

渋滞検知のためのオプティカルフローによる対向車速推定手法

進藤 瞭^{†1} 白石 陽^{†2}

本研究は、対向車線の渋滞の原因（渋滞原因）をカメラ画像によって取得し、対向車線を走行する運転手に直感的な情報として提示することを目的としている。対向車線の渋滞原因を画像で取得する際、対向車線の渋滞を検知する必要があり、そのためには対向車の速度（対向車速）を把握する必要がある。そこで本研究では、カメラ画像を用いて対向車速を推定する手法を提案する。車載カメラによって撮影された画像系列から対向車のオプティカルフローを求め、フローの長さ（フロー長）から対向車速を推定する。事前に相対車速ごとに発生するフロー長をフロー長データベースに格納し、データベース内のデータを用いて補間関数を作成する。本研究では、対向車のフロー長を補間関数に与えることで得られる相対車速から、GPS センサによって得られる自車の速度を減算することで対向車速を推定するアプリケーションを作成し、実際に対向車線が渋滞している道路を走行し対向車速推定実験を行った。

A method to estimate the speed of vehicles on an oncoming lane for detection of traffic congestion by using optical flows

RYO SHINDO^{†1} YOH SHIRAISHI^{†2}

This study aims to present images representing the causes of traffic congestion to drivers who drive on an oncoming lane by using an in-vehicle camera. Detecting the congestion in an oncoming lane is necessary in order to grasp the causes of the congestion when a driver takes an image by using an in-vehicle camera. In addition, grasping the speed of vehicles on an oncoming lane is necessary in order to detect the congestion. Therefore, we propose a method that estimates the speed of vehicles on an oncoming lane using images taken by an in-vehicle camera. Our proposed method estimates the speed by calculating the length of optical flows of the vehicles in images. The length of optical flows generated in each relative speed is stored in a database, and an interpolation function is defined by using the data set of the length of flows and the relative speed in the database. We implemented an application that calculates the speed of vehicles on an oncoming lane by subtracting the speed of a moving vehicle from the estimated relative speed, and conducted experiments to evaluate the effectiveness of our proposed method.

1. はじめに

運転手が渋滞に対して適切に車線変更や迂回といった回避行動を行うためには、渋滞の原因（以下、渋滞原因）やその範囲（渋滞範囲）といった渋滞状況を把握する必要がある。渋滞状況の提供手段の一つである VICS（Vehicle Information and Communication System）では、道路上に設置されたセンサにより得られた交通状況を情報センターで処理・編集し、カーナビ機器などの車載機器に配信している[1]。VICS から提供される情報は、渋滞の度合いによって3段階に色分けされた渋滞範囲および、道路規制・障害情報などの渋滞原因である。

しかし、VICS は渋滞原因となりうる情報を簡易的なアイコンとして提供しているため、運転手はカーナビに表示されたアイコンを見て実際にその場所で起きている状況を想像し、渋滞を回避するか否かを判断しなければならない。そのため、アイコンによる情報提示は直感的な情報とはいえない。渋滞原因を直感的に把握するためには、カメラで撮影された実画像が有効である。

一方、車両に搭載されたセンサデバイスから取得した情報を、ナビゲーションや運転支援に役立てるプローブ情報

システムが注目集めている。プローブ情報とは、車両の現在の位置情報や外気温、エンジンの回転数や ABS（Antilock Brake System）の作動情報といった情報であり、プローブ情報システムでは、これらの情報を利用してナビゲーションや運転支援に役立てている[2-4]。また、取得したプローブ情報は、車両間でアドホック通信を行う車車間通信や、Web サーバを介した通信を行うことで、車両間で共有が可能であり、事故防止や交通の効率化に関する研究も行われている[5,6]。

車載カメラを用いて前方の渋滞原因を撮影する際、自車の走行車線では先行車両によって前方の視界が遮られてしまうことが考えられる。自車が渋滞原因を撮影するためには、その原因に接近する必要があるため、事前に渋滞を回避することはできない。一方、前方からやってくる対向車は、自車の前方の渋滞原因を把握している。そこで対向車から前方の渋滞原因の画像を受け取ることで、運転手が先の渋滞を把握し、迂回などの回避行動を取ることができる。本研究では、車両間で情報共有が可能であることを想定して、車載カメラを用いて対向車線の渋滞状況を把握することを目標としている。

車載カメラを用いて対向車線の渋滞状況を把握するために、対向車線の渋滞を検知する必要があり、そのためには対向車の速度（対向車速）を把握する必要がある。そこで本稿では、カメラ画像から対向車速を推定する手法を提案

^{†1} 公法はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
Graduated School of Systems Information Science, Future University Hakodate.
^{†2} 公法はこだて未来大学 システム情報科学科
School of Systems Information Science, Future University Hakodate.

