

博士論文

Disertation of Engineering

都市内高速道路上での運転行動の経年変化が交通流全体に
与える影響に関する研究

*A Study on the Effects of Changes in Driving Behavior over Time on Overall Traffic Flow on the
Tokyo Metropolitan Expressway*

横浜国立大学 大学院 都市イノベーション学府 都市イノベーション専攻

20WA002 池谷 風馬

IKEYA Fuma

*Institute of Urban Innovation,
Yokohama National University*

指導教員

Academic Supervisor

横浜国立大学 大学院 都市イノベーション研究院
教授 田中 伸治

2022年12月

December 2022

博士論文 要旨
都市内高速道路上での運転行動の経年変化が交通流全体に
与える影響に関する研究
20WA002 池谷 風馬

車両感知器データが実装されて以降、数十年が経過したことにより、近年同一区間において長期にわたる交通状況をモニタリングし、分析を行っている研究が増えている。これらの結果から、道路形状に変化がない同一区間であっても交通容量や 99%タイル値交通量が経年減少していることが示されている。そして、その要因として運転行動や車両挙動の変化が考察されているものの具体的に明らかにはされていない。

これらの背景を踏まえ、本研究では「運転行動の変化・経年変化が交通流全体に与える影響を定量的に把握し、それがもたらす社会的な意味を明らかにすること」を目的として、既往研究の整理や実データ・シミュレーションによる分析を行った。

運転行動の変化によって車両挙動が変化し、その結果として追従挙動が変わり、そして交通流に影響を与えるという研究の軸をもとに、国内外におけるこれまでの既往研究を整理したところ、分析手法自体は多種多様に存在しているものの、経年変化に着目した研究が少なく、運転行動から交通流までの一貫して分析している研究も少ないという点に研究の余地が存在することが明らかになった。

以上をもとに、首都高速道路の複数の地点を対象に、2016年から2021年までの車両感知器データや、ドライビングシミュレータから得られた現在の運転行動データを用いて、運転行動の変化・経年変化が交通流にどのような影響を与えるか分析を行った。

車両感知器データでの分析では、車両挙動や交通流の変化を、5分間データを用いたマクロ的な視点からの分析とパルスデータを用いたミクロ的な視点からの分析を行った。5分間データを用いた分析では、全データを対象に作成した QV 図や算出した 99%タイル値交通量の結果から、全ての区間で交通容量が経年減少していることを示した。一方で 99%タイル値速度に関しては、区間ごとに変化が異なり、一定の傾向が見られないことを示した。パルスデータを用いた分析では、はじめに交通状況の分類を行った。QV 図より交通状況を非渋滞流、臨界流、渋滞発生前後、渋滞流に分類し、それぞれの状況の変化を測る上で適した指標を用いて経年変化を分析した。

臨界流に関しては、臨界速度に着目して、経年変化を分析した。画像処理に用いられ交通分野で応用が可能である Kittler 法を用いて自動的に臨界速度の算出を行った。算出結果より、臨界速度の増減に一定の傾向が見られず、多くの地点で変化幅が 5km/h であったことからほぼ変化していないと考察を行った。

渋滞発生前後に関しては、はじめに交通量の変化を分析した。分析結果より、渋滞発生前は対象の全区間で減少していることを示した。渋滞発生後も右側車線では交通量の増加が見られ、左側車線では減少が見られたことを示した。この要因をさらに細かく明らかにするために、交通流における車群内の車頭時間、車群構成台数、車群発生率に着目して、経年変化を分析したところ、交通量が減少していた区間では車頭時間や車群発生率が増加し、車群構成台数は減少傾向にあることを示した。また車頭時間が増加した傾向として、大型車混入

博士論文 要旨
都市内高速道路上での運転行動の経年変化が交通流全体に
与える影響に関する研究
20WA002 池谷 鳳馬

率に着目したところ、2019年から2021年にかけて増加している区間が多く、運転行動の他にも大型車混入率が影響している可能性も示唆した。

非渋滞流に関しては、自由速度に着目して、経年変化を分析した。分析結果より、99%マイル値速度に関しては2019年が最小速度なる地点が多いことを示し、年平均日交通量との関係から99%マイル値速度での交通密度が変わったことによる影響と考察した。交通密度をそろえた状況での分析では、ほとんどの地点で経年減少していることを示し、前に車両がない状態であっても、これまでよりも速度を上げない車両が増加している可能性があることを考察を行った。

渋滞流に関しては、渋滞密度とBW速度に着目して、経年変化を分析した。Drakeの式を用いた渋滞密度の推定結果では、区間ごとに変化が異なり、一定の傾向が見られないことを示した。しかし、この値と実データをもとにBW速度を推定した結果、全ての区間において2016年から2021年にかけて減少しており、そのうち9割の区間では経年減少していることがわかった。

アンケート調査では、既往研究を参考に運転意図を評価する2種類のアンケートを実施し、運転意図による運転者の分類を行った。人間生活工学研究センターが開発したDSQでは、男女共に最高得点と最低得点の尺度が同じになり、運転者全体として悩みや気分の浮沈によって運転行動が変化しやすく、一時停止や徐行などを疎かにしてしまう傾向にあることを考察を行った。また得られた得点より、クラスター分析を行ったところ、「運転スキルへの自信」や「ステイタスシンボルとしての車」、「心配性的傾向」、「運転に対する消極性」の尺度の得点差から、5つのクラスターに分類できることを示した。WSQでは、男女で得点に差が生じ、女性の方が全体的に高い結果となった。一方で、標準偏差は男性の方が高くなっていることから、運転に対する負担は、男性の場合高く感じる人も低く感じる人も存在するが、女性の場合全体的に高く感じていることを考察を行った。また得られた得点より、クラスター分析を行ったところ、運転に対して感じる負担の程度の差から、4つのクラスターに分類できることを示した。

アンケート調査実施後、回答者のうち20名に協力いただき、さまざまな交通状況における運転行動のデータを取得することで、ドライビングシミュレータ実験による運転意図と運転行動の関係性の分析を行った。非渋滞流における走行速度に着目した実験では、WSQのクラスター結果より走行速度の個々の違いを判断することができると考えられ、運転負担感が高い人ほど走行速度が遅くなる傾向にあることを示した。臨界流における車頭時間に着目した実験では、DSQのクラスター結果より車頭時間の個々の違いを判断することができると考えられ、「心配性的傾向」、「運転に対する消極性」の尺度の得点が短い人ほど車頭時間が長くなる傾向にあり、これらの得点が平均的であったクラスターが最も車頭時間が短くなっていることを示した。渋滞流における希望最小車頭距離と反応時間に着目した実験では、DSQのクラスター結果より希望最小車頭距離の個々の違いを判断するこ

博士論文 要旨
都市内高速道路上での運転行動の経年変化が交通流全体に
与える影響に関する研究
20WA002 池谷 鳳馬

とができると考えられ、臨界流の車頭時間と同様の傾向で、「心配性的傾向」、「運転に対する消極性」の尺度の得点が短い人ほど希望最小車頭距離が長くなる傾向にあり、これらの得点が平均的であったクラスターが最も希望最小車頭距離が短くなっていることを示した。また、WSQのクラスター結果より反応時間の個々の違いを判断することができると考えられ、非渋滞流の走行速度と同様の傾向で、運転負担感が高い人ほど反応時間が早い傾向にあることを示した。また同様の交通状況における実データとクラスターの構成率を現状に即した状況に整理したドライビングシミュレーション結果による車頭時間分布を統計的に比較することで再現性が確保されていることを示した。

これらの分析結果から得られた運転行動の経年変化が交通流の安全性や円滑性に与える影響をシミュレーションを行うことで推測した。交通流内の各車両のPICUD指標に着目した推測では、全ての区間において2021年で危険性のある車両が最も少ない結果となり、2016年から2021年にかけて交通流内の安全性が改善されたことを示唆した。また交通流の特定の車両の走行位置やボトルネック到達時間に着目した分析では、走行位置は2021で最も長くなっていることが示されたものの、到達時間は減少している区間や最大でも30秒未満の増加となっていることが示された。このことから2016年から2021年にかけて交通流内の円滑性が若干の低下もしくはほぼ変化がないことを示唆した。現在から未来に関して、自動運転購買意向をもとに一部が自動運転に置き換わると仮定し、先ほどと同様のデータを用いて、それぞれでモンテカルロシミュレーションを行った結果、交通流の潜在的な衝突危険性に着目した分析では、自動運転車両が普及するほど交通流内の安全性が改善され、普及率が20%程度になると事故を起こす可能性のある車両がほぼ存在しなくなることを示唆した。また交通流の特定の車両の走行位置やボトルネック到達時間に着目した分析では、初期段階では普及するほどに走行位置が増加し、到達時間も長くなるが、それ以降では普及率が上がるほどにどちらの指標も減少することを示唆した。これらの分析結果より、人々の自動運転車両の購入意向とそれに基づく自動運転の普及に着目すると、交通流全体では潜在的な衝突危険性が減少することで安全性が向上し、特定の車両の走行位置や到達時間は現状に近くなることから円滑性は不変もしくは若干改善する可能性があると考えられる。

以上の分析より、運転行動が変化・経年変化していることが明らかになり、その結果として、交通流の安全性は改善し、円滑性は若干低下していることを示唆した。また、自動運転普及により、交通流の安全性はさらに改善し、円滑性は不変もしくは若干改善する可能性があることを示した。

目次	
図表一覧	vi
1 序論	2
1.1 研究の背景	2
1.2 現状における問題点	4
1.3 本研究の意義	6
1.4 本研究の軸と目的	7
1.5 本研究で使用する用語の定義	8
1.5.1 運転行動や車両挙動に関する用語の定義	8
1.5.2 交通流に関する用語の定義	9
1.6 本研究の構成	10
2 運転行動と交通流に関する既往研究の整理	13
2.1 本研究において着目する視点	13
2.2 運転行動や車両挙動に着目した研究	14
2.3 追従挙動に着目した研究	19
2.4 交通流に着目した研究	24
3 本研究の対象とその現況把握	29
3.1 本研究の対象	29
3.1.1 対象区間	29
3.1.2 対象となる現象	34
3.2 対象となる交通流に関する現況把握	34
3.3 運転行動の変化に着目しているこれまでの取組みの把握	39
3.3.1 首都高速道路で行われている取組み	39
3.3.2 首都高速道路以外で行われている取組み	41
4 実データを用いた交通流の経年変化に関する分析	43
4.1 本章の視点と構成	43
4.2 本研究で使用するデータ	44
4.3 マクロ的な視点からの交通流の経年変化分析	46
4.4 ミクロ的な視点からの交通流の経年変化分析	51
4.4.1 臨界流に着目した交通流の経年変化分析	53
4.4.2 渋滞発生前後に着目した交通流の経年変化分析	56
4.4.3 非渋滞流に着目した交通流の経年変化分析	69
4.4.4 渋滞流に着目した交通流の経年変化分析	75
4.5 小括	78
5 運転意図の異質性に関する分析	80
5.1 本章の視点と構成	80

5.2	アンケート調査に基づく運転意図の異質性の確認.....	81
5.2.1	使用するアンケートの概要とその目的.....	81
5.2.2	回答結果に基づく運転者の運転意図の確認.....	82
5.2.3	クラスター分析による運転意図に基づく運転者の分類.....	86
5.3	運転意図の異質性に基づく運転行動の特徴に関する分析.....	95
5.3.1	ドライビングシミュレータ実験の概要とその目的.....	95
5.3.2	運転意図の異質性に着目した非渋滞流での走行速度の差異.....	97
5.3.3	運転意図の異質性に着目した臨界流での車頭時間の差異.....	100
5.3.4	運転意図の異質性に着目した渋滞流での希望最小車頭距離・反応時間の差異.....	103
5.4	ドライビングシミュレータ実験結果の再現性の確認.....	106
5.5	小括.....	109
6	運転行動の経年変化がもたらす交通流全体への影響.....	112
6.1	本章の視点と構成.....	112
6.2	車両感知器データを用いた経年変化による交通流への影響予測.....	113
6.2.1	渋滞流内の安全性への影響.....	113
6.2.2	渋滞流内の渋滞長への影響.....	116
6.3	自動運転購買意向による交通流への影響予測.....	118
6.3.1	渋滞流内の安全性への影響.....	122
6.3.2	渋滞流内の渋滞長への影響.....	123
6.4	小括.....	124
7	結論.....	126
7.1	各分析における成果.....	126
7.2	本研究の交通工学における貢献.....	130
7.3	本研究の課題と今後の展望.....	131
	謝辞.....	141

図表一覧

図 1-1	本研究の軸	7
図 1-2	本研究の流れ	11
図 2-1	リスクテイキング行動のモデル図 ¹⁸⁾	14
図 3-1	都市内高速道路における分析対象区間	29
図 3-2	渋谷線上り 5.62kp 付近 (図 3-1 : ①) (Google map より引用)	30
図 3-3	渋谷線上り 5.86kp 付近 (図 3-1 : ②) (Google map より引用)	30
図 3-4	新宿線上り 6.93kp 付近 (図 4-5 : ③) (Google map より引用)	31
図 3-5	新宿線上り 8.53kp (図 4-5 : ④) (Google map より引用)	31
図 3-6	新宿線下り 11.76kp 付近 (図 4-5 : ⑤) (Google map より引用)	32
図 3-7	都心環状線内回り 5.28kp 付近 (図 4-5 : ⑥) (Google map より引用)	32
図 3-8	対象期間における首都高速道路の年間通行台数 ¹⁰³⁾ (筆者作成)	35
図 3-9	乗用車の年度生産台数と ASV 技術普及割合 ⁶⁾ (筆者作成)	36
図 3-10	大型車の年度生産台数と ASV 技術普及割合 ⁶⁾ (筆者作成)	36
図 3-11	乗用車の保有台数と ASV 技術普及率の概算 ⁶⁾¹⁰⁴⁾ (筆者作成)	37
図 3-12	大型車の保有台数と ASV 技術普及率の概算 ⁶⁾¹⁰⁴⁾ (筆者作成)	38
図 3-13	首都高速道路に設置されているエスコートライト ¹⁰⁹⁾	39
図 3-14	首都高速道路の長期試験で用いられた可変チャネルリゼーション ¹⁰⁹⁾	40
図 3-15	首都高速道路で実施されたロードプライシングとその効果 ¹⁰⁹⁾	40
図 4-1	都市内高速道路における分析対象区間 (再掲)	44
図 4-2	超音波式車両感知器の例 ¹¹⁷⁾	44
図 4-3	超音波式車両感知器の概要 (パルスデータの場合)	45
図 4-4	5 分間データを用いた QV 図の経年変化	46
図 4-5	99%タイル値交通量の経年変化	47
図 4-6	99%タイル値速度の経年変化	48
図 4-7	年平均日交通量の経年変化	50
図 4-8	経年比較対象の交通流	51
図 4-9	パルスデータを用いた対象区間の QV 図の経年変化	52
図 4-10	kittler 法による臨界速度算出のイメージ ⁸⁹⁾	53
図 4-11	本研究と既往研究の速度ヒストグラムの比較	54
図 4-12	走行速度の累積割合分布と 99%タイル値速度の例	69
図 4-13	対象区間における走行速度の累積割合分布 (左側車線)	70
図 4-14	対象区間における走行速度の累積割合分布 (右側車線)	71
図 4-15	交通流の基本図	75
図 5-1	DSQ に基づくデンドログラム	86
図 5-2	各クラスターの DSQ の尺度の平均得点	87

図 5-3	WSQに基づくデンドログラム	90
図 5-4	各クラスターのWSQの尺度の平均得点	91
図 5-5	ドライビングシミュレータコース（新宿線(上)_8.53kp）	95
図 5-6	ドライビングシミュレータコース（渋谷線(上)_5.86kp）	96
図 5-7	非渋滞流の走行速度計測時の走行条件	97
図 5-8	臨界流の車頭時間計測時の走行条件	100
図 5-9	渋滞流の希望車頭距離・反応時間計測時の走行条件	103
図 5-10	実際の車頭時間とシミュレーション結果	107
図 5-11	各区間のシミュレーション結果の再現性の確認	108
図 6-1	対象地点における車頭時間分布	113
図 6-2	アンケート調査における回答結果（n=400）	119

表 3-1	対象区間の上流・下流部の分合流部の名称と接続車線	33
表 4-1	99%タイル値交通量の経年変化	48
表 4-2	99%タイル値速度の経年変化	49
表 4-3	交通状況別の対象となる追従挙動や車両挙動に関する指標	52
表 4-4	各区間の年度別臨界速度の推定結果	55
表 4-5	推定臨界速度による各区間の渋滞発生時刻	56
表 4-6	渋滞発生直前直後における5分間交通量	57
表 4-7	交通量の変化の有意性	58
表 4-8	車群内の平均車頭時間と分散	59
表 4-9	平均車頭時間の変化の有意性	60
表 4-10	対象区間の年度別車群構成台数と車群発生率	62
表 4-11	車群構成台数の変化の有意性	63
表 4-12	対象区間の年度別大型車混入率	64
表 4-13	対象区間における大型車混入による補正率	65
表 4-14	対象区間の年度別99%タイル値速度	71
表 4-15	高速道路におけるLOSの基準 ¹²¹⁾	72
表 4-16	各区間における年度別LOS-Bまでの平均走行速度と分散	73
表 4-17	Drakeの式より推定した各区間における年度別渋滞密度	76
表 4-18	Drakeの式より推定した各区間における年度別BW速度	77
表 5-1	WEBアンケート調査実施日と対象者	81
表 5-2	運転スタイルの尺度と質問項目の例	82
表 5-3	性別および全体におけるDSQの各尺度の平均と標準偏差	83
表 5-4	運転負担感受性の尺度と質問項目の例	84
表 5-5	性別・全体におけるWSQの各尺度の平均と標準偏差	84
表 5-6	DSQの得点にもとづくクラスター分析結果	86
表 5-7	クラスターごとの運転頻度	88
表 5-8	クラスターごとの運転目的	89
表 5-9	WSQの得点にもとづくクラスター分析結果	90
表 5-10	クラスターごとの運転頻度	92
表 5-11	クラスターごとの運転目的	93
表 5-12	被験者のクラスターの分布	95
表 5-13	ドライビングシミュレータ概要	96
表 5-14	DSQのクラスターに基づく非渋滞流の走行速度の平均と分散	97
表 5-15	WSQのクラスターに基づく非渋滞流の走行速度の平均と分散	98
表 5-16	クラスターごとの走行速度の有意性	99
表 5-17	DSQのクラスターに基づく臨界流での車頭時間の平均と分散	100

表 5-18	WSQ のクラスターに基づく臨界流での車頭時間の平均と分散	101
表 5-19	クラスターごとの車頭時間の有意性	102
表 5-20	DSQ のクラスターに基づく渋滞流での希望最小車頭距離	103
表 5-21	WSQ のクラスターに基づく渋滞流での希望最小車頭距離	104
表 5-22	DSQ のクラスターに基づく渋滞流での反応時間	105
表 5-23	WSQ のクラスターに基づく渋滞流での反応時間	105
表 5-24	交通流内に存在していると考えられる各クラスターの割合	106
表 6-1	対象地点における平均速度	113
表 6-2	ボトルネックから 2000m 以内の負の PICUD 指標を持つ台数	114
表 6-3	ボトルネックから 200 台目までにおける負の PICUD 指標を持つ台数	114
表 6-4	対象区間における 200 台目の車両の走行位置	116
表 6-5	対象区間における 200 台目の車両の到達時間	116
表 6-6	手動運転車両と自動運転車両の違い	118
表 6-7	「そう思う」と回答した人が属するクラスターと運転頻度	119
表 6-8	「どちらかといえばそう思う」と回答した人が属するクラスターと運転頻度	120
表 6-9	パターンごとの交通流内における自動運転車両の普及率	121
表 6-10	パターン別のボトルネックから 2000m 以内の負の PICUD 指標を持つ台数	122
表 6-11	パターン別のボトルネックから 200 台目までの負の PICUD 指標を持つ台数	122
表 6-12	パターン別の対象区間における 200 台目の車両の走行位置	123
表 6-13	パターン別の対象区間における 200 台目の車両の到達時間	123

第1章

序論

1 序論

1.1 研究の背景

交通工学においては、交通性能を測る指標として、速度や交通密度、交通容量などがよく用いられてきた。速度は、トラフィック機能を重要視する高速道路において、交通の円滑性を担保する面から非常に重要な指標となっている。交通密度や交通容量においても同様に、交通渋滞対策の検討や道路のサービスレベルを判断する上で、非常に重要な指標となっている。

交通容量を算出する場合は、実際の道路状況に応じて、道路幅員や沿道状況、都市部か地方部かなどを考慮した補正係数を用いて計算を行う。この補正係数は、1984年に出版された「道路の交通容量」¹⁾において設定されて以降変更がなく、運転行動や交通条件などによる、算出される交通容量への経年的な影響は、これまで考慮されていなかった。一方で、実際の交通容量については、運転環境などの多様化に伴う運転行動の変容により、経年変化しているのではないかとの指摘がある²⁾。

実際に、1984年と比較して、交通を取り巻く状況は大きく変化している。一般社団法人日本自動車販売協会連合会の統計データ³⁾によると、新車登録台数は、1985年時点で約51.2%がマニュアル車であったのに対し、2019年時点ではマニュアル車の割合が約1.4%と大きく減少している。実際にマニュアル車を運転することへの関心も変化しており、警察庁が公表している運転免許統計⁴⁾によると、2001年の運転免許試験普通車合格者のうち、AT限定の割合は約29.9%であったのに対し、2021年ではAT限定の割合が約71.0%まで単調増加している。マニュアル車とオートマチック車では、操作性が大きく異なることから、細かい操作が必要とされる臨界状態では車両挙動に変化が生じ、交通流全体も変化してきている可能性が考えられる。

運転に関する車両性能に関しても大きく状況が変化してきている。近年、先進安全自動車(ASV)に対する関心が高まってきており、国土交通省の資料⁵⁾によると、ASVを代表する衝突被害軽減ブレーキの生産台数における整備率は2011年では全台数の約1.4%であったのに対し、2019年では全台数の93.7%まで単調増加している。また、Adaptive Cruise Control (ACC) の整備率も同様に、2011年の約0.1%から2019年には約24.8%まで単調増加している。特にACCに関しては、先行車との車間を制御するものであるため、ACCの普及によって、交通流率や実績最大交通量が大きく変化している可能性が考えられる。

高速道路に着目すると、車両感知器からのデータを用いて交通流を分析し、道路の利用実態を明らかにしようとする研究²⁾が数多く存在する。他にも、ETC2.0によるプローブデータの活用など、よりミクロな視点での研究も存在している。上記で述べた観測機の実装から一定時間が経過したことにより、近年では同一区間において、10年を超えるスパンで観測データが蓄積されるようになった。そのため、全国各地において、このデータを用いた同一区間の長期的な交通容量の経年変化を分析した研究が行われ始めている。

高速道路内の交通流の経年変化が目に見える形になって現れているのは、渋滞発生原因である。岡野らの研究⁸⁾により、1997年の高速道路全体における渋滞原因の割合は、料金所で発生するものが一番高く約30%を占め、次にサグ部で発生するもので約29%を占めていることがわかっている。しかし、ETCのサービスが開始された2001年以降、ETCの普及に伴い、料金所での渋滞が減少していき、東日本高速道路株式会社の資料⁹⁾によると、2021年には、サグ部での渋滞が約63%と一番高く、料金所での渋滞は約1%となっており、以前に比べて大幅に減少している。このように、新たな技術の導入によって、交通流が大きく変わることがわかっている。

前述の研究によって、日本各地における道路の交通容量の長期的逡減を明らかにしているが、具体的な要因まで言及しているものは存在しない。

1.2 現状における問題点

上記で述べた背景から生じる現状の問題点を整理する。これまでの数多くの研究から、交通渋滞は交通容量の値に依存することが分かっている。そのため、実際の交通容量が経年変化により通減することで、現状の交通渋滞がより悪化すると考えられる。同様に、今まで交通渋滞が発生していなかった区間においても、交通容量の通減によって、超過需要が生じ、交通渋滞が発生する可能性がある。

また、道路を計画する際に用いる交通容量に関して、同一区間における交通容量の通減は、これまで考慮されていなかった。計画時に用いる交通容量と実際の交通容量に乖離が生じることで、道路計画時には予測できない交通渋滞が発生する可能性がある。

ミクロな視点でみると、交通渋滞が悪化した場合、渋滞に巻き込まれる車両が増加し、それに伴い、ブレーキを踏む機会が増加すると考えられる。これによって、事故件数の増加や排気ガスの増加による環境汚染などの問題が生じると考えられる。

交通流内の安全性についても変化が生じていると考えられる。大口らの研究¹⁰⁾によると、車両感知器データからの事故率をもとに交通流内の安全性を分析した結果、自由流よりも臨界流や渋滞流において、事故率は50倍以上高くなることが示されている。交通容量の経年減少しているものの、交通需要やそのピークに大きな変化が生じていない場合、1日あたりの渋滞状態の時間は長くなり、その結果として交通流内の安全性も損なわれている可能性が考えられる。

長期的な交通容量の通減について、これまで着目した研究が少なく、通減に関して分析を行うのに適当な過去のデータが少ない。故に、要因を明らかにするための実データでの分析が困難であると考えられる。

交通容量の通減に関して、具体的な要因は明らかにされていないものの、現在も起きている現象であることを踏まえると、近年になって車両に搭載するようになったカーナビやACCなどの装置が影響しているのではないかと考えられる。要因が明らかにされない場合、今後も上記で述べた装置が普及することによって、交通容量の通減がさらに進む可能性がある。

また運転行動などの変化によって交通容量などの交通流が変化している場合、将来の交通流の予測やそれに伴う交通運用の面でも対応すべき問題や課題が生じると考えられる。まずは、自動運転車両の普及過程における交通流への影響である。寺田らの研究¹¹⁾を例に、自動運転車両と手動運転車両が混在した状況における交通流を予測する研究は複数存在する。どの研究であっても、手動運転車両と自動運転車両では追従挙動が異なることが仮定に置かれており、それに基づく分析が行われている。そのため、自動運転車両の普及に伴い、交通流全体も変化していく可能性が考えられる。

他にも、少子高齢化に伴う交通流への影響も考えられる。内閣府が公表している交通安全白書¹²⁾¹³⁾によると、運転免許保有者数は2001年から2021年までで約7550万から約8190万人と増加しているものの、20代の保有者数は約1570万人から約1260万人と減少している。このことから、交通流内の高齢化が発生していると考えられる。加齢によって変化が生じると考えられる反応時間は、交通流内の安全性を測る上でも重要な指標となっている。交通容量の経年減少により渋滞が生じやすくなり、高齢化によって交通流内の安全性が損なわれていくことで、これからの交通流は現状とさらに異なっていく可能性が考えられる。

1.3 本研究の意義

1.2で述べた現状における問題点を基に本研究を行う意義を以下に記述する。本研究の新規性として、運転行動と交通流の関係の中でも経年変化に着目している点が挙げられる。車両感知器の実装から一定時間が経過したことによるモニタリング分析は、最近になって行われるようになったため、これに関する研究は非常に少ない。それらの研究において、運転行動の経年変化が交通流の変化の原因になっているのではないかという考察が存在するものの、実データや実験などを通して、定量的に明らかにしている研究は存在しない。

また、個々人の行動や考えから交通流の変化までを一貫している点は本研究の独創的な点に挙げられる。交通に関する分析を行う際に用いられるデータでは、車両感知器データやプローブデータが代表的である。これらのデータには、個人属性やその時の考えなどが含まれていないため、それらと分析結果を紐づけることが難しい。一方で、人々の考えを取り入れる分析は、インタビュー調査やアンケート調査でのデータが用いられることが多い。しかし、この調査の場合、サンプル数が限られてしまうことや実際の運転データが取得できないことから交通流全体を把握することが難しい。同じ目的のもとで車両感知器データやドライビングシミュレータによる走行データの取得、アンケート調査を実施することで、これまで分断されて行われていた分析を一貫して行うことができる。

本研究が社会に与えるインパクトとして、運転行動の経年変化による交通容量の通減が生じていることを明らかにすることで、新たな交通渋滞対策の検討方法や交通渋滞予測の方法の開発に貢献できることが挙げられる。加えて、「道路の交通容量」¹⁾の出版から35年以上変化が無かった交通容量の値が見直される可能性が生じる。この値が見直されることは、道路計画における基準値に変化を与えることになり、これまで以上に現状に即した車線数の設定や信号現示の設定に貢献できる可能性も考えられる。

運転行動に着目した新たな交通渋滞対策の具体例として、道路設計を変更することや交通需要を抑制することなく渋滞抑制や解消に貢献できる対策が挙げられる。今までの対策では、ハード面として大規模なインフラ投資によるバイパスの設置や車線数の増加があり、ソフト面として渋滞予報によるピーク時間の需要抑制などが行われている。しかし、土地取得の困難さや時間をずらしてもらうことには限界があり、上記の対策では全国的な渋滞抑制や解消として効果が限定されてしまう可能性がある。運転行動に着目したこれまでにない対策を提案できれば、場所によらず対策を行うことが可能になり、上記の対策と合わさって渋滞抑制や解消により貢献できると考えられる。

本研究の分析結果は、今後の交通流の経年変化を分析する上での起点となることや自動運転や新たな安全先進車両（ASV）などの普及過程における交通流の分析手法の提案が可能であるため、発展性を秘めた研究であると考えられる。現状では取得が難しい運転行動に関する過去のデータについて、本研究で用いたデータセットが起点となり、今後の交通流の経年変化に関する研究のに向けた適切なデータセットの構築を行うことができると考えられる。また、世界規模で開発が進められている自動運転やASVなどは今後さらに普及

していくと考えられる。自動運転やASVの運転行動がこれまでの運転行動と変化している場合、本研究の仮定を支持するのであれば、それらの普及過程において交通流は変化していく可能性が考えられる。現在では見られない状況の変化に対しても予測可能な手法の提案が可能になる。

1.4 本研究の軸と目的

以上の背景、問題点、研究の意義から本研究が着目する行動や現象を定め、研究の軸として図1-1のように設定する。図で示す流れのように、本研究では、運転者の意識などの変化が交通流全体の影響に及ぼしていると仮説を立てている。そのため、この仮説を明らかにするために、運転行動と車両挙動の関係、車両挙動と追従挙動の関係、追従挙動と交通流の関係を、それぞれの変化・経年変化に着目して明らかにする。それぞれの用語に関しては次節で定義する。

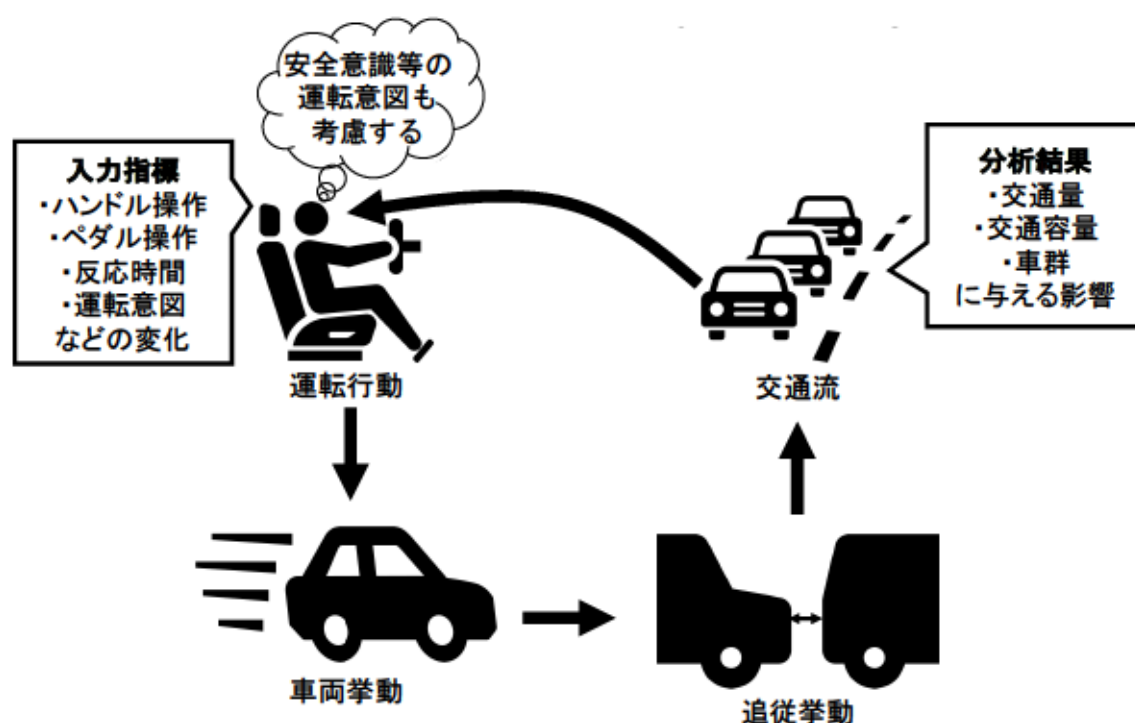


図 1-1 本研究の軸

上記の研究の軸をもとに、本研究の最終的な目的を、「運転行動の変化・経年変化が交通流全体に与える影響を定量的に把握し、それがもたらす社会的な意味を明らかにすること」と定める。

最終的な目的を達成するために、本研究では

- ・車両挙動の変化や経年変化が交通流全体に与える影響の定量的把握
- ・運転行動の異質性が車両挙動に与える影響の定量的把握
- ・上記の結果や経年変化を考慮した交通流における安全性と円滑性の変化の把握を行う。

1.5 本研究で使用する用語の定義

交通工学や交通計画、都市計画などの分野において、運転行動や交通流などで用いられる用語には様々な意味が存在する。分析やその後の考察などにおいて、一貫性を持たせるために本研究では以下の用語の定義をあらかじめ設定する。

1.5.1 運転行動や車両挙動に関する用語の定義

はじめに、運転行動や車両挙動など1台もしくは数台の車の動きに関する用語の定義を行う。

運転意図：

柳原らの研究¹⁴⁾では、運転意図の定義を「認知・判断の結果として形成される意図、すなわちドライバーが運転について考えること」としている。これを参考に、本研究では運転意図を「運転者が自分の運転に対する意識や現在の交通状況をもとに認知・判断し、車両の操作を行うために形成される意図」とする。具体的な例として、安全意識を強くもつ運転者が交通密度が高まってきた状況において、車間距離をとるためにアクセルを緩めたり、ブレーキを踏んだりすることが挙げられる。

運転行動：

運転行動や車両挙動などは同じ意味で使われることがある。本研究ではこれらを明確に区別し、運転行動は「運転者が運転意図に基づき車両を操作するための行動」と定義する。そのため、ブレーキを踏むことやハンドルを切ることなどの行動が該当し、反応時間なども該当する。

車両挙動：

上記で定義した運転行動に対して、車両挙動は「運転行動の結果として発現する車両の挙動」と定義する。ブレーキを踏んだ結果、車両速度が遅くなったり、車線変更が行われたりすることが該当する。

追従挙動：

追従挙動に関しては、追従挙動モデルとして多くのモデルが存在するように、共通認識として捉えられていることが多い。一方で、前の車との関係とそれを調整するための運転行動のどちらも含んでいる場合も存在する。本研究では、運転行動や車両挙動と追従挙動を区別するために、「交通密度が高い状態における先行車との関係性」と定義する。この定義による追従挙動には、車間距離や車頭時間、相対速度などが含まれる。

1.5.2 交通流に関する用語の定義

次に、複数台の車両によって形成される交通における用語について定義する。

交通容量：

交通工学における交通容量の定義は、「一定の道路条件と交通条件の下で、ある道路の断面を一定時間間隔内に通過することが期待できる最大車両台数」とされている。研究において、様々な解釈が存在する。本研究では、単に交通容量と記述する場合は、「実務面で用いられる実績最大交通量と観測された交通量の99%タイル値」を指すこととする。より詳細に分析を行う際には、実績最大交通量と99%タイル値交通量と記述する場合もある。

この定義以外などには、計算などで算出できる理論面での交通容量として、基本交通容量や可能交通容量、計画交通容量が存在する。これらの交通容量は、基本交通容量がはじめに算出され、補正係数や道路のサービス水準による低減率を考慮することで、計画交通容量が算出される。計画交通容量は、道路の車線数の決定など、道路計画において非常に重要な値となっている。分析結果に基づく考察においては、これらの交通容量にも着目するため、その場合には基本交通容量、可能交通容量、計画交通容量と記述する。

交通渋滞：

交通工学においては、「ボトルネックにその区間の交通容量を上回る交通流率の交通需要が到着した時に、当該区間の上流に生じる低速の待ち車両列によって形成される交通状態」と定義されている。一方で、この定義の場合、実際の交通流において、交通渋滞が発生した瞬間を捉えることが難しい。

そこで、実務における高速道路上の渋滞の定義に着目すると、様々な定義が存在する。西日本高速道路株式会社¹⁵⁾においては、「NEXCO 西日本の高速道路における渋滞とは、時速40km以下で低速走行、あるいは停止発進を繰り返す車列が1km以上かつ15分以上継続した状態を指します。」と定義されている。また、首都高速道路株式会社¹⁶⁾においては、「時速20km以下の交通流」を渋滞としている。これらの定義を参考に、また本研究での成果がどのような高速道路においても対応ができるように、本研究では交通渋滞を「交通流内の平均速度が臨界速度を下回ってから15分以上上回ることがない状態」と定義する。

1.6 本研究の構成

本研究の構成は以下の通りである。

第1章では、交通流の経年変化に関する背景を記述し、そこから導かれる現状の問題点を整理する。次に、示した問題点を基に本研究を行う意義を述べ、その意義に沿った本研究の軸と目的を設定する。また、本研究で使用する重要な用語の定義を記述する。

第2章では、既往研究のレビューを行う。これまでに行われてきた本研究に関わる研究を、運転行動に着目した研究、追従挙動に着目した研究、運転意図に着目した研究、交通流に着目した研究に分類した上で整理する。そして、これらの研究を概観し、本研究の位置づけを行う。

第3章では、本研究の対象となる地域と現象において記述する。本研究では、経年変化に着目した分析を行っているため、これらの対象において、どのように変化が生じていると考えられるか、データやこれまでの取り組みを参考に把握する。

第4章では、実データを用いて、本研究の対象となる高速道路の単路部における交通流の経年変化について分析を行う。マクロ的な視点として、車両感知器の5分間データを用いて、交通流の経年変化を分析する。ミクロ的な視点として、車両感知器のパルスデータを用いて、交通流の経年変化に対して、車両挙動や追従挙動がどのように変化してきているのか交通状況を区別して分析する。区別する交通状況は非渋滞流、実績最大交通量状態、渋滞発生前後、渋滞流である。

第5章では、アンケート調査やドライビングシミュレータ実験の結果を用いて、運転意図の異質性に着目した運転行動や車両挙動、追従挙動の変化に関する分析を行う。運転スタイルや運転中に受ける負担感の異質性をアンケート調査より明らかにし、クラスター分析を用いて回答者の分類を行う。回答者の一部に対して、ドライビングシミュレータ実験を行い、自由速度、車頭時間、希望最小車間距離、反応時間を算出し、分類ごとの運転行動の違いを明らかにする。

第6章では、これまでの章で示された結果をもとに、実データにおける車両挙動や追従挙動の経年変化や運転者属性の変化に着目し、それらの変化が実際の交通流にどのように影響を及ぼしているのか、シミュレーション結果をもとに考察を行う。シミュレーションでは、PICUD指標を用いた安全性、渋滞流内の渋滞長や旅行時間などの円滑性に着目して分析を行う。また、今後自動運転が普及していく中での交通流の変化過程についても分析を行う。

第7章では、本研究全体のまとめを行い、本研究の学問に対する貢献について整理し、今後の展望を記述する。

図1-2は、本研究の流れとそれに対応する章を表した図である。以下の流れに沿いながら、研究を進める。

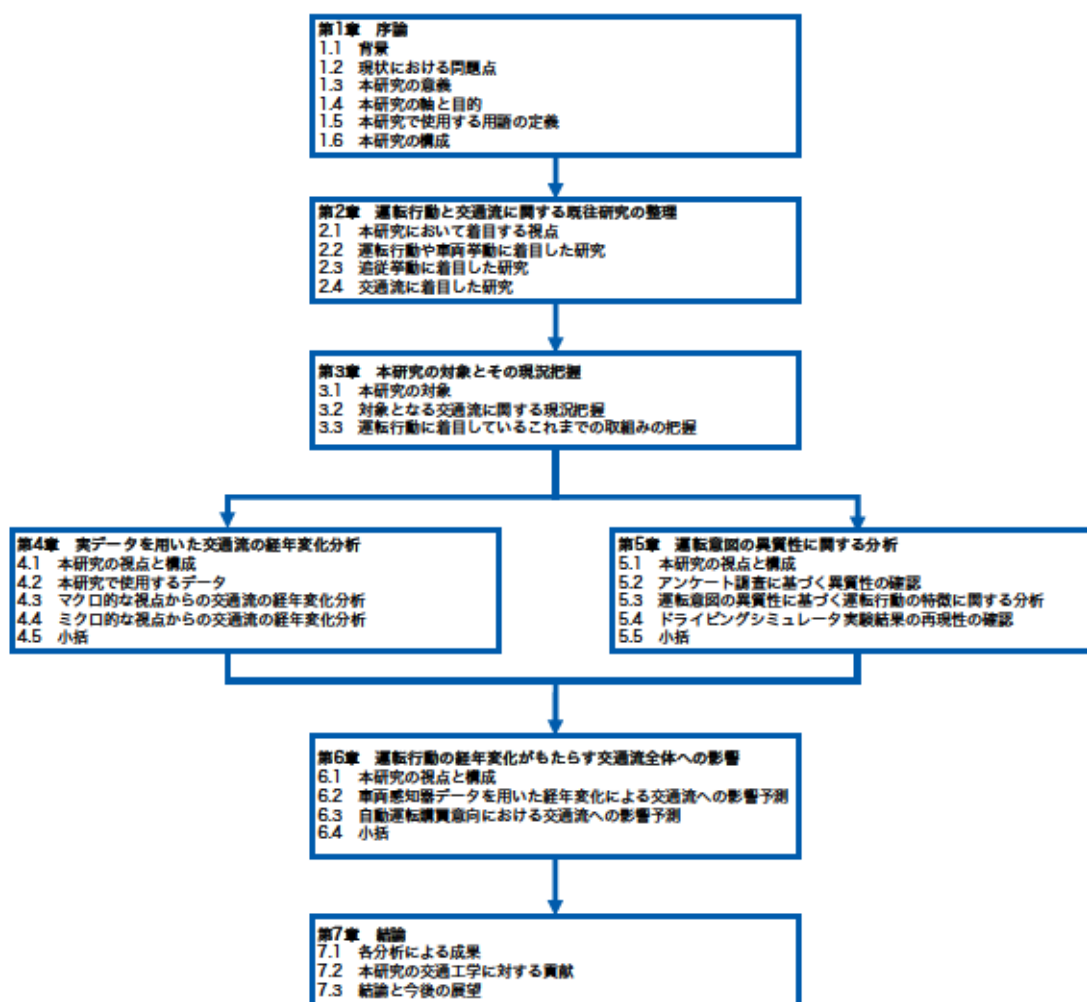


図 1-2 本研究の流れ

第2章

運転行動と交通流に関する 既往研究の整理

2 運転行動と交通流に関する既往研究の整理

2.1 本研究において着目する視点

運転行動や交通流に関わる既往研究は国内外問わず以前から行われており、運転行動や車両挙動、交通流などの各項目において総説論文が書かれるほど研究の数は豊富である。そこで本研究の対象である高速道路に着目している研究を中心に、本研究の軸を参考に、既往研究の整理を行う。

1つ目は、運転行動や車両挙動に関する視点である。ここで整理される研究は、運転者や車両性能の違いによって車両挙動や追従挙動がどのように変化するか分析している。本研究は経年変化に着目した研究であるため、これらの研究で得られる知見と本研究の分析結果を比較することが重要になることから、1つの視点として整理を行う。本研究では両者の用語を明確に区別しているが、他の研究において、これらの用語は同一の意味で用いられていることもある。そのため、まとめて1つの視点として取り扱う。また、運転意図についてもここで整理する。

2つ目は、追従挙動に関する視点である。これは交通流内に存在する複数台の車両の動きに着目することである。この追従挙動を対象に、その動きを数式や確率などを用いて記述する追従挙動モデルに関する研究や先行車と運転車両の関係を分析する研究、追従挙動から交通流全体を予測する研究など様々な種類が存在する。本研究において、運転行動から交通流までを分析する上で、その架け橋となることから重要な視点になるから、全ての種類の追従挙動に関する研究について網羅的に整理を行う。

3つ目は、交通流に関する視点である。ある地点を単位時間あたりに通過する車両の台数であり、交通を分析する上で最も重要な視点の1つである。交通量に関しても、観測調査に基づく研究やシミュレーションを用いた研究など様々な種類の研究が存在する。本研究の結果にあたる視点であり、過去の結果と本研究の分析結果が異なることを示すことが経年変化を示すことになるため、本研究に関連する研究については網羅的にまとめる。

以上の3視点を本研究の軸にもとづく視点として設定し、次節以降で既往研究成果の整理を行う。前述のとおり、各視点において、既に多くの数の研究が行われている。そのため、はじめに各視点の総説論文を整理した上で、特に重要な研究やそこに記述されていない研究の整理を過去から順に行う。そして、これらの整理した結果をもとに、本研究の位置づけ及び学術的課題を明らかにする。

2.2 運転行動や車両挙動に着目した研究

運転意図が運転行動や車両挙動に及ぼす影響として、萩原ら¹⁷⁾によって既往研究がまとめられているので、はじめにその研究を参照する。この研究では、前方の視覚情報を獲得する情報処理過程を予見と定義し、予見に関する指標に関して研究レビューをもとにまとめている。この予見は本研究の運転意図の一部であると考えられる。国内外の研究を整理した結果、予見に関する指標は予見時間が用いられることが多く、最低限の数値として2秒程度、最適値として5秒としている。また、危険を回避する時の認知反応時間は、予見時間より短く、0.5秒から2.5秒程度あるとしている。

