

# iPhone LiDAR による路肩積雪の記録について

長岡技術科学大学大学院 ○木歩士理来  
長岡技術科学大学 正会員 中村健 高橋一義

## 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で標尺を用いて積雪深を計測し、積雪状況を調査している。しかし、近年では除雪オペレーターの減少や高齢化に伴い、作業負担が増加しており、パトロールの省力化・高度化が必要である。

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 ら<sup>1)</sup>は積雪深測定法として iPhone LiDAR に着目して平地で周囲に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、両者は強い相関を示し、平均誤差は 1mm 未満と報告している。ただし、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。本稿では路肩の雪提を iPhone LiDAR で記録し、算出した積雪断面形状と MMS 点群から算出した積雪断面形状を比較し、iPhone LiDAR による積雪断面の再現性の検討結果を報告する。

## 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 座標を用いて式(1)により、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。

積雪点群の記録は長岡技術科学大学グラウンド付近(地点 A)と長岡市藤橋付近の道路(地点 B)で

実施する。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ -b & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p \\ l \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c \\ d \end{pmatrix} \quad (1)$$

$(X, Y)$  : RTK 測位で取得した GCP の地図座標

$(p, l)$  : iPhone LiDAR の点群の GCP 座標位置

$(a, b, c, d)$  : 変換パラメータ

### 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。取得した積雪断面形状の各マスにおける平均標高差を算出する。

N-Quick でも同様に地点 A, B を対象に積雪点群を記録し、比較対象とする。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(H)を式(2)の通り算出する。

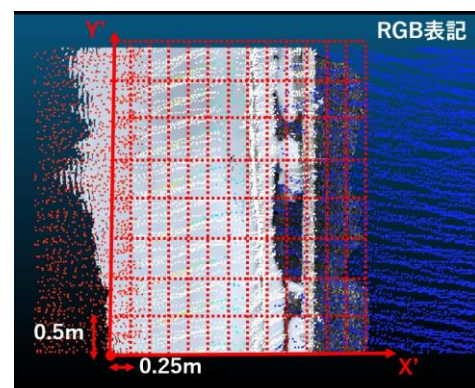


図-1 解析領域内の分割の様子

$$H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_i^{N-Quick} - H_i^{iPhone}) \quad (2)$$

$n$  : 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

N-Quick(出力点群の位置精度は水平 10cm, 高さ 5cm)<sup>2)</sup>で記録する積雪点群を比較対象とする。

### 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 で取得したデータを使用した。iPhone LiDAR で記録した積雪点群例を図-2 に示す。

#### 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-3(a), (b), (c) に示す。地点 A の断面数は 8 個, 地点 B の断面数は 9 個である。格子領域全体における両点群の標高差を表-1 に示す。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。また, N-Quick と iPhone で計測した点群全体の標高差のばらつきは 4cm 程度であった。

図-3(b), (c) より積雪断面形状は概ね同様な断面形状をしていた。また, 地点 A では N-Quick と比べて iPhone LiDAR の断面形状の方が全体的な標高が高く, 地点 B では低かった。RTK 測位の測位精度は水平方向に 1～2cm, 鉛直方向に 1.5～3cm 程度とされていることから RTK 測位による誤差が生じた可能性が高い。

図-3(b), (c) の断面において同一領域と明確に判断できる路面位置で標高差を調整したところ地点 A では  $0.000 \pm 0.023$  (m), 地点 B では  $0.000 \pm 0.024$  (m) となった。

### 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, 全地点で N-Quick と同様な積雪断面形状を再現でき, 点群全体の標高差のばらつきも 4cm 程度であった。積雪深計測の代替手法として期待ができる。今後は他の地点でも比較をし, iPhone LiDAR で取得する積雪分布の再現性を評価していく予定である。

#### 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
- 千田良道, 國枝信吾, 高野正範, 猿渡辰也, 須甲光, 田中星矢:簡易 MMS の開発と実証実験結果の報告, 第 43 回 測量調査技術発表会要旨集, 4-5, 2021

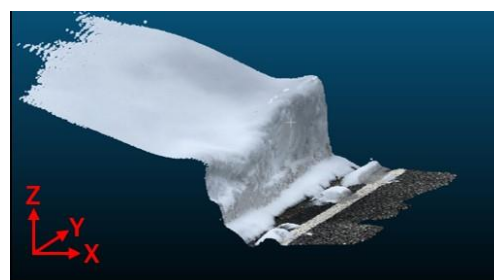
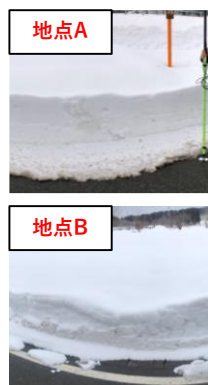
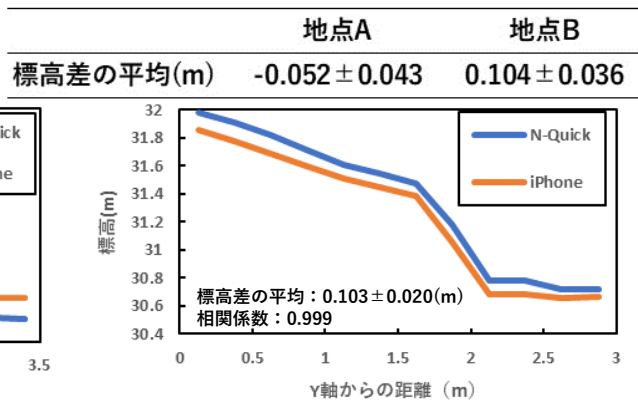
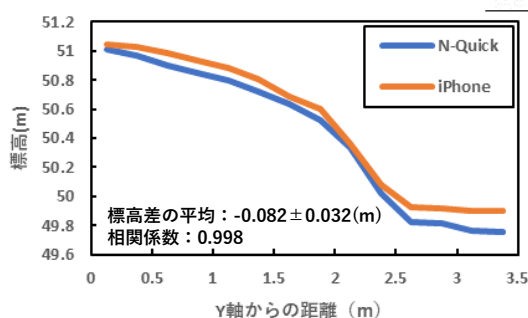


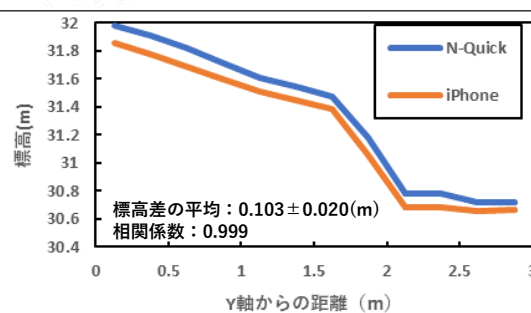
図-2 iPhone LiDAR で記録した積雪点群  
表-1 点群全体の標高差



a) 地点 A と B の様子



b) 地点 A の断面形状の例



c) 地点 B の断面形状の例

図-3 iPhone LiDAR で記録した地点の様子と断面形状の比較例