

周辺車両への影響を考慮した 車線変更行動の類型化

服部 友哉¹・塩見 康博²

¹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

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

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

渋滞緩和を目指して、車線変更を伴う動的な車線マネジメントが検討されているが、車線変更自体が交通流に対して悪影響を及ぼす可能性があり、その車線変更行動と周辺車両に対する影響は明らかになっていない。もし、車線変更と周辺車両への影響について明らかになれば、より最適かつ効率的な車線変更マネジメントが可能になるであろう。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類型化し、動的車線マネジメントに対して有効な知見を得ることを目的とする。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 6 パターンの仮説を措定し、類型化した。次に、機械学習により類型化した車線変更行動と車線変更前後の交通状態の関係性について仮説の検証を行った。その結果、動的車線マネジメントに対して有効な周辺車両に対して影響を及ぼす車線変更行動を確認した。

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

1. はじめに

近年、自動車交通の発達により交通需要の増大や非効率な自動車の利用により、交通渋滞は深刻化している。交通渋滞は、様々な問題を抱えており、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、その解消や緩和は依然として全国的な問題となっている。国土交通省¹⁾によると、渋滞損失は、移動時間の約 4 割を占め、渋滞損失時間は年間約 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いる。欧米の主要都市における渋滞損失時間は移動時間の約 2 割とされていることから日本の交通渋滞の深刻さがわかる。また、高速道路における渋滞損失時間²⁾は、世界的な COVID-19 のパンデミック以前でおよそ 900 万台・時間になると算出されており、高速道路においても渋滞問題は深刻である。

渋滞の発生は、一般的にサグ部での上り勾配に伴う速度低下や車線利用の不均衡に起因することが越ら³⁾や栗原⁴⁾の研究によって広く知られている。その中でも車線変更行動についても交通渋滞や速度低下の一要因であると牧野ら⁵⁾やPatire et al.⁶⁾の研究で明らかとなっている。

近年、コネクティッド車両や自動運転車両の進展や導入を考慮して、交通状況に応じた適切で効率的な動的な交通マネジメントに対する期待が高まっている。情報通信

技術の発展に伴い、車両または道路交通インフラが取得したデータを基にして、走光型視線誘導灯⁷⁾や高速道路合流部における動的交通制御⁸⁾が検討されている。特に車線利用に関して、個別車両の車線変更行動など運転挙動に対して変容を促すことで渋滞緩和に繋がる車線利用マネジメントについて研究^{9,10,11)}が進められている。しかし、個別車両の車線変更行動と周辺車両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、その時の交通状況が明らかとなれば、コネクティッド車両や自動運転車両を用いた交通制御により、交通状況に応じた適切な車線変更行動による全体の交通流状態に影響を与えることなく、交通流率を増大させるなど渋滞発生を抑制・緩和することが可能なより最適で効率的な車線利用マネジメントが実現すると言えるだろう。

そこで、本研究では、車両走行軌跡データに基づき、個別車両の車線変更行動が周辺の車両に与える影響を類型化し、動的車線マネジメントに対し、有効な知見を得ることを目標とする。具体的には、車線変更行動と周辺車両の影響という観点から車線変更行動と周辺車両への影響に関する仮説を措定し、類型化する。次に車線変更車両の前後車両の運転挙動と車線変更車両の運転挙動を説明変数とする機械学習により仮説の検証を行った。さ

らに車線変更前後の関係性について傾向の確認を行い、車線変更行動と周辺車両の影響について考察を行った。

本論文の構成は以下の通りである。第 1 章では、本研究の背景、目的を述べ、本論文の構成を示した。第 2 章では、既往研究を整理し、本研究の位置づけを明確にする。第 3 章では、本研究で用いた車両軌跡データと対象区間の交通状況について述べた。第 4 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、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 5 章では、クラスター分析による結果を示し、仮説の検証を行った。さらに車線変更前後の関係性について傾向の確認を行った。最後に第 6 章で本稿の結論と今後の課題をまとめた。

2. 既往研究の整理

(1) 車線変更と渋滞現象に関する既往研究

高速道路の渋滞の一要因として車線変更が挙げられ、車線変更と渋滞現象の関係に着目した研究が存在する。牧野ら⁹⁾は、渋滞発生直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、割り込みが減速波の発生・伝播に繋がるという仮説の下、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の発生・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であることを明らかにした。Patire and Cassidy⁶⁾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を引き起こすことを示した。

(2) 動的な交通運用の有用性

これまで交通渋滞の解消や緩和を目指して、交通状況に応じた動的な交通運用に関する研究や実験、シミュレーションを用いた検証が行われてきた。高速道路上の動的な交通流管理¹²⁾として、動的な速度マネジメントが挙げられ、日本においては走光型視線誘導灯が近年導入されている。これらは、全国各地の高速道路で有意な効果が確認されており、適材適所な交通マネジメントが行われている。車線利用マネジメントについて、原田ら¹³⁾は、追越車線の利用を抑制するため、LED 情報版を活用した

情報提供による車線利用率平準化実験を行い、車線利用率の平準化と渋滞軽減の効果が確認された。

近年では、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て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が渋滞解消や緩和に繋がるのが期待されている。塩見ら⁹⁾は、車両感知器から得られたデータから、特定された車両に対して車線変更指示を与えることでボトルネックでの速度改善効果が期待できると述べている。服部・塩見¹⁰⁾は、車両軌跡データに基づき、車線利用と区間旅行時間の関係を定量化し、車線利用率と交通状態の違いによる旅行時間の関係について分析を行った。その結果、特定の交通状態において追越車線の利用率を上昇させることにより、旅行時間の減少に繋がることが示された。Hattori et al.¹⁴⁾は、前出の車両軌跡データを用いた分析の結果を基にして、都市高速道路ランプ合流区間を対象とした動的に車線変更を誘導する交通流マネジメント方を提案した。その結果、動的な車線誘導により、全体の旅行時間の減少の効果があり、動的な車線誘導の有用性を。Hu and Sun¹¹⁾は、高速道路合流部の渋滞を緩和するために、合流上流での車線利用率の調整と合流挙動制御の両方を最適化し、下流の車線流量分布を均衡させるアルゴリズムを提案し、ミクロ交通流シミュレーション上で評価を行った。その結果、提案されたアルゴリズムに渋滞緩和効果があることが実証された。

