

運転負担感に着目した運転行動の異質性の把握 と交通流への影響に関する研究

池谷 風馬¹・田中 伸治²・有吉 亮³・松行 美帆子⁴・安部 遼祐⁵

¹学生会員 横浜国立大学大学院 都市イノベーション学府

(〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5)

E-mail: ikeya-fuma-wm@ynu.jp

²正会員 横浜国立大学大学院教授 都市イノベーション研究院 (同上)

E-mail: stanaka@ynu.ac.jp

³正会員 横浜国立大学大学院特任准教授 都市イノベーション研究院 (同上)

E-mail: ariyoshi-ryo-gd@ynu.ac.jp

⁴正会員 横浜国立大学大学院教授 都市イノベーション研究院 (同上)

E-mail: matsuyuki-mihoko-ht@ynu.ac.jp

⁵正会員 横浜国立大学大学院准教授 都市イノベーション研究院 (同上)

E-mail: abe-ryosuke-vw@ynu.ac.jp

近年、複数の研究から高速道路における交通流の経年変化が指摘されており、その要因として運転行動の変化が指摘されているものの、明らかにされていない。これを踏まえ、本研究では、運転負担感に着目し、運転行動を分類し、運転行動の差異性の把握とそれが交通流全体への影響を明らかにすることを試みた。運転負担感を測る調査によって、全体的に女性の方が男性よりも負担感を感じやすいこと、負担感の程度によって分類が可能であることが示された。車間の増加傾向に関しては、分類に関係なく過半数の人が自覚しており、ブレーキの踏みタイミングについては運転負担感が高いほど遅れるようになったと回答している割合が高いことが示された。自動運転の購入検討については、運転負担感が高い人ほど積極的に購入を検討する傾向にあった。

Key Words: *driving behavior, traffic flow, car following, heterogeneity, autonomous car*

1. 背景

高度経済成長期において、経済の発展とともにモータリゼーションが進展した結果、深刻な交通渋滞が生じ、外部不経済が生じてきた。高度経済成長期以降、車両性能や通信技術が幾度となく向上されているものの、現在においても交通渋滞は発生しており、交通における大きな問題の一つとなっている。交通渋滞の抑制・解消に向けて、近年では、Transportation Demand Management (TDM) や Active Traffic Management (ATM)¹⁾ など交通行動の変化を促すようなソフト面での対策が行われている。

国土交通省の調査結果²⁾より、渋滞損失時間は年間約 38.1 億時間と算出され、貨幣価値に換算すると年間約 12 兆円の損失が発生していることが示されている。

また、近年の研究結果³⁾⁴⁾から、日本各地における交

通容量の長期的逡減が明らかになっており、その具体的な要因として、運転行動の変化が影響しているとの考察が行われている。同一地域での交通容量が逡減することで、過去と現在を比べると、同じ交通需要であっても、現在の方が、渋滞が悪化している可能性があると考えられる。これらを引き起こす要因として、運転行動の個々の違いである異質性について考察が行われている。しかし、その影響を定量的に明らかにしている論文は極めて少ない。故に、運転行動の異質性を把握し、それが交通流にもたらす影響を示すことは、交通容量逡減の解明につながり、今後の自動車交通運用を行う上で重要なものになると考えられる。

2. 既往研究の整理と本研究の目的

運転行動の異質性の把握と交通流全体への影響を明らかにするために、はじめにこれまで行われてきた運転行動や追従挙動、交通流の変化などに関する既往研究について整理する。

これらを整理した上で、本研究の位置づけを明確にし、本研究の目的を設定する。

(1) 運転行動とその変化に着目した研究

塩見ら¹⁾は、2000年代中盤に英国で取り入れられた ATM 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。

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²⁾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。運転者の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。

邢ら³⁾は、東名高速道路のサグ部で観測を行った結果より、サグ部において、交通流内部の減速波の上流伝播増幅が発生し、それがきっかけとなり、交通渋滞が発生することを示している。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察している。

越ら⁴⁾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。休日の東名高速道路のサグ部における交通容量を観測した結果から、渋滞発生前の容量が3,000[pcu/時/2車線]であったのに対し、渋滞中の容量が2,200～2,700[pcu/時/2車線]と10%～30%程度減少することを示している。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。

