

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

水野 太希¹・木下 久史²・藤田 素弘³

¹学生会員 名古屋工業大学 都市社会工学科学生 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail:ck117085@stn.nitech.ac.jp

²非会員 株式会社デンソー 東京支社 (〒103-6015 東京都中央区日本橋 2-7-1 東京日本橋タワー15F)
E-mail:hisashi_kinoshita@denso.co.jp

³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

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、信号機制御情報の推定を行い、交通量の違いによる精度の比較を行った。また、推定した信号機情報よりできるだけ信号機で停車しないような推奨速度を算出し、車両を走行させ車両の挙動や二酸化炭素排出原単位にどのような効果が現れるかを確認した。信号機推定の精度は交通量に依存し、交通量が多いほど精度が高くなることが分かった。また、推奨速度を与えることによって車両が信号機において停車しない走行ができること、停車回数が少ないほど二酸化炭素排出原単位が小さくなる傾向があることが分かった。

Key Words: traffic simulation, energy-saving operation, vehicle behavior, carbon dioxide

1. はじめに

近年環境問題が自然や多種多様な生物のみならず、人々の健康や生活においても多大なる影響を及ぼすことが危惧されている。環境問題の中でも、とりわけ地球温暖化は深刻な問題となっており、二酸化炭素は最も排出量の大きい温室効果ガスである。そして、この二酸化炭素の排出量のうち、自動車からの排出量は大きな割合を占めている。しかし、現代社会において自動車は我々の生活で欠かせないものとなっており、単純に自動車利用の停止あるいは抑制させることは極めて困難である。そこで現在の自動車交通量の状態で二酸化炭素の排出を低減させる必要がある。

本研究では、基本的に交通シミュレーションによって行う。車両から取得したプローブデータを用いて信号機制御情報を推定し、それを基に信号機で停車しないような推奨速度を算出し、その推奨速度での走行の結果、二酸化炭素排出原単位にどのような効果が出るかを確認する。

よって車両のプローブデータを活用した二酸化炭素の排出を低減させる走行支援の方法について分析することが本研究の目的である。

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¹⁾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。

研究対象の道路としては名古屋市内の中心部を東西にかけて走る若宮大通を選択した。名古屋市の主要道路であり、常時交通量が多く、渋滞が発生しやすいため二酸化炭素排出量が多量であることがこの道路を選択した理由である。PTV Vissimに道路情報や信号機情報を組み込むことで、シミュレーション上で若宮大通を再現する。主要な7つの交差点を含み、西端は千種区中道交差点から東端は中区新洲崎橋東交差点までの全長約3.6(km)の道路を作成した。7つの交差点のうち、公益財団法人日本道路交通情報センター²⁾(以下、JARTICと呼ぶ)より5つの交差点の信号機情報を取得した。ただし、本研究では若宮大通の西端から車両を発生させ、東端への直進のみを考えるため、車両が直進できる場合を青信号とし、直進できない場合を右折専用現示など含めて赤信号とする。JARTICの信号機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3秒を黄時間とした。若宮大通は時間帯によってサイクル長や各現示の

時間が変化するが、本研究ではある時間帯での信号機情報を繰り返す設定とした。また、若宮大通は交差点ごとにサイクル長が異なる。そのため時間の経過とともに信号機間のオフセットはずれていく。本研究ではシミュレーション開始時に全ての信号機が青信号から始まるように設定した。図-1 に作成した道路ネットワークと信号機を設置した交差点の交差点番号を示す。図-2 に設定した信号機情報を最初の 3 サイクル分示す。ただし、グラフ内の数字は現示の秒数である。



図-1 PTV Vissim で作成した道路ネットワーク

3. 取得したプローブデータからの信号機制御情報推定

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を用いて信号機推定を行う。この際、交通量の違いによる信号機推定の精度を比較するため、交通量を変化させてプローブデータを取得した。交通量は、100(台/h)、175(台/h)、250(台/h)、500(台/h)、1000(台/h)、1500(台/h)、2000(台/h)の 7 パターンを用意し、車両の発生間隔は確率的になるように設定した。プローブデータには、シミュレーション開始からの時間(秒)、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。

