

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、ソフトウェア開発、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

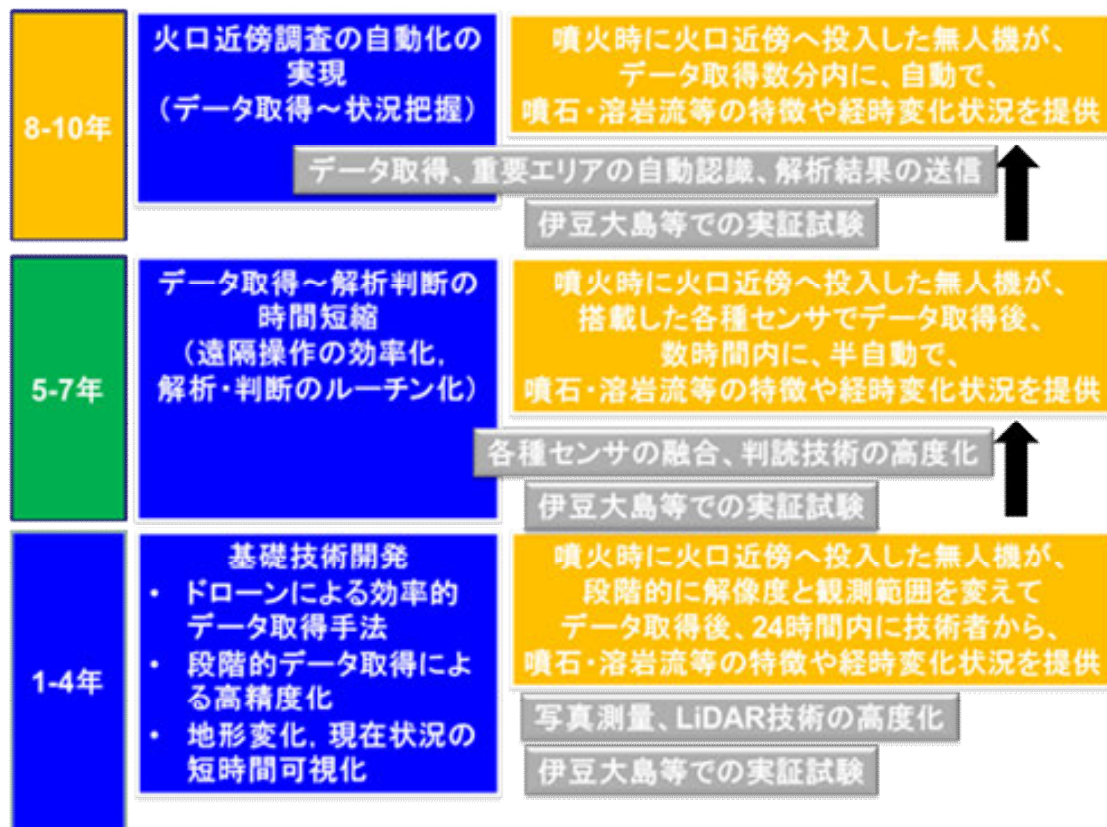
(c) 業務の目的

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、実証実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・改良点等を取りまとめる。

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・赤外面像等を用いて、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 3 D 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・3 D 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 3 D 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、3 D 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 3 D 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 3 D 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 P C 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 3 D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 low 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)。

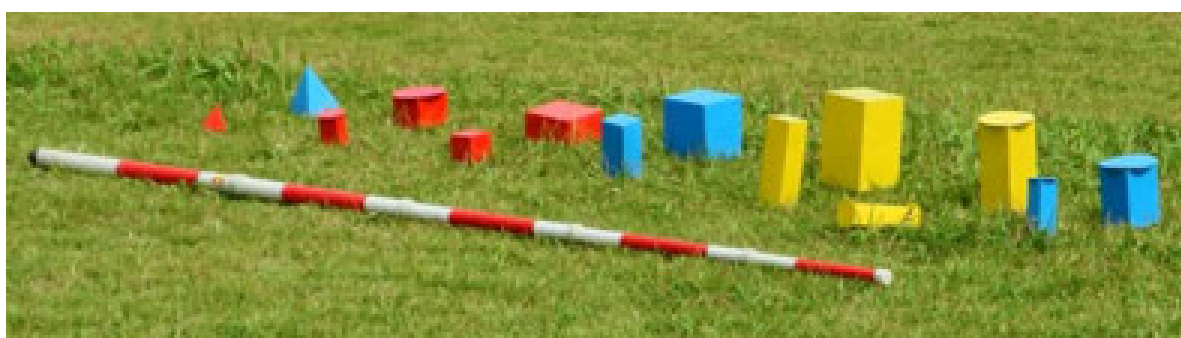


図 4 トウシキの鼻東方に設置した模型の形状 (小:一辺 5cm、大:一辺 10cm)

