

# 対向車線の車両観測による交通状態の モニタリング手法に関する研究

河合 克哉<sup>1</sup>・竹之内 篤<sup>2</sup>・伊川 雅彦<sup>3</sup>・桑原 雅夫<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 (〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町8-1-1)  
E-mail:Kawai.Katsuya@dn.MitsubishiElectric.co.jp

<sup>2</sup>非会員 東北大学 大学院情報科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)  
E-mail:takenouchi@plan.civil.tohoku.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 (〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町8-1-1)  
E-mail:Ikawa.Masahiko@aj.MitsubishiElectric.co.jp

<sup>4</sup>正会員 東北大学教授 大学院情報科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)  
E-mail:kuwahara@plan.civil.tohoku.ac.jp

本研究では、カメラやミリ波レーダなどによって対向車線側の交通流を計測したデータ等を用いて交通状態を推定する手法の提案を行う。著者らは、プローブカーデータと車両感知器データを融合活用した交通状態の推定手法の提案を行ってきたが、本研究では車両感知器の代わりに対向車線を走行する車両からの計測データを用いる手法を提案する。近年の自動車にはカメラやミリ波レーダといったセンサの搭載が進んでおり、これらを使って対向車線や周辺の走行車両を認識することで、路側の観測機器による定点観測を代替することが期待できる。本稿では、得られるデータの性質と基礎的な解析手法について述べる。

**Key Words :** *vehicle trajectory, data assimilation, variational theory, environment recognition*

## 1. はじめに

### (1) 背景

道路交通における渋滞や事故、環境負荷などの諸問題に対し、交通流の把握は重要な課題として取り組まれてきた。近年では、GPSによる高精度測位の普及、通信インフラや道路インフラの整備、車両の電子化や車載センサの普及によってプローブカーデータとして収集できる情報の種類、量が膨大となっており、交通モニタリングへの活用が期待されている。

### (2) 既往研究

Daganzo<sup>1)</sup>は、道路区間における交通流の解析手法であるKinematic Wave理論に基づき、Variational Theoryを用いて効率的に車両軌跡を推定する方法を提案している。

さらに、Mehran, Kuwahara<sup>2)</sup>は、Variational Theoryを用いてプローブカー、車両感知器、信号から得られるデータを融合し、道路区間を通過する全ての車両の軌跡を交通状態として推定する手法を提案している。

### (3) 目的

先に述べた既往研究では路側に車両感知器を設置する

ことを前提としており、車両感知器を設置していない区間には適用できない。推定可能な区間を拓げるためには、車両感知器を増設する必要があり、設置や維持の費用が問題となる。我が国においては、高速道路や主要道路を中心に車両感知器が整備されているが、インフラ整備の進んでいない新興国においては適用が困難である。

また、自動車メーカーなどの民間企業においては、会員から収集したプローブ情報を用いて渋滞情報を生成・提供するテレマティクスサービスが展開されているが、車両感知器データが持つ量的な情報を活用できないため、提供できる情報は限定的なものとなる。

上記の問題を解決するために本研究では、カメラやミリ波レーダなど、車両に搭載されるセンサによって対向車線側の交通流を計測し、計測したデータを車両感知器データの代わりに用いて交通状態を推定する手法を提案する。この手法を適用することにより、車両感知器データを使用することなく、プローブカーから得られるデータのみから交通状態を推定することが可能となる。

本稿では、提案手法において前提とするプローブカーデータの性質と、このデータを用いた基礎的な解析手法について述べる。

## 2. Variational Theoryの概要

縦軸が距離，横軸が時間という2次元平面はタイムスペースダイアグラムであるが，この平面に垂直に車の累積高さを表す軸を追加した3次元の空間を考える．図1のように，タイムスペースダイアグラム上で累積高さがわかっている境界をBoundaryと言う．いま，BoundaryではないP点の累積高さをNPとすると，NPはBoundary上の任意の点Bの累積高さNBと，自分がBからPまで仮想的に移動したときに追い越される最大の台数 $\Delta BP_{max}$ を用いて次のように表すことができることをDaganzoが証明している．すなわち，自分がPにアクセス可能なすべての境界上の点BからPに向かって移動した場合のNB +  $\Delta BP_{max}$ の最小値がNPとなる．ここで重要なのは，NPを評価するためには自分がPにアクセスできるすべての方向からアクセスして，その最小値を求めなければならないということである．対象道路区間のすべての位置xについてFundamental Diagramが与えられているなら，その位置におけるFundamental Diagramのwave speedの最大値( $w_{max}(x)$ )と最小値( $w_{min}(x)$ )によって，自分の移動速度の上下限值がわかるので，下図のようにアクセスできる範囲もあらかじめわかる．そして，アクセスできる範囲の境界上の点すべてについて，累積高さNBがわかっていなければならない．また，Fundamental Diagramがわかっているならば，Relative Capacity (Daganzo\*)より， $\Delta BP_{max}$ も計算できる．

