

火山噴火時立入困難地域の状況把握のための遠隔調査ユニット ならびに UAV を用いた運搬手法の開発への取り組み（その2）

国土交通省九州地方整備局九州技術事務所 堤 宏徳^{*}、梅本 武史^{*}
(株) 建設技術研究所 ○家田泰弘、鴨志田毅、池上浩二、片嶋啓介、潮見礼也、河野元

^{*}：前職

1. はじめに

火山噴火時には、砂防部局として土石流発生域における降灰状況や降雨の浸透状況の変化等を把握することが必要となる。しかしながら、火山噴火時や噴火警戒レベル引き上げ等により、直接調査地点に立ち入ることができない場合において、遠隔地でそれらの情報を継続的に取得する方法が問題となる。そこで、昨年度、UAVで運搬する調査ユニットを開発し、UAVによる遠隔設置や、降灰環境下での遠隔監視が可能であることを確認した。

本年度は、それらの実地検証等から得られた、調査ユニットの稼働安定性の向上、調査可能箇所の拡大等の課題に対応するとともに、一連の調査ユニットの運用手順や体制を確立するためのマニュアルを作成した。本稿では、これらのUAVで運搬する調査ユニットの運用手法についての改良結果について報告する。

2. 火山地域における UAV による調査ユニット設置可能地点の検討

調査ユニット設置地点の条件の明確化とその条件の簡便な判定手法を検討するために、霧島新燃岳をモデル火山として調査ユニットを用いた調査計画の策定検討を試行し、調査計画として必要な調査項目と各項目の調査内容について整理した。調査対象箇所の整理結果を踏まえると、UAVの離着陸に必要な開放空間がない箇所や、ある程度凹凸のある箇所でも設置、運用できるようになることが望ましいことが明らかになった。

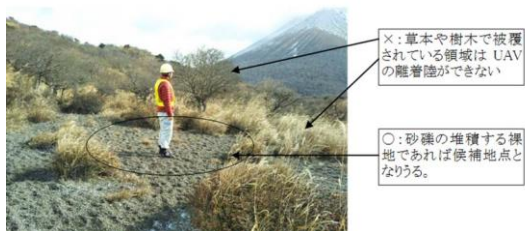


図-1 新燃岳における設置候補地点の例

また、全国の火山の地形条件や噴火警戒レベルに応じた規制範囲等を整理し、山腹域の道路整備状況や山体の形状によっては、片道飛行距離4km、高低差500m以上が必要となることを確認した。

3. 調査ユニットの改良検討

設置可能地点の検討結果および過年度の実地検証や、前項で抽出した課題（上空開放範囲が狭い、地表面に凹凸がある、長距離飛行が必要である等）に対応するために、調査ユニットそのものの改良とともに、その設置手法や運搬するUAVの運用手法について改良を行った。

(1) 調査ユニット自体の改良

調査ユニットの親機子機間の通信安定化や欠測の軽減等について下表に示す改良を行った。

表-1 調査ユニット自体の課題と改良内容

①観測安定性の向上	<ul style="list-style-type: none"> 動作設定の改良による親機-子機間通信の安定化 アンテナ位置の改善(アンテナを高く) 電圧変化に伴う観測値のドリフト防止 親機-クラウド間の電波条件の悪い時の欠測防止 ボックス内への浸水・結露防止 センサーアーム類の補強
②観測可能期間の向上	<ul style="list-style-type: none"> 各種センサーの耐久動作精度の向上
③画像伝送装置の稼働期間の向上	<ul style="list-style-type: none"> 画像伝送装置の軽量化

(2) 調査ユニット設置手法の改良

調査ユニットの設置候補地点を現地調査した以下のような地点への設置が必要となることが明らかになった。

- 十分に上空が開放している箇所ではない箇所がある
- 地表面が平坦でない凹凸のある箇所がある

これに対して過年度開発したUAVの着陸を前提とした設置手法の場合、適用箇所が限定されるため、UAVが飛行状態のまま調査ユニットを設置できる手法として、ウィンチによる設置を検討した。

