

### 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 31 年度業務目的

###### (2) 平成 31 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 2 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	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
	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
	国土保全技術部	江川 香	kor.egawa@ajiko.co.jp
	システム開発部	森 貴章	tak.mori@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
	システム開発部	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。

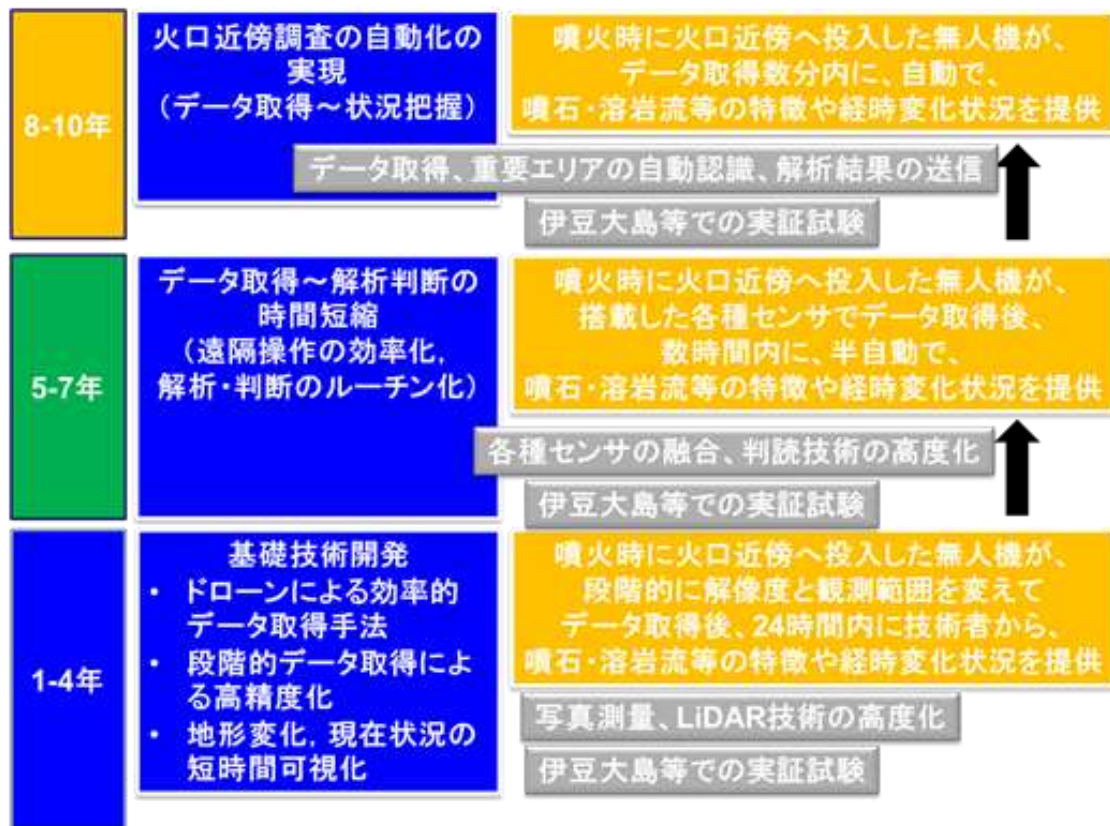


図 1 本業務の全体計画

(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ーを利用して、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 31 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。令和元年度は、無人機（ドローン等）の観測から火山災害状況把握の基礎となる地形データの取得のため、基準点（GCP）の有無による 3D モデルの精度向上に関して実証試験を通じてとりまとめる。悪条件下における状況把握手法開発に向けて熱赤外カメラによる撮影も行う。無人機と航空機から得られるデータ比較および課題の抽出、悪条件下における状況把握手法に関する検討を行う。また、取得した画像や 3D モデルからの状況把握について、機械学習を用いて自動化するための方法を検討する。

(2) 平成 31 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 での写真撮影および基準点（GCP）設置を実施した。
- ・ 基準点（GCP）を使用した 3D モデルと使用しない 3D モデルを作成し、位置精度の違いについて解析した。また、2017 年に取得したデータとの比較を行った。
- ・ 悪条件下（夜間）における状況把握手法開発に向けて、夕暮れ時に、UAV に搭載された可視光カメラ及び熱赤外カメラで撮影を行い、取得できる情報を確認した。
- ・ 画像や作成モデルから状況認識する方法の検討として、機械学習等を用いた自動抽出方法について予備的な解析を実施した。

(b) 業務の実施方法

1) プロジェクトの総合推進

- ・ 過去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、地形データ精度向上の検討を実施する。
- ・ 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方法を検討する。

- ・ 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・3Dモデルの内容について整理する。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形式について整理する。
- 2) 汎用製品（ドローン）を用いた現地実証実験（伊豆大島）
    - ・ 無人機（ドローン等）を用いて、写真測量技術、SfM 技術等により、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。
    - ・ 基準点（GCP）を使用した3Dモデルと使用しない3Dモデルを作成し、位置精度の違いについて解析し、3Dモデルの精度向上について検討する。
    - ・ 悪条件下（夜間）における状況把握手法開発に向けて、夕暮れ時に、UAV に搭載された可視光カメラ及び熱赤外カメラで撮影を行う。
  - 3) 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
    - ・ 夕暮れ時に、UAV に搭載された可視光カメラ及び熱赤外カメラで撮影された画像を用いた状況把握手法について検討する。
    - ・ 撮影された単写真画像について、既存の斜め写真解析システムを用いた解析手法について検討する。
  - 4) 画像や作成モデルから状況認識する方法の検討
    - ・ 溶岩流の分布範囲を自動抽出することを目的とし、熱赤外画像を用いた自動抽出手法について検討する。
    - ・ 火口近傍に飛散する噴石について、阿蘇山で作成した3Dモデルから機械学習を用いた噴石痕の自動検出を試みる。

#### (c) 業務の成果

##### 1) プロジェクトの総合推進

過去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した。

サブテーマ2との連携として、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、火山活動が活発化した場合に立ち入り規制される箇所からの飛行で得られる画像を用いるために、基準点(GCP)に関する課題を整理し、実証実験で検証した。

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・3Dモデルの内容について検討した。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について検討した。

2020年2月16日に開催された次世代火山研究・人材育成総合フォーラムでは、「無人機による特に火口付近の火山災害リアルタイム把握手法開発」として講演を行った。

## 2) 汎用製品（ドローン）を用いた現地実証実験

### ①概要

2019年11月7日～11月8日に伊豆大島の三原山中央火口と山麓を対象に実証実験を実施した。実証実験箇所を図2に示す。

三原山は、令和元年房総半島台風（台風15号）と令和元年東日本台風（台風19号）の影響を大きく受け、火口内地形に変化が生じたと考えられている山体である。本サブテーマでは、2017年にも三原山中央火口内をUAVで撮影しており、台風通過前の火口内地形データを作成していた。そこで、台風通過後の最新の火口内地形データを作成し、2時期の地形データの差分から三原山中央火口内の地形変化量を定量的に把握することを試みた。


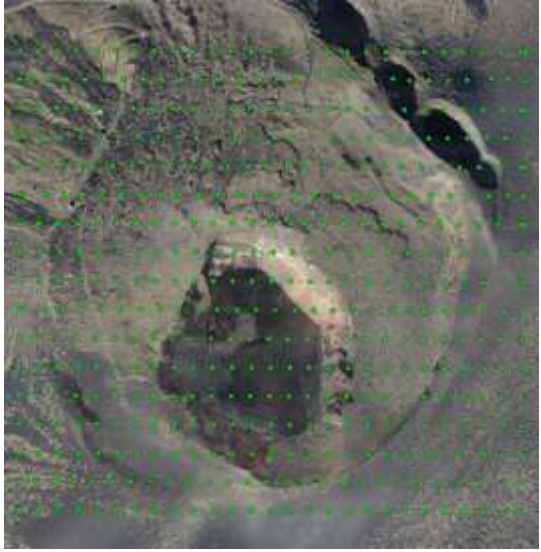
また、撮影方法の違いが作成する地形データの精度にどの程度影響するかを定量的に把握するため、2017年時の撮影方法とは異なる方法で撮影を実施した。2017年の実証実験では基準点（GCP）を設置せずに、カメラを斜めにしたマニュアル撮影で画像を取得していた。そこで、今回の実証実験ではGCPを設置して、カメラを垂直にした自動航行撮影で画像を取得することとした。実証実験の撮影コースを表2に、使用した機体とUAV撮影状況を図3に示す。

