

プローブ車両軌跡データのみを用いた 停止領域の推定手法に関する研究

大畑 長¹・桑原 雅夫²

¹正会員 東北大学大学院情報科学研究科 産学官連携研究員 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-3-09)
E-mail: ohhata-ta@plan.civil.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学大学院教授 情報科学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3-09)
E-mail: kuwahara@plan.civil.tohoku.ac.jp

近年、プローブデータの活用により、旅行時間の推定が盛んに行われつつある。しかし、プローブデータは個別車両の軌跡という有用な情報を十分に活用していないのが現状である。さらに、民間事業者にとっては、車両感知器データや信号秒数データなどの各種データを恒常的に入手することは依然として難しい状況にある。そこで本研究は、プローブの走行軌跡情報のみをできる限り有効活用して、対象区間の信号秒数などを推定し、停止領域を明らかにすることで対象区間の交通状況を把握することを試みた。信号秒数の推定の考え方としては、プローブデータより取得する走行車両軌跡より、交差点とプローブ停止位置の相対的な位置関係およびプローブの停止時間との関係から、信号制御パラメータ（サイクル長、青時間、オフセットなど）を推定し、それに基づいて各交差点での停止領域の推定につなげるものである。

Key Words : Probe data, Vehicle trajectory, Variational Theory, Cycle length, A stop territory

1. はじめに

近年、我が国のITSは、道路交通が抱える渋滞や事故、環境対策などの諸課題に対応すべく産学官民連携のもと研究開発に取り組み、カーナビやVICS, ETC, ASV等のITSの個別要素技術の研究開発が推進され、着実に展開し実用化が進められてきたところである。

ITSの進化のおかげで交通状況を把握するための様々な交通関連データを取得できるようになった。しかしながら、現時点では、個別により得られる情報は、管理主体が異なることや、データそのものの機密保持性の観点から、データの受け渡しという点では未だ高いハードルがある。

今後、ITSにより取得した情報をより効果的に活用していくためには、それぞれの個別技術で得られるデータを一元的に集約し、データを融合解析しうる体制などを構築していくとともに、取得したデータから交通状況を把握する技術をさらに高めていく必要がある。

そこで本研究では、民間事業者でも得られるプローブカーデータのみを使用し、ナビゲーションシステムや信号制御パラメーターの改善に資する情報を得ることを目的に、対象路線の交通状況として信号交差点の停止領域の推定を試みる。

2. 停止領域の推定

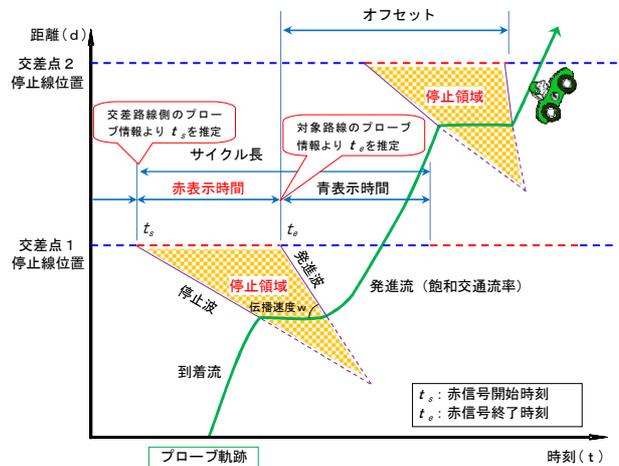


図-1 プローブ車両軌跡に基づく停止領域の推定

信号交差点の停止領域の推定にあたっては、プローブデータ軌跡（車両位置と時刻）の情報と信号交差点の停止線位置を使用する。停止領域を推定するには、先立って赤信号秒数を推定する。その考え方としては、プローブデータより取得する走行車両軌跡（位置、時刻）より、交差点とプローブ停止位置の相対的な位置関係およびプローブの停止時間との関係から、発進波伝播速度 w を仮定した上で信号制御パラメーター（赤時間、サイクル長、オフセットなど）を求める。

