

第IV部門

速度回復誘導灯によるドライバーの追従挙動への影響分析

立命館大学大学院 学生員 ○田平優太
立命館大学 正会員 塩見康博

1. はじめに

高速道路の渋滞は深刻な社会問題の一つである。国土交通省によると、全国で年間に発生する渋滞損失は約 38.1 億人時間、貨幣価値換算すると約 12 兆円に上り、多大な経済損失を誘発している。中でも、道路の下り坂から上り坂の遷移区間であるサグ渋滞が主要な渋滞原因となっている。近年ソフト対策として速度回復誘導灯(以下 PML)が提案され、渋滞緩和効果が報告されつつあるものの、その詳細的なメカニズムは必ずしも明らかになっていない。そこで本研究では、PML がドライバーの追従挙動に与える影響を車間距離の変化、追従モデルから導出される交通容量の観点より検証することを目的とする。

2. 分析区間と実験概要

分析対象区間は、阪神高速 3 号神戸線上り深江サグ (20.5kp~19.5kp) とする。2015 年の 7 月と 9 月の平日の 5 日間を利用して、同一被験者を対象に実道追従実験を行った。被験者は、阪神高速を月数回以上利用し、運転歴 10 年以上の 30~60 代男性 20 名とし、一被験者当たり、深江サグを PML なし、PML 運用速度が 60km/h, 80km/h の状況下で 3 回走行した。本研究の実験では車両 2 台を使用し、先行車は、実験実施者が制限速度の 60km/h を維持して運転し、追従車には被験者が乗り、先行車両に追従するように指示されている。

3. 車間距離推定方法

車間距離を分析するにあたって、実験に使用する車両 2 台にある GPS データを使用する。GPS データには、1 秒刻みで車両の位置が記録されており、同時刻における先行車の位置から追従車の位置を差し引くことで車間距離を推定する。ただし、GPS データは誤差を含むため、マップマッチングを行うことで GPS 点列を当該リンクに吸着させ、車両位置の修正を行った。さらに、分析区間の始点である 20.5kp における GPS データの車間距離と 7 月分は画像データ、9 月分はドライブレコーダーに記録されている車間距離データを基に誤

差を算出し、GPS データの車間距離の補正した。

4. PML 区間における車間距離分析

本研究では、PML の有無による追従挙動の差異を検証するため、個人別の車間距離変化の分析を行った。分析の際、PML 設置区間を図 1 のように 5 つに細分化して車間距離の変化を検証した。さらに、PML なしと PML60km/h, PML なしと PML80km/h の車間距離を比較し、分散分析と多重比較法を用いて 5% 有意水準で車間距離の変化を「増加」「変化なし」「減少」の 3 種類に大別した。細分化された区間ごとに車間距離変化の内訳を算出し、結果を図 2, 図 3 に示す。

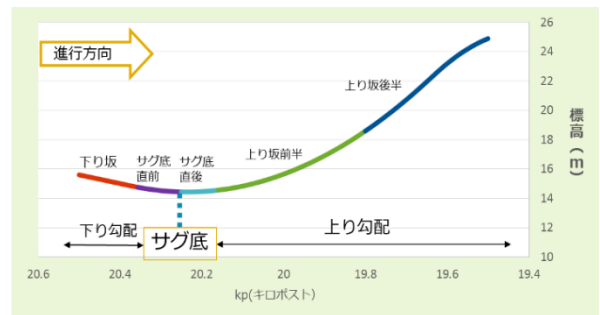


図 1 対象区間の道路形状と区間分け

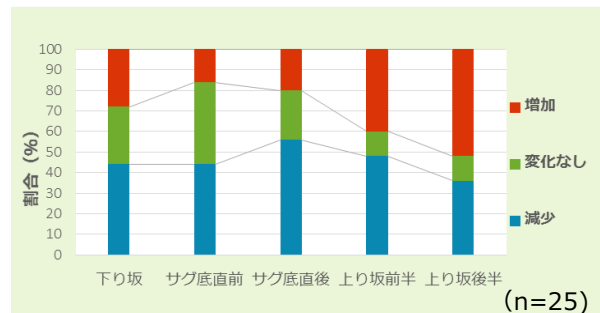


図 2 車間距離分析 PML なしと PML60km/h の比較

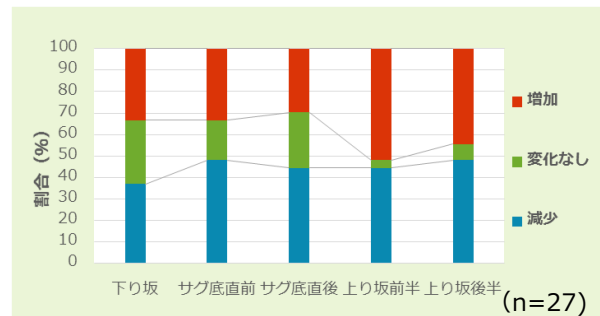


図 3 車間距離分析 PML なしと PML80km/h の比較

PML60km/h ではサグ底直後で減少の割合が大きく、過剰な車間距離の増加の抑制に寄与する効果が考えられる。また、図2、図3に共通して上り坂区間での変化なしの割合が小さいことから、PMLが下り坂よりも上り坂の方が、車間距離変化に影響を及ぼしやすいことが推測される。

