

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

進藤瞭^{†1} 白石陽^{†2}

近年、走行中の車両にセンサデバイスを搭載し、交通状況を取得するプローブ情報システムが注目されている。プローブ情報システムの例として、渋滞の原因や渋滞の範囲などの渋滞状況を共有する VICS (Vehicle Information and Communication System) が普及している。しかし、VICS では、情報を取得したい道路にセンサを設置する必要がある。さらに、VICS が提供する交通事故や道路工事といった渋滞の原因は簡易的なアイコンで表示されており、運転手にとって直感的な提示方法ではない。運転手が渋滞の原因を直感的に把握するためには、カメラ画像の利用提示が有効であると考えられる。また、走行車線の前方をカメラで撮影する際、実際にその箇所まで近づかなければ渋滞の原因を把握できないため、事前に回避行動を取ることができない。一方、対向車から自車の走行車線の前方の情報を受け取ることができれば、事前に渋滞の原因を把握することができる。そこで本稿では、渋滞している対向車線を車載カメラで撮影して渋滞の原因を取得し、渋滞中の車両とカメラ画像を共有することで、渋滞状況を把握する手法を提案する。実際の対向車線の渋滞画像を用いた実験を行い、提案手法の有効性について検討する。

A method for detection of traffic condition in oncoming lane by using in-vehicle camera images

RYO SHINDO^{†1} YOH SHIRAIISHI^{†2}

1. はじめに

運転手が渋滞に対して迂回や車線変更などの回避行動を取る際、渋滞の原因（以下、渋滞原因）や渋滞の範囲（以下、渋滞範囲）といった渋滞状況を事前に把握していなければ、適切な回避の判断が困難である。現在、渋滞状況の提供手段の一つとして、VICS (Vehicle Information and Communication System) が挙げられる[1]。VICS では、道路上に設置したセンサにより収集した車両の通行量などの交通情報を、センターに集積し、渋滞の度合いによって3色に色分けされた渋滞範囲や道路規制・障害情報などの情報に変換して、FM多重放送や光・電波ビーコンを用いて VICS 対応カーナビや車載機器に配信している。

しかし、VICS は渋滞原因になりうる道路工事や事故などの道路規制・障害情報を簡易的なアイコンとして提供している。運転手はアイコンを見て、実際にその場所で起きていることを想像し、渋滞の回避の判断をしなければならぬため、アイコンによる情報提示は直感的な提示方法ではない。渋滞原因を直感的に提供するためには、実画像の提示が有効である。そこで本研究では、渋滞状況を実画像で取得する手段として、ドライブレコーダーやスマートフォンのような車載カメラの使用を想定している。

一方、個々の自動車に搭載されている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を集めている。プローブ情報とは、車両に搭載されたセンサデバイスから得られる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、車両間のアドホック通信である車車間通信や、Web サーバを介した通信を行うことで、車両間で共有することができる[5,6]。例えば、文献[2]では、災害時に被災地に物資を輸送する車両のために、複数の車両の位置情報から移動経路を把握し、通行可能なルート情報を掲載した地図作成の事例が紹介されている。また、車両に搭載された GPS センサにより取得した位置情報を情報センターに収集し、その移動速度から渋滞を把握することも可能となっている[7]。さらに、車両のセンサにより急加速や急発進を検知し、運転手にフィードバックすることで、エコドライブを促進することも可能である。

提案手法の実現にあたり、車載カメラを用いて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。そのため、自車が実際に渋滞原因に接近し撮影しなければ、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。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

^{†1} 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

^{†2} 公立はこだて未来大学 システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate

渋滞を把握し、迂回などの回避行動を取ることができると考える。

そこで本稿では、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手法を提案する。また、渋滞状況を画像で取得するために、車載カメラで撮影した画像系列を解析して対向車線の渋滞を検知することを目的とする。

2. 関連研究

本章では、まず、渋滞状況の把握に関連した技術・研究について述べる。次に、カメラ動画を用いた渋滞状況の共有に関連する研究について述べ、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る。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 では道路上に設置されたセンサデバイスを用いて車両の交通量などを収集する。収集された情報をセンターに集積し、そこで処理・編集された情報を FM 多重放送、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/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・配信に必要な道路インフラの設置コストの観点から、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という問題がある。また、VICS から提供される交通規制・障害情報はアイコンとして提供されており、運転手はそのアイコンが示す意味を理解する必要があるだけでなく、実際にその場所で起きている事象の規模や影響を運転手自身が想像して迂回の判断をしなければならない。

