

単眼カメラ映像と被写体 3D モデルを用いた竜巻中の飛散物の位置および姿勢推定手法 A Method for Estimating Position and Orientation of Debris in Tornadoes Using Monocular Video and Subject 3D Models

○黒澤大和・吉川峻平・西嶋一欽

○Yamato KUROSAWA, Shunpei YOSHIKAWA, Kazuyoshi NISHIJIMA

This study investigates the applicability of a pose and location estimation method based on monocular camera footage and a three-dimensional model of the target object to the analysis of debris motion in a tornado, where direct measurements are difficult to obtain. The proposed approach does not require three-dimensional reconstruction using multiple cameras and enables analysis from a single video, suitable for recorded footage such as surveillance camera and dashboard camera recordings. As a case study, we analyze video footage of a tornado that occurred on August 3, 2023, in Koriyama City, Fukushima Prefecture, which captures a vehicle being lifted off the ground and overturned by the tornado. The analysis result is promising to apply the pose and location estimation of flying debris in tornadoes.

1. はじめに

本研究では、単眼カメラ 1 台のみによる映像と被写体の 3D モデルを用いた姿勢推定手法を実測が困難な竜巻中を飛翔する物体の運動の解析に適用できるかを検討した。本手法は複数カメラによる三次元復元を必要とせず、単一の映像で解析が可能であるため、偶発的に記録された監視カメラやドライブレコーダーの映像などからも解析を行える点に特徴がある。事例として竜巻により自動車（以下、被害車両）が浮き上がり横転した映像（以下、被害映像）を使用し、被害車両の位置・姿勢を推定した。

2. 解析手法

対象とした被害映像：本研究では、2023 年 8 月 3 日に福島県郡山市で発生した竜巻により自動車教習所内の車両が浮き上がり横転した被害映像を解析し、竜巻によって浮き上がり横転した車両の位置・姿勢を推定する。被害映像は静止した別の車両（以下、撮影車両）のドライブレコーダーによって撮影された。

被害映像のレンズによる歪みの補正：被害映像のレンズによる歪曲収差等の歪みを補正するため、被害映像を撮影したドライブレコーダーと同型番の製品により校正板を撮影した。校正板上の基準点の位置情報を用いて歪曲収差係数等のカメラの内部パラメータを算出した。算出した内部パラメータを用いて画像の幾何学変換[1]を行い、レンズによる歪みを補正した。

被写体の 3D モデルの作成：図 1 のように、3DCG ソフト Blender を用いて被害車両およびその周辺の自動車教習所路面の 3D モデルを作成した。車両については三面図を参考に作成し、教習所路面については Google Map の航空写真、教習所のクランクの幅・長さのデータ、航空写真に写る車両の寸法を参考に作成した。

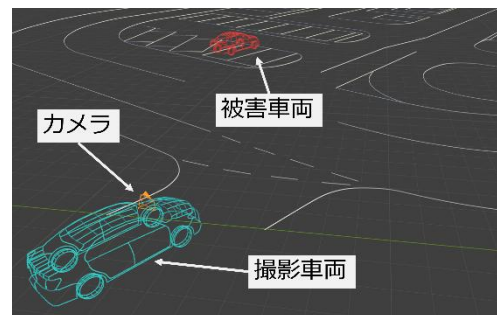


図 1. 被写体およびその周辺の 3D モデル

カメラ位置・姿勢の推定：被害映像を撮影したドライブレコーダーの位置・姿勢を表す空間座標 3 成分・オイラー角 3 成分の計 6 パラメータの値を推定した。まず、カメラ校正によって得られたドライブレコーダーの視野角をもとに Blender 上にカメラを作成した。次に、カメラの位置と姿勢のパラメータの範囲を徐々に狭め、その都度カメラに映る CG 映像をレンダリングし、歪み補正済みの被害映像と重ねて出力した。これらの重ね合わせ画像から、教習所の白線が CG 映像と被害映像で一致するような画像を目視で判定し、その時の 6 パラメータの値を採用した。

被害車両の位置・姿勢の推定：推定したカメラ位置・姿勢から見た CG 映像と歪み補正済みの被害映像を重ね合わせた。被害映像中の実際の被害車両と被害車両の 3D モデルが重なって見えるように、Blender 上で被害車両の 3D モデルの位置・姿勢を変更する。被害映像を 1 秒ごと、ただし車両が一定以上動いた時間帯では 0.5 秒ごとにコマを進め、その都度同じ操作を行って各時刻の被害車両の位置・姿勢を推定した。推定した位置・姿勢のカメラから見た CG 映像と歪み補正済みの被害映像を重ねた画像を図 2 に示す。



