

運転性向の異質性を考慮した高速道路における
注意喚起情報提供に関する研究

楠橋 康広

広島大学大学院国際協力研究科博士論文

2012年3月

学位論文の要旨

論文題目: 運転性向の異質性を考慮した高速道路における注意喚起情報提供 に関する研究

広島大学大学院国際協力研究科
開発科学専攻

氏名 楠橋 康広

本研究は、高速道路における走行安全性向上のために、ITS 技術を活用した車内注意喚起情報 (IVTWI) 提供の有効性を確認し、ドライバーの運転性向の異質性を考慮した高速道路における注意喚起情報提供の効果について、路面標示や標識などの既往の交通安全施設との対比を通じて評価して、今後の方向性を導き出すことを目的とする。

警察庁の統計によると、高速道路における交通事故原因は、前方不注視や動静不注視が全体の約 65% を占めている。前方不注視や動静不注視は、ドライバーのヒューマンエラーに起因するものであり、このようなエラーの解消が必要である。ITS 技術を活用した安全運転支援は、ドライバーが陥りやすいリスクを回避し、認知、判断、行動を改善してドライバーの安全運転を支援することにより、交通事故の未然防止を図るものとして期待されている。一方で、既に整備されている路面標示や標識などの既往交通安全施設の効果も無視できない。本研究では、ITS 技術を活用した車内注意喚起情報提供の効果について、既往交通安全施設との対比を通じて明らかにする。さらに、ドライバーによって異なる多様な個人属性に起因する運転性向の異質性を考慮することにより、高速道路の走行安全性向上のために、より効果的な注意喚起情報提供方法を提案する。

本論文は 7 章から構成されている。

第 1 章では、研究の背景と目的、高速道路における ITS 技術を活用した交通安全対策とドライバーの異質性を考慮した注意喚起情報提供を主題とする本研究の位置づけ、および論文構成を示した。

第 2 章では、中国地方の高速道路における交通事故及び交通安全対策の現況を整理するとともに、交通事故分析、既往交通安全施設の効果やドライバーの運転行動の異質性に関連する既往研究をレビューして本研究の範囲と方向性を示した。

第 3 章では、既往交通安全施設の評価を行った。NEXCO 西日本が実施した長い下り坂区間の速度抑制対策の効果について走行速度調査結果と交通事故削減効果を検定により評価した。また、山陽自動車道で実施された高機能舗装と導流レーンマークを対象として、既往交通安全施設の効果とその持続性およびモデルを用いたリスク分析を行った。その結果、高機能舗装と導流レーンマークの効果の持続性には限界があり、注意深いモニタリン

グと定期的なメンテナンスが必要であることが確認できた。また、モデルによるリスク分析の結果、交通事故発生頻度を増加させる要因は道路の曲率や勾配の影響が大きく、高機能舗装や導流レーンマークによる交通事故の削減効果は小さいと推定された。

第4章では、山陽自動車道において実施された走行実験調査により得られたデータを用いて、ドライビングリスクを指標とし、ドライバーの短期記憶の時間的な減衰効果を考慮したモデルを構築して、カーナビを通じて車内注意喚起情報が提供された場合の効果について、調査区間に設置されている既往交通安全施設との対比を通じて分析した。そして、既往交通安全施設よりも車内注意喚起情報提供によるドライビングリスク軽減効果が大きいこと、短期記憶の持続性も既往交通安全施設より高いことを示した。さらに、調査時にドライバーに実施したアンケート結果を分析した結果、約60%以上のドライバーが車内注意喚起情報提供に肯定的な認識を持ち、注意喚起を受けて安全な行動を取ったと回答したことから、受容性の点からも効果が期待できることを確認した。

第5章では、車内注意喚起情報提供と既往交通安全施設がドライバーに及ぼす影響について明らかにした。インターネットを通じたSP調査により収集した選好情報を用いて、高速道路の代表的な走行場面において車内注意喚起情報提供と既往交通安全施設による注意喚起がなされた場合のドライバーの運転行動意向について、集計分析と順序付けプロビットモデル（運転行動意向モデル）により分析した。そして、車内注意喚起情報提供が安全な運転行動意向の選択に効果があることを統計的に確認した。

第6章では、ドライバーの運転性向の異質性が運転行動意向に及ぼす影響について分析した。まず、SP調査時に同時に収集した運転性向についての質問紙の回答を用いて、ドライバーを6種類の運転性向にあらかじめ分類し、運転行動意向モデルにより、それぞれの運転性向において注意喚起情報提供が運転行動意向に及ぼす影響を明らかにした。その結果、同じ交通安全施設からの注意喚起に対して、運転性向の違いにより、ドライバーの運転行動意向に差異があることが確認できた。しかしながら、質問紙法では被験者が複数のクラスに同時に重複して分類されることがある。効果的な交通安全施策を行うためには運転性向の異質性を適切に区分することが重要である。そこで本研究では運転性向の異質性を導入するために、潜在クラス概念を導入し、運転行動意向モデルと統合したモデルを開発した。その結果、運転性向の異質性を考慮しない場合よりも適合度の高い結果が得られ、運転性向の異質性を考慮することの有効性が確認できた。

最後に第7章では、本研究で得られた知見をもとに、著者が本研究に取り組むきっかけとなった実務上の課題について考察し、本研究の研究成果を総括して、今後の研究課題を取りまとめた。

Effects of Traffic Warning Information Provision on Expressway Considering Heterogeneity of Driving Propensity

by Yasuhiro KUSUHASHI

Abstract

This paper aims to investigate effectiveness of In-Vehicle Traffic Warning Information (IVTWI) by ITS technologies on expressway, through comparing with conventional traffic safety facilities such as lane marking or sign considering heterogeneity of drivers.

According to the National Police Agency (NPA) in Japan, in 2010, "front carelessness" and "failure to confirm traffic movement" were major reasons of traffic accidents, accounting for about 65% of total traffic accidents observed on expressways. Since "front carelessness" and "failure to confirm traffic movement" were mainly caused by drivers' human errors, it is necessary to find better ways to reduce them. In line with such consideration, introducing ITS technologies might be helpful to improve driver's risk recognition, judgment, and operation, leading to safer driving that could consequently become one of efficient ways to reduce traffic accidents. Meanwhile, it might be not a good idea to ignore the roles played by conventional traffic warning measures (e.g., traffic signs and markings) in reducing traffic accidents, either.

First, this paper attempts to clarify the effects of IVTWI provision with comparing conventional traffic safety facilities. Furthermore, this paper suggests more effective provision of traffic safety information to drivers on expressways by considering heterogeneity of driving propensity.

This paper consists of eight chapters as follows:

In chapter 1, the research background, purpose and situation of this study are briefly described. Then, the outline of the thesis is summarized.

In chapter 2, up-to-date problems of traffic safety and its countermeasures on expressways in Chugoku region are clarified, and then existing studies are reviewed to confirm direction of this study.

In chapter 3, estimation of conventional safety facilities is conducted. At first,

effects of traffic safety countermeasures in long downward sections on expressways conducted by W-NEXCO are estimated. Then effects and efficient duration for traffic safety of drainage pavement and channelizing lane marking conducted on Sanyo Expressway are analyzed. Combining these estimation results, effects of conventional traffic safety facilities are confirmed as follows; their effects for traffic safety are limited, and periodic maintenance in the facilities is necessary to keep their effects.

In chapter 4, in order to estimate efficiency of ITS-based IVTWI, an influence on driving risk is analyzed with considering decline of short-term memory. Data for this analysis were collected from an on-site driving experiment on Sanyo Expressway. As a result, it is confirmed that IVTWI is more effective and more sustainable than conventional safety traffic facilities to reduce driving risk. Furthermore, our questionnaire survey indicated that IVTWI is welcomed by the drivers, because more than sixty percent of participants answered that they took safe driving behavior by receiving the information of IVTWI.

In chapter 5, it is confirmed that which types of safety measures, through the hypothetical questionnaire survey as ITS technologies or conventional safety facilities, are effective on driving intention. An Internet-based questionnaire survey is conducted to collect drivers' stated driving behavior under different combinations of information provisions and existing safety facilities. Then aggregation analysis and model analysis by applying ordered-response probit model (the stated driving intention model) are conducted. And it is confirmed that IVTWI efficiently induce drivers to the safe driving intention.

In chapter 6, heterogeneous influence of driving propensity on driving intention is analyzed. At first, drivers are classified into six categories of driving propensities in advance by using the self-reported driving questionnaire. Then the driving intention model is applied to each of classified sub-groups in terms of driving propensities separately. And it is estimated to clarify the difference in driving intention according to their driving propensities, under the traffic warning information provision. As a result, it is confirmed that driving intention differs from each driving propensities in response to the identical warning information provision. Meanwhile, drivers may simultaneously belong to two or more types of driving propensity sub-group, clarified by the self-reported driving questionnaire. Therefore, it becomes important how to properly

identify the driving propensities of each driver, for traffic safety. Therefore, this study attempts to first apply a latent class modeling approach to represent the heterogeneity in driving propensities and then to integrate it with a driving intention model. The proposal model showed that the integrated model is effective to capture the driving intention with heterogeneity.

Chapter 7 summarizes the findings and remarks of my research.

運転性向の異質性を考慮した高速道路における 注意喚起情報提供に関する研究

Effects of Traffic Warning Information Provision on Expressway Considering Heterogeneity of Driving Propensity

目 次

	Page
第 1 章 序論	
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	5
1.3 研究の方法論	6
1.4 研究の位置づけ	7
1.5 論文の構成	7
第 1 章関連参考文献	10
第 2 章 中国地方の高速道路の現状と既往研究のレビュー	
2.1 中国地方の高速道路における交通事故の現状と課題	11
2.1.1 交通事故件数の推移と交通事故発生状況	11
2.1.2 料金割引制度の影響	13
2.1.3 山陽自動車道における ITS 走行実験調査	15
2.1.4 中国地方の高速道路における課題	16
2.2 既往研究のレビュー	17
2.2.1 交通事故分析に関する研究	17
2.2.2 既往交通安全施設の効果に関する研究	19
2.2.3 走行支援システムに関する研究	20
2.2.4 運転行動意向に関する研究	21
2.2.5 運転性向に関する研究	23
2.3 まとめ	27
第 2 章関連参考文献	29
第 3 章 既往交通安全施設の評価	
3.1 長い下り勾配区間の対策効果の評価	32

3.1.1	交通安全施設及び走行速度調査の概要	32
3.1.2	走行速度調査結果の分析	36
3.1.3	交通事故件数の増減	40
3.2	山陽自動車道における交通安全施設の整備効果の評価	42
3.2.1	評価の概要	42
3.2.2	集計分析による効果の持続性の評価	44
3.2.3	セグメントリスクモデルによる評価	47
3.3	まとめ	53
	第3章関連参考文献	54

第4章 ITS 技術を活用した車内注意喚起情報提供の評価

4.1	使用データ	56
4.1.1	走行実験調査の概要	56
4.1.2	被験者の属性	58
4.1.3	運転行動データ	58
4.1.4	被験者アンケート	59
4.2	注意喚起情報提供が運転行動に及ぼす影響の評価	61
4.2.1	運転行動データの適用	61
4.2.2	運転行動モデルの構築	63
4.2.3	推定結果と考察	67
4.3	注意喚起情報提供に対する受容性の評価	73
4.3.1	注意喚起情報提供に対する意識と運転行動	73
4.3.2	考察	75
4.4	まとめ	77
	第4章関連参考文献	78

第5章 ITS 技術と既往交通安全施設による運転行動意向の評価

5.1	SP 調査の概要	79
5.1.1	SP 調査の設計方針	79
5.1.2	実験計画	82
5.1.3	SP 調査の実施	83
5.2	集計分析による評価	85
5.2.1	走行場面別運転行動意向の傾向	85
5.2.2	被験者の個人属性による運転行動意向の傾向	91

5.3	運転行動意向モデルによる評価	94
5.3.1	運転行動意向モデルの構築	94
5.3.2	目的変数と説明変数	95
5.3.3	推定結果と考察	96
5.4	まとめ	98
	第5章関連参考文献	99

第6章 運転性向の異質性を考慮した運転行動意向の評価

6.1	運転性向の異質性の導入	100
6.1.1	運転性向の異質性	100
6.1.2	被験者の運転性向スコア	103
6.2	異質性の外生的区分による運転行動意向の評価	105
6.2.1	集計分析結果からの考察	105
6.2.2	運転行動意向モデルによる推定結果からの考察	106
6.2.3	外生的区分による評価の課題	110
6.3	異質性の内生的区分による運転行動意向の評価	110
6.3.1	潜在クラスの導入	110
6.3.2	統合モデルの構築	111
6.3.3	推定結果と考察	114
6.4	まとめ	120
	第6章関連参考文献	122

第7章 結論

7.1	本研究の成果	123
7.2	実務上の課題に対する本研究の意義	126
7.2.1	既往交通安全施設の効果と交通事故データベースの高度化	127
7.2.2	交通安全施設整備に対する運転性向の異質性の反映	128
7.2.3	ITS技術を活用した注意喚起情報提供への対応	129
7.3	今後の課題	131
	謝辞	133

図 一 覧

		Page
図 1-1	高速道路における交通事故発生状況の推移（指数）	1
図 1-2	代表的な交通安全施設	2
図 1-3	高速道路における法令違反別（第 1 当事者）交通事故件数の推移	2
図 1-4	ITS-SAFETY 2010 : 08 年度 大規模実証実験	4
図 1-5	ITS スポットサービスのイメージ	5
図 1-6	論文の構成	9
図 2-1	中国地方の高速道路における交通事故件数の推移	11
図 2-2	中国地方の高速道路における違反別交通事故件数の比率	12
図 2-3	高速道路の交通事故多発地点の例	13
図 2-4	交通混雑期に発生した交通事故違反種別の比率	15
図 2-5	速度超過注意喚起システムのイメージ	16
図 2-6	日本の主な走行支援システムと既往の交通安全施設・設備	20
図 2-7	走行安全性向上のための要因	24
図 3-1	評価対象区間	33
図 3-2	センサー連動 LED 表示板	35
図 3-3	注意喚起標識（大型化）	35
図 3-4	対策実施前後のプロブカー調査結果の比較（区間①）	37
図 3-5	山陽自動車道の事故率の推移と高機能舗装の整備の進捗	43
図 3-6	山陽自動車道の交通安全施設整備の進捗と整備効果の推移	45
図 3-7	交通安全施設整備前後の平均事故率の推移	46
図 4-1	走行実験調査区間の配置	57
図 4-2	走行実験調査設備（ITS スポットと ITS スポット対応カーナビ）	57
図 4-3	被験者の属性	59
図 4-4	走行実験調査区間の既往交通安全施設	64
図 4-5	走行実験調査区間の道路幾何構造と交通安全施設配置	65
図 4-6	短期記憶の時間減衰効用の適用イメージ	66
図 4-7	推定された短期記憶の時間減衰効用	70
図 4-8	推定された短期記憶の効果	71

図 4-9	被験者の年齢と高速道路の利用頻度の関係	74
図 4-10	IVTWI 提供による被験者の意識と運転行動	76
図 5-1	設定した走行場面	80
図 5-2	主な交通安全施設	81
図 5-3	被験者の個人属性	85
図 5-4	運転行動意向の比率 (IC 流入)	86
図 5-5	運転行動意向の比率 (側方から流入車)	87
図 5-6	運転行動意向の比率 (トンネル入口)	88
図 5-7	運転行動意向の比率 (カーブした下り坂)	90
図 5-8	運転行動意向の傾向 (年齢層別)	92
図 5-9	運転行動意向の傾向 (性別)	93
図 5-10	運転行動意向モデルのイメージ	95
図 6-1	被験者の運転性向スコア	103
図 6-2	積極的な安全運転行動意向の選択比率	105

表 一 覧

	Page
表 1-1 走行支援システムの例	3
表 2-1 休日上限 1,000 円導入直後の交通量・交通事故発生状況	14
表 2-2 質問紙法による運転適性検査の一覧	26
表 2-3 質問紙 SAS806 による運転態度の分類	27
表 3-1 各区間で整備した既往交通安全施設	33
表 3-2 プローブカー調査結果	38
表 3-3 定点調査結果の検定結果	39
表 3-4 評価対象区間	41
表 3-5 各区間の年別交通事故発生件数（平成 17 年～平成 22 年）	41
表 3-6 各区間の交通安全施設の整備効果評価結果	41
表 3-7 主な交通安全施設延長（山陽自動車道）	43
表 3-8 分析対象区間と使用データ	43
表 3-9 平均事故率の検定結果（t 値）	46
表 3-10 経過年数別サンプル数	47
表 3-11 年別キロポスト別交通事故発生件数	48
表 3-12 セグメントリスクの分類	48
表 3-13 セグメントリスクモデルの説明変数	50
表 3-14 セグメントリスクモデルによる推定結果	52
表 4-1 走行実験調査の概要	56
表 4-2 注意喚起内容	58
表 4-3 運転行動データ	59
表 4-4 アンケートの設問の分類	60
表 4-5 道路幾何構造による区間分類	61
表 4-6 注意喚起の精度	62
表 4-7 運転行動モデルの変数一覧	68
表 4-8 短期記憶を考慮した運転行動モデルの推定結果	69
表 4-9 説明変数のドライビングリスクへの寄与度	72
表 4-10 運転行動に関する設問と回答の選択肢	74

表 5-1	SP 調査における交通安全施設と注意喚起方式	82
表 5-2	設定した走行場面と交通安全施設の配置	83
表 5-3	実験計画法による質問パターン	83
表 5-4	走行場面ごとの質問と回答 (4 段階尺度)	84
表 5-5	スクリーニングの条件	84
表 5-6	運転行動意向モデルに用いる変数一覧	95
表 5-7	運転行動意向モデルの推定結果	97
表 6-1	SAS806 による運転態度の分類	101
表 6-2	SAS806 による運転態度分類結果	104
表 6-3	運転性向を考慮した運転行動意向モデルによる推定結果	108
表 6-4	運転性向の異質性を考慮した統合モデルの変数一覧	115
表 6-5	統合モデルによる推定結果 (IC 流入)	116
表 6-6	統合モデルによる推定結果 (側方から流入車)	117
表 6-7	統合モデルによる推定結果 (トンネル入口)	118
表 6-8	統合モデルによる推定結果 (カーブした下り坂)	120

第1章 序論

1.1 研究の背景

警察庁交通局の統計によると、我が国の高速道路における交通事故の動向は、図 1-1 に示すように、死傷事故件数、死者数、負傷者数とも平成 13 年をピークとして平成 20 年まで減少してきた。その後、死傷事故件数と負傷者数は、平成 21 年より導入された休日特別割引制度（地方部上限 1,000 円）（以下、「休日上限 1,000 円」）の影響もあって平成 21 年から増加に転じ、死者数も平成 22 年は増加に転じた。

この間、高速道路上では走行安全性向上を目的として種々の交通安全施設が整備されてきた。図 1-2 に示す施設は代表的なものである。また、自動車側においてもシートベルトや ABS^{注1}、エアバッグなどの安全設備の充実が図られてきた。平成 14 年から平成 20 年までの交通事故件数、死傷者数の減少傾向につながった要因の 1 つはこれらの交通安全施設の整備や自動車の安全設備の充実が寄与していると考えられる。

法令違反別事故件数では、図 1-3 に示すように前方不注視と動静不注視の合計で全体の 64.9% を占めている。高速道路上は一般国道や都道府県道などの一般道路と異なり、交差点や信号がないこと、都市間高速道路で最も低規格の第 1 種第 3 級の路線でも最小曲線半径 400m、最急縦断勾配 4% であり、道路線形が比較的ゆったりしていること、トリップ長が長いこと一般道路と比べて長時間運転となりがちなこと、から単調な動作が長時間継続

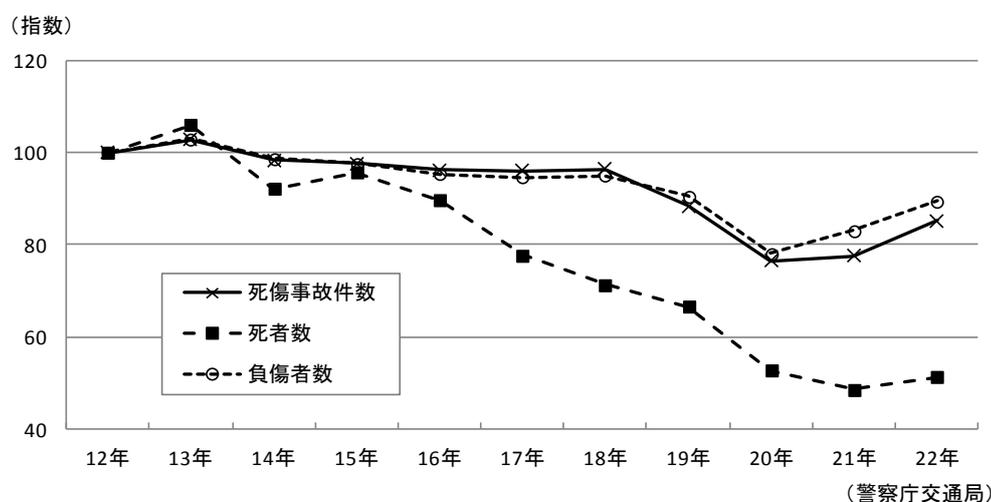


図 1-1 高速道路における交通事故発生状況の推移（指数）

注1 ABS : Anti-Lock Brake System



(a) 高機能舗装



(b) 導流レーンマークと矢羽根



(c) 注意喚起標識

図 1-2 代表的な交通安全施設

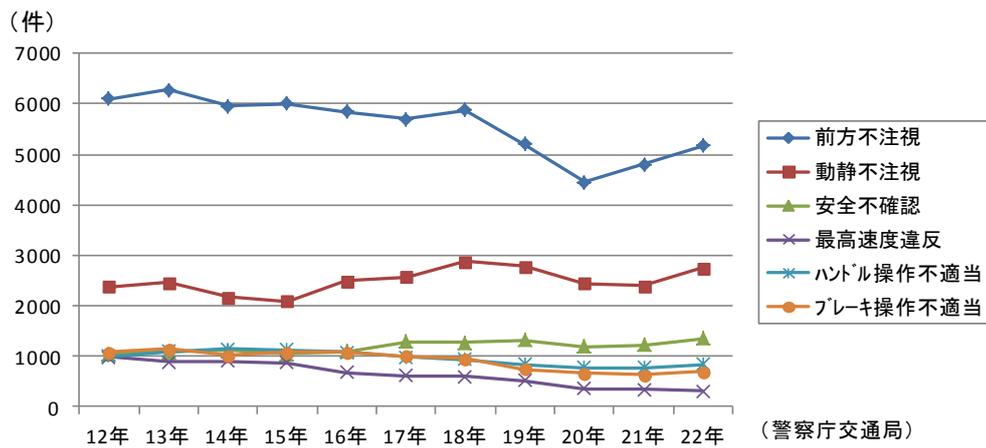


図 1-3 高速道路における法令違反別（第 1 当事者）交通事故件数の推移

する傾向にあり、注意散漫に陥りやすくなる。交通の流れの中を安全に通行することは、認知→判断・予測→操作・行動の連続であることを考えると、前方不注視や動静不注視が事故原因の中でも高いウェイトを占めていることは認知段階でのエラーの比率が高いことを示しており、高速道路の走行安全性向上のためにはドライバーに適切な注意喚起情報を提

供し、安全運転をサポートすることが重要と考えられる。

また、警察庁交通局（2011）によると、高速道路における致死率^{注2}は0.9%となり、高速道路以外の一般道路も含めた全道路における交通事故全体の致死率（0.54%）の1.7倍となっていることが報告されている。財団法人交通事故総合分析センター（ITARDA）のイタルダ・インフォメーション No.25（2000）では、高速道路上での死亡事故発生確率は全道路の1/3、負傷事故率は全道路の1/8程度であるが、致死率は一般道路の約2.7倍となり、高速で走行する高速道路では事故に遭遇する確率は低いものの、一旦交通事故が発生すると、重大事故に至る可能性が高いことが報告されている。

高速道路に限らず、道路の走行安全性向上のためには道路側、自動車側双方からのドライバーの走行支援が不可欠である。これまでにも、道路側ではガードレールや注意喚起標識等の整備がなされてきたし、自動車側では衝撃吸収ボディやエアバッグ、シートベルト等のパッシブ・セーフティ^{注3}の装備、ABSやスタビリティ・コントロール^{注4}等のアクティブ・セーフティ^{注5}の装備等の安全対策が講じられてきた。しかし、交通事故原因の多くは前方不注視などによる潜在的なリスクの発見の遅れなどのヒューマンエラーに起因するものであり、これを克服するためには新たな走行支援システムの整備が求められている。

国土交通省では、ドライバーや車両側のセンサーが検出できない様々な危険事象を道路インフラとして備したセンサーにより検出し、その情報を、通信技術を利用してドライバーに提供することにより、道路交通の安全性向上を図るシステム開発を進めてきた。この走行支援システムは、AHS^{注6}（走行支援道路システム）とASV^{注7}（先進安全自動車）の

表 1-1 走行支援システムの例

種 別	主なシステム
走行支援道路システム (AHS)	<ul style="list-style-type: none"> ・前方障害物情報 ・カーブ進入危険防止 ・出会い頭衝突防止 ・右折衝突防止 ・横断歩行者衝突防止 など
先進安全自動車 (ASV)	<ul style="list-style-type: none"> ・衝突被害軽減ブレーキ ・ACC(Adaptive Cruise Control) ・レーンキープアシスト ・ESC(Electronic Stability Control) など

注2 致死率＝死者数/（死者数+負傷者数）

注3 事故発生時の乗員の保護、速やかな脱出、救出を考慮した自動車車両の設計・装備

注4 動力の伝達や車輪制動力を各車輪で制御して、横滑りを抑え、スピンやカーブの外へのふくらみを防止する装置

注5 交通事故を未然に防ぐための考え方、様々な装置・システム

注6 Advanced Cruise-Assist Highway System

注7 Advanced Safety Vehicle

連携により実現される社会システムである。主な走行支援システムの例を表 1-1 に示す。

このような背景の中で、政府は平成 18 年 1 月に「IT 新改革戦略」を定めた。この戦略においては、道路の分野では世界一安全な道路交通社会を目指して、2012 年末に交通事故死者数 5,000 人以下という政府目標を達成するための施策として IT の活用が有効と位置づけられた。IT の活用によりドライバーの認知や判断等の能力や活動を補い、また、ドライバーの不注意によるミスを打ち消し、さらにはそれによる被害を最小限にとどめることにより、交通安全への寄与を図っていくものである。

国土交通省と警察庁では、この施策を実現するために「インフラ協調による安全運転支援システム」の実用化を目指し、2008 年度までに地域交通との調和を図りつつ特定地域の公道において官民連携した走行支援システムの大規模な実証実験（図 1-4）を行い、効果的なサービス・システムのあり方について検証を行うとともに、事故削減への寄与度について定量的な評価を行ってきた。そして、2010 年までに事故の多発地点を中心に全国の高速道路約 1,600 ヶ所に ITS スポットを整備し、ITS スポットサービスによる新たな走行支援システムの社会実験を開始するとともに、同システムに対応した車載器（ITS スポット対応カーナビ）の普及促進を図っているところである。



図 1-4 ITS-SAFETY 2010 : 08 年度 大規模実証実験

ITS スポットサービスは、路肩に設置された ITS スポットと車内に搭載された ITS スポット対応カーナビの間で高速・大容量通信を行うことにより、道路交通情報提供や安全運転支援サービス、ETC サービスを行うものである。このサービスの特色は ETC に用いられてきた 5.8GHz 帯 DSRC (Dedicated Short Range Communication) を使用して高速・大容量の双方向通信が可能な点にある。ITS スポットサービスのイメージを図 1-5 に示す。

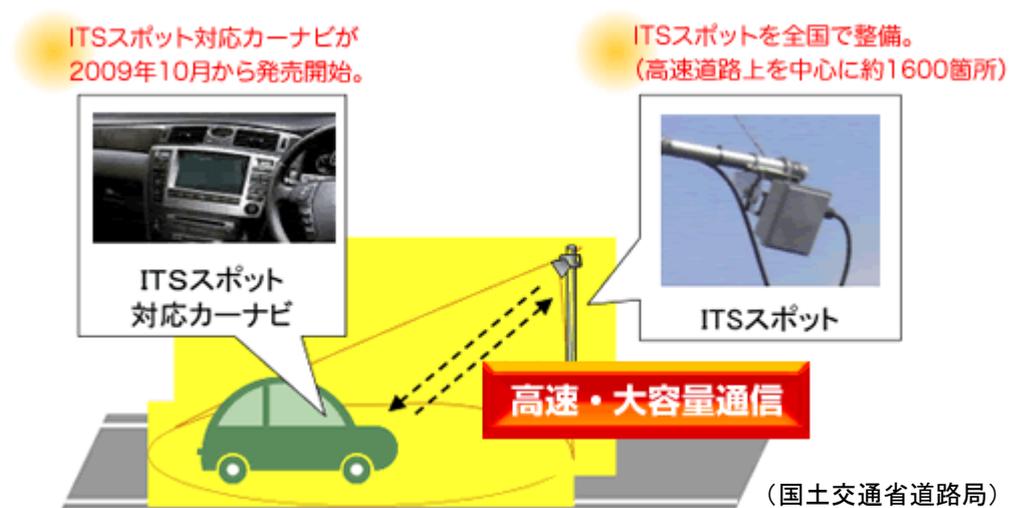


図 1-5 ITS スポットサービスのイメージ

1.2 研究の目的

先に述べたように、我が国の道路における走行安全性向上のための走行支援システムは走行支援道路システム (AHS) と先進安全自動車 (ASV) により構成される。AHS と ASV には多くのメニューがあり、既に実用化済みのメニューや開発中のものなど多岐にわたっている。第 2 章で詳細にレビューするが、高速道路上を対象とした研究であること、道路インフラが整備されていて利用可能なことを勘案して、本研究では AHS サービスの一環として、全国の高速度道路に整備された ITS スポットを活用し、2010 年から社会実験が行われている ITS スポット対応カーナビを利用した車内注意喚起情報 (In-Vehicle Traffic Warning Information, 以下、「IVTWI」) 提供の有効性を確認して、高速度道路における交通安全施設としての注意喚起効果について評価することを目的とする。評価にあたっては、既に整備されている交通安全施設からの注意喚起効果も無視できないことから、IVTWI と既往交通安全施設を同時に配置した仮想の走行場面を想定し、IVTWI と既往交通安全施設からの注意喚起がドライバーの運転行動意向に及ぼす影響を評価することにより、IVTWI と既往交

通安全施設の効果を明らかにする。

一方で、ドライバーの運転行動は、心理的・精神的行動要因や年齢や性別などの個人属性によって異なり、同じ注意喚起を行っても個人によって認知・判断とその後の行動に差があることや交通事故や違反との関連性が報告されている（たとえば、交通行動の社会心理学（2005）、岡村ら（2005））。交通安全施設が交通事故削減に効果があるか否かについては、ドライバーが交通安全施設からの注意喚起情報を正しく認知して適切な運転行動をとるか否かに拠っており、この点において、ドライバーの運転行動の異質性を考慮することは交通安全施設の計画、さらに交通事故削減において重要な役割を果たしていると考えられる。

本研究では同じ注意喚起情報を提供しても、ドライバーによって異なる運転行動の差異が、ドライバー個人の精神的・心理的要因である運転性向の異質性に起因すると仮定する。そして、運転性向を次章で詳述する質問紙法により導入し、それぞれの運転性向が運転行動意向に及ぼす影響を分析することにより、ドライバーへの効果的な注意喚起情報提供を評価する手法を明らかにすることを目的とする。

1.3 研究の方法論

本研究では、まず既往の交通安全施設の効果について評価する。西日本高速道路株式会社（以下、「NEXCO 西日本」）が高速道路上で実施した交通安全対策の効果について、実際に高速道路上で収集されたデータを用いて検証する。次いで、IVTWIの効果を評価するために、平成20年度に山陽自動車道において実施された走行実験調査により得られたプローブデータと、走行直後に被験者に実施したアンケート結果を分析し、ドライバーの安全運転支援を目的としてITSスポットを活用したIVTWIの有効性を検証する。

一方で、1.1で述べたように、ITSスポットは全国で1,600ヶ所の整備が完了して社会実験中であるが、都市間高速道路では概ね1IC間に1ヶ所程度の整備がなされているにとどまっており、目的とする既往交通安全施設も同時に配置された走行場面を探して、走行データを収集することは、調査の費用や効率性の点からも現実的ではない。そこで、IVTWIと既往の交通安全施設を配置した仮想の走行場面を設定し、インターネットを通じたSP調査を実施して得られた運転行動意向を分析することにより、それぞれの交通安全施設からの注意喚起がドライバーの運転行動意向に及ぼす影響を明らかにする。さらに、SP調査時にドライバーの運転態度を判定する質問紙調査も同時に実施して、判定された運転態度を被験者の運転性向と仮定することにより、運転性向の異質性を導入する。そして、注意喚起情報が提供された場合の被験者の運転行動意向について分析することにより、運転性向の異質性を考慮した、より効果的な注意喚起情報提供に関する知見を得ることとする。

なお、本研究では、図 1-2 に示した導流レーンマークなどの路面標示や矢羽根などの注意喚起標識・看板類の交通安全施設を、現在の高速道路上に整備されている交通安全施設という意味で既往交通安全施設と呼称し、IVTWIのように、現在社会実験により効果検証中の交通安全施設と区分して用いる。

1.4 研究の位置づけ

高速道路ネットワークは、人のみならず、物流のネットワークとして日本の経済社会活動を支える重要な役割を担っている。高速道路における円滑な交通を提供することは道路管理者である高速道路会社の最重要の使命であり、交通事故発生により高速道路上の交通が滞ることを回避することによる社会への貢献度合いは大きい。しかしながら、高速道路上における交通事故件数は漸減傾向にあったものの、導流レーンマークや注意喚起標識等の各種交通安全施設が整備されているにもかかわらず、依然として交通事故が減少しない事故多発地点が存在する。また、平成 21 年から導入された休日上限 1,000 円による影響もあってか、死傷事故件数は再び増加に転じており、新たな交通安全施設の導入により高速道路の円滑な交通環境を提供することは高速道路会社の喫緊の課題である。

そこで本研究では、平成 22 年から全国の高速道路で社会実験が開始されている、ITS スポットから ITS スポット対応カーナビを通じて提供される IVTWI を、都市間高速道路に適用した場合にドライバーの運転行動に及ぼす影響を明らかにし、さらに、ドライバーの運転性向の異質性と関連付けて、より効果的な注意喚起情報提供の方向性を示すものである。

1.5 論文の構成

本論文は、図 1-5 に示すように 7 章で構成される。

第 1 章の序論に続いて第 2 章では、中国地方の高速道路における交通事故及び交通安全対策の現況を整理して本研究の課題を明らかにするとともに、交通事故分析、高機能舗装や導流レーンマークなど既往安全施設の効果や、ドライバーの運転性向の異質性などに関連する既往研究をレビューして本研究の方向性を示す。

第 3 章では、既往交通安全施設の評価を行う。NEXCO 西日本が実施した長い下り坂区間の速度抑制対策実施前後の走行速度調査結果、及び、山陽自動車道で実施されてきた高機能舗装と導流レーンマークの交通事故削減効果とその持続性について分析し、これらを取りまとめて既往交通安全施設の課題を明らかにする。

第4章では、山陽自動車道において実施された ITS 走行実験調査により得られたプローブデータを用いて、IVTWI が提供された場合の効果について分析する。同時に、ドライバーの短期記憶（Short-Term Memory, 以下、「STM」）の時間的減衰効果を考慮したモデルを構築し、IVTWI が提供された場合のドライバーの運転挙動に及ぼす影響について分析する。さらに、調査時にドライバーに実施したアンケート結果を受容性の観点から分析し、車内注意喚起情報提供の有効性について評価する。

第5章では、IVTWI と既往交通安全施設がドライバーに及ぼす影響について明らかにする。インターネットを通じた SP 調査により収集したデータを分析し、高速道路の代表的な走行場面において IVTWI や既往交通安全施設からの注意喚起が行われた場合にこれらがドライバーの運転行動意向に及ぼす影響について、集計分析と順序付けプロビットモデル（ORP モデル）により評価する。

第6章では、ドライバーの運転性向の異質性が運転行動意向に及ぼす影響について分析する。まず、SP 調査時に、同時に収集した運転性向についての質問紙の回答を用いて、ドライバーを運転性向ごとにあらかじめ外生的に分類し、それぞれの運転性向について走行場面ごとに注意喚起情報提供が運転行動意向に及ぼす影響を明らかにする。一方で、質問紙法では被験者が複数のクラスに重複して分類されることがある。ドライバーの運転性向を適切な方法で分類することは運転性向の異質性を考慮する上で重要な事項である。そこで、潜在クラス概念を導入し、メンバーシップ関数により運転性向を内生的に分類して、それぞれの潜在クラスごとに、注意喚起情報提供が運転行動意向に及ぼす影響を同時に評価することにより、運転性向の異質性を考慮することの有効性を検証する。

最後に第7章で、本研究で得られた研究成果を総括するとともに、今後の研究課題について記す。

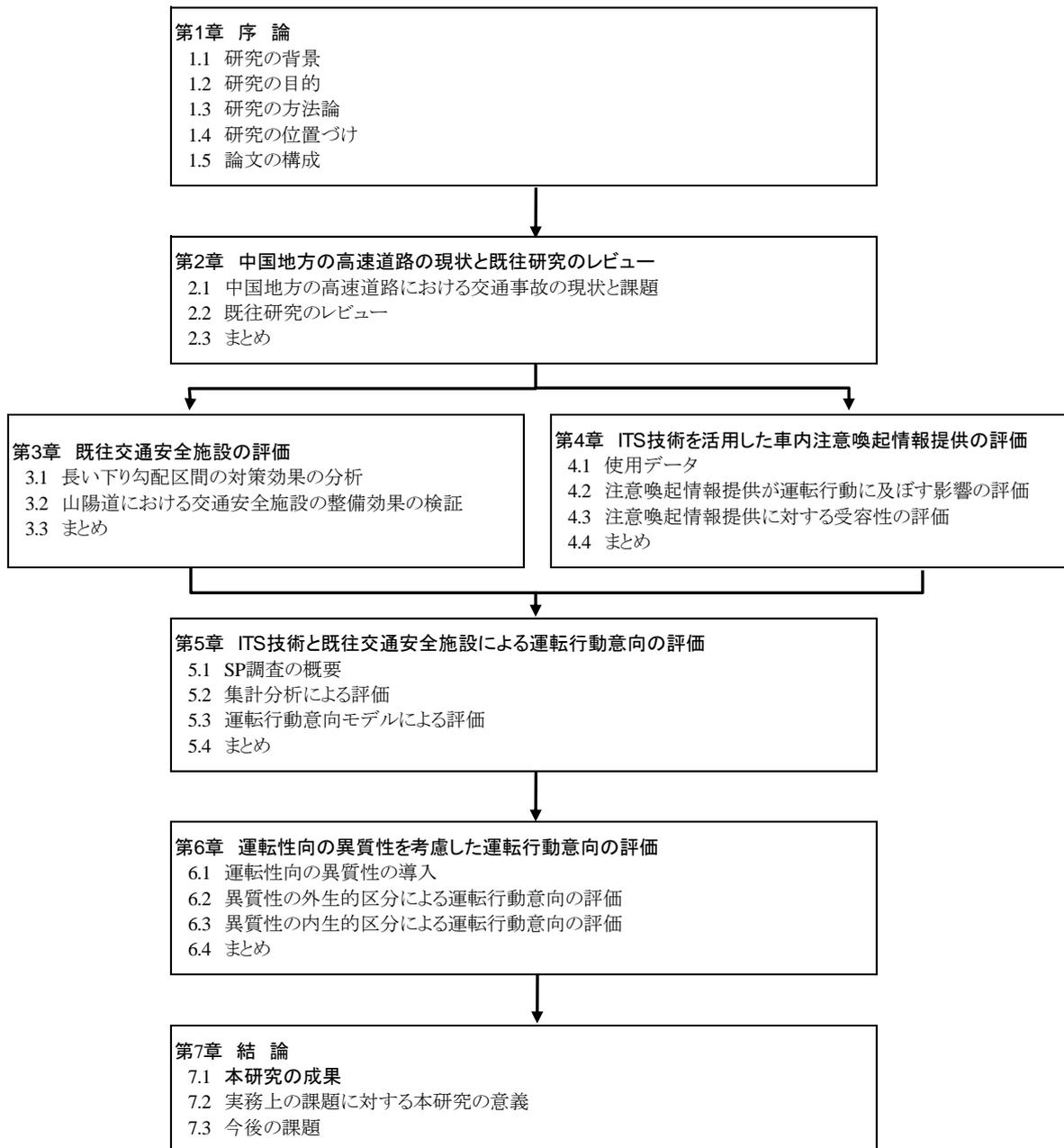


図 1-6 論文の構成

第 1 章関連参考文献

- 岡村和子, 藤田悟郎 (2005) 自己報告によるドライバーの運転行動及び態度と交通事故・違反との関連, *科学警察研究所報告交通科学編*, pp.14-25.
- 川崎茂信, 横地和彦 (2001) 走行支援システムの実証実験, *交通工学*, Vol.36, No.6, pp.23-29.
- 川嶋弘尚監修 ITS 新時代, *日経BP社*, 2007.
- 警察庁交通局 平成 22 年中の交通事故の発生状況, <http://www.npa.go.jp/toukei/index.htm>, 2011.
- 財団法人交通事故総合分析センター (ITARDA) イタルダ・インフォメーション No.25, 高速道路の交通事故の特徴と対策, <http://www.itarda.or.jp/>, 2000.
- 国土交通省 自動車総合安全情報, <http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/01asv/index.html>, 2011.
- 国土交通省道路局 ITS 高度道路交通システム, <http://www.mlit.go.jp/road/j-html/index.html>, 2010.
- 首相官邸 IT 新改革戦略 (平成 18 年 1 月 19 日),
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/060119honbun.pdf>, 2006.
- 交通工学研究会 (2001) 交通安全に関連したキーワード, *交通工学*, Vol.36, No.6, pp.39-40.
- 日本道路協会 道路構造令の解説と運用 (平成 16 年 2 月).
- 蓮華一己編集 (2005) 交通行動の社会心理学, *北大路書房*, 第 3 章.

