

## 画像センシングにより生成された車両軌跡データを用いた ミクロ交通シミュレーション

大阪市立大学大学院工学研究科 学生会員 ○井垣 貴弘  
大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 内田 敬

### 1. 研究背景・目的

高速道路の渋滞原因の一つにサグ部（道路の縦断勾配が下り坂から上り坂に変化する部分）が挙げられている。この部分を走行する車は、ドライバーが上り坂になっていることに気が付かず速度が低下してしまうことがある。そして後続車との車間距離が短くなり、後続車が連鎖的にブレーキを踏んでいくことで渋滞が発生する。阪神高速道路株式会社はサグ部で発生する渋滞の対策として、平成29年度から速度回復誘導灯（Pace Maker Light、以下 PML）の本格的な運用を開始している。

また、交通渋滞に代表される道路で起こる様々な現象を研究するために、阪神高速道路株式会社は車両軌跡データ「Zen Traffic Data」<sup>2)</sup>を提供している。このデータベースは時刻非同期カメラで撮影した映像の画像センシングにより生成され、走行している全車両の軌跡と道路線形などの関連情報を広範囲・長時間にわたって網羅したものであるが、提供が開始されて間もないためデータの利活用の事例が少ない。

本研究では画像センシングにより生成された車両軌跡データの利活用の方法を提案し、その手法に基づいて求めたパラメータと車両軌跡データを用いてミクロ交通シミュレーションを行う。それにより、データの活用性の向上を図りドライバーの運転挙動についての知見を得ることを目的とする。

### 2. 車両追従モデル式の検討

渋滞の原因となるサグの影響を考慮した車両追従モデル式の一つに越モデル<sup>3)</sup>がある。本研究では、車両追従モデル式のパラメータを重回帰分析で推定できる形にするための変形を行い、重回帰分析用モデル(1)とする。式(1)を用いた重回帰分析により各パラメータや反応遅れ時間の推定を行い、ミクロ交通シミュレーションに利用する。

#### 重回帰分析用モデル

$$\begin{aligned} a(t+T) &= \alpha\{v_0(t) - v_1(t)\} + \beta\{(x_0(t) - x_1(t) - L_1) - s_1^*\} + \gamma \\ &= \alpha X1(t) + \beta X2(t) + \gamma \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、

$a(t)$  : 時刻 $t$ における追従車の加速度（目的変数）

$v_0(t) - v_1(t)$  : 相対速度（ $= X1(t)$ ）

$(x_0(t) - x_1(t) - L_1) - s_1^*$  :

車間距離－希望車間距離（ $= X2(t)$ ）

$\alpha, \beta, \gamma$  : パラメータ  $T$  : 反応遅れ時間

### 3. 重回帰分析による反応遅れ時間の推定

反応遅れ時間 $T$ とは、追従車が先行車との相対速度や車間距離が変化することに気づいてから、適切な相対速度や車間距離に修正するためにアクセル・ブレーキ操作を行うまでの時間のことである。推定方法は柳原ら<sup>4)</sup>の方法を参考にした。反応遅れ時間の推定手順のイメージを図-1に示す。6つの時間枠に対し、時刻 $t$ の加速度 $a(t)$ を基準として説明変数 $X1(t)$ 、 $X2(t)$ を時間の遡る方向に0.1秒ずつずらして3.0秒まで重回帰分析を行っていき、決定係数が最も高いときのずらし時間をドライバーの反応遅れ時間の候補としたうえで、 $p$ 値が最も小さい時間枠でのずらし時間を推定値に採用した。

反応遅れ時間の推定は6車両4区間を対象に行う。車両は平均速度が30km/h、40km/h、60km/hであるものを対象とし、区間はタイムスペース図にみられる軌跡線のずれや点の飛びが含まれず、加速度の時間変化が小さい区間から選定した。対象とした車両、区間をそれぞれ車両1～6、区間1～4と記す。

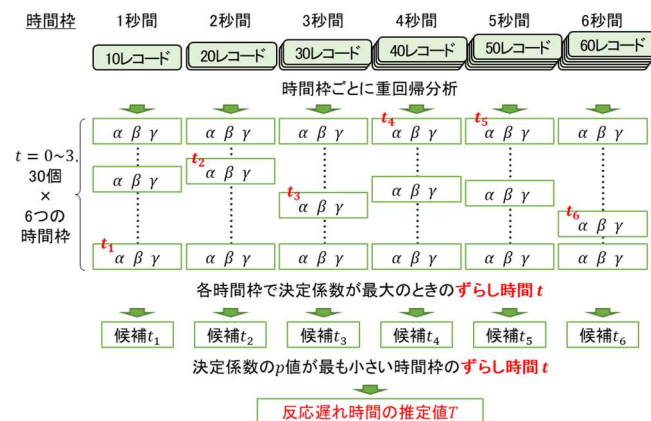


図-1 反応遅れ時間の推定手順のイメージ図

キーワード 速度回復誘導灯、車両追従モデル、反応遅れ時間、重回帰分析、クラスター分析

連絡先 〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科 TEL: 06-6605-3099

表-1 反応遅れ時間の推定結果

| 車両<br>No. | 区間<br>No. | 反応遅れ時間<br>[s] | 車両<br>No. | 区間<br>No. | 反応遅れ時間<br>[s] |
|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|---------------|
| 1         | 1         | 0.8           | 4         | 1         | 0.1           |
|           | 2         | 0.1           |           | 2         | 1.9           |
|           | 3         | 0.6           |           | 3         | 0.1           |
|           | 4         | 0.1           |           | 4         | 0             |
| 2         | 1         | 0             | 5         | 1         | 0.1           |
|           | 2         | 0.1           |           | 2         | 0.1           |
|           | 3         | 1.1           |           | 3         | 0             |
|           | 4         | 0.1           |           | 4         | 2.5           |
| 3         | 1         | 0.1           | 6         | 1         | 0.4           |
|           | 2         | 0.1           |           | 2         | 0.1           |
|           | 3         | 0             |           | 3         | 2.1           |
|           | 4         | 0             |           | 4         | 2.6           |

