

車両追従挙動における走光型視線誘導システムの ドライバー別影響分析

柳原 正実¹・小根山 裕之²・朱 慧珺³

¹正会員 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)
E-mail: yanagihara@tmu.ac.jp

²正会員 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)
E-mail: oneyama@tmu.ac.jp

³非会員 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

道路に沿い路肩部に複数設置した発光体を車両に近い速度で流れるように順次点灯させることにより、運転者に外部刺激を与える走光型視線誘導システムの導入効果として、交通容量を拡大し、渋滞を抑制する効果が実証的に示されている。しかし、実際の渋滞抑制効果が発揮される交通密度の高い状態での走光型視線誘導システムの車両挙動への影響は明らかにされていない。本研究では、渋滞抑制効果と関連が深いと考えられる追従挙動と走光型視線誘導システムの外部刺激の有無との関係について分析した。

具体的には、サグ区間において走光型視線誘導システムの点灯・未点灯を切り替えて実施した実験時のデータを分析した。追従挙動という観点から各条件下の挙動を確率的に分類し、その結果、渋滞抑制効果が効果的に働く条件に関する知見を得た。

Key Words: Moving Light Guide System, car following, clustering, EM algorithm

1. はじめに

サグ等の単路部ボトルネックにおける渋滞対策として、走光型視線誘導システムが注目されている。このシステムは、複数設置した発光体を車両に近い速度で流れるように順次点灯させることにより、運転者に外部刺激を与える装置である。当該装置は車両の速度を均一化し、交通流を整流化することにより渋滞の発生を抑える効果があると考えられている。また、渋滞の解消効果も期待されている。

走光型視線誘導システムに分類されるシステムは国内各地に導入されており、その効果が検証されている。首都高速道路における検証¹⁾では、冗長な車間や低加速車両の削減がみられ、マクロな視点での渋滞解消効果は実証的に示されているといえる。また、宇利トンネルなどでの実験により、走光型視線誘導システムの運用条件と交通流との関係について実証的な分析検討が行われており、全体の車両速度が光の流れの速度に近づくことなどが示されている²⁾。

しかし、渋滞を抑制するメカニズムについては必ずしも明らかになっていない。特に追従時の車両挙動と走光型視線誘導システムによる光刺激の有無との関係を分析した例は少ない。そこで本研究では、走行型視線誘導シ

ステムの光刺激の有無による追従挙動の相違についての知見を得ることを目的とする。

具体的には、走光型視線誘導システムが点灯している場合と点灯していない場合における追従挙動を観測する追従走行実験を行い、走光型視線誘導システムによる光刺激の有無と追従時の車両挙動の関係について分析する。複数のドライバーによる追従走行実験において車載装置から得られたデータは煩雑な多次元の数値を含んでおり、的確な考察を行うためには集約した指標を得ることが望まれる。したがって実験で得られたデータを追従挙動という観点において集計するために、車両挙動の追従モデルに従った確率的なクラスタリングを行う。分類された車両挙動パターンと走光型視線誘導システムによる光刺激の有無を比較することで走光型視線誘導システムの直接的な効果についての知見を得る。以降の各章ではそれぞれ、走行実験と取得データ、車両挙動のクラスタリング手法、車両挙動パターンの分析結果について順に述べる。