さらに、悪条件下における状況把握手法開発に向けて、夕暮れ時に、熱赤外カメラによるUAV撮影も行った。



図2 伊豆大島における実証実験箇所

表 2 実証実験の撮影コースと撮影方法（左：2017年、右：2019年（今回））

2017年撮影コース(●は画像撮影位置)	2019年撮影コース(●は画像撮影位置)
 <p>○の部分で火口内部に機体を下ろし、火口壁の撮影を行った。</p>	
<p>撮影方法：マニュアル 撮影方向：斜め</p>	<p>撮影方法：自動航行 撮影方向：垂直</p>

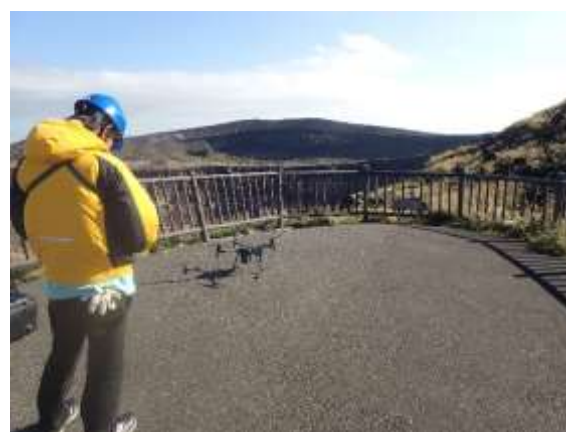


図 3 伊豆大島での実証実験に使用した機体(左)とUAVの撮影状況(右)

UAV：DJI 社 MATRICE210 飛行時間：15～20分

カメラ1：ZENMUSE X4S(可視光)、レンズ：8.8mm 固定焦点

カメラ2：ZENMUSE XT2(可視光&熱赤外)、レンズ：8mm 固定焦点、スペクトル帯：7.5～13.5 μm



## ②基準点（GCP）の設置

これまででは、UAV に搭載された GPS から取得した位置情報を用いて 3D モデル化を行ってきたが、既存の航空レーザ測量から生成した 3D モデルと比較すると、位置精度、特に高さ方向の精度に課題があった。そこで今年度は、精度の高い位置情報を用いて 3D モデル化を行うために、UAV 計測範囲に基準点（GCP : Ground Control Point）を設置し、位置精度について検討した。

基準点は、UAV 計測範囲に対して、均一になるように火口外輪の遊歩道沿いに 18 点設置した。基準点の設置位置を図 4 に示す。

基準点には、設置した 28cm 四方の対空標識や既存設備（水準点コンクリート基礎、建物など）を用いた。対空標識を図 5、設置状況を図 6 に示す。既存設備を利用した例を図 7 に示す。UAV で撮影した画像から確認できるものであれば、基準点に既存設備を活用することも可能である。

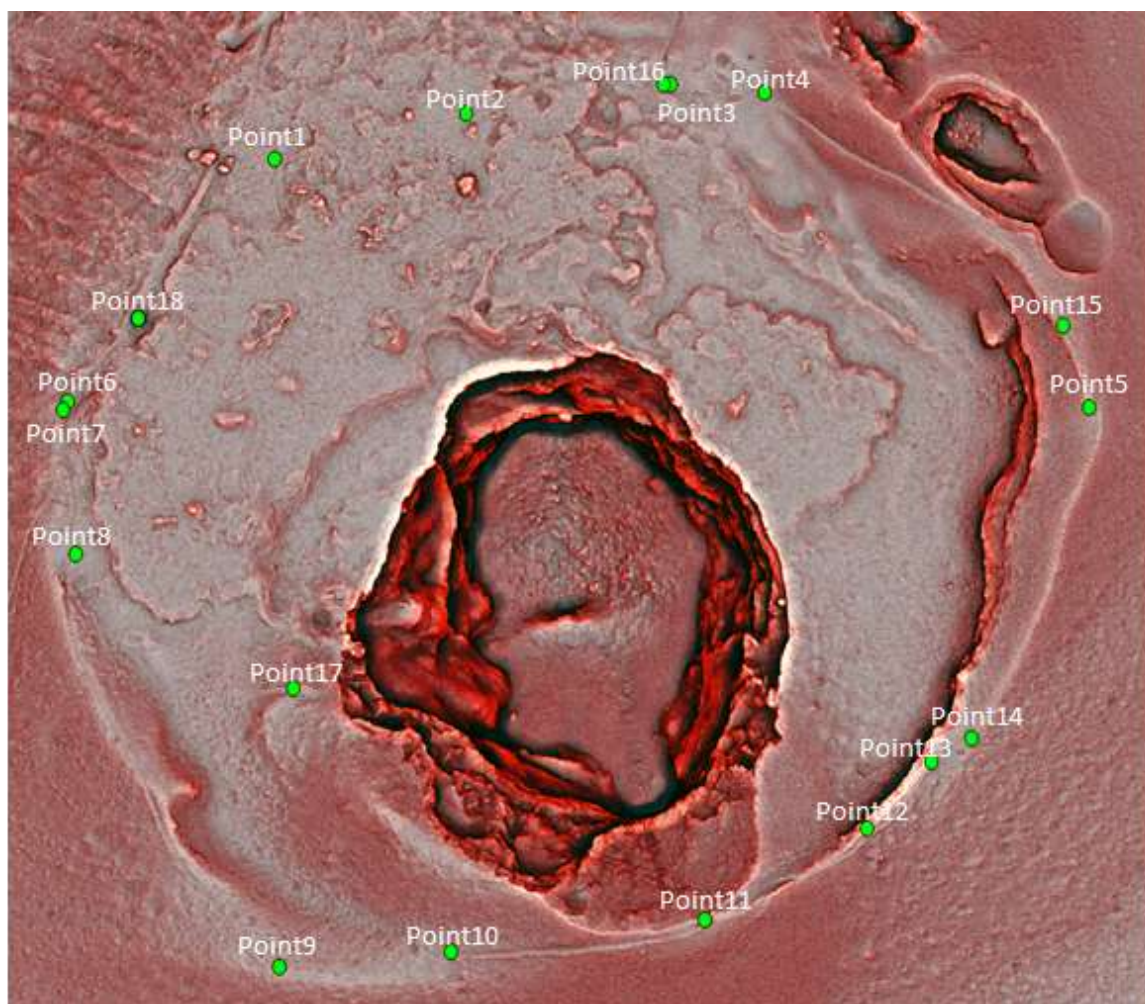


図 4 3Dモデルから作成した赤色立体地図(●はGCPの位置)



図 5 対空標識



図 6 対空標識の設置状況



図 7 既存設備を活用した基準点

設置した基準点に対して、ネットワーク型 RTK-GPS 測位（VRS 方式）を行い、精度の高い位置情報（精度：数 cm）を取得した。基準点のネットワーク型 RTK-GPS 測位の状況を図 8 に示す。

測位上の制約として、GPS 衛星から電波を受信するために上空が開けている必要がある。既存設備によっては、電波を受信できず、基準点として用いることができなかった（図 9）。



図 8 基準点のネットワーク型RTK-GPS測位の状況



図 9 基準点として用いることができなかった例

ネットワーク型 RTK-GPS 測位は、観測に含まれる誤差を電子基準点のリアルタイム観測データ等を利用して補正することで、精度が高い位置情報の取得する計測方法です。ネットワーク型 RTK-GPS 測位の概略を図 10 に示す。