第2章 中国地方の高速道路の現状と既往研究のレビュー

2.1 中国地方の高速道路における交通事故の現状と課題

2.1.1 交通事故件数の推移と交通事故発生状況

中国地方の高速道路においても、平成10年より全国の都市間高速道路に導入された高機能舗装の推進、NEXCO西日本が平成19年より実施した交通安全対策緊急3ヶ年計画や長い下り勾配区間における速度抑制対策など計画的な交通安全対策の推進など種々の対策が講じられてきた。これらの効果もあって、図2-1に示すように、交通事故件数は年ごとの変動はあるものの、第1章で述べた全国的な傾向と同様に、平成13年をピークとして、休日上限1,000円が導入された平成21年まで減少傾向にあった。

交通安全対策緊急3ヶ年計画は、中国地方にあっては、線形の厳しい箇所として24ヶ所、相対的に交通事故の多い箇所として27箇所を抽出し、高機能舗装や導流レーンマークなどの交通安全施設を3年計画で整備したものである。このうち、線形の厳しい箇所は、平面曲線半径380m以下で、かつ、4%以上の下り勾配区間とし、相対的に交通事故が多い箇所は、事故密度が5件/300m・年（NEXCO西日本管内平均の5倍）、または、路線平均事故率の5倍以上の箇所としている。

長い下り勾配区間における速度抑制対策区間については第3章で詳述するが、4%以上の下り勾配を含む下り勾配が3km以上連続する区間で、特に速度の出やすい区間として6区間を抽出し、平成19年度中に導流レーンマーク、高輝度レーンマーク、注意喚起標識の大

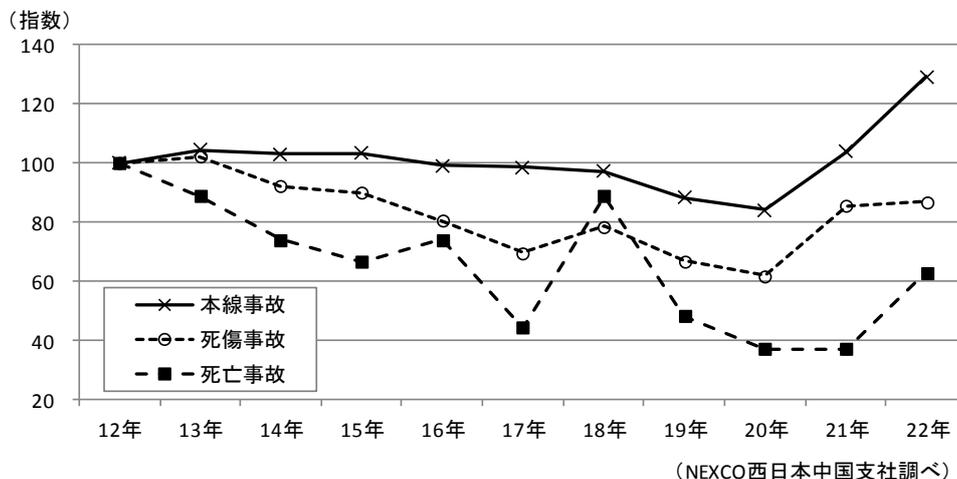


図2-1 中国地方の高速道路における交通事故件数の推移

型化などの交通安全施設を整備したものである。

これらの効果もあって、平成 19 年から 20 年にかけては特に交通事故件数の減少傾向が促進されたものと考えられる。

交通事故の原因に関しては、図 2-2 の違反別事故件数の比率が示すように、脇見運転・前方不注視によるものが最も大きな比率を占め、40%をやや上回る比率でほぼ横ばいで推移していた。平成 21 年以降は増加傾向に転じ、平成 22 年には平成 20 年以前より約 10%程度増加した。このことは漫然運転に起因する事故が増加していることを示しており、休日上限 1,000 円の導入により、これまで高速道路の運転経験が少ないドライバーが増加したことも原因の一つと考えられる。これについては次節で少し詳しく分析する。このように、漫然運転が交通事故原因の大きなウェイトを占めており、しかも、近年増加傾向にあることからドライバーの安全運転をサポートする注意喚起情報提供の重要性は大きい。

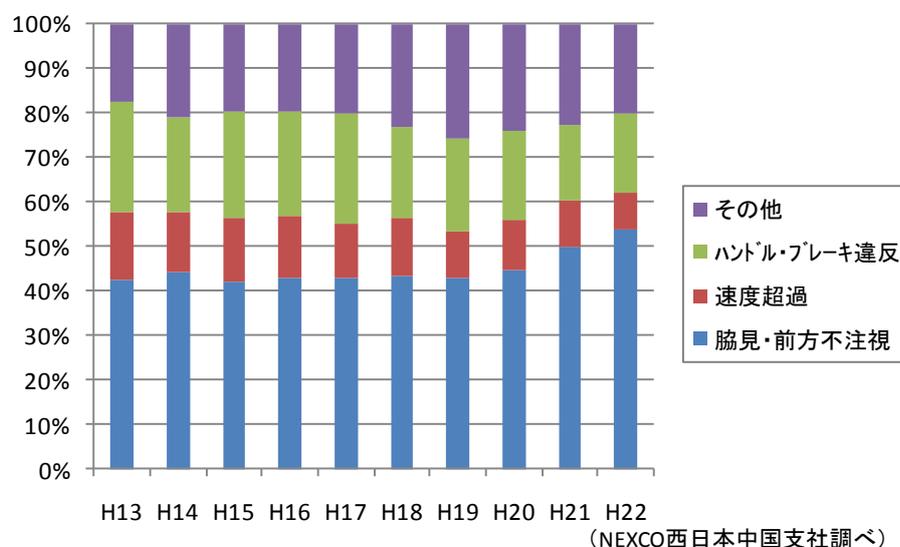
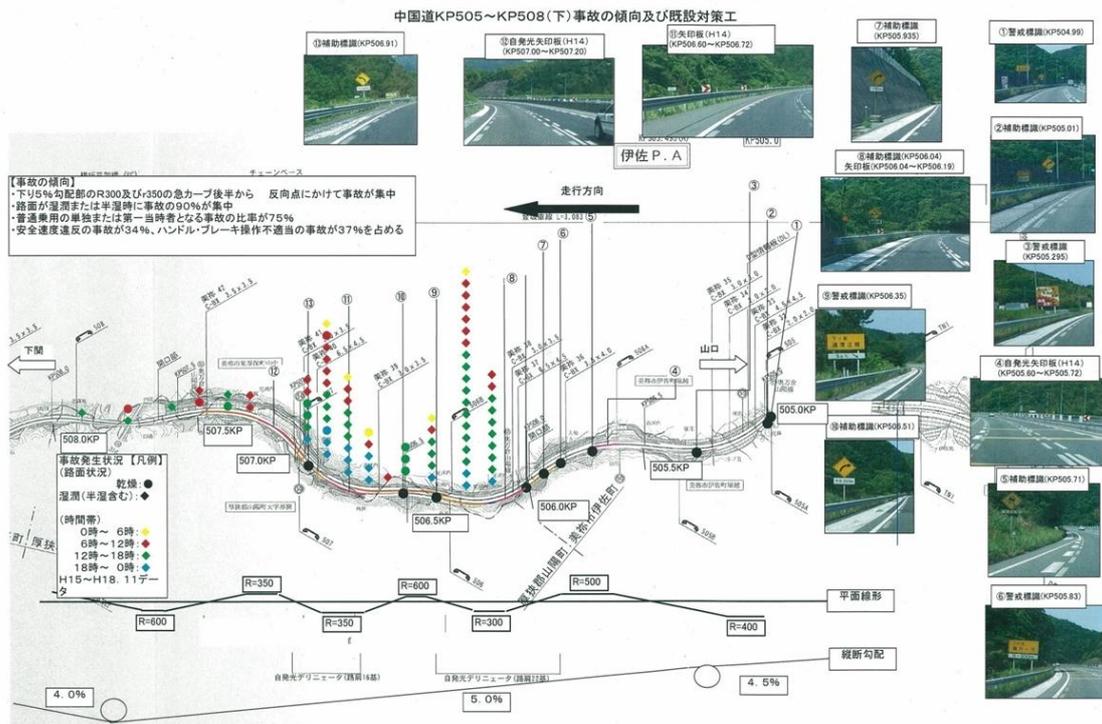


図 2-2 中国地方の高速道路における違反別交通事故件数の比率

一方で、このような注意喚起情報提供を行う交通安全施設が整備されているにもかかわらず、依然として交通事故が減少しない、いわゆる交通事故多発地点が中国地方の高速道路にも存在する。

その一例を図 2-3 に示す。この区間は昭和 49 年に開通した山口県内の中国自動車道の一部である。当該区間は下り 5%の勾配が約 3.3km 続き、この間に最小曲線半径 300m を始め、半径 600m 以下の左右のカーブが合計 7 回現れる。

この区間では、図 2-3 に示すように、導流レーンマークを始め注意喚起標識や視線誘導のための矢羽根など、多くの交通安全施設が整備されている。平成 11 年頃に高機能舗装も整備されていたが、近年、特に雨天時の湿潤路面状況下で追越車線を走行中に中央分離帯



NEXCO西日本中国支社作成

図 2-3 高速道路の交通事故多発地点の例

への衝突事故が後を絶たなかった区間である。

種々の交通安全施設による注意喚起にもかかわらず交通事故が減少しないことは、これらの交通安全施設からの注意喚起情報提供がドライバーに十分に認知されていなかったこと、あるいは、認知したものの安全な行動をとるに至らなかったことが原因と推測される。よって、それぞれの交通安全施設の特長や発揮しうる効果を事前に比較検討し、ドライバーの安全な行動につながる交通安全施設を、適切に注意喚起しうる位置に配置するための知見の確立が必要と考えられる。

2.1.2 料金割引制度の影響

平成 21 年 3 月から導入された休日上限 1,000 円により、ゴールデンウィーク（以下、「GW」）、お盆、9 月のシルバーウィーク（以下、「SW」）の交通混雑期には、高速道路の交通量が 10～40%程度増加した。特に、導入後最初の交通混雑期となった平成 21 年 GW には、中国地方の高速道路でも交通量が前年の約 36%増加し、5km 以上の渋滞は前年の約 3.4 倍に達した。表 2-1 に、休日上限 1,000 円導入直後の中国地方の高速道路における交通量、交通事故件数、渋滞件数について過去 3 年間の同時期との対比結果を示す。

表 2-1 休日上限 1,000 円導入直後の交通量・交通事故発生状況

(a)GW(4/28~5/7)、SW(9/18~27)時期

	H18年GW	H19年GW	H20年GW	H21年GW	H21年SW
交通量	26,302	25,142	24,006	32,628	29,971
総事故件数	114	88	93	217	138
死傷事故件数	18	5	14	40	17
総事故率	42.5	34.2	37.8	64.9	44.9
死傷事故率	6.7	1.9	5.7	12.0	5.5
5km以上の渋滞	29回	19回	21回	72回	49回

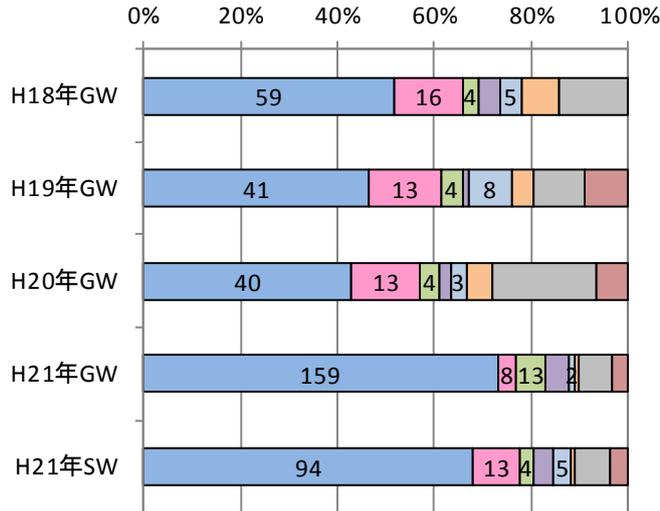
(b)お盆(8/6~8/17)時期

	H18年お盆	H19年お盆	H20年お盆	H21年お盆
交通量	25,793	27,248	26,498	32,958
総事故件数	154	131	111	255
死傷事故件数	11	19	14	35
総事故率	48.8	39.1	34.1	62.9
死傷事故率	3.5	5.7	4.3	8.6
5km以上の渋滞	17回	14回	10回	44回

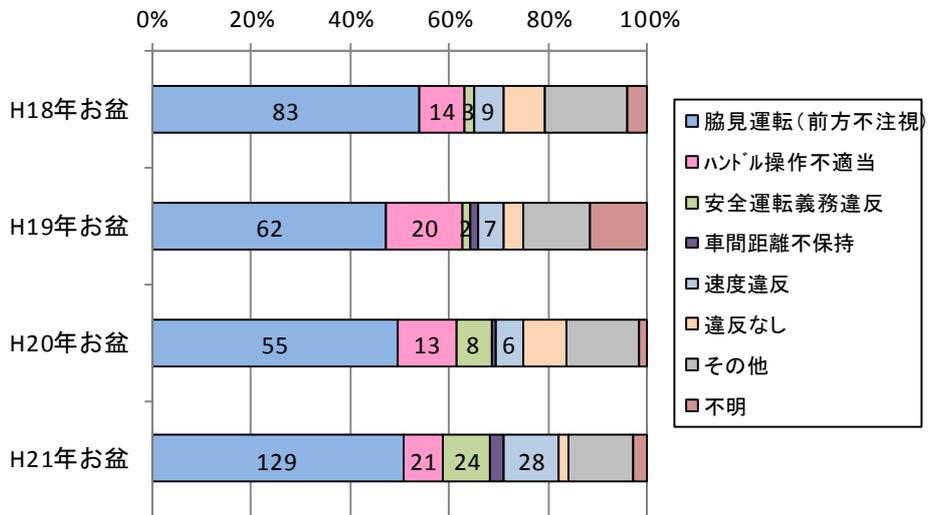
※NEXCO西日本中国支社調べ

次に、これらの期間中に発生した事故の違反種別の比率を図 2-4 に示す。

休日上限 1,000 円の導入により、GW、SW、お盆とも交通量、交通事故件数、渋滞件数はいずれも増加した。特に GW、SW に発生した交通事故原因では、漫然運転系の比率が導入前の 1.5 倍近くに増加した。このことは、料金施策の導入により以前の交通混雑期には高速道路を利用しなかったドライバーが利用するようになり、交通量が増加して渋滞も急増した。その結果、精神的に負担の大きい渋滞中での運転機会が増えたことから交通事故、特にヒューマンエラーに起因する交通事故が急増したことが推測される。



(a) GW, SW時期



(b) お盆時期 (NEXCO西日本中国支社調べ)

図 2-4 交通混雑期に発生した交通事故違反種別の比率

2.1.3 山陽自動車道における ITS 走行実験調査

国土交通省が ITS-SAFETY 2010 の一環として全国的に実施した大規模実証実験のメニューの一つとして、NEXCO 西日本は、平成 21 年 3 月 23 日から 4 月 3 日にかけて、山陽自動車道志和インターチェンジから広島東インターチェンジ間の下り線のうち、2.2%から 4.0%の下り勾配があり半径 800m のカーブが連続する区間(約 3.3km)で、速度超過注意喚起システムの走行実験調査を行った(図 1-4)。この調査は、下り勾配で速度が出やすいうえ、山陽自動車道では比較的急なカーブが連続する区間で、ドライバーが無意識のうちに速度超過に陥った場合に交通事故に繋がる潜在的なリスクが高いと考えられる区間であ

る。

本研究で分析した速度超過注意喚起システムは、NEXCO 西日本が考案した運転支援サービスで、路肩に設置した ITS スポットを実験車が通過する際に、ITS スポットと実験車に搭載した ITS スポット対応カーナビが通信を行って、前方の車速判定位置と設定速度(閾値)、設定速度を超過していた場合にカーナビを通じて行う注意喚起情報を受信し、速度判定位置で設定速度を超過していた時のみ、カーナビからドライバーに注意を促すという安全運転支援サービスである。このイメージを図 2-5 に示す。

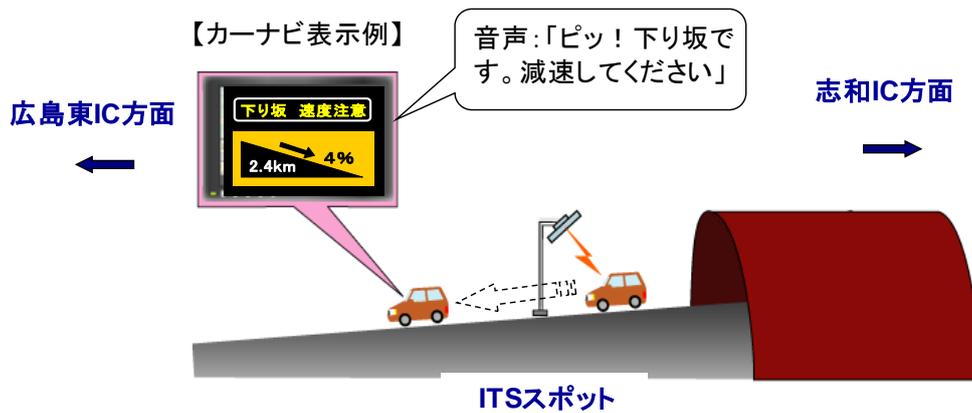


図 2-5 速度超過注意喚起システムのイメージ

この方式による注意喚起情報提供が実用化されることにより、現在はドライバーが路面のレーンマークや路肩に設置された標識などの車外の交通安全施設を視認して、初めて認識することができた注意喚起情報を、車内に搭載した車載器を通じて音声や画像によって提供することが可能となり、ドライバーが交通安全施設を見落とすエラーを回避できる。また、すべてのドライバーに画一的な注意喚起を行う現在の交通安全施設からの注意喚起手法と異なり、危険な運転行動を示すドライバーにのみ注意喚起を行うことができることから、より確実な注意喚起が可能となると考えられる。

2.1.4 中国地方の高速道路における課題

中国地方の高速道路における交通事故の現状を整理した結果、いくつかの交通安全対策を実施しているにもかかわらず、依然として交通事故が減少しない区間がいくつか存在し、これまで行ってきた交通安全対策を計画するための交通事故分析段階から新たな知見を導入する必要があることが認識されている。さらに、今後の走行安全性向上のための新たな走行支援システムの走行実験調査を山陽自動車道で実施した実績がある。これらの現状認

識を踏まえて、本研究での課題を次のように設定する。

- ① 交通事故多発地点が解消されない実態から、これまで整備された既往交通安全施設の効果について統計的に評価し、機能や効果についての新たな知見を得る。
- ② 山陽自動車道で走行実験調査の実績があり、また全国で約 1,600 ヶ所整備された ITS スポットを活用して都市間高速道路において車内注意喚起情報（以下、「IVTWI」）を提供する方法が、ドライバーの運転行動に及ぼす効果について評価する。
- ③ さらなる走行安全性向上のために、従前の注意喚起情報提供の効果を強化する観点から、都市間高速道路において既往交通安全施設と ITS 技術を活用した IVTWI 提供による注意喚起情報提供についての知見を得る。

以上の課題を解決するために、以下に、既往研究をレビューして本研究の方向性を明らかにする。

2.2 既往研究のレビュー

第 1 章で述べた本研究の背景、および前節で述べた中国地方の高速道路の現状と課題から、本研究では、まず道路に関する分野として、交通事故分析と既往交通安全施設の効果に注目する。次に、ドライバーの運転行動に関する分野として、仮想の走行場面においてドライバーの運転行動についての選好情報である運転行動意向を推定する手法、およびドライバーの運転行動につながる運転性向に焦点をあてて既往研究のレビューによりこれらについての知見を総括し、本研究の具体的な研究プロセスを明らかにする。

2.2.1 交通事故分析に関する研究

交通事故は、道路の曲率や勾配などの道路幾何構造、交通量や大型車混入率などの交通環境、天候、乾燥・湿潤、明暗などの外的要因のほか、事故直前のドライバーの運転行動など、多くの要因が関連している。研究対象とする道路や事故の形態によって、多くの要因の中から注目する要因が絞り込まれる。このような背景から、交通事故分析に関するこれまでの研究は、多岐にわたる視点から多くの研究成果が報告されている。

斎藤（1992）は、東名高速道路、名神高速道路、中央自動車道で発生した交通事故と事故発生位置の幾何構造を対応させて集計分析を行い、潜在的な交通事故多発区間を、平面曲線半径が 1,000m 以下で、かつ、下りの縦断勾配が 1.5%以上の区間に特定できる可能性を示した。そして、運転操作と心身反応に関するデータを分析した結果から、高速道路に

における抜本的な事故防止対策のためには、事故多発区間における運転者の運転操作、運転行動の実態と、運転者の事故多発地点についての意識・認識とのギャップを補う方策が重要であることを示唆している。

荻野ら（1993）は、東名高速道路の幾何構造と交通事故の関係について数量化理論Ⅱ類を適用して分析した結果、交通事故は、事故発生地点の上流側の幾何構造の影響を強く受けること、特に、同じ曲線半径や縦断勾配が長く続いた後に、幾何構造が変化する場所で多く発生していることを示した。しかし、交通事故要因はドライバー、自動車、道路のそれぞれの要素が複雑に影響しあって発生するため、道路幾何構造のみから特定することには無理があると結論づけている。

交通事故発生時の交通状況に着目した研究では、大口ら（2004）は、交通集中渋滞が発生する直前の交通流率が高い状態に着目し、交通流状態別に事故率を検証した。そして、交通集中渋滞発生直前の交通流率が高い臨界領域における事故率が高くなり、交通流状態によって大きく事故率が異なることを指摘している。このことは、中国地方の高速道路においても、休日 1,000 円割引が導入されて以降、休日の交通量が増加したことと、交通事故件数が増加に転じたこととの関連を示唆していると考えられる。

彦坂・中村ら（2001）は、交通状況と事故率の関係に着目するとともに、道路幾何構造要因、交通密度や大型車混入率等の交通状況要因、明暗や路面の乾湿等の外的要因が交通事故に及ぼす影響の強さを主成分分析により分析した。そして、交通状況によって事故率や事故形態が異なり、走行環境が拘束されることなく適度な緊張状態が保たれる程度の交通状況の時に事故率が最小となること、交通事故要因に関しては、交通事故への寄与率は、交通状況要因と幾何構造要因は同程度であるが、明暗や路面湿潤等の外的要因によっては幾何構造要因の寄与率が高くなることを示している。

そのほか、データベースを活用して事故分析を試みた例として、木倉ら（1978a, 1978b）は、道路構造、交通事故データ、交通量データを関連付けて数量化理論により道路構造や各種線形要素の組合せと事故との関連性を分析した。さらに路面の乾湿別など種々の分析パターンで交通事故を解析することを試みた。その結果、交通事故は偶発性に左右されやすいことから、事故発生パターンは変動が大きく道路構造との関係で定型化してとらえるのが困難であることを指摘した。

また、Strauss ら（2009）は、多くの要因が関連する交通事故分析を容易に、かつ、高度に改善するために、GIS を活用して事故やドライバーに関する記録を統合したデータベース構築の必要性を提案している。

これらの交通事故研究全体を包括する視点から浜岡（2001）は、交通安全対策における、根拠を明快にした目標設定の必要性に言及し、交通事故対策とその評価のフィードバックを有効に機能させることができなければ有効な交通安全対策を見出すことが困難であると

主張している。そして、根拠を明快にした目標設定を行うためには交通事故多発地点を対象とした研究が必要で、交通事故要因の把握と対策検討にとどまらず、対策の実施、対策効果の検証まで一貫して行うことの必要性を強調している。

2.2.2 既往交通安全施設の効果に関する研究

既往の交通安全施設に関する研究では、宮内ら（1994）は、高機能舗装と高輝度レーンマークについて対策前後1年間の交通事故件数からそれらの効果を評価している。佐々木（2004）は、高速道路上で実際に整備された高機能舗装、高視認性レーンマーク、大型注意喚起標識について、設置前後1年間の交通事故件数の増減により効果を評価している。

一方で、安部による RRR プロジェクトの調査研究抄訳（1988）によると、交通事故対策について安定した結論を得るには、1年間という短期のデータ分析に基づく評価は短いという示唆もある。これらのレビューの結果から、交通安全施設の効果に関する既往研究は、設置前後の交通事故件数の増減に着目して効果の有無を評価する方法が主流で、統計的見地から効果の持続性を分析した事例は少ないことが確認できた。また、交通安全施設設置後数年間のスパンのデータからこれらの効果の検証や効果の持続性を考察する必要があると考えられ、本研究においても、可能な限り長期にわたるスパンで交通安全施設の効果を評価することとする。

路面標示の視覚的な速度抑制効果に着目した研究では、小沼・大口（2004）、四辻・喜多（2009）、韓ら（2010）の研究がある。

小沼・大口（2004）は、ドライビングシミュレータ（以下、「DS」）を用いて、導流レーンマーク、アロー付き減速レーンマーク、薄層舗装について、設置間隔を増減して視覚刺激の出現頻度を变化させた時のドライバーが認識する速度感の傾向についての実験を行った。その結果、視覚刺激の出現頻度が速度変化の認知に大きくかかわっていることを示唆している。

四辻・喜多（2009）は、速度認識構造に着目した速度知覚モデルを構築し、DS 実験によりモデル構造の妥当性を検証した。そして、理想的な走行環境下における直線道路という前提のもとで、減速路面標示の表示間隔を操作変数とした速度誘導効果の分析モデルを構築し、ドライバーの速度認識エラーを正しい方向に導くような表示間隔の設定方法について示している。

韓ら（2010）は、DS を用いて、視覚的にデザインされた法定外路面標示（オプティカルドット）の設置間隔の違いに応じた被験者の運転操作についての実験を行った。その結果、ドットの設置間隔の設定に応じて走行時の被験者の速度感が変化し、加減速の設計意図通りの運転操作に制御できたことを示している。また、首都高速道路埼玉大宮線で試行

運用している区間について、試行開始から13ヶ月経過時点でも減速効果が継続していることを報告している。

高速道路上で一般的に用いられている導流レーンマークは等間隔の破線であり、車線幅を狭く見せることにより多少の速度抑制効果は期待できるものの、主たる目的は注意喚起にある。間隔を変化させて速度抑制効果を図る減速路面標示は、四辻・喜多(2009)の研究において、道路勾配や他車との関係等を考慮しない理想的な条件下でモデル化されているが、実際の高速道路に適用するには、韓ら(2010)の研究にあるように、実際の道路で試行設置することによるデータ収集と平行してDS等による室内実験を行うことにより速度と標示間隔の関係を明らかにしていくことが必要と思われる。このような観点から、本研究では路面標示については等間隔に配置された既往の導流レーンマークを対象とする。

2.2.3 走行支援システムに関する研究

第1章や前節で述べたように、本研究では既往交通安全施設に加えて新たに走行支援システムによる注意喚起情報提供についての検討を行う。我が国の走行支援システムは走行支援道路システム(AHS)と先進安全自動車(ASV)の連携により実現されるシステムである。主な走行支援システムと既往の道路及び車の施設・設備の関係は図2-6のように整理することができる。

AHSに関して浜岡(2002)は、AHSはシステムが多岐にわたるためその実施段階として、危険な状況の情報提供(AHS-i)、事故に至る直前での回避行動(AHS-c)、完全自動運転(AHS-a)の3段階に分け、運転への関与を徐々に増加させていく計画であることを述べている。また、ITS技術と交通事故対策との関連について、交差点改良を例に挙げ、交差

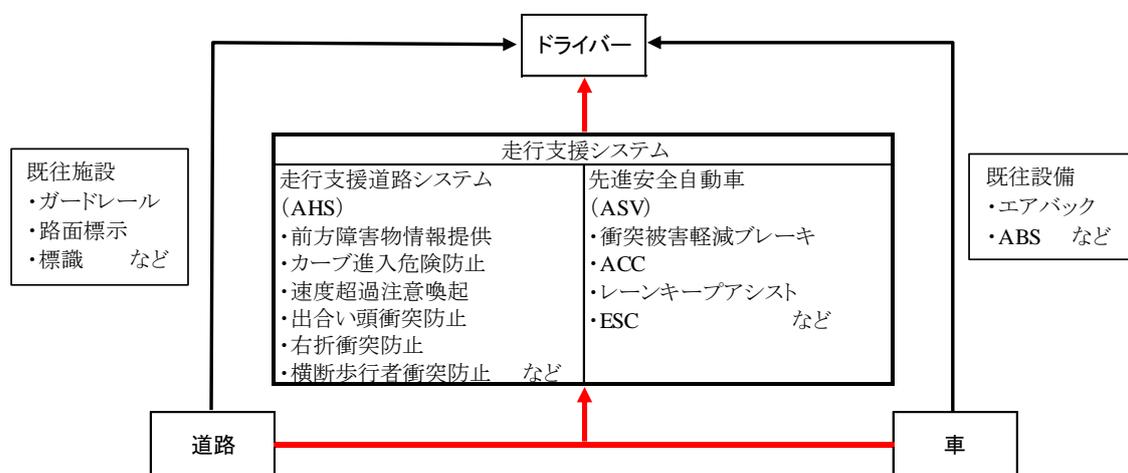


図 2-6 日本の主な走行支援システムと既往の交通安全施設・設備

点改良と ITS 技術が適切に役割分担を行うことにより、短期間のうちに、大規模な交差点改良というハード対策によるリスク解消と同等な効果を挙げることができるメリットがあるが、ITS 技術のみに頼ることの危険性にも触れている。

AHS の実施段階については、ITS 新時代（2007）において、AHS 研究組合研究所実用化推進部長水谷博之氏が、「自動運転システムは技術的にはいつでも実現できる段階まで達していたが、自動運転システムを一般の車両と自動運転車両が混在する状況下で導入することは非常に困難なので、現実的にドライバーの安全走行を支援する方向に転換した」と述べている。

桑原（2002）は、ITS 技術の展開について、ITS 技術はあくまで支援ツールであるとの考えのもとに、円滑化、安全、環境の改善のための適用、すなわちニーズオリエンティッド ITS を目指すべきことを述べるとともに、ドライバーの受容性に関する既往研究が散在していることの危惧に触れており、利用者の反応や行動についての知見を集約することの必要性を示している。

AHS の効果に関して、赤羽（2007）は、見通しが悪く、事故が多発していた首都高速 4 号新宿線参宮橋カーブで実施された社会実験の評価として、AHS による情報提供でドライバーに注意喚起したことで他の対策とも相まって事故が減少し、ドライバーから走行支援に効果的との評価を受けたことを報告している。

ASV に関しては、運転時は一般的に他車に追従することが多く、また自動車事故の中で追突事故の占めるウェイトが高い（約 30%）ことから追従走行時のドライバーを支援するシステムが最も重点的に開発されている。成波ら（2005）は、ドライバーの心理特性と行動特性から追従走行時のドライバーの運転特性を解析することを目的として、高速道路上で 4 名の被験者による走行実験を行った。その結果、ドライバーは追従走行時に他車の割り込みを排除したいという運転動機を達成するために目標とする車間距離を設定している傾向にあること、車間距離の制御は速度制御に比べて困難なため目標車間維持のために頻繁に加減速を繰り返すことに起因する運転負担や乗り心地の悪化を回避するために、ドライバーは車間距離制御を意図的に緩めていると推測されることを示している。このことは、ASV による車間距離サポートが走行安全性向上に有効であることを示していると考えられる。

2.2.4 運転行動意向に関する研究

本研究では、ITS を活用した車内注意喚起情報（IVTWI）提供の有効性を評価するために、既往交通安全施設と併用した仮想の走行場面を想定し、IVTWI や既往交通安全施設がドライバーの運転行動意向に及ぼす影響について評価する。このような新しい交通安全施

設の効果を評価する場合、実際の道路で走行データを収集することは、各種の交通安全施設を用意する必要があるため実験が大がかりになりすぎて現実的ではない。そこで、コンピューターグラフィックス（以下、「CG」）を活用して、仮想の走行場面を想定することが現実的であり、DS や走行ビデオを活用する方法や、交通需要予測分析において、新しい交通サービスの需要予測の際に多く用いられる SP 調査により収集したデータを分析する方法が考えられる。

(1) ドライビングシミュレータを活用した研究

DS を活用した研究では、久坂ら（2007）は、高速道路の暫定 2 車線区間の中央分離帯構造について、53 名の被験者に対して DS 実験を行い、構造の違いによるドライバーの運転挙動と心理特性の関連について分析した。その結果、一部の運転挙動は心理特性と高い相関があることを示している。

畠中ら（2009）は、ITS 車載器を通じて渋滞発生前の道路の交通状況をドライバーに情報提供し、適切な運転行動を促すことで渋滞削減を図るサービスの有効性について検証を行った。DS 実験は、33 名の被験者に対して慣らし走行も含めて 4 回走行実験を行い、情報提供方法別に走行データを収集し分析した。その結果、ITS 車載器を通じて情報提供を行った方が、LED 表示板より有効であったこと、車載器からの情報提供は、音声と画像では音声の方がわかりやすかったことを示している。

DS や走行ビデオは、実際の走行場面に路面標示や評価したい施設を CG 技術により描画し、被験者はそのシーンを視認してハンドル操作や加減速操作を行う。その結果、あたかも現実の走行場面のような現場に近い臨場感を再現でき、実際の運転行動に近いデータを収集できること、評価したい対象を取り換えて何度でも繰り返し実験が可能なこと、等のメリットがある。しかし、より現実に近い走行場面を再現して質の高いデータを収集するためには、それに応じて実験設備が大がかりになったり、動画の精度を上げることにより、実験コストが増加したりするため、小規模の実験しかできない。また、DS 装置を据え付けた室内の実験室での模擬走行になるため、被験者が模範ドライバーになってしまう懸念がある。

(2) SP 調査により収集したデータを活用した研究

仮想の走行場面を想定して選好情報を得る手法としては、交通需要予測で新しい交通サービスに対する需要予測の際に、SP 調査により収集したデータを用いることが多くなっている。SP 調査は、被験者の回答と実際の行動が必ずしも一致しないデメリットがあるが、行動に影響する要因や水準値を自由に設定できるだけでなく、被験者に質問を繰り返すことによって 1 人から複数の選好情報を得ることができるためデータ収集の効率が高い。ま

た、調査コストは前述の DS や走行ビデオよりかなり安価で、規模のより大きい調査を実施できる等のメリットがある。

このような SP データの利点や欠点がモデル推定や需要予測に及ぼす影響を分析するために、尾形・森川ら（2007）は、4段階尺度により行動意図の強弱を尋ねる質問形式を用いて、地下鉄延伸区域を対象とした需要予測を行った。その結果、調査精度向上の点で、従来の2段階尺度の質問形式よりも行動意図の強弱を尋ねる質問形式を取り入れた4段階尺度の質問形式が効果的であることを示している。

Iragüen ら（2004）は、市街地で死亡事故を減少させるための支払い意志額を評価するために SP 調査を設計した。この調査は、回答者が提示された旅行時間、コスト、年間死亡事故数を示した一連の仮想ルートから選好するルートを選択するというものである。

Yannis ら（2005）は、事故のリスクを減ずるためにドライバーがルート選択する際に影響する要因を把握することを目的として、SP 調査によるアプローチを適用した。そして、移動時間および、リスク軽減のために代替ルートを選択したことによるコストと時間の増加が、ルート選択に重要なインパクトを及ぼしていることを見出した。

Carlsson ら（2010）は、年齢層の違いに着目して、リスク軽減プロジェクトの便益の違いに対するスウェーデン国民の意識を評価するために SP 調査による手法を用いた。

さらに、Egbdewe-Mondzozo ら（2010）は、信号無視に対する交通安全対策として、交差点に設置された赤信号カメラに対するドライバーの選好意識を調査する際に SP 調査による手法を用いた。

しかしながら、既往交通安全施設と ITS を活用した注意喚起情報提供の効果を同時に評価するために SP 調査の手法を適用した例はほとんどない。

2.2.5 運転性向に関する研究

図 2-7 に示すように、道路の走行安全性向上は、道路・自動車・ドライバーの3者の良好な役割のもとで達成しうるものであり、道路・自動車側の技術開発や安全施設整備のみならず、ドライバーの運転性向にも着目する必要がある。つまり、同じ安全対策を施していても運転性向の異なるドライバーが混在することが交通事故やコンフリクトの原因となることが考えられる。ここで運転性向とは、ドライバー固有の潜在的な態度や習性をいう。

交通行動の社会心理学（2005）によると、日常的な運転行動全体を把握し、分析する場合には質問紙調査が用いられ、被験者の運転態度や動機、過去に経験した事象などを調べるためには重要な手法とされている。

交通事故防止の人間科学（2006）にはいくつかの適性検査法が紹介され、検査対象のドライバーによって適切な質問紙を用いることにより、事故を起こしやすいドライバーの運

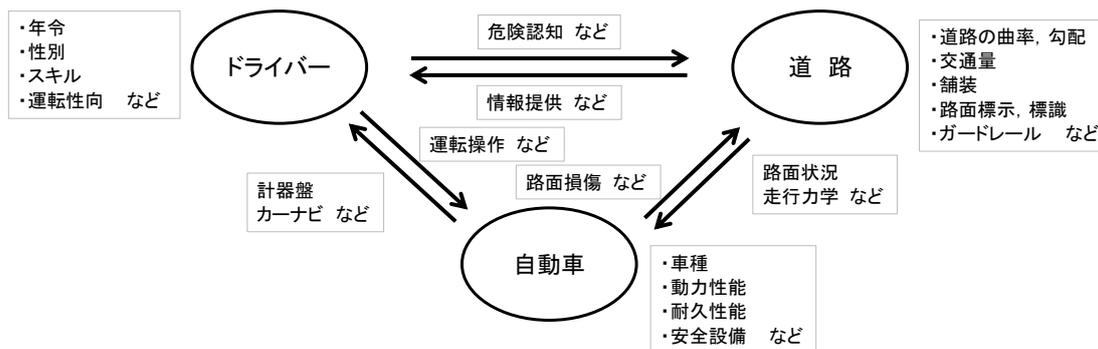


図 2-7 走行安全性向上のための要因

転特性を明らかにすることができることを示している。

Leal ら (2009) は、オーストラリアのドライバーの攻撃的な運転行動と衝突事故の関係の分析に、乱暴運転の尺度 (angry driving scale) が有効であることを確認した。

岡村ら (2005) は、被験者の実際の運転行動、態度、過去に物損事故や交通違反を犯した経験について因子分析を行った結果、とまどい運転タイプと攻撃的運転タイプは事故・違反との関連が強いことを明らかにした。

Hatfield ら (2009) も、自己申告型運転性向質問紙を分析した結果、若年ドライバーは熟年ドライバーに比べてリスク回避行動が少ないことを示している。

実際の運転行動と併せて異なる運転性向の特徴を包括的にとらえることを目的として、駒田ら (2009) は、4 種類の質問紙 (運転行動質問紙 (9 項目), 運転スタイル質問紙 (16 項目), 運転負担感質問紙 (38 項目), 日常注意経験質問紙 (32 項目)) を統合した分類方法を提案し、ドライバーは危険型, 安全型, 違反型の 3 種類に分類できることを示し、それぞれの類型に属するドライバーは、運転中の負担感や注意力、運転スタイルにおいても異なる特徴があることを示した。この調査では、年齢や性別などのドライバーの個人属性を含めて、合計 100 項目以上の調査がなされている。しかしながら、このように多くの質問から成る調査を多くのドライバーに対して行うことは現実的ではない。また、この質問紙調査は、実際の運転行動に注目して、危険運転行動型のドライバーを特定することを目的に設計されたものであり、より包括的な運転性向は表現できない。

藤田 (1995) によると、都道府県警等が行う安全運転教育の場で活用されている質問紙法による運転適性検査は、表 2-2 のように分類される。

本研究では、このうち最も受検者数が多く汎用的と考えられる SAS 型に注目する。

財団法人全日本交通安全協会は、大塚ら (1992) により開発された SAS (Safety Driving Attitude Scales) 592 を改良した SAS806 を採用している。SAS806 は運転態度の違いを特定するための 27 項目の質問から成る。SAS 質問紙の最初のバージョンである SAS176 は、大

塚ら（1977）により 1976 年に開発され、1979 年にセカンドバージョンである SAS279（大塚ら（1981））に改訂された。SAS279 は、自動車運転時の不安全行動を誘発する心理的素因として自己中心性、攻撃性といった成果兆候を基調とした積極的迷惑要素と、協調性、共感性といった性格兆候を基調とした交通弱者保護欠如要素の二つの安全意識、態度要素を抽出しており、30 項目の質問から成る。SAS279 はさらに改良されて 1986 年に SAS386（大塚ら（1989））に発展した。SAS386 は、感情高揚性、神経質傾向、自己顕示性、非協調性のそれぞれの行動要素ごとに 8 項目ずつ、合計 32 項目の質問から成る。SAS 型質問紙の内容はさらに 1989 年（大塚ら（1990））と 1992 年（大塚ら（1992））にそれぞれ改定された。これらの改訂の結果、SAS 型質問紙の最新バージョンである SAS806 は、27 項目の質問により、より包括的、かつ、より機能的に異なる場面での運転行動に関する質問から、表 2-3 に示す 6 種類の運転態度に分類することが可能となったものである。

本研究では、SAS806 により分類されるそれぞれの運転態度をドライバーに固有の運転性向と仮定し、異なる運転態度のドライバーが共存している現状を、運転性向の異質性が存在している状態として扱うこととする。

表 2-2 質問紙法による運転適性検査の一覧

検査名	73型 73-型/2型/C型	K型 K-1型/K-2型/K-4型	SAS型 SAS489型/SAS592型	82-3型	90-3型
測定内容	状況判断力(知的能力) 行動の質 情緒安定性(性格)	状況判断力(知的能力) 行動の質 情緒安定性(性格)	交通安全意識 日常の運転行動	交通安全意識 日常の運転行動	交通安全意識 日常の運転行動
所要時間	25～70分	25分	10分	10分	10分
主な用途	取消処分者講習 ¹⁾ 長期処分者講習 ²⁾ 中期処分者講習 ³⁾	指定自動車教習所 ⁵⁾	更新時講習 ⁶⁾	短期処分者講習 ⁴⁾	初心運転者講習 ⁷⁾

- 1) 違反や交通事故等により運転免許を取り消された者が受講する講習。この講習を受講しないと再び免許を取得することができない。
- 2) 違反や交通事故等により運転免許の長期間の停止処分(90日以上)を受けた者が受講する講習。この講習を受講すると運転免許の停止期間が最大45日に短縮される。
- 3) 違反や交通事故等により運転免許の中間期の停止処分(60日)を受けた者が受講する講習。この講習を受講すると運転免許の停止期間が30～36日に短縮される。
- 4) 違反や交通事故等により運転免許の短期間の停止処分(30日)を受けた者が受講する講習。この講習を受講すると運転免許の停止期間が1～10日に短縮される。
- 5) 指定自動車教習所に入所するすべての教習生が受検する。
- 6) 運転免許を更新する時に受講する講習。
- 7) 運転免許を新規に取得して1年以内に3点以上の違反をした者が受講する講習。

表 2-3 質問紙 SAS806 による運転態度の分類

運転態度	質問数	適合数	運転行動の特徴
イライラ運転タイプ	8	4以上	他の車や歩行者にイライラしやすく、ストレスの高い状態で運転しているタイプ
漫然運転タイプ	9	3以上	運転中に「ヒヤリ」としたり「ハッ」とする経験が多いタイプ
攻撃的運転タイプ	3	1以上	不必要な車線変更をしたり、事故を起こすおそれを軽視しているタイプ
自信過剰運転タイプ	7	0	自信過剰運転をしているタイプ
とまどい運転タイプ		4以上	運転への自信が足りず、判断に迷いが生じがちな運転をしているタイプ
安全運転タイプ	上記以外		落ち着いたバランスのよい運転をしているタイプ

2.3 まとめ

高速道路に限らず、交通事故削減のためには、図 2-7 に示したように、道路、ドライバー、自動車の3者による良好な関係が成立する必要がある。3者がそれぞれ有する特性・機能が、道路上において、他者との関わりの中で相互に円滑に作用して効果を発揮することが必要で、いずれかの作用が滞ってバランスが崩れた時に交通事故に至ると考えることができる。この視点に立つと、道路とドライバーとの関係において道路線形や路面標示、標識などの交通安全施設は、交通事故が減少しない交通事故多発地点においては、設置後にドライバーの受容性の観点からの効果検証が十分でなかった可能性がある。また、交通事故が減少しないことはドライバーの個人属性や運転性向の異質性が反映されない画一的な情報提供であったことも原因の1つかもしれない。

一方で、道路の走行安全性向上をめざして ITS スポットが整備され、2010 年からサービスの社会実験が開始されて、ITS 技術を活用した車内注意喚起情報提供 (IVTWI 提供) が実用化の見通しにあることは、ドライバーが無意識のうちに陥りがちな潜在的なリスクに対して、安全運転支援の観点から有効な施策と考えられる。しかし、これまで整備されてきた高機能舗装や路面標示などの既往交通安全施設の効果も無視できない。

このような背景の中で、本研究では、交通安全施設を道路側からドライバーへの注意喚起情報提供施設ととらえ、それぞれの交通安全施設の効果について評価して、効果的な交通安全施設を明らかにしていくことを目的とする。

そこで本研究の最初に、既往交通安全施設を対象に、統計的な観点からその整備効果に

ついて評価することを試みる。具体的には、中国地方の高速道路の長い下り勾配区間で実施された速度抑制対策の実施前後の走行速度や交通事故件数を分析して、既往交通安全施設の効果について明らかにする。さらに、一般的に採用されている既往交通安全施設の例として高機能舗装と導流レーンマークをとり上げ、山陽自動車道を対象に、その効果を2年以上の期間について統計的に評価し、効果の持続性を明らかにする。

ドライバーの走行支援システムは AHS や ASV など多岐の分野にわたっている。また、支援の内容も注意喚起情報提供から、危険な状態に陥る直前での回避動作、さらには自動運転まで機械の介入の度合いも、軽重様々なものがある。どの範囲までを機械に依存できるかは、機械の故障リスクや誤作動に対する信頼性、人と機械の責任の境界の明確な定義など解決すべき課題が多いと思われる。また、実際の走行場面で自動運転と非自動運転が混在した場合は、ITS 新時代でもコメントされていたように、非常に多くの走行パターンが想定され実現には相当な困難が予想される。そのため本研究で対象とする走行支援システムは、全国の高速道路に整備されたインフラである約 1,600 ヶ所の ITS スポットを有効に活用し、ITS スポット対応カーナビを通じてドライバーに注意喚起を行うことが可能な路車協調方式の走行支援システムである IVTWI を対象とする。

IVTWI の有効性については、山陽自動車道における走行実験調査において収集したプロブデータを用いて、IVTWI が提供された場合の被験者の運転行動の変化を評価する。さらに、IVTWI の受容性についてのデータ蓄積を目的に、同時に被験者から収集したアンケート結果を分析することにより、ドライバーの受容性の観点から IVTWI の有効性について検証する。

次に、IVTWI と既往交通安全施設による、注意喚起情報提供の効果について明らかにする。注意喚起情報提供施設には、走行場面によっても多くの組合せが考えられる。そのため、実際の高速道路上のいくつかの走行場面において、実験計画法の手法を用いて IVTWI と既往交通安全施設を組み合わせた仮想の質問場面を想定する。想定した質問場面を用いて SP 調査を実施し、被験者から運転行動意向を収集して分析して、それぞれの走行場面において効果的な交通安全施設からの注意喚起情報提供について評価する。

さらに、ドライバーの運転性向の異質性を考慮することにより、高速道路上の各種の交通安全施設からの注意喚起情報提供が、ドライバーの運転行動意向に及ぼす影響を明らかにし、効果的な注意喚起情報提供に反映させるための分析を行う。そのため、SP 調査と同時に収集した SAS806 による運転態度に関する情報を運転性向として導入し、SP 調査で収集した運転行動意向と同時に分析・評価することによって、運転性向の異質性を考慮した注意喚起情報提供の有効性を明らかにする。

第 2 章関連参考文献

- 赤羽弘和 (2007) 首都高速参宮橋カーブで事故が減った, *ITS 新時代*, 日経 BP 社, pp.82-85.
- 安部公一抄訳 (1988) 幹線道路の道路構造と安全性の関係(その 1), *交通工学*, Vol.23 (No.5), pp.67-73.
- 大口敬, 赤羽弘和, 山田芳嗣 (2004) 高速道路交通流の臨界領域における事故率の検討, *交通工学*, Vol.39 (No.3), pp.41-46.
- 大塚博保, 貝沼良行, 磯部治平, 山口卓耶, 中島茂樹, 斎藤昭二, 松浦常夫 (1977) 安全運転態度検査-安全運転自己診断 SAS176-の開発, *科学警察研究所報告交通編*, Vol.18, pp.34-50.
- 大塚博保, 貝沼良行, 磯部治平, 山口卓耶, 中島茂樹, 斎藤昭二, 松浦常夫 (1981) 安全運転態度検査 SAS279 の開発, *科学警察研究所報告交通編*, Vol.22, No.1, pp.17-23.
- 大塚博保, 貝沼良行, 磯部治平, 山口卓耶, 松浦常夫 (1989) 安全運転態度検査 SAS386 の開発, *科学警察研究所報告交通編*, Vol.30, No.1, pp.97-102.
- 大塚博保, 鶴谷和子, 松浦常夫, 貝沼良行, 磯部治平, 山口卓耶, 内田千枝子(1990) 安全運転態度検査 SAS489-32 及び 40 の開発, *科学警察研究所報告交通編*, Vol.31, No.1, pp.47-56.
- 大塚博保, 鶴谷和子, 藤田悟郎, 市川和子 (1992) 安全運転態度検査 SAS592 の開発, *科学警察研究所報告交通編*, Vol.33, No.2. pp.45-51.
- 尾形信一, 倉内慎也, 森川高行 (2007) SP データを活用した新規都市鉄道路線の需要予測に関する研究, *土木計画学研究・講演集*, Vol.36 (CD-ROM).
- 岡村和子, 藤田悟郎 (2005) 自己報告によるドライバーの運転行動及び態度と交通事故・違反との関連, *科学警察研究所報告交通科学編*, pp.14-25.
- 荻野弘, 野田宏治 (1993) 高速道路の幾何構造と交通事故との関連に関する基礎的研究, *豊田工業高等専門学校研究紀要*, 第 26 号, pp.61-68.
- 川嶋弘尚監修 (2007) *ITS 新時代*, 日経 BP 社, p.74.
- 木倉正美, 松本信吾 (1978a) 高速道路における事故解析(前編), *高速道路と自動車*, Vol.21 (No.5), pp.30-37.
- 木倉正美, 松本信吾 (1978b) 高速道路における事故解析(後編), *高速道路と自動車*, Vol.21 (No.6), pp.37-44.
- 楠橋康広, 藤原章正, 張峻屹 (2009) 休日特別割引前後の GW 期間中の高速道路における交通事故特性の変化, *土木計画学研究・講演集*, Vol.40 (CD-ROM).
- 桑原雅夫 (2002) ITS 研究の現状と課題, *土木学会誌*, Vol.87, Nov, pp.18-19.

