

低コストな LiDAR による火砕物堆積厚計測の試み

国立研究開発法人土木研究所 今森直紀

1. はじめに

火山噴火時に土砂災害防止法に基づく緊急調査を実施すべき状況か否かを判断する。この時、国の手引き¹⁾では、噴火直後に火砕物の堆積状況を詳細に調査することは困難であるため、速報性を重視することとされている。具体的には、主にヘリコプター等による上空からの調査により把握される明瞭な降灰の範囲を、緊急調査を実施すべき状況に該当する火山灰等が1cm以上堆積した範囲と見なしている。例えば、2014年9月に噴火した御嶽山の噴火では、ヘリコプターによる調査により明瞭な降灰範囲を把握している²⁾。

一方、ヘリコプターによる調査が実施できない場合もある。例えば、2019年1月の草津白根山の噴火では降雪による悪天候のため視界不良でヘリコプターによる調査が困難であった³⁾。

悪天候時や夜間など、上空からの調査が困難な状況でも火砕物の堆積状況を把握できる手法として自動降灰量計が開発されている⁴⁾。しかし、機材は重量物であるほか、受注生産品のため1基あたり数百万円程度と高コストである。また、質量から堆積厚を換算するため、火砕物の密度や堆積密度が既知である必要があるが、火砕物の性状等によっては正確な計測が困難である場合も想定される。このため、自動降灰量計が設置されている火山は桜島のように火山活動が活発な火山などに限定されている。

また、これまでの緊急調査では、地上で火砕物の堆積厚を直接計測する場合もあったが⁵⁾、現地調査は危険を伴う場合もあり、また、噴火の対応で多忙を極め、地上調査に人員を割くことが困難な場合も想定される。

これらの課題を解決可能な計測手法として、LiDAR (Light Detection And Ranging) が挙げられる。LiDAR は地表面の形状変化を計測することが可能であり、換算が不要であるため、火砕物の堆積厚を直接把握することが可能である。また、10万円未満の低価格帯で市場に流通している製品もあり、自動計測

も可能である。そこで、本研究では既製品のLiDARにより火砕物の堆積厚の計測が可能であることを室内実験により検討したのでその結果について報告する。

2. 実験方法

実験は図-1に示すとおり土木研究所内の室内実験施設の床面に設置したラワン合板（以下、「合板」という）を堆積した火砕物に見立て、三脚に据え付けたLiDARで計測した。

合板は幅900mm、長さ900mm、厚さ9mmであり、積層することで、厚さは $t=9, 18, 27, 36, 45\text{mm}$ の5条件とした。また、LiDARから合板の重心までの距離は $L=5, 15\text{m}$ の2条件とし、合板の厚さの条件と距離の条件を組み合わせ、合計10ケース計測した。計測時間は各ケース10秒間である。

実験に使用したLiDARはLivox社のMid-70である。価格は2023年3月末時点で92,400円であり、同様の性能を有するLiDARと比較し低コストである。制御と点群データの記録はLiDARに接続したシングルボードコンピュータ(Raspberry Pi 4B, Raspberry Pi OS 64bit)により行った。点群データは図-1に示すとおり、LiDARからの相対距離を表す三次元座標で記録され、x軸およびy軸はLiDARからの水平方向の距離、z軸はLiDARからの比高差を表す。

記録したデータは専用のソフトウェア(Livox Viewer)でcsvデータに変換し、合板の重心を中心とする $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ の矩形範囲上の点群データを各ケ

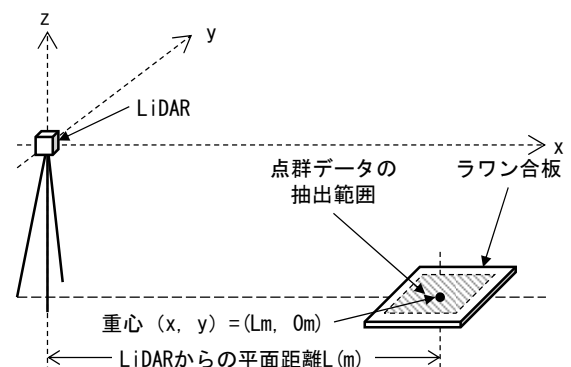


図-1 実験手法の概要

ースで抽出した。次いで抽出した点群データの z 軸の値の中央値を求め、 $L=5\text{m}$ および $L=15\text{m}$ における $t=0\text{mm}$ における z 軸の値の中央値との差を堆積厚とした。なお、今回使用した LiDAR が 10 秒間で取得する点群データ数は約 200 万点であり、合板の範囲のみの点群を切り出すことで、処理の対象データ数を $L=5\text{m}$ の場合は約 700 点、 $L=15\text{m}$ の場合は約 200 点まで減じた。