5. 車間距離変化とアンケート結果のクロス集計

4.において被験者により車間距離変化の傾向にばらつきが多かったため、実験の際に実施したアンケートとの関係に着目した分析を行う。その中で「PMLに合わせたいと感じた」と回答したドライバーを対象にして、上り坂区間での車間距離変化の内訳をPML60km/h、PML80km/hで算出した。図4に結果を示す。

図4よりPML60km/hの場合、車間距離減少の比率が大きく、上り坂では前方車両への追従性向上の効果が期待される。ただ、PML80km/hの場合は、車間距離変化の内訳にばらつきが見られた。実際の車速との乖離が大きいことが一因と考えられる。同様にPMLに対して特に何も感じなかった被験者にも車間距離変化の内訳を算出したが、運用速度に関わらずばらつきが大きい結果となり顕著な傾向が発現しなかった。

6. 追従モデルによる交通容量の検証

取得された車間距離、速度データから式(1)の追従モデルを基に、式(1)の解となる式(2)、(3)においてパラメータを推定し交通容量を推計した。

$$\ddot{x}_{n+1}(t) = \lambda \frac{[\dot{x}_{n+1}(t)]^2}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^3} [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \quad \text{式(1)}$$

$\ddot{x}_{n+1}(t)$ は追従車の加速度、 $\dot{x}_n(t)$ 、 $\dot{x}_{n+1}(t)$ は先行車、追従車の速度、 $x_n(t)$ 、 $x_{n+1}(t)$ は先行車、追従車の位置、 λ はパラメータを表している。

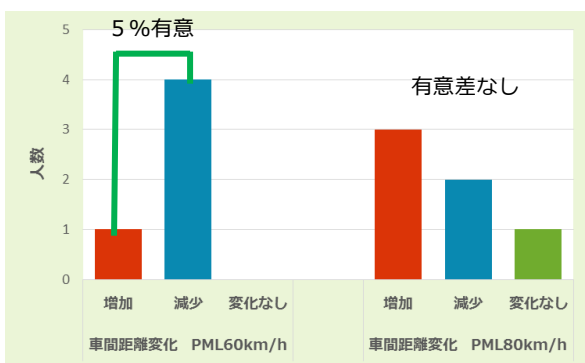


図4 PMLの動きに合わせたいと感じた被験者の車間距離変化内訳

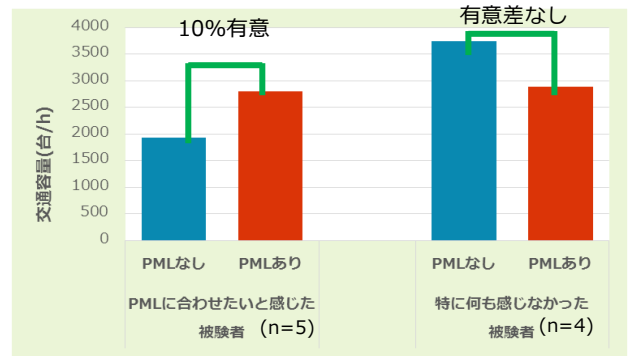


図5 PMLの有無による交通容量比較

$$\ln v = -\frac{\lambda}{2} k^2 + \ln v_f \quad \text{式(2)}$$

$$Q_{\max} = k_0 \times v_f \times e^{\frac{-1}{k_0^2}} \quad \text{式(3)}$$

式(2)と(3)における v は追従車の速度、 k は交通密度、 v_f は自由流速度、 Q_{\max} は交通容量を表している。ただし、

$k = \frac{1}{x_n(t) - x_{n+1}(t)}$ と $\lambda = \frac{1}{k_0^2}$ が成立し、式(2)でパラメータ λ 、 v_f を推定し、 Q_{\max} を推計する。

5.においてPMLに対する認識の違いで車間距離変化の内訳に差異があることが確認できたので、走行時にPMLの動きに合わせたいと感じた被験者と特に何も感じなかった被験者で大別して交通容量の比較を行った。式(2)のパラメータ推定の際、モデルの決定係数が0.20以上であったものを図5に示す。サンプル数の都合上、PML60km/h、80km/hのデータと7月9日のデータを合算して分析した。

図5よりPMLの動きに合わせたいと感じた被験者は、交通容量が改善傾向となり、t検定において10%で有意であった。特に何も感じなかった被験者は、交通容量がやや減少する結果となった。ただ、交通容量の値でPML点灯時同士を比較すると両者ほぼ同等であり、今後もサンプル数を増やし、モデルの改善を行うなどして分析を深める必要がある

7. おわりに

以上より、上り坂では、PMLにより車間距離認知に影響を及ぼしやすいことやPMLに合わせたいと感じることにより前方車両への追従性の向上や交通容量が改善する傾向が示唆された。しかし、比較できるサンプル数が少なかったことや車間距離精度が低かったことから、詳細な効果検証を行うために分析を続ける必要がある。