

第67回(2023年度) 北海道開発技術研究発表会論文

長距離飛行可能な無人航空機による火山噴火を想定した調査について

札幌開発建設部 河川整備保全課
北海道大学広域複合災害研究センター
日本工営株式会社

○村上泰啓
山田孝
早川智也

火山噴火警戒レベル上昇に伴い、噴火口から半径数kmが立ち入り禁止となる場合がある。このため、土砂災害防止法に基づく緊急調査に向けた検討を行う上で必須となる降灰厚、泥流、地盤隆起など土砂移動現象の定量的把握が困難となる。そこで筆者らは、有珠山噴火を想定し、火口原北西約8kmからVTOL型固定翼無人航空機を離発着させ、往復約20kmの飛行および搭載した機器による動画撮影を行った。ここではその概要を報告する。

キーワード：危機管理、災害情報、火山噴火、ドローン

1. 背景

北海道南西部に位置する有珠山(図-1)は、西暦1900年以降、1910年、1944年、1977年、2000年に噴火しており、近年の噴火周期は概ね20～30年といえる。2000年3月31日に開始した噴火では国道230号近くで顕著に発生した地割れ付近から噴火が開始し、火山活動による数十メートルに及ぶ地盤の隆起や、多数の噴石が周辺の施設に被害を与えたほか、洞爺湖温泉街に向けて泥流が発生¹⁾した。噴火開始直後の4月3日、有珠山西山の噴火口から半径5km(図-1)にNOTAM(航空情報)が発行され、航空機の飛行に影響が及ぶ範囲が公開された。このため、降灰の調査、地形の変状や泥流による被災状況の把握は、ヘリコプターに搭乗した技術者、学識経験者がこの範囲の外から行った。ヘリコプターのエンジンはタービン型が多く、吸気に火山灰対策を行っていないと、エンジン停止の可能性⁴⁾があるとされるため、今後の噴火事象の調査は、無人航空機によって行う事が様々な点で有効になると考えられる。ここでは、最新型のVTOL固定翼機を用いた場合の飛行コースの設定方法、結果、今後の課題について報告する。

2. 目的

近年、無人航空機の性能が飛躍的に向上している。特に固定翼型は長距離・長時間飛行が可能になってきており、LTE通信機器を搭載した場合、LTE圏内であれば長距離飛行を実現できる。平成25年5月の土砂災害防止法の

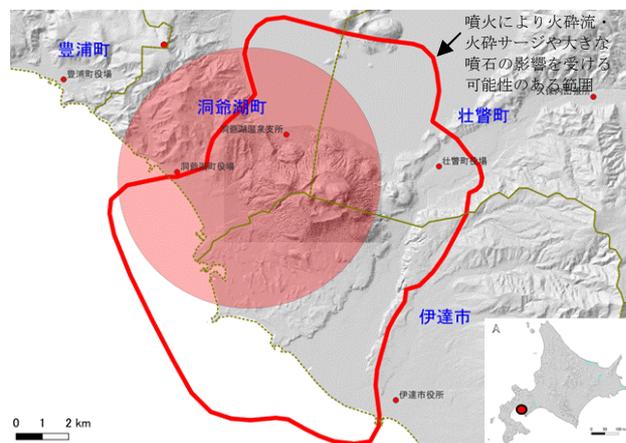


図-1 有珠山位置図(赤太線範囲は気象庁の公開情報²⁾をトレース、円形部は2000年噴火後の4月3日に設定されたNOTAMの範囲³⁾)

一部改正により、火山が噴火し、広域に降灰がもたらされ、大規模な災害発生の恐れがある場合、国土交通省は緊急調査を実施し、降灰厚の分布を把握する事になっている。しかしながら、火山灰は呼吸器や眼球に深刻な悪影響を及ぼす可能性があることと、山麓まで広範囲にわたる区域では火砕流などの危険性もあるため、火口が特定できない場合は、人間による調査は危険性が高く、今後は無人航空機による調査の重要性が高まると考えられる。ここでは、LTE通信モジュールを搭載したVTOL固定翼機を用い、離発着場所から有珠山の入江川上流部を周回して戻る、往復約20kmに及ぶ長距離飛行の可能性を検証するため、試験飛行を計画した。試験飛行に先立っては、北海道庁、有珠山周辺自治体、森林管理署、環境省などへの了解を求めたほか、航空局申請も行ったうえで試験飛行に臨んだ。