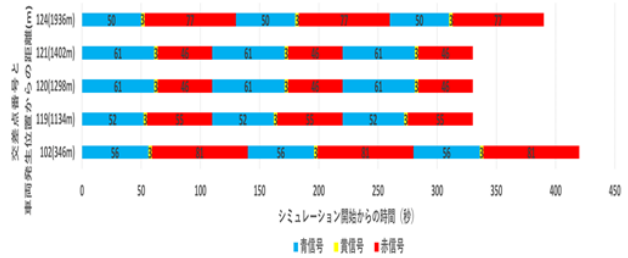


図-2 設定した信号機情報

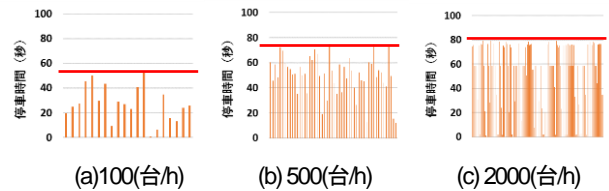


図-3 各交通量での停車時間の分布

信号機推定を行うパラメータは各交差点の赤時間、サイクル長、青時間である。赤時間は交差点最前列に停車する車両の最大停車時間とした。プローブデータから交差点最前列に停車した車両の停車時間を算出し、そのうち最も数値が大きかったものを推定結果とする。

交差点番号 102 の交差点での、交通量 100(台/h)、500(台/h)、2000(台/h)の場合の交差点最前列での各車両の停車時間の分布を図-3 に示す。グラフには停車時間の最大値の位置を赤線で示している。この赤線の位置が赤時間の推定結果となるのだが、それぞれの結果は 53 秒、74 秒、79.5 秒となった。交差点番号 102 の交差点の赤時間の設定値は 81 秒であるから、交通量が増えるほど推定値と設定値の絶対誤差は小さくなっていることが確認できる。他の交通量のパターンも含めて、交差点番号 102 の交差点での赤時間の推定値の設定値との絶対誤差を図-4 に示す。他の 4 つの交差点についても交通量が増えるほど推定値の絶対誤差は小さくなった。この理由としては、交通量が多いほど信号機が赤信号になってから交差点最前列に車両が止まるまでの時間が短くなる可能性が高いことが考えられる。交差点最前列に車両が停車してから発車するまでの時間を推定結果とするためこのようになる。ただしあくまで可能性が高くなるだけであり、確率的であり、交通量が増えれば必ず絶対誤差が小

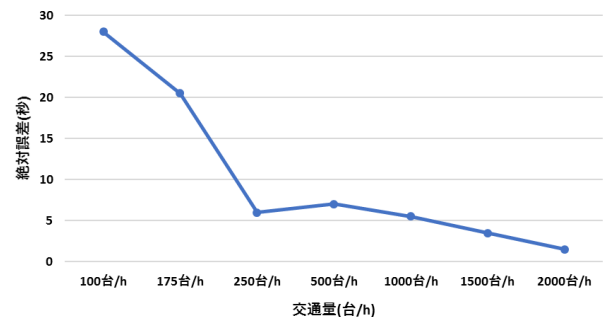


図-4 各交通量での赤時間推定値の絶対誤差

さくなるわけではない。

次にサイクル長は交差点最前列に停車する車両が発車してから次に交差点最前列に停車した車両が発車するまでの時間とした。このうち最頻値を推定結果として行う。

交差点番号 121 の交差点での、交通量 175(台/h)、500(台/h)、2000(台/h)の場合のサイクル長の分布を図-5 に示す。グラフには交通量でのサイクル長の最頻値を赤棒で囲んで示してある。ただし、交通量 175(台/h)の場合のように最頻値となるものが複数出た場合は、そのうち最小値を選択する。この理由としては、1 サイクル分全く車両が交差点に止まらなかったりすると実際よりも長い時間が記録されてしまうからである。それぞれの推定結

