第 IV 部門　　車間距離に応じた速度回復誘導灯依存度に基づく追従モデルの構築

大阪公立大学大学院工学研究科　学生会員　○有馬　哲広
大阪公立大学大学院工学研究科　フェロー　　内田　敬

1. 研究背景・目的

高速道路で頻発するサグ渋滞等に対して，道路高欄に連続して設置したライトを下流方向に点滅させる「速度回復誘導灯（PML）」が導入されている．

筆者ら[1]はPML点灯時の交通流を再現可能な追従モデルの構築を目的として，既存の追従モデルを改良した．PMLはドライバーが光の流れに追従することを意図しているため，ドライバーの加減速行動にはPMLとの速度差も影響すると考えられる．しかし，PMLとの速度差を組み込んだモデル構築には至っていない．

そこで本研究の目的を次のように設定する．まず，PML点灯時の車両軌跡データを用いてPML運用時の交通流の特性を把握する．次に，PML点灯時の車両挙動を追従モデルとして定式化し，シミュレーションによりモデルの挙動特性を把握する．

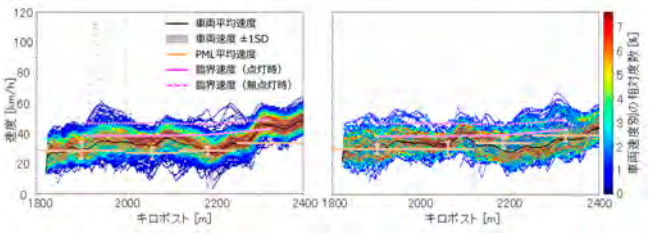
2. PML運用効果の把握

2.1 方法

阪神高速道路株式会社の車両軌跡データ「Zen Traffic Data[2] (ZTD)」のうち，PML点灯時のデータが含まれる阪神高速13号東大阪線（奈良方面）森之宮合流付近のデータ（L003_F002）に加え，当該データにおける各時刻・各ブロックのPML点灯速度を含むPML点灯履歴[3]を利用する．約60分間のデータを，PMLの点灯速度に応じて5フェーズに区分し，各フェーズにおける1キロポスト毎の車両平均速度，車両台数の速度別度数，PMLの平均点灯速度を算出した．

2.2 結果

PML設置区間におけるフェーズ3，フェーズ4のPML点灯速度と速度別度数分布を**図1**に示す．渋滞中であるフェーズ3では速度の分布が狭く，均一化されている．一方，渋滞がやや緩和されPML速度も高くなるフェーズ4では，速度の分布が広がっている．



a) フェーズ3　　b) フェーズ4

図1　PML平均点灯速度と速度別度数分布

3. モデル構築

3.1 基礎モデル

基礎モデルとして非線形追従モデル Intelligent Driver Model+[4] (IDM+)を利用する．IDM+を式(1)～式(4)に示す．

$$\frac{dv}{dt} = a_{\max} \cdot \min\left[1-\left(\frac{v}{v_d}\right)^4, 1-\left(\frac{s_d}{s}\right)^2\right] \tag{1}$$

$$s_d = s_0 + v \cdot T_s - \frac{v \cdot \Delta v}{2\sqrt{a_{\max} \cdot b}} \tag{2}$$

$$\Delta v = v_l - v \tag{3}$$

$$s = x_l - l_l - x \tag{4}$$

ここに

$a_{\max}$：最大加速度 [m/s²]	b：希望減速度 [m/s²]
Δv：速度差 [m/s]	T_s：安全車間時間 [s]
$v,\ v_d, v_l$：速度 [m/s]	$s,\ s_d,\ s_0$：車間距離 [m]
$x,\ x_l$：車頭位置 [m]	l_l：車頭 [m]

添字$d,\ l, 0$は希望値，前方車両，停止時を表す．

3.2 PML効果の定式化

従来，IDM+における速度差Δvは前方車両との物理的な速度差であった．本研究では式(5)の通り，PMLも追従対象として加え，速度差Δvを知覚速度差として再定義する．ドライバーの全追従対象に対するPMLの割合であるPML依存度ρを導入し，自車とPML点灯速度v_{PML}[km/h]の速度差$(v_{\mathrm{PML}} - v)$と，前方車両の速度差$(v_l - v)$の重みつき線形和として定義する．

$$\Delta v = \rho(v_{\mathrm{PML}} - v) + (1-\rho)(v_l - v) \tag{5}$$

Akihiro ARIMA and Takashi UCHIDA
sr25363u@st.omu.ac.jp

車間距離が狭くなると前方車両の動きを重視するため，PML の影響が小さくなり$\rho = 0$となる．また，車間距離が広くなると前方車両を無視し，PML だけに追従するため，$\rho = 1$になると考えられる．そこで，PML 依存度は式(6)に示す通り，車間距離sを変数としたロジスティック関数で定義する（図 2 参照）．ここで，kは車間距離に対する感度である．また，x_0 [m]はドライバーの追従意識の比重が，前方車両から PML へと移行する変曲点である．

$$\rho(s) = \frac{1}{1 + e^{-k(s-x_0)}} \tag{6}$$

4. シミュレーション

4.1 方法・条件

構築したモデルの挙動特性を把握するために，意図的に制御した先頭車両に対する後続車両の追従挙動を 0.1 s 間隔で計算する．先頭車両は 60km/h で走行したのち停止させ，再び 60km/h まで加速させた．後続車両のパラメータは$a_{\max}$= 1.5 m/s^2，b= 2.0 m/s^2，v_d= 80 km/h，s_0= 3.0 m，T_s= 1.5 s，l_l= 5.0 m とし，初期車間距離 30 m，初速度 60 km/h とした．