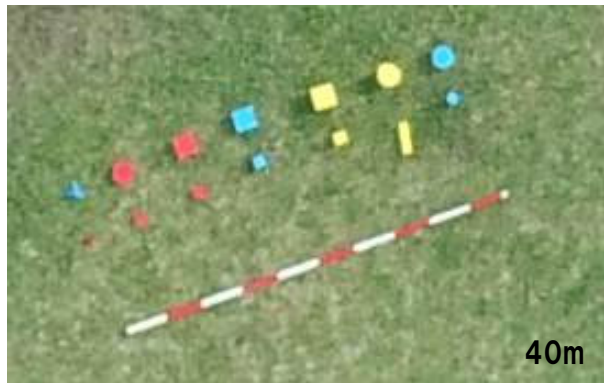
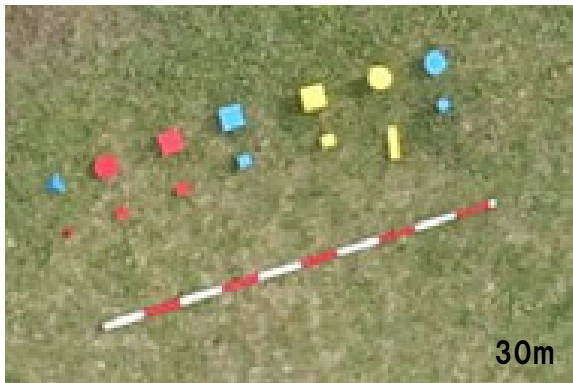
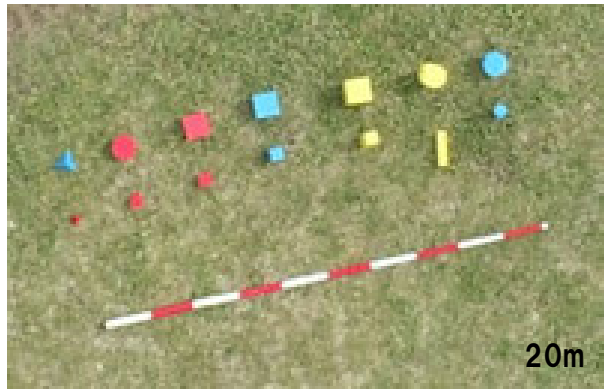
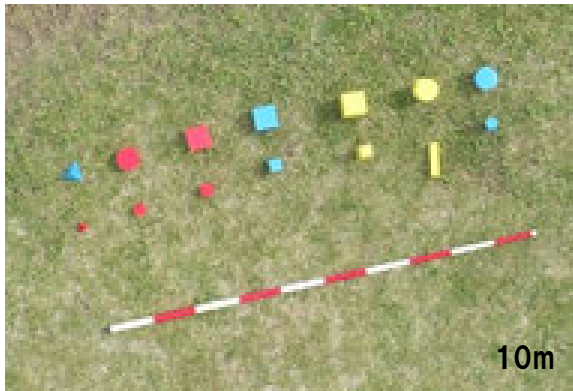


図 7 飛行高度 10~50m の場合の
地物認識度



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。

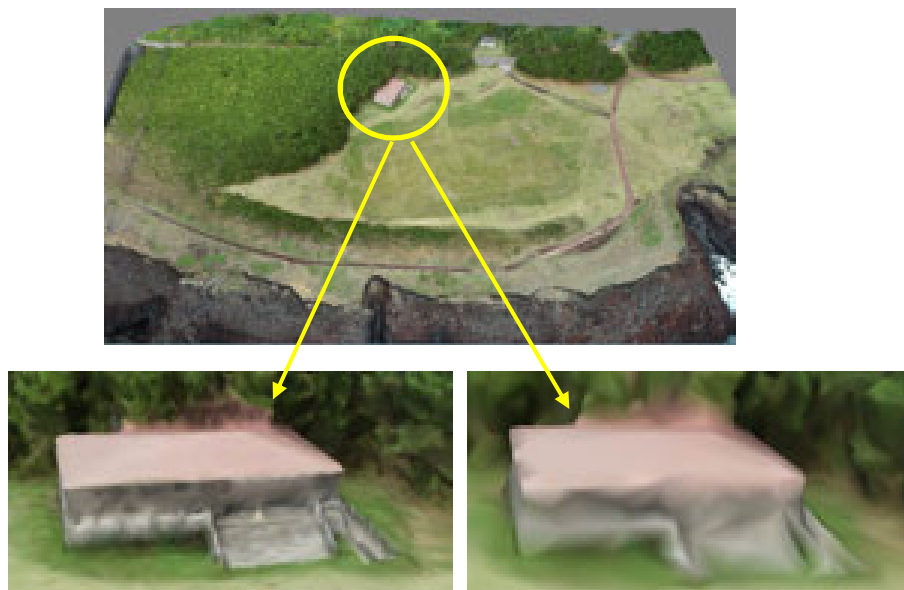


図7 メッシュサイズの違いによる3Dモデルの違い(左:6cm, 右:15cm)

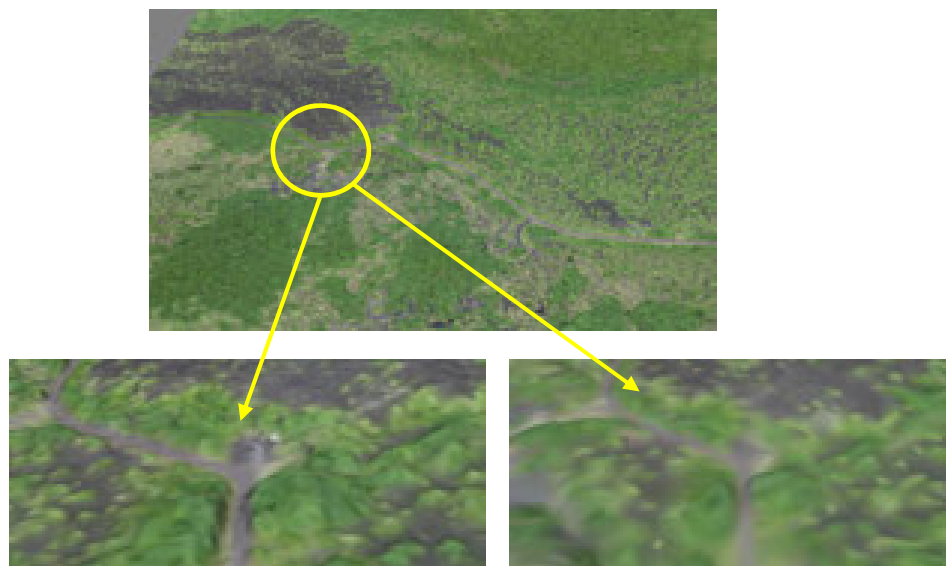


図8 メッシュサイズの違いによる3Dモデルの違い(左:25cm, 右:50cm)

