

## 画像プローブシステムを用いた交通状況の推定

上野秀樹\*, 尾崎信之 (東芝インフラシステムズ株式会社),

佐藤俊雄、鈴木美彦、大場義和 (株式会社東芝), 堺浩 (東芝ソシオシステムズ株式会社)

瀬尾亨, 朝倉康夫 (東京工業大学)、松下雅行、割田博 (首都高速道路株式会社)

Estimation of Traffic Condition using Image Processing based Probe System  
Hideki Ueno\*, Nobuyuki Ozaki(Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation),  
Toshio Sato, Yoshihiko Suzuki, Yoshikazu Ohba (Toshiba Corporation)  
Hiroshi Sakai (Toshiba Social Automation Systems Co. Ltd.),  
Toru Seo, and Yasuo Asakura (Tokyo Institute of Technology)  
Masayuki Matsushita, Hiroshi Warita (Metropolitan Expressway Company)

### Abstract

Although on-road sensors or probe vehicles have been already utilized for traffic state estimation, there are issues of installation/maintenance costs or lacks of volume-related variables. To overcome this drawback, camera-equipped probe vehicles that acquire not only position and speed information but also inter-vehicle distance are proposed. In this paper, we propose an automated measurement system to obtain the inter-vehicle distance using two kinds of image processing techniques. Experimental results demonstrate that automated measurement of inter-vehicle distance by image processing achieves sufficient performances for traffic state estimation.

キーワード : 交通状況推定, 車間距離, ステレオ画像処理, CoHOG 特徴, プローブ, 画像処理  
(traffic state estimation, inter-vehicle distance, stereo vision, CoHOG features, probe vehicles, image processing)

### 1. はじめに

道路交通状況を把握するには、従来は車両感知器や路側カメラなどの路側センサーから得られる情報を、センターシステムで収集し処理してきた。また、近年では車両に搭載された GPS から得られる位置情報をプローブデータとして収集して利用する GPS プローブ手法も普及してきている。

路側センサーを用いる手法では、機器の設置コストやメンテナンスのためのコストが課題となる。一方、GPS プローブ手法では自車両の位置・速度情報から対象路線の平均速度を算出することはできるが、周囲の車両との位置関係が把握できないため、交通密度や交通量といった交通の全体量を求めることに課題がある。

これらを解決するために、車載カメラを搭載したプローブ車両を用い、従来の GPS プローブデータに加えて、前方車両との車頭間距離データを使って、交通状況を推定する画像プローブの手法が提案されている<sup>(1)-(3)</sup>。この手法では、

交通量、交通密度および速度を直接的に求めることができる。

しかしながら、これまでは車載カメラにより撮影した画像に対し、目視で前方車両の車幅に対する画像の画素数を求める作業により車間距離を求め、これに平均車長を加えることによって車頭間距離を計算するといった作業を行っていた<sup>(3)</sup>。このような手計算での作業では、作業量が膨大となるため、車間距離計測頻度も間欠的にならざるを得ないが、車間距離の自動計測が実現すれば、画像プローブによる交通状況の推定手法は実用的になってくる。

このため、我々は安全運転支援システムなどで実用化が進められている前方車両検出技術を応用し、車間距離を自動計測し、交通状況を推定する画像プローブシステムの開発を行っている。

この画像プローブシステムを適用することにより、対象路線における交通状況推定が可能となる。また、路側センサーなしでも交通状況を推定できるので、アセットライトな交通システムを構築できる。

ここでは、画像プローブシステムのコンセプト、交通状況推定技術、画像処理技術を用いた車間距離測定方法、およびこれらを搭載した画像プローブシステムのプロトタイプを用いた高速道路での走行実験について述べる<sup>(4)</sup>。

## 2. 画像プローブシステムのコンセプト

画像プローブシステムは、図1のように、画像プローブ車両とセンター機能から構成される<sup>(4)(5)</sup>。

カメラと処理ボードから構成される OBU (On Board Unit) を、バスなどの公共交通・商用車両に搭載して、画像プローブ車両として走行させる。バスなどの公共交通・商用車両を使うは2つの理由がある。1つ目はバスの車高が高く映像の視界が広いこと、2つ目は多くのユーザが交通状況を必要とする主要幹線道路を走行していることである。

