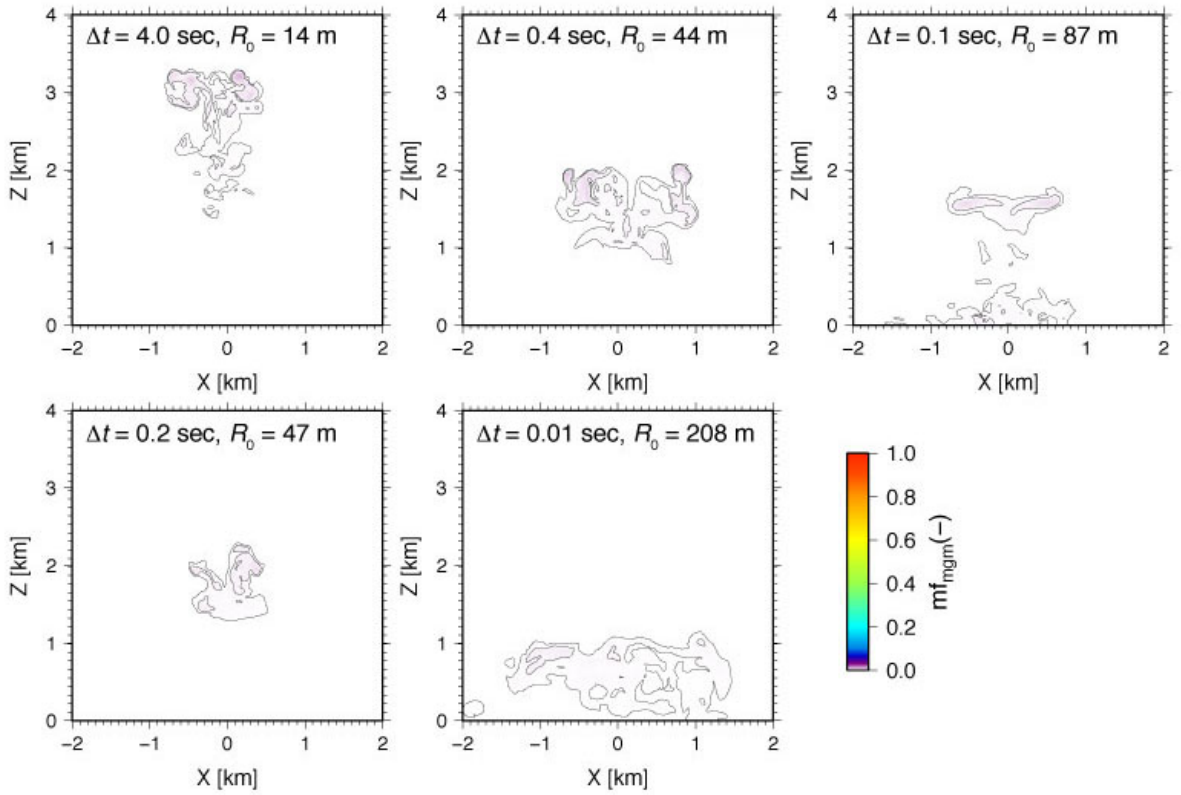


図 39　ブルカノ式噴火の３次元数値シミュレーション結果。噴火継続時間、火口半径を変化させた場合の、噴火開始から 10 分後の噴煙分布を示す。

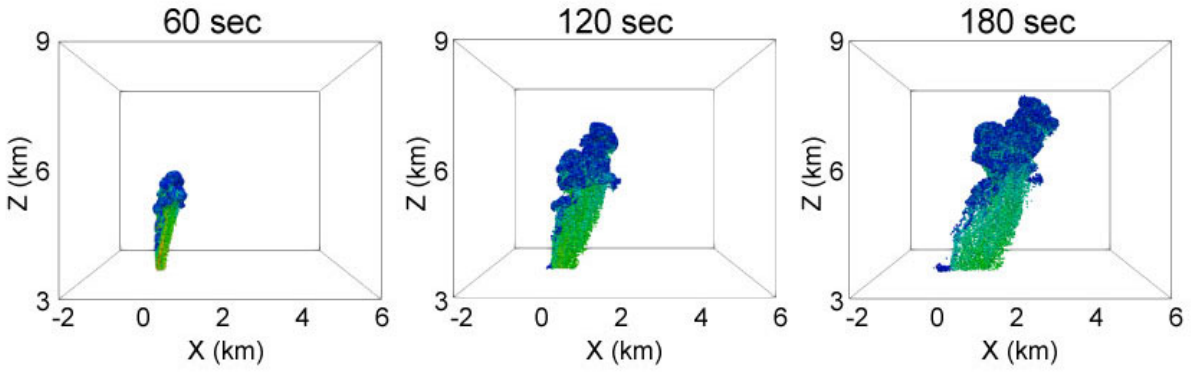


図 40　噴煙ダイナミクスとカップリングした火山灰粒子の輸送シミュレーション結果。色は火山灰粒子サイズを表す。火山灰粒子は噴煙とともに上昇し、噴煙から離脱して風で流される様子を再現した。

4) 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による桜島上空のキャンペーン気象観測を実施した。

ここでは、2019 年 3 月に実施した観測について述べる。観測は 2019 年 3 月 25 日～27 日に実施した。桜島上空の気象要素（風向・風速、気温）に加え、火山灰や火山ガス濃度の鉛直プロファイルデータを取得することを目的とした。観測地点は、南岳火口の風下にあたる地点を選定した。観測点の位置を図 41 に示す。

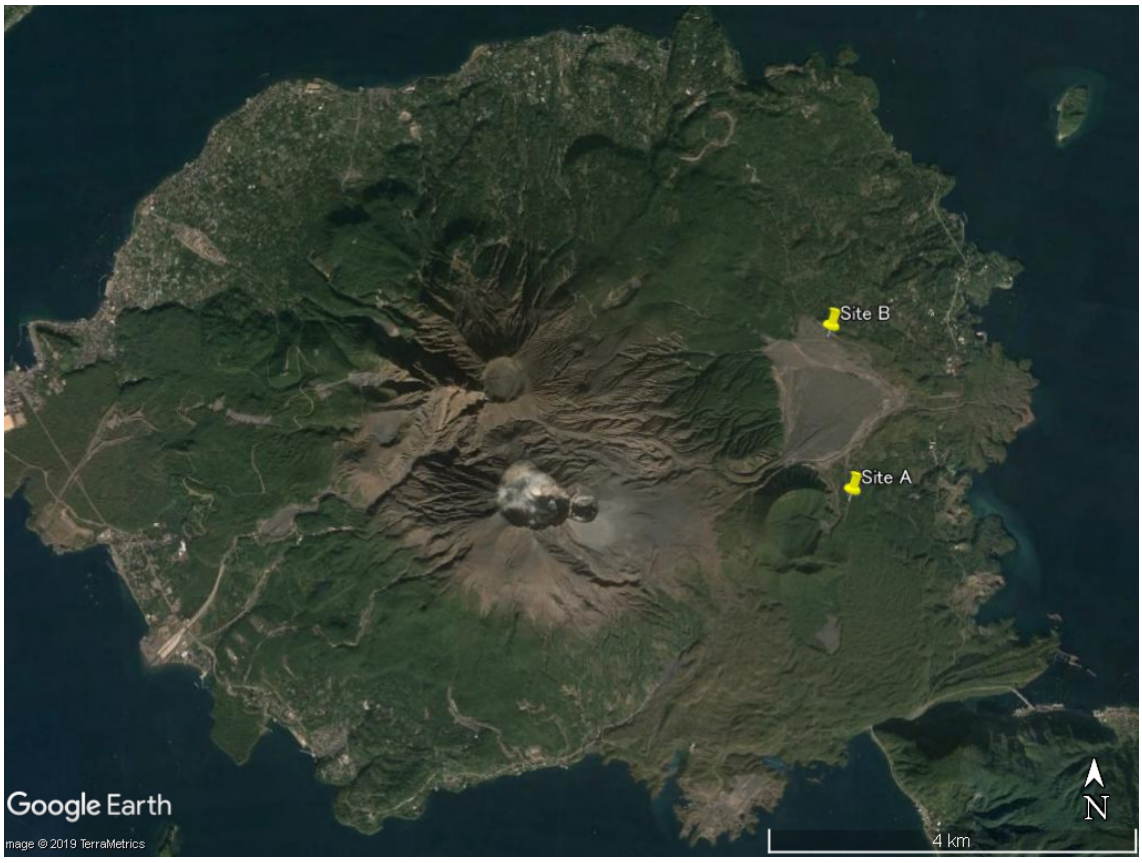


図 41　観測地点位置図

a1)　観測方法

ドローンは 6 枚のプロペラを有するマルチコプター（SPIDER CS-6; ルーチェサーチ株式会社）を使用した。機体に二次元超音波風速計(FT702; FT Technologies)および温湿度センサー（SHT35; Sensirion)を取付け、気象データを取得した。さらに火山ガス（SO_2 および H_2S)、火山灰（PM_{10} および $PM_{2.5}$）濃度の計測のため火山ガスモニタ（QRAE3; RAE Systems）および PM モニタ（ヤグチ電子工業株式会社）を搭載した。これらの機器を搭載したドローンの外観を図 42 に示す。

鉛直プロファイルの計測においては、指定高度でドローンを 3 分間ホバリングさせ、データを取得した。

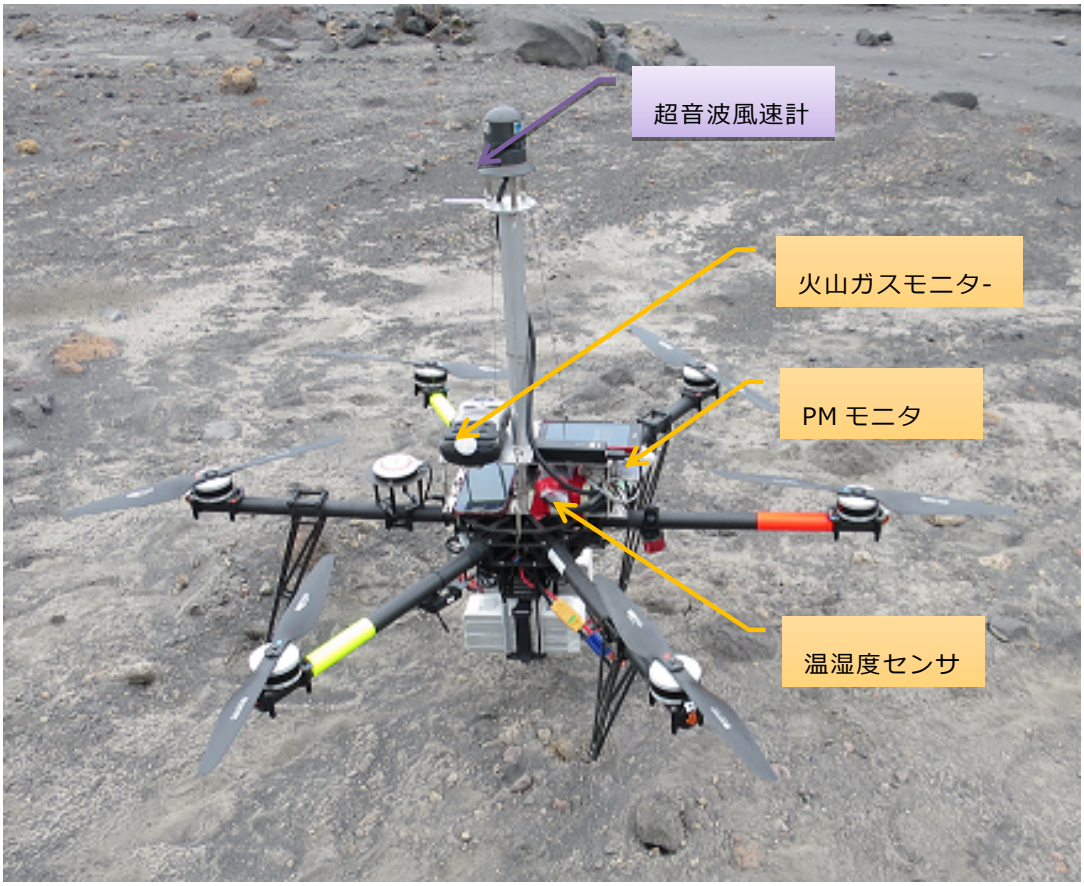


図 42　観測用ドローン外観

a2) 観測実施状況

観測の実施概要を表 2 に示す。3 月 25 日には黒神鍋山（Site A）で 4 回の、黒神地獄河原（Site B）で 5 回の Run を、3 月 27 日にも黒神地獄河原で 5 回の Run を実施した。

表 2 観測実施状況一覧

Run	観測日時	ポート	離陸時刻	着陸時刻	指定高度	備考
1	2019/3/25	黒神鍋山 (Site A)	11:21:30	11:34:40	300m(11:22:50-11:25:50) 200m(11:26:30-11:29:30) 100m(11:30:15-11:33:15)	風速計欠測
2	2019/3/25	黒神鍋山 (Site A)	11:42:10	11:55:50	750m(11:45:20-11:48:20) 50m(11:52:20-11:55:20)	風速計欠測
3	2019/3/25	黒神鍋山 (Site A)	12:03:40	12:12:05	500m(12:05:50-12:08:50)	風速計欠測
4	2019/3/25	黒神鍋山 (Site A)	12:14:40	12:22:00	1000m (11:16:30-16:19:30)	バッテリー低下のため、730mで観測中止
5	2019/3/25	黒神地獄河原 (Site B)	14:09:40	14:22:30	1000m(14:13:50-14:16:50)	火山ガスモニタ・スマホ欠測
6	2019/3/25	黒神地獄河原 (Site B)	14:26:40	14:39:40	1000m(14:30:50-14:33:50)	
7	2019/3/25	黒神地獄河原 (Site B)	14:44:20	14:55:10	750m(14:47:40-14:50:40)	
8	2019/3/25	黒神地獄河原 (Site B)	15:01:10	15:12:40	200m(15:02:10-15:05:10) 100m(15:05:50-15:08:50) 50m(15:09:10-15:12:10)	
9	2019/3/25	黒神地獄河原 (Site B)	15:16:40	15:28:23	500m(15:19:15-15:22:15) 300m(15:23:30-15:26:30)	
13	2019/3/27	黒神地獄河原 (Site B)	10:48:15	11:01:15	1000m(10:52:30-10:55:30)	
14	2019/3/27	黒神地獄河原 (Site B)	11:04:50	11:15:24	750m(11:08:00-11:11:00)	
15	2019/3/27	黒神地獄河原 (Site B)	11:17:35			バッテリー低下(No.3)のため観測中止
16	2019/3/27	黒神地獄河原 (Site B)	11:20:58	11:29:00	500m(11:23:10-11:26:10)	
17	2019/3/27	黒神地獄河原 (Site B)	11:31:15	11:43:45	300m(11:32:35-11:35:35) 200m(11:36:15-11:39:15) 100m(11:40:00-11:43:00)	
※ Run 10～12は噴石模型投下実験を実施した。						
※ 指定高度は地表面からの高さ。						