する。車載カメラにより実際に対向車線が渋滞している箇所を撮影し、画像系列を解析し対向車速を推定する。

2. 関連研究

本章では、まず、渋滞状況の提示・共有に関連した技術・研究について述べる。次に、車載カメラを用いた道路状況の把握に関する研究について述べ、最後にまとめとして本研究との比較を行う。

2.1 渋滞状況の提示・共有

渋滞情報を提供する手段として、VICS が挙げられる。VICS では道路に設置されたセンサデバイスから交通量などの交通情報を収集する。収集された情報はセンターに集積され、そこで処理・編集された情報を FM 多重放送や電波・光ビーコンを用いて VICS 対応カーナビや専用の車載機に送信することで、リアルタイムに交通情報を提供している[1]。VICS からは、簡易地図上に渋滞区分(表 1)に基づき色分けされた渋滞範囲や、アイコンによる交通規制情報や交通障害情報など(図 1)が表示される。

表 1 VICS の渋滞区分 (文献[1]から引用)

渋滞度(色)	一般道路	都市内高速道路	都市間高速道路
渋滞(赤)	10km/h 以下	20km/h 以下	40km/h 以下
混雑(橙)	10km/h-20km/h	20km/h-40km/h	40km/h-60km/h
順調(緑)	20km/h 以上	40km/h 以上	60km/h 以上



図 1 VICS から提供されるアイコン (文献[1]から引用)

しかし、交通情報の収集・配信には道路インフラの設置が必要であることから、すべての道路の情報を収集し、配信することは困難である。さらに、VICS では交通規制・障害情報をアイコンの形式で提供しており、運転手はそのアイコンが示す意味を理解し、実際にその場所で起きている事象の規模や影響を想像して迂回の判断をしなければならない。そのため、運転手にとって直感的な情報ではないと言える。

VICS により提供される渋滞原因を表すアイコンは、事象の規模に関係なく一様であるので、運転手にとって直感的な情報ではない。アイコンよりも、渋滞原因を撮影したカメラ画像による情報の提示が有効であると考えられる。カメラ画像による情報提示の研究として、道路状況を撮影したカメラ画像を共有する研究がある[7,8]。文献[7]では、運転手の直感的な渋滞把握のために、渋滞が発生している地点

を撮影した動画を配信するシステムを提案している。この研究では、車載されたスマートフォンを用いて渋滞道路の動画を撮影し、動画の撮影時刻と現在時刻との差や動画内の道路の混雑度合いなどを考慮した上で、効率よく渋滞動画を収集・他車へ配信する手法を提案している。また、文献[8]では、道路状況を撮影したショート動画を作成し、他車と共有する手法を提案している。この研究では、スマートフォンの内蔵の GPS センサにより、自車の速度(以下、自車速)を把握し、自車速に基づき渋滞範囲を決定する。同時に、走行中の動画を撮影し、渋滞範囲内にいる際の動画に対して色や形状に注目した画像処理を施すことで、静止物である信号機を検出し、信号機の写った 10 秒程度のショート動画を作成している。信号機を検出する理由として、信号機は静止物であり、動画内の信号機の移動量から車両の移動速度の把握が容易であることが挙げられている。

2.2 車載カメラを用いた渋滞状況の把握

車載カメラを用いた道路状況に関連する研究として、車載カメラを用いた障害物検知の研究がある[9]。この研究では、車載カメラで前方を撮影し続けながら走行し、同じ道路で障害物の無い時にあらかじめ撮影された映像(背景映像)と走行中に撮影した映像とを比較し映像差分を求めることで、想定されていない障害物を検知する。2 画像間の時間方向および道路面の空間方向の対応付けを行うことで、2 画像間の差分映像を作成し、輝度・彩度・エッジなどの特徴量を用いて、カメラから障害物までの距離に応じた再現率、誤検出率および誤検出フレーム率を求め、その結果から障害物を検知している。この手法では、物体検知により対向車を検知することは可能であるが、物体を検知しかた否かの情報のみでは、対向車速を把握することは困難であるため、渋滞を把握することは困難であると考えられる。

また、車載カメラを用いて渋滞を検知する研究がある[10]。この研究では、カメラ画像内の対向車線の輝度ヒストグラムの標準偏差を求めることで対向車線の渋滞を検知する手法を提案している。車載されたスマートフォンにより走行中の動画を撮影し、カメラ画像内の対向車線の部分に、対向車が収まるように関心領域を設ける。関心領域内で輝度ヒストグラム解析を行い、対向車線の渋滞時と非渋滞時における輝度ヒストグラムの標準偏差が異なることを利用し、対向車線の渋滞を判定している。この手法では、輝度ヒストグラムからでは対向車速の推定が困難であるため、流動する渋滞を検知することは困難であると考えられる。

2.3 まとめ

VICS では、提供される情報がアイコンであるため、運転手にとって直感的な情報ではない。そこで、文献[7]や文献[8]のような車載カメラ画像による渋滞状況の提示が有効であると考えられるが、自車の走行車線の渋滞状況をカ

メラで撮影する際に、車高の高い先行車両がいる場合などには前方の渋滞状況の把握は困難である。一方で対向車線は自車の走行車線の渋滞状況を容易に撮影でき、撮影された画像を対向車から受け取ることで前方の渋滞原因を把握することができる。したがって、対向車線の渋滞状況を把握することが有効であると考え。車載カメラを用いて対向車線の渋滞状況を把握するためには、まず渋滞範囲を把握し渋滞を検知する必要がある。渋滞範囲を把握するためには対向車の速度（以下、対向車速）を把握する必要があると考える。対向車速を推定する方法として、車車間通信を用いて対向車から車速情報を受け取ることで渋滞範囲を把握する方法が考えられるが、渋滞している複数の車両から車速情報を受け取る必要がある。一方、車載カメラにより渋滞を検知する方法では、1 台の車両のカメラ画像から渋滞を検知することが可能である。対向車を検知する方法として、文献[9]のような物体検知の手法で対向車を検知することは可能であるが、物体を検知したか否かの情報だけでは対向車速を把握することは困難である。文献[10]のように輝度ヒストグラムの標準偏差から対向車線の渋滞を検知する手法では、輝度の変化から対向車速を把握することは困難である。また、カメラ画像に対して画像処理を行う上で対向車とその背景を区別することが必要であるが、文献[10]の手法では屋外の日射量が輝度に影響するため、区別が困難である。

