

単眼深度推定 AI を用いた道路路肩の雪堤高計測の検討

防災・復興システム工学研究室 西澤海人

1. はじめに

雪国では道路の交通を確保するための除雪作業が欠かせない。だが、近年では担い手不足や高齢化の深刻化等、課題が多く、除雪作業の効率化が求められている。

こうした背景を踏まえ雪氷防災研究センターはスマートフォンを車両に設置し、走行時に道路状況のデータを取得することで積雪状況をマップ上に可視化するシステムを開発した。実証実験で雪堤高を「高い(1.5m 以上)」、「やや高い(0.5m~1.5m 未満)」、「低い(0.5m 未満)」、「雪堤なし」の4区分とし、AI による判定が行われた。その結果、雪堤高に対する適合率は 87.4%~100.0%に達し、実務利用の可能性が示された。

一方で、この手法は広域の状況確認には有用であるものの、局所的な変化の検出には多くの課題を残している。

本研究では、ドライブレコーダーで撮影された動画と単眼深度推定 AI モデルを用いて、道路路肩の雪堤高を計測できるか検討することを目的とする。

2. 使用機器・使用データ

2.1 MMS 点群と動画データ

2025 年 1 月から 3 月にかけてドライブレコーダーで撮影された動画と MMS で取得した点群を使用する。

解析場所は笹崎、愛宕、大手通りの 3 地点で17 日間で撮影された動画から選択する。撮影日は(1/7, 1/14, 1/30, 2/4, 2/7, 2/18, 2/21, 2/26, 3/5, 3/14)である。

2.2 単眼深度推定 AI モデル

単眼深度推定 AI は単一の静止画像から奥行き方向の距離(深度)を推定する技術であり、AI モデルとして、Depth Pro, Marigold, Depth Anything v2, Metric3D v2, などがある。

本研究では Depth Pro を採用する。Depth Pro は Apple 社が開発したもので標準的な PC のスペックで処理速度が速く、他の AI モデルと比較して詳細度が高いといわれている。

3. 方法

3.1 仮想環境の構築

本研究では、単眼深度推定 AI モデル Depth Pro を安定して実行するため、Windows11 上に WSL2 を導入し、Ubuntu 22.04 LTS による仮想環境を構築した。Linux 環境上に Python 実行環境を整備し、必要なライブラリを導入することで Depth Pro の動作環境を構築した。

また、GPU を活用した高速処理を可能とするため CUDA 対応環境を整備し、深度推定処理が GPU 上で実行されることを確認した。本環境により、動画から抽出した静止画像に対する深度マップ生成および三次元点群生成を安定的に実行できる環境を整備した。

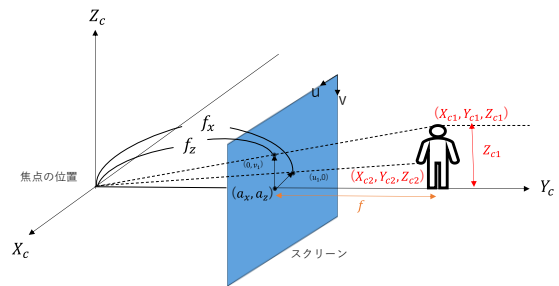


図 1 ピンホールカメラモデルの模式図

表 1 仮想環境のスペック

ホスト OS	Windows11
仮想化基盤	WSL2
ゲスト OS	Ubuntu 22.04LTS
実行環境	Python (Depth Pro)

3.2 深度マップの生成

まず、動画データから雪堤がはっきりと読み取れるシーンを静止画として抽出する。そして、静止画像を Depth Pro に入力し、深度マップを生成する。深度マップは各画素の深度をメートル単位で出力する。

3.3 深度点群の生成

抽出した静止画像と深度マップを用いて 3 次元点群「深度点群」をピンホールカメラモデル(図 1)を用いて生成する。

$$X_c = \frac{(u - a_x)}{f_x} \times Y_c \quad (1)$$

$$Z_c = \frac{(v - a_z)}{f_z} \times Y_c \quad (2)$$

式(1), 式(2)は三次元へ換算する式である. (X_c, Y_c, Z_c) は, カメラ座標, (Y_c) はカメラの位置を原点とした深度), (u, v) は深度画像の画像座標, (f_x, f_z) は, 各軸方向の焦点距離, (a_x, a_z) は, 焦点を原点とした画像の中心位置.

