

VTOL固定翼ドローン等に搭載したレーザー測量機器による火山噴火等の広域災害調査時の課題について

札幌開発建設部 河川整備保全課 ○村上 泰啓
北海道大学広域複合災害研究センター 山田 孝
株式会社ネクシス光洋 寺林 修

有珠山の次回噴火が懸念される中、筆者らはレーザー測量機器を搭載したVTOL固定翼ドローン等で有珠山火口や入江川周辺の微地形調査を実施した。その結果、過去のレーザー測量結果と比較して、十分な精度で微地形計測が可能であることが確認された。また、今後の課題として、噴火を想定した高高度からの地形計測や、洪水・津波・地震などの広域災害時におけるLTE地上局の代替となる通信方式について整理を行った。

キーワード：VTOL固定翼ドローン、有珠山、航空レーザー、広域災害

1. はじめに

北海道には、現在、北方領土の11火山を除いて20の活火山があるとされ、過去の噴火により堆積した火山灰の分布が北海道火山灰命名委員会が1972年に刊行した図版¹⁾により公開されている。図-1は、1972年に刊行された火山灰分布図をトレースし、GISデータ化した結果を北海道周辺の地形図に表示したものである。これらの火山灰(以後、テフラと記載)は後期更新世(約12.6万年前)から現在に至る火山噴火でもたらされたものであり、次の噴火で必ずしも同様の規模になるとはいえないが、一旦火山噴火が起きれば、広域にテフラがもたらされる可能性があるといえる。

テフラの降下に伴い、発電機能、送電機能、交通(道路通行、JR、航空機)への支障が想定³⁾されており、噴火が収束、ライフラインが復旧するまでの長期間、社会への影響は避けられないと考えられる。また、火山噴火中はNOTAM(航空情報)が発行され、指定された範囲には有人の航空機は侵入できなくなるため、噴火中の火山周辺の調査は困難になることが想定される。また、降灰後の降雨により、小雨でも土石流リスクが高くなるとされており、降灰範囲、降灰厚の迅速な把握は極めて重要であるといえる。

2. 背景・目的

図-2は、有珠山の1910年、1977年、2000年噴火における主な噴火口を図にプロットしたものである。図中の

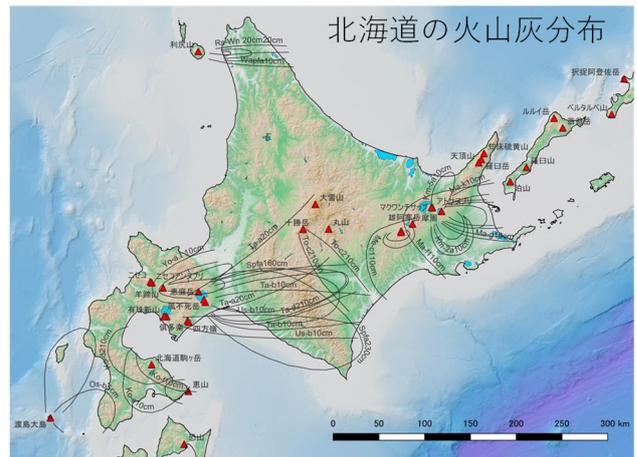


図-1 北海道の火山灰(テフラ)分布
(地形データはGEBCO²⁾を使用し、QGISで描画)

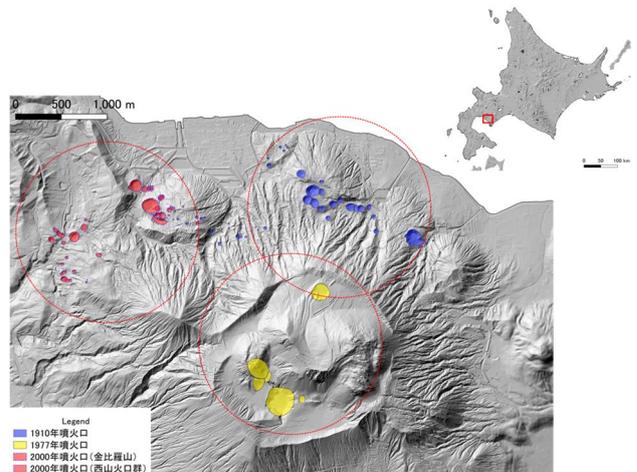


図-2 有珠山周辺の火口分布^{4) 5)}



図-3 使用した無人航空機2機種（上段がVTOL固定翼型、下段がマルチコプター型であり、双方機体下部にLiDAR装着済）

円で示しているように、各年次の火口は概ね半径1 km 以内の領域に集中しているように見受けられる。このため、次回噴火でも、1度のフライトで火口を含む流域を観測できれば、観測区域内のインフラ、建築物の被災状況、噴火口の消長、地盤の変動、泥流の発生、火砕流、噴石、火山灰の堆積状況、熱活動の状況など、詳細な情報の入手が容易になる。こうした情報を行政、学術、報道に提供することで、様々な支援や復旧対策の立案に役立つことが期待される。このため、今後は長距離・長時間飛行可能な無人航空機に微地形計測が可能な機材を搭載することが重要となると考えられる。

