

竜巻を捉えたドライブレコーダの映像を用いた竜巻中の飛散物の速度推定 Estimation of Flying Speed of Debris in Tornado Using Video Capturing Tornado Recorded by Drive Recorder

○岩崎弘高・西嶋一欽

○Hiroataka IWASAKI, Kazuyoshi NISHIJIMA

A tornado occurred in Maibara on June 29, 2018. This tornado was captured by a monocular driving recorder. This study aims to estimate the wind velocity in the tornado by estimating a trajectory of a flying traffic cone, which is incidentally recorded by the recorder. Taking into account the specification of the driving recorder such as view angle and frame rate, three-dimensional posture and position of the cone is estimated by comparing the geometrical property of the cone and its images in the recorded pictures. The estimation seems satisfactory in estimating the wind velocity in horizontal direction parallel to the pictures; i.e., the estimated wind velocity is compatible with the wind speed estimated based on a building damage survey.

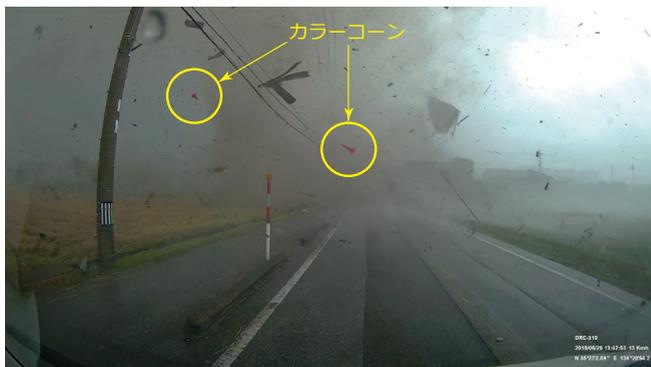
1. はじめに

2018年6月29日に滋賀県米原市で発生した竜巻は、住宅の屋根を吹き飛ばすなど大きな被害をもたらした。本稿では、その竜巻をとらえたドライブレコーダの映像（以下録画データ）から、竜巻中の飛散物の速度を推定することで竜巻の風速を推定する試みについて述べる。なお、本報告は第55回自然災害科学総合シンポジウムで発表した内容の一部である[1]。

2. 飛散物の速度推定の方法

録画データには、竜巻の様子とともに飛散しているカラーコーンが映っている。撮影されたフレーム画像の1つを取り出したものを画像1に示す。この映像は単眼のカメラで撮影されたものなので、視差を用いて被写体までの距離を測定する方法は使えない。しかしながら、カラーコーンは種類が限定的でありその大きさがある程度決まっていることから、カラーコーンのフレーム画像上の大きさとカラーコーン自体の大きさの情報を組み合わせ、カメラの諸元を加味したうえで幾何学的な関係を用いれば、空間上の位置を推定できると考えられる。

本稿では、このような幾何学的な関係からカラーコーンの位置を推定し、各フレームでの位置からカラーコーンの軌跡および移動速度を推定することを試みる。なお以下では、カラーコーンが十分大きくかつ明瞭に映っている4枚のフレームを



画像1 録画データのフレームの例

選別し計算を行うことにする。このフレームは等時間間隔で抜き出されたものではない。

3. カラーコーンの位置を推定する手順

推定手順は2つのステップからなる。1つ目のステップでは、カラーコーンの特徴点（＝底面の正方形の各頂点とカラーコーンの頂点）のフレーム画像上での位置を特定する。2つ目のステップでは、その特徴点のフレーム画像上の幾何学的な位置関係と整合するようなカラーコーンの姿勢および空間上の位置を試行錯誤的に探索する。以下ではこの2つのステップを詳しく説明する。

（ステップ1）赤味の強いところを目視で確認し、フレーム画像上のカラーコーンの5つの特徴点のピクセル位置を特定する。

（ステップ2）まず、空間の任意の場所に位置する任意の姿勢のカラーコーンの5つの特徴点がカメラの画像素子上にどのように配置されるかを数

値的に模擬する(図1)。この作業を様々な位置および姿勢に対して実施し、撮影されたフレーム画像上での実際の配置と比較する。比較に際しては、正規化した座標での対応点同士の2乗和誤差が最小になるものを最も似ているものとみなし、位置と姿勢を推定した。なお、本手法の精度は、距離と姿勢がわかっているカラーコーンを撮影した画像に本手法を適用することで検証した(距離20m以下の範囲で15%程度の誤差)。