a3) 観測結果

各 Run の時系列に沿った風向、風速、気温、湿度、SO_2 および火山灰（PM_{10}）濃度を図 43～図 50 に示す。

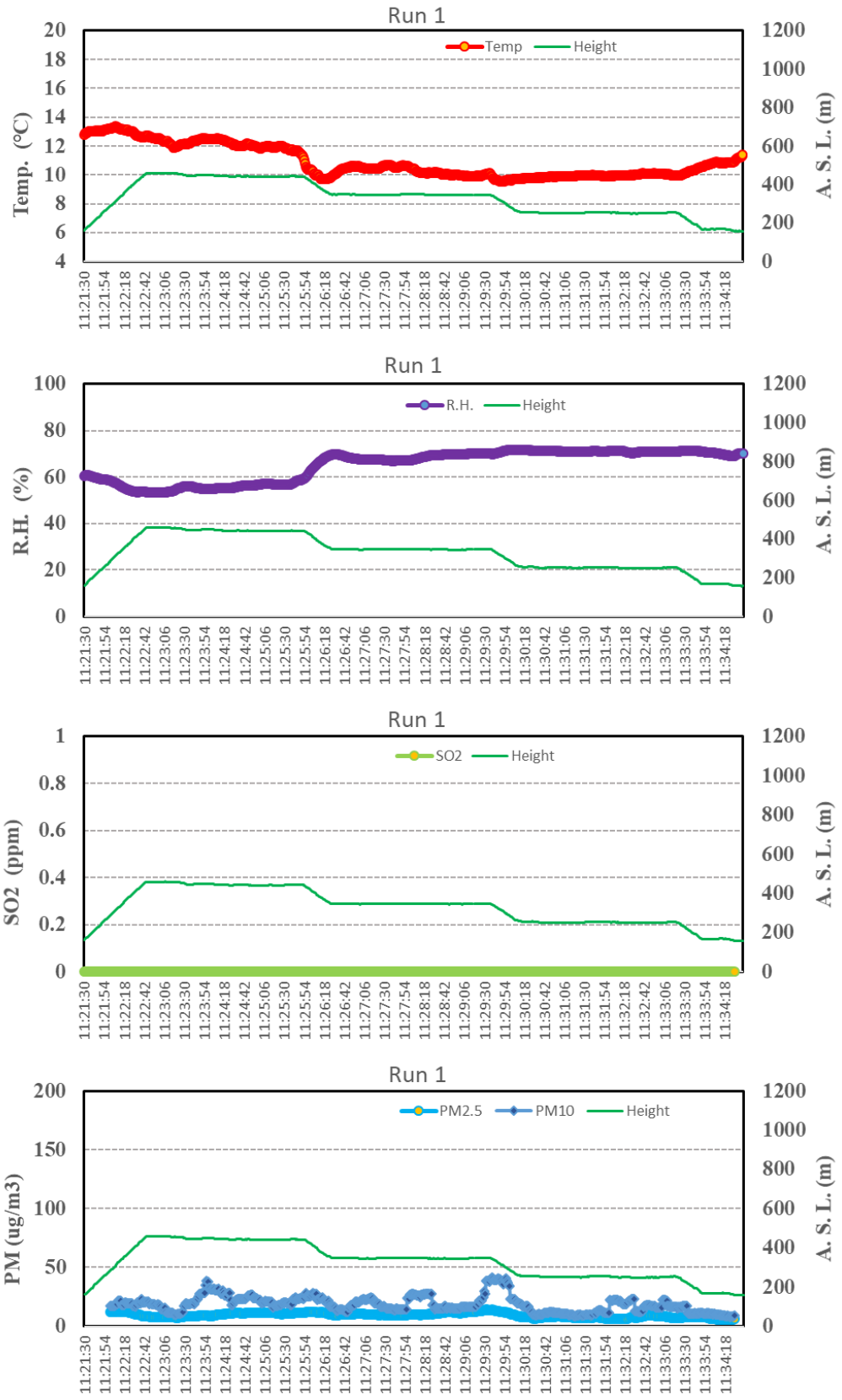


図 43　Run1 の気温、湿度、SO_2 および火山灰（PM_{10}）濃度

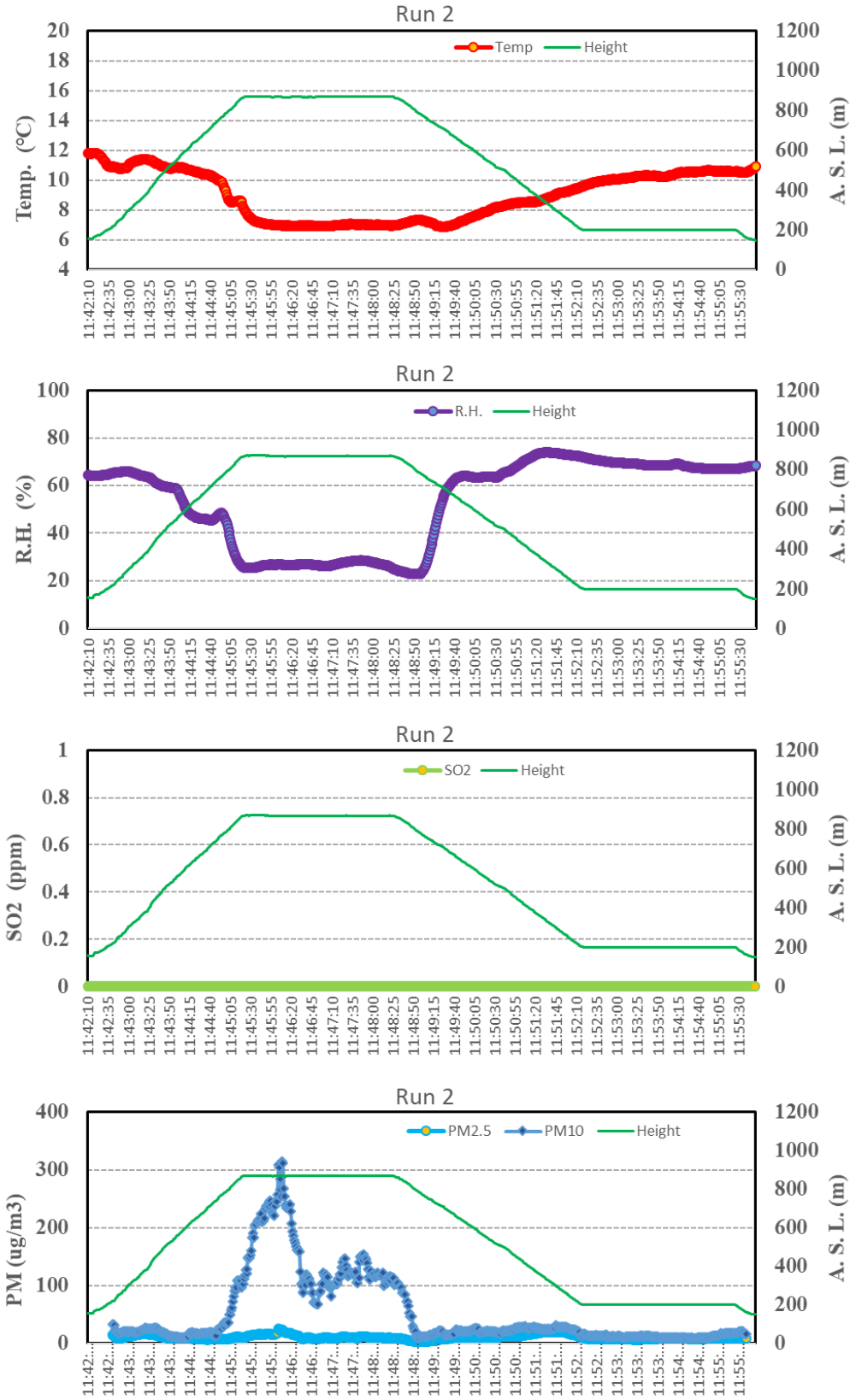


図 44　Run2 の気温、湿度、SO_2 および火山灰（PM_{10}）濃度

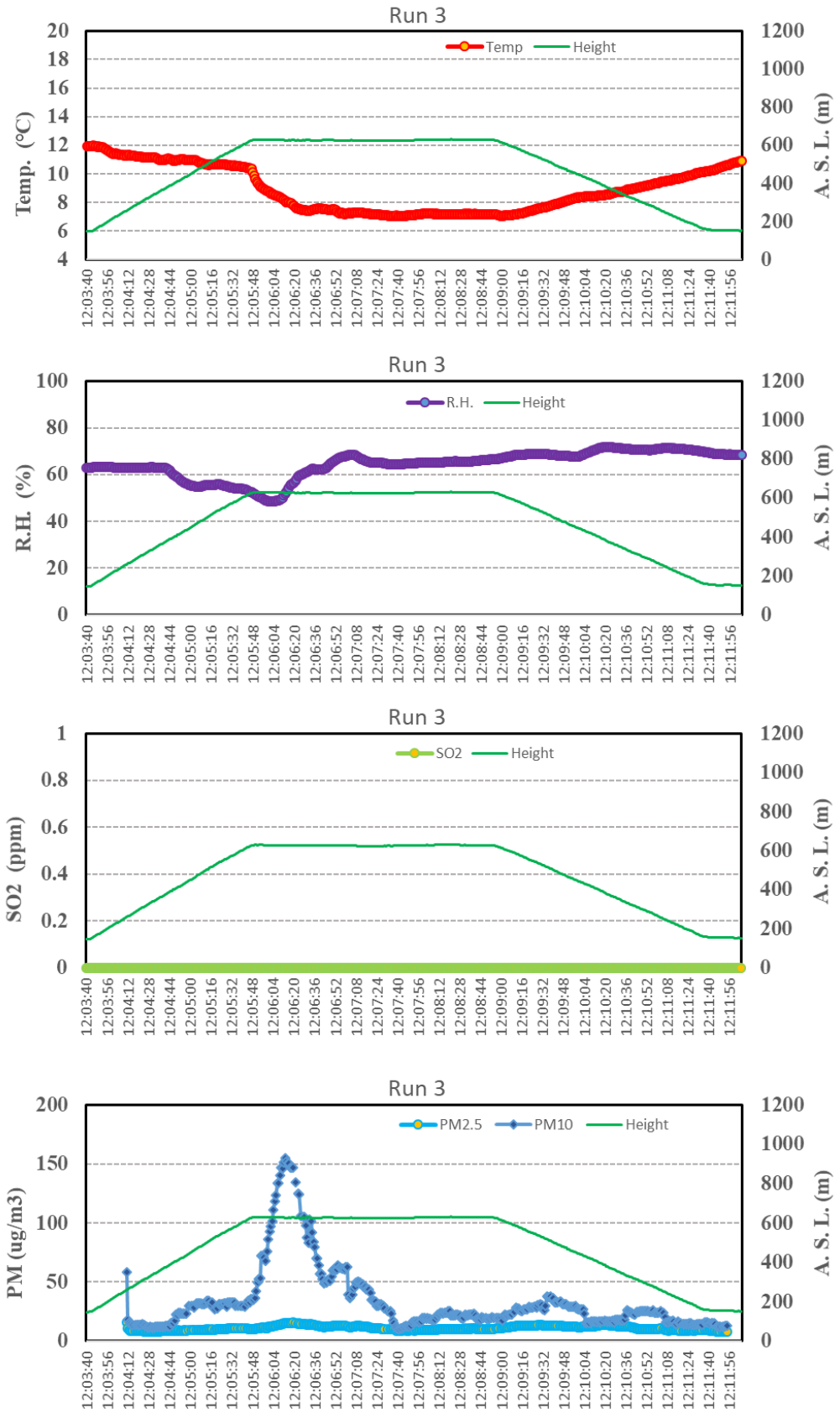


図 45　Run3 の気温、湿度、SO_2 および火山灰（PM_{10}）濃度

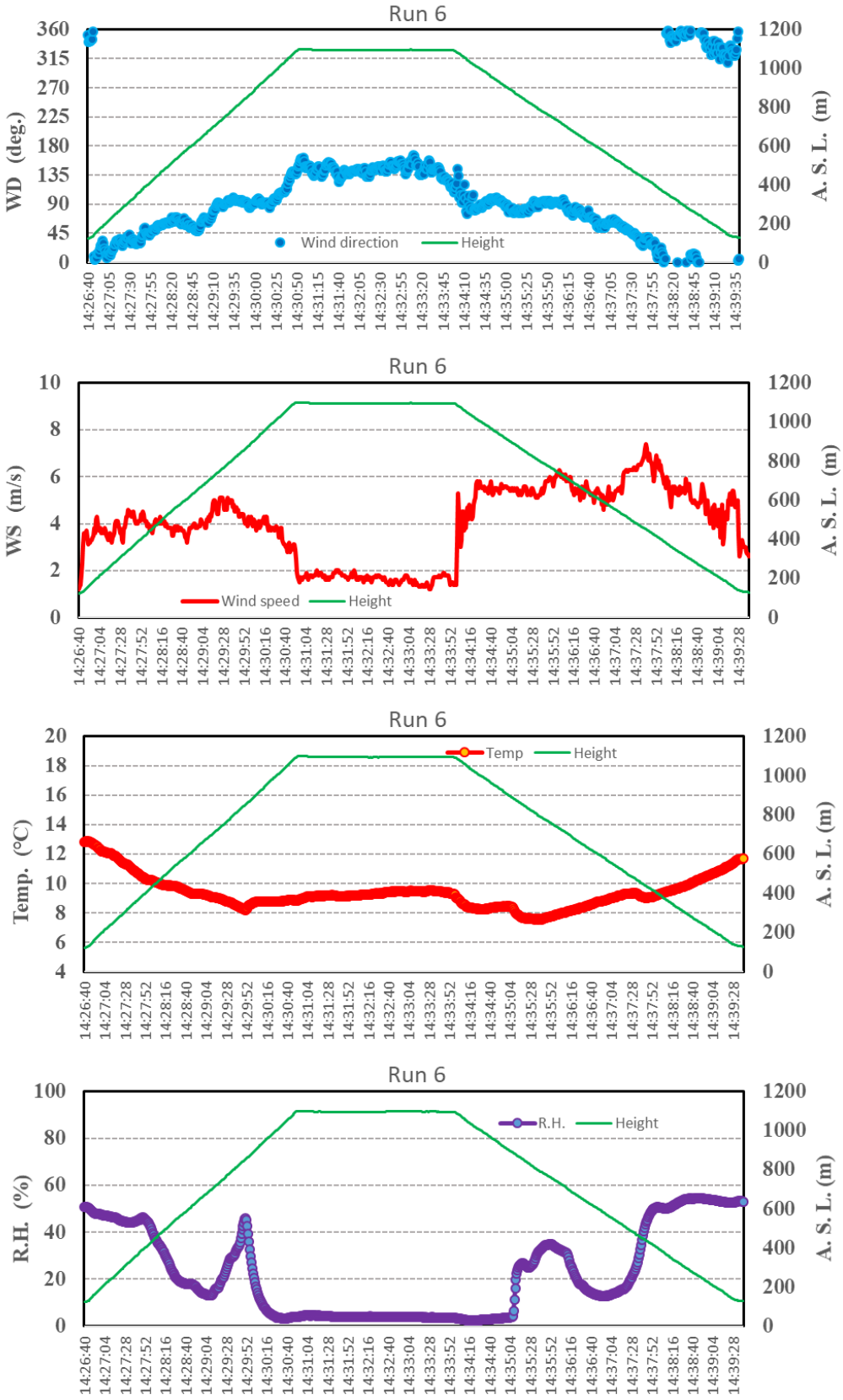


図 46-1　Run6 の風向、風速、気温、湿度

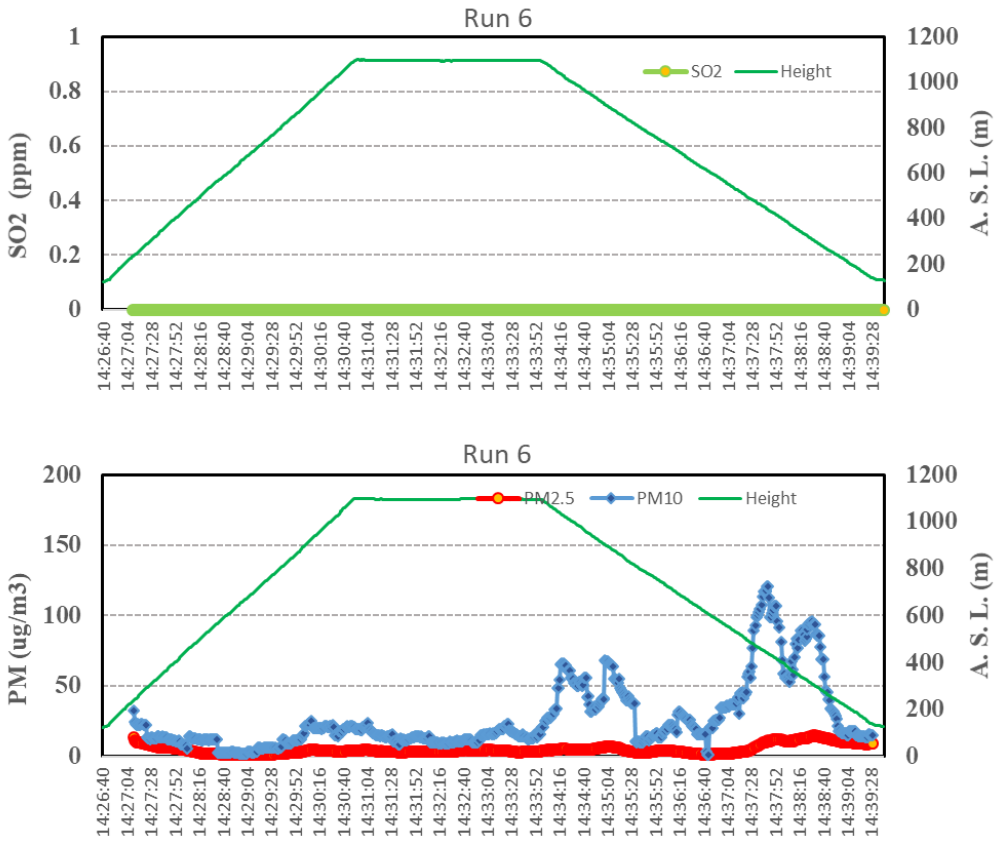


図 46-2　Run6 の SO_2 および火山灰（PM_{10}）濃度

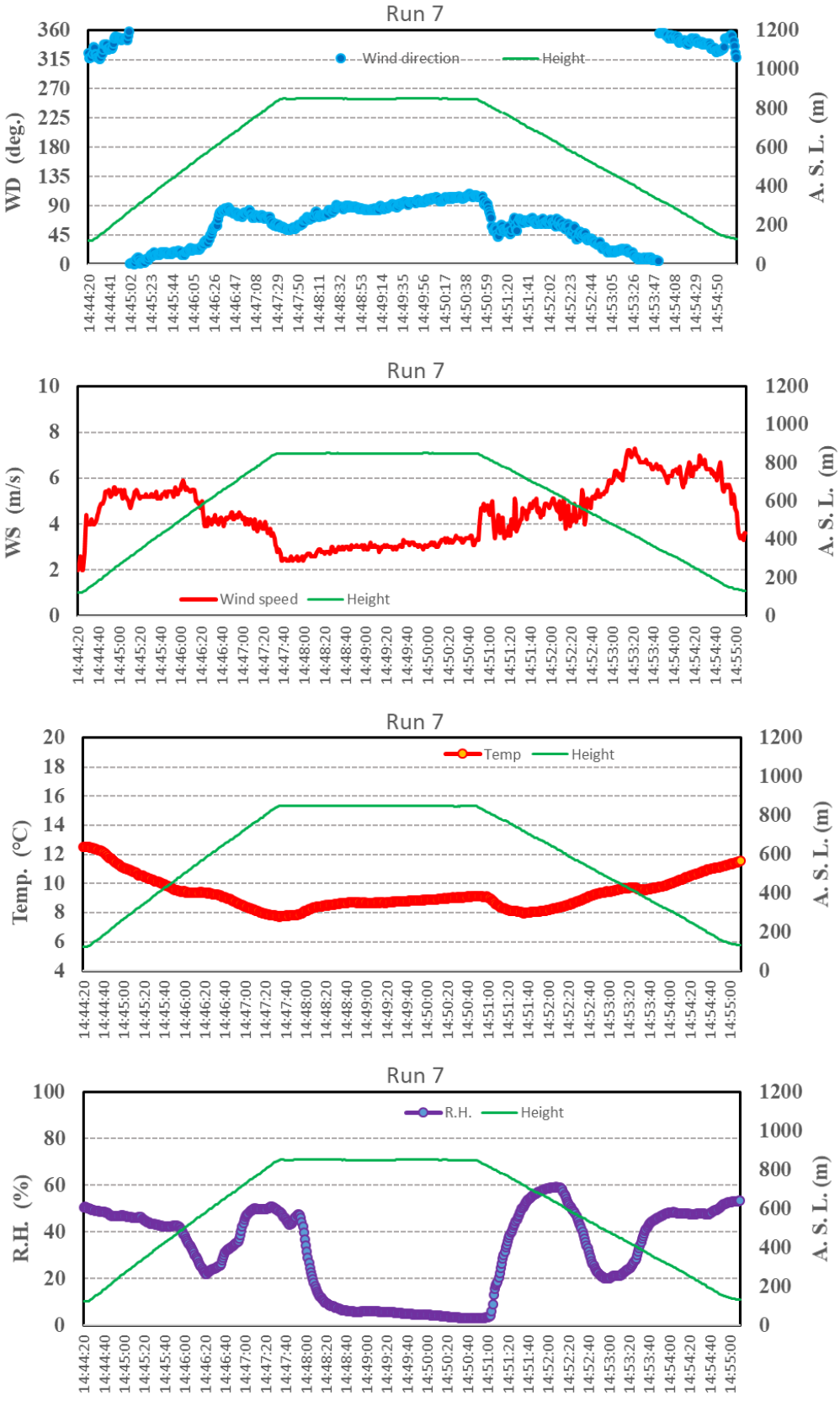


図 47-1　Run7 の風向、風速、気温、湿度

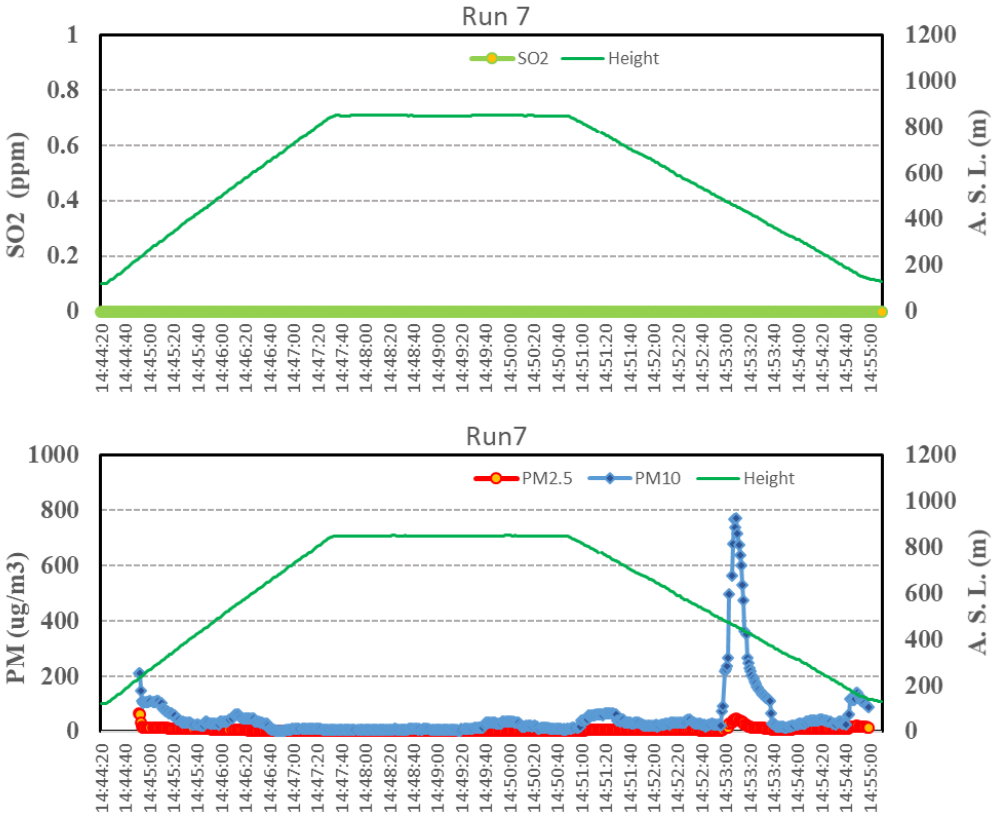


図 47-2　Run7 の SO_2 および火山灰（PM_{10}）濃度

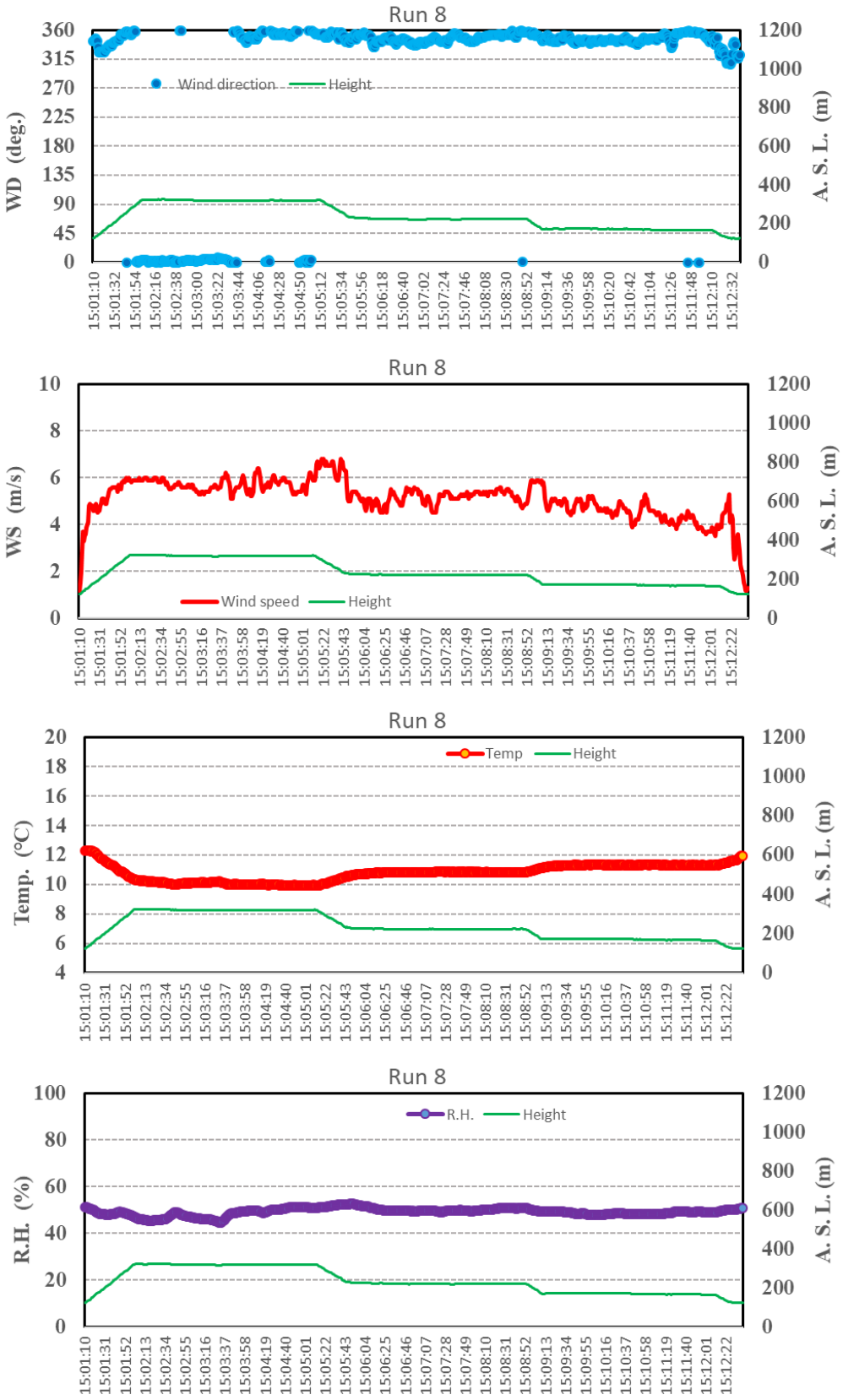


図 48-1　Run8 の風向、風速、気温、湿度

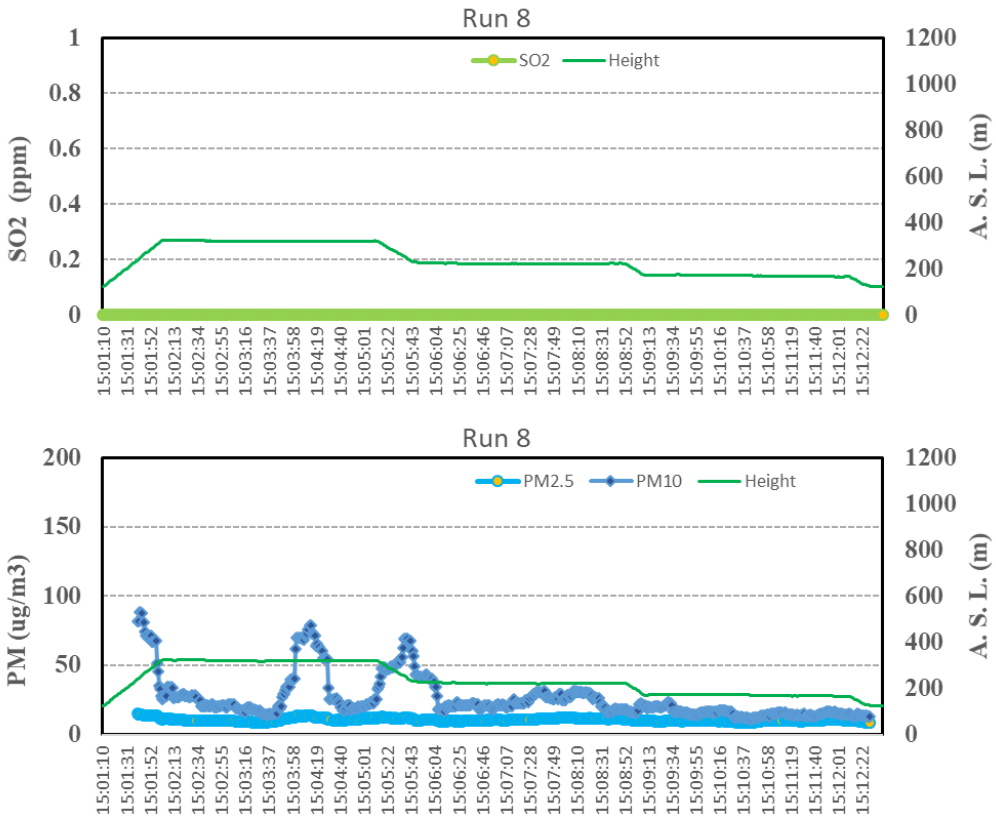


図 48-2　Run8 の SO_2 および火山灰（PM_{10}）濃度

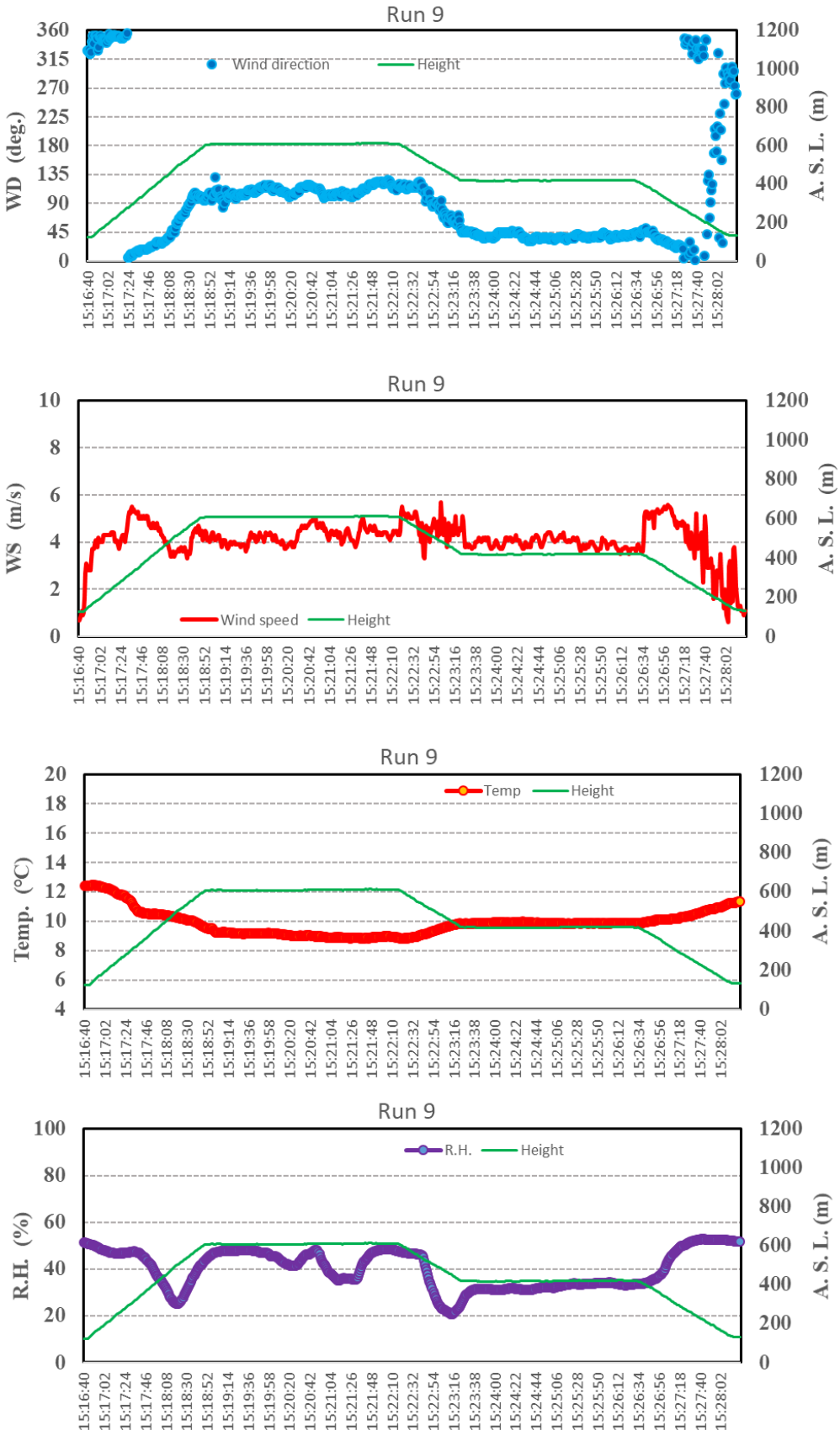


図 49-1　Run9 の風向、風速、気温、湿度

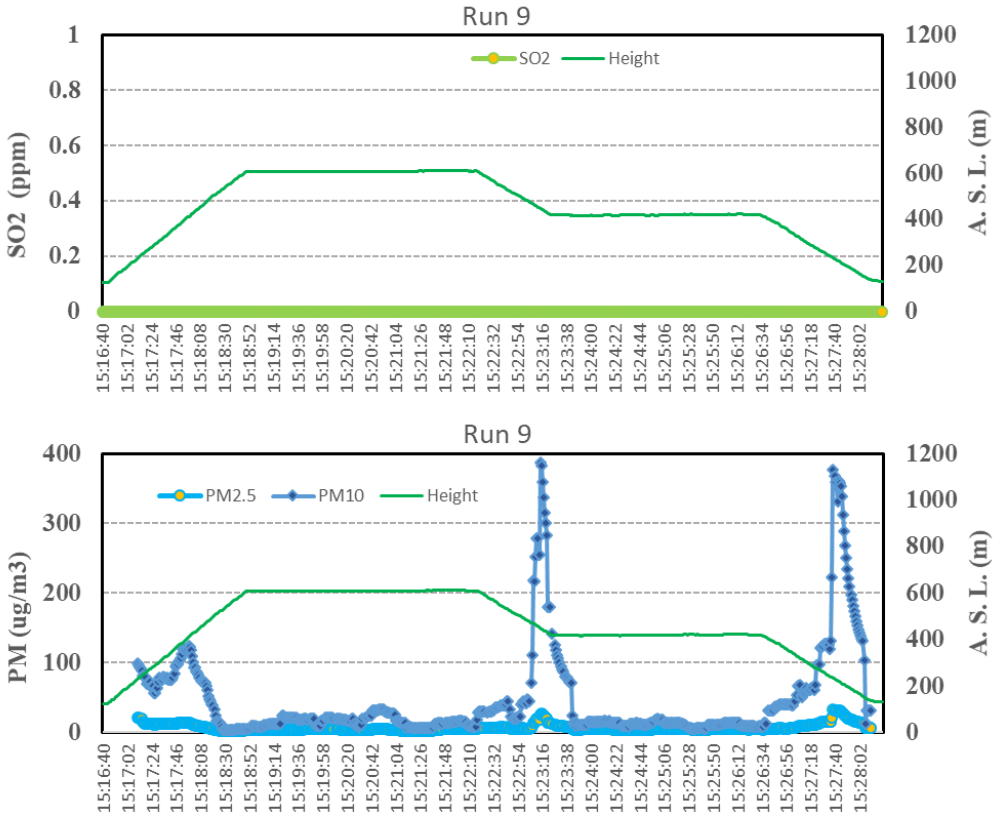


図 49-2　Run9 の SO_2 および火山灰（PM_{10}）濃度

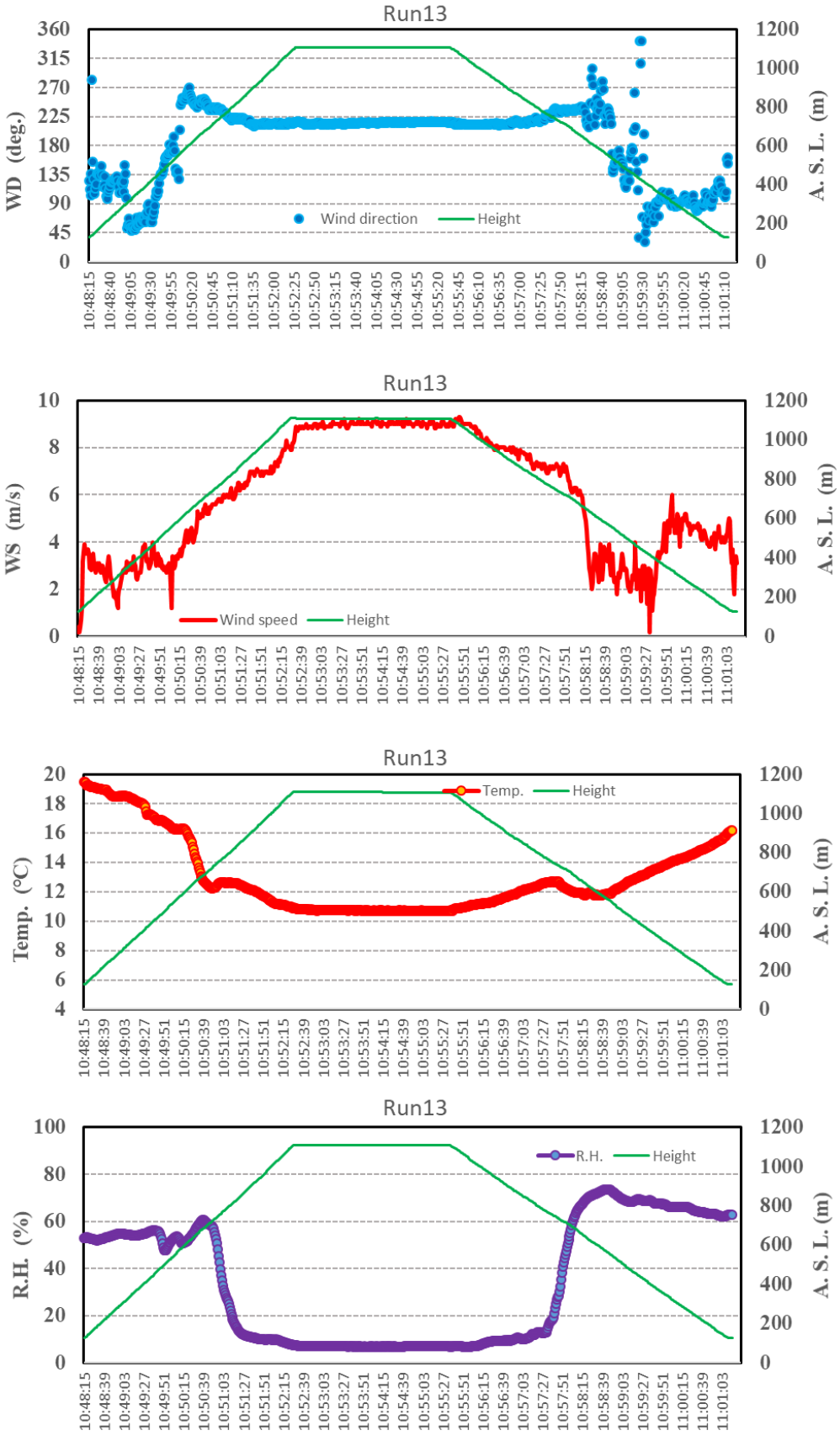


図 50-1　Run13 の風向、風速、気温、湿度

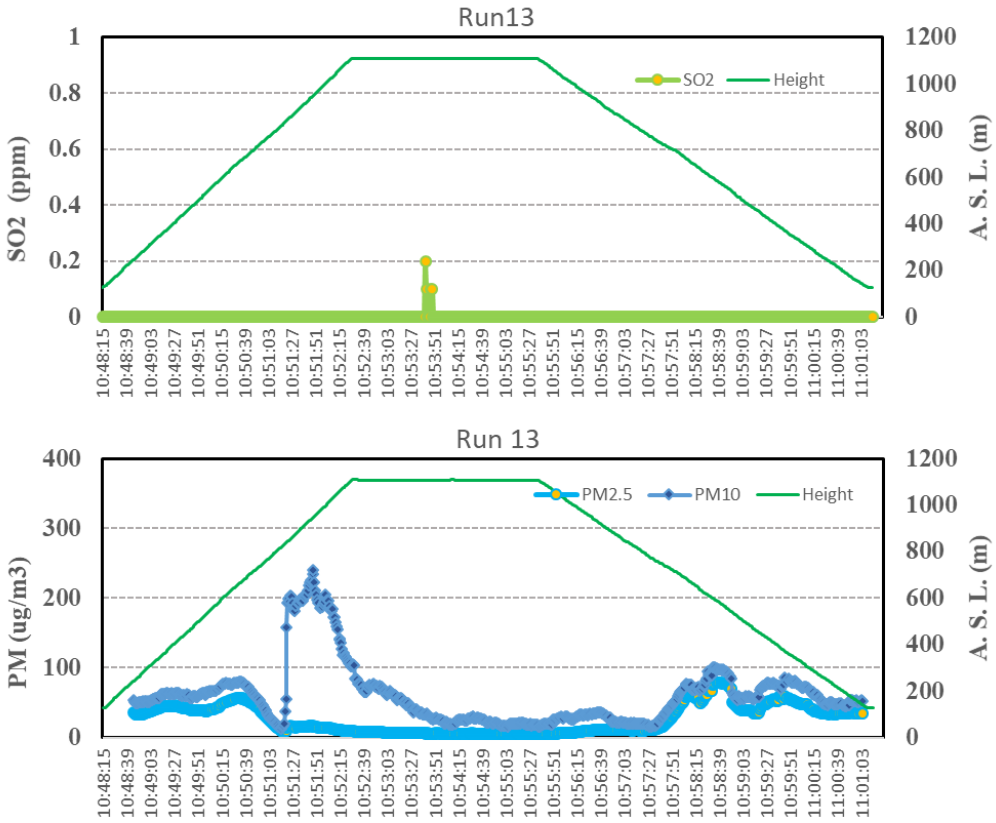


図 50-2　Run13 の SO_2 および火山灰（PM_{10}）濃度

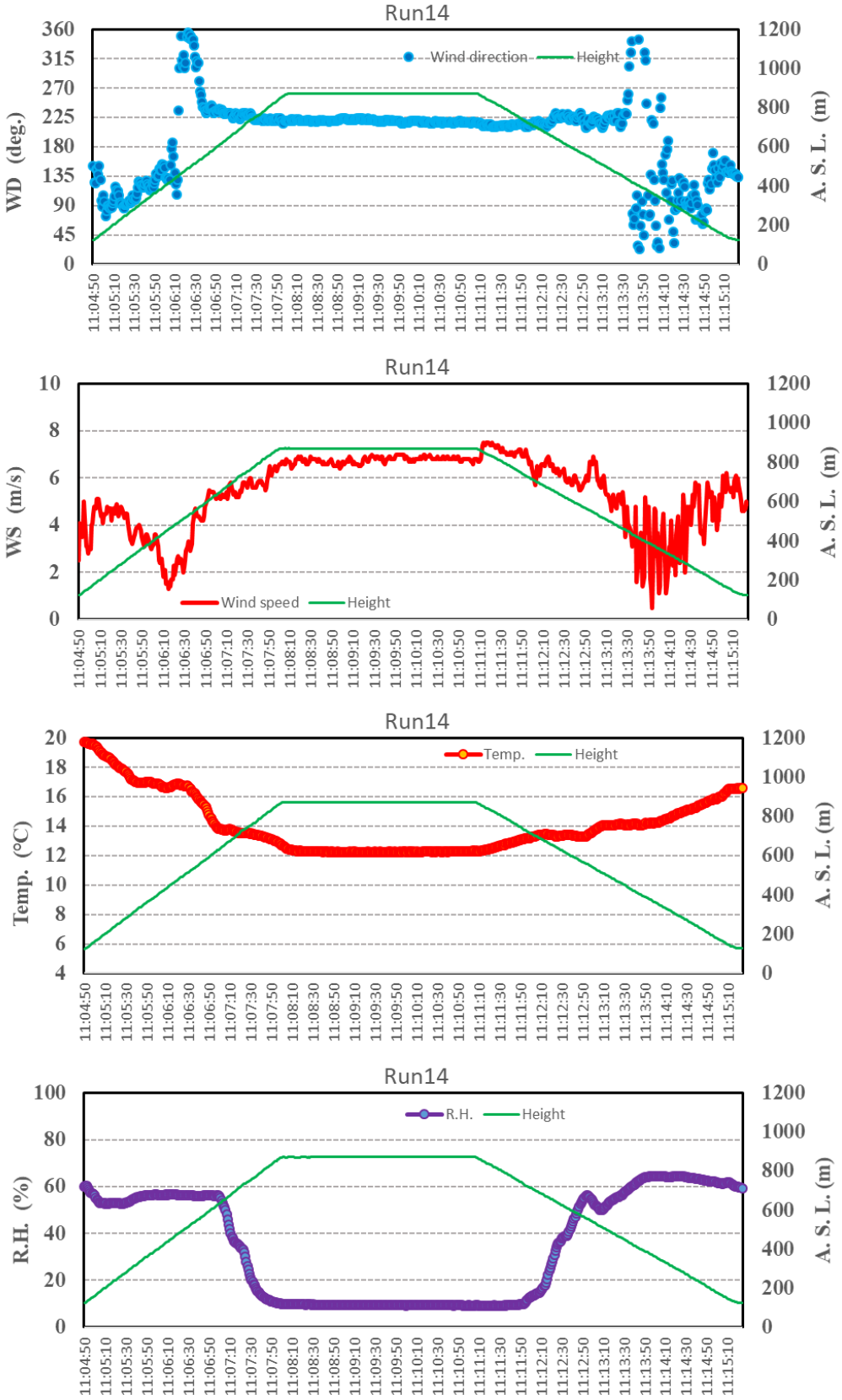


図 51-1　Run14 の風向、風速、気温、湿度

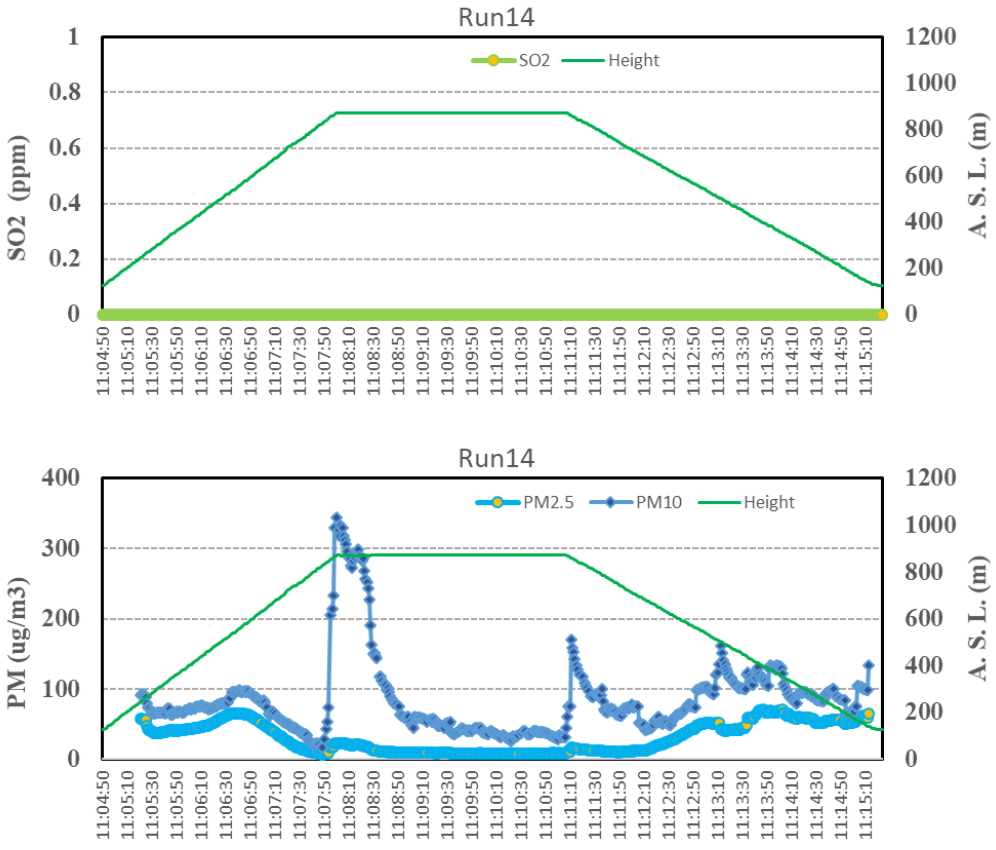


図 51-2　Run14 の SO_2 および火山灰（PM_{10}）濃度

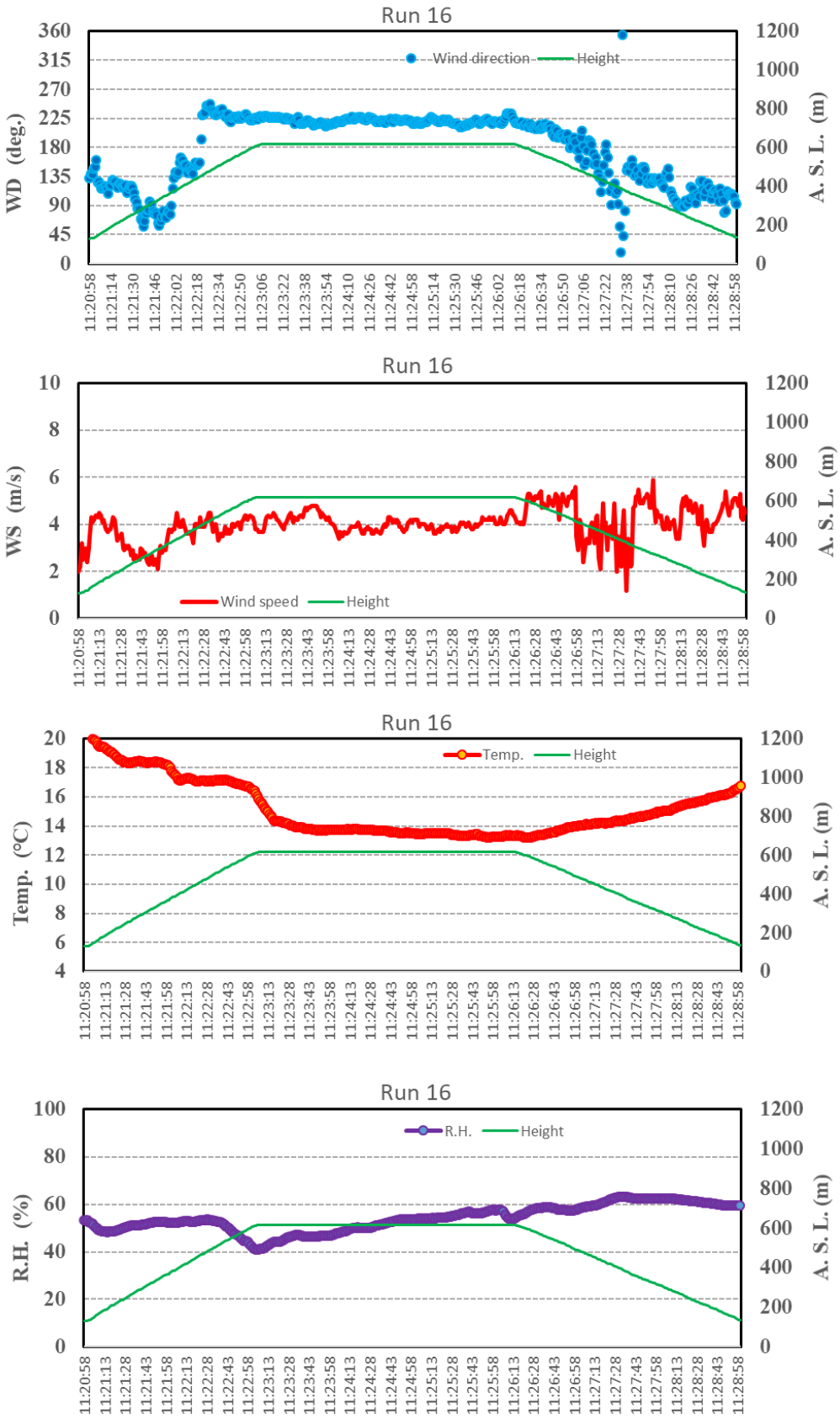


図 52-1　Run16 の風向、風速、気温、湿度

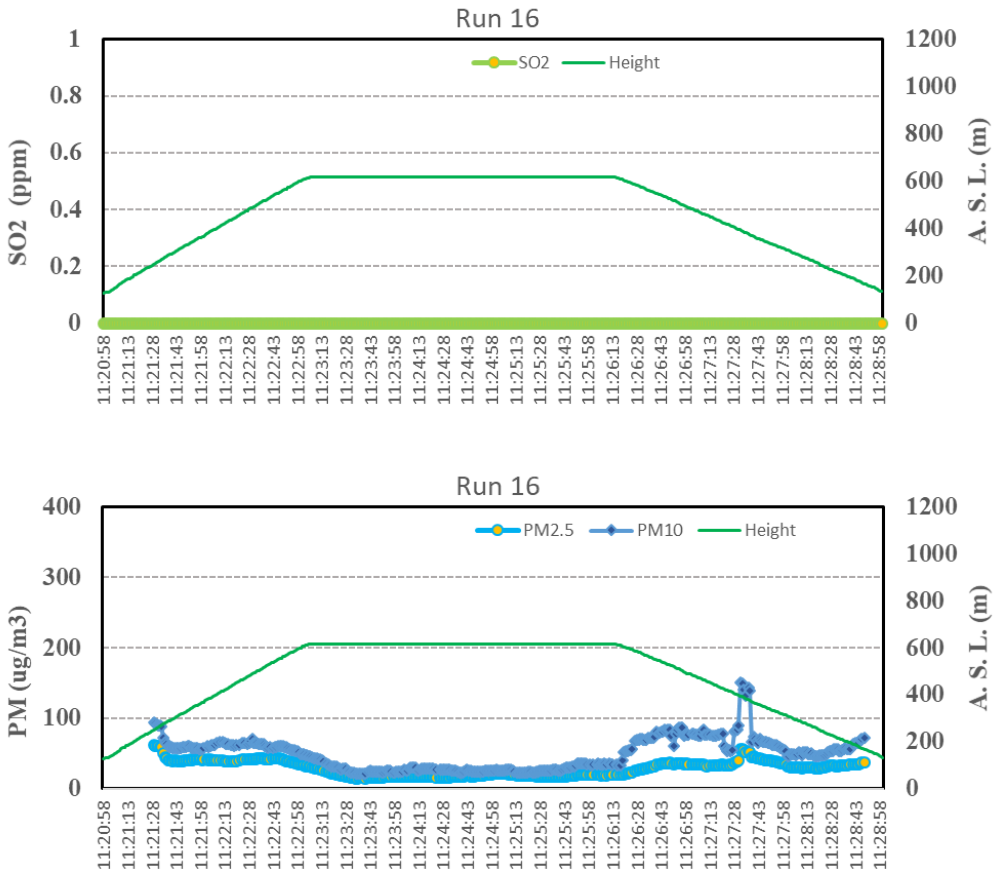


図 52-2　Run16 の SO_2 および火山灰（PM_{10}）濃度

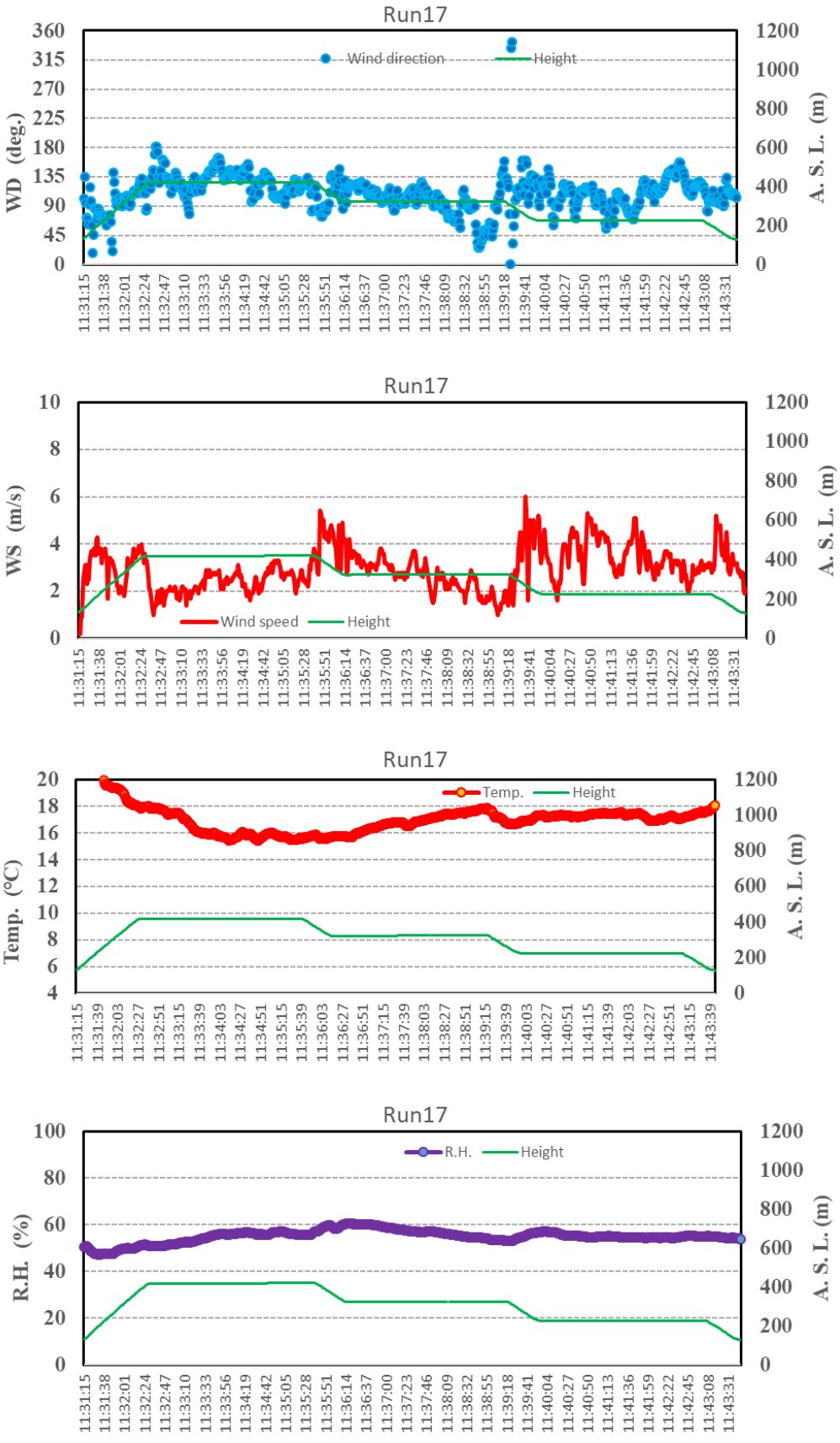


図 53-1　Run17 の風向、風速、気温、湿度

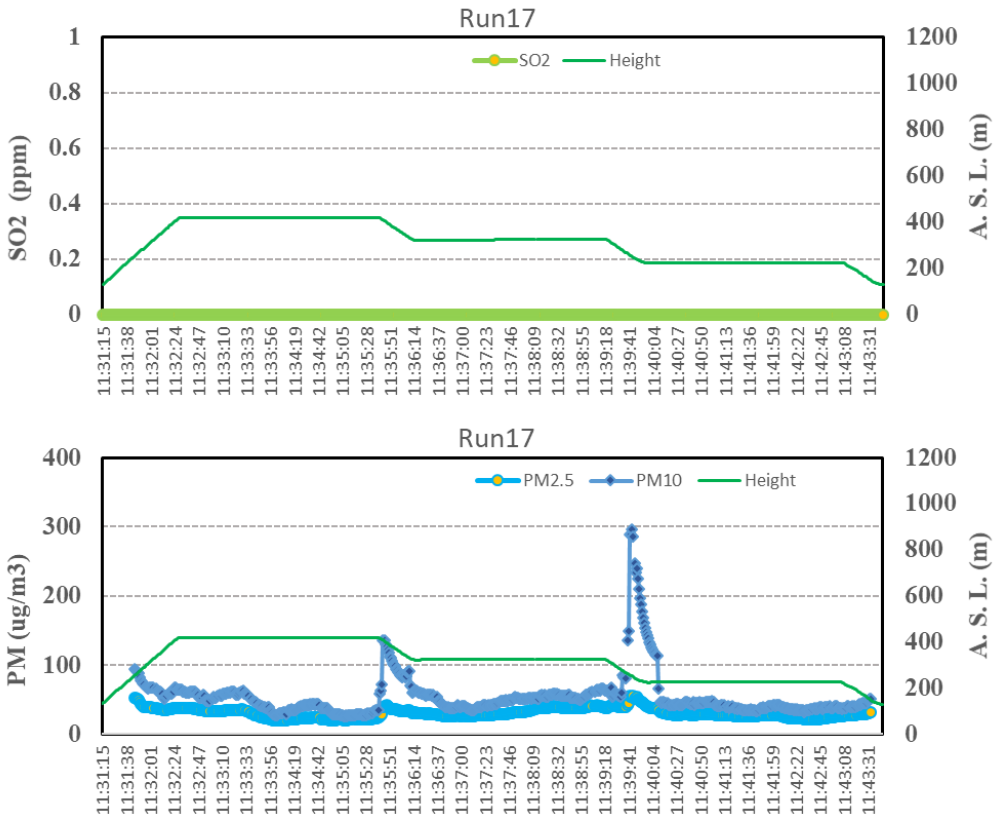


図 53-2　Run17 の SO_2 および火山灰（PM_{10}）濃度

なお、これまでハルタ山において継続してきた風速 3 成分を測定するドップラーライダーを用いた観測は、機器の不調により中断している。

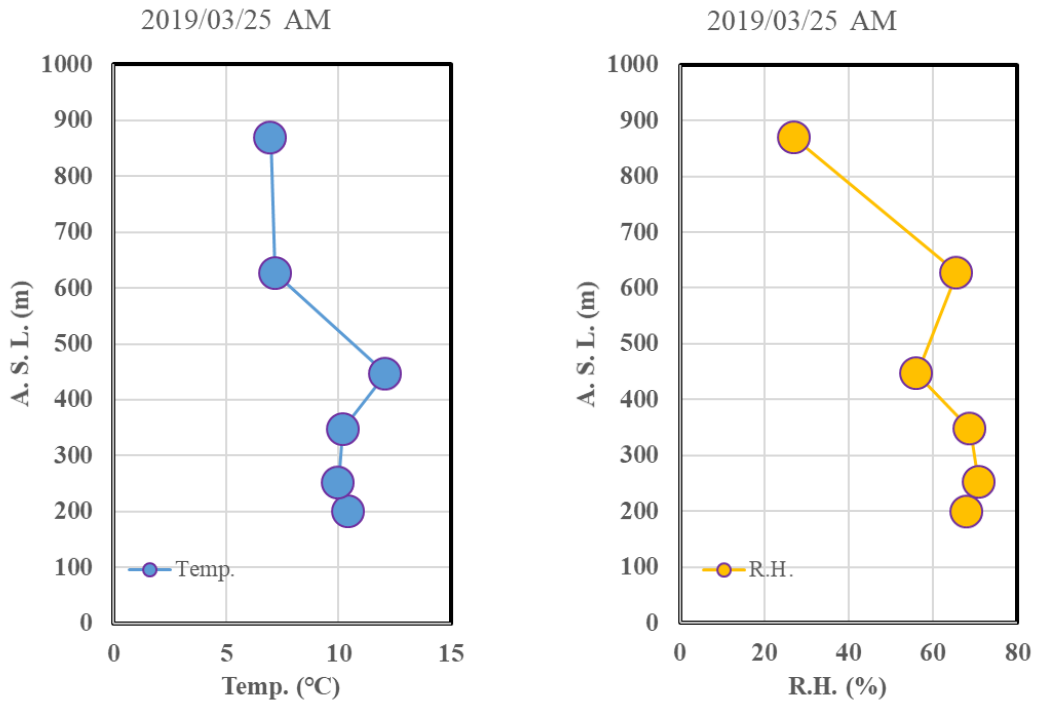
a3-1)　気象観測結果

3/25 AM に実施した Run1～Run4、3/25 PM に実施した Run6～Run9、3/27 AM に実施した Run13～Run17 をそれぞれグループ化し、1 セットの鉛直プロファイルとして整理した結果を図 54～図 56 に示す。