2. 追従走行実験

本章では、追従走行実験の詳細と取得データについて述べる。追従走行実験は 2014 年 6 月に供用を開始した

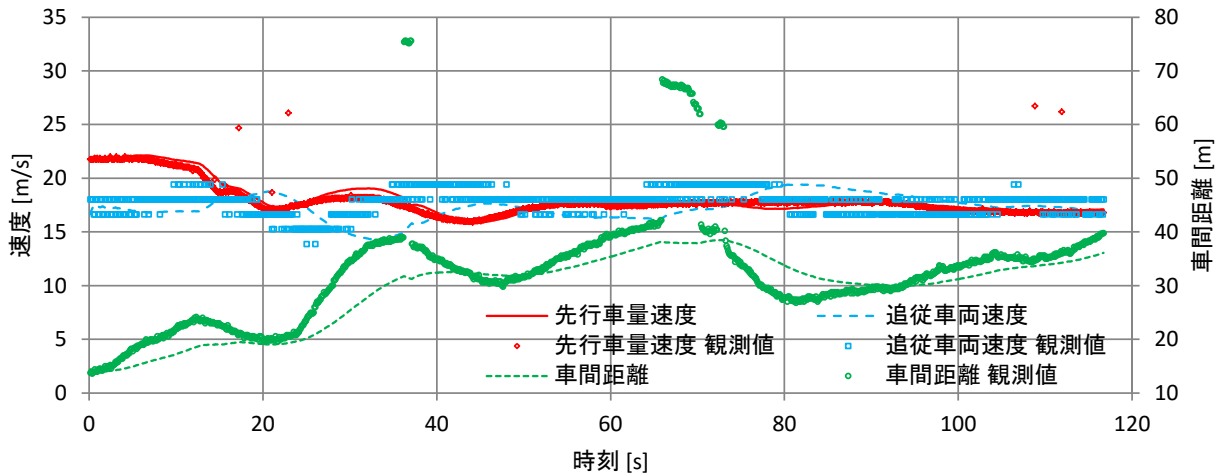


図-2 スムージング前後のデータ例 (高尾山 IC 行, 無点灯, 先行車両 85 km/h)

圏央道の一部である厚木 PA～高尾山 IC 区間 (実験区間と呼ぶ) において, 2014 年 11 月 28 日 (金)～12 月 3 日 (水), 12 月 6 日 (土)～9 日 (火) の 10 日間の 10:00～16:30 の時間帯に実施した。実験区間に含まれる小倉山トンネル内には±3%のサグが存在し, この実験区間のボトルネックとなっていると考えられている。そのため, 小倉山トンネル前後の走行車線側には走光型視線誘導システムが導入されている。

被験者ドライバーは 10 人の学生であり, 一日一人ずつ実験区間の走行車線を厚木 PA より 4 往復させ, 前半, もしくは後半の 2 往復において走光型視線誘導システムの発光体を点灯させた。すなわち, 走光型視線誘導システムによる光刺激が有・無それぞれの条件下での実験は各被験者毎に 2 往復ずつ連続して実施された。なお, この 4 往復の走行に先立ち被験者には完熟走行として高尾山 IC より実験区間を走行させた。また, 被験者の運転する車両に先行して ACC (オートクルーズコントロール) によって速度を一定に保った車両を走行させた。被験者ドライバーには当該先行車両に追従して走行するように指示した。先行車両の ACC において設定した速度は時速 75 km および時速 85 km の 2 通りである。走光型視線誘導システムでは時速 80 km で流れるように発光体を順次点灯させたため, その速度よりもわずかに大きい, または小さい速度として先行車両の速度を設定した。走光型視線誘導システムによる光刺激の有無, 先行車両速度の設定が異なる 4 通りの実験ケースの実施順序は被験者毎に異なるよう設定した。

実験時のデータは被験者の運転する追従車両および先行車両の車載装置から時々刻々の速度と車間距離を収集することによって得ている。分析対象は小倉山トンネル進入時点から通過時点までとしており, 実験時の周囲の交通状況と車載装置の精度により一部の走行で意図通りの有効な分析対象の車両軌跡データを得ることができな

表-1 分析に有効なデータが取得された走行数

| 走行方向 (下流側地点) | 高尾山 IC | 厚木 PA | 高尾山 IC | 厚木 PA | 計 | |
|-----------------|--------|-------|--------|-------|----|-----|
| | | | | | | 光刺激 |
| | 無 | | 有 | | | |
| 先行車両 設定速度 | 75km/h | 8 | 6 | 8 | 8 | 30 |
| | 85km/h | 9 | 6 | 7 | 6 | 28 |
| 計 | 29 | | 29 | | 58 | |

かった。各被験者は走行方向, 走光型視線誘導システムの光刺激の有無, 先行車両速度の設定が異なる走行を 1 回ずつ行っているが, 最終的に分析に有効な車両軌跡データは 58 走行分となった。その内訳を表-1 に示す。表より各実験ケースにおいてほぼ同数の有効な走行データが得られたことが分かる。なお, 走行方向以外が異なる 4 通りの実験ケースすべてにおいて有効な車両軌跡データが得られた被験者は 8 名であった。

追従走行実験から得られた速度と車間距離のデータを追従モデルパラメータ推定に適した形式・解像度に変換するためにデータの平滑化を行った。速度と車間距離のデータは 0.1 秒毎に得られており, 0.1 秒で車両が動く距離は車両 1 台分未満であるため, 時間的な解像度は十分であると考えた。先行車両速度, 追従車両速度, 車間距離といった空間的な値の解像度は, 概ね 0.5 km/h, 5 km/h, 0.5 m と特に追従車両速度が図-2 に示した例からもわかるように荒く, 本研究ではこれらをカルマンフィルタを用いて平滑化した。