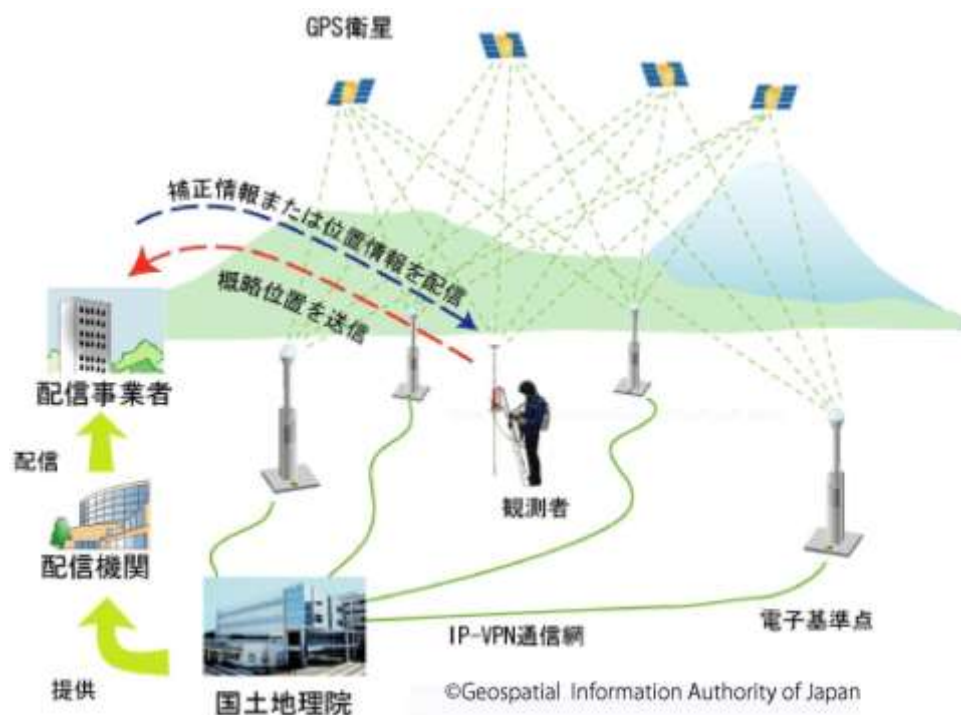


図 10 ネットワーク型RTK-GPS測位の概略

出典：国土地理院：[https://terras.gsi.go.jp/geo\\_info/GNSS\\_iroiro.html](https://terras.gsi.go.jp/geo_info/GNSS_iroiro.html)

### ③三次元モデルの作成

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 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、Metashape (PhotoScan) を使用した。

作成した DSM モデルは、②で述べた基準点 (GCP) を使用して、位置補正を行ったものと、昨年までと同様に UAV に搭載された GPS から取得した位置情報をそのまま用いたものを作成した。

基準点 (GCP) を使用して、位置補正を行ったモデルを図 11 に示す。



図 11 基準点 (GCP) を用いて位置補正を行った三原山火口の 3D モデル

基準点 (GCP) 使用し位置補正を行ったモデル (以下、「GCP 有モデル」とする) と、位置補正を行わずに作成したモデル (以下、「GCP 無モデル」とする) でどの程度誤差が生じているのか比較を行った。

まず、図 4 で示した基準点 (GCP) の位置で、GCP 有モデルと GCP 無モデルで垂直方向の較差の確認を行った。また、合わせて RMS (二乗平均平方根) を求めた。結果を表 3 に示す。基準点での位置補正を行っていない場合は、20m 以上誤差が生じ、基準点での位置補正を行っている場合は、誤差が小さいことが分かる。

表 3 GCP有/無モデルデータのGCP標高値と取得したGCP標高値の較差と各較差のRMS[m]

GCPNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
標高値[m]GCPなし)	657.33	659.65	655.98	660.91	724.15	653.29	653.57	657.02	691.41	699.51
標高値[m]GCPあり)	680.70	682.61	679.10	683.74	747.83	678.02	678.77	683.03	719.55	727.53
取得したGCP標高値[m]	680.69	682.55	679.12	683.71	747.85	677.82	678.77	683.04	719.50	727.57
標高値較差[m]GCPなし)	23.36	22.90	23.14	22.80	23.70	24.54	25.21	26.02	28.09	28.05
標高値較差[m]GCPあり)	0.01	0.07	0.02	0.02	0.02	0.19	0.00	0.01	0.06	0.03

GCPNo	11	12	13	14	15	16	21	22	RMS[m]
標高値[m]GCPなし)	716.81	702.24	695.66	696.29	716.70	655.79	677.41	666.12	-
標高値[m]GCPあり)	743.58	728.13	721.36	722.15	739.86	678.79	703.71	689.97	-
取得したGCP標高値[m]	743.42	728.13	721.32	722.21	739.88	678.81	703.98	689.96	-
標高値較差[m]GCPなし)	26.61	25.89	25.66	25.92	22.98	23.02	26.57	23.84	24.96
標高値較差[m]GCPあり)	0.16	0.00	0.04	0.06	0.18	0.02	0.27	0.02	0.10

また、H24 に計測を行ったレーザ測量の 1mDEM と GCP 有モデル・GCP 無モデルの 1mDEM の比較を行った。DEM の比較位置を図 12 に示す。図 13 は比較を行った断面線を示している。H24 レーザ測量結果(青線)と GCP 有モデル(赤線)の断面線位置が地形変化の影響もあるがほぼ一致している。そのため、基準点を用いて位置補正を行うことで差分解析を行えるようになることが確認できた。



図 12 三原山火口DEMデータの断面線(赤線)位置図

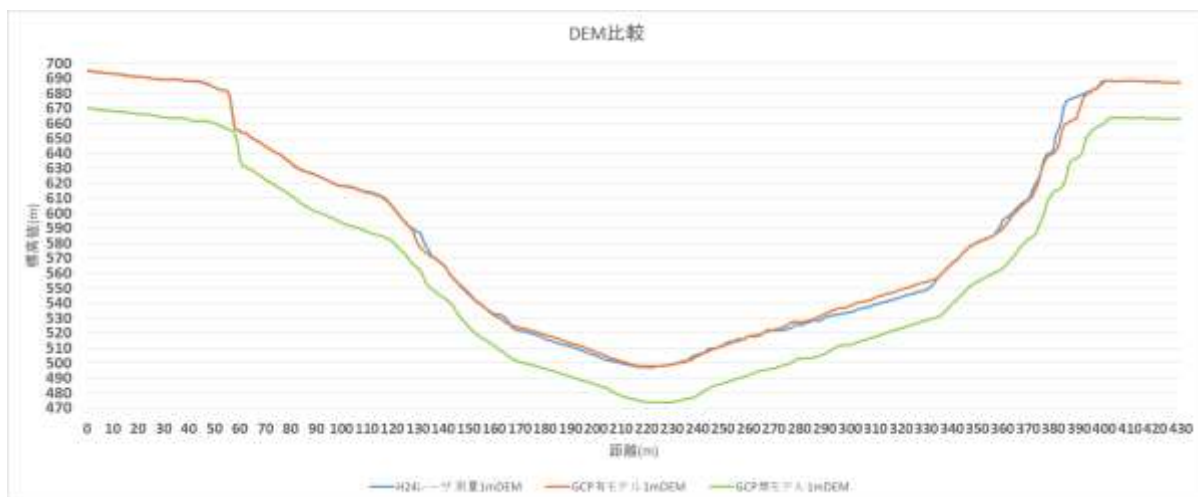


図 13 H24レーザー測量データ・GCP有モデル・GCP無モデルの1mDEM比較結果

#### ④3次元データを用いた解析

##### 1) 2017年取得データとの差分解析

2017年にUAVで撮影を行ったデータから作成したモデルと差分解析を行った。2017年に撮影したデータは今回撮影したデータと比べ撮影範囲が狭いため、取得した基準点(GCP)を使用することが出来なかったため、位置補正を行ったGCP有モデルから仮想GCP10点を取得し、2017年取得データのモデルに位置補正を実施した。(図14参照)