表-2 着陸式とウィンチ式の比較

	長所	短所
着陸式	<ul style="list-style-type: none"> 機体に取り付けるだけで使用可能。 軽量で幅広い機体に適用可能。 安価である。(1台5万円程度) 自動航行による自動設置が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 着陸を前提とするため、適用可能箇所が平坦な裸地での設置に限定される。 着陸時の機体転倒等のリスクがある。
ウィンチ式	<ul style="list-style-type: none"> 開空度の小さい裸地や凹凸地でも適用可能である。 機体転倒等のリスクが小さい。 	<ul style="list-style-type: none"> 電源、操作系統の接続が必要(取り付けに専門知識が必要)である。 操縦電波到達範囲に限定される。

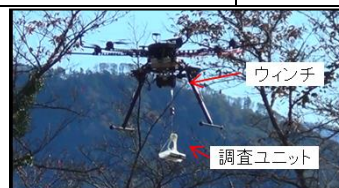


図-2 ウィンチによる調査ユニット運搬状況

(3) UAV運用手法の改良

長距離飛行に対応したUAV運用手法の改良として、電波到達距離とUAVの監視手法が課題となった。UAVからの操縦、画像、テレメトリ情報の伝送電波の到達距離を延伸するため、高所作業車等によりアンテナ高を上げる手法を検討した。またUAVの遠隔監視手法としては、従来のUAV伝送画像、テレメトリ情報や双眼鏡による監視に加えて、より遠距離の監視手法として、フィールドスコープや自動追尾カメラ等による監視手法を検討した。

また、調査ユニットへの水準器の設置、チェイス機による調査ユニットの設置状況を把握することで、観測誤差を推定する手法を検討した。

4. 改良案の実地検証

(1) 調査ユニット設置試験結果

黒神川地獄河原内の中で、UAVによる着地が容易な平坦裸地と、着陸が不可能な凹凸地を対象に、調査ユニットの設置試験を実施した。凹凸地での設置はUAV搭載用ウィンチ（岡谷鋼機社）を使用した。



図-3 調査ユニットの設置試験箇所の状況

調査ユニットが傾いて設置されると誤差が大きくなるため、平坦地での設置が前提となるが、当実地検証で凹凸地に設置した調査ユニットは、チェイス機画像により20度程度傾いて設置されたことが確認できた。この情報に基づき、観測値を補正することで、実測値との誤差を10%未満にできた。すなわち、チェイス機等によって調査ユニットの設置状態を把握することで、調査ユニットの許容傾きが20度程度まで拡大できることを確認した。

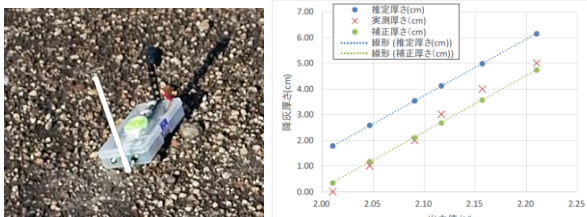


図-4 調査ユニットの傾き状況と観測値の補正

表-3 調査ユニット設置実地検証結果と課題

試験項目	試験項目	結果	課題
①平坦裸地への着陸式による設置試験	アンテナ増強版の調査ユニットの運搬	アンテナのプロペラへの干渉が懸念されたが、ガイド取付けで安定して運搬・設置できた。	運搬上の課題は特になし。継続監視時の耐久性の確認が必要。
	チェイス機による調査ユニット設置監視	チェイス機より、調査ユニットの設置状況を把握できた。調査ユニットが傾いていることが確認でき、観測値の補正が可能となる。	チェイス機が基本となるため、オペレーターの技能を要する。
②凹凸地へのウィンチ式による設置試験	ウィンチによる設置	ウィンチにより凹凸地に調査ユニットを設置することが可能であることを確認した。	ウィンチの取り付け、設定、操作に一定の技能を要する。
	凹凸地における降灰厚さの観測	キャリブレーション式により堆積厚さを推定した。20°前傾した状態で設置されていたため、計測値を補正し、精度を確保できた。	凹凸地に設置することができても、ユニットの傾きを把握できないと精度が落ちる。