VICS により提供される渋滞原因となりうる事象を表すアイコンは、その規模に関係なく様な情報であるので、運転手にとっては直感的ではない。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る[8,9]。文献[8]では、運転手の直観的な渋滞把握のために、渋滞発生地点で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、運転手が車載したスマートフォンを用いて渋滞している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・他車へ配信する方式を提案している。また、文献[9]では、道路状況を撮影した 10 秒程度のショート動画を作成し、それを他車と共有する方式を提案している。この研究では、車内に設置した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、速度に基づき渋滞している範囲を決定する。同時に、車載したスマートフォンにより走行中の動画を撮影し、渋滞区間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、信号機の写っている 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、移動している自車の動画内で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道路状況の把握

車載カメラを用いた研究として、車載カメラを用いた障害物検知の研究がある[10]。この研究では、車載カメラを車内に設置して走行中に前方を撮影し続け、その映像とあらかじめ用意した障害物の無い時の同じ道路の映像(背景映像)を比較し、障害物を検知している。車載カメラを用いて障害物を検出する研究は多いが、その多くは車や人といった想定された障害物を検出するものである。この研究では、あらかじめ用意した背景映像と現在の走行映像との映像差分を求めることで、想定されていない障害物の検出も可能としている。背景映像と現在の走行映像では、走行速度や車線内での走行位置が異なるため、映像間の時間方向の対応付けと道路面の空間方向の対応付けを行う必要がある。まず、現在と過去の走行映像の 2 つのカメラの距離を表す尺度を用いたマッチングを行うことで、時間方向の対応付けを行い、道路面に対して射影変換を行うことで道路面の空間方向の対応付けをし、2 画像間のフレームを対応付ける。2 画像間の差分から、輝度・彩度・エッジといった特徴量を用いて、カメラから障害物までの距離に応じた再現率、誤検出に関して誤検出率・誤検出フレーム率を求め、その結果から想定外の障害物を検知している。

また、車載カメラを用いて渋滞を検知する研究がある[11]。この研究では、車載カメラで前方を撮影し、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。車両に搭載し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部分に、対向車が収まるように関心領域を設け、関心領域内で輝度ヒストグラム解析を行う。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。

2.3 まとめ

VICS による渋滞状況の共有では、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かった。文献[8]や文献[9]のように車載カメラ画像を用いた提示が有効であると考え、自車の走行車線の渋滞状況をカメラ画像で把握する際に、前方に車高の高い車両がいる場合などには渋滞状況の把握は困難である。そこで、文献[11]のように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、その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。車車間通信を用いて対向車から車速情報を受け取り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。しかし、文献[10]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、対向車速を把握することは困難である。文献[11]の手法も同様に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[11]の手法では困難である。

3. 提案手法

本章では、研究目的と課題を解決するためのアプローチを述べ、提案手法の構成とそ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、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の方が容易である。さらに、対向車線の渋滞原因をカメラで取得するには、まず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が必要であり、そのために対向車速の把握が必要である。これは、渋滞範囲を検知し、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を取得するためである。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推定する。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、画像間の物体の動きをベクトルで表示したものである。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および、自車速・対向車速によって異なる。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、自車の速度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が可能であるため、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、本研究では、車載カメラ画像を用いて、対向車線の渋滞の検知および渋滞原因の画像の生成に活用することを目的とする。

