

車載 LiDAR による道路積雪深の移動計測方法の検討

環境社会基盤工学専攻 防災・復興システム工学研究室 馬上優介

1. はじめに

降雪地域において冬季の除雪は安定した社会生活を行う上で欠かせない作業となっている。しかし近年、国や地方自治体の財政状況の悪化に伴う公共予算の削減¹⁾によって、除雪を担う企業の体力が低下し除雪機械の維持や新しい人材の雇用が困難になっている。また、高齢化の影響で熟練した除雪機械のオペレータが減少し、除雪機械の運用技術を継承する若手従業員も不足している。このような状況で除雪体制を維持していくためには作業全体を低コスト化し、限られた作業従事者、除雪機械を効率的に配置することが課題とされる。課題を解決するための手法の一つとして、道路積雪深の分布状況を面的に計測することが挙げられる。計測したデータを共有することができるになれば事前の出動目安とすることができ、効率的な機械配置、人員配置が可能となる。また、遠方から作業指示を行う際にも有効活用することが期待できる。

本研究では道路積雪深を計測するセンサとして複数のレーザ走査面を備えている車載 LiDAR に着目し、道路上の積雪深の取得に向けて車載 LiDAR を車両に搭載して移動計測実験を実施し積雪深の計測精度を評価する。また、計測した LiDAR データから効率的に積雪深分布を生成する手段を検討し実施する。

2. 使用機器

計測には Velodyne 社製の VLP-16 を使用する。表 1 に仕様を示す。

表 1 VLP-16 の仕様²⁾

センサータイプ	16個のレーザー+検出器
測定距離	100m
測定範囲	水平:360° 鉛直:30°
角度分解能	水平:0.1~0.4° 鉛直:2°
測定スピード	5~20Hz
測定精度	± 3 cm
レーザー波長	905nm

3. 車載 LiDAR を用いた積雪深の移動計測実験

3.1 積雪深の移動計測方法

積雪深分布の取得に向けた基礎的検討を行うために VLP-16 を車両に取り付けて道路上の積雪深の移動計測実験を実施する。計測実施場所は協力が得られた福島県耶麻郡北塩原村松原の休暇村裏磐梯ホテルのエントランスの周辺とし、計測時の移動速度は 20~30km/h とする。本実験では、LiDAR の取付角度の変化が三次元点群に及ぼす影響を検討するため、VLP-16 の取付角度を水平から下向きに、0度、5度、15度と変化させて計測する。また、計測時の移動速度の変化が、生成される三次元点群に及ぼす影響を調査するため、VLP-16 を長さ 2m のポール先端に取り付け、手持ち状態での計測を 1 km/h で実施する。手持ち状態での計測は車載計測と同様に取付角度を変更してそれぞれ実施する

3.2 計測データの三次元点群化

SLAM 技術の一つである loam_velodyne³⁾を用いて LiDAR 計測したデータを三次元点群化する。生成した三次元点群はデータごとに異なる原点の局所座標系を持つため、必要に応じて水平補正や平面位置合わせ、鉛直位置合わせを実施する。

3.3 VLP-16 を用いた移動計測結果

車載計測および手持ち状態での LiDAR 計測データを三次元点群化した。図 1 に生成した三次元点群を示す。点群の密度を計測した結果移動速度が遅い手持ち計測の点密度のほうが高くなった。LiDAR の取付角度と点密度の相関性は見られなかったが、本実験と同条件の場合、点群にノイズが生じなかった取付角度 5度の移動計測が望ましいことが確認できた。

3.4 積雪深の精度評価

3.4.1 積雪深の絶対値評価

LiDAR 計測した積雪深の絶対値評価のため、雪尺で実測した積雪深と三次元点群上における LiDAR

計測した積雪深の比較を行った(図2)。両者の間でMADを求めた結果2.5cmとなった。また、計測時の移動速度やLiDARの取付角度が計測精度に及ぼす影響を調査するため、計測時の条件別にMADを導出したが計測条件ごとに大差は確認されなかった。

3.4.2 積雪深の空間的变化の評価

LiDAR計測した地点で写真測量を実施しSfM手法によって三次元点群を生成した。SfM三次元点群とLiDAR計測したデータから生成した各三次元点群の断面形状の比較を行い積雪深の空間的变化を評価した結果、積雪深のMADは2.5~8cm、相関係数はおおよそ0.98以上を示した。