3/25AM の気温鉛直プロファイルより、海抜高度 500m 付近で大きなギャップが観測された。高度 500m 以下では、気温・湿度ともにほとんど一様であり、大気が混合されているものと推測される。

3/25 PM の気温鉛直プロファイルより、地上から高度 1000m 付近まで変化が小さかった。一方で相対湿度については高度 700m 付近で大きなギャップが見られた。風についは高度 400m より下層では北寄りの風が 5m/s 前後観測されたが、これより上空では東風に変化し、風速も低下する傾向が見られた。

3/27 AM の観測結果から海抜高度 400m より上空で気温減率、風向・風速が大きく変化している。相対湿度については高度 700m 付近で大きなギャップが見られた。風にいては高度 400m 付近までは東風の弱風であったが、これより上空では南西風となり、風速も増大していく傾向が明瞭であった。



風速　欠測　　風向　欠測

図 54　気象要素の鉛直プロファイル(3/25AM; 左図: 気温　右図:　相対湿度)

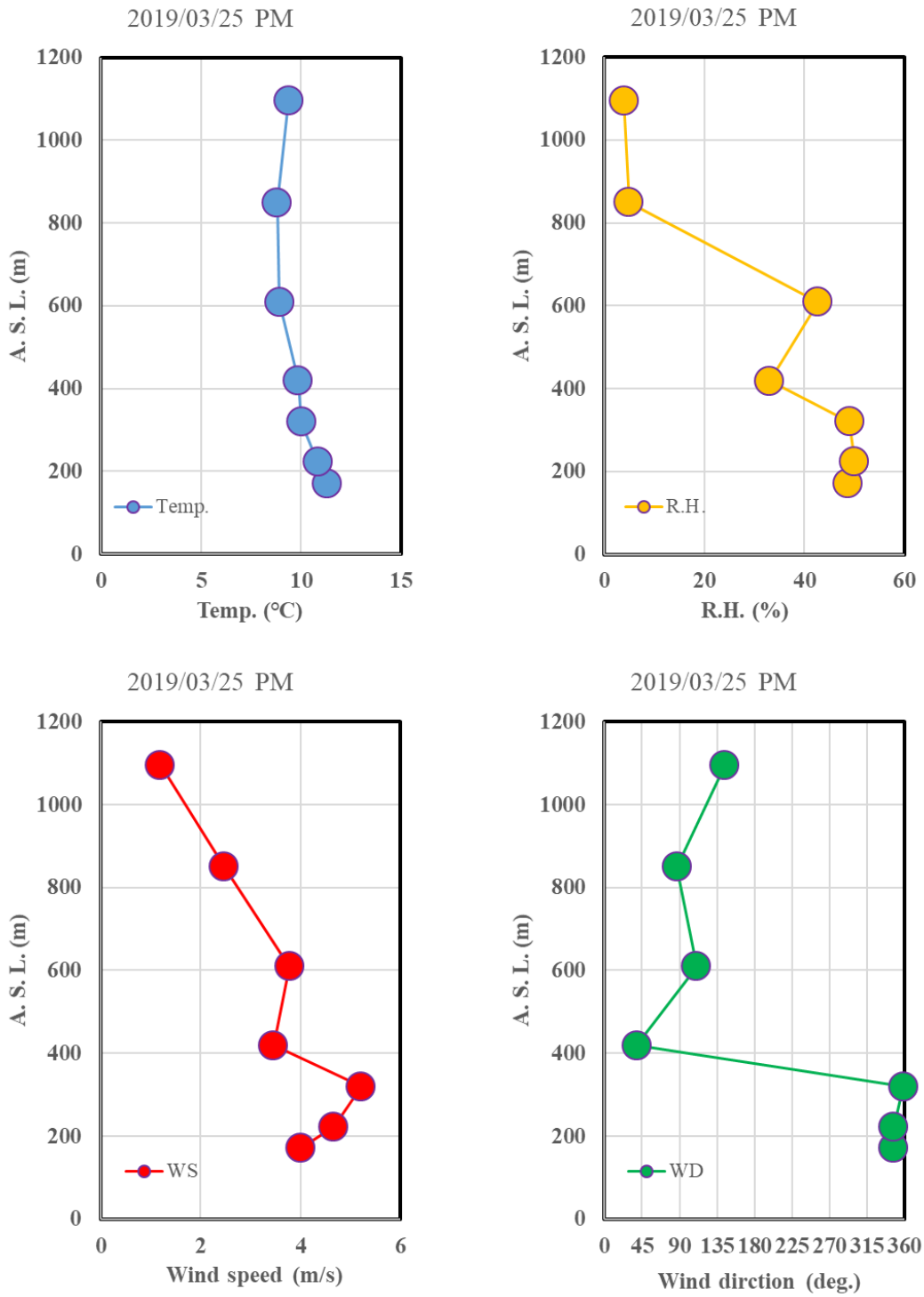


図 55　気象要素の鉛直プロファイル(3/25PM; 上左: 気温　上右:　相対湿度　下左: 風速　下右: 風向)

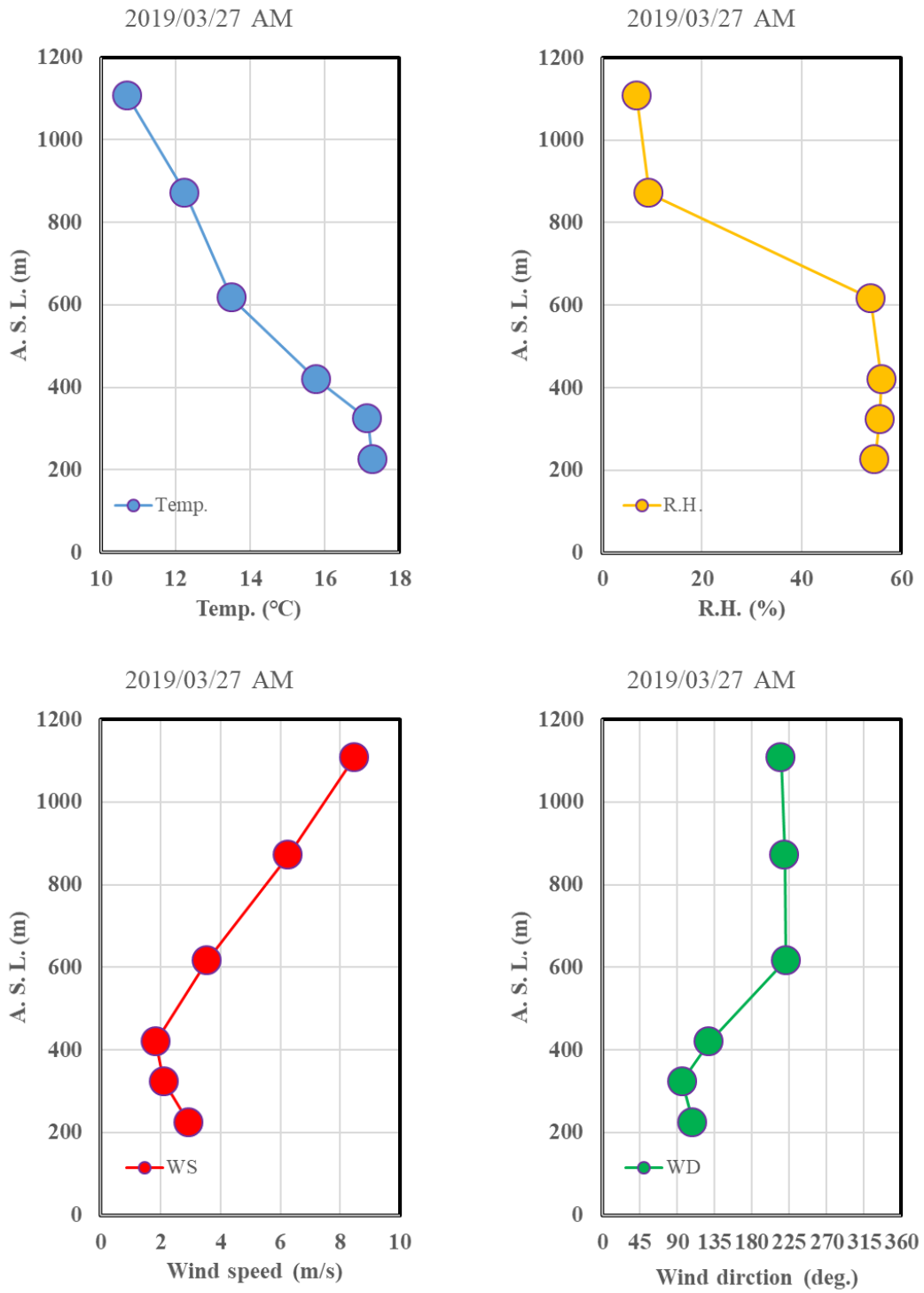


図 56　気象要素の鉛直プロファイル(3/27PM; 上左: 気温　上右:　相対湿度　下左: 風速　下右: 風向)

a3-2)　火山ガス・火山灰観測結果

火山ガスのうち、H_2S についてはすべての Run で検出下限値未満(<0.1ppm)であった。SO_2 については、Run13 において地上 1000m でホバリング中に最大 0.2ppm の濃度が観測された以外は、検出下限値未満(<0.1ppm)であった。Run13 時系列観測図(参考資料)より、SO_2 は

海抜高度 1000m でのホバリング中に数秒間検出されているが、PM 濃度の上昇とは同期していない。

火山灰については、PM_{10} 濃度を 3/25 AM に実施した Run1～Run4、3/25PM に実施した Run6～Run9、3/27AM に実施した Run13～Run17 をそれぞれグループ化し、1 秒毎のデータを海抜高度とともにプロットした結果を図 57 に示す。この図にはホバリング中だけでなく、地上から指定高度までの往復の飛行中のデータも含まれている。一方で、離陸後 30 秒、着陸前 10 秒間のデータは地表面の巻上げ粉じんの影響を受けているため除外した。

3/25 AM の観測では、高度 700m 付近および 900m でのホバリング中に PM 濃度の上昇がみられるが、Run2, Run3 の時系列観測図(参考資料)によると、指定高度でのホバリング中に常に高濃度となっているわけではなく、高濃度継続時間としては 1 分程度であった。

3/25 PM の観測では高度 450m 付近で PM の濃度上昇が観測された。これは指定高度でのホバリング中ではなく、往復の飛行経路経路上で観測されたものである。この高度は気象観測の結果より、風向の鉛直シアが見られた高度とほぼ対応している。また、Run9 のみ高度 250 付近でも PM 濃度の上昇が見られた。

3/27 AM の観測では高度 800m～1100m の層で PM 濃度の上昇がみられた。Run13 では指定高度(1100m)に到達する直前、Run14 では指定高度でのホバリング中に高濃度が観測され、高濃度継続時間は 1 分程度であった。また、Run17 のみ高度 250m 付近でも濃度が観測された。

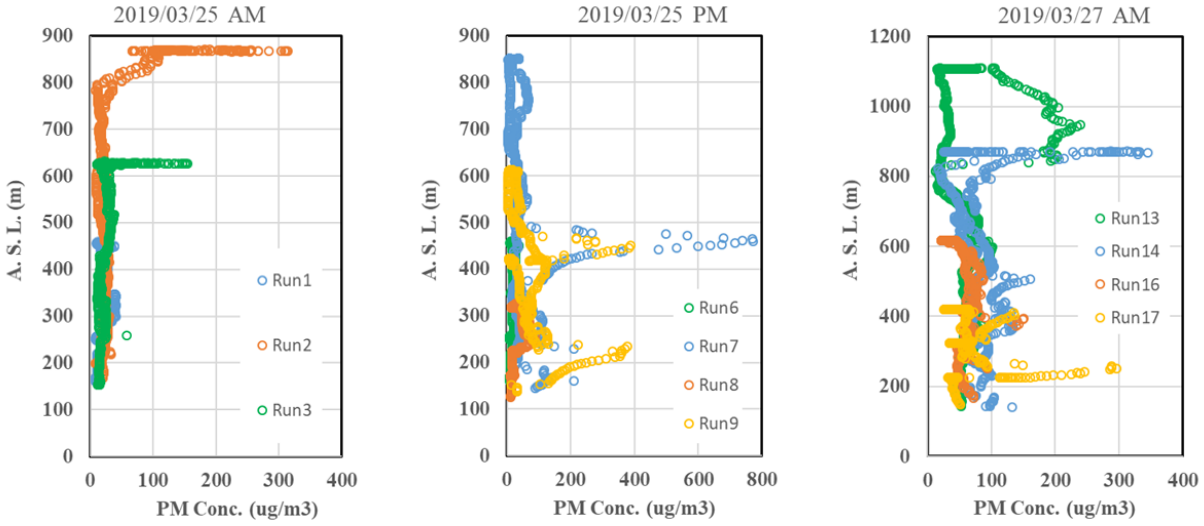


図 57　火山灰（PM_{10}）濃度観測結果

A3-3)　ドローンによる PM 観測とライダー観測の比較

表 2 に示す観測は火山灰濃度センサーも搭載しているので、火山灰濃度センサーの PM2.5 および PM10 の測定値と黒神に設置したライダーにより観測された散乱強度の比較を行った。

黒神に設置されたライダーによりレーザー光は 259° N 方向（南岳 B 火口よりもやや南）の仰角 15° で照射されている。ドローンによる気象観測を実施した 2019 年 3 月 25 日及び 27 日の散乱強度および消散係数の時間変化をそれぞれ図 58 と図 59 に示す。3 月 25 日は散乱強度の強い部分が、視線距離 3000m 付近から 5000m 付近へと徐々に移動していることがわかる。午前中の観測時間帯では強い散乱体が黒神方向に移動してきているが、15 時から 20 時においては強い散乱体は視線距離 5000m 付近の南岳火口上にとどまっていた。

3 月 27 日は強い散乱体が黒神のライダーの近傍にとどまっている。

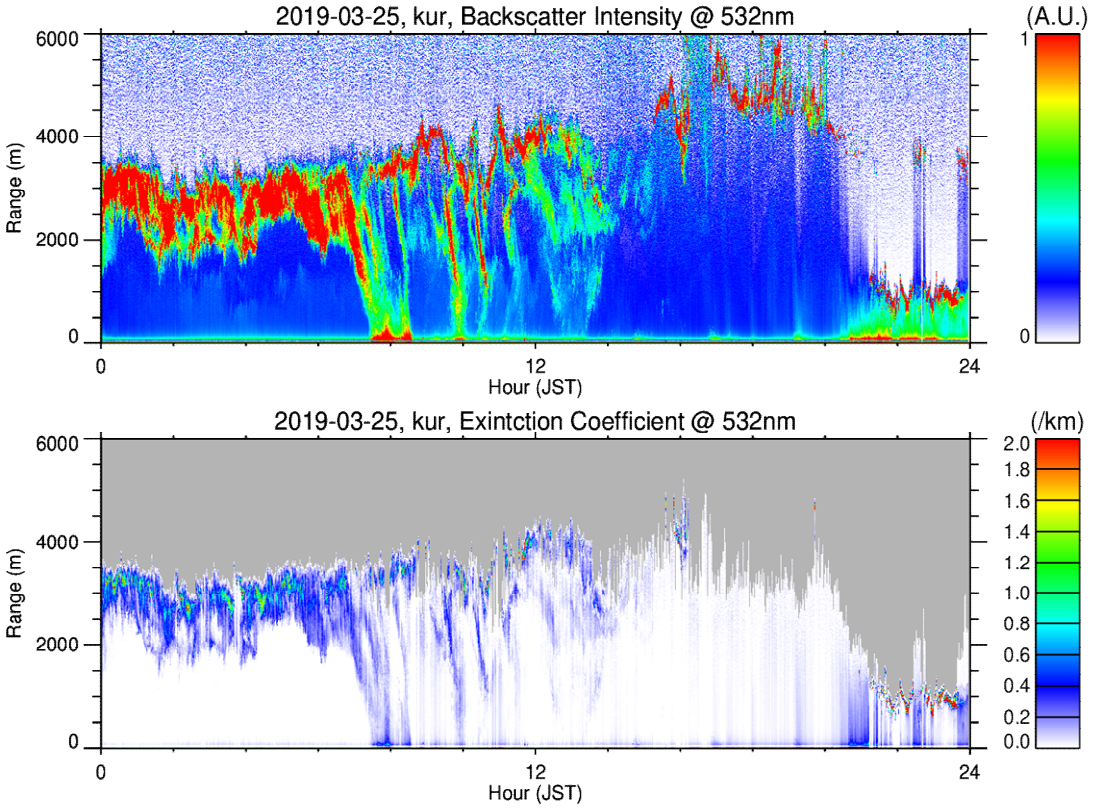


図 58　黒神ライダーによる 2019 年 3 月 25 日の散乱強度および消散係数の時間変化

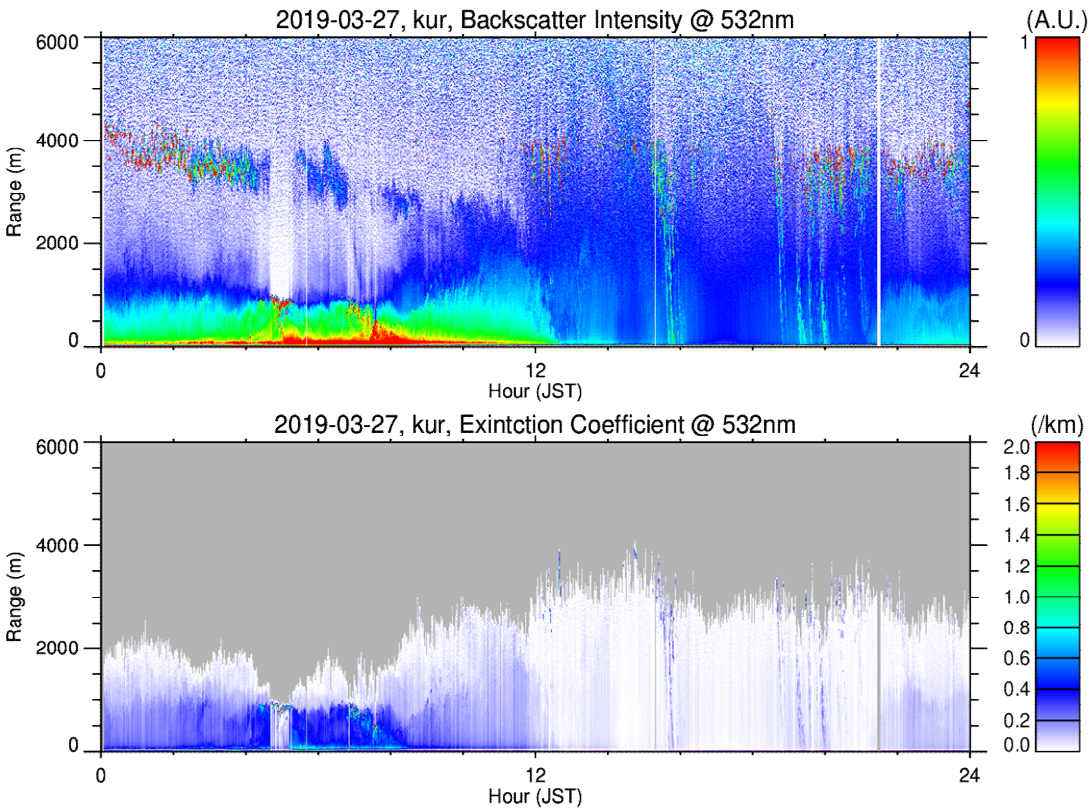


図 59　黒神ライダーによる 2019 年 3 月 27 日の散乱強度および消散係数の時間変化

ドローンによる気象観測を行った Site A は、黒神に設置したライダーのレーザー光から水平距離で 430m 離れている（図 60）。Site A に最も近い場所レーザー光の位置を最近点とし、最近点直上のライダーデータを参照することとした。また、ライダーデータの参照点は標高 237m に位置するため、ドローンによる観測データは高度 237m 付近の値を使用した。

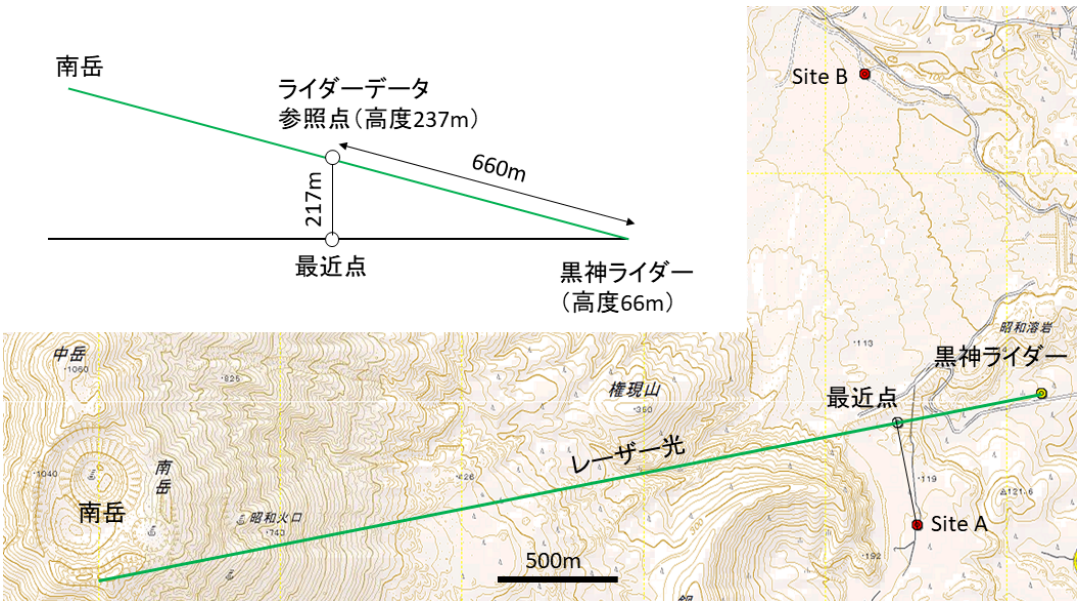


図 60　ライダーのレーザー光と Site A および Site B の位置関係

表 3 に Site A における高度 237m 付近の火山灰粒子濃度（PM2.5、PM10）とライダーで計測した散乱強度を比較して示した。ここで、散乱強度は、波長 532nm の 2 つの偏光波の後方散乱強度の和を距離補正した値を 5 分間平均したものである。

表 3　Site A におけるドローンによる火山灰濃度とライダーによる散乱強度の比較

日時	風速 m/s	風向 °	気温 ℃	湿度 %	PM2.5 μg/m^3	PM10 μg/m^3	RUN	ライダー散乱強度 ×10^8
2019/3/25								
11:33:26			9.98	71.14	7.2	16.1	RUN1	6.27
11:42:45			10.84	65.49	9.7	20.8	RUN2	5.13
11:52:05			9.36	72.64	15.1	23.7	RUN2	5.30
12:04:05			11.35	62.97			RUN3	4.85
12:04:10			11.31	63.04			RUN3	4.85
12:04:11			11.28	62.99	15.9	58	RUN3	4.83
12:11:10			9.54	71.26	9.1	16.6	RUN3	4.83

表 4 に Site B における高度 237m 付近の火山灰粒子濃度（PM2.5、PM10）とライダーで計測した散乱強度を比較して示した。3 月 25 日のドローンによる火山灰濃度測定では 100μg/m^3 を超える高濃度が検出されたが、ライダーでは安定して 4×10^8 の値が得られた。Site B はレーザーの最近点から 1.4km 離れているので対応関係はよくないのかもしれない。3 月 27 日はライダーによる観測では安定して 8×10^8 の値が得られており、黒神周辺の地域的な影響を受けているのかもしれない。

今回の測定ではライダーの通常の運用通り、レーザー光を 259° N 方向（南岳 B 火口よりもやや南）の仰角 15° で照射したが、今後の測定ではより精度を高めてドローンの位置に照射するとともに、地上の影響を受けにくいより高い高度において測定を行う必要がある。また、ドローン観測においては、ホバリングして同じ地点の火山灰濃度を安定して収集する必要がある。

表４　Site Bにおけるドローンによる火山灰濃度とライダーによる散乱強度の比較

日時	風速	風向	気温	湿度	PM2.5	PM10	RUN	ライダー散乱強度
	m/s	°	℃	%	μg/m^3	μg/m^3		×10^8
2019/3/25								
14:27:11	3.7	23	12.06	46.56	13.4	32.3	RUN6	4.42
14:38:54	4.4	356	10.43	54.21	10.9	21.7	RUN6	4.08
14:44:53	5.3	345	11.4	46.78	34.4	147.2	RUN7	4.06
14:54:26	6.9	348	10.65	47.69	10.2	35.4	RUN7	4.09
15:01:41	5.4	352	11.23	48.43	14.9	81.6	RUN8	4.14
15:05:42	6.7	341	10.49	52.39	12	68.1	RUN8	4.13
15:17:13	4.3	351	11.98	46.79	20.1	93.8	RUN9	4.08
15:27:37	3.2	17	10.51	52.5	21.2	223.1	RUN9	4.14
15:27:38	2.3	2	10.52	52.59	32.4	376.7	RUN9	
2019/3/27								
10:48:44	3	123	18.75	53.34			RUN13	8.07
10:48:45	2.8	125	18.74	53.46			RUN13	8.07
10:48:46	2.6	129	18.67	53.57	35.8	53.1	RUN13	8.07
11:00:32	4.2	103	14.66	64.38	34.7	50.9	RUN13	8.02
11:05:20	4.7	86	18.17	52.97			RUN14	8.11
11:05:21	4.2	91	18.13	52.98	57.7	91.9	RUN14	8.11
11:14:41	3.6	107	15.34	63.3	55.3	96.8	RUN14	8.24
11:21:28	3.5	120	18.35	50.31			RUN16	8.24
11:21:29	3.6	121	18.37	50.52	62.7	94.3	RUN16	8.24
11:28:25	4.6	101	15.58	61.37	31.7	49.6	RUN16	7.74
11:31:45	3.8	76	20.11	47.69			RUN17	7.71
11:31:46	3.5	66	20.12	47.63	52.5	94.2	RUN17	7.71
11:39:49	4.6	138	16.66	56.44	53.3	239.9	RUN17	7.73

b）桜島火山周辺域の高分解能気象シミュレーション

メソ気象モデルを用いて、桜島火山および周辺の複雑地形を高解像度で表現することで、地形の微細構造に起因した火山近傍の詳細な風速場を数値シミュレーションにより再現する。また、気象モデルの風速場から火山灰拡散の再現シミュレーションを行い、風速場の再現性によって降灰量の再現性がどのように影響を受けるのかを調べる。さらに、噴火に係わる観測データから、予測計算に必要な噴煙モデル変数の特性を分析した。

火山灰拡散予測の高精度化を目指し、2018 年 6 月の桜島火山の噴火事象を対象として、気象モデルおよび噴煙モデルによる火山灰拡散の予測実験を実施した。

b1）　風速場および拡散場の再現性

本節では、過去に生じた桜島火山の噴火イベントを数値モデルにより再現し、モデル解像度の違いによって桜島周辺の気流の再現性がどのように変わり、それが火山灰の輸送・沈着の再現にどのように影響するのかを事後解析により調べる。2017 年 6 月 6 日および 2017 年 10 月 1 日の桜島火山の噴火イベントを対象として、高解像度数値シミュレーションによる風速場・拡散場の再現性を検討した。気象場の再現には気象モデル WRF (Skamarock and Klemp 2008)[9] を用い、特に水平格子幅を変化させた場合に地形の表現が異なることに着目し、火山近傍の風速場の再現性の影響が火山灰の拡散場にどう現れるのかについて調べた。火山灰の拡散・沈着のシミュレーションには、火山灰輸送・沈着モデル FALL3D (Folch et al. 2009)[10] を用いた。

図 61 に、2017 年 10 月 1 日の噴火イベント時の降灰量の観測値とシミュレーション結果とを示す。数値シミュレーションでは、低解像度として水平格子幅が 1000 m の場合と高解像度として 70 m の場合を比較した。水平格子幅 1000 m は火山灰輸送・沈着モデルでしばしば使われるものであり、ここでは、高解像度の場合と比較することで、低解像度シミュレーションの問題を示すことを意図している。低解像度の場合には、桜島の海岸付近の地点でモデル結果は観測値に対して 13.9 倍という過大評価となっている。一方、高解像度の場合には、火口付近および海岸付近の地点においてモデル結果は観測値に対してそれぞれ

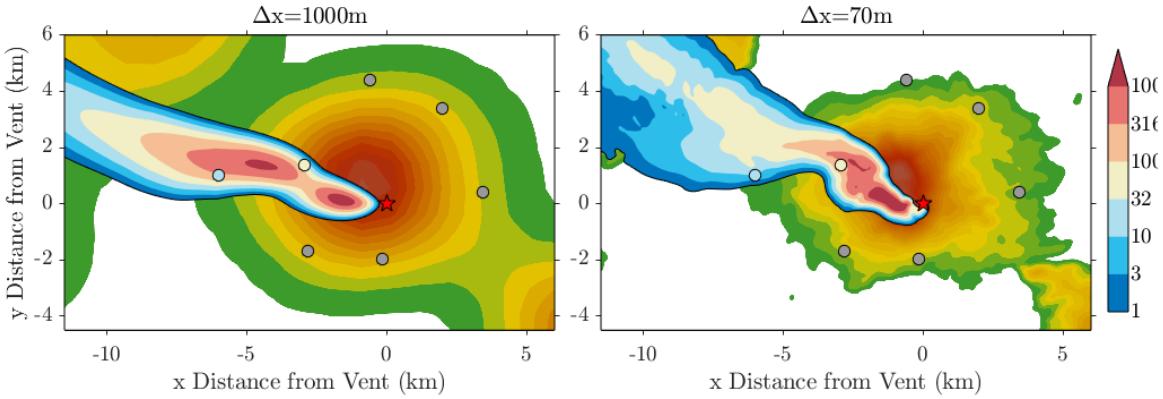


図 61　2017 年 10 月 1 日の噴火イベントの観測値（カラーの丸印）および火山灰の輸送・沈着シミュレーションで得られた降灰量（カラーのシェード）。シミュレーション結果は、水平格子幅（Δx）が（a）1000 m の場合、（b）70 m の場合を示す。昭和火口の位置を星印で示す。

1.9 倍、0.5 倍となり、良好な結果が得られた。

このように、解像度が異なることで風速場の表現性が異なり、結果として火山灰の拡散場も大きく影響を受けることが分かる。解像度を高くすることによって、複雑な地形の形状がより精緻に表現されるため、局地的な風系の再現性が向上する。このことによって、降灰分布がより局所的にメリハリのあるものとして数値モデルで表現される。

次に、モデル解像度の重要性を示すため、桜島噴火時の噴煙プリュームの形状特性を 1 次元噴煙プリュームモデル FPLUME (Folch et al. 2016)[11]により 2009～2016 年の期間のデータから統計的に分析した。図 62 に、観測されたプリュームの高さ毎に FPLUME によって計算されたプリュームパラメータの分布を示す。ここでは、Degruyter and Bonadonna (2012)[12]によるプリュームのスケーリングパラメータΠを用いてプリュームの強さを分類し、Πが 1 未満の場合には弱いプリューム（傾斜角が大きい)、Πが 1 より大きい場合には強いプリューム（傾斜角が小さい）とし、強度の違いによるプリュームパラメータの違いを示す。全般的な傾向として、弱いプリュームの場合、プリューム角は 30-45°、プリューム長は 1000-3000 m となる。一方、強いプリュームの場合には、プリューム角は 45-80o、プリューム長は 500-1000 m である。このようなプリュームの特徴を数値モデルで的確に表現するためには、モデルの水平格子幅は、少なくとも 500 m 未満、あるいは数 100 m 程度が必要であることが示唆される。

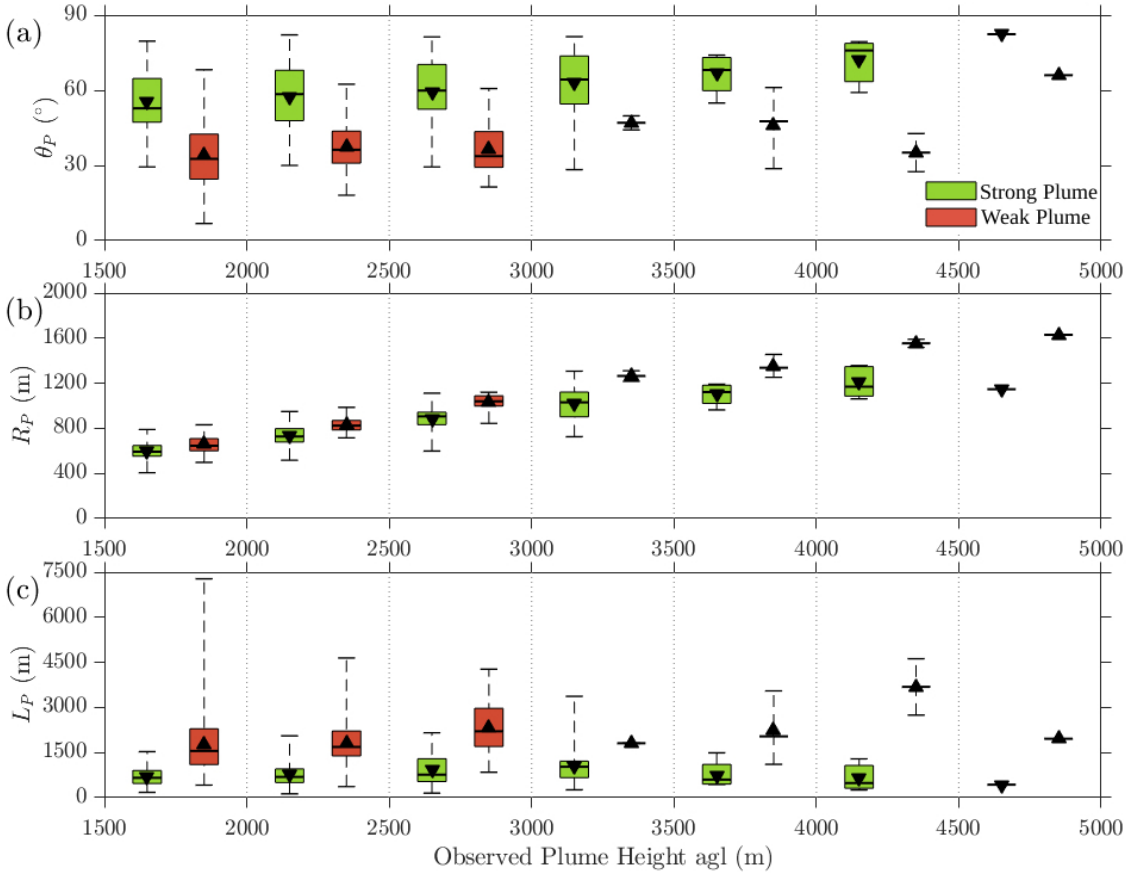


図 62　2009～2016 年の桜島噴火時のプリューム高さ別に示した形状特性。(a) プリューム角、(b) プリューム半径、(c) プリューム長。

b2)　火山灰の拡散予測実験

本節では、既往の噴火イベントを対象として、気象庁の数値気象予測データを入力条件として用い、現業の気象予報よりも高解像度で予測実験することを試みた。気象場の予測は WRF モデルを用い、火山灰の輸送・沈着の計算は FALL3D を用いた。