反応遅れ時間 $T$ の車両／区間ごとの推定結果を表-1 に、車両別／区間別の平均値を図-2 に示す。エラーバーは標準誤差を表す。車両別の平均値は、車両 3 は極めて小さく、車両 1、2、4、5 は中程度、車両 6 の値は大きくなった。また、区間別の平均値は交通流の下流ほど平均値が大きい結果となった。

4. ミクロ交通シミュレーション

4.1 方法

6 車両、4 区間ごとに推定した反応遅れ時間 $T$ と重回帰分析で得られた偏回帰係数 $\alpha$ 、 $\beta$ 、定数項 $\gamma$ の値をパラメータとして重回帰分析用モデル(1)に設定し、区間、車両軌跡の平滑化有無、交通量、PML 有無について条件設定した 24 ケースでミクロ交通シミュレーションを行う。シミュレーションは、先行車 1 台に対し 6 種類の車両が無作為に 40 台追従走行しているものとする。シミュレーション結果について、以下の 4 指標 a～d を用いて階層型クラスター分析 (ward 法) を行う。

- a) 30km/h 以下となっている時間 [s・台]
- b) 全車両の区間を通した平均速度 [km/h]
- c) 先行車から最後尾までの車群長 (30 秒経過時) [m]
- d) 先行車の開始地点の通過台数 (30 秒経過時) [台]

4.2 結果

クラスター分析の結果を図-3 に示す。まず非類似度約 25 で 4 つに、非類似度約 1 で 8 つに分類される。クラスター A は交通量が多く PML なしの条件、クラスター B は交通量が多く PML ありの条件、クラスター C は交通量が少なく軌跡にブレがある条件、クラスター D は交通量が少なく軌跡を平滑化した条件となった。交通量が多い A と B は PML の有無で、交通量が少ない C と D は平滑化の有無で分類された。

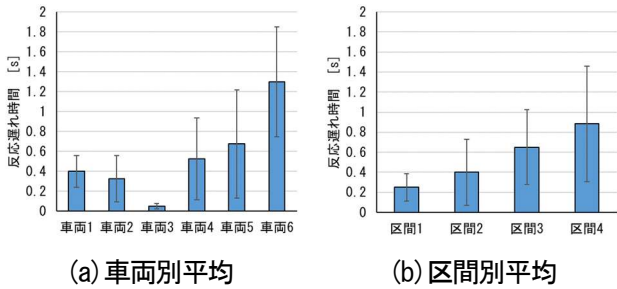
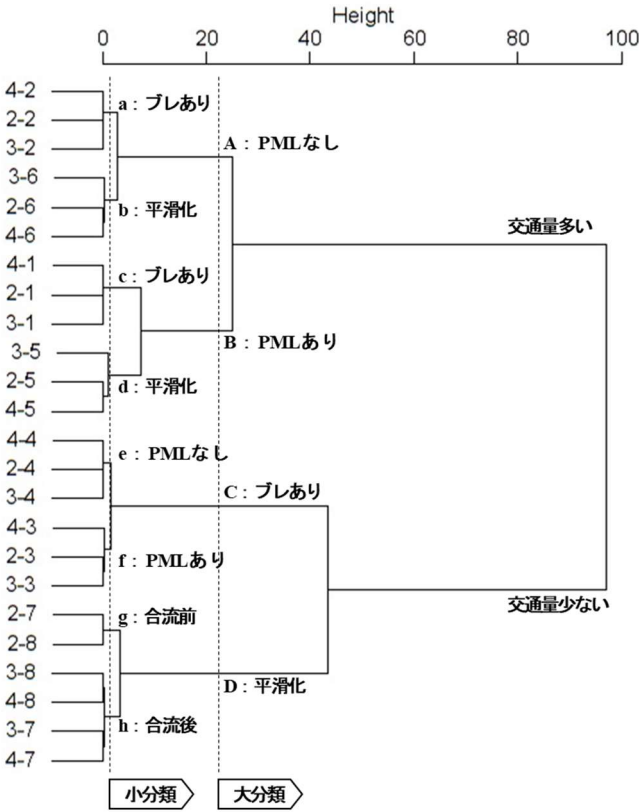


図-2 反応遅れ時間の推定結果



5. 結論

重回帰分析による反応遅れ時間の推定により車両や区間ごとの特徴を確認することができた。重回帰分析で推定した反応遅れ時間とパラメータを利用して行ったミクロ交通シミュレーションでは、交通量が多い場合は PML 有無の影響が大きく、交通量が少ない場合は PML の影響が小さく平滑化の影響の方が大きいことが示唆された。

参考文献

1) サグ部における対策 | 阪神高速道路株式会社, [https://www.hanshin-exp.co.jp/company/tonkumi/anzen/jutai/enkatsu\\_fukae.html](https://www.hanshin-exp.co.jp/company/tonkumi/anzen/jutai/enkatsu_fukae.html) (2020.2.27 閲覧) .

2) ZTD/車両軌跡データ活用サイト powered by 阪神高速, <https://zen-traffic-data.net/> (2020.2.27 閲覧) .

3) 越正毅, 高速道路のボトルネック容量, 土木学会論文集, No.371/IV-5., p.1-7, 1986.

4) 柳原正実, 平木賢大, 小根山裕: 走光型視線誘導システムによる追従挙動変化の交通流への影響分析, 第 39 回交通工学研究発表会論文集, pp.717-722, 2019.