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。

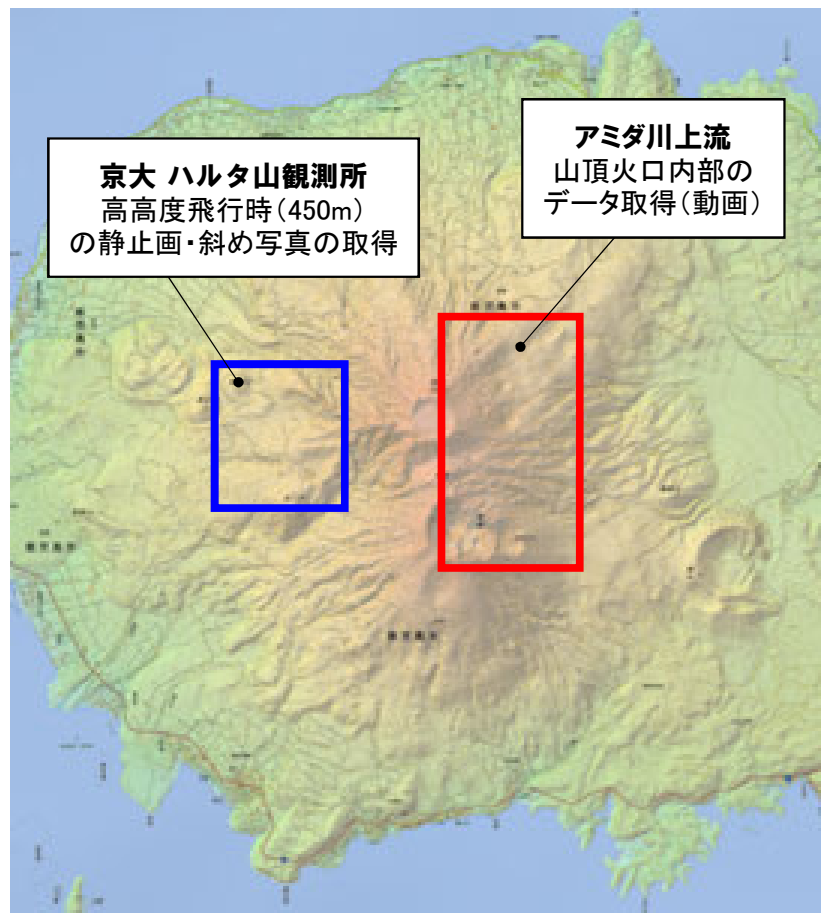


図 10 桜島での実証実験箇所

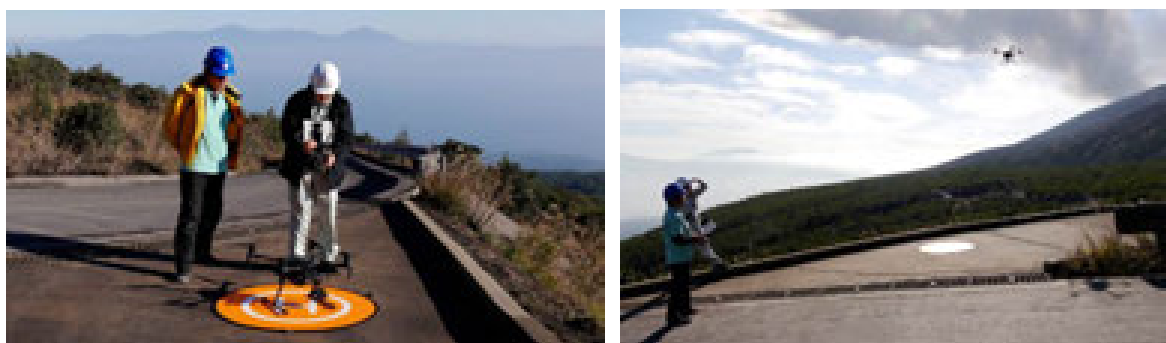


図 11 桜島での実証実験に使用した機体(左)と UAV の撮影状況(右)

