

次期有珠山噴火に向けたVTOL型固定翼UAVによるレベル3.5目視外飛行の実証試験

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

次期有珠山噴火に備え、VTOL型固定翼UAVによる目視外長距離飛行を実施し、泥流・土石流リスク評価に向けた高精度地形計測を行った。機体にLiDARと熱赤外・可視光カメラを搭載し、ザ・ウィンザーホテル洞爺リゾート&スパ駐車場を起点に有珠山・昭和新山の周辺約30kmを周回飛行した調査結果を報告する。

キーワード：VTOL型固定翼UAV、火山噴火、LiDAR、有珠山

1. はじめに

有珠山は北海道南西部に位置する活火山であり（図-1）、歴史的に繰り返し噴火を起こしてきた。過去の記録によれば、噴火は概ね数十年周期で発生しており、直近の噴火からすでに25年が経過している。このため、次回噴火に備えた防災・減災対策の重要性が高まっている。2000年の噴火時には、航空機の安全確保のため広範囲にわたるNOTAM（航空情報）が発出され、有人航空機による上空調査は困難を極めた。このような状況を踏まえ、次回噴火時には有人機に依存しない調査手法の確立も求められる。

本研究では、VTOL型固定翼UAVを用いた広域自動飛行による地形計測手法を検討し、有珠山周辺で実証飛行を行った結果を報告する。特に、長距離・長時間飛行が可能なVTOL型UAVにLiDARを搭載し、噴火後の土砂災害リスク評価に資する高精度地形データの取得を目指した。

2. 有珠山噴火について

有珠山は約1万9千年前に安山岩質の爆発的噴火を起こし、火山活動を開始したとされる¹⁾。その後、約8千年前には山体南部が崩壊し、善光寺岩屑なだれと呼ばれる噴火湾に達する大規模な山体崩壊が発生した²⁾。さらに約1万6千年前にも成層火山の急成長後にセクター崩壊が確認されている¹⁾。

有史時代では、1663年の寛文噴火を皮切りに、1769年、1822年、1853年、1910年、1943～45年、1977～78年、2000年に噴火を記録している³⁾。特に1822年には火砕流で100名以上が犠牲となり、1943～45年には昭和新山が形成さ

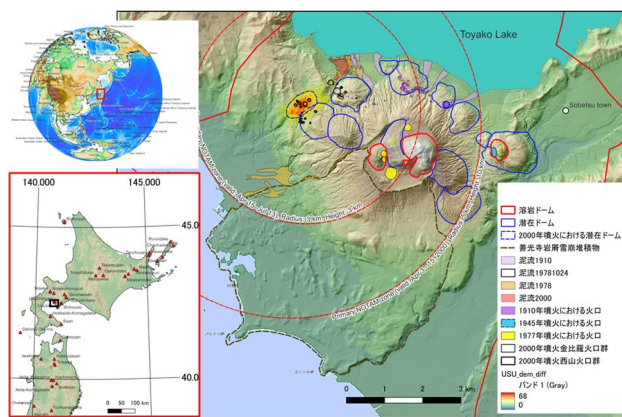


図-1 有珠山位置及び過去の火口等分布

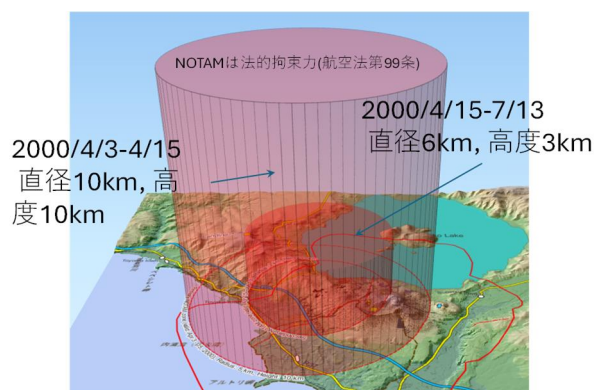


図-2 2000年噴火時のNOTAM

れた⁴⁾。1977～78年の噴火では噴煙柱が12kmに達し、2000年には西山・金毘羅山付近で水蒸気・マグマ混合型噴火が発生し、最大60mの潜在ドーム隆起が確認された⁴⁾。