カルマンフィルタにおける状態変数 z_t を式(1), 状態の推移モデル (システムモデル) を式(2)～式(5)と設定した。なお a_t^l , a_t^f はそれぞれ先行車両, 追従車両の加速度, v_t^l , v_t^f はそれぞれ先行車両, 追従車両の走行速度, Δx_t は車間距離である。 F , u_t は状態の推移モデルとそのシステム誤差であり, 加速度のみに誤差が

生じるモデルとしており、 $\Delta t = 0.1s$ である。また、先行車両速度、追従車両速度、車間距離の観測値の標準偏差はそれぞれ 0.2 m/s, 1.0 m/s, 0.5 m と観測値の空間解像度の値を基準に設定した。

$$\mathbf{z}_t = [a_t^l \quad a_t^f \quad v_t^l \quad v_t^f \quad \Delta x_t]^T \quad (1)$$

$$\mathbf{z}_t = F\mathbf{z}_{t-1} + \mathbf{u}_t \quad (2)$$

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \Delta t & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \Delta t & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \Delta t & -\Delta t & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{u}_t \sim N(\boldsymbol{\theta}, \Sigma) \quad (4)$$

$$\Sigma = \text{diag}[0.5 \quad 0.5 \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T \quad (5)$$

図-2 にはスムージング前後のデータの例を示している。基本的に観測値の標準偏差は上述した値であるが、20 秒前後の先行車両の速度や 70 秒前後の車間距離の観測値などの一部の値に前後の値と明らかに異なる観測値が得られており、その場合の観測値の標準偏差は上述した値の範囲外であるといえる。よって、その時点の観測値の標準偏差として十分大きな値 10^8 を与えることで異常値の影響を取り除いた。異常値の判定は目視によって行った。最終的に平滑化された車両軌跡データを 58 組得た。なお、分析に用いる加速度のデータは平滑化された速度のデータの差分として求めた。

3. 車両挙動のクラスタリング手法

(1) クラスタリング手法の概要

本研究では、各走行に相当する一連の追従挙動を複数の異なるグループに分類するクラスタリング手法を通して、追従挙動と実験条件との関係を分析する。この手法は、実車両挙動データの中の任意の一車両一時点が属するグループを決定する手法⁹⁾を応用したものであり、本節では、本研究で用いるクラスタリング手法の理論的背景と計算手法について述べる。

本研究で用いるクラスタリング手法は、分類するグループ数があらかじめ決定している k-means 型のクラスタリング手法であり、その計算アルゴリズムとして EM アルゴリズムを採用している。具体的には、各グループの

尤度関数によって表現される混合分布を対象とした EM アルゴリズムによってクラスタリングを実行する。また、分析時のクラスタ数は、実験ケース数と同じ 4 を採用した。

(2) EM アルゴリズムを用いたクラスタリング

EM アルゴリズムは統計モデル一般に応用可能な欠損データや潜在データを補完する手法として知られている。本研究では潜在データとして各走行における車両挙動のグループを示す値を考慮する。具体的には走行番号 n の車両挙動のグループが k であれば 1 それ以外であれば 0 をとる式(6)のような確率変数 z_{nk} を導入する。この潜在データと提案する手法を適用する対象の観測データ \mathbf{y} を合わせた式(7)で示す完全データ \mathbf{x} の対数尤度関数 LL_c は式(8)のようにあらわされる。対数尤度関数 LL_c は任意の一車両一時点における車両挙動の属するグループが既知である場合の車両挙動モデルの尤度である。なお、各車両挙動モデルのパラメータ $\boldsymbol{\theta}_k$ 以外に各グループの車両挙動が観測される確率もパラメータ π_{nk} として扱う。

$$\{z\}_{n,k} = z_{nk} = \{0, 1\} \quad (6)$$

$$\mathbf{x} = (\mathbf{y}, \mathbf{z}) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} LL_c(\boldsymbol{\theta}|\mathbf{x}) &= \sum_{n,t} \log(\pi_{nk} f_k(\mathbf{y}_{nt}|\boldsymbol{\theta}_k)) | z_{nk} = 1 \\ &= \sum_{n,t,k} z_{nk} (\log \pi_{nk} + \log f_k(\mathbf{y}_{nt}|\boldsymbol{\theta}_k)) \end{aligned} \quad (8)$$

