

早稲田大学審査学位論文  
博士（人間科学）

ドライバ特性に基づく運転支援システムの評価  
と支援方策

Evaluation of Systems and Strategies for Driver  
Assistance Based on Human Characteristics

2016年1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

本間 亮平

HOMMA, Ryohei

研究指導教員： 石田 敏郎 教授

# 目次

交通事故対策としての運転支援システムの現状と課題.....	1
1.1 国内の交通事故と安全対策.....	2
1.1.1 追突事故.....	3
1.1.2 出会い頭事故.....	5
1.2 交通事故対策における運転支援システムの位置づけ.....	8
1.3 運転支援システムの分類.....	10
1.3.1 追突防止支援システム.....	13
1.3.2 出会い頭事故防止支援システム.....	16
1.4 運転支援システムにおける課題.....	18
1.5 まとめ.....	22
本研究の目的と構成.....	23
追突防止支援システムによる事故低減効果の推定.....	26
3.1 研究の背景.....	27
3.2 方法.....	28
3.2.1 実験装置.....	28
3.2.2 危険場面の設定と映像の作成.....	29
3.2.3 衝突警報の HMI.....	30
3.2.4 脇見タスクと映像切り替えタイミング.....	30
3.2.5 実験参加者および実験手順.....	31
3.2.6 計測項目.....	34
3.3 結果および考察.....	36
3.3.1 警報に対する対応率と視線戻し開始時間.....	36
3.3.2 警報に対するブレーキ反応時間.....	37
3.3.3 無反応群および制動遅れ群の年齢層.....	38
3.3.4 無反応群および制動遅れ群の運転スタイル.....	39
3.4 事故低減効果の予測.....	41

3.4.1	効果予測の概要 .....	41
3.4.2	全事故台数と死亡重傷事故台数の期待値.....	41
3.4.3	衝突速度低減量の算出結果.....	41
3.4.4	事故削減台数の算出結果 .....	44
3.4.5	死亡重傷事故低減率の算出結果 .....	45
3.5	まとめ.....	48
追突防止支援システムの効果向上に関する検証.....		49
4.1	研究の背景.....	50
4.2	方法.....	52
4.2.1	実験計画と参加ドライバ .....	52
4.2.2	実験装置および警報場面の設定 .....	52
4.2.3	衝突警報の HMI .....	54
4.2.4	脇見タスクと警報タイミング .....	55
4.2.5	実験手順.....	57
4.2.6	計測項目 .....	59
4.3	結果および考察 .....	60
4.3.1	警報に対する対応率.....	60
4.3.2	警報に対するブレーキ反応時間 .....	60
4.3.3	警報緩制動の有効性に関する考察.....	63
4.4	事故低減効果の予測.....	65
4.4.1	効果予測の概要.....	65
4.4.2	衝突速度低減量の算出.....	65
4.4.3	事故低減効果予測の結果 .....	66
4.5	まとめ.....	67
ドライバ状態と交通環境がドライバの視覚的注意に与える影響.....		68
5.1	研究の背景.....	69
5.2	方法.....	71
5.2.1	実験装置 .....	71
5.2.2	実験計画.....	71
5.2.3	実験手順.....	72

5.2.4	評価指標.....	73
5.3	結果及び考察.....	78
5.3.1	眠気レベルごとの取得データ.....	78
5.3.2	光点検出反応時間.....	78
5.3.3	視覚的注意の範囲.....	79
5.3.4	交通環境による影響.....	81
5.4	まとめ.....	83
交差点の視環境による運転行動への影響.....		84
6.1	研究の背景.....	85
6.2	方法.....	87
6.2.1	実験概要.....	87
6.2.2	実験装置.....	87
6.2.3	DS上の道路環境.....	87
6.2.4	実験計画.....	88
6.2.5	実験参加者および手順.....	90
6.2.6	評価指標.....	90
6.3	結果および考察.....	92
6.3.1	統制条件との比較.....	92
6.3.2	可視角度, 樹木の設置位置, 交通量の影響.....	93
6.3.3	可視車両の挙動による影響.....	95
6.3.4	仮想衝突車両との衝突判定.....	96
6.3.5	回避群と衝突群の視行動の比較.....	97
6.4	まとめ.....	100
交差点の視環境と支援情報の相互作用.....		101
7.1	研究の背景.....	102
7.2	方法.....	104
7.2.1	実験装置および実験参加ドライバ.....	104
7.2.2	交通環境.....	104
7.2.3	交差点の見通しと交差車両.....	104
7.2.4	支援情報のHMI.....	106

7.2.5 実験条件および実験手順 .....	107
7.2.6 評価指標 .....	108
7.3 結果および考察 .....	109
7.3.1 ハザードの予測度合いによるドライバの層別 .....	109
7.3.2 予測の高低と支援効果 .....	109
7.3.3. 可視車両の有無が与える影響 .....	113
7.4 まとめ .....	117
総合討議 .....	118
8.1 本論文と関連研究 .....	119
8.2 本研究の成果 .....	122
関連業績 .....	124
引用文献 .....	125
謝辞 .....	134

## 略 語 表

略語	正式名称	意味
ABS	Antilock Brake System	急ブレーキ時のタイヤロックの抑制を制御し、急制動を補助するシステム
ACC	Adaptive Cruise Control	自動車の車速や、先行車との車間を自動で制御する運転支援システム
AEB (AEBS)	Autonomous Emergency Braking (Autonomous Emergency Braking System)	車両に搭載されたセンサで、前方の障害物を検知して、衝突リスクが高い時に警報を提示、さらにリスクが高い時には自動でブレーキを制御する運転支援システム
AFS	Adaptive Front-lighting System	夜間の操舵時におけるカーブ先(進行方向)の明るさを確保する目的で、前照灯の光軸や追加光源を制御する運転支援システム
AHB	Automatic High Beam	車両に搭載されたセンサで、周囲の明るさを検知して、ハイビームとロービームを自動で切り替える運転支援システム
ASV	Advanced Safety Vehicle	国土交通省が主導する、車両による先進安全技術の開発や普及促進を目的とする検討委員会の略称
DS	Driving simulator	コンピュータグラフィックスの映像で運転を模擬できる
DSSS	Driving Safety Support Systems	警察庁およびUTMS協会が推進する路側インフラと車両との通信(光ビーコンやDSRCなど)を用いた安全運転支援システム
DSRC	Dedicated Short Range Communications	ISO(国際標準化機構)やITU(国際電気通信連合)国際標準化された高速で大容量の双方向通信を可能とする5.8GHz帯の通信規格
ESC	Electronic Stability Control	急な操舵などによって生じるオーバーステアやアンダーステア(車両が不安定な状態)を抑制することを目的に、ブレーキやエンジン出力などを制御する運転支援システム
Euro NCAP	The European New Car Assessment Programme	欧州で実施されているNCAP
HMI	Human-Machine Interface	人間と機械における情報交換の手段で、機械の操作器や表示器、その手段などを指す。
IIHS	The Insurance Institute for Highway Safety	米国道路安全保険協会のこと。米国で政府とは異なる独自の自動車安全性評価試験を実施している機関
ITS	Intelligent Transport Systems	情報技術などを利用した、高度交通システムのこと。運転支援システムやETC(自動料金収受システム)、ナビゲーションの高度化などを含む
JNCAP	Japan New Car Assessment Program	日本の国土交通省(独立行政法人自動車事故対策機構)が主導で実施するNCAP
NCAP	New Car Assessment Program	米国の政府(NHTSA)主導で実施されている、新車の安全性評価試験事業。従来は衝突安全性の評価のみだったが、近年予防安全性の評価が導入され始めている
THW	Time-Headway	車間時間。現在の自車速で現在の先行車位置に達するまでに要する時間
TTC	Time-to-Collision	衝突余裕時間。現在の相対速度が維持されると仮定したときに、自車が先行車に衝突するまでの余裕時間

## 第 1 章

### 交通事故対策としての運転支援システムの現状と課題

## 1.1 国内の交通事故と安全対策

日本国内における道路交通事故による死亡者数は、第1次交通戦争と呼ばれる昭和47年のピーク時には16,765人であった。昭和50年台に一時減少したものの、第2次交通戦争と呼ばれる平成4年には再び11,452人にまで増加し、それ以降は減少傾向が続いている。平成26年中による死亡事故件数は4,013件と、ピーク時の4分の1以下となっている。しかしながら、内閣府が平成23年に策定した第9次交通安全基本計画では、平成27年までに死者数3,000人以下を目指しており、達成は厳しい状況といえる。

図1-1は、警察庁（2015）が発表した平成26年中の事故類型別交通事故状況の構成率を示す。死亡事故においては、特に人対車両の事故が多く全体の1/3以上を占めている。重量1tを超える車両と歩行者が衝突した場合の致死率が高くなるのは容易に理解できる。一方で、重傷事故や軽傷事故に着目すると、それぞれの総件数は死亡事故件数の10倍および100倍以上と多く、また車両相互事故（特に追突事故および出会い頭事故）の占める割合が増加する。被害の程度が低い事故において、車両相互事故が多い理由の一つとして、人と車両よりも車両同士の方が接近する頻度が高いことが挙げられる。また従来から進められてきた衝突安全対策、すなわちシートベルト、エアバッグおよび車体構造の改善などの車両における乗員保護対策による被害軽減効果と考えられる。しかし、衝突安全対策はすでに国内の市場において飽和状態といえるほど普及が進んでいる。今後のさらなる死亡事故低減に向けては、従来の衝突安全技術の発展に加え、事故自体の発生を抑制する対策、すなわち予防安全対策の推進が必須といえる状況である。

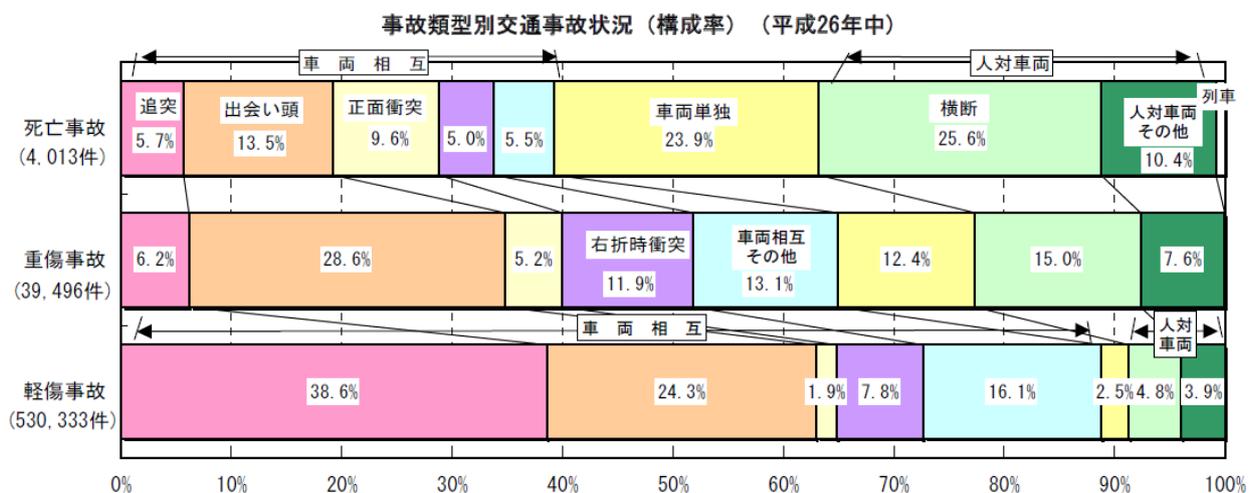


図1-1 平成26年中における事故類型別の交通事故発生状況（警察庁，2015）

### 1.1.1 追突事故

追突事故は、前方の車両（被追突車両）に衝突する事故類型である。追突事故は事故件数が最も多く、その理由として追突リスクのある状況への遭遇頻度が高いためと考えられる。すなわち、追従走行していれば、前方車両との追突リスクは常にある。交通事故が発生すると、警察によってデータ化され、公益財団法人交通事故総合分析センターによってデータベース化される。交通事故総合分析センター（2003）は、マクロ事故データ（全国の全事故のマクロデータ）およびミクロ事故データ（東京都および茨城県の一部事故の詳細データ）から追突事故の特徴を分析している。その結果、乗用車同士の追突事故が最も多く、追突側は無傷で被追突側が軽傷のケースが多いが、大型車が絡むと、死亡や重傷事故が増加する。また、若年層および高齢層が追突するケースが多い。松浦（2005）によると、初心運転者は免許取得後初期には慎重に運転するものの、男性は慣れてくるとリスクテイキング行動をとることが指摘されており、車間距離が短かったり脇見をしたりといったリスクな行動が追突事故に繋がる。一方、高齢者は自分の心身機能の低下などを自覚している場合、補償行動をとる（松浦・石田・石川，2006）と言われているが、自身の衰えを自覚していない場合には、自己の運転スキルを過大評価する傾向がわかっている（大田・石橋・尾入，2004）。また、一般的に高齢ドライバーのブレーキ反応時間は、ばらつきが大きいことが指摘されている（住田・鈴木・牧下・松永，2004）。宇野・平松（1995）は高齢者の反応特性を調べており、ばらつきの大きさに加えて、心身的な感覚入力機能の低下や複数作業時の成績低下傾向を指摘している。したがって、心身機能の低下に応じた適切な補償行動がとれない高齢ドライバーが、何かに気をとられてブレーキ反応に遅れが生じた場合、追突事故に繋がると考えられる。

平成16年のマクロ事故データから、追突事故の人的要因の構成率を分析した結果を図1-2に示す。ドライバー側の事故要因として、前方不注意が6割以上を占めていることがわかる。前方不注意（外在的）、すなわち脇見のように前方以外を注視していた場合が4割程度と最も多く、次いで前方不注意（内在的）、すなわち眠気や考え事のように前方に注意が向いていなかった場合が2割以上を占める。追突事故では、カーブ先の車両や夜間の駐車車両などのドライバーから見えないハザード（潜在ハザード）よりも、ドライバーが見ようと思えば見えるハザード（顕在ハザード）である場合が多く、そのため前方不注意が原因の多くを占めると考えられる。

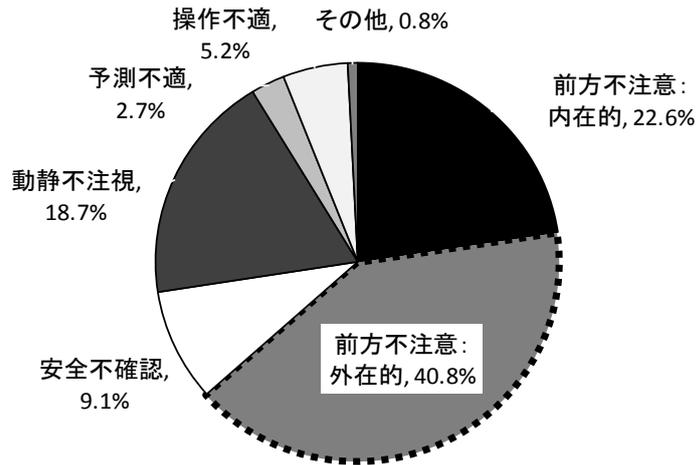


図 1-2 追突事故における人的要因の構成率 (H16 年マクロ事故データから作図)

次に、追突事故の発生した交通状況を調べるため、追突車両（事故の第一当事者）と非追突車両（事故の第二当事者）の危険認知速度の差を事故時の相対速度と考え、相対速度別の追突による事故台数を分析した（図 1-3）。なお、図中の追突車両台数は、非追突車両が停止中か走行中かで分けて示している。追突事故は 40km/h あたりをピークに凸分布しており、非追突側のほとんどは停止中であることがわかる。したがって、追突事故の代表的なシナリオは 40km/h 程度で走行中、ドライバが脇見などで前方不注意の状態が生じ、停止車両に衝突するケースと考えることができる。

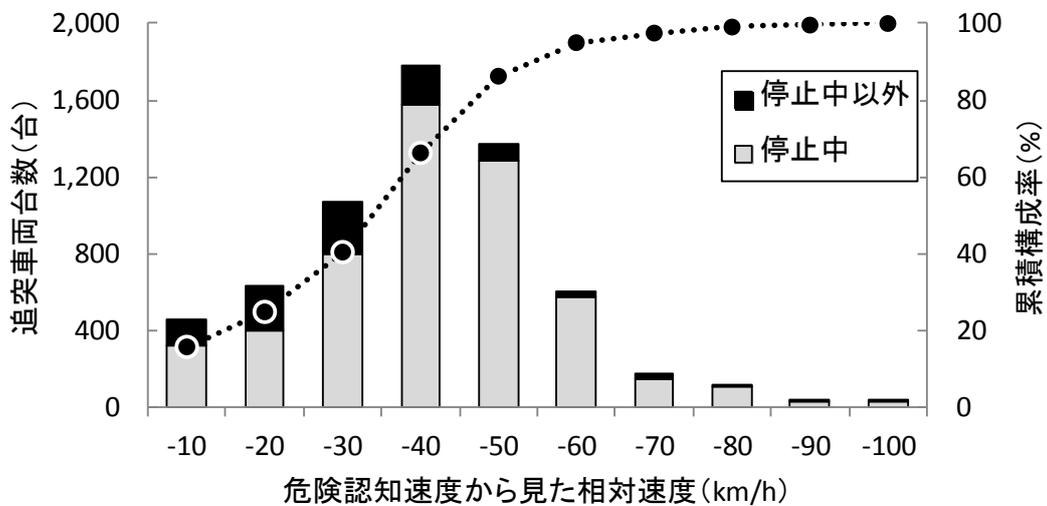


図 1-3 追突事故における相対速度分布 (H16 年度マクロ事故データから作図)

### 1.1.2 出会い頭事故

出会い頭事故とは、交差点などで進入する車両と交差する方向から進入する車両とが衝突する事故である。出会い頭事故は追突事故に次いで事故件数が多く、車両相互事故のなかで被害が大きい事故類型といえる。平松・小原・梅崎（2002）は、交通事故分析センターのマクロ事故データを用いて、無信号交差点での出会い頭事故の特徴を分析した。出会い頭事故は7割以上が昼間に発生しており、また無信号交差点が7割以上で、うち一時停止規制のありが4割、規制なしが2割5分を占めている。事故において過失の大きい第一当事者側の四輪自動車の行動類型別にみると、発進時が最も多く、次いで直進時（加速・等速・減速）の等速が多いが、遭遇頻度を考慮して事故率を試算すると、直進時の等速が最も事故になりやすいと分析している。一方、萩田・井川・浦井・宮下・土屋（2004）や神田・石田（2001）は、ミクロ事故データを用いた事故分析を行い、事故要因を調べている。萩田他（2004）によると、無信号交差点での出会い頭事故は、女性、高齢者および初めて通行した人の割合が高い。また交差点自体や一時停止規制を認識していたか否かの観点から、直進等速の事故を説明している。すなわち、初めて通行したかつ道路幅員の差が小さい交差点で、交差点あるいは一時停止規制があることを認識できず、等速で進入し事故に至るシナリオである。しかしながら、交差点や一時停止規制の認識をしていた割合は7割以上であり、この事故シナリオについては説明されていない。神田・石田（2001）は、ミクロ事故データを用いてバリエーションツリー分析（石田，1999やIshida & Kanda, 1999）を行い、非優先側ドライバの無信号交差点通過行動モデル（図1-4）を提案した。交差点通過におけるエラーパターンを6つに分類し、まず交差点の認知、一時停止規制の認知（2ステップ）、続けて安全確認の実施、交差車両の認知、衝突車両の認知、通過待ちの4ステップすべてに成功すると事故なく交差点を通過できるモデルとして示した。エラーパターンとして、安全確認の実施が不適切なパターン、次いで交差車両がいないと予測する見越し運転パターンが多く、交差点接近・進入時の安全確認が重要であることを示している。

適切な安全確認の実施や交差車両の予測には、交差点の視環境（見通し）が大きく影響する。内田・藤田・片山（1999）は、見通しの良い交差点における出会い頭事故に関する一連の研究を行っている。見通しが良い無信号交差点において、見えているはずの交差車両と等速のまま衝突するケースがあり、その原因は人間の周辺視の特性が関係していると考察している（内田・片山，2001）。すなわち、動きに対する検知感度は比較的良好である（小針・宇野，2009）ものの、中心視に比べ視覚刺激に対する検知感度が低い周辺視（Bartlett, Bartz, & Wait, 1962; 斎田・苧阪・北原，1994）では、コリジョンコース（ドライバからみて一定角度）で接近してくる交差車両の見落としが生じやすく、直前までハザードに気づかずに衝突に至ってしまうケースがある。ドライバが首を振ることで中心視による安全確認を行えば、発見確率が上がるものの、見通しが良いために積極的な安全確認が行われにくいことも当該事故の発生に影響している。福山・久保田・内田・藤田・片山（2003）は、対策として交差道路に余裕のある間隔の遮蔽物（植木）を配置し、フラッシング効果により周辺視による検知を高める対策の効果を検証した。また、Uchida, De Waard, & Brookhuis（2011）

は、運転支援システムを想定し、ドライバへ注意喚起することによる効果を検証している。

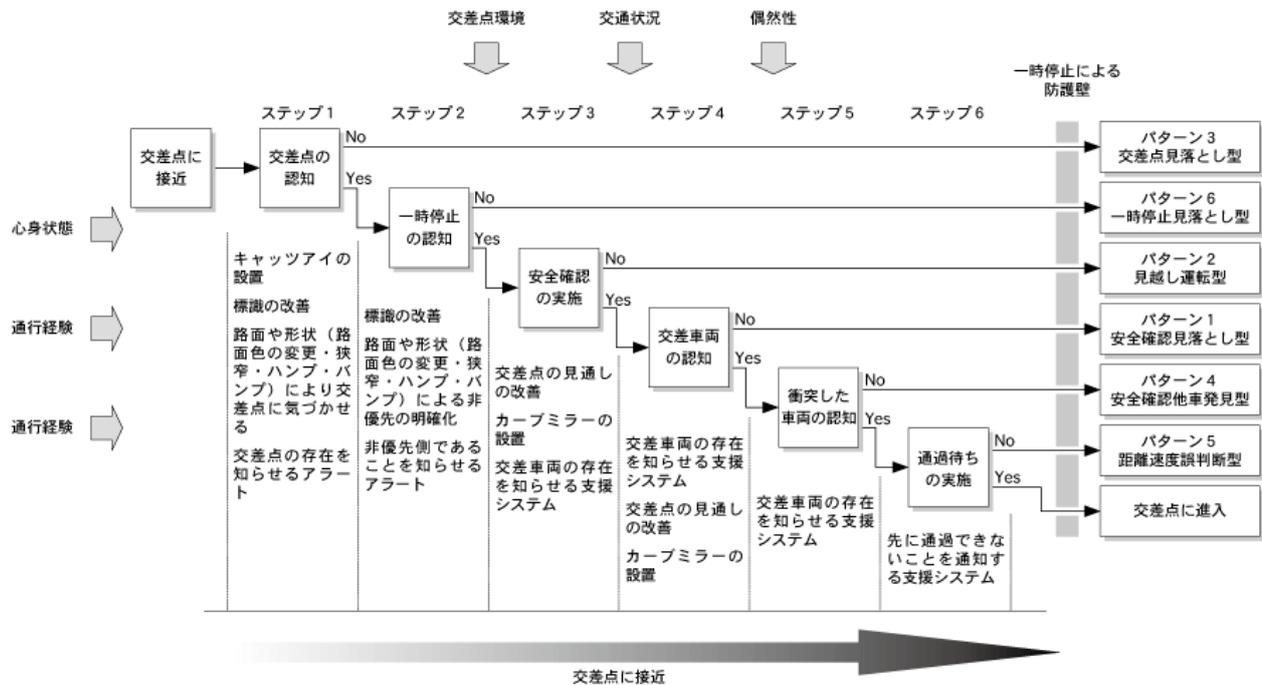


図 1-4 非優先側の交差点進入モデル (神田他, 2001)

先行研究から、出会い頭事故は交差点進入時に減速しないあるいは減速が不十分であった事故が多いといえる。松浦 (1985) は無信号交差点において、一時停止規制による交差点進入速度の低下を立証した。しかし、一時停止規制のある無信号交差点進入時の実態として、多くの研究で一時停止の実施率が低いことが指摘されている (例えば, Feast, 1968 や McKelvie, & Schamer, 1988)。また、一旦停止をすれば安全かといえば、一概にそうとも言い切れない。宇野・猿渡・浦井・吉田 (2010) の実験では、ドライバの不適切な注意配分が出会い頭事故のリスクを高める要因であることが示されている。すなわち、T字交差点において一時停止後に右折する際、進行方向である右方向へ注意が偏り、左方向からくる交差車両を見落とす、あるいは発見が遅れて衝突するケースが多くなることが実験的に示された。左側通行である日本では、左側からの交差車両よりも右側からの交差車両の方が自車に近い車線を通過するため、ドライバの注意が右方向を優先する傾向も関係している。これは、日本とは反対の右側通行の国における Summala, Pasanen, Räsänen, & Sievänen (1996) の研究で、左折時に右から来る自転車との衝突リスクが高まるという結果とも一致する。さらに、交差車両を発見できたとしても、不適切なギャップアクセプタンス (距離や速度を見誤ること) で発進の判断を誤って衝突するケースもある。Bottom, & Ashworth (1978) は、交差車両の速度が高い場合に受容するギャップが大きくなる傾向があり、そのばらつきが大きいことを指摘している。また Parsonson, Isler, & Hansson (1999) は、ギャップアクセプタンスは速度よりも

距離に依存することを示した。Keskinen, Ota, & Katila (1998) は、ギャップアクセプタンスに年齢の影響はないものの、高齢ドライバの干渉領域を通過する時間が長いことがリスクにつながるとしている。

このように追突事故とは異なり、出会い頭事故を防ぐためには交差点の通過や右左折に必要な多くのステップでドライバの適切な行動が求められ、ドライバには十分な注意水準に加え、適切な注意配分が求められる。

## 1.2 交通事故対策における運転支援システムの位置づけ

交通社会を構成する要素は、大別すると人間（ドライバ、乗員、歩行者など）、車両（車両、自転車など）および環境（道路、標識など）に分けることができる。図1-5が示すように、これらは相互に関係し合い交通社会を形成しており、事故の発生に関しても同様に、これらの要素が相互に影響するといえる。交通事故対策として、それぞれ「人」に介入する「教育」や「法規制」、「車」への対策として「車両改善」、そして「環境」へ施される「環境改善」がある。

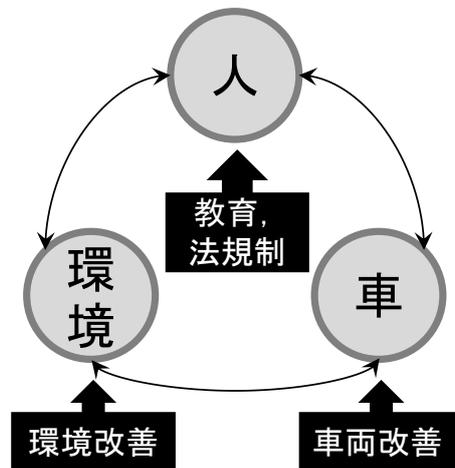


図1-5 交通社会の構成要素と交通事故対策

教育については、免許取得時の初心運転者教育や職業ドライバに対する運転者教育などが挙げられる。また、交通参加者としての歩行方法や自転車の走行方法に関するルールなどは、学校における特別教育として実施される。教育に関しては、講義形式の教育よりも小集団での討論形式の方が効果的であると報告されている（例えば藤本，2001 や蓮花・太田・向井，2010）。また、大谷・橋本・岡田（2012）は、幼少期における交通安全教育が、将来的な安全意識の向上に重要であると考え、子供を対象とした教育法について検討を行っている（大谷・橋本・岡田，2014）。しかしながら、教育は受けることによる利益（ベネフィット）が少ないなど、動機づけが困難な点などがあり、訴求が十分に進んでいないのが現状である。

環境改善については、古くから路面の整備、信号機や標識、ガードレール等の設置といったインフラ整備が行われてきた。交差点への進行動は、信号機の設置や一時停止規制により大きく変わることが研究的にも示されている（例えば松浦，1985）。一方、車線幅を広くするなど道路環境が改善されることで走行速度が高まり、結果として事故のリスクは変わらないとする、リスク・ホメオスタシス理論が Wild（1982）によって提唱され、各所で議論がなされた。最近では生活道路のインフラ対策として、狭路化やハンプの設置など、快適性が抑制されるような安全対策が取り入れられ、一定の効果が示されている（例えば清田・斎藤・渡辺・伊藤，2005 や中井・臼井，2011）。

車両改善による交通事故対策は、図 1-6 のように整理することができる。事故が発生した際に、乗員を守るために行われてきたのが衝突安全対策である。シートベルトや車体構造の改善、エアバッグの導入により、衝突時における乗員の被害軽減が図られてきた。適切にシートベルトをした状態であれば、乗員の被害軽減は、過去の車に比べ飛躍的に向上している（例えば加来・恒吉・最所・光岡，1994 や荻田・渡辺・伊藤・佐藤・築地，2006）。最近では、乗員以外の歩行者への被害軽減策として、衝撃吸収バンパーやポップアップボンネットなども導入されはじめた。

一方、事故を発生しにくくするために、従来から視認性の改善（直接視界・間接視界・灯火器など）や操縦安定性（走る・止まる・曲がる）の改善（タイヤ，サスペンション，空力など）といった予防安全対策が図られてきた。また、急速な電子技術の進展に伴い、ABS（アンチロック・ブレーキ・システム）や ESC（エレクトロニック・スタビリティ・コントロール）といった、限界時における操縦安定性の向上機能も多くの車両で装備されている。さらに、センサで周辺状況を検出し、ドライバへリスクを知らせたり、リスクを減らす制御を行ったりする運転支援システムが開発された。運転支援システムには、事故回避を目的に支援する装置と運転者の負担軽減を目的に支援する装置が挙げられ、特に前者は事故防止対策として直接的なアプローチができるため、その効果が期待できると考えられる。

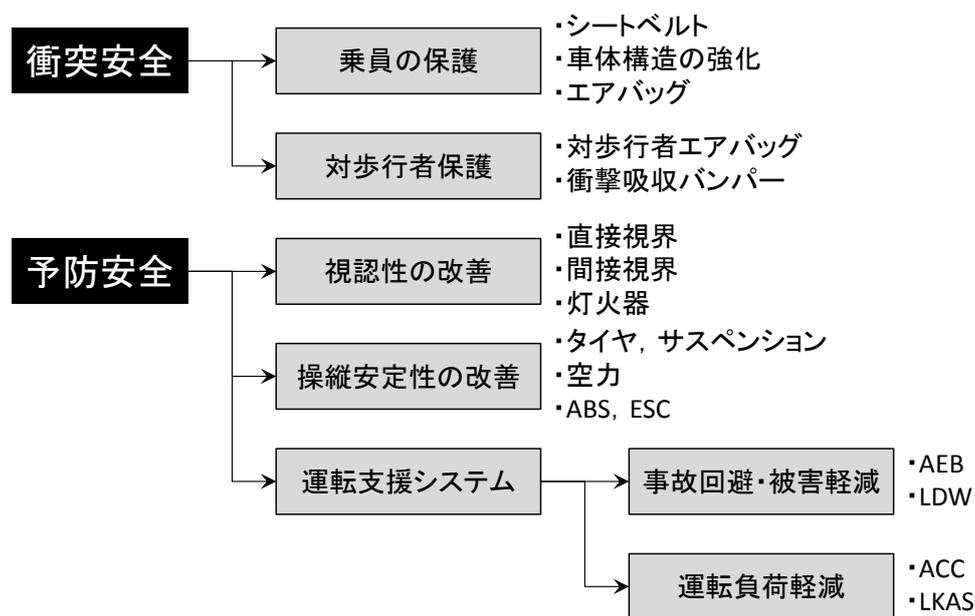


図 1-6 車両改善による交通事故対策

### 1.3 運転支援システムの分類

運転支援システムは、ドライバの運転タスクを支援することを目的に構築されているため、人間の情報処理過程と対応づけて図 1-7 のように整理することができる。人の情報処理過程は、知覚、状況理解、行為選択および行為実行の段階に分類することができる (Wickens, 1992)。各段階において想定されるヒューマンエラーを整理すると、最も上位の知覚のエラーでは、ハザードの見落としや発見の遅れが挙げられる。知覚のエラーは、Treat et al. (1977) による事故分類において最も多く、交通事故の約半数を占めており、ドライバの注意水準 (覚醒度など) の低下により生じやすい。また、交通環境として視界が悪い、ハザードが遮蔽されていることで生じる可能性が高まる。知覚にエラーに遅れが生じると、その後の段階でも適切に処理することが困難になる。

ハザードを適切に知覚しても、状況理解および行為選択が不適切であれば、ハザードの危険性を適切に把握することができず、リスクを回避する判断を誤り事故に至る。状況理解と行為選択の段階は、Treat et al. (1977) の事故分類における意思決定エラーに相当し、知覚エラーに次いで多い事故原因である。蓮花 (2000) のリスク回避モデルに基づけば、交通環境に対するリスクの過小評価や自己の運転スキルの過大評価、リスク効用などが影響すると考えられる。

リスクを回避する判断が適切であっても、操作エラーによって事故に至る。操作エラーは、上位のエラーに比べると少ないものの、アクセルとブレーキの踏み間違いやハンドル操作ミスなどによる事故が存在する。ドライバのスキル不足や過度な緊張状態などに起因すると考えられる。

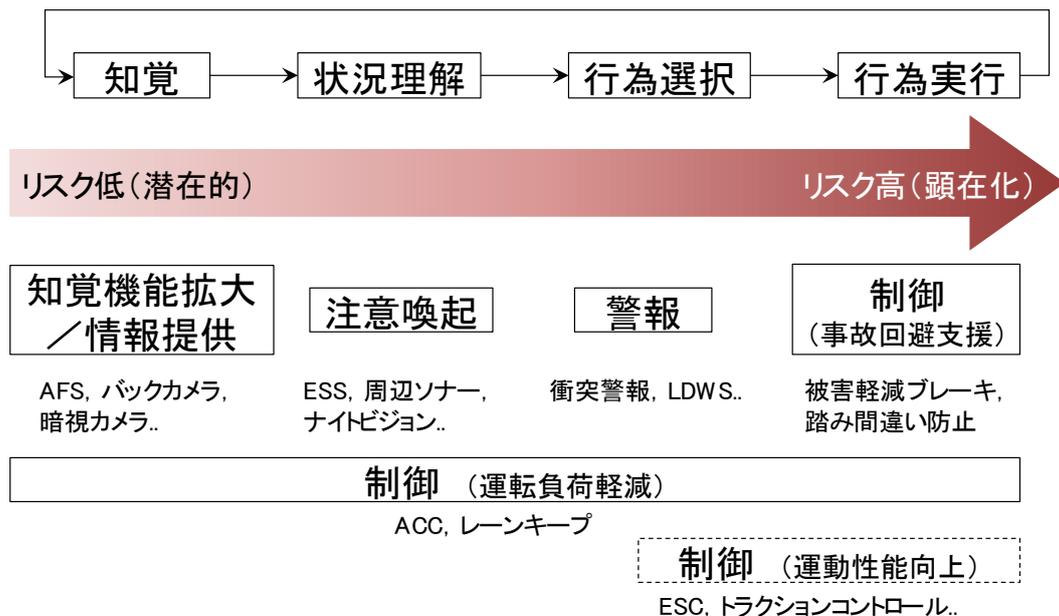


図 1-7 運転支援システムの分類

国土交通省の先進安全自動車 (ASV) 推進計画では、運転支援システムを人間の情報処理過程と

対応づけて整理している。知覚機能拡大あるいは情報提供と分類されるシステムは、ドライバの知覚を補助する装置である。例えば、AFS (Adaptive Front-lighting System) や AHB (Automatic High Beam) は灯火器を高機能化したシステムで、ステアリング操作に連動してカーブ先を照射するようにライトの向きを制御する、あるいは対向車がない場合に自動的にハイビームにすることで、夜間の視界を改善する。また、バックカメラやフロントノーズカメラなどはカメラを用いた視界補助システムで、運転する上で死角となる後方視界を車両後端に搭載されたカメラで映す、あるいは見通しの悪い交差道路を車両先端に搭載したカメラで映すことによって、死角の情報をドライバに提供する。これらのシステムはあくまで知覚機能の補助であるため、一般的にハザードの有無やハザードとのリスクを判断する機能は備えていない。

注意喚起と分類されるシステムは、状況理解を補助する装置である。例えば、周辺ソナーは車両の周辺に搭載された音波センサで周辺の障害物との距離を検知し、衝突の危険性が生じた場合に聴覚・視覚表示などでドライバへ注意を促す。夜間歩行者警報 (ナイトビジョン) は、赤外線カメラによって夜間の見えにくい歩行者を検知し、衝突リスクが生じた場合にドライバへ注意を促す。注意喚起ではシステムが衝突リスクを判定し、ドライバに対してリスクが生じた状況理解を補助する機能といえる。

警報と分類されるシステムは、行為選択を補助する装置である。例えば、衝突警報は車両前方に搭載されたセンサにより、障害物との衝突リスクが極めて高くなった場合に、ドライバのブレーキ操作を促す装置である。また、車線逸脱警報は車両前方を映すカメラから車線と検出し、車線から逸脱しそうなときにドライバにステアリング操作を促す装置である。注意喚起に比べ、警報はドライバが即座に対応しなければ事故回避が難しい状況で作動し、また回避操作を指示する視覚表示やモダリティが採用されている。

事故回避支援の制御は、ドライバの運転操作に代わってシステムが車両を制御する装置である。例えば、被害軽減ブレーキはドライバでは前方障害物との衝突を回避できない状況において、自動的に減速制御を行うことで、衝突回避あるいは衝突速度を低減する。また、踏み間違い防止支援システムは、前方あるいは後方の障害物を検出し、障害物があるにも関わらずドライバが誤ってアクセルを踏んだ場合に、加速機能を抑制あるいは無効にする。

自動車の運転タスクは、時々刻々と上記の情報処理過程をフィードバックしながら行われる行為であり、航空機やプラントにおける操作と比べて時間的な余裕が小さいと言われている。したがって、上位の段階である知覚が遅れば、その後の段階が間に合わず事故に直結する可能性が高まる。例えば、平尾 (1971) によれば、追突事故の分析からドライバがハザードに気づいたときにはすでに回避不可能な状況だったケースが半数程度を占めることを指摘している。また、島崎・石田 (2009) は、タクシードライバの事故反復群は、優良群に比べリスク評価に違いはないが、リスク評価のタイミングが遅いことを明らかにし、発見の遅れがリスクを高めることを示した。よって、事故を防ぐためには支援を行うタイミングも非常に重要になる。

前述までの運転支援システムは、ハザードを検出するセンサなどがすべて車両に搭載されている自律検知型運転支援システムである。追突事故防止支援システムは、自律検知型の代表例ともいえるシステムで、すでに市場に投入されている。一方で、自律検知型のシステムはセンサが車両に搭載されているため、ドライバと同様に遮蔽された潜在ハザードの検出は難しい。出会い頭事故や右直事故、遮蔽された場所から飛び出してくる歩行者との事故などを防止するためには、通信を利用する必要がある。通信利用型運転支援システムは、インフラに設置されたセンサとの通信（路車間通信）や車両相互の通信（車車間通信）、あるいは歩行者との通信（歩車間通信）によってドライバから直接見えないハザードの情報提供（知覚の支援）や注意喚起（状況理解の支援）を実現するためのシステムである。これら通信利用型運転支援システムは、すでに実証実験等が実施されているものの、車両1台の中で完結する自律検知型運転支援システムに比べ、インフラ整備や通信規格などの共通化などが必要になるため、市場投入までには至っていない。また、ドライバから直接見えないハザードの情報を提供するには、ドライバへの情報提示のタイミングやその内容など、HMI（Human Machine Interface）の重要性が指摘されており（稲垣，2012）、事故低減に有効なシステムの普及には課題が残る状況である。

### 1.3.1 追突防止支援システム

追突防止支援システムは、衝突警報と衝突被害軽減ブレーキが組み合わさったシステムである。2000年代に入って実用化され、発売当初はコスト面などから高級車を中心に搭載されたが、普及はあまり進まなかった。また、国内ではドライバの過信が懸念されたため、ブレーキの制御を行い減速するものの回避はしない、すなわち衝突の被害を軽減するに留めた装置として国土交通省が技術指針を作成した。その後、欧州メーカから回避まで行うシステムが販売され、輸入されるようになったことをきっかけに、技術指針が見直され、国内でも回避まで可能なシステムが販売されるようになった。この頃から、テレビコマーシャル等で「ぶつからない車」や「自動ブレーキ」といったフレーズで注目され始めた。2013年度からは、独立行政法人自動車事故対策機構が主導する、乗用車を対象とした自動車アセスメント事業（JNCAP）において、衝突被害軽減ブレーキの性能評価試験が開始され、搭載車種の増加や販売台数の増加が見込まれる。国土交通省の発表する「ASV技術装着台数」によると、平成18年には年間15,000台程度であった被害軽減ブレーキは、平成26年には520,000台を超える年間販売台数となっている。一方、大型車については追突事故の致死率が高く、当該システムが死亡事故の低減に効果的な対策と考えられ、2007年度から国土交通省が「自動車事故対策費補助金（大型車の衝突被害軽減ブレーキ）制度」を施行している。さらに2012年には、大型車の被害軽減ブレーキが法規化され、2014年11月以降の新型車および2017年9月以降は継続生産車にも搭載が義務づけられている。こうした動向は、国内にとどまらず、乗用車に関しては欧州の「EuroNCAP」をはじめ米国の自動車保険団体「IIHS」なども性能評価試験を始めている。また大型車に関しては、国連の自動車基準調和フォーラム（ECE/TRANS/WP29）において、大型車を対象とした「先進緊急ブレーキシステム」（AEBS：Advanced Emergency Braking Systems）の国際基準が策定された。

追突防止支援システムが前方の障害物を検出するためのセンサは、カメラ方式、ミリ波レーダ方式およびレーザ方式の3種類が存在する。

カメラ方式は、カメラで撮影した画像をコンピュータで処理することで、衝突対象を検知する方式である。他の方式がミリ波やレーザ光などを照射し、その反射波をセンシングするアクティブ方式であるのに対し、カメラ方式は外界の光をセンシングするパッシブ方式のセンサといえる。カメラは、他のセンサに比べ分解能が高いため、画像処理・認識技術（パターンマッチングなど）によって、衝突対象である車両、二輪車、歩行者などの識別が可能である。また、画像内の位置関係から、対象の大きさや対象までのおおよその距離を算出することができる。上下左右方向（対象の大きさなど）の分解能は高いが、奥行き方向（対象までの距離）の分解能については、他の方式よりも劣る。しかしながら、2台のカメラを用いるステレオカメラは、人間と同様に両画像の差から比較的精度の高い距離算出が可能である。他のセンサに比べ分解能が高く、物体の識別などに有利な反面、可視光カメラでは夜間などのセンシングは不利といえる。ただし、赤外光を照射した上で、赤外線カメラを用いて検出する方式もあり、この場合は夜間でも昼間と同様の検出が可能である。