(3) 本研究の位置づけ

既存研究より、高速道路においてサグ部やトンネル部における速度低下が主な要因であり、これらの速度低下を避けるために追越車線に車線利用が偏り、追越車線から渋滞が発生する可能性が指摘されている。また、車線利用が偏る中での車線変更行動自体も渋滞を悪化させる一要因となっているほか、合流時の円滑性についても課題となっている。これらの問題を解決するために様々な交通マネジメント手法が考案されてきた。とりわけ、近年ではコネクティッド車両や自動運転車両の導入が期待されており、渋滞解消・緩和を目指した車線誘導に関する研究もなされている。しかし、これらの車線変更を伴う車線利用マネジメントは、車線誘導、車線変更を行う状況によっては、周辺の交通に対して様々な影響を与える可能性があると考えられる。

車線変更行動と周辺影響について Zhang et al.¹⁵⁾は、軌跡データを用いて、Anticipation and relaxation のプロセスについて検証を行い、車線変更行動は周辺車両の運転挙動に影響を及ぼすことを示した。Anticipation and relaxation については、詳しく説明や分析されたが、車線変更行動による周辺車両の影響に関して限定的である。そのため、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

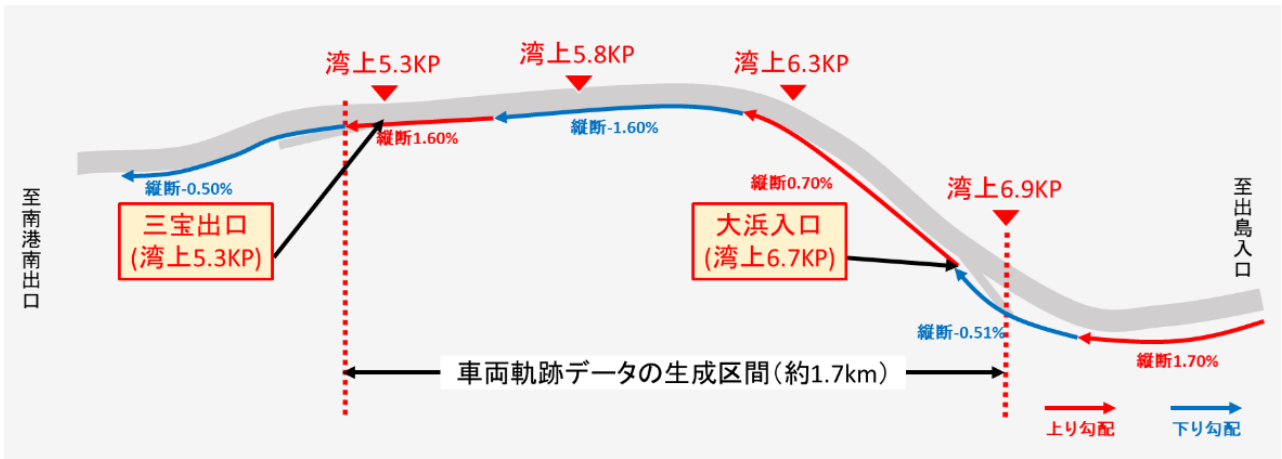


図-1 対象区間路線図

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し、動的車線マネジメントに対して有効な知見を得ることを目標とする。

3. データ概要及び対象区間

(1) 使用データ

車線変更行動と周辺車両の影響と関係性を明らかにするためには、車線変更や車両の運転挙動を捉えた細かいデータが必要となる。そこで本研究では、阪神高速道路株式会社の Zen Traffic Data¹⁶⁾ (以下、ZTD) を使用する。ZTD は、阪神高速道路沿線の道路照明柱に設置された複数のカメラから得られた画像を Deep learning を用いた画像センシング技術により、全ての車両の 0.1 秒ごとの車速や位置などの車両軌跡を生成し、記録したデータである。¹⁷⁾ 本研究では、車両軌跡データベースを使用した。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 号湾岸線大浜～三宝付近約 1.7km) ×1 時間×5 セットのデータが公開されている。

(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～三宝付近約 1.7km を対象区間とした。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。交通量の多い片側 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 に対象区間の走行車線と追越車線の TS 図を示す。走行車線と追越車線共に左カーブの地点である 5.9KP を先頭に 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

表-1 データセットの取得時間帯

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

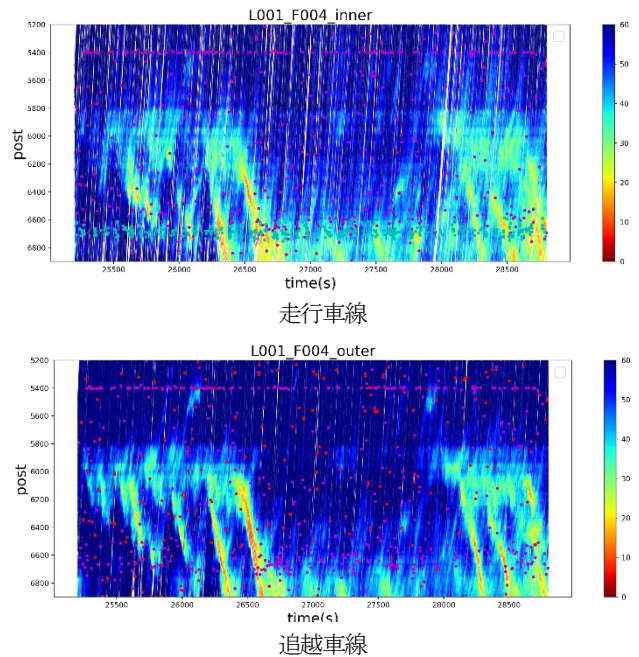


図-2 対象区間車両軌跡図

ても多く行われている区間であることが確認できる。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。

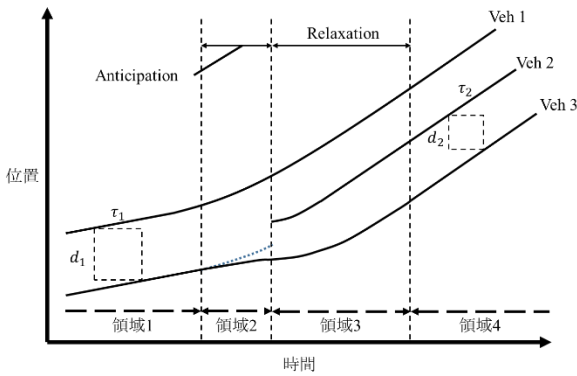


図-3 予測と緩和のプロセスを表現した TS 図

4. 車線変更行動の種類

本章では、既往研究に基づいて、本研究における車線変更行動による周辺車両への影響に関する仮説を措定する。

(1) 車線変更行動と周辺車両の影響

車線変更行動と周辺車両の影響と関係性について、Zheng et al.¹⁵⁾は、Anticipation and relaxation 型（以降，譲り減速型）の車線変更について分析を行っている。この譲り減速型のプロセスを表現した Timespace 図（以下，TS 図）を図-3 に示す。前方の車両を 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，隣接車線を走行する Veh 2 が車線変更を行うことを予測（Anticipation）し，領域 3 で隣接車線からの車線変更後に車間を確保する（Relaxation）行動をとる。そのため，車線変更行動が後方車両の運転行動に影響を与える。さらに車線変更前後（領域 1 と領域 4）で後方車両の追従挙動が統計的に変化することが示されている。このように，Anticipation and relaxation については詳しく説明や分析されたが，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。