3. 実験結果と考察

実際の堆積厚と LiDAR の堆積厚の関係を示したものが図-2 である。横軸は実際の堆積厚、縦軸は LiDAR による計測結果である。誤差は $L=5\text{m}$ で $+1\sim 3\text{mm}$ 、 $L=15\text{m}$ で $+1\sim 4\text{mm}$ である。緊急調査を実施すべき要件は 1cm であり、この条件に近い $t=9\text{mm}$ では $L=5\text{m}$ 、 15m とともに誤差は $+1\text{mm}$ である。また、堆積厚を増加させた場合も、概ね $+3\text{mm}$ 程度の誤差である。このため、室内実験の結果からは、LiDAR により十分な正確度で計測することが可能と考えられる。

なお、図-2 からは LiDAR から合板までの平面距離が増すと、誤差が大きくなる傾向が確認できる。今回使用した LiDAR の計測精度は水平距離 20m の位置で $1\sigma \leq 2\text{cm}$ であり、誤差は LiDAR 自体の計測精度に由来するものと考えられる。そこで、 $L=5\text{m}$ および $L=15\text{m}$ における点群データの z 軸の値のばらつきを確認するため、箱ひげ図で整理したものが図-3 である。 $L=15\text{m}$ におけるデータのばらつきはカタログスペックとほぼ同等であることが確認できる。LiDAR 由来の誤差は高精度な製品を使用することで縮小することが可能であると考えられるが、一般的には計測精度と製品の価格はトレードオフの関係にあるため、両者のバランスを勘案する必要がある。

4. 終わりに

火砕物堆積状況の把握手法について、上空からの調査が困難な場合に、従来の調査手法を代替する技術として、LiDAR による計測を室内実験により検討を行った。結果は以下のとおりである。

- 1) LiDAR からの距離 $L=5\text{m}$ および $L=15\text{m}$ の位置で約 1cm の堆積厚を計測することが可能である。

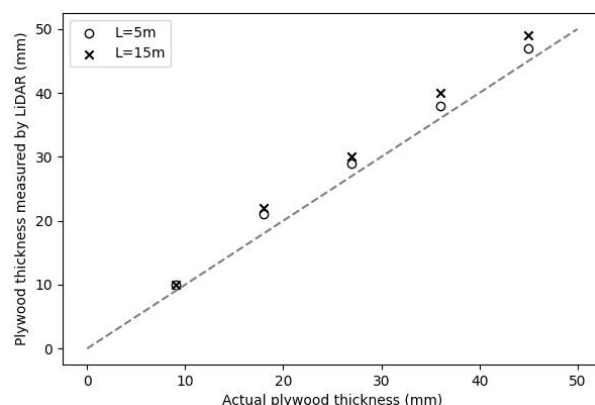


図-2 実際の合板の厚さと LiDAR により計測した合板の厚さの比較

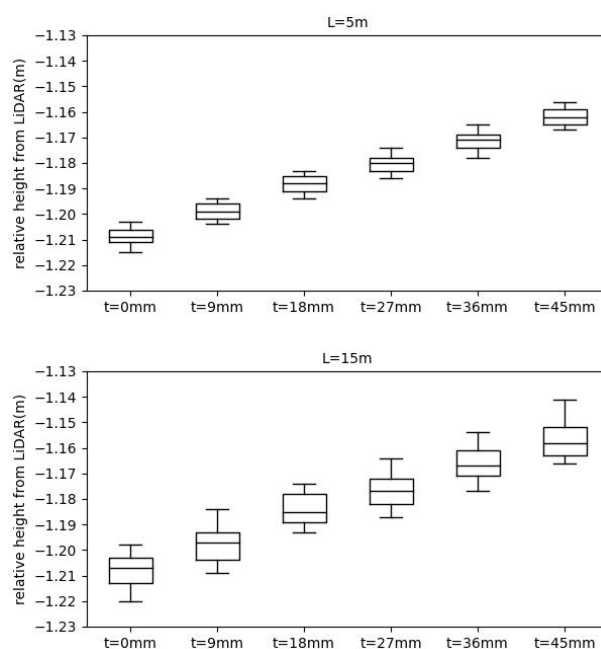


図-3 実際の合板の厚さと LiDAR により計測した合板の厚さの比較 (a) $L=5\text{m}$ (b) $L=15\text{m}$

- 2) 堆積厚の増加を概ね正確に計測することが可能である。

今後、実用化に向け、夜間や降雨時の環境での計測の適否についても検討を行っていく予定である。

引用文献

- 1) 国土交通省他：土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き，p.4，2016.
- 2) 林ら：砂防学会誌，Vol.67，No.6，p.86-91，2015.
- 3) 篠原：河川，Vol.72，No.2，p.60-64，2019.
- 4) 水野ら：砂防学会誌，Vol.72，No.3，p.38-40，2019.
- 5) 佐々木：Vol.66，No.5，p.88-91，2014.