近年の研究では、17世紀末に年代不詳の噴火（先明和噴火）が存在した可能性も指摘されており、有珠山は噴火に伴い潜在・溶岩ドーム生成を繰り返す特徴的な活動史を持つとされる⁴⁾。

3. 調査位置

2000年噴火時には、図－2に示す範囲で2段階に分けてNOTAMが発行された。図は参考資料⁵⁾⁶⁾を基にQGISで3Dモデル化したものである。最初のNOTAMは4月3日～4月15日の期間、西山火口群を中心とする直径10km、高度10kmの円筒形領域であり、続く4月15日～7月13日の期間、直径6km、高度3kmの円筒形領域が設定された。NOTAMは航空法第99条に基づく法的拘束力を持ち、航空機運行者は遵守義務があるとされる。

次回噴火時に同様のNOTAMが発行されると仮定すると、調査者は火口から半径5km以上離れた位置からの調査を余儀なくされる。このため、NOTAMエリア内部ではUAVを用いた調査が不可欠となることは想像に難くない。しかし、日本国内では、一般的なマルチコプター型UAVの飛行距離は最大でも数km程度であるため、調査範囲は限定的となる可能性が高い。

筆者らは2023年11月に軽量タイプのVTOL型固定翼UAVを用い、有珠山噴火を想定した往復約20kmの飛行を実施した。この時は長距離飛行時の画像収集や通信状況の確認が目的であり、ペイロードの制限もあったためLiDARによる微地形調査は行っていない。今回、LiDARを搭載可能な大型機体(写真－1)を用い、詳細な地形計測を目標とした飛行を計画した。離発着場所は2023年と同じ



