

博士学位論文

先進運転支援システム利用における
運転者の最適な心理状態

嶋田 淳

芝浦工業大学大学院 理工学研究科

令和3年3月

論文要旨

先進運転支援システム（ADAS）や自動運転技術（AD）の進化により，自動車運転の安全性は確実に向上してきている．世界中で様々な研究開発が行われており，その中で ADAS や AD 使用時のドライバの心理状態を研究する研究者が一定数存在する．研究の多くは，ドライバの不安感やストレスの軽減効果とそれに起因するシステムの安全性向上を示している．

しかしリスク補償などの考え方のもと，ドライバのシステムへの過信などにより，不安全な行動を起こす可能性がある事を指摘する研究もある．またドライバが不安感を感じることで，焦りやオートメーション・サプライズが発生し，運転資源の低下や車両操作ミスといった不安全な状態に陥る可能性も示されている．運転中のドライバの心理状態を最適に保ち，安全へのモチベーションを維持したまま運転に臨めるようにすることが自動車技術の課題のひとつであると考えられる．

そこで本研究の研究課題を「運転支援システムを利用するドライバの最適な心理状態のモデル化」とし，はじめに安全運転支援とドライバの心理に関する先行研究を調査・整理した．さらに実車実験により，ADAS と AD 使用時の不安感の変化について調査した．また大規模 WEB 調査によりドライバの最適な心理状態と個人特性の関係性について考察した．これらの実験や調査の結果，安全のための最適な心理状態のモデルを作成した．

目次

論文要旨	i
目次	ii
第1章 緒言	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	1
1.3 論文の構成	2
第2章 先進運転支援システムの種類と技術動向	3
2.1 先進運転支援システム	3
2.1.1 ACC(アダプティブ・クルーズ・コントロール)	
2.1.2 FCW(前方衝突警告)	
2.1.3 AEBS(衝突被害軽減制動制御装置)	
2.1.4 NV/PD(ナイトビジョン/歩行者検知)	
2.1.5 TSR(交通標識認識)	
2.1.6 LDW(車線逸脱警報)	
2.1.7 LKAS(車線逸脱防止支援システム)	
2.1.8 BSM(死角モニタリング)	
2.1.9 RCTA(リヤクロストラフィックアラート)	
2.1.10 DM(ドライバモニタリング)	
2.1.11 AFS(自動ヘッドランプ光軸調整)	
2.1.12 APA(高度駐車アシスト)	
2.1.13 AES(自動操舵回避)	
2.1.14 先進運転支援システムの役割整理	
2.2 先進運転支援システムの動向	12
2.2.1 車車間通信システム	
2.2.2 車路間通信システム	
2.2.3 OTA(Over The Air)	
2.2.4 ダイナミックマップ	

2.3	AVS.....	14
	参考文献.....	15
第3章	自動車とドライバの心理に関する研究.....	17
3.1	運転支援システムとドライバの心理.....	17
3.1.1	ACC(アダプティブ・クルーズ・コントロール)	
3.1.2	FCW(前方衝突警告)	
3.1.3	AEBS(衝突被害軽減制動制御装置)	
3.1.4	LDW(車線逸脱警報)	
3.1.5	LKAS(車線逸脱防止支援システム)	
3.1.6	RCTA(リヤクロストラフィックアラート)	
3.1.7	APA(高度駐車アシスト)	
3.1.8	AES(自動操舵回避)	
3.2	自動運転技術とドライバの心理.....	20
3.2.1	HMI	
3.2.2	TOR	
3.2.3	ドライバの状態	
3.2.4	ドライバの感情	
3.2.5	自動運転技術に対する受容性	
3.2.6	その他(AI, 安全, 行動変容, 視線, 全般)	
3.3	自動運転シーンとドライバの心理.....	22
3.3.1	ブレーキ	
3.3.2	追い越し	
3.3.3	対向車	
3.3.4	後続車	
3.3.5	車壁距離	
3.3.6	右折	
3.3.7	路駐回避	
3.4	リスク補償.....	25
3.5	個人差.....	25
3.5.1	個人内差	
3.5.2	個人間差	

3.6	個人適合	26
3.6.1	個人適合型ポテンシャル法に基づく障害物回避アシスト制御	
3.6.2	運転行動および交通状況を考慮した適応的運転支援	
3.6.3	人間の感受性を考慮した4輪アクティブステア制御	
3.6.4	ドライバの運転負担感受性の指標化と経路選択嗜好分析への応用	
3.6.5	ドライバの減速開始タイミングをモデル化した判断式を個人ごとに適合する手法	
3.6.6	リスク認知に関する評価指標の比較検討 -先行車に対する追突リスクの認知	
3.6.7	操舵行動におけるドライバ個人特性解析に関する研究	
3.6.8	臨床心理学に基づく自動車運転における不安の類型化と対策	
3.6.9	自動運転におけるドライバの安心感抑制による注意力向上への効果	
3.6.10	個人適合（パーソナライゼーション）に関する研究まとめ	
3.7	不信	30
3.8	評価・実験方法	30
3.8.1	アンケート調査・インタビュー調査	
3.8.2	ドライビングシミュレータ（DS, Driving Simulator）実験	
3.8.3	テストコース実験	
3.8.4	公道実験	
3.8.5	NDS（Naturalistic Driving Study）	
3.9	まとめ	32
3.9.1	運転支援のドライバ心理への影響に言及した研究	
3.9.2	運転支援の効果・影響と行動・心理の変容	
3.9.3	運転支援のタイプと不信・過信によるリスク	
3.9.4	運転支援が安全性の低下を引き起こすケース	
	参考文献	39
第4章	前方死角モニタ使用による運転者の運転不安感低減効果について －見通しの悪いT字路右折時の主観評価－	45
4.1	概要と目的	45
4.2	実験方法	46

4.2.1	実験装置	
4.2.2	実験参加者	
4.2.3	実験環境	
4.2.4	実験条件と手続き	
4.2.5	各車両，歩行者の挙動	
4.2.6	モニタにより提示される情報	
4.2.7	評価指標	
4.3	結果	52
4.3.1	分散分析の主効果	
4.3.2	分散分析の交互作用	
4.4	考察	54
4.4.1	参加者が感じる前方死角モニタのメリット	
4.4.2	T字路右折時の不安感について	
4.4.3	不安感とペダル踏み替え回数の低減について	
4.4.4	横棒路手前歩道の歩行者について	
4.4.5	前方死角モニタの情報量について	
4.5	まとめ	58
	参考文献	59
第5章 自動運転における乗客の心理評価実験		60
5.1	概要と目的	60
5.2	実験方法	61
5.2.1	調査対象とする運転状況	
5.2.2	実験参加者	
5.2.3	実験環境	
5.2.4	実験の流れ	
5.2.5	実験条件	
5.2.6	質問項目	
5.3	結果	67
5.3.1	心理評価値と物理値（距離，速度）の関係	
5.3.2	ドライバの属性毎の分析	

5.3.3	実験参加者の立ち位置による評価の差	
5.3.4	実験参加者コメント	
5.4	考察	77
5.4.1	心理評価値と物理値（距離，速度）の関係	
5.4.2	合流タスクでの男女間の評価の違いについて	
5.4.3	実験参加者の立ち位置による評価の差	
5.4.4	車両の状態表示の重要性について	
5.4.5	制御値と最適な心理状態の関係	
	参考文献	80
第6章 ドライバの属性や運転スタイルと運転行動の関係		82
6.1	概要と目的	82
6.2	方法	83
6.2.1	アンケート	
6.2.2	運転状況	
6.3	結果	89
6.3.1	行動選択結果	
6.3.2	選択した運転行動に対する質問	
6.3.3	属性（性別・年代）ごとの回答	
6.3.4	運転スタイルごとの回答	
6.4	考察	100
6.4.1	行動選択について	
6.4.2	回答に対する質問について	
6.4.3	属性（性別・年代）と行動選択の関係について	
6.4.4	運転スタイルと行動選択の関係について	
6.4.5	個人特性と心理状態の関係	
6.5	おわりに	102
	参考文献	102
第7章 最適な心理状態モデルの検討		104
7.1	各章の結論	104

7.1.1	第3章について	
7.1.2	第4章について	
7.1.3	第5章について	
7.1.4	第6章について	
7.2	最適な心理状態について	107
7.3	グッドストレスを実現するために配慮すべき項目	109
7.4	覚醒度, ヒューマンエラーとの関係	109
7.5	最適な心理状態を維持するために	111
	参考文献	111
第8章	結論	112
8.1	研究成果の設計, 社会への貢献について	112
8.1.1	ADAS設計の基本的な考え方のひとつとして活かす	
8.1.2	ADASに関する社会受容性の向上	
8.2	課題	112
	謝辞	114

第 1 章 緒言

1.1 研究の背景

先進運転支援システム（ADAS）や自動運転技術（AD）の進化により、自動車運転の安全性は確実に向上してきている。また今後さらなる技術の発展のため、社会受容性を向上することが重要である。一方、ADAS や AD 使用時のドライバの心理状態を研究する研究者が一定数存在する。その多くは技術やシステムの安全性を高く評価し、さらにドライバの不安感やストレスの軽減効果がある事を示した。

しかしリスク補償などの考え方のもと、ドライバのシステムへの過信などにより、不安全な行動を起こす可能性がある事を指摘する研究もある。またドライバが不安感を感じることで、焦りやオートメーション・サプライズが発生し、運転資源の低下や車両操作ミスといった不安全な状態に陥る可能性も示されている。

運転中のドライバの心理状態を最適に保ち、安全へのモチベーションを維持したまま運転に臨めるよう、システム側ができることを突き詰めていくことが自動車技術の大きな課題のひとつである。

1.2 研究の目的

本研究では、安全運転支援とドライバの心理に関する先行研究を調査・整理し、ADAS や AD の研究領域のうち、まだドライバの心理についての研究が十分されていないと思われる、「前方死角モニタを用いた見通しの悪い T 字路右折」と「自動運転車両乗車時の合流やカーブ走行」それぞれについて、実車を用い、ドライバの不安感を軸とした実験を実施することで、安全のための『ドライバの最適な心理状態』とはなにかを明らかにする。また大規模な WEB アンケートを実施し、ドライバの個人特性と運転行動の関係について検討した結果を用い、ドライバの最適な心理状態と個人特性の関係性についても考察した。

1.3 論文の構成

本研究の研究課題は「運転支援システムを利用するドライバの最適な心理状態のモデル化」である。本節では最適な心理状態モデルの作成に至るまでの研究の流れを整理する。図 1-1 に本論文の構成を示す。

第 2 章では先進運転支援システムの技術動向を示し、心理状態モデルの適用範囲を示す。第 3 章では、第 2 章で示した技術とドライバの心理に言及している先行研究を説明し、それらの概要と結論を整理する。これにより、心理状態モデルの大きな方向性が示されたと考えている。第 4 章、第 5 章、第 6 章は筆者が実施した実験や調査を掲載している。第 4 章と第 5 章はそれぞれ運転中の感じる不安感を軸として、運転支援システムがどうあるべきかを検討している。第 6 章は大規模アンケートにより運転支援システムと個人特性の関係について調査した。これらの実験や調査の結果、安全のための最適な心理状態のモデルを作成した。モデルとその見方について第 7 章で論じる。



図 1-1 論文の構成

第 2 章 先進運転支援システムの技術動向

2.1 先進運転支援システム

ADAS（先進運転支援システム）とは、ドライバや歩行者などの安全・快適を実現するために自動車が各種センサーを用いて周囲の状況を把握し、ドライバに的確に表示・警告を行ったりステアリングホイールやブレーキなどの操作に関与し、ドライバの操作を支援する機能の総称である。自動運転のレベル 2 に位置付けられている⁽²⁻¹⁻¹⁾。

2.1.1 ACC(アダプティブ・クルーズ・コントロール)

ACC（Adaptive Cruise Control System）とは、外界センサーからの情報に基づいて、ECU が自動車のアクセルやブレーキを操作する機能である。前走車がいる場合は一定の車間距離を保ちながら追従走行することが出来る。

また前走車がない場合は、ドライバが任意の速度を設定して走行する。クルーズコントロール、クルコンなどと略されることもある。現在量産車両のグレードが高い車両のオプションとしては、多く搭載されている ADAS の代表的な機能である。

メーカー名	各メーカーのACC関連機能の名称
トヨタ	レーダークルーズコントロール
ニッサン	インテリジェントクルーズコントロール
ホンダ	渋滞追従機能付アダプティブ・クルーズ・コントロール
マツダ	マツダレーダークルーズコントロール
スバル	全車速追従機能付クルーズコントロール
三菱自動車	レーダークルーズコントロールシステム
ダイハツ	レーダークルーズコントロール
スズキ	アクティブクルーズコントロールシステム

2.1.2 FCW（前方衝突警告）

FCW（Forward Collision Warning）とは、センサーが想定する空間（距離）内に前走車を検知し、車間距離が近かったりカメラで前の車が急ブレー

キを踏むなどブレーキランプの点灯を認識するなど衝突の危険性が高まった場合に、ドライバに警報や回避操作を促す機能である。

前方衝突警告は、ミリ波センサーを使ったケースやステレオカメラを使った検出など、センサーも様々な種類を使うことが出来るため、比較的採用されやすいADAS機能である。

メーカー名	各メーカーのFCW関連機能の名称
トヨタ	プリクラッシュセーフティ※警告・自動ブレーキ機能
ニッサン	PFCW(前方衝突予測警報)
ホンダ	FCW(フォワード・コリジョン・ウォーニング)
マツダ	スマート・ブレーキ・サポート(SBS)
スバル	プリクラッシュブレーキ
三菱自動車	衝突被害軽減ブレーキシステム (FCM)
ダイハツ	衝突警報機能 (対車両・対歩行者)
スズキ	エマージェンシーブレーキ

2.1.3 AEBS (衝突被害軽減制動制御装置)

AEBS (Advanced Emergency Braking System) とは CA(Collision Avoidance)とも呼ばれ、FCW (前方衝突警報) がドライバに警告し衝突回避を促したにも関わらず、衝突が避けられないとシステムが判断した場合に、自動的にブレーキを動作させ衝突時の被害を軽減させる機能である。

最近では、衝突時の衝撃を少なくするブレーキだけでなく、衝突時のドライバへの衝撃 (ダメージ) を軽減するため、座席での衝撃軽減対策も行われており、シートベルトの巻き込みやヘッドレストの構造変更なども行われている。

メーカー名	各メーカーのAEBS関連機能の名称
トヨタ	プリクラッシュセーフティ※警告・自動ブレーキ機能
ニッサン	インテリジェント エマージェンシーブレーキ
ホンダ	衝突軽減ブレーキ <CMBS>
マツダ	アドバンスト・スマート・シティ・ブレーキ・サポート
スバル	プリクラッシュブレーキ
三菱自動車	衝突被害軽減ブレーキシステム (FCM)
ダイハツ	衝突回避支援ブレーキ機能
スズキ	エマージェンシーブレーキ

2.1.4 NV/PD（ナイトビジョン/歩行者検知）

NV/PD（Night Vision/Pedestrian Detection）は赤外線カメラを使用し、夜間や霧が濃い場合などの目視で確認が難しい時に、専用ディスプレイに熱源として表示する。歩行者検知については、ステレオカメラを活用した事例もある。また歩行者の検知については、ミリ波と単眼カメラを組み合わせた方式もある。

メーカー名	各メーカーのNV/PD関連機能の名称
トヨタ	ナイトビュー
ホンダ	インテリジェント・ナイトビジョンシステム
マツダ	アドバンスト・スマート・シティ・ブレーキ・サポート
スバル	アイサイトのステレオカメラ
三菱自動車	衝突被害軽減ブレーキシステム（FCM）
ダイハツ	衝突回避支援ブレーキ機能（対車両・対歩行者）
スズキ	エマージェンシーブレーキ

2.1.5 TSR（交通標識認識）

TSR（Traffic Sign Recognition）は一時停止，進入禁止，制限速度などの交通標識をカメラが撮影した画像データから認識し，ドライバーに対して適切な交通規制情報を表示し警告を行う。一般的な表示方法として，単眼カメラで道路標識を認識し，適切なタイミングでメーター内に表示し標識への注意を促す。認識技術の向上のため，各国の標識の走行データ検索や認識の正解データの収集が精度向上に重要な要素となっている。



図 2-1 TSR の標識検出イメージ

メーカー名	各メーカーのTSR関連機能の名称
トヨタ	ロードサインアシスト
ニッサン	進入禁止標識検知
ホンダ	標識認識機能
マツダ	交通標識認識システム(TSR)
スズキ	進入禁止標識検知

2.1.6 LDW（車線逸脱警報）

LDW（Lane Departure Warning）は道路上の車線を検知し、車両が車線の逸脱を予測するとドライバーに警告をする機能。カメラで車線を認識し、ウインカーを出さずに車線を逸脱する挙動があると、ハンドルを振動させる、ディスプレイに表示をする、警報音を鳴らすなどの警告を行う。車線検出のイメージは下記を参照のこと。

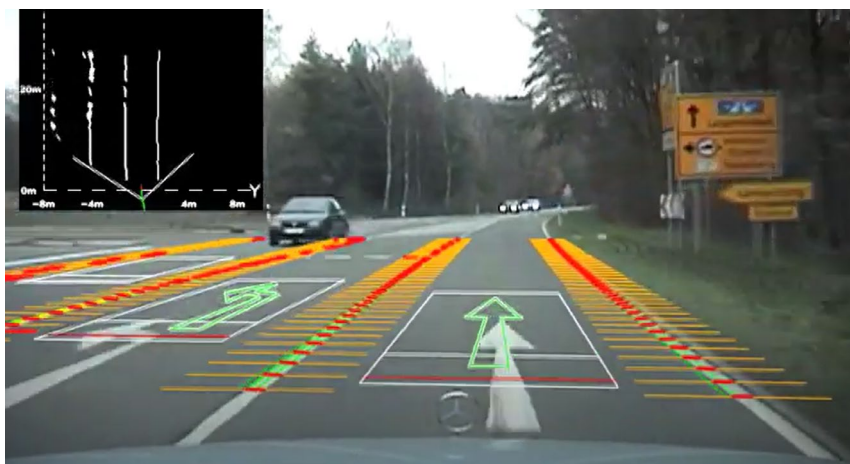


図 2-2 LDW の車線検出イメージ

メーカー名	各メーカーのLDW関連機能の名称
トヨタ	レーンディパーチャーアラート
ニッサン	LDW（車線逸脱警報）
ホンダ	LKAS（車線維持支援システム）
マツダ	LDWS(レーンディパーチャーワーニングシステム)
スバル	警報&お知らせ機能
三菱自動車	LDW(車線逸脱警報システム)
ダイハツ	車線逸脱警報機能
スズキ	車線逸脱警報機能

2.1.7 LKAS（車線逸脱防止支援システム）

LKAS（Lane Keeping Assist System）はLDW（Lane Departure Warning）に加えて、パワーステアリングにトルクを発生させる操作支援を行う。ドライバに警告するだけでなく、積極的に運転に関与するシステムがLKASである。LDW(車線逸脱警報)、LKAS（車線逸脱防止支援システム）は一般的に車速が上がった状態（ex.50km/h以上）などの状態で機能することが多い。

メーカー名	各メーカーのLKAS関連機能の名称
トヨタ	レーントレーシングアシスト
ニッサン	LDP（レーンディパーチャープリベンション）
ホンダ	LKAS〈車線維持支援システム〉
マツダ	LAS(レーンキープアシストシステム)
スバル	アクティブレーンキープ
スズキ	車線逸脱抑制機能

2.1.8 BSM(死角モニタリング)

自動車の死角は様々あるが、BSM(Blind Spot Monitoring)の機能はレーンチェンジ時などの事故の原因となるような、ドライバの死角になる側後方から接近する車両をカメラでモニタリングし、ドアミラーの鏡面部分や、ディスプレイに表示・報告する機能である。通知や報告の方法としては、アラート音を使った通知方式もある。

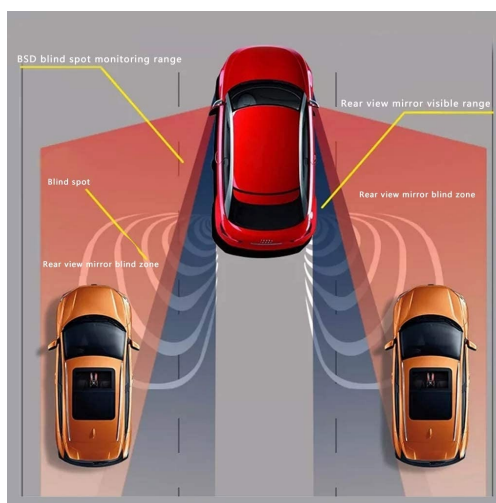


図 2-3 後方死角モニタリングのイメージ

メーカー名	各メーカーのBSM関連機能の名称
トヨタ	BSM (ブラインドスポットモニター)
ニッサン	BSW (後側方車両検知警報) について
ホンダ	ブラインドスポットインフォメーション
マツダ	ブラインド・スポット・モニタリング(BSM)
スバル	スバルリヤビークルディテクション (後側方警戒支援システム)
三菱自動車	後側方車両検知警報システム(レーンチェンジアシスト機能付)
スズキ	全方位モニター

2.1.9 RCTA (リヤクロスストラフィックアラート)

RCTA (Rear Cross Traffic Alert) もドライバーが見えないエリア (死角となりやすい場所) を補助するための機能である。駐車場などの後方左右のエリアを超音波センサーなどで、自動車の後方を横切る人や自転車などを検知し、ドライバーに警告音などを発して注意を促す機能である。

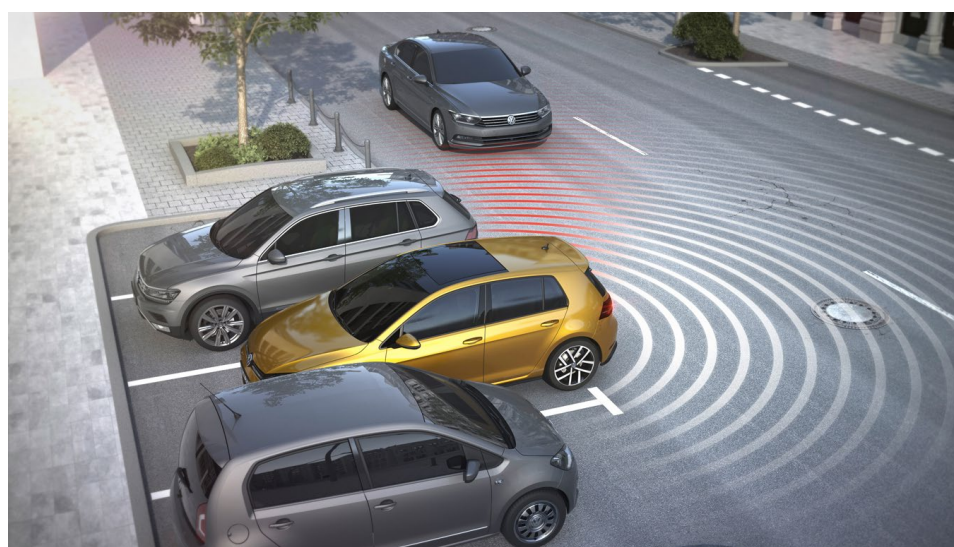


図 2-4 後方検知イメージ

メーカー名	各メーカーのRCTA関連機能の名称
トヨタ	リヤクロスストラフィックアラート (RCTA)
ニッサン	BSW (後側方車両検知警報) について
ホンダ	後退出庫サポート
マツダ	リア・クロス・トラフィック・アラート(RCTA)
スバル	スバルリヤビークルディテクション (後側方警戒支援システム)
三菱自動車	後退時車両検知警報システム (RCTA)
スズキ	MOD(移動物検知)

2.1.10 DM (ドライバモニタリング)

DM (Driver Monitoring) は運転中のドライバの表情やステアリング操作などから運転状況を把握し、運転に支障のある状態と判断した場合にディスプレイに警告表示をする。状況によっては自動車を自動停止させる場合もある。ドライバをカメラで撮影し、運転への集中度や居眠りなどを検知するシステムで、一般にカメラを使った顔の向きや目の開き具体を画像計測している。

メーカー名	各メーカーのAFS関連機能の名称
トヨタ	ドライバー異常時停車支援システム
ニッサン	インテリジェント DA (ふらつき警報)
ホンダ	ふらつき運転検知機能
マツダ	ドライバー・アテンション・アラート(DAA)
スバル	警報&お知らせ機能
三菱自動車	ふらつき警報
スズキ	ふらつき警報機能

2.1.11 AFS (自動ヘッドランプ光軸調整)

AFS (Adaptive Front lighting System)は昨今では、軽自動車に採用されるADAS機能である。機能としては、夜間にカーブや交差点などに侵入する際に、ステアリングの向きに合わせてヘッドライトを照らす方向を自動的に調整する。対向車や歩行者の存在を検知し、ハイビームとロービームを切り替える機能も含む。

メーカー名	各メーカーのAFS関連機能の名称
トヨタ	アダプティブ フロントライティング システム
ニッサン	アクティブAFS
ホンダ	AFS
マツダ	AFS (アダプティブフロントライティングシステム)
スバル	ステアリング連動ヘッドランプ
三菱自動車	AFS (アダプティブ・フロントライティングシステム)
ダイハツ	AFS
スズキ	ハイビームアシスト機能

2.1.12 APA（高度駐車アシスト）

以前より駐車を支援する機能に、リアモニタやバックソナーなどがあった。近年は、モニタにステアリングの舵角に応じた車両の進路を予測するラインを付けたり、縦列駐車時の切り返しのタイミングを音声で案内する機能や、区画線を検出し車両の目標駐車位置を設定する機能、さらには駐車操作自体を自動車が行う機能が開発されている。またブレーキとアクセルの踏み間違いによる誤発進の抑制機能なども搭載されている。

メーカー名	各メーカーのAPA関連機能の名称
トヨタ	インテリジェントパーキングアシスト
ニッサン	インテリジェントパーキングアシスト
ホンダ	スマートパーキングアシストシステム
マツダ	360° ビュー・モニター+フロントパーキングセンサ
スズキ	パーキングアシスト

2.1.13 AES（自動操舵回避）

AES（Automatic Emergency Steering）は自動ブレーキ（AEB）だけでは回避し切れない前方衝突時にステアリングの操作を支援してそうした衝突の回避を狙うシステムである。予期できない状況でも適切な操舵で安全を確保しやすくなることから、レベル4以上の自動運転の基盤技術になるとみられている。

メーカー名	各メーカーのAPA関連機能の名称
トヨタ	アクティブ操舵回避支援
ニッサン	緊急操舵回避支援システム

2.1.14 先進運転支援システムの役割整理

これまで紹介したADASの機能や役割を、車両を中心としたビジュアルに整理し図2-5、図2-6に示した。ADASは大別して2つの項目が考えられる。ひとつは、「連続情報提供に関する技術」で運転操作中のドライバーに負担なく的確な情報を伝達する手段である。もうひとつは「制御に関する技術」でドライバーに対して違和感なく制御を行う技術である⁽²⁻¹⁻²⁾。

図 2-5 より，車両の死角全方位とドライバから見えにくい箇所についてシステムがサポートするようになってきていることを示した．また図 2-6 より，車両の制御は大きく前後方向と横方向に分かれており，それぞれを通常走行内でアシストする機能と，駐車時や急停車時にアシストするものがあることを示した．

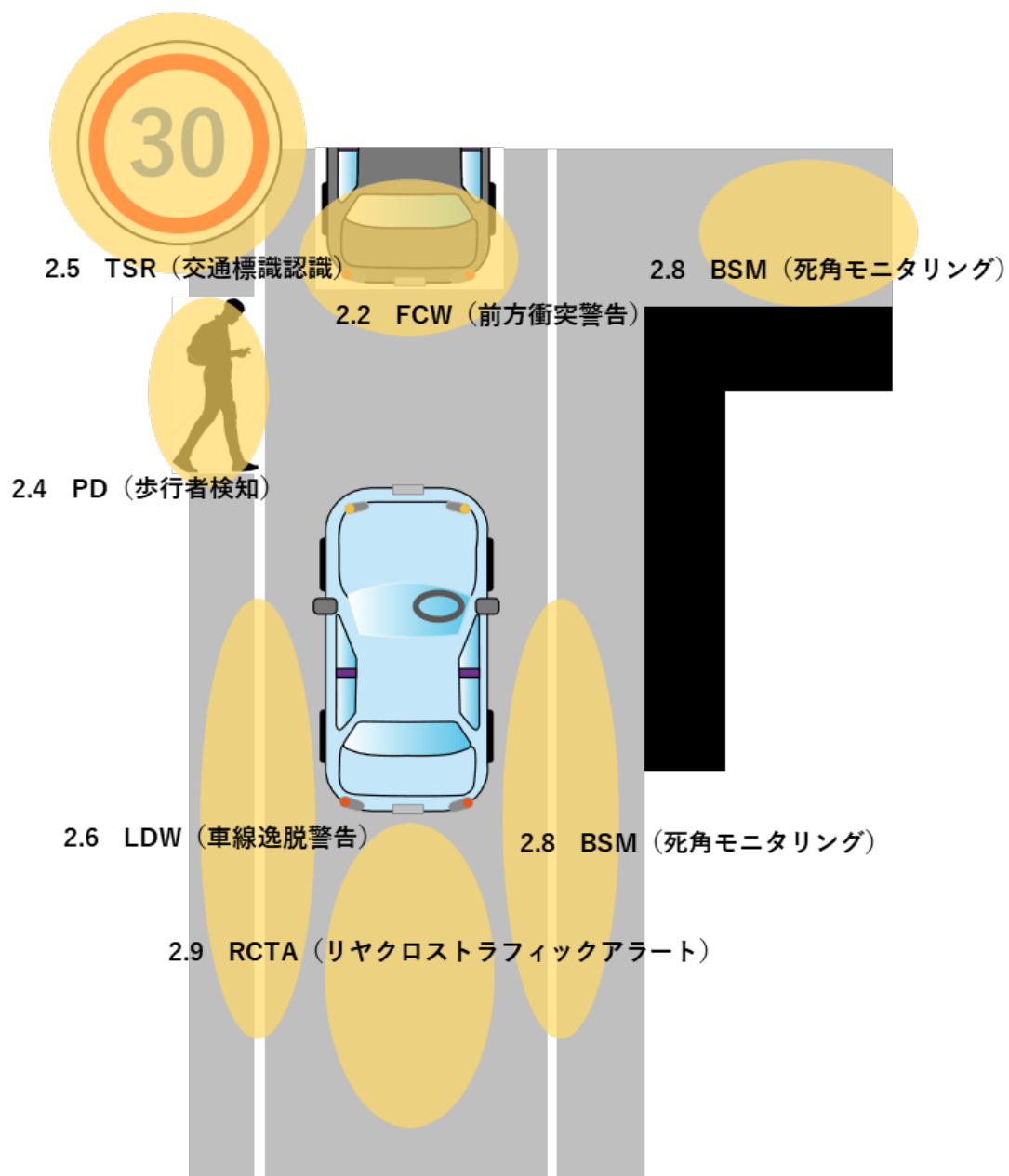


図 2-5 連続情報提供に関する ADAS



図 2-6 制御に関する ADAS

2.2 先進運転支援システムの動向

先進運転支援システムは、センシング技術や通信技術の進化と共に高度化される。今後さらなる進化が期待される技術を以降に示す。

2.2.1 車車間通信システム

車車通信システムとは、車両同士がお互いの位置、速度、制御情報などを無線通信で入手することで、ドライバへの安全運転支援を適切に行うシステムである。例えば見通しの悪い交差点において、車車間通信を搭載した自動車同士が無線で通信することにより、出会い頭の事故を防ぐ音ができる。

課題は車同士の通信となるため、車載器の普及が進まないと、十分なサービスを楽しむことができないという点が挙げられる。システムの普及が進めば、車路間路側機の整備されていない不特定の場所でサービス提供が可能となる。

2.2.2 車路間通信システム

道路に路側機を設置し、自車との無線通信により信号、規制などの道路情報を入手し、必要に応じてドライバーに安全運転支援を行うシステム。例えばカメラを搭載した路側機が見通しの悪い交差点に設置されていると、死角から侵入する自動車を路側機が感知し、情報を送信することで衝突事故を防ぐ。