3.2 提案手法の構成

提案手法の構成を図 2 に示す。

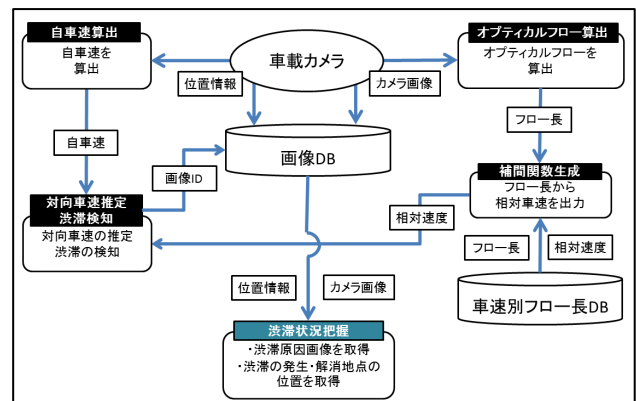


図 2 提案手法の構成

本手法では、まず走行映像から連続する 2 画像間のオプティカルフローを生成する。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。また、あらかじめ自車速と対向車速の相対車速およびその相対車速において発生するフロー長を格納するデータベース（以下、車速別フロー長データベース）を作成する。車速別フロー長データベースに登録してある車速およびフロー長の組み合わせデータから補間用の関数を作成し、画像系列から算

出されたフロー長を補間することで、対向車の検知・対向車速の推定を行う。その結果を元に渋滞を検知し、渋滞原因の画像の生成を行う。この時、渋滞の開始地点から終了地点までの範囲を取得し、範囲を生成する。

提案手法は、以下の手順で構成されている。

- (i) 対向車の検知
- (ii) 対向車速の推定
- (iii) 渋滞の検知
- (iv) 渋滞原因の画像の生成
- (v) 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前準備として、相対車速毎に発生するフロー長をデータベースに登録しておく。そして、GPSセンサにより取得した自車速および、あらかじめデータベースに登録されている車速別のフロー長と、画像系列から算出されたフロー長との比較結果から、対向車の検知 (i) および対向車速の推定 (ii) を行い、推定された対向車速が一定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 (iii)。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生成する (iv)。最後に、渋滞の開始地点と渋滞の終了地点の位置情報から、渋滞範囲を生成する (v)。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。各手順の詳細については3.4節以降で説明する。

3.3 オプティカルフローの算出法

オプティカルフローを求める方法には、主に勾配法とブロックマッチング法がある[12,13]。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、画像中の特定の部分をテンプレートとして、次画像中からテンプレートにマッチした部分を探索し、オプティカルフローを求める。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(ロバストな)フロー計算ができる方法であるが、勾配法に比べて計算コストが大きい。また、画像の回転や拡大・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としてある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撮影されたカメラ画像を用いるため、対向車や風景が時間の経過とともに拡大する。そのため、画像内の物体の拡大・縮小のスケーリングに弱いブロックマッチング法を用いることは難しいと考える。そこで、本研究では勾配法を用い、屋外環境において急激

な輝度変化による誤差に対応するために、画像中のはっきりした特徴点(コーナー)を検出する方法を採用することで誤差を軽減する(図3)。



図3 本手法で用いるオプティカルフローの生成法によるフローの描画

3.4 渋滞状況の把握

渋滞状況の把握では、撮影した画像系列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速度
<i>Len</i>	ある相対速度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速度およびその相対速度において発生するフロー長を格納する。

本節では、渋滞状況把握システムの中でも特に重要である対向車の検知、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 対向車の検知・対向車速の推定

画像から対向車線のオプティカルフローを生成する際に、対向車線に相当する部分以外から発生するフローは不要である。そのため、画像内に対向車線を走行する車が収まるように関心領域(図4)を設定し、その領域内でオプティカルフローを生成する。



図4 オプティカルフロー生成の関心領域

走行中は、GPS センサにより自車速を算出する。また、あらかじめ車速別フロー長データベースを用意しておく(表3)。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 GPS センサで取得してきた自車速を減算することで、対向車の検知および対向車速の推定が可能であると考えられる。

しかし、自車速や対向車速は常に変動するため、データベースに登録されていない相対速度とフロー長の組み合わせが発生することが考えられる。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関数補間を行うことで、すべての相対速度とフロー長の組み合わせに対応させる。画像系列から新たに算出されたデータベースに登録されていないフロー長を関数の引数として与えることで、補間された相対速度を出力する。

前述したように、フロー長はカメラと物体との距離や自車速・対向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、自車と対向車間から発生するフロー長よりも自車の移動によって背景から発生するフロー長が短くなることから、補間された相対速度よりも減算する自車速の方が大きくなる。このことを利用し、対向車と背景を区別することが可能となり、対向車の検知が可能であると考えられる。