前述のとおり求めた赤信号秒数，発進波と停止波，そしてプローブ走行軌跡を境界条件として，Kinematic Wave理論に基づくDaganzo¹⁾の提唱する車両軌跡の推定手法であるVariational Theoryを用いて境界条件内の車両軌跡を推定し，境界条件内の信号交差点の停止領域を求める。

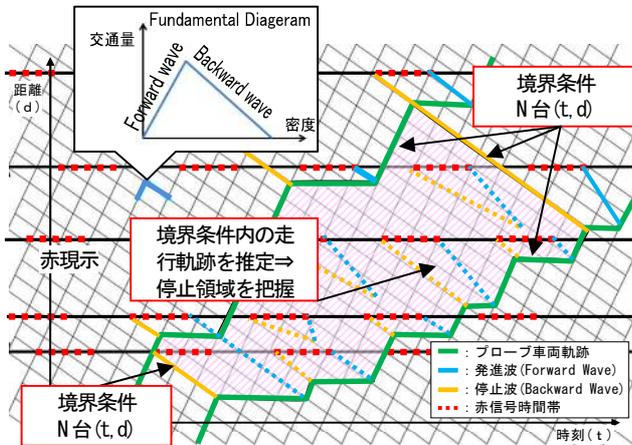


図2 プローブ車両軌跡に基づく停止領域の推定

3. Daganzoによる車両軌跡の推定手法

Daganzo¹⁾やMehran and Kuwahara²⁾は対象区間を走行するプローブ走行車両軌跡と信号制御パラメーターを用いて現在までの全車両軌跡の推定手法を提唱している。

その概要としては，図-2に示す境界条件上の車両累積台数 N 台 (t, d) からVariational Theoryを用いて，時空間上の各地点における累積台数を求め，同じ累積台数となる点を結び車両の軌跡とする方法である。

(1) 前提条件とネットワークモデル

この車両軌跡推定手法の前提条件は，FIFO則が成立しFundamental Diagramが線形近似されていること，さらに対象区間内の信号交差点の信号制御パラメーターが既知であることである。

車両の軌跡推定はTime-Space図上に線形近似されたFundamental DiagramのForward waveと Backward waveで構成されたメッシュ状のネットワークモデルを用いて行う。

また，Forward waveと Backward waveとの交点のノードは累積台数の情報を持つ。各ノードの累積台数が同じとなる境界線が車両軌跡となる。

(2) 推定手法

推定領域内の各ノードの累積台数は，求めたいノードからForward waveと Backward waveに沿って過去方向側に隣接する2つのノードが持つ累積台数情報より決める。

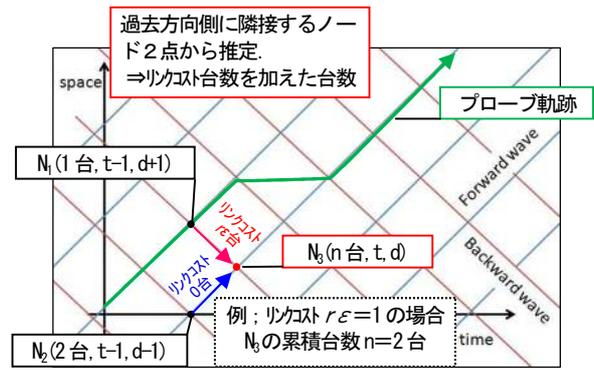
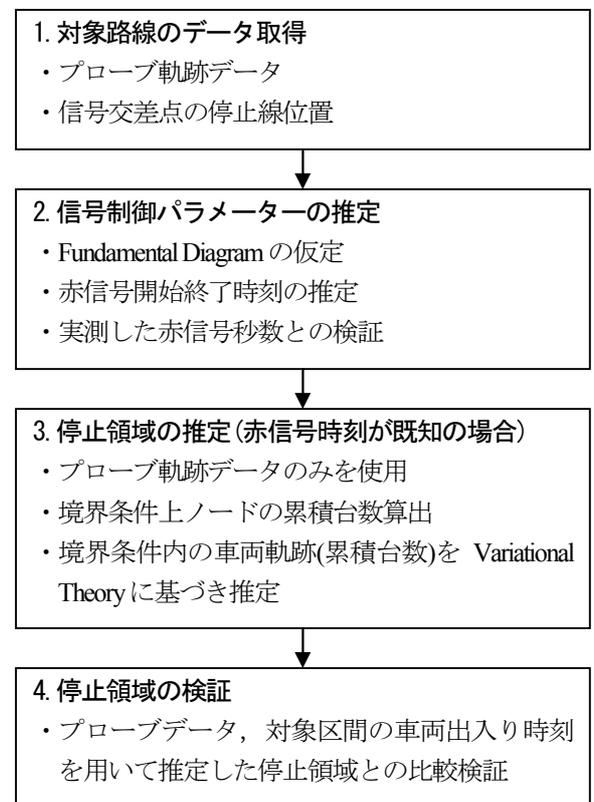