車線変更車両は，車線変更の直前で車線変更を実施するための特有の運転行動を行い，周辺の車両に対して影響を与える。さらに車線変更の直後に車線変更を行っていることが想定できる。つまり，1 つの車線変更について車線変更を完了する直前と直後で交通状態，周辺車両に対する影響を個別に考える必要があると考えられる。そこで，車線変更行動の直前と直後の状態に対してそれぞれ仮説を立てた。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。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車線変更直

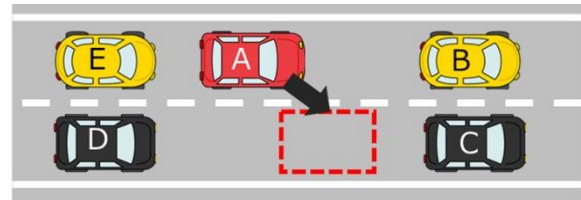


図-4 車線変更直前 イメージ図

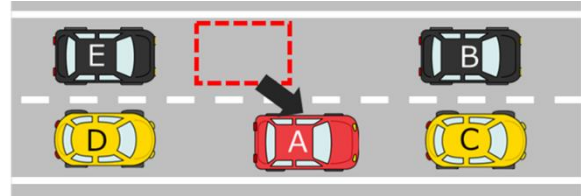


図-5 車線変更直後 イメージ図

前，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車線変更直後と定義する。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。車線変更直前のとき，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，車線変更直後のとき，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) 車線変更直前

車線変更直前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，隣接車線に車線変更行動を行う前に減速を行う場合（後方車両減速型），ショックウェーブ（以下，SW）を予測し，隣接車線へ避走を行う場合（速度吸収型）の 3 パターンの仮説を措定した。

a) 周辺影響なし

車線変更行動による周辺車両に対する交通影響がないとき，車線変更行動により周囲の車両に対して減速や速度回復を発生させない状況を指している。

b) 後方車両減速型

後方車両減速型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 A が隣接車線に移るために車線変更の直前に減速（隣接車線の動きに合わせて減速）を行い，それにより後方車両 E が減速を行い，減速波を誘発する。

c) 速度吸収型

速度吸収型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隣接車線へ車両 A が車線変更を行う。この車線変更により，後方車両 E の減速を抑制するとともに速度回復を促し，車線変更を行う前と比べて渋滞や混雑を緩和する効果があると考えられる。

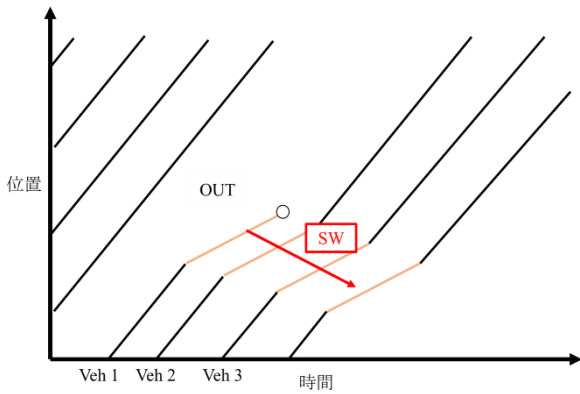


図-6 後方車両減速型 イメージ図

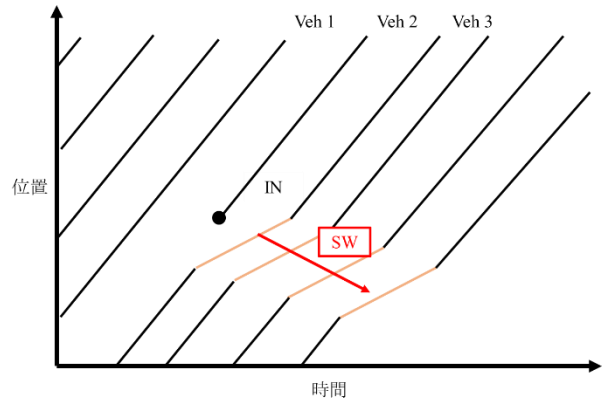


図-8 譲り減速型イメージ図

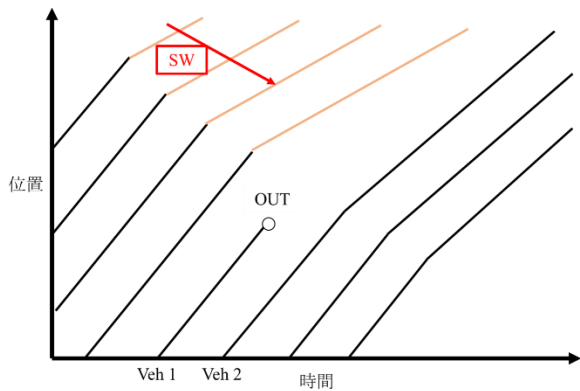


図-7 減速吸収型イメージ図

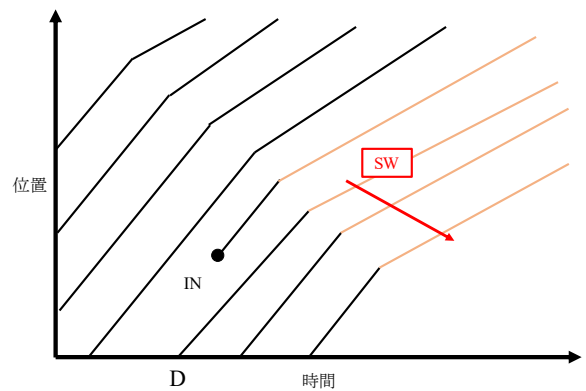


図-9 需要増加型イメージ図

(3) 車線変更直後

車線変更直後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（譲り減速型）、車線変更後、容量増加により交通状態を悪化させる（需要増加型）の3パターンの仮説を措定した。

a) 周辺影響なし

車線変更行動による周辺車両に対する交通影響がないとき、車線変更行動により周囲の車両に対して減速や速度回復を発生させない状況を指している。

b) 譲り減速型

譲り減速型のイメージを表現した TS 図を図-8 に示す。車線変更を行う前方車両 A を受け入れるために後方車両 D 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、後方に対して減速波を誘発する。なお、この現象に関しては、Zheng et al.¹⁵⁾によって詳しく検証がなされている。

c) 需要増加型

需要増加型のイメージを表現した TS 図を図-9 に示す。隣接車線へ車線変更を行った車両 A は、下流部で混雑に遭遇し、結果的に車線変更を行った後の車線の交通容量に負荷をかけ、交通状況に悪影響を与える状態となる。

