

# プローブデータを用いた 信号機制御情報の推定手法の研究

水野 太希<sup>1</sup>・藤田 素弘<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 名古屋工業大学大学院 工学研究科社会工学専攻学生 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)

E-mail: cmc15089@stn.nitech.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 名古屋工業大学大学院教授 工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)

E-mail: fujita.motohiro@nitech.ac.jp

信号機制御情報の取得は、急停車や無駄な加速の抑制に利用できることから、交通事故対策や環境に配慮した自動車走行、自動運転等で必要とされる。本研究では、シミュレーション上において自動車の走行から得られたプローブデータを基に信号機のサイクル長、青時間、赤時間の3つのパラメータを推定する手法を構築した。そして、推定に使用するプローブデータの車両数を変化させて推定精度の比較を行った。使用するプローブデータが十分にある状態では、直進・右折車両それぞれの信号機制御情報をほとんど誤差なく推定することができた。1時間当たり25台以上のプローブデータがあれば一定の推定精度を維持することを確認した。赤時間の長さやレーン数などの道路ネットワーク形態によって生じる交通の集中度合が推定精度に影響を及ぼすことが分かった。

**Key Words** : traffic signal estimation, probe data, traffic simulation, carbondioxide, autonomous car

## 1. はじめに

近年、自動運転車の開発が世界各国で盛んに行われている。自動運転車に必要な情報の一つとして、信号機制御情報が挙げられる。信号機制御情報は現在のところ、一部の交差点において提供されているが、リアルタイムの情報は得ることはできないため、信号機制御情報の取得技術が別途必要となっている。信号機制御情報を取得する技術としては、車載カメラを通しての画像認識や信号機に無線機を設置し車両へ直接情報を送信するものなどが研究されている。しかし、これらの課題として前者は、前方車両による遮蔽や逆光などの環境要因の影響を受けてしまう。後者は、信号機に無線装置を設置する必要があるため多大な費用や時間がかかることが予想される。

そこで本研究では、GPSから取得した車両のプローブデータを用いて信号機制御情報を推定する手法を提案する。GPSは現在では一般的となっており、カーナビやスマートフォンにも搭載されているので、それらを利用すれば多くのプローブデータを取得できる。自動運転車の車載カメラが機能しなかった場合や、信号機に無線装置が設置されていなかった場合の信号機制御情報取得の代替手段として用いることを目的とする。また、事前に信



図-1 作成した交差点

号機制御情報を取得することで、自動車の急停車や無駄な加速の抑制を目的とする。

## 2. 使用するシミュレーションとデータ

本研究では交通シミュレーションの一つである、ドイツのPTV社<sup>1)</sup>のPTV Vissimを使用する。PTV Vissimでは、車線形状や交通構成、交通信号などの制約下で動く自動車交通を解析することができる。

本研究では、名古屋市内のある交差点をシミュレーション上で再現した。図-1に作成した交差点を示す。今回、南側から交差点に進入する車両から見た信号機制御情報を推定するが、この交差点は、南側から直進または右折

のみすることができる。南から北に向かう道路の直進専用レーンと右折専用レーンにそれぞれ合計500(台/h)の交通量を、発生間隔を確率的にして発生させる。信号機制御情報には、公益財団法人日本道路交通情報センター<sup>2)</sup>(以下、JARTICと呼ぶ)より取得した情報を用いた。ただし、この交差点では数時間ごとにサイクル長や各現示の時間が変化するが、本研究では2019年4月1日20:00での信号機制御情報を繰り返す設定とした。この時間は、対象の交差点において一日で最も交通量が多い時間帯である。また、JARTICの信号機制御情報には黄色時間は含まれていないので、全ての信号機で一律に青時間の最後の3秒を黄時間とした。図-2に設定した信号機制御情報の最初の3サイクル分を示す。ただし、一つの信号機において、図-2では直進専用レーンと右折専用レーンの現示を分けて示しており、交差点に進入可能なときを青信号、それ以外を赤信号としている。グラフ内の数字は現示の秒数である。