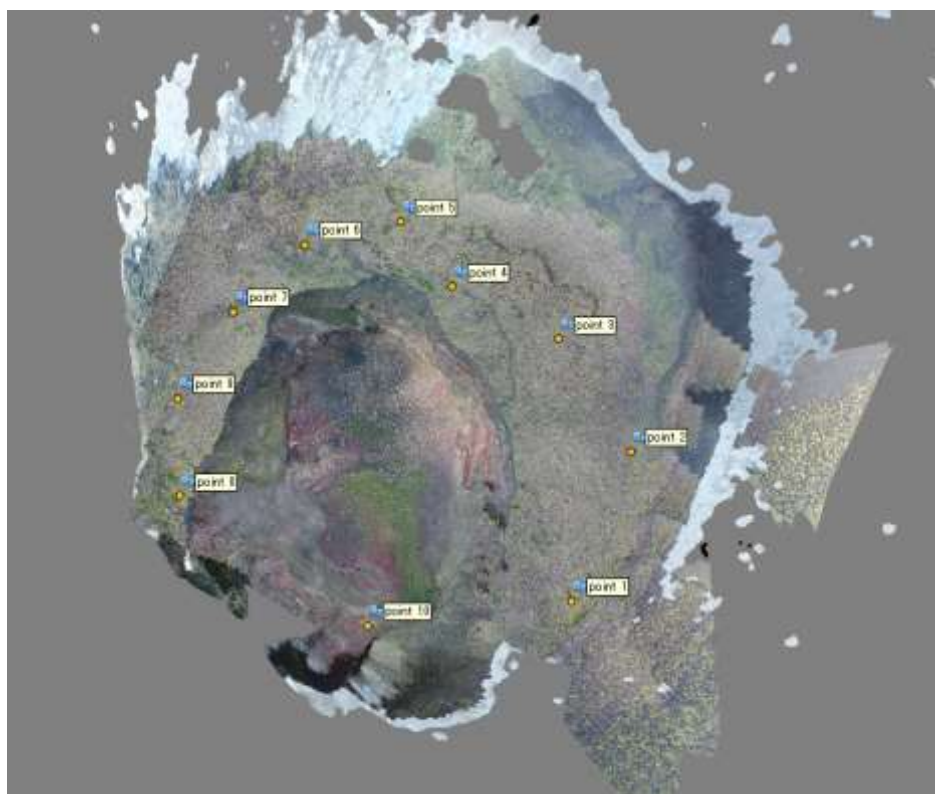
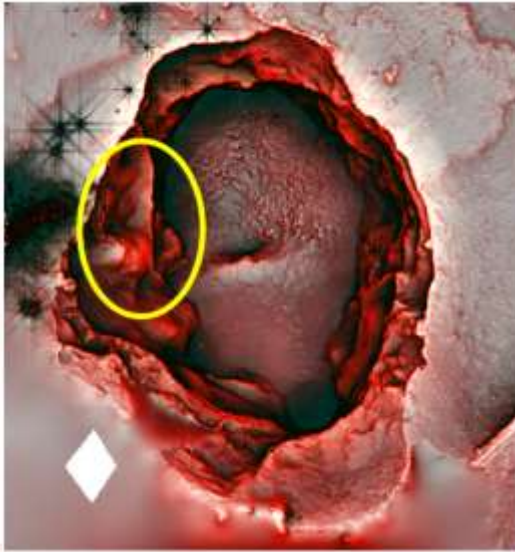


図 14 仮想GCPで位置補正を実施した2017年取得データモデル

2017年8月～9月



2019年11月

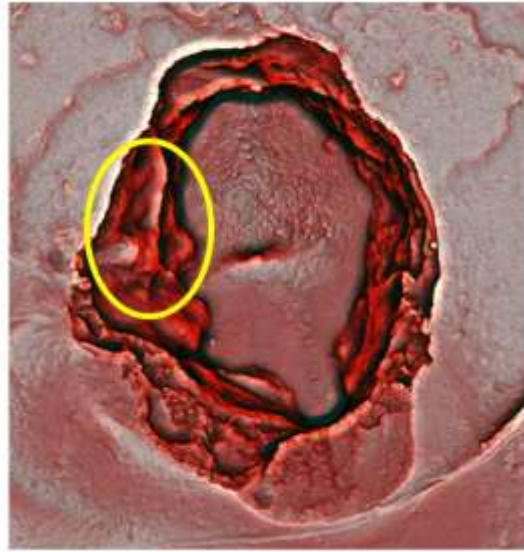


図 15 2017年撮影データと2019年撮影データの赤色立体地図

位置補正を実施した 2017 年撮影データモデルと 2019 年撮影データモデルの 1mDEM から赤色立体地図を作成した。

赤色立体地図で形状比較を行ったところ、図 15 の黄色の丸で囲んでいる部分で 2019 年データでは崩落が起きていることが確認できた。



図 16 三原山火口DEMデータの断面線(赤線)位置図2



図 16 に示した断面線位置で各 1mDEM の断面図から形状比較を行った。図 17 に示した断面図でも図 15 で崩落していた位置を確認することが出来た。黒丸で囲っている部分で崩落が発生し、底面部に崩落した部分が積もり、盛り上がっていることが確認できた。なお、崩壊前後で火口内の容積の変化は認められなかった。

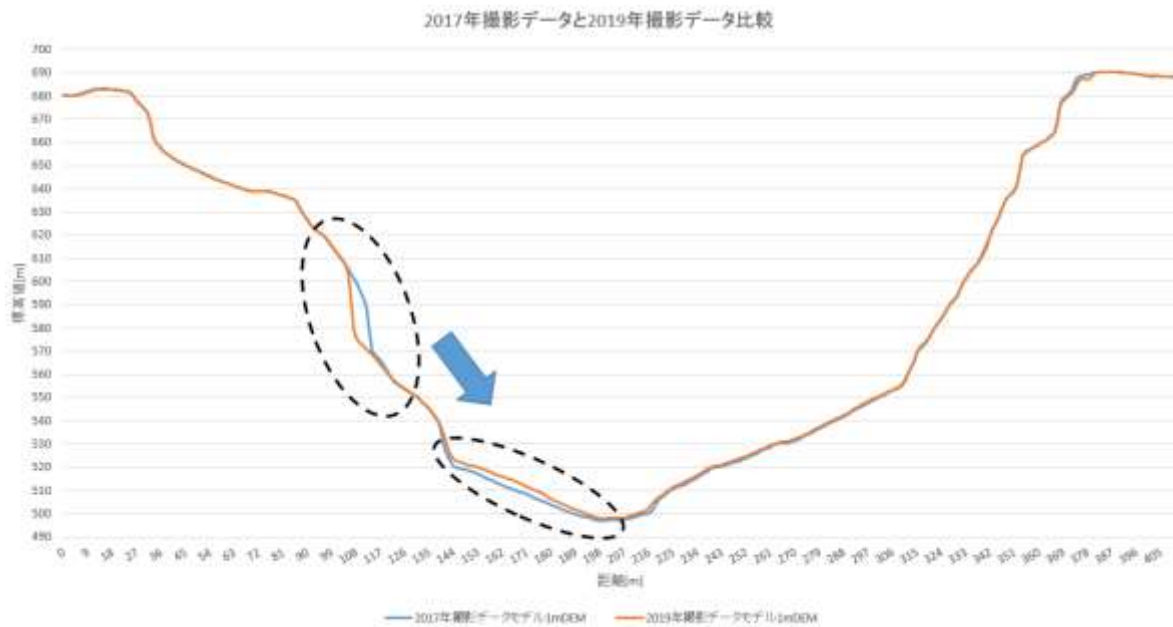


図 17 2017年撮影データと2019年撮影データの1mDEM比較

### 3) 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

#### ① 熱赤外カメラを用いた情報取得

悪条件下（夜間）における状況把握手法開発に向けて、夕暮れ時に、UAV に搭載された可視光カメラ及び熱赤外カメラで撮影を行い、取得できる情報を確認した。

夕暮れ時に撮影した UAV の画像（熱赤外・可視光）を図 18 に示す。熱赤外カメラの画像は、青色から赤色に向かって温度が高くなるように表示されている。日中の太陽光の影響を受け、植生に比べて熱吸収がよい溶岩流の分布範囲において温度が高くなっていることが熱赤外画像から分かる。