3. 提案手法

本章では、まず本研究の目的と課題を解決するためのアプローチを述べる。次に対向車線渋滞検知システムの全体像を述べ、その中でも提案手法である車速推定手法の詳細について述べる。

3.1 研究目的とアプローチ

渋滞状況をより直感的に提供するためには、VICS で用いられているような簡易的なアイコンではなく、カメラ画像による提示が有効であると考え。また、カメラで渋滞状況を把握するには、前方の状況よりも対向車線の状況に注目する方が容易である（図2）。

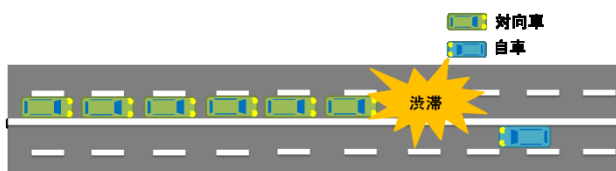


図2 本研究における自車と対向車の位置関係

そこで、著者は、車載カメラ画像を用い対向車線の渋滞状況を把握する手法を提案している[11,12]。具体的には、対向車線の渋滞原因をカメラで撮影し、対向車に渡すこと

で事前の直感的な渋滞状況の把握の実現を目的に、対向車線の渋滞状況をカメラ画像から把握する手法を提案している。研究の全体像は3.2節で説明する。本稿では、その中でも対向車速の推定に注目する。

対向車線の渋滞原因をカメラで撮影するには、対向車線の渋滞の開始地点を検知する必要がある。そのためには渋滞の範囲を検知する必要がある。これは、渋滞範囲を把握し、渋滞の開始地点を検知することで、渋滞の開始地点にある渋滞原因の画像を取得するためである。また、渋滞は流動的に変化するものであるため、渋滞範囲を把握する際には対向車速の把握が必要である。また、カメラ画像に対して画像処理を行う上で対向車とその背景との区別も必要である。そこで、本研究では、車載カメラで撮影された画像系列からオプティカルフローを算出し、対向車線で発生するオプティカルフローの長さ（以下、フロー長）を調べることで、対向車速を把握し対向車線の渋滞状況を把握する。オプティカルフローとは、一定の時間間隔で連続するデジタル画像において、2 画像間の物体の動きをベクトルで表したものである。画像系列から算出されるフロー長は、カメラを搭載している自車と対向車との距離、自車速・対向車速間の相対車速および2 画像間の時間間隔によって異なる。自車との距離については、自車と対向車との距離よりも自車と対向車線奥側の背景との距離が遠くなるため、単位時間あたりに移動する量が異なることから、対向車と背景を区別することが可能であると考え。また、車速については、対向車速だけでなく、自車速によっても発生するフロー長が異なることが考えられるが、ドライブレコーダーやスマートフォンに内蔵されたGPS センサにより自車速を把握することで対向車速を推定することが可能であると考えられる。

以上より、GPS センサを用いて自車速を把握し、カメラ画像からオプティカルフローを生成することで、フロー長から対向車速を把握し、その情報から渋滞を検知し、渋滞範囲および渋滞原因の画像の生成が可能であると考え。

3.2 本システムの全体像

まず、本システムの全体像を図3に示す。

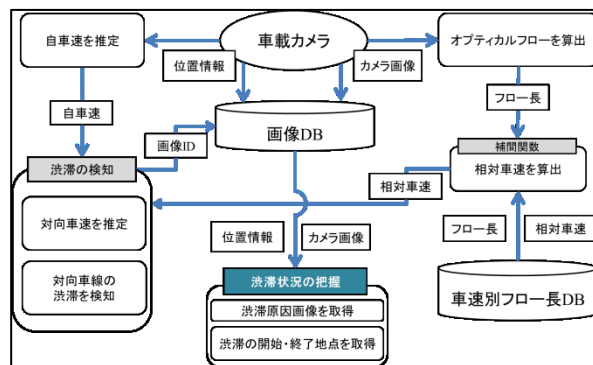


図3 本システムの全体像

渋滞状況把握システムは、以下の手順で構成されている。

- (i) 対向車速の推定
- (ii) 渋滞の検知
- (iii) 渋滞原因の画像の生成
- (iv) 渋滞範囲の生成

まず、車載カメラを車内前方に設置し、対向車線を撮影しながら走行する。次に、撮影された画像系列から、連続する2画像間のオプティカルフローを生成する。対向車の検知および対向車速の推定のために、相対車速毎に発生するフロー長をデータベース（以下、車速別フロー長データベース）にあらかじめ登録しておく。発生したフロー長とデータベース内のデータを比較し、対向車速の推定を行う（i）。推定された対向車速（推定車速）が閾値を下回る状態が続いた時に、その地点を渋滞と判定する（ii）。この時、渋滞の開始地点の画像を取得することで渋滞原因の画像を取得する（iii）。最後に、渋滞の開始地点と渋滞の終了地点の位置情報を取得し、渋滞範囲を生成する（iv）。生成された渋滞原因の画像と渋滞範囲を用いて、地図上に渋滞原因の画像と渋滞範囲を表示する。