$$NP = \inf_B \{ NB + \Delta BP_{max} \}$$

for 境界上の任意の点B (1)

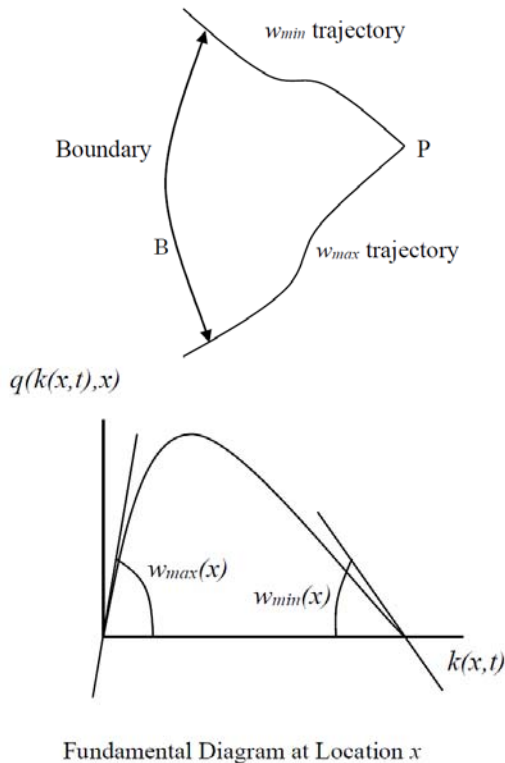


図1 移動観測者の移動範囲

## 3. 従来研究におけるVTの適用例

このVariational Theoryをプローブ車両の軌跡と車両感知器データを使って適用した例として，Mehran, Kuwaharaらの研究がある．車両感知器が設置されている地点では，車の通過台数が計測できるので，累積高さがわかることになる．また，プローブ車両の軌跡上では累積高さは一定であるので，図2の太線のように車両感知器とプローブ軌跡によって累積高さが既知であるBoundaryが定義できる．

対象区間のFundamental Diagramがわかっているならば累積高さがわかっているP点にアクセスできる領域がわかるので，その範囲で式(1)を計算すればNPが求められる．均質なFDを持つ場合であれば，図2のようにFDのWave Speedの最大値と最小値で囲まれる太線のBoundaryのすべてから式(1)を評価すればよい．

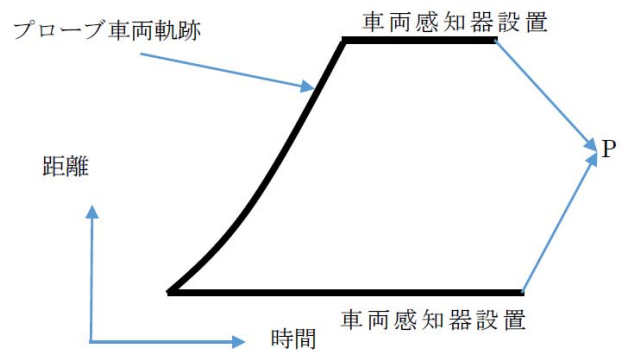


図2 車両感知器とプローブ車両軌跡によるBoundary

さらにDaganzoは，線形のFDを仮定できる場合に式(1)の評価を簡便に行う方法を提案している．まず，時間軸を均一な微小区間に分割する．対象道路区間は線形のFundamental Diagram (図3)を持ち，Forward Wave Speedをv, Backward Wave Speedを-wとする(簡単のために，全区間同じFDを持つと仮定)．図4のように，離散化した時間軸においてごとにWave Speed vと-wの傾きをもつ線を書き，これらの線の交点をノード，ノード間をつなぐ有向リンクとするネットワークを構成する．リンクコストは，Forward Wave Speedの傾きを持つ場合にはゼロ，Backward Wave Speedの傾きを持つ場合はとする．このようなネットワークをタイムスペース上に構成した場合，任意のノードの累積高さは原点Oからそのノードまでの最短経路コストになることが証明されている．