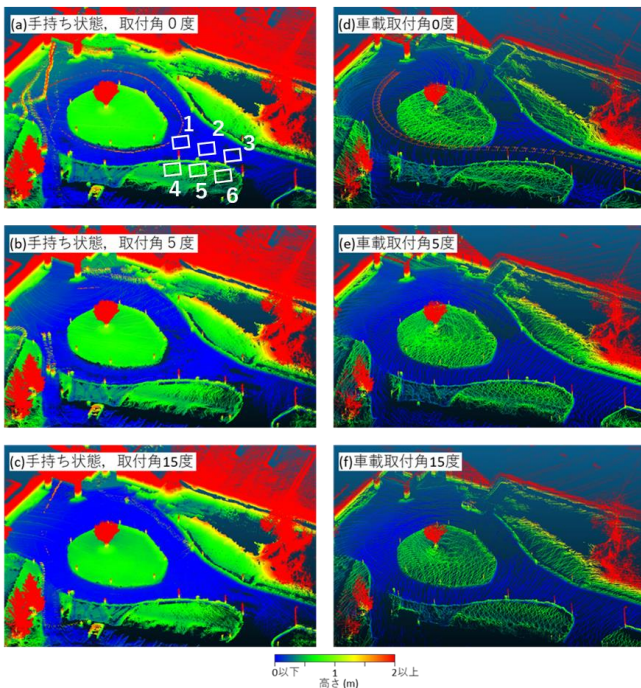


図1 生成した各三次元点群

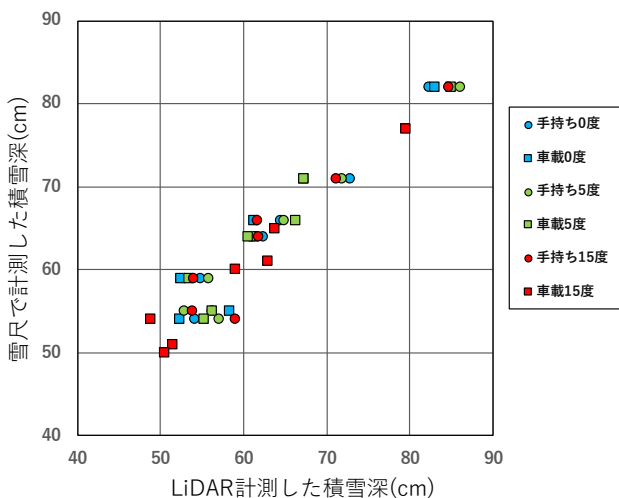


図2 雪尺とLiDAR計測した積雪深の比較

4. 一般道を想定した走行速度での計測実験

休暇村における計測実験では地形の関係上一般道路での走行を想定した速度で走行することができなかった。一般道路の多くで走行速度は40~50km/hで規制されていることから、高速で走行可能な直線区間を含む長岡技術科学大学周辺にて42km/hで計測実験を実施した。計測したデータから三次元点群を生成した結果、休暇村で取得したデータと比較して点群密度は多少減少したが積雪深を計測するには十分な密度であった。積雪深の絶対値評価のため、積雪深を雪尺で実測した値とLiDAR計測した積雪深を比較した結果MADが3.3cmとなり、低速時の計測と同程度の積雪深計測精度が確認された。

5. 積雪深分布の生成手段の検討

道路積雪深の分布取得に向けて、LiDAR計測データから得られる情報から効率的に積雪深を取得する手法について検討した。一つ目の手法は三次元点群生成時に推定されるセンサ位置と点群の反射強度を利用して道路面と積雪面座標を推定し積雪深を生成する方法である。二つ目の手法は無積雪時に取得したデータと積雪時に取得したデータの位置合わせを行い道路範囲内の両者の鉛直座標の差を積雪深とする方法である。図3に各手法による積雪深生成フローチャートを示す。LiDAR計測した長岡技術科学大学周辺の実測地点を含む範囲で積雪深を生成した結果、無積雪時の計測データと比較する手法で得られた結果から、実測地点と比較して高い再現性が確認された。図4にそれぞれの手法で積雪深分布を生成した結果を示す。積雪深の生成結果からそれぞれの手法における課題として、センサ位置を利用する手法においてはセンサ位置の推定誤差が道路面位置の推定誤差に直結するため、計測時のゆれを抑える、測位装置を併用するなどしてセンサ位置の推定精度を高める必要がある。無積雪時計測データを利用する手法においては積雪面真下の道路面データを利用できた場合、高い再現性が確認できたがデータ間の位置合わせが正確に行われない箇所が確認されたため、測位装置や慣性計測装置の併用等でそれぞれの点群の生成精度を高める必要がある。