- 小沼良一，大口敬 (2004) 視覚的な速度抑制対策が運転者の速度感に与える効果，*土木学会年次学術講演会概要集*，Vol.59，No.4-366 (CD-ROM)。
- 斎藤威 (1992) 高速道路の事故多発地点における運転操作，心身反応上の特徴，*科学警察研究所報告交通編*，Vol.33 (No.2)，pp.1-15。
- 佐々木英雄 (2004) 高速道路における交通安全対策，*交通工学*，Vol.39 (No.3)，pp.33-36。
- 成波，谷口哲夫，波多野忠，松島和男 (2005) 追従走行時のドライバ挙動に関する研究，*独立行政法人交通安全環境研究所報告第7号 (平成17年3月)*。
- 財団法人全日本交通安全協会，安全運転自己診断 SAS806。
- 高木修 (2005) 交通行動の社会心理学，*北大路書房*，p.4。
- 西日本高速道路(株)：100%安全・安心を目指して，
http://www.w-nexco.co.jp/safety_drive/safe_administration/
- 畠中秀人，坂井康一，浅野美帆，佐藤章博 (2009) ドライビングシミュレータを用いたサグ部円滑化走行支援サービス効果の検証，*第29回交通工学研究発表会論文集*，pp.149-152 (CD-ROM)。
- 浜岡秀勝 (2001) 交通安全の向上に求められる課題，*交通工学*，Vol.36，No.6，pp.5-8。
- 浜岡秀勝 (2002) 交通安全とITS，*土木学会誌*，Vol.87，Nov，pp.26-27。
- 韓亜由美，小野晋太郎，佐々木正人，須田義大，池内克史，玉木真，大貫正明，小島朋己，錦戸綾子 (2010) 知覚情報にもとづく道路シーケンスデザインによる走行制御効果の検証，*第9回ITSシンポジウム論文集*，pp.61-66 (CD-ROM)。
- 彦坂崇夫，中村英樹 (2001) 高速道路単路部における交通状況と事故率との関連に関する統計的分析，*第21回交通工学研究発表会論文報告集*，pp.173-176。
- 久坂直樹，宮本賢治，土井健司，辻幸英，土井和広 (2007) ドライビングシミュレータ(MOVIC-T4S)を用いた暫定2車線高速道路における運転者挙動と心理状況の関係分析，*土木計画学研究・講演集*，Vol.36 (CD-ROM)。
- 藤田悟郎 (1995) 我が国の運転者教育における運転適性検査の活用状況，*科学警察研究所報告交通編*，Vol.36，No.2，pp.35-41。
- 松永勝也 (2006) 交通事故防止の人間科学，*ナカニシヤ出版*，pp.63-68。
- 宮内昭征，久米富美男 (1995) 高速道路における交通事故の現状分析および交通事故対策とその効果，*高速道路と自動車*，Vol.38 (No.10)，pp.14-18。
- 四辻裕文，喜多秀行 (2009) 路面表示間隔がもつ減速誘導メカニズムの分析フレーム，*第8回ITSシンポジウム講演論文集*，Peer-Review Proceedings，Paper No.2-C-04 (CD-ROM)。
- Carlson, F., Daruvala, D., Jaldell, H. (2010) Preferences for lives, injuries, and age: A stated preference survey, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.42,

pp.1814-1821.

- Egbendewe-Mondzozo, A., Higgins, L.M., Shaw, W.D. (2010) Red-light cameras at intersections: Estimating preference using a stated choice model, *Transportation Research Part A*, Vol.44, pp.281-290.
- Hatfield, J., Fernandes, R. (2009) The role of risk-propensity in the risky driving of younger and older drivers, *Road Safety Grant Report*, No.2009-002, NSW Injury Risk Management Research Centre, The University of New South Wales.
- Iragüen P., Ortúzar, J. de D. (2004) Willingness-to-pay for reducing fatal accident risk in urban areas: an Internet-based Web page stated preference survey, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.36, pp.513-524.
- Leal, N.L., Pachana N.A. (2009) Validation of the Australian Propensity for Angry Driving Scale (AUS-PADS), *Accident Analysis and Prevention*, Vol.41, pp.1112-1117.
- Strauss T., Geadelmann L. (2009) Evaluation Framework for The Creation and Analysis of Integrated Spatially-Referenced Driver-Crash Databases , *Midwest Transportation Consortium Project 2007-13*, Midwest Transportation Consortium Iowa State University.
- Yannis, G., Kanellopoulou, A., Aggeloussi, K., Tsamboulas D. (2005) Modelling driver choices towards accident risk reduction, *Safety Science*, Vol.43, pp.173-186.

第3章 既往交通安全施設の評価

昭和39年に我が国最初の都市間高速道路として名神高速道路（栗東～尼崎間）が開通して以来、高速道路における走行安全性向上のために、これまでに多くの施策が講じられてきた。しかし、第2章で中国地方の高速道路における交通事故の現状でふれたように、これまでに多くの交通安全施設による対策を講じてきたにもかかわらず、依然として交通事故が減少しない、いわゆる事故多発区間が依然として存在する。このような事故多発区間を解消して100%の安全・安心な高速道路を実現するには、これらの事故多発区間などに講じられてきた既往の交通安全施設の設置から、目的とする効果が発揮されているかどうか、そのアウトカムとして整備した区間の交通事故件数の動向の変化などの項目について分析・評価することが重要である。

一方で、前章でレビューしたように、交通事故要因を高速道路の幾何構造や交通流の状況との対比の中で分析・評価した研究は多くの成果が報告されているが、交通安全施設の整備効果に関しては、旧日本道路公団やNEXCOなどの道路管理者から報告されているものの、分析対象期間が短期間であるなど、決して十分な分析・評価がなされていないのが現状と考えられる。

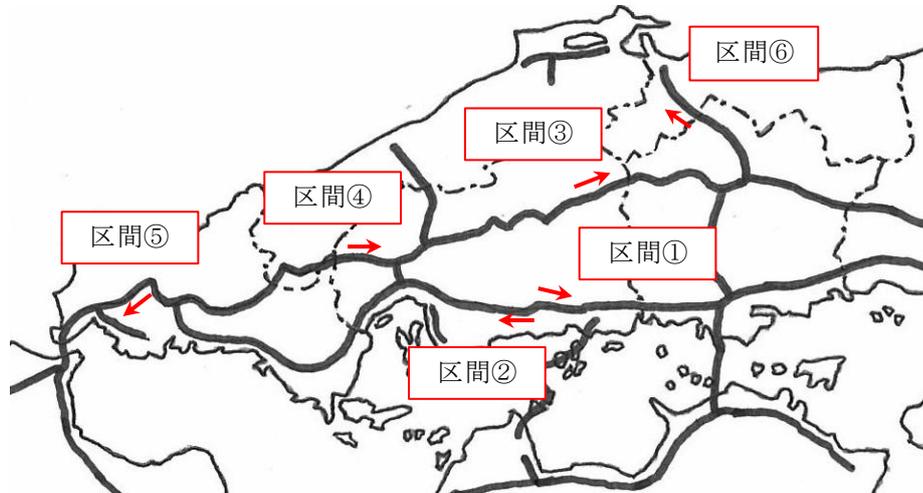
このような現状をふまえて、本研究の最初に本章では、近年実施された交通安全施策を例として、これらの施策による既往交通安全施設の整備効果を分析・評価し、これらの課題を明らかにする。

まず3.1で、NEXCO西日本が長い下り勾配区間において、速度抑制対策の実施前後に行った走行速度調査結果を集計分析し、その結果を検定することにより、実施した既往交通安全施設の効果と課題を明らかにする。次いで3.2で、評価対象範囲を拡大して、中国地方の高速道路で発生する交通事故の約60%が集中する山陽自動車道（備前インターチェンジ～山ロジャンクション間）を対象とし、汎用的な既往交通安全施設である高機能舗装と導流レーンマークの効果の持続性について集計分析と結果の検定を行うことにより評価する。さらに、交通事故の発生頻度と道路の幾何構造や交通安全施設の有無、整備後の経過年数との関係について順序付けプロビットモデルを用いて分析・評価する。最後に、3.3でこれらを総合して、既往交通安全施設の効果と課題について総括する。

3.1 長い下り勾配区間の対策効果の評価

3.1.1 交通安全施設および走行速度調査の概要

本節で対象とした評価区間は、図 3-1 に示す 6 区間である。これらの区間は、4%以上の下り勾配を含む下り勾配が 3km 以上連続する区間である。道路構造令の解説と運用（平成 16 年 2 月）によると、第 1 種 2 級および 3 級の道路規格の高速道路の最急縦断勾配は 4%と規定されていることから、ドライバーが速度超過に陥りやすい区間であると言える。



区間	路線名	区 間	上下	下り勾配延長	4%以上の延長(最急勾配)
①	山陽道	本郷IC⇒三原久井IC	上り	6.2km	3.0km(4.88%)
②	山陽道	三原久井IC⇒本郷IC	下り	8.8km	7.4km(4.00%)
③	中国道	庄原IC⇒東城IC	上り	6.0km	3.2km(4.50%)
④	中国道	吉和IC⇒戸河内IC	上り	9.6km	6.7km(5.00%)
⑤	中国道	美祢IC⇒美祢西IC	下り	3.3km	2.6km(5.00%)
⑥	米子道	蒜山IC⇒溝口IC	下り	10.8km	6.6km(5.00%)

図 3-1 評価対象区間

表 3-1 各区間で整備した既往交通安全施設

区間	主な速度抑制対策
①	センサー連動LED標示板・赤色回転灯－各1基、 導流LM－500m、高輝度LM－500m、注意喚起標識(大型化)－2基
②	センサー連動LED標示板・赤色回転灯－各1基、 導流LM－1200m、高輝度LM－1050m、注意喚起標識(大型化)－2基
③	導流LM－700m
④	導流LM－1400m、注意喚起標識(大型化)－1基
⑤	LED標示板－1基、大型注意喚起標識取替－1基 薄層舗装(補修)－3ヶ所・300m、自発光デリニエータ(青色)－1400m
⑥	導流LM－3000m、注意喚起標識(大型化)－1基

これらの区間では、平成 19 年度に NEXCO 西日本が、高速道路の長い下り勾配区間の速度抑制を目的として、表 3-1 に示すようなセンサー連動の LED 表示板、導流レーンマークや注意喚起標識の大型化などの交通安全施設を整備した。整備に先立って、走行速度の実態を把握するために走行速度調査を行っている。走行速度調査はプローブカーによる調査と、定点からのスピードガンによる速度分布を調査する定点調査から成っている。

以下に、実施した主な交通安全施設と走行速度調査の概要について述べる。

(1) 主な交通安全施設

1) センサー連動 LED 表示板

センサー連動 LED 表示板は、図 3-2 に示すように、車速検知センサー、赤色回転灯、LED 表示板より成り、センサーにより一定速度以上の車両を検知すると、赤色回転灯と LED 表示板により注意喚起するものである。LED 表示部は 0.8m×1.2m で、追越車線からも容易に視認できるよう F 型支柱で走行車線に向けて張り出した構造である。平常時は長い下り勾配区間であることを切り替えて表示し、速度超過した車を検知した時は減速を促すため強めの注意喚起を切り替え表示している。

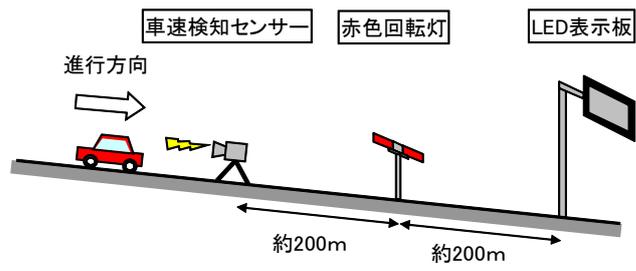
2) 注意喚起標識（大型化）

一般的な注意喚起標識は、標識板のサイズが 1.2m×2.5m で、文字サイズは 35cm 角である。この標識をより遠方から視認できるよう、標識板サイズは 1.5m×3.0m に、文字サイズは 50cm 角に拡大するとともに、図形を挿入して下り勾配区間であることを強調している。また、反射シートの材質は夜間の視認性を向上させるために超高輝度反射シートを採用している。

(2) 走行速度調査

走行速度調査は車両の走行実態を把握し、効果的な交通安全施設の位置と工種を選定するために実施された。まず、対策実施前の平成 19 年 6 月に事前の調査を実施し、調査結果に基づいて、速度が出やすい位置が抽出された。そして、これまでに現地に整備済みの交通安全施設の有無や種別を確認して、交通安全施設の追加整備が必要な個所に必要な施設が整備されたものである。対策実施後の調査は、調査時期によって交通量や路面状況の相違により測定結果が影響されないよう、平成 20 年 6 月の同じ時間帯で、路面乾燥時に行われた。

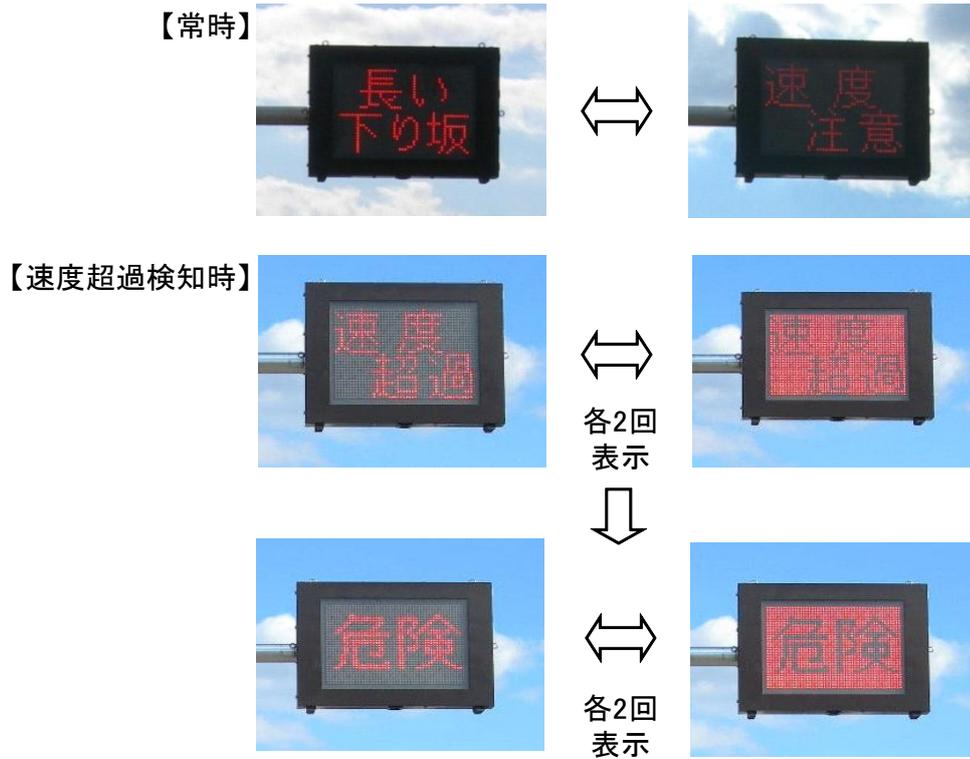
プローブカー調査は対象区間の速度変化を記録し、速度超過しやすい位置を把握することを目的として行われた。調査は、測定器を積んだ調査車が車群に追従し、車両位置・速度などを 1 秒毎に記録することとして、1 回の調査で n 回 ($n \geq 10$ 回) 走行している。



(a) 概要図



(b) 全景



(c) 表示内容

図 3-2 センサー連動 LED 表示板



(a) 対策前



(b) 対策後

図 3-3 注意喚起標識 (大型化)

定点調査は、車種別・車線別の走行速度分布を把握することを目的として行われた。調査は、跨高速道路橋上から進行方向下流側に向けてスピードガンにより1箇所あたり200サンプル以上のデータを収集している。

3.1.2 走行速度調査結果の分析

(1) プローブカー調査結果の評価

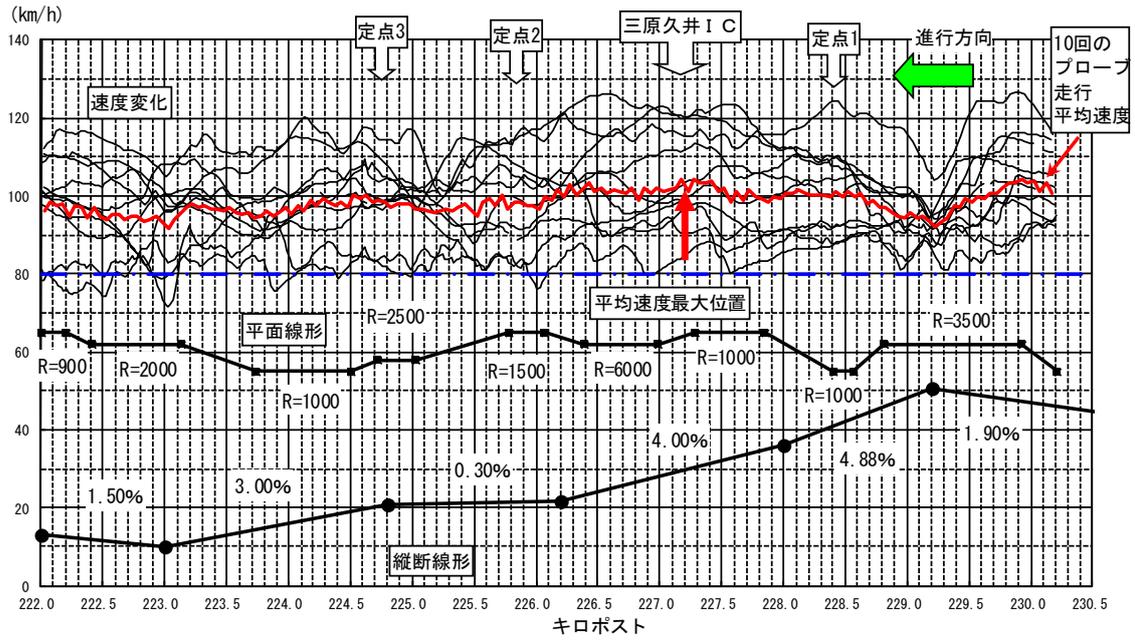
図3-4に、図3-1および表3-1中の区間①で実施したプローブカー調査の結果を示す。区間①の交通安全施設設置の特記事項は次のとおりである。

- 下り勾配の始点、特にクレスト上流側の縦断曲線始点から導流レーンマークを設置したこと。
- 下り勾配始点付近で複数の交通安全施設を組み合わせたこと。

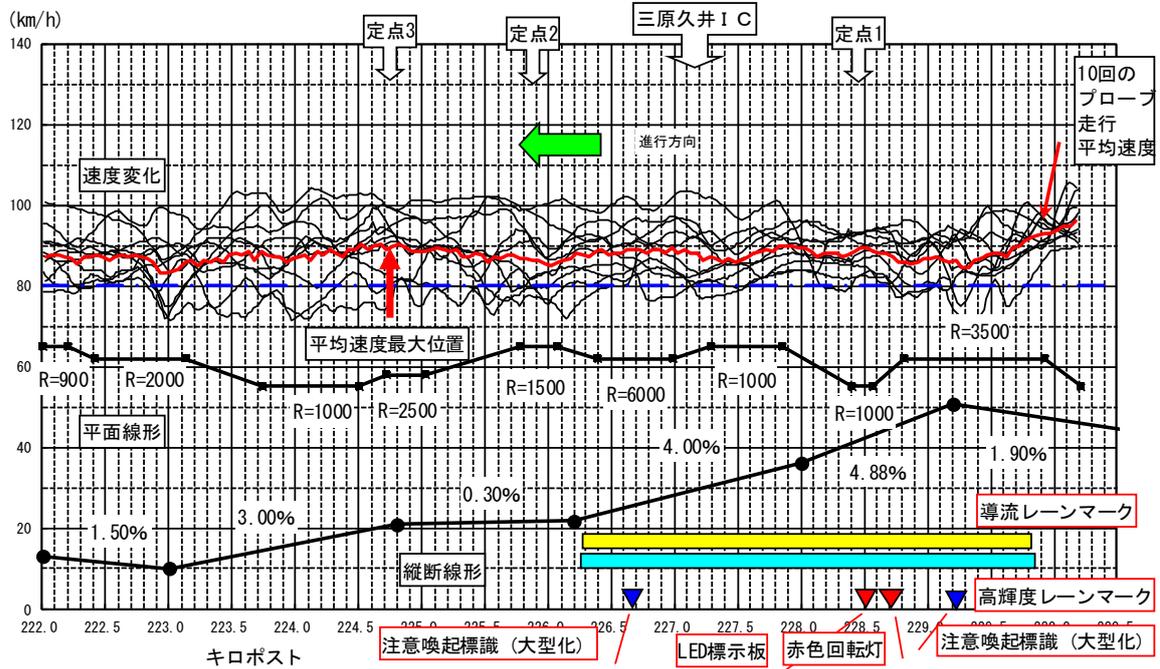
一般的に、高速道路のクレスト付近では、走行性向上のため半径10,000m程度の大きな縦断曲線がクレストの前後数百mにわたって挿入されている。そのため、ドライバーは上り勾配から下り勾配に移行していることに気づきにくくなっている点に着目し、クレスト位置より上流側にある、上り単一勾配から緩和曲線に移行する付近から導流レーンマークにより注意喚起を促そうとしたものである。

さらに、区間①では、この速度抑制対策に取り組むきっかけとなった重大な事故が発生した区間でもあり、クレスト通過後にセンサー連動LED表示板(図3-2)と注意喚起標識の大型化(図3-3)により、路面標示(導流レーンマーク)以外の対策も組み合わせた重点的な対策としている。

その結果、対策実施前は、クレスト通過後に速度の速い車と遅い車の差が徐々に大きくなり、最大で40km/h程度の速度差が確認された、速度の速い車の速度は120km/hに達していた。しかし、複数の速度抑制対策の効果もあって、対策実施後は速度の速い車と遅い車の速度差が最大で30km/h程度に縮小し、速い車の速度も100km/h程度に減少したと考えられる。



(a) 対策実施前



(b) 対策実施後

図 3-4 対策実施前後のプローブカー調査結果の比較 (区間①)

交通安全施設の整備効果を評価するために、評価対象区間は、クレストを起点とし、整備位置より進行方向下流側へ 1km の地点を終点として、この間を 50m ピッチで区切ったセグメントを構成した。そして、1 秒ごとに記録された位置・速度を走行回数ごとに各セグメントに割り振り、セグメント毎の平均値を n 回目走行時のセグメント速度とした。これらの速度記録を集計した結果を表 3-2 (a) に示す。表中、初速度は、評価対象区間への進入速度とし、初速度と最高速度は、n 回走行の平均値とした。増加速度は、初速度と最高速度の差とした。速度差は、評価対象区間内の各セグメントで、n 回の走行により得られた各々の速度から、次式で定義した。

$$\Delta V_i = V_{i \max} - V_{i \min} \quad (3.1)$$

i : i 番目のセグメント断面

表 3-2 (a) より、最高速度は 6 区間中 5 区間で 5.3~12.3km/h 低下し、増加速度は 6 区間中 3 区間で 1.4~6.6km/h (規制速度 80km/h に対して、1.8%~8.3%) 低下した。

次に、プローブカー調査結果を用いて、整備された交通安全施設の効果を統計的に評価するために、セグメントごとの平均速度と、ばらつきの指標として速度の標準偏差について、標本分散の有無に応じた t 検定を行った。結果を表 3-2 (b) に示す。

平均速度については、区間⑥を除く 5 区間において有意水準 5%で、交通安全施設整備後に平均速度が 5.1~11.9km/h 低下した。同様な有意水準で、セグメント速度の標準偏差は 6 区間中、区間①, ②, ③の 3 区間で 0.8~5.5km/h 低下して速度の速い車と遅い車の速

表 3-2 プローブカー調査結果

(a) セグメント毎の速度諸元

	対 策 前				対 策 後				増 減		
	初速度	最高速度	増加速度	速度差	初速度	最高速度	増加速度	速度差	最高速度	増加速度	速度差
区間①	93.6	102.1	8.5	32.9	86.0	89.8	3.8	15.0	-12.3	-4.7	-17.9
区間②	92.0	103.4	11.4	32.8	91.2	96.0	4.8	21.9	-7.4	-6.6	-10.9
区間③	98.8	99.7	0.9	20.8	85.9	90.1	4.2	18.1	-9.6	3.3	-2.7
区間④	93.2	97.9	4.7	19.3	89.3	92.6	3.3	14.5	-5.3	-1.4	-4.8
区間⑤	98.5	98.5	0.0	16.3	86.6	87.6	1.0	23.8	-10.9	1.0	7.5
区間⑥	90.1	92.9	2.8	19.3	88.1	95.0	6.9	28.5	2.1	4.1	9.2

(b) 評価対象区間の速度検定結果

	対 策 前		対 策 後		増 減		検定結果 ($\alpha=0.05$)			
	平均速度	標準偏差	平均速度	標準偏差	平均速度	標準偏差	平均速度		標準偏差	
							t 値	*	t 値	*
区間①	99.9	10.8	88.0	5.3	-11.9	-5.5	24.69	*	15.47	*
区間②	98.5	11.6	93.4	7.6	-5.1	-4.0	11.24	*	13.39	*
区間③	97.0	6.2	87.3	5.4	-9.7	-0.8	25.96	*	3.24	*
区間④	96.1	4.7	91.0	4.8	-5.1	0.1	22.44	*	-0.64	
区間⑤	95.2	5.1	85.3	7.6	-9.9	2.5	23.26	*	-9.21	
区間⑥	90.1	5.5	91.8	9.3	1.7	3.8	-4.34		-11.35	

度のばらつきが小さくなって、走行する車両間のコンフリクトが改善されたと推測される。

特に、区間①、②では、クレストより上流側の縦断曲線開始位置から導流レーンマークを整備して注意喚起を図ったことに加え、急な下り勾配区間に進入して700～1,500mという早い段階でセンサー連動LED表示板により速度抑制の注意喚起を行ったことで、その後の増加速度が抑えられたと推測される。

(2) 定点調査結果の評価

次に、プローブカー調査と同時に、定点で実施したスピードガンによる速度分布調査結果から交通安全施設の速度抑制効果を評価する。まず、調査区間ごとに、車種別、車線別の速度分布を集計し、集計結果について等分散の有無を考慮したt検定により統計的に評価した。結果を表3-3に示す。

路線や車種・車線によって観測数にばらつきがある。プローブカー調査結果と比べ、対

表 3-3 定点調査結果の検定結果

		小型車・走行車線		小型車・追越車線		大型車・走行車線		大型車・追越車線	
		平均速度	標準偏差	平均速度	標準偏差	平均速度	標準偏差	平均速度	標準偏差
区間①	対策前	95.5	9.6	111.3	12.9	92.4	8.3	99.7	10.3
	対策後	94.9	9.4	112.0	10.8	89.0	8.3	98.6	8.6
	増減	-0.6	-0.2	0.7	-2.1	-3.4	0.0	-1.1	-1.7
	t値	0.58	1.03	-0.41	1.43 *	2.57 *	0.99	0.39	1.43
区間②	対策前	101.0	11.1	113.3	12.3	88.2	8.1	96.8	4.5
	対策後	103.2	11.2	115.2	9.8	87.2	8.9	102.3	10.5
	増減	2.2	0.1	1.9	-2.5	-1.0	0.8	5.5	6.0
	t値	-1.74	0.98	-0.97	1.59 *	0.87	0.83	-1.48	0.18
区間③	対策前	98.1	10.7	109.8	8.7	84.4	9.3	94.2	1.8
	対策後	94.6	10.3	105.8	8.6	87.0	8.0	97.4	0.8
	増減	-3.5	-0.4	-4.0	-0.1	2.6	-1.3	3.2	-1.0
	t値	1.85 *	1.07	0.80	1.03	-1.26	1.35	-2.23	4.69
区間④	対策前	94.5	12.9	106.2	29.1	88.6	6.9	—	—
	対策後	94.0	11.2	108.8	—	88.0	8.2	96.1	—
	増減	-0.5	-1.7	2.6	—	-0.6	1.3	—	—
	t値	0.18	1.33	—	—	0.22	0.70	—	—
区間⑤	対策前	94.1	8.8	103.7	10.0	88.2	7.0	95.9	6.6
	対策後	94.3	8.7	105.0	9.7	87.9	7.0	98.3	8.2
	増減	0.2	-0.1	1.3	-0.3	-0.3	0.0	2.4	1.6
	t値	-0.16	1.02	-0.78	1.06	0.21	0.79	-0.95	0.64
区間⑥	対策前	102.4	12.8	117.4	13.7	85.3	9.4	100.6	14.4
	対策後	99.7	11.3	117.6	9.8	87.7	9.9	100.5	1.4
	増減	-2.7	-1.5	0.2	-3.9	2.4	0.5	-0.1	-13.0
	t値	1.57	1.28	-0.06	1.97	-0.77	0.90	0.01	72.20

※ 観測数

	小型車・走行車線		小型車・追越車線		大型車・走行車線		大型車追越車線	
	対策前	対策後	対策前	対策後	対策前	対策後	対策前	対策後
区間①	104	107	96	96	78	82	21	25
区間②	122	232	64	67	86	133	9	15
区間③	60	62	6	6	32	34	2	2
区間④	32	35	2	1	17	19	0	1
区間⑤	97	100	69	74	83	81	20	15
区間⑥	85	112	11	21	14	36	4	2

策前後の平均速度の差は 2~3km/h 程度にとどまり、対策前より速度が減少した観測地点は限定的である。このことは、道路上を移動しながら走行速度を記録するプローブカー調査と、定点での速度分布を調査する定点調査の調査方法の違いやサンプル数の違いに起因すると推測される。

表 3-3 に示した 6 区間の定点で、車種・車線別に 1 定点あたり 4 回、全体で 24 回実施した検定のうち、5%有意水準で速度低下が確認されたのは、区間①で大型車・走行車線のケースと区間③の小型車走行車線のわずかに 2 回にとどまった。この結果から、センサー連動 LED 表示板や導流レーンマーク、注意喚起標識などの交通安全施設は、それらの整備による速度抑制効果が小さいことが推測される。

3.1.3 交通事故件数の増減

次に、長い下り勾配区間で実施した速度抑制対策の効果をアウトカムの視点で評価するために、交通安全施設整備前後に各区間で発生した交通事故件数を比較し、統計的に効果を評価する。評価期間は、特定の区間での交通事故発生頻度の希少性を考慮し、評価の精度を確保するために評価期間を極力長くすることとした。そのため評価期間は施設整備の前後 3 年間とし、対象範囲は、区間①から⑥のクレストからサグまでの区間とした。

評価手順は、まず平成 17 年から平成 19 年までの各区間の 3 年間の交通事故件数の平均値を算出し、当該区間の交通安全施設整備前の年平均交通事故件数とした。そして 1 年間に n 件の交通事故が発生する確率は年平均交通事故件数 N 件のポアソン分布に従うと仮定し、交通安全施設整備後の平成 20 年~平成 22 年に発生した交通事故件数から、帰無仮説を“ H_0 :交通安全施設の効果が無い”として、片側検定で整備効果を評価することとした。

表 3-4 に、評価対象区間と延長を、表 3-5 に区間ごとの年別交通事故発生件数を示す。なお、交通安全施設の整備効果を適切に評価するために、交通事故データのスクリーニング条件を次のとおり設定した。

- (a) 各年の集計単位は 1 月~12 月とする。
- (b) 積雪路面下で発生した事故（積雪、シャーベット状など）は除く。
- (c) 落下物事故は除く。
- (d) 5 分以内かつ 100m 以内で発生した多重事故・関連事故は 1 件とカウントする。

各区間の評価結果を表 3-6 に示す。

区間①と②は、1 年目は 1%以上の有意水準で交通事故削減効果が認められた。これは、他の区間がないセンサー連動 LED 表示板の効果による可能性がある。しかし、2 年目、3 年目と事故件数が増加している。この傾向は区間④も同様で、このことは交通安全施設を

表 3-4 評価対象区間

	KP(自)	KP(至)	延長(km)
区間①	229.2	223.0	6.2
区間②	229.2	238.0	8.8
区間③	254.9	248.9	6
区間④	374.7	365.2	9.5
区間⑤	504.5	507.8	3.3
区間⑥	38.2	49.0	10.8

表 3-5 各区間の年別交通事故発生件数（平成 17 年～平成 22 年）

	平成17年	平成18年	平成19年	整備前年平均	平成20年	平成21年	平成22年
区間①	13	8	12	11.0	3	4	17
区間②	23	23	24	23.3	12	13	35
区間③	10	15	31	18.7	33	33	39
区間④	3	6	7	5.3	2	6	10
区間⑤	21	45	34	33.3	21	9	13
区間⑥	10	8	6	8.0	6	15	10

(NEXCO西日本中国支社調べ)

整備した直後は整備効果が認められたとしても、数年後には効果が減少してしまう可能性を示していると推測される。この原因は、ドライバーの慣れや路面標示の摩耗等による劣化に起因する視認性の低下により注意喚起効果が低下したことなどが考えられる。

区間③では、効果がまったくといて良いほど確認できない。この区間では、さらに詳細な調査が必要と考えられる。

一方で、区間⑤では特に 2 年目の平成 21 年以降に交通事故件数が大幅に減少しており、区間①、②と反対の傾向を示している。区間⑤は、第 2 章の図 2-3 に示した交通事故多発区間であり、特に湿潤路面下での交通事故発生が顕著な区間であった。平成 20 年 3 月に表 3-1 に示した速度抑制対策を実施した後、平成 20 年 7 月に高機能舗装の改良を行っており、これらの結果、平成 20 年後半以降に湿潤路面時の交通事故が激減しているものである。し

表 3-6 各区間の交通安全施設の整備効果評価結果

	年平均件数 (件/年)	平成20年			平成21年			平成22年		
		事故件数	累積確率	判定	事故件数	累積確率	判定	事故件数	累積確率	判定
区間①	11.0	3	0.005	**	4	0.015	*	17	0.968	
区間②	23.3	12	0.008	**	13	0.015	*	35	0.991	
区間③	18.7	33	0.999		33	0.999		39	1.000	
区間④	5.3	2	0.102		6	0.717		10	0.980	
区間⑤	33.3	21	0.016	*	9	0.000	**	13	0.000	**
区間⑥	8.0	6	0.313		15	0.992		10	0.816	

** : 1%有意, * : 5%有意

かしながら、交通事故件数の大幅な減少が、速度抑制対策と高機能舗装改良のいずれの効果に起因するものかは、両者の整備間隔が短いため区分できない。

区間⑥では、年ごとに交通事故件数が増加側、減少側に交互に変動しており、平成 22 年までのデータでは効果の有無を断定できない。

以上の評価結果をまとめると、既往交通安全施設については、適切に設置すれば数年間は交通事故削減に効果を発揮するものの、交通事故件数が徐々にリバウンドしていくケースでは、注意喚起効果が減少していくものと推測される。また、交通安全施設としての高機能舗装については、区間⑤の交通事故件数が平成 21 年は 9 件だったものが平成 22 年は 13 件と増加していることから、時間の経過とともに、注意喚起効果が減少したことが予想される。これらの経年的な交通安全施設の効果の持続性については、さらにマクロな視点から次節において評価を行っていく。

3.2 山陽自動車道における交通安全施設の整備効果の評価

前節での評価の結果、長い下り勾配区間のような特定の区間で整備した交通安全施設について、時間の経過とともに交通事故件数の増加傾向が確認された。本節では、評価範囲を特定の交通事故多発区間から期間、範囲とも拡大して、マクロな視点から既往交通安全施設の効果の持続性および整備効果について評価する。

3.2.1 評価の概要

(1) 評価対象と使用データ

対象期間は 2001 年から 2008 年とした。第 1 章で述べたように 2009 年の休日上限 1,000 円の導入以降、交通事故件数、死傷者数とも増加に転じており（第 1 章 図 1-1）、ドライバーの属性の変化という他の要因の影響が想定されるため 2009 年と 2010 年は対象期間から除外した。評価対象とする交通安全施設は、表 3-7 に示す山陽自動車道の主な交通安全施設のうち、施工実績を考慮して高機能舗装と導流レーンマークとした。そのためトンネル区間は対象区間から除外した。そして、トンネルを除く明かり部のみの区間を上下線別に 100m ピッチで区切ったセグメントを構成し、セグメントごとに道路幾何構造、事故率、交通安全施設種別と施工時期を関連付けてリスクを分析・評価した。本節で分析に使用したデータを表 3-8 に示す。

交通事故データは、高速道路本線上に整備された交通安全施設の効果を評価することを目的とするため本線上で発生した事故のみを対象とし、インターチェンジや休憩施設で発

生じた事故は対象外とした。また、落下物事故は道路幾何構造の影響がなく、バーストや積荷の積載不適當などが原因となることから本分析の対象外とし、多重事故（5分以内かつ100m以内で発生した事故）は、第一事故のみを対象とした。

また、荻野ら（1993）によると、交通事故に影響する道路線形は、曲率は事故発生地点の200m手前、勾配は300m手前の影響が大きいことから、本研究で用いた各地点（KP）において、曲率は200m、勾配は300m上流側の値を用いた。

表 3-7 主な交通安全施設延長（山陽自動車道）

2010年12月時点		
	延長(km)	率(%)
高機能舗装	338.8	68.7
導流レーンマーク	45.5	9.2
注意喚起標識	15.2	3.1
矢印板	4.6	0.9

※対象区間延長:493km(上下線別,トンネル除く)

表 3-8 分析対象区間と使用データ

山陽道 備前IC～山口JCT間 約320km	
・交通事故データ	@100mの交通事故情報を収集
・交通量データ	車両感知器データ
・道路線形データ	平面・縦断線形を把握(@100m)
・道路資産データ	交通安全施設の新設・改良時期を把握(@100m)

(2) 山陽自動車道の事故率と交通安全施設

図 3-5 に、表 3-8 の使用データから求めた 2001 年から 2010 年の山陽自動車道の事故率と高機能舗装整備率の推移を示す。高機能舗装整備率は、トンネル区間を除いた区間の延

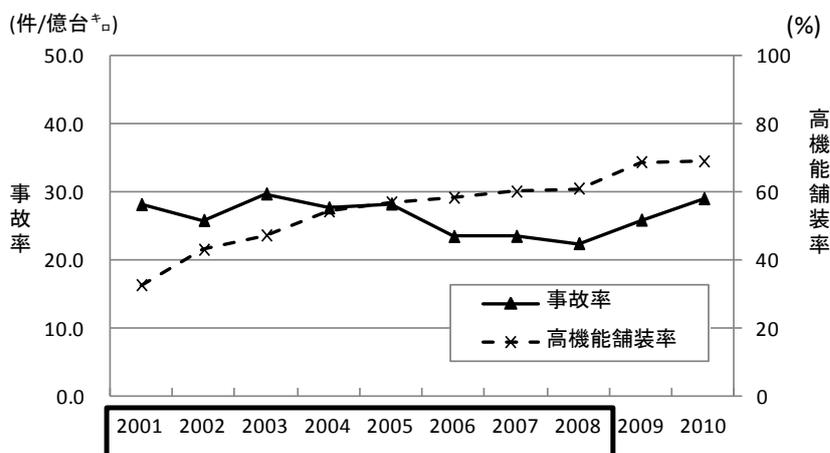


図 3-5 山陽自動車道の事故率の推移と高機能舗装の整備の進捗

長に対する高機能舗装の延長としている。

NEXCO 西日本では、「100%の安全・安心」を目指して、2007年度から緊急交通安全対策3ヵ年計画や長い下り坂区間の速度抑制対策に取り組んできた。また、計画的な高機能舗装の整備も推進しており、これらの効果もあって、山陽自動車道の事故率は2003年をピークに減少傾向にあったが、図 1-1 に示した全国的高速道路における交通事故件数の推移と同様に、休日上限 1,000 円が導入された 2009 年以降、事故率は増加に転じている。

(3) 評価方針

本節では、高機能舗装と導流レーンマークの効果について、山陽道自動車の交通事故多発地点を個別に評価するのではなく、山陽自動車道全体（備前インターチェンジ～山口ジャンクション）を統計的に評価することを目的とする。まず、前節で推測された交通安全施設の効果の持続性の限界について、交通安全施設整備のアウトカムとなる整備前後の交通事故件数から事故率を算出し、整備前後の事故率の推移についての集計分析結果を t 検定により、評価することとした。

また、事故率に影響を及ぼす要因としては、曲率や縦断勾配などで構成される道路幾何構造や交通安全施設の有無など複数の要因が作用していることが考えられる。そこで、これらの要因の事故率への関与の大きさについて統計的に推定するために統計モデルを構築して推定結果を考察することとした。

3.2.2 集計分析による効果の持続性の評価

(1) 集計分析の手順

一般的に高機能舗装は、設置後 10 年程度経過すると轍等による路面損傷や、骨材間の目詰まり等に起因する排水性能低下に対して機能回復のため、切削オーバーレイ等による改良を行うことが多い。導流レーンマークも他の路面標示と同様に 5 年程度で摩耗して視認性が低下するため、ライン引き直しにより改良されることが多い。そのため集計分析では、高機能舗装と導流レーンマークが新設または改良された年を 1 年目とし、高機能舗装は 10 年目まで、導流レーンマークは 5 年目までを評価対象期間とした。また、整備直前の 2 年間も、整備前後の事故率の変化の検定を行うために評価対象期間に含めた。

高機能舗装は 1998 年以降の NEXCO（当時日本道路公団）の舗装の標準仕様となり、順次計画的に改良されている。その結果、図 3-5 に示したように、山陽自動車道では高機能舗装率は 70% 近くに達している。そこで本研究では、高機能舗装の集計分析には、高機能舗装のみの効果の持続性を評価するために、高機能舗装以外の交通安全施設が整備されていないセグメント（2,613 セグメント）を対象とした。導流レーンマークの集計分析には、

高機能舗装が舗装の標準仕様となっており、導流レーンマークの改良サイクルが5年程度であることから、今後は高機能舗装と導流レーンマークの組み合わせが標準的な仕様となる。そこで、導流レーンマークの効果の持続性の評価は、高機能舗装と導流レーンマークのみが整備されているセグメント（243セグメント）を対象とした。

これらのセグメントについて、2001年から2008年までの1年ごとの事故率を算出し、交通安全施設の整備時期に応じて整備2年前から整備後10年目まで（導流レーンマークは5年目まで）1年ごとのグループに分類し、交通安全施設整備前と後のグループ間で等分散の有無に応じたt検定により効果の有無を評価した。

(2) 集計分析による評価

1) 整備による効果

図3-6に、山陽自動車道における高機能舗装と導流レーンマークの整備の進捗と、整備効果の推移を示す。なお、対象セグメントは3.2.2(1)で示したように、高機能舗装は2,613セグメント、導流レーンマークは243セグメントで期間は8年間である。高機能舗装のグラフの縦軸は、整備効果として、同期間に発生した全事故件数に対する湿潤路面事故件数の比率を、導流レーンマークのグラフの縦軸は、全事故件数に対する漫然運転・速度違反事故件数の比率をそれぞれ示している。

高機能舗装による整備効果は、整備の進捗に伴って、湿潤路面における事故の比率は微減傾向にある。導流レーンマークは、2006年までは整備の進捗と事故率の推移に関連性が見られなかったが、2007年からはNEXCO西日本が実施した交通安全対策緊急3ヶ年計画や長い下り勾配区間の速度抑制対策の主要施策として集中的に整備された。この効果により、漫然運転・速度違反事故の事故率は、2007年から減少に転じていると推測される。

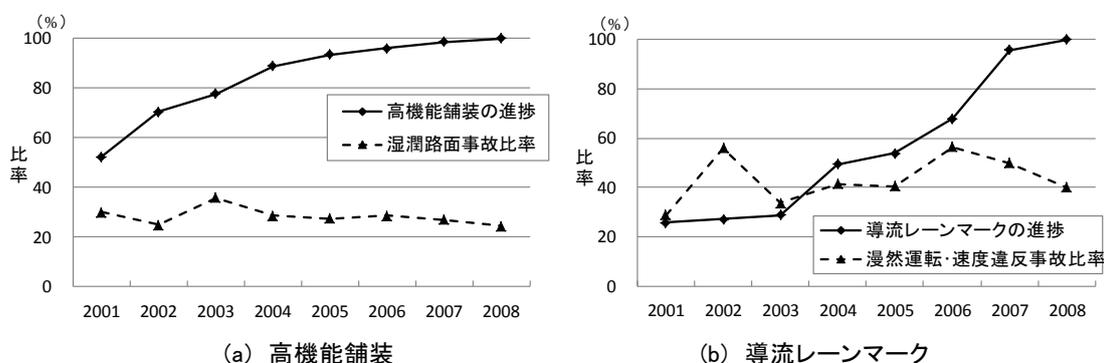


図3-6 山陽自動車道の交通安全施設整備の進捗と整備効果の推移

2) 効果の持続性

図3-7に、交通安全施設整備前後で経過年ごとの各セグメントにおける事故率の平均値

を示す。また、効果の持続性を統計的に分析するために、整備2年前と1年前のそれぞれの事故率の平均値と、整備後1年ごとの事故率の平均値の差の有無をt検定した結果を表3-9に、検定を行った経過年数別のサンプル数を表3-10に示す。表3-9中のt値の正の符号は、整備後の各年の事故率が、整備2年前あるいは1年前の事故率よりも減少していることを意味する。