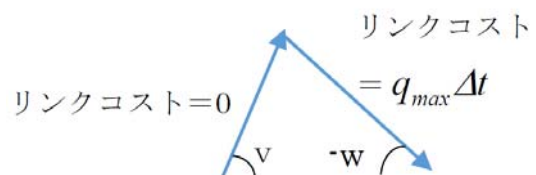


図3 Fundamental Diagram

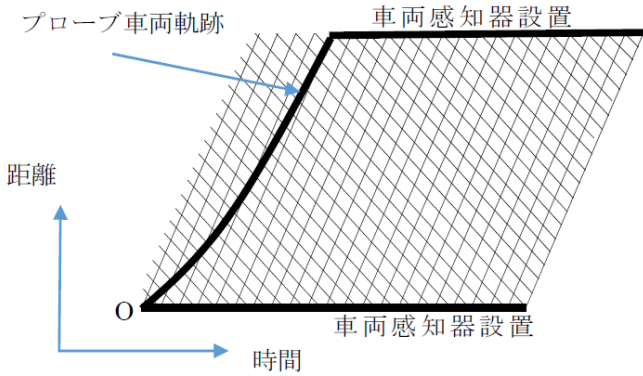


図4 タイムスペース上のネットワーク

#### 4. 本研究におけるBoundary条件の適用

前述のように従来は車両感知器データとプローブ車両軌跡によってBoundaryが構成されていたが(図5)、本研究は車両感知器の代わりに対向車線を走る車両が計測する計測データを用いる。この場合のBoundaryを模式的に書けば、図6の様になる。実線はプローブ車両軌跡、破線は対向車線を走る車が計測した車の時空間位置である。実線と破線で構成されるBoundaryがある間隔で定義できれば、前述のVT理論をそのまま適用することにより、プローブ車両とプローブ車両の間を走行する一般車両の走行軌跡を推定できる。

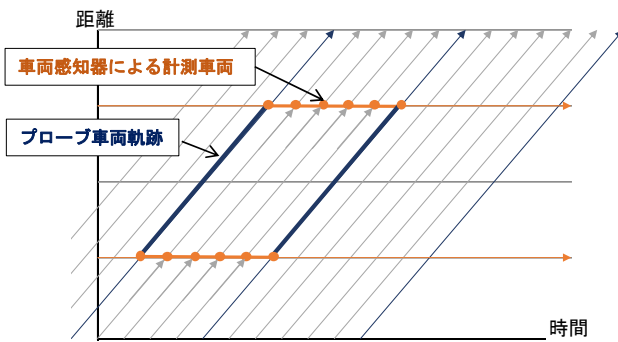


図5 従来研究におけるBoundary

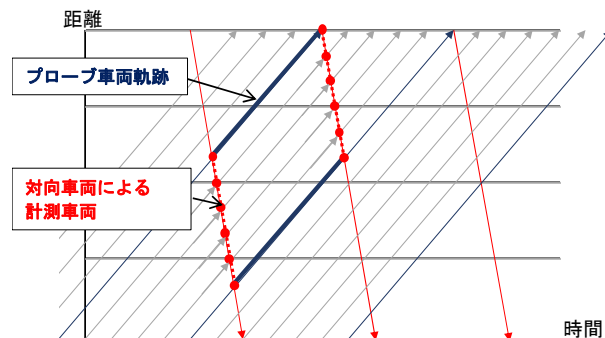


図6 本研究におけるBoundary

#### 5. 対向車両による計測時間間隔の想定

前節までに、車両感知器データの代わりに、対向車両による計測データを用いて、交通状態を推定するアイデアを提示したが、本節では、今後、具体的な交通シミュレーションや走行実験を実施することを念頭に、対向車両による計測時間間隔について、机上の整理を行う。