岡村ら⁵⁾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。

大口ら⁶⁾は、都市間高速道路において、交通流率階層発生頻度と交通渋滞割合を実測した結果から、渋滞発生

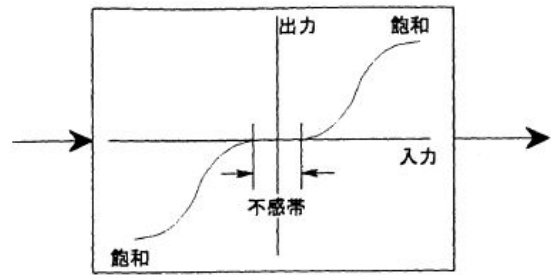


図-1 人間の感覚の非線形性¹⁾

時交通容量は確率特性を有しており、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を明らかにしている。

(2) 追従挙動に着目した研究

サグ部などを含む、単路部の追従挙動のモデルについて、和文論文では大口¹⁾によってまとめられている。この論文では、交通集中による交通渋滞は特定の場所を先頭に発生するケースが多いことから、その場所の道路幾何構造が運転行動や車両挙動に何らかの影響を与えていると考察している。また、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(1)を基本として、様々なモデルが開発されている。

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

追従挙動モデルの開発は交通工学分野のみならず、認知心理学や制御工学など多くの分野で研究が行われている。しかし、今までの研究で提案されたモデルであってもパラメータを入れ替えるだけで衝突を起こしてしまうなど多くの課題が依然として存在していると述べている。また、運転行動に関する指標の中で、人間の感覚には、一般的に「Weber-Fechnerの法則(対数認知則)」が成立すること、微細な刺激は閾値以下では反応できないこと、人間の動作範囲に限界最大値があることを指摘している。Weber-Fechnerの法則とは、物理的な刺激量

(I)の微小な違い(dI)の認識可能な閾値は「 $dI/I = \text{一定}$ 」となる法則(Weberの法則)に基づき、主観的な感覚量(ϕ)は刺激量(I)の対数に比例するという仮説である(Fechnerの法則)。図-1は、上記で述べた人間の感覚をまとめたものであり、このような考え方から、運転行動を非線形として取り扱っているモデルも複数存在する。

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 al¹²⁾によってまとめられている。この論文の中で、交通安全を向上を目指し、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、属性や反応時間、知覚閾値など 15 個の指標を挙げている。

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 Interligent Driver Model (IDM)、IDM+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。

(3) 交通流の変化に着目した研究

後藤ら³⁾は、都市間高速道路の39地点を対象に2003年から2016年までのおよそ14年間の交通量モニタリングを行った。実現最大交通量に着目した分析では、全39地点のうち38地点において、その値が減少していることを示しており、平均減少率は片側2車線区間において6.8%、片側3車線区間において7.7%、全体で7.2%になっていることを明らかにしている。また、QV図を経年で比較すると交通容量は全体的に減少しており、この減少がある特定の瞬間を切り取っていないことを確認している。

村上ら⁴⁾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。

松ヶ谷ら⁵⁾は、関越道など都市間高速道路の単路部ボトルネックを対象に、過去と現在の2時点で取得された車両感知器データを用いて、交通流の経年変化を分析している。追従車両を車頭時間4秒以下の車両と定義し、交通流の経年比較をした結果、車頭時間や車線利用率などは増加傾向にあり、車群構成台数などは減少傾向にあることを示している。

宮村ら¹³⁾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¹⁴⁾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。

(4) 本研究の目的と手法

既往研究を整理した結果、これまでに交通渋滞の発生メカニズムや交通流、運転行動に関する研究は数多く行われてきている。全国的に交通流が経年変化していることを示した複数の論文から、経年変化の原因として運転に対する認識や態度の個々の違い（異質性）によるものである可能性が指摘されている。しかし、この指摘を明らかにしている論文は存在しない。

以上を踏まえ、本研究では、運転行動の異質性を把握し、異質性が交通流にどのような影響を与えるか考察することを目的とする。

3. アンケートを用いた運転行動の分類

(1) 研究手法

上記の目的を達成するために、ドライバーの運転行動を適切に評価できるアンケートを用いて、回答者の運転行動の分類を行う。その後、分類結果と追従挙動や運転意向に関するアンケート結果から現在の交通流全体の影響について考察を行い、自動運転購入意向に着目した今後の交通流への影響についても考察を行う。

