

# 都市高速道路における車線変更行動による 周辺車両の運転挙動に与える影響に関する研究

服部 友哉<sup>1</sup>・塩見 康博<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 立命館大学 理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1 丁目 1-1)

E-mail: rv0071ir@ed.ritsumei.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 立命館大学 理工学部環境都市工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1 丁目 1-1)

E-mail: shiomi@fc.ritsumei.ac.jp

車線変更行動は、周辺の車両に対して、悪影響を及ぼす場合があり、渋滞の一要因とされている。これらに対して車線変更による個別車両の追従挙動分析から車線変更行動のプロセスや周辺車両の影響を明らかにした研究は見られるが、特定の車線変更行動のみに着目した研究であり、知見が少ないのが現状である。また、近年の自動運転技術の進展を考慮すると個別車両に対し、運転・走行挙動の変容を促すことで車線変更行動による渋滞の緩和に繋がることが期待できる。そこで本研究では、個別車両の車線変更行動が周辺車両に与える影響を検証する。具体的には、車線変更行動と周辺車両への影響という観点から車線変更行動を 4 パターンに類型化し仮説を立てた。その後、車両軌跡データから生成した TS 図を用いて類型化した 4 パターンの車線変更行動について目視によって検証した。

**Key Words:** Lane-changing, Vehicle Trajectory Data, Urban freeway, Driver behavior

## 1. はじめに

交通渋滞は、経済損失を生み出すだけでなく、環境面や安全面においても重大な問題であり、その解消や緩和は依然として全国的に重要な課題となっている。国土交通省<sup>1)</sup>によると、渋滞損失は移動時間の約 4 割を占め、年間約 50 億人時間、約 280 万人分の労働力に匹敵すると算出されており、多大なる損失が発生している。また、高速道路における渋滞損失時間<sup>2)</sup>は、世界的な COVID-19 のパンデミック以前でおよそ 900 万台・時間近くになると算出されており、高速道路においても交通渋滞は深刻な問題であり、渋滞を解消、緩和することは重要であると考えられる。

渋滞の発生は、一般的にサグ部における上り勾配に伴う速度低下や車線利用の不均衡等に起因していることが、越<sup>3)</sup>や栗原<sup>4)</sup>らの研究によって知られている。その中でも車線変更行動も渋滞の一要因であると挙げられている。牧野ら<sup>5)</sup>は、渋滞発生前の走行車線から追越車線への車線変更行動(強引な割り込み等)に着目し、割り込みが減速波発生・伝播に繋がるといふ仮説の下、時空間車両軌跡データを用いて減速波発生と車線変更行動の因果関係や減速波発生・伝播に繋がった車線変更行動について分析を行った。その結果、サグ部付近の臨界流状態で発

生した減速波の発生のうち 3 割弱について、強引な割り込みが直接的または間接的な原因となっていることを明らかにした。

また、車線変更行動に着目した研究は他にも行われている。Patire et al.<sup>6)</sup>は、片側 3 車線の道路において路肩車線の流量が少ない渋滞初期の中央車線から路肩車線へ向かう車線変更は、周辺の交通に影響を与えることなく、さらに中央車線の速度回復の効果が期待できると述べている。しかし、混雑時においては、車線変更によって減速が近隣車線に広がり全車線に持続的な速度低下をもたらすことと、交通状態によっては、車線変更行動は混雑が引き起こすことを示した。兒玉ら<sup>7)</sup>は、点列軌跡データから個別車両の車線変更行動に伴う減速行動による交通影響の評価を行った。これまでに渋滞発生前の交通状態時の特定条件下における車線変更行動に関する研究が行われてきた。しかし、個別車両の車線変更行動と周辺の車両に対する影響という点において十分な知見が得られているとは言い難い状態である。

近年、コネクティッド車両や自動運転車両の進展を考慮した交通状況に応じた車両制御が可能になるとされており、個別車両の運転行動に対して、運転・走行挙動の変容を促すことで渋滞緩和に繋がることが期待されている。それに関連して、個別車両への運転挙動のうち最適