また、運転意図と安全運転行動に関する研究については、蓮花¹⁸⁾によって既往研究がまとめられている。運転者がリスクを承知で行動を行うことをリスクテイキング行動とし、そのメカニズムを心理学の観点から整理している。その結果を下記の図にまとめている。

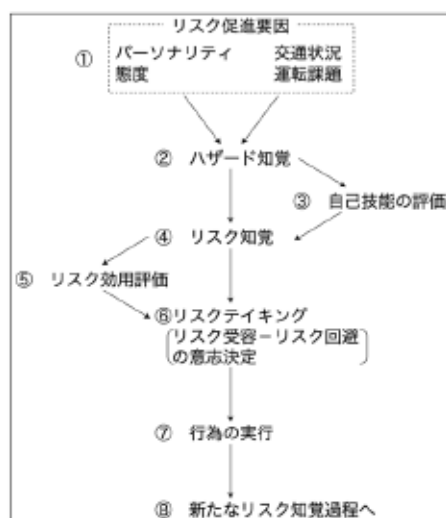


図 2-1 リスクテイキング行動のモデル図¹⁸⁾

岩崎ら¹⁹⁾は、高速道路の車線変更モデルに着目して、既往研究の整理を行っている。既往研究を整理した結果、国内外問わず車線変更に関する意思決定モデルや行動決定モデルは開発されており、右側に車線変更する場合の動機づけは明らかにされている。一方で、左側車線への復帰挙動も右側車線の場合と同じロジックを用いていたりと、避譲挙動に関するモデルが少なかったりと課題も残っていることを指摘している。

喜多ら²⁰⁾は、車線流入時の潜在事故危険度の代理指標を **Time To Collision (TTC)** として、TTC を推定する指標をギャップアクセプタンス行動からモデル化している。実証分析結果より、モデルより得られる TTC 分布と観測で得られた TTC 分布を比較したところ、的中率 95%、尤度比 77% と高い説明力をもつことが示されている。

吉川ら²¹⁾は、変化する交通状況に応じて行動を選択・決定する過程を運転行動の意思決定過程として、プロトコル法を用いて、走行実験結果とインタビュー調査から意思決定過程を抽出することを行っている。この意思決定過程は本研究の運転意図とほぼ同じ意味であると考えられる。分析結果として、危険認知の違いによって意思決定過程のパターンが異なることを示している。

飯田ら²²⁾は、高速道路のトンネル進入を対象に、ドライビングシミュレータを用いて、トンネル抗口形状による運転行動の変化を分析している。分析結果として、抗口をウイング形式でグラデーション状に塗装することが運転者の不安感の減少につながることを示している。

Nakamura et al.²³⁾は、都市間高速道路を対象に、ドライバーの知覚に基づく交通状況を評価し、運転行動と運転者の満足度、交通状況の相互関係を分析している。分析結果として、交通流内の速度が最も満足度に影響を与えること、交通状況の評価には車線変更回数や追従走行時間、運転経験などが影響することを明らかにしている。

飯田ら²⁴⁾は、高速道路のサグ部における道路構造改善の評価を行うために、ドライビングシミュレータを使って運転行動や車両挙動のデータを収集し、データ解釈の根拠を得るためにプロトコル法によるヒヤリング調査を行っている。分析結果より、ヒヤリング調査を行うことで、実験でない通常の走行では発生しない挙動を抽出できること、速度メータを見て速度を増加させた被験者に比べ、上り坂に気づき速度を増加させた被験者の方が速度開始地点のばらつきが小さくなること、縦断曲線半径の小さくすることで、運転者が上り坂に気づきやすくなり、サグ部における速度低下区間が短くなる傾向になることを示している。

飯田²⁵⁾らは、自由走行車両から抽出された5種類のサグ部における走行挙動パターンを用いて、それぞれのパターンの車両が後続車に与える影響について、ドライビングシミュレータを用いて分析している。追従積重ね実験による分析結果から、サグ部での速度低下後の速度回復が見られない場合、車群全体に密な状態が形成される傾向にあること、密な状態の場合、前方車両の挙動が後続車両に与える影響としては大きくなる傾向にあることを明らかにしている。

Toledo²⁶⁾は、バージニア州の高速道路での車両軌跡データを用いて、走行時における車線変更と加速行動の運転行動モデルを構築している。車線変更を行う際に重要なギャップアクセプタンスについては、変更後の車線の車両との相対位置や相対速度、ギャップ長などが影響を与えていることを示している。また、車線変更をせずに加速する場合のモデルでは、目標ギャップに対する走行車両の距離、相対速度などが影響を与えていることを示している。これらを統合した運転行動モデルは、独立した車線変更モデルと加速モデルを組み合わせて使う場合よりも説明力が高い。

Ranjitkar et al.²⁷⁾は、RTK GPS データより得られた走行実験結果を用いて、車群内におけるドライバーの反応時間の変化を分析している。分析結果として、反応時間は個人内変動の方が個人間変動よりも高いこと、ほとんどの運転者の反応時間は対数正規関数に分布していることが示されている。

丸茂ら²⁸⁾は、ドライビングシミュレータ実験や実車走行実験を行い、低速度域 ACC を用いた自動運転中に、ACC による自動減速では衝突が回避できない場合における運転行動について分析している。実験結果より停止制御機能がない場合は、ある場合に比べて衝突可能性が低くなるが、運転負担軽減効果は期待できないことが示されている。

古市ら²⁹⁾は、都市内高速道路曲線区間を対象に、運転者の注視行動や車両挙動と事故率の関係を走行実験の結果をもとに分析している。分析結果として、車両単独事故率が高い区間では、操舵および眼球活動が不安定になる運転者が存在することを示している。

Wakita et al.³⁰⁾は、追従走行時のアクセルやブレーキの使用量、車両速度や先行車との距離を用いて、運転者の識別する手法を提案し、運転者ごとの運転行動の違いを分析している。ガウス混合モデルを用いた分析結果より、実験者の 73%を識別することが可能であることを示している。

鈴木ら³¹⁾は、走行実験から得られたデータをもとに、シミュレーションを用いて、車群内の車両反応時間や初期車間距離と車群安定性との関係を明らかにしている。分析結果より、現実に頻繁に現れる交通状況において、僅小な車両反応時間や初期車間距離の増加・減少によって、車群危険性が増大することを示している。

Richard et al.³²⁾は、ドライビングシミュレータ実験を用いて、高速道路走行時の走行速度や走行位置とガードレールとの関係を分析している。分析結果より、ガードレールの高さが比較的低い場合は高い場合と比べて、レール側によって走行する傾向にあること、非常駐車帯がある場所では走行位置に影響がないことを示している。

赤松³³⁾は、運転中におけるドライバーの認知・知覚能力について、道路環境や交通状況、高齢者ドライバー特性など様々な項目に分けて解説を行っている。サグ部におけるドライバーの認知・知覚能力について、下り坂のあとの平坦部や上り坂を知覚することが難しく、その結果、速度が低下し、渋滞につながると述べられている。また、追従走行における認知・知覚能力として、先行車両の大きさの増大（視角の変化速度）が減速を行うタイミングと相関が高いと指摘している。運転中の認知・知覚能力を低下させる要因として、考え事や会話、音楽鑑賞などを挙げており、限度のある情報処理容量に対し、運転以外の情報処理資源を投入することによって、認知・知覚能力が低下すると指摘している。また、情報処理容量は年齢や運転スキルなど運転行動の個人差によって異なること、同一のドライバーであっても、覚醒水準や疲労などによって減少すると指摘されている。

Houston et al.³⁴⁾は、研究で提案している 11 の状態からなる Aggressive Driving Behavior Scale(ADBS)を用いて、行動ベースで危険な運転行動を行う可能性がある人の抽出を試みている。過去の運転行動を対象に 11 の状態になった頻度を調査した結果、攻撃的な運転を行う思考や感情と相関があることを示している。

石橋³⁵⁾は、運転者の「運転スタイル」「運転負担感受性」を指標化し、それに基づく類型化を行っている。その上で、分類したタイプごとに、追従行動や経路選択嗜好が異なることを示している。

服部ら³⁶⁾は、個別の運転行動を記述する手法として、先験的知識を基にしたモデルの構築手法を提案している。ドライビングシミュレータ実験およびインタビュー調査の結果から、走行速度などの個別の運転スタイルが十分再現可能であることを示している。

田中ら³⁷⁾は、衝突回避減速度に基づく前方障害物衝突防止警報システムによる運転行動の変化を、ドライビングシミュレータを用いて分析している。先行車の急減速や歩行者の飛び出しなど様々な衝突危険に対して、シミュレーションを行った結果、衝突回避減速度を実時間表示することにより、運転行動を安全側にシフトできることを示している。

Ossen et al.³⁸⁾は、高速道路上で観測された車両軌跡データを用いて、先行車の異なる状況において、乗用車とトラックの車両挙動の異質性を分析している。分析結果として、トラックは乗用車よりも追従が熱心ではなく、走行速度が一定である傾向が高いこと、乗用車の場合、先行車がトラックの方が乗用車よりも車間時間が短くなることを示している。

櫻井³⁹⁾は、ドライビングシミュレータ実験を行い、運転中の見落としのメカニズムを視線や視認の関係から明らかにしている。分析結果として、対象物の認識には、0.2 秒程度の視線固定が行われていること、目線は左右方向には動くものの、上下方向には動く頻度が少なく、左右下方向は見落とされがちであることを示している。

Clapp et al.⁴⁰⁾は、3つの大学の調査結果に基づき、不安状態に関連する運転行動の発生を評価するための指標を開発している。因子分析に基づく分析結果より、不安に基づく運転技能の欠陥、安全や注意行動に対する過信、不安に対する攻撃的な行動が関連していることを明らかにしている。

平岡ら⁴¹⁾は、心理学的なアプローチから自発的にエコドライブを促す仕掛けを提案している。走行実験に基づく分析結果より、運転技能に応じた目標燃費を示すことで普段はエコドライブを行わない運転者に対しても、エコドライブを促せることを示唆している。

Kang⁴²⁾は、運転者の危険な運転行動を予測する手法を、運転者のモニタリング結果をもとに提案している。調査結果として、運転者の眠気をハンドルの動きや車両の走行位置から予測できること、運転者の注意散漫状態を頭部の位置や視線方向、表情から予測できることを示している。

重松ら⁴³⁾は、認知・反応時間を計測できる測定器を用いて、年齢別の反応時間の違いを分析している。分析結果として、70 歳以上になると反応時間が 2 秒以上になる人が増えること、20-60 歳代でも反応時間が 2 秒以上になる人が一部存在することを示している。

平岡ら⁴⁴⁾は、先行車との車頭時間をリアルタイムで表示する装置を用いて、視覚情報の提示が先行車への追従行動にどの程度影響を与えるかを分析している。ドライビングシミュレータを使用した実験から、装置を用いた場合の方が設定した目標車頭時間に近づき、車頭時間のばらつきが抑制可能であることを明らかにしている。これらのことにより交通流率が増加することも示している。

飯田ら⁴⁵⁾は、短い区間に形状変化が集中し、トンネル環境である大深度地下高速道路のJCTの状況下における運転行動や車両挙動への影響を分析している。ドライビングシミュレータを用いた実験結果より、大深度地下高速道路特有の状況下では、アクセル使用量が急激に減少すること、追突事故リスクが高い場所が確認できることを示している。

渡邊ら⁴⁶⁾は、近年サグ部における渋滞対策の一つとして、全国各地で導入が進められている走光型視線誘導システムに着目し、渋滞流中の捌け台数増加効果を高める発光要因を分析している。実験結果から、消灯時と比べて点灯時の場合は、発光形状にかかわらず捌け台数改善効果があること、特に矢印型の発光体は車頭時間が短縮される傾向にあり、車両の進行方向を指し示す図形が捌け台数の増加により効果的である可能性を示唆している。

矢武⁴⁷⁾は、海外の攻撃的運転に関する先行研究のレビューを行い、その結果と日本でのあおり運転の結果を比較して、日本におけるあおり運転の特徴を明らかにしている。危険運転致死傷罪（妨害目的）が適用された事例の調査より、年齢、性別、社会的階級、きっかけ及び運転様態については、先行研究と同様の結果であったが、時間に関しては異なっていたことを示している。

飯田ら⁴⁸⁾は、近年導入が進められているACC車両に着目し、高密度交通流を対象として、ACC車両の混在によって交通流の円滑性や追突事故リスクがどのように変化するか分析している。追従積重ね実験の結果から、ACC車両が混在することにより、高密度交通流における速度低下が緩やかになり、減速波の上流増幅伝播は見られなくなること、ドライバー自身の運転や周囲に注意を向ける余裕が生じること、ドライバーのストレス度合いが軽減する可能性があることを示唆している。その一方で、ACC車両が混在していても、高密度交通流では、追突事故リスクが高くなる箇所があり、マニュアル操作が必要な車両がACC車両の緩やかな速度変化に気づくのが遅れたことが原因であると考察している。

兒玉ら⁴⁹⁾は、都市内高速道路の車両軌跡データを用いて、車線変更行動を対象に、車線変更がもたらすリスクについて評価している。分析結果より、渋滞流においては、横を走る車両を譲った直後に車線変更を行う行動後に事故の危険性が高まることを示している。また、車線変更後の後方ギャップよりも、前方ギャップでの事故リスクの方が高くなることを示している。

2.3 追従挙動に着目した研究

はじめに国内外における追従挙動に関する研究について、以下の2つの総説論文を参考にし、その後総説論文では触れられていない研究を中心に整理を行う。

単路部の追従挙動のモデルについて、和文論文では大口⁵⁰⁾によってまとめられている。この論文では、ボトルネックによる交通渋滞発生時の交通流率、及び渋滞が安定した後の捌け交通流率は、車間距離や反応時間が重要な指標となるため、運転行動や車両挙動によって規定されるものであると指摘している。追従挙動モデルについては、式(2-1)を基本として、様々なモデルが開発されている。

$$\text{反応(出力)} = \text{反応強度(感度)} \times \text{刺激(入力)} \quad (2-1)$$

英文論文では、車両挙動を表現することを目指した交通工学の観点と運転行動を表現することを目指した交通心理学の観点に関するモデルについて、Mohammad et al.⁵¹⁾によってまとめられている。この論文の中で、交通安全の向上を目指し、複雑な運転状況における追従挙動をより現実的に表現するために、モデルにおいて人的要因（ヒューマン・ファクター）を考慮することが必要と述べられている。人的要因の具体的な例として、以下の15個の指標を挙げている。

1. 属性：性別や年齢、収入など
2. 反応時間
3. 推定誤差：速度や距離を正確に推定できないこと
4. 知覚閾値：小さな変化に気づけないこと
5. 時間的な先読み：次の瞬間の交通状況を予測すること
6. 空間的な先読み：前後の車両の位置を考慮すること
7. 交通状況における感度：交通状況に応じて運転を変化させること
8. 不完全な運転：同じ状況であっても、挙動が異なること
9. 積極的/消極的な運転傾向
10. 運転スキル
11. 運転の動機
12. 注意散漫な状態の有無
13. 希望走行速度
14. 希望車頭距離（車間距離）
15. 希望車頭時間（車間時間）

近年の複数の研究で用いられている追従挙動モデル、Helly's モデルや Interlligent Driver Model (IDM)⁵²⁾、IDM+⁵³⁾などでは、上記の人的要因の内、希望走行速度や希望車頭時間、知覚閾値などが考慮されている。しかし、筆者らは現行のモデルであっても、人的要因が無視されていることが多いと指摘しており、今後のモデルに関する研究を行う上では、ヒューマンエラーなどの人的要因を考慮していく必要があると述べている。

田村⁵⁴⁾は交通流中の車両を自由走行車と追従走行車に分類し、設定した各車頭時間分布モデルのパラメータと交通量の関係を明らかにしている。研究結果として、自由走行車の車頭時間分布モデルは負の指数分布が十分有用であること、追従走行車の車頭時間分布モデルは対数正規分布が十分有用であることを示している。

宇野⁵⁵⁾は、高度道路交通システム（ITS）の中で交通安全の向上に大きく貢献すると考えられている走行支援道路システム（AHS）に着目し、AHS機能が実装化された場合の車両の反応時間と交通流の安全性の関係性について分析している。人間の意思決定における曖昧さを考慮したUDファジィ追従モデルを用いた分析結果より、AHSに対応した車両が交通流内に混在すると、追従走行における最小車間時間が増加し、後続車の最小車頭時間の減少もさえられる傾向にあることを示している。また、反応時間の短いAHSに対応した車両が存在することで、潜在的衝突危険時間も減少し、交通流の安定性や安全性の向上に寄与する可能性があることを考察している。

大口⁵⁶⁾は、サグ部における追従挙動のモデル化について、交通流を構成するドライバーの追従挙動特性にはばらつきが存在することから、このばらつきを適切にパラメータの分布として表現し、その構成割合によって渋滞発生のしやすさを確率的に表現できるようなシミュレーションモデルを作成することが望ましいと述べている。

堀口⁵⁷⁾は、実務におけるシミュレーションの利用実体を整理し、高速道路合流部やサグ部における、微視的な視点での新たな交通現象解明の取り組みを踏まえたシミュレーション開発に関する展望を述べている。サグ部などで発生する渋滞が特定の車両挙動によって引き起こされている仮説に着目し、このような渋滞や交通流を表現するために、モデルに個人特性の現実のばらつきを反映させるための手法の開発、実用化が今後重要になると考察している。

自動車安全運転センター⁵⁸⁾では、車両間隔を開けて走行した場合（車間時間3秒程度）と詰めて走行した場合（車間時間2秒半程度）の車両進入に関する比較実験を行っている。実験結果より、走行する車線の前方への車両進入回数は、「開けて走行した場合」が「詰めて走行した場合」の約2倍になることが明らかにしている。また、被験者の感想によると、「開けて走行した場合」は、「詰めて走行した場合」に比べて、「走りにくい」や「疲れが大きい」という回答が多くなることが分かっている。このことから、車間の開け過ぎは、割り込みの危険性などから安全とは限らないと考察している。

葛西ら⁵⁹⁾は、交通流中の車間距離・相対速度平面上の軌跡がスパイラル状曲線になることに着目して、追従状態の車両をバネ質点系に希望車間距離に相当する強制外力が作用する非線形の類似としてとらえた追従挙動モデルを作成している。都市間高速道路のボトルネック部において発生した渋滞流の車両挙動データに作成したモデルを適用した結果より、車間距離の実測値と推定値の中等誤差が十分に小さいサンプルが多く得られたことから、大多数の追従挙動がバネ質点系モデルによって表現可能であると考察している。

森川ら⁶⁰⁾は、サグ部における一般ドライバーの個人差・個人内差を考慮した追従挙動のモデル化を行い、一般ドライバー相当の追従挙動、先急ぎ運転相当の追従挙動のモデルを作成している。車群の速度低下と燃料消費量を元に評価を行なった結果より、一般ドライバーや先急ぎドライバーに比べて、ACC車両の方が、速度低下量・燃料消費量ともに向上することが示されている。また、40km/h以下になった状態を渋滞とした場合、ACCの追従挙動モデルでは渋滞が発生せず、接近離間状態評価指標を用いたACCによる渋滞発生抑制効果があると確認している。

Goni Ros et al.⁶¹⁾は、サグ部などのボトルネックで発生する渋滞に対し、可変速度制限を用いた新たな渋滞対策の提案と評価を行っている。ボトルネック部において、臨界密度よりもわずかに低い交通密度になるよう制限速度を調整することにより、交通需要が非常に高い時間帯におけるボトルネック部流入交通量が増加し、総遅延時間が大幅に減少することを交通シミュレーションより示している。

Papacharalampous et al.⁶²⁾は、自車両で推定した交通状況をもとに、ACCパラメータを変化させるTSA-ACC、周囲の車両と協調してACCパラメータを変化させるC-ACC、一般的なACCであるB-ACCを用意し、交通シミュレーションを用いて、各普及率と200台で構成される車群の影響を分析している。分析結果より、車群内の10%にACCが搭載されていることで、車群内全ての車両の走行時間短縮につながることで、短縮効果はTSA-ACCが最も高いことを示している。

櫻井ら⁶³⁾も、C-ACCに着目し、先行車のみならず先々行車の情報も提供した場合の追従挙動が交通流に及ぼす影響を、ドライビングシミュレータを用いて実験している。実験結果より、発進時の燃料消費率が改善すること、発進遅れが減少すること、加速終了後に先行車に協調した挙動を行うことが可能になっていることなどを示している。

Morino et al.⁶⁴⁾は、車車間通信を用いて、運転者に追従挙動の変化を促すことを行う際の交通流への影響を分析している。分析結果より、渋滞末尾では渋滞を吸収するような走行を、渋滞の先頭では速度を回復するような走行を促すメッセージを運転者に提示することで、シミュレーション区間全体の平均速度が約50%向上することを示している。

このような情報提供などの外部刺激による交通流への変化を運転意図に着目して明らかにしようとした試みが柳原ら⁶⁵⁾によって行われている。高速道路上の車線合流行動を対象に行われたドライビングシミュレータ実験と実験後のインタビュー調査結果より、運転意図が推移した地点と減速挙動を行った地点では有意な相関が確認されている。これより、外部刺激が運転挙動に与える影響について、運転意図を介在されることで、実態把握が用意になると考察している。

鈴木ら⁶⁶⁾は、大口やMuhammadによって整理されている追従挙動モデルに対し、サグ部の縦断勾配による重力加速度を用いた抵抗成分を考慮した上で、自由走行時と追従走行時で分離したモデルを提案している。

葛西⁶⁷⁾は、ドライビングシミュレータを用いた追従積重ね実験と階層ベイズ法を用いて、追従挙動のモデルによらない縦断勾配の影響を抽出している。階層ベイズ推定の形式で記述される季節調整法の適用を行った結果、縦断線形から交通流が受ける影響を暗示することができ、その影響については、階層ベイズにおけるハイパーパラメータで推定可能であることを示している。

西元ら⁶⁸⁾は、C-ACCに着目し、ドライバーに先行車両や先々行車両の加減速情報が提供された場合の運転行動や車両挙動の変化を分析している。ドライビングシミュレータを用いた実験結果より、先行車両情報よりも先々行車両情報の方がアクセル踏み込み量が11.1%減少し、加速時間が15%増加し、燃料消費量が向上するような運転が行われていることを示している。また、IDM+を用いた追従特性の解析結果より、先々行車両情報提供時の最大加速度や希望減速度の値が大きくなる傾向を示している。これらの結果より、先行車両や先々行車両の情報がアクセルを踏み込む目安などに活用されているのではないかと考察している。

高速道路における適切な車両間隔に関する調査研究委員会⁶⁹⁾は、国内外の車両間隔の状況を取りまとめ、望ましい車両間隔とそれを実現するための方法を研究している。運転意図や渋滞直前の車頭時間分布の分析などから、車両間隔の保持には、混雑時に車間時間約2秒、大型車などにおいては車間時間3秒以上といった、時間カウント方式が望ましいことを示している。

渡邊ら⁷⁰⁾は、サグ部で生じる交通中渋滞の対策として、通信距離を1km程度に設定した車車間通信を用いて、渋滞区間での車群の位置と速度の情報を後続車両に通知し、これに基づく渋滞原因となっている車両とその後続車両のドライバーに渋滞解消運転を促す手法を提案し、その有効性を評価している。車車間通信によって渋滞予見情報を含んだパケットを受け取った渋滞流より後方にある車両が渋滞吸収運転を行うことで平均速度が向上することを示している。

Goni Ros et al.⁷¹⁾は、ACCの普及に伴うサグ部で発生する渋滞の影響について、Papacharalampous et al.と同じく、3種類のACCを用いてシミュレーションを行っている。それぞれのACCの普及率と効果を分析した結果、臨界状態では、どのACCも普及率が高くなるほど渋滞が減少すること、TSA-ACCやC-ACCはB-ACCよりも低い普及率であっても渋滞形成を防ぐことが可能であることを示している。

Varotto et al.⁷²⁾は、臨界状態において、運転者がACCの制御を無効化する行動に着目して、無効化にする際に及ぼす交通流への影響を走行実験より分析している。分析結果より、制御が無効化された際に車両速度が有意に減少し、その後アクセルを踏むことにより、速度が有意に増加することを明らかにしている。また、これらの影響は交通流の円滑性と安全性に大きな影響を与えると考察している。

田平ら⁷³⁾は、近年導入が進められている走光型視線誘導システムに着目し、走光型視線誘導システムが追従車の相対速度の変動特性やドライバーの相対速度認知に及ぼす影響について分析を行っている。実道追従走行実験から得られた結果より、制限速度 60km/h の対象道路において、走光型視線誘導システムが 80km/h で運用されている場合、追従挙動のばらつきが抑制され、交通流を均一化できる可能性を示唆している。また、追従挙動モデルを用いたシミュレーション分析結果より、走光型視線誘導システムを運用することによるドライバーの追従挙動の感度向上が速度低下に寄与し、上り勾配区間における追従車両群の総旅行時間が短縮されることを明らかにしている。

柳原ら⁷⁴⁾は、近年導入が進められている走光型視線誘導システムに着目し、設置の有無で追従挙動が異なると仮定し、実データを用いた追従挙動分析による交通流の比較分析を行っている。走行実験によって得られたデータを Helly モデルに適用し、パラメータを推定した結果より、追従車両は先行車両との相対速度の変化に対して、より大きな加速度を素早く出力する傾向があり、積極的な追従を行っていることを明らかにしている。また、マイクロ交通シミュレーションによる分析結果から、走光型視線誘導システムの渋滞緩和効果が追従挙動モデルのパラメータ分布の僅かな違いに起因して現れることを示している。これに関して、感度分析を行った結果から、反応遅時間の減少、相対速度に対する反応強度の増大が捌け交通量に影響を与えていることを明らかにしている。

和田ら⁷⁵⁾は、連続体交通流理論に基づき、サグ部における実績最大交通量よりも捌け交通量が小さくなる現象 (Capacity Drop 現象) を実証的に分析している。サグ部周辺で取得された ETC2.0 プローブデータや車両感知器データより、複数の地点の速度変化を分析し、ボトルネック下流部では、渋滞している時間帯でも車線ごとに速度差が生じていること、速度は自由流速度よりも小さいことを示している。得られたデータを有界加速度制約を考慮した追従挙動モデルに適用した結果、ボトルネック通過後の速度回復挙動が実測と一致する結果になり、Capacity Drop 現象について交通流の BA 状態が要因の一つであると考察している。

2.4 交通流に着目した研究

はじめに国内外における追従挙動に関する研究について、以下の1つの総説論文を参考にし、その後総説論文では触れられていない研究を中心に整理を行う。

交通流に関する基礎的な内容は大口ら⁷⁶⁾によって整理されているため、これを参照する。渋滞発生時交通容量は確率特性を有しており、実測した結果から、渋滞発生時の交通流率が210-330[台/5分/2車線]と広範囲に散らばっていることが明らかになっている。一度渋滞が発生すると渋滞列の発進交通流率は交通容量よりもかなり低くなることが分かっており、この要因としてドライバーの運転挙動特性が関係しているのではないかと考察している。このように高速道路単路部の交通渋滞については、数多くの特徴や要因が明らかになっている。しかしながら、交通容量を予測できるような根本的メカニズムの解明には至っておらず、今後の課題として言及している。

越⁷⁷⁾は、高速道路上の複数地点の観測結果をもとに、トンネルやサグ部がボトルネックになりやすいことを定量的に示している。

卷上ら⁷⁸⁾は、吹田JCTで交通実態調査を行い、合流部において、車両が合流を行う場合と見送る場合の確率が同じになるギャップを合流可能限界ギャップとして計測している。計測結果から、速い速度で合流を行う時、合流可能限界ギャップは3.1秒になると示している。

越ら⁷⁹⁾は、一度渋滞が発生すると、渋滞列の発進交通流率は交通容量よりもかなり低くなることを明らかにしている。そしてこの現象が、渋滞時の運転環境下における運転者の運転挙動特性に起因するものであることを、個別車両挙動の観測に基づいて検証している。追従挙動に関して、観測結果から、自由流から渋滞流への追従挙動の遷移(交通容量が減少する間)は、ドライバーが渋滞に巻き込まれた時間が10分程度で終了すると考察している。また、交通渋滞の先頭部の発進流率は、照度が高い環境の方が大きく、加えて照度が暗い状態から明るい状態へ変化する環境では一層大きくなることを明らかにしている。

邢ら⁸⁰⁾は、サグ部などの単路部ボトルネックにおいて、交通渋滞発生による速度低下現象は内側車線ではじめに発生するものの、その後、外側車線と内側車線の交通流率がほとんど同値になり、渋滞が形成された後の交通流率は大幅に減少することを観測結果より示している。この結果から、サグ部におけるボトルネック現象は、急な勾配によるものが原因ではなく、むしろ勾配変化が極めて緩やかであることが大きな原因の一つであると考えられている。また、このようなボトルネック現象による渋滞は、都市間高速道路と都市内高速道路の両方で発生しており、さまざまな道路区間で発生するものであると考えられている。

栗原ら⁸¹⁾は、高速道路におけるサグ部などのボトルネックを解消する方法として、付加車線に着目し、その具体的な効果を、車両感知器データをもとに明らかにしている。調査結果として、付加車線導入によって、ボトルネックが解消されること、渋滞発生後の交通量も増加すること、その増加量は付加車線と走行車線の交通量の増加であることが示されている。

大口ら⁸²⁾は、高速道路上の車両感知器データを用いて、交通渋滞が確率特性をもつことを明らかにしている。観測結果より、渋滞発生時の交通流率が210~300[台/5分/2車線]と広範囲に散らばっていること、最も高い交通流階層の300[台/5分/2車線]であっても、発生確率は50%であることを示している。

Surasak et al.⁸³⁾は、高速道路の18地点の車両感知器データを用いて、車群に属する車両か否かを判断する方法を提案している。相対速度と車頭時間に着目した分析から臨界車頭時間を算出した結果、乗用車は3秒、大型車は4秒と設定している。

落合ら⁸⁴⁾は、車頭時間を尺度とした車群走行状態を指標として、パルスデータを用いて都市間高速道路と都市内高速道路の車群形成の比較分析を行っている。分析結果から、比較的交通量の低いレベル(2000台/h以下)において、2つの高速道路で車群形成に違いが生じることを示している。特に車群流率について、都市内高速道路が都市間高速道路に比べて、同程度の交通量時に変動が少ないことを示唆している。

宇野ら⁸⁵⁾は、車両挙動データを用いて、事故発生の潜在的な危険性を客観的な指標をもとに算出する方法を提案している。ここで提案された先行車が急減速をした際に、衝突が発生するか否かを判断できるPICUD指標は、潜在的危険性の存在を確認する方法として、他の研究でも採用されている。

岡村ら⁸⁶⁾は、首都高速道路内で最も渋滞が発生している箱崎ロータリー合流部を対象に、車両感知器やビデオデータを用いて渋滞発生メカニズムを分析している。分析結果から、合流部そのものだけでなく、上流で避走する車両や、下流の分流部手前で車線変更する車両が引き起こす後続車両の過度な減速が、場合によっては渋滞を誘起していることを示している。

邢ら⁸⁷⁾は、車両感知器からパルスデータを取得して、ボトルネック上の車頭時間分布を実測している。実測結果より、渋滞発生直前15分間の追越車線での車頭時間分布は最頻値が1.5秒であり、車頭時間2.0秒未満の割合が約70%を占めることを示している。

Shiomi et al.⁸⁸⁾は、高速道路のボトルネックで発生する渋滞のメカニズムを車群内の車両の希望速度のばらつきや車群の速度に着目して分析を行っている。観測より得られた車両挙動データを用いて、モデルを検証し分析を行った結果から、渋滞発生確率が高くなると、希望速度分布の平均が短くなり、希望速度分布の分散が大きくなることを示している。

白石ら⁸⁹⁾は、実データから臨界速度を算出する方法を提案している。車両感知器より得られた速度データからヒストグラムを作成し、画像処理などで使われている **kittler** 法を用いることで臨界速度が算出可能であることを示している。

鹿野島ら⁹⁰⁾は、ETC2.0 プローブデータを用いて、高速道路単路部のボトルネック部を特定する分析を行っている。分析結果として、走行履歴データや挙動履歴データから、顕在化されているボトルネックや潜在的に存在するボトルネックの特定方法を提案している。

牧野ら⁹¹⁾は、高速道路上の車両軌跡データから、車線変更行動と交通渋滞発生との関係について分析している。分析結果より、サグ部付近において臨界状態のときに発生した交通流の減速波のうち約 30%に追越車線への車線変更行動が直積的・間接的に関わっていることを示している。

村上ら⁹²⁾は、阪神高速道路3号神戸線上下を対象に2003年から2014年までのおよそ12年間の交通量モニタリングを行った。実績最大交通量を交通容量とした分析では、対象区間のほぼ全ての地点において交通容量が減少していることを明らかにしている。加えて、交通容量減少の要因の1つとしてドライバーの運転挙動の変化や車両の性能の変化が関係していると考察している。

牧ら⁹³⁾は、都市内高速道路のボトルネック部を対象に、ETC2.0 データと車両感知器データを用いて、交通容量の推定を試みている。交通容量を被説明変数、運転行動などを説明変数として重回帰分析を作成した結果から、ボトルネック部では非渋滞時であっても、他の場所と比べて、減速や急挙動が発生しやすくなっていることが示されている。

酒井ら⁹⁴⁾は、運転者が高速道路上での交通状況を把握するためのツールとして音に着目した分析を行っている。車両感知器パルスデータを用いて、速度を周波数、交通量を音量として可聴化した結果、交通状況を可視化されるよりも、自由流、臨界流、渋滞流の判別精度が高くなることを示している。

塩見⁹⁵⁾は、2000年代中盤に英国で取り入れられたアクティブトラフィックマネジメント (Active Traffic Management) を日本式に変換し、その理論・実証分析を行っている。分析結果として、速度回復誘導灯の運用により交通渋滞を緩和させることが可能になること、追越車線利用への課金によりボトルネック交通流率が改善することを示している。

Shiomi et al.⁹⁶⁾は、都市間高速道路における9つのボトルネックを対象に、交通容量の長期的変動について、車両感知器データより明らかにしている。渋滞発生しやすさを渋滞発生確率の5%タイル値交通量で評価した結果、この値が長期的に減少傾向にあることを示している。

本研究で着目している経年変化に関する分析は、一般道でも同様の傾向がある。これらの研究を行っている2つの論文を下記に整理する。

宮村ら⁹⁷⁾は、一般道の信号交差点における停止時車間距離に着目し、その経年的な変化を分析することで、一般道における運転行動の変化を明らかにしている。対象地点における過去と現在のビデオ映像をもとに、停止時車間距離を算出した結果、2000年代以降から車間距離が拡大傾向にあること、30年前と比較して1mほど拡大していることを示している。また、シミュレーション分析から車間距離が1m拡大することで交差点の滞留車列長が15%拡大することも明らかにしている。

青山ら⁹⁸⁾は、一般道における飽和交通流率の基本値の変化を明らかにするため、複数の対象地点で観測を行い、これまで示されてきた基本値と比較して、実際の値は15%程度減少していることを示している。この要因を車間時間と占有時間に分けて検討し、飽和交通流率の低下には車間時間の増加や発進加速度の低下、停止車間距離の増加が大きく寄与していることを明らかにしている。

満島ら⁹⁹⁾は、車両感知器データと事故データ、天候データを組み合わせて、新型コロナウイルス禍の影響を踏まえた交通状態別の事故発生傾向を分析している。緊急事態宣言などの影響があった2020年3~6月と前年の同時期のデータを分析した結果より、事故件数は減少しているものの、事故率に大きな変化はなく、渋滞流の事故率が非渋滞流の10倍以上になっていることが示されている。

和田ら¹⁰⁰⁾は、ボトルネック部で発生するCapacity Drop現象に対し、それを抑制するための方法を提案し、その効果を連続流体理論およびシミュレーションによって分析している。分析結果より、Capacity Drop現象を抑制するには、ボトルネック部での緩慢な追従走行を防ぐことが重要であり、ボトルネック下流での加速挙動の改善は一部の車両のみでは限定的であることを示している。

中神ら¹⁰¹⁾は、都市内高速道路上の連続車両軌跡データを用いて、渋滞発生にかかわる交通流の減速波が発生するメカニズムを分析している。分析結果より、交通量の増加に伴い、左側車線の利用率が増加し、交通量の増加に利用率の増加が対応できなくなると、減速波が発生すること明らかにしている。また、減速波の発生を判別できる要因として、交通量や車線利用、車群特性、コンフリクトが発生する可能性の高い車線変更行動などが考えられると示している。

第3章

本研究の対象とその現況把握

3 本研究の対象とその現況把握

3.1 本研究の対象

3.1.1 対象区間

本研究の分析における高速道路の対象区間は、図 3-1 に示す首都高速道路内の複数の地点である。なお、図中の数字は以降に記述する交通流データ取得場所を表している。また、図 3-2 から図 3-7 は、それぞれの地点における交通流データ取得場所付近の過去と現在を比較したものである。これらの図から、全ての対象区間が片側 2 車線道路であることが分かり、都市間高速道路と比較すると、側方余裕なども狭くなっている。また、一部写真の都合上、車線位置が異なり、判断が難しい部分もあるが、車線構造に大きな変化がないと考えられる。

対象地域の選定理由は、取得地点付近にボトルネックが存在していること、分析に適するデータが過去に取得されていること、対象区間とその周辺において取得期間内で道路構造が変化していないこととしている。

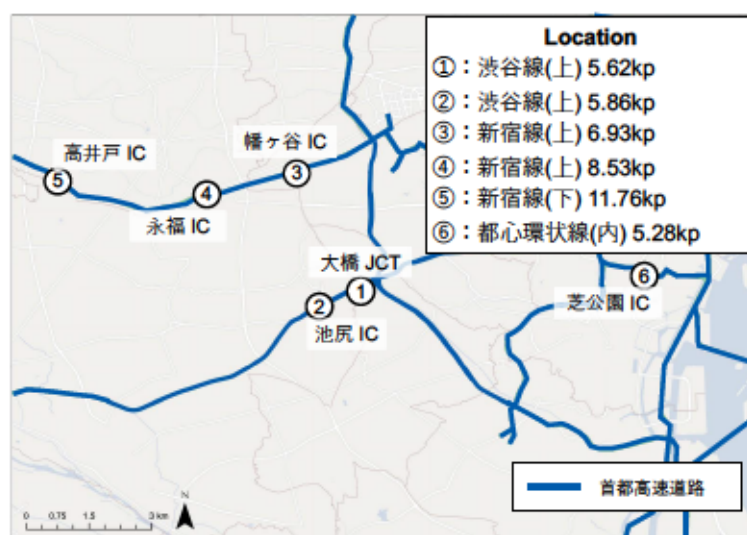


図 3-1 都市内高速道路における分析対象区間

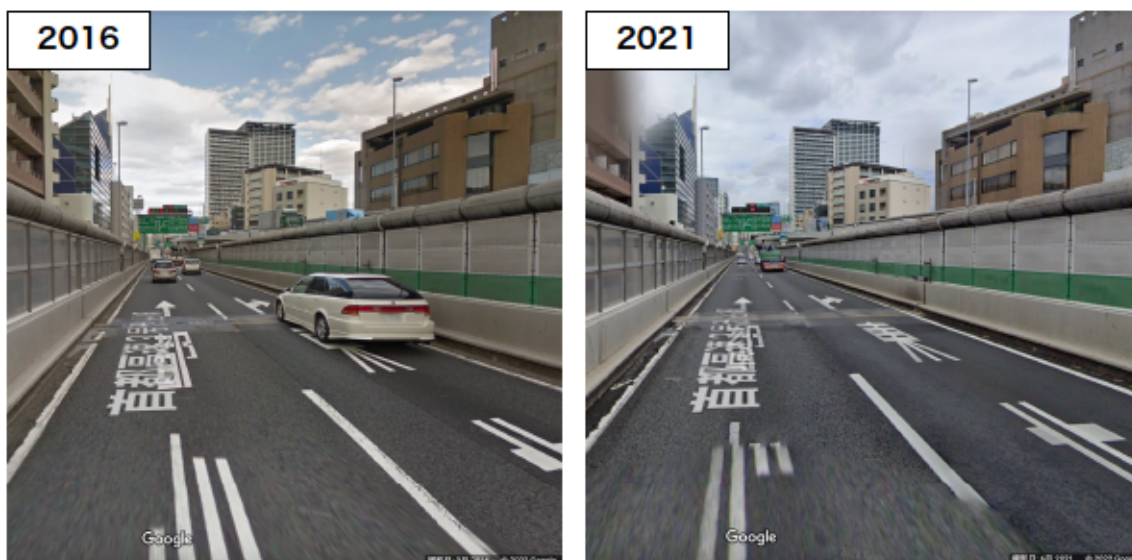


図 3-2 渋谷線上り 5.62kp 付近 (図 3-1 : ①) (Google map より引用)

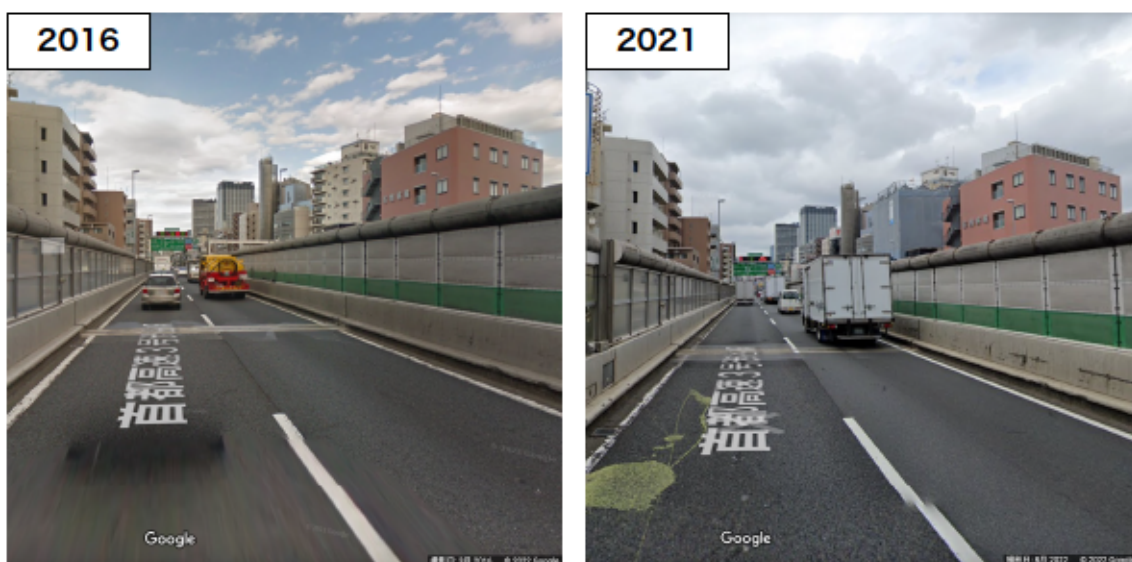


図 3-3 渋谷線上り 5.86kp 付近 (図 3-1 : ②) (Google map より引用)



図 3-4 新宿線上り 6.93kp 付近 (図 4-5 : ③) (Google map より引用)

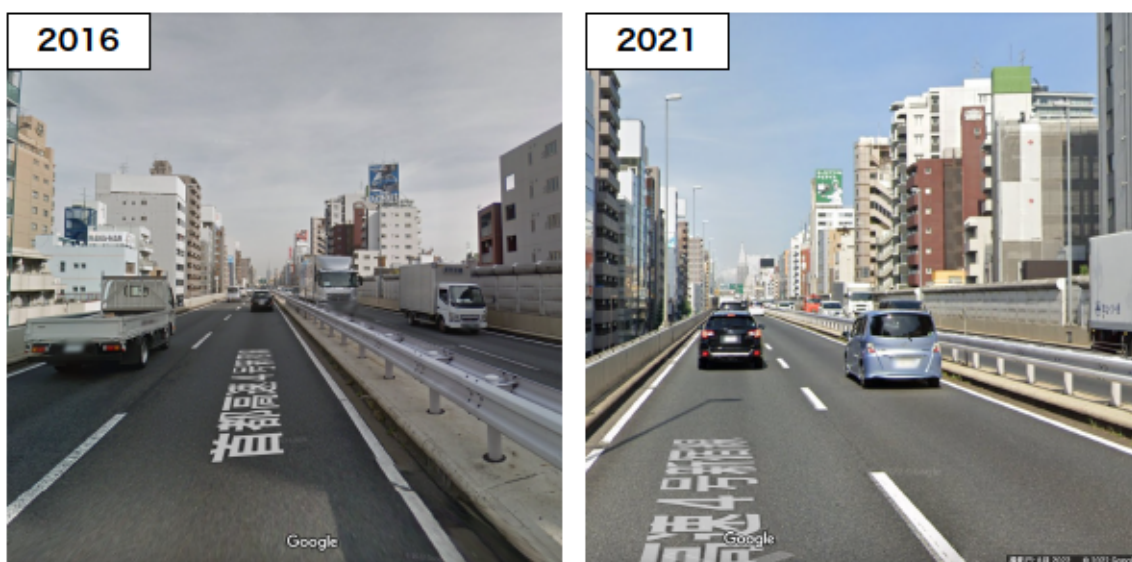


図 3-5 新宿線上り 8.53kp (図 4-5 : ④) (Google map より引用)



図 3-6 新宿線下り 11.76kp 付近 (図 4-5 : ⑤) (Google map より引用)