OBUは走行中に、画像プローブ車両の前方を撮影し画像処理することで様々な交通状況をセンシングし、GPS情報や、車両のECU (Engine Control Unit) から得られる情報とともに、センター機能に送信する。

センター機能では、画像プローブ車両からデータを収集し処理することで交通量、交通密度、速度といった交通データを算出し、交通管制センターに提供したり、交通計画のために活用したりできる。

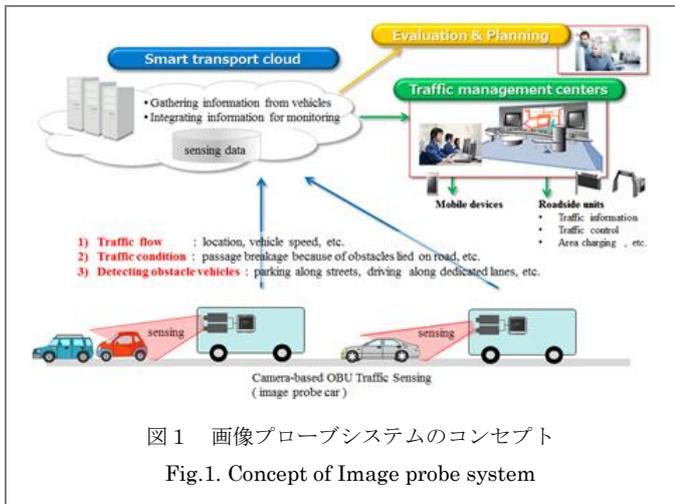


図1 画像プローブシステムのコンセプト  
Fig.1. Concept of Image probe system

## 3. プロトシステムの開発

開発したプロトシステムの交通状況処理フローを図2に示す。交通状況推定アルゴリズムの入力データとして、GPS情報と車頭間距離（車間距離+前方車両の車長）を用いる。なお、ここでは、前方車の車長は平均車長を用いた。

〈3・1〉 交通状況推定技術 図3は交通状況推定技術の概要である。横軸が時刻、縦軸が距離である、各々の車両が時間とともに移動していく走行軌跡を示している。画像プローブ車両の走行軌跡を太線、その前方を走る車両を細線、それ以外の車両を破線で表した。

この技術では、GPS情報と、前方車両との車頭間距離から交通データの算出を行う。具体的には次に3ステップで算出する<sup>(3)</sup>。

- (1) 算出された前方車両との車頭間距離から、自車両と前方車両との走行軌跡間の時空間領域がわかる。
- (2) 任意の時空間領域 A を与える。
- (3) 領域 A 内部の交通データは、領域 A 内部における自車両の移動距離、移動時間、および前方車両との間位の時空間領域の面積から推定する。

これを計算式で表すと、交通量  $q(A)$ 、交通密度  $k(A)$  および速度  $v(A)$  は、以下ようになる。

$$\hat{q}(A) = \frac{\sum_{n \in P(A)} d_n(A)}{\sum_{n \in P(A)} |a_n(A)|} \quad (1),$$

$$\hat{k}(A) = \frac{\sum_{n \in P(A)} t_n(A)}{\sum_{n \in P(A)} |a_n(A)|} \quad (2),$$

$$\hat{v}(A) = \frac{\sum_{n \in P(A)} d_n(A)}{\sum_{n \in P(A)} |t_n(A)|} \quad (3)$$

ここで、 $A$  は時空間マップの中で、あらかじめ設定された時空間領域のセルを表し、 $P(A)$  は領域  $A$  内のすべてのプローブ車両、 $d_n(A)$  は車両  $n$  の移動距離、 $t_n(A)$  は車両  $n$  の移動時間を表す。 $a_n(A)$  は、前方車両との車頭間距離が時空間マップのセルの中で占める面積を表すが、この車頭間距離は、車間距離の計測値に標準的な車長を加えることで算出する。