また、雨や濃霧、雪などの悪天候時、西日や対向車のハイビームなど、カメラに対して強い外光が入ってくるような状況では、性能が低下することがある。

ミリ波レーダ方式は、ミリ波と呼ばれる波長 1~10mm、周波数 30~300GHz の電波を照射し、対象となる物体からの反射波を検出することで、物体までの距離、方向および相対速度を測るアクティブ方式のセンサである。奥行き方向（対象までの距離や相対速度など）の分解能はカメラ方式よりも高いが、上下左右方向（対象の大きさ）の分解能が低く、また物体の識別能力は低い。電波を用いるため、金属物体の検出に向いているが、物体の形状や材質によって反射特性が異なるため、反射波から対象の物体を正確に識別するためのロジックが複雑になり、前述の識別能力の低さの一因となっている。当該方式のシステムは、誤作動による事故が発生したことがあり、その原因は周辺車両（タンクローリー）からの乱反射とされている。また、相対速度が低い場合や近距離の検知には向かないため、低車速あるいは低相対速度では作動しないことを取扱説明書に明記しているシステムもある。車載センサとして用いられているミリ波レーダは、短距離用の 24GHz（厳密にはセンチメートル波の周波数帯域であるが、ミリ波として扱われている）と長距離用の 77GHz、79GHz がある。前者は電波望遠鏡との干渉などの問題があり、使用場所に制限が設けられており、車載レーダとしては平成 28 年中までしか使用することができない。ミリ波は指向性が強いので、カメラ方式に比べて雨や霧などの悪天候や光などによって受ける影響が小さいのが特徴といえる。

レーザ方式は、レーザ光（赤外線）のパルスを照射し、対象となる物体からの反射光を検出し、物体までの距離と方向を測るアクティブ方式のセンサである。レーザ方式には、レーザ光の照射を決められた複数方向に行う固定ビーム方式と可動式の鏡などを用いてレーザ光を走査する、走査ビーム方式とがある。レーザ光は、ミリ波に比べてビームを細く絞ることが可能であり、空間分解能が高いのが特徴である。特に走査ビーム方式では、物体の形状まで識別することが可能である。また検知距離も十分にあり、従来から ACC（Adaptive Cruise Control）の車間距離センサとしても使用されてきた。しかし、軽自動車を中心とした追突防止支援システム（低速 AEBS）に用いられているレーザセンサは、コスト削減のため検知距離を近距離（20m 程度まで）に限定したもので、相対速度 30km/h 以上では作動しないものが主流である。当該方式のシステムでは、体験試乗会での事故が発生しており、ドライバが作動上限速度である 30km/h 以上で走行したのが原因とされている。光を用いるため、大きい雨粒や濃霧などの天候条件下では、レーザ光が散乱して検出性能が劣化する場合がある。

追突防止支援システムは、障害物との距離や相対速度を前述の各種センサによって検出し、衝突リスクを評価する。北島・丸茂・平岡・伊藤（2009）は、追突リスクの評価指標を特徴ごとに整理している。最も基本的な指標が衝突余裕時間、すなわち TTC（Time to Collision）である。TTC は、ある時点における車間距離を相対速度で除した値であり、そのままの物理状態が継続すれば TTC 秒後に衝突することを示す。他にも、車間距離を自車速度で除した車間時間（THW: Time Head Way）、加減速を考慮した TTC の 2 次予測値、先行車の視角の時間変化を表す  $1/TTC$  などが挙げ

られる (Kondoh, Yamamura, Kitazaki, Kuge, & Boer, 2008). こうした追突リスクを数値化し、ある閾値をもって警報を開始したり、ブレーキ制御を開始したりする。

追突リスクのある前方障害物を回避する際には、制動による回避と操舵による回避が可能である。物理的に、低速域では制動による回避の方が有利であり、高速になれば操舵による回避が有利となってくるため、当該支援システムは、回避限界を考慮して制御開始タイミングが決定されている (澤田・廣瀬・春日・銭谷, 2008)。つまり、高速で走行中にドライバーが操舵により回避しようとしたところ、ブレーキ制御が開始されると、ドライバーの操作と干渉することになり車両の挙動が不安定になるリスクや、システムに対する信頼感の低下などが懸念されるため、こうした配慮がなされている。国土交通省 (2011) によると、衝突被害軽減ブレーキの実用化指針として、乗用車および大型車の機能や性能要件をまとめている。乗用車における制動制御開始タイミングは、図 1-8 に示すように通常の制動回避限界と操舵回避限界によって決められており、通常のドライバーの操作と干渉しないように設定されている。また警報開始タイミングは、ドライバーの反応時間 0.8 秒を加えたタイミングとしている。さらに、制動を目的とした制御は  $6.0\text{m/s}^2$  以上 (ドライバーの緊急時の減速度を参考に設定) とされており、併せて速やかに減速度を大きくなるような制御を求めている。これらは、ドライバーが自動ブレーキに過度に依存し、通常時のブレーキ操作を任せるようなことがないような配慮である。

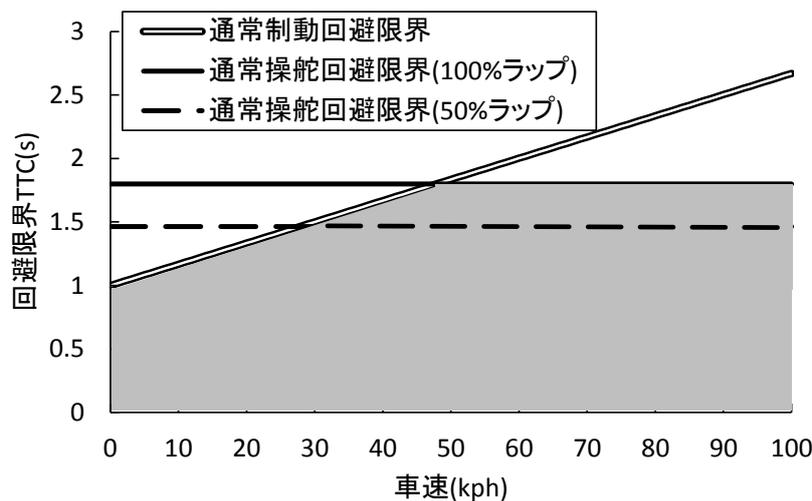


図 1-8 乗用車の車速に対する制動回避限界および操舵回避限界 (国土交通省, 2011 から作図)

### 1.3.2 出会い頭事故防止支援システム

出会い頭事故を防止するための運転支援システムは、自律検知型システムではフロントノーズカメラが挙げられる。フロントノーズカメラとは、車両先端（フロントグリルなど）に左右方向を映すカメラを搭載し、車両が停止しているときに、カメラの映像を車内のディスプレイに表示する情報提供装置である。この装置により、非常に見通しの悪い交差点などで、左右への安全確認を行う際に、目視で確認できる場所まで前進しなくても、映像で左右の安全確認ができる。しかし、基本的に一旦停止しなければ作動しない装置であるため、等速や減速のみで進入して発生したような事故に対しての効果は期待できない。若杉・本間（2010）の研究によれば、一旦停止後の安全確認で交差車両を見落とし、衝突するような事故に対して高い効果が期待できる。しかし、出会い頭事故の中でこの装置が有効な事故はそれほど多くない。また、当該装置はドライバーが自らスイッチを入れないと作動しないため、日頃から装置を利用するか否かによっても、その効果に影響する。

一方、通信を利用した出会い頭事故防止支援システムも検討されている。通信利用型運転支援システムには、インフラにセンサを設置して交差車両の情報提供を行う路車間通信型システムと、車両同士が通信を行うことでお互いの存在を知らせる車車間通信型システムがある。路車間通信を利用したインフラ協調型の安全運転支援システムは、主に警察庁と新交通管理システム協会（UTMS）が進める光ビーコンを利用する DSSS プロジェクトと、国土交通省道路局が進める DSRC（5.8GHz 帯）を利用するスマートウェイプロジェクトがあり、前者は一般道、後者は自動車専用道を対象とする。よって、出会い頭事故防止支援は DSSS の中で行われている。自動車安全運転センター（2007）および自動車安全運転センター（2009）では、交差点での右折事故および出会い頭事故防止支援を、インフラに設置されたセンサと車両とが通信を利用し、カーナビゲーション画面を用いて情報提供することの運転行動への影響を、テストコースでの実車実験によって調べている。実験の結果、ドライバーの主観評価が高い動画による情報提供は、ドライバーの視線を表示装置へ偏らせる懸念があることなどを指摘している。一方、Fukushima（2006）は神奈川地区においてインフラ協調型の出会い頭事故支援システムの地域実証実験を計画し、Fukushima, Seto, & Tsukada（2007）、Fukushima, Seto, & Tsukada（2008）および Fukushima, Kamata, & Tsukada（2009）において、その結果を報告している。Fukushima et al（2009）によれば、2.5 年間の 20,000 を超える交差点通過データの分析から、支援による一時停止率の向上、進入速度の低下や衝突防止効果が確認された。また、システム搭載車両で、支援が提供されなかった時の進入速度も低下しており、懸念される情報提供がないことによって車両がないことを伝えてしまう影響は見られず、むしろ支援が提供されない他の交差点でも、以前よりも注意するようになったとのアンケート結果を示している。この結果は、システムの提供する支援の確度、すなわちドライバーのシステムに対する信頼や、支援が提供される頻度などによっても影響があると考えられるため、さらなる検討が必要と考えられる。

車車間通信を利用した出会い頭事故防止支援は、国土交通省自動車局が主導する先進安全自動車

(ASV) プロジェクトが挙げられる。通信電波として、5.8GHz 帯に加え、アナログ放送終了後の 700MHz 帯の一部の電波帯が、自動車の ITS 分野へ割り当てられたことで利用可能となった。車車間通信を利用した出会い頭事故防止支援システムは、GPS からの車両の位置情報、車両センサからの速度情報などを通信によって送受信し、衝突リスクを計算した上で必要に応じて注意喚起などを行うシステムである。環・宮武・入谷 (2000) は、遮蔽された環境における電波回折の減衰量について検討を行い、見通しの悪い交差点における運転支援システムのための車車間通信として利用可能であることを示した。

塚原・伊藤・御室 (2008) は、ドライブレコーダのヒヤリハット映像から、通信利用型の出会い頭事故防止支援システムの有効性が期待される場面を検討し、ハザードが見えてからブレーキを踏んでも間に合わないタイミングの場面での有効性を指摘している。また木村・池田 (2008) は、一時停止交差点における通常の制動開始タイミングを調査し、その結果を考慮して支援情報を提供したことによる行動変化を調べた。交差点まで 3 秒～4 秒前のタイミングで情報提供することにより、急なブレーキ操作の減少や、目視による安全確認の増加を示した。小竹・鎌田 (2009) は、出会い頭事故の多い高齢ドライバーに着目した上で、高齢ドライバーを認知機能などによって分類した。注意機能が低下したドライバーに対して情報提供することで、一時停止率の向上などの効果を実験的に検証し、支援の必要性を指摘している。一方、宗広・大門・山崎・有住 (2011) は、実際の事故多発交差点を DS 上に再現し、運転支援システムを導入した場合の効果を推定した。こうした実験的な検討に加え、望月・久保谷・新居 (2013) は、ドライバーのエラーをモデル化した上で、シミュレーションによって、出会い頭事故防止支援システムによる効果を推定している。

#### 1.4 運転支援システムにおける課題

自律検知型の運転支援システムの中でも、事故低減効果が高い期待される衝突被害軽減ブレーキや車線逸脱警報などは、連日テレビコマーシャル等で宣伝され、普及期に突入したと言っても過言ではない。これらのシステムは、衝突直前の事故回避を支援するシステムであり、衝突リスクが高く、即座の対応がなければ事故を免れない状況でのみ作動する。したがって、システムが作動するような状況に遭遇する頻度は低く、ドライバによる操作とシステムの制御との間に干渉は起こりにくい。また、システムが作動してから交通状況が変化し、たとえドライバが対応しなくてもリスクが低い（物理的に衝突しない）状況になることも生じにくい。一方、ドライバの対応が遅くなれば、システムの効果は低下する（ただし、ドライバが対応しなくても自動で制御される支援については関係ない）。ドライバの対応が遅くても効果を上げる支援を行うためには、支援を開始するタイミングを早める、すなわち衝突まで比較的余裕のある状況で作動させる必要が出てくる。しかし、余裕のある状況での支援は、システムの作動頻度の増加やドライバ操作との干渉、さらに作動後の状況変化による不必要な支援となる可能性が高まる。つまり支援のタイミングを早めることは、ドライバに対応する余裕を与えるという点において効果的である反面、ドライバにとって不必要な作動が増加する懸念がある。

表 1-1 は、警報の対象が存在したか否かおよび警報が提示されたか否かによって、警報を分類した表である。警報の対象となるハザードが存在する状況で警報が提示された場合、適切な作動であり正警報といえる。警報の対象となるハザードが存在しないにも関わらず提示された警報は、ドライバからすると誤った警報、すなわち誤警報である。一方、警報対象のハザードが存在し、本来であれば提示されるべき警報がない場合は、不警報あるいは欠報と呼ばれる。支援システムを搭載していないドライバは、本来警報が提示されることはないため、不警報や欠報の状態と同様と考えられ、一見すると不警報や欠報は問題ないようにも思える。しかし、システムが搭載された車両を運転するドライバは、少なからずシステムを信頼し頼る（依存する）。もし、ドライバが支援システムに全く頼っていないのであれば、支援は意味を成していないともいえる。このドライバのシステムに対する信頼が、システムの機能的信頼性を上回る（過大評価する）状態を過度な依存、すなわち「過信」と呼ぶ。過信は、従来から航空やプラントの自動化システムにおいて問題視されており（例えば Parasuraman & Riley, 1997）、自動車においても特に運転負荷軽減を目的とした ACC などの自動化システムを使用しているときの Situation Awareness（状況認識）への影響などが指摘されている（de Winter, Happee, Martens, & Stanton, 2014）。また、安部・伊藤・田中（2006）によると、システムに対する信頼が高い状態で不警報が生じると、ドライバの対応行動に遅延が生じるとしている。大谷・宇野・飯星（2006）は、不警報が生じることによって、ドライバのシステムへの信頼感が著しく低下すると指摘する。

一方、誤警報が頻発するとドライバのシステムに対する信頼が著しく低下し、正警報に対して反応しなくなる現象（いわゆるオオカミ警報の存在）が確認されている（例えば Bliss, Gilson, &

Deaton, 1995 や Sorkin, 1988). また, 誤警報の頻度が少なくても, 正警報に対する反応時間が遅延するという報告もある (安部他, 2006). このように, ドライバのシステムに対する信頼は, 低すぎても高すぎても負の影響があるトレードオフの関係と考えられ, 誤警報や不警報によって影響を受ける.

システムに対する信頼への影響要因は, 誤警報や不警報のみではない. 安部・伊藤・川村 (2009) は, 脇見状態のドライバにも有効な比較的余裕のある衝突警報タイミングを設定した実験を行い, 前方を見ている状態で, 同様のタイミングの警報を提示すると, ドライバの主観的煩わしさを増加させることを明らかにした. このように, たとえ正警報であったとしても, ドライバがそれほど危険ではないと評価する状況で支援を行うことは, ドライバが不必要と感じる支援となる可能性がある. システム受容性の低下は, ドライバがシステムを利用するか否かの判断に関係する. したがって, ドライバが必要なタイミングで必要な支援を行うことが理想である.

表 1-1 警報の種類

		警報の対象	
		あり	なし
警報提示	あり	正警報	誤警報
	なし	不警報・欠報	

支援が必要な状況は, ドライバの注意によって整理することが可能と考えられる. Shinar (1987) は, 運転における注意の重要な特徴として, 「注意の水準あるいは量」と「注意の配分」に分類して論じている. 宇野 (2011) によれば, 運転タスクは, 通常時におけるトラッキングタスク (例えば, 速度調整や車線維持) と緊急時における検知反応タスク (例えば, 先行車の急減速や歩行者の飛び出しへの対応) の組合せである. Blumenthal (1967) は, 環境が要求するパフォーマンス水準に対して, ドライバのパフォーマンス水準が上回っているかぎり事故は発生しないとしている. パフォーマンス水準をドライバの注意水準とほぼ同義であると捉えると, 図 1-9 が仮定できる. すなわち, 安全な運転に必要な注意水準 (図の赤線) に対して, ドライバの運転タスクへの注意水準 (図の青破線) が上回っていれば安全であり, 逆転しかつリスクが顕在化したときに事故が発生する. このように事故リスクを注意水準から捉えると, 支援が必要な状況とは, リスクが顕在化したすなわち衝突まで余裕のない状況において注意水準が逆転する領域 (図の赤ハッチング部) と, リスク潜在時において注意水準が逆転する領域 (図の薄赤ハッチング部) に整理できる. ドライバの運転タスクへの注意水準は, 覚醒状態, 疲労, アルコールや薬物などによって影響を受けることは自明である. また, 注意転導いわゆるディストラクション (脇見など) により, 運転タスク以外へ注意を搾取されることによる影響が考えられる. 追突事故のような顕在ハザードに対する事故リス

クは、この注意水準の関係により説明が付きやすいと考えられる。すなわち、前方の停止車両などリスクが顕在化した（見ようとすれば見える）状況下において、ドライバの運転タスクへの注意水準が脇見や覚醒度の低下によって不十分となり事故リスクが高まる。ドライバが注意水準を低下させる要因として、ハザードへの遭遇を低く予測している心理状態が影響すると考えられる。例えば、安部・伊藤・山村（2012）は車間時間とドライバの脇見行動に着目して実験を行い、車間時間の大小によりドライバの脇見時間も増減することを明らかにしており、ハザードに対する予測がドライバの注意水準に影響を与えることを示唆している。追突リスクの高い状況において、追突防止支援システムの衝突警報による効果が期待でき、その効果が評価されてきた（例えば、山田・若杉，2001や成，2001）。従来研究では、ドライバの脇見や覚醒度を考慮した衝突警報の評価検討が行われているものの、ドライバのハザードへの予測という心理状態まで考慮されていない。実際の事故発生直前に提示される衝突警報の効果を評価するためには、このような心理状態まで考慮してドライバの警報に対する反応を調査する必要があるが、このような研究はみられない。

一方、出会い頭事故のような潜在リスクに対する事故リスクに関しても、必要な注意水準が満たされていることが求められるが、それ以外にハザードが潜在する方向への注意、すなわち注意配分の考え方が必要と考えられる。

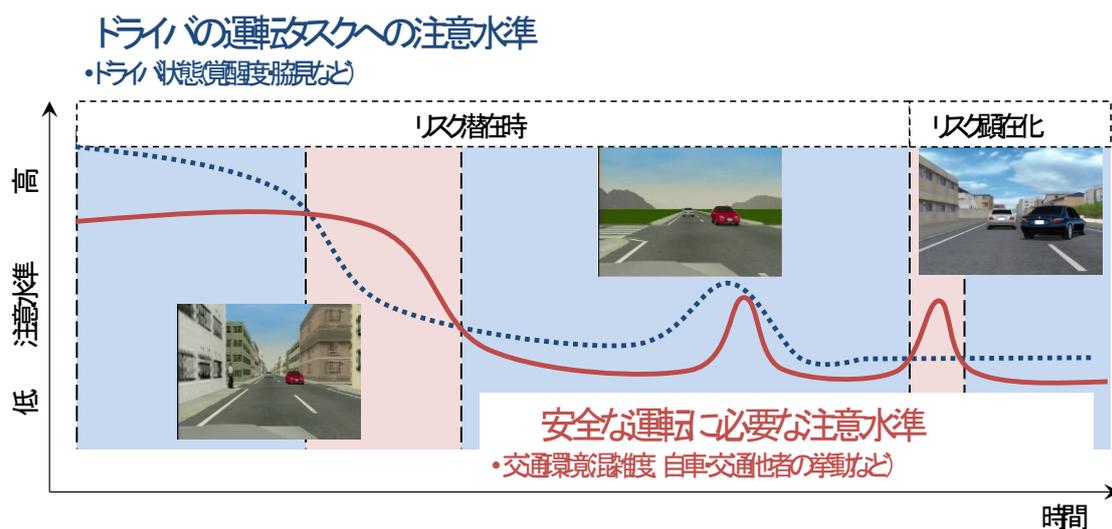
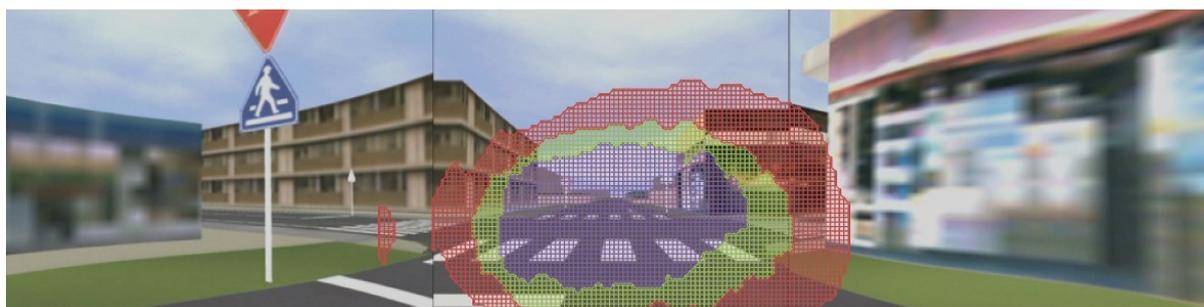


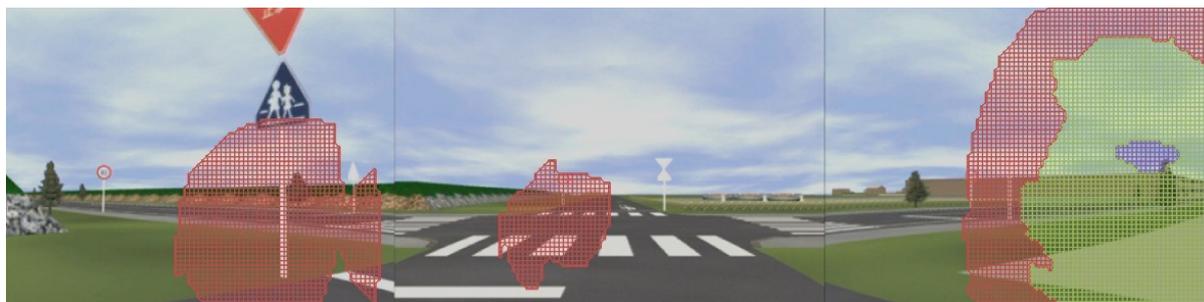
図 1-9 運転と注意と事故リスク

運転における潜在ハザードの発見には、視覚探索能力が大きく関わっている。視覚探索は、刺激駆動型のボトムアップ処理と知識駆動型のトップダウン処理が存在し、前者は視覚機能に基づく網羅的な探索、後者は運転経験などに基づく知識や経験から行う予測的な探索で、ハザードの発見を早めるとされている（例えば Summala, & Rasanen, 2000 や Theeuwes, & Hagenzieker, 1993）。

したがって、ドライバは見通しの悪い交差点において、図 1-10(a)が示すように右方向からのハザードを予測し、注意を分配している。しかし、交通環境によっては注意の方向が偏ったために、反対方向からのハザードを見落とすことや、そもそも注意が必要でないと判断することでハザードの発見が遅れることが考えられる。このように、ドライバの注意の水準が十分であっても、注意配分が不適切な状態において、支援を行うことが有効であると考えられる。予測していない潜在ハザード情報の提供がドライバに与える影響について、大谷・岩城・中村（2012）は HMI の違いによる運転行動への影響を検討している。さらに、大谷・江上・岩城・中村（2013）は、ドライバの潜在ハザード情報に対する受容性（煩わしさ）を調査している。また、菊地・岩城・安部・藤井（2008）は、カーブ先の停止車両という潜在ハザードの情報提供によるドライバの注意の方向への影響を評価している。従来研究では、潜在ハザードに対する情報がドライバの注意や運転行動への影響の一部を評価しているものの、情報を受け取ったドライバのハザードに対する予測や危険度、自己評価、システムに対する信頼といった心理面への影響までは検討がなされていない。潜在ハザードは、本来ドライバから見えないハザードであるため、支援情報の提供によりドライバの心理面も含めた運転行動に影響すると推測され、これらのメカニズムを明らかにすることは、効果的な運転支援方策を検討する上で非常に重要であると考えられる。



(a) 見通しの悪い交差点



(b) 見通しの良い交差点

図 1-10 交差点の見通しとドライバの注意配分

## 1.5 まとめ

本章では、日本における交通事故の現状とその対策に関する従来研究調査を行い、現状の運転支援システム研究における課題を整理した。調査結果の概要を以下に示す。

- ・ 日本の交通事故について、車両相互事故の追突事故および出会い頭事故が事故件数の多くを占めており、死亡事故件数を低減するためには、これら代表的事故類型への予防安全対策が求められている
- ・ 交通事故対策として、人間・環境・車両への三つのアプローチが考えられるが、事故リスクが高い状況下において、ドライバーへ直接アプローチすることができる、運転支援システムによる事故低減効果が期待される
- ・ 追突防止支援システムは、前方車両との追突リスクが顕在化した状況において、ドライバーの注意水準が不十分なときに警報によりドライバーのブレーキ操作を促すシステムである。従来研究では、覚醒度の低下や脇見を考慮したシステムの評価がなされているものの、不測の警報に対する評価となっていないことから、ドライバーの心理状態を考慮した評価が必要である
- ・ 出会い頭防止支援システムは、ドライバーから見えない交差車両（潜在ハザード）の情報を提供するシステムである。従来研究では、潜在ハザードの情報の提示方法（HMI）の違いによる安全や受容性に関する検討がされているものの、支援情報がドライバーの予測や主観的危険度、システムに対する信頼といった心理面への影響まで明らかになっていない

本論文では、交通事故の削減への寄与が期待される、追突防止支援システムと出会い頭事故防止支援システムについて、従来の工学的な評価からドライバーの心理的な側面まで踏み込んだ評価を行うことによって、より効果的な支援方策を検討する。

## 第 2 章

### 本研究の目的と構成

追突事故および出会い頭事故は、交通事故の中でも発生件数が多い事故類型であり、その防止対策は交通事故低減に向けて非常に重要と位置づけられる。本論文は、当該事故類型を対象として、運転支援システムによる効果的な対策を検討した。事故防止を目的とした運転支援システムは、ドライバーのヒューマンエラーを車両側が補助することで、事故回避や被害軽減を支援する。しかし運転支援システムの歴史はまだ浅く、これから一部のシステムの普及が進んでいく段階である。したがって、ユーザであるドライバーがシステムによる支援をどのように受け止め、行動するかについて、まだ明らかになっていない部分も多い。特に、運転支援システムによる支援を、ドライバーの心理面まで考慮した研究例は少ない。

図 2-1 に、本論文で扱う変数を概念的に整理する。交通事故はドライバーのハザードに対する予測が不適切なときに生じやすく、予測はドライバーの状態や交通環境によって影響を受ける。ハザードに対する予測が不適切な場合、ドライバーはハザードの見落としや発見の遅れにつながる。発見遅れや、不測のハザードに対するドライバーの回避行動には遅れが生じる。また、ハザードはいないという不適切な予測をしたドライバーは、潜在ハザードがいても減速しないなどリスクな運転をされると考えられる。本論文は、従来の運転支援研究で扱われてこなかった、ドライバーのハザードに対する予測という心理状態に着目し、運転支援システムから提供される情報や警報によるドライバーの予測の変化、反応特性および支援効果を明らかにすることを目的とする。さらに、得られた知見に基づき、運転支援システムによる事故低減効果を向上させるための知見をまとめた。

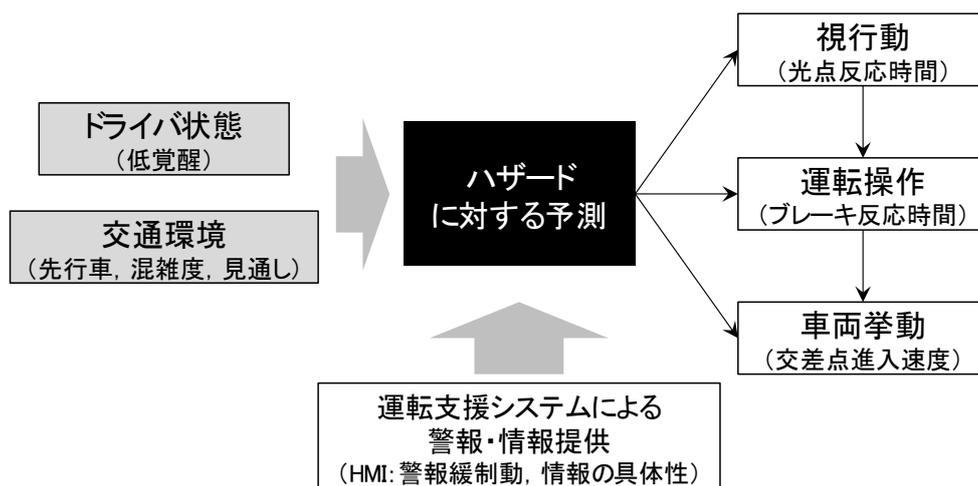


図 2-1 本論文の概念図

本論文の構成を図 2-2 に示す。第 1 章では、交通事故の現状、交通事故対策としての運転支援システムの現状と課題について整理し、第 2 章で目的を示した。第 3 章では、すでに普及段階である追突事故防止支援システムを対象に、ハザードの出現を予測していないドライバーの衝突警報への反応特性を実験的に調査し、自動ブレーキによる減速制御を考慮したシステムの効果予測手法を示す。

第4章では、警報緩制動の付加による警報反応の改善と、それに伴うシステムとしての事故低減効果を推定した。追突防止支援システムは、危険が顕在化した衝突直前の運転支援システムであり、ドライバの迅速な対応あるいはシステムによる制御介入が必要な支援である。一方、第5章以降では、危険がまだ顕在化していない衝突まで比較的余裕のある状況における支援について検討する。第5章では、交通環境とドライバ状態によって運転に重要なドライバの視覚的注意が低下（ハザードの見落としや発見の遅れ）する要因を実験的に調べ、支援が必要な状況や状態について検討する。第6章と第7章では、出会い頭事故防止支援システムを対象に、交差点の視環境に着目して検討する。第6章では、交差道路の一部が見える視環境や交通状況がドライバの潜在ハザードに対する予測や交差点進入行動に与える影響を調べる。第7章では、視環境と運転支援システムによる安全情報の提供がドライバの心理や行動に与える相互作用を検討する。これらの研究成果から、第8章では本論文で得られた知見および他研究例の知見から、今後の運転支援システムの効果向上および受容性の高い支援方策についてまとめる。

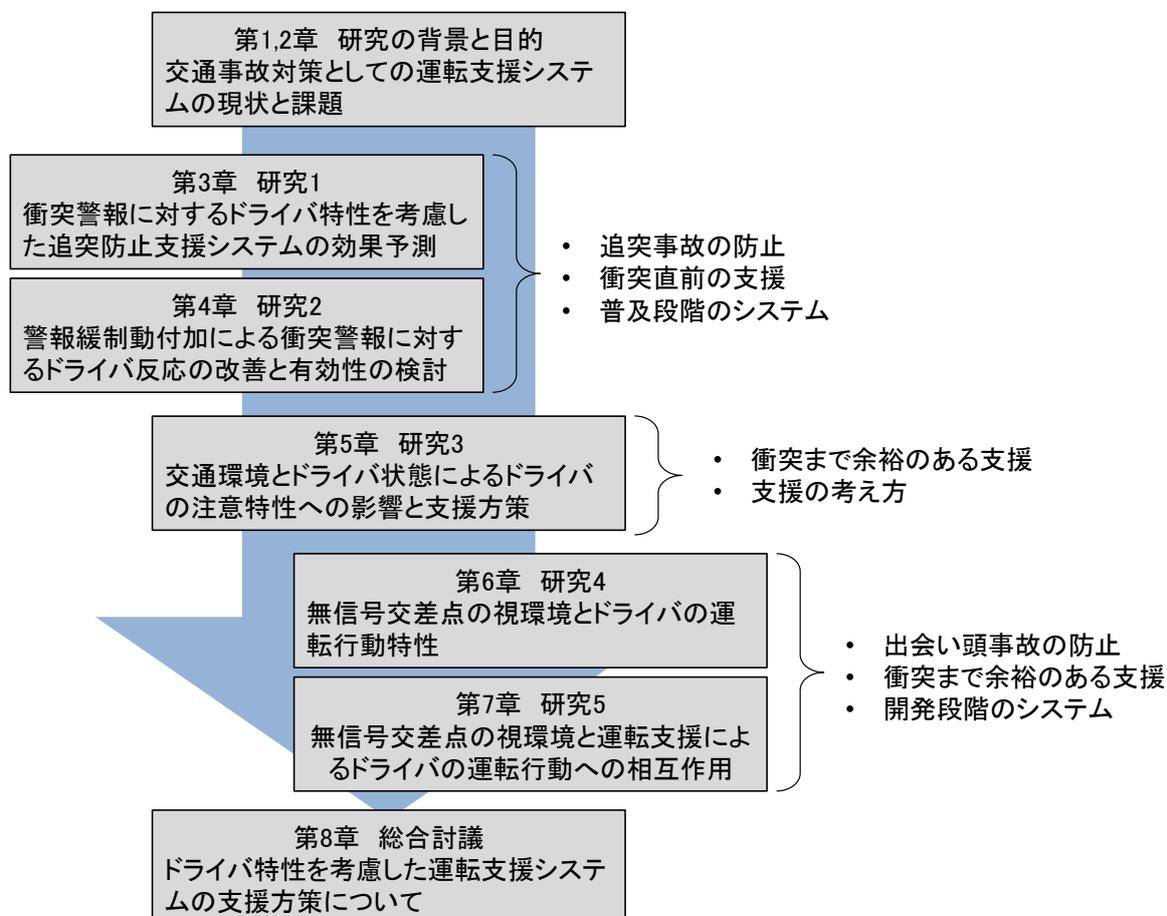


図 2-2 本論文の構成

## 第 3 章

### 追突防止支援システムによる事故低減効果の推定

本章では、衝突直前の代表的な運転支援システムである、追突防止支援システムについて、ハザードの出現を予測していないドライバーの警報反応特性に基づいた事故低減効果の推定を行った。図 3-1 に、本章で検討対象とする範囲を示す。

### 3.1 研究の背景

1.3.1 項で示したように、衝突警報と衝突被害軽減ブレーキはその効果が期待され、普及が進みつつあるシステムである。こうした中で、当該システムの導入効果を訴求する上で、事故低減効果の推定が求められている。一般的に、安全運転支援システムの効果評価を行う際は、システムによる支援が期待される場面を実験的に再現し、ドライバーによる対応行動の結果を用いて検討される。しかしながら、多くの先行研究では、実験参加ドライバーが支援場面への遭遇を予測しやすい（例えば、山田・若杉（2001）のように、対象システムの評価実験であることを教示した）状況下で、実験が実施されている。一方で、現実には起こりうる事故場面を想定した場合、ドライバーは常にハザードへの遭遇を予測しながら運転しているとは限らないため、実験の際に配慮が必要と考えられる。そこで本章では、実験方法を工夫することで、ドライバーのハザードの出現を予測していない（実際の事故場面に近い）状況を設定し、追突場面における衝突警報に対するドライバーの対応行動を計測した。警報は一般的な HMI として、視聴覚表示による衝突警報を想定し、ドライバーが脇見から前方へ視線を戻す視行動およびブレーキ反応時間によって評価した。さらに、実験データに基づいた、追突事故防止支援システムの事故低減効果の予測を行った。

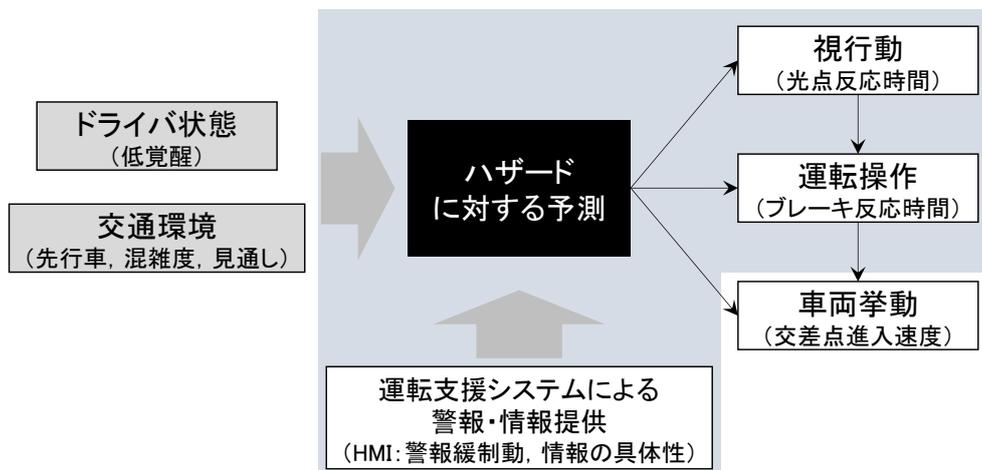


図 3-1 本章で対象とする範囲

## 3.2 方法

### 3.2.1 実験装置

ハザードが出現する場面を再現する実験を実施するに際しては、物理的な事故リスクを伴う実車実験を避け、DSを用いるのが一般的である。しかし、DSはCG映像を見て運転するため、やや現実感に乏しい点や、現実より驚愕度を感じにくいといった点が懸念される。そこで本章では、物理的な安全を確保しつつ、より高い現実感で危険場面を再現することができる「危険場面再現車」(田川・内田・神保, 2011)を用いて、市街地を模したテストコース上で実験を実施した。図3-2に、実験に用いた危険場面再現車の外観を示す。当該車両は、4ドアセダンタイプの車両(表3-1)のドライバ正面に設置された32型ハイビジョンディスプレイに、ディスプレイ裏のドライバアイポイント付近の高さに設置したハイビジョンカメラの映像を表示することができる。カメラのリアルタイム映像をディスプレイに映す(図3-3参照)ことで、実車と同様に運転することが可能である。加えて、走行中に前方ディスプレイの映像を、リアルタイムの映像から事前に撮影しておいた危険場面の映像へ切り替えることで、臨場感のある危険場面を視覚的に再現することができる。この際、実際の物理的にはリスクがなく、安全性に配慮した実験が可能となる。なお、リアルタイム映像から危険場面映像への切り替え時に、多少のノイズ発生が懸念されたため、再生映像への切り替えをドライバに気付かれにくくするために、前方カメラを2台使用し、任意のタイミングで前方映像を切り替えること(ダミー切り替え)ができるようにして、走行中に適宜行った。また、天候により再生映像とリアルタイム映像の背景色が異なる場合があったが、この点に関して実験参加者から違和感があるといった指摘はなかった。



図3-2 危険場面再現車の外観

表 3-1 危険場面再現実験車のベース車両諸元

車両名称	TOYOTA / PROGRES
車両形式	TA-JCG10-AEAVH
全長	4510 mm
全幅	1700 mm
全高	1435 mm
ホイールベース	2780 mm
トレッド (前/後)	1475 / 1460 mm
車両質量	1520 kg
車両総質量	1795 kg



図 3-3 ドライバから見た前方風景

### 3.2.2 危険場面の設定と映像の作成

衝突警報が作動し、その効果が発揮される場面を設定するために、本実験では、追突による死亡重傷事故の最も多い速度帯（40km/h）で先行車に追従走行中、停止車両に接近する場面を想定した。また、追突事故の人的要因を考えると、低覚醒や考え事などに代表される内在的な前方不注意や、脇見などに代表される外在的な前方不注意が考えられる。2004年度のマクロ事故データによると、追突事故のうち外在的な前方不注意の占める割合が約4割（詳細は図1-2を参照）と最も多いことから、本実験では、ドライバーに脇見タスクを課すことにした。システムの仕様には、1.3.1項で示したように、国土交通省（2011）が定める当該装置の技術指針を参考に、自動ブレーキ作動

開始タイミングを  $TTC=0.6s$ 、警報開始タイミングを  $TTC=1.8s$  に設定した。危険場面の再現において、上記の警報・制御タイミングを設定するためには、停止車両に対して、車間距離が約 20m から約 7m まで 40km/h で接近する映像を準備する必要がある。しかしながら、当該映像の取得にはリスクを伴うため、20km/h で接近した映像を撮影し、撮影映像を 2 倍速に加工することで危険場面の再現映像を作成した。

### 3.2.3 衝突警報の HMI

警報の HMI としては、音と視覚表示を用いることにした。警報音は、成 (2001) の研究により緊急度が最も高く感じられるとの報告がある 2.0kHz, 200ms/cycle (「ピピピ...」) に設定し、一般的な衝突警報と同等の仕様とした。図 3-4 に示すように、視覚表示はメータパネル部に設置した支援用モニタ (4.3 インチ) に、「追突注意」の赤文字を点滅 (400ms/cycle) で提示した。なお、ディスプレイの解像度は WVGA800×400、警告表示に用いた文字は赤色で、輝度は約 50cd/m<sup>2</sup>であった。

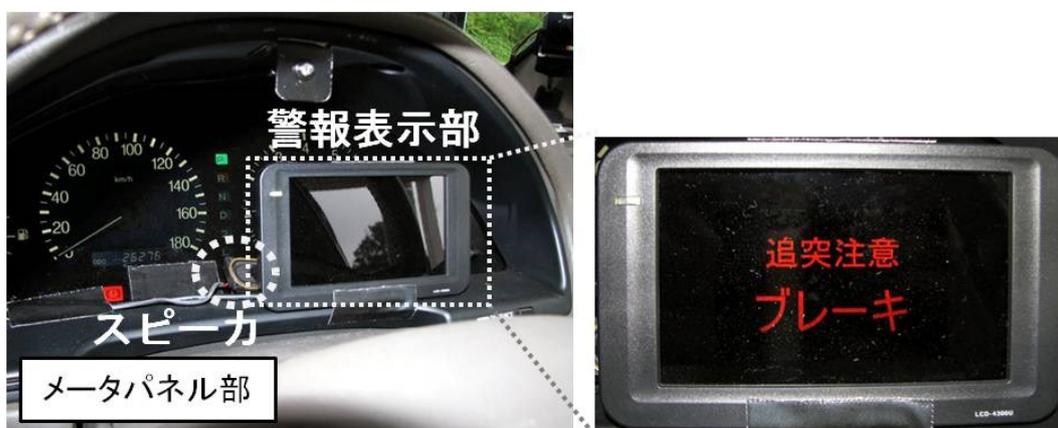


図 3-4 衝突警報の HMI

### 3.2.4 脇見タスクと映像切り替えタイミング

脇見タスクに用いたハードを図 3-5 に、また危険場面における前方モニタ映像、脇見タスク、警報システムのタイミングチャートと、想定されるドライバー対応行動を図 3-6 に示す。メータパネル上部に設置した LED 点灯をタスク開始の合図とし、助手席足元部に設置した脇見用モニタへ 0~9 までの一桁の数字が 0.25s おきに (表示期 250ms, 非表示期 250ms) 計 9 回表示される。ドライバーには、最初に表示された数字が、その後何回表示されたかを口頭で回答するよう求めた。数字が表示されて始めてから 0.5s 後に、前方モニタは危険場面へ切り替わり、同時に警報 (音+表示) の提示が開始される。警報開始から 1.5s 後に、前方モニタの映像は現実場面へ戻り、警報が終了する。



