立入規制区域外からの UAV 自律飛行による降灰調査機器の自動設置

株式会社建設技術研究所　鴨志田毅、内柴良和、家田泰弘　○河野元　矢作和樹
国土交通省東北地方整備局新庄河川事務所　土門弘和

1. はじめに

火山噴火時には砂防部局として土砂災害防止法に基づく緊急調査（土石流発生域の降灰状況等）を実施する必要がある。しかし、火山活動が活発化した状況下では土石流発生域に直接立ち入ることができなくなる（噴火警戒レベルに応じた立入規制や降灰等の影響で調査へのリスク増大等）。そのため、遠隔地から UAV 等を活用して調査を行うことで、より安全に必要な情報を収集することが可能となる。それらの情報を取得する方法が課題となるが、家田ら（2021）や内柴ら（2021）は、UAV による調査ユニット設置や LTE 通信を活用し解決を図っている。これに対し、蔵王山（宮城県・山形県境）では、2017 年度から立入困難地域の調査手法を検討しており、火口周辺の状況把握や火山灰等の降灰のある範囲の把握手法の検証を実施してきた。2020 年度には、UAV によるこれらの調査手法をマニュアルとしてとりまとめている。2022 年度には、調査ユニット等を活用した明瞭な火山灰の堆積範囲（1cm 以上の厚さがある範囲）を把握する方法について検証を行うとともに、それらの運用手順や体制を確立しマニュアルを更新した。

以上のように、本稿は UAV 及び調査ユニット等による降灰厚 1cm 以上の把握手法を主とし、UAV を活用した立入規制区域の調査手法について検討したものである。

2. 降灰厚計測手法

(1) 調査ユニット（インターバルカメラ）

降灰厚の計測には、一般に市販されているインターバルカメラを使用し、撮影される写真の画角内に cm の目盛が写り込むようにスケールを装着させた（図 1.右図）。また、後述のウィンチに搭載できるよう把持装置への取り付け部を設けている。インターバルカメラによる写真及びスケールによって、設置地点の降灰状況及び降灰厚さを把握できるようにした。

(2) 調査ユニット設置用ウィンチ

調査ユニットの設置方法については、UAV に装着可能なウィンチ（図 1.左図）を使用した。自動による吊り降ろし、巻き上げが可能なため、UAV の着陸が困難な場所や支障物（樹木等）よりも高高度から調査ユニットを投下せずに設置できるようになる。

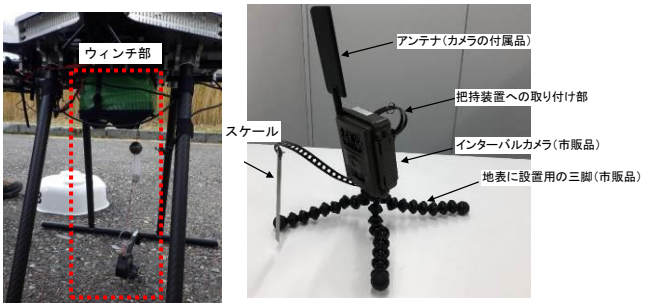

図 1. UAV に搭載したウィンチと調査ユニット

3. UAV を活用した降灰厚計測手法の検証

3.1 実施概要

実証試験は、蔵王山の火口東部（宮城県側）に位置する賽の河原駐車場（緊急減災対象渓流の濁川を源頭とし、噴火警戒レベル２の立入規制範囲内）とした（図 2）。蔵王山噴火時には偏西風等により降灰する可能性が高く、下流には観光地や保全家屋等が多いため、調査手法確立の優先度が高い渓流である。

UAV 離発着地点は、噴火警戒レベル３の立入規制範囲外で緊急時も車両でアクセスしやすいすみかわスノーパークとした。

図 2. 離発着地点と実証試験箇所の位置（蔵王山）

離発着地点から賽の河原駐車場上空には見通しがないため（図 3）、通常 UAV との通信に用いられる 2.4GHz 帯の電波は地形に遮蔽されて届かない。そこで、LTE 通信モジュール（図 4）を活用し、映像・機体情報の伝送を試みた。なお、図 2 で示すように、飛行ルートは携帯電話のサービスエリア内であり、事前に携帯電波の受信状況を確認した上で実施した。

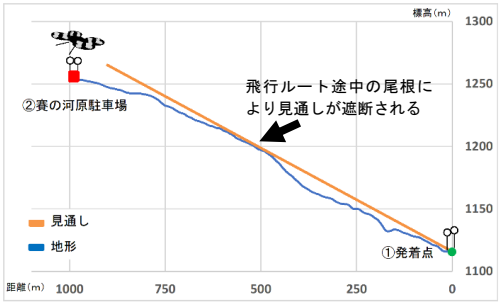

図 3. 離発着地点から賽の河原駐車場上空の見通し

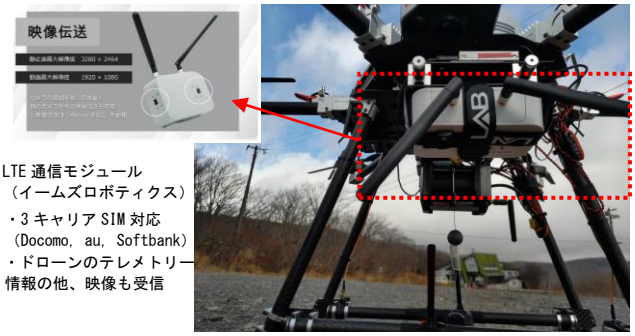

図 4. LTE 通信モジュールと実機装着時の様子

3.2　使用機体

今回の実証試験は、調査ユニット、ウィンチ、LTE 通信モジュールを搭載するため、最大 5 kg(レンズ・ジンバル含む)まで搭載可能な 6 枚羽の回転翼機を使用した。使用した機体を図 5 に示す。