予測実験をするにあたり、FPLUME により噴煙プリュームの形状を決定した。FPLUME は計算初期状態における噴煙プリュームの特性を決めるため、その入力に必要な噴火パラメータをより精緻に設定することが大事である。そのため、最初に、桜島火山観測所で観測された 2009～2016 年の 896 回の噴火時のデータから、噴出量を FPLUME で見積り、それを観測値と比較することにより、FPLUME の算出量の妥当性を検証した。その結果、観測値に対して FPLUME 計算値は、1～10 倍程度の範囲に収まることが分かった（図 63）。FPLUME 計算値の誤差としては、プリューム到達高度が正確に決められないといったことが考えられる。しかしながら、桁で大きく異なる結果ではないため、推定値としては FPLUME が十分に有用であると考えられる。

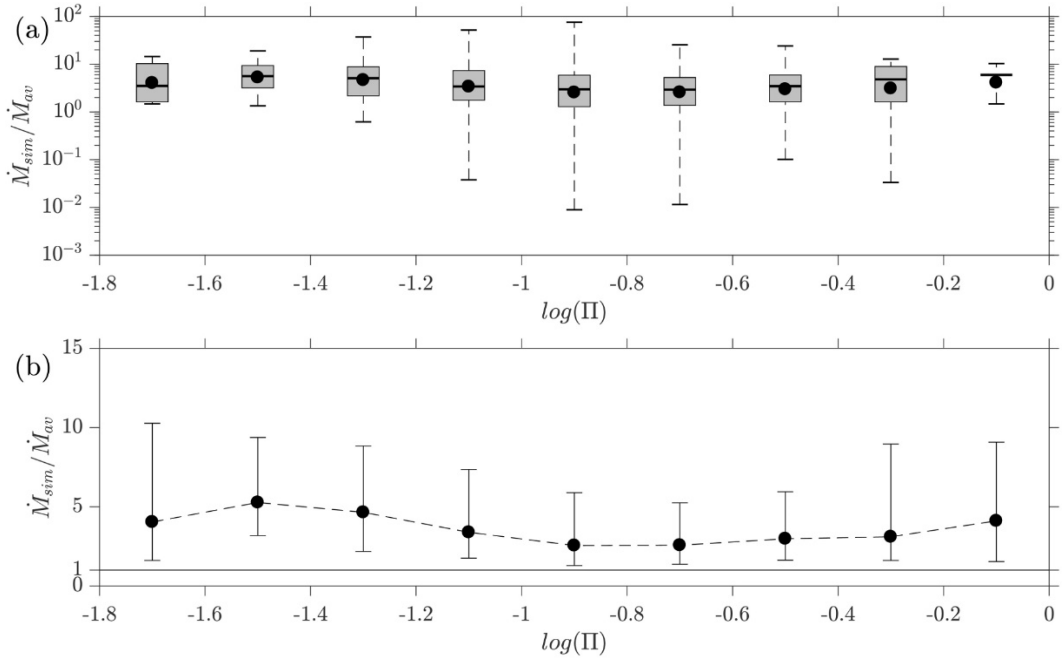


図 63　桜島噴火の噴出量の観測値（2009～2016 年）と FPLUME 計算値との比をプリュームスケーリングパラメータΠについて示す。(a) 全データに対して示したもの、(b) 全データの統計から中央値と 25 および 75 パーセンタイル値を示したもの。

上記の検討に基づき、観測値から FPLUME の入力条件を決定し、予測実験を試行した。ここでは､2018 年 6 月 16 日の噴火イベントを対象として実験した｡WRF モデルの初期条件･境界条件として、気象庁のメソ予報モデルの初期値・予測値を用いた。WRF モデルでは、水平格子幅を 5 km から 333 m にまで解像度を高くした。火山灰の輸送・沈着モデルとして FALL3D を用いた。

図 64 に、WRF/FALL3D による予測実験で得られた降灰量の分布および時系列を示す。ディドロメーターによる観測値や降灰の有無の観測と比較した。また、気象庁による予測分

布も示した。WRF/FALL3D による予測値は、1 mm 以上の高い降灰量が火口から桜島の西側に分布し、観測値と比較して良好な結果が得られた。0.1～1 mm の降灰量は、桜島から離れて鹿児島市内に広がり、さらに少量の降灰量は薩摩半島を横断して広がっている。この分布パターンを観測と比較すると、量的な観測は少ないものの、降灰の有無は良く捉えることができた。一方、気象庁の予測では、解像度が今回の計算よりも粗いため、火口の東側にも降灰を算出しており、高い降灰量もより広域に広がって表現されている。

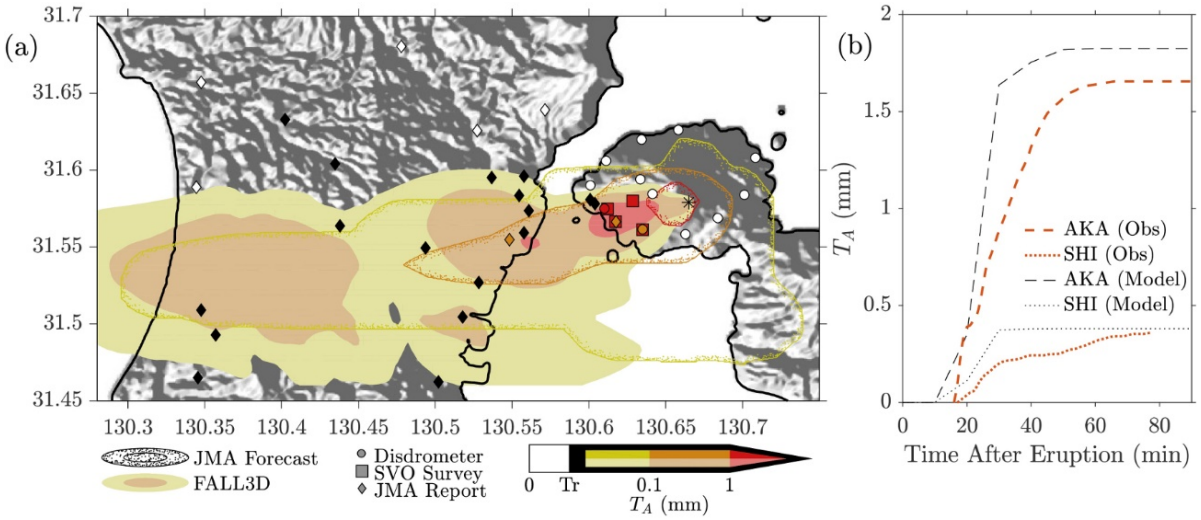


図 64　2018 年 6 月 16 日の噴火イベントの予測実験の結果。(a) WRF/FALL3D による降灰量の予測結果をカラーシェード（スケールはパネルの下）、気象庁の予測値をカラーの等値線で示す。正方形・ひし形はそれぞれ桜島観測所および気象庁の観測地点を示し、カラーは降灰量、黒印は降灰有り、白抜きは降灰がなかったことを意味する。アスタリスクは火口を示す。(b) 噴火時刻からの降灰量の時系列。赤は観測値、黒は計算値を示す。

予測実験では、予測の初期時刻を様々にずらし、噴火時刻に対してどの程度前の時点まで遡って予測できるのかどうかを調べた。気象庁メソモデルの予測値が 3 時間間隔で利用可能であるため、3 時間毎に時刻をずらして予測実験をした。図 65 は、6 月 15 日 18 時から 16 日 6 時まで 3 時間毎に初期時刻を設定して予測した場合の降灰量の予測値が観測値と比べてどの程度の精度があるのかを示したものである。赤水の観測地点では早い時刻に開始した予測になるほど予測誤差が大きくなるものの、15 日 21 時を初期時刻とした場合でも予測値が観測値の 1/4 に収まっている。このように 2018 年 6 月 16 日の噴火イベントでは、噴火時刻の約 10 時間前まで遡って降灰量が良好に予測できた。

ここでは、ひとつの事例を対象として予測実験を試みた。今後は、こういった予測実験を様々な事例を対象として積み重ね、局所的な降灰量の予測に必要な空間解像度や予測可能性を検討する。また、観測データを同化することによって、予測精度の向上を図ることを目指す。

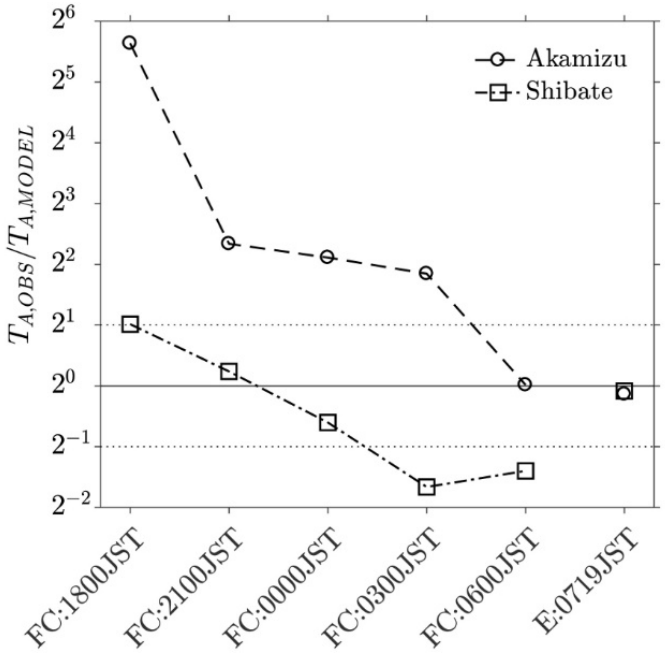


図 65　異なる初期時刻から開始した場合の予測実験で得られた降灰量の予測値と観測値との比較。E:0719JST は、噴火時刻を示す。図中の実線は観測値・予測値の比が 1、点線は 0.5 および 2 を示す。

c)　噴石の風力特性

c1)　噴石の空力特性の解明

火山から噴出した噴石の落下性状を明らかにするため、防災研究所（宇治市）所有の風洞実験装置を利用して噴石の空力特性を測定した。本年度は、噴石の形状および噴石の姿勢との関係に注目し、種々の形状(図 64 に示す 6 種類)の模型を用いて抗力測定を行った。求めた噴石の抗力係数および見つけ面積の風向角に対する変化を図２に示す。

噴石の抗力係数は図 65 に示す通り形状により変化するが、何れの風向角に対しても 0.5 付近の値を持つものが多かった。

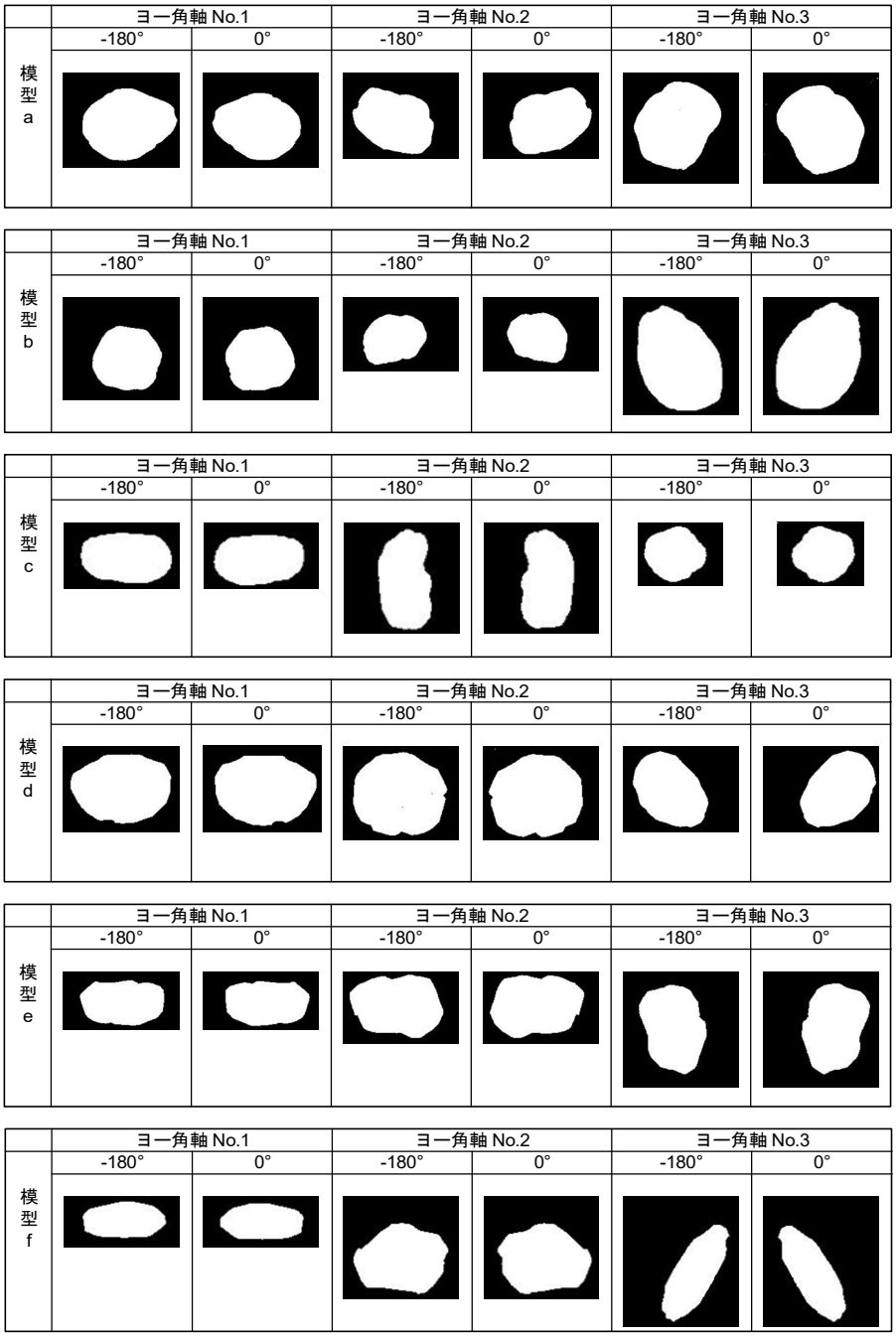
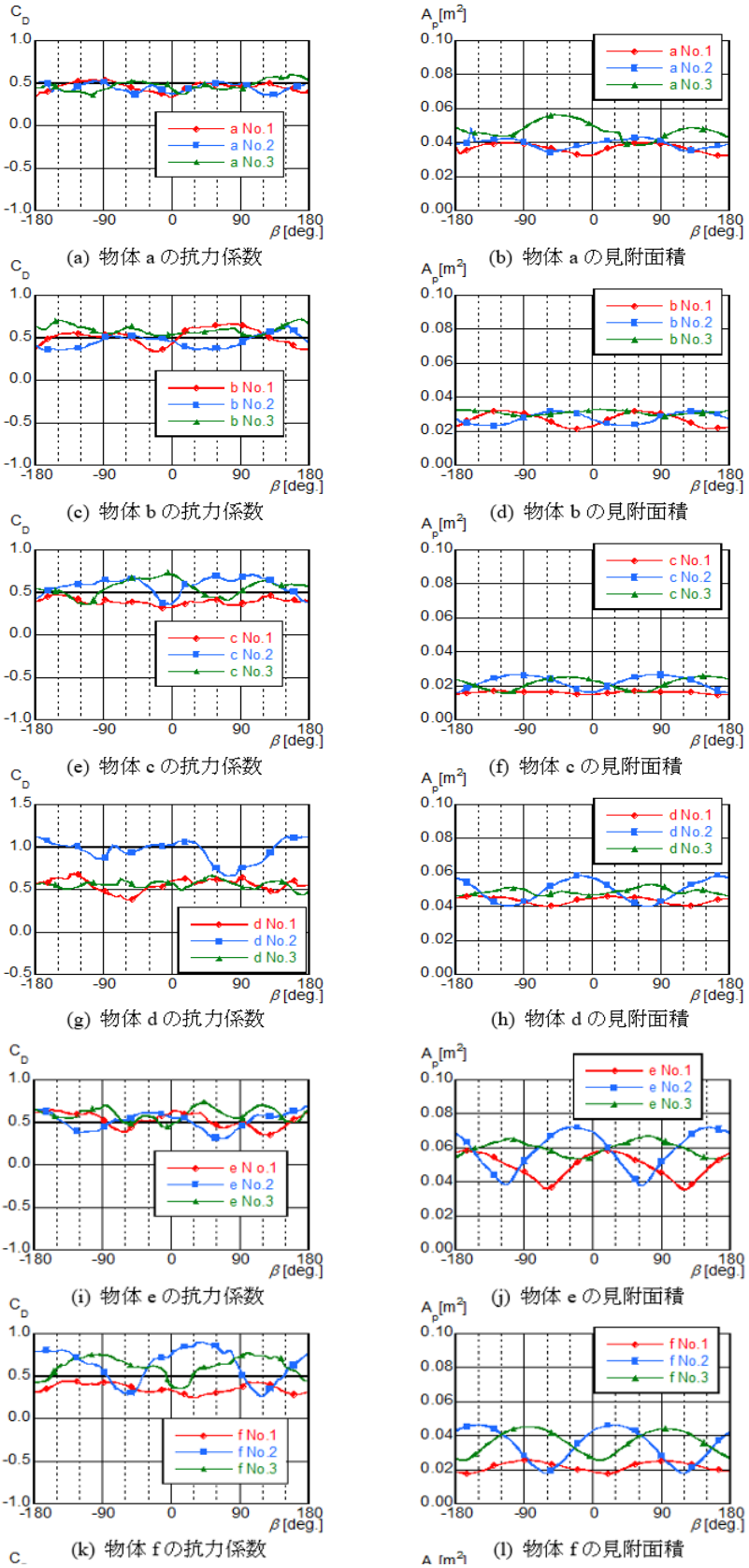


図 64　風洞実験に用いた噴石の形状。



(a) 物体 a の抗力係数　(b) 物体 a の見附面積

(c) 物体 b の抗力係数　(d) 物体 b の見附面積

(e) 物体 c の抗力係数　(f) 物体 c の見附面積

(g) 物体 d の抗力係数　(h) 物体 d の見附面積

(i) 物体 e の抗力係数　(j) 物体 e の見附面積

(k) 物体 f の抗力係数　(l) 物体 f の見附面積

図 65　抵抗係数および見つけ面積と風向角の関係。

C2)　噴石の衝撃力の解明

落下した噴石が衝突した際の衝撃により生じる屋根の被害状況を明らかにするため、防災研究所所有の衝撃試験装置を用いて、衝撃実験を行った。実験は、実物の建物の屋根を模擬した屋根模型を用い、それに噴石を衝突させ、噴石の形状・質量・速度などの変化により、破壊性状がどのように変化するかを明らかにした。

試験には、桜島で採取された噴石（図 66）を用い、衝撃試験装置（図 67）を用いて屋根模型（図 68）に衝突させた。屋根葺き材は、日本の住宅によく用いられているものとして、和瓦、カラーベスト、瓦棒（薄板鋼板）を選び、実際の屋根と同じ下地材の上に敷き詰めた。衝突は、衝撃力の最も大きいと考えられる屋根面に対して垂直に当たるように、衝撃試験装置の前方に垂直に試験体を設置した（図 67）。衝突させる噴石は質量と形状を変化させ、また、衝突速度も変化させて、各屋根模型の破壊の様子を明らかにした。（図 69）



図 66　実験に用いた噴石。

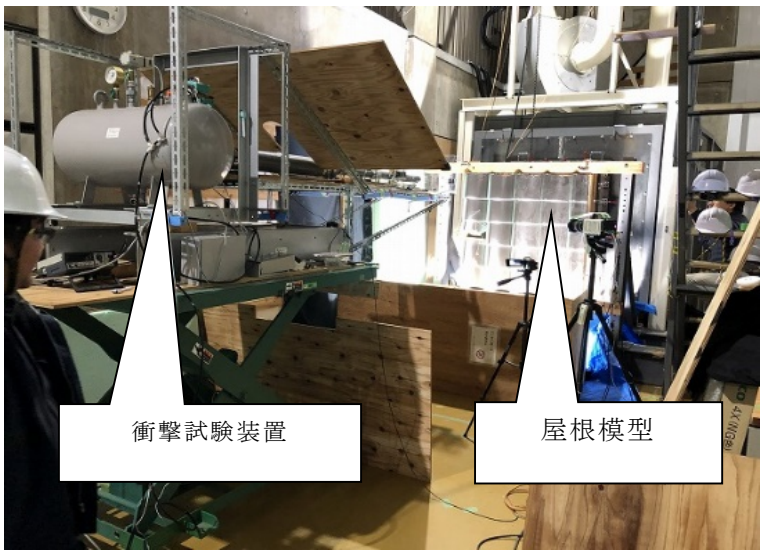
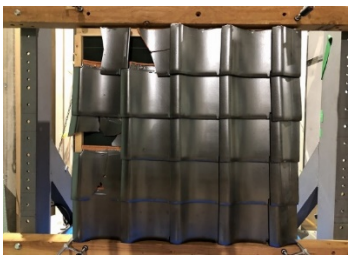
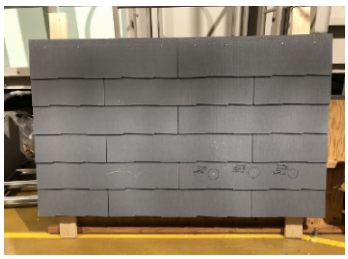


図 67　衝撃試験装置を用いた衝撃実験の様子。



和瓦

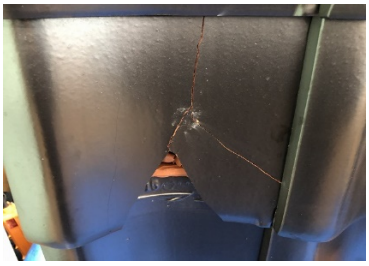


カラーベスト

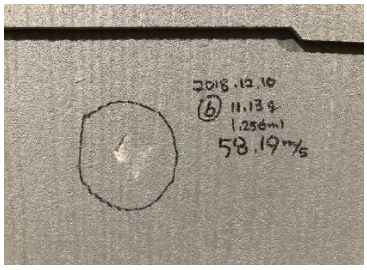


瓦棒（薄板鋼板）

図 68　衝突試験に用いた屋根模型。



和瓦の割れ
（噴石 23g、衝突速度 32m/s）



カラーベスト上の衝突痕
（噴石 11g、衝突速度 58m/s）



棒瓦（薄板鋼板）の衝突痕
（噴石 22g、衝突速度 54m/s）

図 69　噴石の衝撃後の状況。

試験結果

噴石の形状・質量・速度などの変化により、衝突による破壊性状は変化する。ここでは、種々の形状と質量をもった噴石を和瓦、カラーベスト、瓦棒（薄板鋼板）に衝突させ、屋根葺き材が割れたり開口が生じるまで、種々の条件で衝突させて、破壊性状を明らかにした。図 6 に屋根葺き材の破壊の様子の一例を示す。結果としては、質量が大きくなるほど、衝撃速度が大きくなるほど被害の程度は大きくなるが、今回用いた噴石の材質、体積（最大 8.2cm^3、20.0g、速度 27m/s）、質量（5.0cm^3、最大 27.2g、速度 22m/s）、速度（1.3cm^3、11.1g、速度最大 58m/s）の範囲では、屋根葺き材は割れたり開口が生じて被害が生じるものの、部材や下地を突き抜けて家屋内部まで侵入するような被害はみられなかった。

(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により火口上空から風下に移流する噴煙の観測と降下火山灰観測がリアルタイムで行える状態となった。特に X バンド MP レーダーを用いた観測では、火山の山頂が雲に覆われて噴煙を目視できない状態であっても、噴煙の高度と形状が把握できることが、霧島新燃岳や口永良部島でも確認できた。

桜島においては、火山灰予測の高速化のために、噴火発生に伴う爆発地震と空気振動を自動的に検知して、火山灰拡散シミュレーションを自動的に起動するシステムが完成した。これにより噴火の発生から 7 分程度で火山灰の拡散シミュレーションの結果を得ることができた。このシミュレーションは、気象庁 GPV の風向、風速データをもとに計算されるものであるが、パラメータとして必要な火山灰噴出率や噴煙高度を噴火に伴う地震動と地盤変動から自動的に求めるものであり、世界でも桜島以外には存在しないシステムである。

火山灰の拡散シミュレーションの高精度化については、WRF を用いて気象庁 GPV の風向、

風速データを空間的に高精細化することにより、降灰分布と降灰量を精度良く求められた。

一方、地上におけるディスドロメータによる火山灰観測においては、様々な知見が得られている。粒径分布は当然のことであるが、観測された火山灰粒子の落下速度は、シミュレーションにおいて用いるストークスの法則に基づく落下速度よりもかなり小さいことが明らかになっており、今後は、観測から得られた値をシミュレーションに反映させていく必要がある。また、高度によって風向が大きく変わる場合は、火山灰の拡散範囲と堆積した重量において大きな違いが依然として存在する。ディスドロメータによる観測により、粒径分布が明らかになりつつあるので、粒径分布をチューニングする必要がある。また、ディスドロメータによる観測の最大のメリットは時間分解能が高いことである。ブルカノ式噴火について考えると、降灰開始時刻や最大降灰時刻が観測量として得られていることを意味する。火山灰拡散シミュレーションにおいては、これまで噴火全体を通しての降灰量しか比較してきていないが、今後は、降灰量の時間経過も比較することにより、時間軸においても高精度の予測が可能となろう。

本研究プロジェクトにおいては、5 年目から 7 年目の第 2 期においては連続噴火を念頭に、データ同化を利用した火山灰拡散予測を予定している。WRF を用いた高空間分解能の風速場の再現には時間がかかりすぎるので、気象庁 GPV が示す典型的な風速場での高空間分解能の風速場を予めデータベースとして準備しておき、最適な高空間分解能の風速場を選択するような仕組みが今後必要となる。

(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) K. M. Larson: A new way to detect volcanic plumes, Geophys. Res. Lett., Vol. 40(11), pp.2657-2660, 2013.
3) 真木雅之・鈴木郁子・井口正人・Shakti P.C.:気象レーダによる降灰量推定―2013 年 8 月 18 日桜島噴火の Z-RA 関係式―, 火山, 2019 (投稿中).
4) Tanaka, H. L., Yamamoto, K., Numerical simulation of volcanic plume dispersal from Usu volcano in Japan on 31 March 2000 using PUFF model, Earth Planets Space, Vol. 54, pp.743-752, 2002.
5) Yokoo, A., Tameguri, T. and Iguchi, M.: Swelling-up of lava plug associated with Vulcanian eruption at Sakurajima volcano, Japan, as revealed by infrasound record: Case study on eruption on January 2, 2007-, Bull. Volcanol., 71, 619-630, 2009, doi 10.1007/s00445-008-0247-5.
6) 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.
7) Tanaka, H., Iguchi, M.: Simulations of volcanic ash plume dispersal for

Sakura-jima using real-time emission rate estimation, Jour. Disast. Res, 14, 160-172, 2019.
8) 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.
9) Skamarock, W. C., and J. B. Klemp (2008) A time-split nonhydrostatic atmospheric model for weather research and forecasting applications, J. Comput. Phys., 227, 3465-3485.
10) Folch, A., A. Costa, and G. Macedonio (2009) FALL3D: A computational model for transport and deposition of volcanic ash, Comput. Geosci., 35, 1334-1342.
11) Folch, A., A. Costa, and G. Macedonio (2016) FPLUME-1.0: An integral volcanic plume model accounting for ash aggregation, Geosci. Model Dev., 9, 431-450.
12) Degruyter, W., and C. Bonadonna (2012) Improving on mass flow rate estimates of volcanic eruptions, Geophys. Res. Lett., 39, L16308.

(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
Iguchi, M.	Volcanic Activity of Sakurajima Monitored Using Global Navigation Satellite System	Journal of Disaster Research, 13, 3, 518-525, doi:10.20965/jdr.2018.p0518	2018年6月
Poulidis, P, A., Takemi, T., Shimizu, A., Iguchi, M., Jenkins, F, S.	Statistical analysis of dispersal and deposition patterns of volcanic emissions from Mt. Sakurajima, Japan	Atmospheric Environment, 179, 305-320	2018年4月
Shimura, T., Inoue, M., Tsujimoto, H., Sasaki, K., Iguchi, M.	Estimation of wind vector profile using a hexa-rotor unmanned aerial vehicle and its application to meteorological observation up to	Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 35,8,1621-1631	2018年8月

	1000 m above surface		
Syarifuddin, M., Oishi, S., Hapsari, I, R., Shiokawa, J., Mawandha, G, H., Iguchi, M.	Estimating the Volcanic Ash Fall Rate from the Mount Sinabung Eruption on February 19, 2018 Using Weather Radar	Journal of Disaster Research, 14, 1, 135-150	2019年2月
Hapsari, I, R., Iida, M., Muranishi, M., Ogawa, M., Syarifuddin, M., Iguchi, M., Oishi, S.	Ground Observation of Tephra Particles: On the Use of Weather Radar for Estimating Volcanic Ash Distribution	Journal of Disaster Research, 14, 1, 151-159	2019年2月
Tanaka, L, H., Iguchi, M.	Numerical Simulations of Volcanic Ash Plume Dispersal for Sakura-Jima Using Real-Time Emission Rate Estimation,	Journal of Disaster Research, 14, 1, 160-172	2019年2月
中道治久・井口正人・下村　誠・竹中悠亮	南九州の火山における小型Xバンド偏波レーダーの展開と噴火観測事例	京都大学防災研究所年報, 61B, 337-343	2018年10月
Suzuki, Y. J. and M. Iguchi	Numerical simulations of short-term eruption clouds	European Geosciences Union General Assembly 2018	平成30年 4月
Alexandros-Panagiotis Poulidis・竹見哲也・井口正人・清水厚	桜島からの火山灰輸送の季節性・地域性に関する統計解析	日本気象学会2018年度春季大会	2018年5月19日
Alexandros Panagiotis Poulidis, Tetsuya Takemi, Masato Iguchi	High resolution simulations of vulcanian eruptions at Sakurajima, Japan, using WRF-LES and FALL3D	日本地球惑星科学連合2018年大会	2018年5月24日

中道 治久・井口 正人・下村 誠・竹中 悠亮	南九州の火山における小型Xバンド偏波レーダーの展開と噴火観測事例	日本地球惑星科学連合 2018 年大会	2018 年 5 月 24 日
鈴木雄治郎・小屋口剛博	火砕降下物と噴煙ダイナミクスのカップリング計算：ピナツボ１９９１年噴火シミュレーション	日本地球惑星科学連合 2018 年大会	2018 年 5 月 24 日
中村仁美・鈴木雄治郎・入山宙・中尾篤史・岩森光	島弧における火成活動・火山噴火プロセスの統合的理解に向けて	日本地球惑星科学連合 2018 年大会	2018 年 5 月 24 日
Poulidis, A. P., T. Takemi, A. Shimizu, M. Iguchi, S. F. and Jenkins	Impact of accumulation period and seasonality on ashfall load approximation via an inverse power law model	AOGS 15th Annual Meeting	3-8 June 2018
Poulidis, A. P., T. Takemi, and M. Iguchi	Eddy-permitting simulations of eruptions at Sakurajima, Japan using WRF-LES and FALL3D	AOGS 15th Annual Meeting	3-8 June 2018
Yu, Cheng-Ku. Poulidis, A.	Mountain and island effects on airflow, precipitation, weather, and climate	AOGS 15th Annual Meeting	3-8 June 2018
Iguchi, M., Nakamichi, H., Maki, M., Tanaka, H., Ohta, Y., Shimizu, A., Miki, D.	Integrated monitoring of volcanic ash and forecasting at Sakurajima volcano, Japan	Cities on Volcanoes 10	2018 年 9 月 4 日
Maki, M., Kim, Y., Tokushima, H., Sato, E., Fujiyoshi, Y.,	Observations of Sakurajima Volcanic Eruption Columns	Cities on Volcanoes 10	2018 年 9 月 4 日

Iguchi, M.	with Three Different Types of Weather Radars		
Kim, Y., Maki, M., Iguchi, M.	Volcanic eruption clouds detected by weather radar under moist Environment	Cities on Volcanoes 10	2018年9月4日
真木雅之・小堀壮彦・徳島秀彦・藤吉康志・井口正人	船舶レーダによる桜島噴煙柱の観測	日本火山学会2018年度秋季大会	2018年9月26日～28日
小園誠史・井口正人・三輪学央・眞木雅之・前坂剛・味喜大介	桜島噴火における火山灰降下過程の特徴:光学的ディスドロメータによる長期連続観測	日本火山学会2018年度秋季大会	2018年9月26日～28日
Poulidis, A. P., T. Takemi, and M. Iguchi, 2019	Experimental ash hazard forecasting at Sakurajima volcano, Japan	2018年度京都大学防災研究所研究発表講演会	2019年2月19～20日

(g) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成３１年度業務計画案

①プロジェクトの総合推進

本委託業務に関連する、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」およびサブテーマ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

霧島、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レーダー観測を継続する。前年度までの桜島を取り巻くディスドロメータに加え、4台のディスドロメータを火口から南東方向に直線状に配置することにより、降灰量と粒径分布の距離依存性を明らかにする。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､また､ディスドロメータの出力値と地上降灰量の関係を多くの噴火事例について調べ、その経験的関係式の精度を上げる。さらに、ディスドロメータにより取得された降灰粒子データベースを用い、理論的な降灰量推定式を導出し、過去の噴火事例に適用して理論的推定式の精度検証をおこなう。

これまでに設置した大隅半島側の GNSS に加え、大隅半島北東部のさらに桜島から離れた場所に GNSS を追加設置し、桜島島外の火山灰観測の広域化を図る。GNSS 観測から得られる LC 搬送波位相残差及び SN 比と地上降灰量との関係を調べ､関係式を提示する｡また、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。

桜島島内に設置した 2 台のライダーによる火山灰観測を継続する。ライダーで観測可能な火山灰消散係数の上限を決定した上で 2014 年以降の火山灰消散係数について気候学的解析を行い、大気環境常時監視局データとの照合を行う。火山灰の輸送拡散数値モデルを検証するためのデータセットを作成する。

火山観測所のライダーと黒神に設置されたライダーによる同時観測結果を比較し、異なる輸送経路による火山灰光学特性の差異などについて解析を進める。消散係数を利用した火山灰輸送モデルの検証手法について検討を行う。

なお、研究期間中に国内の火山で、噴火の予兆が把握された場合もしくは噴火が発生した場合において、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトのプロジェクト・リーダーが当該火山を対象とした緊急観測の実施を決定した際は、ここで実施する現地観測について、その一部もしくはその全てに代えて緊急観測を実施することを可能とする。緊急観測等での機動的な活用を見据えてディスドロメータを整備する。

③火山灰拡散予測の高速度化技術開発

桜島北東部の新島観測室の既設観測井に設置されている地震計及び傾斜計について、本研究への活用のために引き上げ及び改修作業を行う。このことにより、桜島北東部方面の地盤変動及び火山性微動振幅から求められるブルカノ式噴火発生に伴う噴出率見積もり方式を定式化し、これを降灰量分布から求めた噴出量と比較することにより、地盤変動及び火山性微動振幅データから過去に求めた噴出率推定式を高精度化する。

課題 C３と連携し、噴煙柱形成・火山灰拡散を同時に再現する高精度シミュレーションを実行する。これにより、ブルカノ式噴火の噴火強度に対する噴煙高度と火山灰堆積分布の応答に関するデータベースを充実させる。

現在の PUFF モデルは噴煙の外径を高度に依存する関数で与えているが、レーダー観測から得られる噴煙の外形情報を用いて、シミュレーションできるように、PUFF モデルを改良する。

④火山灰拡散予測の高精度化技術開発

ドローンによる上空の火山ガス、火山灰の濃度を計測(年 2 回程度)し、鉛直プロファイルを把握する。取得したデータにより、地上観測機器や気象データとの比較、モデルの妥当性評価等を実施する。

ライダーをスキャンモードにすることにより、火山灰移流状態から空間的な風の場と 3 次元的な火山灰粒子の分布を把握する。

火山近傍の風の場のデータを取り込むように火山灰拡散シミュレーション手法を改良し、ディスドロメータによって得られた粒径分布や落下速度を考慮した入力条件を設定することにより、レーダーやディスドロメータのデータ等との比較などを通して、火山灰の拡散予測の高精度化を図る。特に、地上降灰量の時間変化と比較して、精度検証・高精度化を図る。また、データ同化や高分解能シミュレーションにより、予測精度向上の可能性について検討する。研究成果を国際測地学および地球物理学連合 2019 年大会において発表する。

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明らかにするため、防災研究所（宇治市）の風洞実験装置を利用して、レキの大きさと落下速度を実験的に求める。噴石の落下性状を明らかにすることを目的に、桜島周辺で噴石模型を用いた落下実験を実施し、大気中のレキの移動、回転、姿勢を明らかにする。その際、気象状況を気象モデルを用いた WRF により、また、地面付近の乱流場を乱流モデルを用いたラージエディシミュレーション(LES)により周辺の気流性状を再現して、落下性状の再現計算に用いる。噴石模型を用いた落下実験では、加速度センサーおよび角速度センサーを噴石模型に組み込み、ドローンを用いて上空から落下させて、落下運動の計算結果との比較データを取集する予定である。

さらに、噴石の衝撃力に関しては、屋根や窓ガラス、特に太陽光パネルの被害程度を明らかにするため、噴石を太陽光パネルに衝突させる実験を行い、サブテーマ D3 に引き渡す基礎データを作成する。

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 30 年度業務目的

(2) 当該年度の成果
(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，ソフトウエア開発，仕様・標準等の策定

(3) 翌年度の業務計画案
(a) 周知啓発教育用コンテンツ試作版の開発
(b) 降灰被害予測コンテンツ試作版の開発
(c) 避難・救助支援コンテンツ試作版の開発

(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 災害過程研究部門	センター長	中田節也	nakada@bosai.go.jp
	総括主任研究員	棚田俊收	tanada@bosai.go.jp
	副センター長	藤田英輔	fujita@bosai.go.jp
	研究統括	宮城洋介	m_yousuke@bosai.go.jp
	客員研究員	宮村正光	miyamura@cc.kogakuin.ac.jp
	客員研究員	中村洋一	ynakamu@cc.utsunomiya-u.ac.jp
	契約研究員	久保智弘	tkubo@bosai.go.jp
株式会社大林組　技術本部技術研究所	上級主席技師	野畑有秀	nobata.arihide@obayashi.co.jp
	上級主席技師	大塚清敏	otsuka.kiyotoshi@obayashi.co.jp
	主任研究員	諏訪仁	suwa.hitoshi@obayashi.co.jp
山梨県富士山科学研究所	主任研究員	吉本充宏	myoshi@mfri.pref.yamanashi.jp
	研究員	本多亮	honda@mfri.pref.yamanashi.jp
	契約研究員	堀内佑紀	fsp-j@mfri.pref.yamanashi.jp