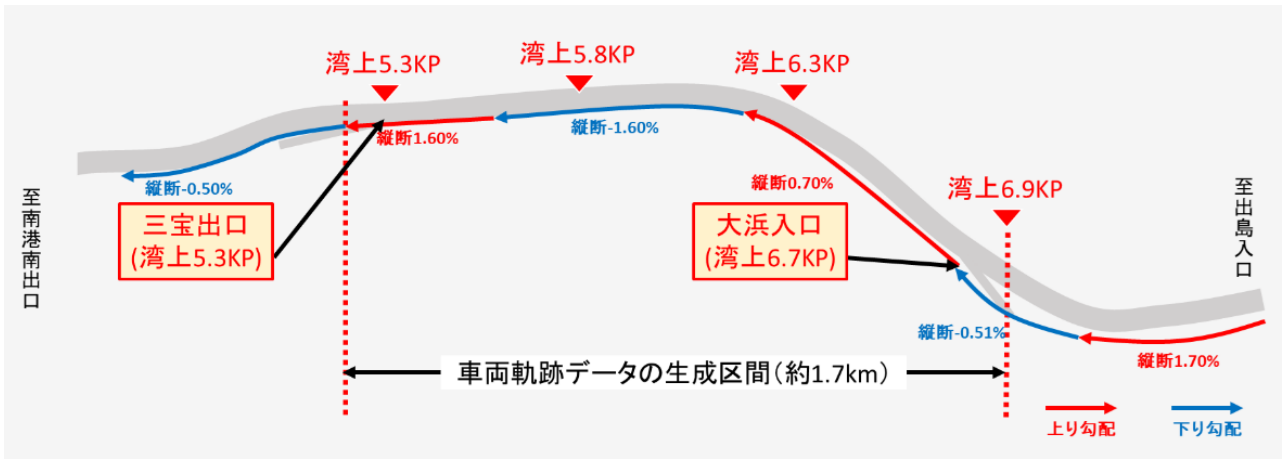


図-1 対象区間路線図

な車線運用についても研究が進められている<sup>8)</sup>。しかし、個別車両の車線変更行動と周辺に対する交通影響について多くは明らかになっていない。もし、車線変更行動と周辺車両への影響が明らかとなれば、コネクティッド車両や自動運転車両を用いた車両制御や交通制御により、交通状況に応じた適切な車線変更行動を行うことで全体の交通流率を増大させる、または渋滞発生を抑制・緩和するなど新たな交通マネジメントが可能になると言えるであろう。そのためには、車線変更行動と周辺車両の影響との関係性を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、個別車両の車線変更行動が周辺の車両に与える影響を明らかにすることを目的とする。具体的には、車線変更と周辺車両の影響という観点から車線変更行動を類型化する。そして、各類型の車線変更行動についてタイムスペース図（以下、TS 図）を用いて、目視により判別し、考察を行う。

本稿の構成は以下の通りである。まず、本章では研究の背景、既往研究を整理するとともに本研究の目的を述べた。第2章では、本研究で用いた車両軌跡データについて述べ、第3章では、車線変更行動と周辺車両の影響という観点から想定される車線変更行動の仮説を車線変更の前後で示した。また、車線変更前後の交通影響に関して想定される複合的な影響について述べた。第4章では、第3章にて仮定した車線変更行動について実データを用いて、それらの仮説が実現現象として発生しているのか確認し、類型化を行い、それらの結果に対して考察を行った。最後に第5章で本稿の結論と今後の課題をまとめる。

## 2. 使用データと対象区間

### (1) 使用データ

本研究では、阪神高速道路株式会社の走行軌跡データ

表-1 データセット取得時間帯

データセット	時間帯
Data1	7:30~8:30
Data2	7:15~8:15
Data3	7:00~8:00
Data4	7:00~8:00
Data5	7:20~8:20

Zen-Traffic Data（以下、ZTD）を使用する<sup>9)</sup>。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データである。数キロ範囲の対象区間を走行する全車両について0.1秒単位の運転挙動、車長などの車両属性情報、路面線形情報（縦断・横断勾配、平面曲率）が記録されている。本研究で用いた車両軌跡データベースに含まれているデータ項目は、車両ID、時刻、車線番号、速度、緯度、経度、対象区間のキロポストである。現在、2区間（阪神高速道路11号池田線大阪方面塚本合流付近約2km、阪神高速道路4号湾岸線大阪方面大浜～三宝約1.7km）×1時間分×5セットのデータが利用できる。本研究では、阪神高速道路4号湾岸線大阪方面大浜～三宝約1.7kmのデータ5セットすべてを使用した。本研究で使用した4号湾岸線の各データセットの時間帯を表-1に示す。なお、観測された日付や曜日は非公開である。