写真－1 VTOL型固定翼UAV

ザ・ウィンザーホテル洞爺リゾート&スパの駐車場である。

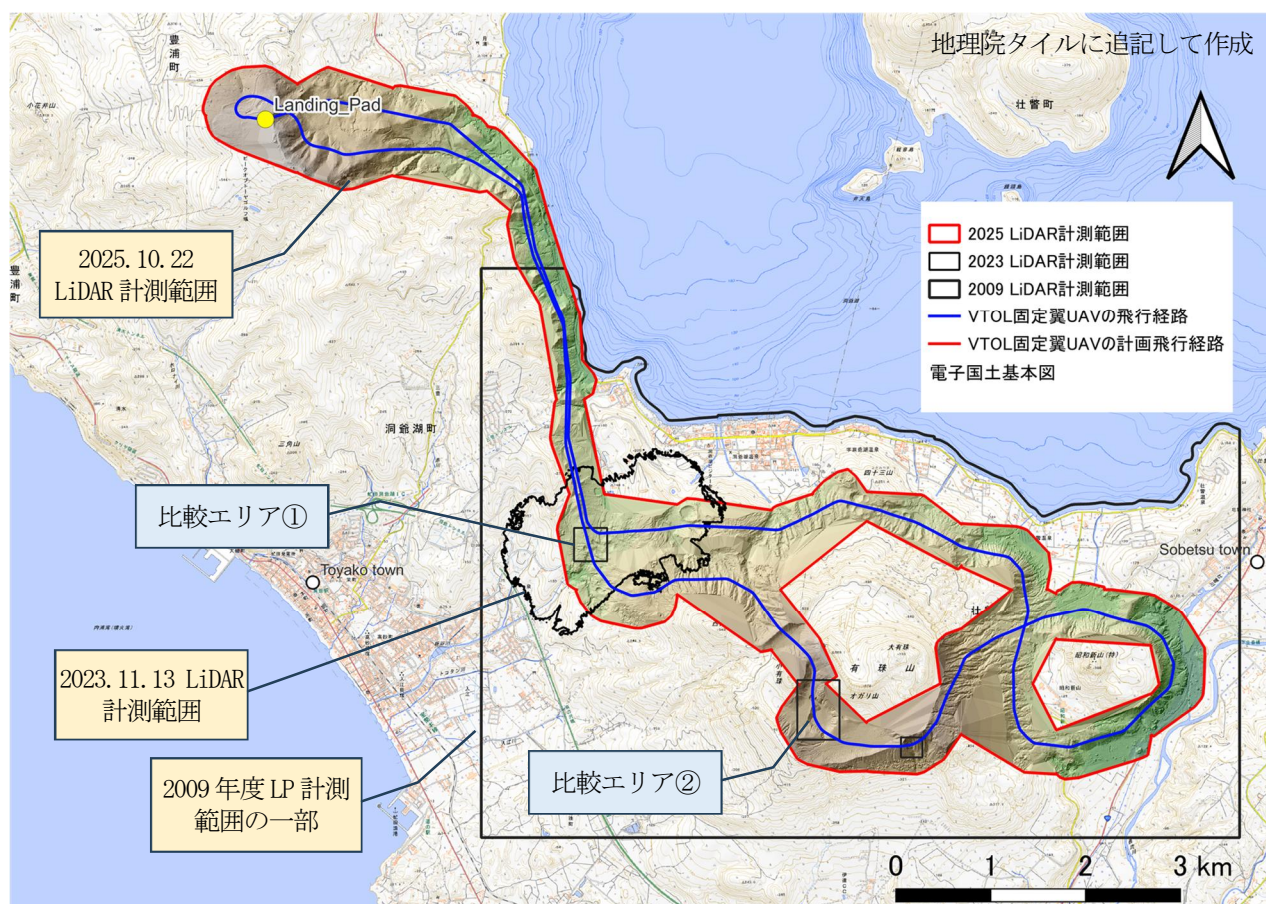
4. 飛行コース及び飛行時間

図－3は計画飛行コース(赤線)と実際の飛行コース(青線)を示す。離陸地点(Landing Pad)は標高約600mのホテル駐車場である。