(2) 調査に用いる質問内容

本研究では運転に対する負担について着目して、運転行動の分類を試みる。運転に対する負担と運転行動の関係については、既往研究でも言及されており、危険な運転行動を行うドライバーは総じて負担感が高いことを示唆する結果が得られている¹⁵⁾。

運転に対する負担については、人間生活工学研究センター（HQL）が開発した運転負担感受性チェックシート（WSQ : Workload-Sensitivity Questionnaire）を用いる¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾。WSQは、「同乗者を乗せて運転」「深夜の運転」「運転以外で機嫌が悪い時の運転」など運転に負担がかかるような場面について運転に影響するかを5段階評価で質問し、どのような種類の運転負担を強く感じるか分析するチェックシートである。38個の質問の回答結果から、表-1の10の尺度を抽出することができ、点数が高いほど、運転負担を感じていると解釈することができる。各尺度とそれを得るための質問項目の例を表-1に示す。

表-1 運転負担感の尺度とアンケート項目の例

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が必要な運転 狭い道が続き、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

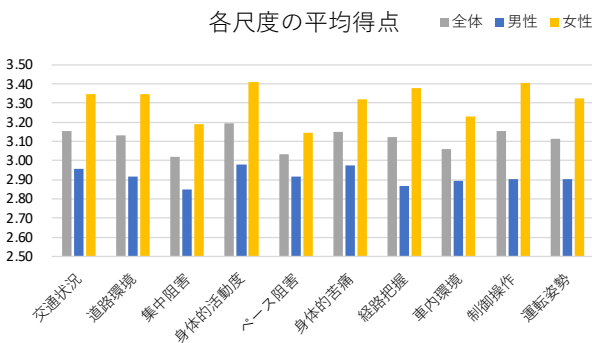


図-2 回答者の WSQ における各尺度の平均点

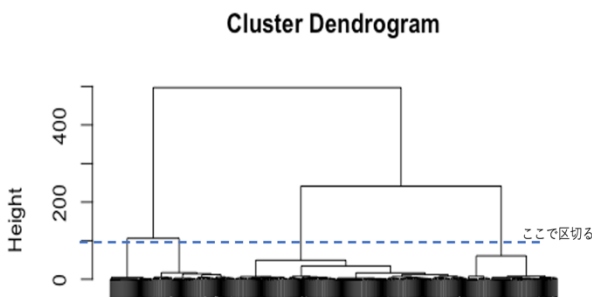


図-3 各個人の距離を示したデンドログラム

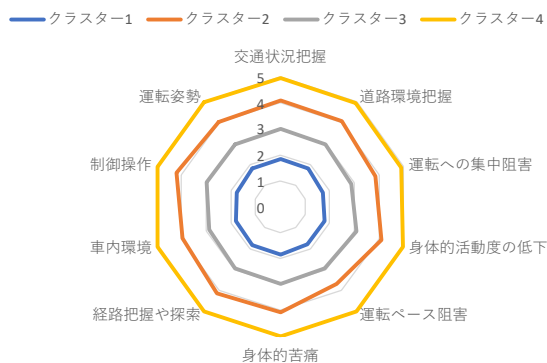


図-4 各クラスターの各尺度の得点

(3) 調査対象者

本研究は、Web アンケートを用いて、高速道路の走行経験がある 30代~60代の男女 400人を対象に、WSQを含むアンケート調査を行った。分析結果の偏りをなくするために、年齢と性別の割合が同じになるように調整を行い、各年代・性別が 50人ずつになるようしている。

(4) 分析結果

初めに、表-1で示した尺度の平均点と標準偏差を示す。図-2は全回答者・男性・女性別に各尺度の平均点と標準偏差を示したものである。

各項目の点数は、最小1点で最大5点であることから、全体としてはどの尺度も3点前後であることから、平均的な値であることがわかる。その中でも最も負担感の得点が高かったのは「身体的活動度の低下」であり、これは「深夜での運転」や「体調不良」時などの運転における負担を示している。一方で最も得点が低かったのは、「運転への集中阻害」である。これは、「同乗者がいる」や「崩れやすい荷物を運んでいる」時などの運転における負担を示している。これらの結果から、全体的には、運転に対する負担は、外的要因よりも自身の体調などの内的要因に強く反応すると考えられる。