4.2 結果

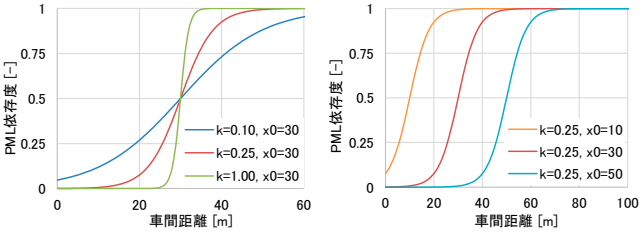
PML 無点灯の場合と変曲点x_0の値を 3 通り与えた場合（$v_{\mathrm{PML}} = 80$ km/h）の計算結果を図 3～図 6 に示す．x_0が小さい（PML 依存度が高い）ほど，実勢速度（60 km/h）より速く点灯する PML に追従しようとする（図 6）．そのため，実勢速度を超えてv_{PML}まで加速しようとする挙動（図 3, 4）や，車間距離を短く維持しようとする挙動（図 5）が確認された．$x_0 = 0.50$の場合，PML 依存度が常に 0 付近にあるため，PML 無点灯時とほとんど同等の挙動を示した．

5. 結論

PML 点灯時の交通流特性を把握するとともに，PML 依存度を考慮した追従モデルを構築した．今後の課題として，加速時に見られる不安定な挙動等の原因分析とその解決があげられる．

謝辞

本研究に際し，阪神高速道路の Zen Traffic Data を活用した．ここに記して感謝の意を表する．



a) kを変化させた場合　b) x_0を車間距離方向に変化させた場合

図 2　車間距離と PML 依存度の関係

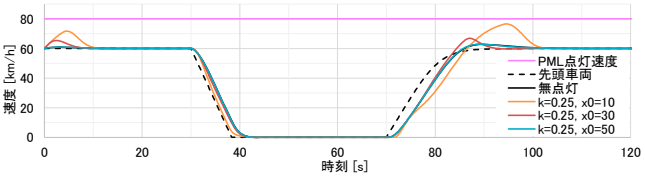


図 3　速度の推移

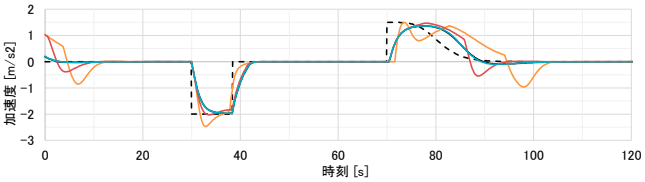


図 4　加速度の推移

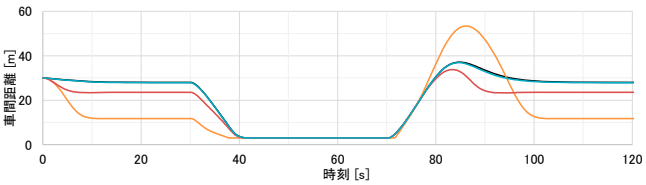


図 5　車間距離の推移

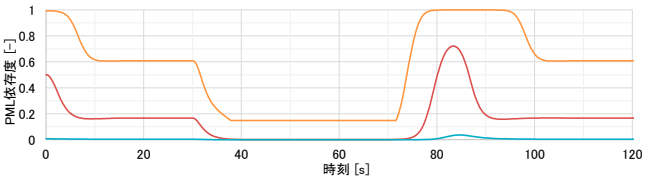


図6　PML 依存度の推移

参考文献

1) 有馬哲広，内田敬：速度回復誘導灯効果検証のための速度差認知特性を考慮した追従モデル ，第 71 回土木計画学研究発表会・講演集 ， 2025 ．
2) 阪神高速道路株式会社 : ZTD/車両軌跡データ利活用サイト, https://zen-traffic-data.net/, 2026 年 7 月 16 日閲覧
3) 戸松稜登，中井万理子，塩見康博：全車両走行軌跡データを用いた走光型視線誘導システムの追従挙動への影響評価，第 44 回交通工学研究発表会論文集(研究論文), pp.477-484, 2024.
4) Schakel, W. J., Van Arem, B. and Netten, B. D. : Effects of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic Flow Stability, Proceedings of 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transport, 2010.