課題は路側設備の整備が必要であり、コストの面などから一気に路側設備の整備が進むのは困難という点が挙げられる。

2.2.3 OTA(Over The Air)

OTA (Over The Air) とは自動車を制御している各種ソフトウェアを、インターネットを通じてアップデートする仕組みである。

自動車はエレクトロニクス化が進み、走行中に多くのソフトウェアが動いている。それらソフトウェアの更新する際は、ディーラーなどのサービス工場に持ち込まなければならない。しかし、OTA ソフトウェア更新機能を活用すれば、リコールなどの対応も含め、瞬時にソフトウェアの更新が可能となる。既にテスラの電気自動車にはこのような機能が実装されている。

ADAS 技術は様々なアルゴリズムを実行するソフトウェアに基づいて可動しているため、OTA 技術を用いることで、最新の技術をユーザーに提供することが可能となる。

2.2.4 ダイナミックマップ

ダイナミックマップとは、“AI が読む地図”とも呼ばれている新しい地図情報の概念である。ドライバーは運転時に、地図やナビの情報だけでなく、信号の色や工事中の看板、歩行者や他のクルマの動きなど、常に自分の目や耳で周囲の状況を把握している。こうした周辺の様々な情報が重要なのは自動運転車も同様である。ダイナミックマップとは、高精度な 3 次元地図データにさらに交通規制や道路工事、事故や渋滞といった刻々と変化するダイナミックな情報を組み合わせ、自動運転車の認知性能を向上させる機能である。ダイナミックマップ技術を ADAS 機能と連携すれば、周辺情報をより精緻に把握することが可能となり、より高度な運転支援システムを実現することができる。

2.3 AVS

ASVとは先進安全自動車(=Advanced Safety Vehicle)の略称で、先進技術を利用してドライバの安全運転を支援するシステムを搭載した自動車、またその研究プロジェクトの名称である。プロジェクトのASVは国土交通省が取りまとめを行い、構成員は学識経験者、自動車・二輪車メーカー、関係省庁を委員とする「先進安全自動車推進検討会 座長：井上雅一(東京大学名誉教授)」である。1991年に結成され5年をひとつの期としている。各期の取り組みの概要をまとめたものを図2-7に示す⁽²⁻³⁻¹⁾。

ASVではこれまでドライバの安全運転支援に関するさまざまな検討を行ってきた。以下に代表的なものを挙げる。

- ・前方障害物衝突被害軽減ブレーキ
- ・ペダル踏み間違い時加速抑制装置
- ・レーンキープアシスト
- ・車線逸脱警報装置
- ・後退時後方視界情報提供装置(バックカメラ)
- ・後側方接近車両注意喚起装置

上記のようにASVでは時代や技術に即した課題を抽出し、各メーカーの技術開発を推進することで現在では必要不可欠な先進安全技術の開発を世に送り出した。また、第6期(2016年~2020年)では以下の検討項目を計画し現在取り組んでいる。

- ①自動運転を前提としたASVの基本理念などの再検討
- ②混在交通下に自動運転車を導入した際の影響及び留意点の検討
- ③路肩退避型等発展型ドライバ異常時対応システムの技術的要件の検討
- ④具体的なドライバモニタリング手法の技術的要件と課題
- ⑤隊列走行や限定地域における無人自動運転移動サービスの実現に必要な技術的要件と課題
- ⑥ISA(自動速度制御装置)の技術的要件と課題
- ⑦ASV技術の共通定義及び共通名称の見直し
- ⑧正しい使用法の周知及び自動車アセスメントの活用等による既存技術の普及

ASV 推進計画の活動経緯と第6期の計画

ASV 推進計画は 1991 年度から 25 年以上にわたり、ASV 技術の実用化による交通事故の削減に向けて活動を行ってきました。

先進安全技術を統合・発展させる形で自動運転の実用化に向けた新技術の開発が進められている状況等を踏まえて、第 6 期では自動運転も念頭においた取り組みを推進します。

第 6 期 2016～2020 年度

自動運転の実現に向けた ASV の推進

- 自動運転を念頭においた先進安全技術のあり方の整理
- 開発・実用化の指針を定めることを念頭においた具体的な技術の検討
- 実現された ASV 技術を含む自動運転技術の普及

第 5 期 2011～2015 年度
飛躍的高度化の実現

- ドライバー異常時対応システムの基本設計書策定
- 歩車間通信システムの基本設計書策定
- ★ITS 世界会議 2013 東京での通信利用型運転支援システムのデモンストレーション

第 4 期 2006～2010 年度
事故削減への貢献と挑戦

- 交通事故削減効果の評価手法の検討及び評価の実施
- 通信利用型運転支援システムの基本設計書策定
- ★ASV30 台による通信利用型の公道総合実験

第 3 期 2001～2005 年度
普及促進と新たな技術開発

- 運転支援の考え方の策定
- ASV 普及戦略の策定
- 通信技術を利用した技術開発の促進
- ★ASV17 台による通信利用型の検証実験

第 2 期 1996～2000 年度
実用化のための条件整備

- ASV 基本理念の策定
- ASV 技術開発の指針等の策定
- 事故削減効果の検証
- ★ASV35 台によるデモ走行

第 1 期 1991～1995 年度
技術的可能性の検討

- 開発目標の設定
- 事故削減効果の検証
- ★ASV19 台によるデモ走行

図 2-7 ASV 推進計画の活動経緯と第 6 期の計画

今期検討項目①の自動運転を前提とした ASV の基本理念などの再検討では、次の 3 つの基本理念を示している。「ドライバ支援の原則（安全な運転をすべき主体者はドライバであり、ASV 技術はドライバを側面から支援）」「ドライバ受容性の確保（ドライバが安心して使えること）」「社会受容性の確保（社会から受け入れられること）」。2 番目の理念は特に本研究テーマに強く関連している。

参考文献

(2-1-1) ZMP, ADAS 機能の全て (WEB サイト), https://www.zmp.co.jp/knowledge/adas_dev/adas_func(参照 2020-10-31)

(2-1-2)赤松幹之，今長信浩，藤森敏夫：走行環境情報の事前提供によるドライバの運転挙動の変化とインタフェースの評価について，人間工学，Vol.33，特別号，p.126-127(1997)

(2-3-1)自動車総合安全情報,第6期 ASV 推進計画の概要 (WEB サイト),
<https://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/resource/data/asv6pamphlet.pdf>
(参照 2020-10-31)

第3章 自動車とドライバの心理に関する研究

3.1 運転支援システムとドライバの心理

本項では、運転支援システムがドライバにどのような心理的影響を与えるかを研究した論文について、システムの種類ごとに紹介する。

3.1.1 ACC (アダプティブ・クルーズ・コントロール)

鈴木⁽³⁻¹⁻¹⁾は警報提示型のシステムと比較して、制御介入型の運転支援装置は過信に基づく過度な依存をより誘発しやすいことが懸念されるとし、ACCとLKA(車線逸脱防止支援システム)を搭載した場合の、ドライバの運転行動の変化について調査した。その結果、ACCとLKAを両方搭載した場合、ドライバは副次タスクのナビ操作に集中する頻度が高くなる傾向があった。ただし、ドライバは追突や車線逸脱などのリスクに対しては、適切に対応していた。

増田の報告⁽³⁻¹⁻²⁾によると、Hoedemaekerらは、ドライビングシミュレータを用いて、ACCの装備による行動適応及び、受容性、運転スタイル、心的努力との関係について検証を行った。受容性についてはVan der Laanらの質問紙、心的努力の測定にはRSME、運転スタイルについてはDSQによって測定された。この実験ではリスク補償行動がみられた。すなわち、ACCを装備した場合、ACCを装備しない場合に比べて走行速度が速いという結果が得られた。またACC装備した場合、ACCを装備していない場合よりも水平方向の車両位置のSDが大きいという結果も得られた。

高江⁽³⁻¹⁻³⁾は、頻繁な加減速を繰り返し、車間を維持しなければならないような状況においては運転支援の余地が残されていると述べた。先行車との接近状況に応じてアクセルペダルの反力と減速度を制御しドライバの負担を軽減する運転支援システムを開発した。システムの使用による運転の負担感の変化を見ると、頻繁な加減速を必要とする道路でドライバの負担を軽減する効果が認められた。

3.1.2 FCW（前方衝突警告）

赤松ら⁽³⁻¹⁻⁴⁾は前方道路危険警告機能を事前に提供するか否かで運転挙動の変化を比較した。実験の結果、事前の情報提供は有効であり、情報提供手段では音声が必要であることが検証された。

3.1.3 AEBS（衝突被害軽減制動制御装置）

辛島⁽³⁻¹⁻⁵⁾は、自動車運転支援システムはドライバーに対して負の行動適応（リスク補償行動）をもたらし、結果的に安全に寄与できない可能性も指摘されているとし、テレビCMなどの映像からプリクラッシュブレーキによるリスク低減を認知することにより、ブレーキタイミングを遅延させるといった負の行動適応がドライバーにもたらされる可能性が懸念されるとしている。簡易ドライビングシミュレータによる実験の結果、プリクラッシュブレーキシステム搭載車という認識により、急停止映像の視聴の場合と比較し、同程度にドライバーのブレーキタイミングが遅延し、同程度の負の行動適応がドライバーにもたらされる可能性が示唆された。

3.1.4 LDW（車線逸脱警報）

永井ら⁽³⁻¹⁻⁶⁾は、隣接レーンの側方車両に気付かないまま車線変更をするケースにおけるドライバーの支援の形態として「警報支援」と「操作支援」をドライビングシミュレータ上で実現し、安全確保とドライバーの受容性の観点から評価実験を行った。追い越し車線に複数の車両があつて、いずれの車両に対して支援が提供されているかがわかりにくいような状況において「警報支援」や「ソフトプロテクション」のように人間に決定権を与える支援形態は、たとえ正しく支援が提供されていても、ドライバーが状況を誤解してその支援を受け入れないことにより衝突事故に至るなど、支援の十分な効果が得られない場合があることも確認された。したがって、「警報支援」や「操作支援」を行うにあたっては、自然言語を用いたり、視覚的に自車周囲の状況や支援対象に関する情報を明示するなどにより、「何に対する支援か」を誤解させないようなインタフェースの開発が特に重要である、とした。

3.1.5 LKAS（車線逸脱防止支援システム）

松林⁽³⁻¹⁻⁷⁾は人間と協調して課題を行う自動化システムの挙動が、私たちの認識および行動変容にどのように影響するか、また、個人特性やシステムに対する認識が行動変容にどのように影響するかを実験的に検討した。その結果、システムの挙動がシステムに対する認識に影響し、その挙動や認識に加えて注意機能など一部の個人特性がその後の行動に効果を及ぼすことが明らかになったと論じている。具体的には、ドライバの行動裁量に対する制約を強めシステムによる介入頻度を増やした場合、システムに対して違和感や理解不足を感じ、ユーザビリティ評価の低下を引き起こした。また、情報提示に関してシステム挙動に関する情報が提示されない場合、意外にもユーザビリティ評価は提示される場合と変わらなかった。しかしその後の支援なし走行では提示ありの場合と比べて行動変容が有意に小さくなった。適切な設定の運転支援システムであれば個人特性の差から生じる影響を最小限に抑えられる可能性が示唆された。

永井ら⁽³⁻¹⁻⁶⁾は、たとえ不適切な車線変更による隣接レーン走行車両との接触・衝突事故を回避することができても、ドライバにまったく通告することなくプロテクションを自律的に実行する「操作支援」は、「警報支援」に比べてドライバの受容性が低くなる現象が観測された、としている。その原因として、受容性評価が低くなったのは、通知なしのプロテクションによる車両挙動が、ドライバが自らの操作の結果として期待した車両挙動と大きく相違した（オートメーション・サプライズの一例）ためと考えられる、とした。

3.1.6 RCTA（リヤクロストラフィックアラート）

吉田⁽³⁻¹⁻⁸⁾はアウトサイドミラー代替のカメラモニタシステム開発におけるヒューマンファクタ課題を検討し、3つの課題を明らかにした。ひとつは視線移動時のディスプレイ配置で、もうひとつは焦点調節時の視距離、最後にハザード認識&リスク見積もり時の表示範囲である。

3.1.7 APA（高度駐車アシスト）

城戸⁽³⁻¹⁻⁹⁾はバック駐車時における隣接車両回避時のドライバの不安感について、主観評価により調査した。その結果、不安を感じさせない回避距離の上限・下限の目安を得た。上限があるのはバック駐車時に、一方の隣接車

両を回避できたとしても、逆側の隣接車両と衝突してしまうリスクを考慮しなければいけないためである。またこの結果は運転への自信のありなしで異なった。

3.1.8 AES（自動操舵回避）

奥田⁽³⁻¹⁻¹⁰⁾は運転支援システムの個人適合化に関する研究で、各ドライバが感じる『リスク感』をモデル化した。またドライビングシミュレータを使い、リスク感を踏まえた制御の有効性を検証した。論文中の「ポテンシャル関数を用いた環境モデル」とはドライバの意図と道路形状から場のリスクのポテンシャルを計算する手法である。成果として走行データを用いることで各ドライバに適合するモデルを作成することで個人のタイミングによく適合したアシストが可能となり手法の有効性が示された。実験条件が限定的であるため、今後の検討が求められる。実車での実証も今後の課題とした。

3.2 自動運転技術とドライバの心理

3.2.1 HMI

自動運転車とドライバをつなぐ HMI（ヒューマンマシンインタフェース）技術に関する研究で、表示や音を使って自動運転中にどのように情報提示するか⁽³⁻²⁻¹⁾⁽³⁻²⁻²⁾、ドライバの認知・判断・操作を考慮した情報提示方法⁽³⁻²⁻³⁾、また情報提示と行動裁量にかかわる制約及び強度がユーザビリティにどう影響するか⁽³⁻²⁻⁴⁾等を論じたものがある。高度運転支援(自動運転)における HMI の原則を紹介した文献⁽³⁻²⁻⁵⁾は HMI のデザインに有用な内容である。

3.2.2 TOR

TOR（=Take Over Request）は自動運転中、システムが自動運転を継続できない事態に陥った際にドライバへ車両制御の権限を委譲することである。TOR が発生した際にドライバが運転を引き受けることが難しい状況があることから、TOR は自動運転の大きな課題のひとつとして知られており⁽³⁻²⁻⁶⁾、SIP でも研究課題として挙げられている。研究事例としては、自動運転の操

作切り替え後にドライバーがどういう状態になるか⁽³⁻²⁻⁷⁾⁽³⁻²⁻⁸⁾や、自動運転操作の引継ぎ方法によるドライバーの運転操作への影響の違いを研究対象にしたもの⁽³⁻²⁻⁹⁾や、どのようなHMIデザインでTORをすればスムーズに権限移譲できるかを検討したもの⁽³⁻²⁻¹⁰⁾がある。AIやDeep Learningを使ってドライバーの車両挙動期待を呼び起こすことでその後の運転をスムーズにすることを検討した研究⁽³⁻²⁻¹¹⁾もある。

3.2.3 ドライバの状態

ドライバーの状態に関する研究は自動運転以前、つまりすべて人間が運転することを前提とした自動車技術の研究で多く取り組まれてきた課題であるが、ここでは自動運転時のドライバー状態に関して取り上げている。ドライバーの覚醒度の研究⁽³⁻²⁻¹²⁾では、TORで操作権限移譲時のドライバー状態を調べるため、わざと覚醒度を低下させてその影響を確認した。また精神負荷の研究⁽³⁻²⁻¹³⁾では運転中の聴覚刺激が有効視野とメンタルワークロードにどのような影響を与えるかを検証した。ドライバーの状態は個人特性による影響が大きいことから安全性・快適性は搭乗者ごとに最適化する必要があるとしてストレスレベルについて生理計測を実施した研究⁽³⁻²⁻¹⁴⁾⁽³⁻²⁻¹⁵⁾がある。また恒常的なドライバー状態として高齢者を対象とした運転支援の研究⁴⁽³⁻²⁻¹⁶⁾も行われている。

3.2.4 ドライバの感情

自動運転技術は常に進化しているが、まだ一般化されていない技術でもある。つまり自動運転車はまだ普及していない。今後自動運転車が普及するにあたりドライバーが不安を感じずに乗車できるかどうか非常に重要な要素になる。システムからの情報提示方法により不安感がどう変化するかを研究テーマとしたもの⁽³⁻²⁻¹⁷⁾や、運転シーン（壁に近い位置での駐車など）ごとの不安感について検証したもの⁽³⁻²⁻¹⁸⁾などがある。安全だけでなく安心な車両制御が求められるが、そのような観点の研究はそれほど多くないため本研究のテーマとしてこの分野を深掘りすることとした。

3.2.5 自動運転技術に対する受容性

3.2.4 ドライバの感情に関連するが、自動運転技術に対する社会的な受容性⁽³⁻²⁻¹⁹⁾⁽³⁻²⁻²⁰⁾、他車の受容性⁽³⁻²⁻²¹⁾というようにドライバ個人から範囲を広げたものがこの分野となる。どのような人が自動運転車を買うかというポイントを考察した研究⁽³⁻²⁻²²⁾や、自動運転で事故が起きたとき誰が責任を持つのかを心、道徳性という側面から検討したもの⁽³⁻²⁻²³⁾などが挙げられる。また、トロッコ問題（ある人を助けるために他の人を犠牲にするのは許されるか？という倫理学の思考実験）を扱ったもの⁽³⁻²⁻²⁴⁾もある。

3.2.6 その他（AI，安全，行動変容，視線，全般）

その他として、人工知能と自動運転について論じたもの⁽³⁻²⁻²⁵⁾や、安全性要求⁽³⁻²⁻²⁶⁾、視線検出技術⁽³⁻²⁻²⁷⁾、また自動運転車普及の課題全般を取り上げたもの⁽³⁻²⁻²⁸⁾⁽³⁻²⁻²⁹⁾⁽³⁻²⁻³⁰⁾などが抽出された。自動運転になったら外出が増えるか、という人間の行動変容を扱った研究⁽³⁻²⁻³¹⁾もある。

3.3 自動運転シーンとドライバの心理

3.3.1 ブレーキ

多賀野ら⁽³⁻³⁻¹⁾は、運転責任がドライバにある自動運転では、安心することにより監視義務や運転対応を怠る可能性がある、とし、ドライバの注意力やリスク意識、運転行動への影響について着目した。その結果、ドライバの安全な運転行動には、あまり強すぎない、やや不安を感じさせる程度が有効である可能性が示せたうえ、そのやや不安なレベルであったとしても、それはドライバに許容されうるレベルである可能性が確認できた、とした。

田中ら⁽³⁻³⁻²⁾はブレーキ制御について、ドライバがその制動に対して安心感を抱く場合と、不安感を抱く場合に着目し、両者の間で何がその感覚を作り出しているか、その原因を解明した。その結果、減速度の大きさにより安心感と不安感が発生することを示した。

3.3.2 追い越し

安部⁽³⁻²⁻⁹⁾は、自動運転に対するドライバの「信頼」について考察し、どのような自動運転の挙動がドライバの信頼を得られるのかを追い越しの場面を対象として実験を行った。その結果、ドライバの手動運転と同様に走行することが必ずしも信頼確保につながらない可能性がある事を示した。

3.3.3 対向車

大谷ら⁽³⁻³⁻³⁾はドライバが衝突のリスクを過小評価することで、対応行動の省略や遅延が生じる可能性があることを指摘し、ドライバの危険度評価に影響する交通状況中の要因を明らかにすることで、衝突のリスクを高めないことを目指した。その結果、物理的リスクが同じ場合でも、「対向車がない」または「普通自動車が行先する」状況にて、相対的に危険度が小さく評価された。「対向車なし」で「普通自動車」が行先する状況は、「対向車あり」で先行車が普通自動車の状況に比し、ペダル踏み替え時間が大きかった。加えて、対向車がなく「大型車」が行先する状況に比し、「対向車なし」で「普通自動車」が行先する状況は最大踏力までの時間が相対的に拡大した。

結論として、初期衝突予想時間が同じ場合でも、交通状況中の要因に起因して、危険度が小さく評価され、ペダル踏み替え時間などの運転行動に遅延が生じることが明らかとなった、とした。

3.3.4 後続車

大谷ら⁽³⁻³⁻⁴⁾はドライバが衝突のリスクを過小評価することで、対応行動の省略や遅延が生じる可能性があることを指摘し、ドライバの危険度評価に影響する交通状況中の要因を明らかにすることで、衝突のリスクを高めないことを目指した。その結果、後続車の有無はリスク評価に影響を及ぼさないことを示した。その理由として、自車後方の対象物との衝突回避は、ドライバ自身の行動に依存する部分が小さいため、後続車の影響は小さかったと考えられる、とした。よって衝突を回避するための行動の主体が誰かにより、ドライバの危険度評価は変化することが明らかとなった、とした。

3.3.5 車壁距離

瀬川ら⁽³⁻²⁻¹⁸⁾は、不安要素の中でも壁やガードレールとの距離について着目し、乗車者が許容できる（操舵せずにいられる）車壁間距離について調査した。実験の結果、被験者が許容できない位置の範囲を確認できた。またドライバが不安を感じないための基準点を確認した。壁方向速度とハンドル操作点の関係性について、各被験者の相関係数を見てみると、弱い正の相関があることが見られた。よって、壁方向速度が速いほど被験者は壁から近い地点でハンドルを操舵している。また、壁方向速度が遅いほど被験者は壁から遠い地点でハンドルを操舵していることが確認できた。

3.3.6 右折

城戸ら⁽³⁻¹⁻⁹⁾は、自動運転では通常の運転者には制御することが困難な、隣接車両とわずか数センチメートルの車間距離での走行が可能となることも想定され、そのような状況では車両同士が接触するのではないかとの不安を乗員に与えることが予想される、とした。そのため市街地における自動運転車両と回避する障害物間の、運転者及び歩行者という視点から適切だと考えられる距離を明らかにし、従来の手動運転と異なる回避距離での走行による不安感を与えない自動運転動向の指針の一つとすることを目的とした。実験の結果、バック駐車、右折、路駐回避という3つのシーンにおいて、ドライバや歩行者の不安感と距離との関係性を示した。右折時には運転者の方が歩行者よりも不安を感じやすい傾向にあった。運転者は回避距離が近づくとつれ急速に不安を感じた。

3.3.7 路駐回避

城戸ら⁽³⁻¹⁻⁹⁾は前項（3.3.6 右折）と同じ研究において、路駐回避についても運転シーンとして取り扱った。路駐回避では、自分の運転に対して自身のある人は、運転者と歩行者という視点の違いによる不安感の差はなかった。一方、自身のない人は歩行者の視点よりも運転者の視点でいたときのほうが不安を感じやすかった。このことから、自分の運転に対して自身のある人とない人の指針を分けた。

3.4 リスク補償

リスク補償とは、環境・状況のリスクが低下したことを知覚すると、低下したリスクを高める方向に人間の行動が変化する現象である⁽³⁻⁴⁻¹⁾。ここまでで紹介した先行研究においても、リスク補償に関する報告が複数挙がっている。リスク補償の考え方は安全対策が無効であるかのような誤解を与えやすいが、本質はそうではない。最も重要な点は、工学的安全対策は人間の行動に変化をもたらすということである⁽³⁻⁴⁻²⁾。本研究においても、そのことを踏まえて「ドライバの最適な心理状態」を検討していく方針を決めた。

3.5 個人差

3.5.1 個人内差

ヒトを扱う研究において、ヒトのばらつきの要因のひとつとして個人内差がある。個人内差は、同一の運転者であっても、異なる特性が表れることである。繰り返し行う単純反応タスクを行った場合の反応時間や操作のばらつきも個人内差に含まれるが、運転行動研究において、より重要になるのが、気分や体調による変化、運転状態・走行環境・走行時間・走行時刻などによる異なる条件下の変化である。このような個人特性の一過性の変化に加えて、長期間の変化として、走行開始からの時間、日、週、年単位で変化が認められたり、加齢とともに変化することもありうる。

運転支援システムの使用によって運転行動変容が生じることも考えられる。安全性向上を期待し運転支援システムを導入すると、運転者は運転に対して怠慢になり、結果として運転支援システムによる安全性の向上代が目減り、あるいは、相殺されることである。これは前項で述べたリスク補償とよばれており、運転支援システム導入の際に、実用上の安全性評価で問われる課題である。

3.5.2 個人間差

ヒトを扱う研究でたびたび議論にあがるのが個人間差の問題である。人-

システム系の研究で個人間差の検討が必要な理由は、個人ごとの特性の違いによって機械システムの使い勝手が変わることや、個人ごとでシステム使用時におけるシステムの効果の差を出にくくするためであり、設計段階でも評価段階でも個人間差の観点での検討が必要となる。この後の項で詳しく説明するが、運転行動において生じる個人間差の特性を探るために、運転に対するアンケートによる調査方法 DSQ, WSQ⁽³⁻⁵⁻¹⁾が提案され広く活用されている。

また、運転行動そのものから個人間差を示した研究も、以前から行われてきた。例えば、追従時の車間距離に個人間差があること⁽³⁻⁵⁻²⁾や、操舵操作の滑らかさに個人間差があること⁽³⁻⁵⁻³⁾が知られている。

なお、個人差研究の限界として、加藤は個人差の測定に関する信頼性と妥当性についての問題や統計的検定の問題などを挙げ、心理学の知見をそのまま自動車技術に応用することに注意が必要である、と述べている⁽³⁻⁵⁻⁵⁾。

3.6 個人適合

前述の通り、本研究はこれまでの自動車関連研究で扱われてきた個人適合の考え方を参考にしている。本項では個人適合に関する先行研究について概要を示し、参考となる考え方を整理した。

3.6.1 個人適合型ポテンシャル法に基づく障害物回避アシスト制御

奥田ら⁽³⁻⁶⁻¹⁾は、運転支援システムの個人適合化に関する研究で、各ドライバーが感じる『リスク感』をモデル化した。またドライビングシミュレータを使いリスク感を踏まえた制御の有効性を検証した。論文中の「ポテンシャル関数を用いた環境モデル」とはドライバーの意図と道路形状から場のリスクのポテンシャルを計算する手法である。成果として走行データを用いることで各ドライバーに適合するモデルを作成することで個人のタイミングによく適合したアシストが可能となり手法の有効性が示された。実験条件が限定的であるため、今後の検討が求められる。実車での実証も今後の課題とした。

3.6.2 運転行動および交通状況を考慮した適応的運転支援

永井ら⁽³⁻⁶⁻²⁾による文部科学省のプロジェクトの一部で行われた研究。どのような運転支援を行えば、ドライバの受容性が高くなるかを検証した実験。実験条件として用いた運転支援の方法は、自動化レベルに対応しており、自動化レベル 7（操作支援）は必要な操作を遅延なく自動で行うが、ドライバへの通告はない。自動化レベル 6.5 は著者らが提唱しているレベル 7 に対して事前通告を行うものである。

操作支援の方法も複数あり、ハードプロテクション（ドライバに操作を許さない）とソフトプロテクション（ドライバに操作を許す）が実験条件として用いられた。ソフトプロテクションではステアリングを重くすることでドライバに危険を警告するが、さらに操舵した場合は車両操作が可能となる。運転支援することで運転支援なしの時に比べ安全性が向上することが明らかになった。ただし、難しい状況での警報支援はドライバが誤解することがあり、支援の効果が十分に得られないケースがあった。ドライバに誤解を与えないインタフェースが重要となる。ドライバの動作を必要以上に制約（ハードプロテクション）すると受容性が低くなるため、緊急性だけでなく交通状況に応じて定める必要がある。交通状況の分類とそれに応じた自動化レベルや回避支援の方策を明らかにするのが今後の課題。

3.6.3 人間の感受性を考慮した 4 輪アクティブステア制御

服部ら⁽³⁻⁶⁻³⁾による研究。人間の感受性とはドライバの評価器（感覚/感性）のこと。ドライバが運転しやすい車両特性を実現するためにはドライバが知覚/評価している運動物理量を明らかにすることが不可欠。結論として、ヨーレートと横ジャークを自由にコントロールするには前後輪アクティブステアリングシステムが有効で、ドライバの感受性に係る物理量の制御ロジックの一構成法を示した。

3.6.4 ドライバの運転負担感受性の指標化と経路選択嗜好分析への応用

石橋ら⁽³⁻⁶⁻⁴⁾による研究。運転支援システムにおいてドライバにより適合し

たシステムを構築するため、ドライバの普段の運転行動の理解に基づいて支援する。運転スタイル DSQ を指標として確立した筆者が今度は負担感の指標である WSQ を開発した。

3.6.5 ドライバの減速開始タイミングをモデル化した判断式を個人ごとに適合する手法

伊佐治ら⁽³⁻⁶⁻⁵⁾の研究。交通事故を防ぐには危険の兆候の認知能力を向上させることが有効である。ブレーキ判別式を用いたドライバ減速行動モデルを個人適合する研究。ドライバにとって受容できる減速制御開始タイミングには個人差が存在することが判明した。過去の研究でも個人ごとの最適な減速開始タイミングはこれまで作成されていない。したがって本研究では個人ごとの最適な減速制御開始タイミングを決定する「ブレーキ判別式」を作成する一手法を提案した。すべての被験者が減速制御開始タイミングは自分のブレーキタイミングに比べ遅いと回答し、システムへの依存が起きにくい。今後、本手法を運転支援装置の開発に応用していく。

3.6.6 リスク認知に関する評価指標の比較検討 -先行車に対する追突リスクの認知

北島ら⁽³⁻⁶⁻⁶⁾による研究。先行車に対する追突リスクを示す評価指標が多く提案されている。本研究ではそれらの指標の定義や特徴を整理して、指針利用の指標を示す。8種類の指標の定義や特徴を整理・分類した。

3.6.7 操舵行動におけるドライバ個人特性解析に関する研究

竹原ら⁽³⁻⁶⁻⁷⁾による研究。走行条件や運転状況に応じて、ドライバの運転行動と協調して支援するシステムにはドライバの「認知」を支援するものと「操作（操舵操作）」を支援するものがある。これら支援システムの課題として人と機械の意図の対立、機械への不信や過信、オートメーション・サプライズなどがある。これはシステムがドライバ各個人性に合わせた支援をしていないことが要因の一つである。つまり各ドライバの運転に関する特性やシステ

ムの変化に伴う運転行動の特性の変化を定量的に把握することが必要。本研究ではドライバの操舵の技能差に着目した分類（市街地で多く見られる低速での右左折操舵）を行った。結果、操舵角標準偏差、運転粗さ、総操舵量の三指標を適応し、ドライバの分類が可能であることを確認した。

3.6.8 臨床心理学に基づく自動車運転における不安の類型化と対策

松浦ら⁽³⁻⁶⁻⁸⁾は、安心の概念を定義した。「安心」の要因の検討のために「不安」の発生ならびに軽減に関する基礎的プロセスの臨床心理学的研究が必要。運転の不安を事故に限定せずに広くとらえることを目的とし運転時の不安を類型化した。

3.6.9 自動運転におけるドライバの安心感抑制による注意力向上への効果

多賀野ら⁽³⁻⁶⁻⁹⁾の研究.安心感が不安全な行動につながるの推測に基づき、逆に自動運転レベル2においてはドライバの安心感を抑制することが、ドライバの注意力の向上、安全な運転行動につながる可能性に着目した。結果、ドライバの安全な運転行動には、あまり強すぎない、やや不安を感じさせる程度が有効である可能性を示した。

3.6.10 個人適合（パーソナライゼーション）に関する研究まとめ

自動車技術において個人適合（パーソナライゼーション）に関する研究は以前から行われてきており、運転支援（障害物回避）では支援の方法によってドライバが不安や不満を感じないように日常の運転にできるだけ近づけるような研究が行われた⁽³⁻⁶⁻¹⁾⁽³⁻⁶⁻²⁾。より微細な車両制御においても個人適合は考慮されており、ドライバが知覚している運動物理量を明らかにすることで不安を感じない車両制御を実現しようとする研究もある⁽³⁻⁶⁻³⁾。また運転中の減速開始のタイミングをドライバごとに調査し、運転支援技術へ応用する取り組みもある⁽³⁻⁶⁻⁵⁾。個人適合の研究分野でよく利用されているのが石橋らが開発した運転スタイルチェックシートと運転負担感受性チェックシ

ートで、質問に回答することで個々の運転スタイルを説明できるツールとなっている⁽³⁻⁶⁻⁴⁾。またドライバの操舵技量の差に着目した研究もある⁽³⁻⁶⁻⁷⁾

他方、自動運転技術における個人適合研究についても近年注目度が上がっている。平松⁽³⁻⁶⁻¹⁰⁾は「自動運転に不安を感じているドライバも少なからず存在し、技術の普及にはドライバの安心感、受容性の醸成が必要であることが示唆される」とし、そのうえで「自分で運転するドライバにとって、運転の是非の基準は自身の運転方法であるため、自動運転においても、個人の運転スタイルに合わせることで安心感、受容性の面で重要と考えられる」としている。