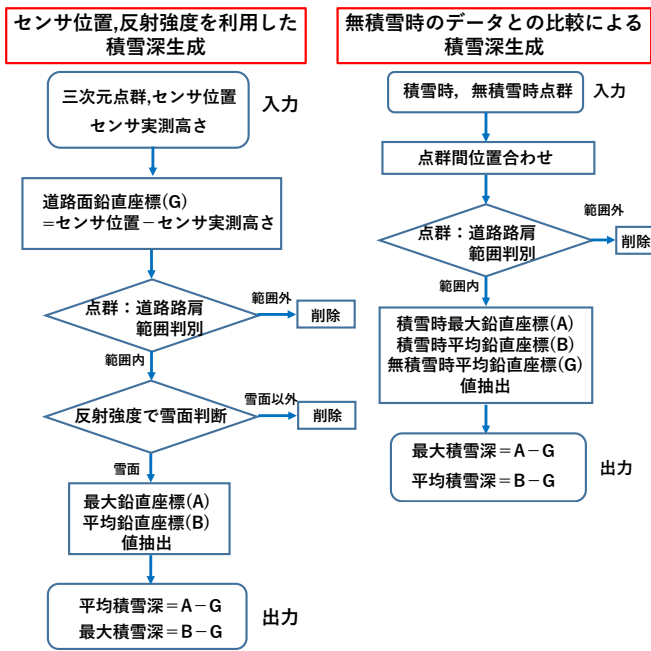
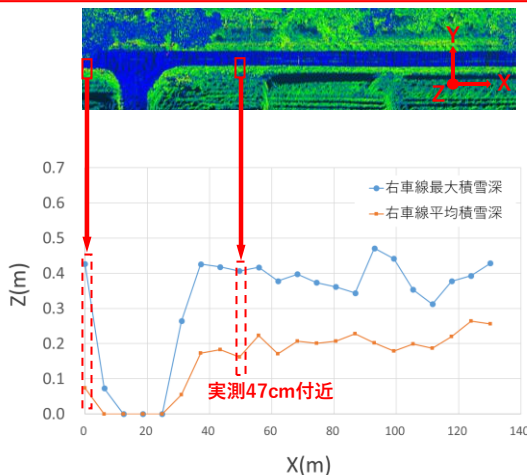


図3 積雪深の生成フローチャート

センサ位置, 反射強度を利用して生成した積雪深分布



無積雪時のデータと比較して生成した積雪深分布

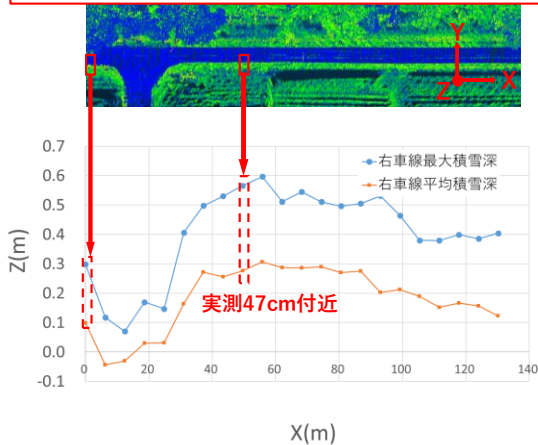


図4 積雪深分布の生成結果

6. まとめ

本研究では道路積雪分布の把握に向けて車載LiDARによる計測実験を実施した。その結果車載計測における積雪深の計測精度は雪尺と比較してMADが2.5cm, SfM計測と比較した場合で2.5~8cmであった。これらは気象観測器の積雪深計に求められる許容誤差2cm⁴⁾には満たないものの車載LiDARで積雪分布が面的に計測できる可能性を示唆している。一般的な道路における走行を想定した速度においても積雪深の計測精度に大きな影響が出ることはなかったことから、除雪パトロール車両に車載LiDARを取り付けて路面状況を計測し、拡幅除雪や運搬除雪の補助に向けて道路積雪深分布を5cm程度の積雪深解像度で取得できることが期待される。本研究で計測を実施する際、天候は晴れもしくは曇りだった。除雪が必要とされる状況での運用を想定すると降雪時、降雨時に計測を行う必要があるため、今後は降雪・降雨が計測結果に及ぼす影響を調査する必要がある。また、積雪深が車高よりも高い場合を想定した場合の計測条件や精度の検討も実施する必要がある。積雪分布の取得に向けた積雪深の生成結果については路面位置が正しく定まらないことにより、本来よりも低い値や高い値が導出される箇所が存在した。これは車載LiDARのみで計測した結果から得られた積雪深であり、GNSS等による測位を行う等で点群に地図座標系を与えることができればより高い精度で積雪深を生成することが期待される。ただし、計測装置の増加と計測にかかるコストの関係はトレードオフにあるので、計測精度及びコストについてそれぞれ適切な値を今後検討していく必要がある。

参考文献

- 1)国土交通省(2017):公共事業関係費(政府全体)の推移 <https://www.mlit.go.jp/common/001270879.pdf> (閲覧日 2020.1)
- 2) Velodyne : VLP-16 Datasheet(Rev-A), 2015
- 3)LeonidLaboshin:loam_velodynehttps://github.com/laboshin1/loam_velodyne(閲覧日 2020.1)
- 4) 気象庁気象庁:気象業務法第九条の検定の対象となる気象測器の検定の合格基準を定める告示, 第9章, 2002