\mathbf{x} : 完全データベクトル

\mathbf{y} : 観測データベクトル

\mathbf{z} : 潜在データベクトル

$\boldsymbol{\theta}$: 全パラメータベクトル

$\boldsymbol{\theta}_k \subset \boldsymbol{\theta}$: グループ k の
車両挙動モデルのパラメータベクトル

$\pi_{nk} \in \boldsymbol{\pi}$: 各グループの車両挙動が観測される
確率 (モデルパラメータの 1 つ)

$f_k(\cdot)$: グループ k の車両挙動モデルの尤度

式(8)で示した完全データに対する対数尤度関数 LL_c に関して、推定パラメータが $\boldsymbol{\theta}^{(m)}$ となる場合の条件付き期待値 $Q(\boldsymbol{\theta}; \boldsymbol{\theta}^{(m)})$ は式(9)のようにあらわされる。EM アルゴリズムでは、この対数尤度関数の期待値の極大点が尤度関数の極大点と一致することを利用してパラメータ

を求める。このとき各グループの車両挙動が観測される確率もパラメータ π_{nk} として計算されるため、極大点を求めると同時に各グループへの確率的な分類が実行される。

$$\begin{aligned} Q(\theta; \theta^{(m)}) &= E[LL_c(\theta) | \mathbf{y}, \theta^{(m)}] \\ &= \sum_{n,t,k} E[z_{nk} | \mathbf{y}_t, \theta^{(m)}] \log \pi_{nk} \\ &\quad + \sum_{n,t,k} E[z_{nk} | \mathbf{y}_t, \theta^{(m)}] \log f_k^{(m)}(\mathbf{y}_{nt} | \theta_k) \end{aligned} \quad (9)$$

$\theta^{(m)}$: 繰り返し計算 m 回目の
パラメータベクトル

式(9)における潜在データ z_{nk} の時点 t における期待値 $w_{nk}^{(m)}$ はベイズの定理による事後確率の評価より、式(10)で求めることができる。各時点 t における観測値 \mathbf{y}_{nt} の各グループのモデルに対する尤度が異なるため潜在データ z_{nk} の期待値は各時点において異なる値として定義される。この期待値は推定パラメータが $\theta^{(m)}$ となる場合の条件付きの統計量である。このときの計算過程はEMアルゴリズムにおいてE (Expectation)-Stepと呼ばれている。

E-step :

$$\begin{aligned} w_{nk}^{(m)} &= E[z_{nk} | \mathbf{y}_t, \theta^{(m)}] \\ &= \frac{\pi_{nk}^{(m)} f_k^{(m)}(\mathbf{y}_{nt} | \theta_k^{(m)})}{\sum_l \pi_{nl}^{(m)} f_l^{(m)}(\mathbf{y}_{nt} | \theta_l^{(m)})} \end{aligned} \quad (10)$$

式(10)で求めた期待値 $w_{nk}^{(m)}$ を定数とみなすと、対数尤度関数の期待値 $Q(\theta; \theta^{(m)})$ の最大値を求める式(11)の計算は比較的容易になる。この計算過程はE-Stepと同様、M (Maximization)-Stepと呼ばれている。EMアルゴリズムは式(10)、式(11)のE-StepとM-Stepを繰り返し計算することで、尤度関数の極大点にパラメータを収束させるアルゴリズムである。このアルゴリズムでは繰り返し計算の中で尤度関数が非減少となることが数学的に証明されており、解の収束が保障されている。

M-step :

$$\theta^{(m+1)} = \arg \max_{\theta} Q(\theta; \theta^{(m)}) \quad (11)$$

式(9)の右辺の対数尤度は各グループの車両挙動が観測される確率の項と、各グループの対数尤度の項の和と

なっており、それぞれ別のパラメータを持つことから、これら2つの項を個別に最大化することで期待値 $Q(\theta; \theta^{(m)})$ の最大値を求めることができる。前者の最大化では、式(12)の最大化問題を解くことで、式(13)の関係式を得る。後者、各グループの対数尤度の項の最大化に関しては、各グループのモデルパラメータ θ_k が独立であれば、式(14)で示した $w_{nk}^{(m)}$ の重み付の尤度最大化問題を各グループについて解けばよい。