3. 方法

2023年11月13日、図-3上段に示したVTOL固定翼無人航空機を用い、2000年噴火で形成された火口群周辺の微地形調査を行った。また、性能の比較のため、図-3下段のマルチコプター型無人航空機によっても、部分的に計測を行った。表-1に使用した無人航空機及び搭載したLiDARの性能を示した。

VTOL固定翼型無人航空機は、約75.6km/hで飛行し、図-4に示す青線で囲まれた領域を約21分で計測した。一方、マルチコプター型無人航空機は、図中の赤枠で囲まれた領域を約30分で計測した。無人航空機の形式の違いによることで計測時間に大きな差が出ることはやむを得ないが、圧倒的にVTOL固定翼型の機体による計測速度が勝っているといえる。この両機体による1km²あたりの計測時間を実際の飛行時間から算出し、表-2に示した。VTOL固定翼型無人航空機は飛行速度が75.6km/hとマルチコプター型よりも高速で飛行可能なこともあるが、1m²

表-1 使用した機体及びLiDARの性能概要

無人航空機名称	Qu-Kai MEGA Fusion 3.5	SkyMapperMKII
メーカー	株式会社空解	TPホールディングス
飛行時間（ペイロードなし）	120分	45分
飛行距離	120km	—
適用限界高度	3,000m	2,000m
通信方式	無線/LTE	無線/LTE
使用環境	-5 ~ +40°C	0 ~ 40°C
	+	+
LiDAR 名称/メーカー	VUX120-23 / RIEGLE	LiAIR V70 / GreenValley International
測距可能对地高度	最大 720m	最大 320m
スキャンレート	最大 200 万点/秒	最大 24 万点/秒
スキャン速度	最大 400line/秒	—
スキャン角	100°	70.4°
レーザー波長	近赤外	905nm

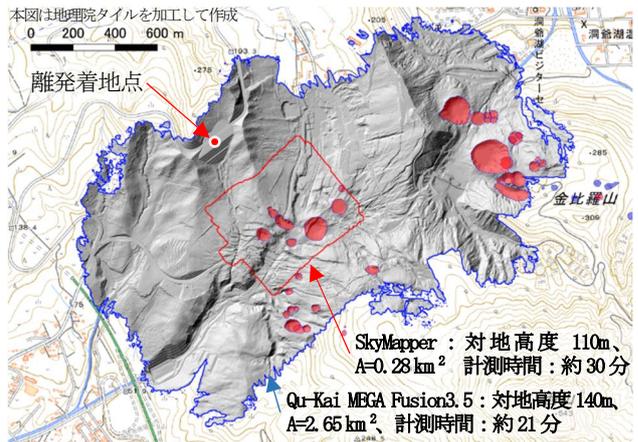


図-4 無人航空機2機種による計測エリア

表-2 無人航空機+LiDARの計測性能比較

無人航空機+LiDAR	Qu-Kai MEGA Fusion + VUX120-23	SkyMapperMK2 + LiAIR V70
1km ² あたりの計測時間（離発着込み）	約8分	約108分（※）
1m ² あたり点群密度（今回）	約150点/m ²	約150点/m ²

※換算値であり、実際にはバッテリー交換などでさらに時間を要する点に留意。

あたりの点群密度がほぼ同等であることから、マルチコプター型の無人航空機の実に約13分の1の時間で地形計測が可能であることが把握された。また、スキャン角も100度と広いため、同じ飛行高度であってもより広いエリアの地形情報を収集できる可能性がある。このため、火山噴火などで広域に火口発生状況、地盤の変動状況、インフラの被災状況などを迅速に把握する場合はVTOL固

定翼型の無人航空機を採用するメリットは極めて高いと考えられる。

4. 2種のDEMの比較結果

今回の計測で、2種のLiDARにより共通領域のDEMを作成できたため、参考まで、2種のDEMの比較を行ってみた。理想的には両者のDEMはほぼ一致するはずだが、実際にどの程度の差が生じるかを検証することが目的である。