図3 各ノードの累積台数の推定

4. 研究フロー

本研究における停止領域推定までの流れを示す。本研究では，まず，プローブ軌跡のみを用いて信号制御パラメーターの推定を試み，実測した信号秒数との比較検証を行う。また，信号秒数が既知の場合において，プローブ軌跡のみを使用し，Variational Theoryによる車両軌跡推定手法に基づき対象領域の車両軌跡を求めることで，停止領域を把握する，なお推定した停止領域は，Mehran and Kuwaharaによって提唱される車両軌跡の推定手法（プローブ軌跡データと対象区間の車両出入口の通過時刻，信号制御パラメーターを用いる。）を用いて推定した停止領域と比較し精度を検証する。



5. 使用するデータ

本研究では、東京都世田谷区から目黒区へ通じる駒沢通りにおいて実測した調査結果を使用する。

表-1 使用データ

データ名	内容	備考
プローブ車両データ	・ 平日 ・ 朝7:30~8:00	※H22年12月
停止線位置	・ 流入側	
信号秒数	・ 赤表示時間帯	※検証用
車両出入時刻	・ 各交差点を出入りする車両の通過時刻(ビデオ観測)	※検証用

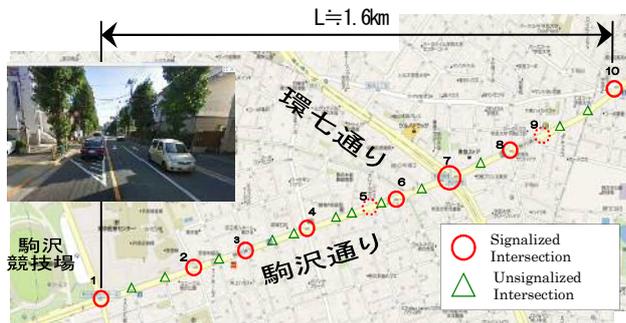


図4 調査区間

6. 赤信号時刻の推定

(1) 推定方法

推定方法としては、図-5に示す対象路線を走行するプローブ車両軌跡の発進位置と停止線位置、発進波伝播速度の関係より赤信号終了時刻を推定する。

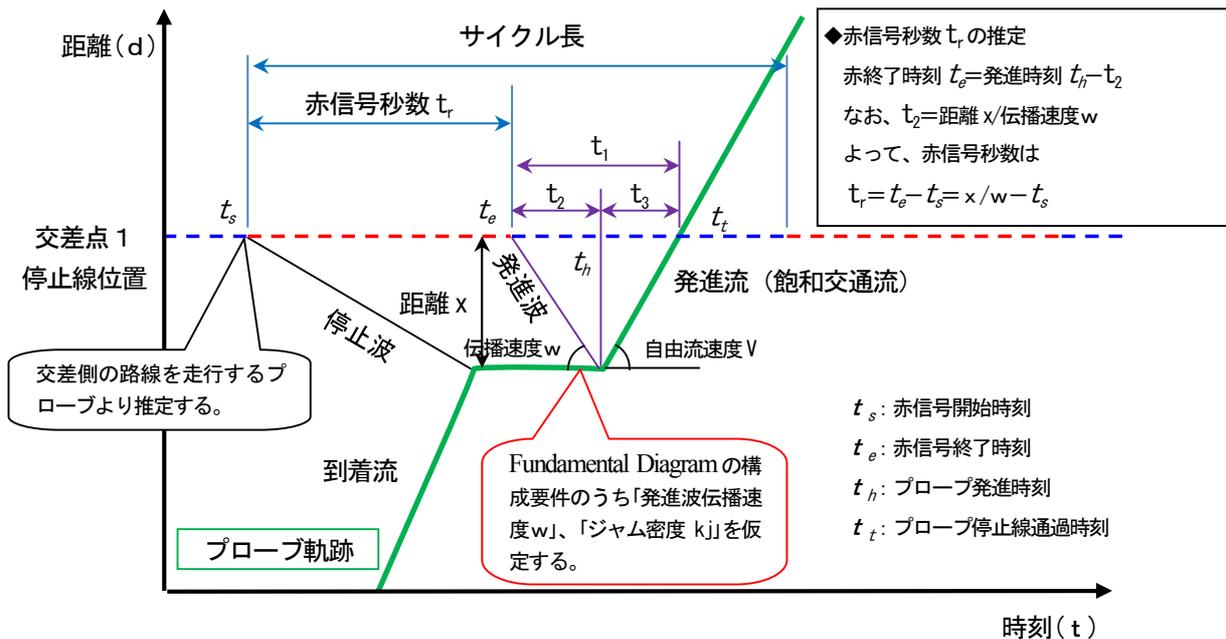


図-5 プローブ車両軌跡の発進位置と停止線位置、発進波伝播速度と赤信号時刻の関係