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

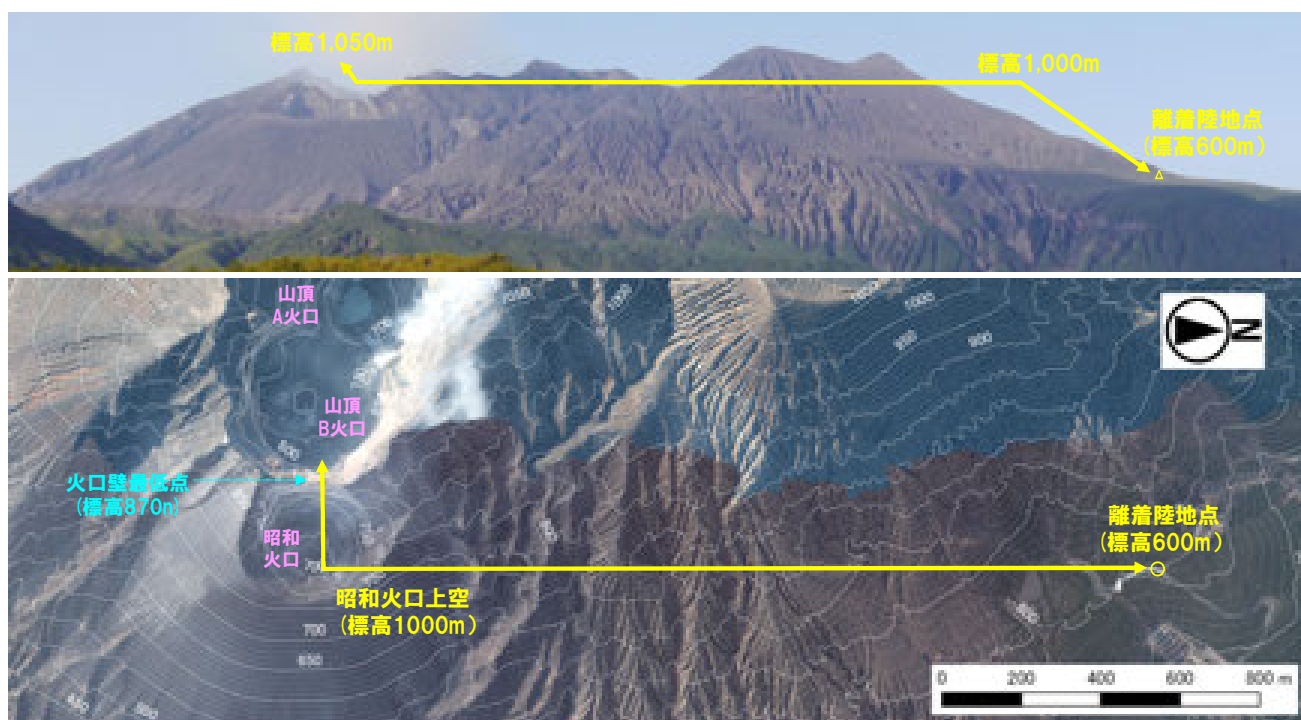


図 17 桜島山頂火口内の撮影を目的とした飛行ルート

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 3 D 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 3 D 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

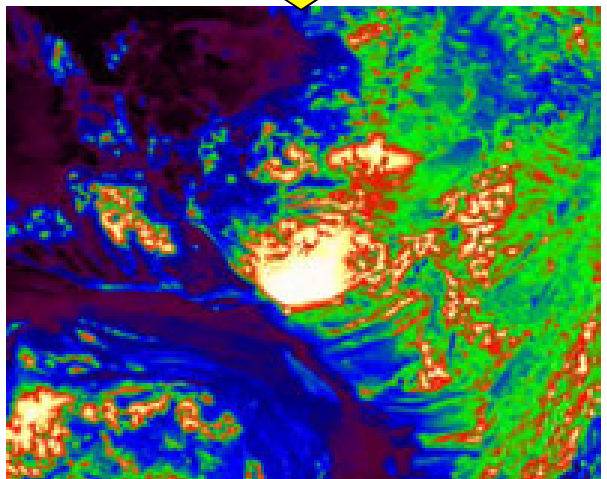
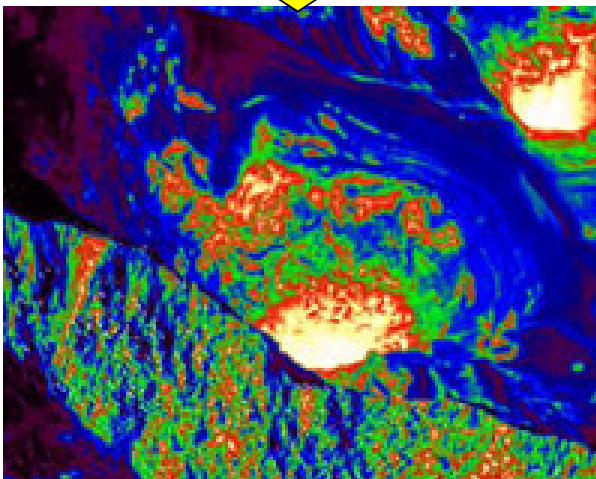
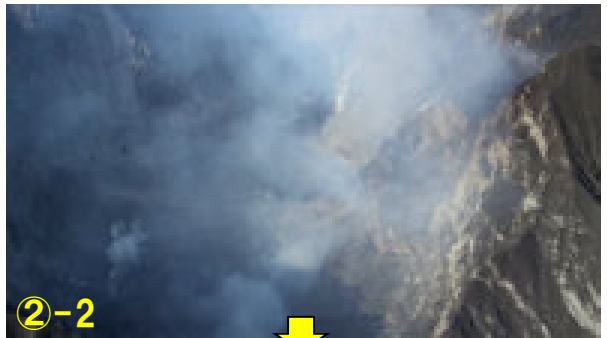
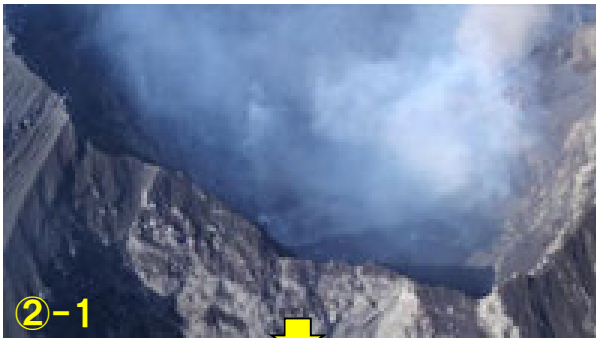
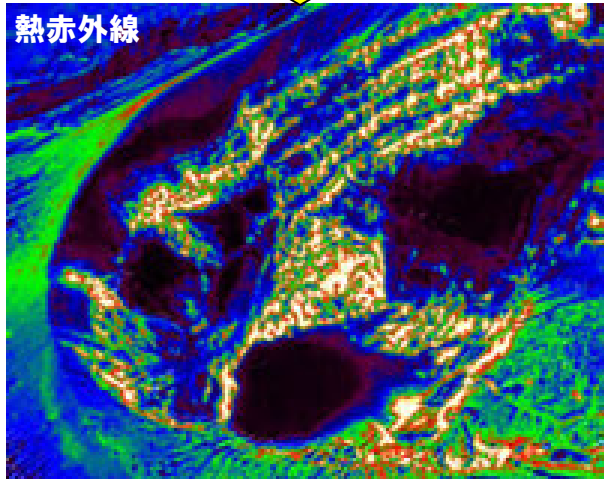
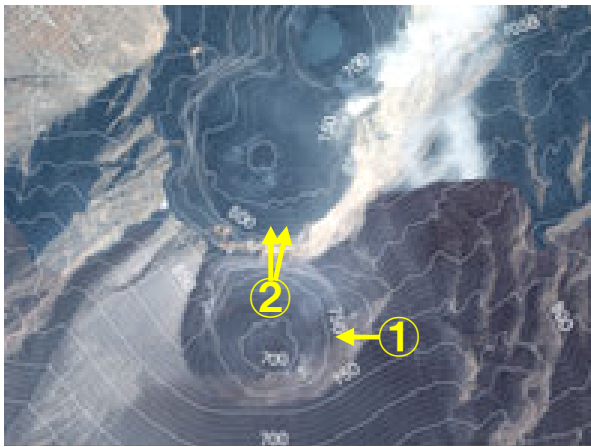