3.4.2 渋滞の検知

対向車線の渋滞は、3.4.1 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、後続する一定フレーム数の画像系列のフロー長を調べ、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、推定された対向車速が 10[km/h] を下回る状態が続いた場合、その地

点を渋滞であるとし、対向車を検知した地点から、一定フレーム分遡った地点を渋滞の開始地点であるとみなす。また、推定された対向車速が負値または 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。その後、それらの ID を画像データベースに問い合わせ、渋滞の発生地点の渋滞原因である画像を取得し、渋滞の開始地点と渋滞の終了地点の位置情報を取得する。

4. 実験および考察

本章では、提案手法の要素技術である対向車線の渋滞検知の有効性の検証のための実験と評価について述べる。予備実験として、車速別フロー長データベースに格納するフロー長の決定のための実験を行い、本実験として、実際に対向車線が渋滞している箇所を撮影した動画における渋滞検知のための対向車速の推定精度の評価のための検討を行った。

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。あらかじめ動画を分割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。3章で述べた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方法に、OpenCV ライブラリ内の cvGoodFeaturesToTrack 関数を採用し、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 関数を採用している。実験に用いる車載カメラは、iPhone3GS を採用した。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、領域内でフロー長を生成させる。また、自車速の把握のために iPhone5 を使い iOS アプリケーションを実装した。対向車速の推定に関しては、予備実験で得られた相対車速とフロー長の組み合わせデータを用いて補間関数であるスプライン関数を作成した。スプライン関数は、新たに与えられたフロー長に対して相対車速を出力するものである。

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7台を停車させ、擬似的に渋滞を発生させた。また、走行車線を異なる速度で8回通過した時の映像を記録した。車速の異なる8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生成のためのパラメータおよび車速とフロー長のデータセットを用いて作成した補間関数を用いて、対向車速の推定精度の検討を行った。

4.3 パラメータ設定実験

予備実験として、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*) を決定する実験を行う。また、フロー長を生成するための適切な画像間の間隔を決定するためのパラメータを検討する。実験で検討するフロー長の統計値 (*Len*) および2画像間の間隔 (*Interval*) のパラメータを表2に示す。

表2 実験で検討するフロー長の統計値
および2画像間の間隔

フロー長の統計値 (<i>Len</i>)	2画像間の間隔 (<i>Interval</i>)
平均 (<i>ave</i>), 分散 (<i>var</i>), 標準偏差 (<i>stddev</i>), 中央値 (<i>med</i>)	2,3,4,8

フロー長は1フレームに発生した個々のオプティカルフローから長さを集計した。フロー長の統計値として、平均・分散・標準偏差・中央値の4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、4個のパラメータを設定した。動画を画像系列に分割した際に、連続している2画像間の間隔を *Interval* =1 とする。例えば、*Interval* =2 であれば、画像系列の第1フレームと第3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5で示される車列の先頭車両とすれ違う時とした。



図5 予備実験環境

画像間の各間隔のフロー長の統計値の変化の結果を表3-表6に示す。

表3 *Interval* =2 の時のフロー長の変化

自車速 (km/h)	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>)
13	10.46	3.26	10.67	11.04
17	10.39	10.61	3.28	10.04
20	17.21	88.08	9.38	19.23
26	18.91	28.16	8.33	28.16
36	22.63	154.10	12.41	22.09
40	24.51	237.94	15.42	44.40
50	35.00	302.91	17.40	49.09
57	32.34	351.31	18.74	61.98

表4 *Interval* =3 の時のフロー長の変化

自車速 (km/h)	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>)
13	15.29	31.63	5.62	20.24
17	17.51	60.98	7.80	15.03
20	17.09	55.39	7.44	23.53
26	22.94	124.88	11.17	27.01
36	26.81	315.65	17.76	32.28
40	25.65	251.49	15.85	36.34
50	22.83	296.32	17.21	54.14
57	23.96	310.33	17.61	55.32