赤信号開始時刻は交差側を走行するプローブ車両軌跡より同様に推定する。走行するプローブ車両軌跡より同様に推定する。ただし、本研究では交差側を走行するプローブデータを調査実施していないため、交差側の赤信号終了時刻の推定は実施しない。

なお、発進波伝播速度・ジャム密度については、対象路線の道路構造や交通特性を踏まえてFundamental Diagramを仮定し設定する。

(2) Fundamental Diagramの仮定

Fundamental Diagramの構成要素である「飽和交通流率Q」「自由流速度V」「発進波伝播速度w」「ジャム密度kj」のうち、「自由流速度V」は実測値を使用し、これまでの知見より比較的仮定しやすい「発進波伝播速度w」と「ジャム密度kj」の2条件を仮定した。また、「飽和交通流率Q」は仮定した2条件とプローブ実測値から導出する。

本分析における仮定条件を図-6に示す。

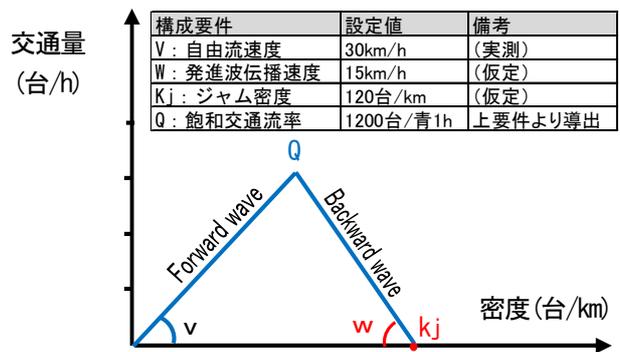


図-6 Fundamental Diagramの仮定

(3) 推定結果と検証

対象区間を走行するプローブ車両軌跡の全ての発進位置から発進波伝播速度 w にて、停止線位置までBackward waveを描くことで赤信号終了時刻を求めた。結果を図-7に示す。プローブ車両の走行回数は計4回であり、各信号交差点において、停止状態からの発進挙動が1回以上見られた。

各信号交差点の推定赤信号終了時刻と実測赤信号終了時刻の誤差秒数（絶対値）を確認したところ、平均3.1秒、標準偏差3.3秒であった。今回の推定では、区間内の全ての交差点に一様のFundamental Diagramを設定した。

