

DepthPro による路面条件別の冬期道路横断面形状推定に関する検討

長岡技術科学大学大学院修士課程 学生会員 ○佐藤燦至

長岡技術科学大学 正会員 高橋一義

1. はじめに

積雪寒冷地の冬期道路では、除雪で路肩に形成される雪堤が有効幅員を減少させる。そのような道路の状況は道路管理者による巡回時の目視確認に頼っており、広範囲の道路を継続的に把握するには人的・時間的な負担が大きい。そのため、道路幅員の変化や雪堤の形成状況を効率的に把握する手法が求められる。これに対し、ドライブレコーダー（以下、ドラレコ）映像に単眼深度推定 AI を適用すれば、低コストで道路形状を把握できる可能性がある。

本研究では、路面条件の異なる冬期道路のドラレコ映像に単眼深度推定 AI である Depth Pro¹⁾ を適用し、推定した横断面の相対形状をモバイルマッピングシステムの点群（以下、MMS 点群）の断面形状と比較し、路面条件別の再現性の差を検討した。

2. 使用データ

長岡市内で 2026 年 1～2 月に取得したドラレコ動画（2560×1440 画素）、MMS 点群および GNSS/INS ログを用いた²⁾。路面条件の異なる 2 シーンを選定し、シーン A（1 月 30 日）を路面積雪なし、シーン B（2 月 2 日）を路面積雪あり（降雪あり）とした。

3. 方法

1) 画像の前処理

各シーンに対応する静止画を動画から抽出し、事前のカメラキャリブレーションで求めた内部パラメータと歪み係数を用いてレンズ歪みを補正する。次に、学習済みの Mask2Former により、車両、空、建物、電柱など断面形状の算出において雑音となる領域を特定し、点群の生成対象から除外する。

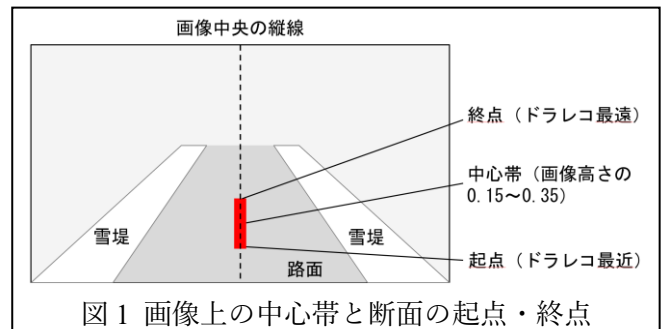
2) 深度推定と点群推定

Depth Pro が出力する深度画像の画素 (u, v) の深度を D 、焦点距離を f 、主点を (u_c, v_c) とすると、対応するカメラ座標（ X : 右, Y : 奥行き, Z : 上）は式(1)で求まる。Depth Pro は推定焦点距離も出力するが、本研究では、レンズ補正時に決定したカメラの焦点距離と主点位置を用いる。

$$\begin{cases} X = (u - u_c)D / f \\ Y = D \\ Z = (v_c - v)D / f \end{cases} \quad (1)$$

3) 断面形状の取得

画像中央を縦に通る直線はレンズ歪みの影響を受けにくく、走行方向に沿ったまっすぐな基準となる。この直線上で、路面が比較的安定して写る下端から画像高さの 0.15～0.35 の区間を中心帯とする（図 1）。これは、カメラ直近では雪堤を含む範囲が狭く、遠方では深度推定精度が低下するためである。中心帯の点群から奥行き方向の起点（最近点）と終点（最遠点）を求め、各点を通る奥行き方向に垂直な 2 平面の間の点群を横断方向に区分し、各区間の平均高さから断面形状を求める。原点は中心帯の点群の平均位置とする。深度推定値の尺度の違いを考慮し、起点から終点までの長さ L を基準に相対値化する。区間幅は雪堤の形状再現と点数確保を考慮して $0.1L$ とし、5 点未満の区間は線形補間する。



4) MMS 参照断面の作成と形状比較

画像の撮影時刻と GNSS/INS ログを照合し、撮影位置に対応する MMS 点群から走行軌跡を軸として 3) と同様に断面形状を求める。高さの基準は軌跡直下の路面とする。画像断面と MMS 断面は尺度が異なるため、それぞれの路面幅 W を 1 として正規化する。路面端は、平滑化した断面を中央から外側へたどり、雪堤の立ち上がりを検出した後、内側へ戻って立ち上がりが緩やかになる位置とする。路面中央の横断位置と高さをそれぞれ x_c, y_c とし、式(2)で変換する。

$$\begin{cases} x' = (x - x_c)/W \\ y' = (y - y_c)/W \end{cases} \quad (2)$$

正規化後の両断面を横断位置 0.02 刻みで補間し、雪

堤を含む $x'=-3\sim 3$ のうち、両断面に値がある範囲で比較する。路面条件間の比較には、雪堤高さ（路面外側の最高点）の相対誤差、断面高さの差の平均・RMSE、断面積比（画像／MMS）およびIoUを用いる。断面積比とIoUは、負の高さを0として路面より上の断面で算出する。IoUは式(3)で求める。

$$IoU = \sum \min(y'd, y'm) / \sum \max(y'd, y'm) \quad (3)$$

ここで、 $y'd, y'm$ はそれぞれ画像断面とMMS断面の正規化高さである。

4. 結果・考察

1) 路面条件別の深度推定結果

図2に各シーンの撮影画像を示す。両シーンは同一のカメラで撮影しており、画像下部の路面までの実距離はほぼ等しいが、中心帯の推定深度は積雪ありのBがAの約2倍で、路面条件で尺度が異なった。実寸の断面にはスケール補正を要する。