図 3-5 脇見タスクのハード

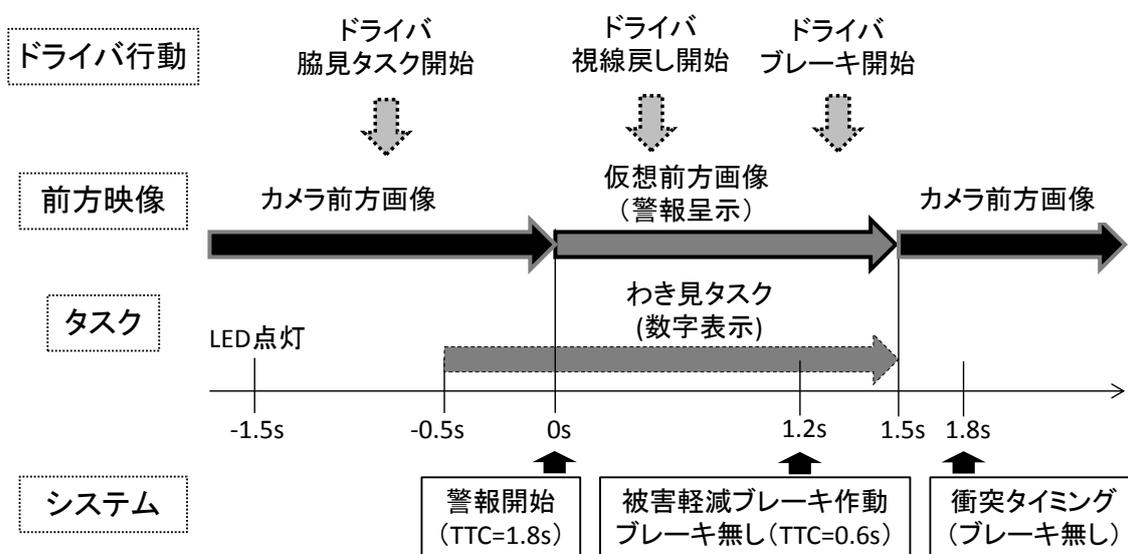


図 3-6 実験のタイミングチャート

### 3.2.5 実験参加者および実験手順

実験参加者として、日常的に運転をしている一般ドライバー 78 名（20 代，30～40 代，50 代の男女各 13 名ずつ）を対象とした。本実験では、参加者に予告なく、視覚的に切迫した場면을提示するため、参加者が過度な緊張による身体の不調をきたすこと、またパニックによる不測の運転操作を行うことが懸念された。そこで、第三者機関（専門医，弁護士）を交えて実験計画を検討し、以下の手順で実施することにした。

まず、参加募集の際に循環器系の疾患や喘息，脳梗塞，精神疾患などを患っている方を事前スクリーニングした。また，パニックによる不測の行動に備え，同乗する実験者が即座に操作できる補

助ブレーキとエンジン停止スイッチを設けた。さらに、危険場面への切り替えは、テストコースの中でも周辺に構造物のない広い場所で実施することにした。

図 3-7 に実験手順を示す。はじめに、参加者へ書面と口頭により、実験内容や手順、注意事項の説明を行い、参加同意書への署名を求めた。図 3-8 に示す「説明シート」①～④を用いて、以下のような教示を行った。

#### ① 実験の目的

- ・ 現実に起こりうる交通場面における運転行動を調べること
- ・ ディスプレイ画面でも、距離感をつかんで適切に運転できるかを調べること

#### ② 走行方法

- ・ 先行車に追従してコースを走行すること
- ・ 先行車は 40km/h を上限に走行し、減速・停止する場合もあること
- ・ 走行中に、ときおり脇見タスクを行うこと
- ・ 安全運転を最優先にすること

#### ③ 脇見タスクについて

- ・ 脇見タスクは、メータパネル部に設置されたタスク開始合図の LED 点灯後開始すること
- ・ 助手席足元部のモニタに 0～9 の数字が 9 回表示されること
- ・ 最初に呈示された数字が、その後何回呈示されるかを数え、口頭で回答すること

#### ④ 情報・警告の表示方法と意味

- ・ 走行中、運転に役立つ「情報」や「警告」が告知音とともに提供される場合があること
- ・ 情報や警告は、メータパネルに設置されたディスプレイに表示されること

上記のように、実験目的の説明を衝突警報に特化したものではなく、現実に起こりうる交通場面での運転行動を調べることにすることで、実験参加者がハザードの出現を予測しにくい状況を設定した。また、支援用モニタには、衝突警報を含めた全 5 種類（工事情報、一時停止情報、交差車両注意喚起、停止車両注意喚起、衝突警報）の支援情報が提供される可能性があることを説明し、各表示と音を運転開始前に体験する機会を設けることで、衝突警報の実験であることを予測しにくいように配慮した。また、衝突警報は切迫した場面に作動する作動頻度の低い装置であることもあり、装置を深く理解した上で作動を経験するユーザは少ないと考え、上記のように複数の情報の中に含めた説明で、効果予測のための実験の教示としては妥当と考えた。なお、参加者には安全走行を最優先にし、安全に運転できると思う範囲で脇見タスクを行うよう指示した。

教示を終えた後、参加への同意が確認されたドライバは練習走行を行った。練習走行は危険場面再現車の運転に慣れるためであり、実験コースを先行車に追従しながら 10 分程度（3 周～4 周）走行した。練習走行の最後に、停止した状態でわき脇見タスクの練習を行った。練習は、3 問連続し

て正答できるまで繰り返し実施した。

実験走行においても、練習走行と同様のコースを先行車に追従して 10 分程度走行した。走行コースの直線区間において、脇見タスクを実施し、タスク中先行車の挙動が定常走行の場合と、緩やかに減速・停止する場面を設けた。これにより、実験参加者が脇見タスクへ没頭することを抑制した。実験走行 4 周目において、脇見タスク開始と連動して、前方映像を警報提示場面に切り替え、ドライバの衝突警報への対応行動のデータを計測した。1 回目のデータ取得後、以下に示す質問項目について内省報告を得た。

- ・ 警報音に気がついたか
- ・ 警報表示に気がついたか
- ・ どのような警報内容であったか
- ・ 警報内容はどこから理解したか

内省報告の取得後、次は別の情報や警告が出る可能性があることを示唆した上で、続けて走行 2 回目の実験走行を実施した。2 走行目においては、脇見タスクを 1 度行い、次の脇見タスクで 2 度目の警報提示場面を実施した。当該走行は、衝突警報を 1 度経験しているものの、同じハザードが出現することを予測しにくいような配慮をした。走行 2 回目の終了後、1 走行目後と同様の内省報告を得て、実験を終了した。

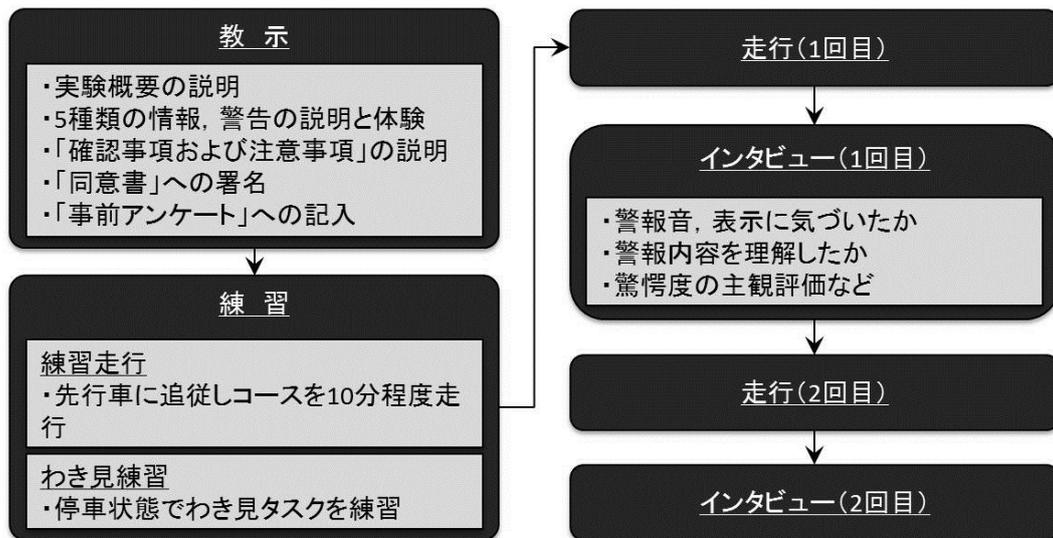


図 3-7 実験手順

説明シート①

### 実験の概要と目的

市街地を模擬したコースで、ディスプレイ車を、ときおり脇見タスクを行いながら運転していただきます。

※ディスプレイ車とは、...  
運転席の前方に、液晶ディスプレイがついた車両です。  
ディスプレイには、前方のカメラ映像が映し出され、普通の車と同様に運転できるようになっています。



**実験の目的**  
- 現実起こりうる交通場面を再現し、その時の運転行動を調べる。  
- ディスプレイ画像でも、距離感をつかんで、適切に運転できるのかを検討する。

説明シート①

説明シート②

### 本日の流れと走行方法



- ・先行車に追従して、コースを走行してください。
- ・先行車は、40km/hを上限に走行し、減速や停止をする場合もあります。
- ・車両には情報・警告の表示装置も設置されています。
- ・走行中、ときおり、脇見タスクを行っていただきますが、安全に運転することを優先してください。

説明シート②

説明シート③

### 脇見タスク



**【脇見タスク】**  
メータパネル上部のLED点灯 → (1秒後) → 助手席足元部のディスプレイに数字表示開始

LED点灯 1秒後 (0.25秒) (0.25秒) (0.25秒) (0.25秒) (0.25秒) (0.25秒) (0.25秒) (0.25秒)

最初の数字「6」が表示された回数は？ 答え：2回

説明シート③

説明シート④

### 情報・警告の表示方法と意味

<p>ポーン！</p>  <p>この先に工事の場所があるを伝えます</p>	<p>ビビッ！</p> <p>交差車両注意</p> <p>交差点で、交差車両が存在するため注意するよう呼びかけます</p>	<p>ビビッ！</p>  <p>この先に停止車両があるため注意するよう呼びかけます</p>
<p>ビビビビビビ！</p> <p>衝突注意ブレーキ</p> <p>前方の車両と接近しているため、ブレーキを踏むよう呼びかけます</p>	<p>ポーン！</p>  <p>この先に一時停止交差点があることを伝えます</p>	 <p>メータパネル部</p>

説明シート④

図 3-8 教示シート

### 3.2.6 計測項目

実験において計測した項目を、操作量、車両状態、ドライバ状態に分けて表 3-2 に示す。操作量および車両状態の項目は 100Hz にて、またドライバ状態の項目の画像は 30Hz のフレームレートにて記録した。映像は、脇見タスクなど視線の方向を把握するための顔映像、ペダル操作状況を把握するための足元映像、また警報に対する内省報告の結果を併せて記録した。さらに、ドライバ属性として、年齢・性別・運転歴などに加え、石橋・大桑・赤松（2002）の開発した DSQ（運転スタイルチェックシート）および WSQ（運転負担感受性チェックシート）を実施した。

表 3-2 計測項目一覧

内容	計測項目
操作量	アクセル開度
	ブレーキ踏力
	ステアリング角
車両状態	自車速
	前後加速度
	トリガ入力（追突場面の開始トリガ）
ドライバ状態	顔映像
	足元映像
	内省報告
ドライバ属性	年齢，性別，運転歴など
	DSQ（運転スタイルチェックシート）
	WSQ（運転負担感受性チェックシート）

### 3.3 結果および考察

脇見中に警報が提示されると、警報に気づいたドライバは、脇見用モニタから前方へ視線を戻すことが想定される。しかし、計測されたデータの中には、警報が作動する前に視線を戻し始めたドライバや、警報提示後に視線を戻していたが警報音に気づいていなかった（計測直後の内省報告にて確認）ドライバがいた。このようなドライバに関しては、警報による効果が評価できないため、以降の解析から除いた。結果として、1 走行目 64 名、2 走行目 61 名分の効果評価の対象となるデータを取得した。なお、衝突警報の作動を予測させないよう、十分な配慮をして実験を実施したものの、2 走行目においては、内省報告から少なからず構えていたドライバもいたことがうかがえたため、1 走行目の取得データを中心に検討を行なった。

#### 3.3.1 警報に対する対応率と視線戻し開始時間

脇見中、警報音に気づいたドライバは、視線を前方へ戻す。このときの警報開始から視線を戻し始めるまでの時間（以下、「視線戻し開始時間」という）について、1 走行目および 2 走行目における頻度分布を図 3-9、図 3-10 に示す。なお、本実験における危険場面の再現時間は、警報開始から 1.5s 間で、その後は現実の映像へ戻るよう設定しているため、視線戻し開始時間が 1.5s 以上のドライバは、追突場面を認識できていないことになる。警報音に気づいたにも関わらず、1.5s 以内に視線を戻さなかったドライバ（以下、「無反応群」という）は、1 走行目で 15 名、2 走行目で 5 名であった。これら無反応群を除いたドライバの、視線戻し開始時間の平均値および標準偏差は、1 走行目  $0.91s \pm 0.36s$ 、2 走行目  $0.37s \pm 0.26s$  であった。

過去の知見では、山田・若杉 (2001) のように衝突警報に特化した実験である場合や、成 (2001) のように複数の警報に対する場面であっても何度も繰り返し実験をしている場合が多く、警報に対して一定時間以上反応がみられないドライバについての報告はない。ところが、本実験で設定したように、ハザードの出現を予測していない状況下においては、警報に対して適切に対応できないドライバが散見された。これらのドライバは、実験直後の内省報告で、「警報の意味がわからなかった」や「別の機器の報知音と勘違いした」などと報告しており、警報の理解不足（警報内容、緊急性や重大性）が警報に反応しなかった主な原因であると考えられる。なお、本実験で設定した場面は、脇見状態でかつ非常に切迫した状況であったため、支援用モニタ（警報表示）を注視して、その内容を理解したドライバはほとんどいなかった。

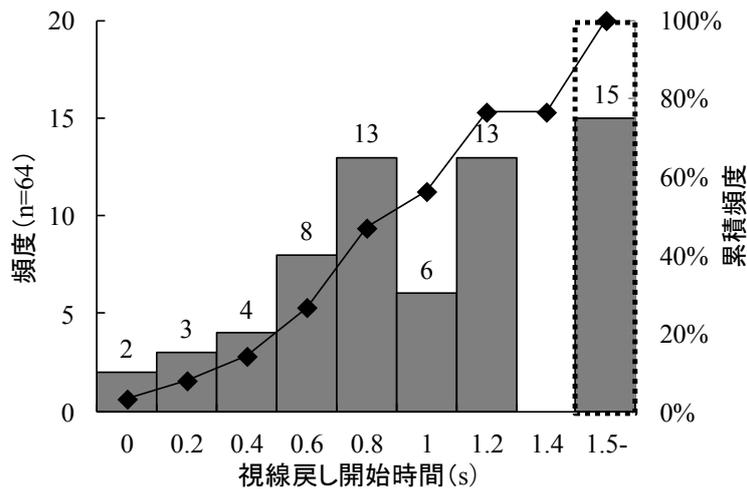


図 3-9 視線戻し開始時間 (1 走行目)

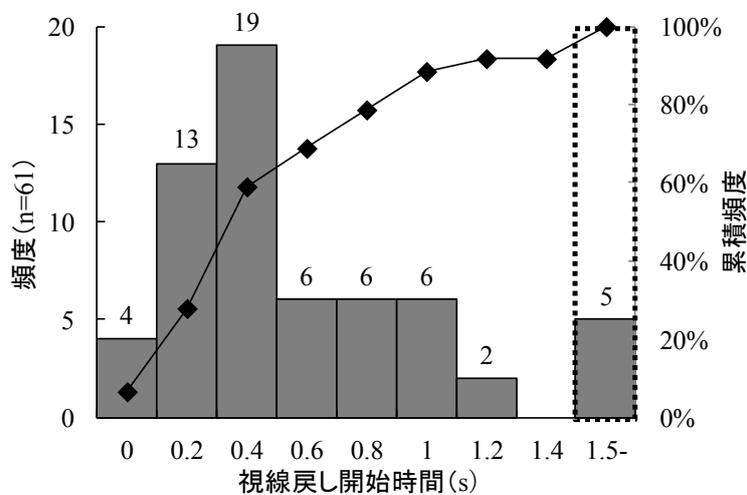


図 3-10 視線戻し開始時間 (2 走行目)

### 3.3.2 警報に対するブレーキ反応時間

警報に気づき、脇見タスクから視線を前方に戻したドライバーは、ハザードである前方車両を認識して、ブレーキによる回避操作を行う。このときの警報開始からブレーキ開始までの時間（以下、「ブレーキ反応時間」という）について、1 走行目および 2 走行目の頻度分布を図 3-11、図 3-12 に示す。なお、本実験では警報タイミング  $TTC=1.8s$  を想定していることから、 $1.8s$  以内にブレーキを開始できなかったドライバー（以下、「制動遅れ群」という）は、衝突するまでに制動を開始できなかったことになる。制動遅れ群は、1 走行目に 13 名、2 走行目に 8 名おり、視線を戻し始めるのが遅かったため、結果として制動が遅れたドライバーと、視線を戻してからブレーキを踏むまでの

判断が遅かったため、制動が遅れたドライバーがみられた。制動遅れ群を除いたドライバーは、警報に対応することで衝突前にブレーキを踏むことができ、少なからず警報の効果があるドライバーといえる（以下、「通常制動群」という）、そのブレーキ反応時間の平均値±標準偏差は、1走行目 1.28s±0.30s、2走行目 0.98s±0.29s であった。不測のハザードかつ警報の経験もない1走行目では、分布のピークが定まっていないが、2走行目では正規分布に近い形となっており、経験の有無による影響であると推察される。

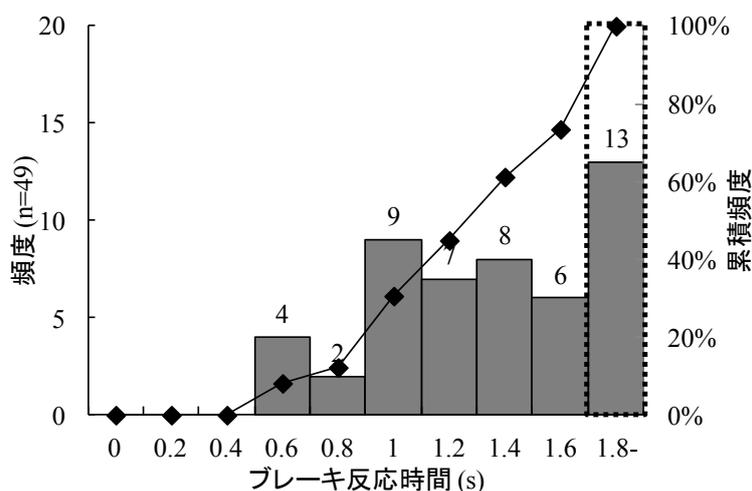


図 3-11 ブレーキ反応時間（1 走行目）

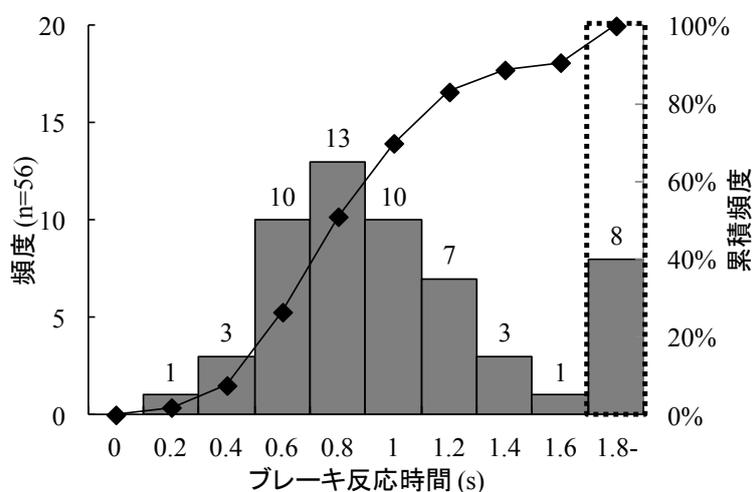


図 3-12 ブレーキ反応時間（2 走行目）

### 3.3.3 無反応群および制動遅れ群の年齢層

無反応群や制動遅れ群のように、警報があまり有効に作用しなかったドライバーの傾向を調べるた

め、無反応群、制動遅れ群、および通常制動群について、各群の特徴を検討した。なお、2 走行目の無反応群および制動遅れ群のほとんどは、1 走行目でも同様に警報が有効に作用しなかったドライバーであったため、1 走行目の結果によってドライバーを分類した。はじめに、各群の年齢区分の構成率を調べた（図 3-13）。無反応群には、20 代および 30-40 代が比較的多く、50 代は比較的少なかった。制動遅れ群には、20 代が有意に多く（ $p<.01$ ）、30-40 代は有意に少なかった（ $p<.05$ ）。また、50 代は若干多くなっており、制動遅れ群は若年層に多く、中年層から高齢層にかけて再び増える可能性が考えられる。通常制動群には若年層が少ない傾向がみられた（ $p<.1$ ）。以上の結果から、特に若年層に警報の効果が低いことが示唆された。年齢層による警報への反応特性の差異は、同じハザードを予測しにくい状況下でも、どの程度の構えが出来ているかの違いによって生じた差と推察される。すなわち、若年層は運転経験が少ないが故に、リスクに対する構えが不足しがちである可能性がある。一方、経験の多い高齢層にかけては、構えは形成されるものの、加齢による心身機能の低下によりブレーキ回避の判断や操作に遅れが生じると推測されるが、追加検討が必要である。

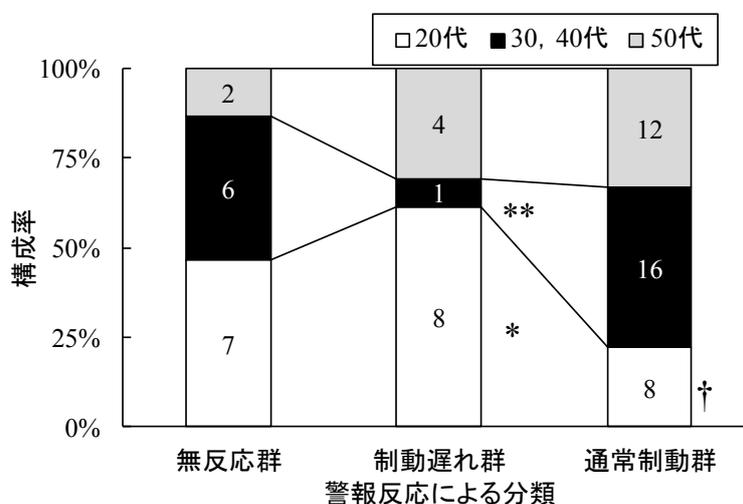


図 3-13 警報反応群別の年齢区分構成率

### 3.3.4 無反応群および制動遅れ群の運転スタイル

次に、1 走行目の無反応群、制動遅れ群、および通常制動群について、石橋・大桑・赤松（2002）の開発した DSQ（運転スタイルチェックシート）を用いたドライバー属性の分析を行った。DSQ は運転スタイル、すなわち運転に取り組む態度、志向や考え方を、8 尺度で表現できる質問紙で、運転支援システムの評価における実験参加者の属性について調べるために利用されている（例えば、平岡・中田・田中・熊本・齋藤・畑中、2008 や）。また、駒田・篠原・木村・三浦（2009）は、運転に関わる質問紙として、DSQ と複数の質問紙を比較検討し、運転者の違反傾向などの点から、

その妥当性を検証している。各群の、DSQ 尺度の平均評点±標準偏差を図 3-14 に示す。無反応群は通常制動群に比べ、「不安定な運転傾向(S7)」、「心配性的傾向(S8)」が低い傾向がみられた ( $p<.1$ )。よって無反応群は、自分の運転は常に安定していると思っている（自分の運転スキルを過大評価傾向の）ドライバや、自分は事故を起こさないと思っている（リスク感が低い傾向の）ドライバが多い可能性が高い。また、制動遅れ群は通常制動群に比べ、「几帳面な運転傾向(S4)」が有意に低かった ( $p<.01$ )。よって、制動遅れ群は日常的に徐行や一時停止などの減速を伴う速度調整を嫌うようなドライバが多い可能性が高い。

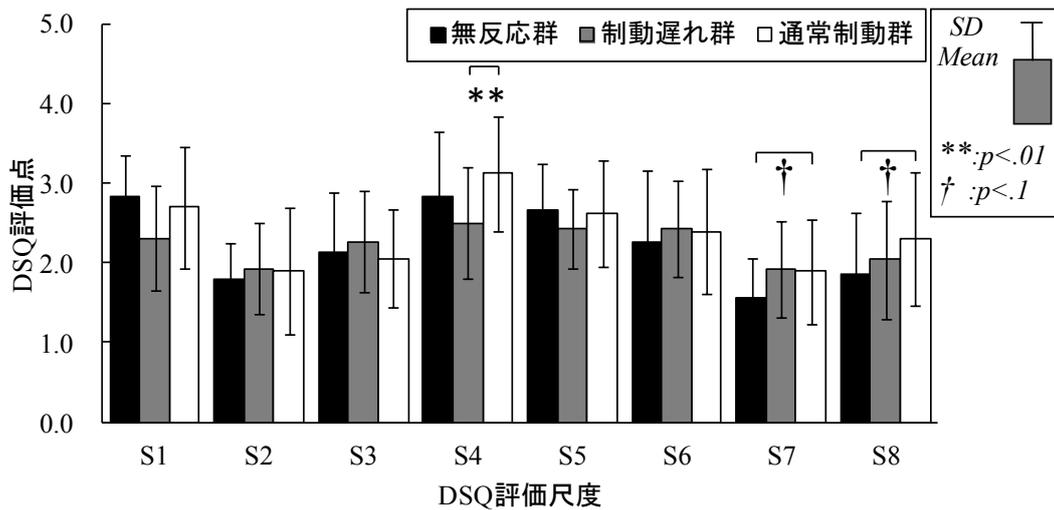


図 3-14 警報反応群別の DSQ 評価点

### 3.4 事故低減効果の予測

#### 3.4.1 効果予測の概要

実験で得られた警報に対する反応の有無とブレーキ反応時間の結果に基づき、追突事故防止支援システムの効果予測を行った。システムが100%普及したと仮定して、システムによる相対速度別の衝突速度低減量を推定し、衝突判定をすることで、全事故データに対する事故削減率を求めた。さらに、被害軽減効果を評価する一つの目安として、死亡・重傷事故が軽傷や無事故へ低減される割合（以下、「死亡重傷事故低減率」という）を推定した。手順を以下に示す。

#### 3.4.2 全事故台数と死亡重傷事故台数の期待値

2004年度のマクロ事故データをもとに、相対速度（第一・二当事者の危険認知速度の差を衝突時の速度差と仮定）別の追突事故台数（追突側：乗用車，非追突側：乗用車・大型車，高速道を含む）を集計した。また、このうち軽傷事故を除いた、死亡重傷事故のみの台数も集計した。両者の比を取ることで、相対速度別の死亡重傷事故比率（死亡重傷事故台数の期待値）が求められる（図3-17のシステム無し）。なお、相対速度=0における死亡重傷事故比率=0.013と計算されたが、これは統計上の誤差と考え、以後0として扱うことにした。

#### 3.4.3 衝突速度低減量の算出結果

次に、実験で得られた警報作動時の視線反応の有無、およびブレーキ反応時間の分布に基づき、追突側の制動（ドライバのブレーキ操作による制動とシステムの制御による制動）によって期待される衝突速度低減量および衝突回避率を図3-15に沿って求めた。1走行目の警報反応データを用いた衝突速度低減量（図3-16）および衝突回避率（図3-17）の算出結果を示す。なお、計算に用いた諸条件は、以下の通りである。システムの作動タイミングは、「標準」的なタイミングと「早め」のタイミングの二種類、またシステムによる減速度および減速ジャークは、当該装置の技術指針（国土交通省，2011）と過去の技術調査結果を参考に設定した。なお、減速ジャークとは、単位時間あたりの減速度の変化量を示すものである。

- ・ 相対速度 : 10km/h~100km/h (10km/h 刻み)
- ・ 作動開始タイミング
  - 「標準」 : 警報→TTC=1.8s, 制御→TTC=0.6s
  - 「早め」 : 警報→TTC=2.2s, 制御→TTC=1.4s
- ・ ドライバの反応時間 : 実験で取得されたデータ
  - (a) 1 走行目 (図 3-11) : 不測のハザード, 警報の経験なし
  - (b) 2 走行目 (図 3-12) : 不測のハザード, 警報の経験あり
- ・ ドライバの最大減速度 : 7.8m/s<sup>2</sup> (0.8G)
- ・ 制御制動の最大減速度 : 5.9m/s<sup>2</sup> (0.6G)
- ・ 減速ジャーク : 19.6m/s<sup>3</sup> (2.0G/s)

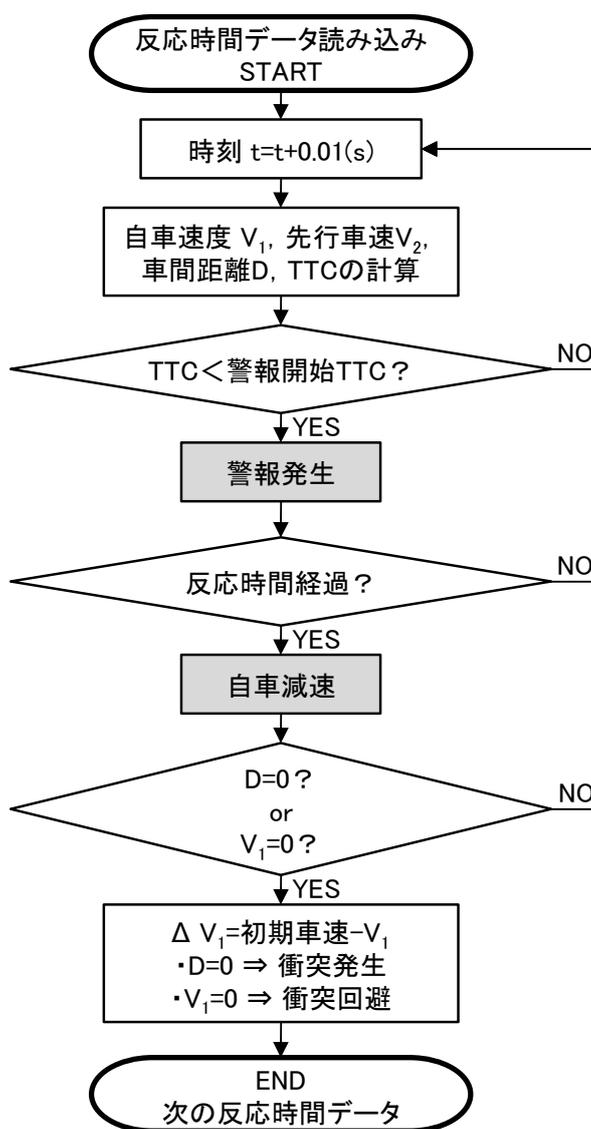


図 3-15 衝突速度低減量の計算フロー

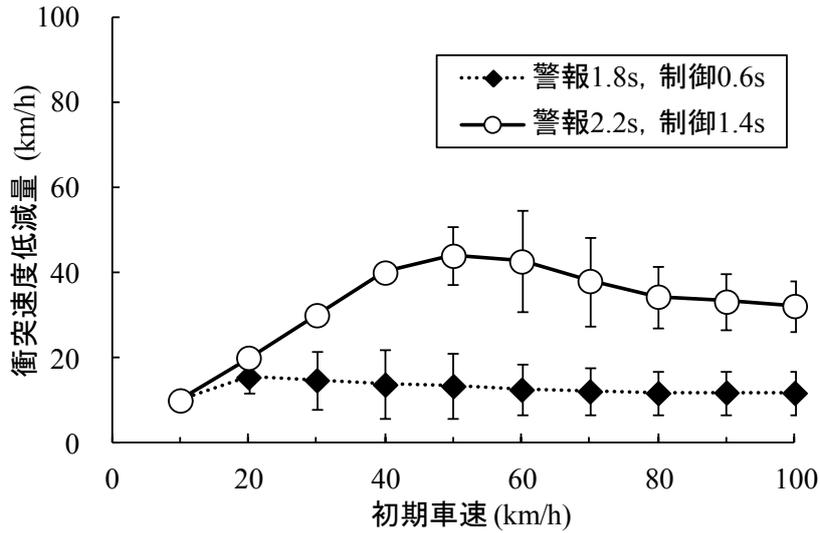


図 3-16 衝突速度低減量の算出結果

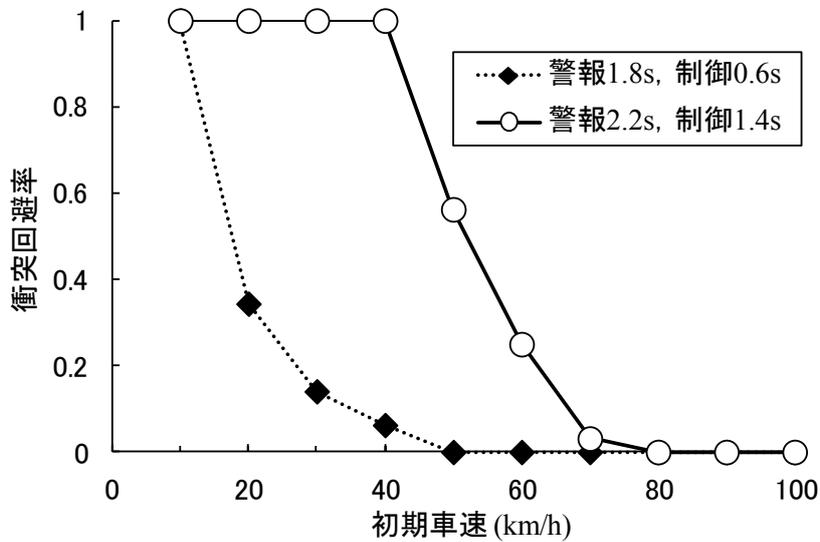


図 3-17 衝突回避率の算出結果

なお、元の事故データには、ドライバーが衝突前にブレーキ操作したケースも含まれると考えられるが、本章では追突側のブレーキ操作が無かったもの（相対速度＝衝突速度）と仮定して、システムがあった場合の衝突時の速度低減量を推定した。また、ドライバーのブレーキ反応時間については、代表的な追突場面（停止車両に対する追突）での実験データを用いたが、事故データの中には先行車両が急減速した場面も含まれる。先行車が急減速した場合、停止車に比べ、同じ相対速度でも車間距離は短くなるため、ドライバーから見た先行車の視角が大きくなる（切迫感などが増す）が、これらがブレーキ反応時間に与える影響が明示された研究例はないことから、その影響は小さいと考

え、本実験データを用いて計算を行うことにした。また、実際の事故データには、雪上など設定した最大減速度が出せないような環境も含まれていると考えられるが、こうした環境が事故全体に占める割合は比較的少ないと考え、本計算では詳細な環境条件までは考慮しなかった。計算手順としては、まず、一つの反応時間データに対し、初期条件（自車速など）を設定した後、イベント開始後の自車速、先行車速、車間距離、TTCを逐次計算した。算出されたTTCが警報開始タイミング（TTC）を下回った場合に警報トリガが入り、読み込んだ反応時間分だけ空走した後、設定した減速度で制動を開始するようにした。車間距離=0（衝突発生）あるいは自車速=0（衝突回避）となった時点で計算を終了した。なお、無反応群や制動遅れ群のドライバーに関しては、制御（自動ブレーキ）のみの効果が算出されている。個々の反応時間における衝突速度低減量の計算結果を集計し、相対速度別に平均値±標準偏差を求めた。

#### 3.4.4 事故削減台数の算出結果

前述の衝突速度低減量の算出過程において、判定された各相対速度別の衝突の有無を集計することで、各相対速度別の衝突回避率を算出した。物理的な回避の容易性は相対速度に依存するため、相対速度が上がるにつれて支援による回避率は低下し、1走行目の標準タイミングの条件では、相対速度50km/h以上の条件で回避はできないという結果となった。死亡重傷事故および軽傷事故を含めた全事故データに対し、この衝突回避率を乗じることで、事故削減台数（無事故になる台数）を算出した。

表3-3に、事故削減台数の算出結果をまとめる。「標準」的な警報提示タイミング（TTC=1.8s）および制御タイミング（TTC=0.6s）を想定したシステムの事故削減率は、不測のハザードで、警報の経験がない場合（1走行目）で40%、警報の経験がある場合（2走行目）で60%と推定された。また、「早め」の警報提示タイミング（TTC=2.2s）および制御タイミング（TTC=1.4s）の場合は、それぞれ93%、96%の事故削減効果が推定された。

表 3-3 事故削減効果の推定結果

効果予測の条件		実験条件		1走行目		2走行目	
				衝突警報の経験なし		衝突警報の経験あり	
		警報タイミング(警報開始時間)		1.8s	2.2s	1.8s	2.2s
		制御タイミング(自動ブレーキon時間)		0.6s	1.4s	0.6s	1.4s
効果予測に 用いた実験結果	衝突警報に対する ドライバの対応行動	有効データ		64		61	
		視線戻しなしデータ		15		5	
		制動遅れデータ		13		8	
		通常制動データ		36		48	
		ブレーキ反応時間(±標準偏差)			1.28±0.30		0.98±0.29
事故削減効果 の予測結果	支援によって 回避できる 事故台数の推定値	0km/h	3,367	3,367	3,367	3,367	3,367
		10km/h	47,331	47,331	47,331	47,331	47,331
		20km/h	33,934	11,664	33,934	24,476	33,934
		30km/h	32,503	4,570	32,503	16,517	32,503
		40km/h	34,239	2,139	34,239	10,664	34,239
		50km/h	16,786	0	9,442	2,476	13,208
		60km/h	4,873	0	1,218	159	2,955
		70km/h	859	0	26	0	154
		80km/h	326	0	0	0	16
		90km/h	93	0	0	0	1
		100km/h	59	0	0	0	0
合計		174,370	69,071	162,060	104,990	167,708	
事故削減率の推定値			40%	93%	60%	96%	

### 3.4.5 死亡重傷事故低減率の算出結果

衝突速度低減量の算出結果を、死亡重傷事故の期待値分布に当てはめ、システムがあった場合の死亡重傷事故比率および台数の合計値を求めた。図 3-18 に、システム無しにおける各相対速度別の死亡重傷事故比率に対し、1 走行目（警報の経験がない場合）で「標準」タイミングのシステム有りについて、相対速度別の衝突速度低減量の分を減じた死亡重傷事故比率に換算した結果を示す。各相対速度別の死亡重傷事故台数に、システム有りの死亡重傷事故比率を乗じることで、事故台数を算出した結果を図 3-19 に示す。また、全車速域の死亡重傷事故台数の合計値について、システムの有無による比をとり、死亡重傷事故低減率を図 3-17 中に記した。その他の条件（作動開始タイミング、経験の有無）についても同様の方法で推定し、その結果を表 3-4 にまとめて整理する。以上の算出結果から、「標準」タイミングを想定したシステムの死亡重傷事故台数の低減率は、不測のハザードで、警報の経験がない場合（1 走行目）で 49%、警報の経験がある場合（2 走行目）で 67%と推定された。警報を経験することにより、警報が提示された際のリスクについての理解が深まるため、反応率の向上や反応時間が早まり、効果が向上すると推察される。また、「早め」タイミングの場合は、それぞれ 94%、96%の死亡重傷事故低減効果が推定された。

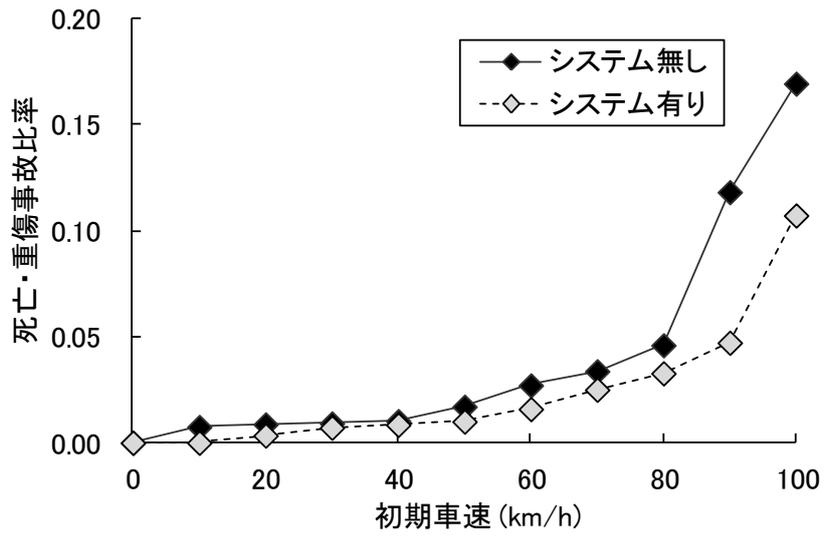


図 3-18 車速ごとの死亡重傷事故比率

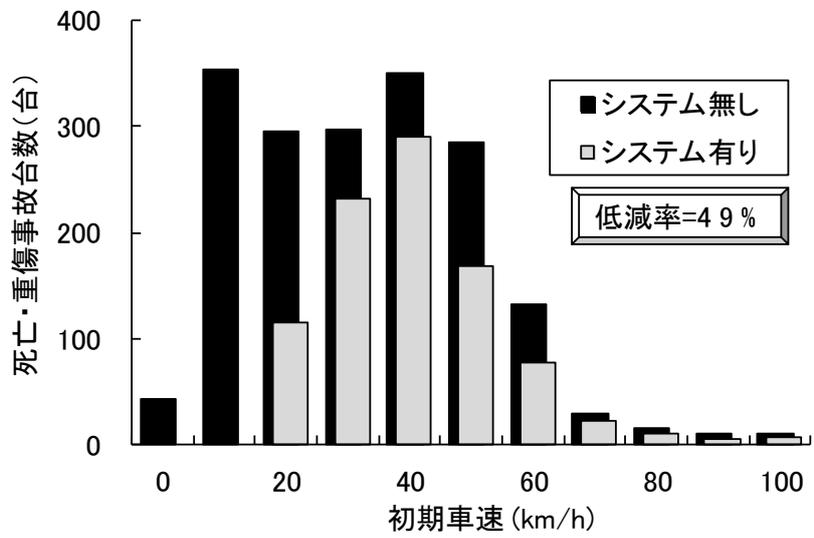


図 3-19 車速ごとの死亡重傷事故台数

表 3-4 死亡重傷事故低減効果の推定結果

効果予測の条件		実験条件		1走行目		2走行目	
				衝突警報の経験なし		衝突警報の経験あり	
		警報タイミング(警報開始時間)		1.8s	2.2s	1.8s	2.2s
		制御タイミング(自動ブレーキon時間)		0.6s	1.4s	0.6s	1.4s
効果予測に 用いた実験結果	衝突警報に対する ドライバの対応行動	有効データ		64		61	
		視線戻しなしデータ		15		5	
		制動遅れデータ		13		8	
		通常制動データ		36		48	
		ブレーキ反応時間(±標準偏差)				1.28±0.30	
死亡・重傷事故 低減効果の 予測結果	支援があった場合の 死亡・重傷事故台数 の推定値	0km/h	43	0	0	0	0
		10km/h	354	0	0	0	0
		20km/h	295	116	0	50	50
		30km/h	297	231	0	122	122
		40km/h	351	290	0	196	196
		50km/h	286	168	58	136	136
		60km/h	132	77	31	61	61
		70km/h	29	21	8	16	16
		80km/h	15	11	5	9	9
		90km/h	11	4	2	4	4
		100km/h	10	6	2	4	4
合計		1,823	925	107	598	598	
事故削減率の推定値				49%	94%	67%	96%