3.7 不信

自動車技術における信頼についての研究がある⁽³⁻⁷⁻¹⁾。運転支援機能の警報について、誤報や警報の遅延がドライバのシステムへの信頼感にどのような影響を与えるかを実験したものである。自動運転に対する不安を考える際に、この信頼という考え方は重要であると考えられる。例えば自動運転車に乗車している際に自分の運転との差が大きい車両制御を体験すると本当にカーブを曲がってくれるのか、先行車に追突しないか、ということを感じることになり、自動運転システムへの信頼感が低下する。先の警報であれば機能を使わなければよいが、自動運転車において自動運転機能は主となる機能であるため使わないわけにはいかず、不信な機能を使い続けなければならないため大きな不安となる。

稲垣らの研究では、警報のタイミングをドライバがブレーキを踏むタイミングを考慮し設定することで信頼感を維持できる事が明らかとなっており、自動運転制御についてここでも個人適合により不安感を低減させる可能性が見いだすことができる。

3.8 評価・実験方法

運転行動理解の分野で一般的に用いられる研究手法について、それぞれの特徴を以下に明らかにする。

3.8.1 アンケート調査・インタビュー調査

アンケート調査は、事前に用意した質問に対し、対象者が自省的に報告することである。運転者の率直な考えや評価を収集できるものの、個人それぞれで評価方法が異なることもあり客観性に乏しい。そのため、評点を絶対評価するもの（たとえばSD法）は、評点のレベリングをする必要がでてくることもある。インタビュー調査やデブリーフィングは、実験者が実験参加者の様子を見ながら評価を引き出したり深掘りすることが可能であるが、評価を誘導する可能性がある。

3.8.2 ドライビングシミュレータ（DS, Driving Simulator）実験

DSを用いた実験の利点は、安全性を確保しつつ、再現性が高い実験ができることである。たとえば、安全性でいえば、事故リスクのある実験も実行可能であり、また、再現性の点では同一の実験条件で繰り返し実験が可能である。例えば、運転中のヒヤリハットを体験してもらうような実験は安全面からも再現性の面からも実車実験では難しい。

3.8.3 テストコース実験

テストコースでの実験は、安全性を確保しつつ、実車を用いて実験を行うことが可能である。テストコース実験ではもともと用意された、かなり限定的な走行環境における実験になる。近年、テストコースであっても市街地の再現などを試みた事例もある（例えば、日本自動車研究所のJ-townなど）。

テストコースでの実験は、現実の走行場面に近いデータを求めるより、特定の場面における挙動計測や評価に向けた手段である。

3.8.4 公道実験

公道を実際に走行する実験で、現実の走行場面に近いデータが計測可能である。ただし、実験参加者は、普段運転している車両とは異なる実験車を運転していること、実験目的で運転していることを理解した上で走行するため、

普段の運転行動の計測ができるとは限らない。

また、一般の交通参加者の交通の妨げになるような配慮が必要であったり、安全性が確保できない実験は不可能であり、実験計画時点で公道実験を行う必要性を十分に検討する必要がある。

3.8.5 NDS (Naturalistic Driving Study)

Naturalistic Driving Study (ナチュラルリスティックな運転行動研究) は、実験参加者が所有する車両に計測器 (カメラやセンサなど) を設置し、普段通りの使われ方を研究する方法である。NDS では、多様な運転場面、様々な実験参加者が含まれるため、個人間差や個人内差などの特性が明らかにできることが可能である。一方で、長時間かつ多様なデータが取得されるため、必要なデータをうまく抽出する技術が必要である。

3.9 まとめ

本章で紹介した、自動車技術がドライバの心理への与える影響に言及した研究の領域をまとめると 3.9.1 の表のようになる。先進運転支援システムの多くが、ドライバの心理への影響について研究されていると言え、自動運転についても様々な制動や状況について研究がなされている。ドライバの心理へ与える影響については安心感/不安感、過信/不信、ストレスなどのテーマが見られた。

各研究の結論を踏まえ、ここで注目したいのは、以下の3点である。

- ① 安全運転支援により運転の安全性向上が示されたこと
- ② ドライバの不安感やオートメーション・サプライズが、不安全に繋がる恐れがある事
- ③ 過信などを原因としてリスク補償が起きること

今回取り上げた研究のほとんどが①について先進運転支援システムの有効性を論じているが、②③についての課題意識を示している研究も散見された。②③のような心理的影響が不安全につながることは避けねばならない。芳賀は報告の中で、「リスク補償の考え方は自動車技術開発の足を引っ張るものという考え方は誤解です。新技術は必ず人間の行動を変えるし、思いがけないエラーや悪い副作用を生む可能性もあります。それらをできるだけ正確に予想し、事故が起きたり、新技術が完全に否定されてしまうことを予防するた

めに、心理学者と技術者が協議することが望まれます。」と述べており、このような事象に向き合うことは重要であると思われる。

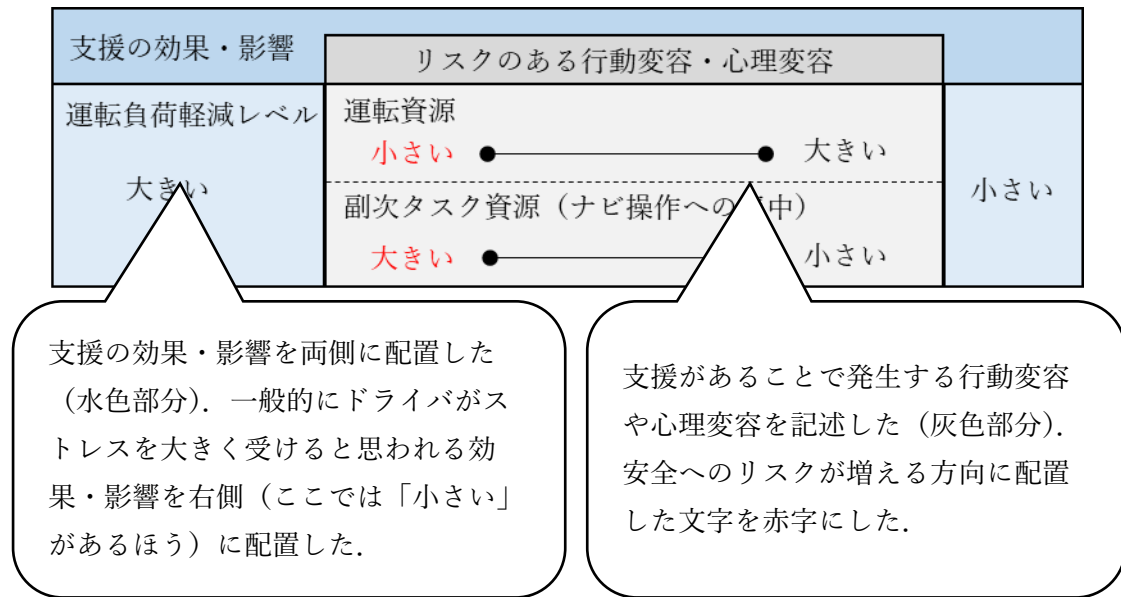
3.9.1 運転支援のドライバ心理への影響に言及した研究

これまで紹介してきた先行研究の中で、運転支援とドライバ心理の関係に言及したものを研究者名と共に記述する。運転支援システムや自動運転の制御シーンの多くが取り上げられていることがわかる。ADAS機能のうち、制御方法とドライバ心理に着目した研究が多かったのに対し、情報提供(NV/PD, TSR, BSM)に関する研究は少なかった。また自動運転の制動については合流やカーブ速度と心理(不安感)に関する研究は見当たらず、本論文での研究テーマとして取り上げることとした。

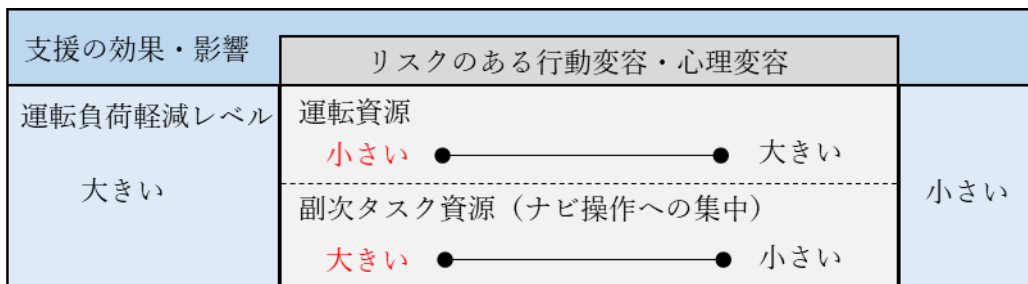
- 2.1 ACC(アダプティブ・クルーズ・コントロール) ……鈴木,増田,高江
- 2.2 FCW(前方衝突警告) ……………赤松
- 2.3 AEBS(衝突被害軽減制動制御装置) ……………辛島
- 2.4 NV/PD(ナイトビジョン/歩行者検知)
- 2.5 TSR(交通標識認識)
- 2.6 LDW(車線逸脱警報) ……………永井
- 2.7 LKAS(車線逸脱防止支援システム) ……………松林, 永井
- 2.8 BSM(死角モニタリング)
- 2.9 RCTA(リヤクロストラフィックアラート) ……………吉田
- 2.10 DM(ドライバモニタリング)
- 2.11 AFS(自動ヘッドランプ光軸調整)
- 2.12 APA(高度駐車アシスト) ……………城戸
- 2.13 AES(自動操舵回避) ……………奥田
- 3.3 AD(自動運転)
 - 3.3.1 制動:ブレーキタイミング……………多賀野, 田中
 - 3.3.3 制動:車壁距離……………瀬川
 - 3.3.4 制動:右折距離……………城戸
 - 3.3.5 制動:路駐回避距離……………城戸
 - 3.3.6 制動:追い越し速度……………安部
 - 3.3.2 制動:追従・接近走行……………近藤
 - 3.3.7 状況:対向車あり時……………大谷
 - 3.3.8 状況:後続車あり時……………大谷

3.9.2 運転支援の効果・影響と行動・心理の変容

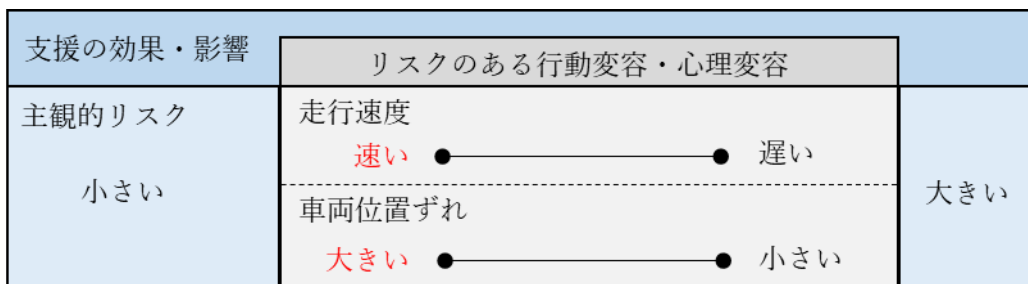
3.9.1でリストアップした研究の結果, 運転支援があることでドライバの行動や心理が変容したとされるものについてその関係をそれぞれ示す. 運転支援は安全性の向上に効果があることは先にも述べた通りであり, ここでは意図的に, リスクある変容について抽出した. 図の見方を以下に示す.



● ACC と LKA 両方を搭載した場合, ドライバは副次タスクのナビ操作に集中する頻度が高くなった (3-1-1)



● ACC 装備した場合, ACC を装備しない場合に比べ, 走行速度が速く, 水平方向車両位置ずれが大きい (3-3-2)



- ブリクラッシュブレーキによるリスク低減を認知することにより、ブレーキタイミングを遅延させる (3-1-5)

支援の効果・影響	リスクのある行動変容・心理変容	
リスク低減の認知 認知している	ブレーキのタイミング 遅い ●————● 速い	認知して いない

- ドライバの行動裁量に対する制約を強めシステムによる介入頻度を増やした場合、システムに対して違和感や理解不足を感じ、ユーザビリティ評価の低下を引き起こした (3-1-7)

支援の効果・影響	リスクのある行動変容・心理変容	
行動裁量の制約 弱い	システムに対しての違和感、理解不足 弱い ●————● 強い	強い

- 衝突事故を回避することができても、ドライバにまったく通告することなくプロテクションを自律的に実行する「操作支援」は、「警報支援」に比べてドライバの受容性が低くなる (3-1-8)

支援の効果・影響	リスクのある行動変容・心理変容	
事前通告 あり	システムへの受容性 高い ●————● 低い	なし

- バック駐車では、回避距離が近いほど不安感が高まり、回避距離が遠いほど不安感が高まった。これは回避距離が離れると反対側を別の障害物にぶつけるのではないかと心配したと考えられる。 (3-1-9)

支援の効果・影響	リスクのある行動変容・心理変容	
隣接車両との距離 遠い	不安感 高い ●————● 低い ●————● 高い	近い

- やや不安なブレーキタイミングのとき，被験者のブレーキによる運転介入が最も早い傾向がある．また最も頻繁に，かつ広域にわたって視線移動をする傾向がある．また運転行動への効果の個人差は比較的小さい傾向がある．

(3-3-1)

支援の効果・影響	リスクのある行動変容・心理変容	
不安感	ブレーキでの運転介入 遅い ●————● 早い ●————● 遅い	高い
低い	視線移動の頻度 少ない ●————● 頻繁 ●————● 少ない	
	視線移動の範囲 狭い ●————● 広い ●————● 狭い	
	効果の個人差 大きい ●————● 小さい ●————● 大きい	

- 初期衝突予想時間が同じ場合でも，交通状況中の要因に起因して，危険度が小さく評価され，ペダル踏み替え時間などの運転行動に遅延が生じることが明らかとなった (3-3-2)

支援の効果・影響	リスクのある行動変容・心理変容	
対向車の有無	危険度評価 小さい ●————● 大きい	あり
なし	ペダルの踏み替え時間 大きい ●————● 小さい	

- 右折時には運転者の方が歩行者よりも不安を感じやすい傾向にあった．運転者は回避距離が近づくにつれ急速に不安を感じた． (3-1-9)

支援の効果・影響	リスクのある行動変容・心理変容	
歩行者との距離	不安感 低い ●————● 高い	近い

- 自分の運転に対して自身のある人は、運転者と歩行者という視点の違いによる不安感の差はなかった。一方、自身のない人は歩行者の視点よりも運転者の視点でいたときのほうが不安を感じやすかった。(3-1-9)

支援の効果・影響	リスクのある行動変容・心理変容		
路駐車両との距離 遠い	不安感 低い ●	● 高い	近い

3.9.3 運転支援のタイプと不信・過信によるリスク

先行研究より、ドライバにリスクのある行動変容が起きる際に、車両制御や情報提供への不安感や受容性、信頼度などの心理的な変容が影響していることがわかった。また稲垣⁽³⁻⁹⁻¹⁾はユーザーが機械に抱く不信や過信がリスクを生むと指摘しており、ユーザーの機械への信頼がどのような状態であるかを調べることにより、デザインの妥当性と対策を考えるべきと述べている。そこで先行研究調査の結果より、運転支援のタイプと不信・過信によるリスクを表3-1にまとめた。

表 3-1 運転支援のタイプと不信・過信によるリスク

		リスク	
		不信（不理解・無視につながる）	過信（過度の依存につながる）
ADASのタイプ	車両制御系	オートメーションサプライズが起きる ・システムに対する違和感が強くなる ・システムへの理解が不足する	運転操作への安全意識が低下する ・副次タスクへの資源配分が増加する ・走行速度が速くなる ・車両位置連れが大きくなる ・ブレーキのタイミングが遅くなる ・危険度評価が小さくなる
	情報提供系	注意喚起を無視する ・システムへの受容性が低くなる ・誤報ではないか、と疑う	周辺監視への注意力が低下する ・視線移動の頻度が少なくなる ・視線移動の範囲が狭くなる

車両制御系の ADAS において不信の状態では，システムへの理解が不足したり，システムへの違和感などが生じ，オートメーション・サプライズへつながるリスクが考えられる．また過信の状態では，過度の依存につながったりリスク補償が起きたりすることで，運転操作への安全意識が低下するリスクが考えられる．

情報提供系の ADAS において不信の状態では，システムへの受容性が低くなり，常に誤報の可能性を疑い，注意喚起を無視するリスクが考えられる．また過信の状態では自らが周辺を監視することを疎かにしてしまうリスクが懸念される．

このように ADAS のタイプごとに不信・過信により異なるリスクが発生し得ることが分かった．

3.9.4 運転支援が安全性の低下を引き起こすケース

先行研究調査により，運転支援がドライバの心理に何らかの影響を与えることで，ドライバの行動や心理が変容し，安全性の低下を引き起こす可能性があることがわかった．安全性の低下がどのようなフローで発生するかという仮説を図 3-1 に整理した．

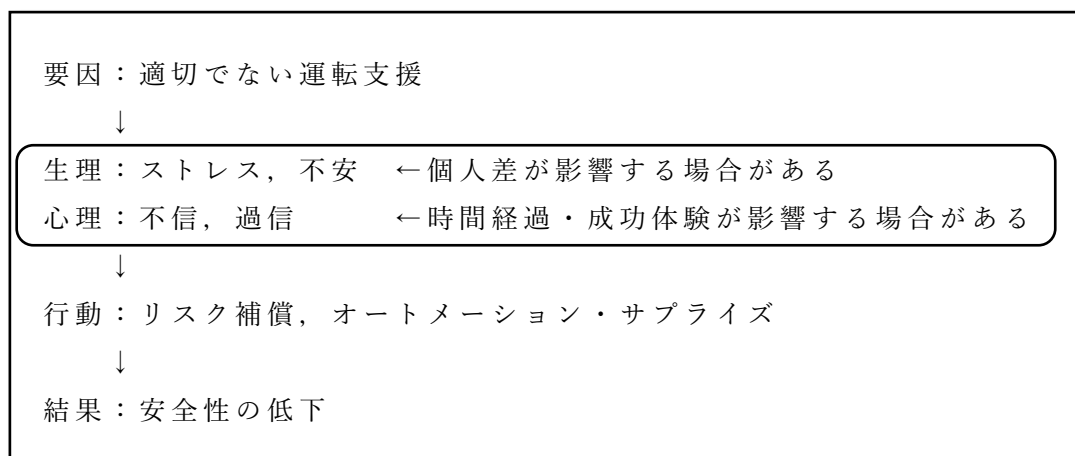


図 3-1 運転支援が安全性の低下を引き起こすケース

本論文では実験や調査を通し，この仮説を検証する．具体的には，4 章では前方死角モニタを用いた実験により，情報提供系 ADAS での不安感・信頼と行動変容の関係を，5 章では自動運転を模擬した車両を用いた実験により，車両制御系 ADAS での不安感・信頼と行動変容の関係を，6 章では自動運転に関する大規模アンケート調査により，車両制御系 ADAS における好ましい制御の「個人差」と「個人適合」について明らかにした．表 3-2 に

先行研究調査結果と各章の関係を示す。各章はドライバーの情報処理のフローである認知・判断・操作（行動）と対応している。

先行研究調査の結果を踏まえると、最適な心理状態は不信と過信の間のどこかにあると考察される。ただしそれは様々な要因で常に変動するもので、決められた対策をすれば解決する、というものではないと思われる。実験や調査を通してその構造を明らかにし、適切な運転支援や対策を行うための指針にしたい。

表 3-2 先行研究調査結果と各章の関係

		リスク	
		不信（不理解・無視につながる）	過信（過度の依存につながる）
ADASのタイプ	車両制御系	オートメーションサブライズが起きる ・システムに対する違和感が強くなる ・システムへの理解が不足する	操作への安全意識が低下する タスクへの資源配分が増加する 速度が速くなる ブレーキのタイミングが遅くなる
	情報提供系	注意喚起を無視する ・システムへの受容性が低くなる ・誤報ではないか、と疑う	周辺監視への注意力が低下する 移動の頻度が少なくなる 移動の範囲が狭くなる

参考文献

- (3-1-1) 鈴木桂輔，小田蛍太，見市善紀：ACCと車線逸脱防止支援機能を搭載した場合のドライバーの運転特性，自動車技術会論文集，Vol.46，No.1，p145-152(2015)
- (3-1-2) 増田貴之，芳賀繁：自動車運転支援システム導入に伴う負の適応，自動車技術，Vol.62，No.12，p16-21(2008)
- (3-1-3) 高江康彦，ほか：反力制御ペダルを用いた車間維持支援システムの開発，自動車技術会論文集，Vol.39，No.5(2008)
- (3-1-4) 赤松幹之，今長信浩，藤森敏夫：走行環境情報の事前提供によるドライバーの運転挙動の変化とインタフェースの評価について，人間工学，第33巻，特別号，p.126-127(1997)

- (3-1-5) 辛島光彦, 西口宏美: 自動車運転支援システムがドライバの運転行動に与える影響に関する研究—プリクラッシュブレーキシステム導入に伴うリスク補償行動について—, 人間工学, Vol.49, Supplement, p.264-265(2013)
- (3-1-6) 永井義朝, 伊藤誠, 稲垣敏之: 運転行動および交通状況を考慮した適応的運転支, 自動車技術, Vol.39, No.2, p393-398(2008)
- (3-1-7) 松林翔太, ほか: 運転支援方法とユーザビリティ・行動変容の関係に関する実験的検討, 日本認知科学大会発表論文集 2016, p595-601
- (3-1-8) 吉田直人, 米沢朋子: 運転時のストレス状態への気づきを促す生理現象自己状態フィードバック手法, 情報処理学会関西支部支部大会講演論文集 2016
- (3-1-9) 城戸恵美子, 新垣紀子, 青山征彦, 朴信映, 河原健太: 市街地における運転者・歩行者の不安感を考慮した自動運転の検討, 認知科学論文誌, Vol.25, No.3, p.293-309(2018)
- (3-1-10) 奥田裕之, 能登紀泰, 田崎勇一, 鈴木達也: 個人適合型ポテンシャル法に基づく障害物回避アシスト制御, 自動車技術, Vol.44, No.3, p.895-901(2013)
- (3-2-1) 大谷亮, 江上嘉典, 佐藤健司, 三井一志, 阿部正明: 自動運転状況下におけるドライバへの情報伝達方法, 自動車技術会秋季学術講演会, Vol.47, No.4, p961-966(2016)
- (3-2-2) 赤松幹之, 今長信浩, 藤森敏夫: 走行環境情報の事前提供によるドライバの運転挙動の変化とインタフェースの評価について, 人間工学, 第33巻, 特別号, p.126-127(1997)
- (3-2-3) 中山正之, 三浦智, 河野信哉, 是枝祐太, 山本晃裕, 福本亮太, 佐久間壮, 中島康貴, 小林洋, 藤江正克: 自動運転のインタフェース構築を目的とした視点と指先位置の測定による指示方向推定手法の構築, 日本機械学会論文集, Vol.81, No.832, p15-00088(2015)
- (3-2-4) 大門樹: ドライバ特性に基づいた自動車の情報化・運転支援, Panasonic Technical Journal Vol.57, No.3, p39-43(2011)
- (3-2-5) 向江秀之, 村岸裕治, 小野英一, 沼崎一志, 葉山良平: 高度運転支援システムのHMI原則, 計測と制御, 54巻, 11号, p841-844(2015)
- (3-2-6) 高橋宏: 安全・安心に利用できる自動運転車両の課題, 湘南工科大学紀要, 第52巻, 第1号, p.61-71
- (3-2-7) 相良泰, 高田一, ハズワニヌル, 松浦慶総: 自動運転における操作切り替え後のドライバ応答, 日本機械学会, 2016年度年次大会
- (3-2-8) 相良泰, 高田一, 松浦慶総: 自動運転における操作切り替え後のド

- ライバ応答に関する研究，日本人間工学会関東支部第 45 回大会論文集，(2015)
- (3-2-9) 安部原也，佐藤健治，内田信行，伊藤誠：自動運転システムの能力限界時におけるドライバ運転行動，日本機械学会，第 25 回交通・物流部門大会
- (3-2-10) 本間亮平，若杉貴志，小高賢二：高度自動運転における権限移譲方法の基礎的検討，自動車技術会秋季学術講演会，Vol.47，No.2，p.537-542(2016)
- (3-2-11) 中鉢良治：自動走行システムの実現に向けたHMI等のヒューマンファクタに関する調査検討，SIP・自動走行システム報告書，2017
- (3-2-12) 伊東敏夫，阿部晃大：自動運転から手動運転への操作主権移動時のドライバ状態，日本機械学会，2016 年度 年次大会
- (3-2-13) 木村貴彦，篠原一光，駒田悠一，三浦利章：運転時の聴覚刺激が有効視野とメンタルワークロードに与える影響，日本認知心理学会第 5 回大会 2007
- (3-2-14) 岡島知也：自動走行車の搭乗者が受けるストレスに関する個人差の分析，奈良先端科学技術大学院大学，修士論文(2017)
- (3-2-15) 笹井翔太，ほか：自動走行ストレス～拡張現実提示によるストレス軽減の試み～，電子情報通信学会，信学技法 2014
- (3-2-16) 永井正夫，ポンサトーン・ラクシンチャーンサク：高齢者の自立を支援し安全安心社会を実現する自律運転知能システム，精密工学会誌，Vol.81，No.1，p26-29(2016)
- (3-2-17) 田容旭，大門樹，一瀬真依：電動パーソナルビークルの自動運転における乗員の不安感低減のための情報提供の検討ーコ・モビリティ・シミュレータを用いた分析と評価ー，モバイル学会誌，Vol.1(1)，p69-74(2011)
- (3-2-18) 瀬川尚輝，ほか：自動運転下において乗車者が許容できる車壁間距離に関する研究，計測自動制御学会東北支部 第 301 回研究集会，資料番号 301-4，2016
- (3-2-19) 姜娟，和田雄志：日本社会の特性および社会的受容性の観点から見たイノベーション政策のデザイナー「自動走行システム」を事例としてー，Japan Society for research Plicy and Innovation Management，p. 192-196
- (3-2-20) 須田義大，ほか：自動運転システムの社会実装に関する課題と展望，生産研究，68 巻，2 号 (2016)
- (3-2-21) 久保克弘，村田義人，山本景子，西崎友規子：他者受容性が自動

- 運転システムの音声案内への反応に与える影響，日本認知心理学会 15 回大会，O4-07，2017
- (3-2-22) 香月秀仁，川本雅之，栗野盛光，谷口守：自動運転車の利用意向と都市属性との関係分析－個人の意識，交通行動に着目して－，日本都市計画学会，都市計画論文集，Vol.51，No.3，p.728-734(2016)
- (3-2-23) 谷辺哲史，唐沢かおり：自動運転による事故と責任－心をもつものは責任を負うのか－，The 31st Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence，2017
- (3-2-24) 河島茂生，北村智，柴内康文：自動運転車の「トロッコ問題」などに関する意識 日本に居住する人に対する質問紙調査を通じて，社会情報学会（SSI）学会大会発表論文集，2017
- (3-2-25) 我妻広明：人工知能による運転支援・自動運転技術の現状と課題，計測と制御，54 巻，第 11 号，p808-815(2015)
- (3-2-26) 木下聡子，西村秀和，ユンソンギル，北村憲康：自動運転車を取り巻く System of Systems の安全性要求の妥当性確認と検証，SEC Journal，Vol.12，No.4，p10-17(2017)
- (3-2-27) 岡田直之，ほか：ドライバ状態推定に向けた視線検出技術の開発，富士通テン技法，Vol.33，No.1，p.3-8
- (3-2-28) 津川定之：自動運転の課題，IEICE Fundamentals Review Vol.10 No.2，p.93-99(2016)
- (3-2-29) 伊藤誠：自動車の自動運転開発における課題，システム/制御/情報，Vol.60，No.10，p.419-424(2016)
- (3-2-30) 大須賀美恵子：人間の特性を考慮した運転支援システムに向けて，IATSS Review，Vol.28，special number，p.49-54(2003)
- (3-2-31) 香月秀仁，川本雅之，栗野盛光，谷口守：自動運転車(SDC)の利用による個人の外出行動への影響分析－外出頻度・目的地の変化に着目して－，交通工学研究発表会論文，No.62，p.391-397(2016)
- (3-3-1) 多賀野亮太，田中健次：自動運転におけるドライバの安心感抑制による注意力向上への効果，計測自動制御学会，第 46 回知能システムシンポジウム，2019 年
- (3-3-2) 田中裕章，他：自動車の制動時の安心感に関する研究，DENSO TECHNICAL REVIEW，Vol.21，p.30-36(2016)
- (3-3-3) 大谷亮，宇野宏：対向車の有無等に起因するドライバの危険度評価と運転行動，人間工学，Vol.41，特別号，p.164-165，(2005)
- (3-3-4) 大谷亮，宇野宏，藤田和男：後続車の有無がドライバの危険度評価および運転行動に及ぼす影響，人間工学，Vol.43，特別号，p.116-117，

- (2007)
- (3-4-1) 芳賀繁, 自動化システムとドライバの心理, 自動車技術, Vol.69, No.12, p.86-89(2015)
 - (3-4-2) 芳賀繁, 事故がなくなる理由 安全対策の落とし穴, PHP 新書, 2012
 - (3-5-1) 石橋基範, 大乗政幸, 赤松幹之: 運転スタイル・運転負担感受性の個人特性指標と運転行動. 自動車技術, 58, 34-39. (2004)
 - (3-5-2) Serafin, C., & Mclaughlin, S. B. (1998). Acc human factors issues – results of evaluations. Technical Paper FISITA.
 - (3-5-3) Mclean, J. R., & Hoffmann, E. R. (1975). Steering reversals as a measure of driver performance and steering task difficulty. Human Factors, 17, 248-256.
 - (3-5-4) 加藤司: 自動運転技術への応用を考える – 個人差研究の限界と問題, 自動車技術, Vol.74, No.11, p.16-21(2020)
 - (3-6-1) 奥田裕之, 他: 個人適合型ポテンシャル法に基づく障害物回避アシスト制御, 自動車技術会論文集, 2013年44巻3号
 - (3-6-2) 永井義朝, 他: 運転行動および交通状況を考慮した適応的運転支援, 自動車技術会論文集, 2008年39巻2号
 - (3-6-3) 服部義和, 他: 人間の感受性を考慮した4輪アクティブステア制御, 自動車技術会論文集, 2008年39巻2号
 - (3-6-4) 石橋基範, 他: ドライバの運転負担感受性の指標化と経路選択嗜好分析への応用, 自動車技術会論文集, 2008年39巻5号
 - (3-6-5) 伊佐治和美, 他: ドライバの減速開始タイミングをモデル化した判断式を個人ごとに適合する手法(3-36), 自動車技術会論文集, 2009年40巻2号
 - (3-6-6) 北島創, 他: リスク認知に関する評価指標の比較検討 – 先行車に対する追突リスクの認知, 自動車技術会論文集, 2009年40巻2号
 - (3-6-7) 竹原昭一郎, 他: 操舵行動におけるドライバ個人特性解析に関する研究, 自動車技術会論文集, 2009年40巻3号
 - (3-6-8) 松浦隆信, 他: 臨床心理学に基づく自動車運転における不安の類型化と対策, 自動車技術会論文集, 2017年48巻1号
 - (3-6-9) 多賀野亮太, 他: 自動運転におけるドライバの安心感抑制による注意力向上への効果, 計測自動制御学会, 第46回知能システムシンポジウム, 2019年
 - (3-6-10) 平松真知子, 他: 自動走行における運転スタイル個人適合手法の提案, 自動車技術会論文集, 2018年49巻4号

(3-9-1)稲垣敏之：人と機械の共生のデザイン - 「人間中心の自動化」を探る -, 森北出版株式会社(2012)

第4章 前方死角モニタ使用による運転者の運転不安感低減効果について

－見通しの悪いT字路右折時の主観評価－

4.1 概要と目的

先進運転支援システム（Advanced Driver Assistance System : ADAS）は周囲の状況に応じて運転操作の制御やドライバへの注意喚起を行うことで、快適な運転をサポートしたり、事故を未然に防いだりする技術の総称である。運転制御に関する代表的な技術として、アダプティブクルーズコントロール（ACC）や衝突被害軽減制動制御装置（AEBS）などがあり、注意喚起に関する代表的な技術として、前方衝突警告（FCW）や車線逸脱警告（LDW）、死角モニタ（BSM）などがある。

本論文の研究対象である前方死角モニタ（Forward Blind Spot Monitor : FBSM）はBSMの一種である。車両のフロントグリル中央上部に搭載した広角の車載カメラで、図4-1に示すような前方左右の死角の状況を確認する機能を持つ。