また、すべての項目において、男性よりも女性の方が負担感が高くなっていることがわかる。また各尺度の差に着目すると、男性は最大で 0.133 点であり、女性は最大で 0.266 点であった。このことから、男性は各尺度に同程度の負担を感じているのに対し、女性は負担に感じる尺度に差があると考えられる。

次に、それぞれの最も得点が高かった尺度と最も低かった尺度に着目する。男性は「身体的活動度の低下」が最も高く、「運転への集中阻害」が最も低かった。女性は「身体的活動度の低下」が最も高く、「運転ペース阻害」が最も低かった。「運転ペース阻害」は、「渋滞中での運転」、「ゆっくりくる速度よりも低い速度の車への追従」時の運転における負担を示している。次点で「運転への集中阻害」も低く、どちらも外的要因と考えられる。以上より、性別にかかわらず、運転に対する負担は外的要因よりも内的要因に強く反応すると考えられる。

(5) WSQ 得点によるクラスター分析

次に、WSQの分析結果を用いて、階層的クラスター分析を行い、運転負担感によって、運転行動の分類を行う。各個人の WSQ の得点を対象に、ウォード法により、距離を測定し、4つのクラスターに分類した。図-3は、分類に用いたデンドログラムである。次に各クラスターの WSQ の平均点を示す。図-4は、分類したクラスターの WSQ 得点をレーダーチャート状に示したものである。

表-2 年齢・性別ごとのクラスターの内訳

[人(割合)] 性別・年代	クラスター			
	1(81人)	2(74人)	3(207人)	4(38人)
女性・30	6 (10.0%)	14 (23.3%)	21 (35.0%)	9 (15.0%)
女性・40	11 (18.3%)	12 (20.0%)	23 (38.3%)	4 (6.7%)
女性・50	5 (8.3%)	10 (16.7%)	30 (50.0%)	5 (8.3%)
女性・60	5 (8.3%)	15 (25.0%)	28 (46.7%)	2 (3.3%)
男性・30	10 (16.7%)	9 (15.0%)	29 (48.3%)	2 (3.3%)
男性・40	15 (25%)	2 (3.3%)	26 (43.3%)	7 (11.7%)
男性・50	16 (26.7%)	7 (11.7%)	21 (35.0%)	6 (10.0%)
男性・60	13 (21.7%)	5 (8.3%)	29 (48.3%)	3 (5.0%)

表-3 運転頻度別クラスターの内訳

[人(割合)] 運転頻度	クラスター			
	1	2	3	4
ほとんど毎日運転している	22 (28.6%)	12 (15.6%)	40 (51.9%)	3 (3.9%)
週に3~4日運転している	15 (28.8%)	6 (8.1%)	31 (59.6%)	0 (0.0%)
週に1~2日運転している	26 (32.1%)	13 (17.6%)	56 (57.7%)	2 (2.1%)
月に3~4日運転している	6 (31.6%)	1 (5.3%)	12 (63.2%)	0 (0.0%)
月に1~2日運転している	2 (6.9%)	7 (9.5%)	18 (62.1%)	2 (6.9%)
ほとんど毎日運転していない	10 (12.3%)	35 (47.3%)	50 (24.2%)	31 (81.6%)

表-4 クラスターごとの車間の経年変化

[人(割合)] 以前よりも車間をあげるようになった	クラスター			
	1	2	3	4
そう思う	14 (19.7%)	11 (28.2%)	18 (11.5%)	0 (0.0%)
どちらかといえばそう思う	25 (35.2%)	12 (30.8%)	82 (52.2%)	2 (28.6%)
どちらかといえばそう思わない	20 (28.2%)	9 (23.15)	47 (29.9%)	0 (0.0%)
そう思わない	12 (16.9%)	7 (17.9%)	10 (6.4%)	5 (71.4%)

この図より、クラスター分析では、各尺度での負担感の程度によって分類ができたと考えられる。運転負担感が高い順に、クラスター4、クラスター2、クラスター3、クラスター1となっている。10個の尺度の得点は1点から5点であることを考えると、各クラスターは以下のような特徴を持っていると考えられる。

- ・クラスター1：運転負担感が比較的低いグループ
- ・クラスター2：運転負担感が比較的高いグループ
- ・クラスター3：運転負担感が平均的なグループ
- ・クラスター4：運転負担感が高いグループ