図 5. 使用機体

項目	仕様
機体名称	E6106FLMP
展開サイズ	1,060 × 987 ×1,129mm
ペイロード	5kg
電波到達距離	1km(見通し)
飛行時間	約 20 分

4.　試験結果

4.1　LTE 通信による自律飛行の実施

操縦電波について、通常の機体との1対1の直接通信では、地形の見通し条件から通信困難となる可能性が懸念されていた。そのため、LTE 通信モジュールを機体に搭載し、LTE を介して常に機体のテレメトリー情報やカメラ映像を取得できるようにした。また、飛行時の対地高度は約 100m、調査ユニット設置時の対地高度は約 50m とし、飛行ルート・飛行プログラムを作成し、自律飛行で実施した。

その結果、機体との1対1の直接通信は、ルート途中の約 500m 付近(図 6 A 地点)で途切れ、LTE を介した通信に切り替わった。その後の飛行、調査ユニット設置までの流れ(図 6 A–B 区間)は LTE 通信によってモニタリングできており、復路(図 6 A 地点)で再び直接通信に切り替わり、終止通信を確保できていることを確認した。また、飛行ルート上で予定していた飛行プログラムについて、手動での補助は必要とせず、全行程を自律飛行で実施できた。

図 6.飛行ルート上の直接通信、LTE 通信の軌跡

4.2　降灰厚調査ユニットの自動設置

ウィンチを搭載した UAV に調査ユニットを装着し、上述のように自律飛行により運搬・設置・帰還まで一連の実証試験を実施した(図 7 A, B)。

その結果、調査ユニットは設置地点の上空約 50m から、予定していた設置箇所より約 1m のずれはあったが、接地面の様子や調査ユニットに装着したスケールが読み取れるような画角で設置可能であることを確認した(図 7 C, D)。調査ユニットにより、一定間隔で撮影した画像は、3G・LTE 回線を利用した伝送によってクラウドサーバー上にアップロードされるため確認可能である。

これにより、蔵王山の本検証ルートにおける調査ユニットの無人設置を可能とし、降灰厚の遠隔監視ができることを確認した。

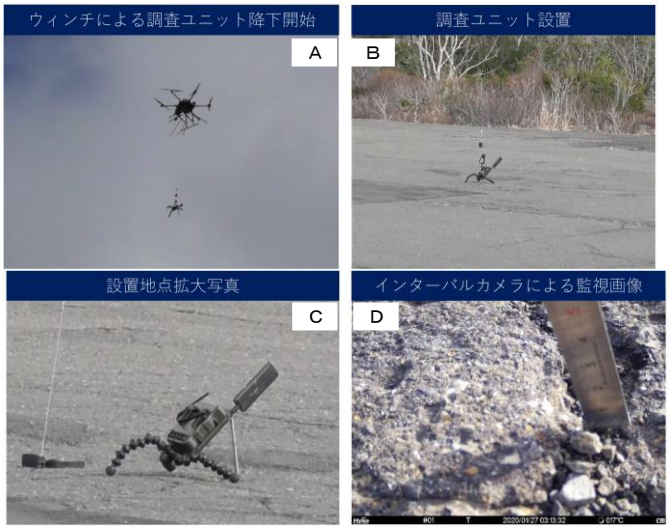

図 7. ウィンチの吊り降ろし、調査ユニット設置時の様子

5.　まとめ

降灰調査については、火山噴火緊急減災対策砂防計画の噴火シナリオで対象とする噴火の発生や噴火警戒レベルの規制範囲を踏まえた調査範囲で着手することになると考えられる。一方、UAV を活用し、調査ユニットを設置する場合は、実証試験から噴火警戒レベル 3 による規制区域の外から調査ユニットの設置が可能であることから、課題となった立入規制範囲内の緊急減災対策対象渓流(土石流発生域)での安全な降灰調査等への対応が可能と考えられる。

また、本検証による降灰厚調査ユニットによる観測では、調査ユニット設置後の電池が持ち続ける限り、降灰厚や現地状況を写真から確認できるため、継続した降灰調査への対応が可能と考えられる。

蔵王山は比較的携帯電話のサービスエリアが広く、LTE 通信モジュールによる通信距離等の拡幅が図れる。これにより、LTE を併用したマルチ通信、自律飛行、通信距離の延長も可能であることが確認でき、今後の調査手法への展望が期待される

参 考 文 献

家田ら（2021）：火山噴火時の立入困難地域における緊急調査へのＵＡＶ活用範囲拡張手法について，令和 2 年度砂防学会研究発表会概要集，p63-64
内柴ら（2021）：PPK を利用した UAV-SfM による火口周辺の積雪深計測，令和 2 年度砂防学会研究発表会概要集，p297-298