

# LiDAR センシング技術を活用した除雪パトロールの高度化に関する検討

防災・復興システム工学研究室 木歩士理来

## 1. はじめに

新潟県長岡市は豪雪地帯であり、降雪予報時の深夜に除雪オペレーターが除雪パトロールを実施して除雪車の出動判断を行う。パトロールでは任意地点にて路面位置から積雪表面位置までの積雪深が10cmを超えているか計測している。取得できる積雪状況は観測地点に限られ、面的な積雪状況の把握が除雪車の出動の総合的な判断に役立つと考えられる。また、近年ではオペレーターの減少や高齢化に伴って作業負担が増加し、パトロールの省力化・高度化が必要となっている。

iPhone LiDAR を利用することで積雪深計測の省力化が期待できる。Fraser King<sup>1)</sup>は積雪深測定法として iPhone LiDAR に着目して平地で植生が少ない場所において定規で測定した積雪深と iPhone LiDAR で取得した点群から求めた積雪深を比較し、平均誤差は1mm未滿と報告している。ただ、除雪パトロールに iPhone LiDAR を応用するには実環境での検証が必要である。本稿では路肩の雪堆を iPhone LiDAR で記録し、算出した積雪断面形状と N-Quick で記録する点群から算出した積雪断面形状を比較し、iPhone LiDAR で記録する点群を除雪パトロールのデータとして活用できる可能性を検討する。

## 2. 方法

### 2-1. iPhone LiDAR による積雪点群の記録

iPhone LiDAR による積雪点群の記録には iPhone 12Pro 搭載 LiDAR を使用し、計測アプリは 3d Scanner App を用いる。iPhone LiDAR が出力する点群は地図座標の精度が低いので、2つの GCP を路面が目視できる位置に配置し、それらが写るように路肩部の積雪点群を記録する。記録後、GCP 位置を RTK 測位する。そして、iPhone LiDAR 点群上の GCP 座標と RTK 測位した GCP 座標を用いて iPhone LiDAR 点群の水平座標を地図座標に変換す

る。鉛直座標は RTK 測位した GCP の鉛直座標が MMS 点群と一致するように iPhone LiDAR 点群の座標を変換する。積雪点群の記録は本学グラウンド付近（地点 A）、長岡市藤橋付近の道路（地点 B）、本学体育館下駐車場前道路（地点 C）で実施する。

### 2-2. 積雪断面形状の再現性と比較

地図座標へ変換した iPhone LiDAR 点群から積雪断面形状を次の手順で求める。

点群位置周辺の道路のセンターラインを基準にして道路中心線を作成し、道路中心線の始点、終点の座標の差分から回転角を算出する。算出後、点群について z 軸を中心として回転処理を行う。解析領域を道路走行方向と垂直な方向に X'、道路走行方向に Y' と設定し、その内を格子状に分割し、1マス内（平面直角座標 X' 方向に 0.25m、Y' 方向に 0.50m）に位置する点群の平均標高を算出する（図-1）。算出した各マスの平均標高を X' 方向に連続的に考えることで各行における面的な積雪断面形状が算出できる。また、iPhone LiDAR、N-Quick を用いた計測では RTK 測位を用いて位置情報を付与しているため両点群で共通の路面位置を基に標高を調整する。

N-Quick でも同様に地点 A、B、C を対象に積雪点群を記録し、比較対象とする。積雪断面形状の類似性を評価するために相関係数を算出する。また、N-Quick と iPhone LiDAR で取得した積雪断面形状の再現性を評価するため点群全体の標高差の平均

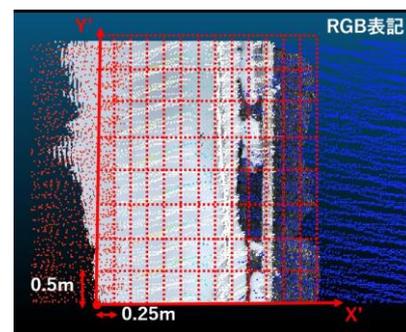


図-1 解析領域内の分割の様子

(H) を式(1)の通り算出する。

$$H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_i^{N-Quick} - H_i^{iPhone}) \quad (1)$$

$n$  : 断面数

$H_i^{N-Quick}$  : N-Quick で記録した*i*番目の点群標高

$H_i^{iPhone}$  : iPhone で記録した*i*番目の点群の標高

### 3. 結果と考察

#### 3-1. iPhone LiDAR による積雪点群の記録

N-Quick と iPhone LiDAR による積雪分布の記録は 2023 年の 1 月 30 日～31 日、2 月 3 日に路面が露出した地点で実施した。本稿では 2 月 3 日に記録した地点 A, B, C のデータを使用した。