表-1 使用した機材

使用した機材	仕様
Qu-Kai Fusion 2.4 メーカー：(株)空解	全長：1475mm 全幅：2400mm 重量：3.3kg (バッテリー無) 最大積載重量：2.5kg 最大航続距離：120km 最大航続時間：120分 最高速度：120km/h 最低速度：30km/h、6倍ズームジンバル可視カメラ 追加装備；LTE通信モジュール、RTK_GNSS、IMU

3. 手法

表-1に今回使用したVTOL固定翼機の仕様を示した。Qu-Kai FUSION 2.4 (図-2)は、主翼の前後に計4つの回転翼、機体後方に推進専用のプロペラを有しているほか、機体前方下部にジンバル付きの高倍率ズームカメラを有している。本機体は、最大航続距離が120km、最大航続時間が120分と飛行性能が優れており、垂直離発着が可能のため、滑走路が不要である。図-1に示したように、今後の噴火でも同様のNOTAM (航空情報)の発行が想定される。このため、噴火時の調査を考慮すると、無人航空機の離発着場所としては有珠山を望める比較的近傍で、火砕流の到達範囲からも離れ、降灰リスクの少ない場所を選定する必要がある。以上を考慮し、比較的標高が高く(約600m)、有珠山北西方向に位置する宿泊施設の駐車場を選定し、許可を頂いたうえで離発着場として利用した。飛行コースは、NTTdocomoが公開しているLTE回線の通信圏(図-3)を参考とし、図に示す青点線のコースを設定した。飛行の目的地としたのは、有珠山外輪山から流出する河川で、1977年噴火後に泥流の発生が確認されている入江川の上流端とした。

図-4は、離陸地点から入江川上流に達し、その後着陸するまでの無人航空機の飛行する標高、地盤標高、対地



図-2 Qu-kai FUSION2.4 (11/13 飛行前)