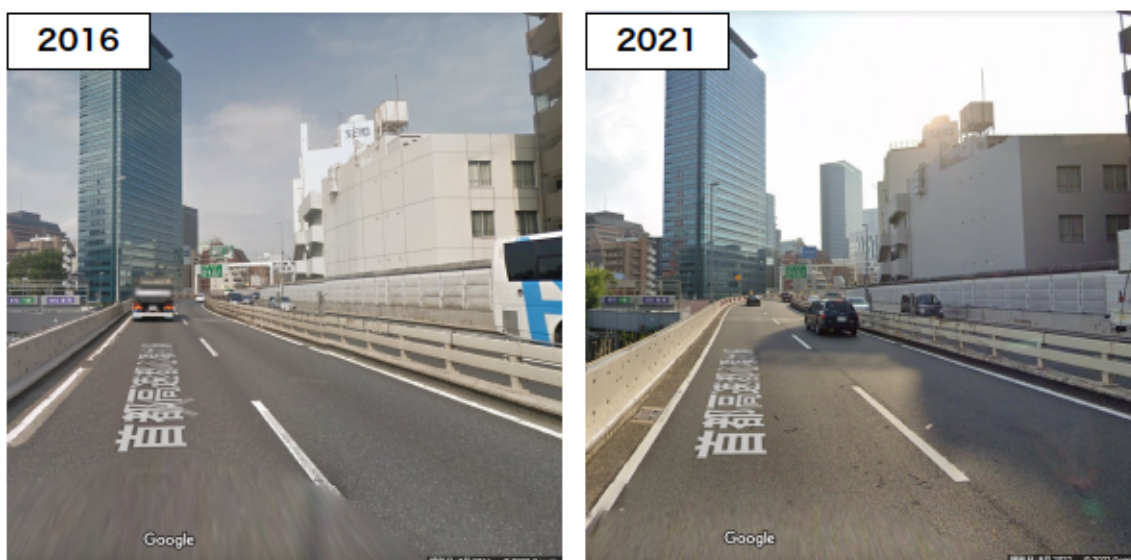


図 3-7 都心環状線内回り 5.28kp 付近 (図 4-5 : ⑥) (Google map より引用)

また、首都高速道路では、都市間高速道路と異なり、分合流部が右側車線（追越車線に該当）に接続されている場合がある。表 3-1 に、対象区間の上流側と下流側の分合流部の名称および接続車線を示す。

表 3-1 対象区間の上流・下流部の分合流部の名称と接続車線

地点（接続車線）	上流側	下流側
渋谷線(上)_5.62kp	池尻出口(右側)	大橋JCT(右側)
渋谷線(上)_5.86kp	三軒茶屋入口(右側)	池尻出口(右側)
新宿線(上)_6.93kp	幡ヶ谷入口(右側)	初台出口(右側)
新宿線(上)_8.53kp	永福入口(左側)	幡ヶ谷入口(右側)
新宿線(下)_11.76kp	永福入口(左側)	高井戸出口(右側)
都心環状線(内)_5.28kp	一之橋JCT(右側)	芝公園出口(左側)

この表より、渋谷線では上流・下流ともに右側車線に接続しており、新宿線では下流部は右側車線、上流部は左側と右側の両方が存在する。都市環状線のみ下流部が左側車線と接続されている。また、出入口についても、区間ごとに異なっており、上流部に出口が接続されているのが渋谷線(上)_5.62kpであり、下流部に入口が接続されているのが渋谷線(上)_8.53kpである。また、渋谷線(上)_5.62kpと都心環状線(内)_5.28kpに関しては、JCTとの接続がある。以降では、この違いにも着目して分析を行う。

3.1.2 対象となる現象

本研究では、高速道路単路部のボトルネックを通過する交通流を対象に、その経年変化を明らかにする。第1章で示したように、高速道路で発生する渋滞の6割がサグ部などの単路部ボトルネックで発生していることがわかっている。このことから、単路部ボトルネックに着目することで、本研究の成果は高速道路の渋滞問題の半分以上に援用することができるため、そのインパクトは大きいと考えられる。また、第2章で整理した通り、追従挙動と合流・分流通では、運転意図のメカニズムが異なっている。運転意図から交通流の変化までを適切に分析するためにも、本研究では追従挙動がメインとなる交通流に着目する。

以上の理由より、本研究では高速道路単路部のボトルネックを通過する交通流を対象とする。

3.2 対象となる交通流に関する現況把握

単路部ボトルネックの交通流の経年変化を分析するにあたり、実際に交通流にどのような変化が生じているのか、オープンデータを活用して、現況把握を行う。第2章で対象となる交通流の経年変化に関する研究を整理した結果、道路構造以外の影響として車種や車両性能、運転意図の変化が影響しているという考察がある³⁾⁷⁾⁹⁾⁹⁷⁾⁹⁸⁾。そこで、今節ではオープンデータを用いて、車種と追従挙動に変化が生じる車両性能への経年変化を分析する。

車種については、首都高速道路では、2016年度より車種区分を5車種に統一している¹⁰²⁾。本研究の対象期間も2016年度以降であることから、経年変化分析では、2016年度以降のデータに着目する。図3-8は、首都高速道路株式会社が公表している車種別の年間通行台数である¹⁰³⁾。この図より、合計台数に着目すると、2018年度までは増加傾向にあるものの、コロナの影響が発生し始めた2019年度以降は年間通行台数が減少していることがわかる。2021年度は前年度に比べ回復傾向にあるものの、ピークであった2018年度の約3億7023万台と比べると、約3億4229万台と約7%減少した状態となっている。車種別に着目すると、多くの車種は合計台数と同じような挙動を示している。構成割合の中で最も大きい普通車では、ピークであった2018年度の約2億5292万台と比べると、約2億2902万台と約9%減少した状態となっている。このことから、合計台数よりも普通車の減少率が大きくなっていることがわかる。一方で、軽・二輪に着目すると、他の車種とは異なる挙動を示しており、2018年度以降通行台数は減少したものの、そこから回復し始め、2021年度が対象期間の中で最も通行台数が高く、3504万台となっている。以上のことから、普通車の減少率が合計台数よりも大きい理由として、コロナによる活動自粛の他に、軽自動車・二輪車への転換が起きているのではないかと考えられる。

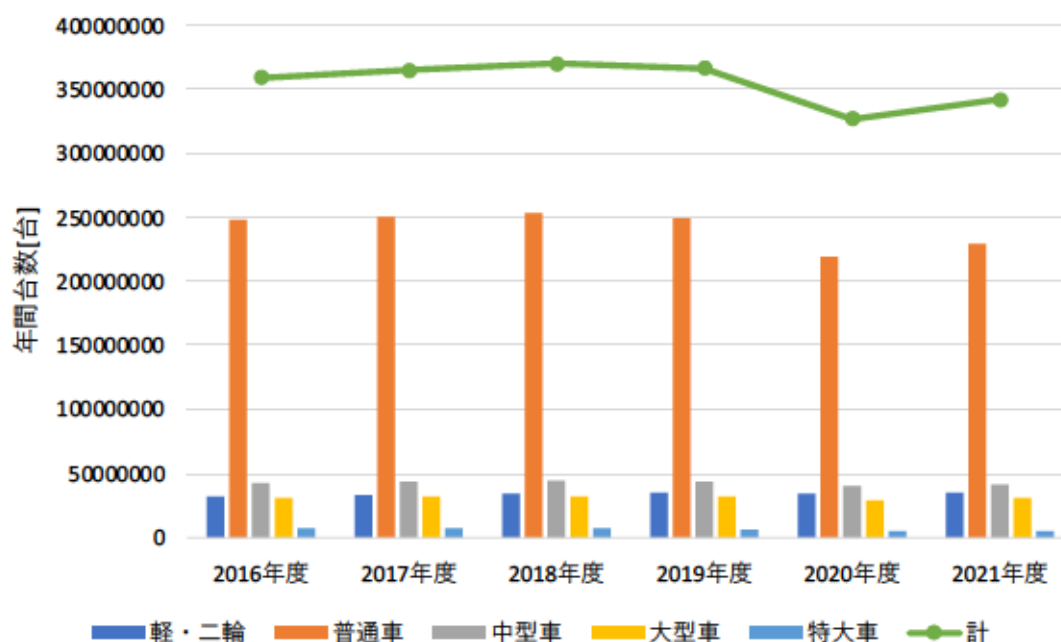


図 3-8 対象期間における首都高速道路の年間通行台数¹⁰³⁾(筆者作成)

追従に関する車両性能については、既往研究より、近年では ASV (先進安全自動車) の普及によって運転行動が変化している可能性がある指摘されている^{例えば 28)37)70)}。そこで、既存のデータで対象期間における首都高速道路内を走行した車両の性能を調べることはできない。そこで、国土交通省が公表している ASV 技術普及状況調査⁹⁾や一般社団法人 日本自動車工業会が公表している統計データ¹⁰⁴⁾を用いて推察を行う。ASV 技術普及状況調査によると、搭載されている ASV 技術の種類は複数存在し、乗用車で 44 種類、大型車で 19 種類となっている。そこで、本研究では既往研究を参考に、ASV 技術のうち高速道路上の追従挙動に変化を与えると考えられる車間距離警報、ACC、衝突被害軽減ブレーキに着目して整理・推察を行う。下記の図は、データが存在する 2010 年度から 2020 年度までの車両生産台数のうち、対象の ASV 技術が搭載されている割合を示したものである。図 3-9 は乗用車の車両生産台数のうち ASV 技術が搭載されている割合、図 3-10 は大型車の車両生産台数のうち ASV 技術が搭載されている割合である。図 3-9 と図 3-10 では生産台数に大きな差があることを注意したい。

これらの図から、対象の ASV 技術の搭載割合はいずれも増加傾向にあることがわかる。乗用車に関しては、2020 年度において、全ての ASV 技術の搭載割合が 90%を超える結果になっている。2010 年度の時点では、どの ASV 技術も 0%近くであったことを考えると、街中に存在する車両のうち ASV 技術を搭載している車両台数は増加していると考えられる。

大型車に関しては、車間距離警報や衝突被害軽減ブレーキの搭載割合は増加傾向にあることがわかる。ACCについては、2011年以降20%-30%の間を推移していることがわかる。これらのことから、大型車に関しても街中に存在する車両のうちASV技術を搭載している車両台数は増加していると考えられる。

また、乗用車の衝突被害軽減ブレーキについては、2021年11月以降に生産される車両には搭載が義務化されている¹⁰⁵⁾。このことから、今後もASVが搭載されている乗用車は増加すると考えられ、いずれほぼ全ての乗用車が搭載されるのではないかと考察できる。

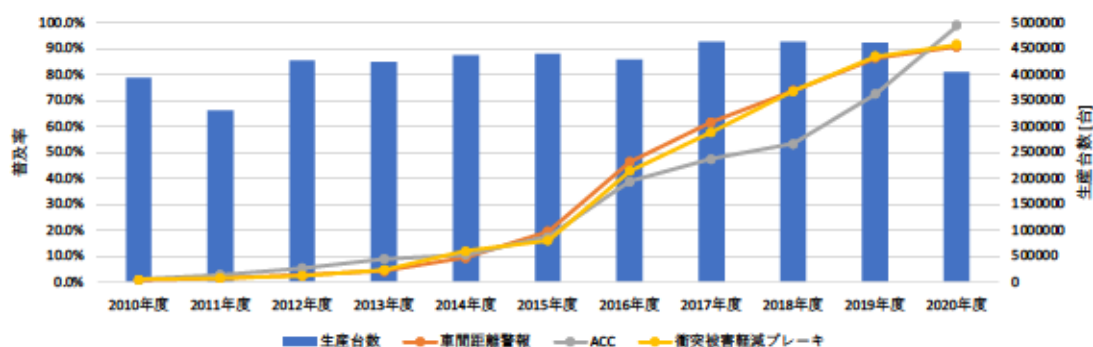


図 3-9 乗用車の年度生産台数と ASV 技術普及割合⁶⁾ (筆者作成)

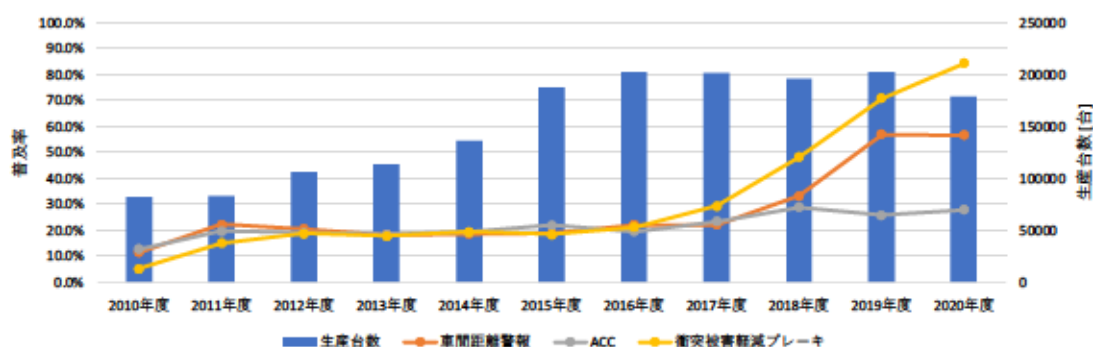


図 3-10 大型車の年度生産台数と ASV 技術普及割合⁶⁾ (筆者作成)

続いて、街中を走行する車両のうち、対象期間において、どの程度の車両が ASV 技術を搭載しているか、上記の分析結果と自動車工業会の統計データ¹⁰⁴⁾を用いて推察する。また、生産された ASV 技術搭載車のうち、どの程度が使用できなくなっているか計算されているデータは存在しない。そこで、一般財団法人 自動車検査登録情報会が公表している各年度の乗用車の平均使用年数¹⁰⁶⁾は、およそ 12-13 年となっている。そのため、2016 年度以降の日本で保有されている車両台数の中で国土交通省の ASV 技術普及状況調査で記録されている ASV 技術搭載車は全て存在するという仮定のもと概算を行う。

下記の図は、日本国内で保有されている車両のうち、上記の仮定のもと概算した ASV 技術の普及率である。図 3-11 は交通流内に存在する乗用車のうち ASV 技術が搭載されている割合、図 3-12 は交通流内に存在する大型車のうち ASV 技術が搭載されている割合である。図 3-11 と図 3-12 では生産台数に大きな差があることを注意したい。

これらの図から、乗用車において、2016 年度は 10%未満であった ASV 技術搭載車が 2020 年度には 20%以上、およそ 4 台に 1 台が ASV 技術を搭載していると考えられる。既往研究より、これらの技術は追従挙動に変化を与えていることがわかっていることを踏まえると、現在の交通流分析においても ASV の存在は考慮しなければならなくなっていると考えられる。

大型車に関しては、乗用車に比べて普及の速度が緩やかであることがわかる。この理由としては、大型車の保有台数は 1450 万台前後に対して、生産台数は 20 万台前後と買い替わりの速度が遅いことが理由と考えられる。しかしながら、2016 年ではそれぞれの搭載率が 1%程度であったが、現在では 3%程度と単調増加しており、今後はさらに普及していくと考えられる。

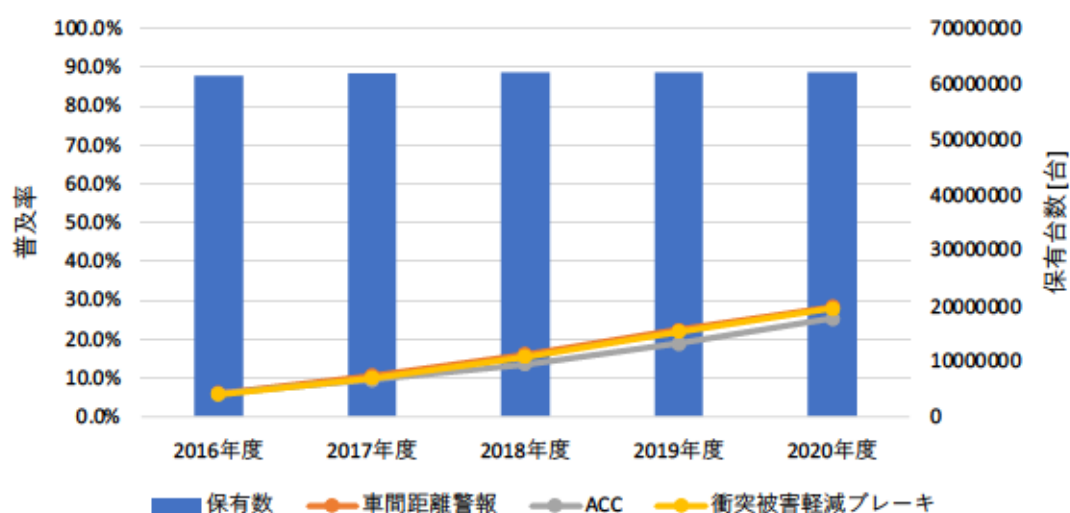


図 3-11 乗用車の保有台数と ASV 技術普及率の概算⁶⁾¹⁰⁴⁾ (筆者作成)

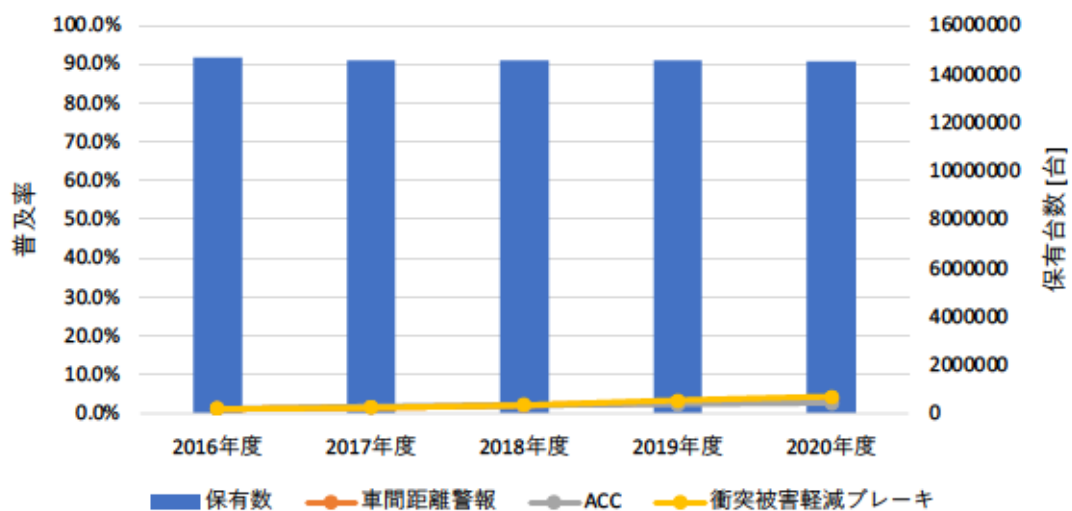


図 3-12 大型車の保有台数と ASV 技術普及率の概算⁶⁾¹⁰⁴⁾ (筆者作成)

3.3 運転行動の変化に着目しているこれまでの取組みの把握

次に、道路構造を変化させず、運転行動の変化を促すことで交通流の改善を試みた取組みについて、本研究で対象となる首都高速道路をメインに整理を行う。ここでは、運転中の行動の変化を促す取組みだけでなく、運転すること自体に変化を促している取組みについても整理を行う。

3.3.1 首都高速道路で行われている取組み

はじめに対象となる首都高速道路を対象に整理する。首都高速道路株式会社が公表している渋滞対策¹⁰⁷⁾によると、サグ部で発生する渋滞の対策として「エスコートライトの導入」、「速度回復メッセージの表示」、「看板や路面標示による注意喚起」が行われている。また、合流部で発生する渋滞の対策として「可変チャネルリゼーション」、「入口流入調整」が行われている。また交通集中を緩和させるための対策として、「広域交通情報の提供」、「渋滞予測カレンダーの発表」、「ロードプライシング」が行われている。このうち、言葉では効果が判断しづらいエスコートライトと可変チャネルリゼーション、ロードプライシングについて以下に詳述する。

エスコートライト¹⁰⁸⁾とは、速度回復誘導灯のことであり、路側に設置し、進行方向に向かって、走行速度よりも少し速いスピードで連続的に光を流すことで、上り坂で発生する減速を抑えている。首藤高速道路では2015年より渋谷線下りで設置が開始されている。



図 3-13 首都高速道路に設置されているエスコートライト¹⁰⁹⁾

可変チャネルリゼーション¹⁰⁸⁾とは、ジャンクションの手前において、可変式表示板や可変路面表示を用いて、走行車両の車線誘導を行うものである。路線の交通需要が時間帯によって変化する地点において導入することで、合流手前で交通流が整理されるため、安全で円滑な合流を行うことが可能になる。首都高速道路では、2019年に浜崎橋 JCT において、長期試験が行われ、1号羽田線で運用が行われている。



図 3-14 首都高速道路の長期試験で用いられた可変チャネルリゼーション¹⁰⁰⁾

本研究の対象期間である2021年7月21日から2021年9月5日までの期間において、「東京2020オリンピックパラリンピック競技大会」が開催された。首都高速道路では、この期間において、交通集中を抑制するために、ロードプライシングを実施している¹⁰⁹⁾。競技が開催されている6時から22時は、乗用車に対して通常よりも1000円料金を上乗せし、夜間は5割引にするなどの対策が行われた。この施策により、期間中の交通量を抑えることが可能となっている。

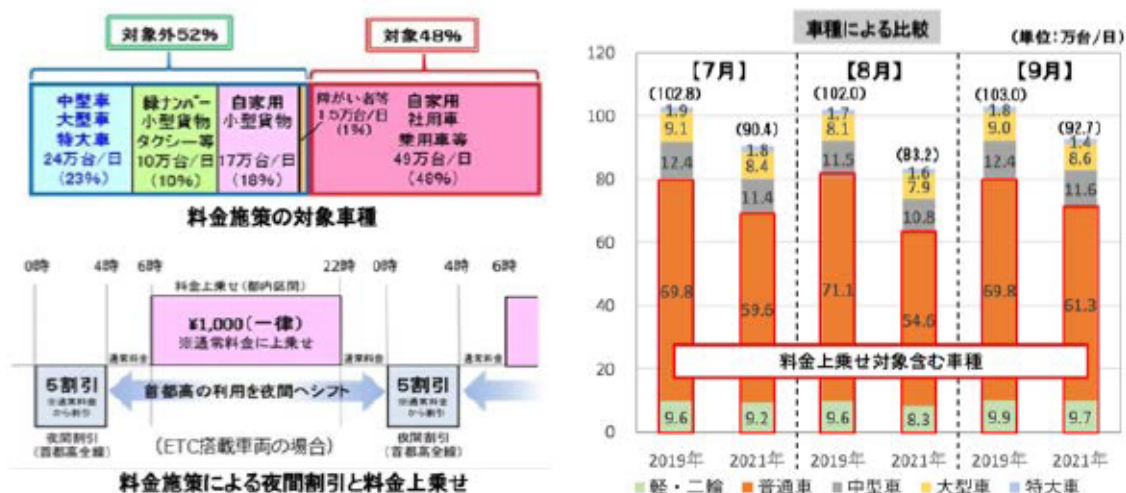


図 3-15 首都高速道路で実施されたロードプライシングとその効果¹⁰⁰⁾

3.3.2 首都高速道路以外で行われている取組み

次に首都高速道路以外で行われている渋滞対策について整理する。はじめに国内の高速道路会社が行なっている取組みに着目すると、どの会社も交通状況や渋滞予測に関する情報提供が行っている¹¹⁰⁾¹¹¹⁾¹¹²⁾¹¹³⁾¹¹⁴⁾。

この他にも、東日本高速道路株式会社¹¹⁰⁾では、道路構造を変えずに車線運用を変更させることで交通流を整理したり、路面表示を活用して車線変更を抑制したりしている。また首都高速道路のエスコートライトと同様の機能をもつペースメーカーライトを設置し、交通流内の速度を整理している。

阪神高速道路株式会社¹¹¹⁾では、情報提供や車線運用の変更、ペースメーカーライトの設置の他に、都心部への流入を抑制するために、環状線内と放射高速道路間の流入利用に対し、経路によらず起終点間の最低料金となる流入割引、上り坂であることを気づかせるために、側面に水平ラインを示すなどの取組みが行われている。

次に、海外の高速道路で実施されている取組みについても整理する。整理にあたり、国土交通省の事例紹介¹¹⁵⁾および塩見の研究¹¹⁶⁾を参考にする。

はじめに欧州全体では、インフラ利用に関する負担の公正の観点から、インフラ費用の負担が少なく、環境への負担が大きい大型貨物車両に対して、高速道路や一般道の走行時に課金する制度を設けている。イギリスやドイツ、イタリアなど22ヶ国で実施されている。

フランスでは、交通需要を抑制・調整する方法として、上記の課金制度以外に、時間帯ごとに料金が異なる時間帯料金制の導入や起終点が同じであっても迂回路を選択した場合料金が安くなる複数のルート間での料金調整などを行っている。料金施策の他にも交通流内の速度を調整し交通容量を増加させるために可変速度規制も導入している。

イギリスでは、車線毎の情報版を用いることによる細かな交通管理が行われており、交通流率と走行速度に応じたリアルタイムでの可変速度規制や混雑時のみ路肩が走行可能となる動的路肩走行などが行われている。

欧州以外にアメリカのテキサス州では、2人以上が乗っている車両のみ通行できるHOV (High Occupancy Vehicle) レーン型のリバーシブルレーンを導入しており、ピーク時に合わせて、通行できる方向を変化させ、交通容量を増加させている。ルイジアナ州では、高速道路への流入を調整するためにランプメーターを導入しており、本線に合流する車両を整理して、ピーク時の本線の走行速度を増加させている。カリフォルニア州では、時間帯や曜日に応じた変動料金制やHOT (High Occupancy / Toll) レーンを対象としたリアルタイムでの変動料金制を導入し混雑緩和を図っている。

シンガポールでは、都心部に流入する際にロードプライシングを実施しており、都心部の混雑緩和を図っている。渋滞状況に応じ、料金は時間帯毎に変動し、3ヶ月毎に料金の見直しが行われている。

第4章

実データを用いた 交通流の経年変化に関する分析

4 実データを用いた交通流の経年変化に関する分析

4.1 本章の視点と構成

本章では、下記に詳述する車両感知器データを用いて、交通流の経年変化の実態を明らかにするための分析を行う。既往研究で示している通り、日本各地において、交通流の特に交通容量状態において経年変化が生じていることが示されている²⁾⁷⁾⁹²⁾。一方で、本研究の対象としている首都高速道路において、経年変化を明らかにしている研究は存在しない。そこで、はじめに対象区間における交通流全体を概観し、首都高速道路においても同様の傾向が見られるのかマクロ的な視点から分析を行う。その後、個々の車両挙動に関するデータから、交通流の経年変化がどの車両挙動によって生じているのかミクロ的な視点から分析を行う。ミクロ的な視点からの分析では、既往研究で着目している交通容量状態だけでなく、自由流や渋滞発生前後、渋滞流にも着目して、それぞれの状況でどのような変化が生じているのか分析を行う。

以上の視点を基に、本章の構成は以下の通りとなっている。第1節では、本研究の視点と構成を述べている。第2節では、本分析で用いるデータについて詳述している。第3節では、5分間データを使用し、マクロ的な視点から交通流全体の経年変化について分析を行い、得られた結果から考察を行う。第4節では、パルスデータを使用し、ミクロ的な視点から個々の車両挙動に着目した状況別の交通流の経年変化について分析を行い、得られた結果から考察を行う。第5節では、ここまでの分析結果のまとめを記述する。

4.2 本研究で使用するデータ

第3章で詳述している通り、本研究では図4-1に示す対象地点に設置されている車両感知器データを用いて分析を行う。これらの地点での、交通流データ取得方法は、図4-2に示すような超音波式によるものであり、首都高速道路には300m~600mごとに、この車両感知器が設置されている。

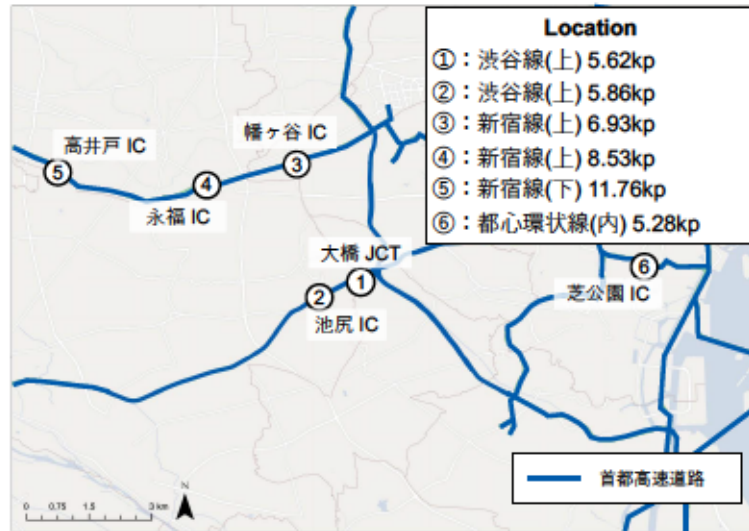


図 4-1 都市内高速道路における分析対象区間（再掲）

車両感知器について

- ・車両感知器は、300~600m間隔にて設置
- ・5m間隔に設置したセンサーにて、その場所の速度を算出

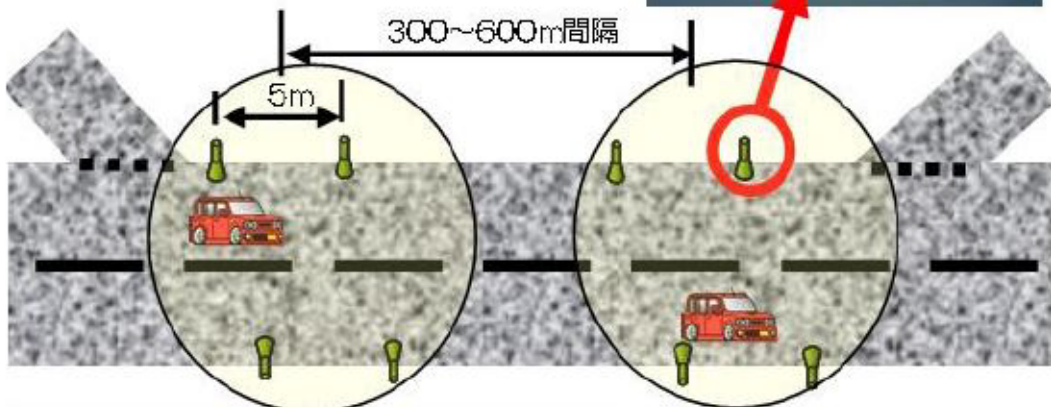


図 4-2 超音波式車両感知器の例¹¹⁷⁾

次に上記の対象区間において、取得される車両感知器データについて、詳細に記述する。首都高速道路における車両感知器は、超音波式車両感知器であり、図4-2で示した通り、路側に設置されている。図4-3は、データの取得方法を模式的に表したものである。図に示すように、この地点を車両が通過する際に、通過時刻、速度、車種が記録される。またパルスデータとして、車両が通過している瞬間は1を、車両が通過していない瞬間は0が記録される。このパルスデータは1分間に3000回、データが取得される。同時に車長の長さから大型車か否かも判断している。取得データは路線ごとにまとめられていることが分かっている。

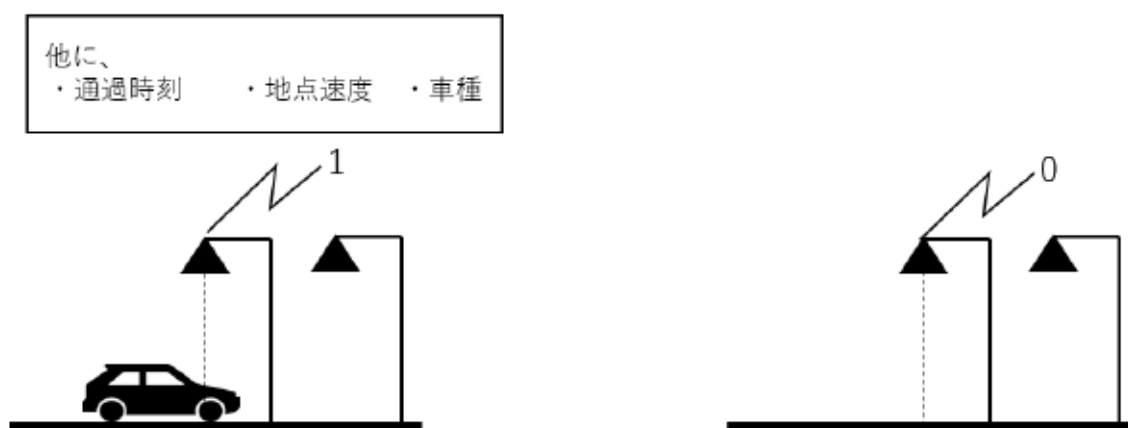


図 4-3 超音波式車両感知器の概要（パルスデータの場合）

このパルスデータを5分間の平均速度と5分間交通量にまとめたものが5分間データであり、5分間データによって5分間の交通量や平均速度、大型車台数は判断できるものの、車線毎の交通量や各車両の挙動については判断することができない。パルスデータはデータの膨大さから、そのままの状態では保存されていることは難しく、5分間データにまとめられている場合が多い。そこで、本研究ではマクロ的な視点での分析として、5分間データを使用し、ミクロ的な視点での分析としてパルスデータを使用する。データの概要を下記に示す。過去の一部と現在で、取得月が異なっているが、夏休みの期間からは外れており、また気温などの気候も近い期間であることから、本研究では同じ条件と仮定して比較を行う。

<5分間データ>

2016年度から2021年度まで全日（2,191日分）

<パルスデータ>

過去に取得されていたデータ：2016年7月11日(月)～7月15日(金) 各日24時間

2019年9月2日(月)～9月6日(金) 各日24時間

今回新たに取得したデータ：2021年9月27日(月)～10月1日(金) 各日24時間

4.3 マクロ的な視点からの交通流の経年変化分析

5分間データを用いて、マクロ的な観点から交通流の経年変化を分析する。

5分間データには、5分間で記録された交通量、車種、速度が記録されている。はじめに、対象区間の年度毎の QV 図を作成し、経年変化を分析する。図 4-4 は、対象区間における QV 図の経年変化を示したものである。

QV図_全データ

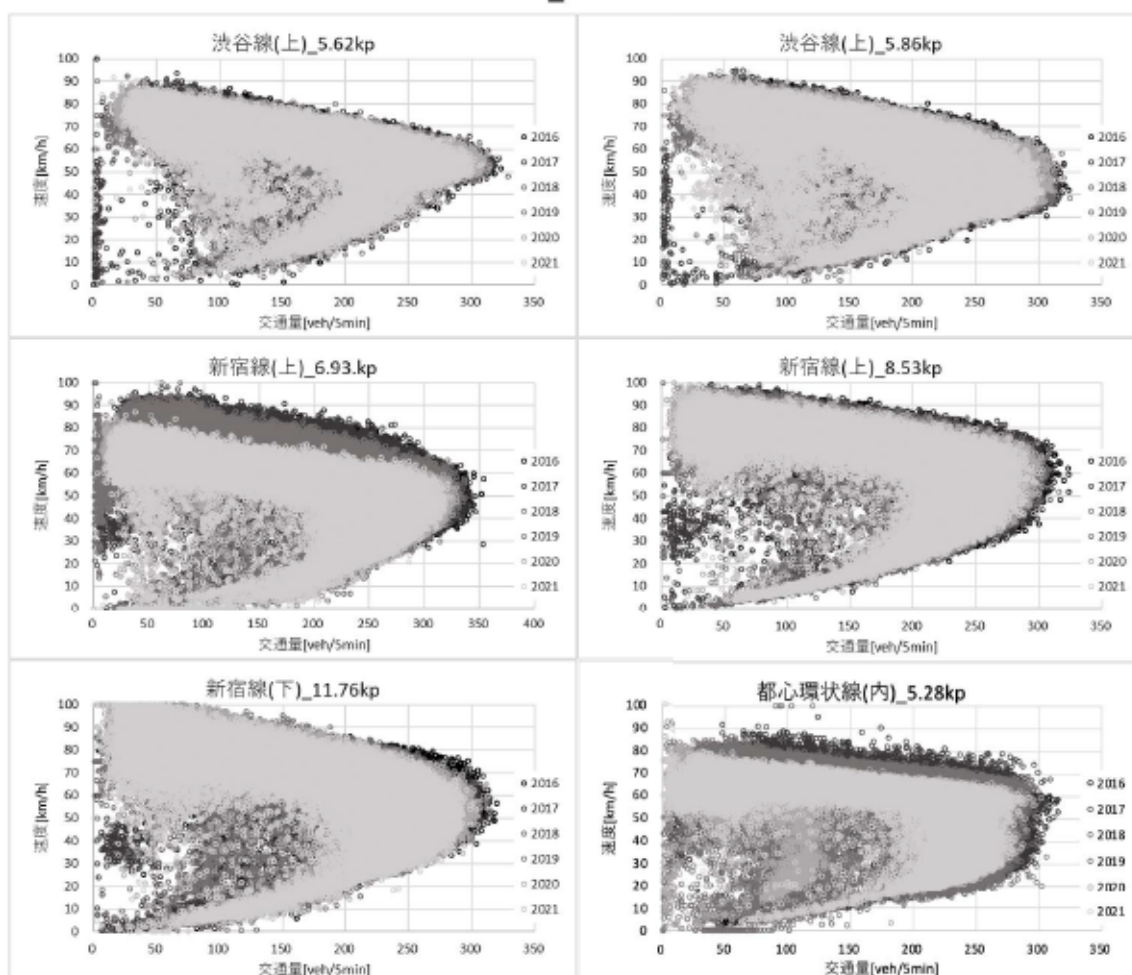


図 4-4 5分間データを用いた QV 図の経年変化

この図では、色の濃さで年度を表しており、色が薄くなるほど、新しい年のデータとなっている。これらの図において、実績最大交通量に該当する頂点部分に着目すると、先端が濃くなっている。また、薄くなるほど頂点が内側に移動していることから、これらを踏まえると実績最大交通量は経年で減少していることがわかる。この結果は、後藤らの分析でも支持されており、首都高速道路でも同様の変化が生じていると考えられる。

次に QV 図を比較して得られた結果をどの程度変化が起きているかを調べるために、数値を用いて確かめる。比較する交通状況は、99%タイル値交通量、99%タイル値速度である。それぞれの交通状況に着目する理由を以下に記述する。

99%タイル値交通量は、既往研究²⁷⁾⁹²⁾でも多く用いられている指標であり、交通容量状態を評価する際に用いられる。車両感知器データより得られた交通量のうち、上位1%を除外した上で、最も高い値を示した交通量である。本研究でも、実際の交通容量状態において、どのような経年変化が生じているか調べるためにこの指標を採用する。1%を除外する理由としては、実データを取り扱う関係上、エラーや特殊な状況によって生じる外れ値を取り除くためである。

99%タイル値速度は、同じく上位1%を除いた上で記録された最速の速度である。経年変化に着目している分析において、自由流の変化に着目した論文は存在しない。本研究では、99%タイル値速度を他の交通に影響を受けていない自由流での速度と仮定し、その値に経年変化が生じているか比較・分析を行う。

はじめに、99%タイル値交通量の経年変化を図4-5に示す。また表4-1は、それぞれの算出結果を示している。

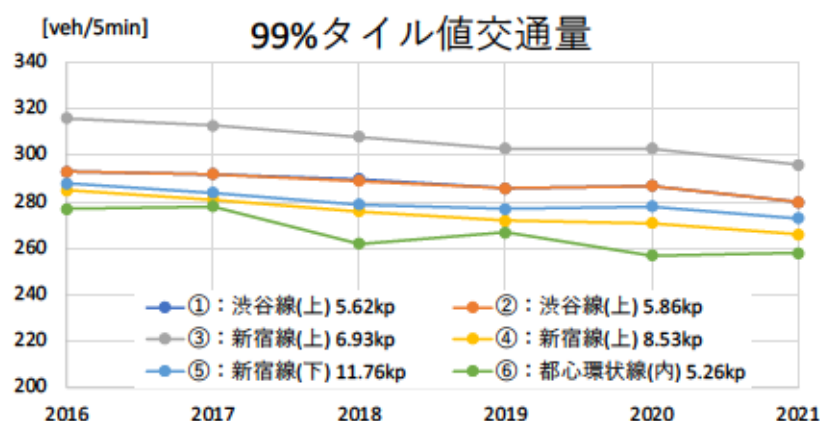


図 4-5 99%タイル値交通量の経年変化

表 4-1 99%タイル値交通量の経年変化

[veh/5min]	2016	2017	2018	2019	2020	2021
①：渋谷線(上) 5.62kp	293	292	290	286	287	280
②：渋谷線(上) 5.86kp	293	292	289	286	287	280
③：新宿線(上) 6.93kp	316	313	308	303	303	296
④：新宿線(上) 8.53kp	285	281	276	272	271	266
⑤：新宿線(下) 11.76kp	288	284	279	277	278	273
⑥：都心環状線(内) 5.26kp	277	278	262	267	257	258

これらの図表より、一部の区間で増加している部分もあるが、全体的に99%タイル値交通量は経年減少していることがわかる。表 4-1 より減少幅が最大となっているのは、都心環状線(内)5.26kp 付近の区間であり、6年間で最大21[veh/5min]の減少、およそ7.2%減少している。他の地点も同様の傾向にあり、平均で16.9[veh/5min]の減少となっている。これまでの研究結果から、交通需要を十数%超過しただけでも、深刻な渋滞が発生する可能性が指摘されている¹¹⁸⁾。このことから、6年間で99%タイル値交通量がおよそ7%減少していることにより、以前に比べて交通渋滞が発生しやすくなっている可能性が考えられる。また、単調に減少している区間が多いことから、今後も減少していくと考えると、さらに渋滞発生する可能性が高くなっていると考えられる。

次に、99%タイル値速度の経年比較を行う。図 4-6 は、比較結果を図示したものである。また、表 4-2 では、それぞれの算出結果を示している。

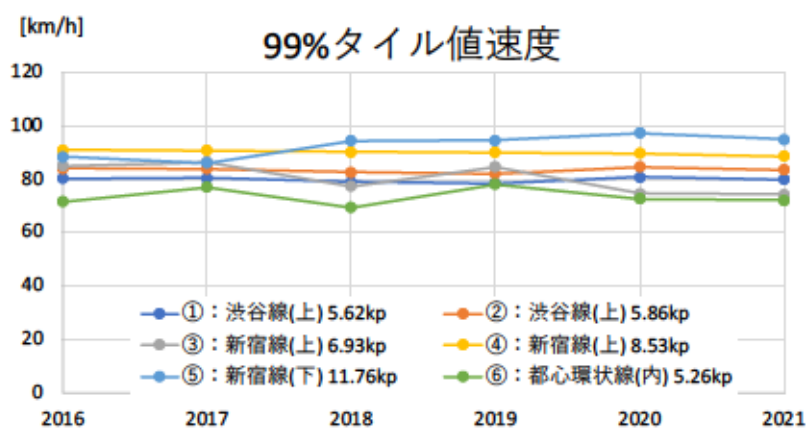


図 4-6 99%タイル値速度の経年変化

表 4-2 99%マイル値速度の経年変化

[km/h]	2016	2017	2018	2019	2020	2021
①：渋谷線(上) 5.62kp	80.4	80.5	79	78.6	80.8	80
②：渋谷線(上) 5.86kp	84.1	83.9	82.6	82.1	84.6	83.6
③：新宿線(上) 6.93kp	85.0	86.5	77.4	84.7	74.8	74.4
④：新宿線(上) 8.53kp	91.0	90.8	90.3	90.1	89.8	88.6
⑤：新宿線(下) 11.76kp	88.5	86.2	94.5	94.7	97.3	95.0
⑥：都心環状線(内) 5.26kp	71.7	77.0	69.5	78.2	72.8	72.2

これらの図表より、99%マイル値の場合とは異なり、99%マイル値速度に関しては一定の傾向の変化がみられない。新宿線(下)11.76kp 付近の区間のみ 99%マイル値速度が増加傾向にあるものの、その他の区間ではほぼ同値か減少傾向にある。このことから、自由流での走行速度に関しては、運転行動による一定の変化はないと考察できる。一方で、使用しているデータの特性上、車両感知器データにエラーが発生した場合、周辺の車両感知器データを用いて補完しているため、その結果として速度変化に傾向が見られない可能性が考えられる。周辺の車両感知器を用いる際に当該車両感知器との間に出入口がない場合、交通量の大きさに大きな変化はないものの、自由流での速度に関しては、道路構造に大きく影響することから、300-600m の違いであっても大きく異なる可能性が考えられる。次節の分析で用いるパルスデータに関しては、エラーデータの処理方法が異なるため、あらためて分析を行い、この分析と結果が異なるか確かめることとする。

また、上記で示した QV 図や 99% タイル値交通量の変化が交通需要に起因しているかを確かめる。道路形状や運転行動に変化がなくとも、交通需要自体が下がってしまうことで交通容量が減少する可能性がある。そこで、5 分間データより対象区間における各年度の年平均日交通量を算出し、その変化が需要の変化を表していると仮定し、比較分析を行う。図 4-7 は、対象区間における各年度の年平均日交通量を示したものである。

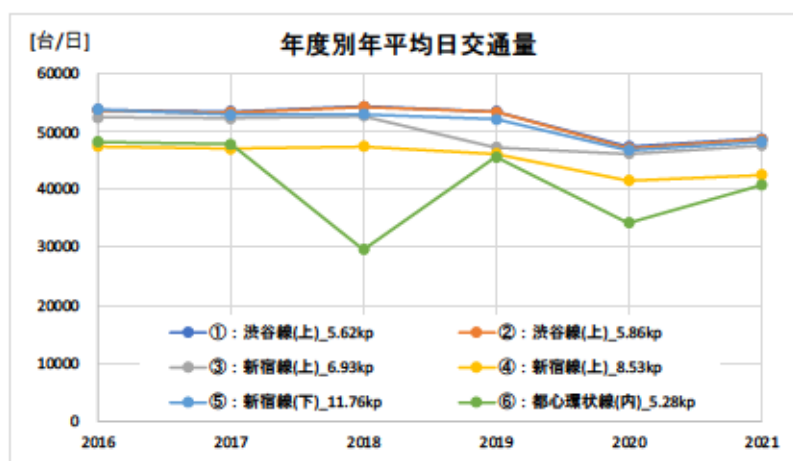


図 4-7 年平均日交通量の経年変化

この図より、都心環状線を除いた対象区間において、同様の年平均日交通量の経年変化に同様の傾向が見られることがわかる。2019 年度以前に関しては、ほぼ同じ値もしくは若干増加しており、2019 年度以降、新型コロナウイルスの影響により、非常事態宣言など活動自粛が求められることが増え、その結果として交通量が大きく下がっている。2021 年度では、2019 年度以前には達していないものの、若干の回復が見られている。都心環状線の 2018 年度において、交通量が大きく減少している理由として、データ取得時の不具合によるものが考えられる。実際同区間において、2018 年度の 99% タイル値交通量や 99% タイル値速度に着目すると、大きく変化していることがわかる。一方で、99% タイル値交通量では、2018 年が最小となっておらず、2021 年度が最小となっている。他の区間においても、年平均日交通量の経年変化と、99% タイル値交通量や 99% タイル値速度の経年変化を比較すると、変化が一致していないことがわかる。以上のことから、一部区間において、データ取得による影響が見られるものの、対象期間において、交通需要の変化が交通容量や自由流の交通にもたらす影響は少ないと考えられる。