図 2. 推定したカメラ位置・姿勢から見た CG 映像と歪み補正済み被害映像の重ね合わせ
(赤枠は被害車両付近の拡大) ([2] の図を改変)

3. 結果と考察

結果：鉛直上方向と横方向から見た、重心位置の軌跡を図 3、図 4 の黄線に示す。図 3 には、1 秒ごとに抽出した被害車両の軌跡を赤線で示した。図 4 における車両は初期時刻のものである。なお、重心位置は車体下端から 50 センチ、車幅の中央、車長の前方から、車長の 40% の位置と仮定した。

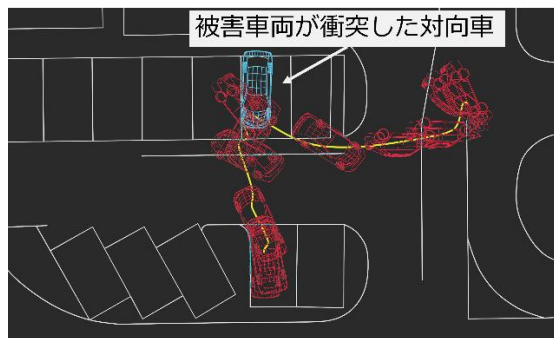


図 3. 被害車両(赤)と重心位置(黄線)の軌跡

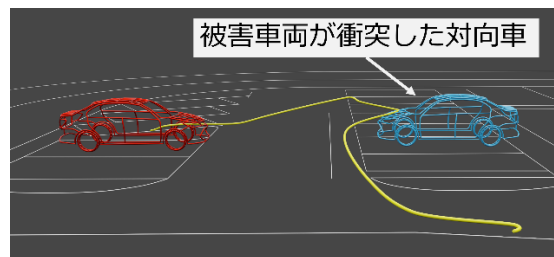


図 4. 被害車両の重心位置(黄線)の軌跡

本手法の妥当性と必要な情報：本手法は幾何学的な整合性に基づく既に確立された推定である。本手法を竜巻などの突風被害の解析に適用し、風により移動する物体の位置・姿勢を推定するためには、(1) 撮影に使用されたカメラ又は同型番のカメラによるカメラ校正情報、(2) 位置・形状が変化しない被写体の寸法・形状の情報、(3) 位置・姿勢を推定しようとする物体の寸法・形状の情報が必要である。

被写体の位置・姿勢推定における誤差：図 5 に示すように、被害車両の位置・姿勢推定において、竜巻通過前から車幅方向に数センチ程度駐車場をはみ出す誤差および車高方向に数センチ地面に沈み込む誤差が生じていると考えられる。前章で説明したレンズによる歪み補正において、実際には撮影車両のフロントガラスを通して撮影された映像であるものの、今回はカメラのレンズによる歪曲収差と主点位置のずれのみを補正したことが原因の一つであると考えられる。また、位置・姿勢の推定において、画面の奥行き方向については、CG 映像における被写体の大きさが実際の映像と一致するかどうかで判断しているが、被写体の大きさは奥行きに対する感度が高く、精確な位置の推定における課題となっている。

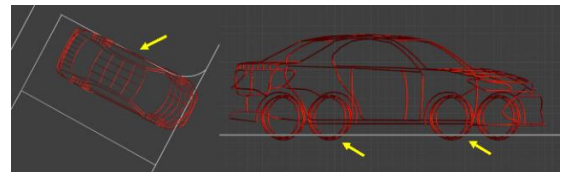


図 5. 車両の位置・姿勢推定の誤差

4. 結論

本研究では単眼カメラ 1 台のみによる映像から 3D モデルを用いて被写体の位置と姿勢を推定する手法の竜巻被害の映像の分析への適用可能性について検討を行った。竜巻により車両が横転した事例に本手法を適用する中で、本手法による被写体の位置・姿勢の推定に必要な情報を明らかにした。今後は本手法を被害映像内の飛散物にも適用するほか、本手法をカメラが静止していない竜巻被害の映像にも適用できるか検証する予定である。

謝辞

福島県郡山市の西部自動車学校にドライブレコーダーの映像、教習所路面の寸法情報等を提供いただきました。この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 南条正男, 写真による三次元測定—応用写真計測—, 初版, 共立出版, 1983, ISBN4-320-07344-4.
- [2] 黒澤大和, 吉川峻平, 西嶋一欽, 竜巻により横転した車両に働いた外力の被害映像分析による推定, 2025 年度日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集, 20035, 2025.9