図 19 桜島東部での熱赤外線画像の撮影状況

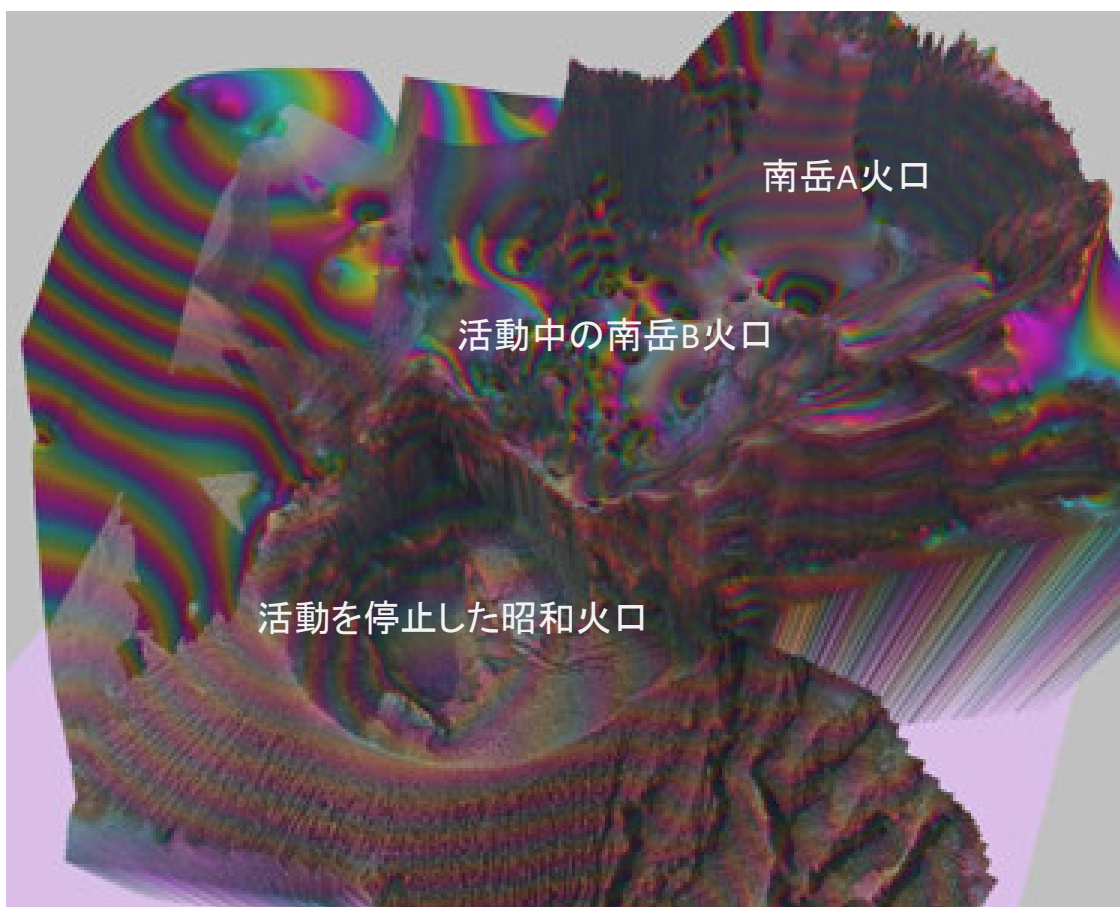
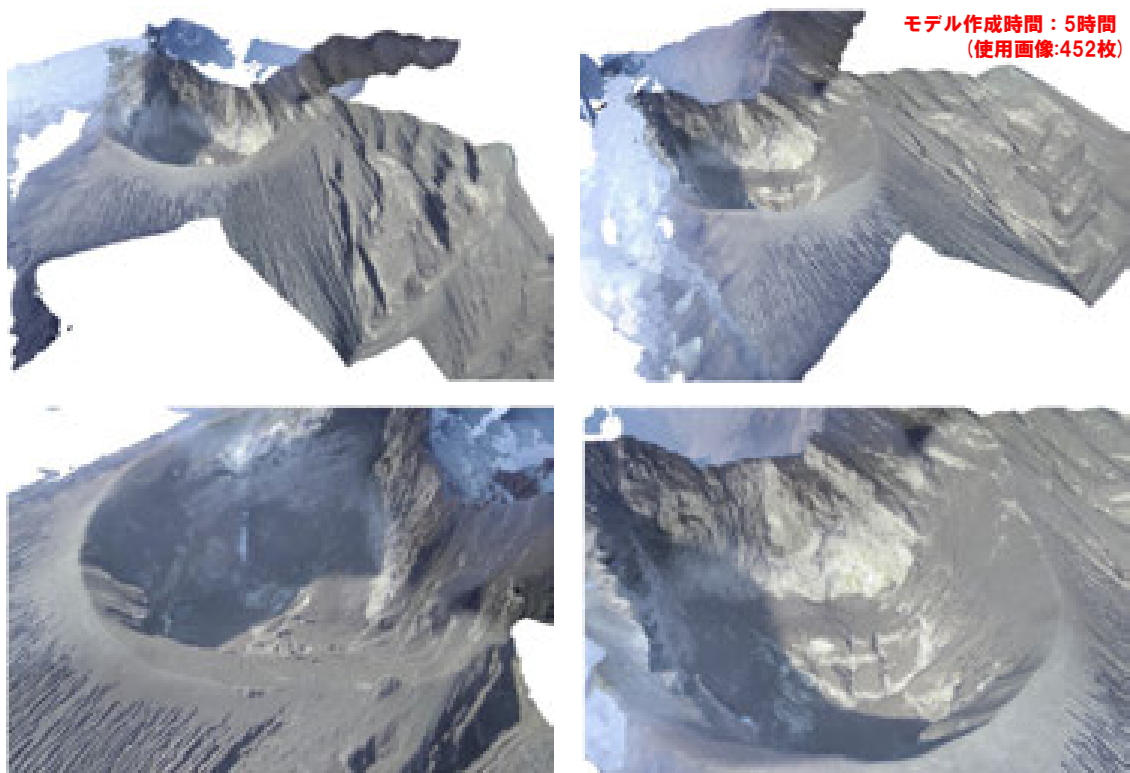