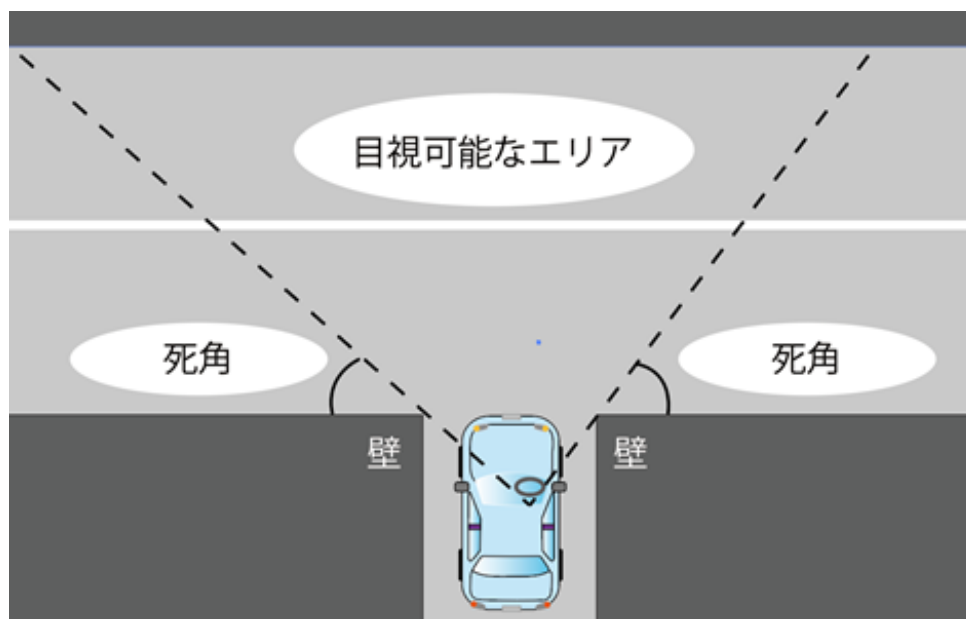


図4-1 見通しの悪いT字路の死角

BSMによる安全性に関する研究は多数報告されている。例えば田谷⁽⁴⁻¹⁻¹⁾の研究では、交差点で右側から走行して来る直進車両を認知するまでの時間を指標とし、BSMの安全性に対する効果を報告している。また安田⁽⁴⁻¹⁻²⁾の研究ではBSMによってドライバに与える情報量の違いが、死角に隠れた車両への衝突予測成績に与える影響を調査した。

これらの研究では主にシステムの安全性についての議論がされており、ドライバの運転時の不安感を低減させることについては触れられていない。安全が最も重要であることを大前提としたうえで、ドライバの運転に対する不安感を低減することも重要である。ドライバの不安感を低減することは、BSMの受容性を高め、システムの普及にも寄与すると考えられる。

そこで本研究では交通状況を考慮しながら、前方死角モニタの不安感低減効果を明らかにした。また前方死角モニタの有効性として、身体的負荷の低減効果についても確認した。つまり安全確認のために身を乗り出したり、ペダルを頻繁に踏み替えたりせずに済むという仮説を立て、検証した。ペダル踏み替え回数については不安感との関係性を考察した。

4.2 実験方法

4.2.1 実験装置

本研究のために開発した前方死角モニタは、広角の車載カメラと10.6インチのディスプレイ2台で構成される。車載カメラはフロントグリル中央上部に前向きに設置した(図4-2)。2台のディスプレイは運転席前方のAピラーの根元部に設置した(図4-3)。



図 4-2 広角の車載カメラ



図 4-3 前方死角表示用ディスプレイ

車載カメラで撮影した水平画角 180 度の映像を左右に二分割し、それぞれ対応付けた二台のディスプレイに表示した。ディスプレイの数や位置は、ドライバーの運転中の視線移動が少ないことや、映像と実物の対応関係が分かりやすいことを理由に、予備実験の結果を踏まえて決めた。

4.2.2 実験参加者

実験には普通自動車免許を有する 20 代～40 代の男女 10 名が参加した。参加の条件は、業務運転者でないこと、過去 1 年間で週 1 回以上運転していること、運転支援システムの使用経験があることとした。

いずれの実験参加者に対しても、インフォームドコンセントを得てから実験を実施した。本実験は三菱電機株式会社の社内に設置された、倫理審査委員会の承認を得て実施した。実験の所要時間は 80 分程度であった。

4.2.3 実験環境

本実験は安全確保と広域な試験環境確保のため、JARI（日本自動車研究所）の試験場『Jtown』内、多目的市街路で実施した。実験環境として、前方死角モニタが有効な場面と想定される「見通しの悪い T 字路」を疑似的に

構築した（図 4-4）。実験環境の見取り図を図 4-5 に示す。実験環境の構成要素として、実験参加者が運転する前方死角モニタ搭載車両（車両 A）、他車両（車両 B、C）、歩行者を設定した。

本論文中では T 字路の T の縦棒に相当する道を縦棒路、横棒に相当する道を横棒路と呼ぶこととする。



図 4-4 実験環境

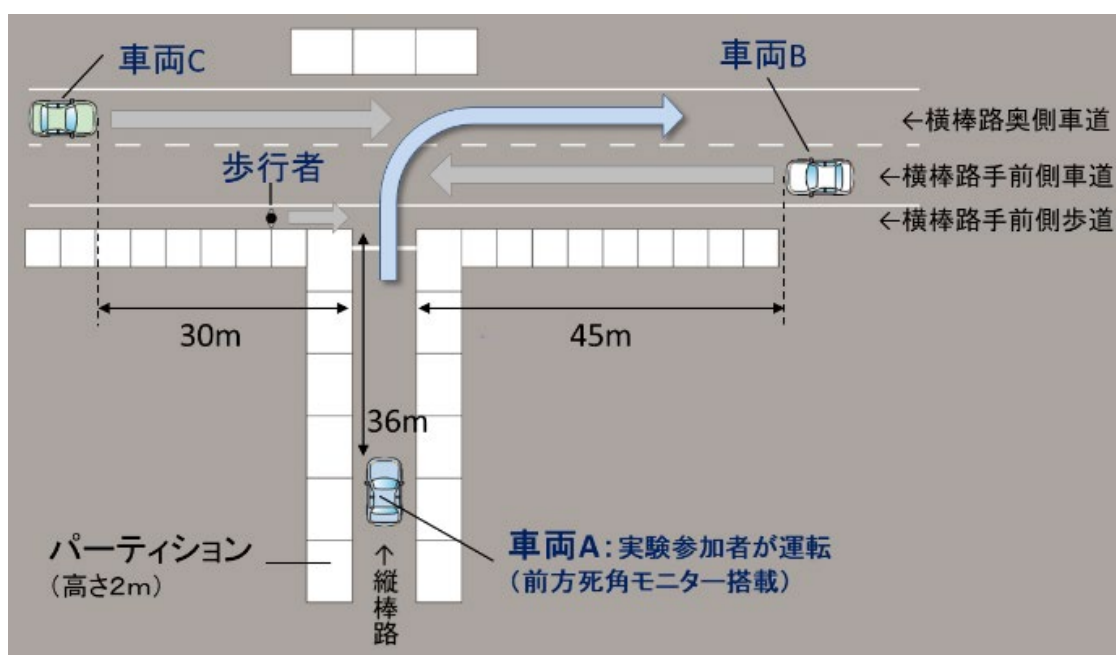


図 4-5 実験環境見取り図

また横棒路の車両 B，車両 C が走行する車道をそれぞれ，横棒路手前側車道，横棒路奥側車道とし，歩行者が通行する歩道を横棒路手前側歩道とする。

安全と実験条件の統制のため，車両 B，C の運転には映画スタントや CM などで高度な運転を行うテストドライバを起用し，歩行者は JARI が保有する歩行者ロボットを使用した。

4.2.4 実験条件と手続き

表 4-1 に示した計 6 つの交通条件で，前方死角モニタの有効性を評価した。以後，表 1 に示したラベルで条件を表す。各参加者は，前方死角モニタの有りと無しで表 1 の 6 条件を 1 回ずつ走行した。したがって，参加者ごとに合計 12 条件のデータが得られる。なお，前方死角モニタ無しの条件ではディスプレイを布で覆った。順序効果を相殺するために参加者ごとに試行順を変えた。

表 4-1 6 つの交通条件

左からの交通条件		右からの交通条件	
		接近する車両 B の位置 車両 A が T 字路に到達した時点での距離	
		Far (45m)	Near (T 字路付近)
接近するオブジェクト 車両 A が T 字路に到達した時点では いずれも T 字路付近に位置	車両 C Vehicle: V	V-F	V-N
	歩行者 Pedestrian: P	P-F	P-N
	車両 C と歩行者 Both: B	B-F	B-N

参加者に与える教示は『T 字路の縦棒路から横棒路に右折してください。走行速度や安全確認方法など運転に関することは，あなたが普段行うのと同じように行ってください。実験条件により前方死角モニタが表示されますので，右折の際に活用いただいても構いませんが，必ずしも見る必要はありません。』とした。

4.2.5 各車両，歩行者の挙動

車両 A は T 字路から 36m 離れた位置に待機し，実験者の合図で走行開始した．任意の速度で走行し，交差点手前の一時停止線で停止したのち，安全確認し右折した．ほとんどの参加者は 10km/h 程度まで加速し，一時停止線で停止するため，ゆるやかに減速した．右折後 30m ほどの位置で停車し，主観評価の回答をした．車両 B，C のドライバはパーティションの隙間を通して車両 A が走行するのを目視し，車両 A の走行位置に応じて走行した．

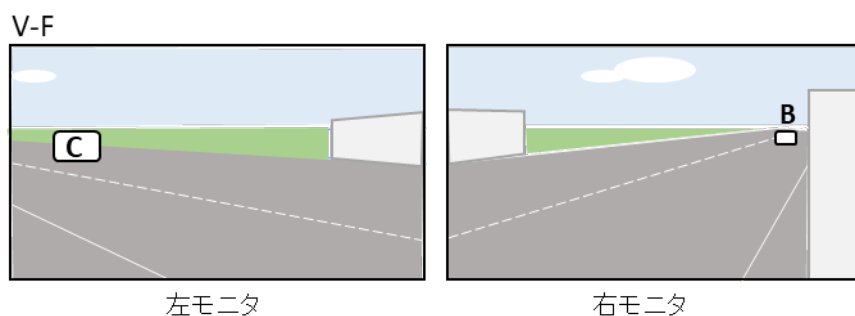
車両 B は交差点から 45m 離れた位置に待機し，Far の条件では車両 A が交差点に差し掛かるタイミングで出発した．Near の条件では車両 A が交差点に差し掛かるタイミングで交差点手前 10m 付近を通過した．

車両 C は交差点から 30m 離れた位置に待機し，条件に係わらず，車両 A が交差点に差し掛かるタイミングで交差点手前 5m 付近を通過した．歩行者は車両 A が交差点に差し掛かるタイミングで交差点手前 5m 付近を通過した．歩行者は交差点の直前で停止するようにプログラムされている．

4.2.6 モニタにより提示される情報

前方死角モニタにより提示される，交差点の情報（映像）を図 4-6 に示す．交差点に差し掛かった際に，車載カメラで撮影される左モニタ右モニタに示される映像を 6 つの交通条件それぞれについて示した．

図中の B は右方向から接近する車両 B，C は左方向から接近する車両 C，P は左方向から接近する歩行者 P を示す．図からもわかるように，車両 B は Far 条件ではかなり遠方に見え，実験参加者は自分の前を通過する前に右折することができ，Near 条件では通過する前に右折するのは難しい．



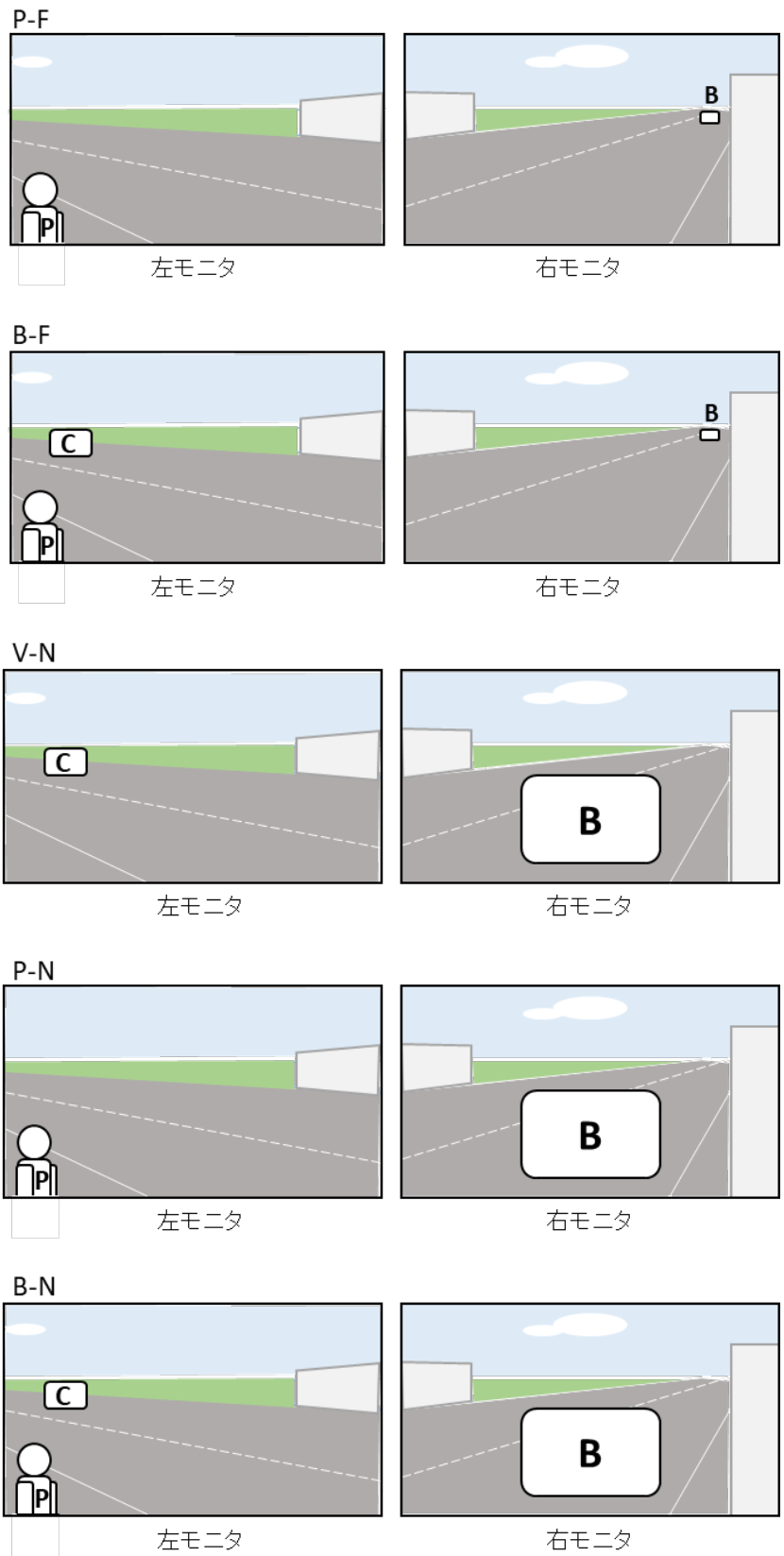


図 4-6 前方死角モニタにより実験参加者に提示される映像情報

4.2.7 評価指標

T字路右折時の不安感や身体的負荷を測るため、評定尺度法を用いた主観評価を実施した。実験参加者は全12回の各走行後に「右折の際に不安を感じましたか」「右折の際に身体的な負荷を感じましたか」という項目について6段階の主観評価尺度で回答した。尺度を図4-7に示す。主観評価後に、安全確認の手順や、各主観評価の理由について聞き取りをした。

ペダル踏み替え回数を計測するため、参加者の靴のつま先に加速度センサーを取り付けた。

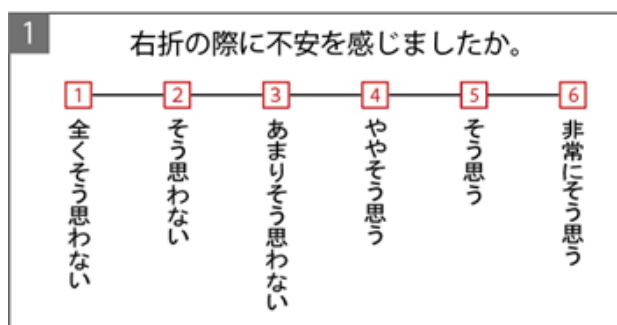


図 4-7 主観評価尺度

4.3 結果

4.3.1 分散分析の主効果

以降、独立変数と従属変数の各項目に鉤括弧（「」）を付与する。

「前方死角モニタの有無」, 「左からの交通条件」, 「右からの交通条件」を独立変数とする3要因の分散分析（参加者内比較）を行った。従属変数は「不安感」, 「身体的負荷」, 「ペダル踏み替え回数」とし、主観評価は間隔尺度として分析した。

「前方死角モニタの有無」の主効果は、「不安感（ $F(1, 9) = 25.55$, $p = 0.0007$ ）」, 「身体的負荷（ $F(1, 9) = 26.14$, $p = 0.0006$ ）」, 「ペダル踏み替え回数（ $F(1, 9) = 7.77$, $p = 0.0212$ ）」において有意であった。ただし「身体的負荷」の主効果は、有意な交互作用によって限定される（後述）。図4-8に示した通り、前方死角モニタ有りのとき、不安感とペダル踏み替え回数が低減した。

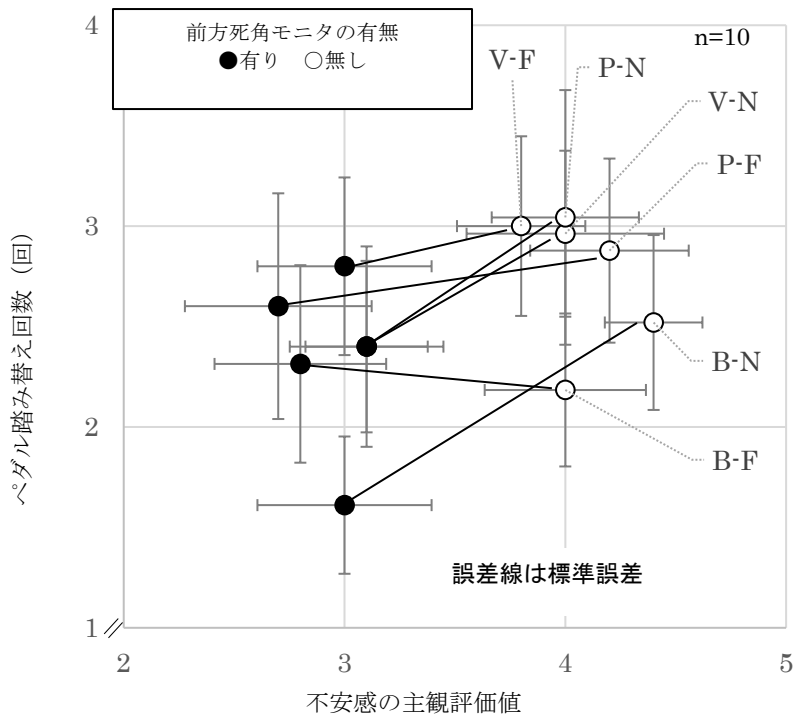


図 4-8 交通条件ごとの不安感とペダル踏み替え回数の関係

「左からの交通条件」の主効果は、「ペダル踏み替え回数 ($F(2, 9) = 5.620, p = 0.0127$)」のみ有意となった。Bonferroni 法で多重比較を行ったが、水準間に有意な差は見られなかった。

「右からの交通条件」の主効果は、すべての従属変数で有意とならなかった。

4.3.2 分散分析の交互作用

従属変数「身体的負荷」において、「前方死角モニタの有無」と「左からの交通条件」の間に有意な交互作用が認められた ($P = 0.0131$)。交互作用が有意であったことから、単純主効果の検定を行う。

まず「左からの交通条件」の各水準における「前方死角モニタの有無」の単純主効果の検定を行った。P と B の群において「前方死角モニタの有無」の単純主効果が有意 (いずれも $p < 0.001$) であった。V の群は「前方死角モニタの有無」の単純主効果が有意ではなかった ($p = 0.11$)。

Bonferroni 法で多重比較を行った結果、V の群で有意差はなく、P と B の

群で有意差があった（いずれも $p < 0.001$ ）。図 4-9 に「左からの交通条件」ごとの「前方死角モニタの有無」による「身体的負荷」を示す。図 4-8 より、交通条件 P と B で前方死角モニタ有りのとき、身体的負荷が有意に低減していることが示された。

次に「前方死角モニタの有無」の各水準における「左からの交通条件」の単純主効果の検定を行った。前方死角モニタの有り無しいずれにおいても「左からの交通条件」の単純主効果が有意ではなかった（有りは $p = 0.18$ 、無しは $p = 0.20$ ）。

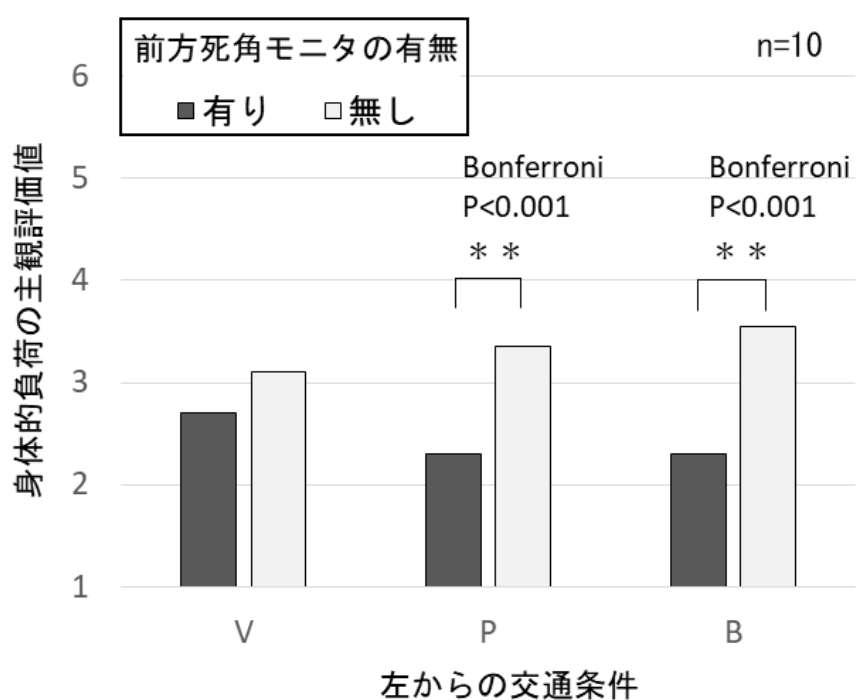


図 4-9 交通条件ごとの前方死角モニタの有無による身体的負荷

4.4 考察

4.4.1 参加者が感じる前方死角モニタのメリット

以下①～③に参加者 10 名から得られた意見をまとめた。同一参加者から複数の意見が得られた場合も、一件として扱った。

① 車両を交差点に進入させず安全確認できる（6 件）

例）一時停止した後に、車の先を少し交差点に出すだけで、車両や歩行者が来たことが分かり、右折しやすかった（参加者 2）

②横棒路手前側歩道の歩行者を早い段階で発見できる（4件）

例）左側のモニタで，人がすぐ発見できたのが一番良かったと思う（参加者5）

③首や体を大きく動かさずに安全確認できる（2件）

例）首を動かさず目線だけで見られるので，それがちょっと見やすい感じ（参加者6）

①の安全確認位置について，参加者の意見は次のように共通した．一時停止線で停止した位置からでは，前方死角モニタを使用しても歩行者や車両は確認できない．しかし車載カメラが横棒路に進入した段階で，歩行者や車両を確認できた．なおこの段階では車体はほとんど横棒路に出ていない．

4.4.2 T字路右折時の不安感について

実験参加者のコメント等から，T字路右折時の不安感の対象をフローに従って記述し，前方死角モニタにより不安感の要因がどのように変化するかを示す．

不安の対象1：右から来る車両との衝突

安全確認のため自車両をT字路に進入させた際に，右から来る車と衝突すること．

【要因】自分の目で安全確認できる位置まで交差点に進入すると，道路形状によっては衝突するリスクが高いことが不安

【要因】右からの車両に気付いてもらえるように鼻先を出すのが，気付いてもらえないかもしれない相手任せになってしまう（＝自分ではどうしようもない）ことが不安

★前方死角モニタがあると：自車両を交差点に進入させずに安全確認ができ，不安の対象1のリスクはほぼ解消される

不安の対象2：歩行者や自転車との衝突

T字路に進入した際に，他の車両に気をとられて歩行者や自転車を見落とし，衝突すること．

【要因】他車両に注意を払うことで，より近くを通る歩行者などを見落とすことを不安視する

【要因】歩行者は自車両がゆっくり交差点に進入するのを見て「先に渡ってしまおう」という予想外の判断をする可能性がある

★前方死角モニタがあると：歩行者や自転車の有無をしっかりと確認できる。自転車は遠くから来る場合もあるが、それも認識できる

★前方死角モニタがあると：安全確認全般に余裕が生まれるので、歩行者が予想外の行動をとっても対応できる

不安の対象3：左から来る車両との衝突

右折した先で左から来る車両と衝突すること。

【要因】右から来る車両に注意を払いすぎて、自分が出ていく道路の左から来る車両を見落とす可能性がある

【要因】右折しながらの左方向確認はピラーと左から来る車両が重なって、直前まで気付けないことがある

★前方死角モニタがあると：左から来る車両がしっかり確認できる

★前方死角モニタがあると：左から来る車両の距離が確認でき、どのタイミングで交差点に進入するか安心して決められる

4.4.3 不安感とペダル踏み替え回数の低減について

T字路右折の際に、複数回のペダル踏み替えが観測された。これは右折を決断する位置まで、安全確認をしながらゆっくりと車両を進めるためである。このとき、歩道を通行する歩行者と接触しないか、走行してくる車両が自車両のフロント部と衝突しないか、などの不安がある。こうした不安感が大きいほど、ペダルの踏み替え回数が増加すると思われる。前方死角モニタにより、不安を感じ始める位置よりも手前で、交差点内の様子がわかることで、こうした不安感やそれに伴うペダル踏み替え回数が低減されたと言える。

また、ペダル踏み替え回数の低減は、篠原ら⁽⁴⁻⁴⁻¹⁾が報告した「T字路右折の際のペダル踏み違いによる急加速」に対する低減効果も期待される。

4.4.4 横棒路手前歩道の歩行者について

見通しの悪いT字路において最も見えづらい角度にあたるのが、横棒路手前側歩道である。多くの参加者が、横棒路手前側歩道を通行する歩行者を、早い段階で発見できることをメリットとして挙げた。

また図 4-9 の前方死角モニタの有無による身体的負荷において、図 4-10 の枠で囲った、歩行者が含まれる交通条件 P と B のみに有意差が検出された。これは参加者が前方死角モニタを使用することで、前のめりになることなく歩行者を確認することができ、身体的負荷が低減したためであると考えられる。

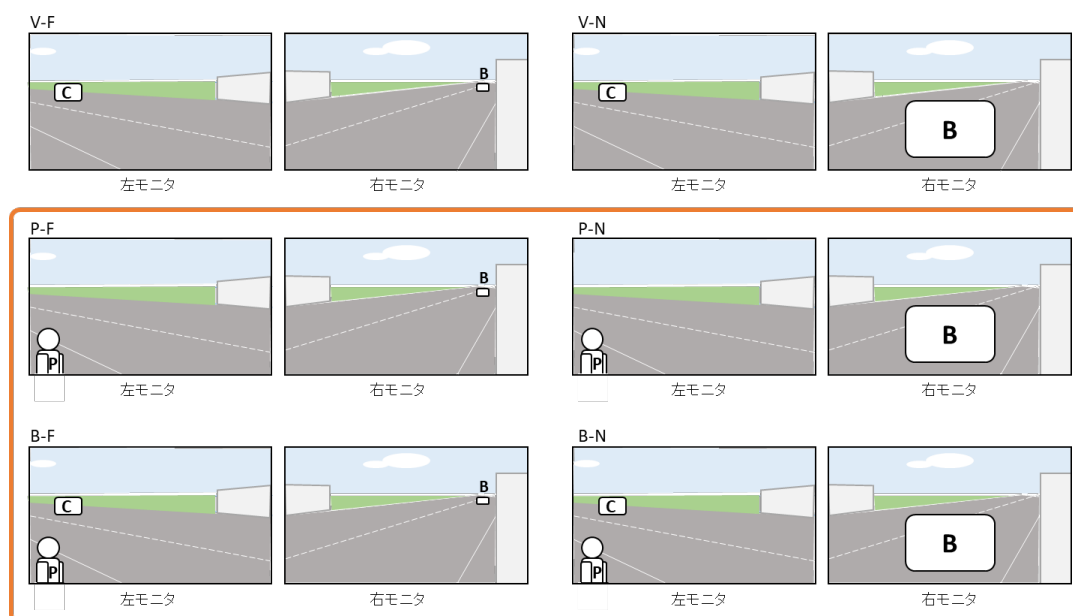


図 4-10 身体的負荷が低減した交通条件

4.4.5 前方死角モニタの情報量について

前方死角モニタがあることで、交差点の様子が分かりやすくなるが、交差点内の交通参加者がすべて一度に目に入るため、注意が散漫になりやすい懸念がある。特にモニタ有り無しの比較で、すべての交通参加者が存在する交通条件 B-F のペダル踏み替え回数が低減していない（モニタが有ってもなかなか交差点に進入できない）のはこのことが影響していると思われる。ただし、同じくすべての交通参加者が存在する交通条件 B-N は、右から来る

車両 B を先に通すケースがほとんどなので、落ち着いて対処できるものと思われる。

4.5 まとめ

先進運転支援システムのひとつである、前方死角モニタがドライバーに与える心理的な有効性を調べるため、実車による実験を行った。その結果、前方死角モニタが有ることで、不安感とペダルの踏み替え回数が低減した。また T 字路において最も見づらい、横棒路手前歩道の歩行者を確認する際に、身体的負荷が低減することが示された。なお前方死角モニタは、総じて実験参加者に好評であった。以上より、前方死角モニタの心理的な有効性が示された。ドライバーの心理的影響を考慮することで、ドライバーの BSM への受容性が高まり、システムの普及や、それに伴う技術の発展につながることを期待する。

本実験で得た機能有無とペダル踏み替え回数の関係を用いて図 4-11 に仮説モデルを構築した。不安感とペダル踏み替え回数のグラフを見ると、成功体験が増え、もしさらに不安感が低減すると、ペダルの踏み替えがほとんどされずに交差点へ進入することが起きうることも想定される。情報提供系 ADAS とドライバーの心理を図 4-11 のようなモデルで表現できることが示された。

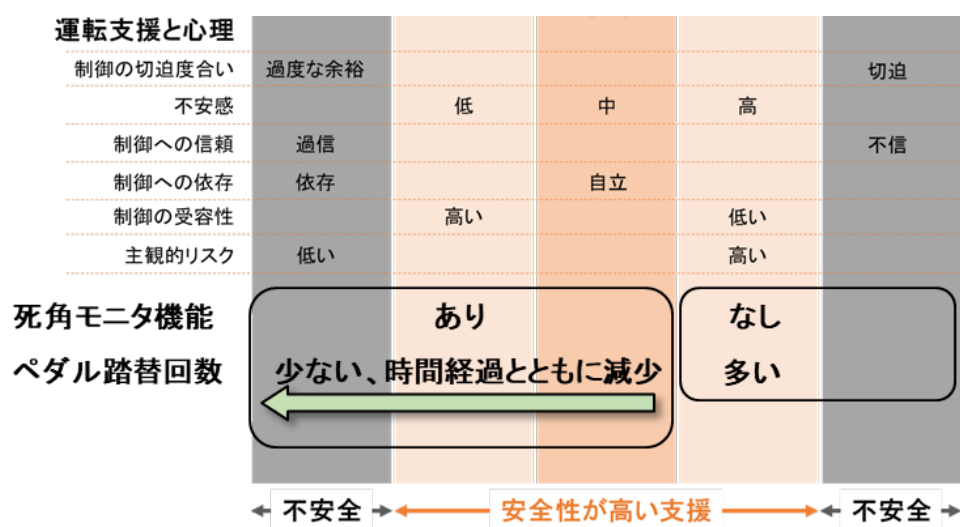


図 4-11 機能有無とペダル踏み替え回数の関係を元にした仮説モデル

参考文献

- (4-1-1)田谷文宏，小島和浩，亀田能成，大田友一；見通しの悪い交差点での仮想ミラー提示による運転者への視覚支援～提示タイミングと位置による運転車への効果～，第3回 ITS シンポジウム 2004.
- (4-1-2)安田浩志，大濱吉紘；拡張現実感による死角交差点での運転支援～リアルな壁透過表現は必要か？～，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.19, No.3, 309-314, 2014.
- (4-4-1)篠原一光，ほか；アクセルとブレーキの踏み違いに関する高齢者の認知・行動特性の分析，公益財団法人 国際交通安全学会，研究調査報告書，2016.