まず図3-7を見ると、交通安全施設設置2年前と1年前の事故率の推移は、高機能舗装と導流レーンマークで逆の動向を示している。すなわち、導流レーンマークは整備直前の1年前の事故率が最も高いのに対し、高機能舗装は1年前の事故率は2年前の事故率より低くなっている。これは、3.2.1で述べたように、高機能舗装は事故発生頻度の多寡によらず計画的に整備が進められてきたため、必ずしも整備直前の事故率が高くなっていないのに対し、導流レーンマークは交通安全対策緊急3ヶ年計画のように、事故率の高い区間から整備を進めてきたため、整備直前の事故率が最も高くなっていると考えられる。

高機能舗装では、設置後の事故率の変動はあるが、7年目頃から変動幅が大きくなって

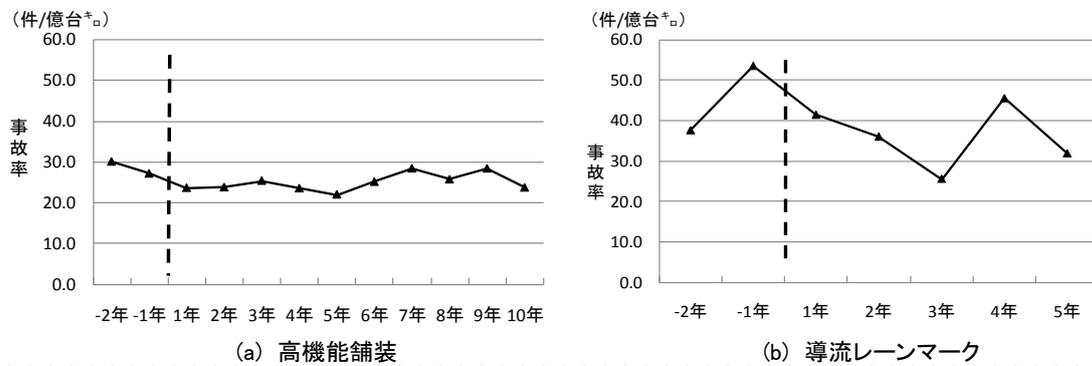


図 3-7 交通安全施設整備前後の平均事故率の推移

表 3-9 平均事故率の検定結果 (t 値)

(a) 高機能舗装

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
2年前を基準	2.141 *	2.317 *	1.866 +	2.507 *	2.859 **
1年前を基準	1.289	1.486	0.955	1.702 +	2.126 *
	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
	1.815 +	0.741	1.516	0.596	2.199 *
	0.893	-0.342	0.604	-0.346	1.422

** : 1%有意, * : 5%有意, + : 10%有意

(b) 導流レーンマーク

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
2年前を基準	-0.031	0.189	0.154	-0.454	0.540
1年前を基準	1.641	1.953 +	3.221 **	0.970	2.003 *

** : 1%有意, * : 5%有意, + : 10%有意

表 3-10 経過年数別サンプル数

(a) 高機能舗装

	-2年	-1年	1年	2年	3年	4年	5年
サンプル数	770	1246	1834	1790	1848	2082	2221
	6年	7年	8年	9年	10年		
	1912	1664	1197	882	822		

(b) 導流レーンマーク

	-2年	-1年	1年	2年	3年	4年	5年
サンプル数	193	199	239	230	153	123	94

いる。表 3-9 の t 検定の結果からも、6 年目までは前年あるいは前々年の事故率との差が常に統計的に有意となっているが、7 年目以降は整備前の事故率と有意な差がなくなっている。このことから、整備後 5～6 年目までは交通安全施設としての効果が持続していると考えられる。

導流レーンマークでは、整備後 4 年目から事故率が増加に転じて大きく変動しており、十分な注意喚起効果を発揮できなくなり始めたと考えられる。表 3-9 の t 検定の結果からも 4 年目から t 値の変動が大きくなっている。

以上より、高機能舗装と導流レーンマークに関しては、整備後一定の期間は事故率を低減させる効果があるが、その後は事故率の変動が大きくなっており、交通事故の削減効果が低下していると考えられる。そのため定期的な改良による機能回復がむしろ必要であるが、他の対策と組み合わせることにより効果が向上する可能性も考えられる。

3.2.3 セグメントリスクモデルによる評価

(1) セグメントリスクの概要

高速道路上の交通事故は希少事象であり、また偶発性が高いことは古くから示唆されている（木倉ら（1978））。NEXCO 西日本中国支社管内の全路線でも、1 日あたり平均交通事故件数は約 30 万トリップ/日に対して 10 件程度である。本節の評価対象である山陽自動車道で 2001 年から 2008 年に発生した交通事故件数を 1 年ごとに各セグメントにプロットした結果を表 3-11 に抜粋して示すが、それぞれのセグメントの交通事故発生頻度はきわめて低く、偶発的に発生した交通事故も含まれている可能性がある。これらのそれぞれのセグメントについて、1 年単位で事故率を計算し、8 年間分の各セグメントの事故率のばらつきに応じて、表 3-12 に示す 5 段階のセグメントリスクに分類した。そして、このセグメントリスクを目的変数とし、各セグメントの幾何構造要因と交通安全施設要因を説明変数として、順序付けプロビットモデルによりこれらの要因がセグメントリスクに及ぼす影響を評価した。

なお、前述のように NEXCO 西日本では、高機能舗装は交通事故の有無にかかわらず計画的に整備を推進しているのに対し、導流レーンマークは事故率の高い事故多発地点から優先して整備を進めているため、表 3-7 に示したように、両者の整備水準に大きな差がある。また、3.2.2 (1) で述べたように、高機能舗装は 1998 年以降の NEXCO (当時日本道路公団) の舗装の標準仕様となり、順次計画的に改良されている。そのため本研究では、高機能舗装の分析には、高機能舗装以外の交通安全施設が整備されていないセグメント (2,613 セグメント×8 年=20,904 セグメント) を抽出し、導流レーンマークの分析には、

表 3-11 年別キロポスト別交通事故発生件数

合計	上り										測点 (KP)	下り										合計
	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
0											98.8										0	
4		1					1	1		1	98.9									1	1	
0											99						1				1	
0											99.1		1	1							2	
0											99.2			1				1			2	
0											99.3										0	
4	1	1	1	1							99.4								1		1	
3								1		2	99.5	1									1	
2	2										99.6		2			1			1		4	
1							1				99.7	1									2	
1									1		99.8										0	
1	1										99.9										0	
5				1			1	1		1	100		1			1					2	
2								1		1	100.1			1							1	
0											100.2										0	
2									1	1	100.3									1	1	2
2							1				100.4											0
2					1		1				100.5							1				1
途中省略																						
0											418.1					1					1	
0											418.2						1				1	
0											418.3							1			1	
1		1									418.4									1	1	
1		1									418.5									1	1	
0											418.6				1	1			1	1	4	
0											418.7		1		1	1		1		1	4	
0											418.8			1					1	1	3	
0											418.9		1	1				1		3	6	
1				1							419					1				1	3	
0											419.1					1	1				2	
1							1				419.2										1	
0											419.3				1						0	
4893	645	517	406	464	419	474	485	515	476	492	合計	577	514	570	566	559	493	519	460	629	745	5632

表 3-12 セグメントリスクの分類

セグメントリスク	事故率	高機能舗装 (セグメント数)		導流LM (セグメント数)	
		件数	割合	件数	割合
1	0	18,014	86.2%	1,592	81.9%
2	$0 < r \leq Rave + 1\sigma$	0	0.0%	26	1.3%
3	$Rave + 1\sigma < r \leq Rave + 2\sigma$	1,415	6.8%	229	11.8%
4	$Rave + 2\sigma < r \leq Rave + 3\sigma$	1,088	5.2%	57	2.9%
5	$Rave + 3\sigma < r$	387	1.9%	40	2.1%
合計		20,904	100%	1,944	100%

※ r : セグメント事故率, Rave : セグメント平均事故率

高機能舗装と導流LMの平均値・標準偏差

	Rave	σ
高機能舗装	25.3	67.9
導流レーンマーク	37.6	88.6

※ 単位: 件/億台*

高機能舗装と導流レーンマーク以外の交通安全施設が整備されていないセグメント（243セグメント×8年=1,944セグメント）を抽出した。そして、幾何構造および交通安全施設の有無、経過年数とセグメントリスクを対比することにより、それぞれの効果を評価した。

(2) セグメントリスクモデルの構築

セグメントリスクモデルは、それぞれのセグメントごとのセグメントリスクを目的変数とした順序付けプロビットモデル（以下、「セグメントリスクモデル」）により定式化した。

まず、(3.2)式に示す潜在的な連続変数 y_i^* を導入する。

$$y_i^* = \sum_{q=1}^Q \beta_q x_{iq} + \varepsilon_i \quad (3.2)$$

ここに、 i はセグメント、 x_{iq} は説明変数、 β_q は x_{iq} のパラメータ、 ε_i は標準正規分布に従う誤差項である。セグメントリスク y_i と上記の潜在的な連続変数 y_i^* との関係は、 θ という閾値を介して(3.3)式で与えられる。

$$\begin{aligned} y_i = 1 & \quad \text{if} \quad y_i^* \leq \theta_1 \\ y_i = 2 & \quad \text{if} \quad \theta_1 < y_i^* \leq \theta_2 \\ & \quad \dots \\ y_i = K & \quad \text{if} \quad \theta_{K-1} < y_i^* \end{aligned} \quad (3.3)$$

ここに、 θ は閾値、 K はセグメントリスクのカテゴリー数であり、今回は5段階としているので、 $K=5$ となる。

また、 $\varphi(\varepsilon)$ を標準正規確率密度関数、 $\theta_0 = -\infty$ 、 $\theta_1 = 0$ 、 $\theta_5 = \infty$ とすると、セグメントリスク k に分類される確率は、(3.4)式で与えられる。

$$Pr(\theta_{k-1} < y_i^* \leq \theta_k) = \int_{\theta_{k-1} - \sum_{q=1}^Q \beta_q x_{iq}}^{\theta_k - \sum_{q=1}^Q \beta_q x_{iq}} \varphi(\varepsilon) d\varepsilon \quad (3.4)$$

(3) 目的変数と説明変数

表 3-13 に、セグメントリスクモデルに用いた説明変数の一覧を示す。目的変数は表 3-12 に示したセグメントリスクである。説明変数はセグメントごとの幾何構造の要因と交通安全施設の要因から構成した。

幾何構造の要因の説明変数は、高機能舗装モデル、導流レーンマークモデルとも曲率と縦断勾配とし、それぞれ右カーブダミーと下り勾配ダミーを導入して該当する場合に 1、その他の場合に 0 とした。曲率は $1/R$ の 1,000 倍、勾配は $\Delta h/L$ のパーセント値とした。クロソイド曲線区間の曲率は、100m ピッチのキロポストにおける曲率とした。

交通安全施設の要因は、高機能舗装モデルでは高機能舗装ダミー、導流レーンマークモデルでは高機能舗装ダミーと導流レーンマークダミーとし、それぞれの年に設置後 10 年以内の高機能舗装や 5 年以内の導流レーンマークが整備されていれば 1、未整備もしくは 11 年以上経過した高機能舗装、6 年以上経過した導流レーンマークは 0 とした。

さらに、高機能舗装と導流レーンマーク設置後の効果を推定するために、これらの設置後の経過年数の対数 (log) を説明変数に加えた。なお、高機能舗装や導流レーンマークが設置されていないセグメント、および、設置後改良されないで 11 年以上経過した高機能舗装や 6 年以上経過した導流レーンマークが存在するセグメントにおける経過年数は、これらは注意喚起効果を有していないと仮定して、高機能舗装の場合は 11 年、導流レーンマークでは 6 年と設定した。

表 3-13 セグメントリスクモデルの説明変数

(a) 高機能舗装モデル

説明変数	単位
(幾何構造の要因)	
右カーブダミー	1: 右カーブ, 0: その他
曲率	$1/R * 1000$
下り勾配ダミー	1: 下り勾配, 0: その他
勾配	$h/L(\%)$
(交通安全施設の要因)	
高機能舗装ダミー	1: 有, 0: 無
高機能舗装経過年数	$\log(\text{年})$

(b) 導流レーンマークモデル

説明変数	単位
(幾何構造の要因)	
右カーブダミー	1: 右カーブ, 0: その他
曲率	$1/R * 1000$
下り勾配ダミー	1: 下り勾配, 0: その他
勾配	$h/L(\%)$
(交通安全施設の要因)	
高機能舗装ダミー	1: 有, 0: 無
高機能舗装経過年数	年
導流LMダミー	1: 有, 0: 無
導流LM経過年数	$\log(\text{年})$

(4) セグメントリスクモデルによる推定結果

表 3-14 に、セグメントリスクモデルによる推定結果を示す。それぞれのパラメータ推定値と t 値は R ソフトウェア (<http://www.R-project.org/>) により推定した。

高機能舗装区間、導流レーンマーク区間の自由度調整済み尤度比はそれぞれ 0.364, 0.265 となり、比較的良好な適合度が得られた。

1) 高機能舗装モデル

高機能舗装モデルでは、道路幾何構造要因の説明変数のパラメータ推定値の符号がいずれも正となった。

平面線形については、右カーブダミーのパラメータ推定値の符号が正となり、右カーブ区間でリスクが増加することが推定され、曲率のパラメータ推定値の符号が正となったことから、カーブがきつくなるほどリスクが増加することが推定された。縦断勾配については、下り勾配ダミーのパラメータ推定値の符号が正となり、下り勾配でリスクが増加することが推定され、勾配のパラメータ推定値の符号が正となったことから、勾配がきつくなるほどリスクが増加することが推定された。

交通安全施設要因では、高機能舗装ダミーのパラメータ推定値の符号は負で、リスクを軽減する傾向と推定されるが統計的に有意とはならなかった。経過年数ではパラメータ推定値の符号が正となったが統計的に有意とはならなかった。図 3-6 (a) で示したように、時間の経過とともにリスクが徐々に増加する弱い傾向にあることが推定される。

2) 導流レーンマークモデル

導流レーンマークモデルでも、道路幾何構造要因の説明変数のパラメータ推定値の符号がいずれも正となった。

平面線形のパラメータ推定値については、高機能舗装モデルと同様に右カーブ区間でリスクが増加することが推定され、また、カーブがきつくなるほどリスクが増加することが推定された。縦断勾配については、下り勾配でリスクが増加する傾向にあるが統計的に有意とはならなかった。また、勾配がきつくなるほどリスクが増加することが統計的に推定された。

先に述べたように導流レーンマークは高機能舗装と異なり、交通事故が多発する区間、すなわち事故率の高い区間から整備していく傾向にある。また、3.1 で分析したように速度の出やすい下り勾配区間での実績が多い。これらの背景を考えると、統計的に有意ではないものの下り勾配ダミーの符号が正と推定されたことは、導流レーンマークが設置される区間では道路幾何構造上、下り勾配のリスクが依然として高い傾向にあると考えられる。

交通安全施設要因では、導流レーンマーク区間内の高機能舗装ダミー、導流レーンマー

クダミーともパラメータ推定値の符号は負で、リスクを軽減する傾向があると考えられるが統計的に有意とならなかった。このことは、高機能舗装、導流レーンマークとも、多少のリスク軽減効果はあるものの統計的に有意と推定されるほど確実なものではなく、交通安全施設としては必ずしも十分ではないと考えられる。

経過年数では、高機能舗装経過年数、導流レーンマークともにパラメータ推定値の符号は負となったがいずれも統計的に有意ではなかった。すなわち、経過年数とともにセグメントリスクが減少する傾向を示し、高機能舗装モデルでの推定結果における経過年数と逆の傾向を示していることになる。このことは、3.2.1 で述べたように、導流レーンマークは交通事故多発区間から優先的に設置されてきた。そのため、導流レーンマークモデル内の高機能舗装は、計画的に高機能舗装が整備されることが多い高機能舗装モデルにおける経過年数の推定結果とは異なる挙動を示す可能性があることが考えられる。また、高機能舗装が設置されて数年後に導流レーンマークが遅れて設置された場合は、遅れて設置された導流レーンマークの効果により事故率が減少することが多いため、高機能舗装の時間の経過とともに事故率が減少したように見える。このことも導流レーンマークモデルで高機能舗装経過年数のパラメータ推定値の符号が負となった原因の一つと考えられる。

また、図 3-7 (b) に示した、集計分析による導流レーンマーク整備前後の平均事故率の推移は、効果が持続すると考えられる 3 年目までは事故率は減少傾向を示し、4 年目以降

表 3-14 セグメントリスクモデルによる推定結果

モデル 説明変数	単位	高機能舗装モデル			導流レーンマークモデル		
		パラメータ	t 値		パラメータ	t 値	
定数項		-1.200	-21.10	**	-1.008	-4.32	**
右カーブダミー	1: 右カーブ, 0: 右カーブ以外	0.044	2.08	*	0.139	2.04	*
曲率	1/r*1000	0.010	0.27		0.241	2.70	**
下り勾配ダミー	1: 下り勾配, 0: 下り勾配以外	0.062	2.94	**	0.053	0.61	
勾配	%値	0.013	1.34		0.060	2.01	*
高機能舗装ダミー	1: 有, 0: 無	-0.017	-0.54		-0.080	-0.85	
高機能舗装経過年数	log(年)	0.056	1.36		-0.205	-1.59	
導流レーンマークダミー	1: 有, 0: 無	—	—		-0.094	-0.87	
導流レーンマーク経過年数	log(年)	—	—		-0.055	-0.29	
θ_1' ※		0.000	0.00		0.230	10.30	**
θ_2' ※		0.620	79.18	**	0.829	32.30	**
θ_3' ※		0.784	68.00	**	0.634	15.59	**
サンプル数		20904			1944		
最終尤度		-11240.28			-1263.53		
自由度調整済尤度比		0.364			0.265		

※ $\theta_2 = \theta_1'^2, \theta_3 = \theta_1'^2 + \theta_2'^2, \theta_4 = \theta_1'^2 + \theta_2'^2 + \theta_3'^2$

** : 1%有意, * : 5%有意, + : 10%有意

はトレンドが変わって変動が大きくなり、4年目に事故率は増加するものの、5年目は3年目に次いで低い事故率を示す挙動を示している。このように、必ずしも設置後1年目の事故率が最も低くて、その後経過年数とともに増加していく傾向とは異なっていることも、パラメータ推定値の符号が負となっている原因の一つと考えられる。

3.3 まとめ

本章では、まず NEXCO 西日本中国支社管内で速度抑制を目的とした交通安全施設を整備した6区間の長い下り勾配区間で、施設整備前後に実施したプローブカーと定点でのスピードガンによる速度分布調査からなる走行速度調査結果を分析して交通安全施設の整備効果を検証した。その結果、下り勾配区間の開始点付近、特にクレストより上流にある縦断曲線開始点付近から導流レーンマークなどの路面標示により注意喚起を行うことが効果的であること、また、路面標示や注意喚起標識、センサー連動 LED 表示板などの複数の工種による対策も効果的であることが確認できた。

一方、対策を実施した区間によっては速度抑制や交通事故件数の削減につながらない区間もあり、車種や車線によっても速度抑制効果に差が認められた。このことから、走行するすべてのドライバーに対して、路面上や路肩に設置した交通安全施設による車外からの注意喚起情報提供により、運転挙動の改善を促す効果の限界も推測される。さらに、交通安全施設整備後の交通事故件数は、整備直後は減少するが、その後、時間の経過とともに増加傾向に戻ってしまうことが確認された。

このような特定の事故多発区間での既往交通安全施設の整備効果の経年的な持続性を明らかにするために、マクロな視点から交通安全施設の整備効果を検証することとした。NEXCO 西日本中国支社管内の山陽自動車道を対象に、2001年から2008年の期間に発生した交通事故件数（事故率）と、この間に実施されていた高機能舗装、導流レーンマークの整備効果の持続性、および道路幾何構造や交通安全施設の整備が事故発生頻度に及ぼす影響について統計的に検証した。具体的には、これらの交通安全施設整備による効果の持続性について対策実施前後の事故率を対比し、t検定により検証した。さらにセグメントリスクモデルを適用して、これらの交通安全施設の有無や幾何構造が走行安全性に及ぼす影響についてマクロな視点から推定した。

以下に、主な知見をまとめる。

- ① **交通安全施設の効果の持続性**：交通安全施設としての高機能舗装の事故率低減効果は6年程度まで、導流レーンマークは3年程度までで、これを超過すると効果が減少する可能性があると考えられる。このことから、交通安全施設整備後も、効果の

持続性を注意深くモニタリングしていくとともに、定期的なメンテナンスによる機能回復を図ることで交通安全施設の効果を持続させていくことが必要である。

- ② **交通安全施設の整備効果**：セグメントリスクを増大させる要因は、曲率や勾配といった道路幾何構造の影響が大きい。高機能舗装や導流レーンマークはリスクを軽減する方向に作用はするが、その効果は統計的に有意ではないと推定された。このことは、高機能舗装のみ、高機能舗装と導流レーンマークのみでは交通安全施設としての効果は必ずしも十分ではなく、また永続的ではないことを認識する必要がある、交通安全施設整備にもかかわらず依然として事故が解消されない要因につながっていると考えられる。
- ③ **今後の交通安全施設の方向性**：高機能舗装や導流レーンマークは、現在、高速道路の交通安全対策として一般的に採用されている施設である。これらの施設を活用し、事故削減効果を確実かつ継続的に行うためには、交通安全施設の機能回復のための定期的なメンテナンスに加えて、例えば、ICT を活用した新たな注意喚起情報提供方式と効果的に組み合わせることが考えられる。

第 3 章 関連参考文献

- 足立智之，楠橋康広 (2008) 長い下り坂区間の速度抑制対策，*高速道路と自動車*，Vol.51，No.1，pp.44-48.
- 荻野弘，野田宏治 (1993) 高速道路の幾何構造と交通事故との関連に関する基礎的研究，*豊田工業高等専門学校研究紀要*，第 26 号，pp.61-68.
- 木倉正美，松本信吾 (1978) 高速道路における事故解析 (後編)，*高速道路と自動車*，Vol.21 (No.6)，pp.37-44.
- 楠橋康広，藤原章正，張峻屹 (2009) 高速道路の長い下り勾配区間における速度抑制対策の効果，第 29 回交通工学研究発表会論文集，pp.1-4 (CD-ROM).
- 西日本高速道路(株) 100%安全・安心を目指して，
http://www.w-nexco.co.jp/safety_drive/safe_administration/
- 社団法人日本道路協会 道路構造令の解説と運用 (平成 16 年 2 月)，丸善.
- 松永勝也 交通事故防止の人間科学，*ナカニシヤ出版*，第 2 章，2004.

第4章 ITS 技術を活用した車内注意喚起情報提供の評価

第3章では、導流レーンマークや注意喚起標識などの既往交通安全施設の整備効果について、整備前後の交通事故件数に着目して検証した。その結果、整備直後には交通事故件数は減少するものの、数年後には再び整備前の水準に戻ってしまう傾向があることが集計分析の結果明らかになった。そのため、これらの交通安全施設の注意喚起効果を持続し、走行安全性を維持するためには注意深いモニタリングと定期的な機能回復が必要となる。

一方で、昨今の ICT (Information Communication Technology) のめざましい進捗により、各国で ITS 技術を活用した走行支援システムの開発が進んでいる。我が国においても、路車協調の走行支援システムは、2008 年度の全国的な公道での実証実験を経て道路側のインフラ (ITS スポット) が順次整備され、2010 年から ITS スポットサービスの社会実験が開始されたところである。

本研究で用いるデータを収集した山陽自動車道における走行実験調査は、第1章に示したように、2008 年度に国土交通省が実施した ITS - SAFETY2010 : 08 年度大規模実証実験に参加した NEXCO 西日本が、ITS 技術を活用した安全系のサービスである、都市間高速道路における速度超過注意喚起サービスの実証実験として行ったものである。ITS 技術を活用することにより、従来の既往交通安全施設からの画一的な注意喚起情報提供だけでなく、速度超過などの危険な運転行動を示す特定のドライバーに対して、車内に搭載した ITS スポット対応カーナビを通じて画像や音声で注意喚起を行うことが可能となるものである。

本章では、走行実験調査で収集した運転行動データと、同時に被験者に行ったアンケート調査結果から、車内に搭載した ITS スポット対応カーナビを通じた注意喚起情報 (In-Vehicle Traffic Warning Information, 以下、「IVTWI」) 提供の効果について検証する。まず、4.1 で NEXCO 西日本が実施した走行実験調査の概要について述べる。次いで 4.2 で、走行実験調査により収集した運転行動データを分析して、IVTWI 提供の有無による運転行動の変化を分析する。運転行動データの分析は、Kim (2009) が開発した、ドライビングリスク (以下、「DR」) を指標とし、短期記憶の時間減衰効用を考慮したドライビングリスクモデル (以下、「STM 時間減衰モデル」) により行う。そして 4.3 で、走行直後に実施したアンケート結果を分析し、年齢、高速道路の利用頻度と、IVTWI の提供に対して被験者がどう感じたか、そして、どう行動したかについての傾向を分析して、IVTWI の受容性について検証する。最後に、4.4 で本章をまとめる。

4.1 使用データ

4.1.1 走行実験調査の概要

本研究で使用したデータは、NEXCO 西日本が平成 21 年に山陽自動車道志和インターチェンジから広島東インターチェンジ間で実施した、走行実験調査で収集した運転行動データのうち、昼間の走行実験調査で収集したデータを使用した。本研究で分析した走行実験調査の概要を表 4-1 に示す。

この走行実験調査は、速度超過しやすい下り勾配で、かつカーブが連続した走行実験調査区間において、区間内に設定された位置で実験車に搭載した ITS スポット対応カーナビが車速を判定し、あらかじめ設定した速度（以下、「設定速度」）を超過していた場合のみ、カーナビを通じて音声または画像と音声でドライバーに速度超過の注意喚起を行う。この時のドライバーに対する注意喚起の有無による運転行動の差異を分析し、IVTWI が提供された時の注意喚起効果を検証することを目的としたものである。車速を判定する位置、設定速度、カーナビから提供される情報は、路肩に設置した ITS スポット横を実験車が通過する時に、ITS スポットと実験車に搭載した ITS スポット対応カーナビの間での通信によりカーナビに設定される。

表 4-1 走行実験調査の概要

項目	内容
実験の目的	ITSを利用した速度超過時の注意喚起情報提供の効果検証
実験期間	平成21年3月23日(月)～4月3日(金) 12日間 11:00～16:00
実験場所	山陽自動車道志和IC～広島東IC間の3.3km区間
被験者	62名(社会人52名, 学生10名)
実験車	3台(ITSスポット対応カーナビを搭載したレンタカー)
走行方法	志和IC⇒広島東IC間を3回走行
情報提供方法	1回目走行: 注意喚起情報提供しないケース
	2回目走行: 速度超過時に車載器から音声で注意喚起するケース
	3回目走行: 速度超過時に車載器から画像と音声で注意喚起するケース

走行実験調査区間と概略の道路幾何構造、IVTWI 提供位置を図 4-1 に示す。また、調査に使用した ITS スポット、ITS スポット対応カーナビなどの設備を図 4-2 に示す。

被験者の運転行動データは、志和インターチェンジを出発してトンネルを通過した後、実験車の走行位置と車速、IVTWI 提供履歴が 0.1 秒ごとに、実験車の ITS スポット対応カーナビに装着したメモリーカードに記録される。そして、ITS スポット横を通過する際に、ITS スポットから ITS スポット対応カーナビに車速判定情報が送信されると同時に、1 回目

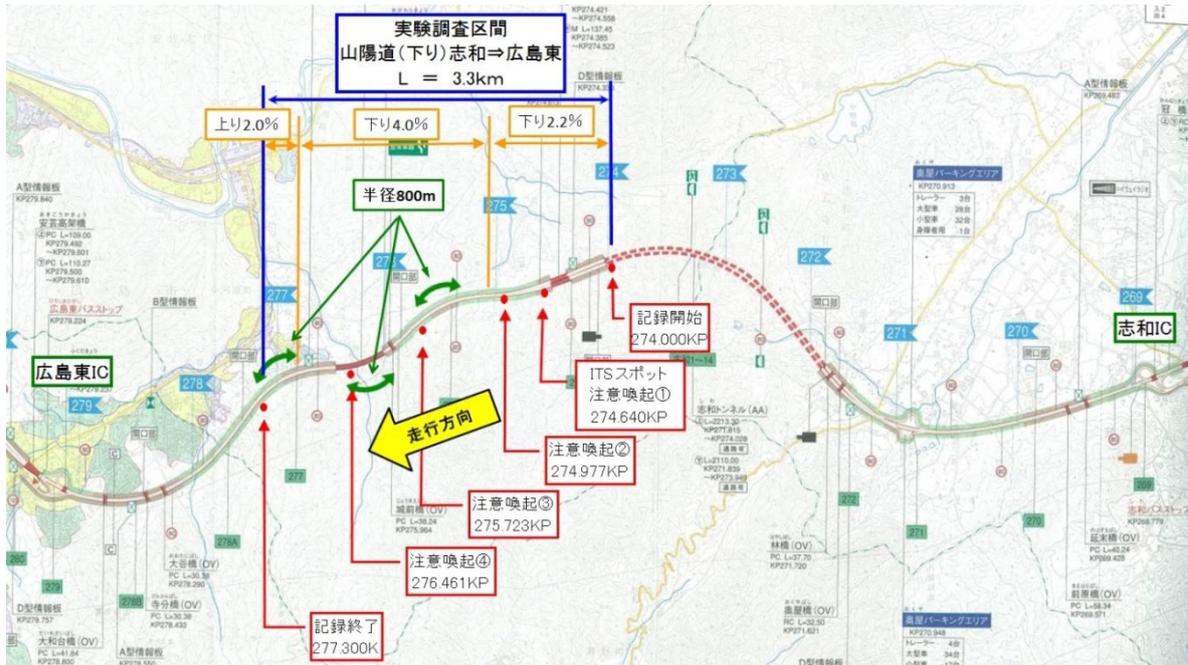


図 4-1 走行実験調査区間の配置



図 4-2 走行実験調査設備 (ITS スポットと ITS スポット対応カーナビ)

の車速判定と判定結果に応じた注意喚起がなされる。その後、半径 800m のカーブが左カーブ⇒右カーブ⇒左カーブと連続することから、これらのカーブのそれぞれ 300m 手前で車速を判定し、その際に設定速度を超過していた場合にのみ注意喚起をするように設計されている。なお、IVTWI を提供する設定速度は 85km/h としていた。

このコースを被験者は交代しながら一人当たり 3 回走行した。1 回目走行は比較ケースとして、IVTWI 提供を行わないケースとし、2 回目走行は、車速判定位置で設定速度を超過していた場合に車載器から音声で注意喚起を促す情報提供を行うケース（以下、「IVTWI

(音)」), 3回目走行は, 2回目走行と同様に設定速度を超過していた場合に, 音声に加えて車載器の画面に注意喚起の画像を表示するケース(以下, 「IVTWI(画+音)」)である。そして, 2回目走行と3回目走行がそれぞれ終わった直後に, 4.1.4で述べるアンケート票に被験者の属性, 実験走行を体験しての各自の主観的評価を選択肢から選択・記入した。

表4-2に, 注意喚起内容を示す。なお, 音声および画像の注意喚起時間は5秒間である。

表 4-2 注意喚起内容

走行No.	注意喚起方法
1	なし
2	ITS車載器から音声で注意喚起 「ピッ♪ 下り坂です。減速してください。」
3	ITSスポット対応カーナビから音声と画像で注意喚起 音声: 「ピッ♪ 下り坂です。減速してください。」 画像: 

※音声および画像の再生(表示)時間は5秒間

4.1.2 被験者の属性

被験者は学生10名を含む62名で実施した。被験者の属性を図4-3に示す。

年齢は, 20歳代と30歳代が77.4%を占め, 利用頻度は週1回以上の利用者が約47%で被験者の半数近くに達した。最も多かったのは月1回の利用者で全体の35.5%であり, 両者を合算した月1回以上の利用者は被験者全体の約80%となった。

4.1.3 運転行動データ

被験者の運転行動データには, 表4-3に示す項目が記録される。このうち本研究では, 車載器からのIVTWI提供の効果を把握するために, 1秒ごとの時・分・秒の時間情報, 緯度・経度の位置情報と, 0.1秒ごとの速度およびIVTWI提供履歴を用いて被験者の運転行動を分析した。

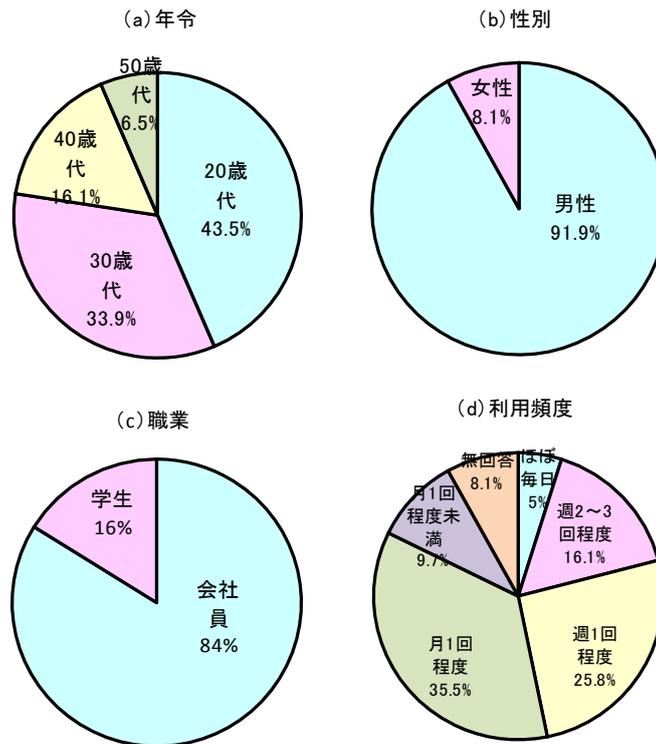


図 4-3 被験者の属性

表 4-3 運転行動データ

記録頻度	記録内容
1秒ごと	時・分・秒, 緯度・経度
0.1秒ごと	速度, 前後加速度, 左右加速度, 角速度, 注意喚起情報提供履歴

4.1.4 被験者アンケート

走行実験調査では、被験者に対して IVTWI 提供に関するアンケート調査も同時に行った。アンケートは走行直後に、被験者がとった運転行動に関する設問と車載器からの情報提供の受容性に関する設問に大別されている。アンケートの設問の分類を表 4-4 に示す。

本研究では、IVTWI が提供されたことによりドライバーはどう感じ、どう行動したかという観点から IVTWI に対する被験者の意識と行動について分析することとし、被験者の年齢及び高速道路の利用頻度と、被験者の判断と行動に関する設問に着目した集計分析を行うこととした。

表 4-4 アンケートの設問の分類

アンケート項目		設問の目的		実施タイミング
属性	年齢, 性別, 職業, 高速道路利用頻度	実験被験者の基礎情報の収集.		走行前
被験者の挙動	認知	情報内容は理解できたか	情報内容を正しく認知し, 情報提供の意図どおりに被験者が理解したかを確認.	走行直後
		どのように理解したか(理解の度合い)	実際に被験者が理解した状況について意見を収集し, 理解の程度を確認. (自由意見で収集)	
	判断	情報提供を受けてどのように感じたか(煩わしさを含む)	情報提供の際の意識変化(注意して運転した, びっくりした等)について回答してもらい, とるべき行動について正しく判断したかを確認. また, 情報提供による煩わしさの有無もあわせて確認.	
		情報提供の直後どのように行動したか	情報提供の際の行動変化(何もなかった, アクセルオフした, 急ブレーキをかけた等)について回答してもらい, 正しい運転挙動をとるとともに悪影響がなかったかを確認.	
被験者の受容性	HMIの評価	情報内容がわかりやすかったか	図形情報のわかりやすさ, 文字の読みやすさ, 音声の聞き取りやすさ等について回答してもらい, 情報内容のわかりやすさを確認.	3回走行後
		わかりやすい(わかりにくい)理由は何か	上記について具体的な意見を収集.	
		最適な提供方法は何か	今回実施した提供方法のうち, 良いと思われる方法は何かを回答してもらい, 情報提供方法の違いによる効果の違いを確認.	
		提供タイミングは適切だったか	提供方法毎に情報提供タイミングの適切性を確認.	走行直後
	有効性	安全運転に役立ったか(役立ち度合いとその理由)	本サービスが自身の安全運転に役立つかを回答するとともに, その理由も合わせて収集し, 安全運転への役立ち度合いを確認.	3回走行後
		今後の利用意向 サービスに対する支払い意志額	本サービスについて今後の利用意向, 車載器等のオプション機能とする場合の支払い意思額を確認.	
その他	自由意見	サービスに対する要望や意見, その他自由に回答.		

4.2 注意喚起情報提供が運転行動に及ぼす影響の評価

4.2.1 運転行動データの適用

(1) 走行実験調査区間のモデル化

図 4-1 に示したように、走行実験調査区間（3.3km）では 0.1 秒単位で速度や IVTWI 提供履歴が記録されるため、一人の被験者が 90km/h（=25m/s）で 1 回走行した場合、1,320 個（3,300m/（25m/s）*10 個/s）の速度情報が得られる。これを一人当たり 3 回走行するため、62 名の被験者から収集される運転行動データは膨大な情報量となる。また、走行実験調査区間の幾何構造もそれぞれの線形要素の組合せにより、表 4-5 に示す 18 個の同一線形要素区間に細分することができる。

表 4-5 道路幾何構造による区間分類

区間	距離 (m)	始点 (KP)	終点 (KP)	平面線形		縦断線形	
				左右	値	上下	値
①	144	274.000	274.144	左	R1530	下り	2.2
②	198	274.144	274.342	左	A550	下り	2.2
③	25	274.342	274.367		∞	下り	2.2
④	144	274.367	274.511	右	A450	下り	2.2
⑤	281	274.511	274.792	右	R1400	下り	2.2
⑥	257	274.792	275.049	右	A600	下り	2.2
⑦	91	275.049	275.140	左	A426	下り	2.2
⑧	137	275.140	275.277	左	A426	下り	4.0
⑨	50	275.277	275.327	左	R795	下り	4.0
⑩	296	275.327	275.623	左	R800	下り	4.0
⑪	200	275.623	275.823	左	A400	下り	4.0
⑫	200	275.823	276.023	右	A400	下り	4.0
⑬	338	276.023	276.361	右	R800	下り	4.0
⑭	200	276.361	276.561	右	A400	下り	4.0
⑮	200	276.561	276.761	左	A400	下り	4.0
⑯	119	276.761	276.880	左	R800	下り	4.0
⑰	294	276.880	277.174	左	R800	上り	2.0
⑱	126	277.174	277.300	左	A500	上り	2.0

表 4-5 に示した、道路幾何構造要素による分類ではそれぞれの区間ごとに距離が異なること、0.1 秒ごとの速度記録をそのまま用いるとマイクロな変動が分析結果に影響する懸念があることから、走行実験調査区間を延長 25m のセグメントに分割してモデル化した。そして、それぞれの被験者の走行ごとの運転行動データを各セグメントに割りあてて、それ

それぞれの平均値を、セグメントを代表する運転行動とした。

(2) 運転行動データのスクリーニング

走行実験調査で収集した運転行動データには、1秒毎の時間情報と位置情報、0.1秒毎の速度とIVTWI提供履歴が含まれる。62名の被験者が3.3kmの実験区間を3回ずつ走行し、0.1秒毎の運転行動が記録されているため、大量のデータを扱うこととなる。また、ITSスポットとITSスポット対応カーナビの間で走行中に通信することによりIVTWI提供の位置、内容、設定速度が伝達される。ITSスポットは路肩から車線に向かって張り出して設置されているが、実験車が大型貨物車や大型バスを追い越し中に通信位置に到達した場合は、双方の車両の位置関係によっては実験車のカーナビ受信部が大型車のブラインドに入ってしまう、ITSスポットと正しく送受信できない可能性がある。そのため、分析に先立って情報の送受信が正しく行われ、走行速度とIVTWI提供履歴が正しく整合して記録されていたことを照査しておく必要がある。

そこで、注意喚起の有無、有の場合は注意喚起位置と、注意喚起された時の走行速度について照査した。照査は、①注意喚起の位置は適切か、②注意喚起されるべき速度で注意喚起されたか、について行った。結果を表4-6に示す。表4-6中、“喚起位置異常”は、指定された位置から前後にそれぞれ25m以上ずれて注意喚起があったケースであり、“喚起無 ($V \geq 85\text{km/h}$)”は車速判定位置で85km/h以上の速度を検出したにもかかわらずIVTWI提供が行われなかったケースである。いずれも運転行動データとして不適切な記録がされている可能性があるため、不適切な記録が確認された位置、および、本来の注意喚起の設計位置からそれぞれ30秒間に相当する区間のデータを分析対象から除外した。なお、誤っ

表 4-6 注意喚起の精度

(a) 2回目走行(IVTWI(音))

動作	区 分	注意喚起①	注意喚起②	注意喚起③	注意喚起④
正常	喚起有 ($V \geq 85$)	46	41	35	40
	喚起無 ($V < 85\text{km/h}$)	4	8	9	9
異常	喚起無 ($V \geq 85\text{km/h}$)	12	13	18	13
	喚起位置異常	5	1	0	1
全走行回数		62	62	62	62

(b) 3回目走行(IVTWI(画+音))

動作	区 分	注意喚起①	注意喚起②	注意喚起③	注意喚起④
正常	喚起有 ($V \geq 85$)	44	47	39	41
	喚起無 ($V < 85\text{km/h}$)	6	5	9	9
異常	喚起無 ($V \geq 85\text{km/h}$)	12	10	14	12
	喚起位置異常	6	1	1	1
全走行回数		62	62	62	62

た注意喚起が短期記憶から完全に消失する時間として 30 秒を想定した。

4.2.2 運転行動モデルの構築

(1) ドライビングリスクモデル

Kim ら (2008) が開発したドライビングリスクモデル (以下、「DR モデル」) は、交通安全の指標としてドライビングリスク (以下、「DR」) を導入し、ある区間における速度のばらつきが増加するときに DR が増加することをモデル化したものであり、(4.1) 式で与えられる。

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{if } \Delta V_i \leq \sigma & \text{(Low driving risk)} \\ 2, & \text{if } \sigma < \Delta V_i \leq 2\sigma & \text{(Medium driving risk)} \\ 3, & \text{if } 2\sigma < \Delta V_i & \text{(High driving risk)} \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\Delta V_i = |\bar{V} - V_i|$$

ここに、 y_i は被験者 i の DR、 V_i は被験者 i の走行速度、 \bar{V} は本研究の道路上のセグメントにおける平均速度、 ΔV_i は \bar{V} と V_i の速度差の絶対値、 σ は標準偏差である。得られた DR を定式化するために、順序付けプロビットモデル (ORP モデル) を適用した。

ORP モデルは、潜在的な連続変数を導入することにより、(4.2) 式で定式化される。

$$y_i^* = \sum_{q=1}^Q \beta_q x_{iq} + \varepsilon_i \quad (4.2)$$

ここに、 y_i^* は潜在的な連続変数、 x_{iq} は説明変数、 β_q は x_{iq} のパラメータ、 ε_i は標準正規分布に従う誤差項である。

観測された DR y_i と (4.2) 式の潜在的な連続変数の関係は θ という閾値を介して (4.3) 式で与えられる。

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{if } y_i^* \leq \theta_1 & \text{(Low driving risk)} \\ 2, & \text{if } \theta_1 < y_i^* \leq \theta_2 & \text{(Medium driving risk)} \\ 3, & \text{if } \theta_2 < y_i^* & \text{(High driving risk)} \end{cases} \quad (4.3)$$

ここに、 θ_j ($j=1,2$) は DR を分類する閾値である。

DR のカテゴリ k ($k=1,2,3$) に分類される確率は、標準正規確率密度関数 $\varphi(\varepsilon)$ を使って、 $\theta_0 = -\infty$, $\theta_1 = 0$, $\theta_3 = \infty$ とすると、(4.4) 式で与えられる。

$$P_{ki} = Pr(\theta_{k-1} < y_i^* \leq \theta_k) = \int_{\theta_{k-1} - \sum_{q=1}^Q \beta_q x_{iq}}^{\theta_k - \sum_{q=1}^Q \beta_q x_{iq}} \varphi(\varepsilon) d\varepsilon \quad (4.4)$$

(2) 走行実験調査区間の注意喚起情報提供施設

今回の走行実験調査は ITS スポット対応カーナビを通じた IVTWI 提供時のドライバーの運転行動を分析し、情報提供の効果を検証することを目的とするものである。しかし、公道での走行実験であるため、交通安全施設として、導流レーンマーク、注意喚起標識、矢羽根がすでに整備されており、運転行動の分析に当たってはこれら既往の交通安全施設からの注意喚起効果も無視できない。

そこで本研究の運転行動モデルでは、ITS スポット対応カーナビからの IVTWI 提供による効果だけではなく、走行実験調査区間に整備されている既往の交通安全施設からの注意喚起効果も同時に推定することとする。これにより、既往の交通安全施設からの効果と ITS スポット対応カーナビからの IVTWI 提供の効果を対比することにより、既往交通安全施設からの効果に対する IVTWI の効果を相対的に評価することが可能となる。