対向車速推定手法では、まず映像の撮影と同時にGPSセンサにより撮影地点の位置情報を取得し、自車速を算出する。さらに、あらかじめ車速別フロー長データベースを作成し、データベースに登録された相対車速およびフロー長の組み合わせデータから補間関数を作成する。画像系列から新たに算出されたフロー長を関数に与えることで、相対車速を得、対向車速の推定を行う。その推定結果を元に渋滞を検知し、渋滞原因の画像を取得する。対向車速推定および渋滞検知の詳細については3.4節で説明する。

3.3 オプティカルフローの算出方法

オプティカルフローの算出方法には、主に勾配法とブロックマッチング法がある[13,14]。勾配法では、輝度の時間/空間的微分である輝度勾配の拘束方程式を用いて、制約条件を付加して速度場を求める。勾配法は比較的高速に速度場を求めることができるが、急激な輝度変化によるノイズが発生すると、著しい誤差が発生することがある。ブロックマッチング法では、画像内の特定の部分をテンプレートとし、次画像内においてテンプレートにマッチした部分を探索することで、フローを求める。ブロックマッチング法は、適切な特徴を持つ画像では外乱に強いフロー計算が可能であるが、勾配法に比べて計算コストが大きい。また、画像内の物体の回転や拡大・縮小といったスケーリングに対するフロー計算はテンプレートのブロックのサイズや画像の特徴に依存する。

本研究では走行中の車両から対向車線を撮影するため、対向車や風景が時間の経過とともに拡大する。そのため、対向車のフローを生成するためにブロックマッチング法を

用いることは困難であると考えられる。そこで、本研究では勾配法を採用すると共に、屋外環境において急激な輝度変化に対応するために、画像中のはっきりした特徴点（コーナー）を検出するLK（Lucas Kanade）法を採用することで輝度変化による誤差を軽減する（図4）。



図4 LK法によるフローの描画

3.4 渋滞検知までの流れ

本節では、対向車速の推定および渋滞の検知について説明する。

3.4.1 渋滞検知および対向車速推定に用いるデータベース

渋滞状況の把握では、撮影した画像系列および撮影地点の位置情報を保存する画像データベース、および対向車の検知・対向車速の推定のための車速別フロー長データベースを用いる。各データベースのテーブル構造について表2および表3に示す。

表2 画像データベースのテーブル構造

属性	説明
<i>ID</i>	画像のID
<i>Image</i>	撮影された画像
<i>Lat</i>	画像を撮影した位置の緯度
<i>Lon</i>	画像を撮影した位置の経度

表3 車速別フロー長データベースのテーブル構造

属性	説明
<i>R_{speed}</i>	自車と対向車との相対車速
<i>Len</i>	ある相対車速において発生する対向車のフロー長

画像データベースでは、撮影時の画像およびその画像を撮影した地点の位置情報を格納する。また、車速別フロー長データベースでは、自車と対向車との相対車速および相対車速ごとに発生するフロー長を格納する。

3.4.2 対向車速の推定

画像内で対向車からオプティカルフローを生成する際に、対向車線の物体以外から発生するフローは不要である。そのため、画像内に対向車が収まるように関心領域（図5）を設定し、領域内でオプティカルフローを生成する。

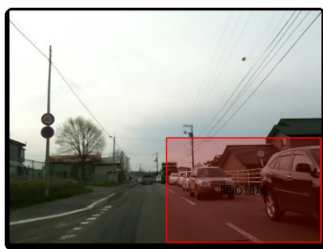


図5 オプティカルフロー生成の関心領域

領域内では多数のフローが生成される。車速別フロー長データベースにフロー長を格納するために、領域内で発生したフローの長さを集計し、各画像に対するフロー長として記録する。しかし、領域内で発生する複数のフロー長はフロー計算の際に検知される特徴点の位置および移動量によって異なる。そのため、各画像に対するフロー長をどのように決定するかを議論する必要がある。また、フローは2画像間の特徴点の動きを表すものであるため、2画像間の時間間隔によってその長さが変化することが考えられる。したがって、フローを発生させるための2画像間の時間間隔を決定する必要がある。

自車速はGPSセンサを用いて算出する。自車速を C_{speed} [km/h]、対向車速を O_{speed} [km/h] とすると、相対速度 R_{speed} [km/h] は式(1)で表される。

$$R_{speed} = C_{speed} + O_{speed} \quad \dots (1)$$

本稿では、一般道における渋滞状況の把握を想定しているため、 C_{speed} および O_{speed} の範囲をそれぞれ、

$$0 \leq C_{speed} \leq 60 \quad \dots (2)$$

$$0 \leq O_{speed} \leq 60 \quad \dots (3)$$

とすると、 R_{speed} の範囲は

$$0 \leq R_{speed} \leq 120 \quad \dots (4)$$

となる。走行時に撮影した画像系列から算出されたフロー長を車速別フロー長データベースに問い合わせることで相対速度を取得し、そこから自車速を減算することで、対向車速の推定が可能であると考えられる。