第 5 章 自動運転における乗客の心理評価実験

5.1 概要と目的

ここまで述べてきたように、自動運転車普及の観点で言えば、自動運転技術がドライバにとって安全であることはもちろん、安心なものである必要がある。人は未知のものに対するリスクを過剰に捉える傾向があり、自動運転車を経験した人や口コミを聞いた人が不安を感じることで購入に踏み込むのをためらうケースが想定されるためである。中谷内ら⁽⁵⁻¹⁻¹⁾⁽⁵⁻¹⁻²⁾はリスク認知研究の視点で、安全は安心のための必要条件であるが十分条件ではないと論じており、「安全」だけでなく「安心」な自動運転社会を目指すにあたり人への配慮は不可欠である⁽⁵⁻¹⁻³⁾。

第 5 章では、多くの人不安を感じる運転シーンにおいて、他車との距離や自車速度を変数とし実際に自動運転を模擬した車両で走行し、体験後にアンケートを実施することで、ドライバの不安感と車間距離、自車速度の関係を求めた結果についてまとめた。また、各運転シーンでの許容できる限界値を求めることで自動運転車両制御の基準となる指針が導き出せることを示した。

なお、松浦ら⁽⁵⁻¹⁻⁴⁾は、様々な不安の発生に関与する共通要素のひとつに「理想と現実に乖離があること」を挙げている。これを自動運転に当てはめると「自分の普段の運転、もしくは自分が理想とする運転との乖離」があると人は不安を感じる可言える。自動車関連の実験はシミュレータ環境で行うことが多いが、今回、実際の車で自動運転を体験してもらい現実に近い環境で評価することで、より信頼性の高い評価値が得られることを目指した。

ところで前述の中谷内は安心の定義について、危険を回避した際に不安が低減し「感じる」安心感と、リスク管理によりそもそも安全とか危険といった不安を「感じない」状態にあることを安心と定義している。本研究では自動運転の性質上、後者の不安を「感じない」ことが安全という状態である、という前提に立っている。

5.2 実験方法

5.2.1 調査対象とする運転状況

事前に行なった「運転時に不安を感じるシーン」についてのアンケート結果より、自動運転時にも発生しうるシーンを抽出し、もっとも不安と回答する人が多かったシーンを3つ選定した。

アンケートは日本全国の普通自動車免許保有者 1071 名（男性 523 名，女性 548 名）に対して WEB アンケートの形式で行った。質問は，事前に用意した 25 個のシチュエーションごとにどの程度不安を感じるかを 5 段階で聞いた。本実験で選定したシーンとそのシーンに対し不安と回答した人の割合を以下に示す。

- A. 合流（70.8%）
- B. 先行車両が急ブレーキをかける（78.9%）
- C. カーブ（78.0%）

5.2.2 実験参加者

実験参加者は男女 12 名ずつ，3つの年代（2・30代，4・50代，60代以上）8名ずつとなるように計 24 名集めた（表 5-1）。スクリーニングの際は，乗り物酔いのしやすさ，運転頻度，運転時の意識や行動パターンなどをヒアリングし，それをもとに実験参加者に偏りがないように選定した。

表 5-1 被験者の属性

年齢	男性		女性		計
	運転自信あり	運転自信なし	運転自信あり	運転自信なし	
20～39	2	2	2	2	8
40～59	2	2	2	2	8
60～	2	2	2	2	8
計	6	6	6	6	24

5.2.3 実験環境

(1) コース

実験はテストコースで行った（図 5-1）。全長約 1000 メートルの周回コースで 50R と 25R のカーブがあり，今回は 50R のカーブを使用した。

(2) 実験で使用した車両（図 5-2）

今回の実験では 2 台の乗用車を使用した。1 台は自動運転車を模した車両（車両 A とする），もう 1 台は交通上に現れる他車としての車両（車両 B とする）である。車両 A には，実験参加者があたかも自動運転車に乗車しているような気持ちで実験に臨めるように次のような細工をした。使用した車両は『メルセデスベンツ E240（左ハンドル）』で，助手席に実際のステアリングと連動するダミーステアリングホイール，ダミーペダル，メーターパネルを設置し，疑似的に右ハンドル車両の運転席を再現した。図 5-2 の左下が疑似運転席，右下が本来の運転席である。実験参加者は右座席（＝本来の助手席）に座り，自動運転車の運転手として実験に参加した。車両の運転は左座席に座ったテストドライバが行った。実験参加者からテストドライバが見えないように座席間に間仕切りをした。車両 B は『プリウス』を用いた。こちらは特に細工はしていない。

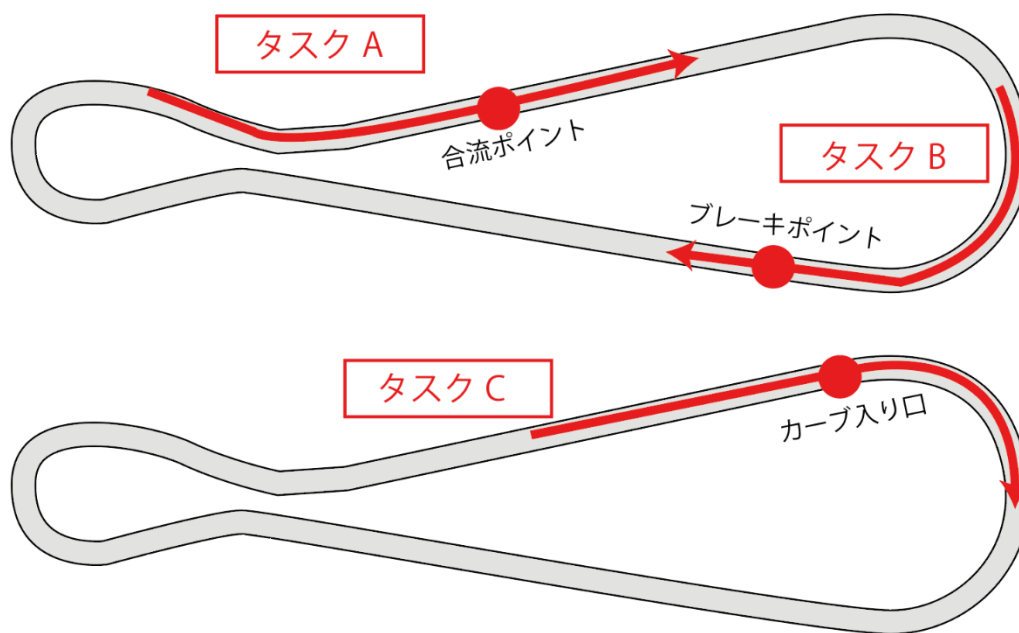


図 5-1 使用コースとタスク実施位置

(3) 実験ドライバ

前出の車両 A，車両 B ともに実際の運転はテストドライバが行った。ただし車両 A は自動運転車である前提から，実験参加者にはテストドライバが運転していることは教示していない。



図 5-2 自動運転模擬車両

(4) 時間

実験時間はトータル 2 時間で，1 回に 2 名の実験参加者（A さん，B さんとする）が参加した。A さんが車両 A に乗車し実験に参加している間，B さんは車両 B に乗車し他車の目線でアンケートに回答した。約 1 時間で車両を交代し両方の目線で実験に参加した。1 日 3 回（午前 1 回，午後 2 回）の実験で計 6 名が実験に参加した。

5.2.4 実験の流れ

実験参加者は模擬自動運転車に乗車し，あらかじめ設定された運転シーンをひとつ体験する。そのシーンで感じた不安感を評価尺度に則って回答する。回答について実験者からヒアリングを受けた後，次のシーンを体験する。これを 3 シーン × 3 条件 = 9 回繰り返した後，車両を交換する。もうひとりの

実験参加者が上記流れを実施している間、車両 B において他車として実験に参加する。最後に控え室に戻り全体を通したインタビューを受け、終了。

5.2.5 実験条件

各運転状況（図 5-3）において他車との距離もしくは自車速度を変数とした 3 条件を設けた。

(1) タスク A：合流

スタート後、自動運転車が一般車の左後ろ（左隣の車線）を走行。両車両とも走行速度 40km/h の状態からタスク開始（追い抜き→一般車の前に合流）。自動運転車の右側面と一般車の左側面が前後に直列したときの前後距離 d を走行条件とした。走行条件は A2 ($d=2\text{m}$)、A5 ($d=5\text{m}$)、A8 ($d=8\text{m}$) の 3 種類。

(2) タスク B：ブレーキ

スタート後、自動運転車が一般車の後ろを一定速度で追従走行（車間距離 13m、速度 50km/h）。一般車が時速 10km/h まで減速。一般車のブレーキランプ点灯後、自動運転車がブレーキをかけ始めるときの車間距離 d を走行条件とした（被験者には自動運転車がブレーキをかけるタイミングと説明した）。走行条件は B6 ($d=6\text{m}$)、B9 ($d=9\text{m}$)、B12 ($d=12\text{m}$) の 3 種類。

(3) タスク C：カーブ

スタート後、走行条件の指定速度（=走行条件）まで加速し巡行。指定速度のまま減速せずにカーブに進入。カーブ出口で 40km/h になるように減速（C40 は減速なし）。走行条件は C40(40km/h)、C50(50km/h)、C60(60km/h) の 3 種類。

5.2.6 質問項目

各タスクでの走行後、以下の 3 項目の質問を実施した。

- ①どの程度不安を感じましたか（6段階）
- ②運転者に不安を与えないという観点で見たときにどう感じましたか（7段階）
- ③許容できましたか（4段階）

実際の質問項目はタスクに合わせて文言を変えた。図 5-4 に質問紙を示す。

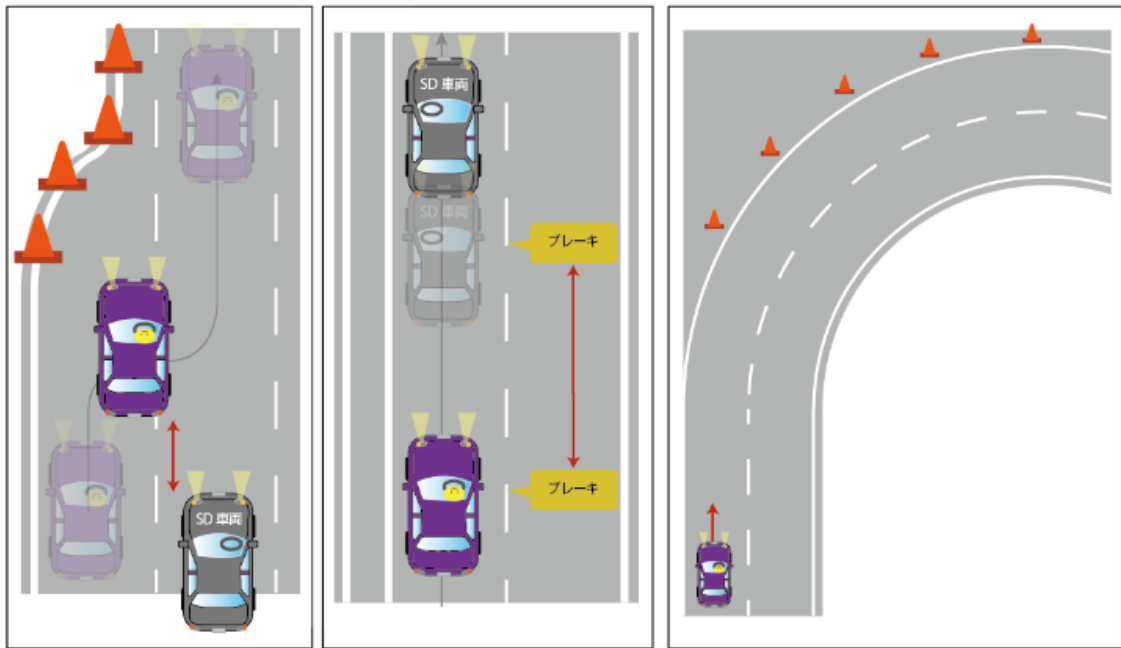


図 5-3 運転状況（左から合流，ブレーキ，カーブ）

<p>1 先ほどの合流での「黒い車との前後の距離」についてどの程度不安を感じましたか？</p> <p>1 非常に不安を感じた</p> <p>2 不安を感じた</p> <p>3 やや不安を感じた</p> <p>4 あまり不安は感じなかった</p> <p>5 不安は感じなかった</p> <p>6 まったく不安は感じなかった</p>	<p>2 運転者に対して「不安を与えない」という観点からみたときに、先ほどの合流での「黒い車との前後の距離」はいかがでしたか？</p> <p>1 かなり近い</p> <p>2 近い</p> <p>3 やや近い</p> <p>4 ちょうど良い</p> <p>5 やや遠い</p> <p>6 遠い</p> <p>7 かなり遠い</p>
<p>3 先ほどの合流での「黒い車との前後の距離」は、ご自分として許容できるものでしたか？</p> <p>1 許容できない/あり得ない</p> <p>2 あまり許容できない</p> <p>3 まあ許容できる</p> <p>4 許容できる</p>	<p>タスクA：合流</p> <p style="text-align: right;">運転手</p>

図 5-4 質問紙（合流）

<p>1 先ほどの「ブレーキのタイミング」についてどの程度不安を感じましたか？</p> <p>1 非常に不安を感じた</p> <p>2 不安を感じた</p> <p>3 やや不安を感じた</p> <p>4 あまり不安は感じなかった</p> <p>5 不安は感じなかった</p> <p>6 まったく不安は感じなかった</p>	<p>2 運転者に対して「不安を与えない」という観点から見たときに、先ほどのブレーキのタイミングはいかがでしたか？</p> <p>1 かなり遅い</p> <p>2 遅い</p> <p>3 やや遅い</p> <p>4 ちょうど良い</p> <p>5 やや早い</p> <p>6 早い</p> <p>7 かなり早い</p>
<p>3 先ほどのブレーキのタイミングは、ご自分として許容できるものでしたか。</p> <p>1 許容できない/あり得ない</p> <p>2 あまり許容できない</p> <p>3 まあ許容できる</p> <p>4 許容できる</p>	<p style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px;">タスクB：ブレーキ</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">運転手</p>

図 5-4 質問紙（ブレーキ）

<p>1 先ほどの「カーブに差し掛かるときの速度」についてどの程度不安を感じましたか？</p> <p>1 非常に不安を感じた</p> <p>2 不安を感じた</p> <p>3 やや不安を感じた</p> <p>4 あまり不安は感じなかった</p> <p>5 不安は感じなかった</p> <p>6 まったく不安は感じなかった</p>	<p>2 運転者に対して「不安を与えない」という観点から見たときに、先ほどのカーブに差し掛かるときの速度はいかがでしたか？</p> <p>1 かなり速い</p> <p>2 速い</p> <p>3 やや速い</p> <p>4 ちょうど良い</p> <p>5 やや遅い</p> <p>6 遅い</p> <p>7 かなり遅い</p>
<p>3 先ほどのカーブに差し掛かるときの速度は、ご自分として許容できるものでしたか。</p> <p>1 許容できない/あり得ない</p> <p>2 あまり許容できない</p> <p>3 まあ許容できる</p> <p>4 許容できる</p>	<p style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px;">タスクC：カーブ</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">運転手</p>

図 5-4 質問紙（カーブ）

5.3 結果

5.3.1 心理評価値と物理値（距離，速度）の関係

各タスクにおける条件ごとの評価平均値を元に，対数回帰を行い評価予測式を作成した．式はどれも R^2 が 0.98 以上となった．なお線形回帰よりも対数回帰のほうが当てはまりが良いため，今回の分析では対数回帰を使用する．

回帰式より『まあ許容できる』評価となる物理値を算出した．

(1) タスク A：合流（図 5-5～7）

不安の評価予測式： $Y = 2.1781 \ln(x) + 0.7213$ ($R^2 = 0.98828$)．

許容の評価予測式から『まあ許容できる』車間距離は 4.6m．

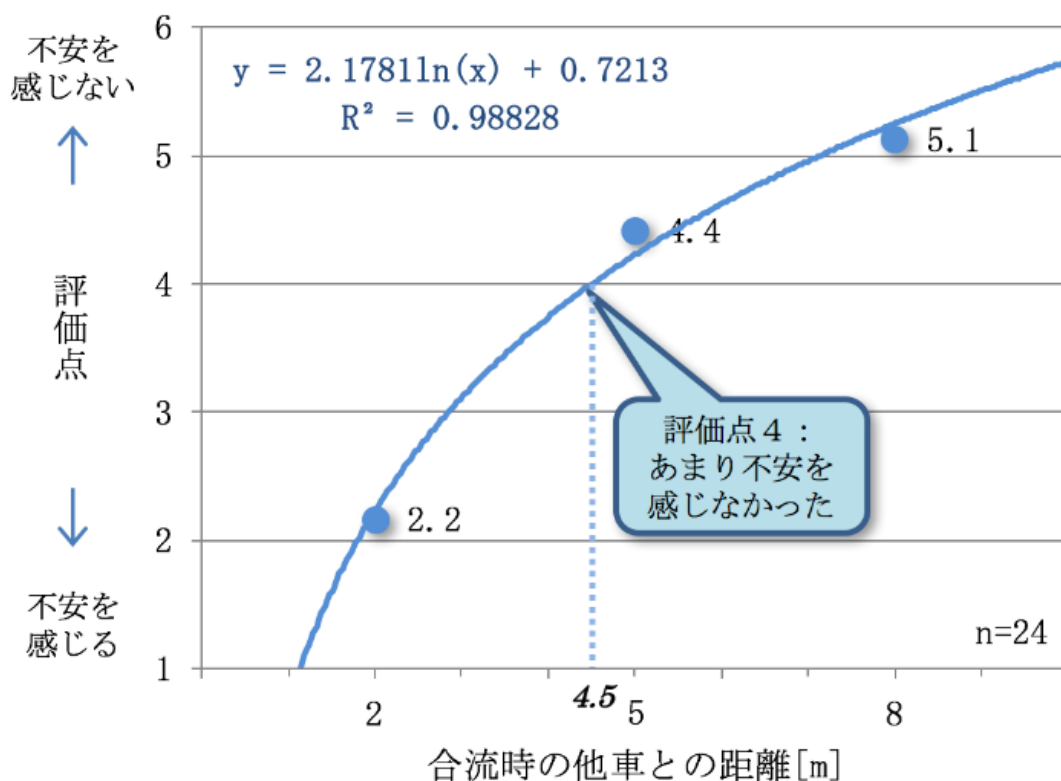


図 5-5 合流時の他車との距離と不安感の関係

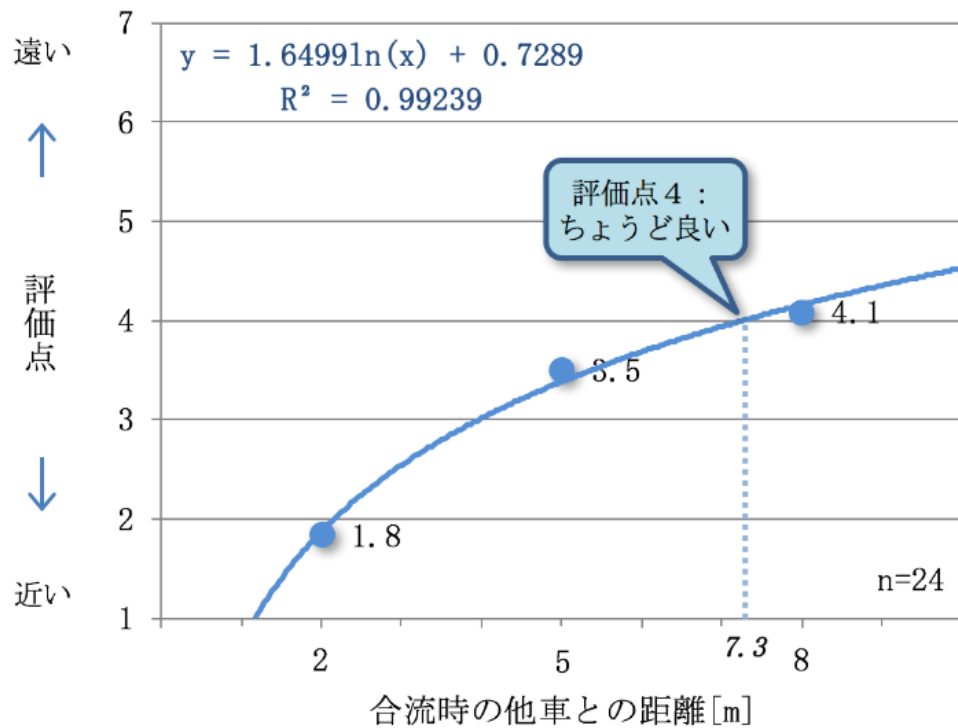


図 5-6 合流時の他車との距離に対する客観的評価

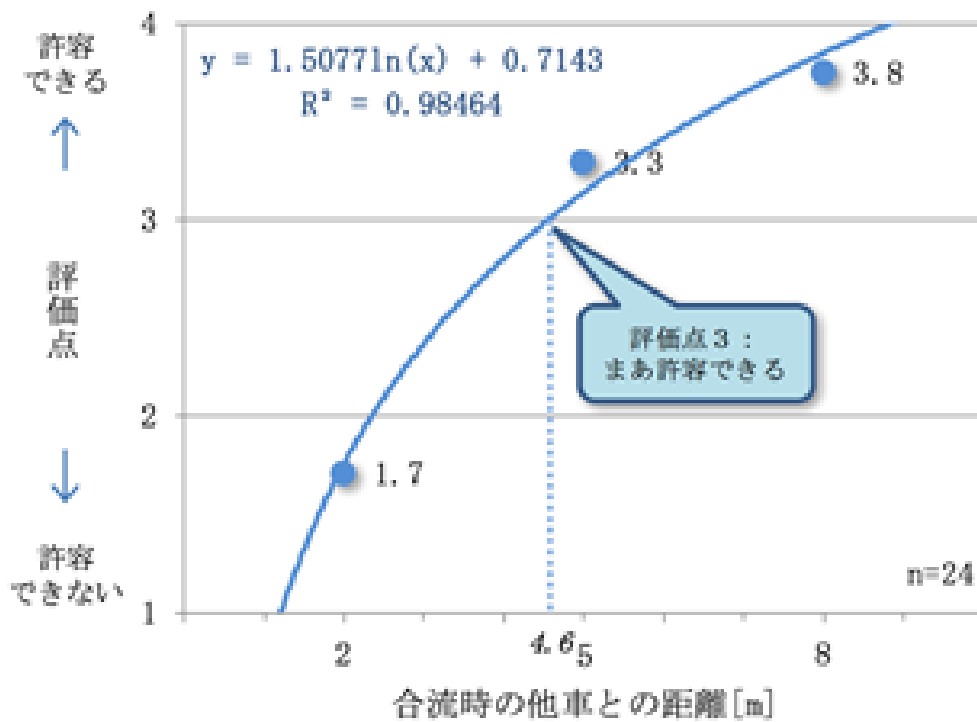


図 5-7 合流時の他車との距離と許容値の関係

(2) タスク B：ブレーキ（図 5-8～10）

不安の評価予測式は以下，式（5-2）のように表現できる．

$$y = 5.33611 \ln(x) - 7.8762 \quad 5-2$$

また，図 5-9 の許容の評価予測式から，『まあ許容できる』車間距離は，11.2m となった．

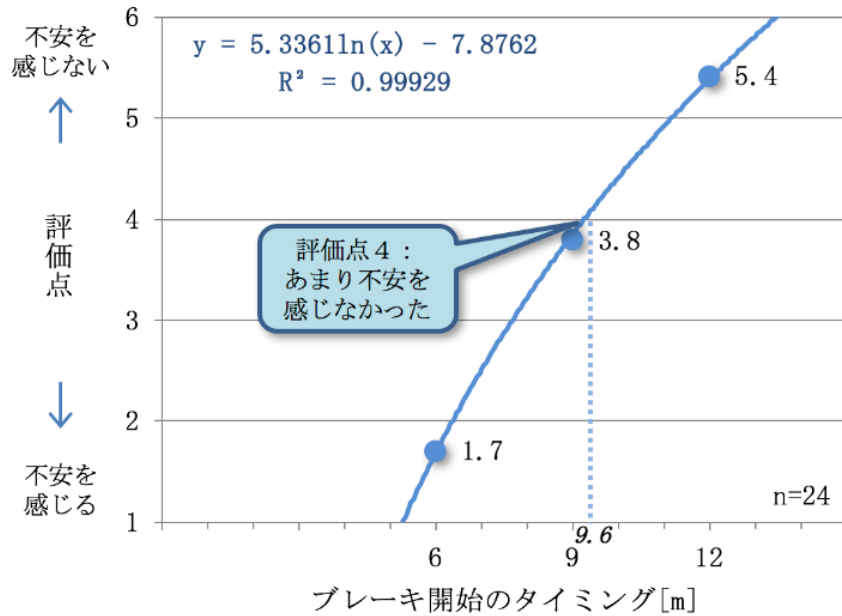


図 5-8 ブレーキのタイミングと不安感の関係

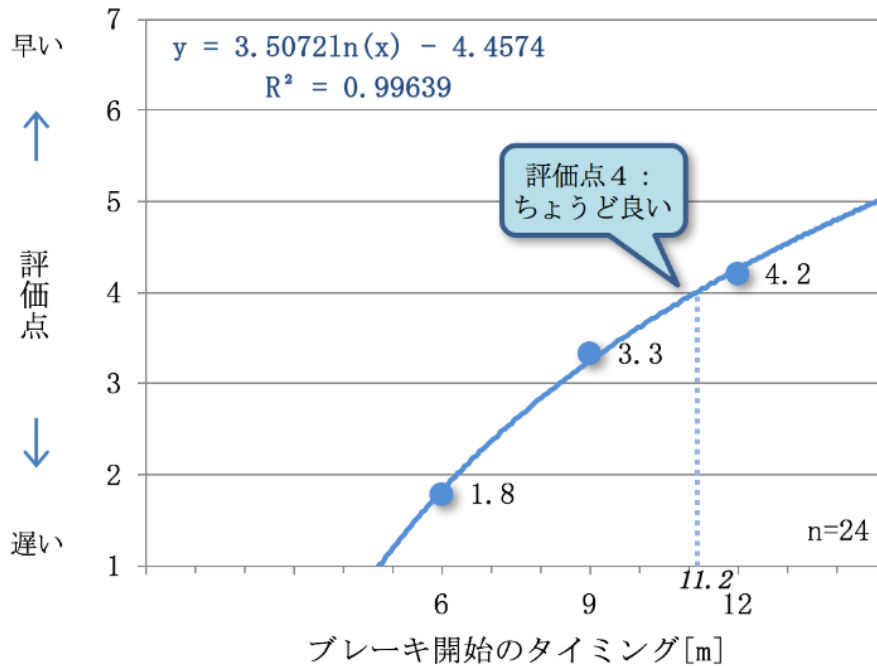


図 5-9 ブレーキのタイミングに対する客観的評価

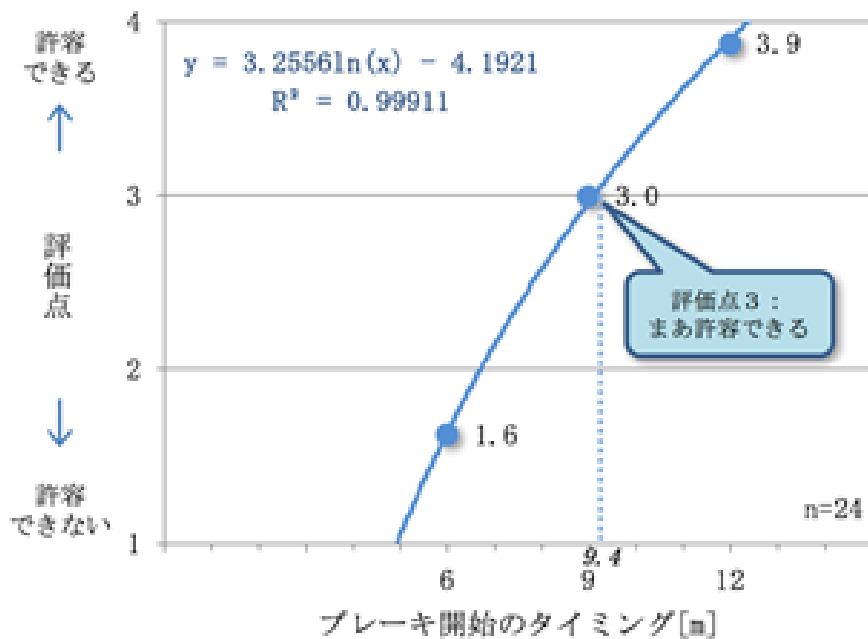


図 5-10 ブレーキのタイミングと許容値の関係

(3) タスク C カーブ (図 5-11~13)

不安の評価予測式は以下、式 (5-3) のように表現できる。

$$Y = -7.125 \ln(x) + 31.263 \quad 5-3$$

また、許容の評価予測式から『まあ許容できる』速度は 45.6 km/h.