離陸地点周囲で計画コースを外れたように見える航路があるが、これは当日の風向を考慮して航路を修正したためである。

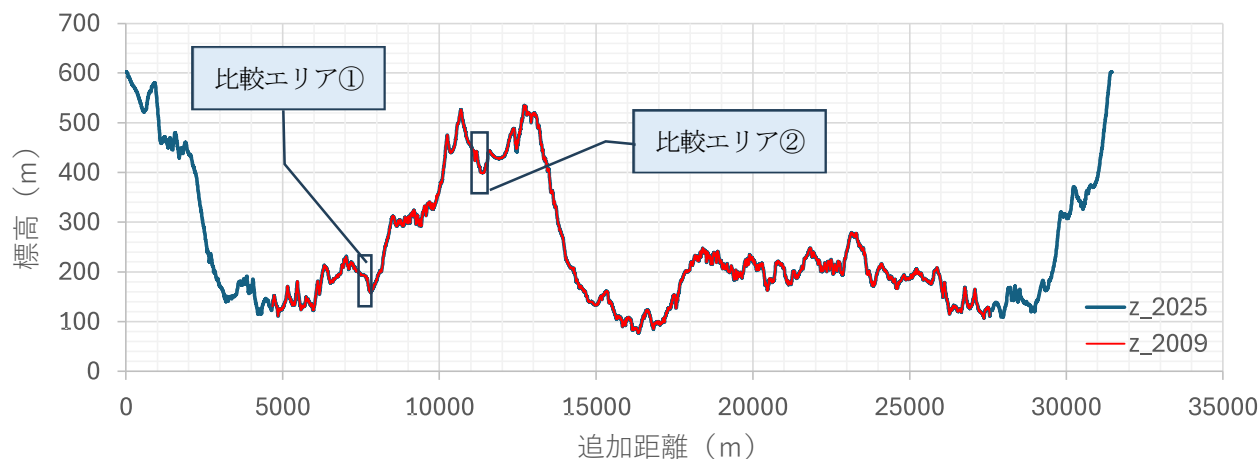
機体は2000年の西山火口群上空を通過し、外輪山内の1977年噴火口(銀沼)、有珠山ロープウェイ、昭和南山、1910年噴火口を順に通過し、離陸地点に戻る約30kmのコースを約20分で飛行した。対地高度は150mとし、LiDAR