(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、情報収集を行った。
・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った。
・自治体を対象とした火山対策の現状を調査した。
・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した。

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った。
・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った。
・自治体を対象とした火山対策の現状調査と結果の比較・分析を行った。
・都市部の施設に対する降灰影響評価実験を行った。
・登山者動向把握実験へ参加した。

3）平成 30 年度：

・周知啓発教育用コンテンツの基盤となる火山災害に関する調査や情報収集を行う。
・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として、冷却塔を対象とする降灰実験を行う。
・平成 29、30 年度に実施された降灰影響評価実験の結果を受け、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へ参加し、得られた登山者動態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：

・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。
・周知啓発教育用コンテンツの試作版を開発する。
・降灰被害予測コンテンツの試作版を開発する。
・避難・救助支援コンテンツの試作版を開発する。

5）令和 2 年度：

・周知啓発教育用コンテンツの試作版の開発を進める。
・降灰被害予測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）令和 3 年度：

・周知啓発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等を行う。
・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。
・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）令和 4 年度：
・周知啓発教育用コンテンツを利用したアウトリーチ活動等を踏まえ、コンテンツの高度化を図る。
・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。
・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）令和 5 年度：
・各種コンテンツの汎用化に着手する。

9）令和 6 年度：
・各種コンテンツの汎用化を進める。

10）令和 7 年度：
・周知啓発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。
・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。
・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 30 年度業務目的

平成 29 年度に引き続き、未整備の火山ハザードマップのデジタル化を行う。さらにこれらデジタル化したハザードマップについて WebGIS 等で表示できるようにし、自治体等からの意見を参考に、平時の利活用について検討を進める。

これまで行った自治体を対象としたヒアリング調査やアンケート調査の結果を基に、地域ごとの現在の火山対策の現状を比較・分析する。さらに、地域間での違いや災害対応に必要となる知識・情報、専門用語などを整理し、自治体の防災担当者に必要な知識と情報を身につけるための教育用コンテンツの一部を作成する。また、全国の火山防災協議会や協力機関である自治体と引き続き連携を図り、火山対策の課題把握と情報ツール（各コンテンツ）の開発に必要となる利用者のニーズ把握を行う。一方、海外における火山対策の現状を把握するために、海外の学会（Cities on Volcanoes）に参加し情報収集を行う。

平成 29 年度のエアコン室外機に引き続き、都市部において重要な機能を有するデータセンターなどで多く利用されている冷却塔を対処とした降灰影響評価実験を実施する。さらに、これらの実験結果を基に建物機能への影響分析を行い、建築設備の損傷度評価手法の開発に着手する。

平成 29 年度に引き続き、富士山での登山者動向把握実験（富士山チャレンジ）に参加しさらなる情報収集を行うとともに、得られた動態データを整理・分析し、避難計画等の火山災害対策への利用について検討を進める。

(2) 平成 30 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 30 年 6 月に課題 D 全体の会議を行った。本会議では、各サブテーマの進捗報告と年度計画の共有が図られた他、課題 A 担当も交えて課題間、サブテーマ間の連携についても議論された。D2 で得られる降灰観測やシミュレーションの結果を、D3 で WebGIS 等に表示させ、それを実際に自治体防災担当者に見てもらう方針が決まった。また噴火時に D1 で得られる地形変化を課題 C3 で実施されるシミュレーションに利用し、その結果得られる被害想定等を D3 で利用するという連携の流れが確認された。また、課題 A として D3 によるデータ表示のためのシステムの準備を進める。その後同年 12 月にも課題 D 全体の会議が行われ、同じく進捗報告と連携について確認が行われた。実際に D2 で得られたディスドロメータによる降灰データを D3 で用意したサーバに送ってもらい、WebGIS 上で表示させた。D1 から送られたドローンによる画像データや 3D 地形データを、周知啓発教育用コンテンツ試作版からダウンロードできるよう開発を進めた。

周知啓発教育用コンテンツ試作版の開発に向けて、全国の自治体防災担当者を対象としたアンケート調査やヒアリング調査を行い、前年度までに行った分を併せ、地域ごとの現在の火山対策の現状を比較・分析した。その結果を踏まえ、地域に関わらず自治体防災担当者に必要となる知識・情報・専門用語等に関する約 300 コンテンツを収集・整理した。このコンテンツの中には、前年度に引き続き収集された地域防災計画を含む各自治体の火山防災対策の現状に関する情報も含まれる。また自治体防災担当者からの、「火山災害・火山防災に関する情報・コンテンツ等に手軽にアクセスしたい」とのニーズに応えるべく、周知啓発教育用コンテンツ試作版として火山災害・火山防災に関する総合ポータルサイトの開発に着手した。

降灰被害予測コンテンツ試作版の開発に向けて、前年度に引き続き基礎データ収集のため、都市部の施設(病院、官庁等)に対する降灰影響評価を実施した。都市部における施設の機能保持に対する降灰の影響を評価するため、平成 30 年度は、データセンター、病院等の大型施設に良く用いられる冷却塔を対象に降灰実験を実施した。その結果、冷却塔内部に入った灰により、配管系、ストレーナの閉塞による障害ではなく、灰混じりの水の循環によるポンプ系への影響が大きいことが分かった。実験結果を基に建物機能への影響分析を行い、建築設備の損傷度評価手法の開発に着手するとともに、前年度までに収集した文献調査などから降灰による被害についてインフラ施設などを対象とした被害予測を行うための情報を整理し、簡易的に評価するための仕組み構築にも着手した。

避難・救助支援コンテンツ試作版の開発に向けて、前年度に引き続き登山者動向把握実験（富士山チャレンジ）に参加し、基礎データとなる 14000 人以上の登山者動態データを取得した。さらにデータの火山災害対策への利用についても検討を進め、課題 C3 と連携し噴石シミュレーションと組み合わせることで被害推定が可能となった。

各種コンテンツ及びアウトリーチ活動等での利用を想定したハザードマップのデジタル化（GIS 化）も前年度に引き続き実施した。GIS 版ハザードマップの用途についても検討を進め、開発中の各種コンテンツでの利用の他、政府や自治体が持つ防災情報システムへの取り込んで使ってもらうことも想定している。今年度は政府（内閣府）の総合防災情報システムにおける火山ハザードの表示に使用された。

(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、全国の自治体防災担当者を対象としたアンケート調査やヒアリング調査を実施する。また地域防災計画をはじめとする自治体の火山対策に関する情報を収集し整理する。前年度までに行われた同様の調査結果や収集した情報と併せ、現状の課題とニーズの把握を行う。

周知啓発教育用コンテンツ試作版の開発に向けて、上記調査で得られたニーズに応える形で、インターネットを通じて誰でもアクセスが可能な「火山災害・火山防災に関する総合ポータルサイト」の開発を行う。そのためのコンテンツ収集も行う。

降灰被害予測コンテンツ試作版の開発に向けて、前年度の空調機に引き続き今年度は冷却塔を対象とした降灰影響評価実験を実施する。さらに実験の結果を基に影響分析を行い、建築設備の損傷度評価手法の開発に着手する。

避難・救助支援コンテンツ試作版の開発に向けて、基礎データとして登山者動態データを取得するため、前年度に引き続き富士山における登山者動向把握実験（富士山チャレンジ）に参加する。また得られた動態データの防災利用について検討を進める。

各種コンテンツ及びアウトリーチ活動等での利用を想定したハザードマップのデジタル化（GIS 化）も前年度に引き続き実施し、その用途についても検討を進める。

(c) 業務の成果

ｉ）周知啓発教育用コンテンツ試作版の開発

今年度は周知啓発教育用コンテンツ試作版の開発に着手した。本コンテンツ試作版の中身をどうするか（どのようなインターフェースにするか？本コンテンツを通じてどのような情報を提供するか？）を決定するために、全国の自治体防災担当者を対象にしたアンケート調査やヒアリング調査、地域防災計画を含む全国自治体の火山対策の現状に関する情報収集を昨年度に引き続き実施し､前年度までに行った分を併せて整理･分析することで、地域ごとの火山対策の課題やニーズを明らかにした。なお、地域防災計画を収集（今年度は 3 県 15 市町村の地域防災計画を収集）し分析した結果からは、火山の活動度ないしは災害経験値に伴って計画が充実していることが伺える一方で、改正活火山法で義務づけられた避難確保計画について作成が終了した火山は数火山にとどまっていることも明らかになった。

上記の整理・分析の結果、自治体防災担当者から「火山災害・火山防災に関する情報・コンテンツに手軽にアクセスしたい」というニーズが得られたことから、周知啓発教育用コンテンツの試作版として「火山災害・火山防災に関する総合ポータルサイト」の開発に着手した。今年度は、本試作版でアクセス可能な情報・コンテンツとして、自治体防災担当者に必要となる知識・情報・専門用語等に関する約 300 コンテンツを収集・整理した。収集したコンテンツは大きく 6 つのカテゴリー（A 現象（52)、B 災害（210)、C 災害体験（9)、D 関係法令（7)、E 組織（1)、Z その他（36））に分類した（表 1~4)。その他（Z）は登山へのしおりや総合的なコンテンツである。さらにコンテンツ毎にタイトル、機関、URL、リンク可否、リンク先概要、対象、コンテンツ種別、キーワードを抽出した。対象は使用する対象者を明確にするため、地方公共団体職員、一般住民、子ども向け（小中学校)、その他の 4 つに分類し、コンテンツ種別は資料の性質によって資料、画像、映像、

その他の 4 つに分類した。また、火山関連の書籍 114 冊を書籍名、筆者、概要、出版社、出版時期、価格、備考にまとめ、さらにこれらを①災害（火山災害に関するテキスト・書籍類）、②防災（火山防災に関するテキスト・書籍類）、③行政（行政機関や火山防災協議会が作成し公表しているテキスト類）、④その他に分類した（表 5)。

表 1. カテゴリーA 現象に関して収集したコンテンツ例

周知啓発・教育用コンテンツ素材

カテゴリー	No.	タイトル	機関	URL	リンク可否	リンク先概要	対象(当てはまる全てに○)				コンテンツ種別(当てはまる全てに○)				キーワード	備考
		引用HPにあるタイトルを記載する。	発行機関や主催団体名などを記載する。		可：○ 要依頼：△ 不可：×	リンク先にある概要説明から引用することを基本とし、無い場合はタイトル又は、作文する。	地方公共団体職員	一般住民	子ども向け(小中学校)	その他	資料	画像	映像	その他	火山名、用途等（一見して思いつくものを記載して良い。）	
A. 現象	A-001	九州の火山	鹿児島地方気象台火山班	http://www.jma-net.go.jp/kagoshima/vol/photogallery/index.html	△	鹿児島県内には11個の活火山があります。火山は私たちに恵みをもたらしてくれますが、一方で、自然災害を引き起こす可能性もあります。火山と共存していくためには、火山に対する正しい知識が必要です。この写真館の写真を見て、みなさんが火山に対する理解を深めて頂ければ幸いです。	○	○			○	○		○	鹿児島県、活火山、火山、恵み、自然災害、共存、正しい知識	
	A-002	火山観測データ(全国)	気象庁	http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/open-data/data_index.html	○	全国の常時観測火山の観測データをご覧いただけます。	○	○			○	○	○		全国、火山観測データ	
	A-003	監視カメラ画像(全国)	気象庁	http://www.data.jma.go.jp/svd/volcam/data/volc_img.php	○	気象庁ホームページに掲載している監視カメラ画像は、火山を身近に感じていただくなど、国民の皆さんに活用していただくために提供しています。気象庁では、カメラ画像だけでなく、地震計などの観測データも監視して異常の有無を総合的に判断しています。火山防災に関しては、気象庁や地元気象台が発表する当該火山に関する噴火警報や各種情報等をご覧いただくとともに、地元自治体からのお知らせや広報、指示等に従って下さい。	○	○			○	○	○		監視カメラ画像、火山、地震計、観測データ、異常、火山防災、気象庁、気象台、噴火警報	
	A-004	噴火に関する火山観測報	気象庁	http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/volinfo/volinfo.php?info=VG&id=312	○	噴火に関する火山観測報	○	○			○				噴火、火山観測報	
	A-005	富士山の火山観測データ	気象庁	http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/open-data/open-data.php?id=314	○	富士山における火山観測データを掲載しています。	○	○			○				富士山、火山観測データ	
	A-006	富士山の噴火に関する火山観測報	気象庁	http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/volinfo/volinfo.php?info=VG&id=314	○	富士山で発表した噴火に関する火山観測報	○	○			○				富士山、噴火、火山観測報	
	A-007	NHK for School 火山に関するビデオクリップ【検索で 火山 と入力】	NHK for School	http://www.nhk.or.jp/school/clip/	△	小学生～中・高校生まで対象の学年に向けてわかりやすく解説してある教材。一般向けとしても。	○	○	○							
	A-008	NHK for School 火山に関するビデオクリップ【検索で 火山災害 と入力】	NHK for School	http://www.nhk.or.jp/school/clip/	△	小学生～中・高校生まで対象の学年に向けてわかりやすく解説してある教材。一般向けとしても。	○	○	○							
	A-009	NHK for School 火山の力	NHK for School	https://www.nhk.or.jp/rika/fushigi6/index_2013_011.html	△	火山の力／火山が噴火すると、溶岩や噴出物によって、周囲の土地の形が変わってしまうことがある。火山のある地域を訪ねて、その土地の成り立ちを探る。	○	○	○							
	A-010	マグマの噴出	情報処理推進機構	https://www2.edu.ipa.go.jp/素材/理科/理科/自然現象/気象・地震・火山%EF%BC%88きしょう・じしん・かざん%EF%BC%89/噴火%EF%BC%88ふんか%EF%BC%89/マグマの噴出/	△	撮影日：1990年代　撮影場所：北アメリカ、USAハワイ　マグマが火山の地下に溜まり、発生したガスの圧力が強くなると、ふたの役目をしていた岩石を吹き飛ばして噴出してきます。	○	○	○				○		マグマ、噴出	※アンケート協力のお願いあり(職業、DLした素材の使用用途、DLした素材の満足度)
	A-011	溶岩流	情報処理推進機構	https://www2.edu.ipa.go.jp/素材/理科/理科/自然現象/気象・地震・火山%EF%BC%88きしょう・じしん・かざん%EF%BC%89/噴火%EF%BC%88ふんか%EF%BC%89/溶岩流/	△	撮影場所：USAハワイ、キラウエア火山　火口から地上に噴出したマグマ(溶岩)は、溶岩流となって流れ出ます。その時の温度は900℃～1200℃にもおよびます。キラウエア火山は、粘性が小さく地表を薄く広がる玄武岩質の溶岩です。	○	○	○				○		溶岩流	※アンケート協力のお願いあり(職業、DLした素材の使用用途、DLした素材の満足度)
	A-012	マグマと研究者たち	情報処理推進機構	https://www2.edu.ipa.go.jp/素材/理科/理科/自然現象/気象・地震・火山%EF%BC%88きしょう・じしん・かざん%EF%BC%89/噴火%EF%BC%88ふんか%EF%BC%89/マグマと研究者たち/	△	撮影場所：USAハワイ、キラウエア火山　火山の噴火による地表への噴出物質は、溶岩・火山さいせつ物・火山ガスの3つに大きく分けられます。キラウエアの溶岩は、粘性が小さいため大きな爆発の危険が小さく、研究者が溶岩のサンプルの収集を行ったりしています。	○	○	○				○		マグマ、研究者	※アンケート協力のお願いあり(職業、DLした素材の使用用途、DLした素材の満足度)
	A-013	火砕流(英語)	VolFilm	https://vimeo.com/206040046	△	VOLFILM Pyroclastic Flow Hazard	○	○		英語			○		Pyroclastic Flow Hazard	vimeo 英語のみ
	A-014	爆発的噴火(英語)	VolFilm	https://vimeo.com/248150325	△	Explosive Eruptions: the hazard	○	○		英語			○		Explosive Eruptions: the hazard	vimeo 英語のみ
	A-015	降灰(英語)	VolFilm	https://vimeo.com/248150327	△	Explosive Eruptions: the impact	○	○		英語			○		Explosive Eruptions: the impact	vimeo 英語のみ
	A-016	ラハール(英語)	VolFilm	https://vimeo.com/206036959	△	Lahar Hazard	○	○		英語			○		Lahar Hazard	vimeo 英語のみ
	A-017	溶岩流(英語)	VolFilm	https://vimeo.com/248150337	△	Lava: the hazard	○	○		英語			○		Lava: the hazard	vimeo 英語のみ
	A-018	溶岩災害(英語)	VolFilm	https://vimeo.com/248150341	△	Lava: the impact	○	○		英語			○		Lava: the impact	vimeo 英語のみ
	A-019	火砕流災害(英語)	VolFilm	https://vimeo.com/206042037	△	Pyroclastic Flow Impacts	○	○		英語			○		Pyroclastic Flow Impacts	vimeo 英語のみ

表 2. カテゴリーB 災害に関して収集したコンテンツ例

カテゴリー	No.	タイトル	機関	URL	リンク可否	リンク先概要	てはまる全てに○)		コンテンツ種別(当てはまる全てに○)						キーワード	備考
B. 災害	B-001	登山者の心得 ～火山災害から命を守るために～ 全体版(7分24秒)	内閣府	http://wwwc.cao.go.jp/lib_012/tozansha_all.html	○	登山者の心得 ～火山災害から命を守るために～	○	○	○		○		○		登山、火山、災害	
	B-002	避難促進施設の備え ～火山災害から利用者を守るために～	内閣府	http://wwwc.cao.go.jp/lib_012/shisetsu_all.html	○	避難促進施設の備え ～火山災害から利用者を守るために～	○	○	○		○		○		避難、火山、災害	
	B-003	火山災害から命を守るために～避難計画を知る大切さ	政府インターネットテレビ(内閣府大臣官房政府広報室)	https://nettv.gov-online.go.jp/prg/prg7040.html	○	ひとたび噴火すると、甚大な被害が及ぶ火山噴火。しかし、大規模な噴火の際には、必ず前兆現象があるといいます。今回は、火山災害対策で命を守るために、噴火の前に避難する際、私たちが知っておくべきこと、また政府の取組などについて紹介します。	○	○	○		○		○		噴火、被害、火山、大規模、前兆、現象、対策、命を守る、避難	
	B-004	防災 火山編	政府広報	https://www.gov-online.go.jp/cam/bousai2017/anim/funka.html	○	観光や登山を楽しんでいるとき、火山が噴火したら、どうすれば良いでしょうか？こちらでは、火山に対してどんな備えが必要なのか紹介します。	○	○	○		○		○		観光、登山、火山、噴火、備え	
	B-005	防災教育取組: 岩手県釜石市と高知県黒潮町における取組紹介	内閣府	https://www.youtube.com/watch?v=ckkdat0enE&feature=youtu.be	○	岩手県釜石市と高知県黒潮町における取組を、中学生や現場で実際に関わっている方々のインタビューを交えながら防災教育を中心に紹介		○	○		○		○		東日本大震災の教訓、いのちを守る、防災教育、避難行動、津波、被災想定、犠牲者ゼロ	
	B-006	火山活動ー阿蘇・桜島・霧島新燃岳・三宅島ー	熊本大学 教育学部 理科教育研究室	http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/education/volc/index.htm	△	火山学習・防災教育のための素材・情報		○	○		○		○		火山学習、防災教育	
	B-007	NHK 御嶽山噴火	NHKアーカイブス	https://www2.nhk.or.jp/archives/tv60bin/detail/index.cgi?das_id=D0009030383_00000	△	2014年9月27日11時52分、紅葉シーズンの週末で多くの登山客が訪れる中、長野県と岐阜県の県境にある御嶽山が突然噴火した。57人の死者を出す戦後最悪の火山災害となった。噴火は比較的小規模だったが、昼食をとるために頂上近くに登山者が集まっていて、亡くなった人の多くは爆発によってまき散らされた噴石を体に受けていた		○	○		○		○		登山、御嶽山、噴火、死者、戦後最悪、火山災害、噴石	
	B-008	NHK 三宅島・有珠山噴火で住民避難	NHKアーカイブス	https://www2.nhk.or.jp/archives/tv60bin/detail/index.cgi?das_id=D0009030294_00000	△	6月下旬から火山活動が始まった三宅島では、8月に大規模な噴火が発生、火山弾が住宅地にも落下した。このため9月1日、全島民に島外避難指示が出され、4日までに3,800人が避難した。避難は2005年2月に解除されるまで続いた。これより先、3月下旬から北海道の有珠山の活動が活発になり22年ぶりに噴火が起きた。周辺3市町の1万6000人余りが避難したが、1年3ヶ月後に避難指示はすべて解除された。		○	○		○		○		三宅島、大規模噴火、火山弾、住宅地、全島民、避難指示、避難、解除、噴火、	
	B-009	NHK 阿蘇山大爆発	NHKアーカイブス	https://www2.nhk.or.jp/archives/tv60bin/detail/index.cgi?das_id=D0009030024_00000	△	6月24日夜、阿蘇山が大爆発した。この爆発による死者は12人で、24人が重軽傷を負った。噴煙は700メートルの高さにまでのぼり、火口から半径2キロ以内は火山灰で覆われた。頂上の建物はめちゃめちゃに壊れ、昭和8年の大爆発に匹敵する凄まじさだった。		○	○		○		○		阿蘇山、大爆発、死者、重軽症、噴煙、火口、火山灰	
	B-010	NHKスペシャル 緊急報告 御嶽山噴火 ～戦後最悪の火山災害～	NHKアーカイブス	https://www2.nhk.or.jp/archives/tv60bin/detail/index.cgi?das_id=D0009050284_00000	△	火山災害では、戦後最悪の被害となった御嶽山の噴火。被害が大きくなった原因が爆発によってまき散らされた噴石。噴火の直後、山頂近くでは何が起きていたのか、新たな映像や証言、専門家の分析をもとに多くの命を奪った噴石被害の恐ろしさを描く。また、火山噴火という情報判断の難しい災害にどう対応していけばいいのか。今回の噴火をもとに徹底検証する。		○	○		○		○		火山被害、戦後最悪、御嶽山、爆発、噴石、噴火、噴石被害	
	B-011	NHK 雲仙普賢岳 火砕流災害	NHKアーカイブス	https://www2.nhk.or.jp/archives/tv60bin/detail/index.cgi?das_id=D0009030241_00000	△	6月3日午後4時過ぎ、長崎県島原市の雲仙普賢岳で大火砕流が発生し、猛烈なスピードでふもとの集落を襲った。この火砕流で警戒中の消防団員と警察官、報道関係者、火山学者ら43人が死亡するという大惨事となった。雲仙普賢岳は前年11月、約200年ぶりに噴火を始め、春ごろからは活動が活発になっていた。火砕流はこの後も頻発し、住宅の炎上、土石流の発生など島原市一帯に甚大な被害をもたらした。		○	○		○		○		島原市、雲仙普賢岳、火砕流、死亡、第三次、噴火、土石流、甚大な被害	
	B-012	三原山大噴火 全住民島外避難	NHKアーカイブス	https://www2.nhk.or.jp/archives/tv60bin/detail/index.cgi?das_id=D0009030202_00000	△	伊豆大島の三原山が11月21日夕方、大噴火を起こした。三原山は15日に噴火して以来、小康状態だったが、21日になって再び活発化し、209年ぶりの大噴火となった。噴火に伴って流れ出した溶岩は、人口の多い元町地区に迫った。このため町は午後10時50分、全島民の島外避難を決定、22日朝までに約1万人が船で島外に脱出した。脱出した人たちは約1カ月、都内の避難所で噴火が終わるのを待った。 5 / 22 ページ		○	○		○		○		伊豆大島、三原山、大噴火、噴火、小康状態、溶岩、全島民、島外避難、避難所	

表 3. カテゴリーC 災害体験に関して収集したコンテンツ例

カテゴリー	No.	タイトル	機関	URL	リンク可否	リンク先概要	てはまる全てに○)		コンテンツ種別(当てはまる全てに○)						キーワード	備考
C. 災害体験	C-001	過去に発生した火山災害	気象庁	http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/volcano_disaster.htm	○	18世紀以降、我が国で10人以上の死者・行方不明者が出た火山活動	○	○			○	○			雲仙普賢岳、噴火、土砂災害対策、危機管理、情報伝達、被災者対策、生活再建、復興振興計画、復旧、教訓	
	C-002	災害史に学ぶ 火山編	内閣府(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/pdf/saigaishi_kazan.pdf	○	日本は地震国であるとともに火山国です。いつどこの火山で大きな噴火が起きるかわかりません。ひとたび火山が大噴火すると周辺の社会が壊滅的な打撃をこうむり、その影響が長期にわたって続くということが、それぞれの火山災害から読み取ることができます。過去に起きたことは必ず将来も繰り返すのであって、その時にどう備えておくのかをこの本から読み取っていただければ幸いです。	○	○			○	○			十勝岳、噴火、救援、復旧活動、復興事業、予防減災、寒冷積雪地の火山噴火、十勝岳火山ハザードマップ、教訓	
	C-003	1990-1995 雲仙普賢岳噴火 報告書	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1990_unzen_funka/index.html	○	災害教訓の継承に関する専門調査会報告書 平成19年3月 1990(平成2)年11月から噴火活動を再開した雲仙普賢岳は活発な活動を続け、1991(平成3)年6月3日、噴火開始後最大規模の火砕流が発生し、死者・行方不明者43人の被害をもたらした。噴火活動は長期化し、土石流や火砕流等により家屋、道路、農地等に甚大な被害をもたらした。	○	○			○	○			富士山、宝永噴火、富士山火山防災ハザードマップ、教訓	
	C-004	1926 十勝岳噴火 報告書	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1926_tokachi_funka/index.html	○	災害教訓の継承に関する専門調査会報告書 平成19年3月 1926(大正15)年5月24日、十勝岳が噴火を起こし、高温の岩屑なだれが発生し、残雪を溶かし25分あまりで山麓の富良野原野まで泥流が到達した。寒冷地で積雪期に起こる噴火災害の典型的な事例である。	○	○			○	○			浅間山、鎌原火砕流、岩屑、天明泥流、報恩碑、石造物、石造物、災害教訓の継承	
	C-005	1707 富士山宝永噴火 報告書	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1707_houei_fujisan_funka/index.html	○	災害教訓の継承に関する専門調査会報告書 平成18年3月 富士山が噴火し、一次被害では直接的な人的被害は記録されていないものの、降下した火砕物により建築物の倒壊や農作地の耕作不能化、山林・草地の荒廃、道路の遮断、更に流出した火山灰がもたらした用水路・河川の氾濫など、農林業を中心とする生産活動・経済活動に長期かつ広範囲にわたって多大なる被害を与えた。	○	○			○	○			磐梯山、噴火、水蒸気爆発型、岩屑なだれ、土石流、爆風、融雪期、洪水被害、噴火の前兆、二次被害、教訓	
	C-006	1783 天明浅間山噴火 報告書	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1783_tenmei_asamayama_funka/index.html	○	災害教訓の継承に関する専門調査会報告書 平成18年3月 1783年(天明3年)4月9日、浅間山が噴火し、降下した火砕物により家屋の焼失や倒壊、用水被害や交通遮断等が起こすとともに、鎌原火砕流／岩屑なだれと天明泥流により浅間山北麓から利根川流域を中心とする関東平野に甚大な被害をもたらした。(死者:1624人、流失家屋:1151戸、焼失家屋51戸、倒壊家屋130戸余り)	○	○			○	○			鹿児島地溝、巨大カルデラ、溶岩流、軽石、火山灰、地震災害、救済、復旧、復興、火山噴火予知観測	
	C-007	1888 磐梯山噴火 報告書	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1888_bandaisan_funka/index.html	△	災害教訓の継承に関する専門調査会報告書 平成17年3月 明治21年(1888年)7月15日7時30分ごろから発生した噴火。水蒸気爆発型の噴火に伴う岩屑なだれ、土石流、爆風により、現在の福島県猪苗代町の周辺に多大な被害が発生した。死亡者477名、負傷者28名。また噴火に際して移動した大量の土砂が融雪期に洪水被害をもたらした。	○	○			○	○			カリブ地域、スーフリ エールヒル火山、モンセラー島、ガデル ープ島、セントビンセント島、マグマ、溶岩ドーム、弾道岩塊、火山弾、火砕流、火砕サージ、降灰、マグマ水蒸気噴火、ラハール、ガデループ火山観測所、モンセラー災害対策本部、マスコミ対応	
	C-008	1914 桜島噴火 報告書	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1914_sakurajima_funka/index.html	○	災害教訓の継承に関する専門調査会報告書 桜島大正噴火はわが国が20世紀に経験した最大の火山災害である。しかも火口から10km圏内に鹿児島市という大都市を控えているという点が世界的に見ても特異な点であった。	○	○			○	○			桜島、噴火	

表 4. カテゴリーD 関連法令、E 組織、Z その他に関して収集したコンテンツ例

カテゴリー	No.	タイトル	機関	URL	リンク可否	リンク先概要	てはまる全てに○)			コンテンツ種別(当てはまる全てに○)					キーワード	備考
D. 関係法令	D-001	災害対策基本法	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/taisaku/kihonhou/index.html	○	災害対策基本法	○	○			○				被災者生活再建支援法	
	D-002	活動火山対策特別措置法	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/kazan/kazan_houritsu/index.htm	○	活動火山対策特別措置法(平成28年の改正)、活動火山対策の総合的な推進に関する基本的な指針、火山災害警戒地域	○	○			○				特定非常災害の被害者の権利利益の保全等を図るための特別措置に関する法律	
	D-003	被災者生活再建支援法	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/taisaku/seikatsusaiken/shiensya.html	○	被災者生活再建支援法	○	○			○				激甚災害からの復旧・復興対策	
	D-004	特定非常災害の被害者の権利利益の保全等を図るための特別措置に関する法律	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/taisaku/hourei/tokubetsu_houritsu.html	○	特定非常災害の被害者の権利利益の保全等を図るための特別措置に関する法律	○	○			○				大規模災害からの復興に関する法律	
	D-005	激甚災害からの復旧・復興対策	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/taisaku/gekijinhukko/index.html	○	激甚災害からの復旧・復興対策	○	○			○				災害救助法	
	D-006	大規模災害からの復興に関する法律	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/taisaku/minaoshi/bousai_minaoshi.html	○	大規模災害からの復興に関する法律	○	○			○				大規模災害、復興、法律	
	D-007	災害救助法	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/taisaku/kyuujo/kyuujo.html	○	災害救助法	○	○			○				災害救助法	
カテゴリー	No.	タイトル	機関	URL	リンク可否	リンク先概要	てはまる全てに○)			コンテンツ種別(当てはまる全てに○)					キーワード	備考
E. 組織	E-001	火山防災協議会等連絡・連携会議	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/kazan/kazan/renkeikaigi/index.html	○	関係者(都道府県市町村・気象台・地方整備局等・火山専門家・自衛隊・警察・消防、必要に応じて観光関連団体など)が一体となり、専門的知見も取り入れながら検討。火山防災協議会を設置(義務)	○	○			○				火山防災協議会	
カテゴリー	No.	タイトル	機関	URL	リンク可否	リンク先概要	てはまる全てに○)			コンテンツ種別(当てはまる全てに○)					キーワード	備考
Z. その他	Z-001	火山災害に対する防災体制	内閣府政策統括官(防災担当)	http://www.bousai.go.jp/kazan/taisaku/k401.htm	○	火山噴火が発生した場合には、都道府県、市町村は災害対策本部を設置し、あらかじめ策定した防災計画に基づき応急対策を実施します。国においては、内閣府を中心に、必要に応じて非常災害対策本部又は緊急災害対策本部を設置し、総合的な応急対策の推進にあたります。	○	○	○		○	○			火山、登山、噴火、準備、避難、気象情報、浅間山、焼岳、乗鞍岳、御嶽山、草津白根山、新潟焼山、弥陀ヶ原	
	Z-002	火山への登山のしおり(長野県版)	長野地方気象台、長野県、小諸市、佐久市、軽井沢町、御代田町、松本市、木曽町、王滝村、上松町、高山村、山ノ内町、小谷村、大町市	http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/shiori/shiori_nagano.pdf	△	火山への登山のしおり(長野県版)	○	○	○		○	○			噴石、火砕流、山体崩壊、爆風、マグマ、プレート、マントル、玄武岩質マグマ、花崗岩質、溶岩の溢れ出し型、ハワイ式・ストロンボリ式、爆発的噴火型、プリニー式・ブルカノ式	
	Z-003	火山への登山のしおり(岐阜県版)	岐阜地方気象台、岐阜県、高山市、下呂市、白川村、郡上市	http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/shiori/shiori_gifu.pdf	△	火山への登山のしおり(岐阜県版)	○	○	○		○	○			降灰、噴石、火山灰、軽石、火山礫、火山弾、マグマ、火砕物、火山ガス、プリニー式噴火、緊急退避用シェルター、噴煙(灰かぐら)、高温熱風(火砕サージ)、噴煙柱崩壊型、溶岩崩落型、	
	Z-004	防災科研/防災基礎講座/自然災害について学ぼう/17火山噴火	独立行政法人 防災科学技術研究所 自然災害情報室	http://dil.bosai.go.jp/workshop/01kouza_kiso/kazanfunka/eruption.htm	△	マグマ(熱やガスも含む)が地表に噴出するのが火山噴火です。日本が位置する環太平洋域はほぼ全域沈み込み境界にあたり火山噴火災害の危険が非常に大きい地帯です。どのようにして発生するか、危険な場所はどのようなところか、どんな被害が発生しているか、どのようにして防ぐかなどについて、土地素因に重点を置き具体例を示しながら基礎的な知識を解説します。	○	○	○		○	○			マグマ化学組成、桜島、浅間山、阿蘇山、カルデラ、火砕流、山体崩壊、岩屑なだれ、岩屑なだれ堆積層	
	Z-005	防災科研/防災基礎講座/自然災害について学ぼう/18噴火災害	独立行政法人 防災科学技術研究所 自然災害情報室	http://dil.bosai.go.jp/workshop/01kouza_kiso/funkasaigai/explosion.htm	△	火山灰・軽石・火山礫・火山弾などマグマが粉砕されて生じた大小さまざまな物質を総称して火砕物と言います。火口から立ち昇る噴煙は、高温の空気と火山ガスに比較的細かい火砕物が混じったものです。	○	○	○		○	○			噴火予知、地震、火山性微動、地形変化、電磁気現象、地電流、地磁気などの変化、熱異常、火山ガス、噴煙量、前兆現象、ハザードマップ	
	Z-006	防災科研/防災基礎講座/自然災害について学ぼう/19危険火山	独立行政法人 防災科学技術研究所 自然災害情報室	http://dil.bosai.go.jp/workshop/01kouza_kiso/kikenkazan/volcano.htm	○	日本列島は沈み込みプレート境界にあるので、爆発的な噴火を行うマグマ化学組成の火山が多数分布します。活火山とは現在活動しているかあるいは将来噴火する可能性のある火山です。	○	○	○		○				防塵用ゴーグル	

表 5. 火山（災害、防災、行政、その他に分類）に関する書籍例

<火山災害・火山防災に関するテキスト・資料の全国現状調査>

【分類】①災害：火山災害に関するテキスト・書籍類　②防災：火山防災に関するテキスト・書籍類　③行政：行政機関や火山防災協議会が作成し公表しているテキスト類　④その他

	書籍名	筆者	概要	出版社	出版時期	価格	備考
①	富士山の噴火　万葉集から現代まで	つじ　よしのぶ	火山である富士山が今のような姿となったのは、一体いつからなのだろうか。その噴煙が最後に目撃されたのはいつだったのか？その謎に迫るべく、一人の古地震研究者が立ち上がった。噴煙を上げる富士山を追って、目を通した和歌の数は1万5千首を超え、文献は80を超えた。そしてついには、葛飾北斎が描いた噴煙を上げる富士山の絵にも遭遇する。世界遺産となった富士山の、知られざる姿に触れる一冊。世界遺産となった富士山の噴煙たなびくかつての姿を、古地震研究者である著者が、古典や古文書の中から鮮やかに浮かび上がらせる。	築地書館	1992年	¥2,592	2013年に「富士山　噴火の歴史」と改題された新版が出たが、中身はほとんど同じ、価格も同じ。
①	火山と地震の事典	藤井 敏嗣(著)、石黒 やすひろ(イラスト)	私たちは「火山の島」日本に住んでいます。世界の火山のこと、日本の火山のこと、火山のでき方や火山と地震のつながりなどを、くわしくわかりやすく説明した事典です。びっくりするような地球のふしぎに、きっとワクワクするはず。	大日本図書	1992年7月		
①	地震・火山の事典	勝又　護	プレートテクトニクス、ダイラタンシーモデルなど、近年の地球科学の進歩は著しく、地震・津波発生のしくみ、火山噴火のしくみを画期的に明らかにしてきた。本書は最新の研究成果をもとに地震・津波・火山の姿をわかりやすく解説。	東京堂出版	1993年9月	¥5,631	
①	沈み込み帯のマグマ学　全マントルダイナミクスに向けて	巽 好幸	なぜ冷たいプレートが沈み込むところで、熱いマグマが発生するのか。地球科学の重要課題の一つとして長年研究が続けられてきたマグマ学の集大成。地球内部ダイナミクスまでを関連づけた新しいモデルの提唱。	東京大学出版会	1995年3月	¥3,200	
①	新版地学教育講座２　地震と火山	安藤 雅孝、早川 由紀夫、藤田 至則、角田 史雄、平原 和朗	地震とそれにともなう諸現象、多様な噴火現象を豊富な実例と最新のデータにもとづいて解説。	東海大学出版会	1996年6月	¥2,700	
①	火山とマグマ	兼岡一郎、井田喜明	火山とは何か? 噴火予知はどこまで可能か? 火山学の基礎から噴火予知の最前線まで、火山に興味をもつ一般の人々にも理解できるようにやさしくまとめた火山学の入門書。	東京大学出版会	1997年3月	¥4,000	
①	ヤマタイカ(コミック)	星野之宣	20世紀後半の沖縄県の久高島に1700年の時を越えて卑弥呼の後継者が出現し、卑弥呼から受け継いだ銅鐸「オモイマツカネ」により増幅される超能力を使い、「火の民族」の祭り「ヤマタイカ」を画策する。日本中の火山の噴火を伴う「ヤマタイカ」による秩序の混乱を嫌う「日の民族」の法力僧四天王の妨害が始まる。「ヤマタイカ」に必要な、失われた超巨大銅鐸「オモイカネ」を捜し求める火の民族と、日の民族の対立は九州から出雲国を経て伊勢国の朝熊山へ移動する。朝熊山での戦いののち、火の民族は「オモイカネ」が改鋳されて奈良の大仏の材料にされていたことに気付く。双方の決戦の末、火の民族は奈良の大仏を「オモイカネ」へと鋳造し復活させることに成功、それを手に入れて沖縄へと引き上げ、一方、四天王は残り1人となった。	潮出版社	1997年7月	¥2,721	
①②	火山噴火と災害	宇井 忠英	より有効な火山災害対策をめざして。火山とともに生きるにはどうすればよいか?噴火予知・火山防災のための基本書。	東京大学出版会	1997年12月	¥3,700	