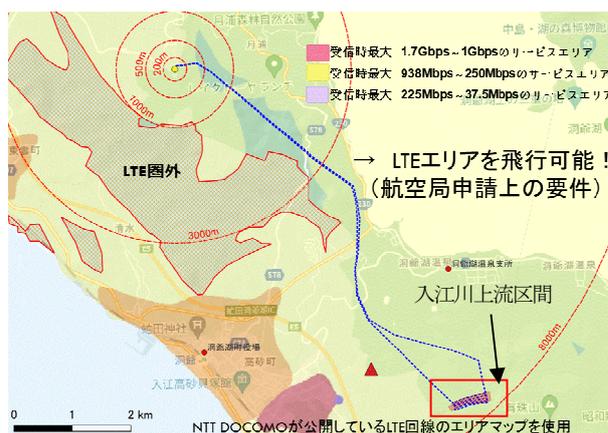


図-3 LTE通信圏と設定した飛行コース

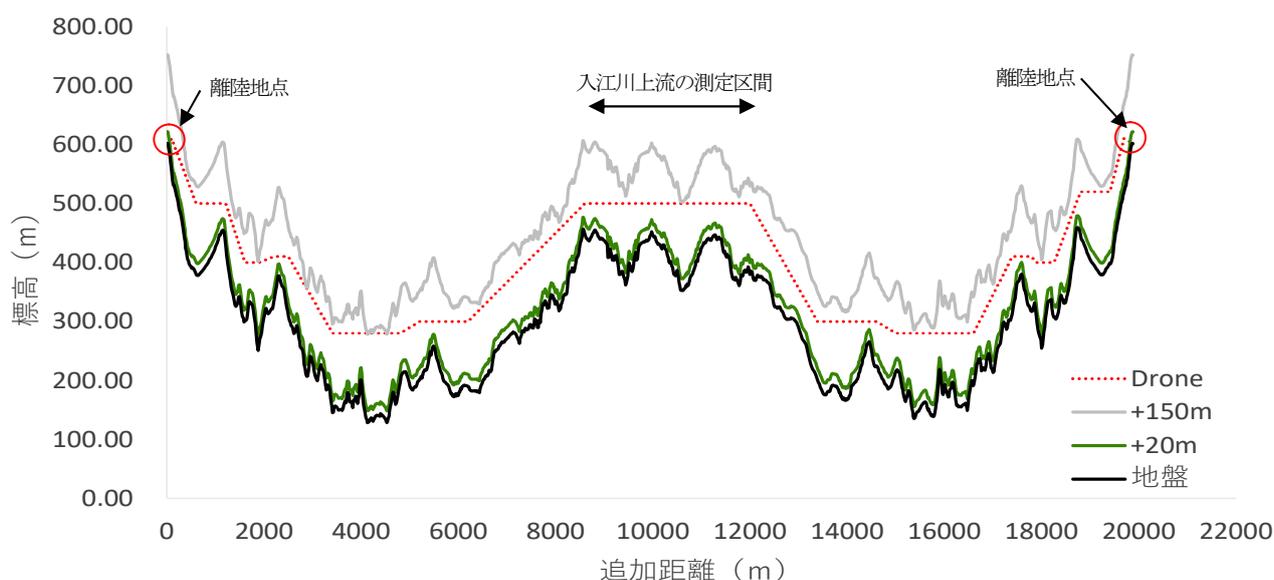


図-4 無人航空機の飛行高度解析結果例

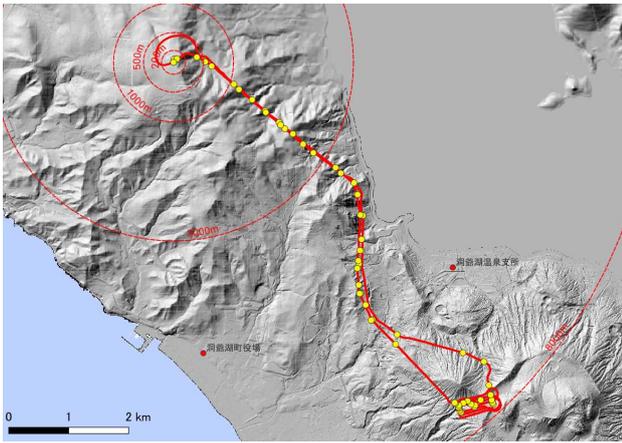


図-5 ウェイポイント通過状況

高度150m、植生を想定した対地+20m標高ラインを表示したものである。高低差のある地形で飛行コースを検討する場合、こうした基礎検討が必要となると考えられるため、多少専門的になるが、以下にQGISでの作業の概要を述べる。まずQGISに飛行エリア周辺の詳細なDEMを読み込む。飛行コースのshpファイルを作成し、QGISプラグインのQChainageで、飛行コースに沿う10mピッチの点を求める。これらの点には緯度、経度、飛行高度のフィールドがないため、属性テーブルを追加する。さらに属性テーブルのフィールド計算機能で、個々の点の緯度、経度を求め、フィールドに追加する。このままでは点のデータが膨大になるため、飛行コースの変曲点や標高変化点のウェイポイントのみにデータを編集し、ポイントごとの飛行高度を図-4で求めた飛行高度を参照しながらフィールドに追加する。以上でウェイポイントのデータが完成するので、csv形式など、使用方法に応じてデータを書き出す。近年の無人航空機はウェイポイントを読み込ませることで、飛行コースを自動設定する機能を利用できる場合があるため、こうしたウェイポイントの作成手順を概略的に把握しておく必要があると考える。図-5は今回設定したウェイポイント（黄色）と、実際に飛行した経路を示した。

4. 結果

(1) 飛行に要した時間

筆者らは令和5年11月13日に試験飛行を行った。図-6は撮影結果の一部である。往復に要した時間は入江川上流端での往復飛行を含め、約20分であった。有珠山火口原までは、離陸後、約6分で到着している。途中、LTE回線の途絶もなく、概ね良好な通信環境であったことが把握された。今回の飛行では、バッテリー2本搭載可能なところ、1本での飛行を行い、帰還後のバッテリー容量は46%の残であった。

飛行は20分であったが、関係機関との調整、説明に数



図-6 飛行状況

か月以上を要しており、事前の調整が非常に重要であるといえる。

今回、有珠山火口原の入江川上流区間を飛行したが、谷部の飛行であったため、コースの設定には注意を要した。つまり、VTOL固定翼機は飛行中は固定翼として飛行するため、ウェイポイントの間隔が狭いと、大きく回り込む場合がある。図-7は今回の飛行における入江川上流域の飛行コースである。図に示すように、ウェイポイントの周りを旋回して、測定区域を往復している様子が見てとれる。この様な測定区域では、山腹斜面に衝突しないよう、あらかじめ、100m程度バッファをとって、