また、回答者 400 人の内訳は下記の通りとなっている。

このことから、運転負担感が平均的なグループの人数が一番多く、過半数の人が該当している。続いて運転負担感の比較的低いグループとなっている。運転負担感が平均値以上だった人数は合計で、112人となっており、全体の 28%である。

以降では、このクラスターごとに運転行動の特徴を把握し、追従挙動の違いや交通流全体の影響を分析する。

4. クラスターごとの追従挙動の変化の違いと交通流全体の影響

(1) クラスターごとの運転属性の把握

第3章で分類したクラスターごとにどのような運転行動を行っているか抽出する。はじめに性別や年齢などの属性と各クラスターの関係性を分析する。

表-2は性別・年齢ごとのクラスターの内訳を示したものである。表の括弧内の数字は、性別・年代ごとの各クラスターの割合を示している。そのため、行ごとの合計値は 100%である。

この表からどの年代も男性は女性よりもクラスター1の人数が多く、反対に女性はクラスター2の人数が多いことがわかる。クラスター3と4の人数に大きな違いがないことを考えると、図-2の比較で示した違いは、クラスター1と2の人数差が影響していると考えられる。

年代に着目すると、運転負担感が平均値よりも高いクラスター2とクラスター4の合計人数は、30代が一番高くなっている。また、クラスター1の人数が最も低いことも踏まえると、運転に対する負担を最も感じている年代であると考えられる。

次に、運転頻度と各クラスターの関係性について分析する。表-3は運転頻度別に各クラスターの人数を示したものである。表の括弧内の数字は、運転頻度ごとの各クラスターの割合を示したものである。そのため、行ごとの合計値は 100%である。

この表からクラスター1の割合に着目すると、運転頻度が月に3~4回以上とそれ未満で差が出ていることがわかる。また、クラスター3の割合に着目すると、ほとんど運転していない人とそうではない人で差が出ていることがわかる。これらのことから、運転頻度月に3~4回を境に運転頻度が低くなると、運転負担感を強く感じる人の割合が増加していると考えられる。

(2) クラスターごとの追従挙動の変化の違い

つづいてクラスターごとの追従挙動の違いについて分析する。本研究では、運転行動の異質性による交通流の経年変化への影響に着目していることから、以前に比べて追従挙動に変化が生じているか明らかにする。

webアンケートの「以前と比べて、車間をあげて運転するようになった」に対して4段階で回答してもらった結果を分析する。表-4は、運転頻度「ほとんど毎日運転していない」人を除いた回答結果を示したものである。表の括弧内の数字は、クラスターごとの回答結果の割合である。故に、列ごとの合計値は 100%である。

この表から、ペーパードライバーの割合が高かったクラスター4を除き、どのクラスターにおいても、5割を超える人たちが車間をあげるようになったと感じている

ことがわかる。全体として6割近くの人が車間をあけるようになったと回答しており、このような運転の変化が交通流の経年変化に寄与していると考えられる。一方で、クラスター間の割合の変化に一貫した傾向は見られず、車間の変化は全体的な変化であると考えられる。

次に、web アンケートの「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」に対して4段階で回答してもらった結果を分析する。ブレーキの踏みタイミングと反応時間の相関は高いと考えられる。反応時間は追従挙動や渋滞延伸速度などの変化に影響を与えるため、この結果を通して、その傾向を把握する。表-5は、運転頻度「ほとんど毎日運転していない」人を除いた回答結果を示したものである。表の括弧内の数字は、クラスターごとの回答結果の割合である。そのため、列ごとの合計値は100%である。

この表から、ペーパードライバーの割合が高かったクラスター4を除き、表-4のときよりも「そう思う」「どちらかといえばそう思う」の割合が小さいことがわかる。しかし、それでも3割近くの人が肯定しており、追従挙動に変化が生じてきていると考察できる。クラスター別に着目すると、肯定的に回答した割合は、クラスター4を除き、運転負担感を強く感じている人ほど増加していることがわかる。