表-2 車線変更直前と直後の相互関係

		車線変更直後		
		周辺影響なし	譲り減速型	需要増加型
車線変更直前	周辺影響なし	(0,0)	(0,-)	(0,-)
	後方減速型	(-,0)	(-,-)	(-,-)
	速度吸収型	(+,0)	(+,-)	(+,-)

その場合、この車線変更は、交通状況を悪化させる要因となる。

(4) 車線変更直前と車線変更直後の関係性

上記では、車線変更直前と車線変更直後においてそれぞれ3パターン存在するとの仮説を示した。この時、車線変更前後で分類を行っているため、車線変更直前3パターン×車線変更直後3パターン=計9パターンがあると考えられる。車線変更直前と車線変更直後の相互関係を表-2に示す。（直前、直後）を示しており、渋滞緩和の効果がある場合を”+”，SW発生や減速など交通流に対して悪影響を及ぼす場合を”-”，周辺影響がない

時を”0”とした．車線変更直前時に“速度吸収型”で車線変更直後時に“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，周辺車両に対し悪影響を及ぼす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．

5. クラスタ分析による車線変更行動の分類

4 章で述べた車線変更行動について機械学習により車線変更行動の分類を行い，車線変更が周辺車両に対する影響の仮説の検証を行った．車線変更を行う車両と車線変更を行う車両の前後車両，計 3 台の走行状態から車線変更による周辺車両に対する影響を分類した．

(1) クラスタ分析の適用方法

車線変更行動と周辺車両の影響を分類するために，それぞれの車線変更の方向と車線変更直前，直後に対して車線変更車両と車線変更を行う車両の前後車両の運転挙動に対してクラスタ分析を行い，いくつかのパターンに分類し，車線変更行動と周辺車両の走行挙動の傾向を確認する．

本研究では，k-means 法（標準化ユークリッド距離）を用いた．クラスタ数の設定について，車線変更直前，車線変更直後で共に 3 種類の車線変更行動の仮説を立て，類型化を行ったため，クラスタ数を 3 とした．今回，対象とする車線変更を 5.7KP-6.2KP における車線変更時の车速が 40km/h 以下かつ図-10 に示すような車線変更車両とその前後関係が車線変更を基準とした時刻から前後 15s で保たれている状態を採用した．これは，車線変更行動が前方車両，後方車両に対して影響を及ぼすものであると考え，この関係性が保たれている車線変更を分析の対象とすることが望ましいと考えたためである．また，車線変更時の车速に関して，低速時の方が仮定し類型化した車線変更行動が確認できたためである．今回対象とした車線変更の数を表-3 に示す．

クラスタ分析で使用したデータは，車線変更を行った瞬間の前後 15s，5s 毎（図-10 における点）の車線変更を行う車両とその前後車両の走行状態（车速，加速度，前方車両との距離，前方車両との相対速度）を採用した．

(2) クラスタ分析結果

車線変更の方向と車線変更直前，車線変更直後のそれぞれの車線変更行動をクラスタ分析により分類した車線変更ごとに前方車両，車線変更行動を行った車両，後方車両の车速と車間距離の平均値を算出し，それぞれの車両の走行挙動を確認した．そして，それぞれのクラス

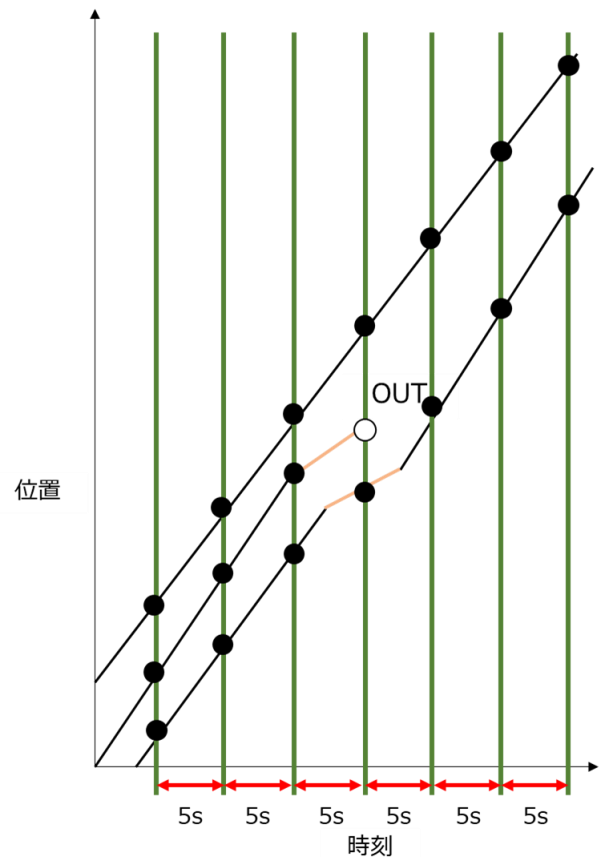


図-10 クラスタ分析で使用したデータ概要

表-3 対象とした車線変更回数

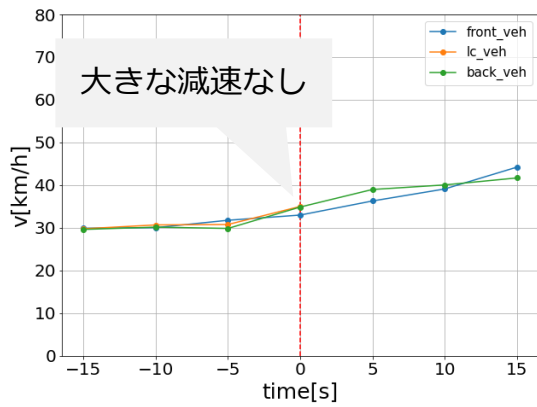
	走行→追越	追越→走行
車線変更直前	24	24
車線変更直後	26	25

ターに対して 4 章で仮定した車線変更行動に分類し，クラスタごとに車線変更行動を確認した．それぞれの結果を図-11 から図-14 に示し，それぞれのクラスタのサンプル数を表-4 から表-7 に示す．横軸に車線変更の瞬間の時刻を 0s としたときの前後 15s（5s 毎）の車両の時刻と車間距離の結果をそれぞれ示している．図中，青の折れ線“front_veh”は車線変更車両の前方車両の走行挙動，橙の折れ線“lc_veh”は車線変更車両の走行挙動，緑の折れ線“back_veh”は車線変更車両の後方車両の走行挙動を示している．