### 3.5 まとめ

本章では、ハザードの出現を予測していないドライバの衝突予知警報への対応行動に関するデータを、危険場面再現車を用いた実験によって取得し、追突事故防止支援システムの事故低減効果を推定した。以下に得られた成果についてまとめる。

- ・ ハザードの出現を予測していないドライバの警報に対する反応として、警報に気づいたにも関わらず即座に視線を戻さなかったドライバ（無反応群）や、衝突までに制動を開始できなかったドライバ（制動遅れ群）がみられた。
- ・ 無反応群は、比較的年齢の低い層に多かった。また、不安定な運転傾向や心配性傾向が低いことから、自己の運転スキルを過大評価する傾向があるドライバが多いと推測された。
- ・ 制動遅れ群は、若年層に多く、さらに加齢に伴い増加する傾向がみられた。また、几帳面な運転傾向の低いドライバが多いことが明らかとなった。
- ・ 実験で得られたデータから、システムの効果を試算したところ、不測のハザードで、かつ警報を経験したことがない場合でも 4 割程度、警報を経験している場合は 6 割程度の事故削減効果が推定された。
- ・ また、死亡重傷事故低減効果については、不測のハザードで、かつ警報を経験したことがない場合で 5 割程度、警報を経験している場合で 7 割程度と推定された。

本章では、早い警報・制御タイミングのシステムについても、試行的に効果予測を実施した。しかしながら、推定に用いた実験データは、標準的なタイミングの結果であり、早いタイミングで懸念される操作干渉（菊地・若杉・藤井，2004）や煩わしさ（Dingus, Jahns, Horowitz, & Knipling, 1998）などのシステム受容性による影響までは考慮できていない。また、事故低減効果を推定する際には、いくつか仮定をおいたパラメータを設定しているため、今後は、そのような点も考慮することで、より精度の高い効果予測をすることが課題であると考えられる。

## 第 4 章

### 追突防止支援システムの効果向上に関する検証

本章では、第3章で不測のハザードへの衝突警報に対して、適切な対応を行わなかったドライバへの対策として、HMIの改善による効果検証を行った。図4-1に、本章で検討対象とする範囲を示す。

#### 4.1 研究の背景

従来から、運転支援システムの効果検証やより効果的な支援方策の検討を狙いとして、支援時におけるドライバの回避行動が実験的に調べられてきた（例えば、山田・若杉，2001）。3章では、ハザードの出現を予測しにくい状況を設定した実験によって取得した、衝突警報に対するドライバの制動による減速と車両制御による減速（被害軽減ブレーキ）を考慮した上で、当該システムの効果予測を行った。その結果、一般的な仕様のシステムで4～5割程度の追突事故削減効果および死亡重傷事故低減効果が推定された。一方、警報への対応行動の分析結果から、適切に対応できない（警報に反応しないあるいは対応が遅れる）ドライバが散見され、何らかの対策によるさらなる効果向上が見込まれた。当該ドライバは、警報音に気づいていたものの、即座に対応を行なっておらず、警報の緊急性や重大性を低く見積もっていたと推測された。そこで本章では、警報の提示方法に着目し、従来の視覚および聴覚以外の感覚器に働きかける警報表示を加えることによる、警報対応行動の改善効果を検証した。視覚と聴覚の他には、触覚や前庭感覚などが考えられ、既に市販されているシステムの一部では、シートベルト引き込み（シートベルトを引き込むことでドライバに警告するもの）、ペダル反力（アクセルペダルを押し返すことによってドライバに警告するもの）、警報緩制動（緩やかな減速度の発生によりドライバに警告するもの）などがある。こうした警報モダリティは、多くの情報を伝えるには不向きであるものの、指向性（方向）の情報を有するという特徴が挙げられる。

本章では、実用化された追突事故防止支援システムの中で最も多く採用されている、警報緩制動を付加することによって、ドライバの対応行動の改善を検証することを目的とした。さらに、事故の削減効果を試算することで、警報緩制動の付加による定量的な有効性評価を試みた。また、また3章で得られた年齢層による警報反応特性の違いを踏まえ、これまで対象としなかった、高齢ドライバも含めた年齢層の違いによる検討も行った。

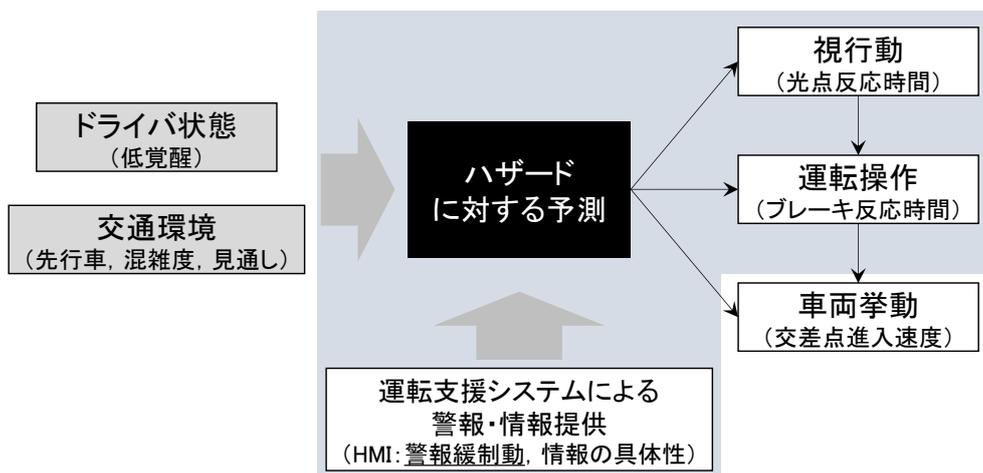


図 4-1 本章の対象とする範囲

## 4.2 方法

### 4.2.1 実験計画と参加ドライバ

本実験では、衝突警報の警報提示方法として、視覚表示と聴覚表示のみの場合「警報緩制動なし条件」と警報緩制動を付加した場合「警報緩制動あり条件」の二条件を設定し、ドライバの対応行動を比較することで、警報緩制動の付加による効果を検証した。警報場面のような切迫した場面の経験は、その後の運転への影響があると推測されるため、条件ごとに異なる参加ドライバ（被験者間計画）で構成した。実験条件群間のドライバ属性に差が生じないように、年齢、性別、運転歴や運転頻度によって参加ドライバを振り分けた。さらに、ドライバの属性に関する質問紙 DSQ・WSQ（石橋他，2002）によって、条件群間の属性に差がないことを確認した。

表 4-1 に実験条件ごとの実験参加者の人数構成を示す。通勤などで日常的に運転している計 72 名が本実験に参加した。第 3 章において、非高齢層の中において年齢層ごとの特徴がみられたことから、本章では高齢層まで検討対象を広げた。年齢層ごとに比較するため、非高齢（20～49 歳）、高齢（65 歳以上）の男女で構成した。なお 50 代は、第 3 章の実験において 30～40 代に比べブレーキが遅れる傾向のドライバが散見されたため、高齢予備群が含まれると考え、本実験ではより明確な 65 歳以上のドライバのみを「高齢層」とした。実験への参加にあたっては、事前に書面と口頭にて、実験概要などを説明した上で、任意に参加同意書への署名を求め、了承されたドライバのみが参加した。

本実験では、DS を用いて警報場面を再現した。仮想現実空間上ではあるものの、切迫した場面を経験する可能性があるため、過度な緊張による身体の不調をきたすリスクが考えられた。そこで、循環器系（心臓、血圧など）の疾患、脳疾患、精神疾患などの既往歴をもつ方については、念のため参加を辞退していただいた。なお、本実験は、一般財団法人日本自動車研究所の研究倫理審査委員会による承認を得た上で実施した。

表 4-1 実験参加者の構成

年齢区分	警報緩制動なし		警報緩制動あり	
	男性	女性	男性	女性
非高齢層(20歳-49歳)	10	10	10	10
高齢層(65歳-79歳)	8	8	8	8

### 4.2.2 実験装置および警報場面の設定

本実験では、高齢ドライバに対する切迫した警報場面の経験、および警報緩制動の統制を図る必要性の点から、危険場面再現車による実験実施が困難であったため、DS を用いることとした。実験に用いた DS は、現実感では危険場面再現車に劣るものの、全方位スクリーンによりドライバからの視界を 360 度に渡って模擬する機能、また 6 軸動揺装置により車両運動に応じて生じる加減速

度を模擬することが可能であり、簡易 DS と比較すると、現実に近い運転が可能な装置といえる。また、本実験ではドライバが警報に反応してブレーキを踏み始めるまでのデータが重要であり、DS による再現の難しい視覚的な減速感などは関与しないことから、DS による実験の実施が妥当と考えた。当該 DS の外観を、図 4-2 に示す。アクセルペダル、ブレーキペダル、ステアリングホイールによるドライバの運転操作を検出し、実車と同様のペダル反力や操舵反力を発生する運転席部、ドライバの運転操作にもとづいて車両運動をリアルタイムに計算する計算機システム、コンピュータグラフィックスで車外風景を生成してプロジェクタからスクリーンに投影するビジュアルシステムなどによって構成されている。また、6 軸動揺装置およびヨー回転装置により、前後・左右方向の加速度を発生することができる。なお、車両運動計算には、表 4-2 に示す普通乗用車の車両モデルを用いた。

次に、実験における警報場面のイメージを図 4-3 に示す。衝突警報が作動し、その効果が発揮される代表的な場面として、3 章と同様に、追突事故の最も多い速度帯（40km/h）で先行車に追従走行中、停止車両に接近する場面を想定した。また、追突事故の人的要因としては、低覚醒や考え事などに代表される内在的な前方不注意や、脇見などに代表される外在的な前方不注意が考えられる。2004 年の交通事故統計によると、追突事故のうち外在的な前方不注意の占める割合が約 4 割と最も多いことから、本実験では脇見状態を模擬するタスクを設けた。システムの仕様については、当該装置の技術指針を参考に、自動ブレーキ作動開始タイミングを TTC（衝突余裕時間）=0.6s、警報開始タイミングを TTC=1.8s に設定した。

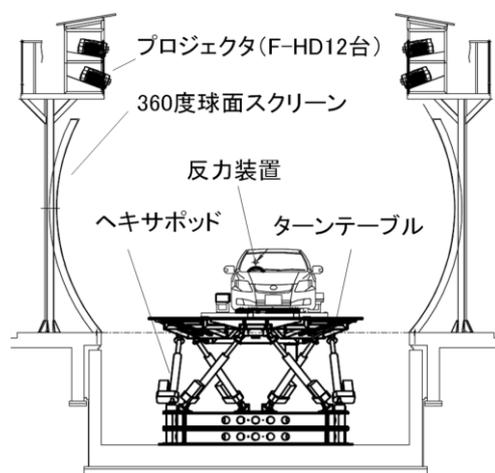
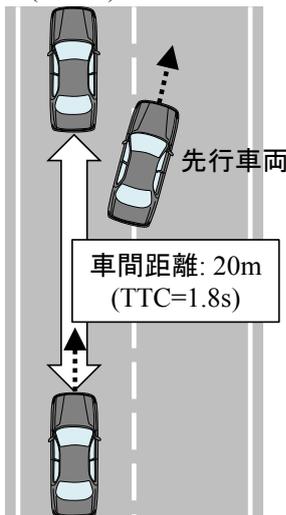


図 4-2 実験に使用した DS の外観

表 4-2 車両運動計算に用いた車両諸元

モデル車両	TOYOTA / COROLLA AXIO
車両重量	1,300 kgf
全長	4,410 mm
全幅	1,695 mm
全高	1,460 mm
ホイールベース	2,600 mm

停止車両  
(0km/h)



実験車両  
(40km/h)



図 4-3 衝突警報場面のイメージ

#### 4.2.3 衝突警報の HMI

警報の HMI としては、3 章と同様に、ISO 規格や技術指針を参考に、衝突警報として一般的な仕様となるように設定した。視覚表示は、図 4-4 に示すようにメータパネル内のタコメータ部分に「衝突注意ブレーキ」の赤文字を点滅表示（表示期 200ms，非表示期 200ms）した。また、聴覚表示としては、主観的な緊急性が高いとされる、基本周波数 2.0kHz の断続音（表示期 100ms，非表示期 100ms）とした。なお、警報音は車両のドア内側 4 箇所を設置されたスピーカーから提示した。

警報緩制動の仕様としては、技術指針の中で制動制御（本制動）に適用されない範囲として規定されている、減速度が  $0.98\text{m/s}^2$  (0.1G) 以上、 $2.45\text{m/s}^2$  (0.25G) 以下でかつ、制御の継続時間が 0.8s 以下を満たすように設定した。図 4-5 に、DS 上で設定した警報緩制動による実際の減速度の

時系列データ（加速度計により計測）を示す。減速度の最大値は約  $1.7\text{m/s}^2$  (0.17G) で、減速ジャークは約  $5.1\text{m/s}^3$  (0.52G/s) であった。宇野・平松・佐藤（1996）によると、前庭感覚の刺激閾は  $0.1\text{m/s}^2$  とされており、十分に知覚可能な仕様であり、一方で制動制御が再現する緊急時の急減速とは異なる、緩やかな制動が再現されたといえる。なお、1秒付近の負の値（弱い加速）は、モーションのウォッシュアウトによるゆり戻しの影響である。

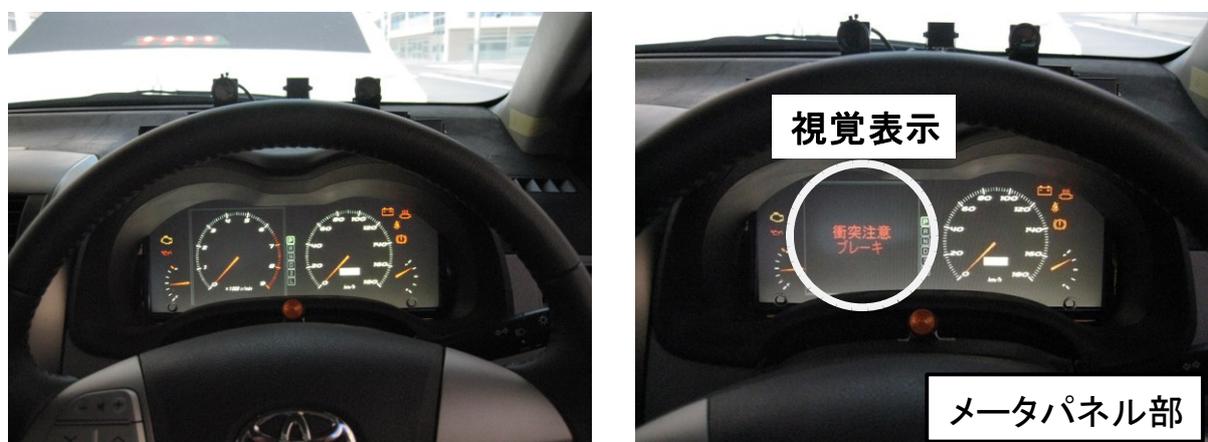


図 4-4 視覚表示のイメージ

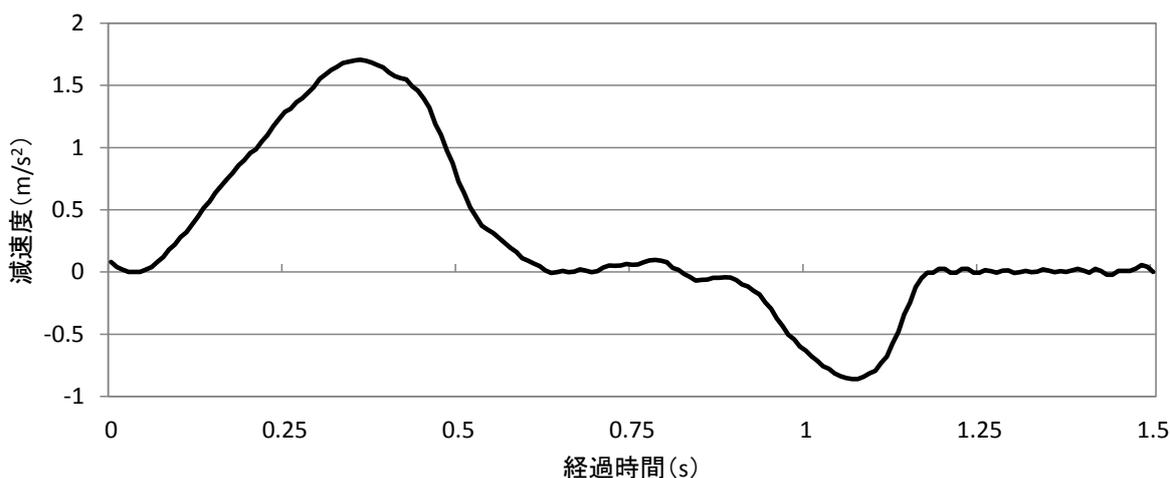


図 4-5 警報緩制動による減速度の時系列データ

#### 4.2.4 脇見タスクと警報タイミング

警報場面における脇見タスク、警報システムのタイミングチャートおよび想定されるドライバ対応行動を図 4-6 に示す。脇見タスクは、図 4-7 に示すように、メータパネル部に設置した LED ランプ点灯を開始合図とし、助手席足元部に設置した脇見用モニターへ 0~9 までの一桁の数字が 250ms おきに（表示期 250ms, 非表示期 250ms）9 回表示される。ドライバは、最初に表示され

た数字が、その後何回表示されたかを口頭で回答した。当該タスクでは、最初の数字を見落とすと回答できないため、ランプ点灯後、ドライバーは速やかに助手席足元へ視線を移すことが必要となる。また、正答するためには全ての数字を見る必要があり、前方に視線を戻しにくい状況を作り出すことができる。なお、高齢ドライバーに対してはタスク難易度が高すぎたため、数字の提示方法を 500ms おきに（表示期 500ms, 非表示期 500ms）5 回とし難易度を下げた。脇見タスクは警報場面以外の走行中にも、約 30 秒おきに実施した。

実験では、脇見中に警報場面に遭遇することを模擬するため、脇見タスクと連動して警報場面を実施できるように設定した。警報場面では、まず脇見タスク開始合図用ランプが点灯し、その 1.0 秒後に、脇見タスク用モニタに数字を表示し始める。前方停止車両との TTC=2.3 秒である、この時点で先行車は車線変更を開始し、その 0.5 秒後に衝突警報が提示される。仮にドライバーが制動を行わなければ、警報提示から 1.8 秒後に、前方の停止車両と衝突するタイミングとした。

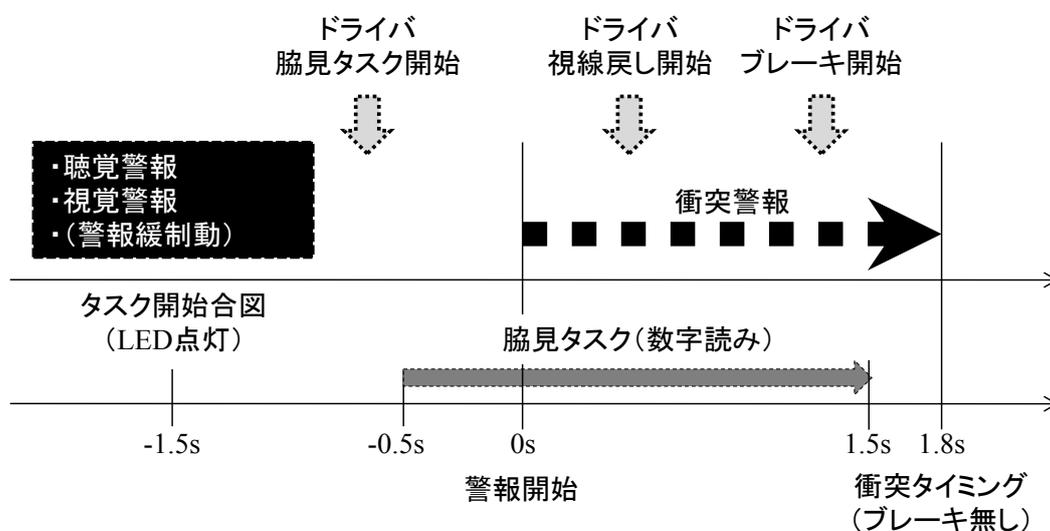


図 4-6 実験のタイミングチャート



図 4-7 脇見タスク用モニタとタスク開始合図用 LED

#### 4.2.5 実験手順

実験手順としては、教示とフェイスシートの記入の後、練習走行、さらに休憩を挟んで2回の実験走行を実施した。図4-8の「説明シート」①～④を用いて、以下のような教示を行った。

##### ① 実験の概要と目的

- ・ DS上の市街地コースを、ときおり脇見を行いながら運転すること
- ・ 現実には起こりうる交通場面における運転行動を調べること
- ・ 様々な情報や警報が提供された場合の運転行動を調べること

##### ② 走行方法

- ・ 普段通りの運転を心がけること（安全を最優先に運転する）
- ・ 先行車に追従して走行すること
- ・ 先行車は40km/hを上限に走行し、減速・停止する場合もあること
- ・ 走行中に、ときおり脇見タスクを行うこと（安全にできる範囲で）

##### ③ 脇見タスクについて

- ・ 運転中に、タスク開始合図のランプが点灯したら、助手席足元部のモニタを見ること
- ・ モニタには、0～9の数字が9回、点滅で表示されること
- ・ 最初に表示された数字が、その後何回表示されたかを数え、口頭で回答すること

##### ④ 情報・警告の表示方法と意味

- ・ 走行中、運転に役立つ情報や警告が、告知音とともに提供される場合があること
- ・ 情報や警告は、メータパネルに表示されること

上記に示したように、教示における実験目的は追突場面に特化せず、現実には起こりうる交通場面での運転行動を調べることとして、衝突警報に対する予見性の低い状況を設定した。一方、警報への対応行動を調べる上で、ドライバーのシステム理解度の違いが影響する可能性があった。効果予測を行う上では、装置購入者と同等のシステム理解度に設定することが望ましいものの、実際には個人差がある。そこで、本実験の1走行目では、簡易的な説明（警報表示を見て、警報音を聴いた上で、前方の車両と接近したときに提示される警報であることを伝えた）のみを行い、「理解度が低い」状態と位置づけた。また、2走行目では、「理解度が高い」状態を設定するため、1走行目の直後に、口頭説明と併せて警報場面の体験走行（脇見せず正面を向いた状態で、前方の停止車両へ40km/h程度で接近し、警報が提示されるタイミングとその切迫状況、警報状態を確認）をした。ただし、こうした教示により、衝突警報の実験であることが予測されてしまう懸念があったため、衝突警報以外に5種類（工事情報、一時停止情報、路肩の停止車注意喚起、交差車両注意喚起、車線逸脱警報）の支援情報が提供されることを教示し、報知音と表示をPC上に提示した上で、書面と口頭にて説明を行った。

教示に続き、DSの運転に慣れるための練習走行として、先行車に追従しながら10分程度の走行

を行った。次に、車両を停止した状態で、3問連続して正答できるまで脇見タスクの練習を実施した。実験走行は、走行1（約15分）と走行2（約5分）の二回に分けた。ドライバは、先行車に追従しながら運転し、約30s間隔で脇見タスクを繰り返し行った。また、脇見に没入して運転が疎かにならないように、脇見タスク中に先行車がゆっくり（0.1G程度）減速する状況、またゆっくり減速して停止する状況も経験するようにした。最初に提示する情報は「工事情報」で、脇見タスクがないときに提示した。次に、脇見タスク中に「衝突警報」を提示し、警報への対応行動データ（1走行目）を計測した。走行1の最後には、脇見タスク中に「路肩の停止車両情報」を提示した。各情報・警報が提示された後は、一旦停止した上で、警報音、警報表示、（警報緩制動）に気がついたか否か、警報から感じる緊急性、警報内容の理解状況に関する内省報告を得た。インタビュー後には、次は別の情報や警報が出る可能性があることを示唆してから、走行を再開した。なお、走行1の衝突警報後には、インタビューに続き、体験走行を実施した。走行2では、約5分の走行後に衝突警報を提示した。この2走行目は、前述の通り「システム理解度が高い」状態と位置づけた。

説明シート①

### 実験の概要と目的

DS(ドライビングシミュレータ)上の市街地を、ときおり脇見タスクを行いながら運転していただきます。

※DSとは...  
CGを見ながら運転する車両で、実際には走行しませんが、普通の車に似たような感覚で運転できるような実験装置です。



**今回の実験の目的**  
- 現実起こりうる交通場面における、運転行動を調べること  
- 様々な情報や警報が提供された場合の、運転行動を調べること

説明シート③

### 走行方法

- ✓ DSは実際の車とは違いますが、普段と同じような運転を心がけてください
- ✓ 右左折はせずに、交差点などはすべて直進してください

### 実験①

- ✓ 常に、前を走る車がいいますので、その先行車に追従して、運転してください
- ✓ 先行車は、40km/hを上限に走行し、減速や停止する場合があります
- ✓ 走行中、ときおり脇見タスクをやっていただきます。安全に支障をきたさない範囲で実施するようにしてください(説明シート4)
- ✓ 走行中、運転に関する情報・警報が提供されることがあります(説明シート5)

### 実験②

- ✓ 前を走る車両がいる(追従走行)時と、いない(単独走行)時があります
- ✓ 先行車は、左折・右折することがありますが、皆さんは直進してください
- ✓ ただし、車線変更や追い越しの指示があったら、指示に従ってください

説明シート④

### 脇見タスク

1秒後 数字表示開始



メータパネル部  
助手席足元部

【脇見タスク】  
メータパネル上部のLED点灯→(1秒後)→助手席足元部のディスプレイに数字表示開始

LED点灯 1秒後  
6 (0.25秒) 1 (0.25秒) 6 (0.25秒) 5 (0.25秒) 3 (0.25秒) 2 (0.25秒) 5 (0.25秒) 6 (0.25秒) 3

最初の数字「6」が表示された回数は？ 答え：2回

説明シート⑤

### 情報・警告の表示方法と意味

<p>ポーン!</p>  <p>✓この先に、工事中の場所があることを伝えます</p>	<p>ビビッ!</p>  <p>✓交差点で、交差車両が存在するため、注意するよう呼びかけます</p>	<p>ビビビビビビ!</p>  <p>✓車線から逸脱しているため、ハンドルをきるよう呼びかけます</p>
<p>ビビビビビビ!</p>  <p>✓前方の車両と接近しているため、ブレーキを踏むよう呼びかけます</p>	<p>ポーン!</p>  <p>✓この先に、一時停止交差点があることを伝えます</p>	<p>ビビッ!</p>  <p>✓この先に、停止車両があるため、注意するよう呼びかけます</p>

図 4-8 教示に使用した「説明シート」

#### 4.2.6 計測項目

実験において計測した項目を，操作量，車両状態，ドライバ状態に分けて表 4-3 に示す．ドライバの操作量および車両挙動に関するデータを 120Hz，ドライバ状態を調べるための顔面映像や足元映像などの映像データを 30Hz で収録した．その他に，警報に関する内省報告への回答，ドライバ属性に関する質問項目（年齢，性別，運転歴，DSQ・WSQ）を併せて取得した．

表 4-3 計測項目一覧

内容	計測項目
操作量	アクセル開度
	ブレーキ踏力
	ステアリング角
車両状態	自車速
	前後加速度
	自車位置
ドライバ状態	顔映像
	足元映像
	内政報告
ドライバ属性	年齢，性別，運転歴など
	DSQ（運転スタイルチェックシート）
	WSQ（運転負担感受性チェックシート）

### 4.3 結果および考察

第3章の結果と同様に、計測されたデータの中には、警報が作動する前に視線を戻し始めたドライバや、警報提示後に視線を戻していたが警報音に気づいていなかった（警報直後の内省報告にて確認）ドライバがいた。このようなドライバに関しては、警報による効果が評価できないため、解析の対象がとされた。結果、1走行目の警報緩制動なし32名、警報緩制動あり32名、2走行目の警報緩制動なし30名、警報緩制動あり27名の有効データを取得した。

#### 4.3.1 警報に対する対応率

第3章と同様に、警報に対する反応として、警報に気づいたものの即座の反応がみられない「無反応群」、衝突前にブレーキが踏めなかった「制動遅れ群」および衝突前にブレーキを踏むことができた「通常制動群」に分類した。表4-4に、警報緩制動の有無と年齢層ごとに、1走行目における各群の構成人数および割合を示す。

警報緩制動あり条件では、全ドライバが通常制動群（衝突前までにブレーキを踏み始めているドライバ）に分類されており、警報に対する対応行動が改善されていることが示された。また、警報緩制動なし条件において、非高齢ドライバは無反応群が比較的多く、警報に気づいても脇見を継続する傾向が見られた。一方、高齢ドライバは通常制動群が多く、警報に対して少なくとも衝突前までにブレーキを踏んで対応していることが示された。なお、2走行目は、全ドライバが通常制動群に分類された。

表 4-4 条件ごとの警報への反応分類

年齢層	反応	緩制動なし		緩制動あり	
		(n)	(%)	(n)	(%)
非高齢層 (20-49歳)	反応なし	4	22.2%	0	0.0%
	ブレーキ遅れ	2	11.1%	0	0.0%
	通常反応	12	66.7%	17	100.0%
高齢層 (65-79歳)	反応なし	1	7.1%	0	0.0%
	ブレーキ遅れ	2	14.3%	0	0.0%
	通常反応	11	78.6%	15	100.0%
合計	反応なし	5	15.6%	0	0.0%
	ブレーキ遅れ	4	12.5%	0	0.0%
	通常反応	23	71.9%	32	100.0%

#### 4.3.2 警報に対するブレーキ反応時間

無反応群を除いたブレーキ反応時間について、警報緩制動の有無ごとに、1走行目（図4-9）および2走行目（図4-10）の頻度分布を示す。制動遅れ群を除いた通常制動群のブレーキ反応時間について、走行ごとに警報緩制動の有無と年齢層（非高齢・高齢）の二要因分散分析を行ったところ、

1 走行目で警報緩制動による主効果 ( $F(1,51)=15.38, p<.01$ ) および年齢層による主効果

( $F(1,51)=27.06, p<.01$ ), 2 走行目で警報緩制動による主効果 ( $F(1,53)=6.06, p<.05$ ) および年齢層による主効果 ( $F(1,53)=40.29, p<.01$ ) が認められた. 図 4-11, 図 4-12 に条件ごとのブレーキ反応時間の平均値および標準偏差を示す. 1 走行目および 2 走行目において, 警報緩制動あり条件が警報緩制動なし条件に比べて反応時間が有意に早く, 警報緩制動の付加によって警報開始から回避操作までの時間が短縮されることが示された. また, 非高齢層に比べ, 高齢層は反応時間が有意に遅かった. 平均値から, 警報緩制動の付加によって最も反応時間が短縮していたのは, システムの理解が低い 1 走行目の非高齢ドライバーであった. 一方, システムの体験などを通して理解が深まった 2 走行目においては, 非高齢ドライバーの反応時間に, 警報緩制動の付加による明確な差はみられなかった. このことから, 警報緩制動の効果としては, システムの理解が低い場合の非高齢ドライバーに特に有効であると考えられる. 一方, 高齢ドライバーでは, システムの理解度によらず警報緩制動があった方が反応時間の平均値は短かった. また, システムの理解度向上による効果として, 非高齢層の警報緩制動なしの場合で有効であったことから, 警報に対する理解度向上が, 警報への迅速な対応を促すと推察される. ただし, 本実験での 2 走行目においては, 衝突警報の発生を予測していたドライバーがいた可能性もあるため, 理解度向上が実際の事故場面においても同程度の効果があるかについては, 追加検討の必要があると考える.

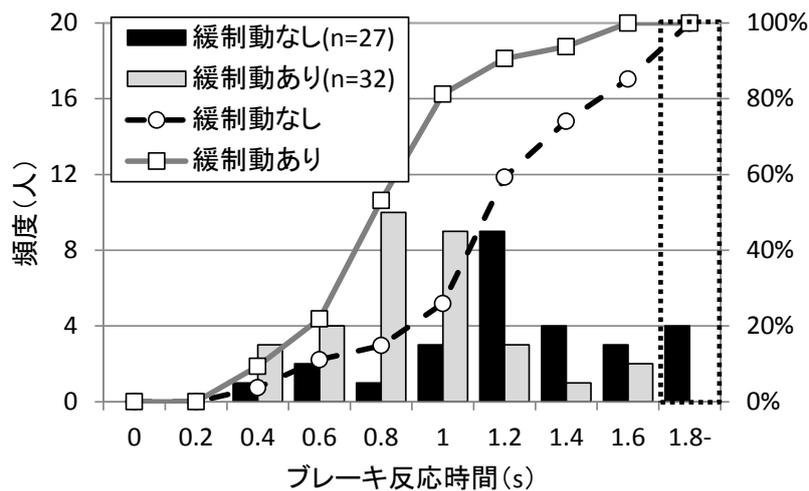


図 4-9 ブレーキ反応時間 (1 走行目)

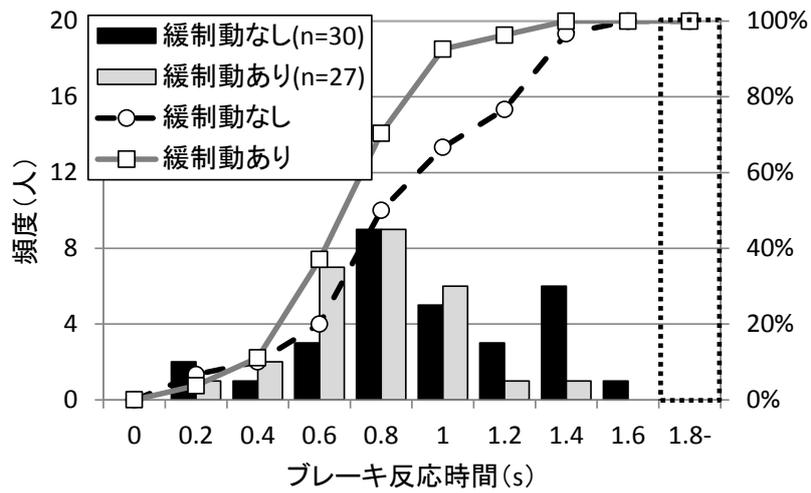


図 4-10 ブレーキ反応時間 (2 走行目)

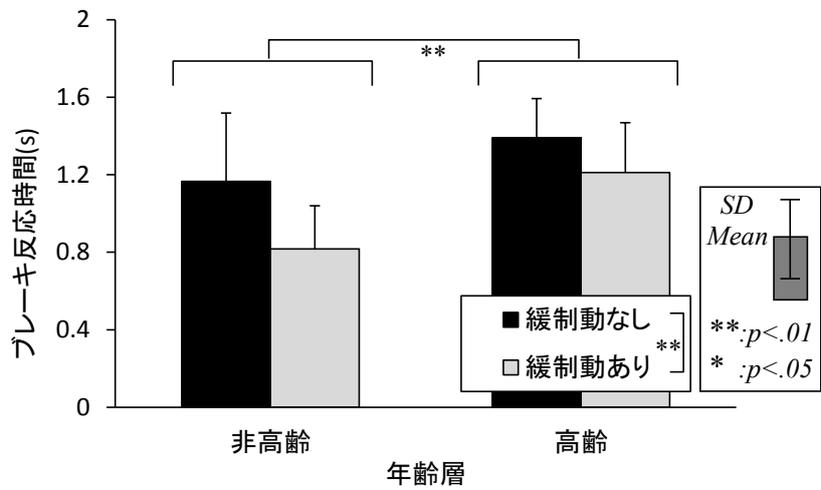


図 4-11 条件ごとのブレーキ反応時間 (1 走行目)

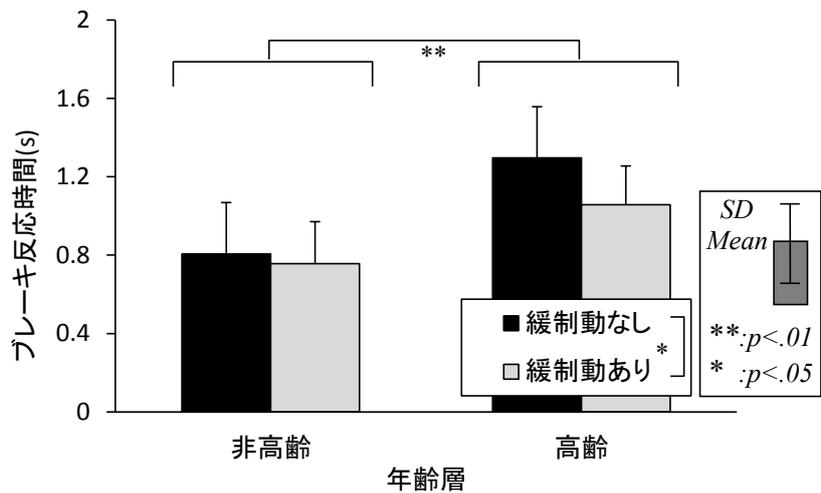


図 4-12 条件ごとのブレーキ反応時間 (2 走行目)

### 4.3.3 警報緩制動の有効性に関する考察

警報緩制動の付加により警報に対するドライバの対応行動が適切にかつ迅速になるという効果が示された。そこで、警報直後の内省報告の結果から、その有効性について考察した。

まず、警報緩制動に気づいたか否かについて質問した結果、気づいた・なんとなく気づいたと回答したドライバは1走行目で約3割（10名/32名中）、2走行目で約4割（11名/27名中）であった。そこで、警報緩制動への気づきの状況と効果の関係を調べるため、気づきの回答結果ごとに1走行目のブレーキ反応時間の平均値および標準偏差を比較した結果を図4-13に示す。分散分析の結果、警報緩制動なし条件のドライバに比べ、警報緩制動の気づきの有無に関わらずブレーキ反応時間は有意に早かった。よって、警報緩制動に気づかなかったと回答したドライバに対しても効果があることが示唆された。当該ドライバは、警報場面の経験により忘却をした可能性や、自らの制動操作と警報緩制動を区別できなかった可能性がある。

次に、警報から感じる緊急性（警報に気づいた時点において何秒くらいで対応すればよいと感じたか）について、警報緩制動の有無で比較したところ、警報制動あり条件の方が、1秒以内といった早めに対応すると回答したドライバが多く、警報の緊急性を高く評価していた。Burt, Bartolome, Burdette, & Comstock（1995）によると、警報から感じる緊急性（Perceived Urgency）は、警報の物理的特性と深く関わっており、視覚表示と聴覚表示に異なるモダリティの警報を付加したことによって、緊急性が高く感じられたと推察される。一方、システムの理解度向上によって、1走行目に比べ2走行目の主観的緊急性が高く評価されており、警報の経験を通じて警報場面に対する緊急度（Situational Urgency）が高まったと考えられる。これら警報から受ける主観的緊急性の高まりが、適切で素早い対応を促す一因と考えられる。

最後に、警報の理解状況（衝突警報だとわかったか、どの時点でわかったか）について、警報緩制動の有無で比較したところ、警報に気づいた時点で衝突警報だとわかった人数に差はなかったものの、前を見てわかったと回答したドライバは警報緩制動あり条件の方が多かった。したがって、警報緩制動の付加により直接的に警報内容の理解を促進する効果はなかったものの、前方へ注意を向かせることで状況の理解を深めた可能性が示唆された。警報緩制動には、指向性（警報対象の位置）の情報が含まれているため、ドライバの注意を前方へ向けさせ、結果として適切な対応を促進させた一因になったと推察される。

警報緩制動の仕様として、よりドライバが気づきやすい設定にすることで、効果が高まる可能性があるものの、警報の物理的特性を高めることは、受容性（煩わしさ）などへの影響も懸念されることから、システムの仕様（例えば、ドライバにとって不要な警報が提供される頻度）なども考慮した上で、適切なHMIを設定することが重要と考えられる。