4.4 ミクロ的な視点からの交通流の経年変化分析

第3節で明らかにした交通流の経年変化に対して、個々の車両挙動を分析することができるパルスデータを用いて、実際にどのような変化が生じているか明らかにする。分析を行うにあたり、交通状況が異なる車両挙動を比較しても、その変化が運転行動によるものか判断することが難しい。そこで、はじめに交通流を状況ごとに分解する。基本的に交通流は、渋滞流と非渋滞流に分けて分析されることが多い。既往研究より、QV図の頂点付近の交通容量状態の交通流を臨界流として分析している研究も存在する¹⁰⁾。また渋滞発生前後に着目して、交通流の移り変わりを分析している研究も存在する⁷⁷⁾⁷⁹⁾⁸⁰⁾。これらを踏まえ、本研究では経年比較する交通状況を非渋滞流、臨界流、渋滞発生前後、渋滞流とし、それらの状況において、どのような変化が生じているのか分析を行う。図4-8は、新宿線(上)_8.53kp付近のQV図を例に、交通状況の分類を簡単に図示したものである。

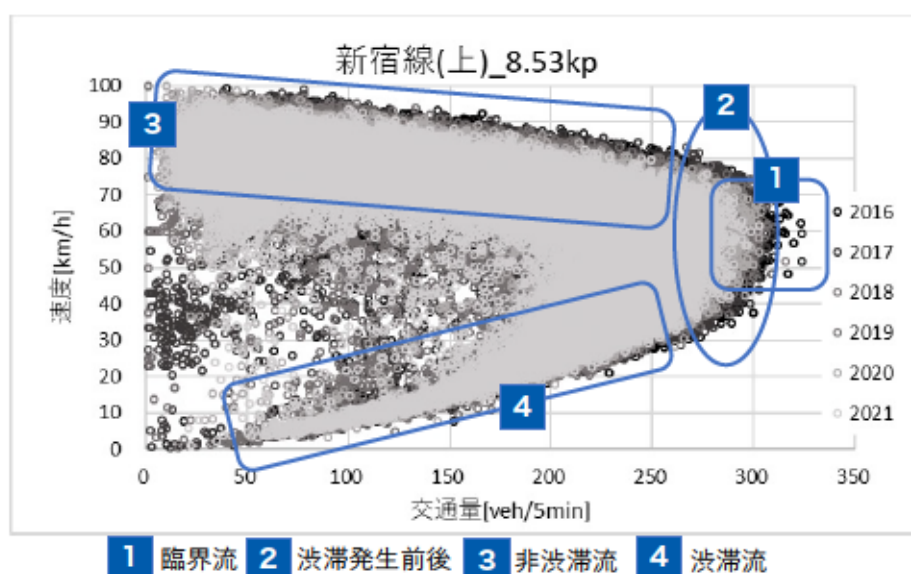


図 4-8 経年比較対象の交通流

比較分析を行うにあたり、全ての交通状況で用いることができる追従挙動や車両挙動に関する指標は存在しないと考えられる。例えば、交通速度の場合、非渋滞流であれば、個人の運転に対する考え方によってその値を変化させることが可能であるが、臨界流や渋滞流では他の交通に制限されてしまい、個人で変化させることが難しく、経年変化を分析するにあたり、適当な指標ではないと考えられる。

そこで、各交通状況において、個人の考えなどで変化が可能である指標を比較に用いることとする。表4-3は、各交通状況における比較に用いる指標をまとめたものである。以降では、これらの指標を用いて分析を行う。

表 4-3 交通状況別の対象となる追従挙動や車両挙動に関する指標

追従挙動や車両挙動に関する指標
臨界速度
大型車混入率、交通量、車群構成台数、車群発生率、車頭時間
自由速度
渋滞密度、BW速度

交通状況別の経年変化を比較する前に、使用するデータにどのような交通状況が記録されているか、QV図を作成することによって確認する。図4-9は、パルスデータを用いて使用データから各地点のQV図を作成したものである。

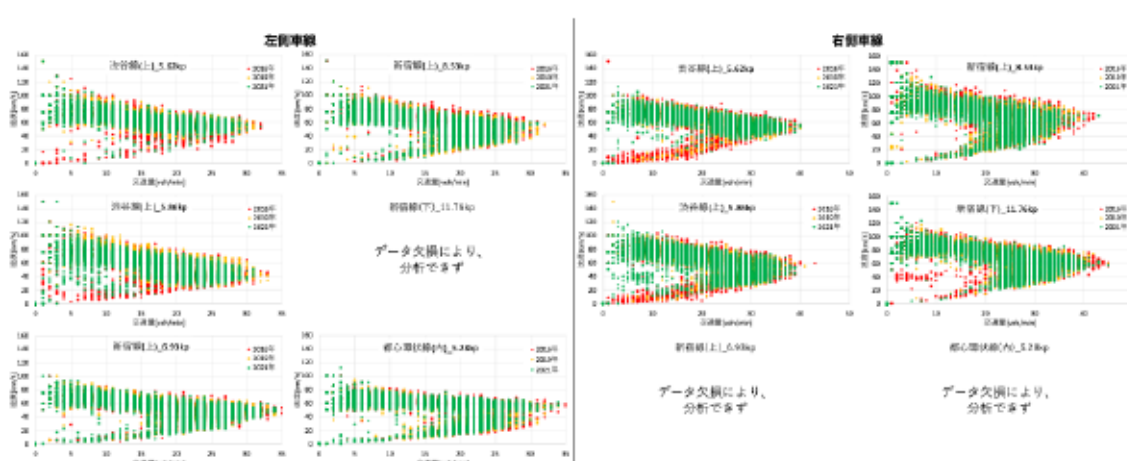


図 4-9 パルスデータを用いた対象区間のQV図の経年変化

この図において、この図において、QV図が表示されていない地点は、2016年、2019年、2021年のいずれか2年分のデータに欠損が生じており、分析ができなかった地点である。2016年のデータは赤色、2019年は黄色、2021年は緑色で示している。これらの図では、QV図の縁において、赤色が目立ち、その内側に黄色が存在している。渋谷線では、2019年、2021年の右側車線において速度低下の著しい渋滞流は見られず、2016年の状況と比べ交通流が変化している可能性が考えられる。しかしながら、全体的にQV図は徐々に縮小していることがわかる。このような変化は、第3節の5分間データを用いたQV図でも同様の傾向がみられていることから、パルスデータを用いた場合でも経年変化が表現されていると考えられる。また、左側車線と右側車線で変化を比較すると、2車線の高速道路において追越車線にあたる右側車線の方が、QV図の頂点において縮小の割合が高いことがわかる。このことから、交通容量が経年で減少していると考えられる。

4.4.1 臨界流に着目した交通流の経年変化分析

図4-8で分解した交通状況のうち、臨界流に着目して、その状況における交通流の経年変化を分析する。臨界流の交通状況を定めることにより、渋滞発生前後や非渋滞流、渋滞流を判別することが可能になるため、はじめに臨界流に着目する。臨界流は、交通渋滞が発生する直前の交通状況であり、交通流内では追従を積極的に行う車両や安全を意識し距離をとり始める車両など、様々な車両挙動が混在している。このことから、交通状況の中で一番事故率が状態であることも指摘されている¹⁰⁾。非渋滞流から交通需要の増加に伴い、徐々に交通密度が高まっていく中で、どのタイミングで臨界流に交通状況が変化するか、変化する状況に着目して経年変化を分析する。分析では臨界流の交通速度である臨界速度とその瞬間の交通密度である臨界密度を指標として分析を行う。

はじめに臨界速度に着目して分析を行う。臨界速度の推定に関しては、多くの既往研究で行われており、99%タイル値交通量や交通容量時の速度とするもの⁹²⁾、QV図の形状から速度を推定するもの¹¹⁹⁾、理論から式を導出しそれに基づいて算出するもの⁸⁹⁾などがある。本研究では、可能な限り恣意性を排除し、全て同じ条件で臨界速度を算出するために、白石らの研究⁸⁹⁾を参考に、kittler法を用いて臨界速度を推定する。

kittler法とは、画像処理に用いる手法の1つで、対象領域と背景領域の濃淡値がともに正規分布に従うと仮定する時に、2つの分布の境界となる閾値を選定する方法である。交通分野においては、非渋滞流と渋滞流の平均速度の頻度分布が正規分布に従うと仮定し、臨界速度(閾値)を定義するため、ボトルネック付近の断面の車両感知器データから得られた速度ヒストグラムに適用した事例があり、良好な判定結果が得られている。図4-10は、kittler法による閾値決定のイメージ図である。縦軸は速度頻度、横軸は速度を表している。また、図4-11は、白石ら⁸⁹⁾の分析に用いた速度ヒストグラムと本研究の対象地点におけるヒストグラムを比較したものである。図下に示した白石らの分析では、緑色の線が速度ヒストグラムとなっている。図上の本研究のヒストグラムと比較すると、同様の形状になっていることが確認できることから、kittler法が本研究においても適用可能であると考えられる。

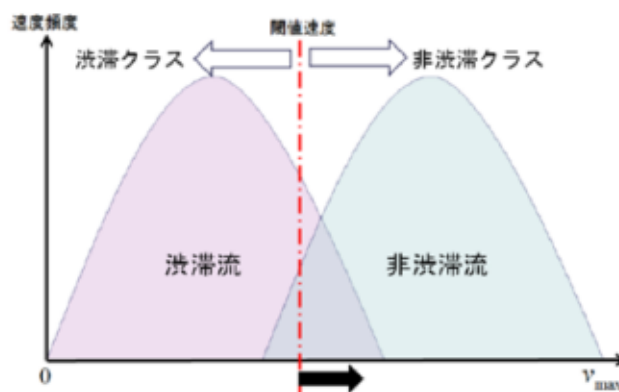


図 4-10 kittler 法による臨界速度算出のイメージ⁸⁹⁾

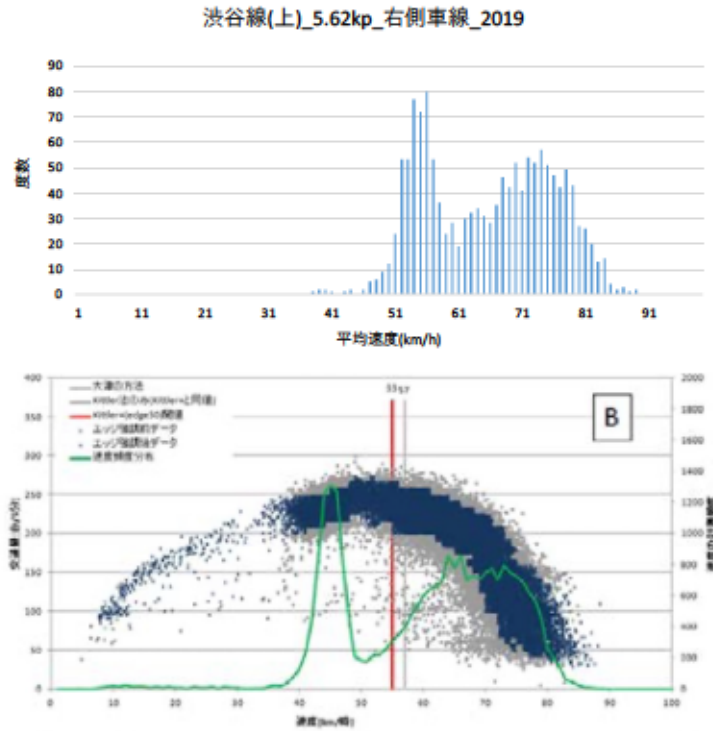


図 4-11 本研究と既往研究の速度ヒストグラムの比較
(上段：筆者、下段：白石ら⁸⁹⁾)

本研究では、このkittler法を用いて、以下の手順で臨界速度を算出した。

- 1) 車両感知器データより5分間交通量を取得し、速度ヒストグラムを作成する。
- 2) 任意の閾値を設定し、その値を境に速度ヒストグラムを2つのグループに分ける。
- 3) それぞれのグループにおいて、速度の平均と分散、度数の比率を算出する。
- 4) 式(4-1)に示す誤差識別を評価する式に、3)で求めた値を代入し、評価値を得る。
- 5) 2)-4)までを繰り返し、評価値が最小値となる閾値を臨界速度とする。

$$J(T) = \omega_1(T) \log(\sigma_1(T)/\omega_1(T)) + \omega_2(T) \log(\sigma_2(T)/\omega_2(T)) \quad (4-1)$$

ここで、 J : 評価値、 T : 閾値(臨界速度)、1,2: グループ、 ω : 度数比率、 σ : 分散である。

上記の手法を用いて、各区間の臨界速度を算出する。表 4-4 は、各区間の臨界速度の算出結果である。表内の斜線部は、データ欠損により臨界速度を推定できなかった地点である。

表 4-4 各区間の年度別臨界速度の推定結果

臨界速度 [km/h]		左側車線	右側車線	臨界速度 [km/h]		左側車線	右側車線
渋谷線(上) _5.62kp	2016年	65.0	63.0	渋谷線(上) _5.86kp	2016年	59.0	57.0
	2019年	62.0	62.0		2019年	53.0	52.0
	2021年	64.0	63.0		2021年	55.0	54.0
新宿線(上) _6.93kp	2016年	61.0		新宿線 (上)_8.53kp	2016年	62.0	73.0
	2019年	61.5			2019年	59.0	73.5
	2021年	63.0			2021年	68.0	71.0
新宿線(下) _11.76kp	2016年		70.5	環状線(内) _5.28kp	2016年	47.0	
	2019年		71.5		2019年	45.0	
	2021年		77.5		2021年	48.0	

この表より、9区間のうち7区間において、臨界速度が ± 4 [km/h]の間に存在していることがわかる。時点間を比較すると変化に一定の傾向は見られなかった。交通流内の速度は常に変化しており、既往研究では速度幅を5[km/h]範囲でまとめられていることが多いことを踏まえると、臨界速度に関して時点間で大きな変化は生じていないと考察できる。

ここでは、交通流のうち臨界流に関し、臨界速度に着目して、経年変化を分析した。車両感知器データから臨界速度を推定できる kittler 法を用いた分析より、多くの地点で2016年から2021年の臨界速度は ± 4 [km/h]の間で推移していた。また、変化の傾向に規則性が見られなかったことから、臨界速度に関しては経年変化が起きていないと考察した。

4.4.2 渋滞発生前後に着目した交通流の経年変化分析

図4-8で分解した交通状況のうち、渋滞発生前後に着目して、その状況における交通流の経年変化を分析する。渋滞発生前後の交通流を分析するにあたり、はじめに渋滞状態の定義を確認する。本研究では、第1章で記述しているとおり、車両感知器データから交通渋滞発生の瞬間を確実に捉えるために、「交通流内の平均速度が臨界速度を下回ってから15分以上上回る状態」としている。

上記の定義をもとに、対象期間における渋滞発生時刻を算出する。表4-5は、各区間の対象期間における渋滞発生時刻を示したものである。本研究では、各年の平日5日間のデータが存在するため、曜日ごとに揃えている。曜日のセルに書かれているのは、対象時刻の天気である。表内の斜線部は、データ欠損により渋滞発生時刻を算出できなかった地点である。

表4-5 推定臨界速度による各区間の渋滞発生時刻

渋滞発生時刻	月(晴・晴・晴)		火(曇・晴・晴)		水(雨・曇・曇)		木(曇・晴・晴)		金(雨・晴・雨)		
	左側車線	右側車線	左側車線	右側車線	左側車線	右側車線	左側車線	右側車線	左側車線	右側車線	
渋谷線(上) _5.62kp	2016年7月11-15日	6:17	6:15	6:19	6:20	6:58	6:21	6:11	6:00	5:58	5:56
	2019年9月2-6日	6:31	6:07	6:40	6:34	6:51	6:33	6:23	6:08	6:28	6:19
	2021年9月27日-10月1日	6:12	6:03	6:00	6:01	6:07	6:08	5:57	5:57	6:12	6:03
渋谷線(上) _5.86kp	2016年7月11-15日	6:18	6:19	6:21	6:21	6:45	6:44	6:12	6:12	6:11	6:09
	2019年9月2-6日	6:40	6:31	6:41	6:40	6:49	6:48	7:05	6:14	7:04	7:03
	2021年9月27日-10月1日	6:12	6:13	6:05	6:32	6:10	6:11	6:30	6:30	6:37	6:36
新宿線(上) _5.93kp	2016年7月11-15日	6:34		6:32		6:27		6:22		6:18	
	2019年9月2-6日	6:21		6:20		6:19		6:10		6:15	
	2021年9月27日-10月1日	5:52		5:51		5:54		6:15		6:00	
新宿線(上) _8.53kp	2016年7月11-15日	7:08	7:22	7:22	7:23	7:04	7:01	7:07	6:56	6:50	6:38
	2019年9月2-6日	6:37	6:30	6:34	6:28	6:16	6:12	6:28	6:27	6:37	6:33
	2021年9月27日-10月1日	5:45	6:28	5:58	6:34	5:52	6:51	6:18	6:32	5:53	6:18
新宿線(下) _11.76kp	2016年7月11-15日		7:06		6:55		6:58		7:16		7:22
	2019年9月2-6日		6:49		7:17		6:32		7:25		6:44
	2021年9月27日-10月1日		6:34		6:06		6:20		6:30		6:40
環状線(内) _5.28kp	2016年7月11-15日	10:19		9:00		9:55		9:20		9:16	
	2019年9月2-6日	10:37		8:52		8:11		8:17		8:10	
	2021年9月27日-10月1日	9:11		10:15		10:27		11:09		No Data	

この表において、2021年10月1日の都心環状線(内)_5.28kpのみ、定義に該当する渋滞が確認できなかった。この日は雨天であったこともあり、通常とは異なる交通状況であった可能性が考えられる。この表より、渋滞発生時刻については、都心環状線(内)_5.28kpを除き、5時台-7時台に発生していることがわかる。このことから朝の通勤時刻の渋滞を捉えていると考えられ、対象となる交通渋滞は通勤時という同じ交通状況であると考えられる。

両車線のデータが得られている渋谷線(上)_5.62kp、渋谷線(上)_5.86kp、新宿線(上)_8.53kpに着目し、車線間の渋滞発生時刻の差を比較すると、渋谷線(上)_5.62kp、渋谷線(上)_5.86kpでは、1ヶ所を除き、右側車線もしくは同時刻に渋滞が発生していることがわかる。都市間高速道路上での渋滞発生直前の交通流では、一般的に追越車線で混雑が始まり渋滞が発生することがわかっている。このことを踏まえると、右側車線で先に渋滞が発生することは都市間高速道路と同様の交通流が発生していると考えられる。一方で、新宿線(上)_8.53kpのみ、左側車線から渋滞が発生している日時も確認できた。この理由として、表3-1で示した上流・下流における分合流部の接続車線の影響が考えられる。渋谷線の2区間と異なり、新宿線(上)_8.53kpでは上流部に左側車線接続の入口が、下流部に右側車線接続の入口が存在する。高速道路に侵入する車両の割り込みを避けるために、この区間では左側車線を走行す

る車両が多くなると考えられる。このことが左側車線から渋滞が発生する原因であると考えられる。

上記で求めた渋滞発生時刻をもとに、渋滞発生前後の交通流の経年変化を分析する。渋滞発生前後の交通流を分析する上で、天候や曜日による需要変動が与える交通状況への影響は無視できないと考えられる。そこで、本研究ではこれらの影響を取り除くため、得られたデータのうち、同じ曜日でかつ天気が雨でなかった日を抽出する。表4-5から、月・火・木のデータを用いて分析を行うこととする。詳細な日時は以下の通りである。

- ・2016年：7月11日、12日、14日
- ・2019年：9月2日、3日、5日
- ・2021年：9月27日、28日、30日

はじめに、抽出した交通流における交通量の変化を比較する。表4-6は、対象地域における渋滞発生直前直後の交通量を示したものである。表内の斜線部は、データ欠損により5分間交通量を算出できなかった地点である。

表 4-6 渋滞発生直前直後における5分間交通量

		渋滞発生直前		渋滞発生直後	
		左側車線	右側車線	左側車線	右側車線
		交通量[veh/5min]	交通量[veh/5min]	交通量[veh/5min]	交通量[veh/5min]
渋谷線(上) _5.62kp	2016年	104.4	152.4	114.8	151.3
	2019年	110.9	153.6	117.8	158.6
	2021年	90.0	140.7	106.4	157.3
渋谷線(上) _5.86kp	2016年	100.0	162.3	120.2	148.2
	2019年	114.2	155.8	124.4	150.7
	2021年	100.7	159.0	115.2	154.8
新宿線(上) _6.93kp	2016年	123.6		134.0	
	2019年	125.6		132.4	
	2021年	111.1		130.3	
新宿線(上) _8.53kp	2016年	116.3	158.6	118.2	161.0
	2019年	116.0	152.3	121.1	155.7
	2021年	91.8	151.4	108.2	149.5
新宿線(下) _11.76kp	2016年		165.7		162.1
	2019年		156.3		167.2
	2021年		132.7		159.6
環状線(内) _5.28kp	2016年	106.1		115.3	
	2019年	116.7		109.0	
	2021年	102.7		82.0	

この表より、同地点の同じ状況における交通量に着目すると、渋滞発生直前直後の18地時点のうち15地時点で2016年の値が最も高く、2021年の値が最も低くなっていることがわかる。変化量としては、最大で約24%、平均で12%の減少となっている。前述の通り、数十%の超過需要であっても深刻な交通渋滞が発生する可能性があることから、2016年と比べて2021年ではより渋滞が発生しやすくなっていると考察できる。このような変化は、表4-1に示している99%タイル値交通量でも見られたことから、臨界状態において交通量が経年で減少していると考えられる。

次に、表4-6で示されたこの変化が有意であるかを調べるために統計分析を行う。今回の分析では、3時点間のどの部分に有意な変化が生じているかを調べるために、多重比較検定で用いられるHolm法を用いて分析を行う。この分析では、1分間ごとに交通量を算出し、時点間の平均値について、t検定を行い、p値を算出し、Holm法によって調整することで有意性を検討する。この表では、得られたp値を調整しているため、p値と判定結果があてはまらない部分が存在する。表4-7はt検定による時点間のp値の値とHolm法によって調整した判定結果である。

表 4-7 交通量の変化の有意性

左側車線	渋滞発生直前			渋滞発生直後		
	2016-2019	2019-2021	2016-2021	2016-2019	2019-2021	2016-2021
渋谷線(上)_5.62kp	0.133	0.000**	0.004*	0.470	0.002**	0.037 †
渋谷線(上)_5.86kp	0.001**	0.002**	0.896	0.235	0.005*	0.129
新宿線(上)_6.93kp	0.687	0.003*	0.023*	0.649	0.609	0.363
新宿線(上)_8.53kp	0.921	0.000**	0.000**	0.275	0.000**	0.008*
新宿線(下)_11.76kp						
環状線(内)_5.28kp	0.109	0.002**	0.602	0.060 †	0.000**	0.000**
右側車線	渋滞発生直前			渋滞発生直後		
	2016-2019	2019-2021	2016-2021	2016-2019	2019-2021	2016-2021
渋谷線(上)_5.62kp	0.815	0.007*	0.036 †	0.094	0.138	0.720
渋谷線(上)_5.86kp	0.150	0.359	0.458	0.556	0.137	0.110
新宿線(上)_6.93kp						
新宿線(上)_8.53kp	0.070	0.803	0.047	0.078 †	0.034 †	0.000**
新宿線(下)_11.76kp	0.115	0.001**	0.000**	0.218	0.111	0.598
環状線(内)_5.28kp						

† p<0.1, *p<0.05, **p<0.01

この表より、2019年から2021年にかけて、2016年から2021年にかけて、有意な変化が多くの区間・状況で生じていることが分かる。有意な変化が生じていた状況と表4-6の交通量の変化を比較すると、渋谷線(上)_5.86kpの2016年から2019年間の変化を除き、全て減少に対して有意であることを示している。このことから、3時点間という比較的短い期間

での分析であるものの、渋滞発生直前直後の交通量は経年で減少傾向にあることが示されたと考えられる。

表 4-6、表 4-7 より、渋滞発生前後の交通流において、統計的にも有意な変化が生じている区間が多いことが示された。この交通量の変化が何によって引き起こされるのか、その要因について考察を行う。これまでの研究より、渋滞発生要因や交通量が減少する要因として、追従挙動や車群、大型車混入率が挙げられている⁷⁾⁷⁹⁾⁸⁰⁾⁸²⁾。交通工学の分野において、交通容量は車頭時間の逆数で求められることがわかっている。そのため、交通量が減少している区間では車頭時間の増加が起きていると考えられる。この増加が個々の車両が全体的に増加しているものであるか、特定の車両がより大きな車頭時間をもつようになったのか明らかにするために、車群内の平均車頭時間、車群発生率、車群構成台数の変化に着目して分析を行う。

交通量の変化の要因を明らかにするために、個々の車両の車頭時間に着目して分析を行う。分析において、車頭時間の極端に大きい車両が存在すると、それにより平均や分散が影響されることから、本研究では車群内の車両に焦点を当てて分析を行う。表 4-8 は車群内の車両の平均車頭時間と分散を示したものである。本研究で用いる車群は松ヶ谷らの研究⁷⁾を参考に、車頭時間が 4 秒以下の車両で構成されていると定義する。

表 4-8 車群内の平均車頭時間と分散

		渋滞発生前				渋滞発生直後			
		左側車線		右側車線		左側車線		右側車線	
		平均[s]	分散	平均[s]	分散	平均[s]	分散	平均[s]	分散
渋谷線(上) _5.62kp	2016年	2.04	0.604	1.71	0.421	2.10	0.576	1.82	0.416
	2019年	2.06	0.594	1.78	0.456	2.14	0.533	1.77	0.403
	2021年	2.16	0.636	1.79	0.506	2.22	0.577	1.81	0.439
渋谷線(上) _5.86kp	2016年	2.05	0.629	1.70	0.439	2.16	0.524	1.93	0.425
	2019年	2.08	0.566	1.77	0.445	2.17	0.528	1.94	0.406
	2021年	2.06	0.607	1.79	0.433	2.24	0.541	1.87	0.4
新宿線(上) _6.93kp	2016年	1.95	0.579			1.88	0.48		
	2019年	2.00	0.513			1.94	0.451		
	2021年	2.03	0.556			1.94	0.479		
新宿線(上) _8.53kp	2016年	2.08	0.561	1.72	0.463	2.18	0.512	1.78	0.425
	2019年	2.11	0.507	1.77	0.461	2.19	0.455	1.85	0.402
	2021年	2.23	0.588	1.82	0.405	2.16	0.514	1.85	0.433
新宿線(下) _11.76kp	2016年			1.60	0.417			1.79	0.413
	2019年			1.67	0.397			1.67	0.375
	2021年			1.67	0.455			1.72	0.364
環状線(内) _5.28kp	2016年	2.00	0.624			2.35	0.483		
	2019年	2.04	0.561			2.41	0.512		
	2021年	2.08	0.579			2.50	0.545		

この表より、2016年から2021年の変化量に着目すると、渋滞発生前は左側車線、右側車線のどちらにおいても車群内の平均車頭時間の増加が確認できる。渋滞発生後については、左側車線に関しては新宿線(上)_8.53kp 以外で増加しているが、右側車線に関しては新宿線

(上)_8.53kp 以外で減少していることがわかる。表 3-1 で示している通り、新宿線(上)_8.53kp のみ下流に右側車線と接続している合流部（幡ヶ谷入口）が存在する。そのため、合流による影響を事前に避けるべく、左側車線の利用が増え、交通状況が他の区間と異なっている。対象区間が少ないものの、この違いが渋滞発生後の車頭時間の増減に影響しているのではないかと考察できる。

表 4-8 で示された車群内の平均車頭時間の変化が有意であるかを調べるために統計分析を行う。先ほどと同様に、3 時点間のどの部分に有意な変化が生じているかを調べるために、多重比較定で用いられる Holm 法を用いて分析を行う。この分析では時点間の平均値について、t 検定を行い、p 値を算出し、Holm 法によって調整することで有意性を検討する。表 4-9 は t 検定による時点間の p 値の値と Holm 法によって調整した判定結果である。

表 4-9 平均車頭時間の変化の有意性

左側車線	渋滞発生直前			渋滞発生直後		
	2016-2019	2019-2021	2016-2021	2016-2019	2019-2021	2016-2021
渋谷線(上)_5.62kp	0.702	0.016*	0.007*	0.273	0.033 †	0.002**
渋谷線(上)_5.86kp	0.497	0.661	0.819	0.861	0.045 †	0.032 †
新宿線(上)_6.93kp	0.163	0.344	0.026*	0.023 †	0.905	0.034 †
新宿線(上)_8.53kp	0.407	0.002**	0.000**	0.747	0.438	0.654
新宿線(下)_11.76kp						
環状線(内)_5.28kp	0.235	0.316	0.032 †	0.123	0.021*	0.000**
右側車線	渋滞発生直前			渋滞発生直後		
	2016-2019	2019-2021	2016-2021	2016-2019	2019-2021	2016-2021
渋谷線(上)_5.62kp	0.003**	0.902	0.003**	0.019 †	0.052	0.682
渋谷線(上)_5.86kp	0.33	0.005*	0.000**	0.739	0.008*	0.024*
新宿線(上)_6.93kp						
新宿線(上)_8.53kp	0.117	0.053	0.000**	0.004*	0.977	0.005*
新宿線(下)_11.76kp	0.002**	0.747	0.010*	0.000**	0.035*	0.001**
環状線(内)_5.28kp						

† p<0.1, *p<0.05, **p<0.01

この表より、左側車線では、2016年から2019年よりも2019年から2021年にかけて平均車頭時間が有意に変化していることがわかる。連続した時点間で有意差が生じていた場合、2016年から2021年にかけても平均車頭時間が有意に変化していることから、2016年から2021年の増加が特殊なものではないと考えられ、車頭時間が経年変化していると考察できる。表 4-8 の結果も踏まえると、左側車線では、渋滞発生直前直後において、車頭時間が経年で増加していると考えられる。特に、有意差がみられた地点では、2019年から2021年にかけて車頭時間の増加量が2016年から2019年の場合よりも大きい傾向にある。

右側車線では、左側車線と異なり、2016年から2019年にかけて平均車頭時間が有意に変化している地点が多い。渋谷線 5.62kp の渋滞発生直後のデータを除き、連続した時点間で有意な変化が生じている地点では、2016年から2021年にかけても有意な変化が見られることから、先ほど同様に右側車線の交通流も経年変化していると考えられる。表 4-8 の結果を踏まえると、渋滞発生直前では車頭時間が経年で増加しており、渋滞発生直後は経年で減少している可能性が考えられる。この理由として、渋滞発生直前の車両間隔は増加していることを考えると、渋滞発生により速度が減少しても、増加した車両間隔によって、吸収することができ、結果として車頭時間が減少することが考えられる。

また、表 4-7 と表 4-9 の結果を比較すると、交通量の変化に有意差が生じている 24 地時点のうち、平均車頭時間の変化にも有意差が生じている部分は 15 地時点である。このことから交通量の経年変化において車群内の平均車頭時間の変化が一因となっているものの、全ての部分で対応していないことから、平均車頭時間の変化のみが交通量の変化に影響しているわけではないと考えられる。

先ほど記述した車群の定義をもとに、渋滞発生直前直後の交通流の車群構成台数の変化と車群発生率の変化を分析する。車群構成台数は、車群内に存在している車両の台数を示している。車群発生率は、車頭時間が4秒より大きい車両を車群の先頭車として、その割合によって表現する。表4-10は、渋滞発生直前直後の交通流の車群構成台数と車群発生率を示したものである。

表 4-10 対象区間の年度別車群構成台数と車群発生率

		渋滞発生直前				渋滞発生直後			
		左側車線		右側車線		左側車線		右側車線	
		車群構成台数[台]	車群発生率	車群構成台数[台]	車群発生率	車群構成台数[台]	車群発生率	交通量[veh/5min]	車群発生率
渋谷線(上) _5.62kp	2016年	5.5	18.1%	18.8	5.3%	8.0	12.4%	22.3	4.3%
	2019年	6.7	14.7%	22.4	4.5%	9.7	10.3%	30.8	3.3%
	2021年	4.6	21.7%	12.9	7.8%	7.2	13.8%	42.9	2.3%
渋谷線(上) _5.86kp	2016年	5.1	19.4%	22.9	4.0%	10.5	9.5%	27.9	3.1%
	2019年	7.4	13.5%	24.2	3.9%	14.0	6.7%	70.5	1.6%
	2021年	5.0	20.0%	32.6	3.1%	9.9	10.3%	47.6	2.1%
新宿線(上) _6.93kp	2016年	9.1	11.1%			11.1	9.0%		
	2019年	10.6	9.5%			13.2	7.5%		
	2021年	7.0	14.5%			12.2	7.9%		
新宿線 (上)_8.53k P	2016年	8.9	11.3%	23.6	4.3%	9.4	10.7%	35.9	2.6%
	2019年	7.9	12.6%	18.9	5.3%	11.0	9.1%	41.6	2.4%
	2021年	4.2	24.0%	16.9	5.1%	7.0	14.3%	24.3	4.0%
新宿線(下) _11.76kp	2016年			23.6	4.3%			48.8	1.9%
	2019年			21.3	4.7%			32.0	3.1%
	2021年			10.2	9.7%			29.6	3.1%
環状線(内) _5.28kp	2016年	6.6	15.0%			11.2	8.8%		
	2019年	7.3	13.8%			8.4	12.0%		
	2021年	5.5	18.1%			3.6	27.2%		

この表より、車群構成台数に着目すると、渋滞発生直前においては、左側車線では全ての地点で、右側車線でも1地点を除き、2021年が最小値になっている。車群発生率に着目すると、車群構成台数が最小であった部分では発生率は最も高くなっている。これらより、2021年の渋滞発生直前の交通流では、全体的に車間をあけて走る車両が増えたと考えられる。渋滞発生直後においても、左側車線に関しては新宿線(上)_6.93kpを除き、2021年が最も低い値となっており、車群発生率は最も高くなっている。一方で、右側車線に関しては、変化に規則性がなく、一定の傾向は見られない。この理由としては、渋滞発生後の右側車線が最も渋滞発生率が低く、車頭時間4秒以上の車両がどのタイミングで出現するかによって、大きく値が変化してしまうことが原因と考えられる。

次にこれらの変化に有意性が存在するのか調べるために統計分析を行う。先ほどと同様に、3時点間のどの部分に有意な変化が生じているかを調べるために、多重比較定で用いら

れる Holm 法を用いて分析を行う。この分析では時点間の平均値について、t 検定を行い、p 値を算出し、Holm 法によって調整することで有意性を検討する。表 4-11 は t 検定による時点間の p 値の値と Holm 法によって調整した判定結果である。

表 4-11 車群構成台数の変化の有意性

左側車線	渋滞発生直前			渋滞発生直後		
	2016-2019	2019-2021	2016-2021	2016-2019	2019-2021	2016-2021
渋谷線(上)_5.62kp	0.096	0.004*	0.125	0.131	0.022 †	0.429
渋谷線(上)_5.86kp	0.004**	0.002**	0.822	0.111	0.047	0.622
新宿線(上)_6.93kp	0.316	0.010*	0.063	0.251	0.642	0.534
新宿線(上)_8.53kp	0.315	0.000**	0.000**	0.258	0.002**	0.026 †
新宿線(下)_11.76kp						
環状線(内)_5.28kp	0.393	0.023 †	0.072	0.020*	0.000**	0.000**
右側車線	渋滞発生直前			渋滞発生直後		
	2016-2019	2019-2021	2016-2021	2016-2019	2019-2021	2016-2021
渋谷線(上)_5.62kp	0.405	0.009*	0.080	0.158	0.122	0.012*
渋谷線(上)_5.86kp	0.775	0.141	0.098	0.024 †	0.245	0.074
新宿線(上)_6.93kp						
新宿線(上)_8.53kp	0.181	0.516	0.071	0.566	0.055	0.075
新宿線(下)_11.76kp	0.639	0.003**	0.001**	0.230	0.749	0.164
環状線(内)_5.28kp						

† p<0.1, *p<0.05, **p<0.01

この表より、左側車線では、渋滞発生前後に関わらず、2019年から2021年かけて8割の地時点で統計的有意性を確認できる。また、これらの地点は全て、車群構成台数が減少する変化であったことから、近年車群構成台数は減少傾向にあると考察できる。右側車線に関しては、統計的有意性を確認できた地時点が5地時点と少なく、確認ができた期間に一定の傾向は見られない。これらは、右側車線の車群構成台数の変化において、規則性がなく、一定の傾向が見られなかったことが原因と考えられる。

この表と表 4-7 を比較すると、車群構成台数に有意性が確認できた18地点のうち、16地点で交通量の変化に有意差が生じていることが分かる。また、交通量が有意に増加していた渋谷線(上)_5.86kpの2016年から2019年に着目すると、車群構成台数も有意に増加していることが確認でき、このことから、車群構成台数の増減が、交通量の増減に影響を与えていると考察できる。一方で、有意差が確認できた地点であっても、交通量が有意に増加していない部分があることから、車群構成台数や車群発生率が全ての要因ではないと考えられる。

以上の結果より、交通量が有意に変化している区間に対しては、車群内の平均車頭時間及び車群発生率、車群構成台数が有意に変化していることが明らかになった。故に、交通量の経年減少に関しては、全体的な車両の車頭時間の増加および極端に大きい車頭時間をもつ車両の増加が影響していると考えられる。

ここまでの分析結果より、交通量の減少に対して、車群内の平均車頭時間の増加および車群発生率の増加、車群構成台数の減少が影響していると考えられる。次に、車群内の車両挙動が変化する要因として大型車混入率に着目して、その変化を明らかにする。表 4-12 は、渋滞発生直前直後の大型車混入率を示したものである。

表 4-12 対象区間の年度別大型車混入率

		渋滞発生直前		渋滞発生直後	
		左側車線	右側車線	左側車線	右側車線
		大型車混入率	大型車混入率	大型車混入率	大型車混入率
渋谷線(上) _5.62kp	2016年	27.4%	21.6%	21.7%	15.8%
	2019年	23.1%	20.2%	18.5%	17.1%
	2021年	30.1%	25.0%	29.2%	16.8%
渋谷線(上) _5.86kp	2016年	30.0%	21.2%	19.6%	15.8%
	2019年	17.8%	17.9%	14.7%	15.5%
	2021年	24.5%	16.0%	19.7%	11.6%
新宿線(上) _6.93kp	2016年	13.0%		10.1%	
	2019年	13.3%		8.6%	
	2021年	18.7%		13.3%	
新宿線(上) _8.53kp	2016年	8.7%	2.4%	8.6%	3.2%
	2019年	10.8%	3.5%	9.5%	2.8%
	2021年	18.2%	3.8%	14.2%	3.4%
新宿線(下) _11.76kp	2016年		5.0%		6.0%
	2019年		6.1%		6.6%
	2021年		9.2%		7.2%
環状線(内) _5.28kp	2016年	9.7%		10.2%	
	2019年	9.6%		10.5%	
	2021年	9.2%		10.4%	

この表より、左側車線の渋滞発生直前直後においては、都心環状線(内)_5.28kp を除き、2019年から2021年にかけて大型車混入率は増加している。右側車線に関しても、大型車混入率の割合は左側車線よりも低いものの、過半数の地点で2019年から2021年にかけて割合は増加している。これは、コロナウイルスによる外出制限などの影響が考えられ、制限やリモートワークにより、乗用車の交通量が減少し、相対的に大型車混入率の増加につながったと考察できる。また、ネットショッピングの普及に伴う需要増加の影響も考えられる。

表 4-9 や表 4-11 の結果と比較すると、2019年から2021年の変化において、大型車混入率が増加している部分では車群内の平均車群時間も車群発生率、車群構成台数の変化にも有意差が生じていることが多い。特に、2019年と2021年において統計的有意性が見られた車群発生率の増加、車群構成台数の減少している10地時点のうち9地時点で大型車混入率も増加していることがわかる。このことから、交通量の減少させる車群の変化に関しては大型車混入率も影響していると考えられる。

道路の交通容量¹⁾において、大型車混入率の影響は可能交通容量を用いる際に考慮され、下記の式(4-2)によって影響力を考慮している。

$$Y_T = \frac{100}{(100-T)+E_T*T} \quad (4-2)$$

ここで、 Y_T ：大型車混入による補正率、 E_T ：大型車の乗用車換算係数、 T ：大型車混入率である。

大型車の乗用車換算係数は勾配と大型車混入率によって変化するが、対象となる区間の勾配は全て3%以下であるため、大型車混入率が10%であれば大型車の乗用車換算係数は2.1であり、それ以降20%増えるごとに0.1となる。

式(4-2)を基に補正率を計算すると、対象区間における影響力は表4-13のようになる。

表 4-13 対象区間における大型車混入による補正率

		渋滞発生直前		渋滞発生直後	
		左側車線	右側車線	左側車線	右側車線
		大型車混入率	大型車混入率	大型車混入率	大型車混入率
渋谷線 (上)_5.62kp	2016年	78.5%	82.2%	82.2%	85.2%
	2019年	81.2%	83.2%	83.1%	84.2%
	2021年	76.9%	80.0%	77.4%	84.4%
渋谷線 (上)_5.86kp	2016年	76.9%	82.5%	82.3%	85.2%
	2019年	83.6%	83.5%	86.1%	85.4%
	2021年	80.3%	85.0%	82.2%	88.7%
新宿線 (上)_6.93kp	2016年	87.5%		90.0%	
	2019年	87.2%		91.4%	
	2021年	82.9%		87.2%	
新宿線 (上)_8.53kp	2016年	91.3%	97.4%	91.4%	96.6%
	2019年	89.4%	96.3%	90.5%	97.0%
	2021年	83.3%	96.0%	86.5%	96.4%
新宿線 (下)_11.76kp	2016年		94.8%		93.8%
	2019年		93.7%		93.2%
	2021年		90.8%		92.7%
環状線 (内)_5.28kp	2016年	90.4%		89.9%	
	2019年	90.4%		89.6%	
	2021年	90.8%		89.7%	

大型車混入率以外の補正係数は車道幅員や側方余裕など道路構造に関わるものが多いため、対象区間では経年で変化がないと仮定すると、表 4-13 に示している割合が交通容量の変化率となる。この表から大型車混入率の増加による最大変化に着目すると、新宿線(上)_8.53kp 左側車線の渋滞発生前で 91.3%から 83.3%まで変化している。この変化はおよそ 9.1%の変化であるため、大型車の増加によって、渋滞発生前の交通量は最大 9.1%減少していると考えられる。この地点での交通量は 21%の減少していることから、この減少のおよそ半分が大型車混入率によるものであると考えられる。

ここでは、交通流のうち渋滞発生前後に関し、はじめに交通量に着目して経年変化を分析した。分析結果より、交通量に関しては渋滞発生前後に関わらず、8割以上の地点において減少しており、最大で約24%の減少が見られた。また、交通量の変化に関して統計的有意性を確認したところ、2016年と2021年の交通において、減少が見られた交通においてはその変化に有意性が確認できた。

有意性が確認できた交通量の経年減少に対し、その要因として車群内の平均車頭時間、車群構成台数、車群発生率に着目した。車群内の平均車頭時間に関しては、渋滞発生前には車線問わず増加傾向にあることを示した。渋滞発生後は左側車線で増加傾向、右側車線で減少傾向にあることが明らかになった。これらの変化について、Holm法を用いた多重比較分析を行ったところ、渋滞発生前後に関わらず、10地時点のうち8地時点において、2016年から2021年にかけて平均車頭時間が有意に増加していた。右側車線に関しても同様の傾向があり、渋滞発生前の平均車頭時間は増加し、渋滞発生後では減少するという変化に違いがあるものの、渋谷線(上)_5.62kp以外において統計的有意性を確認できた。交通量の変化に有意差が生じていた24地時点のうち、平均車頭時間の変化にも有意差が生じている部分は15地時点であった。このことから車群内の平均斜塔時間の変化が交通量の変化に影響を与えている一因であるものの、全ての部分で対応していないことから、平均車頭時間の変化のみが交通量の変化に影響しているわけではないと考察を行った。

車群構成台数と車群発生率に関しては、渋滞発生直前においては、左側車線では全ての地点で、右側車線でも1地点を除き、2021年が最小値になっていた。車群発生率に着目すると、車群構成台数が最小であった部分では発生率は最も高くなっていた。渋滞発生直後においても、左側車線に関しては新宿線(上)_6.93kpを除き、2021年が最も低い値となっており、車群発生率は最も高くなっていたものの、右側車線に関しては、変化に規則性がなく、一定の傾向は見られなかった。これらの経年変化に関して、Holm法を用いた多重比較分析を行ったところ、左側車線では、渋滞発生前後に関わらず、2019年から2021年にかけて8割の地時点で統計的有意性を確認できた。これらの地点は全て、車群構成台数が減少する変化であったことから、近年車群構成台数は減少傾向にあると考察した。交通量の変化に有意差が生じていた24地時点のうち、車群構成台数の変化にも有意差が生じている部分は16地時点であった。また、交通量が有意に増加していた渋谷線(上)_5.86kpの2016年から2019年に着目すると、車群構成台数も有意に増加していることが確認でき、このことから、車群構成台数の増減が、交通量の増減に影響を与えていると考察を行った。一方で、有意差が確認できた地点であっても、交通量が有意に増加していない部分がみられることから、車群構成台数や車群発生率が全ての要因ではないと考察した。