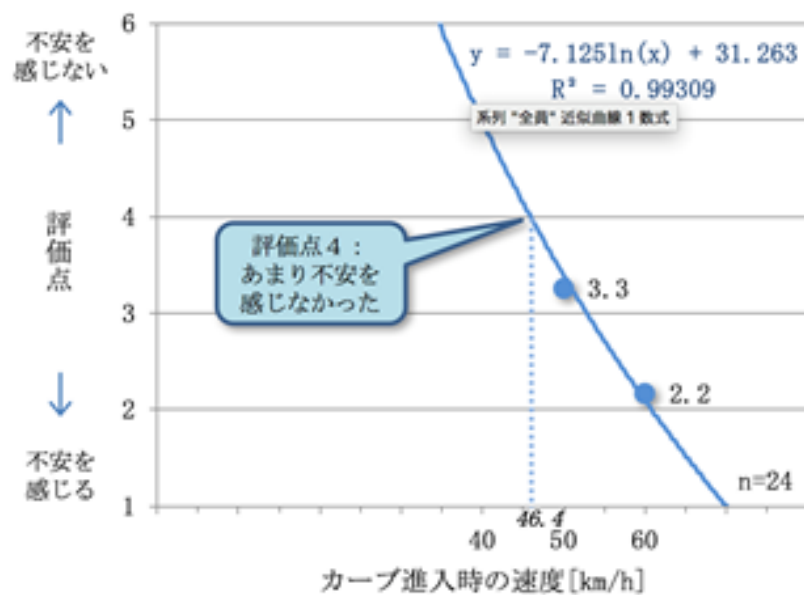


図 5-11 カーブ進入時の速度と不安感の関係

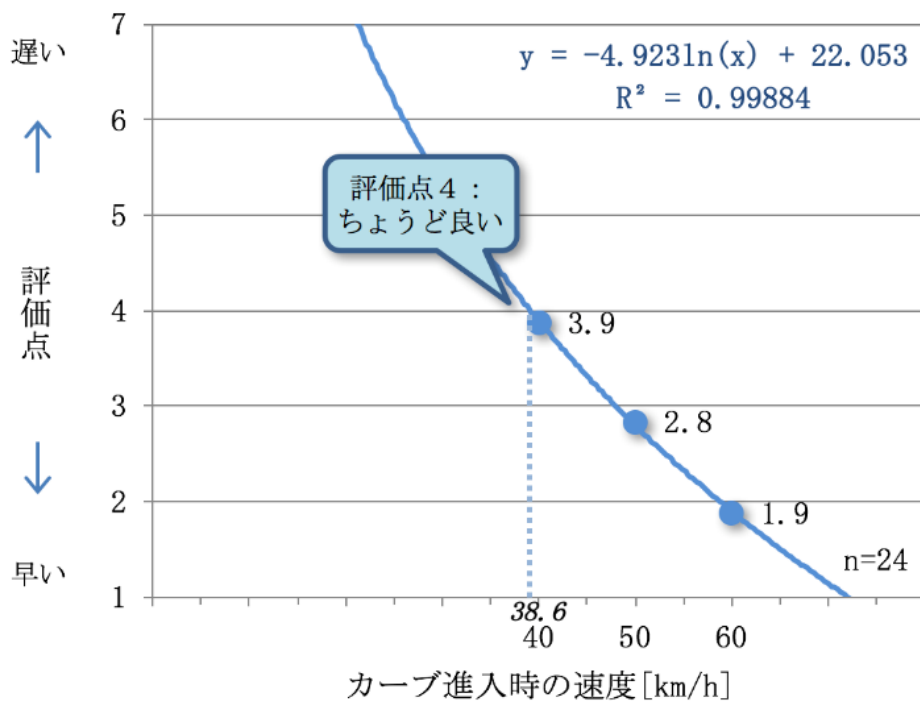


図 5-12 カーブ進入時の速度に対する客観的評価

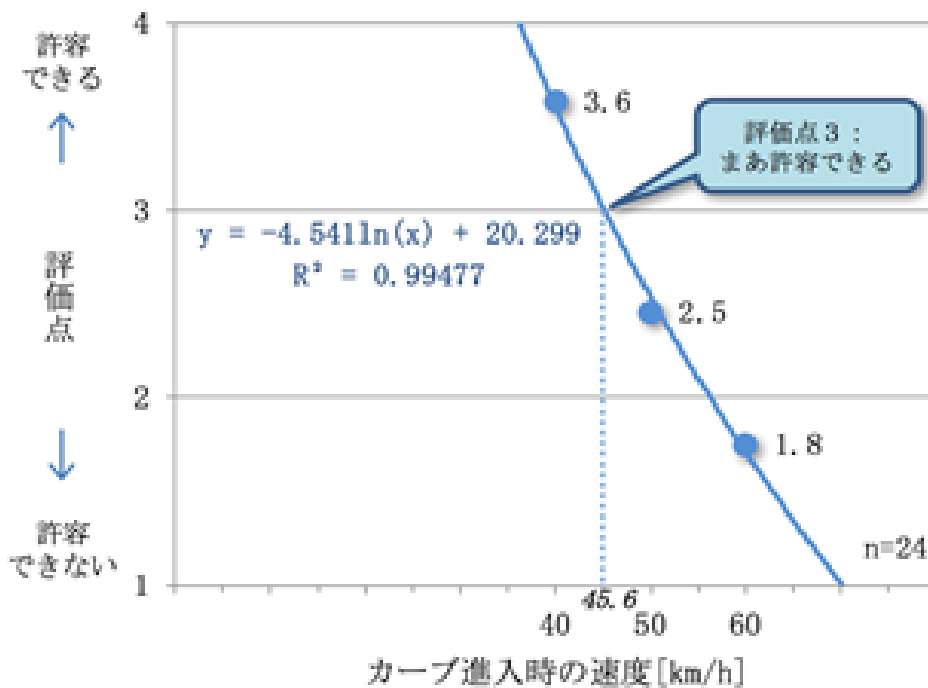


図 5-13 カーブ進入時の速度と許容値の関係

5.3.2 ドライバの属性毎の分析

評価項目ごとにドライバの属性（運転への自信有無，性別，年齢）と走行条件の2要因による2次元配置分散分析を行った．評価項目ごとの傾向は同様であったため，ここでは不安感に関する結果を掲載する．

(1) タスクA：合流（図5-14～16）

交互作用が有意（ $P=0.0381$ ）だった．単純主効果検定の結果，A2において男女間に有意差（ $P=0.004$ ）があった．

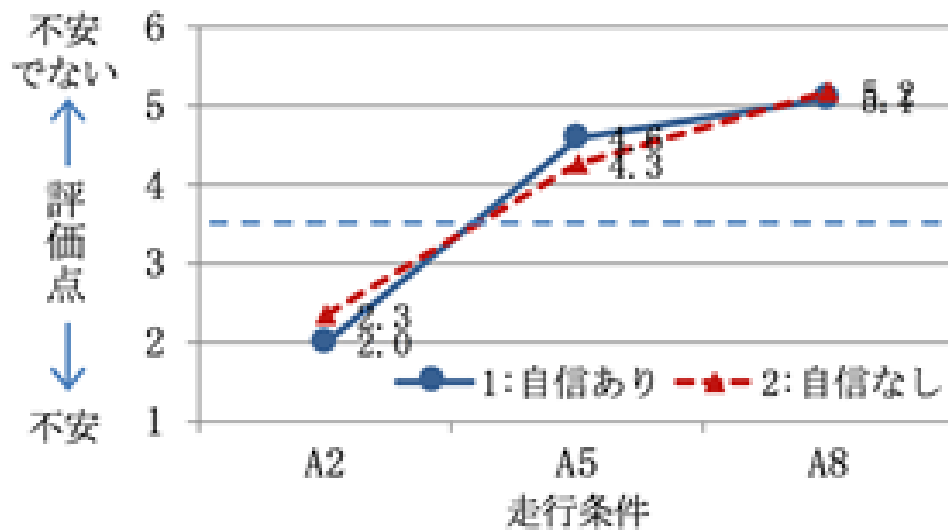


図 5-14 不安感と走行条件の関係（自信有無別）

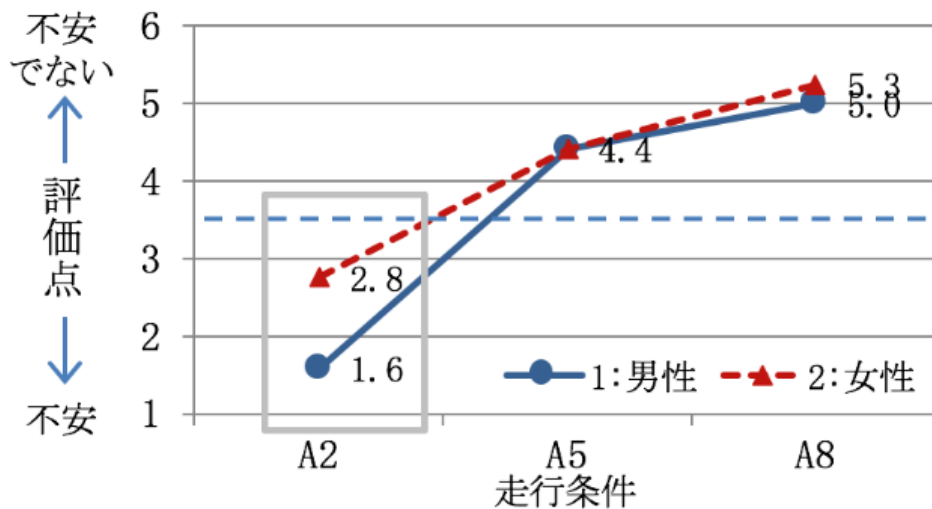


図 5-15 不安感と走行条件の関係（男女別）

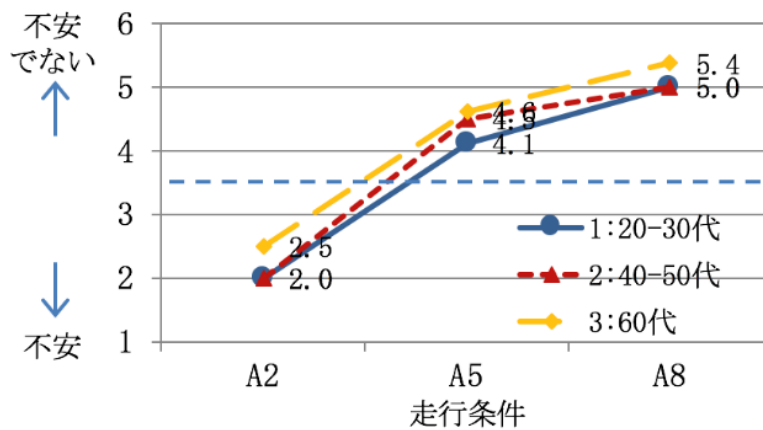


図 5-16 不安感と走行条件の関係（年代別）

(2) タスク B：ブレーキ（図 5-17～19）

どの評価項目においても有意差，交互作用がなかった。

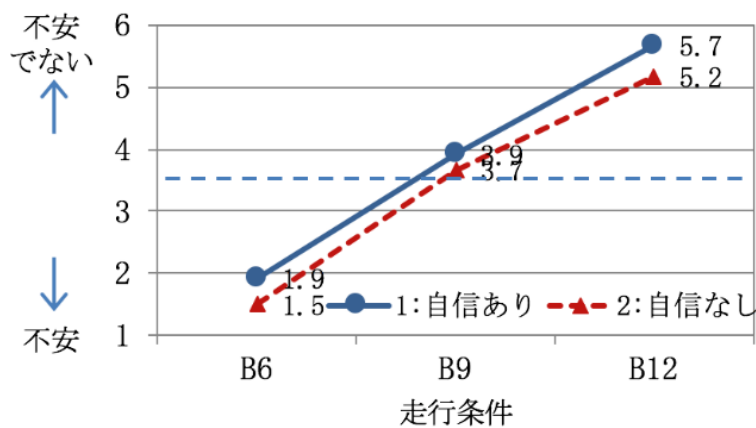


図 5-17 不安感と走行条件の関係（自信有無別）

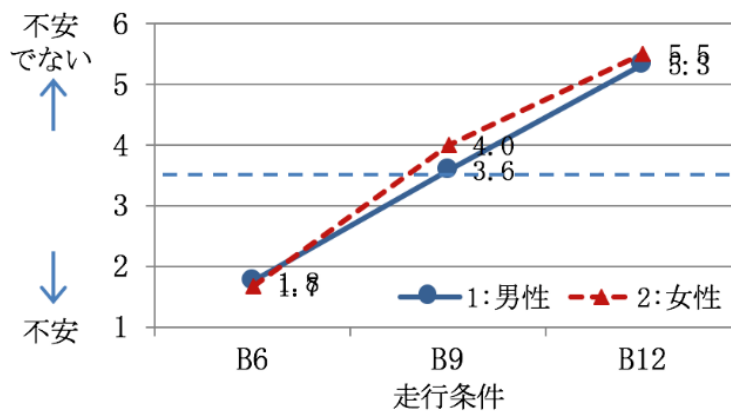


図 5-18 不安感と走行条件の関係（男女別）

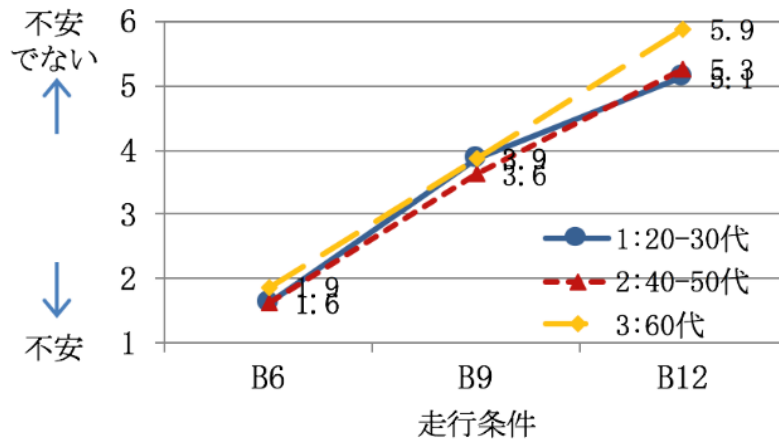


図 5-19 不安感と走行条件の関係（年代別）

(3) タスク C：カーブ（図 5-20～22）

どの評価項目においても有意差，交互作用がなかった。

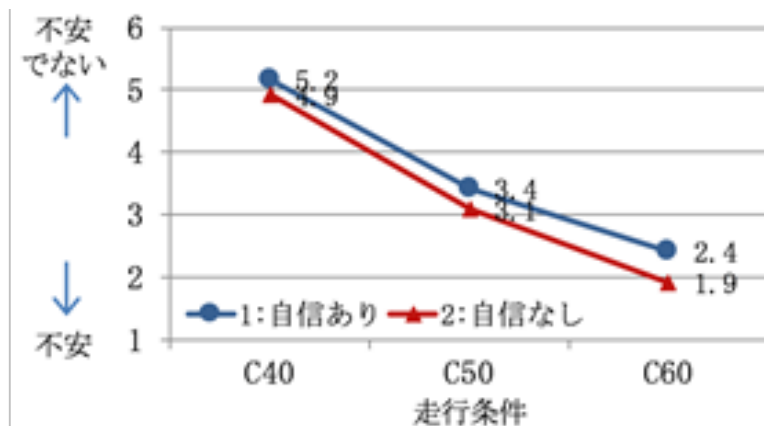


図 5-20 不安感と走行条件の関係（自信有無別）

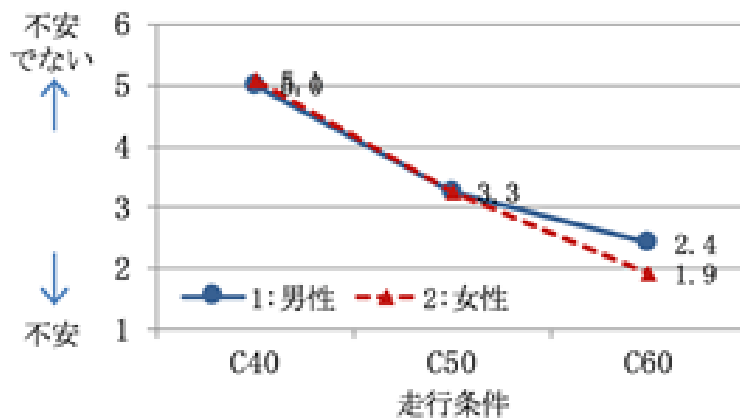


図 5-21 不安感と走行条件の関係（男女別）

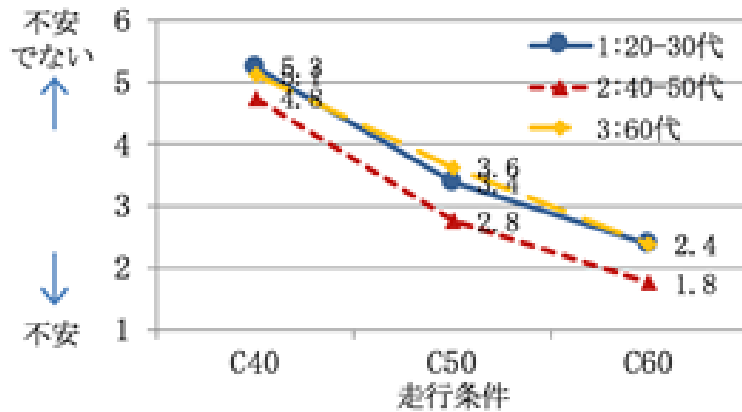


図 5-22 不安感と走行条件の関係 (年代別)

5.3.3 実験参加者の立ち位置による評価の差

実験参加者が模擬自動運転車両（ベンツ）にいるか一般車両（プリウス）にいるかによって評価結果に差が出るかを分析した。カーブでは一般車両は登場しないため、ここでは合流とブレーキのタスクについて分析する。

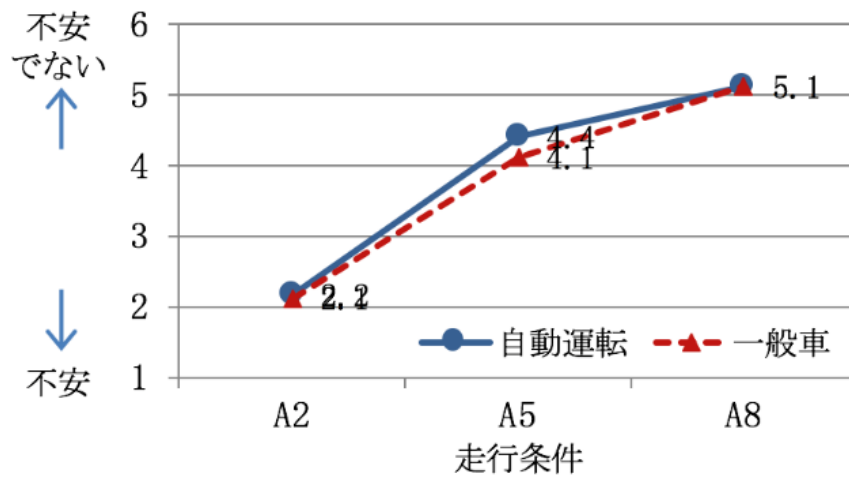


図 5-23 不安感と走行条件の関係 (合流・乗車車両別)

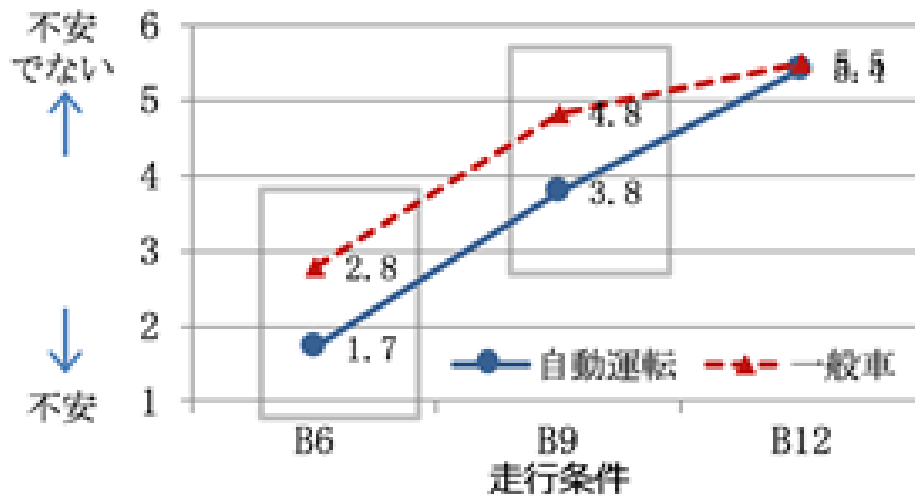


図 5-24 不安感と走行条件の関係（ブレーキ・乗車車両別）

合流タスクでは乗車した車両によつての差はなかったが、ブレーキタスク、特に短い距離で有意な差があった。

5.3.4 実験参加者コメント

実験参加者の代表的なコメントを掲載する。

(1) タスク A：合流

－前後の距離はすごく危険な感じはしなかった。横に並んだ時の距離が接近していて危険な感じがした。

－3条件ともいつもの自分の運転よりも車間距離が近く感じた。もっと前方まで進んで、合流してから減速する。スピードの速さや車間距離の近さではなく、合流するタイミングが分からないことが不安なのかもしれない

→概ね評価結果を支持するコメントが挙がっており、A2条件は怖さを感じる程の近さであると認識されている。タスクは左からの追い抜き→合流となり実験参加者が一般車に近い位置にあるためか、側方間隔が近いことに対するコメントが挙がった。

(2) タスク B：ブレーキ

－前走車のブレーキランプが点いてすぐに自車のブレーキがかからないと不安になる。距離感や速さ、タイミングではなく、ブレーキペダルが連動して動くと安心かもしれない。（カクッと動くだけでも OK）

→アンケート結果と同じ内容，傾向のコメントが挙がっている．追従走行時の車間距離（13m）について，長いという評価と短いという評価の両方があり，その感覚も人によって違うようだ．

(3) タスクC：カーブ

ーカーブに入る前の減速が感じられなかった．自動運転なので安全なのだろうとは思っていたが，スピード感から不安を覚えた

→カーブ進入時に減速が無かったことが不安につながっていることを示すコメントが多く挙がった．カーブ進入時の絶対的な速度だけでなく，速度の変化の仕方で不安の度合が変わることを示唆しており，今後の検討，検証が必要と思われる．

5.4 考察

5.4.1 心理評価値と物理値（距離，速度）の関係

本実験により，自動運転車での各運転シーンにおける心理評価値（不安感，客観的距離感，許容度合い）と車間距離・速度の関係が実験により高い精度で明らかになることがわかった．このとき，評価予測式は対数回帰が当てはまりよく，本研究の実験条件においても感覚量が対数に比例するとしたヴェーバー-フェヒナーの法則が当てはまる．併せて，どこまでが許容できるかという，自動運転制御の指針につながる成果を得た．

5.4.2 合流タスクでの男女間の評価の違いについて

実験参加者の属性に着目すると，合流タスクにおける男女間にのみ有意な差異があることが示された．つまり今回のタスクでは合流の状況において同じ車間距離でも男性の方が不安を強く感じるということがわかった．

この原因を考えるに当たり，実験に立ち会った際に得た印象から「男性より女性のほうが合流時における後方の確認時間が短く，しっかりと確認できていないため危険を正しく評価できず，その結果不安を覚えにくい」という仮説を立てた．上記仮説を検証するため，実験動画より実験参加者の視線の動きを抽出し分析したが男女間で後方確認の時間に有意な差はなかった．

合流タスク以外のブレーキやカーブのタスクでは男女間に差が出ていないため、車両の後方の物体と自車との距離における感度に男女間で何らかの違いがあると考えられる。たとえば対象物の空間（三次元）における位置などを思い浮かべる能力である「空間能力」は女性より男性のほうが優れているという研究⁽⁵⁻¹⁻⁵⁾があり、今回の結果も空間能力の差に起因する可能性がある。

5.4.3 実験参加者の立ち位置による評価の差

図 5-23 より、合流する側（ベント）と合流される側（プリウス）で不安感に差が無いことがわかった。これに対し、ブレーキタスクでは差が出ている（図 5-24）。ブレーキタスクにおいて、一般車に乗車した実験参加者は車間距離をミラーで確認することになるため、不安を感じにくい状況にあると思われる。これに対し自動運転車の実験参加者は直接車間距離を確認できるため不安を感じやすいと言える。これは想像しやすい結果であるが、実際の自動運転制御においては、状況によってどの車両を軸に不安感に基づいた制御するかを判断する必要があることを示している。

5.4.4 車両の状態表示の重要性について

実験参加者のコメントから、車両の挙動の予測が立たないことが不安、というものが多く見られた。稲垣ら⁽⁵⁻¹⁻⁶⁾⁽⁵⁻¹⁻⁷⁾は自動運転技術の文脈の中で、人と機械の共生、機械への信頼の適正化のため、ドライバに対し機械の作動状態がわかる手がかりが必要と述べている。自動運転車両の現在の状態や状況に関する情報提示がこれまで以上にドライバから求められる可能性があることが示唆された。おそらくそのような情報提示の有無によっても不安度に変動が見られるため、情報提示の有無、そしてその方法やデザインを変数とした実験が求められる⁽⁵⁻¹⁻⁸⁾。

5.4.5 制御値と最適な心理状態の関係

本実験の各シーン（合流、ブレーキ、カーブ）の主観評価値のうち、不安感について制御値との関係をあらためて図 5-25 に示す。

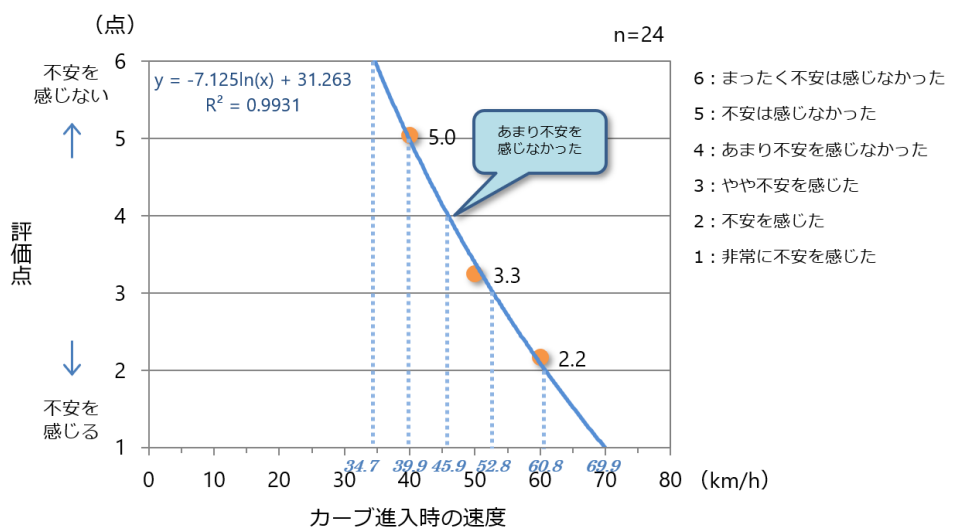
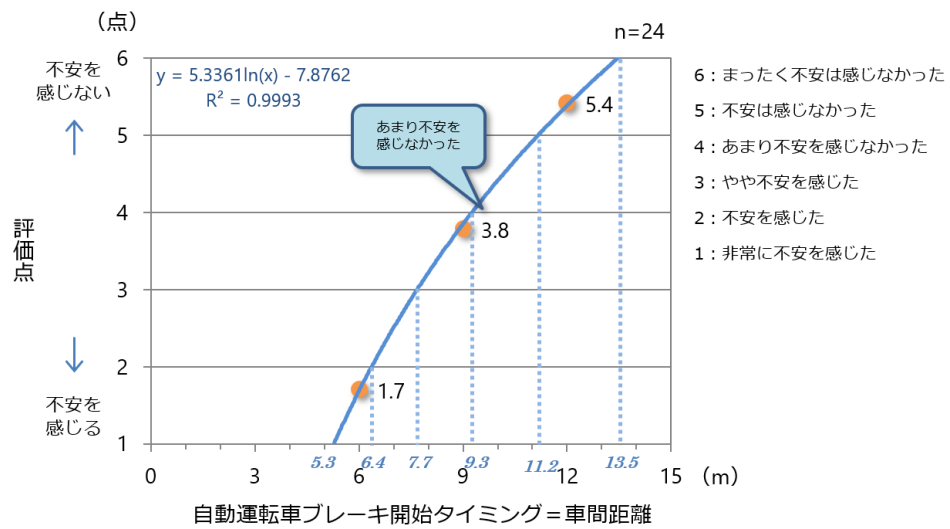
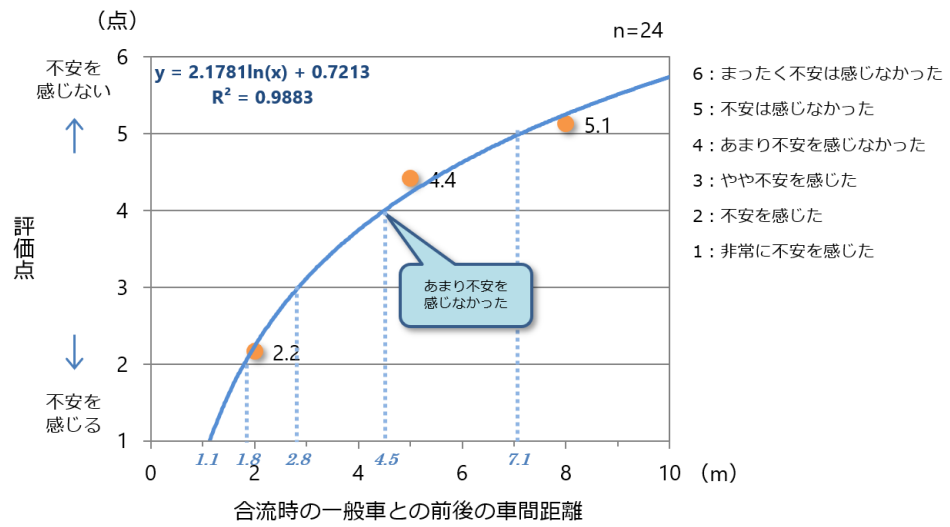


図 5-25 各シーンの主観評価結果

各グラフの主観評価値 1~6 のそれぞれの制御値は、合流では 1.1m, 1.8m, 2.8m, 4.5m, 7.1m, 11.3m, ブレーキでは 5.3m, 6.4m, 7.7m, 9.3m, 11.2m, 13.5m, カーブでは 34.7km/h, 39.9km/h, 45.9km/h, 52.8km/h, 60.8km/h, 69.9km/h である。これを用いて図 5-26 に仮説モデルを構築した。

運転支援と心理							
制御の切迫度合い	過度な余裕					切迫	
不安感		低	中	高			
制御への信頼	過信					不信	
制御への依存	依存		自立				
制御の受容性		高い		低い			
主観的リスク	低い				高い		
合流距離	11.3m	7.1m	4.5m	2.8m	1.8m	1.1m	
ブレーキタイミング	13.5m	11.2m	9.3m	7.7m	6.4m	5.3m	
カーブ速度	34.7 km/h	39.9 km/h	45.9 km/h	52.8 km/h	60.8 km/h	69.9 km/h	
		← 不安安全 →		← 安全性が高い支援 →		← 不安安全 →	

図 5-26 制御値を元にした仮説モデル

主観評価値 4 の「あまり不安を感じなかった」を不安感「中」として制御値をモデル上に配置した。合流距離を例にとると、1.1m では非常に切迫しており、不安感が非常に高くなる。これは急ブレーキを踏むなどの介入につながる可能性があると思われる。逆に合流距離が 11.3m では過度に余裕があり、ドライバは他車をほとんど視認せずに合流することが想定される。

運転制御系 ADAS とドライバの心理を図 5-26 のようなモデルで表現できることが示された。

参考文献

- (5-1-1)中谷内一也：安全。でも、安心できない… 信頼をめぐる心理学，ちくま新書，(2008)。
- (5-1-2)中谷内一也：信頼学の教室，講談社現代新書，(2016)。
- (5-1-3) Kazuoki Matsugatani "Sensing Technologies for Realizing

Automated Driving", Denso technical review 21, 13-21, 2016

- (5-1-4)松浦隆信, 佐藤啓太: 臨床心理学に基づく自動車運転における不安の類型化と対策, 自動車技術会論文集 Vol.48(2017), No.1, p.141-146
- (5-1-5)Allan & Barbara pease, 藤井留美(訳): 話を聞かない男, 地図が読めない女 男脳・女脳が「謎」を解く, 主婦の友社, (2002).
- (5-1-6)稲垣敏之: 自動運転におけるドライバの位置づけと HMI, 自動車技術会シンポジウム講演資料
- (5-1-7)赤松幹之, ほか: 自動車技術ハンドブック<人間工学編>, 自動車技術会, (2016).
- (5-1-8) Toshihiro, Hiraoka: 運転支援システムにおける提供情報の信頼性が運転行動に与える影響－夜間時視覚支援システムの場合－, 自動車技術会論文集, Vol. 42, No. 4, p953-960(2011).