主要幹線道路を対象とし、対象区間の区間長  $L$  を  $10\text{km}$ 、対象区間を対向車両 1 台が受け持つとして、往路(計測方向)の旅行速度  $V_1$  を  $40\text{km/h}$ 、復路(戻り方向)の旅行速度  $V_2$  を  $40\text{km/h}$ 、折り返し時の所要時間を無視した場合、対向車両による計測時間間隔  $t$  (分) は以下の通り算出される(図7)。

$$\begin{aligned} \text{計測時間間隔 } t &= (L/v_1 + L/v_2) * 60 \text{ (hour/min)} \\ &= (10/40 + 10/40) * 60 \\ &= 30 \text{ (min)} \end{aligned}$$

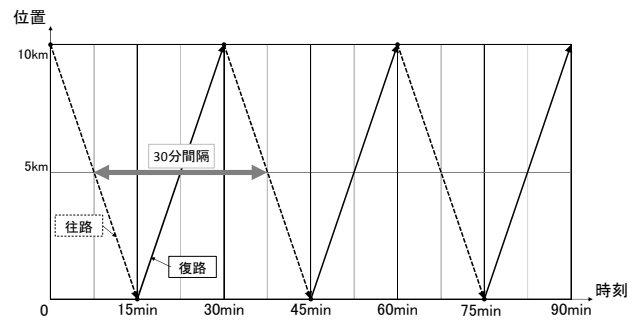


図7 計測時間間隔の想定(対向観測車両1台の場合)

また、対象区間において、対向観測車両を2台導入し、等時間間隔で走行させた場合、対向車両による計測時間間隔  $t$  は15分と算出される(図8)。

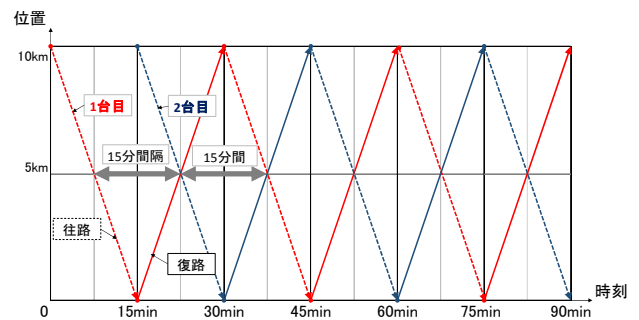


図8 計測時間間隔の想定(対向観測車両2台の場合)

なお、対向観測車両の台数を制約条件とした場合、対象区間において、一定以下の計測時間間隔を満たすためには、複数台の対向観測車両を等時間間隔で連続して走行させるパターンと、対象区間を対向観測車両の台数で分割して走行させるパターンが考えられる。但し、本検討では、解法上、計測対象車線の累積高さ(台数)を、対象区間全体で連続的に取得することが求められるため、前者の走行パターンの方が、境界条件としての連続性を確保する上で、実務的には容易であると考えられる。

## 6. おわりに

本稿では、プローブカーデータと車両感知器データを融合活用して交通状態を推定する既往手法を応用し、車両感知器データの代わりに対向車線を走行する車両からの計測データを用いる手法を提案した。提案手法では Variational Theory を用い、タイムスペースダイアグラム上の累積高さの Boundary を構成する要素として、対向車線を走る車両が計測した車両の時空間位置と、プローブ車両軌跡を用いる。

今後は、交通ミクロシミュレーションを用いて再現した交通状況に対して提案手法を適用し、提案手法の有効性を確認する。また、実際の計測データを用いた検証も実施する。計測にあたっては、GPS とカメラを備えて対向車線を撮影しながら走行する観測車両、GPS を備えて自身の走行軌跡を蓄積しながら観測車両の対向車線を走

行するプローブ車両、これらが走行する区間の複数地点で実際の交通流を撮影する定点観測カメラを用いる。こうして計測したデータに対して提案手法を適用した推定結果を検証し、実運用上の課題を抽出するとともに、手法の高度化を検討する。

## 参考文献

- 1) Carlos F. Daganzo: On the Variational Theory of Traffic Flow: Well-Posedness, Duality and Applications, *American Institute of Mathematical Sciences*, Vol. 1, No.4, pp.601-619, 2006.
- 2) Babak Mehran, Masao Kuwahara and Farhana Naznin: Implementing Kinematic Wave Theory to Reconstruct Vehicle Trajectories from Fixed and Probe Sensor Data, *19<sup>th</sup> International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, pp-247-268, 2011.