3.4 スケール係数の算出

Depth Pro から得られる深度は, メートル単位であるが, 実スケールではなく, 画像全体から推定されたスケールである. そのため, MMS 点群を正解値として深度点群の雪堤高を実スケールに換算する係数(スケール係数:S)を算出する. 以下に式を示す.

ここで, S をスケール係数, H_{MMS} をMMS点群上の雪堤高, H_{Depth} を深度点群上の雪堤高とする.

また, スケール係数が撮影条件に依存する懸念があるため, 単一の静止画像内で奥行き方向に沿って距離を変えた場合(2.1 節の3地点), 実空間の同一地点に対してカメラとの距離条件を変えた場合, 撮影日を変えて計測した場合の3パターンに区分する.

4.結果と考察

4.1 深度マップ



図2 抽出した静止画像(一例)

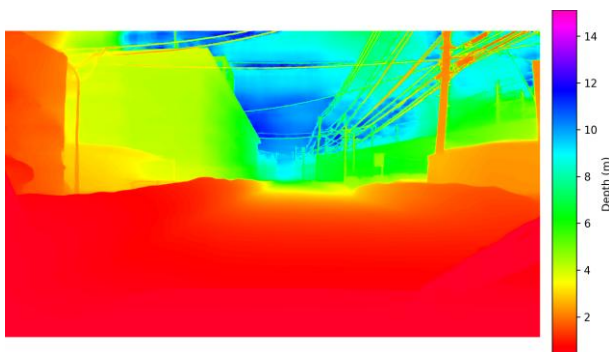


図3 深度マップ(一例)

道路路肩の雪堤がはっきりと確認できた日の動画から静止画像を抽出し, Depth Pro により深度マップを生

成した. 表2に生成した地点と日付, 図2に抽出した静止画像, 図3に静止画像から生成した深度マップを示す.

表2 対象の日付一覧

笹崎地点	2/7, 2/18, 2/21, 2/26
愛宕地点	2/7, 2/18
大手通り地点	2/7, 2/18

抽出した静止画像をもとに深度マップを観察するとおおむね空間構造を再現できており, 雪堤高計測に利用可能であること確認された.

$$S = \frac{H_{MMS}}{H_{Depth}} \quad (3)$$

4.2 深度点群

前述した方法(3.2 節)により, 静止画像と深度マップから3次元の点群を生成した(図4-a). 正解値として同じ地点のMMS点群を示す(図4-b). 両点群を比較すると空間構造を妥当に表現していると判断できる.

4.3 スケール係数の結果

スケール係数は3.3節の区分に沿って算出した.

その結果, 単一の静止画像内で奥行き方向に距離を変えた場合が最も安定し, スケール係数の変動が4.9~5.9(図5, 表3)の範囲にとどまった.

また, 同一地点で連続した複数枚の画像において算出したスケール係数は4.2~4.8で大きな変動は見られず, 単一のスケール係数を用いて実スケールに換算した際の誤差(メートル単位)も0.07m~0.12mと比較的小さい値を示した.

以上の結果から同一条件下においては単一のスケール係数による補正が有効に機能する可能性が高いことが示唆された.

5. まとめ

本研究では除雪作業の効率化を目的として, ドライブレコーダーで撮影された動画と単眼深度推定AIモデルを用いた道路路肩の雪堤高計測の可能性について検討した.

スケール係数は単一の静止画像内で奥行き方向に沿って距離条件を変化させた場合が最も安定することが確認された. また, 同一地点で連続した複数枚の画像に対しても, 単一のスケール係数により実スケールへ換算できる可能性を示した.