表5 *Interval* =4 の時のフロー長の変化

自車速 (km/h)	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>)
13	15.82	43.54	6.59	11.7
17	13.80	47.13	6.86	20.39
20	20.45	95.99	9.79	25.01
26	30.63	259.72	16.11	40.04
36	23.34	420.01	20.49	23.34
40	37.26	576.02	24.00	48.1
50	36.43	1238	35.18	75.8
57	35.42	681.27	26.10	82.00

表 6 Interval =8 の時のフロー長の変化

自車速 (km/h)	フロー長の統計値 (Len)			
	平均 (ave)	分散 (var)	標準偏差 (stddev)	中央値 (med)
13	29.93	478.94	21.88	25.70
17	19.91	160.18	12.65	22.02
20	20.53	96.88	9.84	35.44
26	45.63	880.06	29.67	33.52
36	86.88	746.91	27.33	86.88
40	37.65	785.85	28.03	24.08
50	39.00	721.08	26.85	66.12
57	45.00	1430.69	37.82	31.04

実験結果から、Interval =8 の時は 2 画像間の物体の移動量が大きくなり、前フレームで検出した特徴点が次フレームでは消失し、異常なフローを描画しているケースが多く見られた。したがって、Interval =8 のフロー長は適用が困難であると考えられる。また、平均や中央値は速度の増加や Interval の値の増加に応じて僅かなノイズはあるが、増加傾向にあることがわかる。一方、分散やその平方根である標準偏差は値が大きく振動しているケースが多く見られる。これは、オプティカルフロー生成の際の特徴点検出の段階で、特徴点の誤検出によるノイズに大きく影響されているためであると考えられる。したがって、フロー長の統計値として分散や標準偏差は適さないと考えられる。平均は Interval =2,4 の時に増加傾向にあるが、平均は特徴点の誤検出による異常値のフロー長に影響されることから、Interval =3 の時には値の停滞が見られた。一方、中央値は Interval =2,3,4 の時に増加傾向が見られた。以上のことからフロー長の統計値は中央値を採用する。また、2 画像間の間隔については、Interval =2,3,4 を候補パラメータとする。ここで、Interval =2,3,4 の値ごとのフロー長の変化を図 6 に示す。

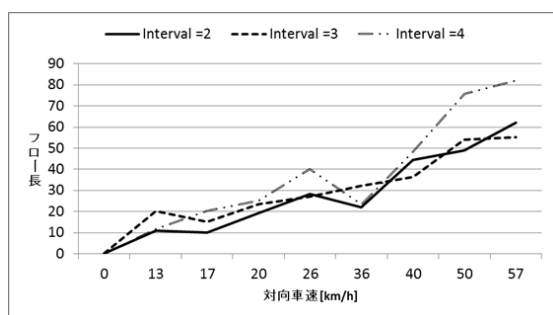


図 6 Interval の値ごとのフロー長 (med) の変化

どの Interval の値においてもグラフは常に単調増加しているわけではなく、一部で速度は増加しているが、フロー長は減少しているという傾向も見られた。これらは、各速度において 1 回ずつ走行した時のフロー長を用いているた

め、特徴点抽出の誤差などによるフロー長の誤差が影響していると考えられる。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ると考える。

4.4 対向車速の推定精度の検討

4.3 節の予備実験により得られたフロー長 (Len) と自車速の組み合わせデータを用いて、対向車線の渋滞検知のための対向車速の推定精度の検討を行う。検討を行うにあたって、予備実験と同様の条件で実際に対向車線の渋滞している片側 1 車線の道路を 35[km/h] で走行しながら撮影し、撮影した動画を画像系列に分割したものを作成した。この時、対向車は停止している。車速とフロー長の組み合わせデータから補間関数を作成し、3.4.1 の式 (1) に従って、対向車線で発生したフロー長を関数に与えることで対向車速 (R_{speed}) を求め、そこから自車速 (C_{speed}) を減算したものを対向車速 (O_{speed}) とする。ここで、Interval =3 の時における各フレーム間で発生したフロー長を図 7 に示す。