$$\begin{aligned} \pi^{(m+1)} &= \arg \max_{\pi} \sum_{n,t,k} w_{nk}^{(m)} \log \pi_{nk} \\ s.t. & \end{aligned} \quad (12)$$

$$\sum_k \pi_{nk} = 1 \quad \forall n$$

$$\pi_{nk}^{(m)} = \frac{\sum_t w_{nk}^{(m-1)}}{\sum_t 1} \quad (13)$$

$$\theta_k^{(m+1)} = \arg \max_{\theta_k} \sum_{n,t,k} w_{nk}^{(m)} \log f_k^{(m)}(\mathbf{y}_{nt} | \theta_k) \quad (14)$$

最終的に収束した後の期待値 $w_{nk}^{(m)}$ の値は、各時点における状態が各グループに属する確率である。また、期待値 $w_{nk}^{(m)}$ の各走行毎の平均が各走行が各グループに属する確率 $\pi_{nk}^{(m)}$ である。したがって集計単位を変えたとしても期待値 $w_{nk}^{(m)}$ の平均は各グループに属する確率もしくは、集計単位の範囲に各グループに属するものが含まれている確率的な割合を示すといえる。本研究では、この各グループに属する割合に着目した分析を行う。

(3) ガウス分布誤差を持つ追従モデルへの適用

提案する手法を適用するにあたり、グループ数と各グループの車両挙動観測データに対する尤度関数形を仮定する。実車両挙動データの中の任意の一車両一時点が属するグループを決定する手法⁹⁾と同様に、本研究では、ガウス分布の誤差を持つ式(15)のような追従モデル式の尤度関数を取り上げる。この追従モデル式は反応遅れ τ_k を伴った説明変数 $\mathbf{y}_n(t - \tau_k)$ とパラメータ θ'_k に関する線形式である。

$$a_{ntk} = \theta_k'^T \mathbf{y}_n(t - \tau_k) + \mu_k + \varepsilon \quad (15)$$

$a_{ntk} \in \mathbf{y}_{nt}$: t 時点における加速度
:
 $\mathbf{y}_n(t - \tau_k) \in \mathbf{y}_{nt}$: 時間 τ_k の遅れを伴う
加速度説明変数

- $\mu_k \in \theta_k$: 加速度定数パラメータ
- $\theta'_k \in \theta_k$: 加速度線形パラメータベクトル
- $\tau_k \in \theta_k$: 反応遅れパラメータ
- $\varepsilon \sim N(0, \sigma_k^{2(m)})$: 誤差
- $\sigma_k^{2(m)}$: 加速度の分散 (確率密度パラメータ)

式(15)に示した追従モデル式の確率密度関数 $f_k^{(m)}$ は、式(16)のようにあらわされる。誤差がガウス分布であることから反応遅れパラメータ τ_k 以外の線形のパラメータは式(14)で示した重み付重回帰分析の結果として得ることができる。反応遅れパラメータ τ_k は重回帰分析結果における適合度が最も高くなるような値を反応遅れとして適当な範囲 (0~5秒) の中で探索することで求めることができる。また、確率密度関数 $f_k^{(m)}$ には、モデルパラメータとは別に確率密度自体に関する分散パラメータ $\sigma_k^{2(m)}$ を含む。このパラメータの値は、式(17)に従い繰り返し計算の中で更新してゆく。

$$f_k^{(m)}(y_{nt} | \theta_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_k^{2(m)}}} \exp\left(-\frac{(a_{ntk} - \theta_k'^T y_n(t - \tau_k) - \mu_k)^2}{2\sigma_k^{2(m)}}\right) \quad (16)$$

$$\theta_k = (\theta'_k, \tau_k, \mu_k)$$

$$\sigma_k^{2(m+1)} = \frac{\sum_{n,t} w_{ntk}^{(m)} (a_{ntk} - \theta_k^{(m)T} y_n(t - \tau_k^{(m)}) - \mu_k^{(m)})^2}{\sum_{n,t} w_{ntk}^{(m)}} \quad (17)$$