図－3 有珠山周辺におけるVTOL型固定翼UAVの飛行コース



図ー４ 今回のLiDAR計測で得られた地形及び過去の計測エリア



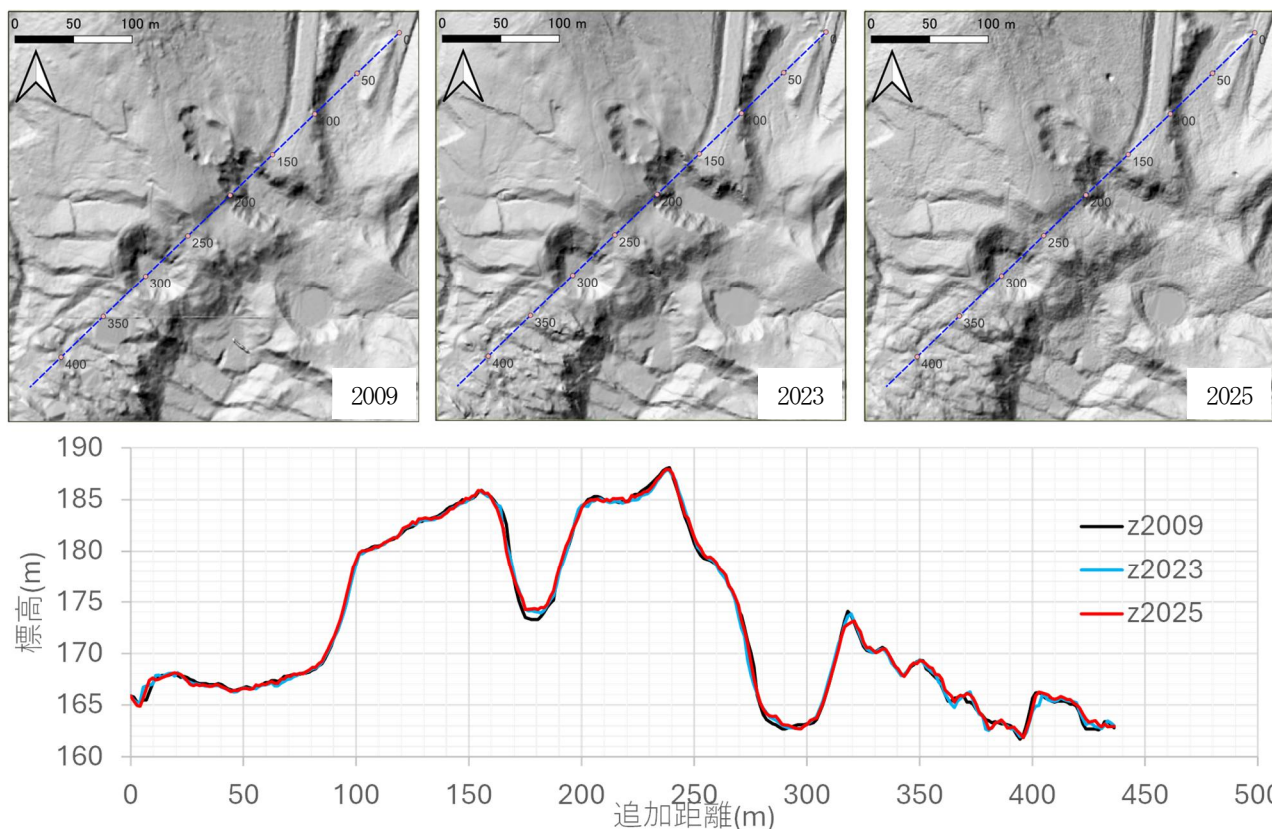
図ー５ 今回の飛行コースで直下で比較した2009年と今回計測された標高の比較

による地形計測を実施した。

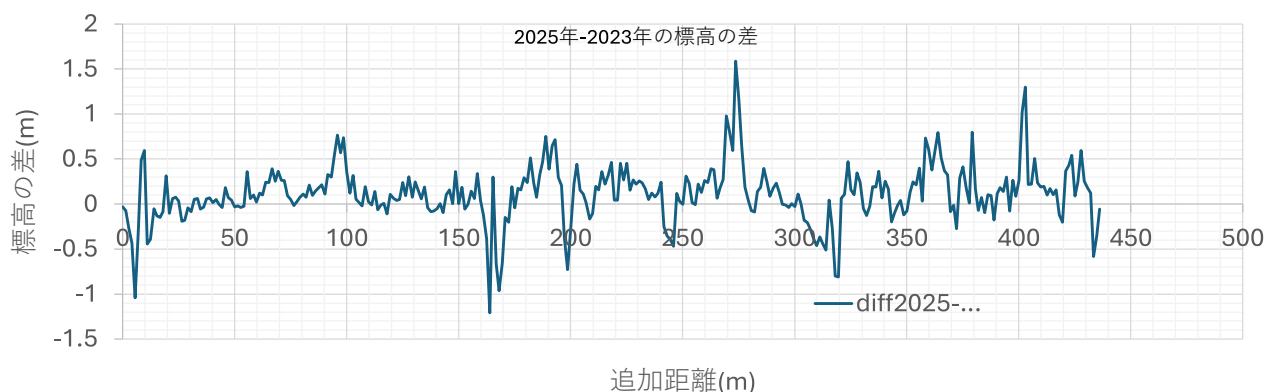
5. 結果

図ー４は、今回のLiDAR測量範囲及び得られた地形、2009年のLiDAR測量範囲、2023年のドローンLiDAR測量範囲を示している。この図より、2009年、2023年の測量で

得られた地形を用いる事で、今回得られた地形と比較が可能なエリアがあることがわかる。まず、飛行コース直下での経年的な標高の差の有無についての比較を図ー５に示した。図の折れ線は左端の離陸地点から、右端の着陸地点までの一連の地形の標高を示している。図では2009年に計測された地形と今回の地形を比較しているが、概ね合致していることが読み取れる。次に、図ー４、図ー５に示した比較エリア①について、図ー６上段に2009年、2023年、2025年（今回）のLiDAR計測範囲の地形図