まず、マルチコプター型無人航空機が計測した領域の、さらに飛行コースの内側を図-5に示す矩形の領域で示した。この矩形の領域の外側はラップ率が低くなるため、DEMの精度が高くない可能性があるため、DEMの比較には用いていない。この矩形の領域の2種のDEMをQGIS上で差し引き、図中に打った5m間隔の点6,561箇所（約300m×500mの矩形範囲）でサンプリングし、エクセルで統計解析を行った。図-6のヒストグラムに示すように、2つのDEMの差分値は0付近を頻度の頂上とした尖った釣鐘状の分布を示した。平均値、最頻値、中央値はいずれも0に近く、一見すると正規分布のように見えるが、エクセルの統計処理機能で求めた統計値によれば、尖度が11程度、しかも歪度が-1.04あることから、分布の右側に大きな外れ値があり、左側の裾野が広い事が示唆される結果となった。実際、図示された範囲から離れた+4.65mの外れ値があることが確認されている。図には比較のため、正規分布曲線も併せて記入してある。DEMの差分値の分布が、正規分布よりも中心に集中していることがわかる。一方、本分布で求められた標準偏差 σ を0.23と基準化し、 $\pm\sigma$ の範囲の頻度を集計すると、5,329個のデータが含まれ、総数6,561個の81.2%が含まれる結果となった。正規分布の $\pm\sigma$ では約68%であるため、正規分布よりも高い率で平均値周辺に差分値が分布しているといえる。

以上から、2つのLiDARで計測した地形は概ね近似しているが、スキャン性能の誤差、GPSやIMUの誤差、ソフトウェアの誤差などが加わるため、ここで示すような程度の誤差を含むことはやむを得ないと考えられる。しかしながら、有珠山の2000年噴火のケースで多数の火口が出現し、数十mも地盤が上昇したようなケースでは、ここで用いたLiDARで地表の変動を捉えることは十分可能であると考えられる。

5. 広域複合災害時の通信環境について

図-7はdocomoが公開している北海道内のLTE回線の通信エリアの分布である。水色、黄色、オレンジ、赤色で着色されている領域はLTE回線の圏内であるが、山岳

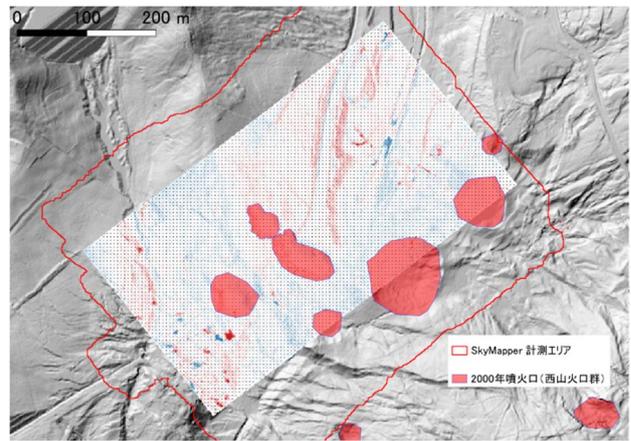


図-5 DEMの比較エリア

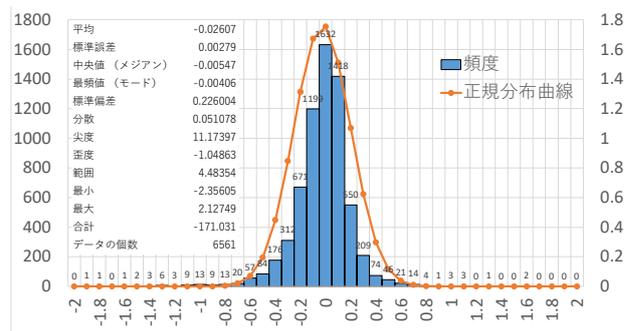


図-6 DEM差分値の頻度分布

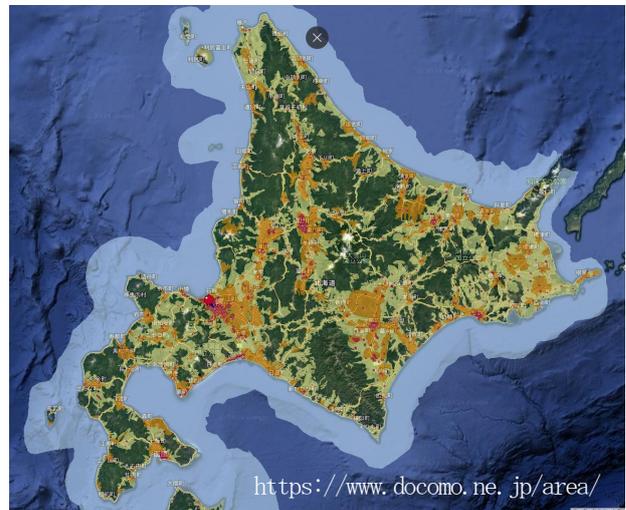


図-7 北海道周辺のLTE通信エリア

域や非居住エリアではLTE圏外になっている領域が多く分布していることが見て取れる。このため、LTE圏外での火山噴火に伴う調査や、地震や津波により広域にLTE基地局が被災した場合の被災地調査の場合、前述したVTOL固定翼無人航空機でも、常時飛行状況を把握しながらの飛行が困難になることが想定される。