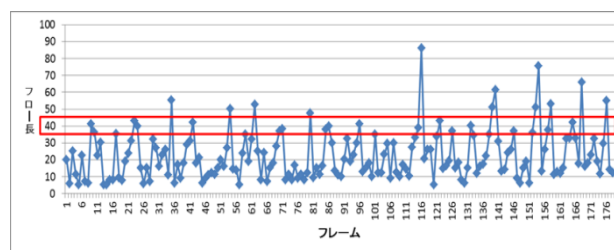


図 7 Interval =3 におけるフレーム毎のフロー長 (Len)

図 7 において、フレームを進めていく間にフロー長が 40 付近またはそれ以上となっている箇所が周期的に出現していることがわかる。また、これらの箇所の対向車速 (O_{speed}) を求めると、 $0 \leq O_{speed} \leq 10$ [km/h] であることが確認できた。これは、図 8 (a) のような対向車とすれ違う時に発生したフロー長によるものであった。また、それ以外の部分ではフロー長が 40 未満となっている連続した箇所が見られる。これらの箇所の O_{speed} は負値を示した。これは、図 8 (a) の時の後に 1 台後ろの車両に再びすれ違うまでの時 (図 8 (b)) に発生したフロー長によるものであった。また、Interval =2,4 の時においても同様にある値の付近が周期的に出現していることを確認した。



	
(a) 対向車とすれ違う時	(b) 1 台後ろの対向車とすれ違うまでの時
$O_{speed} = 0.64$ ($Len = 32.06$)	$O_{speed} = -15.84$ ($Len = 23.02$)

図 8 画像系列におけるフロー長の変化と推定対向車速

5. 考察

この章では、4 章のパラメータ設定実験および対向車速の推定精度の検討について考察を行う。

まず、パラメータ設定実験では、結果からフロー長の統計値として中央値を採用した。また、2 画像間の間隔として $Interval = 2,3,4$ の時にフロー長の中央値が増加傾向に有ることが確認できた。しかし、どの $Interval$ の値においても、速度が増加しているのにも関わらずフロー長が減少している箇所がみられた。フロー長を取得する際に、各速度において 1 回ずつ走行した時のフロー長を用いているため、特徴点の誤検出によるノイズがフロー長に影響しているためであると考えられる。この問題の対策として、各速度において複数回走行した時に発生したフロー長を平均したものを採用することで、屋外環境で特徴点の誤検出によるノイズが発生しても、ある程度正確なフロー長の値が求まり、速度の増加に応じてフロー長が増加する曲線を作成することができると考える。また、特徴点の誤検出による誤差を少なくするために、関心領域の位置・サイズの再設定や特徴点の抽出数などのパラメータを変更することで、より正確な補間関数を作成することができると考える。

次に、対向車速の推定精度の検討では、対向車とすれ違う時に渋滞速度帯である $0\sim 10[\text{km/h}]$ に相当するフロー長が発生し、その 1 台後続の車両と再びすれ違うまではフロー長が短い状態が続くことが示された。フロー長が一時的に短い状態が続く要因として、現在すれ違っている対向車がフレームアウトしていくことにより、その車両から検出された特徴点が消失し、その後続の車両の短いフロー長が検出され始めるためであると考えられる。また、対向車とすれ違っているが、推定された対向車速が負値である箇所がいくつか見られた。これは、パラメータ設定実験において考察したような、より正確な補間曲線を作成するための処理を施すことで、正確な推定結果が得られると考える。また、1 台とすれ違い、次の 1 台とすれ違うまでの間を 1 区間とした推定を行うことで、対向車速の推定が可能であると考えられる。

6. まとめと今後の課題

本稿では、ドライブレコーダーやスマートフォンなどの車載カメラを利用することで、対向車線の渋滞を検知し、その渋滞原因を実画像で取得する手法を提案した。また、提案手法の要素技術である対向車速の推定機能の一部を実装し、推定精度の評価のための検討と、その考察を行った。今後は対向車線の渋滞検知の精度向上に向けた対向車速の推定の補正手法を検討するとともに渋滞原因箇所の画像の提示アルゴリズムを検討したい。また、片側 2 車線道路や中央分離帯の存在する道路などの環境下における対向車の渋滞検知システムの検討も今後行いたいと考えている。

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) 本田健司, 次世代交通情報システムを担うプローブ技術, IT ソリューションフロンティア, 2008 年 3 月号, pp.14-15, 2008.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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).
- 13) 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.