

## 1. はじめに

高速道路における交通渋滞は深刻であり、交通渋滞により経済、社会そして環境において多くの損失が発生している。近年、コネクティッド車両や自動運転技術の普及による動的交通制御による渋滞対策<sup>1)2)</sup>が検討されている。そこで本研究では、車線利用と旅行時間の関係を車両走行軌跡データに基づき検証する。その結果に基づき、交通状況に応じてボトルネック上流地点で車線変更誘導を行うことで交通状態の改善を図る動的車線制御システムを提案する。また、その効果をマイクロ交通流シミュレーションにより評価する。

## 2. 対象区間及び使用データ

本研究では、阪神高速道路11号池田線上り塚本合流付近(約2km)を対象区間(図1)<sup>3)</sup>とする。阪神高速道路株式会社の「Zen Traffic Data」(以下、ZTD)を使用する。ZTDは阪神高速道路株式会社が画像センシング技術を用いて、車両の走行軌跡データを生成したものである。なお、3.8KPは合流部、3.5KPは車線変更禁止区間の終端点である。

## 3. 区間旅行時間のモデル化

### 3.1 モデルの概要

本モデルでは、車線利用率と交通渋滞状況の関係を定量化することを目的とする。これらの関係は交通状態によって異なると考えられるため、対象区間の平均速度を一定速度ごとに分類し、速度帯ごとにモデルを構築した。渋滞の評価を行うことのできる指標として、一定区間に通過する車両の旅行時間を設定した。これを規定する要

因としては、①2車線合計交通量、②ボトルネック地点追越車線利用率、③ランプ流入交通量、④ひとつ前の計測時間の最後に通過した車両の旅行時間の4つが挙げられる。①は、交通量によって、交通状態が変化し、旅行時間に影響があると考えられる。②は、ボトルネック地点の追越車線利用率によって交通流現象が変化し、旅行時間に影響があると考えられる。③のランプ流入交通量は、走行車線の車両に減速や協調行動により速度変化を引き起こす要因となる一方、追越車線では、影響を与えないと考える。④は、ひとつ前の計測時間の最後に通過した車両の旅行時間を考慮することにより、直前の交通状態の影響を考慮することができる。以上をもとに構築した走行車線、追越車線それぞれのモデル式を式(1)、式(2)に示す。

$$t_1^i = \alpha_0 + \alpha_1 Q + \alpha_2 P_{BN} + \alpha_3 q_0 + \alpha_4 t_1^{i-1} \quad (1)$$

$$t_2^i = \beta_0 + \beta_1 Q + \beta_2 P_{BN} + \beta_3 t_2^{i-1} \quad (2)$$

ただし、各変数は以下の通りである。

$t_1^i$	: 一定区間を計測時間 <i>i</i> の最後に通過した車両の旅行時間(走行車線)
$t_2^i$	: 一定区間を計測時間 <i>i</i> の最後に通過した車両の旅行時間(追越車線)
$Q$	: 2車線合計交通量
$P_{BN}$	: ボトルネック地点追越車線利用率
$q_0$	: ランプ流入交通量
$t_1^{i-1}$	: 計測時間 <i>i</i> -1の最後に通過した車両の旅行時間(走行車線)
$t_2^{i-1}$	: 計測時間 <i>i</i> -1の最後に通過した車両の旅行時間(追越車線)
$i$	: 計測時間

### 3.2 パラメータ推定

計測時間に得られた3.5KPのk-v図より2車線平均車速5km/hごとに線形回帰を行う。3.5KPは車線変更禁止区間の終了地点であり、ボトルネック地点になっていると考えられる。合流部の3.8KPの車線利用率、4.1KPの車線利用率が原因となって、3.5KP付近を先頭にして渋滞が起こっていると考えられるので、3.5KP付近の2車線平均車速を採用した。

表1にパラメータ推定の結果を整理する。これにより、



図1 対象区間路線図

表1 パラメータ推定結果

(a) 走行車線

	(a) $v \geq 70$	(b) $65 \leq v < 70$	(c) $60 \leq v < 65$	(d) $55 \leq v < 60$	(e) $50 \leq v < 55$	(f) $45 \leq v < 50$	(g) $40 \leq v < 45$	(h) $35 \leq v < 40$	(i) $v < 35$
2車線合計交通量	0.060	0.040	0.076	0.061	-0.042	-0.115***	-0.016	0.082	0.011
ボトルネック地点 追越車線利用率	-10.256**	-1.418	-13.108*	-22.777**	-12.391*	-12.752**	-3.621	-15.820	-7.541
ランプ流入交通量	-0.054	0.113	0.235*	0.040	0.139	0.172*	0.353***	0.210	0.012
ひとつ前の計測時刻の最後に 通過した車両の旅行時間	0.336**	0.397***	0.437***	0.688***	0.941***	0.925***	0.964***	0.989***	0.864***
決定係数	0.224	0.193	0.311	0.629	0.969	0.943	0.951	0.957	0.941
						$p < 0.05^*$	$p < 0.01^{**}$	$p < 0.001^{***}$	