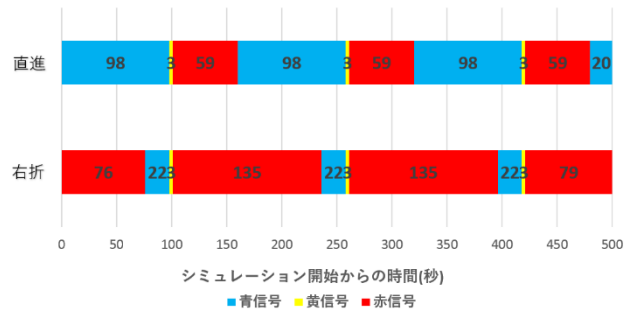


図-2 設定した信号機制御情報

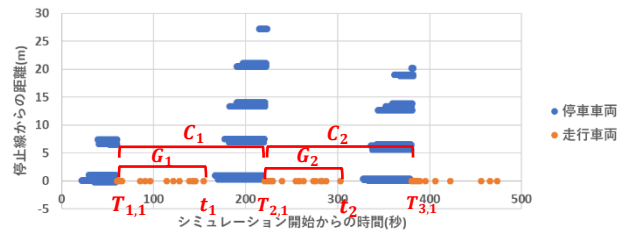


図-3 文字の定義

### 3. 信号機制御情報の推定方法

作成した道路ネットワークにおいて車両を走行させ、そこから得られたプローブデータより信号機制御情報の推定を行う。プローブデータには、シミュレーション開始からの時間(s)、各車両のNoと走行しているリンク番号、レーン番号、リンク始点からの距離(m)、時速(km/h)を0.5秒間隔で記録したものをを用いた。推定を行う信号機制御情報のパラメータはサイクル長、青時間、赤時間である。

推定方法について説明する前に、参考として図-3に停車した車両と停止線を通過した車両の挙動をシミュレーション開始後500秒までグラフに示した。縦軸が停止線からの距離であり、横軸はシミュレーション開始からの時間である。青色のデータは停車した車両であり、停車位置と停車時間が分かる。橙色のデータは停止線を車両が通過した時間を記録したものである。図中の赤文字は推定に使用するものであり、以下で順次説明していく。

それぞれのパラメータの推定方法について説明する。まずサイクル長の推定について説明する。サイクル長は、赤信号で停車した車両が青信号となり発車してから次に赤信号で停車した車両が青信号となり発車するまでの時間と考えられる。この際、車両が停車した位置が停止線最前列から何台目かによって発車までの時間が異なる。そこでまず、停止線最前列に停車した車両が発車する時間を推定する。iサイクル目に停止線からj番目に並ぶ車両の停車位置と発車時間の間隔はそれぞれ式(1)、式(2)で表せる。

$$X_{i,j+1} - X_{i,j} \approx 6.5 \quad (1)$$

$$T_{i,j} - T_{i,j+1} \approx 1 \quad (2)$$

$X_{i,j}$  : iサイクル目に停止線からj番目に並ぶ車両の車頭部から停止線までの距離(m)

$T_{i,j}$  : iサイクル目に停止線からj番目に並ぶ車両の発車時間(s)

式(1)は車両の停車間隔が約 6.5(m)であることを意味し、式(2)は連続して停車する車両の発車時間間隔が約 1秒であることを意味する。これらの 6.5(m)と 1秒の値は、取得したプローブデータから算出した平均値である。式(1)より、式(3)のように停車位置 $X_{i,j}$ (m)から車両の順番jを推定することができる。

$$6.5(j-1) - \frac{6.5}{2} < X_{i,j} < 6.5(j-1) + \frac{6.5}{2} \quad (3)$$

式(2)と式(3)より、iサイクル目で 1番目に並ぶ車両の発車時間は式(4)で表される。

$$T_{i,1} = T_{i,j} - 1 \times (j-1) \quad (4)$$

式(4)を用いると、iサイクル目のサイクル長 $C_i$ は式(5)で表される。

$$C_i = T_{i+1,1} - T_{i,1} \quad (5)$$

$C_i$ のうち、 $C_i$ の最小値に30秒を加えた値より小さいものの平均値をサイクル長 $C$ の推定値とする。この30秒を加える理由は、1サイクルのうちに停車した車両のプロブデータが1台も含まれなかった場合、2サイクル分のサイクル長が結果として計算されてしまうからである。

$$C = avg.C_i \quad (C_i < \min.C_i + 30) \quad (6)$$

車両の発車時間間隔や停車間隔はあくまでシミュレーション上での数値であり、現実の交通状況で推定するには、実際に調査しデータを集める必要がある。

次に青時間の推定について説明する。青時間は、赤信号で停車した車両が青信号となり発車してから推定したサイクル長内で最後に車両が停止線を通るまでの時間と考えた。 $i$ サイクル目の青時間 $G_i$ は式(7)で表される。

$$G_i = t_i - T_{i,1} \quad (7)$$

$G_i$  :  $i$ サイクル目の青時間(s)