4. 走光型視線誘導システムと車両挙動との関係

(1) 車両挙動のクラスタリング結果

表-3にクラスタリングと同時に推定された追従挙動モデルのパラメータの値を示す。本研究では、追従挙動モデルとして相対速度、車間距離の逆数、追従車両速度の3変数の線形モデルを仮定した。また、反応時間の推定も同時に行ったが、最終的にすべての車両挙動グループにおいて反応時間が0と推定された。これはデータの平滑化などによって観測値の時間の精度が低下したことが一つの要因であると考えられる。推定された線形のモデルパラメータはすべて有意な値であったが、相対速度項のパラメータの符号など、想定される値との乖離が大きい項目も存在した。この結果も時間の精度が一つの要因

表-3 同時推定された各車両挙動グループのパラメータ値

| 車両挙動グループ | θ 相対速度 | θ 車間距離 ⁻¹ | θ 速度 | θ 定数 | τ 反応時間 |
|----------|---------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 低速挙動 | -0.09 | -3.63 | -0.07 | 1.44 | 0.0 |
| 高密挙動 | -0.05 | -0.55 | 0.01 | -0.14 | 0.0 |
| 加速挙動 | -0.1 | -12.1 | -0.06 | 1.82 | 0.0 |
| 減速挙動 | -0.12 | -7.07 | -0.12 | 2.52 | 0.0 |

表-4 各車両挙動グループのモデル適合度および統計値 : 平均値(標準偏差)

| 車両挙動グループ | 適合度 | 割合 | 加速度 [m/sec] | 車間距離 [m] | 走行速度 [km/h] |
|----------|------|-------|---------------------|--------------------|-------------------|
| 低速挙動 | 0.52 | 31.8% | -0.02 (0.14) | 31.3 (10.0) | <u>70.6</u> (6.8) |
| 高密挙動 | 0.66 | 33.9% | -0.02 (0.09) | <u>27.1</u> (11.5) | 74.2 (6.8) |
| 加速挙動 | 0.74 | 27.3% | <u>0.06</u> (0.17) | 32.4 (13.1) | 74.9 (7.6) |
| 減速挙動 | 0.13 | 7.0% | <u>-0.04</u> (0.55) | 39.8 (17.4) | 74.9 (15.5) |

特徴的な指標

であると考えられる。また、表-4に示した各車両挙動グループの適合度も既存研究⁹⁾と比較すると十分高い値とはなっていない。

一方、表-4に示すように各観測値の統計値は各車両挙動グループ毎に特徴的な値を示すことが分かる。この結果より、追従モデルの精度の問題はあるが、クラスタリングによって追従挙動という観点に基づく車両挙動の分類は十分意味のあるものとなっていると考えられる。

1つ目のグループは追従車両の走行速度の平均値が他のグループよりも低いことが特徴的であり以降「低速挙動」と呼称する。また、2つ目のグループは車間距離の平均値が小さく、車両が密な状態での追従走行であるため「高密挙動」と呼ぶ。残りの2つのグループは加速度の平均値が他の2つのグループよりも正、または負に大きいため、それぞれ加速・減速傾向にあるグループであるといえる。これらのグループを「加速挙動」「減速挙動」と呼称する。「減速挙動」の適合度は小さくこのグループに属する挙動は追従挙動から大きく乖離していると考えられる。

以降では、これら4つのグループに対応する収束後の期待値 $w_{ntk}^{(m)}$ の平均値を各条件下における各グループが観測される確率的な割合として用いる。その上で、各グループが観測される確率的な割合と走光型視線誘導システムによる光刺激の有無との関係等について論じる。

実験では完熟走行を行ったものの実験を開始までに十分に実験車両の運転に慣れきれない例がみられた。よって光刺激の有無に関する分析に先立ち、本実験のクラス

タリング結果における順序効果を確認する。図-5は各グループが観測される確率的な割合と被験者が走行した回との関係を示した図である。実験中盤では「高密挙動」実験終盤では「低速挙動」の割合が高くなっていることが分かる。この結果は運転に慣れたことによる車間距離の短縮、運転への集中力低下による速度の低下が起きている可能性を示唆している。しかし、実験の前半と後半の4回の各グループの総合的な割合はほぼ等しい結果となった。また、先行車両速度が時速75 kmの場合においてのみ実験の後半で光刺激によって「低速挙動」が3割以上増加する傾向がみられる以外、実験条件を加味した前半と後半での大きな違いが見られなかった。したがってクラスタリング結果における順序効果の影響は小さいと考え、以降の分析を行った。