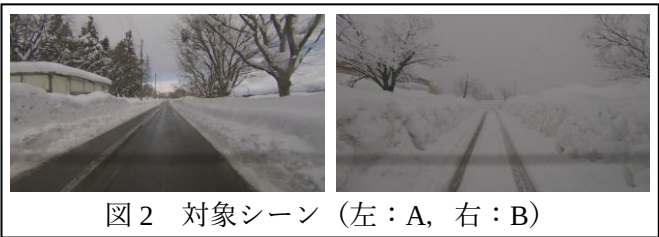


図2 対象シーン（左：A，右：B）

2) 路面条件別の断面形状比較

表1に評価指標を、図3に正規化断面の重ね合わせを示す。比較は、撮影時刻の差が1秒以内のMMS断面と、両断面で値が確認できる範囲で行った。

表1 評価指標

指標	シーンA (積雪なし)	シーンB (降雪・積雪)
IoU	0.763	0.751
断面積比（画像/MMS）	0.89	0.76
断面高さの差の平均	-0.011	-0.068
断面高さの差のRMSE	0.048	0.120
雪堤高さの相対誤差	+13%	-23%

積雪なしのシーンAでは、平坦な路面と左右の雪堤の位置が再現された。右側雪堤の立ち上がりは緩やかに、左側頂部はやや高く推定されたが、誤差の正負が相殺し、高さの差の平均はほぼ0であった。

積雪ありのシーンBでは、IoUはAと同程度だったが、RMSEは約2.5倍と高さの誤差が大きく、断面は全体に低く、雪堤高さは過小に推定された。わだち($x' \approx \pm 0.3$)も再現されなかった。

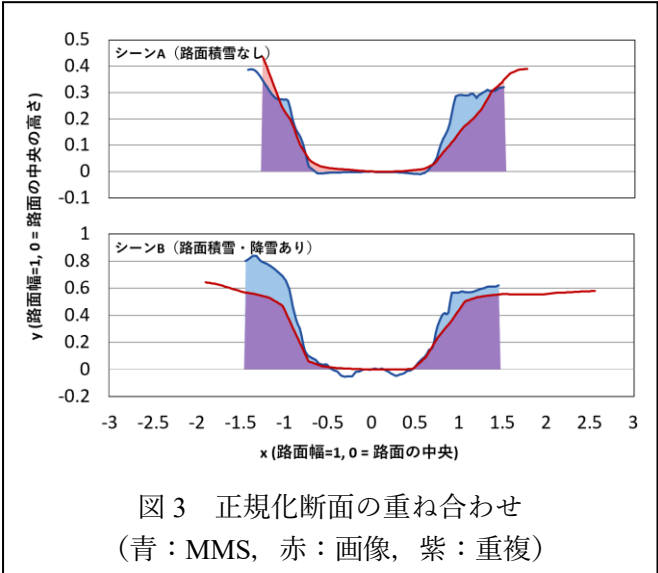


図3 正規化断面の重ね合わせ
(青：MMS，赤：画像，紫：重複)

3) 路面条件による断面形状差の考察

シーンBの誤差は、路面と雪堤が積雪で白く均質なうえ、降雪でコントラストが低下し、起伏の手がかりが失われたためと考えられる。IoUが同程度となったのは、不一致面積がAの約3.2倍に増えた一方、和集合の面積も約3.1倍となったためである。したがって、評価にはIoUに加えて高さの差の指標が必要である。なお、各条件1断面での結果であり、一般化には断面数の追加を要する。

5. 結論

路面条件の異なる2シーンのドラレコ画像にDepth Proを適用し、冬期道路横断面形状をMMS断面と比較した。長さLと路面幅による正規化で尺度によらず比較でき、路面積雪なしでは路面と雪堤の位置が概ね再現された。一方、降雪・路面積雪時はIoUが同程度でも高さの誤差が大きく、路面条件で再現性が異なることが示された。今後は、スケール補正による実寸化とシーン数を増やした検証を行い、広域・高頻度な雪堤把握手法への発展を目指す。

6. 参考文献

- 1) Bochkovskii, A., Delaunoy, A., Germain, H., Santos, M., Zhou, Y., Richter, S. R., and Koltun, V.: Depth Pro: Sharp Monocular Metric Depth in Less Than a Second, ICLR, 2025.
- 2) 高橋一義, 中村 健, Livox Mid-360 を用いた路面積雪深計測のための車両搭載 LiDAR システム開発, 日本写真測量学会令和6年度年次学術講演会発表論文集, 2024/05/23, pp.13-14