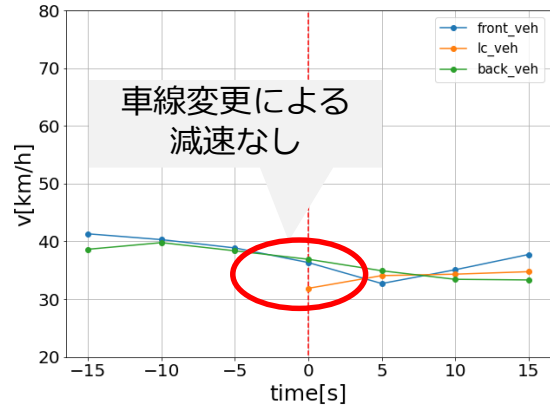
a) 車線変更直前（走行車線から追越車線への車線変更）

図-10(a)では，車線変更車両が車線変更の直前に加速を行い，車線変更行動を行う傾向がある．この車線変更行動に伴う後方車両への大きな速度低下は確認できなかった．このため，このクラスタでは，“周辺影響なし”と分類できると考える．

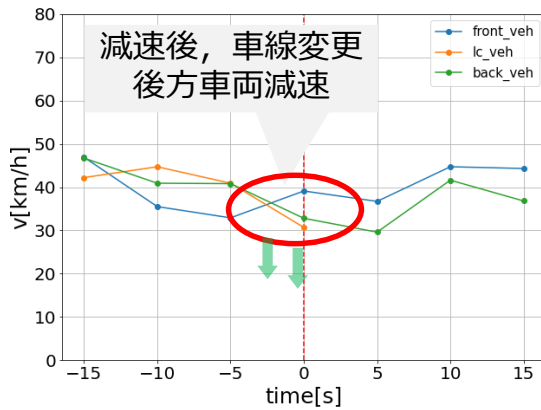
図-10(b)では，車線変更車両が車線変更の直前に減速を行い，車線変更を実施しており，この車線変更行動に伴い後方車両が減速している傾向が確認できた．このた



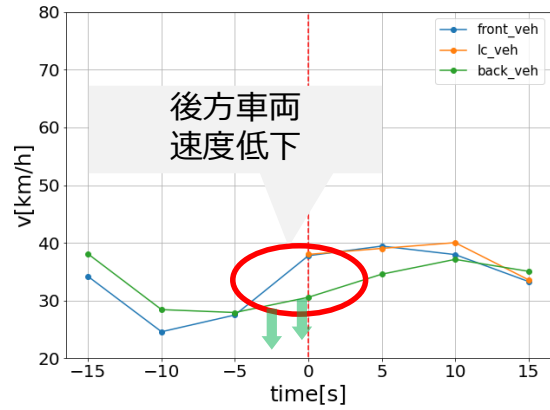
(a) 時刻-速度 (クラスター分析結果)



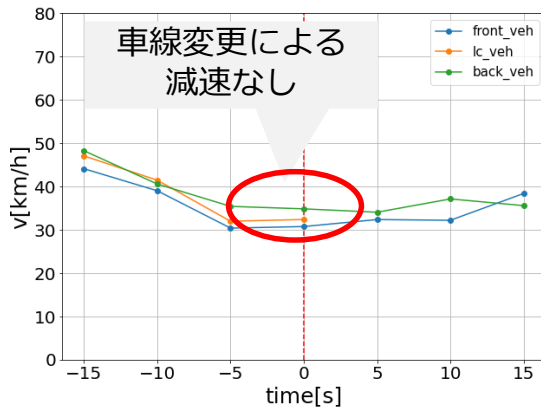
(a) 時刻-速度 (クラスター分析結果)



(b) 時刻-速度 (クラスター分析結果)

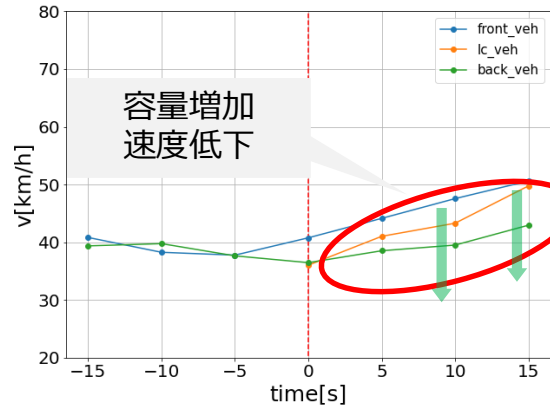


(b) 時刻-速度 (クラスター分析結果)



(c) 時刻-速度 (クラスター分析結果)

図-10 車線変更直前 (走行から追越) の結果



(c) 時刻-速度 (クラスター分析結果)

図-11 車線変更直後 (走行から追越) の結果

表-4 車線変更直前 (走行から追越) のサンプル数

	サンプル数
(a) : 周辺影響なし	16
(b) : 後方車両減速型	1
(c) : 周辺影響なし	7

表-5 車線変更直後 (走行から追越) のサンプル数

	サンプル数
(a) : 周辺影響なし	3
(b) : 譲り減速型	14
(c) : 需要増加型	9

め、このクラスターは、「後方車両減速型」と分類できると考える。また、クラスターのサンプル数は1であった。理由として、車間距離は車線変更車両が前方車両と

十分な距離を取っている状態にあり、このようなケースが他の車線変更ではなかったためであると考えられる。

図-10(c)では、車線変更車両が前方車両の車速に合わ

せて速度を維持し、前方車両との車間を詰めたのちに車線変更行動を行っている傾向がある。この車線変更行動に伴う後方車両への大きな速度低下は確認できなかった。このため、このクラスターは、「周辺影響なし」と分類できると考える。

b) 車線変更直後（走行車線から追越車線への車線変更）

図-11(a)では、車線変更車両が前方車両や後方車両の車速に対して低速度で隣接車線から車線変更から流入する傾向がある。しかし、後方車両は速度を落とすことなく走行を続けている。このため、このクラスターは、「周辺影響なし」と分類できると考える。