$t_i$  :  $T_{i,1}$ から $T_{i,1} + C$ までの時間のうち最後に停止線を車両が通過した時間(s)

$G_i$ のうち最大値を青時間 $G$ とする。

$$G = \max.G_i \quad (8)$$

最後に赤時間の推定について説明する。赤時間は、赤信号となり車両が減速を始めてから、そのサイクルで1番目に並ぶ車両が青信号となり発車するまでの時間のうち最大のものと考えた。 $i$ サイクル目の $j$ 番目に停車する車両の赤時間 $R_{i,j}$ は式(9)で表される。

$$R_{i,j} = T_{i,1} - t'_{i,j} \quad (9)$$

$R_{i,j}$  :  $i$ サイクル目の $j$ 番目に並ぶ車両の赤時間(s)

$t'_{i,j}$  :  $i$ サイクル目の $j$ 番目に並ぶ車両が減速し始めた時間(s)

$R_{i,j}$ のうち最大値を赤時間 $R$ とする。

$$R = \max.R_{i,j} \quad (10)$$

#### 4. 信号機制御情報の推定結果

直進専用レーンと右折専用レーンに500(台/h)の交通を発生させ、すべての車両のプロブデータを1時間分取得した。そのうち、使用するプロブデータの数を変化

表-1 直進専用レーンの信号機制御情報の推定結果

	設定値	500/500		250/500		100/500		50/500		25/500		10/500	
サイクル長	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	159.9	160.0	159.9	160.0
青時間	101.0	101.0	100.5	100.5	99.5	101.0	100.5	100.0	89.5	79.0	94.5	93.5	98.5
赤時間	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	58.5	59.0	59.0	54.0	59.0	57.0	56.5	57.0

表-2 右折専用レーンの信号機制御情報の推定結果

	設定値	500/500		250/500		100/500		50/500		25/500		10/500	
サイクル長	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	159.9	159.8	160.1	159.8
青時間	25.0	26.5	26.0	27.0	27.0	26.0	25.5	26.5	25.5	26.5	27.0	22.5	23.0
赤時間	135.0	136.0	136.0	135.5	135.5	135.5	135.5	136.0	135.5	136.0	135.5	133.5	127.0

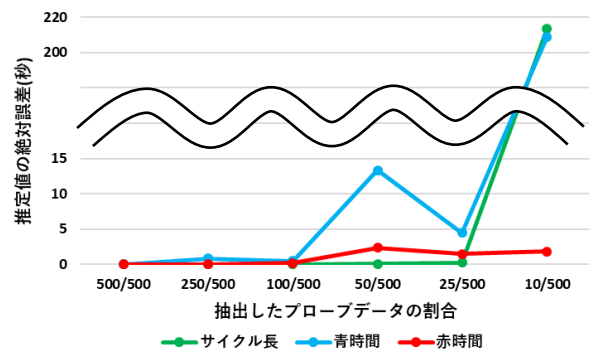


図-4 直進専用レーンの推定値の絶対誤差

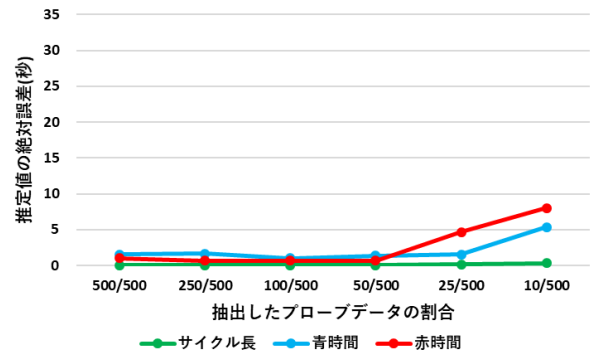


図-5 右折専用レーンの推定値の絶対誤差

させ、それによる信号機制御情報推定の精度の変化を確認した。使用するプロブデータの数を変化させる際、データはランダムに抽出した。抽出する車両によって推定結果が変化することが予想されるので、それぞれ3回ずつ抽出する車両を変化させて推定した。直進専用レーンと右折専用レーンの信号機制御情報の推定結果をそれぞれ表-1、表-2に示す。表の上部は使用したプロブデータの車両数の割合である。また、この結果から、信号機制御情報推定値の絶対誤差の平均を図-4、図-5に示す。