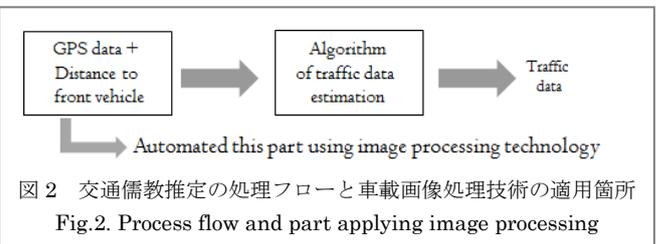


図2 交通推定処理フローと車載画像処理技術の適用箇所  
Fig.2. Process flow and part applying image processing

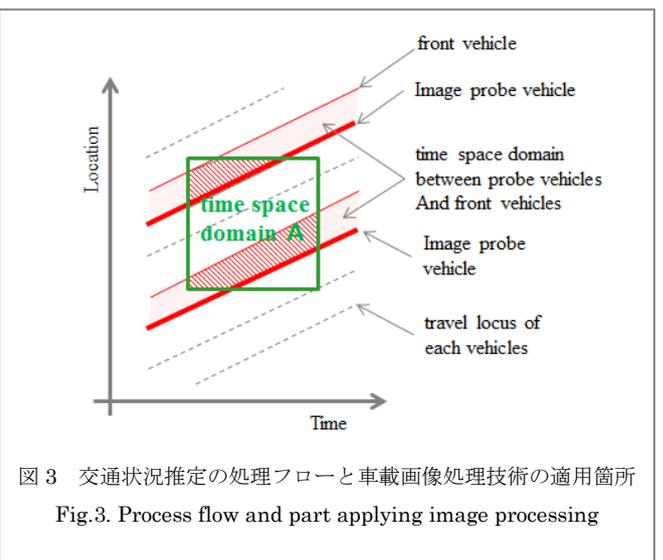
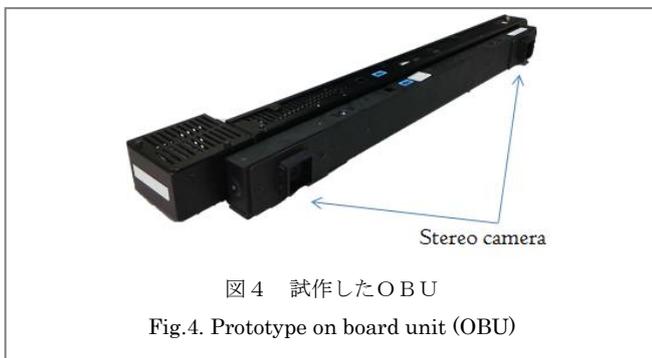


図3 交通状況推定の処理フローと車載画像処理技術の適用箇所  
Fig.3. Process flow and part applying image processing

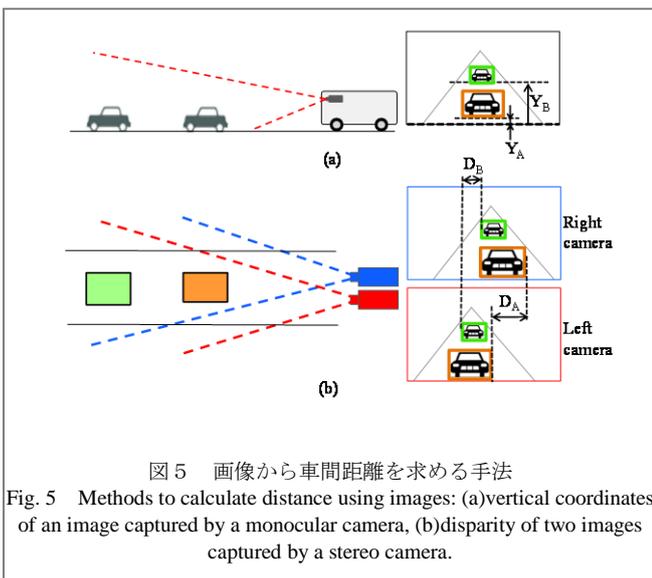
今回、画像処理により前方車両の検出と車間距離の測定を行い、平均車長を加えることにより車頭間距離の算出を自動化した。さらに、交通状況推定アルゴリズムをセンター機能に実装した。