### (2) 対象区間

図-1に対象区間の車両軌跡データの生成区間の路線図を示す。本研究では、阪神高速道路4号湾岸線大阪方面大浜～三宝を対象区間とする。同区間は、関西国際空港や大阪南部地域と大阪市内を結ぶ主要路線である。交通量が多い片側2車線区間であり、大浜合流や見通しの悪い左カーブ、サグといった複雑な道路環境が存在する。

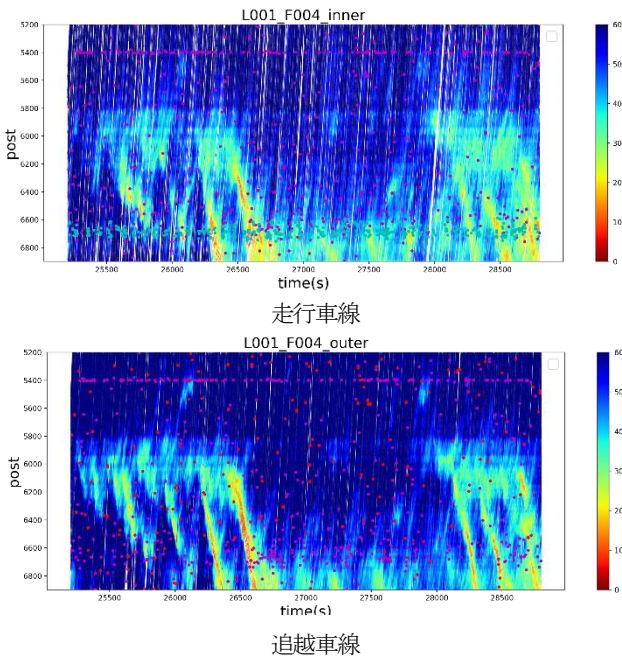


図-2 対象区間車両軌跡図

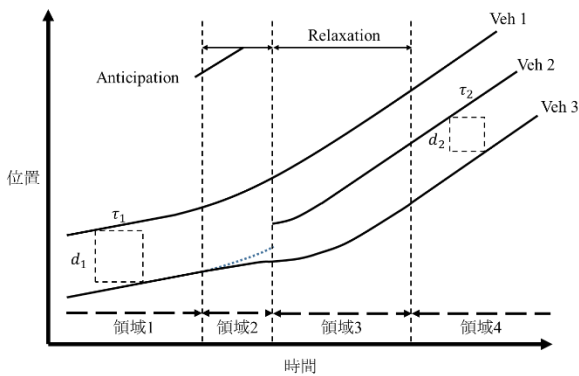


図-3 予測と緩和のプロセスを表現した TS 図

図-2 に対象区間の走行車線と追越車線の TS 図を示す。走行車線、追越車線共に左カーブを先頭にショックウェーブ（以下、SW）が発生しており、6.7KPの大浜入口周辺でSWが発生している。また、車線変更に関しても多く行われている区間であることが確認できる。

### 3. 車線変更行動の仮説

本稿での類型化では、周辺車両の影響という観点から想定される車線変更行動について分類するものである。

車線変更行動と周辺車両の影響と関係については、これまでに同様の取り組みが報告されている。例えば、Zheng et al.<sup>10)</sup>は、Newellの車両追従モデルを拡張し、車両軌跡データを用いて、運転挙動と車線変更による周辺車両に対する影響をドライバーの応答時間と最小時間間隔