(2) 各車両挙動グループと走光型視線誘導システム

図-6に走光型視線誘導システムによる光刺激の有無別の各グループが観測される確率的な割合を示す。図より、光刺激によって、低速な状態である「低速挙動」、前方車両と接近している状態である「高密挙動」が減少し、加減速が大きい挙動である「加速挙動」「減速挙動」が増加することが分かる。これは、大きな加減速を行う必要に迫られ車間を開けざるを得なかった可能性を示している。特に「加速挙動」の割合が増加している理由としては、被験者が走光型視線誘導システムによる光刺激によってサグで速度が落ちたことを認識し加速を行った可能性が考えられる。

図-7、図-8は先行車両の設定速度が時速75 kmの場合と時速75 kmの場合それぞれの光刺激の有無別の各グループの割合を表している。全体の各グループの増減の傾向は概ね同じであるものの、時速75 kmの場合の方が「低速挙動」の割合が大きく、光刺激がある場合もその割合は減少しないことが分かる。また、「高密挙動」の割合がより大きく減少していることが分かる。このことから、光刺激による速度回復を図ったとしても、先行車両が遅いと低速な状態があまり減少せず、車間が開く傾向を示すことが分かる。この場合、交通量は減少傾向となるので、走光型視線誘導システムによる速度回復効果が有効に働かない場合が存在することがわかる。また、先行車両が時速85 kmの場合は「加速挙動」が増加しており、十分な速度回復効果が認められる。

(3) 個人毎の走光型視線誘導システムの効果

次に各被験者ドライバー別に走光型視線誘導システムによる光刺激の効果を確認する。表-9では走光型視線誘導システムによる光刺激の有無に対して各グループが観測される確率的な割合の差分をとったものを各被験者ドライバー別に示している。図-6で示した全体の傾向

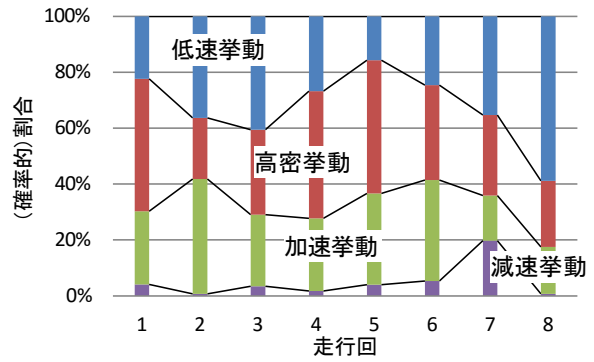


図-5 各車両挙動グループの割合と走行順

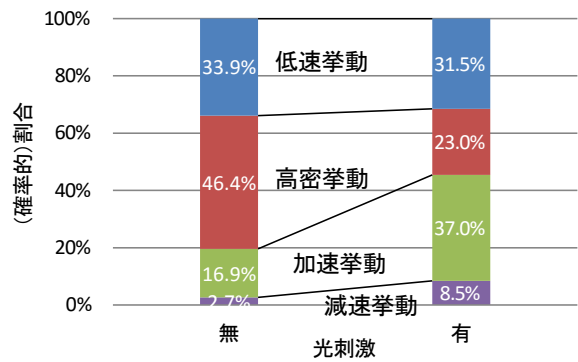


図-6 各車両挙動グループの割合と光刺激の有無

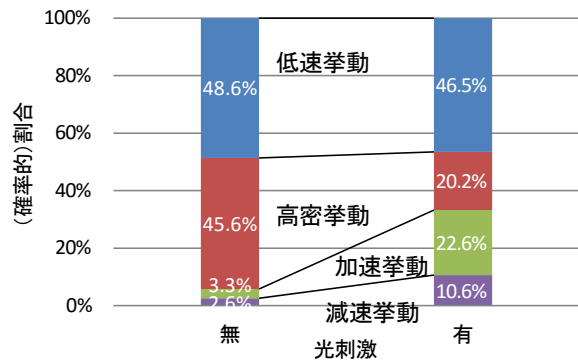


図-7 各車両挙動グループの割合と光刺激の有無 (先行車両速度 75 km/h)

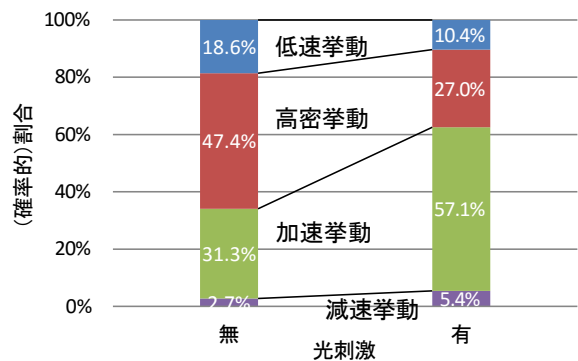


図-8 各車両挙動グループの割合と光刺激の有無 (先行車両速度 85 km/h)