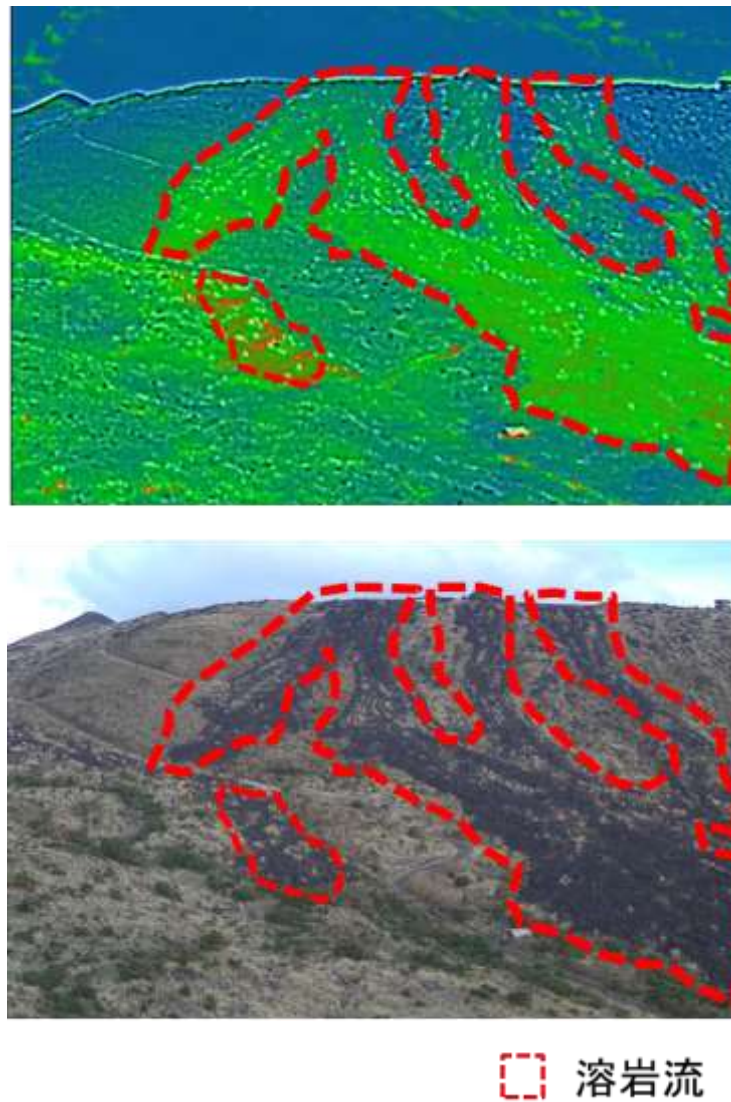


図 18 上：熱赤外カメラ、下：可視光カメラ

## ②熱赤外カメラと斜め写真解析システムを用いた情報取得

夜間等で可視光カメラにより噴火状況が捉えにくくなった場合でも、熱赤外カメラを用いることで、熱情報から溶岩流の位置は把握できると思われるが、位置精度が低い問題点がある。ある一方向からの単画像では、3Dモデルを作成することはできないが、単画像に対して斜め写真解析システム（LandViewerPG：アジア航測株式会社製）を用いることで、画像上の対象位置の座標情報を取得することが可能である。

このシステムでは、画像の撮影位置と撮影方向の情報（標定パラメータ）を使用して、画像とDEMの対応付けを行うことで、画像上で特定された位置の座標や2点間の距離、画像上で描画したポリゴンの面積を計測することができる。画像の標定パラメータはSfMソフトウェアにおけるアライメント(空中三角測量)により短時間で算出することができる。このパラメータを直接取り込む機能を追加することにより短時間で計測環境を実現することが可能となった。

このシステムを応用し、熱赤外カメラの画像に適用することで、夜間においても溶岩流の状況（先頭位置、幅、面積など）を把握できると考えられる。

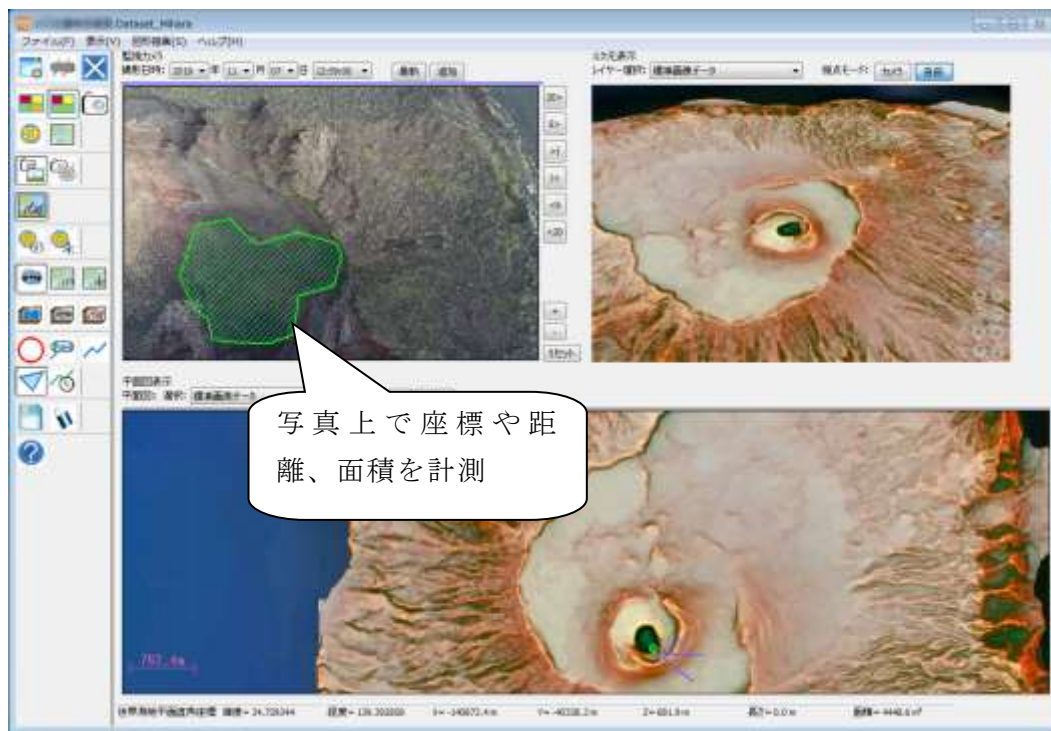


図 19 斜め写真解析システム（LandViewerPG）の画面例

#### 4) 画像や作成モデルから状況認識する方法の検討

##### ①溶岩流の自動認識の検討

熱赤外面像を用いて、溶岩流の分布範囲を自動抽出する手法を検討した。

UAV で取得した熱赤外面像から、色情報を用いて熱分布範囲（高温箇所）を抽出し、位置情報から熱分布範囲をオルソ化することで、平面上に展開することが可能となる。地理院地図等の平面図と重ね合わせられ、直感的に状況を把握することができると思われる。