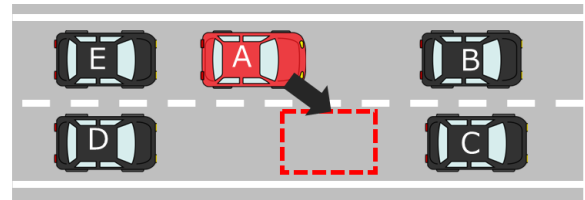


図-4 車線変更前 (Cut-off) イメージ図

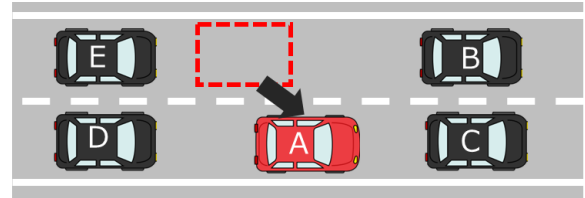


図-5 車線変更後 (Cut-in) イメージ図

の観点から検証を行った。Zheng et al.<sup>10)</sup>における Anticipation and relaxation のプロセスを表現した TS 図を図-3 に示す。先頭の車両を Veh 1、車線変更を行う車両を Veh 2、後方の車両を Veh 3 とした。Veh 2 の車両が車線変更を行うとき、領域 2 において後方の Veh 3 は、Veh 2 が車線変更を行うことを予測 (Anticipation) し、領域 3 で Veh 2 を受け入れるために車間を空ける (Relaxation) 行動をとることが明らかとなり、車線変更行動が後続車両の運転行動に影響を与えることが示された。さらに車線変更前後 (領域 1 と領域 4) で後続車両の追従挙動が統計的に異なることが示された。Anticipation and relaxation については詳しく説明や分析されたが、さらに車線変更行動による周辺車両に対する影響があるパターンがあると考えられる。そこで、Anticipation and relaxation 以外に考えられる車線変更行動による周辺車両に対する影響についていくつかの仮説を立てた。

#### (1) 車線変更前後の分類

車線変更を行う車両が隣接車線に移る前の車線における交通状態を Cut-off 状態、車線変更を行う車両が目標とする隣接車線に移った後の当該車線の交通状態を Cut-in 状態と定義する。車線変更には、車線変更を行う前の交通状態と車線変更を行った後のそれぞれの交通状態がある。それらの観点から、車線変更が周辺の交通状態に及ぼす影響をパターン分類した。図-4、図-5 にそれぞれ車線変更前と車線変更後のイメージを示した。Cut-off 状態は、図-4 中、車両 A の車線変更が車両 B と車両 E に及ぼす影響に着目したものである。一方、Cut-in 状態とは、図-5 中、車両 A の車線変更が車両 C、車両 D に及ぼす影響に着目する。