これらの結果から, 適切なスケール補正を行うこと

で、ドライブレコーダーの動画から雪堤高を定量的に推定できることが見込まれた。

本研究は専用機器を用いず、普及率の高いドライブレコーダーの動画から定量的な計測ができる可能性を示した点に特徴がある。

ただし、約 20m の限定的な範囲における実証にとどまっているので、計測地点や撮影日に依存しない絶対的なスケール補正手法の検討が必要不可欠である。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本建設機械施工協会 北陸支部 雪氷部会, 道路除雪オペレータ実態調査報告, 令和 5 年, p1-31
- 2) 中村一樹, 砂子宗二郎, 上石勲, 宮島亜希子, 中条仁, スマートフォン画像を用いた AI 路面判定システムの開発, 第38回寒地技術シンポジウム, 2022 年, p103-108
- 3) Aleksei bochkovski, amael Delaunoy, Hugo Germain, Mardel Santos, Yichao Zhou, Stephan R. Richter, Vladlen Koltun, Depth Pro : sharp monocular metric depth in less than a second, Published as a conference paper at ICLR, 2025, p1-10
- 4) 藤井健太郎, 加藤巧己, 斎藤大智, 木島竜吾, 機械学習による深度推定を用いたリアルタイム実空間構成, バーチャルリアリティ学会, 2025 年 9 月, <https://conference.vrsj.org/ac2025/program/doc/2/E2-10.pdf> (2026 年 1 月 5 日)
- 5) WSL2 のインストールとアンインストール, Qiita, 2024 年 3 月 13 日, <https://qiita.com/zakoken/items/61141df6aeae9e3f8e36> (2025 年 9 月 19 日)
- 6) Apple, 「Depth Pro」GPU メモリを消費せず 1 秒で深度推定できるオープンソース!, weel.co.jp, 2024 年 10 月 11 日, <https://weel.co.jp/media/tech/depth-pro/> (2025 年 9 月 19 日)
- 7) Apple, 1 枚の画像から高速で奥行きを推定する AI モデル「Depth Pro」を発表 毛先などの細かい構造を 0.3 秒で生成, Ledge.ai, 2024 年 10 月 22 日, https://ledge.ai/articles/apple_depth_pro_fast_depth_estimation_0.3_seconds (2025 年 9 月 20 日)
- 8) ピンホールカメラモデルとカメラキャリブレーション, Qiita, 2023 年 7 月 1 日, <https://qiita.com/ground0state/items/2f025bbfb84774faf46b> (2025 年 10 月 3 日)

Depth Pro で動画まるごと深度推定して”なんちゃってビデオ作ってみた”, Qiita, 2025 年 7 月 5 日, <https://qiita.com/TacoLover/items/9cfced466f336783df70>

(2025 年 9 月 19 日)

- 10) 中村一樹, 上石勲, 中条仁, スマホ AI 路面判定システムの実証と AI 検知要素の拡張, 第 39 回寒地技術シンポジウム, 2023 年, p7-12

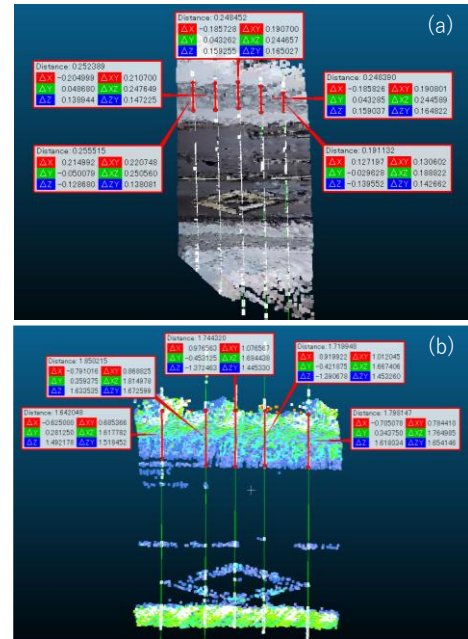


図 4 雪堤高の計測の例. 深度点群(a)とMMS点群(b)

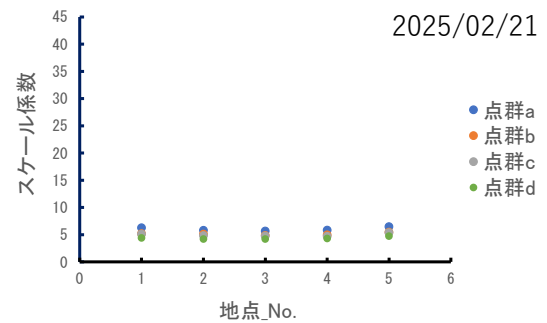


図 5 スケール係数の散布図(一例)

表 3 スケール係数の指標(一例)

2025年2月21日 笹崎地点_単一画像内

	(a)	(b)	(c)	(d)
平均	5.961	5.078	4.914	4.568
標準偏差	0.3145	0.2452	0.2696	0.2697
変動係数	0.05276	0.04828	0.05486	0.05905