図 4-4 に走行実験調査区間の既往交通安全施設を、図 4-5 に走行実験調査区間の道路幾何構造と既往交通安全施設配置および ITS スポット対応カーナビからの IVTWI 提供位置を示す。

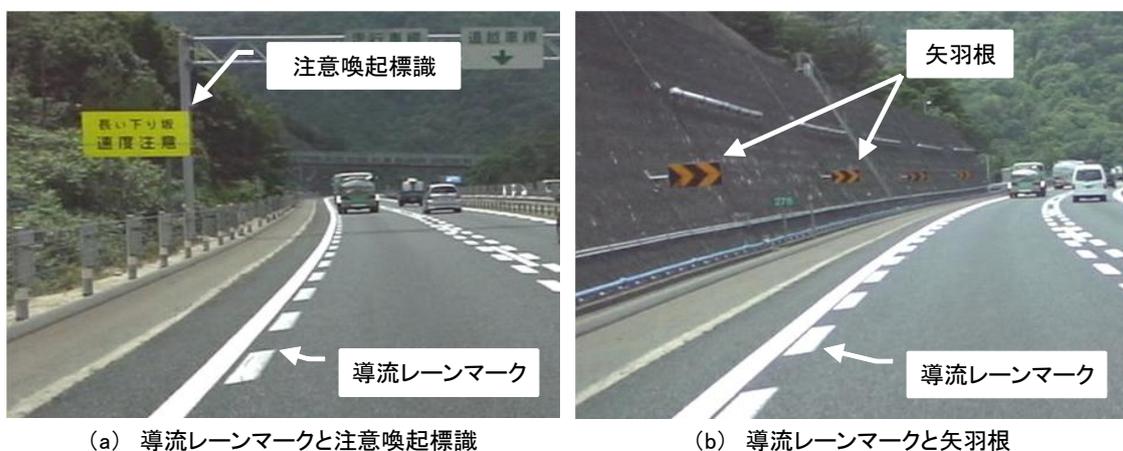


図 4-4 走行実験調査区間の既往交通安全施設

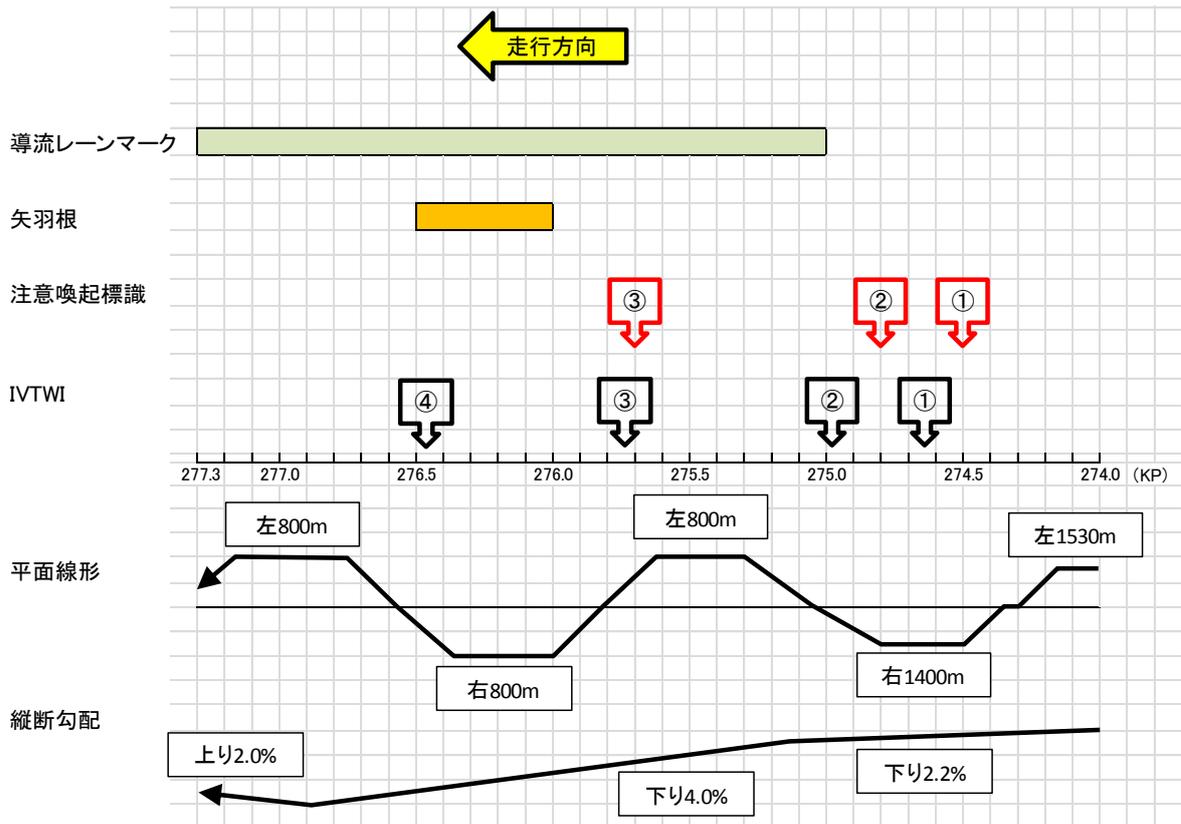


図 4-5 走行実験調査区間の道路幾何構造と交通安全施設配置

(3) 短期記憶の時間減衰効用の導入

Kim (2009) の研究では、IVTWI により提供された情報が一定の大きさの短期記憶として一定時間蓄積されると考えてダミー変数 1 によって与える既往モデルに対し、提供された情報は、短期記憶（以下、「STM」）として蓄積されたのち、時間の経過によって減少していくことを示し、この STM の時間減衰効用を定式化して DR モデルに組み込んだモデルの有効性を示している。このモデルで、STM の時間減衰効用は、(4.5) 式で与えられる。

$$U = \begin{cases} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}\right) & \text{if } t_0 \leq t \\ 0 & \text{if } t < t_0 \end{cases} \quad (4.5)$$

ここに、 σ は推定された減衰曲線の強度を示す。

(4.5) 式で、 t_0 は注意喚起情報が提供された時間を表わす。この式では、IVTWI の提供中も STM が減少していることを示している。そこで、本研究では IVTWI の提供は 5 秒間であることから、この間の STM は一定とし、提供終了後、指数関数的に減少していくものと考えて、(4.5) 式を書き換えた (4.6) 式でモデルを構築することとした。この運転行

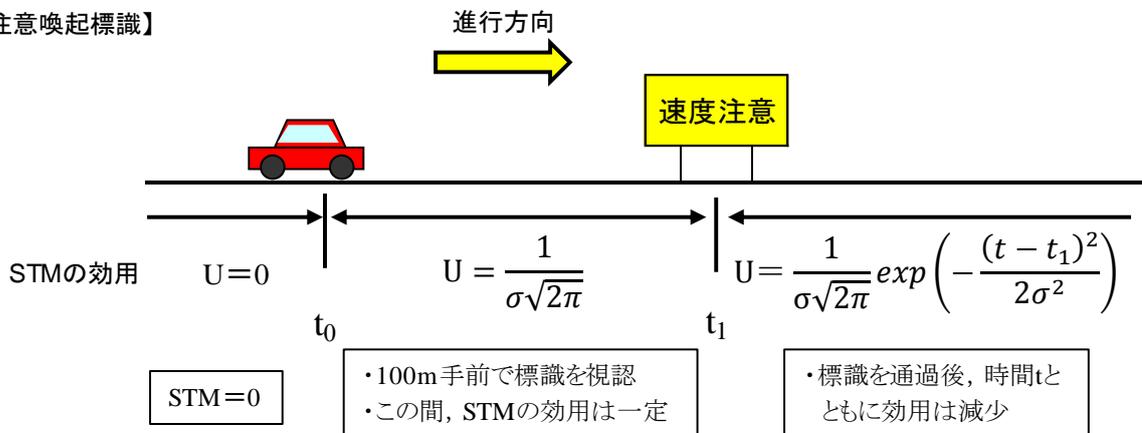
動モデルを STM 時間減衰モデルと称する.

$$U = \begin{cases} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t-t_1)^2}{2\sigma^2}\right) & \text{if } t_1 \leq t \\ \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} & \text{if } t_0 \leq t < t_1 \\ 0 & \text{if } t < t_0 \end{cases} \quad (4.6)$$

ここに, t_0 は IVTWI の提供開始時刻, t_1 は IVTWI の提供終了時刻である.

また, Kim (2009) は, STM の時間減衰効用を IVTWI 提供に適用したが, 本研究では, 4.2.2 (2) で述べたように, IVTWI 提供に加えて既往交通安全施設の効果も評価するため, 既往交通安全施設である注意喚起標識についても (4.6) 式を適用することとした. このとき, t_0 は最初に注意喚起標識を視認した時刻とし, 注意喚起標識設置位置の 100m 手前の通過時刻と仮定した. 同様に t_1 は注意喚起標識設置位置の通過時刻とした.

【注意喚起標識】



【IVTWI提供】

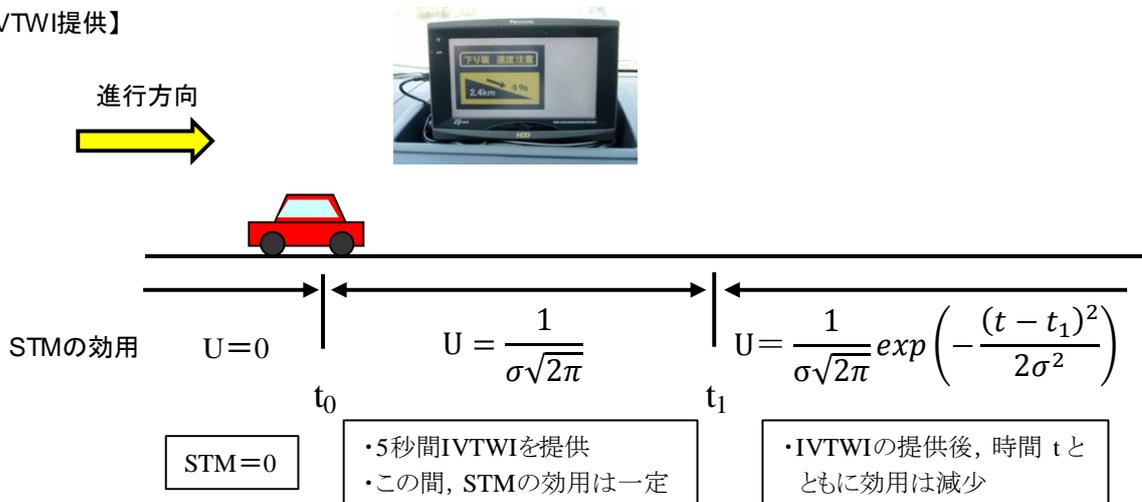


図 4-6 短期記憶の時間減衰効用の適用イメージ

図 4-6 に、本研究で分析した注意喚起情報提供に対する STM の時間減衰効用の適用イメージを示す。

4.2.3 推定結果と考察

(1) 目的変数と説明変数

本研究で構築した STM 時間減衰モデルの目的変数は、ドライビングリスク (DR) とした。説明変数は、被験者の個人属性、道路幾何構造、交通要因、交通安全施設とした。また、STM 時間減衰モデルの比較モデルとして、STM をダミー変数のみで与えるモデルのパラメータも推定し、対比して評価することとした。この運転行動モデルを STM 既往モデルと称する。これら 2 種類の運転行動モデルの目的変数と説明変数を表 4-7 に示す。

STM 時間減衰モデルと STM 既往モデルの共通の説明変数である被験者の個人属性は、年齢、性別、高速道路の利用頻度、職業とし、性別と職業はダミー変数とした。道路幾何構造は曲率と勾配とした。5 分間交通量は走行実験調査区間の終点付近に設置されている既設車両感知器に記録された交通量を用いた。交通安全施設のうち導流レーンマークと矢羽根は、注意喚起が必要な区間やカーブ区間の全域に設置されており、連続的に注意喚起を行うため、この間の STM は一定であると仮定して共通の説明変数とし、設置されている場合に 1、そうでない場合に 0 のダミー変数とした。

注意喚起標識と IVTWI (音)、IVTWI (画+音) は、注意が必要な区間の上流側で注意喚起を行い、その情報は被験者の STM に一旦記憶される。そして、その後の STM の挙動の考え方により、STM の時間減衰効用を (4.6) 式で導入した STM 時間減衰モデルと STM をダミー変数のみで与える STM 既往モデルを用いて推定・比較した。なお、STM 既往モデルにおける STM 持続時間は 30 秒と仮定した。

モデルの推定にあたって、連続的な説明変数はもとのスケールを 10 の n 乗で除した。ダミー変数は 0 または 1 であるため、この操作により、STM 時間減衰モデルの説明変数とダミー変数のスケールが同程度になるため推定結果の対比が容易になる。

表 4-7 運転行動モデルの変数一覧

分類	区分	変数名	定義	平均値	標準偏差
説明変数	共通	(個人属性)			
		年齢	年齢/100	0.333	0.090
		男性ダミー	1: 男性, 0: 女性	0.914	0.281
		高速道路走行頻度	(1ヶ月当たり回数)/100	0.050	0.071
		社会人ダミー	1: 社会人, 0: 学生	0.823	0.382
		(道路幾何構造)			
		曲率	右カーブが正, $1/(\text{半径(m)}) * 1000$	-0.161	0.887
		勾配	$i(\%)$	-2.667	1.901
		(交通要因)			
		5分間交通量	(台/5分)/100	1.191	0.262
		(交通安全施設)			
		導流レーンマークダミー	1: 有, 0: 無	0.702	0.457
		矢羽根ダミー	1: 有, 0: 無	0.182	0.386
	STM時間減衰モデル	標識効果ダミー	1: 標識視認後, 0: 標識視認前	0.898	0.302
		IVTWI(音)効果ダミー	1: IVTWI提供後, 0: IVTWI提供前	0.228	0.420
		IVTWI(画+音)効果ダミー	1: IVTWI提供後, 0: IVTWI提供前	0.233	0.423
		(Short-Term-Memory要素)			
		σ (標識)	(4.6)式	—	—
		σ (IVTWI(音))	(4.6)式	—	—
	STM既往モデル	標識効果ダミー	1: 標識視認後30秒間, 0: その他	0.652	0.476
		IVTWI(音)効果ダミー	1: IVTWI提供後30秒間, 0: その他	0.205	0.404
		IVTWI(画+音)効果ダミー	1: IVTWI提供後30秒間, 0: その他	0.214	0.410

(2) 推定結果と考察

表 4-8 に、短期記憶を考慮した 2 種類の運転行動モデルのパラメータ推定結果を示す。それぞれのパラメータ推定値と t 値は R ソフトウェア (<http://www.R-project.org/>) により推定した。

STM 時間減衰モデルと STM 既往モデルでは、前者の自由度調整済み尤度比が大きく、また、AIC, BIC とも小さくなったことから前者が適合度の良いモデルと考えられる。

STM 時間減衰モデルでは、男性ダミー、社会人ダミー、勾配、5 分間交通量、矢羽根ダミー、IVTWI(音)ダミー、および IVTWI(画+音)ダミーのパラメータ推定値の符号が負で統計的に有意と推定され、DR 軽減に効果があると推定された。特に、IVTWI(音)と IVTWI(画+音)はパラメータ推定値の値が大きかったが、注意喚起標識、IVTWI(音)および IVTWI(画+音)には STM の効用関数を導入しているため、STM の効用関数を含めて考察する必要がある。これらについては、次節で詳述する。

他の既往交通安全施設では、導流レーンマークのパラメータ推定値の符号は正となり、かえって DR が増加する結果となった。このことは、当実験調査区間は下り勾配で、かつ、カーブが連続することから延長 3.3km の実験区間の約 70% に相当する延長 2.3km にわたって導流レーンマークが整備されており、被験者が慣れてしまって注意喚起効果がなくなっ

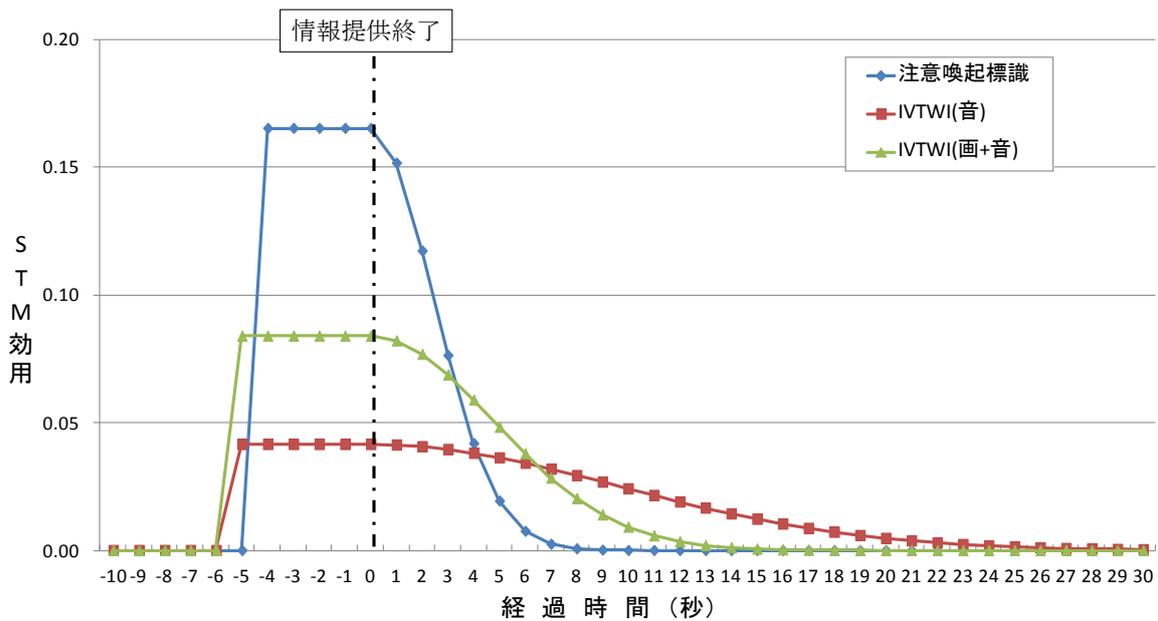


図 4-7 推定された短期記憶の時間減衰効用

情報提供開始は横軸の-4 秒の位置からとなる。同様に、IVTWI (音) と IVTWI (画+音) では情報が 5 秒間提供されるので、横軸の-5 秒の位置から情報提供開始となる。

情報提供による STM 効用は注意喚起標識が最も大きい結果となったが、5 秒経過時点では 3 ケース中、効用は最小となった。IVTWI (音) は、情報提供中の STM 効用は 3 ケース中最小だが、その後の減衰は緩やかで、7 秒経過以降は 3 ケース中効用が最大となった。IVTWI (画+音) は、4 秒後から 6 秒後の間の効用は 3 ケース中最大となった。

次に、表 4-8 で推定された標識効果ダミー、IVTWI (音) 効果ダミー、IVTWI (画+音) 効果ダミーのパラメータ推定値 (いずれも符号は負で目的変数である DR を軽減する方向に作用する) とそれぞれの効用関数 $U(t)$ の積の絶対値をグラフ化したものを図 4-8 に示す。

これより、DR を減少させる方向に働く STM の効果は、注意喚起直後の対比で IVTWI (画+音) は注意喚起標識の約 4.7 倍、IVTWI (音) は注意喚起標識の約 5.7 倍の強度があり、その効果は IVTWI (画+音) では約 15 秒間、IVTWI (音) では約 30 秒間持続していることになる。また、既往安全施設である注意喚起標識では、約 6 秒間で STM から消失してしまうことを示している。

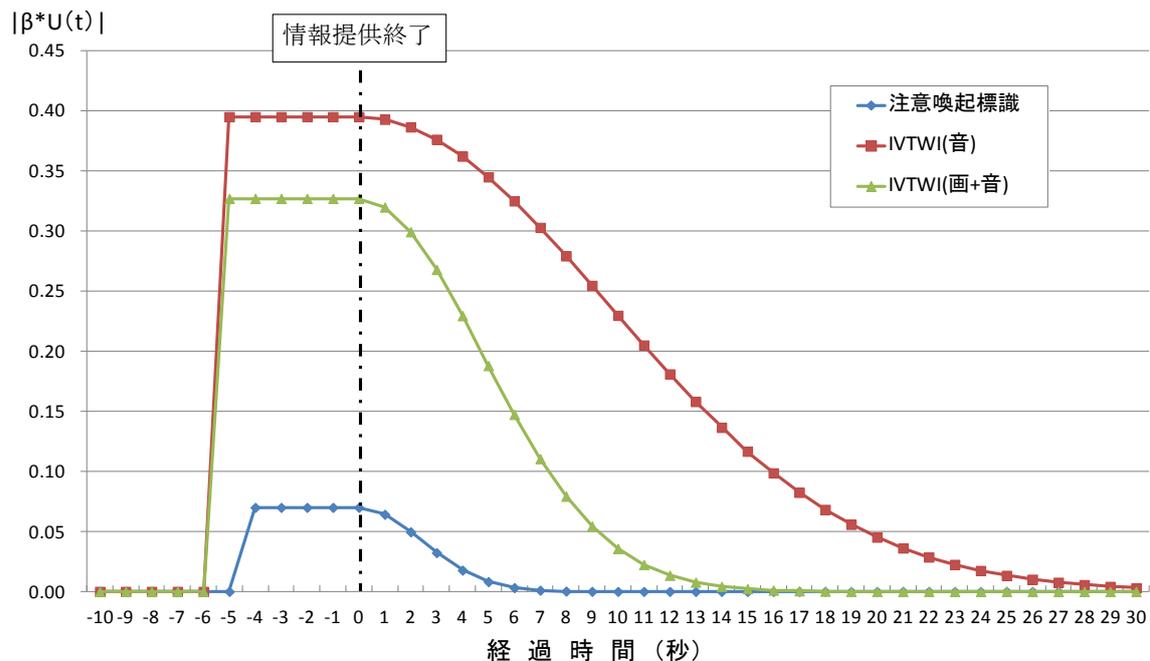


図 4-8 推定された短期記憶の効果

STM 時間減衰モデルを構成する説明変数が DR に及ぼす寄与度を確認するために、それぞれの説明変数の平均値とパラメータ推定値の積を比較した。結果を表 4-9 に示す。なお、標識、IVTWI（音）及び IVTWI（画+音）は STM の効用関数を導入しているため、効用関数の効果も考慮している。

DR を低減させる効果が最も大きいのは性別（男性ダミー）で、次いで 5 分間交通量となった。性別については、図 4-3 に示したように今回の走行調査分析は男性の被験者が 90% 以上を占めていることに起因すると考えられる。5 分間交通量については、交通量が増加すると被験者は走行速度を自由に選択できなくなり、車群の中を走行することになるため走行速度のばらつきが抑制され、DR が小さくなる方向に作用したものと考えられる。次いで、職業（社会人ダミー）が DR 軽減への寄与が大きい。これも図 4-3 に示したように、被験者の 84% が社会人であったことも影響していると考えられる。その他、年齢は、DR を増加させる方向への寄与が大きかった。ここまでのところでは個人属性のうち、年齢、性別、職業と 5 分間交通量が DR に大きく関与している結果となった。

交通安全施設の中では、IVTWI が、既往安全施設で DR の軽減に最も寄与した矢羽根の 1.9 倍以上の効果があるという結果となった。なかでも IVTWI（音）は、IVTWI（画+音）を約 34% 上回る結果となった。既往交通安全施設は路面や路肩に設置され、ドライバーは目視によりこれらを視認し（認知）、注意喚起情報を判断する。これに対し、IVTWI は車内に搭載した車載器を通じて音声や、画像と組み合わせた音声により注意喚起を行うため、ドライバーにとってもインパクトが強く、確実な注意喚起が可能となっているものと考え

表 4-9 説明変数のドライビングリスクへの寄与度

説明変数	パラメータ推定値 β_q	効用値 \overline{U}_q	平均値 \overline{x}_q	$\beta_q * \overline{U}_q * \overline{x}_q$
年齢	0.948	-	0.333	0.316
男性ダミー	-0.652	-	0.914	-0.596
高速道路走行頻度	0.784	-	0.050	0.039
社会人ダミー	-0.219	-	0.823	-0.180
曲率	0.051	-	-0.161	-0.008
勾配	-0.011	-	-2.667	0.029
5分間交通量	-0.474	-	1.191	-0.565
導流LMダミー	0.044	-	0.702	0.031
矢羽根ダミー	-0.186	-	0.182	-0.034
標識効果ダミー	-0.423	7.503E-14	0.898	-2.85E-14
IVTWI(音)効果ダミー	-9.507	0.039	0.228	-0.086
IVTWI(画+音)効果ダミー	-3.894	0.071	0.233	-0.064

られる。

既往研究で、IVTWIの注意喚起効果について述べた文献には、次のようなものがある。

畠中ら(2009)は、都市間高速道路のサグ部の円滑な走行支援を目的として、車内に搭載した車載器(音声情報+画像情報)と路肩に設置したLED表示板(文字情報)から提供される、車線維持依頼情報の効果を対比するためにドライビングシミュレータによる実験を行った。その結果、車載機での情報提供の効果が大きいことを示している。また、被験者に対する質問から、車載器からの画像と音声では、音声の方が分かり易いという結果を得たことを示している。

Vashitzら(2008)は、ドライビングシミュレータを使って、トンネル内での渋滞、追従走行、火災、事故、燃料切れ、の事象について、車内のディスプレイから詳細な情報提供がある場合、簡易な情報提供がある場合、情報提供が無い場合、の3ケースでのドライバーの運転行動を分析して安全走行に及ぼす効果を評価した。その結果、車内のディスプレイによる情報提供は、ドライバーに必要な情報を提供している限りにおいて、ドライバーの安全運転向上に寄与しているが、過度な情報提供はドライバーがディスプレイを見る頻度が多くなってしまい、逆に前方不注視に陥る可能性があることを示している。

また、Birrellら(2011)は、ドライビングシミュレータによる室内実験から、人間工学的に認知しやすくデザインされた2種類の車内情報提供装置(複数の情報をリアルタイムに表示するタイプと最優先の1項目のみを表示するタイプ)の効果について評価したところ、これまでの研究で指摘されてきたドライバーの負担増や前方不注視に陥りやすいという事象は確認できず、むしろ速度制御や加減速の点で効果があることを示している。

これらの知見を要約すると、

- 車内の車載器やディスプレイからの情報提供は、ドライバーの安全運転向上に効果がある。
- 車載器やディスプレイからの画像による情報は、ドライバーの前方注視の妨げとならないよう、分かり易く、ドライバーにとって必要な情報である必要がある。

ということに集約されよう。本研究で、IVTWI（音）の推定結果の評価が IVTWI（画+音）よりも高かった理由は、カーナビのディスプレイからの画像情報（イラスト）が被験者にわかりにくかった可能性があると考えられる。

また、表 4-1 に示したように、本研究で分析したデータを収集した走行実験調査では、1 回目走行時は IVTWI による注意喚起なし、2 回目走行時は IVTWI（音）による注意喚起、3 回目走行時は IVTWI（画+音）による注意喚起を行っている。IVTWI（音）と IVTWI（画+音）の優劣については、それぞれの方式により注意喚起を行う順序にも影響される可能性があると考えられるため、ドライビングシミュレータや路上での異なる走行条件や情報提供順序での実験調査の蓄積による分析が必要と考えられる。

4.3 注意喚起情報提供に対する受容性の評価

前節では、走行実験調査により得られた被験者の運転行動データを、統計的モデルを構築して分析することにより、それぞれの媒体からの注意喚起情報提供に対する被験者の運転行動を客観的に評価した。

本節では IVTWI を被験者がどう判断し、どのような運転行動につながっていったかについて走行直後の被験者の主観的な意識を、アンケート結果の集計分析から考察する。

4.3.1 注意喚起情報提供に対する意識と運転行動

運転行動に関する質問は 2 問あり、最初の質問は「IVTWI の提供を受けた時どう感じたか」、もう一つの質問は、「IVTWI の提供を受けてどう行動したか」である。これらのアンケートは、車載器からの音声による注意喚起（IVTWI（音））を体験した 2 回目走行直後と、音声と画像による注意喚起（IVTWI（画+音））を体験した 3 回目走行直後にそれぞれ実施された。分析対象とした質問と回答の選択肢を表 4-10 に示す。

質問 1 の回答の選択肢のうち a. ～d. は、IVTWI を提供されて注意喚起が必要と認識したものであることから肯定的な受け止め方の回答と考えられる。選択肢 e. ～h. については、注意喚起が必要と認識していないものであることから否定的な受け止め方をした回答と考えられる。

同様に、質問2の回答の選択肢が a. ～e. の場合は、IVTWI の提供が結果として安全な運転行動につながったと被験者は認識していたことを示す回答であり、選択肢 f. ～h. の場合は何もしなかった、急ブレーキ、急な車線変更など危険な運転行動につながったと被験者が認識していたことを示す回答と考えられる。なお、回答は複数の選択肢から選択可

表 4-10 運転行動に関する設問と回答の選択肢

質問1	設問	車載器から注意喚起を受けた時どのように感じましたか
	選択肢	a. 注意しようとする気持ちになった.
		b. 減速しようとする気持ちになった.
		c. 車線変更しようとする気持ちになった.
		d. 少しびっくりしたが注意しようとする気持ちになった.
		e. そのままの走行速度で問題ないと考えた.
		f. 煩わしいと思った
		g. この内容では注意する気にならなかった.
		h. びっくりしあわてた.
		i. その他
質問2	設問	車載器から注意喚起を受けた時どのように行動しましたか
	選択肢	a. 前方に注意した.
		b. アクセルを緩めた.
		c. ブレーキに足をかけた.
		d. ゆっくりブレーキをかけた.
		e. 安全を確かめ車線変更した.
		f. そのまま走行した(何もしなかった).
		g. 急ブレーキをかけた.
		h. 急に車線変更した.
		i. その他

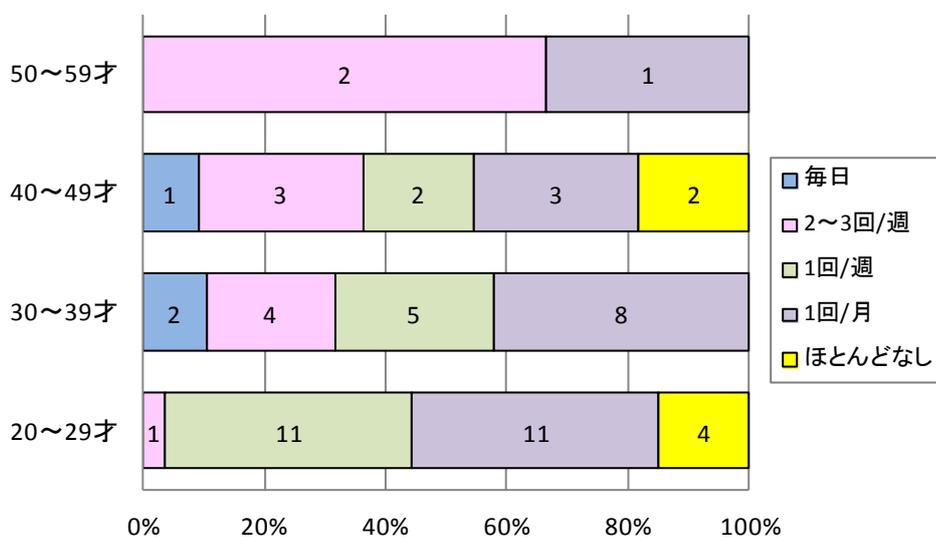


図 4-9 被験者の年齢と高速道路の利用頻度の関係

として実施されている。

集計分析に先立って、図 4-3 に示した被験者の属性について、年令と高速道路の利用頻度の関係に着目してクロス集計を行った。結果を図 4-9 に示す。高速道路の利用頻度が毎日、2~3回/週および1回/週を合計した比率は被験者の年令が上がるにつれて増加している傾向にある。

4.3.2 考察

図 4-10 にアンケートの集計結果を示す。

左列が質問 1 について、IVTWI（音）のケースと、IVTWI（画+音）のケースにおいて、年令別と高速道路の走行頻度別に、回答した選択肢の構成比率を示したものである。右列は、質問 2 について同様に分類したものである。

グラフ (a) と (c) は、質問 1 について年令別に分類した結果を示したものである。この対比により、IVTWI（音）と IVTWI（画+音）のいずれも概ね 60%以上の年令層の被験者が肯定的な認識をしており、50~59 才のグループは IVTWI（画+音）の方が減速しようとする気持ちになった被験者の比率が高かったことを示している。

この IVTWI の提供の認識の違いを受けて右列のグラフ (b) と (d) を対比すると、IVTWI（画+音）のケースでは 50~59 才のグループは全員がアクセルを緩めたり、ブレーキに足をかけたりという行動をしたと回答したことがわかった。一方で、40~49 才のグループは IVTWI（音）の場合は安全な行動をとったが、IVTWI（画+音）の場合はそのまま走行した（何もしなかった）と回答した被験者の比率が最も多く、50~59 才のグループと逆の選択をしていることがわかった。

次に、グラフ (e) と (g) を対比することにより、高速道路の利用頻度の違いによる注意喚起情報に対する認識について考察する。IVTWI（音）では高速道路の利用頻度の高いグループほど、車載器からの注意喚起情報を肯定的に認識した者の比率が低い傾向にあったが、IVTWI（画+音）では高速道路を週 2~3 回以上利用する利用頻度の高い被験者が注意喚起を肯定的に認識して注意しようとする気になったり減速しようとする気になったりした被験者の比率が高くなった。

この認識の違いを受けて右列のグラフ (f) と (h) を対比すると、高速道路を週 2~3 回以上利用する被験者は、IVTWI（音）よりも IVTWI（画+音）の方が、前方に注意したと回答した被験者やブレーキに足をかけたと回答した被験者が多く、安全な行動をとった被験者の比率が高かったという結果となった。一方、週 1 回の被験者は、逆に IVTWI（音）の方が、安全な行動をとった比率がやや高かった。

アンケート結果から被験者の運転行動をまとめると、IVTWI（音）よりも IVTWI（画+

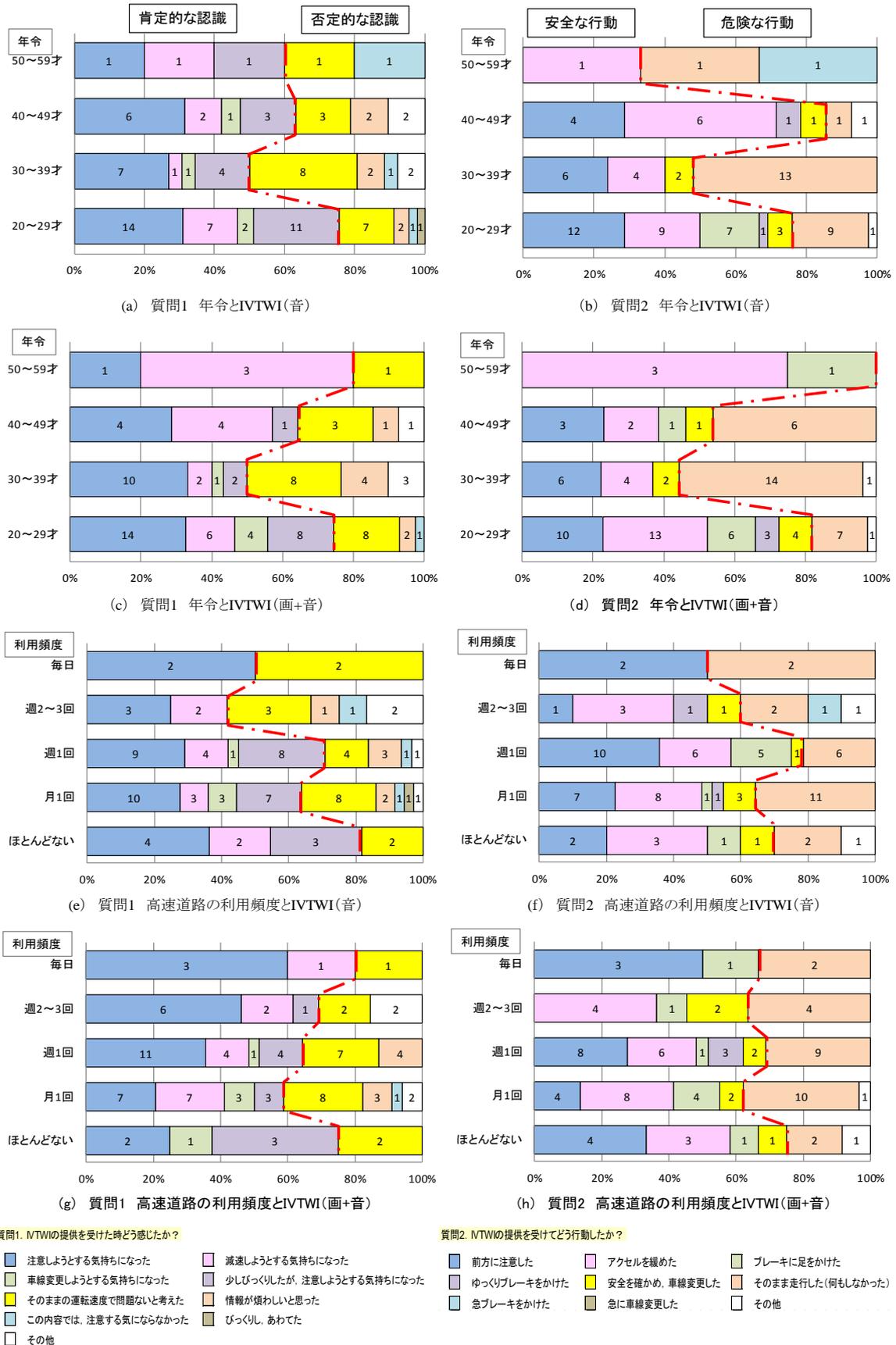


図 4-10 IVTWI 提供による被験者の意識と運転行動

音)の方が、50～59才のグループや、高速道路を週に2～3回以上利用する被験者など、特定のグループに対して安全な運転行動につながる傾向にあることがわかった。このことは、表4-2に示した車載器の画像情報が、若年令で高速道路の利用頻度が少ないドライバーに対しては、内容が十分理解されていなかった可能性も考えられる。

4.4 まとめ

本章では、IVTWI提供の有効性について、NEXCO西日本が山陽自動車道志和インターチェンジから広島東インターチェンジ間で実施した走行実験調査により収集した、実験車の走行速度データと、走行直後の被験者からのアンケート結果のうち運転行動に関する質問結果を分析した。

走行速度データの分析においては、ドライビングリスクを指標として注意喚起に伴う短期記憶の時間減衰効果も考慮してモデルを構築した。また、走行実験調査区間に設置されている既往交通安全施設である導流レーンマークや注意喚起標識、矢羽根についてもモデル化して、IVTWIと同時に評価した。

分析の結果、車載器からの注意喚起情報提供の効果について、以下のようにまとめることができる。

- ① 山陽自動車道で実施した走行実験調査で得られた運転行動データからも、短期記憶の時間減衰効用を、指数関数による効用関数で表現したモデルの方が、短期記憶を一定の大きさのダミー変数で一定時間与える既往モデルより良好な適合度が得られた。
- ② 短期記憶の時間減衰効用を反映したモデルによる推定結果から、導流レーンマークや注意喚起標識、矢羽根といった既往交通安全施設からの注意喚起効果よりも、ITSスポット対応カーナビからの注意喚起情報提供の方が、音声のみの場合と音声と画像による場合のいずれの場合も効果が高いことが統計的に推定された。特に、今回の走行実験調査では、音声のみによる注意喚起の効果が高かった。
- ③ 被験者からのアンケートのうち運転行動に関する質問を分析した結果、音声と画像による注意喚起が、年令や高速道路の利用頻度のうち、特定のグループに対して注意喚起情報提供が肯定的に認識され、安全な運転行動につながる傾向があることが分かった。このことは、提供する情報内容によって、全ドライバーが同じ運転行動を示すのではなく、特定の個人属性を有するドライバーに対して注意喚起効果が高い可能性があることを示していると考えられる。

第 4 章 関連参考文献

- 川嶋弘尚監修 ITS 新時代, 日経BP 社, 2007.
- 畠中秀人, 酒井康一, 浅野美帆, 佐藤章博 (2009) ドライビングシミュレータを用いたサ
グ部円滑化走行支援サービス効果の検証, 第 29 回交通工学研究発表会論文集,
pp.149-152 (CD-ROM).
- Birrell, A. S., Young, S. M. (2011) The impact of smart driving aids on driving
performance and driver distraction, *Transportation Research Part F*, 14,
pp.484-493.
- Greene, W.H., (1993) *Econometric analysis* (2nd edition), Macmillan, New York.
- Kim, W., Zhang, J., Fujiwara, A., and Chikaraishi, M. (2008) Influence of In-Vehicle
Real-Time Traffic Safety Warning Information on Driving Stability at
Limited Signal Visibility Approaches: Use of an Ordered Probit Model,
*Proceedings of the 11th International IEEE Conference on Intelligent
Transportation Systems, Beijing, China*, October 12-15, pp.771-776.
- Vashitz, G., Shinar, D., Blum, Y. (2008) In-vehicle information systems to improve
traffic safety in road tunnels, *Transportation Research Part F*, 11, pp.61-74.
- Wonchul KIM., (2009) SPEED CHOICE BASED DRIVING RISK MODELS,
Doctoral Dissertation of Hiroshima University.