#### (2) Cut-off 状態の分類

Cut-off 状態にあるときの周辺車両の影響という観点

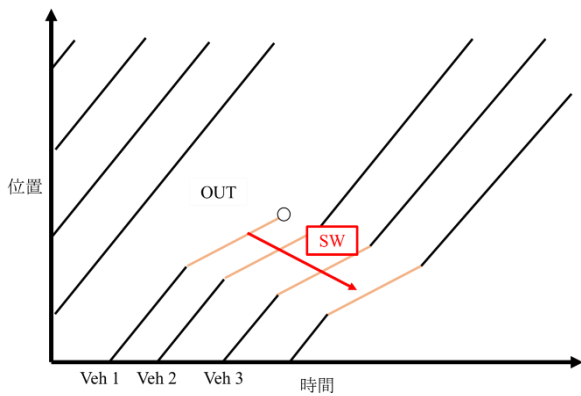


図-6 Deceleration and lane change イメージ図

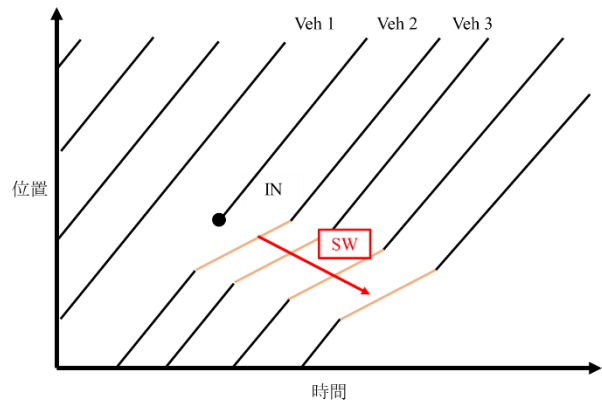


図-8 Anticipation and relaxation イメージ図

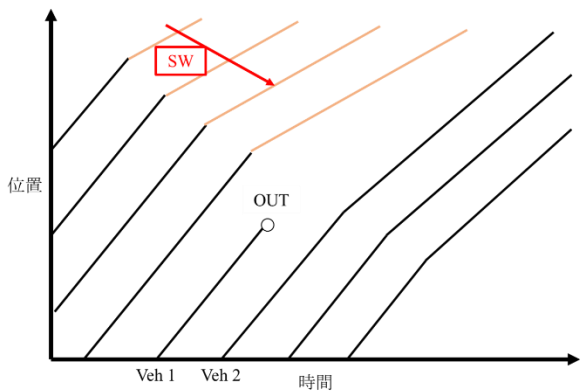


図-7 Absorb shock wave イメージ図

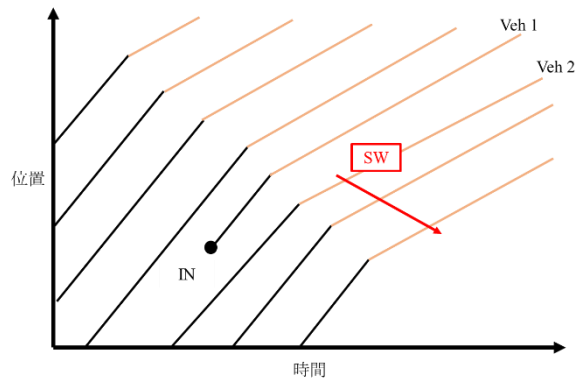


図-9 Demand increase イメージ図

から想定される車線変更行動について、周辺影響なし、近隣車線に車線変更行動を行う前に減速を行う場合 (Deceleration and lane change) , SW を予測し、近隣車線へ避走を行う場合 (Absorb shock wave) の 3 パターンに分類を行った。

a) 周辺影響なし

車線変更による周辺車両に対する交通影響がないとき。

b) Deceleration and lane change

Deceleration and lane change の車線変更のイメージを表現した TS 図を図-6 に示す。なお、白丸は車線変更を行った瞬間を示し、赤い矢印は SW の進行を表す。車線変更を行う車両 (Veh 1) が近隣車線に移るために車線変更の直前に減速(近隣車線の動きに合わせて減速)を行い、それにより後続車両 (Veh 2) が減速を行い、減速波を誘発する。

c) Absorb shock wave

Absorb shock wave のイメージを表現した TS 図を図-7 に示す。上流での混雑を予測し、それらを回避するために近隣車線へ車線変更を行う (Veh 1) 。この車線変更により、車線変更を行う前の交通状態を改善する効果が期待でき、渋滞や混雑を緩和する効果があると考えられる。

(3) Cut-in 状態の分類

Cut-in 状態にあるときの周辺車両の影響という観点か

ら想定される車線変更行動について、周辺影響なし、車線変更を受け入れるために減速を行う場合 (Anticipation and relaxation) , 車線変更後渋滞流に巻き込まれる (Demand increase) の 3 パターンに分類を行った。

a) 周辺影響なし

車線変更による周辺車両に対する交通影響がないとき。

b) Anticipation and relaxation

Anticipation and relaxation のイメージを表現した TS 図を図-8 に示す。車線変更を行う車両 (Veh 2) を受け入れるために後続車両 (Veh 3) が減速を行い、車線変更を受け入れるための空間を生み出す。この減速により、減速波を誘発する。なお、この現象に関しては、Zheng et al.<sup>10)</sup> について検証がなされている。

c) Demand increase

Demand increase のイメージを表現した TS 図を図-9 に示す。車線変更後、上流での混雑に巻き込まれ、さらに渋滞を悪化させる要因になる。

(4) Cut-off 状態と Cut-in 状態の関係性

Cut-off 状態と Cut-in 状態においてそれぞれ 3 パターン存在すると仮定を行った。この時、車線変更前後で分類を行っているため、Cut-in 状態 3 パターン×Cut-off 状態 3 パターン=計 9 パターンがあると考えられる。Cut-off

表-2 Cut-off 状態と Cut-in 状態の周辺影響の関係

		Cut-off		
		1	2	3
		影響なし	Deceleration and lane change	Absorb shock wave
Cut-in	1	影響なし (0,0)	(-,0)	(+,0)
	2	Anticipation and relaxation (0,-)	(-,-)	(+,-)
	3	Demand increase (0,-)	(-,-)	(+,-)