〈3・2〉車載画像処理による車間距離の計測 図4 試作した OBU を示す。ステレオカメラで前方を撮影し、東芝の車載向け画像認識プロセッサ Visconti™2 にて画像処理を行う。

Visconti™2 は、車載向け画像プロセッサとして、高性能と低消費電力が特長である。東芝独自のパタン認識技術である CoHOG (Co-occurrence Histograms of Oriented gradients) 特徴(6)(7)を用いた処理では、クロック周波数 1GHz の CPU を搭載した PC と比較して、約 50 倍の性能を示す(5)(8)(9)。



試作した OBU では、カメラ映像から前方車両との車間距離を求める方法として、単眼カメラの画像内の車両の座標と、ステレオ画像による距離計測の2つの手法を組合せて用いている (図5 参照)。単眼カメラの画像内の座標からの距離計測は、図5 (a)に示すように、車両として検出した部分領域の底辺に対する縦座標値  $Y_A$  と  $Y_B$  の違いとして計測される。一方、ステレオ画像による距離計測では、図5 (b)に示すように、左右カメラから得られる2つの画像における横座標の視差  $D_A$  または  $D_B$  のから距離を計測できる(10)。

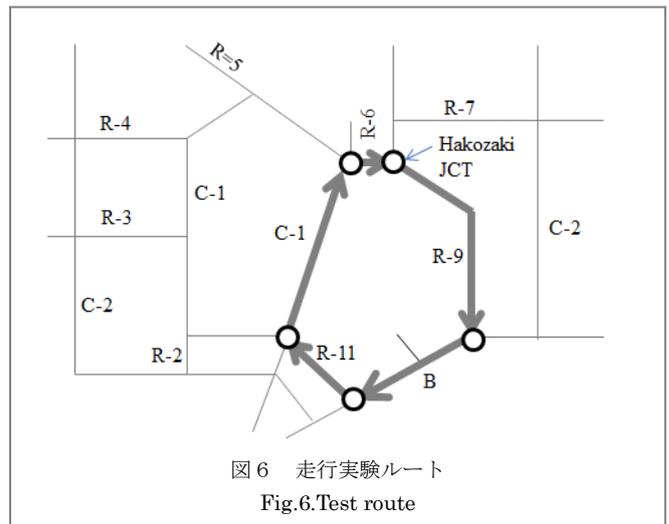


前方車両がプローブ車両に接近した時に、車両全体が映らなくなり、単眼カメラの手法では検出できない場合が発生する。一方、遠方車両に対しては、ステレオカメラよりも単眼カメラの距離分解能が優れている。このため、今回、遠方では単眼カメラによる距離計測値を採用し、近傍ではステレオ画像による計測値を用いた。

#### 4. 走行実験

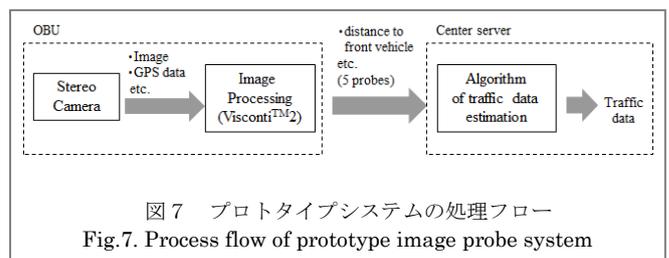
プロトタイプシステムの OBU を、5 台の車両 (バス 1 台、SUV 4 台) に搭載し、図6に示すように、首都高速道路の箱崎 JCT→9号線下り→湾岸線西行き→11号線上り→都心環状線内回り→6号線下り→箱崎 JCT までの全長約 18km のルートで走行実験を行った。

走行実験では、5 台の画像プローブ車両は5分間隔でスタートし、ルート内をできるだけ均等に離れてセンシングするように走行した。速度については、SUVについては車両の ECU から車速情報を収集し、バスについては GPS の位置情報から算出した。