第5章 ITS技術と既往交通安全施設による運転行動意向の評価

第3章で既往の交通安全施設の効果について評価を行った結果、整備直後には交通事故件数は減少するものの、数年後には再び整備前の水準に戻ってしまうことが明らかになった。そのため、これらの交通安全施設の注意喚起効果を持続し、走行安全性を維持するためには注意深いモニタリングと定期的な機能回復が必要と考えられる。

一方で、第4章ではITS技術を活用して、IVTWI提供による注意喚起効果を確認するために実施した走行実験調査で収集したデータを分析した結果、既往交通安全施設よりも注意喚起効果が高いと推定された。しかしながら、高速道路上には導流レーンマークや注意喚起標識などの交通安全施設が既に整備されており、これらの効果も活用しながらより効果的な注意喚起情報提供施設を明らかにしていく必要がある。

本章では、ITS技術を活用した新しいIVTWI提供と既往交通安全施設を配置した走行場面において、それぞれの注意喚起情報提供によるドライバーの運転行動への影響について評価する。しかしながら、IVTWI提供は現在のところ全国の高速道路で約1,600ヶ所のITSスポットが整備されて社会実験中であるが、おおよそ高速道路の1インターチェンジ間に1ヶ所程度の整備にとどまっており、実際の路上での走行実験によりデータを収集することは調査に要する費用や効率性の点からも現実的ではない。そこで、新しい交通サービスの需要予測に用いられるSP調査により選好情報を収集する手法で収集した、高速道路上の仮想の質問場面における被験者の運転行動意向を分析することによりIVTWIと既往交通安全施設の注意喚起効果が及ぼす影響を評価する。

本章は以下のように構成される。

5.1では、本研究で仮想の質問場面における被験者の運転行動意向を評価するためのデータ収集に用いたSP調査の概要について述べる。5.2では、SP調査により運転行動意向を4段階尺度で収集したデータを4つの走行場面ごとに集計分析して運転行動意向の傾向を分析する。次いで、5.3で順序付けプロビットモデル（運転行動意向モデル）により運転行動意向を分析し、交通安全施設からの注意喚起情報提供が運転行動意向に対する影響について、走行場面ごとに評価する。そして、5.4で本章をまとめる。

5.1 SP調査の概要

5.1.1 SP調査の設計方針

高速道路上には車線の分合流、下り勾配やカーブなど、さまざまな走行場面が存在する。本研究で実施する SP 調査では、高速道路走行中にヒューマンエラーが生じやすい走行場面として、インターチェンジを流入する時（以下、「IC 流入」）、インターチェンジやサービスエリアなどから本線に流入してくる車を発見した時（以下、「側方から流入車」）、トンネルに入る時（以下、「トンネル入口」）、カーブした下り坂を走行している時（以下、「カーブした下り坂」）の 4 場面を設定した。（図 5-1）



図 5-1 設定した走行場面

SP 調査は、ドライバーの運転行動に潜在的に影響する、異なる種類の注意喚起施設や注意喚起方式を自由に組み合わせて調査することができる利点がある。しかし、高速道路の代表的な走行場面に仮想の交通安全施設を配置した写真を見て回答された運転行動意向と、実際の高速道路上での走行場面における運転行動は必ずしも一致しない可能性があることが推測され、SP 調査は慎重に設計する必要がある。

本研究では、ITS 技術を活用した注意喚起情報提供によるドライバーへの注意喚起は、異なる 3 種類の方式で行うこととした。そのうちの 2 種類は、自動車に搭載した車載器により行うこととし、音声のみによる注意喚起（以下、「ITS（音）」）と、音声に加えて車載器の画面に表示される画像が連動した注意喚起（以下、「ITS（画+音）」）を想定した。残

る1種類は、カーブした下り坂において、走行してくる車の車速をセンサーにより検知し、速度超過していた場合に、路肩に設置されたLED表示板により注意喚起する既往の交通安全施設（以下、「ITS（板）」）を、ITSを活用した交通安全施設（属性）に加えた。

既往の交通安全施設では、トンネル入口の走行場面で追突事故対策として実施することがある、トンネル内入口照明の照度アップを属性に加えた。カーブした下り坂の走行場面では、矢羽根、導流レーンマーク（以下、「導流LM」）、「下り坂速度注意」という文字を表示した注意喚起標識（以下、「標識（文）」）、文字に加えて図形を取り入れた注意喚起標識（以下、「標識（図）」）、通過した時に軽い振動で注意喚起する薄層舗装を交通安全施設（属性）として取り入れた。そして、ITS技術を活用した交通安全施設と既往交通安全施設を配置した仮想の質問場面における各々の施設の効果について評価することとした。

本研究で評価した主な交通安全施設を図5-2に示す。また、表5-1に、4つの走行場面に設定した、交通安全施設（属性）と注意喚起方式（属性の水準）を示す。

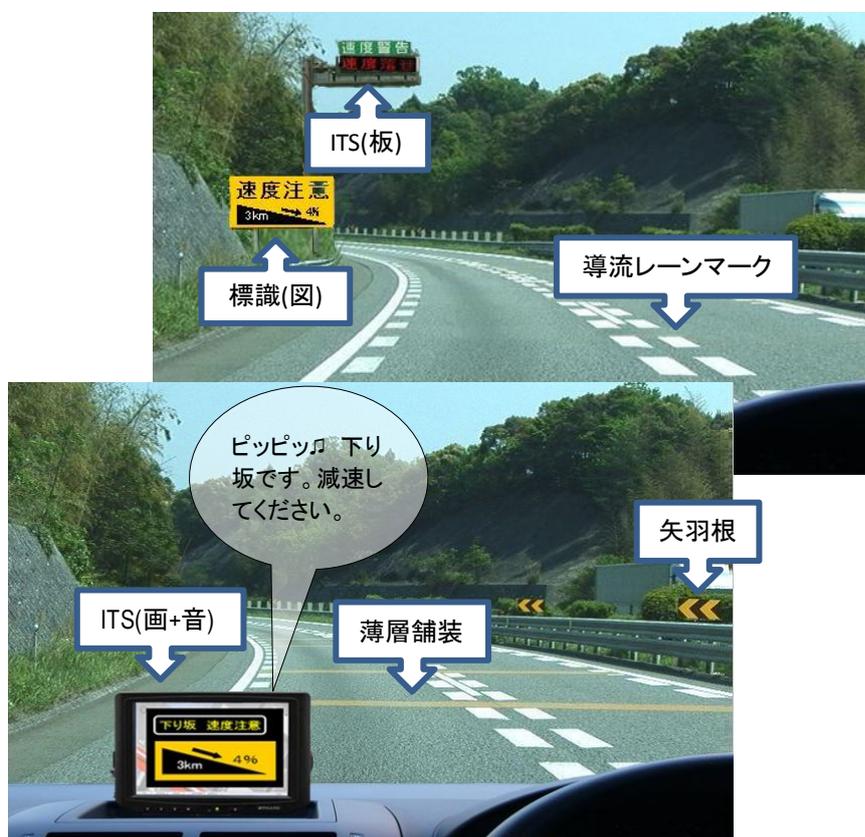


図 5-2 主な交通安全施設

表 5-1 SP 調査における交通安全施設と注意喚起方式

走行場面	交通安全施設	注意喚起方式			
IC流入	ITS	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 音	<input type="checkbox"/> 画+音	
側方から流入車	ITS	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 音	<input type="checkbox"/> 画+音	
トンネル入口	照度アップ	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 有		
	ITS	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 音	<input type="checkbox"/> 画+音	
カーブした 下り坂	矢印板	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 有		
	導流レーンマーク	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 有		
	注意喚起標識	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 字	<input type="checkbox"/> 図	
	薄層舗装	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 有		
	ITS	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 板	<input type="checkbox"/> 音	<input type="checkbox"/> 画+音

5.1.2 実験計画

SP調査を設計する際に、表5-1に示すようにカーブした下り坂の走行場面では5属性で最大4水準となるため、完全要因配置計画とした場合、質問数は $2 \times 2 \times 3 \times 2 \times 4 = 96$ 個となってしまふ。そのため、被験者が回答に疲れていくつかの質問を無視したり、集中力が散漫になって回答誤差が増大したりする懸念がある。そこで、実験計画法の直交配置の考え方に基づいた一部要因配置計画により、ITSと既往交通安全施設を組み合わせた16個の質問場面に質問を集約した。さらに、16個の質問場面を2重制約選択計画により4つの質問群に配列した。

その結果、IC流入と側方から流入車の走行場面では各3問、トンネル入口では2群で各3問、カーブした下り坂の走行場面では4群で各4問の質問を統合して、4パターンの質問を作成した。

本研究で設定した4つの走行場面での交通安全施設の組み合わせについて、表5-2に実験計画法により設計したそれぞれの走行場面における施設配置を、表5-3に4つの走行場面を統合した質問パターンを示す。

表 5-2 設定した走行場面と交通安全施設の配置

走行場面：IC流入			走行場面：トンネル入口			
質問群	質問No.	ITS	質問群	質問No.	照度アップ	ITS
A群	1	無	C群	7	無	画+音
	2	音		8	有	無
	3	画+音		9	有	音
走行場面：側方から流入車			D群	10	無	音
質問群	質問No.	ITS		11	有	画+音
B群	4	無		12	無	無
	5	音				
	6	画+音				

走行場面：カーブした下り坂						
質問群	質問No.	矢羽根	導流LM	標識	薄層舗装	ITS
E群	13	有	有	図	無	音
	14	無	有	無	有	無
	15	無	無	図	有	画+音
	16	無	有	図	無	板
F群	17	有	無	無	無	板
	18	有	有	無	有	板
	19	有	無	図	有	無
	20	無	有	無	有	音
G群	21	有	有	文	無	無
	22	有	有	無	有	画+音
	23	無	無	文	有	板
	24	無	無	無	無	無
H群	25	無	無	無	無	音
	26	有	無	無	無	画+音
	27	有	無	文	有	音
	28	無	有	文	無	画+音

表 5-3 実験計画法による質問パターン

質問パターン	IC流入	側方から流入車	トンネル入口	カーブした下り坂	質問数	被験者数
パターン1	A群(3問)	B群(3問)	C群(3問)	E群(4問)	13問	200名
パターン2	A群(3問)	B群(3問)	C群(3問)	F群(4問)	13問	200名
パターン3	A群(3問)	B群(3問)	D群(3問)	G群(4問)	13問	200名
パターン4	A群(3問)	B群(3問)	D群(3問)	H群(4問)	13問	200名

5.1.3 SP 調査の実施

本研究では、平成 22 年 1 月に、登録者数がそれぞれ約 130 万人と約 200 万人を有する 2 つのウェブ調査会社に委託して SP 調査を行った。調査の実施にあたり、表 5-4 に示すスクリーニング条件をもとに、被験者を選出した。なお、調査自体はウェブ調査会社のウェブ調査システム上で実施され、表 5-3 に示す 4 つの質問パターンについて各 200 名、全体で 800 名の被験者から選好情報を収集した。

調査は4つの走行場面において、図5-2に例示する仮想の交通安全施設を配置した写真を提示し、表5-4に示すそれぞれの質問について、4段階尺度の選択肢から被験者に選択してもらうことにより、それぞれの質問場面に対する運転行動意向を収集した。

SP調査は、サンプリングの際のスクリーニングが重要であり、調査目的に合致した、偏りのない選好情報を収集する必要がある。本研究の調査は高速道路上での行動選択に関する選好情報収集を目的とするため、表5-5に示す条件によりスクリーニングを行った。

図5-3に、本研究で選好情報を収集した被験者の個人属性として、性別、年齢、高速道路の運転頻度、過去の事故履歴を示す。

表 5-4 走行場面ごとの質問と回答（4段階尺度）

走行場面	質問内容	運転行動意向(4段階尺度)
IC流入	ICから本線に合流しようとしています。写真のシーンの時、後方の本線上の車を目視で確認してから合流しますか？	(1) 必ず目視確認する (2) 多分、目視確認する (3) 多分、目視確認しない (4) 目視確認しない
側方から流入車	サービスエリアから車が合流しようとしています。写真のシーンの時、合流してくる車に進路を譲りますか？	(1) 必ず進路を譲る (2) 多分、進路を譲る (3) 多分、進路を譲らない (4) 進路を譲らない
トンネル入口	前の車に続いてトンネルに入ろうとしています。写真のシーンの時、追突しないよう減速してトンネルに入りますか？	(1) 必ず減速する (2) 多分、減速する (3) 多分、減速しない (4) 減速しない
カーブした下り坂	カーブが連続する長い下り坂にさしかかりました。写真のシーンの時、減速しますか？	(1) 必ず減速する (2) 多分、減速する (3) 多分、減速しない (4) 減速しない

表 5-5 スクリーニングの条件

項目	条件
性別・年齢	・自動車運転免許保有者の全国平均構成比(平成20年末)
運転経験等	・自動車運転免許を保有している ・ペーパードライバーではない ・職業ドライバーではない ・過去1年間で高速道路の運転経験がある

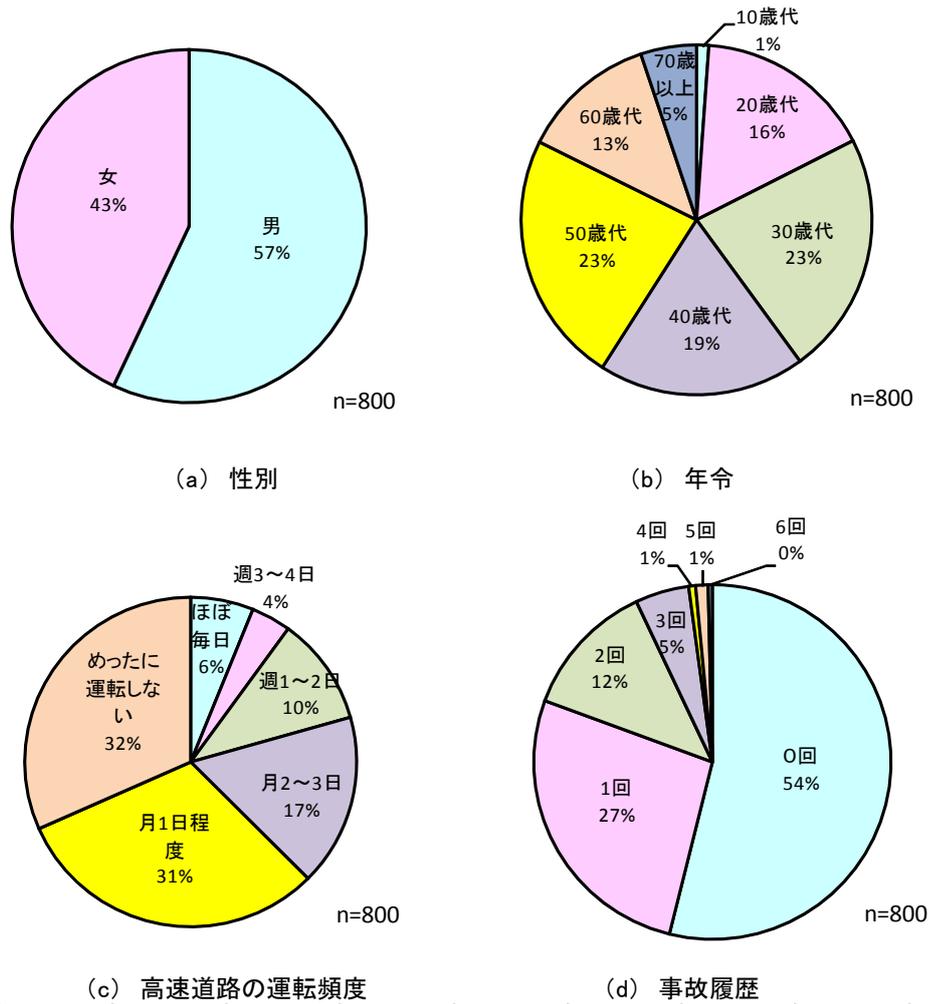


図 5-3 被験者の個人属性

5.2 集計分析による評価

5.2.1 走行場面別運転行動意向の傾向

(1) IC 流入

図 5-4 に、IC 流入の走行場面における被験者の運転行動意向の集計結果を示す。

この場面では、IVTWI の提供がなくても「必ず目視で確認してから合流する」と回答した被験者が 90% 近くを占めた。IVTWI の提供が無のケースに対する（音）、（画+音）の比率をカイ二乗検定すると、ITS（音）は 5%、ITS（画+音）は 10% 有意で無の場合と運転行動意向の構成比に差がある結果となったが、（音）と（画+音）の間では有意な差は認められない結果となった。

IC 流入の走行場面のまとめとして、IVTWI のない現況でも「(必ず, 多分) 目視確認する」と回答した被験者は全体の 97%を占めており, 大多数のドライバーは目視確認の必要性を認識していると考えられる.

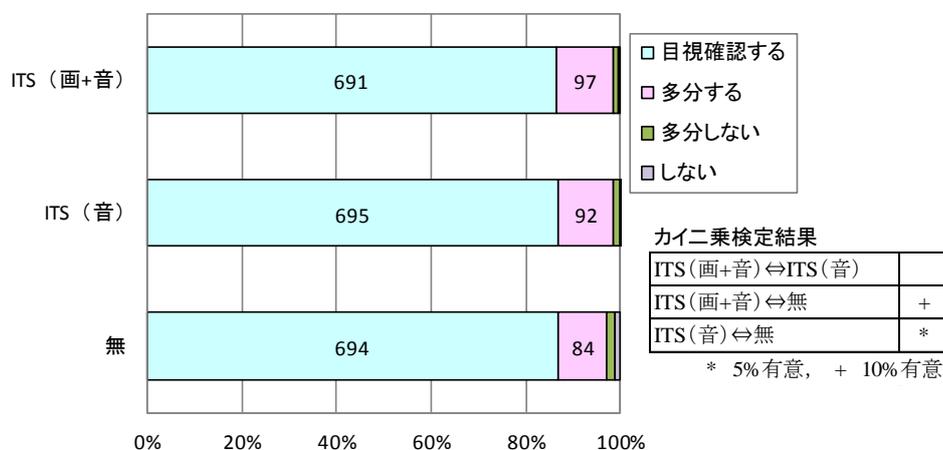


図 5-4 運転行動意向の比率 (IC 流入)

(2) 側方から流入車

図 5-5 に, 側方から流入車の走行場面における被験者の運転行動意向の集計結果を示す.

この場面では, IVTWI の提供がないケースから ITS (音), ITS (画+音) へと移行するにつれて, 「多分譲る」から「必ず譲る」へと積極的に安全な運転行動意向を選択する被験者が増加した. カイ二乗検定結果でも, IVTWI の提供が無のケースに対し, ITS (音) では安全な運転行動意向を選択する構成比に有意な差は認められないが, ITS (画+音) では, 1%水準で有意差が認められた. ITS (音) に対する ITS (画+音) の比較でも 5%水準で有意差が認められ, ITS (画+音) が安全な運転行動意向につながりやすい結果となった.

この場面のまとめとして, IVTWI のない現況でも, 「(必ず, 多分) 進路を譲る」と回答した被験者の比率は全体の 92%に達しており, 大多数のドライバーは進路を譲ることの必要性を認識していると考えられる.

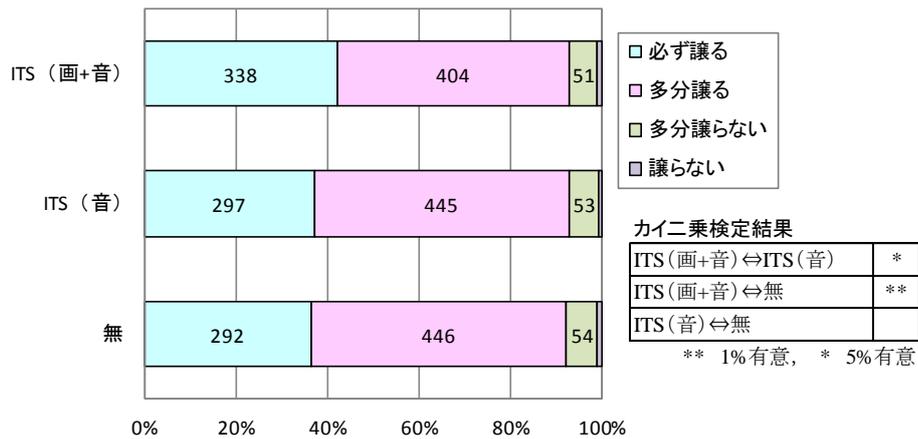


図 5-5 運転行動意向の比率 (側方から流入車)

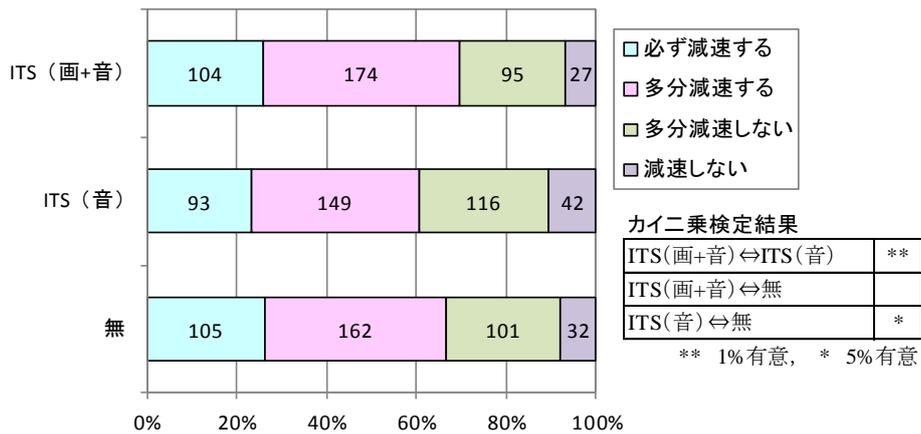
(3) トンネル入口

トンネル入口の走行場面では、トンネル内外で周囲の明暗や路肩幅員の狭小などドライバーに作用する走行環境の変化が大きい。そこで、トンネル入口に接近した時にあらかじめ IVTWI により注意喚起することで、ドライバーがトンネル入口に達するまでにあらかじめ減速することを安全な運転行動と想定した。

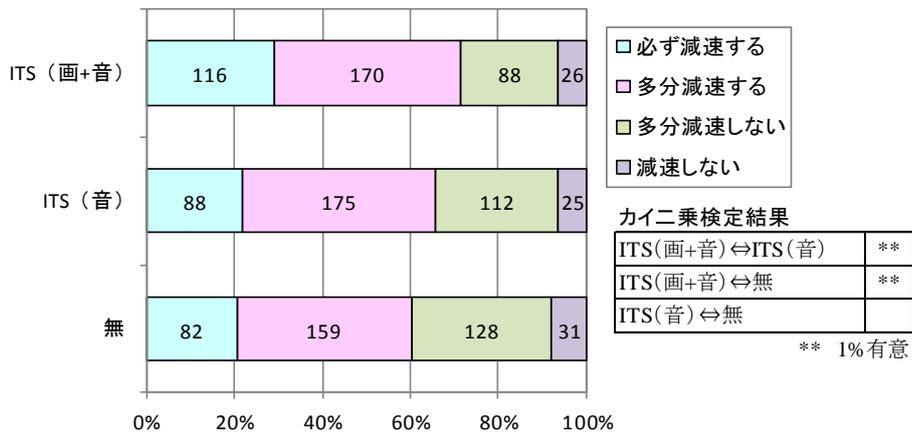
図 5-6 に、トンネル内入口照明を照度アップ有の場合と無の場合について、トンネル入口の走行場面における被験者の運転行動意向の集計結果を示す。

照度アップ無のケースでは、IVTWI 提供の効果はそれほど認められなかった。ITS (音) のケースでは、むしろ「(多分) 減速しない」というネガティブな回答比率が増加し、5%の有意水準で安全な運転行動意向を選択しない結果となった。ITS (画+音) のケースでは、IVTWI の提供が無のケースに対して 1%の有意水準で安全な運転行動意向を示す回答が増加し、効果が確認された。

照度アップ有のケースでは、照度アップ無のケースに対して、ITS (音) では運転行動意向の構成比に有意な差はなかったが、ITS (画+音) では、1%の有意水準で運転行動意向の構成比に差が認められ、安全な運転行動意向に効果があると考えられる。さらに、ITS (音) に対して ITS (画+音) も 1%有意水準で運転行動意向に差がある結果となり、トンネル入口で照度アップされた場合には ITS (画+音) の有効性を示唆していると考えられる。



(a) トンネル内照明の照度アップなし



(b) トンネル内照明の照度アップあり

図 5-6 運転行動意向の比率 (トンネル入口)

(4) カーブした下り坂

カーブした下り坂の調査結果を評価するために、「必ず減速する」：3点、「多分減速する」：2点、「多分減速しない」：1点、「減速しない」：0点として、それぞれの質問の点数の和で比較した。点数が高いほど安全な運転行動意向を示す可能性が高いことを示している。

結果を図 5-7 に示す。図中の破線は、隣接する質問場面間で4段階尺度の回答比率に統計的に有意な差があった位置を示しており、赤色破線が1%有意、青色破線が5%有意、緑色破線が10%有意を示している。また、カイ2乗検定結果の表中の塗りつぶしは、緑着色は順位が下位の質問場面に対し、交通安全施設が「有」のものを示し、“その交通安全施設が有ったことによって、安全な運転行動意向を示す順位が上がり、正の注意喚起効果を示している”ことを意味している。同様に赤着色は“その交通安全施設が無かったことによ

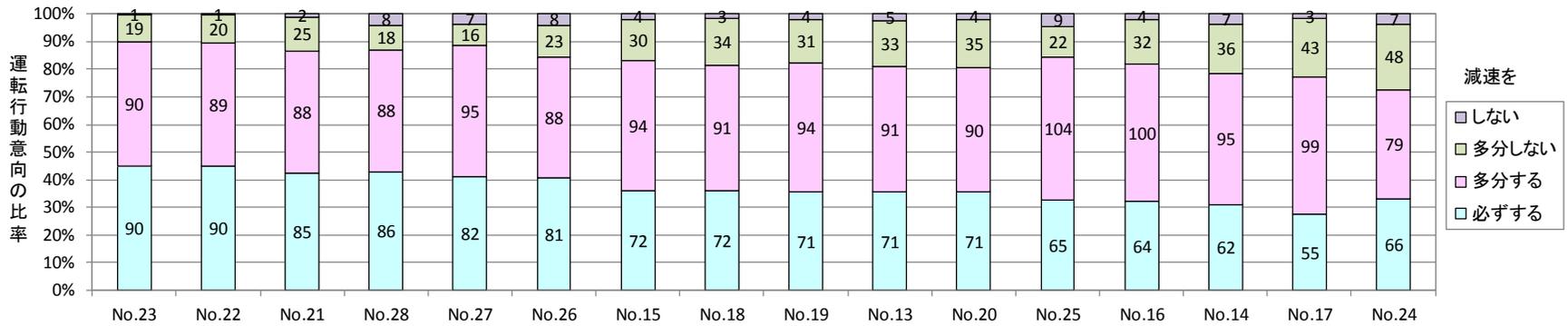
って、安全な運転行動意向を示す順位が上がり、負の注意喚起効果を示している”ことを意味する。青着色は、安全な運転行動意向を示す交通安全施設の質問場面の上位2者で共通の交通安全施設を示している。

無対策の「No.24」の点数が最も低く、次いで、矢羽根と ITS（板）のみの「No.17」が低かった。点数が最も高かったのは、文字のみの注意喚起標識、薄層舗装、ITS（板）の「No.23」となり、次いで、「No.22」、「No.21」の順となった。

点数が1位の「No.23」と2位の「No.22」の既往交通安全施設に着目すると、矢羽根、導流レーンマーク、標識については、一方が「有」の場合は他方が「無」だった。一方、薄層舗装は両者とも「有」で、ITS 技術を活用した交通安全施設も（板）と（画+音）の違いはあるものの両者とも「有」だった。この結果から、薄層舗装と ITS が、カーブした下り坂区間の安全な運転行動意向の改善に寄与する度合いが大きいと考えられる。また、点数3位の「No.21」は、ITS 技術を活用した交通安全施設が「無」の設定にもかかわらず注意喚起効果が高いと考えられ、ITS 技術を活用した交通安全施設導入のコストがネックとなる場合には、既往交通安全施設を効果的に組み合わせることで、ITS 導入と同等の効果が期待できる可能性を示唆していると考えられる。

カイ二乗検定の結果から、「No.20」と「No.25」の回答結果には1%の有意水準で運転行動意向の構成比に差があるという判定結果となった。このことは、点数の高い「No.20」の方が「No.25」より「必ず減速する」という、安全な運転行動意向を示した被験者が多かった反面、「多分減速しない」というネガティブな回答も多かったことが運転行動意向の構成比の差があると判定されたことにつながったと考えられる。

カーブした下り坂区間のまとめとして、特定の交通安全施設の優劣について一般的な傾向までは明らかに推定できなかったといえる。いいかえると、集計分析結果からは「(必ず、多分) 減速する」という安全な運転行動意向を選択したケースに共通な交通安全施設の特定に至らず、統計モデルを用いた分析が必要と考えられる。



カイ二乗検定結果

矢羽根	無	有	有	無	有	有	無	有	有	有	無	無	無	無	有	無
導流LM	無	有	有	有	無	無	無	有	無	有	有	無	有	有	無	無
標識	文	無	文	文	文	無	図	無	図	図	無	無	図	無	無	無
薄層舗装	有	有	無	無	有	無	有	有	有	無	有	無	無	有	無	無
ITS	板	画+音	無	画+音	音	画+音	画+音	板	無	音	音	音	板	無	板	無
点数	469	468	456	452	452	442	434	432	432	428	428	425	424	412	406	404
順位	1	2	3	4	4	6	7	8	8	10	10	12	13	14	15	16

点数 必ず減速する:3点 多分減速する:2点 多分減速しない:1点 減速しない:0点
 ** :1%有意
* :5%有意
+ :10%有意

図 5-7 運転行動意向の比率 (カーブした下り坂)

5.2.2 被験者の個人属性による運転行動意向の傾向

(1) 年齢層別

図 5-8 に、被験者の個人属性のうち、年齢層に着目して 13 問の質問に対して「必ず ~ する」という積極的に安全な運転行動意向を選択した被験者の比率を示す。

走行場面別に比較すると、トンネル入口の走行場面と、カーブした下り坂の走行場面では、年齢層別で積極的に安全な運転行動意向を選択する比率に差があった。60 才以上、50 才代、29 才以下の順に積極的に安全な運転行動意向を選択する比率が低下し、30 才代、40 才代の比率が低い。一方で、29 才以下は IC 入り口の走行場面で他の年齢層に比べて積極的に安全な運転行動意向を選択する比率が低くなっている。

4 つの走行場面を総じて、60 才以上の被験者が積極的に安全な運転行動意向を選択する比率が高く、次いで 50 才代が高かった。このことは、年齢が高い層は、運転経験の蓄積によって危険を認識するスキルを獲得したことにより、リスク回避行動を選択する者の割合が高くなっていることによるものと考えられる。

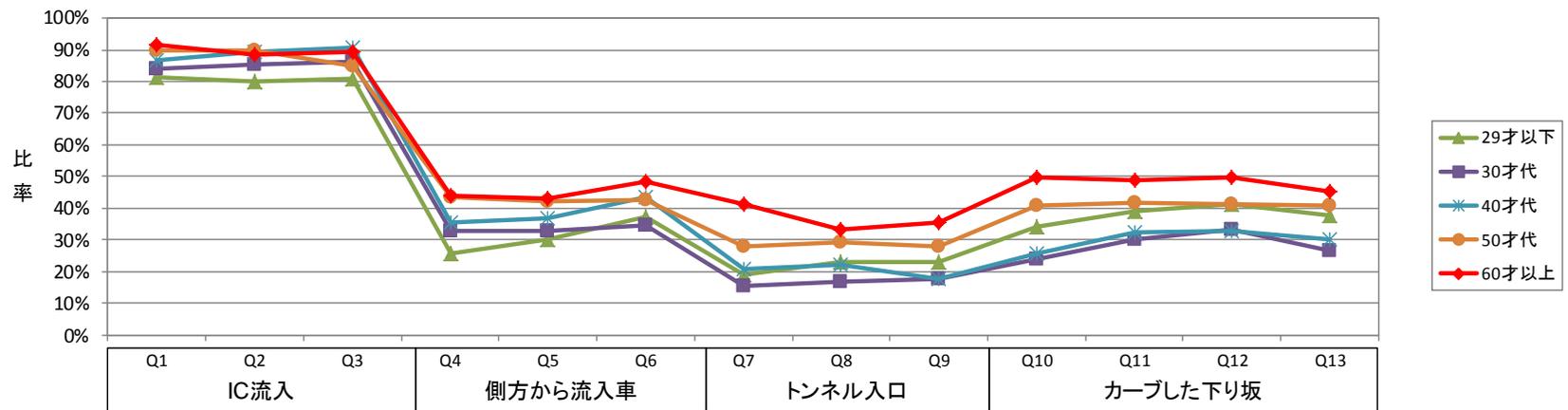
カイ二乗検定の結果からは、それぞれの走行場面において、年齢層間で明瞭な差は認められなかったが、カーブした下り坂の走行場面で 40 才代と 50 才代で 5% の有意水準で積極的に安全な運転行動意向を選択する被験者に差があった。

(2) 性別

図 5-9 に、被験者の個人属性のうち、性別に着目して質問ごとに、積極的に安全な運転行動意向を選択した被験者の比率を示す。

IC 流入時と側方から流入車の走行場面では、性別による差はほとんど見られないが、TN 入口とカーブした下り坂の走行場面では、男性より女性の方が積極的に安全な運転行動意向を選択する比率が高かった。

カイ二乗検定結果からも、トンネル入口とカーブした下り坂の走行場面では、いずれも 5% の有意水準で性別による運転行動意向に有意な差があることが推定された。



29才以下と30才代	+			
30才代と40才代	+	+		
40才代と50才代			+	*
50才代と60才以上			+	+

* :5%有意 + :10%有意

図 5-8 運転行動意向の傾向（年齢層別）

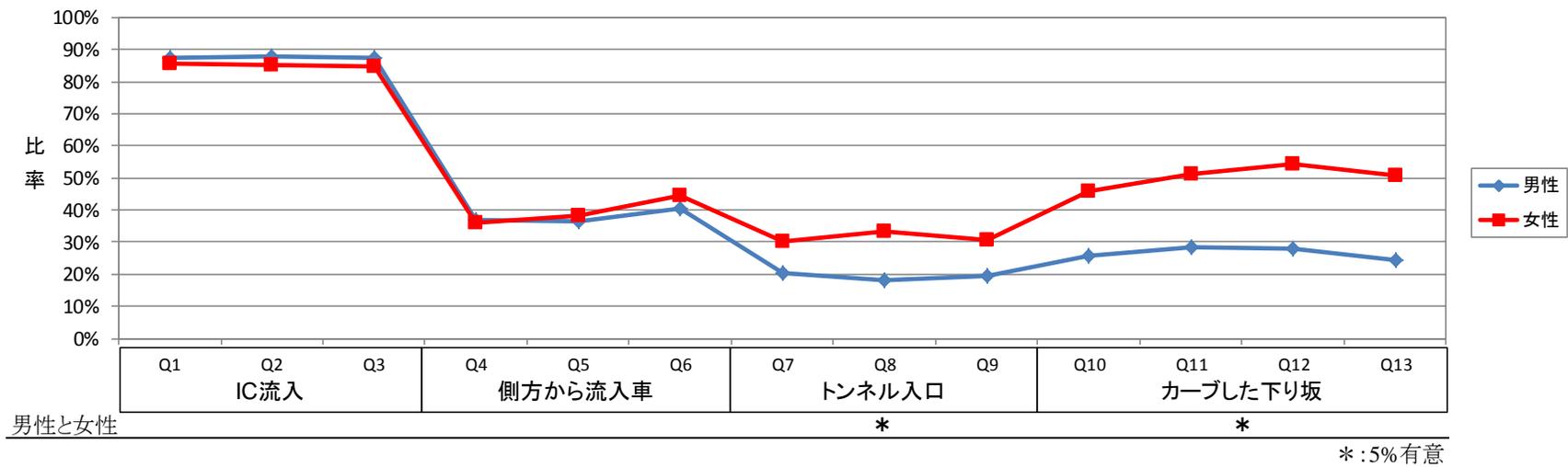


図 5-9 運転行動意向の傾向（性別）

5.3 運転行動意向モデルによる評価

5.3.1 運転行動意向モデルの構築

SP 調査では、表 5-3 のそれぞれの質問パターンに含まれる質問について、被験者から「必ず～する」、「多分～する」、「多分～しない」、「～しない」の4段階尺度の運転行動意向を得た。そこで、この運転行動意向を目的変数とした順序付けプロビットモデル（以下、運転行動意向モデル）を定式化した。まず、(5.1)式に示す潜在的な連続変数 y_i^* を導入した。

$$y_i^* = \sum_{q=1}^Q \beta_q x_{iq} + \varepsilon_i \quad (5.1)$$

ここに、 i は被験者、 x_{iq} は説明変数、 β_q は x_{iq} のパラメータ、 ε_i は標準正規分布に従う誤差項である。運転行動意向 y_i と上記の潜在的な連続変数 y_i^* との関係は、 θ という閾値を介して (5.2) 式で与えられる。

$$\begin{aligned} y_i &= 1 & \text{if} & & y_i^* \leq \theta_1 \\ y_i &= 2 & \text{if} & & \theta_1 < y_i^* \leq \theta_2 \\ & \dots & & & \\ y_i &= K & \text{if} & & \theta_{K-1} < y_i^* \end{aligned} \quad (5.2)$$

ここに、 θ は閾値、 K は運転行動意向のカテゴリ一数であり、今回は4段階尺度であるので、 $K=4$ となる。

また、 $\varphi(\varepsilon)$ を標準正規確率密度関数、 $\theta_0 = -\infty$ 、 $\theta_1 = 0$ 、 $\theta_4 = \infty$ とすると、運転行動意向 k を選ぶ確率は、式(3)で与えられる。

$$Pr(\theta_{k-1} < y_i^* \leq \theta_k) = \int_{\theta_{k-1} - \sum_{q=1}^Q \beta_q x_{iq}}^{\theta_k - \sum_{q=1}^Q \beta_q x_{iq}} \varphi(\varepsilon) d\varepsilon \quad (5.3)$$

(5.1) 式～ (5.3) 式は、図 5-10 のような関係にある。

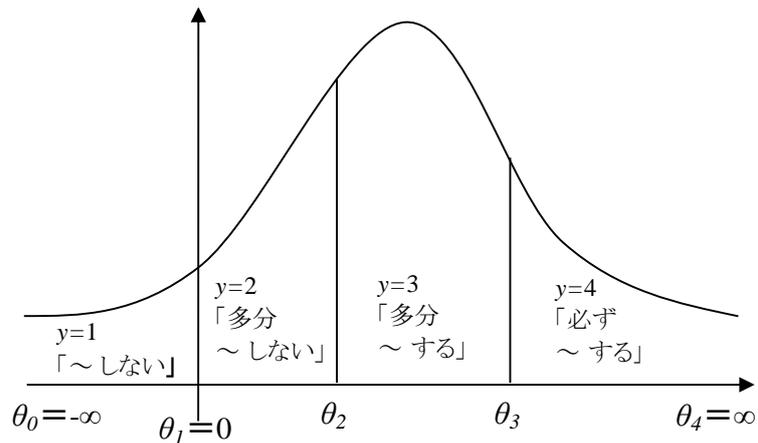


図 5-10 運転行動意向モデルのイメージ

5.3.2 目的変数と説明変数

運転行動意向モデルに用いた目的変数，説明変数の一覧を表 5-6 に示す。

目的変数は，表 5-4 に示す SP 調査で収集した被験者の 4 段階尺度の運転行動意向とした．説明変数は，表 5-1 に示した 4 つの走行場面ごとに，ITS を活用した音声または画像と音声による注意喚起情報提供の有無と既往安全施設の有無をダミー変数として，有の場合に 1 とした．さらに，SP 調査で同時に収集した被験者の個人属性のうち，性別，年齢，高速道路の運転頻度を説明変数に加えた．このうち，性別は女性ダミーとして女性の被験者の場合に 1，年齢は被験者の実年齢を 100 で除した値，運転頻度は 1 か月あたり運転回数を 100 で除した値とした．

表 5-6 運転行動意向モデルに用いる変数一覧

項 目			モ デ ル の 構 成			
区分	名 称	単 位	IC流入	側方から合流車	トンネル入口	カーブした下り坂
目的変数	運転行動意向	1: 必ず〜する, 2: 多分〜する, 3: 多分〜しない, 4: 〜しない				
説明変数	矢羽根ダミー	1:有, 0:無	—	—	—	○
	導流LMダミー	1:有, 0:無	—	—	—	○
	標識(文)ダミー	1:有, 0:無	—	—	—	○
	標識(図)ダミー	1:有, 0:無	—	—	—	○
	薄層舗装ダミー	1:有, 0:無	—	—	—	○
	照度アップダミー	1:有, 0:無	—	—	○	—
	ITS(板)ダミー	1:有, 0:無	—	—	—	○
	ITS(音)ダミー	1:有, 0:無	○	○	○	○
	ITS(画+音)ダミー	1:有, 0:無	○	○	○	○
	女性ダミー	1:女性, 0:男性	○	○	○	○
	年齢	年齢/100	○	○	○	○
運転頻度	(回/月)/100	○	○	○	○	
サンプル数			2400	2400	2400	3200

5.3.3 推定結果と考察

表 5-7 に運転行動意向モデルによる推定結果を示す。パラメータ推定値の符号が負の場合に安全な運転行動意向を選択する傾向にあることを示している。

被験者の個人属性に関して、4 つの走行場面に共通するのは、女性、年令の高い人、高速道路の運転頻度の低い人ほど安全な運転行動意向を選択する傾向にあることである。

次に、4 つの走行場面における ITS 技術と既往交通安全施設の影響について考察する。

(1) IC 流入

ITS（音）と ITS（画+音）のパラメータ推定値の符号は負となったが統計的に有意と推定されなかった。被験者の個人属性では、年令のパラメータ推定値の符号が負で統計的に有意と推定された。年令が高くなるほど、経験的に IC 流入時に目視で安全確認が必要なことを認識しているものと考えられ、集計分析結果からも、IC 流入の走行場面では、IVTWI のない現況でも「(必ず、多分) 目視確認する」と回答した被験者は全体の 97%を占めていることから、IVTWI の効果は少ないと考えられる。

(2) 側方から流入車

側方から流入車の走行場面では、ITS（画+音）、女性、年令のパラメータ推定値の符号が負で統計的に有意と推定された。特に年令のパラメータ推定値は値も大きく、1%有意となった。次いで ITS（画+音）のパラメータ推定値の値が大きく、5%有意となった。IC 流入の走行場面と同様に、交通安全上、進路を譲る必要があることを経験的に認識しているものと考えられる。また、ITS（画+音）による注意喚起情報の提供も効果があると考えられる。

(3) トンネル入口

トンネル入口での追突防止対策としての照度アップは、パラメータ推定値の符号は負であるが有意と推定されなかった。被験者は写真を見て運転行動意向を問う質問に答えるのであるが、トンネル内入口の照度アップについて十分理解されなかった可能性があるとも考えられる。

ITS（音）のパラメータ推定値は符号が正で統計的にも有意と推定されなかった。一方で、ITS（画+音）、女性、年令はいずれもパラメータ推定値の符号が負で統計的にも 1%有意と推定された。特に、年令、女性、ITS（画+音）の順でパラメータ推定値が大きく、トンネル入口で減速するという安全な運転行動につながりやすいと考えられる。

(4) カーブした下り坂

カーブした下り坂の走行場面では、標識（文）、薄層舗装、ITS（画+音）のパラメータ推定値が負で統計的に有意と推定された。その他の交通安全施設のパラメータ推定値の符号は負と推定されたが、統計的に有意な結果とならなかった。特に標識（文）のパラメータ推定値の値が大きく、ITS（画+音）の値を約32%上回った。標識（文）は、下り坂区間の注意喚起として一般的に設置されている施設であることも安全な運転行動意向につながったものと考えられる。

被験者の個人属性では、女性、年齢のパラメータ推定値の符号が負で統計的にも有意と

表 5-7 運転行動意向モデルの推定結果

説明変数	IC流入	側方から流入車	トンネル入口	カーブした下り坂
定数項	-0.752 (-6.06) **	0.747 (7.99) **	1.660 (17.55) **	1.404 (15.15) **
矢羽根ダミー 1:有, 0:無	—	—	—	-0.064 (-1.60)
導流LMダミー 1:有, 0:無	—	—	—	-0.035 (-0.87)
標識(文)ダミー 1:有, 0:無	—	—	—	-0.239 (-4.85) **
標識(図)ダミー 1:有, 0:無	—	—	—	-0.016 (-0.34)
薄層舗装ダミー 1:有, 0:無	—	—	—	-0.084 (-2.13) *
照度アップダミー 1:有, 0:無	—	—	-0.006 (-0.14)	—
ITS(板)ダミー 1:有, 0:無	—	—	—	-0.045 (-0.80)
ITS(音)ダミー 1:有, 0:無	-0.041 (-0.53)	-0.025 (-0.43)	0.020 (0.38)	-0.055 (-0.99)
ITS(画+音)ダミー 1:有, 0:無	-0.018 (-0.23)	-0.120 (-2.08) *	-0.158 (-2.91) **	-0.181 (-3.21) **
女性ダミー 1:女, 0:男	0.061 (0.94)	-0.080 (-1.67) +	-0.524 (-11.49) **	-0.736 (-17.61) **
年齢 年齢/100	-0.865 (-3.64) **	-0.809 (-4.69) **	-1.534 (-9.35) **	-1.186 (-8.05) **
運転頻度 (回/月)/100	0.031 (0.74)	-0.279 (-0.88)	0.701 (2.36) *	0.694 (2.60) **
θ_1' ※	0.979 (33.72) **	1.321 (84.59) **	1.073 (74.19) **	1.180 (91.14) **
θ_2' ※	0.696 (11.74) **	0.973 (24.27) **	1.040 (56.40) **	1.046 (44.81) **
サンプル数	2400	2400	2400	3200
最終尤度	-1095.54	-2191.87	-2915.62	-3306.55
自由度調整済み尤度比	0.406	0.037	0.182	0.102

※ $\theta_2 = \theta_1'^2$, $\theta_3 = \theta_1'^2 + \theta_2'^2$

()内: t 値, **:1%有意, *:5%有意, +:10%有意

推定された。この走行場面では、女性は安全を意識した運転をする傾向が強いと考えられる。また、年齢が上がることで安全な運転行動意向を選択する傾向を示していると考えられる。

5.4 まとめ

本章では、ITS 技術を活用した IVTWI の提供と、既往の交通安全施設の交通安全に寄与する注意喚起の程度について、大手ウェブ調査会社の全国モニターを対象に Web 型 SP 調査を実施することにより被験者から運転行動意向に関する回答を収集し、収集した運転行動意向を分析することによって評価を行った。

その結果は、以下のようにまとめることができる。

- ① 高速道路の代表的な走行場面において、画像と音声による IVTWI の効果が期待できることが確認できた。一方で、音声のみによる IVTWI は十分な効果が期待できない結果となった。
- ② カーブした下り坂区間では、画像と音声による IVTWI のほか、既往交通安全施設として文字による標識の効果が高いと推定された。第 4 章でも、注意喚起標識の効用は IVTWI よりも大きいことが推定されているが、一方で標識からの注意喚起効果は持続しないことが推定されているので、文字による標識の適用に当たっては注意する必要がある。
- ③ 被験者の個人属性では、年齢が増すほど安全な運転行動意向を選択する傾向にあることが分かった。性別と高速道路の利用頻度については、パラメータ推定値の符号が正になるケースがあり、走行場面によっては必ずしも安全な運転行動意向につながる可能性があることを示している。このことは、現在の既往交通安全施設による画一的な注意喚起情報提供ではなく、ドライバーの運転性向に応じて適切な注意喚起情報提供施設や提供内容を使い分けていく必要があることを示唆しているとも考えられる。

第 5 章 関連参考文献

- 楠橋康広, 藤原章正, 張峻屹 (2010) ITS 技術と既存安全施設が高速道路利用者の安全走行に与える影響:SP 調査による評価, *土木計画学研究・講演集*, Vol.41 (CD-ROM).
- 楠橋康広, 藤原章正, 張峻屹 (2010) ITS 技術と既存安全施設が高速道路における安全走行意向に及ぼす影響の評価, *第 30 回交通工学研究発表会論文集*, pp.97-100 (CD-ROM).
- 交通工学研究会 (2008) やさしい非集計分析, *丸善*.
- 高木修 (2005) 交通行動の社会心理学, *北大路書房*, pp.39-40.
- 藤原章正, 杉恵頼寧 (1993) 選好意識調査の設計の手引き, *交通工学*, Vol.28, No.1, pp.63-71.
- 藤原章正 (1993) 交通機関選択モデルにおける選好意識データの信頼性に関する研究, *広島大学博士学位論文*.