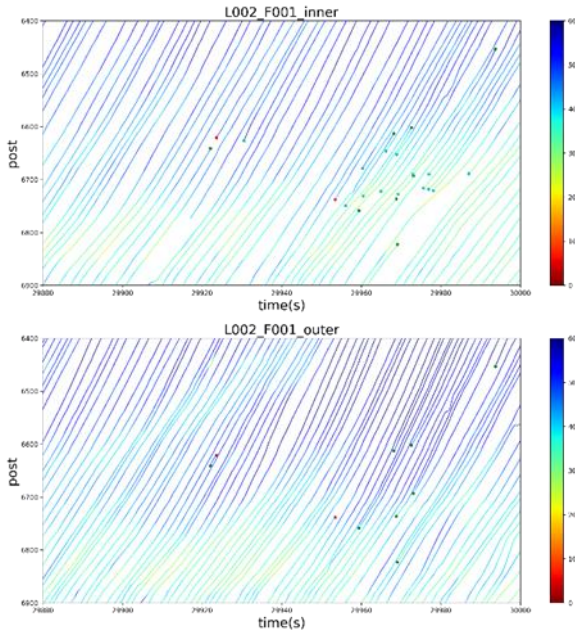


図-10 目視に使用した TS 図

状態と Cut-in 状態の周辺影響を表-2 に示す。(cut-off, cut-in) を示しており、渋滞緩和の効果がある場合を”+”, SW 発生や減速が起こる場合を”-”, 周辺影響がない時を”0”とした。Cut-off 状態時に“Absorb shock wave”で Cut-in 状態時に“影響なし”であるとき、最適な車線変更行動があるとするのであれば、周辺に悪影響を与えることなく車線変更を行い、さらに車線変更を行うことで全体の交通状態を改善する効果が期待できると考えられる。

#### 4. 実データに基づく車線変更行動の類型化

上述の車線変更行動が実現象において発生しているか確認を行い、それらを仮説の通り、分類を行った。

##### (1) 車線変更行動の類型化の方法

車線変更行動と周辺車両に対する影響を評価、分類を行うために TS 図を用いた。対象とする区間を、大浜合流付近 6.9KP~6.4KP (500m) と下流部 6.2KP~5.7KP

表-3 目視による車線変更行動の類型化の結果

	合流付近	下流部
	6.9KP-6.4KP	6.2KP-5.7KP
Deceleration and lane change	1	5
Absorb shock wave	11	10
Anticipation and relaxation	0	3
Demand increase	7	1

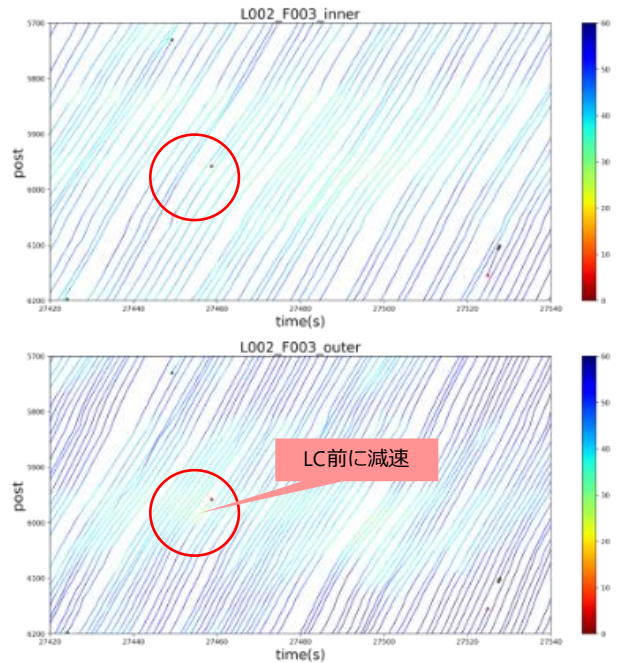


図-11 Deceleration and lane change の事例

(500m) とした。この区間は、車線変更回数が多く SW が発生しやすい区間である。走行車線と追越車線それぞれの車両走行軌跡を描画し、それらに車線変更が行われた地点にプロットを入れた TS 図を作成した。作成した TS 図の一例を図-10 に示す。上が走行車線、下が追越車線の車両軌跡で、それぞれのプロットが車線変更を行った位置と時刻を表す。色は車線変更を行った方向を示しており、緑が走行車線から追越車線、赤が追越車線から走行車線、水色が合流部から走行車線への流入を示している。得られた TS 図 (300 枚の図 : 1 時間あたり 30 枚 × 5 セット × 2 区間) を目視により類型化した車線変更行動が行われているか確認・特定を行った。

##### (2) 車線変更行動の類型化の結果

TS 図の目視による車線変更行動の類型化, 確認を行った結果を表-3 に示す。周辺影響のあるパターンについて Cut-off で 2 つ, Cut-in で 2 つ, 計 4 パターン全ての現象を捉えることができた。それぞれの結果の代表的な事象を以下にまとめる。