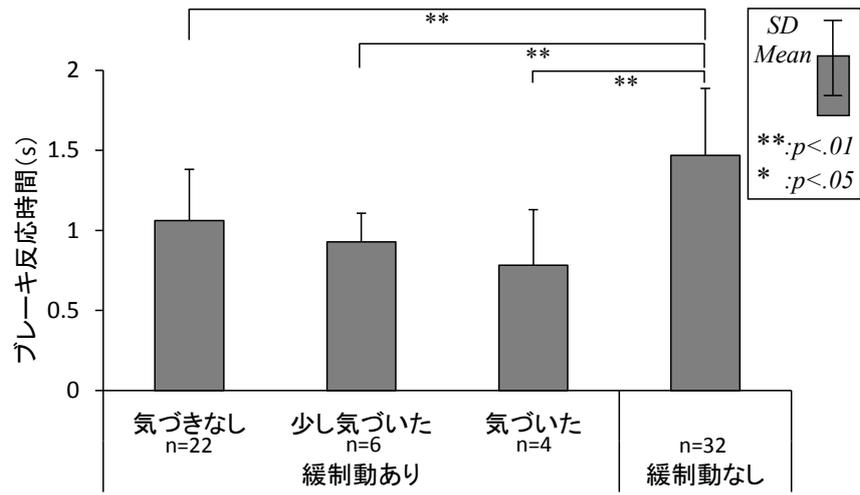


図 4-13 緩制動への気づきの有無とブレーキ反応時間

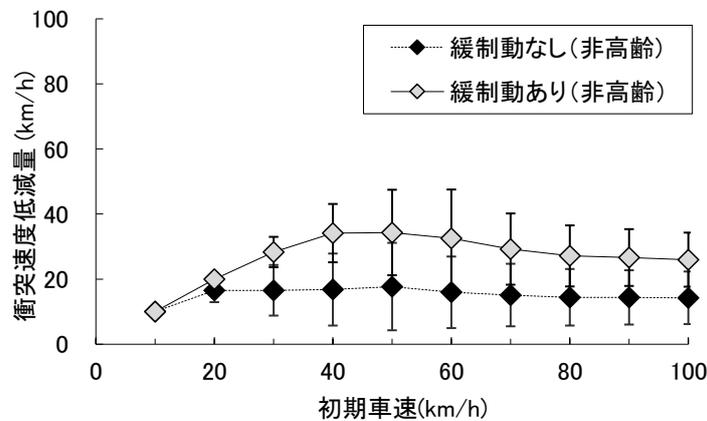
## 4.4. 事故低減効果の予測

### 4.4.1 効果予測の概要

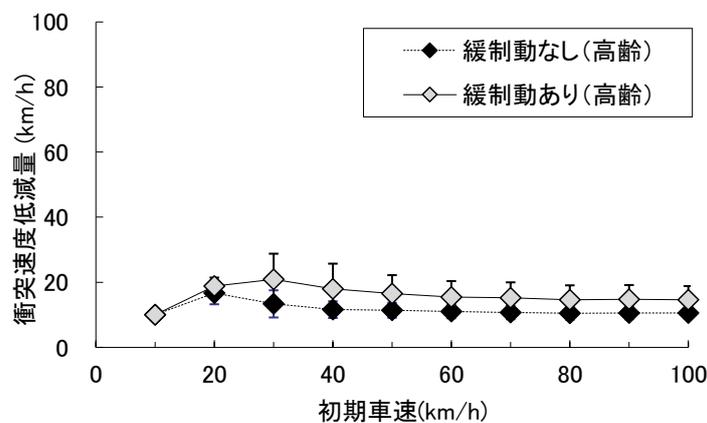
実験で得られた警報に対する反応の有無とブレーキ反応時間の結果に基づき、実験条件ごとに追突事故防止支援システムの効果予測を行った 3.4 節の手法を用い、システムが 100%普及したと仮定して、システムによる衝突速度低減量を推定し、全事故データに対する事故回避率、および死亡重傷事故低減率を推定した。

### 4.4.2 衝突速度低減量の算出

実験で得られた個々の警報に対する反応データごとに、図 3-15 のフローに基づき衝突速度低減量を集計し、初期车速別の平均値±標準偏差を求めた。計算に用いた諸条件も、3.4.3 節と同様とした。図 4-14 (a) に非高齢層、図 4-14 (b) に高齢層の、1 走行目における警報反応データを用いた算出した衝突速度低減量を警報緩制動の有無ごとに示す。年齢層に関わらず、警報緩制動の付加により速度低減量は増加しており、特に非高齢ドライバーでその傾向は顕著であった。



(a) 非高齢層



(b) 高齢層

図 4-14 条件ごとの衝突速度低減量の推定結果

#### 4.4.3 事故低減効果予測の結果

衝突速度低減量の計算から、第3章と同様に事故削減率および死亡重傷事故低減率を算出した。表4-5に条件ごとに事故削減率の算出結果を、表4-6に条件ごとに死亡重傷事故低減率の算出結果を示す。

警報緩制動の有無、システム理解度および年齢層ごとの事故低減効果を算出した結果、全条件で警報緩制動の付加による効果が向上すると推定された。高齢ドライバーに対しては、事故低減効果として10%程度の低減効果の向上が見込まれた。反応率および反応時間で改善がみられた、非高齢ドライバーのシステムの理解度が低い場合には、さらに30%程度の低減効果の向上が見込まれ、特に有効であることが示唆された。

表 4-5 条件ごとの追突事故削減率の推定結果

システム理解度	年齢層	警報緩制動 なし	警報緩制動 あり	警報緩制動 付加の効果
低い(1走行目)	非高齢	46%	79%	33%
	高齢	38%	53%	15%
高い(2走行目)	非高齢	79%	85%	6%
	高齢	46%	62%	16%

表 4-6 条件ごとの死亡重傷事故低減率の推定結果

システム理解度	年齢層	警報緩制動 なし	警報緩制動 あり	警報緩制動 付加の効果
低い(1走行目)	非高齢	55%	84%	29%
	高齢	48%	59%	11%
高い(2走行目)	非高齢	83%	87%	4%
	高齢	55%	68%	13%

## 4.5 まとめ

本章では、追突事故防止支援システムの警報提示方法として、視覚および聴覚表示に警報緩制動を付加することの有効性を検証した。得られた成果を以下にまとめる。

- ・ 警報緩制動を付加した条件では、警報に気づいたにも関わらず対応をとらないドライバ（無反応群）がみられなかった。
- ・ 警報緩制動の付加によって、ブレーキ反応時間が早まっており、ドライバによる回避操作がより早く行われるようになった。
- ・ 警報緩制動の付加による効果は、警報から受ける主観的緊急性の高まりと、警報緩制動の持つ指向性（警報対象の位置）の情報により、ドライバの注意が前方へ促されたことによる効果と推察された。
- ・ 事故低減効果指標の算出結果から、警報緩制動の付加によって高齢ドライバで 1 割程度、システム理解度が低い非高齢ドライバに関しては 3 割程度の効果向上が見込まれた。

本章によって、警報緩制動付加の有効性が、事故低減効果の指標を用いた定量的な評価で示された。しかしながら、年齢層ごとの事故低減効果を算出するにあたって、事故データの年齢層まで考慮できていない。高齢ドライバは、衝突速度が低く分布する可能性も考えられることから、この点を考慮した効果予測が必要と考えられる。また、第 3 章および本章のように比較的切迫したタイミングよりも早いタイミングで警報を提示した場合には、システム受容性などへの影響も考えられることから、効果全体への影響を考慮した、予測精度のさらなる向上が期待される。

## 第 5 章

# ドライバ状態と交通環境がドライバの視覚的注意に与える 影響

第3章および第4章では、衝突直前における不測の警報に対するドライバの反応特性に基づき、運転支援システムの効果を推定した。本章では、より早いタイミングにおける支援を想定し、ドライバが支援を必要とする注意水準が低下（ハザードの出現を低く予測）しやすいドライバの状態と交通状況の検討を行った。図5-1に、本章で検討対象とする範囲を示す。

## 5.1 研究の背景

1.8節で示したように、現在では多くの運転支援システムが実用化されており、その効果が期待されている。一方で、Wheeler, Campbell, & Kinghorn (1998) は、システムを使用するドライバのシステム受容性について、煩わしさなどの課題を指摘している。これらの課題を解決するためには、ドライバが必要なときに、必要な情報や警報を提供する必要がある、HMI や警報開始タイミングなどの検討が進められている（安部・伊藤・山村, 2009）。これらの検討によって、各々のシステムについて最も効果の期待できる支援方法が検討されつつある。しかしながら、ドライバの個人差などにも対応できるような、合理的なシステムを構築するまでには至っていない。個人差に対応するために、ドライバの個人特性に応じた運転支援システム（個人適合）という考え方がある。しかし個人適合の実現には多くの検討が必要であり、また個人内の状態変化まで考慮することは困難と考えられる。

近年では、ドライバのモニタリング技術（例えば大須賀, 2008）が進んでおり、ドライバの状態（通常状態の他に、例えばディストラクション状態、低覚醒状態など）に応じた支援方策の検討が可能となりつつある。また、センシング技術の進歩によって、車外の交通環境や交通状況（例えば先行車追従場面、単独走行場面など）も検知可能となっており、交通環境や交通状況に応じた支援も考えられる。安部・菊地・岩城・藤井（2008）や安部・菊地・岩城・藤井（2010）は、特にドライバの不注意、発見の遅れ、見落としなどに起因した事故を削減することを目的として、ドライバ状態と交通環境、交通状況に応じた状況適応型運転支援システムの構築を目指した研究を行っている。

Hartman (1970) によると、ドライバは運転に必要な情報の大部分を、視覚によって取得しており、視認行動特性を把握した上での支援方法の検討は有用であると考えられる。視線計測による注視対象などの詳細分析は個別の場面における有効性を評価するのに適しているが、ある区間の運転に対する影響を総合的に評価することは難しい。そこで筆者らは、運転中のドライバに光点検出タスクを課し、計測される光点検出反応時間をもとに、ドライバが光点に気づくことのできる範囲を算出することによって、視覚的な注意の範囲を推定する、菊地・岩城・安部・藤井（2008）や菊地・岩城・安部・藤井（2010）の手法を用いてシステムの評価を行ってきた。本章では、ドライバ状態として低覚醒（ぼんやり）状態に着目して、交通環境や交通状況ごとに視覚的な注意の範囲を評価することで、どのようなときに支援が必要であるか、すなわち支援の優先度などの決定に資するデータを取得することを目的とした。

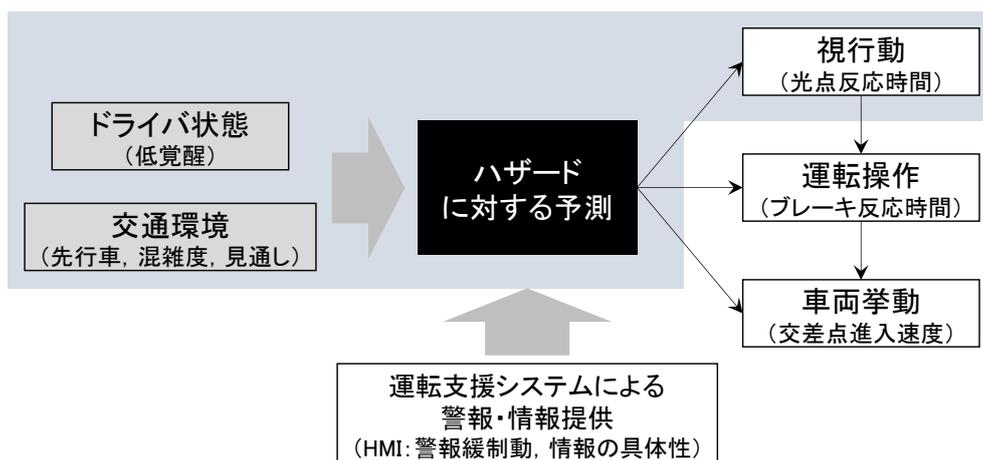


図 5-1 本章の対象とする範囲

## 5.2 方法

### 5.2.1 実験装置

本実験では、6軸の動揺装置および水平方向の画角50度、垂直方向の画角35度のスクリーンを有するDSを使用した。また、ナック社製アイマークレコーダ（EMR-8b）を用いて、ドライバの片眼（利き目）の注視点画像を30Hzで記録した。

### 5.2.2 実験計画

本章では、眠気に起因する低覚醒時におけるドライバ視認行動特性の把握を主な目的とした。ただし、眠気を実験的に設定することは困難であるため、走行後に低覚醒状態のデータを抽出することにした。さらに、交通環境や状況の影響を調べるために、注意すべき対象の数の影響を調べる交通環境要因3水準（C1：高混雑の市街地、C2：低混雑の市街地、C3：低混雑の田舎道）と、持続的な注意対象の存在による影響を調べる先行車両要因2水準（先行車あり、先行車なし）を設定した。なお、ここでの低混雑とは、ドライバの視認可能な範囲内において、先行車を除く注意すべき対象が単数（例えば歩道上の歩行者が1人、あるいは自転車が1台、あるいは道路上の停止車両が1台）の状況であり、高混雑とはこれらの対象が複数（2以上）存在する状況である。後者の場合、ドライバは複数の対象に注意を払う必要があることを想定した。また、市街地には基本的に建築物があり、田舎道にはそれがなかった。走行コースは、信号交差点および無信号交差点を含む、片側1車線直線道路であった。図5-2～図5-4に各交通環境のイメージ画像を示す。

本実験では、交通環境要因を被験者内計画で、先行車両要因を被験者間計画とした。なお交通環境要因については、順序効果が相殺されるよう考慮した。

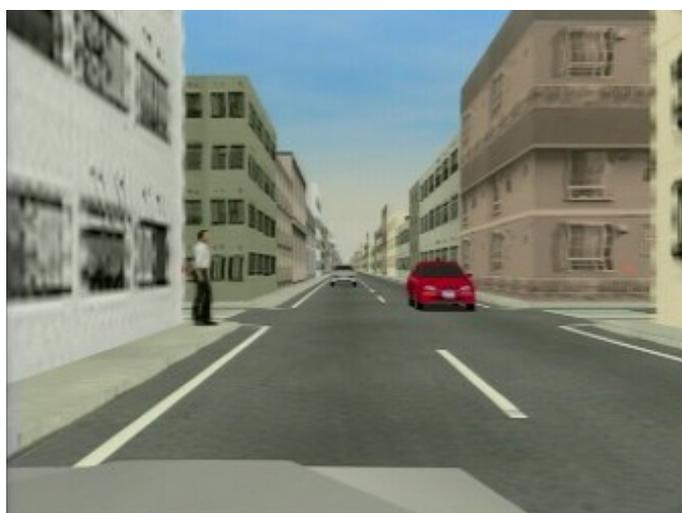


図 5-2 C1：高混雑の市街地のイメージ



図 5-3 C2 : 低混雑の市街地のイメージ



図 5-4 C3 : 低混雑の田舎道のイメージ

### 5.2.3 実験手順

実験参加者は日常的に運転をしている一般ドライバ 24 名（男性 12 名，女性 12 名，平均年齢 33 歳，標準偏差 9 歳）であった。参加者には書面と口頭により実験内容を説明し，参加への同意を得た上で，実験を実施した。実施手順は以下の通りである。

まず，視認行動を計測するため，アイカメラを装着しキャリブレーションを行った。次に実験参加者が DS の運転に慣れるため，3 分程度の練習走行を行った。走行速度は 50km/h とし，先行車の有無は各参加者の設定条件と同一にした。実際の運転と同様に，安全に注意して走行するよう指示し，先行車がある場合には，日常と同程度に安全な車間距離をとって追従するよう教示した。ま

た、実験参加者がある程度 DS の運転に慣れてきたら、光点検出反応時間 (5.2.4.の(1)を参照) を計測するための、光点検出タスクの練習を行った。タスクの内容は、走行中 DS スクリーン上に呈示される赤い光点を見つけたら、できるだけ早くボタン反応によって知らせるというものである。赤い光点は、ドライバからの視角、約 0.5 度 (約 10 ピクセル) の大きさであった。なお、実験参加者には光点を注視する前であっても、光点に気がついた時点でボタンを押してよいことを説明した。走行コースは直線であり、ほとんど操舵操作を必要としないため、光点反应用ボタンはステアリングに設置した。

上記の手順が終了した後、本試行を開始した。本試行では異なる三つの走行環境 C1~C3 をそれぞれ 18 分程度走行し、各走行の間には約 3 分間の休憩時間をとった。

## 5.2.4 評価指標

### (1) 光点検出反応時間

光点検出反応時間は、スクリーン上に呈示される赤い光点に対するドライバの反応時間のことである。すなわち、光点が呈示されてから、ドライバが気づき、ステアリングに付いたボタンを押すまでの時間である。

### (2) 視覚的注意の範囲

視覚的注意の範囲は、以下の定義式(1)によって算出される光点検出可能範囲にもとづいて推定される。

$$\text{「光点検出可能範囲(deg/s)」} = \text{光点と注視点との角度 } \theta[\text{deg}] / \text{光点検出反応時間 } t[\text{s}] \cdot \text{式(1)}$$

ドライバのアイポイント (DS スクリーンから 2m の距離) から、スクリーン上の注視点 (光点呈示された瞬間の視線位置) と光点のそれぞれに引いた 2 線がなす三次元的な角度を  $\theta$  とし、この角度を光点検出反応時間  $t$  で除することで、単位時間 (1 秒) あたりに光点に気づくことができる角度を算出した。この角度をもとに、スクリーン上での距離に換算した値を半径とし、注視点を原点として描いた円を「光点検出可能範囲」と定義した。厳密には、光点検出可能範囲には指向性 (鉛直・水平・奥行き) があると考えられるが、本研究では全方向へ一様に広がると仮定した上で、円で表現することにした。なお、本指標はある注視点周辺の検知視野の考え方に加え、視線移動を伴い対象に気づくことのできる範囲も加味した動的利用可能視野の考え方 (三浦, 2002) に着目している。図 5-5 に指標の説明図を記す。

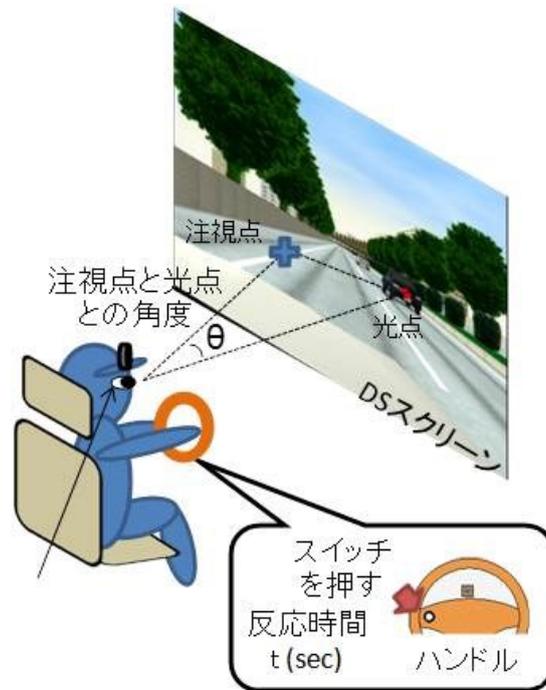


図 5-5 光点検出可能範囲の計測方法

光点検出可能範囲を示す円は、1回の光点検出タスクに対して一つ描くことができる。ある条件での光点検出可能範囲の円の集合について、例えば5割の円が重なる範囲は、5割の確率で光点が検出可能な範囲と考えることができ、本研究ではこの範囲を視覚的注意の範囲と定義した。詳細は5.3.3に示す。

光点が呈示される位置は、図5-6が示すように、スクリーン上の9箇所(①～⑨)とし、それぞれI～Vの領域に配置した。I～Vの各領域の分類名義と各領域において安全走行する上で注意を払うべき対象物として想定されるものを以下に示す。

- I. 走行車線：先行車，走行車線上の停止車両など
- II. 対向車線：対向車，対向車線上の停止車両など
- III. 走行車線側方：進行方向左側の歩行者など
- IV. 対向車線側方：進行方向右側の歩行者など
- V. 上方：信号，標識など

なお、各領域には、光点が呈示される場所を2箇所設定しているが、周囲の①,②,③,④,⑨は近接側(自車から15m前方)、中央寄りの⑤,⑥,⑦,⑧は遠方側(自車から50m前方)の対象を想定している。ただし、Iの領域は近接側の①のみとした。光点が呈示される走行場面として、9パターン(P1～P9)を用意した。各走行場面を大別すると、以下のようになる。

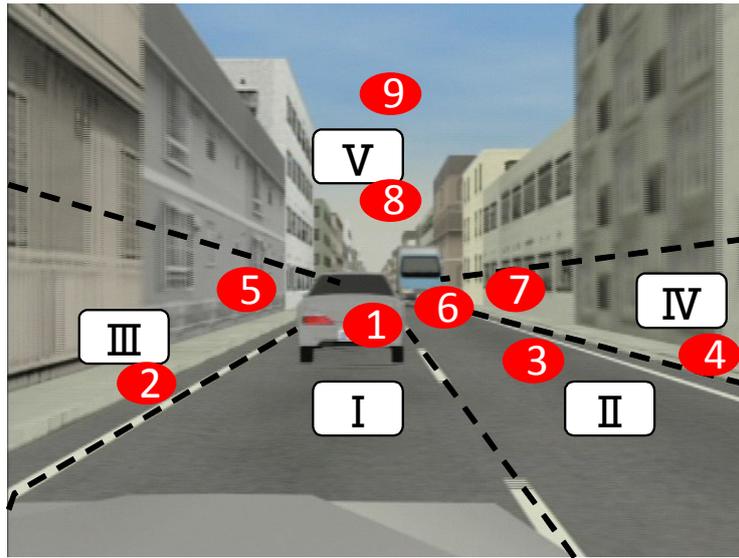


図 5-6 光点の呈示位置

P1～3：信号のない交差点

P4～6：信号のある交差点

P7～9：交差点間の単路

走行場面の 9 パターンは、交通環境要因として設定した三つの各走行条件（C1：高混雑市街地，C2：低混雑市街地，C3：低混雑田舎道）においてランダムに出現し，3 回ずつ通過するよう設定した．すなわち参加者は 1 走行条件で 27 回（9 パターン×3 回），全 3 走行条件で 81 回の光点検出タスクを行うことになる（ただし，光点出現を予測されにくくするためにダミーの光点を適宜呈示している）．また，同一走行条件内で 3 回走行する各走行場面では，それぞれ異なる 3 箇所（①～⑨のうち）に光点が呈示される．表 5-1 は，各走行場面 P1～P9 において呈示される光点呈示位置①～⑨について整理する．

表 5-1 各走行場面における光点呈示位置一覧

光点呈示パターン	走行場面	光点呈示位置	交通環境
P1		①, ④, ⑦	C1
			C2
			C3
P2	信号なし交差点	③, ⑤, ⑦	C1
			C2
			C3
P3		③, ④, ⑤	C1
			C2
			C3
P4		②, ⑥, ⑨	C1
			C2
			C3
P5	信号あり交差点	②, ④, ⑨	C1
			C2
			C3
P6		③, ⑧, ⑨	C1
			C2
			C3
P7		①, ⑥, ⑧	C1
			C2
			C3
P8	交差点間	①, ②, ⑧	C1
			C2
			C3
P9		⑤, ⑥, ⑦	C1
			C2
			C3

### (3) 顔評定による眠気度合いの評価

本研究では、ドライバの眠気度合いを、走行中に記録した顔面映像の画像解析によって評価した。走行中に光点が呈示される 30 秒前から、10 秒毎の眠気レベルを北島・沼田・山本・五井（1997）の開発した顔表情による眠気の評定方法（以下、「NEDO 評定」という）を用いて評価した。2 名の評価者が 10 秒毎の映像を見て、眠気レベル D0～D5 までの 6 段階で評価し、2 名の評価が一致するまで繰り返し評価を行い、光点が呈示される 10 秒前からの評定値を代表値として用いた。なお評定者は、実験直前のドライバの顔面画像を、各評価対象者の眠気レベル D0 に相当する表情（評価基準）として適宜利用し、以下の判断基準によって、眠気レベルの評価を行った。

D0：全体的に動きが敏捷であり、視線移動も速く、キョロキョロする。

D1：一点を見詰め続けるなど、視線移動が少なく遅い。口に締まりがない。

D2：目の開度が小さくなり、瞬き頻発。あくびの出現。

D3：目はかろうじて開けていられる程で、1 秒以上の瞬目が頻繁に生じる。

D4：眉などの目の周辺に抵抗する意識は残るも 2 秒～3 秒以上の閉眼が立て続けに生じる。

D5：抵抗する意識がなく、眠る。

本研究では眠気レベル D0 と D1 を通常状態, D2 と D3 をぼんやり状態, D4 と D5 を眠い状態と定義して分類した.

## 5.3 結果及び考察

### 5.3.1 眠気レベルごとの取得データ

眠気レベルごとの取得データは通常状態が 1488 データ、ぼんやり状態が 418 データ、眠い状態については 3 データであった。眠い状態のデータはごくわずかであり、またこの状態でのパフォーマンス低下は明確であると考えられることから、本研究ではぼんやり状態を低覚醒として、以降の解析の対象とした。

### 5.3.2 光点検出反応時間

光点検出反応時間は、光点が呈示されてからドライバーがボタンを押すまでの反応時間である。しかし 3 秒を超えてもドライバーの反応がなかった場合、見落としと判定した。見落としの割合は通常状態で約 2% であるのに対し、ぼんやり状態では約 4% であり、低覚醒状態での光点に対する見落とし率が増加する可能性が示唆された。

ドライバーが 3 秒以内に反応した光点の反応時間を従属変数、眠気状態要因、走行環境要因、先行車要因を独立変数とした三要因分散分析を行った結果、眠気状態と先行車要因による交互作用が認められた ( $F(1,18)=20.29, p<.01$ )。そこで下位検定を行ったところ、ぼんやり状態における光点検出反応時間について、先行車の有無で有意差 ( $p<.01$ ) が認められた。図 5-7 が示すように、先行車に追従して走行した場合、眠気による影響がほとんどあらわれていないのに対し、単独で走行した場合、眠気によって光点検出反応時間が大きく遅れることが示された。このことから、ぼんやり状態における視覚的な注意は、先行車の有無によって大きく異なることが示唆された。

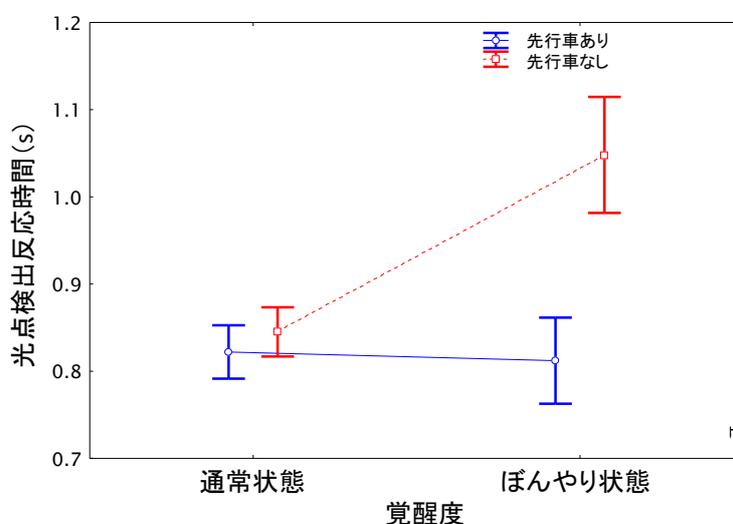


図 5-7 ドライバ状態および先行車の有無ごとの光点検出反応時間

### 5.3.3 視覚的注意の範囲

視覚的注意の範囲とは、単位時間あたりに光点を検出できる範囲（光点検出可能範囲）に基づき推定する範囲である。本実験で設定した P1～P9 の走行場面について、菊地他(2008)や菊地他(2010)の手法によって、視覚的注意の範囲によって比較を行った。図 5-8 は、走行場面 P1 の全条件、全ドライバの光点検出範囲の円を描いたものである。一つの円は、1 回の光点検出タスクのデータから求められた、1 秒以内に光点を認識できる範囲の推定値といえる。

図 5-9 が示す範囲は、図 5-7 の円の集合のうち 5 割の円が重なっている領域である。すなわち、全ドライバが 5 割の確率で 1 秒以内に光点を認識できる範囲であると考えることができる。筆者らはこの円の重なりによって求まる範囲が大きい場合、確率的にある対象を認識できる範囲が広いことを意味していることから、視覚的注意の範囲と定義し、以降の解析に用いた。

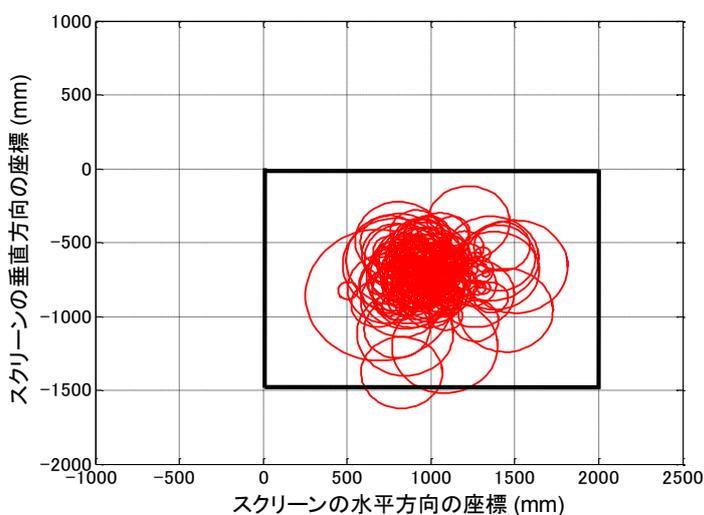


図 5-8 P1 における全ドライバの光点検出範囲（1 秒）

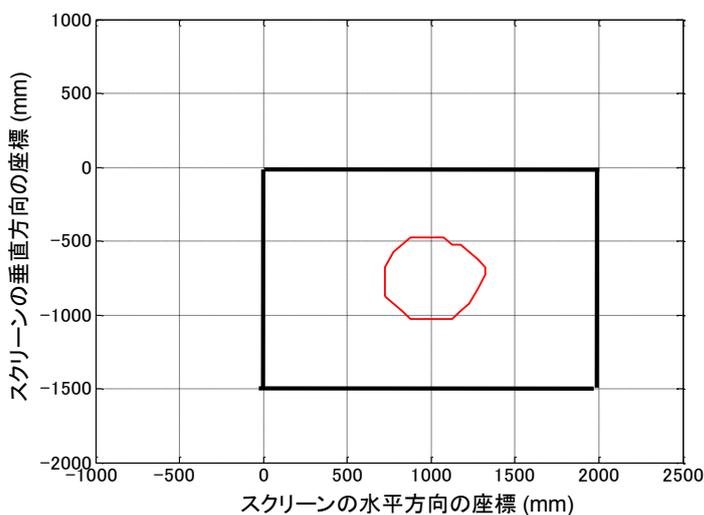


図 5-9 P1 における視覚的注意の範囲

前述の視覚的注意の範囲について、面積を数値化したものを走行場面 P1～P9 について比較したところ、走行場面 P1～P6 の交差点内および交差点進入直前（以下、「交差点付近」という）は比較的広く、走行場面 P7～P9 の交差点間の単路（以下、「交差点間」という）では比較的狭いという特徴がみられた。そこで図 5-10 の示すように、全ドライバーの通常状態における交差点付近および交差点間のそれぞれの全条件について、視覚的注意の範囲の面積を比較した。その結果、交差点付近のように、比較的周囲に対して注意を払う必要がある場面では広くなる一方、交差点間のようにあまり周囲に注意を払う必要がない場面では狭くなることが示された。すなわち、ドライバーは交通環境によって視覚的注意の範囲を変化させて運転していることが示唆された。

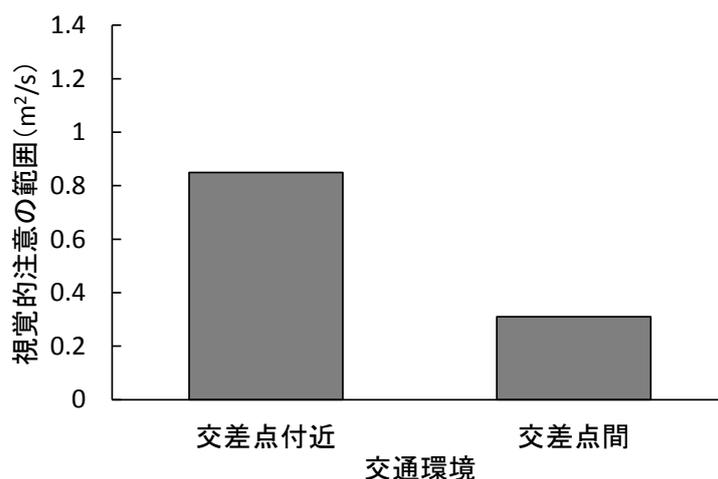


図 5-10 交通環境と視覚的注意の範囲

次に、交差点付近と交差点間の各走行場面において、眠気の状態および先行車の有無の条件ごとの視覚的注意の範囲の面積について比較したものを図 5-11 と図 5-12 に示す。図 5-11 は先行車に追従した条件、図 5-12 は単独で走行した条件で、各条件において、全ドライバーの通常状態とぼんやり状態の視覚的注意の範囲の面積を比較したグラフである。先行車に追従して走行した条件では、交差点付近および交差点間における、通常状態に対するぼんやり状態の面積比はそれぞれ 1.13 と 0.76 となっている。対して、単独走行した条件での面積比はそれぞれ 0.43 と 0.46 となっている。つまり、特に先行車がなく単独で走行している場合、通常状態に比べぼんやり状態における視覚的注意の範囲の狭窄が著しいことが明らかとなった。これは光点検出反応時間の結果とも一致する。

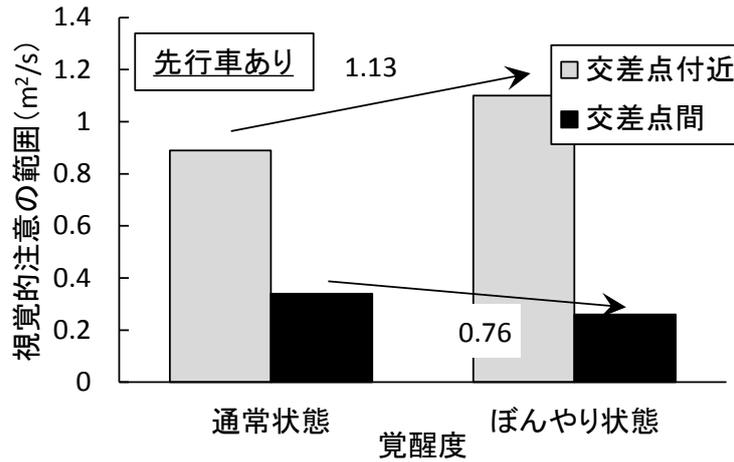


図 5-11 条件ごとの視覚的注意の範囲（先行車あり）

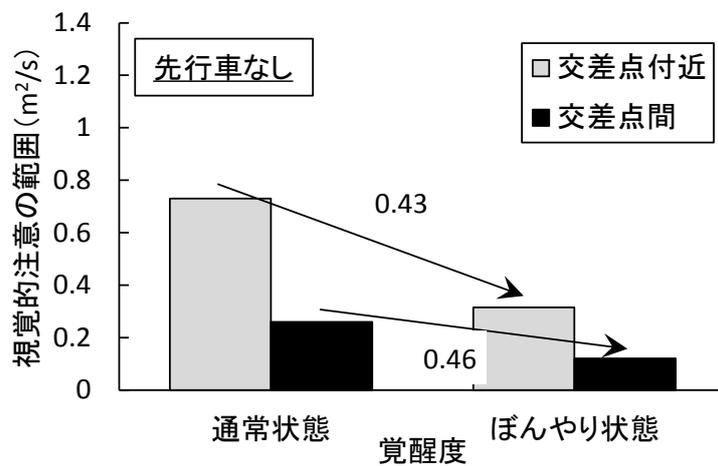


図 5-12 条件ごとの視覚的注意の範囲（先行車なし）

#### 5.3.4 交通環境による影響

図 5-13 と図 5-14 は、眠気による影響が大きかった先行車なしの条件において、さらに交通環境要因（混雑度）ごとに比較したものである。これによると、特に混雑度の低い環境下で上記の特徴が大きく現れていることがわかる。つまり先行車がなく単独走行の場合、交通他者が少ないような状況で、低覚醒（ぼんやり）の影響が大きくなると考えられる。一方で、先行車に追従している場合は、たとえぼんやりしていても視覚的注意の範囲という点では、通常と変わらない可能性が示唆された。しかし、例えば先行車の急減速に対する反応時間の遅れなどを考慮するためには、追加検討が必要であると考えられる。

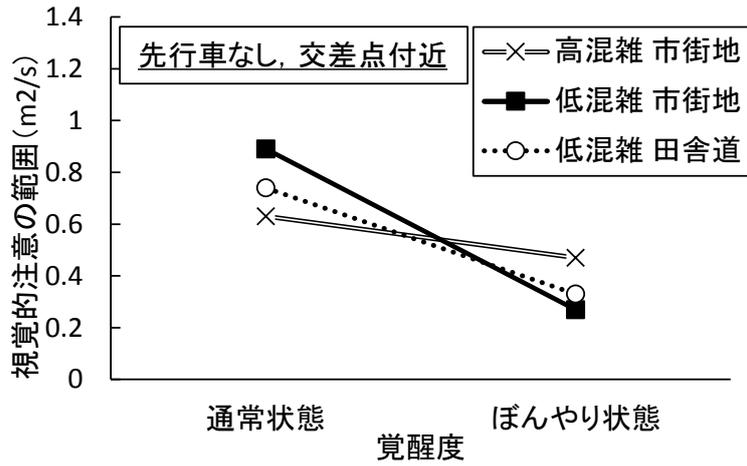


図 5-13 条件ごとの視覚的注意の範囲 (交差点付近)

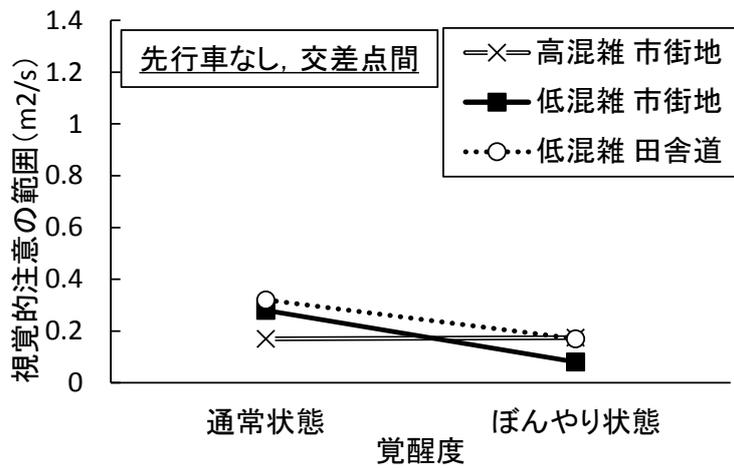


図 5-14 条件ごとの視覚的注意の範囲 (交差点間)

## 5.4 まとめ

本章では、状況適応型運転支援システムを構築するための一方策として、低覚醒時（ぼんやり状態）におけるドライバの視覚的注意の特性を把握することを目的とした実験を行った。実験では光点に対する検出反応時間の測定によって、以下の結果が得られた。

- ・ 眠気に起因する低覚醒時は通常時と比較し、光点に対する見落とし（反応時間 3 秒以上）の割合が高くなることがわかった。
- ・ 光点検出反応時間について、先行車に追従して走行した場合、通常時と低覚醒時に有意な差は認められなかったが、単独で走行した場合、通常時と比べ低覚醒時の反応時間が有意に遅くなることが明らかとなった。
- ・ 動的対象認識範囲と視覚的注意の範囲について、交差点付近走行時と比べ、交差点間の単路走行時に狭くなっていることがわかった。
- ・ 光点検出反応時間の結果と同様に、先行車がいる場合は低覚醒時でも通常時と同程度の視覚的注意の範囲であった。しかし、単独走行の場合は、低覚醒時における視覚的注意の範囲が狭くなることがわかった。
- ・ 単独走行時において、特に交通他者の少ない交通環境下では低覚醒による視覚的注意の範囲の狭窄がより強く影響する可能性が示唆された。

以上の結果から、低覚醒時における視認行動特性として、先行車がない単独走行時で特に交通他者が少ないような交通環境下では、周囲に対する注意が通常と比べ低下することが明らかとなった。したがって、低覚醒における運転支援方策を考える場合、このような状況では支援の優先度を高めることが有効であることが示唆された。

これらの知見を踏まえた上で、今後は具体的にどういった支援を行えば、より受容性の高いシステムが構築できるか、具体的な検討を進める必要がある。

## 第 6 章

### 交差点の視環境による運転行動への影響

第3章から第5章では、追突事故防止支援システムを対象に、ドライバのハザードに対する予測の点から検討を行った。第3章では、衝突直前の不測の警報に対するドライバの反応率の低下や反応時間の遅延が明らかになった。第4章で、異なるモダリティを付加することによる、警報への反応改善を実証した。第5章では、衝突まで比較的余裕のある状況での支援方策として、ドライバの注意水準が低下する（ハザードへの遭遇を低く見積もる）ドライバ状態と交通環境に着目して検討を行った。

本章以降では、無信号交差点における出会い頭事故防止支援システムを想定し、支援方策の検討を行う。本章では、まず無信号交差点の視環境が、潜在ハザードに対するドライバの予測や運転行動へ与える影響を調べた。図6-1に、本章で検討対象とする範囲を示す。

## 6.1 研究の背景

1.7節で示したように、出会い頭事故は等速での進入、減速が不十分あるいは一時不停止が大きな要因といえる。これら等速進入の要因について、ドライバ特性の観点から以下のように整理することができる。まず、運転の基本となる注意の状態が適切であったか否かが重要である。筆者らの研究(本間他, 2011)において、交差点とその付近では単路走行時に比べドライバの注意の範囲(単位時間で光点に気づくことができる範囲)が広がる傾向がみられた。したがって、一般に交差点付近では、ドライバは注意の範囲を広くしていると考えられる。しかし、脇見や考え事などディストラクション状態のように注意資源が運転以外に向いている場合、あるいは低覚醒状態のように注意資源が不足した場合には、適切な交差点進入は難しいと考えられ、加えて交差点の見落とし、信号や一時停止規制の見落としにもつながると推測される。以降、蓮花(2000)が提案したリスク回避行動モデルに基づき整理すると、ドライバが適切な注意状態であっても、ハザード知覚が適切でなければ(Brown, & Groeger, 1988), 危険性を把握せずに等速で進入すると考えられる。小川(1993)は、危険感受度診断性テスト(TOK)を用いた実験により、初心ドライバは一般ドライバに比べ、見えている(顕在)ハザードに対して見えていない(潜在)ハザードを過小評価する傾向を見だし、ハザード知覚が運転経験によって取得されるスキルと位置づけた。またハザードを適切に評価しても、自己の運転スキルの過大評価(松浦, 2000)またはメタ認知の問題(中村・島崎・石田, 2013)によって、ハザードに対して適切な対応がなされず、リスクの高い運転となる可能性がある。さらにリスク知覚(ハザード知覚および自己評価スキル)が適切であっても、リスク効用によりリスクな進入を選択する可能性もある。すなわち、急いでいるときや個人特性(せっかち傾向, 刺激欲求傾向(Zuckerman, 1979)など)によりリスクを敢行する場合がこれにあたる。上記の段階がすべて適切におこなわれても、操作が適当でなければ車両はリスクな挙動となる。本章では、交差点通過時におけるハザード知覚の段階に着目し、ドライバによるハザード性の評価に影響する交通環境要因を調べた。