図 20 桜島での撮影動画から作成した3Dモデル
 (下図は、オルソフォト+赤色立体地図+高度段彩(10m サイクル)の組み合わせ)

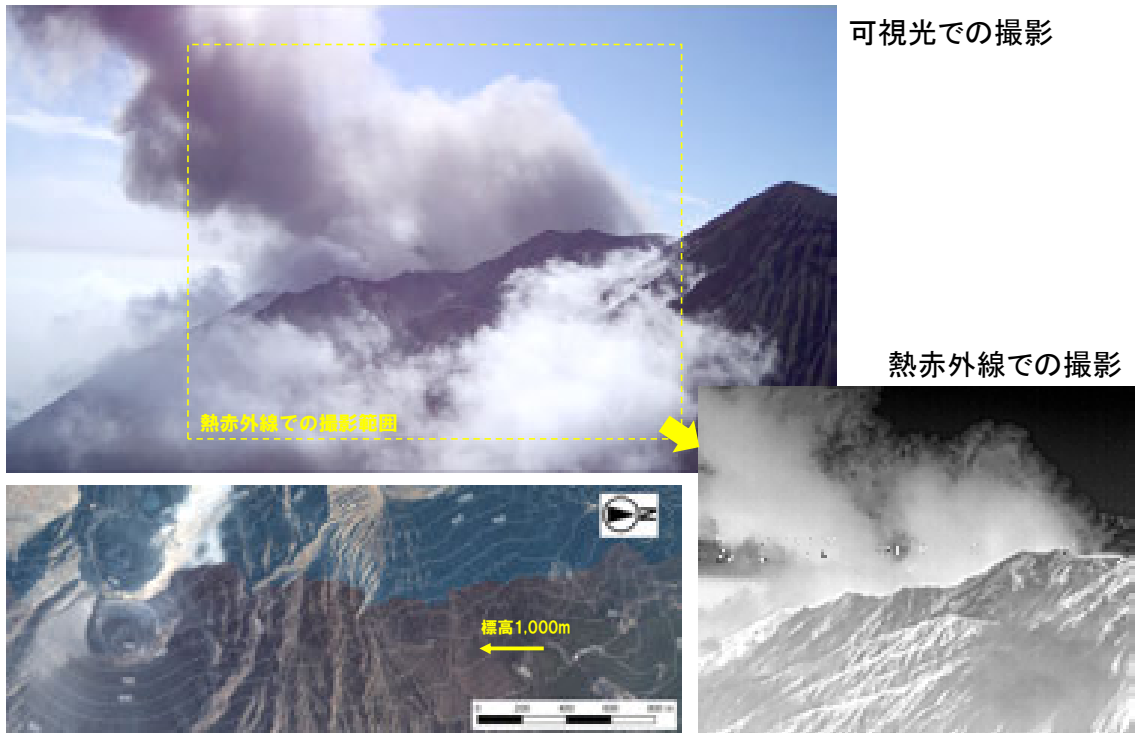


図 21 噴火直後に撮影した可視光及び遠赤外線写真

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とまとめた。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）。