以上の分析結果は、どの要因であっても変化に有意差が生じている部分や大きく値が変化した部分では、交通量が有意に減少していることを示している。全体として、表4-7において交通量が有意に変化している全ての部分において、車群内の平均車頭時間、車群構成台数、車群発生率のいずれかで変化がみられた。このことから、同じ地点における交通量の変

化については、平均車頭時間、車群構成台数、車群発生率が影響していることが考えられる。一方で、1つの要因が有意に変化していても交通量が有意に変化するとは限らないことから、これらの要因が組み合わさることで交通量に変化が生じるのではないかと考えられる。

次に、車群が変化している要因として、大型車混入率に着目して分析を行った。大型車混入率に関しては、渋滞発生前後に関わらず、2019年から2021年にかけて、左側車線では8割の地時点で、右側車線に関しては過半数を超える地時点で大型車混入率が増加していることが示された。特に、2019年と2021年において統計的有意性が見られた車群発生率の増加、車群構成台数の減少している10地時点のうち9地時点で大型車混入率も増加していることが示された。このことから、交通量の減少させる車群の変化に関しては大型車混入率が影響していると考察を行った。

4.4.3 非渋滞流に着目した交通流の経年変化分析

図 4-8 で分解した交通状況のうち、非渋滞流に着目して、その状況における交通流の経年変化を分析する。非渋滞流では他の交通状況と比較して、交通密度が低いため、前後の車両に影響されることは少ないと考えられる。そこで、非渋滞流における交通流では、他の交通流に影響を受けることなく、運転者の自由に速度を決定できると仮定し、自由速度に着目して経年変化を分析する。

自由速度を算出するにあたり、2つの観点から経年変化を分析する。1つ目は、図 4-12 に示す新宿線(上)_8.53kp 付近で取得できた交通速度の累積割合分布を参考に、分布の上部の曲がっている部分に近い、99%タイル値速度に着目する。

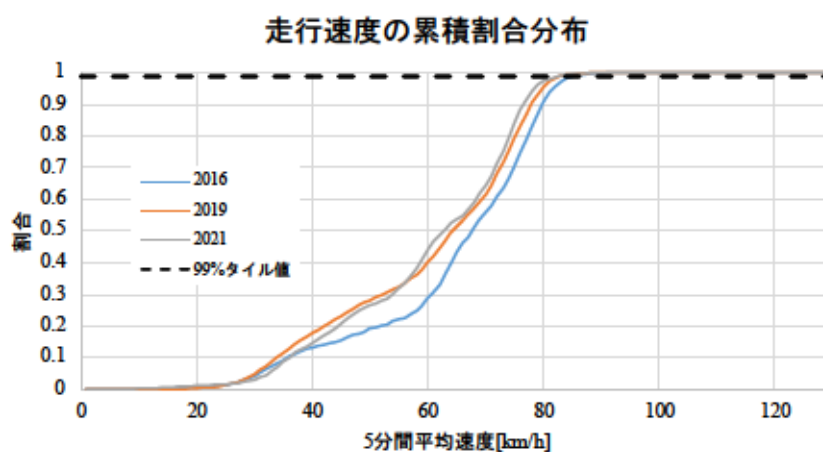


図 4-12 走行速度の累積割合分布と 99%タイル値速度の例

図 4-13、図 4-14 は、各区間における走行速度の累積割合分布を比較したものである。図 4-13 は走行車線にあたる左側車線、図 4-14 は追越車線にあたる右側車線である。また、表 4-14 に各区間の年度別の 99%タイル値速度を示したものを示す。

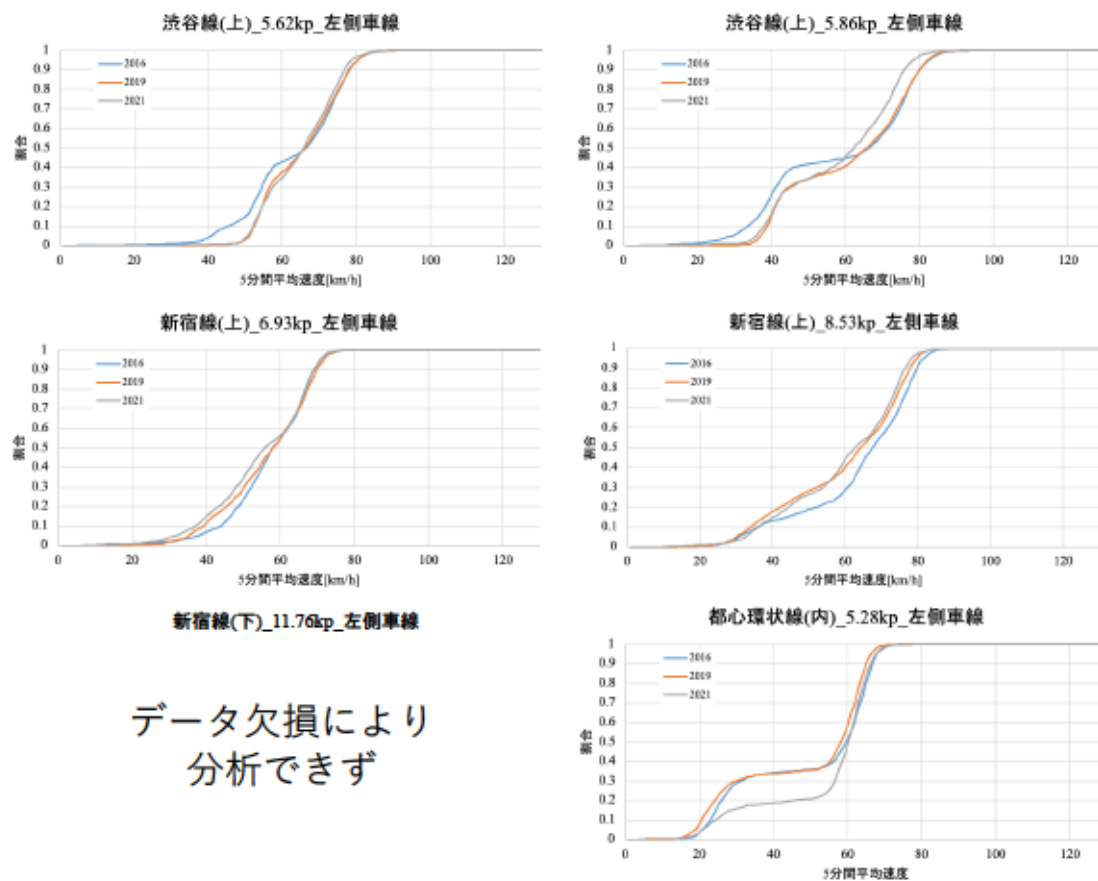


図 4-13 対象区間における走行速度の累積割合分布（左側車線）

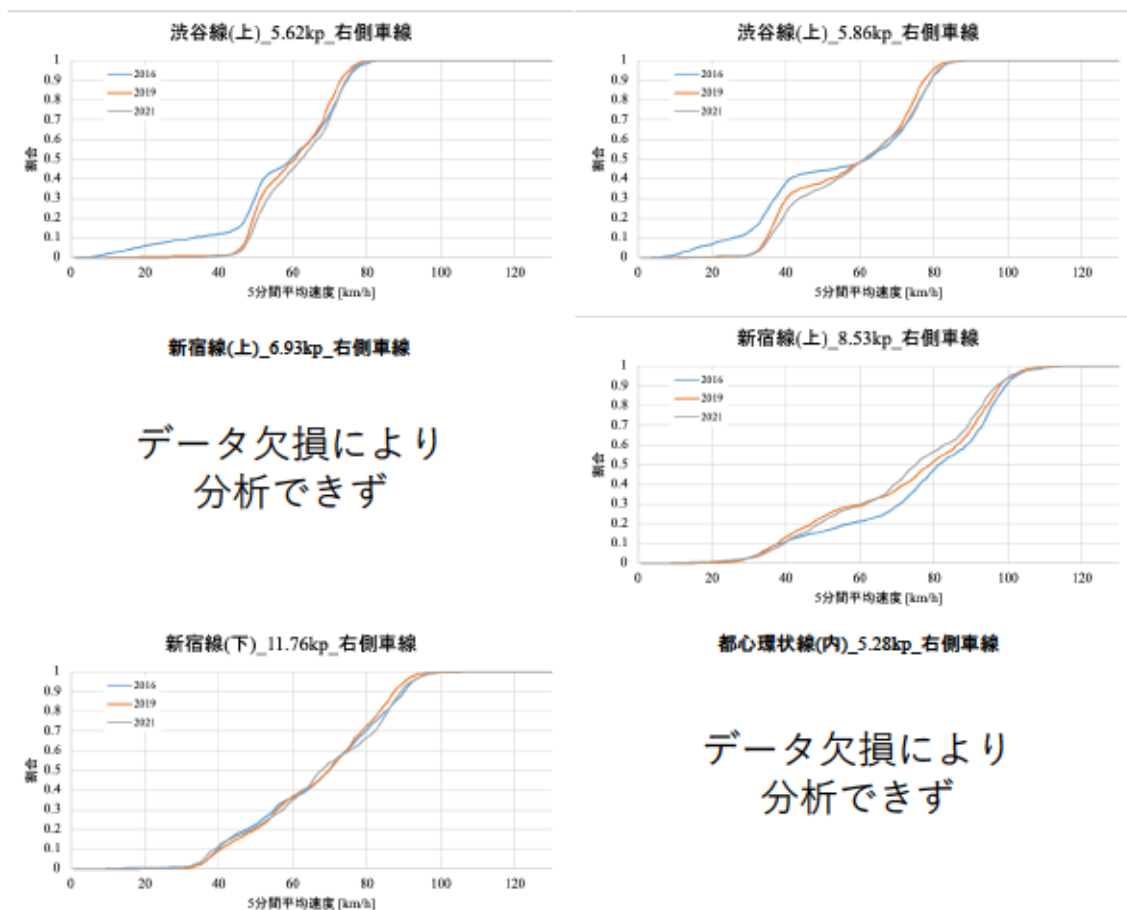


図 4-14 対象区間における走行速度の累積割合分布（右側車線）

表 4-14 対象区間の年度別 99%タイル値速度

99%タイル値速度 [km/h]	左側車線	右側車線	99%タイル値速度 [km/h]	左側車線	右側車線
渋谷線(上) _5.62kp	2016年	85.1	渋谷線(上) _5.86kp	2016年	87.1
	2019年	84.2		2019年	86.4
	2021年	84.2		2021年	83.7
新宿線(上) _6.93kp	2016年	74.0	新宿線(上) _8.53kp	2016年	85.6
	2019年	75.2		2019年	83.4
	2021年	74.5		2021年	83.5
新宿線(下) _11.76kp	2016年	97.2	環状線(内) _5.28kp	2016年	70.8
	2019年	95.4		2019年	69.7
	2021年	98.9		2021年	71.6

これらの図から、区間ごとに分布形状が異なっていることがわかる。一方で、同区間の左側車線と右側車線で形状に大きな差は見られない。4.4.1で求めた各区間の臨界速度を参考に、臨界速度よりも高い速度を自由流とすると、自由流において、区間ごとに速度変化の程

度は異なるものの、同区間において車線ごとの変化の程度は同様であることがわかる。表 4-14 に着目すると、左側車線では 5 区間中 3 区間で、右側車線では全区間において、2019 年 が最小になっていることがわかる。この理由として、99%タイル値速度達成時の交通密度が異なる可能性が挙げられる。一般的に走行速度は交通密度が高いほど遅くなる傾向にある。図 4-7 より 2019 年までは新型コロナウイルスの影響がなく、年平均日交通量は増加傾向であったが、2020 年以降は減少している。このことを踏まえると、2016 年から 2019 年までは 99%タイル値速度達成時の交通密度は増加していたものの、2021 年になり減少したことで 2019 年が最小になったと考察できる。

上記の結果を踏まえ、次に同じ交通密度に揃えた上で走行速度の経年変化を分析する。ここでは、Transportation Research Board が出版している Highway Capacity Manual (HCM) の Level of Service (LOS) ¹²¹⁾を参考に交通密度を揃える。HCM では、高速道路における LOS を、交通密度を指標として、表 4-15 のように算出している。

表 4-15 高速道路における LOS の基準 ¹²¹⁾

LOS	Density (pc/mi/ln)
A	≤11
B	>11-18
C	>18-26
D	>26-35
E	>35-45
F	Demand exceeds capacity OR density > 45

LOS では、LOS-F が渋滞流、それ以外を非渋滞流としている。一方で、非渋滞流であっても、LOS-E になると、車頭距離はおよそ 40m となることから先行車の影響を受けている可能性がある。そこで、時速 100km で走行しても十分距離を確保していると考えられる LOS-B (車頭距離およそ 110m) までを先行車の影響を受けない交通密度として、LOS-B までの交通状況における年度別の平均走行速度とその分散を算出する。表 4-16 は、平均走行速度と分散の算出結果である。

表 4-16 各区间における年度別 LOS-B までの平均走行速度と分散

走行速度 [km/h]		左側車線		右側車線	
		平均	分散	平均	分散
渋谷線(上) _5.62kp	2016年	75.5	33.6	76.1	13.3
	2019年	75.4	20.5	74.6	10.1
	2021年	74.0	22.1	73.3	17.6
渋谷線(上) _5.86kp	2016年	77.0	41.0	79.9	11.3
	2019年	77.0	22.4	78.6	12.9
	2021年	73.6	22.2	78.3	16.7
新宿線(上) _6.93kp	2016年	68.0	10.3		
	2019年	69.2	9.5		
	2021年	67.8	12.4		
新宿線(上) _8.53kp	2016年	77.4	17.4	96.2	34.5
	2019年	75.6	16.7	94.5	38.2
	2021年	73.9	32.5	93.0	62.0
新宿線(下) _11.76kp	2016年			89.3	22.7
	2019年			87.4	19.3
	2021年			88.0	27.0
環状線(内) _5.28kp	2016年	65.8	7.5		
	2019年	64.2	7.9		
	2021年	64.8	12.4		

この表より、各区間の平均速度に着目すると、9区間のうち7区間において、速度が経年で減少していることがわかる。減少幅は新宿線(上)_8.53kpの左側車線で最大となり、3.41[km/h]減少している。また、2016年から2021年にかけての平均減少幅は2.18[km/h]である。また、対象区間の制限速度は、環状線(内)_5.28kpにおいて50[km/h]であり、それ以外の区間で60[km/h]となっている。これらのことから、非渋滞流における同じ密度帯において、走行速度が減少傾向にあると考えられ、2016年に比べて2021年の方が先行車に影響を受けていない状態であっても走行速度を落とし、制限速度を遵守して走行する車両が多くなっていると考えられる。

また、各区間の走行速度の分散に着目すると、9区間のうち7区間において、2021年の分散が最大になっている。最大値は、2016年時点の場合、2019年時点の場合どちらもみられるため、一定の傾向があるわけではないが、新型コロナウイルスにより年平均日交通量が下がったため、2020年以前と比べて非渋滞時の交通密度が下がったことが起因していると考えられる。

ここでは、交通流のうち非渋滞流に関し、自由速度について99%タイル値速度およびLOS-Bまでの平均走行速度の2つの観点に着目して、経年変化を分析した。分析結果より、99%タイル値速度では、左側車線では5区間中3区間で、右側車線では全区間において、2019年が最小になっていることがわかった。LOS-Bまでの平均走行速度では、9区間のうち7区間において、速度が経年で減少していることがわかった。分散は、経年減少している区間と対応していないものの、9区間のうち7区間において、2021年の分散が最大になっていることがわかった。これらの理由として、同程度の交通密度においては、走行速度は減少傾向にあること、また新型コロナウイルスにより年平均日交通量が下がったことにより、非渋滞時の交通密度が下がったため、99%タイル値速度やLOS-Bまでの走行速度の分散が増加したと考察を行った。

4.4.4 渋滞流に着目した交通流の経年変化分析

図4-8で分解した交通状況のうち、渋滞流に着目して、その状況における交通流の経年変化を分析する。渋滞流は臨界流と同様に、交通密度が高くなることから、運転中は他の車両から影響を受ける状況にある。そのため、走行速度は制限される傾向にあり、個人の変化を比較することが難しいと考えられる。そこで渋滞流の分析では、はじめに渋滞密度に着目し、その後渋滞が延伸する速度となる Backward Wave 速度 (BW 速度) を推定し、それぞれの経年変化を分析する。

はじめに、BW 速度を推定する手法を記述する。BW 速度とは、下記に示す交通の基本図 (FD 図, Q-K 図) において、図を三角形形状と仮定した場合の渋滞流の端から臨界流までを結んだ角度である。このことから、ネットワーク分析などでは、渋滞の延伸速度として用いられることがある。BW 速度を求める式は式 (4-3) 示す通りであり、ショックウェーブ理論において、臨界密度、渋滞密度、交通容量を代入することで求められる。

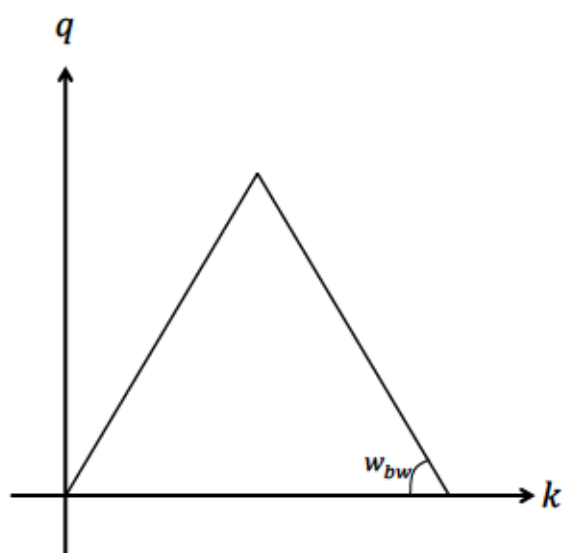


図 4-15 交通流の基本図

$$w_{bw} = \frac{q_c}{k_c - k_j} \quad (4-3)$$

ここで、 w_{bw} : Backward Wave 速度、 q_c : 交通容量、 k_c : 臨界密度、 k_j : 渋滞密度 である。

次に、BW 速度を求めるために必要な渋滞密度の値を推定し、その経年変化を分析する。上記の式における渋滞密度は交通量が0の時の値、つまり渋滞流において交通速度が0になった瞬間の密度を意味している。このような交通状況は、車両感知器データから取得することができないため、既往研究を参考に推定を行う。

推定には、鈴木ら¹²⁰⁾によって整理されている交通流モデルのうち、実測値を近似でき、村上らの研究でも用いられている Drake の式¹²¹⁾を採用する。Drake の式は、速度と密度の関係が線形であるという仮定のもと、高速道路での観測結果を用いて、作成された推定式である。交通速度を自由速度と臨界密度を用いて、下記に示す式によって求めることが可能となる。

$$v = v_f \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{k}{k_c} \right) \right] \quad (4-4)$$

ここで、 v : 交通速度、 k : 交通密度、 v_f : 自由速度、 k_c : 臨界密度 である。

この式において、自由速度と臨界密度を最小二乗法より推定し、推定した値を用いて、速度が0となる時の密度を渋滞密度とする。式(4-4)が指数関数となっているため、速度が0の時、臨界密度の値が発散してしまう。そこで、本研究では、少数第2位までを用いて比較を行っていることから、 $v = 0.001$ を対象の交通状況と仮定して、渋滞密度の推定を行う。表4-17は、Drake の式によって推定された渋滞密度である。

表 4-17 Drake の式より推定した各区間における年度別渋滞密度

渋滞密度 [veh/km]		左側車線	右側車線	渋滞密度 [veh/km]		左側車線	右側車線
渋谷線(上) _5.62kp	2016年	107.7	139.9	渋谷線(上) _5.86kp	2016年	116.3	132.9
	2019年	110.4	141.1		2019年	114.6	137.3
	2021年	111.3	147.9		2021年	118.7	138.5
新宿線(上) _6.93kp	2016年	131.63		新宿線(上) _8.53kp	2016年	111.8	114.4
	2019年	128.24			2019年	110.9	110.9
	2021年	130.76			2021年	110.0	116.3
新宿線(下) _11.76kp	2016年		126.7	環状線(内) _5.28kp	2016年	144.0	
	2019年		125.1		2019年	142.1	
	2021年		125.8		2021年	138.6	

この表より、区間ごとに渋滞密度の最大値や最小値となる年度は異なっていることが示されている。渋谷線では増加傾向にあるものの、新宿線では減少傾向にあることが示されている。サンプル数が豊富でないため、この結果をもとに区間ごとに傾向が異なると結論づけることは難しいが、渋滞密度の経年変化に一定の傾向が見られない可能性が考えられる。

次に、上記で推定した渋滞密度と実測より得られている交通容量（99%タイル値交通量）、臨界密度を用いて、各区間のBW速度を算出する。表4-18は、各区間における年度別のBW速度を算出したものである。

表 4-18 Drake の式より推定した各区間における年度別 BW 速度

BW速度 [km/h]		左側車線	右側車線	BW速度 [km/h]		左側車線	右側車線
渋谷線(上) _5.62kp	2016年	20.2	19.9	渋谷線(上) _5.86kp	2016年	21.4	20.7
	2019年	18.6	18.6		2019年	21.3	19.8
	2021年	17.2	17.9		2021年	19.4	19.7
新宿線(上) _6.93kp	2016年	17.6		新宿線(上) _8.53kp	2016年	18.3	22.8
	2019年	17.8			2019年	19.3	22.2
	2021年	16.8			2021年	17.9	21.5
新宿線(下) _11.76kp	2016年		22.9	環状線(内) _5.28kp	2016年	13.5	
	2019年		22.6		2019年	13.0	
	2021年		22.1		2021年	13.1	

この表より、渋滞密度の場合と異なり、9区間のうち8区間において、BW速度は経年減少していることが示されている。また、経年減少していなかった都心環状線(内)_5.28kpでも2019年との差が0.1[km/h]とほぼ変化がないことから、対象区間によらず、BW速度が経年減少する傾向にあると考えられる。図4-15で示している交通の基本図において、BW速度は渋滞が延伸する速度である。このことから、2016年から2021年にかけて、渋滞の延伸速度は減少していると考えられる。表4-1や表4-6において、交通容量状態や渋滞発生前後の交通量は経年減少していることが示されている。これらを踏まえると、交通流の経年変化によって、同じ交通需要であっても、交通渋滞は発生しやすくなるが、渋滞の延伸速度は減少するようになっていると考察できる。

ここでは、交通流のうち渋滞流に関し、BW速度に着目して、経年変化を分析した。分析結果より、BW速度は経年減少している可能性を示し、渋滞の延伸速度が遅くなっていると考察を行った。

4.5 小括

第4章では、車両感知器データを用いて、交通流の経年変化を分析した。5分間データを用いたマクロ的な観点での分析では、全データを対象に作成した QV 図や算出した 99% タイル値交通量の結果から、全ての区間で交通容量が経年減少していることを示した。一方で 99% タイル値速度に関しては、区間ごとに変化が異なり、一定の傾向が見られないことを示した。

パルスデータを用いたミクロ的な観点での分析では、はじめに交通状況の分類を行った。QV 図より交通状況を非渋滞流、臨界流、渋滞発生前後、渋滞流に分類し、それぞれの状況の変化を測る上で適した指標を用いて経年変化を分析した。

臨界流に関しては、臨界速度に着目して、経年変化を分析した。画像処理に用いられ交通分野で応用が可能である kittler 法を用いて自動的に臨界速度の算出を行った。算出結果より、臨界速度の増減に一定の傾向が見られず、多くの地点で変化幅が 5km/h であったことからほぼ変化していないと考察を行った。

渋滞発生前後に関しては、はじめに交通量の変化を分析した。分析結果より、渋滞発生前は対象の全区間で減少していることを示した。渋滞発生後も右側車線では交通量の増加が見られ、左側車線では減少が見られたことを示した。この要因をさらに細かく明らかにするために、交通流における車群内の車頭時間、車群構成台数、車群発生率に着目して、経年変化を分析したところ、交通量が減少していた区間では車頭時間や車群発生率が増加し、車群構成台数は減少傾向にあることを示した。また車頭時間が増加した傾向として、大型車混入率に着目したところ、2019 年から 2021 年にかけて増加している区間が多く、運転行動の他にも大型車混入率が影響している可能性も示唆した。

非渋滞流に関しては、自由速度に着目して、経年変化を分析した。分析結果より、99% タイル値速度に関しては 2019 年が最小速度になる地点が多いことを示し、年平均日交通量との関係から 99% タイル値速度での交通密度が変わったことによる影響と考察した。交通密度をそろえた状況での分析では、ほとんどの地点で経年減少していることを示し、前に車両がない状態であっても、これまでよりも速度を上げない車両が増加している可能性があることを考察を行った。

渋滞流に関しては、渋滞密度と BW 速度に着目して、経年変化を分析した。Drake の式を用いた渋滞密度の推定結果では、区間ごとに変化が異なり、一定の傾向が見られないことを示した。しかし、この値と実データをもとに BW 速度を推定した結果、全ての区間において 2016 年から 2021 年にかけて減少しており、そのうち 9 割の区間では経年減少していることがわかった。

第5章

運転意図の異質性に関する分析

5 運転意図の異質性に関する分析

5.1 本章の視点と構成

第4章では車両感知器から得られた交通流データをもとに、交通流の経年変化を分析している。分析結果として、交通容量状態の経年減少、渋滞発生前後の交通量の経年減少、渋滞発生前の車頭時間の経年増加、非渋滞流における同交通密度帯の走行速度の経年減少、渋滞流におけるBW速度の経年減少などの変化が明らかになっている。本章では、人々の運転行動や運転意図に着目し、上記で述べた変化を運転行動や運転意図の観点から明らかにすることを目的としている。

はじめに、既往研究よりデータの収集が行われているアンケート調査を参考に、運転意図を評価するアンケートの作成・調査を実施し、その結果を分析する。次に、得られた調査結果から、運転意図によって運転者を分類し、分類ごとの特徴を考察する。その後、アンケート回答者の一部に対象区間を再現したドライビングシミュレータを実施し、非渋滞流や臨界流、渋滞流における運転行動データを取得する。取得したデータを基に、運転意図によって分類した運転者ごとに運転行動の特徴を分析し、その結果の考察を行う。

以上の視点を基に、本章の構成は以下の通りとなっている。第1節では、本研究の視点と構成を述べている。第2節では、本研究によって作成したアンケートの実施内容を記述し、アンケート調査結果の分析、調査結果に基づく運転意図による運転者の分類方法とその結果について述べる。第3節では、本研究によって作成したドライビングシミュレータ実験の実施内容を記述し、ドライビングシミュレータ実験結果の分析、実験結果に基づく分類ごとの運転行動の特徴を分析、それらの結果について述べる。第4節では、運転意図の経年変化に着目し、過去の同様のアンケート調査と本調査結果を比較することで、交通流内における運転意図の経年変化を考察する。第5節では、ここまでの分析結果のまとめを記述する。

5.2 アンケート調査に基づく運転意図の異質性の確認

5.2.1 使用するアンケートの概要とその目的

第1節で述べた通り、第4章で明らかになった運転行動の経年変化について、個々の運転者の観点からその変化が起きる要因を明らかにする。個々の運転者の違いを把握するために、運転意図を評価できるアンケートの作成を行う。本研究は、運転意図や運転行動の経年変化に着目している。そのため、経年変化が分析できるよう、過去に行われているアンケートを基に作成を行う。本アンケートの運転意図を評価する部分に関しては、既往研究を参考に、社団法人人間生活工学研究センター(HQL)が開発したアンケートである運転スタイルチェックシート(DSQ)、運転負担感受性チェックシート(WSQ)¹²²⁾¹²³⁾¹²⁴⁾¹²⁵⁾¹²⁶⁾を採用する。

DSQは、個々の運転者が運転に取り組む態度や志向、考え方(運転スタイル)を、「個人特性」として調べるために開発されたものであり、18の質問項目によって構成されている。アンケートは全て選択式であり、さまざまな運転行動に対して、当てはまるか否かを4段階のリッカート尺度で回答してもらう形式となっている。WSQは、個々のドライバーがどのような種類の運転負担を強く感じるか(運転負担感受性)を、「個人特性」として調べるために開発されたものであり、38の質問項目によって構成されている。アンケートは全て選択式であり、運転に負担のかかるさまざまな例示に対し、当てはまるか否かを5段階のリッカート尺度で回答してもらう形式となっている。これらのアンケートは、実験によって全国各地の運転者に対して実施されている他、櫻井ら⁶³⁾や駒田ら¹²⁷⁾の研究でも用いられており、さまざまな交通状況における運転意図と運転行動の関係が明らかにされている。

本研究では、これらのアンケートを採用しつつ、既存のアンケートでは把握できない自動運転などの購買意向などに関する質問も追加したアンケートを作成している。アンケートの全内容については、付録に記載している。

このアンケートを基に、表5-1に記載している対象者に対して、WEB調査を実施する。

表 5-1 WEBアンケート調査実施日と対象者

アンケート調査概要	
実施日	2022年7月15日(金) - 7月20日(水)
対象者	下記の条件に該当する男女
条件	30代-60代
	高速道路を走行した経験がある
	首都圏に在住している
	画面酔いをしない(実験に参加する場合)
サンプル数	400人(各年代・性別50人ずつ)

5.2.2 回答結果に基づく運転者の運転意図の確認

5.2.1 で記述したアンケート調査の回答結果をもとに、運転者の運転意図を分析する。

はじめに、DSQ の回答結果について分析を行う。HQL では、DSQ の回答結果に関して、運転スタイルを評価できる得点化ツール¹²²⁾が存在し、18 項目の質問に対し、8 つの尺度と 1 つの虚偽尺度を測ることが可能になっている。表 5-2 は、尺度の内容と該当する質問項目の例を示したものである。

表 5-2 運転スタイルの尺度と質問項目の例

項目	内容	質問項目の例〔当てはまるか否かを回答〕
1	運転スキルへの自信	渋滞中の車線変更は苦手 車幅感覚に自信がある
2	運転に対する消極性	所要時間が変わらなければ、バスや電車を使う 運転する時は広い整備された道を運転したい
3	せっちな運転傾向	割り込みを気にせず、車間を十分取る 車線変更をしてでもできるだけ前に行きたい
4	几帳面な運転傾向	徐行や一時停止などは確実に行う 車線変更や交差点などでは安全確認をしっかりと行う
5	信号に対する事前準備的な運転	先の信号を見て、かなり前から速度を速めたりする 先の信号を見て、引っかけないように速度調整する
6	ステイタスシンボルとしての車	車は移動手段でありとにかく走れば良い 車を持つことは自分のステイタスになる
7	不安定な運転傾向	悩みなどを抱えていると、運転に身が入らない時がある 気分の良し悪しによって、運転が疎かになったりする
8	心配性的傾向	歩行者を轢いてしまわないか、いつも心配している 自分が車で事故を起こしてしまわないか気にしている
9	虚偽尺度	短時間であっても、駐停車禁止場所では停めるのをさける 制限速度はいつも守っている

青字は逆転項目

このアンケートでは、質問項目の当てはまりが高いほど各尺度の得点が高くなるようになっている。青字の部分に関しては逆転項目となっており、通常と異なり、当てはまりが低いほど各尺度の得点が高くなるようになっている。本研究においても、この得点化ツールを利用し、アンケート回答者の各尺度の得点を求め、運転スタイルの特徴を把握する。表 5-3 は、本アンケートの回答者の性別および全体の各尺度の得点の平均と標準偏差を示したものである。

表 5-3 性別および全体における DSQ の各尺度の平均と標準偏差

DSQ	スキル自信		消極性		せっかち		几帳面		事前準備	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
男性	2.33	0.65	2.67	0.88	2.82	0.63	2.22	0.93	2.61	0.84
女性	2.65	0.74	2.37	0.87	2.97	0.63	1.96	0.82	2.55	0.80
全体	2.46	0.71	2.54	0.89	2.90	0.64	2.09	0.89	2.58	0.82
DSQ	ステイタス		不安定		心配性		虚偽尺度			
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差		
男性	2.63	0.72	3.19	0.77	2.71	0.87	2.47	0.85		
女性	2.68	0.64	3.19	0.77	2.42	0.88	2.15	0.75		
全体	2.65	0.68	3.19	0.77	2.56	0.89	2.31	0.82		

この表において、虚偽尺度に着目する。この虚偽尺度は、表 5-2 で示すような質問項目を基に、世間体を気にして虚偽の回答をしているか否かを測るものであり、満点となる 4 点を獲得した回答者は自分をよく見せようと虚偽の報告をしている可能性があると考えられている。性別・全体ともに、概ね 2 点台であることから、虚偽報告に関しては良好な結果が得られていると考えられる。

はじめに、各尺度の点数に着目する。DSQ の各尺度は、アンケート概要でも示している通り、得点が高いほど尺度の内容を肯定していると考えられる。本分析の中で最も平均点が高かったのは男女ともに「不安定な運転傾向」に関する項目であり、悩みや気分の浮き沈みによって運転が変わってしまうという状況に肯定的である人が多いことがわかる。反対に、最も平均点が低かったのは男女ともに「几帳面な運転傾向」に関する項目であり、徐行や一時停止を確実にすることや進路変更時に安全確認を行うということに関して否定的な回答をする人が多かったと考えられる。最高得点・最低得点どちらも男性と女性で同じ項目であることから、運転者全体の傾向として、悩みや気分の浮沈によって運転行動が変化しやすく、一時停止や徐行などを疎かにする傾向にあると考えられる。

次に、平均得点の差に着目する。全体平均よりも女性の得点が高かった尺度は、「運転スキルへの自信」、「せっかちな運転傾向」、「ステイタスシンボルとしての車」の 3 つである。また、男女での得点の差に着目すると、最も差があるのが「運転スキルへの自信」であり、男性の平均点と比べて女性の方が 0.32 ポイント高くなっている。一方で、男性の方が高かった尺度の中で最も差が生じていたのが、「運転に対する消極性」であり、女性の平均点と比べて男性の方が 0.30 ポイント高い結果となっている。これらのことから、「運転スキルへの自信」「ステイタスシンボルとしての車」など自己評価を高めるような尺度に関しては女性の方が高くなっており、運転に対する負のイメージ与えるような尺度に関しては男性の方が高い結果となっていると考えられる。各得点の標準偏差に関しては、男性と女性で最大差が「几帳面」の 0.11 点であり、男性の方が回答にばらつきが多いことがわかる。「運転に対する消極性」や「せっかちな運転傾向」、「不安定な運転傾向」、「心配性的傾向」などは男女間でばらつきに差がなく、「不安定な運転傾向」に関しては平均値に差がないことから、性別に限らず同程度の意識を持っていると考えられる。

次に、WSQ の回答結果について分析を行う。HQL では、WSQ の回答結果に関して、運転負担感受性を評価できる得点化ツール¹²³⁾が存在し、38 項目の質問に対し、10 個の尺度を測ることが可能になっている。表 5-4 は、尺度の内容と該当する質問項目の例を示したものである。

表 5-4 運転負担感受性の尺度と質問項目の例

項目	内容	質問項目の例 [負担であるかを回答]
1	交通状況把握	路上駐車が多い道での運転 一時停止が多い道での運転
2	道路環境把握	夕方や明け方での運転 雨が降っている時の運転
3	運転への集中阻害	運転以外で機嫌が悪い時の運転 同乗者を乗せた運転
4	身体的活動度の低下	深夜の運転 体調が悪いときの運転
5	運転ペース阻害	渋滞中の運転 目的地到着時間がわからない中での運転
6	身体的苦痛	こりや痺れを感じる状態での運転 休息が取れない中での運転
7	経路把握や探索	標識などでルートを探しながらの運転 知らない道での運転
8	車内環境	直射日光で車内が暑い時の運転 車内の空気がよくない時の運転
9	制御操作	山道やカーブなどで細かいハンドル操作などが必要な運転 狭い道が続く、細かいハンドル操作が必要な運転
10	運転姿勢	シートが身体に合わない時の運転 ハンドル位置やペダルがしっくり来ない時の運転

このアンケートも DSQ と同様に、質問項目の当てはまりが高いほど各尺度の得点が高くなるようになっている。本研究においても、この得点化ツールを利用し、アンケート回答者の各尺度の得点を求め、運転負担感受性の特徴を把握する。表 5-5 は、本アンケートの回答者の性別・全体の各尺度の得点の平均と標準偏差を示したものである。

表 5-5 性別・全体における WSQ の各尺度の平均と標準偏差

WSQ	交通状況把握		道路環境把握		運転への集中阻害		身体的活動度の低下		運転ペース阻害	
	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散
男性・計	2.96	1.07	2.92	1.04	2.86	1.14	2.99	1.09	2.92	1.08
女性・計	3.34	0.86	3.34	0.89	3.19	0.89	3.41	0.99	3.14	0.89
全体	3.11	1.00	3.10	1.00	3.02	1.04	3.20	1.08	3.03	1.00
WSQ	身体的苦痛		経路把握や探索		車内環境		制御操作		運転姿勢	
	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散
男性・計	2.98	1.12	2.87	1.18	2.89	1.13	2.91	1.18	2.91	1.14
女性・計	3.32	0.94	3.37	0.94	3.22	0.95	3.40	0.96	3.32	1.01
全体	3.15	1.05	3.12	1.12	3.06	1.07	3.16	1.12	3.11	1.12

はじめに、各尺度の点数に着目する。WSQの各尺度は、アンケート概要でも示している通り、得点が高いほどその状況における運転負担が高いと考えることができる。本分析の性別の得点に着目すると、全ての項目において男性よりも女性の方が運転中に負担を感じていることがわかる。また、男性の得点の最大値と最小値の差は0.13点であり、大きな差がないことから、質問項目で示した全ての状況において同程度の負担感を感じていると考えられる。その中で最も平均点が高かったのは男女ともに「身体的活動度の低下」に関する項目であり、深夜時や体調不良時など身体的機能が低下している状況における運転に負担を感じている人が多いことがわかる。反対に、最も平均点が低かったのは、男性は「運転への集中阻害」に関する尺度であり、女性では「運転ペース阻害」に関する尺度である。「運転への集中阻害」に関しては、女性では2番目に低い尺度となっている。以上のことを踏まえると、男性と女性で負担感の大きさに差があるものの、運転者全体の傾向として、自分の身体的機能が低下する状況においては運転に対する負担は高く、運転操作を阻害する車内外の要因に関しては運転に対する負担は低い傾向にあると考えられる。

次に、各得点の標準偏差に着目する。標準偏差に関しては、女性よりも男性の方が全ての尺度において高い結果となっている。このことから運転に対する負担は、男性の場合高く感じる人も低く感じる人も存在するが、女性の場合、全体的に高く感じていると考えられる。

5.2.3 クラスタ分析による運転意図に基づく運転者の分類

5.2.2 で求めた各アンケートにおける得点を基に、今回のアンケート回答者の分類を試み、グループごとにもつ特徴を明らかにする。回答者の分類するにあたっては、クラスタ分析を採用し、階層的方法であるユークリッド距離によるウォード法を用いる。はじめに、DSQのアンケート結果についてクラスタ分析を行う。図5-1は、分類に使用したデンドログラムである。



図 5-1 DSQに基づくデンドログラム

この図においても末端はアンケート回答者400人になっている。この図より、先ほど同様に、回答者を大別できる最大の分類数を考えると、高さ40を下回ると、少しの変動で分類数が大きく増えることがわかる。そこで、高さ40に着目し、本研究ではこのアンケート調査結果を5つのクラスターに分類することとする。

表5-6は、各クラスターに該当する運転者の属性の構成を示したものである。

表 5-6 DSQの得点にもとづくクラスター分析結果

DSQ [人]	クラスター				
	1(93人)	2(90人)	3(114人)	4(22人)	5(81人)
女性・30	16	12	6	0	16
女性・40	9	11	15	1	14
女性・50	11	16	12	1	10
女性・60	9	6	21	1	13
男性・30	19	12	8	3	8
男性・40	11	13	14	7	5
男性・50	10	10	17	5	8
男性・60	8	10	21	4	7

この表より、クラスター3に属する人が112人と一番多く、クラスター4に属する人が22人と一番少ない結果となっている。年代別・性別の差に着目すると、クラスター4に属する人は男性の方が多く、クラスター5に属する人は女性の方が多いことがわかる。また、クラスター1は30代の人が多く、60代の人が一番少ないものの、クラスター3は30代の人が一番少なく、60代の人が一番多い結果となっている。クラスター2に関しては、60代の女性の数が一番少ないものの、全体的に同程度の人数になっていることがわかる。

分類したクラスターごとの運転意図の特徴を把握する。図5-2は、各クラスターの得点をレーダーチャート状に示したものである。

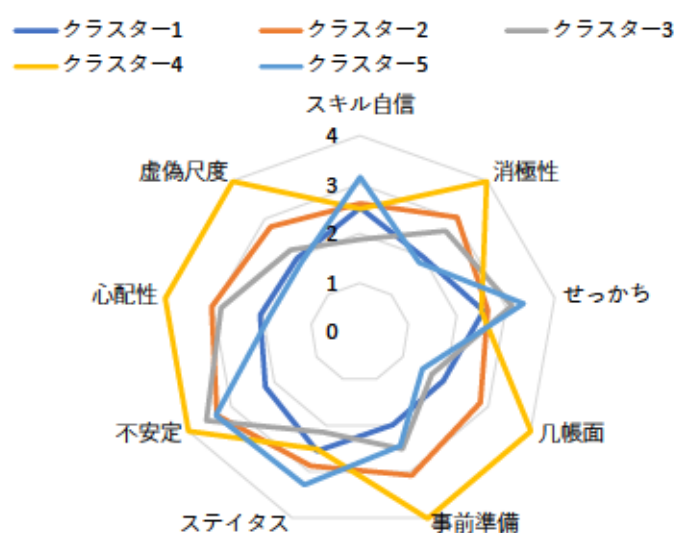


図 5-2 各クラスターの DSQ の尺度の平均得点

この図より、はじめにクラスター4に着目する。このクラスターの得点は、虚偽尺度を含む6つの項目で4点となっている。得点が低くなっている部分は、表5-2で示している逆転項目が存在する尺度であることから、このクラスターに属する人は回答を全て4で答えた人になる。一方でこのアンケートでは、安全運転の意識が強く、運転に自信がない人は4点を選びやすく質問項目となっており、全てを4と回答する可能性も捨てきれない。虚偽尺度は、実際の運転スタイルとは回答が一致しない可能性を測る指標である¹²²⁾。そのため、以降の分析ではクラスター4の取扱いに注意する。クラスター1は他のクラスターと比べて全体的に得点が低い傾向にあることがわかる。特に「不安定な運転傾向」や「信号に対する事前準備的な運転」の得点は、他のクラスターよりも低くことがわかる。「信号に対する事前準備的な運転」とは、信号が変わる前に速度を上げて通過することなどを指すことから、これらを踏まえると自身の状態や交通状況に左右されずに運転を行う人たちであると考えられる。クラスター2は、チャート図が同心円状に近く、各項目3点付近と高い得点を示している。特に、クラスター4を除き、「運転に対する消極性」や「几帳面な運転傾向」、「信号

に対する事前準備的な運転」に関しては、他のクラスターよりも高い得点になっている。このことから、運転に対する不安が高く、周囲の状況を確認しながら運転する人たちであると考えられる。クラスター3は、「運転スキルへの自信」や「ステイタスシンボルとしての車」の得点が他のクラスターよりも低いことがわかる。このことから、運転に対して自信を持っておらず、車を単なる交通手段として捉えている人たちであると考えられる。クラスター5は、クラスター3とは対照的に、「運転スキルへの自信」や「ステイタスシンボルとしての車」の得点が他のクラスターよりも高いことがわかる。また、「心配性的傾向」や「運転に対する消極性」の得点が他のクラスターよりも低いことから、運転に自信があり、運転することが好きな人たちであると考えられる。

以上のことから、本研究ではクラスター1を「状況に左右されない人々」、クラスター2を「運転時の不安が高く、周囲の確認を怠らない人々」、クラスター3を「運転に自信がなく、単なる移動手段と捉えている人々」、クラスター4を「自分の運転を信じておらず、安全意識が非常に高い可能性がある人々」、クラスター5を「運転に自信があり、運転自体が好きな人々」と定義づける。

クラスターごとの運転頻度や普段の運転目的について把握する。表5-7に、クラスターごとの運転頻度の構成数を示す。

表 5-7 クラスターごとの運転頻度

[人]	クラスター					計(400人)
	1(93人)	2(90人)	3(114人)	4(22人)	5(81人)	
ほとんど毎日運転している	13	20	27	8	9	77
週に3~4日運転している	10	14	21	1	6	52
週に1~2日運転している	23	21	37	2	14	97
月に3~4日運転している	8	4	2	1	4	19
月に1~2日運転している	6	6	5	1	11	29
ほとんど毎日運転していない	33	25	22	9	37	126

この表より、ほとんど運転していない人に着目すると、どのクラスターにも一定数存在していることがわかる。その中で最も割合が高いのがクラスター5であり、45.7%の人がほとんど運転していないと回答している。最も割合が低いのがクラスター3であり、全体の19.3%にとどまっている。また、日常的に運転している人に着目すると、クラスター4を除いて、どのクラスターも「週に1~2日運転している」と回答する人が最も多いことがわかる。クラスター1-3に関しては、次点が「ほとんど毎日運転している」であり、クラスター5も「ほとんど毎日運転している」人は全体で3番目に高い人数となっている。このことから、クラスターに限らず、運転頻度の構成数の違いは同程度であると考察できる。この結果とそれぞれのクラスターの総数を考慮すると、実際の交通流内ではクラスター3の割合が高く、続いてクラスター2、クラスター1、クラスター5、クラスター4の順になっていると考えられる。