図-11(b)では、後方車両が車線変更車両の車線変更を受け入れるために減速を行い、車間を空ける走行状態の傾向がある。この車線変更行動に伴い、後方車両は前方車両に比べて速度を落として走行する傾向がある。このため、このクラスターは、「譲り減速型」と分類できると考える。

図-11(c)では、車線変更車両の車線変更により、追越車線の交通量が増加し、車線変更を行った後の時間において、後方車両の車速が前方車両に比べて、減少する傾向がある。この車線変更行動に伴い、後方車両は前方車両に比べて速度を落として走行しており、SW の発生に影響を及ぼす可能性がある。このため、このクラスターは、「需要増加型」と分類できると考える。

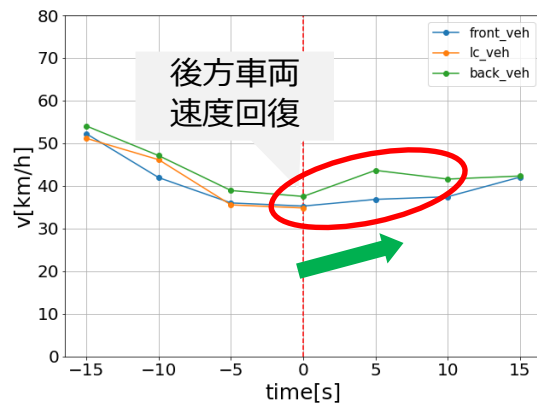
c) 車線変更直前（追越車線から走行車線への車線変更）

図-12(a)では、車線変更の直前から後方車両が速度を上げ、車線変更を行った後も車間を詰める傾向がある。また、車線変更車両は車線変更の直前に前方車両と比較して減速することなく車線変更を完了する傾向がある。この車線変更行動に伴い、後方車両は、一時的に速度回復を促し、車線変更を行う前後で渋滞や混雑を緩和する効果があると考えられる。このため、このクラスターは、「速度吸収型」と分類できると考える。

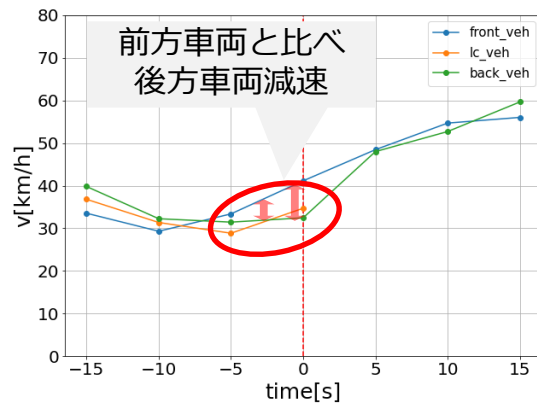
図-12(b)では、車線変更車両が車線変更の直前に減速を行い、車線変更を実施している。この車線変更行動に伴い後方車両が減速する傾向がある。このため、このクラスターは、「後方車両減速型」と分類できると考える。また、車間距離に関しては、車線変更車両が前方車両と十分な距離を取っている状態にある。

図-12(c)では、車線変更の直前から後方車両が速度を上げ、車線変更を行った後も車間を詰める傾向がある。また、車線変更車両は車線変更の直前に前方車両と比較して減速することなく車線変更を完了する傾向がある。この車線変更行動に伴い、後方車両は、一時的に速度回復を促し、車線変更を行う前後で渋滞や混雑を緩和する効果があると考えられる。このため、このクラスターは、「速度吸収型」と分類できると考える。

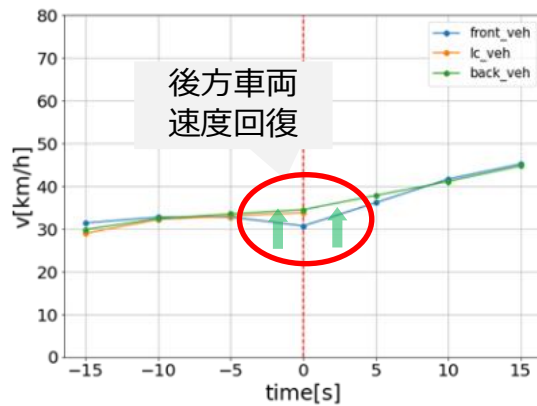
d) 車線変更直後（追越車線から走行車線への車線変更）



(a) 時刻-速度（クラスター分析結果）



(b) 時刻-速度（クラスター分析結果）



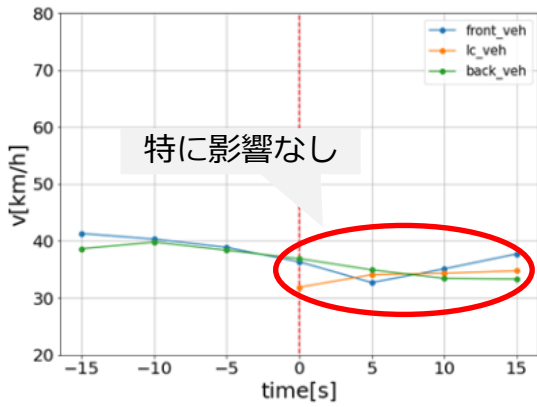
(c) 時刻-速度（クラスター分析結果）

図-12 車線変更直前（追越から走行）の結果

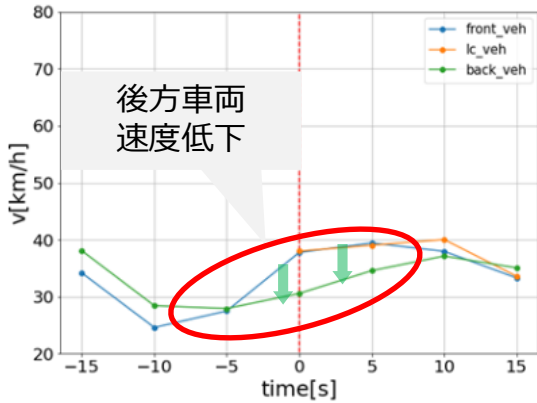
表-6 車線変更直前（追越から走行）のサンプル数

	サンプル数
(a) : 速度吸収型	9
(b) : 後方車両減速型	6
(c) : 速度吸収型	8

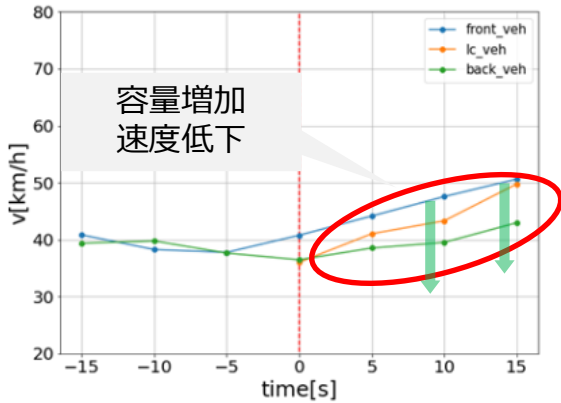
図-13(a)では、車線変更車両が前方車両や後方車両の車速に対して低速度で追越車線から車線変更により流入する傾向がある。この車線変更行動に伴い、後方車両は前方車両に比べて速度を落として走行する。しかし、車