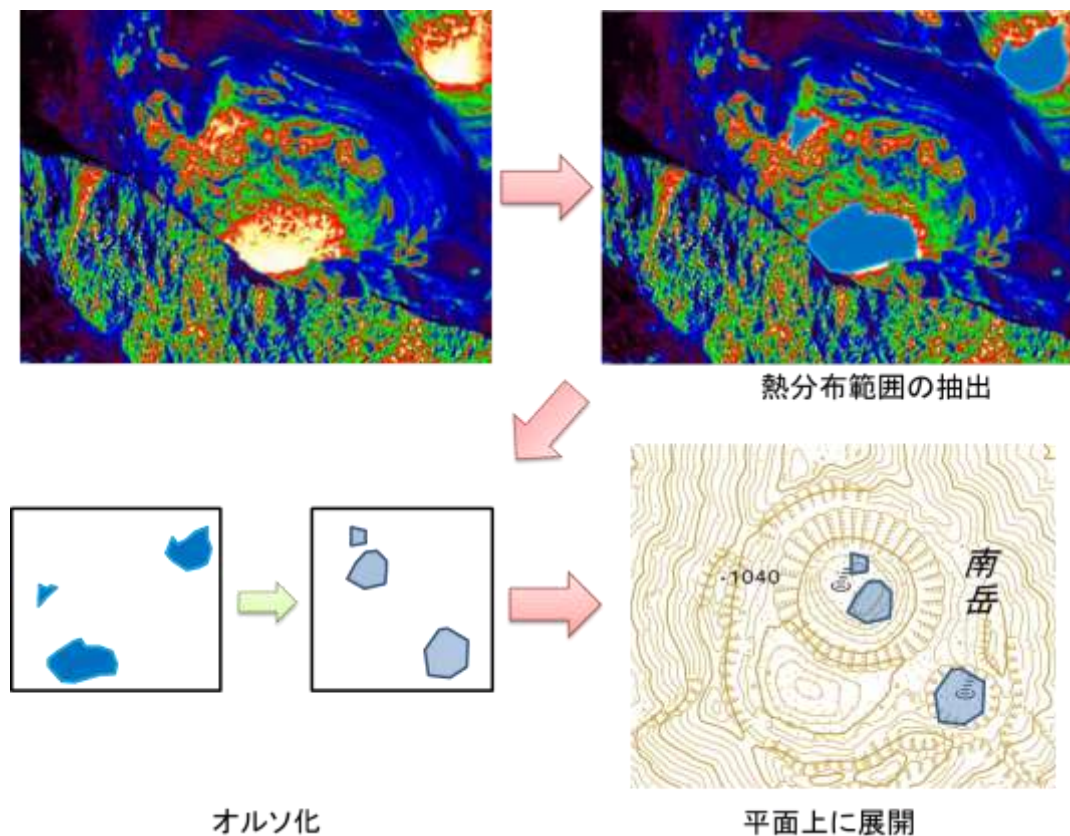


図 20 熱分布範囲の抽出から平面上への展開イメージ

## ②噴石の自動抽出

### i) 実施概要

噴火後に得られた3次元モデルから、機械学習を用いた噴石痕の自動検出を試みた。

自動検出の実験地域は、熊本県の阿蘇山火口周辺とした。対象地域の赤色立体地図を図21に示す。この実験地域には、2016年10月の噴火により多数の噴石痕が存在する。

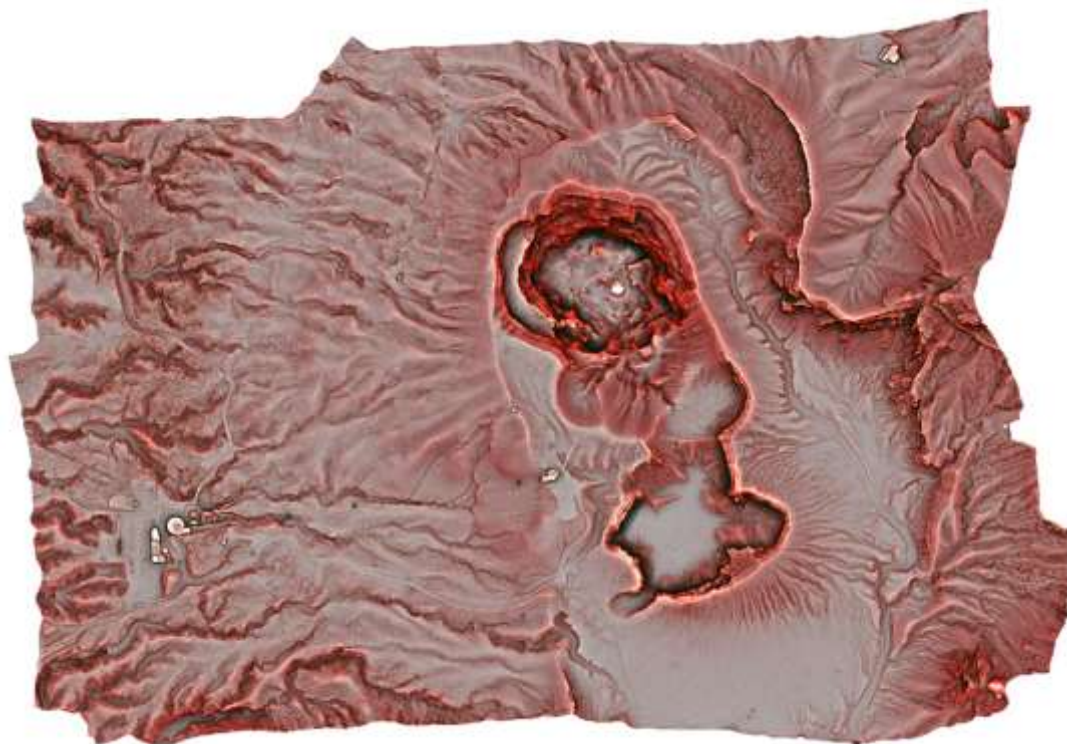


図 21 噴石痕の自動検出に使用した赤色立体地図（2017年4月作成）

### ii) 噴石痕の手動判読

機械学習モデルで噴石痕の自動検出を行うため、対象地域の赤色立体地図を分割し、噴石痕の位置を手動で判読した。噴石痕の判読例を図22に示す。噴石痕の判読後、機械学習モデル生成に使用する学習用データセットと、モデルの精度を評価するための検証用データセットを作成した。各データセットの画像枚数・噴石痕の数を表4に示す。