以上の結果より、交通流全体への影響を考察すると、車間の増加は単位時間あたりに流れる交通量を減少させることから、交通容量の減少につながっていると考えられる。また、渋滞中の車列の密度は減少していると考えられ、同数の車両であっても渋滞長が長い可能性が考えられる。車間の増加とブレーキ踏み遅れの増加の両視点を考慮すると、積極的な追従挙動が行われていない可能性が考えられる。追従挙動が緩慢になると、渋滞発生確率や渋滞延伸速度の増加につながる。これらの結果は、以前と比較して、臨界状態や渋滞状態の交通流において、変化が生じていることを示唆していると考察できる。

(3) クラスターごとの自動運転購入意向の違い

アンケート調査結果から、自動運転車が普及していく過程を考察する。変化を考察するにあたり、web アンケートの「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」に対して4段階で回答してもらった結果を分析する。表-6は、運転頻度「ほとんど毎日運転していない」人を除いた回答結果を示したものである。表の括弧内の数字は、クラスターごとの回答結果の割合である。そのため、列ごとの合計値は100%である。

表-5 クラスターごとのブレーキを踏むタイミングの経年変化

【人(割合)】	クラスター			
	1	2	3	4
以前よりもブレーキを踏むのが遅くなった				
そう思う	5 (7.0%)	5 (12.8%)	5 (3.2%)	0 (0.0%)
どちらかといえばそう思う	14 (19.7%)	9 (23.1%)	40 (25.5%)	1 (14.3%)
どちらかといえばそう思わない	21 (29.6%)	12 (30.8%)	69 (43.9%)	1 (14.3%)
そう思わない	31 (43.7%)	13 (33.3%)	43 (27.4%)	5 (71.4%)

表-6 クラスターごとの一部自動制御する車両の購入検討の違い

【人(割合)】	クラスター			
	1	2	3	4
一部自動制御する車両の購入検討				
そう思う	10 (14.1%)	12 (30.8%)	26 (16.6%)	1 (14.3%)
どちらかといえばそう思う	25 (35.2%)	17 (43.6%)	68 (43.3%)	2 (28.6%)
どちらかといえばそう思わない	22 (31.0%)	7 (17.9%)	42 (26.8%)	0 (0.0%)
そう思わない	14 (19.7%)	3 (7.7%)	21 (13.4%)	4 (57.1%)

表-7 クラスターごとの完全自動制御する車両の購入検討の違い

【人(割合)】	クラスター			
	1	2	3	4
完全自動制御する車両の購入検討				
そう思う	12 (16.9%)	12 (30.8%)	23 (14.6%)	1 (14.3%)
どちらかといえばそう思う	23 (32.4%)	16 (41.0%)	59 (37.6%)	1 (14.3%)
どちらかといえばそう思わない	18 (25.4%)	5 (12.8%)	51 (32.5%)	1 (14.3%)
そう思わない	18 (25.4%)	6 (15.4%)	24 (15.3%)	4 (57.1%)

表-6から、一部自動制御の車両であっても積極的に購入を検討することに肯定的な割合は、全体で59.1%となっている。このことから、一部自動制御する車両が普及した後も少なくとも一定期間は自動運転と手動運転車両が混在していると考えられる。また、クラスター別に着目すると、クラスター4を除き、運転負担感が比較的高いクラスター2の人は7割以上の人が肯定的であるのに対し、運転負担感が比較的低いクラスター1では5割弱と大きな差が生じている。表-2から、クラスター1や3の運転頻度が高いことを考慮すると、交通流内に一部自動制御する車両が浸透していく速度は緩やかになると考えられる。

次に、web アンケートの「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」に対して4段階で回答してもらった結果を分析する。表-7は、運転頻度「ほとんど毎日運転していない」人を除いた回答結果を示したものである。表の括弧内の数字は、クラスターごとの回答結果の割合である。そのため、列ごとの合計値は100%である。

この表から、完全自動制御の車両の場合、購入を積極的に検討することに肯定的な割合は53.6%と、一部自動制御の車両の場合に比べ、減少していることがわかる。これは、機械制御に対する不安なども影響していると考えられる。クラスター別に着目すると、全体的な傾向は先ほどの場合と変わらないものの、クラスター3において、先ほどの場合よりも肯定的な割合が減少している。また、「そう思わない」と強く否定している人の数も増

加していることから、交通流内の完全自動制御の車両の浸透はさらに緩やかになっていくと考えられる。

5. 結論

本研究では、web アンケート調査をもとに、運転負担感の違いによってクラスターを作成し、運転行動の異質性とそれがもたらす交通流への影響について考察を行った。本研究で示された結果を以下に記述する。