つづいて、職業として運転する機会が多いか、個人利用が多いかを判断するために、運転目的についてクラスターごとに整理を行う。表 5-8 は、クラスターごとの運転目的の構成数を示したものである。

表 5-8 クラスターごとの運転目的

[人]	クラスター					計(400人)
	1(93人)	2(90人)	3(114人)	4(22人)	5(81人)	
運転目的						
ペーパードライバー	27	18	16	9	36	106
マイカー運転者	57	62	89	10	41	259
仕事の必要から車を運転する	4	8	4	1	3	20
車の運転を職業としている	5	2	5	2	1	15

この表より、総計としてマイカー運転者の人数が多く、次点のペーパードライバーは全体の4分の1程度であることがわかる。前述のほとんど運転しない人の傾向と同じく、ペーパードライバーの割合は、クラスター5が一番高くなっており、約44.4%であり、一番割合が低かったのは、クラスター3の約14.0%となっている。一方で、各クラスターの運転目的の人数に注目すると、マイカー運転者とペーパードライバーでクラスターの80%以上が示されていることがわかる。このことから、運転目的はクラスターごとに変化がなく、同様な傾向があると考えられる。

次に、WSQのアンケート結果についてクラスター分析を行う。図5-3は、分類に使用したデンドログラムである。

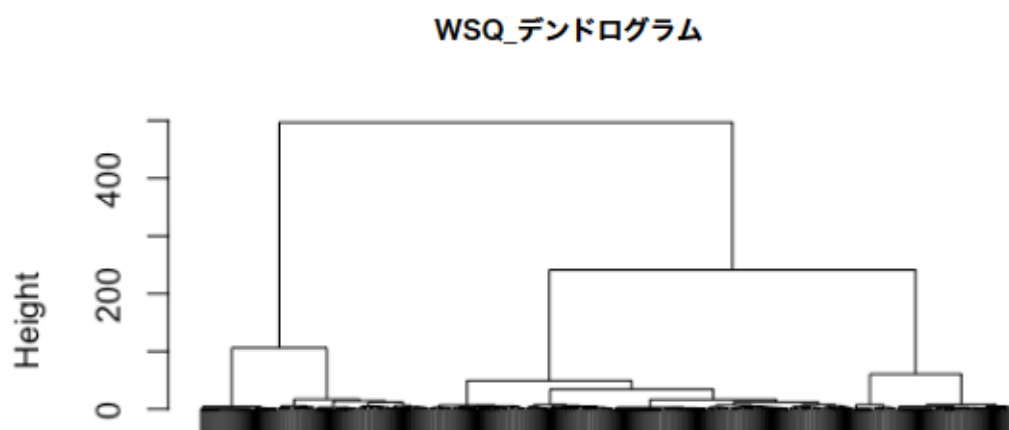


図 5-3 WSQに基づくデンドログラム

この図においても末端はアンケート回答者400人になっている。この図より、先ほど同様に、回答者を大別できる最大の分類数を考えると、高さ100を下回ると、少しの変動で分類数が大きく増えることがわかる。そこで、高さ100に着目し、本研究ではこのアンケート調査結果を4つのクラスターに分類することとする。

表5-9は、各クラスターに該当する運転者の属性の構成を示したものである。

表 5-9 WSQの得点にもとづくクラスター分析結果

[人]	クラスター			
	1(81人)	2(207人)	3(74人)	4(38人)
性別・年代				
女性・30	6	21	14	9
女性・40	11	23	12	4
女性・50	5	30	10	5
女性・60	5	28	15	2
男性・30	10	29	9	2
男性・40	15	26	2	7
男性・50	16	21	7	6
男性・60	13	29	5	3

表 5-9 より、クラスター3 が一番多く、207 人と回答者の過半数を占めており、クラスター4 が 38 人と一番少ない人数となっている。性別の違いに着目すると、クラスター1 は男性の割合が高く、81 人中女性が 27 人、男性が 54 人と男性の方が 2 倍になっている。一方でクラスター3 は、女性の割合が高く、74 人中女性が 51 人、男性が 23 人と女性の方が 2 倍以上になっている。クラスター2 と 4 に関しては、男女の差は見られないが、クラスター4 は男女ともに 60 代の割合が少ない結果となっている。クラスター2 は、年代・性別ともに大きな差が見られないことがわかる。

分類したクラスターごとの運転意図の特徴を把握する。図 5-4 は、各クラスターの得点をレーダーチャート状に示したものである。

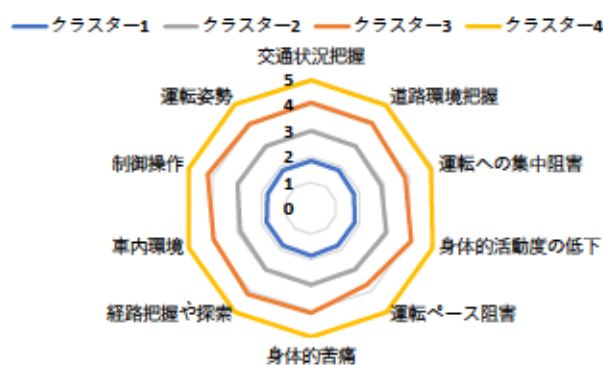


図 5-4 各クラスターの WSQ の尺度の平均得点

この図より、WSQ のクラスターの得点は全クラスターで大小の異なる同心円上になっていることがわかる。これは、質問項目が様々な状況における運転の負担の程度を聞いているため、状況に限らず運転の負担が同じ程度である人が多かったことが結果につながったと考えられる。このことから、運転に対する負担の程度によってクラスターを分類することができると考えられる。

以上のことから、本研究ではクラスター1 を「運転負担感が低い人」、クラスター2 を「運転負担感が比較的低い人」、クラスター3 を「運転負担感が比較的高い人」、クラスター4 を「運転負担感が高い人」と定義づけることとする。

クラスターごとの運転頻度や普段の運転目的について把握する。表 5-10 に、クラスターごとの運転頻度の構成数を示す。

表 5-10 クラスターごとの運転頻度

[人] 運転頻度	クラスター				計(400人)
	1(81人)	2(207人)	3(74人)	4(38人)	
ほとんど毎日運転している	22	40	12	3	77
週に3~4日運転している	15	31	6	0	52
週に1~2日運転している	26	56	13	2	97
月に3~4日運転している	6	12	1	0	19
月に1~2日運転している	2	18	7	2	29
ほとんど毎日運転していない	10	50	35	31	126

この表より、クラスターごとの運転頻度に着目すると、クラスターの数字が小さくなるほど、つまり運転負担をあまり感じていない人ほど運転頻度が高い割合が増えていることがわかる。クラスター1では、27.2%の人が「ほとんど毎日運転している」が、そこから割合が減少していき、クラスター4では7.9%まで低下している。一方で、「ほとんど毎日運転していない」と回答している人は、クラスターの数字が大きくなるほど、つまり運転負担を強く感じている人ほど割合が高くなっていることがわかる。クラスター1では、12.3%が該当しているが、クラスター4では母数自体が少ないものの81.6%の人が該当する結果となっている。これらの結果を踏まえると、様々な状況に対し運転負担を感じにくい人ほど運転頻度が高くなり、運転負担を感じやすい人ほど運転頻度が低くなると考えられる。

つづいて、職業として運転する機会が多いか、個人利用が多いかを判断するために、運転目的についてクラスターごとに整理を行う。表 5-11 は、クラスターごとの運転目的の構成数を示したものである。

表 5-11 クラスターごとの運転目的

[人] 運転目的	クラスター				計(400人)
	1(81人)	2(207人)	3(74人)	4(38人)	
ペーパードライバー	8	40	27	31	106
マイカー運転者	65	146	41	7	259
仕事の必要から車を運転する	3	13	4	0	20
車の運転を職業としている	5	8	2	0	15

この表において、回答者の中に「仕事の必要から車を運転する」「車の運転を職業としている」人は全体の10%以下と少なく、クラスター4を除き、どのクラスターにも同程度存在していることがわかる。そこで、「マイカー運転者」と「ペーパードライバー」の割合に着目すると、クラスター1では「マイカー運転者」の割合が80.2%であり、「ペーパードライバー」の割合が9.9%となっているが、そこからクラスターの数字が高くなるほど「マイカー運転者」の割合が減少し、「ペーパードライバー」の割合が高くなっている。クラスター4では「マイカー運転者」の割合が2.7%であり、「ペーパードライバー」の割合が81.6%となっている。

ここでは、既往研究で実施されていた調査を参考に、運転意図を評価するためのアンケートの作成・調査実施結果について記述した。WEB調査にて30代-60代までの男女400人にアンケート調査を実施した結果、DSQによる運転スタイルの評価では、男女共に最高得点と最低得点の尺度が同じになり、運転者全体として悩みや気分の浮沈によって運転行動が変化しやすく、一時停止や徐行などを疎かにしてしまう傾向にあると考察を行った。WSQによる運転負担の評価では、男女で得点に差が生じ、女性の方が全体的に高い結果となった。一方で、標準偏差は男性の方が高くなっていることから、運転に対する負担は、男性の場合高く感じる人も低く感じる人も存在するが、女性の場合全体的に高く感じていると考察を行った。

その後、アンケート調査結果を基にクラスター分析を行い、運転者の分類を行った。DSQの調査結果からは、年代や性別によってクラスターを分類することができ、運転に対する自信や周辺状況に対する感度に着目した定義づけを行った。運転頻度や運転目的に着目したところ、年齢層の高いグループの運転頻度が高く、ペーパードライバーの割合が低いことがわかった。WSQの調査結果からは、性別によってクラスターを分類することができ、運転に対する負担の程度に基づく定義づけを行った。運転頻度に関しては、運転負担を感じにくい人ほど高い傾向にあり、ペーパードライバーの割合は運転負担が高い人ほど高くなる傾向にあることがわかった。

以降では、ここで分類したクラスターごとに運転行動がどのように異なるのか、ドライビングシミュレータ実験とその結果を基に分析を行う。

5.3 運転意図の異質性に基づく運転行動の特徴に関する分析

5.3.1 ドライビングシミュレータ実験の概要とその目的

上記で示したクラスターごとに運転行動がどのように異なるのか、ドライビングシミュレータを用いて実験を行う。ドライビングシミュレータ実験は、上記のアンケート回答者のうちから全てのクラスターが複数人になるように調整し、20人の方にご協力いただく。表5-12は、実験に参加した人が属するクラスターを示したものであり、この表よりDSQ・WSQともにどのクラスターも3人以上が参加していることがわかる。以降の分析では、ここで得られた運転行動が各クラスターの代表的な行動と仮定して分析を行う。

表 5-12 被験者のクラスターの分布

		DSQ				
		クラスター1	クラスター2	クラスター3	クラスター4	クラスター5
WSQ	クラスター1	1	0	1	1	1
	クラスター2	1	3	2	1	1
	クラスター3	2	1	0	1	1
	クラスター4	0	0	1	0	2

取得する運転行動は、第4章で明らかになった経年変化が発生している指標に関するものであり、非渋滞流時の走行速度、臨界流での車頭時間、渋滞流での希望最小車頭距離と反応時間である。渋滞流での希望最小車頭距離と反応時間はBW速度に関する指標である。実験のコースは図5-5、図5-6に示す2コースであり、各コースの勾配、車線幅、側方余裕、壁の高さなど数値は第4章の分析で用いた新宿線(上)_8.53kpと渋谷線(上)_5.86kpを参考にしている。一度の走行で複数回データを取得するために、対象の道路構造を伸ばし、全長5kmのコースにしている。



図 5-5 ドライビングシミュレータコース (新宿線(上)_8.53kp)



図 5-6 ドライビングシミュレータコース（渋谷線(上)_5.86kp）

被験者は実験内容に同意後、複数回コースを自由に走行し、十分に慣れた上で実験を行っている。実験の走行条件はそれぞれの部分に記載する。表 5-13 はドライビングシミュレータ実験概要を示したものである。

表 5-13 ドライビングシミュレータ概要

ドライビングシミュレータ実験概要	
実施日	2022年8月27日(土) - 9月3日(土)
対象者	アンケート回答者のうち20名
コース	新宿線(上)_8.53kp・渋谷線(上)_5.86kpの2コース
実験内容	練習後、1コースを非渋滞流-臨界流-渋滞流の順に走行し計測する。コースを変更し、再度計測する。
その他	10名が新宿線(上)_8.53kpからスタート、残りの10名が渋谷線(上)_5.86kpからスタート

この表にまとめた実験を通して、運転意図から交通流を記述するために各クラスターの運転行動に違いを把握する。

5.3.2 運転意図の異質性に着目した非渋滞流での走行速度の差異

クラスターごとの非渋滞流における走行速度の差異について把握する。運転者の走行速度は把握するために、走行開始地点になる左側車線の500m先に5台の車両を配置したコースを走行してもらい、先行車に近づいた段階で車線変更し、車両を追い越した段階で左側車線に戻るといった実験を行った。先行車の速度は50km/hであり、高速道路を走行する場合、制限速度で走行している場合は追いつく設定になっている。今回の実験で車線変更を行わない被験者はいなかった。図5-7に走行条件を簡単に示したものを示す。

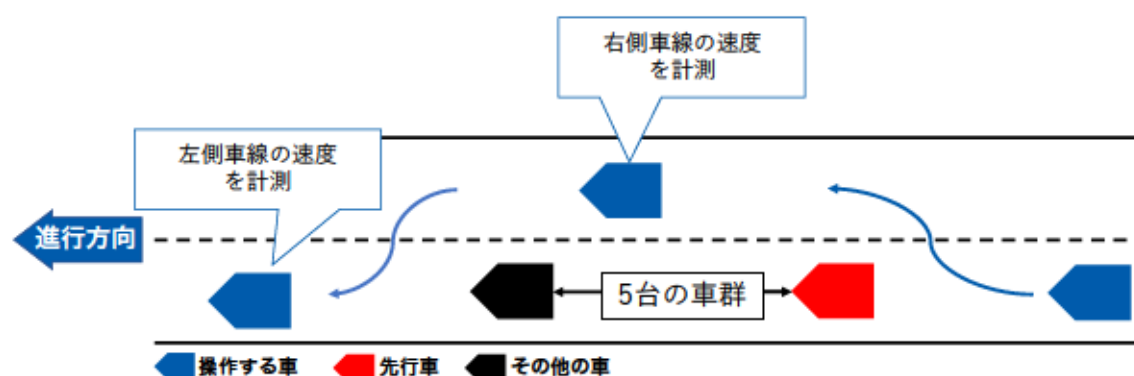


図 5-7 非渋滞流の走行速度計測時の走行条件

実験では、車線変更後の速度が落ち着いた段階の速度を右側車線の走行速度、右側車線から車線変更後に速度が落ち着いた段階の走行速度を左側車線の走行速度として取得する。

この実験を通して得られたクラスターごとの非渋滞流の走行速度の平均と分散を表5-14、表5-15に示す。表5-14はDSQのクラスターの結果を示している。

表 5-14 DSQのクラスターに基づく非渋滞流の走行速度の平均と分散

左側車線	新宿線(上)_8.53kp		渋谷線(上)_5.86kp	
	平均 [km/h]	分散 [(km/h) ²]	平均 [km/h]	分散 [(km/h) ²]
クラスター1	83.93	196.92	102.06	62.12
クラスター2	87.00	22.13	88.52	30.45
クラスター3	90.57	66.87	94.35	36.12
クラスター4	90.53	124.75	101.90	130.80
クラスター5	88.29	169.02	93.30	189.08
右側車線	新宿線(上)_8.53kp		渋谷線(上)_5.86kp	
	平均 [km/h]	分散 [(km/h) ²]	平均 [km/h]	分散 [(km/h) ²]
クラスター1	94.16	196.64	95.22	205.81
クラスター2	96.28	46.75	101.57	179.80
クラスター3	99.85	70.04	98.10	149.23
クラスター4	98.03	45.86	101.59	24.87
クラスター5	93.78	194.49	94.37	155.05

この表において、それぞれの速度の大小関係に着目する。新宿線(上)_8.53kp の左側車線ではクラスター3 が最も速度が高く、クラスター4、クラスター2、クラスター5、クラスター2 の順に低くなっている。一方で右側車線では、最も速度が高いのがクラスター3 で、次がクラスター4 になっているものの、それ以降はクラスター2、クラスター1、クラスター5 となっている。渋谷線(上)_5.86kp でも同じく、右側車線と左側車線で大小関係に関連性が見られない。次に、表 5-15 に WSQ のクラスターの結果を示す。

表 5-15 WSQ のクラスターに基づく非渋滞流の走行速度の平均と分散

左側車線	新宿線(上)_8.53kp		渋谷線(上)_5.86kp	
	平均 [km/h]	分散 [(km/h) ²]	平均 [km/h]	分散 [(km/h) ²]
クラスター1	92.00	97.09	103.52	29.70
クラスター2	91.73	103.31	94.65	80.98
クラスター3	84.97	162.51	94.74	243.86
クラスター4	79.25	50.36	91.11	32.56
右側車線	新宿線(上)_8.53kp		渋谷線(上)_5.86kp	
	平均 [km/h]	分散 [(km/h) ²]	平均 [km/h]	分散 [(km/h) ²]
クラスター1	103.11	50.41	108.18	80.41
クラスター2	100.27	85.06	99.77	124.25
クラスター3	91.34	118.40	89.93	104.37
クラスター4	86.95	72.93	95.81	178.16

表 5-15 では、表 5-14 と異なり、車線にかかわらず一定の傾向があると考えられる。渋谷線(上)_5.86kp の右側車線を除き、クラスター1 が最も速度が高く、クラスター4 が最も速度が低くなっている。渋谷線(上)_5.86kp の右側車線ではクラスター4 の値が異なるものの、クラスター1 からクラスター3 にかけて速度の低下が見られる。これらのことから、運転負担感受性が高くなることで走行速度が低くなる傾向にあると考えられる。本研究では、道路構造に関わらない部分での運転行動に着目している。そのため、これらの表より、非渋滞流の走行速度に関しては WSQ のクラスターに着目して以降の分析を行う。

続いて、表 5-15 で示されたこの違いが有意であるかを調べるために統計分析を行う。今回の分析でも第 4 章と同様に Holm 法による多重比較検定を行う。表 5-16 は t 検定によるクラスター間の p 値の値と Holm 法によって調整した判定結果である。表 5-16 は WSQ のクラスターの分析結果を示している。

表 5-16 クラスターごとの走行速度の有意性

t検定による走行速度の変化 (各クラスター n=100)			
新宿線(上)_8.53kp_左側車線	p値	渋谷線(上)_5.86kp_左側車線	p値
クラスター1 - クラスター2	0.61	クラスター1 - クラスター2	0.00**
クラスター1 - クラスター3	0.00**	クラスター1 - クラスター3	0.00**
クラスター1 - クラスター4	0.00**	クラスター1 - クラスター4	0.00**
クラスター2 - クラスター3	0.00**	クラスター2 - クラスター3	0.36
クラスター2 - クラスター4	0.00**	クラスター2 - クラスター4	0.00**
クラスター3 - クラスター4	0.00**	クラスター3 - クラスター4	0.04
新宿線(上)_8.53kp_右側車線	p値	渋谷線(上)_5.86kp_右側車線	p値
クラスター1 - クラスター2	0.05 †	クラスター1 - クラスター2	0.00**
クラスター1 - クラスター3	0.00**	クラスター1 - クラスター3	0.00**
クラスター1 - クラスター4	0.00**	クラスター1 - クラスター4	0.00**
クラスター2 - クラスター3	0.00**	クラスター2 - クラスター3	0.00**
クラスター2 - クラスター4	0.00**	クラスター2 - クラスター4	0.25
クラスター3 - クラスター4	0.31	クラスター3 - クラスター4	0.00**

† p<0.1, *p<0.05, **p<0.01

Holm 法による分析であるため、p 値と統計水準の評価が必ずしも一致していない部分が生じている。この表より、24 のクラスター間のうち 18 のクラスター間で統計水準 1%であっても有意な差が生じていることがわかる。クラスター間で有意性が見られなかったクラスター間に着目すると、5 のクラスター間のうち 4 のクラスター間で、クラスター2 と 3 などクラスターの数字が連続している。WSQ では全体的な運転負担感が高くなるほどクラスターの数字が高くなるようになっている。このことから、運転負担感が近くクラスター間では、走行速度に差がなくなる可能性もあると考えられる。運転負担感の差が最も大きいクラスター1 とクラスター4においては全ての地点で有意性が見られたことから運転負担感が高くなるほど非渋滞流における走行速度が低くなる傾向にあると考えられる。

5.3.3 運転意図の異質性に着目した臨界流での車頭時間の差異

クラスターごとの臨界流における車頭時間の差異について把握する。運転者の車頭時間は把握するために、実データを基に作成した臨界流の左側車線を走行してもらい、車線変更をせずに先行車に一定区間追従する実験を行った。先行車の速度は65km/hであり、こちらも第4章で推定した臨界速度を参考にしている。図5-8に走行条件を簡単に示したものを示す。

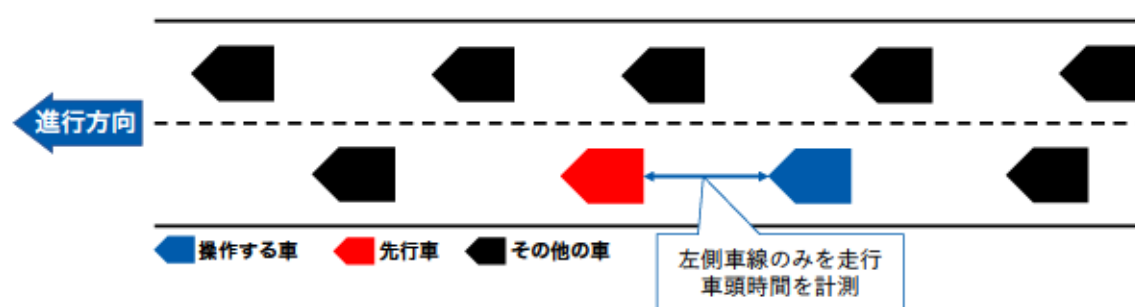


図 5-8 臨界流の車頭時間計測時の走行条件

この実験では、実験開始後、先行車との車頭時間が落ち着いた段階から記録を開始し、走行終了までの車頭時間を臨界流での車頭時間として取得する。

この実験を通して得られたクラスターごとの臨界流の車頭時間をクラスターごとに同数に揃えた上で平均と分散を計算する。今回の分析では各クラスター1000回分の計測結果をもとに平均と分散を算出している。算出結果を表5-17、表5-18に示す。表5-17はDSQのクラスターの結果、表5-18はWSQのクラスターの結果を示している。

表 5-17 DSQ のクラスターに基づく臨界流での車頭時間の平均と分散

DSQ	新宿線(上)_8.53kp		渋谷線(上)_5.86kp	
	平均[s]	分散[s ²]	平均[s]	分散[s ²]
クラスター1	4.38	1.81	3.93	1.35
クラスター2	3.19	2.43	3.06	1.38
クラスター3	2.81	3.60	2.46	1.58
クラスター4	3.20	2.50	3.24	2.41
クラスター5	3.48	1.03	4.13	2.16

表 5-17 より、はじめに平均車頭時間に着目すると、区間にかかわらずクラスター間で差が生じていることがわかる。また、平均値が高いクラスターと低いクラスターに着目すると、新宿線(上)_8.53kp を再現した区間では、クラスター1 が最も高く 4.38 秒となり、クラスター5、クラスター4、クラスター2 の順に平均値が下がり、クラスター3 が最も低く 2.81 秒となっている。渋谷線(上)_5.86kp を再現したコースでは、クラスター5 が最も高く 4.13 秒となり、クラスター1、クラスター4、クラスター2 の順に平均値が下がり、先ほどと同様にクラスター3 が最も低く 2.46 秒となっている。コースによってクラスター1 が最大となっていたり、クラスター5 が最大となっていたりしたものの、それ以外はコースによらず平均値の大小は揃っていることがわかる。このことから、DSQ のクラスターと臨界流の平均車頭時間の関係にはある程度相関があると考えられる。次に分散に着目すると、クラスターごとの大小関係に一定の傾向は見られないが、クラスター5 を除き、新宿線(上)_8.53kp よりも渋谷線(上)_5.86kp の方が、分散が収まっていることがわかる。

表 5-18 WSQ のクラスターに基づく臨界流での車頭時間の平均と分散

WSQ	新宿線(上)_8.53kp		渋谷線(上)_5.86kp	
	平均[s]	分散[s ²]	平均[s]	分散[s ²]
クラスター1	4.71	1.14	3.35	2.08
クラスター2	4.04	1.90	4.05	1.51
クラスター3	2.74	1.10	3.49	1.88
クラスター4	2.49	0.51	3.40	1.05

この表より、平均車頭時間に着目すると、DSQ の場合と異なり、クラスターごとの大小関係に一定の傾向が見られないことがわかる。新宿線(上)_8.53kp ではクラスター1 と 2、クラスター3 と 4 で平均車頭時間に差が生じているが、渋谷線(上)_5.86kp では全クラスターが 1 秒以内の範囲に収まっている。

前述した通り本研究では、道路構造に関わらない部分での運転行動に着目している。そのため、これらの表より、臨界流の車頭時間に関しては DSQ のクラスターに着目して分析を行う。

続いて、表 5-17 で示されたこの違いが有意であるかを調べるために統計分析を行う。今回の分析でも第 4 章と同様に Holm 法による多重比較検定を行う。表 5-19 は t 検定によるクラスター間の p 値の値と Holm 法によって調整した判定結果である。

表 5-19 クラスターごとの車頭時間の有意性

t検定による車頭時間の変化 (各クラスター n=100)			
新宿線(上)_8.53kp	p値	渋谷線(上)_5.86kp	p値
クラスター1 - クラスター2	0.00**	クラスター1 - クラスター2	0.00**
クラスター1 - クラスター3	0.00**	クラスター1 - クラスター3	0.00**
クラスター1 - クラスター4	0.00**	クラスター1 - クラスター4	0.00**
クラスター1 - クラスター5	0.00**	クラスター1 - クラスター5	0.44
クラスター2 - クラスター3	0.16	クラスター2 - クラスター3	0.00**
クラスター2 - クラスター4	0.80	クラスター2 - クラスター4	0.06
クラスター2 - クラスター5	0.53	クラスター2 - クラスター5	0.00**
クラスター3 - クラスター4	0.26	クラスター3 - クラスター4	0.00**
クラスター3 - クラスター5	0.04	クラスター3 - クラスター5	0.00**
クラスター4 - クラスター5	0.39	クラスター4 - クラスター5	0.00*

† p<0.1, *p<0.05, **p<0.01

この表より、新宿線(上)_8.53kp ではクラスター1 と他のクラスター間で統計水準 1% であってもクラスター間で有意性が見られている。また、渋谷線(上)_5.86kp ではクラスター間の有意性を確認することで、3つのグループに分けることができると考えられる。車頭時間の長いクラスター1 と 5、車頭時間が短いクラスター3、その間に存在するクラスター2 と 4 である。これらの有意性と図 5-2 で示したクラスターごとの各尺度の得点を比較すると、クラスター1 のみ得点が低くなっている「不安定な運転傾向」や 3つのグループと傾向が近い「運転に対する消極性」、「心配性的傾向」が車頭時間の差に影響しているのではないかと考えられる。一方で新宿線(上)_8.53kp と渋谷線(上)_5.86kp において、着目できる尺度が異なっていることから、この分析結果が各地点独自の可能性も否定できない。この研究を通して運転スタイルをもとに車頭時間の特徴を分類できる可能性があると考えている。今後はさらに地点数を増やして分析していくことでどのような要因と車頭時間が関わっているか、より詳細に把握していく必要がある。

5.3.4 運転意図の異質性に着目した渋滞流での希望最小車頭距離・反応時間の差異

クラスターごとの渋滞流における希望最小車頭距離と反応時間の差異について把握する。運転者の希望最小車頭距離と反応時間は把握するために、シミュレーション上で作成した渋滞流の左側車線を走行してもらい、車線変更をせずに先行車に一定区間追従する実験を行った。先行車の速度は30km/hから開始し徐々に減速し、5秒間停止、その後30km/hまで回復するという走行を5回繰り返している。図5-9に走行条件を簡単に示したものを示す。

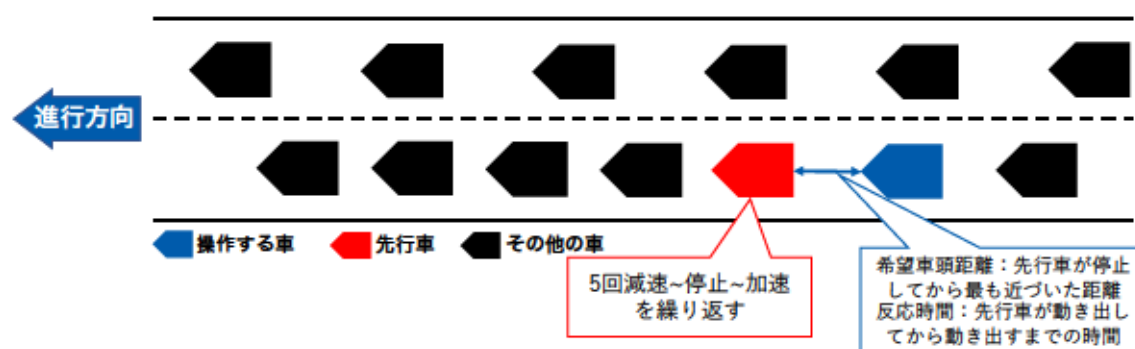


図 5-9 渋滞流の希望車頭距離・反応時間計測時の走行条件

この実験では、先行車が停止時の最小車頭距離を希望最小車頭距離、先行車が進み始めてから被験者の車両が進み始めるまでの時間を反応時間として取得する。先行車が停止する時、一部の被験者では十分に近づくことができている状況が複数確認できたため、取得データは操作する車が停止できなかった場合のデータは除いている。

またこの実験では、区間ごとに取得できるデータが一人あたり最大で4回となっており、集約した場合でもデータ数が20を満たさないクラスターも存在する。このことから、統計的分析を行うことが難しいと考えられるため、それぞれの平均値と分散に着目して、異質性による対象の差異の傾向のみを分析する。

この実験を通して得られたクラスターごとの渋滞流における希望最小車頭距離の平均と分散を表5-20、表5-21に示す。表5-20はDSQのクラスターの結果を示している。

表 5-20 DSQのクラスターに基づく渋滞流での希望最小車頭距離

DSQ	新宿線(上)_8.53kp		渋谷線(上)_5.86kp	
	平均[m]	分散[s ²]	平均[m]	分散[s ²]
クラスター1	12.74	9.68	13.09	33.50
クラスター2	13.56	13.15	12.49	4.87
クラスター3	11.28	6.98	11.86	4.23
クラスター4	12.39	13.75	12.33	24.99
クラスター5	12.81	16.84	18.19	42.88

この表より、どちらの区間においても希望最小車頭距離の平均はクラスター3が一番小さくなっている。一方でクラスター5はどちらの区間でも他のクラスターと比べて希望最小車頭距離の平均は長くなる傾向にあり、分散も高い値を示している。この分析において新宿線(上)_8.53kpのクラスター2のデータは、操作する車両が停止できなかった場合が複数あり、合計で5回分のデータのみとなっている。そのうち1回が19m以上と大きな値となっているため、平均や分散が高くなっている。そのため、クラスター2の評価を行うには更なるデータ取得が必要になると考えられる。今回の分析結果と臨界流における分析結果を比較するとクラスター3が最小値となっており、クラスター1やクラスター5が高い傾向にあることは共通している。故に、DSQのクラスターを用いることで車間に関する運転者の異質性を示すことができると考えられる。次に表5-21にWSQのクラスターの結果を示す。

表 5-21 WSQのクラスターに基づく渋滞流での希望最小車頭距離

WSQ	新宿線(上)_8.53kp		渋谷線(上)_5.86kp	
	平均[m]	分散[s ²]	平均[m]	分散[s ²]
クラスター1	9.60	1.33	10.86	4.39
クラスター2	11.32	8.23	10.22	2.64
クラスター3	14.81	7.22	16.39	29.17
クラスター4	10.43	2.92	12.57	7.33

この表より、平均希望最小車頭距離に着目すると、どちらの区間もクラスター3が一番長い値を示している。一方で、それ以外の大小関係については一定の傾向が見られず、新宿線(上)_8.53kpで2番目に長い値を示しているクラスター2は、渋谷線(上)_5.86kpでは最小値になっている。この分析では、DSQとは異なり、特定のクラスターで少なくとも10以上のデータが集まっていることを確認している。

前述した通り本研究では、道路構造に関わらない部分での運転行動に着目している。そのため、これらの表より、渋滞流の希望最小車頭距離に関してはDSQのクラスターに着目できると考えられる。

次に、この実験を通して得られたクラスターごとの渋滞流における希望最小車頭距離の平均と分散を表 5-22、表 5-23 に示す。表 5-22 は DSQ のクラスターの結果を示している。

表 5-22 DSQ のクラスターに基づく渋滞流での反応時間

DSQ	新宿線(上)_8.53kp		渋谷線(上)_5.86kp	
	平均[s]	分散[s ²]	平均[s]	分散[s ²]
クラスター1	3.64	7.84	2.79	4.61
クラスター2	2.57	3.22	2.26	1.80
クラスター3	2.22	1.83	2.35	1.44
クラスター4	4.00	4.43	3.42	5.49
クラスター5	1.93	1.68	3.47	3.80

この表において、各クラスターの反応時間の大小関係に着目する。新宿線(上)_8.53kp ではクラスター5 が最も反応時間が短く、クラスター3、クラスター2、クラスター1、クラスター4 の順に長くなっている。一方で渋谷線(上)_5.86kp では、最も速度が高いのがクラスター2で、それ以降はクラスター3、クラスター1、クラスター4、クラスター5 となっている。このように DSQ に着目すると反応時間の大小関係に関連性が見られない。先行車が動き出してから操作する車両が動くまでの行動に区間ごとに差が異なるとは考えづらい。このことから DSQ に基づいて反応時間を理解することは適切ではないと考えられる。次に、表 5-23 に WSQ のクラスターの結果を示す。

表 5-23 WSQ のクラスターに基づく渋滞流での反応時間

WSQ	新宿線(上)_8.53kp		渋谷線(上)_5.86kp	
	平均[s]	分散[s ²]	平均[s]	分散[s ²]
クラスター1	3.83	4.43	3.93	2.58
クラスター2	3.54	6.37	3.02	3.76
クラスター3	2.83	4.52	1.92	2.13
クラスター4	1.99	1.62	1.95	1.20

この表より、反応時間の平均に着目すると、DSQ とは異なり、クラスターの数字が大きくなるほど、つまり運転負担感が高くなるほど反応時間が短い傾向であることがわかる。渋滞流はこれまでの交通状況と異なり、速度が 30km/h 以下の状況が長く続いている。そのため、運転負担感が低い人ほど集中力が切れたり、リラックスした状態になったりしてしまい、反応時間が遅くなってしまったのではないかと考えられる。表 5-22、表 5-23 の結果を踏まえると、運転行動の異質性による反応時間の差に関しては、WSQ に着目する方が望ましいと考えられる。

5.4 ドライビングシミュレータ実験結果の再現性の確認

上記で得られたドライビングシミュレータ実験に基づく運転行動データの再現性を確認する。再現性を確認するための比較データはモデルとなっている新宿線(上)_8.53kp および渋谷線(上)_5.86kp の2021年のデータを使用する。

ドライビングシミュレータ実験では、非渋滞流の走行速度、臨界流の車頭時間、渋滞流の希望最小車頭距離・反応時間を取得している。このうち非渋滞流に関する実験は、両車線とも前に車両が存在しない状況での速度を計測している。実験では昼間の明るい時間を走行しているが、実際のデータにおいて明るい時間帯に車両が全く流れない時間はほとんどなく現実と乖離している可能性がある。渋滞流に関する実験は、データ計測の関係上、先行車を強制的に停止させる操作を行っているため、こちらも実際に得られているデータの交通状況と乖離している可能性がある。そのため、再現性の確認には、臨界流の車頭時間に関して行うこととする。

はじめに交通流内に各クラスターがどの程度存在するのか、推測を行う。表5-10で示しているように、クラスターごとに運転頻度の割合は異なっていることがわかる。そこで、運転頻度に応じて、頻度が高くなるほど交通流内の割合が高くなるように重みづけを行う。

本アンケートは各年代・性別が50人になるように実施している。一方で、実際の交通は年齢層や性別によって人数に偏りが生じていると考えられる。そこで、令和4年度の交通安全白書に記載されている免許保有者数を参考に、保有者の多い層ほど交通流内の割合が高くなるように重みづけを行う。これらをまとめ、交通流内における各クラスターの割合を算出する。表5-24は交通流内に存在していると考えられるDSQ・WSQのクラスターの割合を示している。

表 5-24 交通流内に存在していると考えられる各クラスターの割合

	DSQ	WSQ
クラスター1	17.2%	28.7%
クラスター2	23.1%	54.4%
クラスター3	32.8%	13.8%
クラスター4	15.5%	3.1%
クラスター5	11.4%	

各クラスターの出現割合を変更し、その結果得られた臨界流のシミュレーション上の車頭時間分布と実際の非渋滞流の車頭時間分布を比較する。実際の車頭時間には、渋滞発生直前の交通流データを使用する。上記で示している通り、走行速度の分析ではDSQに着目しているため、DSQに基づく比較を行う。図5-10は、シミュレーションより算出した車頭時間分布と実際の値を比較したものである。

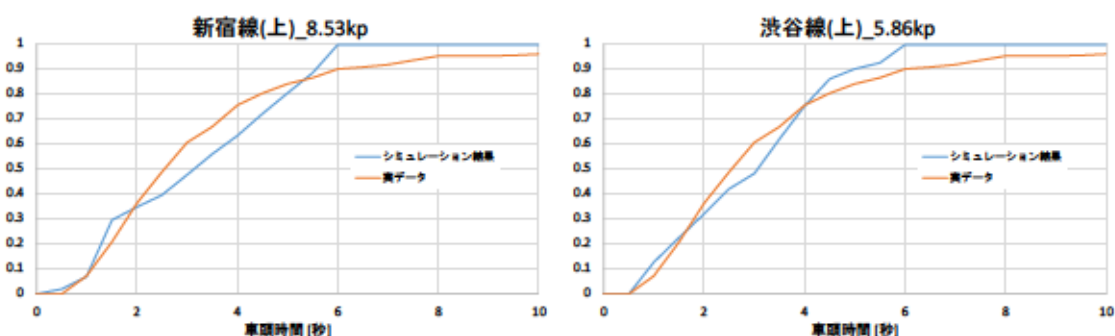


図 5-10 実際の車頭時間とシミュレーション結果

この図より、パーセントタイル値に着目すると、シミュレーション結果では6秒以内に全ての記録があるのに対し、実データでは10秒以上の記録も存在していることがわかる。既往研究では、渋滞巻き込まれ時間が長くなるほど、緩慢な追従挙動を行う車両が増加し、捌け交通量が減少することが示されている⁷⁹⁾。このことを踏まえると、10秒以上の車頭時間となっている車両は緩慢な追従状態である可能性が考えられる。一方で今回の実験では開始直後から渋滞が発生し、数分で終了する実験のため、渋滞巻き込まれ時間の増加による緩慢な追従状態は見られなかった。

そのため、再現性を確認する上では、実験で見られなかった緩慢な追従状態の車両を取り除くため車頭時間6秒以上の車両を全て取り除いた上で分析する。再現性の確認には、それぞれのデータから車頭時間分布を作成し、この分布に乱数を割り当て出現した車頭時間の一致具合によって判断する。それぞれ100台分の車頭時間を発生させ、昇順に整理し、散布図と近似直線から一致の程度を測る。もし全ての車頭時間が一致していた場合、つまり完全に再現されている場合、グラフの比例定数は1となる。これらのデータから得られた各区間の散布図を図5-11に示す。

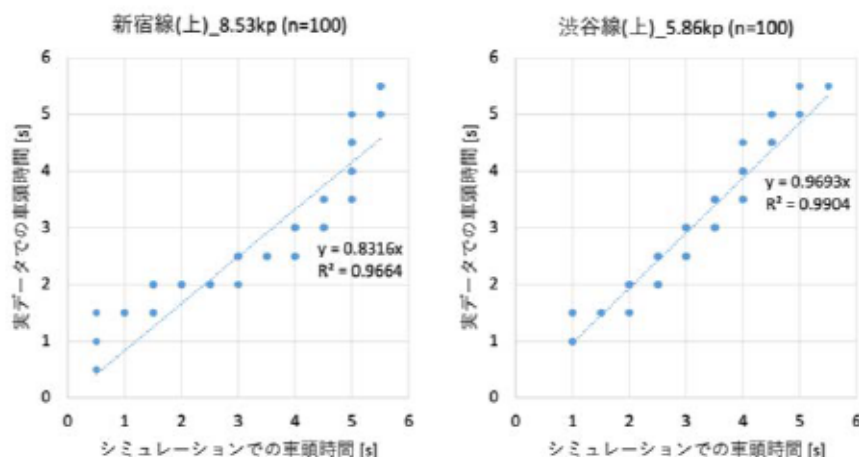


図 5-11 各区間のシミュレーション結果の再現性の確認

この図より、各近似直線の係数に着目すると、新宿線(上)_8.53kpでは0.83であり、渋谷線(上)_5.86kpでは0.97となっている。実データとシミュレーション結果それぞれで発生させた車頭時間が完全に一致する場合、係数は1となることを考えると、新宿線(上)_8.53kpでは若干再現性が失われるものの、ほぼ同程度の車頭時間が発生していると考えられる。またどちらの決定係数も0.95を超えており、十分近似ができていると考えられることから、人々が集中して運転している状況に関しては、シミュレーション結果は再現性が高く、実際の状況を表現できていると考えられる。

5.5 小括

第5章では、人々の運転行動や運転意図に着目し、アンケート調査とドライビングシミュレータ実験を用いて、第4章で示した交通流の変化を運転行動や運転意図の観点から明らかにした。

高速道路の走行経験がある30代-60代の男女400名を対象にしたDSQの回答結果より、男女共に最高得点と最低得点の尺度が同じになり、運転者全体として悩みや気分の浮沈によって運転行動が変化しやすく、一時停止や徐行などを疎かにしてしまう傾向にあると考察を行った。また得られた得点より、クラスター分析を行ったところ、「運転スキルへの自信」や「ステイタスシンボルとしての車」、「心配性的傾向」、「運転に対する消極性」の尺度の得点差から、5つのクラスターに分類できることを示した。

同じくWSQの回答結果より、男女で得点に差が生じ、女性の方が全体的に高い結果となった。一方で、標準偏差は男性の方が高くなっていることから、運転に対する負担は、男性の場合は高く感じる人も低く感じる人も存在するが、女性の場合は全体的に高く感じていると考察を行った。また得られた得点より、クラスター分析を行ったところ、運転に対して感じる負担の程度の差から、4つのクラスターに分類できることを示した。

その後、アンケート回答者のうち各クラスターが複数人になるように選定した20名にドライビングシミュレータ実験にご協力いただいた。非渋滞流の走行距離に着目した実験では、WSQのクラスター結果より走行速度の個々の違いを判断することができると考えられ、運転負担感が高い人ほど走行速度が遅くなる傾向にあることを示した。

臨界流の車頭時間に着目した実験では、DSQのクラスター結果より車頭時間の個々の違いを判断することができると考えられ、「心配性的傾向」、「運転に対する消極性」の尺度の得点が短い人ほど車頭時間が長くなる傾向にあり、これらの得点が平均的であったクラスターが最も車頭時間が短くなっていることを示した。

渋滞流の希望最小車頭距離と反応時間に着目した実験では、DSQのクラスター結果より希望最小車頭距離の個々の違いを判断することができると考えられ、臨界流の車頭時間と同様の傾向で、「心配性的傾向」、「運転に対する消極性」の尺度の得点が短い人ほど希望最小車頭距離が長くなる傾向にあり、これらの得点が平均的であったクラスターが最も希望最小車頭距離が短くなっていることを示した。また、WSQのクラスター結果より反応時間の個々の違いを判断することができると考えられ、非渋滞流の走行速度と同様の傾向で、運転負担感が高い人ほど反応時間が早い傾向にあることを示した。

シミュレーション実験結果の再現性を臨界流の車頭時間に着目し、シミュレーション結果と実データからそれぞれ車頭時間分布を作成し、その分布に基づく車頭時間の発生頻度をもとに再現性の確認を行った。車頭時間が6秒を超えるような緩慢な追従挙動が実験では見られなかったことから、それを除外して比較を行ったところ、どの対象区間においても、近似直線の係数が1に近く、決定係数が高くなったため、集中している追従状態に関しては再現性が十分有していることを示した。

既往研究¹²⁸⁾¹²⁹⁾では、個人間であっても運転行動に経年変化が生じることが示されている。そのため経年変化によって、年代構成に変化がなくとも、クラスターの割合が異なり、それに伴い交通流も変化する可能性が考えられる。今後は本研究で得られたデータを基に、数年後に同様の調査を行うことで運転行動の経年変化が交通流にどのような影響を与えるのか把握できると考えられる。

第6章

運転行動の経年変化がもたらす 交通流全体への影響

6 運転行動の経年変化がもたらす交通流全体への影響

6.1 本章の視点と構成

この章では、第4章で示した運転行動や交通流の変化が交通流の安全性と円滑性に与えている影響について評価を行う。評価する対象は、地点データだけでは直接的に得られない一定区間における渋滞流とし、円滑性として渋滞長や旅行時間の変化、安全性として潜在的衝突危険性の変化に着目する。この章の分析の対象区間は、単路部であり勾配や車線幅員などの道路構造に変化はなく、同じ交通状況が保たれていると仮定する。

運転行動の経年変化と交通流全体への影響を分析するにあたり、安全性と円滑性の評価では、実データより得られた車頭時間分布と速度データを用いて、モンテカルロシミュレーションを行い、過去と現在を比較する。