しかし、自車速・対向車速の変化によりフロー長および相対車速が常に変化するため、新たに算出されたフロー長に対応する相対車速が常にデータベース内に存在するとは限らない。そこで、車速別フロー長データベース内のデータを用いて3次スプライン関数を作成し補間処理を行う。画像系列から新たに算出されたフロー長を関数の引数として与えることで、データベースに登録されていない相対速度を補間する。

前述したように、フロー長はカメラと物体との距離や相対車速によって変化する。カメラと物体との距離に関しては、自車と対向車線の背景物体との距離よりも、自車と対向車との距離が近い場合、対向車から発生するフロー長よりも自車の移動によって対向車線の背景から発生するフロー長が短くなる。これにより、補間された相対速度よりも

自車速の方が大きくなる。

3.4.3 渋滞の検知

対向車線の渋滞は、3.4.2 項の対向車速の推定結果を用いて検知する。対向車速を検知した地点から、一定数のフレームのフロー長を調べ、同様に対向車速を推定する。VICSの渋滞区分(表1)に従い、一般道における渋滞となる車速は10[km/h]であることから、推定車速が10[km/h]を下回る状態が続いた場合、その箇所を渋滞であると判定し、初めて対向車を検知した地点から、一定時間分遡った地点を渋滞の開始地点であるとみなす。これは、対向車の先頭の先に渋滞原因があると考えられるためである。また、推定車速が負値または10[km/h]を超える状態が続いた地点を渋滞の終了地点であるとみなす。この時、渋滞の開始地点および終了地点で撮影されたそれぞれの画像のIDを保持しておく。それらのIDを画像データベースに問い合わせ、渋滞の発生地点の画像を取得することで渋滞原因の画像を取得し、渋滞の開始地点と終了地点の位置情報を取得することで渋滞範囲を生成する。

4. 実験および考察

本章では、提案手法の有効性の検証のための実験と評価について述べる。3.4.2 項で述べたように、車速別フロー長データベースに格納するフロー長として、どの統計値を選択するかを決定する必要がある。また、フロー生成のための適切な2画像間の時間間隔を決定する必要がある。そこで予備実験として、フロー長の統計値および2画像間の時間間隔を決定するパラメータ設定実験を行う。さらに、予備実験で決定したパラメータにより算出されたフロー長と相対車速から作成された補間関数を利用し、実際に対向車線が渋滞している箇所を撮影した動画を用いて対向車速の推定実験を行った。

4.1 実装

フロー長の生成および対向車速の推定のために、PC上でOpenCVライブラリを用いたC言語によるアプリケーションを実装した。画像系列を読み込み、連続する2画像間のオプティカルフローを算出し描画する。オプティカルフローの算出方法として、疎な特徴点を検出するために、OpenCVライブラリ内のcvGoodFeaturesToTrack関数を利用し、オプティカルフローの計算アルゴリズムとして、同ライブラリ内のcvCalcOpticalFlowPyrLK関数を利用している。実験に用いる車載カメラは、iPhone3GSを用いた。iPhone3GSによって撮影される動画の解像度は640×480ピクセルであり、動画のフレームレートは約30[fps]である。画面右下に対向車が収まるように、430×210ピクセルの関心領域を設定し、領域内でフローを生成させる。また、自

車速の計算のために iPhone5 にロガーアプリケーションを実装した。このアプリケーションは、0.1 秒毎に端末の位置情報を保存し、その間の移動量から自車速を計算するものである。対向車速の推定に関しては、車速別フロー長データベース内のフロー長と相対車速の組み合わせデータを用い、補間関数として 3 次スプライン関数を作成した。

4.2 実験方法

iPhone3GS を車内ダッシュボードの中央に設置したクレードルに設置し、前方を撮影できるように固定した。パラメータ設定実験では、速度制限 60km/h の中央分離帯の無い一般道において、対向車線に車両 4 台を停車させ、擬似渋滞を作成し、その横を異なる速度で 5 回通過した時の映像を記録した。この時、対向車は全て停止しているため、相対車速は自車速と同値である。相対車速の異なる 5 つの画像系列に関して、フロー長生成のためのフロー長の統計値および 2 画像間の時間間隔のパラメータについて検討した。また、予備実験により設定したフロー長および相対車速を用いて補間関数を作成し、対向車速を推定した。

4.3 パラメータ設定実験

先行研究として、著者らは 3 章で述べた車速別フロー長データベースに格納するフロー長の統計値 (*Len*) およびフロー長を生成するための適切な画像間の時間間隔 (*Interval*) を決定する実験を行った。この実験では、対向車間の距離を一定としたが、実際に対向車線が渋滞している道路では、対向車間の距離がまばらであることが考えられる。そこで、車間距離と *Len* および *Interval* の関係を調べる必要があると考え、車間距離 (*Dist*) を考慮した *Len* および *Interval* を検討する。車間距離 (*Dist*)、フロー長の統計値 (*Len*) および 2 画像間の時間間隔 (*Interval*) のパラメータを表 4 に示す。

表 4 検討する対向車間の距離・フロー長の統計値
および 2 画像間の時間間隔

車間距離 (<i>Dist</i>) [m]	2,4,6
フロー長の統計値 (<i>Len</i>)	平均 (<i>ave</i>), 分散 (<i>var</i>), 標準偏差 (<i>stddev</i>), 中央値 (<i>med</i>), 最大値 (<i>max</i>)
2 画像間の間隔 (<i>Interval</i>)	2,3,4,8