果は 990 秒, 440 秒, 110 秒となった. 交差点番号 121 の交差点のサイクル長の設定値は 110 秒であり, サイクル長についても交通量が増えるほど推定値と設定値の絶対誤差は小さくなった. 他の交通量のパターンも含めて交差点番号 121 の交差点での推定したサイクル長の設定したサイクル長との絶対誤差を図-6 に示す. ただし, 交通量 100(台/h)のパターンでは交差点に停車した車両が少なかったことによりサイクル長を推定することができなかったため, グラフにデータが含まれていない. 他の 4 つの交差点についても交通量が増えるほど推定値の絶対誤差は小さくなった. この理由としては, 先にも説明したように, 交通量が少ないと 1 サイクル分全く車両が交差点に止まらなかったりすることがあり, 実際よりも長い時間が記録されてしまうことが考えられる. ただしこれについてもあくまで可能性が高くなるだけであり, 確率的であり, 交通量が増えれば必ず絶対誤差が小さくなるわけではない.

青時間は, サイクル長から赤時間を差し引いたものとした. ただし, この青時間には黄時間も含まれており, すべての信号機で一律に青時間の最後 3 秒を黄時間とした.

図-7 に交通量 2000(台/h)の場合に推定した信号機情報を最初の 3 サイクル分示す.

4. 推奨速度の導出及び走行結果の比較

信推定した信号機情報を用いて推奨速度³⁾を算出する. ここで言う推奨速度とは, 信号機において停車しないような速度であり, シミュレーション開始時に発車する車両の場合, 図-8 に示すような矢印の走行が必要である. 走行矢印の設定の際には制限速度である 60(km/h)以下となり尚且つ距離として最も直進することのできる信号機までを対象とする. 推奨速度は, 距離を通過可能時間で除することにより求める.

加減速度には環境省⁴⁾より推奨されている値を用いた. 環境省の「エコドライブ 10 のすすめ」では, 発進時最初の 5 秒で 20(km/h)に到達する発進を推奨している. このことより加速度には 1.1(m/s²)を用いる. また, 減速時にはアクセルオフでのエンブレキを活用することを推奨しており, 60(km/h)で走行中にアクセルオフし, 時速 40(km/h)まで減速したとすると, その間に, 約 200(m)を惰性で進むことができるという. このことより, 減速度には 0.4(m/s²)を用いる.