(a) 時刻-速度 (クラスター分析結果)



(b) 時刻-速度 (クラスター分析結果)



(c) 時刻-速度 (クラスター分析結果)

図-13 車線変更直後 (追越から走行) の結果

表-7 車線変更直後 (追越から走行) のサンプル数

	サンプル数
(a) : 周辺影響なし	11
(b) : 譲り減速型	2
(c) : 需要増加型	12

線変更前の後方車両の車間距離が大きかったため車線変更車両が車線変更できたと考えられる。このため、このクラスターでは、「周辺影響なし」と分類できると考

る。

図-13(b)では、後方車両が車線変更車両の車線変更を受け入れるために前方車両の加速に合わせて速度を上げることなく、車間を空ける傾向がある。この車線変更行動に伴い、後方車両は前方車両に比べて速度を落として走行する傾向がある。このため、このクラスターでは、「譲り減速型」と分類できると考える。

図-13(c)では、車線変更車両の車線変更により、追越車線の交通量が増加し、車線変更を行った後の時間において、後方車両の車速が前方車両に比べて、減少する傾向がある。この車線変更行動に伴い、後方車両は前方車両に比べて速度を落として走行しており、SW の発生に影響を及ぼす可能性がある。このため、このクラスターでは、「需要増加型」と分類できると考える。

(3) 車線変更直前と車線変更直後の相互関係の確認

表-2 に示す通り、1つの車線変更行動に対して、車線変更前後で分類を行っているため、車線変更直前3パターン×車線変更直後3パターン=計9パターンがあると考えられる。そこで、クラスター分析による車線変更行動の分類における車線変更直前と車線変更直後の相互関係を確認した。なお、1つの車線変更行動において、車線変更直前と車線変更直後の双方がクラスター分析により分類されている車線変更行動のみを対象とした。

a) 走行車線から追越車線への車線変更

走行車線から追越車線の車線変更直前と車線変更直後の車線変更の相互関係を表-8 に示した。表中のセルの色は、車線変更の組み合わせによる周辺車両への影響を表現しており、灰色が周辺影響なし、赤が周辺の交通状態を改善するような組み合わせ、青色が周辺の交通状態を悪化させるような組み合わせを示している。大半の車線変更の組み合わせが交通流に対して悪影響を及ぼす車線変更という分類になった。また、走行車線から追越車線への車線変更の一例として TS 図で示した例を図-14 に示す。図-14 では、車線変更直前で「周辺影響なし」、車線変更直後では「需要増加型」であり、交通状態を悪化させるような車線変更行動、車線変更直前と車線変更直後の組み合わせが確認することができた。

b) 追越車線から走行車線への車線変更

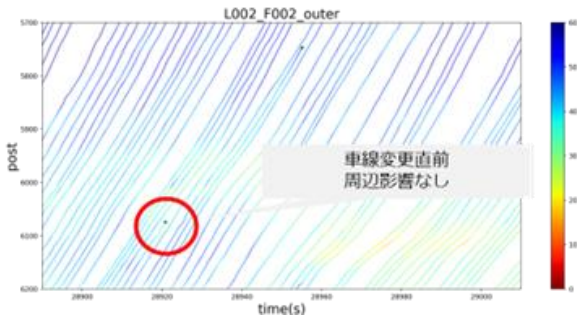
追越車線から走行車線の車線変更直前と車線変更直後の車線変更の相互関係を表-9 に示す。速度吸収型と周辺影響なしの組み合わせがあり、車線変更直前のとき、渋滞緩和の効果を及ぼし、車線変更直後のとき周辺に対し、悪影響を及ぼすことなく車線変更を行うことができる車線変更行動を確認することができた。また、走行車線から追越車線への車線変更の一例として車線変更行動を TS 図で示した例を図-15 に示す。図-15 では、車線変更直前で「速度吸収型」、車線変更直後では「周辺影響な

表-8 車線変行動の相互関係（走行から追越）

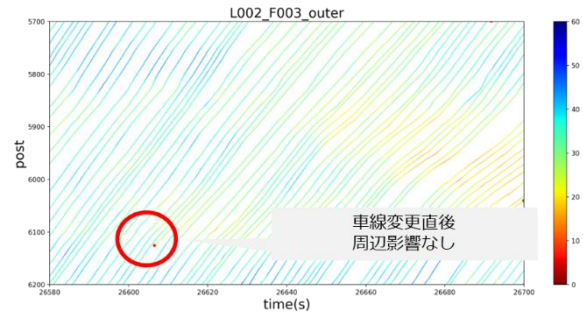
		車線変更直後		
		周辺影響なし	譲り減速型	需要増加型
車線変更直前	周辺影響なし	3	13	6
	後方減速型	0	0	1
	速度吸収型	0	0	0

表-9 車線変行動の相互関係（追越から走行）

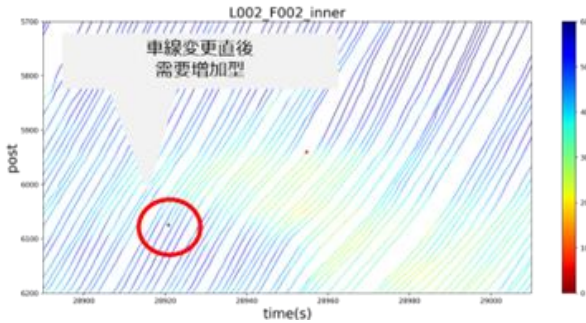
		車線変更直後		
		周辺影響なし	譲り減速型	需要増加型
車線変更直前	周辺影響なし	0	0	0
	後方減速型	0	0	6
	速度吸収型	8	2	5