図-4、図-5より抽出するプロブデータの数が多いほど精度が向上する傾向が見られる。また、表-1より、直

進専用レーンの信号機制御情報の推定結果では、10台のプローブデータを抽出したときにサイクル長と青時間に大幅な誤差が出たパターンがあった。この理由として、サイクル長に関しては連続するサイクルで最低1台停車した車両のプローブデータがないと、2サイクル分や3サイクル分の時間を推定値として出力してしまうからである。800秒というのは5サイクル分に当たる。青時間の推定にはサイクル長を使用するため、サイクル長の推定値の誤差が、青時間の推定値にも影響してしまう。

サイクル長について、直進専用レーンの推定値に比べ右折専用レーンの推定値の絶対誤差が小さくなった理由としては、赤時間の長さやレーン数の違いが考えられる。直進専用レーンの赤時間が59秒なのに対して、右折専用レーンの赤時間は135秒であり、車両が停車する可能性が高い。また、直進専用レーンのレーン数が3つなのに対して右折専用レーンのレーン数は2つであり、直進専用レーンと右折専用レーンにそれぞれ同じ交通量を流した場合、レーン数が少ない方が車両が渋滞を起こして赤信号で停車する可能性が高い。サイクル長の推定には、停車した車両のプローブデータを用いるため、右折専用レーンの方が精度が高くなる。同様に青時間についても直進専用レーンの推定値に比べ右折専用レーンの推定値の絶対誤差が小さくなったことには、同じ理由が考えられる。さらに、青時間の推定には停止線を通過した車両のプローブデータを用いるが、右折専用レーンの方が青時間が短いため、単位時間あたりにおける停止線を通過する車両数は右折専用レーンの方が多くなることにより右折専用レーンの方が精度が高くなる。赤時間については、推定方法の性質上、直進専用レーンと右折専用レーンに差はないと考えられるが、結果は直進専用レーンの方が精度がよくなった。今回はそれぞれ3回ずつしか推定が行えておらず、抽出したプローブデータによって偶然このようになった可能性もあるので、今後回数を増やして検証する必要がある。

## 5. まとめ

車両のプローブデータを用いて、直進専用レーンと右折専用レーンのサイクル長、青時間、赤時間の3つのパラメータを推定することができた。推定の結果から、抽出するプローブデータの数が多ければ精度が高くなることを確認できた。本研究の条件の場合、500台の交通量のうち、100台のプローブデータがあれば推定値の絶対誤差の平均は約1秒に収まった。また、25台のプローブデータがあれば、サイクル長、赤時間については推定値の絶対誤差の平均は約5秒に収まった。青時間については絶対誤差が大きくなってしまった場合があったが、推定したサイクル長から推定した赤時間を差し引いて直接青時間を推定することも一つの対処法として考えられる。他にも、赤時間の長さやレーン数などによる交通の集中度合いが推定の精度に影響を及ぼすことが分かった。

今後の課題としては、別の交差点形状での信号機制御情報の推定や発生交通量を変えた場合の推定精度への影響の確認、推定精度の向上が挙げられる。また、本研究では定周期式信号機を想定して研究を行ったが、他の形式の信号機も存在するため、それらに対応する方法についても検討する必要がある。

## 参考文献

- 1) PTV GROUP ホームページ : <https://www.ptvgroup.com/en/>
- 2) 公益財団法人日本道路交通情報センターホームページ : <http://www.jaric.or.jp/index.html>
- 3) 水野太希, 木下久史, 藤田素弘 : 二酸化炭素排出削減を目指すプローブデータを活用した信号機推定と推奨速度での走行支援

(?)

## RESEARCH ON ESTIMATION METHOD OF TRAFFIC SIGNAL USING PROBE DATA

Taiki MIZUNO and Motohiro FUJITA

Acquisition of traffic signal can also be used to suppress sudden stops and unnecessary acceleration, and be required for environmentally car driving. In this study, we developed a method to estimate three parameters of traffic signal such as cycle length, blue time and red time based on the probe data obtained from the running of a car on the simulation. While the number of vehicles of the probe data used for estimation was changed, the estimation accuracy was compared. When sufficient probe data were used, we could estimate the traffic signal parameters for straight-ahead vehicles and right-turn vehicles with few error. It was confirmed that estimation accuracy tends to be higher as more probe data are used. In addition, it was found that the degree of concentration of traffic caused by the road condition form such as “the length of red time and the number of lanes” affects the estimation accuracy.