また, 速度は瞬時に変化できるものではないので, 信号機の切り替わり時にゆとりを持たせたパターンを用意した. 走行パターンは図-9 に示すような, 信号切り替

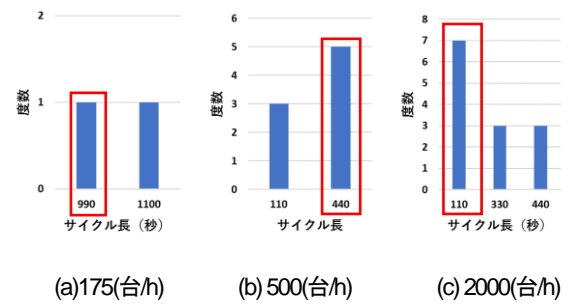


図-5 各交通量での停車時間の分布

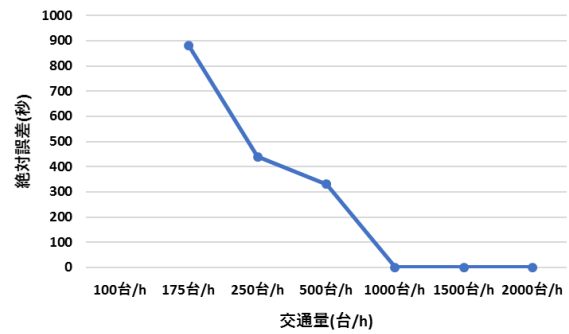


図-6 各交通量でのサイクル長推定値の絶対誤差

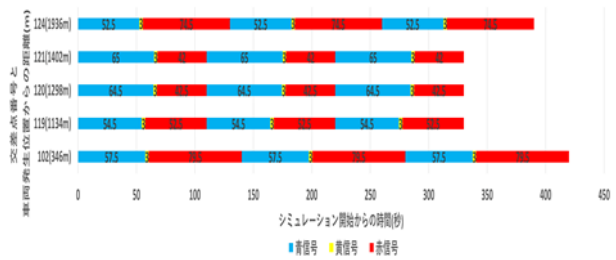


図-7 推定した信号機情報

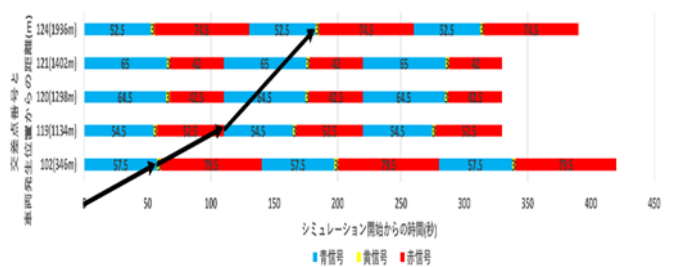


図-8 推定した信号機情報での走行矢印

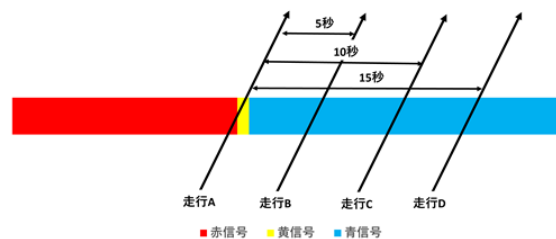


図-9 ゆとり幅を持たせた各走行パターン

わり時に通過する余裕を持たない走行 A, 5 秒余裕を持たせた走行 B, 10 秒余裕を持たせた走行 C, 15 秒余裕を持たせた走行 D の 4 パターンである。推奨速度の算出の結果, 走行 D は法定速度を超える区間があったので, 推奨速度から除外することとした。表-1 から表-3 にシミュレーション開始時に発車する車両の推奨速度を示す。表中の始点となる交差点番号と終点となる交差点番号で示してあり, 車両の発生位置は, start と表した。

若宮大通は交差点ごとにサイクル長が異なるため, 交差点間の現示が時間の経過とともにずれてくる。そのため, 本来は推奨速度を時間の経過とともに変化させなければならないが, シミュレーションの特性上, 本研究では全ての車両を一律に, ある時間での推奨速度で走らせ, その前後の時間に発車する車両の走行を観測する。

シミュレーションの結果, 推奨速度の対象の時間の前後約 30 秒に発車した車両において走行 B や走行 C で効果が見られ, 特に走行 C は最も停車回数が減ることが分かった。結果を比較するため, 設定した信号機情報を用いて算出した走行 A, B, C のパターン, PTV Vissim の初期値のパターン, 加減速度のみ環境省の推奨値に変化させたパターンでも走行させた。表-4 にシミュレーションを行った各走行パターンの加速度, 速度の関係を示す。表中の初期値というのは PTV Vissim での初期値を意味し, エコドライブというのは環境省より推奨されている加減速度を意味する。式 (1) を用いて, 各走行パターンでの推奨速度の対象の時間の前後 30 秒に発車した車両の二酸化炭素排出原単位⁹⁾を導出した。

$$E_u = \frac{0.3K_c}{S} + 0.028K_c + 0.058K_c A \quad (1)$$

E_u : 二酸化炭素排出原単位 [g - Cm]

S: 旅行速度[m/s]

K_c : 変換係数[g-C/cc-gasoline]

A: 平均加速度[m/s²]

二酸化炭素排出原単位とは, 車両が走行する単位メートルあたりに排出する二酸化炭素量(g)である。

停車回数と二酸化炭素排出原単位の関係を図-10 に示す。この図よりまず, 加減速度を環境省の推奨する値に変化させたほうが初期値の加減速度での走行より二酸化炭素排出原単位が減少することが確認できた。次に停車回数が減少すると二酸化炭素排出原単位が減少する傾向が確認できる。走行 B, 走行 C では初期設定に比べ停車回数を減少させることができている, 二酸化炭素排出原

表-1 推奨速度走行 A の算出結果

区間	時間 (s)	交差点間距離 (m)	速度(km/h)
start-102	57.5	346	21.7
102-119	52.5	788	54.0
119-124	72.5	802	39.8