フロー長は 1 フレームに発生した複数のオブティカルフローの長さを集計した。フロー長の統計値として、平均・分散・標準偏差・中央値・最大値の 5 種類の統計値を検討する。また、画像系列の内のフロー長を発生させるための 2 画像間の間隔を *Interval* とし、*Interval* = 2,3,4,8 の場合を

考える。画像系列のうち、連続している 2 画像間の間隔を *Interval* = 1 とする。例えば、*Interval* = 3 であれば、画像系列の第 1 フレームと第 4 フレーム間で発生するフロー長であることを指す。また、フロー長の取得タイミングとして、図 6 で示される車列の先頭車両とすれ違う時とした。



図 6 実験風景

Interval 毎の *Len* の変化を表 5 および表 6 に示す。

表 5: *Interval* = 2 における *Len* の変化

車間距離 (<i>Dist</i>) [m]	相対車速 [km/h]	<i>Len</i>				
		<i>ave</i>	<i>var</i>	<i>stddev</i>	<i>med</i>	<i>max</i>
2	9.25	6.07	0.55	0.74	6.08	7.07
	23.14	11.23	8.62	2.93	10.81	16.12
	30.7	11.87	16.31	4.03	11.04	20.09
	33.76	13.37	40.69	6.37	13.47	26.47
	40.31	12.02	48.48	6.96	8.03	29.42
4	9.9	7.44	1.56	1.24	8.03	9.21
	18.71	11.12	9.42	3.06	11.09	15.52
	28.22	14.73	19.55	4.42	15.03	23.53
	33.48	16.25	66.9	8.17	15.78	32.06
	41.5	15.86	73.66	8.58	16.03	35.17
6	11.8	8.06	3.61	1.9	8	11.4
	17.17	10.54	6.97	2.64	10.19	15.52
	24.84	11.28	26.58	5.15	10.04	19.41
	33.08	12.11	35.2	5.93	10.52	26.3
	41.47	13.3	37.48	6.12	12.16	28.28

表 6: $Interval = 3$ における Len の変化

車間距離 (Dist) [m]	相対車速 [km/h]	Len				
		ave	var	$stddev$	med	max
2	9.25	8.18	2.07	1.43	8.15	10.19
	23.14	11.04	33.15	5.75	8.06	26.3
	30.7	14.08	84.85	9.21	9.27	38.47
	33.76	16.46	134	11.57	11	42.01
	40.31	16.38	129.98	11.4	10.19	46.69
4	9.9	8.64	6.6	2.57	8.06	12.36
	18.71	13.36	19.62	4.43	13.53	21.58
	28.22	14.05	100.48	10.02	9.25	36.62
	33.48	19.04	83.23	9.12	17.11	35.44
	41.5	18.49	164.06	12.8	12.12	49.24
6	11.8	9.3	8.96	2.99	9.13	13.6
	17.17	11.69	31.98	5.65	10.04	21.84
	24.84	13.54	50.6	7.11	13.53	32.01
	33.08	15.72	96.25	8.91	10.68	40.6
	41.47	17.63	123.25	11.1	14.57	43.46

実験の結果、5 種類の Len が $Interval = 8$ の時は相対車速の増加に伴って値が増加していく傾向は見られなかった。これは、 $Interval$ を大きくすると、2 画像間の物体の移動量が大きくなり、前画像で取得された特徴点が、次画像で消失し、異常な長さのフローが発生していることが考えられる。したがって $Interval = 8$ はフローの生成には不適であると考えられる。

次に、 $Interval = 2, 3, 4$ における分散 (var) の変化を図 7 に示す。

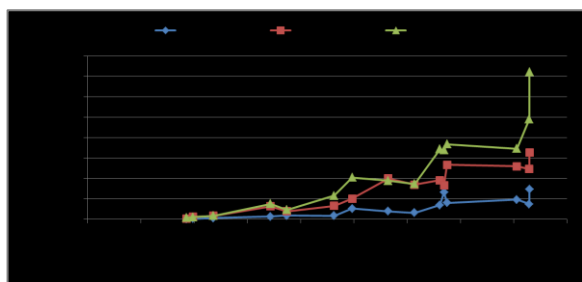


図 7 各 $Interval$ における分散 (var) の変化

$Interval = 3$ および 4 では、相対車速の増加に伴い分散の値が振動していることがわかる。 $Interval = 2$ では、同じ相対車速でも車間距離の違いによって分散の値が変化していることが表 5 より確認できる。また、標準偏差 ($stddev$) に関しても図 7 と同様の変化が見られた。分散や標準偏差は特徴点の誤検知によるノイズに大きく影響されると考えられるため、分散および標準偏差は Len には不適であると考えられる。

$Interval = 2$ の時、平均 (ave) および中央値 (med) は相対車速の増加にかかわらず値が停滞している。また、最大値 (max) は相対車速の増加に伴い値が増加しているが、その増加幅は小さい。フロー長の増加幅が小さいと車速推定を行う際にノイズの影響を大きく受けてしまうおそれがある。 $Interval = 3$ の時、 ave 、 med および max は相対車速の増加に応じて値が増加しているが、 ave の増加幅は小さい。また、 max は車間距離の違いにかかわらず同じ速度帯での値がほぼ等しい。 $Interval = 4$ の時、 ave および max は相対車速の増加に応じて増加しているが、 ave の増加幅は小さい。また、 max は同じ速度帯でも車間距離の違いによってその値が変化している。これらの結果から、車間距離に影響しない Len として最大値 (max) を用い、かつ $Interval = 3$ を選択した。実験により定義された補間関数を図 8 に示す。