第6章 運転性向の異質性を考慮した運転行動意向の評価

第4章で、山陽自動車道で実施した走行実験調査結果を分析したところ、IVTWIの導入によりドライバーの安全運転支援に既往の交通安全施設以上の効果が期待できることが確認できた。一方で、同時に実施したアンケート調査結果を分析したところ、運転行動に関する質問に対し、年齢や高速道路利用頻度という被験者の個人属性の違いによりIVTWIを受けてから後の運転行動に差があることがわかった。第5章でSP調査結果を集計分析したところ、個人属性である年齢や性別の違いによって、仮想の質問場面によっては安全な運転行動意向を選択する傾向に差があるという結果が得られた。

このことは、同じ注意喚起情報提供があっても、ドライバーの運転性向や個人属性によっては認知・判断の過程で違いが生じ、異なる運転行動につながる可能性があることを示していると考えられる。これに対応するためには従来の既往交通安全施設からの画一的な注意喚起ではなく、ITS技術を活用することによりドライバーの運転性向や個人属性に応じた内容の注意喚起情報提供が必要となると考えられる。

本章では、SP調査において、被験者から同時に収集した運転性向に関するデータと運転行動意向を関連付けて分析することにより、被験者の運転性向の異質性により注意喚起情報が提供された場合の運転行動意向への影響について評価する。

本章は以下のように構成される。

6.1では、本研究で扱う運転性向の異質性について述べる。6.2では、SP調査で運転行動意向を収集した被験者を、同時に実施した質問紙法によりあらかじめ運転性向ごとに分類し、分類された運転性向のグループごとに、第5章で構築した運転行動意向モデルを適用して、交通安全施設から提供される注意喚起情報が運転行動意向に及ぼす影響を推定する方法（外生的区分）により評価する。6.3では、運転性向の異質性を2クラスの潜在クラスによりモデル化し、メンバーシップ関数による帰属確率を適用することにより被験者を内生的に分類して、運転性向の異質性が交通安全施設からの注意喚起情報提供下の運転行動意向に及ぼす影響について、運転性向の異質性と運転行動意向を同時に推定する方法（内生的区分）により評価する。そして、6.4で本章をまとめる。

6.1 運転性向の異質性の導入

6.1.1 運転性向の異質性

第2章でレビューしたように、日常的な運転行動全体を把握するためには質問紙法が用いられ、ドライバーの運転態度や動機、過去に経験した事象などを調べるためには重要な手法とされている。

本研究では、質問紙法のうち、運転免許証の更新時講習などに用いられ、受検者数が多く汎用的と考えられている SAS 型の最新バージョンである(財)全日本交通安全協会作成の安全運転自己診断 SAS806 により被験者の運転態度を判定し、被験者に固有の運転性向として、年齢や性別の個人属性と併せて用いることとした。SAS806 は、第5章で述べた SP 調査の質問項目として準備し、被験者には SAS806 の質問項目にも回答してもらうことによって、被験者の運転性向に関する情報として同時に収集した。

SAS806 は、表 6-1 に示すように、被験者の日常の運転行動について問う 27 問の質問と解説から成り、回答は、“はい”または“いいえ”の 2 者択一方式である。27 問の質問は、イライラ運転タイプ、漫然運転タイプ、攻撃的運転タイプ、自信過剰運転・とまどい運転タイプを判定する質問群のいずれかに分類されており、27 問の質問すべてに回答した後に、質問群ごとに“はい”と回答した質問数の合計を計算し、質問群ごとに定められた適合数以上であった場合に、該当する運転態度を持っていると判定される。なお、自信過剰運転・とまどい運転タイプの質問群では、“はい”の個数が 0 の場合は自信過剰運転タイプと判定され、4 以上の場合はとまどい運転タイプと判定される。そして、いずれのタイプにも該当しなかった場合に安全運転タイプと判定される。

表 6-1 SAS806 による運転態度の分類（再掲）

運転態度	質問数	適合数	運転行動の特徴
イライラ運転タイプ	8	4以上	他の車や歩行者にイライラしやすく、ストレスの高い状態で運転しているタイプ
漫然運転タイプ	9	3以上	運転中に「ヒヤリ」としたり「ハッ」とする経験が多いタイプ
攻撃的運転タイプ	3	1以上	不必要な車線変更をしたり、事故を起こすおそれを軽視しているタイプ
自信過剰運転タイプ	7	0	自信過剰運転をしているタイプ
とまどい運転タイプ		4以上	運転への自信が足りず、判断に迷いが生じがちな運転をしているタイプ
安全運転タイプ	上記以外		落ち着いたバランスのよい運転をしているタイプ

この質問紙にはそれぞれの態度を判定する質問がランダムに配列されているため、27 問すべてに回答すると、表 6-2 に示すように、複数の運転態度に該当すると判定されること

もある。これらの運転態度は、次のように定義されている。

運転中のイライラは、歩行者や自転車利用者等他の交通参加者に対する苛立ちや頻繁に減速や停止を強いられることへの強い不快感に起因する。イライラ運転タイプはこうした状態が長く続いた時に他の交通参加者に対して攻撃的になりやすくなる性向であるため、自分がいくら正しく、間違いのない判断による運転行動をとったとしても道路交通はいろいろな立場や考えの交通参加者により成り立っていることを理解することによりイライラした状態に陥ることを回避することが必要とされている。

漫然運転タイプは、「ヒヤリ」としたり「ハッ」とするようなことが多いと交通事故に至る可能性が高いことを示唆しているものであり、特に運転中の身支度や飲食、携帯電話の着信応答が多いと、運転への慣れにより注意散漫になったり雑な運転に陥りがちであるとされている。

攻撃的運転タイプは、頻繁かつ不必要な追い越しや車線変更など、自己顕示的かつ他人に脅威と映るような運転をするドライバーや、オーディオ操作などを良く行うドライバーが該当する。いずれの行動も事故に至る可能性が高いことを認識していないとされており、漫然運転タイプとともに、運転中の視野を広く持って運転に集中することが求められる。

自信過剰運転タイプは、自分の運転技術に自信を持っていても実は乱暴な運転であり、無意識のうちに他人に迷惑をかけたたり違反や事故につながる危険な運転をしたりしており、特に、漫然運転タイプにも該当すると判定された場合は要注意とされている。自信過剰運転タイプに対しては、他の道路利用者や同乗者の気持ちを意識した運転をすること、他車の行動を予測して運転することが必要とされている。

とまどい運転タイプは、状況把握の遅れ、他のドライバーとの不協和の自覚、運転操作への自信不足に起因する、運転に自信がないタイプや不慣れなタイプであり、女性や 24 才以下の若者と高齢者に多いといわれている。自分の運転技術や体調に合致した運転をすることの必要性和、判断に迷ったり状況把握が遅れがちであったりするようなドライバーに対しては、まず相手に進路を譲るようにするとともに、その意思を明確に示すことが求められる。

最後に、安全運転タイプには、上記のいずれにも属さないドライバーが該当する。

本研究では SAS806 によって判定される運転態度を被験者に固有の運転性向と仮定する。これらの運転性向は、それぞれのドライバーによって異なり、事故や違反の有無と強い関連が見られる運転性向や関連が弱い運転性向があることが報告されている。また、別な報告では、攻撃的運転タイプは他の運転タイプと比較して事故経験率、違反率ともに高く、とまどい運転タイプの違反率は低いが高事故経験率の結果となることを示したものもある。そのため、交通安全施設から注意喚起情報を提供した時に、特定の運転性向を持つドライバーには事故を回避する効果があるが、それ以外の運転性向のドライバーに対しては

その効果が少ないというケースも起こりうる。この性質を利用して、検討対象区間で交通事故を起こしがちなドライバーの運転性向を特定し、特定された運転性向のドライバーに対して注意喚起効果の高い交通安全施設を整備することにより、さらなる走行安全性向上を図ることが期待できると考えられる。そのためには、それぞれの交通安全施設と運転性向の関係を明らかにすることが重要となる。

6.1.2 被験者の運転性向スコア

SP 調査と同時に実施した SAS806 について、800 名の被験者がそれぞれの質問に対し、“はい”と回答した適合数を、それぞれの運転態度を判定する質問群ごとに集計した結果を図 6-1 に示す。

最も多かったのはイライラ運転タイプで 800 名の被験者中 494 名が該当した。次いで漫然運転タイプで 435 名が該当した。自信過剰運転・とまどい運転タイプでは、7 問の質問のいずれにも適合しないで自信過剰運転タイプと判定された被験者が 261 名、同じ質問に 4 問以上適合してとまどい運転タイプと判定された被験者が 132 名となった。

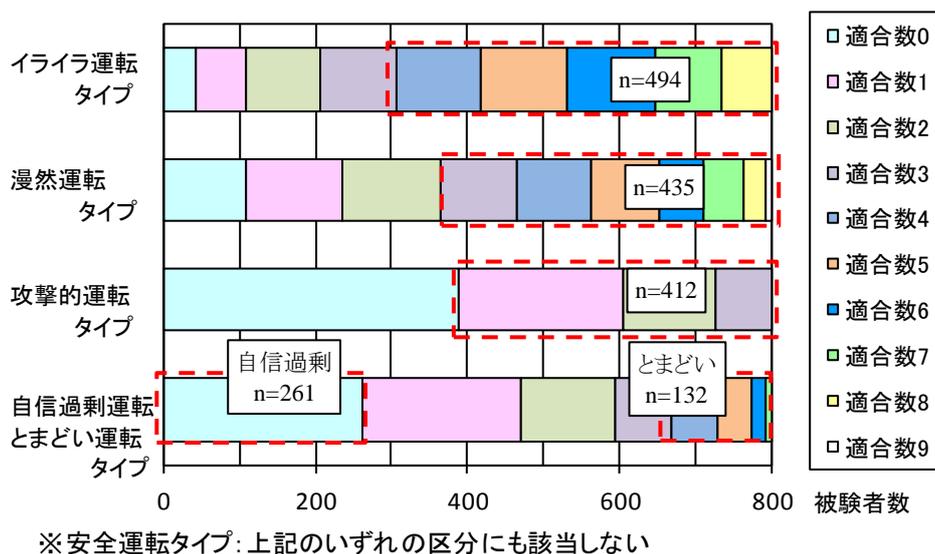


図 6-1 被験者の運転性向スコア

6.1.1 で述べたように、SAS806 では運転性向ごとに質問が異なるため、27 問すべてに回答した場合に複数の運転性向に重複して該当する場合がある。安全運転タイプはいずれのタイプにも合致しない場合の運転性向であること、及び、自信過剰運転タイプであると同時にとまどいタイプと判定されるケースは存在しないことから、表 6-2 に示すように 24 通

りの組合せが存在し、800名の被験者がいずれかの運転性向に分類された。その結果、最も多かったタイプは、イライラ運転タイプ、漫然運転タイプ、攻撃的運転タイプの3種類の運転性向に重複して該当した被験者で、102名が該当した。また、最大4種類の運転性向に重複して該当した被験者は97名と、被験者の約12%となった。

表 6-2 SAS806 による運転態度分類結果

a: イライラ運転タイプ, b: 漫然運転タイプ, c: 攻撃的運転タイプ, d: 自信過剰運転タイプ, e: とまどい運転タイプ, f: 安全運転タイプ

1性向単独		2性向複合		3性向複合		4性向複合		5性向複合	
a	50	a-b	62	a-b-c	102	a-b-c-d	60	a-b-c-d-e	
b	39	a-c	50	a-b-d	9	a-b-c-e	37		
c	20	a-d	29	a-b-e	31	a-b-d-e			
d	44	a-e	8	a-c-d	54	a-c-d-e			
e	18	b-c	28	a-c-e	2	b-c-d-e			
f	56	b-d	20	a-d-e					
		b-e	22	b-c-d	18				
		c-d	27	b-c-e	7				
		c-e	7	b-d-e					
		d-e		c-d-e					
小計	227		253		223		97		0

※SAS806の構成上、d-eの組合せは存在しない

総計 800

6.2節では、まず SAS806 によりあらかじめ外生的に分類された6タイプの運転性向ごとに、第5章で構築した運転行動意向モデルを適用して、それぞれの運転性向が運転行動意向に及ぼす影響の違いについて評価する。

一方で、表 6-2 に示したように本研究の被験者は1種類のみの運転性向に該当したのではなく、複数の運転性向に重複して該当した者の比率が約72%を占めた。また、たとえば、イライラ運転タイプの質問の適合数が3となった場合、イライラ運転タイプとは陽に判定されないが、多少なりともイライラ運転タイプの傾向を持っていると考えられる。そのため、厳密には運転性向ごとに運転行動意向モデルで推定したとしても、その推定結果には他の運転性向の影響も含まれていることになる。

そこで、運転性向を外生的に区分する方法に対して、SAS806 のそれぞれの運転性向に関する質問の適合数を用いて異なる運転性向を確率論的に評価する方法も考えられる。そして、潜在的な複数のセグメントを想定して、モデルの適合度が最大となるようにそれぞれのセグメントに内生的に配分して運転行動意向を推定する、潜在クラスモデルによる推定について6.3節で考察する。

6.2 異質性の外生的区分による運転行動意向の評価

6.2.1 集計分析結果からの考察

ドライバーの運転性向の違いが高速道路上の異なる走行場面でのどのような傾向を示すか把握するために、第5章で推定した異なる4つの走行場面における質問ごとに、「必ず～する」という積極的な安全運転行動意向を示した被験者の比率を集計した。結果を図6-2に示す。

全体的な傾向として、それぞれの質問に対して積極的に安全な運転行動意向を示す比率は、安全運転タイプに属する被験者が最も高く、次いでとまどい運転タイプが高い傾向にあることがわかった。とまどい運転タイプは、運転に自信がなく判断に迷いが生じがちの

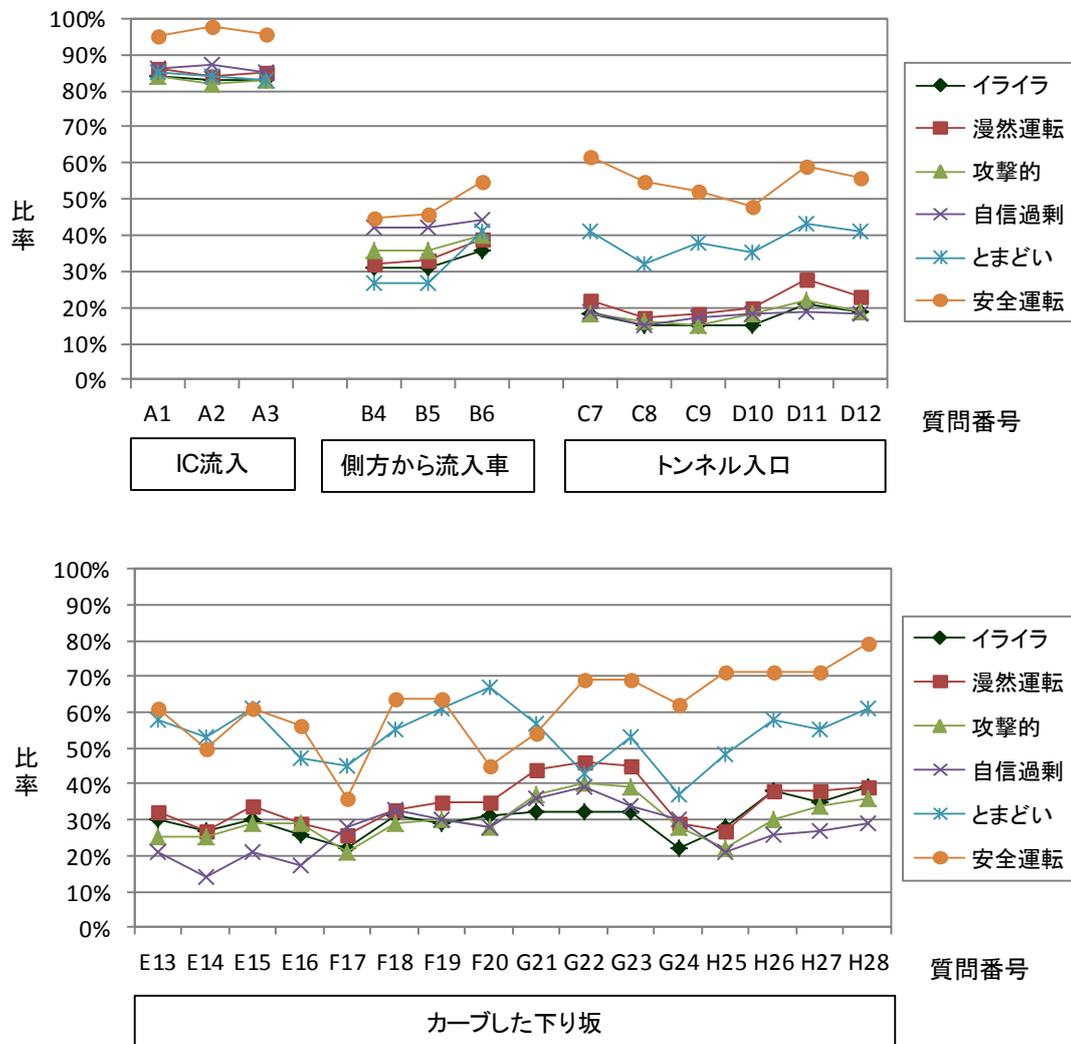


図 6-2 積極的な安全運転行動意向の選択比率

タイプと定義されているため、用心して慎重な運転行動意向を示している選択肢を選んだ結果、積極的に安全な運転行動意向を選択する被験者が多かったと考えられる。その他の、イライラ運転タイプ、漫然運転タイプ、攻撃的運転タイプ、自信過剰運転タイプでは、質問場面によって顕著な差は見られなかった。

走行場面別の傾向は、IC 流入の走行場面では運転性向の違いにかかわらず、積極的に安全な運転行動意向を示す比率が最も高く、各タイプとも 80%以上の被験者が積極的に安全な運転行動意向を選択した。また、IC 流入と側方から流入車の走行場面では、運転性向相互の比率の差は小さく、トンネル入口やカーブした下り坂の走行場面と対比して、運転性向の違いが運転行動意向に及ぼす影響は、相対的に差が小さい結果となった。

6.2.2 運転行動意向モデルによる推定結果からの考察

運転性向の違いにより、既往交通安全施設や IVTWI が運転行動意向にどのように影響するかを把握することは興味深いことである。また、高速道路上の走行場面で、特定の交通安全施設からの注意喚起に特徴的な運転行動を示すドライバーの運転性向が明らかになれば、交通安全対策の計画に有意義な情報となる。そこで、第 5 章で構築した運転行動意向モデルをそれぞれの運転性向のグループに適用して交通安全施設からの注意喚起情報提供の効果を推定した。推定結果を表 6-3 に示す。

(1) IC 流入

第 5 章で考察したように、IC 流入の場面では、IVTWI がなくても約 87%の被験者は「必ず目視確認する」という積極的な運転行動意向を選択しており、全被験者に対して運転行動意向モデルを適用した結果、IVTWI のパラメータ推定値の符号は負となったが統計的な有意さは確認できなかった。

本章で運転性向ごとに分類してパラメータを推定した結果でも、すべての運転性向で ITS (画+音) や ITS (音) の統計的有意さは確認できなかった。また、イライラ運転タイプ、自信過剰運転タイプ、安全運転タイプのパラメータ推定値の符号は負となったが、漫然運転タイプ、攻撃的運転タイプ、とまどい運転タイプではパラメータ推定値の符号は正で IVTWI が安全な運転行動意向につながる結果となった。このことは、IVTWI の提供がなくとも 9 割近い被験者は目視で安全確認すると答えていることに起因していると考えられ、IVTWI による注意喚起の必要性は低いと推測できる。

個人属性のうち年齢のパラメータ推定値では、すべてのタイプで符号が負となり、年齢が上がることにより安全な運転行動意向につながる傾向があることが確認できた。このうち、漫然運転タイプ、自信過剰運転タイプ、とまどい運転タイプでは統計的にも有意とな

った。

(2) 側方から流入車

IVTWI はすべての運転性向で、パラメータ推定値の符号は負となり、IVTWI の提供により安全な運転行動意向を選択する傾向が確認できた。漫然運転タイプととまどい運転タイプでは ITS (画+音) のパラメータ推定値が統計的に有意であることも確認でき、IVTWI の提供が効果的と考えられる。

個人属性に関する女性ダミーと年齢のパラメータ推定値も、安全運転タイプの女性ダミーを除き符号が負となった。特に年齢は漫然運転タイプと攻撃的運転タイプを除き統計的にも有意であることが確認できた。一方で、運転頻度に関しては、漫然運転タイプのパラメータ推定値の符号が負で統計的に有意と推定された。漫然運転タイプ以外の運転性向では符号が正であったり、負であっても統計的に有意でなかったりして明瞭な推定結果が得られなかった。

(3) トンネル入口

トンネル入口照明の照度アップのパラメータ推定値の符号は、とまどい運転タイプを除き負となったが、いずれも統計的に有意と推定されなかった。

IVTWI では、ITS (音) はとまどい運転タイプを除きパラメータ推定値の符号は正となり、統計的にも有意と推定されなかった。ITS (画+音) は、すべての運転性向でパラメータ推定値の符号が負となり、イライラ運転タイプ、漫然運転タイプ、攻撃的運転タイプでは統計的に有意と推定されたことから、これらのタイプに対してトンネル入口での ITS (画+音) による注意喚起により、安全な運転行動意向をとる傾向にあると推測される。

個人属性に関するパラメータでは、女性ダミー、年齢はすべての運転性向で符号が負となり、統計的にも有意と推定された。反面、運転頻度は推定値の符号が、統計的に有意と推定されなかったが、すべての運転性向で正となった。若年の男性ドライバーで運転頻度が多いドライバーに対する注意喚起方法に熟慮が必要と考えられる。

(4) カーブした下り坂

ITS による注意喚起は、(板)、(音)、(画+音) とともに、自信過剰運転タイプの ITS (音) のみを除き、パラメータ推定値の符号は負となった。(画+音) は、イライラ運転タイプ、漫然運転タイプでは統計的にも有意と推定され、安全な運転行動意向をとる傾向にあることが推測された。

既往交通安全施設では、標識 (文) がイライラ運転タイプ、漫然運転タイプ、攻撃的運転タイプに対してパラメータ推定値の符号が負となり、統計的にも有意と推定された。自

信過剰運転タイプ、とまどい運転タイプ、安全運転タイプに対しては統計的に有意ではないがパラメータ推定値の符号は負となり、弱い効果は期待できると推測される。その他、矢羽根ダミーと導流 LM ダミーも統計的には有意ではないが大部分の運転性向でパラメータ推定値の符号が負となり、何らかの効果が期待できると推定された。

個人属性に関するパラメータでは、女性ダミーと年令のパラメータ推定値が、安全運転タイプを除き、パラメータ推定値の符号が負で統計的にも有意と推定された。

表 6-3 運転性向を考慮した運転行動意向モデルによる推定結果

(a) IC流入							
説明変数	単位	イライラ運転	漫然運転	攻撃的運転	自信過剰運転	とまどい運転	安全運転
定数項		-0.842 (-5.69) **	-0.753 (-4.81) **	-0.876 (-5.40) **	-0.609 (-2.71) **	-0.356 (-1.33)	-1.818 (-2.19) *
ITS(音)ダミー	1:有, 0:無	-0.018 (-0.20)	0.043 (0.43)	0.015 (0.15)	-0.100 (-0.74)	0.018 (0.09)	-0.584 (-1.12)
ITS(画+音)ダミー	1:有, 0:無	-0.013 (-0.14)	0.003 (0.02)	0.014 (0.14)	-0.001 (-0.01)	0.046 (0.25)	-0.210 (-0.48)
女性ダミー	1:有, 0:無	0.173 (2.22) *	0.180 (2.14) *	0.180 (2.13) *	-0.174 (-1.40)	-0.189 (-1.24)	0.686 (1.50)
年令	才/100	-0.39 (-1.38)	-0.878 (-2.94) **	-0.325 (-1.01)	-0.985 (-2.14) *	-1.329 (-2.76) **	-0.720 (-0.46)
運転頻度	(回/月)/100	-0.217 (-0.43)	0.551 (0.98)	-0.373 (-0.67)	0.908 (1.34)	1.035 (0.98)	2.732 (1.00)
θ_1' ※		0.991 (30.10) **	0.985 (26.87) **	1.003 (27.92) **	0.966 (19.89)	1.091 (14.96) **	0.890 (4.38) **
θ_2' ※		0.681 (10.56) **	0.693 (9.49) **	0.648 (9.35) **	0.572 (6.46)	0.810 (4.28) **	1.607 (0.23)
サンプル数		1482	1305	1236	783	396	168
最終尤度		-798.90	-655.89	-675.23	-376.81	-191.52	-26.04
自由度調整済み尤度比		0.316	0.354	0.306	0.374	0.338	0.717
(b) 側方から流入車							
説明変数	単位	イライラ運転	漫然運転	攻撃的運転	自信過剰運転	とまどい運転	安全運転
定数項		0.694 (5.87) **	0.761 (6.17) **	0.614 (4.74) **	0.804 (4.74) **	1.276 (5.39) **	1.180 (3.02) **
ITS(音)ダミー	1:有, 0:無	-0.014 (-0.20)	-0.039 (-0.50)	-0.024 (-0.30)	-0.006 (-0.06)	-0.038 (-0.26)	-0.103 (-0.43)
ITS(画+音)ダミー	1:有, 0:無	-0.110 (-1.51)	-0.167 (-2.12) *	-0.114 (-1.43)	-0.039 (-0.39)	-0.370 (-2.47) *	-0.338 (-1.41)
女性ダミー	1:有, 0:無	-0.043 (-0.69)	-0.223 (-3.38) **	-0.149 (-2.19) *	-0.037 (-0.41)	-0.231 (-1.83) +	0.174 (0.89)
年令	才/100	-0.439 (-1.99) *	-0.353 (-1.57)	-0.391 (-1.55)	-1.272 (-3.79) **	-1.147 (-2.91) **	-2.452 (-3.45) **
運転頻度	(回/月)/100	0.201 (0.52)	-1.035 (-2.31) *	-0.529 (-1.24)	-0.657 (-1.20)	0.655 (0.77)	1.086 (0.62)
θ_1' ※		1.342 (70.74) **	1.366 (65.24) **	1.306 (61.41) **	1.238 (45.79) **	1.527 (35.43) **	1.652 (13.86) **
θ_2' ※		1.116 (19.63) **	1.184 (15.05) **	1.055 (18.09) **	0.846 (15.40) **	1.737 (0.60)	1.652 (0.17)
サンプル数		1482	1305	1236	783	396	168
最終尤度		-1349.97	-1143.09	-1145.49	-761.96	-295.90	-114.02
自由度調整済み尤度比		0.075	0.067	0.039	0.014	0.102	0.001

※ $\theta_2 = \theta_1'^2, \theta_3 = \theta_1'^2 + \theta_2'^2$

()内: t 値; **:1%有意, *:5%有意, +:10%有意

表 6-3 運転性向を考慮した運転行動意向モデルによる推定結果（続き）

(c) トンネル入口

説明変数	単位	イライラ運転	漫然運転	攻撃的運転	自信過剰運転	とまどい運転	安全運転
定数項		1.872 (15.38) **	1.539 (12.40) **	1.526 (11.66) **	1.755 (10.14) **	0.970 (4.41) **	1.856 (4.82) **
照度アップダミー	1:有, 0:無	-0.040 (-0.72)	-0.019 (-0.31)	-0.016 (-0.27)	-0.072 (-0.93)	0.035 (0.31)	-0.087 (-0.47)
ITS(音)ダミー	1:有, 0:無	0.034 (0.50)	0.010 (0.13)	0.001 (0.01)	0.023 (0.24)	-0.110 (-0.81)	0.137 (0.62)
ITS(画+音)ダミー	1:有, 0:無	-0.173 (-2.51) *	-0.207 (-2.82) **	-0.194 (-2.59) **	-0.128 (-1.37)	-0.225 (-1.64)	-0.184 (-0.81)
女性ダミー	1:有, 0:無	-0.572 (-9.61) **	-0.373 (-6.03) **	-0.512 (-7.93) **	-0.531 (-6.24) **	-0.309 (-2.69) **	-0.820 (-4.32) **
年齢	才/100	-1.346 (-6.40) **	-1.132 (-5.32) **	-0.753 (-3.15) **	-1.325 (-4.20) **	-0.840 (-2.34) *	-3.332 (-4.87) **
運転頻度	(回/月)/100	0.130 (0.35)	0.446 (1.08)	0.259 (0.65)	0.688 (1.34)	0.130 (0.16)	0.640 (0.38)
θ_1' ※		1.129 (59.96) **	1.118 (57.78) **	1.072 (51.97) **	1.060 (40.38) **	1.129 (31.62) **	0.975 (15.09) **
θ_2' ※		1.101 (48.74) **	1.074 (41.79) **	1.056 (45.35) **	1.084 (37.28) **	1.041 (15.73) **	0.943 (10.12) **
サンプル数		1482	1305	1236	783	396	168
最終尤度		-1756.18	-1553.49	-1535.70	-966.97	-427.51	-161.94
自由度調整済み尤度比		0.282	0.204	0.252	0.261	0.031	0.078

(d) カーブした下り坂

説明変数	単位	イライラ運転	漫然運転	攻撃的運転	自信過剰運転	とまどい運転	安全運転
定数項		1.713 (14.37) **	1.441 (11.71) **	1.100 (8.68) **	1.231 (7.41) **	0.771 (3.45) **	0.207 (0.57)
矢羽根ダミー	1:有, 0:無	-0.084 (-1.67) +	-0.083 (-1.55)	-0.078 (-1.44)	-0.081 (-1.19)	-0.071 (-0.69)	-0.035 (-0.21)
導流LMダミー	1:有, 0:無	-0.040 (-0.80)	-0.025 (-0.47)	-0.028 (-0.52)	-0.041 (-0.60)	-0.045 (-0.44)	0.057 (0.35)
標識(文)ダミー	1:有, 0:無	-0.211 (-3.37) **	-0.310 (-4.59) **	-0.243 (-3.56) **	-0.134 (-1.58)	-0.158 (-1.22)	-0.183 (-0.88)
標識(図)ダミー	1:有, 0:無	-0.015 (-0.24)	-0.016 (-0.25)	0.010 (0.16)	0.024 (0.29)	-0.178 (-1.43)	-0.082 (-0.42)
薄層舗装ダミー	1:有, 0:無	-0.090 (-1.80) +	-0.090 (-1.67) +	-0.100 (-1.84) +	-0.100 (-1.43)	-0.113 (-1.10)	0.006 (0.04)
ITS(板)ダミー	1:有, 0:無	-0.066 (-0.93)	-0.024 (-0.31)	-0.065 (-0.86)	-0.066 (-0.70)	-0.016 (-0.11)	-0.171 (-0.74)
ITS(音)ダミー	1:有, 0:無	-0.107 (-1.51)	-0.067 (-0.88)	-0.005 (-0.07)	0.056 (0.58)	-0.230 (-1.57)	-0.181 (-0.78)
ITS(画+音)ダミー	1:有, 0:無	-0.212 (-2.96) **	-0.212 (-2.77) **	-0.132 (-1.71) +	-0.053 (-0.54)	-0.201 (-1.37)	-0.352 (-1.51)
女性ダミー	1:有, 0:無	-0.817 (-14.99) **	-0.749 (-13.11) **	-0.689 (-11.78) **	-0.661 (-8.57) **	-0.413 (-3.90) **	-0.304 (-1.83) +
年齢	才/100	-1.293 (-6.86) **	-1.024 (-5.35) **	-0.218 (-1.02)	-0.661 (-2.36) *	-0.549 (-1.66)	-0.408 (-0.68)
運転頻度	(回/月)/100	-0.122 (-0.36)	0.141 (0.38)	0.505 (1.43)	1.077 (2.39) *	-1.643 (-2.05) *	2.253 (1.63)
θ_1' ※		1.208 (74.65) **	1.200 (68.77) **	1.165 (66.92) **	1.178 (54.32) **	1.171 (32.30) **	1.147 (18.96) **
θ_2' ※		1.097 (39.43) **	1.065 (33.62) **	1.076 (37.77) **	1.017 (30.62) **	2.090 (0.12)	0.600 (5.47) **
サンプル数		1976	1740	1648	1044	528	224
最終尤度		-2066.17	-1790.28	-1803.84	-1165.02	-460.87	-189.88
自由度調整済み尤度比		0.162	0.117	0.139	0.155	0.007	-0.013

※ $\theta_2 = \theta_1'^2, \theta_3 = \theta_1'^2 + \theta_2'^2$

()内: t 値; **:1%有意, *:5%有意, +:10%有意

6.2.3 外生的区分による評価の課題

被験者によって運転性向が重複する場合があるが、運転性向の異質性を外生的区分により考慮した評価結果は次のようにまとめることができる。

まず、集計分析の結果からは、「必ず～する」という積極的に安全な運転行動意向を選択する被験者の運転性向は、トンネル入口とカーブした下り坂の走行場面では、安全運転性向、とまどい運転性向、その他の運転性向、の3つのグループに顕著に分かれる傾向にあることがわかった。

運転行動意向モデルによる推定結果からは、走行場面によっては、同じ交通安全施設であっても運転性向によってパラメータ推定値の符号の正負が異なるものがあった。また、運転性向によって推定値の統計的な有意さが異なったケースもあった。このことは、同じ交通安全施設からの注意喚起であってもドライバーの運転性向によっては安全運転につながらないケースがあることを示唆していると考えられる。この課題を解決するためには、対象箇所で危険な運転をしがちなドライバーの運転性向を特定して、特定された運転性向に対して効果がある交通安全施設を整備することが必要となる。

以上の結果から、高速道路の走行安全性向上のためには、対象箇所で危険な運転をしがちなドライバーの運転性向を適切に把握することが重要な課題であり、運転性向の重複を解消できない質問紙法により運転性向を外生的に区分する方法を改善していく必要があると考えられる。

6.3 異質性の内生的区分による運転行動意向の評価

6.3.1 潜在クラスの導入

人の性格が多様であるように、ドライバーの運転性向もいくつかの運転性向の1つに確定的に分類することは困難と考えられる。6.1.2で考察したように、運転性向を判定する質問紙として運転免許証の更新時講習などで最も汎用的に使用されているSAS806による判定でも、SP調査の被験者800名中、2種類以上の運転性向に該当する被験者は約72%に達した。そのため前節で評価した、被験者の運転性向をあらかじめ外生的に分類して運転行動意向モデルにより推定する手法は、運転性向の重複を排除できないため推定結果の精度が十分に信頼できない可能性がある。

この課題を解決するために、本節では潜在クラスモデルにより、被験者の運転性向と個人属性を用いて、それぞれの被験者が属するクラス（セグメント）を確率論的なメンバー

シッブ関数を定義することにより内生的に分類して運転性向の異質性を考慮することとし、同時に運転行動意向モデルを適用することにより被験者の運転性向の異質性を考慮した運転行動意向を評価する手法を試みる。これにより、交通安全施設からの注意喚起情報提供がどのような運転性向を持つ被験者に有効に機能するかを推定することが可能となり、高速道路の走行安全性向上が期待できると考えられる。

被験者が属するクラス数は、走行場面によっては最適なクラス数が異なることが想定される。本研究では分類されたクラスの特徴を明瞭に表現するため、クラス数を2クラスとして推定を行った。

6.3.2 統合モデルの構築

(1) 運転行動意向モデル

運転行動意向モデルは、第5章や第6章6.2で適用した運転行動意向モデルである。

被験者の運転行動意向は4段階尺度で得られる。この運転行動意向を目的変数としたオーダード・プロビットモデルを定式化するために、(6.1)式に示す潜在的な連続変数 y_i^* を導入する。

$$y_i^* = \sum_{q=1}^Q \beta_q x_{iq} + \varepsilon_i \quad (5.1)$$

ここに、 i は被験者、 x_{iq} は説明変数、 β_q は x_{iq} のパラメータ、 ε_i は標準正規分布に従う誤差項である。走行意向 y_i と上記の潜在的な連続変数 y_i^* との関係は、 θ という閾値を介して(5.2)式で与えられる。

$$\begin{aligned} y_i &= 1 & \text{if } & y_i^* \leq \theta_1 \\ y_i &= 2 & \text{if } & \theta_1 < y_i^* \leq \theta_2 \\ y_i &= 3 & \text{if } & \theta_2 < y_i^* \leq \theta_3 \\ y_i &= 4 & \text{if } & \theta_3 < y_i^* \end{aligned} \quad (5.2)$$

また、 $\varphi(\varepsilon)$ を標準正規確率密度関数、 $\theta_0 = -\infty$ 、 $\theta_1 = 0$ 、 $\theta_4 = \infty$ とすると、運転行動意向 k ($k=1,2,3,4$) を選ぶ確率は、(5.3)式で与えられる。

$$P_{ki} = Pr(\theta_{k-1} < y_i^* \leq \theta_k) = \int_{\theta_{k-1} - \sum_{q=1}^Q \beta_q x_{iq}}^{\theta_k - \sum_{q=1}^Q \beta_q x_{iq}} \varphi(\varepsilon) d\varepsilon \quad (5.3)$$

(2) 運転性向の異質性のモデル化

運転行動意向モデルに運転性向の異質性を導入するために、本研究では潜在クラスモデルを適用した。この手法は、被験者が帰属するクラスを決定するためにメンバーシップ関数を定義した。ここで、潜在クラス数を S と仮定すると、被験者 i が潜在クラス s に帰属する確率を表わすメンバーシップ関数 M_{is} は (5.4) 式で表わされる。

$$M_{is} = \frac{\exp(\bar{\alpha}_s + \bar{\phi}_s D_i)}{\sum_{s'=1}^S \exp(\bar{\alpha}_{s'} + \bar{\phi}_{s'} D_i)} \quad (5.4)$$

ここに、 $\bar{\alpha}_s$ は未知の要因を表わす定数項、 $\bar{\phi}_s$ は被験者の運転性向を示す変数 (D_i) と関連する未知のパラメータベクトルである。

メンバーシップ関数は、制約条件 $\sum_s M_{is} = 1$ を常に満足する必要があるため、本研究では汎用性の高い多項ロジットタイプの関数形を適用した。また、パラメータ推定にあたり、被験者をクラス S に分類する場合、パラメータ推定前にすべてのパラメータは 0 に固定し、(5.4) 式を (5.5) 式に変形して用いた。

$$M_{is} = \frac{\exp(\alpha_s + \phi_s D_i)}{1 + \sum_{s'=1}^{S-1} \exp(\alpha_{s'} + \phi_{s'} D_i)} \quad (5.5)$$

ここに、 $\alpha_s = \bar{\alpha}_s - \bar{\alpha}_S$ 、 $\phi_s = \bar{\phi}_s - \bar{\phi}_S$ である。

(3) 運転性向の異質性を考慮した運転行動意向モデル

被験者の運転性向の異質性の分類と運転行動意向に及ぼす影響を同時に評価するために、ここまでに定義された運転行動意向モデルとメンバーシップ関数を統合する。まず、(5.3) 式を用いて、被験者 i が潜在クラス s に帰属する尤度関数は (5.6) 式のように表わされる。

$$L_{i|s} = \prod_{k \in K} (P_{ki|s})^{\delta_{ki}} \quad (5.6)$$

ここに、 δ_{ki} は 1 または 0 の値 (被験者 i が意向 k を選択した場合 1、そうでない場合

0) をとるダミー変数, $K=4$, $P_{ki|s}$ は潜在クラス s に帰属する被験者 i が意向 k を選択する確率を示す.

(5.5) 式と (5.6) 式を用いて, 被験者 i の尤度関数は (5.7) 式で表わされる.

$$L_i = \sum_{s=1}^S M_{is} L_{i|s} \quad (5.7)$$

以上より, 運転性向の異質性を考慮した運転行動意向モデルの対数尤度関数 (5.8) 式が得られる.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \ln \left\{ \sum_{s=1}^S (M_{is} L_{i|s}) \right\} \quad (5.8)$$

ここに, N は本研究の分析に用いるサンプルの総数である.

この統合された運転行動意向モデルは, 反復最適化手法である EM アルゴリズム (Expectation-Maximization algorithm) を用いて推定される. 統合されたモデルのパラメータを推定するために, 被験者 i が潜在クラス s に帰属すると判定された場合に 1, そうでない場合に 0 となるダミー変数 $R_{is}(t)$ を用い, 反復回数を (t) として (5.8) 式に代わって (5.9) 式の対数尤度関数を推定に用いる.

$$\ln L(t) = \sum_i \sum_s R_{is}(t) \ln M_{is}(t) + \sum_i \sum_s R_{is}(t) \ln (L_{i|s}(t)) \quad (5.9)$$

EM アルゴリズムは 2 ステップから成る. E ステップでは $R_{is}(t)$ の暫定的な期待値の推定を行う. ベイズの定理を適用することにより, E ステップでは繰り返し計算 $t-1$ 回目で推定されたパラメータから計算された事後確率 $r_{is}(t-1)$ を用いて繰り返し計算 t 回目における $R_{is}(t)$ が更新される.

$$R_{is}(t) = \begin{cases} 1, & r_{is}(t-1) \geq \max(r_{is}(t-1) | s' = 1, 2, \dots, S) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5.10)$$

$$r_{is}(t-1) = \frac{\hat{M}_{is}(t-1) \hat{L}_{i|s}(t-1)}{\sum_{s'} \hat{M}_{is'}(t-1) \hat{L}_{i|s'}(t-1)} \quad (5.11)$$

ここに、 $\hat{M}_{is}(t-1)$ は潜在クラス s の帰属確率、 $\hat{L}_{ijs}(t-1)$ は潜在クラス s の尤度である。

Mステップでは、推定した事後確率を用いて計算された暫定的な対数尤度を最大化させる。EMアルゴリズムは、前述したEステップとMステップを収束するまで繰り返す。なお、(5.9)式の対数尤度の値に改善されなくなった時点で収束したと判断し、計算を終了する。

6.3.3 推定結果と考察

(1) 目的変数と説明変数

第5章で開発した運転行動意向モデルと、運転性向の異質性を表すメンバーシップ関数を統合して同時に推定する統合モデルの目的変数と説明変数は、次のように設計した。

目的変数は、第5章の運転行動意向モデルと同様に、4段階尺度で観測された運転行動意向とした。説明変数は、運転行動意向モデルの説明変数とメンバーシップ関数の説明変数に大別される。目的変数と説明変数の一覧を表6-4に示す。

運転行動意向モデルの説明変数のうち、交通安全施設は第5章と同様に、SP調査で採用した交通安全施設とした。そして直接的に運転行動意向に影響する要因として、高速道路の運転頻度(回/月)、免許保有期間(年)、被験者自身の過失で起こした事故回数(回)を運転行動意向モデルの説明変数として追加した。

メンバーシップ関数の説明変数については、岡村ら(2005)が、運転性向以外にも性別、年齢が事故・違反の有無と関連があることを示していることから、本研究の統合モデルでも、運転性向に加えて個人属性に関する説明変数として女性ダミーと年齢を導入した。

メンバーシップ関数の説明変数は、質問紙SAS806の質問を、それぞれの運転性向の質問群(イライラ運転タイプ8問、漫然運転タイプ9問、攻撃的運転タイプ3問、自信過剰運転・とまどい運転タイプ7問)に分類し、それぞれの質問群で“はい”と回答した適合数を質問数で除することにより、それぞれの運転性向の傾向として数値化することにより被験者個人の運転性向を表現した。このうち、自信過剰運転タイプととまどい運転タイプは、該当する質問群の適合数が0のとき自信過剰運転タイプ、4以上の時とまどい運転タイプと定義されている。そのため、適合数0の被験者は自信過剰運転ダミーとして、質問の適合数が0のとき、自信過剰運転ダミーを1、そうでない時に0とした。そうすることにより、自信過剰運転・とまどい運転タイプの質問の適合数を質問数で除した値はとまどい運転傾向の大小を表わすと考えることができる。また、安全運転タイプは、イライラ運転タイプなどいずれの運転性向にも属さないものと定義されており、安全運転タイプの傾向の大小は考慮できないため説明変数として考慮していない。

なお、運転頻度、免許保有期間、事故回数、年齢は、0 から 1 の値をとるように、スケールを調整した。

表 6-4 運転性向の異質性を考慮した統合モデルの変数一覧

項 目		走 行 場 面			
		IC流入	側方から合流車	トンネル入口	カーブした下り坂
運転行動意向モデル	目的変数 運転行動意向	1: 必ず~する, 2: 多分~する, 3: 多分~しない, 4: ~しない			
	説明変数 矢羽根ダミー	-	-	-	○
	導流LMダミー	-	-	-	○
	標識(文)ダミー	-	-	-	○
	標識(図)ダミー	-	-	-	○
	薄層舗装ダミー	-	-	-	○
	照度アップダミー	-	-	○	-
	ITS(板)ダミー	-	-	-	○
	ITS(音)ダミー	○	○	○	○
	ITS(画+音)ダミー	○	○	○	○
	運転頻度	○	○	○	○
	免許保有年数	○	○	○	○
事故回数	○	○	○	○	
メンバーシップ関数	説明変数 女性ダミー			○	
	年齢			○	
	イライラ運転傾向			○	
	漫然運転傾向			○	
	攻撃的運転傾向			○	
	自信過剰運転傾向			○	
	とまどい運転傾向			○	
サンプル数		2400	2400	2400	3200

(2) 推定結果と考察

被験者の運転性向の異質性を 2 クラスの潜在クラスで分類した運転行動意向モデルによる推定結果を表 6-5 に示す。交通安全施設要因と運転挙動要因のパラメータ推定値の符号が負の場合は安全な運転行動意向を選択する傾向にあることを示し、メンバーシップ関数のパラメータ推定値の符号が正の場合は、被験者は潜在クラス 1 に帰属する傾向にあることを示している。

1) IC 流入

メンバーシップ関数のパラメータ推定値は、年齢の符号が負で、イライラ運転傾向と自信過剰運転傾向の符号がともに正で、いずれも統計的に有意と推定された。この結果から、潜在クラス 1 に帰属する被験者はイライラしやすく、自信過剰な運転性向の傾向が推定された。潜在クラス 2 に帰属する被験者は年齢が高く、安全運転をする傾向にあると推定される。

一方、運転行動意向モデルには統計的に有意と推定されたパラメータはなかった。

また、潜在クラスを考慮した統合モデルと考慮しないモデルの適合度を対比するために AIC, BIC に着目すると、AIC は統合モデルの方が小さく、潜在クラスを考慮することにより適合度が向上しているが、BIC は逆の結果となり、潜在クラスを考慮しないモデルの方が良好な適合度だった。このことは、5.2.1 で考察したように、IVTWI の提供がない場合でも被験者の約 87% は「必ず目視で後方を確認する」と積極的に安全な運転行動意向を選択しており、IC 流入の走行場面では潜在クラスを考慮する必要性はないと考えられる。

表 6-5 統合モデルによる推定結果 (IC 流入)