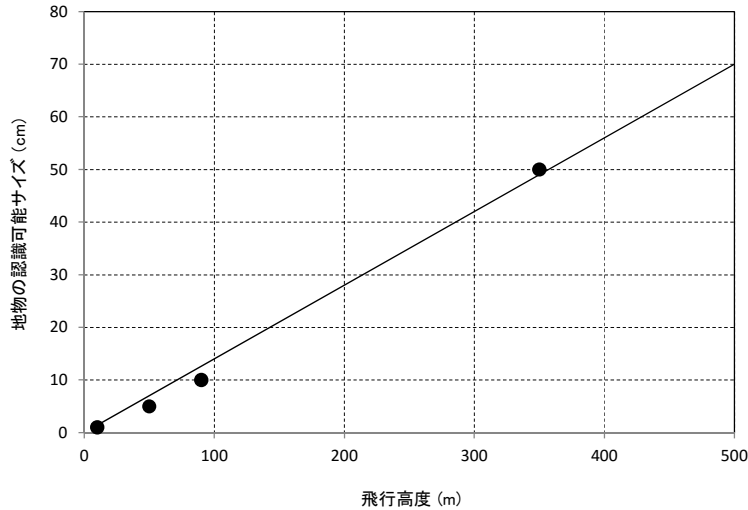


図 22 飛行高度と地物の認識可能サイズとの関係

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。

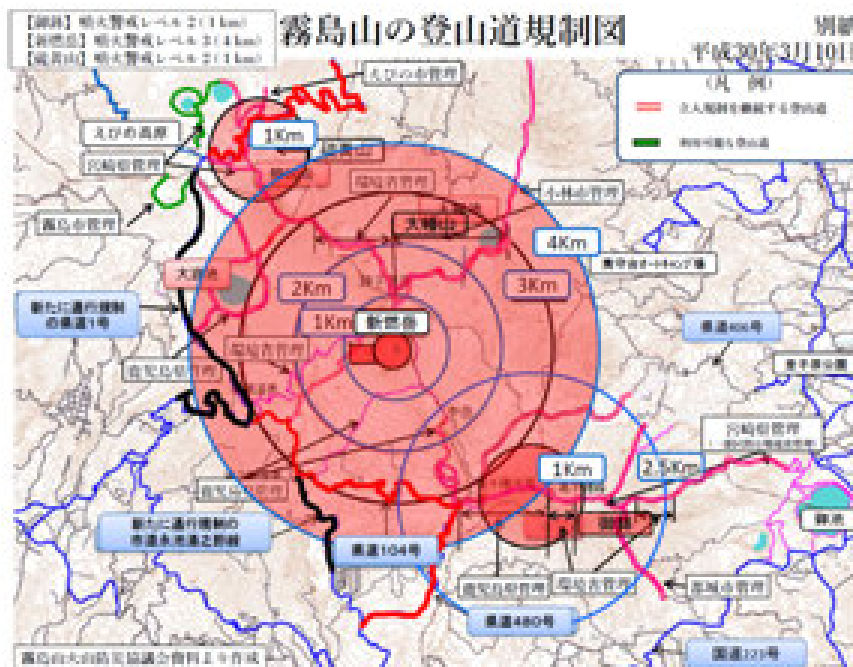
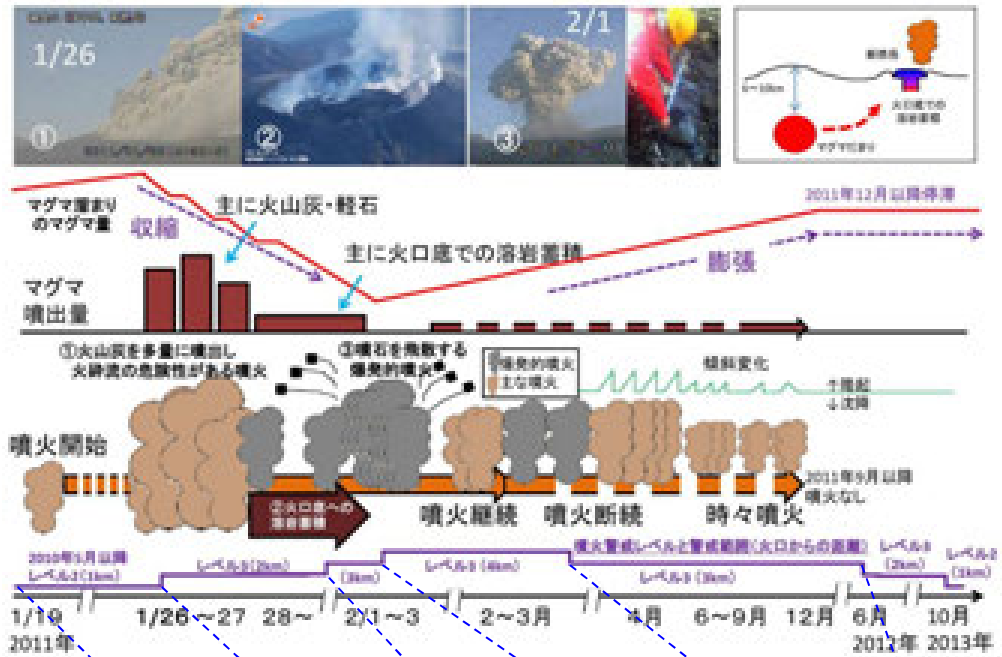


