

3. 研究報告

3.1 「無人機（ドローン等）による火山災害のリアルタイム把握手法の開発」

目 次

(1) 業務の内容

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

(2) 平成 28 年度の成果

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

(3) 平成 29 年度の業務計画案

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

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

火山災害対策技術の開発

「無人機（ドローン等）による火山災害のリアルタイム把握手法の開発」

(b) 担当者

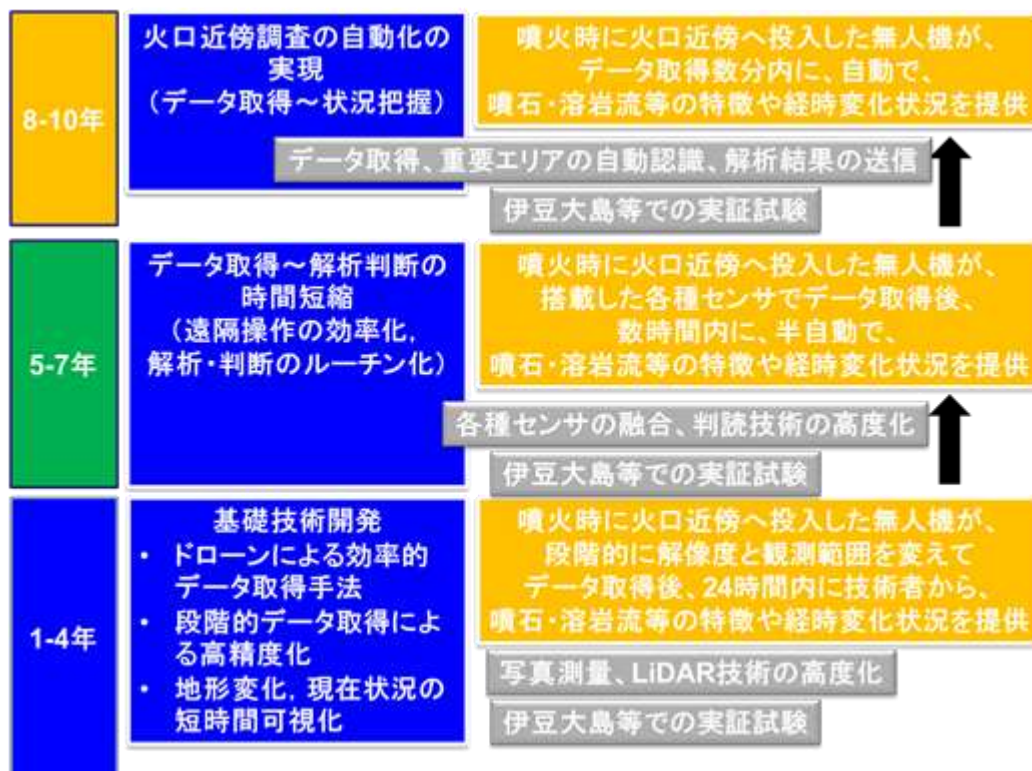
所属機関	役職	氏名	メールアドレス
アジア航測株式会社	総合研究所 技師長	千葉達朗	ta.chiba@ajiko.co.jp
	防災地質部 課長	荒井健一	ken.arai@ajiko.co.jp
	防災地質部 主任技師	佐々木寿	hss.sasaki@ajiko.co.jp
	システム開発部 課長	野中秀樹	
	総合研究所 所長	織田和夫	
	事業戦略部 室長	渡辺智晴	

(c) 業務の目的

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

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

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



本業務の全体計画

(d) 10 年間の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 28 年度：

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

2) 平成 29 年度：

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

表 1 火山災害状況把握のために活用可能な技術と特徴の優劣

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

3) 平成 30 年度 :

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

4) 平成 31 年度 :

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

5) 平成 32 年度 :

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

6) 平成 33 年度 :

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

7) 平成 34 年度 :

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

8) 平成 35 年度 :

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

9) 平成 36 年度 :

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

10) 平成 37 年度 :