クラス		(a) IC流入				クラス分け無し	
説明変数	単位	潜在クラス1		潜在クラス2		パラメータ	t 値
		パラメータ	t 値	パラメータ	t 値		
定数項		-0.847	-6.14 **	-5.786	-0.91	-1.021	-12.51 **
<交通安全施設要因>							
ITS(音)ダミー	1:有, 0:無	-0.047	-0.49	-0.299	-0.27	-0.041	-0.53
ITS(画+音)ダミー	1:有, 0:無	-0.045	-0.48	0.159	0.25	-0.017	-0.21
<運転挙動要因>							
運転頻度	回/(月・30)	-0.410	-1.09	4.800	0.75	0.069	0.55
免許保有年数	年/100	0.706	1.50	-0.627	-0.35	-0.629	-2.45 *
事故回数	回/10	0.282	0.78	3.298	1.58	0.790	2.75 **
θ_1 '※		1.045	30.17 **			0.979	33.69 **
θ_2 '※		0.724	11.76 **			0.697	11.74 **
<メンバーシップ関数>							
女性ダミー	1:女, 0:男	0.326	0.93				
年齢	才/100	-5.973	-3.57 **				
イライラ運転傾向	個/8	4.421	4.67 **				
漫然運転傾向	個/9	1.001	1.25				
攻撃的運転傾向	個/3	1.118	1.34				
自信過剰運転傾向	1:有, 0:無	1.038	2.07 *				
とまどい運転傾向	個/7	1.421	1.55				
定数項		-0.675	-0.78				
潜在クラス帰属確率		0.646		0.354			
サンプル数		2400				2400	
パラメータ数		22				8	
最終対数尤度		-1048.63				-1097.51	
AIC		2141.27				2211.03	
BIC		2268.498				2257.29	

※ $\theta_2 = \theta_1'^2$, $\theta_3 = \theta_1'^2 + \theta_2'^2$

** : 1% 有意, * : 5% 有意

2) 側方から流入車

メンバーシップ関数のパラメータ推定値は、年齢と攻撃的運転傾向を除いていずれも符号が正で統計的に有意と推定された。特にイライラ運転傾向ととまどい運転傾向はパラメータ値も大きく、潜在クラス 1 に帰属すると推定された。潜在クラス 1 の帰属確率は 0.69 であり、4 つの走行場面の中では最も大きくなった。

運転行動意向モデルのパラメータ推定値は、潜在クラス1のITS（画+音）のパラメータ推定値の符号が負で統計的に有意と推定された。このことから、側方から流入車の走行場面では、イライラ運転傾向やとまどい運転傾向の被験者を安全な運転行動意向に導くためにITS（画+音）が有効であると推測される。潜在クラス2には、年齢が高い被験者が帰属する傾向にあり、安全な運転をする傾向が高いと考えられる。このことから、運転行動意向モデルのパラメータ推定値も免許保有年数が長いほど、事故回数が多いほど安全な運転行動意向を選択する傾向にあり、ITS（画+音）やITS（音）がなくとも安全な運転行動意向を選択していたと推測される。

モデルの適合度は、AIC, BICとも統合モデルの方の値が小さく、潜在クラスを考慮することによる効果が確認できた。

表 6-6 統合モデルによる推定結果（側方から流入車）

クラス	説明変数	単位	(b) 側方から流入車				クラス分け無し	
			潜在クラス1		潜在クラス2		パラメータ	t値
			パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
定数項			0.567	8.01 **	0.595	2.09 *	0.526	8.44 **
<交通安全施設要因>								
	ITS(音)ダミー	1:有, 0:無	-0.026	-0.41	-0.026	-0.14	-0.025	-0.43
	ITS(画+音)ダミー	1:有, 0:無	-0.139	-2.16 *	-0.043	-0.21	-0.120	-2.08 *
<運転挙動要因>								
	運転頻度	回/(月・30)	-0.202	-1.77 +	0.631	1.43	-0.080	-0.84
	免許保有年数	年/100	-0.095	-0.40	-3.850	-4.64 **	-0.728	-3.93 **
	事故回数	回/10	-0.234	-0.95	-3.751	-2.94 **	-0.088	-0.40
	θ_1' ※		1.350	81.39 **			1.320	84.61 **
	θ_2' ※		0.980	24.24 **			0.974	24.24 **
<メンバーシップ関数>								
	女性ダミー	1:女, 0:男	2.227	1.78 +				
	年齢	才/100	-2.982	-1.00				
	イライラ運転傾向	個/8	11.453	2.72 **				
	漫然運転傾向	個/9	16.107	2.21 *				
	攻撃的運転傾向	個/3	1.003	0.88				
	自信過剰運転傾向	1:有, 0:無	6.114	2.31 *				
	とまどい運転傾向	個/7	17.009	2.78 **				
	定数項		-10.536	-2.06 *				
潜在クラス帰属確率			0.690		0.310			
サンプル数			2400				2400	
パラメータ数			22				8	
最終対数尤度			-2115.17				-2195.33	
AIC			4274.33				4406.65	
BIC			4401.56				4452.92	

※ $\theta_2 = \theta_1'^2$, $\theta_3 = \theta_1'^2 + \theta_2'^2$

** : 1% 有意, * : 5% 有意, + : 10% 有意

3) トンネル入口

メンバーシップ関数のパラメータ推定値は、自信過剰運転傾向を除いて統計的に有意となり、効果的なセグメントが構成できたと考えられる。特に、女性ダミー、年齢、とまどい運転傾向のパラメータ推定値の符号は負で、これらの区分に該当する被験者は潜在クラス2に属すると推定される。トンネル入口では、トンネル内の暗さや圧迫感を感じることから、ドライバーは危険回避のために、あらかじめ減速しておくことがリスク回避のためには望ましい。潜在クラス2の運転行動意向モデルのパラメータ推定値は、ITS（画+音）の符号が負で統計的に有意と推定されたことから、女性、中高年、とまどい運転傾向が高い被験者に対しては、ITS（画+音）による注意喚起情報提供が効果的と考えられる。一方、クラス2でも走行頻度と事故回数のパラメータ推定値の符号は正で有意となり、高速道路の走行に慣れたドライバーや事故経験の多いドライバーは安全な運転行動意向を選択しないことが推測される。この傾向は、側方から流入車の場面と異なる傾向を示している。

表 6-7 統合モデルによる推定結果（トンネル入口）

		(c) トンネル入口					
クラス		潜在クラス1		潜在クラス2		クラス分け無し	
説明変数	単位	パラメータ	t 値	パラメータ	t 値	パラメータ	t 値
定数項		1.223	11.42 **	-0.065	-0.47	0.827	12.93 **
<交通安全施設要因>							
照度アップダミー	1:有, 0:無	-0.085	-1.37	0.098	1.05	-0.006	-0.13
ITS(音)ダミー	1:有, 0:無	0.037	0.51	-0.026	-0.23	0.020	0.37
ITS(画+音)ダミー	1:有, 0:無	-0.157	-2.11 *	-0.237	-2.07 *	-0.151	-2.81 **
<運転挙動要因>							
運転頻度	回/(月・30)	0.083	0.65	0.330	1.75 +	0.168	1.89 +
免許保有年数	年/100	0.470	1.51	0.037	0.13	-0.801	-4.60 **
事故回数	回/10	0.483	1.63	1.200	2.56 **	0.112	5.34 **
θ_1' ※		1.152	53.04 **			1.054	74.28 **
θ_2' ※		1.080	52.05 **			1.021	56.31 **
<メンバーシップ関数>							
女性ダミー	1:女, 0:男	-2.142	-4.00 **				
年齢	才/100	-10.611	-4.35 **				
イライラ運転傾向	個/8	3.328	4.39 **				
漫然運転傾向	個/9	2.000	2.06 *				
攻撃的運転傾向	個/3	2.970	3.65 **				
自信過剰運転傾向	1:有, 0:無	0.405	0.95				
とまどい運転傾向	個/7	-5.408	-3.75 **				
定数項		4.751	3.62 **				
潜在クラス帰属確率		0.657		0.343			
サンプル数		2400		2400			
パラメータ数		24		9			
最終対数尤度		-2815.14		-2990.88			
AIC		5678.28		5999.77			
BIC		5817.08		6051.82			
※ $\theta_2 = \theta_1'^2, \theta_3 = \theta_1'^2 + \theta_2'^2$				** : 1% 有意, * : 5% 有意, + : 10% 有意			

メンバーシップ関数の説明変数のうち、イライラ運転傾向、漫然運転傾向、攻撃的運転傾向のパラメータ推定値の符号は正で統計的に有意と推定された。これらの運転性向が強い被験者は潜在クラス1に帰属すると推測され、クラス2と同様に ITS（画+音）による注意喚起情報提供が、安全な運転行動意向を選択することに効果的であることが推測される。

AIC, BIC によるモデルの適合度の対比結果も、両者とも潜在クラスを考慮した統合モデルの方が良好な適合度であることを示しており、トンネル入口の走行場面においても、潜在クラスを導入して運転性向の異質性を考慮することの有効性を示している。

4) カーブした下り坂

メンバーシップ関数のパラメータ推定値は、トンネル入口の走行場面と同様に、自信過剰運転傾向を除くすべての説明変数で統計的に有意と推定され、効果的なセグメントが構成できたと考えられる。特に、女性ダミー、年齢、とまどい運転傾向のパラメータ推定値の符号は負で値も大きく、トンネル入口と同様に、これらの運転性向を持つ被験者は潜在クラス2に帰属すると推定される。潜在クラス2の帰属確率は0.409と推定され、4つの走行場面では最も高くなった。このことは、カーブした下り坂の走行場面では、4つの走行場面の中で最も安全な運転が必要という認識が高いことが推測される。潜在クラス2の運転行動意向モデルのパラメータ推定値では、標識（文）、ITS（画+音）のパラメータ推定値は統計的にも有意であると推定され、潜在クラス2に属する被験者の走行安全性向上に効果的であることが推測される。特に、標識（文）は、ITS（画+音）と同等以上の効果があると推測される。一方で、トンネル入口と同様に、運転頻度と事故回数のパラメータ推定値の符号は正で統計的にも有意となり、クラス2に属していても、走行頻度による慣れや事故回数が多いと安全な運転行動意向を選択しない傾向にあることが推測される。

イライラ運転傾向や攻撃的運転傾向が強い被験者は潜在クラス1に帰属すると推定された。これらの被験者の運転行動意向は、標識（文）と ITS（画+音）に加えて、薄層舗装と ITS（板）も統計的に有意と推定された。一方、運転挙動要因では、運転頻度は統計的に有意と推定されなかったが、免許保有年数と事故回数が統計的に有意と推定され、特に事故回数はカーブした下り坂の走行場面では安全な運転行動意向を選択しない傾向が強いことが推測される。

AIC, BIC によるモデルの適合度の対比結果も、両者とも潜在クラスを考慮した統合モデルの方が良好な適合度であることを示しており、カーブした下り坂の走行場面においても、潜在クラスを導入した統合モデルの有効性を示していると考えられる。

表 6-8 統合モデルによる推定結果（カーブした下り坂）

(d) カーブした下り坂										
クラス		潜在クラス1			潜在クラス2			クラス分け無し		
説明変数	単位	パラメータ	t 値		パラメータ	t 値		パラメータ	t 値	
定数項		1.190	7.76	**	-0.047	-0.31		0.58	8.46	**
<交通安全施設要因>										
矢羽根ダミー	1:有, 0:無	-0.084	-1.37		-0.065	-0.86		-0.06	-1.52	
導流LMダミー	1:有, 0:無	-0.075	-1.23		-0.011	-0.16		-0.04	-0.91	
標識(文)ダミー	1:有, 0:無	-0.221	-2.89	**	-0.298	-3.28	**	-0.22	-4.56	**
標識(図)ダミー	1:有, 0:無	-0.075	-1.01		0.008	0.14		-0.02	-0.37	
薄層舗装ダミー	1:有, 0:無	-0.170	-2.77	**	-0.037	-0.50		-0.08	-2.10	*
ITS(板)ダミー	1:有, 0:無	-0.164	-1.90	+	0.075	0.72		-0.04	-0.77	
ITS(音)ダミー	1:有, 0:無	-0.047	-0.55		-0.067	-0.65		-0.05	-0.82	
ITS(画+音)ダミー	1:有, 0:無	-0.156	-1.77	+	-0.220	-2.07	*	-0.17	-2.97	**
<運転挙動要因>										
運転頻度	回/(月・30)	0.126	0.99		0.238	1.72	+	0.16	2.00	*
免許保有年数	年/100	0.561	1.69	+	-0.510	-1.40		-0.61	-3.90	**
事故回数	回/10	0.823	2.82	**	0.736	2.02	*	1.23	6.64	**
θ_1' ※		1.270	58.79	**				1.15	91.56	**
θ_2' ※		1.087	43.35	**				1.02	44.62	**
<メンバーシップ関数>										
女性ダミー	1:女, 0:男	-3.012	-6.07	**						
年齢	才/100	-6.508	-3.46	**						
イライラ運転傾向	個/8	2.907	5.25	**						
漫然運転傾向	個/9	1.127	1.74	+						
攻撃的運転傾向	個/3	1.910	3.71	**						
自信過剰運転傾向	1:有, 0:無	0.563	1.62							
とまどい運転傾向	個/7	-2.815	-3.10	**						
定数項		2.342	2.27	*						
潜在クラス帰属確率		0.591			0.409					
サンプル数			3200						3200	
パラメータ数			34						14	
最終対数尤度			-3204.13						-3454.45	
AIC			6476.26						6936.89	
BIC			6682.67						7021.89	

※ $\theta_2 = \theta_1'^2, \theta_3 = \theta_1'^2 + \theta_2'^2$

** : 1%有意, * : 5%有意, + : 10%有意

6.4 まとめ

本章では、第5章で構築した運転行動意向モデルを用いて被験者の運転性向の異質性が注意喚起情報提供下の運転行動意向に及ぼす影響について分析・評価した。

運転性向の異質性を外生的に導入するために、ドライバーの運転態度を評価する質問紙SAS806を用いて6種類の運転性向にあらかじめ分類した後、運転行動意向モデルにより運転行動意向に及ぼす影響について評価した。その結果、

- ① 運転性向の違いにより運転行動意向モデルにおいて有意と推定されるパラメータ

推定値の符号や有意水準が異なることが確認できた。言い換えると、運転性向の異質性が運転行動意向に影響を及ぼすことが確認できた。

- ② 一部の運転性向を除き、画像と音声による IVTWI の提供が、安全な運転行動意向につながりやすいことが確認できた。

一方で、ドライバーの運転性向は多様であるため、SAS806 を用いて外生的に運転性向を考慮した場合、1 人のドライバーが複数の運転性向に重複して該当する場合があります。明確に運転性向を区分できず、推定結果の信頼性が懸念される。この問題を解決するため、潜在クラスモデルを導入して、それぞれの被験者を確率論的なメンバーシップ関数を定義することにより所属するクラス（セグメント）に内生的に分類し、同時に運転行動意向モデルを適用することにより被験者の異質性を考慮した運転行動意向を評価する手法を試みた。その結果、

- ④ 潜在クラスを考慮した運転行動意向モデルは AIC、BIC とも考慮しないモデルより改善され、被験者の運転性向の異質性による影響を潜在クラスにより考慮したモデルの有効性を確認できた。
- ④ 本研究では 2 クラスの潜在クラスを設定した。潜在クラス 1 に帰属する被験者はリスクな運転行動意向を選択しがちな被験者のクラスとなった。
- ⑤ 質問紙 SAS806 で判定されるとまどい運転タイプは、運転への自信が足りず、判断に迷いが生じがちなタイプと定義されている。側方から流入車の走行場面では、とまどい運転タイプは進路をゆずるべきか否かの判断に迷うため、リスクな運転性向のタイプが属する潜在クラス 1 に帰属する結果となったと推測される。しかしながら、トンネル入口やカーブした下り坂の走行場面ではイライラ運転タイプや攻撃的運転タイプと違って、判断に迷いが生じがちな点が安全な運転行動意向を選択する傾向につながったと考えられる。
- ⑥ 女性被験者はとまどい運転タイプほど明瞭ではないが同様な傾向を示した。

運転行動意向に関しては、

- ⑥ IC 流入の場面を除いて、被験者の運転性向の異質性により運転行動意向が異なることが確認できた。このことは、被験者の運転性向の違いに応じて、異なる種類の注意喚起情報提供を行うことが理想的であることを示唆していると考えられる。特にカーブした下り坂の走行場面では、ITS 技術と既往交通安全施設を併用した注意喚起情報提供が効果的であることが確認できた。このことは、高速道路の交通安全性向上のためには、従来の画一的な注意喚起情報提供よりも、ITS 技術を活用することにより、ドライバーの運転性向に応じて、それぞれのドライバーに適切な注意喚起を

行う，個人指向型注意喚起情報提供がより効果的であることを示していると考えられる．ドライバーの運転性向の異質性に応じて，適切な種類の既往交通安全施設を適切に配置することも重要である．

- ⑦ IC 流入の走行場面を除いて，ITS 技術を活用した ITS スポット対応カーナビを通じて画像と音声による注意喚起情報提供を行う方式が，ほとんどの潜在クラスにおいて安全な運転行動意向を選択する方向に効果的に作用することが確認できた．カーブした下り坂の走行場面では，文字による注意喚起標識が，ITS スポット対応カーナビを通じた画像と音声による注意喚起よりも効果があることが確認できた．さらに，薄層舗装と速度超過を検知して LED 表示板による注意喚起も，若年の被験者や男性，イライラ運転傾向や攻撃的運転傾向の強い被験者に対して効果的であることが確認できた．

第 6 章関連参考文献

- 岡英樹 (2007) 自動車保有期間モデルの開発と自動車関連税制の評価，*広島大学学士論文*．
- 岡村和子，藤田悟郎 (2005) 自己報告によるドライバーの運転行動及び態度と交通事故・違反との関連，*科学警察研究所報告交通科学編*，Vol.41，No.1，pp.14-26．
- 楠橋康広，張峻屹，藤原章正 (2010) ドライバーの運転性向が高速道路における注意喚起情報下の運転行動意向に及ぼす影響，*第9回ITS シンポジウム論文集*，pp.55-60 (CD-ROM)．
- 里村卓也 (2010) マーケティング・モデル (R で学ぶデータサイエンス 13)，共立出版，第 6 章．
- 高木修 (2005) 交通行動の社会心理学，*北大路書房*，p.4．
- 財団法人全日本交通安全協会，安全運転自己診断 SAS806．
- Kusuhashi, Y., Zhang, J., Chikaraishi, M., Fujiwara, A. (2011) Heterogeneous Influence of Driving Propensity on Driving Intention on Expressways under the Provision of Traffic Warning Information, *Asian Transport Studies, Volume 2*(forthcoming)．
- Wedel, M., Desarbo, W.S., Bult, J.R., Ramaswamy, V. (1993) A Latent Class Poisson Regression Model for Heterogeneous Count Data, *Journal of Applied Econometrics*, Vol.8, pp.397-411．

第7章 結 論

我が国において、昭和 38 年に最初の都市間高速道路として名神高速道路（栗東～尼崎間 71.1km）が開通して以来、高度経済成長期やそれに続く安定成長期、その後の低成長期を通して、都市間高速道路は物流の基幹として整備が進められてきた。高速道路における死傷者数は、開通延長の増加とともに増加したが、各種の交通安全施設の整備により、平成 13 年をピークに緩やかに減少してきた。そして政府は、道路交通の分野で世界一安全な道路交通社会を実現するために、平成 24 年末までに交通事故死者数を 5,000 人以下とする目標を達成することを目指して、IT を活用した新たな施策を講じることを「IT 新改革戦略」として平成 18 年 1 月に定めた。

一方で、平成 21 年から料金休日特別割引（地方部上限 1,000 円）や一部の路線で料金無料化社会実験が実施されるなど、過去に例を見ないような抜本的な料金施策が一時的とはいえ導入されたことにより、「高速道路は身近に利用できるもの」という認識がドライバーに浸透し、今や高速道路は日常生活においても欠かせないものとなっている。反面、休日上限 1,000 円や料金無料化社会実験以降、交通事故件数が増加に転じており、その原因は、高速道路の利用経験の少ないドライバーが増えたことによる走行ルールの不徹底やマナーの低下も一因と考えられ、新たな負の側面が顕在化してしまったとも言えよう。

このような中で本研究では、ITS 技術を活用することにより、年齢、性別、職業、高速道路の利用経験や運転態度・行動など多様な個人属性や運転性向を有するドライバーの安全運転を適切に支援し、走行安全性向上に資するという観点から、中国地方の高速道路においてこれまで実施されてきた交通安全施策のほか、Web 型 SP 調査を通じて収集した運転行動意向調査結果を分析して、より効果的な注意喚起情報提供の評価を行った。

ここに本研究を総括して成果をとりまとめる。とりまとめに先立って、まず著者が本研究に取り組むきっかけとなった実務上の課題に対して本研究から得られた知見をもとに考察する。次いで、本論文の構成に基づいてその成果をとりまとめる。

7.1 本研究の成果

本研究では、高速道路の走行安全性を向上するために、これまで実施されてきた既往交通安全施設の効果やその持続性について統計的に分析・評価するとともに、ITS 技術を活用した車内注意喚起情報提供手法の有効性についても分析・評価し、ドライバー個人によって異なる運転性向の異質性に着目して、高速道路において注意喚起情報が提供された場合に

ドライバーの運転挙動に及ぼす影響について評価した。

第1章では、本研究の背景、目的、位置づけについて記した。昨今の高速道路上における交通事故の傾向からはヒューマンエラーに起因する事故の比率が相変わらず高い。この改善策として、2010年度からドライバーの安全運転支援を目的とした社会実験として、ITS スポットサービスが開始されている。こうした背景の中で、本研究は既往交通安全施設との対比において、ITS 技術を活用した注意喚起情報提供の有効性を評価するとともに、SP 調査結果を用いて既往交通安全施設と共存した仮想の走行場面におけるそれぞれの効果について明らかにしたこと、さらに、評価の精度を向上させるために、潜在クラスを導入することによりドライバーの運転性向の異質性を考慮したことが特徴的である。

第2章では、中国地方の高速道路における交通事故の現況を整理し、既往研究をレビューして本研究の方向性を明らかにした。NEXCO 西日本では平成19年から交通安全対策緊急3ヶ年計画や長い下り坂区間における速度抑制対策や山陽自動車道におけるITS の走行実験調査などを実施してきた。これらのデータを活用して、顕在化した事象の分析を行うこととした。前述のように、ITS 技術を活用した車内注意喚起情報提供は現在のところ社会実験中であり顕在的なデータ収集が困難なこと、扱うサンプル数も考慮して本研究ではWeb型SP調査により収集した運転行動意向を分析することにより、ITS 技術と既往交通安全施設がドライバーの運転行動意向に及ぼす影響を明らかにすることとした。

第3章では、既往交通安全施設の評価を行った。まず、NEXCO 西日本が平成19年度に実施した長い下り坂区間の速度抑制対策の効果について速度抑制効果と交通事故削減効果について集計分析を行った。プローブカー調査結果からは6区間中5区間で、統計的に速度抑制効果が確認できたが、定点調査結果からは、統計的に速度抑制効果が確認できたのは24回中わずかに2回にとどまった。空間的な速度変化を調査するプローブカー調査と固定点で調査する定点調査の違いはあるにしても、明瞭な速度抑制効果は見出せなかった。一方、対策実施後の交通事故削減効果は、対策実施後1~2年目は交通事故削減効果が有意に確認できたが3年目には6区間中5区間で対策実施前の平均件数を上回った。

次に、中国地方の高速道路の約60%の交通事故が集中する山陽道を対象に高機能舗装と導流レーンマークの整備前後の効果の持続性について分析した。その結果、事故率の改善効果はそれほど期待できない結果となった。効果の持続性については、高機能舗装は6年程度まで、導流レーンマークは3年程度までで、これを超えると事故率が増加する傾向になることが確認できた。

これらの結果から、交通安全性を確実に向上させるためには、既往交通安全施設の機能維持のための注意深いモニタリングと定期的なメンテナンスに加えて、ICT を活用した施策と組み合わせることが効果的と考えられる。

第4章では、ドライビングリスクを指標として、山陽道におけるITS スポットと対応す

るカーナビを用いた走行実験調査により収集したプローブデータを分析し、車内注意喚起情報提供の有効性について評価した。分析の結果、車内注意喚起情報提供は、音声のみによる注意喚起と画像と音声による注意喚起のいずれの場合でも、導流レーンマークや矢羽根などの既往安全施設による注意喚起よりもドライビングリスクを軽減する効果が大きかった。さらに、画像と音声による注意喚起よりも音声のみによる注意喚起の効果が大きいということが確認できた。

同時に実施した被験者へのアンケート結果からは、年齢が上がるほど、高速道路の利用頻度が上がるほど、音声のみによる注意喚起よりも、画像と音声による注意喚起の受容性が高いという結果が得られた。このことから、同じ注意喚起情報提供を行っても、ドライバーは同じ運転行動を示すのではなく、運転性向や個人属性によって異なる運転行動を示す可能性があることが推測された。

これらの結果から、ITS 技術を活用した車内注意喚起情報提供は、ドライバーの受容性に配慮することにより、既往交通安全施設を上回る注意喚起効果が期待できると言えよう。

第 5 章では、4 車線の高速道路上の 4 つの走行場面について、Web 型 SP 調査により、ITS 技術を活用した注意喚起と既往交通安全施設による注意喚起を組み合わせた仮想の注意喚起情報提供下で、被験者から運転行動意向に関する選好情報を収集し、交通安全施設からの注意喚起情報提供が運転行動意向に及ぼす影響について、集計分析および順序付けプロビットモデルを用いて構築した運転行動意向モデルにより評価した。その結果、IC 流入の走行場面を除いて画像と音声による車内注意喚起情報提供が効果的であることと、被験者の年齢が上がるほど安全な運転行動意向を示す傾向があることが確認できた。音声のみによる車内注意喚起情報提供は、トンネル入口の走行場面を除いて安全な運転行動意向を示す傾向があるが統計的に有意とならなかった。そのほか、カーブした下り坂の走行場面では、文字による標識と薄層舗装も効果があることが確認できた。

第 6 章では、第 5 章の Web 型 SP 調査と同時に収集した運転性向についての情報を用いて、被験者の運転性向の違いによる運転行動意向への影響について評価した。被験者の運転性向は、運転態度に関する質問紙 SAS806 を用いてあらかじめ外生的に区分して考慮する方法と、潜在クラスを導入して内生的に区分して考慮する方法の二通りの方法で評価した。

まず、外生的区分により考慮する方法で評価した結果、運転性向の違いにより同じ走行場面で効果のある注意喚起情報提供に差があることが確認できた。すなわち、同じ注意喚起情報提供を行っても、ドライバーの運転性向によっては効果を発揮しないこともありうる。このことは、画一的な注意喚起情報提供よりも、注意喚起が必要な運転性向のドライバーに対して効果的な交通安全施設を整備することが必要なことを示唆していると考えられる。

しかしながら、質問紙 SAS806 による運転性向の区分は、1 人のドライバーが複数の運転性向に重複して該当すると判定されることがある。走行安全性向上のための注意喚起を行うためには、ドライバーの運転性向を適切に判定して効果的な交通安全施設を配置することが重要である。この観点から、運転性向の異質性は厳密に判定される必要があるが、外生的区分による運転性向の異質性を考慮する方法は、運転性向ごとの傾向を適切に推定しているとは断定できず、交通安全施設の適切な評価結果が得られない可能性がある。

そこで、上記の外生的区分により考慮する方法の短所を改善するために、運転性向の異質性を表す潜在クラスを導入し、メンバーシップ関数を用いてドライバーが帰属するクラスを潜在クラスの帰属確率により内生的に表現する方法を用いる手法を開発した。本研究では潜在クラス数を 2 クラスとして推定したところ、潜在クラスは安全運転を行う傾向が強いクラスとそうでないクラスであることが推定できた。そして、それぞれのクラスについて運転行動意向モデルを同時に適用することにより、潜在クラスを考慮しない場合よりも適合度の高いモデルを構築することができた。交通安全施設の効果については、画像と音声による車内注意喚起情報提供がほとんどの潜在クラスで被験者の運転行動意向の改善に有意と推定された。また、カーブした下り坂の走行場面では、文字による標識からの注意喚起の効果が画像と音声による車内注意喚起情報提供以上に期待できることが推定された。

この成果を用いて、実務において、検討対象の走行場面で危険サイドの運転行動意向を示す傾向にあるクラスに属するドライバーに対して、安全な運転行動意向を示す方向に作用する注意喚起情報提供施設を整備すれば、さらなる走行安全性の向上が期待できると考えられる。さらに走行場面によっては異なるクラス数に分類することにより、モデルの適合度をさらに向上させることが可能となる可能性もある。

7.2 実務上の課題に対する本研究の意義

本研究では、第 3 章で主に NEXCO 西日本が実務において収集してきた交通事故データベースや幾何構造データ、既往交通安全施設の整備データ、ITS 走行実験調査データを用いた。交通事故は多くの要因が複合して発生する事象であることが多いため、膨大なデータを適切に分析・評価する必要がある。

また、第 4 章から第 6 章で、高速道路における走行安全性向上のために、ITS 技術を活用したカーナビを利用した車内注意喚起情報提供の効果を、走行実験調査や SP 調査により収集したデータを分析してその有効性を示した。これらの成果を実地に適用していくために、全国の高速道路約 1,600 ヶ所に整備された ITS スポットを効果的に活用していくこ

とが道路インフラの有効活用や走行支援システムの早期実現の観点からも有利である。

ここでは、本研究で得られた知見をもとに本研究に取り組むきっかけとなった実務上の課題に対する考察を行う。

7.2.1 既往交通安全施設の効果と交通事故データベースの高度化

NEXCO では、舗装改良の指標を轍掘れや路面のクラック、ポットホール等の損傷の程度から判断することが多い。第3章で山陽道の既往交通安全施設の効果の持続性について集計分析を行った結果、高機能舗装や導流レーンマークの効果の持続性を統計的に推定できた。その結果、湿潤路面時の交通安全対策として高機能舗装を採用した場合は、改良後から事故率を指標にモニタリングを継続し、対象箇所の事故件数や事故率の推移を把握して、単に路面の損傷程度から改良時期を判断することなく、6~7年経過を目安に適切な時期に改良による機能回復を行う判断が必要であることを認識しておく必要がある。導流レーンマークも同様に、3~4年を目安に改良による機能回復の判断が必要と考えられる。すなわち、交通安全施設も対症療法的対応から予防保全的対応にシフトしていく必要があると考えられる。また、上記に関連して交通安全施設の整備効果も、整備前後の複数年以上の期間を対象として評価する必要がある。

次に、交通事故分析に使用するデータについて述べる。交通事故は様々な要因の組合せにより発生するケースが多いため、精度の高い交通事故分析を行うためには、交通事故データのみならず、道路構造や道路幾何構造、交通量、交通安全施設の整備の有無や種別、整備時期などのデータベースを有機的に結合することが必要となる。さらには、ETC利用率が85%の水準に達し、7.2.3(2)で詳述するITSスポットが全国の高速道路に約1,600ヶ所整備された現在では、これまで収集できなかった有益な情報が利用可能になっている。ETC利用履歴に含まれる情報は、利用区間や利用時間、利用頻度のほか、年齢や性別など、主としてドライバーの個人属性に関する情報が含まれている。ITSスポットの双方向通信を利用すれば、リアルタイムな車両の速度、加減速度などのドライバーの運転行動に関する情報を収集することができる。これらは交通事故分析において重要な情報を包含していると考えられ、既往の交通事故分析手法にとらわれることなく、これらを効果的に活用していくことが実務において求められる。ただし、個人情報の扱いには細心の配慮が必要なことはいうまでもない。

本研究の第3章3.2で実施したセグメントリスク分析では、8年間の交通事故データのほか、交通量データ、道路線形データ、道路資産データを手作業でリンクさせて集計分析を行った。検討対象や検討内容によっては、さらに膨大な量のデータを扱うことが必要となることも予想され、これらに関連付けて1つのシステムデータベース化することによっ

て、より高度で複雑な分析を合理的かつ省力的に行うことが可能になると思われる。

さらに、第2章でレビューした Strauss ら (2009) の研究のように、GIS データとリンクさせることによって、事故発生個所の平面線形や縦断線形だけでなく、事故発生個所の空間的な分布を容易に把握でき、より高度な交通事故分析を精度よく行うことが可能になると考えられる。

7.2.2 交通安全施設整備に対する運転性向の異質性の反映

本研究では第6章6.3で分析したように、4車線の高速道路上で、IC流入、側方から流入車、トンネル入口、カーブした下り坂という4つの走行場面を想定し、2クラスの潜在クラスを運転行動意向モデルに導入してそれぞれの潜在クラスへの帰属確率と運転行動意向を統合したモデルで同時に推定したところ、それぞれの走行場面で安全側の運転性向を示すクラスに属する被験者と危険側の運転性向を示すクラスに属する被験者に分類された。そして、被験者の運転性向の違いにより、同じ交通安全施設からの注意喚起でも、安全な運転行動意向を選択する方向に作用しないケースが確認された。また、安全な運転行動意向を選択した場合でも統計的な有意水準に差があり、効果の程度に有意な差があると推測されたケースも確認された。

このことは、同じ交通安全施設でも、たとえば、とまどい運転タイプのドライバーに対しては安全な運転行動意向を示す方向に作用するが、イライラ運転タイプのドライバーに対しては期待される効果が得られないというように、ドライバーの運転性向の違いにより注意喚起効果が異なる可能性があることを示している。換言すると、たとえば高速道路上の長い下り坂区間で速度抑制のための交通安全施設を整備したとしても、真に安全な運転行動をとってほしいタイプのドライバーに対しては、実はあまり効果がない施設であったということが起こりうることを意味していることになる。

第2章で例示したように、これまで多くの交通安全施設が整備されたにもかかわらず依然として交通事故が減少しない区間が残っていることの原因の1つは、交通安全施設からの注意喚起が注意喚起対象のドライバーに適切に伝わり、さらにドライバーがどう判断してどう行動したかにつながる部分の考察が不足していた可能性がある。

このような事象を回避するためには、ドライバーの運転性向の異質性を認識し、リスクを犯しやすいドライバーの運転性向を明らかにして、対象となる運転性向に該当するドライバーに対して効果的な注意喚起を行う必要がある。この場合、7.2.1でも述べたように交通事故データのための片務的な分析に拠ることなく、多角的な視点からデータを分析して原因を特定して、注意喚起の対象となる運転性向を明らかにしたうえで、適切な場所と手段により注意喚起を行っていく必要がある。

一方で、リスクを犯しやすい運転性向に注目しすぎると、それ以外の運転性向のドライバーに対する配慮がおろそかになり、両者の速度差が逆に大きくなって、かえってドライビングリスクが増大する結果となる可能性がある。このような事象を回避するためには、ITS 技術を活用して、ドライバー個人の運転性向に応じた、画一的でない個人志向型の、最適な内容の注意喚起情報を提供することにより、走行している車両全体のドライビングリスクが最少となる方向に誘導することを目指していく必要がある。

そのためにはドライバーの運転性向に関する質の高い情報を入手することが重要である。本研究では、運転性向の異質性を考慮するためにドライバーの運転態度を調べる質問紙から得られる運転態度を用いたが、質問紙による調査は、実際の運転態度と異なる場合があることが指摘されている。この課題を解決するために、7.2.1 で述べたように ETC 利用履歴や ITS スポットのアップリンク機能により得られる運転行動情報を統合することにより新たな運転性向の異質性を導入する手法が実現できれば、より精度の高い運転性向の把握が可能となる。これらの情報を十二分に活用して、心理的、精神的側面から、より現実に即した運転性向の異質性を導入することが大きな課題と考えられる。

7.2.3 ITS 技術を活用した注意喚起情報提供への対応

(1) 車内注意喚起情報提供の活用

既往の交通安全施設からの注意喚起情報は、路面上または路肩などの車外に設置された交通安全施設からすべてのドライバーに画一的に発信される。この方式は、ドライバーがこれらの施設を視認することにより初めてリスクを認知することが可能になる。一方で、前方不注視や動静不注視が高速道路上の交通事故原因の約 65%を占めていることを考えると、既往交通安全施設の注意喚起機能に限界があることを示しているとも考えられる。

これに対し、ITS スポットサービスで採用されている車内注意喚起情報提供は、車内に搭載した車載器を通じて音声や画像で注意喚起を行う点で、車外の交通安全施設をドライバーが見落とすというヒューマンエラーを回避することが可能であり、より確実性のある注意喚起方式であるといえる。

車載器を通じた注意喚起は、車載器に搭載している電子地図に事故多発地点の位置情報とその地点での再生内容を埋め込んでおき、事故多発地点に接近した時に車載器からの音声でドライバーに通知する方式などが既に実用化されている。その他、次項で詳述する、通信方式により情報を送受信する方式もある。電子地図方式は確実に情報提供できるメリットはあるが、常に最新の情報が提供できないデメリットがある。通信方式は逆に、常に多様で最新の情報を提供できるメリットがあるが、情報送信部と受信部の間に他の車両が割り込むなどの障害物が存在する場合や、電波状況によっては正しく情報を受信できない

可能性がある。しかしながら、高速道路上での情報提供では、常に最新の道路情報を提供する必要があるが、通信方式の方が効果的と考えられるが、送受信のブラインドとなる範囲が最少となる位置に ITS スポットを設置したり、送受信する情報量の軽量化が図れるように仕様を改善したりして信頼性を向上していくことが必要である。

車内注意喚起情報提供方式の最大のデメリットは、情報提供に対する煩わしさからドライバーが車載器の注意喚起再生機能をオフにしてしまうことであり、情報提供にあたっては、提供する情報内容についてドライバーに対する受容性の観点から理解しやすい情報提供となるよう、十分な配慮が必要である。

(2) ITS スポットサービスの活用

本研究で有効性が確認された ITS 技術を活用した車内注意喚起情報提供は、現在、全国の高速度道路約 1,600 ヶ所に ITS スポットが整備され、中国地方の高速度道路においても、約 180 ヶ所に整備されており、その整備水準は、それぞれのインターチェンジ間で概ね上下線各 1 ヶ所に相当する。現在、国土交通省による社会実験が行われており、現在行われているサービスメニューは、首都高速度道路や阪神高速度道路などの都市高速度道路では急カーブの先のブラインド区間における渋滞の有無や、事故多発地点であることを知らせるものがある。しかしながら、都市間高速度道路においては、車線規制や落下物情報などのリアルタイムな道路交通情報など、高速度道路上にある可変情報板とほぼ同じ内容の情報を、すべてのドライバーに対して提供することが主体となっている。

ITS スポットサービスを活用した注意喚起情報提供のメリットは、現在の VICS 以上の情報量の注意喚起を車内の ITS スポット対応カーナビを通じてドライバーに提供できることにある。一方で、高速走行中のドライバーにカーナビを通じた画像による情報提供を行う際には、カーナビ画面を注視するためにかえってわき見運転に陥ることがないように、瞬時に内容を把握できるものである必要がある。その点、音声による情報提供はわき見運転に陥る懸念はないが、再生が終わるまで内容が把握できないデメリットがある。従って、画像と音声のそれぞれのメリットとデメリットを把握したうえで、両者のメリットを最大限に発揮できる提供内容となるような配慮が求められる。

また、全ドライバーへの画一的な情報提供ではなく、NEXCO 西日本が山陽自動車道で走行実験調査を行ったように、危険な運転挙動を示すドライバーにのみ注意喚起を行うことが可能であること、路上の障害物を検知するセンサーなどと連動させることにより、道路管制センターのオペレーターによる人為的な操作を経ることなく時々刻々に変化する道路情報を自動的に即座に提供することが可能なこと、など多くの魅力的な機能が利用可能である。このような ITS スポットサービスの機能を活用すれば、都市間高速度道路においても、必要な箇所では危険な運転挙動を示すドライバーに対してのみ注意喚起を行うことによ

り、走行安全性向上のための情報提供が可能となる。

一方、ドライバーに対する情報提供ツールとなる ITS スポット対応カーナビは 2010 年から市販されているが、普及率の向上が最大の課題となろう。ETC 車載器の普及の過程で見られたように、ドライバーに対して必要性を十分に周知できるような強力なインセンティブが必要と考えられる。

本研究の知見に基づく考察を総括すると、ICT の進歩により ITS スポットサービスに代表されるドライバーの安全運転支援はより確実に、より有意義な多くの機能が利用できるまでに発展してきている。この機能を最大限に活用して走行安全性を向上させるには、注意喚起も含め、提供する情報内容について多面的な配慮が情報を提供する側に要求され、その責務はより重要になってくる。この課題を解決することにより、100%安全安心な高速道路の走行安全性が実現できると考えられる。

7.3 今後の課題

本研究では、高速道路の走行安全性向上のために、ドライバーの運転性向の異質性に着目して ITS 技術を活用した、より効果的な注意喚起情報提供を実現するために、交通安全施設の評価を行った。

今後、さらに取り組んでいくべき課題を以下にまとめる。

第一に、ドライバーの異質性を表現する最適な潜在クラスについての課題である。本研究では、高速道路の走行安全性向上を目的として、ドライバーの運転性向の異質性を交通安全施設計画のプロセスに反映するために、潜在クラス概念を導入することによりドライバーの運転行動意向に及ぼす影響について評価した。潜在クラス数は 2 クラスとして評価したが、高速道路の走行場面によっては最適な潜在クラス数が異なる可能性がある。一方で、潜在クラス数を多くすることは、帰属する潜在クラスの意味の解釈の複雑化やモデルの安定性の問題が懸念される。これらを勘案しつつ、より現実に即した最適な潜在クラス数を明らかにする必要がある。また、本研究では、運転態度を判定する質問紙を用いて運転性向の異質性を導入した。しかしながら、質問紙による調査は回答者が行う回答が実際の運転行動と必ずしも一致していない可能性がある。ドライバーの運転行動に連動した、質の高い運転性向の異質性を導入することも、分析手法の精度向上の課題と考えられる。

第二に、車内に搭載した車載器から提供する情報内容についての課題である。車内での注意喚起情報提供に使用する ITS スポット対応カーナビは 2010 年から市販されており、画

像と音声を表示できるカーナビ連動タイプと音声のみを再生する単体発話タイプがある。カーナビ連動タイプは第4章の走行実験調査で用いたように、ITS スポットから受信した情報の再生位置を複数箇所指定可能な情報蓄積機能を持つがやや高価であるのに対し、単体発話タイプはITS スポット位置でしか再生できない即時再生機能のみであるが数万円で装着できる。これらの車載器のタイプの違いにより再生できる情報や価格も異なるため、今後の両タイプの普及状況を把握し、提供する情報内容と受け手となる車載器の再生機能も考慮して情報提供やITS スポットの追加整備を行う必要がある。その際には、既往交通安全施設からの注意喚起効果との役割分担についても考慮していく必要がある。また、人間工学的見地に立って、提供された情報に対する受容性についても照査していくことが必要である。

最後に、SP 調査手法を交通安全施設評価のための選好情報収集に用いる際の精度についての課題である。本研究では仮想の走行場面について、より広範な運転行動意向を収集するために、交通需要予測において新しい交通サービスの需要予測を行う際に多用されているSP 調査により収集した運転行動意向を分析・評価した。一方で、SP 調査の回答と実際の行動が異なる可能性があることは以前から指摘されているところである。また、本研究のSP 調査では、被験者に走行場面の写真を提示して運転行動意向を収集したが、写真と実際の走行場面でも運転行動が異なる可能性がある。そのため、新たな走行場面で運転行動意向を収集する際には、より実際の走行に近い走行場面を再現する方法を模索する必要があるとともに、実用化に先駆けて実験的調査により収集したデータと照合して精度を高めていく必要がある。

最後に、本研究で得られた成果が今後のICTの進展とともに、走行支援システムの機能の一部として、高速道路における走行安全性の向上のみならず、最適経路選択や走行時間短縮による利便性の向上、さらには交通事故件数の減少による渋滞等の軽減に伴う低炭素社会の実現が地球環境の改善につながり、日本はもとより開発途上国を含む諸外国の人々が安全で安心して暮らせる自動車交通環境を構築するためのプロジェクトの展開に資することができればこの上ない喜びである。

謝 辞

本研究の遂行にあたりましては、多くの方々からのご指導、ご鞭撻を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

広島大学大学院国際協力研究科開発科学専攻 藤原章正教授には、本研究に取り組む以前から、共同研究など実務面におきまして貴重なご意見をいただきました。著者が研究室に配属された後も、研究を遂行して本論文を完成するに至るまで、ときには叱咤激励を頂戴しながらも、社会人としての研究活動にご理解をいただくとともに、終始暖かいご指導、ご鞭撻、ご助力をいただきました。ここに甚大なる感謝の意を表します。

広島大学大学院国際協力研究科開発科学専攻 張峻屹教授には、SP 調査の計画からデータ解析や評価手法など大局的な見地から適切なご指導をいただき、学位論文の完成まで本研究を遂行する上での大きな拠り所でありました。心から感謝の意を表します。

東北大学大学院情報科学研究科人間社会情報科学専攻 桑原雅夫教授、広島大学大学院国際協力研究科開発科学専攻 肥後靖教授、広島大学大学院工学研究院社会基盤環境工学専攻 塚井誠人准教授には本論文の審査員として、貴重なご意見をいただきました。ご多忙中にもかかわらず本論文を丁寧に査読していただき、適切なご指摘、ご助言、ご教示をいただきましたことに深く感謝いたします。

校内での研究経過発表や学外での学会・発表会等の場におきまして、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 嶋本寛講師、神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 桑野将司助教、広島大学大学院国際協力研究科 力石真特任助教をはじめとする多くの先生方には、適切なご意見やご助言をいただきました。また、本論文を構成する論文の査読を通じて、匿名の査読者の方々には、貴重なご意見をいただきました。心より感謝いたします。

さらに研究を深めていく上で、広島大学大学院国際協力研究科交通工学研究室、同大学大学院工学研究科社会基盤計画学研究室の諸兄には大変お世話になりました。奥美里秘書には論文の学会発表や研究生活に際して必要になった様々な事務でご尽力をいただきました。広島大学 ASMO センターのメンバーとして金元喆氏、播磨総一氏、Omran Omar 氏、谷本修一氏には、調査・分析を通して格別の協力をいただきました。深く感謝いたします。

学位取得への取り組みにご理解をいただき、社会人として勉学する機会を与えていただいた西日本高速道路株式会社西村英俊代表取締役会長兼社長はじめ経営各位、実務を通じて幾重にもご協力とご支援をいただいた中国支社広島高速道路事務所各位にも、末尾ながら厚く御礼を申し上げます。

最後に、社会人学生という選択を快く受け入れ、支援と激励をくれた妻ひとみに心より感謝して本研究を締めくくります。

2012年3月 楠橋康広