大谷(2009)の研究では、先行車との追突リスクに関して視界が良好な環境と死角が多い環境に

よる比較をおこなっている。木村（2003）は、一般道の観察調査で、見通しが良いほど交差点への速度が高く、減速開始のばらつきが大きいことを見いだした。また、高橋・熊谷・田中（2013）は無信号交差点の隅切りに着目し、比較的ひらけた交差点では減速の終了タイミングが早まることを示している。しかしながら、交差点の視環境を統制して、交差点通過行動へ与える影響を調べた研究例は、内田・片山（2001）が見通しの良い条件でおこなっているのみである。そこで本章では、交差点進入行動に影響を与える可能性のある、交通視環境情報に着目し、その影響を調べることを目的に実験をおこなった。車両挙動や運転操作に加え、注視行動についての分析もおこなった。

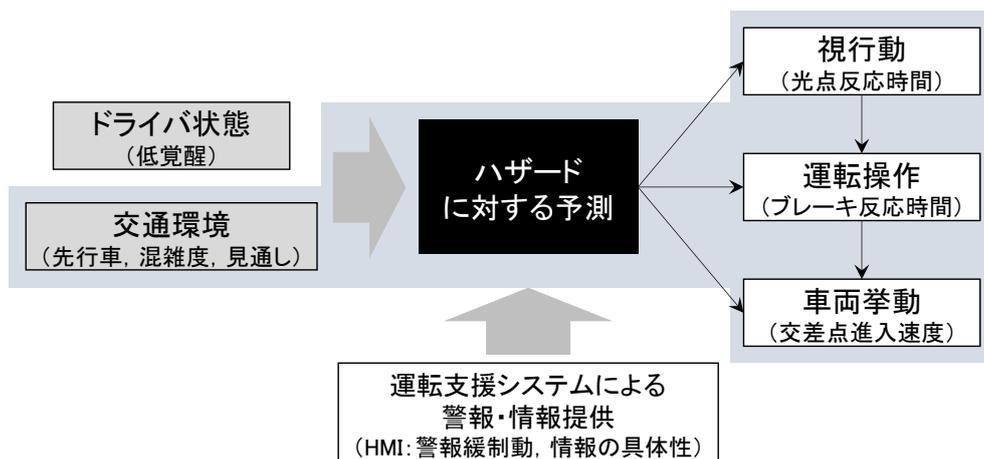


図 6-1 本章の対象とする範囲

## 6.2 方法

### 6.2.1 実験概要

本実験は、交差点の視環境が運転行動へ与える影響を調べるため、さまざまな交差点を DS 上に設定し、交差点接近および通過時の運転行動を調べた。なお、本実験における視環境とは、構造物など静止物体が形成する死角のみではなく、視認可能な交差車両など動的な対象が形成する視環境も検討対象とした。

### 6.2.2 実験装置

交差点の視環境、すなわち交差道路の見通しや交差車両の見え方などを条件統制して設定するにあたって、実路やテストコース上での実験実施は困難であること、また仮想衝突車両との衝突リスクを検証する際の安全性を配慮して、DS による実験計画とした。交差点を通過するためには、少なくとも左右の交差道路を見通すことができる必要があるため、本実験ではドライバのアイポイントから約 230 度に渡る水平方向の前方視界と、ミラーに映る後方視界を再現できる DS を用いた。当該 DS は、2000cc クラスの AT 車を模擬したセダンタイプのキャビンと車両運動計算アルゴリズムを備えており、ドライバの運転操作や計算された車両挙動は、20Hz のサンプリング周期で記録した。また、交差点通過時のドライバの注視行動を計測するために、アイマークレコーダ (EMR-8b) を用いて、1 秒間あたり 30 フレームの映像として記録した。

### 6.2.3 DS 上の道路環境

本実験で DS 上に設定した交通環境を、図 6-2 に示す。自車の走行道路は制限速度 40km/h、幅員が 8.0m の白線がない道路とし、300m おきに配置した交差道路も、自車の走行道路と同様の仕様にした。周辺の交通環境に対してドライバからみて違和感がないように、交差点の視環境を統制するために、各交差点の交差道路に沿って樹木を模した先の尖がった緑色の円柱（直径 1.5m、高さ約 3.0m）を実験条件ごとに配置した。樹木は、潜在ハザードとなる交差車両が遮蔽できる高さでかつ、隙間から視認可能な太さで違和感のないサイズになるようにした。視環境による潜在ハザードに対する予測や運転行動への影響調べるため、信号や一時停止規制などは設置せず、実験参加者に対して「優先関係はなく、交差車両が来る場合があるため危険性を感じた場合、それに応じて減速などの操作をおこなう必要がある」旨を教示した。

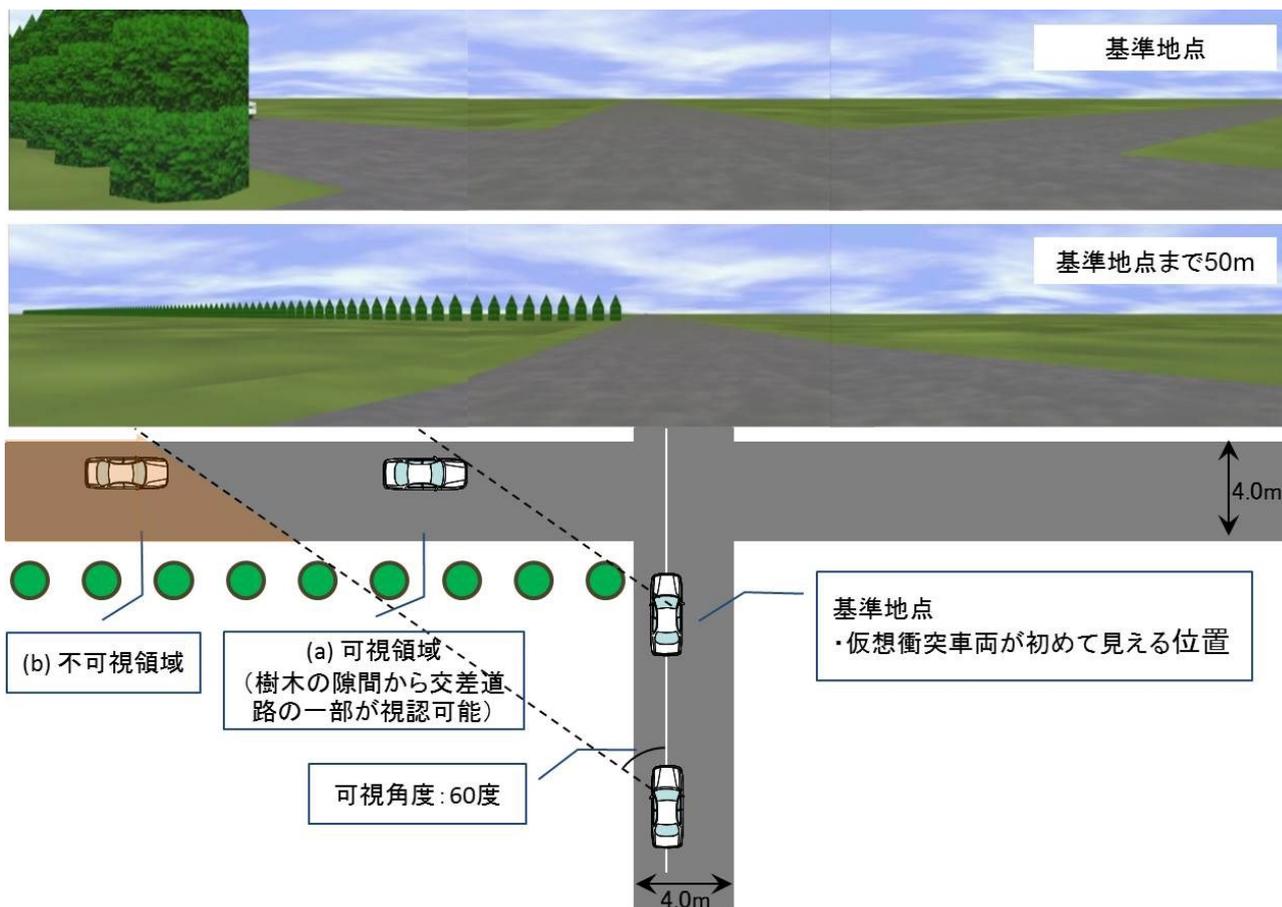


図 6-2 本実験で設定した交差点視環境

#### 6.2.4 実験計画

交差点の視環境として、以下の条件を設定した。表 6-1 に実験条件の一覧を示す。

##### (1) 可視角度

交差道路の可視範囲を統制するために、交差道路沿いには樹木を等間隔に並べた。樹木を等間隔に配置すると、ドライバが樹木の隙間から交差道路を視認可能な領域（図 6-2(a)）と樹木が重なって視認不可能な領域（図 6-2(b)）の境界線を引くことができる。この境界線と自車が走行する線との角度は、自車が走行線上にいるときに一定の角度となる。この角度を可視角度とし、45 度と 60 度の 2 水準に設定した。なお、角度が大きいほど樹木の隙間が広く、可視領域も広い。

##### (2) 樹木の設置位置

交差道路の可視領域として、遮蔽物である樹木の設置位置を要因として設定した。一般的に、右側の交差車両の方が、左からの交差車両よりも手前を走行するため、ドライバは右側から安全確認をおこなう。また左右どちらかのみが遮蔽された条件に比べ、左右両側が遮蔽された条件では、通過に際しての行動が変わると予想した。そこで、樹木の設置位置として右側のみ、左側のみ、両側の 3 水準に設定した。なお、図 6-2 は、左側のみの一例である。

### (3) 交通量

交差道路の交通量も、交差点通過行動に影響を与えられられる。本実験の交通視環境では、ドライバが視認可能な範囲内を走行し、自車が交差点に進入する前に通過する交差車両が存在し、この車両を可視車両として設定した。交通量要因として、可視車両の台数を 0 台、1 台、4 台の 3 水準に設定した。

### (4) 可視車両の挙動

可視車両の挙動も、交差点通過行動に影響を与えられられる。そこで、基本条件として可視車両の速度を自車速度と同一とし、また自車が交差点から 100m 手前の地点で、可視車両が交差点へ進入するよう設定した。加えて、速度を自車の 1.7 倍程度に速めた条件 (条件 24) および自車が 50m 手前で交差点へ進入する条件 (条件 23) を設定し、これら可視車両の挙動による影響を試行的に検討した。

### (5) 統制条件

統制条件として、遮蔽物を設置しない見通しの良い条件 (条件 19) と、樹木の隙間がなく交差道路が見えない条件 (条件 20~条件 22) を設定した。

### (6) 仮想衝突車両条件

不可視領域でかつコリジョンコース (自車との相対位置が一定の角度で走行し衝突するコース) を走行する交差車両 (以下、「仮想衝突車両」という) 衝突に対する回避可能性を調べるために、当該車両が走行する条件 (条件 25) を設定した。当該条件は、可視角度 60 度、左側のみに樹木を設置し可視車両 0 台の条件とした。

被験者内計画として、全 25 条件を各 1 データずつ取得した。条件 1 から条件 24 までは、順序効果を考慮してランダムに走行するようにした。条件 25 は、仮想衝突車両と衝突する可能性もあり、その後の走行に影響を及ぼすと考えられるため、全条件の最後に実施した。

表 6-1 実験条件表

条件	可視車両の台数	可視角度	樹木の設置位置	可視車両の速度	可視車両の通過タイミング	仮想衝突車両の有無
1	0台	45度	左側	—	—	なし
2	0台	45度	右側	—	—	なし
3	0台	45度	両側	—	—	なし
4	0台	60度	左側	—	—	なし
5	0台	60度	右側	—	—	なし
6	0台	60度	両側	—	—	なし
7	1台	45度	左側	自車速	100m手前	なし
8	1台	45度	右側	自車速	100m手前	なし
9	1台	45度	両側	自車速	100m手前	なし
10	1台	60度	左側	自車速	100m手前	なし
11	1台	60度	右側	自車速	100m手前	なし
12	1台	60度	両側	自車速	100m手前	なし
13	4台	45度	左側	自車速	100m手前	なし
14	4台	45度	右側	自車速	100m手前	なし
15	4台	45度	両側	自車速	100m手前	なし
16	4台	60度	左側	自車速	100m手前	なし
17	4台	60度	右側	自車速	100m手前	なし
18	4台	60度	両側	自車速	100m手前	なし
19	0台	0度(遮蔽なし)	—	—	—	なし
20	0台	90度(完全遮蔽)	左側	—	—	なし
21	0台	90度(完全遮蔽)	右側	—	—	なし
22	0台	90度(完全遮蔽)	両側	—	—	なし
23	1台	60度	左側	自車速	50m手前	なし
24	1台	60度	左側	自車速の約1.7倍	100m手前	なし
25	0台	60度	左側	—	—	あり

### 6.2.5 実験参加者および手順

実験参加者は、日常的に運転をしている10代～50代の一般男性ドライバ20名(平均年齢32歳、標準偏差9歳)であった。参加者には、書面と口頭にて実験の内容とDS実験に伴うリスク(シミュレータ酔いなど)について説明した上で、参加への同意を任意で求めた。

教示では、普段通りの運転を心がけることや交差点の優先関係について、「優先関係はなく、交差車両が来る場合があるため危険性を感じた場合、それに応じて減速などの操作をおこなう必要がある」旨を伝えた。教示後、アイマークレコーダを装着し、DSの操作(ステアリング、アクセルおよびブレーキペダルなど)に慣れるまで、5分から10分程度の練習走行をおこなった。続けて、本走行として6交差点を通過するセッションを4走行し、全24試行のデータを取得した。上記の走行がすべて終了した後、樹木が左側のみで可視角度60度の条件にて、仮想衝突車両を配置した条件を走行し、当該車両との衝突が生じるか否かを確認するとともに、当該車両に対する予測の主観評価を得た。

### 6.2.6 評価指標

本実験では、ドライバの交差点進入行動から、交差点の視環境ごとに潜在ハザード(コリジョンコースの交差車両)の予測への影響を調べるため、ドライバの運転行動および車両挙動を評価指標とした。特に、前後方向の挙動と関係するペダル操作、仮想衝突車両がいた場合にドライバから視認可能になる位置(以下、「基準地点」という)への進入速度、さらに安全確認(注視)行動にさかのぼった解析をおこなった。また、条件25については、仮想衝突車両との衝突有無や、予測(主

観評価)の分析をおこなった。なお、注視対象は図6-2に示すように分類した。ドライバーが見通せる右方向(可視)および正面道路に加え、左方向については、可視範囲と不可視範囲に分けた。さらに、仮想衝突車両が最初に出現する遮蔽物とのエッジ部分を、左(E範囲)と定義して分類した。主な評価指標は以下の通りである。

- ・ ペダル操作状況
- ・ 基準地点(仮想衝突車両が初めて見える位置)の速度
- ・ 仮想衝突車両との衝突判定
- ・ 仮想衝突車両への予測(主観評価)
- ・ 交差道路の安全確認回数
- ・ 各対象への注視割合(図6-3)

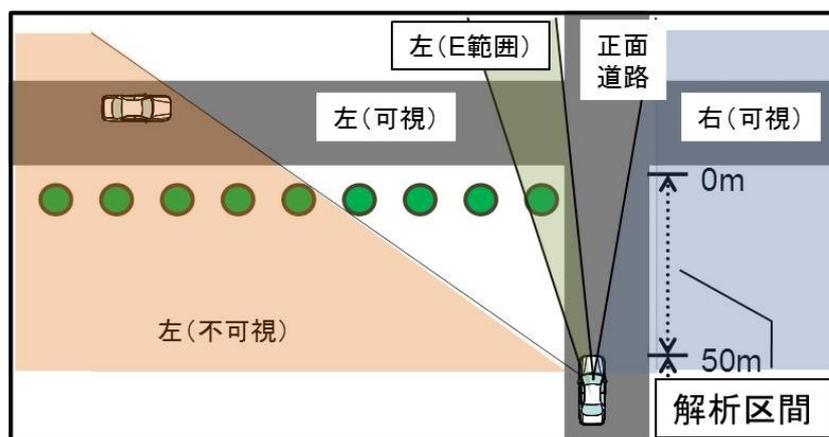


図6-3 注視対象の分類

## 6.3 結果および考察

### 6.3.1 統制条件との比較

本実験で設定した、樹木の隙間から交差道路の一部が視認可能な視環境が、見通しの良いあるいは悪い場面との違いを調べた。統制条件は、左右に遮蔽物が全く存在しない条件（視認可能な角度 180 度）と少なくとも左右のどちらか一方が完全に遮蔽された条件（視認可能な角度  $\approx 0$  度）とした。これら統制条件と本実験で設定した交差道路の一部が視認可能な条件（視認可能な角度 60 度および 45 度）のうち可視車両が 0 台のデータを用いて、3 条件を比較した。

図 6-4 に条件ごとの基準地点におけるペダル操作状況の構成率を示す。180 度の条件では、ほとんどのドライバーはアクセルを踏んだ状態で交差点に進入した。一方、0 度条件では 8 割程度のドライバーがブレーキを踏んだ状態で交差点に進入していた。60 度・45 度条件では、3 割程度のドライバーがブレーキを踏んだ状態、残り 7 割程度のドライバーはアクセルを踏んだ状態で交差点に進入していた。

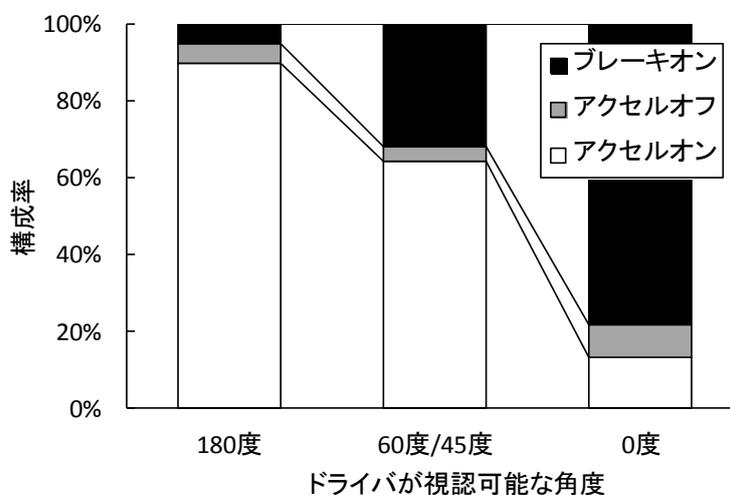


図 6-4 交差点進入時のペダル操作状況

図 6-5 に条件ごとの基準地点における速度の平均および標準偏差を示す。分散分析の結果、条件による効果が有意であった ( $F(2,38)=61.48, p<.01$ )。多重比較の結果、各条件間で有意差が認められた。180 度の条件では、走行速度 40km/h からほとんど減速なく交差点に進入していたが、0 度の条件では 10km/h 程度まで減速して進入していた。一方、交差道路の一部が視認可能な 60 度および 45 度の条件では、約 30km/h 以下まで減速していたが、他の条件に比べばらつきが大きく、ドライバーによって傾向が異なる可能性が示唆された。

優先関係のない無信号交差点において、ドライバーは交差道路の視環境に応じて、交差点へ進入していた。見通しの良い交差点では、潜在ハザードの可能性はないため、減速はほとんどみられなかった。一方、交差道路が見えない 0 度条件では、潜在ハザードとして仮想衝突車両の出現可能性が

あるため、ほとんどのドライバはブレーキを踏み減速をおこなって進入したと考えられる。本実験で設定した 60 度および 45 度条件のように、交差道路の一部が見える環境では、ドライバによってハザードの出現可能性は低いあるいは高いと予測が異なり、進入時の減速行動に差異が生じたと考えられる。一般に、初心運転者は潜在ハザードに対するリスクを過小評価する傾向が指摘されている（小川，1993）が、本研究では運転経験による影響を評価する十分なデータが得られなかった。しかしながら、同じ潜在ハザードであっても視環境によってハザードの出現予測が変わるため、進入行動に影響が生じたと推察される。

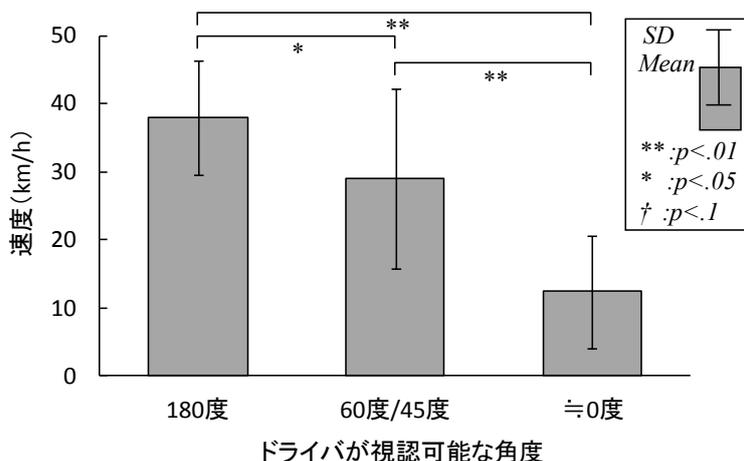


図 6-5 交差点進入時の速度

### 6.3.2 可視角度，樹木の設置位置，交通量の影響

交差道路の一部が見える条件では、統制条件とことなる交差点進入行動が確認された。そこで、本研究で設定した詳細な条件による検討をおこなった。可視角度 2 水準×遮蔽位置 3 水準×交通量 3 水準の 3 要因について、各要因の影響を調べた。

基準地点への進入速度について、3 要因の分散分析の結果、交互作用は認められなかったものの、可視角度 ( $F(1,19)=17.65, p<.01$ )、遮蔽位置 ( $F(2,18)=7.18, p<.01$ )、交通量 ( $F(2,18)=5.61, p<.05$ ) の各要因による主効果が認められた。図 6-6～図 6-8 に各要因における条件ごとの交差点進入速度を示す。

可視角度について、60 度条件に比べ 45 度条件で有意に進入速度が低く ( $p<.01$ )、視認可能な交差道路の範囲が小さくなる、すなわち見通しが悪いほど進入速度は低いことが示された。遮蔽位置について、左右どちらか一方のみが遮蔽された条件に比べ、両側が遮蔽された条件では有意に進入速度が低く ( $p<.01$ )、可視角度と同様に見通しが悪いほど速度が低い傾向がみられた。一方、交通量については、可視車両が 0 台および 1 台の条件に比べ 4 台の条件で進入速度が有意に低かった ( $p<.05$ )。

本実験では、視認可能な交差道路の領域を角度および遮蔽位置によって条件として設定した。実験結果から、交差点接近時における交差道路の可視領域が大きいほど進入速度が高い傾向がみられた。この結果は、見通しに着目した木村（2003）や隅切りに着目した高橋他（2013）の研究と同様の傾向と考えられる。一方、交通量と交差点進入行動についても、交差道路の交通量が多いと一時停止率が高い傾向が指摘されている（例えば Feest, 1968 や McKelvie, & Schamer, 1988）。これらは、知識として交差道路の普段の交通量が多いことを知っているのが一因と考えられる。一方、本研究では視認可能な領域を走行する衝突リスクの低い交差車両がいることによる影響を調べており、当該車両が多いことでドライバは衝突リスクの高い交差車両の出現可能性を高く見積もったと推察される。これは、ハザードが少ない状況よりもハザードが多い状況でリスクを高く評価する傾向（吉川・高木, 2002）に類似する結果ともとれる。いずれにせよ、ドライバは些細とも思える種々の視環境から、潜在ハザードの出現確率を予測し、交差点進入速度を決定していると考えられる。

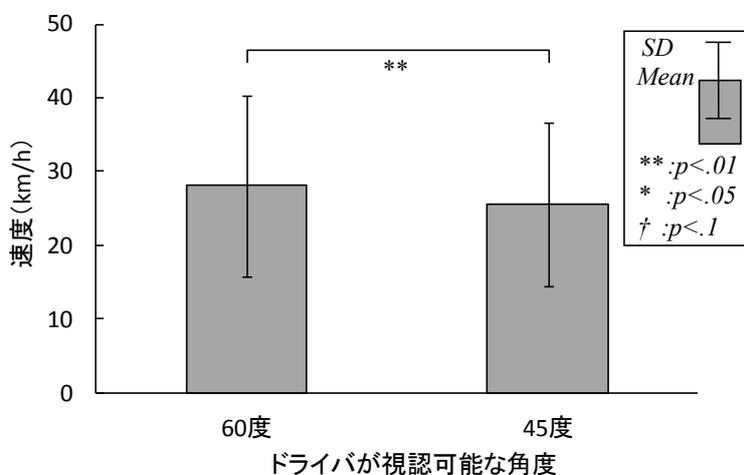


図 6-6 可視角度ごとの交差点進入速度

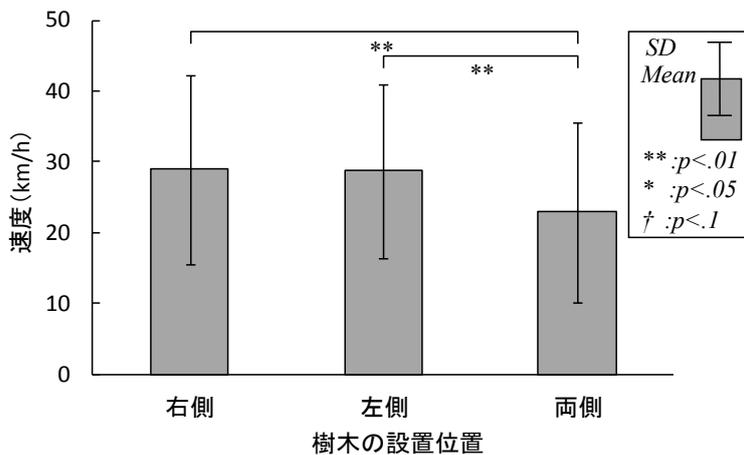


図 6-7 遮蔽位置ごとの交差点進入速度

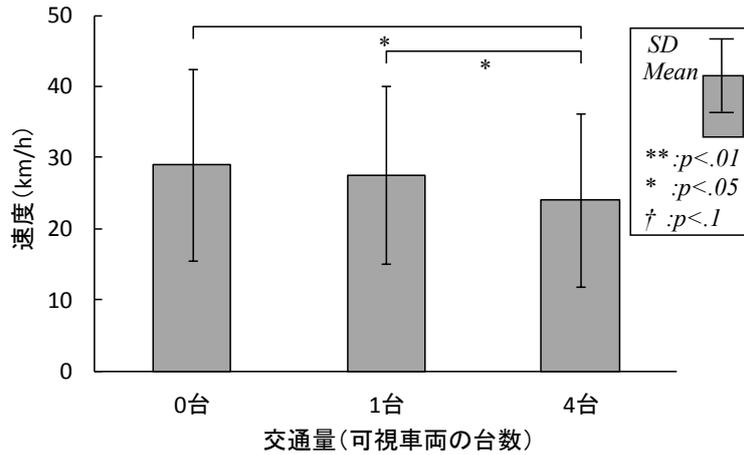


図 6-8 交通量ごとの交差点進入速度

### 6.3.3 可視車両の挙動による影響

前述の通り、可視車両の台数が交差点の進入行動に影響することがわかった。しかし、可視車両の挙動によってもドライバーのリスク判断に影響する可能性が考えられる。そこで、可視車両 1 台の場合にその挙動による影響を試行的に調べた。遮蔽の条件は、左側に可視角度 60 度の遮蔽の条件に統一した。基本条件は、可視車両の速度が  $V_a$  (自車速度) で可視車両の交差点進入タイミングが  $P_a$  (自車が交差点まで 100m) とした。接近条件として、可視車両の速度は変わらず  $V_a$ 、可視車両の交差点進入タイミングが  $P_b$  (自車が交差点まで 50m) を設定した。また高速条件として、可視車両の速度を  $V_b$  (自車の  $\sqrt{3}$  倍) でタイミング  $P_a$  を設定し、3 条件を比較した。

図 6-9 に条件ごとの基準地点への進入速度の平均値及び標準偏差を示す。分散分析の結果、条件による効果が有意であった ( $F(2,38)=7.64, p<.01$ )。多重比較の結果、基本条件に比べ、接近条件 ( $p<.05$ ) および高速条件 ( $p<.05$ ) で、ともに進入速度は有意に低かった。接近条件では、可視車両の速度は基本条件と変わらないものの、より接近したタイミング (自車が交差点 50m 手前) で交差点を通過することになり、当該状況からリスクを高め評価したと推測される。また高速条件では、可視車両のタイミングは基本条件と変わらないものの、速度が高いためリスクを高く評価した可能性がある。したがって、ドライバーは可視車両の台数 (交通量) のみではなく、可視車両の挙動からもリスクを評価し交差点進入に際しての速度選択の判断材料として用いていると推測された。ただし本研究では、限定的な条件における試行的な検討にとどまっているため、今後より詳細な検討が必要と考える。

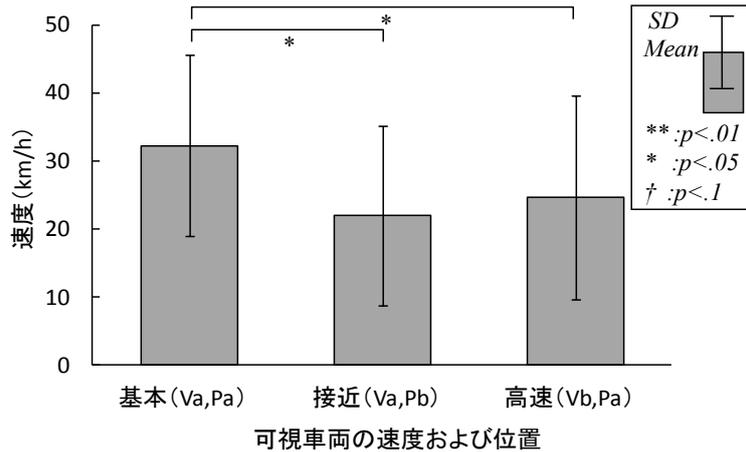


図 6-9 可視車両の挙動と交差点進入速度

#### 6.3.4 仮想衝突車両との衝突判定

走行の最後に、仮想衝突車両が存在する条件を設定して、実際に衝突事象が発生するか否かを調べた。視環境条件としては、可視角度 60 度で樹木の位置が左のみ、交通量が 0 台の条件とした。

衝突判定の結果、全 20 名中 14 名のドライバーが衝突に至った。衝突を回避できた回避群 (N=6) と回避できなかった衝突群 (N=14) に分類し、交差点への接近速度の時系列変化を調べた (図 6-10)。回避群は交差点まで 50m 付近から減速を開始し、交差点進入時には平均で 10km/h 程度まで減速していたのに対し、衝突群はほとんど減速をせずに進入していることが示された。

仮想衝突車両の出現を予測していたか否かについて、当該条件の走行直後に主観評価をおこなった。交差車両が「1：絶対に来ると思った」から「7：絶対に来ないと思った」までの 7 件法での回答結果について、回避群および衝突群を比較した。Mann-Whitney の U 検定の結果、回避群 (N=6, 平均値：3.5, 標準偏差：1.2, 中央値：3) と衝突群 (N=14, 平均値：6.2, 標準偏差：0.6, 中央値：6) の回答結果に有意差 ( $p < .01$ ) が認められ、回避群はある程度交差車両の出現を予測していたのに対し、衝突群は交差車両の出現はないと予測していたことが示された。以上の結果から、交差点の視環境によって、ハザードの出現確率 (リスク) を評価して進入速度などを決定していると推測される。本研究の結果から、同じ潜在ハザードでも、完全に遮蔽されている視環境に比べて、交差道路の一部が視認可能である環境においては、リスク評価にばらつきが大きくなり、リスクの過小評価が生じやすくなることが示唆された。本実験で設定した交差道路の一部が視認可能な視環境は、現実の交通環境で一般的な場面とは言い難いが、例えば道路反射鏡 (以下、「カーブミラー」という) によって交差道路の一部が見える場面、比較的小さな構造物 (例えば電柱やガードレールなど) によって一部が遮蔽されている場面などでも、ドライバーのリスク評価に同様の影響を及ぼすことも考えられる。田中・渡辺・名嘉元 (2003) は、交差点の隅切りに着目し、隅切りを広げて交差点の視界を確保することで事故低減が見込めるとしているが、仮に進入速度が高まったらその効

果も得られにくいと考えられる。反対に、視界を妨げることによって交差点の通過速度を低下させた先行研究例もある (Charlton, 2003 や福山他, 2003)。したがって、道路環境による対策はドライバーがリスクを適切に評価できる環境という観点から慎重に検討することが重要と考える。

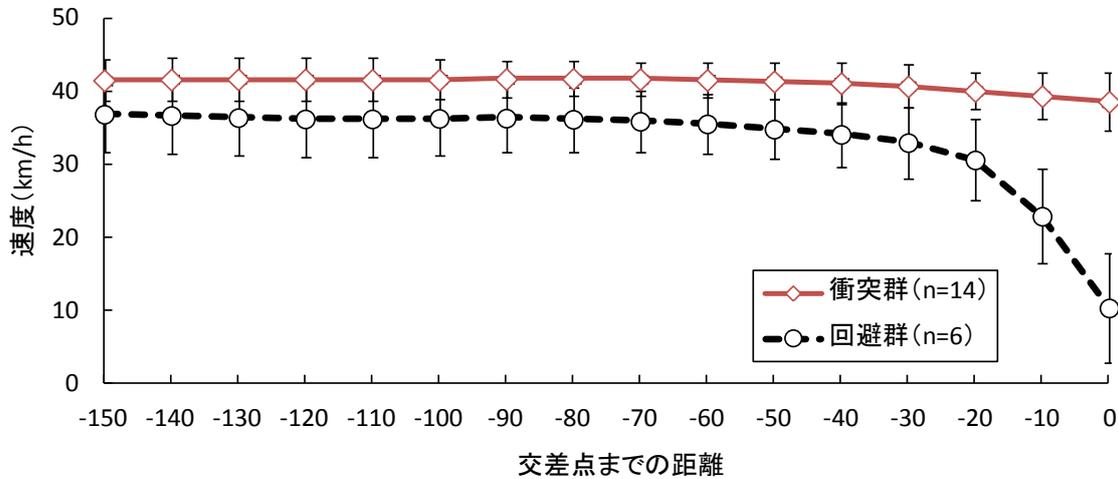


図 6-10 回避群と衝突群の進入速度の時系列変化

### 6.3.5 回避群と衝突群の視行動の比較

仮想衝突車両がある条件 25 において、回避群と衝突群がどのような安全確認（注視行動）をおこない交差点へ進入していたかを調べた。なお、20 名のデータのうち衝突群の 1 名の視線データ精度が低く、分析対象から除いた。交差点進入 50m 手前から交差点進入までの 50m の区間において、各群の注視行動を比較した。指標としては、走行時間、視線移動回数、1 回の注視時間、首振りの有無と左右への確認回数、仮想衝突車両が出現（見える状態）から注視までの時間を用いた。表 6-2 に、各指標の群ごとのデータ数、平均値、標準偏差と F 検定および T 検定の結果を示す。

交差点進入に際して減速をおこなう回避群に比べ、衝突群は走行時間が有意に短かった。また、視線移動回数は回避群の方が多かったものの、1 回の注視時間に差はみられなかった。したがって、回避群は走行時間が長い分だけ視線移動が多くなる、すなわち注視回数が多いものの、各注視対象に対する 1 回の注視時間に差はないことが示された。次に左右への確認行動について、首振りの有無ごとに調べた。首振りがない左右への確認回数は回避群と衝突群で差はみられなかった。一方、首振りを伴う確認回数は右方向において有意 ( $p < 0.05$ )、左方向において有意傾向 ( $p < 0.1$ ) で回避群のほうが多かった。当該条件は左のみに交差道路の一部を遮蔽する樹木が設置されていたため、右方向に比べ左方向への確認回数が多かった。首振りを伴う確認が必要になるのは交差点進入直前、首振りなしの確認は交差点まで比較的距離がある区間といえる。したがって、交差点まで距離がある領域での確認から、回避群は減速を判断し、さらに進入直前には首を振って左右への確認をおこ

なっていると考えられる。一方、衝突群は比較的距離がある領域での確認から、減速せずに進入することを判断し、進入直前の首振り確認が少なかったと推測される。したがって本実験の視環境では、自車が交差点まで比較的距離がある位置にいる時の、リスク（ハザードの出現確率）評価が衝突するか否かを分けたと推測される。仮想衝突車両が出現（ドライバから初めて見える地点）から車両を注視するまでの時間を比較すると、衝突群に比べ回避群の方が有意に早かった。よって回避群は、減速によるリスク低減に加え、予測によりハザード発見タイミングを早めることで、衝突回避ができたと推察される。

表 6-2 衝突群と回避群の注視行動

指標	単位	回避群			衝突群			F検定			T検定	
		データ数	平均	標準偏差	データ数	平均	標準偏差	F比	有意差	自由度	T値	有意差
走行時間	秒	6	7.71	1.13	13	5.25	0.79	2.07	n.s.	17	5.53	**
視線移動回数	回	6	14.83	3.06	13	11.23	2.89	1.12	n.s.	17	2.48	*
1回の注視時間	秒	6	0.43	0.09	13	0.45	0.14	0.42	n.s.	17	-0.25	n.s.
左方向への確認回数 (首振りあり)	回	6	2.50	0.84	13	1.77	0.73	1.33	n.s.	17	1.95	†
右方向への確認回数 (首振りあり)	回	6	1.83	1.17	13	0.31	0.48	5.92	*	17	3.08	*
左方向への確認回数 (首振りなし)	回	6	5.83	1.72	13	4.54	1.51	1.31	n.s.	17	1.67	n.s.
右方向への確認回数 (首振りなし)	回	6	2.33	2.94	13	0.92	0.95	9.52	**	17	1.15	n.s.
仮想衝突車両出現から 注視までの時間	秒	6	0.16	0.15	13	0.44	0.12	1.64	n.s.	17	-4.38	**

次に、回避群および衝突群が当該区間走行時にどの場所をどの程度注視していたかを調べた。注視領域として、左方向の不可視範囲、左方向の可視範囲、左方向の E 範囲（最も交差点側の樹木の右側の領域で、ハザードとなる交差車両が最初に出現する領域）、正面道路、右方向（すべて可視範囲）および視線移動に分類した。それぞれの領域を注視していた時間を走行時間で除することで、各領域への注視割合を算出し、回避群と衝突群の注視割合の平均値を図 6-11 に示す。

回避群は衝突群に比べ、正面道路への注視割合が低く ( $t(17)=-3.14, p<.01$ )、左方向の E 範囲 ( $t(17)=5.66, p<.01$ ) および右方向へ ( $t(17)=2.38, p<.05$ ) の注視割合が高かった。本実験の分析区間において、先行車など正面道路上にハザードはいなかったため、正面方向への注視は車線維持や速度調整にのみ必要であった。回避群は安定して直進走行していたことから、正面方向への注視が不十分であったとは言い難く、正面方向への注視のかわりに、回避群は左方向の E 範囲および右方向への注視割合を増加させた。左方向の E 範囲、すなわち仮想衝突車両が最初に出現する遮蔽物とのエッジ部分への注視割合の増加は、ハザードの出現可能性（リスク）を高く見積もったことに起因すると考えられる。一方、遮蔽物がなく見通しが良好な右方向への注視が増えていたことについては、首振りを伴う左方向への安全確認中は、右方向が視野から完全に外れるため、それを補償するための行動と推測される。また内田・片山 (2001) は、たとえ見通しが良い交差点においても、

周辺視は静的な対象への知覚機能が低いことから、首振り確認の重要性を指摘しており、この点からも回避群の右方向への注視割合が高いことは安全な傾向の確認行動とすることができる。

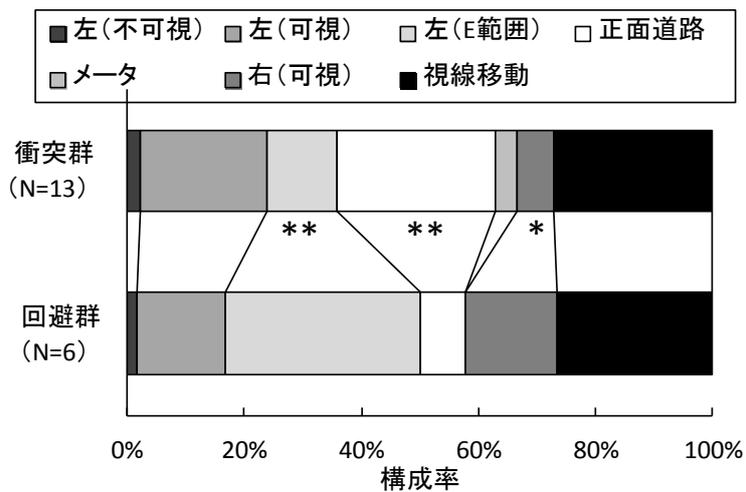


図 6-11 交差点進入区間の視対象への注視割合

## 6.4 まとめ

本章では、DS による実験から、優先関係のない無信号交差点において、交差道路の一部が視認可能な視環境の運転行動への影響を調査した。さらに、同環境において、衝突コースを走行する車両への衝突回避の有無ごとに、車両挙動や注視行動の比較をおこない、リスクの高い行動について検討した。

- ・ 遮蔽なし、一部遮蔽、完全遮蔽を比較すると、遮蔽なしでは等速、完全遮蔽では減速、一部遮蔽ではその中間だが、ばらつきが大きかった。
- ・ 一部遮蔽において、遮蔽範囲、可視車両の台数、遮蔽方向について検討した結果、可視範囲が増える、遮蔽方向が片側のみ、可視車両が少ないと、交差点進入速度が高かった。
- ・ 可視車両の挙動の違いによる影響を試行的に調べたところ、可視車両の速度が高い場合や可視車両とのギャップが小さい場合には交差点進入速度が低かった。
- ・ 衝突コースを走行する車両との衝突回避の可否を調べたところ、当該環境では 7 割のドライバーが衝突し、衝突したドライバーはハザードを予測していなかった。
- ・ 衝突したドライバーと回避したドライバーの速度を比較すると、衝突群がほとんど減速せずに進入していたのに対し、回避群は 20km/h 程度まで減速して交差点へ進入していた。
- ・ 注視行動を比較すると、回避群は減速して時間をかけて進入する分、多くの対象を注視しており、また首振りを伴う安全確認が多かった。
- ・ さらに、注視対象を比較すると、正面方向への注視割合を減らし、左方向のハザードが出現する位置や右方向への注視を増やして交差点へ進入していた。

本章の結果から、交差道路の一部が見えることで、交差点への進入速度が高まるドライバーがいることが明らかになった。この結果を、交差点の視環境を部分的に改善してもドライバーの進入速度が高まる（リスク補償行動）ため、事故リスクは変わらないと考えれば、Wild (1982) の提唱するリスク・ホメオスタシス理論と整合する。一方、見通しの良い交差点における出会い頭事故対策として、交差道路の視界を制限する対策により、速度を抑制したとの報告も挙げられる (Charlton, 2003 ; 福山他, 2003)。本研究の結果、交差道路がまったく見えない交差点に比べ、一部が見通せる環境においては、ドライバーによって交差点進入速度にばらつきが生じることを示した。西村・ハック・奥村・塚井 (2003) の研究によると、ドライバー間で危険度が一致しない環境において事故発生率が高いことがわかっており、本研究で設定した環境のように、交差道路の一部が見えかつ衝突可能性の高い潜在ハザードが存在可能な環境は、事故率が高いと推測される。こうした場面においては、運転支援の必要性が高いと考えられる。