プロトタイプシステムの処理フローを図7に示す。

画像プローブ車両の OBU で前方の映像を撮影し、GPS 情報等を取得して、撮影された映像から車両検出及び車頭間距離の算出を行う。センター機能では、それぞれの OBU から得られる画像プローブ情報を交通状況推定アルゴリズムの入力データとして、交通データを推定した。



この走行実験における、前方映像の画像処理例を図8に示す。前方車両の下線部の線と、その下にある数字は検出した車両の位置と車間距離を示している。検出された複数の車両から、車線検出結果に基づいて、画像プローブ車両と同じ車線を走行する前方車両を抽出する。



図8 画像処理例  
 Fig.8. Example of image processing

この画像処理によって算出された車頭間距離と、GPS 情報等を、交通状況推定アルゴリズムに入力し、交通データを算出する。

交通状況推定結果の一例として、実験で算出した交通データ（交通量、交通密度、速度）の時空間ダイアグラムを図9に示す。時空間ダイアグラムの中の複数の線は、画像プローブ車両の走行軌跡を示す。参照用に、同じルートにおける路側に設置された車両感知器による交通密度の時空間ダイアグラムを図10に示す。

プロトタイプシステムによる交通密度の時空間ダイアグラムは、車両感知器による結果とよく近似しており、画像プローブシステムによる交通状況推定の可能性を示した。

## 5. 考察

今回の走行実験では、画像プローブ車両の台数が5台と少なかったため、1台でも周囲の交通の流れと異なる特異な動きをした場合には、交通状況の推定精度に大きく影響する可能性がある。例えば、図9(a)(b)において、円で囲んだ部分に置いては、1台のプローブ車両が短い車間距離の状態で行ったため、車両感知器によるデータ（図10(a)(b)）と比べて大きく異なる結果となっている。

これを解決するためには、プローブデータ数を増やしていくことが必要であり、画像プローブ車両の台数を増やすのが一般的である。一方、プローブ車両を増やす代わりに、画像プローブの特性を活かして、自車両と前方車両の関係に加えて、隣接車線や後方を走る車両のデータも活用していくという方法も考えられる。仮想的にプローブデータ数

を増やす画像処理ならではの手法である。

また、この画像プローブシステムは車載カメラで映像を撮影しているため、交通状況推定以外にも、様々な映像情報を活用できる。例えば、路肩の停止車両、路上の落下物、標識などの検出や、必要に応じて映像そのものを送信することによる移動モニタリングへの適用など、多くの可能性や拡張性が期待できる。