#### 3-2. 積雪断面形状の再現性と比較

iPhone LiDAR で記録した地点の様子、断面形状の比較例をそれぞれ図-2 に示す。地点 A の断面数は 10 個、地点 B の断面数は 9 個、地点 C の断面数は 12 個である。格子領域全体における両点群の標高差の平均と標準偏差を表-1 に示す。図-2 より全断面において両者は強い正の相関を示し、断面形状は類似性が高いことが分かる。積雪深差については地点 A, B において 4cm 程度であり、積雪深差のばらつきは最大で 10cm 程度であった。地点 C では Y 軸から 1.2m 付近では最大で 20cm 以上あった。地点 B, C では計測位置から離れるほど積雪深差が大きくなった。N-Quick では GNSS/INS で姿勢補正しているため、iPhone LiDAR 点群では正しく水平面が再現できていなかった可能性が考えられる。

全地点にて路面位置周辺の 1m の範囲にて積雪深差を算出した結果、地点 A では $-1.39 \pm 2.71(\text{cm})$ 、地

点 B では $2.67 \pm 2.10(\text{cm})$ 、地点 C では $6.80 \pm 2.06(\text{cm})$ であった。地点 C では 7cm 程度の誤差が発生したが、地点 A,B は 1～3cm 程度の誤差で起伏を取得できていた。点群結合の際に誤差が累積していくため数  $m$  程度の範囲で計測を行う必要がある。

### 4. まとめ

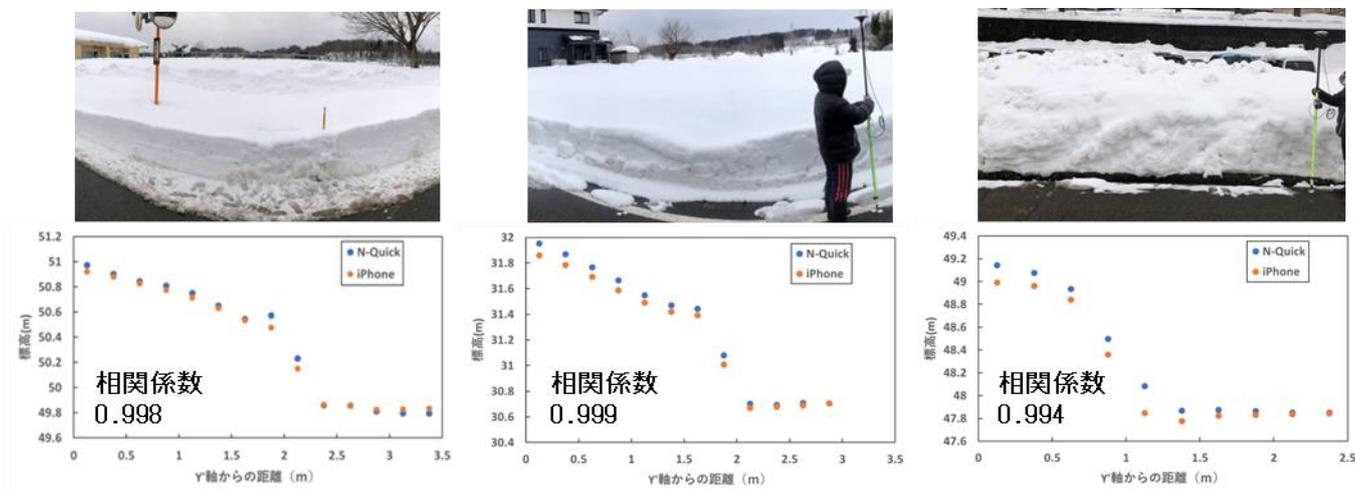
除雪パトロールでの積雪深計測の省力化を目的として iPhone LiDAR で取得した積雪断面形状を N-Quick で取得した点群と比較することで再現性を評価した。その結果、路面位置周辺の 1m の範囲に限定すると全地点で 10cm 以内の誤差の精度で点群を取得できていた。よって iPhone LiDAR によって積雪深が 10cm を超えているかについても判断可能なことが期待できる。また、iPhone LiDAR では点群記録からデータを共有するまで 2 分程度でできたことから除雪パトロール実施から報告するまでのタイムラグを減少させることができる。

### 参考文献

- Fraser King, Richard Kelly, and Christopher G. Fletcher. 2022. Evaluation of LiDAR-Derived Snow Depth Estimates From the iPhone 12 Pro

表-1 点群全体の標高差

	地点A	地点B	地点C
標高差(cm)	$2.36 \pm 4.26$	$5.81 \pm 3.80$	$14.94 \pm 9.22$



a) 地点の様子と断面形状の例      b) 地点 B の様子と断面形状の例      c) 地点 C の様子と断面形状の例

図-2 iPhone LiDAR で記録した地点の様子と断面形状の比較例