## 第7章

### 交差点の視環境と支援情報の相互作用

第 6 章では、交差点の視環境がドライバの交差点進入行動に影響を及ぼすことを明らかにした。本章では、出会い頭事故防止支援システムを想定し、交差車両がないという不適切な予測をしているドライバに支援情報を提供することによる効果を検討した。図 7-1 に、本章で検討対象とする範囲を示す。

## 7.1 研究の背景

交通事故削減に向けた取り組みの一つとして、先進安全運転支援システムの開発・普及が進められている。近年では、車両に搭載したセンサを利用して周辺の危険因子（ハザード）を検知する自律検知型運転支援システムに加え、路側インフラに設置されたセンサや他車両との通信によって、ドライバから見えない・見えにくいハザードを検知する通信利用型運転支援システムの開発が進められている。こうした先進技術による事故削減効果が期待される一方で、稲垣（2007）は、支援効果を十分に発揮するためには、システムとドライバの協調（システムの意図をドライバが理解すること）が重要と指摘している。

特に通信利用型のシステムによって提供される情報は、ドライバから直接見えない・見えにくいハザードの情報であるが故に、自律検知型のシステムよりも、システムの意図をドライバが理解することが難しい。例えば、大谷・岩城・中村（2012）は、複数の情報が提供される状況において、死角に支援対象のハザードが存在するにも関わらず、当該ハザードの情報を消して新たな情報を表示すると、ドライバは死角のハザードが解消されたと誤解してしまい、運転に負の影響が生じることを明らかにした。このように、見えないハザードの検知が可能となったとき、その情報をいかにしてドライバに伝えるか、すなわち HMI の設計が非常に重要になる。

通信利用型運転支援システムによる対策が期待される事故形態の一つとして出会い頭事故が挙げられる。無信号交差点での出会い頭事故に関して神田・石田（2001）は、車両が停止せずに交差点へ進入する事例が多く、一時停止規制や交差点自体の見落としに加え、交差車両などのハザードは来ないだろうという不適切な予測が、停止せずに高い速度で交差点に進入した原因と分析している。また、この「不適切な予測」を生じさせる一つの要因として、交差道路の見通しが影響することもわかっている。本間・藤田（2010）は、交差道路が全く見えない交差点に比べ、一部を見通すことができる交差点では、視認可能な領域にハザードがない場合、「ハザードはないだろう」との予測が生じやすく、故に高い速度のまま交差点へ進入してしまい、衝突リスクが高まることを示した。また本間（2012）は、同様の見通し状況でも、不適切な予測を生じるドライバと生じないドライバが存在し、ハザードがないと予測しやすいのは、交通状況に対する危険度を低く評価し、かつ安全運転への自信を高く評価する傾向のドライバであることを明らかにした。

このようなハザードが来ないだろうという不適切な予測が生じたドライバに対して、ハザードの存在を知らせる情報を提供すると、ドライバの状況認識とシステムによる情報との間に矛盾が生じるため、情報に対する信頼感を低下させることが懸念される。例えば、Kantowitz, Hanowski, &

Kantowitz (1997) によると、自動化システムの操縦士は、システムに対する信頼 (Trust) が自信 (Self-Confidence) を上回ると自動操縦を、反対に下回ると手動操縦を選択すると指摘しており、自動車運転中に提供された支援情報に対する認識や行動に関しても、信頼感などの影響があると考えられる。そこで、本章では DS 上に見通し状況の異なる交差点を設定し、ドライバに支援情報を提供する実験を行った。それぞれの交差点に対する不適切な予測の生じやすさを確認した上で、不適切な予測を生じたドライバと生じなかったドライバの支援情報の受け止め方とその効果について検証した。

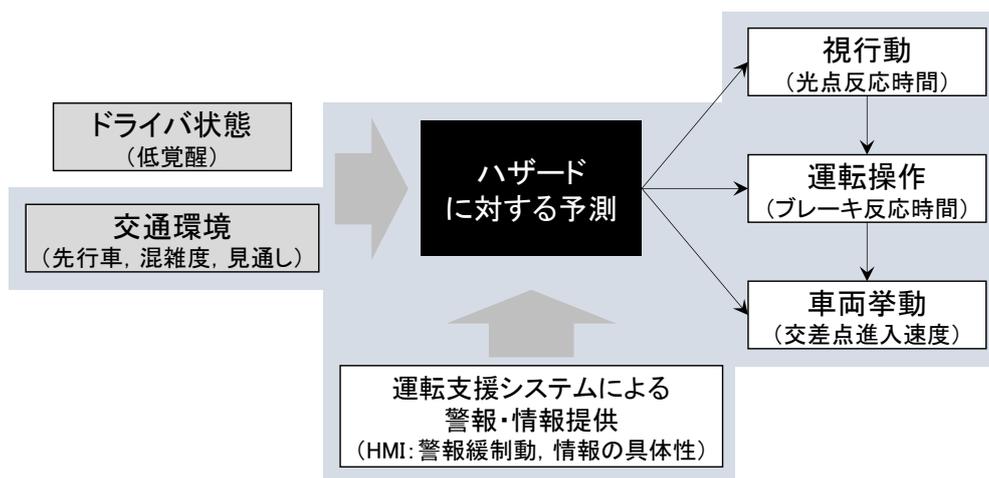


図 7-1 本章で対象とする範囲

## 7.2 方法

### 7.2.1 実験装置および実験参加ドライバ

実験には、動揺機能を有する全方位視野 DS（視野角：水平 360 度，垂直 65 度）を用いた。実験参加ドライバは、通勤などで日常的に運転している一般男性ドライバ 21 名（平均年齢：38.0 歳，標準偏差：9.8 歳）で，口頭および書面にて，実験目的や DS 実験のリスクなどの説明を受け，参加の承諾（インフォームドコンセント）をした上で実験に参加した。

### 7.2.2 交通環境

DS 上に設定した交通環境は，第 6 章と同様に以下のように設定した。走行道路および交差道路は，制限速度 40km/h，幅員 7.0m（片側 3.5m 相当），路肩左右 0.5m，中央線のない直線道路とした。実験において，道路の優先／非優先を明示してしまうと，すべてのドライバが交差点手前で一時停止すると考えられたため，交差点には両方路とも信号や一時停止の標識を設置しなかった。また背景には，周囲に建築物などが無い田園風景を用い，交差道路の見通しを統制するための樹木を模した遮蔽物（直径 1.5m，高さ 3.0m の円柱）を進行方向左側に配置できるようにした。

### 7.2.3 交差点の見通しと交差車両

交差道路の見通し領域が異なる以下 V1～V4 の 4 種類の見通し条件を設定した。

- ・ V1：見通し条件「良好」

遮蔽物なし（交差道路の全領域が視認可能）

- ・ V2：見通し条件「混合\_縦」（図 7-2）

走行道路沿いに遮蔽物を約 2.1m 間隔で配置（進行方向左 45 度より外側の領域が，樹木の隙間から視認可能）

- ・ V3：見通し条件「混合\_横」（図 7-3）

交差道路沿いに遮蔽物を約 2.1m 間隔で配置（進行方向左 45 度より内側の領域が，樹木の隙間から視認可能）

- ・ V4：見通し条件「不良」

交差道路沿いに遮蔽物を隙間なく配置（交差道路の全領域が視認不可）

V2～V4 の見通し条件では，視認不可能な領域内のコリジョンコースを走行する（自車と同時に交差点に到達する，自車との相対角度が変わらない位置を走行する）見えない交差車両と衝突するリスクが想定される。また，V2 では 45 度より外側，V3 では 45 度より内側の交差道路の状況を目視確認できるため，衝突リスクの高い見えない交差車両は来ないだろうとの予測を生じる可能性がある。このような予測は，特に V3 で生じやすいことがわかっているが（本間，2012），本実験でもこの二つの見通し条件を設定し，不適切な予測の生じやすさを確認することにした。また，V2

および V3 の見通し条件については、視認可能な領域を走行する衝突リスクの低い見える交差車両も想定される。見える交差車両の有無は、交差点通過行動に影響することがわかっていることから（本間他，2010），支援情報の信頼感などへの影響を検討するために実験条件として設定した。なお可視車両は，V2 ではコリジョンコースとなる位置の 100m 後方，V3 では 50m 前方を，自車と同じ速度で走行するように設定し，衝突リスクが低くなるようにした。

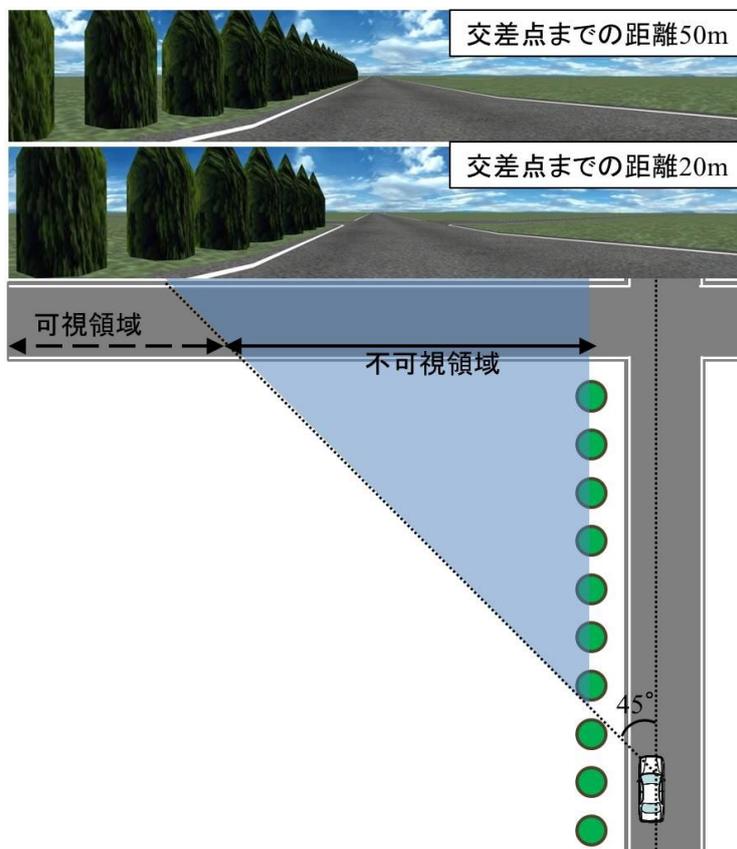


図 7-2 V2 の交差点視環境

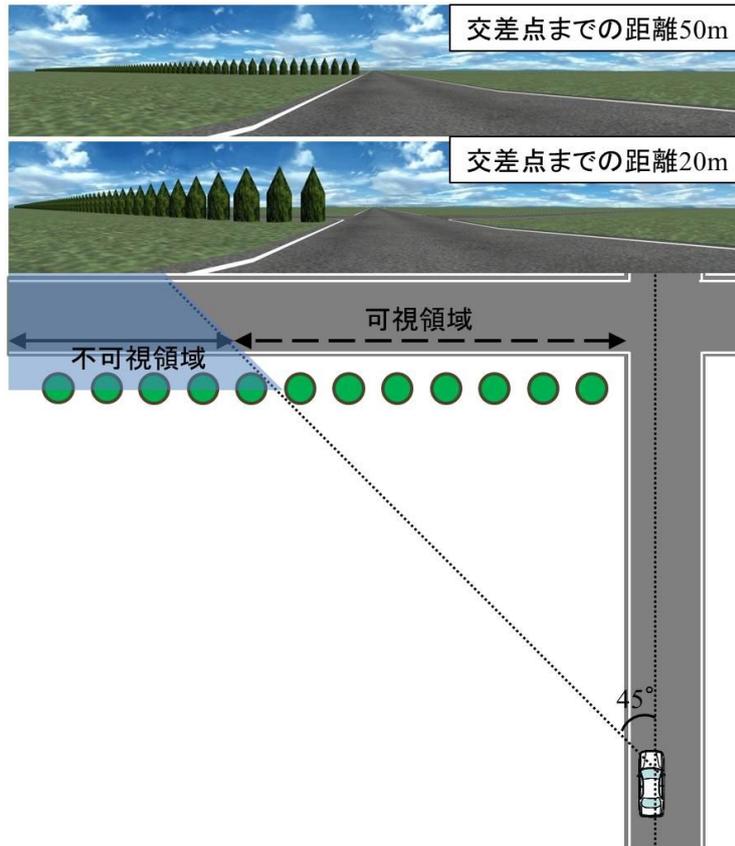


図 7-3 V3 の交差点視環境

#### 7.2.4 支援情報の HMI

支援情報のモダリティとしては、運転支援システムとして一般的な視覚および聴覚による提示方法とした。情報の内容は、具体性の異なる以下 I1~I3 の 3 種類を用意し、図 7-4 に示すように、センターコンソールに設置したナビゲーション用ディスプレイに、黒い背景画面に白い文字で提示した。

- ・ I1 : 「この先事故多発交差点です」
- ・ I2 : 「交差車両に注意して下さい」
- ・ I3 : 「交差車両 2 台が接近中です」

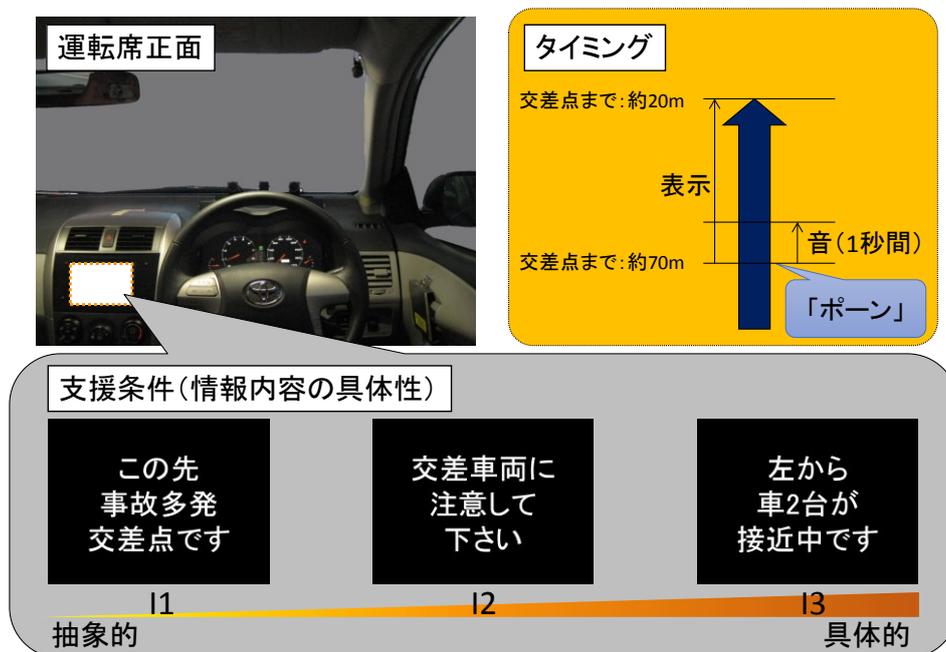


図 7-4 支援情報の内容と提示方法

情報の提示開始タイミングは、すべて交差点中心手前約 80m 地点に設定した。仮に制限速度 40km/h 一定で走行すると、情報が提示されてから約 7 秒で交差点に到達することになる。情報提示を告知する電子音「ポーン」は、提示開始から約 1 秒間で終了するが、視覚表示は交差点進入前まで継続して提示し続ける仕様とした。

### 7.2.5 実験条件および実験手順

実験条件は、表 7-1 に示すとおり、7.2.3 節および 7.2.4 節に示した「見通し条件 4 水準 (V1~V4)」、「支援情報条件 4 水準 (I1~I3 と情報なし)」および「見える交差車両の有無 2 水準」の組み合わせで構成した。なお、遮蔽物のない V1 においては、見えない交差車両との衝突リスクがないため、交差車両を知らせる I2 および I3 の支援情報条件は実施しなかった。

実験では、交差点中心まで 300m の地点に停止した状態から走行を開始した。走行中において、ドライバーが必要以上に速度調整に注力することがないように、一定以上アクセルを踏み込んでいれば、40km/h 以上の速度が出ないように設定とした。なお通常の車両と同様、アクセルを離すとエンジンブレーキがかかり、ブレーキを踏めば減速する。また、ハザードが出現する状況やしない状況を経験してしまうと、潜在ハザードに対する予測やシステムへの印象に対して影響することが懸念されたため、実験では交差点中心手前約 20m 地点 (図 7-2, 図 7-3 の前方映像位置) まで到達すると、別の場所へ瞬時に移動するようにした。これによりドライバーは、各条件で実際にハザードが出現するか否かがわからないまま走行を終えることになるため、各実験条件に対して独立した (ハザードへの遭遇経験による影響を排除した) 評価が行われたといえる。

参加ドライバーは、実験の本試行となる走行の前に練習走行を行った。練習走行は、DS の運転に慣れることと、次節で説明する主観評価に対する回答練習を目的に実施した。本試行では、条件ごとに1回ずつ走行を行い、また各走行後に主観評価への回答を繰り返した。各ドライバーとも、まず情報なしの4条件を走行（実施順はランダム）した後、情報ありの14条件を走行（実施順はランダム）した。

表 7-1 実験条件表

条件	視環境	情報の種類	可視車両
1	V1	-	-
2	V2	-	-
3	V3	-	-
4	V4	-	-
5	V1	I1	-
6	V2	I1	-
7	V3	I1	-
8	V4	I1	-
9	V2	I2	-
10	V3	I2	-
11	V4	I2	-
12	V2	I2	○
13	V3	I2	○
14	V2	I3	-
15	V3	I3	-
16	V4	I3	-
17	V2	I3	○
18	V3	I3	○

### 7.2.6 評価指標

実験では、参加ドライバーの運転行動・車両挙動（アクセルペダルストローク量、ブレーキペダル踏力、自車速度、自車加減速度など）を 60Hz で記録した。なお、次章以降に示す実験結果では、交差点中心手前 100m から約 20m 地点までの範囲をデータ解析区間としている。

また各条件の走行後に、予測の度合い（交差点手前約 20m 地点で、その先に自車と衝突する可能性の高い交差車両がどのくらいの確率で出現すると思っていたかを 0%から 100%で回答）、主観的危険度（この先の交差点に対し、どのくらいの危険を感じていたかを「1:非常に安全」から「7:非常に危険」の7段階で総合評価）、および自己評価スキル（交差点を安全に通過できる自信を「1:全く自信がない」から「7:非常に自信がある」の7段階で評価）の回答を求めた。さらに、支援情報がある条件での走行では、情報に対しての信頼感（その状況で、情報をどのくらい信頼できるかを「0% : 全く信頼できない」から「100% : 完全に信頼できる」で回答）への回答も得た。

## 7.3 結果および考察

### 7.3.1 ハザードの予測度合いによるドライバの層別

ハザードに対する不適切な予測を生じる可能性のある V2 および V3 の見通し条件での予測の不適を確認するために、情報なしにおける V1~V4 の予測の度合い（交差車両の出現可能性の自己評価値）を比較した。条件ごとの平均値と標準偏差を表 7-2 に示す。本間（2012）の先行研究の結果と同様、交差道路外側の一部が視認可能な V2 に比べ、交差道路内側の一部が視認可能な V3 の見通し条件では評価値が低く、交差車両は来ないだろうとの予測を生じやすい交通状況であることが確認できた。

そこで、V3 においてハザードの出現を低く予測していたドライバ「予測低群」と、高く予測していたドライバ「予測高群」を層別した。支援なしの全見通し条件（V1~V4）における予測評点を用いて、参加ドライバごとに標準化を行った上で、V3 の標準得点を算出し、その値の正負によって「予測高群」11 名、「予測低群」10 名にそれぞれ層別された。以降の解析では、見通し条件 V3 での各指標について、予測の高低群ごとに整理し、不適切な予測をしたドライバの特徴を調べることにした。

表 7-2 視環境と予測度合い

	V1	V2	V3	V4
平均値 (%)	3.33	53.33	38.10	56.67
標準偏差	5.77	16.83	16.92	14.26

### 7.3.2 予測の高低と支援効果

潜在ハザードに対する不適切な予測を生じたドライバに支援情報を提供した際の、交通状況に対する認識や情報の受け止め方とその効果を調べるため、各指標について、予測の高低群（2水準）と支援情報（情報なしを含めて 4水準）の二要因分散分析を行った。

#### (1) 予測度合い

条件ごとの交差車両出現可能性の評価値（予測度合い）の平均値および標準偏差を図 7-5 に示す。分散分析の結果、予測の高低と支援情報の交互作用がみられた（ $F(3,57)=3.50, p<.05$ ）ことから、各水準間の多重比較を行った。予測高群は、情報なしおよび I1 情報よりも、I3 情報で交差車両出現可能性を高く評価した。予測低群は、情報なしに比べ、支援情報 I1~I3 のいずれの情報も提供された場合においても交差車両の出現可能性を高く評価していたが、情報の内容による差はみられなかった。

予測高群のドライバは、情報がない場合であっても、交差車両の出現可能性を比較的高く見積も

った。さらに I1 の抽象的な情報の場合に比べ、I3「交差車両 2 台接近中」のような具体的な情報が提供された場合に、より高い確率で交差車両が来ると可能性を評価した。よって、情報の具体性を高めたことでハザード出現の確信が高まるように作用したといえる。一方、予測低群のドライバーは、情報がない状態での交差車両出現可能性を 3 割以下と低く見積もったが、I1~I3 のいずれかの情報が提供された場合にはその評価を 6 割程度まで高めた。ただし、情報の内容による差はなかったため、不適切な予測をしているドライバーに具体的な情報を提供したとしてもハザードの出現を確信するまでには至りにくいと推察される。

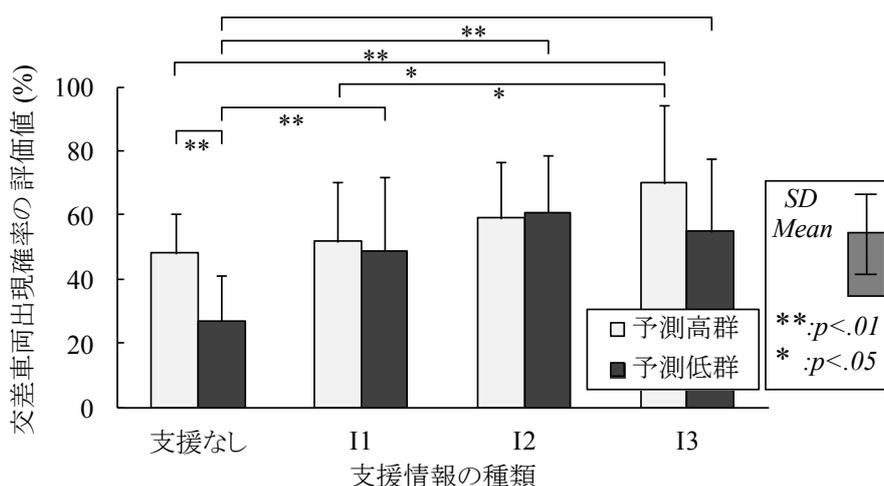


図 7-5 交差車両出現確率の評価値

## (2) 危険度

条件ごとの主観的危険度評価の平均値および標準偏差を図 7-6 に示す。分散分析の結果、予測の高低による主効果がみとめられ ( $F(1,19)=8.28, p<.01$ )、支援情報の有無や種類に関わらず、予測低群は、予測高群よりも危険度を低く評価した。

情報がない場合、ハザードの出現を低く予測したドライバーは、高く予測したドライバーよりも危険度を低く評価しており、その傾向は支援情報が提供されても変わらないことが示された。このことから、予測の高低に関わらず、ドライバーの主観的な危険度は交通状況によって評価され、支援情報による影響を受けにくいと考えられる。

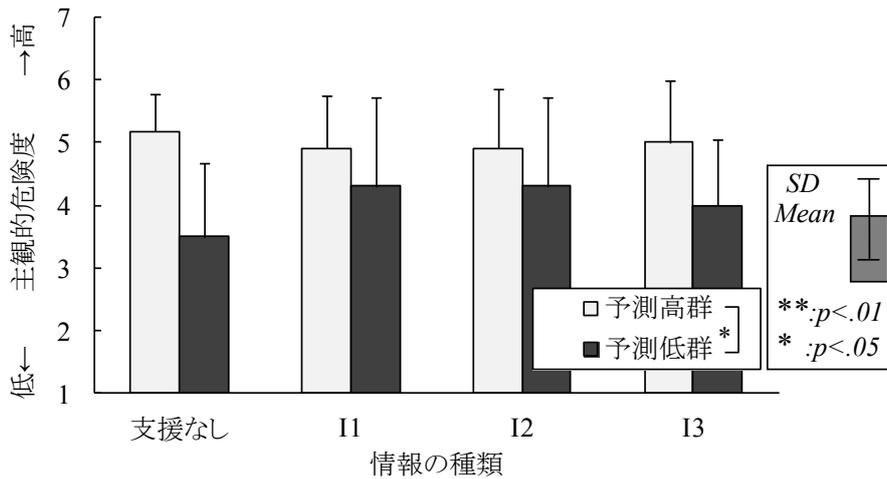


図 7-6 主観的危険度

### (3) 自己評価スキル

交差点を安全に通過できる自信について、条件ごとの評価点の平均値および標準偏差を図 7-7 に示す。分散分析の結果、予測の高低と支援情報の交互作用がみられた ( $F(3,57)=5.74, p<.01$ ) ため、各水準間の多重比較を行った。情報が無い場合、予測低群は、予測高群に比べて安全に運転できる自信を高く評価した。また、予測低群は情報が無い場合に比べ、I1~I3 いずれかの情報が提供された場合に、自信を低く評価した。

ハザードの出現を高く予測したドライバーは、支援情報の有無および種類に関わらず、自己評価は一定であった。一方、ハザードの出現を高く予測したドライバーは、情報が無い場合には自己評価が高いが、ハザードがないと思っている状況において情報が提供された場合には自己評価が低下した。ただし、支援情報の具体性による影響はみられなかった。

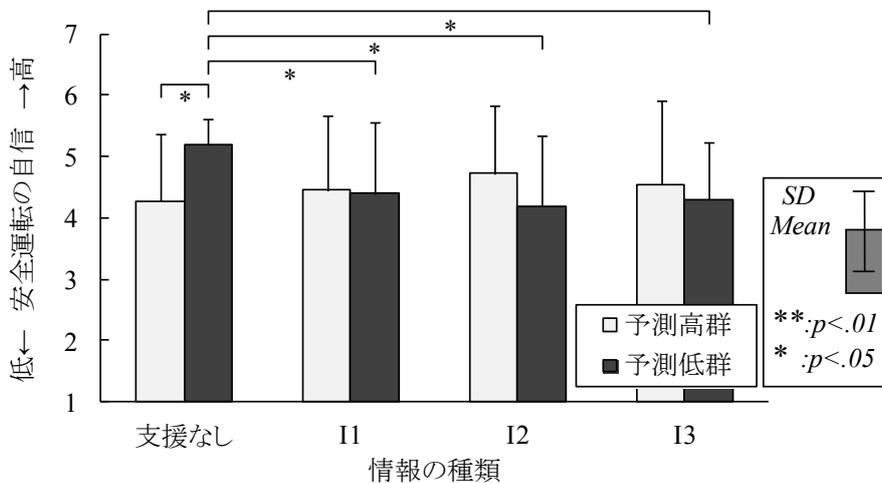


図 7-7 安全運転の自信

#### (4) 信頼感

情報に対する信頼感について、条件ごとの評価点の平均値および標準偏差を図 7-8 に示す。分散分析の結果、予測の高低による主効果に有意傾向がみられ ( $F(1,19)=3.58, p<.1$ )、情報の具体性に関わらず、予測低群は予測高群よりも信頼感を低く評価した。

ハザードの出現を低く予測したドライバーは、交通状況から交差車両は来ないだろうと認識していたため、支援情報に対してあまり信頼できないとの印象を受けたものと推察される。

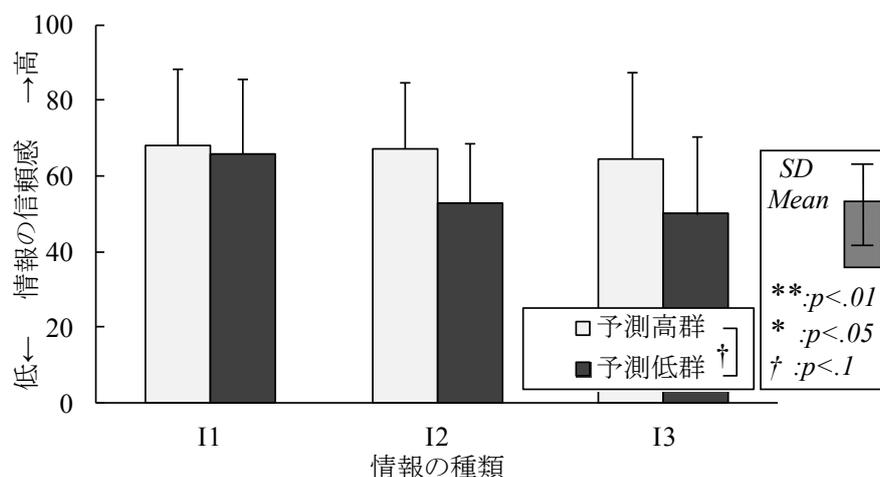


図 7-8 情報の信頼感

#### (5) 進入速度

交差点約 20m 手前地点への進入速度について、条件ごとに平均値と標準偏差を算出した結果を図 7-9 に示す。分散分析の結果、予測の高低と支援情報の交互作用がみられた ( $F(3,57)=8.52, p<.01$ ) ため、各水準間の多重比較を行った。予測低群は、情報なしおよび I1 情報の場合よりも、I2 および I3 情報が提供された場合に進入速度が有意に低かった。また、情報なしおよび I1 情報を提供した場合において、予測低群は予測高群に比べて速度が有意に高かった。

ハザードの出現を高く予測したドライバーは、情報がない場合でも交差車両が来るかもしれないと思って減速して進入するため、情報の有無および種類による影響がなかったと考えられる。一方、ハザードの出現を低く予測したドライバーは、交差車両は来ないだろうと思っているため、情報がない場合は速度が高く、加えて I1 「事故多発交差点」という抽象的な情報を提供したとしても、速度の低下がみられなかった。しかし、I2 および I3 の交差車両の出現を知らせる具体的な情報を提供すると速度は有意に低下し、支援情報による速度抑制効果がみとめられた。3.2.1 項のとおり、I1 情報の提供によって予測は適正化されていたが、速度抑制効果はみられないため、抽象的な情報ではリスクテイキング行動をとりやすい可能性があるかと予想されるが、より詳細な検証が必要である。

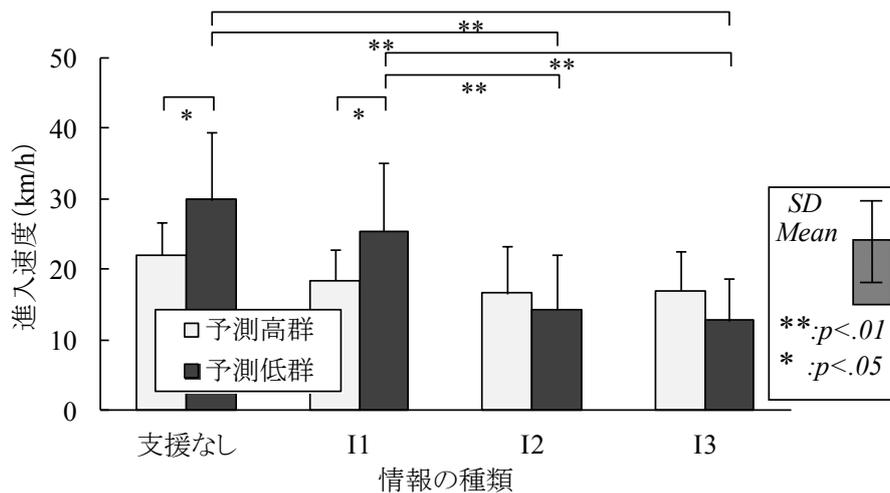


図 7-9 進入速度

(6) ハザードの出現を予測の高低による影響のまとめ

ハザードの出現を低く予測したドライバーは、交通状況から交差車両は来ないだろうと予測するため、状況に対する危険度を低く評価し、安全に運転できる自信は比較的高く、速度が高い状態で交差点へと接近していた。支援情報が提示されると、情報の具体性に関わらず、予測が改善されるとともに安全運転への自信が低下した。ただし、情報に対する信頼感は低く、危険度の評価の低さにも変化はなかった。I2 および I3 の具体的な支援情報が提供された場合、交差点接近速度は抑制されたが、I1 の抽象的な情報での速度抑制効果は小さいことから、具体的な情報を提供することが望ましいと考えられる。

7.3.3. 可視車両の有無が与える影響

見通し条件 V3 では、視認可能な領域を走行する衝突リスクの低い「可視車両」が存在する場合がある。可視車両が、ドライバーの交通状況認識や、支援情報に対する印象に与える影響を調べるため、各指標について予測の高低群（2水準）、支援情報（I2 および I3 の2水準）および可視車両の有無（2水準）の三要因分散分析を行った。

(1) 予測度合い

条件ごとの交差車両出現可能性の評価値（予測度合い）平均値および標準偏差を図 7-10 に示す。分散分析の結果、可視車両の有無と支援情報による交互作用がみられた ( $F(1,19)=15.79, p<.01$ ) ため、各水準間の多重比較を行った。I2 情報が提供された場合、可視車両がいる場合よりも、いない場合の方が交差車両の出現可能性は高く評価された。反対に I3 情報が提供された場合には、可視車両がいない場合の方が交差車両の出現可能性は低く評価された。

可視車両がいる場合、I2 情報の指す「交差車両」は可視車両のみと誤認識し、衝突リスクが高い

見えない車両の出現確率を低く評価したと考えられる。一方、I3「交差車両 2 台接近中」が提供された場合には、見えないどこかにもう 1 台がいるのではないかとこの認識が高まった可能性が高い。

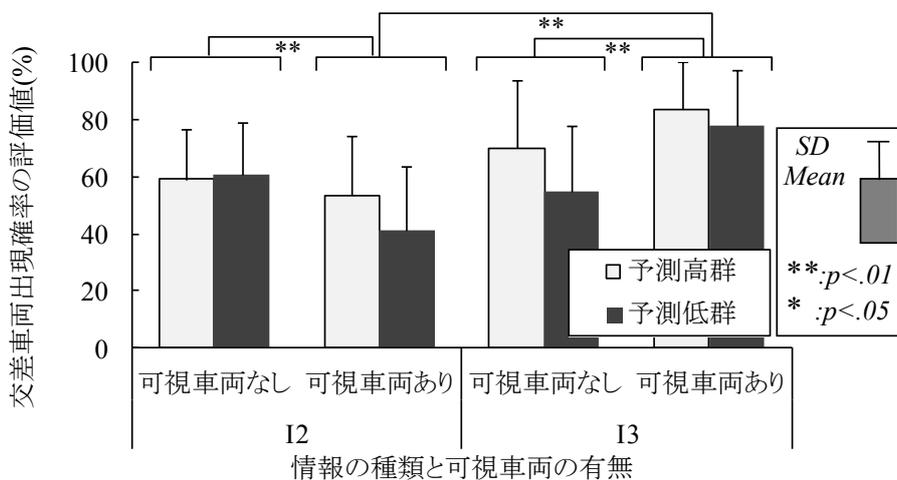


図 7-10 交差車両出現確率の評価値

## (2) 危険度

主観的危険度評価について、条件ごとの評価点の平均値および標準偏差を図 7-11 に示す。分散分析の結果、可視車両の有無と予測の高低および支援情報による交互作用がみられた ( $F(1,19)=8.22, p<.01$ ) ことから、各水準間の多重比較を行った。予測低群は、可視車両がいる状況で I2 情報を受けた場合、および可視車両がない状況で I3 情報を受けた場合に、危険度を低く評価した。

予測低群のドライバーは、交差車両の出現可能性を低く評価した状況において危険度も低く評価した。

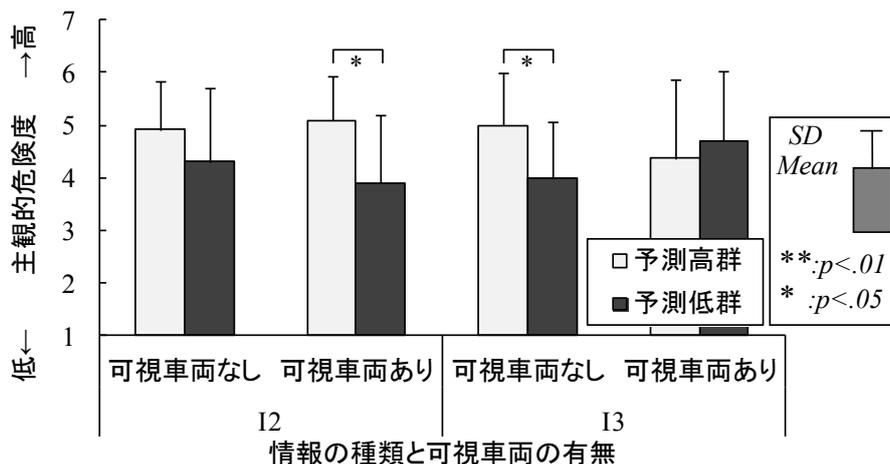


図 7-11 主観的危険度

### (3) 自己評価スキル

交差点を安全に通過できる自信について、分散分析を行ったところ、主効果および交互作用はみられなかった。実験条件として設定した状況では、可視車両の有無が自己評価スキルに影響しないといえる。

### (4) 信頼感

支援情報に対する信頼感について、条件ごとの評価点の平均値および標準偏差を図 7-12 に示す。分散分析の結果、可視車両の有無による主効果がみとめられ ( $F(1,19)=20.04, p<.01$ )、可視車両がいる状況の方が、いない状況よりも情報に対する信頼感が有意に高かった。また、予測の高低による主効果にも有意傾向がみられ ( $F(1,19)=7.51, p<.05$ )、予測低群は、予測高群よりも信頼感が低かった。

可視車両がいる状況では、I2 および I3 の「交差車両」を知らせる情報を支持する交通状況であることから、情報に対する信頼感が高まったと考えられる。

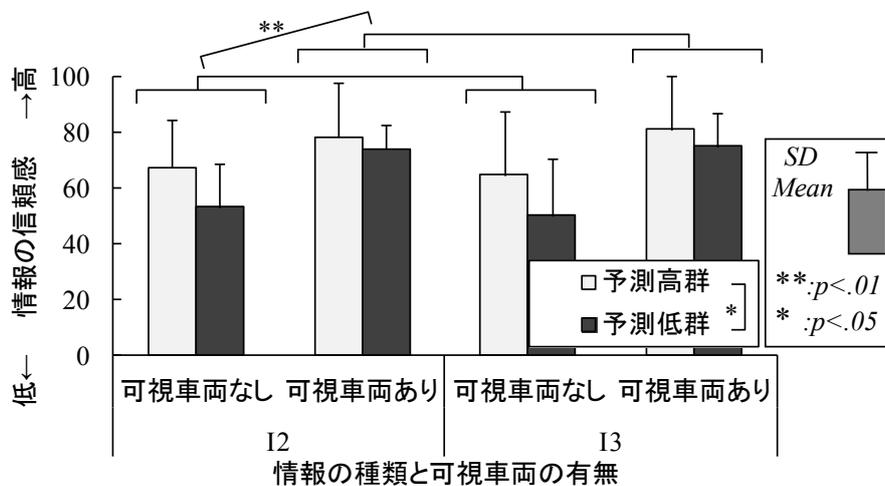


図 7-12 情報の信頼感

### (5) 進入速度

交差点約 20m 手前地点の速度に関して、分散分析を行った結果、可視車両の有無による主効果がみとめられ ( $F(1,19)=5.09, p<.05$ )、可視車両がない場合にはいる場合よりも速度が有意に低かった。

分散分析の結果で有意差はみられたものの、いずれの条件も平均値は 20km/h 以下と速度は低かった。可視車両がない状況で、ハザード情報が提供された場合、ドライバーの不安感が高まったことで速度が低下した可能性が考えられるが、今後より詳細に検討する必要がある。

(6) 可視車両の影響のまとめ

可視車両がいる場合、情報を支持するような交通状況であるため、信頼感が高まることが示唆された。ただし、可視車両の他に、見えないハザードが存在するにも関わらず、I2「交差車両に注意」のように台数が示されていない情報を提供すると、ドライバーは情報の指す交差車両を可視車両のみと認識し、見えないハザードの出現が予測しにくいことが明らかになった。このような誤解を防ぐためには、ハザードが複数台いる可能性を示す配慮が必要であると考えられる。

## 7.4 まとめ

本章では、ハザードの出現を低く予測したドライバに支援情報を提供した場合について、予測の高低群と情報の具体性に着目し、ドライバの情報の受け止め方と支援効果について検討した。さらに、情報を支持するような状況がドライバに与える影響についても考察した。以下に得られた成果をまとめる。

- ・ ハザードの出現を低く予測したドライバは、情報の提供によって予測が適正化され、安全運転への自信が低下した。なお主観的な危険度に対する支援の影響は小さく、情報に対する信頼感も低かった。
- ・ ハザードの出現を低く予測している場合、交差車両の接近を知らせる具体的な情報に比べ、事故多発交差点のような抽象的な情報では速度抑制効果が小さかった。
- ・ 交差車両の接近を知らせる具体的な情報が提供された場合、可視車両がいる状況では、ドライバの支援情報に対する信頼感が高まった。
- ・ 可視車両がいる状況において、交差車両の台数を示さない情報を提供すると、ドライバは支援対象を見えている車両のみであると誤認識する可能性が高い。

ハザードの出現を低く予測したドライバに対して、支援情報を提供することは、多くの場合で有効に作用していた。しかし、ハザードを知らせる具体的な情報ではなく、注意を喚起するのみの抽象的な情報を提供した場合には、支援効果が低下する可能性が明らかになった。衝突リスクの低い可視車両がいる状況において、ハザードとなる車両の台数を明示しない情報を提供した場合、可視車両のみが支援対象であるとの誤認識を生じさせる可能性があることから、交通状況を考慮したHMIの構築が重要になる。

なお、本章の実験では、条件ごとに独立して主観評価および運転行動を取得したため、提供された支援情報に対する結果のフィードバック（実際にハザードに遭遇する）経験による影響は考慮されていない。Lee, & Moray (1992)によれば、システムに対する信頼感は、支援の提供とその結果を経験する中で形成されるものでもあることから、今後は交通状況による影響に加え、このような経験による影響も考慮して検討することが必要である。