今後は推定精度の向上が課題であり、交差点の右左折レーンの有無など車線構成や車線幅員、大型車・バス混入率混入率など道路・交通特性を踏まえてFundamental Diagramを考慮する必要がある

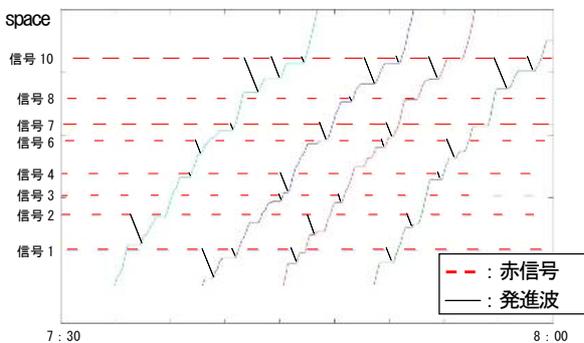


図-7 赤信号時刻終了時刻の推定

7. 停止領域の推定

本項では、赤信号時刻を既知として、Variational Theoryを用いて車両軌跡を推定することで停止領域を求める。推定に必要な境界条件を担う発進波及び停止波は、赤信号終了時刻とプローブ車両軌跡の発進位置と停止位置を結ぶことで求める。それぞれの伝播速度を「発進波伝播速度 w_1 」「停止波伝播速度 w_2 」とする。推定領域の設定と境界条件の累積台数の求め方を以降に示す。

(1) 推定範囲の設定と境界条件上の累積台数の把握

停止領域を推定する範囲は図-8に示す。まず、Variational Theoryでの計算に必要な境界条件上の累積台数を求める。ここで、境界条件とする2本のプローブ車両軌跡のうち、先行するプローブ車両軌跡の累積台数を $N=1$ とする。

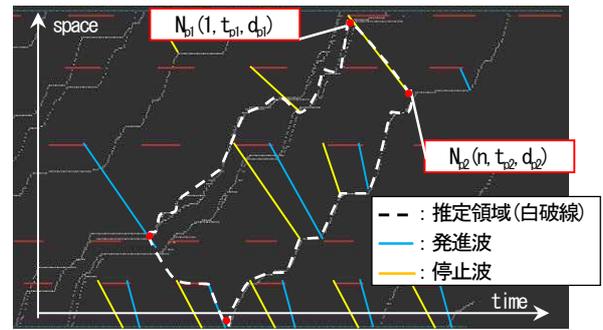


図-8 停止領域の推定範囲

次いで、2本のプローブ車両軌跡を結ぶShock wave上のノードの累積台数 N をFundamental Diagramに従い算出する。すなわち、前節で推定した停止波と発進波のShock wave上については、累積台数がどのように変化するのがFundamental Diagramから容易に分かるので、図-8の破線上については、すべて累積台数を決めることができる。このように破線のBoundaryの累積台数が決められれば、Variational Theoryをもちいて破線内のすべての車両の軌跡を推定することができる。

8. おわりに

本研究では、プローブ車両軌跡データのみを使用しても、その軌跡情報を十分に活用すれば、対象路線の交通状況として、各信号交差点における停止領域を把握することができる可能性を示した。今後の課題として、対象路線のデータに加えて、交差側路線を走行するプローブ車両軌跡を使用し、各信号交差点の赤信号開始時刻を含めて推定を行い、赤信号時刻が未知の状態からの停止領域を推定を試みる。

本研究で推定する情報は、カーナビにおける所要時間探索への活用や信号交差点の系統制御の改善に資する情報として、非常に有効な情報になり得るものと考えられる。

参考文献

- 1) C. 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) B. MEHRAN and M. KUWAHARA: Fusion of Probe, Passing Time and Signal Timing Data to Estimate Vehicle Trajectories on Urban Arterials, Journal of Japan Society of Traffic Engineers, Vol.46, No.1, pp.77-89, 2011.

(2012.5.7.受付)