から乖離している光刺激の有無に対する差分は約半数の被験者の一部の車両挙動グループに対してのみ見られた。これらの乖離も実験順序に依存している可能性が高い。この結果より、被験者ドライバー毎の光刺激に対する反応はある程度同じものである可能性が高い。ただし、本研究では被験者が全員 20 代前半であったため反応が似た可能性も考えられる。また、一部の被験者の全体の傾向から乖離している反応は大きく、同様の反応は交通流全体への影響も大きいと考えられる。

5. まとめ

本研究では、実走実験データから走光型視線誘導システムの光刺激による車両追従挙動への影響を分析した。その結果、光刺激によって低速・接近している状態が減少し、加減速が大きい挙動が増加する傾向がみられた。また、前方車両が遅いと速度回復を図った光刺激の効果が弱くなり、条件次第では交通流を減少させる可能性も認められた。また、各被験者とも同様の走光型視線誘導システムの光刺激に対する反応を示した。前方車両が十分速い場合は、走光型視線誘導システムの効果がみられたが、いずれの場合も走光型視線誘導システムの光刺激によって車間が開く傾向が見られたため、より交通容量の増加効果を求めるためには、車間が開かないような対策が必要であると考えられる。

本研究では、データの精度等が要因で追従モデルパラメータの推定精度が低かった。したがって、今後より精度の高い分析によって本研究で得られた知見を裏付ける必要があると考えられる。

謝辞：本研究で利用した走行実験のデータは、中日本高速道路(株)との共同研究の成果として得られたものである。中日本高速道路(株)、及び、立命館大学塩見康博准教授より多くのご協力・ご支援をいただいた。ここに記して謝意を表します。

表-9 被験者ドライバー別の

光刺激の有無による各車両挙動グループの割合の違い
(光刺激の有の割合 - 光刺激の無の割合)

| 被験者 | 低速挙動 | 高密挙動 | 加速挙動 | 減速挙動 |
|-----|--------|--------|--------|--------|
| A | +27.8% | -43.1% | +14.8% | +0.5% |
| B | -10.4% | +9.6% | +0.9% | +0.0% |
| C | -34.6% | +55.1% | -19.9% | -0.5% |
| D | -33.4% | +8.5% | -34.8% | +59.7% |
| E | -26.9% | -38.5% | +86.8% | -21.4% |
| F | -11.2% | -55.6% | +66.7% | +0.0% |
| G | +3.3% | -50.1% | +44.0% | +2.8% |
| H | -0.0% | -51.0% | +51.0% | +0.0% |

全体の傾向から乖離しているもの

参考文献

- 1) 小林雅彦, 須藤肇, 荻原貴之, 泉典宏, 田中淳, 山口大輔: 首都高速道路のエスコートライトの渋滞対策効果検証, 土木計画学研究・講演集, Vol.52, 2015.
- 2) 亀岡弘之, 小根山裕之, 渡部義之, 櫻井光昭: 走光性を活用した路側発光体の動的点滅制御による渋滞発生緩和の効果検証, 交通工学研究発表会論文集, Vol.33, 185-188, 2013.
- 3) 亀岡弘之, 高橋秀喜, 山本浩司, 田子和利, 岡田若奈, 辻光弘, 木香達秀, 小根山裕之: 走光性を活用した注意喚起設備の実道実験, 第 10 回 ITS シンポジウム, 2011.
- 4) 岡田若奈, 田子和利, 高橋秀喜, 亀岡弘之, 山本浩司, 小根山裕之, 辻光弘, 木香達英: ドライバ特性に着目したベクション刺激の効果, 第 11 回 ITS シンポジウム, 2012.
- 5) 柳原正実: 追従モデル尤度に基づく車両挙動クラスタリング手法, 土木計画学研究・講演集, Vol.52, 2015.

(2016.4.22 受付)

INDIVIDUAL EFFECTS OF MOVING LIGHT GUIDE SYSTEM ON CAR FOLLOWING BEHAVIORS

Masami YANAGIHARA, Hiroyuki ONEYAMA and Huijun ZHU