(b) 追越車線

	(a) $v \geq 70$	(b) $65 \leq v < 70$	(c) $60 \leq v < 65$	(d) $55 \leq v < 60$	(e) $50 \leq v < 55$	(f) $45 \leq v < 50$	(g) $40 \leq v < 45$	(h) $35 \leq v < 40$	(i) $v < 35$
2車線合計交通量	0.059**	0.035	0.023	0.094**	0.060	-0.078*	-0.128***	-0.097	-0.398
ボトルネック地点 追越車線利用率	-0.142	3.874	5.704	-3.600	4.724	-7.191**	3.871	-2.215	13.404
ひとつ前の計測時刻の最後に 通過した車両の旅行時間	0.464***	0.497***	0.492***	0.871***	0.977***	0.913***	0.887***	0.888***	0.706***
決定係数	0.330	0.382	0.373	0.833	0.943	0.912	0.881	0.878	0.877
						$p < 0.05^*$	$p < 0.01^{**}$	$p < 0.001^{***}$	

45km/h 以上, 65km/h 未満の車速帯においては追越車線利用率を増加させることにより旅行時間が減少すること, また, 自由流状態において走行車線では, ランプ流入交通量が増大することによって旅行時間が増大することが示唆された。

4. 現況再現モデルの概要及びシミュレーション評価

4.1 現況再現モデルの概要

本研究では, ZTD から算出された対象区間における車線利用率, QKV 関係, 渋滞発生メカニズムを的確に再現するようにキャリブレーションされた Vissim を用いて, 動的車線マネジメントの評価を行う。

4.2 提案する車線制御システムの概要

本研究では 3 章の知見に基づき, 観測地点での走行速度があらかじめ設定した速度帯となった場合に, その上流地点でコネクティッド車両に対して走行車線から追越車線に車線変更を促す車線制御システムを提案する。

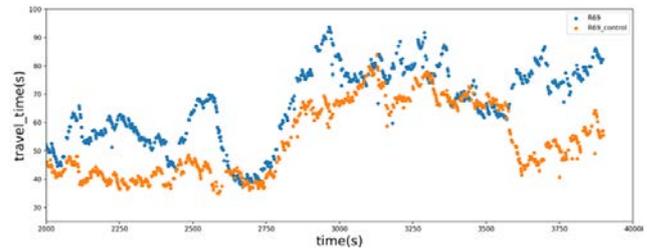
シミュレーション上では, コネクティッド車両の混入率を 6.4% と設定し, 車線変更を促す区間を車線変更禁止区間開始地点 (4.2KP 付近) 上流側 162.145m とした。その上で, 前章のデータ分析結果に基づき, 制御実施速度領域を 40km/h 以上, 60km/h 以下と設定した。車線変更指示を受けた車両は, 周辺車両の状況を勘案し, 車線変更可能な場合のみ, 走行車線から追越車線に車線変更を行う。

4.3 シミュレーション結果

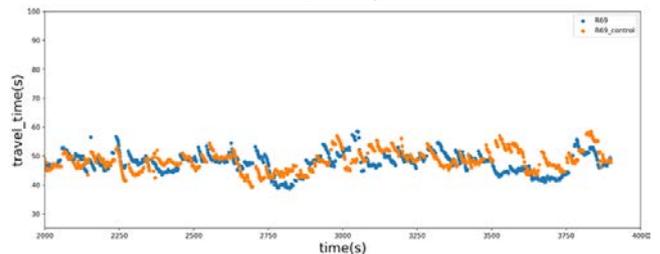
表 2 に 1 台あたりの旅行時間と車線変更回数の結果を整理する。これにより, 車線制御システムによって, 旅行時間は短縮され, 渋滞緩和効果が確認された。制御対象区間における車線変更回数は増加しており, 車線制御システムが実施されていることも確認できた。図 2 に車

表 2 1 台あたりの旅行時間と車線変更回数の結果

	車両 1 台あたりの所要時間(s)		車線変更回数	
	制御なし	制御あり	制御なし	制御あり
R54	54.883	52.615	4	30
R57	53.334	52.034	2	27
R69	56.017	50.975	3	29



(a) 走行車線



(b) 追越車線

図 2 車両の旅行時間と時刻の関係

線別の車両の旅行時間と時刻の関係を示す。これにより, 走行車線では, 旅行時間の減少が確認できた一方, 追越車線では, 車線制御による旅行時間の変化は見られず, 全体として総旅行時間を短縮する効果が確認された。

5. おわりに

区間旅行時間のモデル構築, パラメータ推定から 3.5KP 付近の臨界流状態だと追越車線利用率を増大させることにより旅行時間が減少することが示唆された。さらにシミュレーション上における車線制御システムによって, 旅行時間を短縮することが可能であることが判明した。これは, ある特定の交通流状態において動的車線制御を行うことにより渋滞緩和, 解消につながる可能性を示唆している。今後の検討事項としてシミュレーション上で制御対象車種の混入率や制御対象区間, 制御実施速度領域など条件を変更し, 評価を行う必要がある。

【参考文献】

- 1) 原田秀一, 深瀬正之, 前島一幸, JianXING, 瀬古賢司, 高速道路での車線利用率準化による渋滞対策に関する研究, 土木計画学研究・論文集 Vol.26, No.5, p.881-888, 2009
- 2) 福山祥代, 松田奈緒子, 牧野浩志, 道路ネットワークの動的運用にむけた ITS 技術の活用方策, 第 13 回 ITS シンポジウム, 2015
- 3) 阪神高速道路株式会社: Zen Traffic Data : データの特徴, 2021 年 2 月 3 日閲覧 <https://zen-traffic-data.net/outline/>