今後の交通流の予測として、現在の交通流において、一部の車両が自動運転に切り替わった場合に交通流の安全性と円滑性にどのような影響があるのか分析を行う。第5章で実施したアンケート調査に自動運転車の購買意向を問う項目が存在する。この結果をもとに、一部自動運転が存在している車頭時間分布と速度データを作成し、モンテカルロシミュレーションを行い、現在と未来の経年変化を比較する。

以上の視点を基に、本章の構成は以下の通りとなっている。第1節では、本研究の視点と構成を述べている。第2節では、車両感知器データから得られた車頭時間分布と速度分布を用いて、モンテカルロシミュレーションを行い、交通流の安全性と円滑性の変化を分析する。第3節では、アンケート調査から得られた自動運転購買意向をもとに、車頭時間分布と速度分布を作成し、モンテカルロシミュレーションを行い、交通流の安全性と円滑性の変化を分析する。第4節では、ここまでの分析結果をまとめる。

6.2 車両感知器データを用いた経年変化による交通流への影響予測

6.2.1 渋滞流内の安全性への影響

はじめに、車両感知器データより渋滞流の車頭時間分布と速度データを用いて、2016年から2021年までの交通流の安全性の変化を予測する。図6-1は、第4章で求めた渋滞発生後の車頭時間分布を示したものである。また表6-1は、同じ交通状況における対象区間の平均走行速度を示したものである。ドライビングシミュレータ実験では、新宿線(上)_8.53kpおよび渋谷線(上)_5.86kpを再現している。そこで、この章ではこの2地点に着目して分析を行う。

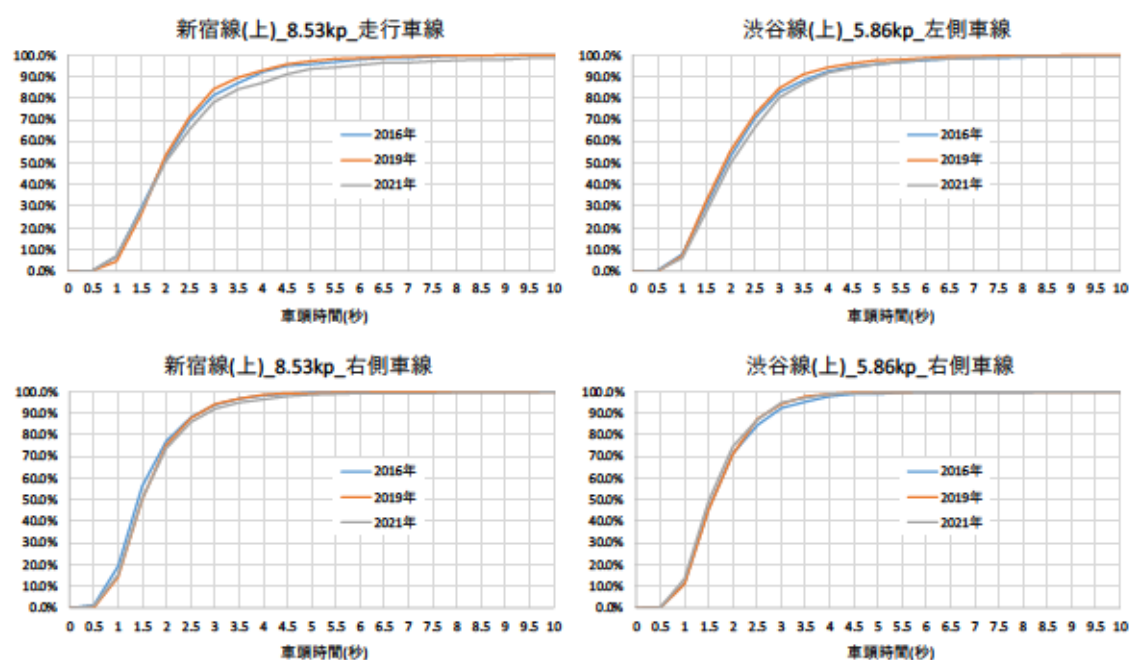


図 6-1 対象地点における車頭時間分布

表 6-1 対象地点における平均速度

平均速度 [km/h]		左側車線	右側車線	平均速度 [km/h]		左側車線	右側車線
新宿線(上) _8.53kp	2016年	51.9	59.3	渋谷線(上) _5.86kp	2016年	43.9	39.6
	2019年	46.4	56.1		2019年	43.9	43.7
	2021年	61.1	57.3		2021年	44.9	45.7

前頁の図表より、車頭時間に関しては車頭時間分布を用いて、速度は速度分布が正規分布に従うと仮定し、前章までで示されている運転行動の経年変化が交通流の安全性にどのような影響を与えているのか推測を行う。安全性の評価には、既往研究⁸⁵⁾を参考に先行車が急減速をした際に、衝突が発生するか否かを判断できる PICUD 指標を用いる。PICUD 指標は式(6-1)で計算することができる指標であり、先行車の速度、先行車との距離、自車の速度を基に、先行車が急停止した場合に衝突が発生するか否かを判断することができる。この式で計算し、PICUD 指標が負の値であった場合は、先行車が急停止した際に衝突することを意味しているため、潜在的な危険性が存在していると判断できる。

$$PICUD = \frac{V_1^2}{-2a} + s_0 - \left(V_2 \Delta t + \frac{V_2^2}{-2a} \right) \quad (6-1)$$

ここで、 V_1 ：先行車の減速開始時の速度[m/s]、 V_2 ：先行車の減速開始時の自車の速度[m/s]、 s_0 ：先行車の減速開始時の車間距離[m]、 Δt ：自車の運転者の反応時間[s]、 a ：減速時の加速度[m/s²]である。

交通流内の安全性を評価するにあたり、PICUD 指標の負の値に着目し、同じ距離における負の値となる車両の台数および同じ台数における負の値となる車両の台数を比較する。既往研究を参考に、減速時の加速度を-3.3[m/s²]とし、反応時間を 1.0[s]として分析を行う。表 6-2 にそれぞれの年で、500 回シミュレートを行った時のボトルネックから 2000m 以内における PICUD 指標が負の値をとる車両の台数、表 6-3 にそれぞれの年で、500 回シミュレートを行った時の 200 台目までにおける PICUD 指標が負の値をとる車両の台数を示す。

表 6-2 ボトルネックから 2000m 以内の負の PICUD 指標を持つ台数

PICUD		左側車線	右側車線	PICUD		左側車線	右側車線
新宿線(上) _8.53kp	2016年	8.7	19.6	渋谷線(上) _5.86kp	2016年	13.5	26.2
	2019年	9.7	19.9		2019年	11.2	20.1
	2021年	5.4	17.4		2021年	8.2	20.4

表 6-3 ボトルネックから 200 台目までにおける負の PICUD 指標を持つ台数

PICUD		左側車線	右側車線	PICUD		左側車線	右側車線
新宿線(上) _8.53kp	2016年	31.7	60.6	渋谷線(上) _5.86kp	2016年	41.6	59.5
	2019年	31.8	61.7		2019年	33.6	48.6
	2021年	24.6	57.0		2021年	27.0	51.6

前頁の表より、どちらの区間でも2016年から2021年にかけて、PICUD指標が負の値となる車両の数は減少している。また、新宿線(上)_8.53kpでは2016年から2019年にかけて対象となる台数は増加している。しかし、この増加幅と比較して、2016年から2019年の減少幅の方が大きく、2021年時の値が全て最小値になっている。2016年から2021年の減少率は左側車線の方が大きく、表6-2では最大で約37.9%、平均で約24.4%の減少であり、表6-3で最大35.1%、平均で約17.2%の減少となっている。これらのことを踏まえると、PICUD指標において負の値となる車両の数は経年減少している可能性が考えられ、渋滞発生直後の交通流の安全性は改善されつつあると考えられる。

どちらの区間においても、右側車線の方が対象となる台数は多くなっており、渋滞発生直後の交通流において、左側車線ではおよそ12%から15%の車両が、右側車線ではおよそ25%から30%の車両が潜在的な危険性を有していると考えられる。

6.2.2 渋滞流内の渋滞長への影響

次に、先ほどと同様のデータを用いて、各車両に車頭時間と走行速度を割り当てる。これらの車両によって形成されている渋滞発生から15分後のボトルネック部から上流の交通流を切り取り、渋滞長の長さを比較する。比較対象は、ボトルネック部を通過する車両を1台目とし、200台後方の車両の位置とその位置を空間平均速度で割った200台後方の車両の到達時間とする。表6-4は対象の車両の位置の平均を示したものである。表6-5は対象の到達時間の平均を示したものである。

表 6-4 対象区間における 200 台目の車両の走行位置

走行位置 [m]		左側車線	右側車線	走行位置 [m]		左側車線	右側車線
新宿線(上) _8.53kp	2016年	7147.9	6119.5	渋谷線(上) _5.86kp	2016年	5964.1	4450.9
	2019年	6260.5	5969.1		2019年	5782.0	4820.7
	2021年	8847.9	6380.5		2021年	6321.0	4922.6

表 6-5 対象区間における 200 台目の車両の到達時間

到達までの時間 [s]		左側車線	右側車線	到達までの時間 [s]		左側車線	右側車線
新宿線(上) _8.53kp	2016年	493.3	370.1	渋谷線(上) _5.86kp	2016年	486.1	402.3
	2019年	484.0	381.0		2019年	471.9	394.8
	2021年	519.0	399.4		2021年	504.0	385.4

これらの表より、先ほどの場合とは異なり、どちらの区間や車線ごとに変化の傾向が異なっている。新宿線(上)_8.53kpでは、走行位置は2019年が最小値となり、2021年が最大値となっている。一方で到達時間は左側車線では2019年が最小値、2021年が最大値となっているものの、右側車線では経年増加していることがわかる。

渋谷線(上)_5.63kpでは、走行位置は左側車線で2019年が最小値、2021年が最大値となり、右側車線では経年増加している。一方で到達時間は、左側車線では2019年が最小値、2021年が最大値となっているものの、右側車線では経年減少している。

これらのことから、渋滞長に着目すると、2021年が全ての区間で最大となっており、経年増加している可能性が考えられる。しかし、到達時間に着目すると、その限りでなく、一部の地点では時間が短くなっていることがわかる。これは渋滞流における速度が増加していることが理由として考えられ、渋滞長は伸びているものの、渋滞流を以前よりも速く走行できることから到達時間が短くなっていると考えられる。交通流における円滑性に関して、旅行速度や旅行時間などで評価を行うことが多いことを考えると、増加であっても最大で30秒程度であり、一部で減少していることから、対象区間における円滑性は若干の低下もしくはほぼ変わらないと考察できる。

以上のことから、実データをもとに分析を行うことで、運転行動の変化による交通容量の経年減少によって、交通流の安全性は改善され、円滑性は若干の低下もしくはほぼ変化がない状態になったと考えられる。これまでの交通容量の経年変化分析において、このような交通流の安全性や円滑性の変化に言及している研究はなく、本研究によってもたらされた新たな結果であると考えられる。

6.3 自動運転購買意向による交通流への影響予測

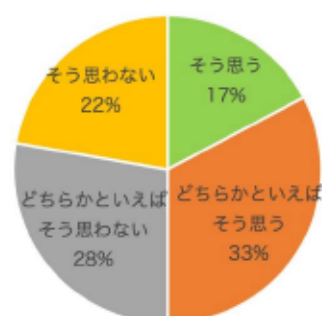
次に、第4章の分析結果と第5章の分析結果を用いて、現在の交通流や運転行動を基準として、一部の運転者が自動運転車に買い替えたときの交通流の安全性と円滑性への影響の予測を行う。第5章で行ったドライビングシミュレータ実験では、渋滞発生直後の交通流を再現することができなかった。そこで、渋滞発生直前の臨界流のデータを用いて、交通流の影響を予測する。そのため、6.2の結果とは交通状況が異なるため、単純比較は行わないこととする。

はじめに、高速道路上での追従状態における自動運転の車両挙動について設定を行う。自動運転車は一般的にGPSやミリ波レーダー、赤外線レーダーなどを用いて周囲の状況や先行車との距離を把握し、車両制御を行っている。そのため、先行車と必要以上に近づくことがなく走行が可能になる。また、常時観測を行っているため、先行車の急停止に対し、反応時間がほぼなく対応が可能になると考えられる。現在既に普及しているACC搭載車両と同様に、先行車との車頭時間は設定によって変更できると考えられることから、本研究では鈴木らの研究⁶⁹⁾を参考に、本研究では自動運転車両の追従状態における最小車頭時間を2秒とする。また、自動運転車両の反応時間を0秒とする。それ以外に関しては、その状況における手動運転車両によって形成される交通流と同じ条件とする。表6-6に手動運転車両と自動運転車両の違いをまとめる。

表 6-6 手動運転車両と自動運転車両の違い

	手動運転	自動運転
最小車頭時間	観測で得られた最小値	2秒
反応時間	1秒	0秒

次に、自動運転普及過程を再現する。第5章で行ったアンケート調査において、「完全自動で制御する車両が普及した場合に積極的に購入を検討しますか？」という質問項目を用意している。この回答結果をもとに、「そう思う」と回答した人、「どちらかといえばそう思う」という人の順に自動運転車両に買い替えると仮定し、それによる交通流への分析を行う。図6-2は、「完全自動で制御する車両が普及した場合に積極的に購入を検討しますか？」という設問に対する回答結果である。



完全自動で制御する車両が普及した場合に積極的に購入を検討しますか？

図 6-2 アンケート調査における回答結果 (n=400)

この図から、全ての人が自動運転車両に買い替えたいと思っているわけではなく、現在検討している人の割合はちょうど半分であることがわかる。この結果より、今後の交通流において完全に自動運転車両に置き換わる可能性は考えづらく、自動運転が普及されてもしばらくの間は手動運転車両と自動運転車両が混在した状態が続くと考えられる。

第5章より、臨界流における車頭時間に関してはDSQのクラスターをもとに判断することが望ましいことを示している。今回のアンケート結果において、「そう思う」と回答した人がどのクラスターに属し、どの程度の運転頻度であるかを分析する。表6-7に分析結果を示す。

表 6-7 「そう思う」と回答した人が属するクラスターと運転頻度

[人] 0は全ての人数	クラスター					計(400人)
	1(93人)	2(90人)	3(114人)	4(22人)	5(81人)	
ほとんど毎日運転している	6	1	6	0	3	16
週に3~4日運転している	0	1	7	1	1	10
週に1~2日運転している	2	0	11	0	1	14
月に3~4日運転している	2	0	0	0	0	2
月に1~2日運転している	0	1	1	0	4	6
ほとんど毎日運転していない	5	2	3	1	10	21

この表から自動運転車両への買い替えを検討している人は、クラスターとしては、クラスター1や3、5の人が多いことがわかる。また頻度としては、ほとんど運転していない人も買い替えを検討している人が21人と多く、週に1回以上運転している運転頻度の高い人も買い替えを検討している人が40人と多いことがわかる。このように運転者の属性によって自動運転購買意向が異なることから、今後の分析では、個々の意向の違いにも着目して分析を行う。

次に、アンケートの回答結果に対して、「どちらかといえばそう思う」と回答した人がどのクラスターに属し、どの程度の運転頻度であるかを分析する。表6-8に分析結果を示す。

表 6-8 「どちらかといえばそう思う」と回答した人が属するクラスターと運転頻度

[人] 0は全ての人数	クラスター					計(400人)
	1(93人)	2(90人)	3(114人)	4(22人)	5(81人)	
運転頻度						
ほとんど毎日運転している	4	5	6	1	3	19
週に3~4日運転している	8	7	5	0	1	21
週に1~2日運転している	12	9	12	1	8	42
月に3~4日運転している	5	1	1	0	1	8
月に1~2日運転している	1	3	1	1	3	9
ほとんど毎日運転していない	14	5	7	0	6	32

この表においても先ほどと同様に、クラスター1や3、5の人の回答割合が高いことがわかる。そのため、この時点でクラスター1や3、5の過半数の人が回答している結果となっている。一方でクラスター2は合計で35人と全体の40%程度、クラスター4は合計で5人と全体の25%程度と他のクラスターと比べて意欲的ではない回答結果となっている。頻度別に着目すると、週に1回以上運転している人の約54%がすでに回答している結果となっている。

これらの回答結果をもとに、実際の交通流において自動運転車両がどのように普及していくか、第5章の再現性の確認で用いた運転頻度と年代・性別の免許保有台数を参考に、予測を行う。本研究では、自動運転の普及過程において、アンケートで得られた回答結果を基準とし、「そう思う」と答えた人の半分が買い替えたパターン(P1)、「そう思う」と答えた人の全員が買い替えたパターン(P2)、「どちらかといえばそう思う」と答えた人の半分が買い替えたパターン(P3)、「どちらかといえばそう思う」と答えた人の全員が買い替えたパターン(P4)の4パターンを用意して普及率を予測する。表6-9は自動運転普及による交通流内の割合の変化を示したものである。

表 6-9 パターンごとの交通流内における自動運転車両の普及率

構成率	自動運転なし	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4
クラスター1	17.2%	16.8%	14.3%	9.7%	5.1%
クラスター2	23.1%	24.6%	24.0%	19.7%	15.5%
クラスター3	32.8%	31.1%	26.4%	22.0%	17.6%
クラスター4	15.5%	6.6%	6.4%	5.9%	5.5%
クラスター5	11.4%	11.4%	9.8%	7.7%	5.5%
自動運転		9.5%	19.1%	35.0%	50.9%

この表において、「自動運転なし」は表 5-24 の DSQ の結果と対応している。この結果から、自動運転の割合は徐々に増加し、最大で 50%以上になることがわかる。その結果、クラスター1 の減少率が大きく、パターン4 では現状の 3 分の 1 以下まで減少している。

表 6-6 の手動運転車両と自動運転車両の違い、表 6-9 のパターンごとの交通流内のそれぞれの割合を参考に 6.2 と同様の手法を用いて、交通流内の安全性と円滑性の変化を分析する。

6.3.1 渋滞流内の安全性への影響

はじめに、表 6-6 および表 6-9 の結果を用いて、6.2 と同様に PICUD 指標を用いて、自動運転車両の普及による交通流内の安全性への変化を予測する。PICUD 指標を算出する式は前述の通りであり、減速度や手動運転車両における反応時間も同様のものとする。自動運転車両の車両挙動は、表 6-9 で得られたクラスターの割合から得られた車頭時間分布のうち、車頭時間 2 秒以下のものを取り除いたものとし、反応時間は 0 秒とする。

これらの条件によって再現された交通流の中で、2000m 以内に存在する車両の中で PICUD 指標が負の値となった車両数と 200 台目までの PICUD 指標が負の値となった車両数を分析する。第 5 章で示している通り、ドライビングシミュレータの実験では実験条件の関係上、データを取得できているのは左側車線のみである。そのため、今回の分析結果も左側車線のみとなる。表 6-10 にそれぞれのパターンで、前回同様に 500 回シミュレートを行った時のボトルネックから 2000m 以内の結果を、表 6-11 に 200 台目までの結果を示す。

表 6-10 パターン別のボトルネックから 2000m 以内の負の PICUD 指標を持つ台数

PICUD		左側車線	PICUD		左側車線
新宿線(上) _8.53kp	自動運転なし	4.58	渋谷線(上) _5.86kp	自動運転なし	4.73
	パターン1	2.41		パターン1	2.69
	パターン2	0.83		パターン2	0.31
	パターン3	0.16		パターン3	0.06
	パターン4	0.12		パターン4	0.05

表 6-11 パターン別のボトルネックから 200 台目までの負の PICUD 指標を持つ台数

PICUD		左側車線	PICUD		左側車線
新宿線(上) _8.53kp	自動運転なし	26.86	渋谷線(上) _5.86kp	自動運転なし	19.74
	パターン1	13.43		パターン1	11.45
	パターン2	5.35		パターン2	1.30
	パターン3	0.97		パターン3	0.25
	パターン4	0.61		パターン4	0.23

この表における結果は、ドライビングシミュレータ実験の結果に基づく車頭時間分布から得られる結果であり、臨界流と渋滞発生直後で交通状況が異なることから、6.2 の結果とは値が異なっている。分析結果より、どの場合においても自動運転車両の割合が増加するごとに PICUD 指標で負の値となる台数は減少しており、特にパターン 2 (自動運転割合: 19.1%) になると対象の台数は現状の 5 分の 1 以下になっていることがわかる。それ以降も減少していき、パターン 3 やパターン 4 になると事故を起こす可能性のある車両はほぼ存在しないことがわかる。以上の結果より、自動運転が普及することで交通流内の安全性は向上していき、20% 近く普及することで事故を起こす可能性のある車両はほぼ存在しなくなると考えられる。

6.3.2 渋滞流内の渋滞長への影響

次に、上記で再現した交通流のうち、6.2と同じ指標を用いて、交通流内の円滑性の変化を予測する。表6-12にそれぞれのパターンで、前回同様に500回シミュレートを行った時の対象の車両の位置の平均を、表6-13に対象の到達時間の平均を示す。

表 6-12 パターン別の対象区間における 200 台目の車両の走行位置

走行位置 [m]		左側車線	走行位置 [m]		左側車線
新宿線(上) _8.53kp	自動運転なし	11461.3	渋谷線(上) _5.86kp	自動運転なし	8270.8
	パターン1	11654.6		パターン1	8304.2
	パターン2	12082.8		パターン2	8394.7
	パターン3	11910.6		パターン3	8413.5
	パターン4	11896.7		パターン4	8245.0

表 6-13 パターン別の対象区間における 200 台目の車両の到達時間

到達までの時間 [s]		左側車線	到達までの時間 [s]		左側車線
新宿線(上) _8.53kp	自動運転なし	672.2	渋谷線(上) _5.86kp	自動運転なし	659.3
	パターン1	683.7		パターン1	662.1
	パターン2	708.8		パターン2	669.3
	パターン3	699.0		パターン3	670.8
	パターン4	697.5		パターン4	657.4

これらの表より、先ほどの安全性とは変化の傾向が異なり、初期段階ではパターンが上がるごとに走行位置や到達時間が長くなるものの、パターン3からパターン4にかけてはどちらの指標も短くなっていることがわかる。これらの理由としては、比較的車頭時間の長い傾向にあったクラスター1やクラスター5の割合が減少したことで、交通流内における車頭時間の長い車両が減少したことが挙げられる。

以上の結果より、クラスターごとの自動運転車両購入意向とクラスターの構成割合の変化に着目して交通流の安全性や円滑性の変化を予測することで、自動運転車両の普及率が増加することで交通流の安全性が改善され、普及率が50%近くになると円滑性も改善される傾向になると考えられる。

6.4 小括

この章では、まず第4章で使用した車両感知器データを用いて、運転行動や交通流の変化が交通の安全性や円滑性にどのような影響を与えているのか分析を行った。

過去から現在に関して、車両感知器データを基に、車頭時間分布と速度分布を作成し、それぞれでモンテカルロシミュレーションを行った結果、交通流の潜在的な衝突危険性に着目した分析では、全ての区間において2021年で危険性が最も少ない結果となり、2016年から2021年にかけて交通流内の安全性が改善されたことを示唆した。また交通流の特定の車両の走行位置やボトルネック到達時間に着目した分析では、走行位置は2021年で最も長くなっていることが示されたものの、到達時間は減少している区間や最大でも30秒未満の増加となっていることが示された。このことから2016年から2021年にかけて交通流内の円滑性が若干の低下もしくはほぼ変化がないことを示唆した。

現在から未来に関して、自動運転購買意向をもとに一部が自動運転に置き換わると仮定し、先ほどと同様のデータを用いて、それぞれでモンテカルロシミュレーションを行った結果、交通流の潜在的な衝突危険性に着目した分析では、自動運転車両が普及するほど交通流内の安全性が改善され、普及率が20%程度になると事故を起こす可能性のある車両がほぼ存在しなくなることを示唆した。また交通流の特定の車両の走行位置やボトルネック到達時間に着目した分析では、初期段階では普及するほどに走行位置が増加し、到達時間も長くなるが、それ以降では普及率が上がるほど、どちらの指標も減少することを示唆した。これらの分析結果より、人々の自動運転車両の購入意向とそれに基づく自動運転の普及に着目すると、交通流全体では潜在的な衝突危険性が減少することで安全性が向上し、特定の車両の走行位置や到達時間は現状に近くなることから円滑性は不変もしくは若干改善する可能性があると考えられる。

第7章

結論

7 結論

7.1 各分析における成果

本研究では、運転行動の経年変化に着目し、車両感知器データでの分析やアンケート調査などを通して、交通流への影響を分析した。以下に、各分析における成果を整理する。

車両感知器データでの分析では、車両挙動や交通流の変化を、5分間データを用いたマクロ的な視点からの分析とパルスデータを用いたミクロ的な視点からの分析を行った。5分間データを用いた分析では、全データを対象に作成した QV 図や算出した 99%タイル値交通量の結果から、全ての区間で交通容量が経年減少していることを示した。一方で 99%タイル値速度に関しては、区間ごとに変化が異なり、一定の傾向が見られないことを示した。パルスデータを用いた分析では、はじめに交通状況の分類を行った。QV 図より交通状況を非渋滞流、臨界流、渋滞発生前後、渋滞流に分類し、それぞれの状況の変化を測る上で適した指標を用いて経年変化を分析した。

臨界流に関しては、臨界速度に着目して、経年変化を分析した。画像処理に用いられ交通分野で応用が可能である kittler 法を用いて自動的に臨界速度の算出を行った。算出結果より、臨界速度の増減に一定の傾向が見られず、多くの地点で変化幅が 5km/h であったことからほぼ変化していないと考察を行った。

渋滞発生前後に関しては、はじめに交通量の変化を分析した。分析結果より、渋滞発生前は対象の全区間で減少していることを示した。渋滞発生後は右側車線では交通量の増加が見られ、左側車線では減少が見られたことを示した。この要因をさらに細かく明らかにするために、交通流における車群内の車頭時間、車群構成台数、車群発生率に着目して、経年変化を分析したところ、交通量が減少していた区間では車頭時間や車群発生率が増加し、車群構成台数は減少傾向にあることを示した。また車頭時間が増加した要因として、大型車混入率に着目したところ、2019年から2021年にかけて増加している区間が多く、運転行動の他にも大型車混入率が影響している可能性も示唆した。

非渋滞流に関しては、自由速度に着目して、経年変化を分析した。分析結果より、99%タイル値速度に関しては2019年が最小速度なる地点が多いことを示し、年平均日交通量との関係から99%タイル値速度での交通密度が変わったことによる影響と考察した。交通密度をそろえた状況での分析では、ほとんどの地点で経年減少していることを示し、前に車両がない状態であっても、これまでよりも速度を上げない車両が増加している可能性があることを考察を行った。

渋滞流に関しては、渋滞密度と BW 速度に着目して、経年変化を分析した。Drake の式を用いた渋滞密度の推定結果では、区間ごとに変化が異なり、一定の傾向が見られないことを示した。しかし、この値と実データをもとに BW 速度を推定した結果、全ての区間において2016年から2021年にかけて減少しており、そのうち9割の区間では経年減少していることがわかった。

アンケート調査では、既往研究を参考に運転意図を評価する2種類のアンケートを実施し、運転意図による運転者の分類を行った。人間生活工学研究センターが開発したDSQでは、男女共に最高得点と最低得点の尺度が同じになり、運転者全体として悩みや気分の浮沈によって運転行動が変化しやすく、一時停止や徐行などを疎かにしてしまう傾向にあると考察を行った。また得られた得点より、クラスター分析を行ったところ、「運転スキルへの自信」や「ステイタスシンボルとしての車」、「心配性的傾向」、「運転に対する消極性」の尺度の得点差から、5つのクラスターに分類できることを示した。WSQでは、男女で得点に差が生じ、女性の方が全体的に高い結果となった。一方で、標準偏差は男性の方が高くなっていることから、運転に対する負担は、男性の場合高く感じる人も低く感じる人も存在するが、女性の場合全体的に高く感じていると考察を行った。また得られた得点より、クラスター分析を行ったところ、運転に対して感じる負担の程度の差から、4つのクラスターに分類できることを示した。

アンケート調査実施後、回答者のうち20名に協力いただき、さまざまな交通状況における運転行動のデータを取得することで、ドライビングシミュレータ実験による運転意図と運転行動の関係性の分析を行った。非渋滞流における走行速度に着目した実験では、WSQのクラスター結果より走行速度の個々の違いを判断することができると考えられ、運転負担感が高い人ほど走行速度が遅くなる傾向にあることを示した。臨界流における車頭時間に着目した実験では、DSQのクラスター結果より車頭時間の個々の違いを判断することができると考えられ、「心配性的傾向」、「運転に対する消極性」の尺度の得点が短い人ほど車頭時間が長くなる傾向にあり、これらの得点が平均的であったクラスターが最も車頭時間が短くなっていることを示した。渋滞流における希望最小車頭距離と反応時間に着目した実験では、DSQのクラスター結果より希望最小車頭距離の個々の違いを判断することができると考えられ、臨界流の車頭時間と同様の傾向で、「心配性的傾向」、「運転に対する消極性」の尺度の得点が短い人ほど希望最小車頭距離が長くなる傾向にあり、これらの得点が平均的であったクラスターが最も希望最小車頭距離が短くなっていることを示した。また、WSQのクラスター結果より反応時間の個々の違いを判断することができると考えられ、非渋滞流の走行速度と同様の傾向で、運転負担感が高い人ほど反応時間が早い傾向にあることを示した。また同様の交通状況における実データとクラスターの構成率を現状に即した状況に整理したドライビングシミュレーション結果による車頭時間分布を統計的に比較することで再現性が確保されていることを示した。

これらの分析結果から得られた運転行動の経年変化が交通流の安全性や円滑性に与える影響を、シミュレーションを行うことで推測した。交通流内の各車両の PICUD 指標に着目した推測では、全ての区間において 2021 年で危険性のある車両が最も少ない結果となり、2016 年から 2021 年にかけて交通流内の安全性が改善されたことを示唆した。また交通流の特定の車両の走行位置やボトルネック到達時間に着目した分析では、走行位置は 2021 で最も長くなっていることが示されたものの、到達時間は減少している区間や最大でも 30 秒未満の増加となっていることが示された。このことから 2016 年から 2021 年にかけて交通流内の円滑性が若干の低下もしくはほぼ変化がないことを示唆した。現在から未来に関して、自動運転購買意向をもとに一部が自動運転に置き換わると仮定し、先ほどと同様のデータを用いて、それぞれでモンテカルロシミュレーションを行った結果、交通流の潜在的な衝突危険性に着目した分析では、自動運転車両が普及するほど交通流内の安全性が改善され、普及率が 20%程度になると事故を起こす可能性のある車両がほぼ存在しなくなることを示唆した。また交通流の特定の車両の走行位置やボトルネック到達時間に着目した分析では、初期段階では普及するほどに走行位置が増加し、到達時間も長くなるが、それ以降では普及率が上がるほどにどちらの指標も減少することを示唆した。これらの分析結果より、人々の自動運転車両の購入意向とそれに基づく自動運転の普及に着目すると、交通流全体では潜在的な衝突危険性が減少することで安全性が向上し、特定の車両の走行位置や到達時間は現状に近くなることから円滑性は不変もしくは若干改善する可能性があると考えられる。

最後に、本研究の目的に対する研究成果をまとめる。本研究では、「運転行動の変化・経年変化が交通流全体に与える影響を定量的に把握し、それがもたらす社会的な意味を明らかにすること」を最終目的としている。最終目的達成にむけて、「車両挙動の変化や経年変化が交通流全体に与える影響の定量的把握」「運転行動の異質性が車両挙動に与える影響の定量的把握」「これらの変化に基づく交通流における安全性と円滑性の変化の把握」を行った。

「車両挙動の変化や経年変化が交通流全体に与える影響の定量的把握」では、6 年間の車両感知器データから個々の車両挙動を分析し、車頭時間の増加、車群構成台数の減少、車群発生率の増加、自由速度の減少などの経年変化を定量的に示した。そして、これらの変化によって、渋滞発生前後の交通量の減少、交通容量の減少、BW 速度の減少が発生していることを定量的に示した。

「運転行動の異質性が車両挙動に与える影響の定量的把握」では、アンケート調査によって人々の異質性を洗い出し、運転負担感の程度や「心配性的傾向」「運転に対する消極性」によって人々の分類を行った。その後ドライビングシミュレータ実験を行い、運転負担感が高い人ほど、自由速度が減少し、渋滞流内での反応時間が早くなることを示した。また「心配性的傾向」「運転に対する消極性」の尺度の得点が低い人ほど、臨界流内の車頭時間が短くなり、希望最小車頭距離が長くなることを示した。

「これらの変化に基づく交通流における安全性と円滑性の変化の把握」では、車両感知器データやドライビングシミュレータ実験結果をもとに、車頭時間分布と速度分布を作成し、交通流内の再現を行った。そして、再現した交通流において、PICUD 指標と渋滞長、特定の車両の旅行時間を算出し、交通流内の安全性と円滑性を把握した。分析結果として、車両挙動が経年変化することで交通流内の安全性が改善し、円滑性が若干低下することを示した。また、アンケート調査による自動運転購買意向から、交通流内の自動運転普及過程を再現し、自動運転が普及することで交通流内の安全性が改善し、円滑性は不変もしくは若干改善することを示した。

これらの分析結果より、運転者の異質性によって、車両挙動が変化し、その結果として交通容量などは減少しているものの、交通流内の安全性は改善し、円滑性は若干低下している結果を示すことができた。

7.2 本研究の交通工学における貢献

本研究の意義を確認するために、本研究の成果を交通工学の観点から考察する。交通流の経年変化については、近年明らかにされてきている問題であり、未解明な部分も多く存在する。既往研究では、車両感知器データのうち5分間データを用いてマクロ的に分析しているものや交通容量状態のみに着目しているものが多く存在する。その中で、パルスデータを用いて個々の車両の挙動まで取り扱う分析や、非渋滞流や渋滞流、臨界流など様々な交通状況に着目し分析を行っていることは本研究がもつ新規性であり、その成果は交通工学において新たな視点を提供するものであると考えている。特に、同区間における交通容量やBW速度の経年減少は、これまで年代に限らず同値として取り扱われてきた指標であるため、これらの成果を考慮することで、より正確な交通流モデルの作成につながると考えられる。

また、運転意図の変化に着目した点も本研究がもつ新規性であると考えられる。これまで2時点以上を比較して、運転に対する考え方をまとめている研究はなく、交通流内の運転意図が変化しているか否か、変化している場合の程度を確認できていない。本研究の成果を通して、運転意図による運転行動が経年変化すると仮定し、その結果が交通流の安全性や円滑性に影響を与えることを示すことができたのは、本研究の主問題である「交通流の経年変化」の要因を明らかにする重要な手がかりになると考察できる。

このように、交通流の安全性と円滑性を評価した点は本研究がもつ有用性であると考えられる。既往研究によって、日本各地において交通流の経年変化が発生していることは示されているものの、その変化が交通流にどのような意味を与えているかに関しては考察に留まっている部分がほとんどであった。シミュレーションによる推測結果ではあるものの、実データを基に交通流の安全性と円滑性を評価できた点は、交通流の経年変化に対する交通運用を行う上で貴重な情報を提供していると考えられる。

以上のことから、本研究の分析によって、これまで明らかにならなかった交通状況や交通現象を示すことができ、考察に留まっていた評価に関してもデータに基づく推測結果を示すことができた。これらのことから、交通工学分野において、新たな知見の提供や経年変化がもたらす意味の明示した部分で本研究は貢献できていると考えられる。

7.3 本研究の課題と今後の展望

本研究で制限になっている部分や分析ができなかった部分などの問題とその課題を整理する。車両感知器データでの分析に関しては、分析範囲の制限が挙げられる。車両感知器データの中で過去のパルスデータがそのままの状態で作成されている地点が少なく、結果として対象期間や対象区間が少なくなっている。一方で今回の分析結果が基盤となり、将来、同じ区間においてデータが取得されることで更なる分析が可能となるため、数年後には解決している可能性もあると考えられる。

アンケート調査に関しても、データの制約が挙げられる。今回は、過去の同様に行われたアンケート調査の個々人の結果を得ることができなかった。そのため、運転行動の経年変化を見ることができない形となってしまった。こちらに関しても、今回の分析結果が基盤となり、将来、同じ区間においてデータが取得されることで更なる分析が可能となるため、数年後には運転行動の経年変化が示されている可能性もあると考えられる。

シミュレーション実験に関しては、現況再現の難しさと人数制限、長時間の実験の困難さが挙げられる。現在の状況に鑑み、実走実験ではなくシミュレーション実験を採用したものの、多くの被験者からやはり速度感やハンドル操作などにおいて普段の交通とは異なるという意見を多くいただいた。そのため今回のデータが実際の運転とは異なっている可能性が考えられる。今後は実走実験なども並行して行うことでデータの修正が行うことが望ましいと考えられる。また、人数の制約も挙げられる。本研究では、シミュレーション実験に参加いただいたのは20名のみとなっている。特にクラスターで分けると1クラスターあたり2から6名となってしまい、この人数でクラスターの運転行動を決定づけるのは少し困難な可能性もある。今後は条件を揃えながら、同様の実験を行うことで各クラスターの情報を増やしていくことが重要であると考えられる。また、1つの走行実験あたり最大でも10分程度となっているため、長時間の渋滞巻き込まれ時間による緩慢な追従挙動をする車両を抽出できなかった。今後はドライビングレコーダーなどを使用した日常的な運転行動データから長時間渋滞に巻き込まれた場合の車両挙動を分析するなど、交通流内に一定数存在する緩慢な追従挙動を計測することが望ましいと考えられる。

また今後の本研究の発展性として、高速道路上での他の交通状況や一般道路への拡張、交通ネットワーク全体への拡張などが挙げられる。高速道路上での他の交通状況や一般道路への拡張に関しては、単路部の追従挙動のほかに分合流部や折込み区間、車線変更においても車両挙動の経年変化している可能性がある。同様に一般道路でも交差点部の発進挙動や黄信号での車両挙動、ギャップアクセプタンスにおいても経年変化の可能性がある。本研究によって明らかになった個々の違いや車両挙動の経年変化が他の状況においても同様の傾向があるのか把握することで、交通流全体の経年変化をより詳細に把握できると考えている。交通ネットワーク全体への拡張に関しては、ネットワーク全体での交通流内の安全性の変化や目的地までの到達時間の変化などを分析する必要がある。今回の分析では単路部のみとなっているため、車線変更や右左折などが生じる場合も考慮し、ネットワーク全体として交通流の安全性や円滑性の変化を明らかにすることで、広域的な交通流の経年変化を評価できると考えている。自動運転普及などの将来の交通流の評価に関しては、自動運転車両の普及による交通需要の変化を考慮する必要がある。自動運転による高齢者の運転が必要なくなった場合、また免許が必要でなくなった場合、これまで運転を諦めていた人や子供のみ利用が増える可能性がある。同様に、これまで運転に自信がなく運転頻度が低かった人が、自動運転により頻度が増加する可能性がある。このような状況になった場合、現状の総交通量よりも交通量が増加すると考えられ、それによる交通渋滞の悪化や交通流内の安全性の低下につながる可能性がある。自動運転車両の普及により、人々の交通行動がどのように変化するかを丁寧に把握することで、これから生じると考えられる交通流の変化をよる実情に即した形で分析できると考えられる。

参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路の交通容量，1984
- 2) 後藤誠，石田貴志，野中康弘：都市間高速道路における交通性能の経年変化に関する研究，交通工学論文集，第5巻，第2号，pp.A_90-A_98，2019
- 3) 一般社団法人 日本自動車販売協会連合会：統計データ，2022.10 閲覧
- 4) 警察庁交通局運転免許課：運転免許統計 平成13年度版，2002
- 5) 警察庁交通局運転免許課：運転免許統計 令和3年度版，2022
- 6) 国土交通省：ASV 技術普及状況調査，2021
- 7) 松ヶ谷 玲弥，塩見 康博，邢 健，糸島 史浩，甲斐 穂高：個別車両データを用いた都市間高速道路における交通流特性の経年変化に関する研究，交通工学論文集，第6巻，第2号，pp.A_121-A_130，2020
- 8) 岡野喜一，岩崎信治：車線利用率適正化によるサグ部交通渋滞の削減，国際交通安全学会誌，Vol.24，No.3，pp.216-221，1999
- 9) 東日本高速道路株式会社：高速道路の渋滞対策，2022.10 閲覧
- 10) 大口敬，赤羽弘和，山田芳嗣：高速道路交通流の臨界領域における事故率の検討，交通工学，第39巻，第3号，pp.41-46，2004
- 11) 寺田 弘明，柳原 正実，小根山 裕之：自動運転車混在下における走光型視線誘導システムの交通流への影響分析，交通工学論文集，第7巻，第2号，pp.A_216-A_225，2021
- 12) 内閣府：平成14年度版 交通安全白書，2002
- 13) 内閣府：令和4年度版 交通安全白書，2022
- 14) 柳原正実：運転意図の推移を考慮した車両挙動解析に関する研究，京都大学 学位論文，2014
- 15) 西日本高速道路株式会社：渋滞原因解説，2022.10 閲覧
- 16) 首都高速道路株式会社：首都高 快適走行ビジョン，2015
- 17) 萩原亨，浜岡秀勝：ドライバの予見行動に関する研究のレビュー，自動車技術会論文集，第43巻，第5号，pp.1123-1129，2012
- 18) 喜多秀行，平井克尚：運転行動分析に基づく低速合流時の潜在事故危険度推定法，土木計画学研究・論文集，Vol.11，pp.327-334，1993
- 19) 蓮花一己：運転時のリスクテイキング行動の心理的過程とリスク回避行動へのアプローチ，国際交通安全学会誌，pp.12-22，2000
- 20) 岩崎真純，野中康弘：高速道路における車線変更モデルに関する研究レビュー，第55回土木計画学研究発表会・講演集，pp.1-9，2017
- 21) 吉川聡一，高木修：プロトコル法による運転行動の意思決定過程の研究，社会心理学研究，第14巻，第1号，pp.31-42，1998

- 22) 飯田克弘, 森康男, 金鍾旻, 池田武司, 三木隆史: ドライビングシミュレータを用いた室内実験システムによる運転者行動分析 - 実験データの再現性検討と高速道路トンネル坑口の評価 -, 土木計画学研究・論文集, No.16, pp.93-100, 1999
- 23) Hideki Nakamura, Koji Suzuki, Syunsei Ryu : Analysis of the Interrelationship Among Traffic Flow Conditions, Driving Behavior, and Degree of Driver's Satisfaction on Rural Motorways, Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway Capacity, pp.42-52, 2000
- 24) 飯田克弘, 池田武司, 河井健, 森康男, 山岸将人: プロトコル法を用いた運転者挙動分析結果に基づくサグ部の道路構造改善方針の検討, 土木学会論文集, Vol.18, No.15, pp.919-926, 2001
- 25) 飯田克弘, 河井健, 大口敬, 山岸将人, 森俊之: サグ部における車群先頭車両の速度推移特性が後続車両に与える影響の分析, 土木計画学研究・講演集, pp.661-664, 2001
- 26) Tomer Teledo : Integrated Driving Behavior Modeling, Dissertation Massachusetts institute of technology, 2003
- 27) Prakash Ranjitkar, Takashi Nakatsuji, Yoichi Azura, Gemunu Senadeera Gurusinghe : Stability Analysis Based on Instantaneous Driving Behavior Using Car Following Data, Transportation Research Record, Vol.1852, pp.1-21, 2003
- 28) 丸茂善高, 鈴木圭輔, 菊池一範: 低速度域 ACC がドライバの運転行動に及ぼす影響の解析, 日本機械学会論文集 C 編, 第 70 巻, 第 690 号, pp.492-499, 2004
- 29) 古市朋輝, 門間健, 岩崎征人: 都市高速道路曲線区間における運転者の注視行動と運転特性, 土木学会論文集, No.772/IV-65, pp.153-167, 2004
- 30) Toshihiro Wakita, Koji Ozawa, Chiyomi Miyajima, Kei Igarashi, Katsunobu Itou, Kazuya Takeda, Fumitada Itakura: Driver Identification Using Driving Behavior Signals, IEEE Intelligent Transportation Systems, pp.396-401, 2005
- 31) 鈴木宏典, 藤井健, 渡辺顯: 車群追従走行の安全性評価に関する実践的研究, 土木計画学研究・論文集, No.23, pp.805-810, 2006
- 32) Richard van der Horst, Selma de Ridder: Influence of Roadside Infrastructure on Driving Behavior: Driving Simulator Study, Transportation Research Record, Vol.2018, Issue.1, pp.36-44, 2007
- 33) 赤松幹之: 運転中に何を見て, 何を認知しているのか~道路, 交通, 運転特性, そして高齢者ドライバー~, 映像情報メディア学会誌, Vol.61, No.12, pp.1682-1688, 2007
- 34) John M. Huston, Paul B. Harris, Marcia Norman : The Aggressive Driving Behavior Scale: Dveloping a Self-Report Measure of Unsafe Driving Practices, North American Journal of Rychology, Vol.5, No. 2, pp.269-278, 2008
- 35) 石橋基範: 自動車運転者の個人特性評価に基づく反応理解手法に関する研究, 香川大学大学院 学位論文, 2009