飛行コースを設定しておく必要がある。

5. 今後の課題

今回の飛行は、往復飛行が可能かを検証することが目的であった。今後は、以下4項目の検討を行っていく必要があるものとする。

- ① 噴火に伴う降灰は、少量の降雨であっても土石流発生リスクを増加させるため、降灰範囲を広域に把握する必要が生じる。しかしながら、火山灰は人体に有害なため、例えば無人航空機による航空レーザー測量（以下LPと呼ぶ）や写真測量による方法が有効である。しかしながら、LPや写真測量は点群処理に時間を要する場合があるため、速報的には降灰マーカー、降灰ゲージなどを、無人航空機で巡回して把握するなどの方法も平行して検討しておく必要がある。
- ② 今回の飛行では、LTE回線を利用したため、対地高度150m（未満）制限があった。噴火時、対地高度150m未満での飛行では、降灰や噴石の影響を受けるため、安全に飛行できない可能性がある。このため、有珠山噴火時を想定すると、有珠山山頂を超える、標高800mでの飛行や、さらに降灰範囲の拡大を想定し、さらに遠方から離発着する様なケースも検討する必要がある。
- ③ LTE基地局は、噴火により被災する可能性もある。このため、無人航空機に搭載可能な長距離無線やインマルサット衛星通信も検討しておく必要がある。
- ④ VTOL固定翼機は多少の物資も搭載できるため、例えば孤立した避難所に食料や衛星携帯を届ける、飛行禁止空域の噴火状況をリアルタイムに配信するなど、地元自治体による防災訓練のメニューも組み込んでいく必要がある。

6. 考察および課題

近年、無人航空機の性能進化が急速に進んでいる。国内メーカーが開発した固定翼型の無人航空機は2022年に静岡県から西之島までの往復2,100kmの飛行に成功⁵⁾している。今回使用したQu-Kai Fusion2.4の上位機種である、MEGA Fusion 3.5は、最大航続距離が400kmに及ぶなど、固定翼型の無人航空機は急速に性能が向上している。北海道は本州の数県分に相当する広さがあり、活火山の噴火、洪水氾濫、土砂災害、地震や津波などの自然災害リスクもあるため、長距離飛行が可能な無人航空機を活

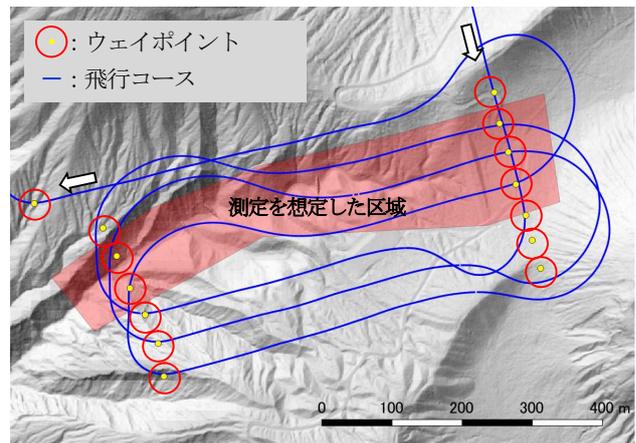


図-7 入江川上流での飛行状況

用した調査技術の確立は、迅速な状況把握、対策を考えるうえで重要性が高い。また、こうした技術は災害だけでなく、森林資源、ブルーカーボン、野生生物調査、河川・道路など公共施設の点検などにも応用が可能であるため、平時の活用も視野に入れた検討も重要となる。今後、長距離飛行可能な無人航空機の利活用については、国内メーカー、大学、行政、研究機関、通信各社、測量・コンサルタントなど多方面にわたる関係者の意見を統合しながら、機材の性能向上を図るためのヒントを共有するような枠組みも必要になると考えられる。

7. 謝辞

本研究の実施に当たって、(株)ネクシス光洋、(株)空解には、試験飛行実施のための航空局申請、資機材提供、試験飛行当日の運営等、多大なるご協力を頂いた、ここに記して謝意を表す。本研究は広域複合災害研究センターと北海道開発局の連携協定（R2.10.2）に基づくほか、砂防学会公募研究会の支援を受けて実施したものである。

8. 参考文献

- 1) 廣瀬亘・田近淳: 2000年有珠火山の噴火とその被害, 応用地質, 41, 150-154.
- 2) 有珠山の噴火警戒レベル: 気象庁, https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/level/PDF/level_112.pdf [2023/12/26確認]
- 3) 有珠山噴火災害教訓情報資料集の報告書ダウンロード: 内閣府, <https://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/usuzan/pdf/uzn0302.pdf> [2023/12/26確認]
- 4) 安海高明ほか: 火山噴火時のヘリコプター調査における留意事項について, 2020年度砂防学会研究発表会概要集, 2020.5., <https://jsece.or.jp/event/conf/abstract/2020/pdf/314.pdf> [2023/12/26確認]
- 5) フジ・インバック株式会社: <http://www.fuji-innvac.jp/> [2023/12/28確認]