###### a) Deceleration and lane change

Deceleration and lane change の事例を図-11 に示した。

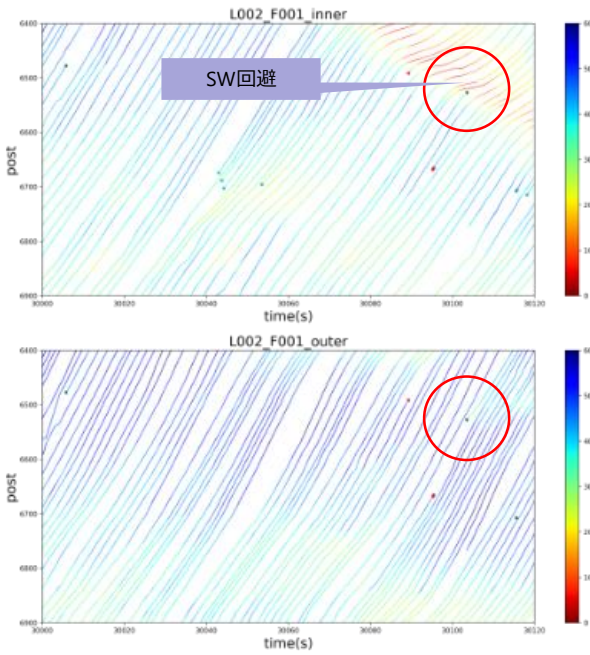


図-12 Absorb shock wave の事例

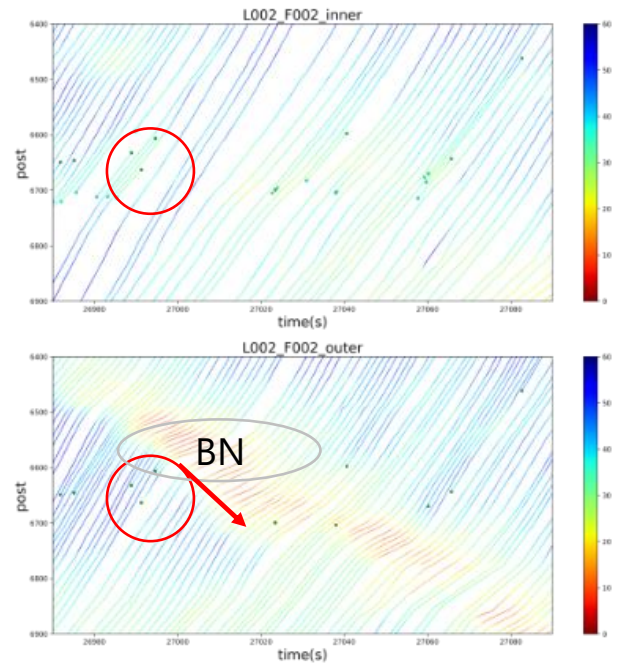


図-14 Demand increase の事例

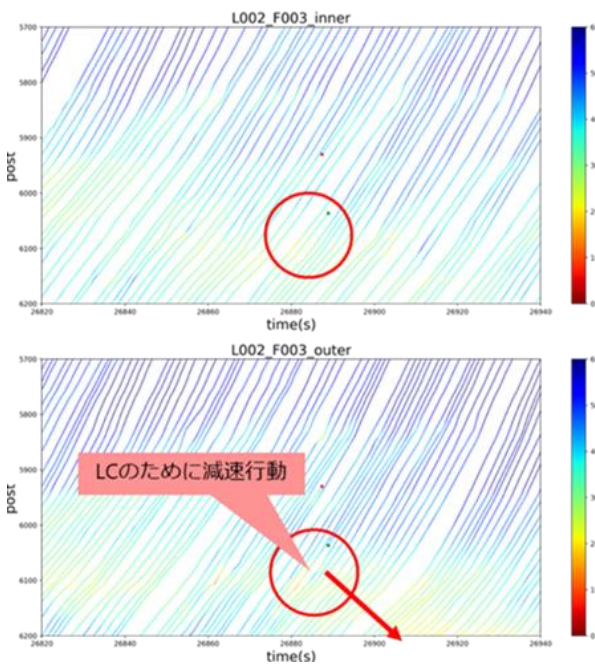


図-13 Anticipation and relaxation の事例

追越車線から走行車線へ車線変更を行う直前に減速していることが確認できる。これにより、車線変更を行った車両の後方を走行する車両も減速を行っていることも確認ができた。

b) Absorb shock wave

Absorbed shock wave の事例を図-12 に示す。走行車線を走行する車両が下流部での速度低下を予兆し、追越車線へ車線変更を行っていることが確認できた。これは、周辺の車両に対して大きな影響を与えることなく車線変更を実施しており、走行車線においては交通流量の低下、