第 6 章 ドライバの属性や運転スタイルと運転行動の関係

6.1 概要と目的

第 5 章では 24 名の実験参加者での走行実験により『平均的に不安を感じにくい制御』の指針を示した。本章では、さらに不安を低減する制御を目指し、個々のドライバに適合した制御を実現するための取り組みをまとめた。

本章でははじめにドライバの安心や不安にフォーカスした研究事例を踏まえ取り組むべき方向性を考える。岡島⁽⁶⁻¹⁻¹⁾は『搭乗者が知覚する安全性・快適性は、運転経験、知識、習慣、性格や好み等の要因によって搭乗者ごとに異なる。よって、搭乗者ごとに最適な挙動制御を行うように自動走行システムのパーソナライズを行う必要がある。』と述べ、高橋⁽⁶⁻¹⁻²⁾は、Norman⁽⁶⁻¹⁻³⁾の文献を引用しながら『本来、システム設計時に周囲状況変化を経時的な文脈として理解しながら操作者の挙動期待や操作意図を明確にして自動運転車両の操作戦略を生成するほうが、いわゆる、人間らしい挙動決定が行われ、人間との親和性の高い自動運転が実現できると考えられる』と述べている。これらはセンシングデータのみをもとに機械的に情報を処理して車両を制御するよりも、人間の期待や意図を踏まえて制御するほうがより人間に好まれることを示唆している。

瀬川ら⁽⁶⁻¹⁻⁴⁾が行った、ドライビングシミュレータを使って、自動運転環境において車両とガードレールの距離が乗車者に与える心理的影響に関する研究や、前述の岡島が行った生理計測を用いた自動走行車の搭乗者が受けるストレスに関する研究は、筆者が行った、ダミー自動運転車を使用して車両挙動と不安感の関係を導いた研究⁽⁶⁻¹⁻⁵⁾と同様に体感を伴ったデータ収集が可能である反面、状況パターンや実験参加者の数・属性は限定される。また、田ら⁽⁶⁻¹⁻⁶⁾が目にした自動運転における乗員の不安低減のための情報提供方法はドライバに車両の挙動を適切に予告することで不安を軽減する非常に重要な手段であるが、実際は車両の挙動そのものでドライバの不安を軽減することと両方が必要になるとと思われる。

上記を踏まえると、安心な自動運転を実現するには、ドライバの個々人の運転への態度や考え方（運転スタイル⁶⁻⁷⁾を理解し、その運転スタイルを踏まえた車両制御をすることが必要である。また実験環境で取得できるデータの数やパターンには制限があるため実装のためのデータ量を確保できない、という課題を解決する手法が求められる。そこで本研究では、大規模アンケートにより「ドライバ属性や運転スタイル」と「運転状況ごとに選択する運転行動」の関係性を分析し、自動運転制御を決めるのに資するデータを蓄積することを目的とした。

6.2 方法

6.2.1 アンケート

(1) アンケート対象者

調査会社へ依頼し、リクルーティングを行った。

人数：計 3090 名（男女 1545 名ずつ）

年代：20 代～60 代の 5 世代（309 名ずつ）

居住地域：47 都道府県（人数は人口比率を踏襲）

(2) 対象者スクリーニング条件

以下の回答者は除外した。

- ・普通免許を保有していない
- ・直近一年以内に高速道路を運転していない

(3) アンケート方法

PC やスマートフォンからの回答が可能な WEB アンケート方式を採用。報酬あり。

(4) アンケート項目

アンケートは前半・後半に分かれている。

前半：回答者の属性、運転スタイルに関する内容

性別、年齢、居住地区、未既婚、子供の有無、世帯年収、個人年収、職業、保有免許、運転頻度、最近の運転について、自動車の保有状況、日頃どのような運転をするか（運転スタイルチェックシート DSQ⁽⁶⁻¹⁻⁷⁾を活用）

後半：運転ケースごとの行動を選択

高速道路における「車線変更」「合流」「分流」という状況で『運転ケース』を計 10 種類設定し、それぞれの運転ケースに 3 つの行動候補を提示し選択させた。具体的な運転ケースと行動候補を図 6-1～10 に掲載する。なお 3 つの行動候補に当てはまるものがない場合は「その他」を選択し行動を自由記述させた。また各運転ケースでの行動を選択したあと、その行動に対し以下の 9 項目について当てはまり具合（非常にそう思う⇔全くそう思わない）を 10 段階で回答させた。

- ・自分の思い通りの運転だと思う
- ・このような運転は避けたい
- ・自分にとって不快な運転だと思う
- ・判断に迷いながら運転すると思う
- ・急ぎ気味で運転をすると思う
- ・不安を感じると思う
- ・焦りを感じると思う
- ・緊張を感じると思う
- ・危険な運転だと感じると思う

6.2.2 運転状況

(1) 状況：車線変更

車線変更においてケース 1-1 の状況を「基本状況」とし、ケース 1-2～ケース 1-6 は基本状況の一部を変更することで設問のバリエーションを作っている。車体に「自」と書かれた青い車両が自車である。

回答者は上記の状況でこの後どのような行動をとるかを以下の選択肢から選んで回答する。なお選択肢は A・B・C の 3 つで、必要となる加速の大きさの 3 段階で設定した。

- 選択肢 A：先行車の速度（80km/h）に合わせて走行する
- 選択肢 B：併走車が通り過ぎるのを待って車線変更し先行車を追い抜く
- 選択肢 C：併走車の前に入る形で車線変更し先行車を追い抜く

【天気】 晴れ
 【急ぎ具合】 急いでいない
 【自車】 車種：日常的に運転する車／速度 100km/h
 【先行車：あり】 車種：軽自動車／位置：自車前方 200m／速度：80km/h
 【併走車：あり】 車種：軽自動車／位置：右車線 10m 後ろ／速度：自車と同等
 【併走車の後続車：なし】
 【自車の後続車：あり】 車種：セダン／位置：自車後方 100m／速度：自車と同等

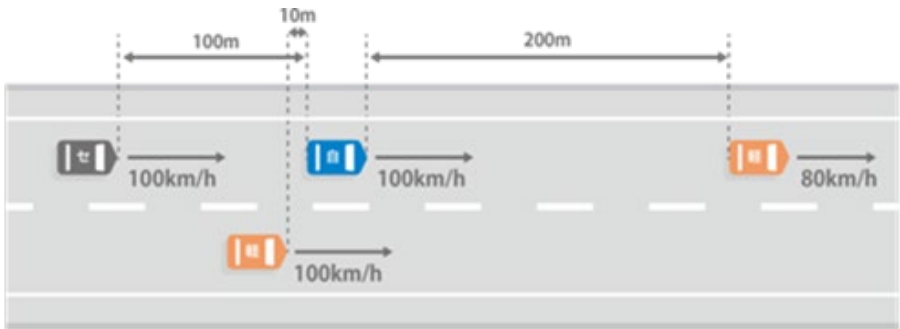


図 6-1. ケース 1 - 1 (基本状況) 併走車あり

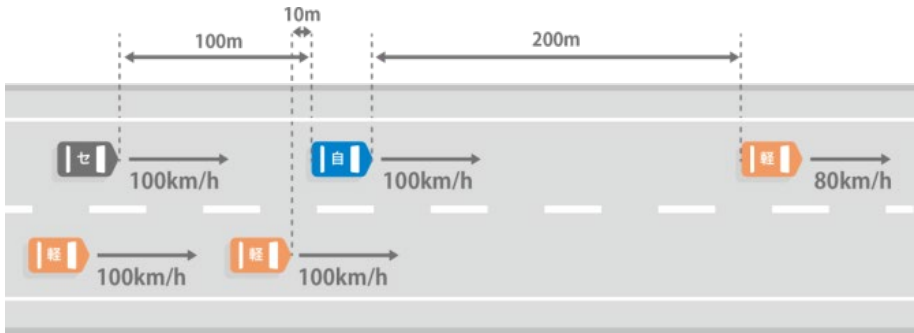


図 6-2. ケース 1 - 2 併走車あり + 併走車に後続あり

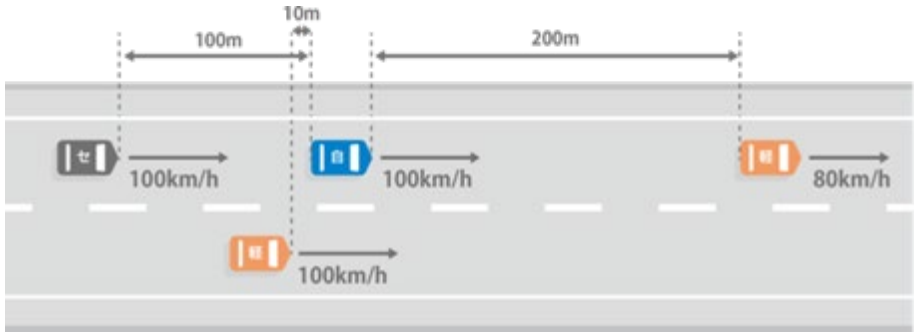


図 6-3. ケース 1 - 3 併走車あり + 急いでいる

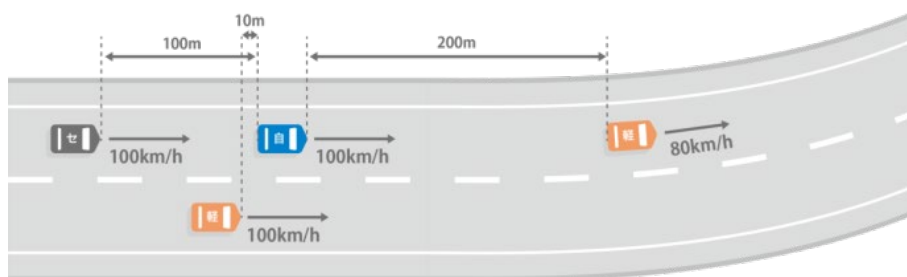


図 6-4. ケース 1 - 4 併走車あり+カーブあり

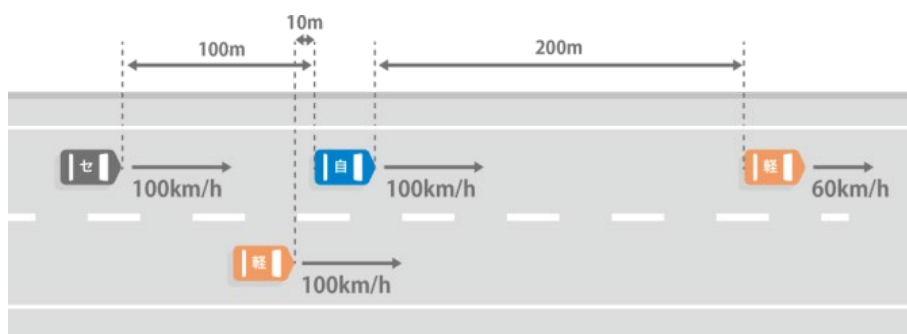


図 6-5. ケース 1 - 5 併走車あり+先行車遅い

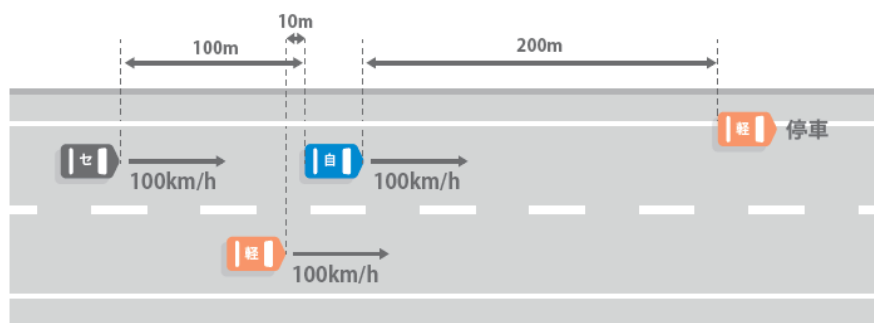


図 6-6. ケース 1 - 6 併走車あり+先行車が停車

ケース 1 - 6 の行動選択肢のみ以下とした。

- 選択肢 A：ハザードを付け、大きく速度を落とし、右車線の後方から車が来なくなってから車線変更し先行車を追い抜く
- 選択肢 B：ハザードを付け、できるだけスピードを落とさないようにしながら併走車が通り過ぎるのを待って車線変更し先行車を追い抜く
- 選択肢 C：併走車の前に入る形で車線変更し先行車を追い抜く

(2) 状況：合流

以下，行動選択肢.

- 選択肢 A：併走車の前に出るとつもりで，通常よりもさらに加速する
- 選択肢 B：併走車の後ろに入るつもりで，通常よりも加速を緩める
- 選択肢 C：併走車が入れてくれるのを期待して，通常通り加速する

【天気】 晴れ

【急ぎ具合】 とても急いでいる

【道路環境】 通常の合流路 (100m)

【自転車】 車種：日常的に運転する車 / 速度：40km/h

【先行車：なし】

【併走車：あり】 車種：軽自動車 / 位置：右車線 50m 後ろ / 速度：80km/h

【併走車の後続車：なし】

【自転車の後続車：なし】

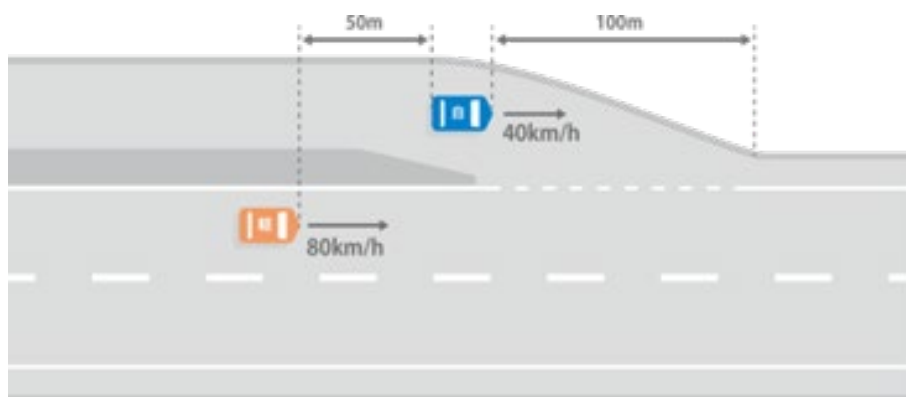


図 6-7. ケース 2 - 1 (基本状況) 併走車あり

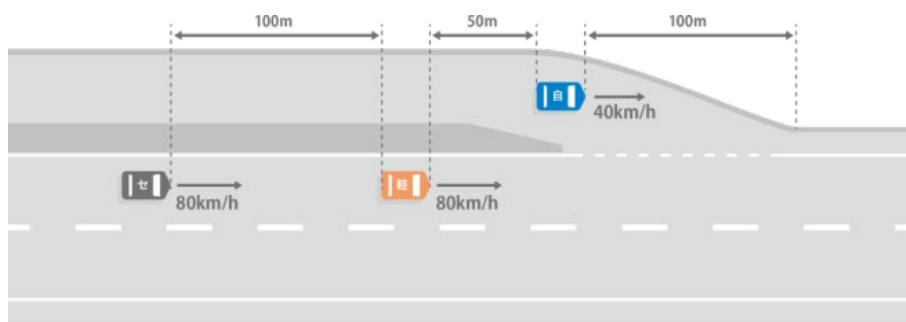


図 6-8. ケース 2 - 2 併走車あり + 併走車に後続あり

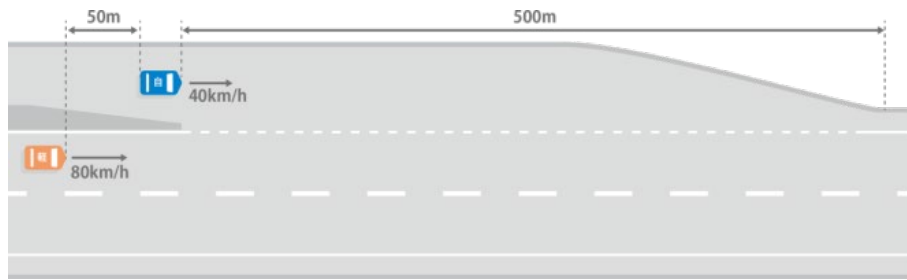


図 6-9. ケース 2 - 3 併走車あり + 合流路が長い

(3) 状況：分流

以下，行動選択肢．

- 選択肢 A：インターチェンジに気づいた時点で合流する
- 選択肢 B：左車線に車間距離のあるところを探して左車線に合流する
- 選択肢 C：できるだけインターチェンジの近くまで行ってから合流する

【天気】 晴れ

【急ぎ具合】 特に急いでいない

【混雑状況】 自車線と左車線ともに流れているが交通量が多い

【道路環境】 車線数は 3 車線 / 5km 先にインターチェンジ

【自車】 車種：日常的に運転する車 / 中央車線を走行している / 速度：100km/h

【先行車：なし】

【併走車（左車線）：あり】 車種：軽自動車 / 位置：左車線真横 / 速度：70km/h

【併走車（左車線）の後続：あり】 車種：軽自動車 / 位置：70m 後ろ / 速度：70km/h

【自車の後続車：あり】 車種：軽自動車 / 位置：100m 後ろ / 速度：自車と同等

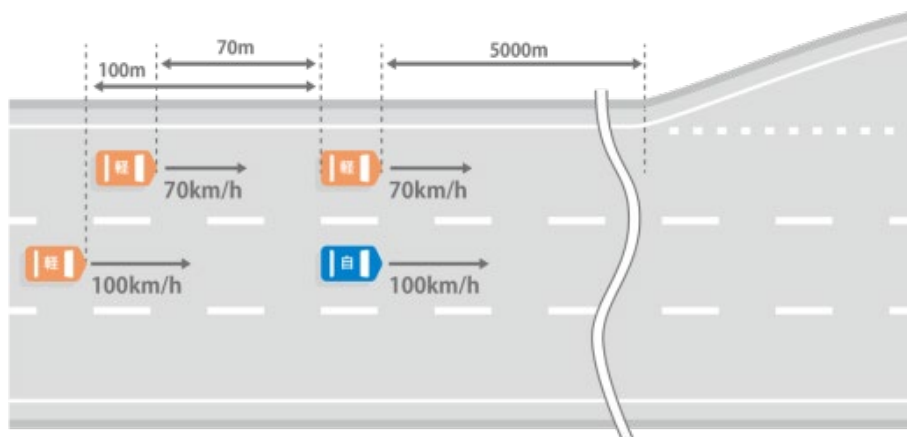


図 6-10. ケース 3 - 1（基本状況） 併走車あり

6.3 結果

6.3.1 行動選択結果

各運転ケースにおける運転行動の選択比率を図 6-11～14 に示す。選択肢のうち、「その他（自由記述）」はどのケースでも非常に少数だったため、グラフから除外した。

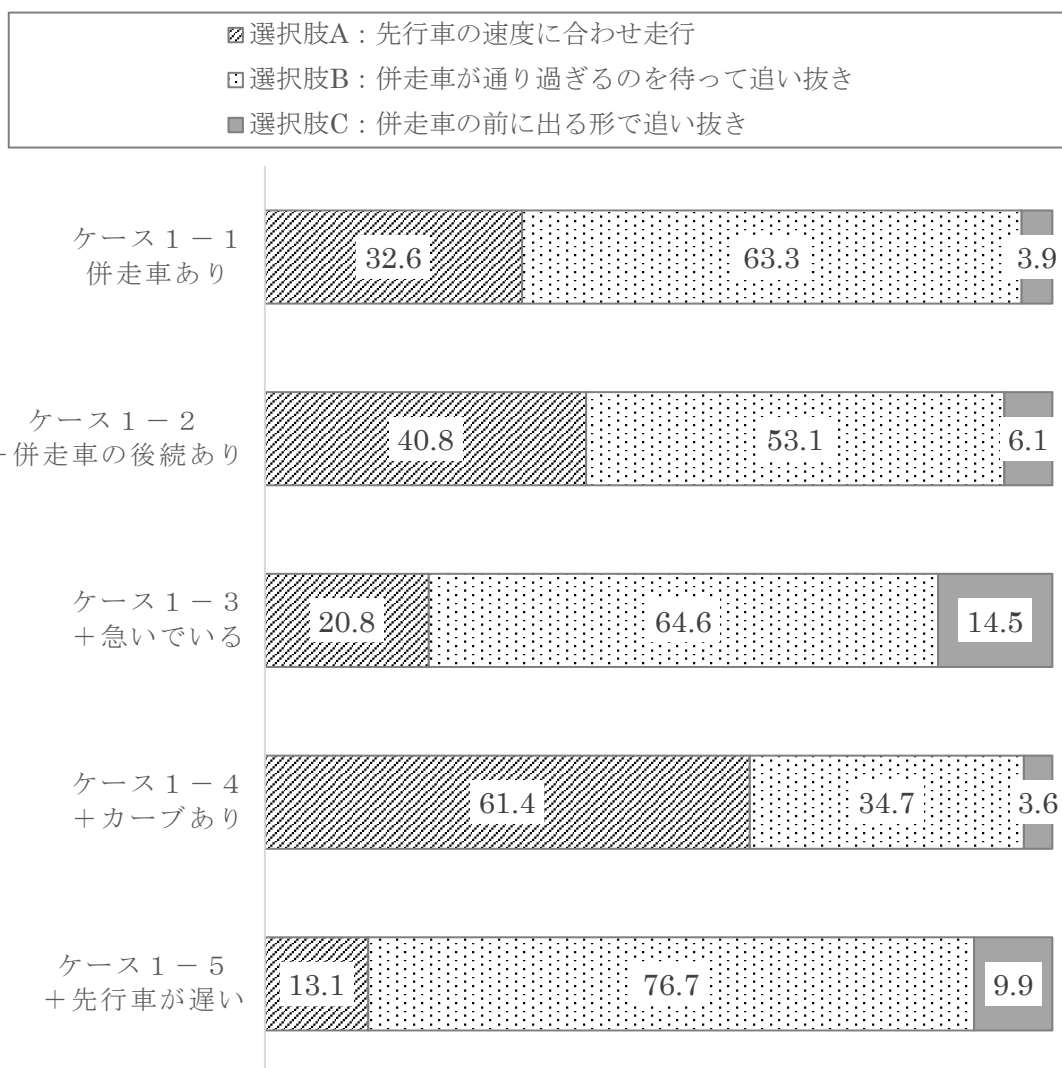


図 6-11 ケース 1-1～5 の運転行動選択比率

- ☒ 選択肢A：ハザードを付け、大きく速度を落とし、右車線の後方から車が来なくなつてから車線変更し先行車を追い抜く
- ☒ 選択肢B：ハザードを付け、できるだけ速度を落とさないようにしながら併走車が通り過ぎるのを待って車線変更し先行車を追い抜く
- 選択肢C：併走車の前に入る形で車線変更し先行車を追い抜く



図 6-12 ケース 1 - 6 の運転行動選択比率

- ☒ 選択肢A：併走車が入れてくれるのを期待して、通常通り加速する
- ☒ 選択肢B：併走車の後ろに入るつもりで、通常よりも加速を緩める
- 選択肢C：併走車の前に入るつもりで、通常よりもさらに加速する

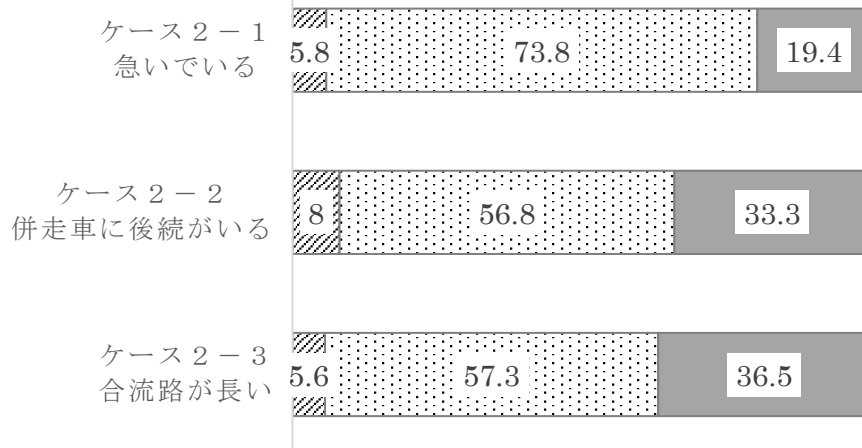


図 6-13 ケース 2 - 1 ~ 3 の運転行動選択比率

- ☒ 選択肢A：インターチェンジに気づいた時点で合流する
- ☐ 選択肢B：左車線に車間距離のあるところを探して左車線に合流する
- 選択肢C：できるだけインターチェンジの近くまで行ってから合流する

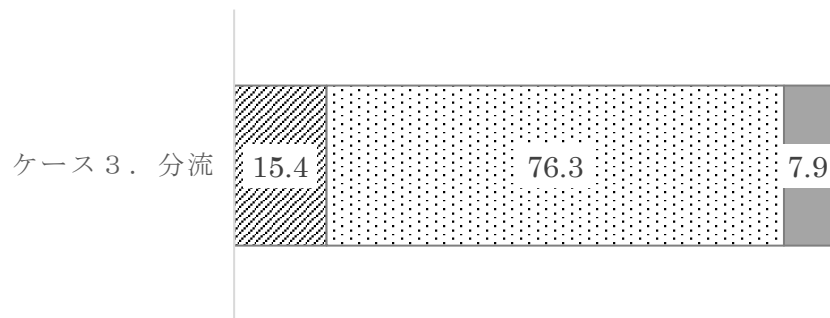


図 6-14 ケース 3 - 1 の運転行動選択比率

運転難度が高い状況（併走車に後続車がいる，先にカーブがある等）場合に減速する選択肢が多く選ばれ，急いでいるシーンにおいて加速する選択肢が多く選ばれた。

6.3.2 選択した運転行動に対する質問

ケース 1 - 1 ～ 1 - 5 で選択した運転行動に対する質問への回答結果を表 6-1 に示す。数値は各運転行動をとった回答者の平均値で，高いほど当てはまる。「自分の思い通りの運転だと思う」の項目はすべてのケースで 10 段階中 4～6 の範囲にあり，必ずしも思い通りの運転行動と思わないで選択していることが伺える。

表 6-1 選択した運転行動に対する質問

		選択肢			
		A	B	C	
ケース1-1. 併走車あり	自分の思い通りの運転だと思う	49	57	55	
	このような運転は避けたい	40	34	37	
	自分にとって不快な運転だと思う	35	31	35	
	判断に迷いながら運転すると思う	36	33	38	
	急ぎ気味で運転をすると思う	30	33	47	★
	不安を感じると思う	35	32	38	
	焦りを感じると思う	33	30	38	
	緊張を感じると思う	39	38	40	
	危険な運転だと感じると思う	34	30	39	
ケース1-2. +併走車の後続あり	自分の思い通りの運転だと思う	53	59	52	
	このような運転は避けたい	34	35	41	
	自分にとって不快な運転だと思う	34	33	41	
	判断に迷いながら運転すると思う	32	34	41	
	急ぎ気味で運転をすると思う	30	35	52	★
	不安を感じると思う	32	33	42	★
	焦りを感じると思う	31	33	44	★
	緊張を感じると思う	34	37	47	★
	危険な運転だと感じると思う	30	32	46	★
ケース1-3. +急いでいる	自分の思い通りの運転だと思う	48	57	54	
	このような運転は避けたい	39	40	52	★
	自分にとって不快な運転だと思う	36	38	47	★
	判断に迷いながら運転すると思う	36	38	48	★
	急ぎ気味で運転をすると思う	36	47	66	★
	不安を感じると思う	37	39	51	★
	焦りを感じると思う	37	42	56	★
	緊張を感じると思う	38	43	55	★
	危険な運転だと感じると思う	36	37	55	★
ケース1-4. +カーブあり	自分の思い通りの運転だと思う	57	55	48	
	このような運転は避けたい	32	37	37	
	自分にとって不快な運転だと思う	31	36	34	
	判断に迷いながら運転すると思う	30	36	32	
	急ぎ気味で運転をすると思う	26	37	45	★
	不安を感じると思う	30	36	36	
	焦りを感じると思う	29	36	36	
	緊張を感じると思う	32	38	39	
	危険な運転だと感じると思う	28	36	36	
ケース1-5. +先車が遅い	自分の思い通りの運転だと思う	43	56	50	
	このような運転は避けたい	42	40	48	
	自分にとって不快な運転だと思う	40	39	45	
	判断に迷いながら運転すると思う	39	37	44	
	急ぎ気味で運転をすると思う	36	40	57	★
	不安を感じると思う	39	38	47	
	焦りを感じると思う	39	38	48	
	緊張を感じると思う	39	42	51	★
	危険な運転だと感じると思う	40	37	48	

選択肢 A（減速または速度維持）と選択肢 C（大きな加速）を比較し，1ポイント以上高かった項目に★印を付けた．すべてのケースで「急ぎ気味で運転をすると思う」に★がついた．また，ケース 1-2，1-3，1-5 でネガティブな項目に★がついた．

6.3.3 属性（性別・年代）ごとの回答

回答者の属性（性別・年代）ごとに回答の割合をグラフ化し図 6-15～24 に示す．ケース 1-1（図 6-15）において，男性は年代があがるほど選択肢 B（加速）を選択する割合が増加する傾向があり，その傾向はケース 1-2（図 6-16），1-3（図 6-17），ケース 1-5（図 6-19）にもみられる．ただしケース 1-1，ケース 1-4 においては 50 代で最大になり 60 代で割合が減少する．

年代が行動選択に影響を及ぼしているかを性別ごとに検定（ピアソンのカイ二乗検定）すると，男性についてはすべてのケースにおいて有意差あり（影響を及ぼしている），女性については 2-2，2-3，2-4 においては有意差あり，それ以外のケースにおいては有意差なしとなった．

1-1		選択肢A	選択肢B	選択肢C
男性	20代	40.8	52.8	6.5
	30代	35.0	61.2	3.9
	40代	26.2	68.6	4.5
	50代	19.7	73.5	6.1
	60代	21.4	71.8	6.5
女性	20代	33.7	62.8	3.6
	30代	33.3	63.4	2.9
	40代	35.3	62.8	1.6
	50代	39.8	58.3	1.9
	60代	40.5	57.6	1.0

図 6-15 属性ごとの回答（ケース 1-1）

1-2		選択肢A	選択肢B	選択肢C
男性	20代	46.0	44.7	9.4
	30代	40.1	52.4	7.4
	40代	34.0	59.5	6.1
	50代	28.5	63.1	8.4
	60代	27.2	66.3	6.5
女性	20代	45.6	47.6	6.8
	30代	45.3	49.2	5.5
	40代	44.3	52.1	3.6
	50代	46.3	49.5	4.2
	60代	50.8	46.6	2.6

図 6-16 属性ごとの回答（ケース 1 - 2）

1-3		選択肢A	選択肢B	選択肢C
男性	20代	33.3	45.0	21.7
	30代	23.3	58.6	17.8
	40代	19.1	62.1	18.4
	50代	15.2	66.7	18.1
	60代	13.9	71.8	14.2
女性	20代	20.4	63.1	16.5
	30代	18.8	68.3	12.9
	40代	18.8	71.8	9.1
	50代	20.7	70.2	8.4
	60代	24.3	68.3	7.4

図 6-17 属性ごとの回答（ケース 1 - 3）

1-4		選択肢A	選択肢B	選択肢C
男性	20代	57.9	35.6	6.1
	30代	57.3	35.0	7.4
	40代	51.5	44.7	2.9
	50代	45.0	49.5	5.2
	60代	53.7	41.4	4.9
女性	20代	67.3	29.8	2.6
	30代	70.9	26.2	2.6
	40代	69.9	27.8	1.6
	50代	68.0	30.7	1.0
	60代	72.2	26.2	1.3

図 6-18 属性ごとの回答（ケース 1 - 4）

1-5		選択肢A	選択肢B	選択肢C
男性	20代	24.9	62.5	12.6
	30代	20.4	68.9	10.7
	40代	13.3	73.1	13.3
	50代	10.0	77.3	12.0
	60代	10.7	78.0	11.0
女性	20代	13.9	75.7	10.4
	30代	11.0	79.3	9.7
	40代	9.1	82.2	8.1
	50代	9.4	84.5	5.5
	60代	8.7	85.8	5.5

図 6-19 属性ごとの回答（ケース 1 - 5）

1-6		選択肢A	選択肢B	選択肢C
男性	20代	32.0	46.9	20.1
	30代	26.5	51.8	20.1
	40代	24.6	50.2	19.7
	50代	29.1	43.4	24.6
	60代	35.3	45.0	18.4
女性	20代	30.7	53.1	14.6
	30代	26.9	51.1	19.7
	40代	27.8	53.4	17.2
	50代	36.6	51.8	10.0
	60代	42.7	49.2	6.8

図 6-20 属性ごとの回答（ケース 1 - 6）

2-1		選択肢A	選択肢B	選択肢C
男性	20代	5.2	64.4	29.4
	30代	10.4	63.1	24.6
	40代	4.9	71.2	23.0
	50代	6.5	69.3	22.7
	60代	3.9	79.0	15.5
女性	20代	5.8	74.8	19.1
	30代	7.1	77.3	14.9
	40代	6.5	77.0	15.9
	50代	4.9	77.7	17.2
	60代	2.9	83.8	12.0

図 6-21 属性ごとの回答（ケース 2 - 1）

2-2		選択肢A	選択肢B	選択肢C
男性	20代	9.4	50.2	39.5
	30代	11.0	50.8	36.2
	40代	7.1	54.4	36.6
	50代	7.1	53.1	37.5
	60代	5.5	59.9	33.3
女性	20代	10.7	54.7	33.7
	30代	8.4	53.4	37.5
	40代	6.5	63.4	28.2
	50代	9.1	62.1	26.2
	60代	5.2	66.0	24.3

図 6-22 属性ごとの回答（ケース 2 - 2）

2-3		選択肢A	選択肢B	選択肢C
男性	20代	6.8	49.5	42.7
	30代	9.4	47.9	41.7
	40代	4.9	56.3	37.5
	50代	5.8	49.5	44.0
	60代	3.9	57.0	38.5
女性	20代	5.8	53.1	41.1
	30代	4.5	58.6	36.9
	40代	5.2	67.0	27.2
	50代	5.8	63.8	30.4
	60代	3.9	70.9	25.2

図 6-23 属性ごとの回答（ケース 2 - 3）

3-1		選択肢A	選択肢B	選択肢C
男性	20代	25.9	62.5	11.3
	30代	23.0	68.9	7.4
	40代	16.2	76.1	7.8
	50代	10.0	76.4	12.9
	60代	10.7	79.6	8.4
女性	20代	21.0	71.2	7.1
	30代	14.2	77.7	7.8
	40代	10.4	86.1	3.6
	50代	13.3	79.6	7.1
	60代	9.1	85.4	5.5