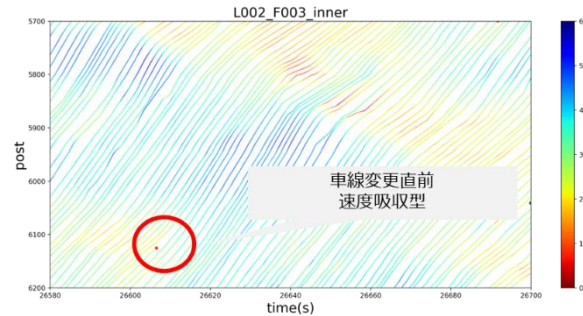
走行車線（周辺影響なし）



走行車線（周辺影響なし）



追越車線（需要増加型）



追越車線（速度吸収型）

図-14 走行から追越の車線変更の一例

図-15 追越車線から走行車線への車線変更の一例

し」であり、悪影響を及ぼすことなく車線変更を行うことができる車線変更行動を確認することができた。

5. おわりに

(1) 本研究のまとめ

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明らかにするため、車線変更行動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した。初めに車線変更行動と周辺車両への影響に関して仮説を措定した。その仮説に基づき、機械学習による車線変更行動の類型化について仮説の検証を行った。次に車線変更前後の車線変更直前と車線変更直後の関係性について確認を行った。その結果を以下に示す。

- 車線変更行動と周辺車両の影響に関して仮説を立て、機械学習による車線変更行動の検証から、仮説の通り周辺車両の影響に対して影響を及ぼす可能性がある車線変更行動の傾向を確認した。

- 交通状態によっては、周辺車両に対して悪影響を与えることなく全体の交通流状態を改善する可能性のある車線変更行動を確認した。
- 1つの車線変更行動において車線変更直前と車線変更直後の相互関係を確認したところ、車線変更行動の車線変更直前と車線変更直後のタイプの組み合わせによっては、周辺に対して悪影響を及ぼす車線変更行動もあれば、全体の交通状態を改善するような車線変更行動があることを確認した。

以上より、周辺車両の運転挙動、または全体の交通流状態に対して悪影響を及ぼす可能性がある車線変更行動を確認できた。さらに悪影響を及ぼすだけではなく、周辺車両に対して全体の交通流状態を改善できる可能性がある車線変更行動も確認できた。これらの結果、知見は、例えば動的な車線利用マネジメント環境において交通状態の改善を促す車線変更の指示が出ているが、交通状態によっては、車線変更を行うと周辺に対して悪影響を及ぼす状態において敢えて車線変更を行わない制御の目安となりうるであろう。これは、今後の自動運転車両やコ

ネクティッド車両を活用した動的な車線利用マネジメントにおいて、より最適で効率的な車線利用マネジメントを行うための基礎的な知見になると考えられる。

(2) 今後の課題及び展望

車線変更行動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し、仮説を立てた車線変更行動を確認することができ、交通状態によっては周辺車両に対して悪影響を及ぼす車線変更行動があることが明らかになった。現段階では、機械学習による類型化を行ったが、具体的な基準や数値に基づいた判断や分析ではなく、主観的な分類にとどまっている。そのため、車線変更行動による減速や車間距離の推移、後方車両への SW の進行速度など具体的かつ定量的な指標による判断が求められる。また、前後車両と車線変更車両の運転挙動のみのデータを使用しており、分類においてもクラスター毎の車両の車速や車間距離の平均値に基づく判断により分類を行っている。今後、より車線変更行動の分類、周辺車両に対する影響を明らかにしていくためには、前後車両だけではなく後方 2, 3...台の車両の運転挙動を考慮した分析が必要になると考える。さらに本研究では、車線変更時の車速が 40km/h の車線変更行動のみを対象にしたが、より幅広く車線変更行動について明らかになるべきであろう。

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」, 2023 年 1 月 18 日閲覧, <https://www.mlit.go.jp/common/001123977.pdf>
- 2) 東日本高速道路株式会社：高速道路の渋滞解消・緩和対策, 2023 年 1 月 18 日閲覧, https://www.enexco.co.jp/csr/connect/best_way/03traffic.html
- 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, 第 458 号/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) 増本裕幸, 飛ヶ谷明人, 兒玉崇, 北澤俊彦, 鈴木健太郎, 友枝ゆかり, 李竜煥：阪神高速道路における速度回復等の効果検証と効率的な運用方法について, 交通工学論文集, 第 4 巻, 第 3 号 (特集号 A), pp.B_1-B_9, 2022.
 - 8) 洪性俊, 田中伸治, 桑原雅夫：首都高速道路の合流部における動的変換チャネリゼーション導入効果の評価手法に関する研究, 生産研究, 第 62 巻, 第 2 号, 2010.
 - 9) 塩見康博, 谷口知己, 宇野伸宏, 嶋本寛：個別車両データ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.
 - 10) 服部友哉, 塩見康博：都市高速道路合流部における車線利用率と旅行時間の関係に関する研究, 交通工学論文集, 第 8 巻, 第 2 号 (特集号 A), pp.A_159-A_168, 2022.
 - 11) Hu, X., Sun, J.: Trajectory optimization of connected and autonomous vehicles at a multilane freeway merging area. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2019, 101, pp. 111-125.
 - 12) 塩見康博：高速道路における動的な速度マネジメントについて, 国際交通安全学会誌, Vol.45, No.3, pp.172-181, 2020.
 - 13) 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平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.
 - 14) Y. Hattori, Y. Shiomi, M. Sano, H. Matsunaga : Evaluation of a dynamic lane assignment on urban freeways by using a microscopic traffic flow simulation, *Proceedings of Transportation Research Board annual meeting 2023*
 - 15) Z. Zhang, S. Ahn, D. Chen, J. Laval: The effects of lane-changing on the immediate follower: Anticipation and relaxation, and change in driver characteristics, *Transportation Research Part C*, Vol.26, pp.367-379, 2013.
 - 16) 阪神高速道路株式会社：Zen Traffic Data：データの特徴, 2023 年 1 月 19 日閲覧, <https://zen-traffic-data.net/outline/>
 - 17) T. Seo, Y. Tago, N. Shinkai, M. Nakanishi, J. Tanabe, D. Ushirogouchi, S. Kanamori, A. Abe, T. Kodama, S. Yoshimura, M. Ishihara, W. Nakanishi: Evaluation of large-scale complete vehicle trajectories dataset on two kilometers highway segment for one hour duration: Zen Traffic Data, *International Symposium on Transportation Data & Modelling (ISTDM2021)*, 2021

(2023.?.? 受付)

ANALYSIS OF THE IMPACT OF LANE CHANGES ON TRAFFIC FLOW

Yuya HATTORI, Yasuhiro SHIOMI