表-2 推奨速度走行 B の算出結果

区間	時間 (s)	交差点間距離 (m)	速度(km/h)
start-102	52.5	346	23.7
102-119	62.5	788	45.4
119-124	62.5	802	46.2

表-3 推奨速度走行 C の算出結果

区間	時間 (s)	交差点間距離 (m)	速度(km/h)
start-102	47.5	346	26.2
102-119	72.5	788	39.1
119-124	52.5	802	55.0

表-4 各走行パターンの加速度と速度

	初期設定	加減速度変化	信号機設定値			信号機推定値		
			走行A	走行B	走行C	走行A	走行B	走行C
加減速度	初期値	エコドライブ	エコドライブ	エコドライブ	エコドライブ	エコドライブ	エコドライブ	エコドライブ
速度	初期値	初期値	推奨速度	推奨速度	推奨速度	推奨速度	推奨速度	推奨速度

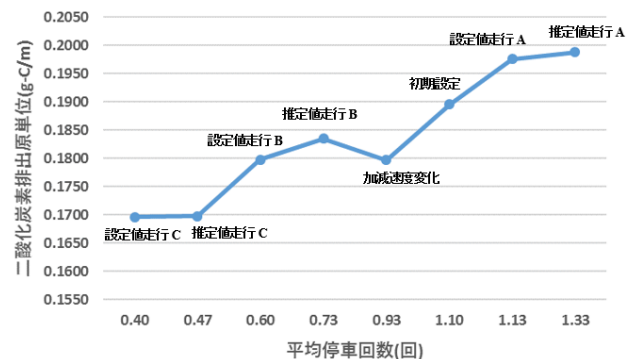


図-10 停車回数と二酸化炭素排出原単位の関係

単位も初期設定よりも減少した。また, 信号機設定値と信号機推定値から算出した走行 B, 走行 C をそれぞれ比べると, いずれも信号機設定値から算出した推奨速度での走行の方が停車回数を減少させることができている, 二酸化炭素排出原単位も小さかった。しかし, その差はわずかであり, 信号機推定値から算出した推奨速度も十分に有効であると考えられる。

5. まとめ

本研究では, 二酸化炭素の排出を抑制させる走行支

援の提案を導き出すことを目的として、プローブデータから信号機制御情報の推定を行い、その結果から推奨速度を算出し、交通シミュレーション上で実際に走行させ、停車回数や二酸化炭素排出原単位を比較した。信号機推定に関しては、交通量が多い場合という条件付きではあるが、実際にかなり近い値を算出できた。また、信号機設定値から算出した推奨速度には若干劣るものの、信号機推定値から算出した推奨速度でも車両の停車回数を減少させることができた。停車回数が減少することによって二酸化炭素排出原単位が減少する傾向が確認できた。

今後の課題としては、交通量が少ない場合の信号推定の精度向上や、時間の経過とともに推奨速度を変化させた場合の効果の検討が挙げられる。

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.jartic.or.jp/index.html>
- 3) 前田翔哉, 藤田素弘, Wisinee Wisetjindawat, 木下久史 : 省エネ運転支援と交通シミュレーション評価に関する研究
- 4) 環境省ホームページ : <https://www.env.go.jp/index.html>
- 5) 大口敬, 片倉正彦, 谷口正明 : 都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル : 土木学会論文集 No.695/IV-54, 125-136, 2002.1

TRAFFIC SIGNAL ESTIMATION USING PROBE DATA AND DRIVING SUPPORT SYSTEM WITH RECOMMENDED SPEED FOR REDUCTION OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS

Taiki MIZUNO, Hisashi KINOSHITA and Motohiro FUJITA

In this research, we estimated the traffic signal control information and compared the accuracy based on the probe data obtained from the running of the car on the simulation. We also calculated the recommended speed so that it does not stop at the traffic signal based on the estimated traffic signal control information and confirmed vehicle behaviors and the effect on carbon dioxide emission intensity unit from vehicles. It was found that the accuracy of the traffic signal estimation depends on the traffic volume and the accuracy increases as the traffic volume increases. It was also found that by giving the recommended speed, the vehicle can travel without stopping at the traffic signal, and the smaller the number of stoppages is, the smaller the carbon dioxide emission intensity tends to be.