図－6 比較エリア①の3カ年分の地形比較及び測線直下の標高比較

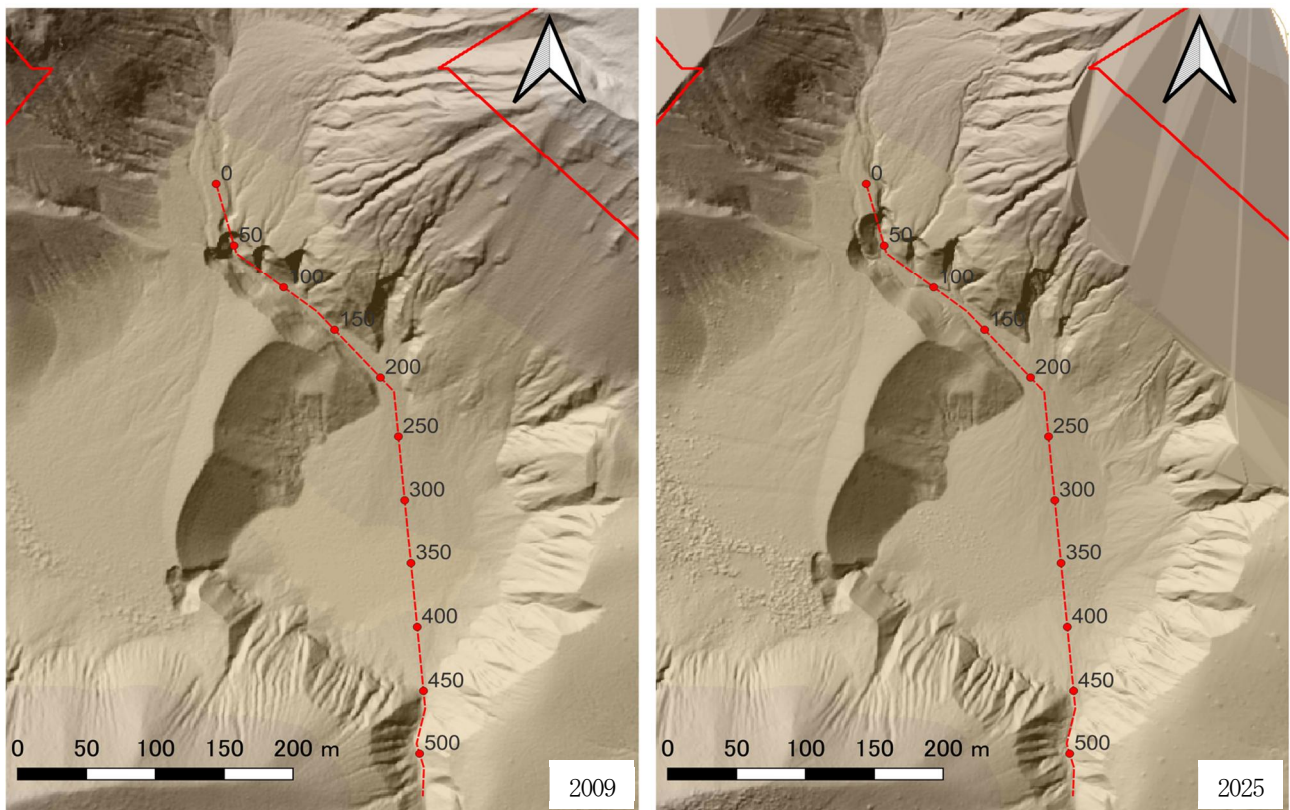


図－7 比較エリア①の2023と2025年の標高差

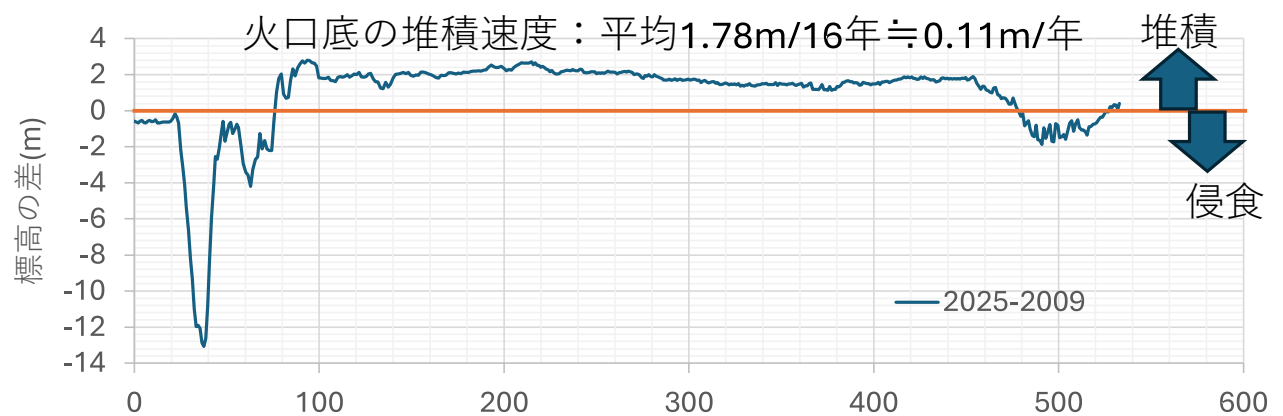
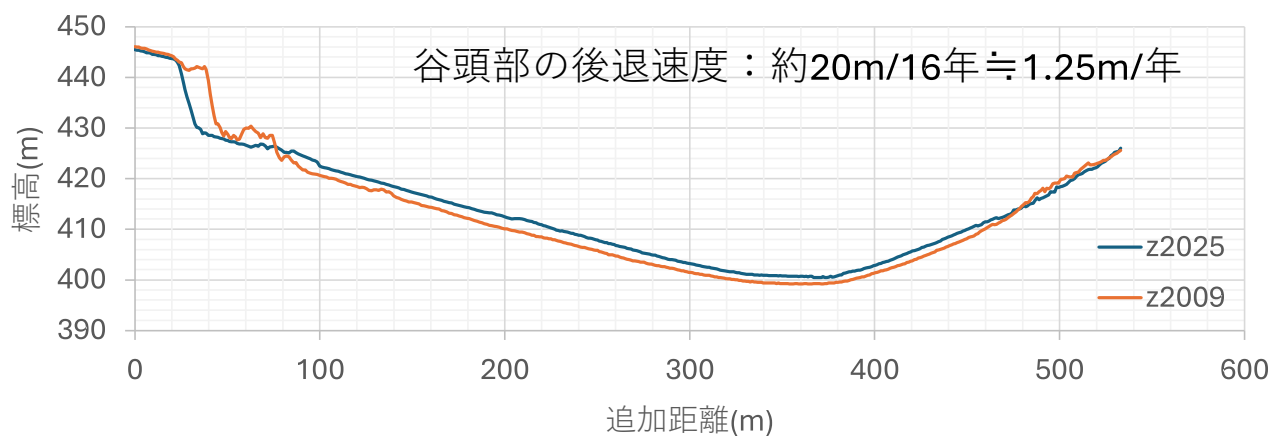
(陰影図)を示した。比較エリア①では見た目上、2009年から現在まで大きな変化は認められない。このため、図中、右上から左下まで測線を設定し、測線直下の経年的な標高の比較を図－6下段に示した。ここでも、2009年から現在まで、大きな変動は認められなかった。ここではさらに、直近の2023年と今回計測された地形の差を求め、図－7に示した。2023年のLiDAR計測では、飛行経路をオーバーラップするように設定しており、得られた地形の精度は比較的高いと考えられる。その上で図－7を見ると、部分的に1m前後の地形の差が確認された。これは今回のような単ルートでの計測の場合、飛行コースから離れた地点では、地形凹凸の影響で十分に標高が計測できていない部分が生じている可能性を示唆して

いるものと考えられる。

図－8には比較エリア②(銀沼火口)の2009年と今回の地形を並べて比較している。ただけでは大きな差異が生じているように見えないが、図中、折れ線の測線を配置し、標高の比較を試みた結果を図－9に示した。図－9上段は銀沼火口北側から南側までの16年間の標高の変化を示しており、ガリー侵食の谷頭部がこの16年間で約20m程度進行し、火口原内での土砂氾濫・堆積区域が大きく拡大していることがわかる。したがって、谷頭部の後退速度は平均で約1.25m/年であるといえる。また、銀沼火口底は平均約1.8m、最大2.8mの堆積が進んでおり、平均堆積速度は約0.11m/年と試算された。銀沼火口周辺の2009年と2025年における地形を良く見ると、図中、