- ・運転負担感については全体的に平均的な値を示すものの、「身体的活動度の低下」に比較的反応が強く、「運転への集中阻害」に比較的反応が弱い。

- ・女性の方が男性よりも運転負担感を感じやすい。

- ・クラスター分析の結果、運転負担感の程度によって分類が可能である。

- ・クラスターに関係なく過半数の人が以前よりも車間をあけるようになったと回答している。

- ・ブレーキを踏むタイミングは、3割近くの人が遅れるようになったと回答しており、運転負担感が高いほどその割合は大きくなる。

- ・自動運転の購入検討については、運転負担感が高い人ほど購入を検討しやすいが、一部自動制御の車両で6割程度、完全自動制御の車両で5割強である。

本研究の分析はアンケート調査によるものであり、本研究の分析結果がどの程度交通流に影響を及ぼすか、具体的に示すことができない。例えば、クラスター1と3では元々の追従挙動が異なっており、クラスター1の車間増加よりもクラスター3の車間増加の方が交通流に影響を与えやすい可能性などが考えられる。そのため、今後はクラスターごとの追従挙動を把握する必要がある。

同様に、自動運転普及による影響を具体的に示すことも難しい。鯉部らの研究¹⁹⁾などを参考にすると、自動運転の運転行動は設定が強気であるか、慎重であるかによって大きく異なることが示されている。そのため、どのような追従挙動を行っていた車両がどの設定の自動運転に置き換わるかによって、交通流が改善することも悪化することも考えられる。各クラスターの追従挙動を把握し、さまざまな自動運転転換シナリオを作成することで、今後の自動運転普及過程における交通流を予測することが可能になると考察できる。

運転行動の異質性によって追従挙動や運転意向が異なるという結果は本研究によって示された新規性を含んだ結果である。10%程度の超過需要であっても深刻な交通渋滞を引き起こすことがわかっていることから、交通流の予測には正確性が求められる。本研究で得られた結果は、経年変化している現在の交通流、および自動運転社会における交通流の予測に貢献できると考えられる。

謝辞：本研究の一部は公益財団法人 高速道路調査会の研究助成によるものである。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 国土交通省：都市圏の交通渋滞対策 -都市再生のための道路整備-，平成 13 年度～平成 14 年度プログラム評価書，2003.
- 3) 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(特集号A)，5巻，2号，pp.90-98，2019.
- 4) 村上友基，井料隆雅，中田諒，萩原武司：車両感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.
- 5) 松ヶ谷玲弥，塩見康博，邢健，糸島史浩，甲斐徳高：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(特集号 A)，6巻，2号，pp.A_121-A_130，2020.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.506/IV-26，pp.45-55，1995.
- 9) 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近傍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，2004.
- 10) 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.
- 11) 大口敬：高速道路単路部渋滞発生解析—追従挙動モデルの整理と今後の展望—，土木学会論文集，No.660/IV-49，pp.39-51，2000.
- 12) 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.
- 13) 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(特集号 A)，7巻，2号，pp.A_126-A_132，2021.
- 14) 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，7巻，1号，pp.1-10，2021.
- 15) 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, 国際交通安全学会誌, Vol.34, No.2, pp.106-113, 2009.
- 16) 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.
- 17) 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」研究論文集, pp.15-18, 2002.
- 18) 石橋基範, 大桑政幸, 岩崎あゆ子, 赤松幹之: 一般ドライバーを対象とした自動車運転疲労の構成要因調査, 人間工学, Vol.37, 特別号, pp.266-267, 2001.
- 19) 鰐部万磨, 柿元祐史, 中村英樹, 井料美帆: 自動運転車両の混在が信号交差点容量に与える影響に関する分析, 交通工学論文集, 第 5 巻, 第 2 号(特集号 A), pp.A_167-A_175, 2019.
- (??)

RESEARCH ON UNDERSTANDING HETEROGENEITY IN DRIVING BEHAVIOR FOCUSING ON DRIVING WORKLOAD-SENSITIVITY AND ITS EFFECT ON TRAFFIC FLOW

Fuma IKEYA, Shinji TANAKA, Ryo ARIYOSHI, Mihoko MATSUYUKI, and Ryosuke ABE