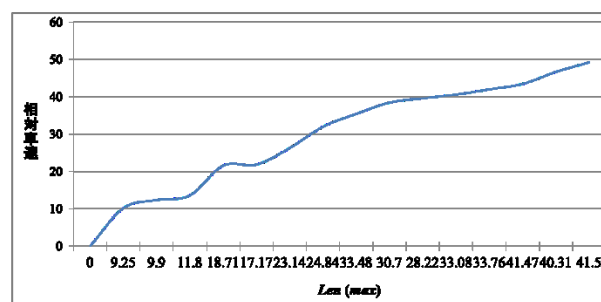


図 8 予備実験で得られたデータから作成した補間関数

図 8 では、相対車速は必ずしも Len の増加に応じて増加しているわけではないことが見られる。これは、各速度において 1 度ずつ走行した際のフロー長を用いているため、 Len が特徴点の誤検知によって発生した異常なフローに影響されているためであると考えられる。そのため、同じ速度で複数回走行し、得られたフロー長の平均をとることで、特徴点の誤検出によるフロー長の誤差を軽減でき、より正確な補間関数を作成できると考える。

4.4 車速推定実験

4.3 節の予備実験により得られたフロー長および相対車速から補間関数を作成し、対向車速の推定精度の検討を行う。実験には、実際に対向車線が渋滞している片側 1 車線の道路を走行した時に撮影した映像を用いた。この時、対

向車は停止または低速で走行している．対向車線の物体から新たに発生したフローの長さを補間関数の引数として与え，得られた相対車速から自車速を減算することで対向車速を推定する．実験結果を図 9 に示す．また，撮影した動画における Len および相対車速の変化を図 10 に示す．

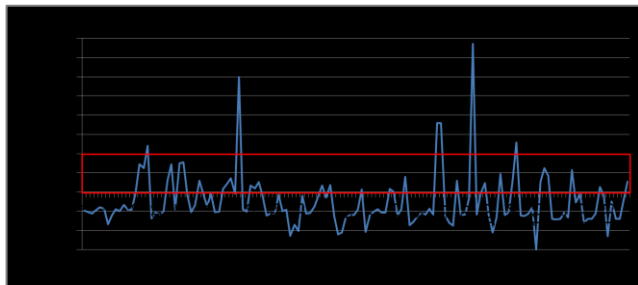


図 9 推定結果



(a) 対向車とすれ違う瞬間

$O_{speed} = 12.4$
($Len = 54.74$)

(b) 次の対向車とすれ違うまでの間

$O_{speed} = -13.8$
($Len = 26.47$)

図 10 Len および推定車速の変化

図 9 において，推定車速が複数のフレームで 10 [km/h] 前後と推定されていることが分かる．これらの速度は図 10(a)のように自車が対向車とすれ違う瞬間に推定されていることが確認できた．また，いくつかのフレームでは推定車速が 0[km/h]を下回っている．これらの速度は図 10(b)のように，自車が次の対向車とすれ違うまでの間に発生していたことが確認できた．

4.5 考察

予備実験では，フロー長の統計値として最大値を採用した．また，フローを発生させるための 2 画像間の間隔として $Interval = 3$ が適切であると判断した．これらの組み合わせは相対車速の増加に応じてフロー長が増加しており，対向車間の距離が異なる場合でも同じ速度帯でフローの値が変わらないことから，実際の渋滞動画に対しても対応できると考える．しかし，一部で相対車速が増加しているにも関わらず，フロー長が減少している箇所が見られた．これは，補間関数を作成する際に，各相対車速で 1 度ずつ走行したものを記録しており，ノイズにより発生した異常なフローに影響を受けていると考えられる．この誤差は各相対車速で複数回走行したものを記録することで軽減できると考える．さらに，特徴点の誤検知を減らすことでフロー長

が正確に計算され，相対車速の増加に応じてフロー長が単調増加する補間関数を作成できると考える．また，特徴点の誤検知を減らすために，関心領域の位置やサイズおよび 1 フレーム中の検知すべき特徴点の個数の値を検討する必要があると考える．対向車速推定実験では，自車が対向車とすれ違う瞬間に推定車速は 10km/h 前後となり，次の対向車とすれ違うまでの間は 0km/h 以下となり続けることが分かった．推定車速が 0km/h 以下に推定される理由は次のように考えられる．まず，対向車とすれ違うまでは対向車線の背景から短いフローが発生し続けるため，補間関数から得られた相対車速が自車速よりも小さくなる．次に対向車とすれ違う瞬間には，画像内で背景よりも手前に存在する対向車の特徴点からフローが発生するためフロー長が長くなり，対向車速が 10km/h 前後であると推定される．対向車とすれ違い次の対向車とすれ違うまでは，再び背景から短いフローが発生し，相対車速が 0km/h を下回る．以上のように，対向車 1 台とすれ違う間にフロー長の長さが増加し，推定車速が 0km/h 以下から 10km/h となり，再び 0km/h を下回るということが示された．また，予備実験で述べたように，事前に作成する補間関数を正確に作成することで，より正確に対向車速を推定できると考える．