追越車線においては負荷のない範囲内の交通流量の増加であると考えられ、いわば渋滞を吸収したと考えられ、全体の交通流を最適化したと捉えることが可能となる。

c) Anticipation and relaxation

Anticipation and relaxation の事例を図-13 に示した。走行車線を走行する車両が追越車線へ車線変更する直前に追越車線を走行する車両は、車線変更を行う車両を受け入れ、車間距離を確保するために減速を行っていることが確認できる。また、その時の減速波が後方へと延伸していることも確認できた。既往研究と同様にして、車線変更により減速波が発生することが改めて確認された。

d) Demand increase

Demand increase の事例を図-14 に示した。走行車線を走行する車両が車線変更後、大きな SW の発生している地点に到達し、大きな速度低下に繋がっていることが確認できる。このとき、車線変更を行った車両は、車線変更を行わなければ、大きな速度低下に見舞われることなく走行できる状態が続いたと考えられる。また、車線変更により、追越車線の交通量が増大し、追越車線の走行に対して影響を与えているのではないかと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では、車線変更行動が周辺車両に対する影響という観点から想定される仮説を立て、その現象が実際に発生しているか目視による TS 図の確認を行った。その結果、仮説を立てた車線変更行動による周辺車両に対する影響を確認することができた。その中で車線変更行動

を行う車両により発生する減速波や車線変更行動により交通量が増大し、渋滞が悪化するというケースが確認できた。また、交通状況によっては、周囲の車両に対して影響を与えることなく全体の交通流を改善する可能性のある効果が確認できた。これは、渋滞を吸収するような車線変更行動であり、渋滞対策アプローチの 1 つの手法となり得るであろう。

しかし、今回の結果は、目視による判断にとどまっており、今後定量的な分析を通して、類型化したパターンの発生要因について検証を進める予定である。

**謝辞:** 本研究は JSPS 科研費 19H02268, および 20KK0334 の助成を受けたものです。また、阪神高速道路株式会社より Zen Traffic Data を提供していただきました。厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省『国土交通省生産性革命プロジェクト』  
<https://www.mlit.go.jp/common/001123977.pdf>,  
2022 年 9 月閲覧。
- 2) 東日本高速道路株式会社：高速道路の渋滞対策,  
[https://www.e-nexco.co.jp/activity/safety/detail\\_07.html](https://www.e-nexco.co.jp/activity/safety/detail_07.html) ,  
2022 年 9 月閲覧。
- 3) 越正毅, 桑原雅夫, 赤羽弘和：高速道路のトンネル,  
サグにおける渋滞現象に関する研究, 土木学会論文集,  
No.458, IV-18, pp.65-71, 1993.
- 4) 栗原光二, 日置洋平：高速道路ボトルネックの交通容量改善策, 土木計画学研究・論文集, No12, pp.731-738, 1995.
- 5) 牧野浩志, 鈴木一史, 鹿野島秀行, 山田康右, 堀口良太：車線変更行動に着目したサグ部渋滞発生要因の分析と渋滞対策アプローチ, 土木計画学研究・論文集, No32, pp.1001-1009, 2015.
- 6) D. Patire, Michael J. Cassidy: Lane changing patterns of bane and benefit: Observations of an uphill expressway, *Transportation Research Part B*, vol.45, pp.656-666, 2011.
- 7) 兒玉崇, 石原雅晃, 前原耀太, 眞貝憲史, 中西雅一, 田名部淳：交通事象の発生メカニズムの統計的把握に必要な運転行動評価の手法評価, 交通工学論文集, 第 6 巻, 第 2 号 (特集号 B), pp.B\_37-B\_45, 2022.
- 8) 塩見康博, 谷口知己, 宇野伸宏, 嶋本寛：個別車両データをを用いた単路部ボトルネックにおける速度変動予測と車線変更誘導による渋滞防止効果の検証, 高速道路と自動車, Vol.56, No.3, pp.30-40, 2013.
- 9) Zen Traffic Data データの特徴, 阪神高速道路株式会社, <https://zen-traffic-data.net/outline/>,  
2022 年 9 月閲覧。
- 10) Z. Zheng, S. Ahn, D. Chen, J. Laval: The effects of lane-changing on the immediate follower: Anticipation, relaxation, and change in driver characteristics, *Transportation Research Part C*, Vol.26, pp.367-379, 2013.

(2022.?.? 受付)

## THE EFFECTS OF LANE CHANGES ON THE DRIVING BEHAVIOR OF SURROUNDING VEHICLES ON URBAN FREEWAY

Yuya HATTORI, Yasuhiro SHIOMI