同じく上記調査結果等の整理・分析により、自治体の防災担当者が火山災害に関する知識を定期的に学ぶ機会を必要としていることが明らかになり、また昨年度検討したモデル研修コースの検証のため、2019 年1 月に富士山科学研究所において、富士山周辺の防災担当者を対象に表6に示す内容で火山防災に関する研修会を実施した(写真1)。この研修会では、火山噴火や災害などの基礎知識、噴火予測の現状を学び、それらの知識を踏まえての演習を実施した。演習の最後には全体討論会として班毎の討議と発表を行い、研修後にはアンケートを実施した。実施時間は半日、他の業務と連携して行えるように富士山火山防災会議協議会山梨県コアグループ会議に合わせて開催した。新年度から新たに火山防災担当に異動した職員もいたため、火山噴火や災害の基礎知識「富士山と火山防災」と噴火予測の現状が学べる「火山噴火の特質と予知」を座学として実施した。演習は、広域避難計画等の計画策定に役立つように「機関毎の噴火対応を考え、共有する」として座学で学習した噴火の特性を基礎知識に、噴火シナリオを基に大規模噴火時の時系列ごとの県・市町村・関係機関等の対応行動の抽出を行った。特に次の3点、①大規模噴火時等の協議会関係機関の対応・行動の確認、また不足事項の洗い出し、②対策がわからない活動の抽出と、その相談先の検討、③顔の見える関係づくり、及び関係の深化、に留意して演習を実施した。

本研修会のアンケートの結果、参加者の約1/3が今年度からの担当者であった。前回同様、総じて定期的な火山防災研修を望む声が多く、年に1、2回程度の実施が求められている。2回の場合は担当者が新規に入れ替わる春と1月頃にとの希望が寄せられた。また、「今回の研修内容で、自分以外の防災担当者にも受講してもらいたいと思う講義テーマ」について質問した結果では、火山防災はもとより演習との回答が多かった。また、富士山や火山に対する基礎知識以外の今後、受講してみたいテーマとして以下のテーマが挙げられた。

・火山に対するハード対策の例
・放送業者による緊急放送の方法
・避難行動
・マスコミ対応
・福祉での要支援者の搬送方法
・噴火に対応された自治体職員の体験談
・より実際の状況に近い想定で演習
・火山活動が活発な市町村の対応

今回収集した、周知啓発教育用コンテンツ試作版からのアクセスが可能となる情報・コンテンツにはこれらの中のいくつかは含まれていないため、今後コンテンツを充実させるための課題としたい。

表 6. 2019 年 1 月実施した火山防災担当者向け研修の内容

時限	時間	講義概要	講師	学習目標
開会	13:15～13:30	ｵﾘｴﾝﾃｰｼｮﾝ	事務局	研修の目的や構成の説明、資料確認、前回の開催報告等
1	13:30～14: 10（40 分）	【座学】富士山と火山防災	富士山研藤井敏嗣	富士山の火山活動の特徴と火山防災を知る
2	14:20～15:00（40 分）	【座学】火山噴火の特質と予知	噴火予知連会長石原和弘	火山噴火のメカニズムや予知について知る
3	15:10～16:50（100 分）	【演習】図上訓練	火山防災推進機構新堀賢志ほか＊	協議会として、各機関の防災対応を考え、その活動を共有する
閉会	16:50～17:00	小テスト・アンケート、閉会	事務局	小テストと、次回に向けたアンケート



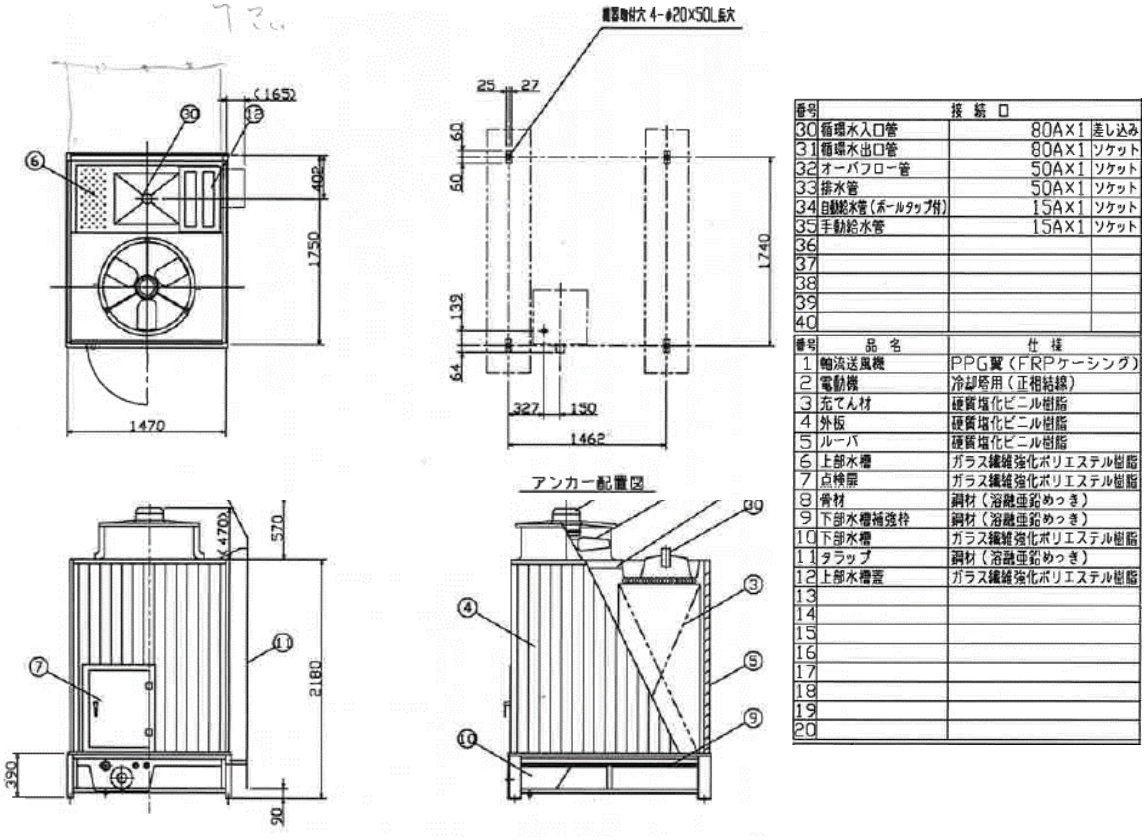


写真 1. 火山防災担当者研究会の座学と演習の様子

ⅱ）冷却塔に対する降灰影響評価実験

降灰被害予測コンテンツ試作版の開発に向けて、平成 29 年度に引き続き基礎データ収集を目的とした、都市部の施設（病院、官庁等）に対する降灰影響評価実験を実施した。本実験で想定している都市部の施設とは、災害時に重要拠点となる官公庁舎や病院、事業継続等の観点から重要となるデータセンター等、災害時にも施設としての健全性確保が期待される建築物である。降灰が建築物に与える影響を評価する上で重要な検討対象として、空調設備が挙げられる。平成 29 年度はこれら施設の多くで利用されているエアコン室外機を対象とした実験を実施した。今年度は同じく都市部の多くの重要施設で利用されている冷却塔を対象とし、降灰による影響を評価する実験を、大林組東京機械工場（埼玉県川越市）において実施した。なお、冷却塔は比較的大規模な建築物での採用が多く、一方エアコン室外機は主に中小規模の建築物で多く採用されており、これら 2 年間の実験の結果、ほぼ全ての規模の建築物における空調設備に対する降灰影響評価が可能となる。

まずは実験に使用した冷却塔及びそれを含む実験装置について説明する。実験には広く流通している空研工業社製の開放型冷却塔 SKC-Ro40 を用いた。冷却塔の平面及び立面図を図 1 に示す。



番号	接続口		
30	循環水入口管	80A×1	差し込み
31	循環水出口管	80A×1	ソケット
32	オーバフロー管	50A×1	ソケット
33	排水管	50A×1	ソケット
34	自動給水管（ボールタップ付）	15A×1	ソケット
35	手動給水管	15A×1	ソケット
36			
37			
38			
39			
40			

番号	品名	仕様
1	軸流送風機	PPG製（FRPケーシング）
2	電動機	冷却塔用（正相結線）
3	充てん材	硬質塩化ビニル樹脂
4	外板	硬質塩化ビニル樹脂
5	ルーバ	硬質塩化ビニル樹脂
6	上部水槽	ガラス繊維強化ポリエステル樹脂
7	点検扉	ガラス繊維強化ポリエステル樹脂
8	骨材	鋼材（溶融亜鉛めっき）
9	下部水槽補強枠	鋼材（溶融亜鉛めっき）
10	下部水槽	ガラス繊維強化ポリエステル樹脂
11	タラップ	鋼材（溶融亜鉛めっき）
12	上部水槽蓋	ガラス繊維強化ポリエステル樹脂
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

図1. 実験用冷却塔の概略図面

上面に送風ファンがあり，側面片側に充填材が付属している。本機種では、冷却水は充填材の表面を垂直に流下し，一方空気は冷却塔前面から吸気され水平方向に充填材を通過する。このように充填材内部での水流と気流の向きが直交しているものを，クロスフロー方式という。

実験における設備系統図は図 2 のように冷却塔と冷却水配管系のみからなる。なお実際の水冷式空調システムにおける冷却塔では、図 2 に加えて様々な仕様の冷凍機及び室内空調機等の二次側系が接続されているが、本実験では空調排熱機能維持にとって本質的に重要な、火山灰侵入の物理的作用のみに対象を絞ることにした。すなわち、冷却塔と循環水の配管系（送水ポンプ、ストレーナ、流量調整バルブ、電磁流量計、透明塩ビ管、圧力計、水温計、逆止弁）、蒸発等による水量減少を補う補給水配管のみ実装し、併せて、冷却塔の温度効果は実験対象から除外した。

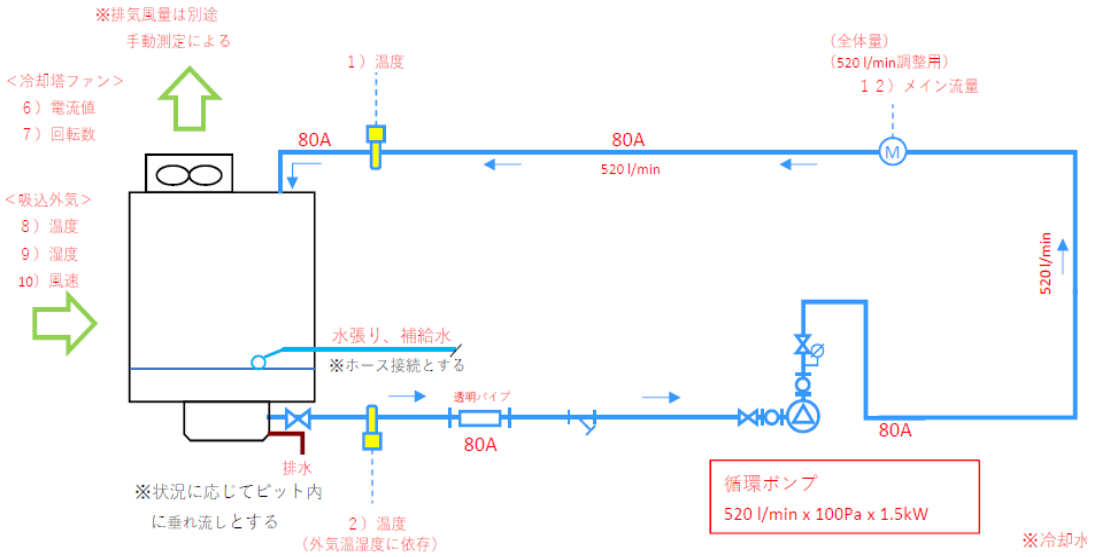


図2. 実験装置の設備系統図

次に実験装置の全体構成を図 3 に示す。

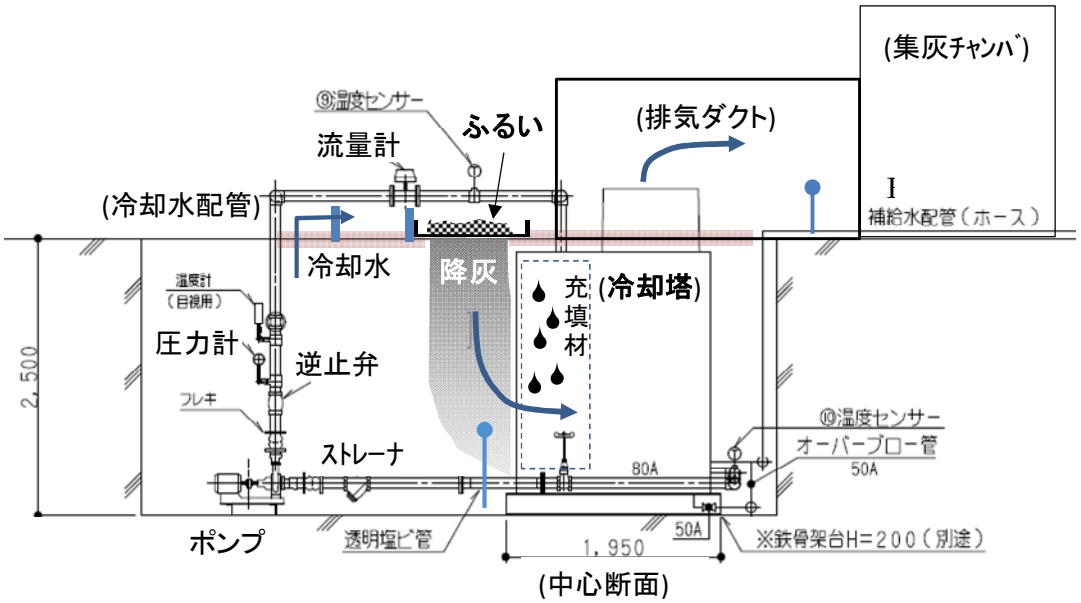


図3. 実験装置

装置は，冷却塔，冷却水循環の配管（全て 80A：内のりの直径 80.7mm），火山灰を降らせるための篩，および排気ダクトからなる。冷却水配管の水平部の総延長は 9.5m である。篩は 268μm#，広さ 1.5m×0.5m で，冷却塔前面に降灰できるよう設置され，加振器の振動で火山灰を降らせる。送風ファンの下流側には排気ダクト，および実験室内への火山灰飛散を抑えるための火山灰回収用の集灰チャンバー(中性能フィルタ付き)を設けた。

実験装置の写真を写真 2～11 に示す。

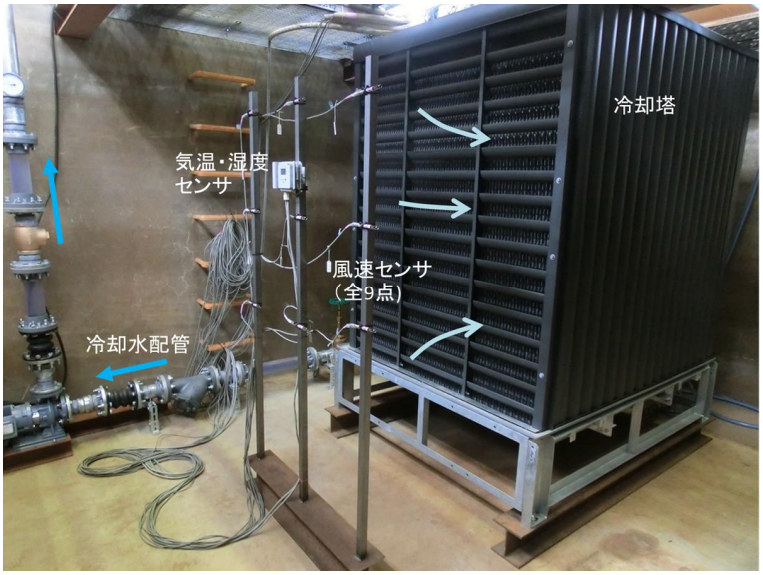


写真2. 冷却塔（前面には可搬式温度・風速センサが設置してある）



写真3. 冷却塔送風機と排気ダクト（矢印は排気の方向）



写真4. 排気ダクトと集灰チャンバー



写真5. 集灰チャンバーのフィルタ（中性能）



写真6. 冷却塔正面と充填材



写真7. 冷却水配管



写真8. 冷却水ポンプ及び配管

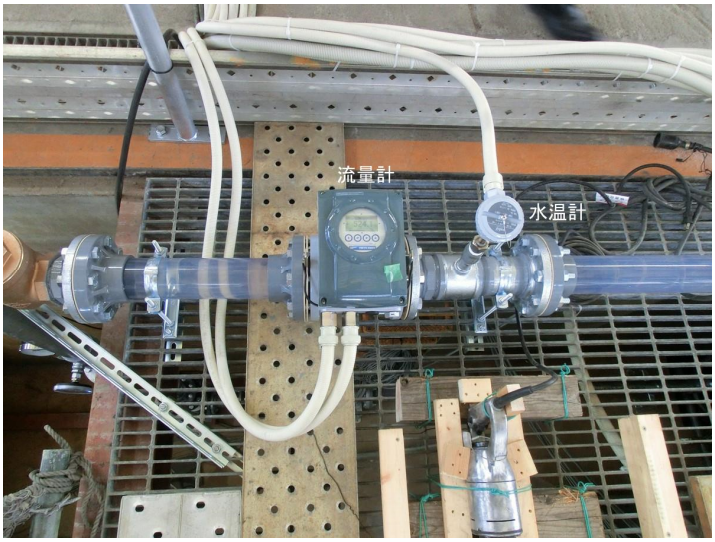


写真9. 流量計，水温計，透明配管部分

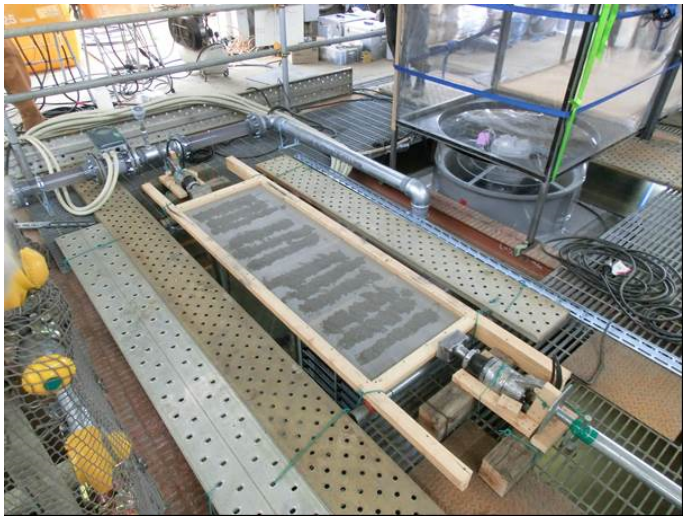


写真10. 篩への火山灰供給



写真11. 冷却塔前方上方の篩をしたから見たところおよび降灰状況

実験では、降灰時の冷却塔の稼働状況をモニタリングするため、表 7 に示すような項目について計測を行った。送風ファンの状態は冷却塔の風量を通じて冷却能力に関係するため，その稼働の健全性を見るためファン回転数，消費電力を計測することにした。併せて，充填材前面で風速を計測することにより，ファンが正常であっても充填材への火山灰の目詰まりなどによる風量低下を検出できるようにした。風速の測定には熱線式多点風速計を用いて冷却塔の前面 9 か所で同時的に計測した。冷却水の流量は，水冷式の空調設備の空調温度維持機能に本質的に重要な量である。そのため，電磁流量計を用いて冷却水流量を連続計測し，送水ポンプの動力値もあわせてモニタリングすることにした。また，冷却水の送水状況を実験場で簡易に目視できるよう，ポンプの下流側の垂直管に圧力計を設置した。実験時の環境の基本的な推移をみるため，気温と湿度の計測も行うことにした。

表7. 計測項目

	計測箇所	単位
①	冷却塔ファン回転数	r/min
②	冷却塔ファン動力値	kW
③	冷却水流量	l/min
④	冷却水温度（冷却塔上部水槽への入口）	℃
⑤	冷却水温度（冷却塔下部水槽からの出口）	℃
⑥	給気外気温度	℃
⑦	給気外気湿度	%
⑧	給気風速計（9箇所同時計測）	m/s
⑨	循環ポンプ動力値	kW
⑩	圧力計【目視用】	MPa
⑪	温度計【目視用】	℃

実験装置における各計測の位置を図 4，図 5，図 6 に示す。

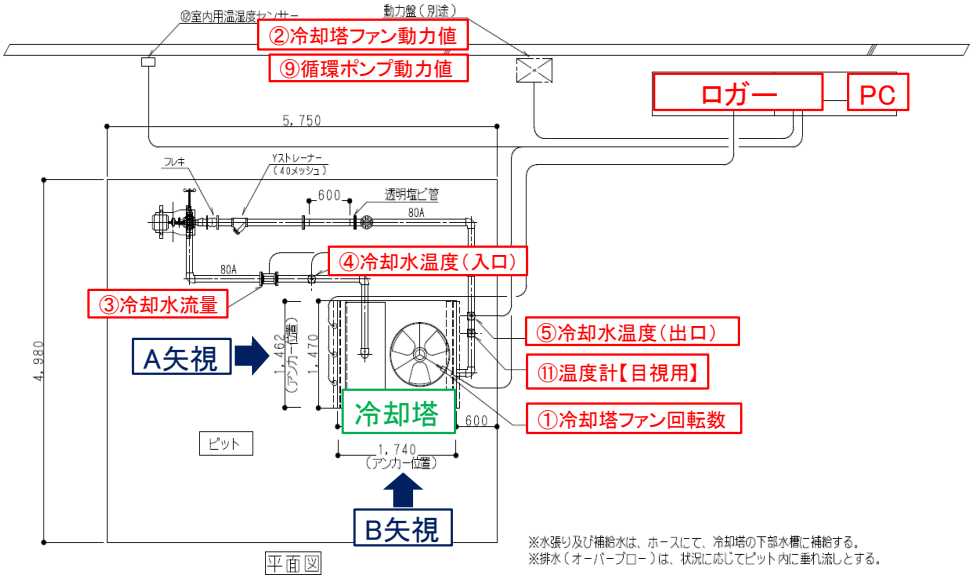


図4. 計測の位置（平面図）

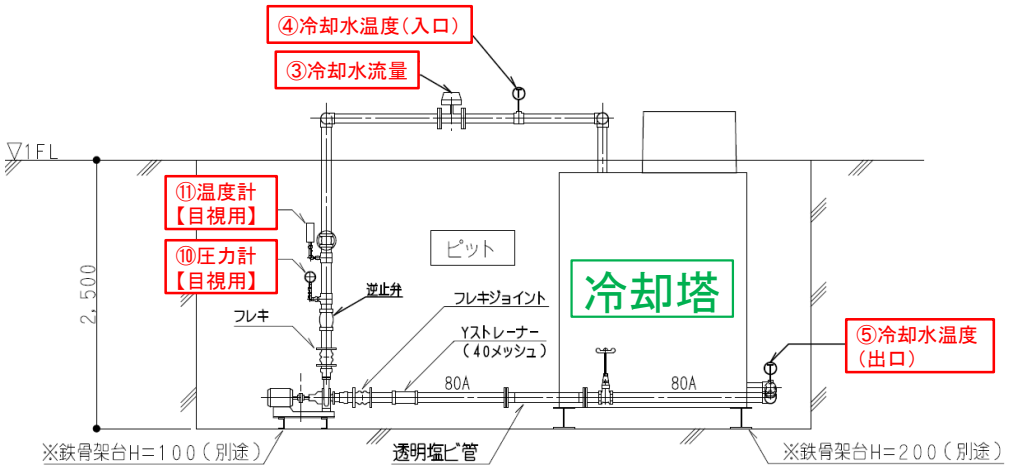


図5. 計測の位置（項目③，④，⑤，⑩，⑪）

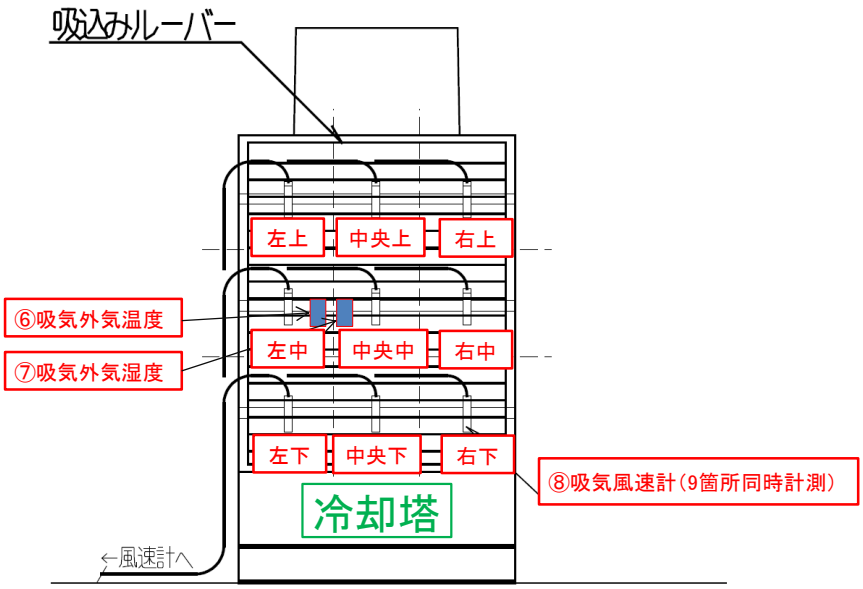


図6. 計測の位置（風速9点，項目⑥，⑦，⑧）

実験に使用した火山灰は、桜島の灰捨場で採取し 250μm#の篩で濾過したものを用いた(実験装置の降灰用篩には降灰時の目詰まり回避のため，やや大きめの 268μm#を用いた)。濾過後の乾燥火山灰の見かけの密度は 1,600kg/m³ である。遠位領域では数 100μm 以下の微細な火山灰が多く見られ，都市インフラなどへの影響の点では微細なものが最も厄介であるとされる [1), 2), 3)]。そのため，微細な火山灰粒子を実験に用いることにした。新鮮な火山灰に含まれる化学成分は雨による流出でほとんど含まれていない。そのため腐食等の影響も検討からは除外した。

図 7 に飛砂粒子径（SPC、新潟電機社製）で計測した、冷却塔通過前後の粒度の相対頻度分布を示す。

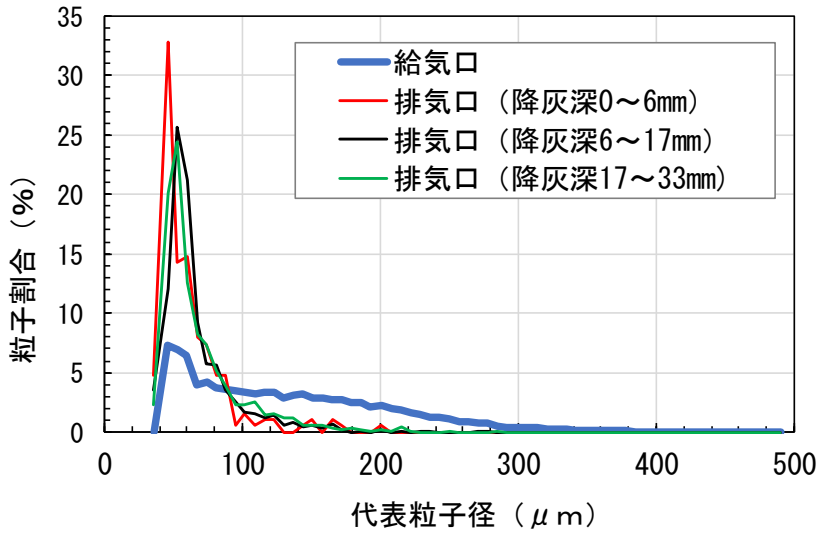


図7. SPCで計測した試料火山灰粒度分布（相対頻度）

これによると、冷却塔通過前には 100μm 以上の粒径を持つ粒子が多くカウントされているが、冷却塔通過後には 100μm 以上の粒子が殆ど含まれていない。つまり、冷却塔を通過する際に充填材の水流に捕捉され、大きい粒子の大部分が取り除かれていることが分かる。

実験では、稼働中の冷却塔への降灰を想定し送風と冷却水循環を行っている状態で冷却塔前面上方から火山灰を降らせ、送風機の吸気により火山灰は冷却塔前面から吸い込まれ充填材を通って冷却塔内部へ侵入する。なお、送風ファンの吹き出し風速は実験で使用した火山灰の終端落下速度の最大値に比べて十分に大きいことから、送風ファン稼働中は真上から送風ファンを通過しての冷却塔内部への侵入は極めて少ないと考えられる。篩から供給する火山灰は全て乾燥火山灰(見かけ密度約 1,600kg/m^3)を用いた。降灰量は時間降灰量としては篩を制御せずに，積算供給量に対する実験系（冷却塔－配管系）への影響という観点で実験を行うことにした。火山灰は総量で約 150kg（降灰深で約 50mm に相当）供給し、この総供給量に達するまでの間に表 1 に示した項目の計測を行った。そして、その間の火山灰の侵入による冷却塔や配管の状況の推移を調べた。

実験終了時に冷却塔内部，排気ダクト内部，冷却塔前面の実験場の床において火山灰を回収し質量を計測した。その結果、火山灰の総投入量 150.4kg に対し，冷却塔外部の実験室床からの回収量は 11.3kg であり，約 139.1kg　(92.5%)が冷却塔に侵入したことになる。冷却塔内に取り込まれた 139.1kg のうち，冷却塔内部での残存量は 122.1 kg であった。配管内の量は，やや間接的にではあるが，配管の内径と残存圧からおよその値を見積もると約 18kg となり，全体として供給量と回収量との間の質量収支はほぼ整合していた。排気ダクトや集灰チャンバー内の火山灰は僅かであり，中性能フィルタの汚れもほとんど目立たない程度であった。充填材内部の水流が，そこを通過する火山灰の大部分を捕捉したものと考えられる（水流式の集塵装置(洗浄塔)に類似）。

次に実験（計測）結果について述べる。図 8 に 9 か所の計測点（図 6）における風速の 1 分間平均値の時系列を示す。

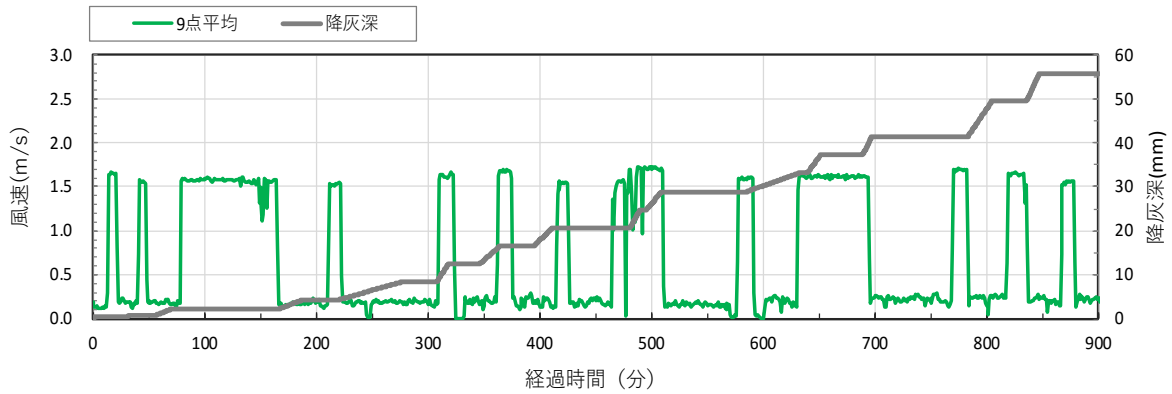


図8. 風速(9点平均の1分間平均)と降灰深

これによると、冷却塔充填材への吸い込み風速は平均 1.5m/s と考えられ、降灰深の増加に伴う平均風速の顕著な漸増、漸減傾向は認められなかった。風速が低下しなかった結果は，前年度のエアコン室外機を対象とした実験における「湿潤火山灰ケース」の場合と

対照的である。室外機の実験では，湿潤火山灰の実験において熱交換フィンへのまとまった量の火山灰の付着があり，フィン前面の風速が著しく低下した。一方，冷却塔では，水が流下していることにより火山灰がいわば洗い流され，充填材内部では下端付近の一部を除いて，通風を大きく妨げるような継続的な灰の付着がなかったためと見られる(写真 12～14／実験終了時)。吸込み口付近の充填材下部冷却塔内では約 30mm の火山灰の堆積が見られる(写真 13)。



写真12. 吸込口全景着灰（実験終了時）

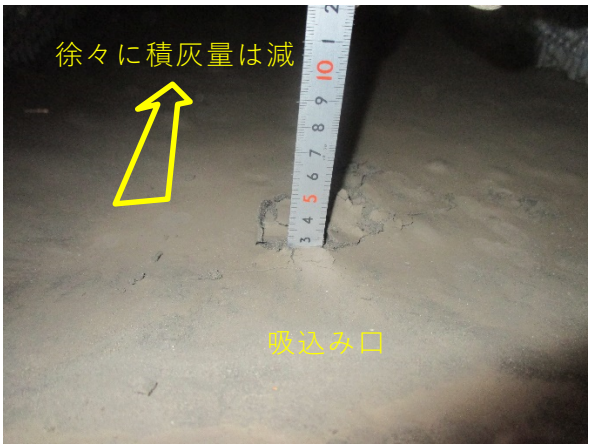


写真13. 吸込口付近積灰深（実験終了時）

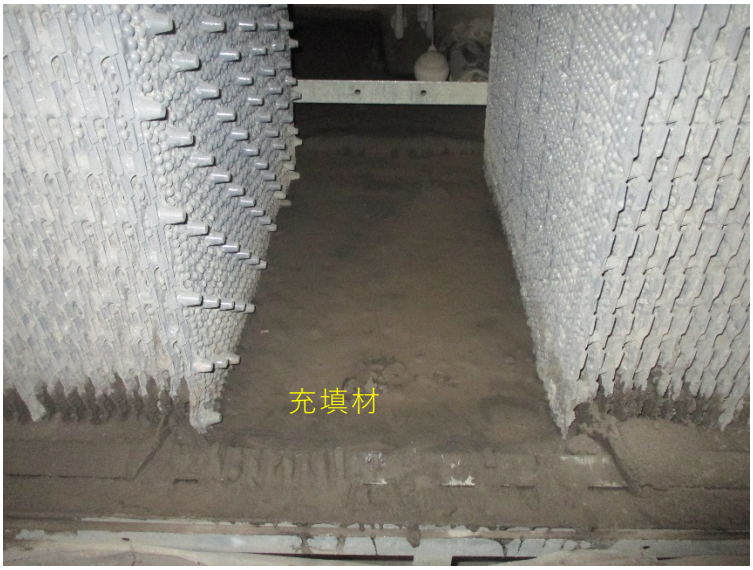


写真14. 冷却塔内部（終了時）

次に、冷却塔のファン回転数と消費電力の経過を降灰量の時間積算の推移と併せて、図 9 及び図 10 に示す。ファン回転数は定格の 720rpm 付近をほぼ保っており，消費電力も 1.5kW 付近でほぼ横ばいである。これらには，降灰の進行による変化はほとんどなく，ファンの回転軸等の機械的な駆動部分には，火山灰は殆ど影響していない。充填材の中の水流によって排気ダクトに達する火山灰量が激減したことを先に述べたが，そうした通過火山灰量の減少が関係している可能性が考えられる。