5. まとめ

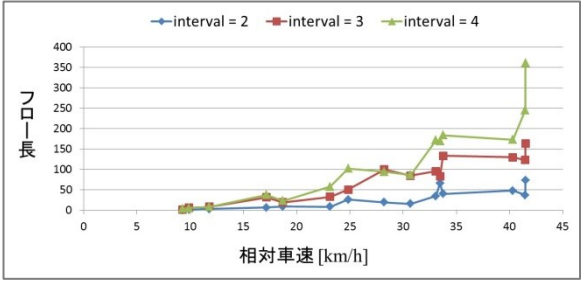
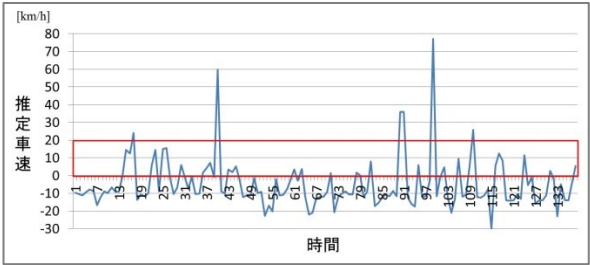
本稿では，車載カメラで対向車線の渋滞状況を把握するための手段として，車載カメラ画像からオプティカルフローを生成し，その長さから対向車速を推定する手法を提案した．また，実際に対向車線が渋滞している道路を撮影した動画を用い，対向車速推定実験を行った．今後は，より正確に対向車速を推定できる補間関数を定義するために，より多くの相対車速とフロー長のデータセットを取得する必要があると考える．また，得られた推定結果から，渋滞か否かを判定する手法を検討する．さらに，片側 2 車線道路や中央分離帯の存在する道路などにおける対向車線の渋滞検知システムの検討も今後行う．現在の手法では，例えば片側 2 車線道路であれば，異なる車線に存在する対向車のフロー長が異なることが考えられるが，車線数に応じて補間関数を切り替えることで対応できると考える．また，中央分離帯のある道路では，対向車だけでなく分離帯からもフローが発生することが考えられるが，分離帯から発生するフローが検知されないように，関心領域の位置やサイズを変更することで対応できると考える．

参考文献

- 1) VICS | 財団法人 道路交通情報通信システムセンター，入手先<<http://www.vics.or.jp/index1.html>> (2013-05-10).
- 2) 北山 浩透，クルマからのデータ活用による新サービスとプラットフォーム，情報処理，Vol.54，No.4，pp.337-343，2013.

- 3) 森川 高行, プローブ情報を活用した新しい道路交通サービスの可能性, システム制御情報学会, システム/制御/情報, Vol.54, No.9, pp.366-370, 2010.
- 4) 植原 啓介, プローブ情報システム, 車載センサを活用した環境情報の取得, 情報処理, Vol.51, No.9, pp.1144-1149, 2010.
- 5) 高砂 智紀, 高橋 和子, 車車間通信を用いた車線変更と脇道にともなう交通流の円滑化を図るモデルの提案と実装, 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用, Vol.2, No.3, pp.110-126, 2009.
- 6) 瀧本 栄二, 大山 卓, 三浦 龍, 小花 貞夫, 安全運転支援車車間通信システムのための周辺車両位置管理方式の提案と一考察, 情報処理学会研究報告, ITS, Vol.2009, No.24, pp.47-51, 2009.
- 7) 玉井森彦, 安本慶一, 福倉寿信, 岩井明史, 道路上の交通量変化に基づく効率のよい渋滞動画データの収集および配信方式, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-MBL-61, No.29, pp.1-8, 2012.
- 8) 玉井森彦, 尾上佳久, 安本慶一, 福倉寿信, 岩井明史, 画像処理に基づいた効率のよい渋滞動画の収集・共有方式, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-MBL-65, No.36, pp.1-8, 2013.
- 9) 久徳 遙矢, 出口 大輔, 高橋 友和, 目加田 慶人, 井手 一郎, 村瀬 洋, 過去の車載カメラ映像との道路面差分による不特定障害物の検出, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU (パターン認識・メディア理解), Vol.109, No.470, pp.235-240, 2010.
- 10) 浜尾和秀, 鈴木豊, 本間政広, 橋本健一, 石川泰弘, 高樋昌, 石山修司, 櫻井俊明, スマートフォンによる対向車線渋滞検知方法: 電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会, Vol.112, No.72, pp.19-24, 2012.
- 11) 進藤瞭, 白石陽, 車載カメラ画像による対向車線の渋滞状況の把握手法, 情報処理学会第75回全国大会論文集, pp.(3-171)-(3-172), 2013.
- 12) 進藤瞭, 白石陽, 車載カメラ画像を用いた対向車線の渋滞状況の把握手法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム, pp.139-146, 2013.
- 13) opencv.jp - OpenCV オプティカルフロー (Optical flow), 入手先<http://opencv.jp/sample/optical_flow.html>(accessed 2013-5-10).
- 14) Gary Bradski, Adrian Kaebler, 詳解 OpenCV, コンピュータビジョンライブラリを使った画像処理・認識, オライリー・ジャパン, 東京, 2009.

正誤表

図番号	正
図 7	 図 7 各 <i>Interval</i> における分散 (<i>var</i>) の変化
図 9	 図 9 推定結果