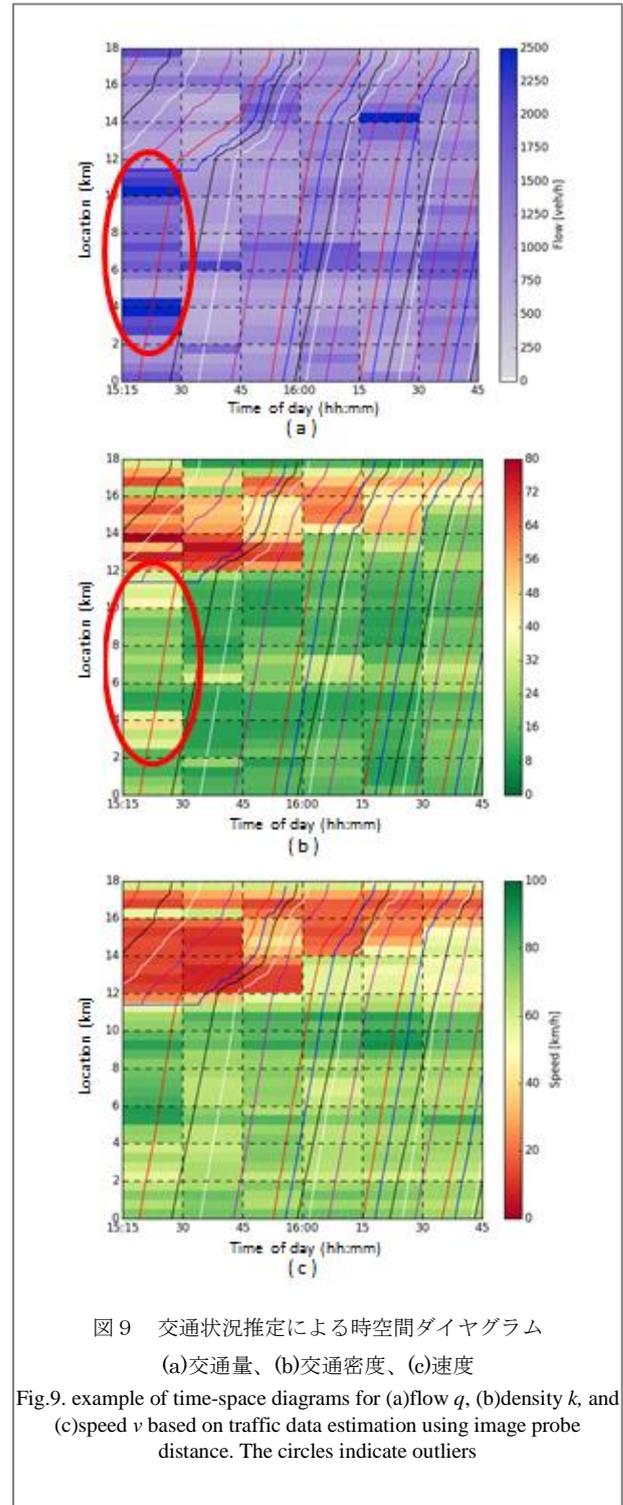


図9 交通状況推定による時空間ダイアグラム  
 (a)交通量、(b)交通密度、(c)速度

Fig.9. example of time-space diagrams for (a)flow  $q$ , (b)density  $k$ , and (c)speed  $v$  based on traffic data estimation using image probe distance. The circles indicate outliers

り詳細な情報提供に貢献できると考えている。

また、新たな交通システムをアセットライトに構築できるため、新興国等への展開が期待できる。

今後は、実用化に向けて更なる開発を進めていく。

## 文 献

- (1) T. Seo, T. Kusakabe, and Y. Asakura, "Traffic state estimation with the advanced probe vehicles using data assimilation," in 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.824-830, Gran Canaria, Spain(2015)
- (2) T. Seo, T. Kusakabe, "Probe vehicle-based traffic state estimation method with spacing information and conservation law," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 59, pp.391-403(2015)
- (3) T. Seo, T. Kusakabe, and Y. Asakura, "Estimation of flow and density using probe vehicles with spacing measurement equipment," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 53, pp.134-150,(2015)
- (4) H. Ueno, N. Ozaki, and Y. Asakura, "Traffic Flow Estimation Using Image Probe System Based on Image Processing Technology," Toshiba Review, Vol. 72 No3, p.7-10,(2017)
- (5) N. Ozaki, H. Ueno, T. Sato, S. Wada, Y. Ooba, Y. Suzuki, Y. Takahashi, H. Sakai, H. Warita, M. Matsushita, T. Seo, T. Kusakabe, and Y.Asakura, "Image recognition based OBU probe system for traffic monitoring," in Proceedings of the 22nd ITS World Congress, Bordeaux, France, 2015.
- (6) T. Watanabe, S. Ito, and K. Yokoi, "Co-occurrence histograms of oriented gradients for pedestrian detection," Proc. PSIVT, pp.37-47(2009)
- (7) Y. Suzuki, M. Horie, T. Sato, and Junichi Nakamura, "Vehicle Detection for Road Surveillance Systems using ViscontiTM2 Image Recognition Processor," in Proceedings of 20th ITS World Congress, Tokyo, Japan(2013)
- (8) N. Ozaki, T. Miyamori, and Y. Taniguchi. "Advanced Driver Assistance System", Toshiba Review, Vol.66 No2, p13-16, (2011)
- (9) Y. Tanabe, H.Arakida, and M. Banno. "ViscontiTM2 Series Image Recognition Processors with High Performance and Low Power Consumption", Toshiba Review, Vol.67 No10, p25-28, (2012)
- (10) K. Yokoi, Y. Suzuki, T. Sato, T. Abe, H. Toda, and N. Ozaki, "A camera-based probe car system for traffic condition estimation," in Proceedings of 20th ITS World Congress, Tokyo, Japan(2013)