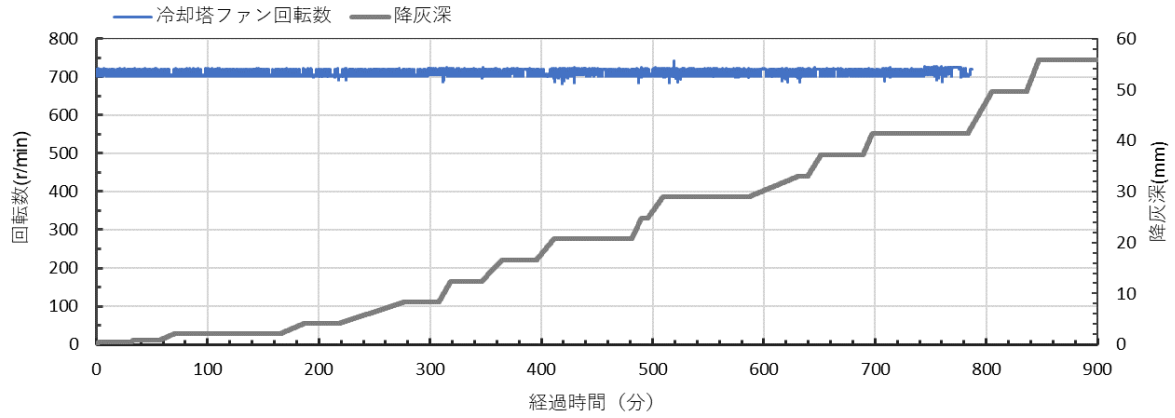


図9. ファン回転数と降灰深

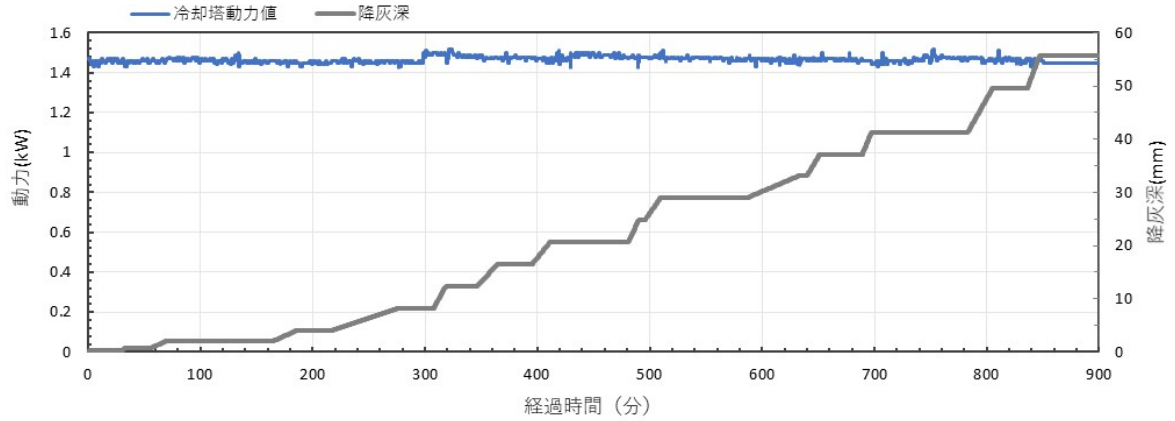


図10. ポンプ動力値と降灰深

次に、図 11 に冷却水配管内の流量の時間変化と降灰量（降灰深）の推移を示す。

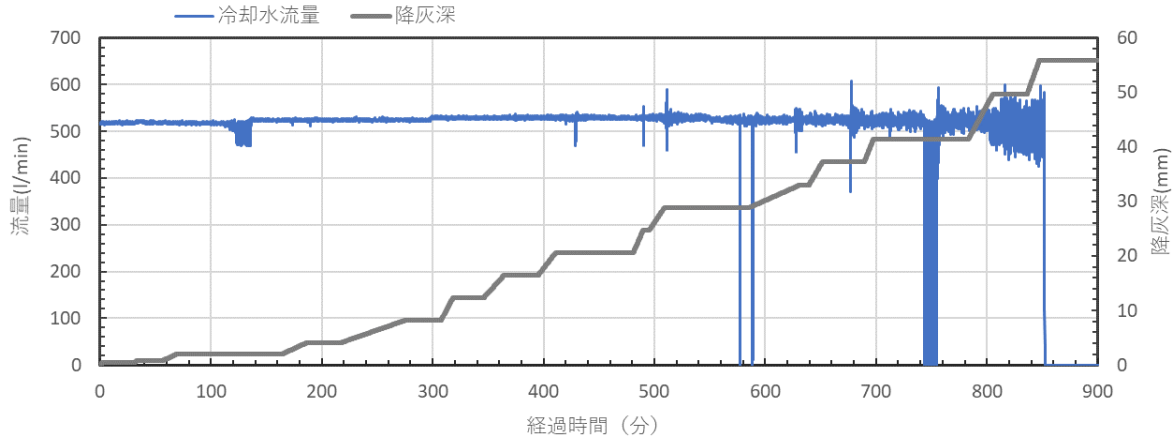


図11. 流量の時間変化と降灰深

流量は，降灰深約 20mm まで殆ど変化していないがさらに降灰深が増加すると，流量には小刻みな変動が現れ出し，その振幅は時間経過とともに増加している。降灰深が約 20～30mm を超えるあたりから流れが不安定化し、配管途中にある目視の圧力計は，流れが安定である間は 0.08±0.002MPa 程度の範囲で指針が小刻みに振れていたが，流量が不安定化すると 0MPa 近くまで急減するなどした。また、配管内に気泡が確認され（写真 15）、空気が流入したことを示す。流量の変動には，冷却塔内水槽から配水管への流入口付近の火山灰の堆積と水による流動が深く関わっていると考えられる（写真 16）。堆積による流入口の狭窄や閉塞，水面の波立ちや流れによる流水の再開通などが相互に作用し合い，流速変動を起こしているものと見られる。写真 16 では、流入口のストレーナへの灰付着と周辺の積灰状況が見られ、一部閉塞に至った状況も見られる。このように，冷却塔への火山灰侵入は流量不安定を起こす可能性が示された。

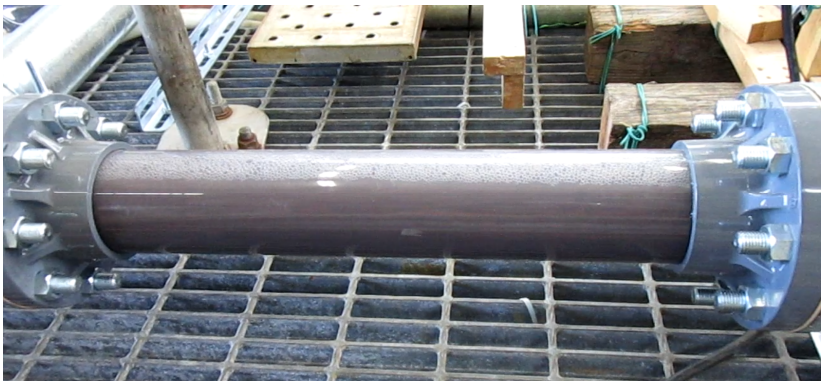


写真15. 管内の気泡



写真16. 冷却水配管への吸込口のストレーナ(実験終了後)

その後降灰量が 56mm に達した時点で，ポンプからの漏水が始まった(写真 17)。漏水はポンプからの連続した水流がはっきりと認められる程度であったため，漏水確認後速やかにポンプを停止し実験を終了させた。漏水の原因部位を調べるため，メーカーによる分

解調査を行った結果，モーターの動力軸と回転羽根の接続部のメカニカルシールに著しい摩耗が確認された(写真 18)。メーカーによると約 14 時間の使用によるカーボン部の摩耗完全消失は，稀有な現象であるとのこと。メカニカルシールを新しいものに交換したところ，漏水は解消された。

冷却水ポンプ内の充水目的で設けられたポンプ吐水側の立上り配管部には逆止弁が取り付けてあるが，降灰量が 41mm に達したあたりから，ポンプを停止させた際に逆止弁で水が止まらず，竪管内の水が冷却塔に還流する状況が認められた。逆止弁の隙間に火山灰が堆積し，弁が密閉されなくなったのが原因の可能性として考えられる。

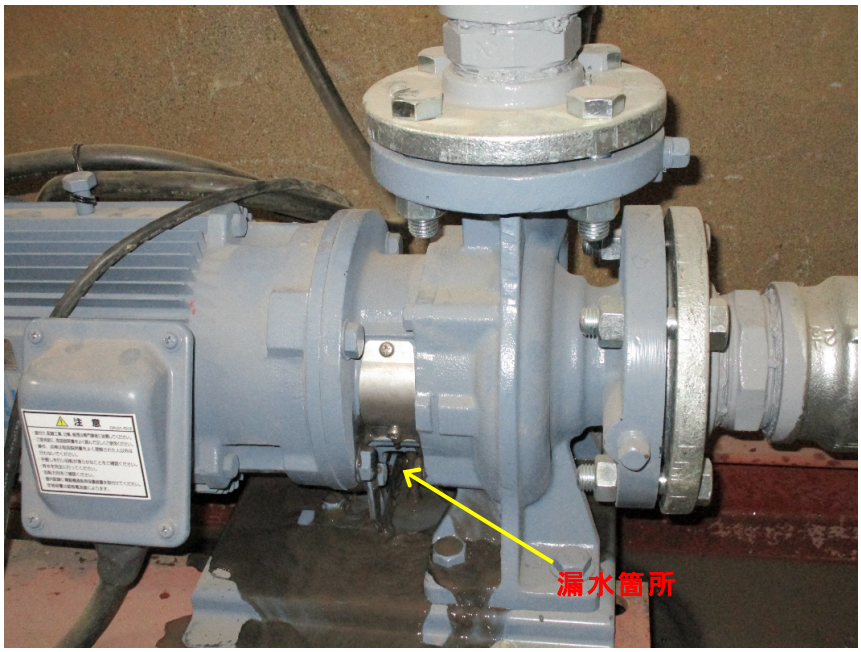


写真17. ポンプ漏水

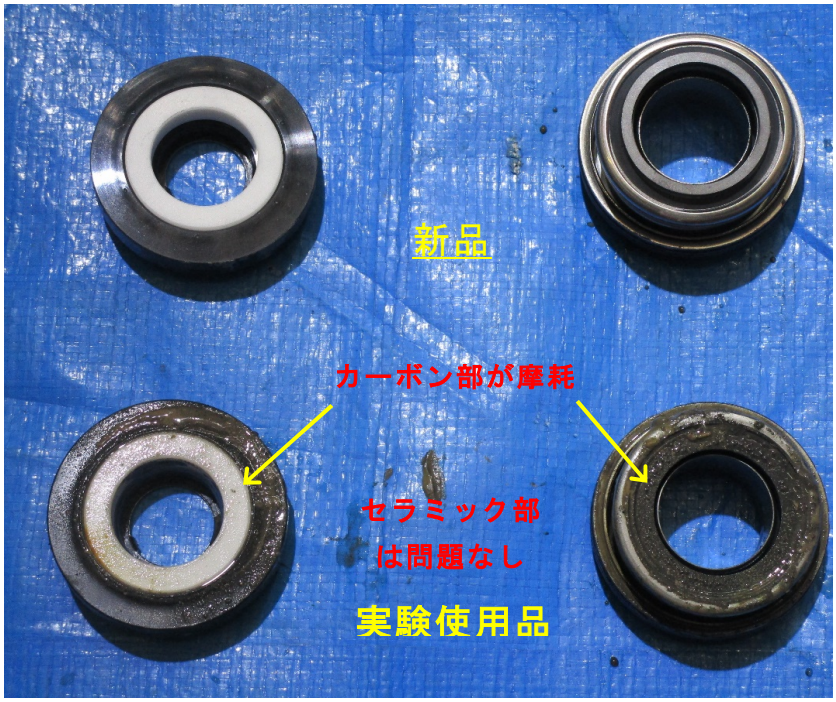


写真18. メカニカルシールの摩耗

今回行った実験結果をまとめると、表 8 のようになる。降灰深が 20mm 程度から、流量計や圧力計に変化が発生し、30mm 程度からその影響が顕著になっている。冷却塔への火山灰の影響は，送風ファンや充填剤の目詰まりという冷却塔本体への影響ではなく，ポンプのメカニカルシールのカーボン部の摩耗により生じた水漏れにより、降灰深 56mm で実験を終了した。

今回の降灰実験は火山灰の総量のみに着目したが、清水用ポンプの摩耗が被害原因となるため、冷却塔の稼働時間も重要な要因と考えられる。

表8. 水冷塔の循環系での異常発生状況

経過時間 (分)	降灰深 (mm)	異常の発生状況
507	29	流量計に変化発生 (降灰深:29mm)
575	29	圧力計に変化発生 (降灰深:29mm＋降灰1回目終了後)
675	37	流量計に変化発生 (降灰深:37mm)
695	41	実験終了後、逆止弁が閉じず鉛直管の水が抜け配管内の圧力が 0 MPaになる
765	50	
	56	清水用ポンプの水漏れ発生 (清水用ポンプのメカニカルシール部分のカーボン部の摩耗)

ⅲ）建築設備の損傷度評価手法の開発

平成 29 年度及び 30 年度に実施された降灰影響評価実験の結果を踏まえ、降灰の影響を受ける都市部の建築物における被害とその閾値評価・検討を行った。表 9 に、都市部の病院施設で予想される降灰の被害例及び「機能維持の対応法」を示す。

ここで示されるように、火山灰の影響を受ける可能性のある部位・機器の特徴や傾向をみると大きく３つに分類できることが分かった。フィルタなどの換気系①、エアコン室外機などの熱源系②、残りはその他③である。③では電源設備や衛生設備などが含まれている。その中で①と②に関しては、ほとんどすべての建築物に存在するものである。③は必ずしもすべての建築物に設置するものでは無いものや屋内設置で影響を受けないものなどであり検討から除外する。

表9. 降灰による建築物影響部位のリスト（１）

火山灰影響部位リスト

凡例）換気系　熱源系　その他

			火山灰で機能被害を受ける可能性のある部位・機器	想定される影響	機能維持の対応方法	備考
全般	共通		火山灰と接触する金属	金属の腐食	【点検】 金属表面の火山灰の除去	
構造部材	建築		屋根	降灰荷重によるたわみ・崩落	【事後対策】火山灰の除去	
				火山灰の落下・腐食	【事後対策】火山灰の除去	
非構造部材	建築		雨どい	降灰荷重による落下	【事後対策】火山灰の除去	
				火山灰による排水機能低下	【事後対策】火山灰の除去	
			ガラス面・壁面	火山灰の付着による汚れ	【事後対策】火山灰の除去	
	設備	電気設備	発電機	エンジン燃焼空気取込み口フィルター目詰まり	【点検】 左記フィルター目詰まり時に清掃又は交換 【事前対策】 火山灰捕集能力の高いプレフィルター設置 （標準のフィルターでは火山灰を除去できないためエンジンの故障に繋がる危険性が高い）	
			屋外設置のキュービクル	換気口より火山灰侵入	【点検】 換気口にフィルターがある場合は目詰まり時に清掃又は交換、フィルターが無い場合は養生（布等で覆う）	
		衛生設備	屋外設置の水槽（受水槽、高架水槽など）	通気管開放部より火山灰侵入	【点検】 通気管開放部は防虫網を設置している程度で火山灰の侵入の恐れがあるため養生（布等で覆う）	
			屋外設置の制御盤（換気機能のあるもの）	換気口より火山灰侵入	【点検】 換気口にフィルターがある場合は目詰まり時に清掃又は交換、フィルターが無い場合は養生（布等で覆う）	
		空調設備	外気取入部	フィルターの目詰まり	【点検】 フィルター目詰まり時に交換 【事前対策】 メンテナンス性を高めるため外気取入部を集約 火山灰対策用フィルター設置（後設置とする場合は設置するスペースを予め見込む） 【事後対策】 降灰時は外気取入量を最小化	換気方式（中央、個別）の差はあるが、すべての建物に存在する設備（部位）

降灰による建築物影響部位のリスト（２）

火山灰影響部位リスト　　凡例）換気系　熱源系　その他

			火山灰で機能被害を受ける可能性のある部位・機器	想定される影響	機能維持の対応方法	備考
非構造部材	設備	空調設備	屋外設置の制御盤（換気機能のあるもの）	換気口より火山灰侵入	【点検】 換気口にフィルターがある場合は目詰まり時に清掃又は交換、フィルターが無い場合は養生（布等で覆う）	
			冷却塔	熱交換用充填材の目詰まり	【点検】 熱交換用充填材目詰まり時は清掃	
				水槽下部のストレーナーの目詰まり	【点検】 水槽下部のストレーナー目詰まり時は清掃	
				冷却水配管系に設置のストレーナーの目詰まり	【点検】 冷却水配管系に設置のストレーナー目詰まり時は清掃	
					【事後対策】 連続ブローによる希釈運転	
			空冷チラー、エアコン室外機	熱交換フィンの目詰まり	【点検】 熱交換フィン目詰まり時は清掃	熱源方式（中央、個別）の差はあるが、すべての建物に存在する設備（部位）
			吸収式冷凍機、冷温水発生器（屋外パネル仕様）	ブロアー吸気部より火山灰侵入	【点検】 ブロアー吸気部の送気系にフィルターがある場合は、目詰まり時は清掃又は交換	
		輸送設備				
	その他	什器				
		医療機器	冷却塔	（空調設備に同じ）	（空調設備に同じ）	
			空冷チラー	（空調設備に同じ）	（空調設備に同じ）	
			設置環境の温湿度条件のある機器	空調停止等による温湿度の乱れ	【点検】 熱源機器を含む関連のある空調設備 （前述「空調設備」参照）	

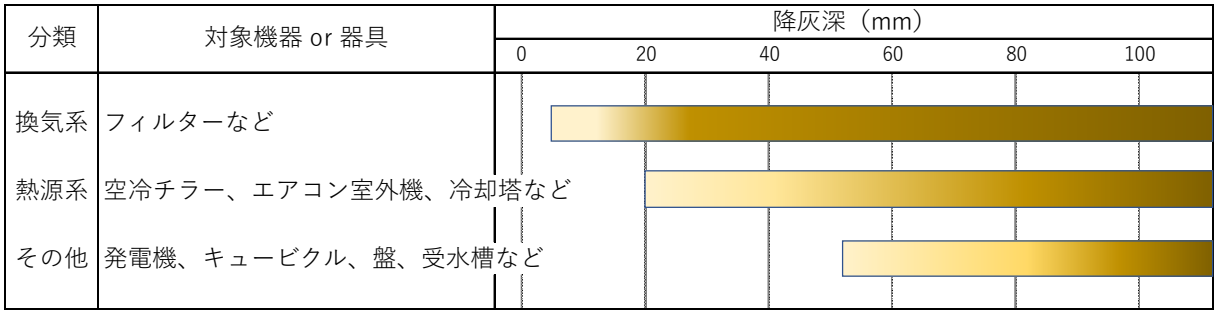
注）当リストは外気を取り込む機器や部位を抽出したものであり、実験等により裏付けされたものではない。
電気・水道・ガスのインフラ停止時はＢＣＰ対策を行った建物のみ一定時間は機能を維持できると考えるが、ＢＣＰの対象とした設備の範囲によっては機能維持のできない設備も出てくる可能性はある。

まず空調設備の被害について検討する。昨年度に実施したエアコン室外機を対象とした降灰影響評価実験の結果[4]では、積灰後の送風ファン起動において、降灰深が 20mm から起動後のファンの回転にわずかな電圧変化が見られ始めた。湿潤状態の火山灰では 50mm 時に、ファンがスムーズに起動できず停止するという現象がみられた。このときは 1 日程度経過して火山灰の乾燥が進むとファン起動時に振り落とされ、稼働することを確認している。乾燥火山灰では降灰深 50mm でも室外機の起動に大きな支障はなかった。このことより、エアコン室外機の送風ファンの起動に被害が見られ始める降灰深は約 50mm 程度と見積もられる。一方、室外機を稼働させた状態での湿潤火山灰を使った実験では、降灰深 10mm～20mm 程度で熱交換フィン前面の風速が大きく低下した。これは熱交換不足につながる可能性が高い程度の風量低下である。以上を鑑みると、状況の幅は広いものの、降灰深 20mm 程度になると，空冷式のエアコンには何らかの不具合が生じると考えられる。

次に、本年度実施した冷却塔を対象とした降灰影響評価実験の結果より、空調機能への影響の出始めは、流量の変化が生じた時点と判断でき、その際の降灰深は 20mm であった。その後、降灰深 56mm でポンプのメカニカルシールに問題が生じたが、これは摩耗による被害であり、降灰深のみのパラメータでは評価しにくいと判断した。従って、降灰深を基に考える本年度の試案としては、冷却塔の不具合が発生し始める降灰深として約 20mm を採用する。

一方、空調設備の重要な機能の一つに換気がある。換気設備には、外気取り入れ部に必ずフィルタを設けており、このフィルタが降灰による目詰まり等による影響が出るとの報告もあり、本評価においても無視することはできない。これまでの降灰によるフィルタの影響に関する報告[5]によると、フィルタ交換圧損到達時間に差はあるが、濃度が 700mg/m^3 時の場合は、プレフィルタと中性能フィルタの組み合わせで定格風量時に 26.3 分と非常に短い時間で影響を受けるとの報告内容であった。濃度 700mg/m^3 を降灰深に換算すると数 mm/日程度になり、かなり早めに障害が発生する。ただし、実際に降灰時は換気風量を減らす対応やフィルタの交換・清掃などメンテナンスにより最低限の換気機能を継続することは可能であり、フィルタが必ずしも空調設備の内で最初に影響を受けるとは限らない

以上より、降灰による空調設備における影響は、これらの実験結果より冷却塔が最も早く機能障害を受けることが分かった。よって、降灰による空調設備における影響は、冷却塔の受ける影響を判断の基準とする（図 12 参照）。



注)熱源系以外の降灰深は参考値として記して

図12. 代表建築設備機器あるいは器具の被害予測（案）

次に、構造体（屋根）の被害について検討する。過去の火山噴火では、火山灰の建物への堆積により、木造家屋の損壊・倒壊、倉庫など支点間の長い屋根の損壊、雨樋や庇の損壊などの降灰被害が発生している [6]。現行の建築基準法では降灰荷重に対する設計は実施されていないが、建物に生じる鉛直荷重の観点から見ると降灰荷重は積雪荷重に類似している。このため、建築基準法で定められた屋根の積雪荷重を計算し、「積雪荷重の換算による限界降灰深」及び「建物条件を考慮した限界降灰深」について検討する。

まず屋根に降灰荷重のみが作用する条件で、積雪荷重の換算による限界降灰深について検討する。建築基準法施工例第 86 条 [7]で定められた屋根の積雪荷重は、

・積雪の単位重量：20 (N/cm/m^2)

・屋根勾配：0 度

・割増係数：1.0

から計算でき、火山灰の単位重量を乾燥状態と湿潤状態に対してそれぞれ 10 (kgf/cm/m^2) と 17 (kgf/cm/m^2)と仮定し降灰深に換算する。富士山の宝永噴火規模を想定した場合に降灰が予想される、裾野市、富士吉田市、小田原市、横浜市、東京都千代田区の 5 区域を対象に、積雪荷重から限界降灰深を計算すると図 13 のようになる。5 区域の中で最も少ない横浜市で、乾燥火山灰で約 5.1cm、湿潤火山灰では約 3.0cm で限界降灰深に達している。

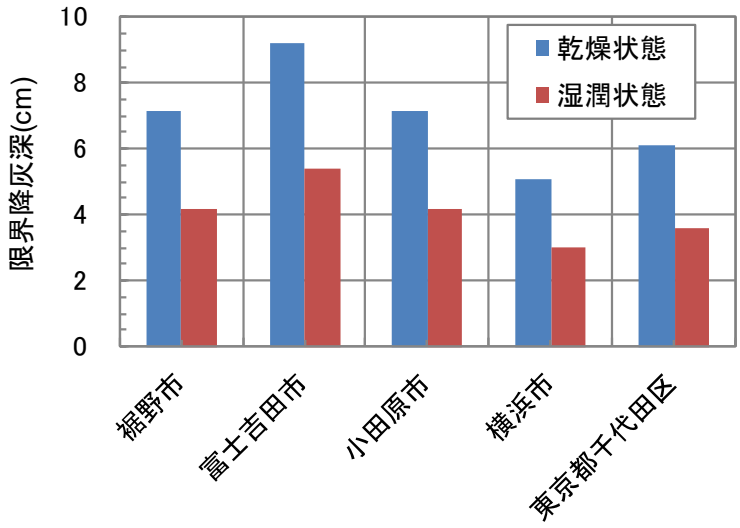
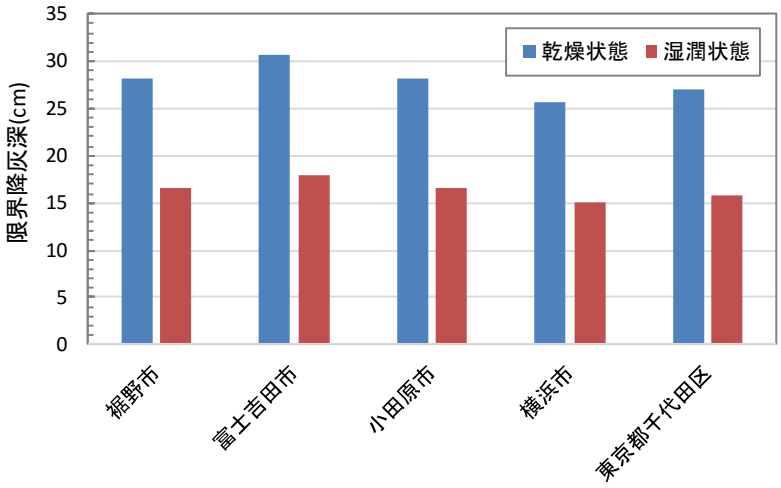


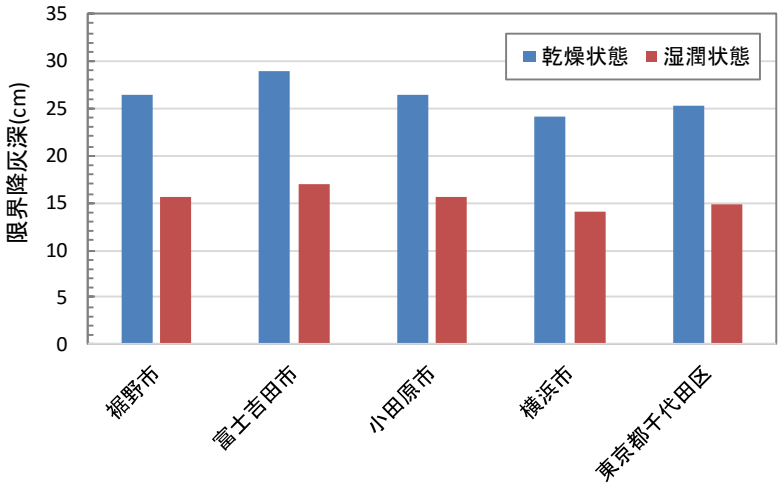
図13. 積雪荷重の換算による限界降灰深

建物条件を考慮した限界降灰深についても、同様に屋根に降灰荷重のみが作用する条件で検討する。建物の安全率（ここでは 1.2 に設定 [8]）を考慮した積雪荷重と設計時の積雪荷重に対する余裕率（ここでは 1.5 に設定 [9]）を考慮した崩壊荷重を火山灰の単位重量を用いて換算した降灰深から、建物条件（屋根面における固定荷重と積載荷重の合計 [10]）を考慮した限界降灰深が計算され、その結果を図 14 に示す。

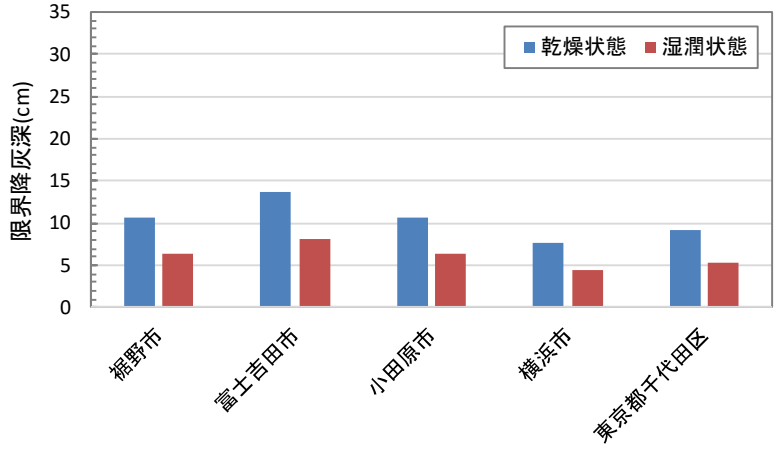
これによると RC 造建物と S 造建物の限界降灰深は、S 造体育館と比較して約 2～3.5 倍大きくなっている。また、横浜市における S 造体育館で、乾燥火山灰で約 7.7cm、湿潤火山灰では約 4.5cm で限界降灰深に達していることが分かる。



RC 造建物



S 造建物



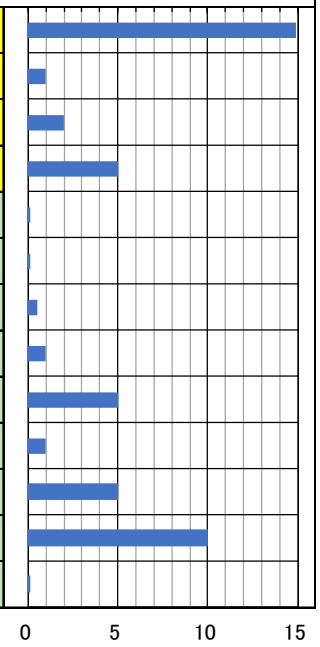
S 造体育館

図14. 建物条件を考慮した限界降灰深

次に、降灰によって影響を受ける建築物への被害について整理する。フィルタ [5]、エアコン室外機 [4]ならびに冷却塔の降灰実験結果や既往文献などを参考に、建物、インフラの降灰深の閾値（成果イメージ案）を作成すると表 10 のようになる。ただし、表中のフィルタの降灰深の閾値は交換圧損に至るまでの値であり、フィルタ掃除や交換による性能回復は考慮していない。

表10. 建物、インフラの降灰深の閾値（成果イメージ案）

要素				設定条件	降灰深の閾値(cm)
建物	①	構造部材	屋根	S造建物（建設地は東京都千代田区）	14.9
	②	建築設備	換気系	フィルタ（降灰深は約0.5～1.5cm）	1.0
			熱源系	空冷チラー、エアコン室外機（降灰深は約2～5cm）、冷却塔（降灰深は約2cm）など	2.0
			その他	発電機、キュービクル、盤、受水槽など	5.0
インフラ	③	電気（変電所）	注意	火山灰のみ	0.1
			停電	降雨時	0.1
				晴天時	0.5
	④	送電線	注意		1.0
			破断		5.0
	⑤	上水（浄水場）		屋根が無い場合	1.0
	⑥	道路	注意		5.0
			通行不可	晴天時	10.0
	⑦	鉄道	運休	ポイント障害、電気設備影響	0.1



建築物には規模や用途により様々な建築設備が存在している。一方、建築設備に対して火山灰がどのような影響を及ぼすかについての検証はそれほど進んでいない。この状況下において、あらゆる建築設備の影響を加味した建築物使用における影響度を総合的に評価することは極めて困難である。そこで、一つの建築物の中で、最も早く機能のダメージを受ける機器や器具に着目し、建築設備の被害予測の基準（代表）として評価することを考えた。表 10 に示した降灰の影響を受ける建築物の部位において、先述の空調設備の被害で示したように、各要素のうち最も早く機能障害をうける部位を特定できれば、その要素に着目して被害予測を行うことが可能になる。上記の成果イメージ案において、最も早く機能被害を受ける②建築設備は『換気系』となり、この要素に電気などインフラの影響を加味することで建物機能に対する降灰深の閾値を設定できることになる。

次に、降灰によるシステムへの影響として、「1. 建物機能」、「2. 建物損傷」、そして「3. 人の参集、物流障害等」を考える。各システムを構成する要素を表 11 のように分類し、各要素が直列で連結されていると仮定すると、システムの降灰深の閾値は各要素の降灰深の最小値を用いて評価できる。このとき、各システムの降灰深の閾値（成果イメージ案）を作成すると以下となる。システムの降灰深の閾値は、「2. 建物損傷」＞「1. 建物機能」＞「3. 人の参集、物流障害など」の順に小さくなり、建物機能への影響は少量の降灰深でも発生する可能性がある。建物機能への影響では停電が支配的な要素となっており、降灰後にも建物機能を維持するには電力の確保が重要になる。また、降灰被害は、地震被害と異なり建物損傷と建物機能の降灰深の閾値の差異が大きく、建物損傷を免れても建物機

能が少量の降灰深で低下することが懸念される。このため、BCP の観点より、降灰に対する建築設備などの機能維持の対応方法が重要になる。

表11. 被害項目の降灰深の閾値（成果イメージ案）

	システム	要素			設定条件	降灰深の閾値(cm)	
						要素	システム
1	建物機能	②	建築設備	換気系	フィルタ（降灰深は約0.5～1.5cm）	1.0	0.5
				熱源系	空冷チラー、エアコン室外機（降灰深は約2～5cm）、冷却塔（降灰深は約2cm）など	2.0	
				その他	発電機、キュービクル、盤、受水槽など	5.0	
		③	電気（変電所）	停電	晴天時	0.5	
		④	送電線	破断		5.0	
		⑤	上水（浄水場）		屋根が無い場合	1.0	
2	建物損傷	①	構造部材	屋根	S造建物（建設地は東京都千代田区）	14.9	14.9
3	人の参集、物流障害など	⑥	道路	注意		5.0	0.1
		⑦	鉄道	運休	ポイント障害、電気設備影響	0.1	

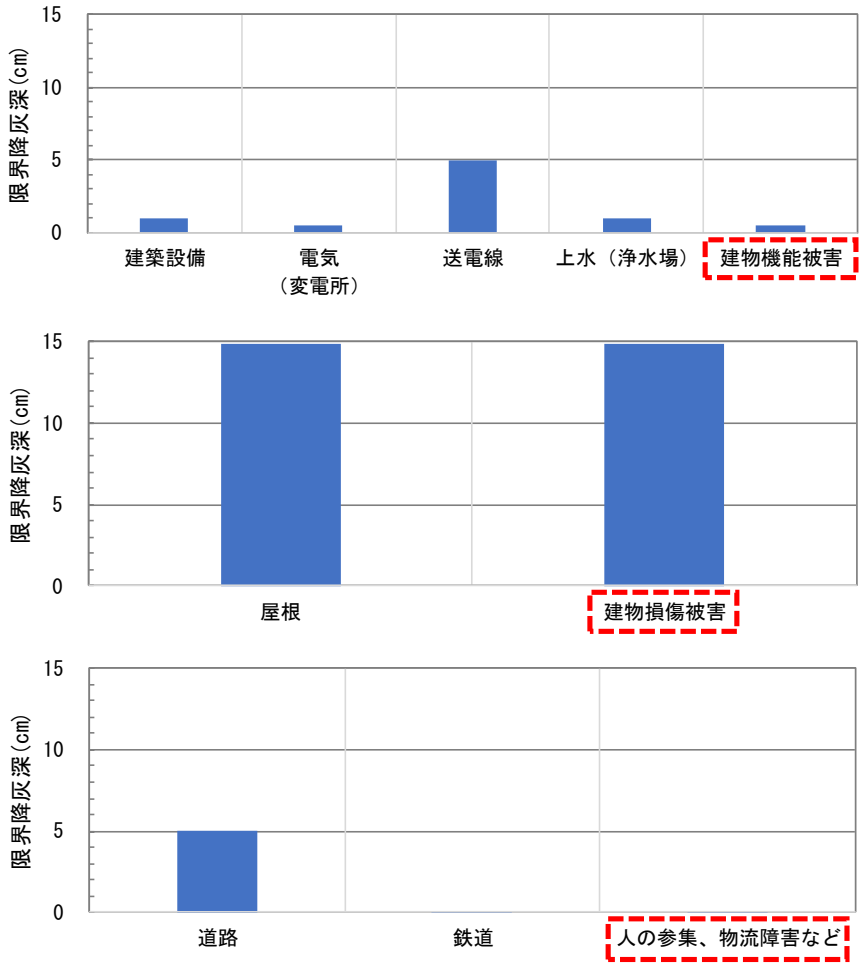


図15. 被害項目の降灰深の閾値（成果イメージ案）

ⅳ）避難・救助支援コンテンツ試作版の開発

避難・救助支援コンテンツの開発に向けて、前年度に引き続き富士山で行われた登山者動向把握実験（富士山チャレンジ）に参加した。実験は 2018 年 8 月 18 日～8 月 26 日にかけての約 1 週間にわたって実施され、基礎データとなる 14000 人以上の登山者動態データを取得した（図 16)。実施にあたっては登山道 4 ルートに 50 点のレシーバ（※スマートフォンを使用）を設置してデータ収集を行った（図 17)。この実験の結果、ある時間の登山者の分布（図 18）や登山者の動向を把握すること（図 19）が可能となった。また、ビーコンを所持した登山者の数・位置の把握に関する実証実験では約 3000 人の登山者の所在を約 2 時間で把握することに成功した（図 20)。

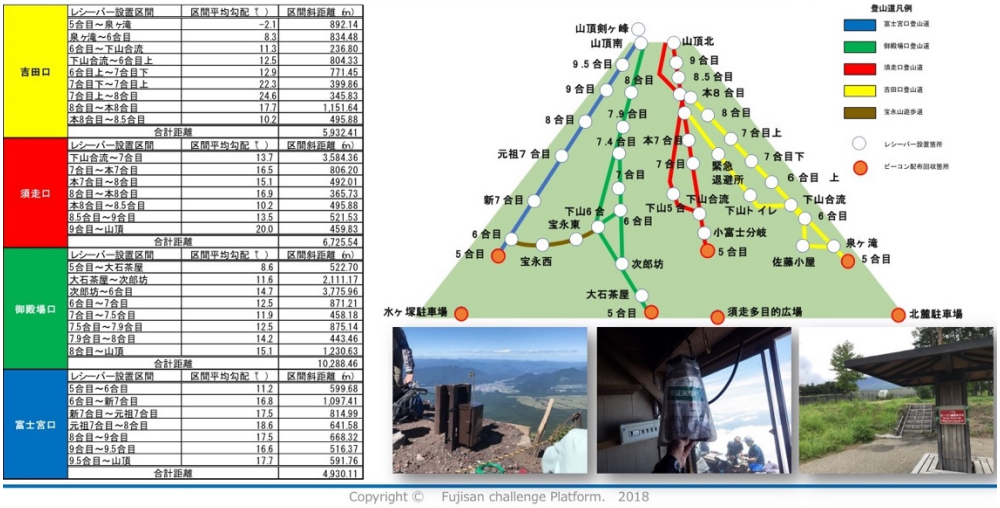
参加登山者数　14,672 人参加　（2018年8月18日－8月27日）

※全登山者数は、環境省8合目カウンター調査の公表資料による
※富士宮口の全登山者数は、環境省カウンターの不具合により欠測

実施日	富士宮口			御殿場口			須走口			吉田口		
	参加者数	全登山者数	割合	参加者数	全登山者数	割合	参加者数	全登山者数	割合	参加者数	全登山者数	割合
8月18日　(土)	987	—	—	35	422	8%	304	759	40%	2,320	4,285	54%
8月19日　(日)	734	—	—	71	371	19%	398	621	64%	1,328	3,236	41%
8月20日　(月)	391	—	—	30	99	30%	164	495	33%	937	1,738	54%
8月21日　(火)	383	—	—	29	56	52%	114	237	48%	788	2,001	39%
8月22日　(水)	346	—	—	19	132	14%	113	293	39%	929	2,137	43%
8月23日　(木)	—	—	—	3	35	9%	—	110		77	415	19%
8月24日　(金)	—	—	—	—	51		—	—		—	16	
8月25日　(土)	561	—	—	8	149	5%	344	609	56%	2,000	3,919	51%
8月26日　(日)	374	—	—	27	435	6%	103	727	14%	753	3,445	22%
合計	3,776	—	—	222	1,750	13%	1,540	3,851	40%	9,132	21,192	43%

Copyright ©　Fujisan challenge Platform.　2018

図 16. 実証実験開催日と参加者数



	レシーバー設置区間	区間平均勾配（°）	区間斜距離（m）
吉田口	5合目～泉ヶ滝	-2.1	892.14
	泉ヶ滝～6合目	8.3	834.48
	6合目～下山合流	11.3	236.80
	下山合流～6合目上	12.5	804.33
	6合目上～7合目下	12.9	771.45
	7合目下～7合目上	22.3	399.86
	7合目上～8合目	24.6	345.83
	8合目～本8合目	17.7	1,151.64
	本8合目～8.5合目	10.2	495.88
	合計距離		5,932.41
須走口	レシーバー設置区間	区間平均勾配（°）	区間斜距離（m）
	下山合流～7合目	13.7	3,584.36
	7合目～本7合目	16.5	806.20
	本7合目～8合目	15.1	492.01
	8合目～本8合目	16.9	365.73
	本8合目～8.5合目	10.2	495.88
	8.5合目～9合目	13.5	521.53
	9合目～山頂	20.0	459.83
	合計距離		6,725.54
御殿場口	レシーバー設置区間	区間平均勾配（°）	区間斜距離（m）
	5合目～大石茶屋	8.6	522.70
	大石茶屋～次郎坊	11.6	2,111.17
	次郎坊～6合目	14.7	3,775.96
	6合目～7合目	12.5	871.21
	7合目～7.5合目	11.9	458.18
	7.5合目～7.9合目	12.5	875.14
	7.9合目～8合目	14.2	443.46
	8合目～山頂	15.1	1,230.63
	合計距離		10,288.46
富士宮口	レシーバー設置区間	区間平均勾配（°）	区間斜距離（m）
	5合目～6合目	11.2	599.68
	6合目～新7合目	16.8	1,097.41
	新7合目～元祖7合目	17.5	814.99
	元祖7合目～8合目	18.6	641.58
	8合目～9合目	17.5	668.32
	9合目～9.5合目	16.6	516.37
	9.5合目～山頂	17.7	591.76
	合計距離		4,930.11