(2) 調査ユニットの継続観測テスト

これまでに調査ユニットの試験観測等によっていくつかの課題が明らかになっている。これらの課題に対して改良を行った調査ユニットを用いて火山地域における継続観測を行うことで、現地における観測の安定性の向上等の課題解決が行われているかを確認した。観測テストにあたっては、センサー系調査ユニットはLoRa規格の通信モジュールを搭載した基板（SHコンサルティング社）を使用し、伝送されてきたデータをクラウド（VG-Sync）

上にアップロードし、遠隔観測を行った。堆積構造調査ユニットはドライブレコーダHDL900（エコモット社）をインターバルカメラとして利用した。

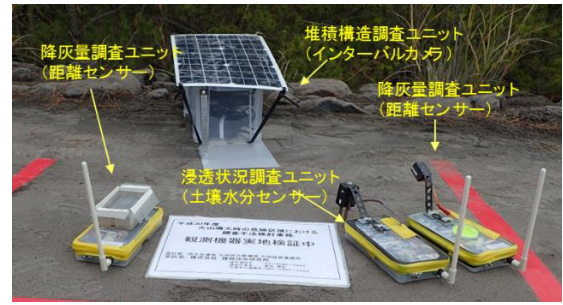


図-5 設置した調査ユニット

前述の調査ユニットの改良により、欠測の抑制等の継続監視に必要な課題が解決できていることを確認した。一方で、調査ユニットが動物により移動、破壊されている状況がみられ、UAVで運搬可能な調査ユニットは軽量であるため、設置箇所によっては動物対策も考慮することが望ましいことが明らかになった。

(3) UAVの運用手法

UAV遠距離飛行への対応として、遠隔監視手法と電波伝送試験を実施した。遠隔監視については、フィールドスコープや自動追尾カメラ等によりどこまで視認、追尾可能であるかを検証した。その結果、フィールドスコープによる監視で1km以上安定的に監視できることを確認した。また、電波伝送試験として展望台や高所作業車によりプロポアンテナ高を変更し、UAVのテレメトリ情報電波の到達距離の延伸効果を確認し、操縦・画像伝送電波が4km以上到達可能であることを確認した。ただし、電波伝送が可能であっても遠隔地域のローカルな気象条件の把握が困難であることに留意が必要である。

5. まとめ

火山活動の段階に応じたUAV調査に関わる対応内容を整理し、各段階で想定される課題を抽出した。

表-4 火山活動段階に応じたUAV緊急調査の課題

段階	課題
静観期	・緊急減災対策砂防計画の中でUAV調査を行うことを想定している火山は多いが、現段階でUAVによる調査計画の検討に着手している火山は一部に限られる。
	・緊急的な調査計画の策定や協定業者への指示を含んだ一連の対応についての訓練が必要である。
	・緊急時の比較用空撮データを平常時から蓄積しておく必要がある。
	・一部調査手法は開発中であり、実用に向けたブラッシュアップが必要である。
噴火警戒レベル引き上げ	・各火山で噴火したときに必要となるUAVおよび関連機材の確保先および確保可能量が整理されていない。
	・調査ユニットを使用した調査は、作成したマニュアルを参考に実施することになるため、そのマニュアルの実効性を確認する必要がある。
噴火後	・一連の調査手法で得られたデータを総合し、降灰分布やリアルタイムハザードマップに必要なパラメータの設定手法が確立していない。
	・噴火後の迅速なUAV緊急調査実施のためには、対象箇所の地権者や関係機関との事前の情報共有、調整が必要である。

本年度成果により、UAVで運搬する調査ユニットによる調査計画の策定手法、適用箇所の拡大と調査ユニットの安定性向上が図られた。今後は、調査ユニットを用いた調査手法、体制の確立とともに、他の調査手法も含めたより広い視点での火山噴火時の砂防としてのUAV調査計画の考え方をまとめていくことが望まれる。