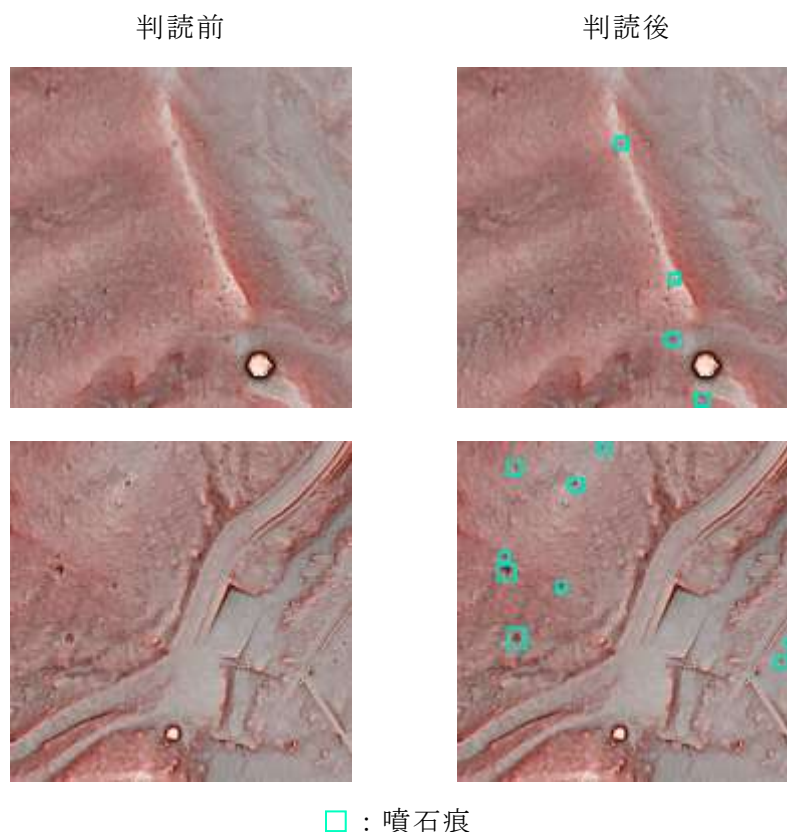


図 22 噴石痕の判読例

表 4 各データセットの詳細

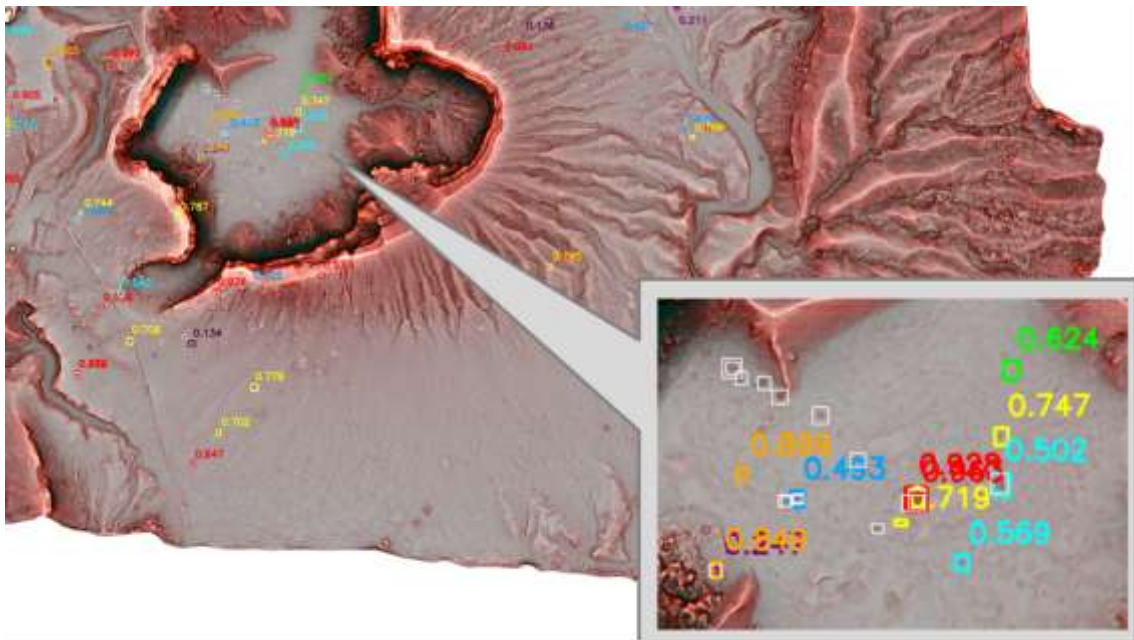
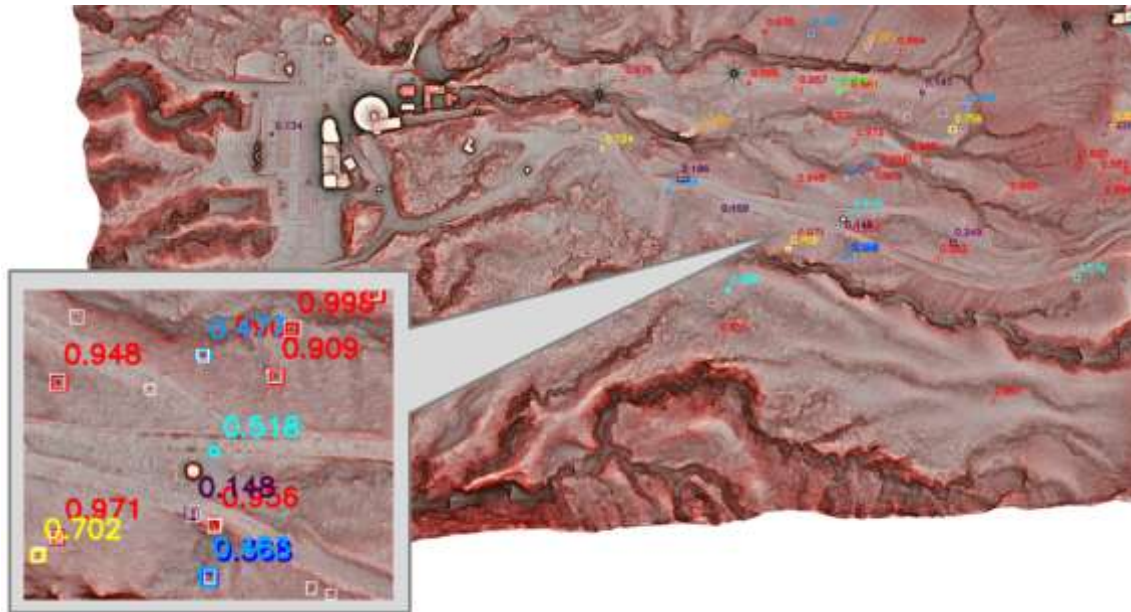
データセット名	画像枚数 (分割画像)	噴石痕を含む 画像枚数	噴石痕の数
学習データセット	152	41	175
検証データセット	95	36	169

### iii) 物体検出手法による噴石痕自動検出の試行

機械学習を用いた物体検出手法の一つである **RefineDet** を用いて噴石痕の自動判読を試みた。物体検出手法とは、画像から検出対象を矩形で抽出する手法である。

検証データセットで自動判読した結果を図 23 に示す。図 23 において、白色の枠が人の手により検出した噴石痕、色付きの枠が自動検出した噴石痕である。

169 個ある噴石痕のうち 70 個を自動判読により検出することができ、誤って噴石痕を検出した数は 27 個であった。したがって再現率は 41.4 %、適合率は 72.2 %である。



凡例	手動判読結果	自動判読結果(信頼度)			
	□ : 手動判読	■ : 90%以上	■ : 50-60%	□ : 10-20%	
		■ : 80-90%	■ : 40-50%	□ : 5-10%	
		■ : 70-80%	■ : 30-40%		
		■ : 60-70%	■ : 20-30%		

図 23 噴石痕の検出結果

#### iv) 精度向上の検討

自動判読の精度を向上させるため、学習データを疑似的に増やすことを検討した。

学習に用いる赤色立体地図の分割画像は、上下左右に固有の特徴は見られない。そのため、学習画像に左右反転・上下反転・回転を加えることで、学習データセットの枚数を疑似的に増やした。分割画像を反転・回転させた例を図 24 に示す。

反転・回転画像を追加しない場合と、追加した場合の精度を表 5 に示す。表 5 の①②を比較すると、反転・回転画像を加えることで、検出できた噴石痕の数が増加し、誤検出数が減少した。再現率・適合率はともに反転・回転画像を加えることで向上した。反転・回転した画像を追加することで、学習される噴石痕のパターンが増え、精度が向上したと考えられる。

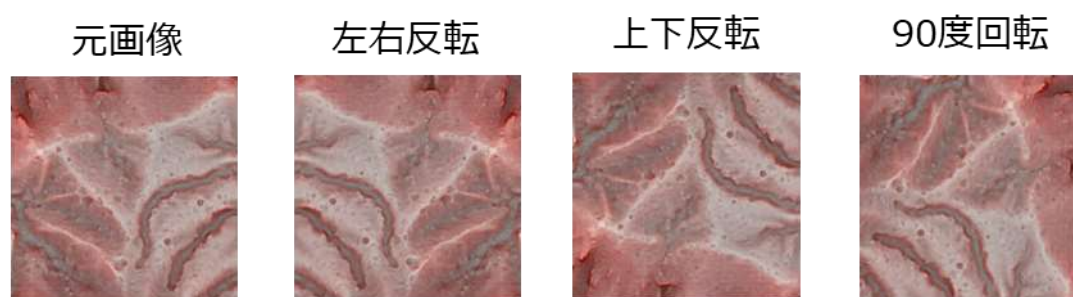


図 24 分割画像に反転・回転を適用させた例

表 5 各データセットの詳細

実験条件	反転・回転画像の追加	検出できた噴石痕数	誤検出数	再現率	適合率
①	なし	70 個	27 個	41.4 %	72.2 %
②	あり	79 個	26 個	46.7 %	75.2 %