Copyright ©　Fujisan challenge Platform.　2018

図 17. 登山者動向把握実験を実施したルートとレシーバ設置地点

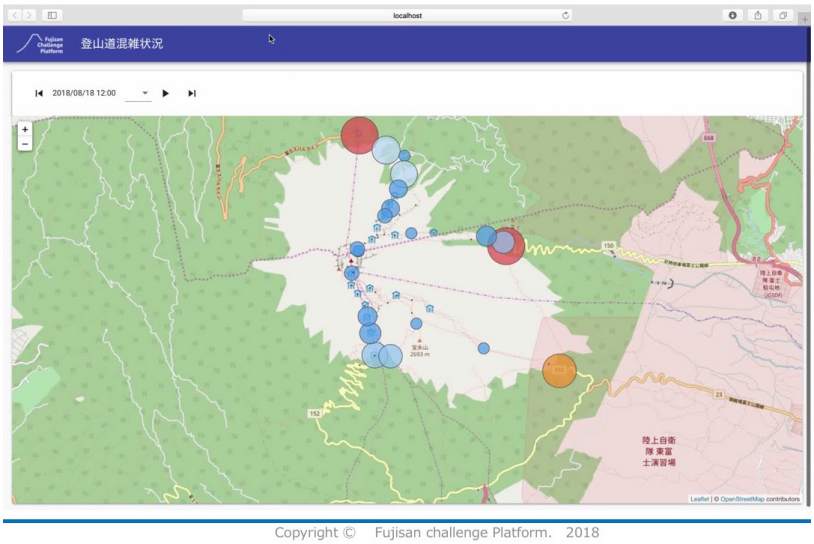


図 18. ある時間での登山者の分布を可視化した図

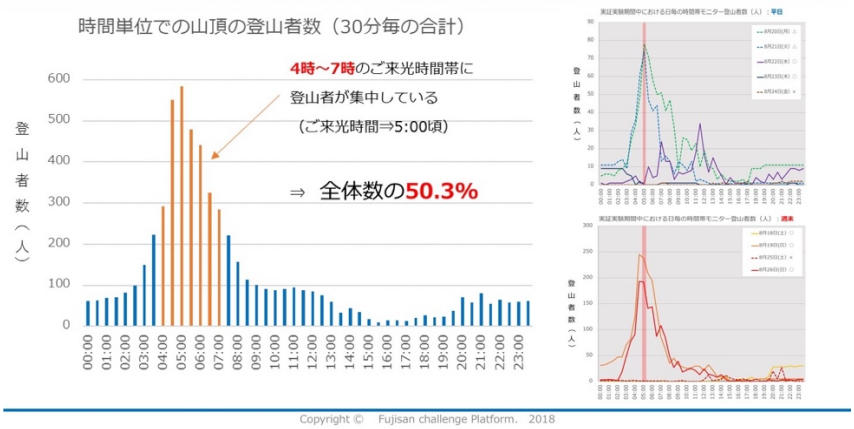


図 19. 富士山登山者の登頂時間とその人数分布

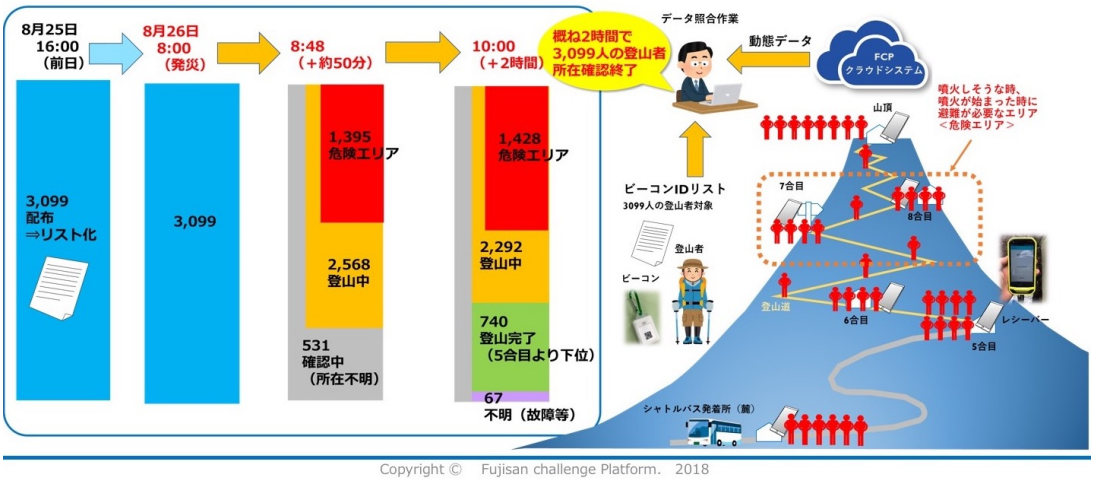


図 20. ビーコンを所持した登山者数・位置の把握に関する実証実験。3000 人の登山者の所在を約 2 時間で把握した。

今年度の実験では、特に火山災害発生時の登山者把握について検証を行った。結果として、御嶽山の 2014 年噴火に際し数日を要した登山者の所在把握について、2 時間程度で約 98%の掌握が可能であることが分かり、この実証実験が当初より目指していた噴火災害発生時の迅速な登山者の位置の把握に関して十分に実現可能であることが示された。

本課題では昨年度と今年度の 2 回の実験で得られた登山者動態データをインプットデータとする避難・救助支援コンテンツの試作版について設計・検討を進めた。噴火発生時に準即時的な登山者動態把握が実現することで、例えば富士山のように火口出現位置が不確定な山域においても、本コンテンツから噴火の状況に応じた避難指示情報を個別に付与することも可能となる。さらに同実験ではレーザー測量により登山道の険しさや滑りやすさといった情報も得られており、噴火災害発生時に本コンテンツからこれらの情報を得ることにより、的確な避難指示を出すことができたり、どの登山口にどれだけの避難用車両を準備するべきか等が事前に分かることで、登山者の避難がよりスムーズに行えると考える。また今年度は課題 C3 と連携を行った。この中で富士山における噴石シミュレーションと登山者動態データを組み合わせ、その結果が課題 C3 で開発されたシステム（CRMS）によって可視化されることで、簡易的な人的被害の推定が可能となった（図 21）。本コンテンツの平時の利用としては、自治体の防災担当者が、得られる人的被害推定の結果を使って、避難計画の作成、避難施設や避難指示看板の設置、避難経路の指定等を効率よく行うことができるようになると考えられる。

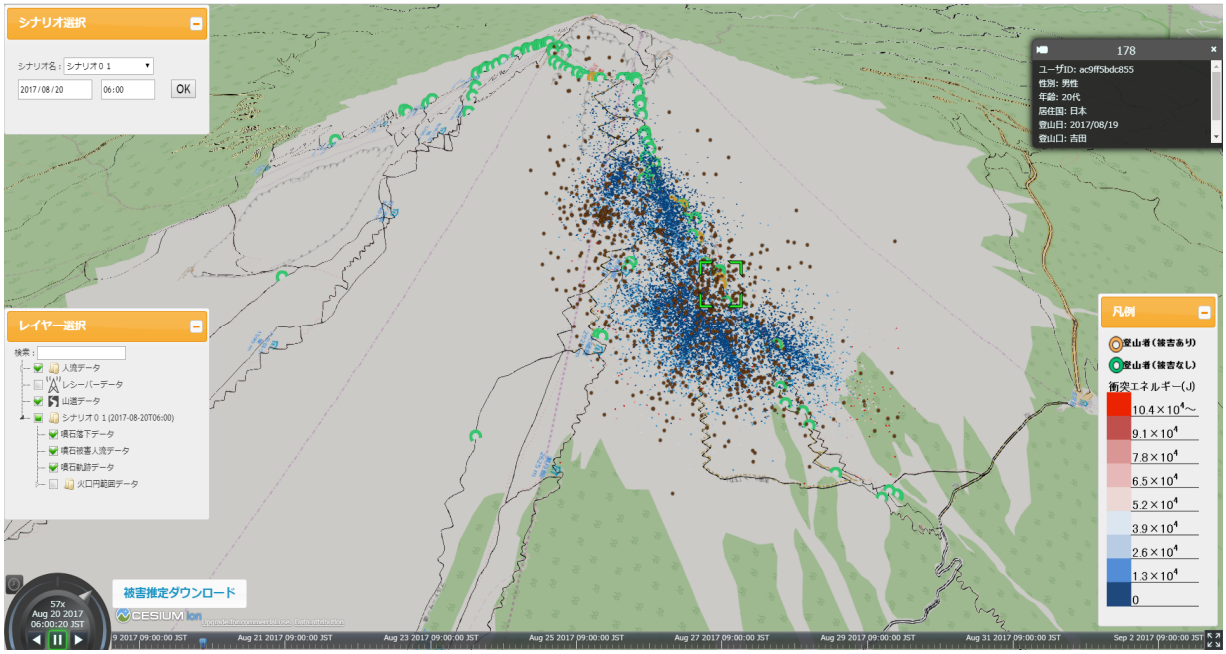


図 21. 課題 C3 によって開発された噴石シミュレーション結果の可視化システム（CRMS）。本課題によって得られた登山者動態データと組み合わせることで、人的被害推定が可能となる。

ｖ）常時観測火山におけるハザードマップのデジタル化

前年度に引き続き、常時観測火山の内 10 火山（恵山、秋田駒ケ岳、安達太良山、磐梯山、焼岳、白山、伊豆東部火山群、三宅島、鶴見岳・伽藍岳、口永良部島）のハザードマップのデジタル化を実施した。これにより、WebGIS 等で閲覧することや他の情報と重ね合わせることで簡易的なリスク評価なども行うことができるようになった。また、開発に着手した各種コンテンツ試作版の基盤データとして取り入れていく。

本事業ではこれまでに合計 30 火山の GIS 版ハザードマップが得られているが、自治体防災担当者を始めとするユーザーにアンケート調査やヒアリング調査を行い、その他の用途について検討を行った。その結果、住民向けのアウトリーチ活動での利用や防災訓練における被害想定の作成に利用でき、政府や自治体が持つ防災情報システムへ取り込むことも可能になると思われる。今年度は那須町で行われた住民向けの防災イベントに参加し、那須岳の GIS 版ハザードマップを利用したアウトリーチ活動を行った。また、政府（内閣府）の総合防災情報システムに取り込まれ火山ハザードの表示に使用されている。

vi）他課題との連携

課題 D3 は本プロジェクトの中で、成果を社会に活かす窓口という重要な役割を担っている課題であり、昨年度に引き続き他課題との連携を行った。具体的には、課題 D2 で取得したディスドロメータによる降灰データを課題 D3 と共有し、WebGIS 上で閲覧することを可能にした（図 22)。また、課題 D1 で取得したドローンによる画像データや 3D 地形データを課題 D3 で共有し、周知啓発教育用コンテンツ試作版からダウンロードできるよう開発を進めている。

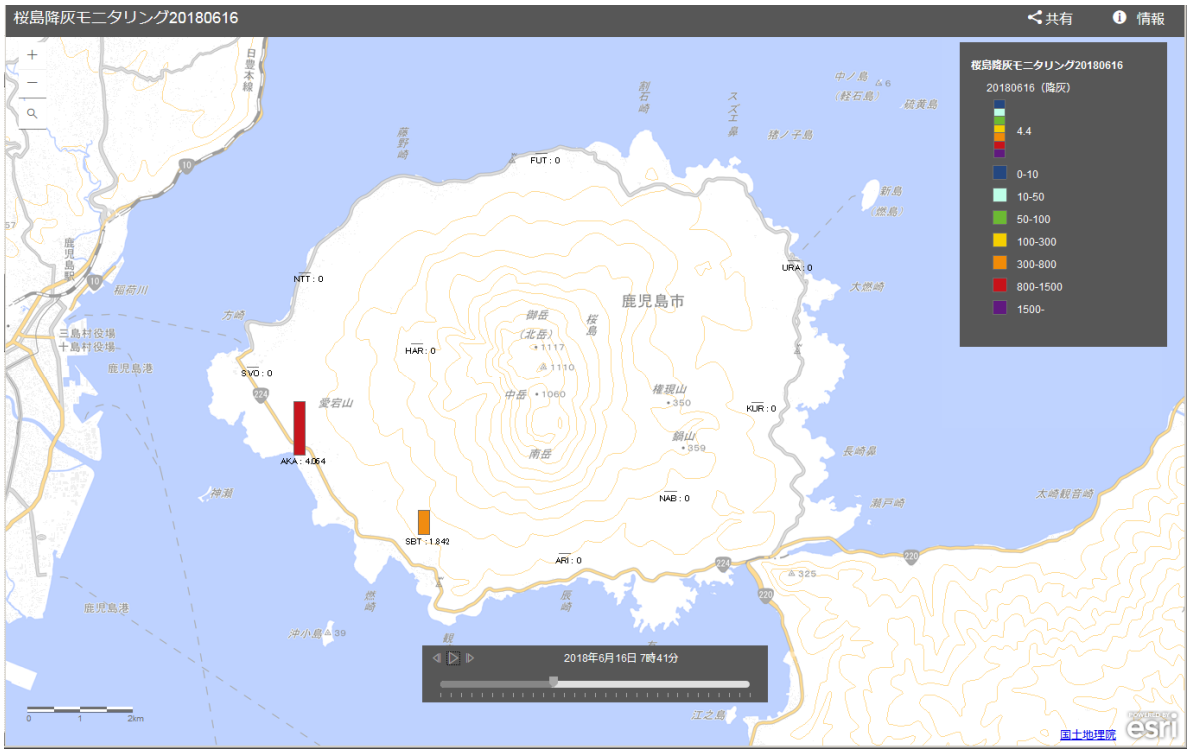


図 22. WebGIS に表示されたディスドロメータによる降灰観測データ

(d) 結論ならびに今後の課題

平成 30 年度の当初目標である以下の 5 点については、ほぼ達成できた。

・常時観測火山におけるハザードマップのデジタル化
・自治体を対象とした火山対策の比較・分析
・都市部の施設に対する降灰影響評価実験
・建築設備の損傷度評価手法の開発
・登山者動向把握実験への参加・分担

今年度も常時観測火山 50 火山の内 10 火山における紙ベースのハザードマップをデジタル化し、WebGIS 等で表示することが可能になった。これで合計 30 火山の GIS 版ハザードマップが得られ､開発が進められている各種コンテンツ試作版に取り入れていく｡また、今年度はその他の用途について検討を進め、住民向けアウトリーチ活動での利用や防災訓練における被害想定作成への利用、行政組織の持つ防災情報システムへの取り込みなどが挙げられた。今年度は那須町住民へのアウトリーチ活動で利用された他、内閣府へ提供し政府の総合防災情報システム上の火山ハザードの表示に利用されている。今後は、引き続き残っているハザードマップのデジタル化を進め、今年度検討された用途について実践していく。

全国のより多くの自治体防災担当者を対象としたアンケート調査やヒアリング調査、また地域防災計画を含む全国自治体の火山防災対策の現状に関する情報収集を今年度も継続して行い、地域ごとの火山対策の現状を比較・分析した。その結果、自治体防災担当者から「火山災害・火山防災に関する情報・コンテンツに手軽にアクセスしたい」とのニーズがあったことから、周知啓発教育用コンテンツの試作版として「火山災害・火山防災に関する総合ポータルサイト」の開発に着手し、本試作版でアクセス可能な情報・コンテンツとして、自治体防災担当者に必要となる知識・情報・専門用語等に関する約 300 コンテンツを収集・整理した。また、同様に自治体防災担当者が火山災害・火山防災に関する知識を定期的学ぶ機会を必要としていることが明らかになり、富士山周辺の防災担当者を対象に座学及び演習からなる研修会を実施した。今後は、研修用のテキストや手引きも周知啓発教育用コンテンツ試作版からアクセスが可能となるよう開発を進める。

都市部の施設に対する降灰影響評価実験として、昨年度のエアコン室外機に引き続き、今年度は冷却塔を対象とした実験を行った。その結果、降灰深 20～30mm 程度から影響が顕著になってくることが明らかになり、降灰による空調設備への影響として冷却塔が最も早く機能障害を受ける可能性があることが分かった。また、これらの実験結果を踏まえ建築設備の損傷度評価手法の開発にも着手した。ここでは建築設備に対する被害の他に構造体（屋根）の被害についても、積雪荷重から限界降灰深に換算する手法を用いて評価・検討し、建物被害に対する降灰深の閾値を試算した。今後は、得られた閾値を基にした損傷度評価結果を GIS 上で表示できるようにし､降灰被害予測コンテンツの試作版として開発を進める。

前年度に引き続き今年度も登山者動向把握実験（富士山チャレンジ）に参加し、富士山における登山者の動態データ及び一部地形データを取得した。また取得した動態データをインプットデータとする避難・救助支援コンテンツ試作版に関する設計・検討も進め、そ

の中で課題 C3 と連携し噴石シミュレーションと組み合わせることで人的被害推定が可能となった。なお現状は富士山における登山者動態データのみを使用していることから、他火山における同様の実験の実施も計画し、同様に避難・救助支援コンテンツ試作版のインプットデータとして活用できるよう開発を進める。

さらに各コンテンツ試作版の開発を進めるに当たり、ユーザーである自治体防災担当者に実証実験的に活用してもらい、より踏み込んだニーズを収集しそれらを開発に反映させコンテンツの高度化を図るとともに、ユーザーの拡大も図っていく。

(e) 引用文献

1) Wilson,T.M, C. Stewart, V.Sword-Daniels, G. Leonard, D.M. Johnston,J. W. Cole , J. Wardman, G.Wilson, S.T. Barnard : Volcanic ash impacts on critical infrastructure, Physics and Chemistry of the Earth, vol.45-46, 5-23, 2012.
2) Barnard, S.T. :The Vulnerability of New Zealand Lifelines Infrastructure to Ashfall, Ph.D. thesis, University of Canterbury, 2009.
3) Wilson, T. M., C. Stewart, V. Sword-Daniels, G. S. Leonard, D. M. Johnston, J. W. Cole, J. Wardman, G. Wilson and S. T. Barnard 20xx: Volcanic ash impacts on critical infrastructure, Physics and Chemistry of the Earth, vol., pp.
4) 久保智弘、宮城洋介、宮村正光、野畑有秀、大塚清敏、諏訪仁：火山灰が及ぼす建築設備などへの影響について、建築防災、2018.12
5) 山元孝弘、古川竜太、奥山一博：吸気フィルタの火山灰目詰試験、地質調査総合センター研究資料集、No.629、2016
6) 中央防災会議 防災対策実行会議 大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ：降灰による影響の想定の考え方（ライフライン／建築・設備分野）（案）、2019 年 3 月 22 日
7) 建築行政情報センター、日本建築防災協会：2015 年版建築物の構造関連技術基準解説書、全国官報販売協同組合、2015
8) 日本建築学会：建築物の限界状態設計指針、2002 年 10 月
9) 社会資本整備審議会　建築分科会　建築物等事故・災害対策部会：建築物の雪害対策について報告書、2014 年 10 月
10) 曽根孝行:積灰荷重に対する建物の構造安全性の検討､2018 年度日本建築学会大会(東北)、特別調査部門、パネルディスカッション資料、2018.9

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

論文(査読あり)

1. 建築防災、特集「火山と防災」、日本建築防災協会、「火山灰が及ぼす建築設備などへの影響について」、久保智弘、宮城洋介、宮村正光、野畑有秀、大塚清敏、諏訪仁、(pp45-52)、2018.12

学会発表

1. 中田 節也・ゼニディン・前野 深・外西 奈津美・吉本 充宏・井口 正人,2018,爆発的噴火を繰り返すシナブン火山の最近の活動.地球惑星科学連合 2018 大会（千葉市）,05/21/18（ポスター）
2. 石峯 康浩・吉本 充宏・井口 正人,2018,アンケートによる火山防災協議会に参画する火山専門家の活動状況調査.地球惑星科学連合 2018 大会（千葉市）,05/21/18（ポスター）
3. 吉本 充宏・藤井 敏嗣・川南 結・新堀 賢志・金野 慎・中田 節也・井口 正人,2018,火山防災担当者ための研修プログラム案.地球惑星科学連合 2018 大会（千葉市）,05/21/18（ポスター）

4. 前野 深・中田 節也・吉本 充宏・嶋野 岳人,2018,インドネシア・スメル火山の噴火履歴と事象系統樹.地球惑星科学連合 2018 大会（千葉市）,05/21/18（ポスター）
5. 本多 亮・吉本 充宏・川南 結・宮城 洋介・久保 智弘・田中 義朗,2018,富士登山者の詳細な動態把握の試み.地球惑星科学連合 2018 大会（千葉市）,05/24/18（ポスター）
6. 新堀 賢志・吉本 充宏・川南 結・金野 慎,2018,火山防災担当者のための研修プログラム案　その２．地球惑星科学連合 2018 大会（千葉市）,05/24/18
7. 久保 智弘・宮城 洋介・棚田 俊收・中田 節也・野畑 有秀・大塚 清敏・諏訪 仁・吉本 充宏・本多 亮・川南 結,2018,火山災害を対象とした情報ツールの構築に関する研究．地球惑星科学連合 2018 大会（千葉市）,05/24/18
8. Nakada, S., Zaennudin, A., Yoshimoto, M., Maeno, F., Hokanishi, N., Iguchi, M.,2018, Comparative study of lava dome eruptions at Sinabung and Unzen. Cities on Volcanoes 10,　Naples, Italy,2018/9/1-8（ポスター）
9. Tsunematsu, K., Yoshimoto, M., Uchiyama, T., Yamamoto, S., Baba, A.,2018, Eruption history and event tree of Semeru volcano, Indonesia. Cities on Volcanoes 10, Naples, Italy,2018/9/1-8（ポスター）
10. Ishimine, Y., Oikawa, T., Yoshimoto, M., Terada, A.,2018, Preliminary report on a ground-hugging flow observed during Kusatsu-Shirane 2018 eruption. Cities on Volcanoes 10, Naples, Italy,2018/9/1-8（ポスター）
11. Yoshimoto, M., Honda, R., Yasuda, T., Ishimine, Y., Yamada, H., Jiro Komori, J., Terada, A., Hirabayashi, J., Fujii, T.,2018, Preliminary report on damage caused by the ballistic block of the 2018 phreatic eruption of Kusatsu-Shirane volcano. Cities on Volcanoes 10, Naples, Italy,2018/9/1-8（ポスター）
12. Niihori, K., Fujii,T., Yoshimoto, T., Kawaminami, Y., Konno, M., Nakada, S., Iguchi, M.,2018,Prototype training program of the human resource development for volcanic disaster management officers in JAPAN.,Cities on Volcanoes 10, Naples, Italy,2018/9/1-8（ポスター）
13. Tanaka, Y., Akinobu Fukuzaki, A., Yasunaga, R., Hatanaka, M., Yoshimoto, M., Honda, R.,2018, Efforts of hiker safety measures utilizing IoT in Mt.Fuji. Cities on Volcanoes 10, Naples, Italy,2018/9/1-8（ポスター）
14. 久保智弘、宮城洋介、藤田英輔、棚田俊收、中田節也、火山災害対応で必要としている情報の分析について、日本火山学会、B1-10、2018.9
15. 久保智弘、宮城洋介、三輪学央、入山宙、長井雅史：室内試験による SPC と PARSIVEL2 の降灰粒度計測の比較、日本火山学会、P061、2018.9
16. 入山宙、藤田英輔、三輪学央、長井雅史、久保智弘：PARSIVEL2 で観測した霧島山新燃岳 2018 年噴火の降下火山灰、日本火山学会、P102、2018.9
17. 大塚清敏、野畑有秀、諏訪仁、久保智弘、宮村 正光：空調室外機の降灰実験 その１ 研究概要・実験条件・実験装置、日本建築学会学術講演梗概集(東北)、20003、pp.5-6、2018.9
18. 野畑有秀、大塚清敏、諏訪仁、久保智弘、宮村 正光：空調室外機の降灰実験 その 2 各実験ケースの概要と乾燥火山灰の結果、日本建築学会学術講演梗概集(東北)、20004、

pp.7-8、2018.9
19. 諏訪仁、野畑有秀、大塚清敏、久保智弘、宮村 正光：空調室外機の降灰実験その 3 湿潤火山灰および室内機を付加した実験結果、日本建築学会学術講演梗概集(東北)、20005、pp.9-10、2018.9
20. 諏訪仁、大塚清敏、野畑有秀、久保智弘、宮城洋介、棚田俊收、中田節也、宮村正光：空調用室外機を対象にした降灰実験、地球惑星科学連合大会, SVC40-03, 2018. 5

その他

1. 都築充雄，久保智弘，戸松誠，曽根孝行：過去の火山災害と建築・都市、2018 年度日本建築学会大会（東北)、特別調査部門　パネルディスカッション資料「建築・都市は火山災害にどう立ち向かうべきか」、日本建築学会、火山災害対策特別調査委員会、2018．9
2. 久保智弘，曽根孝行，小山真人：火山ハザードとその情報公開状況、2018 年度日本建築学会大会（東北)、特別調査部門　パネルディスカッション資料「建築・都市は火山災害にどう立ち向かうべきか」、日本建築学会、火山災害対策特別調査委員会、2018．9
3. 糸井達哉，久保智弘：確率論的降灰ハザード評価、2018 年度日本建築学会大会（東北)、特別調査部門　パネルディスカッション資料「建築・都市は火山災害にどう立ち向かうべきか」、日本建築学会、火山災害対策特別調査委員会、2018．9

その他の講演会・展示会・シンポジウム等

1. 吉本充宏,富士山サイエンスラボ見学出張講義,安田学園中学校 1 年生校外学習, 山梨県富士山科学研究所,4/1/2018,
2. 吉本充宏,富士山の火山噴火とその災害,星陵高等学校校外学習, 山梨県富士山科学研究所,4/12/2018,
3. 吉本充宏,富士山ハザードマップの改定に係る検討事項について,山梨県防災新館,4/20/2018,
4. 吉本充宏,北海道駒ヶ岳火山の噴火と災害,中南米地域火山能力強化研修, JICA 札幌,06/12/2018,
5. 吉本充宏,北海道駒ヶ岳巡検,中南米地域火山能力強化研修, 北海道駒ヶ岳火山周辺,06/13/2018,
6. 吉本充宏,富士火山とともにどう生きるか,自然災害対策研修会, 山梨県立ふじざくら支援学校,07/25/18,
7. 吉本充宏,火山防災協議会に参画する火山専門家の活動の現状と火山防災研修プログラムの作成,京大防災研セミナー, 京都大学防災研究所,07/27/18,
8. 吉本充宏,富士山巡検・富士山の火山噴火とその災害,平成 30 年度山梨県職員新任職員研修体験研修「富士山体験」, 富士山周辺,08/01/18,
9. 吉本充宏,富士山巡検・富士山の火山噴火とその災害,東京大学地球物理学学生講義・野外学習, 山梨県富士山科学研究所・富士山周辺,2018/8/32018/8/5,
10. 吉本充宏,火山ってなんだろう？,山梨県教職員研修会,富士山科学研究所, 08/08/18,
11. 吉本充宏,富士山巡検,富士山周辺, 山梨県教職員研修会,08/09/18,
12. 吉本充宏,Volcanic Eruption of Mount Fuji ,オーストリア国立大学・東京大学交換授業, 山梨県富士山科学研究所,09/10/18,
13. 吉本充宏,富士山巡検,オーストリア国立大学・東京大学交換授業火山巡検, 富士北麓・宝永山, 2018/9/12,
14. 吉本充宏,富士山の噴火と災害,陸上自衛隊相馬原隊員講義, 山梨県富士山科学研究所,09/19/18,
15. 吉本充宏,富士山の噴火と災害,富士山噴火勉強会, 新聞記者, 山梨県富士山科学研究所・富士山周辺,09/20/18,
16. 吉本充宏,火山噴火のしくみと火山防災及び火山からの恩恵について,北海道鹿部小学校 5 年生校外学習, 北海道鹿部町,10/04/18,
17. 吉本充宏,火山噴出物の生成過程と地層による噴火履歴･環境への影響について,北海道鹿部小学校 6 年生校外学習, 北海道鹿部町,10/04/18,
18. 吉本充宏,駒ヶ岳火山防災講演会,駒ヶ岳火山防災講演会, 北海道鹿部町,10/04/18,
19. 吉本充宏,県の研究所としての富士山研究と火山防災支援,弥陀ヶ原火山セミナー, 富山大学,11/30/18,
20. 吉本充宏,富士山の噴火災害と防災対策,第 106 回ライフライン・マスコミ連携講座, 東京大学,12/06/18,
21. 吉本充宏,富士山の噴火にどう備える？,健康科学大学講義, 健康科学大学,12/07/18,
22. 吉本充宏,富士山の火山噴火とその災害,平成 30 年度富士山噴火対策に関する講習会,

山梨県立文学館,12/13/18,

23. 吉本充宏,富士山の噴火の特徴と防災対策，大規模火山噴にレジリエントな地域社会の実現向けた防災・減取り組みにおける「生命と暮らしへの影響」ワーキンググループ第 3 回会合，鹿児島大学,01/11/19,
24. 吉本充宏,Volcanic Eruption of Mount Fuji ,JICA 草の根事業「活火山メラピ西側山腹における火山監視システムを活用した地域防災力向上」インドネシア BPTTKG 意見交換会,02/01/19,
25. 吉本充宏,富士山の火山噴火とその災害,静岡で知っておきたい地震と火山と防災, 静岡県裾野市,02/14/19,
26. 吉本充宏，富士山の噴火の特徴と火山防災対策,北海道立総合研究機構防災研究会 14 回勉強会，北海道札幌市,02/19/19,
27. 吉本充宏,富士山の火山噴火とその災害，山梨県立富士北稜高等学校防災講話，山梨県立富士北稜高等学校,03/11/19,

マスメディア（テレビ、新聞等）

1. 2018/10/11，山梨日日新聞,「富士山未知の噴火２回」　富士山の学術論文に関する取材（吉本充宏）
2. 2019/3/16,山梨日日新聞,「守る命　第 2 部富士山噴火に備える（２）」どこへ避難…詳細に（ハザードマップ改定）（吉本充宏）
3. 2019/3/17,山梨日日新聞,「守る命　第 2 部富士山噴火に備える（３）」未知の姿次々あらわ（進む調査研究）（吉本充宏）
4. 2019/3/21,山梨日日新聞,「守る命　第 2 部富士山噴火に備える（４）」山小屋補強費用が重荷（噴石対策　御嶽が教訓）（吉本充宏）

(g) 特許出願，ソフトウエア開発，仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 31 年度（令和元年度）業務計画案

(a) 周知啓発教育用コンテンツ試作版の開発

「周知啓発教育用コンテンツ」の試作版として、自治体の防災担当者が火山防災に関して手軽に学べるテキストや、関連する情報、GIS 版のハザードマップ等を取得できる総合的なポータルサイトの開発に着手した。本コンテンツには、課題 A の防災情報基盤システムに集約される他課題のアウトプット（各種観測データや予測データ）を可視化した情報も含まれる。ハザードマップのデジタル化（GIS 化）を引き続き実施し、自治体を対象としたアウトリーチ活動や降灰被害予測コンテンツの一部としての活用を進める。本コンテンツ試作版を完成させ、協力機関として参加している自治体防災担当者に実際に使ってもらい、さらなるニーズ（感想や意見）を集めてコンテンツの高度化に反映させる。

(b) 降灰被害予測コンテンツ試作版の開発

これまで実施してきた建築設備を対象とした降灰実験の成果をまとめ、「降灰被害予測コンテンツ」の試作版の開発を進める。本コンテンツ試作版の開発に当たっては、建築物の項目ごとに降灰による被害率関数を構築し、損傷・被害に関する降灰深の閾値を設定する。またその結果を他課題で得られる降灰観測データや降灰シミュレーションの結果と併せて GIS 上で表示できるようにし、協力機関として参加している自治体防災担当者に実際に使ってもらい、さらなるニーズ（感想や意見）を集めてコンテンツの高度化に反映させる。

(c) 避難・救助支援コンテンツ試作版の開発

平成 29、30 年度に実施された富士山における登山者動向把握実験（富士山チャレンジ）で得られた登山者の動態（人流位置）データ等を活用し、「避難・救助支援コンテンツ」の試作版の開発を進める。本コンテンツ試作版では、得られた動態データと他課題で行われる噴石シミュレーション等を組み合わせることで、噴火発生時の人的被害を想定することが可能となる。平時の利用として、地域防災計画や避難計画の作成、避難施設（避難豪等）や避難指示看板の設置、避難路の指定に対して有効な情報を提供できると考え、本コンテンツ試作版を協力機関として参加している自治体防災担当者に実際に使ってもらい、さらなるニーズ（感想や意見）を集めてコンテンツの高度化に反映させる。また、富士山において形が見えてきたこうした避難・救助支援コンテンツを、他の山域にどう応用していくかということも今後の課題であり、富士山以外でのビーコン実証実験について検討する。

4. 活動報告

4.1 会議録

・課題 D 平成 30 年度第 1 回全体会議

日時：平成 30 年 6 月 21 日

場所：フクラシア東京

内容：各サブテーマの進捗状況と今年度計画、サブテーマ間連携、課題間連携について議論を行った。

・課題 D 平成 30 年度第 2 回全体会議

日時：平成 30 年 12 月 19 日

場所：フクラシア東京丸ノ内オアゾ

内容：各サブテーマの進捗状況と来年度計画、サブテーマ間連携、課題間連携について議論を行った。

4.2 対外的発表

・次世代火山研究推進事業 H30 年度研究集会

日時：平成 31 年 3 月 25 日

場所：フクラシア東京八重洲

内容：次世代火山研究推進事業 H30 年度研究集会において各課題が課題 A の一元化システムにどのようなデータを提供できるか、について発表し議論した。

5. むすび

課題 D は本プロジェクトの中で、課題 B の「観測研究」、課題 C の「予測研究」に対し、それらのアウトプットとしての「対策研究」を担っている。この「対策研究」とは、他の課題で得られる観測・予測データの社会実装に当たり、ユーザーにとって真に必要なプロダクト（リアルタイム情報、情報を得るためのツール、その他サービス等）は何か？どうすれば伝わるのか？を明らかにし、それらプロダクトの研究開発を行っている。そのため、課題 D は単体で成果をあげるだけではなく他の課題とも連携し、成果の情報発信をするとともに、ユーザーからのニーズを各課題にフィードバックすることも重要な任務である。

課題 D サブテーマ 1 においては、平成 30 年度は、「次世代火山研究・人材育成コンソーシアムの伊豆大島緊急観測訓練」に合わせて伊豆大島で、その後桜島でドローンを使った現地実証実験を行った。この中で、実災害を想定した遠距離かつ高高度からの撮影を行い、立ち入り規制範囲外からのデータ取得方法を確立し、観測したデータ（静止画、動画）から 3D モデルを迅速に作成する手法や流れをとりまとめた。また、課題 A、C、D3 との連携として、得られたデータの提供形式について検討し、一部提供した。UAV 撮影時の標準的な作業ルーチンを構築し、過去の噴火事例に当てはめた撮影案を作成した。取得した画像や作成したモデルの活用方法として動画配信の方法をとりまとめた。現地で取得した画像から発生現象の自動認識を行うために、過去に発生した地形変化に関する既往研究事例を収集・整理した。

課題 D サブテーマ 2 においては、平成 30 年度は、「①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火山灰拡散予測の高速度化技術開発」、「③火山灰拡散予測の高精度化技術開発」を業務の柱として実施した。①では、火山灰のマルチパラメータ観測により噴煙と降下火山灰観測がリアルタイムで行われる状態となった。特に X バンド MP レーダーを用いた観測では、山頂部が雲に覆われていても噴煙の高度と形状を把握することが可能となった。②では、噴火発生に伴う爆発地震と空気振動を自動的に検知し、火山灰拡散シミュレーションを自動的に起動するシステムを開発し、噴火発生から 7 分程度で火山灰拡散シミュレーションの結果を得ることが可能となった。③では、WRF を用いて気象庁 GPV の風向、風速データを空間的に高精細化することにより、降灰分布と降灰量を精度良く求めることが可能となった。また、ディスドロメータによる降灰観測も実施され、得られた結果をシミュレーションに反映させることでさらなる高精度化を進める。さらに、噴石の空力特性の測定、噴石による衝撃力の測定を実施し、ディスドロメータによる降灰観測データと併せて、課題 D3 に引き渡す基礎データを作成した。

課題 D サブテーマ 3 においては、平成 30 年度は、情報ツールを構成する 3 つのコンテンツのための基礎データの収集と、試作版の開発に着手した。①「周知啓発教育用コンテンツ試作版」として、火山災害・火山防災に関する総合ポータルサイトの開発に着手し、本試作版でアクセスが可能な情報コンテンツを収集・整理した。②都市部の建築物に対する降灰によるリスクを定量的に評価するため、開放型冷却塔を対象とした降灰影響評価実験を実施した。さらに、本実験の結果を踏まえて建築設備等に対する降灰による損傷度評価に着手し、得られた降灰量閾値に基づく損傷度評価結果を GIS 上で表示する「降灰被害予測コンテンツ試作版」の開発を進めた。③平成 29 年度に引き続き、平成 30 年度も富士山で行われた登山者動向把握実験（富士山チャレンジ）に参加し、登山者の動態データを

取得した。取得した動態データの平時の防災利用として、課題 C3 と連携し、噴石シミュレーションと組み合わせることで人的被害推定が可能となった。これら動態データをインプットデータとする「避難・救助支援コンテンツ試作版」に関する設計・検討を進め、他の火山における動態データ取得を計画した。課題間連携では、課題 D2 で取得されたディスドロメータによる降灰データを共有し、WebGIS 上で閲覧できるようにした。また、課題 D1 で取得したドローンによる画像データや 3D モデルを共有し、周知啓発教育用コンテンツ試作版からダウンロードできるよう準備を進めた。

次年度に向けて、A~C 課題及び課題 D 内での連携をより密にし、プロジェクト全体で得られる成果を、ユーザーである自治体防災担当者が防災対策に活用できるように分かりやすく提供するための技術開発を進める。その際、課題 D3 が中心となってユーザーのニーズを調査し続け、そのフィードバックを各課題が反映できるようにする必要がある。