## 第 8 章

### 総合討議

## 8.1 本論文と関連研究

本研究は、交通事故対策として期待される運転支援システムについて、人間であるドライバ特性を考慮したシステムの効果予測や将来的な支援方策の検討を行った。本章では、本論文で得られた研究成果を関連研究と併せて総合的に考察することによって、今後の運転支援システムによる支援方策の方向性について検討することを目的とした。

第3章では、すでに普及が始まっている追突防止支援システムを対象に、警報に対するドライバの反応を実験的に取得し、実験データに基づく追突事故低減効果を推定した。さらに第4章では、衝突警報のモダリティとして、減速度を体感する警報（警報緩制動）の付加による、ドライバの反応改善を検証した上で、その事故低減効果の向上を推定した。システムの事故低減効果を予測する研究は、先進安全自動車（ASV）推進検討会で若杉・菊地・本間（2011）が行ったように、システムの効果対象となる事故の抽出、典型的な事故場面における支援の有無ごとのドライバの回避可否の調査、事故低減効果の推定の3段階で行う方法がある。一方、北岡他（2008）、酒井他（2011）や田中（2014）のように、シミュレーション技術を用いて、ドライバの行動を数式によってモデル化し、支援の有無ごとにパラメータを設定して計算することによって効果を予測する方法もある。また、普及がある程度進んだシステムに関しては、適当なサンプル数を確保した上で、支援の有無ごとに事故率を比較することも可能になる。Fildes et al.（2015）の最新の報告によれば、欧州における低速域の先進自動ブレーキ（AEB）の事故低減率は38%程度と報告されており、高速域までを対象とした本研究の効果予測が比較的妥当な結果であることが伺える。一方、こうした効果予測では、リスク補償が考慮されていない。Wild（1982）は、ドライバはリスクの目標水準にあわせようと行動を選択するため、例えば事故が多かった曲がりくねった狭路を、道幅の広い直線路に整備すると、一時的に事故被害は低下するが、時間の経過とともに走行速度が高まり事故の被害は変わらないとするリスク・ホメオスタシス理論を提唱した。対策を否定するリスク・ホメオスタシス理論には賛否がある（芳賀，1993）ものの、実際にドライバがリスク補償行動をとることは、実験で明らかになっている（例えば増田・芳賀・國分，2008）。これに対し、鈴木・山田（2006）や田中・鈴木・見市・阿賀（2012）はリスク補償や過信などによって生じるドライバのエラーを確率で捉え、効果予測に組み込む方法を提案している。また、リスク補償と類似する概念として、システムに対する過度な信頼（過信）の問題も指摘されている（例えば稲垣，2014）。伊藤（2003）によると、過信はシステムに対する知識や経験に基づかずやみくもに安全そうだと過度に信頼する「盲信」、ある程度の知識や経験を積んだ状態で、本来操作者が担うべき監視作業をシステム任せになってしまう「コンプレーションシー」、同じくある程度の知識と経験を積んだ上で、この場面でシステムが適切に対処してくれたから、システムの対応できない似たようなこの場面でも大丈夫だろうと任せってしまう「過信頼」の3つに分類できる。現在の追突防止支援システムも、国土交通省がASV推進検討会で過信に対する議論が重ねられ、システムによる制動制御を開始してよいタイミングは通常の減速で停止することが困難な状況であること、減速制御は減速度を速やかに立ち上げ、

かつ通常の減速度以上を発生させることなどを自動車メーカに求める技術指針をまとめている。併せて、販売時の説明や取扱い説明書によって、ユーザがシステムの適切な理解できるよう求めている。このような対策により、衝突直前の緊急時にのみ作動するような現状の追突防止支援システムについては、そもそもシステムが作動する場合、その時点で通常なら衝突が免れないような状況であるためドライバの過信する可能性は、比較的低いと考えられ、実際に過信による事故が報告された例はみられていない。

一方で、第4章の衝突警報に対する高齢ドライバの反応は、非高齢ドライバに比べて遅い傾向があるように、ドライバの属性、ドライバの状態、交通環境などによっては、より早いタイミングでの支援が求められているのも事実である。このように衝突まで比較的余裕があるタイミングでの支援は、ドライバとの操作と制御に乖離が生じ、システムに対する受容性の低下が生じる懸念が指摘されている (Dingus et.al, 1998 や Wheeler et al, 1998)。例えば衝突警報のタイミングを決めるにあたって、菊地他 (2004) はドライバの操舵回避タイミングを計測している。操舵回避と制動回避の関係は、速度が低いうちは制動回避が有意で速度が上がると操舵回避が有意になるという物理的特性があり、実データによるドライバの操舵回避タイミングを考慮して作動タイミングを設定することによって、ドライバの操作とシステムによる制御が干渉することなく、受容性を確保する設計思想である。ところが、例えばドライバが脇見中 (中越・木村・金森, 2006)、あるいは居眠り中の場合、このタイミングで警報を提示しても適切な対応が困難な場合がある。そこで、運転中のドライバの目の開度をモニタリングした上で、閉眼中や脇見中は警報を早めるシステム (服部, 2007) も開発されている。

衝突まで余裕がある状況における支援を考える上では、このようにドライバの状態あるいは交通環境によって、必要な状況で支援を提供する必要がある。安部他 (2010) はドライバに認知的な付加を与えた状態での、ドライバの視覚的な注意パフォーマンスを調べ、注意対象が多い状況に比べ、注意対象が少ない状況でパフォーマンスが低下することを示した。また、第5章では、低覚醒状態におけるドライバの注意パフォーマンスが低下する交通状況の検討を行っており、先行車のいない状況でパフォーマンスの低下が顕著になる傾向や、混雑度が低下すると低下しやすい傾向が示された。こうした知見を蓄積することで、通常に比べて優先的に (例えばタイミングを早めて) 注意喚起等の支援を行う支援方策は、衝突に余裕がある状況における支援の一つの方向性を示していると考えられる。さらに、個人に適合した警報呈示の有効性を提案する研究 (安部他, 2009) や高齢ドライバのばらつきを運転特性により分類して支援を行う提案 (細川・橋本・平松・寸田・吉田, 2015) もある。しかし、ドライバの状態や特性を考慮しても、交通環境が異なる場合に、その傾向が保たれるとは限らないため、網羅するには膨大なデータの蓄積が必要となる。

交通環境の違いとして、ハザードが見える (顕在的) か見えない (潜在的) かにより大きく異なる。技術的に、自律センサによる検知が難しい点もあるが、ドライバによって潜在ハザードに対する予測の違いが、支援の効果にも影響すると考えられる。第6章では、出会い頭事故のハザードで

ある交差車両に対するドライバの予測が、交差点の視環境によって影響を受けることを示した。運転において最も重要と言っても良いハザード知覚は、人間の視覚情報処理と関係している。視覚探索においては、刺激駆動型のボトムアップ処理と知識駆動型トップダウン処理が存在し、知識や経験に基づき予測することによって、ハザードの発見を早めていることは多くの研究例から明らかである (Theeuwes, & Hagenzieker, 1993 や Summala, & Rasanen, 2000)。この予測的なトップダウン処理は運転経験の中で取得されるものであり、初心運転者が潜在ハザードに対するリスクを過小評価することを示した小川 (1993) の研究結果も、こうした情報処理プロセスの違いで説明できる。本研究では、同じ潜在ハザードに対する予測も、交差点の視環境によって影響を受け、またドライバによってその影響度合いにばらつきが生じることを明らかにした。これは、運転経験によって各ドライバが築き上げた視覚探索方略の違いが出現したと推察することができる。こうした視環境下において運転支援による情報提供 (あるいは注意喚起) をすると、どのようなことが生じるのかを検討したのが第7章の研究である。支援が必要となるのは、ハザードに対する予測が不適切なドライバであるが、ハザードは来ないだろうと予測して (思い込んで) いるドライバに対して効果的な支援とするためには、具体的な情報である必要性が明らかとなった。大谷他 (2012) の研究でも、潜在ハザードに対する情報呈示方法において、複数のハザードがある場合に一方のハザードを消してしまうと誤解を招くことを見だしており、潜在ハザードに対する HMI の重要性が伺える。また菊地他 (2008) は、カーブ先の停止車両という潜在ハザードに対する情報提供により、ドライバの注意が狭まる懸念を指摘しており、より詳細な情報を提供することで改善されることを示した (菊地他, 2010)。さらに菊地・本間 (2010) 一時停止交差点におけるドライバの注意パフォーマンスは、ドライバの危険感受性とリスク敢行傾向によって異なり、支援方法も検討する必要性を示唆している。このように、潜在ハザードに対する支援方法は、ドライバの特性と HMI の検討が非常に重要である。一方、中村・菅沼・菊地・本間 (2015) は、インフラ協調型の右折事故防止支援システムの実証実験から効果予測を行い、特に潜在ハザードに対して一定の効果が期待できることを立証した。インフラ協調型の運転支援システムは、インフラ整備と同様に進める必要があるため、自律型に比べ普及の速度は遅いことが予想されるが、ドライバの誤解を招かない HMI の検討と平行して、インフラ整備の推進も期待される。

## 8.2 本研究の成果

交通事故の発生には、ドライバの不適切な予測が深く関わっている。運転支援システムによって、ドライバが不適切な予測をしていたとしても、事故回避を支援することが期待される。しかしながら、ドライバの予測までを考慮して運転支援システムの有効性を調べた研究例は少ない。本研究は、交通事故の中でも発生件数が多い事故類型である追突事故および出会い頭事故に着目し、運転支援システムによる効果的な対策を検討した。特にドライバのハザードに対する予測といった心理的な側面まで考慮して、運転支援システムから提供される情報や警報に対するドライバの反応特性や支援効果を明らかにすることを目的に研究を行い、以下の成果を得た。

追突事故防止支援システムを対象に、ハザードの出現を予測していない（実際の事故に近い）状況下におけるドライバの警報に対する反応特性を調べた結果、警報に気づいたにも関わらず、一定時間内に適切な対応をとらないドライバの存在を明らかにした。このようなドライバの存在を含め、衝突警報に対するドライバのブレーキ操作および自動ブレーキによる減速を考慮すると、一般的な仕様の追突防止支援システムにより追突事故は4割程度削減、また追突による死亡重症事故が5割程度低減できる可能性をシミュレーションにより推定した。さらに効果を向上させるためには、警報のHMIとして、視聴覚表示に警報緩制動を加えることで、ドライバの反応率向上および反応時間の短縮する効果が示唆された。警報緩制動の付加は、特に非高齢層に有効であり、事故低減効果を3割程度向上すると推定され、高齢層に対しても1割程度の効果向上が推定された。高齢ドライバに対する当該システムの効果をさらに向上させるためには、警報タイミングを早めることによって余裕時間を増やすことが有用と推察される。しかし、衝突までに余裕がある状況における支援は、ドライバの対応するための余裕時間が増える効果がある一方で、ドライバにとって不要な支援となる懸念がある。したがって、ドライバがハザードの出現を低く予測するドライバ状態や交通状況を明らかにした上で支援を提供する状況を絞ることが重要と考えられる。本研究では、ドライバの覚醒度が低下した場合に、先行車がいる状況と比較し先行車がない状況で光点の見落としが増加し、反応時間が遅延することが明らかになった。また、ドライバの視覚的注意の範囲（単位時間あたりに光点を発見できる範囲）も、同様に先行車のいない状況で狭窄することが示唆された。この結果から、ドライバの覚醒度が低下し、先行車のいない状況においては、支援のタイミングを早めるといった、支援の優先度を高めることが望ましいことを提案した。

出会い頭事故場面のような潜在ハザードに対しても、ドライバの予測が衝突リスクに影響することがわかっている。本研究は、交差点の視環境やドライバが視認可能な車両の量や挙動に着目して、このような交通状況によってドライバの潜在ハザードへの予測に影響を及ぼすことを明らかにした。ただし、同様の状況でも、潜在ハザードに対する予測の高低はドライバによって異なり、支援の必要が高いハザードの出現を低く予測するドライバに対する支援は、より具体的な支援情報の提供が必要であることが見いだされた。また、ドライバによらず潜在ハザードの支援情報を提供する場合、ドライバから見えている状況と見えていない状況と支援から提供される情報との間で、誤解

が生じる事例があることが明らかとなった。すなわち、リスクの高い見えない交差車両とリスクの見える交差車両がいる場合に、「交差車両に注意」という支援情報を提供すると、ドライバは見えている車両の情報と誤解するため、支援の効果が得られない懸念がある。こうした誤解を低減するためには、より具体的な支援情報（例えば、「交差車両 2 台が接近中」）を提供することが重要であることがわかり、適切な情報内容や伝達方法（HMI）を慎重に検討した上で支援をしなければ、支援が意味をなさない可能性があることも明らかになった。潜在ハザードに対する運転支援システムは、技術的にも課題があるものの、今後実用化が進んでいくことが予想されるため、技術開発と平行して人間工学や心理学的な知見に基づいた HMI 等の検討を進めていく必要がある。

ドライバである人間は、必ず誰もがエラーをする。エラーを起こしにくくするような運転支援、エラーを起こしてもリカバリできるよう補助する運転支援システムは、ドライバの特性を踏まえた設計がなされ、システムに対する正しい認識をもったユーザが使い、社会的に普及していくことで、交通事故の低減が期待できると考えられる。本研究で得られた知見は、従来の運転支援システムに関する研究ではあまり考慮されていなかった、ドライバのハザードに対する予測という心理的な状態までを考慮して検討を行った点において新規性があり、今後のシステムの開発などに寄与できる成果であると考えられる。また本研究の成果は、交通事故低減という社会的意義がある一方で、運転支援システムという自動車分野における研究としてのみならず、人間を支援するシステムやロボットなどの開発においても、人間の心理面を考慮することの重要性を示唆しており、人間科学の発展に貢献できる知見になることを願い、最後の言葉としたい。

## 関連業績

### 学術論文

- ・ 本間亮平, 安部原也, 菊地一範, 岩城亮, 藤井健, 福島正夫. (2011). 低覚醒時におけるドライバの視認行動特性. 自動車技術会論文集, 42(5), 1217-1221
- ・ 本間亮平, 菊地一範, 若杉貴志, 田坂寿康, 吉田傑. (2012). 前方車両衝突防止支援システムの効果予測:危険の予期が低いドライバの衝突予知警報に対する反応特性. 自動車技術会論文集, 43(3), 769-775
- ・ 本間亮平, 大谷亮. (2013). 思い込みが生じたドライバの安全運転情報の受け止め方に関する考察. 自動車技術会論文集, 44(2), 691-696
- ・ 本間亮平, 菊地一範, 若杉貴志, 宇野章則, 浦井芳洋, 吉田傑. (2014). 前方車両衝突防止支援システムの効果予測:警報緩制動の有効性. 自動車技術会論文集, 45(2), 393-398

### 発表論文

- ・ 本間亮平, 安部原也, 菊地一範, 岩城亮, 藤井健, 福島正夫. (2010). 低覚醒時におけるドライバの視認行動特性. 自動車技術会学術講演会前刷集, (103-10), 1-6
- ・ 本間亮平, 藤田和男. (2010). 見通し条件が混合した交差点への接近・進入行動. 自動車技術会学術講演会前刷集, (144-10), 5-8
- ・ 本間亮平, 菊地一範, 若杉貴志, 田坂寿康, 吉田傑. (2011). 前方車両衝突防止支援システムの効果予測:危険の予期が低いドライバの衝突予知警報に対する反応特性. 自動車技術会学術講演会前刷集, (97-11), 21-26
- ・ 本間亮平. (2012). 見通し条件が異なる交差点におけるドライバの主観評価および運転行動:交差車両は来ないだろうという「思い込み」による影響. 日本交通心理学会第76回大会発表論文集, 47-50
- ・ 本間亮平, 大谷亮. (2012). 思い込みが生じたドライバの安全運転情報の受け止め方に関する考察. 自動車技術会学術講演会前刷集, (129-12), 9-14
- ・ 本間亮平, 菊地一範, 若杉貴志, 宇野章則, 浦井芳洋, 吉田傑. (2013). 前方車両衝突防止支援システムの効果予測:警報緩制動の有効性. 自動車技術会学術講演会前刷集, (145-13), 11-16
- ・ Homma, R, Kikuchi, K, Wakasugi, T, Tasaka, T, Yoshida, S,. (2014). Evaluation of Forward-Vehicle Collision-Avoidance Systems: How Drivers Respond to Warnings of Unexpected Hazardous Situations. *12th International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC'14)*, 432-437

## 引用文献

- 安部 原也・伊藤 誠・田中 健次 (2006). 誤警報および不警報が前方衝突警報システムに対するドライバの信頼と運転行動に与える影響. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, 8(4), 565-571.
- 安部 原也・菊地 一範・岩城 亮・藤井 健 (2008). ドライバ状態および交通環境に応じた運転中の視覚的特徴に関する考察. *ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008*, 565-570
- 安部 原也・伊藤 誠・川村 智弘 (2009). 追突警報のタイミングと警報への煩わしさに関する考察 (特集 予防安全). *自動車研究*, 31(11), 561-564.
- 安部 原也・伊藤 誠・山村 智弘 (2009). 追突警報タイミングの違いによる正警報および欠報に対する減速行動への影響に関する考察. *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, 11(3), 265-277.
- 安部 原也・菊地 一範・岩城 亮・藤井 健 (2010). ドライバの視覚的な注意に対する認知負荷の影響 (機械力学, 計測, 自動制御). *日本機械学会論文集. C 編*, 76(767), 1662-1668.
- 安部 原也・伊藤 誠・山村 智弘 (2012). 追従運転時における車間時間の違いによる脇見時間への影響と追突警報の効果. *計測自動制御学会論文集*, 48(11), 688-697.
- Bartlett, N. R., Bartz, A. E., & Wait, J. V. (1962). Recognition time for symbols in peripheral vision. *Highway Research Board Bulletin*, (330). 87-91
- Bliss, J. P., Gilson, R. D., & Deaton, J. E. (1995). Human probability matching behaviour in response to alarms of varying reliability. *Ergonomics*, 38(11), 2300-2312.
- Blumenthal, M. (1967). Dimensions of the traffic safety problem (No. 670011). *SAE Technical Paper*.
- Bottom, C. G., & Ashworth, R. (1978). Factors affecting the variability of driver gap-acceptance behaviour. *Ergonomics*, 21(9), 721-734.
- Brown, I. D., & Groeger, J. A. (1988). Risk perception and decision taking during the transition between novice and experienced driver status. *Ergonomics*, 31, 585-597.
- Burt, J.L., Bartolome, D.S., Burdette, D.W., & Comstock, J.R.Jr. (1995). A Psychophysiological Evaluation of the Perceived Urgency of Auditory Warning Signals. *Ergonomics*, 38(11), 2327-2340
- Charlton, S. G. (2003). Restricting intersection visibility to reduce approach speeds. *Accident Analysis & Prevention*, 35(5), 817-823.
- 成 波 (2001). 追従走行中の衝突警報に対するドライバ反応の解析. *自動車技術会学術講演会前刷集*, (58-01), 13-16
- Dingus, T. A., Jahns, S. K., Horowitz, A. D., & Knipling, R. (1998). Human factors design issues for crash avoidance systems. *Human factors in intelligent transportation systems*, 55-93.
- Feest, J. (1968). Compliance with legal regulations: Observation of stop sign behavior. *Law and Society Review*, 2, 447-462.

- Fildes, B., Keall, M., Bos, N., Lie, A., Page, Y., Pastor, C., ... Tingvall, C. (2015). Effectiveness of low speed autonomous emergency braking in real-world rear-end crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 81, 24-29.
- 藤本 忠明 (2001). 態度変容と運転者教育. *IATSS Review*, 27(1), 62-69.
- 藤田 浩一・所 節夫 (2005). プリクラッシュセーフティの開発. *自動車技術*, 59(12), 85-90.
- Fukushima, M. (2006). Field Operational Test Plan of Vehicle Infrastructure Cooperative System for Intersection Collision Avoidance in Kanagawa, Japan. *In Proceedings of the 13th ITS World Congress*, London, October 2006.
- Fukushima, M., Seto, M., & Tsukada, N. (2007). Field Operational Test Plan of Vehicle Infrastructure Cooperative System for Intersection Collision Avoidance in Kanagawa, Japan. *In Proceedings of the 14th ITS World Congress*, Beijing, October 2007.
- Fukushima, M., Seto, M., & Tsukada, N. (2008). Progress of V-I Cooperative Safety Support System in Kanagawa, Japan. *In Proceedings of the 15th ITS World Congress*, New York, November 2008.
- Fukushima, M., Kamata, K., & Tsukada, N. (2009). Progress of V-I Cooperative Safety Support System, DSSS, in Japan. *In Proceedings of the 16th ITS World Congress*, Stockholm, September 2009.
- 福山 邦男・久保田 正美・内田 信行・藤田 和男・片山 硬 (2003). 見通しの良い交差点における交通事故防止対策の1事例(鉢植え樹木の設置による効果). *日本機械学会年次大会講演論文集*, 2003(7), 343-344
- 芳賀 繁 (1993). リスクホメオスタシス説——論争史の解説と展望——. 『交通心理学研究』.
- 萩田 賢司・井川 泉・浦井 芳洋・宮下 直也・土屋 三智久 (2004). 無信号交差点における出会い頭事故の分析. *交通工学*, 39(6), 51-59
- 萩田 賢司・渡辺 洋一・伊藤 聡子・佐藤 恭司・築地 裕 (2006). 人的側面からみた交通事故死者数の減少要因の分析. *IATSS review*, 31(2), 98-104.
- Hartmann, E. (1970). State-of-the-Art-Driver Vision Requirements (No. 700392). *SAE Technical Paper*.
- 橋本 博・細川 崇・平松 真知子・新田 茂樹・吉田 傑 (2010). 高齢運転者の交差点通過時の運転行動実態把握. *自動車技術会論文集*, 41(2), 527-532.
- 服部 彰 (2007). ドライバーモニター付プリクラッシュセーフティシステム. 進化をつづける予防安全技術シンポジウムテキスト, 2007.
- 平松 真知子・小原 英郎・梅崎 建城 (2002). 出会い頭事故における行動類型別事故発生シナリオ. *自動車技術会学術講演会前刷集*, (16-02), 5-8
- 平尾 収 (1971). 自動車事故はなぜ起こるか(安全(特集)). *自動車技術*, 25(4), 340-351.

- 平岡 敏洋・中田 和行・田中 雅樹・熊本 博光・齋藤 裕昭・畑中 健一.(2008). 前方障害物の視認性に基づく環境適合型警報タイミングの効果評価. 自動車技術会論文集, *39*(1), 127-132.
- 本間 亮平・藤田 和男 (2010). 見通し条件が混合した交差点への接近・進入行動. 自動車技術会学術講演前刷集, 144-10, 5-8
- 本間 亮平・安部 原也・菊地 一範・岩城 亮・藤井 健・福島 正夫 (2011). 低覚醒時におけるドライバの視認行動特性. 自動車技術会論文集, *42*(5), 1217-1222.
- 本間 亮平 (2012). 見通し条件が異なる交差点におけるドライバの主観評価および運転行動: 交差車両は来ないだろうという「思い込み」による影響. 日本交通心理学会第 77 回大会発表論文集, 47-50
- 本間 亮平・菊地 一範・若杉 貴志・田坂 寿康・吉田 傑 (2012). 前方車両衝突防止支援システムの効果予測——危険の予期が低いドライバの衝突予知警報に対する反応特性——. 自動車技術会論文集, *43*(3), 769-775
- 細川 崇・橋本 博・平松 真知子・木下 昌裕・吉田 傑 (2012). 高齢運転者の日常運転行動の把握と一時停止規制のある無信号交差点での行動分析. 自動車技術会学術講演会前刷集, (131-12), 1-4.
- 細川 崇・橋本 博・平松 真知子・寸田 剛司・吉田 傑 (2015). 一時停止規制のある交差点における高齢運転者に対する運転支援の効果検討. 自動車技術会 2015 年秋季大会学術講演会講演予稿集, 260-265
- 稲垣 敏之 (2007). 運転支援とセンシング——進化がもたらす新たな課題——. 自動車技術, *61*(2), 16-21.
- 稲垣 敏之 (2012). 人と機械の共生のデザイン——人間中心の自動化を探る——. 東京: 森北出版
- 石橋 基範・大桑 政幸・赤松 幹之 (2002). 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. 自動車技術会学術講演会前刷集, (55-02), 9-12
- 石田 敏郎 (1999). バリエーションツリー分析による事故の人的要因の検討. 自動車技術会論文集, *30*(2), 125-130
- Ishida, T., & Kanda, N. (1999). An analysis of human factors in traffic accidents using the variation tree method. *JSAE review*, *20*(2), 229-236.
- 自動車安全運転センター (2007).カーナビゲーション装置を用いた画像情報提供のあり方に関する調査研究. 平成 18 年度調査研究報告書
- 自動車安全運転センター (2009).カーナビゲーション装置を用いた画像情報提供のあり方に関する調査研究. 平成 18 年度調査研究報告書
- 加来 信雄・恒吉 俊美・最所 純平・光岡 正純 (1994). 交通事故の実態調査とシートベルト着用の安全性に関する研究. 日本救急医学会雑誌, *5*(2), 137-147.
- 環 智和・宮武 秀考・入谷 忠光 (2000). 出会い頭事故防止方法の提案. 電子情報通信学会技術研

- 究報告. ITS, 100(75), 25-30.
- 神田 直弥・石田 敏郎 (2001). 出合頭事故における非優先側運転者の交差点進入行動の検討. 日本交通科学協議会誌, 1, 11-22.
- Kantowitz, B. H., Hanowski, R. J., & Kantowitz, S. C. (1997). Driver reliability requirements for traffic advisory information. *Ergonomics and safety of intelligent driver interfaces*, 1-22.
- 警察庁 (2015). 平成 26 年中の交通事故の発生状況. Retrieved from <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001132129>
- Keskinen, E., Ota, H., & Katila, A. (1998). Older drivers fail in intersections: Speed discrepancies between older and younger male drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 30(3), 323-330.
- 菊地 一範・若杉 貴志・藤井 健 (2004). 障害物回避支援装置設計のためのドライバ操舵回避特性の検討. 自動車技術会学術講演会前刷集, (100-04), 19-22
- 菊地 一範・岩城 亮・安部 原也・藤井 健 (2008). 不可視の対象の情報提供を受けたドライバの視覚的注意に関する定量的考察. 自動車技術会学術講演会前刷集, (111-08), 5-8
- 菊地 一範・岩城 亮・安部 原也・藤井 健 (2010). 不可視の対象の情報提供を受けたドライバの視覚的注意に関する定量的考察 (第 2 報) . 自動車技術会学術講演会前刷集, (35-10), 7-9
- 菊地 一範・本間 亮平 (2010). 一時停止交差点において受容性の高い運転支援方策の検討 (第 1 報) ——一時停止交差点通過時の気付き範囲とドライバ属性との関係——. 自動車技術会学術講演会前刷集, (96-10), 13-16
- 木村 賢治 (2003). 交差点における運転行動解析. 自動車技術会学術講演会前刷集, (16-03), 1-4.
- 木村 賢治・池田 幸洋 (2008). 一時停止交差点における情報提供検討. 自動車技術会論文集, 39(4), 137-140.
- 北島 創・丸茂 喜高・平岡 敏洋・伊藤 誠 (2009). リスク認知に関する評価指標の比較検討. 自動車技術会論文集, 40(2), 597-602.
- 北島 洋樹・沼田 仲穂・山本 恵一・五井 美博 (1997). 自動車運転時の眠気の予測手法についての研究 第 1 報——眠気表情の評定法と眠気変動の予測に有効な指標について——. 日本機械学会論文集 C 編, 63(613), 3059-3066.
- 北岡 広宣・倉橋 哲郎・森 博子・岩瀬 竜也・町田 貴史・小里 明男…木佐貫 義勝 (2008). 予防安全システム評価シミュレータ: STREET. 自動車技術会論文集, 39(5), 157-162.
- 清田 勝・斎藤 健治・渡辺 義則・伊藤 昌明 (2005). ハンプを主体にした交通安全対策の有効性. 土木計画学研究・論文集, 22, 823-830.
- 国土交通省 (2011). 先進安全自動車 (ASV) 推進計画 報告書: 第 4 期 ASV 計画における活動成果について. 185-198

- 駒田 悠一・篠原 一光・木村 貴彦・三浦 利章. (2009). 運転行動の自己報告による運転行動と行動特性の分類の試み. *IATSS review*, 34(2), 230-237.
- Kondoh, T., Yamamura, T., Kitazaki, S., Kuge, N., & Boer, E. R. (2008). Identification of visual cues and quantification of drivers' perception of proximity risk to the lead vehicle in car-following situations. *Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics*, 1(2), 170-180.
- 交通事故分析センター (2003). 追突事故はどうして起きるのか——その時の運転者のエラーは——. *イタルダ・インフォメーション*, (43), 1-8
- Lee, J., & Moray, N. (1992). Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems. *Ergonomics*, 35(10), 1243-1270.
- 増田 貴之・芳賀 繁・國分 三輝 (2008). 運転支援がリスク補償行動に及ぼす影響——情報提供方略の検討——. *交通心理学研究*, 24(1), 1-10.
- 松浦 常夫 (1985). 一時停止規制に伴う交差点接近行動と危険性認知の変化. *科学警察研究所報告交通編*, 26(1), 103-109
- 松浦 常夫 (2000). 運転技能の自己評価に見られる過大評価傾向. *心理学評論*, 42(4), 419-437.
- 松浦 常夫 (2005). *初心運転者の心理学*, 東京: 星雲社
- 松浦 常夫・石田 敏郎・石川 淳也 (2006). プロジェクト研究中間報告 高齢者用ワークブックの作成とそれに向けた運転行動の諸調査. *交通心理学研究*, 22(1), 11-15.
- McKelvie, S. J., & Schamer, L. A. (1988). Effects of night, passengers, and sex on driver behavior at stop signs. *The Journal of social psychology*, 128(5), 685-690.
- 三浦 利章 (2002). *行動と視覚的注意*, 東京: 風間書房
- 望月 誠・久保谷 寛行・新居 良紀 (2013). 出会い頭衝突防止システムの事故削減効果の定量化及びシステムのエラー許容量に関する分析手法. *自動車技術会論文集*, 44(2), 621-626.
- 宗広 裕司・大門 樹・山崎 勲・有住 正人 (2011). 無信号交差点における車両接近警報の有効性に関する研究. *モバイル学会誌*, 1(1), 11-16
- 中井 宏・臼井 伸之介 (2011). 交差点内の台形ランプが通過ドライバーに及ぼす影響——速度抑制効果の持続性とその波及性——. *人間工学*, 47(5), 222-228.
- 中越 聡・木村 賢治・金森 等 (2006). ドライバの顔向きによる前方不注視の推定と警告反応時間の研究. *自動車技術会学術講演会前刷集*, (58-06), 17-20.
- 中村 愛・島崎 敢・石田 敏郎 (2013). 交差点における一時停止行動の自己評価バイアス. *交通心理学研究*, 29(1), 16-24.
- 中村 俊佑・菅沼 英明・菊地 一範・本間 亮平 (2015). インフラ協調型右折時衝突防止支援システムの効果評価. *自動車技術会論文集*, 46(2), 449-454
- 人間感覚計測マニュアル第一編 (人間感覚評価指標・ガイドライン). 産業科学技術研究開発プロ

ジェクト「人間感覚計測応用技術」

- 西村 智明・ハック M シャーミム・奥村 誠・塚井 誠人 (2003). 危険度認識のドライバー間の不一致度と交通事故の発生率. 土木計画学研究・論文集, 20, 813-817.
- 小川 和久 (1993). ハザード知覚の構造と機能に関する実証的研究. 応用心理学研究, 18, 37-54.
- 大須賀 美恵子・鎌倉 快之・井上 裕美子・野口 祥宏・ノプスワンチャイ ルーングロシュ (2008). ドライバ覚醒状態推定. 自動車技術, 62(12), 46-52
- 太田 博雄・石橋 富和・尾入 正哲 (2004). 高齢ドライバーの自己評価スキルに関する研究. 応用心理学研究, 30(1), 1-9.
- 大谷 亮・宇野 宏・飯星 明 (2006). 運転支援機能への信頼感がドライバ行動に及ぼす影響に関する基礎的検討. 自動車技術会論文集, 37(4), 15-20.
- 大谷 亮 (2009). 道路周辺環境がドライバの危険度評価と運転行動との関係に及ぼす影響——運転シミュレータに見通しの良い道路と住宅街を模擬した実験から——. 交通心理学研究, 25(1), 1-12.
- 大谷 亮・岩城 亮・中村 之信 (2012). インフラ協調安全運転支援システムの表示インターフェイスに関する検討(第4報). 自動車技術会論文集, 43(2), 593-598.
- 大谷 亮・橋本 博・岡田 和未 (2012). 児童の交通安全のための実践的・継続的教育手法とその効果——横断行動の認識を促進させるアプローチ——. 交通心理学研究, 28(1), 8-21.
- 大谷 亮・橋本 博・岡田 和未 (2014). 低学年児童を対象にした道路横断訓練の有効性. 交通心理学研究, 30(1), 26-40.
- Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 39(2), 230-253.
- Parsonson, B. S., Isler, R. B., & Hansson, G. J. (1999). Ageing and driver behaviour at rural T-intersections. *New Zealand Journal of Psychology*, 28(1), 51.
- 蓮花 一己 (2000). 運転時のリスクテイキング行動の心理的過程とリスク回避行動へのアプローチ. *IATSS Review*, 26(1), 12-22.
- 蓮花 一己・太田 博雄・向井 希宏 (2010). コーチング技法を用いた高齢ドライバーへの教育プログラムの効果. 交通心理学研究, 26(1), 1-13.
- 酒井 英樹・阿賀 正己・田島 淳・北岡 広宣・倉橋 哲郎・町田 貴史 (2011). 予防安全システムの効果評価に用いるドライバ・エージェントの反復的モデリング・プロセス. 自動車技術会論文集, 42(4), 985-992.
- 斎田 真也・苧阪 直行・北原 健二 (1994). 視野. 大山 正・今井 省吾・和気 展二 (編). 新編感覚・知覚心理学ハンドブック, 918-945.
- 澤田 東一・廣瀬 敏也・春日 伸予・銭谷 真拓 (2008). 衝突被害軽減ブレーキシステムの評価に関

- する研究. *IATSS Review*, 33(4), 311-318.
- 島崎 敢・石田 敏郎 (2009). 事故反復者のハザード発見とリスク知覚の時系列分析. *応用心理学研究*, 34(1), 1-9.
- Shinar, D. (1987). 交通心理学入門, 野口薫, 山下昇共訳.
- 小竹 元基・鎌田 実 (2009). 一時停止交差点進入時における高齢運転者のための情報提示による認知支援システム. *自動車技術会論文集*, 40(6), 1605-1610.
- Sorkin, R. D. (1988). FORUM: Why are people turning off our alarms?. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 84(3), 1107-1108.
- 住田 俊介・鈴木 康夫・牧下 寛・松永 勝也 (2004). 自動車運転者の年齢層別のブレーキ反応時間に関する研究. *自動車技術会論文集*, 35(3), 209-214.
- Summala, H., Pasanen, E., Räsänen, M., & Sievänen, J. (1996). Bicycle accidents and drivers' visual search at left and right turns. *Accident Analysis & Prevention*, 28(2), 147-153.
- Summala, H., & Rasanen, M. (2000). Top-down and bottom-up processes in driver behavior at roundabouts and crossroads. *Transportation Human Factors*, 2(1), 29-37.
- 鈴木 桂輔・山田 喜一 (2006). 運転支援システムの事故低減効果の評価手法に関する一考察. *自動車技術会論文集*, 37(6), 161-167.
- 鈴木 桂輔・井田 雄也・山田 喜一 (2009). 交差点右折ドライバモデルの構築と右折衝突防止支援情報による事故低減効果の分析. *自動車技術会論文集*, 40(3), 925-932.
- 高橋 昭彦・熊谷 徹・田中 信 (2013). 実路走行実験データに基づく一時停止交差点の通過行動の解析. *自動車技術会論文集*, 44(6), 1465-1470.
- 田久保 宣晃 (2005). 交通事故データによる運転者のヒューマンエラーと心的負荷の一考察. *IATSS Review*, 30(3), 299-308.
- 田川 傑・内田 信行・神保 浩之 (2011). 実車を用いた危険場面再現手法に関する研究. *自動車技術会論文集*, 42(6), 1391-1396.
- 田中 仁司・鈴木 桂輔・見市 善紀・阿賀 正己 (2012). 時系列ドライバ信頼性モデルに基づく衝突被害軽減ブレーキの事故低減効果分析. *日本機械学会交通・物流部門大会講演論文集*, 2012(21), 269-272.
- 田中 聖人・渡辺 千賀恵・名嘉元 利治 (2003). 出合頭事故防止からみた無信号小交差点の隅切りに関する研究. *交通科学*, 34(2), 39-48.
- 田中 信壽 (2014). 予防安全支援システム効果評価シミュレータ ASSESS の開発 (特集 ぶつからない車を目指して). *自動車技術*, 68(4), 81-87.
- Theeuwes, J., & Hagenzieker, M. P. (1993). Visual search of traffic scenes: On the effect of location expectations. *Vision in vehicles*, 4, 149-158.
- Treat, J. R., Castellan, N. J., Stansifer, R. L., Mayer, R. E., Hume, R. D., Shinar, D., ... &

- Tumbas, N. S. (1977). Tri-level study of the causes of traffic accidents: Final Report. Volume I: Causal factor tabulations and assessments.
- 塚原 俊哉・伊藤 政義・御室 哲志 (2008). 出会い頭事故予防システムのヒヤリハットシーンへの有効性検討. 自動車技術会学術講演会前刷集, (145-08), 1-4
- 内田 信行・藤田 和男・片山 硬 (1999). 見通しのよい交差点における出合頭事故について. 自動車技術会論文集, 30(1), 133-138.
- 内田 信行・片山 硬 (2001). 周辺視機能と出合頭事故. 心理学評論, 44(1), 37-46.
- Uchida, N., De Waard, D., & Brookhuis, K. A. (2011). Countermeasures to prevent detection failure of a vehicle approaching on collision course. *Applied ergonomics*, 42(4), 540-547.
- 宇野 宏・平松 金雄 (1995). 複合作業下における高齢ドライバの基礎特性——周辺視刺激応答とハンドル追従作業との多重課題における反応——. 自動車技術会論文集, 26(2), 61-66.
- 宇野 宏・平松 金雄・佐藤 健治 (1996). シミュレータにおける主要運動感覚の閾値に関する研究. 自動車技術会論文集, 27(3), 125-130.
- 宇野 宏・猿渡 英敏・浦井 芳洋・吉田 傑 (2010). 交差点における非優先側車両の運転行動と影響要因. 自動車技術会論文集, 41(2), 533-538.
- 宇野 宏 (2011). 予防安全性向上のためのドライバー特性研究 (特集 自動車の研究開発と交通心理学). *IATSS review*, 36(1), 24-32.
- 吉川 聡一・高木 修 (2002). 交通状況のハザード性が運転者の行動意思決定に及ぼす影響. 応用心理学研究, 28(1), 27-38.
- 若杉 貴志・本間 亮平 (2010). ASV 技術の効果予測に関する研究——フロントノーズカメラの効果評価——. 自動車研究, 32(3), 153-156
- 若杉 貴志・菊地 一範・本間 亮平 (2011). ASV 技術による事故低減効果の予測手法. 自動車研究, 33(11), 45-50
- Wheeler, W. A., Campbell, J. L., & Kinghorn, R. A. (1998). Commercial vehicle-specific aspects of intelligent transportation systems. *Human factors in intelligent transportation systems*, 95-130.
- Wickens, C. D. (1992). *Engineering psychology and human performance*. HarperCollins Publishers.
- Wilde, G. J. S. (1982). The theory of risk homeostasis: Implications for safety and health. *Risk Analysis*, 2, 209-225.
- de Winter, J. C., Happee, R., Martens, M. H., & Stanton, N. A. (2014). Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 196-217.

山田 喜一・若杉 貴志 (2001). 前方車両衝突警報の有効性についての考察. 自動車技術会論文集, 32(1), 119-124

Zuckerman, M. (1979). Sensation Seeking (Psychology Revivals): Beyond the Optimal Level of Arousal. Psychology Press.

## 謝辞

はじめにご多忙の中、本論文を査読してくださいました諸先生方に感謝の言葉を申し上げます。

主査である石田敏郎教授には、学士および修士課程に続き、博士課程に至るまで人間工学の基礎的な知識から考え方まで、さまざまなことについてご指導いただき、大変感謝しております。今後とも、ご相談に伺うことがあるかと思しますので、末永くご指導いただけるよう、よろしくお願い申し上げます。

副査を引き受けていただきました、藤本浩志教授には、本論文の社会的・学術的な意義や全体の構成について、貴重なアドバイスを賜りました。同じく副査を引き受けていただきました鈴木晶夫教授には、全体的な論文構成に加え、わかりやすい表現方法や心理学の定型表現など、詳細な部分までご指導をいただきました。副査の先生方には、時間の短い中で、丁寧にご対応いただいたことに感謝申し上げます。

石田研究室の皆様には、多くの助言をいただきました。島崎さんには、学生時代に始まり社会人になってからも様々なことをご指導いただきました。三品さんにも、特に工学的な視点から、研究結果の意義についても方向性のご指摘をいただきました。中村さんには、ペーパードライバの観点からなど、自分で想像することが難しい貴重な意見をいただきました。いずれも、今後の研究活動に活かすことができる財産になっていると思います。ありがとうございました。併せて今後も情報交換させていただければと思います。

研究を進める上では、勤務先である日本自動車研究所の安全研究部の皆様には、日頃の研究業務において、ご指導や意見交換などさせていただき、研究者としてのスキルや経験を積ませていただいていることに感謝します。入所当初から面倒をみていただいた菊地さん、若杉さん、安部さん、岩城さんをはじめ、研究ノウハウなどを教えていただいた宇野さん、藤井さん、橋本さんや大谷さん、また同じ時期に社会人ドクター取得に向けて取り組んだ田川さんなど、皆様との出会いに感謝しています。今後ともよろしくお願いいたします。また、社会人ドクターコースへの業務上のご配慮いただいたこと、深く感謝申し上げます。

ここには書ききれない多くの方々に、各所でアドバイスやご議論させていただきました。お世話になりましたすべての皆様に心から感謝を申し上げます。

最後になりますが、家族の支えなしにはこの論文は書けなかったと感じています。夜遅くに帰ってきてでもご飯を作って待っていてくれた妻と息子の笑顔、自分の好きなように大学や大学院への進学に賛同してくれた両親に感謝します。

2016年1月 本間亮平

ドライバ特性に基づく運転支援システムの評価と支援方策  
Evaluation of Systems and Strategies for Driver Assistance  
Based on Human Characteristics

2016年1月