図 6-24 属性ごとの回答（ケース 3 - 1）

6.3.4 運転スタイルごとの回答

DSQ への回答から得た回答者の運転スタイルごとに回答の割合をグラフ化し、特徴的な結果を図 6-25～28 に示す。DSQ(Driving Style Questionnaire)とは 18 問の設問への回答によりドライバを 8 つの運転スタイルに分類するアンケート手法であり、今回前半のアンケート内で DSQ の質問項目についても回答させている。項目は以降の各図の左側に並んでいるものである。なお H 群、L 群とは各運転スタイルへの当てはまりの強さを表しており、しきい値を超えている人を H 群、しきい値未満の人を L 群とする。

ケース 1-1 並走車がいる場合は、運転スタイル『せっかちな運転傾向』で選択肢それぞれにおいて H 群と L 群との差が大きい傾向にある。1-1 のような状況ではせっかちな運転傾向にあるドライバで選択行動が変わる傾向があるといえる。

ケース1-1	傾向	選択肢A	選択肢B	選択肢C
運転スキルへの 自信の有無	H群	29.4	65.2	5.0
	L群	38.2	59.7	1.7
運転に対する消極性	H群	40.2	56.5	3.2
	L群	29.2	66.2	4.1
せっかちな運転傾向	H群	24.7	68.5	6.5
	L群	37.8	59.8	2.1
几帳面な運転傾向	H群	32.3	63.7	3.7
	L群	33.5	61.9	4.4
信号に対する 事前準備的な運転	H群	29.5	65.0	5.1
	L群	34.5	62.2	3.1
ステイタスシンボル としての車	H群	31.4	63.4	5.0
	L群	33.9	63.1	2.5
不安定な運転傾向	H群	36.4	57.0	6.6
	L群	32.0	64.2	3.4
心配性的傾向	H群	35.0	61.0	3.7
	L群	30.2	65.4	4.0
虚偽発見尺度	H群	35.0	61.9	2.6
	L群	28.4	65.5	5.8

図 6-25 運転スタイルごとの回答 (ケース 1-1)

図 6-26 より、『ケース 1 - 2 : 併走車 + 併走車に後続あり』の場合、運転スタイル『運転スキルへの自信の有無』は H 群と L 群との差が大きい傾向がある。

図 6-27 より、『ケース 1 - 4 : 併走車 + カーブあり』の場合、運転スタイル『運転スキルへの自信』『せっかちな運転傾向』では H 群と L 群の差が大きい傾向がある。

図 6-28 より、『ケース 2 - 1 : 併走車あり』の場合、運転スタイル『運転スキルへの自信の有無』は H 群と L 群との差が大きい傾向がある。

ケース1-2	傾向	選択肢A	選択肢B	選択肢C
運転スキルへの自信の有無	H群	36.1	56.8	7.0
	L群	49.4	46.3	4.3
運転に対する消極性	H群	46.8	48.1	5.2
	L群	38.2	55.3	6.4
せっかちな運転傾向	H群	32.7	57.8	9.4
	L群	46.2	50.0	3.8
几帳面な運転傾向	H群	40.4	53.7	5.9
	L群	42.2	51.2	6.5
信号に対する事前準備的な運転	H群	37.8	54.4	7.8
	L群	42.7	52.3	5.0
ステイタスシンボルとしての車	H群	37.4	55.2	7.3
	L群	44.8	50.6	4.6
不安定な運転傾向	H群	44.3	46.7	9.0
	L群	40.3	54.1	5.6
心配性的傾向	H群	44.3	50.1	5.5
	L群	37.4	56.0	6.5
虚偽発見尺度	H群	44.1	51.1	4.7
	L群	35.3	56.4	8.2

図 6-26 運転スタイルごとの回答 (ケース 1 - 2)

ケース2-1	傾向	選択肢A	選択肢B	選択肢C
運転スキルへの 自信の有無	H群	5.6	70.7	22.5
	L群	6.2	79.4	13.7
運転に対する消極性	H群	5.8	73.9	19.2
	L群	5.8	73.7	19.5
せっかちな運転傾向	H群	7.4	67.0	24.5
	L群	4.7	78.3	16.0
几帳面な運転傾向	H群	5.3	75.0	18.6
	L群	7.4	69.7	21.9
信号に対する 事前準備的な運転	H群	6.1	69.6	22.9
	L群	5.6	76.3	17.2
ステイタスシンボル としての車	H群	5.2	71.6	22.1
	L群	6.5	76.2	16.2
不安定な運転傾向	H群	10.3	66.5	22.0
	L群	5.1	74.9	19.0
心配性的傾向	H群	5.7	74.4	18.9
	L群	5.8	73.1	19.9
虚偽発見尺度	H群	4.8	77.1	16.9
	L群	7.4	68.3	23.5

図 6-27 運転スタイルごとの回答（ケース1 - 4）

ケース2-1	傾向	選択肢A	選択肢B	選択肢C
運転スキルへの 自信の有無	H群	5.6	70.7	22.5
	L群	6.2	79.4	13.7
運転に対する消極性	H群	5.8	73.9	19.2
	L群	5.8	73.7	19.5
せっかちな運転傾向	H群	7.4	67.0	24.5
	L群	4.7	78.3	16.0
几帳面な運転傾向	H群	5.3	75.0	18.6
	L群	7.4	69.7	21.9
信号に対する 事前準備的な運転	H群	6.1	69.6	22.9
	L群	5.6	76.3	17.2
ステイタスシンボル としての車	H群	5.2	71.6	22.1
	L群	6.5	76.2	16.2
不安定な運転傾向	H群	10.3	66.5	22.0
	L群	5.1	74.9	19.0
心配性的傾向	H群	5.7	74.4	18.9
	L群	5.8	73.1	19.9
虚偽発見尺度	H群	4.8	77.1	16.9
	L群	7.4	68.3	23.5

図 6-28 運転スタイルごとの回答（ケース2 - 1）

6.4 考 察

6.4.1 行動選択について

今回の調査により，ほとんど同様の運転ケースであっても状況が1か所異なるだけで選択する行動が変化することがわかった．とくにケース1－4のカーブは回答の傾向が他と大きく異なり，道路形状が運転行動に及ぼす影響が大きいことが示唆された．今回状況として設定したものはほとんどがセンサーや事前入力などで取得できる情報であり，本調査の結果をベースにすることでドライバの安心感につながる制御が可能となる道筋が見えた．なお，行動の選択肢には『その他（自由記入）』を設けたが，その他を選択する回答者はどのケースでも非常に少なく，ドライバがとる行動がおおむね今回の3つの選択肢に集約することがわかった．

6.4.2 回答に対する質問について

各ケースで選択肢C（大きな加速）を選択する回答者は焦りや緊張を感じながらも選択していることがわかる．ケースによっては選択した行動が必ずしも安心とは限らず，やむを得ず選択しているものもあることが読み取れる．しかし，今回の設定した状況で加速を選ぶ人は，たとえ車両が減速や速度維持をしても嫌悪感を強く感じないため，車両挙動が減速や速度維持側に倒す事で不安を感じない人が最大になる制御ができる可能性がある．加速する車両制御は個人特性を十分加味して用いるのがよいと思われる．

なお，「思い通り」だが「緊張する」というドライバに対しどのような車両制御を提供すべきか，は今後の課題と言える．

6.4.3 属性（性別・年代）と行動選択の関係について

属性ごとに選択する行動に特徴的な傾向がみられた．特に男性は年代が上がるにつれ，加速する運転行動を選択する傾向が高まる．これは運転経験が豊富になることにより運転への自信が高まることが原因と考えられる．これはDSQのデータからも見て取れた．通常の運転を対象にした研究であれば，

この「経験による自信」と「加齢による衰え」を踏まえて注意深く運転することの重要性を問うところだが、今回自動運転車の挙動を個人にどう適用するかをテーマにしているため、この傾向を正確に制御に反映することが重要と思われる。

なお、性別や年齢以外の収集データ（例えば生活スタイル）についても行動選択と相関が認められるものがあり、別報にて報告予定である。それらの情報を合わせて蓄積し、車両制御の決定要素とすることも有用と思われる。

6.4.4 運転スタイルと行動選択の関係について

DQSの各運転スタイルと選択される行動との間に関係性がみられた。特に『運転スキルへの自信の有無』と『せっかちな運転傾向』が色濃く表れたが、そのほかのスタイルについても特徴的な傾向が認められたことから、自動運転の制御を決める際に、事前に運転スタイルの情報を入手しておき、それを参考にすることが有用であることが分かった。

6.4.5 個人特性と心理状態の関係

本調査の結果、車両制御系 ADAS において、個人の運転スタイルが大きく影響することが示された。よって、システムがドライバ各個人の特性に配慮した運転支援をしない場合は、ドライバを最適な心理状態に留めることは非常に難しくなると言える。これを最適な心理モデルに当てはめると図 6-29 のように示すことができる。

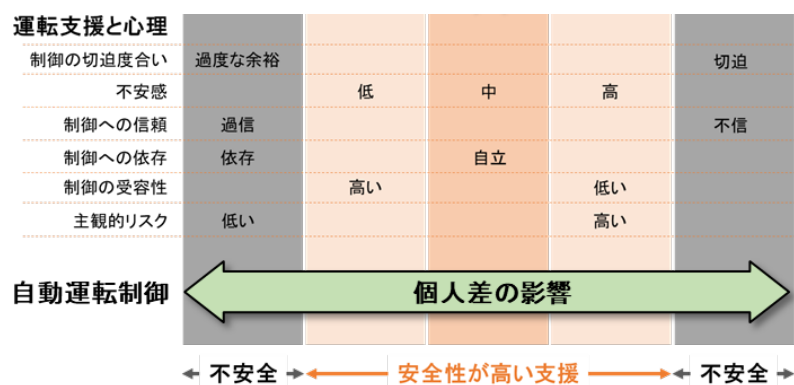


図 6-29 最適な心理状態における個人差の影響

6.5 おわりに

今回、年代や性別といった基本的なドライバ情報と選択する運転行動の関係性が明らかになり、車両制御システムに実装するうえで扱いやすく有用なデータを得ることができた。また、運転状況が一部異なるだけで選択する行動（＝期待する車両挙動）が大きく変動することが分かり、ドライバの意図に配慮して車両を制御することの重要性が再確認できた。

まずは嫌悪感の少ない減速や速度維持の車両制御を取り入れることがよいが、システムが広まっていくに従い、今回のような状況での加速を期待する一部の人の不満感が増加する事が懸念される。個々のドライバに適した車両制御が重要であることに変わりはない。

上記の成果は、WEB アンケートという手法をとることで多くのデータが取得でき、さまざまな属性のドライバに対し、さまざまな運転状況での行動選択についての回答を得ることができたことによるもので、手法の有効性を示した。

参考文献

- (6-1-1)岡島知也：自動走行車の搭乗者が受けるストレスに関する個人差の分析．奈良先端科学技術大学院大学修士論文．2017,NAIST-IS-MT1551024
- (6-1-2)高橋宏：安全・安心に利用できる自動運転車両の課題．湘南工科大学紀要．2018,52(1), p.61-71
- (6-1-3)D. A. Norman: The design of everyday things, New York, Freeman (1990)
- (6-1-4)瀬川尚輝，他：自動運転下において乗車者が許容できる車壁間距離に関する研究．計測自動制御学会東北支部 第 301 回研究集会．2016，資料番号 301-4
- (6-1-5)嶋田淳，他：自動運転車両における運転者の不安感評価，ヒューマンインタフェース学会誌，Vol.19，No.4，p.333-342
- (6-1-6)田容旭，他：電動パーソナルビークルの自動運転における乗員の不安感低減のための情報提供の検討－コ・モビリティ・シミュレータを用いた分析と評価－.モバイル学会．2011，1(1)，p.69-74

(6-1-7)石橋基範, 他: ドライバ個人特性の評価指標の開発, マツダ技報,
2004, No.22, p155-160

第 7 章 最適な心理状態モデルの検討

7.1 各章の結論

第 3 章～第 6 章の各章における結論を以下にまとめる。

7.1.1 第 3 章について

第 3 章では自動車とドライバの心理に関する文献を整理した。そこで分かったことは、ADAS や AD の安全性は技術の進化と共に向上してきている、ということである。これはカーメーカ各社の努力によるところが大きい。

一方、完全な自動運転が開発されるまでは人間も運転に介入する必要があり、人間の状態を考慮することは重要な課題と考えられる。とくに本論文ではドライバの心理に着目し、不安や過信、イライラなどの安全な走行に影響を与える恐れのある心理状態に関する研究を主体に調査を行った。調査した各論文の結論を整理すると、ADAS や AD の車両制御や運転シーンに応じて人間の心理や挙動が変化することが示された（図 3-2, 図 3-3）。

このような自動車技術とドライバの心理の関係性を一元的に示すことができれば、今後の技術開発のひとつの指針になるのでは、と考えた。

7.1.2 第 4 章について

第 4 章では ADAS のひとつである前方死角モニタを用いて、見通しの悪い T 字路を右折する際の不安感について実車実験により調べた。前方死角モニタを用いることで右折時の不安感は有意に低減した。また不安感が低減すると、ペダルの踏み替え回数も低減することが示された。これにより、踏み間違いによる事故低減が期待できる。

しかし、不安感とペダル踏み替え回数のグラフを見ると、もしさらに不安感が低減すると、ペダルの踏み替えがほとんどされずに交差点へ進入することが起きうることも想定される。ただしドライバのコメントを読むとほとんどの実験参加者が最後は目視で確認している、と述べており、実験の中で過

信やリスク補償による不安全な運転は見られなかった。このような使われ方はカーブミラーの使われ方に似ている。多くの市町村のホームページでカーブミラーの設置について書かれているが、どのサイトにも必ず「あくまで安全確認の補助施設であるため、安全確認は運転手自身の目視によることが原則」というような注意書きがある。この意識は多くのドライバーが共有していると思われる。

この実験結果より、不安が不安全につながる可能性と、過度な安心が不安全につながる可能性が示された。

支援の効果・影響	リスクのある行動変容・心理変容	
あり	不安感 低い ●————● 高い	なし
	ペダルの踏み替え回数 少ない ●————● 多い	

7.1.3 第5章について

第5章では自動運転で「合流」「カーブ」「先行車追従」における制御と不安感の関係を実車実験にて確認した。各シーンにおける「あまり不安を感じない」制御値を算出した。

この実験結果において主観評価で不安感と許容度に加え、「ちょうど良さ」を聞いており、結果の制御値に差が出た。「あまり不安を感じない」と「まあ許容できる」はほぼ同じ値だったのに対し、「ちょうど良い」の値はそれよりも余裕を持った数字になっていた。これはちょうど良いという回答を得られる値と言うのは、ドライバーにとって全くストレスがなくリラックスできる制御ということであると考えられる。これは仮説であるが、このちょうど良いという制御はもしかすると、システムに対する過信を生む制御かもしれない。

この実験では模擬自動運転車を使用して、あたかも本当の自動運転車に乗っているような環境で実施した。実際に実験後のインタビューで24人全員が本当の自動運転車に乗車したと信じていた。そして実験の前後で自動運転車に対する信頼性が高まったとコメントしている（主観評価尺度の回答は未取得）。谷口⁽⁷⁻¹⁻¹⁾は長期の実証実験に参加したことでモニタの自動運転への

信用が高まったと述べており、体験が信頼につながる可能性を示した。しかし今回の実験での体験だけでは十分な信頼を感じるまでには至っておらず、機能により信頼性に差が出た。

先行車追従は受容性が高く、自動運転機能の一部という以前に ADAS の機能の一つとして認知されており、CM などによる認知が影響していると思われる。またカーブ走行も同様に捉えていると思われる。それに対し、合流についてはそういった認識が低く、受容性が低い実験参加者も多数いた。

この実験結果より、技術やシステムの信頼性や受容性は、「認知度」やその技術に触れている「時間の長さ」に関係しているということが示された。

支援の効果・影響	リスクのある行動変容・心理変容	
AD合流時の他車との距離 遠い	不安感 低い ●————● 高い	近い
支援の効果・影響	リスクのある行動変容・心理変容	
ADカーブ走行速度 遅い	不安感 低い ●————● 高い	早い
支援の効果・影響	リスクのある行動変容・心理変容	
AD先行車停止後のブレーキ 早い	不安感 低い ●————● 高い	遅い

7.1.4 第6章について

第6章では自動運転の個人適合を想定し、ドライバ属性と選択する制御の関係性を WEB アンケートにより導いた。この調査により、ドライバ属性によって選択する制御が異なることが示された。ドライバが自動運転に求める制御方法については個人差があり、そこから外れる制御はドライバにストレスを与える可能性が示された。

7.2 最適な心理状態について

先行研究や実車実験を通して、運転支援と心理の関係性を示し、それをもとにドライバの最適な心理状態モデルを作成した(図 7-1)。運転支援システムが介在する運転において、ドライバが安全だが過信しない心理状態を維持することが、運転へのほどよい緊張感<グッドストレス>を生む。つまり、低や高の状態にしないことが重要である。そのための適正な制御方法を検討していく必要がある。

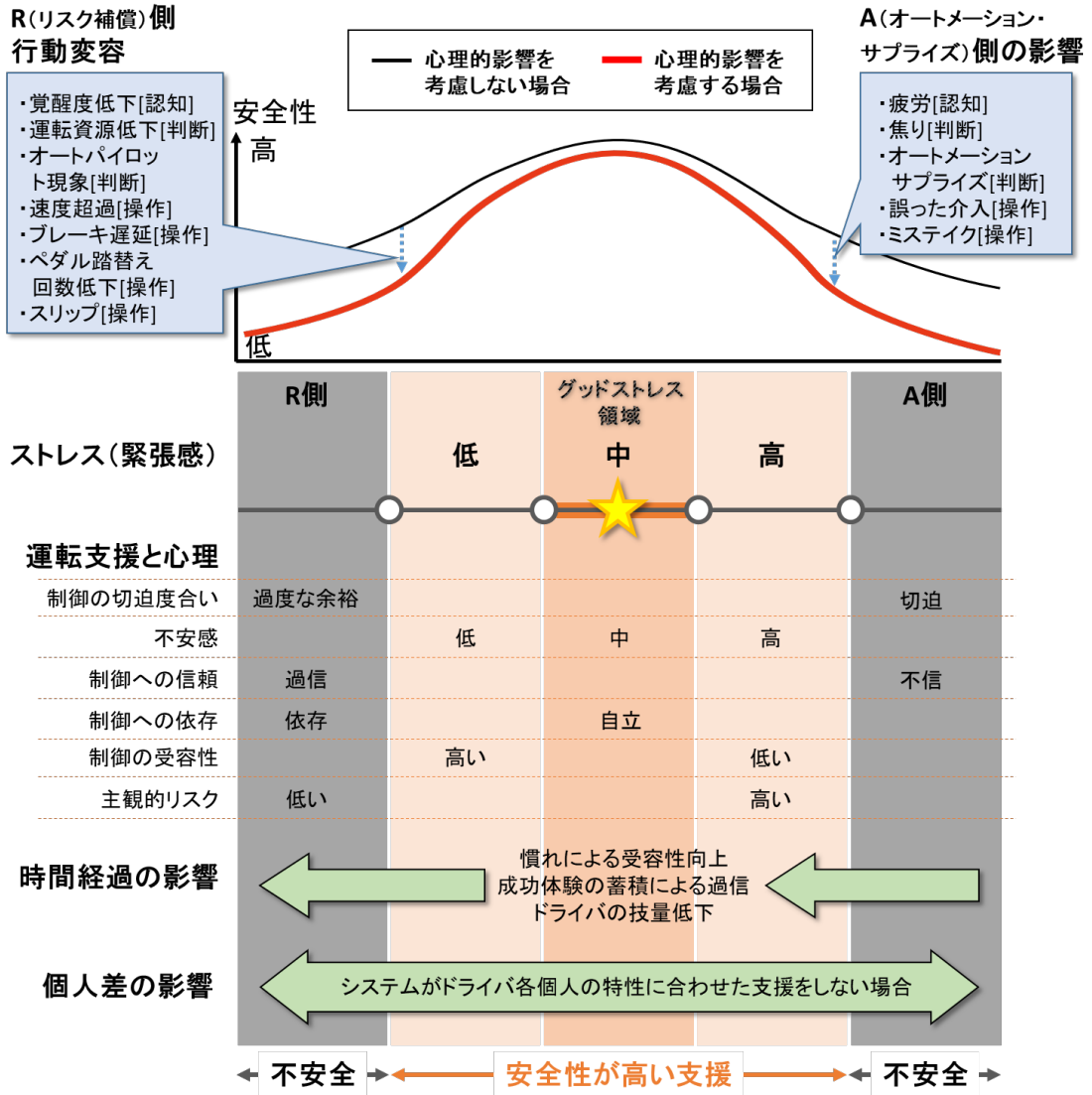
このモデルでは、星(★)がある位置が安全性を高めるドライバの最適な心理状態となる。これよりもストレスや緊張感が高まり、A側のグレーの領域に入ると不安が高まり、焦りやオートメーション・サプライズによる誤操作を引き起こす恐れがある。またストレスや緊張感が低下し、R側のグレーの領域に入ると、過信により運転資源が低下したり、リスク補償で速度超過やブレーキ遅延が生じたりする運転につながる恐れがある。このとき、自動車側については制御系の ADAS であれば、切迫した制御や過度な余裕が原因となり、情報提供系の ADAS であれば、不信や過信が原因となる。

図 7-1 の上部のグラフは、心理的な影響により想定(黒いグラフ)よりも安全性が低下する恐れがあることを赤いグラフにて示している。このため、グッドストレス領域の両側にある安全性が高い領域においても、状況によっては不安全なレベルに安全性が低下してしまう恐れもある。できる限り状態を中央に留めるようにすべきであることを示している。

このモデルのポイントのひとつに、時間軸が加味されていることがある。新しいシステムを使用する際に不安や不信の状態であったとして、システム自体が特に改良されなくとも時間の経過とともに慣れが生じ、受容性が向上する。また成功体験が蓄積されることで過信に近づいていく。

このモデルのもうひとつのポイントは個人特性を加味した運転支援を行うべきという主張が含まれていることである。心理状態はドライバの個人特性の影響を大きく受けるため、車両制御であればドライバの普段の運転をもとに制御を行うなどの対応が必要である。

このように、時間経過や個人特性を加味する必要があるということは、最適な心理状態が一意に決まらないことを示している。ドライバの心理状態の変化を的確に捉え、常にグッドストレス領域に留める努力をすることで、安全性を高める最適な心理状態を維持できると考える。



- 対策例**
- | | |
|---|---|
| <p>過信やリスク補償への対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動運転における、速度は手動運転と同程度とし、距離感を手動運転時より離れる ・リスク回避の主体が自分であると認識させる ・交通状況を踏まえた制御支援 ・やや不安、かつ許容される制御 ・教育によりドライバのリスク水準を下げる | <p>不信やオートメーション・サプライズへの対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CMなどにより技術の認知度を高める ・自然言語を用いたり、視覚的に自車周囲の状況や支援対象に関する情報を明示するなどにより、「何に対する支援か」を誤解させない ・運転の自信等、個人特性に応じた制御 ・平均に合わせず、個人の多様な特性に適合 |
|---|---|

図 7-1 ドライバの最適な心理状態

7.3 グッドストレスを実現するために配慮すべき項目

『ドライバの最適な心理状態モデル』では運転支援とドライバの心理の関係性をひとつの図で示したが、機能の設計段階でグッドストレスを実現するために配慮すべき項目は、大きく分類すると以下のようにになると考える。なお、[]内は先行研究や作成したモデル内で用いられるキーワードである。

●車両制御系 ADAS

- ・切迫した制御によりドライバの不安感を高めないか[オートメーション・サプライズ]
- ・介入しすぎてドライバの不満が高まらないか[過度な介入]
- ・過度な余裕によりリスク補償を起こさせないか[過信・リスク補償]
- ・個々人の特性に合わせた制御になるか[個人適合]

●情報提供系 ADAS

- ・誤報によりドライバの信頼感を損なわないか[不信]
- ・情報提供によりドライバ自身の注意力が低下しないか[過信, リスク補償]
- ・過度な情報提示によりドライバの認知負荷を高めないか[情報過多]
- ・過度な情報提示により情報ひとつひとつのドライバにとっての重要性を低めないか[受容性低下]

●共通

- ・システムの状況をドライバに提示できるか[システムの理解]
- ・機能についてドライバが正しく理解できるか[システムの理解]
- ・ドライバの理解をもとにした支援になるか[ドライバの理解]
- ・時間経過によりシステムへの過信が生じないか[時間経過による過信]

7.4 覚醒度、ヒューマンエラーとの関係

運転と覚醒度、運転とヒューマンエラーはこれまで研究課題として多く取り上げられてきた。ここでは作成したモデルと覚醒度、ヒューマンエラーの関係について考察する。

運転中の覚醒度低下は、漫然運転や居眠り運転につながり、交通事故の原因とされてきた⁽⁷⁻⁴⁻¹⁾。これを防ぐため、覚醒度が低下した状態での危険な運転の検知技術の開発が必要とされている。

今回作成したモデルにおいて、覚醒度は R 側に近づくると低下し、A 側に近づくると上昇する。R 側に近づく、つまり過信や過度な依存により主観的リスクが低下し、漫然と運転したり眠気が発生する。それに対し、A 側に近づくると切迫した制御やシステムへの不信により大きなストレスや不安が発生し、覚醒度は上昇する。ただし、このとき上昇する覚醒度は運転に対し適正とは言えない。パニックに近い状態で、誤った操作や介入を誘引する可能性がある。覚醒度についてもグッドストレス領域と同じように最適なレベルがあることがわかる。

ヒューマンエラーについては様々な研究がされているが、ひとつの切り口として、ミステイクとスリップについて考える。

ミステイクは「状況理解の失敗⁽⁷⁻⁴⁻²⁾」とも呼ばれ、知覚によって情報を得たものの、情報の意味が分からない、あるいは情報の意味を誤って理解するというものである。情報の意味が分からない状態は、作成したモデルで言うところの A 側に相当し、オートメーション・サプライズの原因となる。また誤った介入を誘発する恐れがある。対策としてシステム側がドライバへ状況を分かりやすく提供すること、ドライバがシステムについて学び知ることなどが求められる。

スリップは「行為実行の失敗」と呼ばれ、正しく選択された行為を実行しようとする段階で、意図した行為と違うことをしてしまう誤りである。よく慣れている作業で、安心しきっていたり、注意力が低下していたりすることが原因となる。これは過度な余裕や過度な依存がある R 側で起きやすくなるエラーである。対策としてドライバにリスクを認識させること、誤操作した場合でも安全な方向へ向かうように設計すること（フェイルセーフ）などが求められる。

以上のように、ヒューマンエラーは作成したモデルと関わりが深く、性質こそ違えど、A 側 R 側それぞれに偏った状態になったときに引き起こされやすくなる。この観点でも、中央のグッドストレス領域に留めることの重要性が理解できる。さらにここで紹介したヒューマンエラーへの対策は、そのま

ま最適な心理状態に留めるための対策と言い換えることもできる。

7.5 最適な心理状態を維持するために

最適な心理状態を維持するために、心理状態とそれに関連する運転支援に合わせた対策が考えられる。先行研究でリスク補償回避やオートメーション・サブライズなどを回避するための提案がなされており、それを対策例にまとめた。

ドライバの心理状態が R 側であるか A 側であるかによってとるべき対策が変わる。例えばシステムに対し不信の状態にあるドライバに対しては、システムの安全性などを積極的にアピールしたり、機能の正しい知識を与えることで信頼度を向上させることができる。逆に過信の状態にあるドライバに対してはリスク回避の主体がドライバ自身であることを教示し、緊張を高めることが有効である。研究によっては、やや不安を感じる制御にすることでリスク意識を高める方法を提案しているものもあるが、制御自体を利用して過信を解消する方法は安全性を脅かす可能性があるため、慎重に検討する必要がある。

なお、これらの対策自体、度を過ぎて実施すると、中央の最適な領域を超えて反対側の不安全な領域に導いてしまう恐れがあるため注意が必要である。

参考文献

- (7-1-1)谷口綾子，自動運転の社会的受容－その規定因と変容の可能性－，自動車技術，Vol.73，No.2，p.44-50(2019)
- (7-4-1)高木和，中山治人，岡田志麻，牧川方昭：頭部の動きに着目した運転時における覚醒度低下検出の可能性，生体医工学，Vol.51，No.1，p.46-51(2013)
- (7-4-2)稲垣敏之：人と機械の共生のデザイン -「人間中心の自動化」を探る-，森北出版株式会社(2012)

第 8 章 結論

本研究では，先行研究と新たに実施した 2 つの実車実験，また WEB 調査により，ドライバの最適な心理状態について明らかにした．また得られた知見をもとに最適な心理状態のモデルを作成した．

8.1 研究成果の設計，社会への貢献について

8.1.1 ADAS 設計の基本的な考え方のひとつとして活かす

今回作成したモデルを，運転者の心理状態への配慮に関する基本的な考え方のひとつとして提案する．そして先進運転支援システム設計時に『運転者が R 側・A 側の状態に陥らないか』『時間経過や個人特性は考慮されているか』などをチェックするのに役立てていきたい．

8.1.2 ADAS に関する社会受容性の向上

ADAS に関するドライバの心理的な側面へ配慮するためには，カーメーカーとドライバだけではなく，社会受容性向上や制度制定など社会を巻き込んだ取り組みが必要である．本研究の成果を基盤とし社会に対し次に示すような働きかけをしていきたい．

- ・ドライバによるシステムの理解，システムによるドライバの理解の重要性の周知
- ・宣伝広告を用いた ADAS 機能とリスクの周知
- ・ADAS 機能を体験，または訓練できる場の構築

8.2 課題

今後さらに調査や実験を重ね，事例を増やすことで，より広く活用できるモデルを作成したい．また，対策についても事例を増やし，様々な状況に対応できるようにしたい．

今後の課題として，外国人対応を挙げる．今回のドライバの最適な心理状態モデルは，主に日本人を対象とした研究から導いたものであり，外国人のメンタルモデルについては考慮していない．運転支援システムや自動運転が

世界的な規模で研究開発されていることを鑑みると、今後外国人を研究対象に含める必要があると考える。

謝辞

本論文は筆者が芝浦工業大学大学院 理工学研究科博士（後期）課程 機能制御システム専攻に在籍中の研究成果をまとめたものである。

同専攻教授 吉武先生には指導教官として本研究の実施の機会を与えていただき、その遂行にあたって終始ご指導を戴いた。ここに深謝の意を表す。

同専攻教授 橋田先生、梁先生、米村先生、そして日本大学教授 石橋先生には副査としてご助言をいただくとともに、本論文の細部にわたりご指導をいただいた。ここに深謝の意を表す。

芝浦工業大学 デザイン工学部 デザイン工学科 ユーザーエクスペリエンスデザイン研究室の各位には研究遂行にあたり日頃より有益なご討論ご助言をいただいた。ここに感謝の意を表す。

三菱電機株式会社 杉浦様には大学院入学にあたり強力な後押しをいただいた。ここに深謝の意を表す。杉浦様に開催いただいた決起集会で、応援してくださった山田様、崔様に感謝の意を表す。

三菱電機株式会社 藤本様、河原林様、泉福様には学位取得を目指すきっかけを与えていただいた。ここに感謝の意を表す。

本論文の第4章、第5章、第6章の調査・実験では三菱電機株式会社 デザイン研究所 河原様、城戸様、朴様、大井様、江口様、ヒューマンインタフェース 笠原様に有益なご助言をいただいた。ここに各位に対して感謝の意を表す。特に城戸様、朴様は本研究の下地を作ってください格別の感謝を述べたい。

筆者の上司である、三菱電機株式会社 デザイン研究所 阿部所長、産業システムデザイン部 長堀部長、ビルシステムグループ 三宅 GR には、学位取得にご理解いただき、様々な面でご支援いただいた。感謝の意を表す。またビルシステムグループのメンバーには様々な面でサポートいただいた。感謝したい。

日産自動車の近藤様には、ご自身が学位取得されたご経験を踏まえた非常

に貴重なアドバイスを戴いた。ここに感謝の意を表す。

成蹊大学・大学院在学時の恩師、窪田先生には重要な局面で叱咤激励をいただいた。ここに深謝の意を表す。

妻のご両親と筆者の母には、論文が大詰めになる時期に家に来ていただき、生活面で様々なサポートをいただいた。ここに感謝の意を表す。

家族の時間の多くを執筆に充てることを許してくれた、妻と二人の娘（さくら、すみれ）に感謝の意を表す。特に研究所の同僚でもある妻は、博士論文をまとめるにあたり、多大な助言を与えてくれた。

最後に、この論文を昨年病気でこの世を去った父に捧げたい。