録画データの各フレームに対し、カラーコーンのカメラに対する相対的な位置を上記の手法で計算した。また、そこからカラーコーンのカメラに対する相対速度を求めた。カメラを載せた自動車はドライブレコーダの表示によれば時速13km/sで動いている。自動車がカメラの光軸と平行に走行していると仮定することで、カラーコーンの地面に固定されている座標系(以下、絶対座標系)での速度を求めた。なお、カメラの画像素子に対し水平右向き方向をX軸、鉛直上向き方向をY軸、カメラの光軸に並行で画像素子から遠ざかる方向をZ軸とする。

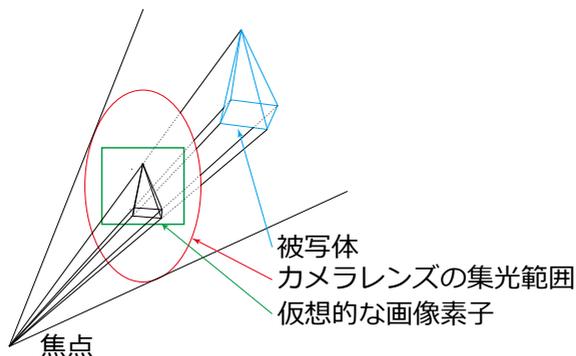


図1 被写体の画像上の位置

4. 推定結果と考察

カラーコーンの絶対座標系での推定された速度を図2に示す。図に示す通り、X方向速度は40m/s前後の値と推定され、これを風速とみなせば建物の被害調査から推定される風速と整合的である[2]。Y方向速度について、符号についてはフレーム画像上のカラーコーンの位置変化に整合的であるように見えるものの、絶対値が過大評価されていると考えられる。この原因として、Y方向速度は、推定されたZ座標(奥行き)の関数であるところ、(Z方向速度についての項目で述べる通り)奥行きの推定誤差が大きいため、それに伴ってY方向速度の推定精度が低くなったものと考えられる。Z方向速度については、映像中のカラーコーンは画面に対して平行に横切っているように見え、

したがってZ方向速度は0[m/s]に近い値をとるように見えるが、推定結果では速度の絶対値が大きいものがあり、また速度が大きく変化していることから、推定がうまくいっていないことがわかる。この原因は、奥行き方向の距離推定の精度はフレーム画像上の特徴点を特定する精度に依存するものの、今回用いた画像ではカラーコーンを高い解像度で解像しておらず特定された特徴点の位置に関して高い精度が期待できないことが原因のひとつと考えられる。

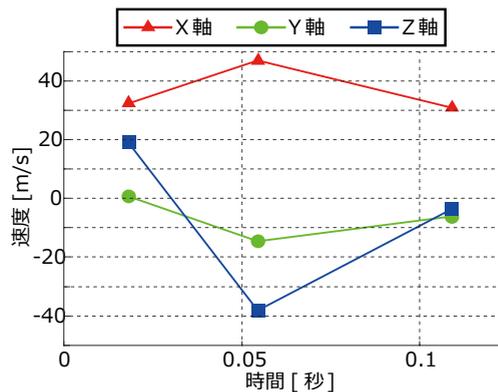


図2 カラーコーンの速度の推定結果

5. 結論

本稿で述べた手法でカラーコーンの飛散速度を推定した結果、X方向速度はうまく推定できた。Y方向速度については絶対値が過大評価されているようだ。Z方向速度は推定がうまくいっていない。

今後の展望として、飛散速度推定値がフレーム画像上のカラーコーン特徴点特定位置のずれに対してどのくらいロバストなのかを調べること、およびカラーコーンの姿勢および空間上の位置を特定するプロセスに関し時系列データとしての性質を利用して特定精度を高めることが挙げられる。

謝辞

本研究は科研費(16H05905)の助成を受けたものである。また、本ドライブレコーダの映像は萱野匡章氏にご提供いただいたものである。

参考文献

- [1] 西嶋一欽, 岩崎弘高, ICT技術によって生み出される情報を活用した竜巻被害調査—2018年6月29日に米原で発生した竜巻を例にとって—, 第55回自然災害総合シンポジウム, 2018年9月18日.
- [2] 西嶋一欽, 2018年6月29日に米原で発生した竜巻被害の調査報告, 平成30年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会, 講演番号B37