図ー8 比較エリア②の2009年(左)、2025年(右)の地形比較及び測線



図ー9 比較エリア②の測線直下の地形比較

SP50 付近の火口壁を浸食している谷部が、2025年では若干拡大しているように見えるほか、銀沼火口の底部の扇状地の拡大状況から、今回設定した測線以外でも堆積が進んでいるように読み取れる。

(3) 測定結果のまとめ

図-7に示したように、コリドー計測で得られた地形は従来型のLiDAR計測に比べ、必ずしも高い精度が得られない部分もある。しかしながら、約30kmの距離を約20分で計測できるなど、火山噴火中の新たな土砂移動減少の発生や、新たな噴火兆候などの情報収集する技術としては十分な精度があるものと考えられる。

6. 考察

LiDAR搭載のVTOL型固定翼UAVにより、有珠山噴火を想定した往復約30kmの行程を約20分で飛行し、同時にLiDARによる地形計測を1本の飛行経路のみで実施した。過去LiDAR計測との3カ年分の比較を行った結果、今回の計測で得られた地形は速報的には十分な精度で計測できるものと考えられる。特に、2000年噴火で発生した数十メートルに及ぶ潜在ドームの上昇や、新たな火口、熱泥流の発生状況、降灰状況、噴石分布などは今回使用した機材により十分な精度でしかも短時間に観測出来る可能性がある。

今回、操縦者が一等技能（飛行機）所有者によるVTOL型固定翼UAVによる国内初のレベル3.5の飛行となったが、対地高度が最大150mであったため、噴煙が数百m以上に達するような実際の噴火時には、対地高度150mでの飛行は機体への噴煙、噴石の影響が考えられるため現実的ではないと考えられる。このため、現在通信事業者が整備を進めているLEO（地球低軌道衛星）やHAPS（成層圏プラットフォーム）などのNTN（非地上系ネットワーク）を

活用することで、将来的には噴煙の影響が少ない対地高度数百m程度で飛行することで、安全に地表の変化状況や熱分布の変化を把握できるものと考えられる。今回使用したLiDARは対地高度700m程度での計測が可能なものであり、通信環境をクリアできれば、高高度での地形計測は十分可能と考えている。今後、地上LTE回線圏外や災害での途絶を前提に、NTN通信による広域災害を想定した飛行試験・LiDAR計測を行い、広域複合災害時に対応した調査技術としてさらに検討していく必要がある。

謝辞：今回の飛行に当たっては、伊達市、洞爺湖町、壮瞥町、豊浦町、北海道森林管理局、環境省北海道地方環境事務所、北海道胆振総合振興局、北海道経済部A I・DX推進局DX推進課、ザ・ウィンザーホテル洞爺リゾート&スパのご協力を頂いた。株式会社空解、リーグジャパン株式会社、株式会社エアフォートサービスには当日のVTOL型固定翼UAVの運行管理、LiDAR計測及びデータ解析の協力を得た。ここに期して謝意を表す。

参考文献

- 1) Goto, Y., Danhara, T. and Tomiya, A. (2019) 'Catastrophic sector collapse at Usu volcano, Hokkaido, Japan: failure of a young edifice built on soft substratum', Bulletin of Volcanology, 81, article 37. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00445-019-1293-x> (Accessed: 26 December 2025).
- 2) 地質調査総合センター (GSJ), 2009. 「有珠火山のおいたち」, 『火山研究解説集：有珠火山』, 地質調査総合センター. [オンライン] 入手可能: <https://www.gsj.jp/> [参照日: 2025年12月26日].
- 3) 気象庁 (2024) 「有珠山 有史以降の火山活動」. Available at: https://www.data.jma.go.jp/vois/data/sapporo/112_Usu/112_history.html (Accessed: 26 December 2025).
- 4) Nakagawa, M., Matsumoto, A., Tajika, J., Hirose, W. and Ohatsu, S. (2002) 「有珠火山噴火史の再検討：先明和噴火の発見」, 日本火山学会講演予稿集, 2, p. 91. Retrieved from GEOLIS (Accessed: 26 December 2025).