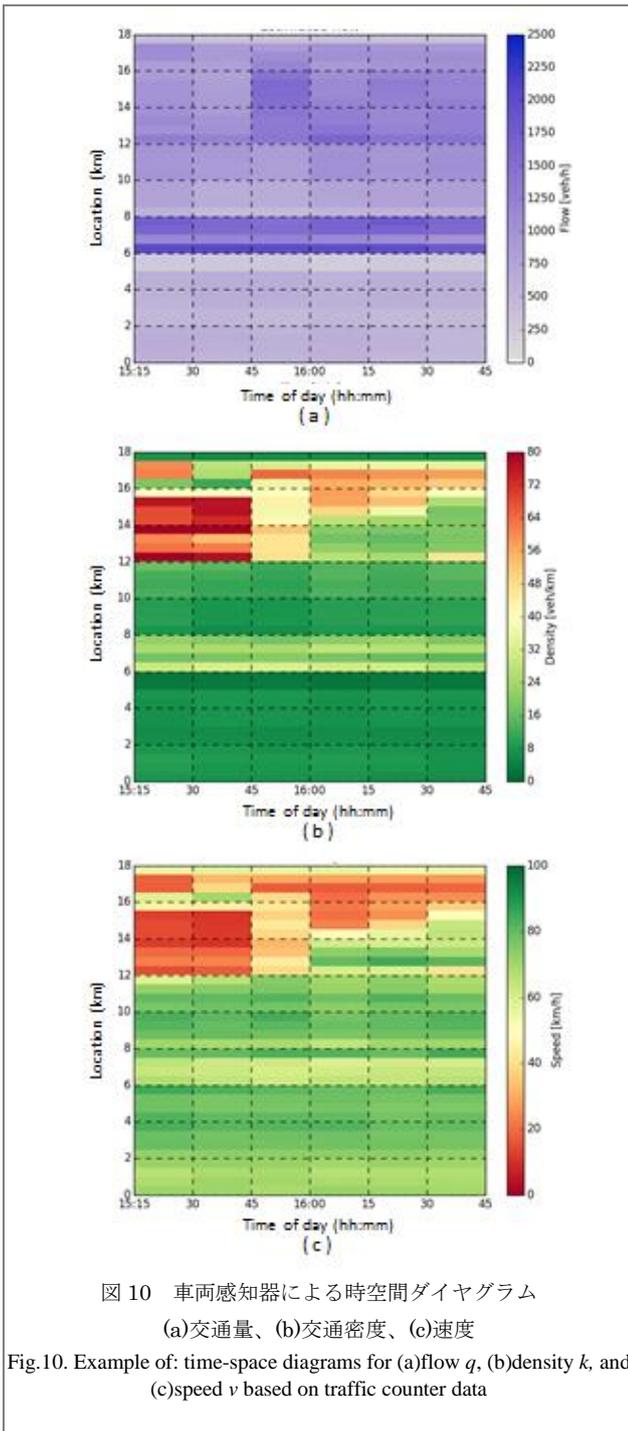


図 10 車両感知器による時空間ダイアグラム

(a)交通量、(b)交通密度、(c)速度

Fig.10. Example of: time-space diagrams for (a)flow  $q$ , (b)density  $k$ , and (c)speed  $v$  based on traffic counter data

## 6. おわりに

交通状況推定技術と車両画像処理技術を組み合わせた画像プローブシステムのプロトタイプを試作し、人手を介さずに道路交通状況を推定できることを、走行実験で確認した。

これまでの路側センシング（点の情報）に加え、画像プローブシステムの移動センシング（線の情報）を使うことで、従来の交通管制システムで得られる情報を補完し、よ