#### v) 噴石痕の自動検出まとめ

機械学習を用いることで、噴石痕のうち約 4 割を自動検出することができた。また、学習画像を反転・回転させ疑似的に画像枚数を増やすことで、精度が向上することが確認できた。

今後の課題としては、精度向上が挙げられる。機械学習におけるパラメータを調整することや、学習に使用するデータの増加させることで、さらなる精度向上を図り、機械学習による自動検出の限界を検討する必要がある。



## 5) 他サブテーマとのデータ連携の検討

サブテーマ D1 で取得したデータについての連携方法について検討した。

サブテーマ A で作成しているデータベースには、サブテーマ D1 で取得した生データおよび加工データを格納する。画像は撮影した生データは jpg 形式、正射投影したオルソ画像 (tif 形式) が主体となる。動画を撮影した場合は、mp4 形式が基本となる。3Dモデルは標準的なフォーマットが定まっていないが obj 形式などが一般的である。数値標高モデルのフォーマットは一般的な xyz 形式や geotiff 形式などが想定されるが、数値シミュレーション等で用いるフォーマットが定まっている場合には、その形式で作成し、データベースに格納することも可能であるため、今後、調整を進めていく必要がある。

サブテーマ C3 には、数値標高モデル (DEM) を提供することで、噴火後の地形を反映した溶岩流の数値シミュレーションなどを実施することが可能となる。

サブテーマ D2 には、予測降灰量と照合することを目的として数値標高モデル (DEM) を提供し、噴火前の DEM との差分から降灰厚の推定等に利用可能となる。

サブテーマ D3 には、地図に重ね合わせることが可能なオルソ画像や3Dモデルを提供することで災害状況把握に活用することができる。オルソ画像は地上分解能が 10cm 以下となり、縮尺 1/1000 程度の地図を提供することが可能となる。そのため、オルソ画像は全体を概観できる広範囲の画像と、細分割した図郭単位での提供が考えられる。今後、図郭の縮尺、ファイル形式、体裁など最適な提供方法を検討する必要がある

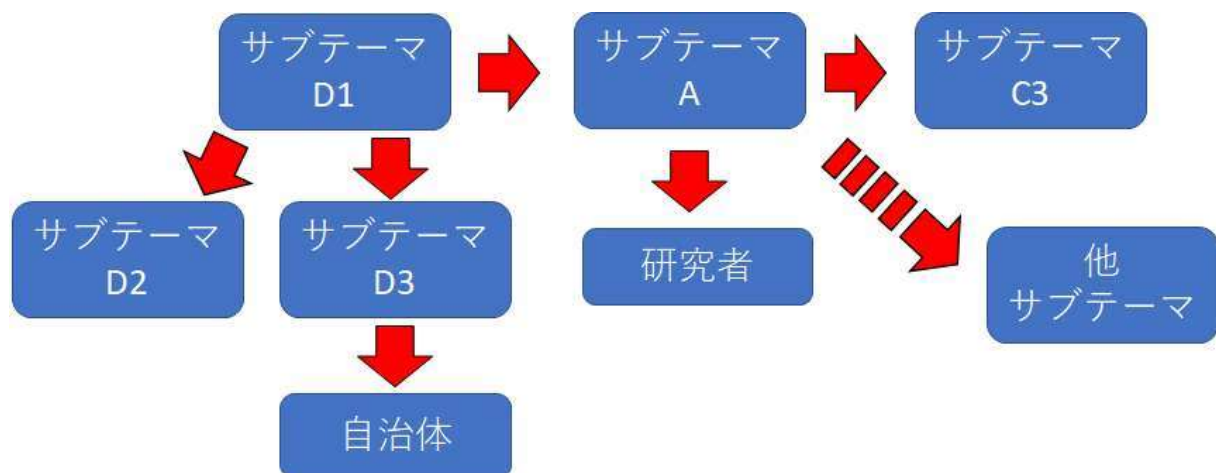


図 25 他サブテーマとのデータ連携イメージ

(d) 結論ならびに今後の課題

伊豆大島において基準点 (GCP) を設置した UAV 撮影を行い、撮影した画像から 3D モデルを作成し、基準点 (GCP) があることによる位置精度が向上することを明らかにした。また、2017 年度に撮影した画像に仮想基準点を設置して、2017 年度と 2019 年度の地形比較ができるようになり、火口内の崩壊を確認した。悪条件下 (夕暮れ時) に撮影した熱赤外画像から溶岩流の分布範囲等の把握手法を検討した。3D モデルを作成できない場合には、斜め写真解析システムが有効である。画像から状況認識する方法として機械学習等を用いた方法を検討した。噴石の自動抽出では誤検出が多く、再現率が低い結果となった。

今後の課題として、火山噴火時に火口周辺に GCP を設置することは困難であることから、RTK-GNSS 搭載 UAV などを用いて、安全を確保しつつ、3D モデルの精度を向上させる技術開発が必要である。これは SfM/MVS 計算時間の短縮にもつながる。また、5~7 年目の目標である数時間以内のデータ処理完了のためには、SfM/MVS 計算時間を短縮させる手法検討が必要である。取得したデータの共有についてより現実的な連携方法の検討を進める必要がある。

(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
三浦俊介、望月拓実、藤田浩司、浦山利博、佐々木寿、千葉達朗	UAV を用いた噴火中の桜島火山の火口内状況把握	2019 年地球惑星科学連合大会 (千葉市幕張メッセ)	2019 年 5 月 27 日
Toshihiro Urayama, Tatsuro Chiba, Takumi Mochizuki, Syunsuke Miura, Shino Naruke, Hisashi Sasaki, Kenichi Arai, and Hideki Nonaka	UAV-Based Structure from Motion - Multi-View Stereo (SfM-MVS): Mapping Cliff Face of Central Crater of Mt. Miharayama, Izu Oshima, Central Japan	Unmanned Aerial Vehicle: Applications in Agriculture and Environment (Springer) <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-27157-2">https://doi.org/10.1007/978-3-030-27157-2</a>	2019 年 11 月
千葉達朗	無人機による特に火口付近の火山災害リアルタイム把握手法開発	次世代火山研究・人材育成総合フォーラム	2020 年 2 月 16 日

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 令和2年度の業務計画案

(a) プロジェクトの総合推進

- ・ 現地実証実験や解析結果の共有等を通して、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、必要となる3Dモデルの精度・解像度等について連携して取り組む。
- ・ 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流れについて連携して検討する。
- ・ 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。

(b) RTK-GNSS搭載UAVの導入による精度向上

- ・ 2019年度の研究からGCPの重要性が明らかとなったが、噴火時に火口周辺にGCPを設置することは難しい。
- ・ そこで、最新のRTK-GNSS搭載型のUAVを導入し、伊豆大島での実証事件を行い、GCPの設置を省いた高精度現状把握手法を検討する。
- ・ RTK-GNSS搭載型のUAVの有効性や課題について整理し、これまで検討してきた撮影・処理に関するルーチンの見直しを行う。

(c) SfM/MVS計算時間の短縮

- ・ これまでの研究で用いてきた汎用のノートパソコンでは、SfM/MVS計算時間に数日を要していた。
- ・ 高精度の3Dモデルをさらに短時間で作成するために、汎用のノートパソコンではなく、SfM/MVS計算に特化した専用の機器を使用した解析を実施する。