- 36) 服部宏充, 中島悠, 石田亨: 参加型モデリングに基づく運転行動モデル構築手法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J92-D, No.11, pp.1927-1934, 2009
- 37) 田中雅樹, 平岡敏洋, 竹内秀平, 熊本博光, 泉達也, 畑中健一: 衝突回避減速度に基づく前方障害物衝突防止警報システム, 自動車技術学会論文集, 第 40 巻, 第 2 号, 2009
- 38) Saskia Ossen, Serge P. Hoogendoorn: Heterogeneity in car-following behavior: Theory and empirics, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.19, Issue 2, pp.182-195, 2011
- 39) 櫻井俊明: ドライバーによる事故要因の定量的メカニズムの解明, タカタ財団助成研究論文, pp.1-26, 2012
- 40) Joshua D. Clapp, Shira A. Olsen, J. Gayle Beck, Sarah A. Palyo, DeMond M. Grant, Berglind Gudmundsdottir, and Luana Marques: The Driving Behavior Survey: Scale construction and validation, Journal of Anxiety Disorders, Vol.25, No.1, pp.1-22, 2012
- 41) 平岡敏洋, 西川聖明, 川上浩司, 塩瀬隆之: 自発的な省燃費運転行動を促すエコドライブ支援システム, 計測自動制御学会論文集, 第 48 巻, 第 11 号, pp.754-763, 2012
- 42) Hang-Bong Kang: Various Approaches for Driver and Driving Behavior Monitoring: A Review, the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) Workshops, pp.616-623, 2013
- 43) 重松宏昭, 小森弘詞: 年齢別による反応時間と車間距離, 日本交通心理士会第 6 回中国・四国・九州地区研究発表会発表論文, pp.25-27, 2014
- 44) 平岡 敏洋, 橋 崇弘, 葛西 誠, 松本 修一: 目標車頭時間の視覚情報提示が先行車追従行動に与える影響, 土木学会論文集 D3, Vol.71, No.5, pp. I_857-I_864, 2015
- 45) 飯田克弘, 遠藤貴樹, 多田昌裕, 蓮花一己, 山本隆, 中村丈彦, 糸島史浩: 大深度地下高速道路の JCT における車両および運転者の挙動の把握, 交通工学論文集, 第 5 巻, 第 2 号, pp.A_257-A_266, 2019
- 46) 渡邊秀, 柳原正実, 小根山裕之: 渋滞時の加速挙動に着目した走光型視線誘導システムの影響分析, 交通工学論文集, 第 4 巻, 第 1 号, pp.A_88-A_96, 2018
- 47) 矢武陽子: 日本におけるあおり運転の事例調査ー先行研究のレビュー結果を踏まえてー, IATSS Review, Vol.43, No.3, pp.197-204, 2019
- 48) 飯田克弘, 浅田真敬, 多田昌裕, 筑後智弘, 西田将之, 安時亨, 澤田英郎: ACC が混在する高密度交通流の挙動と運転者挙動への影響, 交通工学論文集, 第 5 巻, 第 2 号, pp.A_80-A_89, 2019
- 49) 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検討, 交通工学論文集, 第 6 巻, 第 2 号, pp.B_37-B_45, 2020
- 50) 大口敬: 高速道路単路部渋滞発生解析ー追従挙動モデルの整理と今後の展望ー, 土木学会論文集, No.666/IV-49, pp.35-51, 2000

- 51) Mohammad Saihuzzaman, Zudou Zheng : Incorporating human-factors in car-following models: A review of recent developing and reseach needs, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, pp.379-403, 2014
- 52) Martin Treiber, Ansgar Hennecke, Dirk Helbing : Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations, Physical Review E, Vol.62, No.2, pp.1805-1824, 2000
- 53) Wouter J. Schakel, Bart van Arem, Bart D. Netten : Effects of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic Flow Stability, Proceeding of 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent, pp.19-22, 2010
- 54) 田村洋一：車頭時間分布モデルのパラメータと交通量との関係, 山口大学工学部研究報告, 第 31 巻, 第 2 号, pp.327-332, 1981
- 55) 宇野伸宏：道路交通流の分析アプローチと整流化の試み（非線形波動現象の構造と力学）, 数理解析研究所講究録, No.1271, pp.181-190, 2002
- 56) 大口敬：自動車ドライバの追従挙動, 計測と制御, 第 41 巻, 5 号, pp.372-377, 2002
- 57) 堀口良太：最近の渋滞現象への取り組みと交通流シミュレーション, 信学技報, Vol.104, No.506, pp.37-40, 2004
- 58) 自動車安全運転センター：適正な車間距離に関する調査研究, 平成 18 年度調査研究報告書, 2007
- 59) 葛西誠, 内山久雄, 野中康弘：スパイラル曲線として表現される車両追従挙動のモデル化, 土木学会論文集 D, Vol63, No.1, pp.65-75, 2007
- 60) 森川翔, 加藤一郎, 伊佐治和美, 津留直彦：接近離間状態評価指標用いた追従挙動モデルの提案, 自動車技術会論文集, pp.189-194, 2010
- 61) Bernat Goni Ros, Victor L. Knoop, Bart van Arem, Serge P. Hoogendoorn : Mainstream Traffic Flow Control at Sags, Transportation Research Record, pp.57-64, 2014
- 62) Alexandros E. Papacharalampous, Meng Wang, Victor L. Knoop, Bernat Goni Ros, Toshimichi Takahashi, Ichiro Sakata, Bart van Arem, Serge P. Hoogendoorn : Mitigating Congestion at Sags with Adaptive Cruise Control Systems, 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.2451-2457, 2015
- 63) 櫻井宏樹, 松本修一, 葛西誠, 平岡敏洋：先々行車両の加減速情報が追従車両に与える影響, 土木学会論文集 D3, Vol.71, No.5, pp.I_797-I_804, 2015
- 64) Hiroaki Morino, Takashi Inafune, Takuya Watanabe : Assisting Solution of Traffic Congestion at Sags Using Inter-Vehicle Communication with Heterogeneous Wireless Systems, IEEE Vehicular Networking Conference, pp.1-8, 2015
- 65) 柳原正実, 宇野伸宏, 中村俊之：運転意図に基づく外部刺激の影響分析手法—模擬走行実験における合流支援情報を例に, 交通工学論文集, 第 1 巻, 第 2 号, pp.A_207-A_216, 2015

- 66) 鈴木一史, 山田康右, 堀口良太, 岩武宏一: 高速道路サグ部渋滞対策に資する ACC の将来性能と渋滞緩和効果, 交通工学論文集, Vol.1, No.2, pp.B_60-B_67, 2015
- 67) 葛西誠: ドライビングシミュレータ追従積重ね試験と階層ベイズ法による縦断線形の影響の抽出, 土木学会論文集 D3, Vol.71, No.5, pp.I_917-I_929, 2015
- 68) 西元崇, 松本修一, 葛西誠, 長澤俊範, 岩瀬幸一: ドライビングシミュレータを用いた情報提供における車両挙動解析—先行車両と先々行車両情報の比較—, 土木学会論文集 D3, Vol.72, No.5, pp.I_1115-I_1122, 2016
- 69) 公益財団法人高速道路調査会: 高速道路における適正な車両間隔に関する調査研究報告書, 2017
- 70) 渡邊拓哉, 森野博章: 700MHz 帯車々間通信を利用した 2 車線高速道路における渋滞解消運転支援, 信学技報, vol.117, No.71, pp.97-102, 2017
- 71) Bernat Goni Ros, Wouter J. Schekal, Alexandros E. Papacharalampous, Meng Wang, Victor L. Knoop, Ichiro Sakata, Bart van Arem, Serge P. Hoogendoorn: Using advanced adaptive cruise control systems to reduce congestion at sags: An evaluation based on microscopic traffic simulation, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, pp.411-426, 2019
- 72) Silvia F. Varotto, Haneen Farah, Klaus Bogenberger, Bart van Arem, Serge P. Hoogendoorn: Adaptations in driver behaviour characteristics during control transitions from full-range Adaptive Cruise Control to manual driving: an on-road study, Transportmetrica A: Transport Science, pp.776-806, 2020
- 73) 田平優太, 塩見康博: 追従時の相対速度変動に着目した走光型視線誘導システムの影響分析, 土木学会論文集 D3, Vol.75, No.6, pp.I_637-I_646, 2020
- 74) 柳原正実, 平木賢太, 小根山裕之: 走光型視線誘導システムによる追従挙動変化の交通流への影響分析, 交通工学論文集, 第 6 巻, 第 2 号, pp.A_55-A_62, 2020
- 75) 和田健太郎, 邢健, 大口敬: 連続体交通流理論に基づく高速道路サグ部における Capacity Drop 現象の実証分析, 生産研究, 72 巻, 2 号, pp.165-171, 2020
- 76) 大口 敬, 中村 英樹: 日本における交通容量・サービスの質に関する研究の概観と展望, 土木学会論文集 D3, Vol.68, No.3, pp.217-229, 2011
- 77) 越正毅: 高速道路のボトルネック容量, 土木学会論文集, No.371/IV-5, pp.1-7, 1986
- 78) 卷上安爾, 安達靖夫, 末田元二: 高速道路改築に伴う合流部の合流車線長について, 土木学会論文集, 第 371 号/IV-5, pp.133-142, 1986
- 79) 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
- 80) 邢健, 越正毅: 高速道路のサグにおける渋滞現象と車両追従挙動の研究, 土木学会論文集, No.506/IV-26, pp.45-55, 1995

- 81) 栗原光二, 日置洋平: 高速道路のボトルネックの交通容量改善策, 土木計画学研究・論文集, No.12, pp.731-738, 1995
- 82) 大口敬, 片倉正彦, 鹿田成則: 高速道路単路部をボトルネックとする渋滞発生特性に関する実証的研究, 高速道路と自動車, Vol.44, No.12, pp.27-34, 2001
- 83) Surasak Taweasilp, Izumi Okura, Fumihiko Nakamura: Study of Platoon Characteristics on a Multi-Lane Expressway, 土木計画学研究・論文集, 第18巻, pp.909-918, 2001
- 84) 落合剣人, 大倉泉, 中村文彦, 矢部努: 高速道路における車群特性と事故危険性に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.28, pp.1-4, 2003
- 85) 宇野 伸宏, 飯田 恭敬, 安原 真史, 菅沼 真澄: 一般道織込み部における客観的コンフリクト分析と速度調整モデルの構築, 土木計画学研究・論文集, 第20巻, pp.989-996, 2003
- 86) 岡村寛明, 割田博, 下川澄雄, 佐藤光, 森田緯之: 首都高速道路箱崎ロータリー合流部における渋滞メカニズムの分析, 第29回土木計画学研究発表会講演論文集, pp.1-4, 2004
- 87) 邢健, 鶴元史, 石田貴志, 松村栄嗣: 車両感知器パルスデータを用いた渋滞発生時交通現象分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.41, pp.1-4, 2010
- 88) Yasuhiro Shiomi・Toshio Yoshii・Ryuichi Kitamura: Platoon-Based Traffic Flow Model for Estimating Breakdown Probability at Single-Lane Expressway Bottlenecks, Transportation Research Part B: Methodological, Vol.45, Issue.9, pp.1314-1330, 2011
- 89) 白石智良, 赤羽弘和, 小根山裕之, 田中伸治: 都市高速道路における臨界速度の自動設定法の開発とボトルネック容量分析への適用, 第32回交通工学研究発表会論文集, pp.57-60, 2012
- 90) 鹿野島秀行, 鈴木一史, 野中康弘, 牧野浩志: ETC2.0 プローブデータの高速道路単路部ボトルネック分析への適用, 第35回交通工学研究発表会論文集, pp.215-221, 2015
- 91) 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に関する一考察, 土木学会論文集D3, Vol.71, No.5, pp.I_1001-I_1009, 2015
- 92) 村上友基, 井料隆雅, 中田諒, 萩原武司: 車両検知器データによる交通容量の長期変動モニタリング, 土木学会論文集D3, Vol.72, No.5, pp.1275-1281, 2016
- 93) 牧佑奈, 後藤梓, 大嶋一範, 池田裕二: ETC2.0 プローブ情報を用いたボトルネック交通容量の推定手法の検討, 土木計画学・講演集, Vol.58, pp.1-8, 2018
- 94) 酒井紫帆, 塩見康博, 寺澤洋子: 車両感知器パルスデータの可聴化による交通状態判別性能の評価, 土木学会論文集D3, Vol.75, No.6, pp.I_625-I_636, 2019

- 95) 塩見康博：高速道路における日本式アクティブトラフィックマネジメントの体系化，科学研究費助成事業研究成果報告書，2019
- 96) Yasuhiro Shiomi, Jian Xing, Hodaka Kai, Tomoya Katayama : Analysis of the Long-Term Variations in Traffic Capacity at Freeway Bottleneck, Transportation Research Record, Vol.2673, Issue.7, 2019
- 97) 宮村隆人, 田中伸治, 中村文彦, 有吉亮, 三浦詩乃：信号交差点停止時の車間距離の経年的変化の分析，交通工学論文集，第7巻，第2号，pp.A_126-A_132, 2021
- 98) 青山恵里, 下川澄雄, 吉岡慶祐, 森田緯之：飽和交通流率の変化とその要因に関する研究，交通工学論文集，第7巻，第1号，pp.1-10, 2021
- 99) 満島青葉, 大村陽, 川村一浩, 後藤大輝, 長谷川美嘉彩：新型コロナウイルス禍の影響を踏まえた交通状態別事故発生傾向分析，第63回土木計画学研究・講演集，pp.1-6, 2021
- 100) 和田健太郎, 甲斐慎一郎, 堀口良太：高速道路サグ・トンネル部における渋滞発生後捌け交通量を改善する走行挙動，交通工学論文集，第8巻，第2号，pp.A_1-A_8, 2022
- 101) 中神 勇人, 宇野 伸宏：連続走行軌跡を用いた都市高速道路の速度低下に関する研究，交通工学論文集，第8巻，第2号，pp.A_300-A_309, 2022
- 102) 首都高速道路株式会社：首都圏の新たな高速道路料金について，2022.10 閲覧
- 103) 首都高速道路株式会社：首都高速道路通行台数等データ，2021
- 104) 一般社団法人 日本自動車工業会：統計データ 四輪車，2021
- 105) 国土交通省：道路運送車両の保安基準の細目を定める告示等の一部改正について，2019
- 106) 一般財団法人 自動車検査登録情報会：平均使用年数，2021
- 107) 首都高速道路株式会社：渋滞対策，2020.10.閲覧
- 108) 首都高速道路株式会社：つかう技術，2020.10.閲覧
- 109) 首都高速道路株式会社：定例会見 資料，2021
- 110) 東日本高速道路株式会社：高速道路の渋滞対策，2022.10 閲覧
- 111) 阪神高速道路株式会社：渋滞対策，2022.10 閲覧
- 112) 中日本高速道路株式会社：渋滞対策としてどのようなことを実施していますか？，2022.10 閲覧
- 113) 西日本高速道路株式会社：渋滞原因解説，2022.10 閲覧
- 114) 本州四国連絡高速道路株式会社：安全への取組，2022.10 閲覧
- 115) 国土交通省：諸外国における道路政策の状況，2014
- 116) 塩見康博：英国におけるアクティブトラフィックマネジメント，IBS Annual Report, pp.87-92, 2016
- 117) 首都高速道路株式会社：車両感知器による計測，2022.10 閲覧
- 118) 大口敬：第4章「交通工学」，交通・安全学，国際交通安全学会誌出版，pp.41-50, 2015

- 119) 加藤 大知, 柿元 祐史, 中村 英樹, 後藤 梓: 都市間高速道路の車線減区間における確率的渋滞現象に関する研究, 土木学会論文集 D3 , Vol.74, No.5, pp.I_1411-I_1418, 2018
- 120) 鈴木洋介, 谷口正成, 高木相: 道路交通流の指数関数モデル, 計測自動制御学会東北支部 第 230 回研究集会, pp.1-5, 2006
- 121) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual 6th Edition, 2016
- 122) 社団法人人間生活工学研究センター: HQL 式運転スタイルチェックシート解説書, 2003
- 123) 社団法人人間生活工学研究センター: HQL 式運転負担感受性チェックシート解説書, 2003
- 124) 石橋基範, 大桑政幸, 赤松幹之: 運転者特性把握のための運転スタイル・運転負担感受性チェックシートの開発, 自動車技術会 2002 年春季大会学術講演会前刷集, No.55-02, pp.9-12, 2002
- 125) 石橋基範, 大桑政幸, 古郡了, 赤松幹之: 運転スタイル, 負担感受性チェックシートの開発と経路選択嗜好の分析への適用, シンポジウム「ケータイ・カーナビの利用性と人間工学」研究文集, pp.15-18, 2002
- 126) 赤松幹之, 石橋基範, 大桑政幸, 嵩田久美, 羽山和紀, 岩崎あゆ子: 質問紙調査による運転スタイルの抽出とドライバータイプの特徴, 人間工学, Vol.37, 特別号, pp.470-471, 2001
- 127) 駒田悠一, 篠原一光, 木村貴彦, 三浦利章: 運転行動の自己報告による運転行動と行動特性の分類の試み, IATSS Review, Vol.34, No.2, pp.106-113, 2009
- 128) 松浦常夫: 初心運転者の自己評価に基づく免許取得後 5 年間の運転変化, 応用心理学研究, 第 21 巻, 第 1 号, pp.31-42, 1996
- 129) 佐藤稔久, 赤松幹之: 先行車追従時における運転行動の高齢者と非高齢者の経年変化, 自動車技術会論文集, 第 45 巻, 第 1 号, pp.149-154, 2014

謝辞

初めに、本研究を行うにあたり、車両感知器データを提供いただきました首都高速道路株式会社様には心より御礼を申し上げます。車両感知器データによる分析は本研究の根幹を担うものであり、データのご提供がなければ博士論文が完成できなかつたと確信しております。貴重なデータにもかかわらず、ご提供していただき、誠にありがとうございました。

また、本研究に関しまして研究助成を賜りました公益財団法人高速道路調査会にも心より御礼を申し上げます。研究助成により行えた分析が複数存在し、博士論文の内容を充実することができました。多大なるご助力をいただき、誠にありがとうございました。

次に、本研究を完成させる上で、幾度となく貴重なアドバイスをいただきました先生の皆様にも深く感謝を申し上げたいと思います。特に指導教員となっていただきました田中先生には、研究の考えた方、分析手法など数えきれないほどたくさんのアドバイスをいただきました。再三ご迷惑をお掛けしたにもかかわらず、最後までご指導いただき本当にありがとうございました。

研究生活を送る上で、何度もご支援をいただきました原山様、小岩様にも深く感謝を申し上げます。本研究室で行いました実験では、事前の準備や手続きに関する作業などで多大なるご協力を賜りました。コロナ禍の中、研究室に他の方をお呼びする実験であったにもかかわらず、最後まで何事もなく実験を行えたのは、間違いなく原山様、小岩様のご協力があったからだと確信しております。研究生活を最後まで支えていただき、誠にありがとうございました。

研究室の皆様。皆様には、研究室の生活や研究など多くのことで支えていただきました。コロナ禍でほとんど交流ができなかったことが非常に悔やまれますが、それでも研究室内の他愛のない会話や一緒に行ったコンペの提案、勉強会など皆様との思い出を作ることができました。博士課程の人として、皆様の研究生活の支えになることができなかつたのですが、今後お手伝いできることがありましたら、遠慮なくご連絡いただければと思います。

研究生活を支えていただきました同じ志をもつ学生の皆様。同じ専攻に同学年の博士学生が1人もいなかった私にとって、皆様と交流をもつことができたのは僥倖であり、研究を完成させるモチベーションになりました。本当にありがとうございました。

最後に、自分の研究や進路に対して、否定をすることなく、信じてくれた私の両親や兄妹に心から感謝したいと思います。本当にありがとうございました。これからもよろしく願います。

2022年12月22日 池谷風馬

付録

- 第5章 アンケート調査票

調査概要	
<hr/>	
設問番号	設問内容
回答者条件	： 全員
表示形式	： ラジオボタン
F1 SA あ	<p>以下ご登録いただいている内容です。 登録内容と相違ない場合は変更いただくずに、そのまま次へお進みください。 ※こちらの回答内容は登録情報へ反映されませんのでご了承ください。</p> <p>あなたの性別をお答えください。 (お答えは1つ)</p> <hr/> <p>1. 男性 2. 女性</p>
回答者条件	： 全員
F2 NF あ	<p>あなたの年齢をお答えください。 (お答えは半角数字で)</p> <hr/> <p>1. <input type="text"/> 歳</p>
回答者条件	： 全員
表示形式	： フルダウン
F3 SA あ	<p>あなたのお住まいの地域をお答えください。 (お答えは1つ)</p> <hr/> <p>1. 北海道 2. 青森県 3. 岩手県 4. 宮城県 5. 秋田県 6. 山形県 7. 福島県 8. 茨城県 9. 栃木県 10. 群馬県 11. 埼玉県 12. 千葉県 13. 東京都 14. 神奈川県 15. 新潟県 16. 富山県 17. 石川県 18. 福井県 19. 山梨県 20. 長野県 21. 岐阜県 22. 静岡県 23. 愛知県 24. 三重県</p>

- 25. 滋賀県
- 26. 京都府
- 27. 大阪府
- 28. 兵庫県
- 29. 奈良県
- 30. 和歌山県
- 31. 鳥取県
- 32. 島根県
- 33. 岡山県
- 34. 広島県
- 35. 山口県
- 36. 徳島県
- 37. 香川県
- 38. 愛媛県
- 39. 高知県
- 40. 福岡県
- 41. 佐賀県
- 42. 長崎県
- 43. 熊本県
- 44. 大分県
- 45. 宮崎県
- 46. 鹿児島県
- 47. 沖縄県
- 48. 海外

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

SC1

SA
必

あなたの普通自動車免許の有無、高速道路の運転経験について、あてはまるものをお答えください。
(お答えは1つ)

- 1. 普通自動車免許があり、高速道路の運転経験がある
- 2. 普通自動車免許はあるが、高速道路の運転経験はない →終了
- 3. 普通自動車免許はない →終了

▼以下本調査（本調査対象者条件該当者）

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q1

SA
必

まず、あなたご自身についておうかがいします。

あなたの現在の婚姻状況をお答えください。
(お答えは1つ)

- 1. 既婚
- 2. 未婚（離婚・死別）

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q2

SA
必

あなたの職業をお答えください。
(お答えは1つ)

- 1. 会社員、公務員等
- 2. 自営業、自由業
- 3. 専業主婦（主夫）
- 4. パート、アルバイト

5. 学生
6. その他

回答者条件 : 全員

Q3

MA

必

次に、あなたのふだんの運転の様子についておうかがいします。

あなたが保有している免許の種類をすべてお答えください。
(お答えはいくつでも)

1. 普通免許
2. 普通免許(AT限定)
3. 準中型免許
4. 中型免許
5. 大型免許
6. 大型特殊免許
7. 牽引(けん引・けんいん)免許
8. 普通二輪免許
9. 大型二輪免許
10. 原付免許
11. 小型特殊免許
12. その他

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q4

SA

必

あなたがふだん主として運転している車種をお答えください。
(お答えは1つ)

1. 普通乗用(ライトバン、ワゴンを含む)
2. 軽乗用(ライトバン、ワゴンを含む)
3. 普通貨物(バン、トラック等)
4. 普通貨物(バン、トラック等)
5. 自動二輪 小型
6. 自動二輪 中型
7. 原付
8. その他
9. ふだん運転しているものはない

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q5

SA

必

あなたは運転者として、次のどれにあてはまりますか。
(お答えは1つ)

1. マイカー運転者(通勤、通学を含む個人的な用事だけで運転)
2. 車の運転を職業としている(タクシー、トラック等車の運転が主たる業務の人)
3. 仕事の必要から車を運転する(配達、セールス等仕事の上で運転する人)
4. ペーパードライバー(運転していない)

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q6

SA

必

あなたが運転する主な目的をお答えください。
(お答えは1つ)

1. 業務・仕事

2. 通勤・通学
3. 買物
4. レジャー
5. 家族等の送迎
6. 訪問
7. その他
8. ほとんど運転しない

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q7

MTS

03

あなたのふだんの運転頻度をお答えください。
また、あなたの最近1ヶ月の運転頻度をお答えください。
(お答えはそれぞれ1つ)

===== 項目 =====

1. ふだんの運転頻度
2. 最近1ヶ月の運転頻度

-----選択肢-----

1. ほとんど毎日運転している
2. 週に3～4日運転している
3. 週に1～2日運転している
4. 月に3～4日運転している
5. 月に1～2日運転している
6. ほとんど毎日運転していない

回答者条件 : 全員

Q8

NF

03 03

運転していない期間を除いた実質的な運転経験をお答えください。
(お答えは半角数字で)

※およそ、何年かをお答えください。

1. 年

回答者条件 : 全員

Q9

NF

03

あなたの過去1年間の走行距離をお答えください。
(お答えは具体的に)

過去1年間におよそ
例) 8,000

1. km

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q10

MTS

03

運転や車に関して、どのようにお考えかおうかがいします。

あなたは、次のそれぞれの意見に対してどのようにお考えになりますか。
以下の項目それぞれについて、あてはまるものをお答えください。
(お答えはそれぞれ1つ)

----- 項目 -----

1. 目的がなくとも、運転することじたいが楽しい
2. 車は、単なる移動の手段にしかすぎない

3. 追い越されるのは、あまり気分のいいものではない
4. 前の車もたもたしているときは、すぐにクラクションを鳴らす方だ
5. 運転中、歩行者や自転車をじゃまに思うことがよくある
6. 人通りの多い、狭い道でも、あまり気にせず走れる
7. 駐車中の車のおきを通るときは人が飛び出してこないか、十分に注意している
8. 歩行者が横断歩道で手をあげても止まらずに通り返ることが多い
9. 運転はこわいものだと思う
10. 運転は緊張で疲れる

-----選択肢-----

1. そう思う
2. どちらかといえばそう思う
3. どちらかといえばそう思わない
4. そう思わない

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q11

SA

SA

あなたの運転についておうかがいします。

あなたは、運転経験のわりには、運転がうまい方だと思いますか。
(お答えは1つ)

1. そう思う
2. どちらかといえばそう思う
3. どちらかといえばそう思わない
4. そう思わない

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q12

MTS

MTS

あなたは、次の場面での運転を問題なくできますか、それとも不得意な方ですか。
以下の項目それぞれについて、あてはまるものをお答えください。
(お答えはそれぞれ1つ)

===== 項目 =====

1. バック
2. 狭い道の走行
3. 狭い場所への駐車
4. 右折
5. 雨の日の運転
6. 夜の運転
7. 山道の運転
8. 高速道路への流入
9. 高速道路での追い越し
10. 知らない道での運転
11. 大型車への追従
12. やや遅い流れに合わせた運転
13. 渋滞中や混雑している状態での運転

-----選択肢-----

1. 問題なくできる
2. まあうまくできる
3. どちらかといえば不得意である
4. 不得意である

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q13

MTS
あ

以下にいろいろな運転中の状態が示してあります。
それぞれ、どの程度の頻度であるか、項目ごとにあてはまるものをお答えください。
(お答えはそれぞれ1つ)

- ===== 項目 =====
1. 信号を見落とすこと
 2. 気が付かないうちに後ろに車がびったりついていること
 3. ぼんやりしていて青信号に変わったのに気づかず、後ろからクラクションを鳴らされること
 4. 気がつかずに右折禁止の場所で右折してしまったり、一方通行を反対にはいってしまうこと
 5. 狭い道で、すれ違いができるかどうかの判断に迷うこと
 6. 出てこないと思った車が出てきてあわてること
 7. 右折時に、行こうか行くまいか迷うこと
 8. 混んだ道に合流するときに、タイミングがあわずにまごまごすること
 9. 他の車に道を譲るべきか、自分の車が行くべきか迷うこと
 10. 合図をせずに車線を変えること
 11. ハンドルの戻しが遅れて、能行してしまうこと
 12. 長い下り坂でエンジンブレーキを使わずにフットブレーキだけを使うこと
 13. 一定速度での走行がうまくいかず、速くなりすぎたり、遅くなりすぎたりすること
 14. 左折時にハンドルを切りすぎて、歩道に乗り上げたり、タイヤをこすってしまうこと
 15. 同乗者から、自分の運転は悪いと言われること
 16. 高速道路の運転で頻繁にフットブレーキを使ってしまうこと
- ===== 選択肢 =====
1. よくある
 2. 時々ある
 3. まれにある
 4. ほとんどない
 5. まったくない

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q14
MTS
あ

あなたは、次のような事故になりかけて、ヒヤリとしたりハッとしたことがありますか。
以下の項目それぞれについて、経験があるかないかお答えください。
(お答えはそれぞれ1つ)

- 項目 -----
1. カーブなどで対向車線にはみだして衝突しそうになったこと
 2. 急ブレーキをかけてスリップしそうになったこと
 3. 信号待ちや駐車場の車に追突しそうになったこと
 4. 走っている前の車に接近しすぎて、追突しそうになったこと
 5. 自分が追い越し中に、対向車がきて事故になりそうになったこと
 6. 車線変更したら後ろから車が来ていて事故になりそうになったこと
 7. 交差点で出合頭に事故になりそうになったこと
- ===== 選択肢 =====
1. 経験がある
 2. 経験はない

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q15
MTS
あ

前問で、「ヒヤリとしたりハッとした経験がある」とお答えの項目についてうかがいます。
ヒヤリとしたりハッとした最もあてはまる原因をお答えください。
(お答えはそれぞれ1つ)

- 項目 -----
1. カーブなどで対向車線にはみだして衝突しそうになったこと
 2. 急ブレーキをかけてスリップしそうになったこと
 3. 信号待ちや駐車場の車に追突しそうになったこと
 4. 走っている前の車に接近しすぎて、追突しそうになったこと

5. 自分が追い越し中に、対向車がきて事故になりそうになったこと
6. 車線変更したら後ろから車が来ていて事故になりそうになったこと
7. 交差点で出合頭に事故になりそうになったこと

-----選択肢-----

【自分の側の原因】

1. わき見
2. 疲労やいねむり
3. ハンドル操作のミス
4. ブレーキ操作のミス
5. スピードの出しすぎ
6. 一時不停止
7. 追越禁止場所を無視
8. 車間距離の詰め過ぎ
9. 後方の確認ミス
10. 相手の車との距離や相手の車の速度判断をミスした
11. 相手が譲ってくれると思った
12. その他（自分側の原因）

【相手の側の原因】

13. 相手の急ブレーキ
14. 相手の割り込みや急な車線変更
15. 相手の一時不停止
16. 他の車の編寄せ
17. 相手のスピード違反
18. 相手のセンターラインオーバー
19. その他（相手の側の原因）

回答者条件：全員

Q158Q

SF

あ

ヒヤリとしたりハッとした原因で「その他」とお答えの方にお伺いします。
その他の原因について具体的にお答えください。
(お答えは具体的に)

1. カーブなどで対向車線にはみだして衝突しそうになったこと：その他(自分側の原因)
2. カーブなどで対向車線にはみだして衝突しそうになったこと：その他（相手の側の原因）
3. 急ブレーキをかけてスリップしそうになったこと：その他(自分側の原因)
4. 急ブレーキをかけてスリップしそうになったこと：その他（相手の側の原因）
5. 信号待ちや駐車場の車に追突しそうになったこと：その他(自分側の原因)
6. 信号待ちや駐車場の車に追突しそうになったこと：その他（相手の側の原因）
7. 走っている前の車に接近しすぎて、追突しそうになったこと：その他(自分側の原因)
8. 走っている前の車に接近しすぎて、追突しそうになったこと：その他（相手の側の原因）
9. 自分が追い越し中に、対向車がきて事故になりそうになったこと：その他(自分側の原因)
10. 自分が追い越し中に、対向車がきて事故になりそうになったこと：その他（相手の側の原因）
11. 車線変更したら後ろから車が来ていて事故になりそうになったこと：その他(自分側の原因)
12. 車線変更したら後ろから車が来ていて事故になりそうになったこと：その他（相手の側の原因）
13. 交差点で出合頭に事故になりそうになったこと：その他(自分側の原因)
14. 交差点で出合頭に事故になりそうになったこと：その他（相手の側の原因）

回答者条件：全員

表示形式：ラジオボタン

Q16

MTS
あ

次の各意見に対して、どのように考えますか。
以下の項目それぞれについて、あてはまるものをお答えください。
(お答えはそれぞれ1つ)

- ===== 項目 =====
1. 追い越し禁止の場所では、たとえ安全にみえても追い越しをするようなことはしない
 2. 10km程度のスピードオーバーであれば車の流れに乗って走る
 3. 一時停止の場所でも見通しがよければ停止しないで通過する
 4. 駐車禁止の場所でも、気にせず駐車する
 5. 車両距離をあげると他の車に割り込まれるのであまりあげないようにしている
 6. 自分の方が優先だと思ったら道を譲ることはほとんどしない
 7. 他人に自分の運転を批判されると腹が立つ
 8. 車の運転で多少人に迷惑をかけるのはお互いさまだと思う
 9. 他の車が道を譲ってくれるので進路変更には不安を感じない
 10. 前の車についていけば安心して右左折できる
 11. ベテランドライバーは初心運転者にもっと親切にすべきだ

- ===== 選択肢 =====
1. その通り
 2. どちらかといえばその通り
 3. どちらかといえばそうでない
 4. そうではない

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q17

SA

あ

あなたは免許をとってからこれまでに、人身事故を起こしたり違反をしたことがありますか。
(お答えは1つ)

1. ある
2. ない

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q18

MTS

あ

以下の項目に対して、あなたはふだんのくらい当てはまりますか。
以下の項目それぞれについて、あてはまるものをお答えください。
(お答えはそれぞれ1つ)

- ===== 項目 =====
1. 渋滞しているときの車線変更は苦手だ
 2. 所要時間があまり変わらないときは、車よりもバスや電車を使う
 3. 割り込まれることをあまり気にせず、車両距離を十分にとる
 4. 徐行、一時停止などの運転操作を確実に行う
 5. 先の信号を見て、かなり先からスピードを落としたり、遅めたりする
 6. 車は移動手段でとにかく走ればよいと思う
 7. 狭みなど問題を抱えたとき、運転に身が入らないことがある
 8. 歩行者をひいてしまわないか、いつも心配している
 9. 短い時間であっても、駐車禁止の場所に停めるのはきける
 10. 車幅感覚に自信がある
 11. 車で移動するとき、裏道ではなく、できるだけ信号のある整備された広い道を選ぶ
 12. 車線変更してでもできるだけ前に行きたい
 13. 車線変更や交差点などでは、安全確認を慎重に行う
 14. 先の信号に引っかけないように速度調節する
 15. 車が自分のステイタスである(カッコいい車がいい)と思う
 16. 気分の良い悪いなどによって、車の運転がおろそかになったり飛ばしたりする
 17. 自分が車の事故を起こすことを気にしている
 18. 制限速度はいつも必ず守っている
 19. 自動追従など運転アシスト機能を積極的に使いながら運転する
 20. 自動ブレーキシステムが搭載されていても基本的には自分で運転したい

===== 選択肢 =====

1. 非常に当てはまる
2. かなり当てはまる
3. 少し当てはまる
4. まったく当てはまらない

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q19

MTS

あ

日ごろ運転していて、以下の項目の場面でこれからしばらく運転することになったとき、あなたはどのくらい負担に感じますか。
以下の項目それぞれについて、あてはまるものをお答えください。
(お答えはそれぞれ1つ)

----- 項目 -----

1. バイクのすり抜けや路地からの飛び出しなど、予期せぬ動きの車が多い道で運転
2. 夜、街灯が多かったり少なかったりして、明るさがひんぱんに変化する道で運転
3. 運転以外のことが原因で、きげんが悪いときに運転
4. 深夜に運転
5. 抜け道のない渋滞の中で運転
6. 運転が原因で、脚、腰、背中などの痛み、こり、しびれを感じる状態で運転
7. 道路標識（行先案内板）や地図を使って、ルートや目的地を探しながら運転
8. 夏に冷房がききすぎたり、冬になかなか暖房がきかないなど、車内が寒すぎる時に運転
9. 山道やカーブの多い道など、細かいハンドル操作や速度調節が必要な道で運転
10. シートが柔らかくて体に合わない状態で運転
11. 路上駐車が多い道での運転
12. 夕方や明け方の直射日光で、道路や周囲が見えにくいときに運転
13. 同乗者を乗せて運転
14. 不規則な昼夜リズムで生活しているときに運転
15. 制限速度が遅すぎるなど、自分がしっくりくる速度よりも遅い速度で運転
16. 車の乗り降りが少なく、長い時間ずっと座った状態で運転
17. 道を知らないなどの理由で、自分がどこを走っているのか分かりにくい状態で運転
18. 直射日光などで車内が暑いときに運転
19. 狭い道が続いて、細かいハンドル操作をひんぱんにする運転
20. シートの形（幅、長さ、凹凸の具合など）が体に合わない状態で運転
21. 交差点などの一時停止が多く、そのたびに道路の様子を確認しなければならない道で運転
22. 直線・大小カーブ・合流分岐などが組み合わされて、道路の形状がころころ変化する道で運転
23. 上司、先生など目上の人を乗せて運転
24. 体調の悪さ（かぜ、頭痛といった病気など）を感じる時に運転
25. 渋滞が続いて、アクセルやブレーキを細かく操作する運転
26. 途中、十分に休息をとれない状態で運転
27. 目的地までの行先案内板が、分かりにくい道で運転
28. 車内がほろっばい、排ガスでくさいなど、車内の空気が良くない状態で運転
29. 加速感やブレーキのきき具合など、ペダルを操作する感じが自分にしっくりこない状態で運転
30. シートやハンドル、ペダルなどの位置（レイアウト）が、自分にしっくりこない状態で運転
31. 車両感覚、車幅感覚がつかめない状態で運転
32. 自分のいる車線が右左折と直進で不規則に入れ替わったりするなど、車線構成が複雑な道で運転
33. 壊れやすい、荷くずれしやすい、高価など、気をつかう荷物を載せて運転
34. 精神的にきつい仕事の後で運転
35. 目的地にいつ着くのか分からない状態で運転
36. 車内の騒音がうるさい、または振動が大きい状態で運転
37. 荷物や乗員がジャマ、窓が汚れているなど、前方や周囲を見通せない状態で運転
38. 雨が降っているときに運転

----- 選択肢 -----

1. 気にせず運転する
2. 気配りしながら運転するが負担ではない
3. 運転することを少し負担に感じる
4. 緊張や無理をしいられて負担が大きい
5. 負担が大きすぎて運転したくない

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

Q20

MTS

03

あなたは、次のそれぞれの項目に対してどのようにお考えになりますか。
以下の項目それぞれについて、あてはまるものをお答えください。
(お答えはそれぞれ1つ)

----- 項目 -----

1. 将来、軽自動車などコンパクトな車を運転したい
2. 将来、電気自動車など環境にやさしい車を運転したい
3. 将来、自動ブレーキシステムなど安全装置のついた車を運転したい
4. 一部自動で走行する車両が登場した場合、積極的に購入を検討したい
5. 完全自動で走行する車両が登場した場合、積極的に購入を検討したい
6. 空飛ぶ車が登場した場合、積極的に購入を検討したい
7. 車が自動で制御できるようになるなら、高齢者になっても自動車を運転したい
8. 車が自動で制御できるようになるなら、免許制度は必要ない
9. 以前と比べて、車間をあけて運転するようになった
10. 以前と比べて、ブレーキを踏むタイミングが遅れるようになった

===== 選択肢 =====

1. そう思う
2. どちらかといえばそう思う
3. どちらかといえばそう思わない
4. そう思わない

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

S1

SA

03

ここからは、会場調査に参加いただける方を募集する内容となっております。
下記内容をご確認の上、参加可否をお答えください。
(お答えは1つ)

【実施概要】

ドライブシミュレーターを操作していただきます。

【アンケート参加条件】

選考・抽選結果により下記日程の会場調査に参加可能な方

【実施日程】

2022年8月21日(日)～2022年9月3日(土)のいずれかの日程 ※8月28(日)を除く

【会場最寄駅】

相鉄線 羽沢横浜国大駅 上星川駅
※バス停 「釜台住宅第一」「国大西」

【調査所要時間】

約60分間

【謝礼】

5,000円(交通費含む) ※当日現金でお渡しします。

【参加に際しての注意事項】

※調査の実施にあたり、参加者の個人情報(お名前、お電話番号)を横浜国立大学に提供し
ます。

※お子様・お友達連れでの参加は、ご遠慮頂いております。

※分析・記録のために音声の録音・ビデオにて記録をする場合がございます。

これらの情報は、関係者が分析のために、後日あらためて閲覧することがございます。

※本調査の関係者が、会場の様子を拝見する場合がございます。
 ※アンケートに回答頂いた情報は、販売・営業目的などで使用されることはございません。
 ※天災、災害、その他開催が困難な状況の際は、中止のご連絡をさせていただきます。
 ※本調査において、モニター様に万が一怪我や健康被害、その他のトラブルなどが生じた際には
 迅速かつ適切に状況把握や補償をさせていただく目的で、調査の委託者に個人情報を開示する場合がございます。
 この場合、状況確認や補償以外の目的で個人情報を利用することは一切ございませんので
 あらかじめご了承ください。

【調査会場での新型コロナウイルス対策について】

※当日使用する備品は使用前に除菌消毒を行います。
 ※入室時の除菌消毒と検温にご協力をお願いします。
 ※調査当日の健康状態によっては会場にて参加をお断りする場合がございます。
 その際、謝礼はお支払いできませんので、体調等すぐれない場合には必ず事前にご連絡をお願いします。
 ※調査当日はマスクの着用をお願いします。

【参加当日の注意事項】

※事前アンケートの回答内容と、当日インタビュー内容が相違する場合、
 会場で参加をお断りし、謝礼をお支払いできない場合がございます。
 ※お約束いただいている調査への遅刻/変更/欠席について
 いかなる場合でも参加時間に遅れてしまう、参加時間が変更になる、
 参加が出来ないことが分かった時点で早めにご連絡をお願いいたします。
 遅刻/変更の場合、謝礼を減額させていただく場合がございますので、あらかじめご了承ください。
 欠席の場合は、いかなる場合も謝礼のお支払いをいたしかねます。
 遅刻/変更/欠席のご連絡は、メールではなく、必ずお電話でのご連絡をお願いいたします。
 無断での遅刻/変更/欠席は他の方々の迷惑にもなります。
 病気など緊急の場合でも、できるだけ早いご連絡をお願いいたします。
 無断で遅刻/変更/欠席された場合、謝礼のお支払いをいたしかねます。
 無断で遅刻/変更/欠席された場合は、弊社モニター資格を抹消することもありますので
 ご了承ください。
 ※インタビュー当日の飲酒、インタビュー当日に影響を及ぼすような前日の飲酒はお控え
 ください。
 ※インタビュー当日、会場での配布物はお持ち帰りにならないようお願いいたします。
 ※調査に参加いただくにあたり、貴重品は必ずご自身で管理をお願いします。
 盗難、紛失などの事故について当社は責任を負いかねますので、あらかじめご了承ください。
 ※調査会場外における万が一の事故やトラブルについて、当社は責任を負いかねますので
 会場までの往復時につきましても、くれぐれも安全に配慮をお願いします。

【アンケートから調査参加の流れ】

- 1) 選考・抽選の結果、選ばれた方のみ「アイリサーチ事務局」よりお電話を差し上げます。
- 2) お電話で参加に対する意思確認をさせて頂き、承諾を頂いた場合に参加が確定となります。

※なお、この事前応募のみでは謝礼の対象とはなりませんので、あらかじめご了承ください。

1. 参加できる
2. 参加できない **→終了**

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

S2

SA

必

ゲーム酔いについて、あてはまるものをお答えください。
(お答えは1つ)

※ゲーム酔い：動くゲーム画面を見て気分が悪くなったり、酔ったことがある。

1. ゲーム酔いしやすい
2. ややゲーム酔いしやすい
3. ゲーム酔いはしない

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

S3

SA

必

J

アンケート回答の前に下記の【定性調査参加規約】を必ずお読みください。
規約に同意されましたら【規約に同意する】を選択して、アンケートへお進みください。
(お答えは1つ)

- ◆第1条 総則
- ◆第2条 機密保持
- ◆第3条 損害賠償
- ◆第4条 インタビュー調査実施時の観察
- ◆第5条 インタビュー調査実施時の録音、録画
- ◆第6条 プライバシーの遵守、個人情報保護
- ◆第7条 適用

詳細については、下記のURLよりご確認ください。

※**閲覧必須**

http://monitor.i-research.jp/?menu=provision_interview **クリック必須**

1. 規約に同意する
2. 規約に同意しない → 終了

回答者条件 : 全員

表示形式 : ラジオボタン

S4

MTM

必

あなたが参加可能な日時をお答えください。
(お答えはそれぞれいくつでも)

===== 項目 =====

1. 2022年8月21日(日)
2. 2022年8月22日(月)
3. 2022年8月23日(火)
4. 2022年8月24日(水)
5. 2022年8月25日(木)
6. 2022年8月26日(金)
7. 2022年8月27日(土)
8. 2022年8月29日(月)
9. 2022年8月30日(火)
10. 2022年8月31日(水)
11. 2022年9月1日(木)
12. 2022年9月2日(金)
13. 2022年9月3日(土)

===== 選択肢 =====

1. 9:00～10:00
2. 10:15～11:15
3. 11:30～12:30
4. 12:45～13:45
5. 14:00～15:00

6. 15:15～16:15
7. 16:30～17:30
8. 17:45～18:45
9. この日は参加できない

回答者条件：全員

S5

MA

あ

あなたの連絡の取りやすい時間帯をお答えください。
(お答えはいくつでも)

※調査の参加をお願いする場合は、アイリサーチ事務局（03-6837-1582）よりお電話いたします。

選考・抽選結果によってご連絡のない場合がありますのでご了承ください。
また条件などの確認でお電話する際は、ご参加の連絡でない場合がありますのでご了承ください。

※できる限り連絡がつきやすい時間帯にご連絡することを努めますが、状況によっては時間外にご連絡する場合があります。

1. 平日10時～12時
2. 平日12時～13時
3. 平日13時～17時
4. 平日17時～19時
5. 平日19時～21時
6. その他

回答者条件：全員

SS1

SF

あ

い

あなたの連絡先をお答えください。

※記載には、くれぐれも間違いのないようお気を付けてください。
※記入いただいた個人情報は、本アンケート以外で利用する事はありません。

【お名前】

1. フリガナ 【姓】
2. フリガナ 【名】
3. 漢字 【姓】
4. 漢字 【名】

【電話番号 / メールアドレス】

※電話番号は、半角数字にてハイフンを除いて入力してください。
※電話番号は、最も連絡がつきやすい番号をご記入ください。
※電話番号・メールアドレスをお間違えになると、当選してもご連絡ができませんので、よくお確かめください。
※いずれかのメールアドレスしかお持ちでない場合、同じアドレスを入力してください。

5. 電話番号
6. メールアドレス【PC】
7. メールアドレス【携帯】