図 23 噴火警戒レベル 3(警戒範囲 4km)の場合の立ち入り規制範囲 (平成 30 年 3 月 10 日の例、宮崎県 HP より)



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。

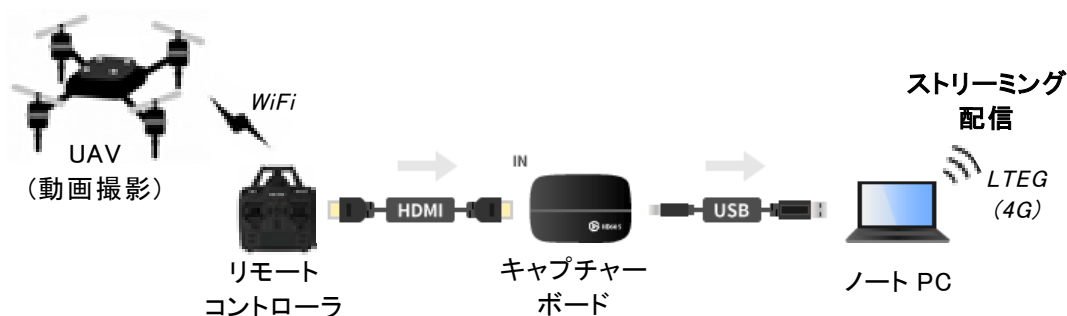


図 25 現地で取得する動画のライブ配信イメージ

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	[Bar chart showing preparation from 0 to 30min]					
飛行コース設定	[Bar chart showing course setting from 0 to 30min]					
撮影(飛行)	[Bar chart showing flight from 30min to 1h]					
データ回収	[Bar chart showing data recovery from 1h to 2h]					
データ解析	[Bar chart showing low resolution analysis from 2h to 6h]					
	[Bar chart showing medium resolution analysis from 2h to 6h]					
	[Bar chart showing high resolution analysis from 2h to 12h]					

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：秋田駒ヶ岳(1970～71)、鳥海山(1974)、北海道駒ヶ岳(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：秋田駒ヶ岳(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、4m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：秋田駒ヶ岳(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)、北海道駒ヶ岳(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m³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 $n \times 10^4 \sim 10^5 \text{m}^2$ 、堆積 $n \times 10^6 \text{m}^3$ 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：秋田駒ヶ岳(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 m³、成長速度～3×10⁶m³/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、花卉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、溪流の流路変化や湛水などを伴う場合がある。

代表例：秋田駒ヶ岳(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。

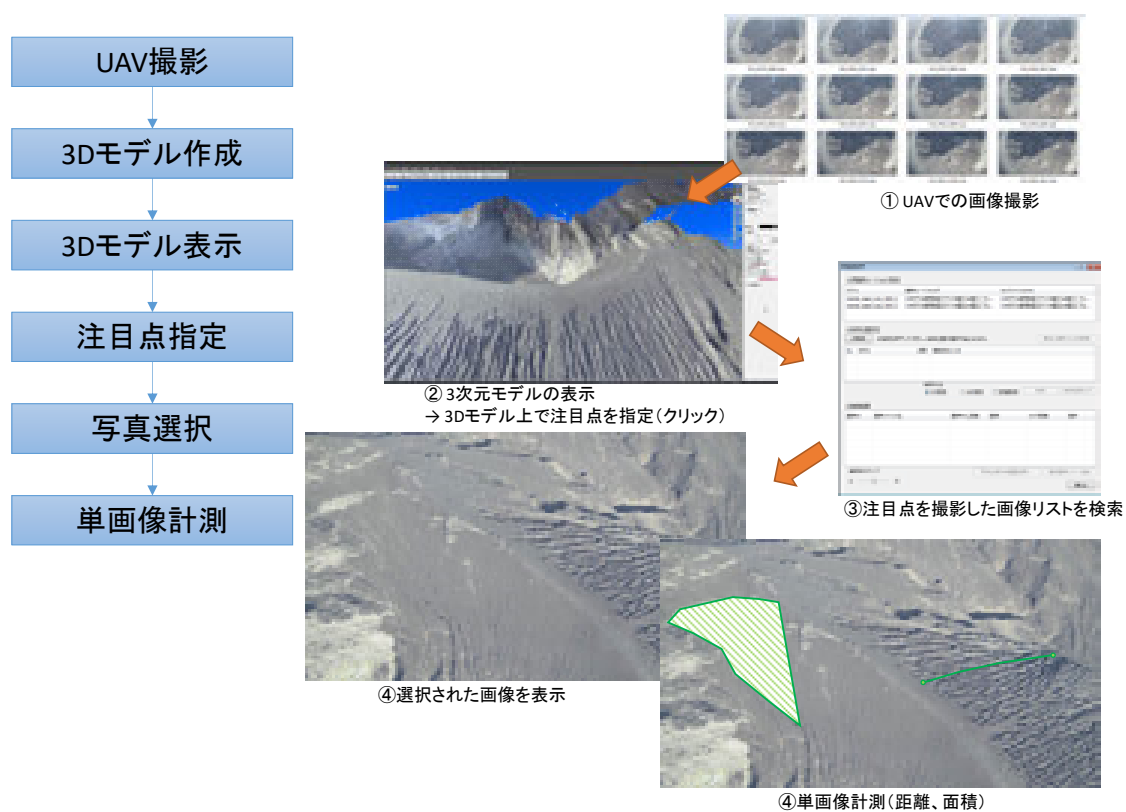


図 26 単画像計測システムを用いた計測処理フロー

(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グ配信や動画・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、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 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