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

(e) 平成 28 年度業務目的

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

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

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

(2) 平成 28 年度の成果

(a) 業務の要約

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

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

(b) 業務の実施方法

1) 噴火時の無人機による観測手法の検討

a) 火山防災における無人機活用の現状整理

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

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

b) 災害シナリオをふまえた必要機能抽出

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

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

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

c) 無人機による現地実証実験の検討

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

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

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

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

(c) 業務の成果

1) 火山防災における無人機活用の現状整理

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

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

表2 火山を対象とした実績のある無人機調査内容（一部抜粋）

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

表3 火山を対象とした調査等実績のある無人機のおもな機能・仕様（一部抜粋）

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

2) 災害シナリオをふまえた必要機能抽出

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

3) 無人機による現地実証実験の検討

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

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

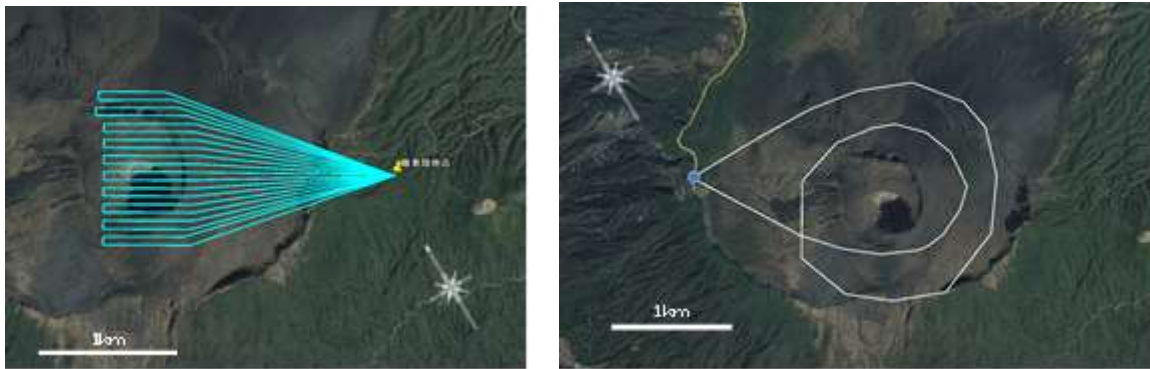


図1 飛行経路の検討例（イメージ）

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

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

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



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

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

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

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

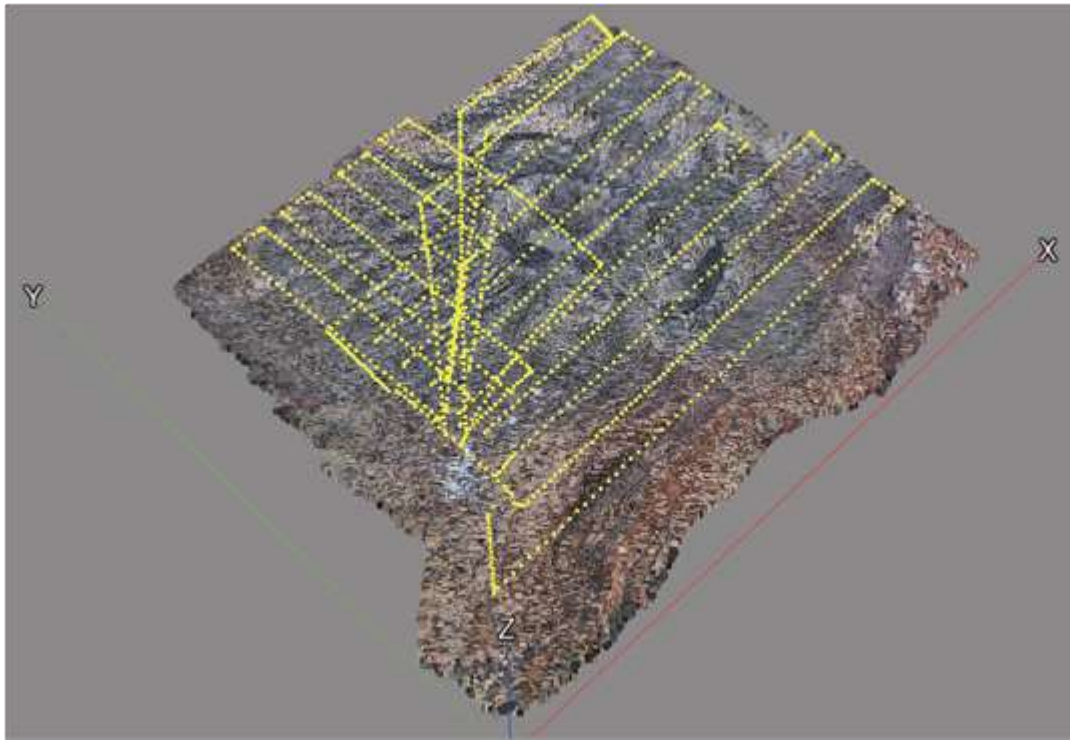


図3 平成28年10月に噴火した阿蘇山で実施した無人機による撮影位置の推定



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

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

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

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

(e) 引用文献

なし

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 29 年度業務計画案

(a) 汎用製品（ドローン）を用いた現地実証実験（伊豆大島を予定）

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

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

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

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

そって、実験を行う。

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

(b) ドローンで取得した画像を使った解析時間・解像度の検討

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

(c) 手法の標準化と課題整理

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

(d) サブテーマ間の連携

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