表-3に示すように、現在、国内通信大手各社が、高度数百kmを周回する低軌道の人工衛星 (LEO) や成層圏プラットフォーム (HAPS) によるLTE局の運用を目指

している。これまでもインマルサット衛星を介した通信で固定翼無人航空機を飛行させた事例もあるが、インマルサットは高度約36,000kmの静止衛星であり、通信には0.5秒ほどの遅延があるとされる。一方、LEOは軌道の高さが数百キロ程度で、HAPSに至って20km程度の高度を飛行するため、通信は、ほぼリアルタイムで可能になることが期待されている。これらの通信方式が利用可能になれば、地上基地局だけでなく、上空からのLTE通信も利用可能になるため、LTE圏外の山岳域や離島、災害で地上LTE局が被災した場合でも通信が継続できる。このため、ここで紹介したLTE通信可能なVTOL固定翼機を活用することで広域に被災地調査を行うことが容易になるものと考えられる。

6. 今後の検討課題

VTOL固定翼無人航空機は比較的高速で飛行するため、飛行経路を検討する際には、経路上の橋梁、高压電線、送電塔、風力タービン、工場の煙突などの高度を十分考慮する必要がある。また、VTOL固定翼無人航空機は飛行中、固定翼として飛行するため、経路上に設計した通過点（ウェイポイント）の配置によっては、大きく旋回して飛行する場合があるほか、上昇率が大きすぎると失速する可能性もある。このため、特に山岳域での飛行を検討する場合は、通信環境だけでなく旋回時の山腹への衝突や上昇中の失速の可能性、低温によるバッテリー容量の低下なども十分考慮し、試験飛行を行うなどして、飛行計画の確実性を確認しておく必要がある。

したがって、今後は以下の点を検討する必要がある。

- ① 道内火山、例えば十勝岳の62-2火口は標高1,700m程度にあるため、噴火警戒レベル上昇時の火口周辺の噴出物の調査を想定すると、標高2,000m程度まで上昇する様な飛行ルートの検討および飛行試験の実施。
- ② 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震による道東方面の津波災害を想定し、沿岸域の往復100km程度の試験飛行の実施。
- ③ 自治体の防災訓練等で長距離飛行可能なVTOL固定翼無人航空機を活用した情報収集や避難所への薬品の運搬など、災害に対応したメニューへの参加を通じ、こうした機材による運用メリットの市民、関係機関への周知。

7. おわりに

令和6年10月1日、2日の両日、札幌コンベンションセ

表-3 主要携帯電話キャリアのNIN[※]対応状況

携帯電話会社	方式/実施主体	携帯端末と直接通信	テキスト通信開始年	データ通信開始年
docomo	HAPS ^{※※}	○	2026	2026
KDDI	LEO ^{※※※} /SPACE X	○	2024	2025
SoftBank	HAPS, LEO/OneWeb	×	未定	未定
楽天	LEO/AST Space Mobile	○	2026	2026

※)NIN(non terrestrial network)非地上系ネットワーク

※※)HAPS(High Altitude Platform Station)

※※※)LEO(Low Earth Orbit)

ンターで開催されたドローンサミットに参加した際、ガソリンエンジンで駆動し、6時間飛行可能なマルチコプター無人航空機（アラセ・アイザワ・アエロスパシアル合同会社製）が展示されるなど、国内の無人航空機の技術開発も急速に進んでいると言える。また、新たな通信方式も見据え、有事の際にどのように無人航空機を活用するかについて、広域複合災害が増加している昨今、産官学の協働が今後ますます重要になると考えられる。

謝辞：有珠山の詳細地形図作成にあたり、室蘭開発建設部が実施した2009年度の航空レーザー計測結果の一部を利用させて頂いた。ここに深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 北海道の火山灰分布図：北海道火山灰命名委員会（1972、1979）、北海石版所
- 2) GEBCO Compilation Group (2023) GEBCO 2023 Grid (doi:10.5285/f98b053b-0cbc-6c23-e053-6c86abc0af7b), <https://www.gebc.co.net/>, (令和6年12月27日確認)
- 3) 大規模噴火時の広域降灰対策について：中央防災会議 防災対策実行会議, R2.4, <https://www.bousai.go.jp/kazan/kouikikouhaiworking/pdf/syutohonbun.pdf> (2024/12/27 確認)
- 4) 火山研究解説集：有珠火山, 産業技術総合研究所, https://gbank.gs.j. jp/volcano/Act_Vol/usu/vr/index.html (2024/12/27 確認)
- 5) 1977年有珠山噴火の推移と噴出物：北海道大学理学部地質学鉱物学教室, 火山噴火予知連会報 11, pp29-37, 1978. (2024/12/27 確認)